

Xiandai Zhulu Jixie Dianye Kongzhi Jishu

# 现代筑路机械电液控制技术

焦生杰 主编

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书主要讲述了现代筑路机械中常用的电液控制技术,全书共7章,主要内容包括:筑路机械常用控制电气元件、自动换档系统、无级变速系统、摊铺机自动找平系统及沥青、水泥混凝土拌和楼控制系统。

本书具有较强的实用性,可作为高等院校相关专业教材,也可供从事筑路机械设计、管理、使用与维修的技术人员学习参考。

### 现代筑路机械电液控制技术

焦生杰 主编

插图设计:高静芳 版式设计:刘晓方 责任校对:尹 静

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

印刷厂印刷

开本:787×1092  $\frac{1}{16}$  印张: 字数: 千

1998年12月 第1版

1998年12月 第1版 第1次印刷

印数:0001-4500 册 定价:16.00元

ISBN 7-114- -

# 前 言

我国的筑路机械制造业起步较晚、起点低,产品的数量、质量、性能远远不及国外。特别是在70年代之前,我校筑机系传统课程中也从未专门开设过这类课程。进入80年代末及90年代初,随着我国公路交通事业的迅猛发展,路越修越多,等级也越来越高。国外高质量、高效率的施工机械,尤其是机电液一体化的筑路机械纷纷挤入国内市场,进入各施工单位,国内一些大型工程机械制造企业也纷纷引进国际一流水平的电液控制自动化程度较高的挖掘机、摊铺机、装载机等工程机械的生产技术。而目前的现状是大多数施工部门对采用电液控制的现代筑路机械不熟悉,缺乏电液控制方面的基础知识,很多机械得不到正确的、合理的使用,不能发挥应有的效益,造成很大浪费。因此,依据社会的需求及毕业生的反应西安交通大学开设了《现代筑路机械电液控制技术》课。

《现代筑路机械电液控制技术》课是以筑路机械构造、电工学与电子学、液压传动与控制技术、传感器与计算机技术为基础,讲述筑路机械电液控制系统的结构、原理、特征及其使用维修等内容的一门专业课。本书吸收了国内外筑路机械使用的自动换档系统,电控液压泵马达车辆行驶无级变速系统,摊铺机自动找平系统,以及沥青、水泥混凝土拌和楼等控制系统并编录了作者参与有关科研实践的成果,具有较强的实用性。

随着现代科学技术的发展,筑路机械将向高效、节能、操作快速方便的方向迅速发展,电子技术在筑路机械中的地位和作用也将越来越重要,加之市场经济体制的建立,促进人才培养的目标向复合型转化,学生对课程的选择意识也日益强化,对内容的要求也越来越高,尽管我们从90年代初开始了对该课程的开设实践活动,1992年也曾编写了讲义《筑路机械电子技术》(焦生杰编),但深感内容不够完善,很难满足读者的需要,这次重编,内容作了大量的增减,也希望广大读者提出宝贵意见,以便修订。

本书可作为筑路机械专业教材,也可供从事筑路机械设计、使用、维修、管理人员参考。

本书第一、三、四章及第五章第五、六节由焦生杰编写,第二、六、七章由郑录社编写,第五章第一、二、三、四节由朱锦编写,全书由焦生杰统稿。

由于现代筑路机械控制技术是机械、电子、液压等多种学科的交叉技术,学科跨度大,涉及的知识面广,且要求编者有丰富的实践经验,这些都是作者能力水平难以胜任的。因此,书中内容只能起到抛砖引玉的作用。

由于编写时间仓促,有关电子监控技术方面的内容未能来得及录入,望在教学过程中插入此内容。

由于作者水平所限,书中肯定存在不少缺点和错误,欢迎广大读者批评指正。

编 者

1997.8

# 目 录

前言	
第一章 绪论	1
第二章 筑路机械电气控制常用器件	6
第一节 常用控制电器	6
第二节 执行机构	14
第三节 检测器件	20
第三章 现代筑路机械自动换档系统	25
第一节 自动换档系统简介	25
第二节 自动换档变速器控制系统	31
第三节 变速控制器	36
第四节 自动换档液压系统	40
第四章 无级变速控制系统	51
第一节 系统组成与速度控制方式	51
第二节 典型无级变速系统	55
第三节 无级变速行驶控制	58
第四节 制动控制	61
第五节 特殊速度控制	62
第五章 沥青混凝土摊铺机电控系统	69
第一节 沥青混凝土摊铺机特点及电控系统简介	69
第二节 简单功能电系	70
第三节 行驶、供料与加热电系	71
第四节 调平电系	73
第五节 电液调平控制原理	76
第六节 TITAN 411 型沥青混凝土摊铺机主要电路	82
第六章 水泥混凝土搅拌楼控制电路	89
第一节 水泥混凝土搅拌楼简介	89
第二节 进料系统控制电路	90
第三节 配料系统控制电路	94
第四节 搅拌系统和出料系统控制电路	100
第五节 电子秤的工作原理	104
第六节 水泥混凝土搅拌楼的可编程控制系统	111
第七章 沥青混凝土搅拌设备电气控制系统	115
第一节 沥青混凝土搅拌设备简介	115
第二节 温度控制系统	116

第三节	骨料供给控制系统.....	122
第四节	热骨料称量控制系统.....	124
第五节	沥青、粉料称量和搅拌工序控制系统 .....	127
第六节	提升机控制系统.....	129
参考文献	.....	131

# 第一章 绪 论

## 一、机电一体化产生和发展

人类即将进入一个新的世纪——21世纪。传统的学科正在脱胎换骨,新的学科不断问世,各学科间的融合程度比任何一次技术革命都高。机电一体化技术正是产生于这一背景之下,符合科技发展的规律,也是机械学科发展的必然结果。它使古老的机械工业焕发青春,对社会的发展产生着极为深刻的影响。

机电一体化一词(Mechatronics)最早(70年代初)起源于日本。它由英语 Mechanics 的前半部和 Electronics 的后半部组合而成,字面上表示机械学和电子学两个学科的综合,我国通常称之为机电一体化或机械电子学。但是机电一体化并非是机械与电子的简单叠加,而是有着自身体系的新型学科。

目前,机电一体化这一术语尚无统一的定义,不过其基本含义可以概括为:机电一体化是从系统的观点出发,将机械技术、微电子技术、信息技术、控制技术等在系统工程的基础上有机地加以综合,实现整个机械系统最佳化而建立起来的一门新的学科。

机电一体化产生和发展的根本原因在于社会的发展和科学技术的进步。系统工程、控制论和信息论是机电一体化的理论基础,也是机电一体化技术的方法论。微电子技术的发展,半导体大规模集成电路制造技术的进步,则为机电一体化技术奠定了物质基础。

机电一体化技术产品现已渗透到国民经济、社会生活的各个领域。如家用电器、办公自动化系统、机械制造工艺设备、汽车、筑路机械、现代化武器装备等等。它促进了经济转型、社会发展和一批高新科技企业的脱颖而出。

机电一体化的发展趋势可以概括为以下三个方面。性能上向高精度、高效率、高性能、智能化的方向发展;功能上向小型化、轻型化、多功能方向发展;层次上向系统化、复合集成化的方向发展。机电一体化技术的研究与应用强调技术的融合与学科交叉,机电一体化技术依赖于相关技术的发展,同时也促进了相关技术的发展。

## 二、筑路机械机电液一体化技术

筑路机械机电液一体化技术仍然属于机电一体化的内容,由于液压与液力传动技术在筑路机械技术构成中所占的比例越来越大,为突出这一特点,人们习惯于将机电一体化称之为机电液一体化技术。在这一领域内,紧紧围绕着两个方面的内容进行研究:一是以简化驾驶员操作,提高车辆的动力性、经济性以及作业效率,节省能源等为目的机械、电子、液压融合技术。如自动换档系统、挖掘机多动作复合功能系统等。二是以提高作业质量为目的机电液一体化控制技术,如摊铺机、平地机自动找平和恒速控制系统,振动压路机“软”起振与停振系统,振动块旋转方向与行驶方向一致的控制系统等。电液控制技术兼备了电子和液压技术的双重优势,形成了具有强大竞争力的自身技术特点,为各种筑路机械自动控制提供了一种新手段。机电液一体化技术的发展使传统的液压系统和元件发生了实质性的变化,是筑路机械发展的一种必然趋

势。

机电液一体化控制技术的两个关键问题：一是“软件”研究，即各种控制技术理论的研究，它包括计算机参数与控制的各种控制方法，如程序的研究；二是“硬件”的开发研制，即将电子与液压技术有机地结合在一起的电液控制元器件，以及相应的检测、反馈、转换、放大元件。“软件”的研究是“硬件”得以发展的理论基础，而“硬件”的实际应用是机电液一体化发展的目的。

筑路机械机电液一体化技术有其自身的特点，它虽千变万化，但离不开转向、行驶驱动、工作装置三个基本内容。由于具体机器的施工作业对象不同，工作装置千差万别，变化也最大。这一领域内研究的基本内容见图 1-1:

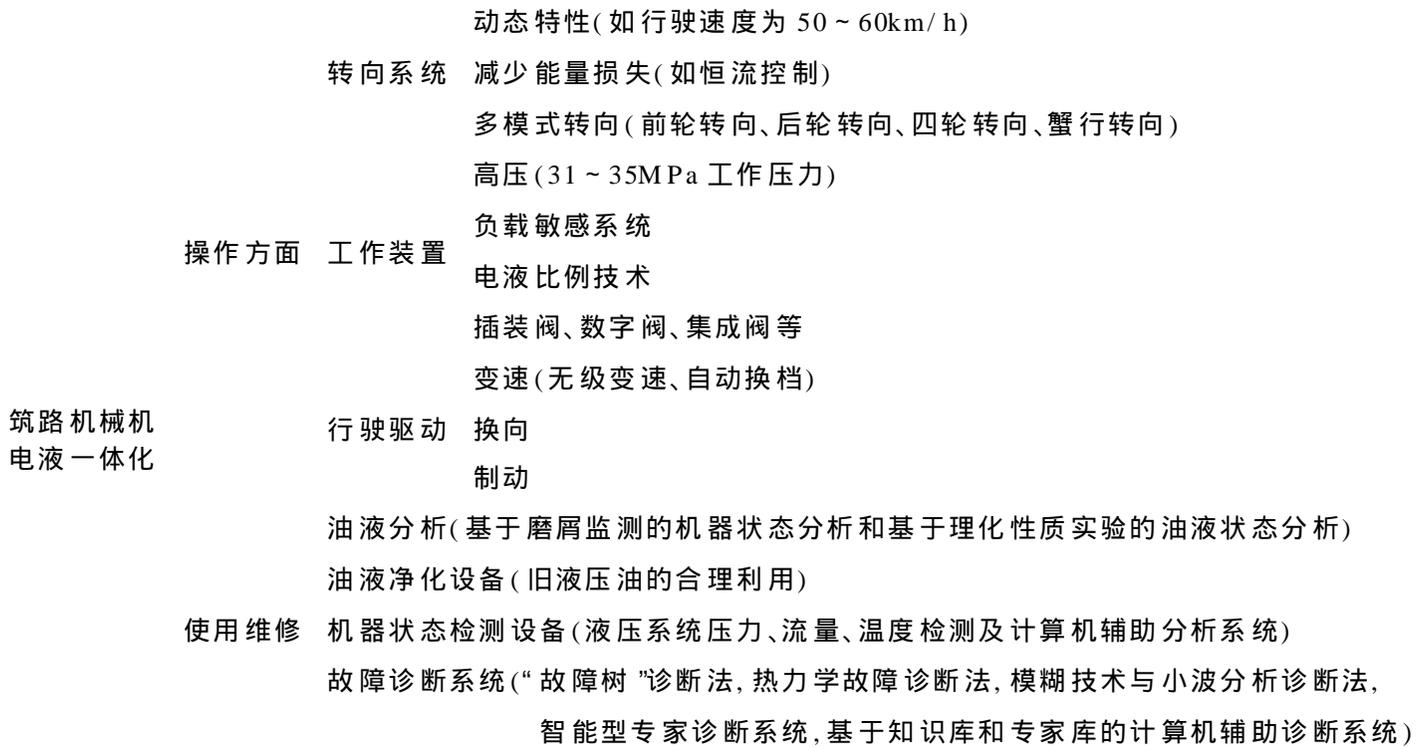


图 1-1 筑路机械机电液一体化的主要研究内容

筑路机械机电液一体化技术发展的最终目的就是简化操作与维修，提高机器的动力性和经济性，提高机器的作业效率和作业质量。

### 三、筑路机械机电液一体化技术的应用

#### 1. 电子检测、监控技术

电子检测、监控技术是一种能对筑路机械动力、传动、工作和制动等装置的运行状态进行检测和数值显示，对机器运行中的异常状态进行自动分析、诊断和提示司机排除故障的方法。利用电子检测、监控技术能够及时、准确地给司机提供各种信息，改善作业环境，提高维修准确性和减少维修时间，有利于机器的管理，也为进一步自动控制打下了基础。

EMS 系统是美国 CAT 公司 966D 轮式装载机电气系统中一个重要的组成部分，它是 Electronic Monitoring System 的缩写，即电子监控系统，CAT 公司 80 年代开始装于 966D 轮式装载机(底盘为 35S1、94X1、99Y1 及以上)的微电子高新技术产品，其功能设有三级报警系统。1978 年之后研制出的用于挖掘机上的电子监控系统，能对机器运行情况进行连续监测；在近年开发的 E 系列挖掘机上都装有三级报警电子检测系统、功率方式选择器和发动机转速自动控制装置等机电一体化部件；并在 300 系列挖掘机上采用了混合与匹配的设计概念，安装自动诊断电子控制系统。日本小松公司的电子监测装置，包括 11 个自动报警检测项目和发动机液压系统压力、流量、电气系统等参数在内的挖掘机工况的瞬时状态检查。德国 O&K 公司微电子技术的检测、监控及故障诊断系统在同行业是较先进的，该公司在 1983 年就研制出了多

功能机电一体化的“未来型”挖掘机,它具有相当完善的微处理机监测系统,有12个检测点值,还设有100多种极限值用于预防性管理,并对机器的各种元件进行监视、判断,发出操作指令;该公司还将研制一种计算机辅助装料系统,具有计算挖掘机上最佳作业速度、最佳作业距离和控制过载保护等功能。德国利勃海尔公司的电子检测监控系统同样具有监测、记录、对比、显示和调节液压挖掘机上所有关键系统的功能,特别是该公司研制生产的适合水下作业的电子监视器在世界上是独一无二的。日本日立公司在超级EX系列挖掘机上都装有自动诊断系统,可对挖掘机40种以上的作业状态进行瞬时检测,检测包括发动机转速、液压流量和所有电气系统。另外,德国德马克、韩国三星和大宇、加拿大Rorsemount等公司都拥有机电一体化高新技术成果。

目前,电子监控正朝着以计算机辅助诊断为基础的多功能自动化监测与诊断,变传统的被动诊断为主动诊断,进而向人工智能专家系统的方向发展。

## 2. 电子负荷传感系统

负荷传感系统经常是带变量的液压系统,使换向阀节流点上的压差保持不变,从而使泵的流量始终与换向阀上调节的流量需要相适应。负荷传感阀虽然有多种结构形式,但其原理相同,属于等差减压阀。节能表现为:恒变量的损失最大,虽然流量可变得与负荷要求相一致,但压力损失过大;恒功率变量泵功率一定,而负载所需压力流量与泵可能不一致,必然有泵压力或流量过载所需值,从而引起损失。负荷传感系统则可使两者接近,减小损失。

现代挖掘机系统的压力达31~35MPa,装载机工作压力达21~25MPa,一般为16~21MPa。由于机器上液压执行元件越来越多和节能的需要,在大中型筑路机械上采用负荷传感工作的液压系统日趋成为主流。

日本日立建筑公司1991年研制出新型超级EX系列液压挖掘机,在其上应用了日立公司研制独创的电子式载荷传感挖掘系统,即ELLE系统,宣称是世界上第一个电子计算机控制的新一代挖掘机液压系统。该系统有11个传感器分布在动臂和铲斗的不同位置,把载荷数据传回驾驶室内的微机处理系统,通过控制发动机、液压泵及控制阀来操纵铲斗、动臂及斗杆,当机器工作时,使它的动作、速度和工作方法匹配,真正实现了同时操纵全部作业的功能动作,精确控制作业。可调式压力补偿阀可提供最佳油量,以便平稳操纵动臂、斗杆、铲斗,确保平稳而无冲击地进行作业,因此也提高了生产率。同时计算机可使发动机转速和液压油排量与所选功率(有4种功率供选择)形式的要求相匹配。日本小松公司在更为先进的新一代6系列挖掘机上都装上了小松公司独一无二的液压机械智能系统,它是一种封闭式中央负荷传感系统,依靠6个小松独创的压力补偿阀来控制而不是依赖于计算机,该系统控制器不要求有复杂的电子线路而能保证其安全性、可靠性和耐久性。压力补偿可以检测出各传动机构的负荷情况并能恒定地输送所需的精确压力,无论工作控制杆处在什么位置,来自泵的所有液流都流向传动机构,并且速度也由控制杆行程来决定。这种系统结构简单,能提供最平稳和最精确的作业状态(有5种作业状态),无论操作者的技术和经验如何,都能进行最好的控制操作、回转刮削及碎石处理,并能得到最佳生产率。

## 3. 节能控制

液压挖掘机虽能进行大功率、高灵敏度的各种作业,但其能量的总利用率仅为20%左右,巨大的能量损失使节能技术成为衡量液压挖掘机先进性的重要指标。

日本小松公司开发研制的OLLS系统,它由多联变量泵、多路控制阀、先导阀和3种先导压力控制阀等组成,并安装在轴向柱塞变量泵上。该装置具有良好的节能效果,不但减少了能

量损失,降低了挖掘机的平均油耗量,使其燃油节省了 23%,而且还消除了作业装置的滑移和噪声现象,同时延长了液压油的使用寿命。日本日立公司开发研制的节能控制系统可节省燃料 12% ~ 18%,提高生产率 20%。德国利勃海尔公司在 70 年代开始研制机电一体化挖掘机,并将开发研制的电子功率控制装置于 1983 年应用于 982 型挖掘机上,1986 年应用到 40t 以上所有机型上,1990 年首次推出具有最新机电一体化技术的 942 型挖掘机,不管其发动机按什么速度运转,均可获得全部液压功率,甚至出现液压故障时,虽然发动机作业很费劲,但其转速仍可保持稳定。该装置大大节约了燃油,减少了磨损,起到了较好的节能效果。美国卡特彼勒公司生产的挖掘机上采用的液压系统是通过卡特电子功率控制系统来平衡发动机转速和泵的输出量,使功率的利用率可达 98%,在卡特 300 系列 322L 型挖掘机上使用,也可达到控制精确、生产率高的效果。由于它建立起了泵流优先油路,所以可控制改变动臂与斗杆之间的优先流量。斗杆回缩时,限制斗杆单泵流量,斗杆伸出时,提供双泵流量。

#### 4. 智能控制

采用该系统是使机器作业过程走向自动化操纵的必由之路。日本神户制钢所研制的智能控制系统将各部件的功能巧妙地匹配起来,使作业更经济有效,在崎岖不平的路面上,双向行驶速度系统能自动将开关从“高速/低扭矩”转换至“低速/高扭矩”;在等待装卸时,系统自动减速,使发动机速度减至 1 500r/min,还可减少噪声,节省燃料;还具有顺序合流系统,循环负荷作业系统等等,都可自动执行程序。

帕克·汉尼芬公司最新研制的 MMC1000 型数字控制器用于液压系统。这种 VCAN 串行总线系统能简化接线,遥控输入、输出且速度快,比例阀与遥控阀双向联络,能将控制指令传给独立元件,大大降低安装成本,简化了故障诊断程序。

振动压路机要求起振、停振、行驶速度实现连锁,碾压机行驶加速到一定值时起振,减速到一定值时停振,相应速度要可调。同时振动块旋转方向与行驶方向一致,这样在电液比例阀和操纵杆之间装入智能电子元件,可根据要求转换和修正信号,实现“软”启动和停机。

明尼苏达州 Sauer-Sundstrand 公司推出了一种 DC/2 微控制器,它装有一个 16 位的 Inter 控制器。随着越野行走设备所处环境的恶化,DC/2 控制器具有控制 4 ~ 6 档速度和检测回路位置的能力,既可作独立的控制器,又可作高速的控制器区域网络(CAN)。

该装置适用于闭合环路速度及功率控制的双通路液压静力推进系统,此外,应用联机的 PWM 阀驱动器,可用伺服阀和比例流量控制阀对闭合环路定位。

当与相似的高速 CAN 控制器进行网络工作时,DC/2 可与多达 32 个其它的 CAN 控制器实行串行联络。4 字符 LED 显示可提供安装调试、校正及故障排除等信息,一专用的 RS232 接口可存取 EEROM 程序记忆,动力源可在 9 ~ 36V 范围作业。

伊利诺伊州 Voac 液压公司生产的 EHC4000 型电液遥控系统是一种行走设备液压元件用的串行控制系统,它可与独立安装或手持式控制箱的各种控制杆相容。该公司的产品包括具有 2 和 3 个功能操纵杆的小型、大型控制器和带有功率放大器的直线操纵杆。

便携式控制器可用于电缆或无线电通讯,质量约 0.9kg,并按 Mi-Std461C 作了保护。其它安全措施包括电极反接、输出短路及高输出瞬时值保护;其它功能包括用外部反馈进行斜坡启动及速度减慢。

### 四、筑路机械机电液一体化的主要研究方向

#### 1. 非接触传感器技术及其电子系统对恶劣环境的适应性研究

非接触传感器技术由于安装简单、使用方便、实时监控和诊断能力强,在筑路机械的监测、自动控制、故障诊断中有着十分广阔的应用前景。诸如核子射线、红外线、超声波、微波、激光等非接触传感器技术对于实时监控运动中的机器工作过程和状态有着一般接触式传感器无法替代的优点。这些传感技术虽然在原理上已经成熟,但应用到筑路机械的状态监测、过程控制、故障诊断上还需解决一系列工程应用的实际问题。此外,各种测量力、位移、速度、压力等机械量的传统传感器也存在着需要承受工程机械恶劣作业环境的考验,例如振动、冲击、高温、高湿、多尘、噪声等,必须具备必要的可靠性和耐久性。此项研究被认为是工程机械机电一体化技术方面的一项基础性工作。

## 2. 自适应和优化控制

在筑路机械自动化发展进程中,此项研究是近期最有发展前景、最易取得实效的机电液一体化技术。许多工程机械可由此大幅度地改善性能、节约能源、提高效率、增强安全性和可靠性。此项技术各类机械上的应用前景是十分广泛的。例如:可用于发动机工作过程的最佳控制、发动机与变矩器共同工作的自适应控制、行走速度和工作阻力的自适应调节等;对于摊铺机械、整平机械等的自动找平系统、行走直线性和转向过程的自适应控制;对于多因素交互作用的工作机械作业过程,如压实过程、搅拌过程等的最优控制。

## 3. 实时监测与故障诊断

这是机电一体化技术应用于工程机械使用与维修方面的一项重要内容。监测机器运行的技术状态,及时发现和排除故障可大大提高工程机械运行的安全性、可靠性和利用率。此项技术对于改进传统的维修制度、修理技术以至于对整个修理行业有着重要的现实意义。

## 4. 无人驾驶机械与智能化机械

筑路机械自动控制技术最终的归结是作业的无人化、机器人化。工程用机器的智能化要求比一般的工业机器人,例如焊接机器人、装配机器人更高,研究开发的费用也更大,是筑路机械自动化的进一步发展方向,我们可以看到其在水下、危险地带、恶劣环境下作业已首先获得应用。

机电液一体化技术必将以崭新的姿态进入 21 世纪!

## 第二章 筑路机械电气控制常用器件

筑路机械电气控制系统常用的器件分为常用控制电器、执行机构和检测器件。它们在控制系统中完成不同的任务,下面我们就分别介绍它们各自的工作原理和在控制系统中的作用。

### 第一节 常用控制电器

常用控制电器在电路中起着开关、控制、保护和调节等重要作用,它们的品种繁多、结构各异。本节将简要介绍工程机械电气控制电路中常用电器的基本结构和工作原理。

#### 一、控制按钮

按钮是一种最简单的电器,用来短时接通或断开控制电路。图 2-1a) 为控制按钮的结构示意图。在常态(未加外力)时,静触点 1、2 与桥式动触点 5 闭合,习惯上称为常闭触点。静触点 3、4 与桥式动触点 5 分断,称之为常开触点。当按下按钮时,动触点 5 先将静触点 1、2 分断,再将静触点 3、4 闭合,所以它也称之为动合触点。

按钮的主要技术参数为:规格、结构型式、触点对数、钮数和按钮颜色。通常,按钮的额定电压为 500V,额定电流为 5A。结构型式有多种,以适应于各种场合。紧急式,装有突出的蘑菇形钮帽,以便紧急操作;旋钮式(X),用手旋转进行操作;指示灯式(D),在透明的彩色按钮内装入信号灯,以供显示用;钥匙式(Y),为使用安全起见,用钥匙插入进行旋转操作等。

图 2-1 控制按钮

a) 结构原理; b) 图形符号

1、2、3、4-静触点; 5-桥式动触点; 6-复位弹簧;  
7-按钮

控制按钮主要用于操纵接触器、继电器或电气联锁线路,以实现对各种运动的控制。

#### 二、万能转换开关

万能转换开关可同时控制许多条电路的通断,广泛应用于交直流控制电路、信号电路和测量电路。由于它能控制多个回路,适用复杂线路的要求,故有“万能”转换开关之称。

万能转换开关以手柄旋转的方式进行手动操作,手柄有 2~12 个位置,分定位式和自复位式两种。

图 2-2 是万能转换开关结构原理图,图中仅画出面板和开关的一节。在面板上以黑色圆点标志着操作手柄 2 的位置。在每节塑料盘 3 上对称地安装着两套触点系统,中部选装着两个凸轮 8 和 10。方轴 9 穿过凸轮中心的八角孔,并与手柄相连。当转动手柄时,方轴带着凸轮转动。图中凸轮 8 的凸部将推杆 4 推出,使触点 6 与 7 断开;而凸轮 10 的凹部对准推杆 11,触点弹簧 14 使触点 13 与 12 接通。选用不同形状的凸轮或以不同方位将方轴穿入八角孔,就可使触点

的通断顺序满足电路的要求。一个万能转换开关由许多节(可达 16 节)用两个螺栓分别穿过左、右孔组装而成。紧靠面板还有一节定位装置,它不但使手柄只能停留在指定的位置,而且有一定的速动作用,有利于提高分断能力。

万能转换开关的图形符号有两种表示方式,如图 2-3 所示。图 2-3a) 中操作位置用虚线表示,而不同操作位置的各对触点通断状态,表示在该触点的下方或右侧,规定与虚线相交的位置上的黑圆点表示手柄转到此位置时该副触点接通,无黑圆点则表示该副触点断开。另一种是用触点通断状态表来表示,如图 2-3b) 所示,表中“ ”表示触点闭合,无“ ”时表示触点断开。

### 三、行程开关

行程开关又称作限位开关。它是利用机械运动部件的碰撞来控制触点动作的小电流开关电器。它通常用于检测机械运行状态、限制机械的运动或实现安全保护电气联锁和程序控制。

#### 1. 直动式行程开关

由图 2-4 可知,直动式行程开关的动作原理与控制按钮类似,所不同的是它用运动部件上的撞块来碰撞行程开关的推杆。其优点是结构简单、成本低,缺点是触点的分合速度取决于撞块移动速度。若撞块移动速度太慢,则触点就不能瞬时切换电路,使电弧在

图 2-2 万能转换开关结构原理

1-面板; 2-操作手柄; 3-塑料盘; 4、11-推杆; 5、14-触点弹簧; 6、13-桥式动触点; 7、12-静触点; 8、10-凸轮; 9-方轴

图 2-3 触点通断顺序表示法

a) 开关展开图; b) 触点闭合表

触点上停留时间过长,易烧蚀触点。因此,这种开关不宜用在撞块移动速度小于  $0.4\text{m}/\text{min}$  的场合。

#### 2. 微动式行程开关

为了克服直动式结构的缺点,微动式行程开关采用具有弯片状弹簧的瞬动机构,如图 2-5 所示。

图 2-4 直动式行程开关

a) 外形图; b) 原理图; c) 图形符号  
1-推杆; 2-弹簧; 3-触点弹簧; 4-常闭触点; 5-常开触点

由于采用瞬动机构, 当开关的推杆被压下到一定距离时, 桥式动触点即瞬时动作, 使常闭触点 4 分断, 常开触点 3 闭合。当外力去掉后, 推杆 1 在恢复弹簧 5 的作用下迅速复位, 常开和常闭触点也即转入常态。采用瞬动机构, 可以使开关触点的换接速度不受推杆压下速度的影响。这样不仅可以减轻电弧对触点的烧蚀, 而且也能提高触点动作的准确性。

微动行程开关的体积小、动作灵敏, 适合在小型机构中使用。但由于推杆所允许的极限行程很小, 以及开关的结构强度不高, 因此, 在使用时必须对推杆的最大行程在机构上加以限制, 以免压坏开关。

### 3. 滚轮旋转式行程开关

图 2-6 是滚轮旋转式行程开关结构原理图。金属外壳 3 的内部分两层, 下层安装着机械信号传递装置, 如图 2-6a); 上层安装着触点装置, 如图 2-6b)。当撞块相对运动碰撞滚轮 9 时, 通过外转臂 8、带状弹簧 7、内转臂 6、滚珠 11、丁字杆 2、轴 1、摇臂 13 这套机械信号传递装置最后拨动桥式动触点动作。滚轮旋转式行程开关复位

图 2-5 微动行程开关原理图

1-推杆; 2-弯形片状弹簧; 3-常开触点; 4-常闭触点; 5-恢复弹簧

方式分为自动和非自动复位两种。自动复位式是依靠本身的恢复弹簧来复位; 非自动复位式在 U 形的传动摆杆上装有两个滚轮。当撞块通过其中的一个滚轮时, 转臂转过一定的角度, 使

图 2-6 滚轮旋转式行程开关结构原理

a) 下层结构; b) 上层结构

1-轴; 2-丁字杆; 3-外壳; 4、5、10-弹簧; 6-内转臂; 7-带状弹簧; 8-外转臂; 9-滚轮; 11-滚珠; 12-扣板; 13-摇臂; 14、15-常开和常闭触点

开关动作。撞块离开滚轮后，转臂并不自动复位，直到撞块在返回行程中再撞及另一滚轮时，转臂才回到原始位置，使开关复位。这种开关由于具有能“记忆”曾被压动过的特性，因此，在某些情况下可使控制线路简化。

滚轮旋转式行程开关触点动作迅速程度，与生产机械的运动速度无关，有利于灭弧，运行比较可靠。

## 四、接 触 器

接触器是用来频繁接通和切断电动机或其它负载主电路的一种自动切换电器。通常分为交流接触器与直流接触器。主触点控制交流电路的称为交流接触器，主触点控制直流电路的称为直流接触器。

### 1. 接触器的工作原理

接触器由触点、电磁机构、弹簧、灭弧装置和支架等部分组成。图 2-7 所示为 CJO- 20 型交流接触器的结构原理图。

图 2-7 CJO- 20 型接触器结构原理图

a) 结构原理； b) 图形符号

触点包括三对主触点和数对辅助触点，一般采用桥式结构。主触点体积较大，因此，用于通断主电路；辅助触点体积小，只能用以通断控制电路。接触器是根据电磁吸铁原理制成的。线圈通电时动铁芯被吸引，带动着桥式动触点与静触点接通，这个状态习惯上称为接触器“动作”。反之，线圈断电时动铁芯在弹簧的作用下复位，这个状态叫做“释放”。

### 2. 接触器的主要技术参数

接触器的主要技术参数有：触点额定电压、额定电流、主触点和辅助触点的数目，可控制电动机的最大功率、线圈电压、线圈消耗功率等。

线圈电压分直流和交流两种，交流 50Hz 的额定电压有 36V、127V、220V、380V；直流额定电压有 24V、36V、48V、110V、220V。

主触点的额定电流常分为 5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A、600A 几个等级。

## 五、继 电 器

继电器是一种根据外界输入的一定信号（电的或非电的）来控制电路中电流“通”与“断”的自动切换电器。它主要用来反应各种控制信号，其触点通常接在控制电路中。继电器的种类很多，其分类方法也较多。

按反应信号的不同，可分为电压、电流、功率、时间、热继电器和压力继电器等。  
按动作原理的不同，可分为电磁式，感应式、电动式、电子式继电器和热继电器等。  
下面主要介绍常用的电磁式继电器、热继电器、时间继电器和压力继电器。

### 1. 电磁式继电器

电磁式继电器与接触器的结构和工作原理大致相同，但电磁式继电器体积较小，动作灵敏，没有庞大的灭弧装置，触点的种类和数量也较多。

### 2. 热继电器

热继电器是利用电流通过热元件的热效应来工作的一种过热保护电器。常用作连续定额三相异步电动机的长期过载和断相保护。图 2-8 为两相式热继电器结构原理图。

图 2-8 两相式热继电器结构原理图

1-壳体；2-双金属片；3-加热元件；4-导板；5-补偿双金属片；6、7-静触点；8-复位调节螺钉；9-动触点；10-再扣弹簧；11-复位按钮；12-按钮复位弹簧；13-凸轮（电流调节按钮）；14-支持杆；15-弹簧；16-推杆

它主要由双金属片、加热元件、动作机构、触点机构、整定调整装置和温度补偿元件等组成。

两组双金属片 2 和加热元件 3 与电动机的两相电源进行串联。电动机在额定负载下工作时，双金属片被加热，其上端向右弯曲（图中涂黑的那层金属比不涂黑的那层金属线膨胀系数大），推动导板 4，并通过温度补偿双金属片 5 和推杆 16，传给动触点 9 推力，但此推力不足以克服反力弹簧的弹力，因此，触点 6 与 9 组成的一对常闭触点仍处于原来的闭合状态。如果电动机过载，则电动机的工作电流比额定值大，双金属片经过一段时间，就显著变弯，将常闭触点分断，从而使电动机自动断电，起到了过载保护的作用。

电动机断电后，双金属片就逐渐散热冷却。经过一段时间，动触点 9 在弹簧反力的作用下返回原位，使 6、9 常闭触点自动闭合。

除能自动复位外，还可用复位按钮 11 进行手动复位。

### 3. 时间继电器

时间继电器是一种使触点延时闭合和断开的自动时间控制电器。按工作原理可分为电磁式、空气阻尼式、电动式和电子式等多种类型。

#### 1) 空气阻尼式时间继电器

空气阻尼式时间继电器由电磁系统、触点机构和气囊三部分组成，图 2-9 是它的结构原理图。图中所示为线圈断电时的情况。

图 2-9 空气阻尼式时间继电器结构原理图

1-静铁芯；2-线圈；3-托板；4、6-瞬时和延时微动开关；5-杠杆；7-调节螺钉；8-进气孔；9-出气孔；10-橡皮膜；11-活塞杆；12、14-弹簧；13-动铁芯

线圈通电后，动铁芯被吸，向上移动，微动开关 4 瞬时动作，弹簧 12 推动活塞杆 11 上移，气囊从很小的进气孔 8 吸入空气，活塞杆在空气阻尼作用下缓慢地向上运动，经过一段时间，杠杆 5 使微动开关 6 动作。从线圈通电到延时微动开关 6 动作的这段时间即为延时时间。调节螺钉 7 可以改变进气孔的大小，即可改变延时时间。

线圈断电后，依靠弹簧 14 的作用而复位，空气从较大的出气孔 9 迅速排出，两微动开关都瞬时复原。

这种安装方式属于通电延时继电器。如果将电磁系统和微动开关一起上下翻过来安装，就可以改造成断电延时继电器。

空气阻尼式时间继电器结构简单、价格便宜，但精度不高，其延时值可以从 0.4~180s 范围内连续调节。

## 2) 电动式时间继电器

电动式时间继电器原理是利用同步电动机带动齿轮传动机构从而获得触点的延时动作。它由同步电动机、电磁系统、触点系统、机械传动系统和指示系统等组成。图 2-10 是它的结构原理图，齿轮 19、20 与主轴 5 之间是活动连接，不能直接传递动力；齿轮 17 的轴与主轴固定连接，并与齿轮 19、20 的内平面圆周上的牙齿相啮合。图中所示为断电时的情况，左上角为电路图。

