

1. 玉米淀粉生产技术

1.1 概述

玉米学名玉蜀黍，俗名棒子、包谷、包米等，属于禾本科。

玉米是非常古老的作物之一，在我国已有 470 多年的栽培历史。

我国玉米分布区域很广，南到海南岛，北至黑龙江，东至台湾，西至新疆，均有玉米种植，但主要产区集中在东北、华北及西南地区，形成从东北到西南的一条斜带。玉米具有生长期短、耐高温、适应性强、产量高、经济价值高等特点，受到人们的极大重视。目前，玉米在整个人类生活中占有重要位置，已成为一种适合人类和牲畜食用的主要谷类以及重要的工业原料。

玉米淀粉工业经过 150 多年的发展和完善，特别是在采用工艺水逆流利用技术后，现已接近达到将玉米干物全部回收，得到高纯度淀粉和多种高价值副产品的水平。

玉米湿法加工是将玉米各组成部分分离，得到淀粉和各类副产品。尽管在玉米浸泡时有化学和生物学方面的作用，但整个工艺基本是一个物理分离过程。玉米被分成淀粉、胚芽、蛋白质、纤维和玉米浆等组分，副产品也可以再混合而配制出一系列动物饲料产品。

玉米淀粉生产工艺流程见图 1-1。

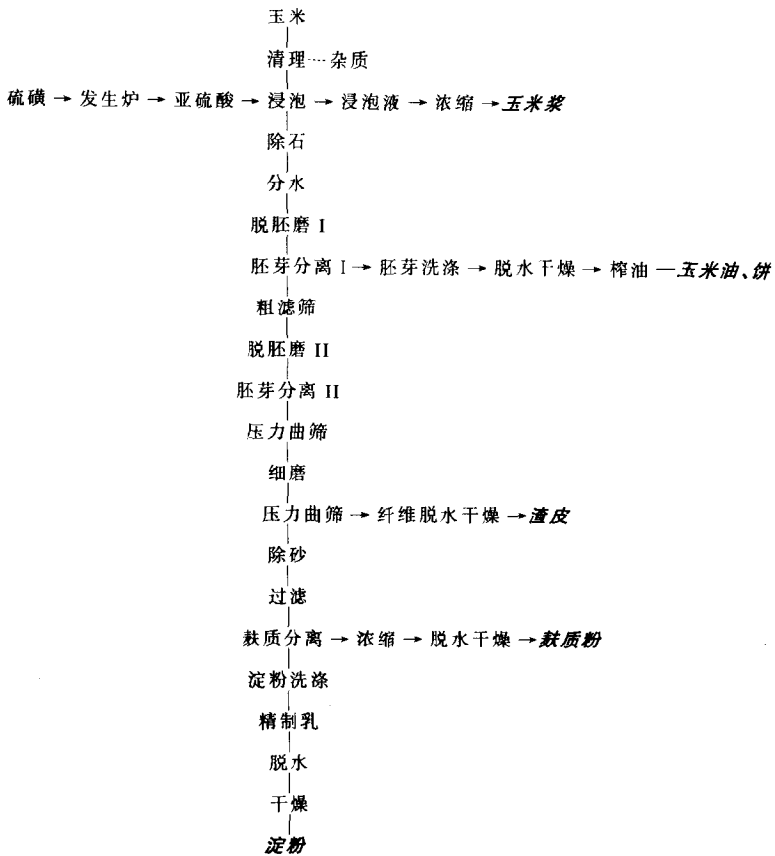


图 1-1 玉米淀粉生产工艺流程

玉米经过清理、称重后，送入浸泡罐在一定温度下进行浸泡。采用亚硫酸水溶液浸泡玉米，可以很好地软化玉米籽粒，溶出可溶性物质，分散包埋淀粉的蛋白基质。

浸泡后的玉米送入脱胚磨，破碎籽粒，游离出胚芽，分离出的胚芽被洗涤、干燥，送入榨油工序。

经过精磨后，纤维上粘附的淀粉和蛋白被去除，筛理洗涤后纤维进行干燥。

含有淀粉和蛋白质的淀粉乳进入分离机进行分离，分离出的蛋白质进行浓缩、干燥。淀粉经进一步洗涤后得到纯净淀粉乳进行干燥或送入淀粉深加工工段。

1.2 玉米的工艺特性

玉米在加工过程中所反映出的各种特性，叫做玉米的工艺特性。了解和掌握玉米的工艺特性与加工的关系，才能正确选择工艺与设备、技术参数和操作方法，在保证产品质量的前提下，努力提高产量、出率，降低各种消耗。

1.2.1 玉米的类型

1.2.1.1 按国家标准分类

按中国国家标准 (GB1353—1999)的规定，玉米分为以下几类：

- a. 黄玉米 种皮为黄色，并包括略带红色的黄色玉米。
- b. 白玉米 种皮为白色，并包括略带淡黄色或粉红色的白色玉米。
- c. 混合玉米 混入本类以外玉米超过 5.0% 的。

1.2.1.2 按粒形、硬度及用途分类

根据玉米的粒形、硬度及用途的不同，将玉米分为普通玉米和特种玉米两类：

- a. 普通玉米 可以分为以下几类：
 - ①马齿型：籽粒呈马齿形，胚乳的两侧为角质，中央和顶端均为粉质。
 - ②硬粒型：籽粒呈圆形或短方形，胚乳周围全是角质。
 - ③中间型：马齿型和硬粒型各占一半。
 - ④硬偏马型：硬粒型占 75% 左右。
 - ⑤马偏硬型：马齿型占 75% 左右。
- b. 特种玉米 特种玉米是指具有特殊用途的各种玉米的总称。

④高赖氨酸玉米：所谓高赖氨酸玉米就是籽粒中赖氨酸含量较普通玉米有较大提高的一种玉米类型。高赖氨酸玉米的特点是籽粒蛋白质中玉米醇溶蛋白比例下降，优质的玉米谷蛋白比例相应提高，其结果使籽粒赖氨酸含量提高。目前大田栽培的高赖氨酸玉米的籽粒赖氨酸含量已达 0.35%，色氨酸达 0.20%，高出普通玉米 1~2 倍。由于玉米籽粒醇溶蛋白含量的减少，高赖氨酸玉米籽粒多为不透明的粉质胚乳，色泽灰暗，充实度较差，其加工品质较低。目前已有半硬粒型的高赖氨酸玉米杂交种，上述不良性状有所改善。

⑤高直链玉米：这种玉米的特点是淀粉中的直链淀粉含量特别高，普通玉米中的直链淀粉含量为 25% 左右，而高直链玉米淀粉的直链淀粉含量达到 80%。与普通玉米相比，高直链玉米的蛋白质和脂肪含量比较高，但淀粉的含量较低，为 58%~66%；淀粉的颗粒较小并且形状不规则，湿法加工淀粉出率较低。高直链玉米淀粉需进行加压糊化，其淀粉膜特性很好。

⑥高油玉米：高油玉米是籽粒具有较高脂肪含量的一类玉米的总称。高油玉米籽粒油分高达 8%~15%，甚至更高。高油玉米的油，85% 集中在籽粒胚中，因此高油玉米都具有大胚特性。

⑦甜玉米：甜玉米是指在乳熟期或蜡熟期，籽粒中含有较多可溶性糖的一类玉米。这类玉米在乳熟期采收，较普通玉米含有更多的低聚糖和水溶性多糖（WSP），因而食之较甜，加上 WSP 较粘，构成了甜玉米的特有风味。乳熟期的甜玉米可以用来鲜食或加工成罐头，因此又称之为果蔬玉米。

⑧爆裂玉米：爆裂玉米是指那些籽粒在常压条件下容易被膨爆成玉米花的玉米类型。爆裂玉米属硬粒型，籽粒较小，产量较低，角质胚乳比例很高，能够在常压下加温膨胀形成玉米花，且其膨胀倍数远远大于普通玉米。

⑨糯玉米：糯玉米又称蜡质玉米，起源于我国，是普通玉米的突变类型。其特点是籽粒淀粉构成中几乎 100% 是支链淀粉。这样，

糯玉米的食用品质就和糯米相当，能够代替糯米制成多种食品。

1.2.2 玉米籽粒结构

玉米主要由皮层、胚乳、胚芽和根帽等部分组成，见图 1-2。

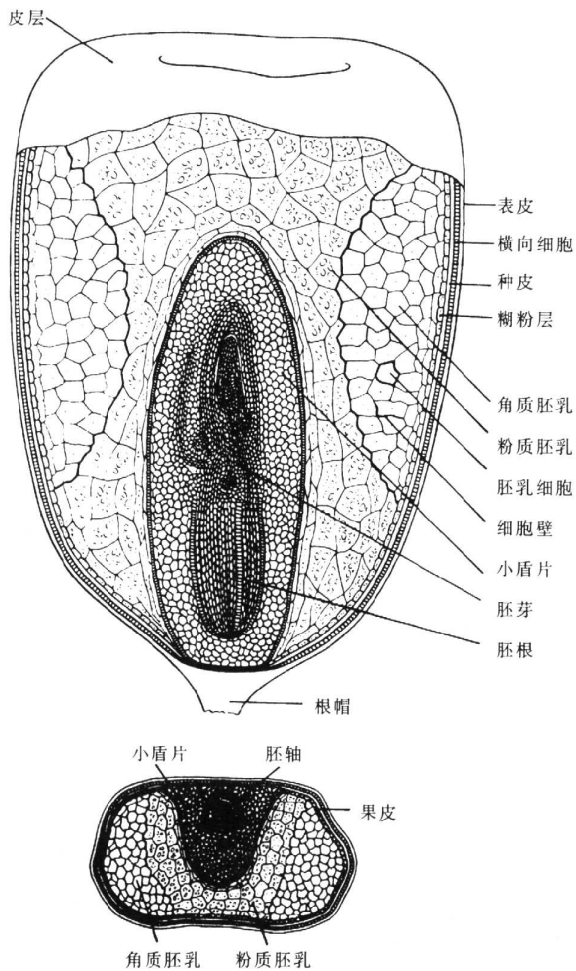


图 1-2 玉米籽粒结构图

1.2.2.1 皮层

玉米的皮层由果皮、种皮和糊粉层组成。果皮是籽粒的光滑而密实的外皮，它的外面有一层薄的蜡状角质膜，下面是几层中空细长的已死亡的细胞，压成一层坚实的组织。在这层下面有一层海绵状组织，称为管细胞，是吸收水分的天然通道。在这海绵状层下面有一层极薄的栓化膜，称为种皮，一般认为这层膜起着半透膜的作用，限制了大分子进出胚芽与胚乳。种皮保护玉米籽粒免受霉菌及有害液体的侵蚀，种皮所含的色素决定了籽粒的颜色。糊粉层在种皮和胚乳的中间，即种皮膜下面胚乳的第一层。糊粉层是具有厚韧细胞壁的一层细胞，它的营养成分较高，蛋白质含量 22.21% 脂肪含量 6.93%，在淀粉湿磨法加工中它与果皮、根冠（根帽）同属于“纤维”部分。玉米中果皮占籽粒重的 4.4%~6.2%，糊粉层的质量为籽粒重的 3% 左右。

1.2.2.2 胚乳

胚乳是玉米籽粒的最大组成部分，占 80.0%~83.5%（干基）。胚乳主要由蛋白质基质包埋的淀粉粒和细小蛋白颗粒组成。玉米的胚乳分角质和粉质两类。成熟的胚乳由大量细胞组成，每个细胞都满载着深埋在蛋白质基质中的淀粉团粒，整个细胞内容物的外面是纤维细胞壁。马齿型玉米的成熟胚乳内含有一个由软质或粉质胚乳构成的中心区，直伸到谷粒的冠部。在籽粒变干时，冠部缩入，生成齿状凹陷。虽然从形态学上说角质区与粉质区的分界线并不明确，但粉质区的特点是细胞较大，淀粉颗粒既大且圆，蛋白质基质较薄。在籽粒干燥过程中蛋白质基质的细条崩裂，产生了空气小囊，这使粉质区呈白色不透明的外貌和多孔的结构，因而也使淀粉分离变得容易一些。

在角质胚乳中，较厚的蛋白质基质在干燥期间也收缩，但不崩裂，由此产生的压力形成一种密集的玻璃状结构，其中的淀粉颗粒被挤成多角形。角质胚乳组织结构紧密，硬度大，透明而有光泽。角质胚乳的这一特性使得淀粉生产时玉米需要充分地浸

泡，以保证淀粉的回收。角质胚乳的蛋白质含量比粉质区多 1.5% ~ 2.0%，黄色胡萝卜素的含量也较高。在糊粉层的下面有一排紧密的细胞，称为次糊粉层或外围密胚乳，其蛋白质含量高达 28%，这些小细胞在全部胚乳中的含量大致少于 5%，它们含有很少的小淀粉团粒和较厚的蛋白质基质，这些细胞在加工中不宜分散开，一般采用 44 μm 筛将这些物质作为纤维筛出。

1.2.2.3 胚芽

胚芽位于玉米的基部，柔韧而有弹性，不易破碎。胚芽占玉米籽粒干重的 10.5% ~ 13.1%，加工时可以完整地分离出来。玉米胚芽中脂肪含量高达 35% ~ 40%。

1.2.2.4 根帽

又称基胚、根冠，位于玉米的底部。根帽占玉米籽粒干重的 0.8% ~ 1.1%，是将种子连接在穗轴上的果梗的残余，它由具有海绵状结构的纤维基元组成，善于吸收水分。除去根冠，就会看见一片黑色组织，称为门层，这是当玉米籽粒接近成熟时横在胚芽下面的封闭物，加工时作为渣皮去除。

1.2.3 玉米的物理特性

1.2.3.1 粒形与大小

粒形是指玉米粒的形状，大小是指玉米籽粒的长度、宽度和厚度。玉米形状和大小因品种不同也有所不同。一般玉米长 8 ~ 12mm，宽 7 ~ 10mm，厚 3 ~ 7mm。

1.2.3.2 体积质量

体积质量是指单位体积内玉米的质量，用 kg/m^3 表示。体积质量的大小，是由籽粒的饱满程度即成熟程度来决定的。体积质量的高低是衡量玉米品质好坏的指标。一般来说，体积质量高的玉米成熟好、皮层薄、角质率高、破碎率低；体积质量低的玉米相反。体积质量是仓容和运输设备产量的计算依据。在相同体积和流速时，体积质量高的产量高；反之，体积质量低的产量低。体

积质量大小与水分也有关系，水分大的玉米，细胞组织内部含水多，籽粒膨胀，所以它的体积质量要低于水分小的玉米。玉米的体积质量一般为 $705 \sim 770\text{kg}/\text{m}^3$ 。

1.2.3.3 相对密度

籽粒相对密度的大小取决于籽粒的化学成分和结构紧密程度。一般情况下，凡发育正常、成熟充分、粒大而饱满的玉米籽粒，其相对密度较发育不良、成熟度差、粒小而不饱满的为大。相对密度也是评定玉米品质的一项指标。玉米的相对密度为 $1.15 \sim 1.35$ ，玉米胚的相对密度为 $0.7 \sim 0.99$ ，砂石的相对密度为 2.5 左右。淀粉的相对密度为 $1.48 \sim 1.61$ ，蛋白质的相对密度为 $1.24 \sim 1.31$ ，纤维素的相对密度为 $1.25 \sim 1.40$ 。

1.2.3.4 千粒重

千粒重是一千粒玉米的质量，常以克表示。一般千粒重都是对风干状态的玉米籽粒而言。千粒重的大小和体积质量一样，也是衡量玉米品质好坏的一项指标。千粒重大的玉米表明其颗粒大，角质胚乳多，因此其出品率就高。玉米的千粒重在 $150 \sim 600\text{g}$ ，平均 350g 。

1.2.3.5 散落性

玉米籽粒自然下落至平面时，有向四面流散并形成一圆锥体的性质，这称为散落性。玉米散落性的大小，通常用静止角（自然坡角、内摩擦角）来表示。所谓静止角，就是玉米自然流散形成一个锥体，圆锥体的斜边与水平面的夹角。静止角愈大，表示玉米的散落性愈差。玉米静止角为 27° 。玉米的散落性的大小与玉米的水分、形状大小、表面状态和杂质的特性及含量有关。

玉米在某种材料上能自动滑下的最小角度，称为玉米粒对该材料的自流角。自流角与散落性有直接关系。一般玉米的自流角对于木材为 $24^\circ \sim 28^\circ$ 对于钢板为 $20^\circ \sim 24^\circ$ 。

1.2.3.6 悬浮速度

悬浮速度是指玉米自由下落时在相反方向流动的空气作用

下，既不被空气带走，又不向下降落，呈悬浮状态时的风速。悬浮速度的高低与玉米颗粒的形状、大小、相对密度、质量有直接关系，颗粒大的、质量重的，悬浮速度就高；反之就小。玉米的悬浮速度为 $11 \sim 14\text{m/s}$ ，玉米胚芽的悬浮速度为 $7 \sim 8\text{m/s}$ ，玉米皮的悬浮速度为 $2 \sim 4\text{m/s}$ 。

1.2.3.7 孔隙度

孔隙度表示粮堆中粮粒之间的紧密程度。粮堆孔隙体积占粮堆总体积的百分率称为孔隙度。在粮堆占据一定的容积时，粮粒并非充满整个容积的全部，因为粮粒间的排列并非十分紧密，而是存在着大小不等的孔隙，因此粮堆的体积实际上是由粮粒本身的体积和粮粒间的孔隙的体积所构成的。孔隙度的大小主要取决于粮食的类型、品种、粒形、粒度、均匀度、表面状态、饱满程度、含杂情况和储藏环境等因素。玉米孔隙度为 40% 左右。

1.2.3.8 导热性

物体传递热量的性能称为导热性。粮堆中热的移动主要是通过粮粒间直接接触的传导和粮堆空隙中空气的对流两种方式进行的。在这两种方式中，以对流为主。

粮堆的导热性能与粮堆的形式、大小、密闭情况、孔隙度、含水量等有关，其中尤以含水量影响较大。

由于粮堆内的空隙阻力较大，空气对流缓慢，以及空气和粮食的热导率都不高，因此粮堆是热的不良导体。

淀粉的热导率取决于含水量，大致按下式确定：

$$\lambda = 0.25 + 0.0017w$$

式中 λ —— 热导率 [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]

w —— 淀粉的含水量 (%)

部分物料的比热容如下：

玉米淀粉的比热容为： $1.87\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

无水马铃薯淀粉的比热容为： $1.01 \sim 1.26\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

小麦淀粉的比热容为： $1.84\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

淀粉的比热容与温度的直线关系用下式表示：

$$c = (0.2786 + 0.006t) \times 4.186 \times 10^3$$

式中 c ——比热容 [kJ/(kg·K)]

t ——温度(°C)

1.2.3.9 自动分级

自动分级不是单一籽粒所具有的特性，而是籽粒群体（粮堆）的性质。玉米籽粒和杂质结合的散粒群体，在有规则的移动或振动过程中出现的分级现象称为自动分级。

产生自动分级的原因是，粮堆的组分中有饱满的和瘦瘪的，完整的和破碎的粮粒与各种杂质，它们在形状大小、表面状态、相对密度和绝对质量方面都不相同，因此在运动过程中，受摩擦力和气流的浮力与流动方向的影响也不同，这些因素的综合作用，造成粮堆的自动分级。产生自动分级后，粮堆的上层为相对密度小的物料，下层为相对密度大的物料。

1.2.4 玉米的化学特性

黄玉米的化学组成见表 1-1，玉米各组成部分的化学组成见表 1-2。

表 1-1 黄玉米的化学组成（干基） 单位：%（质量分数）

	平均	标准离差
淀粉	69.5	1.5
蛋白质	8.6	1.1
脂肪	3.6	0.5
粗纤维	2.9	0.5
灰分	1.4	0.2
糖类	2.0	0.4
水分(湿基)	12.0	1.0

表 1-2 玉米籽粒各组成部分占籽粒重及化学组成 (干基)

单位: % (质量分数)

类别	占籽粒重	淀粉	蛋白质	脂肪	灰分	糖
胚芽	11.5	8.3	18.5	34.4	10.3	11.0
胚乳	82.3	86.6	8.6	0.86	0.31	0.61
根帽	0.8	5.3	9.7	3.8	1.7	1.5
皮层	5.3	7.3	3.5	0.98	0.67	0.34
籽粒	100	72.4	9.6	4.7	1.43	1.94

1.2.4.1 水分

水分是玉米的一个重要化学成分,它不仅对玉米的生理有很大影响,而且与玉米加工、储藏的关系也很密切。水分在玉米籽粒中有两种不同的存在状态,即游离水(自由水)和胶体结合水(束缚水)。游离水是存在于细胞间隙中的水分,一般测定水分含量的结果为游离水的。胶体结合水是与细胞中的蛋白质、糖类等亲水物质结合得比较牢固的水分。胶体结合水性质稳定,不易散失,不能用作溶剂,0℃时也不会结冰,应用一般的干燥方法(晾晒或通风等)不能将其去除。游离水则具有普通水的性质,能用作溶剂,0℃时也能结冰,籽粒中这部分水的含量,可随外界空气的相对湿度而改变,所以这部分水含量高时,可用普通的干燥方法使其降低。

1.2.4.2 蛋白质

玉米中粗蛋白含量为 8%~14%,平均为 9.9%。其中:白蛋白 0.8% 球蛋白 0.3%,醇溶蛋白 3.8% 谷蛋白 4.1% 非蛋白氮 0.9%。醇溶蛋白是非全价蛋白,因为它几乎不含有像赖氨酸和色氨酸这样的必需氨基酸;白蛋白、球蛋白和谷蛋白为全价蛋白。蛋白质在玉米籽粒的各部位的分布是不均匀的。籽粒中球蛋白的 70%左右是在胚芽中,籽粒的其他部位主要是醇溶蛋白、谷蛋白。麸质是湿法加工玉米时提取的不溶性蛋白质的商品名称,也叫蛋白粉或黄粉,它含蛋白质 50%~70% 质量也较好,但因为损

失了有价值的必需氨基酸，所以一般多用于动物饲料。

玉米的氨基酸含量（干基）（%）

蛋氨酸 0.19%	胱氨酸 0.15%
赖氨酸 0.25%	色氨酸 0.10%
苏氨酸 0.39%	异亮氨酸 0.42%
组氨酸 0.22%	缬氨酸 0.48%
亮氨酸 1.14%	精氨酸 0.59%
苯丙氨酸 0.50%	甘氨酸 0.38%
丙氨酸 0.78%	天冬氨酸 0.68%
谷氨酸 1.77%	脯氨酸 0.84%
丝氨酸 0.46%	酪氨酸 0.47%

组成蛋白质的氨基酸，在蛋白质分子里是按照一定顺序排列的，因此，各种蛋白质有一定的结构和一定的物理化学特性。如果受某种因素的影响（如高温、高压、干燥、紫外线、X射线、超声波、酸、碱等），氨基酸在蛋白质分子内排列的顺序就会改变，蛋白质的结构就会发生变化，理化性质也随着改变，性质改变后的蛋白质称为变性蛋白质。变性蛋白质溶解度变小，或者完全丧失溶解性，吸水能力减弱，因而品质大为降低。蛋白质变性对我们有不利的一面，也有有利的一面。由于蛋白质抗高温能力较低，在加工玉米时，一般温度不要超过 60℃；但在榨玉米胚油时，还必须使蛋白质变性才能多出油。

1.2.4.3 碳水化合物

玉米一般含淀粉 64% ~ 78%，平均为 71.3%。淀粉主要存在于胚乳中，胚芽、表皮的淀粉含量较少。

纤维素主要存在于玉米的皮层。用玉米生产淀粉时，纤维素是构成粗渣和细渣的主要成分。粗、细渣是生产饲料的主要原料。玉米中总纤维含量 8.3% ~ 11.9% 平均为 9.5%。

玉米中可溶性糖含量 1.0% ~ 3.0% 平均为 2.58%，其中：蔗糖 2.0% 棉子糖 0.19% 葡萄糖 0.10% 果糖 0.07%。

1.2.4.4 脂肪

玉米中含有 1.2% ~ 18.8% 的脂肪，平均为 5.3%，主要存在于胚芽中，其次在糊粉层中，而胚乳和种皮中含脂肪量很低，只有 0.64% ~ 1.06%。胚芽的脂肪含量占玉米籽粒的 80%。所以在加工玉米的过程中，如何将胚芽全部提出来，提高经济效益，也成为玉米加工的主要任务了。玉米胚油中脂肪酸成分的含量为：

棕榈酸 C ₁₆	11.1%
硬脂酸 C ₁₈	2.0%
花生酸 C ₂₀	0.2%
油酸 C _{18:1}	24.1%
亚油酸 C _{18:2}	61.9%
亚麻酸 C _{18:3}	0.7%

1.2.4.5 维生素

玉米中维生素含量如表 1-3 所示。

表 1-3 玉米中维生素含量（干基）

	单位	范围	平均值
维生素 A	IU/g	-	2.5
维生素 E	mg/kg	3.0 ~ 121	25
维生素 B ₁	mg/kg	3.0 ~ 8.6	4.2
维生素 B ₂	mg/kg	0.25 ~ 5.6	1.25
泛酸	mg/kg	3.5 ~ 14	6.5
维生素 H	mg/kg	50 ~ 600	90
叶酸	mg/kg	100 ~ 683	426
胆碱	mg/kg	-	500
烟酸	mg/kg	9.3 ~ 70	24.4
维生素 B ₆	mg/kg	-	9.6

1.2.4.6 矿物质

矿物质在玉米籽粒中的分布是不均匀的，皮层、胚芽中含量较高，胚乳中含量很低。玉米籽粒中矿物质主要由钙盐、钠盐、钾

盐、镁盐、铁盐等成分组成，见表 1-4。

表 1-4 玉米中矿物质含量

指标	单位	范围	平均值
总灰分	% (干基)	1.1 ~ 3.9	1.42
总磷	% (干基)	0.26 ~ 0.75	0.27
无机磷	% (干基)	-	0.08
硫	% (干基)	0.01 ~ 0.22	0.14
硒	mg/kg	-	0.045
碘	mg/kg	73 ~ 810	385
钠	% (干基)	0.0 ~ 0.15	0.01
钾	% (干基)	0.32 ~ 0.72	0.38
镁	% (干基)	0.09 ~ 1.0	0.17
钙	% (干基)	0.01 ~ 0.1	0.03
铁	mg/kg	1 ~ 100	40
锌	mg/kg	12 ~ 30	22.4
铜	mg/kg	0.9 ~ 10	3.8
锰	mg/kg	0.7 ~ 54	4.7
钴	mg/kg	0.003 ~ 0.34	0.025
铬	mg/kg	0.06 ~ 0.16	0.07
铅	mg/kg	0.2 ~ 0.3	0.27
镉	mg/kg	0.04 ~ 0.15	0.07
汞	mg/kg	0.002 ~ 0.006	0.003

1.2.5 玉米的加工特性

玉米在储存过程中，受自身呼吸作用及微生物的侵害而发热，尽管从等级上来讲，籽粒未被明显破坏，但加工性能受到影响。在干燥过程中，当籽粒的温度超过 60 时，也会产生同样的结果。玉米加工中常常出现以下由于玉米品质而引起的问题：

- ①粉质胚乳的应力断裂，导致输送过程中的过度破碎。
- ②玉米浆产量降低（蛋白的溶解度减少）。
- ③胚芽收率和玉米油产量降低。
- ④油色加重，脂肪酸含量高。
- ⑤淀粉出率低（副产物中淀粉含量高）。

淀粉中蛋白含量高。

⑧ 淀粉粘度低。

当然，以上问题也可能是操作引起的，但为保证对工艺生产中出现的问题判断的准确性，有必要对玉米的加工特性，采用简单的方法进行工艺影响评价。可采用的实验方法包括：

①发芽率（活性）实验。

②破碎实验。

③应力破裂指数实验。

④醇溶液中蛋白质溶解度实验。

⑤醇溶液中糖溶解度实验。

籽粒水分分布电测量实验。

⑥谷氨酸脱羧酶活性实验。

⑦玉米油中游离脂肪酸含量实验。

以上这些方法，目前只有发芽率实验在实际工作中普遍采用。使用氯化三苯基四唑（鏽）染色籽粒断面，1h左右即可得到结果，具有活力的胚芽染色后成红色。

发芽率实验可以按以下评价：

大于 70% 发芽率	很好
50% ~ 70% 发芽率	好
30% ~ 50% 发芽率	中等
小于 30% 发芽率	差

用发芽率实验不能完全判定玉米的加工性能，但发芽率高至少说明该批玉米未发生过热现象；低发芽率很可能是玉米过于陈化、被过热处理过等造成，由此而影响了加工性能。

1.3 玉米的干法清理

玉米的干法清理，就是在空气介质中利用各种清理设备去除原粮中所含有杂质的工序的总称。

1.3.1 玉米中的杂质

1.3.1.1 杂质的来源

玉米在收割、脱粒过程中，难免混入一些有机杂质；在晾晒、烘干过程中，如果场地不干净也往往会混入泥土、砂石、小砖瓦碎块、煤渣等杂质；在贮藏、运输过程中，因装运容器的影响，更易混入煤渣、金属物、绳头、鼠雀粪便、虫卵等。所以进加工车间的玉米是很不纯净的，不经过清理是不符合加工要求的。

1.3.1.2 杂质的种类

a. 无机杂质 指混入玉米中的泥土、砂石、煤渣、砖瓦、玻璃碎块、金属物及其他无机物质。

b. 有机杂质 指混杂在玉米中的根、茎、毛、野生植物的种子、异种粮粒、鼠雀粪便、虫蛹、虫尸及无食用价值的生芽、有病斑、变质玉米粒等有机杂质。

c. 按粒度大小分类

①大杂质：一般指留存在直径 14mm 圆形筛孔以上的杂质。

②并肩杂质：通过直径 14mm 圆形筛孔，留存在直径 3mm 圆形筛孔以上的杂质。

③小杂质：通过 3mm 圆形筛孔的筛下物。

d. 按相对密度大小分类

④重杂质：一般指相对密度大于玉米的杂质。

⑤轻杂质：一般指相对密度小于玉米的杂质。

1.3.2 干法清理的依据和方法

1.3.2.1 筛选

根据玉米和杂质的粒形与大小不同采用筛选法。粒形大小不同主要是指玉米和杂质在长、宽、厚方面存在差别。筛选就是利用玉米和杂质宽度和厚度的不同，利用筛孔分离大于（或小于）粮粒的杂质或把玉米进行分级的一种方法。

1.4 玉米的浸泡及亚硫酸制备

1.4.1 浸泡

玉米浸泡的质量，直接影响到后道工序的正常生产，影响淀粉生产的出率、质量和产量。因此，玉米浸泡是玉米淀粉生产工艺中非常重要的工序之一。玉米浸泡的目的是改变胚乳的结构及物理化学性质，削弱蛋白质基质内的联结键，降低玉米籽粒的机械强度，浸提出部分可溶性物质，并抑制随玉米带进来的微生物的有害活动。

1.4.1.1 浸泡过程的理论基础

在玉米的胚乳中，淀粉和蛋白质结合得很牢固，淀粉颗粒被包裹在蛋白质基质内。为了释放出淀粉，就必须破坏或削弱淀粉颗粒与蛋白质之间的结合力，淀粉才能在生产过程中游离出来。浸泡过程是亚硫酸和乳酸对玉米共同作用的过程。

玉米浸泡过程可分为三个阶段，每个阶段的主要作用机理各不相同。第一阶段是乳酸作用阶段，在这一阶段，玉米与含有高浓度乳酸和固形物的浸泡水接触，同时 SO_2 含量和 pH 都较低。高浓度乳酸稍微降低了 pH，并作用在玉米胚乳细胞壁上形成洞或坑，在浸泡过程中使浸泡水进入籽粒内部。尽管浸泡过程中乳酸的作用机理尚不完全清楚，但最新研究表明，乳酸可增加淀粉产量 2.9% ~ 12.0%（根据玉米的品种不同而有变化）。第二阶段是 SO_2 扩散阶段，玉米与稍高浓度的 SO_2 和较低浓度的乳酸接触，在这一阶段，浸泡水中的固形物含量比乳酸主要作用阶段的低，上一阶段时在玉米胚乳细胞壁上产生的洞和坑理论上使 SO_2 和水能更快速地进入玉米籽粒，开始与玉米胚乳内蛋白质基质反应。研究也证明蛋白质基质的降解发生在玉米浸泡 18h 左右。第三阶段是 SO_2 作用阶段，玉米与高浓度的 SO_2 接触， SO_2 扩散进入玉米籽粒，降解蛋白质，高 SO_2 浓度可保证在其扩散时有足

够的 SO_2 存在于浸泡水中。此阶段浸泡水中的乳酸和固形物含量都比较低，除第一罐和新浸泡水外，此阶段浸泡水的 pH 为 4.5 ~ 4.8。与浸泡过程有关的因素有以下方面：

a. 水吸收及可溶物的溶出 水分多由根冠进入籽粒，借毛细管作用通过果皮上的微孔很快进入。水分渗入胚乳和胚芽都是遵循标准的渗透定律。溶解在水中的 SO_2 能提高水分渗入玉米的速度。在 49 浸泡 17h 后， SO_2 溶液中增加的水分要比纯水中多 25%。提高温度直到 60℃ 能增加水分的渗入速度。

水分沿籽粒四周迅速进入，通过凹陷区进入有孔的粉质胚乳。胚芽附近的糊粉层很薄，又没有种皮，因此水分能很快透入。在 49 时，4h 后胚芽就变湿了，8h 后胚乳也变湿了，但此时整个种子尚未显著软化。

虽然大量水分进入籽粒各部分的速度是比较快的，但使籽粒完全软化所必须的纤维性组分的水化的速度却是较慢的，需要较长的时间，一般为 12 ~ 18h。在高温下人工干燥的玉米，浸泡后，其最终水分含量低于未经加热干燥的玉米。这可能是蛋白质变性因而减少了水分的结合位点所致。减缓水分吸收的另一可能因素是气泡的产生。

原料玉米开始浸入的稀浸泡水是一种含有多种有机与无机分子的复杂溶液。其主要成分有多肽、各种氨基酸、乳酸以及各种阳离子（主要是 K^+ 、 Mg^{2+} 、 H^+ ）。在浸泡过程中细菌繁殖所产生的乳酸盐，缓冲并稳定浸泡水 pH 为 3.8 ~ 4.1。在 12h 内乳酸随水进入籽粒，降低了其内部的 pH ，与高温一起发生作用，很快杀死了胚芽内的所有活细胞。其结果是细胞膜成为多孔的物质，因而可溶性糖类、多种氨基酸、蛋白质、矿物质以及活细胞生长所必须的多种有机分子都沥滤进入浸泡水。在开始的 12 ~ 18h 内，干物质的抽提是最快的，但当籽粒蛋白质与 SO_2 反应生成可溶物时，干物质将以比较慢的速度继续渗出。

浸泡时发生的物理化学过程改变着玉米的化学成分，约 70%

的无机盐类（灰分）、42%的可溶性碳水化合物及 16%的可溶性蛋白质从玉米籽粒中向浸泡水中转移。玉米里的淀粉、脂肪、纤维素、戊聚糖的数量大致上没有改变，但与未浸泡的玉米相比，其含量稍有增长（见表 1-5）。

表 1-5 浸泡前后玉米中成分的变化

玉米成分	组分含量(对干物质含量)/%	
	浸泡前	浸泡后
淀粉	69.80	74.70
蛋白质	11.23	8.42
纤维素	2.32	2.48
脂肪	5.06	5.40
戊聚糖	4.93	5.27
可溶性碳水化合物	3.51	1.73
灰分	1.63	0.52
其他物质	1.52	1.48

浸泡的玉米中 7% ~ 10% 的干物质转移到浸泡水中，其中约有一半数量的可溶性浸出物是从胚芽中浸出的。胚芽失去近 85% 的矿物质和约 60% 的蛋白质，约为胚芽原来质量的 35%。由胚乳转移到浸出液中的只有 13% ~ 14% 的蛋白质。这是因为胚芽的蛋白质中 70% ~ 75% 是由球蛋白组成的；而在胚乳蛋白质中球蛋白仅占 8% ~ 10%，其余的蛋白则是谷蛋白和醇溶蛋白。球蛋白和谷蛋白逐渐转移到浸泡溶液中，醇溶蛋白在弱酸溶液中，在提高温度的情况下也不会溶解。

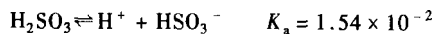
玉米从 SO_2 溶液中吸收水分，使体积增大 55% ~ 65%。在浸泡罐内的玉米体积好像并没有增大，这是因为谷粒的重量迫使涨大的籽粒重新排列，塞满了籽粒之间的原有的不规则空隙所致。

b. 亚硫酸的作用 玉米湿法工艺普遍采用亚硫酸水作为浸泡液。亚硫酸在一定的浓度和温度条件下，具有较好的氧化还原和防腐作用。

玉米中的蛋白质根据溶解度的不同，可以分为白蛋白、球蛋

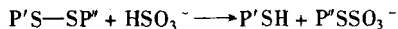
白、玉米醇溶蛋白和谷蛋白四部分。各种白蛋白和球蛋白在浸泡过程中很快溶解。玉米醇溶蛋白以球状体形式出现，埋在谷蛋白的基质之中。用 71% 乙醇处理玉米胚乳可以去除玉米醇溶蛋白，但并不能改善淀粉的分离效果；在碱性溶液中浸泡，却能释放出淀粉。这表明环绕淀粉团粒的基质是由谷蛋白组成的。谷蛋白是由大约 20 种相对分子质量范围为 11 000 ~ 127 000 的不同蛋白质亚单元通过二硫化物桥（二硫键）结合组成的巨大而复杂的蛋白质分子。醇溶蛋白存在于包埋淀粉的谷蛋白基质中的球状体中，它是玉米蛋白粉的主要来源组成。二硫键为一个半胱氨酸的 -SH 与同链或邻链另一半胱氨酸的 -SH 氧化连接而成，是蛋白质分子中的重要化学键。破坏蛋白质的二硫键，可使蛋白质分子结构松懈，从有规则的紧密结构变为开链的不规则 and 散漫的排列形式。SO₂ 对二硫键的破坏，主要是：

第一，SO₂ 在水中溶解时产生 SO₃²⁻ 和 HSO₃⁻ 两种离子，产生下列平衡：



SO₃²⁻ 和 HSO₃⁻ 这两种离子具有还原二硫键的能力，只是玉米籽粒内的 pH 条件将决定哪个反应占优势。有报道讲，籽粒内 pH 为 3.6 ~ 4.0 时将有利于 HSO₃⁻ 作为反应剂。

第二，从研究亚硫酸盐或亚硫酸氢盐同胱氨酸的巯基的反应实验中观察到，反应结果导致二硫键被还原，得到一个含有半胱氨酸上的 -SH 的蛋白质碎片（P'）和其上附有半胱氨酸的 S- 硫代衍生物的第二个蛋白质碎片（P''）。



由于阻止了二硫键的再形成和 P'' 蛋白质碎片的离子特性，这个 S- 硫代衍生物的生成，永久性地增加了蛋白质的溶解度，这种反应的速度在 pH 5.0 时最大。SO₂ 的还原作用主要与 pH 有关。一般玉米籽粒内的 pH 为 4.09 ~ 4.5 是比较有利于还原反应的。

据估计，浸泡中使用的二氧化硫，只有 5.7% 为玉米所吸收，其中 45% 在胚乳蛋白质内，2% 在淀粉内，40% 在胚芽内，吸收的二氧化硫中只有 12% 与蛋白质起反应。

在浸泡中，亚硫酸先经过胚芽作用于玉米的种皮，使胚芽钝化，使半渗透性的表皮变成渗透性表皮，因而可以加速可溶性物质向浸泡水中渗透。亚硫酸可把玉米中一部分不溶解蛋白质转变成溶解蛋白质。二氧化硫的作用就是通过分裂分子之间与分子之内的二硫键来削弱谷蛋白基质。一部分玉米蛋白成为可溶性的，但这一点对基质的减少起不了多少作用。这些反应产生的可溶性多肽物是不能渗析的，这是由于它们太大了，不能通过细胞膜和种子被膜，它们保留在完整的玉米籽粒之内，直到第一次破碎研磨时才被释放出来。经过高温干燥的玉米在浸泡时所产生的可溶性蛋白质的量比未经干燥的玉米为少，可能是由于提高了分子内氢键与非极性键的水平所致。但在干燥玉米中一般使用的温度对蛋白质的溶解度没有什么影响。

除此之外，亚硫酸还具有防腐作用，它能抑制霉菌、腐败菌及其他微生物的生命活力。

c. 乳酸的作用 在浸泡过程中玉米难免带进一些微生物，最初加入的浸泡水中 SO_2 的浓度可以阻止各种微生物的生长，但在浸泡的中期， SO_2 的浓度降到 0.05% 左右，从而引起乳酸发酵。此时浸泡罐的温度和 pH 限制了酵母和其他有害菌体的生长。在 45 ~ 55 浸泡有利于乳酸菌的发育，产生的乳酸降低了介质的 pH，从而限制了其他微生物的生长。乳酸菌生长所依赖的基质是从玉米中溶出的糖类，每分子单糖几乎完全转化为两分子的乳酸，并释放出菌体生长所需的能量。以葡萄糖为例： $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \longrightarrow 2\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ 。随着浸泡水对玉米浸泡程度的增加，浸泡水中乳酸的浓度也随着增加。乳酸菌除能产生酸外，它能促进玉米蛋白质的软化及膨胀，还能使高相对分子质量的可溶蛋白质发生水解。如果这些蛋白质得不到降解，它们会产生稳定的泡沫，影

响浸泡水的蒸发，还会成为胶状沉淀沉积在加热表面，导致蒸发效率降低。乳酸不挥发，在浓缩浸泡水时仍残留在浓缩液中，保持溶液中的镁离子和钙离子，从而有利于减少蒸发设备加热体上不溶性物质的沉积。但是，也并不希望生成大量的乳酸，因为当乳酸过量时，蛋白质的溶解度随着提高，因而不利于淀粉和蛋白质的分离。从浸泡工段排出的水中，乳酸的含量应为 1.0% ~ 1.8%。

1.4.1.2 玉米的浸泡工艺流程

玉米入罐多采用水力输送。水力输送具有较好的卫生环境，可清洗玉米；缺点是损伤玉米并从中洗涤出 1% 的干物质，其中包括淀粉。为预防管路堵塞，可按 1:(2.5 ~ 3) 的比例加水，以 0.9 ~ 1.2m/s 的速度，用宽型开式泵输送玉米。在浸泡时，为防止玉米体积增大，破坏浸泡罐，在装料前应在罐内先加入 (1/5) ~ (1/4) 的浸泡水，其余的水在装料过程中加入。玉米装罐不易过满，距罐顶 75 ~ 100cm，浸泡水高于料层约 20cm。

玉米浸泡方法分为静止浸泡法和逆流扩散浸泡法。

a. 静止浸泡法 静止浸泡法属于单罐玉米浸泡，即各罐的浸泡水不相互输送。静止法浸泡玉米是用温热的、浓度为 0.20% ~ 0.25% 的亚硫酸溶液浸泡新入罐的玉米，在浸泡过程中不停地用离心泵循环浸泡液，浸泡结束后把这些液体用泵排出，浸泡水中可溶性物质的浓度达到 5% ~ 6%。再加入新的温水 (45 ~ 50℃) 浸没玉米，洗涤玉米 4 ~ 6h。用这种浸泡方法，玉米的可溶性物质在最初阶段能很快地转移到浸泡水中，因为只有在这个阶段，玉米与浸泡水中含的可溶性物质的浓度差达到最大值。随着浸泡的进行，这个浓度差逐渐缩小，至浸泡终点浓度差更小，可溶性物质的转移速度也变得最慢。此方法浸泡玉米后排出的浸泡水中干物质浓度一般较低，这是静止法的最大缺点。因在浓缩浸泡液时要消耗更多蒸汽，因此静止法在综合效益上是很差的。这种方法只在很小型的厂中应用。

b.逆流扩散浸泡法逆流扩散浸泡法也叫扩散法或多罐串联逆流法，它是把若干个浸泡罐、泵和管道串联起来。根据逆流浸泡的原理，亚硫酸浸泡水不像静止法那样与新鲜玉米一起打入罐内，而是打入已经浸泡时间最长的玉米罐内，循环以后用泵将浸泡水打入稍短时间浸泡的玉米浸泡罐，这样将浸泡水逆着新进玉米的方向依次从一个罐打入另一个罐。亚硫酸倒罐流动的方向和玉米投料的方向相反，也就是玉米中可溶性干物质含量降低的方向与浸泡水中可溶性干物质浓度提高的方向相反，故称之为逆流浸泡。逆流扩散浸泡法的优点是玉米中及浸泡水中可溶性物质始终保持一定的浓度差，因而促进了可溶性干物质向浸泡水中转移。随着浸泡水从一个浸泡罐移向另一个浸泡罐，水中干物质的浓度也随着增长。用这种方法浸泡玉米，浸出物的浓度可达到7%~9%，因此浸泡水浓缩时所消耗的蒸汽量就比静止法少得多。

用逆流扩散浸泡法浸泡过的玉米中可溶性物质的含量降低较多，所以在洗涤淀粉时就容易将残余的可溶性物质彻底排除。玉米在进行连续浸泡时是用离心泵输送浸泡水的。浸泡水的输送具有很重要的意义，因为在浸泡水移动过程中加速了可溶性物质从玉米粒向溶液中的转移。因此循环输送浸泡水应连续地进行，并保证有一定的输送能力。逆流扩散浸泡法工艺如图 1-3 所示。

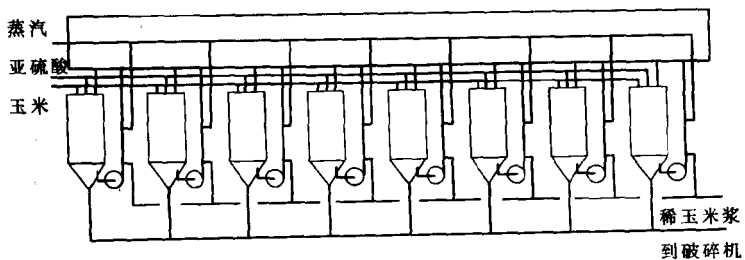


图 1-3 逆流扩散浸泡工艺流程图

1.4.1.3 浸泡过程的工艺条件控制

影响玉米逆流浸泡的因素为：浸泡时间，浸泡温度，细菌的类型和活力，玉米类型和等级， SO_2 最初浓度，工艺水的组成，浸泡水排出率和罐的数量等，这里只对一些主要因素进行讨论。

a. 浸泡温度 乳酸菌所能承受的最高温度为 54°C ，限制酵母生长的最高温度为 48°C ，低于此温度酵母菌会大量生长，将糖分解为 CO_2 和乙醇。考虑到浸泡过程的不稳定性，一般温度选择为 $49 \sim 53$ 为宜。排出后需继续发酵的稀玉米浆也要保持此温度。温度过高，淀粉水解严重，影响淀粉收率和质量，所以一定要避免温度过高。温度对玉米膨胀速度也有很大的影响。随着温度的提高，玉米籽粒的膨胀速度显著地增大，而最终膨胀程度实际上并没有改变。过于干燥或病变、腐烂、发芽率低难于浸泡的玉米浸泡温度为 $51 \sim 54^\circ\text{C}$ 。

b. 浸泡时间 质量正常的玉米，只需浸泡 50h 左右；未成熟的玉米或过于干燥的玉米需要浸泡 $55 \sim 60\text{h}$ ；而高水分含量的玉米浸泡时间为 $40 \sim 50\text{h}$ 。通常玉米浸泡一个周期为 $60 \sim 70\text{h}$ 。装料 $1 \sim 2\text{h}$ ，浸泡 $48 \sim 54\text{h}$ ，排玉米浆 1h ，洗涤 $4 \sim 6\text{h}$ ，卸料 $6 \sim 7\text{h}$ 。装料前准备 $0.5 \sim 1\text{h}$ 。硬质玉米需要较长的浸泡时间，同一浸泡批次最好选用同一品种的原料，若加工的玉米为混合品种，则不易控制浸泡时间。储存时间久的玉米较新鲜的玉米难浸泡。玉米籽粒在浸泡 $12 \sim 14\text{h}$ 时达到最大的含水量，继续浸泡，含水量有所降低，很显然，这是由于蛋白质从不溶解状态转变为溶解状态而引起的。浸泡时间对膨胀程度也有影响。

c. SO_2 的影响 现在普遍使用的浸泡剂为二氧化硫，其价格便宜、杀菌力强，能防止有害细菌的作用，对于蛋白质基质具有较强的分散作用。但是 SO_2 也有缺点，如挥发性强，易散布于空气中产生不良气味有害人体健康；系酸性物质，对于设备有腐蚀性；降低淀粉粘度。

我国目前使用的浸泡水的 SO_2 浓度为 0.2% ~ 0.25%。含有 0.15% SO_2 的浸泡水 pH 2.5 左右，但它在 pH 4 左右有轻微缓冲作用。当浸泡水与浸泡时间最长且含有 SO_2 的玉米粒接触后，其 pH 为 3.5 左右，排出的稀玉米浆的 SO_2 含量 0.01% ~ 0.03%。由于发酵产生的乳酸的补偿，浸泡水 pH 保持在 4 左右。浸泡过程每吨玉米用 1.2 ~ 1.4 m^3 亚硫酸水，玉米吸收 0.5 m^3 ，使玉米水分从 16% 升高到 45%，剩余 0.7 ~ 0.9 m^3 作为稀玉米浆排出。

d. 乳酸发酵 玉米浸泡过程不仅是物理扩散过程，更重要的是乳酸发酵过程，乳酸菌的繁殖好坏直接关系到浸泡后玉米浆的质量。菌种发育的最佳温度是 48℃，介质 pH 在弱碱性或中性时发酵最为顺利。新加入的浸泡水中没有乳酸，但 SO_2 浓度逐渐降低，降到 0.05% 以下时，即开始有乳酸生成，大约使存在的糖分的一半转变成乳酸。乳酸有抑制其他微生物繁殖的作用，故乳酸杆菌一旦繁殖旺盛后，其他微生物都灭亡了，可以有效地防止浸泡水中腐败物的产生。但乳酸过多，对蛋白质有分解作用，使蛋白质转变成可溶解物质，不易与淀粉分离。

稀玉米浆从浸泡罐中排出后，可能需经一定时间的发酵。在温度 46 ~ 48 时，加氨将 pH 维持在 4.5 左右时，发酵可进行得最快。达到要求的乳酸生成程度所需用的时间决定于各厂具体条件，但一般不短于 4h。

e. 玉米的性质 玉米在储存期间发霉或使用过高温度干燥的玉米，玉米籽粒内水分扩散缓慢，浸泡时蛋白质难于分散，并且分散的部位不均匀，造成淀粉与蛋白质不易分离，淀粉的收率和质量都受影响。有条件的企业应该进行玉米发芽率试验，用于淀粉生产的玉米发芽率不应低于 30%。

不同品种的玉米吸水膨胀能力也不相同，粉质品种的玉米吸收水分的强度及数量比角质玉米都大。较小的和未成熟的玉

米籽粒比大的和成熟的玉米籽粒膨胀得快，吸收的水分也多。含水量高的玉米籽粒比过于干燥的玉米籽粒膨胀和浸泡速度要快。

f. 浸泡水 浸泡水在浸泡罐组内的停留时间，根据排放量而变化。排出的稀玉米浆要进一步发酵，一般排放量为 $0.45 \sim 0.9 \text{ m}^3/\text{t}$ 玉米，这个数据随淀粉洗水及工艺用水而变化，但也与玉米水分含量有关。

在通常的逆流浸泡系统中，所有多余的水都被送去制酸，过程水中含 1% 左右 ($0.8\% \sim 1.6\%$) 可溶物，随玉米一起进入浸泡罐，为避免浪费和处理问题，应调整排放量以保证系统的平衡。由于玉米吸收水分，如排水量为 $0.6 \text{ m}^3/\text{t}$ ，对应于平均亚硫酸水流量为 $1.09 \text{ m}^3/\text{t}$ 。玉米从浸泡罐卸出时水分约 45% ，并含有少于 2% 可溶物，籽粒软化，排出的稀玉米浆含有 $5\% \sim 10\%$ 干物，对应于玉米中 $6.5\% \sim 7\%$ 可溶物被溶出。每千克玉米吸收 $0.2 \sim 0.4 \text{ g}$ 二氧化硫。

1.4.1.4 浸泡过程控制

玉米浸泡工艺路线基本是固定的，但工作参数需要根据不同的情况进行调整，一般每星期调整检测一次，或出现问题时进行检测。正常情况下测定的结果应该是：亚硫酸浸泡水通过浸泡罐组一半路程时 SO_2 含量低于 0.06% ，排出的稀玉米浆 SO_2 含量低于 0.02% ；除新加亚硫酸的第一罐外，其余各罐的 pH 保持在 4 左右；波美度平稳升高到 4 或更高，对应的干物含量不少于 6% 。

SO_2 测定通常是由工艺操作人员进行，采用稀碘液滴定法。假如每班或每日测定的 pH 、稀玉米浆密度和滴定酸度基本保持稳定，说明浸泡条件在良好的控制之下，然而，这些数据的变动说明可能在前一天已出现问题。浸泡过程中浸泡水的变化见图 1-4。

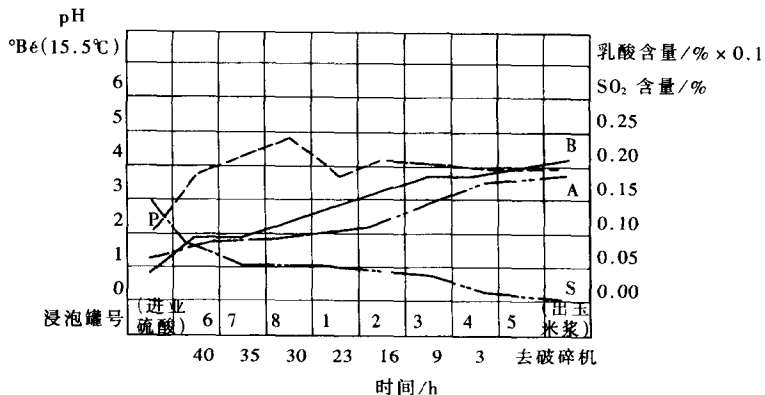
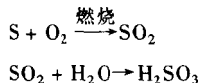


图 1-4 浸泡过程中浸泡水变化曲线图
 A—乳酸含量 B—波美度 P—pH S—SO₂ 含量

1.4.2 亚硫酸制备

1.4.2.1 基本原理

硫磺在燃烧炉中燃烧生成二氧化硫气体，二氧化硫气体用水吸收即生成亚硫酸溶液。其生产原理如下：



1.4.2.2 工艺流程

国内普遍采用两种 H₂SO₃ 生产流程，一种是水力喷射器生产流程（见图 1-5），另一种是吸收塔生产流程（见图 1-6）。

水力喷射器工艺过程为，先用泵将贮酸罐内的水送入喷射器，由于喷射水流速度较高，喷射口周围形成负压使喷射器内产生真空，吸入硫磺燃烧炉产生的 SO₂ 气体，同时在水力喷射器内 SO₂ 被水混合吸收，生成 H₂SO₃。反复将贮酸罐中的水循环，可使

H_2SO_3 的浓度不断提高，当浓度达到 0.2% ~ 0.3% 时，即可供玉米浸泡和渣皮洗涤使用。从吸收罐排出的气体再经过吸收塔经二次吸收，用于淀粉的洗涤。

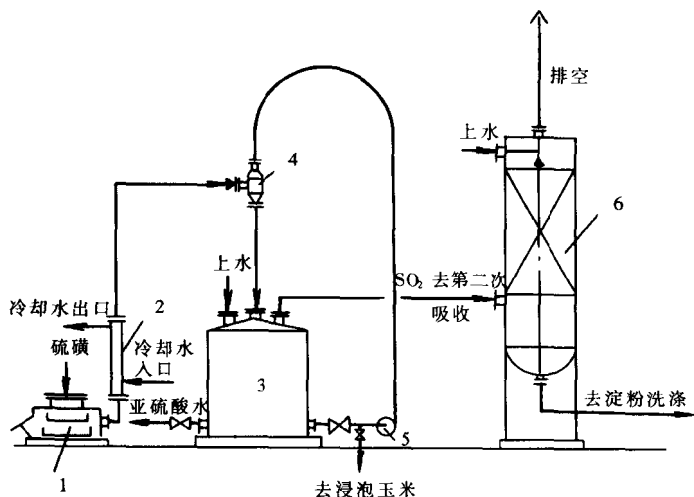


图 1-5 水力喷射器制备亚硫酸工艺流程

1—硫磺燃烧炉 2—换热器 3—储罐 4—水力喷射泵 5—泵 6—吸收塔

吸收塔工艺过程为，将硫磺放入燃烧炉中燃烧，生成 SO_2 气体，然后经过分离室分离出气体中的杂质，最后将 SO_2 气体吸进吸收塔中， SO_2 气体从底部慢慢向上升。打开吸收塔上部的莲蓬头，水从上部向下落， SO_2 气体与水接触并溶解于水中即生成 H_2SO_3 流入亚硫酸贮罐。生产能力较小的玉米淀粉厂，也可以利用一个吸收塔生产 H_2SO_3 。亚硫酸吸收塔流程图中，风机安装在吸收塔之后，风机多选用玻璃钢风机或陶瓷风机。

硫磺燃烧过程中二氧化硫形成时要调节进入燃烧炉的空气量。空气氧量不足会降低二氧化硫的生成量，并增加硫在混合室壁及管壁上的凝集量。空气过剩会导致制得的气体中的 SO_2 含量下降，从而降低了硫磺炉的生产能力。进入的空气量的大小是借助挡板调节进气孔的大小实现的。燃烧炉在正常操作时制得

的气体中 SO_2 含量不应低于 $8\% \sim 12\%$ ，气体在管道中的运动速度为 $5 \sim 6\text{m/s}$ ，进入吸收塔前的温度为 $90 \sim 95^\circ\text{C}$ 。

SO_2 的溶解度取决于它在与空气的混合物中的含量及水的温度。在混合物中 SO_2 的含量越高，水的温度越低，形成的亚硫酸的浓度也就越高。为了使水更充分地 with 二氧化硫气体接触，一般采用两次吸收过程。

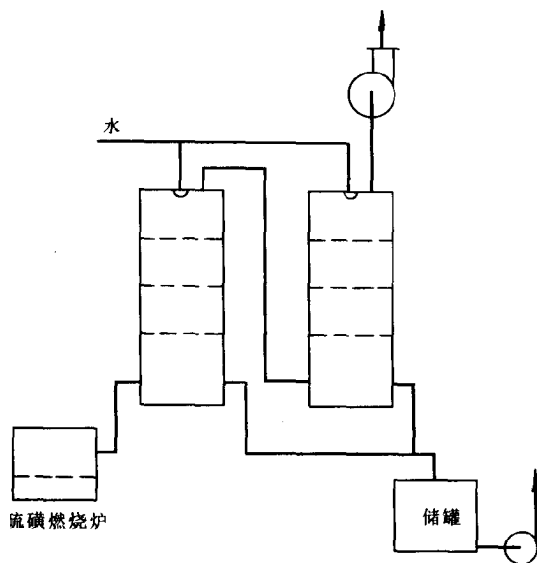


图 1-6 吸收塔制备亚硫酸工艺流程图

1.4.3 典型设备介绍

1.4.3.1 浸泡罐

如前面介绍，浸泡系统是由多个浸泡罐和联接各罐的辅助装置所组成，每个罐应配制有接收和排放系统，液位控制系统，温度控制系统等（见图 1-7）。

浸泡罐通常用钢板焊制而成，其内部进行防腐处理，外部进

行保温处理

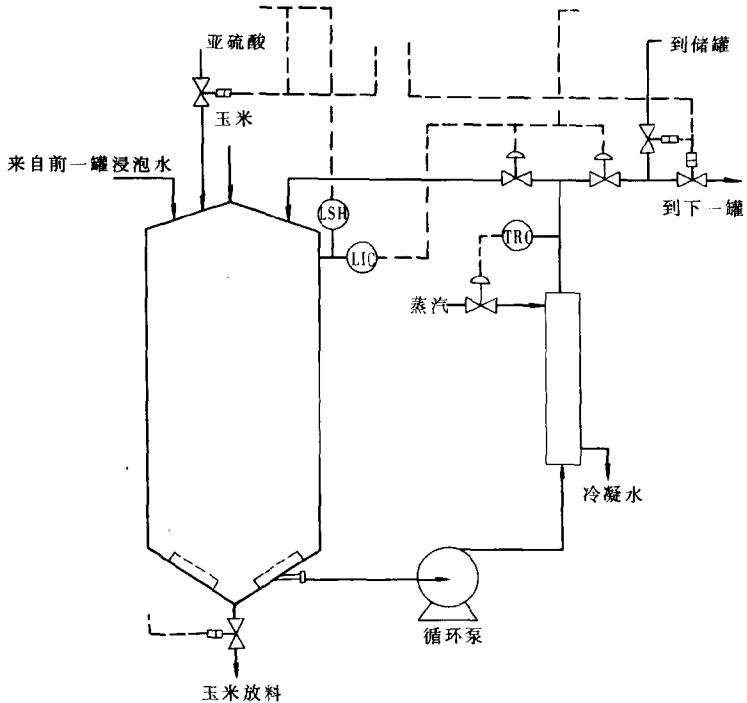


图 1-7 玉米浸泡系统示意图

LSH—亚硫酸量控制系统 LIC—液位控制系统 TRC—温度控制系统

浸泡罐是带锥形底的圆柱体，与之联结的有支撑它的平台设备。罐高与直径之比为 2:1，罐底锥度不低于 45°。在锥形罐底有两个孔，底部是卸料孔，侧面是供排放罐内的浸泡液、洗涤水和循环浸泡水的用孔。锥体内部设有由不锈钢制成的扇形盘构成的假底，上面有纵向的缝，缝宽为 3~5mm，用于液体的过滤，过滤完的液体经底部侧面孔排出。有时在锥体部位安装带孔的圆筒代替假底，液体经由此圆筒从浸泡罐排出。

一般 1t 玉米需浸泡罐体积为 1.64~1.74m³。

1.4.3.2 硫磺燃烧炉

玉米淀粉生产厂大多采用箱式硫磺燃烧炉（见图 1-8），炉内由上部预热区和下部燃烧区两部分组成，在预热区固体硫磺熔融后经控制阀门流到下层燃烧区，硫磺燃烧产生 SO_2 ，燃烧产生的热量又将上层的硫磺熔化。 SO_2 气体经过沉降净化和冷却降温后进入吸收装置。该炉具有硫磺燃烧充分、易于控制等特点。小型淀粉厂通常自己焊制简易方箱，内放平盘，硫磺在平盘上燃烧产生 SO_2 气体。

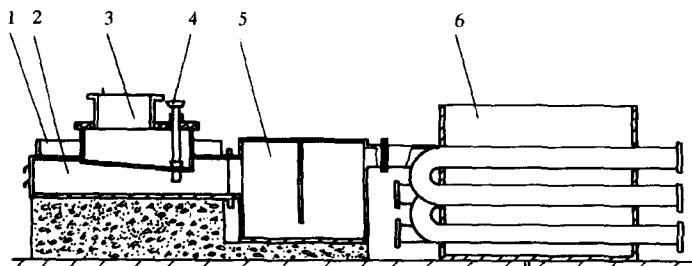


图 1-8 熔融型箱式硫磺燃烧炉

1—冷却池 2—燃烧室 3—加料室 4—控制阀门 5—沉降室 6—冷却室

1.5 玉米破碎及胚芽的分离和洗涤

胚芽是玉米籽粒中的一个重要组成部分，胚芽中含有 40% 左右的脂肪和 15% ~ 20% 的蛋白质。玉米淀粉生产中，提高玉米胚芽收率不仅可以多提玉米油，还可综合利用提油后的玉米胚芽饼，提高玉米的综合利用率和经济效益。玉米油平均收率较低的主要原因是胚芽分离不好，提取率低，还有玉米浸泡质量的问题，也有玉米破碎和胚芽分离的工艺和设备问题。研究和掌握玉米破碎和胚芽分离的基本原理和工艺，对提高淀粉质量和胚芽提取率具有重要的意义。

1.5.1 破碎

玉米经过浸泡后，胚芽、皮层和胚乳之间的联结减弱。玉米胚乳中蛋白质与淀粉之间的联结也减弱。浸泡后玉米胚芽含水量60%左右，具有较高的弹性，并且在破碎时很容易从玉米粒中分离出来。除此之外，在破碎时胚乳淀粉质部分也被磨成碎粒，并从中释放出25%以内的淀粉。玉米破碎的目的是使胚芽与胚乳分开，并释放出一定数量的淀粉。

浸泡好的玉米，排出浸泡液，用45~50℃的温水经玉米泵先送入砂石捕集旋流器去除砂石，然后送入重力曲筛，分出输送带回用，玉米进入玉米料斗中以备进入破碎机破碎。玉米破碎一般采用两次破碎的方法，即：

玉米 → 一次破碎 → 胚芽分离 → 二次破碎 → 胚芽分离

详细工艺路线见 1.5.2.2。

1.5.1.1 玉米破碎基本原理

玉米经过浸泡后，其物理、化学特性发生了变化。浸泡后玉米的水分较高(40%~45%)，体积增大，强度降低，特别是胚芽含水量更高，韧性很强，破碎时容易与其他部分分开。而胚乳淀粉含量高，抗压强度低，易于破碎。

根据以上特性，玉米淀粉厂常采用凸齿脱胚磨对玉米进行破碎。动、静齿盘由整体齿板或六块齿板组成，齿板材料多为铸铁或钢铬合金，它一面为平面，另一面则是梯形齿。动盘和静盘上同心排列的齿相互交错，在齿板上呈同心圆分布。在半径较小处，齿的间隙大，有利于进料。在齿盘外端部，由于齿的间距小，物料的离心力较大，因而碰撞加剧，玉米粒得到继续破碎。

经合理浸泡或一次破碎提胚后含胚芽的玉米粒、块，在重力作用下从进料管进入，在离心力作用下进入带凸齿的动、定齿板间，即刻受到扰动和离心力的作用，在动静齿盘及凸齿的撞击和挤压作用下，在动静齿盘缝隙间向外运动。玉米胚芽、皮屑及胚

乳因物理特性不同而获不同程度的破碎，彼此分离，在离心力和重力作用下由出料口流出。当玉米品种不同及工序不同，或经一定时间使用凸齿磨损时，只需调整动、定齿板的距离即可保证获得最佳破碎效果。

1.5.1.2 玉米破碎工艺条件控制

影响玉米破碎效果的因素如下：

④玉米品种和浸泡质量：玉米品种与破碎效果有很大关系。粉质玉米质软易破碎；而硬质玉米质硬难破碎；小粒玉米也不易破碎，往往从齿盘缝隙中漏出。

玉米的浸泡质量显著地影响着玉米的破碎效果，玉米浸泡得好则胚乳软，蛋白质基质分散好，容易破碎。如果浸泡不好或浸泡后玉米用冷水清洗输送，会使玉米变硬，胚芽失去弹性而变得易被磨碎，影响胚芽分离和物料质量。

⑤破碎机工作情况：破碎机型号与生产能力要匹配。齿盘安装应平行，应根据物料情况调节齿盘间距，以保证最佳破碎效果。齿盘间距与破碎质量的关系见表 1-6。

表 1-6 齿盘间距与破碎质量的关系

齿盘间距/mm	游离胚芽量/%		联结胚芽占总胚芽量/%	整粒玉米量/%
	完整	磨碎		
22	65.5	31.2	3.3	0.00
26	82.5	10.5	5.0	1.42
31	73.4	13.9	12.7	3.35
34	65.0	4.8	30.2	5.18
36	50.0	3.0	47.0	11.0

从表 1-6 中可看出，齿盘间距以 22~26mm 较好。实际工作中应根据不同的机型及玉米品种实验后决定。另外，破碎机下料是否均匀也直接影响破碎质量的好坏，下料不均匀会造成质量不稳定。

⑥进料固液比：进入破碎机的物料应含有一定数量的固体和

液体，固液体之比约为 1:3。液体量不足，物料浓度和粘度增高，造成粘磨，降低物料通过破碎机的速度，导致胚乳和部分胚芽的过度粉碎，影响胚芽分离和得率。物料含液体过多时会迅速通过破碎机，出现流磨，造成胚芽粘粉、粘皮等弊病，使后续工段浓度低，胚芽不能很好分离，功率消耗增大，生产效率降低。

④破碎质量控制 一般都应采用二次破碎工艺，即一次破碎后分离一次胚芽，二次破碎后再分离一次胚芽。其质量控制指标为：

进一次破碎机的物料的干物含量为 25% ~ 30%

一次破碎后玉米粒度 整粒率 $\leq 1\%$ 游离胚芽率 85%；

二次破碎后玉米粒度 不得有整粒，游离胚芽率 15% 联结胚芽率 $\leq 0.5\%$ 。

1.5.2 胚芽的分离和洗涤

胚芽中含有 35% ~ 40% 的脂肪，可以用胚芽制取高营养玉米油。如果胚芽磨碎，则会导致淀粉生产工艺过程半成品中以至淀粉产品中脂肪含量增加；也会引起机器的工作面及筛分设备的筛面吸附油污，浆料磨碎的质量下降；筛分设备从纤维中洗涤出淀粉发生困难，因而降低了筛分设备的生产能力，增加了纤维中携带的淀粉量；在分离机上分离淀粉 - 蛋白质悬浮液时，麸质所带的淀粉量也随之增加。因此，要尽可能地从浆料中把胚芽完全分离出去。

1.5.2.1 胚芽分离和洗涤的基本原理

分离胚芽的设备主要是胚芽旋液分离器；胚芽洗涤采用重力曲筛。

a. 旋液分离器工作原理 旋液分离器是由带有进料嘴的圆柱室、壳体（分离室）、上部及底部排料口组成。

玉米籽粒经破碎后得到稀浆，稀浆包括固体和液体两种。固体中包括各种不同形状和大小的胚芽、胚乳粗粒、细渣和淀粉细

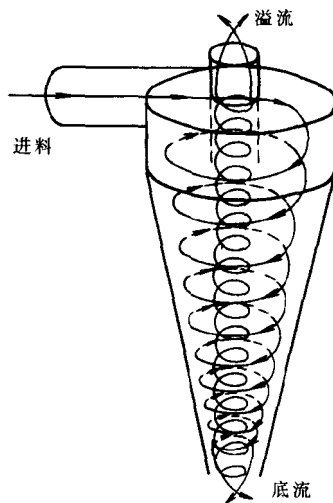


图 1-9 胚芽旋液分离器工作原理示意图

粒，液体中则是水和其他可溶性物质。稀浆由离心泵在约 0.5MPa 压力下送入胚芽旋液分离器的切向入口，在旋液分离器中稀浆和其他各个组成部分按螺旋线旋转运动，产生离心力，然后下行至圆锥部分。稀浆中的各微粒因各自的相对密度、形态大小不同，在离心力作用下分离。受离心力作用较大的胚乳粗粒和较重微粒（浆料）被甩向外围，在离心力作用下抛向设备的内壁，与蛋白质和淀粉的悬浮液一起随着外层螺旋流下，降到出口处形成底流。受离心力作用较小的胚芽和玉米皮壳相对密度较小，被集中于设备的中心部位随内层螺旋流回转上升，由上端经溢流管涌出，形成溢流，经过顶部出口排出（见图 1-9）。

胚芽从破碎物料中分离的过程进行得很快，几乎是在瞬间内完成的。因此，只能通过保持进入旋液分离器前的物料相对密度和稠度（在真空条件下 1L 物料过滤得到的过滤沉淀物中的干物质质量，单位为 g/L）和调节底流及溢流出口阀门开启的大小来调节胚芽分离的质量。

b.重力曲筛工作原理 带有液状物料的胚芽与淀粉乳一起从旋液分离器中排出。胚芽与淀粉乳的分离采用重力曲筛筛分法。

物料经过进料口进入料斗，经过溢流阻板溢流下来，沿着弧形筛的表面往下流。在弧形筛表面运动的物料受离心力和重力的作用，物料中的液体经筛缝流走，而在切线方向力的作用下，筛上的胚芽则沿筛面向下移动。淀粉乳收集在接收器里，经管路排出。筛上分离出的胚芽进入漏斗，从设备排料口排出。

1.5.2.2 玉米破碎、胚芽分离工艺流程

大型玉米淀粉厂多采用二次破碎、二次分离胚芽的方法。胚芽分离流程见图 1 - 10。

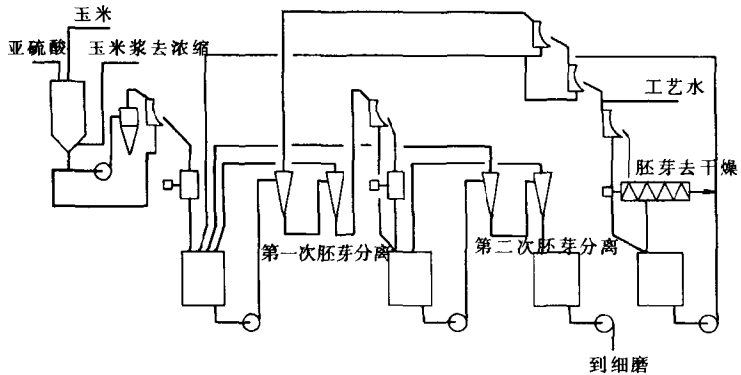


图 1 - 10 胚芽分离工艺流程图

浸泡过的玉米用温水送入砂石捕集旋液分离器，分离出石子，分水重力筛分出输送水回用，玉米进入破碎机。

为了保证物料最佳破碎条件，进入破碎机的物料应含有 25% 的干物质。第一次破碎玉米后磨下物含整粒玉米量不应超过 1% 即用手接一把磨下物 其中有 2~3 个整粒玉米。

破碎的物料用离心泵送至第一次胚芽分离的第一级“ A ”旋液分离器。“ A ”旋液分离器的顶流为胚芽。旋液分离器的顶部出口

排出胚芽，其与携带的淀粉乳进入重力筛。筛滤出的淀粉乳返回第一台破碎机，而胚芽则在重力筛上经过三次逆流洗涤。“A”旋液分离器的底流送到“B”，旋液分离器，它的顶流回入第一道破碎磨下，底流则在缝隙为 1.6~2.0mm 的重力筛上过滤，然后筛上物进行第二次破碎，筛下物到磨下收集槽。

二次破碎的作用在于彻底地释放出相联结的胚芽，为此，物料要破碎得更细些。经这次破碎之后，浆料中不应含整粒的玉米，联结的胚芽量不应超过 0.3%。这些浆料进入收集器，再用泵从收集器送到第二次胚芽分离的第一级“A”旋液分离器。“A”旋液分离器的顶流回到第一道破碎磨下，底流进入“B”，旋液分离器，它的顶流回入第二道破碎磨下，而底流进入下道精磨系统。

胚芽经第一、二次筛洗后的淀粉乳送至破碎系统，一部分与浸泡过的玉米一起送至第一台破碎机，其余部分送至第一台破碎机的收集槽。第三次筛洗得到的稀淀粉乳加上胚芽挤干机脱水的淀粉乳，都回用于第二道重力筛胚芽的洗涤。

麸质分离工段澄清的麸质水用作最后一级洗涤水，供最后胚芽洗涤用，其用量为玉米质量的 1~3 倍。当所用洗涤水过量时能很好地把淀粉从胚芽中洗涤出去，但这样就稀释了悬浮液，因而影响了悬浮液在分离器中的分离。当洗水量不足时，胚芽洗涤得不好，会含有许多淀粉。洗涤后胚芽中游离淀粉的最高允许量为 1.5%，结合淀粉的最高允许量为 5%~8%。

1.5.2.3 胚芽分离和洗涤工艺条件的控制

a. 浆料浓度 胚芽在浆料内漂浮起的速度依赖于它们之间的相对密度差异。适宜的浸泡条件下胚芽的密度是恒定的，而液体的密度主要由悬浮于其内的淀粉决定，这在一定范围内是由调节胚芽洗水的量来控制。不同的部位它的密度是不同的，一般通过测量第一道胚芽洗筛筛下料，即去除粗固形物的第一次“A”胚芽旋液分离器的溢流的波美度来判断浆液浓度是否合适，浆液浓度应为 8~9°Bé(15.5℃)。如果太低就不能正常漂浮胚芽，如果

太高很可能漂浮起非胚芽固形物，干扰分离过程。

b.压降 胚芽旋液分离器的压降是指旋液分离器进口压力与溢流口压力的差值。底流压力通常比溢流口压力高 68.6kPa。满足分离所需要的流速决定于某一最小压降，对 152mm 旋液分离器，压降为 28 ~ 32kPa，对应的“A”旋液分离器流量为 18m³/h，对应的“B”旋液分离器流量为 27 m³/h。“A”旋液分离器用于高纯度胚芽分离，进口和溢流口直径为 25mm；“B”旋液分离器用于数量分离，其进口和溢流口直径为 38mm。每级旋液分离器的数量可根据生产要求进行调整，但一般工艺中一个“B”旋液分离器对应于 2 个“A”旋液分离器。

c.溢流进料比 溢流所占的比例影响分离质量，可以用溢流进料比(O/S)来衡量。此比值可以通过“A”旋液分离器的溢流阀和“B”，旋液分离器的底流阀进行调节。若要高纯度的胚芽，此比值应较低；若要大的胚芽收率，此比值应较高。按图 1 - 10 工艺流程推荐的数值为：

第一次分离	O/S
“A”旋液分离器	20%
“B”旋液分离器	30%
第二次分离	O/S
“A”旋液分离器	20%
“B”旋液分离器	30% ~ 50%

d.浸泡质量和破碎机工作状况 玉米浸泡得不好或者浸泡后用冷水输送，玉米破碎就会发生困难。在这种情况下会残留许多与胚乳相联的胚芽，碎胚芽也较多，很不容易分离。

破碎机工作应满足质量控制指标。均匀地供料有利于保障破碎机与后面各道工序操作的协调，使工艺过程稳定平衡，因此相应地也可保证胚芽分离的效果。

e.胚芽洗涤 胚芽洗涤一般采用三道 50°重力曲筛，筛孔为 1mm,30cm 宽的筛面，每小时可处理 16 ~ 20m³ 物料。第三道筛

的加水量为 $1.3 \sim 3.1 \text{ m}^3/\text{t}$ ，以回收所有的淀粉和蛋白到主系统。洗水采用过程水，加 SO_2 约 0.08% 以保持筛面清洁。

f. 胚芽回收 洗涤过的胚芽，放入 $12^\circ\text{B}\epsilon$ 的盐水中，轻轻搅拌后观察分层情况，用于诊断不正常工艺情况。大量的漂浮物说明胚芽分离系统的悬浮物相对密度太低，或第二次分离的旋流器流量太小。大量的沉下物说明浸泡不够，即没有充分地将胚芽中的可溶物溶出；如果沉下的胚芽上带有胚乳，可能是浸泡不好或破碎得不好。过量的破碎胚芽说明第二道破碎磨的齿盘间距太小。有整粒玉米（不包括小粒玉米）说明第二道破碎磨的齿盘间距太大。

1.5.3 典型设备介绍

1.5.3.1 砂石捕集器

原料经清理后，还带有体积与玉米颗粒差不多的砂石（并肩石）和非磁性金属物，玉米淀粉生产中采用湿法离心去石，去石装置采用砂石捕集器。SP_x-36 型砂石捕集旋流器用在玉米淀粉生产中，主要作用是在玉米浸泡后进破碎机前清除并肩石及金属物，有效地保护后道设备免遭损坏。

a. SP_x-36 型砂石捕集旋流器主要技术规格和技术参数

分离圆筒直径： $\phi 360 \text{ mm}$

处理量： 150 t 商品玉米 / d

进料口工作压力： 0.1 MPa

反冲水压力： $> 0.1 \text{ MPa}$

外形尺寸： $580 \text{ mm} \times 430 \text{ mm} \times 1520 \text{ mm}$

质量： 60 kg

b. 主要结构特点 SP_x-36 型砂石捕集器主要结构如图 1-11 所示，它主要由分离室和集石室组成。分离室内主要零部件为涡流芯管和耐磨锥体。在工作时，玉米与水混合物切向进入分离室的圆柱筒部分形成下旋涡流，由于离心力的作用，较重的砂石

及金属物移向锥体内壁，经锥体出口进入集石室，而液体与较轻的玉米则移向中心形成反向涡流向上运动经溢流口由导向管排出，从而使玉米与较重的砂石或金属物分离。由于锥体底部进行直接排放，集石室内充满了水。在集石室下部装有反冲水切向进口，其压力与上部压力接近，这样在耐磨锥体出口处顶住玉米而只让较重的物质（砂石、金属物）落下来进集石室，所以在集石室的下部可以只排放较重的砂石，而不排出玉米。为防止磨损过快，锥体往往选用耐磨不锈钢或采用陶瓷材料铸造成型。锥体小端直径有几种不同尺寸，供生产操作时选用。在集石室最底部装有排石阀，隔一定时间开启阀门可以排除石子。

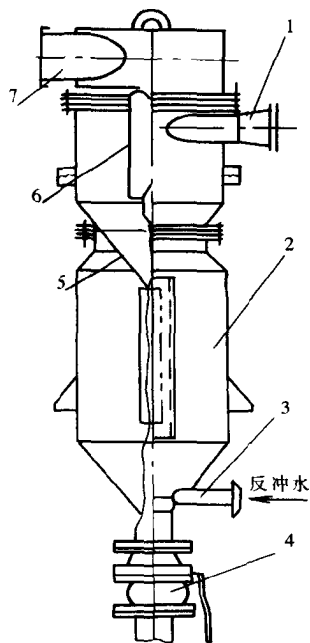


图 1-11 砂石捕集器结构

- 1—进料口 2—贮石斗 3—反冲水口
4—排石阀 5—耐磨锥体 6—溢流口
7—导向管

c. 操作与使用要求

①首先在捕集器内充满水，然后进料。

②调节玉米、水混合物的流量与反冲水的流量，使集石室中上升水流能挡住玉米，只让砂石落下来。

③在运行中如发现集石室中有较多的玉米，可调节加大反冲水的流量（反冲水压力略大于进料压力）。

④根据去石效果与砂石的体积大小，锥体小端可选用不同的

直径。若较重的固体杂质太小，使用 $\phi 20\text{mm}$ 锥体；若较重的固体杂质太大，使用 $\phi 40\text{mm}$ 锥体。

③运行中，当集石室的砂石量达到集石室体积的 $1/3$ 时，应及时打开球阀排放砂石。

1.5.3.2 玉米脱胚磨

玉米脱胚磨是一种用于湿法玉米淀粉生产的粗破碎设备，主要用于浸泡后玉米的第一次粗破碎和经提胚后的玉米粗块的二次破碎，以使胚芽与皮和胚乳彼此分离。

a. 主要技术规格和技术参数 目前玉米淀粉厂普遍采用 DTMT 系列脱胚磨，其技术规格见表 1-7。

表 1-7 玉米脱胚磨技术规格表

规格型号 技术参数	DTMT40	DTMT60	DTMT80
生产能力(以商品玉米计)/(t/h)	2~4.5	2.5~6	4~12
一次破碎(以商品玉米计)/(t/h)	2~3	2.5~4.2	4~8
二次破碎(以商品玉米计)(t/h)	2.5~4.5	3.5~6	6~12
齿盘直径/mm	400	600	800
动盘转速/(r/min)	970	970	970
齿盘可调最大距离/mm	25	35	60
设备功率/kW	11	18~22	30
外形尺寸/mm	1 420 × 501 × 594	1 810 × 740 × 720	2 510 × 1 100 × 1 125
质量/kg	600	800	1 510

b. 主要结构特点 DTMT 型齿盘式脱胚磨主要由动齿盘、定齿盘、主轴齿盘间隙调节装置、主轴支撑结构、电机、机座、进料装置、出料装置等组成，见图 1-12。

c. 操作与使用要求

①进料前必须检查物料的除铁、去石机构工作是否正常。扳动手柄使齿间距离最大时开车启动，启动全速后，缓缓扳动手柄，定

位正常后，方可进水进料。

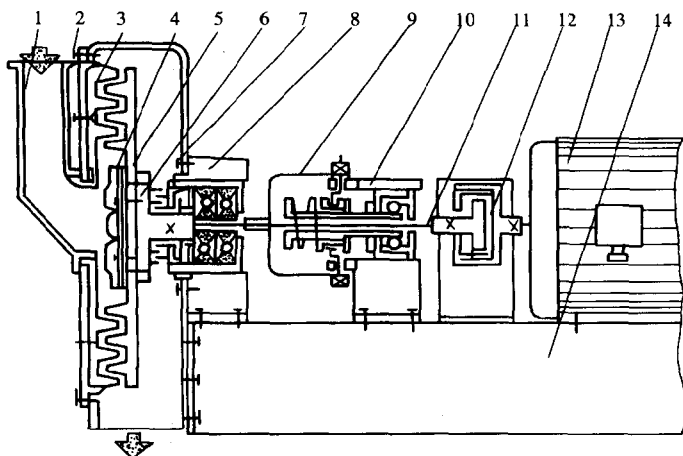


图 1-12 脱胚磨结构示意图

- 1—进料管 2—机盖 3—定齿盘 4—拨料轮 5—动齿盘 6—转盘
7—机壳 8—前支撑座 9—齿间距调节机构 10—后支撑座
11—传动轴 12—可移式联轴器 13—电机 14—机座

⑥为达到理想的破碎效果，应适当控制好加水（过程水）量（固液比约为 1:3），使磨后的浆浓度达到工艺要求。

⑦工作中如发现异常应立即停料停水，将手柄迅速扳至齿间距最大位置，停车检查。

⑧正常情况下应先停料、停水再停车，同时将齿间距调至最大。

⑨严格禁止无关人员扳弄调节机构，禁止用水冲机壳后部的任何部分。

定期向调节机构滑动部位注润滑油，并定期检查轴承润滑情况，及时注油。

⑩凸齿盘正常使用寿命结束时，应及时更换（包括动、定盘）。

d. 常见故障分析 常见故障分析见表 1-8。

表 1-8 玉米脱胚磨常见故障及排除办法

故障现象	故障原因	排除方法
设备不运转	是否停电 电路故障 电机损坏	检查电源 排除电路故障 更换电机
破碎粒度过大或过小	齿间距不对 齿盘磨损严重 齿盘不平行 齿盘轴向窜动	调整间距 更换新盘 更换合格盘 锁紧机件,检查轴承
设备运转有杂音	异物进机 间距过小 静平衡不合要求 轴承间隙过大 紧固件松动	排除异物 调节间距 重做静平衡试验 调整轴承间隙或更换轴承 拧紧紧固件
粘磨	进料浓度太高	加大破碎进水量
流磨	进料浓度太低	减少破碎进水量
胚芽难分离	浸泡质量不好	改变浸泡条件

1.5.3.3 胚芽分离旋流器

胚芽分离旋流器是用于玉米破碎后分离胚芽的专用旋流分离设备,具有分离效率高、占地面积少、操作方便、维修量少等特点。

a. 主要技术规格和技术参数 胚芽分离旋流器有多种类型,其主要类型的技术参数见表 1-9。

表 1-9 胚芽分离旋流器技术参数

工艺参数	型号					
	TB-2	TB-4	TB-250	TB-300	DPX12.5	DPX15
处理原料玉米量/[t/(h·只)]	4	6.5	7.5	14	1.5-2	2.5-3
圆柱部分直径/mm	200	200	250	300	125	150
锥体高度/mm	520	600	640	1 190	450	600
工作室总高/mm	813	910	936	1 470	765	700
进料管尺寸/mm	φ45	φ60	24×65	25×70	φ30	φ25,φ38
重相出口尺寸(直径)/mm	50	40	55	47	40	
轻相出口尺寸(直径)/mm	60	59	65	70	14,16	25,38
工作压力/MPa	0.2	0.3	0.25	0.2	0.45~0.55	0.6~0.7

b.主要结构特点 胚芽分离旋流器是由多个旋流管组合装配而成，其外形结构和组装尺寸如图 1-13 所示。

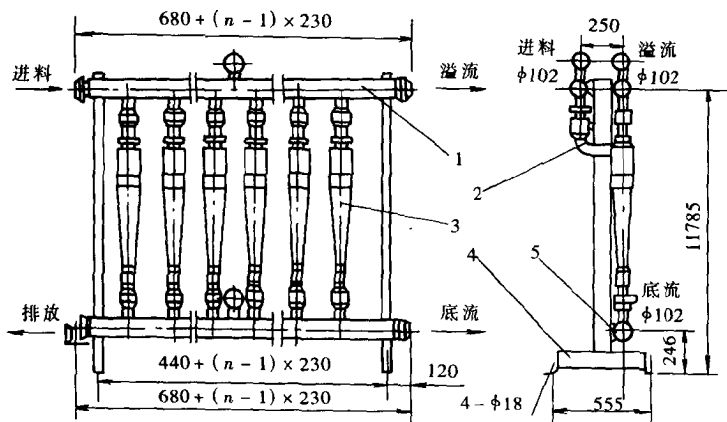


图 1-13 胚芽分离旋流器外形图及组装尺寸

1—溢流出料管 2—进料管 3—旋流管 4—支架 5—底流出料管
n—旋流器个数

c.操作与使用要求 胚芽分离旋流器的分离效率与进料压力、浆料浓度、粘度有极大关系。在实际操作过程中主要应控制玉米破碎后料浆的浓度，使其符合工艺要求，同时要保持进料压力、浓度、温度等工艺指标处于稳定状态。

该设备用薄不锈钢板焊制而成，在清理堵料时应用水冲洗，禁止用力敲打。要定期检查密封部位是否泄漏。

d.常见故障分析 常见故障分析见表 1-10。

表 1-10 胚芽分离旋流器常见故障及排除方法

故障	故障原因	排除方法
压力不够	泄漏 泵出现故障	检查维修泄漏部位 维修或更换泵
胚芽分离效果差	压力不够 工艺指标不合要求	调整进料压力 调整浓度、粘度、温度等指标
不出料	堵塞	冲洗排料管

1.5.3.4 胚芽洗涤重力筛

a. 主要技术规格和技术参数 重力筛是用于玉米分水、胚芽洗涤的主要设备，胚芽洗涤重力筛主要技术参数见表 1-11。不同用途时重力筛的筛缝选择参照表 1-12。重力筛可按工艺要求单台或多台并联、串联使用，并联增加筛分能力，串联增加筛分效果。

表 1-11 胚芽洗涤重力筛主要技术参数表

规格 技术参数	DZQW40	DZQW60	DZQW100	DZQW120
筛面弧角/(°)	50	50	50	50
筛面宽度/mm	400	600	1 000	1 200
筛面长度/mm	800	800	800	800
筛理面积/m ²	0.32	0.48	0.80	0.96
曲率半径/mm	917	917	917	917
溢流高度/mm	520	520	520	520

表 1-12 重力筛筛缝选择表

用途	玉米脱水筛	胚芽过滤及洗涤筛	二道磨前的滤筛
筛缝宽度/mm	3.0	0.7, 1.0, 1.2	1.6

b. 主要结构特点 物料由进料管进入接料室后，经溢流堰和压力活门使物料散布于整个筛面。物料沿筛面（弧形面）做圆弧运动时产生离心力，在离心力和重力的作用下液体或细小的微粒从筛缝中漏下形成筛下物，而在惯性力和筛条阻力的作用下，粗粒从筛上沿筛面滑下形成筛上物，从而完成筛分过程。图 1-14 为重力筛结构示意图。

c. 操作与使用要求

使用前进行如下检查：筛板是否完全装好，筛体安装是否牢固，进出料口连接管道是否密封不泄漏，压力门挡料板位置应正确、转动灵活，溢流堰与筛面接缝应平齐完好。

⑥使用时注意料流应均匀分布于全筛面。

⑦根据材料的工艺要求合理选择筛缝宽度。

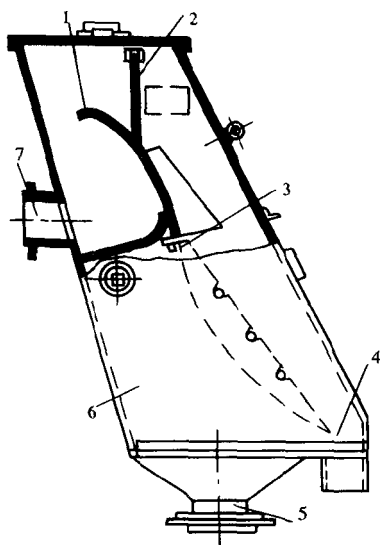


图 1-14 重力筛结构示意图

1—溢流堰 2—压力门 3—筛面 4—筛上物出口
5—筛下物出口 6—筛框 7—进料口

① 进料流量应保持均匀稳定。

② 停止使用后要冲洗清理筛面。

定期检查筛分效果。筛条磨损影响筛分效果时筛面可调头使用或更换筛面。

d. 常见故障分析 常见故障分析见表 1-13。

表 1-13 重力筛常见故障及排除方法

常见故障	故障原因	排除方法
筛面物料走偏	沿溢流堰下料不均匀 筛体安装偏斜	检查压力活门,校正装好 检查筛体安装水平并调正
筛分效果欠佳	筛面有堵缝 进料流量不合理	清理筛缝 调整进料量
筛下漏料	筛面破损 筛面四周不严	修理或更换筛面 筛面重新装好

1.5.3.5 螺旋挤压脱水机

螺旋挤压脱水机主要用于胚芽和纤维的挤干，将胚芽或纤维中携带的水分尽量减少，以有利于干燥系统减少蒸汽耗量。

a. 主要规格和技术参数 螺旋挤压脱水机的技术特性见表 1-14。

表 1-14 螺旋挤压脱水机的技术特性

工艺指标 \ 型号	LXZ-200	LXZ-250	LXZ-35	TSL5-21	DLT-350
生产能力(脱水后)/(kg/h)	500	900	1 250	3 000	800~1 000
出料含水率/%	≤50	≤50			
进料含水率/%	不限	不限			
螺旋叶片直径/mm					大头 350
螺旋转速/(r/min)	12.4	可调	可调	25	可调
配用功率/kW	4	5.5	7.5	7.5	7.5
机重/kg	800	850	1 000	1 500	

b. 主要结构特点 国产的单螺旋挤压脱水机(见图 1-15)主要由带减速器的传动机构，挤压螺旋轴，筛筒或榨笼，壳体，出料口，进料斗和接液槽等部分组成。螺旋挤压脱水机的螺旋轴的叶片呈圆柱形螺旋状，筛筒是由筛板或笼条排成的榨笼。用于纤维脱水的螺旋挤压脱水机的螺旋轴的叶片呈圆锥形螺旋状，筛筒是钻有筛孔的圆锥体。

c. 操作与使用要求 进机物料的含水率是影响脱水效果的直接因素，一般进机物料含水率不超过 90%(以干物计)可获得出机物料含水 55%以下的脱水效果。

调整出料口圆柱体与圆锥体的环间隙可增加或减小螺旋挤压力，而影响脱水效果。

根据物料脱水的实际情况调整螺旋轴的转速。

螺旋叶片与筛筒或榨笼制造时的配合间隙直接影响脱水

效果。

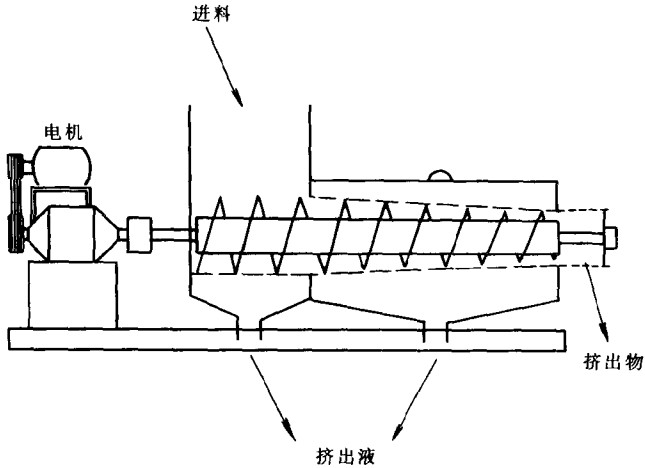


图 1-15 单螺旋挤压脱水机结构示意图

1.5.3.6 管束干燥机

管束干燥机是用于玉米胚、纤维、蛋白粉等干燥的设备。高温蒸汽在管束内，被干燥的湿物料在管束外，当物料由进料绞龙送进机内后被固定在管束外周的抄板抄起，然后落到管束之间，湿物料与高温管束接触。由于抄板安装带有轴向倾角，所以它把物料抄起的同时，也将料向前推动。湿物料从进料端进入机内后，被抄板多次抄起落入管束间接触高温管束，到出料端而得到干燥。干燥过程中水汽从机盖由排风机排出或直接排出。当进料口与蒸汽进口设置在干燥机一端时称顺流干燥，当进料口与蒸汽进口设置在干燥机两端时称逆流干燥。

a. 主要技术规格和技术参数 管束干燥机主要技术规格和技术参数如表 1-15 所示。干燥物料特性与技术指标见表 1-16。

表 1-15 管束干燥机主要技术参数

技术参数		热交换面积/m ²	管内蒸汽压力/MPa	蒸汽耗量/(kg 气/kg 水)	疏水阀排水量/(kg/h)	主机功率/kW	质量/t
GZG I	GZG 40	40	0.6	1.35 ~ 1.45	1 200	5.5	7
	GZG 60	60			1 800	5.5	9
GZG II	GZG 80	80			2 400	7.5	11.5
	GZG 100	100			3 000	7.5	13.5
	GZG 120	120			3 200	7.5	15
GZG III	GZG 150	150			3 300	11	17.5
	GZG 180	180			4 100	11	19.5
	GZG 210	210			5 100	11	21.5
GZG IV	GZG 250	250			6 300	15	24.5
	GZG 300	300			8 000	18.5	26.5
	GZG 350	350			8 500	22	32.5
GZG V	GZG 400	400			9 000	30	45
	GZG 450	450			9 500	30	47
	GZG 500	500			10 000	37	50
	GZG 550	550			10 500	37	
GZG VI	GZG 600	600			12 000	55	
	GZG 650	650			13 000	55	
	GZG 700	700			14 000		
GZG VII	GZG 750	750			15 000	90	75.5
	GZG 815	815	16 500	90	79		
	GZG 880	880	18 000	90	82		
	GZG 945	945	19 000	90	85		

表 1-16 干燥物料特性和技术指标

物料类别	进机水分量/%	出机水分量/%	蒸发干燥强度/[kg 水/(m ² ·h)]	能耗/(kJ/kg 水)
胚芽	55	3 ~ 5	2.5 ~ 3.0	3 500 ~ 3 800
玉米纤维	60	10 ~ 12	4.9	
蛋白粉	45	12 ~ 13	4.7	
薯类纤维	65	10 ~ 12	4.8	

b. 主要结构特点 GZG 型干燥机 (见图 1-16) 主要由旋转的管束、两端轴承基轴承座、抄板、外壳、保温层、底架及传动部分的大小链轮 (齿轮)、摆线针轮减速器等部分组成。

