

# 混凝土配合比设计手册

● 李立权 编

第三版

华南理工大学出版社

# 混凝土配合比 设计手册

李立权 编

华南理工大学出版社

·广州·

图书在版编目(CIP)数据

混凝土配合比设计手册/李立权编.—3版.—广州:华南理工大学出版社,2002.1

ISBN 7-5623-1349-0

I.混... II.李... III.混凝土-配合比 IV.TU528

总发行:华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学17号楼,邮编510640)

发行电话:020-87113487 87111048(传真)

E-mail:[scut202@scut.edu.cn](mailto:scut202@scut.edu.cn)

<http://www2.scut.edu.cn/press>

责任编辑:王魁葵

印刷者:中山市新华印刷厂有限公司

开本:850×1168 1/32 印张:6.125 字数:153千

版次:2002年1月第3版第4次印刷

印数:15001—20000册

定价:15.00元

版权所有 盗版必究

## 第 三 版 前 言

我国加入世贸组织后，水泥质量与强度检测标准也相应与国际通用法接轨。国家质量技术监督局决定废止原仿照前苏联的《水泥胶砂强度检验方法》，改用《水泥胶砂强度检验方法》(ISO法)。同时把水泥强度的术语“标号”改称“强度等级”。直接、完全地与国际接轨。

这一更改，除了便于我国水泥行业走进国际市场外（我国是水泥生产大国，年产量为世界第一），也为我国混凝土工业走向世界开出新路。

我国原颁布的《混凝土配合比设计规程》也经国家建设部批准更新。本书第三版就是根据我国于2001年4月开始实施的新规程重新编写的。但由于时间仓促，修订面大，又增添了一些新的工艺理论，虽然力求完美，但恐仍有错漏。敬请读者不吝指正。谢谢！

编 者

2001年10月

## 再 版 前 言

本书承读者厚爱，第一版两次印刷已告售罄。由于混凝土技术的发展，为满足读者需要，现增补“道路混凝土”及“高性能混凝土”两节约1万字，及对第一版印刷的个别错漏予以更正。作为第二版奉献给读者，并希指正。

编 者

2000年3月

# 前 言

混凝土配合比设计是混凝土生产的第一工序，也是关键工序。本书是根据我国新颁布的《JGJ/T55—96 普通混凝土配合比设计规程》以及其他与混凝土有关的标准、规程编写的。它以普通混凝土配合比为主，以部分常用特种混凝土配合比为辅，专门介绍了混凝土配合比的设计方法；并采纳我国各地成熟的理论和经验以及新的方法，阐述了混凝土配合比设计的基本理论、设计程序、材料选用、计算公式和各种基本参数；介绍普通混凝土配合比设计 648 例；特种混凝土设计方法 11 种。本书在编写中力求简明扼要，注重应用，适合我国土建施工人员、混凝土工长及技工使用，亦可作土建技术人员和土建专业师生参考之用。

本书由广东省老科技工作协会土建组审阅并提出许多宝贵意见，在此谨表谢意。

编 者

1998 年 9 月

# 目 录

1	概述 .....	(1)
1.1	混凝土简史 .....	(1)
1.2	混凝土配合比设计工作的内容 .....	(2)
1.3	设计前的准备工作 .....	(2)
1.4	新规程主要修订的内容 .....	(3)
1.5	本次改版的主要内容 .....	(3)
2	材料 .....	(5)
2.1	水泥 .....	(5)
2.2	骨料 .....	(8)
2.3	水.....	(15)
2.4	外加剂.....	(16)
2.5	掺合料.....	(25)
3	普通混凝土配合比设计.....	(28)
3.1	设计要领.....	(28)
3.2	设计流程.....	(28)
3.3	设计参数及运算.....	(30)
3.4	综合例题.....	(48)
3.5	试配、调整及确定.....	(53)
3.6	混凝土强度的早期推定.....	(60)
3.7	普通混凝土配合比参考表.....	(62)
4	掺第五、第六组分配合比设计.....	(95)
4.1	掺外加剂混凝土.....	(95)