通电后的动作过程如下：

- (1) 动铁芯 14 被吸下，弹簧 2、9、15 被拉伸，触点 10 瞬时动作；
- (2) 齿轮 19 被制动片 8 卡住而不能转动，同步电动机 11 在通电的同时启动，经二级齿轮减速将动力传递给齿轮 20，通过齿轮 17 将动力传递给主轴 5，指针 7 向逆时针方向移动；
- (3) 当指针移到零位时，凸轮 21 推动钩 16、杠杆 4 脱离缺口并被弹簧 2 所拉，延时触点动作；
- (4) 延时触点的一副常闭触点断开同步电动机（见电路图）。从通电开始到延时触点动作这段时间，即指针 7 的起始位置所指示的时间。

断电时电磁系统及触点系统在弹簧 15 的作用下复位，制动器 8 脱离齿轮 19，主轴呈自由

状态，在游丝 18 的作用下带着指针 7 返回。

定时指针 6 固定在继电器玻璃罩下面，拨动它可以改变指针 7 的起始位置，即调节延时时间。

图 2-10 电动式时间继电器原理结构

1-延时触点；2、3、9、15-弹簧；4-杠杆；5-主轴；6-定时指针；7-走动指针；8-制动片；10-瞬时触点；11-同步电动机 D；12-静铁芯；13-线圈；14-动铁芯；16-钩；17、19、20-齿轮；18-游丝；21-凸轮

电动式时间继电器的优点是延时准确、延时范围宽（0.5s ~ 72h）、调节方便、可见指针移动。在搅拌楼控制系统中常用它作为搅拌计时。

#### 4. 压力继电器

压力继电器是把气体或液体的压力信号转换成电信号，又返回去控制气压或液压系统的自动控制电器。如当气路气压低于某给定值时，压力继电器自动接通电路，使空压机自动启动；当气压高于某给定值时，压力继电器自动断开电路，使空压机自动停止工作。图 2-11 所示是压力继电器的结构原理图，它由气（或油）缸、活塞和触点等部分组成。

当进气管 1 中的气压降低到某给定值时，反作用弹簧 4 推着活塞 3 向下移动，杠杆 6 右端向上抬起，一旦动触点 7 的铰接轴越过了弹簧 10，触点迅速接通，其状态由图 2-11a) 变到 b)。反之，当气压升高到某给定值时，活塞克服弹簧 4 的压力向上移动，触点迅速断开。弹簧 10 不但保证触点有足够的压力，而且能使触点动作迅速且与活塞的运动速度无关。转动调整螺钉 5 可以改变反作用弹簧 4 的松紧，从而调节被控压力的范围。

## 六、电磁离合器

电磁离合器是用来传递或隔断转矩的一种电器元件，又称为电磁联轴器。它有摩擦片式、铁粉式、感应转差式和牙嵌式等类型，主要用在自动变速和电磁操纵机械式制动

器上。

图 2-11 压力继电器结构原理图

a) 触点断开状态; b) 触点接触状态

1-进气管; 2-气缸; 3-活塞; 4-反作用弹簧; 5-调整螺钉; 6-杠杆; 7-动触点; 8-限位螺钉; 9-静触点; 10-速动弹簧

下面介绍常用的摩擦片式电磁离合器的工作原理, 如图 2-12 所示, 为其结构简图。图中主动轴的花键轴端, 装有主动摩擦片 2, 它可以沿轴向自由移动。由于它以花键与轴联接, 故可随主动轴一起转动。从动摩擦片 3 与主动摩擦片 2 交叠(不相连), 而且它的外缘凸起部分卡在与

图 2-12 DLM0 型电磁离合器结构简图

1-主动轴; 2-主动摩擦片; 3-从动摩擦片; 4-从动齿轮; 5-套筒; 6-线圈; 7-铁芯; 8-衔铁; 9-滑环; 10-电刷

从动齿轮 4 固定在一起的套筒 5 内, 所以它可随从动齿轮一起转动, 线圈 6 通过电刷和滑环 9 输入电流, 线圈通电后产生磁场, 将摩擦片和衔铁 8 吸向铁芯 7, 并紧紧压住各摩擦片, 于是依靠主动和从动摩擦片之间的摩擦力使从动齿轮 4 随主动轴转动。

当线圈断电后, 依靠摩擦片配置的弹簧垫圈, 使各摩擦片恢复到“自由”状态, 从动齿轮停止转动。

## 第二节 执行机构

任何一个电气控制系统都必须有产生目标运动或动作的执行机构,如搅拌锅的搅拌装置、卸料斗门的开启和关闭所用的驱动器就是执行机构。它是一种能量转换装置,能在电子装置的控制下,将输入的各种形式的能量转换为机械能,如电动机、液动机、气缸、电磁铁、继电器等可分别把输入的电能、液压(气压)能和化学能转换为机械能。

### 一、电动式执行机构

电动式执行机构以电能为动力,可把电能转变为位移或转角等,以实现对被控对象的速度流量和压力等参数的控制。电动式执行机构包括交流(直流)伺服电动机、步进电动机等各种电动机和电磁铁。在此仅介绍工程机械控制驱动系统中最常用的交流三相异步电动机。

交流三相异步电动机使用三相工频电源,具有结构简单、坚固耐用、运行可靠、维修容易、价格便宜等优点。按其转子结构型式不同可分为鼠笼式和线绕式两类。鼠笼式电动机比线绕式结构更简单,但一般不能调速,启动转矩较小,因此,多用于轻载启动且不要求调速的机械,例如筛分楼、搅拌楼、振捣器等。线绕式电动机的结构比较复杂,但是可以在一定的范围内调速,而且能够增大启动转矩,因此,适用于重载启动并对调速要求不高的机械,例如沥青混凝土搅拌设备骨料进料的级配比粗调的自动控制系统,其中就采用了线绕式直流调速电动机。

#### 1. 工作原理

三相异步电动机由定子、转子及其辅助部分组成,其结构如图 2-13 所示。在定子铁芯的内圆周上均布有许多槽,其内安放定子绕组,它由三个绕组组成,用  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  标志三相绕组的头, $D_4$ 、 $D_5$ 、 $D_6$  标志其尾。

当三相异步电动机中通入三相交流电时,在其定子绕组的周围产生旋转磁场,转子绕组处在这个旋转磁场中,并产生了相对切割磁力线运动。根据电磁感应原理,在转子导体中就产生感应电势,即在转子绕组的闭合回路中产生电流。此载流导体在磁场中会受到电磁力  $F$  的作用,就形成了电磁转矩,使转子按与旋转磁场相同的转向旋转起来。因为它的电磁转矩是根据电磁感应原理产生的,故又称为感应电动机。

图 2-13 三相鼠笼式电动机结构图

1-电动机外壳;2-定子铁芯;3-定子绕组;4-转轴;5-转子;6-风扇;7-罩壳;8-转子铁芯;9-鼠笼绕组;10-轴承;11-机座;12-端盖;13-轴承盖

#### 2. 三相异步电动机的连接方法及其基本控制电路

三相异步电动机三相绕组的六根引出线固定在接线盒里面的接线板上,它可以接成星形(Y)或三角形( )。两种接法的改接工作非常方便。如图 2-14 所示,一台三相异步电动机应该接成三角形还是星形,决定于电动机铭牌数据和三相电源的电压,不能随意乱接。

三相异步电动机的启动分直接启动和降压启动两种方式。异步电动机的启动电流很大,一般可达额定工作电流的 4~7 倍。过大的启动电流会降低电动机的寿命,其所引起的电压降,使电动机启动困难,甚至无法启动。同时,也影响到同一电网中其它电动机的正常工作。因此,一般采用降压启动来降低启动电流。电动机能否采用全电压直接启动,应根据启动次数以及电动机功率、供电变压器容量来确定。一般规定,电动机功率在 10kW 以下者,可直接启动;超过 10kW 时,电动机应采用降压启动。

### 1) 全电压直接启动控制电路

全电压直接启动控制电路分用开关直接启动和用接触器直接启动二种。这里仅介绍用接触器直接启动的控制电路,如图 2-15 所示。

图 2-14 定子绕组的接法

a) 星形接法; b) 三角形接法

图 2-15 直接启动电路

由其主电路可知,合上电源开关 SA 之后,可用接触器主触点 KM 来控制电动机的启停。按下启动按钮 SB1,接触器线圈 KM 通电,常开主触点闭合,电动机启动,同时辅助常开触点闭合;当松开启动按钮 SB1 时,KM 的辅助触点使线圈 KM 继续通电,使电动机保持运转。辅助常开触点的这种作用,通常称为自保或自锁。按下停止按钮 SB3,接触器线圈断电,而辅助常开触点断开,称为释放自锁;与此同时,主触点 KM 将电动机电源分断,电动机随即停止转动。

本电路除长动控制外,还有点动控制。通常采用 SB2 复合按钮进行操纵。按下 SB2 按钮,电动机就转动;松开 SB2 按钮,电动机就停转。这种控制方式称为点动控制。

此电路具有短路保护、过载保护以及欠压和失压保护。当电动机电路短路时,强大的电流流过熔断器 F,熔断器迅速熔断而断开电路,从而保护电机;当电源电压由于某种原因严重欠压或失压时,接触器 KM 即自行释放;而当电源电压恢复正常时,因自锁已释放,也不可能使线圈 KM 自行通电,这就防止了因电动机突然自行启动运转而造成的事故;当电动机过载时,一个较大的电流流过热继电器 RJ,RJ 常闭触点断开,切断控制电路的电源,使电动机断电而得到保护。

用接触器直接启动的方法,一般适用于经常启动的中小容量电动机。

### 2) 降压启动控制电路

三相鼠笼式异步电动机降压启动的方法有以下几种:定子电路中串入电阻或电抗、使用自耦变压器、星—三角形启动等。这里仅介绍工程机械设备电气控制中最常用的星—三角形降压启动的控制电路。

星—三角形降压启动也称为 Y- 降压启动,简称星三角降压启动。凡是正常运转时,定子

绕组接成三角形的鼠笼异步电动机,均可采用这种方法。电动机定子绕组接成  $\Delta$  形时,每相绕组所承受的电压为电源的线电压(380V);而作 Y 形接线时,每相绕组所承受的电压为电源的相电压(220V)。在电动机启动时,定子绕组先接成 Y 形,待启动完毕后则由 Y 形改接成  $\Delta$  形,电动机即进入正常运停。因此,Y- $\Delta$  启动是降压启动的一种。

Y- $\Delta$  降压启动控制电路如图 2-16 所示。它由 KM1、KM2、KM3 三个接触器来换接 Y-

图 2-16 Y- $\Delta$  降压启动控制电路

接线。当按下按钮开关 SB1 时, KM1 得电,其辅助触点使 KM2 与 KT 得电, KM1、KM2 的辅助触点使 KM1、KM2、KT 自锁,同时 KM1 使 KM3 断电锁死, KM1、KM2 同时得电, KM3 断电,使定子绕组接成星形,每相绕组加以 220V 交流电进行降压启动;当时间继电器 KT 到达延时时间(延时时间决定于启动时间的长短)时, KT 的常闭触点使 KM1 断电的同时, KT 的常开触点使 KM3 得电并自锁,这时三相定子绕组以三角形连接,此即电动机启动后的正常运转状态。

Y- $\Delta$  降压启动,其启动电流和启动转矩为全电压直接启动电流和转矩的  $1/3$ ,并具有线路简单、经济可靠的优点,适用于空载或轻载状态下的启动。

### 3) 电动机的正反转控制电路

电动机正反转手动控制电路如图 2-17 所示。对于三相异步电动机,只要调换任意两相,就

图 2-17 正反转控制电路

可使电动机反转。图 2-17 中电动机的正转、反转由接触器 KM1、KM2 控制。由控制电路可知,接触器 KM1 或 KM2 线圈通电是以 KM2 或 KM1 断电为前提,这种相互制约控制称为互锁或联锁。按下 SB1, KM1 得电并自锁,电动机正转;按下 SB3 时,电动机停转;再按下 SB2 时, KM2 得电自锁,电动机反转。

## 二、液动式执行机构

液动式(液压)执行机构将液体压力能转换为机械能,拖动负载实现直线或回转运动。液动式执行机构承载能力强、工作平稳、冲击和振动小、输出扭矩大、可实现无级调速、电液联合容易实现自动化,在工程机械电子控制系统中得到了广泛应用。液动式执行机构主要包括直线往复运动液压缸、回转液压缸和液压马达。图 2-18 为液压传动系统简图。

图 2-18 液压驱动执行机构

### 1. 直线往复运动液压缸

它能把液压能转变为直线往复运动的机械能。

单出杆活塞式液压缸的结构原理如图 2-19 所示。它由无缝钢管缸体、整体式活塞以及两

图 2-19 单出杆液压缸的运动范围(尺寸单位:mm)

个端盖组成。两端盖和缸体间采用螺纹连接，活塞与缸体用“O”形密封圈密封，活塞杆采用“Y”形密封圈密封，端盖和缸体采用铜垫密封。活塞杆由于在传动时要承受压力，因此要做得粗些。

当一定压力的液压油从右端口进入右腔时，这时左上端口接回油路，活塞左移；当液压油从左上端口进入左腔时，右腔的液压油从右端口流向回油路，活塞向右移动。

## 2. 液压马达

液压马达能将液压能变为输出轴转动的机械能。可分为齿轮式、叶片式和柱塞式三种。

### 1) 齿轮式液压马达

齿轮式液压马达结构如图 2-20 所示。当压力油从右口进入，左口流出时，齿轮按图中箭头方向转动，带动与之同轴的负载转动。压力油压力的高低决定输出转矩的大小，输出轴转速由油的流量来控制。

### 2) 叶片式液压马达

叶片式液压马达如图 2-21 所示。当压力油进入叶片之间时，位于进油腔中的叶片 5 因两面均受压力作用，不产生转矩。位于封油区的叶片 1、4 其一面受压力油的作用，另一面受回油箱的低压油作用，所以能产生转矩。叶片 1 和叶片 4 上受力方向相反，且叶片 1 的伸出比叶片 4 长，因而产生转矩比它大，所以转子就顺时针方向旋转。叶片式液压马达体积小、转动惯量小，因此动作灵敏；但泄漏较大，不能在很低的速度下工作，适用于高速、低扭矩场合。

图 2-20 齿轮式液压马达原理图

图 2-21 叶片油马达的工作原理

### 3) 柱塞液压马达

柱塞式液压马达可分为径向柱塞式和轴向柱塞式两大类。图 2-22 所示为轴向柱塞式液压马达的结构原理图。压力油使处在油腔位置的柱塞顶出，压在倾斜盘的端面上，倾斜盘给柱塞的反作用力的一个与柱塞轴线垂直的分力使缸体产生转矩而转动。

轴向柱塞液压马达多用于低扭矩高转速场合。

## 3. 液动式执行机构的驱动

液动式执行机构的驱动可分为气压驱动、液压驱动和电液驱动三种。在工程机械电控中以电液驱动为主。电液驱动又可分为开关式、比例式和伺服式三类。

### 1) 开关式电液驱动

开关式电液驱动是把控制信号经放大后驱动电磁换向阀，以控制液体的压力、流量和方

向,然后拖动执行机构动作。它只有“通”或“断”两个位置,如图 2-18 所示。

## 2) 比例式电液驱动

图 2-22 Y15-1 型轴向柱塞油马达结构图

它由比例电磁铁和比例控制阀两部分组成。比例电磁铁将输入的电信号转换为连续变化的机械力或位移,再送到比例控制阀,控制阀就连续地输出流量和压力,驱动执行机构。比例式驱动与电信号匹配得好,易实现遥控和自控,油路设计简单,工作可靠,价格也比较便宜。

## 3) 伺服式电液驱动

伺服式电液驱动是一个闭环控制系统,图 2-23 为其工作原理图。

图 2-23 伺服式电液驱动部件工作原理图

图中左右两喷嘴分别与执行机构液压缸的左右腔相通。当输入控制目标信号  $u_c$  增加时,比较器的输出偏差  $u_e$  也增加,放大器输出量增大,流过电磁铁线圈的电流上升,衔铁因电磁铁吸力增大而左移,挡板偏向左喷嘴,使左喷嘴内背压大于右喷嘴的背压。液压缸的左腔油压大于右腔,活塞右移,带动负载向右作直线运动。同时,与活塞杆相连的齿条带动齿轮转动,使滑线电位器动点移动,从而改变反馈电压  $u_i$ ,直到  $u_i = u_c$  时,  $u_e = 0$ ,电磁铁失电,挡板回到中间位置,活塞停止移动。此时的位置与输入目标信号相对应。

## 三、气动式执行机构

气动式执行机构由气缸、气阀或气动马达等组成。常用的有薄膜式、长行程式和活塞式等

几种。

### 1. 薄膜式执行机构

如图 2-24 所示, 薄膜式执行机构主要由薄膜式连杆机构和调节阀组成。当输入气压变化

图 2-24 薄膜式执行机构

a) 薄膜式执行机构原理图; b) 薄膜式执行机构的特性

时, 薄膜上部的压力相应变化, 使连杆上下移动, 带动下端的调节阀阀芯移动, 阀芯与阀座间的距离也随着变化, 从而改变了管道的流通面积, 达到调节流量的目的。

### 2. 长程式执行机构

如图 2-25 所示, 长程式执行机构由执行器(工作气缸)、导阀、平衡支架、波纹管等组成。当气压信号输入时, 波纹管顶端的高度随信号变化而变化。平衡支架也上下移动, 使压缩空气经工作气道进入上下气道, 工作气缸中的活塞因上下气压不平衡而移动, 通过连杆及传动机构拖动输出臂, 输出臂与负载相连。长程式执行机构能把输入的压力信号变为力矩、转角式位移, 适应于角行程调节。

图 2-25 长行程执行机构工作原理图

## 第三节 检测器件

控制系统要从被控对象的现场得到各种信号, 供控制系统分析、判断和决策, 检测器件就是完成信号采集任务的部件。检测器件一般是指各种不同类型的传感器。传感器是一种能将测量(物理量)变换成便于测量的有用信号的装置。传感器包括三个功能部件: 敏感元件、弹性元件和测量电路。

传感器的分类方法和品种很多, 在此我们仅就工程机械控制系统中较常用的传感器做一

些介绍。

## 一、电阻式传感器

电阻式传感器根据其转换原理可分为电位器式传感器和电阻应变式传感器。

### 1. 电位器式传感器

电位器式传感器有直线式和回转式两种,如图 2-26 所示,电位器两端施加电压  $u_i$ ;从电刷输出电压  $U_o$ ,则  $U_o$  正比于沿电阻元件滑动的电刷位置,电刷与一个要测量其直线或回转位移的机械部件相连。电阻元件通常是绕线或导电膜涂层,沿着电阻元件每单位长度的电阻通常为常数,因此输出为:

$$\text{直线式 } U_o = K U_i x$$

$$\text{旋转式 } U_o = K U_i \quad (2-1)$$

电位器式传感器的优点是价格低廉,但磨损是一个不可忽视的问题,特别对那种经常工作在一个固定点附近的情况。这一缺点可以通过选择耐磨性的电阻材料而得到一定的改善。

### 2. 电阻应变式传感器

电阻应变式传感器是把应变转换成电信号的转换元件,它由电阻应变片、弹性元件及测量电路组成。

#### 1) 电阻应变片

图 2-27 是电阻应变片结构原理图。用电阻系数高、温度系数小、性能稳定的康铜丝制成的电阻丝,粘在用薄纸或有机聚合物制成的基片与覆盖层之间即成为电阻应变片。

图 2-26 电位器式传感器

a) 直线式; b) 旋转式

图 2-27 电阻应变片

1-覆盖层; 2-引出线; 3-基片; 4-电阻丝

当应变片上作用纵向应变  $\epsilon$  时,电阻丝沿纵向伸长,从而使电阻丝的电阻值增大。其电阻的相对变化量为:

$$\Delta R/R = K \epsilon \quad (2-2)$$

式中:  $\Delta R$ ——电阻的变化量;

$R$ ——电阻丝的电阻值;

$K$ ——应变片的灵敏度,其值为常数。

由式(2-2)可见电阻的相对变化量与作用在其上的应变成正比。

#### 2) 弹性元件

根据其结构形式的不同,可分为圆柱式、圆筒式、圆环式和梁式等数种。图 2-28a) 中所示为筑路机械设备称量系统中常用的圆筒式弹性元件。

圆筒式弹性元件在弹性范围内,受拉或受压时各处产生的应变相同。应变的大小与所受力

的大小成正比。圆筒式弹性元件常用在搅拌楼的配料称量中。应变片在弹性元件上的布片如图 2-28b) 所示。

### 3) 测量电桥

由于应变片的电阻值变化很微小, 为了提高传感器的灵敏度和抗电源变化的影响, 故把它接成电桥电路, 如图 2-28c) 所示。令  $R_a = r_1 + r_2$ ,  $R_b = r_5 + r_6$ ,  $R_c = r_3 + r_4$ ,  $R_d = r_7 + r_8$ , 就可以把图 2-28c) 简化为图 2-29。  $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_c$ 、 $R_d$  称为电桥的四个臂,  $R_a$ 、 $R_c$  是工作臂,  $R_b$ 、 $R_d$  是补偿臂。工作臂感受应变, 其电阻变化; 补偿臂不感受应变, 其电阻不变化。电桥的 a、c 两端接稳压电源  $U_s$ , b、d 两端输出电压  $U_0$ 。

图 2-28 电阻应变式传感器

a) 应变筒; b) 应变片粘贴展开图; c) 电路图

$$U_0 = \frac{R_a R_c - R_b R_d}{(R_a + R_b)(R_c + R_d)} U_s \quad (2-3)$$

当  $R_a R_c = R_b R_d$  时, 电桥输出电压  $U_0 = 0$ , 电桥处于平衡状态。

通常使用中, 在不受应变作用时, 电桥四臂电阻取相等值, 即为等臂电桥。

当传感器上作用有拉力时, 工作臂  $R_a$ 、 $R_c$  的电阻增大(增大量为  $R$ ), 补偿臂  $R_b$ 、 $R_d$  的电阻不变化,  $U_0$  不为零。

$$\begin{aligned} U_0 &= \frac{1}{4} U_s \left( \frac{R_a}{R_a} + \frac{R_c}{R_c} \right) = \frac{1}{2} U_s \frac{R}{R} = \frac{1}{2} U_s K \\ &= \frac{1}{2} U_s K C F \end{aligned} \quad (2-4)$$

图 2-29 测量电桥

其中  $C$  为弹性元件的转换系数, 其值为常数。

可见输出电压  $U_0$  与拉力  $F$  成正比, 因此, 电阻应变式传感器可以把拉压力信号转换成电压信号。

## 二、电感式传感器

电感式传感器是利用电磁感应原理进行工作的, 它的作用是将位移转换成线圈的自感系数或互感系数的变化, 可分为自感式和互感式两种。

### 1. 差动自感式传感器

差动自感式传感器如图 2-30 所示。图 2-30a) 为结构原理图, 它由两个完全相同的电感线圈  $L_1$  和  $L_2$  组成, 在两个铁芯中间有一个公用衔铁。衔铁处在中间位置时, 两边气隙  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0$ ,  $L_1 = L_2 = L$ , 传感器总的电感变化量为  $\Delta L = L_1 - L_2 = 0$ , 所以传感器输出电压为零。当被测物体带动衔铁移动, 偏离中间位置时,  $\delta_1 \neq \delta_2$ , 则总的电感变化量为:

$$\Delta L = L_1 - L_2 = L - L = K \quad (2-5)$$

其中  $K$  为传感器的电感转换系数, 其值在一定的范围内近似为常数。

图 2-30b) 为差动自感式传感器的测量电路原理图。从变压器  $B$  的次级中心抽头, 将次级分为两个绕组接入电桥作为两邻臂, 另外两臂接入电感线圈  $L_1$  和  $L_2$ , 它们在电路所表现的阻

抗为  $Z_1$  和  $Z_2$ , 则构成图 2-30b) 所示的变压器电桥。经对此电桥的分析计算可知电桥的输出电压为:

图 2-30 差动式电感传感器

a) 结构原理图; b) 测量电路

$$u_0 = \frac{L}{2L} u_i = \frac{K}{2L} u_i = S$$

$S$  为传感器的灵敏度, 其值为常数。可见, 差动自感式传感器的输出电压与被测位移量成正比。

## 2. 差动互感式传感器(差动变压器)

差动变压器式传感器是将被测物体的位移转换成线圈互感系数的变化。如图 2-31 所示为差动变压器的结构原理图。这种传感器如同一个变压器, 初级线圈  $W$  接入交流电源时, 次级线圈  $W_1$ 、 $W_2$  因互感作用产生感应电势, 当铁芯  $B$  在中间位置时, 由于两线圈  $W_1$ 、 $W_2$  互感相等  $M_1 = M_2$ , 感应电势  $E_1 = E_2$ , 故输出电势  $E_0 = E_1 - E_2 = 0$ ; 当铁芯偏离中间位置时, 由于磁通变化使互感系数一个增大, 一个减小,  $M_1 \neq M_2$ ,  $E_1 \neq E_2$ , 所以  $E_0 \neq 0$ 。经研究可知, 在一定的范围内, 差动变压器的输出电压与铁芯的位移成正比。

差动自感式和差动互感式传感器在摊铺机自动找平控制系统中得到了广泛的应用。

## 三、温度传感器

温度传感器是将温度转换成电信号的一种检测元件。它包括电阻式、热电偶式、半导体式和红外式等数种。这里主要介绍工程机械测控系统中常用的前两种。

### 1. 电阻式温度传感器

电阻式温度传感器一般由金属导体铜和铂等构成, 它的电阻随温度下降而升高, 电阻的变化与温度变化近似线性关系。图 2-32 为电阻式温度传感器的测量电路。

电阻式温度传感器的温度测量范围为  $-200 \sim 500$ , 其优点是误差小、性能好, 缺点是响应速度慢。

### 2. 热电偶式温度传感器

将两种不同金属材料连接起来, 当在其连接点上加热时, 会产生电动势, 该电动势的大小与接点温度成正比。热电偶就是利用此原理进行工作的。如图 2-33 所示为热电偶测温原理示意图。图中, 热电偶的两个电极分别由铜(Cu)和康铜(Cu-Ni)组成。图中上边的热电偶为温度测量热电偶, 它感受被测温度  $T_b$ ; 下边的为温度参考点热电偶, 它感受一个恒定的温度  $T_c$ 。例如参考接点可以浸入冰和水的混合液中, 作为零度参考温度。在这种情况下, 热电偶的输出电

压将仅仅是被测温度  $T_b$  的函数。

图 2-31 差动变压器的结构原理图

a) 结构图; b) 电路图

图 2-32 电阻式温度测量电路

#### 四、接近传感器

接近传感器的电原理如图 2-34 所示, 它又称为接近开关。 $C_1$  和  $L_1$  构成并联谐振电路,  $L_2$  和 BG 形成共基接法,  $C_4$  为反馈电容, 电位器 W 是用于调整接近距离的电位器。 $C_0$  是人体或

图 2-33 热电偶测温电路

图 2-34 接近传感器的电原理图

金属被检体与金属棒之间形成的电容。当金属导体接近金属棒时,  $C_0$  变大, 它和  $C_4$  并联后使反馈电容变大, 加感振荡器(即加电感  $L_2$ )的振荡条件遭到破坏, 因而停振或微小振荡, 经  $D_1$ 、 $D_2$  检波后, 输出  $U_0$  为低电平。相反, 当人体或金属被测体未接近金属棒时,  $C_0$  为零,  $C_4$  使加感振荡器电路正常振荡, 经  $D_1$ 、 $D_2$  检波后, 输出  $U_0$  为高电平。

接近传感器具有结构简单、工作可靠、可非接触检测、寿命长等优点, 在大型工程设备中, 常用其替代检测物体的各种行程开关。

## 第三章 现代筑路机械自动换档系统

自动换档系统在筑路机械上的应用越来越普遍。它在提高筑路机械的使用效益及作业质量,改善使用性能,减轻操作人员的劳动强度,降低对操作人员的操作技术标准的要求等方面显示出了广泛的优越性。

### 第一节 自动换档系统简介

未来变速箱发展的趋势是自动换档,即变速箱能随着使用工况的变化自动变换档位。机械(人工手动)换档的准确程度取决于驾驶员的技术水平,往往不能准确地选择档位,使得发动机功率得不到充分地利用,也影响了燃料经济性,特别是对某些机械,例如铲运机,为了充分利用发动机功率,档位数已增至7~8个,人已很难正确地来选择档位了。机械换档操作非常频繁,劳动强度大,而且在作业过程中换档,不仅要行驶驾驶,还要操纵工作装置,分散了司机的注意力,增加了行驶的不安全因素。例如:装载机进行V形作业时,每小时换档操作近千次,平均3.6s一次。另外,人工手动换档,换档过程平稳性差,存在换档冲击。当通过复杂的地面时,往往会因换档不及时或换档动力切断时间过长,造成机械停顿或发动机熄火,影响机械的通过性。

早在40年代,美国汽车上就采用了液压控制自动变速箱。第一台电子控制自动变速箱于1969年诞生,但当时电子技术水平不高,与液压控制相比没有显示出多大的优越性。直至80年代随着电子控制技术可靠性的提高和价格的降低,才真正开始进入应用阶段。

与液压控制相比,电子控制具有以下优点:能全面地反映发动机工况、外负荷工况以及作业行驶工况,使换档控制更为合理;电子控制精度高且很灵敏,能精确地进行换档点的控制,获得最佳的动力性能和经济性能;可以按不同的使用要求,实现多种换档规律的控制;另外电子控制可针对每一具体换档情况,进行换档品质个别控制,使得换档迅速又平稳;电子控制还能实现各种辅助功能,例如:自动故障诊断,防止意外挂高档和倒档等等。电子控制技术还在进一步向智能化控制方向发展。

#### 一、自动换档系统的形式

自动换档系统根据其换档信号的产生及控制换档阀方式的不同,可分为液压式和电液式。液压式是将车辆的行驶速度 $v$ 、油门开度 $x$ 等行驶状况参数转换成油压信号 $P$ ,由油压信号控制换档阀完成自动换档。电液式是将 $v$ 、 $x$ 等行驶状况参数转换成电信号后输入电子换档控制器,由电子换档控制器控制换档阀而实现自动换档。

自动换档系统也可根据自动换档的范围,分为部分自动换档(半自动换档)和全自动换档两种形式。部分自动换档是指常用的几个排档范围内实现自动换档,驾驶员只需在极少的几个换档位置进行操作(一般高档实现自动换档,低档手动操作换档),也可用选择器手柄选择自动换档的换档范围,限制最高车速。这种自动换档系统形式较好,应用较广。全自动换档是指在全部前进档范围内实现自动换档,驾驶员只需控制油门,便可控制车速。

## 1. 自动换档的几种形式

图 3-1 所示为国外几家公司生产的一组半自动与全自动变速箱的结构原理简图。图 3-1a) 为半自动变速器结构简图, 它由一个变矩器、一个主离合器和一个带同步啮合套的定轴变速器组成。这种变速器还能装配一个液力减速器(下坡自动减速装置)。

半自动变速器优点是车辆起步过程自动化, 较全自动变速器价格低廉, 容易用于六档、八档或更多档位的变速器, 从而对各种不同车辆的需要具有较好的适应性, 驾驶员可根据自己的意图进行换档。

这种变速器特别适用于常在无路地段行驶的车辆和特重型车辆。缺点是换档时牵引力中断、质量大。

图 3-1b)、c)、d) 所示不同档位数的自动变速器, 它们均是由变矩器、行星轮系和控制系统三个部分组成。有的自动变速器内还装置了液力减速器(当下长坡时, 一种使车辆产生自动减速作用的机构), 类似上述半自动变速器。这些变速器的区别主要在于变矩器的结构和载荷分配的不同。

图 3-1 全自动和半自动变速器的结构布置简图

1-输入轴; 2-输出轴; 3-闭锁离合器; 4-制动器; 5-超越离合器; 6-主离合器; 7-行星轮系; 8-液力减速器

a) 由变矩器、普通液力减速器和同步啮合变速器组成的半自动变速器(ZF 公司, Fiat300 型, Idromacchanico); b) 带单级变矩器、功率不分流的四速自动变速器(ZF 公司, 500 马力, 阿利森(Auison) 公司, MT640 型、DBW4A080 型); c) 带两级单向变矩器和功率内部分流的三速自动变速器(菲亚特(Fiat) 公司, SRM·DRS0.9 型; 莱克(Renk) 公司, DOROMAT 873 型); d) 带单级变矩器、功率外部分流的三速自动变速器(道依茨(VOITH) 公司, D851 型)

自动变速器的优点是车辆换档过程自动化, 各档变速均不需驾驶员操纵变速手柄, 变速器使用中可使发动机燃料消耗较少, 换档柔和、平稳, 减小了整个传动系统零件的动载荷。全自动变速器加装液力减速器所增加的费用也较低。

缺点是比机械变速器和半自动变速器的价格昂贵, 当应用于功率超过 186.5kW 的重型车辆时差别更大。维修复杂, 维修费用也大。

## 2. 自动换档系统的优越性

### (1) 操作简化、省力

采用自动换档变速器, 一般取消了主离合器踏板和变速杆, 但控制发动机供油的油门踏板仍保留着。这样就使操纵件减少了, 动作也大大简化了。此外, 还设置了一个自动换档档区范围的选择手柄。所以在一般情况下, 即使在城市交通繁忙的街道上行驶, 从起步到停驶期间, 也不需任何换档操纵动作, 而由自动控制系统控制自动换档, 甚至当遇到红灯需短暂停驶时, 也可不移动手柄。驾驶员控制车速时, 只需控制油门踏板即可, 必要时也可用制动踏板予以配合。

如果道路条件变化,需要移动一下选择手柄时,其操纵也很简单省力,极易掌握,只要简单的训练,就能很快掌握好这些操纵技术。这点对操纵手柄多的工程车辆特别有利,它大大降低了对驾驶人员的培训要求。

### (2) 行车安全,作业生产率高

由于简化了操作,使得驾驶员可把注意力从频繁的换档操纵中解放出来,集中精力地观察地面情况、掌握方向或进行作业。实际中经常有这样的情况,正当需要集中注意力掌握好方向驾驶或进行作业时,也正是需要频繁换档操纵的时候。所以,采用自动变速器,能极大地提高行驶安全与作业效率。有人统计,在公共汽车上采用自动变速器后,交通事故可减少  $1/3$ 。工程车辆采用自动变速器,由于简化了操作,减轻了驾驶员疲劳程度,减少了注意力分散,可使生产率提高近  $1/3$ 。对于军用车辆,自动变速器的使用则有利于提高战斗力,提高驾驶员根据战场情况灵活进行战术处理的机动能力。

### (3) 乘坐舒适性好

车辆的乘坐舒适性,取决于许多因素。例如悬挂系统、发动机的振动与噪声,以及换档过程的平顺性等。自动换档变速器能把发动机的转速控制在一定范围内,避免过高、过低或不平稳的急剧变化,有利于减小发动机的振动和噪声。自动换档变速器通过专门的控制系统,可以得到很平稳的换档过程。液力传动本身还能吸收和减弱换档过程中的冲击。对于需要经常换档的车辆,自动换档控制系统的设计可设法减少换档次数,以提高行驶平稳性。在手动变速器中,驾驶员的疲劳与换档冲击等因素有关。而在自动变速箱中,换档都是自动地进行,不会因驾驶员的主观因素而异。所有这些,都可有效地改善车辆的乘坐舒适性。