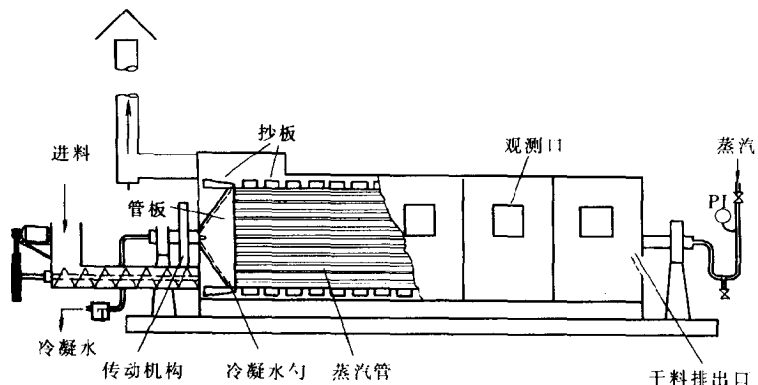


图 1-16 管束干燥机结构示意图

电动机通过摆线针轮和链轮传动系统带动管束旋转，物料通过进料绞龙从侧面的进料口进入机内。装在管束外周的抄板，一面把物料抄起，一面推动物料前进，从进料端一直推进到另一端的出料口出来为止。机内抄板可自由调整，故对物料在机内各部的停留时间可随意调整。蒸汽从一端蒸汽接头进入，冷凝水从另一端蒸汽接头排出。设备装有蒸汽动密封装置，外壳有保温层，冷凝水出口装有疏水阀，可有效地避免蒸汽的逸出或泄漏，因此热能损耗很低。

c. 操作与使用要求

①开车前的准备工作：

设备操作前，检查润滑部位润滑油是否加足，各电机转向是否正确，传动部位转动是否灵活，抄板与壳体是否相碰，联接部位是否密封。

空车启动时，从门盖或进料口加入 200 ~ 300kg 的谷壳，并

打开底部清理口排除机内一切杂物。

空车运转正常后，通入蒸汽对管束进行预热。预热前应先调整安全阀，使开启后压力在额定范围。

关闭疏水器两端阀门，打开旁通阀，及时清理污物，待有蒸汽逸出时方可打开疏水器两端阀，逐步关闭旁通阀。检查疏水器工作是否正常。管束预热要缓慢进行。

在通入蒸汽的同时，从进料端测定转子受热膨胀情况。

⑤ 正常生产操作：

对传动部位润滑状况、疏水器工作状况等逐项检查，做好开车前的准备工作。

按照使用要求对管束进行预热。切记在静止状态下绝不能向管束供汽。预热要缓慢进行，保证热量分配均匀。预热过程中，打开疏水器外的旁通管路。

当蒸汽温度达到 70℃ 时，打开疏水阀两端的阀门，并逐渐关闭旁通阀，绝不要在管束中存水的情况下运转。

管束预热后可依次启动螺旋加料器、排湿风机。

开始进料要缓慢，同时检查进料水分是否符合要求，如果水分过高，应及时调整。进料水分是管束干燥机操作中的主要控制指标。检查各运转部件是否正常。需要 1~2h 才能注满料。

⑥ 根据进料水分、生产能力、蒸汽压力等各项技术指标，通过抽样检查出机物料水分是否符合要求，可适当调整抄板轴向倾角。

⑦ 正常停车：

停止进料，及时将机内较多的料排出，但机内要保留一定量的料，以便下次开车。

继续运行 10min，尽可能多地排出冷凝水，然后关闭蒸汽。

蒸汽关闭 1h 后，关闭主机和喂料绞龙，主机关闭 30min 后，关闭蒸汽排湿风机。

⑧ 紧急停车：出现紧急事故时，所有设备应同时停止运转，并

立即切断蒸汽。如果需重新启动，管束供汽压力不得低于 0.3MPa。蒸汽输送出故障，压力降至 0.3MPa 时，应立即停止进料。

③维护保养：管束第一次加热（大约 24h），冷却后要重紧抄板螺栓及封头上大螺栓。正常生产三个月后也要对上述螺栓重紧一次。

对进料水分过高的物料禁止一次注满机体，以免机内阻力过大损坏管束。

生产时间较长（或停机时间较长）时，应将管束内外，进料、出料、疏水、排湿装置进行清理，同时应定期对排湿风机进行检查与润滑。

d. 常见故障分析 常见故障原因及排除方法见表 1-17。

表 1-17 管束干燥机常见故障及排除方法

常见故障	故障原因	排除方法
干燥后物料水分含量过高	进料水分含量过高	检查前段设备,调整脱水工况,达到规定要求
	冷凝水排出受阻,管束内存水	1. 清理疏水器,使之畅通 2. 疏水器工作压力偏低,适当提高蒸汽压力 3. 如果有冷凝水罐,检查止回阀是否失灵,防止冷凝水倒流
	物料在设备内停留时间过短或干燥机规格与实际生产能力不适应	1. 调整抄板轴向倾角 2. 调整抄板数量 3. 选用更大规格干燥机
	管束与封头之间密封部位泄漏	1. 紧固联接螺栓 2. 更换密封垫
	排湿受阻或湿气冷凝回滴	1. 检查风机工作是否正常 2. 风量不够,应调节风门或紧皮带 3. 通风管路堵塞,应检查并清理 4. 检查抽气管道的保温情况
	管束外壁沾有黏物影响传热	清理粘在管外壁上的杂物,但清理时一定要注意安全
主轴承转动不灵活或过热	润滑不好或轴承内进杂物过多或者是轴承寿命已到	应加强管理,定期清洗轴承,加足润滑油。如轴承寿命完结,应更换轴承且必须保证轴承质量

1.6 玉米精磨与纤维的洗涤

玉米经过破碎和分离胚芽之后，含有胚乳碎粒、麸质、皮层和部分淀粉颗粒。大部分淀粉包含在胚乳碎粒及皮层内，必须进行精细磨碎，才能最大限度地释放出淀粉、蛋白质和纤维素，为以后各组分的分离创造良好的条件。精磨的目的是破坏玉米碎块中淀粉与非淀粉成分的结合，使淀粉最大限度地游离出来，分出纤维渣，并使胚乳中蛋白质与淀粉颗粒分开，以便进一步分离和精制。

纤维分离主要是将释放出淀粉后的纤维渣经过多次洗涤，使其含有较少的游离淀粉和结合淀粉。洗涤后的纤维经过挤水、烘干成为干渣皮。

1.6.1 精磨与纤维洗涤的基本原理

1.6.1.1 精磨的基本原理

精磨设备主要有砂盘磨、粉碎机、锤碎机和针磨等。目前国内应用最多的是针磨，它具有生产效率高、维护费用低、操作稳定、淀粉收率高等优点。

针磨的主要工作部件是一对上下放置的圆盘。放置在下部的旋转圆盘叫动盘，动盘上不同圆周上安装圆柱形的动针；放置在上部的机盖叫静盘，上面有与动针在圆周上相交错位移的圆柱形定针。动盘由电机带动高速旋转，物料主要受高速冲击作用而粉碎（故有人称之为冲击磨）。针磨在全速运转后，物料分左右两侧进入高速旋转的动盘中心，由于物料受到离心力作用，在动、定针间反复受到猛烈冲击而被粉碎，淀粉最大限度的被游离出来。纤维因有较强的韧性不易撞碎，形成大片的渣皮，而不是细糊状的渣皮，这有利于筛洗出游离淀粉。

1.6.1.2 纤维分离与洗涤的基本原理

物料磨碎之后形成悬浮液，其中含有游离淀粉、麸质的细小颗粒和纤维（细渣和粗渣）。为了得到纯净的淀粉，要把悬浮液分离成各组成成分，粗、细渣与淀粉悬浮液的分离是在筛分设备上进行的。通常采用压力曲筛对纤维进行分离洗涤，压力曲筛筛缝不易堵塞，能作出精确的筛分，很少维修，生产效率高，占地面积小。

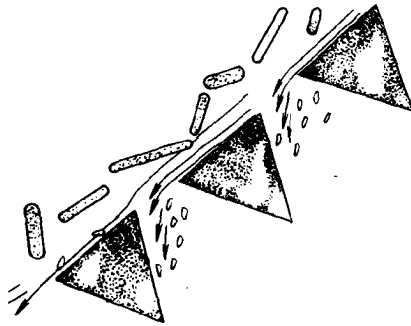


图 1-17 压力曲筛工作原理图

压力曲筛是一种依靠压力对低稠度湿物料进行液体和固形物分离及分级的高效筛分设备。压力曲筛工作原理如图 1-17 所示，运行时，湿物料用高压泵打入进料箱，物料以 $0.3 \sim 0.4 \text{ MPa}$ 压力从喷嘴高速喷出，在 $10 \sim 20 \text{ m/s}$ 的速度下从切线方向引向有一定弧度的凹形筛面，高的喷射速度使浆料在筛面上受到重力、离心力及筛条对物料的阻力（切向力）作用。由于各力的作用，物料与筛缝成直角流过筛面，楔形筛条的锋利刃口即对物料产生切割作用。在料浆下面，物料撞在筛条的锋利刃上，即被切分并通过长形筛孔流入筛箱中，筛上物继续沿筛面下流时被滤去水分，从筛面下端排出。进料中的淀粉及大量水分通过筛缝成为筛下物，而纤维细渣则从筛面的末端流出成为筛上物。淀粉颗粒与棱

条接触时，其重心在棱的下面从而落向下方成为筛下物。纤维细渣与棱条接触时，其重心在棱的上面从而留在上方成为筛上物。压力曲筛由于其分级粒度大致为筛孔尺寸的一半，所以排入筛下的颗粒粒度比筛孔尺寸要小得多，从而减少了堵塞的可能性。筛条的刃口将进料抹刮成薄薄的一层而使水和细料均匀分散，从而使物料易于分级，同时整个筛面得到自行清理。曲筛工作时，穿过筛缝的筛下物量在很大程度上决定于如何使浆液同筛面很好地保持接触。曲筛所进行的按颗粒大小的分离取决于楔形筛条之间空隙的大小及物料在曲筛筛面上的流速。筛孔越小，对流速的要求越高。

1.6.2 精磨与纤维分离、洗涤工艺流程

精磨与纤维分离、洗涤工艺流程应根据生产规模、原料特性、产品质量和生产工艺要求而定。一般采用 1~2 级精磨 5~7 级逆流洗涤工艺流程。图 1-18 为 1 级精磨 6 级逆流洗涤工艺流程，该工艺具有淀粉收率高、洗涤效果好的特点。

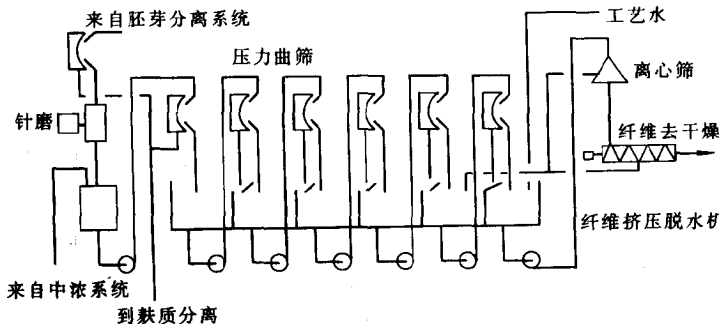


图 1-18 精磨及纤维洗涤流程图

从脱胚系统送来的物料，其主要成分为淀粉、蛋白质和纤维。物料首先通过一道 $50\mu\text{m}$ 筛缝的压力曲筛，将已游离出的淀粉和蛋白质分离出来，筛上物料进入精磨进行细破碎，经过精磨的打

击作用将颗粒状的胚乳完全破碎，并将胚乳上粘附的胚乳全部打下来。皮层纤维含淀粉量极少。磨下物料用泵送到筛洗系统。第一道筛采用 $50\mu\text{m}$ 筛缝，分离出稀淀粉乳，以后各道筛采用 $75\mu\text{m}$ 筛缝，对纤维进行洗涤。洗涤水采用工艺水，从最后一道加入，纤维与洗水逆流而行，经过洗涤的纤维挤压脱水后进行干燥。纤维洗涤槽是有助于纤维洗涤的重要设备，在水流的搅动冲击下，更有利于洗净纤维。

1.6.3 精磨与纤维洗涤的工艺条件控制

a. 进行精磨的物料浓度 精磨时物料的浓度需用稀浆或工艺水加以调节，使含水保持在 $75\% \sim 79\%$ 的范围内，如进料的含水量增高到 80% 以上，会使精磨的效果明显变差。

b. 压力曲筛筛面选择 压力曲筛用于精细分离时，筛缝间隙用 $50\mu\text{m}$ 的；用于纤维逆流洗涤时，筛缝间隙用 $75\mu\text{m}$ 的；用于纤维的初脱水时，筛缝间隙用 $100 \sim 150\mu\text{m}$ 的；用于磨前物料增稠，筛缝间隙为 $50\mu\text{m}$ 。在逆流洗涤工艺中，为确保淀粉的质量（淀粉乳中的含渣量小于 0.1g/L ）前面曲筛筛缝宽度选用 $50\mu\text{m}$ 的；为了确保细渣中的游离淀粉含量小于 5% ，后面洗涤曲筛筛缝宽度选用 $75\mu\text{m}$ 的。

c. 纤维中淀粉含量 筛洗后渣皮中游离淀粉的含量应小于 5% ，淀粉收率比其他研磨设备提高 1% 左右。

d. 进料压力 进入压力曲筛的物料，只有在一定的速度下在筛面上作弧线运动，才能保证良好的分层和分离。进料压力高，筛分效率高，生产能力大；压力低则相反。但压力过高同样不利于筛分。压力一般应控制在 $0.2 \sim 0.4\text{MPa}$ ，精筛的进料压力 $0.3 \sim 0.4\text{MPa}$ ，洗涤筛的进料压力控制在 $0.2 \sim 0.3\text{MPa}$ 。

e. 压力曲筛进料 筛分物料不能磨得过细，否则会增大淀粉乳中的细渣含量。洗涤水用量控制在 $210 \sim 230\text{L}/100\text{kg}$ 绝干玉米，洗涤水中应加适量的亚硫酸水。

1.6.4 典型设备介绍

1.6.4.1 棒式针磨

a. 主要技术规格和技术参数 棒式针磨主要技术参数见表 1-18。

表 1-18 棒式针磨主要技术参数

型号	ZM660	ZM600	LZM500	LZM685	LZM1000	JBL750	JBL600	JBL400
工艺参数								
处理量/ (t 干玉米/h)	4~6	4	≤1.5	3~5	10~15	5.4~6.0	3	1.5
转速/(r/min)	3 000	3 000	4 200	4 000	3 100	3 500	3 400	4 200
动盘外圆直径/mm	φ660	φ605	φ500	φ685	φ1 015	φ750	φ600	φ400
联接淀粉含量/%	≤18	≤15	≤15	≤15	≤15			≤15
电机功率/kW	45,55	37,45,55	37	55	200	75	45~55	22
外形尺寸/mm	2 000 × 1 000 × 2 000	1 935 × 1 020 × 1 735	1 700 × 900 × 1 820	1 610 × 780 × 1 800	3 580 × 1 950 × 2 940		2 000 × 1 000 × 2 000	
整机质量/kg	1 500	1 500	1 500	2 100	6 500		1 500	

b. 主要结构特点 棒式针磨 (见图 1-19) 由机架、驱动装置、主机三大部分组成, 驱动装置和主机均装在机架上, 机架经地脚螺栓与机器的基础相连接。机器的驱动采用带齿窄的 V 带传动, 并装有皮带紧度调整装置。主机包括进料槽、传动组件、动盘组

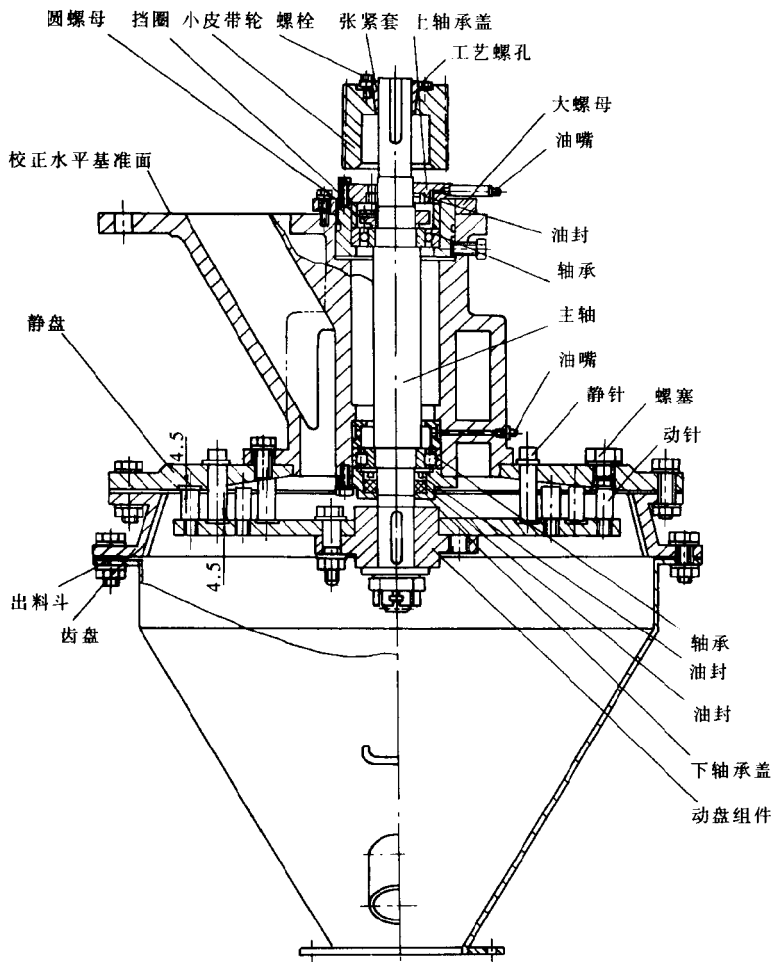


图 1 - 19 棒式针磨结构示意图

件、静盘、静针、齿盘和出料斗等零部件。进料槽的连接法兰供安装均匀送料装置，均匀送料装置与进料系统连接，出料斗的连接法兰接下级管道使经机器粉碎后的物料进入下级处理装置。进

料槽的两侧各有一通气活门，调整其开启程度可保证机器内有足够的空气流通。

c.操作与使用要求 启动时，应先将针磨启动，待机器达到额定转速时再进料。要用自动定量进料系统（均匀加料器）以保证均匀进料，同时应保证有足够的空气进入料斗（适当调节进料口两侧活动进气门）。进料前应严格检查除铁去杂装置，以免金属块和杂物混入物料。

如得到的浆料过细，应把静针按一定间隔倒过来安装，浆料会有一定程度的粗化。如果要想浆料更细应减慢进料速度（调整工作必须在停机状态下进行）。

关机时应先停止进料，待机器内余料全部排净后再停机。

定期检查动、静针的磨损情况，及时更换以保证最佳细磨效果。更换时，要将动针严格称重，每一周针的质量应尽可能一样。

d.常见故障分析 常见故障分析见表 1-19。

表 1-19 棒式针磨常见故障及排除方法

现象	故障原因	排除方法
机器振动	皮带长短不一 失去平衡产生振动 动针过度不均匀磨损 更换的动针不符合要求 动盘严重不均匀磨损 基础太弱 减震垫失效	成组更换皮带 停车寻找原因 更换全套动针 更换动针 更换动盘组件 加强基础 更换减震垫
有异常噪音	轴承损坏或破碎 动盘高度不一	更换轴承 停车调整动盘组件高度
有焦味	电机过热 皮带打滑	寻找原因 张紧或更换皮带
转速太低	皮带打滑 滚动轴承损坏	清洁或更换皮带 查明并更换损坏的轴承
主轴腔有水	主轴密封圈磨损或安装方向错误	换密封圈或纠正密封圈唇口方向，同时清理传动系统

1.6.4.2 卧式冲击磨

a. 主要规格和技术参数 卧式冲击磨技术参数见表 1-20。

表 1-20 卧式冲击磨技术参数

工艺参数	型号	DCML50	DCML63A	DCML63B	DCML63C	DCML100
	产量(以商品玉米计)/(t/h)		1~1.5	1~1.5	2~2.5	2~2.5
磨盘直径/mm		500	630	630	630	1000
转速/(r/min)			3300	3300	3300	
功率/kW		22~30	30	55	55	75~100
联接淀粉含量/%			≤18	≤18		
结构特点			液力传动装置主要部件为不锈钢的	液力传动装置全部为不锈钢的		
质量/kg			1300	1500	1500	

b. 主要结构特点 卧式冲击磨是由进料机构、转子(包括转盘和动转)、液力耦合器、传动齿轮、机座等部分组成。

电机通过液力耦合器与主机相联,由于液力传动的“软”特性,只有当电机转速达到额定值后,耦合器才开始传递力矩,驱动主轴与转盘。在工作中,若冲击磨超载,液力耦合器能自行卸荷,实现对电机的过载保护。卧式冲击磨结构如图 1-20 所示。

c. 操作与使用要求

①进料要求:进机物料水分为 75%~95%。送料必须稳定均匀,并有可靠的除铁装置。

②开车前用手盘动联轴器,检查磨腔内有无异常声音。如发现异常应及时检查。启动后空车运行 2~3min,然后依次启动喂料器、磨前脱水装置、输送泵,调整进料阀,使工作电流稳定在正常范围。如发现负荷过大应减小进料量。要保持喂料器内形成

料封，严防空气进入磨腔造成噪声过大。

③ 停车时必须先停止进料，使用过程因故障紧急停车，再次开车前应清除机腔内物料。

④ 定期检查针磨损情况，发现磨损严重应全部更换新针并做静平衡试验。

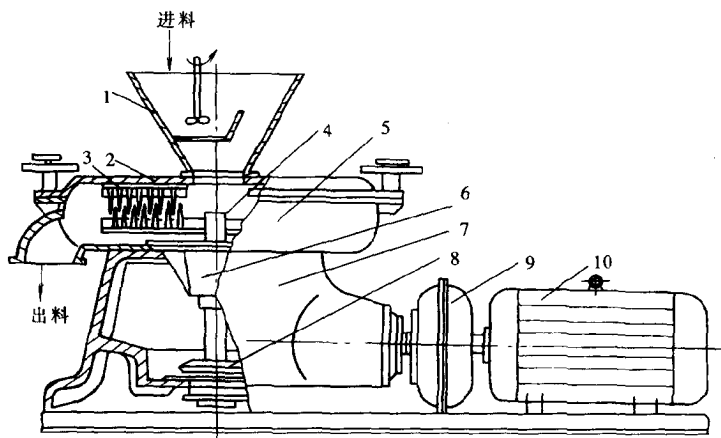


图 1-20 卧式冲击磨结构示意图

- 1—供料器 2—上盖 3—静针盘 4—转子 5—机体 6—上轴承座
7—机座 8—低轴承座 9—液力耦合器 10—电机

d. 常见故障分析 常见故障分析见表 1-21

表 1-21 冲击磨常见故障及排除方法

故障现象	故障原因	排除方法
启动困难	耦合器充油过多或过少 启动装置电路发生故障	检查耦合器充油量 检查配电柜
空车电流大, 停车后用手转动困难	磨腔内有杂物 立轴或横轴轴承损坏	打开机盖检查 更换轴承
产量偏低	进机物料浓度过低	调整工艺, 提高进料浓度
电机工作电流不稳	进料不均匀	改善供料机构

1.6.4.3 压力曲筛

压力曲筛是一种高效筛分设备，主要用于细淀粉乳的提取和纤维的洗涤。

a. 主要技术规格和技术参数

筛面弧角 : 120°
筛面圆弧半径 : 762mm
筛面宽度 : 585mm
筛理面积 : 0.94m^2
筛缝间隙 : $50\mu\text{m}$, $75\mu\text{m}$,

$100\mu\text{m}$ $120\mu\text{m}$ $150\mu\text{m}$

进料压力 : $0.2 \sim 0.4\text{MPa}$

喷嘴个数 :4个

喷嘴直径 : $19\text{mm}(3/4\text{in})$

生产能力 : $30 \sim 45\text{m}^3/\text{h}$

进料管直径 : $\phi 114\text{mm}$

筛上物出口 : $\phi 168\text{mm}$

筛下物出口 : $\phi 168\text{mm}$

外形尺寸 : $1090\text{mm} \times 757\text{mm} \times 2215\text{mm}$ (长 \times 宽 \times 高)

为适应不同生产能力的需要，减少生产设备投资，有的淀粉设备厂将一道标准型号的压力曲筛改制为两道压力曲筛使用，即在同一筛体内将筛面、喷嘴隔成两半，进料、出料管道也各做两套。这样小型玉米淀粉厂在投资额不大的情况下也可采用压力曲筛作筛分设备。

b. 主要结构特点 压力曲筛主要由筛面、给料器、筛箱、出口口等部分组成，见图 1-21。

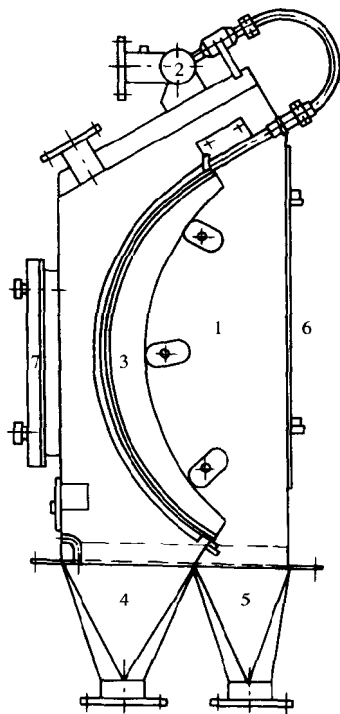


图 1-21 压力曲筛结构示意图

- 1—壳体 2—给料器 3—筛面
4—淀粉乳出口 5—纤维出口
6—前门 7—后门

c. 操作与使用要求

①使用前应先检查管路联接处的密封情况和喷嘴的方向。使用时进料流量、喷嘴个数、压力等项控制要协调。

②使用完毕要用毛刷蘸热碱性蛋白酶液或用碱液顺着筛缝方向刷洗筛面，再用高压热清水反复冲洗正、反筛面，以清除筛缝上的滞留物。

③经常检查筛分效果，如效果欠佳，可将筛面调头使用。如果使用恰当、物料含砂量不大，一般可使用半年后调头一次。

d. 常见故障分析 常见故障分析见表 1-22。

表 1-22 压力曲筛常见故障及排除方法

常见故障	故障原因	排除方法
筛分出浆不好	进料压力不够 喷嘴方向不对 进料浓度太高	调整压力 调正喷嘴的切线位置 调整进料浓度
淀粉乳中含渣量高	细磨浆料过细 筛条磨损严重 筛缝太宽	调整针磨工艺 筛面可调头使用 更换筛面
纤维渣中游离淀粉太多	洗涤水量不足 筛缝尺寸不当 洗涤级数太少	调整洗涤水量 选择筛缝 加大洗涤级数
筛面磨损太快	淀粉乳含砂量偏高	加用除砂设备
前后门漏浆	密封条损坏	更换密封条

1.7 玉米麸质分离与淀粉洗涤

分离纤维后的细淀粉乳还含有较多的蛋白质、脂肪、灰分等非淀粉类物质，特别是蛋白质含量较高，必须将其分离才能得到较纯净的淀粉。

1.7.1 细淀粉乳特性

在精制筛上过滤的淀粉悬浮液含有许多杂质（按干基计）：6%~10%的蛋白质；0.5%~1.0%的脂肪；2.5%~5.0%的可溶性物质，其中包括0.1%~0.3%的可溶性碳水化合物；0.2%~0.4%的灰分0.03%~0.04%的二氧化硫；0.1%的细渣及痕量的细砂。细淀粉乳的相对密度约等于1.53，pH为3.8~4.2 酸度165~210ml 0.1mol/L 氢氧化钠溶液，干物质含量为10%~13%。

细淀粉乳悬浮液主要是由各种不同大小的粒子组成：淀粉颗粒为5~30 μm ，渣皮不到60 μm ，麸质1~2 μm 。当麸质的微粒在沉淀时相互间粘在一起时，形成100~170 μm 大小的聚积物。悬浮液中各组分的相对密度也各不相同，它们分别为：淀粉1.61 纤维1.30，麸质1.18 细砂1.95~2.50。

1.7.2 麸质分离与淀粉洗涤基本原理

细淀粉乳中所含的淀粉及麸质在相对密度、粒径等方面有很大差别，利用这些差别，采用不同的方法可将其分离。目前，淀粉与蛋白质的分离按原理及操作方法不同分为三种。

1.7.2.1 离心分离法

在离心力作用下，淀粉与麸质的相对密度差增加了几倍，这时分离的速度和质量有很大提高。所以大中型淀粉厂都采用离心分离法来分离淀粉与麸质。

a 离心分离机分离法 淀粉离心分离机是一种高速旋转、连续出料的碟片喷嘴式分离机，主要是由转鼓、喷嘴、立轴、横轴、传动机构和进出料管构成（见图1-22）。转鼓内有一组用不锈钢制成的碟片，碟片均匀重叠。碟片间有一薄层空间（0.9~1.0mm）。常用分离机转鼓的外缘有8~12个喷嘴。含有麸质的淀粉乳由离心机上部的进料口送入转鼓，进入碟片沉降区后，高速旋转的

转鼓带动物料旋转产生很大的离心力，在强大的离心力场作用下，淀粉、麸质、纤维和脂肪等由于相对密度的差异较大，故所受离心力也不同，从而产生加速或滞后现象。其中相对密度较小的麸质、纤维和脂肪等由于所受浮力大于所受离心力，在碟片之间的薄层沉降区内沿碟片随水流沿碟片上行向中心移动，通过收集室由向心泵排出机外；密度较大的淀粉颗粒，由于受较大的离心力的作用，其离心力大于所受浮力和摩擦力作用，并足以克服其中的涡流的影响，故沿碟片向大端流动，被抛向转鼓的内壁，最后通过喷嘴排出机外。

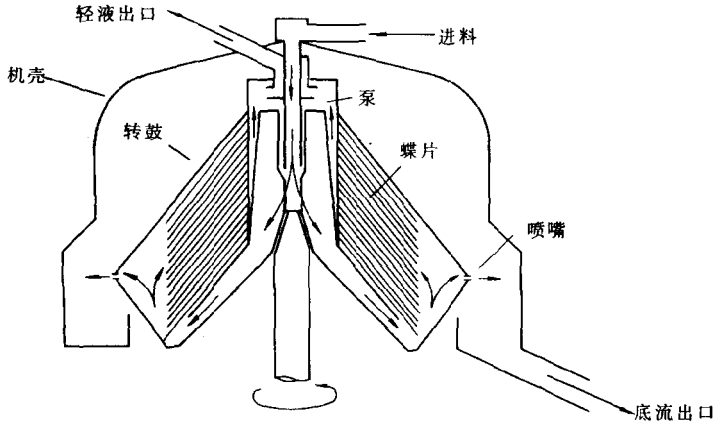


图 1 - 22 离心分离器工作原理图

b. 旋流器分离法 旋流器主要用于淀粉洗涤。旋流器是由圆柱体和圆锥体两部分组成，圆柱体顶部装有深入到圆柱体内部的溢流排料管。旋流器的工作原理是在离心力作用下使颗粒大小和相对密度不同的淀粉和麸质得到分离。物料在压力作用下沿切线方向进入旋流器，沿圆周方向高速旋转，由于离心力的作用，相对密度较大的淀粉颗粒具有较快的沉降速度被甩向旋流器壁随螺旋流下降至底部出口，通过底流口排出，这部分物料称为底流。而相对密度小的蛋白颗粒和液体具有较慢的沉降速度，在

内层绕中心轴线随螺旋流上升至顶部出口，从溢流口排出，这部分物料称为溢流（见图 1-23）。10mm 旋流器的分割点直径 d_{50} 为 $3 \sim 7\mu\text{m}$ 。

淀粉洗涤旋流器的类型有两种，直径分别为 10mm 和 15mm 每种又分为 A 和 B 两种类型。10mm A 型的进口直径为 2.5mm，顶流口直径为 2.5mm，底流口直径为 2.3mm，锥度为 6° ，这是典型的淀粉洗

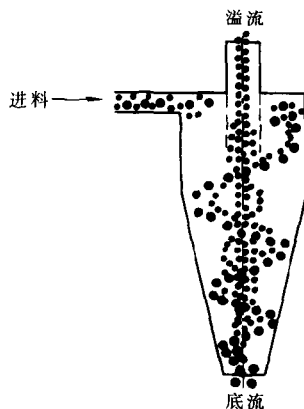


图 1-23 淀粉洗涤旋流器
工作原理图

涤旋流器类型，其液体分离比例为 60:40。10mm B 型的进口直径、顶流口直径与 A 型相同，但其锥度为 8° ，底流出口直径为 2.4mm，其液体分离比例为 70:30。B 型旋流器主要用于淀粉洗涤的最后一级，以增加底流的固性物含量。每级旋流器由几十至几百个小直径的旋流管组成。

1.7.2.2 气浮分离法

气浮分离法的工作原理是向淀粉悬浮液中吹入一定量的气体，气体呈气泡状上浮并将蛋白质及其他轻的悬浮粒子尽快浮起通过溢流挡板排走，从而达到分离的目的。

淀粉生产中，气浮分离法可以用于麸质分离和麸质浓缩。目前气浮分离法主要用于初级离心分离机排出的麸质水中蛋白质的浓缩，并回收其中含有的少量淀粉。初级分离机排出的麸质水浓度较低，分离机进行初级分离得到的轻相液物料浓度为 $0.6\% \sim 0.8\%$ 。悬浮液体中的干物质主要由麸质和淀粉组成，悬浮液含干物质 8g/L 其中 $60\% \sim 80\%$ 是蛋白质。在气浮槽中充入空气，使麸质形成泡沫而浮在水面上，最后从溢流口排出，而淀粉则沉入分离室底部，从底部排出，并作为过程水返回到工艺中。

麸质经气浮浓缩到 15g/L 左右，然后进入麸质浓缩机进一步浓缩或用沉淀池处理。

麸质液是呈高度分散状态的悬浮液。麸质中带有微小的淀粉颗粒，大小为 $2 \sim 10\mu\text{m}$ 。麸质是大小为 $1 \sim 2\mu\text{m}$ 的蛋白质微粒。在澄清过程中这些微粒相互粘合在一起时，形成达 $140\mu\text{m}$ 的聚集物而沉淀下来。然而，由于 κ 质的相对密度不大（约 1.180g/L ），并很易吸收水分，即具有亲水性（含水量可达 85%），悬浮液的沉积要经过缓慢的过程。在降低温度时沉淀过程变慢，这是因为系统的粘度提高了。二氧化硫浓度低于 0.035% 时物料沉淀也会受到不良影响，这是因为在物料加工过程中会有微生物滋生。在精心操作的情况下，一次加工浓缩的麸质的干物质含量达 8% ~ 10%，麸质中携带的淀粉损失为 5% ~ 10%。在澄清的麸质水中悬浮干物质的含量约 0.1%。

空气形成的气泡大小为 $0.5 \sim 30\text{mm}$ 。在相同的空气量时，气泡越小，液体与空气接触的表面积就越大，就越能有效地利用泡沫进行脂肪和蛋白质的分离。气泡大小取决于输入空气的数量，也取决于悬浮液的数量、浓度和粘度。

1.7.2.3 沉降分离法

沉降操作是依靠重力的作用，利用分散物质与分散介质的密度差异，使之发生相对运动而分离的过程。依靠地球引力的作用而发生的沉降过程称为重力沉降。淀粉生产中，是利用麸质与淀粉之间的密度差，使得它们可以通过沉淀速度差而分离。其淀粉的沉淀分离是将淀粉悬浮液置于沉淀池或长槽中，经过一段时间的沉淀，有一层黄色的麸质沉淀在白色的淀粉层上面，这时通过冲洗就可以使两者分离。

1.7.3 麸质分离与淀粉洗涤工艺流程

根据以上分离方法，淀粉与麸质分离的工艺流程有二种，即分离机分离流程、分离机 - 旋流器分离流程。

1.7.3.1 分离机分离工艺流程

我国有很多中型淀粉厂采用全分离机分离流程。全分离机分离流程中多采用四五台分离机串联的方法，见图 1-24。

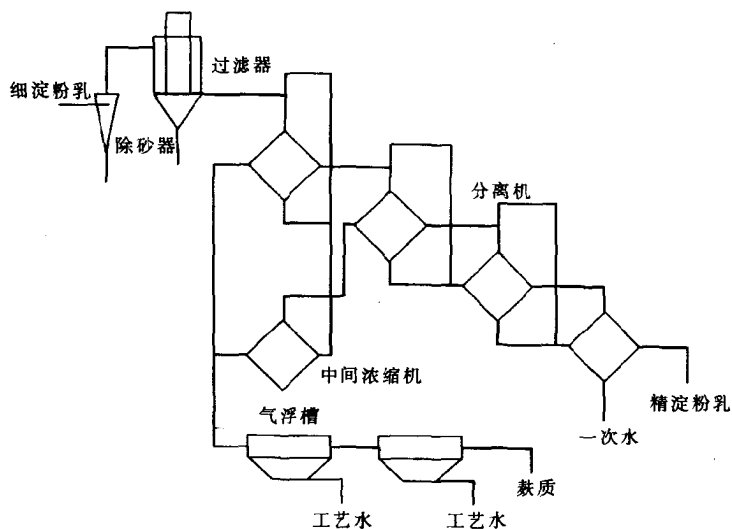


图 1-24 分离机分离工艺流程

该生产工艺是将细淀粉乳先送到除砂器除去细砂，然后再经过过滤器过滤出大于喷嘴孔的杂质，以免磨损分离机的蝶片和喷嘴，堵塞喷嘴，影响产量及分离效果。经过处理后的淀粉乳和中间浓缩机的底流合并，送入第一级分离机分离，在此级分离中用过程水或第二级分离机的部分溢流作洗涤水。经第一级分离后得到的溢流即为麸质水（黄浆），浓稠的底流被第三级分离机的溢流稀释后，进入第二级分离机，分离后底流进入第三级、第四级分离机。一次净水从最后一级进入，逐级往前返，达到逆流洗涤的效果。由于这种工艺流程把第二级分离机的部分溢流返回第一级分离机，实际上降低了分离机的分离生产能力。为了提高生产能力，可提高进料淀粉乳的浓度。第一级分离机的轻液和中间浓

缩机的轻液合并后进入气浮槽，经过两级气浮分离得到工艺水回用。麸质进行脱水干燥。

该工艺各机控制参数见表 1-23。

表 1-23 分离机分离工艺各级工艺控制参数

机号	进料浓度/ $^{\circ}\text{Bé}$	重液浓度/ $^{\circ}\text{Bé}$	轻液浓度/ $^{\circ}\text{Bé}$	物料量/ (m^3/h)	洗水量/ (m^3/h)	中间品蛋白含量/%
1	4.5~6	16~18	<0.2	22~25	4~5	3~4
2	7~9	17~19	<2		4~5	1.5~2
3	8~10	17~19	<4		3~4	0.7~1
4	10~11	18~20	<4		3~4	0.4~0.6
中浓	2~4	8~12	0			

1.7.3.2 分离机-旋流器分离工艺流程

由于玉米蛋白质微粒亲水性强，易聚集成团，采用分离机对粗淀粉乳进行初级分离时，既分离了麸质、浓缩了淀粉乳，同时也对淀粉乳中的蛋白质聚集团进行了破碎。然后再采用旋流器进行精制，更有利于保证产品的质量。因此，目前国内外普遍采用分离机-旋流器分离工艺流程（见图 1-25）。分离机-旋流器生产工艺比较灵活，根据产量的要求可选用多台分离机并联或将大型号的分离机和旋流器组合。

在这种生产工艺中，细淀粉乳先进入第一级分离机分离麸质。分离麸质后的淀粉乳浓度为 $11 \sim 13^{\circ}\text{Bé}$ ，然后和第二级旋流器的顶流混合后，用泵送入第一级旋流器，第一级旋流器的溢流进入中间浓缩机，分离出麸质和细淀粉乳。麸质和第一级分离机分离出的麸质混合后进入麸质处理工序，细淀粉乳回到第一级分离机前的细淀粉乳罐。第一级旋流器的底流和第三级旋流器的溢流混合后用泵送入第二级旋流器。底流顺次将淀粉乳送入最后一级旋流器，溢流顺次将麸质返回到中间浓缩机。洗水用于最后一级旋流器进料的稀释，旋流器将进料分离为重的淀粉底流和相对轻的顶流用于前一级进料的稀释。因此淀粉逐级被洗水稀释并且可溶性物质被送回前面，在每一级，不溶性的蛋白质和纤

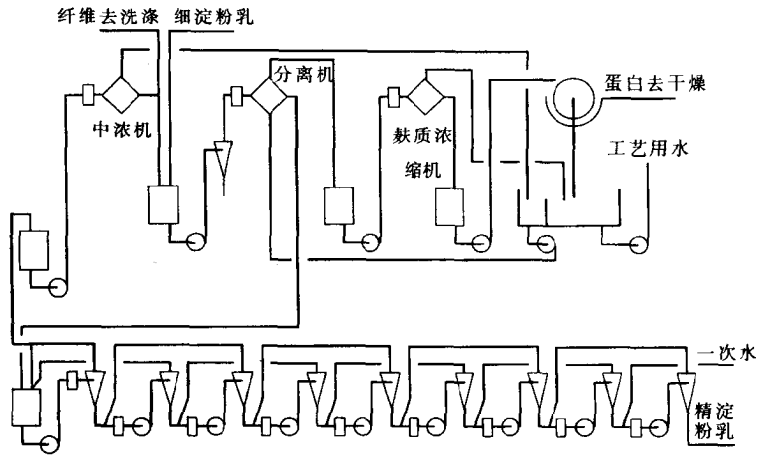


图 1-25 分离机-旋流器分离工艺流程

维性物质伴随少量的淀粉和可溶物从第一级顶流排出。精淀粉乳从最后一级底流排出，精淀粉乳浓度 $20 \sim 22^\circ\text{Bé}$ 。

旋流器由几十至几百个小直径的旋流管组成，进口、溢流出口和底流出口分别隔成三个部分。溢流为含麸质和可溶物的轻相液，底流主要为淀粉乳。旋流器一般使用 $9 \sim 12$ 级的，其管道逆流相接。为了达到物料平衡的目的，各台旋流器使用的旋流管数量有多有少，一般前级多后级少，后级多余的孔可用盲管堵塞。洗涤后淀粉乳中蛋白质含量可达 0.4% 左右（干基），严格操作亦可达到 $0.3\% \sim 0.35\%$ 淀粉乳浓度可达 $22 \sim 23^\circ\text{Bé}$ 。

7.4 麸质分离与淀粉洗涤工艺条件控制

7.4.1 分离机分离工艺指标控制

a. 温度 温度升高，淀粉乳粘度下降，蛋白质与麸质易于分离。因此，进入分离机的细淀粉乳应保持适宜的温度才能提高分离效率。细淀粉乳最适宜的进机温度为 $40 \sim 45^\circ\text{C}$ ，进分离机的洗水也加热至 40°C 左右，可大大提高分离效率。

b. 进料浓度 淀粉乳浓度增高，相对密度增大，麸质在淀粉乳中易于上浮，有利于 α 质分离，提高产量。浓度过高，溢流中含淀粉增多，影响淀粉收率和麸质的质量；浓度过低，在分离时底流中流出呈泡沫状的浓稠物，溢流浓度很低，排麸质极少。第一级分离机进料浓度保持在 6~7.5°Bé 较好。浓度低时可将第 3 级分离机底流返回粗浆罐进行调整，浓度过高时可加稀浆调节。

c. 喷嘴的选择 喷嘴大小决定了分离机底流的流量，根据底流浓度可以计算出干物质含量，即分离机的产量，再根据溢流流量和溢流浓度可计算出溢流的淀粉含量。喷嘴孔径与底流流量的关系见图 1-26。各级分离机对溢流的跑粉量有一定要求，根据这一要求及分离机底流干物质含量和进料浓度可以计算出分离机的进料流量。

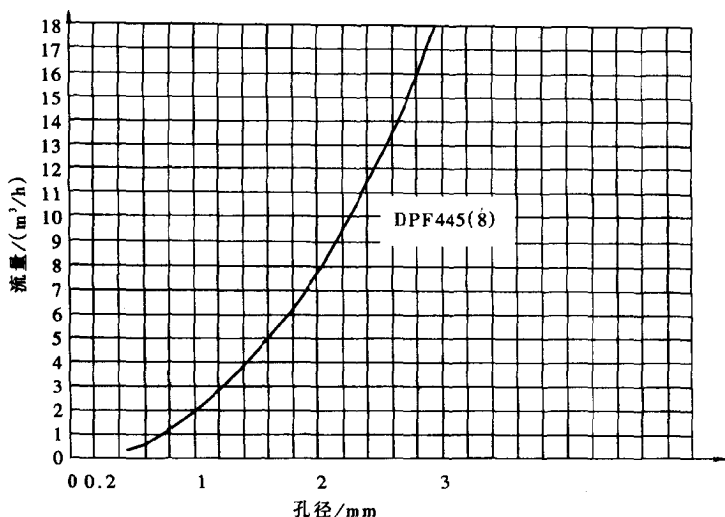


图 1-26 喷嘴孔径与流量关系图

DPF445(8)—分离机型号

分离机的生产能力与选用的喷嘴孔径有关。喷嘴孔径应根据悬浮颗粒的大小、进料流量和浓度、溢流和洗水的流量和浓度

以及底流的浓度来确定。喷嘴排出物流量可按下式计算：

$$q_v = \frac{q_{v1}(\rho_1 - \rho_4) + q_{v2}(\rho_2 - \rho_4)}{\rho_3 - \rho_4}$$

式中 q_v ——底流流量 (m^3/h)
 q_{v1} —— 进料流量 (m^3/h)
 q_{v2} —— 洗涤水流量 (m^3/h)
 ρ_1 —— 进料固形物含量 ($\text{g}/100\text{ml}$)
 ρ_2 —— 洗涤水固形物含量 ($\text{g}/100\text{ml}$)
 ρ_3 —— 底流固形物含量 ($\text{g}/100\text{ml}$)
 ρ_4 —— 溢流固形物含量 ($\text{g}/100\text{ml}$)

进料量也应根据进料浓度的高低随时进行调整。进料量和浓度成反比关系，也就是说浓度高时减少流量，浓度低时增大流量。因此，为了及时根据浓度调整流量，在分离机的进料管路上安装浓度测量装置是很有必要的。

分离机的底流浓度与进料浓度之比称为浓缩比，一般分离机的浓缩比为 2.4 ~ 1.25，浓缩比的高低应根据分离机在分离工艺中所处的位置来决定，前级分离机浓缩比较高，后级分离机浓缩比较低。进料浓度在比较稳定的情况下，底流浓度也应严格控制。浓缩比过高，麸质中带走淀粉增多；浓缩比过低，分离麸质量减少，也会影响淀粉的质量。

d. 洗水 分离机的洗水主要有三个作用：一是降低中空主轴上轴承和水密封圈因高速摩擦而引起的温升，二是清洗淀粉并使之成为乳浆状喷出，三是调节分离室内液体的流动状态。

通过控制分离室中液体的流动状态即向上或向下流动，可控制蛋白质的分离状况。若冲洗水的用量大于底流中的含水量，则分离室中发生上流现象，即分离室中的液体向上流动。在上流的情况下，溢流中含淀粉量高，因为较多的淀粉被裹带到溢流中去。若洗水的用量小于底流中的含水量，则分离室中发生下流现象，即分离室中的液体向下流动。在下流的情况下，溢流中含淀

粉量少，但底流含蛋白质较多。上流的量愈大，则溢流麸质水所含淀粉的量愈多，而底流含蛋白质量愈低，淀粉质量愈好，这正是最后一台分离机所需要的，而溢流则返回到前级分离机管路中去。下流的量愈大，则溢流中所含淀粉量愈少。如果底流含蛋白质较多，还可以再进入后面的分离机再次分离，而溢流麸质水中含蛋白质量高，可获得高质量的蛋白粉，这正是第一级分离机所承担的分任务。

e. 麸质水中蛋白含量与淀粉损失 在淀粉生产工艺中，麸质的分离都是在分离工序的初级阶段进行。第一级分离设备溢流中麸质和淀粉含量的高低，直接影响到淀粉的收率高低和蛋白粉的质量好坏。麸质水中的蛋白质含量和淀粉含量成反比，与淀粉的收率成正比，因此麸质水中的淀粉含量应严格加以控制。如果麸质水中淀粉含量高，则可能是进料量太大、洗水用量过多、底流浓度过高或喷嘴堵塞等因素所造成的，应及时查找原因加以调整。

蛋白中淀粉含量的简易测定方法为：采取蛋白样品，测定样品的含水量（ w ）。倒入 10ml 蔗糖溶液（63%）于 15ml 有刻度的试管中，称取一定量的样品（ m ）入试管中与蔗糖混合均匀，将试管放入试验离心机中，在 2 835r/min 下离心 10min，测定试管内淀粉体积（ V ）。淀粉质量为： $m_1 = 0.67 V$ ，淀粉含量计算公式为：

$$\text{淀粉含量} = \frac{m_1}{m(1-w)} \times 100\%$$

f. 分离机的工艺指标 分离机在生产工艺中所处的位置不同，其作用及任务也不相同。一级、二级或中间浓缩器的主要任务是把淀粉和麸质分开，分离出纯度较高的麸质水；三级或四级分离器的主要任务是把初级分离后的淀粉乳再进行洗涤、精制，除去大部分可溶性物质及蛋白质，达到商品淀粉的质量要求。

洗涤水压力为 0.05 ~ 0.10MPa 最大不超过 0.15MPa。洗涤水温度约 40℃。进料压力为 0.05 ~ 0.2MPa，压力必须保持稳定。

出料口背压应小于 0.2MPa。

1.7.4.2 旋流器洗涤工艺指标控制

a. 进料量 进入洗涤系统的物料量与破碎量、回流量和淀粉产量有关。淀粉产量按干玉米的 66% ~ 69% 计算。进料量是产量和回流量之和。进料的浓度为 17 ~ 20°Bé，一般为 19°Bé (15.5℃)。

b. 喂料量 在稳定的压力降下，每个旋流器通过的流量也是稳定的，只是随着进料浓度的变化而有微小变化。一旦流量确定，每级旋流器的旋流管数也就可以计算出来了。如果进料量小于理想流量，也必须保证每级进料的淀粉含量。

c. 波美度分布 每一级旋流器的底流波美度在一定的进料浓度下是自我限定的。由于第一级进料浓度较低，底流浓度为 21°Bé(15.5℃)；最后一级选用 B 型旋流器，底流浓度为 23°Bé(15.5℃) 其余各级为 22°Bé(15.5℃)。最后一级顶流的浓度为 8 ~ 10°Bé(15.5℃)；第一级顶流的浓度受其他参数的控制，通常固定在 2 ~ 5°Bé(15.5℃)；中间各级顶流浓度应稳定逐级增加。

d. 温度 温度高低影响淀粉乳的粘度，即影响分离效果。淀粉乳在高速离心分离过程中因摩擦而使温度升高，温度过高会使淀粉颗粒膨胀甚至糊化而堵塞旋流器，这在生产中是不允许的。最适宜的洗涤温度为 49 ~ 52℃。

e. 进料浓度 淀粉乳的浓度是影响旋流器的主要因素。浓度过高，粘度增加，影响分离效果，同时溢流的浓度也相应增加，影响收率；浓度过低，生产能力降低。根据旋流器的级数不同，进料浓度一般控制在 11 ~ 17°Bé。

f. 压力 旋流器的进料压力高低直接影响分离效果。一般进口与溢流口之间的压力差为 0.45 ~ 0.65 MPa。要保持这样高的压力差，进口压力不得低于 0.6 MPa。但是，如果压力过高，也会影响分离效果，因为压力高离心力大，溢流和底流浓度差加大，溢流中蛋白质含量减少，影响洗涤效果。同时压力过高，设备耗能增加，设备使用周期也会受到影响。

g.回流量 为了最大量地去除不溶性的蛋白质和纤维性物质，必须有一定量的淀粉通过第一级溢流进入中间浓缩系统，实验证明其数量应为进料量的 20% ~ 28%。其流量控制由间接控制最终淀粉流量来实现。

h.洗水 洗水必须是经过除砂、软化处理的净水，硬度低于 1.43mmol/L。洗水温度应预先加热到 41 ~ 43℃，和整个系统的淀粉乳温度一致。洗水量对洗涤效果影响也很大，它与洗涤级数、进料浓度、进料压力及分离效率有关。一般洗水量与绝干淀粉的比对九级系统为 (2.5 ~ 2.8):1，在生产中可根据实际情况灵活调整 (见图 1-27)。

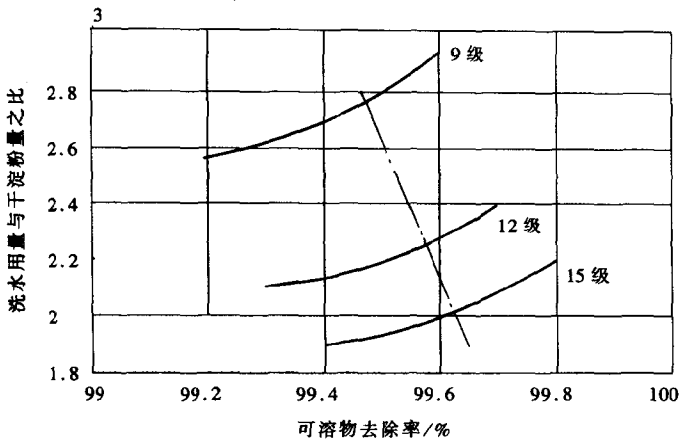


图 1-27 淀粉洗涤可溶物去除率

i.旋流器的工艺指标 旋流器所装旋流管的型号不同，工作压力不同，其用途也不同。旋流器串联的级数为 9 ~ 15 级，2 ~ 3 级初级旋流器用于回收麸质和可溶物，4 ~ 12 级用于淀粉洗涤。

淀粉洗涤旋流器系统很容易受到各种因素的影响，特别是旋流管的破裂、堵塞、密封、渗漏等，需要定期或在出现问题时对系统进行测定。测定项目包括：压力降，每一级的顶流、底流和进料

波美度，系统进料的流量和波美度，第一级的顶流和最后一级的底流流量，洗水量等。测定波美度时应将温度记下，将波美度矫正到 15.5℃。

回收率是指进料固形物通过底流的数量，它是评价该系统稀释浓缩作用的主要指标。计算公式为：

$$REC = \frac{q_v / q_{v1} \times UB}{FB}$$

式中 REC —— 回收率

q_v —— 底流流量 (m³/h)

q_{v1} —— 进料流量 (m³/h)

UB —— 底流波美度 (°Bé)

FB —— 进料波美度 (°Bé)

某一级回收率比设定值小时，表明旋流管堵塞或破裂，或者是压力降太小，或者是进料波美度太高；若回收率太高，说明进料波美度太低。在极端情况下，如某一级的顶流波美度为零，所有的淀粉都进入底流，在这种情况下，在这一级及以后的各级不可能去除不溶性蛋白质等。

1.7.5 典型设备介绍

1.7.5.1 除砂旋流器

除砂旋流器在使用中常将两级并联来提高生产能力，再与一级串联来提高分离效果。

a. 主要规格和技术参数 除砂旋流器主要技术参数见表 1-24。

表 1-24 除砂旋流器技术参数表

型号	CSX7.5	CSX15
工艺特性		
生产能力/(m ³ /h)	8~10	30~40
锥体最大直径/mm	75	150
锥体高度/mm	280	500
工作室总高/mm	390	1 050
进料压力/MPa	0.25~0.3	0.25~0.35

b.主要结构特点 本设备主要由除砂和砂子收集两大部分组成，圆锥部分采用耐磨不锈钢或陶瓷材料制造，示意见图 1-28。

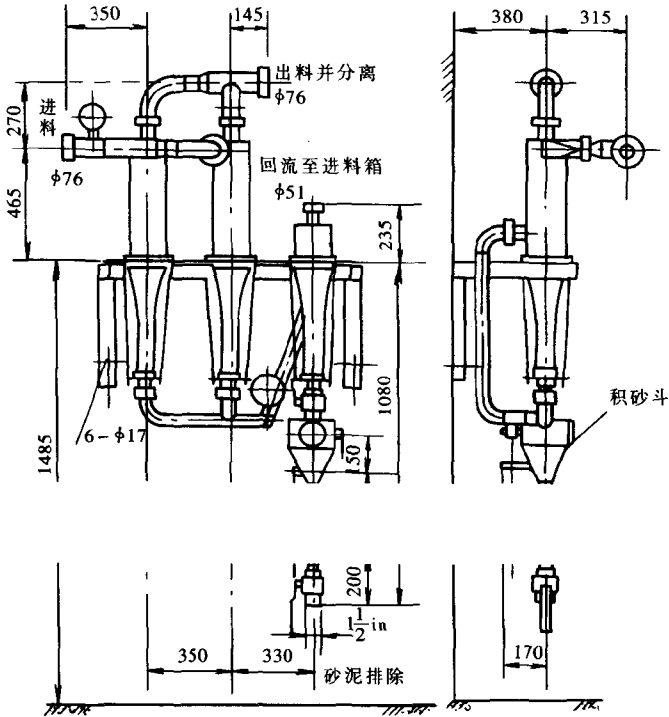


图 1-28 除砂器结构示意图

注 :1 in = 2.54cm

c. 操作与使用要求

- ①首先在旋流器中充满水，然后再启动料泵开始进料。
- ②调节反冲水流量与进料流量使其协调，使积砂斗的泥砂中不含或少含淀粉。
- ③及时排放积砂斗中的泥砂。
- ④保持稳定的工作状态。
- ⑤定期检查各管接头处的密封状况，以防泄漏。
在使用清理中禁止用力敲打，以防变形。
- ⑥在使用操作中，若压力不够，分离效果欠佳，应检查是否有

泄漏点或泵出现故障。如有泄漏点或泵出现故障，应立即采取措施维修或更换。

1.7.5.2 分离机

该机是一种碟式喷嘴离心分离型连续出料的分离设备，它对于含固体较少而又不易分离的悬浮液或乳液都有较高的分离效果，玉米淀粉生产中用于对含有麸质的淀粉乳进行麸质分离，及对含有可溶蛋白的淀粉乳进行洗涤分离。

a. 主要规格和技术参数 蝶片离心分离机技术参数见表 1-25。

表 1-25 蝶片离心分离机技术参数

型号	DPF355/7	DPF445/10	DPF500A	DPF550
技术指标				
转鼓直径/mm	350	445	515	550
转鼓转速/(r/min)	4 600	4 450	4 460	4 500
碟片数量/片	70	75	70	125
碟片直径/mm				429
碟片锥角/(°)				40
喷嘴个数/个	8	8	12	12
喷嘴孔径/mm	1.2~2.2	1.2~2.5	1.6~2.5	0.5~3.0
分离因素	4 726	4 935	5 730	6 230
处理量/(m ³ /h)	8~12	15~30	30~40	70
进料压力/MPa			0.05~0.15	
溢流口背压/MPa	0.15	<0.2		0.3
洗水压力/MPa		≤0.15	0.05~0.1	0.05~0.15
配用电机功率/kW	15	30	37	55

b. 主要结构特点 该机主要由转鼓和机座两个主要部分组成。转鼓内有一组用不锈钢制成的碟片，碟片均匀重叠，相互间有一薄层空间。转鼓外缘装有八个红宝石喷嘴，喷嘴的孔径有 $\phi 1.3$ 、 $\phi 1.4$ 、 $\phi 1.45$ 、 $\phi 1.6$ 、 $\phi 1.8$ 、 $\phi 2.0$ 、 $\phi 2.2$ 、 $\phi 2.25$ 、 $\phi 2.5$ mm 等 9 种

规格。机座上装有电机，电机水平轴通过齿轮传动将主轴增速，从而带动主轴上的转鼓高速旋转。在机座上半部设有进料管、溢流（轻相）出口、底流（重相）出口及机盖，在机座下半部设有供洗涤水用的离心泵（底泵）及电动机的启动与刹车装置。分离机主要结构如图 1-29 所示。

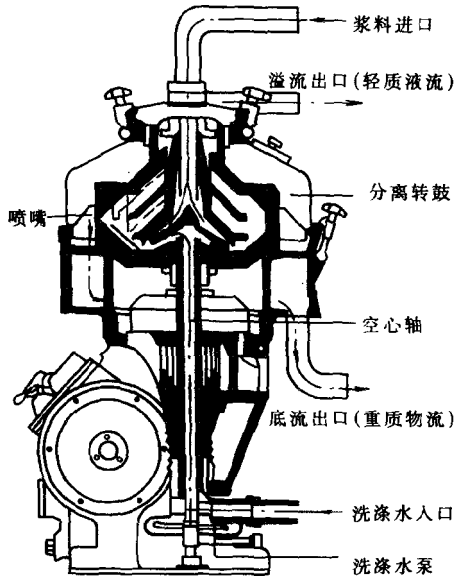


图 1-29 蝶片分离机结构示意图

c. 操作与使用要求

②该机是高速精密机器，开车、停车、拆卸、安装、维护保养必须严格按使用说明书的规定进行。

③物料进机前必须经除砂、过滤处理，严防大颗粒杂物进入转鼓而堵塞喷嘴，引起机器振动。

④一旦发现振动、异响、异味时应立即停车，停车时先停料再停车，最后停水。停车后按规定拆卸、检查、清洗。

⑤尽量避免突然停电而引起的停车。一旦突然停电，立即切

断进料，但洗涤水不能停。

⑥在使用过程中正常停车（如交接班），在停车后或开车前，必须进行拆卸、检查、清洗。正常使用时应尽量减少停车次数，但一次开车时间达 24h 时，必须停车进行清洗。

在麸质分离淀粉精制系统中，往往需要几台分离机串联使用，每台的工艺指标（进料浓度、流量、洗涤水流量、溢流浓度等）必须按要求严格控制，以获最佳工艺效果。

d. 常见故障分析 常见故障分析见表 1-26。

表 1-26 蝶片分离机常见故障分析

常见故障	故障原因	排除方法
机器振动	<ol style="list-style-type: none"> 1. 当机器升速或减速，通过临界转速时，产生正常的中等振动 2. 清洗不净，装配不良，过紧或过松地拧动锁紧环，转鼓上装上了其他机器部件或喷嘴阻塞 3. 减震橡胶垫圈失去弹性 4. 支撑弹簧损坏 5. 基础脆弱 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不作处理 2. 立即停车查明原因，过紧或过松地拧动锁紧环，将会发生危险 3. 更换橡胶垫 4. 更换全部六只弹簧 5. 加固基础
转速过高	<ol style="list-style-type: none"> 1. 转速表读数有误 2. 转动有误 3. 电机转速不合适 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 校正转速表 2. 立即停车查明原因 3. 立即停车更换正确转速电机
转速太低	<ol style="list-style-type: none"> 1. 刹车起作用 2. 离合器摩擦片有污或磨损 3. 动力线电压降低 4. 滚珠轴承损坏 5. 机器其他缺陷或高度调整不够 6. 电机故障 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 松开刹车 2. 清洗摩擦片或更换全部摩擦片 3. 校验动力线电压 4. 查出并更换有缺陷的轴承 5. 立即停车检查一下用手能否转动转鼓，有无摩擦 6. 更换或检修电机
启动功率太低	<ol style="list-style-type: none"> 1. 电流表损坏或读数有误 2. 离合器衬垫油污或磨损 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 检修或调换 2. 同“转速太低 2.”处理
启动功率太大	<ol style="list-style-type: none"> 1. 电流表读数有误 2. 电机有故障 3. 滚珠轴承损坏 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 检修或调整 2. 修理或更换电机 3. 查明并换去损坏的轴承

续表

常见故障	故障原因	排除方法
开车低速时间过长	刹车衬垫油污或磨损	清洗或更换刹车衬垫
离合器有噪音	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一般在开车或停车时,由于摩擦片的滑动所致 2. 联轴节轮与摩擦片间作用不良 3. 转速太低 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 正常规律,不需处理 2. 调整 3. 见“转速太低”处理栏
有味	<ol style="list-style-type: none"> 1. 通常在开停车时摩擦片打滑产生焦味 2. 轴承发热 3. 电机过热 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不作处理 2. 查明原因更换新轴承 3. 查明原因,调整过载电流继电器
螺旋齿轮箱有噪音	<ol style="list-style-type: none"> 1. 由于冷凝水,油面提高 2. 油面提高,从顶轴承处发生漏水 3. 轴密封环不紧或旋转方向不对 4. 大小螺旋齿轮磨损 5. 滚动轴承磨损或损坏 6. 油质油污,漏油或多油 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 排除冷凝水,同时检查油质 2. 更换或调整密封环,检查油质 3. 更换密封环并调整旋转方向 4. 更换磨损的全套轴承 5. 更换轴承 6. 查明原因,加油或更换新油
分离液含量不正常	<ol style="list-style-type: none"> 1. 喷嘴堵塞 2. 通过量过多 3. 转鼓底与罩盖间积存渣子 4. 转速降低达不到分离要求 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 检查喷嘴及过滤器 2. 减少进料量 3. 清洗及检查油的位置高度 4. 检查是否速度太低
液体从转鼓排泄口排出	<ol style="list-style-type: none"> 1. 转鼓与转鼓盖及转鼓盖与顶盖之间密封环不密封 2. 大锁紧环拧得不紧 3. 蝶片过多 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 停车检查,更换密封环 2. 停车拧紧锁环 3. 调整片数
泵失效或其输出量太低	<ol style="list-style-type: none"> 1. 泵空转 2. 吸水管泄漏 3. 进口压力太低 4. 过滤器或管道堵塞 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 排除泵内空气 2. 拧紧接头,排除空气 3. 增加进口压力 4. 清除堵塞,排除空气
有刮削声	转鼓或向心泵高度位置调整不正确	停车调整
泵的密封环磨损快	<ol style="list-style-type: none"> 1. 机器开车或刹车时无液体通过进出口 2. 出口或进口的液体压力特别高 3. 与密封环相配套的旋转表面被划伤或磨损成槽 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 更换密封环 2. 降低进出口液体压力 3. 清洗抛光或更换磨损的套,更换密封环

1.7.5.3 三相分离机

SDA 系列的三相分离机，是德国韦斯伐里亚公司于 20 世纪 90 年代开发出的专门用于淀粉加工的新型分离机，并在欧洲、美国和世界其他地区的玉米、小麦、马铃薯和木薯淀粉加工行业，作为淀粉分离、澄清和洗涤离心机得到广泛的应用。

a. 主要规格和技术参数 一台 SDA110 型三相分离机在玉米淀粉工厂的生产能力可达到年产 10 万吨淀粉，工艺性能参数见表 1-27。

表 1-27 SDA110 型三相分离机生产参数表

项目	单位	进料	洗涤水	底流	中相	溢流
流量	m ³ /h	90	8	47	12	39
密度	kg/m ³	1 093	1 006	1 164	1 031	1 010
浓度	°Bé	11.1	0.2	19.4	1.4	0.5
干物质量	kg/h	21 154	121	19 421	928	985
总蛋白量	kg/h	1 988	75	816	594	532
可溶性蛋白量	kg/h	846	70	350	102	492
水流量	m ³ /h	77	8	35	11	38
干物质量	%	21.5	1.5	35.5	7.5	2.5
总蛋白量	%	9.5	-	4.2	64	-
可溶性蛋白量(干基)	%	4	-	1.8	11	-
淀粉含量	%(体积分数)	32	0	61	0	0
纤维含量	%(体积分数)	1	0	0.5	0	0
蛋白含量	%(体积分数)	7	1	4	27	1.5

b. 主要结构特点 与目前广泛使用的两相碟片喷嘴分离机相比，三相分离机有一个进料口、三个出料口，即除了底流和溢流外，增加了中相，中相的相对密度介于底流和溢流之间，对于玉米淀粉加工来说，底流是浓度为 18~19°Bé 的淀粉乳，溢流是澄清后的工艺水，中相是蛋白和细纤维类的物质，但浓度比两相分离机的高很多倍。

可以理解为三相分离机是两台起不同作用的分离机结合在一台离心机内工作，第一台分离机是一台澄清离心机，50%的水

被分离出来，并作为溢流，这部分工艺水经过碟片的澄清作用，含有的悬浮固体很低，而可溶性物质含量比较高，完全能满足工艺水的品质要求。而中相是麸质，它的浓度在 5% ~ 7% (干基 δ 取决于进离心机的浓度)，比两相分离机的溢流要高得多。

与两相分离机一样，三相分离机也是由碟片、喷嘴、转鼓进料系统、向心泵等主要部件组成，只是在转鼓内为中相额外设置了一个通道，并增加了一台向心泵。由于离心力的作用，混合物中的淀粉组分在进入高速旋转的转鼓后，立刻聚集在转鼓的最大外径区域——喷嘴周围，从喷嘴中排出的相对密度比淀粉要小的细纤维和蛋白质，会聚集在淀粉区域的前方，通过在碟片组上方的通道进入到中相的向心泵中。经过高速旋转的碟片的澄清作用，99% 以上的不溶性固体都被离心力所捕捉到，从溢流口排出的液体是很清的。独立的洗涤水系统，将洗涤工艺水直接输送到喷嘴的淀粉聚集区域，达到置换洗涤的效果。维持恒定的洗涤水流量，此洗涤水的出口压力与淀粉的浓度成正比关系。

c. 操作和使用要求 三相分离机在玉米淀粉加工中主要用于以下三方面。

④作为淀粉和麸质分离的主分离离心机：淀粉乳的底流浓度和分离效率与两相离心机一样，溢流的澄清度很高，可以作为工艺水直接使用。中相的麸质浓度亦很高，可以直接进入卧螺离心机脱水，也可以进入麸质浓缩离心机浓缩。由于浓度高，浓缩离心机的浓度比由原来的 10 倍左右降低到 5 倍以下，可以提高浓缩离心机的处理量，并改善浓缩离心机的操作条件。

⑤作为澄清离心机：用于处理淀粉洗涤的溢流。与主分离机一样，将其按照物料的成分分成三种流向。澄清离心机的底流为淀粉乳，作为主分离离心机的进料；溢流是工艺水，视工艺的需要分配；中相是浓度比较高的麸质，可以直接进入麸质脱水物料或进入到麸质浓缩离心机进行浓缩。

⑥用于洗涤及麸质浓缩：三相分离机作为淀粉洗涤装置时，

可以实现真正的逆流洗涤过程。离心机的分离效果比旋流器大，洗涤效率高。

通过对实际生产数据（见表 1 - 27）的分析发现，三相分离机的底流淀粉乳的浓度为 19°Bé ，总蛋白含量 4.2%，其中可溶性蛋白占 1.8%，不可溶性蛋白为 2.4%。离心机采用洗涤水来提高洗涤效果，洗涤水流量为 $8\text{m}^3/\text{h}$ ，这部分洗涤水是工艺过程水，干物含量为 1.5%，干物中含有高达 62% 的总蛋白（db）。如果采用品质好一些的洗涤水，离心机的底流的淀粉乳的品质会更好。

溢流的固形物含量很低，为 2.5%，总蛋白含量占干物的 54%，其中可溶性蛋白占 50%，说明溢流中主要是含有大量的可溶性物质，可用来作工艺中的过程水使用。

中相的总蛋白含量达到 64%（干基），分析表明，其中淀粉很少。中相的干物质浓度高达 7.5%，与两相分离机（浓度通常是在 1% ~ 1.5%）相比，浓度大幅度提高。

应该指明的是，本生产过程中离心机的进料浓度比较高（ 11°Bé ）如果在目前国内的普遍玉米淀粉加工工艺中使用，要有一道浓缩的工序。

1.7.5.4 淀粉洗涤旋流器

a. 主要规格和技术参数 淀粉洗涤旋流器技术参数见表 1 -

28。

表 1 - 28 淀粉洗涤旋流器技术参数

规格型号	DX - 275	XLQ - 99	XLQ - 170	XLQ - 220	XL - 168
每级内旋流管数量/个	275	99	170	220	168
流量/ (m^3/h)	15 ~ 30		35 ~ 45	38 ~ 65	35
工作压力/MPa	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
配泵功率/kW	11	15	18.5	22	15
进口与溢流压力差/MPa		0.45 ~ 0.6		0.45 ~ 0.6	
旋流管直径/mm	10	10	10	10	10
生产量/(万 t 淀粉/年)	1 ~ 2	0.8 ~ 1.4	1.5 ~ 3	2.5 ~ 5	1.5 ~ 3

b. 主要结构特点 在玉米淀粉生产中往往采用 9 - 12 级旋流器构成的旋流器机组进行细淀粉乳的洗涤精制。在每级旋流器中淀粉乳用泵压入中心室，然后同时进入各个旋流管。高速进入圆锥分离室的浆液产生离心力，将较重的淀粉从底流口甩出；而较轻的麸质则从溢流口排出。浓缩了的淀粉乳用下一级旋流器排出的溢流稀释，形成整个系统的逆流洗涤。新鲜水只在最后一级加入，溢流逐级向前直至从第一、二级溢流口排出。淀粉洗涤旋流器结构见图 1 - 30 和图 1 - 31。

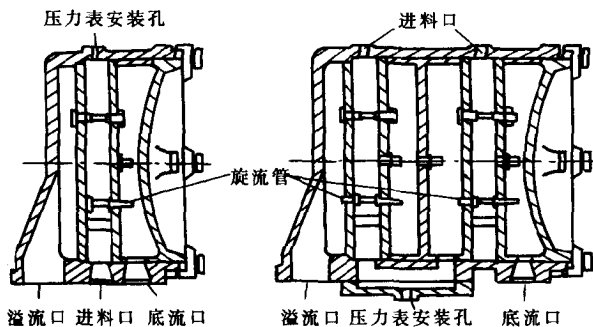


图 1 - 30 XLQ 型淀粉洗涤旋流器结构示意图

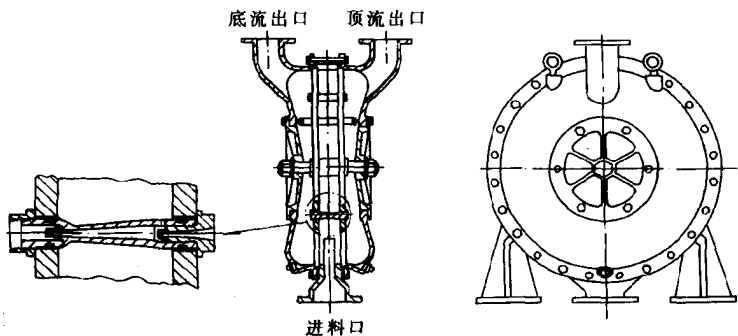


图 1 - 31 哈壳式淀粉洗涤旋流器结构示意图

c. 操作与使用要求

④启动前检查内容：

洗涤水罐是否充满，液位控制器是否处在工作状态。

密封水是否已供给泵。

泵是否运转正常。

第一级进料阀门是否关闭。

最后一级底流阀门是否关闭。

⑤启动顺序：

启动洗涤水泵，额定洗涤水量；

按顺序启动各泵，从第十二级到第二级。

稍开第一级进料阀。

启动第一级进料泵。

稍开最后一级底流阀。

逐渐打开进料管阀。

最后一级底流浓度瞬间达到 22°Be 时，底流阀逐渐打开以保持 22°Be 的浓度。

调节所有的阀，以达到正确的浓度。

⑥停车顺序：

停止进料，关闭进料阀。

停止进料泵，其顺序为从第一级到第十二级。

关闭最后一级底流阀。

洗涤水阀节流。

打开排放阀。

冲洗整个系统。

关闭排放阀。

停洗涤水泵，关闭进水阀。

⑦维护与保养：经常检查旋流器中旋流管是否堵塞或磨损，发现堵塞应及时更换上清理好的旋流管。堵塞的旋流管须用稀酸与清水冲洗好后备用。磨损主要是对旋流管的内壁、底流口、

溢流口而言,一般来说,当超出原直径 0.2mm 时应更换。

d. 常见故障分析 淀粉洗涤旋流器是一种静止设备,运行时极少发生故障,良好的工艺效果主要靠工艺参数调节。

1.8 淀粉机械脱水与干燥

精制淀粉乳除直接用于深加工外,多数还要经脱水、干燥后保存和运输。干淀粉是由淀粉乳经机械脱水和气流干燥得到的。干淀粉一般含水分 $12\% \sim 14\%$ 。机械脱水方法比较便宜,用加热方法排除水分的费用是机械方法的三倍,因此,要尽可能地用机械方法从淀粉中排除更多的水分。但是,机械方法脱水也受到限制,实际上用离心机进行玉米淀粉的机械脱水只能达到 34% 的水分脱除。利用真空过滤机进行脱水后淀粉水分为 $40\% \sim 42\%$ 。用机械方法脱水的淀粉乳,能排除总水分的 73% ,用干燥方法能排除 15% ,还有大约 12% 的水分残留在干淀粉中。

1.8.1 机械脱水

淀粉机械脱水通常采用离心机、虹吸离心机、真空吸滤机等。

1.8.1.1 淀粉机械脱水基本原理

用来从悬浮液中分离出淀粉颗粒的设备,是利用惯性离心力的作用进行分离。离心机的主要工作部件为一快速旋转的转鼓。转鼓安装在竖直或水平的轴上,由电机带动。料浆送入转鼓内随转鼓旋转,在惯性离心力作用下实现分离。有孔的鼓内壁面覆以滤布,则液体被甩出而颗粒被截留在鼓内,从而实现分离。由于在惯性离心力场中可以得到较强的推动力,用惯性离心力进行分离较重力作用下的分离速度高且效果好。惯性离心力场强度与重力场强度之比称为分离因素,它是反映离心机分离性能的重要指标。淀粉行业离心机的分离因素一般为 $400 \sim 3000$ 。

1.8.1.2 淀粉机械脱水工艺流程

如图 1-32 所示，原料淀粉乳收集槽通常位于淀粉车间，淀粉乳来自淀粉洗涤旋流器的最后一级底流。淀粉乳用泵送到位于离心机上部的高位槽，高位槽上部装有溢流管，下部出口用管道与离心机相连，管道上装有阀和观察窗，通过观察窗可以看到供料情况。淀粉乳经脱水后，湿淀粉送到气流干燥机，滤液回到淀粉麸质分离工段。

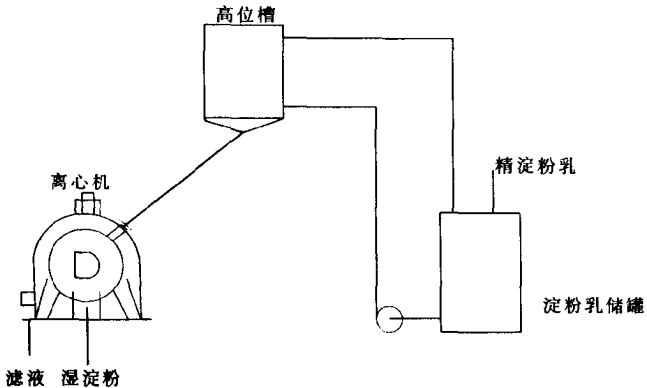


图 1-32 淀粉机械脱水工艺流程

1.8.1.3 淀粉机械脱水工艺条件控制

a. 加料 加料可分为两个阶段，第一阶段为加满阶段，可进行 4~6 次加料，每次时间为 2~3s，每加一次料的间隔时间为 6~10s。第二阶段为满溢阶段，待料加满后还需要再加一二次，每次加料时间为 2s 左右，间隔约 10s。

b. 分离 待料外溢后进行 1.5~2min 的脱水分离过程。

c. 卸料 脱水结束后即可提刀卸料，为了防止刮破滤网，一般应控制剩余料层厚度 10~15mm。

卸料结束便完成了一个操作循环。

1.8.2 干燥

干燥是利用热能除去淀粉中水分的操作工序。淀粉干燥时采用气流干燥方式，即利用高速的热气流将湿块状物料分散成淀粉颗粒状而悬浮于气流中，一边与热气流并流输送，一边进行干燥。淀粉气流干燥器的特点是：

④干燥强度大。这是由于干燥时物料在热风中呈悬浮状态，每个颗粒都被热空气所包围，因而使物料最大限度地与热空气接触。除接触面积大外，由于气流速度较高（一般达 $20 \sim 40\text{m/s}$ ）空气涡流的高速搅动使气-固边界层的气膜不断受冲刷，减小了传热和传质的阻力。尤其是在干燥管底部因送料器叶轮的粉碎作用，效果更显著。

⑤干燥时间短，干燥时间只需 $1 \sim 2\text{s}$ ，因为是并流操作，所以特别适宜于淀粉物料的干燥。

⑥由于干燥器具有很大的容积传热系数及温差，对于完成一定的传热量所需的干燥器体积可以大大减少。

⑦由于干燥器散热面积小，所以热损失小，热效率高。

⑧结构简单，易维修，成本低。操作连续稳定，适用性强。

缺点是由于全部物料由气流带出，气流大，全系统阻力大，动力消耗大，干燥管较长。

1.8.2.1 淀粉干燥基本原理

干燥进行的必要条件是物料表面的水蒸气的压强必须大于热空气中水蒸气的分压。两者的压差愈大，干燥进行得愈快，所以干燥介质应及时地将气化的水汽带走，以便保持一定的传质推动力。若压差为零，则无净的水汽传递，干燥也就停止了。由此可见，干燥是传热和传质相结合的过程，干燥速率同时由传热速率和传质速率所支配。

当颗粒最初进入干燥管时，其上升速度等于零，气体与颗粒间有最大的相对速度。然后，颗粒被上升气流不断加速，二者的

相对速度随之减小，至热气流与颗粒间的相对速度等于颗粒在气流中的沉降速度时，颗粒不再被加速而进入等速运动阶段，直至到达气流干燥器出口。也就是说，颗粒在气流干燥器中的运动，可分为开始的“加速运动阶段”和随后的“等速运动阶段”。在等速运动阶段，由于相对速度不变，颗粒的干燥与气流的绝对速度关系很小，故等速运动阶段的对流传热系数是不大的。此外，该阶段传热温差也小。因为这些原因，所以此阶段的传热速度并不大。但在加速运动阶段，因为颗粒本身运动速度低，颗粒与气体的相对速度大，因而对流传热系数以及温差均大，所以在此阶段的传热和传质速率均较大。

从实际测定得知，干燥器在加热口以上 1m 左右的圆筒里干燥效率最大。此时从气体传到颗粒的热量可达整个干燥管内传热量的 $1/2 \sim 3/4$ 。所以要提高气流干燥机的干燥效率或降低干燥管的高度，就应尽量发挥干燥管底部加速段的作用和增加颗粒与气流之间的相对速度。强化气流干燥的方法之一是脉冲式气流干燥，即用直径交替缩小与扩大的脉冲管代替直管。加入物料首先进入管径小的干燥管内，气流以较高速度流过，使颗粒产生加速运动。当其加速运动终了时，干燥管直径突然扩大，由于颗粒运动的惯性，使该段内颗粒运动速度大于气流。颗粒在运动过程中，由于气流阻力而不断减速。直至减速终了时，干燥管直径再突然缩小，颗粒又被加速。重复交替地使管径缩小与扩大，颗粒的运动速度在加速后减速，又在减速后加速，永远不进入等速运动阶段，从而加快了传热和传质速度。

1.8.2.2 淀粉干燥工艺流程

淀粉干燥工艺有多种类型，其主要形式为正压气流干燥和负压气流干燥。

正压气流干燥（见图 1-33）装置中，风机位于换热器和干燥管之间，干燥管内的气体为正压。被干燥的湿淀粉首先送入风机内，在高速旋转的风机叶片打击作用下，将湿物料破碎并送入干燥管，

干燥后的物料经刹克龙卸料器收集，排放的空气再经过收集塔回收淀粉。该工艺可以较好地保证淀粉细度，但风机叶片磨损较大。

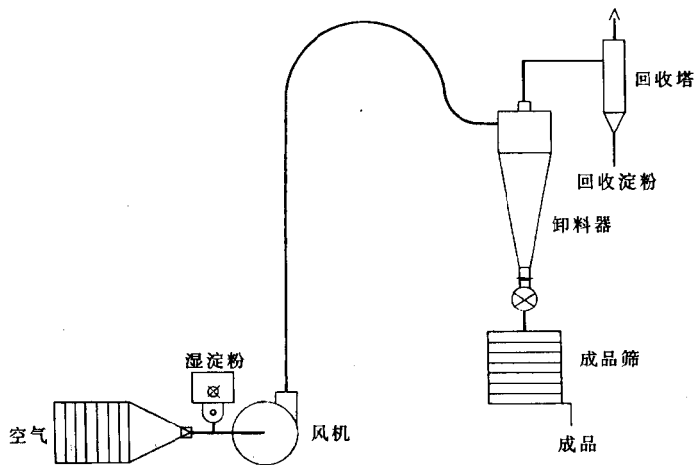


图 1-33 淀粉正压气流干燥工艺流程

负压气流干燥（见图 1-34）装置中，风机安装在最后端，不与

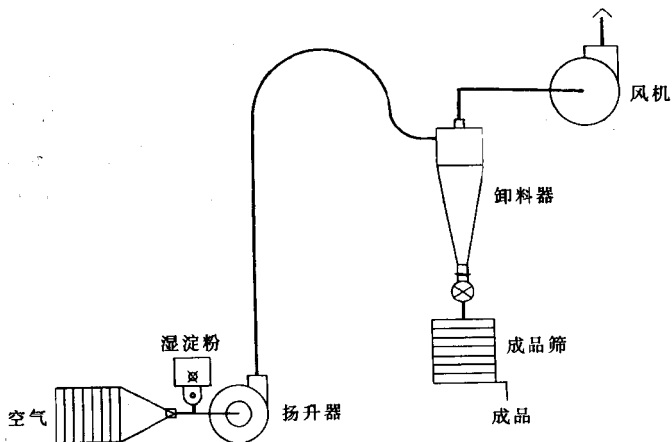


图 1-34 淀粉负压气流干燥工艺流程

物料接触，干燥管内的气体呈负压。需干燥的湿淀粉由扬升器送入干燥管，经干燥后的物料由卸料器收集，湿空气经风机后放空。

1.8.2.3 淀粉干燥工艺条件控制

a. 风速 一般在 $14 \sim 24 \text{ m/s}$ ，常选用 $17 \sim 20 \text{ m/s}$ 。风速过低，大块湿料不能被风带走，易使产品受热损坏。风速过高，系统阻力增加太大，且产品水分也不易控制。采用脉冲式干燥，一般扩大管的风速可取 $6 \sim 10 \text{ m/s}$ 。

b. 风量 气固质量流量比为 $5 \sim 10$ 时，干燥器能比较好地正常运行，适当增加风量，对于增加干燥效果及干燥能力有好处。

c. 蒸发水分量 淀粉干燥时蒸发的水量用下式计算：

$$q_{m1} = q_{m2}(w_1 - w_2)/(100 - w_1)$$

式中 q_{m1} ——干燥质量 m 的淀粉蒸发的水分量 (kg/h)

w_1 ——淀粉含水量 (%)

w_2 ——干淀粉含水量 (%)

q_{m2} ——干淀粉产量 (kg/h)

d. 干燥时间 一般在 $1 \sim 2 \text{ s}$ ，由此可计算出干燥管的直径和长度。适当延长干燥管道可提高去湿量，但过长，则阻力增加并且占地面积增大。

e. 空气温度 通过加热器后，空气的温度可提高到 $140 \sim 160^\circ\text{C}$ 。应尽量提高进气温度，这样做对产品质量没影响，因干燥器属并流操作，即使干燥温度高达 200°C 以上，物料表面的温度也只有 $45 \sim 50^\circ\text{C}$ ，而且在干燥后期，空气的温度已降至 60°C 左右，不会使淀粉糊化。

f. 风压 气流干燥管的压力损失包括摩擦阻力损失，位头损失，颗粒加入和加速所引起的压力损失，以及气流干燥管的局部阻力损失。

1.8.3 典型设备介绍

1.8.3.1 卧式刮刀离心机

a. 主要规格和技术参数 卧式刮刀离心机技术参数见表 1-29。

表 1-29 卧式刮刀离心机技术参数

型号	WG—800D	WG—12004BD	WG—1250—D
转鼓直径/mm	800	1 200	1 250
转鼓长度/mm	400	500	500
转鼓转速/(r/min)	1 400	1 200	1 200
分离因数	876	960	1 000
转鼓容积/L	76	210	225
装料限度/kg	120	345	
主机功率/kW	30	45	45
油泵功率/kW	1.1	1.5	1.5
外形尺寸/mm	1 744 × 2 240 × 1 400	2 290 × 2 260 × 1 966	2 120 × 1 805 × 1 855
机重/kg	3 200	7 700	4 600

b. 主要结构特点 卧式刮刀离心机(见图 1-35)主要由转鼓、机座、门盖组件、液压系统、进料系统、离心离合器、电机等部分组成。

c. 操作与使用要求

① WG—D 系列卧式刮刀离心机工作周期取决于淀粉乳的浓度、黄浆含量以及滤布的过滤情况。在实际操作中主要控制前一道分离洗涤工序的工艺质量。

② 适当选择滤布的规格对分离脱水效果起很大作用。

③ 采用满溢法手动进料时,要时刻观察门盖视镜中的加料情况,待黄浆从挡液板中溢出时,则停止进料,进行分离脱水。

④ 卸料要缓慢进行且调整好刮刀运动行程,以免刮破滤布。

⑤ 根据脱水效果及时清洗或更换滤布。

⑥ 严格按使用说明书进行开车、停车操作和机器的维护保养。

1.8.3.2 虹吸式刮刀离心机

虹吸式刮刀离心机是利用离心力和虹吸抽力的双重作用来

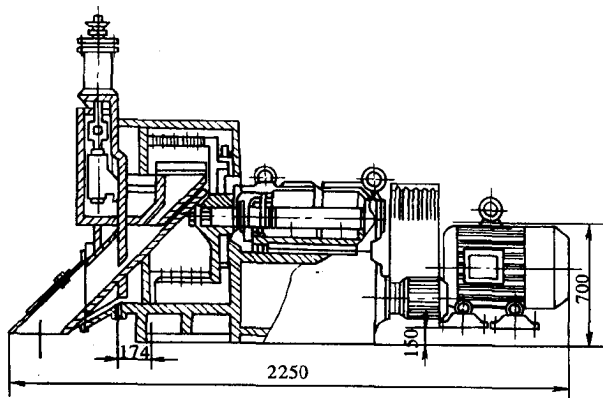


图 1-35 卧式刮刀离心机结构示意图

增加过滤推动力，从而使过滤加速，可缩短分离时间，获得较高的产量和较低的滤渣含湿量。与卧式刮刀离心机相比，虹吸式刮刀离心机具有如下特点：由于过滤推动力大，缩短了分离时间，其单位时间的分离能力可提高 50% 以上，而且显著降低了滤饼的含湿量；过滤速度可任意调节，使物料能均布在过滤介质上，大大减少了振动和噪音。

a. 主要规格和技术参数 虹吸式刮刀离心机技术参数见表 1-30。

表 1-30 虹吸式刮刀离心机技术参数

项目	型号	
	GKH800—N	GKH1250—N
转鼓直径/mm	800	1 250
转鼓长度/mm	450	600
转鼓转速/(r/min)	1 550	1 200
分离因素	1 070	1 006
装料限度/kg	150	450
装料容积/L	100	355
过滤面积/m ²	1.13	2.36
主电机功率/kW	45	90
油泵电机功率/kW	2.2	4
外形尺寸(长×宽×高)/mm	2 030×1 960×1 530	2 870×2 470×1 955
机器质量/kg	5 500	11 150

b.主要结构特点 虹吸式刮刀离心机（见图 1-36）主要由刮刀组件、机壳门盖组件、回转组件、虹吸管组件、机体组件及液压系统等组成。

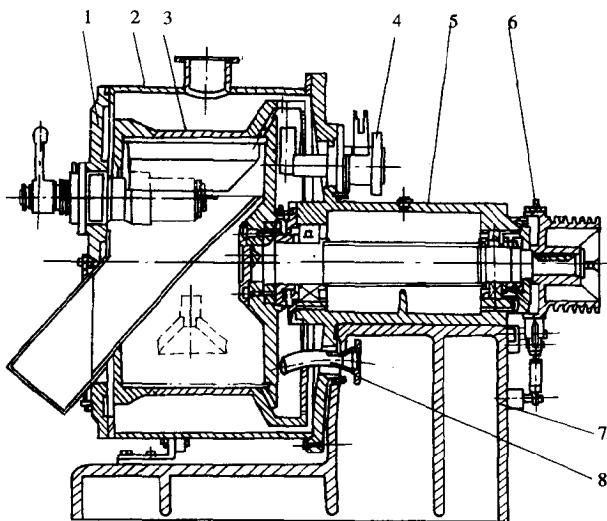


图 1-36 虹吸式刮刀离心机结构示意图

- 1—门盖组件 2—机壳组件 3—转鼓组件 4—虹吸管机构
5—轴承箱 6—制动器组件 7—机座 8—反冲装置

机座与轴承箱用螺栓连接在一起，轴承箱通过主轴承支撑回转组件。主轴与转鼓通过螺栓连接在一起。转鼓包括内转鼓（过滤转鼓）和外转鼓（虹吸转鼓），内转鼓为带加强圈的开孔薄壁圆筒，加强圈支撑在外转鼓壁上，使内、外转鼓之间形成轴向流体通道。内转鼓内铺设衬网和滤布，滤布两头用 O 型橡胶条压紧。外转鼓壁上不开孔。内、外转鼓之间的转鼓底上对称开有斜孔，作为转鼓与虹吸室间的流体通道，整个回转组件悬臂支撑在轴承上。主轴后段套装三角皮带轮，通过三角胶带与主电机上的液力耦合器相连。轴承箱除支撑回转组件外，其大背板上部通过法兰

联接安装有虹吸管组件，下部装有反冲管。大背板外圆端面通过螺栓与机壳相联。机壳与门盖之间以门框相联接，门盖上装有刮刀组件。

c.操作与使用要求 机器全速运转后，由反冲管向虹吸室内灌水（滤液），流体经虹吸室与转鼓的通道压入转鼓，除排除虹吸室内的空气外，还在过滤介质上形成一液体层。然后开始进料，同时将虹吸管旋到某一中间位置，一定时间后再旋到指定位置，进料结束后将虹吸管旋到最低位置。悬浮液进入转鼓后，由于过滤介质上液体层的作用，物料均匀分布在过滤介质上，液体由于离心力和虹吸抽力的双重作用而快速穿过过滤介质和内转鼓上的过滤孔，进入到内外转鼓之间的通道，然后经转鼓底上的斜孔进入虹吸室，由虹吸管吸入后排除。而固相则截留在过滤介质上形成滤层，经一定时间分离后，旋转刮刀将其刮下，经料斗卸出。

虹吸刮刀卸料离心机的过滤循环操作周期为：220s 生产能力 3.5~4t，滤饼含湿量 35%，滤液含固量 0.04%。

1.8.3.3 淀粉气流干燥机

a.主要规格和技术参数 淀粉气流干燥机技术参数见表 1 -

31.