## 目 录

---

---

4.2 掺粉煤灰混凝土配合比设计 .....	(112)
5 特种混凝土配合比设计 .....	(118)
5.1 高强混凝土 .....	(118)
5.2 泵送混凝土 .....	(121)
5.3 抗渗混凝土 .....	(124)
5.4 抗冻混凝土 .....	(132)
5.5 大体积混凝土 .....	(134)
5.6 路面混凝土 .....	(139)
5.7 高性能混凝土 .....	(147)
5.8 钢纤维混凝土 .....	(156)
5.9 离心成型混凝土 .....	(162)
5.10 轻骨料混凝土.....	(168)
附录.....	(182)
参考文献.....	(185)

# 1 概述

## 1.1 混凝土简史

混凝土的起源，在我国最早可以追溯到 6000 年前的半坡遗址，是用泥结卵石作地基、地坪。在国外，公元前的科威特古国用粘土混凝土筑城墙。此后 5000 多年来，世界各国经历过石灰、石膏和火山灰等混凝土的历程。直至 1824 年英国人发明了波特兰水泥后，才走上了水泥混凝土的道路。

对混凝土的用料作配合比设计，始于 19 世纪末至 20 世纪初。由于钢筋混凝土用于结构工程上，与混凝土的强度有关，才开始配合比的研究。

从 20 世纪初到 20 世纪 30 年代，混凝土配合比设计有好几种理论，但以现用的、瑞士人保罗米于 1925 年发表的水灰比理论及其公式较为切合实际，各国虽因情况不同，略有改动，但其理论一直沿用至今。

混凝土从一开始就是几种材料的复合。在历史的各个阶段，其主要胶结料随着技术的发展有不同的复合。古埃及人用煨烧石膏作砂浆砌筑金字塔；古罗马人用火山灰加石灰制作混凝土建造了万神殿的承重墙和跨度 30 多米的圆拱屋顶；我国的万里长城有部分是用石灰、粘土和砂配成的细粒混凝土筑墙（夯土墙）。简单地说，混凝土的胶结料是由气硬性发展成为今天的水硬性胶结料。

现代混凝土随着材料科学的发展和混凝土用途的越发广泛，已到了跨行业、跨学科、互相渗透的非常广泛的领域。我国从 20 世纪中叶出现减水剂开始，此后又出现各种特性外加剂，它们是混凝土的第 5 个组分。与此同时，又出现粉煤灰、硅灰等等能够提高混凝土各种性能的掺合料，又成为混凝土的第 6 个组分。

## 1.2 混凝土配合比设计工作的内容

混凝土配合比设计为什么不叫混凝土配合比配合法或配合比算法呢？这是因为混凝土材料的配合是一个牵涉到各个方面的工作。大致有下述几点。

- 1) 要保证混凝土硬化后的结构强度和所要求的其他性能和耐久性；
- 2) 要满足施工工艺易于操作而又不遗留隐患的工作性；
- 3) 在符合上述两项要求下选用合适的材料和计算各种材料的用量；
- 4) 对上述设计的结果进行试配、调整，使之达到工程的要求；
- 5) 在达到上述要求的同时，设法降低成本。

## 1.3 设计前的准备工作

在配合比设计之前，混凝土配合比设计工作者要做好下列准备工作：

- 1) 掌握设计图纸对混凝土结构的全部要求，重点是各种强度和耐久性的要求；亦要了解结构件截面的大小、钢筋布置

的疏密；

2) 了解有哪些特殊性能的要求，便于决定所用水泥的品种和粗骨料粒径的大小；

3) 了解施工单位对混凝土工程的施工工艺，如输送、浇筑的措施，使用机械化的程度，主要是对工作性和凝结时间的要求，便于选用外加剂及其掺量；

4) 了解当地所能采购到的材料品种、质量和供应能力。

根据这些资料才能选用适当的设计参数，选用适当的材料，进行设计工作。

上述是在施工地点现场搅拌的情况下应考虑的问题。如作为商品混凝土的配合比设计，要向订货单位详细询问上述问题，并记入合同订货的“其他要求”内，认为能完成其特殊性能的设计，方可签订合同。