### (4) 机件的使用寿命长

因为自动变速器采用液力元件,可以消除或减弱在动力传动装置中的动载荷,特别是工程车辆、载货车辆在地形复杂、路面恶劣的现场作业或越野行驶的条件下。另一方面,由于自动换档避免了粗暴换档所产生的冲击与动载。所以,一般自动换档变速器车辆上传动零件的使用寿命较长。据统计,在最坏地段行驶时,装自动换档变速器的车辆传动轴上,最大扭矩振幅只相当于手动换档机械变速器的  $20\% \sim 40\%$ ,原地起步时扭矩峰值相当于  $50\% \sim 70\%$ 。因此,可使发动机的使用寿命提高  $1.5 \sim 2$  倍,而且自动换档变速器的寿命可比机械换档变速器提高  $2 \sim 3$  倍,其它传动零件的寿命也可提高  $1.5 \sim 2.5$  倍。这一优点,为扩大自动换档变速器的应用,改善它在经济方面的竞争能力提供了有利条件。

### (5) 改善了车辆动力性能

这表现在提高起步加速性,功率利用及平均车速等方面。自动换档变速器由于液力变矩器的变矩性能及能连续地自动换档,起步加速性可得到极大的提高。自动换档过程中传动系统传递功率不中断,而且没有手动换档的减小供油操作,再加上自动换档在时刻控制上能保证发动机功率得到更充分地利用,所以自动换档可以得到好的加速性能,提高了行驶的平均速度。试验统计资料表明:装用自动换档变速器的公共汽车,起步加速至  $20\text{km/h}$  的车速,所需时间比使用手动换档机械变速器的公共汽车节省  $20\%$ ;而加速到  $40\text{km/h}$  车速时,则可节省  $10\%$  的时间。因此,可使平均车速提高  $10\%$ 。工程车辆及重型货车在恶劣路段及山地行驶时,其平均车速可提高  $10\% \sim 15\%$ 。

另外,考虑到前述有关降低动载荷的因素,采用自动换档变速器后,能明显地提高工程车辆及载货车辆的生产率和承载能力。

### (6) 改善车辆的通过性

由于自动变速器绝大多数都是液力传动,加之自动控制换档,便显著改善了车辆的通过性,使车辆能以较高的平均行驶速度通过雪地、松软路面。

### (7) 空气污染减轻

在手动换档变速器中,由于换档过程中常伴有供油量急剧变化,因此,发动机转速的变化也较大,导致燃烧过程变坏,使得发动机的排气中有毒成分增加(如一氧化碳、碳氢化合物及氮氧化物等),造成对空气的污染。使用自动变速器,由于液力传动和自动换档技术,能把发动机限制在污染较小的转速范围内工作,从而减少了发动机排气中有害物质的含量,有利于社会环境卫生。

自动变速器的优点很多,但是也有一定的局限性,其主要缺点有:

结构比较复杂、制造精度要求较高、成本较高及试制费用较大。然而在不少国家的自动变速器生产中,由于采取了许多措施:简化结构、采用先进的工艺,再加上批量生产,已使其成本明显降低。对于重型车辆和工程车辆的自动变速器,通过产品系列化、专业化生产,采用积木块式的结构设计原则,也能大大降低成本。

传动效率低。这主要是由液力传动所造成的,一般液力传动效率最高可达 86% ~ 90%,比机械传动效率低 8% ~ 12%。然而由于采取自动换档,使之与发动机能更好地匹配,采用变矩器闭锁等措施,可使燃料消耗较比用手动动力换档变速器为少。

此外,自动变速器由于结构复杂,在使用、修理、故障分析与处理等方面,要求有较高的技术水平。

## 二、自动换档系统的要求及控制内容

自动换档系统的发展目标与方向是简化驾驶换档操作程序,减轻驾驶员的劳动强度;选择最佳的换档时刻,以提高车辆的动力性、经济性、加速性等。

### 1. 自动换档系统的要求

(1) 操作变速杆应方便省力,操作次数少。

(2) 驾驶员可以在自动换档状况下干预换档,以适应交通情况和地形条件。如车辆在泥泞的道路上处于打滑状态时,车轮的转速仍比较高,发动机输出的扭矩并不大,而自动换档系统接收到的信号可能使档位继续升高,这样显然不利于车辆摆脱困境;另如在车辆行驶过程中,根据交通情况及路面状况假设以五档行驶最为合适,但此时行驶阻力较小,车辆可能升高到六档或更高档位工作,这样遇到紧急情况可能因来不及采取相应措施而发生危险。因此,自动换档系统必须设置人为的干预换档机构。

(3) 升档、降档应顺序进行,以减少冲击及机件的损坏。

(4) 应保证最佳的换档时刻,以满足动力性及经济性的要求。

(5) 当自动换档系统发生故障时,应有安全档位可进行应急行驶。

### 2. 自动换档系统的控制内容

自动换档变速器控制的主要内容有换档规律的控制和换档品质的控制。换档规律是指各排档间随工况参数自动进行换档的变化规律;换档品质是指换档过程的平稳性,常以冲击度来衡量。除此之外还有闭锁离合器控制和液力制动器控制等。

## 三、自动换档工作过程

自动换档系统控制过程如图 3-2 所示。车辆行驶状况参数有车速  $v$ 、油门开度  $x$ 、发动机转

速  $n$ 、变速器涡轮轴转速  $n$  和车辆加速度  $a$  等。

单参数控制最常用的参数是车速,当车速达到预定值时,换档系统自动起作用。双参数控制最常用的参数是车速和油门开度,或发动机扭矩和车速。

图 3-2 自动换档系统控制过程

油门开度,对汽油机是指节气门开度,对柴油机则是指齿条位置或其它方式表示的供油位置。现代液力传动中应用最广泛的是双参数控制的自动换档系统。

#### 四、自动换档系统的基本组成

自动换档系统有液压式和电液式两种型式。下面以日本小松 WS16S-2 自行式铲运机的电液式自动换档系统为例介绍其基本组成。

(1) 供油系统由油滤器、油泵、变矩器、减压阀、背压阀、定压阀、锁止阀、顺序阀、冷却器等组成。

(2) 执行机构由 5 个制动器和 2 个离合器、闭锁离合器组成。制动器和离合器不同组合的接合,可构成变速器的 8 个前进档和 1 个倒退档。

(3) 换档控制机构实际上是一个计算机控制的开关电路,它以速度传感器、油门开度电位计的电信号为依据,接受车辆的行驶状况参数,再根据变速选择器的电信号,自动计算合适的换档时刻。在换档时,向相应的电磁阀通电,使换档阀动作而接通主压力油与执行油缸的油路,接合相应的档位。为保证电磁阀和换档阀正常工作,设有先导控制油路,形成电磁阀控制先导控制油路,先导控制油路再控制换档阀的动作。变矩器上的闭锁离合器受电磁阀信号的控制。电磁阀控制的先导控制油路使闭锁阀动作,从而接通或切断压力油通往闭锁离合器的油路,使闭锁离合器闭锁或解锁。

(4) 信号转换系统,在电液式自动换档系统中,速度传感器和油门开度电位计将车辆行驶状态参数转换成电信号送至计算机或电子控制机构,定位器和变速选择器也同样将相应的其它选择参数变为电信号输入。WS16S-2 的换档控制过程如图 3-3 所示。

图 3-3 WS16S-2 自行式铲运机换档控制简图

液压式自动换档系统则将相应的参数转换成压力信号来控制换档阀而实现自动换档。如皮托管就属于一种液压式信号转换器,它一般用于变矩器闭锁离合器的控制。皮托管压力与流速的关系为:

$$p_v = p_0 + \frac{\rho v^2}{2} \quad (3-1)$$

式中:  $p_v$ ——皮托管压力, Pa;

$p_0$ ——液流静压,在常压下为零;

$\rho$ ——油密度,  $0.882\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$v$ ——管口油流速,  $\text{m}/\text{s}$ ,与涡轮轴转速  $n$  成正比(皮托管一般装于涡轮轴上)。

由式(3-1)可知,  $p_v$  与  $n^2$  成正比。

图 3-4 所示为 Allison 公司生产的 MT-640 型自动换档变速器的传动简图,与之相匹配的发动机额定功率为  $186.4\text{kW}$ ,额定功率时的转速为  $4000\text{r}/\text{min}$ 。

MT- 640 型自动变速器由一个可闭锁的变矩器和三个行星排的变速机构组合而成。变速器装置有一个变矩器闭锁离合器,两个换档离合器和三个换档制动器。

表 3-1 所列是 MT- 640 型自动变速器的换档执行机构动作表。

MT - 640 型自动换档变速器具有四个前进档(其中第四档为直接档)和一个后退档。根据变速器的传动简图及其各档执行机构动作表,可以分析得出它在不同

排档时的功率流传递路线图,如图 3-5 所示。各档功率流传递路线如图中粗线所示。

由功率流传递路线图及换档执行机构动作表可知,当车辆以三、四档高速行驶时,变速器可根据控制参数(车速  $v$  及油门开度  $x$ )的变化而将变矩器自动闭锁,这时变矩器的泵轮和涡轮由离合器接合成一体旋转,成为机械传动,以提高传动系统效率。而当车速较低,变速器在低速档工作时,则变矩器闭锁离合器分离,使功率通过变矩器传递。

图 3-4 Allison 公司 MT- 640 型自动变速器传动简图  
 $C_L$ -闭锁离合器; $C_1$ 、 $C_2$ -换档离合器; $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ -换档制动器

MT- 640 型自动换档变速器各档执行机构动作表

表 3-1

档 位 \ 执行机构	$C_L$	$C_1$	$C_2$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	速比( $i$ )
N(空档)							-
1 档							3.58
2 档							2.09
3 档							1.39
4 档							1.00
R(倒档)							- 5.67

图 3-5 Allison MT- 640 型自动换档变速器各档功率流传递路线简图

a) 一档功率流传递路线; b) 二档功率流传递路线; c) 三档功率流传递路线; d) 四档功率流传递路线; e) 倒档功率流传递路线

MT-640型自动换档变速器的控制手柄位置(以下简称柄位)共有六个,即:

“1”位——固定使用一档,此时变速器不会自动换至其它任何排档。

“1~2”位——车辆从一档起步后,能在一至二档内自动换档。

“1~3”位——车辆从一档起步后,能在一至三档内自动换档。

“1~4”位——车辆从一档起步后,能在一至四档内自动换档。

“N”位——空档,供发动机启动用。由于发动机启动电路的联锁控制,只有当手柄在“N”位置时,才能启动发动机。

“R”位——倒档,供车辆倒退时使用。

从执行机构动作表可以看出,车辆在空档“N”柄位启动发动机后,制动器 $B_3$ 即起作用。然后,驾驶员视行车条件选择柄位,但无论选在哪个柄位,一档起步后自动换档时,各档都有两个执行机构工作。然而每次换档变速器实际都只变换一个执行机构。用倒档起步也只增加一个执行机构工作。这便保证了从“N”位(空档)移至任何方向时,都只增添一个执行机构动作。这种换档变换方案,给换档操纵系统的设计带来了很大的方便。同时在变速器自动换档时,也增加了换档过程的平稳性。

## 第二节 自动换档变速器控制系统

自动换档变速器控制系统的主要任务就是自动改变传动系的传动比,即根据外负荷的变化情况自动换档。具体地讲,就是对变矩器的闭锁离合器、变速器等控制。如日本川崎KLD88ZII型装载机,小松WA系列轮式装载机,瑞典VOLVO-BM型装载机,美国约翰迪尔公司的JD862型铲运机,卡特彼勒公司的657E、651E铲运机都采用了自动换档变速器,它们的控制系统的组成及工作原理都基本相同。

### 一、系统基本组成

筑路机械自动换档系统一般采用双参数控制:油门开度 $\alpha$ 和车速 $v$ ,或发动机转速 $n_e$ 和车速 $v$ 。因为双参数控制基本上表达了机械的工作情况,同时也反映了其实际作业性能。换档规律通常按最佳牵引动力性能或最低油耗量予以确定。 $\alpha$ 和 $v$ 直接反映了机械工作时动力和传动装置所处的状况,在不同油门开度下各档牵引特性曲线图上可看出牵引动力性能和燃油经济性能; $n_e$ 和 $v$ 间接反映了机械工作状况,因为 $n_e$ 和 $v$ 已知,则变矩器的速比 $i$ 即可求得,根据 $i$ 和 $n_e$ ,就可计算出发动机力矩 $M_e$ ,从而求得了油门开度。用 $n_e$ 和 $v$ 双参数控制比用 $\alpha$ 和 $v$ 来得方便,结构上易实现,因为油门开度传感器结构稍复杂些,而采用 $n_e$ 和 $v$ 双参数控制,就不需要油门传感器,检测 $n_e$ 和 $v$ 只需转速传感器,简单可靠。因此,不少装载机电子控制自动换档变速器上都采了 $n_e$ 和 $v$ 双参数控制。

一般自动换档变速器控制系统的传递路线如图3-6所示。动力的传递路线由发动机到变矩器、变速器至终传动。控制系统包括速度传感器、定位传感器、变速控制器(内装计算机)、各电磁阀及执行元件。

变速控制器的功用:按照速度传感器信号和选择器设定的位置信号,自动设定最佳的动力变速档位和变速时刻。

速度传感器及速度传感器控制器的功用:测试变速器输入轴(变矩器涡轮轴)的转速,将转速转换成电信号并加工放大,整形成约12V的矩形脉冲信号,然后送到变速控制器中。

定位传感器的功用: 它和踏板连接在一起, 当踩下踏板时, 定位传感器产生电信号并传至变速控制器, 对正在接合的工作档位进行限定。此时自动变速控制器不再进行自动变速控制。这种情况用于操作人员认为保持当前速度不变为好而踩下踏板的场合, 如在松软地、上坡等状况时。

图 3-6 控制系统的传递路线

选择器的功用: 手动操作的选择器手柄用来选定工作速度的范围, 并将选定的工作速度范围信号送到变速控制器中。

## 二、控制传感器结构及工作原理

### 1. 速度传感器结构及工作原理

大部分工程机械上使用的传感器是一种接近开关式速度传感器, 如小松 WS16S- 2 铲运机、日产 EX200 挖掘机、意大利 BEN7.16 装载机等上使用的速度传感器。其作用主要是用来测试变速器输入轴或轮边减速器输出轴的转速。WS16S- 2 铲运机变速器的输入轴每旋转一周, 产生四个脉冲信号, 微小的脉冲信号, 被送入速度传感器控制器, 经过转换、放大和整形, 然后把每转产生的四个矩形脉冲信号送至变速控制器中, 见图 3-7。

图 3-7 速度传感器及控制器

速度传感器的旋转齿轮轴穿过变速器中的两根轴与涡轮轴连接在一起, 也就是速度传感器的齿轮轴与变速器的输入轴是同转速的。这种接近开关式传感器实际上是一个开关式变磁阻式速度传感器。被测轴旋转时, 速度传感器的磁极芯轴与装在被测轴上的齿轮之间的间隙改变, 磁路中的磁阻改变, 因而通过芯轴线圈的磁通也将发生变化, 线圈中产生感应电势, 感应电势的频率  $f = nZ/60$ , 则输入轴的转速为:

$$n = \frac{60f}{Z} \quad (3-2)$$

式中:  $Z$ ——与速度传感器芯轴相对的被测轴齿轮的齿数;

$n$ ——被测轴的转速,  $r/min$ ;

$f$ ——感应电势频率,  $Hz$ 。

检测出感应电势频率就可以计算出被测轴的转速。如 WS16S- 2 上的被测齿轮是“+”字形的, 有 4 个齿, 则输入轴的转速  $n = 15f$ 。

### 2. 定位传感器

定位传感器实际上是一个密封的开关, 它和驾驶室中的定位踏板一起动作。当踩下定位踏板时, 定位传感器受压而产生信号并将信号传至变速控制器, 使变速器保持在被选定的速度位置上。如 WS16S- 2 型铲运机在车辆五速状态下踩下定位踏板, 随后即使变速器输入轴转速超过  $1950r/min$ , 变速器仍保持五速状态, 并不变速到六速; 同样, 即使变速器输入轴转速下降至  $1350r/min$  或更低时, 仍保留在五速啮合状态, 不会发生降档情况。

### 3. 变速选择器

变速选择器由手动操纵杆和光电传感器组成,其功能是将手动操纵杆所在的位置(即人为选择的变速档位位置)转换成电信号并送至变速控制器的计算机中。

### 4. 变速控制器

依据从速度传感器送来的脉冲信号及变速杆位置信号,微型计算机通过驱动电路驱动相应的变速器电磁阀,利用电磁阀控制先导控制油路,进而控制换档阀进行换档。

WS16S-2 铲运机变速选择器与控制器联合工作时,其手动操纵不同位置时车辆的行驶速度范围如表 3-2 所示。在表 3-2 中,R、N、3、2、1 分别为选择器操纵手柄的倒退、空档、前进 3、前进 2、前进 1 位置。F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>4</sub>、F<sub>5</sub>、F<sub>6</sub>、F<sub>7</sub>、F<sub>8</sub> 为车辆的各个前进行驶速度档位。

操作杆不同位置时行驶速度范围表

表 3-2

操纵杆位置	变 速 范 围								
	R	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>
R									
N									
3									
2									
1									

选择器手柄在“ R ”位置时是手动操作,电磁阀作用使左、右侧离合器接合,用于车辆倒退。

选择器手柄在“ N ”位置时,电磁阀处于中立(即空档)状况,不作用于任一离合器,但此时 M 离合器是结合的。启动发动机之前,要求将选择器手柄放在中立“ N ”位置上,否则安全电路将使发动机不能启动。

选择器手柄在位置“ 3 ”上时,变速控制器根据速度传感器控制器传来的脉冲信号,自动选择 F<sub>2</sub> ~ F<sub>8</sub> 之间的最佳速度档位。自动转换点如下所示:

变速器输入轴转速	转换形式
1 950 ± 50r/min	自动加速(升档)
1 350 ± 50r/min	自动减速(降档)
1 500 ± 50r/min	变矩器闭锁离合器闭锁
1 150 ± 50r/min	变矩器闭锁离合器解锁

在前进 3 位置上加速时,自动变速范围为 F<sub>2</sub> ~ F<sub>8</sub>。踩下加速踏板,则发动机转速上升,如果变矩器涡轮轴速度(变速器输入轴速度)上升到 1 500r/min,则闭锁离合器闭锁,发动机传来的动力不经变矩器变矩而直接传动至变速器。转速上升到 1 950 r/min 时,高一档接合,在这一换档过程中,首先闭锁离合器短时解锁,原来档位脱开;随后高一档平顺接合,闭锁离合器随高一档位接合而闭锁。换档后如果载荷小,则变速器输入轴转速继续上升,在转速达到 1 950r/min 时,继续换升高一档位,直到 F<sub>8</sub> 档。

在前进 3 位置上减速时,自动变速范围为 F<sub>8</sub> ~ F<sub>2</sub>。当载荷增加,输入轴转速下降至 1 350r/min,则实现自动降档(如原为 F<sub>6</sub> 档,则降至 F<sub>5</sub> 档)。随载荷继续增加,速度将在 F<sub>8</sub> ~ F<sub>2</sub>

范围内逐档下降,当降到 F<sub>2</sub> 档,转速下降至 1 150r/ min 时,变矩器的闭锁离合器解锁,车辆恢复变矩器工况。

变速时,自动变速系统可防止速度的急剧变化。在变速之后,档位总是在某一时间内(加速 1.5s,减速 0.9s)保持不变(不管载荷情况如何),防止变速过度而产生误操作。

选择器手柄位置在前进 2 上时,自动变速在 F<sub>2</sub> ~ F<sub>5</sub> 范围内,其变速方法同上所述前进 3 位置时相同。前进 2 位置用于山地或有许多转弯的地区。

选择器手柄位置在前进 1 上时,手动操作,电磁阀作用使得制动器 L 和制动器 1 接合,车辆以 F<sub>1</sub> 速度前进。前进 1 位置用于铲土、卸土作业过程或坡度较大和从松软地脱出的场合。

### 三、电子控制换档的另一组成形式

在装载机上普遍使用的电子换档系统的组成如图 3-8 所示。它和上述组成几乎完全一样,所不同的只是操作控制形式,它也是由传感器、换档开关、控制装置以及换档电磁阀等组成。换档电开关有杠杆式和按钮式两种,工程机械一般采用杠杆式。如德国产的轮式装载机 F1310 上采用的就是这种操纵形式。司机操纵换档开关将档位选择要求以电信号方式输出给控制装置。

图 3-8 电子控制换档系统

转速传感器,常用的有电磁感应脉冲发生器和测速发电机。油门开度传感器常用的有电位计和旋转变压器。控制装置内有微处理机,它接收来自换档电开关、转速和油门传感器的信号,进行计算、分析和判断,按照预先写入计算机中的控制程序所确定的换档规律发出控制信号控制电磁阀,来进行换档。电磁换档阀组是一组电磁液压阀,如图 3-9 所示,六个电磁阀 13 ~ 18 分别控制 19 ~ 24 六个离合器的分离和接合。它根据控制装置的信号起作用,进行换档。

下面以装载机微机控制四速自动换档变速器为例来说明。该变速器可以自动换档,也可以手动换档,通过转换开关来选择自动或手动,其换档操纵情况如表 3-3 所示。它表示了换档手柄在不同位置时的档位情况,符号表示自动换档。

转速传感器,常用的有电磁感应脉冲发生器和

手柄不同位置时的换档位置 表 3-3

换档手柄位置	自 动	手 动
1	1	1
2	1 2	2
3	1 2 3	3
4	1 2 3 4	1 2 3 4

### 四、机械换档变速器电子控制

在通常的啮合套(同步器)换档机构的人工换档定轴式齿轮变速器的基础上,加上电子控制系统,即组成电子控制的机械换档变速器。这种自动换档变速器采用了传统的变速型式,因而结构简单、生产成本低、传动效率高(不带变矩器)、燃料经济性好。

电子控制机械换档变速器的基本组成如图 3-10 所示,由传感器、微机控制装置和执行机构等组成。

传感器检测出的信号传输给微机控制装置。传感器包括:发动机转速传感器 1、变速器输入轴转速传感器 2、车速传感器 3、油门踏板传感器 4、喷油泵控制杆角度传感器 5 和离合器行

程传感器 7 等。微机控制装置对传感器的信号进行分析判断,并发出控制信号,通过执行机构对变速器、离合器和发动机进行控制。机械式变速器换档过程不仅要

### 1. 变速器控制

变速器换档控制是按提高动力性、降低油耗来制定换档规律的,编制好的换档控制程序存储于微机内存中,微机根据车速和油门开度两个参数发出控制信号,通过电磁阀控制换档油缸,拨动啮合套进行换档。

### 2. 离合器控制

离合器的接合控制首先应确定离合器接合的启动点,即通过离合器行程传感器 7 检测出离合器接合过程中变速器输入轴刚开始旋转时的行程,并记忆在计算机中,这是离合器控制的参考点,从此点开始,微机控制装置按最佳接合规律对离合器接合速度,即动作油缸的行程和移动速度特性进行控制,从而实现对离合器的平稳接合控制。具体有以下两种控制情况。

机械微动控制:有时机械需以很慢的速度移动一段很小的距离,这就需要控制离合器接合程度通过其打滑来实现。

图 3-9 电磁换档阀组  
1-油箱;2-滤网;3-油泵;4-过滤器;5-电磁阀组;6-二位四通阀;7、19~24-离合器;8、26-节流孔;9、13~18-电磁阀;10-变矩器;11、12-溢流阀;25-冷却器

机械起步控制:根据发动机转速、变速器输入轴转速和油门开度来决定离合器操纵特性,得到最佳的起步性能。

离合器分离控制。在机械制动时离合器有两种控制形式:正常制动,为了利用发动机制动,离合器处于结合状态,直至发动机到达怠速状态,离合器才分离;紧急制动,离合器迅速分离,让发动机空转。是正常制动还是紧急制动,由计算机根据制动气压的高低、制动气压的上升率和发动机减速大小来判别确定。

### 3. 发动机控制

换档时,微机控制装置对发动机的控制主要是通过对油门开度(喷油泵)的控制而对其转速进行控制。对发动机进行控制的目的是使发动机转速适合于换档

后新的变速器输入轴转速,减小挂档后离合器接合时的冲击,从而提高换档平顺性。

图 3-10 机械变速器电子控制

- 1-发动机转速传感器;2-变速器输入轴转速传感器;3-车速传感器;4-油门踏板传感器;5-喷油泵控制杆角度传感器;6-换档杆选择开关;7-离合器行程传感器

## 第三节 变速控制器

本节介绍一种在铲运机上使用的变速控制器,即 A·E·S·C 控制器。

图 3-11 为变速控制器组合体电路。

变速控制器组合体电路由计算机印刷电路板组件和变速选择器印刷电路板两部分组成。

图 3-11 变速控制器组合体电路图

### 一、计算机印刷电路板组件

组合体 1: 产生 + 5V、+ 12V、+ 24V 的直流稳压电源,并具有对电路中发生反常电压的探测和保护电路的作用。反常电压的探测和保护电路由 19~32V 的输入电压操作,超过这一范围时,电路断开,防止高低电压输入。

组合体 2: 用来记录速度传感器控制器传来的信号,并区别定位传感器、油门传感器、变速器传感器等来自车辆的所有传感器信号,同时将信号送至计算机(组合体 4)中。

组合体 3: 输出驱动电路,它按照计算机发出的命令,对变速器电磁阀及变矩器闭锁电磁阀进行动作控制。

组合体 4: 是控制器的头脑,它包括一个中央处理机(CPU)、一个只读存储器(ROM,具有 24k 的信息组)和周边电路。单片微型计算机还包括一个随机存取存储器(RAM),振荡器电路和用于计算机工作时的其它电路。

组合体 5: 工作电压 + 5V, 1MHz 的时钟,这个正时器在速度传感器脉冲计数中作标准计时使用,同时用于变速时不可能计数的时间和闭锁延迟时间的控制。

### 二、变速选择器印刷电路板组件

变速选择器结构和光学原理如图 3-12 和图 3-13 所示。

这个电路包括 5 个光电管, 用于探测变速选择器手柄在 R、N、3、2、1 上的位置, 它实际上是由发光二极管和光敏接受元件组成。

图 3-12 变速选择器结构

图 3-13 光学斩波器工作原理

隔离屏, 用于遮挡来自发光二极管的光束并把各光电管元件接通至杆的“接通”或“断开”位置。它与选择器手柄相连而一起动作。

当隔离屏没有隔断来自发光二极管的光源时(即选择器没有在“接通”的位置), 光敏管接受来自发光二极管的光而导通, 此时输出电平为零电平。若选择器手柄接通某位置, 即隔离屏隔断来自发光二极管的光源, 相应的光敏管截止, 输出为高电平。如选择器的手柄在 R 位, 则 R 位置的光敏管被隔离屏遮挡无法接收发光二极管发出的光束而截止, R 位的输出电平为 1, 其余 N、3、2、1 位输出电平为 0。选择器手柄在 N、3、2、1 位置时同理。

变速选择器和计算机组件之间的接线共 7 根, 1 根为 + 5V 电源线, 1 根为接地线, 其余 5 根分别为变速选择器 R、N、3、2、1 位输入计算机组件的信号线, 其中线号 、 、 、 、 分别为变速选择器 R、N、3、2、1 位的信号线, 为 + 5V 电源线, 为接地线。

### 三、变速选择器电路检查

变速选择器印刷电路板检测点

如图 3-14 所示。

变速选择器电路板的电压是否为 5V, 测点 (+)、(-)。

变速选择手柄在 N 位时, 测点 (+)、(-), 电压约为 5V; 其它测点为 0V。

变速选择手柄在 R 位, 测点 (+)、(-), 电压约为 5V; 其它测点为 0V。

变速选择手柄在 3、2、1 位时, 测点电压变化同上。

图 3-14 变速选择器电路板

如果那一路检查结果不正确,则说明电路有故障,应进一步检查是线路断路、短路、搭铁,或是传感器有故障。

图 3-15 右侧为变速选择传感器与计算机之间的接线图。

图 3-15 控制器内部接线

#### 四、蓄电池、定位传感器、速度传感器、电磁阀组与计算机的连接

控制器“进”处电气配线与计算机连接如图 3-16,同时请参阅图 3-15。

控制器“出”处电气配线与计算机连接如图 3-17,同时请参阅图 3-15。

图 3-16 控制器“进”处与计算机的接线图

图 3-17 控制器“出”处与计算机的接线图

#### 五、控制器控制的速度级及相应操作的电磁阀、离合器

表 3-4 为控制器控制的速度级及相应操作的电磁阀、离合器。

控制器操作的电磁阀及相应的离合器表

表 3-4

速度级	F <sub>8</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	N	R
操作电磁阀	H	0	H	0	H	0	L	L	0	L
	3	3	2	2	1	1	2	1	0	R
	D	D	D	D	D	D	D	D	0	0
离合器	H	M	H	M	H	M	L	L	M	R
	3rd	3rd	2nd	2nd	1st	1st	2nd	1st	0	L

注：表中“0”表示不操作电磁阀或离合器。

D 为操作闭锁离合器的电磁阀，F<sub>2</sub> ~ F<sub>8</sub> 档位自动变速时均与 D 相接，也就是在 F<sub>2</sub> ~ F<sub>8</sub> 范围内任一档位均可用 D 的通、断电使闭锁离合器闭锁或解锁。这种情况主要用在自动升、降档时，需定时解锁后又闭锁，或在定位踏板踩下且载荷较大，涡轮轴转速低至 1 150r/min 时闭锁离合器解锁，随后若载荷减小，涡轮轴转速升高到 1 550r/min 时，闭锁离合器又闭锁。F<sub>1</sub> 和 R 档位车速较低，变矩器在变矩或偶合工况下工作，D 不通电。

有关各电磁阀号与离合器号请参见本章第四节有关介绍。

## 第四节 自动换档液压系统

现代筑路机械自动换档均采用液力传动的自动变速器。早期液力传动的液压换档或自动换档是液压控制的，随着电子技术的发展，出现了现代电控液压手动换档系统和电子控制液压换档的电液自动换档系统。尽管应用了电子控制技术，液力传动动力换档的基本部分仍是液压系统。

现代筑路机械自动换档液压系统因是液压式换档或电液式换档，所以其机构和装置不大相同。液压式换档系统结构较复杂一些，它包括供油机构、调压机构、换档选择控制机构、换档顺序及品质控制机构、换档执行机构和某些特殊装置(如联锁、限制、安全装置)等。

电液式换档的液压系统包括供油系统、换档执行机构、电控液压机构和预防系统冲击的安全装置等。

下面我们以日本小松 WS16S- 2 型自行式铲运机的电液换档液压系统为例进行分析介绍。

### 一、液力变矩器及行星变速器

#### 1. 液力变矩器

WS16S- 2 铲运机的液力变矩器为 TCA43- 2B 型，其形式为三元件一级两相带闭锁离合器。变矩器的变矩器系数为 2.4。闭锁离合器为湿式双板盘式，由电控压力油液控制其接合。

单级：指涡轮的翼栅只有 1 列(即只有一个涡轮)。

两相：导轮固定不动时，得到变矩工况；导轮旋转时，得到偶合器工况。当外载荷较大，涡轮转速较低时，导轮固定不动(此时，由涡轮出口处流出的液流冲击导轮叶片的正面，单向离合器起作用将导轮固定不动)；当负载较小，涡轮转速较高时，从涡轮出口处流出的液流冲击导轮叶片的背面，使得单向离合器不再固定导轮，导轮与涡轮同时转动，变矩工况转变为偶合工况，提高了高速小扭矩时变矩器的传动效率。

三元件：1 个泵轮、1 个导轮、1 个涡轮。

## 2. 行星变速器

WS16S- 2 采用行星齿轮式自动换档变速器, 其传动简图如图 3-18。

图 3-18 WS16S- 2 型铲运机采用的变速器传动简图

该变速器有 8 个前进档、1 个倒退档, 可由电子计算机进行自动换档控制。

变速器的输入轴用花键与液力变矩器的涡轮轴相连, 变矩器壳体固定在变速器器体上, 成为一整体结构。变速器由前、后两部分组成, 前部包括 1、2、3 号行星排及 M 制动器(控制中速)、H 离合器(控制高速)、L 制动器(控制低速)。后部包括 4、5、6 号行星排和 1st、2nd、R 制动器及 3rd 离合器。1st、2nd 制动器和 3rd 离合器为速度级离合器, R 制动器为倒退速度离合器。4 号行星轮为双列行星轮。变速器传递动力时, 需分别接合变速器前部和后部相应的制动(离合)器。

如挂 R 倒档, L 和 R 制动器接合, 动力由输入轴 I 输入, 经 1 号太阳轮、 2 号行星轮、 3 号行星架、II 轴、 4 号太阳轮、 5 号行星轮(通过两列偏置式行星小齿轮改变旋转方向)、 6 号行星架后将动力传递到输出轴 III。

再如挂 F<sub>3</sub> 档, M 和 1st 制动器接合, 动力由输入轴 I 输入, 经齿轮 1、 2 号行星轮( 1 号太阳轮不转)、 3 号行星架、II 轴、 4 号太阳轮、 5 号行星轮、 6 号行星架后将动力传递到输出轴 III。

各档位相应接合的换档离合器及速比, 见表 3-5。

各档接合的离合器及变速比

表 3-5

档位	R	N	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>
前部	L	M	L	L	M	H	M	H	M	H
后部	R		1st	2nd	1st	1st	2nd	2nd	3rd	3rd
速比	4.58		7.64	4.44	3.45	2.53	2.00	1.47	1.08	1.00

其它档位的动力传递路线请读者自行分析。

## 二、供油系统

供油系统是液压控制系统的一个基本的组成部分, 其功能是向整个自动操纵控制系统提供具有一定的油压、足够的流量及合适温度的油液。具体如下:

(1) 向变矩器(或偶合器)供油, 并维持足够的补偿油压, 以保证该系统中油温不致过高及在液力元件中不产生气蚀。

(2) 在一部分工程车辆和重型运输车辆中, 还需向液力减速器提供足够流量、温度适宜的油液, 以便能适时地吸收车辆的动能, 得到满意的制动效果。

(3) 向控制系统供油, 并维持主油路的工作油压, 以保证各控制机构顺利地工作。

(4) 保证各换档离合器、闭锁离合器等的供油, 以满足换档、闭锁等操纵的需要。

(5) 为整个变速器各运动零件——齿轮、轴承、止推垫片、离合器摩擦片等提供润滑用油, 并保证正常的润滑油温度。

(6) 通过油料的循环对变速器进行散热冷却, 使变速器保持在合理的温度范围内工作。

整个供油系统的结构组成, 因其用途而异, 种类繁多。但其主要组成有:

各分支供油系统——变矩器及液力减速器的供油系统、冷却系统、润滑供油系统等。

油泵及辅助装置——供油泵、油箱、各种滤油器、管道等元件。

压力调节与控制机件——调节系统压力的调压阀, 以及各种溢流、安全压力控制阀等。

图 3-19 所示为 Allison 公司 CLBT-750 型自动变速器的供油系统图。这是一种供铲运机和 20~35t 工程自卸载货车辆使用的重型自动变速器。

CLBT-750 型自动变速器对供油系统的要求如下:

(1) 向变速器自动换档操纵及变矩器闭锁控制系统供油——包括向自动控制系统及各离合器的供油。这部分流量消耗不大, 实际供油量不超过 15L/min。

(2) 变矩器补偿——考虑到在 20% 坡道上长期上坡行驶时仍能保持适当油温, 变矩器的供油量不得少于 68L/min。

(3) 变矩器各部件润滑冷却——为保证离合器正常使用和适当的寿命, 最小供油量为 23L/min。

(4) 向液力减速器的供油——偶合器型的液力减速器容积是 3.8L, 应保证在一定时间内能充满容积以获得最大制动力矩。

### 三、换档品质控制

为了实现平稳而又迅速地换档, 就要进行换档品质控制, 即离合器接合与分离控制。它具体包含以下两个内容:

换档搭接控制: 换档过程是一个结合元件脱开和另一个结合元件接合的转换。脱开和接合的时间配合必须恰到好处, 脱开过早, 接合过慢, 会产生动力中断; 脱开过晚, 接合过早, 同时挂上两个档, 互相抵触制动。两者都是不好的, 都会产生冲击振动。因此, 换档时结合元件的分离