表 1 - 31 淀粉气流干燥机技术参数

型号	技术参数 进机湿淀粉 粉含水率 /%	成品淀粉 含水率 /%	产量/(t/ h)(以干 淀粉计)	装机容量 /kW	蒸汽耗用 量/(kg 蒸 汽/kg 水)
DGZQ-0.5	<40	12~14	0.5	17	1.8~2
DGZQ-0.8	<40	12~14	0.8	25.5	1.8~2
DGZQ-1.2	<40	12~14	1.2	29.5	1.8~2
DGZQ-1.6	<40	12~14	1.6	40	1.8~2
DGZQ-2.0	<40	12~14	2.0	46.5	1.8~2
DGZQ-2.6	<40	12~14	2.6	56.5	1.8~2
DGZQ-3.2	<40	12~14	3.2	67	1.8~2
DGZQ-5.0	<40	12~14	5.0	143.5	1.8~2
DGZQ-6.0	<40	12~14	6.0	165.5	1.8~2
DGZQ-9.0	<40	12~14	9.0	315	1.8~2

b.主要结构特点 淀粉气流干燥机（见图 1-37）主要由换热器、喂料装置、风管、卸料刹克龙、闭风器、风机等部分组成。

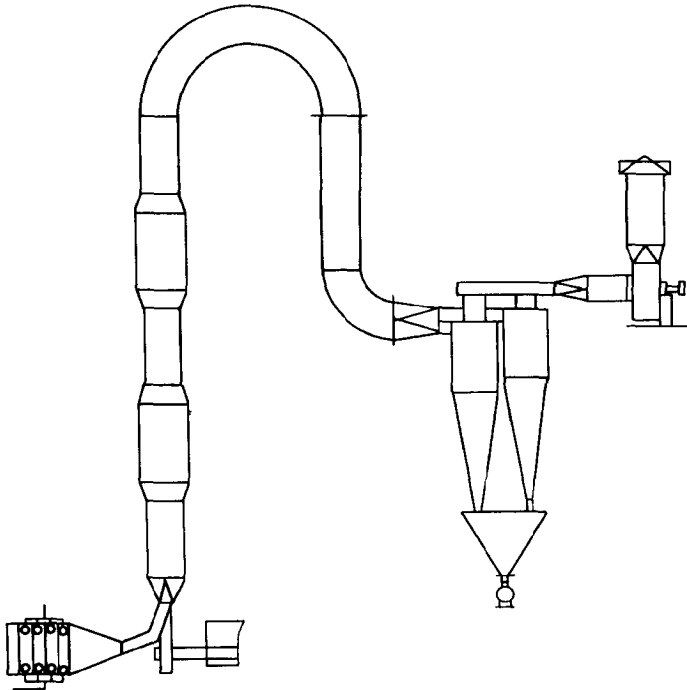


图 1-37 气流干燥机结构示意图

c. 操作与使用要求

①开车前应先检查各转动部位的润滑情况及传动部位是否正常，扬升器转动是否灵活。

②开机顺序：关闭风机风门 → 启动风机 → 打开风机风门 → 开启闭风器 → 打开蒸汽阀门 → 开扬升机 → 开螺旋加料器开始供料。

③停机顺序：停止供料 → 关扬升器 → 关闭风器 → 停止供汽 → 关风机。

④螺旋加料器料斗及卸料器下的料斗应保留 1/3 的物料密封层。

⑤进入散热器的空气，应先经过滤网过滤，滤网应定期更换。气流干燥的散热器应排空冷凝水，经常检查疏水器运行情况，每月对散热器进行清洗。

给料必须均匀稳定，进料速度应同风管内气流速度相一致。要保证成品水分在 14% 以下，最好在 13.5% 左右，注意检查成品淀粉的水分含量，一旦不符合要求，应及时调整供料、供汽量。

在实际使用中，进料要时刻与脱水设备协调配合以保证进料均匀连续。主要控制脱水设备的脱水效果——湿淀粉含水量不超过 40%。

⑥淀粉烘干车间属于防爆车间，车间内严禁烟火。车间内应尽量减少淀粉散落，落在车间内的淀粉应及时清扫，在维修风管及其他设备时应确保内部无粉尘。

a. 常见故障分析 常见故障分析见表 1-32。

表 1-32 气流干燥机常见故障及排除方法

常见故障	故障原因	排除方法
成品水分过高	1. 进料量太大 2. 蒸汽量太小 3. 风机叶片磨损	1. 减少进料量 2. 调整蒸汽压力、加大供汽量 3. 更换风机转子
成品水分过低	1. 进料量太小 2. 蒸汽量太大	1. 加大进料量 2. 调整蒸汽压力、减小供汽量
淀粉细度降低	1. 进口风温低 2. 风量小 3. 进机料水分高	1. 提高蒸汽压力或流量 2. 提高风量 3. 降低进机水分
料进不去	1. 有杂物混入 2. 加料器、扬升器传动皮带松弛	1. 排除杂物 2. 张紧皮带

续表

常见故障	故障原因	排除方法
尾气跑粉	<ol style="list-style-type: none"> 1. 成品水分过低 2. 管道漏气 3. 关风器叶轮磨损 4. 风机工作点不好 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 调整供料、供汽量,使成品水分恰当 2. 检查泄漏点并堵塞 3. 更换关风器 4. 改变风机工作点
关风器卡死	<ol style="list-style-type: none"> 1. 成品水分太高 2. 关风器同心度差 3. 有杂物混入 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 调整供料、供汽量 2. 检修关风器 3. 清除杂物
扬升器堵住	<ol style="list-style-type: none"> 1. 进机水分过高 2. 有杂物混入 3. 未开扬升器就开加料机 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制脱水机的脱水效果 2. 清除杂物 3. 注意开车顺序
加料器堵住	<ol style="list-style-type: none"> 1. 进机水分过高 2. 有杂物混入 3. 未开加料器,脱水机开始供料 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制脱水效果 2. 清除杂物 3. 注意开车顺序,工段间要协调
风机振动	<ol style="list-style-type: none"> 1. 风机叶轮不平衡 2. 有杂物混入 3. 工作点不对 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 做平衡试验 2. 清除杂物 3. 改变工作点

1.9 玉米淀粉生产典型工艺流程分析

1.9.1 典型工艺分析

在前面的各工段工艺介绍中,主要是以美国的玉米淀粉加工工艺为基础,它的主要特点是逆流浸泡、胚芽经两次两级分离、淀粉洗涤采用旋流器。美国的玉米湿法工艺我们较熟悉,前面也作了较详细的介绍。在这里主要介绍欧洲的玉米淀粉湿法工艺,图1-38是德国韦斯伐里亚公司提出的玉米湿法加工工艺,具有一定的代表性。

玉米通过输送装置进入浸泡罐,SO₂气体与工艺水混合吸收,送入浸泡罐,稀玉米浆排除后,经浓缩、蒸发后与纤维合并干燥。浸泡好的玉米送入第一道脱胚磨,磨下物料用泵送到胚芽分离旋

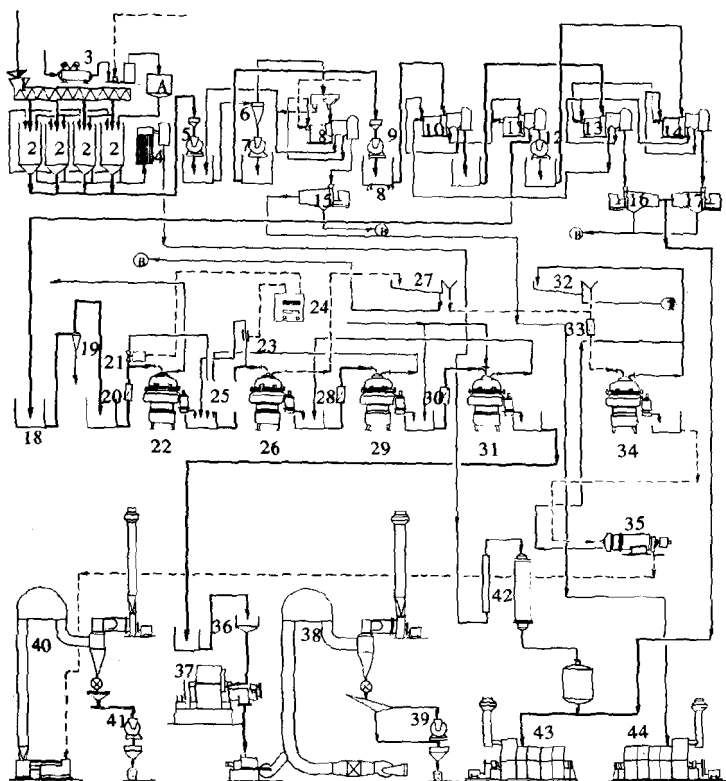


图 1-38 欧洲淀粉生产工艺流程图

- 1—玉米输送装置 2—浸泡罐 3—SO₂装置 4—浸泡水浓缩 5—一次破碎
 6—胚芽旋流器 7—二次破碎 8—胚芽洗装置 9—细磨 10—一道喷射洗涤器
 11—喷射过滤器 12—细磨 13—二道喷射洗涤器 14—细纤维洗涤器
 15—胚芽挤干机 16—粗纤维挤干机 17—细纤维挤干机 18—细淀粉乳罐
 19—除砂器 20—过滤器 21—控制阀 22—预浓机 23—稠度测定装置
 24—稠度控制装置 25—过滤器 26—第一级淀粉洗涤 27—飘浮槽
 28—过滤器 29—第二级淀粉洗涤 30—过滤器 31—第三级淀粉洗涤
 32—飘浮槽 33—过滤器 34—麸质预浓缩机 35—麸质浓缩机 36—高位槽
 37—淀粉脱水离心机 38—淀粉干燥器 39—干淀粉磨 40—蛋白干燥器
 41—干蛋白磨 42—浸泡水蒸发器 43—动物饲料干燥机 44—胚芽干燥机

流器，胚芽旋流器顶流为胚芽，底流送入第二道脱胚磨。分出的胚芽经飘浮处理后送到胚芽洗涤器，经洗涤、挤干脱水后送到管束干燥机干燥，得到干胚芽。第二道脱胚磨的磨下物直接送到细磨处理，然后送到喷射洗涤器分出大、小纤维，大纤维送到第二级喷射洗涤器，小纤维和淀粉乳液送入喷射过滤器，分出细淀粉乳。小胚乳粒再经过破碎，送到细纤维喷射洗涤器。大、小纤维经过分别挤干脱水后，合并送到纤维管束干燥机，同时与浓缩浸泡水混合进行干燥，生产动物饲料。

分离出的细淀粉乳经除砂过滤后进入预浓缩机，分离出的顶流作为工艺水使用，底流与第二级淀粉洗涤分离机的顶流合并进入第一级淀粉洗涤分离机；第一级淀粉洗涤分离机的底流与第三级淀粉洗涤分离机的顶流合并进入第二级淀粉洗涤分离机；第二级淀粉洗涤分离机的底流经稀释后进入第三级淀粉洗涤分离机；第三级淀粉洗涤分离机加洗水，其底流为精淀粉乳。精淀粉乳经机械脱水、气流干燥得到干淀粉。

经第一级淀粉洗涤分离机顶流得到的稀麸质通过飘浮槽浓缩，提出工艺水，进入麸质预浓缩机，底流进入卧螺浓缩机，然后气流干燥。

该工艺的特点是，没采用曲筛，胚芽和纤维的洗涤均采用喷射洗涤装置；淀粉洗涤全部采用分离机，没使用淀粉洗涤旋流器；麸质浓缩采用等电点沉淀浓缩的方法。

1.9.2 物料平衡

物料平衡基数为：原料玉米水分含量 14% 杂质 1% 碎玉米 2% 淀粉(干基)收率 66%，蛋白质(干基)收率 6.6% 胚芽(干基)收率 6.9%，纤维(干基)收率 12.5%，玉米浆(干基)收率 6.0% 损失 2%。

以 100kg 干基玉米为基础，物料平衡如图 1-39 所示。

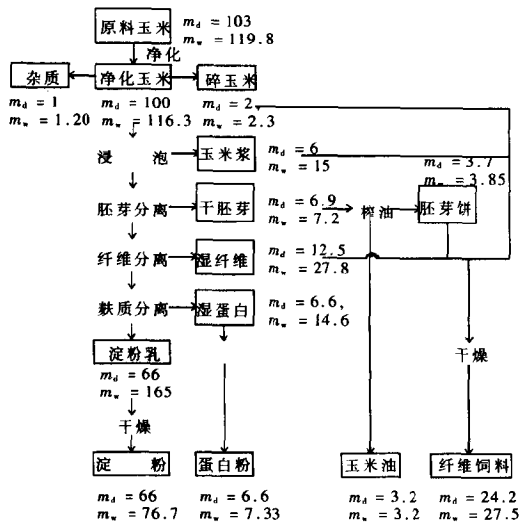


图 1-39 玉米淀粉生产工艺物料平衡图
 m_d —干基物料质量 (kg) m_w —湿基物料质量 (kg)

1.9.3 水平衡

玉米淀粉生产采用闭环生产工艺，即在淀粉洗涤过程的最后一道才用新鲜清水，在其他工序，如亚硫酸制备、玉米浸泡与洗涤、胚芽和渣皮的洗涤等中都使用过程水，同时也在各种物料的洗涤过程中都采用逆流的原则，因此用好过程水是关键，只有这样用水量才可减少到最低程度。过程水使用过程中要注意它的质量情况和数量平衡。在质量方面，要控制过程水中的固性物、可溶物和微生物含量；在数量平衡方面，要在保证生产中的物料平衡的情况下，实现生产连续运转。每处理 100kg 绝干玉米各生产过程中水的用量 (kg) 见图 1-40。

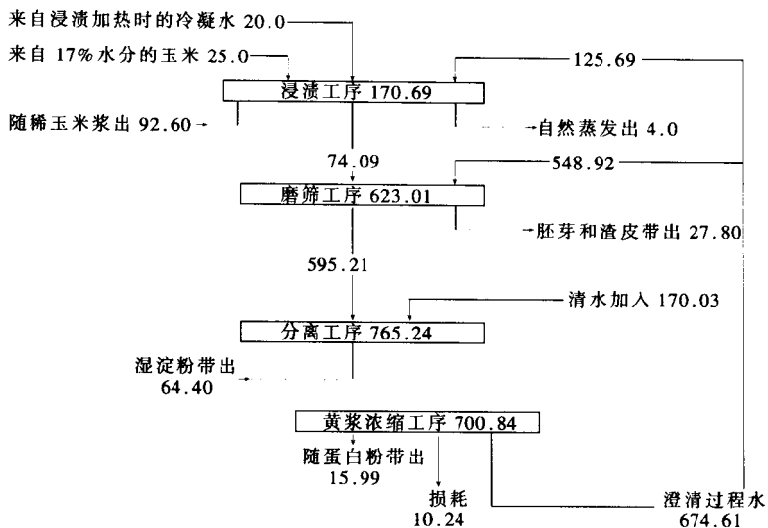


图 1-40 玉米淀粉生产闭环流程中水平衡图

1.10 玉米淀粉生产副产品的处理和综合利用

玉米湿法加工的最大优势是将玉米的各个组成部分有效地分离，根据其不同的特性进一步利用。玉米淀粉生产的副产物主要有玉米浆（浸泡液）、胚芽、玉米纤维、蛋白粉等。玉米湿法加工得到的饲料产品营养分析见表 1-33。

表 1-33 玉米湿法加工得到的饲料产品营养分析（近似分析值）

单位：%（质量分数）

项目	玉米蛋白 饲料	蛋白粉 (41% 蛋 白)	蛋白粉 (60% 蛋 白)	玉米 胚芽 饼	浓缩 玉米 浆
蛋白(N×6.25)	22.3	42.2	62.0	22.6	25.0
脂肪	2.5	2.5	2.5	1.9	0
淀粉	14.0	NA	14.0	24.0	NA
粗纤维	8.0	4.0	1.2	9.5	0
灰分	7.3	4.0	1.8	3.8	7.8
水分	10.0	10.0	10.0	10.0	47.0

续表

项目	玉米蛋白 饲料	蛋白粉 (41%蛋 白)	蛋白粉 (60%蛋 白)	玉米 胚芽 饼	浓缩 玉米 浆
无氮抽提物	50.0	35.0	20.0	48.0	18
氨基酸含量/%					
丙氨酸	1.5	3.3	5.2	1.4	1.8
精氨酸	1.0	1.5	1.9	1.3	1.1
天冬氨酸	1.2	2.4	3.6	1.4	1.4
胱氨酸	0.5	0.8	1.1	0.4	0.8
谷氨酸	3.4	8.6	13.8	3.2	3.5
甘氨酸	1.0	1.3	1.6	1.1	1.1
组氨酸	0.7	0.9	1.2	0.7	0.7
异亮氨酸	0.6	1.5	2.3	0.7	0.7
亮氨酸	1.9	6.0	10.1	1.8	2.0
赖氨酸	0.6	0.8	1.0	0.9	0.8
蛋氨酸	0.5	1.2	1.9	0.6	0.5
苯丙氨酸	0.8	2.3	3.8	0.9	0.8
脯氨酸	1.7	3.6	5.5	1.3	2.0
丝氨酸	1.0	2.0	3.1	1.0	1.0
苏氨酸	0.9	1.4	2.0	1.1	0.9
色氨酸	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1
酪氨酸	0.6	1.8	2.9	0.7	0.5
缬氨酸	1.0	1.9	2.7	1.2	1.2
维生素含量/(mg/lb)					
胆碱	690	545	400	800	320
烟酸	33	29	25	19	40
泛酸	7.8	4.5	1.3	2.0	6.8
维生素 B ₆	6.8	4.8		2.7	4.0
维生素 B ₂	1.1	1.0	1.0	1.7	2.7
维生素 B ₁	0.9	0.5	0.1	2.8	1.3
矿物质含量					
铜/(mg/lb)	21.7	16.7	12.1	8.5	517
锰/(mg/lb)	10.8	6.4	2.0	7.0	15.3
铁/%	0.03	0.01	0.002	0.3	0.01
镁/%	0.5	0.25	0.001	0.08	1.0
磷/%	0.80	0.65	0.5	0.5	1.8
钙/%	0.46	0.23	0.0023	0.3	0.06
钾/%	1.1	0.6	0.001	0.17	2.4
能量					
代谢能/(cal/lb)	-	1260	1690	770	707
可消化营养物质总量/%	75	80	86	69	40

注: 1lb = 0.45kg

1cal = 4.186J

1.10.1 玉米浆的处理和综合利用

从浸泡罐排出的浸泡水中含有很多的玉米可溶物、乳酸发酵物及其一些不溶性物质。浸泡水通常被浓缩到干物含量 40% ~ 45%，然后与纤维混合干燥成蛋白饲料，也可用作特种配料，或用作工业发酵营养源。因此，浸泡水应在浸泡温度下发酵 12h。保持温度很重要，不能低于 49℃，否则引起酵母发酵，生成酒精和二氧化碳，造成损失。

1.10.1.1 玉米浆生产工艺及设备

生产中所有过剩的水都应该用于浸泡工段，并且最后以稀玉米浆的形式排除，其固形物含量由于水的多少而变化，一般为 5% ~ 10%。

稀玉米浆然后被蒸发到固形物含量为 40% ~ 45% 后出售，或与纤维混合生产蛋白饲料。为达到最大的蒸发效率，一般采用 3 ~ 5 效的。

玉米浆中含有大量的蛋白质，易于使蒸发器蒸发管结垢，需定期用碱液蒸煮去除。如果在浸泡过程中乳酸发酵不充分，稀玉米浆中的蛋白质在加热的时候很容易聚集，很难保证蒸发管不结垢。

蒸发出的冷凝水的 pH 较低，难于处理后再使用，一般都被排送到污水处理系统。

a. 三效真空蒸发器 如图 1-41 所示，新蒸汽进入一效加热器，使进入一效的浸泡液沸腾，部分水变为蒸汽，气流进入蒸发罐，液体回流到加热器循环蒸发，汽化的蒸汽经分离后再进入二效加热器作为加热蒸汽。因二效真空度高于一效，故其中水的沸点比一效低，所以可借一效的二次蒸汽加热而沸腾。同理，二效汽化的蒸汽再进入三效加热器，三效汽化的蒸汽则进入冷凝器。稀玉米浆进入第一效，浓缩后由底部排除，依次进入第二效和第三效被连续浓缩，浓缩液被末效的底部排除。

DZF 型三效节能蒸发机组主要技术参数见表 1-34。

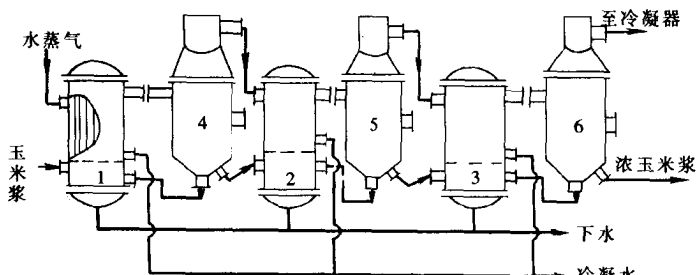


图 1-41 DZF 型三效真空蒸发设备流程图

1—一效蒸发器 2—二效蒸发器 3—三效蒸发器
4—四效蒸发器 5—五效蒸发器 6—六效蒸发器

表 1-34 DZF 型三效节能蒸发机组主要技术参数

参数 项目	型号	DZF·24	DZF·36
	最大蒸发量/(kg 水/h)		1 700 ~ 2 000
蒸汽压力/MPa(表压)		0.1	
真空度/kPa	I 效	16.7 ~ 常压	
	II 效	61.3	
	III 效	88	
蒸发温度/℃	I 效	95 ~ 100	
	II 效	75	
	III 效	53	
进料浓度/%		6 ~ 7	
出料浓度/%		42 ~ 46	
耗汽量/(kg/h)		700 ~ 800	1 200 ~ 1 300
耗水量/(t/h)(可循环使用)		20	30
水力喷射器型号		W1200L	W1500L
机组质量/t		5.5	7.5
最大操作质量/t		7	9

b. 降膜蒸发器

降膜蒸发器是采用降膜式蒸发原理将稀溶

液加热沸腾使其中部分水分汽化从而达到浓缩溶液的目的。机组采用连续式生产过程，一个加热室和一个汽液分离室组成一效蒸发器，一般采用 3 效或 4 效，可采用顺流连续加料法或逆流连续加料法。

图 1-42 所示为逆流连续加料法工艺流程图，第一效采用升降膜蒸发器，其余三效采用降膜蒸发器。它适宜于把稀玉米浆浓缩。用蒸汽加热第一效，原料从第四效进入，由于前效溶液的沸点较后效为高，因此进入前效的物料即成过热状态而自蒸发，同时前效的冷凝水进入后效亦可自行蒸发，可以产生更多的二次蒸汽。蒸发出的蒸汽作为下一效的热源，以此类推。各效之间的温度差由调节最后一级的真空度来保持，最后一效的蒸汽送入管式冷凝器冷凝，收集固形物。采用蒸汽喷射泵保持冷凝器的真空度，最后一级真空度为 $84 \sim 88\text{kPa}$ 。

一般处理粘度较低的物料采用顺流连续加料法，最终产品温度较低；对高粘度产品，如将稀玉米浆浓缩到干物含量 50% 最好采用逆流连续加料法，以避免温度低时粘度高、传热效果差的问题。在采用逆流连续加料法的同时可采用强制再循环工艺，如图 1-42 中的 2#、3#、4#。

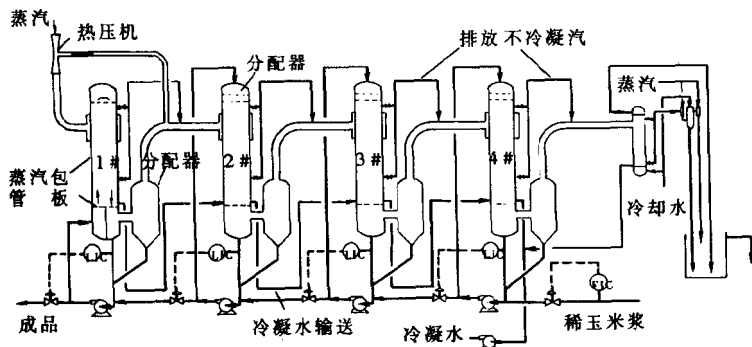


图 1-42 逆流连续加料法工艺流程图

多效蒸发的效率，即消耗每单位蒸汽所蒸发的水量受多种因素的影响，但对于一个确定的机组，其变化为：

	蒸发量(t)/蒸汽量(t)
单效	0.95
双效	1.75
三效	2.50
四效	3.25
五效	4.20

蒸发效率主要与设备的设计有关，但操作等方面的原因会造成设备性能的下降，主要有以下原因：

I. 管垢：垢的形成严重降低热交换效率，通常在温差较大的某一效加热面上结垢较为严重。一般采用 10%碱液蒸煮的方法去除。

II. 不凝气体积聚：蒸汽中的空气或惰性气体易于在加热面上积聚，设备上开有孔，以使用蒸汽清扫这些气体。开孔上的阀由人工控制。应保持阀适当开启，用手感觉排出管是热的即可，开启过大将浪费蒸汽。

III. 浓缩液排不出：多效蒸发器的各效多在负压下工作，特别要注意适宜的浓缩物排放。系统的蒸发室下面有浓缩物排放装置，如这些装置失效，蒸发室将发生水堵，失去热交换能力并压力增大。此类问题一旦发现较好解决，一定经常通过观察室查看蒸发室的情况，及时发现问题。

IV. 分配不匀：精分配盘的采用使物料在由加热室顶部进入加料管后即可均匀有效地在管内壁形成膜状流动，因而使传热系数大为提高，但有可能一些管被堵塞，或分配盘上形成沉积而干扰分配，使得个别管内无料。分配盘的工作情况可从顶部的观察窗中看到。

真空度不够：真空度不够，系统的整体温度下降，可能的原因是空气进入系统、最后一效的蒸汽冷凝不正常或真空装置（蒸汽喷射泵或水环真空泵）有问题等。

JMZ 型三效降膜蒸发器用于玉米浆蒸发时的技术参数见表 1-35。

表 1-35 JMZ型三效降膜蒸发器的技术参数

参数规格	JMZ-3.0	JMZ-4.5	JMZ-6.0	JMZ-9.0	JMZ-12.0
蒸发量/(kg/h)	3 000	4 500	6 000	9 000	12 000
蒸发面积/m ²	130	195	260	390	520
生蒸汽消耗量/(kg/h)	900	1 350	1 800	2 700	3 600
各效真空度/ kPa	I 效	0			
	II 效	59.7			
	III 效	85.3			
各效蒸发温 度/℃	I 效	99			
	II 效	76			
	III 效	53			
蒸发用蒸汽压力/MPa	0.85(绝热)				
预热用蒸汽压力/MPa	0.25(绝热)				
进机含固量/%	6~7				
出机含固量/%	42~48				

1.10.1.2 玉米浆的特性

玉米浆中总“蛋白质”含量为 44%~48% (干基); 酸含量以乳酸表示, 为 25%左右。玉米浆中氮的分布见表 1-36。

表 1-36 玉米浆中氮的分布

成分	%(占总氮量) ^a
总非蛋白氮	87.4
游离氨基酸	37.0
游离氨	5.3
肽	36.2
季氮	1.0
杂环	2.1
未计入	5.8
不溶物	
蛋白质	13.1
未计入	0.5

a 80%乙醇溶解物。

玉米浆中水分含量很难测出，因在用干燥法测定时部分乳酸会被蒸发掉，因此生产中通常是测定玉米浆的浓度。不同温度下玉米浆的波美度与干物含量的关系见表 1-37。

表 1-37 玉米浆浓度 (°Bé) 与干物含量关系表

浓度(15.5℃) °Bé	干物含量/%	温度变化波美度修正值			
		21℃	27℃	32℃	38℃
0.0	0.0	0.16	0.33	0.51	0.72
1.0	2.07				
2.0	3.92				
3.0	5.78				
4.0	7.64				
5.0	9.50	0.18	0.38	0.60	0.84
6.0	11.35				
7.0	13.21				
8.0	15.07				
9.0	16.92				
10.0	18.78	0.19	0.42	0.67	0.90
11.0	20.64				
12.0	22.50				
13.0	24.35				
14.0	26.21				
15.0	28.07	0.20	0.45	0.70	0.94
16.0	29.92				
17.0	31.78				
18.0	33.64				
19.0	35.50				
20.0	37.35	0.21	0.47	0.73	0.97
21.0	39.21				
22.0	41.07				
23.0	42.92				
24.0	44.78				
25.0	46.64	0.22	0.49	0.76	1.00
26.0	48.50				
27.0	50.35				
28.0	52.21				
29.0	54.07				
30.0	55.92	0.23	0.51	0.79	1.03

1.10.1.3 玉米浆综合利用

作为饲料配方，玉米浸泡水是一种高蛋白、高能量营养物，同时含有丰富的维生素 B 和矿物质。浓缩玉米浆与纤维混合生产高蛋白饲料。美国饲料研究者对玉米皮和浸泡水混合饲料进行了饲养牛和鸡的试验，说明玉米淀粉厂的玉米皮和浸泡水混合以后，是良好的牛和鸡的饲料。可以直接以湿料喂饲，也可干燥以后使用，但湿的效果更好。其配合比例是玉米皮 $2/3$ ，浸泡水 $1/3$ 。其营养成分如表 1-33 所示。

由于玉米浸泡水含有丰富的可溶性氨基酸和各种生物素，所以被发酵工业广泛用作营养源。为了储运方便，必须将玉米浸泡水浓缩至含固形物 70% 左右，称为玉米浆。玉米浆在国内比较大的使用单位是生产抗生素和味精的企业，但由于近年玉米淀粉生产增长较快，所以玉米浆的出路也成了问题，特别是玉米淀粉厂比较集中的产区，还得寻找玉米浆的新用途。玉米浆除了直接浓缩后掺入玉米纤维蛋白饲料以外，也可以从中提取菲汀和饲料蛋白。

1.10.2 胚芽的处理和综合利用

玉米胚是很好的油源，随着湿法玉米淀粉工业的发展，获得的副产品玉米胚可用于制取玉米油。分离出的胚芽进胚芽挤干机脱水，由管束干燥机干燥到水分含量 2% ~ 4%，送到榨油车间。

玉米胚中含量最高的是脂肪。整个玉米籽粒脂肪的 80% 以上含在玉米胚中。玉米胚含油达 40% 左右，含蛋白质 13% 左右，含淀粉 12% 左右；而玉米粒其他部分的脂肪含量很少，如淀粉中只含脂肪 0.6%，蛋白质中只含脂肪 7%，纤维中含脂肪 1% ~ 1.3%。玉米脂肪含有 72.3% 的液体脂肪和 27.7% 的固体脂肪，所以是半干性油，还含有少量的蜡，据研究，这种蜡碘价在 42 皂化值 120 非皂化物 26.4%。

1.10.2.1 胚芽榨油生产工艺及设备

玉米胚和其他油料一样，油脂制取可采用机械压榨、溶剂浸出和超临界提取的方法。浸出法制油是近代先进的制油法，出油率高，其饼粕的利用效果也好。但是由于一般淀粉厂分离出来的玉米胚，相对来说量较小，所以玉米胚制油大部分采用压榨法制油。除非能集中相当量的玉米胚芽，才适于建立一定规模的浸出法玉米油厂。

玉米胚榨油工艺流程：

玉米胚 → 清理 → 软化 → 轧胚 → 蒸炒 → 压榨 → 毛油 →
水化脱胶 → 碱炼 → 水洗（二次） → 脱水脱色 → 过滤 →
脱臭 → 精炼玉米油

a.清理 进入制油车间的玉米胚一般比较干净，不需要再筛选，但应进行磁选处理除去磁性金属碎屑，保护榨油设备。

b.软化 软化是对玉米胚进行适宜的温度和水分调节，使其塑性发生变化，从而利于轧胚。

c.轧坯 轧坯可以使玉米胚受到压应力，由此产生的相互挤压和摩擦使部分蛋白质进一步变性，部分细胞结构特别是细胞膜受破坏，造成油容易流出。胚芽压扁后，增加了表面积，缩短了油路，有利于蒸炒时调节水分、吸收热量以及浸出时溶剂的渗透，有利于细胞中胶体结构的最大破坏和油滴的聚集及流出。

d.蒸炒 蒸炒的目的是破坏细胞壁，使蛋白质充分变性和凝固，同时使油的粘度降低，使油滴进一步凝集，以利于油脂从细胞中流出。热处理的效果受水分、温度、加热时间、速度等因素的影响，其中最主要的因素是水分和温度。经热处理的料温在进入压榨机以前，争取达到 100℃。

e.压榨 压榨机有间歇和连续的两种，现在均采用连续螺旋压榨机，靠压力挤压出油。最常用的是 95 型螺旋榨油机和 200 型螺旋榨油机。压榨后得到毛油和胚芽饼，以下的工序为玉米油精炼。

f. 水化脱胶 由于玉米油中含有游离脂肪酸、磷脂结合的蛋白质、粘液质等非甘油酯杂质，以胶体形态存在于玉米油中。这些胶状物质在加热过程会产生泡沫，在碱炼过程会使油脂和碱液乳化，影响玉米油的精炼。所以玉米油在碱炼以前，首先进行水化脱胶处理。水化是在玉米油加热到 80 的情况下，加入对油 3% 的水或通入蒸汽。加水的同时，必须进行搅拌，并加入适量的食盐。在水化过程中，胶体膨胀并溶入水中，然后将含有胶体的沉淀物和油离心分离，达到水化脱胶的目的。

g. 碱炼 碱炼是把油加热到 82 用 10% 的氢氧化钠处理，碱用量一般是中和脂肪酸的量再多 0.15%；中和后形成游离脂肪酸的钠盐，然后用离心的方法分离出皂脚。处理后的油用热水去除残留皂脚。

玉米油（毛油）往往含有大量的游离脂肪酸，酸价一般在 6 左右，有的高达 10。碱炼过程使游离脂肪酸和碱生成絮状肥皂，并吸附油脂中的杂质，使油脂进一步净化，这对于玉米油下一步的脱色或进行氢化有重要的影响。一般碱炼时采用烧碱，用烧碱脱酸效果好，同时还能提高油脂的色泽。但缺点是会发生少量的皂化。如采用碳酸钠碱炼，能防止中性油脂的皂化，但所得油脂色泽较差。碱炼设备小型厂采用开口式反应罐，碱液喷淋式加入油脂中，经过碱炼，游离脂肪酸含量能降至 1% 以下。碱炼过程产生皂脚，沉降于碱炼罐的底部，很容易分离。

h. 脱色 碱炼以后的玉米油还要用白土脱色，白土具有吸附作用。脱色过程除吸附色素以外，也能将油脂中少量的皂脚等胶体物质除去。脱色工艺一般要求在 70~80 加入白土，然后升温到 110~120℃ 脱色 10~20min，白土用量对油脂为 1.5%。脱色过程也是微量水的脱除过程，因此脱色是在真空下进行。脱色过程的温度适当提高能提高效果，但过高的温度会使油脂酸价上升，所以应按照实际情况选择最适的操作温度和脱色时间，并取得最好的脱色效果。

i 冬化 玉米油中含有少量的蜡,会影响透明度,为此在脱色以后还需进行冬化。冬化是把油冷却到 4℃,保持几小时或几天,使蜡结晶析出,然后将沉淀物滤除。但不是所有的玉米油均必须进行冬化处理。

j 脱臭 玉米油经过脱胶、碱炼、脱色以后,游离脂肪酸、磷脂、蛋白质、粘液质、色素等大部分均被除去,外观黄色透明,但是还保留有一种玉米胚芽油特有的异味,主要是一些帖烯、醛酮等可挥发性物质造成的。因而玉米油不经脱臭处理,风味、口感较差,即使有较好的营养价值也不受消费者的欢迎。为此在玉米油的精炼中,脱臭是必不可少的。

为了有效地脱除玉米油中的异味,可采用高温、高真空、蒸汽汽提的办法,一般温度 180℃,真空度 100kPa 能达到比较理想的效果。

玉米油经过水化、碱炼、脱色、脱臭,获得精炼玉米油。精炼损耗率 10% 左右。精炼玉米油的组成和特性见表 1-38。

1.10.2.2 玉米油和胚芽饼的特性

提过油的玉米胚芽饼一般用于生产蛋白饲料,胚芽饼蛋白比整粒玉米具有更好的营养价值。浸出提油的胚芽饼主要组成为:蛋白 25% (干基),油 1.5% (干基),水分 10%。如采用机械压榨法,含油量为 6%~10%。玉米油的组成和特性见表 1-38。

表 1-38 玉米油的组成和特性

组成	毛油	精炼油	食品特别要求
水分/%		0.00	< 0.01
甘油三酯量/%			
总量	95.6	98.8	
多不饱和:总量		61.1	
亚油酸		54~60	
亚麻酸		1	
单不饱和:总量		24.8	

续表

组成	毛油	精炼油	食品特别要求
油酸		19 ~ 31	
饱和的:总量		12.9	
棕榈酸		11 ~ 13	
硬脂酸		2 ~ 3	
游离脂肪酸量/%	2.5	0.05	< 0.1
磷脂量/%	1.5	0.0	
非皂化物量/%			
总量		1.2	< 1.5
胆固醇	0.0	0.0	
植物甾醇类	1.2	1.1	
生育酚	0.12	0.08	
蜡含量/%	0.01	0.0	
色泽	不确定	灰黄	< 5.0 罗维邦红
气味	浓玉米味	淡玉米味	
冷冻试验(0℃)		24h	
碘值	122 ~ 131	120 ~ 130	
皂化值	189 ~ 195		
砷含量/(mg/kg)			< 0.5
铅含量/(mg/kg)			< 0.1
过氧化值/(meq/kg)			< 10
折射指数(25℃)		1.470 ~ 1.474	
相对密度(25℃)		0.915 ~ 0.920	
熔点/℃		- 11 ~ - 8	
发烟点/℃		229 ~ 238	
闪点/℃		332 ~ 338	
燃点/℃		336 ~ 371	
混浊点/℃		- 14 ~ - 11	
碳水化合物含量/%		0	
纤维含量/%		0	
灰分含量/%		0	
能量/(kJ/g)		37	

1.10.2.3 玉米油和胚芽饼的利用

玉米油的不饱和脂肪酸含量达 85% 以上，主要有油酸和亚油酸，人体吸收率达 97% 以上。玉米油中含有谷固醇，具有抑制胆固醇增加的作用。玉米油还富含维生素 E，对于人体细胞分裂、延缓衰老有一定作用。所以玉米油是理想的食用油脂，特别对于老年人来说是一种保健油。氢化玉米油是将玉米油中的不饱和脂肪酸的双键，通过氢化饱和减少一部分（表现为玉米油的碘值下降），从而达到高度不饱和的亚麻油酸被氢化饱和，转化成油酸或硬脂酸的目的，从而提高了稳定性，延长了保存期限；通过氢化，使油由液态转变成固态，具有可塑性，便于储运、包装、加工；进一步改善了色泽和风味，以适应食品工业加工多种风味食品的需要。

玉米胚芽饼是一种以蛋白质为主的营养物质，是较好的营养强化剂，但由于玉米胚芽饼中往往杂有玉米纤维，特别是胚芽饼有一种异味，所以一般均作为饲料处理。

1.10.3 蛋白粉的处理和综合利用

蛋白粉是玉米湿法加工的重要副产品，其蛋白质含量高达 50% ~ 70%，主要作为生产高蛋白饲料的原料，也可用来生产醇溶蛋白等其他工业品。

1.10.3.1 蛋白粉生产工艺及设备

a. 工艺 蛋白粉生产工艺有三种类型：

①采用气浮槽两次飘浮浓缩，板框压滤机脱水，滤饼用破碎机破碎后气流干燥。

②分离机预浓缩，卧式螺旋分离机浓缩，气流干燥。

③麸质浓缩机浓缩 真空过滤机脱水（见图 1-43）气流干燥。
蛋白粉的干燥也可采用管束干燥机。

b. 麸质转鼓真空过滤机

①主要规格和技术参数：麸质转鼓真空过滤机技术参数见表

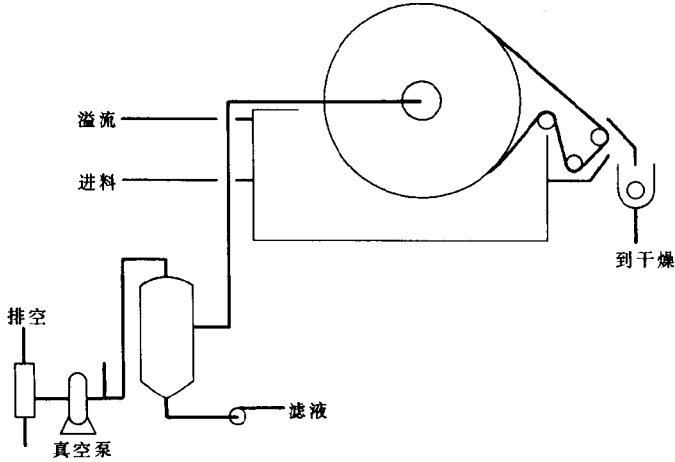


图 1-43 麸质转鼓真空过滤机工艺流程图

表 1-39 麸质转鼓真空过滤机技术参数

机型	YDJG - 10	YDJG - 15	YDJG - 20	YDJG - 25	YDJG - 30	YDJG - 35	YDJG - 40	YDJG - 45	YDJG - 50
项目									
过滤面积/ m ²	10	15	20	25	30	35	40	45	50
真空度/ MPa	0.04 ~ 0.08	0.04 ~ 0.08	0.04 ~ 0.08	0.04 ~ 0.08	0.04 ~ 0.08	0.04 ~ 0.08	0.04 ~ 0.08	0.04 ~ 0.08	0.04 ~ 0.08
下料干度 /%	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60
给料浓度 /%	11 ~ 13	11 ~ 13	11 ~ 13	11 ~ 13	11 ~ 13	11 ~ 13	11 ~ 13	11 ~ 13	11 ~ 13
日生产量/ [(t/m ² ·天)]	0.6 ~ 0.8	0.6 ~ 0.8	0.6 ~ 0.8	0.6 ~ 0.8	0.6 ~ 0.8	0.6 ~ 0.8	0.6 ~ 0.8	0.6 ~ 0.8	0.6 ~ 0.8
转鼓电机 功率/kW	1.5	1.5	1.5	1.5	2.2	2.2	2.2	2.2	3
转鼓转速/ (r/min)	0.1 ~ 0.6	0.1 ~ 0.6	0.1 ~ 0.6	0.1 ~ 0.6	0.1 ~ 0.6	0.1 ~ 0.6	0.1 ~ 0.6	0.1 ~ 0.6	0.1 ~ 0.6
机器总重/ kg	5 500	6 800	8 500	9 800	11 200	13 300	14 700	16 040	17 400
外形尺寸/ mm	4000 × 2860 × 2535	4940 × 2860 × 2535	4680 × 3685 × 3505	4800 × 3685 × 3505	5200 × 4230 × 3600	5300 × 4230 × 3600	5800 × 4230 × 3600	6300 × 4230 × 3600	6800 × 4230 × 3600

①主要结构特点：本机主要由转鼓、槽体、分配阀、转动装置、洗涤调整装置等组成。

I. 转鼓：该机根据过滤面积的不同，在整个转鼓周长上可分成12、16、24个过滤区，每个过滤区各有一二个排液管设在转鼓转动方向的前沿部分，滤液流过排液管后直接进入分配头。这种滤液排放管结构设计简单合理，既可保持滤液排出畅通，又能避免下料区出现滤液“反吐”现象。转鼓上的滤板采用聚丙烯材质，滤网可根据过滤浆料的不同而采用不同的材料、不同的网目数。整个转鼓采用焊接结构，材质为不锈钢。

在转鼓内部设有一冷凝水收集器，若转鼓内部有液体，则会通过吸滤管经轴颈排出。此收集器的作用为：①具有自动漏斗的功能，能够从转鼓内部排出冷凝液或其他液体。②还提供了一种检验内部管道泄漏的方法，因为它的作用如同一个通风装置通往大气。

II. 槽体：根据滤饼的过滤特性确定转鼓的浸没率为25%~35%。槽体内浆料液位利用溢流堰来控制。槽体两侧板下部各开一个备用口，在槽体底部开有两个排放口。该槽体除盛装浆料外，还是整个设备的支撑，本机所有零部件的重量全部落在槽体上。槽体的支撑板不设地脚螺栓，它与基础上的预埋扁钢采用焊接式连接。槽体的材质采用不锈钢。

III. 分配阀：该机分配阀采用平面接触式。分配阀上的小区与转鼓面上的分区相一致，在整个圆周上分为真空区和死区。在正常工作时，除死区外，分配头上全是真空区，保证浆料都紧紧吸附在转鼓网面上。分配头上的死区在方位上设在滤布离开转鼓时的位置以下，液面以上。这样主要是为了避免空气进入转鼓内，影响真空度。分配头体采用不锈钢材质，分配头体与轴颈之间的接触面（动盘与静盘）采用酚醛胶木，其接触面之间的压力靠外端面的弹簧来调节。

IV. 洗涤调整装置：它包括滤布的清洗装置、纠偏装置和带式

排放装置。

滤布清洗装置：滤布在连续工作中免不了会被细小颗粒所堵塞，因而滤布的洗涤再生就必不可少。因此在洗涤槽上部备有两根装有高冲击力喷嘴的清洗滤布用的喷射管，从内外两侧冲洗滤布，使滤布获得再生。

⑩纠偏装置：滤布在运行过程中经常偏离中心位置，因而在运行期间必须时时修正。本装置的作用是卡住滤布的导向边缘，并在滤布的左右边缘施加相等的拉力，使滤布保持在正常的工作位置。

⑪带式排放装置：当过滤浆料的颗粒比较小、粘性比较大时，此种卸料方式特别有用。

本装置由舒展辊、张紧辊、导向辊和一个弯管组成。舒展辊上有左右螺纹，起展开滤布的作用。张紧辊位置上下可调，用来调节滤布的张紧程度，提供正常的滤布拉力。导向辊安装在冲洗槽内侧自动调节轴承上，改变滤布行走方向。弯管用来支撑、展开滤布，消除滤布褶皱，同时还起破碎滤饼、调整滤布在转鼓中心段的水平位置的作用。

⑫操作与使用要求：本机进料前应配有浆料调节箱，使浆料先均匀混合，浆料最佳浓度为 11% ~ 13%，为达到此浓度，应配有麸质浓缩机。

I . 开机前准备工作：

检查各罐底部有无积水及其他杂物。

检查各排污管路是否关闭。

检查所有管路及法兰连接是否紧密，密封件是否紧密。

所有润滑点是否已注油。

其他机械情况是否正常。

II . 启动机运行程序：

调整溢流堰，控制工作液位。

启动转鼓的传动装置（按最低速率启动，逐步调节工作转

速)。

打开浆料输送泵，并检验证实浆料已流入罐体，调节进料速度以适应最终运行条件。

启动真空泵。

打开滤布洗涤阀。

经常观察滤布的伸张情况，确保正常运行，如需要可停机松开拉伸辊，并手动拉直滤布进行调节。

调节真空度调节阀，使达到最佳真空度，不要在较低的真空度下运行。由于设备运行的不稳定，可能需要不时地进行调节，转鼓的转速是最重要的调节内容，转速的高低影响产量、冲洗效果及下料滤饼的干度。

Ⅲ. 停机操作程序：

关闭进料泵，停止进料。

继续运行至滤饼排放停止。

关闭真空阀。

打开排料阀，将罐内浆料排尽。

保持转鼓运行，用水冲洗转鼓及罐体内部，滤布也要冲洗干净，否则附着的浆料干燥后将很难清洗，影响下次使用。

停转鼓，放净滤罐和洗涤罐中冲洗水。

1.10.3.2 蛋白粉的特性

玉米籽粒一般约含 10% 蛋白质，其中胚芽中含 20%，胚乳中含 76%。玉米的蛋白质可分为 4 种，即白蛋白、球蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白。根据其溶解度的不同，可分别从玉米中分离出来。首先用水浸提，溶出的是白蛋白；再用盐水浸提，溶出的是球蛋白；再用 70% 的酒精浸提，溶出的是醇溶蛋白；最后用稀碱浸提，得到的是谷蛋白。

玉米醇溶蛋白水解后含有较多的谷氨酸和亮氨酸，但缺少色氨酸和亮氨酸。醇溶蛋白在玉米中含量约 4%，是谷物类所共有的一种蛋白质。其特点是不溶于水，而溶于醇类水溶液，如 70% ~

80% 的酒精，也溶于十二烷基硫酸钠水溶液。

玉米谷蛋白占玉米蛋白质的 40% 等电点在 $\text{pH}6.45$ 。谷蛋白也是玉米中的主要蛋白质，约占玉米质量的 4%，主要是由二硫键链接起来的各种不同多肽所组成的高分子化合物。能溶于稀碱液，不溶于水也不溶于盐和醇溶液。

白蛋白、球蛋白是生物学价值较高的蛋白质，但在玉米中含量极少不到 2%，主要分布在玉米胚芽中。

一般蛋白粉的蛋白含量为 50% ~ 60%。某种蛋白粉的分析数据如下：蛋白 69% (干基)，淀粉 19% (干基)，类胡萝卜素 110 ~ 245mg/kg 水分 10% ~ 12%。

1.10.3.3 蛋白粉的综合利用

用 60% 的酒精 100mL 可溶入 30g 的玉米醇溶蛋白，这种醇溶蛋白具有很强的防水性、耐热性和耐脂性。在食品工业中，醇溶蛋白可以作为被膜剂，即以喷雾方式在食品表面形成一个涂层，可防潮、防氧化，从而延长食品货架期。喷在水果上，还能增加光泽。据说以 90% 的乙醇萃取液，可直接用于食品工业。此外，还能用于药物的长效囊膜。现在日本、美国、英国均有玉米醇溶蛋白生产。制取醇溶蛋白有二条工艺路线：一种是先用烯烃除去玉米蛋白粉中所含的脂肪和部分色素，然后用醇类萃取、分离、精制；另一种是直接异丙醇萃取，亦称一步法。

现将一步法制取醇溶蛋白的方法介绍如下：将玉米淀粉生产的副产品玉米蛋白粉，用 4 倍体积的热异丙醇溶液（浓度 86%）混合搅拌以溶出蛋白质。用离心机分离掉不溶性残渣，回收浸出液，其醇溶蛋白的浓度为 6%。以 50% 浓度的 NaOH 处理浸出液使 pH 达 11.5 在 70 保持 30min，防止凝胶。冷却后用盐酸调节 pH 至 5.6，过滤，用同体积的己烷和滤液混合，分成两层，上层为己烷层，含有溶入的油脂、胡萝卜素等；下层为 50% 异丙醇层，含醇溶蛋白 25.0%。将异丙醇层泵入 10 的水中，醇溶蛋白沉淀，过滤，用冷水洗涤，经喷雾干燥得玉米醇溶蛋白。

玉米蛋白粉与纤维混合生产的蛋白饲料主要成分为：蛋白 18% ~ 22% 脂肪 1.0% (最小)。

1.10.4 玉米纤维的处理和综合利用

玉米纤维是玉米湿法加工的重要副产物，干的玉米纤维一般用作饲料，也可用于发酵。

1.10.4.1 玉米纤维生产工艺条件及设备

干燥出的玉米纤维一般不进行再处理，有的厂只是用粉碎机进行粉碎即可出售。

1.10.4.2 玉米纤维的特性

玉米纤维的化学组成见表 1 - 40。

表 1 - 40 玉米纤维的化学组成

成分	含量 / %
纤维素	11
蛋白质	11.8
葡萄糖	32
木糖	18.7
阿拉伯糖	10.5
灰分	1.2
未知成分	14.8
合计	100

上表中 32% 的葡萄糖中，有 23% 来自玉米纤维中残留的淀粉。

1.10.4.3 玉米纤维的综合利用

① 玉米纤维与浓缩玉米浆混合干燥生产高蛋白饲料。

⑥玉米纤维水解制作饲料酵母。

⑦玉米纤维生产膳食纤维。

1.11 淀粉生产质量控制与检验

1.11.1 中间产品及工艺过程控制

1.11.1.1 浸泡工段

a. 生产 H_2SO_3 的工艺参数

燃烧炉气体 SO_2 含量 $\geq 8\% \sim 12\%$;

进吸收塔温度 $\leq 90 \sim 95^\circ\text{C}$;

吸收水温度 $\leq 40^\circ\text{C}$;

SO_2 浓度 $0.20\% \sim 0.35\%$;

尾气 SO_2 含量 $\leq 0.3\%$ 。

b. 浸泡工艺参数

玉米浸泡温度 $49 \sim 53^\circ\text{C}$;

浸泡时间 $60 \sim 72\text{h}$;

浸后玉米水分 $42\% \sim 45\%$;

浸后玉米可溶物含量 $2\% \sim 3\%$;

浸后玉米可用两指捏开;

稀玉米浆浓度 $\geq 2.5^\circ\text{Bé}$;

浸后玉米酸度 $\leq 70\text{ml}(0.1\text{mol/LNaOH 溶液滴定 } 100\text{g 玉米干物所需的体积)}$;

稀玉米浆 SO_2 含量 $< 0.03\%$ 。

1.11.1.2 破碎工段

a. 玉米破碎工艺指标

进磨玉米水分 $42\% \sim 45\%$;

进磨玉米与水之比为 $1:(1.5 \sim 2.5)$;

一次破碎齿盘间隙 $25 \sim 30\text{mm}$;

一次破碎整粒率 $< 1\%$ 浓度 $6.0 \sim 7.5^\circ\text{Bé}$, 干物质含量 25%

左右，游离胚芽率 $\geq 85\%$ ，释放淀粉率 $20\% \sim 25\%$ ，连结胚量 $\leq 2.5\%$ （占过滤浆液质量）；

二次破碎齿盘间隙 $22 \sim 25\text{mm}$ ；

二次破碎后不含整粒玉米，浓度 $7 \sim 9^\circ\text{Bé}$ 游离胚芽率 $\geq 95\%$ 释放淀粉率 $25\% \sim 30\%$ ，破碎胚芽量 $\leq 1.5\%$ ，连结胚量 $\leq 0.3\%$ （占过滤浆液质量）。

b. 胚芽分离工艺指标

进入提胚旋流器压力 $\geq 0.5\text{MPa}$ ；

一级旋流器溢流口流出量占进料量的 20% ，二级旋流器溢流口流出量占进料量的 30% ；

一级分离进料浓度 $6.0 \sim 7.5^\circ\text{Bé}$ ；

二级分离进料浓度 $7.0 \sim 9.0^\circ\text{Bé}$ ；

胚芽洗涤水 SO_2 含量 $0.025\% \sim 0.03\%$ ；

物料温度约 35°C ；

提胚率 $\geq 98\%$ ；

胚芽洗涤后游离淀粉含量 $\leq 1.5\%$ 。

c. 胚芽烘干工艺指标

挤干前胚芽含水量约 75% ；

挤干后胚芽含水量 $\leq 55\%$ ；

挤干后胚芽破碎率 $\leq 5\%$ ；

烘干后胚芽含水量 $\leq 5\%$ ；

管束干燥机工作供汽压力 $0.3 \sim 0.6\text{MPa}$ ；

干胚中淀粉含量 $\leq 10\%$ ；

干胚中烧焦胚率 $\leq 0.1\%$ 。

1.11.1.3 精磨及纤维洗涤

a. 精磨工艺指标

磨前物料浓度 $> 13^\circ\text{Bé}$ ；

磨前物料游离淀粉含量 $\leq 10\%$ ；

磨后物料粗细渣比例 $2.5:1$ ；

磨后物料温度升高约 6°C ;
磨后物料中联结淀粉含量 $\leq 20\%$;
磨碎后加洗浆调整浓度为 $11 \sim 12^{\circ}\text{Bé}$ 。

b. 纤维洗涤工艺指标

细淀粉乳浓度 $5 \sim 8^{\circ}\text{Bé}$;
淀粉乳含渣量 $\leq 0.1\text{g/L}$;
一级洗涤筛洗液浓度约 3°Bé ;
末级洗涤筛洗液浓度 $\leq 1^{\circ}\text{Bé}$;
粗渣中总淀粉含量 $\leq 14\%$ 游离淀粉含量 $\leq 1\%$;
细渣中总淀粉含量 $\leq 15\%$ 游离淀粉含量 $\leq 6\%$;
洗水温度约 40°C ;
洗水用量 100kg 绝干玉米需 $230 \sim 250\text{L}$ 水 ;
洗涤水 SO_2 含量为 $0.02\% \sim 0.03\%$ 。

c. 纤维脱水工艺指标

洗后纤维含水 $85\% \sim 90\%$;
挤干后纤维含水 $60\% \sim 65\%$;
挤出液干物含量约 1.0% ;
干燥后纤维渣含水 $\leq 13\%$;
干燥后纤维渣含淀粉 (以干物计) $\leq 18\%$;
管束干燥机供汽压力 $0.4 \sim 0.6\text{MPa}$ 。

1.11.1.4 麸质分离与淀粉洗涤工段

a. 细淀粉乳指标

蛋白质含量 $6\% \sim 8\%$;
 SO_2 含量 $0.035\% \sim 0.045\%$;
细纤维含量 $0.05 \sim 0.1\text{g/L}$;
细砂含量 $< 0.002\%$;
可溶性物质含量 $2.5\% \sim 5.0\%$;
物料温度 $35 \sim 40^{\circ}\text{C}$;
物料浓度 $6 \sim 7.5^{\circ}\text{Bé}$ 。

b. 精制淀粉乳指标

蛋白质含量 (干基) 0.4% ~ 0.5% ;

SO₂ 含量 0.001% ~ 0.015% ;

物料温度 40 ~ 45℃ ;

物料浓度 19 ~ 22°Bé ;

可溶物含量 ≤ 0.25% 。

1.11.1.5 淀粉脱水干燥工段

a. 淀粉乳脱水工艺指标

湿淀粉含水 36% ~ 38% ;

蛋白质含量 0.4% ~ 0.5% ;

溢流浆浓度 2.5 ~ 3.5°Bé 。

b. 湿淀粉干燥工艺指标

淀粉水分 12% ~ 14% ;

淀粉细度 (100 目筛上物) ≤ 0.5% ;

蒸汽压力 0.45 ~ 0.65MPa ;

热空气温度 130 ~ 150℃ 。

1.11.2 设备工艺性能评价

1.11.2.1 筛理设备工艺性能评价

筛分效率 :

$$Q = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%$$

式中 m_1 ——进入筛面的物料中可通过筛面的物料质量

m_2 ——筛分后通过筛面的物料质量

1.11.2.2 分离机工艺性能测定

淀粉中结合蛋白质的定量分析法 :

①制备浓度为 63% 的蔗糖溶液, 其相对密度为 1.30。

②倒 10ml 蔗糖溶液于 15ml 有刻度的试管中。

③采取初级分离机的底流样品。

④缓慢倒入 5ml 底流样品于试管中，此底流样品将留在蔗糖溶液的上层。不可搅拌，小心地将试管放置于实验室离心机内。

⑤将离心机调至 2 835r/min 运行 10min。

停机后，取出试管，试管内形成四层，最底层为白色淀粉层，其上层为蔗糖溶液层，再上层为黄色蛋白质，最上层为澄清的水。

⑥倒出上面三层，留下最底层的白色淀粉层。

⑦重复倒入蔗糖溶液离心分离。

⑧用清水洗出淀粉，用滤纸过滤，再用水清洗淀粉去除糖分。

⑨测定淀粉样品中的蛋白质总量，即为结合在淀粉中的蛋白质质量。可用凯氏定氮法测定蛋白质含量。

1.11.2.3 旋流器工艺性能评价

a. 胚芽分离旋流器生产能力：

$$\eta = (0.8D - 85) \times 3.15p^{0.5}$$

式中 η —— 旋流器生产能力 (t 商品玉米 / d)

D —— 旋流器圆柱直径 (mm)

p —— 旋流器进口压力 (MPa)

b. 淀粉洗涤旋流器分离效率：

$$E = \frac{S - R}{1 - R} \times 100\%$$

式中 S —— 底流与进料固形物流量比

R —— 底流与进料体积流量比

1.11.3 工业玉米淀粉产品质量检验标准 (GB12309—90)

1.11.3.1 主题内容与适用范围

本标准规定了工业玉米淀粉的技术要求、实验方法、检验规则及产品的标志、包装、运输、贮存。

本标准适用于以玉米为原料，经湿磨法加工制成的工业淀粉。

1.11.3.2 引用标准

GB 191 包装储运图示标志

GB 601 化学试剂 滴定分析(容量分析)用标准溶液的制备

GB 602 化学试剂 杂质测定用标准溶液的制备

GB 603 化学试剂 试验方法中所用制剂及制品的制备

GB 604 化学试剂 酸碱指示剂 pH 变色域测定通用方法

GB 7718 食品标签通用标准

1.11.3.3 技术要求

a. 感官要求 见表 1-41。

表 1-41 工业玉米淀粉感官指标

指标 项目	等级	优级	一级	二级
	外观		白色或微带浅黄色阴影的粉末,具有光泽	
气味		具有玉米淀粉固有的特殊气味,无异味		

b. 理化要求 见表 1-42。

表 1-42 工业玉米淀粉理化指标

指标 项目	等级	优级	一级	二级
	水分/%		≤14.0	
细度/%		≥99.8	≥99.5	≥99.0
斑点数/(个/cm ²)		≤0.4	≤1.2	≤2.0
酸度/ml(中和 100g 绝干淀粉消耗 0.1mol/L 氢氧化钠溶液的体积)		≤12.0	≤18.0	≤25.0
灰分(干基)/%		≤0.10	≤0.15	≤0.20
蛋白质(干基)含量/%		≤0.40	≤0.50	≤0.80
脂肪(干基)含量/%		≤0.10	≤0.15	≤0.25
二氧化硫含量/%		≤0.004	-	-
铁盐含量/%		≤0.002	-	-

1.11.3.4 试验方法

试验方法中所用水均为去离子水或蒸馏水，所用试剂均为分析纯。

a. 取样 从整批产品中抽取样品时，应先从整批中抽取若干包装单位，然后再从抽出的包装单位中抽取均匀试样。

整批产品中包装单位的抽取：抽取包装单位的数量根据批量总数按下式计算。

$$n = \sqrt{n_1/2}$$

式中 n ——应抽取的包装单位数（不得小于 10）（袋）

n_1 ——批量的总包装单位数（袋）

均匀试样的抽取：取样时，用清洁、干燥的取样工具插入包装袋的 2/3 处。每袋取样 100g，将抽取的样品迅速混匀，用四分法缩分，然后分装于两个 1 000ml 清洁干燥的广口瓶中，密封，贴上标签，一瓶供检测用，一瓶封存备查。

b. 感官试验

①外观：在明暗适度的光线下，用肉眼观察样品的颜色，然后在较强烈阳光下观察样品的光泽。

②气味：取淀粉样品 20g 放入 100ml 磨口瓶中，加入 50℃ 的温水 50ml 加盖，振摇 30s，倾出上清液，嗅其气味。

c. 理化试验

①水分（烘箱法）：

I. 原理：将样品放于 (131 ± 2) ℃ 的烘箱内，干燥后测样品的损失质量。

II. 仪器：

电热干燥箱： (131 ± 2) ℃；

铝盒或称量瓶：直径 40 ~ 50mm；

干燥器：用变色硅胶作干燥剂。

III. 试验程序：用恒重的铝盒（或称量瓶）称取样品 4 ~ 5g，精确至 0.000 1g 置于 (131 ± 2) ℃ 的烘箱中，把盖靠在铝盒（或称量

瓶)上烘干 40min 取出, 迅速盖盖。放入干燥器内, 冷却 (30min 至室温, 称量 (在 2min 内完成)。

IV. 计算:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_0} \times 100\%$$

式中 w —— 样品的水分含量 (%)

m_0 —— 样品的质量 (g)

m_1 —— 干燥前样品与铝盒 (或称量瓶) 的质量 (g)

m_2 —— 干燥后样品与铝盒 (或称量瓶) 的质量 (g)

V. 允许差: 同一样品两次测量之差应小于 0.2% 结果保留一位小数。

⑥ 细度:

I. 原理: 将样品用分样筛进行筛分, 得到样品通过分样筛的质量。

II. 仪器:

100 目分样筛。

III. 试验程序: 称取样品 50g (精确至 0.01g) 置于 100 目分样筛中, 加盖, 用振荡器或手剧烈振摇, 筛分后小心倒出, 称量筛上残留物质量。

IV. 计算:

$$X_2 = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\%$$

式中 X_2 —— 样品的细度 (%)

m_0 —— 样品的质量 (g)

m_1 —— 筛上残留物的质量 (g)

V. 允许差: 同一样品两次测定值之差应小于 0.2% 结果保留一位小数。

⑦ 斑点:

I. 原理: 用肉眼观察样品中的斑点数量。

II. 仪器：

SBN 型淀粉斑点计数器，见附录 A(补充件)。

III. 试验程序：称取样品 50g(精确至 0.1g)，充分混匀，平铺于清洁的白纸、玻璃或瓷板上，然后将淀粉斑点计数器置于淀粉样品的表面，并轻轻压实，在明暗适度的阳光下用肉眼观测(相当于目力 5.2)并读取 10 小格内的斑点数(包括不同于淀粉正常色泽的各色斑点)。然后，将样品再充分混匀，以同样方法重复检测三次。

IV. 计算：

$$X_3 = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3 \times 10}$$

式中 X_3 —— 每平方厘米所含斑点数 (个 / cm^2)

A_1, A_2, A_3 —— 分别为每次查得的斑点数 (个)

3 —— 检测样品的次数

10 —— 10 小格的总面积 (cm^2)

V. 允许差：同一样品两次测定值之差应小于 0.05 个 结果保留一位小数。

④酸度：

I. 原理：用氢氧化钠标准溶液滴定淀粉乳液直至中性时所耗用的该标准溶液体积表示。

II. 仪器：

三角瓶或烧杯：250ml。

III. 试剂：

0.1mol/LNaOH 标准溶液：按 GB601 配制与标定。

1% 酚酞指示液：按 GB604 制备。

IV. 试验程序：称取样品 10g(精确至 0.01g)置于三角瓶或烧杯中，加预先煮沸放冷的无二氧化碳蒸馏水 100ml 及 5 ~ 8 滴酚酞指示液，摇匀，以 0.1mol/LNaOH 标准溶液滴定，将近终点时，再加 3 ~ 5 滴酚酞指示液，继续滴加至溶液呈微粉红色，保持 30s

不褪色即为终点。同时做空白试验

V. 计算：

$$V = \frac{(V_1 - V_0) \times c}{m \times (1 - w) \times 0.1} \times 100$$

式中 V —— 中和 100g 绝干淀粉消耗 0.1mol/LNaOH 标准溶液的体积 (ml)

V_1 —— 滴定时消耗 0.1mol/LNaOH 标准溶液的体积 (ml)

V_0 —— 空白试验消耗 0.1mol/LNaOH 标准溶液的体积 (ml)

—— NaOH 标准溶液浓度 (mol/L)

m —— 样品的质量 (g)

w —— 样品的水分含量 (%)

VI. 允许差：同一样品两次滴定值之差应小于 0.2ml, 最后计算结果保留一位小数。

④灰分：

I. 原理：将样品置于温度为 (550 ± 25) 的马福炉中灰化，得到样品灰化后的残留物质量。

II. 仪器：

坩埚：50ml；

马福炉：(550 ± 25)℃。

III. 试验程序：用已知恒重的坩埚称取混匀的样品 2 ~ 3g (精确至 0.0001g)，先于电炉上小心炭化，再放入马福炉中，在 (550 ± 25) 灼烧至残留物无黑色炭粒为止 (大约 2h)，残渣呈白色或灰白色粉末。关闭电源，待温度降至 200 时，取出坩埚，将其置于干燥器内，加盖，冷却 30min，称量。再在上述条件下灼烧 0.5h，冷却，称量，直至恒重 (前后两次称量之差小于 0.2mg)。

IV. 计算：

$$w_1 = \frac{m_1}{m \times (1 - w)} \times 100\%$$

式中 w_1 —— 样品的灰分含量 (%)
 m_1 —— 灼烧后残留物的质量 (g)
 m —— 样品的质量 (g)
 w —— 样品的水分含量 (%)

V. 允许差：同一样品两次测定值差应小于 0.02% 结果保留二位小数。

蛋白质：

I. 原理：在催化剂作用下，用硫酸分解样品，然后中和样品溶液进行蒸馏使氮释放，用硼酸收集，再用标定好的硫酸溶液滴定，得到硫酸的耗用量转换成氮含量。

II. 仪器：

凯氏烧瓶 :500ml;

锥形瓶 500ml;

常量定氮蒸馏装置见图 1-44。

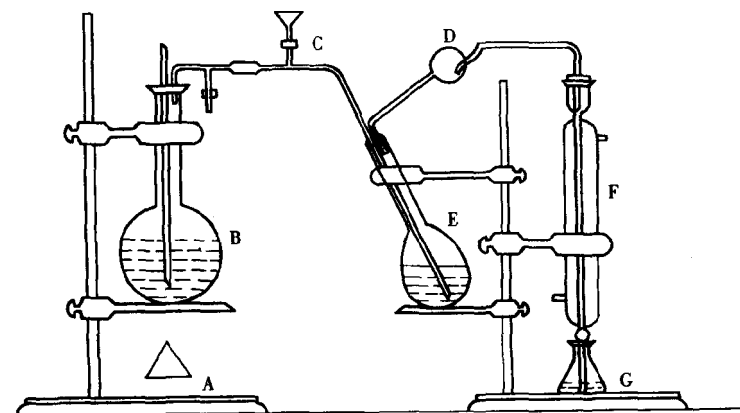


图 1-44 常量定氮蒸馏装置图

A—电炉 B—圆底烧瓶 C—漏斗 D—定氮球
E—凯氏烧瓶 F—冷凝管 G—锥形瓶

Ⅲ. 试剂：

40% NaOH 溶液；

0.05 mol/L($\frac{1}{2}$ H₂SO₄) 标准溶液：按 GB601 配制与标定；

2% 硼酸溶液；

浓硫酸；

复合催化剂：硫酸钾 97g 和无水硫酸铜 3g 的混合物；

混合指示液：0.1% 的甲基红乙醇溶液 20ml, 加 0.2% 溴甲酚绿乙醇溶液 30ml, 摇匀即得。

Ⅳ. 试验程序：

分解：称取混匀的样品 3 ~ 4g (精确至 0.001g) 放入干燥的凯氏烧瓶中(避免样品粘在瓶颈内壁上)，加入复合催化剂 10g、硫酸 25ml 和几粒玻璃珠，轻轻摇动烧瓶，使样品完全湿润。然后将凯氏烧瓶以 45°角斜放于支架上，瓶口盖以玻璃漏斗，用电炉开始缓慢加热，当泡沫消失后，强热至沸。待瓶壁不附有炭化物且瓶内液体为澄清浅绿色后，继续加热 30min，使其完全分解(以上操作应在通风橱内进行)。

⑩蒸馏：待分解液冷却后，用蒸馏水冲洗玻璃漏斗及烧瓶瓶颈，并稀释至 250ml。将凯氏烧瓶移于蒸馏架上，在冷凝管下端接 500ml 锥形瓶作接收器，瓶内预先注入 2% 硼酸溶液 50.0ml 及混合指示液 10 滴。将冷凝管的下口插入锥形瓶的液体中，然后沿凯氏烧瓶颈壁缓慢加入 40% NaOH 溶液 70 ~ 100ml，打开冷却水，立即连接蒸馏装置，轻轻摇动凯氏烧瓶，使溶液混合均匀，加热蒸馏，至馏出液为原体积的 3/5 时停止加热。使冷凝管下口离开锥形瓶，用少量水冲洗冷凝管，洗液并入锥形瓶中。

⑪滴定：将锥形瓶内的液体用 0.05 mol/L($\frac{1}{2}$ H₂SO₄) 标准溶液滴定，使溶液由蓝绿色变为灰紫色即为终点。同时做空白试

验。

V 计算：

$$w_2 = \frac{(V_1 - V_0) \times c \times 0.028 \times 6.25}{m \times (1 - w)} \times 100\%$$

式中 w_2 ——样品中蛋白质的含量（%）

V_1 ——滴定样品时消耗 0.05 mol/L ($\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4$) 标准溶液的体积 (ml)

V_0 ——空白试验时消耗 0.05 mol/L ($\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4$) 标准溶液的体积 (ml)

c —— $\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4$ 标准溶液的浓度 (mol/L)

m ——样品质量 (g)

w ——样品的水分含量 (%)

6.25——氮换算成蛋白质的系数

0.028——氮的毫摩质量 (g/mmol)

VI. 允许差：同一样品两次滴定所消耗硫酸溶液体积之差应小于 0.1 ml ，最终结果保留两位小数。

注：若采用微量定氮法，请参照附录 B(参考件)。

④脂肪：

I. 原理：用乙醚将样品中的脂肪抽提出来，干燥后，得到样品的总脂肪剩余物质量占原样品质量的百分率。

II. 仪器：

索氏提取器；

电水浴锅；

烘箱。

III. 试剂与材料：

无水乙醚；

滤纸筒及脱脂滤纸。

IV. 试验程序：精确称取绝干样品 5g (精确至 0.000 1g) ,用经过干燥的脱脂滤纸将样品包好，置于滤纸筒中，放入索氏提取器抽提筒内，将抽提筒与经过干燥的已知质量的抽提瓶连好，将乙醚倒入抽提筒内至虹吸管高度上边，将乙醚虹吸下去。两次后，再倒入乙醚至虹吸管高度 2/3 处，装上冷凝管，在 65℃ 蒸馏水的水浴上回流抽提 4h。取出滤纸筒，回收乙醚，至抽提瓶中残留液为 1 ~ 2ml 时，取下抽提瓶，在水浴上驱除残余的乙醚，洗净瓶外部，置于 105℃ 烘箱中烘至恒重（前后两次称量之差不得超过 0.2mg 取较小称量结果）。

V. 计算：

$$w_3 = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \times 100\%$$

式中 w_3 ——样品的脂肪含量（%）

m_1 ——抽提瓶和残留物的质量（g）

m_2 ——抽提瓶的质量（g）

m_3 ——绝干样品的质量（g）

v_1 . 允许差：同一样品两次测定值之差应小于 0.5% 最终结果保留两位小数。

⑥ 二氧化硫：

I. 仪器：

碘量瓶：500ml；

滴定管：5ml。

II. 试剂：

0.01mol/L ($\frac{1}{2} I_2$) 标准溶液：按 GB601 配制与标定；

0.5% 淀粉指示液：按 GB603 制备。

III. 试验程序：称取样品 20g (精确至 0.01g) 置于碘量瓶中，加蒸馏水 200ml 充分振摇 15min 后过滤。取滤液 100ml 置于锥

形瓶中，加淀粉指示液 2ml，用 $0.01 \text{ mol/L}(\frac{1}{2} \text{I}_2)$ 标准溶液滴定至淡蓝色即为终点。同时做空白试验。

IV. 结果判定：样品中二氧化硫含量必须小于 0.004% 即滴定至终点时，所用碘液必须少于 1.25ml。

V. 允许差：同一样品两次滴定值之差应小于 0.02ml 最后结果取三位小数。

①铁盐：

I. 仪器：

锥形瓶 200ml；
纳氏比色管：50ml；
定量滤纸。

II. 试剂：

30% 硫氰酸铵溶液；
盐酸；
过硫酸铵；
正丁醇；
硫酸；
铁标准溶液（ $1 \text{ ml} = 10 \mu\text{g}$ ）：按 GB602 配制铁标准溶液， $1 \text{ ml} = 0.1 \text{ mg}$ 。使用时，准确稀释 10 倍。

III. 试验程序：称取样品 0.5g（精确至 0.0001g）置于 200ml 锥形瓶中，加水 15ml、浓盐酸 2ml，振摇 5min，过滤于纳氏比色管中，用少量水洗涤残渣，合并洗液。加过硫酸铵 50mg，用水稀释成约 35ml，加硫氰酸铵溶液 3ml，加水稀释至刻度，摇匀。

准确吸取 1.00ml 铁标准溶液（ $1 \text{ ml} = 10 \mu\text{g Fe}$ ）于另一支纳氏比色管中，用同一方法制成对照液，然后与样品进行目视比色。

如果试样管与对照管色调不一致时，可分别移至分液漏斗中各加正丁醇 20ml，振摇提取静置。待分层后，将正丁醇液层移于 50ml 纳氏管中，再用正丁醇稀释至 25ml，进行颜色比较。

Ⅳ. 结果判定：试样管颜色比对照管浅，则铁盐含量小于 0.002%；若试样管颜色深于对照管，则铁盐含量大于 0.002% 判为不合格。

注：本试验所用仪器必须用稀硝酸煮沸，用去离子水冲洗干净。

1.11.3.5 检验规则

④同一生产期内所生产、经包装出厂的，具有同一批号和同样质量证明书的淀粉，为同一批次产品。

①生产厂必须按本标准规定逐批进行检验，并应附有质量检验部门出具的产品质量合格证，方能出厂。

②收货方在接到货时，有权从该产品中抽取样品，按本标准规定进行检验。如有一项指标不符合标准要求，应再从同批样品中取加倍数量的样品复验，以复验结果为准。若仍不符合标准要求，收货方可在收到货 30 天内向供货方提出要求退货或由供需双方协商处理。若有争议，可请上级法定质量检验部门仲裁。产品符合标准时，应由收货方承担样品及检验费用；反之，则由供货方负责。

1.11.3.6 标志、包装、运输、贮存

a. 产品标志、标签 产品的标签、标志按 GB7718 执行，并明确标出淀粉产品标准等级的代号，外包装上的文字内容与图示应符合 GB191 标准。

b. 包装 产品的包装必须袋质结实，标签清晰整洁，袋口密封，能保证在装卸、运输和贮存过程中无破漏现象，用于食品工业的产品包装袋还必须符合食品卫生的要求。

袋装淀粉质量 50kg 以下，允许公差为 $\pm 0.3\%$ ；50kg 以上，允许公差为 $\pm 0.2\%$ 。

c. 运输 运输设备要洁净卫生，无其他强烈刺激味。运输时，必须用篷布遮盖，不得受潮。在整个运输过程中，要保持干燥、清洁，不得与有毒、有害、有腐蚀性物品混装、混运，避免日晒

和雨淋。装卸时，应轻拿轻放，严禁直接钩、扎包装袋。

d. 贮存 存放地点应保持清洁、通风干燥、阴凉，严防日晒、雨淋，严禁火种。不得与有毒、有害、有腐蚀性和含有异味的物品堆放在一起。产品包装袋应堆放在离地 100mm 以上的垫板上，堆垛四周应离墙壁 500mm 以上，垛间应留有 600mm 以上的通道。

附录 A SBN 型淀粉斑点计数器（补充件）

尺寸与形状

SBN 型淀粉斑点计数器的尺寸见表 1-43 形状见图 1-45。

表 1-43 斑点计数器尺寸表

型 号	尺 寸/mm			
	半 径	厚 度	边 缘 半 径	刻 痕 宽 度
SBN 型	50	3	2	≤ 0.1

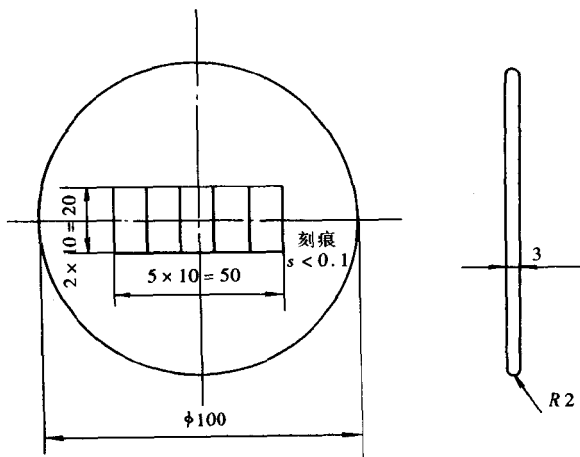


图 1-45 SBN 型淀粉斑点计数器

物理特性

SBN 型斑点计数器应由无色、透明的玻璃板制成，玻璃板不

允许有结石、气泡，表面须光洁、平整，不得有条纹、擦痕、麻斑。

分划线须平行、垂直，不得有断线及凹凸现象，单位面积准确到 $\pm 0.1\text{cm}$ 刻痕宽度 $s \leq 0.1\text{mm}$ 。

分划线及数字符号用红色标记。刻线粗细均匀一致，色泽清晰牢固。用酒精、乙醚擦时，颜色不脱落。

耐温性能： $-40 \sim 50^\circ\text{C}$ 。

附录 B 微量定氮法（参考件）

仪器设备

微量定氮装置如图 1-46 所示。

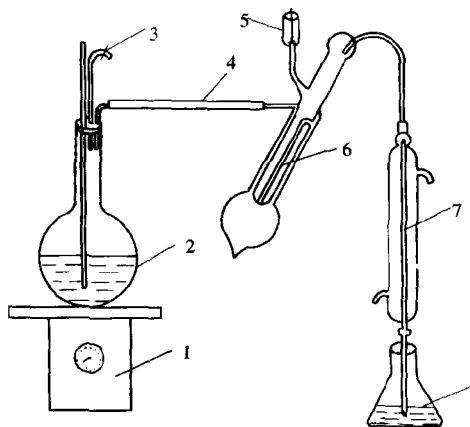


图 1-46 微量定氮装置

- 1—电炉 2—蒸汽发生器 3—大气夹 4—螺旋夹
5—小玻璃杯 6—反应室 7—冷凝管 8—接收瓶

蒸馏

将消化好并冷却至室温的样品溶液全部转移到 100ml 容量瓶中，用水定容至刻度，摇匀。

向 100ml 接收瓶内加入 20ml 2% 硼酸溶液和一滴混合指示液。将接收瓶置于冷凝管下口，使下口浸入硼酸溶液中。再取 10ml 定容后的样品液，沿小玻璃杯移入反应室，并用少量水冲洗

2.

2.1

2.1.1

2.1.1.1

a.

50 ~ 200g

300g

b.

c.

20mg/100g

2.1.1.2

80%

3/4,

1/3

5%

块茎细胞中，最后与渣滓一起排出。

马铃薯的果胶物质是原果胶，它是不溶于水的化合物。在块茎中，原果胶是与组织细胞相连结的。大量的果胶物质含在皮层内，平均含量为马铃薯质量的 0.7% 左右。在淀粉生产中，这些物质能积蓄在淀粉生产的下脚料（渣滓）中。

马铃薯中的含氮物质主要是蛋白质及其游离氨基酸，两者之比为 (2:1) ~ (1:1)，它们主要分布于马铃薯的皮层和与皮层相连接的层及块茎的果肉中。马铃薯蛋白质的食用和饲用的意义在于这些蛋白质中含有人及动物的机体所不能合成的必需氨基酸，应该为任何有生命的机体提供这些氨基酸。

马铃薯的矿物质（灰分）含量平均为原料质量的 1%，矿物质包含在全部细胞及组织的结构中。占全部矿物质一半以上的是氧化钾，其次是含磷、钠、氯的化合物。除此之外，在块茎中还含有硫、镁、钙、铁及其他元素。占马铃薯灰分 70% 以上的是可溶性物质，这些物质在淀粉生产过程中被洗涤，并与马铃薯汁及废水一起排出。不溶解的灰分残留在渣滓中，一部分残留在淀粉中。马铃薯细胞液的酸度取决于块茎中的有机酸的存在，例如柠檬酸、异柠檬酸、苹果酸、草酸、乳酸等等。

在马铃薯块茎中发现有脂肪酸（棕榈酸、油酸、亚油酸、亚麻酸）维生素 C、维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₆、维生素 PP、其他维生素及糖苷（配糖体）物质，在这些物质里，葡萄糖（或者其他单糖）是与醇、醛或酚相结合的。许多糖苷具有苦味。马铃薯中发现的糖苷属于龙葵苷（龙葵碱），其含量在马铃薯贮存期间因阳光照射和发芽而急剧地增加。块茎外表层中有许多糖苷，特别是在皮层内含量更多。龙葵苷（龙葵碱）是有毒物质，能形成稳定的泡沫，这种情况会妨碍淀粉生产中许多过程的顺利进行。块茎内水分含量高，其呼吸强度远远超过一般粮食作物，所以在贮藏期间必须注意通气与温度调节，否则在薯堆内会大量积聚水分、二氧化碳和热量，妨碍块茎的正常生理活动，促进微生物大量繁殖，致

使质量急剧下降甚至腐烂。

马铃薯的安全贮藏取决于温度和湿度，尤其是温度。块茎在 0℃ 以下受冻害；在 1℃ 时淀粉极易转化为糖，降低了使用价值。2~5℃ 是贮藏马铃薯的合适温度，块茎呼吸强度很弱，质量损失亦小，渡过休眠期的块茎不萌芽。在 8℃ 时呼吸最强，皮孔张开，感病的块茎开始变化，湿度小时则干腐，湿度大时则湿腐，渡过休眠期的块茎开始萌芽。在 15℃ 以上呼吸强烈，湿度小时，块茎失水较多而开始皱缩；湿度较大时，湿腐病迅速发展。因此，为了保持马铃薯的加工品质，在入窖 10~14 天中应保持 13~18℃ 的温度，相对湿度为 85%~95%，保证有足够空气流通，以利于伤口栓质化及愈合。栓质化后应尽快降低温度，最适温度为 3~6℃，贮藏温度如果提高到 7~10℃，块茎呼吸旺盛，导致淀粉损失。

供贮藏用的马铃薯应尽量避免机械损伤，严格剔除受病虫害或经日晒及受冷冻的马铃薯。因为经曝晒的马铃薯容易腐烂，不耐贮藏；而受冷冻的马铃薯也会失去本身的保护能力，容易遭受各种病原体的侵害，甚至变质和腐烂。

准备储藏的马铃薯应放在阴凉通风的场所 2~3 星期，让水分蒸发一部分，使皮层坚硬，然后再入窖。窖内不应堆放过厚，应具有好的通风条件，如通风不良，堆放过厚的块茎会发生缺氧呼吸而黑心。经过长期贮藏的块茎，淀粉含量降低。据试验，贮藏 2~3 个月以后的马铃薯出粉率可达 12% 以上；但贮藏 12 个月以后，就降低到 9%。如果块茎腐烂或发芽，淀粉的损失率可达 12.5%。发芽的马铃薯，芽体内也会含有较多的龙葵素，势必使块茎中龙葵素总含量增加。此外，由于水分的蒸发而引起质量的损失，这比因呼吸造成的干物质损失要大 10 倍以上。为了安全地贮藏马铃薯，必须创造有利条件，保证马铃薯中的营养物质损失最少，质量损失也最低，达到不腐败、不变质的要求，这是至关重要的。

2.1.2 木薯的工艺特性

2.1.2.1 木薯的物理特性

木薯又称树薯、树番薯、木番薯，是热带作物，原产于南美亚马孙河流域。由于木薯适应性强，而病虫害少，高产优质，用途广泛，因而栽培地区不断增加。木薯一向以高产稳产而著称，在粗放的种植条件下，亩（1亩 = 666.6m²）产一般可达500~1000kg，管理较好的地区亩产可达到2000kg以上，是一种经济价值很高的工业原料。

木薯的根皮为二层结构，外皮及内皮，外皮包括一层栓细胞及栓形成层。木栓层色深，可在水中刷去。内根皮由栓内层及韧皮组成，它将根皮及根的主体分隔开，中间过渡层的质地使整个根皮与中间部分之间的连接松散，从而很易将根皮剥去。

木栓层占块根全部质量的0.5%~2%，而根皮的内层占了8%~15%。一般在成熟的块根中，木栓层厚2~3mm。根皮含淀粉量约为根中心部分的一半。

木薯大体可分为两类，即苦木薯和甜木薯，这两者的区别在于氢氰酸的含量不同，氢氰酸使根部具有毒性。这种毒性并非固定不变，它可因地区而异。

2.1.2.2 木薯的化学特性

木薯根的化学组成差别很大。根的干物质含量差别在24%~52%之间，平均含量为35%；蛋白质含量差别在1%~6%之间，平均含量为3.5%。

木薯块根富含淀粉，作为淀粉加工的主要原料。木薯不仅产量高，而且淀粉含量也高。木薯块根除主要含淀粉外，还含有少量其他营养成分，据分析，薯类烘干后干物质所占的比例见表2-1。

木薯淀粉的颗粒比甘薯大些，比马铃薯小些，但其支链淀粉

含量高达 80% 以上，在食品加工及其他加工中有很好的利用前景。

表 2-1 木薯、甘薯、马铃薯的化学成分 单位:% (质量分数)

作物名称	水分	淀粉	蛋白质	脂肪	纤维	灰分
木薯	13.7	72~76	2.6	0.8	3.3	2.4
甘薯	14.0	46~66	3.6	1.4	3.2	4.0
马铃薯	14.0	65~67	8.3	1.6	1.7	3.8

2.1.3 甘薯的工艺特性

甘薯又称红薯、白薯、番薯、地瓜、红苕、山芋等，属高产稳产作物，是重要的粮食作物，又是畜禽的主要饲料，还是我国淀粉工业、食品工业的重要原料。

2.1.3.1 甘薯的物理特性

a. 块根的形态 甘薯的商品部分除苗与蔓外主要是它的块根。由于品种、栽培条件和土壤情况等的不同，其块根形状有纺锤形、圆筒形、球形、梨形等。纺锤形又分为长纺锤形、短纺锤形、上膨纺锤形和下膨纺锤形。此外，有的品种块根表面光滑平整，有的粗糙，也有的带深浅不一的数条纵沟。甘薯块根的形状大小和纵沟的深浅等均是甘薯品种特征的重要标志。

b. 块根的颜色 块根的皮肤和薯肉的颜色是其品种的特征之一。块根的皮肤有紫色、褐色、黄色、淡黄色和白色等多种；薯肉颜色亦有种种不同，有白色、淡黄色、黄色、杏黄色、橘红色或带有紫晕等。薯肉的颜色与产量、淀粉含量没有明显的相关性，但与其商品质量有密切的联系。一般地说，胡萝卜素的含量依薯肉颜色白→淡黄→黄→橙→紫色而逐渐增加。白色薯肉适合于制淀粉。薯肉呈黄、橙色的品种，胡萝卜素含量较高，适合于食用。

c. 块根的结构 块根最外层称为周皮层，即薯皮。周皮细胞里含有称为花青素的色素。不同品种的甘薯，因其细胞液 pH 的不同，所以呈现不同颜色的薯皮。向内第二层为皮层。第三层为次生韧皮部，韧皮部中分布有乳管，能产生乳汁，所以碰伤块根含有的乳汁流出。第四层为初生形成层，这层细胞不断分裂，是块根不断膨大成长的关键。第五层为次生木质部，即为食用的薯肉。

2.1.3.2 化学成分

鲜甘薯的主要成分：鲜薯含水分 60% ~ 80% ,糖分 10% ~ 30% ，其中以淀粉为主，其他为糊精、葡萄糖和果糖等。其他成分的大致含量：蛋白质 1.5% 脂肪 0.2% 灰分 0.9 % 纤维 0.5% ，同时还含有少量有机酸、果胶等。蛋白质主要分布于块根的表皮部，加工制粉时常可以除去。块根如含有较多的糖分，在加工淀粉时，不仅影响淀粉出率，而且在水溶性糖发酵后，使 pH 降低，当降至甘薯蛋白质（球蛋白）的等电点 pH4 时，水溶性蛋白质则变为暗绿色不溶性浆状物，附着于淀粉颗粒表面，降低淀粉的品质。块根中除含上述主要成分外，还含有一种多酚类物质，当它受氧化酶的作用时，能形成黑色素，这是造成甘薯淀粉带有浅褐色的主要原因。

鲜甘薯的商品质量：鲜甘薯皮薄、肉嫩、水分高，外表没有坚实的保护组织，因此在收获、收购、运输、储藏过程中，稍不小心就会碰伤，造成病菌侵害。如果管理不好，储藏期间甚至会发生甘薯大批腐烂现象。在收购时，应选择土块、杂质含量少，薯皮光洁完整，无损伤、无虫蚀、无病斑，没有受过冻害、涝害的薯块。块根横切面冒水分少、切口有多量乳汁流出、肉质坚实的，干物质和淀粉含量高；反之，横切面冒水多，干物质含量少，淀粉含量也较低。供制淀粉的块根，要求薯肉为白色（或淡黄色），肉质为粉质，淀粉含量高，可溶性糖、蛋白质、纤维素和多酚类物质含量低。

甘薯干的质量品质：表面洁白、平整光滑、厚薄均匀、无霉变、无糖心、气味正常，掰开时会冒白粉烟，水分、杂质、碎片、虫霉斑

片不超过当地规定标准，并符合国家卫生标准。相反，表面灰白，质地松软，皱缩，有病斑、霉点、虫蚀，折断面有斑点、斑纹，变色，有异味、霉味，含杂质多的薯干，均属劣质薯干。

甘薯粉的质量品质：色泽洁白、质地细腻，含水分和杂质质量不超过当地标准规定，不牙碜、无霉变、无异味，并符合国家卫生标准。

2.1.3.3 甘薯的储藏特性

a. 鲜甘薯的储藏 甘薯块根皮薄、肉嫩、水分高、易受病害、怕冷怕热、怕干怕湿、怕闷，如果管理不好，储藏期间很容易发生腐烂变质。保管好甘薯，使之安全过冬，保证不烂少烂至关重要。甘薯在储藏期间发生腐烂是多种原因造成的，概括起来引起腐烂的原因有：①遭受机械损伤，田间遭受涝渍、冷害或带病，即使储藏条件好，腐烂也照样发生。②遭受冷害、冻害或在 9℃ 以下存放时间过长，组织机能遭受破坏，最后丧失生活能力。温度如果降至 -2℃ 左右时，薯肉细胞间隙结冰，使组织死亡。冷害和冻害都将容易引起病菌侵染而导致腐烂。

高温，如储藏温度高于 20℃，有利于病菌繁殖蔓延。若薯堆中混入带病、带伤的薯块，容易导致大量腐烂。④缺氧，如储藏期间由于薯窖封闭不透气，薯块进行无氧呼吸，产生酒精，引起中毒而腐烂。因此，要安全储藏甘薯，必须提高入窖质量，入窖前剔除带病斑、机械损伤的，受涝渍和受冷害的甘薯；储藏期间保持适宜的温度，窖温长时间保持 10~15℃，相对湿度保持 85% 左右，防止薯块表皮出现明水，减弱甘薯的呼吸强度；适当通风，避免窖内缺氧，及时排出高温高湿，这样才能使甘薯处在强迫休眠状态，避免霉烂、减少损耗。已收获的甘薯仍是有生命的机体，生理变化还在不断地进行，即使在安全储藏中，呼吸虽然微弱，但部分淀粉仍将被淀粉酶转化成糖，造成淀粉的损失。储藏一个冬季，因呼吸作用，淀粉降低量占总淀粉含量 20% 左右。用储藏时间过长的甘薯生产淀粉时，淀粉

和蛋白质的分离比较困难，致使淀粉的产率下降。薯块为维持活力，进行生理活动，营养物质不能转化消耗，即使储藏条件再完善，薯块的质量仍会不断地减少。贮存半年，深井窖自然损耗为 2%~3%，地下浅窖自然损耗 7%~8%，地上窖自然损耗达 10%以上。

b. 薯干的储藏 甘薯干比鲜薯要耐贮些，但比起其他粮食来仍较难，这是因为薯干面积大、组织疏松，薯堆内空隙大，极易吸湿返潮，加之含淀粉和糖分较多，粉质外露，没有保护层，易腐烂生虫。储藏期间温度对薯干有很大的影响，温度越高，持续越久，对品质的影响也就越大，薯干易变色、变味。据试验，温度控制在 20℃ 以下能长期保持品质不劣变；超过 25℃，甜味未减；超过 30℃，薯干失去原有光泽，白色减退；超过 35℃，经历两个夏季，色泽变黄，有时发生苦味。

薯干要做到安全储藏，首先要提高入库质量，严格控制水分的安全储藏标准。薯干在 23℃，相对湿度 79%的情况下，吸湿平衡水分为 14.7%，易于生霉。秋季 10月入库的水分在 13%~13.5%时基本安全，14%的水分可保持半安全；若入库时间较晚（薯干湿度降至 10℃ 以下），15%的水分亦可保持半安全；需要过夏长期保管的水分含量必须降到 13% 以下。另外还要做到分等储藏，品质好次混杂、水分不一是薯干在储藏中生霉变质的主要原因之一。

2.2 薯类淀粉的生产

2.2.1 原料的处理

马铃薯、木薯、甘薯在加工淀粉之前，都需要进行清理除杂、洗涤及浮选。薯块送入生产车间时一般采用水力输送，水力输送装置是截面为各种尺寸和形状的沟槽，这些沟槽形成一定的坡度通向送往地点。在沟槽的开端，连续地供水，水流携带着薯块向

前流动；在沟槽的末端通常设置一个不太大的带有格栅的集水坑。经过格栅除去输送用水，而将薯块送至洗涤工序。水力输送沟槽的生产能力取决于输送水量的大小，输送沟槽的形状及尺寸，纵截面，倾斜角度，表面粗糙程度。在水力输运过程中，薯块洗掉了部分污泥。输送槽越长，薯块洗涤得越充分。利用水力输送装置也要注意沟槽里不要掉进大的杂物，以防损坏下道工序的设备。为了使薯块从水力输送装置的地坑中送去洗涤，采用了斗式提升机、螺旋输送机及专用泵。

I 斗式提升机：薯块专用提升机有两种形式，一种是带有皮带的，另一种是链式牵引带式的。皮带斗式提升机由上部（主动）转鼓组成，在转鼓上紧贴着拉紧的连续皮带，下部设置有使皮带定期张紧的装置。在涂有橡胶的皮带上固定塑料畚斗。一般采用逆向进料为好。为使与薯块一起的水流出，在畚斗的侧壁上开孔；为了减少薯块的损伤，在皮带与转鼓之间的空间内采用木制和铁制的外罩覆盖起来。畚斗的工作面也做得光滑，边缘弯成圆弧形。

II. 螺旋输送机：在螺旋输送机的槽上方，沿其全长安装着喷水器，用来冲洗薯块附带的污泥。槽的底部安装利于薯块从浅坑的倾斜格栅直接落到螺旋的槽中，这个部位的底槽设置有孔，以利于使脏水全部流出来。螺旋安装时与洗涤器形成的角度不大于 30° ，增大倾斜角度可能导致螺旋的输送能力降低，并使马铃薯的操作损伤数量增加。螺旋带与槽的内表面之间形成的间隙应为 $2 \sim 3\text{mm}$ ，间隙大时会使马铃薯遭到损伤。

III. 水力输送洗涤装置：薯块的水力输送洗涤装置可采用专用泵。这种泵是悬臂式一级离心泵，它的轴配置在铸造的壳体上。在轴的一端固定着专门的工作轮，在另一端固定着皮带轮。泵轴安装在两个轴承上，经 V 形带由电机带动旋转。

在水及薯块混合物中，水与薯块的比例为 $(5:1) \sim (10:1)$ 。
图 2-1 为水力输送装置流程图。

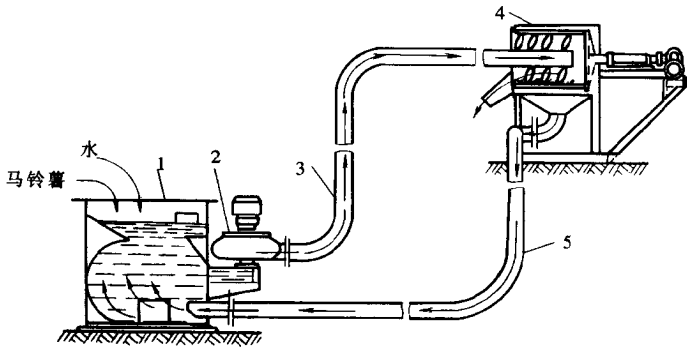


图 2-1 水力输送装置流程图

1—捕石器 2—输送泵 3—压出管 4—水分离器 5—返回管路

2.2.2 原料的破碎

薯类的破碎目的在于尽可能地使块茎的细胞破裂，并从中释放出淀粉颗粒。为此可采用机械的方法，先将薯类切成片或直接采用搓、磨或挤压的办法使肉质成为细浆，而细浆则是由破裂和未破裂的植物细胞、细胞液及淀粉颗粒所组成。残留在未破裂的细胞中的淀粉，在生产过程中不能再返回加工，而与渣滓一起排出，这种淀粉称为结合淀粉；而从细胞中释放出来的淀粉称为游离淀粉。

2.2.2.1 马铃薯的破碎

马铃薯的破碎主要取决于擦碎机的性能，其破碎系数的高低具有重要意义，因为它在很大程度上决定了淀粉的产量及与之有关的生产技术经济指标。马铃薯擦碎机是使用最广泛、最有效的马铃薯磨碎机械。马铃薯擦碎机（见图 2-2）主要由四个部分组成：机壳、外罩、转鼓和两个压紧块。机壳及外罩用灰口铁制成，并借铰链相互固定。在机壳水平轴上安装着主要工作机构——转鼓。转鼓与轴的固定是借助于单键。转鼓的轴安装在两个滚

鲜薯从擦碎机进口进入转鼓与压紧齿刀之间的工作区即被擦碎。擦碎的糊状物料穿过筛孔送至下道工序处理，留在筛板上较大的碎块继续被擦碎而通过筛孔。擦碎效率可按下式计算：

$$\text{擦碎效率} = \frac{\text{游离淀粉量}}{\text{游离淀粉量} + \text{渣中非游离淀粉量}} \times 100\%$$

擦碎效率一般在 81% ~ 85% 之间。擦碎效率与转鼓转速、齿条锯齿数和筛孔大小等因素有关。转鼓转速越高，锯条锯齿数越多，筛板筛孔越小，对薯块打击作用越大，粉碎得就越细，擦碎效率就越高。

2.2.2.2 木薯的破碎

木薯的破碎通过手搓擦、机械搓擦及水力搓擦机来实现。手搓擦是在木薯产地的一些小工厂手工用竹篾进行搓擦。有一种简单的搓擦机，其结构是在镀锌板上先用钉子钻成孔，然后将钉眼的突出面朝外。把铁搓板钳在一个轮子上，轮子的转动可用手摇或双脚踩踏，工人则由上方将薯块根压在搓板表面磨碎。机动搓擦机是将滚筒装在一木箱中，而其位置正好使搓擦面构成接受块根的容器本身的后壁，面对着搓擦板的是另一块板，可用一杠杆进行移动，其旋转轴位于容器的上缘，借助于这可调的板将块根块压在搓擦面上并沿一漏斗往下落，最后，碎粉便通过漏斗底部的小细缝传送出去。最好使调节板与暴露的滚筒部分成相对应的弧形面，以使二者达到最接近时相距只有几毫米。木薯一般破碎两次，第二次破碎一般采用较细的齿。第一次搓擦机如果是每厘米 8 ~ 10 个齿，则第二次搓擦应为每厘米约 10 个齿。经过第二次搓擦后，总效率可提高到 90% 以上。水力搓擦机在有流水的情况下，便可采用水力推动。水车系由一飞轮及联结于搓擦桶杆上的滑车的驱动带推动。桶的直径为 20 ~ 30cm 可以装在一个粗糙的木架上或“搓擦台”上，操作者坐在台旁将木薯根压在桶面上，被磨碎的粉状物从桶面与架之间的狭缝被挤出去，然后落进木槽，再送去过筛。现代木薯淀粉厂的破碎工序也采用图 2-2

所示的擦碎机来完成。

2.2.3 纤维分离

薯类淀粉生产中纤维的分离一般采用压力曲筛、转鼓 - 喷射筛、离心 - 叶片筛、溜筛、圆筛、往复振动筛等。

压力曲筛是淀粉和纤维分离的最有效机械，混合淀粉液依靠压力喷射到弧角为 120° 的曲筛上，淀粉浆液穿过筛孔，而纤维残留在筛面上。压力曲筛有一个固定护罩并备有内凹的楔形筛。准备过筛的悬浮液以切线方向借助重力或压力投入筛盘并且以垂直于梁的方向流动。筛的每一根梁由筛面可以切削一层厚度约为缝隙 $1/4$ 宽度的浆液。淀粉工业中所使用的不同筛的缝隙宽度为 $50\mu\text{m}$ 至 3mm 之间。

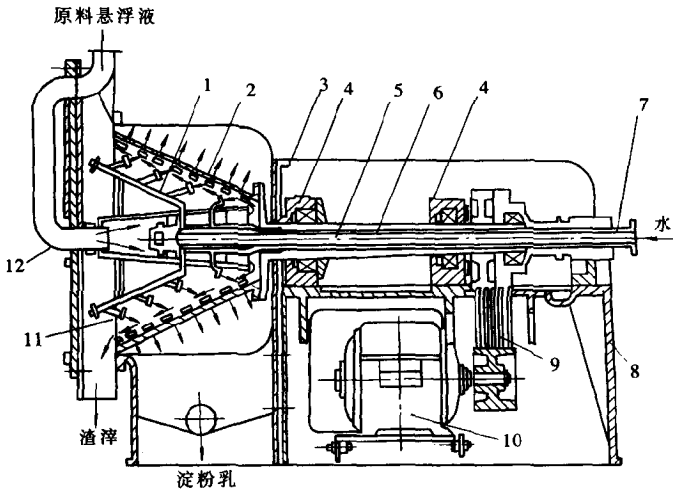


图 2-3 转鼓 - 喷射筛结构

- 1—转子 - 喷射器 2—钢制转鼓筛 3—外壳 4—轴承 5—喷水器轴
6—转鼓筛轴 7—喷水器轴内腔 8—机座 9—三角皮带 10—电机
11—喷嘴 12—原料混合液管