图 3-19 CLBT-750 型自动变速器的供油系统

1、2-油泵; 3-滤油器; 4-主压力阀; 5-润滑油路调压阀; 6-溢流阀; 7-液力减速器控制阀; 8-液力减速器; 9-变矩器; 10-闭锁离合器; 11-冷却器; 12-变矩器背压阀

和接合应进行精确定时控制。

离合器接合过程油压上升规律的控制:一般动力换档变速器是由液压操纵来完成换档的,结合元件摩擦力矩的大小取决于油液压力,为了使换档过程平稳圆滑,要求油压平稳地上升。电子控制采用微机(或定时装置)来实现换档搭接控制是不难的,也是容易理解的。下面对如何用电子控制方法来实现离合器油压平稳上升的方法进行探讨。

### 1. 在调压阀基础上加定时控制

图 3-20 为溢流型调压阀加上电磁阀控制的蓄能器放油装置。溢流阀 1 的压力弹簧的另一

图 3-20 电控溢流调压控制

1-溢流阀;2-蓄能器;3-节流孔;4-电磁阀

端支承在蓄能器柱塞 2 上,当离合器充满油后压力上升时,油通过节流小孔 3 进入蓄能器,推动蓄能器柱塞左移,使弹簧力逐渐增加,使溢流阀控制油压平稳上升。蓄能器充放油通过电磁阀 4 来控制,如图 3-21 所示。该图表示了从前进档转换成后退档时,各有关电磁阀的动作情况和液压压力变化情况。当前进离合器电磁阀断开和后退离合器接合后,蓄能器放油电磁阀滞后一段微小时间  $t_1$  才通电将蓄能器中的油放掉。 $t_1$  是为了使离合器能很快地充满油液所需要的时间。 $t_2$  是蓄能器放油时间,只有将蓄能器的油放掉,油路压力充分降低,才能从低压开始调压,取得良好的调压效果, $t_3$  为压力平稳上升时间。

### 2. 比例电磁铁调压阀

比例电磁铁调压阀具体结构如图 3-22 所示,由一个电磁比例减压阀和一个溢流阀组成。电磁比例减压阀的阀杆上作用着向下的电磁力,该力与加在线圈中的电流值成比例,此阀杆上

图 3-21 换档过程油压变化

图 3-22 比例调压控制

又作用着向上的油压力,通过电磁力和油压力平衡来控制 A 腔的油压。显然,此油压与线圈中的电流值成比例。A 腔的油压作用在溢流阀的右端,控制了溢流油压,从而决定了离合器的油

压,因此,可以通过控制电磁比例减压阀的电流来控制离合器的油压上升。

### 3. 步进马达驱动数字式调压阀

图 3-23 是步进马达驱动数字式调压阀具体结构图,它由线性执行机构(由步进马达加上

图 3-23 数字调压控制

1-回位弹簧; 2-主控滑阀; 3-高压弹簧; 4-低压弹簧; 5-作用柱塞; 6-位置滑阀; 7-线性执行机构

旋转运动转为直线运动机构)、液压位置伺服阀和减压阀组成。其工作原理是:计算机发出脉冲电信号,传送给线性执行机构(步进马达),线性执行机构带动位置滑阀来回移动;位置滑阀和作用柱塞组成液压位置伺服阀,即位置滑阀的位置确定了作用柱塞的位置;减压阀压力弹簧是支承在作用柱塞上的,因此,作用柱塞的位置决定了压力弹簧的压缩程度,通过减压阀主控制滑阀去离合器的油压取决于压力弹簧的作用力,也即作用柱塞的位置确定了离合器油压。通过这样一系列关系,计算机可以控制离合器接合过程的油压上升。

### 4. 脉宽调制控制调压阀

脉宽调制控制的调压阀具体结构如图 3-24 所示,它由三路高速电磁阀和滑阀式减压阀组成。高速电磁阀为三通路的球阀,有二种状态:接合状态时,供油口( $p_s$ )闭锁,信号输入口

图 3-24 脉宽调压控制

( $p_p$ )回油;断开状态时,供油口通信号输入口,回油口闭锁。高速电磁阀在一定的供油压力  $p_s$  下工作,由计算机发出周期性的脉宽调制信号,控制其接合和断开,改变一个循环中接合时间的比例(称为变调率,变调率 =  $\frac{t_{\text{合}}}{t_s} \%$ ,如图 3-25 所示,就可改变信号输入压力  $p_p$ (也即指令信号压力  $p_G$ )的大小。减压阀左端受  $p_G$  压力与作用,右端承受小柱塞面积的离合器压力  $p_c$  和弹簧力作用,因此,离合器压力将随着指令信号压力的变化而变化。从而实现了由计算机控制离合器油压上升规律的目的。

图 3-25 变调率示意图

## 四、典型自动换档液压系统及控制

我们仍以 WS16S-2 型自行式铲运机自动换档液压系统(如图 3-26 所示)为例,分析其控制工作过程。

### 1. 供油系统

来自油泵的液压油,通过滤清器后分三路,再进入四个循环系统,即先导油路系统、液力变矩器循环系统、换档主油路循环系统和闭锁离合器油路系统。

### 1) 先导油路循环系统

它是在压力油输入顺序阀 6 之前,把油导入变速控制阀(各电磁阀 D、H、L、3、2、1、R 及相应的滑阀)中。先导油路的压力控制为 800kPa(由定值减压阀 19 调定)。先导油路将压力为 800kPa 的压力油作用在各换档滑阀上,以保证换档阀工作圆滑,能平稳、快速地换档。

为了保证先导油路油压保持不变,即使主要循环管路的油压下降,在液压系统中采用压力顺序阀,主要循环系统中的油压下降至 1 000kPa 时,压力顺序阀切断流入主要循环系统的油路,即切断去变矩器和变速离合器的油路(图中顺序阀 6 的开启压力为 1 000kPa,进口压力控制)。油压下降到 1 300kPa 时,切断去闭锁离合器的油路(定值减压阀 8 的开启压力为 1 300kPa,出口压力控制,一般进口压力大于 1 300kPa)。这样就保证了压力油优先输入先导油路中去。因此,在先导油路减压阀 19 的出口处油压总是保持在 800kPa(进口压力可大于 800kPa)。

### 2) 换档主油路

进入顺序阀的压力油,经过溢流调速阀 7(流量为 90L/min)后,一部分经外控减压阀 18(外控至 1 500kPa)或无载荷减压阀 28(入口压力控制和外控,设定压力为 3 000kPa,与外控减压阀 18 在油路中并联)进入液力变矩器;另一部分则经先导加压调节阀进入换档阀控制的换档主油路。经过外控压力的调节,可以使主油压在  $F_3 \sim F_8$  档位时为 1 500kPa, R、 $F_1$ 、 $F_2$  档位时为 3 000kPa,保证低速大扭矩时换档离合器可靠地接合,高速小扭矩时减小传动系的功率损失。当变速器在  $F_3 \sim F_8$  档位时,油压小于等于 1 500kPa,或变速器在 R、 $F_1$ 、 $F_2$  档位时,油压小于等于 3 000kPa,压力油优先直接通过先导加压调节阀 27,然后进入换档滑阀及相应离合器。

### 3) 变矩器油路

由外控减压阀 18 或无载荷减压阀 28 流出的压力油经快速回流阀 20 与溢流调速阀 7 溢流出来的油汇合后进入变矩器。当变矩器入口处油压大于或等于 800kPa 时,减压阀 14 开启泄油。从变矩器出来的油经背压为 250kPa 的减压阀 13(入口压力控制),进入冷却器 15 冷却,冷却后的油同减压阀 14 泄出来的油汇合后进入变速器润滑系统对变速器中的齿轮、轴承、离合器摩擦片等进行润滑;另一路是当去变速器润滑系统的油压超过 150kPa 时,经开启的溢流阀 16(调定压力 150kPa)流回油箱。

### 4) 闭锁离合器油路

压力油在进入顺序阀 6 之前,根据需要可经定值减压阀 8(1 300kPa,出口压力控制)减压后,到外控闭锁阀 9(外控压力为 400kPa),若闭锁阀为闭锁位(图中所示右位)时,减压后的压力油进入闭锁离合器。这里定值减压阀采用出口压力控制,是为了满足闭锁离合器的工作需要,做到结合平稳,且具有足够的压力,保证力矩可靠传递,同时分离彻底,防止离合器在半结合状态下工作。

## 2. 电控液压系统及换档执行机构

WS16S-2 型铲运机电控液压系统为计算机控制的 H、L、3、2、1、R 及 D 电液控制阀组。电液控制阀控制先导油路中的压力油使换档滑阀换位,主压力油进入换档执行机构而接合相应的离合器。换档执行机构为变速器中的 5 个制动器和 2 个离合器,它们均采用接合柔和的多片湿式离合器。

电液控制阀 D 控制的闭锁先导油路与其它每一个电液控制阀控制的换档滑阀先导油路并联,只要在 F<sub>2</sub> ~ F<sub>8</sub> 档位范围内自动换一次档位,闭锁离合器在 D 电液控制阀的控制下则要各解锁、闭锁一次。

车辆在各速度下接通的电磁阀及相应的液压系统中控制的离合器及接合压力见表 3-6。

各档位接通的电磁阀、离合器表

表 3-6

速度级 (变速)	控制中的离合器(MPa)							使用中的电磁阀(自动)						锁止 离合器		变速器 入口 (MPa)	
	R	1st	2nd	3rd	L	M	H	SOL R		SOL1	SOL2	SOL3	SOLL	SOLH	自动		手动
R	3.0			3.0													3.0
N						1.5											1.5
F1		3.0			3.0												3.0
F2			3.0		3.0												3.0
F3		1.5				1.5											1.5
F4		1.5					1.5										1.5
F5			1.5			1.5											1.5
F6			1.5				1.5										1.5
F7				1.5		1.5											1.5
F8				1.5			1.5										1.5

注:标记“ ”表示电磁阀是激磁的。

电磁阀与其控制的先导油路二位二通阀,合称电液控制阀。

### 3. 预防换档系统中冲击的安全装置

在自动换档过程中,我们希望平稳、无冲击。有多种控制平稳性的方法,其中有一种是重叠式,主要用于工程机械在低速大负荷工况下,在这种换档方式中,离合器的分离与结合有一定的重叠时间,动力不中断,但在离合器中有瞬时的摩擦功率损失;还有一种是切断动力换档式,这种方法主要用于工程机械高速小负荷工况下,在这种换档方式中,动力中断时间短(一般为 0.3~1s),没有摩擦功率损失。WS16S-2 型自行式铲运机在铲土和卸土时负荷较大,用手动 F<sub>1</sub> 档工作;在运土过程中,负荷较小,需快速行驶,因而采用切断动力换档式。

WS16S-2 型铲运机设有专门的防换档冲击装置,利用 D 电磁阀控制在换档过程中先解锁,滞后 0.6s 再闭锁,使动力不能机械式传递到变速器输入轴(闭锁双动阀 21 在自动位,若在手动位,则动力机械式传递);先导加压调节阀 27 与快速回流阀 20 在换档过程中联合动作,使流往变矩器的油液一部分直接回油箱,流往变矩器的油液压力下降,流量减少,使变矩器传递动力的能力下降;变速器的换档方式是先将前一档位的离合器脱开,然后接合新档位的离合器;液力传动具有减振缓冲作用,因此,可防止换档过程中的冲击。

### 4. 换档离合器油路的变压方式

R、F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 档位时,变速器入口油压及离合器工作油压为 3 000kPa。

F<sub>3</sub>、F<sub>4</sub>、F<sub>5</sub>、F<sub>6</sub>、F<sub>7</sub>、F<sub>8</sub> 和 N 档位时,变速器入口油压及离合器工作油压为 1 500kPa。系统压力的建立与载荷有关,另一方面与系统的减压阀有关。WS16S-2 型铲运机的变速压力控制有两路并联的减压控制油路:1 500kPa 外控减压阀 18 油路和 3 000kPa 外控加进口油压控制的无载荷减压阀 28 油路。

车辆在 R、F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 档位工作时,L 制动器必须接合,这样就使得流经 L 滑阀而去外控减压阀 18 的压力油路被切断,减压阀 18 油路不导通,此时只有无载荷减压阀起作用。这就限制了系统的工作压力为 3 000kPa,满足了低速大扭矩下传递动力时,离合器的接合压力应足够大的要求。

在  $F_3 \sim F_8$  档位范围内时, 车辆是在高速小扭矩工况下工作的。且 L 制动器在这几个档位都不参与工作, 控制 L 制动器的滑阀不动作; 而流经 L 滑阀而去外控减压阀 18 的压力油路导通, 使得外控减压阀 18 将换档液压系统的主压力调节至 1 500kPa 以内, 这既满足了高速小扭矩工况下离合器接合的要求, 又避免了因油压过高造成液压系统功率的损失。

在 N 档时, 车辆在空档, 只有 M 制动器接合, 系统主压力同上所述, 为 1 500kPa。M 制动器是一个常结合式离合器, 即在空档时它也是接合的, 它在  $F_3$ 、 $F_5$ 、 $F_7$  档位时也参与工作。

### 5. 应急行驶档

$F_3$  速手动行驶是应急行驶档位。在发生电气故障, 所有电液控制阀停止工作时, 用手动阀 26 将车辆行驶速度挂在  $F_3$  档位, 使车辆能返回场地或修理厂。此时 M 制动器接合, 1st 制动器由手动阀控制接合。其换档过程如下:

手动阀 26 用手动移到左位, 换档滑阀因压力差左移换至右位而接通去制动器 1st 的压力油路, 1st 制动器接合(M 制动器常结合), 实现变速器手动  $F_3$  档位。

在手动  $F_3$  档位应急行驶时, 车辆既可在变矩工况下工作, 也可在偶合工况下工作。闭锁双动阀 21 在右位(自动控制位)时, 先导油压将闭锁阀 9 移至左位, 闭锁离合器解锁, 动力由发动机传递到变矩器, 经变矩或偶合后传到变速器; 当闭锁双动阀手动换至左位(手动位)时, 先导油路被切断, 闭锁双动阀出口至闭锁阀 9 之间的油泄回油箱, 闭锁阀在弹簧力的作用下移至右位, 闭锁油路接通, 闭锁离合器接合, 发动机的动力直接传递到变速器。因此, 在应急行驶手动  $F_3$  档位工作时, 既可在高速小扭矩工况下行驶, 也可在低速大扭矩工况下行驶。

手动阀的结构如图 3-27 所示。其工作原理是: 在正常工作情况下, 螺栓 A 将钢球顶住封闭先导油路, 使先导压力油不能经钢球放泄回油箱, 换档滑阀的动作由电液控制阀 1(图 3-26)控制。当需用应急行驶手动  $F_3$  档位工作时, 将锁紧螺母 B 放松, 旋出螺栓 A, 先导压力油可冲开钢球放泄回油箱, 此时, 弹簧室的先导油压因放泄而降低, 换档滑阀因作用在阀芯两端的压力差克服弹簧力使阀芯左移换右位(图 3-26), 使 1st 制动器接合。

### 6. 自动换档液压系统部分元件的工作过程

#### 1) 换档滑阀

WS16S-2 型铲运机的变速器换档滑阀共有 6 个, 见图 3-26 中 H、L、3、2、1、R 电液控制阀所控制的换档滑阀。

图 3-27 手动阀的结构

图 3-28 为 H 换档滑阀结构简图, 它是由电液换向阀控制的。图示为断开状态(图 3-26 中的左位), 此时 6 室和通过节流孔 8 节流的 3 室中充满先导油, 由于电磁阀断电, 使电液控制阀 1 移右位截止, 3、6 油室内油压相等, 9、7 面压力相等, 方向相反, 在弹簧 2 弹力的作用下滑阀被推向右位, 直到与左边的止动凸台相接触, 离合器油路与泄油口 4 相通, 离合器分离; 当电磁阀通电使电液控制阀 1 移左位, 将 3 室的先导油泄回油箱时, 6 室先导油通过节流孔 8 流入 3 室, 由于 8 节流孔的作用, 6、3 室产生压力差, 右  $F_{9+} F_F < F_D$ , 阀芯左移, 接通压力油到离合器的油路(同时将泄油口关闭), 离合器接合。电磁阀的动作受换档控制器信号的控制。

其它各换档滑阀工作原理同 H 滑阀相似。

#### 2) 闭锁离合器

闭锁阀的液压特性如图 3-29 所示, 它反映了在自动换档过程中闭锁离合器中油压随时间

图 3-28 H 换档滑阀简图

1-电液控制滑阀; 2-弹簧; 3、6-油室; 4-泄油口; 5-阀芯; 7、9-承压面; 8-节流孔

变化的情况。

闭锁离合器在自动换档过程中的工作过程为: 计算机驱动电路“断开”电信号使电磁阀 D 断电, 电液控制阀 D 换右位(见图 3-26), 先导压力油使闭锁阀 9(图 3-26)换左位, 闭锁离合器解锁。由电信号提供一个 0.6s 的解锁滞后时间后, 计算机驱动电路“接通”电信号使电磁阀 D 通电, 电液控制阀 D 换左位, 先导压力油泄压, 闭锁阀在弹簧力的作用下换右位, 闭锁离合器随油压的上升而闭锁(起始闭锁压力为 500 ~ 700kPa, 限定压力为 1 200 ~ 1 400kPa), 发动机动力直接传递到变速器。

### 3) 先导加压调节阀和快速回流阀

先导加压调节阀 27 和快速回流阀 20(见图 3-26)的作用是: 决定需接合的离合器中的油压特性, 使液压系统中的变矩器油路中的压力油在换档过程中部分直接泄回油箱, 消除换档过程中的振动、冲击, 使换档平稳, 接合圆滑。

换档时需接合的离合器中的液压特性如图 3-30 所示。在此必须说明的是, 图 2-26 中, 离合器接合的限定压力由外控减压阀 18 或无载荷减压阀 28 确定。

图 3-29 闭锁阀的液压特性

图 3-30 换档时离合器中的油压特性

为了说明先导加压调节阀和快速回流阀在换档时的工作过程, 我们以车辆由  $F_4$  升为  $F_5$  档位为例进行分析。在换档开始时, 计算机发出指令使相应电磁阀动作, 1st、H 离合器因油路接通泄油口而分离, 2nd、M 制动器接通压力油时开始接合。当压力油刚接通 2nd 和 M 制动器

时, 由于先导加压调节阀在左位(见图 3-26)时的节流作用, 造成其出口压力下降, 在调节阀芯两端面压力差的作用下, 先导加压调节阀换位到右位, 无节流地快速向 2nd、M 制动器供压力油。此时, 变矩器油路中快速回流阀的外控油压因调节阀换位而为 0Pa, 快速回流阀换下位, 使通往变速器的油部分直接泄回油箱, 液力变矩器传递动力的能力因此而下降; 当 2nd、M 制动器中充满油液后, 先导加压调节阀出口的油压上升, 调节阀因两端受力面积不同而换左位, 快速回流阀的外控油压随调节阀的换位而通过节流孔逐渐上升, 当外控油压上升到 330kPa 时, 快速回流阀换到上位, 关闭泄油口, 由外控减压阀 18 流出的油全部流往变矩器, 变矩器恢复正常的变矩或耦合工作状态。

由图 3-29 和图 3-30 我们可以看出, 换档离合器从脱开到限压接合一般需 0.5 ~ 0.7s, 而经滞后 0.6s 解锁时间再开始闭锁的闭锁离合器完成一个解锁到限压闭锁过程需 0.8 ~ 1.3s, 换档切断动力时间小于 0.7s。在自动换档过程中, 发动机的动力经变矩器变矩能力下降传递、液力传递和直接传递三个阶段由小到大地传递动力到变速器, 使得变速器的换档离合器在传递的扭矩由小到大, 接合压力也由小到大的工况下牢靠而且柔和地完成接合过程, 避免了换档冲击、峰值扭矩传递, 提高了传动系的工作寿命和驾驶的舒适性。

# 第四章 无级变速控制系统

## 第一节 系统组成与速度控制方式

无级变速已普遍用于全液压驱动行驶的车辆中,尤其是现代筑路机械履带式行驶车辆,如 ABG422 摊铺机、BEN7.16 履带式装载机、EX200 挖掘机、全液压自行式振动压路机等行驶系统均采用全液压驱动的电控液压泵-马达,实现无级变速。由于电气或电子技术在信号的检测、放大、处理和传输等方面比其它方式具有更明显的优势;在功率转换、放大单元和执行部件方面,液压元件又具有更多的优越性。因此,电液控制车辆的无级变速已成为现代筑路机械乃至机械控制工程的一个重要的发展趋势。

作为全液压驱动车辆的无级变速系统,其可实现的功能有车辆的直线行驶控制、转向控制、前进后退控制、制动控制等,但最重要的是速度控制。而速度控制以电液伺服控制为主。

### 一、电液伺服控制

图 4-1 为电液速度控制伺服系统的原理图,该系统控制驱动轮转速,使驱动轮转速能按照速度指令变化。

图 4-1 电液速度伺服控制系统原理图

该系统的液压动力装置由变量泵和马达组成,变量泵既是液压能源又是主要的控制元件。由于操纵变量机构所需要的力较大,通常采用一个小功率的放大装置作为变量控制机构。图 4-1 所示的系统采用阀控制电液位置伺服系统作为泵的控制机构。系统输出的速度由测速发电机检测,并转换为反馈电压信号  $u_f$ ,与输入速度指令信号  $u_i$  相比较,得出偏差电压信号  $u_e = u_i - u_f$ ,作为变量控制机构的输入信号。

当速度指令  $u_i$  一定,驱动轮以某个给定的旋转速度  $w_0$  工作时,测速发电机输出电压为  $u_{f0}$ ,则偏差电压为  $u_{e0} = u_i - u_{f0}$ ,这个偏差电压对应于一定的液压缸位置,从而对应于一定的泵流量输出,此流量即为保持速度  $w_0$  所需之流量。可见偏差电压  $u_{e0}$  是保持工作速度  $w_0$  所需要

的,这是个有差系统。在工作过程中,如果负载、摩擦力、温度或其它原因引起速度变化时,则  $u_f < u_{f0}$ , 假如  $w > w_0$ , 则  $u_f > u_{f0}$ , 而  $u_e = u_i - u_f < u_{e0}$ , 使液压缸输出位移减小, 于是泵输出流量减小, 液压马达速度便自动下调至给定值。反之, 如果速度下降, 则  $u_f < u_{f0}$ , 因而  $u_e > u_{e0}$ , 使液压缸输出位移增大, 于是泵输出流量增大, 速度便自动回升至给定值。可见速度是根据指令信号  $u_i$  自动加以调节的。

在这个系统中, 内部控制回路可以闭合也可以不闭合。当内部控制回路不闭合时, 该系统是个速度伺服系统。若闭合内部控制回路, 便消除了变量控制机构中液压缸的积分作用, 系统实际上不再是一个速度伺服系统, 而成了一个速度调节器。

图 4-1 所示的系统, 在内部控制回路闭合的情况下, 将速度指令变为位置指令, 测速发电机改为位移传感器, 就可以进行位置的伺服控制。

系统的方块图如图 4-2 所示。该系统的指令信号、反馈信号以及小功率信号是电量, 而液压动力装置的控制元件是变量泵, 所以称为泵控电液伺服系统。

图 4-2 泵控电液伺服系统方块图

实际的液压伺服系统无论多么复杂, 都是由一些基本元件组成的。根据元件的功能, 系统的组成可用图 4-3 表示。

输入元件: 也称指令元件, 它给出输入信号(指令信号)并加于系统的输入端。例如指令电位器等。

反馈测量元件: 测量系统的输出量, 并转换成反馈信号的元件。如缸体与阀体的机械连接、反馈电位器、测速发电机等。

图 4-3 液压伺服控制系统的组成

比较元件: 将反馈信号与输入信号进行比较, 给出偏差信号的元件。输入信号与反馈信号应是相同形式的物理量, 以便进行比较。比较元件有时并不单独存在, 而是与输入元件、反馈测量元件或放大元件一起由同一结构元件完成。在伺服系统中, 输入信号、反馈测量元件和比较元件经常组合在一起, 称为偏差(误差)检测器。

放大转换元件: 将偏差信号放大并进行能量形式的转换的元件。如放大器、电液伺服阀、滑阀等。放大转换元件的输出级是液压的, 前置级可以是电的、液压的、气动的、机械的或它们的

组合形式。

执行元件:产生调节动作加于控制对象上,实现调节任务的元件。在液压伺服系统中,执行元件是液压缸、液压马达或摆动液压缸。

控制对象:被控制的机器设备或物体,即负载。

## 二、无级变速传动系统组成

无级变速传动系统的动力传递路线为:发动机 液压泵 液压马达 轮边减速 驱动轮。由于液压泵、液压马达的数量和形式不同,传递路线也可分以下型式。

- |        |     |      |        |     |     |     |     |
|--------|-----|------|--------|-----|-----|-----|-----|
| 1. 发动机 | 单一泵 | 单一马达 | 左电磁离合器 | 左驱动 |     |     |     |
|        |     |      | 右电磁离合器 | 右驱动 |     |     |     |
|        |     |      |        |     | 左马达 | 左驱动 |     |
|        |     |      |        |     | 右马达 | 右驱动 |     |
|        |     |      |        |     | 左泵  | 左马达 | 左驱动 |
|        |     |      |        |     | 右泵  | 右马达 | 右驱动 |

一般轮胎式车辆采用第一种形式,履带式车辆采用第三种型式的较多。如图 4-4 所示为轮式车辆行驶液压驱动回路。图 4-5 所示为履带式车辆行驶典型液压驱动回路。

图 4-4 所示的系统中,发动机通过分动箱直接驱动行走系统中的变量柱塞泵,然后驱动行走变量柱塞马达,由此组成一个双变量调速闭式回路,即变量泵和变量马达组成的调速系统。此系统中的泵和马达一般为轴向柱塞式,结构紧凑,工作转速和压力高,系统传动总效率可达 80% 以上。这种调速方式的优点是:

- (1) 变量具有连续性,并且调速范围大;
- (2) 泵工作压力的大小取决于马达负载大小,零流量时,几乎无功率损失;
- (3) 因为有安全阀,可限制输出的扭矩值;
- (4) 换向操纵容易;

(5) 可采用电子控制,由比例电磁铁控制液压泵和液压马达斜盘角度,实现系统流量的变化。

行走系统压力一般在 32 ~ 42MPa 之间,压力由系统溢流阀来调定。闭式系统的外泄漏由补油泵补充,补油压力为 2 ~ 3.5MPa,排量为 10 ~ 15mL/r。行驶系统的液压马达通常为高速马达,以提高闭式回路的工作效率。液压泵的输入转速与液压马达的输出转速之比为 1.5 ~ 2 左右。液压泵的变量控制方式为电子比例控制,液压马达大多数也采用电子控制方式。

图 4-5 履带式车辆单边行驶液压驱动回路

在图 4-5 所示的履带式车辆行驶液压驱动回路中,通常采用两套独立的行驶驱动液压回路。图示为单边驱动的一套独立回路,实际上两套回路是完全相同的,既可以联动,实现直行;又可分别动作,实现转向。液压马达输入轴装有制动器,可实现车辆的紧急制动。

### 三、速度控制方式

泵控液压马达速度控制系统可有以下三种控制方式。

#### 1. 开环控制系统

如图 4-6 所示为变量泵由阀控液压缸组成的位置回路控制系统图。这种控制方式是通过改变变量泵的斜盘角来控制供给液压马达的流量,以此来调节液压马达转速。因为是开环控制,受负载和温度变化的影响较大。

图 4-6 变量泵控制的速度控制系统

为了改善精度,可以采用压力反馈补偿,由压力传感器检测负载压力,作为第二个指令信号加进变量泵变量伺服机构中,它改变变量泵的行程,从而使流量随负载压力升高而增加,以此来补偿驱动马达和变量泵泄漏所造成的流量减小。这个压力反馈补偿,实际上是压力正反馈,因此,有可能引起稳定性问题,在应用时必须注意。

#### 2. 带位置环的闭环控制系统

如图 4-7 所示控制系统,是在开环速度控制的基础上,增加了速度传感器,将液压马达速度进行反馈,构成闭环控制系统。速度反馈信号与指令信号的差值经积分放大器加到变量伺服机构的输入端,使泵的流量向减小速度误差的方向变化。

图 4-7 带位置环的闭环泵控液压马达速度系统

这类系统的位置检测器多采用差动变压器式传感器,液压泵一般为轴向柱塞泵,变量伺服机构的液压缸、伺服阀和位置检测器组成一体,装在液压泵上,驱动液压马达通常是定量液压马达,在液压马达轴的输出轴上装置测速发电机。采用积分放大器是为了使开环系统具有积分特性,构成 I 型伺服系统。通常,由于变量伺服机构惯量很小,液压缸—负载的谐振频率高达 100Hz 以上,可看成积分环节,因此,变量机构的伺服控制回路可看成仪器伺服回路,其频带在 10~20Hz 以上。系统的动态特性主要由泵控液压马达所决定。从稳定性和快速性看,要特别注意液压泵和液压马达之间的连接管路的刚性和管路中油的压缩性。

#### 3. 不带位置环的闭环控制系统

如果将泵变量机构的位置反馈通路去掉,可以得到图 4-8 所示的速度控制系统。因为变量

液压缸本身含有积分环节,所以放大器应采用比例放大器,系统仍是 I 型伺服系统。但伺服阀零漂和负载力等引起的速度误差仍然存在。

图 4-8 不带位置环的闭环泵控液压马达速度系统

## 第二节 典型无级变速系统

本节以 BEN7.16 履带式装载机典型的双泵双马达驱动无级变速系统为例介绍无级变速控制原理及方法,此种液压系统和控制方式也多见于国产自行式振动压路机上,只是单泵单马达驱动而异。

### 一、变速控制器

BEN7.16 型履带式装载机行驶系统电气控制框图如图 4-9 所示,控制接线图如图 4-10。微型计算机 1(又称黑盒子),接受和发送电信号至电磁阀 12、13、16、17、18,电磁阀控制液压泵

图 4-9 BEN7.16 型履带式装载机行驶系统电气控制框图

和马达的排量,以便调节来自发动机的牵引速度和牵引功率。发动机转速的测量由传感器 14 来完成,传感器测量柴油机发动机飞轮的转速,并将这一测量数据送入黑盒子。电位计 15(可变电阻器)与柴油发动机喷油泵控制装置相连,以便根据喷射泵的控制需要调节电阻值。电阻的变化通过电信号来传递,这样由传感器记录的飞轮转速与喷射泵控制的转速作一比较,此系统允许由操作者设置的发动机转速在发动机转速低于设置值时由电气调节机构来恢复。操纵

杆除控制喷油外,还控制前进、倒退的速度。依次操纵电位计在不同的位置,改变传递到黑盒子的电信号,这一电信号将送至泵上的电磁阀,使得泵的斜盘向一边或向另一边倾斜,从而改变泵的排量。

图 4-10 控制器接线图

1-电脑控制器;2-控制器自检指示灯;3-制动器指示灯;4-履带同步指示器;6-6A 熔断器;7-右转向控制电位计;8-压力开关(0.2MPa);9-左转向控制电位计;10-制动电磁阀;11-压力开关(1.4MPa);12、13-左行驶泵前后控制电磁阀;14-发动机转速传感器;15-喷油泵电位计;16-电磁阀(马达排量控制);17、18-右行驶泵前后控制电磁阀;19-行驶控制电位计

两个转向踏板作用于 2 个电位计(每边一个),无论何时踏板被压下,电位计将电信号送至黑盒子。

黑盒子获得信号并将电信号送至泵上的电磁阀,使泵的斜盘倾斜以调节其排量。两个液压马达的排量由一个比例电磁阀接受来自黑盒子的电信号进行控制。

当制动踏板(中间踏板)被踩下时,踏板作用在阀上,从而释放弹簧的压力,弹簧产生制动作用。为了避免泵的斜盘在制动时维持一定的倾斜角度,即具有一定的牵引力,在此系统中装有两个压力开关,一旦制动压力下降,这一信号将送至黑盒子,黑盒子使得泵的排量为零。

变速控制器控制过程如图 4-11 所示。

变速控制器主要组成部分如下:

### 1. 控制器

本系统使用的控制器实际上是一个电脑控制器,它接受前进/倒退、转向、制动等电信号,然后作出判断,对泵的液压油出口以及泵和马达排量大小作出控制,有关详细原理见本章第三、四节内容。

### 2. 电位计

图 4-10 中 7、9、15、19 四个电位计的工作电压及形状等都是完全相同的,电阻的变化均在

0~5 000 之间, 电位计一端装有销轴, 销轴可以旋转, 通过拉杆和操纵杆连接在一起, 拉杆移动引起销轴旋转从而引起电阻的变化。电位计及销轴上各标有一个红点, 当这两个点在同一直径上时, 意味着总行程的一半, 即总电阻值的一半, 电位计销轴可旋转的总角度为 44°:

摊铺机和压路机上使用的电位计为手操作旋钮式。可旋转式的角度为 270°~330°; 这是因为摊铺机和压路机在作业过程中一般要求行驶速度稳定, 行驶速度也较低。装载机作业过程中要频繁的改变行驶速度, 而且要求操作方便、灵活、反应速度快。

图 4-11 控制过程框图

### 3. 发动机转速传感器

一般为磁电式速度传感器, 距发动机飞轮齿环 1.5mm, 用螺栓固定在发动机飞轮壳体上。

### 4. 液压泵

两个 BPV70 电控液压泵上各装有两个比例电磁阀(图中 12, 13, 17, 18), 分别控制双向变量泵的排量(即前进或后退的行驶速度), 电控液压伺服控制的组成如同远距离液压伺服控制一样, 分配器的斜盘改变位置, 调节斜盘的压力就重新建立。但操纵的压力不是来自外部的压力释放阀, 而是来自壳体腔内的压力阀, 以便维持自行调节装置, 这些压力调节阀是由比例电磁阀操纵实现的。

### 5. 液压马达

BMV140 双向变量液压马达是液压控制的, 而液压控制是由电磁阀 16 实现的, 电磁阀同时调节两个马达的排量, 两个泵的补油油路接口至此电磁阀构成通路。两个泵补油油路接口的油压为 1.8~2MPa, 电磁阀调节口的压力为 0~1.8MPa(即系统的补油压力和控制压力为 1.8MPa), 依据来自黑盒子的信号进行调节。两个液压泵上的电磁阀工作方式与其相同, 甚至它们结构也是一样的。

### 6. 踏板

LP 为左转向踏板, RP 为右转向踏板, BP 为制动踏板。

## 二、液压系统

如图 4-12 所示为 BEN7.16 车辆行驶液压驱动回路。左右驱动为两套独立的由变量泵—变量马达组成的闭式驱动回路, 系统连续工作压力 25MPa, 控制油路是由两个补油泵联合通过泵 X 出口提供的。整个控制的核心就是图 4-10 中的控制电磁阀 12、13、17、18 以及 16 五个电磁阀, 通过调节其工作电流的大小控制其流量, 也就是控制了车辆的行驶速度; 控制电磁阀 12、13、17、18 以不同的组合方式工作, 可实现前进、后退及转向。

电磁阀工作参数如下:

型式	12V	24V
----	-----	-----

电阻	6.6	26.7
最大电流	1 800mA	900mA
最大功率	22W	22W
调整启动(0.2MPa)	350mA	175mA
调整启动结束(0.8MPa)	700mA	350mA
辅助调整结束(1.5MPa)	1110mA	555mA
振荡信号 35Hz	70mA	矩形方波

图 4-12 BEN7.16 行驶驱动液压系统

1-发动机; 2-液压泵; 3-液压马达; 4-制动阀块; 5-制动踏板; 6-右转向电位计; 7-左转向电位计; 8-压力开关(1.4MPa); 9-压力开关(0.2MPa); 10-开关电磁阀; 11-制动油缸; 12-分动箱; 13-油箱; 14-液压马达控制电磁阀; 15、16-左行驶泵前、后控制电磁阀; 17、18-右行驶泵前、后控制电磁阀

### 第三节 无级变速行驶控制

行驶控制内容包括车辆的前进、后退、转向、行驶速度等。前进、后退就是通过电路的逻辑判断决定哪一个电磁阀工作;速度的控制则是确定通入电磁阀工作电流的大小;转向则是两者综合控制的结果。

## 一、前进、后退及行驶速度控制

图 4-13 为作者在一无级变速控制系统设计中所采用的电路原理图,实际电路只是在此电路加入了周边电路及反馈调节电路。

在图 4-13 中,变速电位计滑头一端和操纵杆相连,一端和运算放大器 IC1 的正相输入端相接。运算放大器另一端接+ 12V 电压。这样电位计滑头在中间位置时,IC1 不工作。当滑头向上移动,即前进时,IC1 正相输入电压在 12~24V 之间变化,只有 IC1 正端输入电压大于负端输入电压时,IC1 才工作,根据需要再经过 IC2 放大后,则可驱动后续工作电路。图中 T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 分别控制的 EMV 为泵的前进比例电磁阀。IC2 提供的电压大小由操纵杆的位置所决定,IC2 输出端电压大小决定了提供给 T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 基极电流的大小,T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 基极电流越大,则 T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 集电极至发射极的工作电流就越大,从而电磁阀工作电流也越大,使泵的排量增加,实现车辆增速。反之,操纵杆使滑动触点下移,IC1、IC2 输出电压减小,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 基极电流减小,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 集电极至发射极间电阻增大,电磁阀工作电流减小,从而泵的排量减小,实现车辆的减速。

车辆的后退行驶仍以图 4-13 为例,此时将 IC1 的“+”端输入端接+ 12V 电源,“-”端输入接电位计动触点,这样 IC1 工作是在滑动触点下移(即后退)过程中进行的,“-”端输入电压在 12~0V 之间变化,若后续驱动电路接泵的后退比例电磁阀,则可实现车辆后退及相应的速度控制,控制过程与前进相同。

图 4-13 前进行驶控制原理图

以上可以实现整机的前进和后退行驶,但实际存在的问题是在控制前进和后退时由同一操纵杆完成的,而前进和后退的电磁阀是分立的,这就要求对其进行比较判断,我们可以用一个比较电路来实现对前进行驶和后退行驶的综合控制。图 4-14 中 IC1、IC2、IC3、IC4 所组成的就是这一系统。当操纵杆移动时,可使上边一路控制器工作,控制前进,由放大器工作特性可知,前进一路工作时,后退一路必然锁止,反之亦然。在放大器后加一逻辑电路,其主要作用是在前进时,前进一路开关接通,后退一路断开。反之后退一路工作,前进一路断开。这样就实现

了前进与后退的逻辑控制和行驶速度控制。

图 4-14 前进/后退、转向控制原理图

## 二、转向控制

一般车辆全液压转向系统是由全液压转向器通过转向盘操纵实现的,而在无级变速系统中,转向是通过控制不同泵的电磁阀工作来实现的,转向的快慢是通过电磁阀工作电流大小调节泵排量大小来实现的。如图 4-15 所示为前进转向时控制原理图。当机器在前进时,变速杆位置不变,电位计动触点取出的电压值不变,即前进速度一定。需要左转向时,踩下左踏板,带动

图 4-15 转向控制原理图

左转向电位计阻值增大,使三极管基极电流减小,从而减小相应电磁阀工作电流,泵排量减小,速度降低,实现左转向。随着踏板的移动,电阻值增至使三极管基极电流为零之值,三极管处于截止状态,电磁阀工作电流为零,泵排量为零,左行驶速度为零。当需要右转向时,踏下右踏板,电路调节控制过程与左转向时相同。

后退转向控制原理与图 4-15 所示相同。电路只要将 IC1 输入端的接线调换一下,后续驱

动电路的电磁阀接入后退泵电磁即可, 整个调节控制过程与前进转向时相同。

前进/后退、转向综合控制原理如图 4-14 所示, 图中后续驱动电路只接入前进控制电磁阀; 后退两个电磁阀控制电路与其相同, 图中未接入。

## 第四节 制动控制

筑路机械一般是在行驶过程中进行作业的, 因此, 对其行走系有以下基本要求:

(1) 行走速度连续可调。尤其要保证起步平稳, 并能在很低的速度下匀速稳定行驶, 使其能充分发挥机械的驱动力矩, 产生足够的牵引力。

(2) 无论是前进还是倒退, 踩下单侧转向踏板, 机器向该侧转向, 且随着踩下行程的增大, 该侧行驶速度逐渐降低, 最后完全不动; 抬起转向踏板, 机器应继续直线行驶。

(3) 行驶中踩下制动踏板即可实现制动。

(4) 应能实现停车制动。

(5) 制动过程中应相应使液压泵的排量减小至零。

图 4-16 为 BEN7.16 型履带式装载机制动控制系统。

无论是紧急制动还是停车制动都是通过这一总成来完成的。来自泵的控制压力油(压力为 1.8 ~ 2.0MPa)通过孔径 1.5mm 的一个节流孔进入制动总成。在 BPV 泵内由补油泵提供这一控制压力油, 以便补充制动元件释放的压力。

电磁阀 9 是由黑盒子控制的, 当安全操纵杆起作用时, 意味着来自黑盒子的电流是切断的, 机器停止(如

图 4-16 BEN7.16 型履带式装载机制动系统简图

1-驱动轮; 2-制动油缸; 3-油环; 4-节流孔; 5-单向阀; 6-可调溢流阀; 7-制动踏板; 8-压力开关(0.2MPa); 9-开关电磁阀; 10-压力开关(1.4MPa)

图 4-16 所示位置)。即来自泵的控制油经 1.5mm 节流孔及电磁阀 9 进入油箱。制动油缸在弹簧作用下向下移动。制动油缸的液压油经 1mm 的节流孔及电磁阀 9 泄油。同时由于压力油的释放, 开关 8、10 也先后打开, 使液压泵、液压马达停止工作, 实现停车制动。

行驶过程中, 制动踏板控制的溢流阀输入端油压为 1.8 ~ 2.0MPa, 当踩下踏板时, 制动压力释放, 使制动器工作。制动油缸中的油经 1mm 节流孔及可调溢流阀释放回油箱, 制动缸在弹簧弹力的作用下移动产生制动。

9 是一个开关电磁阀, 标定阻值 24 , 最大工作电流 900mA, 它受黑盒子控制, 只要有行驶信号, 电磁阀 9 就始终通电。电磁阀 9 通电后, 阀芯动作, 截断泄油油路, 来自泵的压力油通过单向阀直接进入制动油缸, 解除制动。即电磁阀 9 通电, 制动油缸中建立压力, 制动解除; 电磁阀 9 断电, 制动油缸中压力释放, 产生制动。

制动踏板控制的是可调溢流阀的调节弹簧, 实质上控制溢流阀的溢流压力在 0.2 ~ 1.8MPa 之间变化, 随制动踏板踩下行程的增加, 控制的压力相应地降低, 踩到最低限时, 控制

压力为 0.2MPa。也就是说,紧急制动时,需快速踩制动踏板;若需缓慢制动时,可慢踩制动踏板。制动踏板踩下的快慢决定了制动压力释放的速度,也就决定了产生制动的速度。

两个压力开关 8 和 10,在前进、倒退行驶速度控制过程中需要制动时,可首先(至少是同时)切断 BPV 泵比例电磁阀工作电压,使泵排量为零,然后产生制动;或在泵或马达出现故障时候,起保护泵和马达的作用。

系统中,由于制动踏板踩下程度不同,系统控制压力也在变化,无论何时,也无论什么原因,当压力低于 1.4MPa 时,如同踩下制动踏板和控制盒断电一样,开关 10 打开,控制泵的电磁阀断电,使泵斜盘角度处于中立位置,排量为零。当制动踏板进一步踩下时,压力达 0.2 ~ 0.25MPa 时,压力开关 8 打开,给控制盒一个信号,控制盒控制两个 BMV 马达之间共用的电磁阀,使马达排量调节为零,即扭矩最小状态。开关 10 的设置在这里有监测和控制两个作用,保证了在制动时切断传动系动力;开关 8 的设置使液压系统工作更为安全。即使液压泵因故障不能使其排量为零,那么液压马达会在压力开关 8 的控制下调节其排量为最小,那么它所产生的附加扭矩也就最小,从而减少了传动系因附加扭矩过大而破坏的可能性。

从图 4-16 中可以看出,制动系统控制油路中装有单向阀,它能够在解除制动的过程中,使液压油顺利地流向制动缓解的方向,达到解除制动迅速、彻底,避免摩擦片磨损的目的。相反,在制动时,也就是制动压力释放时,单向阀关闭,此时释放的压力油通过直径 1mm 的节流孔放泄,引起制动,达到制动平稳、无冲击的效果。

目前在一些压路机、挖掘机、摊铺机的制动系统中,都采用了类似的电控液压制动系统。

## 第五节 特殊速度控制

在筑路机械中,除车辆一般的行驶速度控制外,还有一些特殊要求的速度控制。例如,摊铺机(无论是沥青混凝土摊铺机还是水泥混凝土摊铺机)螺旋布料系统的速度控制,它要求实现向左布料,向右布料,从中间向两边分料,从两边向中间集料等工作。在有些沥青混凝土摊铺机布料系统中,还安装有红外探测传感器,它可以根据物料的多少自动控制布料器的旋转速度。又如,在振动压路机中,振动频率的调节实际上也是一个速度控制的问题,它实质上就是改变变量泵或变量马达的排量来实现频率改变的。

下面我们以 SF350 型水泥混凝土摊铺机的螺旋布料系统为例介绍其速度控制形式。

### 一、螺旋布料系统速度控制

#### 1. SF350 型水泥混凝土摊铺机螺旋布料液压系统

SF350 型水泥混凝土摊铺机的螺旋布料液压回路,如图 4-17 所示,由螺旋布料泵、布料马达、油箱、吸油滤清器等组成。螺旋布料泵由补油泵、左布料泵、右布料泵、电位移控制器组成。左、右泵为通轴串联泵,由补油泵供油,左泵与左布料器马达连接,右泵与右布料器马达连接,互不影响。

布料器泵为无级变量柱塞泵,每一个泵的输出量由发动机的转速和泵斜盘的倾角位置决定。发动机转速由线性调速器控制,泵的斜盘倾角由每个泵上的电位移控制器控制。电位移控制器由操作台上的螺旋布料器手柄控制。

左布料泵 1 和右布料泵 3 分别为两个液压回路,分别有各自的液压输出,两泵由一个补油泵 6 提供控制压力油和补油。

供给泵经吸油滤清器从油箱中吸油,当控制板上的螺旋布料器控制手柄打到中位时,液压油不经过电位移控制器 5 而顶开单向阀 7 给主泵的低压侧供油。但这时由于没有油流到控制泵斜盘的伺服机构,斜盘倾角为零,泵空转没有输出。当控制板上的布料器控制手柄打向左方

图 4-17 螺旋布料器液压系统图

1-左布料器泵;2-左布料器马达;3-右布料器泵;4-右布料器马达;5-电位移控制器;6-补油泵;7-单向阀;8-溢流阀;9-过载阀

时,电位移控制器一端的电磁线圈通电,电位移控制器在上位工作,液压油流到控制斜盘的伺服机构使斜盘倾角为正,同时液压油顶开单向阀 7 中的一个给主泵低压侧供油。主泵高压油流到布料器马达,布料器马达正转。

当布料器控制手柄打向左方时,电位移控制器 5 在下位工作,主泵斜盘为负,布料器马达反转。

左泵和右泵的工作情况完全一样,但它们是由各自的布料器控制杆控制的,互不干涉,可分别调整左布料器马达和右布料器马达的转速从而适应各种工况。

供给泵回路中有一个溢流阀 8,如果供给压力在 1 655kPa 以上,溢流阀打开,供给泵回路中多余的液压油由此溢流阀溢流流入主泵泵体,对主泵起冷却作用。经过主泵之后,液压油从排油口流出,再进入布料器马达底部的泄油口,冷却布料器马达,然后从布料器马达顶部的排油口流出。如果排油压力超过 172kPa,单向阀打开,过量的压力油直接流回油箱。

每一个泵都含有两个溢流阀和二一个单向阀连接在主回路上。溢流阀可防止回路中的高压冲击,在快速加速、制动或突然加载时,高压侧的油可以通过溢流阀过载溢流回到低压侧。同时二个单向阀可起到补油作用。因此,这四个阀起组合闭式回路里的过载补油之作用。

操作台上的压力仪表与泵之间有梭阀连接。这样使泵无论在正转还是反转时都可保证高压油和压力仪表相通从而测出系统的液压油压力值。

由以上分析我们可以看到,螺旋布料液压系统和车辆行驶液压系统基本相同,所不同的只是控制系统。

## 2. 螺旋布料器控制电路

该摊铺机的螺旋布料器的正反转由螺旋布料器电路控制螺旋布料器系统的液压元件来执行。螺旋布料器控制系统电路图如 4-18 所示。

在螺旋布料器系统工作之前应先把总电源开关 1 和电源切断开关打开。从总电源开关 1 来的电流分成三条支路:一路经空档开关 2、行走止/动开关 3 到螺旋布料器选择开关 4;一路经行走止/动开关 3 到螺旋布料器选择开关 4;还有一路直接到螺旋布料器选择开关 4。

行走止/动开关 3 有两个位置:“GO”(行走)和“STOP”(停止);螺旋布料器选择开关 4 有三个位置:“AUTO”(自动)、“RUN”(运行)和“OFF”(停止)。

当螺旋布料器选择开关 4 处于“OFF”位时,没有电流到螺旋布料器控制器,螺旋布料器不工作,此时再把行走止/动开关 3 置于“STOP”位,把行走控制手柄置于中位(即接合空档开关 2),则从总电源开关来的电流经空档开关,行走止/动开关,螺旋布料器选择开关到达启动按钮 5,若再按下启动按钮 5 就能使发动机启动(如果发动机已经熄灭)。

当螺旋布料器选择开关 4 处于“AUTO”位时,没有电流到启动按钮,此时如果把行走止/动开关 3 置于“GO”位,则从总电源开关来的电流经止/动开关、螺旋布料器选择开关到达

左、右螺旋布料器控制器 6、7,操纵这两个控制器就可使螺旋布料器工作;如果把行走止/动开关 3 置于“STOP”位,就没有电流到螺旋布料器控制器,螺旋布料器停止工作。

当螺旋布料器控制开关处于“RUN”时,则不管止/动开关所处位置如何,都有电流到螺旋布料器控制器,这就允许操作人员在机器静止的情况下单独操作螺旋布料器分料。螺旋布料器工作情况详列于表 4-1。

图 4-18 螺旋布料器控制系统电路图

1-总电源开关;2-空档开关;3-行走止/动开关;4-螺旋布料器选择开关;5-启动按钮;6-左螺旋布料器控制开关;7-右螺旋布料器控制开关;8-电位移控制器;9-继电器触头;10-发动机断路器线圈

螺旋布料器工作情况

表 4-1

止/动开关	螺旋布料器选择开关	螺旋布料器控制器	止/动开关	螺旋布料器选择开关	螺旋布料器控制器
任意位置	OFF	不工作	GO	AUTO	工作
STOP	AUTO	不工作	任意位置	RUN	工作

螺旋布料器由液压马达驱动,液压马达的旋转方向取决于螺旋布料器泵的输出方向。螺旋布料器泵是柱塞斜盘变量泵,斜盘的偏转方向和偏转量由螺旋布料器控制器控制。

螺旋布料器控制器结构如图 4-19 所示。

当螺旋布料器控制手柄 1 处于中位时,如图 4-19a)所示,此时可变电阻器 2 处于中位,没有电流到电位移控制阀,阀芯处于中位,螺旋布料器泵斜盘的偏角为 0°;螺旋布料器泵没有输出,螺旋布料器不工作。

当螺旋布料器控制手柄 1 处于工作位置时,如图 4-19b)所示,此时可变电阻器 2 向左(或右)移,产生正(或负)电流并输送到电位移控制阀,阀芯向左(右)移动从而带动泵的斜盘向左(或右)偏转,从而使泵于 A 口(或 B 口)输出,驱动液压马达顺时针(或逆时针)旋转。控制手柄 1 偏离中位越远则斜盘的偏转角度越大,泵的输出也越大。

现把螺旋布料器控制手柄所处位置与螺旋布料器的布料情况列于表 4-2。

图 4-19 螺旋布料器控制器

a)中位; b)工作位置

1-螺旋布料器控制手柄;2-可变电阻器

螺旋布料器工况

表 4-2

左螺旋器控制手柄	右螺旋器控制手柄	工 况	左螺旋器控制手柄	右螺旋器控制手柄	工 况
右	左	往中央集料	右	右	从左往右移料
左	右	往两边分料	左	左	从右往左移料

### 3. 螺旋布料器控制器原理

螺旋布料器控制器可看成电桥电路(图 4-20),滑臂(即控制手柄)的移动,可看成电桥内某二个电阻的变化,这种变化使输出电压的大小和极性产生改变。

条件:只有电压参数,没有电阻参数,当 A 点处于 C、D 两点中心时, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ ,如图 4-20 所示。

因为输出电压  $U_{so} = U(R_1 R_4 - R_2 R_3) / [(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)]$ ,所以根据电桥初始平衡条件:当  $R_1 = R_4 = R_2 = R_3$  时,  $U_{so} = 0$ ,即滑臂处于中心位置时,输出电压为零。

(1)当滑臂向右移动(即 A 点移向 D 点)时,  $R_1$  电阻增大,  $R_2$  电阻减小,输出端 A 呈现负电位。滑动臂滑到 D 点时,输出电压为全电压的 1/2。

(2)当滑臂向左移动(即 A 点移向 C 点)时,  $R_1$  电阻减小,  $R_2$  电阻增大,输出端 A 呈现正电位。滑动臂滑到 C 点时,输出电压为全电压的 1/2。

由以上分析,可以看出动臂的活动具有调压和变换电源极性的作用。调压能使螺旋布料器马达转速变化;电源极性变换,能使螺旋布料器马达产生正反转。

这种控制器结构简单,故障容易识别,但中位时应有一定的“死区”,因此,线性可操作范围

图 4-20 电桥电路图

小。另外,电桥电阻要求有一定的功率,线路功耗大。

## 二、振动压路机行驶控制

振动压路机行驶控制具有其特殊要求,除要求作业过程中速度恒定外,还要求其加减速过程均匀平稳,改变行驶方向后,振动块的旋向也要做相应变化。对于双刚轮振动压路机,在作业过程中有时要实现前轮静压,后轮振动,且与行驶方向一致,这就要求在前进和后退行驶中不断改变振动轮的工作状态。另外,还需进行振动频率、振幅的控制等。

### 1. 行驶系统控制

行驶系统的控制主要是速度控制,包括启动、停车和换向时的加速、减速控制,工作时的恒速控制,以及换向和变速控制等。这些控制性能的优劣不仅影响压路机生产率的提高,而且决定了压实表面质量能否提高。

#### 1) 加减速控制

对于薄而软的混合土压实作业,振动滚轮的急剧加速和减速会在压实表面形成不应有的波纹。所以压路机启动、停车时的加速、减速,特别是在前后换向过程中,都要保证速度变化的平稳和灵敏。这就要求液压泵有灵敏的变量控制,目前应用较多的控制方式是机械控制、凸轮控制和电气控制。机械控制时油泵的斜盘倾角即流量和机械杠杆的转角成比例,如图 4-21 所示。在零位附近存在死区,加减速比较急促。采用凸轮控制时,油泵的流量和凸轮的转角关系如图 4-22 所示。适当地设计凸轮的升程曲线,可以获得较好的加减速性能和换向性能。

图 4-21 机械杠杆控制

图 4-22 凸轮控制

#### 2) 恒速控制

为了得到均匀的压实度,振动滚轮的行走速度应当保持恒定,不受路面状况和内燃机转速变化的影响。图 4-23 是液压驱动行走系统保持速度稳定的原理图,采用 PID 控制修正偏差,以保持马达速度的恒定。为了获得快速的响应性能,可以增加前反馈控制。

图 4-23 行走驱动恒速控制

#### 3) 行驶方向改变时的配合控制

对于双压轮振动压路机,为了增大压实度,常进行预备压实作业,这时前轮为静压,后轮为

振动;运行方向变换后,前后轮工作状态应反过来,根据运行方向自动地变化前、后轮的工作状态,如图 4-24 所示。

用电气控制振动压路机的液压系统能较好地满足以上要求。图 4-25 是德国生产的振动轮控制器,该装置有一特殊的放大器,根据输入电压可以得到如图 4-26 所示的输出电流,借以控制液压泵的比例伺服变量机构,该特性可改善液压泵零位及低速性能。此装置包括车辆电源、主令开关、单独壳体的放大器、A4V 的液压泵比例电磁铁、紧急按钮和几个继电器,其作用和性能如图 4-27 所示。

图 4-24 振动和行走方向的配合

内燃机的启动,只有主令开关处于中位,油泵斜盘倾角在零位时,凸轮操作开关才能接通。电源电流经紧急按钮的闭合接点与被压下的启动按钮,经过继电器 2 的线圈,接通启动继电器,实现启动。

方向和速度控制,通过主令开关中的电位器来实现,在图 4-25 的位置是处于停车状态。根据电位器调整的位置来控制振动压路机的行驶方向和速度大小。

图 4-25 振动压路机液压系统电气控制

如图 4-27 所示,振动控制是一个独立的电磁开关控制,振动块的旋向控制是通过振动开关 I 和 II 分别给振动泵的电磁阀加电,改变泵的供油出口,从而改变振动马达的旋向。

## 2. 振动系统控制

振动系统除了振动频率和振幅的控制外,还包括振动系统和行驶系统的配合控制,因为振动轮不仅作为行驶部件,还作为振动和碾压部件,两者适当配合才能保证良好的压实效果。

图 4-26 控制电器的放大特性

### 1) 振动频率的控制

压实表层土时,宜用高频、小振幅振动;压实基层时,宜用低频、大振幅振动。对于不同的土质,应选择适当的频率和振幅。振动频率的控制根据马达结构形式的不同,可以是双频、三频或在一定范围内无级调整。频率的选择应和滚轮行走速度相配合,一定的频率配合,恒定的运行

速度,可以得到均匀的冲击间距,以保证压实的均匀性和压实度。配合关系如图 4-28 所示。

图 3-27 液压系统振动控制器件

图 4-28 行走速度和冲击间隔(41.7Hz 时)

## 2) 起振和停振的控制

起振和停振应与行驶速度实现连锁控制,滚轮行走加速到一定值时起振,减速到一定值时停振。相应的速度值应是可以调整的,且这种调整不应因为前进、后退行驶变化而变化。同时,振动块的旋转方向应与振动轮行驶方向一致。目前常用的方法有两种,就是在前进后退操纵杆位置装二只行程开关,或装二只接近开关,这两只开关分别控制振动泵的两个电磁阀,两个电磁阀分别控制泵的压力出油口,即控制了振动马达的旋向。

前进、后退行驶速度的大小靠操纵推杆的位置来决定,当推杆向前推(代表前进),行驶速度达到一定值时,操纵杆前行程开关或接近开关接通振动泵的一个电磁阀,开始起振;当后退时,操纵杆后行程开关或接近开关接通振动泵的另一个电磁阀。这样不仅保证了前进和后退作业过程中行驶方向与振动块旋向的一致,而且实现了起振与停振过程中速度的配合。

# 第五章 沥青混凝土摊铺机电控系统

## 第一节 沥青混凝土摊铺机特点及电控系统简介

沥青混凝土摊铺机是用来将拌制好的沥青混合料(沥青混凝土和黑色粒料)均匀地摊铺在已整好的路基或基层上的专用路面机械。在摊铺过程中,它先接受由运料自卸车运来的沥青混合料,再将其横向铺散在路基或基层上,最后加以初步压实、整形,形成一条有一定宽度、厚度和形状的铺层。

根据对沥青混合料摊铺的施工要求,摊铺机工作装置必须有能将混合料横向铺开、初步捣实和整平成型的功能。将混合料横向铺开是利用螺旋分料器完成的;将铺开的料层进行初步捣实的工作是由板梁结构的振捣梁完成的;将初步捣实的铺层加热熨平的整形工作是由熨平装置完成的。为了提高预压效果,摊铺机的熨平装置上还装有加热器。加热器用来加热熨平装置中熨平板的底部,使之不与沥青混合料相粘,保证铺层平整,以便在较低温度下也能正常施工。因此,摊铺机工作装置主要是由螺旋分料器、振捣梁和熨平装置组成的。

摊铺机除工作装置之外,通常还有发动机、传动系统、供料系统、操纵控制系统、行驶装置等主要部分。

为了获得更好的路面摊铺质量,在沥青混凝土摊铺机上,广泛而成功地运用了液压技术及电子技术,机电液一体化的控制系统成为现代摊铺机的一个重要组成部分,而新一代微机控制的高精度、高性能摊铺机也即将成为现实。因此,电控系统已经成为衡量摊铺机水平的一个重要标志。

电控系统是沥青混凝土摊铺机的一个重要组成部分。在保证摊铺机作业速度恒定,供料速度与行走速度合理匹配,浮动熨平板随道路状况变化而自动调平,以及在摊铺机监控报警等方面,电控系统起着重要的作用。现代化的摊铺机上,几乎所有的操作都已采用了电控方式控制。因此,电控系统的品质,将直接影响到摊铺机的可靠性、摊铺作业效率以及施工路面的质量。

以电控系统来看,摊铺机可分类如下:

(1)采用基本车辆电系的简单型摊铺机,电控系统只包括发动机启动、仪表、报警以及行驶照明信号电路,其它功能通常采取手动操纵方式。

(2)除基本车辆电系外,还包括部分其它功能的电控装置,这是普通电控摊铺机。

(3)机电液一体化控制型摊铺机,这类摊铺机主要功能采用机电液一体化联合控制,电控部分体现为带反馈闭环电子自动调节器,例如电子自动调平系统、行驶自动电子恒速控制器。

(4)微机控制型摊铺机,即摊铺机的主要功能由一台车载微机通过多种传感元件和不同的执行元件,实行集中管理和调控,并可使摊铺作业程序化。

摊铺机的电控系统按其完成的功能可分为以下几个部分:

(1)基本车辆电系,包括启动与供电、仪表、报警、行驶照明信号。

(2) 简单功能电系统, 包括摊铺机料斗、料门、熨平板升降和延伸油缸的控制, 以及振捣马达的控制。

- (3) 行驶电系。
- (4) 供料电系。
- (5) 调平电系。
- (6) 加热电系。

## 第二节 简单功能电系

### 一、基本车辆电系

摊铺机通常选用柴油发动机为动力, 发动机的启动及供电系统包括蓄电池、电源总开关、启动机、发电机及启动开关等。根据启动机不同, 启动电系分为 DC12V 和 DC24V 两种。摊铺机上使用的电系统一般有 DC12V、DC24V, 以及两者兼有的电路。对于启动电系为 DC24V, 而用电系为 DC12V 的电路, 通常设置一蓄电池继电器转换开关。在启动时, 继电器通电转换, 两只蓄电池串接以 DC24V 供给启动电机; 在发动机启动后继电器失电, 触点转换, 两只蓄电池并联接受充电, 并在发电不足或发动机停车后向用电系统供 DC12V。图 5-1 为 DC24V 启动、DC12V 供电的典型电路图。

除车辆仪表及报警电路外, 摊铺机通常还配备发动机转数表和工作小时计, 报警电路增加液压滤油器压差报警以及道路坡度超限报警。仪表通电并与传感元件相接即可, 报警一般采用指示灯或蜂鸣器, 当监测对象达到报警限时, 即接通相应线路进行报警。

摊铺机行驶照明和信号系统与车辆电路相同, 此外, 还增加部分夜间施工用照明灯, 如摊铺厚度标尺灯、螺旋分料器照明灯、维修工作灯等。为了使摊铺机夜间停车或维护作业时标志明显, 通常摊铺机还设有前、后、左、右全方位闪烁信号系统。图 5-2 为 ABG 公司 TITAN355 型摊铺机转向及全方位闪烁信号灯电路图。

图 5-1 摊铺机启动、供电电路

1-蓄电池; 2-继电器转换开关; 3-启动按钮; 4-启动钥匙开关; 5-充电指示灯; 6-工作小时计; 7-发电机; 8-启动电机; 9-电源总开关

图 5-2 ABG 公司 TITAN 355 型摊铺机转向及全方位闪烁信号灯电路图

### 二、简单功能电系

简单功能电系通常是以电开关控制电磁液压换向阀的电磁铁通电与否, 从而控制相应液压回路执行元件动作。简单功能电系通常控制振动、振捣马达、料斗油缸、左右料门油缸、熨平

板升降油缸、左右延伸熨平板油缸以及发动机油门调节油缸、驱动桥差速锁调节油缸、制动油缸等。这些液压缸和马达采用电控与否,根据摊铺机的具体情况有不同的选择取舍。图 5-3 为典型电路,这里熨平板升降,料斗、左料门、右料门电磁阀任意一个通电将使电流继电器 K4 吸合,则主控阀 Y10 也同时通电动作。即 Y10 与 Y12 ~ Y19 是连锁动作的,这是液压系统所要求的功能,由电控系统实现。

图 5-3 摊铺机简单功能电系典型电路

1-油门;2-振捣;3-振动;4-牵引开关;5-主控器;6-熨平板升降;7-料斗;8-左料门;9-右料门

### 第三节 行驶、供料与加热电系

#### 一、行驶电系

摊铺机行驶电控系统根据其总体设计、行驶液压系统设计不同而变化很大。德国 VoGELE 1700/1704 型全液压摊铺机行驶电系采用电子自动调节控制器,其功能是:

- (1) 在摊铺作业过程中,保证机器运行速度恒定,以确保摊铺路面质量;
- (2) 在行驶过程中,保证柴油机功率得到充分利用,降低燃油消耗;
- (3) 避免柴油发动机过载损坏。

VoGELE 1700/1704 型摊铺机行驶电系如图 5-4 所示。

电子自动调速器 A1 通过测速电机反馈柴油机和液压马达的转速信号,与预先由手动电位器 W2 或脚踏板电位器 W1(摊铺工作使用 W2,运输时用 W1)设定的行驶速度信号进行比较鉴别,及时修正控制行驶变量泵比例电磁阀 Y4、Y5 的电信号,改变变量泵排量从而使机器行驶速度接近直至吻合于设定车速。当外负荷突然增大,发动机转速急速下降时,电子调速器可自动调节行驶泵排量减小直至为零,外负荷也随之减小,保护发动机不因负载过大而损坏。

前联邦德国戴纳帕克(Dynapac Hols)公司的摊铺机采用福里特(Frity Heinzmann)公司生产的电子速度调节器,它只监测和反馈发动机转速。当发动机转速与要求的设定值有偏差时,电子控制装置即发出指令由调节装置调节发动机的供油量,使发动机回到设定转速,从而保证机器恒速以及发动机不过载等功能要求,图 5-5 为这套系统的原理图。

图 5-4 VoGELE 1700/1704 摊铺机行驶电系

图 5-5 电子调速系统原理简图

1-电源;2-熔断器;3-通断开关;4-速度设定钮电位器;5-电子控制器 KG;6-调节装置;7-燃油计量装置;8-发动机;9-速度传感器;10-负载

## 二、供料电系

摊铺机供料电系一般设计为自动和手动两种供料控制方式。手动供料时,控制开关接通供料电磁阀,供料马达即驱动刮板送料器和螺旋分料器供料。在自动供料过程中,供料电磁阀在由供料开关控制的同时,还接受来自料位传感器料位信号的控制。供料泵为变量泵并采用电磁控制时,可用料位传感信号控制供料泵比例电磁阀进行无级变速。料位传感器也可选用位置开关,自动供料即为通断型控制。图 5-6 为新泻 NF220AV—DM 型摊铺机供料电路图。

其自动供料装置安装 2 只水银位置开关,当叶片在下限位置时,2 只水银开关接通,系统送料,随着料位增高,传感叶片向上转动并带动水银开关一起转动,当转到上限位置时,2 只水银开关同时断开,系统中止送料;在沥青混合料不足时,叶片及水银开关向下转动,此时,供料系统不运转,直到转至下限位置时,2 只水银开关同时接通,系统重新运转供料,上述过程反复循环实现摊铺机的自动供料。

## 三、加热电系

摊铺机熨平板加热装置有燃气加热、燃油加热、通电加热三种型式。

燃气加热电系包括点火控制、燃气阀控制、鼓风机控制以及温度自动控制装置,图 5-7 为 ABG 公司 TITAN355 摊铺机丙烷气体加热装置电控系统。按下启动开关丙烷气经气阀 A、B 进入喷嘴喷出,火花发生器通电,则点火电极产生电火花点燃丙烷气,同时,继电器控制鼓风机通电鼓风,使熨平板得到均匀地加热。当加热温

图 5-6 新泻 NF220AV—DM 型摊铺机供料电路

1、8-上限水银 SW; 2、7-下限水银 SW; 3-SV6 左给料器电磁阀; 4-作业开关; 5-控制继电器; 6-SV7 右给料电磁阀; 9-倾度 SW; 10-左驾驶台手动/自动开关; 11-右驾驶台手动/自动开关

度达到要求时,由热电偶检测信号可自动控制燃气阀切断丙烷气路,从而自动停止熨平板加热。

燃油加热电系与上述燃气加热电系相似,但燃油控制通常是通过控制液压泵的启、停,来实现喷油加热的控制。

熨平板电加热系统包括发电机、控制保护开关装置及加热棒(电热丝)。电加热系通常采用 DC220V 或 AC220V 电源。开关装置控制加热棒通电或断电,在通电的情况下,均匀分布在熨平板及振捣器上的加热棒即可对熨平板进行加热。

电加热方式操作方便、结构简单、无污染,是一种有前途的熨平板加热方式。

图 5-7 ABG TITAN355 摊铺机加热电路

1-启动开关; 2-点火控制器; 3-点火器工作指示灯; 4-继电器; 5-停止开关; 6-鼓风机; 7-鼓风机工作指示灯; A、B-控制气阀

## 第四节 调平电系

摊铺机熨平板在施工过程中处于浮动状态,主机仅通过两侧的大臂铰点水平牵引熨平板装置,这种熨平板对路基不平度具有初步的滤波和滞后效应。仅靠浮动熨平板只能克服较小的不平度,不能满足施工要求。在实际中,根据道路不平度随时调节两大臂牵引点的垂直高度,弥补浮动熨平板的不足,使摊铺的路面平整度符合施工要求,而不受路基不平度的影响。这就是熨平板调平装置的功用。

普通电控摊铺机采用手动调节大臂牵引点垂直高度,在施工过程中必须不断地操作左、右牵引点升降开关以适应路基不平度变化。这种调平方式需要熟练工人凭经验操作,工人工作紧张,且调平效果不好。

现代摊铺机均采用熨平板自动调平装置,它由路面纵坡传感器、横坡传感器、纵坡电子调平器、横坡电子调平器以及液压执行油缸、电磁阀等组成。

这种自动调平装置的基本原理是:

纵坡传感器滑靴在基准参考线(纲丝)上滑动。灵敏地检测出机器因道路不平而离开基准平面的偏差。纵坡电子调平器将这个偏差信号进行一系列放大、比较、处理,并及时发出脉冲调节信号作用于相应的电磁阀,控制大臂升降油缸进行微量地升降运动,使熨平板恢复到基准平面附近。

横坡传感器用于检测熨平板横向斜度,横坡电子调平器将横坡传感器检测到的信号进行调制处理,并输出脉冲控制信号控制另一侧大臂油缸的升降运动,从而使摊铺机摊铺出的路面保持在设定的横向坡度上。横坡电子调平器调节控制原理与纵坡调平器相同。

自动调平装置的功用就是要使熨平板不受外界条件变化的干扰,始终保持平行于纵、横基准而运动,而与机械本身的垂直运动无关。要实现这一功能,有以下四种方式:

(1)电子机械式。以电子元件作为检测装置(传感器和控制器),以伺服电机的机械传动作为执行机构。此执行机构可以在两处进行调节,一是调节牵引点的升降,二是调节熨平板的厚度调节器(即调节螺杆)。

(2)电子液压式。以电子元件作为检测装置,以液压元件作为执行机构,调节牵引点的升降,如 ABG41 型摊铺机。

(3)全液压式。整个系统全部采用液压元件,如美国 CMI 公司生产的 SF350 型水泥混凝土摊铺机。

(4)激光式。以激光作为参考基准,以光敏元件作为转换器,最后借助于电子与液压元件来实现调节。

在以上所述的各种方式中,目前以电液式采用得最为广泛。

按照系统调节处理方式的不同,自动调平系统可分为三类:

### 1. 开关式自控系统

系统以“开”、“关”的方式进行调节,不管所检测到的偏差大小,均以恒速进行断续控制。因此,这种自动调平系统就有一个内在的反应误差,所以必须设置一个调节“死区”(或称起阻尼作用的“零区”),传感器要在越过死区之后才有信号输出。为了提高系统的反应精确性,“死区”应尽量减小。但是系统是恒速调节的,如果“死区”范围过窄,调节容易冲过“死区”而出现误差,即超调。超调需要作反方向的修正,这样就会引起在“死区”来回反复“搜索”零点,使系统发

生振荡,由此而影响路面的平整度。为了消除振荡的缺点,“死区”又要足够宽,让系统在反向修正时可由最高值趋向于零速,不再又冲向另一边。死区的增大又降低了系统的精确度。所以这种系统的性能是不理想的,但其结构简单、价格低廉、使用方便,可满足一般的要求,因此,仍有使用。

如图 5-8 所示,为电液调节的开关式自动调平装置总体布置的一般型式。它分检测装置(包括:参考基准件、纵坡传感器和触臂、横坡传感器及其底座、电源与电气系统)和执行机构(包括工作油缸与电磁换向阀)两大部分。

图 5-8 电液调节的开关式自动调平装置布置图

1-基准线;2-触臂;3、4-纵坡传感器及其支架、5、6-横坡传感器及其可调底座;7-横梁;8-横梁支座;9-电气系统;10-工作油缸;11-电磁阀

各部分的安装、工作情况如下:

(1)参考基准线 1 是按规定纵坡张紧的钢丝,纵坡传感器 3 的触臂 2 紧靠在它上面而随摊铺机移动。

(2)纵坡传感器 3 通过其支架 4 安装在熨平板的左牵引臂上。

(3)横坡传感器 5 通过其可调底座 6 安装在横梁 7 的中央,横梁应与熨平板底面平行,并且要安装防振橡胶块。

(4)左右两只工作油缸 10 的活塞杆杆端铰接在牵引臂的牵引点上,由电磁阀来控制油缸两端的进油或回油。具有 12V 或 24V 电源的电磁阀 11 根据纵坡传感器送来的纵坡偏差信号,控制工作油缸的进油端。

该系统的工作情况如下:

当牵引点因原路表面的不平而升降时,它会带着熨平板一起升降;另外,当混合料的配比、温度、料堆高度和行驶速度等发生变化而改变了力的平衡时,也会引起熨平板的自动升降。熨平板的升降会导致牵引臂及其上面所安装的纵坡传感器的共同升降,由于传感器外伸触臂是以一定的角度(一般为  $45^\circ$ )搭在基准线上的,因此,当触臂一端随着传感器而升降时,就改变了触臂搭置的角度,使传感器内部的旋臂转动,测得偏差信号。电气系统处理该偏差信号,并输送给电磁阀。电磁阀根据此信号,控制牵引点工作油缸的一端进油。使牵引点恢复到原高度,于是熨平板也随之恢复原工作角度,传感器的触臂又恢复到原安装位置角。至此,偏差信号消失,油缸停止工作,而铺层仍维持原厚度。

在一般情况下,基准线只是设置在机械的一侧,所以,这个纵坡调整也只发生在一侧。另一侧则依靠横坡传感器的检测来使之发生同样的调平作用。

横坡传感器 5 置于横梁的中央,横梁搭在左、右牵引臂上,并平行于熨平板的底板。当机械处于设定横坡位置时,通过可调底座 6,可将横坡传感器调在零位。如果另一侧的牵引点也发生升降,则熨平板以及横梁都出现横向侧倾,此时横坡传感器发出偏差信号,指令另一侧电磁阀改变该侧工作油缸的进油方向(无偏差时油缸不工作),驱使该侧牵引点做相应的升降,直到恢复原设定的横坡值。

由上可知,通过纵坡、横坡两个传感器的检测可使左、右边的牵引点同时保持原标高,铺层也就可获得平整。假使一次摊铺很宽,原地形又很复杂,横坡需要频繁地进行调节(如曲线),则

另一侧也采用纵坡传感器,情况将会更好些。

## 2. 比例式自控系统

比例式自控系统是根据偏差信号的大小,以相应的快慢速度对被控制对象进行连续调节的。偏差为零时,调节速度也趋于零,因此,它不会产生“搜索”、超调,故而不会有振荡现象。这种控制方式大大改善了系统的动态性能,可使路面铺得十分平整,可以说是较先进的调节方式。但这种系统的结构精度要求高,造价也昂贵。

比例式自动调平装置与开关式的主要区别是:它以比例控制(伺服)阀来代替简单的电磁换向阀。图 5-9 为这种装置的系统图。

## 3. 比例—脉冲式自控系统

比例—脉冲式自控系统是在开关式自控系统的基础上改善、提高的新型调平自控方式。它在“恒速调节区”与“死区”之间设置了一道“脉冲区”。脉冲信号根据偏差的大小而正比例地变化。其变化有两种方式,改变脉冲宽度和改变脉冲频率。偏差信号由传感器带进脉冲区后,调节器即根据偏差信号的大小,以不同宽度或频率的脉冲信号,推动电磁阀,使油缸工作。这种控制型式综合了前两种型式的优点,大大缩小了“死区”,提高了控制精确度,价格又便宜,且比较耐用。目前已在许多机械上试用。

原联邦德国 VOgele 公司 Super 系列沥青混合料摊铺机上采用的就是这种比例—脉冲式自动调平系统。

原路表面的实际凹凸起伏由纵坡调平传感器和横坡传感器检测。如果横坡是个频繁变化的曲线,则可改用第二纵坡调平传感器来代替横坡传感器。

纵坡的设计值是预先选定的。纵坡传感器的“触点”可以是弓或滑撬,它与基准成 45 角安装。此角度可通过活塞杆和枢铰臂来调整传感器安装位置的高低。

横坡的要求值是由远程控制器来预定的。纵、横坡二传感器将所检测出的实际值输送给控制系统,控制系统比较检测到的实际值与预定值之间的偏差,并发指令给脉动电磁阀,电磁阀控制提升油缸一端进油,另一端回油,从而驱使牵引点做相应的升降,修正了偏差,保持熨平板维持在原有水平位置。

这种比例—脉冲式调平系统不会超调,故而不会造成搓板状路面。当偏差信号处在死区范围( $\pm 0.3\text{mm}$ ),则不进行调节。如果超此限而进入脉冲区(图 5-10),就开始以 3Hz 的频率进行调节。此循环频率是随原表面的凹凸起伏程度的大小成比例增减。原表面起伏越大,脉冲的循环频率越高,间隙越短,幅度越宽。反之,则反。这意味着,凹凸越大,调节越快、越强;凹凸越小,调节越慢、越弱。

牵引点的升降频率与幅度都与偏差值的大小成比例地增减。如果纵坡的偏差大于 5mm,横坡偏差大于 0.3%,控制系统就转变成恒速连续调节,这意味着连续脉冲(全调节)。这情况只有碰到路基或基层出现大波浪形时才会发生,一般是不会有此情况发生的。

这种系统的死区范围是极小的,纵坡为  $\pm 0.3\text{mm}$ ,横坡为  $\pm 0.02\%$ 。图 5-10 所示的调平情

图 5-9 美国 Barber-Greene 公司 AS—150 型沥青混合料摊铺机的比例式自动调平装置系统图

1、17-左、右牵引点油缸; 2、15-左、右伺服控制止回阀; 3、14-左、右比例伺服阀; 4-摊铺机的后壁板; 5、10-左、右插头; 6-纵坡参考基准线; 7-纵坡传感器; 8-横坡调节校正元件; 9-横坡传感器; 11-油泵; 12-过滤器; 13-溢流阀; 16-液压油箱

况与原地形有所滞后。

图 5-10 比例—脉冲式调平系统的纵坡调平情况

控制系统由两个独立的装置组成,左边的控制左牵引点升降,右边的控制右牵引点升降。壳上的两个插头可以互换,也就是说,视原地形情况可将纵、横坡调节更换方向进行。

每一控制装置所用电源为 10.5~20V 的直流电源,最大电流为 2.7A。输出端最大负荷时的电压为 2.5V,允许载荷下的电流为 2.5A。在输出端设有保险丝盒,以防止超载,使荷载自动限制在最大允许值以内。

脉冲间隔为 0.05s 时,牵引点工作油缸提升高度为 1~2mm。脉冲循环频率开始为 3Hz,最终为连续恒速脉冲。

## 第五节 电液调平控制原理

电液调平系统是一个机电一体化的闭环控制系统,它将摊铺机的倾斜角度通过传感器变为相应的电信号,再去控制液压电磁阀的开闭,液压电磁阀通过液压系统调节摊铺机的倾斜角度,使摊铺机恢复到预先设定的角度,并自动保持在这个角度上工作。

### 一、调平系统的组成

图 5-11 所示为调平系统的基本组成,其工作过程为:

由设定器输出一固定电压  $U_1$  (手动设定角度),其电压值相应代表一定的倾斜角度。假定车体此时不是在这个角度工作,那么传感器 2 的输出电压  $U_2$  值与  $U_1$  就有电压差,即  $U_2 - U_1 = U$ ,我们称  $U$  为误差电压。误差信号放大器 3 放大这个误差电压  $U$ ,并判定调节极性,(即应该调节哪边的电磁阀工作),再将放大后的信号送给电压比较器 4。电压比较器将这个放大的连续误差电压信号  $U$ ,变为断续正脉冲电压信号,其脉冲的个数及宽度与误差电压  $U$  成正比,然后将这些脉冲电压送到驱动电路 5,推动相应的液压电磁阀 6、7 工作。

当液压电磁阀连续通断几次后,液压系统使摊铺机的倾斜角与设定值渐渐接近,此时传感器输出电压值  $U_2$  也渐渐接近设定器电压值  $U_1$ 。最后,当  $U_2 = U_1$  时,即误差信号放大器两端误差电压为零,电路处于平衡状态,调节工作停止。当车体再次偏离设定角度时,调节器又重复上述工作过程,从而达到自动保持设定角度的目的。

图 5-11 调平系统组成

1-手动设定器;2-传感器;3-误差信号放大器;4-电压比较器;5-驱动电路;6、7-液压电磁阀;8-锯齿波发生器

道路施工这个特定环境,决定了调平控制器工作在高温、高湿及振动的条件下,而控制系

统对控制精度及稳定性又有较高的要求。我们希望控制系统总是在稳定的工作状态下,具有较高的控制质量,即调节时间短、超调量小、摆动次数少;为了保持系统精度,还要求系统有很高的放大系数,然而提高放大系数,又会造成系统的不稳定,或者调节过程中产生振荡,或者因温度变化而产生自身不稳定现象。因此,控制系统的精度与稳定性之间是一对矛盾,所以,实际电路中采取了许多方法保证控制系统的技术要求。

## 二、调平系统常用传感器结构的及工作原理

### 1. 电位器式位移传感器

这种传感器是一种应用广泛的器件,它可以把机械位移(线位移及角位移)转换为与它成一定函数关系的电阻或电压信号,它的结构如图 5-12 所示,日本新写的水平传感采用的就是这种电阻式传感器。

这种结构的传感器是用一根电阻丝制成的,从图 5-12 可见,当拉杆 1 随重锤 5 左右摆动时,电阻丝 3 在电刷 2 内往返滑动,使电位器电阻值随重锤摆动而改变,并与重锤摆动角度成比例。在实际使用中,因水平控制系统是一闭环控制系统,为防止在调节过程中发生过调而产生振荡现象,在传感器壳内灌入阻尼油,使重锤在调节过程中有一个较缓慢摆动的过程。

这类传感器的优点是结构简单,不需要辅助电路,可直接与主控制电路相接,并且抗振性较好,受温度、湿度变化影响小。其缺点是,长期使用,电阻丝及电刷容易磨损,使其阻值发生改变,同时灵敏度也偏低。

图 5-12 电位器式传感器结构简图  
1-拉杆; 2-电刷; 3-电阻丝; 4-固定轴;  
5-重锤; 6-外壳

### 2. 调幅式电涡流传感器

调幅式电涡流传感器其结构原理如图 5-13 所示,ABG 摊铺机上即采用这种水平传感器。传感器由电磁式偏转线圈 2 及涡流板 3,振荡线圈 4,辅助电路等组成。

电磁偏转线圈是一只电磁式电表结构,所不同的是将表针改为一块体积较大的金属片,并与振荡线圈相互垂直放置,振荡线圈接电容三点式振荡器。由于振荡线圈上有交变磁场存在,它在金属片上产生电涡流,根据电涡流效应原理,金属片不能紧靠在振荡线圈上,而是停留在附近。

图 5-13 电涡流传感器结构简图  
1-外壳; 2-电磁偏转线圈; 3-涡流金属片; 4-振荡线圈

当金属片随整个传感器发生倾斜时,它与振荡线圈的距离发生变化,由于电涡流效应的作用,使振荡器输出电压幅度和频率都发生变化,实际应用中,对振荡器幅度变化进行检测及处理,即仅测幅度的变化,可测定传感器角度的变化。振荡器输出的高频交流电压,必须变为直流电压后才能送到主控制器。

根据涡流传感器工作原理,被测量可以变换为线圈阻抗或电感的变化,阻抗可以利用电桥进行测量,电感可以利用谐振电路进行测量。谐振法是把传感器的等效电感变换成电压或电流的变化。传感器线圈与电容并联组成 LC 并联谐振电路,谐振频率为  $f_0 = 1/2\sqrt{LC}$ 。当电感 L 发生变化时,回路的等效阻抗和谐振频率均发生变化。因此,可利用测量谐振回路阻抗或谐振频率的方法测量位移参数。与此对应的是调幅式和调频式两种基本测量电路。调幅式测量电路原理如图 5-14 所示。车辆发生倾斜时,振荡线圈接近涡流金属片,线圈的等效电感发生变

化, 谐振回路的谐振频率和等效阻抗随之变化。因阻抗随测量距离变化, 使谐振回路输出电压变化, 所以, 可以用输出电压表示传感器与被测导体之间的距离。由于 LC 回路中激励频率保持不变, 所以谐振回路输出电压的频率始终不变, 但幅值随位移变化, 它相当于一个调幅波, 经放大、检波、滤波后可以得到一个与被测信号对应的电压信号。

这种传感器优点是灵敏度高、测量线性好、体积小。缺点是电路比较复杂、抗振性能较差。

图 5-14 调幅测量电路原理框图

### 3. 差动电感式传感器

ABG 摊铺机上使用的纵向传感器多采用这种传感器, 其结构简图如图 5-15 所示。传感器中  $L_1$  和  $L_2$  线圈参数及几何尺寸完全相同, 在这两个线圈中间放置一个偏心金属轴, 它在初始位置时, 两线圈与金属轴距离相当。紧耦合电感臂电桥等效电路如图 5-16 所示。

电桥工作臂由差动传感器的阻抗  $Z_1$  (线圈  $L_1$ ) 和  $Z_2$  (线圈  $L_2$ ) 组成, 初始平衡位置时,  $Z_1 = Z_2 = Z_0$ ; 工作时,  $Z_1 = Z_0 + Z$ ,  $Z_2 = Z_0 - Z$ 。

当偏心轴转动某个角度时, 两线圈与偏心轴距离不等, 两线圈阻抗一个增加, 一个减小, 使得电桥失去平衡, 从而电桥有电压差输出。电压值的大小与偏心轴转角大小成正比。

这种传感器灵敏度高、线性好、零点稳定性高, 简化了桥路接地和屏蔽问题。

图 5-15 差动电感式传感器结构简图

1-外壳; 2-偏芯轴; 3-转动中心轴

图 5-16 紧耦合电感臂电桥等效电路

## 三、调平控制器工作原理

调平控制器电路原理如图 5-17 所示。它由误差放大器、电压比较器、锯齿波发生器、驱动电路等组成, 现分别对各电路进行介绍。

### 1. 误差放大器工作原理

误差放大器的作用是对传感器送来的电压与设定角度电压的差值加以放大, 并判定极性 (即应该调节哪边电磁阀工作)。

误差放大器由  $IC_1$  和  $IC_2$  及其周边元件组成, 由图 5-17 可知, 传感器送来的电压  $U_2$  分别加到  $IC_1$  “+”端及  $IC_2$  “-”端; 设定角度电压  $U_1$  分别加到  $IC_1$  “-”端及  $IC_2$  “+”端。现在我们假设: 设定角度电压不变,  $U_2 = U_1$ ,  $U_2 < U_1$ ,  $U_2 > U_1$  三种情况下电路的输出情况如下:

$U_2 = U_1$  时,  $IC_1$ 、 $IC_2$  各“+”“-”输入端电压相等, 其输出  $U_3 = U_4 = 0$

$U_2 < U_1$  时,  $IC_1$ “+”输入端电压低于“-”端,  $IC_2$ “+”端电压高于“-”端, 所以  $IC_1$  不输出电压,  $U_3 = 0$ ,  $IC_2$  输出电压,  $U_4 > 0$ , 其电压大小与  $U_2 - U_1 = U$  成正比。

$U_2 > U_1$  时,  $IC_1$ “+”端电压高于“-”端,  $IC_2$ “+”端低于“-”端, 所以  $U_4 = 0$ ,  $U_3 > 0$ , 其电压大小与  $U_2 - U_1 = U$  成正比。

从以上分析可知, 无论  $U_2$  电压怎样变化,  $IC_1$ 、 $IC_2$  总是一个有输出, 一个没有输出, 这样起到了极性判别作用, 即  $U_2$  变小时,  $IC_2$  输出电压;  $U_2$  变大时,  $IC_1$  输出电压。

## 2. 电压比较器工作原理

电压比较器由  $IC_3$  和  $IC_4$  构成(图 5-17), 其作用是将误差放大器送来的误差电压, 转换为相应的方脉冲, 来驱动电路控制电磁阀的开闭。也就是说, 误差电压越大, 电压比较器输出的脉冲数量越多, 脉冲宽度越宽, 表现在电磁阀上是: 传感器倾斜度越大, 电磁阀开通的次数就越多, 每次开通时间就长。

图 5-17 调平控制器原理

$IC_3$  和  $IC_4$  的“+”端分别按误差放大器两输出端,“-”端连接在一起加入正锯齿波电压  $U_7$ , 下面分析假定  $U_4 = U_3 = 0$ ;  $U_4 > 0$ ,  $U_3 = 0$ ;  $U_3 > 0$ ,  $U_4 = 0$  三种情况下的电压比较器输出, 见图 5-18 所示。

$U_4 = U_3 = 0$  时, 因“+”端电压为零, 无论  $U_7 > 0$ , 或  $U_7 = 0$ , 两电压比较器均输出为零。

$U_4 > 0$ ,  $U_3 = 0$  时,  $IC_4$ “+”端电压高于“-”端的锯齿电压  $U_7$ , 由于运算放大器  $IC_4$  工作在开环状态, 其增益很大,  $IC_4$  进入饱和状态, 输出电压接近电源电压, 随着锯齿波电压  $U_7$  不断升高, 使  $IC_4$ “+”、“-”两端电压差值不断减小, 当  $U_4 = U_7$ 、 $U_7 > U_4$  时,  $IC_4$  输出又跳回零电位, 如图 5-18 所示, 电压波形可见电压比较器在输入端加有锯齿波电压及误差电压时, 输出为正脉冲电压。

当  $U_3 > 0$ ,  $U_4 = 0$  时,  $IC_3$  工作情况与与  $IC_4$  一样。

## 四、比例调节原理

比例调节是整个控制器调节的基础, 也是一个关键技术。控制器工作过程如图 5-19 所示。

因电压比较器 IC<sub>4</sub>、IC<sub>3</sub> 工作原理相同,故以电压比较器 IC<sub>4</sub> 加以说明。

图 5-18 电压比较器工作过程

图 5-19 比例调节过程示意图

我们假设以下几个条件:

- (1) 因传感器偏离设定某一角度时,经误差放大器输出电压  $U_4 = 3V$ ;
- (2) 锯齿波电压  $U_7$  起始电压为  $1V$ ,最高电压是  $5V$ ;
- (3) 将图 5-19 中  $t_0 - t_6$  段分为 6 段: $t_0 - t_1, t_1 - t_2, t_2 - t_3, t_3 - t_4, t_4 - t_5, t_5 - t_6$ 。

$t_0 - t_1$  时,因传感器没有偏离设定角度,传感器电压  $U_2$  与设定电压  $U_1$  没有差值,即  $U_2 - U_1 = 0$ ,此时  $U_4 = 0, U_5 = 1V$ ,由于 IC<sub>4</sub>“+”端为零,输出  $U_5$  也为零电位。

$t_1 - t_2$  时,传感偏离设定角度,  $U_4 = 3V$ ,而这时  $U_7$  还为  $1V$ , IC<sub>4</sub> 输出  $U_5$  为高电位,随着  $U_7$  不断升高,并接近  $3V$  时, IC<sub>4</sub> 输出  $U_5$  又跳回零电位,形成了第一个调节脉冲。

$t_2 - t_3$  时, IC<sub>4</sub>“+”端电压低于“-”端,输出  $U_5$  为零电位。

$t_3 - t_4$  时,因第一个脉冲已使电磁阀开通调节了机器角度,使传感器偏离角度减小,但还有偏离,假定为  $2^\circ$ 。因此,  $U_4$  也相应减小,假定为  $2V$ ,在  $t_3$  处锯齿波又回程,  $U_7 = 1V$ , IC<sub>4</sub> 又输出电高位。随着  $U_7$  升高,并接近  $2V$  时,即  $t_4$  处时, IC<sub>4</sub> 输出  $U_5$  跳回零电位,又形成第二个调节脉冲,电磁阀再次开通调节机器角度,使传感偏离设定角度进一步减小。总之,只要传感器还偏离设定角度, IC<sub>4</sub> 就有脉冲输出,不断调节电磁阀开与闭动作,直至传感器渐渐回到设定角度为止,即  $U_2 = U_1, U_4 = 0$ ,调节停止,整个调节系统进入平衡状态。如果传感器又偏离设定角度,电路又重复上述调节过程,在实际电路中,锯齿波频率反应了每秒调节的次数。

通过以上分析可以发现,调节脉冲个数及宽度与偏离设定角度成正比,即偏离角度越大,调节脉冲个数越多,宽度也越大。同时也可看出,每次调节过程中,脉冲宽度一个比一个窄,脉冲间距越来越大,这个特点反映在电磁阀表现为:每次调节开始时,电磁阀开通时间长,随着传感器渐渐接近设定角度时,电磁阀开通时间越来越短,并且一次比一次间隔长。这样的调节方法可以保证快速平稳,又保证调节精度,并防止了过调而产生振荡现象。这就是现代摊铺机上采用的脉宽比例调节技术。

## 五、灵敏度调节原理

在控制器面板上有一个灵敏度调节钮,在电路上它是一个电位器。通过电位器调节锯齿波电压大小,即可达到调节灵敏度的目的。

如图 5-20 所示,假定锯齿波电压  $U_7$  起始电压为  $2V$ ,此时传感器偏离某一设定角度,经误差放大器输出电压  $U_4 = 1.5V$ ,电压比较器 IC<sub>4</sub>“+”端电压低于“-”端,输出为零,即不输出调

节脉冲。可以看出,虽然传感器偏离设定角度,但调节电路不工作,这就是说,电路调节灵敏度很低。

以相同条件,只改变锯齿波电压,使其加在 IC<sub>4</sub>“ - ”端电压降低,同样传感偏离设定角度值不变,误差电压为 1.5V,但因此时锯齿波电压最低为 1V, IC<sub>4</sub>“ + ”端电压高于“ - ”端,有正脉冲输出,起调节作用。从以上分析看出,锯齿波电压越高,调节灵敏度越低;锯齿波电压越低,灵敏度越高。

## 六、驱动电路

图 5-21 和图 5-22 为两种形式的驱动电路,它的作用就是驱动液压电磁阀开关。开关 K<sub>2</sub> 是选择驱动左右方向开关(在自动状态时由传感器测量信号和比较电路完成), K<sub>1</sub> 是 ON-OFF 开关。

图 5-20 灵敏度调节原理

B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub> 接正端加电的电磁阀,只要 T<sub>1</sub> 或 T<sub>2</sub> 导通, B<sub>1</sub> 或 B<sub>2</sub> 的电磁阀电路就接通。

驱动电路的主要元件是 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub>。图 5-21 中 D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub> 稳压管是保护 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>, 防止过高脉冲电压损坏栅极。D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、T<sub>4</sub>、R<sub>13</sub>、R<sub>14</sub> 也是保护 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 的。当 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 驱动电流过大时, R<sub>14</sub> 上电压上升, 超过 0.9V 时, T<sub>4</sub> 导通, D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 将 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 栅极短路接地, T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 截止, 防止电流过大烧坏 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>。

D<sub>6</sub>、D<sub>7</sub>、D<sub>9</sub>、D<sub>10</sub> 也是保护 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 的, 因电磁阀是感性负载, 在接通与关闭时, 线圈会发生很大自感电势, 其值大于电源电压数倍。为防止这个电势击穿 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>, 使用这 4 只二极管将自感电势泄放掉, 以保护 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>。

图 5-21 电磁阀驱动电路一

下面我们以图 5-22 为例简述电路工作过程。K<sub>1</sub> 闭合, 加电接 B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub> 的电磁阀哪一个导通, 决定于 T<sub>1</sub> 或 T<sub>2</sub> 哪一个导通, T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 的导通决定于误差放大器送来的信号。假定 K<sub>2</sub> 处送来的信号进入左边电路, 且运放 324 的“ + ”端输入电压大于“ - ”端电压, 运放工作, 输出端提供 T<sub>1</sub> 基极工作电流, T<sub>1</sub> 导通, 接 B<sub>1</sub> 的电磁阀即开始工作; 右边电路工作与其相同。R<sub>14</sub> 电阻值一般较小, 但功率较大, T<sub>4</sub> 基极工作电阻较 R<sub>14</sub> 大的多。D<sub>1</sub>、T<sub>4</sub> 和 D<sub>2</sub>、T<sub>4</sub> 均是保护 T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 的, 一旦 T<sub>1</sub> 或 T<sub>2</sub> 的工作电流过大时, T<sub>4</sub> 导通, 那么 T<sub>1</sub> 或 T<sub>2</sub> 基极的电压几乎降至零电压(一般约 0.7V 左右), 其 T<sub>1</sub> 或 T<sub>2</sub> 基极电流很小而截止工作。实际上 T<sub>4</sub> 导通的程度是由 T<sub>1</sub> 或 T<sub>2</sub> 工作

电流大小决定的,而  $T_4$  导通的程度相当于  $T_2$  和  $T_1$  的一个可变分流电阻一样,当  $T_1$  或  $T_2$  的工作电流增大时,这一可变电阻值减小,使  $T_1$  或  $T_2$  分流电阻减小,分流电流加大,使  $T_1$  或  $T_2$  基极电流减小,从而使  $T_1$  或  $T_2$  工作电流(即集电极至发射极电流)减小,保证  $T_1$ 、 $T_2$  正常工作。

图 5-22 电磁阀驱动电路二

## 第六节 TITAN 411 型沥青混凝土摊铺机主要电路

本节以德国 ABG 公司的 TITAN 411 型沥青混凝土摊铺机为例,说明其电控系统。

本电控系统除调平系统用 12V 电压之外,其它全部电路均用 24V 电压。图 5-23 为该机电控系统总图,当启动开关 1(图 5-24)关闭时,所有用电环节均无电。左、右螺旋分料器由电子控制的变量泵和定量马达驱动,其转速通过电位器 5 和 6(图 5-26)调节,可在 0 ~ 120r/min 范围内无级调节。

图 5-24 是基本车辆电系电路。

图 5-25 是振动、振捣、调平控制电路。

图 5-26 是左右供料控制电路。

图 5-27 是熨平板加热、延伸控制电路。

图 5-28 是辅助设备电路。

A1-配电箱  
A2-控制台  
A4-柴油机+ 变量泵  
A8-左料位控制开关  
A9-右料位控制开关  
A14-左螺旋分料器  
A15-右螺旋分料器  
A24-左操纵台  
A25-右操纵台

图 5-23 TITAN 411 型沥青混凝土摊铺机总电路图

A35-丙烷加热器  
A40-料位开关  
B1-喇叭  
G2-电池组  
R7-燃油油位传感器  
S31-操纵杆位置开关  
S32-左转向制动开关  
S33-右转向制动开关  
S34-液压阀限位开关

S35-温度开关  
Y1-延伸控制组件  
Y2-左调平电磁阀  
Y3-右调平电磁阀  
Y6-振动电磁阀  
Y18-熨平板下降锁定  
Y19-熨平板上浮锁定  
Y40-左转向电磁离合器  
Y41-右转向电磁离合器

- 1-启动开关
- 2-启动继电器
- 3-喇叭继电器
- 4-充电指示灯
- 5-油压指示灯
- 6-皮带轮故障指示灯
- 7-工作计时表
- 8-发动机油温表

图 5-24 TITAN 411 型沥青混凝土摊铺机基本车辆电系电路

- 9-燃油量表
- 10-液压油温度过高指示灯
- 11-左转向继电器
- 12-紧急停车开关
- 13-右转向继电器
- 14-喇叭
- 15-带调节器的发电机
- 16-蓄电池
- 17-启动机
- 18-喇叭开关
- 19-机油压力继电器
- 20-油压指示开关
- 21-皮带轮张紧控制开关
- 22-热敏电阻
- 23-燃油量传感器
- 24-油压、油温控制开关
- 25-双向二极管
- 26-左转向电磁离合器
- 27-右转向电磁离合器
- 28-左制动开关
- 29-右制动开关
- 30-送料开关

图 5-25 TITAN 411 型沥青混凝土摊铺机振动、振捣、调平控制电路

- |                     |            |          |
|---------------------|------------|----------|
| 1-振动控制继电器           | 8-调平开关     | 15-左上调开关 |
| 2-振捣控制继电器           | 9-左调平电磁阀   | 16-左下调开关 |
| 3-振动开关(手动/自动)       | 10-右调平电磁阀  | 17-电子调平器 |
| 4-振捣开关(手动/自动)       | 11-操纵杆位置开关 | 18-右下调开关 |
| 5-振捣调频电位器           | 12-振动电磁阀   | 19-右上调开关 |
| 6-调平电磁阀控制继电器(+ 24V) | 13-放电器     |          |
| 7-调平器控制继电器(+ 12V)   | 14-振捣电磁阀   |          |

- 1-送料放大器控制继电器
- 2-左送料控制继电器
- 3-右送料控制继电器
- 4-左送料开关
- 5-左送料速度调节电位器
- 6-右送料速度调节电位器
- 7-送料开关(手动/自动)

图 5-26 TITAN 411 型沥青混凝土摊铺机供料控制电路

- 8-左送料停止开关
- 9-手动开关
- 10-放大器
- 11-左送料料位控制开关
- 12-右送料料位控制开关
- 13-手动开关
- 14-右送料停止开关
- 15-右送料开关
- 16-右送料手控继电器
- 17-右送料自动手动开关
- 18-左送料自动手动开关
- 19-左送料手控继电器
- 20-左送料液压泵电磁阀
- 21-右送料液压泵电磁阀

图 5-27 TITAN 411 型沥青混凝土摊铺机熨平板加热、延伸控制电路

- |               |            |             |
|---------------|------------|-------------|
| 1-左侧延伸收缩及闪光开关 | 7-左侧延伸电磁阀  | 13-加热器      |
| 2-右侧延伸收缩及闪光开关 | 8-左侧收缩电磁阀  | 14-工作灯控制开关  |
| 3-左侧收手动联动开关   | 9-右侧收缩电磁阀  | 15-工作灯      |
| 4-左侧伸手动联动开关   | 10-右侧延伸电磁阀 | 16-工作灯控制继电器 |
| 5-右侧收手动联动开关   | 11-闪光控制器   | 17-加热器控制继电器 |
| 6-右侧伸手动联动开关   | 12-闪光指示灯   | 18-熨平板控制继电器 |

- 1-测速发电机工作继电器
- 2-爬行(防上浮)电磁阀
- 3-锁定(防下降)电磁阀
- 4-操作开关
- 5-鼓风机

图 5-28 TITAN 411 型沥青混凝土摊铺机辅助设备电路

- 6-定位开关
- 7-温控开关
- 8-液压油散热器风机
- 9-测速发电机
- 10-传感器
- 11-通风机控制继电器
- 12-暖风机控制继电器
- 13-熨平板锁定控制继电器
- 14-防上浮控制继电器

## 第六章 水泥混凝土搅拌楼控制电路

混凝土混合料是建筑工程中最重要的建筑材料之一,也是混凝土道路工程中最重要建筑材料。在水电、水利、港口、码头、公路等大型工程中,需要混凝土混合料的量不但大,而且要求质量高,性能稳定,用传统的手工方法难于满足要求,因此,必须采用大型的混凝土搅拌楼来进行搅拌。混凝土搅拌楼具有生产率高、自动化程度高、操作方便、所用劳动力少等特点。

混凝土搅拌楼可分为固定式、装拆式和移动式三种类型。按工艺流程可分为单阶式和双阶式两类。无论哪一种搅拌楼,它最基本的组成部分有以下四个:进料设备、配料设备、搅拌设备和辅助设备。本章将介绍其主要部分的控制电路。

### 第一节 水泥混凝土搅拌楼简介

由水泥、水、砂、石等原材料按一定的配合比例混合并搅拌均匀即成混凝土混合料,再经浇筑、振捣、硬化过程就成为坚固的混凝土。

混凝土搅拌楼是混凝土混合料的产生设备,其结构和工作原理比较庞杂。图 6-1 所示为单阶式混凝土搅拌楼工作原理示意图。

砂石材料由皮带输送机 1 运上来,经回转分料漏斗 2 分配给各相应的储料仓 6(图中 6 右边的四个)。储料仓 6 左边的两个用来储存水泥。水泥由垂直斗式提升机提上来,再由水平螺旋输送机 5 送入水泥储存仓,在此过程中由旋风收尘器 3 和布袋滤尘器 4 收集飞扬起来的水泥。在各储料仓中均装有料位检测器 7,每仓两个,其中一个检测料满位置,另一个检测料空位置。料位检测器可以发出信号通知操作人员储料仓满或空的情况,也可以直接发出指令控制回转分料漏斗(对水泥储料仓则是控制螺旋输送机出料口的翻板门)和供料系统,使其自动向缺料的储料仓中供料。搅拌楼运转时所需的大宗材料是储存在堆料场和筒仓里。搅拌楼本身的储料仓只存放少量的材料以保证配制称量不致中断。

在砂石储料仓的下部装有闸门 9,在水泥储料仓的下部装有翻板料门 8。每个储料仓下面各有一台称量秤斗 12。在搅拌楼上部还有储水槽 10 和塑化剂储槽 11。水和塑化剂也经称量秤斗 12 进行称量。砂石、水泥材料、水和塑化剂称量完毕后卸入回转给料漏斗 13。回转给料漏斗将料送给需要料的搅拌机(通常为三到四个)。混合料经搅拌机 15 充分搅拌均匀后,被卸入出料漏斗 16 中。

图 6-1 混凝土搅拌楼示意图

1-皮带输送机;2-回转分料漏斗;3-旋风收尘器;4-布袋滤尘器;5-水平螺旋输送机;6-储料仓;7-料位检测器;8-翻板料门;9-闸门;10-储水槽;11-塑化剂储槽;12-称量秤斗;13-回转给料漏斗;14-垂直提升机;15-搅拌机;16-出料漏斗

## 第二节 进料系统控制电路

进料系统可分为砂、石骨料进料系统和水泥进料系统。

### 一、骨料进料系统控制电路

图 6-2 所示是骨料进料系统示意图。它由皮带输送机、回转分料漏斗和储料仓三部分组成。图 6-3 是骨料进料系统控制电路图。

图 6-2 骨料进行系统示意图

DL-电铃; 12T-电磁制动器; M-电动机

搅拌楼采用 380V 三相四线制电源。自动开关 1ZK 是供料系统的总控制电源开关, 具有电磁脱扣器和热脱扣器, 作为短路和过载保护。控制电源采用 220V 的相电压, 用钥匙开关 1SY 控制。