转鼓 - 喷射筛 (见图 2-3)是由锥形钢制转鼓筛构成,以悬臂固定在轴上,轴则借助轴承固定在铸铁机座上,转鼓里面安装有多孔筛胆,筛胆的内表面用滤网包覆着。淀粉混合液经管道输入转鼓内的分料盘上,经离心力的作用而穿过筛孔,纤维则残留在筛面上。经固定在轴承上的主轴里面的旋转空心轴向喷水器供水。强烈的喷射水作用在转鼓筛的工作面上,起到了洗涤淀粉和小渣滓的作用,并使筛面上大渣滓在喷射水和筛筒旋转离心力的综合作用下,沿着转鼓锥形筛面由小端向大端移动,最终排出机体。

2.2.4 蛋白质分离与淀粉的洗涤

薯类淀粉生产中,蛋白质的分离一般采用卧式沉淀离心机,也有采用碟片喷嘴分离机和旋液分离器的。

在马铃薯淀粉工业中,采用卧式沉淀离心机分离细胞液水。此机是由机框、外部转鼓、内部转鼓、减速器及电机组成,并带有排出沉淀的螺旋。机框用灰口铁铸成,是整个设备的基础。在框上安装有离心机、减速器及电机。内部转鼓是用钢板焊接的圆柱,靠两个盘固定在离心机轴上,圆柱上焊有支柱,按螺旋线分布。在支柱的外侧安装有螺旋带,其上面有靠铆钉固定并用耐腐蚀钢制的可更换的连接板(盖板)。连接板与外转鼓内表面之间间隙应等于 0.5mm。

为了清洗出残留在不溶性杂质(渣滓)中的淀粉,要用水把浆料在不同结构的筛分设备上用不同的工艺流程洗涤,洗涤最广泛的流程有两种,一是将大渣滓及小渣滓在离心筛上分别洗涤,另一种是将大渣滓及小渣滓在弧形筛上一起洗涤。从浆料中洗涤淀粉的工序旨在最大限度地使带有游离淀粉粒的小渣滓与大渣滓相分离。一般情况下,需精制的淀粉质量的优劣是由无水的纯淀粉与产品的全部干物质之比来确定的,其纯度应为 91% ~ 94%。在去精制的淀粉悬浮液中,细渣占全部干物质质量的

4% ~ 9%。

细渣的洗涤与从浆料中洗涤淀粉有原则上的区别，一方面，细渣几乎全部是从细胞液中释放出来的，其体积和质量大大小于浆料的体积和质量，这应有利于缩短从细渣中洗涤出淀粉的过程。另一方面，细渣颗粒的大小与大的淀粉颗粒区别很小，所以必须采用具有很小孔径的筛网材料，这就增加了筛分过程的困难。除此之外，细渣与淀粉还形成了比较稠密的并且不易过滤的沉淀，这也使过程更为复杂。

细渣洗涤是在弧形筛上进行，按逆流原理分三段进行，即新水或工艺水供给最后的第三段，从第三段得到的液状淀粉乳返回供第一段之后的细渣稀释用，从第二段得到的淀粉乳用于稀释精制筛得的细渣，而从第三段得的淀粉乳则用于稀释精制前的淀粉乳。

细渣洗涤可以根据最后一步出来的淀粉悬浮液的浓度加以控制。较好的操作，细渣洗涤工序在最后一阶段淀粉乳中干物质的浓度应为 0.5% ~ 1%，此时，在洗涤的渣滓中游离淀粉的含量为 4% ~ 6%（对渣滓的干物质重）。在每一段之前稀释时要使其中所含干物质浓度为 4% ~ 6%。细渣洗涤工艺流程见图 2-4。

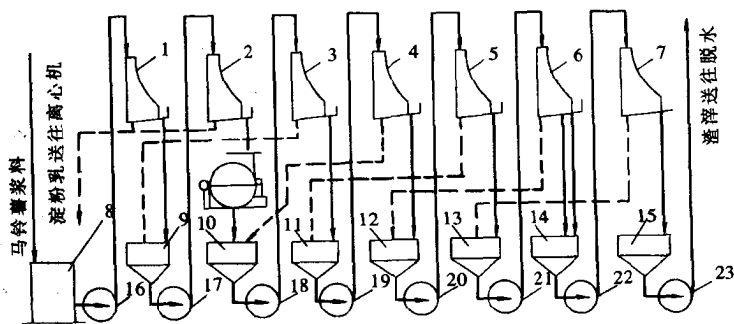


图 2-4 细渣洗涤工艺流程

1、2—分别为浆料的第一次和第二次洗涤筛 3—渣滓过滤筛

4、5、6、7—渣滓第一、二、三、四次洗涤筛 8、9、10、11、12、13、14、15 一物料收集器

16、17、18、19、20、21、22、23—输送机

淀粉洗涤工序主要用于处理纯度在 97% ~ 98% 的淀粉乳，其中含有 2% ~ 3% 的杂质，主要为砂、细渣滓纤维及少量可溶性物质。为除去这些游离杂质，一般采用除砂器，见图 2-5。

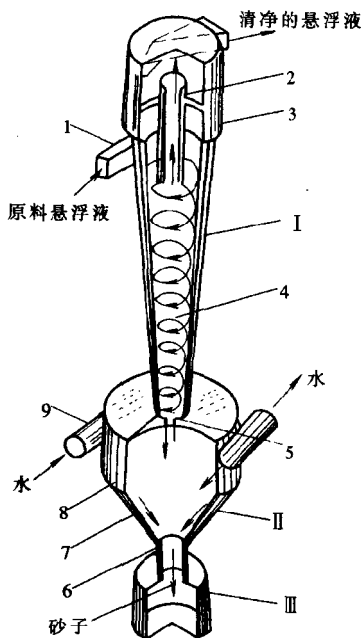


图 2-5 除砂器结构示意图

- 1—悬浮液进料管 2—悬浮液管 3—分离室柱壳体 4—分离过程
 5—含砂悬浮液排口 6—排砂口 7—分离室 II 壳体圆锥部
 8—分离室 II 壳体圆柱部 9—进水管 I、II、III 分别为 1,2,3 室

淀粉精制工艺一般采用闭环式旋液分离器系统，配置有过滤器、除砂器和旋液分离器组，见图 2-6。

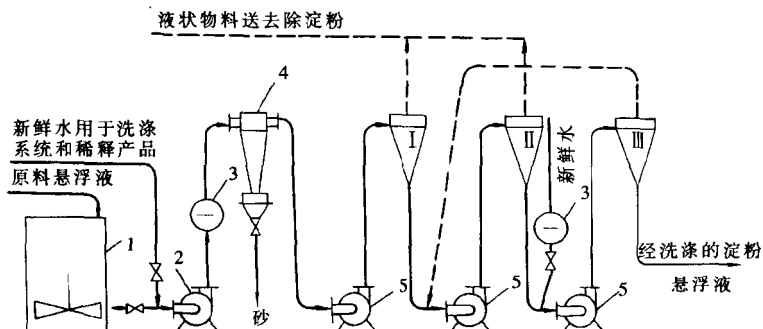


图 2-6 旋液分离器工作流程图

- 1—原料淀粉悬浮液储罐 2—供给泵 3—过滤器 4—除砂器
5—多级悬液分离器供给泵 I、II、III—多级悬液分离器

2.2.5 淀粉的脱水和干燥

薯类淀粉的脱水在工业生产中一般采用卧式刮刀离心脱水机和三足脱水机进行。经过精制洗涤后的淀粉乳通过离心作用使其淀粉颗粒与水分离，使淀粉颗粒残留在筛网上，通过刮刀的作用使其脱落，成为白色粉末状物料。此时的淀粉水分含量为 38%~42%。

将脱水后的淀粉经气流干燥而成为商品淀粉。一般的气流干燥装置可根据产量的大小而选择单级干燥和多级干燥。单级干燥一般采用正压干燥，即风机设在干燥系统之前，物料由风机进口处通过供料器进入管道中，通过风机叶轮的高速撞击使湿淀粉集团分散，在 80~150 的温度下，使淀粉中的游离水蒸发。淀粉在垂直悬浮器中分离高低水分含量的淀粉颗粒，低水分的通过悬浮器而上升进入卸料器排出，通过检查筛即为商品淀粉；而高水分的淀粉则仍在悬浮器中继续干燥。

多级淀粉干燥系统一般采用正负压相结合的设计，利用两台以上的风机和干燥系统以完成干燥淀粉的目的。该系统处理量大、能耗和动耗相对较低，适合产量较高的淀粉生产企业采用。

图 2-7 所示为一套均为正压的多级干燥系统。

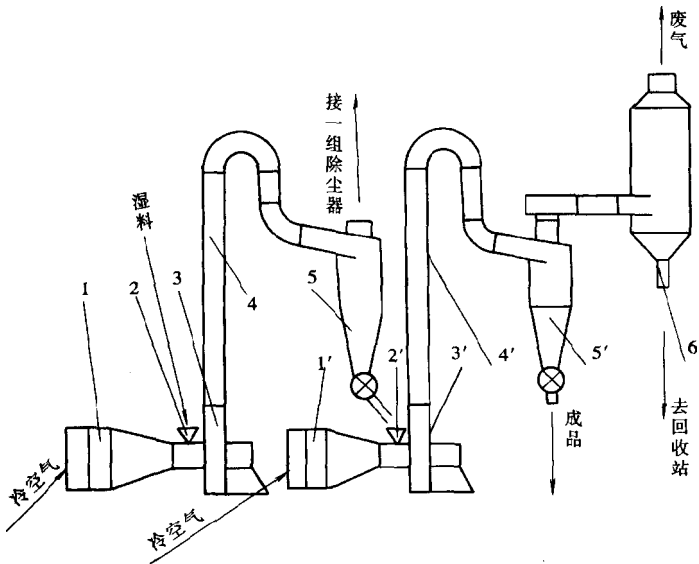


图 2-7 多级干燥系统流程图

- 1、1'—热交换器 2、2'—加料器 3、3'—风机 4、4'—干燥管
5、5'—旋风分离器 6、6'—除尘器

在气流干燥中，淀粉的水分大小以成品的水分质量要求而定。淀粉在气流管道中运行的速度一般为 $18 \sim 24\text{m/s}$ ，淀粉在管道中停留的时间为 $22 \sim 26\text{s}$ 。进料口处气流的温度为 $140 \sim 160^\circ\text{C}$ 出口处的物料温度为 40°C 左右。

2.3 薯类淀粉生产工艺分析

2.3.1 马铃薯淀粉生产工艺分析

马铃薯淀粉生产工艺是多种多样的，选择工艺的依据是投资的规模、选择设备的档次和自动化程度的高低。先进的生产工艺

必须有较好的生产效果。一般工业化生产均采用湿法加工工艺，以最大限度地控制细胞液和细纤维在淀粉颗粒中的存在，以达到生产精制淀粉颗粒的目的。

湿法淀粉生产工艺可根据所选用设备的不同而有所不同。但其主要工序为：

马铃薯 → 加工前的准备 → 磨碎 → 细胞分离 → 从浆料中洗涤淀粉 → 细胞液水分离 → 淀粉乳精制 → 细渣滓洗涤 → 淀粉洗涤 → 脱水干燥 → 成品包装

马铃薯淀粉生产工艺中，水的使用量较大，因此在各个工序中，应尽可能充分利用水，可采用闭环式和半闭环式生产方法。另外，在生产中，各过程水的温度直接影响到淀粉的洗涤与分离，因此，应采用温水和恒温水生产。马铃薯淀粉的生产工艺见图 2-8。

从该系统中可以看出，马铃薯是采用水输送供给生产车间的，水的需用量较大。因此，所需要的洗涤水大部分是在沉降池澄清的洗涤水及细胞液水。

洗涤并在自动秤上称重过的马铃薯在锯齿形马铃薯擦碎机上磨碎。利用离心机分离细胞液有利于得到高质量的淀粉，减少后道工序淀粉生产过程中产品起泡现象。从浆料中洗涤出游离淀粉，可采用弧形筛或转鼓 - 喷射筛或离心 - 叶片筛。进入渣滓控制分离筛的淀粉乳的浓度为 7% ~ 8%，淀粉乳内细渣滓含量不超过 8%（占淀粉干物质重）。

在用转鼓 - 喷射筛及离心 - 叶片筛进行淀粉洗涤时，在精制筛上分离的渣滓依次地分三个阶段在弧形筛上洗涤。进入第一阶段的物料的干物质含量应不大于其总质量的 5%，而从第三阶段筛分出来的细渣滓内游离淀粉含量应不大于细渣滓干物质总质量的 5%。用上述结构的除砂器从精制的淀粉悬浮液中分离出砂粒，这时因砂粒分离而造成的淀粉损失约为 1kg 砂损失 3kg 淀粉。

经过旋液分离器工序之后得到的淀粉进行脱水，并送至成品车间。渣滓及马铃薯汁的混合物用作为牲畜饲料，或用于生产碳

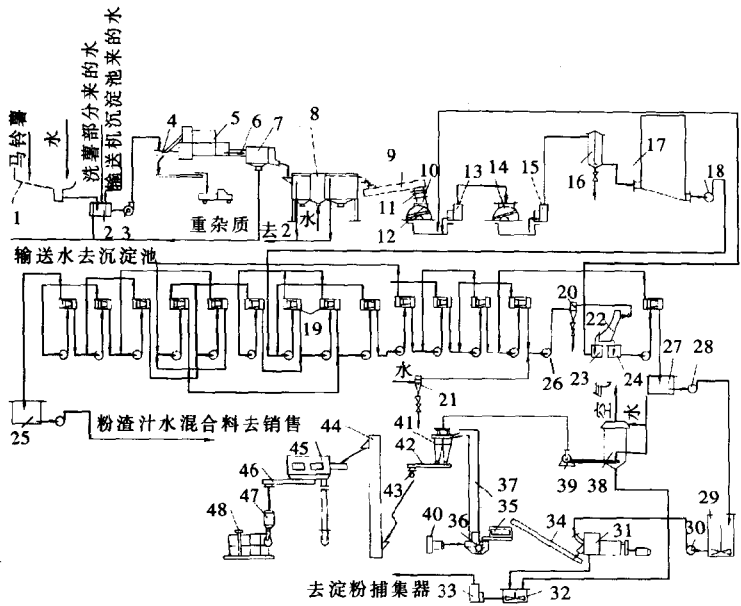


图 2-8 马铃薯淀粉的生产工艺

- 1—周转库 2—进料斗 3—马铃薯水泵 4、6—水力输送器 5—除石器
 - 7—分水器 8—马铃薯清洗机 9、42—螺旋输送机 10—流管 11—阀门
 - 12、14—马铃薯刨碎机 13、15—活塞泵 16—自清过滤器 17—储存器
 - 18、26、28、30—离心泵 19—旋流装置 20—除砂旋流器 21—水用除砂器
 - 22—曲筛 23—集渣桶 24、27—淀粉乳收集箱 25—渣汁水箱 29—淀粉乳罐
 - 31—离心机 32—收集器 33—垂直活塞泵 34、43、46—螺旋输送机
 - 35—喂料泵 36—松散器 37—管路 38—湿除尘器 39—风机 40—热交换器
 - 41—旋风分离器 44—斗式提升机 45—旋转筛 47—半自动秤 48—缝包机
- 水化合物 - 蛋白质水解物及蛋白饲料。

2.3.2 木薯淀粉生产工艺分析

木薯淀粉的生产工艺一般可分为 5 个主要工段：第一个工段为原料的清理去皮，第二个工段为分切、粉碎，第三个工段为分离，第四个工段为精制，第五个工段为脱水干燥。其工艺流程见图 2-9。

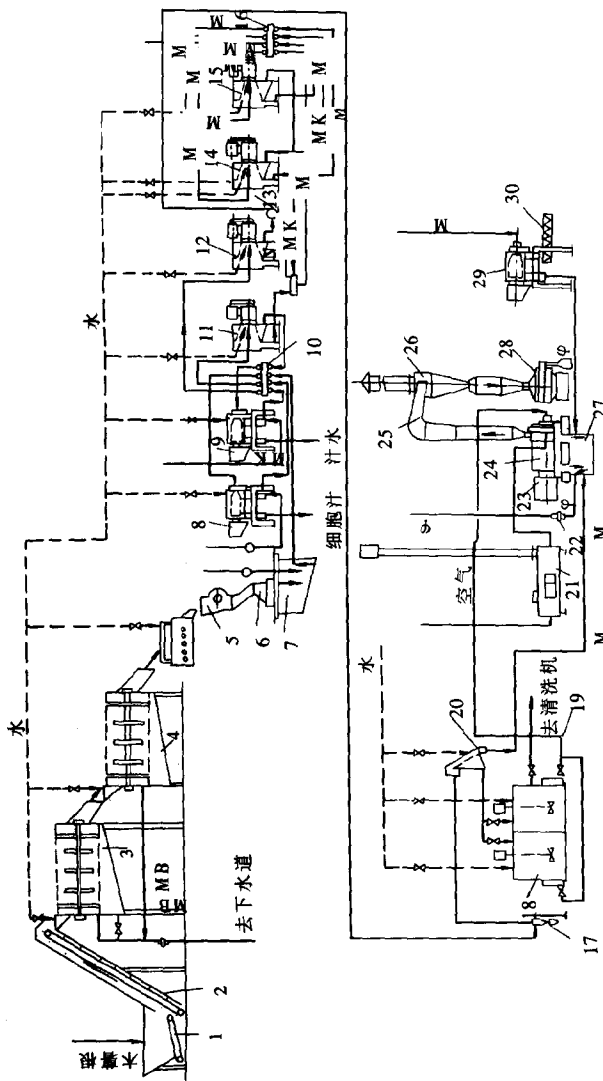


图 2-9 木薯淀粉生产工艺流程图

- 1—加料斗 2—输送带 3、4—滚筒式清洗机 5—滚筒式粉碎机 6—刨碎机 7—收集器 8、9、29—离心机 10、16—四缸柱塞泵
- 11、12、14、15—离心筛 17—除砂旋流器 18—淘洗槽 13、19—离心泵 20—加热器 21—两缸柱塞泵
- 22—两缸柱塞泵 23—离心干燥机 24—带风机的离心机 25—干燥管 26—旋风分离器 27—收集槽 28—振动筛 30—螺旋输送机

2.3.2.1 原料的清洗、去皮

木薯块根用输送带送到清洗机进行清洗，输送机向清洗机均匀进料。清洗机分为两部分，一部分以清洗木薯根上的泥沙为主，另一部分用来剥皮。卧式洗涤机里带有搅拌装置，操作时首先要在机内放满水，然后将鲜木薯装入清洗，为减少用水量，使用过的水要净化循环使用。在清洗时必须使鲜薯浸没在清洗机内，且不使其相互摩擦太严重。去皮时必须把清洗好的鲜木薯倒入另一只带搅拌桨的槽，槽底打孔，使木薯一边摩擦一边冲水，把摩擦下来的薄皮冲下来，经曲面筛后水循环使用。这个过程仅仅把木薯很薄的软木质层去掉，较厚的皮层不去掉，因其含有 10% 的淀粉，必须和木薯同时切块粉碎。清洗和剥皮用水是与块根逆向流动的约 40% 都是用的淀粉精制后再循环的水。再循环水一般都在一个大水池中沉积，脏水和剥出的皮连续不断地排出。木薯剥皮后由一个升降机送往分切机。

2.3.2.2 分切、粉碎

安装于剥皮机内的定量升降机把块根提升到一定高度，然后自由下落在切块机内，切块机便把块根分切成片，片厚 30mm 左右。分切后的薯片落在下面的料斗中，料斗连接在螺旋输送机上，输送到粉碎机进行粉碎。粉碎机有盘式、锤式和锯式，大型厂选用锯式的。粉碎主要是使细胞组织破裂、淀粉析出，但不能将纤维粉碎得太细，否则不利于后道分离。大型高速锯式粉碎机也有缺点，即维修困难，一般如果锯齿损坏了就要更换。

有些淀粉厂粉碎木薯要分二次进行，经刨丝机粉碎后再用细磨粉碎。经粉碎后，木薯根内所含的氢氰酸处于游离状态并溶于水，这些氢氰酸和铁接触便会化合生成氰亚铁酸盐，使淀粉呈蓝色。因此，从粉碎木薯的这一阶段起和产品接触的一切机器部分都要是不锈钢的。

2.3.2.3 分离

木薯被粉碎后，粉浆用泵输送到分离工段，在分离工段淀粉

从纤维素（多是细胞壁）中分离出来。分离使用多级分离器且分为三四个阶段，各阶段间是直接连接的，中间不设贮槽。用于输送浆和逆流洗涤水的泵和管道都是内装式的，所占空间很小。

分离器最后阶段流出的浆液含水量 85% ~ 95%。所有的冲洗水一部分是从下一淀粉精制工段流来的二次利用水，另一部分是含二氧化硫的清水，两者混合而成。

分离的头道筛筛孔直径为 125 ~ 250 μm ；第二道筛筛孔直径为 60 ~ 80 μm ，这一分离器称为精筛器，可以筛分细小纤维，细小纤维经脱水干燥可用作饲料。从精筛器流出的淀粉浆浓度为 3°Bé，但这种淀粉中还含有可溶性杂质，如蛋白质、脂肪、糖等，也含有不溶性的细小纤维，必须经精制工段进行分离。

2.3.2.4 精制

前面已提到木薯淀粉加工必须在尽可能短的时间内完成，这点在淀粉精制工段更为重要。含蛋白质、脂肪、糖、细纤维的淀粉乳被称做汁水，如果不把淀粉从这些汁水中及时分离出来，化学和酶反应就会发生，在淀粉、蛋白质、脂肪之间产生稳定的化合物，要把淀粉从这些络合物中分离出来几乎是不可能的，这样就会影响淀粉质量。汁水中含有的糖及其他营养物质会很快使微生物滋生繁殖起来，也就是说汁液会发酵，产生醇类和有机酸类，其中主要是丁酸，这些物质会影响淀粉成品的品质。非现代化淀粉厂发出的气味一般就是丁酸发出的。

为此，最好采用无贮槽耦合系统，使现代化高速离心机在几秒钟内完成淀粉的精制分离。淀粉乳进入高速离心机以前必须经安全粗滤器和分砂器，将其所含杂质全部除去以保证高速离心机的安全。

各部分所排出的水可以和清水一起在淀粉分离工段作冲洗水

2.3.2.5 脱水干燥

如果淀粉在干燥之前先用机器脱水，就能节省大量的成本。精制后的淀粉乳或者在连续式真空过滤机中脱水，或者在刮刀离心机中脱水，使水分含量降至 40% 或 45%。较大规模的工厂，都以脱水至更低的水分含量为目标，以节省烘干的能耗。

脱水以后的淀粉由螺旋输送机送至干燥机进行干燥，这种输送机是连续送料的，淀粉的干燥使用气流进行，物料在热空气作用下水分蒸发。干燥所需时间极短，可以确保淀粉不结成团状。由于蒸发水分是快速传出的，因而淀粉粒的温度不会太高，淀粉不会降解变质。虽然如此，淀粉及时冷却还是很重要的，因此干燥机内装有一个特别的旋风冷却器。

干燥机内设有自动调节器，可以使淀粉产品的含水量保持在 12% ~ 13%。为了避免淀粉随废气排出而失掉，干燥器设有专门的旋风分离装置以回收淀粉。

进入干燥机前的热风必须过滤，以防空气污染淀粉制品。

2.3.3 甘薯淀粉生产工艺分析

生产甘薯淀粉的原料有鲜甘薯和甘薯干，因此分为鲜甘薯淀粉和甘薯干淀粉两类生产工艺流程。

鲜甘薯由于不便运输、贮存困难，必须及时加工制取淀粉。鲜甘薯加工淀粉的季节性很强，多半在收获后立即进行加工，不能常年满足工厂的需要。所以鲜甘薯淀粉的生产多属小型工业生产或农村传统手工生产方式。一般甘薯淀粉厂大都以甘薯干为原料，属于机械化生产。我国的甘薯淀粉厂产量高、先进，淀粉得率可达 80% 以上。

2.3.3.1 鲜甘薯淀粉的传统制法

鲜甘薯淀粉的生产国内小型淀粉厂大多采用酸浆沉淀的传统方法，其工序为原料洗涤、薯块破碎、磨碎、过滤、对浆、撇缸、坐缸、撇浆、过筛、小缸、起粉、吊包和干燥。工业化生产为连续封闭

型工艺，一般为薯块清理、擦丝、纤维分离、淀粉精制、脱水干燥，其流程类似于马铃薯淀粉加工，见图

2.3.3.2 甘薯干淀粉的工业制法

甘薯淀粉生产过程中须用石灰水处理，维持整个制造过程的pH在0.8~9.2之间，这样可提高淀粉得率和质量。

甘薯干淀粉生产的工艺流程如图2-10所示。

a. 预处理 甘薯干在加工和运输过程中混入了各种杂质，所以必须进行清理。清理的方法有干法和湿法两种：干法是采用筛选和风选以及磁选等设备，湿法是用洗涤机或洗涤槽。

b. 浸泡 为了提高淀粉出率，甘薯干要用石灰水浸泡。在浸泡的水中加入饱和石灰乳，使浸泡液pH在10~11之间。浸泡时间约 温度控制在 。浸泡后甘薯片含水量为60%左右，然后淋洗，洗去色素和尘土。

石灰水的配制：连续式生产石灰水的装置，一般是由三个带搅拌装置的方形配制槽并排组成，槽宽1.5m深1.5m以上。给水从第一槽槽底加入，石灰用下面带小螺旋的提料斗加入，水流上升速度以0.75m/h为好。上升的石灰水经槽上部侧面的出口流到第二槽，经第二槽出料导管进入第三槽，并逐渐上升至出料导管流出。控制石灰水配制槽管内石灰水流速在0.15m/h以下，可以保持在配制槽中停留2.5h以上，灰渣由排出口定时排出。

c. 石灰水处理的作用 此作用为使甘薯片中的纤维增大，甘薯片破碎后纤维和淀粉的分离容易进行，淀粉颗粒被破碎的也较少；使色素容易渗出，存在于溶液中，可提高淀粉的白度；钙质可降低果胶类胶体物质的粘性，使薯糊易于筛分，提高筛分效果；保持碱性，抑制微生物活动；淀粉乳在流槽分离时，淀粉回收率增高，并不受蛋白质的污染。

d. 磨碎 磨碎是甘薯淀粉生产的主要工序之一，它直接影响到产品质量和回收率。浸泡后的甘薯片随水进入锤片式粉碎机

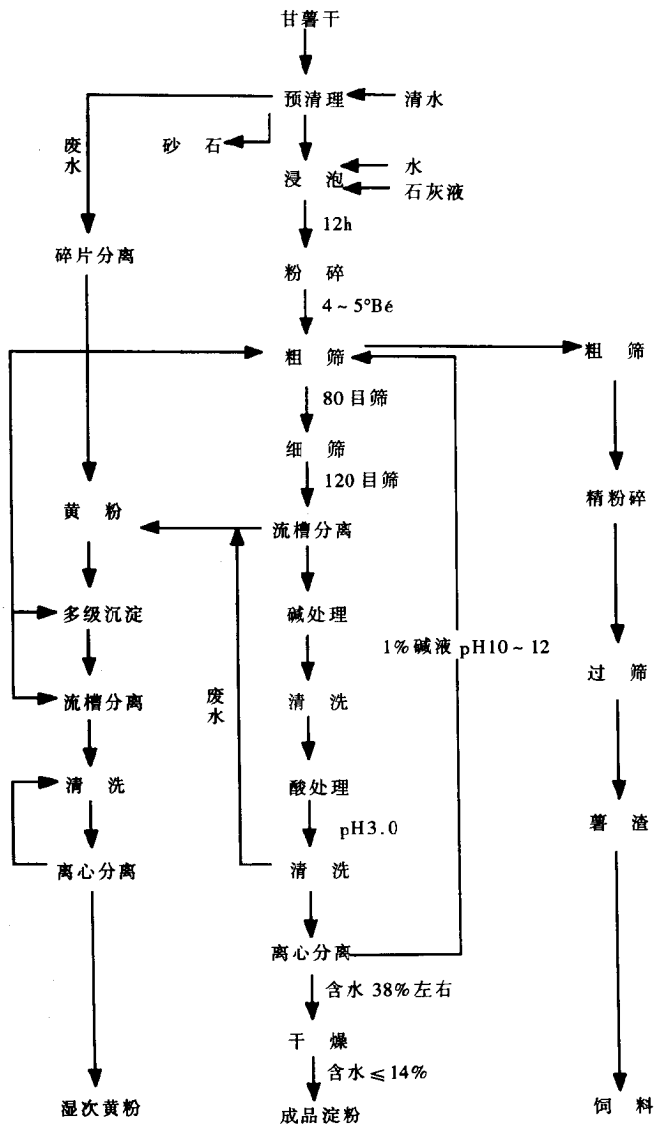


图 2-10 甘薯干淀粉生产的工艺流程

破碎。破碎过程中，转速如果超过 $3\ 200\text{r}/\text{min}$ ，容易使粉碎机锤片损伤、动平衡性能差、运转不稳定，薯干在粉碎过程中瞬时温度升高，部分淀粉受热糊化，以致在过筛时，影响淀粉和粉渣的分离，在流槽分离时，还会使淀粉不易沉淀，导致次粉增加，影响好粉出率。因此，通常用二次破碎法，即甘薯片经第一次破碎之后，过筛，分离出淀粉；再将筛上薯渣进行第二次破碎，破碎细度比第一次细些（增加淀粉得率），再行过筛。在破碎过程中，为了降低瞬时温升，根据二次破碎粒度不同调整粉浆浓度，第一次破碎为 $3\sim 3.5^\circ\text{Bé}$ 第二次破碎为 $2\sim 2.5^\circ\text{Bé}$ 。同时采用匀料器控制甘薯片的进料量，均衡粉浆，避免粉碎机的过载现象，也有利于流槽分离。

e.筛分 经过磨碎得到的甘薯糊必须进行筛分，分离出粉渣。筛分一般分为粗筛和细筛二次处理。粗筛使用的设备主要是平摇筛、六角筛、喷射分离机或曲筛，细筛使用的设备主要是平摇筛或喷射分离筛。使用平摇筛时，甘薯糊进入筛面，要求均匀过筛，不断淋水，淀粉随水通过筛孔进入存浆池，而薯渣留存在筛面上从筛尾排出。筛子筛孔的大小应根据甘薯糊内的物料粒度和工艺来决定。如采用两次破碎工艺，则第一次和第二次筛分均采用 80 目尼龙面，两次筛分所得淀粉乳合并，再用 120 目尼龙布细筛进一步分离细渣，保证获得纯净的淀粉乳。在筛分过程中，由于浆液中含有的果胶等胶体物质易滞留在筛面上，影响筛子的分离效果，因此，应经常清洗筛面，保持筛面畅通。

f.流槽分离 经筛分所得的淀粉乳还需进一步将其中的蛋白质、可溶性糖、色素等杂质除去，常用的设备是沉淀流槽。淀粉乳由较高一端流向较低一端时，由于淀粉与蛋白质相对密度不同，相对密度大的淀粉沉于槽底，蛋白质等胶体物质随汁水流出至粉槽。沉淀的淀粉用水冲洗入漂洗池。

g.碱、酸处理和清洗 为了进一步提高淀粉的纯度，还需对淀粉进行清洗，在清洗过程中，还要对淀粉进行碱、酸处理。淀粉

的碱、酸处理和清洗都是在漂洗池内进行。首先用碱处理，目的是除去淀粉中碱溶性蛋白质和果胶等杂质。碱处理是将 1°Bé 稀碱溶液缓慢加入淀粉乳中，使其 pH 为 12。同时启动搅拌器，以 60r/min 转速搅拌 30min，充分混合均匀后，将搅拌器挂起。待淀粉完全沉淀后，将上层废液排放掉。注入清水清洗二次，使淀粉浆液接近中性即可。在碱处理过程中，还可以加入 35°Bé 的次氯酸钠，用量不超过干基淀粉质量的 0.4%。次氯酸钠是一种强氧化剂，具有较强的漂白和杀菌作用，以致达到增白和防腐的目的。

h. 酸处理 酸处理的目的是溶解淀粉浆中的钙、镁等金属盐类。淀粉乳在碱洗过程中往往增加了这类物质的含量，如不用酸处理，那么总钙量会超过粗淀粉中原来的含量。用无机酸溶解后再以水洗涤除去，便可得到灰分含量低的淀粉。酸处理所用的酸多为工业盐酸。处理时，将工业盐酸缓缓倒入，充分搅拌，防止局部酸性过强造成淀粉的损失。控制淀粉乳的 pH 为 3 左右。搅拌 30min 后，停止搅拌，待淀粉完全沉淀后，排除上层废液，加水清洗，直至淀粉呈微酸性（pH 为 6 左右），以利于淀粉的贮存和运输。

i. 离心脱水 清洗后得到的湿淀粉含水量达 50% ~ 60% ,用离心机脱水，使湿淀粉含水量降到 38%左右。

j. 干燥 湿淀粉经烘房或带式干燥机干燥至含水量为 12% ~ 13% .

2.4 小麦淀粉的生产

小麦、玉米、水稻是世界上种植面积最广的谷物，小麦的总产量仅次于稻谷而略高于玉米。小麦的主要用途是制作食物和加工淀粉。近年来，世界上每年大约生产 60 万 t 小麦淀粉，大洋洲国家生产 20 万 t 北美和亚洲国家生产约 10 万 t。而干面筋和蛋白质浓缩物的世界年产量大约为 12 万 t。

2.4.1 小麦粉的工艺特性

生产淀粉用小麦粉在我国还没有专用标准，但生产证明生产淀粉用的面粉等同于通用面粉中的特制二等粉。从经济角度上讲，面筋质含量越高，淀粉生产的利润就越高，这是由于在淀粉生产中可得到两种主产品，即淀粉和谷朊粉（面筋粉），其中谷朊粉的价值几倍于小麦淀粉。

2.4.2 小麦淀粉生产工艺

2.4.2.1 马丁法

马丁法 (Martin) 又叫面团法，在加工中使用的原料是面粉而不是麦粒，加工过程的几个基本步骤为和面、清洗淀粉、干燥面筋、淀粉提纯和淀粉干燥。

马丁法的工艺流程见图 2-11，在各地实际应用时，这种加工方法的程序常有改变。面粉和水以 2:1 的比例放入和面机中，从而得到光滑、均匀、较硬但无硬块的面团。面粉和水的比例视所用面粉的种类而定。硬质小麦面粉能和成弹性很强的面团，所以要比软质小麦面粉多使用水；软质小麦面粉和成的面团容易断裂、撕开。和面所用的水须在 20℃ 左右，并含有某些矿物盐。用含盐量低的软水和面使面筋变得粘滑。面团在进入洗粉阶段之前应放置一定时间，使面筋饱吸水分，以提高其强度。

2.4.2.2 水力旋流法

荷兰的 K.S.霍尼公司提出了一种水力旋流法，用于从面粉中提取淀粉和面筋（见图 2-12）。面糊和循环水放入多段直径 10mm 水力旋流器组，清洗出的 A 级淀粉与麦麸随最后一级底流排出，纤维经多级曲筛系统去除。A 级淀粉在脱水和干燥前要经三级水力旋流器浓缩成 21°Bé。多级水力旋流系统的溢流液送入三级水力旋流器。溢流液中含有凝块状和最长可超过 10cm 的线状凝集面筋、B 级淀粉和可溶物质。底流中的 A 级淀粉重返多级

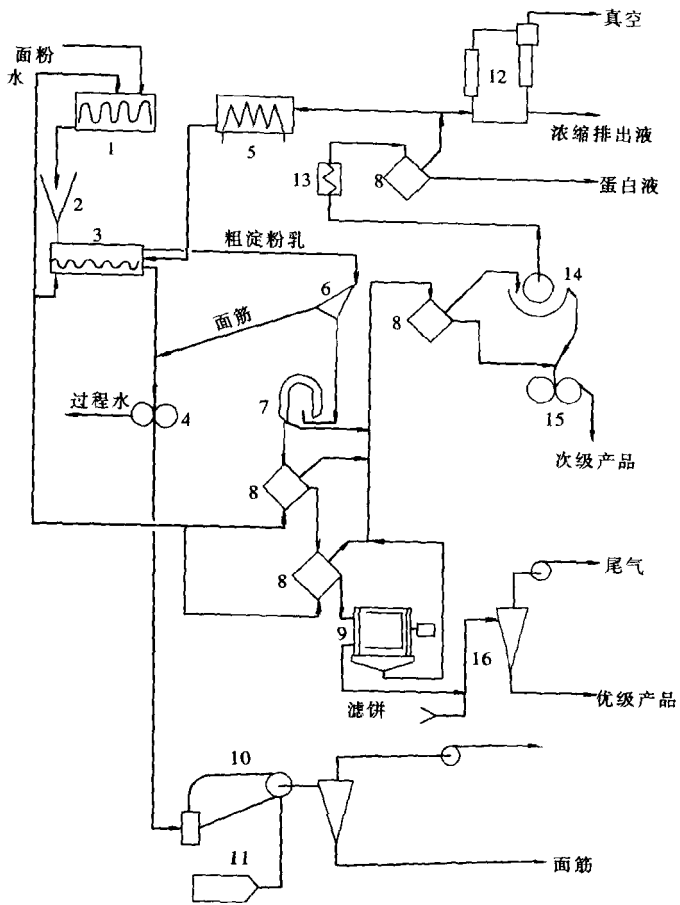


图 2-11 马丁法生产小麦淀粉工艺流程

- 1—连续和面机 2—给料斗 3—挤榨机 4—脱水辊 5—冷却器 6—筛子
 7—曲筛 8—连续分离机 9—篮式离心机 10—带式干燥机 11—加热器
 12—蒸发器 13—热交换器 14—过滤器 15—滚筒式干燥机 16—闪蒸干燥机

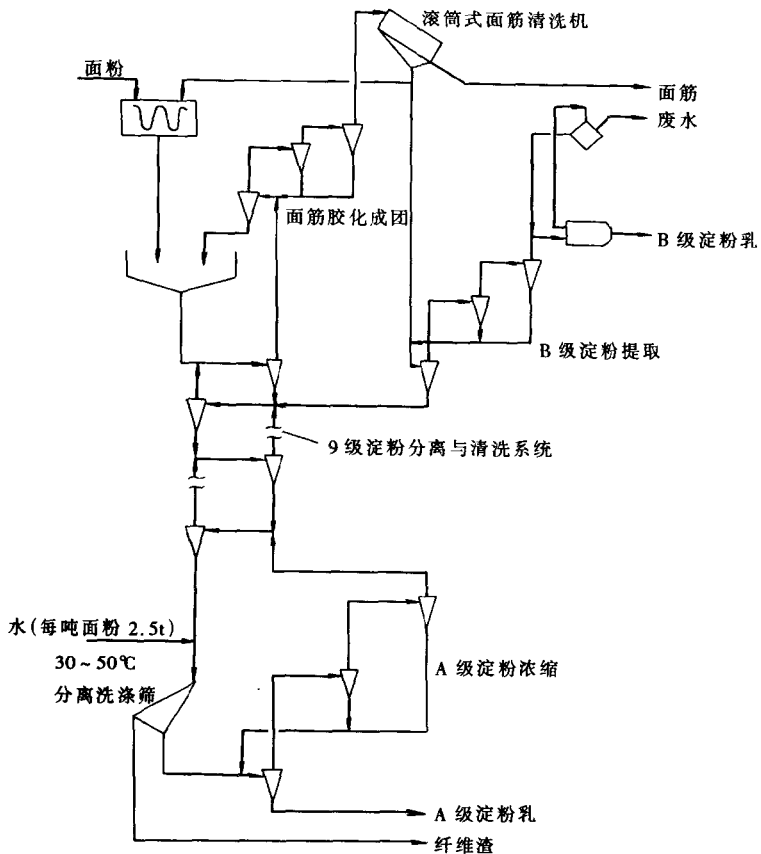


图 2-12 水力旋流法生产小麦淀粉工艺流程

清洗系统。面筋采用网眼间隙 0.5mm 的滚动式面筋过滤器收集并进行气流干燥。面筋清洗机中部分滤出液再循环至第一道工序，用于将面粉搅成糊状，其余部分经回收 B 级淀粉后再蒸发。

2.4.2.3 小麦淀粉生产新工艺示例

小麦淀粉的加工工艺取决于原料是小麦粒还是面粉。由小麦粒加工淀粉包括将小麦粒用水、化学试剂进行必须的初步处理或者对小麦粒进行机械作用，使麦粒破碎。

阿里萨金工艺的方法是将小麦粒放在 $30 \sim 35^{\circ}\text{C}$ 的温水里浸泡 $24 \sim 48\text{h}$ ，然后在磨碎机或辊压机中磨碎，从获得的面糊中分离出粉渣，然后从淀粉中分离出面筋，这时，产品由以下几部分构成（占淀粉干物质总质量的百分比）：淀粉 A（一级 45% 、淀粉 B 二级） $10\% \sim 15\%$ 面筋 5% 。部分面筋变成溶液状态并随过程用水排出。

哈勒工艺是将捣碎的面糊在 25°C 的酸介质中保持 7 天，依靠发酵过程使蛋白质完全分解。淀粉的得率大约为 60% ，但是在这种情况下小麦蛋白质不宜食用和作饲料。生产中水的消耗量比阿里萨金过程多。

按照龙格罗尔德 - 斯洛杰方法是将小麦粒放在 38°C 、 0.2% 的亚硫酸溶液中浸泡 12h ，这时淀粉的得率为 $55\% \sim 60\%$ 。面筋变成溶液状态并随浸泡水和麸质水排出。

在美国，罗德热尔斯 - 涅立宁工艺是将小麦粒在 40°C 下用 19% 的 HCl 溶液浸泡 16h （颗粒和浸泡液的比例为 $1:1.5$ ）然后将小麦清洗至浸出液的 pH 达 3.0 时将其捣碎，筛分并将粉渣和胚芽分开，通过将 0.7% 的氢氧化钠通入产品中的方法使所得的淀粉-蛋白质悬浮液的 pH 稳定到 4.0 ，然后将此悬浮液分离成淀粉和蛋白质。

国外一系列淀粉厂使用碱溶液来浸泡小麦粒：整粒或破碎的小麦粒在温度为 $30 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 、 pH 为 $10.0 \sim 10.2$ 的条件下经受弱碱处理，麦粒破碎后，麸子和胚芽被筛分出，用离心分离的方法使蛋白质溶液等悬浮液和蛋白质分开。将淀粉浆液酸化至 pH 达到 5.8 ，并用离心法分离出沉淀物。所得的蛋白质制品用碱溶液进行补充处理，然后进行干燥。

我国淀粉加工采用碱法处理小麦粒时，淀粉的得率为 50% ~ 53%，但这种方法会产生大量的废水，大量的可溶性干物质也随之流走。运用温水、亚硫酸和盐酸溶液或碱液浸泡小麦粒不能析出天然的面筋。

在马铃薯和玉米淀粉生产设备上加工小麦粒对上述方法是可行的。法尔 - 马尔 - 柯法是将小麦粒加工成淀粉和面筋的封闭式加工法，按照这种方法将小麦粒在光滑的辊子上压扁成片状物，然后放在水中浸泡成糊状。将糊状物和水充分搅拌，并用筛分装置和离心分离机将其分成为面筋、淀粉和粉渣与胚芽的混合物，这种方法能获得 90% 的面筋，这种面筋含有 75% 的蛋白质。美国的科研人员对上述方法进行了改进，建议首先将整小麦粒放在温度为 21 ~ 32 的水中浸泡，使其含水量达到 15% ~ 22% 然后将其碾成厚度为 0.01 ~ 0.6mm 的片状物，并进行水合作用使其达到全部饱和。将获得的细糊状物料在 16 ~ 32℃ 温度下用水在有孔的旋转转筒里冲洗，面筋留在转筒里，而所有其他成分随水排出。近来这种方法在美国得到完善，建议将小麦粒浸泡在 20 ~ 49℃ 的水中，使其含水量不低于 14%，碾成厚度为 0.01 ~ 0.6mm 的片状物，磨碎、筛分同时将麸质分开，然后将获得的粗磨粉浸湿，使含水量达到 65% ~ 85%，同时获得糊状粘性物料。使其保持 10 ~ 60min 用温度为 16 ~ 32℃ 的大量水冲洗，同时使淀粉和粉渣与面筋分开。通过过滤从冲洗水中析出非蛋白质成分，将得到的面筋进行干燥。

美国正在研究一种加工小麦粒的新型工艺过程，通过这种工艺过程由小麦粒中获得浸出物（糖浆）和食用麸子。这种工艺在半工业条件下进行试验，所获得的浸出物含碳水化合物为干物质质量的 87%，蛋白质为 11.5% 脂肪为 0.5% 灰分为 1.0%，它们完全溶解于水中，可以用来调制各种食品和饮料。将它与奶粉混合有很高的食用价值，因为这些混合物中含有维生素 B₁、维生素 PP、铁、钙、磷。按上述方法加工小麦粒时没有废水，但不可能获

得纯净的面筋。

马尔金法包括和面〔面粉和水的比例取决于面粉的质量，为 1:(0.55 ~ 0.65)，水的温度为 18 ± 2 °C〕，静置面糊至面筋完全水合，清洗出淀粉〔水的消耗量为被加工面粉量的 500% ~ 800%，温度为 12 ± 2 °C〕，干燥面筋，在筛分装置和离心机或沉淀池中使粉渣和蛋白质分开，干燥淀粉等工序。在这种情况下产品的得率为一级淀粉 48% ~ 50%，二级淀粉 18% ~ 20%，面筋 10% ~ 12%。加工 1t 面粉的消耗水量为 8 ~ 12m³，过程用废水量为 7 ~ 10m³，废水中含有 15% ~ 18% 的干物质。这种方法的改进主要归结于研制了较先进的、从面糊中清洗出面筋的连续式清洗器，如捷克斯洛伐克的淀粉企业中安装了马林斯基工程师设计的清洗器，该清洗器由三个转筒组成，三个转筒从上而下安装，内部装有保证淀粉从面筋中较完全地清洗出来的装置。

在保加利亚淀粉厂里使用着结构简单的清洗器，这种清洗器能够完全将淀粉和面筋分开。这种清洗器由两个双螺旋输送机组成，螺旋输送器的旋转方向相反，保证从面糊中有效地清洗出淀粉。安装 2 ~ 3 级清洗器，面糊被螺旋输送机由一个装置导入另一个装置。清水被送进最后一级清洗器上方的喷洒装置中，富含淀粉的洗涤水经该装置底部的孔进入水泵，该水泵将洗涤水送到前一个清洗器上方的喷洒装置中，含 10% ~ 12% 的干物质的淀粉乳由第一个清洗器引到从淀粉中清除粉渣和蛋白质的净化系统中。

另一种方法与马尔金法的区别在于：面糊静置后送入乳化器中，同时在那里用 18°C 的水冲洗，面糊被破碎成尺寸为 2 ~ 5mm 的颗粒。水量为面粉量的 200%，所获得的面筋颗粒在孔径为 0.5mm 的筛子上与淀粉悬浮液分开，筛分后用 20°C 的水将面筋再清洗 10min。水的消耗量为面粉量的 80%。将多余的水分与面筋分开并进行干燥。通常用淀粉悬浮液进行加工以获得干的小麦淀粉。以后研制者们证实了使成品面糊的温度保持在 35°C

水平较适宜，如面糊温度在 18~20 和 30~37℃ 时，绝干面筋的得率分别为 14.2% 和 14.8%；在 30~40℃ 时，绝干面筋得率下降，筛面上附聚物的形成变得困难起来，由于进入的蛋白质细小微粒及粉渣量增加，和面时面粉和水的比例为 1:0.8 最好。此时一级面粉的面筋得率为 14.8%，二级面粉的面筋得率为 10.9%，淀粉的总得率相应为 72.9% 和 74%。该工艺在拉克维尔淀粉一糖浆综合加工厂的生产中进行了检验，为了改善小麦淀粉的质量，往进入真空过滤器以进行脱水的悬浮液中加进了 SO₂ 含量为 0.03%~0.04% 的亚硫酸。该工艺过程的缺点是有废水，原料的干物质随废水一起流失。

联邦德国研制了一种小麦淀粉加工工艺，该工艺包括：和面，用水冲洗面糊以析出面筋，将淀粉悬浮液筛分并分成一级和二级淀粉，将二级淀粉与滤液及离心机中来的溢流液合并，用淀粉酶在 40~70℃ pH 为 4~6 的情况下使混合物水解 15~90min 将获得的产品浓缩至含干物质 20%，在喷雾干燥器内干燥至水分为 5%，原料的干物质得率大约为 36%。

近年来在很多国家，马丁法被改进后的费斯克法代替，费斯克法规定：面粉悬浮液在离心分离机中分成淀粉和蛋白质悬浮液。这种工艺的淀粉得率较低，为 40%~50%。将蛋白质含量为 20%~35% 的蛋白质悬浮液干燥，同时也获得蛋白质浓缩产品。这种工艺是封闭式工艺，但它不可能获得纯净的面筋。

为了提高按费斯克法加工面粉时淀粉的得率，美国提出，在稀释面筋的悬浮液内加入麦曲提取物或酶（蛋白酶 T_{pencub}）由这种悬浮液中很容易分离出淀粉，但面筋失去了生命力。

实例一

用小麦面粉加工淀粉的维斯法利亚 - 瓦也普洛工艺流程（如图 2-13 所示）：该工艺被原联邦德国企业采用，它使用了螺旋输送机、几何图形特殊的淀粉用分离机和转筒。当小麦面粉悬浮液在离心机和转筒中分离时，可获得蛋白质含量达 40% 的蛋白质

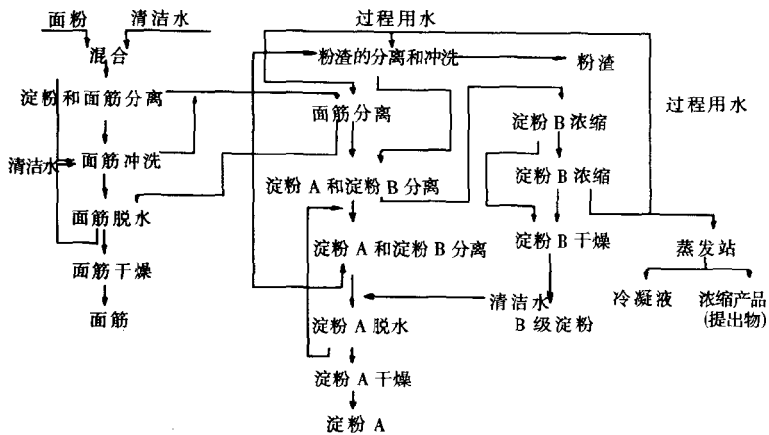


图 2-13 维斯法利亚-瓦也普洛工艺流程示意图

分和蛋白质含量为 1.2% ~ 1.5% 的淀粉。大量的过程用水重复使用是这种工艺的特点，剩余的水在蒸发装置中浓缩掉。从淀粉 B 第一次浓缩出来的过程用水，在生产使用和蒸发之前在分离器中澄清至每升含悬浮物 1g。水的消耗量为每吨面粉 2 ~ 3m³。使用优质面粉进行生产，工艺的封闭性是这种方法的优点，缺点是需要使用专用的离心分离机和消耗大量的电能。

实例二

澳大利亚格名德市 Osterreichische agrarihdnstrle 公司的马铃薯淀粉厂加工小麦淀粉的工艺流程见图 2-14 所示。

该厂在淡季时使用以下马铃薯淀粉生产设备来加工小麦淀粉：螺旋沉降离心机、离心式分离器、干燥装置、筛分装置、储存槽和泵。该厂生产能力约为日加工商品面粉 100t。在该厂由小麦面粉可获得干淀粉 A（蛋白质含量为 0.25% ~ 0.5%，其中 0.01% ~ 0.08% 为可溶性蛋白质，脂肪含量为 0.5% ~ 0.8%）干淀粉 B、干面筋、湿（或者干）蛋白粉、湿粉渣和浓缩浸出物。成品由以下几部分组成（以面粉干基计）：淀粉 A 为 61% ~ 62%，淀粉

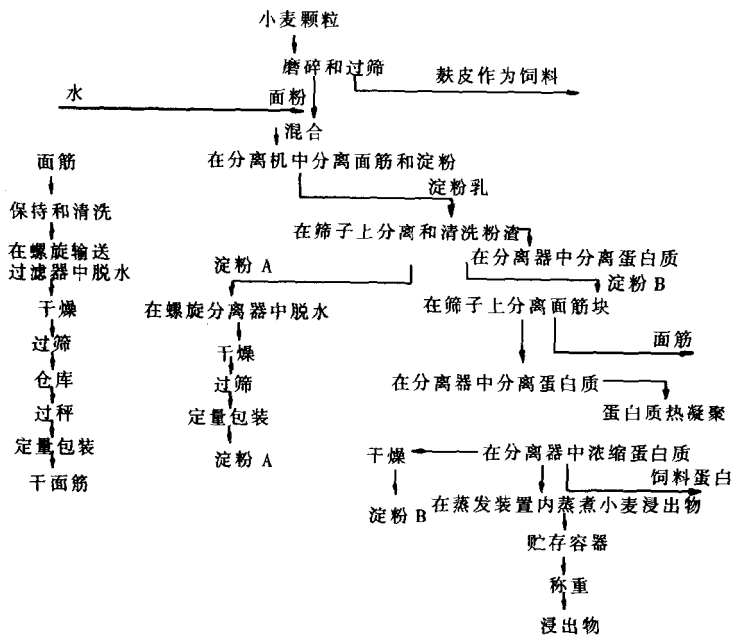


图 2-14 马铃薯淀粉厂加工小麦淀粉的工艺流程示意图

B 为 14% ~ 16%，活性面筋 12% ~ 14%，熬煮过的浸出物 5% ~ 6% 粉渣为 2%。

2.4.3 典型设备介绍

我国目前小麦淀粉厂多采用马丁法生产工艺，其主要设备为面筋机、锥形筛、面筋干燥机等。

2.4.3.1 MJ 面筋机

MJ 面筋机有底部为双弧形的筒体，下部装有两支并列的螺旋形的搅拌叶片，叶片系采用优质钢锻成，中间无穿心转轴。工作时两支搅拌叶片相向旋转，使面团从前后左右向中间推挤，从而将面团搅拌均匀并有上劲的作用。由于中间无穿心转轴，因此在工作时不会产生抱轴现象，从而消除了一般搅拌机中易产生搅

拌死角和面团夹生的弊病，同时也减轻了割取面筋的劳动强度。由于面筋揉制和洗涤在同一机体内进行，所以面筋的收率较高。

MJ型面筋机采用专用减速箱或摆线针轮减速电机，运转平稳、噪声较低、操作方便如图 2-15 所示。

MJ型面筋机的主要技术参数见表 2-2。

表 2-2 MJ型面筋机主要技术参数

特性		型号	MJ125A	MJ250A	MJ250B
		单位			
容量 (按每次投入质量计)		kg/次	125	250	250
	投料量 (按每小时投入质量计)	kg/h	187.5	375	375
清水面筋产量		kg/h	85	170	170
混水面筋产量		kg/h	105	210	210
搅拌轴转速		r/min	62.6	62.6	63
总功率		kW	4.4	8	7.5
电机	型号		—	—	Y160M—6
	台数		—	—	1
减速电机	型号		BWD22.2—23	BWD44—23	—
	台数		2	2	—
减速箱	型号		—	—	专用
	台数		—	—	1
外形尺寸	长(两侧)	mm	2 080	2 250	—
	宽(前后)	mm	900	1 135	1 135
	高	mm	1 040	1 215	1 215
备注					

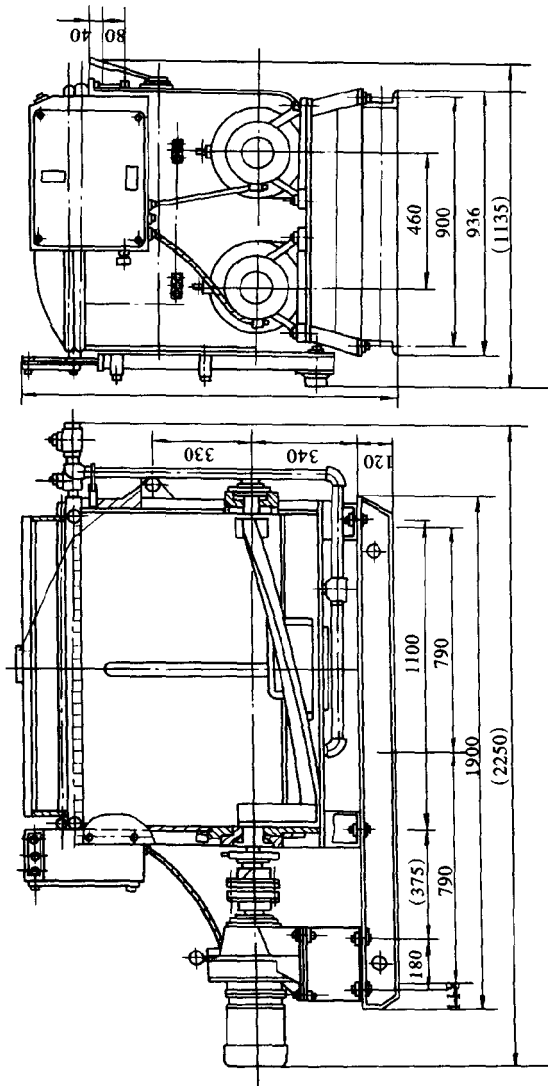


图 2-15 MJ250A 型面筋机结构示意图

MJ型面筋机是一种半自动间歇式机器，开机时应检查电机的正反转情况。操作时应注意面团的硬度不能过高，避免停机和电机损伤。和好的面团应有足够的静置时间，以使面筋形成。使用时应保持上水多孔管的清洁，以防喷水孔堵塞。

MJ型面筋机常见故障有：面团过硬而停机，应加水点动搅拌；上水管局部堵塞，面团软硬不均匀，应清理堵塞管孔，并检查来水含杂质情况；水压不够而使加水速度缓慢，造成面团形成时间过长，致使产量降低，应加大水压。

2.4.3.2 LS型锥体筛

LS型锥体筛结构比较简单，轴上有筛胆，胆上配有筛绢，筛绢的目数由使用单位根据实际需要选用。需要筛分的浆水通过进浆管由进料管座进入筛胆（见图 2-16）内部，浆水喷落在分水盘上。由于转轴转速很高，产生的离心力使浆水从分水盘沿筛绢面不断从筛绢小端向大端移动。经过筛选的浆水穿过筛绢、筛胆孔，径向射出被外壳集中，从浆水出口流出。不能过筛的清滓则不断被推向大端，由环板甩出，经过外壳集中后，由排渣口排出。如果渣滓过多不易排出，则可通过喷淋水使其变稀而便于流出。

LS型锥体筛有两种型号，LS·40和LS·60，小麦淀粉中常用的是LS·40型的，其技术参数见表 2-3。

表 2-3 LS·40型锥体筛技术参数

名称	指标	名称	指标
电机功率/kW	4	工作分离因素	570
电机转速/(r/min)	1 430	进浆管直径/mm	D _g 50
电机型号	Y112M-4	冲洗管直径/mm	D _g 25
筛胆锥度/(°)	40	喷淋管直径/mm	D _g 25
筛孔直径/mm	φ8	窥视窗直径/mm	φ50
筛孔总面积/m ²	0.154	排渣口尺寸/mm	D _g 125
转轴转速(r/min)	1 430	出浆口尺寸/mm	D _g 125
		外形尺寸/mm	1 760 × 850 × 1 060

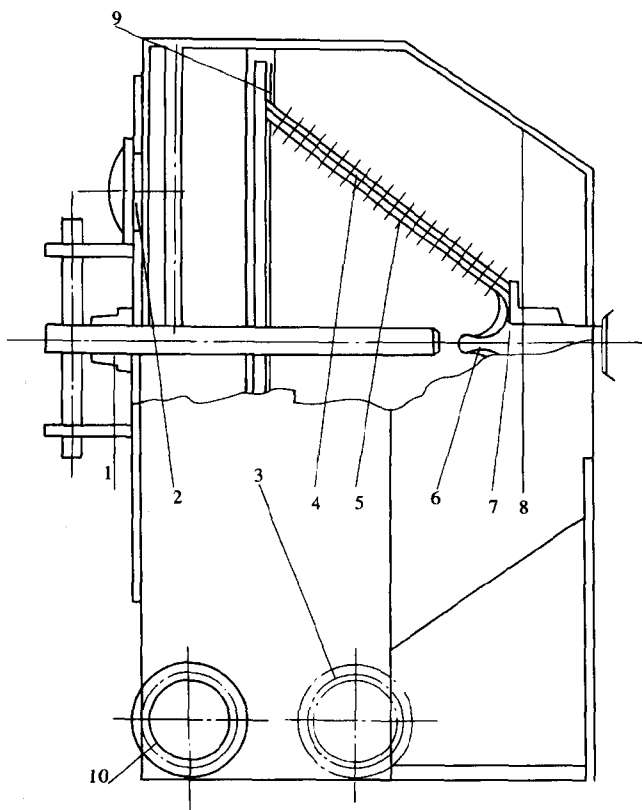


图 2-16 LS型锥体筛筛胆剖视图

- 1—进料管座 2—喷淋管 3—浆水出口 4—筛胆 5—筛绢
6—分水盘 7—转轴 8—外壳 9—环板 10—排渣口

LS型锥体筛使用时应注意转向，安装机电缆时应面对进料管，筛胆应为逆时针旋转，电缆需用钢管护套防止浆水和潮气入侵。根据工艺选择适宜的筛绢，缝成喇叭状。将离心筛外壳打开，旋下筛胆上螺母，取下分水盘，将筛绢小端套上螺栓，然后用分水盘螺母压好。筛绢的大端边缘嵌入筛胆大端法兰的槽内，并用 $\phi 3 \sim 4\text{mm}$ 钢圈或尼龙将其大端压紧。

LS型锥体筛常出现筛网破裂现象，应检查筛筒内胆是否光滑、筛绢在筛胆上是否平整、进料管位置是否合理。筛面应定时进行清理，若发现筛体有剧烈振动现象，说明筛面上有部分残留物，可停机打开端盖进行清理。

2.4.3.3 面筋干燥机

面筋干燥机由脱水机、输送泵、选粒机、扬升分离机、涡壳分离器、过滤收集器、螺旋输送混合机、风机和空气压缩机组成，外加有 0.5 ~ 0.8kPa 的蒸汽源。

湿面筋进入脱水螺旋挤压机的进料斗中，然后进入到带筛网的面筋脱水螺旋挤压机中，面筋被挤压而脱水。挤压出来的淀粉乳循环到工艺中以回收淀粉，脱水后的面筋进入一个位于烘干喂料泵上方的小储罐中，一部分混合物回到螺旋挤压脱水机中，另一部分与面筋进入造粒机中。造粒机通过一转体将挤出的面筋切成小碎片，进入热空气中，与一部分循环的干面筋混合，经过热空气的干燥作用，面筋粉被分级。颗粒大、干燥不彻底的部分被循环到破碎机中，与新进入的湿面筋混合。小颗粒和干燥充分的物料进入布筒过滤器，将空气分除，卸入螺旋输送机中。螺旋输送机将面筋粉分为两部分，其中的一部分被循环到烘干系统中，循环面筋粉的量是由一台速度可调的螺旋输送机来控制的；而另一部分将进入检查筛，提取成品谷朊粉。用来加热的空气经过蒸汽加热器升高到烘干的温度。负压操作的风机将此热空气吸入到面筋粉烘干气流中，采用布袋除尘器来分离物料和空气，空气从风机中排出到大气中。谷朊粉低温干燥系统见示意图 2-17。

面筋干燥机操作时应注意：母粉（引粉）的数量是保证质量的关键，热空气的气压应保证在 0.5 ~ 0.8kPa，风机出口的温度应在 80 以下，应保证布袋过滤器的过滤效果。面筋干燥机是一个完整的系统，因此，各设备操作应严格按工艺要求进行。

面筋干燥机常出现的故障：选粒机堵塞，应尽可能减少选粒机的停机时间，若时间过长，应拆卸清洗；扬升器被面筋堵塞，可

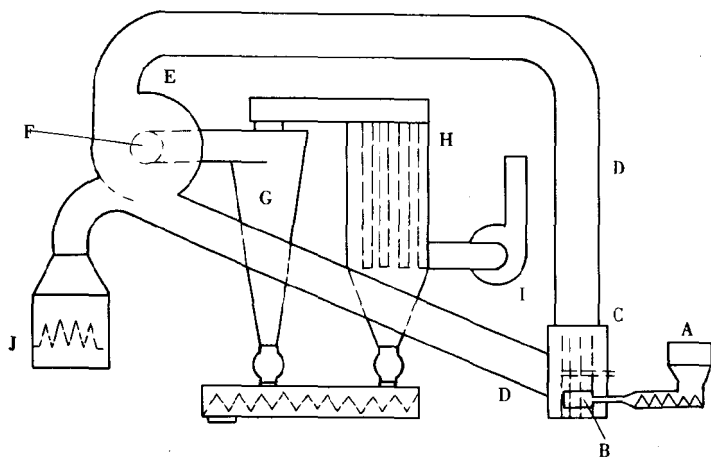


图 2-17 谷朥粉低温干燥系统示意图

A—供料泵 B—挤压机 C—粉碎机 D—导管 E—总管 F—总管出口
G—旋风分离器 H—袋式杂质收集器 I—风扇 J—空气加热器

在不停机的情况下，拆开防堵盖清除堵塞的面筋；母粉过少、产量过低，可将涡壳分离器下的舌板向下移动，将物料置于循环状态，增加母粉数量后，再逐步抬高舌板，以此调整进入布袋过滤器的干粉数量。

国外使用多种形式的干燥机来干燥面筋。如德国，面筋在气力式干燥机中并利用高速断裂机进行干燥。用泵将面筋送入外壳有孔的锥体螺旋输送机中，在螺旋输送机的一端装有带 120~130 个大小为 4~6mm 的孔的型槽，面筋沿着螺旋输送机运动，从面筋中榨出游离的水分，然后面筋通过型槽被挤出，所得到的面筋上撒有干面筋，这就使面筋不粘在一起，并进入槽形混合器中。在混合器壳体内有带特种叶片的轴旋转，这些叶片将面筋破碎成 2~3cm 的块状，然后与干面筋混合。送入的干面筋数量为产品数量的 40%~50%，此时面筋的水分降至 30%~35%。

从混合器出来的面筋微粒被螺旋计量器送入转子上垂直配

置的断裂机内，转子轴上有特种破碎用叶片和内装式风扇。加热到 160 ~ 170 的空气与面筋同时进入转子内，空气从上往下运动。破碎用叶片和转子壳体之间的间隙沿面筋的进程由 2 ~ 3mm 变化到 0.5mm。转子以 2 000 ~ 2 500r/min 的转速回转。面筋沿转子运动时被粉碎、干燥，并被风机送往旋风分离装置分离出干面筋，然后一部分干面筋进入混合器内用于加工湿面筋，而剩余的部分送去包装。

这种设备的生产能力为 100 ~ 120kg 干面筋 / h，转子驱动电机的功率为 75kW。

法国 Balcock BSHAG 公司正在研究一种加工小麦面筋的气流干燥机，其示意图见图 2 - 18 所示，这种干燥机由混合装置、干燥管、旋风分离装置、风机、螺旋计量器、分级器和空气加热器组成。

含水量为 65% ~ 70% 的湿面筋由泵连续地送入混合装置 2 中，部分干面筋也同时进入其中。在此装置中回转着一根带有特种叶片的轴，叶片将湿面筋粉碎并将它与干面筋混合，然后混合物进入混合装置 3，混合装置 3 的结构类似混合装置 2，但有叶片的轴的转速与之不同。在混合装置 3 中混合物进一步被捣碎，水分逐渐均匀并达到 16% ~ 20%，然后物料由热空气沿干燥管道输送到旋风分离装置中，在这种情况下同时进行干燥。干燥管的分离装置和返回管将未干透的面筋微粒沿着返回管返回送去再干燥。

在混合装置中，湿面筋被捣碎成 0.2mm 大小的微粒，此时湿干面筋的比例在 (1:4) ~ (1:5) 范围内。干燥管中的动力是风扇造成的，在旋风过滤装置中分离出来的干面筋部分送入混合装置，剩余部分送入分级器以及送去包装。

在拉依西俄的 Oy Uehno Co 公司（芬兰）用英国 Barr - Murphy Int 公司生产的环状干燥装置（见图 2 - 19）来干燥面筋。该干燥装置由湿面筋喂送和制粒设备，松料器，加热装置，空气滤

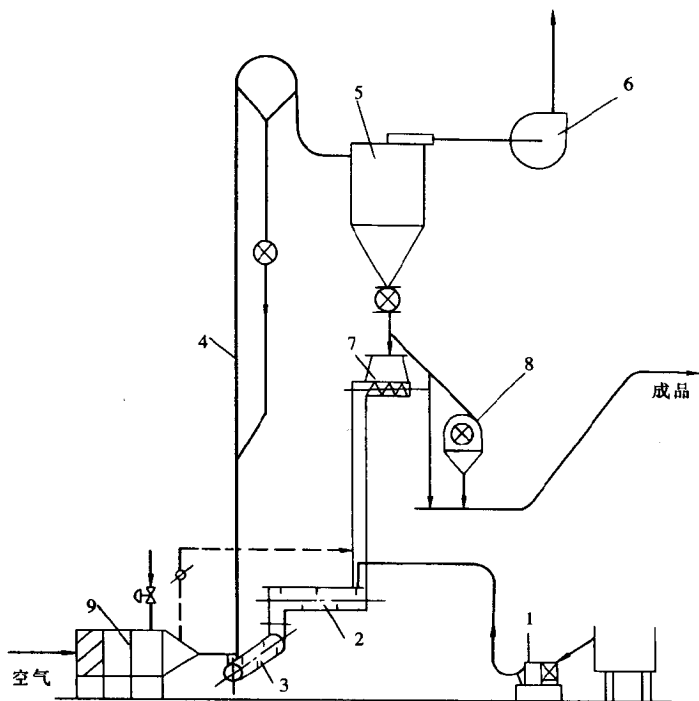


图 2-18 Balcock BSHAG 公司的干燥机示意图

- 1—泵 2,3—混合装置 4—干燥管 5—旋风分离装置 6—风扇
7—螺旋计量器 8—分级器 9—空气加热器

清器，干燥管，面筋气力运输系统，闸门，旋风分离器，回转式风挡，风机和空气再循环管组成。

干燥机的喂料器是一个带内装型槽的管子，转筒在管子内部回转。湿面筋由螺杆泵送进喂料器中，同时压缩空气进入。旋转着的转筒将产品挤压通过型槽，而压缩空气促使产品从型槽中压出，进入松料器。干燥机的松料器是锤片式的。干燥机的结构使废气部分再循环到加热装置中，这样将使干燥产品的蒸汽消耗量降低。

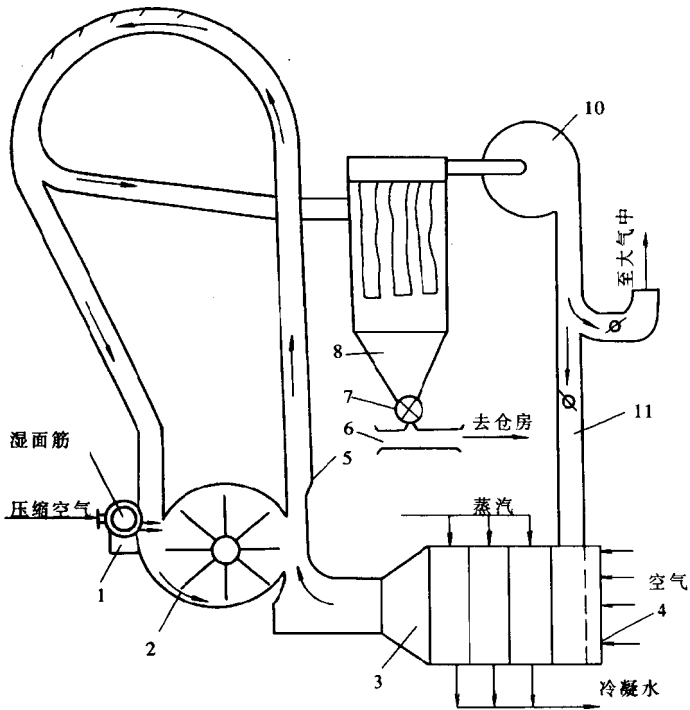


图 2-19 Barr - Marphy Int 公司的干燥机示意图

- 1—湿面筋喂送和制粒装置 2—松料器 3—加热装置 4—空气滤清器
 5—干燥管 6—面筋气力输送系统 7—闸门 8—旋风分离器
 9—回转式风挡 10—风机 11—空气再循环管

2.5 薯类淀粉生产质量控制与检验

2.5.1 淀粉的加工实验

木薯淀粉加工实验随意取样 10kg，经过彻底的清洗之后将木栓层去掉，再将这些完整的或去皮的薯根磨成粉浆。于 50 号铜筛内将浆汁冲洗并使粉浆通过 260 号筛收集起来。当悬浮液达

到 3°B_x 糖度（每升约含 35g 干淀粉）之后便可进行 4h 的沉淀。沉淀之后将上清液倾出，在沉浆中加水使之成为 10°B_x 糖度的浆液 再通过 260 号筛过滤后进行第二次沉降。再次将上清液倾出，使沉淀的淀粉混合成稠状混悬液（45°B_x 糖度），并用瓷漏斗在真空条件下过滤，所得之湿淀粉需在烘箱中烤干。如果能同时采用循环空气则效果更佳。烘烤的初始温度 50℃，终极温度为 60℃，烤干后的淀粉用纱筛过筛之后进行检验。

2.5.2 鲜薯根及残渣中的淀粉含量测定

此分析过程所采用的样品最好是经烘箱烤干后的粉渣，而潮湿度或水分含量的测定可另取一份新鲜的湿粉渣或鲜薯根进行。

2.5.2.1 淀粉含量的测定

淀粉含量的测定是基于酸的水解以及对所得葡萄糖的测定。称量出的样品应含大约 2.5g 的干物质，将样品研磨并在 250ml 水中搅拌 1h 后 再用 250ml 水将非溶性残渣倒入另一容器中，加入 200ml 0.5mol/L 的 HCl 之后，该溶液经回流加热并冷却。以 NaOH 将溶液酸碱度调到 5 待体积达 250ml 时便进行过滤。葡萄糖含量的测定用 Munson 及 Walker 法，或任何其他适用之方法。将葡萄糖含量乘以 0.93 可视为该测定部分的淀粉含量。

2.5.2.2 简化的鲜薯分析方法

此方法是以水含量的测定代替淀粉含量的测定。如木薯的品种及生长条件都较为稳定，此方法被认为较符合实际。下面是两个经验公式。

a. 完整薯根

淀粉含量(%) = 总的干物质含量(%) - 7.3 = 92.7 - 水的含量(%)

b. 去皮薯根

淀粉含量(%) = 总的干物质含量(%) - 6.8 = 93.2 - 水的含量(%)

虽然此公式内的常数在一种新的条件下须重新调整，但在缺乏化学技术人员及设备的情况下，这个公式却很有用。

2.5.3 搓擦效果的测定

经过搓擦后而释放出的木薯淀粉其质量可直接用秤称量。先从搓擦机取出一份定量的浆汁样品，在一个 260 号筛中冲洗后将过滤器中的淀粉收集起来，经过充分的干燥后便可称重。此方法所获之游离淀粉量被浆汁的总淀粉含量除即为搓擦效果（ R ）。

测定 R 的方法可以免去直接测量法中的测定游离淀粉的困难，而仅仅需要对薯根中的淀粉及纤维含量以及在加工上述物质中所产生的废渣进行分析。假设薯根中的淀粉含量及废渣含量分别为 w_{Sr} 和 w_{Sw} ，相应的纤维含量为 w_{fr} 及 w_{fw} ，显而易见那部分尚未与纤维分离之淀粉（即包藏在细胞内未受到搓擦机粉碎的淀粉）含量相当于

$$\frac{w_{Sw}/w_{fw}}{w_{Sr}/w_{fr}}$$

因此，搓擦效果是：

$$R = (1 - w_{Sw} \times w_{fr} / w_{Sr} \times w_{fw}) \times 100\%$$

2.5.4 氢氰酸的分析

2.5.4.1 定性试验 圭纳德试验)

先把苦味酸钠纸条制备好，其方法如下：以 1% 苦味酸溶液浸润纸条，干燥后再以 10% 碳酸钠溶液浸润，再干燥之。纸条须保存在封闭瓶中。将少量被测试的薯根切成小碎块并放入试管中，取一条潮湿的苦味酸钠纸条放入试管塞紧，如果碎根能够释放出氢氰酸则纸条颜色将变成橘黄色。此方法相当灵敏，颜色的变化速度取决于所释放的游离氢氰酸的含量。

2.5.4.2 量的测定（碱滴定法）

将 10~20g 的碎薯根置入一蒸馏瓶中，加入大约 200ml 水静

置 2~4h 以便将全部的氢氰酸释放出来，与此同时始终将瓶子与蒸馏装置相连。用蒸汽进行蒸馏并收集 150~200ml 的蒸馏液于含有 8.5g 氢氧化钠的 20ml 水中。在 100ml 蒸馏液中（最好先将其稀释至 250ml 后再滴定其中之 100ml）利用滴定管加入 8ml 的碘化钾溶液，再以 0.02mol/L 之硝酸银进行滴定（1ml 0.02mol/L 之硝酸银相当于 0.08mg 之氢氰酸）。在最后呈现出一种轻微且永久性的混浊度。如果在黑色背景下观察，此混浊度易于识别。

2.5.5 淀粉的洁净度的测定

淀粉的含量表明存在于样品中的异物颗粒总量。1g 干淀粉中加入 5ml 的蒸馏水，搅拌后再加入 5ml 的 0.7mol/L 的氢氧化钠溶液，此时对所得之均匀胶状混合物进行杂质鉴定。样品的洁白度及清晰度取决于存在淀粉中的色素、尘埃及蛋白质含量。

2.5.6 淀粉中粉渣的测定

木薯粉中的纤维及外来的不可溶性物质的实际含量可以在样品经过缓和的酸水解后通过称量剩余物的质量而测定。2~3g 木薯粉以 100ml 的 0.4% 氯化氢酸液煮沸 1h。液体用一已称重之过滤坩锅以滤纸过滤或用 G₃ 耶拿光学玻璃漏斗过滤。以热水冲洗后，过滤坩锅于 105~120℃ 下烘干使质量恒定。坩锅所增加之质量乘以 100 再除以测试部分的质量即为纤维及杂质的含量（%）。

对粉渣含量的一种粗略估计方法是根据木薯粉的嘎吱声响（当样品紧紧地包装在一小口袋中时，用手指挤压时可能发出声音）。质地纯的木薯粉，其声响较大；当粉渣含量超过一定限度时，此声音即消失。

2.5.7 淀粉中灰分的测定

淀粉灰分的测定一般用电炉燃烧法来进行。通过对灰分含

量的测定而估量出的无机物含量可以作为加工中清洁度的一种标志。如果与酸性因子结合在一起，可以表示与生淀粉结合的金属离子的含量。灰分的色泽亦有一定意义，当出现异常色泽时则表示有异物的存在（例如由于铁的存在而呈棕红色）。

2.5.8 淀粉中水分的测定

使用烤箱法测定水分虽然简便易行但需多次称重，时间长，此外所测之结果往往会低于实际数值，因为周围环境的湿度较高（如热带地区的情况）。另有一种较快捷的方法且不受上述因素的影响，将样品置入二甲苯内煮沸（沸点 135℃），然后收集由二甲苯逐出的水蒸气，将其冷凝之后复原为水，从管上的刻度即可看出水分含量。

3. 淀粉化学概论

3.1 淀粉的颗粒结构和特性

3.1.1 淀粉的形态和结构

不同来源的淀粉，其形状和大小等都不相同（见表 3-1）。小麦有两种不同形状和大小的淀粉颗粒，大的 $25 \sim 40\mu\text{m}$ ，扁豆形；小颗粒 $5 \sim 10\mu\text{m}$ 呈球形。小麦淀粉电镜扫描图见图 3-1。研究表明，小麦两种类型淀粉的化学组成相同。玉米和高粱淀粉在形状和大小方面非常相似，颗粒平均直径 $15\mu\text{m}$ ，形状为多角形和圆形。玉米淀粉电镜扫描图见图 3-2。小米淀粉的特性与玉米相似，但平均粒径为 $12\mu\text{m}$ ；大米与燕麦的淀粉颗粒相似，颗粒小，平均粒径 $2 \sim 5\mu\text{m}$ ，为多角形的，多以复合粒形式存在于粮粒中。

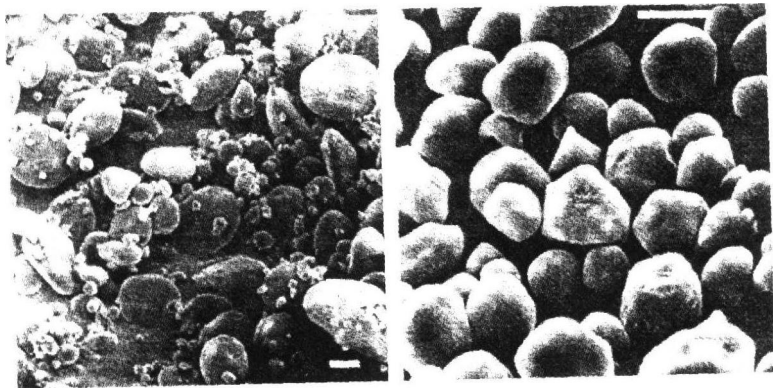


图 3-1 小麦淀粉电镜扫描图 图 3-2 玉米淀粉电镜扫描图

表 3-1

淀粉的颗粒性质

种类	颗粒形状	直径范围/ μm	直径平均值/ μm	比表面积/ (m^2/kg)	偏光类型	直链淀粉/支链淀粉大比例	每克淀粉颗粒数/ $\times 10^6$	气味
玉米淀粉	圆形、多角形	5~25	15	300	黑十字	26/74	1 300	低
糯玉米淀粉	圆形、多角形	5~25	15	300	黑十字	1/99	1 300	低
高直链玉米淀粉	长圆形、不规则形	2~24	10		黑十字但很快消失	大于80/20		低
小麦淀粉	圆形、扁豆形	5~10, 25~40		500	黑十字	25/75	2 600	低
马铃薯淀粉	椭圆形	15~100		110	不规则黑十字	24/76	100	
甘薯淀粉	多角形	10~25	15		黑十字	18/82		低
木薯淀粉	圆形、截头椭圆形	5~35	20	200	黑十字	17/83	500	
大米淀粉	多角形	2~5			颗粒小难辨认	17/83		低
高粱淀粉	圆形、多角形	5~25	15		黑十字	26/74		低
糯高粱淀粉	圆形、多角形	6~30	15		黑十字	1/99		低
西米淀粉	圆形、截头椭圆形	20~60			不规则黑十字	27/73		低

3.1.2 淀粉的晶体结构

淀粉粒由直链淀粉分子和支链淀粉分子组成，淀粉粒的形态

和大小可因遗传因素及环境条件不同而有差异，但所有的淀粉粒都具有共同的性质，即具有结晶性。用 X 射线衍射法证明淀粉粒有一定的晶体构造，并且用 X 射线衍射法及重氢置换法测得各种淀粉粒都有一定的结晶度，见表 3-2。

表 3-2 淀粉结晶度

种 类	结晶度/%	测定法
马铃薯	25	X 射线
马铃薯	24	重氢置换
小 麦	36	X 射线
稻 米	38	X 射线
玉 米	39	X 射线
糯玉米	39	X 射线
高直链玉米(45%)	19	X 射线
甘 薯	37	X 射线

完整淀粉颗粒具有三种类型的 X 光衍射图样，分别称为 A、B、C 型（见表 3-3）。大多数谷物淀粉呈现 A 型；马铃薯、其他根类淀粉和老化淀粉呈现 B 型；豆类淀粉多为 C 型，C 型可能是 A 型和 B 型的混合物。通过湿热处理，B 型马铃薯淀粉可以转变成 A 型。

表 3-3 各种淀粉按结晶形态的分类

A 型	B 型	C 型
稻 米	马 铃 薯	葛 根
糯 米	百 合	山 药
玉 米	山 慈 姑	甘 薯
糯 玉 米	郁 金 香	蚕 豆
小 麦	美 人 蕉	菜 豆
大 麦	高直链玉米	绿 豆
芋 头	皱 豌 豆	木 薯
绿 豆	栗 子	豌 豆

直链淀粉包含化合物晶体的 X 光衍射图谱呈现 V 型，这种结晶形式在天然淀粉中不存在，只在淀粉糊化后与类脂物及有关化合物形成复合物后产生。A 型、B 型和 V 型 X 光衍射图样如图

3-3 所示。

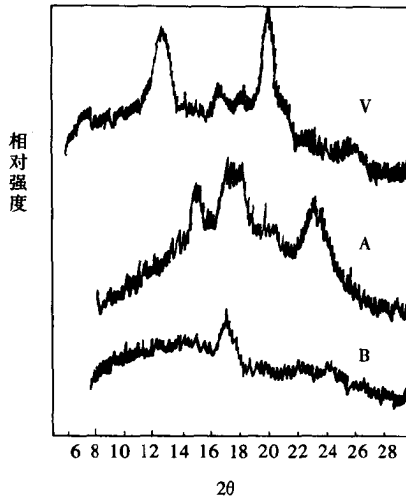


图 3-3 淀粉 X 光衍射图样
 θ —衍射角

3.1.3 淀粉颗粒的轮纹与偏光十字

在 400X ~ 500X 显微镜下仔细观察淀粉粒，常常可以看到其表面有轮纹结构，形式与树木年轮相似。马铃薯淀粉的轮纹特别明显，其他种类淀粉粒不易见到。轮纹结构又称层状结构，各轮纹层围绕的一点叫做“粒心”又叫做“脐”。

不同种类的淀粉粒根据粒心和轮纹情况可分为单粒、复粒和半复粒三种。单粒只有一个粒心，分同心排列（例如小麦淀粉粒）和偏心排列（例如马铃薯淀粉粒）两种；复粒是由几个单粒组成的，具有几个粒心，尽管每个单粒可能原来都是多角形的，但在复粒外围仍然显示统一的轮廓，如大米和燕麦的淀粉粒；所谓半复粒，它的内部有两个单粒，各有各的粒心和轮纹，但最外围的几个轮纹则是共同的，因而构成的是一个整粒。

在同一种淀粉中，所有的淀粉粒可以全是单粒，也可以同时

存在几种不同的类型。例如燕麦淀粉，大多数为复粒，也存在有单粒；小麦淀粉粒，除大多数为单粒外，也有复粒；马铃薯淀粉除单粒外，有时也形成复粒和半复粒。

近年来，用扫描电子显微镜观察经处理的淀粉粒或在制粉中破碎的淀粉粒，常可以清楚地看到层状结构。淀粉粒的层状结构不是人为的，而是客观存在的事实。有人认为淀粉粒各部分密度不同，折射率大小不同而形成层状结构。也有人反对这种观点，认为层状结构的形成是由于酶活力变化所致。

在偏光显微镜下观察淀粉颗粒，出现黑色的十字将颗粒分成四个白色的区域，这种现象称为偏光十字。不同品种淀粉颗粒的偏光十字的位置、形状和明显的程度有差别。例如马铃薯淀粉颗粒的偏光十字最明显，玉米、高粱和木薯淀粉比较明显，小麦淀粉不明显。偏光十字的交叉点，玉米淀粉颗粒接近颗粒中心；马铃薯淀粉颗粒则接近于颗粒的一端，但是，较小的马铃薯淀粉颗粒的十字交叉点却在颗粒中心。

3.2 淀粉的化学特性

3.2.1 淀粉颗粒的化学组成

表 3-4 淀粉的主要组成 单位:% (质量分数)

种类	水分 (20℃, RH65%)	类脂物 (干基)	蛋白质 (干基)	灰分 (干基)	磷(干基)
玉米淀粉	13	0.8	0.35	0.1	0.015
马铃薯淀粉	19	0.05	0.06	0.4	0.08
小麦淀粉	14	0.8	0.4	0.15	0.06
木薯淀粉	13	0.1	0.1	0.2	0.01
蜡质玉米淀粉	13	0.2	0.25	0.07	0.007
高粱淀粉	13	0.7	0.3	0.08	-
大米淀粉	-	0.8	0.45	0.5	0.1
西米淀粉	-	0.1	0.1	0.2	0.02
高直链玉米淀粉	13	0.4	-	0.2	0.02
甘薯淀粉	13	-	-	0.1	-

3.2.1.1 水分

淀粉的含水量取决于贮存的条件（温度和相对湿度），一般在10%~20%范围。表3-4中的水分含量是在相对湿度65%，20℃时的数据。在同样的条件下，与其他淀粉相比，马铃薯淀粉的含水量较高。淀粉颗粒水分是与周围空气中的水分呈平衡状态存在的。空气干燥时淀粉会散发出水分，空气潮湿时淀粉则会吸收水分。淀粉的水分含量与空气中的相对湿度有关，在相对湿度20%时，各种淀粉水分含量5%~6%；在绝干空气中，相对湿度为零，淀粉水分含量也接近零。在饱和湿度条件下，淀粉吸水量多，并引起颗粒润胀，玉米、马铃薯、木薯淀粉的吸水量分别达到39.9%、50.9%、47.9%（干基淀粉计），颗粒直径分别增大9.1%、12.7%、28.4%。

3.2.1.2 脂类化合物

谷物淀粉（玉米、小麦、高粱、大米）中的脂类化合物含量较高（0.8%~0.9%），马铃薯和木薯淀粉的脂类化合物含量则低得多（<0.1%），玉米淀粉含有0.5%的脂肪酸和0.1%的磷脂，小麦淀粉含有0.4%游离脂肪酸和0.4%磷脂。

脂类化合物分子可以与直链淀粉分子形成一种包合物，如图3-4所示。谷物淀粉中存在的直链淀粉脂类包合物会抑制谷物淀粉颗粒的膨胀和溶解，使其糊化温度提高，使淀粉糊和淀粉膜不透明，影响糊化淀粉增稠能力和粘合能力，使淀粉带有原谷物的气味。

3.2.1.3 含氮物质

淀粉中的含氮物质主要是蛋白质，所以通常把氮物质含量习惯说成蛋白质的含量。蛋白质含量是通过测得的含氮量乘以6.25来计算得到的。由于谷物中淀粉与蛋白质的结合较紧密，用谷物加工的淀粉中蛋白质含量比薯类淀粉高。蛋白质含量高对淀粉的加工利用有许多不利的影响，如淀粉生产中蛋白分离困难，使用时会产生牛气味或臭味，蒸煮时易产生泡沫，水解时易产生

颜色等。

3.2.1.4 灰分

灰分是淀粉产品在特定温度下完全燃烧后的残余物。天然马铃薯淀粉灰分含量相对较高，其灰分主要成分是磷酸盐基团，而其他品种淀粉的灰分相对较低。淀粉中的磷主要以磷酸酯的形式存在。木薯淀粉含磷量最低，马铃薯淀粉含磷量最高，它是以共价键结合存在于淀粉中。带负电荷的磷酸基赋予马铃薯淀粉一些电解质的特征，尽管离子电荷不高，但在水溶液中排斥类似的电荷，使马铃薯淀粉具有低的糊化温度、快速润胀、淀粉糊的粘性高和膜的透明度高。

3.2.2 淀粉的分子结构

淀粉是由 α -D-葡萄糖组成的高分子化合物，有直链状和交叉状的两种分子，分别称为直链淀粉和支链淀粉。

3.2.2.1 直链淀粉

直链淀粉是以脱水葡萄糖单元经 α -1,4糖苷键连接，见图 3-5。直链淀粉分子相对分子质量约 250 000(相当于 1 500 个脱水葡萄糖酐)，但变化较大；曾发现极少数直链淀粉分子也具有交叉结构，侧链经 α -1,6糖苷键与主链联接。

当淀粉在水中加热温度高于糊化温度后，直链淀粉从淀粉粒中游离出来，溶于水中，可溶解的直链淀粉是线形的。温度提高，大分子的和带分支的直链淀粉被溶出，采用酶学方法和粘度方法证明分支链是一种长链，其含有几百个葡萄糖残基，分支点是 α -1,6糖苷键，与支链淀粉中发现的相同。但侧链数量很少，又较长，其分子的作用与直链淀粉的相同。

直链淀粉具有一些独特的性质，例如，它能与碘、有机酸、醇形成复合物，这种复合物称为螺旋包合物。淀粉溶液中加入 n -丁醇可以沉淀出直链淀粉，醇与直链淀粉形成不溶性复合物。

直链淀粉的长线性特征使它易于自我缔合，在溶液中形成沉

淀，所以很容易老化，但在碱性溶液中，—OH 基团上引入了正电荷，相近分子链上的正电荷相斥，可以阻止直链淀粉老化。

3.2.2.2 支链淀粉

支链淀粉交叉位置是以 $\alpha - 1,6$ 糖苷键连接，其余以 $\alpha - 1,4$ 糖苷键连接（见图 3-6）。支链淀粉中 4% ~ 5% 的糖苷键为 $\alpha - 1,6$ 糖苷键。支链淀粉分子中侧链的分布并不均匀，有时很近，相隔 1 个到几个葡萄糖单元；有的较远，相隔 40 个葡萄糖单元以上，平均相距 20 ~ 25 个葡萄糖单元。据报道，支链淀粉的相对分子质量达到 10^8 。

支链淀粉是随机分叉的，分子具有三种形式的链：A 链，由 $\alpha - 1,4$ 糖苷键连接的葡萄糖单元组成；B 链，由 $\alpha - 1,4$ 糖苷键和 $\alpha - 1,6$ 糖苷键连接的葡萄糖单元组成；C 链，由 $\alpha - 1,4$ 糖苷键和 $\alpha - 1,6$ 糖苷键连接的葡萄糖单元再加一个还原端组成（见图 3-7）。

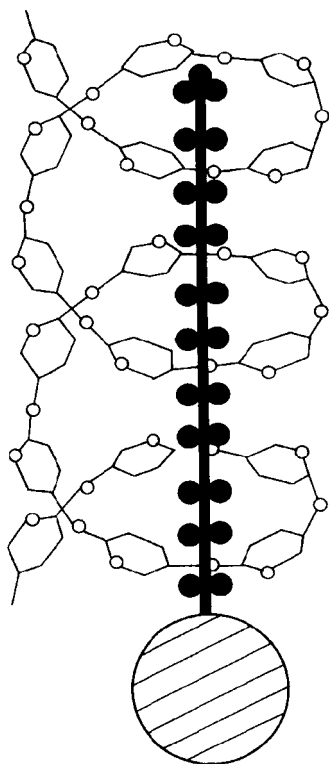


图 3-4 直链淀粉脂类包合物

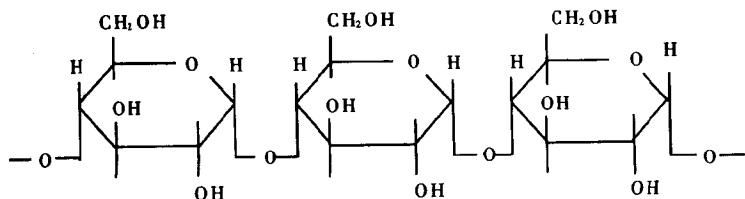


图 3-5 直链淀粉的分子结构

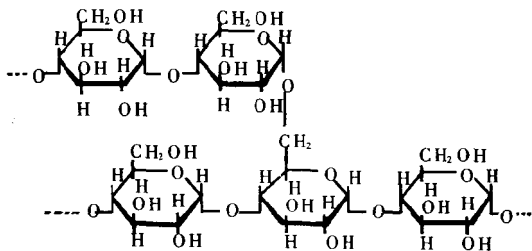


图 3-6 支链淀粉的分子结构

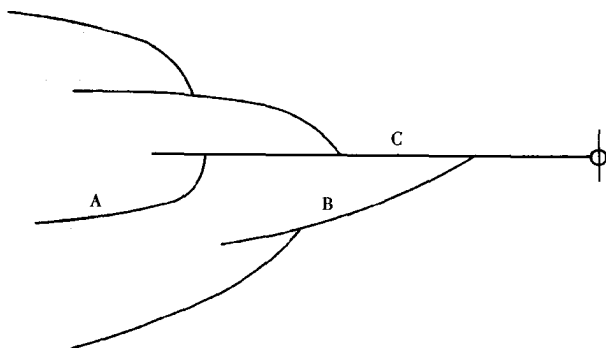


图 3-7 支链淀粉的分子形式

玉米和小麦淀粉的直链淀粉含量约 28%，马铃薯淀粉为 21% 木薯淀粉为 17%。高直链玉米品种，其直链淀粉含量高达 70%，而糯玉米淀粉直链淀粉含量只有 1%。同一品种间的直链淀粉与支链淀粉组成比例基本相同。

3.2.2.3 分离方法

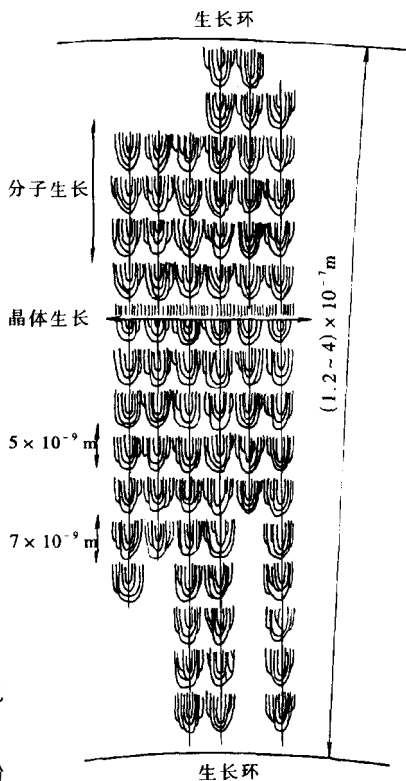
淀粉颗粒中的直链和支链淀粉能用几种不同的方法分离开来，如醇络合结晶法、硫酸镁液分步沉淀法和其他方法等。醇络合结晶法是利用了直链淀粉与丁醇、戊醇等生成络合结构晶体，易于分离，支链淀粉存在于母液中，这是试验室中小量制备的常用方法。硫酸镁分步沉淀法，是利用了直链和支链淀粉在不同硫酸镁溶液中的沉淀差异，可分步沉淀分离。

3.2.2.4 性质差异

直链淀粉和支链淀粉在若干性质方面存在着很大的差别。直链淀粉与碘液能形成螺旋结构络合物，呈现蓝色，常用碘测定淀粉便是利用了这种性质。支链淀粉遇碘液呈现紫红色。直链淀粉遇碘呈现的颜色与其分子链长度有关，聚合度（DP）12 以下的短链遇碘不呈色，聚合度 12 ~ 15 的呈棕色，20 ~ 30 的呈红色，35 ~ 40 的呈紫色，45 以上的呈蓝色。直链淀粉吸收碘量 19% ~ 20%，而支链淀粉吸收碘量不到 1% 直链淀粉难溶于水，溶液不稳定，凝沉性强。支链淀粉易溶于水，溶液稳定，凝沉性弱。直链淀粉能制成强度高、柔软性好的纤维和薄膜，支链淀粉却不能。

3.2.3 淀粉颗粒分子结构

淀粉颗粒中直链淀粉和支链淀粉是如何排列的，我们并不确切地知道，但最近的研究表明，极有可能在淀粉颗粒内，分子与颗粒表面相垂直。淀粉颗粒是部分结晶体，颗粒内支链淀粉形成晶体部分，晶体的长度受短链的限制，晶体的生长方向与分子长度相垂直（见图 3-8）。但该理论并不能解释直链淀粉，分子内直链淀粉的位置并不知道。



结晶束理论认为，普通淀粉图 3-8 淀粉颗粒中支链淀粉结构模型

粉含有直链和支链淀粉两种分子，直链分子和支链分子的侧链都是直链，趋向于平行排列，相邻羟基间经氢键结合成散射状结晶“束”(micelles)。淀粉颗粒呈现一定的 X 光衍射图样、偏光十字便是由于这种结晶“束”结构产生的。颗粒中水分子也参与氢键结合。氢键力很弱，但数量众多，使结晶“束”具有一定的强度，也使淀粉具有较强的颗粒结构。图 3-9 为淀粉颗粒结构示意图，A 中的粗线表示结晶束，结晶束之间的区域分子没有平行排列，较杂乱，为无定形区。支链淀粉分子庞大，串过多个结晶区和无定形区，为淀粉的颗粒结构起到了骨架作用。淀粉颗粒中的结晶区为颗粒体积的 25%~50%，其余为无定形区；结晶区和无定形区并没有明确的分界线，变化是渐进的。图 3-9 B 为淀粉膨胀示意图，无定形区扩大，结晶束未变，颗粒体积增大，但不破裂。



图 3-9 淀粉颗粒微晶束结构示意图

3.3 淀粉的物理性质

3.3.1 淀粉的糊化

3.3.1.1 淀粉的糊化过程和本质

淀粉混于冷水中搅拌时成为乳状悬浮液，称为淀粉乳浆。若停止搅拌，经一定时间后，则淀粉粒全部下沉，上部为清水，这是因为淀粉不溶于冷水，且其相对密度较水大的缘故。淀粉颗粒不溶于冷水是由于羟基间直接形成氢键或通过水间接形成氢键的原因。氢键力很弱，但淀粉粒内的氢键足以阻止淀粉在冷水中溶解。淀粉在冷水中有轻微的润胀（直径增加 10%~15%）但这种

润涨是可逆的，干燥后淀粉粒恢复原状。

若将淀粉乳浆加热到一定温度，这时候水分子进入淀粉粒的非结晶部分，与一部分淀粉分子相结合，破坏氢键并水化它们；随着温度的再增加，淀粉粒内结晶区的氢键被破坏，淀粉不可逆地迅速吸收大量的水分，突然膨胀达原来体积的 50 ~ 100 倍，原来的悬浮液迅速变成粘性很强的淀粉糊，透明度也增高，冷却后观察，发现淀粉粒的外形已发生了变化，大部分都已失去了原有的结构，小部分的直链淀粉分子则溶出，以至于颗粒破裂，最后乳液全部变成粘性很大的糊状物。虽停止搅拌，淀粉再也不会沉淀。这种粘稠的糊状物称为淀粉糊，这种现象称为糊化作用，发生此糊化现象所需温度为糊化温度。糊化作用的本质是淀粉中有序（晶体）和无序（非晶体）态的淀粉分子间的氢键断裂，淀粉分子分散在水中形成亲水性胶体溶液。继续增高温度有更多的淀粉分子溶解于水中，淀粉全部失去原形，微晶束也相应解体，最后只剩下最外面的一个不成形的空囊。如果温度再继续升高，则淀粉粒全部溶解，溶液粘度大幅度下降。

因此，在一般情况下，淀粉糊中不仅含有高度膨胀的淀粉粒，而且还有被溶解的直链分子、分散的支链分子以及部分微晶束。

3.3.1.2 淀粉糊化温度

淀粉乳糊化后，透明度增高，颗粒的偏光十字消失。根据这种变化能测定糊化温度。常采用偏光显微镜和 Kofler 电加热台进行测量。混合淀粉样品于水中，浓度 0.1% ~ 0.2% 取一滴此稀淀粉乳（含 100 ~ 200 个淀粉颗粒）置于观察玻璃片上，四周围放上高粘度矿物油，放上盖玻片，置于电加热台上，温度上升约 2℃/min，观察淀粉颗粒偏光十字变化情况。淀粉颗粒的偏光十字开始消失时便是糊化开始温度。随着温度的升高，更多个颗粒的偏光十字消失，约 98% 颗粒偏光十字消失时的温度为糊化完成温度。少数颗粒糊化困难，仍保有偏光十字，一般忽略之。Kofler 淀粉糊化温度表示淀粉双折射偏光十字消失为 5%、50%、95% 时

的温度,见表 3-5。也可以用示差扫描量热仪(DSC)研究淀粉糊化现象,几种主要淀粉的测定结果为:玉米淀粉 70~89℃,马铃薯淀粉 57~87℃,小麦淀粉 50~86℃,木薯淀粉 68~92℃,糯玉米淀粉 68~90℃。部分变性淀粉的糊化温度见表 3-6。

表 3-5 淀粉糊化特性表

淀粉	Kofler 糊化温度范围 /℃ (开始—中点—完成)	布拉班德糊化温度 (8%)/℃	布拉班德峰值粘度 (8%)/BU	溶胀势 (95℃)	临界浓度/(g/ml 水) (95℃)
玉米	62—67—72	75—80	700	24	4.4
马铃薯	58—63—68	60—65	3 000	1 153	0.1
小麦	58—61—64	80—85	200	21	5.0
木薯	59—64—69	65—70	1 200	71	1.4
糯玉米	63—68—72	65—70	1 100	64	1.6
高粱	68—74—78	75—80	700	22	4.8
大米	68—74—78	70—75	500	19	5.6
西米	60—66—72	65—70	1 100	97	1.0
葛根	62—66—70	-	-	54	1.9
高直链玉米	67—80—92	90—95	-	6	20.0
甘薯	58—65—72	65—70	-	46	2.2

表 3-6 部分变性淀粉的糊化温度 单位:

酸变性淀粉	40 流度	62—67—72
	60 流度	63.5—69—73.5
	80 流度	68—72—77
氧化淀粉	低转化度	55—64—73
	中转化度	54—60—69.5
	高转化度	52—59—68

续表

交联淀粉	玉米	62—69—74
	糯玉米	63—70—76
	糯高粱	67—77
阳离子淀粉	DS = 0.046	52—58—65
	DS = 0.11	室温
阴离子玉米淀粉	DS = 0.036	52—57—63.5
羟丙基玉米淀粉	DS = 0.05	58—63—68
	DS = 0.09	55—60—64
蔗糖溶液中的玉米淀粉含量/%	0	62—66—72
	5	60.5—67—72.5
	10	60—67—74
	20	65.5—72—78
	30	69.5—74—81
	40	72—79.5—85
	50	76—85—90.5
	60	84—90.5—96.5
NaOH 溶液中玉米淀粉含量/%	0.2	55.5—64—69.5
	0.3	49—59—65
Na ₂ CO ₃ 溶液中玉米淀粉含量/%	5	64—70—75
	10	67—72—76
	20	77.5—82—87
	30	92—98—103
NaCl 溶液中玉米淀粉含量/%	1.5	67.5—72—77
	3.0	69.5—74—78.5
	6.0	75—79.5—82.5
湿热处理玉米淀粉		68.5—72—76
未处理玉米淀粉		62—65—69

除乘 100 即为溶胀势。曾在 50~95℃ 范围内,每隔 5℃ 测定马铃薯、木薯和玉米淀粉的溶胀势,如图 3-10 所示。马铃薯淀粉的溶胀势最高,表明颗粒内部结构较弱,磷酸基电荷相互排斥,促进膨胀作用。马铃薯淀粉颗粒溶胀高达相当于原体积的几百倍。玉米淀粉颗粒溶胀势低,溶胀势不是直线增高,而是呈现转折,这表明颗粒结构具有强度不同的两种结合力,较弱者在 75℃ 以下松弛,较强者在 85℃ 以上松弛。玉米淀粉含有脂肪化合物,与直链淀粉形成包合物,对于颗粒溶胀有抑制作用,除去脂肪化合物则能除去此影响,使溶胀自由。几种淀粉在 95℃ 时受热 30min 的溶胀势列于表 3-5 中。表中数据显示,马铃薯淀粉溶胀能力最高,达 1153,远远超过其他淀粉。薯类淀粉的溶胀能力高过谷类淀粉。直链淀粉含量影响溶胀能力,高直链玉米淀粉溶胀能力远低于普通玉米、粘玉米淀粉。表 3-5 中也列有各种淀粉的临界浓度为 100ml 水所需该淀粉的质量(干基计),该质量的淀粉于 95℃ 溶胀后能吸收全部 100ml 水分,形成均匀糊,无游离水遗留;低于此临界浓度,则含有游离水。工业上应用的淀粉糊浓度远高

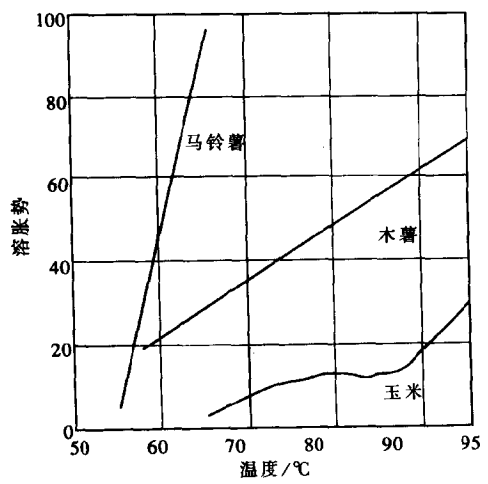


图 3-10 淀粉溶胀势图

过此临界浓度，但配制一定粘度糊所需要淀粉的相对量与此临界浓度相同。配制一定粘度的淀粉糊所需马铃薯淀粉的量远低于玉米和木薯淀粉。

3.3.1.5 影响淀粉糊化的因素

各种淀粉分子彼此之间的缔合程度不同，分子排列的紧密程度也不同，即微晶束的大小及密度各不相同。一般来说，分子间缔合程度大，分子排列紧密，那么拆散分子间的聚合、拆开微晶束要消耗更多的能量，这样的淀粉粒就不容易糊化；反之则易于糊化。而在同一种淀粉中，淀粉粒大的糊化温度较低，而淀粉粒小的糊化温度较高。除此之外，还有以下几个因素影响淀粉的糊化。

a. 水分的影响 为了使淀粉充分糊化，水分必须在 30% 以上。在低水分含量下淀粉的糊化情况较复杂，这在一些食品制作中常常发生，在此不作深入研究。

b. 碱的影响 碱具有降低淀粉的糊化温度的作用，当碱的用量达到一定限量时，淀粉就发生糊化。淀粉在强碱作用下，室温下即可糊化。

c. 盐类的影响 硫氰酸钾、碘化钾、硝酸铵、氯化钙等浓溶液在室温下促进淀粉粒糊化。阴离子促进糊化的顺序是： $\text{OH}^- > \text{水杨酸}^- > \text{SCN}^- > \text{I}^- > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{SO}^-$ ，阳离子促进糊化的顺序是： $\text{Li}^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ 。

d. 极性高分子有机化合物的影响 盐酸胍、尿素、二甲基亚砷等在室温或低温下即可促进糊化。

e. 脂类的影响 脂类能与直链淀粉形成包合物或复合体，它可抑制淀粉的糊化和膨润。这种复合体对热稳定，在水中不被破坏，所以难于糊化。

f. 直接淀粉含量的影响 直链淀粉含量高的比含量低的糊化困难。高直链玉米淀粉只有在高温高压下才能完全糊化。

另外，界面活性、淀粉粒形成时的环境温度以及其他物理及

化学的处理都可以影响淀粉的糊化。

3.3.2 淀粉的老化机理及影响淀粉老化的因素

3.3.2.1 淀粉老化机理

淀粉溶液或淀粉糊在低温静置条件下，都有转变为不溶性物质的趋向，混浊度和粘度都增加，最后形成硬的凝胶块。在稀淀粉溶液中有晶体沉淀析出，这种现象称为淀粉糊的“老化”或“回生”，这种淀粉叫“老化淀粉”。老化的本质是糊化的淀粉分子又自动有序排列，并由氢键结合成束状结构，使溶解度降低。在老化过程中，由于温度降低，分子运动减弱，直链分子和支链分子的分支都回头趋向于平行排列，通过氢键结合，相互靠拢，重新组成混合微晶束，使淀粉糊具有硬的整体结构。这种情况和原来的生淀粉结构颇类似，但不再呈放射状排列，而是一种零乱的组合，如图 3-11 所示。

老化后的直链淀粉非常稳定，就是加热加压也很难使它再溶解。如果有支链淀粉分子混合在一起，则仍然有加热恢复成糊的可能。

淀粉糊或淀粉溶液老化后，可能出现以下现象：

粘度增加。

不透明或混浊。

在糊表面形成皮膜。

不溶性淀粉颗粒沉淀。

形成凝胶。

⑥从糊中析出水。

3.3.2.2 影响淀粉老化的因素

淀粉的老化与淀粉的种类，支链与直链淀粉比例，分子大小，溶液的浓度、pH、所含无机盐种类及冷却速度等因素都有关系，归纳如下：

a. 淀粉种类的影响 直链淀粉分子呈直链状构造，在溶液中

空间障碍小，易于取向，易于老化；支链淀粉分子呈树枝状构造，在溶液中空间障碍大，不易老化。

b. 分子大小的影响 直链淀粉分子中大的取向困难，小的易于扩散，只有适中的才易于老化。直链淀粉分子长短与凝沉性强弱有关，聚合度在 100 ~ 200 的分子的凝沉性最强，凝沉速度最快。

c. 直链淀粉与支链淀粉比例的影响 支链淀粉含量高的淀粉难于老化，支链淀粉可以起到缓和直链淀粉分子老化的作用。凝沉主要是由于淀粉分子间的结合，支链淀粉分子因为支叉结构的关系不易凝沉，并且对直链淀粉的凝沉还有抑制作用。但是在高浓度或低温条件下，支链淀粉分子侧链间也会结合，发生凝沉。

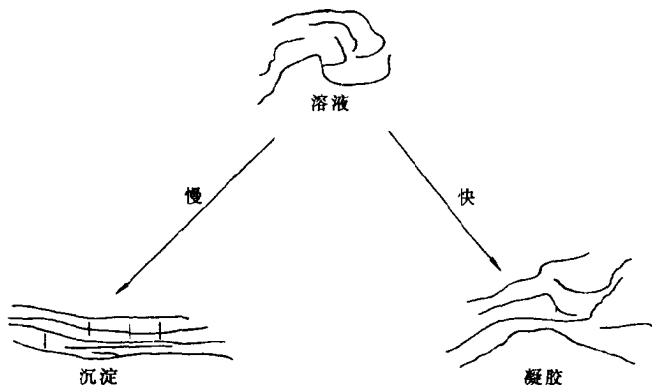


图 3-11 淀粉糊凝沉示意图

d. 溶液浓度的影响 溶液浓度大，分子碰撞机会多，易于老化；溶液浓度小，分子碰撞机会少，不易老化。曾有人用各种淀粉制成 2.5% ~ 60% 的淀粉糊液在 0 下放 1h，测定它们的老化速度，结果发现浓度为 30% ~ 60% 的溶液最容易发生老化。水分在 10% 以下时，淀粉难于老化。

e. 无机盐类的影响 无机盐离子阻止淀粉老化作用的顺序

为： $\text{SCN}^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{CO}_3^{2-} > \text{I}^- > \text{NO}_3^- > \text{Br}^- > \text{Cl}^-$ ， $\text{Ba}^{2+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ 。

f. 溶液 pH 的影响 溶液的 pH 对淀粉老化有影响，不同的 pH 范围对凝沉的速度有影响。在 pH 5~7 时，凝沉速度快；在更高或更低 pH 时，凝沉速度慢。pH 对淀粉老化作用的影响，实验结果不完全一致。

g. 冷却速度的影响 淀粉溶液温度的下降速度对老化有很大影响。缓慢冷却，可以使淀粉分子有时间取向排列，故可加重老化程度；而迅速冷却，淀粉分子来不及取向，可降低老化程度。

3.3.3 淀粉糊特性

淀粉糊主要含溶胀的淀粉颗粒，但因颗粒糊化不均匀，还有未充分溶胀的颗粒至少量未溶胀的颗粒，以及碎裂的溶胀颗粒、溶解淀粉和凝沉淀粉等。不同淀粉糊的特性见表 3-7。

表 3-7 淀粉糊的性质

淀粉	糊的粘性	糊的质构	糊的透明度	糊的抗剪切性	糊的老化速度
玉米淀粉	中等	短	不透明	中等	高
马铃薯淀粉	非常高	长	半透明	中~低	中
小麦淀粉	中~低	短	不透明	中	高
木薯淀粉	高	长	半透明	低	低
糯玉米淀粉	中~高	长	半透明	低	很低
高粱淀粉	中	短	不透明	中	高
大米淀粉	中~低	短	不透明	中	高
西米淀粉	中~高	长	半透明	中~低	中
葛根淀粉	-	长	-	-	-
甘薯淀粉	高	长	半透明	低	中

3.3.3.1 糊的粘度

马铃薯淀粉糊的粘度非常高，玉米和小麦等普通谷物淀粉糊

的粘度比木薯和蜡质玉米淀粉糊的低得多。

3.3.3.2 糊的质构

不同品种淀粉的糊具有不同的粘韧性。用一根木片放入马铃薯淀粉糊中取出，糊丝长、不断，则粘韧性高；糊丝短，则粘韧性低。一般用糊丝的长短表示糊的质构。木薯和粘玉米淀粉属于长糊，但较马铃薯淀粉短。谷类淀粉粘韧性与玉米淀粉相同，属于短糊。马铃薯淀粉糊丝长、粘稠、有粘接力；木薯和蜡质玉米淀粉的糊特征类似于马铃薯淀粉，但一般没有马铃薯淀粉那样粘稠和有粘接力；玉米和小麦淀粉丝短而软，缺乏粘接力。

3.3.3.3 糊的透明度

马铃薯、木薯和粘玉米等淀粉糊的透明度高过玉米、小麦等谷类淀粉的，前者半透明，后者不透明，实际也有些透明，透明程度较低。淀粉糊的透明度取决于淀粉的种类，马铃薯淀粉的最清澈透明，木薯和蜡质玉米淀粉的次之，玉米和小麦淀粉的可以说是无光泽、混浊或不透明。

3.3.3.4 糊的抗剪切能力

机械搅拌淀粉糊产生剪切力，引起溶胀淀粉颗粒破裂、淀粉糊粘度降低。马铃薯淀粉颗粒溶胀大、强度弱，受剪切力影响易破裂、淀粉糊粘度降低多。玉米淀粉颗粒溶胀较小，强度较高，抗剪切力稳定性高。机械剪切作用一般会降低淀粉糊的粘度。马铃薯、木薯和蜡质玉米淀粉的糊比玉米和小麦淀粉的糊抗剪切力差。

3.3.3.5 糊的老化（或称凝沉性和退减）

从表 3-7 可以看出，不同淀粉的老化速度不相同，谷物类淀粉（玉米、小麦、高粱和大米）的老化速度比根茎类淀粉（马铃薯、木薯、甘薯和葛根）的快得多，糯玉米淀粉的老化速度最低。玉米淀粉直链淀粉含量高（28%），直链淀粉的聚合度小（ $DP = 200 \sim 1200$ ），加上脂类化合物含量高（0.6%），这些对老化有促进作用，所以玉米淀粉的老化速度比较快。其他谷物淀粉的情况与玉米

淀粉相似。马铃薯淀粉含直链淀粉低（21%），直链淀粉的聚合度大（ $DP = 1\ 000 \sim 6\ 000$ ），加上脂类化合物含量低（0.05%），老化趋势属于中等。

3.3.4 淀粉膜特性

将淀粉糊在光滑平面上涂薄层，干燥，形成薄膜，膜的强度、柔软性、透明性、光泽、水溶性以及重湿性等，因不同品种的淀粉而存在差别。马铃薯和木薯淀粉糊的成膜性较玉米和小麦淀粉的好，膜的强度、柔软性、透明性和光泽都好，并能长期保持水溶性，重湿性好、粘合力强。淀粉糊为重要的胶粘剂，用于胶纸带、信封、邮票和标签等方面，要求重湿性好，应用时与水接触溶解快、粘合力强。玉米、小麦等谷类淀粉糊在干燥过程中发生凝沉，膜的重湿性有所降低。

4. 变性淀粉生产及应用技术

4.1 淀粉变性的基本原理和方法

采用物理、化学以及生物化学的方法，使淀粉的结构、物理性质和化学性质改变，从而制成的具有特定性能和用途的产品称为变性淀粉或修饰淀粉。生产变性淀粉所采用的技术称为淀粉变性或修饰技术。

4.1.1 淀粉变性的基本原理

淀粉变性除个别场合使用颗粒状淀粉外，绝大多数情况下都是使用淀粉糊溶液。淀粉使用时性能会受到高温、机械剪切作用、pH、盐类、低温等因素的影响。因此，不同的使用场合要求淀粉具有不同的特性，只有适应了这些应用要求，淀粉才能得到广泛应用。淀粉变性的方法有：降解、交联、稳定化、阳离子化、接枝共聚等。

4.1.1.1 反应点

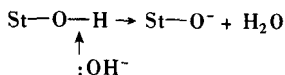
从结构上可以很清楚地看出，淀粉的化学反应点主要在分子中羟基（—OH）和糖苷键（C—O—C）两个区域，在羟基上发生取代反应，在糖苷键上发生断裂反应。

糖苷上的三个羟基分别在 C_2 、 C_3 和 C_6 的位置，表明淀粉的反应同醇相似，但我们不能仅仅把淀粉看做一种醇，因为淀粉具有天然高分子的特性。

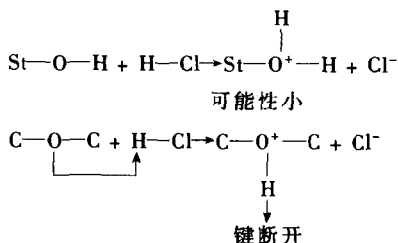
羟基上亲质子氧与葡萄糖链上亲质子氧的竞争，表明淀粉呈现的酸性大于碱性。氧的质子化作用易于发生在葡萄糖链上，因

而反应由打开 O—H 键开始，而不是由打开 C—O 键开始。所以淀粉不能转变为醇酸卤化物，也不能形成醚或烯。

淀粉羟基的酸特性 (St—代表淀粉基，下同)：



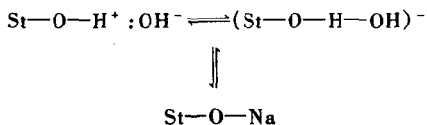
氧的质子化作用：



C₂、C₃ 和 C₆ 位置上的三个羟基的相对活性并没研究清楚，尽管从理论上讲，伯醇基更具反应性，但对其他两个仲醇基并不能作出准确的判定。

4.1.1.2 催化剂

水解和乙酰化反应用质子催化，通常使用淀粉量的 0.05% ~ 0.5%。在酯化和醚化取代反应中，淀粉分子首先被激活，使 O—H 键亲质子化并促进形成 St—O⁻。激活后的淀粉内部的氢键连接更弱或被破坏。用作激起反应的催化剂，NaOH、KOH 等碱性试剂比较合适。一些酚类和氯衍生物参与的反应消耗部分碱，这时碱用量必须还能保证淀粉的激活。淀粉与碱反应形成的是一个复合物而不是醇化物。从以下反应式可看出：



这个反应式表明催化效果顺序为：LiOH < NaOH < KOH < 胺类。但也指出了溶液的重要性，如果使用一种碱性的对质子有惰

性的极性溶液，反应将更容易进行。使用极性溶液，如亚甲基亚砷或丁醇，从理论上讲反应产量更高，但应避免溶剂对淀粉的分解。

盐加强羟基反应的效果，钠盐对磷酸盐化反应有好的影响。在非均相反应中，盐能阻止碱性溶液中淀粉颗粒的溶胀。为保证合适的反应速度，加盐量为 1%。

淀粉的一些特殊反应的激发：用甲酸处理淀粉，然后甲酰基与取代基交换；在接枝反应中用辐射激发；自由淀粉基是由自由引发剂引发，如过氧 - 金属对 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ - $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8/\text{Fe}^{2+}$ ，或用过酸类、氧化还原对、 γ -射线引发等。

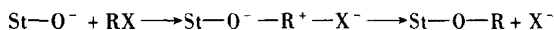
4.1.1.3 反应机理

SN_1 机理 试剂 $\text{R}-\text{X}$ 释放出 R^+ 攻击亲质子淀粉 $\text{St}-\text{O}^-$



这个机理可以用来解释：乙酰化反应、某些酯化反应、烯丙基化反应、三苯甲基化反应、氰乙基化反应等。

SN_2 机理：是双分子型的，这意味着有中间复合物形成。



这个机理可以用来解释：酯化反应、甲基化反应、羧甲基化反应等。

4.1.2 变性淀粉的分类

淀粉大部分用化学方法变性，如酸降解、交联取代、氧化等；还有的用物理方法变性，如加热、湿处理等。对变性淀粉可简单地分类，见图 4-1。

4.1.3 变性淀粉的基本概念

4.1.3.1 葡萄糖残基中碳原子的位置

这是指单个葡萄糖残基中碳原子的位置。编号从带有半缩醛基的碳原子开始，到含有伯醇基的碳原子为止，如图 4-2 所示。

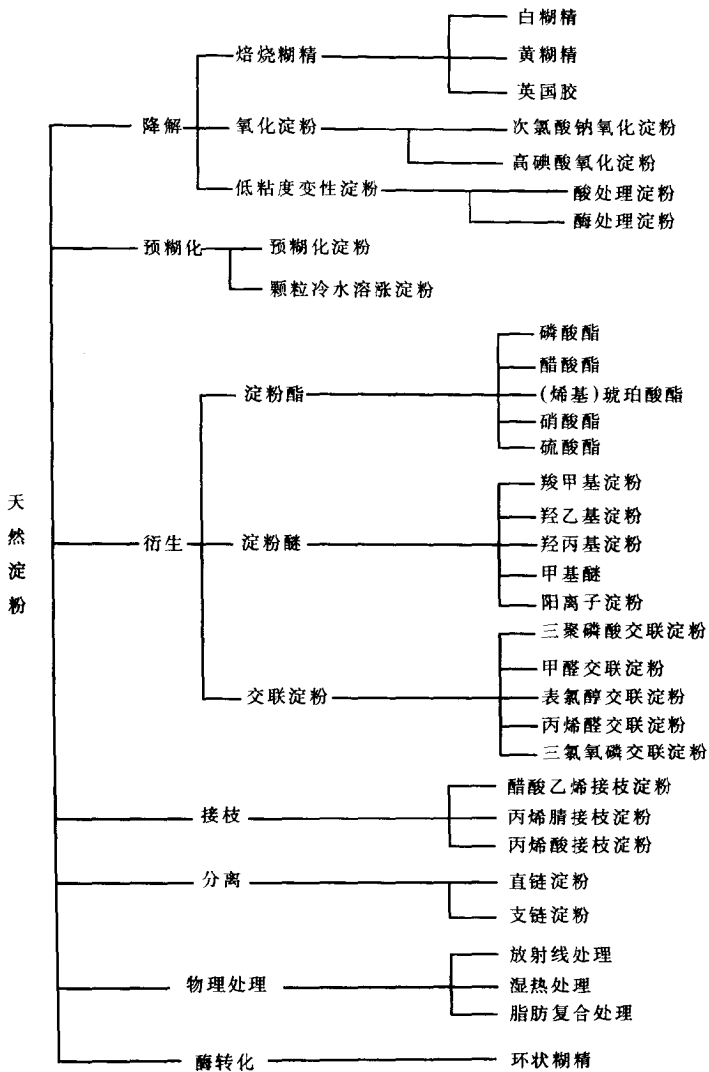


图 4-1 变性淀粉的分类

4.1.3.2 聚合度(DP)

产品的聚合度表示分子中基本链节的平均数，在本书中，它是指分子中葡萄糖残基的平均数。因此，葡萄糖的 $DP = 1$ ，麦芽糖的 $DP = 2$ ，直链淀粉(含平均 200 个葡萄糖残基)的 $DP = 200$ 。

4.1.3.3 醚化反应

在一个醇分子里，氧总是以单键连接着两个不同的原子：碳和氢。而在一个醚分子中，氧却是以单键和两个碳原子相连。在一个醚分子中，和氧相连的两个基团未必是相同的，所以醚的通式常写成 $R-O-R'$ ，应理解为 R 和 R' 可以是相同的烷基也可以是不同的烷基。将淀粉看做醇，当它与带有烷基的试剂反应时，生成这样的物质： $St-O-R'$ ，这种反应就是淀粉的醚化反应。

4.1.3.4 酯化反应

酸和醇进行反应得到的产物叫做酯，所有的酯的通式为： $R-COOR'$ 。将淀粉看做醇，当它与有机酸试剂反应时，生成淀粉有机酸酯： $St-COOR'$ ，这种反应就是淀粉的酯化反应。淀粉与无机酸试剂反应生成淀粉无机酸酯。

4.1.3.5 取代度(DS)

取代度表示分子中葡萄糖残基中羟基被取代基团取代的平均数。如取代度为 0.02 表示每 50 个葡萄糖单位有一个羟基被取代。

$$DS = \frac{162w}{100M - (M-1)w}$$

式中 w ——取代物量(%)

M ——取代物的相对分子质量

通常高取代度淀粉取代度大于 2.0，低取代度淀粉取代度小于 0.2。目前工业上使用的多为低取代度产品，很低程度的取代，就可以改善如粘度、稳定性、溶解度、膨胀性和凝沉性等性质。较高取代度的淀粉衍生物具有取代基的性质和热塑性。

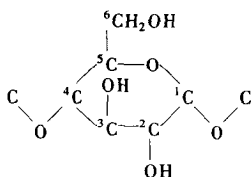


图 4-2 葡萄糖苷碳原子位置

4.1.3.6 交联度

表示淀粉分子间羟基连接交联基团的数目，一般情况下用沉降积来表示交联度。

4.1.3.7 碱值

这是对淀粉产品还原端基的一种近似测定值，常用经验方法来测定：在以空白试验作对比的条件下用碱煮解淀粉产品，测定 1g 干淀粉在煮解时所消耗的 0.10mol/L 碱液的体积 (ml)。此法主要用于天然原淀粉、轻度转化淀粉及某些糊精制品，不能应用于淀粉酯、醚或氧化淀粉。

4.1.3.8 描述接枝共聚反应的术语

a. 接枝百分率 指共聚物含有接枝高分子的质量分数，用公式表示为：

$$\text{接枝百分率} = \frac{\text{接枝物重}}{\text{接枝共聚物重}} \times 100\%$$

b. 接枝效率 表示接枝物量占单体总量的百分率，用公式表示为：

$$\text{接枝效率} = \frac{\text{接枝物重}}{\text{接枝物重} + \text{共聚物重}} \times 100\%$$

c. 接枝频率 指接枝链之间的平均葡萄糖单位数，用公式表示为：

$$\text{接枝频率} = \frac{\text{接枝百分率}}{\text{接枝共聚物平均相对分子质量}}$$

4.1.4 变性淀粉生产工艺

变性淀粉产品种类繁多，目前已经开发出几千种。使用的淀

粉不同，变性方法及变性程度也各不相同，但其基本生产方法都为湿法、干法和滚筒预糊化法等少数几种，其中工业上应用最普遍的是湿法和干法。

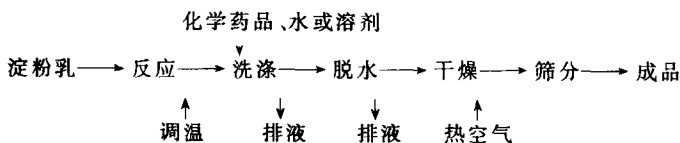
变性淀粉湿法生产工艺是指淀粉的变性反应在液相（水或醇中）条件下进行。

变性淀粉干法生产工艺是指淀粉的变性反应在固相条件下进行。

4.1.4.1 湿法生产工艺

湿法生产工艺是将淀粉分散在水或其他有机液体介质中，形成非均相反应体系，在一定反应条件下进行降解或取代等改性反应，生成变性淀粉。

a. 工艺流程 一定浓度的淀粉乳送入反应罐后，按工艺要求调整 pH、温度和加入化学药品，达到要求的取代度后终止反应，然后洗涤、脱水、干燥，经过筛分后成品打包。变性淀粉湿法生产工艺流程如下所示：



b. 操作要点

①淀粉乳：湿法生产变性淀粉，其原淀粉可以由淀粉生产装置直接用管道送来的精制淀粉乳，也可以是商品淀粉。但不论是使用淀粉乳还是干淀粉，在投料前都要经过计量，计算出绝干淀粉的投放量。淀粉乳用波美计测量浓度，并测量淀粉乳的体积，计算出淀粉量。干淀粉的计量则用秤称量或以袋计量，并按化验单计算淀粉中的绝干淀粉量。

②反应：反应是变性淀粉生产最关键的工序。在搅拌的条件下把淀粉乳加入反应器，同时进行升温，调整 pH，并按生产品种要求按顺序加入一定量的各种化学品，用仪器分析测试反应终点

并终止反应。原料、浓度、物料配比、反应温度、时间甚至混合搅拌的好坏都会不同程度地影响反应的进行，影响最终产品质量的稳定性和应用性能的重复性。

反应罐是湿法生产工艺的主要设备，其容积和台数由生产量而定。反应罐由罐体搅拌装置、调温装置、监测装置、排气装置等部分组成。反应罐设有夹套，所以采用夹套加热和冷却。变性反应多为放热反应，待反应进行时，为转移反应热，则采用冷水冷却，以保证反应温度不变。

③ 洗涤：反应结束后，变性淀粉中含有未反应的化学品和反应副产物，这些杂质的存在会影响产品质量，因此要通过洗涤把杂质除掉。大型厂常采用淀粉洗涤旋流器进行逆流洗涤，与淀粉洗涤的设备相同，洗涤级数只要三级或四级。反应后的变性淀粉乳用泵送入旋流器的第一级，洗涤水从旋流器的最后一级加入，变性淀粉与洗水逆流接触，洗涤后的变性淀粉乳从最末级的底流引出，送去脱水，含有洗涤杂质的水则从第一级的顶流排出。排出液中除含有杂质以外，尚含有 5% ~ 8% 的变性淀粉，所以将这部分稀浆再通过三级旋流器进行分离，回收其中的变性淀粉，分离后的洗涤水送污水处理系统处理。采用带式压滤机进行变性淀粉脱水时，洗涤是在压滤机上进行的，脱水后引入洗水对滤饼进行洗涤，洗涤和脱水交替进行。

对于小型厂来说，常采用三足式离心机洗涤滤饼。也有用沉淀池进行洗涤的，将反应物放入沉淀池沉淀后，排出上清液，再加水搅拌、沉淀，排出上清液，最终得到合格的产品。这种方法投资虽少，但洗水用量大、产品收率低。

洗涤系统主要由调浆罐、分离机、旋流器、离心机等设备组成，可根据不同的要求进行组织。

④ 脱水：洗涤以后的变性淀粉乳的浓度为 34% ~ 38% 需要进行脱水以后才能干燥。

脱水是使用离心式过滤机来完成，与原淀粉生产使用的设备相同。但变性淀粉滤饼的含水量通常在 40% 左右，比用同样条件脱水的原淀粉含水量要高，这是由变性后的淀粉的吸水性和颗粒性质所决定的。采用真空过滤机或带式压滤机对变性淀粉脱水比较合适，脱水的同时还可以对滤饼进行洗涤，省去了专门的洗涤设备。过滤后的滤液中尚含有 5% ~ 8% 的变性淀粉，可送去澄清系统提浓后回收变性淀粉。

脱水系统由离心机、压滤机、精乳罐、回收液罐等设备组成，可根据不同的要求进行组织。

③干燥：与原淀粉相比，离心脱水以后的湿变性淀粉中含水量较高，干燥也比较困难，处理量下降。变性淀粉干燥用气流干燥机与原淀粉生产用的相同。采用溶剂生产变性淀粉时，为保证溶剂的回收，降低成本，要采用真空干燥机。

干燥根据不同的工艺及产品类型，可采用气流干燥机、流化床干燥机或真空干燥机等进行。

筛分：变性淀粉需要具有一定的细度和粒度分布，一般要求 100 目筛的通过率达到 99.5% 以上。所以仅仅靠干燥过程中自然形成的细度不能满足要求，因此需要对产品进行粉碎和筛分。干燥后的物料绝大部分是均匀的淀粉，送入成品筛进行筛理，筛下物为合格的产品，进行成品打包。筛上物为大粒度或块状不合格产品，经粉碎后返回筛分。

4.1.4.2 干法生产工艺

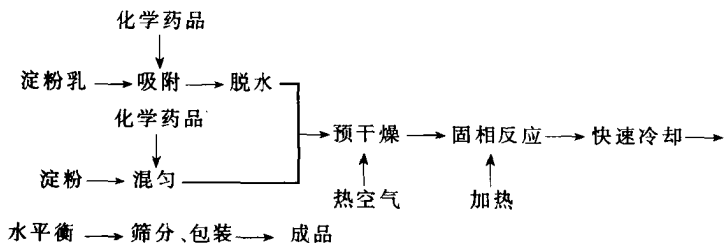
干法生产工艺是在干的状态下完成淀粉的变性反应。

白糊精、黄糊精及磷酸酯变性淀粉等的生产常用干法生产工艺。干法生产变性淀粉产品收率高、无污染，所以是一种很有前途的方法。

a. 工艺流程 与湿法相比，干法生产的工艺变化比较大，不同的品种其工艺不同。

生产时，淀粉乳送入反应器，在一定的温度、pH 条件下淀粉

附化学药品于表面，经脱水预干燥到一定水分含量后，送入固相反应器进行化学反应。或干淀粉装入混匀器后，喷入化学药品，混合均匀后进行预干燥，然后送入固相反应器进行化学反应。反应结束后，由于产品温度较高并且水分偏低，需经过快速冷却及水平衡，过筛、包装即得产品。变性淀粉干法生产工艺流程如下：



b. 操作要点

④混合：在中小型变性淀粉厂，经常将化学药品用水稀释，在常温下与淀粉在混合器或反应器内混合，混合后系统中含水约40%。由于水量相对来说比较大，溶在水中的化学品能保证均匀地与淀粉接触，然后再进行脱水、干燥。当然这种工艺要损失一定量的化学品，工艺也更复杂。也可以在混匀机里直接喷入化学药品，混合均匀后进行预干燥，这种方法用水量少但淀粉中药品的均匀性差。

混匀机多为双轴双搅拌式的，采用双向搅拌装置将洒进来的化学药品与淀粉在干的状态下充分混合，然后再送入下道工序。

⑤预干燥：淀粉与化学药品混合后含水40%左右，直接在干式反应器中升温进行反应必将引起淀粉糊化，无法进行生产，所以要对淀粉进行预干燥，将水分降至10%以下才能保证干式反应的正常进行。

生产中一般采用气流干燥器进行预干燥，将湿淀粉干燥至含水10%以下时送入干式反应器进行反应。如果不设专门的预干燥器时，也可通过控制反应器的温度，在真空条件下于反应器内

完成预干燥，但一般干燥速度较慢，处理量较低。

③反应：变性淀粉干法生产所使用的固相干式反应器有真空固相反应器、夹套式固相反应器及气固相反应器等。干法反应的温度比较高，通常在 $120 \sim 160^{\circ}\text{C}$ ，要求固相反应器有性能良好的加热装置，加热多采用蒸汽或导热油。对于夹套式固相反应器，为防止局部过热，通常反应器的体积比较小，长径比较大。稍大一点的反应器除设加热或冷却的夹套以外，其搅拌轴和搅拌叶都是空心的，可以通入加热和冷却介质。

对固相反应器的基本要求是反应要均匀，可保证较高的固相反应温度，同时应具有较高的生产率。

干法反应时间要比湿法短得多，通常为 $1 \sim 5\text{h}$ ，个别也有反应时间较长的。反应终点通过用粘度快速测定仪分析反应物的粘度来确定，有些产品的反应终点通过用快速分析方法测定取代度确定。

④增湿：反应结束后物料的水分通常为 1% 以下，而商品变性淀粉的水分要求为不超过 14% ，因此需要对产品增加水分含量。

增湿设备是通过在搅拌的条件下喷入雾化的水分给产品增湿，达到规定的水分之后排入贮罐。中小型厂采用的冷却、水平衡装置一般为夹套式螺旋输送机，夹套内通冷却水，物料边运输边冷却。同时在螺旋输送机上装水雾化器，喷洒雾状的水与产品混合。

⑤筛分：干法反应的物料中同样会有一些块状物，所以要进行筛分，通过一定孔目的筛子的筛下物作为成品去包装，筛上少量的团块经粉碎后重新进入筛分系统过筛。

4.2 转化淀粉的生产

转化作用是用化学或物理方法处理淀粉颗粒，使淀粉分子部分或全部破裂，淀粉颗粒变小，从而降低它们在水中烧煮时的膨

胀能力，结果使淀粉在水中加热时所形成的溶液的粘度下降。因此，转化淀粉可在浓度比原淀粉高的情况下在水中分散。

一般来说，淀粉转化期间分子在 $\alpha - D - (1 \rightarrow 4)$ 糖苷键处发生断裂，有些分子在 $\alpha - D - (1 \rightarrow 6)$ 糖苷键处发生断裂。通过这些处理，除了改变分子大小及热溶液的粘度特征之外，也可使淀粉的其他性质发生一定的变化。普通转化淀粉有三大类：酸变性淀粉、氧化淀粉及热转化或糊精化淀粉。

4.2.1 酸变性淀粉

用酸处理淀粉的目的是为了得到一种可以形成低粘度淀粉糊的产品。用酸在糊化温度以下处理淀粉改变其性质以后得到的产品称为酸变性淀粉。

4.2.1.1 基本原理

在酸转化过程中，酸水解缩短了淀粉分子链的长度，得到一种较易使用的降解淀粉。同时研究发现， $\alpha - D - (1 \rightarrow 4)$ 糖苷键比 $\alpha - D - (1 \rightarrow 6)$ 糖苷键更易水解。但这些并没有揭示出淀粉颗粒的酸变性作用过程，根据对酸变性过程的玉米淀粉的直链组分及支链组分的检验及对酸变性颗粒状淀粉的研究，证明酸对淀粉颗粒的作用可分为两个阶段，最初迅速水解含有支链淀粉的非结晶区，接着缓慢地作用于结晶区中的直链和支链。

4.2.1.2 生产工艺

酸转化淀粉生产采用湿法工艺，流程如下所示：

淀粉乳 → 酸解 → 离心 → 中和 → 洗涤 → 脱水 → 干燥 →
筛分包装 → 成品

↓
回收酸液供下批用

将淀粉乳送入反应罐，升温到 $37 \sim 38^{\circ}\text{C}$ ，加入适量的盐酸恒温酸解反应 $3 \sim 4\text{h}$ 。反应结束后，放出物料，用离心机脱水，回收酸液，然后用 5mol/L 碳酸钠溶液中和酸变性淀粉乳，使 pH 为 6.0 左右，洗涤至中性。经脱水后进行气流干燥，过筛后包装即得

产品。

一般通过取样测定流度来控制反应进度。用一只特制的玻璃漏斗测定流度，下方连有玻璃毛细管。若 100ml 蒸馏水流经此漏斗的时间为 70s，在一定条件下配置的酸变性淀粉样品溶液于 70s 时间流过此漏斗的体积 (ml) 为此样品的流度。不同类型的酸、酸的浓度和反应时间对酸变性淀粉流度的影响见表 4-1。

表 4-1 在 50℃ 下加工条件对酸变性淀粉流度的影响

淀粉和酸	酸浓度/%	时间/h	流度
玉米淀粉,硫酸	0.06	24	13.0
	0.13	24	32.0
	0.22	24	53.0
	0.29	24	64.0
	0.44	24	72.0
	0.61	24	74.0
玉米淀粉,盐酸	2.05	0.25	10.0
		0.47	20.0
		0.67	30.0
		0.87	40.0
		1.13	50.0
		1.50	60.0
马铃薯淀粉,盐酸	2.05	2.25	70.0
		0.67	3.0
		1.33	8.0
		2.0	15.5
		2.67	25.0
		3.33	37.0
	4.0	52.8	

4.2.1.3 特性

a. 流度 由于酸变性作用的主要目的是降低淀粉浆粘度，因此反应终点常用测定热浆流度的方法来控制。流度是粘度的倒数，粘度越低，流度越高。

b. 溶解度 酸转化期间，随着流度的增加，热水中可溶解的淀粉量也增加。欲得到颗粒形态的淀粉制品，在通常的酸处理下可能转化的淀粉量是受到限制的。

c. 颗粒特性 室温下用显微镜观察酸变性淀粉颗粒，发现其与未变性淀粉十分相似。但在水中加热时，它们的特性十分不同，酸变性淀粉不像原淀粉那样会膨胀许多倍，而是径向扩展裂痕并分成碎片，其数量随淀粉的流度升高而增加。

d. 热糊及冷糊 酸变性淀粉热糊的粘度远低于原淀粉，差异取决于转化的流度。酸变性玉米淀粉热糊的流变学性能也不同于玉米原淀粉，已膨胀的原淀粉颗粒在显现触变性方面有突出的作用。但在酸变性淀粉中，颗粒已破坏成碎片，而不是膨胀，因此酸变性淀粉糊的触变性是低的，能与牛顿流体相接近。酸转化淀粉热糊是较透明的流体，然而冷却时，由玉米、小麦制成的酸变性淀粉将会老化，失去透明度，形成浑浊的坚实的凝胶。

酸转化糯玉米淀粉与酸转化玉米淀粉有不同的性质，这主要是因为糯玉米淀粉几乎都是直链淀粉，它不像玉米淀粉那样易于老化，冷却时不会形成凝胶。酸变性木薯淀粉流度为 0~40 时，淀粉糊在稳定性和透明度方面可达到酸变性糯玉米淀粉的水平；然而，接近 50 流度的产品，其热糊是透明的，但冷却时即老化。用酸变性马铃薯淀粉可得到透明度及流动性好的热糊，它们会很快变稠（老化），冷却时形成透明的凝胶。

e. 薄膜强度 酸变性淀粉特别适合应用于需要淀粉成膜性好的工业中。由于酸变性淀粉的粘度比原淀粉低得多，可在更高的浓度下烧煮和成糊，有极少的水分吸收或蒸发，使它们的薄膜可更快干燥，从而可供快速粘合之用。此外，酸变性淀粉的薄膜

比原淀粉厚。酸变性淀粉的这种低热糊粘度以及较高的浓度和较高的薄膜强度，使得它特别适合应用于需要成膜性及附着性的工业，如经纱上浆、纸袋粘合等。

4.2.1.4 用途

a. 食品工业 在食品工业中主要用来制造糖果，如软糖、胶姆糖，还可以制作淀粉果子冻、胶冻婴儿食品。高流度的酸变性淀粉制作的糖果，质地紧凑、外形柔软、富有弹性、耐咀嚼、不粘纸，在高温下不收缩、不起砂，能在较长时间内保持质量的稳定性。

b. 造纸工业 利用酸变性淀粉成膜好、膜强度大、粘度低等特性，将其作为特种纸张表面涂胶剂，以改善纸张的耐磨性、耐油墨性，提高印刷的性能。

c. 纺织工业 用来进行棉织品和棉—合成纤维混纺织品的上浆和整理处理。较高流度的酸变性淀粉有良好的渗透性和较强的凝聚性，能将纤维紧紧地粘聚，从而提高纺织品的表面光洁度和耐磨性，在布料和衣物洗涤后整理时，能显示出良好的坚挺效果和润滑感。

4.2.2 次氯酸钠氧化淀粉

经次氯酸钠处理的淀粉为氧化淀粉。淀粉经碱性次氯酸钠处理后，白度提高，粘度和糊化温度降低，稳定性、透明度、成膜性得到改善，粘着力增强。

4.2.2.1 基本原理

次氯酸钠可按四种方式随机地氧化淀粉，即：

①将直链淀粉与支链淀粉分子中的还原性醛基氧化成羧基。一般说来，醛基比羟基更容易氧化，因此淀粉分子中的醛基首先被氧化成羧基是可能的。天然淀粉中的醛基是非常少的，但由于水解和氧化断裂的发生，会形成附加的醛基，它们被氧化成羧基。

②第六碳原子上的伯醇基被氧化成羧基，生成糖醛酸链。

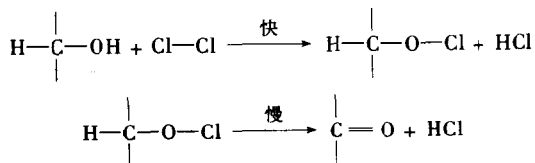
③第二、三及四碳原子上的仲醇基被氧化成酮基。

④乙二醇基被氧化成醛基，再被氧化成羧基。

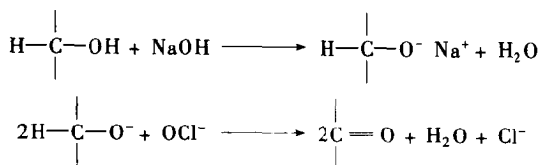
从对最终产品的性能的影响方面来说，每类反应都是重要的。但在影响的大小方面， C_1 羟基与 C_4 羟基处发生的反应只能是较次要的，因为这些反应只发生在 C_1 上的还原性端基及 C_4 上的非还原性端基上，每个大分子中 C_1 及 C_4 上的羟基量比 C_2 、 C_3 及 C_6 上的少得多。因此可以推断，在 C_2 、 C_3 及 C_6 位置上发生的羟基的氧化反应对最终的氧化淀粉的性能起着决定性的作用。

次氯酸钠在不同 pH 下是以不同形式存在的，在碱性条件下主要离解成 OCl^- ；在接近中性的条件下基本不离解， OCl^- 量少；在酸性条件下，主要是未离解的 $HOCl$ ；在更酸性条件下生成氯 (Cl_2)。淀粉在不同 pH 条件下，结构也发生变化。在碱性条件下，淀粉生成淀粉钠 ($St-O-Na$)，在酸性条件下发生质子化 (H^+) 和 (或) 水解。淀粉的这种结构变化也影响着其氧化反应。

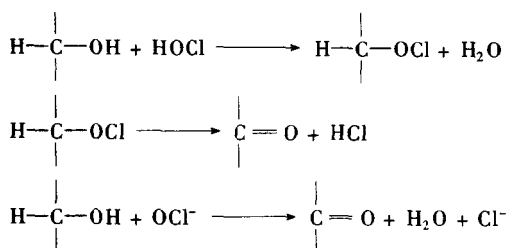
在酸性条件下，次氯酸盐很快转变成氯，氯与淀粉的羟基起反应生成次氯酸酯和氯化氢，酯进一步分解生成酮和氯化氢。在这两步反应中，各有一个质子分别由氧原子和碳原子分离开来，在质子过量的酸性介质中，阻碍质子的分离，酸性越高，氧化反应速度越慢。



在碱性条件下，淀粉生成带有负电荷的淀粉钠，数量随 pH 的增高而增加；次氯酸主要离解成 OCl^- ，也带有负电荷，相互间的排斥作用影响氧化反应，因此，pH 提高会限制氧化速度。但在弱碱性条件下，淀粉是以中性形式存在，反应速度还是快的。



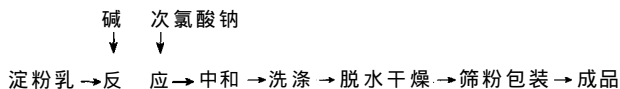
在中性条件下，未离解的 HOCl 作用于中性淀粉生成淀粉次氯酸酯和水，酯再分解成酮和氯化氢。介质中存在的任何次氯酸根阴离子都会以相似的方式对非解离的淀粉羟基发生作用。



通过氧化反应生成羰基和羧基，生成量和相对比例因反应条件而定。在较低 pH 下有利于醛基生成，在接近中性时有利于羧基生成，在高 pH 下有利于羧基生成。因为羧基能降低直链淀粉的凝沉性，起到改进淀粉性质的主要作用，工业生产是在弱到中等碱性条件下氧化，促进羧基生成。

4.2.2.2 生产工艺

次氯酸钠氧化淀粉的生产采用湿法工艺，其工艺流程如下：



浓度为 1.14 ~ 1.16kg/L 的精制淀粉乳送入反应罐，搅拌条件下用稀碱液调 pH 为 9 ~ 10，然后加入适量的次氯酸钠进行氧化反应。反应过程中，pH 下降，通过添加稀碱液中和所产生的酸性物质来稳定 pH。氧化反应放热，引起温度上升，应当控制加次氯酸钠的速度，反应温度控制在 30 ~ 50℃。次氯酸钠用量随要求的氧化程度而定，氧化程度高，需要用量高。用量以有效氯占

绝干淀粉百分数表示，一般为 3% ~ 5%。当氧化反应达到要求程度时将 pH 降到 6 ~ 6.5。用 20% 亚硫酸氢钠溶液还原剩余的次氯酸钠，经洗涤除去可溶性副产品、盐以及降解产品，再离心脱水，用气流干燥，筛分包装得成品。

a. pH 的影响 氧化反应过程中，要严格控制 pH 的范围。如上所述在低 pH 时，趋势是形成醛基；在中性 pH 时，形成羧基；在高 pH 时，形成羧基。由于羧基在稳定直链淀粉分子及使其具有最小的老化程度上起重要作用，通常氧化反应是在中性到中等碱性的条件下进行，以生成较大量的羧基。

b. 氧化剂消失速率 测定氧化剂浓度随时间延长而降低的速率表明：pH 为 7.5 ~ 10，反应速率随 pH 的增加而降低；pH 为 10 ~ 11，则相反。影响次氯酸钠消失速率的其他因素包括：淀粉乳浓度（浓度越高，反应越快）、颗粒结构（如果颗粒结构是受过破坏的，反应速率更快）、温度（温度越高，反应越快）及淀粉类型。

c. 反应温度 氧化反应放热引起温度上升，应特别注意次氯酸钠的加入速度。在碱性条件下温度升高很容易引起淀粉的溶胀，使产品难于过滤，因此反应罐必须有降温装置。反应温度一般控制在 30 ~ 50℃。

d. 反应时间 反应时间对淀粉的粘度有很大的影响。淀粉品种的变化、次氯酸钠的加入速度、pH 的波动、温度的波动等都会影响反应的速度，所以，反应的时间会产生小范围的变化，反应终点的确定最好采用快速粘度测定的方法。

4.2.2.3 特性

a. 颗粒 一般说来氧化淀粉颗粒类似于制取它们的原淀粉，仍保持着偏光十字及碘染色特征。氧化淀粉色泽较原淀粉颗粒白。在径向裂纹方面，氧化淀粉颗粒也不同于原淀粉，可以发现，颗粒中径向裂纹数随氧化程度的增加而增加。这些裂纹显然在氧化剂的更强攻击之下会使颗粒形成碎片。当在水中加热时，颗粒也会沿着这些裂纹裂成碎片，取代了原淀粉颗粒的膨

胀现象。

b. 化学特征 氧化过程中，羧基及羰基的生成量、糖苷键切断量等取决于处理程度。一般说来，随着次氯酸盐量的增加，淀粉相对分子质量及特性粘度降低，羧基或羰基含量增加。大多数商品氧化淀粉的羧基量在 1.1% 以上。

c. 热糊流度 与酸变性淀粉相似，使用氧化淀粉的目的之一也是降低淀粉粘度或增加流度，从而使它在较高的浓度下，在热水中成糊。氧化淀粉可以有很宽的流度范围，一般随氧化程度的增加，流度上升。

d. 热糊与冷糊的特性 氧化淀粉在热水中成糊时，粘度增加的方式随处理条件而变化。在中性条件下，由次氯酸盐氧化作用得到的淀粉，其特征是在成糊或糊化时有高的粘度峰值；但在较高碱性条件下氧化得到的淀粉有较低的粘度峰值。在热水中成糊及冷却时，氧化玉米淀粉溶液不会增稠，也不会像玉米原淀粉那样硬，而且能形成较清晰的糊液。

氧化淀粉糊比酸变性淀粉糊具有更好的清晰度及稳定性，这主要是因为氧化过程中羧基进入到淀粉分子中对直链淀粉的聚集和老化的倾向起到了空间位阻作用。

e. 薄膜性能 用次氯酸盐氧化淀粉能形成强韧、清晰、连续的薄膜，它们比酸变性淀粉或原淀粉的薄膜更均匀，收缩及燥裂的可能性更小，薄膜也更易溶于水。

4.2.2.4 用途

a. 造纸工业 大约 80% 以上的次氯酸盐氧化淀粉用于造纸工业，主要用于纸张表面的施胶。由于其具有成膜性好、不凝胶等优点，经过施胶后，改善了纸张表面强度，增加了其表面光滑度，为书写和印刷提供优良的表面性能。

b. 纺织工业 氧化淀粉可以在较低的温度下以高浓度使用，大量渗入到棉纱中，提供良好的耐磨性。在印染织物的精整中，氧化淀粉的透明膜可避免织物色泽暗淡。

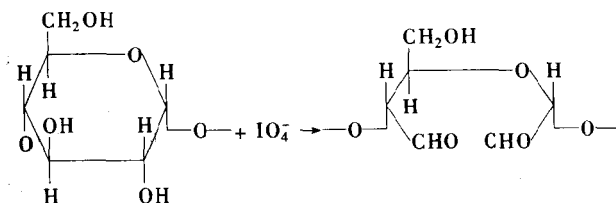
c. 建筑材料业 氧化淀粉可以用作糊墙纸、绝热材料、墙板的粘合剂，并作为瓦楞纸箱工业粘合剂大量使用。

d. 食品工业 轻度氧化淀粉可用于炸鸡、鱼类食品的敷面料中，对食品有良好的粘合力并可得到酥脆的表层。

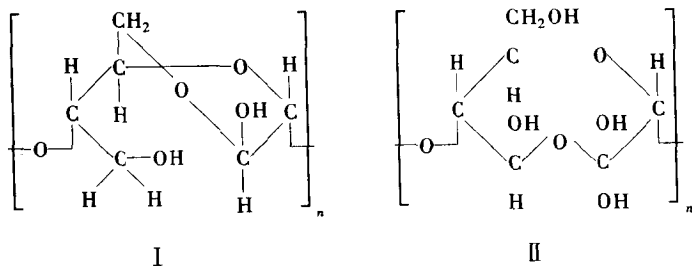
4.2.3 双醛淀粉

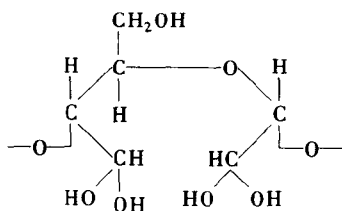
4.2.3.1 基本原理

双醛淀粉是用高碘酸作氧化剂与淀粉作用生成的一种特殊的氧化淀粉。高碘酸是一种特殊的氧化剂，具有高度的专一性，它只氧化相邻的羟基成醛基，即将淀粉分子中葡萄糖单位上的 C_2 及 C_3 上的羟基氧化成醛基，并拆开 C_2-C_3 键形成二醛淀粉。尽管此种产品不是真正的转化淀粉，但它是一种氧化淀粉。其反应式如下所示：



在水中不存在 I 的游离结构，其易转化为与 C_6 的羟基相结合的半缩结构 II 或与水分子相结合的半醛醇结构 III（如下所示）。

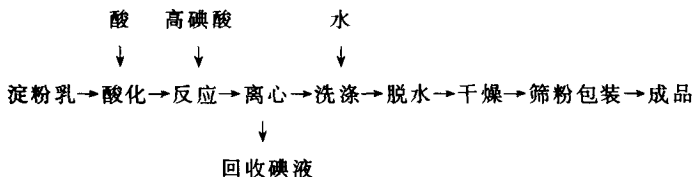




III

在反应过程中，高碘酸还原成碘酸，将碘酸通过电解作用再转化成高碘酸，用来氧化淀粉。

4.2.3.2 生产工艺



淀粉乳中加入酸进行酸化处理，然后添加高碘酸在搅拌下进行反应。高碘酸的用量根据氧化程度调整，达到需要的氧化程度后停止反应。过滤后将反应液送入再生电解池处理，将碘酸转变为高碘酸。氧化淀粉经水洗数次，然后脱水，进行气流干燥，过筛包装即得产品。将碘酸再生转变为高碘酸的电解技术是生产的关键。高碘酸氧化淀粉反应条件见表 4-2。

表 4-2 高碘酸氧化淀粉反应条件

高碘酸浓度/ %	玉米淀粉乳 浓度/%	$\text{HIO}_4/\text{淀粉}$	pH	反应温度/ ℃	反应时间/ h	产率/%
22.6	13.0	1.25	0.6	30~32	3.5	102
6.0	5	1.5	1.2~1.4	32~38	3	98

注： $\text{HIO}_4/\text{淀粉}$ 即 HIO_4 与淀粉的摩尔比。

4.2.3.3 基本特性

高碘酸及其盐可使淀粉分子中葡萄糖单位上的 C_2 和 C_3 上

的羟基氧化成醛基，使环形结构开裂。工业上常用的产品氧化程度在 90% 以上，这些醛基不是以游离状态存在，而是与水分子结合或与 C_6 上的伯醇羟基结合成半缩醛，但是它们都有醛的反应活性。双醛淀粉遇碘不呈蓝色，不溶于冷水而能溶于热水。

4.2.3.4 用途

a. 造纸工业 在纸张成型之前，往纸浆内加入双醛淀粉能增加纸张的湿强度，特别适合于生产不怕湿的包装纸、高强度纸、卫生用纸、地图纸等。

b. 皮革工业 双醛淀粉具有与多肽的氨基和亚氨基进行反应的能力，所以是一种很好的皮革鞣制剂，其优点是制出的皮革颜色浅，酸碱度在蛋白质等电点以上，比较稳定。

c. 纺织工业 双醛淀粉可作为棉花纤维的交联剂，可提高其防缩和防皱性能，同时还可增强其耐磨损性和抗胀强度而提高其耐用性。

d. 塑料、树脂等工业 因双醛淀粉具有增塑作用且易于控制，能产生适宜的塑化效果。

4.2.4 糊精

淀粉经不同方法降解所得的产物（不包括单糖和低聚糖）统称为糊精。本节主要讨论利用干热法使淀粉降解所得之热解糊精，它通常有白糊精、黄糊精和英国胶（或称“不列颠胶”）三类。

4.2.4.1 基本原理

在糊精的干法转化过程中，淀粉发生的化学反应是很复杂的，至今尚未完全搞清楚，但其主要反应可能包含水解反应、苷键转移反应、再聚反应。每种反应发生的相对程度随所生产的糊精转化条件而异。

a. 水解反应 在干燥和转化的初阶段，酸可催化断裂淀粉中的 α -(1→4)糖苷键，也可能水解 α -(1→6)糖苷键，淀粉的相对分子质量不断降低。反映为淀粉的水分散液粘度不断降低，也反

映为苷键水解形成的还原性端基量增加。在生产低转化度的白糊精过程中，低 pH 及水分促使了水解反应。

b. 苷键转移反应 在这类反应中， α -(1 \rightarrow 4)糖苷键水解，与邻近分子的游离羟基结合形成分支结构，可能是由于结晶区在受热之下苷键会断裂，邻近的羟基会抓住这些游离羟基所致。

c. 再聚合反应 葡萄糖在酸存在下，在高温时能发生聚合反应。例如在黄糊精化的过程中，会出现明显的葡萄糖或新生态糖的再聚作用，生成较大的分子，这也反映在淀粉还原糖量降低、粘度略有升高，以及能溶解于混合溶剂（90%乙醇/10%水）的糊精的百分率降低上。虽没有确实证据，但至少黄糊精可能发生再聚合作用。

4.2.4.2 生产工艺

糊精生成的差异在于对淀粉的预处理方法及热处理条件的不同。白糊精和黄糊精是加酸于淀粉之中加热而得到的产物，前者生成温度较低，颜色为白色；后者生成温度较高，颜色为棕色。英国胶是淀粉不加酸，加热到更高温度时得到的产物，颜色为棕色。生产糊精的条件见表 4-3。

表 4-3 生产糊精的条件

生产条件及产品特性	白糊精	黄糊精	英国胶
反应温度/°C	110 ~ 130	135 ~ 160	150 ~ 180
反应时间/h	3 ~ 7	8 ~ 14	10 ~ 24
催化剂用量	高	中	低
溶解度	从低到高	低	从低到高
粘度	从低到高	低	从低到高
颜色	白色至乳白色	米黄至深棕色	浅棕至深棕色

热糊精的生产过程包括预处理（酸化）、预干燥、热转化和冷却等工序，其主要设备干式反应器结构如图 4-3 所示。

a. 预处理 通常这个阶段将酸性催化剂稀溶液喷洒到含水

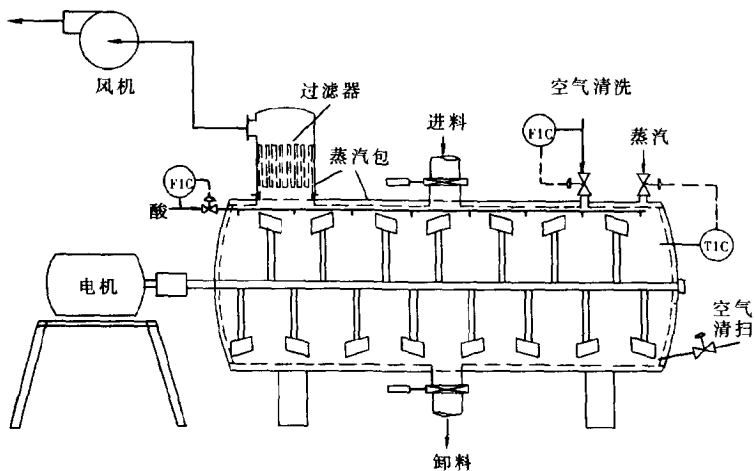


图 4-3 糊精干式反应器结构示意图

5%以上的淀粉上。在制取白糊精和黄糊精时，通常使用盐酸，将其以很细的雾滴形式均匀地喷洒在混合器中不断搅拌的淀粉上。对于英国胶，可加微量的酸或不加酸，或加磷酸三钠或磷酸二钠、碳酸氢钠、碳酸氢铵、三乙醇胺等这类缓冲剂。

b. 预干燥 根据不同种类糊精的要求，用于转化的淀粉开始时的水分含量应在 1% ~ 5%。淀粉中含水量过高是不利的，因为它将加剧淀粉的水解作用并抑制缩合反应，除非淀粉的水分含量等于或小于 3%，否则缩合反应是难以进行的。

预干燥能否成为一个独立阶段，取决于制取的糊精种类及设备。淀粉中水分会引起水解，尤其是在低 pH 及加热时。在转化过程中，这种水解作用应该是最小的。例如黄糊精，在糊精化或热转化之前干燥预处理过的淀粉常常是必要的，例如用气流干燥快速除去水分。在许多白糊精生产中并不需要严格的预干燥，因为有些水解作用有助于获得所需的性能。

c. 热转化 热转化作用通常是在混合器中完成的，可以用蒸

汽或油浴加热。欲制得高质量的均匀产品，整个转化过程中应保证有良好的搅拌作用及均匀的热量分布。

在转化过程中，应该有充足的并能控制的空气流，以使水分在初始阶段就能快速除去及蒸发掉，并使温度达到所需值。

转化温度与时间可有很大的差异，取决于所制产品种类及设备类型。温度范围一般在 $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ，加热时间从几分钟到数小时。一般白糊精倾向于在低温及较短的时间内制备，而黄糊精和英国胶需要长反应时间和高温。

d 冷却 转化结束时，温度可能在 $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ，甚至更高。通常根据色泽、粘度或溶解性来确定终点，这时糊精正处于转化的活性状态，急需使用快速冷却方法使它尽快停止转化作用。为此，通常将热糊精倾入冷却混合器中或用冷却水冷却。若转化作用的 pH 非常低，需用碱中和，以防止冷却期间及随后贮存时的进一步转化。中和也可以在干态下进行。

由于最后的糊精产品只含有很少的水分，与水混合时会发生结块及起泡现象，因此可将糊精放在湿空气中，使其吸收水分，含水量升高到 $5\% \sim 12\%$ 或更高。

4.2.4.3 性质

热糊精在物理和化学性质方面与原淀粉有很大的差异，这些差异随转化度不同而变化。

a. 颗粒结构 在显微镜下放在甘油中观察时，热糊精颗粒外形与制造它的原淀粉相似。但在水与甘油混合物中用显微镜观察时，有较高转化度的热糊精有明显的结构削弱及外层剥落现象。

b. 水分 在干燥及热转化阶段，糊精的含水量是逐渐降低的。如果不经吸湿，最后的水分：白糊精是 $2\% \sim 5\%$ 黄糊精及英国胶都少于 2% 。但糊精有较强的吸水性，其平衡含水量为 $8\% \sim 12\%$ 。

c. 色泽 糊精的色泽受转化温度、 pH 及时间的影响。一般

转化温度越高、转化时间越长，色泽越深。pH 高时较 pH 低时色泽加深速度快。对黄糊精来说，溶解度达到 100% 之后颜色变深的速率增大。

d. 溶解度 随着转化作用的进行，糊精在冷水中的溶解度逐渐增加。白糊精溶解度范围从高粘度类型的最小溶解度 60% 到最高转化率的低粘度类型的溶解度 95%。英国胶溶解度范围从 70% ~ 100%，相同转化度时，英国胶的溶解度大于白糊精的。几乎所有的黄糊精都是 100% 可溶解。

e. 还原糖含量 随着转化作用的进行，还原糖量稳定地上升到最高值。除高转化度类型外，所有白糊精的这个值是不断上升的。但是，在转化作用的后期，还原糖增加的速度较缓慢。糊精中还原糖含量主要取决于品种，白糊精在 10% ~ 12%，黄糊精 1% ~ 4%，而英国胶更低。

f. 碱值 与还原糖或葡萄糖值相似，这是转化过程中形成醛基量的一个指标。随着分子链的变短，醛基量增加，碱值达到峰值；随着继续加热，碱值开始下降。这是由于苷键转移及可能的再聚作用形成了分支链结构所致。

g. 糊精含量 糊精含量是指用半饱和氢氧化钡溶液配制的 1% 溶液中可溶部分的量。淀粉、水化淀粉及低转化度糊精会被半饱和氢氧化钡沉淀。糊精含量一般是用经验方法来测定的。糊精含量都随转化程度而升高。

h. 粘度 糊精粘度通常用热粘度和冷粘度来表示。只要糊精化作用中的主要反应是苷键断裂，则糊精在热水中的粘度是下降的。白糊精有一个很宽的粘度范围，它取决于转化程度。具有最低粘度的黄糊精，当转化作用使溶解度达到 100% 时，粘度降低速率减慢，最后降到一定值。黄糊精在 70% 浓度时仍可分散及使用。

i. 溶液稳定性 糊精水溶液的稳定性有很大的差异，取决于转化度、糊精种类、原淀粉的特性及添加剂的影响。除了很大的直链淀粉分子外，直链淀粉的分子越小，溶液越稳定。支链淀粉

溶液比直链淀粉的更稳定，但直链淀粉分子在糊精化时分解，通过苷键转移或再聚作用转化成分支型结构，这种产品的水溶液稳定性更高。转化过程中所发生的化学反应与转化类型有关，一般来说，在白糊精生产中除了高转化度品级外，都是水解反应占优势。玉米白糊精的支化度为 2% ~ 3%，因此，白糊精溶液的稳定性一般是较差的，冷却及放置时会形成不透明的浆液。英国胶是在含酸量最少的情况下转化的，水解反应最小，加热温度和时间是转化的主要因素，结果使分子重排形成 20% ~ 25% 的糊精支化度。因此转化度相同时，英国胶的水溶液稳定性比白糊精高。在黄糊精制取中，水解作用最初占主导地位，但高转化温度有利于广泛的苷键转移及再聚作用，也由于有较高转化度，因此黄糊精溶液比英国胶溶液稳定。

制取糊精的原淀粉的性质也是一个重要因素，糯玉米淀粉比普通玉米淀粉转化成的糊精溶液稳定性好得多。

添加剂也常用于增加糊精溶液的稳定性，最常用的添加剂是硼砂或硼砂与碱。硼酸或四硼酸钠的添加量可达到糊精质量的 20%，它与羟基形成络合物，增加了溶液的粘度，稳定了溶液，促进清澈，并可增加它的内聚性和粘着性。硼砂的影响在其含量为 15% 以下时十分显著，这种效应可通过添加碱将硼砂转化成偏硼酸而得到加强，硼砂与偏硼砂在糊精的粘着性方面起主要作用。

j. 薄膜性能 高温转化淀粉溶液形成薄膜的特性是影响其作为粘合剂使用的重要因素。一般来说，用原淀粉溶液制取的薄膜比由热转化淀粉溶液制取的拉伸强度要高得多。对同一类型的转化产品来说，其薄膜拉伸强度随转化程度增加或粘度降低而逐渐降低。但是，粘度较低的糊精分散在水中的固体量较多，因而形成高固体含量的薄膜。这种薄膜干燥速度更快，有较强的粘着性，并能迅速与表面粘结。

对同一类型的热转化作用来说，粘度越低或转化度越高，薄膜越容易溶解。黄糊精制得的薄膜可溶性最大，白糊精薄膜溶解

性最差。糊精薄膜有结晶化特征，使薄膜有变脆及剥成碎片的倾向，薄膜结晶化作用与转化度有关，添加增塑剂或吸湿剂可克服这个缺点。

4.2.4.4 应用

热转化糊精广泛用作医药、食品、造纸、铸造、壁纸、标签、邮票、胶带纸等行业作粘合剂。在作药片粘合剂时，需要快速干燥、快速散开、快速粘合及有再湿可溶性，可选择白糊精或低粘度黄糊精产品。在作标签、邮票粘合剂时，需要粘度高、形成的薄膜具有强韧性的产品，适宜用白糊精或英国胶。糊精在纺织印染中可作为印花糊料。

对特定的应用场合，热转化类型的最佳选择应根据每种糊精的薄膜性能与应用领域的要求而定。在需要强韧薄膜的场合，适宜用白糊精或英国胶。但是，在需要快速粘合、快速散开及再湿可溶性时，可选择黄糊精产品。

4.3 预糊化淀粉和颗粒冷水溶胀淀粉的生产

4.3.1 预糊化淀粉

4.3.1.1 基本原理

原淀粉具有微结晶结构，在冷水中不溶解膨胀，对淀粉酶不敏感，这种状态的淀粉称为 β -淀粉。将 β -淀粉在一定量的水存在下加热，使之糊化，规律排列的胶束结构被破坏，分子间氢键断开，水分子进入其间，这时淀粉在偏光显微镜下观察会失去双折射现象，结晶构造消失，并且易接受酶的作用，这种结构称为 α 结构。这一过程就是淀粉糊化的机理。完全糊化的淀粉如在高温下迅速干燥，蒸发掉挤入淀粉颗粒中使氢键断开的水分子，将得到氢键仍然断开的、多孔状的、无明显结晶现象的淀粉颗粒，这即为预糊化淀粉。由于预糊化淀粉具有多孔的、氢键断裂的结构，能重新快速地溶于冷水而形成高粘度、高膨胀性的淀粉糊，可

方便地使用于许多工业部门中。

4.3.1.2 生产工艺

滚筒法生产预糊化淀粉的工艺过程为，首先将淀粉与去离子水混合搅拌，调浆浓度约 40%，保持温度为 30 ~ 40℃。滚筒内通蒸汽加热至大约 160℃，用泵将淀粉浆送入滚筒表面，形成一层薄膜立即糊化并快速脱水干燥（水分约 5%）。已干燥好的薄膜经刮刀取下落入粗破碎装置，再输送至微破碎机后即得产品。滚筒法具有生产连续、操作简便、能耗低、热效率高、产品干燥、质量稳定、适应范围广、供热介质简便等特点。但此种加工方法使得淀粉粒会突然膨胀到原来体积的数百倍，同时具有强烈的剪切作用，使淀粉颗粒破裂，产品有很大的缺陷，包括窄的峰值粘度范围，非完整性颗粒，不能承受使用过程中的剪切力及酸和碱的影响，弹性、流动性和稳定性较差等，这种方法使淀粉糊液只有 80% 左右糊化。

挤压法是先将淀粉调成含水量约为 20% 的乳液，再将此乳液加入挤压机腔内，经螺旋挤压摩擦产生 120 ~ 160 的温度而糊化，然后通过孔径为 1mm 至几毫米的小孔高压挤出，由于压力急速降低淀粉糊立即膨胀，使水分蒸发而干燥，最后碾磨筛分即得产品。此工艺具有设备投资少、动力消耗小、生产成本低的特点，但生产的预糊化淀粉由于受高强度剪切力作用，粘度低，几乎没有弹性。

喷雾法生产预糊化淀粉是将淀粉乳预先经蒸煮为热糊液，然后利用喷雾干燥原理，用高温气流将浓度为 5% ~ 8% 的糊液喷入干燥塔内雾化干燥。雾化过程由高压单流体喷嘴和双流体喷嘴完成，雾化媒介为压缩空气和蒸汽。喷雾法的特点是无需单独的粉碎过程即得到呈空心球状的颗粒成品。由于淀粉乳经糊化后，粘度剧增，使喷雾过程显得复杂和困难。另外，由于所使用的淀粉乳浓度低，因而干燥时需除去的水分多，加上排气的温度高，造成能耗大、热效率低、生产成本高。

4.3.1.3 特性

预糊化淀粉经磨细、过筛后呈细颗粒状，因工艺不同，颗粒形状存在差别。将样品悬于甘油中，用显微镜（放大 100 ~ 200 倍）观察，滚筒干燥法的产品为透明薄片状，像破碎的玻璃片；喷雾干燥法产品为空心球状。

预糊化淀粉的复水性受粒度的影响。粒度细的产品溶于水生成的糊具有较高冷粘度、较低热粘度，表面光泽也好，但是复水太快、易凝块，中间颗粒不易与水接触，分散困难。粒度粗产品溶于冷水速度较慢，没有这种凝块困难，生成的糊冷粘度较低，热粘度较高。

预糊化淀粉溶于冷水成糊，其性质与加热原淀粉而得的糊比较，增稠性和凝胶性有所降低。这是由于湿糊薄层在干燥过程中发生凝沉的缘故。

4.3.1.4 用途

预糊化淀粉广泛应用于各种方便食品中，使用时可省去蒸煮操作，起到增稠、改进口感和其他好的作用。例如，用预糊化淀粉配制的布丁粉，用冷牛奶搅匀即可食用。蛋糕粉中加用预糊化淀粉，制蛋糕时加水易混成面团，包含水分和空气多，体积较大。食品中加预糊化淀粉有抑制蔗糖结晶的效果。鱼、虾饲料用预糊化淀粉为粘合剂。

预糊化淀粉在非食品工业中的应用很广泛，石油工业应用预糊化淀粉于油井钻泥中，增加蓄水性和稠度。加用少量氯化钙或尿素对预糊化有促进作用，并使所得产品具有更优良性质，适于钻泥应用。

铸造工业应用预糊化淀粉为铸模沙心胶粘剂，冷水溶解容易，胶粘力强，倒入熔化金属时燃烧完全，不产生气泡，制品不致含“沙眼”表面光滑。

纺织工业应用预糊化淀粉于织物整理，家庭用衣物浆料也用预糊化淀粉配制。造纸工业用预糊化淀粉为施胶料。预糊化淀

粉还可用作细煤粉、矿砂等压块的胶粘剂。

4.3.2 颗粒冷水溶胀淀粉

颗粒冷水溶胀淀粉可以充分改善淀粉本身颗粒外壁的韧性，使淀粉在糊化状态颗粒内物质不外溢，充分利用淀粉颗粒的特点，保持淀粉糊的弹性，提高粘性和稳定性，与传统预糊化淀粉的不同之处主要表现在糊粘度提高、热稳定性提高和冻融稳定性提高等。

4.3.2.1 基本原理

当天然淀粉双螺旋结构被加热破坏时，支链淀粉及直链淀粉与乙醇形成 V - 复合体。淀粉是一种弱离子交换剂，当淀粉分子被放入强碱溶液中时，—OH 的质子被解离，而淀粉分子带负电，负电分子的相互排斥导致淀粉颗粒的溶胀，颗粒的溶胀对邻近的淀粉分子结晶体产生张力并扭曲它们。进一步的溶胀导致双螺旋区的展开和水分离，结晶结构破坏，因此，有序结晶被破坏，但在颗粒内直链淀粉与支链淀粉缠绕在一起，保持了颗粒的完整性。中和作用后，淀粉分子与乙醇形成了螺旋复合物（V 型复合物）。当乙醇被蒸发后，使颗粒内形成空穴，保证它具有极好的溶解性。在反应中，乙醇的作用不仅用于限制淀粉颗粒的溶胀，而且也作为复合剂用于稳定游离的淀粉链。

淀粉颗粒的糊化通常是在过量的水中进行的，淀粉颗粒首先在冷水中润胀，吸收 25% 左右的水分。当淀粉水溶液被加热到糊化温度时，淀粉颗粒开始溶胀并形成淀粉糊的最大粘度，这时淀粉颗粒并没被破坏，还保持淀粉颗粒的形状。如继续加热，淀粉颗粒破碎成小碎片，粘度开始大幅度地下降。冷水溶胀淀粉制备技术就是控制淀粉糊化时的吸水量，使淀粉达到最佳溶胀状态，同时由于乙醇的作用，使淀粉表面具有一定的韧性，更有利于保持淀粉的颗粒，实现在糊化状态时淀粉颗粒的完整性，使淀粉内物质不外溢、粘度明显提高、性能更稳定。

4.3.2.2 生产工艺

针对目前预糊化淀粉加工中存在的问题，多年来许多国家都在研究新的加工方法，其中有脉冲喷气法、高压喷射喷雾干燥法、高温高压酒精溶液热处理法、酒精碱溶液法和含水多元醇溶液处理法等。

a. 脉冲喷气法 Thaler 等人申请了专利的脉冲喷气法，其主要工作部件的核心是一个频率为 250 次/s 的脉冲喷气式燃气机。该机产生 1371℃ 的喷气，将加入的水分为 35% 左右的淀粉乳在几分钟之内雾化、糊化和干燥，然后在收集器内收集产品。通过改变喷气管的尺寸形状、进料量、进料口的位置和喷气量，可调整淀粉乳的温度、含水量和停留时间等，从而保证产品的质量。据报道，该方法具有热效率高、生产率高、适应性广和产品粘度稳定等特点。

b. 高压喷射喷雾干燥法 Pitchon 等人使用一个配有两个流体喷嘴的喷雾干燥器，首先将浓度为 20% ~ 40% 的淀粉浆通过一个喷嘴喷入一个密闭的小室内，使其雾化，同时，将温度为 160℃ 左右的水蒸气通过另一喷嘴喷入同一密闭小室内。在密闭小室内，在水蒸气中的淀粉颗粒悬浮液一直保持到足以使淀粉在含水量为 60% 左右时发生糊化，然后将淀粉颗粒通过出口迅速地移出小室，并进入喷雾干燥器中干燥。由于此法是瞬间熟化和快速干燥，淀粉基本上避免了受剪切力和热的破坏，成品为颗粒状的冷水溶胀淀粉。

c. 高温高压下乙醇溶液中处理淀粉的方法 Eastman 和 Moore 等人将淀粉与乙醇和水混合，在压力反应容器中加热到 148 ~ 182℃ 反应时间为 1 ~ 5 min，使淀粉糊化。冷却到 35 后，脱溶、干燥，得到成品。该产品的冷水溶解度为 50% ~ 90% 且在冷水中淀粉颗粒膨胀、糊化。

d. 含水多元醇处理法 Rajagopalan 和 Seib 等人将淀粉分散在水与多元醇的混合液中，将它们油浴中加热达到 110 ~ 155℃

维持 15 min 冷却到 100 加入无水乙醇，搅拌、冷却、洗涤后得到产品。产品得率为 90% ~ 95%。此法适用于各种普通淀粉和变性淀粉，但产品溶解度和粘度随淀粉种类不同而有差异。

e. 乙醇碱溶液处理法 Jane 和 Seib 等人把原淀粉（变性淀粉）用酒精和 NaOH 溶液的混合物处理制成溶胀淀粉颗粒，然后用 HCl 中和，洗涤、干燥，得到产品。

称取 100g 玉米淀粉加入一定量配好的酒精溶液中，把烧杯移入温度设定在某一值的水浴锅中加热，烧杯中配以搅拌器搅拌，使淀粉颗粒均匀散开成悬浮液。称取 NaOH 配制一定浓度的溶液，充分溶解后称取规定用量的碱液，把碱液滴加入淀粉液中。滴定瓶中碱滴完后，搅拌器继续搅拌 15 min，再将烧杯中沉淀移出，倒出上清液后，用配制好的酸中和至中性，再用 60% 的酒精洗两遍，沉淀倒出上清液。用 95% 的酒精洗一次，用离心机离心后在 80℃ 烘箱中烘两小时，烘干后用粉碎机粉碎，过 6XX 筛后密封保存。

此方法对各种淀粉包括普通玉米淀粉、高直链玉米淀粉、蜡质玉米淀粉都有效。此方法的效能主要依靠淀粉的品种，乙醇和 NaOH 的浓度，反应温度。用不同反应条件得到不同特性的产品。较低的乙醇浓度、较高的 NaOH 浓度或者较高的反应温度得到的产品有较好的冷水溶解度，冷水溶解度在 70% ~ 90%。在制作期间，微量的小分子主要是直链淀粉在上层清液中被滤除。总量的损失为：蜡质玉米淀粉 0.01%，普通玉米淀粉 0.4%，高直链玉米淀粉 1.9%。

4.3.2.3 特性

从颗粒冷水溶胀玉米淀粉的 SEM 照片可以看出，颗粒冷水溶胀淀粉保留颗粒的完整性，在粒度上比原淀粉的颗粒要大些。颗粒冷水溶胀淀粉也显示了凹痕的外观。

DSC 图谱分析证明，原淀粉具有明显的吸热峰，面积大，而颗粒冷水溶胀淀粉无吸热峰，说明淀粉颗粒已基本完全糊化。但有的样

品也呈现部分吸热现象，不过这些样品的吸热峰面积相当小。

颗粒冷水溶胀木薯和甘薯淀粉具有淀粉非晶化图谱，说明在颗粒冷水溶胀木薯和甘薯淀粉中已基本不存在晶体，或者晶体已变成很小而不规则的。颗粒冷水溶胀玉米淀粉衍射图谱呈现 γ 型即在 $2\theta = 13, 20$ 时有吸收峰。

颗粒冷水溶胀淀粉粘度特性 RVA 分析表明，颗粒冷水溶胀淀粉粘度在整个 15min 周期内，样品粘度都基本没降低，保持了淀粉糊的原有粘度，部分样品粘度还有不断增高的趋势。

流变学特性研究证实颗粒冷水溶胀淀粉具有假塑性流体特性，具有良好的在高剪切条件下的稳定性，具有良好的热稳定性和冻融稳定性。

4.3.2.4 应用

作为传统 α -化淀粉的替代产品，颗粒冷水溶胀淀粉可广泛应用于食品、饲料、医药、化工、纺织、石油钻探等工业中。

a. 食品工业中的应用 由于颗粒冷水溶胀淀粉具有粘结作用及在冷水中能快速膨溶，因而在食品工业中可被用于软布丁、肉汁、馅、酱、脱水汤料、调味剂以及果汁软糖等中作增稠剂和保形剂。特别是它的优异的热稳定性、增粘性和颗粒性，使其用于微波食品表现出普通预糊化淀粉无法比拟的热稳定性。

b. 饲料工业中的应用 作为粘合剂，颗粒冷水溶胀淀粉广泛用于饲料工业中，但最能显示其突出特性的是用于高质量的鳗鱼饲料中，块状的鳗鱼饲料要求其粘合剂必须具备：无毒，易消化，有营养，透明，始终能维持饲料颗粒的整体形状，不被水溶解，加工时不粘设备等特性，颗粒冷水溶胀淀粉充分具备这些特性。

c. 化妆品行业中的应用 爽身粉是一种比较常见的护肤粉，一般用滑石粉、淀粉及其他辅料制成。近年来，国外用颗粒冷水溶胀淀粉代替滑石粉和淀粉制造了新型爽身粉。新型爽身粉除了具备普通爽身粉的特点外，还具有皮肤亲合性好、吸水性强等优点。

d. 医药行业中的应用 一般的西药药片是由药用成分、淀粉、粘合剂、润滑剂等组成，其中淀粉主要起物质平衡作用。新型西药药片由药用成分、颗粒冷水溶胀淀粉、润滑剂等组成，其中的颗粒冷水溶胀淀粉除了起物质平衡作用外，还起粘合剂作用，这样就减少了加入其他粘合剂所引起的不必要的副作用。用颗粒冷水溶胀淀粉替代淀粉和粘合剂制成药片除了能满足医用要求外，还具有成形后强度高，服后易消化、易崩解及无副作用等特点。

e. 纺织工业中的应用 颗粒冷水溶胀淀粉具有较好的粘接力，在纺织工业中用作各种纤维的经纱上浆剂，以增加浆纱强度，提高纤维的织造性能。此外，还用于纺织成品精整加工的浆料，由于其渗透率较强，可以增加织物的硬挺性和手感。

f. 铸造工业中的应用 颗粒冷水溶胀淀粉可用作铸铁、铸钢用型砂的粘接剂，但其作用不仅是通过粘接而使砂固定，更主要的是防止因浇注时由于温度急速变化而突然发生移动现象，即在砂模和铁水的表面产生砂面拱起和起因于剥离的称为冲砂结疤系统铸伤等不良现象，提高型砂和芯砂的性能，改善其韧性、表面强度和分散性，减少脱模时铸型的损坏，降低铸件废品率，减少经济损失。

g. 其他行业中的应用 颗粒冷水溶胀修饰淀粉快速溶于冷水形成高粘度淀粉糊及耐加工等的新特性使其在很多方面得到了成功的应用，例如，用作石油钻探泥浆的保水剂，建筑业中的水质涂料等。颗粒冷水溶胀修饰淀粉很适于用作挥发性化学物质、热不稳定性物质和有害化学品的密封胶囊材料。

4.4 交联淀粉的生产

淀粉中含有多个羟基，这些羟基具有醇羟基的化学反应特性，可以与许多化合物反应，当某些化合物含有两个或两个以上能与羟基反应的基团时，就有可能和同一个分子或不同分子上的

羟基之间形成交联。淀粉与具有两个或多个官能团的化学试剂起反应，使不同淀粉分子羟基间联结在一起，所得的衍生物称为交联淀粉。

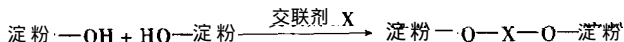
在支链淀粉的直链段和直链淀粉之间，由氢键相互连接的微晶区对淀粉颗粒的完整性起着重要作用。加热淀粉的悬浮液时，由于连接微晶区的氢键削弱，水分子进入微晶区，颗粒膨胀，最终淀粉粒分裂破碎，使粘度下降。此外，这种溶胶体对酸及机械剪切应力十分敏感，能使它显著变稀。

交联反应主要强化了颗粒中的氢键。交联化学键像分子间的桥梁。交联淀粉在水中加热时，氢键可能削弱或被破坏，但是这种化学键使颗粒保持着不同程度的完整性。由于交联反应是以颗粒状的淀粉进行处理的，引入淀粉的化学交联键的量对于淀粉的质量或颗粒中葡萄糖残基的数量来讲是十分小的。

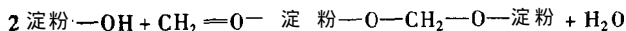
4.4.1 基本原理

淀粉通过醚化或酯化反应交联的化学反应分别表示如下，甲醛和环氧氯丙烷的反应为醚化反应，三偏磷酸钠和三氯氧磷的为酯化反应。

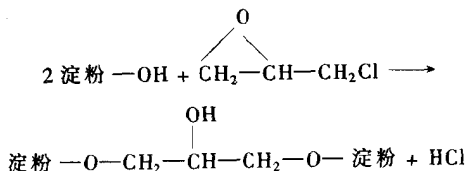
a. 基本反应原理



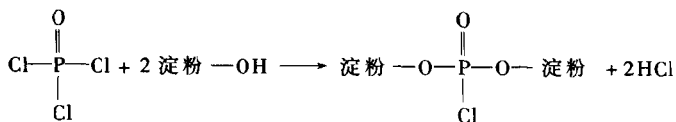
b. 甲醛作为交联剂的反应



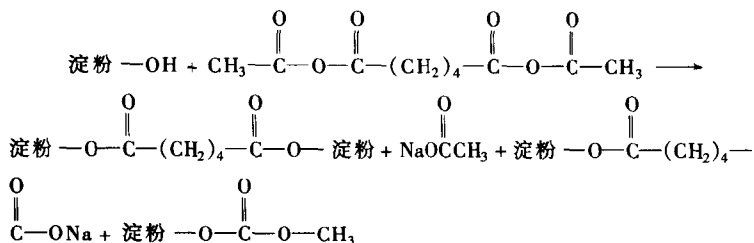
c. 环氧氯丙烷作为交联剂的反应



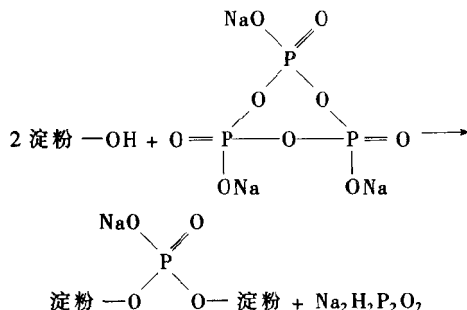
d. 三氯氧磷作为交联剂的反应



e. 混合酸酐作为交联剂的反应



f. 三偏磷酸钠作为交联剂的反应



应用不同交联剂，反应速度存在很大差别。三氯氧磷和己二酸与醋酸混合酐的反应速度很快，未与淀粉起反应的部分试剂很快被水解。三偏磷酸钠的反应速度较慢，环氧氯丙烷更慢。在较高碱性和较高温度条件下反应，环氧氯丙烷反应速度加快。曾用三偏磷酸钠、三氯氧磷和环氧氯丙烷交联木薯淀粉，然后比较它们提高糊粘度稳定性的效果，试验结果表明，环氧氯丙烷的效果最好，很少用量（淀粉的 0.01%）即取得很好的效果。

4.4.2 生产工艺

制取交联淀粉的反应条件很大程度上取决于使用的双官能

团或多官能团试剂。一般情况下，大多数反应是在淀粉悬浮液中进行的，采用湿法生产工艺，反应温度从室温到 50 左右。反应在中性或适当的碱性条件下进行，通常为了促进反应可用一些碱，但碱性过大，会使淀粉糊化或膨胀。完成交联反应后，应中和淀粉悬浮液，进行过滤、洗涤和干燥，以得到交联淀粉。常用的多功能交联剂有三氯氧磷、三偏磷酸钠、环氧氯丙烷等。

4.4.2.1 使用甲醛为交联剂的工艺

加甲醛或多聚甲醛于淀粉乳中，甲醛用量为淀粉绝干质量的 0.08% ~ 0.16% 用酸调 pH 到 1.6 ~ 2.0 加热到 40 左右，反应 3 ~ 6h 后，用碳酸钠中和到 pH6.5，加氢氧化铵或亚硫酸氢钠与剩余的甲醛起反应，再经过滤，水洗、干燥。

4.4.2.2 使用环氧氯丙烷为交联剂的工艺

100g 玉米淀粉 (绝干) 与 150ml 碱性硫酸钠溶液 (每 100ml 碱性硫酸钠溶液中含有 0.66g 氢氧化钠和 16.66g 无水硫酸钠) 搅拌混合成悬浮液。硫酸钠的作用是抑制淀粉颗粒的膨胀。溶解需要量 (20 ~ 900mg) 的环氧氯丙烷于 50ml 碱性硫酸钠溶液中，在 3 ~ 5min 内滴入淀粉乳中，在 25 条件下搅拌反应 18h 用稀酸中和，过滤、洗涤、干燥得成品。

环氧氯丙烷交联淀粉的反应效率在较高淀粉浓度、NaOH 与淀粉的摩尔比为 0.5 ~ 1.0 时最高，温度上升，反应速度快，但在低温下反应均匀。气化环氧氯丙烷的反应效率高。交联后的淀粉颗粒仍保持有偏光十字，表明结晶结构没发生变化，交联反应发生在非结晶区。

4.4.2.3 使用三偏磷酸钠为交联剂的工艺

玉米淀粉 180g (水分含量 10%) 加入到 325ml 三偏磷酸钠水溶液中 (含三偏磷酸钠 3.3g) 用碳酸钠调 pH 为 10.2，将淀粉乳加热到 50 进行反应 80min。不时取样，样品经中和到 pH 为 6.7，过滤、水洗、干燥，测定粘度。结果表明，随着反应的进行，粘度逐渐增高，当反应进行到 50min 时达到最高值，以后逐渐降低，

糊变“短”，透明度降低。反应进行到 24h 时得到高度交联的产品，此时沸水加热也不糊化，无粘度。反应 50min 的产品含磷 0.03%，适合纸制品作胶粘剂。

酯化交联反应受 pH 影响很大。把 180g 玉米淀粉（含水分 10%）混入 325ml 水中，其中溶有 1g 三偏磷酸钠。调到不同 pH，在 50 加热，不同时间取样测定粘度，结果表明，pH 降低对酯化反应有很强的抑制作用。pH 11 时，反应 5min 粘度达到最高值；pH 10 时，需要 80min；pH 9 时，需要 180min；而 pH 8 时，需要 24h。若酯化到高交联程度时，在 pH 11 时需要反应时间 2h；在 pH 10 时需 3h；在 pH 9 时需要 48h；而在 pH 8 时，即使反应很长时间也达不到高的交联程度。

4.4.2.4 用三氯氧磷为交联剂的工艺

配制淀粉乳浓度为 30%~40%，用氢氧化钠溶液调 pH 到约 11，加入氯化钠。在持续搅拌的条件下，加热到反应温度，使反应体系温度达到平衡后，加入定量的三氯氧磷，三氯氧磷用量为淀粉的 0.015%~0.030%，反应一定时间。反应结束后，用 2% 的盐酸溶液调节淀粉乳的 pH 在 6.5 左右，过滤、洗涤、干燥后即得成品。在室温条件下保持搅拌反应 2h，调 pH 到 5，停止反应，过滤、水洗、干燥，得产品。

4.4.2.5 己二酸和醋酸混合酐为交联剂

糯玉米淀粉 100 份混于 145 份水中加入 45 份己二酸和醋酸酐（1 份己二酸和 30 份醋酸酐）溶液进行反应，可得己二酸交联淀粉。产品的冷冻和冻融稳定性很高，可用于食品行业。

4.4.3 交联淀粉的基本特性

4.4.3.1 颗粒

交联后，在室温下用显微镜观察水中或甘油中的淀粉，发现淀粉颗粒的外形没有改变。只有当颗粒受热或被化学物糊化时，才显出交联作用对颗粒的影响。

4.4.3.2 糊化特性

交联淀粉特性的改变取决于交联程度。原淀粉在热水中加热时，氢键将被削弱，如果粘度上升到顶峰，则表示已溶胀颗粒达到了最大的水合程度；若继续加热时维持颗粒在一起的氢键遭到破坏，使已溶胀的颗粒崩裂且粘度下降。交联淀粉颗粒随氢键变弱而溶胀，但是颗粒破裂后，化学键的交联可提供充分的颗粒完整性，使已溶胀的颗粒保持完整，并使粘度损失降低到最小甚至没有。若交联程度中等时，就有足够的交联键阻止颗粒溶胀，所以实际粘度是降低的。在高交联度时，则交联几乎完全阻止颗粒在沸水中膨胀。所以实际粘度是降低的。