#### 1. 主电路

皮带输送机和回转分料漏斗主电路的形式相同, 都用接触器直接启动, 熔断器作为短路保护, 三相式带断相保护的热继电器作为过载保护和断相保护。

#### 2. 信号电路

电铃 12DL 装在皮带机首端的进料处, 是进料操作员给上料人员的音响预告信号。11DL 装在皮带走廊, 它是皮带机启动前的预告电铃。信号灯 11H ~ 18H 分别装置在 8 种料的集料场, 是进料操作员给集料场的要进何种料的灯光指示信号。

#### 3. 回转分料漏斗自动找位电路

图 6-4 是回转分料漏斗自动找位开关安装位置图。八个限位开关 11SQ ~ 18SQ 固定在 8 个储料仓口前。当漏斗回转到某仓口前并对准时, 其上的撞块就碰压相应的限位开关, 如图中漏斗对准中石仓时, 撞块碰压 13SQ。

自动找位电路及回转分料漏斗的动作过程如下: 假定漏斗原来停在特大石仓, 现在要进中石, 先将 12SH 转至“中石”位置, 12SH<sub>1</sub> 使 13H 亮, 12SH<sub>2</sub> 将 13SQ 接入控制电路, 按下 12SB, 12KM 得电动作, 12M 启动, 漏斗回转, 只有转到对准中石仓口时, 撞块碰压 13SQ, 其常闭触点断开, 12KM 断电, 12M 停转, 电磁制动器 12T 使回转漏斗迅速准确停位, 13SQ 的常开触点接通, 使红灯 12HD 亮, 说明回转漏斗已准确找位。这样就实现了回转分料漏斗的自动找位。

图 6-3 骨料进料系统控制电路

#### 4. 皮带机控制电路

皮带电动机 11M 的控制电路是一个单向运转自控线路。11SK 是装于皮带走廊的事故开关。11SY 是钥匙开关, 正常工作时使其接通, 检修时将它断开取走钥匙, 保证检测安全。按下 11SB 时, 11KM 得电自锁, 皮带机运转上料: 当按下 11ST 时, 11KM 断电, 皮带机停止上料。

## 二、水泥进料电路

图 6-5 所示为水泥进料系统原理示意图。

水泥进料系统由垂直斗式提升机、水平螺旋运输机和两个水泥仓组成。两个水泥仓各储存一种标号的水泥, 供配料时选用。

水平螺旋运输机 12 由电动机 14D 拖动, 其末端有一个手动控制的水泥出料门 5, 首端有一个手动控制的掺合料出料门 3, 因此, 该系统也可以进掺合料。水泥出料门下的裤状叉管内有一个气控翻板门 4, 水泥送到 1 号还是 2 号水泥仓由它来选择。

图 6-4 回转分料漏斗自动找位原理图

图 6-5 水泥进料系统示意图

SQC-行程开关; DT-电磁气阀; D-电动机

1-轴流通风机; 2 和 4-气动控制翻板门; 3-手动掺合料出料门; 5-手动水泥出料门; 6-进料层控制室; 7-1 号信号箱; 8-1 号操纵台; 9-布袋滤尘器; 10-离心通风机; 11-斗式提升机; 12-水平螺旋运输机; 13-掺合料仓; 14-2 号水泥仓; 15-1 号水泥仓

图 6-6 所示是其控制电路原理图。

图 6-6 水泥进料系统控制电路

11DT ~ 14DT 是控制螺旋机和布袋除尘器裤状叉管翻板门的电磁气阀, 11SQC ~ 14SQC 是与翻板门联动的行程开关。翻板门的控制原理如图 6-7 所示。叉管内的翻板门 1 和叉管外的摇臂 2 焊在同一根转轴上; 摇臂与气缸的活塞杆铰接; 11DT ~ 14DT 是两位三通阀。当 11DT(13DT)通电时, 压缩空气经 11DT 的 P 口、B 口进入气缸左部,

图 6-7 翻板门的控制原理  
1-翻板门; 2-摇臂

活塞右行,翻板门翻向右边,叉管通1号水泥仓,11SQC(13SQC)因碰压而接通。反之,当12DT(14DT)通电时,翻板门翻向左边,叉管通2号水泥仓,12SQC(14SQC)接通。

主令开关13HK(图6-6)是叉管通1号或2号水泥仓的选择开关。18SBQ是翻板门的操作按钮,11UD~14UD是翻板门的位置指示灯。13DL是装在地面水泥进料处的联络电铃。

斗机和螺旋机在正常工作时联动控制,为了检修、试车方便也可以单独控制,联动或单开用主令开关14HK选择。14SBQ为联动时斗机和螺旋机的启动按钮,14SBT为停止按钮。14KM的常开辅助触点可实现前后运输环节之间的联锁和自锁。主电路及控制电路的其它部分在前面已叙述过,不再赘述。

### 第三节 配料系统控制电路

配料系统在储料仓的下面。主要设备有:12台电子秤,水、塑化剂和加气剂的进料系统,两台轴流通风机,1台布袋除尘器 and 2台离心通风机等。配料系统的主要作用是按调度单预定的给配对各种原材料进行准确称量。图6-8是配料系统示意图。

图 6-8 配料系统示意图

SQX-限位开关;DT-电磁气阀;D-电动机

1-称量柜;2、4-离心通风机;3-布袋除尘器;5-1号配电箱;6-配料层控制室;7-2号操纵台;8-稳压器;9-电话;10-工具箱,11-细石等储料箱;12-1号水泥储料箱,13-2号水泥储料箱;14-特大石储料箱;15-水箱;16-塑化剂;17-搅拌器;18-加气剂;19-塑加剂;20-加气剂泵;21-塑化剂泵;22、23、24、25-分别为水、特大石、水泥、细石等的电子秤斗;26-电子秤传感器;27-轴流通风机;28-气控弧门;29-倾翻溜槽;30-气控阀门;31-气控翻板门

#### 一、称量控制电路

图6-9所示为配料系统称量控制电路。各种原材料用12台电子秤自动称量。电子秤斗用三根金属棒悬挂,每杆秤装一个传感器,将各种材料的质量变换为电信号送入称量柜,经过放大后再在秤盘上指示出来。秤盘上每台电子秤有4副触点,当材料质量达到预定值的80%时,粗称触点 $DC_c$ 动作;当材料质量达到100%时,精称触点 $DC_j$ 断开;当材料质量超过100%时,超称触点 $DC_z$ 动作;当秤斗卸空,指针回零时,零位触点 $DC_0$ 接通。

##### 1. 称斗底门联锁电路

图 6-9 配料系统称量控制电路

在称量之前,12个秤斗的底门必须关严,否则,边称边漏料会造成错称。限位开关21SQX~32SQX是称斗底门的联锁电路,串联在称量控制电路的电源线中。这些限位开关受秤斗底门操纵,门关严才能接通,与秤斗的对应关系是:水泥秤21SQX、特大石秤22SQX、大石秤23SQX、中石秤24SQX、小石秤25SQX、细石秤26SQX、粗砂秤27SQX、细砂秤28SQX、冰秤29SQX、掺合料秤30SQX、塑加剂秤31SQX、水秤32SQX。22BD是秤斗底门都已关严的指示灯。

开关24HK是称量控制电路的控制开关,它接通,同时卸料继电器24KA断电(即没有卸料),才能称量。

23SBQ是手控称量按钮,特殊情况下使用。如当石料秤斗底门被石子卡住而不能关严时,不会影响称量精度,可按23SBQ做一次手控称量,这样就省去了处理石子卡位的麻烦。

## 2. 水泥称量

两个水泥仓共用一台电子称,其仓底各有一个气控翻板门,用来选称1号或2号仓的水泥。翻板门可以全闭、全开或半开,以适应停称、粗称或精称三种要求,使水泥称得更为准确。水泥出仓经过翻板门后,还要经过公共的气控中弧门才能进入称斗。中弧门是经常打开的,只有水泥出仓太快而超称时它才关闭。

万能转换开关25HK用来选择称哪一号仓的水泥,其手柄有五个位置。图6-9中右1位使电磁气阀21DT<sub>1</sub>和21DT<sub>3</sub>通电,称1号仓的水泥;图中左1位使21DT<sub>2</sub>和21DT<sub>4</sub>通电,称2号仓水泥;2位除上述功能外,都使21DT<sub>5</sub>通电,用来破拱。

图6-10所示是水泥仓底翻板门的控制原理(以1号仓为例)。左右两个气缸连接成一体,右活塞杆固定在2号水泥仓的外壁上,左活塞杆与1号仓的翻板门铰接。图中所示为21DT<sub>1</sub>和21DT<sub>3</sub>都断电时的情况:压缩空气经21DT<sub>1</sub>的P口、A口进入左气缸的左部,推左活塞右行;压缩空气又经21DT<sub>3</sub>的P口、A口进入右气缸的右部,推气缸右行(因为右活塞是固定的);翻板门被向右拉而完全关闭。

图 6-10 水泥仓底翻板门控制原理

粗称时21DT<sub>1</sub>和21DT<sub>3</sub>都通电,压缩空气经两个电磁气阀的P口、B口进入左气缸的右部和右气缸的左部,推动左活塞和右气缸都左行,推动翻板门向左而全开。这时,水泥迅速出仓经中弧门进入秤斗。

当水泥质量达到80%时,水泥秤的粗称触点1DC<sub>c</sub>动作,其常闭触点使21DT<sub>1</sub>断电(21DT<sub>3</sub>仍通电),左活塞右行,但右气缸保持原位,翻板门被向右拉而半开。这时水泥慢慢出仓,进行精称。1DC<sub>c</sub>的常开触点同时接通,漏称继电器21KA动作,作为水泥没有漏称的联锁。

当水泥质量达到100%时,精称触点1DC<sub>r</sub>断开,21DT<sub>3</sub>也断电,翻板门全闭,称量结束。

21DT<sub>5</sub>是破拱电磁气阀。水泥在仓内被挤压得很密实,往往因结拱而不能出料。破拱装置在供气后以压缩空气自动连续吹拱,如仍不能破拱,可将25HK转至2位,21DT<sub>5</sub>通电,开大气门强行破拱。

当水泥出仓过快而超称时,超称触点1DC<sub>z</sub>接通,超称继电器22KA动作。其触点断开,使

翻板门立即关闭;其常闭触点接通,中门电磁气阀 21DT<sub>6</sub> 通电,使中弧门也立即关闭,停止称量;22KA 断开,可作为因水泥质量不准而不许自动卸料的联锁。

### 3. 特大石称量

特大石储料仓底不是弧门,而是一个气控倾翻溜槽。当溜槽倾翻时,特大石沿溜槽出仓,进入秤斗。当溜槽上仰时,特大石被堵住,不能出仓。

图 6-11 是特大石仓底倾翻溜槽的控制原理图。图中所示为电磁气阀 22DT<sub>1</sub> 和 22DT<sub>2</sub> 都断电的情况。压缩空气经 22DT<sub>1</sub> 的 P 口、A 口进入气缸右部,活塞左行到图中所示位置,溜槽仰起。

图 6-11 特大石仓底倾翻溜槽控制原理图

1-倾翻溜槽转轴;2、3-连杆;4-特大石料仓;5-倾翻溜槽;21SQY-水银开关

称量时 22DT<sub>1</sub> 和 22DT<sub>2</sub> 都通电,压缩空气经两个气阀的 P 口、B 口进入气缸左部,活塞右行,连杆 2、3 向右屈折,使溜槽绕轴 1 按逆时针方向倾翻,特大石沿溜槽出仓进入秤斗。水银开关 21SQY 调整于溜槽刚一倾翻立即断开的位置,故溜槽刚一倾翻,22DT<sub>2</sub> 就断电,其 P 口与 B 口堵死。这时溜槽依靠自重继续倾翻,推动活塞右行,左气缸从 22DT<sub>2</sub> 的 O<sub>B</sub> 口吸入空气,右气缸的气体经 22DT<sub>1</sub> 的 O<sub>A</sub> 口排出。因排气孔很小,故溜槽的倾翻很平稳。

当特大石质量达到 100% 时,特大石精称触点 2DC<sub>1</sub> (图 6-9) 断开,22DT<sub>1</sub> 也断电,活塞左行,溜槽仰起,特大石停止出仓。

当特大石出仓过快而超称时,超称触点 2DC<sub>z</sub> (图 6-9) 动作,一方面使电磁气阀断电,溜槽仰起,同时使公共超称继电器动作,作为不许自动卸料的联锁。

### 4. 大石、中石、小石、细石、粗砂、细砂、掺合料和冰的称量

这 8 种材料的配料系统相同,现以大石为例进行说明。大石储料仓底部有一个气控弧门,当它开启时大石自动进入正下方的电子秤斗。秤斗底部也有一个气控弧门,当称量完毕,弧门开启时,大石自动卸入下面的回转给料漏斗。

图 6-12 所示是储料仓底气控弧门的控制原理图。称量时 23DT 通电,弧门打开,大石进秤斗。当大石质量达到 100% 时,大石精称触点 3DC<sub>1</sub> (图 6-9) 断开,23DT 断电,弧门关闭。超称环节与特大石相同。

其余 7 种料的配料称量电路相同, 请读者自己分析。

### 5. 塑化剂、加气剂称量

如图 6-8 所示, 塑化剂和加气剂各用一台离心泵(20、21)通过管路从地面直接泵入各自的储料仓内。塑化剂容易沉淀, 故在储料仓内装一个搅拌器, 它由电机 22D 驱动。

图 6-12 弧门控制原理图

塑化剂和加气剂共用一台电子秤。它们的储料仓和秤斗底都有一个气控阀门。塑化剂配料时, 先称塑化剂, 质量够了再把加气剂加上去称, 直到总质量够了为止。

称量一开始, 31DT<sub>1</sub> 电磁气阀得电, 阀门打开, 塑化剂进入秤斗称量。当塑化剂质量达到 100% 时, 11DC<sub>c</sub> 动作, 31DT<sub>1</sub> 断电关闭塑化剂, 同时 31DT<sub>2</sub> 得电气控门打开, 加气剂进入秤斗称量, 当塑化剂和加气剂的质量之和达到预定值时, 11DC<sub>1</sub>、31DT<sub>2</sub> 断电气控门关闭, 称量结束。因为塑化剂用量少, 秤斗进料慢, 所以不必考虑超称问题。

### 6. 水的称量

水用自来水管直接送入水箱。水箱底也为气控阀门, 称量电路与大石相似。27SBQ(图 6-9)是手动放水按钮, 正常称量时不使用, 需要冲洗搅拌机时用它放水。

## 二、卸料控制电路

各种料称量完毕, 就可以卸料。卸料时分三批先后将料卸入搅拌机。图 6-13 所示为配料系统卸料控制电路。

### 1. 卸料条件

必须满足下列条件, 秤斗才准卸料:

(1) 各秤的称量工作停止, 即各储料仓(箱)底门都已关闭时, 行程开关 21SQC ~ 32SQC 都已接通。这些行程开关受储料仓(箱)底门控制, 门关严才能接通, 与储料仓的对应关系是: 1 号水泥仓对应 21SQC<sub>1</sub>, 2 号水泥仓对应 21SQC<sub>2</sub>, 特大石仓对应 22SQC, 大石仓对应 23SQC, 中石仓对应 24SQC, 小石仓对应 25SQC, 细石仓对应 26SQC, 粗砂仓对应 27SQC, 细砂仓对应 28SQC, 冰仓对应 29SQC, 掺合料仓对应 30SQC, 塑化剂箱对应 31SQC<sub>1</sub>, 加气剂箱对应 31SQC<sub>2</sub>, 水箱对应 32SQC。23BD 是各储料仓(箱)底门都已关闭的指示灯。

(2) 没有漏称一种料, 即各电子秤的粗称触点 2DC<sub>c</sub> ~ 12DC<sub>c</sub> 都接通, 对于水泥是 21KA 动作, 说明各料都已称过。

(3) 没有一种料超称, 即两个超称继电器 22KA、23KA 都没有动作。

(4) 回转给料漏斗已对准某台搅拌机并已具备进料条件。这时给料继电器的常开触点 42KA、52KA、62KA、72KA 中必有一个接通。

主令开关 26HK 是自动卸料控制开关, 它接通时, 才能自动卸料。当上述四个条件都已满足时, 卸料继电器 24KA 动作。24KA 断开自动称量电路的电源, 因为正在卸料, 不准称量。28SBQ 是手控卸料按钮, 必要时可以用它手控卸料。

### 2. 卸料控制电路

(1) 第一批卸料 当 24KA 得电时, 24KA 接通, 33DT<sub>1</sub>、33DT<sub>2</sub>、33DT<sub>3</sub> 和 33DT<sub>4</sub> 通电, 水、水泥、掺合料和塑化剂的秤斗底门打开, 首先卸料。它们一起卸料可以减少水泥和掺合

图 6-13 配料系统卸料控制电路

料的飞扬。

(2) 第二批卸料 时间继电器 21KS 和中间继电器 25KA 相继动作, 使 34DT<sub>1</sub>、34DT<sub>2</sub>、34DT<sub>3</sub> 和 34DT<sub>4</sub> 通电, 中石、小石、粗砂和冰的秤斗底门打开, 第二批卸料。

(3) 第三批卸料 同理, 22KS 和 26KA 动作, 第三批的特大石、大石、细石和细砂卸料。特大石和大石安排在最后, 并与细石和细砂一起卸, 可以减轻对搅拌机及回转给料漏斗的冲击。时间继电器 21KS 和 22KS 使前后两批卸料之间有一定的时间间隔。

钮子开关 21UK ~ 32UK 在正常情况下是接通的, 当某种料超称时用它把超称的料留在秤斗内。例如水泥超称时, 可按下 28SBQ, 进行手控卸料。这时应注视电子秤盘的指针走动, 当卸出的水泥质量将近 100% 时, 来回扳动 22UK, 使秤斗底门一开一闭地动作, 减慢水泥卸料速度。当卸出的质量达到 100% 时, 断开 22UK, 停止扳动, 把超称的料留在秤斗内, 作为下次配料用。

### 3. 复原和计数电路

如各秤斗的料都已卸空, 则电子秤零位触点 1DC<sub>0</sub> ~ 12DC<sub>0</sub> 都接通, 复原继电器 27KA 动作。其触点接通计数器 21KJ, 计数一次。27KA 断开, 24KA 释放, 卸料电路复原, 各秤斗底门关闭。24KA 释放, 其常闭触点重新接通, 称量电路开始第二次称量。这样周而复始, 不断地自动称量、自动卸料, 并把卸料次数累计在计数器上。

29SBQ 是手动复原按钮, 必要时使用。例如, 当水泥超称在秤斗内留料时, 因 1DC<sub>0</sub> 不能接通而无法自动复原, 可按 29SBQ 进行手动复原。

## 第四节 搅拌系统和出料系统控制电路

搅拌系统在配料系统的下面, 主要作用是将配好的原材料送入搅拌机, 搅拌均匀成为混凝土混合料。搅拌系统的主要组成部分有: 装在系统中心顶部的回转给料漏斗, 四台卧式搅拌机, 在搅拌系统下面的出料系统。出料漏斗底部有一个气控弧门, 可以全闭、全开或开到任意程度, 由一名出料操作员手动操作。如图 6-14 所示。

图 6-14 搅拌系统和出料系统的示意图

1-轴流通风机; 2-气控出料弧门

SQC-行程开关; SQY-水银开关; DT-电磁气阀; T-电磁制动器; D-电动机

图 6-15 搅拌系统控制电路

回转给料漏斗的上半部是一个固定漏斗,接受各秤斗的来料,下部是一个由电动机 81D 拖动的倾斜的回转漏斗,将料分送给要料的搅拌机。在回转漏斗的外部套着一个能上下移动的气控给料套筒。回转漏斗转到要料的搅拌机前会自动停止、对准,套筒下放,与搅拌机口浮动吻接,称好的料就可以通过固定漏斗、回转漏斗和套筒进入搅拌机。各秤斗的料卸空以后,套筒自动升起,回转漏斗又自动启动和找位。

四台搅拌机中心对称布置(图 6-14 中仅画出 1 号和 3 号搅拌机),搅拌机口都在回转漏斗的回转圆周上。机身由双电动机拖动,绕自己的轴线连续旋转,借助于两边的气缸,它还可以绕自身机座上的轴实现上仰和倾倒动作。

图 6-15 是搅拌系统控制电路。四台搅拌机的控制电路完全相同,图中只画出 1 号搅拌机的控制电路。四台搅拌机电气设备的编号,用第一数字加以区别,1 号搅拌机的有关电气设备编号第一位数字均为“4”,2 号机为“5”,3 号机为“6”,4 号机为“7”。

## 一、各工作机械的控制原理

### 1. 回转给料漏斗的自动找位原理

图 6-16 是回转给料漏斗的自动找位原理图。在回转漏斗撞块的回转圆周上安装着四个自动找位行程开关 82SQC ~ 85SQC 和四个对准行程开关 41SQC、51SQC、61SQC、71SQC。当漏斗对准要料的搅拌机时,相应的行程开关被撞块碰压,如图中漏斗对准 1 号搅拌机,撞块压下 82SQC 和 41SQC。在电路图中,自动找位行程开关和要斗继电器的常开接点串联,即 82SQC 与 45KA(1 号搅拌机要斗继电器)、83SQC 与 55KA(2 号搅拌机要斗继电器)、84SQC 与 65KA(3 号搅拌机要斗)、85SQC 与 75KA(4 号搅拌机要斗)串联。因此,只有漏斗转到要料的搅拌机前,这四条串联电路中的一条接通,使停斗继电器 81KA 动作而停斗。电磁制动器 81T 使回转漏斗停位迅速、准确。

图 6-16 回转给料漏斗自动找位原理

### 2. 给料套筒自动下放和回升的控制原理

图 6-17 是给料套筒自动下放和回升的控制原理图。套筒 1 靠气缸的活塞杆和摇臂 2 来下放或回升。图中所示为电磁气阀 81DT、82DT 都断电时,套筒回升到顶的情况。这时压缩空气经 81DT 的 P、A 口进入气缸左部,活塞向右移,带动套筒回升到顶。当 81DT 和 82DT 都通电时,压缩空气经 81DT 的 P、B 口和 82DT 的 P、B 口进入气缸右部,活塞向左运动,套筒下放到底。行程开关 86SQC 被碰压,其常闭触点使 82DT 断电。这时,气缸右部经 82DT 的 B、O<sub>A</sub> 口通大气,左部经 81DT 的 A、O<sub>A</sub> 口通大气。套筒靠自重力贴在搅拌机口上,这叫做浮动状态,使摩擦减小,料又不会在接触处漏出。

行程开关 81SQC 调整在套筒刚开始下放就断开的位置,作为套筒下放后漏斗不准回转的联锁。

### 3. 搅拌机倾倒和上仰的控制原理

图 6-18 是搅拌机倾倒和上仰的控制原理。当倾倒电磁阀 41DT 通电时,压缩空气从 41DT 的 B、P 口进入气缸下部,活塞杆向上运动,使搅拌机绕机座上的轴倾倒(参看图 6-14)。气缸上

部的空气被活塞压入一个密闭的气罐中(也叫气垫)。因为搅拌机倾倒时,上升越高,气罐中的气压越高,活塞两边的气压压差越小,所以倾倒动作平稳。

图 6-17 给料套筒下放和回升控制原理  
1-套筒;2-摇臂

图 6-18 搅拌机倾倒和上仰控制原理

当上仰电磁阀 42DT 通电,而 41DT 断电时,在气罐压缩空气的作用下,活塞向下,气缸下部空气经 41DT 和 P、A 口和 42DT 的 P、B 口通大气。因为 42DT 的 B 口较大,所以开始时搅拌机迅速上仰。当搅拌机上仰到 0 时,水银开关 42SQY(图 6-15)断开,使 42DT 断电,改从 42DT 的 A 口通大气。由于 42DT 的 A 口较小,气罐中的气压又越上仰越低,因此,搅拌机上仰过了 0 以后就在自重作用下慢慢上仰就位,动作平稳。

每台搅拌机上安装着三个供程序控制用的行程开关和水银开关(见图 6-14)。行程开关 42SQC、52SQC、62SQC 和 72SQC 调整在搅拌机上仰到 + 15 时接通;水银开关 41SQY、51SQY、61SQY 和 71SQY 调整在搅拌机倾倒到 - 55 时接通;42SQY、52SQY、62SQY 和 72SQY 调整在搅拌机上仰到 0 ~ + 15 范围内断开,倾倒到 0 ~ - 55 范围内接通。

四台搅拌机空载启动后连续旋转,不断地上仰要料、搅拌和倾倒出料,一台回转给料漏斗

不断地把称好的料轮流送给要料的搅拌机,它们互相配合、周而复始、自动连续地进行生产。一台搅拌机一个生产循环的机械动作过程如下:搅拌机空载启动,上仰到+ 15°并要料,回转给料漏斗启动,转到要料的搅拌机前停斗并对准,给料套筒下放,原材料分三批经给料漏斗进入搅拌机,给料套筒回升,给料漏斗又自启动转到下一台要料的搅拌机前,搅拌机经过 120s 的搅拌再倾到- 55°将料倒入出料斗,搅拌机上仰复位再自动要料。

## 二、出料系统控制电路

图 6-19 所示是出料漏斗弧门的控制原理和电路。92DT 是两个两位开关阀的组合。

当万能转换开关 91HK 转至“关”位,91DT 和 92DT 都断时,压缩空气经 91DT 的 P、A 口和 92DT 的 P<sub>1</sub>、A<sub>1</sub> 口进入气缸右部,活塞左移,使弧门关闭。

当 91HK 转至“开”位时,91DT 通电,92DT 断电,压缩空气经 91DT 的 P、B 口和 92DT 的 P<sub>2</sub>、A<sub>2</sub> 口进入气缸左部,活塞右移,使弧门全开。

当 91HK 转至“中”位时,92DT 通电,A<sub>1</sub> 口与 P<sub>1</sub> 口,A<sub>2</sub> 口与 P<sub>2</sub> 口都不通,气缸左、右部的空气被封闭,活塞停在原来位置。因此,只要掌握 91HK 扳到“中”位的时机,就可以使弧门开到任意程度。

91DL 是装在出料漏斗下的出料前预告电铃。

图 6-19 出料漏斗弧门控制原理和电路

## 第五节 电子秤的工作原理

电子秤是搅拌楼实现全自动化的关键性设备。图 6-20 是电子秤的方框图。它由传感器、测量桥路、放大器、可逆电机、执行机构(秤盘)以及稳压电源、滤波器、调零装置、给定信号等部分

组成。一台电子秤分为称量和给定两个单元,称量指针(红色)指示料的净质量,给定指针(黑色)指示调度单给定的质量,两单元的工作原理基本相同。称量单元的工作原理如下:传感器把质量变换成电压信号,经过滤波消除干扰、测量桥路的比较、放大器的放大,最后送给可逆电机;可逆电机带动称量指针和测量桥路中电阻盘的滑动点,将指针的转角信号变换成电压信号回送给测量桥路,并与传感器信号进行比较,使测量桥路的输出信号是传感器信号与指针转角信号的差值;当差值信号等于零时,放大器无输出,可逆电机停止,指针指示所称的质量。

图 6-20 电子秤方框图

给定单元的输入是一个人为给定的电压信号,使给定指针停在调度单中给定的质量处。当称量指针走到与给定指针重合位置时,磁短路片进入舌簧管与永久磁铁之间的缝隙,舌簧管动作,使精称触点断开而停称。

### 一、传 感 器

称量传感器由电阻应变片和应变筒式弹性元件组成。称量传感器的结构原理和测量电路图参见图 2-28。在应变筒的外壁圆柱表面上粘贴着 8 片电阻应变片(也有贴 4 片的),如图 2-28a)。图 2-28b)是电阻应变片的粘贴展开图: $r_1 \sim r_4$  竖贴,叫做工作片; $r_5 \sim r_8$  横贴,叫做补偿片。8 片电阻应变片接成一个电桥电路, $r_e$  是初始不平衡电阻, $r_t$  是温度零点补偿电阻,如图 2-28c)。

应变筒是一个弹性变形元件,安装在秤斗的三根悬挂杆上部。在秤杆拉力的作用下,应变筒伸长变细,电阻应变片也随之变形。工作片的电阻丝受拉,长度伸长,直径变细;补偿片的电阻丝受压,长度缩短,直径变粗。当然,变形是很微小的。

根据第二章第三节中的分析可知,秤杆在拉力作用下,电桥就有电压输出。输出电压  $U_0$  近似与拉力成正比。因此,称量传感器可以把质量转换成电压信号。

### 二、电子电位差计

图 6-21 是电子电位差计的工作原理图。 $R_A$ 、 $R_B$ 、 $R_C$ 、 $R_D$  以及  $R_H$ (被滑动点 D 分成  $R_{H1}$  和  $R_{H2}$  两部分)所组成的电桥称为反馈桥路,由定压电源  $U_w$  供电。D、A 为输出端,输出电压为  $U_{DA}$ 。上支路电流设计为 4mA,下支路为 2mA。 $U_{DA}$  与测量传感器桥路的输出电压  $U_x$  反极性串联后送给放大器 JF。放大器的输入电压是它们两者之差。

$$U_F = U_x - U_{DA} \quad (6-1)$$

$U_F$  经过放大以后去驱动可逆电机 ND。 $N_B$  和  $N_Y$  是可逆电机的激磁绕组和控制绕组。当  $U_F$  为正值时,可逆电机正转;当  $U_F$  为负值时,可逆电机反转。可逆电机一方面驱动指针转动,另一方面驱动圆环形滑线电阻盘  $R_H$  的滑点 D 移动。

图 6-21 电子电位差计工作原理

当传感器不受外力时,  $U_x = 0$ , 如果这时反馈桥路也处于平衡状态, 即  $U_{DA} = 0$ , 那末放大器的输入电压  $U_F = 0$ 。此时, 可逆电机静止, 整个系统处于原始平衡状态。

当秤斗进料时, 传感器输出电压  $U_x$ , 极性如图。刚开始时, 滑点 D 尚未移动,  $U_{DA} = 0$ , 放大器输入正向电压  $U_F = U_x$ , 故可逆电机正转, 指针向顺时针方向走动, 滑点 D 向右移动。这时,  $R_{H2}$  减小, D 点电位升高, 反馈桥路失去平衡, 电压  $U_{DA}$  (D 点为正, A 点为负) 不断增大。这个过程一直进行到秤斗停止进料并  $U_{DA} = U_x$ , 即  $U_F = 0$ , 可逆电机停止, 系统处于新的平衡状态为止。此时指针指示所称的质量值。

当秤斗卸料时,  $U_x$  减小, 刚开始时滑点 D 尚未移动,  $U_{DA} > U_x$ , 放大器输入反向电压  $U_F = U_x - U_{DA} < 0$ , 故可逆电机反转, 指针返回, 滑点 D 向左移动,  $U_{DA}$  不断减小。这个过程又一直进行到卸料结束, 并  $U_{DA} = U_x = 0$ ,  $U_F = 0$ , 可逆电机停止, 系统建立新的平衡状态为止。

这一自动平衡原理就是电子秤的基本工作原理。

### 三、称量单元的实际电路

称量单元的实际电路如图 6-22 所示。各元件的作用说明如下:

#### 1. 传感器桥路 $GG_1$ 、 $GG_2$ 、 $GG_3$

每台电子秤斗以三根金属杆悬挂, 每根杆上安装一个传感器。因为料和秤斗的总重力等于三根杆的拉力之和, 所以三个传感器的输出端应该顺极性串联, 使三个电压信号相加。三个传感器桥路分别由稳压电源  $WY_1$ —I、 $WY_2$ —II、 $WY_2$ —III 供电, 电压 6V。

#### 2. 起始电阻 $(R_6 + r_6)$ 和 $(R_1 + R_2)$

生产上要求称量指针所指的值是料的净质量, 秤斗卸空以后指针应该回零, 即 D 点滑到最左端, 使系统平衡, 这时 D、C 两点之间的电压  $U_{DC} = 0$  (实际上滑线电阻盘  $W_8$  的左端部还剩一点电阻), 反映桥路的输出电压  $U_{DA} = U_{DC} + U_{CB} - U_{AB} = U_{CE} - U_{AB}$ , 传感器输出的电压为斗质量信号  $U_{x0}$ 。根据平衡条件有:

$$U_F = U_{x0} - U_{DA} = U_{x0} - U_{CB} + U_{AB} = 0$$

$$U_{CB} = U_{AB} + U_{x0}$$

或 
$$I_1(R_6 + r_6) = I_2(R_2 + R_1) + U_{x0} \quad (6-2)$$

式(6-2)中上支路电流  $I_1$  及下支路电流  $I_2$  都是设计定的。可见,电阻  $(R_6 + r_6)$  和  $(R_1 + R_2)$  与电子秤的起始质量(斗质量)有关,故称为起始电阻。 $r_6$  是供微调用的电阻。

图 6-22 称量单元实际电路

### 3. 滑线电阻盘 $W_8$ 、 $W_8$ 和称量范围电阻 $(R_5 + r_5)$

滑线电阻盘  $W_8$  和  $W_8$  用锰铜丝绕在两个同心的圆环形芯子上,成为盘式结构。滑点 D 是一个银珠,由可逆电机带动它在  $W_8$  和  $W_8$  之间滚动。银珠和锰铜丝接触时会产生接触电势,影响测量的精度。为此,采用两个滑线电阻,使两个接触电势反极性串联,互相抵消。

滑线电阻盘和银珠应定期用小毛刷和航空汽油洗刷。如表面氧化严重,可用 00 号砂纸均匀地往复擦去氧化物,再清洗干净。不及时清洗会使电子秤的灵敏度下降,读数不稳定。

滑点 D 滑到最左端时,指针为零;反之,滑向最右端时,指净质量上限值。可见  $W_8$  的阻值决定了电子秤的称量范围,称量范围不同的电子秤就要制造阻值不同的滑线电阻盘。但是,由于它的限值不大,精度要求高,结构尺寸要求相同,制造工艺困难,因此,厂家只制造一种规格的滑线电阻盘,并且用一个固定电阻  $R_B$  与  $W_8$  并联,使其等效电阻精确地成为同一规格。为了满足不同的电子秤的要求,就再并联一个电阻  $(R_5 + r_5)$ ,使  $W_8$ 、 $R_B$  和  $(R_5 + r_5)$  三者的并联等效电阻适合不同的称量范围,故称  $(R_5 + r_5)$  为称量范围电阻。 $r_5$  是供微调用的。

### 4. 上支路限流电阻 $R_4$

反馈桥路的定压电源  $WY_4$  为 1V。上支路的其它电阻选定之后,用  $R_4$  把  $I_1$  限定为 4mA,故称  $R_4$  为上支路限流电阻。

### 5. 下支路限流电阻 $R_3$

同理, $R_1$  和  $R_2$  选定之后,用  $R_3$  把  $I_2$  限定为 2mA,故称  $R_3$  为下支路限流电阻。

#### 6. 内调零电位器 $W_9$

内调零电位器在现场不使用,在实验室调试电子秤时将  $W_9$  临时接入电路,使  $W_9$  与  $R_1$  并联,把下支路的输出点 A 改为  $W_9$  的滑点 A。这样,只要改变滑点 A 的位置,即使不接传感器 ( $U_x = 0$ ),反馈桥路本身也可以向放大器输出一个信号。

$$U_F = U_x - U_{DA} = U_{AB} - U_{CB} - U_{DC} \quad (6-3)$$

以便对电子秤进行调试。

#### 7. 外调零电位计 $W_6$

外调零电位计用来解决零点漂移问题。 $W_6$  接在 1 号传感器  $CG_1$  的电路中, $W_6$  的左半电阻以及  $R_8$  与工作臂  $r_a$  并联, $W_6$  的右半电阻以及  $R_{10}$  与补偿臂  $r_b$  并联。调节  $W_6$  的滑点可以改变工作臂和补偿臂并联等效电阻的大小,使一臂增大,另一臂减小,从而影响传感器桥路的平衡,相当于人为输入一个信号。因此,调节  $W_6$  可以使电子秤在空斗时指针回零。如果调零范围不够宽,可以减小  $R_9$  的阻值。