4.4.3.3 淀粉糊特性

交联作用对淀粉糊特性具有极大的影响，特别是对糯淀粉、块根和块茎淀粉来说。在水中加热时，颗粒开始溶胀，形成一种短油膏状质构。然而，由于颗粒崩碎释放出支链淀粉，质构变得粘着而有弹性。通过用在水中加热时不断裂的化学键加强颗粒完整性，淀粉颗粒足以抵抗破碎，并使淀粉糊形成一种具有极好增稠作用的短糊油膏状流变学特性。

4.4.3.4 溶胀势

交联作用减弱淀粉的溶胀势。颗粒溶胀势计算公式为：

$$\frac{\text{沉淀糊质量} \times 100}{\text{试样干重} \times [100 - \text{溶解度} (\% \text{ 干重})]}$$

依此公式计算，交联作用对颗粒溶胀势的影响见表 4-4。

表 4-4 交联对玉米及糯玉米颗粒溶胀势的影响

	交联度(葡萄糖苷数/交联键数)	颗粒溶胀势
玉米淀粉	0	33.8
	1 300	17.0
	440	12.1
	220	8.4

续表

	交联度(葡萄糖苷数/交联键数)	颗粒溶胀势
糯玉米淀粉	0	100.0
	940	21.4
	550	16.4

4.4.3.5 抗剪切性

烧煮过的交联淀粉的分散液的抗剪切性大于原淀粉，原淀粉的溶胀颗粒对剪切是敏感的，经受剪切时，它们迅速破裂，粘度降低。这种对剪切的敏感性可通过交联作用得到克服。

4.4.3.6 薄膜性质

用以沸水烧煮一定时间的玉米原淀粉的分散液所制得的薄膜表明：随着烧煮时间的延长，薄膜的抗张强度不断地下降。在烧煮初期，以分子状分散的直链淀粉是淀粉薄膜具有优良抗张强度的主要原因。但在继续烧煮时，颗粒破裂成碎片，释放出支链淀粉，它削弱了薄膜的抗张强度。交联玉米淀粉的薄膜没有原淀粉那种抗张强度下降的情况，这是由于直链淀粉浓度高的缘故。显然，交联作用提供了一种有价值的手段，可提供最大的薄膜强度，它不仅可以有效地改善原淀粉的薄膜强度，也可以改善转化淀粉的薄膜强度。

4.4.4 交联淀粉的用途

在需要一种高粘度而又稳定的淀粉糊，特别是当这种分散系主要经受高温、剪切作用或者低 pH 时，就要使用交联淀粉。交联作用可以是唯一的改性手段，但常常与其他类型的衍生和改性作用结合起来使用。

食物淀粉特别是蜡性玉米淀粉、马铃薯淀粉和木薯淀粉，常常用磷酸酯、醋酸酯或羟丙基醚类使它们交联，以起到增稠作用，使在酸性 pH 条件和均质过程产生的高剪切力下仍能保持所需的

粘度。在用蒸汽杀菌的罐头食品中，采用糊化或溶胀速度缓慢的交联淀粉，使罐头食品开始时粘度低、传热快、增温迅速，利于瞬间杀菌；杀菌之后增稠，以赋予悬浮性和结构组织化等特征。交联淀粉也用于罐装的汤、汁、酱、婴儿食品和奶油玉米等产品中，还用于布丁和油炸食品的面拖料中。

交联淀粉用在编织物的碱性印花浆中，使浆具有高粘度和所要求的不粘着的凝稠度。交联淀粉也用在瓦楞纸板粘合剂中，使之在强碱性条件下具有高粘度。其他方面的应用还有石油钻井泥浆、印刷油墨、煤饼和木炭饼的粘合剂，干电池中固定电解质的介质，玻璃纤维上浆和纺织品上浆等。

4.5 酯化淀粉的生产

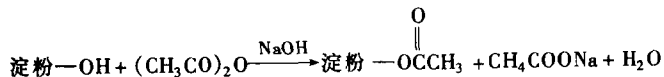
淀粉分子中有许多醇羟基，能通过这些羟基反应生成酯类衍生物。酯类衍生物分无机酸酯和有机酸酯两类。有机酸酯的代表是淀粉醋酸酯、黄原酸酯。无机酸酯主要是淀粉磷酸酯、硫酸酯和硝酸酯等。烯基琥珀酸酯为一种半酯。

4.5.1 淀粉醋酸酯

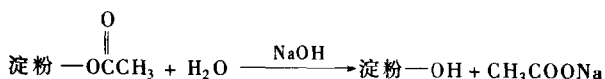
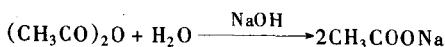
4.5.1.1 基本原理

淀粉分子中的葡萄糖单位的 C₂、C₃ 和 C₆ 上有羟基，在碱性条件下能被醋酸、醋酸酐、醋酸乙烯、氯化乙烯等酯化剂取代，制得低取代度的醋酸酯淀粉。

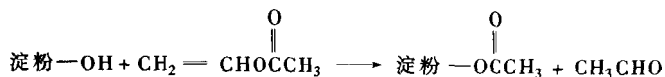
a. 醋酸酐作为酯化剂



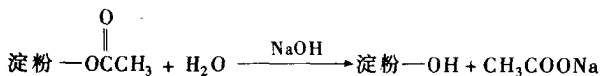
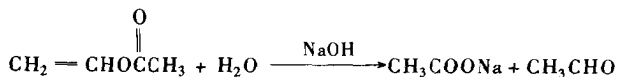
副反应：在反应过程中，醋酸酐和生成的淀粉醋酸酯受碱的作用发生水解反应，如下面反应式所示。



b. 醋酸乙烯作为酯化剂 通过碱性条件下催化酯基的转移
醋酸乙烯能作用于淀粉，生成淀粉醋酸酯衍生物，副产物为乙醛。



副反应：在反应过程中，醋酸乙烯和生成的淀粉醋酸酯受碱的作用发生水解反应，如下面反应式所示。



4.5.1.2 生产工艺

反应的适宜碱性条件为 pH7 ~ 11，一般用 3% 氢氧化钠液调整。分批、交替加入氢氧化钠、醋酸酐，保持淀粉乳碱性在此范围内。淀粉乳浓度一般为 35% ~ 40%，加入碱液，pH 上升到 11，加入醋酸酐 pH 降到 7，再加入碱液、醋酸酐，如此重复操作，到醋酸酐全部加完为止。也可同时加入碱液和醋酸酐，保持在 pH7 ~ 9 范围内。除最常用的氢氧化钠外，氢氧化钾、氢氧化钙、氢氧化镁、碳酸钠、磷酸三钠都能用于调 pH。反应最好在室温（25 ~ 30℃）下进行，在较高温度下醋酸酐和淀粉醋酸酯的水解速度都较高，这是不利的。反应温度与 pH 有关。在室温 25 ~ 30℃ 适当的 pH 为 8 ~ 8.4；在 38℃ 为 pH7；在 20℃ 以下，pH 可在 8.4 以上。反应效率一般约 70%，较低取代度的效率较高，较高取代度的效率较低。反应时间一般 1 ~ 6h，因反应条件而不同。反应趋向完成时 pH 变化慢或很少变化，因为碱的消耗慢或很少。

a. 用醋酸酐制备醋酸酯淀粉 将淀粉用水调成 40% 淀粉

乳不停搅拌,滴入3%氢氧化钠溶液调到pH8.0。使用过高浓度的氢氧化钠溶液会引起淀粉颗粒局部糊化,使以后过滤困难,应当避免。缓慢加入需要的醋酸酐。为了防止无水醋酸和生成的酯水解,最好在室温下同时加入3%氢氧化钠以保持pH8.0~8.4。反应一定时间后,用0.5mol/L HCl溶液调节使pH为4.5,过滤后,加水洗涤,然后干燥,即得醋酸酯淀粉。醋酸酐的用量决定于要求的取代度。反应效率约70%,使用0.1mol(10.2g)醋酸酐,可得取代度0.07产品。制备更低取代度产品时,可降低醋酸酐用量;但制备较高取代度产品时,不宜再增加醋酸酐用量,因为还需要增加碱液用量调整pH,使体积增大,冲稀醋酸酐浓度,会降低反应效率。为避免这种缺点,可先过滤除去水分,再将滤饼混入150mL蒸馏水中,加入醋酸酐进行乙酰化。此操作重复多次。制备取代度高的淀粉,也可将淀粉在吡啶溶液中的温度下回流1h,使淀粉在没有糊化的情况下活化,加入醋酸酐,可以获得一种三醋酸酐产品。若制备更高取代度产品,最好先糊化淀粉,再乙酰化。糊化淀粉较颗粒淀粉易被乙酰化,试剂的反应效率也较高。用5%醋酸酐试验,颗粒淀粉和糊化淀粉的反应效率分别为81%和90%。醋酸酐的添加速度应控制适当,过慢则生成的淀粉醋酸酯又会水解,过快则乙酰化反应不易均匀进行,也降低反应效率。另一种方法是将淀粉乳在90~100条件下蒸煮,使淀粉颗粒破裂,再经强烈的剪切搅拌作用,破坏膨胀的淀粉颗粒;再用乙醇沉淀回收,洗涤,最后在减压状态下干燥到水分含量5%以下。

b. 用醋酸乙烯制备醋酸酯淀粉 醋酸乙烯能作用于淀粉,易于生成淀粉醋酸酯衍生物,这是工业生产中常用的方法。醋酸乙烯相对分子质量为,其50%能起乙酰化反应,高于醋酸酐的42%。

将淀粉分散在含有碳酸钠的水中,然后加入需要量的醋酸乙烯溶液,pH调节到7.5~12.5,在24℃温度下反应1h,过滤、水

洗、烘干，即得醋酸酯淀粉和一种乙醛副产品。

应用醋酸乙烯制备颗粒淀粉或糊化淀粉都需要有水分存在，水分含量在 10% 以下，反应效率低，为 2% ~ 5%。混合醋酸乙烯、淀粉和碳酸钠，水分含量 10% 在 24 反应 1h 反应效率 2%；水分含量 15% 反应效率 43% 水分含量 65%，反应效率增高到 73%。水分含量是以占干基淀粉百分率表示。

用碱金属氢氧化物、季铵氢化物、氢氧化铵和脂肪铵作催化剂，但最好用碳酸钠为缓冲剂，反应 pH 最好控制在 9 ~ 10 这样反应效率可以达到 65% ~ 70%。在 24 ~ 46℃ 温度下反应速度快。混合 10g 玉米淀粉（水分含量 12%）于 150ml 水中，水中含 0.057mol 碳酸钠。在 38℃ 温度时加入醋酸乙烯 10g，搅拌反应 1h。用稀硫酸调到 pH6 ~ 7，过滤、水洗、干燥。在反应过程中 pH 由 10 降到 8.6，产品含乙酰基 3.6%，反应效率 65% ~ 70%。用氢氧化钠、氢氧化钾或氢氧化锂在 pH9.5 ~ 12.2 下进行反应，效率低 仅为 45% ~ 55%。用氢氧化铵在 pH10.1 ~ 11.4 下进行反应 效率约 45%。

4.5.1.3 基本特性

a. 低取代度淀粉醋酸酯的特性 淀粉醋酸酯容易糊化，可通过调整生产工艺得到不同的糊液粘度。

淀粉醋酸酯为非离子型的，糊液的凝沉性差、稳定、成膜性能好，薄膜具有较好的柔软性、耐折度、耐磨度等，透明度和光泽较好，又较易溶于水，适用于纺织和造纸工业。

淀粉醋酸酯可进行复合变性，得到复合变性产品。

b. 高取代度淀粉醋酸酯的特性 淀粉醋酸酯的水溶性随取代度增加而提高，当达到一定值时，它会完全溶于冷水。

高取代度淀粉醋酸酯的成膜性能大大降低，强度脆弱，甚至干燥后成为脆片。

4.5.1.4 用途

a. 食品工业 取代度 (DS)0.02 ~ 0.05 的醋酸酯淀粉，因为

在淀粉链间增加了乙酰基，使淀粉糊液稳定性好、不易老化；糊化温度比原淀粉低，溶液呈电中性，即使冷却也不形成凝胶，有抗凝沉性能，浆糊及薄膜的透明度均提高。因此，被广泛用作食品的增稠剂、保型剂。经交联的醋酸酯淀粉常用作罐头和容器包装的婴儿食品、水果馅和奶乳馅的填充料，使产品能在温度变化的条件下长期存放于货架上；在冷冻水果馅、菜肉馅、肉汁馅中使用有利于低温保存；在烘焙食品中（馅饼、烘饼和馅糕）使用，可使其具有较大的抗“渗水”能力；在食品加工中作为增稠剂，其优点是粘度高、透明度高、凝沉性弱、储存稳定。淀粉醋酸酯又常进行复合变性，交联淀粉醋酸酯对于高温、强剪切力和低 pH 影响具有更高粘度稳定性，低温储存和冻融稳定性也高，适于罐头类食品应用，能在不同温度下储存。

b. 纺织工业 主要应用淀粉醋酸酯为棉纺、棉花与聚酯混纺和其他人工合成纤维混纺经纱上浆，成膜性好，纱强度高，柔软性好，耐磨性高，织布效率高，水溶解性高，易用酶处理退浆，适于进一步染色和整理；因为糊化温度低、粘度又稳定，适于低温上浆；又能与树脂合用于织物整理，不需要碱降低成本，增加织物的重量和改进“手”感。

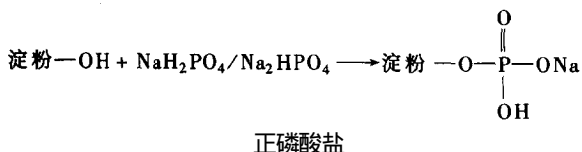
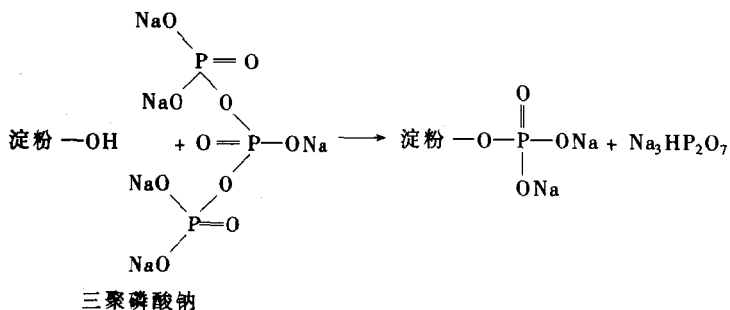
c. 造纸工业 主要应用淀粉醋酸酯于纸表面施胶，增加纸张强度，改善印刷和其他性质，因为胶膜的柔软性使纸张折叠性较好，不易破裂。由于淀粉醋酸酯的胶液稳定性高，与上胶料中加用的其他亲水性胶料的共溶性好，能得均匀胶体。回收淀粉醋酸酯上胶的废纸，再经打浆造纸对油性颜料无不利影响。淀粉醋酸酯用作胶纸带胶粘剂，胶膜光亮、柔软，重湿性也好。

4.5.2 淀粉磷酸单酯

磷酸为三价酸，与淀粉起作用生成的酯衍生物有磷酸淀粉一酯、磷酸淀粉二酯和磷酸淀粉三酯。

4.5.2.1 基本原理

常用于单酯型的试剂有三聚磷酸钠、磷酸二氢钠和磷酸氢二钠等。反应式如下：



目前，工业上使用的淀粉磷酸酯均为低磷酸含量的衍生物，取代度范围从 0.01 ~ 0.20 平均为 0.02 这相当于含 0.40% 的磷酸量。

4.5.2.2 生产工艺

单酯型磷酸淀粉生产工艺为：将淀粉和正磷酸盐（主要是磷酸氢二钠和磷酸二氢钠的混合物）混合搅拌 10 ~ 30min 调成浆状 水分约 40%，在搅拌下调节 pH 到 5 ~ 6.5，过滤。滤饼在 40 ~ 45 °C 下将水分预干燥至 10% 在 120 ~ 170 °C 的温度下加热 0.5 ~ 6h，经粉碎即得单酯型磷酸淀粉。采用表 4-5 给出的数据，用上述反应条件可以制得取代度直到 0.2 的磷酸酯衍生物。

表 4-5 用正磷酸盐的磷酸酯化反应

NaH ₂ PO ₄ 质量 / Na ₂ HPO ₄ * 质量		淀粉质量 / 水体积	温度 / 时间	含磷量 / 取代度
g/g		g/ml	°C/h	
1	23.2/-	162/240	160/0.5	0.45%/-
2	34.5/96	180/190	150/4.0	1.63%/-

续表

NaH ₂ PO ₄ 质量/Na ₂ HPO ₄ ·含量		淀粉质量/水体积	温度/时间	含磷量/ 取代度
g/g		g/ml	℃/h	
3	57.7/83.7	100/106	155/3.0	25%/0.15
4	7.5/11.2	50/65	145/2.5	0.56%/0.03

* 1,4 中用 NaH₂PO₄·H₂O 在 2 中用 Na₂HPO₄·7H₂O。

在 1,2,4 中滤饼用自然气流干燥,在 3 中滤饼先在 40~45℃ 下强制通风干燥,然后在 65℃ 干燥 90min。

2,4 反应是在真空炉中进行,1,3 则是连续搅拌进行热反应(如装在油浴中的不锈钢杯中)。

试液的 pH:1(5.5),2(-),3(6.1),4(6.5)。

4.5.2.3 基本特性

淀粉磷酸酯是阴离子衍生物,是一种良好的乳化剂。淀粉磷酸酯分散液能与动物胶、植物胶、聚乙烯醇及聚丙烯酸酯相混。

单酯型磷酸淀粉随着取代度的增高糊化越为容易,从取代度 0.05 左右起就能在冷水中润胀了,其糊液透明,表现出高分子电解质所特有的高粘度和结构粘性。即使是取代度为 0.01 的加热糊化型产品也很难老化,而抗冻结、解冻的能力很强。取代度约 0.07 时,遇冷水膨胀,膨胀程度与水的硬度有关。粘度受 pH 影响。铝、钙、镁和钛盐可使这类衍生物沉淀。

淀粉磷酸酯的糊液具有较高的透明度、较高的粘度、较强的胶粘性,糊的稳定性高、凝沉性弱,冷却或长期贮存也不致凝结成胶冻。淀粉磷酸酯的分散液对冻结十分稳定,冷冻后又融化,再冷冻如此重复 20 多次,性质不会发生变化。

淀粉磷酸单酯用碱滴定时有两个等电点:第一个在 pH4~5,第二个在 pH7.5~9。淀粉磷酸双酯只有一个等电点,pH 为 4~5。淀粉磷酸单酯用于表面活性剂中,悬浮污物的能力超过羧甲基纤维素。

制取淀粉磷酸酯时的反应条件显著地影响着最终产品的粘

度。温度、时间、pH、磷酸盐的量、取代度及原淀粉等不同，将会生成具有不同特性的产品，用含有 1% ~ 5% 磷的淀粉磷酸酯分散液制成的薄膜是透明、易弯曲及水溶性的。

4.5.2.4 用途

a. 食品工业 淀粉磷酸酯目前在食品工业上的用途主要是用作稳定剂、添加剂、调味剂等。低取代度淀粉磷酸酯可用于中性和弱酸性食品，如作奶油、奶酪等的添加剂，具有改善食品味道和提高冻融稳定性作用。中取代度的淀粉磷酸酯可用于 pH3.0 ~ 3.5 的中等酸度的食品，如儿童食品及桃、杏、梨、香蕉等水果布丁的添加剂，能改善食品的稠度，并有一定的香味。高取代度的淀粉磷酸酯可用于强酸性食品，如果酱、水果布丁等的添加剂。在日本用它作冰淇淋、果子酱、番茄酱、果汁、辣酱油以及制冷鱼、虾和蔬菜的改进剂。在俄罗斯用其作沙拉油的稳定剂和代替蛋黄酱，作为烤制食品的改进剂、片状食品的凝固剂，具有改善食品的稠度和结构，提高食品质量的效果。

美国食品药品监督管理局（FDA）规定用于食品的磷酸酯淀粉，磷的含量为 3mg/kg 磷含量不能大于 0.40%。

b. 造纸工业 淀粉磷酸酯用作纸板的增强剂、印刷纸的表面施胶剂、铜版纸的颜料粘合剂。纸张中加入少量淀粉磷酸酯可提高填料在成品纸上的保留率，改进了施胶效果，同时明显提高了纸的强度和伸长率。作为着色纸的颜料粘结剂，它具有保持纸张平整光滑、颜料不脱落、不吸潮等特点。淀粉磷酸酯在造纸工业中用作湿部添加剂能提高纸张强度、耐折度，提高填料的留着率和降低白水浓度。低粘度尿素磷酸酯淀粉可用于纸张表面涂布，如荷兰的“粘而光”层间喷淋增强剂。

c. 纺织工业 淀粉磷酸酯在纺织工业可以作为纱线和织物的上浆剂、处理剂，具有胶浆久存性好、纱线光滑不断头、织物平整、饱满、挺括，提高印染均匀性和颜料渗透性的效果。50 ~ 90 份磷酸酯淀粉与 50 ~ 100 份 PVA 混合可作纯棉纱、涤 / 棉纱的

浆料。

d. 絮凝剂 淀粉磷酸酯可作为洗煤场尾水的絮凝剂。含 4 ~ 10mg/kg 磷酸酯淀粉即有絮凝性能，如与聚丙烯酰胺配合使用，絮凝作用可提高。每 1t 尾水需 0.28kg 磷酸酯淀粉及 0.016kg 聚丙烯酰胺。鱼类加工，肉类包装，蔬菜及水果装罐，啤酒酿造水、浸泡水，纸浆废水，石油钻井水及矿物加工水与废水中的悬浮固体，可用磷酸酯淀粉及金属盐相结合的方法来絮凝分离。在 1L 水中加入 10 ~ 30g 玉米或马铃薯淀粉磷酸酯，在管道中可防止垢的形成。

e. 药物 在干洗剂中，淀粉磷酸酯可作为疏水性粉末主剂；或作药物的填充剂。磷酸酯淀粉可提高前列腺素对热的稳定性。脱脂的磷酸酯淀粉与放射性核元素结合，可制取生化上可接受的、标记放射线的诊断剂。增塑过的淀粉磷酸酯薄膜用以处理皮肤创伤，一般认为用这种薄膜处理比原来的治疗方式感染少，组织生长快、干扰少。

f. 农业 将 0.5% ~ 5% 玉米淀粉磷酸酯混入表层土壤，能提高保水能力。还可作家禽及反刍动物的饲料添加剂。

g. 粘合剂 淀粉磷酸酯可作为铸造砂模芯的粘合剂；可与氯丁橡胶乳混合成强度良好、快速粘接的粘合剂，用以粘合木块，抗剪切强度高于氯丁橡胶胶乳。磷酸酯化的羧甲基淀粉与硼砂相结合是一种良好的粘合剂。

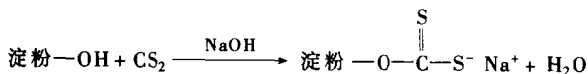
h. 其他 高交联二酯淀粉可应用于干电池。单酯产品有助于棉子油和大豆油的品质稳定，也是油脂的优良乳化剂；能与少量铁、铜、镍、铅等相混合，并防止这些金属离子对油脂氧化的催化作用。淀粉磷酸单酯还可以 0.01% 浓度添加到水泥中，以改进其可塑性和降低混凝土表面的水泥浮浆现象。

在 1L 水中加入 10mg 淀粉磷酸酯即能防止或抑制锅垢的沉积。

4.5.3 淀粉黄原酸酯

4.5.3.1 基本原理

二硫化碳(CS₂)可以认为是黄原酸的酸酐,在碱性条件下易与淀粉分子中的羟基起酯化反应得淀粉黄原酸酯,反应式如下:



研究表明,淀粉葡萄糖残基上第6碳原子上的伯醇羟基的被取代活性最高,其次是第2碳原子上的仲醇羟基,第3碳原子上的仲醇羟基活性最低。

4.5.3.2 生产工艺

玉米淀粉 324g(含水分 10.0%)与 2 400ml水混合搅拌成淀粉乳,加入氢氧化钠溶液(40gNaOH溶于 200ml水中),搅拌 30min。加入 24.3ml 二硫化碳,将烧杯盖住以防挥发,快速搅拌反应 1h。所得水溶性黄原酸酯的取代度为 0.11,产物干物质浓度约 10%,为黄色粘稠液体,有硫磺气味。影响黄原酸酯化反应的因素见表 4-6。

表 4-6 淀粉黄原酸酯化反应影响因素

温度/℃	碱浓度/ (mol/葡萄糖 单位)	反应时间			
		15min		30min	
		DS	CS ₂ 反应效率/%	DS	CS ₂ 反应效率/%
14	0.2	0.02	19	0.04	31
26	0.3	0.08	56	0.09	65
	0.5	0.11	73	0.11	79
38	0.2	0.08	57	0.09	63
	0.3	0.10	67	0.10	71
	0.5	0.10	69	0.10	50

淀粉黄原酸酯稳定性差,在含水 2%以下时是稳定的,通常在室温下能贮存几个月;交联淀粉黄原酸双酯,稳定性大大提高了。

因此可以通过氧化将淀粉黄原酸钠转变成黄原酸物（其不溶于水），大大提高了黄原酸酯的贮存稳定性。氧化剂有过氧化氢、次氯酸钠、亚硝酸钠或碘，但以过氧化氢较好，因为使用容易，副产物为水。

4.5.3.3 特性

淀粉黄原酸酯溶液是深黄色带有浓重硫味的粘滞性溶液。

水溶性淀粉黄原酸酯不易从水溶液中分离，加酒精能沉淀出来。由于空气的氧化作用及黄原酸酯会转化成多种含硫单体，因此淀粉黄原酸酯溶液是不稳定的。

淀粉黄原酸酯能与重金属离子进行离子交换。

4.5.3.4 应用

a. 除去工业废水中的重金属 非水溶性的交联淀粉黄原酸双酯可用于除去重铬酸钾溶液中的 Cr^{6+} ，采矿、铅电池制造及黄铜冶炼等工业废水中的重金属离子等。淀粉黄原酸酯与重金属生成絮状沉淀，沉淀可用澄清法分离，上部为澄清液，达到了环保条例所要求的排放标准。也可采用离心法或过滤法分离。

b. 造纸工业 淀粉黄原酸酯可作为造纸添加剂与纤维共沉淀，提高纸的干、湿强度、抗破裂强度和耐折度。交联淀粉黄原酸双酯可在纸浆存在下从溶解的黄原酸盐溶液中沉淀出来。这种共沉淀纸浆是纤细的，因此可改善斥水性能，可用于防油纸、绝缘纸及垫衬纸中。

c. 橡胶工业 交联淀粉黄原酸双酯代替炭黑作橡胶的增强剂，可以生产粉末状橡胶。在橡胶中加入交联淀粉黄原酸双酯所产生的强化作用与中级炭黑是相似的，还可加速硫化速率。

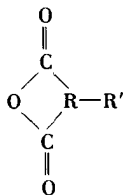
d. 农药包胶剂 近来开发了一种将多种化学农药封装于淀粉基质中的方法，防止农药因光照分解而向周围环境散失。农药淀粉包胶剂本身寿命很长，贮存于密闭容器中 1 年农药无损失。于开口容器中贮存数周，即使是挥发性农药，也无甚损失。但是，当将其放入水中或土壤中时，有效成分即从基质中释放出来。

4.5.4 淀粉烯基琥珀酸酯

天然淀粉分子的亲水性很强，但对疏水性物质没有亲和力。因此，淀粉在乳状液体系中使用，仅仅能给予体系一定的粘度，这种粘性有助于减慢油从水相中分离出来的过程。但是，变性后淀粉分子中包含有疏水基团及亲水基团时，则淀粉分子被吸引到乳液中水及油滴的界面，在油滴周围形成了一层较坚韧的、有较强内聚力的、连续且不容易破裂的液膜。这就使得分散相的聚结及分离比较困难。因此，这些具有平衡作用的含疏水及亲水基的淀粉衍生物在稳定乳液方面优于未变性原淀粉。

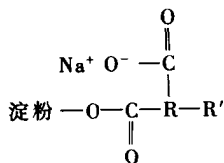
4.5.4.1 基本原理

制备以淀粉为基础的乳液稳定剂的一种十分成功的方法是由 Caldwell 和 Wurzburg 所开发的，产品中含有已取代过的二元羧酸的多糖衍生物。此发明包括采用具下列结构式的环状的二元羧酸酐处理淀粉。



式中，R 代表一个二亚甲基或三亚甲基；R' 是取代基，通常是长的烃链。取代环状的二羧酸酐的例子是取代过的丁二酐 其中取代基疏水链是含有 5 ~ 18 个碳原子的烷基或烯基。

在碱性条件下，试剂与悬浮在水中的淀粉混合。用标准的酯化反应制得的这种淀粉衍生物可用下列结构式表示：



式中, R 是二亚甲基或三亚甲基, R'是取代基疏水基团。

4.5.4.2 生产工艺

这类产品最重要的衍生物是烯基丁二酸酯,它在食品、药物及工业应用方面有许多用途。用辛烯基丁二酸酐处理的淀粉已经美国食品及药物管理局(FDA)批准可用于食品,辛烯基丁二酸酐的最大允许用量是3%,取代度约为0.02。取代程度可以用类似于淀粉丁二酸酯所使用的方法来测定。

淀粉烯基丁二酸酯(这里是用癸烯基)的典型制备方法为:将5份碳酸钠溶解在150份水中后,加入100份玉米淀粉粒搅拌悬浮在碱液中,混合均匀后再加入10份癸烯基丁二酸酐,室温下连续搅拌14h。反应完成后用稀盐酸调整pH到7,过滤、洗涤并干燥。此工艺可用于处理各种淀粉、酸变性淀粉、糊精及其他衍生物。

木薯淀粉糊精制备烯基丁二酸酯的工艺为:100份高度转化的木薯糊精分散在100份水中,用2%NaOH溶液将pH调至9,在搅拌下加入10份十八烯基丁二酸酐,同时用NaOH溶液使pH在8~9之间。反应结束后,调pH到6.5,将反应后的糊精倒入足量的乙醇中使之沉淀。回收沉淀,干燥,得到产品。该产品具有冷水可溶性,粘度十分低,含固量可高达50%。

4.5.4.3 特性

一般而言,淀粉的烯基琥珀酸酐的衍生作用能使淀粉液粘度升高、胶凝温度略有下降、稳定性提高。有时,这种衍生物还能改善淀粉的质构特性。例如普通玉米淀粉蒸煮后冷却时有老化现象,搅拌又会破碎成凝块,而烯基丁二酸酯能使其更稳定,蒸煮物呈橡胶状。

这类变性淀粉能稳定水包油型乳浊液,但它不是乳化剂,在许多方面都与表面活性剂不同。使用前需经蒸煮才能溶解在水中,或借助于预糊化作用使它们直接分散于水中。此类淀粉酯相对分子质量大,在油水界面处能形成一层强度很高的薄膜。使用

不同粘度的这类衍生物，可以在不同的淀粉干物含量下调控稳定液达到理想的粘度。这也说明所用的含固量可以有很大的变化，在百万分之几的淀粉含固量时，只能形成极低粘度的乳化液，在淀粉含量达到 40% ~ 50% 时，可以形成粘度超过几千厘泊、非常粘稠的像奶油那样的乳状液。

因为烯基丁二酸淀粉酯只能作稳定剂使用，用它稳定的乳浊液必须首先采用胶体磨通过剧烈搅拌和剪切形成。一旦形成了颗粒精细的乳浊液，烯基丁二酸淀粉酯就能通过防止颗粒凝聚而使乳浊液稳定。为了说明用 10% 癸烯基丁二酸酐反应的木薯淀粉酯乳液的稳定性，将 4 份淀粉衍生物于 95℃ 下在 46ml 水中蒸煮 15min 冷却之后，再将 25g 松节油加入此溶液中，并用胶体磨乳化，得到非常滑润、具有优异稳定性的奶白色乳化液。相比之下，使用未处理的木薯淀粉作乳浊液稳定剂时，松节油很快就分离出来。

4.5.4.4 应用

烯基丁二酸淀粉酯在食品、制药工业中有着广泛的用途，可用于饮料乳浊液、食用香精、混浊剂、色拉调味品、奶油、香料、乳化漆、胶乳、涂料及粘合剂等。

a. 饮料乳浊液 烯基丁二酸淀粉酯在食品工业中的主要用途之一是在无醇饮料中作稳定剂。制取软饮料的第一步是制备香料的乳化浓缩物。一种橘子香精乳浊液的配方见表 4-7。

表 4-7 橘子香精乳浊液配方

成分	份数
橘子香精	10.5 ~ 21.0
辛烯基丁二酸淀粉酯	9.0 ~ 12.0
色素	1.77
柠檬酸	0.35
苯甲酸钠	0.13
水	加到 100

乳油液的制备：将色素、柠檬酸和苯甲酸钠溶于水中，在强烈搅拌下缓慢加入预糊化辛烯基丁二酸淀粉酯，继续搅拌直至淀粉酯溶解，加入香精油并搅拌混合 15min，在均质机上均质两次。然后将该浓乳油液加至含糖和其他成分的水中，最后用水稀释，充入碳酸气。在该成品饮料中，淀粉酯含量非常低，仅为 100 ~ 200mg/kg。

冷水可溶性的低粘度辛烯基丁二酸淀粉酯在充碳酸气的饮料中代替阿拉伯树胶起稳定作用是非常成功的。由于它的优异乳化稳定性，因此用量少，而对乳化液颗粒的大小及乳油液稳定性都没有任何不良影响。用淀粉辛烯基丁二酸酯稳定的乳油液没有出现沉淀、油分离或分层的现象。

b. 色拉调味品 高粘度辛烯基丁二酸淀粉酯是色拉调味品等高粘高油体系的优良的稳定剂。在典型的色拉调味品中含油量大约是 35%。传统上，各种增稠剂（包括淀粉和树胶）常与标准的乳化剂一起被用来防止油的分离。使用辛烯基丁二酸淀粉酯不仅能为体系提供一定粘度，而且还能使油在均质阶段非常有效地分散，形成滑润、奶油状、稳定的乳状液。但如用原淀粉制备具有同样粘度的乳状液则会出现很大的油滴，这些大油滴随着时间的延长发生聚集和分离。用于色拉调味品的辛烯基丁二酸淀粉酯均为冷水可溶或烹煮型的，他们具有改善乳状液稳定性、冷藏稳定性和改善质构的特性。表 4-8 是采用预糊化的糯玉米辛烯基丁二酸淀粉酯制作的调味料的配方。

表 4-8 “THOUSAND ISLAND” 调味料配方

成 分	份 数
高粘度预糊化辛烯基丁二酸淀粉酯	1.00
植物油	36.30
糖	19.80
白醋(3.24g)	19.30

续表

成 分	份 数
水	10.35
调味料(沥干的)	5.50
西红柿酱	3.10
蛋黄(10%糖腌)	2.50
盐	2.10
黄原胶	0.05
总计	100.00

调配方法：首先将预糊化的辛烯基丁二酸淀粉酯加到水、醋和西红柿酱的混合物中，在适度搅拌下混合 15~20min。将干混好的黄原胶、糖和盐在搅拌下加入上述混合物中，继续混合 10~15min。再加入蛋黄，使其分散开，然后加入油，混合 5min 在间隙为 0.0254cm 的胶体磨上磨制，加入调味料。

c. 包胶作用 烯基丁二酸淀粉酯的另一主要用途是对水不溶性的挥发性、非挥发性物质如风味剂、混浊剂、香料、维生素及化妆品用油等的包被作用，包被所采用的方法是喷雾干燥法。用低粘度辛烯基丁二酸淀粉酯包被的产品优于阿拉伯胶、糊精等包被的产品，见表 4-9。

表 4-9 低粘度辛烯基丁二酸淀粉酯与阿拉伯胶、糊精包被效果的比较

包被剂	固含量/%	包被剂/柠檬酸香料(质量比)	乳液颗粒大小/ μm	乳液过夜后
普通糊精	40	70/30	2~10	油分层
低粘度辛烯基丁二酸酯	40	70/30	<2	稳定性良好
阿拉伯胶—USP	30	70/30	<3	表面有油

辛烯基丁二酸淀粉酯具有上等成膜性质和优良的乳化性，用它作包被剂，香料损失少，成品颗粒表面滞留的油少，包被效率

高,见表 4-10。

表 4-10 低粘度辛烯基丁二酸酯的包被效率

包被剂	在粉品中香精含量/%		干燥时香料 损失量/%	表面有油的 香料量/%	真正被包被 的香料量/%
	起始	包被量			
普通糊精	30.7	23.5	23.6	25.6	17.4
低粘度辛烯 基丁二酸酯	30.1	30.0	0.3	1.0	29.4
阿拉伯胶	30.5	28.7	5.9	16.5	23.9

d. 自由流动的疏水性淀粉 颗粒形式的取代过的二元羧酸淀粉衍生物正如它们的原淀粉那样容易悬浮在水中。但是,当这些衍生物进一步用多价金属或碱金属离子处理并干燥时,它们就具有两个不寻常的性质:优良的自由流动性及疏水性。以这种方法处理的取代过的二元羧酸淀粉衍生物都显出疏水性质。2%辛烯基丁二酸酐与淀粉反应,接着用少量硫酸铝处理的产品,已被美国食品及药物管理局批准可用于食品中。

与其他变性淀粉不同,疏水性淀粉加到水中时就会浮在水面上,不润湿。为了迅速制得这类产品的水悬浮液,可用少量乙醇使它润湿,然后再加到搅拌着的水中;如你要制得一种水溶液此方法可能是必要的。一旦润湿后,这种产品看上去像其他的变性淀粉,也像在溶液中的淀粉烯基丁二酸酯,它们能用来形成十分稳定的水包油型乳化液。

疏水衍生物的自由流动性性质阻止了淀粉颗粒的附聚作用,即使在高水分含量时,粉末也基本上由单个存在的粒子所组成。疏水性的淀粉辛烯基丁二酸酯的优异自由流动能力可用静止角的对比得到证明。对比的其他商品有普通玉米淀粉或只用烯基丁二酸酐处理的玉米淀粉。它们的静止角见表 4-11。静止角的测定方法是:让粉末流经一只漏斗并落到一块玻璃板上,测定粉末圆锥体和玻璃板的角。能自由流动的静止角小,因为它们流出

后得到的是一个低的圆锥体。这些产品的自由流动及疏水性质使得它们在各种应用中作为加工的辅助剂使用。例如这些产品可用在热敏感的胶囊产品加工中。能自由流动的淀粉被用来作为一个流动层，以固着乳化液小珠滴，而常规淀粉若吸附大于18%的水分后，就会发粘、结块及流动缓慢。

表 4-11 疏水性玉米淀粉衍生物与玉米淀粉、
玉米淀粉烯基丁二酸酯的静止角比较

淀粉	通过 325 目筛的百分率	静止角/(°)
玉米淀粉	90.4	38.0
玉米淀粉烯基丁二酸酯	90.3	28.1
疏水性玉米淀粉	>99.9	<11

这些衍生物的其他应用包括在雕刻艺术中作不透印干燥喷雾剂。为了防止湿墨水从一块印花片透印到另一块上，就在新印花的表面喷淋或洒上此干燥淀粉。由于淀粉颗粒保持分离状态，且不会与邻近颗粒相联结，从而使上述要求成为可能。许多橡胶产品，例如药用手套，常常浸在含有淀粉的有机溶剂中，使用淀粉的目的是在橡胶产品的表面产生一种平滑的像缎子似的整理效果，并除去残留的胶粘性。与普通淀粉不同，能自由流动的拒水性衍生物在有机溶剂中的分散性要好得多，其不成块，并有一种较光滑的丝绸感。这正是为什么这些产品常常用在油类或石油基的化妆品或药物浆中作不透明剂及组织结构剂的理由。能自由流动的、拒水性的玉米淀粉用在以醇为基础的洗涤剂及人体的脱臭喷淋剂中，干燥时在皮肤上留下了丝绸状的膜。另一种应用是用在人体粉剂中，某些情况下可代替滑石粉，疏水性淀粉有吸收过剩水分的能力，给身体以较持久的舒适感。

能自由流动的疏水性淀粉衍生物被推荐用来改善某些药物及工业粉末的流动性，以代替无机的流动添加剂。它们也可用作药片粉末的润滑剂、干果的抗粘剂、干食品配方的抗结块剂及杀

虫粉剂的基料。

4.6 醚化淀粉生产

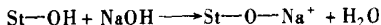
淀粉经醚化作用后，分子上引入了比较大的基团，对于淀粉的粘度提高、冻融稳定性改善等方面都有很好的作用，同时由于醚键的稳定性较好，使得醚化淀粉在工业中的应用范围很广。

4.6.1 羧甲基淀粉

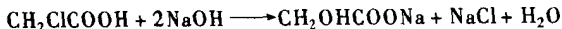
羧甲基淀粉是一种非常重要的醚化淀粉，具有很多优异的特性，广泛应用于工业的各个方面。

4.6.1.1 基本原理

羧甲基淀粉也称 CMS，是把淀粉分散在有机溶剂和水的混合液中，在碱性条件下使之在没有糊化之前，或者在搅拌成高浓度的糊液时，与一氯乙酸反应而得。反应中利用淀粉分子葡萄糖残基上第六、第二和第三碳原子上的羟基所具有的醚化反应能力，使淀粉与一氯乙酸在氢氧化钠的碱性环境下发生双分子亲核取代反应 (SN₂)，将羧甲基阴离子引入淀粉分子中。碱处理过程中，氢氧化钠与淀粉中羟基键形成的活性中心越多，羧甲基淀粉取代效果越好，一氯乙酸利用率越高。其反应式为：



除主反应外，一氯乙酸还可与 NaOH 发生如下副反应：



4.6.1.2 生产工艺

a. 溶剂法 主要反应参数为：淀粉与一氯乙酸摩尔比为 1：(0.4~0.6)，氢氧化钠与一氯乙酸摩尔比为 (1.5~2.5):1，反应温度：45~50℃。

具体过程为：首先称得淀粉 81g，向三口烧瓶中加入酒精

450ml，然后把烧瓶固定在搅拌器下，边缓慢搅拌边加入淀粉。称量一定量的氢氧化钠固体加入淀粉酒精混合溶液中，搅拌半个小时。称量一定量的一氯乙酸固体，放入 200ml 烧杯中，加入 150ml 90% 的酒精，搅拌至一氯乙酸完全溶解。然后把烧瓶转到水浴锅中，把温度精确调到反应所要求的温度，不断搅拌并加入一氯乙酸酒精液。待一氯乙酸加入完全，于恒温下缓慢搅拌至所要求的水浴时间。水浴完后，将反应产物从三口烧瓶中倒入 1 000ml 烧杯中静置 2h，再倒去上清液，沉淀用酒精洗涤，静置后用滤布过滤。沉淀于 75℃下在烘箱中烘干 3h，所得成品即为最终产品（其中上清液、洗涤液、滤液，要经过回收提纯酒精）。

b. 水媒法 水媒法即以水作为反应介质的方法，其工艺过程为：在反应器中加入水作分散剂，在搅拌下加入淀粉，然后加入 NaOH 进行活化，再加入适量的一氯乙酸进行醚化反应。反应结束后，进行洗涤、分离、干燥即得 CMS 产品。水、淀粉、碱、一氯乙酸之比为 100:(25 ~ 40):(0.6 ~ 0.8):(1.3 ~ 1.6)，反应时间为 5 ~ 6h 反应温度为 65 ~ 75℃。

c. 溶剂法生产影响因素分析

①氢氧化钠的影响：氢氧化钠用量对粘度的影响十分大。氢氧化钠的作用一方面是与淀粉中和生成淀粉钠盐（St—ONa），因淀粉中每个葡萄糖残基的 3 个羟基不带电荷，为一非电解质，无法进行反应，因此必须使淀粉变成具有反应性的钠盐（St—ONa）。氢氧化钠的另一个作用是中和一氯乙酸，保证羧甲基化反应的碱性环境。当氢氧化钠的用量从小到大时，氢氧化钠分子渗透到淀粉分子中的速度增加，导致粘度升高，其用量为 6mol/L 时粘度达到最大值。继续增加氢氧化钠的用量，将使副反应速度加快，导致粘度下降。所以要制备高粘度的产品氢氧化钠用量为 6mol/L 最好。氢氧化钠与一氯乙酸的摩尔比为 1:1 时，不足以激活全部淀粉分子中的羟基。而当氢氧化钠与一氯乙酸的摩尔比为 3:1 时，因氢氧化钠的浓度过大，造成了淀粉糊化凝沉。

⑥乙醇浓度对羧甲基化的影响：乙醇浓度太低时，水分含量大不利于保持 CMS 的颗粒状态，体系易发粘、结块，增加了取代的难度，因而产品粘度较小。当乙醇浓度由小变大时，乙醇溶液的极性较小，对钠离子的溶合作用迅速减小，有利于淀粉钠盐的生成。而此时体系中仍有足够的水使氢氧化钠溶解，使其以溶液形式存在，能够快速渗入淀粉内部生成更多的淀粉钠盐。因此总的表现为钠盐量大大增加，故粘度上升。当浓度为 80% 时，粘度出现了最高峰。当乙醇浓度由 80% 增加到 90% 时溶液极性的略略减小，使乙醇溶液对钠离子的溶合作用减小带来的有利方面小于氢氧化钠溶解减小带来的不利方面，因而粘度会出现一个波谷。当乙醇浓度继续升高时，乙醇溶液对钠离子的溶合作用十分小，其中的少量水仍能部分溶解氢氧化钠，使其渗入淀粉颗粒内部，因此有利于淀粉钠盐生成，使得粘度又略有上升。当乙醇浓度更高时，水分十分少，氢氧化钠分子无法渗入淀粉颗粒内而在表面发生少量反应，因此体系粘度很低，可见乙醇最佳浓度为 80%。

⑦乙醇体积对羧甲基化的影响：当乙醇溶液用量太少时，淀粉颗粒不能充分搅拌开，不能充分溶胀，氢氧化钠不易溶解，反应物不易渗透到颗粒内部，因此反应仅仅局限于淀粉颗粒表面，所得产品颜色乳白、透明性不好、粘度低。当增加体积时淀粉颗粒充分溶胀，反应物易渗入，反应物间的碰撞几率大为增加，有利于反应的进行，所得产品粘度较高。当乙醇溶液体积更高时，尽管淀粉颗粒仍能充分溶胀，然而乙醇溶液体积增大了，相应地反应物的浓度将减小，碰撞次数也减小，同样不利于反应的进行，所得产物颜色乳白、透明性不好。因此要得到好的产品，乙醇溶液的体积应适当选择。

⑧反应时间对羧甲基化的影响：固定反应温度为 45℃ 时反应时间为 1 ~ 6h。这是因为淀粉的羧甲基化是在结晶区和无定形区发生的。当反应刚刚开始时，反应试剂先进入强度较低、渗透性

较强的无定形区；随着反应时间的延长，由于淀粉的膨胀性得到了改善，反应物的扩散及吸附作用增强，有利于反应物间的接触，所以粘度升高。当反应进行到一定程度时，无定形区内的反应将趋饱和，速度不如刚开始时快，而此时，由于搅拌的作用有可能导致分子降解，使得粘度下降。当反应时间达到 2h 时，反应的环境进一步得到改善，部分试剂已进入结晶区，可能部分地破坏结晶区，使得淀粉分子链上甲基数量增加，分布变得均匀，因而粘度上升。但时间进一步延长时，长时间的搅拌使分子链沿剪切力方向取向，原有空间取向被打破，引起粘度下降，同时机械搅拌产生的剪切力也将引起膨胀淀粉颗粒破裂，使粘度下降。

③一氯乙酸对羧甲基化的影响：由前面反应原理可知道，本反应伴有副反应发生，所以当加入的一氯乙酸量多时，其少部分与氢氧化钠反应了，抑制了主反应的发生。当一氯乙酸的用量增加时，酸浓度增大，酸性分子的可利用性较大，因此羧甲基化程度大，产品的粘度升高，一氯乙酸用量为 8mol/L 时粘度最大。但继续增加用量时，由于它将中和更多的氢氧化钠，而在给定的条件下，氢氧化钠的用量是一定的，一氯乙酸耗去的氢氧化钠增加，这必将减少淀粉钠盐这种有反应性的分子的生成，导致粘度下降。而且，由于过量的一氯乙酸与氢氧化钠中和而引起反应体系温度升高，使部分乙醇加速蒸发及中和水量增加，反应体系中含水量增大，新生成的 CMS 很快溶胀，增加了反应体系的粘度，使之迅速结块，反应不易进行，也可能使产品粘度下降。

酸碱性的影响：在酸性条件下，产品粘度下降十分快，在碱性条件中则略有下降。这可以用反应机理解释：在碱性条件下，反应顺向进行，使淀粉醚化成羧甲基淀粉钠盐。在酸性条件下，反应逆向进行，醚键脱落，淀粉被析出。有关资料指出，当 pH 在 2.5 时，淀粉糊胶体性能显著丧失。在实践中可适当控制中和程度使产品的 pH 略微提高到碱性范围内，减少久放时逐渐产生的酸性对胶体溶液的破坏性，提高产品的稳定性。

⑧氯化物的影响：氯化钠的存在之所以大幅度降低了产品的粘度，是因为盐抗衡离子性降低了多聚阴离子上的排斥电荷，减少了分子的伸展性，使分子之间的交叉重叠现象减小，所以粘度下降。

⑨温度对羧甲基化的影响：温度低，无法生成羧甲基淀粉，温度高，淀粉会糊化凝沉，所以试验选用温度为 45 ~ 55℃。当温度刚刚升高时，分子运动加剧，反应物间碰撞机会增加，使产品粘度上升到 45 时粘度达到最大值；当温度进一步升高时发生副反应的量将增加，淀粉分子也更易断裂，因此使粘度反而下降；当温度超过 60 时，淀粉在碱性条件下将发生热糊化现象，使操作困难。因此要得到较高粘度的 CMS 的产品以 45℃温度为宜。

各反应物浓度对羧甲基化的影响：浓度对粘度有着十分明显的影响。这主要是因为这种高分子溶液的分子链在溶液中呈半刚性棒状，其伸直状态视取代度和浓度而异。取代度越高，浓度越稀，则分子链越呈伸直状态，这时浓度稍有增加对粘度的贡献就比较大。粘度是我们所需要的应用性能，取代度表示的是羧甲基团引入的多少。当取代度太低时，粘度一定小；当取代度太大时，为得到高取代度产品或高温或长时间处理均将引起淀粉分子的氧化降解，从而使粘度较低。因此，要得到高粘度的产品，应有一定的取代度，但又不能单纯追求高取代度。

关系确定：通过正交试验得出各因素对产品粘度影响的大小顺序为：氢氧化钠用量 > 乙醇浓度 > 乙醇溶液体积 > 反应时间 > 氯乙酸用量 > 反应温度。

4.6.1.3 基本特性

轻度取代的产品需加热才能糊化。取代度从 0.15 左右起开始能在冷水中润胀。若不发生解聚，则粘度随取代度的提高而增加。另外，盐类除去的愈彻底则粘度愈高。羧甲基淀粉在中性至碱性环境下很稳定，但当有强酸和金属盐存在时，会产生白色混浊物至沉淀，从而丧失其功能。

羧甲基淀粉具有良好的吸水膨胀性，吸水后膨胀 200 ~ 300 倍，但仍有粘性。

4.6.1.4 用途

a. 合成洗涤剂 羧甲基淀粉 (CMS) 作为抗污垢再沉积剂，用于洗衣粉的生产配方中，传统的配方中用的是羧甲基纤维素 (CMC)。研究结果表明，羧甲基淀粉溶液对重金属离子有较好的封锁能力，对固体污垢有较理想的悬浮分散能力，并有防止污垢再污染的效果。羧甲基淀粉用于洗衣粉配方的试验表明：羧甲基淀粉完全能达到与 CMC 同样的抗污垢再沉积效果，使每吨洗衣粉原料费用降低 31.66 元，羧甲基淀粉是一种有发展前途的洗涤剂添加剂。我国洗衣粉行业在 20 世纪 80 年代末开始使用羧甲基淀粉，由于其价格低廉因而得到迅速推广。现在许多大中型洗衣粉生产厂已经改用羧甲基淀粉，将来可能完全淘汰 CMC。洗涤剂行业也是羧甲基淀粉用量最多的行业。

b. 油田钻井 羧甲基淀粉作为泥浆降失水剂在油田得到广泛使用，它具有抗盐性，可抗盐至饱和，并具有防塌效果和一定的抗钙能力，已被公认为一类优质的降失水剂。不过羧甲基淀粉在油田的应用也受到了一些限制，因为其抗温性较差，一般只能用于浅井作业。许多研究表明，取代度对羧甲基淀粉的抗温性影响较大，目前油田用羧甲基淀粉的取代度的指标为 0.2 ~ 0.4，抗温 120 ~ 130℃，当取代度达到 0.8 时可抗温 140 ~ 150℃，同时抗腐败能力也得到提高。因此开发和生产高取代度羧甲基淀粉在油田钻井中应用，将是发展的方向之一。

c. 制药 羧甲基淀粉可作为片剂崩解剂。当其在一定的取代度时，具有良好的吸水性和吸水膨胀性。羧甲基淀粉吸水后体积增大 300 倍，使药片在崩解介质中迅速吸水膨胀崩解，同时促进药物溶出，以有利于人体对药物的吸收。应用结果表明，羧甲基淀粉是最优良的药片崩解剂之一。近年来，随着国家有关部门将药片的崩解速度定为必检项目，制药行业对羧甲基淀粉的使用

量将大量增加。

d. 印 染 将 CMS 用于印花糊料有不少文献报道，并在一些印染厂得到应用。应用结果表明，羧甲基淀粉可以作为活性染料印花糊料，部分或全部代替海藻酸钠，降低成本 40% 左右。同时也可以应用于分散 - 活性、还原等染料印花工艺。特别是高取代度羧甲基淀粉用于活性染料印花时具有较高的着色率和理想的印花效果。

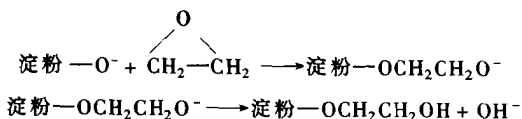
e 其他 纺织、涂料等行业也不同程度地应用了羧甲基淀粉。纺织浆料中羧甲基淀粉作为原料之一与 PVA、淀粉等复合使用，可以改善上浆效果。建筑行业将羧甲基淀粉作为墙体腻子中的胶料用量较大，也有些涂料厂与 CMC 混合使用。近年来，国外在羧甲基淀粉的应用方面有不少的进展，较有价值的應用主要有化肥控制释放和种子包衣剂等。化肥控制释放是先将化肥造粒，用 CMC 或羧甲基淀粉等多糖类聚合物与 PVC 树脂混合制成胶囊包裹化肥，可以使化肥缓慢地向土壤中扩散释放，提高肥效；种子包衣剂是将 CMC 或羧甲基淀粉水解，降低粘度，配制成 30% 的高含固量溶液，用于种子涂覆包衣剂的胶料，易干燥，成膜致密，在土壤中吸水、保水性强，应用效果良好。

4.6.2 羟乙基淀粉

4.6.2.1 基本原理

羟乙基淀粉是环氧乙烷与淀粉在碱性条件下反应得到的产品，其反应机理为：氢氧离子从三个可作用的羟基之一获取一个质子，所产生的淀粉离子攻击一个环氧乙烷分子，引起开环并同时得到一个新的醇盐离子，此醇盐离子从水中获得一个质子，释放一个氢氧离子以起到对进一步反应的催化作用。在碱性淀粉乳浆中大多数的碱被淀粉吸附，这说明淀粉羟基中至少有一个羟基是一个比水强的酸。淀粉的羟乙基化是一个亲核取代反应，得到的淀粉离子有能力与较低浓度的氢氧离子竞争，从而得到

70% ~ 90% 的反应效率。



4.6.2.2 生产工艺

a. 水相反应 低取代度产品一般采用水相反应，一般先用水将淀粉调制成 35% ~ 45% 的悬浮液，加入干淀粉量 1% ~ 3% 的碱催化剂，最常用的催化剂是氢氧化钠。为防止在反应过程中由于淀粉的膨胀或糊化给反应和脱水带来困难，在反应时需添加膨胀抑制剂，如硫酸钠或氯化钠。膨胀抑制剂的加入量视反应程度不同而有差异。在制备羟丙基淀粉时，羟丙基含量 < 10% 时， Na_2SO_4 加入量为总水量的 5% ~ 25%；羟丙基含量为 10% ~ 30% 时， Na_2SO_4 加入量为总水量的 10% ~ 30%。在制备羟乙基淀粉时，羟乙基含量为 3% ~ 7% 时， Na_2SO_4 加入量为总水量的 5% ~ 10%；羟乙基含量为 7% ~ 10% 时，加入 Na_2SO_4 的量为总水量的 15% ~ 20%；羟乙基含量为 10% ~ 25% 时， Na_2SO_4 加入量为总水量的 20% ~ 25%。反应温度应低于淀粉糊化温度，一般为 30 ~ 50℃。在碱性催化剂存在下，与环氧乙烷进行反应，为防止环氧化物与空气的混合物爆炸，在通入环氧乙烷前必须先通入氮气，将反应器中的空气除净后，才能通入环氧乙烷。可事先通氮除去反应容器中的空气，反应时间一般视取代度和反应方法而定。湿法反应需十几小时至几十小时。反应后经脱水、洗涤、干燥即得产品。

b. 非水相反应 在醇中反应可制得高取代度的羟乙基淀粉。例如将 200 份玉米淀粉分散在 133 份含 5% 水和溶有 6 份 NaOH 的乙醇中，加入 32 份环氧乙烷，在密闭容器中，38 时反应 24h，用醋酸中和，过滤、干燥。

7%

3%

40 ~

50

16 ~ 24h

4.6.2.3

a.

皱整理剂，赋予织物耐久性的手感。

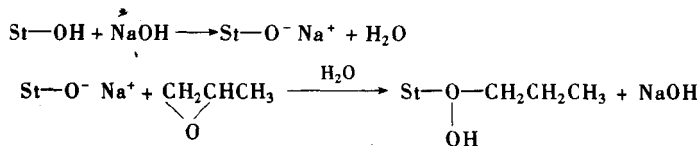
c. 医药工业 较高取代度的羟乙基淀粉可作代血浆， $MS = 0.4 \sim 1.0$ 特性粘度为 $0.1 \sim 0.3$ ，平均相对分子质量为 $5 \sim 30$ 万的羟乙基淀粉用作代血浆，不会在组织中沉着，出血倾向小，可与抗菌物质并用，保存性良好。

用作冷冻时血红细胞的保护剂，羟乙基淀粉可防止红血球细胞在冷冻和融解过程中发生溶血现象，比甘油和三甲基亚砷效果好，可保护细胞表面，易于洗除。

4.6.3 羟丙基淀粉

4.6.3.1 基本原理

环氧丙烷与碱性淀粉的反应机理是双分子亲核取代反应，属 S_N2 型。



4.6.3.2 生产工艺

可采用湿法和干法。湿法反应时间长，取代度低；干法反应效率高，时间短，可制取高取代度的羟丙基淀粉，但需在高压的条件下进行。

a. 在含水介质中反应 反应温度一般在 $40 \sim 50^\circ\text{C}$ ，温度低于 40°C 时，反应速度十分缓慢；高于 52°C 时，淀粉颗粒有可能膨胀或糊化。将 $18 \sim 21^\circ\text{Be}$ 的淀粉乳打入到密闭的反应容器中，硫酸钠或氯化钠用作膨胀抑制剂，一般为干淀粉质量的 $5\% \sim 15\%$ 。常用的催化剂是氢氧化钠，在含水介质中反应一般用量为干淀粉质量的 $0.5\% \sim 1\%$ ，可将其配制成 $5\% \sim 7\%$ 的溶液应用。环氧丙烷的用量一般是干淀粉质量的 $6\% \sim 10\%$ 。为了在反应过程中保持淀粉颗粒的完整性，在上述反应条件下，约需反应 24h 反应

效率为 60%。在含水介质中反应，淀粉能保持颗粒状，反应后易于过滤、水洗，但一般取代度小于 0.1，而且有副产物生成。

b. 在有机溶剂中反应 在有机溶剂中反应，可在高温下及较短时间内制得较高取代度的产品。反应结束后，经离心、洗涤除去副产品。常用的有机溶剂有：甲醇、乙醇、异丙醇、苯等。

在装有回流冷凝器的反应器中，加入 15.7 份水、6 份 NaOH、150 份异丙醇及 100 份 85 流度的蜡质玉米淀粉、100 份环氧丙烷加热至 45℃。回流开始时，加入 0.3 份 H₂O₂ 在随后的 7h 内温度逐渐升至 75℃，在此温度下回流停止，表示反应完全，用冰醋酸中和。

c. 干法反应 干法反应是淀粉颗粒直接与环氧丙烷的气固反应。干法反应水分含量一般是干淀粉质量的 7% ~ 10%。含水量低于 5% 时，反应变得缓慢，而且很困难。干法反应也可用碱、磷酸钠、硫酸钠、柠檬酸钠等盐来作催化剂。淀粉在盐溶液中浸泡、过滤、干燥后，盐的含量是干淀粉质量的 1% ~ 2%。常用的方法是将氢氧化钠磨成粉末（大小为 0.02 ~ 0.04mm），再与淀粉混合均匀。将混合物置于密闭的容器内，通入环氧丙烷，在 0.3MPa 压力和 85℃ 下反应数小时，反应结束后调 pH，用醇溶液洗出副产物，得到成品。

4.6.3.3 特性

羟丙基淀粉属非离子型变性淀粉，其性质受电解质和 pH 的影响小，能在较宽的 pH 条件下使用。在水解、氧化、糊精化、交联等反应过程中，醚键不会断裂，取代基团不会脱落。

由于在淀粉分子中引入了羟烷基而增加了淀粉粒的亲水性，削弱了淀粉分子间的氢键，使淀粉粒易于膨胀和糊化，所以糊化温度降低。通过加热能使分子分散并溶解，因此提高了糊液的抗老化性、粘度稳定性、保水性、透明性和膜形成能力，其流动性、薄膜折叠性、平滑光洁度均有所提高，特别是对酸、碱和氧化剂都非常稳定。

羟丙基淀粉糊液具有良好的粘度稳定性。在室温条件下,存在 120h,粘度几乎没有什么变化。冷却时粘度增大,但增加的趋势减弱,重新加热后,仍能恢复到它原来的热粘度和透明度。

4.6.3.4 应用

a. 食品工业 羟丙基淀粉糊粘度稳定,特别是用在冷冻食品和方便食品中,使其在低温贮藏时具有良好的保水性,可加强其耐热、耐酸和抗剪切的性能。用作肉汁、沙司、果汁馅、布丁的增稠剂,使之平滑、浓稠透明、清晰、无颗粒结构,并有良好的冻融稳定性及耐煮性。经交联后的羟丙基淀粉在高温时粘度高且稳定,适于作罐头食品的增稠剂和胶粘剂。也可用于酸性食品和中性食品,如柠檬布丁、酱料、巧克力布丁、儿童食品等中用作增稠剂,可提供稳定的粘度,使产品在低温的条件下具有持水性。羟丙基木薯淀粉是制作冷冻布丁的良好辅料。

b. 造纸工业 羟丙基淀粉成膜性好,膜柔韧透明,可用作纸张的内部施胶和表面施胶,使印刷油墨鲜明、均匀、胶膜光滑,减少油墨消耗,并有一定的抗拉毛能力。在对印刷用纸表面施胶时,由于羟丙基淀粉具有优异持水性和成膜性,不仅提高了纸张表面特性,而且还能提高纸张的强度和硬度。

c. 纺织工业 羟丙基淀粉的流动性和成膜性使它非常适宜于纺织工业中纱线的上浆,其膜强度和柔韧性可提高纱线的耐磨性,膜的透明性可降低纬线对着色经线的遮盖。作为上浆料,其对所有纤维都能产生理想的纤维与纤维之间的粘结效果,即使是在各种混纺的上浆中也能达到理想的效果。它所具有的流动性尤为重要,能减弱凝胶倾向,稳定的粘度能确保均匀的增重率,并使纱线上的浆斑数降低到最低程度。使用羟乙基淀粉作上浆料不但可以确保上浆质量,而且由于低糊化温度而少用热量,便于调浆,经济效益得到提高。

d. 石油工业 羟丙基淀粉具有降失水、稳定井壁、改善井眼条件、防塌、絮凝钻屑等作用,能显著地降低饱和盐水泥浆的失水

能力，具有较好的抗钙和抗温能力，可用作饱和盐水泥浆的降滤失剂。

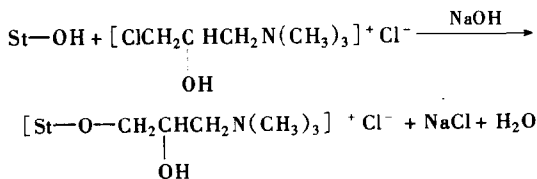
4.6.4 阳离子淀粉

阳离子淀粉是由淀粉与阳离子试剂反应制得的，它是一类很重要的淀粉衍生物。其实用性的关键正是在于它对带负电荷物质的亲和性，广泛用于造纸、纺织、油田、粘合剂、采矿和化妆品等行业。

阳离子淀粉品种繁多，一般分为四类：叔胺烷基醚。鎓类淀粉醚（包括季铵、磷、硫衍生物）。伯或仲胺烷基醚。杂类（如亚胺淀粉醚）。目前，新的阳离子淀粉醚仍在继续发展，但叔胺烷基醚和季铵烷基醚是主要的商品淀粉，尤其是季铵烷基醚是继叔胺烷基醚后发展起来的，各方面的性能均优于叔胺烷基醚淀粉，很有发展前途，下面重点介绍。

4.6.4.1 基本原理

可用季胺、季磷、叔胺处理淀粉制得淀粉衍生物。如季胺淀粉醚可用 3-氯-2-(羟基丙基)三甲铵氯，在强碱性条件下处理淀粉乳或淀粉浆进行醚化反应制得。



表氯醇与叔胺的简单反应可用来制得将季胺基团加入到淀粉分子的试剂。表氯醇试剂在水中是稳定的，通过添加氢氧化钠而迅速转变成“活性”环氧化物的形式。

必须注意到用真空分馏或溶剂浸出的方法能除去或大量减少任何残留的表氯醇或副产品，如 1,3-二氯丙醇等，它们可能同淀粉交联起来，降低阳离子淀粉的分离性和有效性。据报导，在

与表氯醇的水溶液反应中使用弱酸的叔胺盐可减少副产品生成量。

4.6.4.2 生产工艺

环氧季铵型阳离子剂，由于其环氧基具有较强的反应活性，用其制备阳离子淀粉比较容易。可以用湿法、干法和半干法生产。

a. 湿法制备工艺 该工艺的优点是反应条件温和，生产设备简单，转化率高、均匀。较低的温度需要较长的反应时间，试剂与淀粉的浓度均影响转化率，易造成未反应试剂与淀粉的流失。

以 3-氯-2-(羟基丙基)三甲胺氯和淀粉反应制备取代度(DS)0.01~0.07的季铵淀粉醚：将带有搅拌器的密闭 250ml 容器置于恒温水浴中加热至 50℃，加入 133ml 蒸馏水、50g 硫酸钠（作为淀粉颗粒膨胀抑制剂）、2.8g 氢氧化钠（0.07mol），所用氢氧化钠与单体[3-氯-2-(羟基丙基)三甲胺氯]比例为 2.8:1，反应 4h，反应效率可达 84%。溶解后，加入 81g 淀粉（干基，淀粉浓度为 20%~35% 比较合适，淀粉与单体物质的量的比为 1:0.05），在 50℃ 条件下搅拌 5min，再加入 4.71g 有效单体溶液 8.3ml，反应 4h 即可制得取代度 0.01~0.07 的阳离子淀粉醚。

湿法工艺一般在 NaOH 存在下以水为反应介质，由于反应是在碱性条件下进行的，为防止淀粉颗粒的溶胀，常需在反应介质中加入一定量的无机盐，如氯化钠或硫酸钠，加入量为 10%~20%；一般反应浆液浓度为 35%~40%，反应温度 40~55℃，反应介质 pH 为 11~11.5，反应时间 4~24h 不等。反应结束后，用盐酸中和至 pH5.5~7.0，然后离心、洗涤、干燥。制备取代度 0.01~0.07 的产品，氢氧化钠与试剂的物质的量比为 2.6:1，试剂与淀粉的物质的量比是 0.05%~1.35% 的淀粉悬浮液在 50℃ 左右反应 4h，转化率约为 84%。

影响反应的因素有以下几点：

①碱和醚化剂的物质的量的比：这个比例不是越大越好，而

是在 2.8 时出现极大值。这可能是碱浓度过大反而造成醚化剂水解丧失活性所致。

①反应温度与反应时间：在一般情况下，反应效率均与反应温度和时间呈正比，但反应温度一定要在淀粉的糊化温度以下。Carr 的实验使用大剂量的硫酸钠，达到 50g 对 0.5mol 淀粉，所以反应才能在 60 或 70℃ 下进行，然而反应效率在达到 80% 左右以后，随时间延长而增长的趋势也不明显。此温度工业化不可行。

②淀粉浆液浓度：浆液浓度对反应效率的影响是相当明显的，随浆液浓度的降低，碱浓度和醚化剂的相对浓度也随之减小，从而造成反应效率下降。浆液浓度为 45% 时，反应效率最高，但工业化实现困难，主要是浆液的输送有问题。故而工业化生产中浆液浓度一般控制在 35% ~ 40%。

b. 干法制备工艺 干法工艺的特点是工艺简单、基本无三废、反应周期短，但反应转化率低、均匀性差，对设备工艺要求比较高，同时反应温度高，淀粉在较高温度下容易解聚。

一般将淀粉与试剂掺和，利用碱催化剂与阳离子剂一起和淀粉均匀混合，60℃ 左右干燥至基本无水（水分 $\geq 1\%$ ），于 120 ~ 150 反应约 1h 得产品 转化率 40% ~ 50%。

4.6.4.3 特性

阳离子淀粉糊液的粘度比原淀粉的大，随着取代度的提高，糊液的粘度、透明度和稳定性明显提高。糊化温度下降，即使取代度很低（0.07 左右），在冷水中也有润胀能力。这两点是阳离子淀粉与其他中性淀粉衍生物的不同之处。季烷基胺系者的阳离子性比伯烷基胺系者更强，除季胺系之外，只有在酸性范围内才发生离子化。阳离子淀粉对负电荷纤维素几乎显示了 100% 的不可逆吸附作用，阳离子淀粉在纤维素和矿物纤维和颜料之间起着离子搭桥作用。阳离子淀粉对纸张纤维的选择吸附作用将增强其对细纤维的固定，并通过细纤维与长纤维的相互掺杂形成一个

粘结网络结构，增加纸的拉力、伸长性、折叠持久性。

用 Zeta 电位仪测定淀粉悬浮液，阳离子淀粉呈阳性，且随着 DS 值的升高，Zeta 电位值升高。悬浮液中的 pH 会明显地影响 Zeta 电位的测定值。对于叔胺型阳离子淀粉而言，在酸性条件下 Zeta 电位才呈阳性。对于季铵型阳离子淀粉而言，通常在广泛的 pH 范围内均呈正电位，故适用于酸性、中性或偏碱性条件下的抄纸。在高 pH 条件下，季铵型阳离子淀粉也会失去其正电性。

4.6.4.4 用途

a. 造纸工业 阳离子淀粉的最大用途是利用其阳离子性和强粘结性在造纸时作内添加剂，能改善纸的耐破度、抗张力、耐折度、抗掉毛性等诸多物理性质，提高松香、矾土的施胶效果。纸浆中阳离子淀粉的比率高凝集固定了填料和细纤维，使纸的滤水性能良好，提高了纸的抄写速度，也大大有利于减少水质的污染。另外，阳离子淀粉对能制造出理想纸质的中性胶料中使用的烷基烯酮二聚物的乳化和固定也有效果，其在纸的表面施胶、涂布方面的应用也在研究。

b. 纺织工业 阳离子淀粉可用于浆纱，增加经线润滑性和耐磨性，还可作为玻璃纤维在搓捻和编织时的保护层。由于阳离子淀粉具有良好的成膜性、粘度稳定性及与聚乙烯醇的相溶性，可用作纺织经纱上浆剂。单一的阳离子淀粉，或与醋酸、丙烯酸及丁烯酸等单体共聚后的阳离子淀粉都是良好的上浆剂。阳离子淀粉还可用作洗衣整理剂，将其加到洗涤剂中，在洗涤及烘干后能改善织物的刚性及平滑性。作为玻璃纤维的上浆剂，阳离子淀粉能提高玻璃纤维的耐磨性。

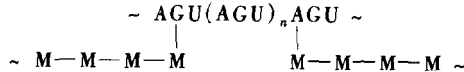
c. 絮凝剂 阳离子淀粉因带有正电荷，可从悬浊液中絮凝阴离子有机或无机颗粒，如白土、二氧化钛、煤、碳、铁矿砂和泥浆等，可以用于排水净化、浮游选矿以及分离、纯化和浓缩各种生物活性物质，如酶、血浆、核酸等。现被应用的有水溶性的取代度高的产品以及羧甲基化、磺烷基化的复合改性物。由于它的凝集效果

是与其相对分子质量成比例的，因此它的接枝聚合物效果更好。此外，正在研究其作离子交换体、医药品的可能性。

阳离子淀粉还可作为高盐浓度的钻探液体的液体损失控制剂。

4.7 接枝淀粉的生产

淀粉用化学或物理的方法进行引发，可以和丙烯腈、丙烯酸、甲基丙烯酸甲酯、丁二烯、苯乙烯等或其他人工合成高分子单体起接枝共聚反应。淀粉分子链连接上这些高分子单体的枝链后，生成接枝共聚物，可用下图简单示意。



淀粉接枝共聚物，由于引入了其他异种高分子的特性，因而具有天然和人工合成这两类高分子的性质，产生上面介绍过的淀粉衍生物所未曾有过的变性效果，有着广泛的用途。

4.7.1 基本原理

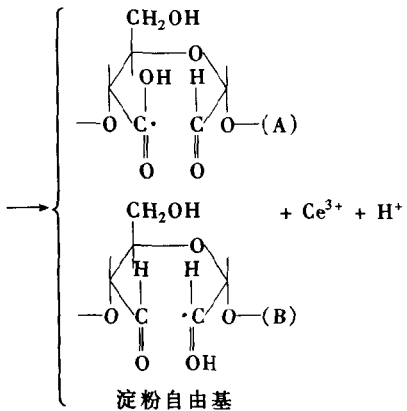
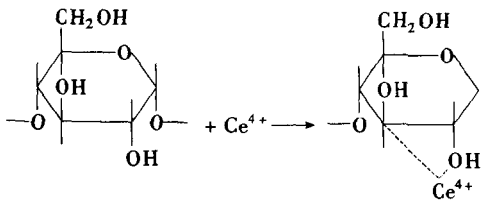
在接枝共聚反应中，单体一部分集合接枝到淀粉分子链上，另一部分自行聚合，没有接枝到淀粉分子上，后者称为均聚物。在接枝反应中，当然希望接枝效率越高越好。若是接枝效率低，则产物主要是淀粉和均聚物的混合物。共聚物含有接枝高分子的重量百分率称为接枝百分率。

接枝共聚引发一般用物理或化学的方法，使淀粉分子上产生活性高的自由基，自由基引发接枝共聚。目前广泛应用的引发形式有铈离子的氧化作用、Fentons 试剂和辐射法三种。

4.7.1.1 铈离子氧化作用

四价的铈离子氧化淀粉生成络合结构的中间体淀粉 - Ce(IV)，分解产生自由基，与单体发生接枝反应。这中间体和自由

基的生成都被证实。反应过程如下述反应式，生成淀粉- $Ce(IV)$ 络合结构 葡萄糖单位 C_2 、 C_3 的键氧化断开，一个氢原子被氧化，生成淀粉自由基， $Ce(IV)$ 被还原成 $Ce(II)$ ，淀粉自由基与单体接枝共聚。

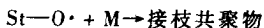
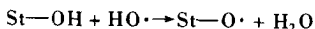
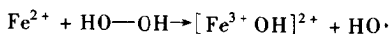


淀粉自由基 + 单体 \rightarrow 接枝共聚物

接枝的单体可以是丙烯腈、丙烯酸、甲基丙烯酸甲酯、苯乙烯等。

4.7.1.2 Fentons 试剂

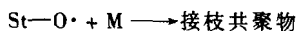
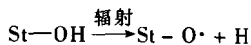
它是一种含有过氧化氢和亚铁离子的溶液，是一个氧化还原系统。亚铁盐如硫酸亚铁铵首先与过氧化氢发生反应，产生氢氧游离基($\cdot OH$)，这个游离基从淀粉分子链上夺取一个氢原子，生成淀粉游离基和水淀粉自由基与单体接枝共聚物的反应如下所示。



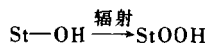
常用的单体有丙烯酸甲酯、丙烯腈、乙烯乙酸酯等。

4.7.1.3 辐射法

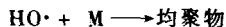
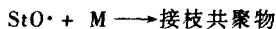
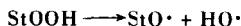
辐射法是用放射元素（钴 - 60） γ - 射线照射，淀粉先被照射引发，产生自由基，然后加入高分子单体的水溶液，在 20 ~ 30 起反应。为了防止空气中氧气的不良影响，淀粉的照射在氮气中进行，在无氧存在的情况下，淀粉自由基的稳定性较高。



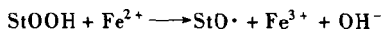
用辐射法淀粉也可能先形成过氧化物，然后再分解成自由基进行接枝共聚。



在空气或水中：



如有还原剂如 Fe^{2+} ，则均聚物大量减少。



所用的单体有丙烯酰胺、丙烯酸甲酯、甲基丙烯酸甲酯 - 苯乙烯混合物等。此外，甘油（丙三醇）、乙二醇、环己醇等能加速接枝反应，其中乙二醇效果最显著。

在淀粉接枝反应中，采用哪种类型主要是根据共聚作用所选择的单体化合物来决定。接枝物的性质取决于接枝的高分子链的平均相对分子质量、接枝效率、接枝频率和单体的原有性质。接枝频率为接枝链之间的平均葡萄糖单位数量，很容易由接枝百分率和共聚物的平均相对分子质量计算而得。

4.7.2 生产工艺

4.7.2.1 淀粉丙烯腈类接枝共聚物

工艺流程为：1 330ml 水和 94g 玉米淀粉加入反应器中，搅拌，加热至 60℃糊化半小时，冷却至 20℃，依次加入丙烯腈 97g、硝酸铈铵溶液 75ml，混合物在 20~50℃ 温度下反应 1h，然后用 5mol/L HCl 溶液中和至 pH 为 6~7。过滤，洗净，在 65℃下真空干燥，产物吸水率 114g/g 吸尿率 55g/g。

4.7.2.2 淀粉丙烯酸接枝共聚物

淀粉丙烯酸接枝共聚物的生产工艺与淀粉丙烯腈接枝共聚物不同，它不需皂化水解，这样可以简化生产工艺。工艺过程为：玉米淀粉 85 份和水 800 份加入反应器中，在氮气流下，加热至 80℃ 搅拌 1h，使淀粉凝胶化后，冷却至 30℃，加入丙烯酸 120 份，二缩三（氧乙二醇）二甲基丙烯酸及聚合催化剂（30%的过氧化氢 0.2 份，L-抗坏血酸 0.1 份）后，在 40℃下搅拌聚合 3h，反应液为有弹性的白色固体。在该白色固体中，加入 30%的氢氧化钠水溶液 120 份，在 30℃下放置 1 夜，中和后，在 60℃下减压干燥、粉碎后得白色粉末状物质。吸盐水率为 57g/g，血液吸收率 41g/g。

4.7.3 接枝淀粉的基本特性

4.7.3.1 吸水性

接枝淀粉的形状对其吸水率的影响大于组成的影响，如表面积愈大，吸水率愈高，将它制成多孔或鳞片状等粗颗粒来增加其表面积，会增大吸水率。由于高吸水树脂是高分子类的电解质，因此易受水中盐含量和 pH 变化而变更它的吸水能力。通常盐的浓度增加，吸水能力降低。pH 的影响亦非常显著，一般来说，吸水能力达到树脂自重 250 倍以上者，pH 都应在 6~8 范围内，否则，吸收能力便会下降。溶液中其他成分对高吸水性树

脂的吸水性也有影响，如丙烯腈与玉米淀粉接枝共聚物，经皂化能吸收自重 2 600 倍的纯水。淀粉与丙烯酸共聚的吸水树脂，对入 0.9% 生理盐水，只能吸收自重的 50 倍质量；而对入 0.1mol/L 苛性钠溶液则为 60 倍；对入 0.05mol/L 硫到却只有 8 倍。另外高吸水性树脂对有机溶剂如甲醇、二甲基甲胺等，没有吸收能力。

4.7.3.2 保水性

高吸水性树脂的吸水作用，不同于物理吸水作用，它一旦吸水，就溶胀成凝胶，即使加压，水也有一定的保留。如纸浆在 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 压力下，大体上能把吸收水完全榨出的话，那末，对由淀粉和丙烯酸接枝共聚物反应得到的高吸水性树脂来说，还可以保持约 90% 的水，就是在 $4 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的压力下，仍能保持 60% 的水量。高吸水性树脂一旦吸水后，水分不易除去，具有一定的保水性，这在使用上十分重要。

4.7.3.3 耐热性

高吸水性树脂的耐热性较差，一般来说，只要在 140°C 温度时处理 2h，其吸水能力就下降。但是，在 100 以下其性能是稳定的，因此提供了通常条件下使用的可能性。

4.7.3.4 可逆性

吸水剂添加于塑料中制成柔软的薄膜，这种薄膜浸于水中吸水膨胀，面积增大约 30 倍，外观如胶冻片，并具有一定的强度。若调 pH 到 3 左右，又收缩到原来的体积；再调回到 7 以上，则又膨胀。因此高吸水性树脂吸水后，不分解，通过调节温度、干燥程度等，可以多次反复使用。

4.7.3.5 吸氨能力

高吸水性树脂的分子中含有羧基阴离子，为保持其中性，需中和其中的 70% 羧基，剩下的 30% 仍以羧基形式存在，这样才能使其成为高吸水性树脂，并且可以吸收氨而变成铵盐结构，因此它具有除臭的效果，这一优越性质使其非常适于在纸尿裤和

卫生巾上使用。

4.7.4 接枝淀粉的用途

4.7.4.1 蔬菜保鲜

水果和蔬菜收获后由于继续其生理作用，如呼吸和蒸发，会降低它们的鲜度和质量。因为新鲜蔬菜的水分蒸发快，由此引起的鲜度降低比呼吸大得多。用高吸水性树脂制成的水分调节纸已开始在国外市场试用，可使新鲜蔬菜和水果保持一定的鲜度。这种水分调节纸包装材料是在疏水的塑料薄膜和吸水纸之间涂上一层高吸水性树脂压制而成的，这种层压纸能保持水分，并用于包装大纸箱里的蔬菜和水果。试用于小洋葱、洋白菜和香菜等蔬菜，效果良好。

4.7.4.2 餐巾、纸尿布和卫生巾

通常都将吸水树脂做成片料使用，其制法不断改进，如将纸粕和树脂混合夹在两层薄纸间，或者通过静电沉积法将树脂镀敷在各种织物或无纺布纤维底物上。为防止树脂脱落，可以用水喷湿底物，使其部分水合并增加淀粉和织物之间的粘性，然后用热风或红外线干燥。产品用于餐巾、毛巾、拭布、纸尿布及卫生巾等中。以日本三洋化成公司的淀粉丙烯酸接枝共聚产品为例，做成的餐巾每块总重 5.5g，吸水树脂只有 0.4g，其保水量可达 121g，比不用吸水树脂的餐巾要高得多。

作为婴儿纸尿布使用时，要求比较特殊，不仅要求其对尿的吸收力要高、速度快，而且能保持婴儿皮肤干爽、卫生，还应价廉。目前这类产品国外已出售，为多层结构的，包括隔水层、过水层、高吸水树脂层以及胶垫等。国外也将其用于医疗上的床垫、绷带等。

4.7.4.3 树苗移植用保水剂

移栽树苗时，常用稻草包扎的方法保持根部水分，这不仅费时费力而且运输困难。如果用吸水树脂的 1% 水溶液处理树

苗根部可使栽前的保存期延长 5 天左右，这对移栽作物很有用处。

4.7.4.4 土壤保水剂

盆栽花卉几天不浇水就会枯死，但在沙土中混有 0.3% 的吸水树脂，经 14 天仍然保持开始时 1/2 的水量；而对净沙来说，只经过六天，水分几乎全部消失，沙变干涸。栽培绿色蔬菜时，事先在土壤中混入约 0.1% 的高吸水性树脂，作物长势旺盛，产量提高。土壤中掺入少量这种树脂有如下好处：增加土壤着水能力，减少表面蒸发，改善通气性，降低土壤昼夜的温差。对灌溉后的土壤用吸水树脂保水有显著的效果，如只用 0.2% 的吸水树脂处理沙土后，其保水能力同高产谷物区的土壤相同。用吸水性树脂涂覆种子，不仅利于种子发芽，而且可添加农药，防止病虫害。其涂覆方法简单，如将种子与作为粘结剂的少量粉末混合即可。显然这种办法涂覆费用低，农田应用效果良好，在干燥土壤中增加了发芽率，并有助于保护脆性种子(如花生)。

4.7.4.5 混合物的脱水材料

油品中含有少量水对长期贮存不利，但用一般工艺方法难以除去。由于吸水性树脂对有机物没有吸附能力，而有很高的吸水性，则可以用于混合物脱水，并显示出很好的效果。如含 20% 水的煤油乳化液加入 0.2g 吸水树脂，混合均匀，放置 3h，煤油里的水即除去，脱水效果很好。但对非混合的分散状的，如溶解性的水，效果差一些。如含水为 5% 的甲醇溶液里纵然加入 0.1% 的吸水树脂，充分搅拌和放置后，水分也高于 3%。

4.7.4.6 地下工程用的化学助剂

在许多地下工程中高吸水性树脂也有应用。如在油田勘探工程中，为了防止泥浆离析，高吸水性树脂被用作钻头的润滑剂、泥浆的凝胶剂等。在勘探工程中，膨润土泥浆中的水容易从砂砾层离析而使泥土沾附在钻头上，使钻探不能进行，若在砂砾层中

注入这种含高吸水性树脂的泥浆，能阻止泥浆离析，并减少泥浆中水对地层的渗透性，使泥浆稳定性增加。

另外，在铺设输油管道时，使用高吸水性树脂和少量膨润土分散的水溶液作为润滑剂，可提高铺设速度 1 倍。高吸水性树脂还可用于淤泥固化剂，它添加于液体淤泥中可使泥浆固化，有利于装卸泥浆和挖掘工程，提高装斗能力。

4.7.4.7 露点抑制剂

高吸水性树脂具有平衡水分的能力，就是说，在高湿度下它能吸收水分，而在低湿度下也能放出水分。利用这一特性可将其用于墙壁或天花板装饰涂布料，这种高吸水性树脂涂料还可防止冷凝。

4.7.4.8 水密封剂

根据高吸水性树脂的吸水性和溶胀性，现正把它开发为水密封剂。如将其与合成树脂（聚氨酯、丁基橡胶等）混合，并将其压制成包装材料，当与水接触时，就会溶胀并充满空隙，起到水密封作用。这在市政工程水泥管的衔接以及自动辐射器的垫片中都已应用。

4.7.4.9 其他用途

目前高吸水性树脂已应用于医药工业。在生活用品方面，利用树脂遇水后的凝胶性，可把香料分散于其中，制成凝胶状芳香剂，稳定性好，即使冬季水也不会分离；还可用于化学的取暖器或冷绝缘器中，阻止所使用液体的流动；用于玩具中，当玩具浸泡于水中时，会逐渐溶胀变大。

4.8 阻抗淀粉的生产

4.8.1 基本原理

发生老化后，淀粉是一种部分结晶结构。双螺旋结晶结构淀粉由于其高度阻抗酶和酸水解作用的特性而被称为阻抗淀粉。

通常将高直链淀粉经重复高压蒸煮和老化，随后用酶水解去除非结晶淀粉来制作阻抗淀粉。阻抗淀粉常用作填充料，它产生极少热量并有防止结肠癌的作用。阻抗淀粉有三种类型，RS1型、RS2型和RS3型。RS1型淀粉被包埋在基质中，或因蛋白质成分遮蔽而使淀粉酶无法接近，因此发生酶抗性。此类阻抗淀粉深受饮食时咀嚼作用及加工过程中粉碎及碾磨作用的影响，而改变含量。RS1型常出现于轻度碾磨的谷物、豆类及早餐谷物食品中，因这些食品中所含的谷物颗粒经粉碎后并未将胚乳细胞中的淀粉完全显露出来。RS2型包含具抗性淀粉颗粒及未糊化淀粉颗粒，一般淀粉未糊化时，对于 α -淀粉酶会具有高度的消化抗性；此外，天然淀粉颗粒完整、多孔、高密度性及部分结晶结构都是造成其酶抗性的原因。此类阻抗淀粉存在于未烹煮马铃薯、新鲜香蕉、高直链玉米淀粉及饼干中。以饼干为例，烘焙过程中所含水分及蔗糖会抑制淀粉糊化，由于体温下也无法将剩余的淀粉完全糊化而产生RS2型阻抗淀粉。RS3型主要是由老化的直链淀粉组成，商业阻抗淀粉多为此类。淀粉糊化后吸水膨胀，直链淀粉溶出而使粘度上升，颗粒破损后，随着冷却、贮存时间的增加，在结构上会发生改变。一是直链淀粉的再度排列形成新的结晶构造，此现象所需时间短，一般发生在糊化作用后数小时内，其所形成的新结晶结构可于加热至140℃以上溶解。另一老化作用发生在支链淀粉中，约需数天至数星期发生结晶，属于较缓慢老化作用。此结晶构造用DSC测定时，在55~70℃形成吸热峰，这一结晶主要由支链淀粉外围短支链(DP=14~18)相结合形成，而直链淀粉结晶时其直链链长在结晶区可达DP=26~73，非结晶区为DP=6~30，显然较支链淀粉结构稳定。因此，溶解直链淀粉结晶所需温度较高，DSC测定140~150℃出现吸热峰，可知RS3抗性淀粉主要由老化的直链淀粉组成。另外，老化的支链淀粉也具有酶抗性。影响直链淀粉再结晶的因素包括：温度，时间，直链淀粉分子大小，直链淀粉-脂类复合物、糖类含量等等。RS3抗性淀粉多

存在于煮熟放冷的马铃薯、面包、玉米片、米饭等具有老化淀粉的食品中。

4.8.2 生产工艺

一般选择高直链淀粉生产，例如，将高直链玉米淀粉 200g 在烧瓶中与 700ml 蒸馏水混合，淀粉水溶液被加温到 125 保持 1h。然后将淀粉样品冷却到室温，在冰箱中（4℃）放置一夜。经过三次高温蒸煮冷冻过程，产品中含有大约 30% 的阻抗淀粉。

影响阻抗淀粉生成的因素：加热温度、储存时温度影响阻抗淀粉的生成量。小麦淀粉放入过量水中于杀菌釜中加热 1h，在 100℃ 温度下储存 65h，阻抗淀粉生成量为 10%；如在 0℃ 储存 65h 生成量为 5%。

当淀粉进行糊化作用时，水分含量会影响糊化程度，在低水分环境下淀粉无法完全糊化，将会产生酶水解抗性。未完全糊化淀粉也会加速淀粉老化进程，增加阻抗淀粉产量。

加热冷却循环次数增加，阻抗淀粉含量增加。

生产阻抗淀粉的原料以含直链淀粉多的淀粉为好，阻抗淀粉出率高。

4.8.3 阻抗淀粉的特性

阻抗淀粉具有膳食纤维的作用，在食品中它不像膳食纤维那样吸收大量水分，没有不良的口感，可影响糖尿病患者餐后血糖值，预防肠道疾病，增加脂质排泄。

4.8.4 阻抗淀粉的应用

阻抗淀粉的颗粒小、吸水性低、耐热性强，适于面包、糕点、脆饼、小西饼等产品作为食品配料。

高纤维面包经常会有较黑的颜色、坚韧的质地，并且体积减

小。而加入阻抗淀粉，因它的低吸水性，不会向食品中其他组分吸水，有利于产品保持较长时间的松软性。阻抗淀粉颗粒细小，仅为 $10 \sim 15\mu\text{m}$ ，远小于天然膳食纤维的 $30 \sim 100\mu\text{m}$ 也能使面包的结构更松软、耐热性强，烘烤加热不影响它的稳定性。对添加阻抗淀粉的面团以及烘焙后所得的面包的外部、内部评分结果表明，添加阻抗淀粉的面包具有较高的评分。含有阻抗淀粉的面包的体积大于添加纤维素的面包的体积。阻抗淀粉也可使低水分食品在加工过程中承受大面积受热，比如对烘烤薄脆饼干的评价是基于它的硬度和脆性，硬的饼干是令人讨厌的，脆的饼干适合人的口味。添加阻抗淀粉使饼干具有脆性且不像传统的添加纤维的那样硬。在鸡蛋饼或法式面包中添加阻抗淀粉也可增加脆性。

4.9 淀粉基脂肪代用品的生产

在人们的日常膳食中，脂肪尽管能引起多种疾病，但也起到了食品的食用品质、维持人体的某些生理功能的作用。因此，我们不能否认脂肪的积极有益的一面。脂肪在食品中起到增加湿润性、携带气体的作用，因此，可以改善口感、增加适口性。脂肪还可以溶解脂溶性物质，是维生素 A、维生素 D、维生素 E、维生素 K 的良好溶剂；它也可以溶解大量脂溶性芳香物质。

然而普通的淀粉不具备脂肪的上述属性，因此，淀粉基脂肪代用品制备的关键在于如何降低食品的热量，又能部分具有脂肪的特有属性。

淀粉基脂肪代用品因既能保持食品的风味又不提高成本而倍受青睐，它能够形成凝胶并增加水相粘度，使水相结构特性发生变化，产生奶油状的润滑的粘稠度及滑腻的口感。

目前作为淀粉基脂肪代用品的淀粉类型主要有：麦芽糊精、变性高直链玉米淀粉、变性淀粉、微晶粒淀粉等。本节主要介绍

作为脂肪代用品的微晶粒淀粉的制备及应用实例。

4.9.1 基本原理

可在高浓度醇的环境下，利用稀盐酸作用于淀粉链的非结晶区，而得到具有合适属性的淀粉片断，即微晶粒淀粉基脂肪代用品。采用高浓度醇为介质的目的在于在淀粉糊化温度之上反应时，可以避免糊化现象的发生。采用弱酸反应的目的在于使其只作用于非结晶区，而非对淀粉进行彻底水解。

经过反应而得到的淀粉基脂肪代用品具有和脂肪相似的粘度、乳化性和稳定性，其易形成胶体的能力极其相似地模仿了脂肪，因此，可按一定的比例与脂肪结合形成较好的特性以应用于食品工业。

4.9.2 生产工艺

乙醇溶液（95%）与浓盐酸（大约为36%）混合制备盐酸浓度为2%的酸-醇混合液。通过将HCl缓慢加入到量取好的95%的乙醇溶液中，使HCl的浓度为2%，反应时的实际乙醇浓度为91%。

称取干淀粉100g置于1000ml的烧瓶中。量取95%的乙醇300ml及浓盐酸12ml，将乙醇和盐酸配置成为酸-醇混合溶液缓缓加入到烧瓶中，在25℃下缓慢搅拌1h，将水温从25℃缓慢升至80℃，至80℃开始计时，并加速搅拌2h，产品用90%的乙醇溶液冲洗，沉淀至乙醇上清液透明。倒出上清液，重复洗涤三四次，用干滤布过滤，转移至蒸发皿后，放入烘箱中（40℃）烘干。

4.9.3 淀粉基脂肪代用品的特性

淀粉基脂肪代用品主要用于食品，它在食品中的功用如表4-12所示。

表 4-12 淀粉基脂肪代用品在食品中的功用

焙烤食品	色拉调料	乳制品	冷甜食	沙司、肉汤
风味	风味	风味	风味	风味
粘稠度	粘稠度	粘稠度	粘稠度	口感
质构	流变性	流变性	口感	饱腹感
充气性	粒性	口感	口融性	
脆性	光滑感	饱腹感	溢流性	
柔软性	充气性	乳化	收缩性	
光泽	涂抹性	充气性		
脂肪稳定性	外观	外观		

4.9.4 淀粉基脂肪代用品的用途

淀粉基脂肪代用品配制成 22% 浓度的溶液就会变成胶体，具有一些脂肪的感官特性，可以替代焙烤食品、冷甜食、蛋黄酱、沙司、涂抹食品、色拉调味料、肉制品等食品中所用的脂肪，替代率在 50% ~ 75%。淀粉基脂肪代用品的产热量只有脂肪的 44% 最常用的配比是 3 份水加 1 份淀粉基脂肪代用品，其热量只是脂肪的 1/9。

4.10 变性淀粉在食品工业中的应用

尽管前面已多次谈到，但由于在食品工业中的应用是变性淀粉的一个最重要的方面，因此此节我们从另一个角度对其作更进一步的阐述。

原淀粉自身特性的局限性，使它很难在食品工业中广泛应用。原淀粉的主要缺陷表现在以下方面：

④口感差：是由于长糊的凝胶质构、不稳定质构引起。

⑤粘度不一致：不同植物、不同地域、不同年份生产的淀粉粘度不相同。

⑥受剪切作用敏感：淀粉糊受机械作用、低 pH、高温后变稀。

④稳定性差：易老化。

⑤溶解性差：有时需要比原淀粉糊更好的溶解性。

因此，淀粉必须经过变性处理，通过变性达到以下目的：

①改善蒸煮特性。

②减缓老化。

③降低糊凝胶倾向。

④增加糊冻融稳定性。

⑤降低糊及凝胶析水性。

改善糊及凝胶的透明度及光泽。

⑥改善糊及凝胶的质构。

⑦改善膜结构。

⑧改善粘着性。

引入疏水基团，提高乳化稳定作用。

4.10.1 食品工业需要变性淀粉

现代技术不断在食品中应用，食品工业生产现代化水平不断提高。淀粉作为食品工业的主要原料，也必须适应于食品工业的迅速发展，满足现代食品工业的要求。

高温杀菌、机械搅拌、泵的输送、偏酸性食品环境使得原淀粉分子易解聚成小分子，粘度下降，失去其增稠能力。要保证淀粉在高温、高剪切力和低 pH 条件下保持较高的粘度稳定性，保持其增稠能力，需使用具有耐热性、抗剪切、抗酸的交联变性淀粉。

冷藏食品则要求糊化后的淀粉在室温、低温保藏及不可避免的多次冻 - 融过程中不易老化，从而避免形成析水现象。原淀粉分子会通过氢键发生分子间的重新有序排列，尤其在冷藏过程中更为剧烈，导致食品脱水收缩、质构劣化。需使用稳定化变性淀粉，即在淀粉分子上引入取代基团，通过位阻或离子作用阻碍淀粉分子间以氢键形式缩合，提高食品的稳定性。

有些食品需要淀粉具有光泽性、成膜性、涂抹性、乳化性等特

殊的功能，也只有变性淀粉才能最大限度地满足要求。

4.10.2 变性淀粉在食品中的应用

4.10.2.1 在面制品中的应用

变性淀粉在新鲜面中的应用研究证明，加入面粉量 1% 的酯化糯玉米淀粉或羟丙基玉米淀粉，可降低淀粉的回生程度，使放置贮藏后的湿面仍具有较柔软的口感，面条的品质、溶出率等都得到改善。因变性淀粉的亲水性比小麦淀粉大，易吸水膨胀，能与面筋蛋白、小麦淀粉相互结合形成均匀致密的网络结构。加入量过大对面团有不利的影响。

在油炸方便面中，一般面粉中马铃薯交联淀粉醋酸酯或木薯交联淀粉醋酸酯用量为 10% ~ 15%。使用高粘度的交联淀粉醋酸酯可以提高成品面条强度和复水性，使其耐泡而不糊汤；生产中可降低断条率，提高成品率；另外还可以降低油炸方便面油耗 2% ~ 4%。

4.10.2.2 在焙烤食品中的应用

阻抗淀粉的膳食纤维含量大于 40%，而且耐热性能高，吸水能力仅有 1.4g 水/g 淀粉，颗粒细小，适用于中等含水量的焙烤食品、低含水量的谷物制品和休闲食品中。在华夫饼干、发面饼干和曲奇饼干中，能产生酥脆的质构、优异的色泽和良好的口感。在面制食品和面条中，也能增加制品的坚实性和耐煮性。建议用量为：

白面包 : 2.5g 纤维素 / 50g 面包份量 用量为 13%。

饼干 : 2.5g 纤维素 / 30g 饼干份量，用量为 17%。

蛋糕 : 2.5g 纤维素 / 80g 蛋糕份量，用量为 7%。

薄脆饼干、米果等产品要求淀粉具有一定的膨胀性。预糊化淀粉是这类产品的很好原料，它优于添加普通淀粉。原因是用预糊化淀粉制成的混合料坯因这部分淀粉已经吸水，当烘烤时，大量的水从淀粉颗粒中跑出，从而造成膨胀。相反，如使用普通淀

粉，当其烘烤时才开始吸水，这样便不易达到松脆的目的。有时，为达到更佳的效果，还使用经变性的预糊化淀粉。

4.10.2.3 在甜食中的应用

在冰淇淋中使用变性淀粉可代替部分脂肪提高结合水量和有稳定气泡作用，使产品具有类似脂肪的组织结构，降低生产成本。这种变性淀粉主要是淀粉基脂肪替代品。

果冻的特点是具有很好的透明性，同时，要求其组分经加热溶化再冷却后，能形成很好的凝胶。实践中，使用羟丙基交联淀粉取代 25% 卡拉胶制作果冻，能很好地满足这一要求。

近些年来，乳制甜食在全世界各地愈来愈流行，从水果蛋糕、胶凝乳、奶油甜食到液态布丁，数不胜数。甜食质构的形成主要与淀粉和胶凝剂的结合以及所采用的工艺技术有关。加热温度、时间和均质的剪切速率是选择理想淀粉所要考虑的主要因素。为保证甜食产品的粘性和耐贮存性，所选淀粉的颗粒在产品加工和包装后应能维持高的膨胀度和完整性。一般地，变性淀粉在 92℃ 下蒸煮 15min 便可达到最佳的膨胀度，而在超高温的 140℃ 下则只需加热 4 ~ 20s。至于在均质处理阶段中的加工剪切速率对淀粉浆最终粘度的影响很大。若在淀粉膨胀前进行均质，由于未发生糊化的淀粉颗粒能抵御高的剪切力，其组织不会受到破坏。相反，如在淀粉糊化后才进行均质，所用淀粉必须具有较高的稳定性，以避免出现过多膨胀淀粉颗粒破坏的情况。变性木薯淀粉和糯玉米淀粉能够为乳制甜食提供优异的奶油状组织、中性的口味及较长的保质期；使其在加工中具有高剪切稳定性；淀粉用量可减少 5% ~ 10%；使产品的粘稠度不受加热的影响；由于不会与乳蛋白反应，故能避免 UHT 设备产生污垢，因而可延长生产操作时间。

4.10.2.4 在休闲食品中的应用

直链淀粉和支链淀粉对淀粉膨胀有显著的影响，对于膨化休闲食品来说，产品的最终质构可通过调节直链淀粉与支链淀粉的

比率来实现。直链淀粉具有良好的成膜性，比支链淀粉具有更好的抗破碎能力，有利于提高产品的酥脆性和强度；直链淀粉有利于提高面团的形状保持能力，更好地抵抗进一步的切块和干燥处理。

支链淀粉在面团中形成网状结构，在膨化过程中部分水分转化成蒸汽，散出的蒸汽利于膨胀网络形成海绵状结构。支链淀粉提高休闲食品的膨胀能力，因此有利于产品的松脆和疏松。淀粉的膨胀率是随着支链淀粉的增加而增高。直链淀粉对膨化膨胀也有影响，据试验在某一选定的直链淀粉含量下，最大膨胀为50%。总之，直链淀粉和支链淀粉的比率影响膨化休闲食品的最终膨胀性。

糯玉米淀粉有很高的支链淀粉含量，比普通玉米淀粉具有更高的膨胀性。马铃薯淀粉颗粒大、溶胀能力强、膨胀性最大。但溶胀能力大的物料太多时，焙烤前难于将面团做成均匀厚度的薄片，这时最好选用一些溶胀能力小的淀粉。正确选用适宜的淀粉原料是制作理想的膨化休闲食品的基础。

原淀粉不具有抗高温、抗高剪切加工条件的能力，淀粉颗粒的破碎使得面团变粘并丧失持水能力；淀粉经过交联处理后具有很好的持水能力和粘度稳定性。但一定要掌握好交联度，过度交联将使淀粉失去溶胀性和降低膨胀性。

非直接膨化休闲食品是分两步进行，首先制成颗粒，然后经焙烤或油炸而得到膨胀的休闲食品；可以用单螺旋挤压机或压片成形机形成颗粒。对这类产品，淀粉的糊化是影响产品膨胀的主要因素，由于水分和加热的限制，通常应用预糊化淀粉；普通预糊化淀粉已失去淀粉颗粒的完整性，形成的面团太粘，不能保持形状；颗粒冷水溶胀淀粉保持淀粉颗粒形状，改善半成品的处理和成形性能，提高膨化休闲食品的水分的均匀分布、良好的持气能力。

4.10.2.5 在冷冻食品中的应用

在大多数冷冻食品中，淀粉的作用是增稠、改善质构、抗老化和提高感官质量。汤圆经冷冻后皮易裂，更不能反复冷冻融化。可以在制作汤圆的糯米粉中添加 5%左右的醚化淀粉起粘结和润湿作用，从而避免皮的破裂和淀粉回生，减少蒸煮时汤内固形物量。

4.10.2.6 在微波食品中的应用

淀粉是微波食品的一种十分重要的配料，起增稠和稳定作用，并且可以控制水分在食品内部的迁移，改善食品的质构和口感。作为涂层的淀粉可以控制在微波加热过程中水分的蒸发，提高食物表皮的脆性。

最近开发出一种新的淀粉产品——颗粒冷水溶胀溶粉，这种淀粉与传统的预糊化淀粉相比较，具有很多独特的优点，可以作冷冻微波食品的配料。首先这种淀粉具有较高的粘度和粘度稳定性，高粘度使得淀粉用量可以减少 7%~10%，而淀粉用量的降低可以减少风味物质的吸收和被掩盖，减少盐和香料组成的用量；其次，这种淀粉能够在冷水中调成糊，并且达到较高的粘度，缩短调理时间；第三，这种淀粉具有优异的冻融稳定性和微波加热适应性，在微波加热过程中，它的持水性仍然较好，能够改善食物的质构和口感，使之外观细腻而有光泽。

烹煮式食品依靠面粉或烹煮式淀粉来产生粘度和稠度，但是淀粉只有在达到 70℃ 时才会有较高粘度，如用微波加热，约需要 2min 时间。在这个过程中，面粉和未糊化的淀粉颗粒在稀糊中会沉底或分层，使得容器下部很稠甚至成胶而上面却较稀，当然消费者可以进行搅拌，但这使得粉末食品的方便性降低。

使用预糊化淀粉或许可以使得面糊在较短时间内形成粘度，使得配料能较稳定地悬浮分散，但传统的预糊化淀粉粘度不会很高，效果不太理想。而选择添加某些胶体物质，由于胶体在水中分散较为困难，因此也不能表现出较好的粘度和稳定性，用微波

加热后，食品会出现较粗的颗粒。解决这一问题的方法仍然是使用变性淀粉。研究表明，选择适当比例的预糊化淀粉和烹煮式淀粉可以使产品能适应微波加热调理。烹煮式淀粉受热后产生粘度，使得食品能具有较好的稳定性和平滑的质构。使用颗粒冷水溶胀淀粉也能起到较好的效果，并且它还具有显著的耐微波加热特点。使用颗粒冷水溶胀淀粉，食品粘度能迅速形成，而且淀粉用量可以适当降低。

用微波焙烤面包和蛋糕至今仍然具有挑战性，因为除了色泽和脆性外，微波焙烤面食品的质构也是一个主要的问题。由于淀粉老化和水分的迁移，使得微波焙烤食品的质构硬和口感粗。

在配方中加入少量的交联稳定化糯玉米淀粉（占面粉质量的3%~5%）可以使这些问题得到有效的改善。交联稳定化糯玉米淀粉与其他玉米淀粉或小麦淀粉相比，具有较低的淀粉糊化温度（55℃左右）以及优异的抗缔合和抗老化能力。这种淀粉已成功地用于许多传统焙烤食品中，以提高面包等食品的柔软度，延长货架寿命。它的较低的糊化温度使之在微波加热过程中也能充分溶胀。这种淀粉相互缔合而导致淀粉老化的倾向比一般淀粉来得小，因此能赋予冻面团较好的抗冻融稳定性。

许多速溶淀粉具有较高的水化速度和持水能力，在微波焙烤过程中能提高制品水分的保持性，使得产品的口感得到改善。与小麦淀粉相比，这些淀粉与水结合的能力显著提高，最终焙烤制品的柔软性也得到相应的改善。

微波焙烤蛋糕在西方很受欢迎。与传统焙烤方法相比较，用微波焙烤加工时间显著缩短，因此会影响到淀粉的充分糊化和化学膨松剂的效果。加入预糊化淀粉对改善面糊的粘度和提高水分含量起着重要的作用。预糊化淀粉溶于水后即形成粘度而增稠，能够包裹更多的空气泡，增大蛋糕的比体积，使其结构更加松软。

研究表明，减少微波蛋糕配方中的水分含量可以减少面团的

表面坍塌和增大蛋糕体积。速溶淀粉或预糊化淀粉将起到很大作用，因为它们结合水的能力比较强，因此小麦淀粉结合的水量就会减少。

4.10.2.7 在饮料中的应用

在搅拌、均质处理或压力下，亲脂性淀粉会形成非常微小、稳定型极佳的乳胶体，可作为乳化液稳定剂，取代干酪素、明胶和阿拉伯胶在食品中应用。除了能形成稳定的乳化液外，亲脂性淀粉还具有优异的成膜性质，可作为胶囊剂广泛应用于产品中，包括饮料乳浊液、香精、维生素微胶囊剂、饮料混浊剂、乳脂肪球上浮促进剂、喷雾干燥香精和各种液体乳化剂。亲脂性淀粉能赋予乳浊液稳定性，用以代替阿拉伯胶在香精乳浊液和饮料乳浊液中应用，如橘子汁饮料、可乐饮料和冷冻果汁饮料等。这种淀粉能够提供多种优于传统胶囊剂的好处，例如，与阿拉伯胶相比，它在冷水中的分散能力较佳，能减少高达 25% 的胶囊剂用量，并且，用于形成乳化液的能耗也较少，从而节省生产成本。

亲脂性淀粉的保油量比传统的囊材高出 1 倍，是一种理想的微胶囊壁材，适用于喷雾干燥系统。而且，即使在高含油量的食品体系中，它仍可发挥各种功能。采用传统的囊材去包埋高含油量的产品，往往会降低产品的抗氧化能力，亲脂性淀粉的载油量高达 40%，可圆满地解决这个问题。此外，它可形成稳定的水包油乳液，能在高含油量的产品中减少表面油的存在，故可理想地用于包埋那些易氧化变味的香精，如橙油。研究表明亲脂性淀粉的负油量和抗氧化性能远远优于阿拉伯胶。

与其他胶囊剂不同，亲脂淀粉可以单独使用而不需要载体，其低粘度、高负载率的特性可降低生产能耗，同时不需额外添加乳化剂和其他配料，从而可大幅度降低原料和加工成本；其高纯度和中性的口味，不会影响香基成分的释放。采用亲脂淀粉制成的微胶囊制品，可普遍应用于包括干混产品在内的各种食品和饮料中。

酸奶是以牛奶或奶粉分散在水中，加乳酸菌发酵而成的。无论是制作凝固型酸奶还是饮料型酸奶，都要加入稳定剂，增加酸奶的粘稠性，改善其质地和口感，防止内容物脱水收缩和乳清的分离。所用变性淀粉要具有抵抗酸性环境和杀菌时温度的影响的能力，同时粘稠性要好，不易回生。用交联酯化或醚化淀粉比较合适。

固体饮料是饮料中另一大类，还有配制性的汤料，要求经开水冲调后即能形成均匀的饮料或汤，并能稳定半小时以上，所形成的饮料或汤具有粘稠、爽口感。据此，可以使用预糊化淀粉、麦芽糊精或酯化淀粉等。在芝麻糊、米粉、豆奶粉中加入少量 CMS，可显著提高固体物料的复水性，使冲调后粘度增加、口感细腻。

4.10.2.8 在调味品、馅中的应用

淀粉基脂肪代用品已经成功地应用于各种低脂肪食品中，这类化合物对脂肪的替代率限制在 50% ~ 70% 之间，大多被人体吸收不会带来不良的生理效果。下面列举淀粉基脂肪代用品在低能量食品中的应用配方实例（%）。

色拉调味料：淀粉基脂肪代用品 48.9, 醋 21.5 水 19.9 砂糖 4.8, 盐 1.9, 固体玉米糖浆 1.7 香料 1.1 黄原胶 0.2。

豆沙馅是由赤豆经漂洗、蒸煮、研磨、沥水、炒沙（加油、加糖）工艺制得的。传统工艺制得的豆沙馅放置时间长后，易回生，口感变粗而不细腻。若在炒沙过程中加入 15% 左右醋酸酯化与交联复合变性的淀粉，一方面，利用这种淀粉的亲水性和保水性能好的特点，使成品豆沙馅吸水能力大大增加，从而提高了出品率，炒沙时间大大缩短，成品放置一段时间后，不回生，口感仍细腻如初；另一方面，由于醋酸酯化与交联复合变性淀粉具有一定的乳化性，使贮藏一段时间后的豆沙馅中油不析出。

调味料包括辣椒酱、番茄酱、草莓酱等，这一类酱需要使用增稠剂。使用变性淀粉后，一方面成本比原来使用胶类大大下降；同时，酱稳定，长时间存放不分层，酱的外观有光泽、口感细腻。

这类增稠剂可以选用氧化淀粉，但交联酯化淀粉更为合适。

颗粒冷水溶胀淀粉能赋予食品“浆状”或“粒状”质构，不论在高酸性或低酸性的食品中均适用，使产品在外观和口感上都得到改进。由于这种淀粉能在加工食品中模拟番茄和果浆的特性，特别适合于开发番茄产品，制造具有“真番茄”特征和高度“浆状”外观的产品。此外，颗粒冷水溶胀淀粉与果汁一起蒸煮而成的浆汁，质构与利用真正破碎水果蒸煮而成的浆汁非常相似，可作为烘烤食品理想的水果馅料。

4.10.2.9 在肉制品中的应用

在肉制品中添加一定量的变性淀粉可以起到粘合、填充、增强持水性等作用，使肉制品的品质有所改善，如组织形态、弹性等。研究表明在午餐肉中添加 12% 的交联稳定化木薯淀粉，对午餐肉的色泽、弹性、组织形态、口感、储存稳定性等有很好的效果。

在午餐肉和火腿肠中，原大多使用玉米淀粉。由于玉米淀粉的回生，使贮藏后的肉制品质地松散而不柔软，严重的则变得口感粗糙。用交联酯化淀粉部分或全部替代玉米淀粉，可以改善肉制品的吸水量，增加其粘结性，同时，可以利用这类淀粉的回生程度大大下降的特性，而使贮藏后的肉制品仍具有细腻的口感。淀粉经交联后，还可提高淀粉的糊化温度，在肉开始煮熟过程中，淀粉不糊化或糊化慢，热传递快，可缩短加热时间，节约能耗，降低生产成本。一般肉制品中变性淀粉用量在 3% ~ 8%

24% 的变性淀粉，可完全 感化 过 0 T 感化 0 (肉 定 0 1

4.10.2.10

这类淀粉主要用于糖果、胶冻软糖和胶姆糖生产。例如，将 12.43kg 的 70 流度的酸变性淀粉用适量水调成浆，加入 43.5kg 砂糖、43.5kg 淀粉糖浆至熬糖器中加热熬煮，不断搅拌，当浓度达到 70% 时熬糖即完成，当温度下降至 90 ~ 93 时，加入香料、色素和有机酸充分混合，然后浇模成形，烘干后即得半透明的稳实饱满的淀粉软糖。

34.5% 的变性糯质玉米淀粉、24% 葡萄糖浆、27.7% 蔗糖和 20.8% 的水在压力锅中蒸煮除去多余水分后，调味着色，然后压制成形，干燥 1 ~ 3 天，将水分从 50% 降至 10%，即生产出一种胶糖产品。

4.10.2.11 在面拖食品中的应用

在过去的 10 多年中，面拖食品的商业生产获得了长足发展，这从油炸鸡腿和面拖鱼、虾的日益流行中可见一斑。今天油炸面拖蔬菜的产量的增长也很迅速。这些产品在西方市场上目前大多是在超市的冷藏柜中出售，消费者买回家后可以微波炉加热熟制。

面糊的种类一般可分为粘附面糊和膨化面糊。粘附面糊含有较多的淀粉，能很好地将面包屑粘附在食品上；膨化面糊在油炸时会膨胀，主要作为最后涂在食品上的涂料层。

对于以淀粉为主要成分的面糊来说，表层的失水干燥促使淀粉形成淀粉膜，这层膜的强度以及可能发生的褐变程度与表层淀粉中直链与支链淀粉的比例很有关系。研究表明，直链淀粉的含量越高，淀粉膜的强度越大，表皮的脆性越好。此外，直链淀粉的比例越高，淀粉膜的阻油、阻水性能也越好。试验表明，面拖食品的脆性主要来自于面包屑和面糊的脆性，而有些面拖食品中面包屑的用量很少或根本不用面包屑。此外，微波加热过程中水分蒸发使得食品内层表皮变软甚至潮湿，即使使用面包屑，食品的脆性也要受到很大影响，因此面糊的脆性很重要。

某些淀粉对面拖食品的表皮脆性很有帮助。氧化淀粉在各

种油炸食品中能改进产品的组织和脆性，主要应用于海产品、禽类、蔬菜或其他难于粘附上面包屑的原料。直链淀粉呈线形结构的分子之间能以氢键相互缔合，因此它的成胶和成膜性能比一般淀粉要好，而且膜的强度相对也较高。高直链淀粉是一种非变性的玉米淀粉，直链淀粉含量比一般玉米淀粉要高出一倍（从 28% 提高到 70%），它的物理性状为白色或浅白色粉末，这种玉米淀粉在面糊中的用量在达到淀粉总量的 25% ~ 50% 时，其优异成膜性能就能使得面拖食品的表皮保持很好的脆性，而且有助于褐变的发生，使得油炸制品的色泽诱人；但是，这种高直链淀粉的糊化温度较高，相应地要求油炸温度更高，一般要在 155 ~ 170 之间。为了降低热加工温度，并且要保证淀粉的充分糊化，应将这种高直链淀粉适当变性，既保留它良好的成膜性能，又使得其糊化温度大为降低，减少油脂的渗透，降低食品中的脂肪含量等。

4.11 变性淀粉检测分析

4.11.1 白度的测定

4.11.1.1 原理

通过样品对蓝光的反射率与标准白板对蓝光的反射率的对比得到样品的白度。

4.11.1.2 仪器

- a. SBD 白度计：附有陶瓷白度板或优级氧化镁白度板。
- b. 压样盒。

4.11.1.3 测定步骤

样品应进行充分混合，样品量约 200g。

用有量值的陶瓷白度板或优级氧化镁白度板校正仪器。

取 6 ~ 7g 混合好的样品放入压样器中，根据白度仪所规定的制备方法压制成表面平整的标准白板，不得有裂缝和污点。

用 425nm 波长的蓝色滤光片进行测定，仪器显示数即为白

度值。

4.11.2 氧化淀粉中羧基含量的测定

4.11.2.1 原理

含羧基的淀粉用无机酸将羧酸盐转变成酸的形式，过滤，用水洗去阳离子和多余的酸，洗涤后的试样在水中糊化并用标准碱液滴定。

4.11.2.2 测定步骤

称取 5.000g 或 0.150 0g（后者用于高氧化度淀粉）样品于 150ml 烧杯中加 25ml, 0.1mol/L HCl 溶液，混合物在 30min 内不断摇动搅拌，然后用玻璃砂芯漏斗过滤，用无氨蒸馏水洗至无氯离子为止。将脱灰后的淀粉转移到 600ml 烧杯中，加 300ml 蒸馏水加热煮沸，保温 5 ~ 7 min，趁热以酚酞作指示剂，用 0.1 mol/L NaOH 标准溶液滴定至终点，消耗的体积为 V_1 。

空白：原淀粉于 600ml 烧杯中加 300ml 蒸馏水糊化，用 NaOH 标准溶液趁热滴定至酚酞变色，消耗的体积为 V_2 。

$$\text{羧基含量} = \left(\frac{V_1}{m_1} - \frac{V_2}{m_2} \right) c \times 0.045 \times 100\%$$

式中 m_1 ——氧化淀粉称样量（g）

m_2 ——原淀粉称样量（g）

c ——HCl 溶液的浓度（mol/L）

4.11.3 氧化淀粉中羰基含量的测定

羟胺法利用羰基与羟胺反应生成氨，用酸滴定即可求得羰基含量。

4.11.3.1 仪器与试剂

恒温水浴，滴定管。

羟胺试剂：将 25.00g 盐酸羟胺（分析纯）溶于蒸馏水中，加入 100ml, 0.5mol/L NaOH，加蒸馏水稀释到 500ml，此溶液不稳定，

过 2 天应重新配制。

0.100 0mol/L HCl 标准溶液。

4.11.3.2 操作步骤

称取过 40 目筛的氧化淀粉样品 5.000g (绝干)放入 250ml 烧杯里加 100ml 蒸馏水,搅匀,在沸水浴中使淀粉完全糊化。冷却至 40℃ 调 pH 至 3.2 移入 500ml 的带玻璃塞三角瓶中,精确加入 60ml 羟胺试剂,加塞,在 40 保持 4h。用 0.100 0mol/L HCl 标准溶液快速滴定到 pH3.2,记录消耗的体积 (ml),称取同样质量的原淀粉进行空白滴定。

$$\text{羰基含量} = \frac{(V_1 - V_2) \times 0.100 0 \times 0.028}{m} \times 100\%$$

式中 V_1 ——滴定空白 HCl 标准液体积 (ml)

V_2 ——滴定样品 HCl 标准液体积 (ml)

m ——样品量 (g)

4.11.4 双醛淀粉中双醛含量的测定

称取已知含水度的双醛淀粉 0.150 0 ~ 0.200 0g 置于 125ml 锥形瓶中,用移液管加入 10ml 标准无碳酸盐的 0.25mol/L NaOH 溶液,慢慢转动烧瓶,立即置于圆形开口直径 5.5cm 的蒸汽浴中 1min。取出烧瓶,立即置于沸水中并快速转动 1min。用移液管加入 15ml 标准 0.25mol/L ($\frac{1}{2}$ H₂SO₄) 溶液、50ml 水和 2 滴 0.1% 酚酞,用 0.25mol/L NaOH 标准溶液滴定至终点。

4.11.5 交联度的测定

4.11.5.1 仪器

离心沉降机(4 000r/min), 刻度离心管(10ml), 单孔水浴锅, 温度计(0 ~ 100℃) 秒表 移液管(25ml)。

4.11.5.2 操作步骤

准确称取 0.5g 绝干样品于 100ml 烧杯中,用移液管加 25ml

蒸馏水制成 2%浓度的淀粉溶液。将烧杯置于 82 ~ 85℃ 水浴中，稍加搅拌，保温 2min，取出冷却至室温。用 2 支刻度离心管分别倒入 10ml 糊液，对称装入离心沉降机内，开动沉降机，缓慢加速至 4 000r/min。用秒表计时，运转 2min，停转。取出离心管，将上层清液倒入另一支同样体积的离心管中，读出的体积 (ml)，即为沉降积。对同一样品进行两次平行测定。

$$\text{沉降积} = 10 - V(\text{ml})$$

式中 V ——清液的体积 (ml)

4.11.6 pH 的测定

与滴定的酸度相比，pH 是测定淀粉和变性淀粉的有效酸度或碱度。本方法规定了用酸度计测定淀粉或变性淀粉糊 pH 的方法，适用于试样悬浮液在沸水浴中加热糊化的淀粉或变性淀粉糊 pH 的测定。

4.11.6.1 原理

将 pH 计的复合电极或玻璃电极和甘汞电极浸在规定浓度的淀粉或变性淀粉糊中，在两个电极之间产生电位差，直接在仪器上读出 pH。

4.11.6.2 仪器和试剂

pH 计 精度 0.1pH。

标准 pH 缓冲液，无二氧化碳的水。

4.11.6.3 操作步骤

pH 计的校正见 pH 计说明书。

4.11.6.4 pH 的测定

a. 样品的准备 按浓度 6% 计算用天平称取折算成干物质量为 $12 \pm 0.1\text{g}$ 的样品，放入 400ml 烧杯中，加入除去二氧化碳的冷蒸馏水，使水的质量与所称淀粉质量之和为 200g，搅拌以分散样品，把烧杯放在沸水浴中使水浴液面高于样品液面。搅拌淀粉乳至淀粉糊化 (大约 5min)，盖上表面皿再煮大约 10min (放在水

浴中总的时间为 15min)。在冷水浴中立即冷却至室温 (约 25℃), 从冷水浴中取出并搅拌以破坏已形成的凝胶。

b. 测定 用磁力搅拌器以足够的速度搅拌淀粉糊使其在溶液表面形成小的漩涡。在淀粉糊中插入已标定好的、用蒸馏水冲洗过的并用柔软吸水纸擦干的电极, 待读数稳定后, 观察并记录 pH, 精确至 0.1pH 单位 连续测定 3 次, 取平均值。

试验后立即用蒸馏水仔细冲洗电极。

对同一样品进行两次测定。

结果表示: 取平行试验结果的算术平均值为实验结果, 结果保留一位小数。

允许差: 平行试验结果的算术平均值之差不大于 0.2 个 pH。

4.11.7 粘度的测定

淀粉粘度是指淀粉样品糊化后的抗流动性, 可用粘度计测得样品的粘度, 并以 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 来表示。本方法规定了用旋转粘度计测定淀粉的粘度的方法, 适用于淀粉和变性淀粉样品。

4.11.7.1 原理

在 45.0~95.0 的温度范围内, 样品随着温度的升高而逐步糊化, 通过旋转粘度计可得到粘度值。此粘度值即为当时温度下的粘度值。淀粉糊在一定的温度下, 粘度随时间的变化而变化, 从而测得淀粉粘度的热稳定性, 做出粘度值与温度、时间曲线图, 即可得到粘度值及当时的温度和粘度波动情况。

4.11.7.2 仪器

粘度计: NDJ—79 型旋转式粘度计, 配有二单元附件转筒及特殊转筒, 能通过恒速旋转, 使样品产生的粘滞阻力通过反作用的扭矩表达出粘度。与仪器相连的还有一个温度计, 其刻度值在 0~100℃, 并且有一个加热保温装置以保持仪器及淀粉乳液的温度在 45.0~95.0℃ 变化且偏差在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

天平: 精确度为 0.1g。

变速电动搅拌器：搅拌速度 120r/min。

三口烧瓶：500 或 1 000ml。

平口吸管：25ml。

冷凝器，超级恒温槽，吸球。

4.11.7.3 操作步骤

a. 样品的准备 样品应充分混合。

b. 样品量 按浓度 6%计算用天平称取折算成干基质量为 54g 的样品，放于 1 000ml 三口瓶内，加入蒸馏水或纯度相当的水，使水的质量与所称淀粉质量之和为 900g。

c. 样品乳液的准备和糊化 将三口瓶放在超级恒温槽上，装上冷凝管和搅拌器，并且密闭。打开升温装置、搅拌器，通冷凝水，慢慢加热并不断搅拌（转速为 120r/min）。

d. 粘度计的准备 按粘度计所规定的操作方法进行校正调零。接通电源，在电机旋转下拧调零螺丝，将指针调到零位，并重复开关，验证零位是否正确。将仪器测定桶与保温装置相连，打开保温装置，将已恒温的测定桶放在托架上。

e. 测定 将测定桶和淀粉乳液的温度通过保温装置分别同时控制在 45℃、55℃、65℃、75℃、85 和 95℃。在保温装置到达每个温度时，从有淀粉乳的烧瓶中吸取淀粉乳液加入到粘度计的测量桶内测量粘度。将转筒上的钢丝挂到转轴的挂钩上，这时转筒上端不应露出浆液面，下端不应碰到底部。启动电机，转筒转动稳定后，用手左右移动测量筒，使转筒逐渐处于测定器的中心位置，待指针稳定后，即可读数，记下各温度时的粘度值，重复二次，计算算术平均值。

当温度升至 95 时在 95℃保温，并从升到 95℃时开始计时，每隔 30min 测定一次粘度值，共保温 3h。

f. 测定次数 对同一样品进行二次测定。

4.11.7.4 测定结果的计算与表示

a. 粘度值—温度变化曲线 以粘度值为横坐标，根据所测得

的数据做出粘度与温度变化曲线，从做出的曲线中，找出所对应温度的粘度值、最高粘度值及所对应的粘度。

样品的粘度：在 95 保温 1h 所测得的粘度即为样品粘度 (mPa·s)

b. 粘度热稳定性

粘度热稳定性 (%) = 100 - 粘度波动率。

粘度波动率是样品从升到 95 保温开始计时，每 30min 测定一次粘度值，共测定 6 次(3h)，后 5 次测定的粘度值的极差与 95 保温 1h 测定的粘度值的比值。

$$\text{粘度波动率} = \frac{\max|\eta - \eta'|}{\eta_1} \times 100\%$$

式中 η_1 ——在 95 保温 1h 测得的粘度值 (mPa·s)

$\max|\eta - \eta'|$ ——升到 95 保温开始计时，每 30min 测定一次粘度值，共测定 6 次(3h)后 5 次测定的粘度值的极差

允许差：分析人员同时或连续进行二次测定，其结果之差的绝对值应不超过平均结果的 10%，如允许差超出此限，应重新测定。

4.11.7.5 造纸工业粘度测定

a. 涂布用变性淀粉：称取 30g 或 20g 25g，(绝干)样品于 250ml 烧杯中，加 70ml 水搅拌分散，置于 95℃ 水浴中，待糊化后保温 15min，取出冷至 55℃ (有的工厂冷至 30℃)，用 NDJ—1 型粘度计在 60r/min 时用 3 号转子测定粘度。

b. 表面旋胶用变性淀粉：称取 6g (绝干)样品于 250ml 烧杯中，加 94ml 水搅拌分散并置于 95 水浴中，待糊化后保温 15min 取出冷至 55℃ 用 NDJ—1 型粘度计在 60r/min 时用 3 号转子测定粘度。

4.11.8 淀粉糊化度、老化度的测定

淀粉在水中受热糊化时会发生颗粒膨胀、粘度上升等各种变

化。通常以淀粉酶的分解性的变化为指标来反映淀粉的糊化程度。本法采用对生淀粉完全不分解的 β -淀粉酶和对支链淀粉的立体结构变化十分敏感的异淀粉酶的混合酶系来测定淀粉糊化和老化的程度，从而了解淀粉的老化程度。

a. 样品测定 将 80mg 脱水粉末样品（若是淀粉糊样品，则取相当于 80mg 淀粉的量）置于玻璃均化器内，加入 80ml 水进行分散。取两只 25ml 容量瓶，分别加入 2ml 均匀样品。其中一只用 0.8mol/L CH_3COOH 缓冲溶液（pH6.0）定容，作为供试样品。另一个容量瓶中加入 0.2ml, 10mol/L NaOH 溶液，在 50℃ 水浴中保温 3~5min，使淀粉完全糊化，再加 1ml 2mol/L CH_3COOH 溶液使溶液的 pH 为 6.0 然后用 0.8mol/L CH_3COOH 缓冲液定容至 25ml，作为完全糊化样品。取供试样品 4ml 加入 1ml β -淀粉酶-异淀粉酶混合液，置于 40℃ 恒温槽中振荡反应 30min。同时，另取供试样品 4ml 加入 1ml 失活的配液，在同一条件下反应作为空白。反应结束后，取 1ml 反应液置于沸水浴中 5min，使酶失活，再稀释 5 倍。取 1ml 稀释液用纳尔逊-索模吉（Nelson-Somogyi）比色法测定还原糖，取 0.5ml 用酚硫酸法测定总糖量。

b. 糊化度、老化度的表示 糊化度是以完全糊化样品分解度为 100 时，被检测溶液的分解度除以 100 来表示。

老化度是以糊化度的减少来表示。

c. 计算

$$\text{糊化度} = \frac{(m_A - a) \div 2 m_B}{(m'_A - a) \div 2 m'_B} \times 100\%$$

式中 m_A ——未糊化样品还原糖的生成量（ μg ）

m'_A ——糊化样品还原糖的生成量（ μg ）

m_B ——未糊化样品的总糖量（ μg ）

m'_B ——糊化样品的总糖量（ μg ）

a ——空白对照数（ μg ）

4.11.9 蛋白质的测定

见 2.9.3 淀粉中蛋白质含量的测定

4.11.10 氧化淀粉游离氯的定性检测

游离氯是指氧化淀粉中残存的有效氯，本方法规定了氧化淀粉中游离氯的定性测定，适用于用次氯酸钠作氧化剂的氧化淀粉。

4.11.10.1 原理

若氧化淀粉中残存有氯，会使碘化钾中的碘离子氧化成单质碘，单质碘遇淀粉显蓝色。

4.11.10.2 仪器

白色点滴板，滴管。

4.11.10.3 试剂

10%碘化钾 30%醋酸。

4.11.10.4 分析步骤

取少量氧化淀粉试样于白色点滴板上，滴上 30%醋酸一二滴 再滴上 10%碘化钾一二滴，立即观察，若无蓝色出现，则证明无有效氯存在。

4.11.11 淀粉醋酸酯取代度的测定

4.11.11.1 原理

醋酸酯淀粉在强碱性条件下水解为淀粉和醋酸钠，用标准酸滴定水解后剩余的碱，从而计算出醋酸酯淀粉水解所消耗的碱量，根据公式计算出醋酸酯淀粉的取代度。

4.11.11.2 仪器

电磁搅拌器或机械震荡器，碘量瓶，50ml 酸式滴定管。

4.11.11.3 试剂

0.5mol/L NaOH, 0.1mol/L NaOH, 0.2mol/L HCl, 1% 酚酞。

4.11.11.4 操作步骤

准确称取 5g 折合成干重的试样于 250ml 碘量瓶中，加 50ml 蒸馏水，滴加一滴酚酞，用 0.1mol/L NaOH 调至微红色不消失。用 25ml 移液管吸取 25.00ml 0.5mol/L NaOH 加入碘量瓶中，盖上瓶塞，在电磁搅拌器上搅拌 1h 或在机械振荡器中震荡 0.5h 用少量蒸馏水冲洗瓶塞及碘量瓶的内壁，用 0.2mol/L HCl 标准溶液滴定至红色消失为终点。记下消耗盐酸的体积，同时用 5g 原淀粉做空白试验。

$$\text{乙酰基含量 } w_{Ac}(\%) = \frac{(V_2 - V_1)c \times 0.043}{m}$$

式中 V_2 ——空白消耗盐酸的体积 (ml)

V_1 ——样品消耗盐酸的体积 (ml)

c ——HCl 溶液的浓度 (mol/L)

m ——样品重 (g)

$$\text{醋酸酯淀粉的取代度 (DS)} = \frac{162 w_{Ac}}{4300 - 42 w_{Ac}}$$

4.11.12 淀粉磷酸酯取代度的测定

磷酸酯淀粉取代度的测定，主要是对磷酸酯淀粉结合磷量的测定。结合磷量 = 总磷量 - 游离磷量。本测定采用湿法灰化法，用硫酸—硝酸混合氧化破坏有机质测定总磷，用盐酸溶液洗涤溶解测其游离磷量，算出结合磷量。

a. 游离磷的测定 将 2g 试样用稀盐酸溶解后，定量转移至 250ml 容量瓶中，充分摇动 5min，稀释至刻度，摇匀，过滤待用。

用移液管吸取以上滤液 50 ~ 100ml (视磷含量而定) 于烧杯中加 HNO₃ 5ml，用水稀释至约 120ml。加热煮沸约 5min，用 30ml 喹铜柠酮沉淀。继续煮沸，并在低温保持片刻，待沉淀与溶液分清时，取下冷却，中间搅拌 1 ~ 2 次。用脱脂棉过滤，以倾析法洗涤沉淀三四次。将沉淀转移到漏斗上，继续用水洗至滤液不

呈酸性（取约 20ml 滤液，加 1 滴混合指示剂和 1 滴 NaOH 溶液，所呈颜色与处理同体积蒸馏水颜色相同为止。或用广泛 pH 试纸检查）。将黄色沉淀与棉花一起洗进原烧杯中，加入过量（约 5ml）NaOH 标准溶液至沉淀完全溶解，加水稀释至 150ml 加 0.5ml 混合指示剂，再以标准 HCl 溶液滴定过量的标准碱。

b. 总磷测定 称取 1 ~ 1.5g 试样置于 50ml 凯氏瓶中，加入 15ml H₂SO₄-HNO₃ 混合液，并在瓶口上置一短颈漏斗，在电炉上先低温后高温加热，使瓶内液体沸腾，直至变成无色。若溶液出现的黑色或暗棕色不退，则可逐步加入数滴硝酸，至消化进行到液体清亮。冷却后，转移入 250ml 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。吸取 50 ~ 100ml 溶液于烧杯中，加水至约 120ml 煮沸、沉淀与游离磷测定操作相同。

c. 结果计算

$$\text{磷含量} = \frac{(c_{\text{NaOH}} \times V_1 - c_{\text{HCl}} \times V_2) \times 0.001191 \times 100}{m \times D} (\%)$$

式中 0.001191——每毫摩磷相当的克数（g/mmol）

D ——分样试液与试液体积之比

结合磷量 = 总磷量 - 游离磷量

$$DS = \frac{\text{结合磷量} \times 162/30.974}{(100 - \text{水分含量}) - (\text{游离磷量} \times K_1 + \text{结合磷量} \times K_2)}$$

式中 K_1 ——游离磷换算成磷酸盐的系数，如以磷酸钠计，则 $K_1 =$

3.8734

K_2 ——游离磷换算成结合磷酸酯基团的换算系数，以磷酸

钠计，则 $K_2 = 3.2922$

4.11.13 阳离子淀粉取代度的测定

季胺型阳离子淀粉由于在淀粉分子中引入了氮元素，使阳离子淀粉的含氮量增加，通过测定阳离子淀粉的含氮量可计算出阳离子淀粉的取代度 DS。

4.11.13.1 仪器

凯氏定氮仪一套。

4.11.13.2 试剂

H₂SO₄, CuSO₄, K₂SO₄ 2% 硼酸溶液, 40% 氢氧化钠, 0.05mol/L HCl 标准溶液, 甲基红—亚甲基蓝混合指示剂。

4.11.13.3 分析步骤

a. 样品的消化 精确称取 2~3g 试样于凯氏烧瓶内, 注意不要将样品粘在瓶颈上, 加 10g K₂SO₄ 和 0.5g CuSO₄, 小心加入 20ml 浓硫酸, 将烧瓶放在电炉上小火加热, 待消化液完全变黑后, 再大火煮至溶液完全变清, 再加热 30min, 冷却至室温。

b. 蒸馏 将消化液完全转移至 100ml 容量瓶中, 用蒸馏水定容至刻度, 吸取 25.00ml 于蒸馏室内, 加 20ml 40% 氢氧化钠, 按标准方法测定, 吸收液用 0.05mol/L 盐酸滴定。同时用原淀粉做空白试验。

$$w = 100 \times (V - V_0) c \times 0.014]$$

$$DS = 162(w_2 - w_1) / (1400 - 151w)$$

式中 w ——阳离子基团含量(%)

V ——试样消耗盐酸体积(ml)

V_0 ——空白消耗盐酸体积(ml)

c ——HCl 的浓度 mol/L

DS——阳离子淀粉的取代度

w_2 ——测定的阳离子含量

w_1 ——空白测定的阳离子含量

4.11.14 羧甲基淀粉取代度的测定

4.11.14.1 原理

羧甲基淀粉试样用酸溶液充分洗涤, 使其全部转化成酸式 CMS(HCMS), 然后加入过量的 NaOH 标准溶液, 使 HCMs 与 NaOH 发生中和反应, 再用标准 HCl 溶液返滴剩余的 NaOH 从而

测得 CMS 的取代度。或者不是加过量 NaOH 标准溶液后进行返滴定，而是直接用标准 NaOH 溶液滴定。

4.11.14.2 仪器与试剂

电磁搅拌器，滴定管 (50ml) 烧杯 (50ml)。

2mol/L HCl 溶液 (用 70% 甲醇溶液配制)，0.1mol/L NaOH 标准溶液 0.1mol/L HCl 标准溶液，0.1% 酚酞指示剂。

4.11.14.3 操作步骤

准确称取 0.5g 样品置于 50ml 小烧杯中，加入 2mol/L HCl 溶液 40ml，用电磁搅拌器搅拌 3h。过滤，再用 80% 甲醇溶液洗涤酸化后的样品，至洗涤液中不含氯离子。用 0.1mol/L NaOH 标准溶液 40ml 溶解，在微热条件下使溶液呈透明状，立即用 0.1mol/L 标准 HCl 溶液反滴至酚酞指示剂的红色刚退去。或者用甲醇洗至无氯离子后，将滤饼定量地转移至一干烧杯中，用 100ml 水分散，在沸水浴中加热 15min，冷却，用 0.1mol/L NaOH 标准溶液滴定至酚酞指示剂变粉红色为止。

4.11.14.4 结果计算

$$w_A = \frac{(c_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} - c_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}})}{m} \times 100\%$$

式中 m ——样品质量 (g)

w_A ——乙烯基含量 (%)

$$DS = \frac{162 w_A}{5900 - 58 w_A}$$

5. 淀粉在发酵工业中的应用

5.1 真菌油脂

5.1.1 概述

真菌油脂是指人们利用酵母菌或霉菌的发酵作用，将其细胞内所积累的油脂经科学的方法提取并精炼出的纯净油脂。该油脂的成分组成类似于植物油，主要是中性油脂、游离脂肪酸、类脂物及不皂化物；脂肪酸构成与一般植物油相同，尤以油酸、亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸、软脂酸、硬脂酸含量较多，具有良好的可消化性。

人们对于真菌油脂的兴趣不仅在于它的营养性和可消化性，同时还包括它巨大的开发潜力和良好的市场前景。与植物油脂和动物油脂相比，真菌油脂突出的特点主要表现为：①产油真菌繁殖速度快，生产周期短，产油率高；②生产原料来源广泛；③不占用耕地，不受季节、气候变化的影响；④节省劳动力，能进行大规模工业化生产。因此，在世界人均耕地面积日益减少、自然环境严重恶化的今天，开发新型真菌油脂具有一定的现实意义。

5.1.2 真菌油脂的化学组成

如前所述，真菌油脂的主要构成成分为中性油脂、游离脂肪酸、磷脂及不皂化物，其中有些真菌的亚油酸的含量可高出棕榈油（组成见有关书籍）2倍以上（见表 5-1）。

表 5-1 部分丝状真菌的脂肪酸组成 单位：%（质量分数）

脂肪酸	构巢曲霉	产黄青霉	索氏青霉	小刺青霉
C ₁₆ 软脂酸	20.9	17.0	22	18.0
C ₁₈ 硬脂酸	15.9	5.7	7.6	11.9
油酸	40.3	53.3	45.2	43.3
亚油酸	17.0	20.8	20.0	21.1
亚麻酸	0.2	/	0.3	0.3

近年来的研究发现，一些丝状真菌中含有高活性的花生四烯酸以及由此转化而成的前列腺素。在酵母菌脂类中，存在有大量不饱和脂肪酸，如美丽红酵母（*Rhodotorula gracilis*）脂和掷孢酵母（*Sporobolomyces roseus*）脂的各种不饱和脂肪酸含量与棕榈油相近（见表 5-2）。

表 5-2 某些酵母菌脂类的不饱和脂肪酸含量 单位：%（质量分数）

菌名	C _{16:1}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}
土色隐球酵母	3.9	36	12.6	Tr.
掷孢酵母	1.0	37.6	3.9	3.6
美丽红酵母	1.2	60.1	12.0	2

研究人员发现，在培养红酵母、汉森酵母（*Hansenula*）和茁霉（*Pulularia*）时，可以通过显微镜观察到各种大小不同的胞外油脂。深层培养茂物假丝酵母（*Candida bogoriensis*）时，研究人员往往能观察到油滴状或白色长晶状的胞外脂类。对于粘红酵母（*Rhodotorula glutinis*）的胞内和胞外脂类的研究发现，它们的脂肪酸组分存在着实质性差别。在胞内脂类中基本上含有 6 种脂肪酸（主要是油酸），缺乏 C₁₉ 和 C₂₀ 的脂肪酸、羟基硬脂酸和羟基花生酸。而胞外脂类中则含有较高的（约占 30%）羟基硬脂酸和羟基花生酸。应该指出，真菌油脂组分与培养条件有密切

关系，如构巢青霉菌在 pH2.8 ~ 7.4 环境中，油酸量随 pH 上升而增加。在环境温度为 17℃ 或 30 时培养，其油酸、亚油酸、亚麻酸的积累量明显高于 25 的培养条件。因此，从生产性、经济性诸方面评价真菌油脂的组分，最佳培养条件将是不容忽视的。

5.1.3 重要的产油真菌

100 多年前，人们对产油真菌发生了兴趣，至第一次世界大战时，德国就试图利用产脂内孢霉 (*Endomyces vernalis*) 生产油脂。近年来，对于产油真菌研究较多的是酵母菌，其主要原因可能与酵母菌的安全性和油脂的积累量有关。例如油脂酵母 (*Lipomyces starkeyi*)、掷孢酵母、美丽红酵母等在适宜条件下，能合成达细胞干重 40% ~ 74% 的脂类 油脂生成率为 12% ~ 24.8% 。较为典型的例子是土色隐球酵母 (*Cryptococcus terricolus*) 其代谢过程趋于脂类的合成。

真菌中的霉菌在适宜的条件下合成脂类的能力差别较大，一些高产脂霉菌，如亚麻镰孢霉 (*Fusarium lini*)、球茎状镰孢霉 (*Fusarium bulbigenum*)、小刺青霉 (*Penicillium spinulosum*)、无冠构巢曲霉 (*Aspergillus nidulans*) 以及卷枝毛霉 (*Mucor circinelloides*) 等，其细胞油脂的积累量可达细胞干重的 25% ~ 65% 油脂生成率为 8% ~ 17.2% 。至今世界上对产脂霉菌及其产油条件进行了许多可行性研究，对于部分高产油霉菌脂类合成条件的研究，使油脂积累幅度已较前提高了 2 ~ 2.5 倍。现代临床医学、生物化学、生物技术等领域的研究人员发现，人体受肥胖、老龄、癌症、病菌侵染以及营养、环境等因素的影响，肌体的 Δ^6 -脱氢酶活力有不同程度的下降或丧失，以至于阻碍了 γ -亚油酸向 γ -亚麻酸的转化，使前列腺素不能顺利合成，最终导致高血压、糖尿病、肥胖、动脉硬化、血栓、妇女月经失调等一系列病症的发生。利用真菌生产 γ -亚油酸和 γ -亚麻酸将是解决上述病

症的重要途径。

一种被称为小克银汉霉 (*Cunninghamella*) 的真菌, 于高碳培养液中培养 3~5 天, 可产生富含 γ -亚油酸的脂类, 经皂化, γ -亚油酸的含量达 20% 以上; 而另一种称为被孢霉 (*Mortierella*) 的真菌利用葡萄糖或淀粉糖化液为原料, 培养 72h, 可积累大量脂类 其中 γ -亚麻酸的含量为 10%~16%, 如果利用脂酶对其进行选择性脂化处理, γ -亚麻酸的产生量可提高 50%~80%。

利用真菌生产类可可脂应该说不是一件麻烦的事。研究人员发现, 某些真菌所产生的脂类, 1,3-饱和、2-不饱和及三酰基甘油含量较高, 如 *Rhodospidium toruloides* 含量为 47.9%~49.2%, 研究人员只需通过结晶分离即可得到类可可脂。关键的问题是研究人员应首先筛选出优良菌株, 即可利用葡萄糖或淀粉糖化液发酵生产类可可脂。

目前已应用的重要产油真菌有: 美丽红酵母 (*Rhodotorula gracilis*) 以及产脂脂肪酵母 (*Lipomyces lipoferus*) 等(见表 5-3)。

表 5-3 重要的高产油真菌(细胞干重)

菌名	细胞油脂含量/%	油脂生成率*
油脂酵母 (<i>Lipomyces starkeyi</i>)	50~65	12~13
美丽红酵母 (<i>Rhodotorula gracilis</i>)	61~74	15~21
产脂脂肪酵母 (<i>Lipomyces lipoferus</i>)	50~63	15~20
小刺青霉 (<i>Penicillium spinulosum</i>)	37~63.8	16~23
无冠构巢曲霉 (<i>Aspergillus nidulans</i>)	51~57	12~18
卷枝毛霉 (<i>Mucor cirinelloides</i>)	46~65	10~14

* 按消耗基质所生成的油脂质量分数计。

5.1.4 真菌油脂的生物合成途径

生物化学的长足发展使研究人员对真菌油脂的生物合成途径有了基本的了解，尤以对真菌甘油三酯的生物合成过程研究得较为深入。真菌合成的甘油三酯是以 α -磷酸甘油与脂肪酰辅酶 A 或脂肪酰 ACP 为底物的酶促产物。 α -磷酸甘油可由两条酶促反应途径生成：一是甘油直接磷酸化而成，另一为糖酵解途径提供的磷酸二羟丙酮还原而成。

真菌脂肪酸的合成较为复杂，先由葡萄糖经 1,6-2-磷酸果糖降解生成丙酮酸，再由氧化脱羧生成的乙酰 CoA 作脂肪酸合成的底物，而酰基载体蛋白 (ACP) 则是脂肪酸合成酶体系的中心，它具有边缘巯基和中心巯基两个活性基团。脂肪酸合成时，这两个巯基分别与乙酰 CoA 和由乙酰 CoA 羧化而成的丙二酰 CoA 反应，使乙酰基和丙二酰基分别连接在边缘巯基和中心巯基上。接着，乙酰基转移到丙二酰基上并发生脱羧反应，生成与中心巯基相连的 β -酮丁酰基，从而使边缘巯基游离出来。而后 β -酮丁酰基相继发生还原、脱水、再还原反应而成为丁酰基。丁酰基再从中心巯基上转移到边缘巯基上，从而完成脂肪酰基加长一个 C_2 单位的过程。下一次合成仍从中心巯基上结合一个丙二酰基开始，再经上述过程，使与 ACP 相连的脂酰基加长一个 C_2 单位。整个脂肪酰碳链的加长就如此周而复始地进行，直至形成十六烷酰 ACP 为止。最终形成的这一长链脂酰 ACP 或与辅酶 A 结合生成脂酰 CoA，或直接水解生成游离脂肪酸。

在有氧条件下，真菌合成不饱和脂肪酸应首先以上述方式先合成饱和脂肪酸，然后再经脱氢生成不饱和脂肪酸；在无氧的条件下，当脂肪酰碳链进行 C_2 单位加长到一定长度时，所生成的 β -酮脂酰基仅进行一次加氢与脱水，而少去了最后一次还原作用。生成的含有一个双键的脂酰基则再次加长碳链，从而在脂肪酰分子中形成一个双键。

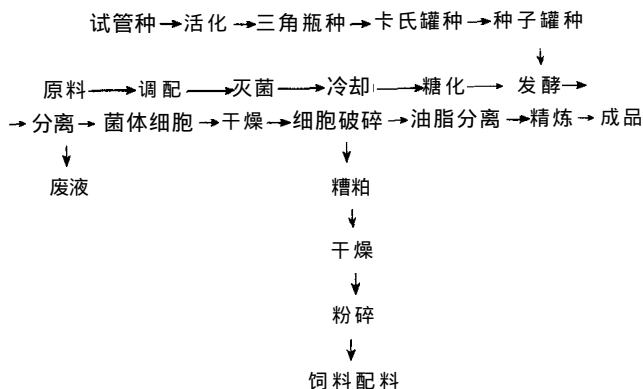
带环丙烷的脂肪酸是在不饱和脂肪酸的双键外通过交叉小桥的方式形成的，所增加的 C_1 来源于 S - 腺苷蛋氨酸的甲基。分支脂肪酸的分支部分是由分支氨基酸衍生而来的。

对于类固醇和类胡萝卜素的生物合成，首先由三个乙酰 CoA 经两次缩合生成 β - 羟基 - β - 甲基二酰 CoA，产物再经两次还原、两次磷酸化和一次脱羧而成异戊烯焦磷酸。三个异戊烯焦磷酸再经两次缩合与一次异构化作用生成法尼酯焦磷酸。法尼酯焦磷酸经不同途径形成类固醇和胡萝卜素。

5.1.5 主要生成原料

用于真菌油脂生成的碳源主要是淀粉和含淀粉的粮谷，此外，制糖工业的废糖蜜、纸浆工业的废水、粮油食品工业废弃物、各类纤维质原料水解液等，亦可作为生产真菌油脂的碳素来源。氮素营养物通常多选用铵盐、硝酸盐、氨基酸、酵母水、玉米浆以及尿素等。无机盐的选择较为局限，常采用氯化钾和硫酸镁。不少的研究报告表明，在产油真菌培养基中加入适量的乙醇、醋酸盐等，可促进产油真菌对油脂的积累。

5.1.6 真菌油脂生产工艺及主要技术条件



生产真菌油脂的主要技术条件如下：

a. 培养基 C/N 比 用于生成真菌油脂的培养基 C/N 比值对脂类的合成是一个极为重要的因素。在有限的范围内，C/N 比值越高，真菌油脂的积累量就越大；反之，则不利于脂类的合成。在对一些真菌合成油脂的研究中发现，丝孢酵母（*Trichoporon*）适宜的 C/N 比值为 6.5:0.0233；美丽红酵母（*Rhodotorula gracilis*）适宜的 C/N 比值为 66:1 镰刀菌为 130:1.1。研究人员为得到更多的脂类而又不浪费时间，往往将真菌油脂的合成分为两个阶段，即产油真菌的生殖阶段和脂类合成阶段。当产油真菌处于生殖阶段时，可适度提高碳氮素的比值，以促进细胞的增殖；增殖的菌体细胞达到一定数量进入脂类合成期时，可适度提高碳素含量，降低氮素的含量，使之基本处于氮营养缺乏状态，以促进产油真菌对脂类的合成，直至碳素消耗殆尽，脂类的积累量将达到最大。

b. pH 适宜的环境 pH 将是必不可少的。通常产油酵母菌对环境 pH 的要求范围为 3.5 ~ 7.0 产油霉菌的 pH 范围为 5.0 ~ 7.2。研究人员发现，适当提高环境 pH 可使酵母脂类的游离脂肪酸和磷脂含量增加，甘油三酯减少；如果降低环境 pH 会使脂肪酸总的饱和度增加。对油脂酵母（*Lipomyces starkeyi*）的研究发现，环境 pH 在 5.5 ~ 6.8 时，菌体细胞的油脂含量（占干燥菌体细胞质量百分数）为 25.8 ~ 27.2。

c. 气体 用于生产油脂的真菌均为好氧性的，真菌油脂的组分在很大程度上与细胞的呼吸强度有关。研究发现，产油真菌在供氧不足条件下，甘油三酯的合成会强烈受阻，并引起磷脂和游离脂肪酸的大量积累；在强烈通气的条件下，油酸会部分转化成带 2 个或 3 个双键的脂肪酸，从而使不饱和脂肪酸量增加。因此，一致的意见是，无论采用浅层液体培养、固体培养，还是深层液体培养产油真菌，均应在油脂合成期提供充足的氧气保障，以利于产油真菌的生长繁殖和油脂的

积累。

d. 无机盐类 培养基中添加适量的无机盐类可促进产油真菌对油脂的积累，Carrid 等人在培养基中适当调整 Na、K、Mg 等含量，对构巢曲霉 (*Aspergillus nidulans*) 的产油能力进行研究，发现该菌株的油脂积累量由 25% ~ 26% 提高到 50% ~ 51%。日本的长沼、是永等人证明了在培养基中适当增加 Fe、Zn 离子的含量，可加速产油真菌对油脂的合成。笔者多年的研究表明，在油脂合成阶段适当增加无机盐的含量对产油真菌的脂类合成会起到积极的作用。但添加量不宜太大，否则，将会严重阻碍真菌对油脂的合成。

e. 温度 研究表明，大多数真菌可以在 20 ~ 28 的条件下积累油脂。多数的研究报告表明，适当降低环境温度可使真菌不饱和脂肪酸的积累量明显增加。

5.1.7 真菌油脂研究进展

世界各国对于真菌油脂的研究，无疑是要实现一种规模化深层发酵生产油脂的可能，以获得一个稳定的油脂资源。20 世纪，真菌油脂工业化生产的实质性成果成为现实。问题是研究人员远远不能满足现有的成绩，功能性油脂及其工业化生产将成为科学家们研究的热点。前不久，英国 Sturge 公司与赫尔大学合作，投资 600 万英镑，建成一座日产 1t 的“Javanicus”食用油工厂，成品油中 γ -亚油酸的含量为 16%。中国上海工业微生物研究所称，已完成高 γ -亚麻酸真菌油脂的中试。有报道称，研究人员已筛选出高产亚油酸菌株，如爪哇青霉 (*Penicillium javanicum*)、黑曲霉 (*Aspergillus niger*) 和布拉氏须霉 (*Phycomyces blakesleeans*) 等，其细胞亚油酸含量分别为 31.8%、35.4% 和 25.8%。

5.2 微生物色素

微生物色素主要指红曲色素。红曲色素是由红曲霉菌丝产生的胞外色素，因其色泽鲜红、着色性好、热稳定性强、安全性高而被广泛用于腐乳、蛋糕、鱼、肉、饮料、配制酒等的着色。

我国是利用红曲色素较早的国家，名代宋应星的《天工开物》中就有详细记载。李时珍的《本草纲目》中亦有记载“红曲性温、味甘、无毒，入肺胃二经，可健脾、燥胃、活血……。”近年来，研究人员相继发现，红曲霉的某些种可产生称为 monacolin J. K. L. X 的生理活性物质。经大量的动物试验和临床试验表明，此类物质具有降低血糖和阻碍胆固醇合成的作用。如果在血液中注射或口服一定量的 monacolin，对糖尿病和血液高胆固醇症有一定的预防和治疗效果。

5.2.1.1 红曲色素的特性

用有机溶剂提取的红曲色素可分为三种结晶体：橙红色针状结晶、黄色片状结晶以及紫红色针状结晶，亦称红色色素、黄色色素和紫色色素。其主要特性如下：

a. 溶解特性 水溶性红色色素在中性或偏碱性的水溶液中溶解性较好，而醇溶性红色色素在 82% 的乙醇溶液中溶解性最好。

b. 对 pH 的稳定性 红曲色素不像其他天然色素那样色泽易随 pH 的改变而发生显著变化，在水溶液和醇溶液中可保持较好的稳定性。当水溶液的 pH 为 5~10 时，色素为红色；pH 为 11 时，色素为橙色；pH 12 时，色素为黄色；当 pH 极度上升时，色素则变为无色。而红曲色素在 pH 为 3~11 的醇溶液中，可保持稳定的红色。

c. 耐热特性 红曲色素具有较好的耐热特性。将其加热至 100℃，几乎不发生色调的改变。将其加热至 120 维持 10min，

仍能保持良好的稳定性。因此，红曲色素用于食品及酒类着色完全可以满足工艺上的要求。

d. 耐光特性 醇溶性红曲色素对紫外线相对稳定。王银善等人 1987 年报道，将红曲的乙醇提取液放置在 25 的自然条件下 20 天后，其中的红色色素保持了鲜亮的红色，表现出良好的耐光特性，用可见光扫描发现有吸收峰存在。而红曲色素中的黄色色素和橘红色色素已经退色，出现不稳定状态，用可见光扫描，发现其吸收峰已消失。

e. 对金属离子的稳定性 红曲色素对 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 等金属离子表现出较好的稳定性。当环境中含有 0.01 mol/L 的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 等金属离子时，红曲色素几乎不受任何影响。

f. 毒素 对供试小白鼠的急性毒性试验表明，红曲色素经口腔几乎无毒，可能的最大给予量 20 g/kg ，也无死亡现象。腹腔注射， LD_{50} 为 7000 mg/kg 。亚急性毒性试验未发现异常。

5.2.1.2 主要红曲霉菌株

中国科学院微生物研究所和原轻工部食品发酵工业研究所保藏的重要的红曲霉有 8 种 52 株，如黄色红曲霉 (*Monascus ruber*)、紫红曲霉 (*M. purpureus*)、烟色红曲霉 (*M. fuliginosus*)、安卡红曲霉 (*M. anka*)、巴克红曲霉 (*M. barkeri*)、锈红红曲霉 (*M. rubiginosus*)、变红红曲霉 (*M. serorubosecens*) 发白红曲霉 (*M. albidus*) 等。安卡红曲霉是我国生产红曲色素和红曲米的重要菌株。

5.2.1.3 液体法红曲色素生产工艺

a. 发酵培养液组成成分 玉米淀粉 6%，麦芽汁 (10°Bé) 10%，冰醋酸 0.1%。

b. 主要发酵技术参数 发酵温度 35°C 时间 72h 搅拌转速 180 r/min 。

c. 红曲色素提取工艺

提取工艺 I :

发酵液 → 过滤 → 精滤 → 真空浓缩 → 喷雾干燥 → 红曲色素 (水溶性)
↓
滤渣 → 饲料添加剂

提取工艺 II

乙醇浸液 → 过滤 → 精滤 → 真空浓缩 → 真空干燥 → 红曲色素 (醇溶性)
↓
滤渣 → 饲料用原料

5.2.1.4 固态法红曲色素生产工艺

固态法红曲色素是利用红曲霉在蒸熟的米饭上繁殖后，经浸曲、烘干等工艺而制成。其生产工艺流程如下：

红曲霉原种 → 斜面培养 → 米试管培养
冰醋酸 ↓ (混合)
粳米 (或糯米) → 浸泡 → 淘洗沥水 → 蒸米 → 冷却 → 接种培养
→ 浸曲 → 烘干 → 成品

简要工艺操作如下：

a. 斜面培养 培养基组成成分：饴糖液 100ml，可溶性淀粉 5% 蛋白胨 3% 琼脂 2% 冰醋酸 0.2%。培养温度 28 ~ 30℃，培养时间 15 ~ 20 天。

b. 米试管培养 先将蒸熟的米装入试管，121℃灭菌 30min，冷却后接种。接种前，先将 0.2% 的冰醋酸在 5 ~ 10min 内加入斜面红曲种子试管中，用无菌玻棒搅匀后，静置 1min 将 0.5ml 红曲种子液接入米试管中，摇匀，置入 32 ~ 34℃ 培养箱中培养 10 ~ 15 天。

c. 浸米、蒸米 将粳米 (或糯米) 浸泡 60min，淘洗 3 次，沥干，转入蒸米器中蒸 50min。

d. 接种与培养 将蒸熟的大米冷却至室温，接入混有冰醋酸的红曲菌粉 10% ~ 15%，入袋，转入恒温室培养。约经 24h 品温上升至 50℃ 时，拆袋入盘，移入曲室。当品温升至 48℃ 时立即散热降温。品温降至 35℃ 时，再将其堆积起来，维持品温 42 ~ 44℃，直至米粒呈淡红色。

e. 浸曲 浸曲的目的是让米粒吃水，保持米粒适宜的水分，以利于红曲霉的生长。浸曲的方法是每隔 6h 浸曲吃水一次，浸曲约 1min，取出沥干，入盘刮平，培养。浸曲工序约经 4 天，浸曲 7 次，外观呈均匀紫红色的米粒即为红曲米湿成品。

f. 干燥 将湿的红曲米转入烘干房内摊成 1cm 厚，控温 70~75℃，烘干 12~14h，即为成品。

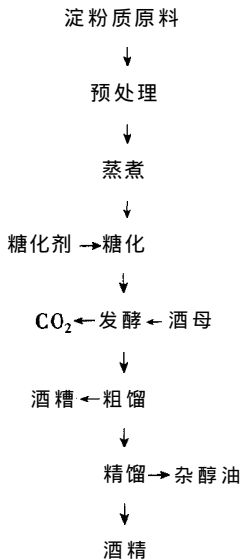
5.3 酒精生产

5.3.1 概述

酒精作为现代食品、医药、化工工业用原料及新型生物能源，在国民经济中占有重要的地位。现代酿酒工业可用酒精配制白酒、果酒、葡萄酒、药酒、特种营养保健酒；在食品工业，酒精可用来生产食用醋酸和作为食用香料的主要原料；在医药工业，酒精常作为溶剂提取医药制剂，亦可用来配制酒精消毒剂；在化工行业，利用酒精制造合成的有机化合物达 100 多种，如合成橡胶、聚氯乙烯、乙二醇、聚乙烯醇、丁二烯、氯乙烷、环氧乙烷等。自 20 世纪 70 年代世界上连续发生两次石油危机以来，酒精作为一种新型生物能源倍受世界各国的高度重视。在汽油中添加 5%~20% 的无水乙醇制成的汽油醇，已在美国、巴西等国家得到广泛应用。据报道，巴西现有 200 多万辆汽车使用酒精作燃料，美国市场供应的汽油中均含有 10%~15% 的酒精成分。

酒精生产方法可分为发酵法和合成法两种。由于合成法生产的酒精中含有异构化高级醇类，此类物质对人的高级神经中枢有一定的麻痹作用，故不适用于食品和酒类工业。因此，发酵法生产酒精在现代食用酒精工业中仍是一种良好的方法。

5.3.2 生产工艺流程



5.3.3 主要淀粉质原料与辅料

用于酒精生产的淀粉质原料主要包括以下三类：

- ①谷物原料 玉米、大米、谷子、小麦、高粱等。
- ②薯类原料：马铃薯、木薯、甘薯等。
- ③野生植物类原料：土茯苓、葛根、橡子仁、蕨根等。

以上淀粉质原料经糖化剂转化为糖以后，再经酵母菌的酒精发酵作用，将糖转化为酒精。

粮食副产物如麸皮、米糠、高粱糠以及淀粉渣等，可用于生产糖化剂和酒精发酵所需的氮素原料。

5.3.4 淀粉质原料的预处理

淀粉质原料的预处理工艺主要包括除杂和粉碎两部分。

除杂的目的是清除原料中夹杂的石子、土块、金属物、杂草以及线绳等杂质，以保证生产原料的纯度。常用的除杂方法有筛选除杂、磁力除杂以及风选除杂。

原料粉碎的目的是使淀粉质原料的细胞组织破坏，淀粉颗粒外泄，以缩短蒸煮时间，减少蒸汽用量，使糊化和液化过程进行得比较彻底从而提高淀粉的出酒率，便于机械化和连续化作业。

原料的粉碎方法有两种：干式粉碎法和湿式粉碎法。目前我国多数酒精厂采用干式粉碎法，其主要粉碎设备是锤式粉碎机，也有少数生产厂家采用万能粉碎机。

淀粉质原料粉碎的细度通常用筛孔直径进行控制。最为常用的筛孔直径为 1.2 ~ 1.5mm，但也有部分生产厂家采用 1.5 ~ 2.0mm 的筛孔。

5.3.5 淀粉的蒸煮

淀粉的蒸煮即糊化。淀粉糊化后，如果温度继续升高至 130 左右时，支链淀粉几乎全部溶解，网状组织被彻底破坏，粘稠胶体状的淀粉溶液粘度迅速下降，流动性增大，此种现象称为淀粉的“液化”。

淀粉质原料的蒸煮通常可分为间歇蒸煮和连续蒸煮。目前我国大多数酒精生产厂家采用连续蒸煮工艺，只有少数小型企业仍使用间歇蒸煮工艺。此外，加淀粉酶低压蒸煮、低温蒸煮以及无蒸煮糖化新工艺已在我国部分酒精厂家得到应用。本节将重点介绍连续蒸煮工艺。

连续蒸煮可分为罐式连续蒸煮、管道式连续蒸煮、柱式连续蒸煮三类。目前我国多采用罐式和柱式连续蒸煮工艺，美国则以管道连续蒸煮为主，前苏联多采用柱式和管道式连续蒸煮工艺。

5.3.5.1 罐式连续蒸煮

罐式连续蒸煮的特点是将原有间歇蒸煮罐串联起来，加上预煮罐、醪液输送往复泵和汽液分离器等组成罐式连续蒸煮设备。

其简要工作过程如下：原料经两级粉碎后，送入拌料桶中调成一定浓度的均匀粉浆，经预煮罐将其加热至 $70 \sim 80^{\circ}\text{C}$ ，保持 15min 左右，再经往复泵送入 I 号蒸煮罐。打满粉浆后，用蒸汽加热至预定蒸煮温度 (138°C , 10min)，开启阀门，醪液借助罐内压力顺次流入并充满 II 号蒸煮罐和 III 号蒸煮罐。第 III 号罐流出的醪液以切线方向进入汽液分离器，分离汽液。回收的二次蒸汽可用于粉浆的预煮。蒸煮醪液从汽液分离器底部引出，送入糖化车间进行糖化。

5.3.5.2 管道式连续蒸煮

管道式连续蒸煮是一种高温短时间的蒸煮方法，具有设备布置紧凑、蒸煮温度高 ($160 \sim 180^{\circ}\text{C}$)、糊化速度快而均匀、糖分损失少等特点。此种方法在美国和前苏联得到了广泛的推广和应用。管道式连续蒸煮最具代表性的是前苏联乌克兰酒精科学院与米隆次基酒精厂共同研制的管道式连续蒸煮工艺和美国 Unger 等设计的西格兰姆 (Sigrem) 管道式连续蒸煮工艺。

5.3.5.3 柱式连续蒸煮

它是介于罐式和管道式连续蒸煮之间的一种蒸煮工艺。我国常用的柱式连续蒸煮的简要工艺过程是：首先将粉料与水以 1:4 的比例混合成粉浆，用二次蒸汽加热至 $60 \sim 65^{\circ}\text{C}$ ，用泵将粉浆送入加热器中加热至 $130 \sim 140^{\circ}\text{C}$ ，经缓冲器进入三台串联的柱式蒸煮器中。醪液在每根蒸煮器中停留大约 15min。柱式蒸煮器的进口处压力为 0.265MPa 出口处的压力为 0.176MPa 最后醪液从蒸煮器下部进入后熟器在 0.088MPa 压力下停留约 60min，使醪液达到完全成熟。醪液柱进口处压力为 0.265MPa 出口处压力为 $0.157 \sim 0.176\text{MPa}$ 。最后醪液从下部进入后熟器，在 88kPa 压力下停留约 60min，以达到完全成熟。醪液从后熟器中流入汽液分离器分出蒸汽，送至糖化罐冷却糖化。

5.3.5.4 低温蒸煮

淀粉质原料的蒸煮过程，蒸汽的耗能量约占酒精生产全过程

的 30% 以上。为了减少能耗，降低酒精的生产成本，近年来世界各国在酒精生产中先后实施了低温蒸煮工艺。

低温蒸煮工艺的重要特点是：蒸煮温度为 90 ~ 95℃，以 α -淀粉酶为液化剂。根据蒸煮原料的不同，蒸煮温度有一定的差别，如瓜干原料蒸煮温度通常为 80 ~ 85℃，玉米原料为 90 ~ 95℃。

低温蒸煮的简要流程如下：

原料 → 粉碎 → 拌料 → 加 α -淀粉酶 → 蒸煮液化 → 冷却 → 调节 pH → 进入糖化罐

简要操作是：先将淀粉质原料按要求粉碎，以料水比 1:4 的比例进行拌料。料温控制在 55 ~ 60℃，加入活化的 α -淀粉酶，随机将粉浆送入蒸煮锅中，通入压缩空气搅拌，升温蒸煮。最后喷入后熟器保温 50 ~ 60min，冷却，即可将醪液送入糖化罐。

5.3.5.5 无蒸煮工艺

无蒸煮工艺是酒精工业生产中降低能量消耗的又一有效措施。由于该工艺节能效果较为明显，对酒精工业降低能耗、增加经济效益起到了重要作用。

无蒸煮工艺的主要特征是生产原料无需蒸煮，蒸汽和冷却水的用量较少，酒精产量高，发酵时间为 90 ~ 120h。不足之处主要为发酵过程易于染菌，易于沉淀，并需要特殊糖化剂或复合酶制剂。

目前世界上对无蒸煮工艺的研究报道较多，如 Yong K. Park 等人以玉米和薯干为原料，以枯草杆菌 NRRLB 491 α -淀粉酶为液化剂，泡盛曲霉 NRRL3112 和黑曲霉葡萄糖苷酶为糖化剂，以酒精酵母为发酵剂进行酒精发酵。结果表明，玉米和木薯不经蒸煮完全可以进行酒精发酵。日本三得利公司以谷物、薯类或淀粉为原料，料水比为 (1:1.8) ~ (1:3.4) 以根霉为糖化剂，酒精酵母为发酵剂进行酒精发酵实验，已获得专利，并在日本的 Ycyku 市酒精厂实施。我国许多科研院所对应用淀

粉质生料发酵生产酒精也做了大量工作。如上海工业微生物研究所选育的 *Asp. awamori*32 和 *Sach. cerevisiae* - 1 菌种，以生玉米粉为发酵原料，发酵时间 95 ~ 100h，最终酒精含量可达 13.9% ~ 14.5% (20℃)，淀粉利用率为 86%。

5.3.6 酒母制备的糖化剂及糖化工艺

淀粉在糖化剂的作用下被水解为糖的过程称为糖化，糖化后所得到的醪液称糖化醪。糖化的主要目的是使醪液中的淀粉在酶的作用下水解成为可发酵性糖类（如葡萄糖等），原料中的蛋白质则在酶的作用下水解成为氨基酸和肽类物质，为酵母菌的生命活动提供了所需的氮源。

酒精生产过程所用的糖化剂主要有麸曲、液体曲和糖化剂三种类型。淀粉糖化工艺可分为间歇糖化工艺和连续糖化工艺。

5.3.6.1 间歇糖化工艺

在一个糖化罐中进行全部糖化过程（前冷却、糖化，后冷却）称间歇糖化，其简要过程为：先用清水将糖化罐冲洗干净，用蒸汽灭菌，然后在糖化罐中加入适量水，边搅拌边冲入糊化醪液，用清水调整醪液浓度至 12% ~ 14%。开启蛇管冷却水将醪液冷却至 60 ~ 63℃，加入糖化剂，并以 80 ~ 100r/min 的转速将其搅拌均匀。保持温度静置糖化 30 ~ 50min，最后将糖化醪冷却至 30℃，用泵打入发酵罐。

5.3.6.2 连续糖化工艺

该工艺依据醪液冷却方法的不同，可分为混合冷却连续糖化、真空冷却连续糖化和二级真空冷却连续糖化三种类型，此外，前苏联学者叶拉文柯等又提出适合于连续糖化的双液流糖化工艺。与间歇糖化工艺相比，连续糖化工艺具有省时、省水、节能、设备利用率高等优点。

a. 混合冷却连续糖化 该工艺是在原有糖化设备的基础上，新增加喷淋冷却器来完成混合冷却连续糖化工作，其简要工艺过

程为：在有部分糖化醪（60℃）存在的前提下，启动搅拌器并开大冷却水阀门，冷却水连续从后熟器或冷液分离器送入蒸煮醪。糖化剂从储罐中连续、定量送入糖化罐，保持罐内糖化温度 58 ~ 60℃。糖化醪由罐底送入喷淋冷却器，冷却至 28 ~ 30℃ 时送入发酵罐。

b. 真空冷却连续糖化 本工艺的简要过程是先将蒸煮醪在真空冷却器内瞬时冷却至 60℃，冷却后的醪液从真空冷却器的卸料管中送入糖化罐。糖化剂由储罐连续、定量送入糖化罐，与蒸煮醪混合并糖化。糖化过程由冷却器和搅拌器控制糖化温度在 58 ~ 60℃ 糖化时间约 30min。完成糖化后的醪液由输料泵送入喷淋冷却器冷却至 28 ~ 30℃ 送入发酵罐。

c. 二级真空冷却连续糖化 此工艺蒸煮醪的前糖化和后糖化过程分别在一级和二级真空冷却蒸发器中进行，其简要工艺过程如下：蒸煮醪由汽液分离器进入真空冷却蒸发器，保持真空度 0.08MPa。冷却至 60℃ 左右送入糖化罐，同时从储罐中送入糖化剂 混合糖化 10 ~ 15min。一级糖化醪经过滤器进入二级真空冷却蒸发器，保持真空度 0.098MPa，冷却后的糖化醪经输料泵送入糖化罐。

5.3.7 酒母的制备

酒母即酒精发酵用酒母。酒精发酵常用的酵母菌有拉斯 2 号、12 号 (Rasse II. XII) 酒母 K 字酒母 (由日本引进) 以及我国酒精生产中筛选出的南阳五号 (1300)、南阳混合酒母 (1308) 等菌株。

酒精生产过程中，优良的酵母菌种应具有繁殖速度快、发酵能力强、生产性能稳定等优点。

酒母的扩大培养过程如下：

酵母菌 → 试管斜面 → 米曲汁 → 三角瓶培养 → 大三角瓶 → 卡氏培养罐 → 小酒母罐 → 大酒母罐 → 成熟酒母 → 发酵罐

成熟酒母的质量指标应为：酒母细胞数 1 亿个 / ml，细胞出芽率 15% ~ 20%，死亡率小于 1%，成熟酒母醪的外观糖度 45% ~ 50%，酸度不增高。

5.3.8 酒精发酵

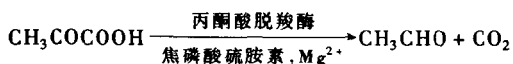
5.3.8.1 酒精发酵的机理

淀粉质原料酿造酒精的机理，首先是在糖化酶的作用下将淀粉转化为单糖（如葡萄糖）。酵母菌在无氧条件下，经 EMP 途径将葡萄糖降解为丙酮酸，丙酮酸经脱羧酶催化生成乙醛和 CO₂，乙醛在乙醇脱氢酶的作用下被 NADH₂ 还原成乙醇。其反应过程如下：

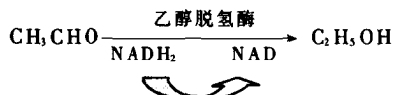
第一阶段：丙酮酸的生成



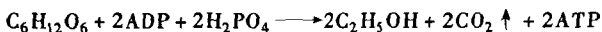
第二阶段：丙酮酸脱羧生成乙醛



第三阶段：乙醛在乙醇脱氢酶及辅酶（NADH₂）的催化下还原成乙醇



酵母菌由葡萄糖发酵生成乙醇的总反应式为：



5.3.8.2 酒精发酵工艺

酒精发酵是一种厌氧发酵过程，整个发酵过程分为三个阶段：前发酵、主发酵和后发酵。

①前发酵：初始发酵期为 6 ~ 10h，称前发酵。前发酵的主要表现是酵母菌生长繁殖速度快，酒精和 CO₂ 产生量较少。

②主发酵：酒精迅速积累的阶段称主发酵，发酵期为 12 ~ 24h。主发酵的主要表现是发酵醪糖度下降快、发酵旺盛、酒精积

累量大、升温猛、CO₂产生量大。

⑨后发酵：后发酵时间约 40h。发酵醪糖浓度较低，下降缓慢，CO₂产生量明显减少。

根据糖化醪注入发酵罐方式的不同，酒精发酵工艺可分为间歇式发酵、多级连续式发酵和双流糖化连续发酵三种类型。

a. 间歇式发酵工艺 全部发酵过程在一个发酵罐中完成的发酵工艺称间歇式发酵工艺。依据发酵罐容量和糖化醪注入方式的不同，间歇发酵工艺又可分为以下四种方法：

①一次加满法 将冷却至 28 ~ 30 的糖化醪一次性注入发酵罐，接入 10% 的酒母，发酵 60 ~ 72h 即为发酵醪。此法的优点是操作方便、易管理。但酒母用量大，发酵初始阶段常因发酵性糖浓度高而影响酒母的发醇速度。

②分批添加法 先将 1/3 的糖化醪加入发酵罐，同时接入 10% 的酒母，发酵 2 ~ 3h 后加入第二次糖化醪，继续发酵 2 ~ 3h，加入第三次糖化醪，直至加到发酵罐容量的 90% 为止。

此法适用于糖化罐小而发酵罐大的酒精生产厂家，其优点是发酵旺盛、迟缓期短、杂菌污染率低。

③连续添加法 此法适用于连续蒸煮、连续糖化的酒精生产厂家，其简要操作过程如下：

将一定量的酒母打入发酵罐，依据生产量连续添加糖化醪。糖化醪的流加速度可控制在 6 ~ 8h 加满一个发酵罐。总发酵时间为 60 ~ 72h。

④分割主发酵法 此法适用于无菌条件较高、卫生管理较好的酒精生产厂家。其发酵过程的基本条件是发酵醪应相对无菌。

生产时，先将酒母打入 1 号发酵罐，同时加入糖化醪进行发酵。当其处于主发酵状态时，将发酵醪分割出 1/3 ~ 1/2 至 2 号发酵罐，然后两罐同时补加新鲜糖化醪至满罐，继续发酵。当 2 号罐处于主发酵状态时，分割出 1/3 ~ 1/2 至 3 号罐，如此直至末罐。

此法的优点是节省酒母，发酵时间短。缺点是易污染杂菌。

b. 多级连续发酵工艺 此工艺是将 9 ~ 10 个发酵罐串联在一起组成一个发酵系统。其中第 1、2 号罐为流加成熟酒母醪和糖化醪的主体罐。生产时，先将酒母接入 1 号发酵罐，流加糖化醪在保持主发酵状态下待罐流满后由 1 号罐流入 2 号罐。两罐均处于主发酵状态下同时流加糖化醪。2 号罐流满后，流入 3 号罐。如此由主发酵罐依次流经以后几个罐，完成后发酵过程，成熟醪即可送入蒸馏工序。

c. 双流糖化连续发酵工艺 该工艺是将蒸煮醪按两种糖化方法发酵。第一种方法是在 58 ~ 60 条件下糖化 50 ~ 60min 第二种方法是在真空条件下于 60 糖化 50 ~ 60min。以甘薯曲霉和拟内孢霉深层培养液为糖化剂，约有 2/3 的糖化剂加入第一种糖化方法的容器中，剩余 1/3 加入第二种糖化方法的容器中。经第一种糖化器糖化的醪液流入 1、2 号罐，由第二种糖化器糖化的醪液送入 3、4 号发酵罐。依次流加至 11 和 12 号发酵罐后，发酵醪液的酒精体积分数为 8.5% ~ 9.0%，残糖为 0.20% ~ 0.25% 时发酵即告结束。

5.3.9 发酵成熟醪的蒸馏与精馏

发酵成熟醪是一种复杂的多组分混合液，含有大量水分（80% ~ 90%）、部分干物质、酒精、挥发性杂质（定性的超过 70 种）等。将酒精和其他所有挥发性杂质从发酵成熟醪中分离出来的过程称为蒸馏。经蒸馏后所得到的酒精称为粗酒精。粗酒精中含有多种杂质，就其化学组成来说，可分为醛类、酯类、醇类和酸类。其中甲醇和丙醇属于高毒性物质，对人体健康有严重影响。甲醇的毒性比乙醇高 40 倍，可引起视力的严重损伤。少量糠醛也有较高的毒性。因此，这些杂质在蒸馏过程中必须除去。所用的蒸馏设备称为粗馏塔（又称醪塔、初馏塔、粗塔）。粗馏塔的作用是将酒精从熟醪中分离出来，并排除水、高沸点的杂质及

酒糟。

粗酒精再经蒸馏以清除其中的杂质并提高酒精浓度的过程称为精馏。经精馏所得到的酒精称精馏酒精，所用的精馏设备称精馏塔。

成品酒精的质量与所采取的蒸馏工艺有极大关系。多年来，我国的蒸馏工艺被认为是最经济的工业化回收酒精的方法。但是，酒精质量与蒸馏蒸汽的消耗往往是矛盾的，随着能源短缺状况的日益严重和能源价格的不断上涨，选择或设计一个既能保证酒精质量，又能节约能源的新型蒸馏工艺流程将是人们需慎重考虑的问题。

目前，我国酒精工业多采用三塔蒸馏和多塔蒸馏工艺。三塔蒸馏是由蒸馏塔、排醛塔和精馏塔三塔组成。根据排醛塔和精馏塔的进料状况，可将三塔流程分为直接式、半直接式和间接式三类。直接式流程的特点是醪塔的酒精蒸气直接进入排醛塔和精馏塔，发酵醪先进行排醛再进入醪塔。由于发酵醪中的酒精浓度较低，杂质的挥发系数大，排醛过程进行得比较完全，蒸汽用量较为经济。但由于发酵醪的微粒有可能被带入精馏塔，而醪塔发酵醪中含有的 CO_2 会将微量的杂醇油带到成品酒精中，所以，成品酒精往往会有不良的气味和口味。半直接式的特点是发酵醪先进入醪塔，醪塔蒸汽进入醛塔，脱醛酒精再进入精馏塔。半直接式流程的蒸汽消耗较大，但所得成品酒精的质量比较优良，也是我国将广泛推广的工艺流程。间接式流程的特点是醛塔和精馏塔都是液相进料，各塔均用直接或间接蒸汽加热，每只塔都有各自的冷凝器系列，从冷凝塔顶导出蒸汽。该流程具有优良的操作性能，操作稳定，控制和调节方便，成品酒精质量较高。但蒸汽消耗量较大，设备投资费用较高。

在三塔流程的基础上，可以根据酒精生产过程的特殊需要增添具有专门功能的附加塔，从而构成多塔流程（四塔、五塔及六塔）。附加塔通常有三种类型：浓缩塔、后馏塔（甲醇塔）、杂醇

油塔。

5.3.9.1 浓缩塔

它具有 39 ~ 40 块塔板，醛酯馏分进入下部第 24 块塔板，从塔顶加入热水，塔底进加热蒸汽。由于在塔顶加入了热水，各块塔板上的酒精浓度均降低，头级杂质的挥发系数增加，从而易于分离。排除头级杂质的酒精从塔顶导出，送蒸馏塔蒸馏。

头级杂质在塔顶部分进一步浓缩，然后导出引入冷凝管，得到的冷凝液基本是由醛类、酯类和水组成。这种冷凝液进入倾析器，在其中分成两层，上层为醛酯馏分和少量酒精，作为副产品取出；下层含有少量头级杂质和酒精水溶液，回入塔顶作回流。

浓缩塔的应用可使精馏酒精的产量从原来的 95% ~ 96% 提高到 98% ~ 98.5%。

5.3.9.2 后馏塔（甲醇塔）

后馏塔的任务是将成品酒精中残留的头级杂质，特别是甲醇进一步分离，从而提高成品酒精的质量和规格。

后馏塔由 30 块塔板组成，提馏段 20 块，浓缩段 10 块，塔底用间接蒸汽加热。

塔顶导出的蒸汽经冷凝器冷凝，大部分作为回流，取 0.5% ~ 1% 作为头级杂质送往醛塔和浓缩塔，成品脱甲醇酒精从塔底取出。

5.3.9.3 杂醇油塔

杂醇油塔的作用是进一步浓缩从精馏塔取出的杂醇油或杂醇酒馏分，从而使成品酒精的得率进一步提高。

杂醇油塔具有 55 ~ 57 块塔板，浓缩段有 40 块塔板，提馏段有 15 ~ 17 块塔板。浓缩段和提留段之间装有一个高 200 ~ 700mm 的储液器，以保证塔的正常运行。

来自精馏塔的杂醇油和杂醇酒馏分直接进入位于储液器上面的那块塔板，而浓缩后的杂醇油则从储液器取出。由于储液器中积聚了大量的杂醇油酒精，进入该储液器的回流液发生分层，

形成上下两层，上层富含杂醇油，下层为淡酒。储液器在靠近上层溢流管的一边有隔板，形成一个小室，下部隔不到底，顶部则高于储液器液面。上层塔板流下来的回流液在小室内分层，上层通过导管和视镜取出；下层淡酒流向储液器的其余部分，参与蒸馏。

杂醇油塔顶的蒸气冷凝后送去醛塔，或者作为工业酒精用；塔底排出废水，用直接或间接蒸汽加热。

5.3.10 淀粉出酒率和原料出酒率

我国大中型酒精生产企业的淀粉出酒率已接近世界水平，淀粉的利用率可达 85% ~ 92%，淀粉出酒率为 50% ~ 55%。其计算公式如下：

$$\text{淀粉出酒率 (\%)} = \frac{\text{浓度 96\% 的酒精产量 (t)}}{\text{淀粉总量 (t)} + \text{曲料淀粉总量 (t)}} \times 100\%$$

$$\text{原料出酒率 (\%)} = \frac{\text{浓度 96\% 的酒精产量 (t)}}{\text{耗用原料量}} \times 100\%$$

注：公式中 96% 指体积分数。

5.4 有机酸生产

5.4.1 概述

有机酸发酵是生物体的基本代谢过程。利用淀粉质原料发酵生产的有机酸被广泛应用于我国食品、饮料、医药、烟草、香料、化工、纺织等工业。近 30 年来，有机酸工业随着我国改革开放的不断深入，呈现出了快速发展的勃勃生机。有机酸生产的新工艺、新方法不断涌现，部分工业产品（如柠檬酸、乳酸等）的质量稳定，并已打入国际市场。1984 年，我国华东化工学院以三烷基氧磷 (TRPO) 为主要萃取剂提纯柠檬酸的研究获得成功；1986 年，无锡轻工业学院（现江南大学）、昆山酒精厂报道，利用黄曲霉 (*uvf₃*) 菌株，7% 的水解糖，500L 发酵罐发酵 40h，平均产酸 4.41%，糖转化率为 68%；1990 年，我国山西省微生物研究所与

日本东京大学应用微生物研究所合作，以电渗析钠盐法开发的乳酸生产新工艺，明显提高了乳酸的生产效率，使乳酸生产速度较传统生产工艺提高了 12 倍。自 20 世纪 70 年代以来，固相酶技术和固定化细胞的研究和生产在有机酸工业中取得了一定进展。1985 年，我国无锡轻工业学院对用德氏乳酸杆菌（*Lactobacillus delbruckii*）固定化细胞连续发酵生产乳酸的研究获得成功。Seiskari 等采用弱氧化葡萄糖酸杆菌 ATCC₆₂₁和 IFO₃₂₉₀菌株，以尼龙纤维为载体，进行葡萄糖酸固定化细胞连续发酵的研究，在 6 个月的研究过程中未发现细胞活性丧失现象。

随着科学技术的不断发展，相信我国的有机酸工业将会有更大的发展，有机酸工业产品在国际市场上会更有竞争力。

5.4.2 柠檬酸生产

柠檬酸又名枸橼酸，学名 3-羟基-3-羧基戊二酸，分子式 $C_6H_8O_7$

柠檬酸可广泛用于食品、化工、医药等工业。在食品工业中可用作调味剂；在化工工业中可作为塑料制品的增塑剂，亦可用作无公害洗涤剂的成分；在医药工业中主要作为糖浆药和片剂的调味剂。

我国利用淀粉质原料生产柠檬酸始于 1969 年，由上海酒母厂以薯干为生产原料，采用 50m³ 发酵罐进行深层发酵实验获得成功，随后在全国陆续建厂投产。迄今我国柠檬酸生产厂家已达 40 多家，全国柠檬酸产量 5 万多吨，成为世界上仅次于美国的柠檬酸生产大国。

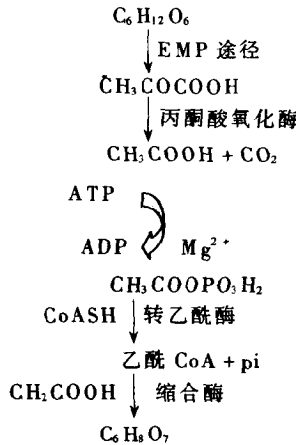
5.4.2.1 主要生产用微生物

能发酵淀粉质原料产生柠檬酸的微生物主要是霉菌，如梨形毛霉（*Mucor piriformis*）、雷氏犁头霉（FERM-P 2201）、文氏曲霉（*Aspergillus wentii*）、棒曲霉（*A. clavatus*）、黑曲霉（*A. niger*）、羊毛状曲霉（*A. lanorus*）、宇佐美曲霉（*A. usamii*）、淡黄青霉

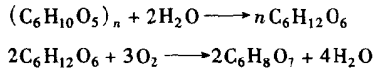
(*Penicillium luteum*)、橘青霉(*P. citrinum*)等,但由于黑曲霉产生柠檬酸的能力强,且能利用多种碳源,故柠檬酸工业仍采用黑曲霉作为主要发酵用菌种。目前我国柠檬酸工业多采用黑曲霉 C₀872 黑曲霉 N-558、黑曲霉 Y-144、黑曲霉 T-419 等菌株。

5.4.2.2 柠檬酸发酵原理

以淀粉质原料生产柠檬酸,首先应将淀粉转化为葡萄糖方可进行柠檬酸发酵。由葡萄糖合成柠檬酸的途径是:葡萄糖经 EMP 途径被降解为丙酮酸,丙酮酸被丙酮酸氧化酶氧化成乙酸和 CO₂,经乙酰磷酸形成乙酰辅酶 A,在缩合酶的作用下,乙酰辅酶 A 和草酰乙酸缩合生成柠檬酸。其反应途径如下:



总反应式为:



5.4.2.3 柠檬酸发酵

柠檬酸发酵属好氧性发酵,或是利用气相中的氧,或是利用液相中的氧。自 20 世纪 50 年代美国 Miles 实验室首先在工业规模上采用深层发酵法生产柠檬酸至今,因其较表面发酵工艺和厚

层发酵工艺具有明显的优点，所以，在柠檬酸工业生产中仍占据主导地位。近年来，对柠檬酸连续发酵，固定化细胞发酵，酵母菌或细菌柠檬酸发酵的研究也取得了一定的进展。

我国柠檬酸生产厂家多以薯干粉为原料进行深层发酵生产柠檬酸。其发酵过程中的主要控制条件如下：

a. 菌株扩大培养 黑曲霉菌种的三级扩大培养依据最终获得黑曲霉菌丝体或孢子的不同，可分为麸曲种和孢子种扩大培养两种方式。麸曲种扩大培养方法在我国柠檬酸生产中较为普遍，其优点主要是菌种制备成本低、操作简便。麸曲种扩大培养的过程如下：

原种 $\xrightarrow{\text{一级}}$ 斜面种 $\xrightarrow{\text{二级}}$ 茄子瓶种 $\xrightarrow{\text{三级}}$ 麸曲种(菌丝体)

孢子种的一级扩大培养多采用固体斜面培养基，二级种和三级种的扩大培养多采用液体表面培养。孢子种扩大培养的过程如下：

原种 $\xrightarrow{\text{一级}}$ 斜面种 $\xrightarrow{\text{二级}}$ 三角瓶液体种 $\xrightarrow{\text{三级}}$ 金属器皿液体种 \longrightarrow 孢子种

生产用菌种的质量要求：

① 显微镜下观察，菌丝呈菊花状小球，球体直径为 25 ~ 100 μm 菌球数量为 1~2 万个/ml，培养物应无杂菌污染。

② 种龄 :18 ~ 30h。

③ pH:2.0 ~ 2.5。

④ 滴定酸度 :1.5% ~ 2.0%。

b. 总糖量及转化率 以薯干粉为发酵原料的总糖量一般为 140 ~ 160 kg/m^3 柠檬酸产量应为 120 ~ 155 kg/m^3 ，糖的转化率为 93% ~ 97%。

c. pH的控制 发酵环境的 pH 对黑曲霉产酸有着直接的影响。发酵初期糖化醪适宜的 pH 应为 2.5 ~ 3.0 生酸的 pH 宜在 2.0 ~ 2.5，以控制产酸不过猛，否则，会造成残糖高、总产酸率低。

如果环境 pH 在 3.0 以上，容易造成草酸的积累；pH 在 5.0 左右时，则容易形成葡萄糖酸。因此，产酸期环境 pH 控制在 3.0 以下较为适宜。

d. 温度的控制 柠檬酸发酵的适宜温度为 34 ~ 35℃ 温度过低将导致发酵菌生长缓慢、菌体产酸能力低；如果发酵温度偏高，会造成杂菌的大量滋生而影响柠檬酸的收率。

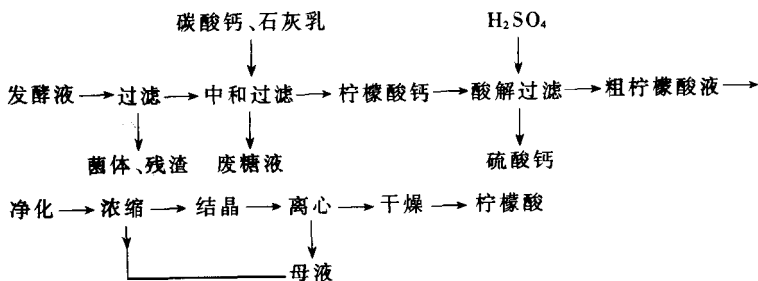
e. 通风量与消泡剂 柠檬酸为好氧性发酵，发酵过程适度增加通风量可提高溶氧水平，但对于易起泡的发酵液则不适宜。以薯干粉为发酵原料的生产过程中，发酵醪液很少产生气泡，所以无需添加消泡剂。即使发酵过程产生一些气泡，也可采用机械消泡法解决。对于易起泡的发酵醪液，作者认为也不易过多使用消泡剂，否则将明显降低溶氧率。

5.4.2.4 柠檬酸提取工艺

发酵结束后，成熟发酵醪中除含有应得柠檬酸外，还含有多种杂质，如蛋白质、残糖、菌体、色素、胶体物质、无机盐、有机酸等。因此，必须采用一系列的物理和化学方法进行净化处理，才能获得符合国家或国际质量标准要求的柠檬酸成品。

用于柠檬酸提取的方法主要有钙盐法、离子交换法、电渗透法和萃取法。我国柠檬酸生产多采用钙盐法，现简介如下。

a. 钙盐法提取柠檬酸工艺流程



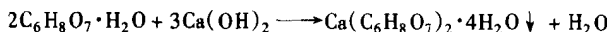
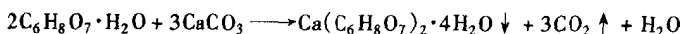
b. 发酵液的处理 将发酵液加热至 90 ~ 100 以终止发

酵、杀灭发酵液中的微生物，使发酵菌菌丝体膨胀破裂，细胞内的柠檬酸得以释放，同时造成发酵液中的蛋白质及胶体物质的变性凝固，以降低发酵液的粘度，利于过滤。如果检测出发酵液中草酸积累较多，应添加适量的碳酸钙，使其与草酸作用而生成草酸钙，使其在 pH 3 以下的热溶液中沉淀析出，并通过过滤除去。

c. 过滤 发酵液的过滤多采用全自动板框过滤机或普通板框过滤机，以使溶液透过过滤介质而与固相分开。过滤机的过滤速度、滤液的澄清度直接受温度、助滤剂和过滤介质的影响。