#### 8. 抗干扰滤波装置

电子秤放大器的灵敏度很高,干扰信号输入放大器会使秤的误差增大,指示不稳,灵敏度下降,甚至不能工作。按照干扰信号输入点的不同可分为端间干扰和对地干扰。

干扰信号加在放大器两输入端之间,叫做端间干扰(差模干扰)。它的主要来源是电动机、输电线、变压器和接触器等所产生的 50Hz 交变电磁场穿过传感器两根输入线之间而产生的感应电动势,以及通过分布电容而产生的静电感应。为了减小干扰信号,输入线应远离强磁场铁芯和强电流导线,并将两根输入线绞合起来,或者将输入线穿入接地的软铁管内屏蔽起来。

传感器的输出信号是直流电,干扰信号是 50Hz 交流电,因此,可以利用电容器的通交流、隔直流特性进行滤波。 $R_4$  和  $C_6$ 、 $R_5$  和  $C_7$ 、 $R_6$  和  $C_8$  是接在电子秤输入端的三级“L”形阻容滤波器。经过三级滤波后,干扰信号大约衰减 99%。

干扰信号加在某根输入线和地之间,叫做对地干扰(共模干扰),由传感器和输入线的对地漏电阻而引起。为了使这种干扰信号不进入放大器,在电子秤的输入端与地之间接一个旁路电容  $C_{10}$ ,使干扰信号经  $C_{10}$  入地。

### 四、给定单元的实际电路

图 6-23 是给定单元的实际电路。它与称量单元基本相同,不过输入信号不是来自传感器,而是人为给定的电压。产生给定电压各元件的作用说明如下:

#### 1. 给定电位计 $W_1 \sim W_5$

给定单元的输入信号就是给定电位计上面这部分电阻上的压降。调节给定电位计就可以使给定指针停留在调度单中所规定的质量处。5 个给定电位器可根据生产中常用的 5 种给配预先调妥并锁紧,供选择。

#### 2. 给配选择开关 91JK

它是一个 12 层 5 位波段开关(图中仅示出一层)。当需要改产另一种给配的混凝土时,只要拧动 91JK 就能把 12 台电子秤方便地一次变换好给配。

#### 3. 搅拌容量变换开关 92JK 和电阻 $R_{G1}$

92JK 是一个 12 层 4 位波段开关,拧动 92JK 可以在电阻  $R_{G1}$  上取出不同的电压送给电位计  $W_1 \sim W_5$ ,使 12 台电子秤的给定电压都按同一个比例改变,以达到改变搅拌容量的目的。本楼一台搅拌机一次最多可搅拌  $3m^3$  的混合料,这时送给  $W_1 \sim W_5$  的电压都为 1V。例如,当需

要把搅拌机容量变换为  $1.5\text{m}^3$  时, 只要把 92JK 拨到“ 1.5 ”的位置即可。这时, 加在 12 台电子秤的  $W_1 \sim W_5$  上的电压都降到原来的  $1/2(0.5\text{V})$ ,  $W_1 \sim W_5$  所输出的给定电压、给定指标的指示值、各种料所称的质量也都减小到原来的  $1/2$ 。利用 92JK 可以在  $3.0\text{m}^3$ 、 $2.5\text{m}^3$ 、 $2.0\text{m}^3$ 、 $1.5\text{m}^3$  的四种搅拌容量中方便地变换。

图 6-23 给定单元实际电路

## 五、电子秤的执行机构

图 6-24 是电子秤执行机构示意图。执行机构由给定和称量两个单元的可逆电机、滑线电阻盘和秤盘三个部分组成。

图 6-24 电子秤执行机构示意图

给定可逆电机  $ND_1$  通过齿轮减速箱带动滑线电阻盘  $W_7$  的滑点 D (背视)、一个装有舌簧

管  $JA_1$ 、 $JA_2$ 、 $JA_3$  和永久磁铁  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  的铝盘以及一根给定指针(黑色)。称量可逆电机  $ND_2$  通过齿轮减速箱带动  $W_8$  的滑点  $D$  (背视)、一组磁短路片  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  及一个凸轮和一根称量指针(红色)。给定指针和称量指针以及刻度盘安装在称量柜的面板上。指针、铝盘和磁短路片由套轴带动,绕同一中心轴线转动。

装有舌簧管和永久磁铁的铝盘与磁短路片互相之间配合得很合适。当达到粗称值时,  $F_2$  正好插入  $JA_2$  和  $M_2$  之间的缝隙,使  $JA_2$  的触点断开;当达到 100% 的质量时,即称量指针与给定指针重合时,  $F_3$  插入  $JA_3$  与  $M_3$  之间的缝隙,使  $JA_3$  的触点断开;当达到超称值时,  $F_1$  插入  $JA_1$  和  $M_1$  之间,使  $JA_1$  的触点断开。当称量指针回零时,  $ND_2$  带动凸轮使零位触点  $DC_0$  接通(它用于图 6-13 中)。

## 六、电子秤的输出电路

图 6-25 是电子秤的输出电路,图中只画出 1 号电子秤(水泥秤)的输出电路。12 台电子秤的电源都来自 614— 型交流电子稳压器。交流电子稳压器的电源来自钥匙开关  $2YK$ 。  $K_1$  是 1 号电子秤的电源开关,分四路送给电子秤的各部分: 传感器和给定稳压电源  $1WY_2$  和  $1WY_1$ ; 给定放大器  $1JF_1$ ; 称量放大器  $1JF_2$ ; 输出电路的电源变压器  $1B$ 。

$1Z_1$  和  $1Z_2$  是单相全波整流二极管。 $1C$  是滤波电容。 $1J_1$ 、 $1J_2$ 、 $1J_3$  是三个直流继电器,其触点以线圈通电时的位置画出。 $1J_1$  的触点就是超称触点  $1DC_z$ ;  $1J_2$  的触点是粗称触点  $1DC_c$ ;  $1J_3$  的触点是精称触点  $1DC_j$  (见图 6-9)。舌簧管  $1JA_1$ 、 $1JA_2$ 、 $1JA_3$  的触点以磁短路片未进入缝隙时的位置画出。也就是说,图中所画的状态是给定指针已指给定质量值,称量指针指零位的情况。

输出电路的动作过程如下:秤斗进料,  $ND_2$  带着  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  朝顺时针方向转动(见图 6-24),达到粗称值时  $F_2$  进入缝隙使  $1JA_2$  断开,  $1J_2$  释放,  $1DC_c$  动作;达到精称值时  $F_3$  进入缝隙使  $1JA_3$  断开,  $1J_3$  释放,  $1DC_j$  断开;因故达到超称值时  $F_1$  进入缝隙使  $1JA_1$  断开,  $1J_1$  释放,  $1DC_z$  动作,  $1J_{1-A}$  也断开。超称时,  $F_2$  或  $F_3$  已经离开缝隙,如果没有联锁触点  $1J_{1-A}$ ,那末  $1JA_2$  或  $1JA_3$  又接通,  $1J_2$  或  $1J_3$  又通电,  $1DC_c$  或  $1DC_j$  又复原,对于水泥秤又会使仓底门打开而更加超称(见图 6-9)。有了  $1J_{1-A}$  这副触点的联锁就不会出现上述现象。即使这样,这个电路仍不够完善。当水泥进料过猛,超称过快时,可能使  $F_1$  迅速离开缝隙。这时,电路恢复到开始称量的状态,仓底门持续打开,水泥进秤斗不止,只好断开  $K_1$  使称量停止。建议增加磁短路片的长度,使它不会过早离开缝隙。

图 6-25 电子秤的输出电路

## 第六节 水泥混凝土搅拌楼的可编程控制系统

前面我们介绍了混凝土搅拌楼的传统继电器接触式控制各工作部分的控制电路。由于这种控制形式具有控制电路繁杂、可靠性差、开发周期长、故障查寻困难、体积大等缺点,目前,已逐步被可编程控制器(PLC)和计算机控制所代替。PLC 通过软件来改变控制过程,具有体积小、组装灵活、编程简单、抗干扰能力强、可靠性高、开发周期短、接线简单、通用性强等优点,非常适合于在恶劣的工程环境下使用,故自 60 年代末第一台 PLC 问世以来,已很快被应用到机械制造、冶金、矿业、轻工等各个领域,大大推进了机电一体化的进程。

本节在简单介绍 PLC 基本原理的基础上,介绍它在水泥混凝土搅拌楼控制系统中的应用。

### 一、PLC 的基本结构

PLC 的基本组成如图 6-26 所示。

由图 2-26 中可以看出,PLC 采用了典型的计算机结构,主要包括 CPU、RAM、ROM 和输入、输出接口电路等。其内部采用总线结构,进行数据和指令的传输。如果把 PLC 看作一个系统,该系统由输入变量、PLC、输出变量组成。外部的各种开关信号、模拟信号、传感器检测的各种信号均作为 PLC 的输入变量,它们经 PLC 外部输入端子输入到内部寄存器中,经 PLC 内部逻辑运算或其它各种运算、处理后送到输出端子,它们是 PLC 的输出变量。由这些输出变量对外围设备进行各种控制。这里可以将 PLC 看作一个中间处理器或变换器,可将输入变量变换为输出变量。

图 6-26 PLC 的组成原理图

a)PLC 结构示意图;b)PLC 逻辑结构示意图

下面具体介绍各部分的作用。

#### 1. CPU

CPU 是中央处理器(Centre Processing Unit)的英文缩写。它作为整个 PLC 的核心,起着总指挥的作用。它主要完成以下功能:

(1)将输入信号送入 PLC 中存储起来。

- (2)按存放的先后顺序取出用户指令,进行编译。
- (3)完成用户指令规定的各种操作。
- (4)将结果送到输出端。
- (5)响应各种外围设备(如编程器、打印机等)的请求。

目前 PLC 中所用的 CPU 多为单片机,在高档机中现已采用 16 位,甚至 32 位 CPU,功能极强。

## 2. 存储器

PLC 内部存储器有两类:一类是 RAM(即随机存取存储器),可以随时由 CPU 对它进行读出、写入;另一类是 ROM(即只读存储器),CPU 只能从中读取而不能写入数据。RAM 主要用来存放各种暂存的数据、中间结果及用户正在调试的程序;ROM 主要存放监控程序及用户已调试好的程序,这些程序都事先烧在 ROM 芯片中,开机后便可运行其中程序。

## 3. 输入、输出接口电路

它起着 PLC 和外围设备之间传递信息的作用。为了保证 PLC 可靠工作,设计者在 PLC 的接口电路上采取了不少措施。常用接口电路的结构如图 6-27 所示。由图 6-27 可见,这些接口电路有以下特点:

图 6-27 PLC 常用输入、输出接口电路

a)直流输入;b)继电器输出;c)晶闸管输出;d)晶体管输出

(1)输入采用光电耦合电路,可大大减少电磁干扰。

(2)输出也采用光电隔离并有三种方式,即继电器、晶体管和晶闸管。这使得 PLC 可以适合各种用户的不同要求。如低速大功率负载一般采用继电器输出;高速大功率则采用晶闸管输出;高速小功率可用晶体管输出等等。而且有些输出电路做成模块式,可插拔,更换起来十分方便。

除了上面介绍的这几个主要部分外,PLC 上还配有和各种外围设备的接口,均用插座引

出到外壳上,可配接编程器、打印机、录音机以及 A/D、D/A、串行通信模块等,可以十分方便地用电缆进行连接。

## 二、PLC 的工作原理

PLC 虽具有微机的许多特点,但它的工作方式却与微机有很大的不同。微机一般采用等待命令的工作方式,如常见的键盘扫描方式或 I/O 扫描方式,有键按下或 I/O 动作,则转入相应的子程序,无键按下,则继续扫描。PLC 则采用循环扫描工作方式。在 PLC 中,用户程序按先后顺序存放,如图 6-28 所示。

CPU 从第一条指令开始执行程序,直至遇到结束符后又返回第一条。如此周而复始不断循环。每一个循环称为一个扫描周期。一个扫描周期大致可分为 I/O 刷新和执行指令两个阶段,如图 6-29 所示。

所谓 I/O 刷新即对 PLC 的输入进行一次读取,将输入端各变量的状态重新读入 PLC 中存入内部寄存器,同时将新的运算结果送到输出端。这实际是将存放输入、输出状态的寄存器内容进行了一次更新,故称为“ I(输入)/O(输出)刷新”。

由此可见,若输入变量在 I/O 刷新期间状态发生变化,则本次扫描期间输出端也会相应地发生变化,或者说输出对输入产生了响应。反之,若在本次 I/O 刷新之后,输入变量才发生变化,则本次扫描输出不变,即不响应,而要到下一次扫描期间,输出才会产生响应。由于 PLC 采用循环扫描的工作方式,所以它的输出对输入的响应速度要受扫描周期的影响。扫描周期的长短主要取决于以下几个因素:一是 CPU 执行指令的速度;二是每条指令占用的时间;三是指令条数的多少,即程序的长短。

图 6-28

图 6-29

对于慢速控制系统,响应速度常常不是主要的,故这种工作方式不但没有坏处反而可以增强系统抗干扰能力。因为干扰常是脉冲式的、短时的,而由于系统响应较慢,常常要几个扫描周期才响应一次,而多次扫描后,瞬间干扰所引起的误动作将会大大减少,故增加了抗干扰能力。

但对控制时间要求较严格,响应速度要求较快的系统,这一问题就必须慎重考虑。应对响应时间做出精确的计算,精心编排程序,合理安排指令的顺序,以尽可能减少扫描周期造成的响应延时等不良影响。

总之,采用循环扫描的工作方式,是 PLC 区别于微机和其他控制设备的最大特点,使用者应充分注意。

## 三、混凝土搅拌楼的 PLC 控制系统

图 6-30 所示为混凝土搅拌楼的 PLC 控制系统原理图。该系统主要包括四个配料称量控

制器 CB920、单片机控制主板 CB3500、PLC 控制器及其与之适配的输出电路。

开始工作前,先从 CB3500 主控板的键盘输入该次生产混凝土料的配方等有关数据。当有关数据输入完成并按启动按钮时, CB3500 向 PLC 发出启动命令, PLC 开始工作。PLC 首先分别开启 1、2、3、4 号骨料储料仓斗底门,使四种骨料依次在 D 电子秤斗中进行累计称量。先放 1 号骨料,当 1 号骨料达到配方要求值时, CB920 发出信号并输入 PLC 中, PLC 输出信号关闭 1 号骨料仓斗底门,停止 1 号骨料的称量,同时开始 2 号骨料的放料称量。当称斗中料质量减去 1 号骨料配方质量所得之值即 2 号骨料的净质量,此值达到配方要求时,停止 2 号骨料的称量,同时开始下一种料的称量。依次类推,直到称完所有的四种骨料。在骨料称量的同时, PLC 也给水泥称量斗 C、水称量斗 B、添加剂称量斗 A 放料,进行这些料的称量。当各种料的质量达到配方设定值时,关闭对应的放料门,停止该种料的称量。在所有的料均已完成一次称量后,结束配料称量过程,进入放料搅拌过程。

图 6-30 混凝土搅拌楼 PLC 控制系统原理图

在放料搅拌过程中,称量好的料分三批依次放入搅拌器中进行搅拌,达到搅拌时间设定值时, PLC 发出信号关掉搅拌机,并开始卸搅拌好的成品料。卸完成品料即完成一个工作循环, PLC 自动地又从程序的开始进行下一个工作循环,如此一直重复下去,直到关机。

在骨料储料仓底部装有湿度测量传感器,湿度传感器检测出骨料的湿度,并将此信号输入 CB3500 主控板。CB3500 把湿度信号与配方中水的质量进行相应的运算,去掉多余的水份,使在骨料含水量变化的情况下,混合料中水的含量严格符合配方的要求。

配料控制器 CB920 不仅可以把被称料的质量与配方要求的量进行比较,输出开关信号给 PLC,还具有数字显示料质量和自动去皮功能。

CB3500 可以记忆各种物料的消耗量、每日生产量、每月物料消耗量及所用配方,并可通过打印机打印出各种报表。

# 第七章 沥青混凝土搅拌设备 电气控制系统

## 第一节 沥青混凝土搅拌设备简介

沥青混凝土就是不同粒度的碎(砾)石、砂子和石粉等矿料中加入沥青,经过搅拌而成的沥青混合料。碎(砾)石是沥青混合料的骨架,统称为骨料。砂子用来增加矿料与沥青的粘结面积。石粉作为填充料与沥青共同形成一种糊状粘结物,填充于骨料之间,以增加砂石料的粘结强度,从而提高沥青混凝土的强度。生产沥青混凝土的机械设备统称为沥青混凝土搅拌设备。

通常,沥青必须被加热到 140~160 的工作温度才能保证有足够的流动性,骨料也须烘干并加热到 160~200 的温度,才能保证被沥青很好的裹覆和粘结在一起。此外,还要根据沥青混合料的用途确定材料的级配与沥青粘结剂的配合比例。最后,拌和好的沥青混合料应具有 140~160 的工作温度(视当地施工时的气温及运输距离而定)和精确的配比,才能保证摊铺作业时,沥青混合料具有良好和易性与均匀性。

传统的沥青混凝土搅拌设备分为连续式和间歇式两种,两者的组成部分基本相似,只是搅拌器的结构以及石粉与沥青的供给形式有所区别。本章以传统间歇式沥青混凝土搅拌设备为例进行介绍。图 7-1 为其结构原理示意图。它由:冷骨料的定量供给和输送装置、石粉供给装置、沥青供给装置、干燥滚筒、热骨料提升装置、热骨料称量装置、搅拌器、除尘装置等主要部分组成。

图 7-1 传统间歇式沥青混凝土搅拌设备基本结构示意图

1-冷骨料定量供给装置;2-冷骨料输送机;3-干燥滚筒;4-热骨料提升机;5-热骨料筛分机和热骨料储斗;6-热骨料计量装置;7-石粉储仓和定量供给装置;8-沥青保温罐和定量供给装置;9-搅拌器;10-混合料成品储仓;11-除尘装置

沥青混凝土搅拌设备的工艺流程如下:

(1) 不同规格的冷砂石料分别储入各自的料斗 冷骨料定量供给装置对各料按容积进行粗配 冷骨料输送机 2 传输 干燥滚筒 3 烘干加热(喷燃器的火焰逆流烘干加热到足够温度) 热骨料提升机 4 转输 热骨料筛分机 5 筛分 热骨料储入各自的临时料斗(以上过程为

连续进行) 热骨料计量装置 6 精确称量 搅拌器 9 搅拌;

(2)石粉 石粉储仓 7 石粉称量装置 搅拌器 9 搅拌;

(3)沥青(流体) 沥青保温罐 8 沥青称量装置 搅拌器 9 搅拌;

搅拌好的混合料成品 直接运往工地或由成品料斗送入混合料成品储仓 10。

(4)干燥滚筒 3 与热骨料筛分机等所产生的粉尘 除尘装置 11 将粉尘分离出来 石粉定量给料装置 7 回收再用。

为了保证沥青混凝土搅拌设备按要求的工艺流程运行及得到高质量的沥青混凝土拌和料,无论搅拌设备的结构形式如何,都采用了电子监测和自动控制系统。有由多台电子秤组成的称量系统实现骨料、石粉和沥青等成分的精确配比;干燥滚筒出料温度的自控系统;沥青加热的导热油自控系统等。控制形式有继电器控制式、程序控制式、可编程控制器(PLC)式、单片机和微机控制型式及几种控制型式并存的混合控制型式。

对于沥青导热油自控系统,由于它独立于搅拌设备之外,自成系统,所以本章不作介绍。对称量系统的电子秤已在第六章中介绍过,这里也不再赘述。

## 第二节 温度控制系统

在生产沥青混凝土混合料时,必须要把骨料烘干并加热到所需要的工作温度,这个工作由燃烧器来完成。

目前在干燥滚筒上所用的燃烧器大多为喷气式,简称喷燃器。其特点:自动调节燃油、空气比率,燃烧火焰稳定、可调;电点火可在控制室内进行遥控点火;具有火焰监测系统和鼓风监测系统,能随时了解燃烧器的燃烧状态。

喷燃器的温度自动控制系统图如图 7-2 所示。它由温度和状态检测装置、控制器和燃油空气比率控制系统等部分组成。

控制器根据检测信号驱动步进电机,燃油空气比例控制系统由步进电机带动四连杆机构,使燃油和空气按固定比例平稳增减,从而调节出料温度。根据控制器的不同可分传统温度自动控制系统和单片机温度自动控制系统。

图 7-2 英国 Parker 公司生产的滚筒式沥青混凝土搅拌设备喷燃器的温度自动控制系统图

1-含水量探头;2-测温计;3-记录显示器;4-控制器或微机;5-烟气测温器;6-烟气分析仪;7-出料含水量探头;8-出料测温器;9-燃油供给压力计;10-回油压力计;11-燃油泵;12-空气流量计

喷燃器的温度自动控制系统包括燃烧器的点火控制和燃烧器的火焰调节(即出料温度控制)两部分内容。

## 一、传统温度自动控制系统

### 1. 燃烧器点火控制的步进程序控制原理

程序控制器是 70 年代发展起来的一门控制技术。它可以按照预先设定的动作顺序,一步一步地进行工作。每当一程序步动作完成以后,就发出动作完成的现场检测信号并反馈回来,使燃烧器进入下一程序步的动作状态。整个程序运行有条不紊。当某一程序出现错误时,能显示出错误所在的位置,并发出报警信号,且使程序自动返回到“待命”的初始状态。

步进式程序控制器主要由输入、输出继电器,输入、输出矩阵,联锁矩阵以及步进器等组成。其结构原理图如图 7-3 所示。

图 7-3 程序控制器结构原理图

步进器就是程序计数器,它记录保存现行程序的位置,根据现场反馈信号或条件判断信号,并决定下一步该进入哪一个程序状态。当进入某一程序步时,输出矩阵使该步程序所对应的输出继电器动作,其执行部件执行设定的操作(如打开点火变压器等)。当这一动作完成时,现场检测信号被反馈入输入矩阵,使程序自动步进。如在某一程序步时,当满足了一定的条件,程序跳跃到另外任何一步程序;而当条件不满足时,程序顺序地进入其后的一步程序。这个功能是由条件判断和步进器来共同完成的。

燃烧器整个控制过程的流程如图 7-4 所示。

当点火过程完成时,燃烧器处于燃烧状态。这时系统进入骨料烘干温度自动控制系统。这便是燃烧器的正常工作状态。这种状态将延续到当有关机信号输入时,系统自动进入关闭点火系统状态,然后结束。

当点火不成功时,通过火焰检测器检测无火信号,系统自动再点火,当三次点火均不成功时,系统直接显示点火失败,并关掉点火系统,然后结束。

### 2. 燃烧器点火程序控制故障的检测

燃烧器要能准确可靠地工作,必须设立能够检测因部分零部件失常或损坏引起的程序紊

图 7-4 燃烧器控制过程流程图

乱和因执行部件失常或损坏而使程序进入程序“死区”的装置。否则,将会造成不必要的损失和事故。

### 1) 程序紊乱的检测

步进式程序控制器正常工作时, 只有一步的输出为“1”态, 即只有一步程序动作, 如果由于误操作或线路发生故障等原因, 可能出现两步以上为“1”态, 这使程序控制器程序紊乱而不能正常工作。

本系统采用多“1”检测器能及时准确地检测出程序的紊乱, 并迅速报警, 使程序关掉已开启的点火部件而回到等待状态。

### 2) 程序止步的检测

步进式程序控制器在正常工作时, 程序一步接一步的运行。当某一执行部件或反馈部件发生故障时, 使程序止步而进入“死区”。如不采取措施, 程序将无休止地处于该状态, 不能完成预定的任务, 造成液化气或油等的浪费。

本系统采用了止步检测装置。它是将某一程序步的输出信号与预定的时间信号发生器进行比较, 当该程序步信号持续时间超过预定时间值时就报警, 并关闭已开启的点火部件而使系统回到等待状态。

由于本系统采用了出错检测装置, 以及在逻辑运算上采用了高抗干扰的 HTL 和 CMOS 逻辑电路, 因此, 系统具有强的抗干扰能力和准确、稳定、可靠的工作特性。

### 3. 自动调温系统

根据沥青混凝土拌和料的质量要求, 假设间歇式拌和设备烘干筒出料口的料温为 170℃, 并且这个恒定温度值应根据环境温度变化和用料场所的远近不同有所选择。为此, 本方案采用了恒温可调的自动调温系统。

本系统可选用热电耦或红外测温仪作为温度检测装置。

系统的组成原理框图如图 7-5 所示。

图 7-5 自动调温系统方框图

#### 1) 工作原理

标准电压源的电压作为温度目标值, 它可以在较小的范围内连续可调。这就实现了恒温的可调性。

温度检测所得到的信号反馈到输入端, 与温度目标值电压进行比较, 所得的差值电压经比例积分调节器(PI)调节, 再经 A/D 转换器转变为数字量, 这个数字量再经脉冲插补器得到一串数目与 A/D 输出数码相等的脉冲串信号去驱动步进电机的绕组, 使其步进旋转。当料温低于目标值时, 差值信号大于零, 极性判别将使步进电机正向旋转, 推动风门和油门增大。使燃烧

火焰增强,料温升高。当料温高于温度目标值时,极性判别将使步进电机反向旋转,风门和油门减小,火焰减弱,温度降低。这样多次反复,直至料温等于温度目标值时,差值信号为零,温度才恒定下来。

在实际中,烘干筒进料口料温随时间有微小变化,出料口料温也将随时间有微小变化。那么,自动调温系统在正常工作时将一直处于微调温的动平衡状态。

PI 调节器是用来消除系统的稳态误差的。

## 2) 系统的过渡过程

在调温系统处于刚刚开始工作的这个过渡过程时,因温度检测得到的反馈信号很小,A/D 转换的输出就很大:调温的幅度也就很大,使风量和油量突然增加很大,这可能损坏步进电机的连接杆机构和吹灭已燃之弱火。为避免这些现象,系统在开始调温时采用了一到四步的可变步数(步数根据初温范围决定)的快速调温方式,并使每步快调温升限制为  $31^{\circ}\text{C}$ 。当快调温完成后(时间小于  $80\text{ms}$ ,这主要由采样周期决定),料温已达  $155\sim 186^{\circ}\text{C}$ 。这时,由于温度检测装置的响应时间较长,它还没有响应料温的变化,使反馈信号仍然很小,差值信号也就很大。如果继续采用快调温,则料温会升得很高,这样会加长调温过渡过程的时间,浪费燃料。所以,本系统在快调温使料温达  $155\sim 186^{\circ}\text{C}$  后,采用了长时间脉冲信号驱动的慢调温状态,以等待检测系统的响应,系统在完成这个过渡过程后,就进入微量慢调温的动平衡状态,这就是系统的正常工作状态。

完成上述功能的部件就是系统框图 7-5 中的初温判别、快调步选、脉冲选择、计数器及时钟。

本系统的过渡过程时间小于或等于  $80\text{ms}$ ,使料温从开始调节到  $170\pm 2^{\circ}\text{C}$  时所需的时间主要取决于温度检测装置的响应时间。若采用热电耦作为温度传感器,则料温升到  $170\pm 2^{\circ}\text{C}$  时所需的时间大约为几十秒;若采用红外温度检测,虽造价高,但这个时间可提高到几百毫秒。

## 二、单片机温度自动控制系统

由于砂石料的储存设施为露天堆料场,其含水量的变化范围较大,而沥青混凝土搅拌设备对出料温度的稳定性要求较高,所以对温度自动控制系统就提出了更高的要求,不但要求其有快速的响应特性,而且要求出料温度恒温稳定,用传统的温控系统就很难完成。所以从 80 年代初开始,各搅拌设备生产厂家对其设备的温控基本上都采用了单片机或微机温度自动控制系统。

图 7-6 所示为单片机温度自动控制系统框图。

该系统由红外温度测量单元、热电阻温度计、燃烧流量计、风油门控制器(图 7-6 中简称风油器)、火焰探测器和 8098 单片机组成。

热电阻温度计和红外温度测量单元测量烘干滚筒出料口处的料温,尾气温度计测量排烟道处的温度,这些温度信号经过一定的运算处理,得到温度调节信号,根据温度目标信号与温度调节信号之间的差异,决定风油门开度的变化,从而及时改变搅拌设备出料口的料温,使之恒定。

燃烧器的温控过程流程图,如图 7-7 所示。

燃烧器的点火控制过程流程,前面已经给出。

图 7-6 单片机温度自动控制系统框图

图 7-7 温控过程流程图

### 第三节 骨料供给控制系统

骨料供给系统用于对所需各种规格的砂石料进行定容配给,以便把不同规格的砂石料按一定的比例供给干燥滚筒,使再筛分后各热骨料储仓的储料得到平衡。所以,它对混合料成品质量的影响很大,初次配比应力求尽可能准确。

冷骨料计量供给系统是连续作业式的,它由料斗、可调速的皮带给料器、电磁振动给料器和皮带输送机等组成。图 7-8 为骨料供给系统结构原理示意图。它是由皮带给料器 3 和电磁振

图 7-8 骨料供给系统结构原理示意图

1-料斗; 2-电磁振动给料器; 3-皮带给料器; 4-集料皮带机; 5-倾斜皮带机

动给料器 2 按一定比例(粗级配)将料喂送到集料皮带机 4 上,再由集料皮带机输送到倾斜皮带机 5 上,倾斜皮带机把料送入烘干滚筒。在储料仓仓壁上装了一个电磁振动给料器,通过开动振动器来帮助将粘料和结料顺利卸出。皮带给料器由直流调速电机拖动,直流调速电机的速度决定着骨料粗级配。调速电机速度的稳定性直接影响着骨料粗级配的精度,图 7-9 为皮带给

图 7-9 皮带给料器直流电机调速控制系统电路图

料器直流电机调速控制系统电路图。四种骨料的皮带给料器直流电机调速控制系统电路图完全相同。

给料量(即直流电机的速度定给)的大小由速度给定电位器 W1 来调节。直流电机中的测速发电机的速度反馈信号从 13、14 端输入,它与速度给定信号在由运算放大器 IC1 组成的减法器中进行相减,得到差值信号。该差值信号经放大,通过脉冲变压器 B<sub>2</sub> 产生可控硅 CS1、CS2 的触发信号。可控硅 CS1、CS2 与 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 组成单相半波可控硅整流电路。差值信号越大,触发信号的控制角越小,可控硅整流电路的输出电压就越大,直流电机 M 转速就越快;反之,差值信号越小,直流电机 M 转速就越慢。差值信号为负时,说明电机因某些干扰因素或调速过快,而超过了速度给定信号,直流电机就减速至电机转速与速度给定信号等量时,差值信号为零,可控硅整流电路的输出电压就稳定在该值上,使电机恒速运转。

可控硅整流电路的输出电压,也即加在直流电机电枢绕组的电压的范围为 0~300V。

## 第四节 热骨料称量控制系统

粗级配的冷骨料经烘干滚筒加热后,由提升机输送于振动筛,振动筛将热骨料混合料筛分为不同粒径的四种料,分别储存在各自的热料仓中(1~4号仓)。热料仓底部各有一个放料弧门,由气缸控制其关闭。四个料仓的骨料依次放入称量斗中进行称量,称量完毕后放料门将骨料分两次放入搅拌机中,如图 7-10 所示。

称量斗中有块隔板,一边放石料,一边放砂料,放料时先放石料,后放砂料。放料门由两个对接的气缸控制,当一气缸杆伸出时,放料门开至一半,石料放出;当另外一个气缸杆也伸出时,放料门完全打开,砂料放出。

热骨料称量采用四只 1t 的传感器并联使用。四种热骨料依次在称斗中进行累计称量,因此,第一次称量时,表头上的读数为第一种料的质量;第二次称量时,表头上的读数为第一种料和第二种料的合计质量;其余类推。

继电器控制在第六章已做了仔细地介绍,在本章中,重点介绍单片计算机控制系统。

图 7-10 骨料称量系统结构示意图

图 7-11 为单片机热骨料称量控制系统原理框图。它由 8098 单片计算机、四只称量传感器及其放大器、四只料位探测器及其适调放大器、四路开关量输出驱动放大器及其控制元件组成。图 7-12 为热骨料称量控制系统工作流程图。

图 7-11 单片机热骨料称量控制系统框图

图 7-12 热骨料称量控制系统流程图

## 第五节 沥青、粉料称量和搅拌工序控制系统

沥青称量时,沥青通过两个沥青注入阀注入沥青称量斗。当沥青称量开始时,1号沥青注入阀工作,由于1号沥青注入阀比2号沥青注入阀的通路要大得多,所以,沥青称量开始时,沥青快速注入沥青称量斗,此称为沥青的粗称。当称量斗内沥青质量达到设定值的85%时,1号沥青注入阀关闭,2号沥青注入阀打开,沥青缓慢注入称量斗,此即为沥青的精称。当沥青的质量达到设定值时,关闭2号沥青注入阀,停止沥青的注入,完成一次沥青称量。采用沥青粗称和精称的目的是在保证沥青称量的速度的前提下,尽可能避免沥青超称。

当骨料称量斗放料门第二个动作开始的同时,即开始放砂料的同时,称量斗内称量好的沥青通过沥青计量仓排料阀被放入搅拌器内,进行拌和。

图7-13示出了沥青称量控制系统流程图。

粉料的供给是通过一个连锁控制的粉料螺旋给料机和粉料注入仓门提供的。当开始粉料

图 7-14 沥青、粉料称量和搅拌工序控制系统框图

称量时,粉料螺旋输送电机启动,螺旋开始转动,通过同时开启的粉料注入仓门将粉料送入粉料称量斗。称量斗称量仓斗内粉料质量,当粉料质量达到预先设定的要求值时,螺旋输送机和粉料注入仓门同时关闭,停止向粉料称量斗里送粉,完成一次粉料称量,等待卸料。当粉料称量斗门控制电磁阀动作时,使粉料称量斗门控制气缸工作,打开粉料称量斗门,向搅拌器内放粉料。

沥青、粉料称量和搅拌工序的单片机控制系统框图如图 7-14 所示。其中粉料和沥青的称量均由三只称量传感器及其适配放大器并联称量,它们分别通过模数转换器(A/D)输入 8098 单片计算机。

图 7-15 示出搅拌工序控制流程图。

图 7-15 搅拌工序控制流程图

## 第六节 提升机控制系统

在沥青混凝土搅拌设备的生产过程中,由于搅拌设备与运输车辆及摊铺设备之间的生产很难协调,所以,拌和好的成品料首先储存在有较好的保温和预防氧化措施等条件的大型成品料仓中。

成品料从搅拌器到成品料仓的运输是由沿导轨提升的运料车组成的提升机来完成的。料车由卷扬机来拖动。成品料仓通常有三个。第一、二两个成品料仓顶部各有一只料位计,当仓内料满时,料位计的常开接点闭合,使成品料运往另外一个成品料仓。

搅拌器下、三个成品料仓附近都有一个预定位点和一个定位点的位置开关,当料车运行到达预定位点时,预定位点位置开关接通,料车开始减速运行;当料车到达定位点时,料车卷扬机被准确地制动在定位点上。

提升机单片机控制系统框图如图 7-16 所示。图 7-17 所示为提升机单片机控制系统工作流程图。

图 7-16 提升机系统框图

图 7-17 提升机工作流程图

## 参 考 文 献

1. 焦生杰 . 筑路机械电子技术 . 西安: 西安公路交通大学, 1992.
2. 周守仁 . 自动变速箱 . 北京: 中国铁道出版社, 1990.
3. 金君恒 . 大型工程机械电路 . 北京: 水利水电出版社, 1989.
4. 徐元昌 . 机械电子技术 . 上海: 同济大学出版社, 1989.
5. 倪寿璋 . 黑色路面成套机械与设备 . 北京: 人民交通出版社, 1985.
6. 天津工程机械研究所 . 沥青混凝土摊铺机电控系统 . 天津: 工程机械, 1990. 12.
7. 汪晓光 . 可编程控制器原理及应用 . 北京: 机械工业出版社, 1994.
8. 冯凯 . 工程测试技术 . 西安: 西北工业大学出版社, 1997.