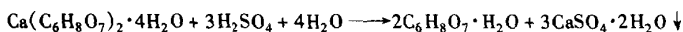
d. 中和 柠檬酸与碳酸钙、氧化钙、氢氧化钙反应可生成溶解度较小的柠檬酸钙而在液相中析出，达到与杂质分离的目的。

其反应式如下：



由上式可计算出 1kg $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 需用 CaCO_3 0.715kg 或 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0.53kg。

e. 酸解与脱色 经中和所得柠檬酸钙可用硫酸酸解，生成柠檬酸和硫酸钙。其反应式如下：



硫酸的使用量其理论值应为碳酸钙的 98%，实际用量为 92% ~ 95%。在酸解过程中，温度应控制在 85℃ 为宜，同时可添加活性炭进行脱色。活性炭的使用量为 1% ~ 3%。

f. 离子交换 经酸解后的滤液中仍混有 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 等离子，如不加以清除，将会造成成品柠檬酸色泽暗黄、透明度差。在生成过程中，常采用 732 强酸性阳离子交换树脂除去 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 阳离子杂质，再经 H^+ 型 122 树脂柱脱色，即可完成柠檬酸的净化。

g. 浓缩与结晶 净化后的溶液中，柠檬酸的含量约为 20%，

可经外循环蒸发器在真空度为 80 ~ 100kPa、浓缩温度为 55 ~ 60 条件下,减压蒸发至 36.5 ~ 37°Bé 时,放入结晶罐,并以每小时 3 ~ 5℃的降温速度进行降温结晶,直至料温降至 10 左右为宜。最后经离心、干燥后,即为柠檬酸成品。

5.4.2.5 我国食品添加剂质量标准 (GB1987—86)

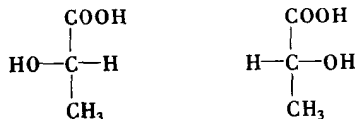
- a. 感官要求 无色半透明结晶或白色颗粒或白色结晶粉末。
- b. 理化要求 见表 5-4。

表 5-4 柠檬酸质量标准 单位: % (质量分数)

指标名称	指标
柠檬酸(以 C ₆ H ₈ O ₇ ·H ₂ O 计)	≥ 99.5
硫酸盐(以 SO ₄ ²⁻ 计)	≤ 0.03
草酸盐(以 C ₂ O ₄ ²⁻ 计)	≤ 0.05
钙盐	符合要求
钡盐	符合要求
重金属(以 Pb 计)	≤ 0.000 5
氯化物(以 Cl ⁻ 计)	≤ 0.01
铁(Fe)	≤ 0.001
砷(As)	≤ 0.000 1
硫酸灰分	≤ 0.1
易炭化物	颜色不深于标准

5.4.3 乳酸生产

乳酸又名 α-羟基丙酸,分子式为 CH₃CH(OH)COOH 相对分子质量 90.08,其结构式如下:



乳酸及其盐类和衍生物可广泛用于现代食品、医药、纺织、制革、烟草、化工等工业。在食品和饮料中可作为调味剂和防腐剂;

在医药及临床中作为消毒剂；纺织工业中作为印染助剂；在塑料工业中作增塑剂和粘合剂；在烟草工业作保湿剂，用于提高烟草的品质；在制革工业，可用乳酸脱除石灰，使皮革柔软细密。此外，乳酸的铵盐具有与蛋白质相当的营养价值，可用作反刍动物的饲料添加剂。

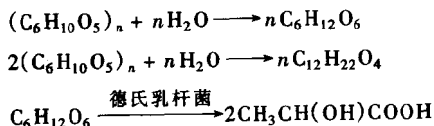
5.4.3.1 乳酸发酵用微生物

自然界可以产生乳酸的微生物很多，但产生乳酸能力强并可以用到工业化生产中的微生物只有细菌中的乳酸菌和霉菌中的根霉属。由于利用细菌生产乳酸更加经济，所以，乳酸的工业化生产多用细菌中的德氏乳杆菌（*Lactobacillus delbruckii*）。

德氏乳杆菌在分类上属于真细菌目，乳杆菌科，乳杆菌属。细胞杆状， $(2.0 \sim 9.0) \mu\text{m} \times (0.5 \sim 0.8) \mu\text{m}$ 单个或成链，革兰氏染色阳性，无运动性。能利用葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、果糖、半乳糖、糊精等碳源发酵产生 D-乳酸，少数菌株可产生 D, L-乳酸。其最适生长温度为 $45 \sim 50^\circ\text{C}$ ，在 $50 \sim 52$ 时仍可旺盛生长和产草酸，可以耐受 55 的温度。在不添加中和剂的情况下，乳酸的最高积累量可达 16g/L 。

5.4.3.2 乳酸发酵原理

乳酸发酵属微好气性发酵。德氏乳杆菌不能直接利用淀粉，因此淀粉必须先经糊化工艺后在 α -淀粉酶的作用下将其转化为糊精，再由糖化酶将糊精转化为单糖和双糖，才能用于乳酸发酵。其反应过程如下：



5.4.3.3 生产用原料与辅料

a. 原料 用于乳酸发酵的原料主要有淀粉、大米、玉米、薯干、土豆、菊苣 (*Helianthus tuberosus*)、甜蜜以及己糖等。我国乳酸工业多采用淀粉质原料，此类原料的主要成分如表 5-5

所示。

表 5-5 几种含淀粉原料的主要营养成分 单位：% (质量分数)

品名	水分	碳水化合物	蛋白质	脂肪	灰分
大米	13.5	78.5	66	0.6	0.5
玉米	12	72	9.5	4.7	1.0
薯干	12	78	6.0	0.4	2.0

b. 辅料 乳酸生产过程常采用麸皮、麦芽根、稻糠、玉米浆、毛发水解液作为发酵辅料。此类物质中大都含有多种氨基酸、维生素、微量元素和生物素，可以满足德氏乳杆菌对营养的特殊需求。

5.4.3.4 乳酸发酵工艺

乳酸发酵为厌氧性发酵。以淀粉或淀粉质粮谷为发酵原料的乳酸生产工艺，常采用两步酶解法将淀粉转化为葡萄糖，再由德氏乳杆菌发酵产生乳酸。其操作过程如下：

a. 双酶水解 淀粉是葡萄糖以 $\alpha-1,4$ -糖苷键连接起来的多聚体。双酶水解法的第一步是用 α -淀粉酶将淀粉转化为糊精和低聚糖；第二步是用糖化酶将糊精和低聚糖水解为葡萄糖。简要操作要求是：调整淀粉乳浓度为 $20 \sim 23^\circ\text{Bé}$ 淀粉含量为 $340 \sim 400\text{g/L}$ 。调节 pH 至 $6.0 \sim 6.5$ 加入酶稳定剂 (CaCl_2) 使 Ca^{2+} 浓度达 0.01mol/L 。用蒸汽加热至 $85 \sim 90^\circ\text{C}$ 添加 α -淀粉酶 $5 \sim 8\text{u/g}$ 淀粉，搅拌液化 $50 \sim 60\text{min}$ ，至碘液测试不显蓝色为止。升温至 100°C 灭酶 10min 。再将液化醪冷却降温至 60°C 调节 pH 至 $4.0 \sim 4.2$ 加入糖化酶 $80 \sim 100\text{u/g}$ 淀粉，搅拌糖化 $3 \sim 5\text{h}$ 。加入灭菌辅料（麸皮、米糠、麦芽根粉等），再降温至 50°C ，准备接种发酵。

b. 发酵 发酵罐中的填充系数为 80% 左右，罐顶应留出 $35 \sim 40\text{cm}$ 的空间，以防发酵过程因添加中和剂而造成泡沫溢出。接种量为 $8\% \sim 10\%$ ，发酵温度 50°C 。中和剂 (CaCO_3) 应

根据发酵液 pH 的变化分批添加，控制 pH 不应低于 5.0 以下。总发酵时间为 72 ~ 96h。当发酵液残糖浓度为 1g/L 时，即至发酵终点。

5.4.3.5 乳酸提取工艺

发酵结束后，应及时将发酵液升温至 90℃，添加石灰乳使发酵液 pH 上升至 9.5 ~ 10，以中和发酵液中的游离乳酸、灭酶，并使蛋白质、菌体及其他悬浮物沉淀。

乳酸的提取工艺主要包括五个步骤：发酵液的处理、浓缩结晶、酸解净化、离子交换及浓缩。现分述如下：

a. 发酵液的处理 为避免乳酸钙结晶析出，应控制料温在 55 ~ 60℃ 上清液直接转入脱色沉淀罐，沉淀物中可加入等量助滤剂（硫酸钙）控制料温在 80℃，用板框过滤机过滤，滤液并入脱色沉淀罐 加入 1.0% ~ 1.5% 的活性炭及适量絮凝剂，进行第一次脱色和沉淀。

b. 浓缩结晶 脱色及絮凝后的溶液经板框过滤后，输入蒸发器中，在真空度为 80 ~ 86.7kPa 下浓缩至乳酸钙浓度为 145 ~ 150g/L。将浓缩液打入结晶槽中静置结晶。结晶的起始温度以 30 ~ 35 为宜。如果在初始结晶时加入 4% ~ 6% 的晶种可明显缩短乳酸钙的总结晶时间。

c. 酸解净化 乳酸钙经硫酸酸解后可得到稀乳酸，副产物为硫酸钙。为清除乳酸中的杂质，使乳酸得到净化，在此过程中可添加 1% ~ 15% 的活性炭。酸解净化过程中应控制乳酸钙浓度为 18%，温度 80℃，酸解净化时间 60min。再经过滤而得稀乳酸溶液。

d. 离子交换 为了进一步净化乳酸，可采用离子交换的方法清除乳酸中所存少量无机杂质或少数离子。在乳酸生产中，常采用 732H⁺ 型阳离子交换树脂和 701 OH⁻ 型阴离子交换树脂，清除无机杂质、有色物质、少数离子及含氮物质。

e. 浓缩 净化后的稀乳酸溶液可根据工业级、食品级、药典

级乳酸的质量标准的要求，分别浓缩至 50%、80%、85% ~ 90%。最后经分装后即成为成品乳酸。

5.4.3.6 我国食品级、药典级乳酸质量标准

我国食品级、药典级乳酸质量标准见表 5-6。

表 5-6 我国乳酸质量标准

指标	食品级(GB2023—80)	药典级
乳酸含量/(g/kg)	850 ~ 900	≥ 800
SO ₄ ²⁻ 含量/(g/kg)	≤ 0.1	≤ 0.1
Cl ⁻ 含量/(g/kg)	≤ 0.02	≤ 0.02
重金属含量/(mg/kg)	≤ 10	≤ 10
Fe 含量/(mg/kg)	≤ 10	≤ 10
As 含量/(mg/kg)	≤ 1	≤ 1
灼烧残渣量/(g/kg)	≤ 1	≤ 1

5.4.4 苹果酸生产

苹果酸又名羟基丁二酸，分子式 C₄H₆O₅，相对分子质量 134.09，为白色粉末或晶状固体。因其酸味柔和、质地稳定，在水中的溶解度较高，故被广泛用于食品、饮料、果汁、果酱、人造奶油、蛋黄酱等作为酸味剂，亦可用于饲料、医药、烟草、日用化工等领域。发酵法所生产的苹果酸是国际食品界公认的安全性食品添加剂。早在 1967 年美国食品与医药管理局就正式宣布其为安全性食用有机酸。

5.4.4.1 苹果酸发酵用微生物

用于苹果酸发酵的微生物有黄曲霉 (*Aspergillus flavus*) A-114、uvf₃、米曲霉 (*Asp. oryzae*) 寄生曲霉 (*Asp. parasiticus*)、无根根霉 (*Rhizopus arrhizus*)、华根霉 (*Rhizopus chinensis*)、出芽短梗霉 (*Aureobasidium puluans*)、膜醭毕赤酵母 *Pichia membranacefaciens*) 以及产氨短杆菌 *Brevibacterium amoniagenes* 等。

5.4.4.2 苹果酸发酵机理

从生物生理学的角度讲，苹果酸的生物合成机理早已研究得比较清楚，它作为三羧酸循环中的一员而参与细胞的代谢。而利用微生物发酵法生产苹果酸，必须要有补充 4 碳酸的途径。理论上讲，补充 4 碳酸的途径有两条：乙醛酸循环和丙酮酸羧化支路。

如只考虑乙醛酸循环，苹果酸可能的合成途径有两条：一条是由乙醛酸和乙酰辅酶 A 合成，另一条是由富马酸合成；单纯丙酮酸羧化支路，其 CO_2 的来源只是发酵液中加入的 CaCO_3 。1 mol 的葡萄糖可生成 2 mol 苹果酸，其理论产率为 148.8%。

5.4.4.3 L- 苹果酸发酵工艺

L- 苹果酸的发酵工艺大体可分为三种：一步发酵法、二步发酵法和酶转化法。

a. 一步发酵工艺：亦称直接发酵法。此法以糖为发酵原料，由霉菌直接发酵产生苹果酸。发酵培养基的总糖含量为 70 ~ 80 g/L，接种量为 10% ~ 15%，控制发酵温度 33 ~ 34℃。通气搅拌发酵，通气量每分钟 0.7 L/L，搅拌转速 180 r/min。泡沫由自控系统流加泡敌控制。整个发酵过程约为 40 h。待残糖降至 1 g/L 以下时，发酵结束。可放料进入提取程序。

在一步发酵过程中，影响苹果酸发酵的因素主要有发酵温度、培养基的氮源、碳酸盐、铁盐、金属离子、抑制剂、氨基酸和维生素等。

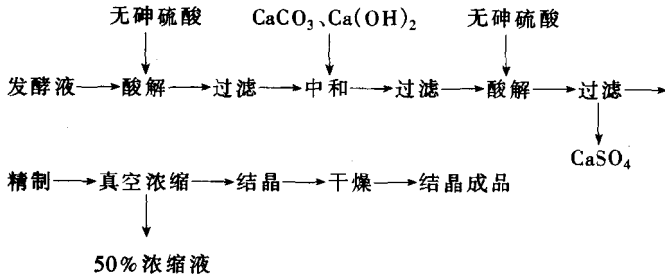
b. 两步发酵工艺：以糖为发酵原料。先由根霉发酵合成富马酸，再由酵母菌或细菌发酵将富马酸转化为 L- 苹果酸。前一步称为富马酸发酵，后一步称转换发酵。

c. 酶转化工艺：酶转化工艺相当于二步发酵工艺中的转换发酵。转换发酵是将第一步发酵生成的富马酸转化为苹果酸，而酶法转化工艺则是以富马酸盐为原料，利用微生物的富马酸酶将其转化为苹果酸盐。如果转化以钙盐的形式进行，则称为“转晶”，即富马酸钙晶体转化为苹果酸钙晶体。酶转化法是目前国内外

生产 L-苹果酸的主要方法。利用固定化细胞生产苹果酸亦是国内外主要研究的方法之一。

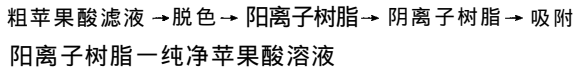
5.4.4.4 苹果酸的提取与精制

a. 苹果酸的提取 苹果酸的提取工艺过程主要包括发酵液处理工序中的六个步骤——酸解、过滤、中和、过滤、酸解、过滤，及后续提取工序，简要工艺流程如下：



经提取工艺所得苹果酸粗滤液中，往往残留微量的富马酸等有机酸， Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等金属离子以及色素等。为保证成品苹果酸的质量要求，应对其进行精制。

b. 苹果酸的精制 苹果酸的精制一般采用离子交换和活性炭联合处理的方法。简要精制工艺流程如下：



精制过程中，应控制离子交换溶液的流量为 $7 \sim 8 \text{ L/min}$ 。脱色工序所用活性炭的孔径应选择 $18 \sim 20 \text{ nm}$ 的为好，其具有脱色和去除不饱和脂肪酸的双重作用。

通过以上工序处理后，苹果酸的回收率可达 97% 左右。

c. 苹果酸的结晶 通过提取与精制工序处理后的溶液为高纯度苹果酸溶液，已符合苹果酸的纯度要求。为得到高纯度苹果酸结晶，只需在 70°C 下进行减压浓缩，使其浓度达 $65\% \sim 80\%$ ，再加入晶种 低温 (20°C) 下结晶，即可得到纯净苹果酸产品。此外，浓缩至 50% 的纯净苹果酸溶液亦可作为商品苹果酸出售。

5.5 甘油生产

5.5.1 概述

甘油是重要的化工原料，被广泛用于现代医药、食品、饮料、酒类、日化、烟草、炸药、印染、涂料等工业中，亦可用于合成树脂工业作增塑剂、润滑剂、抗静电剂、重整剂等。长期以来，甘油的生产主要是从天然油脂经水解皂化后的副产物中提取得到（亦称皂化甘油），也可从制取脂肪酸过程中的含甘油 6%~12% 的甜水中制取。第一次世界大战期间，德国因严重缺乏油脂造成皂化甘油的严重紧缺，从而开始了发酵法生产甘油的研究。

近年来，以淀粉、含淀粉粮谷以及糖类为原料的发酵法生产甘油的研究，已在美国、日本、德国、俄罗斯及我国积极开展，目前我国已建成十多家发酵甘油生产工厂，全国至 1995 年甘油的产量已达 6.2 万 t。据统计“十五”期间，仅我国食品、酒类、日化工业缺口将达 30%~45%。

5.5.2 重要的甘油发酵微生物

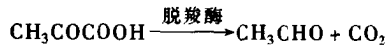
现已知有多种微生物能利用淀粉、淀粉质粮谷糖化液发酵产生甘油，其中大部分为酵母菌，如啤酒酵母（*Saccharomyces cerevisiae*）产酸结合酵母（*Zygosaccharomyces acidifaciens*）、木兰球拟酵母（*Saccharomyces uvarum*）等。近年来，科学家们为进一步提高发酵甘油的产量，正致力于耐高渗酵母和生理缺陷型酵母菌株的选育。如澳大利亚的 Hocking, A. D. 的研究发现，真菌体内的甘油的积累量随环境渗透压的提高而增加；印度的 Vijakishore, p. 等利用 *pichia farinosa* ATCC 20210 菌株发酵糖质原料生产甘油，使糖的转化率达 45%；国内选育的一株耐高渗酵母，可发酵 23%~25% 的糖液产生 10%~12% 的甘油，总糖转化率达 50%。此外，国外也有用嗜盐藻类或生理缺陷型酵母（*S. cerevisiae*）作研

究用菌株来提高甘油产量的。

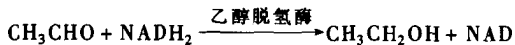
5.5.3 甘油合成途径

甘油的生物合成途径是：酵母菌在酒精发酵过程中，将葡萄糖经 EMP 途径降解为丙酮酸，丙酮酸在脱羧酶的催化下生成乙醛，乙醛在乙醇脱氢酶的作用下被 $NADH_2$ 还原成乙醇，此发酵过程是酵母菌在无氧和中性偏酸性条件下进行的。如果在发酵基质中添加适量亚硫酸氢钠，那么，亚硫酸氢钠能与乙醛结合形成复合物，致使乙醛不能作为受氢体，而由糖代谢过程中另一中间产物磷酸二羟丙酮代替作为 $NADH_2$ 的受氢体，生成 α -磷酸甘油。 α -磷酸甘油在 α -磷酸甘油磷酸酯酶的催化下水解，最后除去磷酸而得甘油。其总反应式如下：

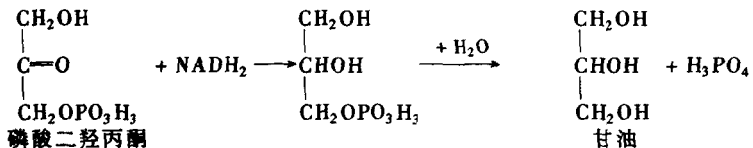
丙酮酸脱羧生成乙醛：



乙醛在乙醇脱羧酶作用下作为氢和电子的受体被还原成乙醇：



磷酸二羟丙酮代替乙醛作为受氢体，最后生成甘油：



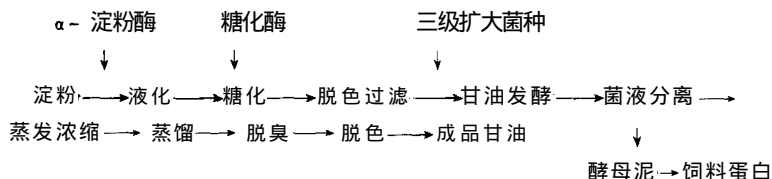
在这一过程中，由于一分子的磷酸二羟丙酮作为受氢体后不能继续氧化产生 ATP 另一分子 3-磷酸甘油醛氧化产生的 ATP 与葡萄糖激化时所消化的 ATP 抵销，所以没有能量产生。

当基质处于碱性条件时，乙醛发生歧化反应形成乙酸和乙醇，所以此发酵仍以磷酸二羟丙酮作为 $NADH_2$ 的受氢体生成 α -磷酸甘油，再经水解后生成甘油。

5.5.4 甘油发酵生产工艺

5.5.4.1 甘油生产工艺流程

以淀粉或淀粉质谷物为发酵原料生产甘油的工艺过程主要包括四大工序：菌种扩大培养、淀粉的液化，淀粉的糖化、甘油发酵。其简要工艺流程如下：



5.5.4.2 主要工艺条件

酵母菌甘油发酵可分为厌氧发酵和好氧发酵，目前以搅拌通气发酵效果较好，甘油产率比较稳定，总糖转化率为 50% 左右。

甘油发酵的主要工艺条件如下：

- a. 总糖量 230 ~ 250g/L。
- b. 培养基 pH 4.5 ~ 5.0。
- c. 接种量 8% ~ 10%。
- d. 发酵温度 30 ~ 32℃。
- e. 发酵时间 66 ~ 80h。
- f. 搅拌速度 200 ~ 320r/min。
- g. 空气用量 1:(0.2 ~ 0.5)(体积比)。
- h. 甘油浓度 10% ~ 12%。
- i. 残糖量 0.15% 以下。

5.5.5 甘油的提取

甘油发酵结束后，发酵醪中含有 1.0% ~ 1.5% 的酵母细胞、0.5% ~ 0.8% 的残糖以及 1.2% ~ 3.0% 的其他固形物。可采用高速离心（转速为 6 000 ~ 8 000r/min）法清除滤液。滤渣经脱臭、

干燥、粉碎后作饲料蛋白补充料。

5.5.6 甘油的蒸发浓缩

滤液（亦称甘油甜水）含有 10% ~ 12% 的甘油，多余的水分需经蒸发除去，使浓缩粗甘油的含量为 80%。

生产过程中常采用单效和双效蒸发器并用的方法进行蒸发浓缩，即先用双效蒸发器将滤液浓缩至 50%，再由单效蒸发器浓缩至 80%。

6. 淀粉在制药工业中的应用

6.1 概述

以淀粉或含淀粉的谷物为原料，利用微生物的发酵作用生产人类治疗疾病所需的药物具有悠久的历史。据《左传》记载，曾宣公 12 年(公元 597 年)就有“麴”(类似于植物淀粉酶)的使用。据汉代大史学家司马迁所著的《史记·扁鹊包公列传》中记载：“齐王故为阳虚候时，病甚，众臣皆为蹶，臣意(西汉医学家淳于意)诊脉，以为痺，根在右肋下，大如覆杯令人喘，逆气不能食。臣意即以火齐粥且饮，少日气下即令更服丸药，出入六日，病已。”我国长沙马王堆汉墓中出土的中医学方技中，就有服食青粱米粥治蛇咬伤，用加热的石块煮米汁内服治疗肛门痒痛的记载。随着祖国医学工业的振兴，以淀粉或含淀粉的谷物为原料，通过现代生物技术手段生产的新型药物更是品种繁多，如多糖类药物、降脂类药物、维生素类药物、酶类药物以及抗生素类药物等。今后的 10 年，我国医药工业将会更广泛地利用生物技术的高科技手段，大力开发治疗肿瘤、心血管疾病、免疫性疾病等的新药，为保障人民群众的身体健康作出贡献。

6.2 多糖类药物生产

近年来，多糖类药物已引起医学界的广泛注意。在抗凝、降血脂、抗肿瘤、提高机体免疫能力和抗辐射等方面的显著药理作用和疗效，显出了多糖类药物的药用价值。PS-K 多糖和香菇菌

多糖对小白鼠 S_{180} 瘤株具有明显的抑制作用，作为免疫性药物用于临床，此外，茯苓多糖、灵芝多糖、银耳多糖等也在临床上得到应用。右旋糖酐可作为代血浆蛋白维持血液渗透压；中相对分子质量右旋糖酐用于增加血容量，维持血压，以抗休克为主；低分子右旋糖酐主要用于改善微循环，降低血液粘度；小分子右旋糖酐是一种安全有效的血浆补充剂。肝素是天然抗凝剂，用于防治脑血栓、心绞痛和肿瘤。

6.2.1 多糖类药物的功能

多糖类药物主要来自于香菇多糖、灵芝多糖、蘑菇多糖、银耳多糖、木耳多糖、亮菌多糖、茯苓多糖、猪苓多糖、裂褶多糖、酵母菌多糖以及细菌多糖等。已经发现，菌类多糖具有多种生物活性，主要表现为以下几个方面：

①降血脂及抗动脉粥样硬化作用，如类肝素（heparinoid）、硫酸软骨素。相对分子质量小的肝素具有降低血脂、降低血液胆固醇、抗动脉粥样硬化作用，可用于防治冠心病和动脉硬化症。

②调节机体免疫功能。

③抗炎、抗氧化和抗衰老作用。

④抗凝血作用。

⑤抗辐射损伤作用。

⑥抗感染作用，可以提高机体组织细胞对细菌、真菌、病毒等的抵抗力。

⑦可促进细胞 DNA、蛋白质的合成以及细胞的增殖和生长。

6.2.2 重要的多糖类药物

6.2.2.1 D- 甘露醇

甘露醇又名己六醇，分子式为 $C_6H_{14}O_6$ ，相对分子质量为 182.17，为白色针状结晶，无臭，略有甜味，不潮解，易溶于水

(15.6g, 18℃), 微溶于乙醇、低级胺类和吡啶, 在乙醚中不溶, 熔点为 166 ~ 169℃。

甘露醇为脱水药及利尿药, 常用于降低颅内压、眼内压、利尿及防治早期急性肾功能衰竭, 还可以用于治疗中毒性肺炎和青光眼。

a. 简要生产工艺 (发酵法)

米曲霉 3.409 → 菌种活化 → 种子培养液 → 发酵 → 除杂 → 清液 → 浓缩结晶 → 溶晶除杂 → 净化液 → 浓缩结晶 → 纯净结晶 → 干燥 → 药用甘露醇

b. 工艺过程条件控制

①菌种的制备: 将米曲霉 (*Aspergillus oryzae* 3.409) 转接于麦芽汁斜面培养基上, 于 31℃ 下培养 4 天, 取 2 支活化的斜面菌种转接于 17.5L 种子培养基中, 于 30℃ 下搅拌通气培养 22 ~ 24h。搅拌速度为 350r/min (通气量 1:0.5 体积比) 罐压 98kPa。

②种子培养基组成成分: 淀粉糖化液 2%, 玉米粉 6%, 玉米浆 0.5%, 硝酸钠 0.3%, 磷酸二氢钾 0.1%, 硫酸镁 0.05%, 氯化钾 0.05%, 硫酸亚铁 0.001%。

③发酵: 2 000L 发酵罐中加入 1 400L 培养液, 于 150kPa 蒸汽中灭菌 30min。待料温降至 30 ~ 32℃ 时, 接入 5% 的种子液, 控制发酵温度 30 ~ 32℃, 通气搅拌发酵 4 ~ 5 天。搅拌速度为 230r/min。

④除杂、浓缩结晶: 发酵结束后, 应及时将发酵液加热至 100℃, 维持 5min, 加入 1% 的活性炭, 控制醪液温度 80 ~ 85℃, 保温 30min。离心分离后, 所得澄清液于 55 ~ 60℃ 真空条件下浓缩至 31°Bé, 于室温下静置结晶 24h, 甩干后得甘露醇粗品。再将其转入 75℃ 热水中溶解, 加入 2% 的活性炭, 维持 30min, 过滤。清液再经 717 强碱型阴离子树脂和 732 强酸性阳离子树脂处理, 即得纯净甘露醇溶液。

⑤浓缩、结晶、干燥: 将甘露醇清液置于 55 ~ 60℃ 真空浓缩罐中浓缩至 25°Bé, 室温下静置结晶 24h, 离心并甩干晶体, 于 105 ~ 110℃ 下烘干, 再经粉碎后分装即为甘露醇成品。

6.2.2.2 右旋糖酐

右旋糖酐为白色粉末，无臭无味，分子式为 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 。右旋糖酐 40 主要用于降低血液粘稠度、改善微循环和抗血栓，右旋糖酐 70 主要用作血浆代用品，有增加血容量作用。

a. 简要生产工艺流程

肠膜状明串珠菌 (*Leuconostoc mesenteroides*) → 菌种活化 → 种子培养液 → 发酵 → 沉淀 → 洗涤 → 水解 → 一级划分 → 二级划分 → 成品右旋糖酐

b. 工艺过程条件控制

①培养基成分配比：蔗糖 12.5%，蛋白胨 0.45%，磷酸氢二钠 0.08%，二氧化锰 0.005%，碳酸氢钠 0.15%，加水至 100ml。

②灭菌与发酵：将发酵培养液于 98kPa 压力下灭菌 25 ~ 30min，冷却至 23 ~ 25℃，调整发酵液 pH 6.8 ~ 7.2，接入种子培养液，静置发酵 20 ~ 24h，待发酵液 pH 降至 4.0 ~ 4.2 时即达到发酵终点。

③沉淀、净化：在发酵液中加入浓度为 85% ~ 90% 的乙醇，使之沉淀。将沉淀物滤出，再以 60% ~ 70% 的乙醇洗涤。将洗涤物转入蒸馏水中加热至溶解，加盐酸水解，控制终点粘度。再以氢氧化钠中和，加活性炭脱色，除去热源，过滤。最后经一级划分和二级划分后，经过滤干燥即得右旋糖酐。

6.3 维生素类药物生产

6.3.1 概述

维生素是生物体必需的，具有特殊功能的小分子有机化合物。依据它们的溶解性质，可将维生素分为脂溶性和水溶性两大类。脂溶性维生素主要有维生素 A、维生素 D、维生素 E、维生素 K、维生素 Q 和硫辛酸等，水溶性维生素有维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₆、维生素 B₁₂、维生素 C、烟酸、泛酸、叶酸和生物

素等，应注意到，维生素 C 是水溶性维生素组里唯一不是 B 族维生素的成员。

一般来说，机体对于水溶性维生素的吸收是一个比较简单的过程，水溶性维生素因为肠道不断吸收水而随之进入血液。在脂肪存在的情况下，脂溶性维生素可被肠道吸收，任何增加脂肪吸收的因素也将增加脂溶性维生素的吸收。反之，维生素的缺乏会导致多种疾病的发生。饮食中缺乏一种或多种维生素可能导致生长或繁殖的衰退和特有的紊乱，例如缺乏维生素 A 可引起夜盲症，缺乏维生素 C 会引起坏血病，缺乏烟酸可引起癞皮病，缺乏维生素 B₁ 可引起脚气病，缺乏维生素 K 可造成血液凝固延迟及新生儿出血病，缺乏生物素可造成皮炎、食欲不振、舌炎、精神抑郁、胆固醇升高等。维生素在机体中所起的作用是极为重要的，目前世界各国已将维生素的研究和生产列为制药工业的重点。

6.3.2 维生素类药物的生产方法

维生素类药物因化学结构不同，决定了它们生产方法上的差异。在工业化生产中，大多数维生素通过化学合成法获得，直接从生物材料上提取的不多。利用微生物的发酵作用获得维生素，代表着维生素生产的发展方向。

发酵法生产维生素，即用人工和机械方法培养微生物生产维生素的过程。整个生产过程主要包括三级菌种培养、发酵、提取和纯化等工艺。目前，完全采用发酵或微生物转化法制备中间体的维生素有维生素 B₂、维生素 B₁₂、维生素 C、生物素以及维生素 A 原(β-胡萝卜素)等。

6.3.3 重要的维生素的生产

6.3.3.1 维生素 B₂

维生素 B₂ 又称核黄素 (Riboflavin) 分子式 C₁₇H₂ON₄O₆ 相

对分子质量 376.37，为黄色或橙黄色结晶性粉末，味微苦，熔点约 280℃。极微溶于水，在乙醇、氯仿或乙醚中几乎不溶。在中性或酸性溶液中稳定，在碱性溶液中或遇光易分解或快速变质。取本品约 1mg 加 100ml 水溶解后，溶液在透射光下显淡黄绿色，并有强烈的黄绿色荧光。

a. 发酵培养基成分组成

淀粉 6%，玉米浆 1.5%，米糠油 4%，鱼粉 1.5%，骨胶 1.8%， KH_2PO_4 0.1%， NaCl 0.2%， CaCl 0.1%， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.02%。

b. 维生素 B₂ 简要生产工艺流程

菌种 → 活化 → 孢子悬浮液 → 种子液 → 三级扩大种 → 发酵 → 精制 → 成品

c. 工艺操作要点我国进行液体发酵法生产维生素 B₂ 采用的发酵菌为棉桃阿舒囊霉菌。先将发酵菌在 25℃ 温度下培养斜面试管菌种，再用无菌水洗脱孢子制成孢子悬浮液，接种到种子培养液中，于 30℃ 温度下培养 35 ~ 40h，如此转接扩大培养制成三级种子液后，进入发酵工序，控制发酵温度 30℃ 发酵 160h。

d. 固态法维生素 B₂ 生产方法 利用淀粉、小米、玉米浆、豆渣、胚芽等为原料，采用固态培养法也可生产维生素 B₂。方法如下：

先将固态原料浸泡、吃水，接着用蒸汽蒸煮灭菌，控制原料水分含量为 50% 左右，冷却后接入阿舒假囊酵母，于 28℃ 下培养 10 ~ 14 天，取出烘干，即得维生素 B₂ 粗制品，纯化后可得维生素 B₂ 纯品。

另一种方法是将培养物置于可旋转的圆桶内，控温在 25℃，通入无菌空气，以 20r/min 的转速进行培养，约需培养 6 天，可得维生素 B₂ 粗制品 (6 ~ 8mg)。

6.3.3.2 维生素 B₁₂

维生素 B₁₂ 分子式为 $\text{C}_{63}\text{H}_{88}\text{CON}_4\text{O}_{14}\text{P}$ ，相对分子质量

1 355.38，为深红色针状结晶或结晶性粉末，无臭，无味，引湿性强，无一定熔点。可溶于甲醇、乙醇及酚，不溶于丙酮、乙醚及氯仿。在水溶液中具左旋光性，在 300 ~ 320℃ 下分解，水溶液 pH 4.5 ~ 5.0 时最为稳定。

维生素 B₁₂在自然界均由微生物制造，在食物中含量很少，动植物体不能合成。日常生活中如维生素 B₁₂摄食不足，将会影响血糖的代谢，造成恶性贫血。

a. 维生素 B₁₂产生菌 我国工业上生产维生素 B₁₂的细菌主要是丙酸菌属中的傅氏丙酸杆菌 (*Propionibacterium freudenreichii*) 和薛氏丙酸杆菌 (*Propionibacterium Shermanii*)，其最高生成量可达 50mg/L 以上。有报道称，分生孢子杆菌 *A. simplex* (ATCC6946)、*A. tumescens* (IFO12950)、*A. globiformis* (TACC8010) 以及 *A. hyalinus* (ATCC31263) 也可发酵产生维生素 B₁₂。

b. 培养基成分 淀粉水解成为葡萄糖后，有利于发酵菌的生命活动。如果在培养基中添加乳酸和少量动植物油脂，可得较高的维生素 B₁₂产量。其他可利用的碳源是甜菜糖蜜、转化糖和麦芽糖。最常用的氮素营养物为鱼粉、玉米浆、牛肉膏、动物抽出物等，也有加乳清、玉米浸汁和硫酸铵的。此外硝酸钴和酵母汁是维生素 B₁₂发酵的良好促进剂，但是，钴对微生物一般具有毒害作用，在培养基中含有 10 ~ 20mg/kg 即可影响发酵菌的生长。因此，在发酵培养基中的钴含量应控制在 1 ~ 2mg/kg。

c. 简要生产工艺

菌种 → 活化 → 种子液 → 厌氧发酵 → 好氧发酵 → 过滤 → 菌体
→ 水解液 → 中和 → 酚、丁醇提取 → 一次水提液 $\xrightarrow{\text{氯化}}$ 氰转化液
→ 酚、氯仿提取 → 二次水提液 → 酸化 $\xrightarrow{\text{回调 pH}}$ 过滤 → 离子交换
→ 洗脱 → 浓缩 → 结晶 → 干燥 → 成品

d. 操作方法 先将发酵菌在厌氧条件下培养 48 ~ 96h，再强

烈通气培养 72 ~ 96h。发酵液中菌体细胞经过过滤后，可用酸、热、氢化物等方法处理，使维生素 B₁₂ 释放出来。将氰化物溶液直接加入菌体中或加入处理过的菌体滤液中，可以分解为维生素 B₁₂ 的辅酶型式，生成氰基钴氨素，再经离子交换树脂吸附和洗脱、浓缩、结晶，可得纯品维生素 B₁₂。

6.3.3.3 维生素 A 原

维生素 A 原也称 β -胡萝卜素 (β -carotenoids) 是维生素 A 的前体，在人或动物体的肠粘膜中可被转变成维生素 A 其中 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素、 γ -胡萝卜素、隐黄素（玉米中主要的胡萝卜素）四种因具有维生素 A 原活性而显得特别重要。 β -胡萝卜素的活性最高，人体营养中维生素 A 需求量的 2/3 来自于它。

a. 维生素 A 原产生菌 至今已发现藻类、真菌和地衣均可产生维生素 A 原。1956 年, Barntt 等人发现 *choanephora cucurbitarum* 的正与负菌株共同生长于同一基质上时，可形成大量维生素 A 原。后来又先后筛选出产量更高的维生素 A 原产生菌，如三孢布拉氏霉 (*Blakeslea frispora*)、*Streptomyces chrestomyeticusyi* 以及好食链孢霉 (*Neurospicya sitophila*) 等。目前在大规模工业化生产中，人们多以三孢布拉氏霉的正与负菌株为发酵菌。

b. 发酵菌营养物质的选择 发酵菌可以淀粉水解液作为碳源，以玉米浆、大豆水解液、酵母膏等为氮源，添加适量无机盐作为发酵用培养基。

c. 发酵与提取 发酵温度为 28 ~ 35℃, pH5.5 ~ 7.0 发酵时间 5 ~ 6 天。在发酵 2 天后，可加入前体 β -紫罗兰酮，与此同时加入异烟肼和 5% 的煤油可提高产量。发酵结束，通入蒸汽加热至 100 维持 10 ~ 15 min，以阻止维生素 A 原被酶分解。

维生素 A 原形成于发酵菌菌丝体内，发酵结束后经加热灭菌后应分离取得菌丝体，然后在 50 ~ 55 下真空干燥 18 ~ 20h，用石油醚抽提，再经柱层析分离提纯，可得纯品维生素 A 原，其产量最高可达 2.87 g/L。

6.4 氨基酸类药物生产

6.4.1 概述

羧酸分子中一个或一个以上的氢原子被氨基取代后生成的化合物称为氨基酸。氨基酸是构成蛋白质的基本单位，是合成人体激素、酶、抗体的原料，参与人体和动物体的代谢和各种生理活动。近 20 年来，氨基酸作为营养剂，代谢调节剂，抗菌剂，抗溃疡、抗癌、镇痛、防辐射药物，在医药、保健品工业中得到了迅速发展，以氨基酸为原料生产的抗生素、抗癌药物、激素等生物活性肽品种繁多。到目前为止，临床上使用的氨基酸制剂品种多达上百种，药用氨基酸年销量为 4 000t 左右。

6.4.2 氨基酸的分类

依据氨基酸在 pH 5.5 溶液中的带电状况，可将其分为三大类：酸性氨基酸、中性氨基酸和碱性氨基酸。

酸性氨基酸：L-天冬氨酸及其酰胺，L-谷氨酸及其酰胺。

中性氨基酸：L-甘氨酸、L-丙氨酸、L-苏氨酸、L-亮氨酸、L-丝氨酸、L-色氨酸、L-胱氨酸、L-半胱氨酸、L-酪氨酸、L-苯丙氨酸、L-脯氨酸、L-缬氨酸以及 L-羟脯氨酸。

碱性氨基酸：L-组氨酸、L-精氨酸、L-赖氨酸以及 L-羟赖氨酸。

依据基团差异可将其分为三大类：脂肪组氨基酸、芳香族氨基酸和杂环氨基酸。

6.4.3 氨基酸发酵的基本原理

工业上的发酵可分为厌氧发酵和好氧发酵。药用氨基酸发酵是典型的代谢控制发酵，属好氧性的不完全氧化过程。发酵菌通过固氮作用、硝酸还原作用及自外界吸收氮使酮酸转化成相应

的氨基酸（称为初生氨基酸），它们主要有甘氨酸、L-丙氨酸、L-天冬氨酸及L-谷氨酸等；发酵菌通过转氨酶作用将一种氨基酸的氨基转移到另一种 α -酮酸上，生产出的新的氨基酸亦称初生氨基酸，如香草转氨酶可将谷氨酸的氨基转移到草酰乙酸上，生成L-天冬氨酸。在微生物的作用下，以初生氨基酸为前体转化成的其他氨基酸称为次生氨基酸，如甘氨酸是L-丝氨酸、L-半胱氨酸、L-胱氨酸和L-苏氨酸的前体，L-天冬氨酸是L-赖氨酸、L-蛋氨酸、L-苏氨酸、L-异亮氨酸、L-丙氨酸及二氨基庚二酸的前体等。因此，大多数氨基酸均可通过以初生氨基酸为原料的微生物转化产生。此外，有些氨基酸也可以以有机化合物和氨盐为前体，在相应酶的作用下产生。

6.4.4 氨基酸类药物的发酵类型与控制条件

氨基酸发酵可分为三种类型：野生型菌株发酵、变异型菌株发酵和添加前体绕过反馈抑制。

6.4.4.1 野生型菌株发酵

野生菌株在无定向的代谢途径中产生氨基酸的发酵过程称为野生型菌株发酵，主要发酵菌株有棒状杆菌属细菌、短杆菌属细菌、节杆菌属细菌以及黄色杆菌 617 等，通过发酵所产生的氨基酸有L-谷氨酸、L-缬氨酸、L-丙氨酸以及D,L-丙氨酸。

6.4.4.2 变异型菌株发酵

变异菌株指营养缺陷型突变菌株和抗类似物突变菌株，前者只有在供给所必需的营养物时才能生长，此类营养物往往能引起反馈抑制作用，其浓度应控制在“亚适量”以解除反馈抑制；后者解除终端代谢产物对关键性酶活性的反馈抑制或酶合成的反馈抑制。如用高丝氨酸缺陷型谷氨酸棒状杆菌菌种生产赖氨酸，北京棒状杆菌突变株 As1.586 可产生缬氨酸等。

6.4.4.3 添加前体绕过反馈抑制

异亮氨酸可抑制苏氨酸生成 α -酮丁酸的反应。如果添加

α -酮丁酸的前体 α -氨基丁酸，则 α -酮丁酸可由 α -氨基丁酸转化而得。此反应不受异亮氨酸的反馈抑制，所以可大量积累 L-异亮氨酸。

6.4.4.4 发酵控制条件

一般来说，无论是野生菌株还是变异菌株，在旺盛增殖期进行正常代谢的发酵液中，不存在特定的生物合成代谢中间产物大量分泌积累的现象。因此，为了积累特定的氨基酸，必须设定必需条件使发酵菌的代谢调节异常化，即按照更为合理的人工控制条件来控制氨基酸的发酵过程。

氨基酸发酵是一个复杂的生化反应过程，需要控制的因素很多，归纳起来，主要有发酵培养基的成分、发酵温度、pH、溶解氧量等，现简述如下：

a. 培养基成分 发酵培养基首先应含有四大基本营养成分，即水分、碳源、氮源和无机盐，此外，还应考虑添加适量生物素。这些成分中，尤以碳源和氮源最为重要。在生产过程中，碳源和氮源的用量应大大高于种子培养基的。对于菌体细胞繁殖的必要因子——生物素，应控制用量，多则影响代谢产物的积累。

b. 发酵温度 各种微生物在一定的条件下都有各自最适的生长温度范围，即使是同一微生物，由于培养条件不同，对温度的要求也往往不同，例如谷氨酸产生菌的最适生长温度为 30 ~ 32℃ 而最适发酵温度则为 34 ~ 37℃。从酶反应动力学来看，温度升高，反应速度加快，产物生成提前，但酶易受热钝化、失活。温度愈高，菌体愈易衰老，酶失活愈快。

c. pH 大多数细菌的最适 pH 为 6.5 ~ 7.2 酵母菌为 3.8 ~ 6.0，霉菌为 3.0 ~ 6.0。氨基酸发酵菌发酵过程的 pH 一般控制在 6.5 ~ 8.0 之间。在发酵过程中，由于营养成分的消化和代谢产物的积累，环境 pH 在不断变化，必须随机补充营养和调节 pH，使其稳定在一定的范围，以适应发酵的需要。在发酵过程中，应避免环境 pH 出现过大的波动，力求稳定，以提高发酵菌的产酸

能力。

d. 溶解氧量 各种氨基酸发酵过程中的溶解氧量是由通风与搅拌两方面决定的，氨基酸发酵的最佳通风搅拌条件如表 6-1 所示。

表 6-1 氨基酸发酵的最佳通风搅拌条件

氨基酸	pH	溶氧分压/Pa	E^*/mV	氧满足率	E^* (临界)/(mV)
谷酰胺	6.50	≤ 1013.25	≤ -150	1.00	150
谷氨酸	7.80	≤ 1013.25	≤ -130	1.00	130
精氨酸	7.00	≤ 1013.25	≤ -170	1.00	170
赖氨酸	7.00	≤ 1013.25	≤ -170	1.00	170
苏氨酸	7.00	≤ 1013.25	≤ -170	1.00	170

*为氧化还原电位。

6.4.5 重要的氨基酸药物生产工艺

在现代制药工业中，以发酵法生产氨基酸的基本过程包括培养基的制备，菌种培养与选育，发酵，产品的提取与纯化等步骤。

工业发酵过程中，制备发酵培养基的碳源主要为淀粉水解糖、糖蜜、干薯粉以及含淀粉粮谷，氮源通常选用豆饼水、硫酸铵及尿素。发酵方式为液体深层通风培养。

6.4.5.1 赖氨酸生产工艺

赖氨酸是人体及动物体自身不能合成的必需氨基酸，其化学名称为 2,6-二氨基己酸或 α, δ -二氨基己酸。分子式为 $C_6H_{14}N_2O_2$ ，相对分子质量为 146.20，结构式为： $H_2N-CH_2-CH_2-CH_2-CH-COOH$

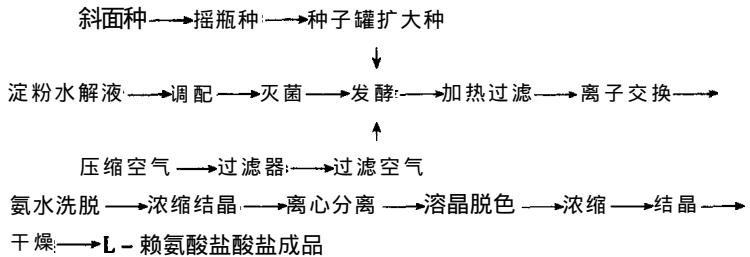
$$\begin{array}{c} | \\ NH_2 \end{array}$$

L-赖氨酸自乙醇水溶液中得到针状结晶，其盐酸盐为单斜晶系白色粉末，无臭、味苦，熔点 263~264℃ 易溶于水 几乎不溶于乙醇和乙醚。

L-赖氨酸对少年儿童尤为必需，可以促进生长发育，提高智力，有助于体内钙的吸收和骨骼的生长，直接影响到身体高度；对成人可以促进食欲，增强体力和增加耐力，延缓衰老。目前世界上赖氨酸的产量已近 5 万 t，但市场需求量仍在增加。我国的生产规模接近于每年 500t。

a. 赖氨酸生物合成途径 赖氨酸的生物合成途径有两种，即二氨基庚二酸途径 (DAP) 和 α -氨基己二酸途径。二氨基庚二酸存在于细菌、绿藻、原生虫和高等植物中，后者存在于酵母菌和霉菌中。目前赖氨酸发酵生产均采用细菌类的谷氨酸生产菌的突变株经 DAP 途径合成赖氨酸，至于其中的代谢调节，各个菌种则不尽相同。

b. L-赖氨酸生产工艺流程



c. 发酵菌与培养基成分

① 发酵菌：北京棒状杆菌 (*Corynebacterium perkinense*) AS1.563。种子培养基成分 (%)：葡萄糖 2.5~3.0，玉米浆 2.0，大豆水解液 2.0，磷酸氢二钾 0.1，硫酸镁 0.05，硫酸铵 0.5，尿素 0.2，pH7.2。

② 发酵菌培养基成分 (%)：淀粉水解液 12~14，糖蜜 2.0，玉米浆 1.0，毛发水解液 2.0，磷酸氢二钾 0.1，硫酸镁 0.05，硫酸铵 1.2，尿素 0.5，pH7.2，灭菌前加甘油聚醚 1L(5m³发酵罐)。

d. 主要工艺条件控制

① 发酵条件：接种量 10% (体积分数)，发酵温度 30℃，发酵

时间 42~51h 通气量 1:0.6(体积比), 搅拌速度 180r/min。

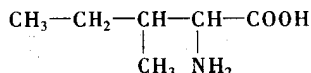
⑤发酵液处理: 发酵结束后, 以 10L/min 的流速进铵一型 732 离子交换柱, 至流水液 pH 为 5.0 表面 L-赖氨酸已吸附至饱和。分别以无离子水按正反方向冲洗至流水液澄清为止, 然后用氨水 (2mol/L) 以 6L/min 流速洗脱, 分部收集洗脱液。

⑥浓缩结晶: 将洗脱液减压浓缩至 12~14°Bé, 调 pH4.9, 再减压浓缩至 22~23°Bé, 于 5 时静置结晶, 过滤后得 L-赖氨酸盐酸盐粗品。

⑦精制 在粗品 L-赖氨酸盐酸盐中加入无离子水, 加热至 50℃ 搅拌溶解, 加适量活性炭于 60 下脱色 1h 趁热过滤 滤液置于 5℃ 下静置结晶, 结晶体经过滤、烘干, 即得成品 L-赖氨酸盐酸盐。

6.4.5.2 L-异亮氨酸 L-Isoleucine, L-Ile) 生产工艺

L-异亮氨酸为人体必需氨基酸, 存在于所有蛋白质中。其化学名称为 2-氨基-3-甲基戊酸, 分子式为 $C_6H_{13}NO_2$ 相对分子质量为 131.17 结构式为:



L-异亮氨酸在乙醇溶液中为叶片状或片状晶体, 可溶于热醋酸, 在 20 乙醇中的溶解度为 0.072, 在 25 水中的溶解度为 4.12, 不溶于乙醚, 熔点为 285~286℃。

a. L-异亮氨酸生产工艺

斜面种 → 摇瓶种 → 发酵罐扩大种

↓

淀粉糖化液 → 调配 → 灭菌 → 发酵 → 过滤 → 离子交换 → 浓缩脱色
→ 过滤 → 氨水中和 → 沉淀 → 精制 → 烘干 → L-异亮氨酸成品

b. 种子培养基组成成分与菌种培养

①种子培养基成分(%) : 葡萄糖 2, 玉米浆 2.5, 豆饼水解液 0.1, 尿素 0.3, pH6.5.

⑥培养方法：AS1.998 菌种于 30℃ 温度下摇床培养 16h , 摇摆频率 105 次 / min 冲程 7cm 二级种子接种量 35% , 30℃ 温度下培养 8h。

c. 发酵培养基组成成分与发酵条件控制

①发酵培养基成分(%) : 淀粉糖化液 11.5 , 玉米浆 2.0 , 豆饼水解液 0.4 , 碳酸钙 4.5 , 硫酸铵 4.5 , pH7.2。

②发酵条件控制 : 发酵培养基于 118 ~ 120 °C 下灭菌 30min , 立即通入冰盐水冷却至 25℃ , 接入 1% (体积分数) 的菌种 , 于 30 ~ 31℃ 下通气搅拌培养 60h , 搅拌速度为 180r/min , 通气量为 0.2L/min。在发酵 24 ~ 50h 之间不断补充尿素至 0.6 (尿素与物料体积比为 0.6:1) , 氨水至 0.27 (氨水与物料体积比为 0.27:1) 。

d. 发酵液处理 发酵结束后 , 加热至 100℃ 维持 10min 冷却过滤。滤液加硫酸和草酸调 pH3.5 , 过滤。滤液以树脂量 1.5% / min 的流速进 H⁺ 型 732 离子交换柱 , 以 100L 无离子水洗柱 , 以 60℃、0.5mol/L 氨水按 3L/min 的流速进行洗脱 , 分部收集洗脱液。

e. 精制 合并洗脱液 , 于 70 ~ 80 °C 下减压浓缩至粘稠状 , 加水再浓缩至粘稠状 , 如此重复三次 , 以清除氨。浓缩液加水 , 加活性炭于 70℃ 下搅拌脱色 1h , 过滤 , 再经减压、浓缩后 , 用 2mol/L 氨水调 pH 6.0 于 5℃ 温度下) , 再转入 105℃ 温度下烘干 , 可得 L- 异亮氨酸粗品 , 以后再经溶晶、除杂、脱色、氨水中和等工序 , 可得 L- 异亮氨酸成品。

6.5 抗生素类药物生产

6.5.1 概述

抗生素是微生物在生命过程中产生的一种次级代谢产物或人工衍生物 , 是目前世界医药品中消费量最大、临床上使用最为广泛的重要生物药物。至今世界各国实际生产和应用于临床的

抗生素约为 120 种，其中以青霉素类、四环素类、头孢霉素类、氨基糖苷类以及大环内酯类最为常用。全世界抗生素的年销售额 1992 年为 203 ~ 210 亿美元，2000 年预计销售额可突破 300 亿美元。

随着抗生素研究的不断深入和抗生素早已扩大到作为细菌性疾病、癌症和其他各种疾病的治疗药物，现在，抗生素的实际涵义包括了抗菌、抗癌、抗病毒、抗寄生虫、驱肠虫以及作植物生长调节剂等。

6.5.2 抗生素的分类

抗生素通常以生物来源、作用对象、作用机制、化学结构等作为分类的依据。

6.5.2.1 依据生物来源分类

依据生物来源，可将抗生素分为细菌抗生素、放线菌抗生素和真菌抗生素三大类。

a. 细菌抗生素 最早是从细菌中发现了微生物之间的拮抗作用，并且从中发现了抗生素短杆菌素。研究发现，在细菌中，革兰氏阳性细菌和革兰氏阴性细菌，如枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*)、多粘芽孢杆菌 (*Bacillus Poëmyxa*)、绿脓杆菌 (*Pseudomonas aeruginosa*)、肠道杆菌 (*Bacterium entericum*) 等是主要的抗生素产生菌。它们生产的抗生素绝大多数为杆菌肽 (*Bacifracin*)、多粘菌素 B、M (Polymyxin B、M 等) 其中多粘菌素类是重要的抗革兰氏阴性细菌的抗生素之一。近年来，研究人员分别从芽孢杆菌、假单胞菌、节杆菌以及棒状杆菌中筛选出了属于氨基环醇、 β -内氨酸、大环内酯和氯霉素类的新型抗生素。

b. 放线菌抗生素 几乎所有类型的抗生素都可以从放线菌中的链霉菌属中找到，临床上重要的抗生素大部分是由链霉菌产生的。迄今为止，在数千种的抗生素中，由放线菌产生的抗生素占抗生素总数的 52% ~ 60%。近年来，研究人员对小单胞菌属

(*Micromonospora*)、诺卡氏菌属 *Nocardia*) 产生了浓厚兴趣。小单孢菌所产生的庆大霉素等抗变形杆菌和绿浓杆菌抗生素，抗菌谱广，抑制作用强，其安全性超过了新霉素、卡那霉素和粘霉素，在临床上已取得成功；由诺卡氏菌产生的作为新的 β -内酰胺抗生素类，如诺卡杀菌素 (*Nocardicin*)、抗白血病药物以及安莎大环内酯类，如安莎美登素、安莎菌素也已研究成功。

c. 真菌抗生素 自然界中真菌的数量高达 4~5 万种。近年来，每年新介绍的真菌药有 1 000 多个新种。现已知，确有实用价值的抗生素产生菌主要是曲霉属、青霉属细菌，所产生的抗生素大多属于萜类化合物、甾类化合物以及芳香族化合物。

现已知某些真菌能同时产生多种不同的抗生素，如烟曲霉 (*Aspergillus fumigatus*) 等可同时产生 10 多种不同的抗生素。但是，研究者们也同时发现，许多不同的真菌能够产生同一类型的抗生素，如青霉素、头孢菌属 C。

6.5.2.2 按照作用对象分类

依据抗生素的作用对象不同，可将其分为七大类型：抗革兰氏阳性细菌抗生素，抗革兰氏阴性细菌抗生素，抗真菌抗生素，抗结核分枝杆菌抗生素，抗病毒、抗原虫、杀昆虫抗生素，抗肿瘤抗生素和广谱抗生素。

6.5.2.3 按照化学结构分类

依据抗生素的化学结构不同，可将其分为十大类型： β -内酰胺类抗生素、氨基环醇类抗生素、四环素类抗生素、大环内酯类抗生素、萜环类抗生素、安莎霉素类抗生素、多烯大环内酯类抗生素、多醚类抗生素、肽类抗生素以及核苷类抗生素。

6.5.3 青霉素生产方法

青霉素是最早发现的、最重要的抗生素之一，应用于临床已有 40 多年的时间，在控制敏感性金黄色葡萄球菌、链球菌、肺炎双球菌、淋球菌、脑膜炎双球菌以及螺旋体方面仍发挥着重要的

作用。对敏感性的革兰氏阳性球菌所引起的感染，青霉素仍是首选药物。

6.5.3.1 青霉素的化学特性

青霉素的结构为 6-苯乙酰胺，是由一个四氢噻唑环和一个 β -内酰胺环稠和而成。医药上所用青霉素为 6-苯乙酰胺基青霉烷酸的钠盐或钾盐。青霉素钠的分子式为 $C_{16}H_{17}N_2NaO_4S$ ，相对分子质量为 356.36，为白色结晶性粉末，无臭或微有特异性臭，有引湿性，遇酸、碱或氧化剂等迅速失效，水溶液在室温下放置易失效，易溶于水，溶于乙醇，在脂肪、油或液状石蜡中不溶。

6.5.3.2 青霉素产生菌的选育

一种适合于深层发酵的产黄青霉即橄榄型青霉 NRRL1951（产青霉素能力为 100u/ml）被筛选出来，后经 X-射线、紫外线诱变处理，研究者们得到了产青霉素能力达 1 000 ~ 1 500u/ml 的变种如 NRRL1951 变异系谱的 Q176 菌株。针对该菌株在发酵过程中产生色素的不足之处，研究人员对其进行了系列诱变处理，最终得到了不产色素的新型变种 51-20。目前各国青霉素生产厂家所使用的生产菌均为该菌种的后代，青霉素的发酵水平高达 40 000 ~ 50 000u/ml。

6.5.3.3 青霉素生产方法

a. 培养基组成成分 青霉素的工业化生产主要采用三级发酵法，一级发酵用培养基的主要组成成分为淀粉水解糖、葡萄糖、乳糖、玉米浆，二级发酵用培养基成分为淀粉水解糖、玉米浆、硝酸铵，三级发酵用培养基成分为淀粉水解糖、葡萄糖、蔗糖、玉米浆、花生饼粉、硝酸铵、尿素、苯乙酰胺、硫代硫酸钠、 $CaCO_3$ 等。

b. 发酵过程的条件控制 目前，青霉素发酵工艺过程主要控制的条件有以下 6 个方面：

④ 加糖：不同生产厂家加糖方式不太统一。对于丝状菌，通常依据发酵液残糖量和值的变化，加糖量为每小时 0.07% ~ 0.15% 球状菌则在发酵 20h 左右，pH 高于 6.5 时开始加糖；有

些生产单位采取流加法加糖或连续定向法加糖，效果较佳。

⑥温度控制：产黄青霉的生长温度与青霉素分泌温度不相一致，通常种子培养温度为 25℃，发酵罐发酵温度依次为 26℃→24℃→23℃→22℃。

回pH的调节：青霉素发酵过程的 pH 一般是通过添加葡萄糖进行控制，要求发酵过程的 pH 控制在 6.2~6.4。

⑦添加前体：发酵 8~12h 发酵液浓度为 40% 左右，发酵单位上升至 2500u/ml 时开始补加前体物质。要求每 4h 添加一次，使发酵液中残余苯乙酰胺的浓度为 0.05%~0.08%。

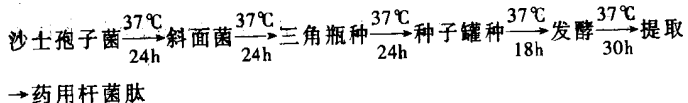
⑧通气量：青霉素发酵过程要求发酵液中溶氧量应不低于饱和情况下溶解氧量的 30%，通气比一般为 1:(1~0.8) (体积比)，种子罐的搅拌转速应高于发酵罐的搅拌转速。

消泡：发酵过程常有大量泡沫产生，应随时采用豆油、玉米油和“泡敌”加以消除。

6.5.4 杆菌肽生产方法

杆菌肽 (Capreomycin) 是由枯草杆菌 (*Bacillus subtilis*) 或地衣芽孢杆菌 (*B. Licheniformis*) 产生的多组分抗生素。其性状为白色至淡黄色的粉末，无臭，味苦，有引湿性，易被氧化剂破坏，在溶液中被多种金属盐类沉淀。在临床上，主要用于耐青霉素的葡萄球菌及链球菌的感染。

目前，杆菌肽主要采用液体深层发酵法生产，所用培养基主要组成成分为淀粉水解液、蔗糖、大豆粉、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 CaCO_3 等，全程发酵温度为 37℃，发酵时间 30h。其简要生产工艺流程如下：



6.5.5 红霉素生产方法

红霉素 (*Erythromycin*) 是红色链霉菌 (*Streptomyces erythreus*) 产生的多组分的抗生素, 其中红霉素 A 为有效成分, 红霉素 B、红霉素 C 为杂物, 红霉素 C 为国产红霉素的主要杂质。

红霉素为白色或类白色的结晶或粉末, 无臭, 味苦, 微有吸湿性, 在甲醇、乙醇或丙酮中易溶, 在水中极微溶解。临床上, 红霉素主要用于对青霉素耐药的葡萄球菌感染, 也可用于支原体肺炎和白喉带菌者。

我国 20 世纪 60 年代开始生产红霉素, 采用的菌种为 P₃₂₋₁₀₂ 菌株, 后来采用原生质体融合的方法获得高产菌株, 发酵单位量提高了 15% 左右, 且红霉素 C 的含量低。

用于红霉素斜面孢子的培养基组成成分主要为淀粉、玉米浆、硫化钠、硫酸铵等, 发酵培养基的组成成分主要为淀粉、葡萄糖、玉米浆、黄豆饼粉、磷酸二氢钾、硫酸铵等。

全程发酵温度 31℃, 发酵罐通风量为 1:(0.8~1.2)(体积比)。发酵过程用豆油或“泡敌”作消泡剂, “泡敌”使用量为 0.05%。提炼红霉素主要用三种方法: 溶媒萃取法、离子交换法和大孔树脂吸附法, 其中溶媒萃取法提炼红霉素工艺可使生产过程连续化、收率高、周期短; 红霉素乳酸盐沉淀法已为国内许多生产厂家所采用, 一次结晶成品纯度为 930~960u/mg, 符合药典标准。

6.5.6 灰黄霉素生产方法

灰黄霉素 (*Griseofulvin*) 是由灰黄青霉 (*Penicillium griseofulvum*)、黑青霉 (*P. nigricans*)、展开青霉 (*P. patulum*)、金氏青霉 (*P. janczewskii*)、瑞士青霉 (*P. raistrichii*)、微白青霉 (*P. albidum*)、梅林青霉 (*P. melinii*) 等产生的, 而工业化生产中多数使用展开青霉或黑青霉。

灰黄霉素的结构包含一个芳香族的苯环 (A)、一个五角的具有 2 个氧原子的杂环 (B) 和一个氢化芳香族六角环 (C)。A 和 B 环共同形成一个香豆酮系，其分子式为 $C_{17}H_{17}ClO_6$ ，相对分子质量为 352.76，为白色或类白色的微细粉末，无臭，味微苦。在临床上主要用于头癣及手足甲癣等体表真菌感染。

灰黄霉素的主要生产原料为淀粉、淀粉水解液、葡萄糖、蔗糖、乳糖、玉米浆 $NaNO_3$ 、氯化钾、天冬氨酸、苏氨酸、谷氨酸、组氨酸等。

全程发酵温度 $25^{\circ}C$ ，pH 6.8 ~ 7.2 通风量 $1 m^3/(m^3 \cdot min)$ 。发酵结束后，可用活性炭吸附法分离滤液中的灰黄霉素，再用乙醚或氯仿由活性炭上洗脱下来。滤出的菌丝经干燥后可用石油醚连续抽提除去脂肪，再用二氯甲烷 (CH_2Cl_2) 连续抽提、脱色后，分部结晶纯化。

7. 淀粉加工过程中的污水处理技术

7.1 概述

淀粉加工企业每年向自然环境中排放的污水高达上亿吨，由此所造成的环境污染愈来愈严重。废水中所带有的蛋白质及其他固形悬浮物在自然环境因生物分解而散发出恶臭；有的废水带有大量热而形成热污染；还有的废水带有一定的颜色。

为了有效地解决水质污染问题，对淀粉生产企业的排放水的质量应有一个严格的控制，归纳起来主要有五项指标；即排放水的 pH、悬浮物量、生物需氧量 (BOD)、化学需氧量 (COD) 以及有毒物含量。详细的规定可参见中华人民共和国国家标准 GB8978—1996。

7.2 好氧生物处理技术

应用好氧性或兼性厌氧微生物来分解氧化污水的方法称好氧生物处理技术。好氧生物处理技术又以微生物生长形式的不同，分为活性污泥法和生物膜法两种类型。

用好氧生物处理技术处理污水是国内外广泛采用的方法。此方法所需时间较短，在适宜条件下 BOD 的去除率可达 80% ~ 90% 甚至可达 95% 以上。

7.2.1 活性污泥处理法

活性污泥处理法始于 1941 年，至今仍是生物处理废水的主要方法，一般日处理百万吨废水的工厂多采用此法。

活性污泥是一种绒絮状小颗粒，主要由菌胶团形成菌、细菌、霉菌、酵母菌、原生动物、微型后生动物、有机和无机胶体以及悬浮物组成。为使活性污泥能有效地处理污水，应控制温度为 20 ~ 30 之间，pH6 ~ 8，BOD : N : P = 100 : 5 : 1，溶解氧量为 1.5 ~ 3mg/L。

活性污泥处理法依据废水在系统中运动的情况，可分为推流式爆气处理法和完全混合式爆气处理法，在原有爆气法的基础上又发展了几种生物爆气法。

7.2.1.1 推流式爆气处理法

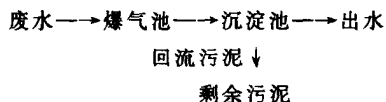
推流式爆气处理法采用一个长条的矩形爆气池，污水与活性污泥同时进入爆气池，向前方推进直到池的末端。池中的爆气装置多采用鼓风式的，鼓入的风沿池长在池横面的一侧进入爆气。爆气池内，前负荷较高，以利于功能菌的生长，不易发生污泥沉淀、膨胀。爆气后的混合液流入次级沉淀槽进行固液分离，去除活性污泥后的清水可排放。沉下的活性污泥一部分回流入爆气槽，其余部分作为剩余污泥排除，使污水的净化连续进行。为了增强爆气效果，各种不同的推流式爆气池在爆气方法上有所不同。最为常规的推流式爆气法为普通爆气法，此法是在整个池长的范围内均匀地通入空气。在整个爆气池中，其前端以吸附凝聚作用为主，需要 20 ~ 40 min，可吸附 BOD85% ~ 90%；后阶段以有机物被氧化分解和细胞原生质合成为主，所需时间较长。

此法对低浓度污水的处理效果良好，污泥负荷为 0.2 ~ 0.5 kg BOD/kg MLSS·d (MLSS 为混合液悬浮固体量)，爆气池混合液悬浮固体浓度为 1 500 ~ 3 000 mg/L，活性污泥回流比 10% ~ 30%，去除每千克 BOD 需要供氧 44 ~ 62 m³，且方法稳定。但是不适宜进水浓度高、冲击负荷大的某些工业废水的处理。

7.2.1.2 完全混合式爆气处理法

完全混合式爆气处理法是指流入爆气池的废水一进入爆气

池就迅速与池中已有的混合液充分混合，使浓度较高的废水得到较好的稀释，以使曝气池中各处的水质基本上相同，充氧均匀，其简要流程如下：



完全混合式曝气处理法的特点是：设备简单、充氧率高。只要控制好进水流速，就能使曝气池工作点维持在微生物生长曲线上的某一点（即维持某一个比生长速度），便于最优化控制，以满足处理要求。另一个特点是在曝气区内好氧速率是均匀的。此外，因废水一进入曝气池就被池中原有的混合液（已处理一定时间，BOD 较低的水）稀释，因此本法多用于 BOD 较高的和水质不太稳定的废水处理。对完全混合式曝气池的控制，可采用连续培养动力学的有关原理来推算废水在曝气池中的停留时间等参数，以对过程进行控制，保证出水的质量。

完全混合式曝气法可用压缩空气来曝气，不过目前大多数是用机械进行表面曝气。如在废水处理中常将叶轮装在废水表面进行曝气。叶轮在废水表面旋转，把空气带入液体，另外，旋转的叶轮在中心部位有一定的负压，具有提升作用，促使水和氧在曝气池中混合、循环。

7.2.2 生物膜法（生物滤池法）

生物膜法又称生物滤池法，是模拟自然界中土壤自净化的一种污水处理法。该法可使微生物群体附着于固体填料的表面，形成生物膜。生物膜的外表层一般为好氧性微生物，因此称为好氧层或好气层；内层因氧扩散的影响而供氧不足，促使厌氧性微生物大量繁殖形成厌氧层。

近 50 年来，生物膜法在不断改进，出现了塔式滤池、生物转盘、浸没法滤池等多种形式。

7.2.2.1 生物膜中常见的微生物

生物膜中的微生物包括了好氧性、厌氧性和兼性厌氧性微生物三个类群，其中也有藻类、原生动物以及蚊、蝇的幼虫等较高等的动物。

生物膜内常见的细菌有：无色杆菌（*Acronobacter*）、假单孢菌属（*Pseudomonas*）细菌、产黄菌属（*Flavobacterium*）细菌以及产碱杆菌（*Alacliigenes*）等。在生物粘膜内，常出现丝状乳游球衣细菌（*Sphaerotilusnatans*）和白硫细菌（*Beggiata*），在滤液的底部还存在着亚硝化单孢菌属（*Nitrosomonas*）和硝化菌属（*Nitrobacter*）的微生物。在滤液的顶端因有阳光照射常生活着席藻属（*Phormidium*）和小球藻属（*Chlorella*）等藻类生物，而在生物膜滤液中原生动物和一些较高等的动物均以生物膜为食，它们能促使细菌群体高速率增殖新细胞，以利于污水净化。

7.2.2.2 几种生物膜处理方法

a. 生物滤池法 此法适于处理低悬浮物、低 BOD 值的污水 其一般由滤池、布水装置、滤料和排水系统组成。生物滤池的操作方式可分为低速滤池和高速滤池两种。通常低速滤池的水力负荷为 $1 \sim 4 \text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 高速滤池 $8 \sim 40 \text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。以 $\text{kgBOD} / \text{m}^3$ 表示的生化负荷，低速滤池为 $0.08 \sim 0.4$ ，高速滤池为 $0.4 \sim 10$ 。

b. 塔式滤池法 塔式滤池法是根据填料洗涤塔发展而来的，有机负荷量可达 $2000 \sim 3000 \text{BOD} / \text{m}^3 \cdot \text{d}$ 对去除废水中的 BOD、COD 及酚、氰、丙烯氰等有毒物质均有较好的效果。

塔式滤池的主要设备是一高达 20 余米的圆形直筒，由塔身、布水器、滤料、格栅、集水器等组成。处理废水时，废水由泵提升，自上而下流动。与普通生物滤池相比，水力负荷量提高了 5 ~ 10 倍。有机负荷量提高了 2 ~ 6 倍。由于占地面积小，比较适于大城市处理负荷量较大的废水。

c. 生物转盘法 也称浸没生物法，是由生物滤池发展起来的一种较新的处理污水的方法。由于生物转盘上的生物膜能够周期性

地交替运动于空气和废水两相中，所以生物处理过程进行得较快。

生物转盘是由固定在横轴上的一系列间距相等的圆形盘片所组成。圆盘一半浸在废水中，另一半暴露在空气中，依靠电动机带动圆盘缓慢转动。盘片上长着一层生物膜，水中部分的生物膜吸附废水中的有机物。当转至水面时，从空气中吸收所需的氧而进行生化反应。如此反复进行，清除废水中的有机物，达到净化水的目的。

生物膜的形成是需要培养的，其培养方法是在处理槽中加入少量工业废水和适量粪尿作培养液，用葡萄糖或米泔水作补充碳源，以尿素、硫酸铵作补充氮源，用处理同类型污水的活性污泥或排污口附近的污泥作菌种。开始阶段进行闷曝（即将污泥和污水注入氧化槽中，圆盘转动），48h后换水，要求水温 25℃。7 天左右生物膜即形成。

7.3 厌氧法污水处理技术

厌氧处理亦称厌氧消化法、污泥消化法、甲烷发酵法，是利用厌氧性微生物的生命活动来分解处理废水中有机物的一种方法。厌氧生化法处理后的最终产物是甲烷、二氧化碳以及少量氮气、氢气和氨等。此法较适用于淀粉工业或发酵工业中有机物浓度高、BOD 达 5 000 ~ 10 000 mg/L 的废水。

7.3.1 厌氧生化处理的原理

用厌氧法处理废水是一个极其复杂的生化过程，整个过程可分为两个阶段完成：

第一阶段为液化阶段，主要由厌氧菌和兼性厌氧菌作用，如梭状芽孢杆菌属（*Clostridium*）细菌、厌氧硝化球菌 *Peptococcus anaerobus*）、乳酸杆菌（*Lactobacillus*）、葡萄球菌属（*Staphylococcus*）细菌以及大肠杆菌（*Escherichia coli*）等，这些微生物将淀粉水解为单糖，进而生

菌种培养的初期一定要调节 pH 为 7.0 以上,在 CO_2 生成终止后逐步添加污水,随时调节环境 pH,直至菌种培养成熟。

7.3.3.2 控制氧气

厌氧生化处理过程无需氧的参加,所以处理废水的系统装置应严格密闭、隔绝氧气。

7.3.3.3 pH 与发酵温度

厌氧生化处理过程的适宜 pH 为 7.0 ~ 8.0。当消化情况良好时,消化池内的 pH 为 6.8 ~ 7.2。

发酵过程应严格控制温差,维持相对衡定的温度,一般要求温差幅度小于 5°C 。大于 5 的温度幅度,将对发酵菌的生命活动产生明显影响。

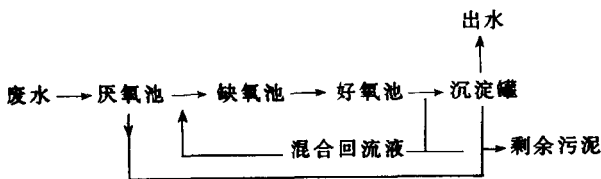
7.3.3.4 搅拌

一般来讲,在适宜的条件下处理废水,搅拌越强烈,处理能力就越大。通过搅拌,可以使废水和菌体充分接触、消化温度均匀、沼气迅速逸散、防止污泥沉淀,同时可破坏液面生成的泡沫。

7.4 A/O 系统污水处理技术

A/O 系统是亏氧好气系统 (Anoxicoxic system) 的简称,是 20 世纪 70 年代国外开发的新型废水处理工艺,是在原有好氧处理曝气池的基础上,引进亏氧段或缺氧段,采取内部污泥循环,能同时具有脱氮、除磷和去除 BOD 的多种作用。

7.4.1 A/O 系统简要工艺流程



7.4.2 A/O 系统工艺说明

废水首先进入厌氧池（溶解氧量小于 0.5mg/L ）与回流污泥完全混合，在反硝化菌的作用下，将废水中 **BOD** 作碳源以 NO_3^- 为电子受体进行无氧呼吸， NO_3^- 被还原成氮气释放于大气中。从厌氧池出来的废水进入缺氧池，与从好氧池出来的回流混合液混合，在反硝化细菌的进一步作用下，将从好氧池带来的 NO_3^- 与剩余的 **BOD** 进一步作用，而将 **BOD** 和氮除去。经过反消化的废水再流入好氧池，**BOD** 已被除去 $50\% \sim 60\%$ ，此时消化菌较为活跃，它把废水中的 NH_3 氧化为 NO_3^- ，供缺氧阶段反消化。与此同时，由于以氧化 **BOD** 所提供的能量来吸收磷，这些磷在剩余污泥中最终被带出，从而达到除磷目的。通过 **A/O** 系统的内部循环，**BOD**、氮、磷均被除去。

7.4.3 A/O 系统工艺特点

A/O 系统是目前国内外极力推广的一种废水处理新工艺，该系统能维持较高的 **MLVSS**（混合液挥发性悬浮固体量），净化效率高，动力消耗低，建造投资少。运行过程对生活污水处理 $3 \sim 5\text{h}$ 对 **BOD**、**N**、**P** 的去除率可达 $85\% \sim 90\%$ 。此外，由于在处理过程中消化和反消化的交替运行，从而抑制了丝状菌的生长，因此，污泥膨胀现象不会发生，且污泥絮凝性好，使二次沉降池有良好的泥、水分离效果，出水质量较高，是目前国内外极力推广的一种废水处理工艺。

7.5 PSB 污水处理法

利用光合细菌（**photosynthetic bacteria**）净化高浓度有机废水，是利用微生物处理废水的一种新方法，简称 **PSB** 法。此方法的特点是有机负荷高、所需溶氧少、耐盐能力强、除氮效果好、不产生

污泥、投资费用低、动力消耗低、占地面积少等。目前，用 PSB 法处理有机废水的报道已有数十例，被处理的有机废水的 BOD 除少数在 2 000mg/L 左右外，大多数高达 1 000mg/L 以上。经可溶化处理并培养光合细菌后，废水 BOD 去除率高达 90% 以上，有的甚至高达 98%。因此，用 PSB 法处理有机废水已受到人们的高度重视。

7.5.1 光合细菌的特性

光合细菌是一大类以光为能源，以 CO_2 或有机碳化物为碳源进行光合作用的微生物的总称，在自然界分布极为广泛，可以说凡有光的地方，都可发现光合细菌。光合细菌的细胞形态、大小因品种不同而异。即使是同一种菌，常因环境条件或生长阶段的不同，其细胞形态亦有变化。通常情况下，光合细菌的细胞形态多呈球状、卵形、杆状、弧状、环状、丝状、链状、螺旋状和锯齿状等。

光合细菌依据产氧与否，可分为两大类群：产氧型光合细菌和不产氧型光合细菌。根据不产氧型光合细菌细胞内的叶绿素、类胡萝卜素的组分不同，又将其分为紫细菌、绿细菌和不定位属细菌三大亚群。用于废水处理的细菌主要是不产氧型光合细菌。

光合细菌菌体细胞营养丰富，含有多种氨基酸、B 族维生素、蛋白质、叶酸，就氨基酸组成看，它接近含蛋氨酸高的动物蛋白，尤其是维生素 B_{12} 和生物素含量较高。此外，光合细菌细胞内还含有临床所需的生理活性物质——辅酶 Q，据分析，在 1g 纯干的光合细菌菌体中，辅酶 Q 的含量为 10mg。

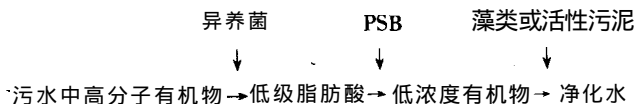
7.5.2 PSB 法净化废水的原理

光合细菌对污水的净化作用与其细胞的结构和物质、能量的代谢有关。尤其是红色非硫细菌中的一些，其细胞内具有营光合作用的载色体，它由细胞膜分化而成，是一类直径为 (600 ~ 1 000) \times

10^{-10} m 的球状体或胞状体。载色体颗粒中密集地包含着细菌叶绿素和类胡萝卜素，进行着光合磷酸化反应和光氧化还原反应。研究表明，当红色非硫细菌处于好氧、黑暗条件下时，如好氧微生物一样，通过三羧酸循环来进行有机酸代谢；在厌氧、光照条件下，这一物质循环被抑制时，它们便迅速转换代谢通路，并能把有机酸异化和同化的氧化还原反应和光氧化还原反应紧密地连接起来。这种随生长条件的变化而灵活改变代谢途径的特性即为光合细菌被用于处理高浓度有机废水的主要原因。

7.5.3 PSB 法简要技术路线

利用光合细菌处理复杂的有机物时，先要经过可溶化处理，使之转化为低分子物质。同时应注意加大接种量，适当添加锰、铁等金属离子，尽可能减少处理过程的杂菌生长量，保持处理系统中的 PSB 的优势。其简要技术路线如下：



7.5.4 PSB 方法的优点与不足

PSB 法是近年来利用微生物处理高浓度污水方法的新进展。与活性污泥法相比，除前面谈到的优点之外，其不足之处是：菌种培养要求严格，运转初期的调试技术要求较高，被处理后的水最终 BOD 浓度为 200mg/L 左右，还需用活性污泥或藻类进一步处理。

附 录

玉米淀粉乳浓度、波美度和相对密度关系表

(波美度 15.5℃ 相对密度 15.5℃/15.5℃)

波美度	相对密度	淀粉浓度/% (干基)	淀粉浓度/ (g/L)(干基)	波美度	相对密度	淀粉浓度/% (干基)	淀粉浓度/ (g/L)(干基)
0.0	1.0000	0.000	0.000	3.0	1.0211	5.331	54.280
0.1	1.0007	0.178	1.780	3.1	1.0218	5.509	56.200
0.2	1.0014	0.354	3.590	3.2	1.0226	5.686	58.000
0.3	1.0021	0.531	5.270	3.3	1.0233	5.864	59.910
0.4	1.0028	0.708	7.070	3.4	1.0241	6.042	61.710
0.5	1.0035	0.885	8.870	3.5	1.0248	6.220	63.630
0.6	1.0041	1.062	10.660	3.6	1.0255	6.397	65.430
0.7	1.0048	1.239	12.460	3.7	1.0263	6.575	67.340
0.8	1.0055	1.416	14.260	3.8	1.0270	6.753	69.260
0.9	1.0062	1.593	15.940	3.9	1.0278	6.930	71.060
1.0	1.0069	1.777	17.850	4.0	1.0285	7.108	72.980
1.1	1.0076	1.955	19.650	4.1	1.0292	7.286	74.770
1.2	1.0083	2.132	21.450	4.2	1.0300	7.463	76.690
1.3	1.0090	2.310	23.250	4.3	1.0307	7.641	78.610
1.4	1.0097	2.488	25.040	4.4	1.0314	7.819	80.530
1.5	1.0105	2.666	26.840	4.5	1.0322	7.997	82.320
1.6	1.0112	2.843	28.640	4.6	1.0329	8.174	84.240

续表

波美度	相对密度	淀粉浓度/% (干基)	淀粉浓度/ (g/L)(干基)	波美度	相对密度	淀粉浓度/% (干基)	淀粉浓度/ (g/L)(干基)
1.7	1.0119	3.021	30.440	4.7	1.0336	8.352	86.160
1.8	1.0126	3.199	32.350	4.8	1.0343	8.530	88.070
1.9	1.0133	3.376	34.150	4.9	1.0351	8.707	89.990
2.0	1.0140	3.554	35.950	5.0	1.0358	8.885	91.790
2.1	1.0147	3.732	37.750	5.1	1.0366	9.063	93.710
2.2	1.0154	3.909	39.660	5.2	1.0373	9.240	95.620
2.3	1.0161	4.087	41.460	5.3	1.0381	9.418	97.540
2.4	1.0168	4.265	43.260	5.4	1.0388	9.596	99.460
2.5	1.0176	4.443	45.180	5.5	1.0396	9.774	101.380
2.6	1.0183	4.620	46.970	5.6	1.0403	9.951	103.290
2.7	1.0190	4.798	48.770	5.7	1.0411	10.129	105.210
2.8	1.0197	4.976	50.690	5.8	1.0418	10.307	107.130
2.9	1.0204	5.153	52.490	5.9	1.0426	10.484	109.040
6.0	1.0433	10.662	110.960	9.0	1.0663	15.993	170.160
6.1	1.0441	10.840	113.000	9.1	1.0671	16.171	172.190
6.2	1.0448	11.017	114.920	9.2	1.0679	16.384	174.230
6.3	1.0456	11.195	116.330	9.3	1.0687	16.526	176.270
6.4	1.0463	11.373	118.750	9.4	1.0695	16.704	178.310
6.5	1.0471	11.551	120.670	9.5	1.0703	16.882	180.340
6.6	1.0478	11.728	122.590	9.6	1.0710	17.059	182.380
6.7	1.0486	11.906	124.620	9.7	1.0718	17.237	184.420
6.8	1.0493	12.084	126.540	9.8	1.0726	17.415	186.450
6.9	1.0501	12.261	128.460	9.9	1.0734	17.592	188.490

续表

波美度	相对密度	淀粉浓度/% (干基)	淀粉浓度/ (g/L)(干基)	波美度	相对密度	淀粉浓度/% (干基)	淀粉浓度/ (g/L)(干基)
7.0	1.0508	12.439	130.490	10.0	1.0742	17.770	190.530
7.1	1.0516	12.617	132.410	10.1	1.0750	17.948	192.570
7.2	1.0523	12.794	134.330	10.2	1.0758	18.125	194.600
7.3	1.0531	12.972	136.370	10.3	1.0766	18.303	196.640
7.4	1.0539	13.150	138.280	10.4	1.0774	18.481	198.680
7.5	1.0547	13.328	140.320	10.5	1.0782	18.659	200.710
7.6	1.0554	13.505	142.240	10.6	1.0790	18.836	202.870
7.7	1.0562	13.683	144.270	10.7	1.0798	19.014	204.910
7.8	1.0570	13.861	146.190	10.8	1.0806	19.192	206.940
7.9	1.0577	14.038	148.230	10.9	1.0814	19.369	208.980
8.0	1.0585	14.216	150.150	11.0	1.0822	19.547	211.140
8.1	1.0593	14.394	152.180	11.1	1.0830	19.725	213.180
8.2	1.0601	14.571	154.100	11.2	1.0838	19.902	215.210
8.3	1.0608	14.749	156.140	11.3	1.0846	20.080	217.370
8.4	1.0616	14.927	158.170	11.4	1.0854	20.258	219.410
8.5	1.0624	15.105	160.090	11.5	1.0863	20.436	221.560
8.6	1.0632	15.282	162.130	11.6	1.0871	20.613	223.600
8.7	1.0640	15.460	164.170	11.7	1.0879	20.791	225.760
8.8	1.0647	15.638	166.200	11.8	1.0887	20.969	227.790
8.9	1.0655	15.815	168.120	11.9	1.0895	21.146	229.950
12.0	1.0903	21.324	231.990	15.0	1.1156	26.655	296.820
12.1	1.0911	21.520	234.150	15.1	1.1165	26.833	298.850
12.2	1.0920	21.679	236.180	15.2	1.1173	27.010	301.130

续表

波美度	相对密度	淀粉浓度/% (干基)	淀粉浓度/ (g/L)(干基)	波美度	相对密度	淀粉浓度/% (干基)	淀粉浓度/ (g/L)(干基)
12.3	1.0928	21.857	238.340	15.3	1.1182	27.188	303.416
12.4	1.0936	22.035	240.500	15.4	1.1190	27.366	305.560
12.5	1.0945	22.213	242.650	15.5	1.1199	27.544	307.840
12.6	1.0953	22.390	244.690	15.6	1.1208	27.721	310.000
12.7	1.0961	22.568	246.850	15.7	1.1216	27.899	312.270
12.8	1.0969	22.746	249.000	15.8	1.1225	28.077	314.550
12.9	1.0978	22.923	251.160	15.9	1.1233	28.254	316.710
13.0	1.0986	23.101	253.320	16.0	1.1242	28.432	318.980
13.1	1.0995	23.279	255.480	16.1	1.1251	28.610	321.260
13.2	1.1003	23.459	257.630	16.2	1.1260	28.787	323.540
13.3	1.1012	23.634	259.670	16.3	1.1268	28.965	325.700
13.4	1.1020	23.812	261.830	16.4	1.1277	29.143	327.970
13.5	1.1029	23.990	263.980	16.5	1.1286	29.321	330.250
13.6	1.1037	24.167	266.140	16.6	1.1295	29.498	322.530
13.7	1.1046	24.345	268.300	16.7	1.1304	29.675	334.800
13.8	1.1054	24.523	270.570	16.8	1.1312	29.854	337.080
13.9	1.1063	24.700	272.730	16.9	1.1321	30.031	339.240
14.0	1.1071	24.878	274.890	17.0	1.1330	30.209	341.630
14.1	1.1080	25.056	277.040	17.1	1.1339	30.387	343.790
14.2	1.1088	25.233	279.200	17.2	1.1348	30.564	346.190
14.3	1.1097	25.411	281.360	17.3	1.1357	30.742	348.460
14.4	1.1105	25.589	283.520	17.4	1.1366	30.920	350.740
14.5	1.1114	25.767	285.790	17.5	1.1375	31.098	353.020

续表

波美度	相对密度	淀粉浓度/% (干基)	淀粉浓度/ (g/L)(干基)	波美度	相对密度	淀粉浓度/% (干基)	淀粉浓度/ (g/L)(干基)
14.6	1.1122	25.944	287.950	17.6	1.1383	31.275	355.290
14.7	1.1131	26.122	290.230	17.7	1.1392	31.453	357.570
14.8	1.1139	26.300	292.380	17.8	1.1401	31.631	359.850
14.9	1.1148	26.477	294.540	17.9	1.1410	31.808	262.240
18.0	1.1419	31.986	364.520	21.0	1.1696	37.317	435.580
18.1	1.1428	32.164	366.800	21.1	1.1706	37.495	437.970
18.2	1.1437	32.341	369.070	21.2	1.1715	37.672	440.490
18.3	1.1446	32.519	371.470	21.3	1.1725	37.850	442.890
18.4	1.1455	32.697	373.750	21.4	1.1734	38.028	445.280
18.5	1.1465	32.875	376.140	21.5	1.1744	38.206	447.800
18.6	1.1474	33.052	378.420	21.6	1.1753	38.383	450.200
18.7	1.1483	33.230	380.820	21.7	1.1763	38.561	452.590
18.8	1.1492	33.408	383.090	21.8	1.1772	38.739	455.110
18.9	1.1501	33.585	385.490	21.9	1.1782	38.916	457.510
19.0	1.1510	33.763	387.890	22.0	1.1791	39.094	460.020
19.1	1.1519	33.941	390.160	22.1	1.1801	39.272	462.540
19.2	1.1528	34.118	392.560	22.2	1.1810	39.449	464.940
19.3	1.1538	34.296	394.960	22.3	1.1820	39.627	467.450
19.4	1.1547	34.474	397.230	22.4	1.1830	39.805	469.970
19.5	1.1556	34.652	399.630	22.5	1.1840	39.983	472.490
19.6	1.1565	34.829	402.030	22.6	1.1849	40.160	474.880
19.7	1.1574	35.007	404.300	22.7	1.1859	40.338	477.400
19.8	1.1584	35.185	406.700	22.8	1.1869	40.516	479.920

续表

波美度	相对密度	淀粉浓度/% (干基)	淀粉浓度/ (g/L)(干基)	波美度	相对密度	淀粉浓度/% (干基)	淀粉浓度/ (g/L)(干基)
19.9	1.1593	35.362	409.100	22.9	1.1878	40.693	482.310
20.0	1.1602	35.540	411.490	23.0	1.1888	40.871	484.950
20.1	1.1611	35.718	413.890	23.1	1.1898	41.049	487.460
20.2	1.1621	35.895	416.290	23.2	1.1908	41.226	489.860
20.3	1.1630	36.073	418.680	23.3	1.1917	41.404	492.380
20.4	1.1640	36.251	421.080	23.4	1.1927	41.582	494.890
20.5	1.1649	36.429	423.480	23.5	1.1937	41.760	497.410
20.6	1.1658	36.606	425.870	23.6	1.1947	41.937	500.050
20.7	1.1668	36.784	428.270	23.7	1.1957	42.115	502.560
20.8	1.1677	36.962	430.790	23.8	1.1966	42.293	505.080
20.9	1.1687	37.139	433.180	23.9	1.1976	42.470	507.600

参 考 文 献

- [1] 二国二郎主编，淀粉科学手册，王微青等译，北京：轻工业出版社，1990
- [2] T. Galliard. *Starch: Properties and Potential*. Great Britain: Jone Wiley & Sons, 1987
- [3] R. L. Whistler and E. F. Paschall. *Starch: Chemistry and Technology*. Vol. 2. New York: Academic Press, 1967
- [4] . Kerr, R. W. . *Chemistry and Industry of Starch*. Academic Press, Inc. , 1950
- [5] 淀粉与淀粉糖（期刊），石家庄：中国淀粉工业协会，1985 - 2000
- [6] 张力田，变性淀粉广州：华南理工大学出版社，2000
- [7] Hosney, R. C. . *Principle of Cereal Science and Technology*, Second Edition. American Association of Cereal Chemists, Inc. , 1994
- [8] 李浪等，淀粉科学与技术，郑州：河南科学技术出版社，1994
- [9] R. L. Whister and E. F. Poschali. *Chemistry and Technology* Vol. 1. New York: Academic Press, Inc. , 1965
- [10] R. L. Whister. *Starch: Chemistry and Technology*. Academic Press, Inc. 1984
- [11] 张友松，变性淀粉的生产与应用手册北京：中国轻工业出版社，1999
- [12] 姚献平等，淀粉衍生物及其在造纸中的应用技术，北京：中国轻工业出版社，1999
- [13] 王彦波等，淀粉生产与质量控制技术，北京：中国商业出版社，1998
- [14] 尤新，玉米深加工技术，北京：中国轻工业出版社，1999
- [15] 邹新禧，超强吸水剂，北京：化学工业出版社，1991
- [16] O. B. Wurzburg, M. S. *Modified starches: Properties and Uses*, Second Printing. CRC Press Inc. . 1987

- [17] 宁正祥等 . 食品成分分析技术 . 北京 : 中国轻工业出版社 , 1998
- [18] G.M.A. Van Beynum, J.A. Roels. *Starch Conversion Technology*. New York and Basel: Marcel Dekker, INC. 1985
- [19] Paul Harwood Blanchard. *Technology of Corn Wet Milling and Associated Processes*. London: Elsevier, 1992
- [20] P. J. Frazier. *Starch: Structure and Functionality*. The Royal Society of Chemistry. 1997
- [21] 王启尧译 . 淀粉生产 . 北京 : 中国食品出版社 , 1986
- [22] 俞俊棠等 . 生物工艺学 . 上、下册 . 上海 : 华东化工学院出版社 , 1993
- [23] 范巴陵实用酒精工艺基础 . 浙江 : 科学技术出版社 , 1982
- [24] 吴梧桐等 . 生物制药工艺学 . 北京 : 中国医药科技出版社 , 1995
- [25] 金其荣等 . 有机酸发酵工艺学 . 北京 : 中国轻工业出版社 , 1989
- [26] 张克昌主编 酒精与蒸馏酒工艺学 . 北京 : 中国轻工业出版社 , 1998
- [27] 高年发等 . 酿造工艺学 . 北京 : 中国农业出版社 , 1990
- [28] 曹友声、刘仲敏主编 . 现代工业微生物学 , 湖南 , 科学技术出版社 , 1997
- [29] 张文治等 . 实用食品微生物学北京 : 中国轻工业出版社 , 1991
- [30] 刘如林 . 微生物工程概论 . 天津 : 南开大学出版社 , 1995
- [31] 张平之、王岁楼主编 . 微生物生化工程北京 : 中国商业出版社 , 1995
- [32] James M. Jay. *Modern Food Microbiology 4th ed.* .D. Van Nostrand Company, 1992
- [33] Sadao T. et al. *Antibiotics II Antibiotics by Fermentation*. Gordon and Breach Science Publishers, 1990
- [34] Furusaki S. Endo I. Matsuno R. *Biochemical Engineering for 2001*. Tokyo: Springer - Verlag, 1992
- [35] [苏] B. T. 柯斯明科等 . 淀粉生产 . 王启尧译 . 中国食品出版社 , 1986
- [36] 王肇慈 . 三薯综合加工利用 . 北京 : 中国食品出版社 , 1988
- [37] 王火兴等 . 木薯淀粉生产技术 . 南宁 : 广西人民出版社 , 1986

[38] 金树人等 . 木薯的工业酸利用 . 广州 : 科学普及出版社广州分社
1985

[39][美] R.L. 李斯特勒等 . 淀粉的化学与工艺学 . 王维文译 . 北京 : 中国食品出版社 .1987

前 言

淀粉作为重要的可再生工业原料，愈来愈受到各国的广泛重视，应用最新高科技手段，研究开发以淀粉为原料的各类工业产品及人们生活用品，逐步扩大对淀粉这种可再生资源的利用途径，已取得显著的成就。

改革开放以来，我国经济快速发展，各类需求不断增加，对淀粉的极大需求推动了淀粉工业的发展，特别是国外先进设备和技术的引进及对主要设备的消化吸收，使我国的淀粉工业取得了很大的进步。与此同时，有关淀粉工业的基础研究、新产品开发、新设备研制都得到发展，今后我国淀粉工业必将以此为基础，加快技术创新，实行科学管理，优化产业结构，提升企业整体水平，向规模化、高效益方向发展。

淀粉工业的进一步发展，必须有一大批懂技术的第一线工人和技术人员作为基础，他们的知识水平现状决定着中国淀粉工业的未来，每一个企业都应该培养一大批具有丰富理论知识和实践经验的技术工人队伍，这是在市场经济中提高竞争力的需要，这是我国加入 WTO 后淀粉工业的需要。为了推动我国淀粉工业的整体进步，为了满足企业对系统的淀粉工业知识的要求，我们编写了本书。

本书可作为淀粉企业及以淀粉为原料的其他工业中，技术人员、管理人员或生产工人的培训用书，企业领导者制定新产品开发决策的参考资料，也可作为粮食工程、食品工程、饲料工程、发酵工程及农产品加工等专业师生的参考书。

本书由郑州工程学院（原郑州粮食学院）刘亚伟副教授任主编，第一、二、四、五章由刘亚伟副教授编写，第三章由陈志成高级工程师编写，第六、七、八章由李魁教授编写。

本书在编写过程中，参考了大量的国内外有关著作和文章，在此向作者表示感谢。同时我们还要感谢郑州工程学院领导及同事们所给予的支持、帮助。

经验及才学所限，书中定有不妥之处，敬请给出您的意见。

E - mail: yaweiliu@371.net

编 者