#### 1.4 新规程主要修订的内容

1) 修订了有关术语和符号；

2) 按新水泥标准的强度，重新试验、编制水灰比公式中的回归系数；

3) 与我国相关的规范、标准进行了协调和配套，也引进借鉴一些国际上的先进经验；

4) 采用快速测定强度，或用早期强度推出 28d 强度。

#### 1.5 本次改版的主要内容

第三版除保留第二版原有的可用的内容和根据新规程作了增改外，还作了如下的补充：

1) 因水泥强度等级和回归系数等有改动，原列举的 700 多例题全部更新了；

2) 由于外加剂和掺合料不断发展，在混凝土的组分中越发显示其重要性，故专门另立一章；

3) 重视例题的实用性，将原有配合比参考表例题的混凝土强度，由第二版的 C10~C40，更改为 C15~C55，按新规程作了更新；

4) 特种混凝土的内容也作了补充，例题也作了更新；

5) 便于对混凝土进行试配，对稠度检测的鉴别作了说明，对大流动性混凝土的检测工具也作了补充。

## 2 材料

### 2.1 水泥

水泥是经水化作用后在混凝土中起胶结作用的材料。

水泥品种繁多，除特殊工程所用的专用或特种水泥外，本手册所介绍的是用于工业与民用建筑的 5 种常用水泥。

这 5 种常用水泥的名称、代号、强度等级\* 及各龄期的强度要求，如表 2-1。使用时可视混凝土的配制强度按表 2-2 选用。

5 种常用水泥也各有特性（如表 2-3），选用时可根据工程项目的性质和要求，按表 2-4 选用。

[3][4]\* 表 2-1 土建工程常用 5 种水泥强度指标 (MPa)

标准号	水泥品种	代号	强度等级	抗压强度		抗折强度	
				3d	28d	3d	28d
GB 175 —1999	硅酸盐水泥	P. I	42.5	17.0	42.5	3.5	6.5
			42.5R	22.0	42.5	4.0	6.5
			52.5	23.0	52.5	4.0	7.0
		P. II	52.5R	27.0	52.5	5.0	7.0
			62.5	28.0	62.5	5.0	8.0
			62.5R	32.0	62.5	5.5	8.0

注：\* 旧标准对水泥的强度称为“水泥标号”，新标准改称“强度等级”。

\*\* 为便于读者查考，本书引用各表均在左上角用方括号注明引用资料的序号。未加注的则为编者参照有关标准或规程编制的。

续表 2-1

标准号	水泥品种	代号	强度等级	抗压强度		抗折强度	
				3d	28d	3d	28d
GB 175 —1999	普通水泥	P.0	32.5	11.0	32.5	2.5	5.5
			32.5R	16.0	32.5	3.5	5.5
			42.5	16.0	42.5	3.5	6.5
			42.5R	21.0	42.5	4.0	6.5
			52.5	22.0	52.5	4.0	7.0
			52.5R	26.0	52.5	5.0	7.0
GB 1344 —1999	矿渣硅酸盐水泥	P.S	32.5	10.0	32.5	2.5	5.5
			32.5R	15.0	32.5	3.5	5.5
	火山灰硅酸盐水泥	P.P	42.5	15.0	42.5	3.5	6.5
			42.5R	19.0	42.5	4.0	6.5
	粉煤灰硅酸盐水泥	P.F	52.5	21.0	52.5	4.0	7.0
			52.5R	23.0	52.5	4.5	7.0

注：①有 R 标志的为快硬水泥。

②硅酸盐水泥分为 P. I、P. II 两种代号，P. I 的不掺加混合材；P. II 的掺入不超过水泥质量 5% 的石灰石或粒化高炉矿渣混合材。

表 2-2 水泥强度等级的选择 (MPa)

混凝土强度等级 C	15~25	30~40	≥45
混凝土配制强度 $f_{cu,0}$	21.6~33.2	38.2~49.9	≥54.9
水泥强度等级 $f_{ce,g}$	32.5~42.5	42.5~52.5	52.5~62.5

表 2-3 5 种常用水泥的特性

		硅酸盐 水泥	普通 水泥	矿渣 水泥	火山灰 水泥	粉煤灰 水泥
密度 (g/cm <sup>3</sup> )		3.0~3.15	3.0~3.15	2.9~3.1	2.8~3.0	2.8~3.0
特	①硬化	快		慢	慢	慢
	②早期强度	高	高	低	低	低
	③水化热	高	高	低	低	低
	④抗冻性	好	好	较差	较差	较差
	⑤耐热性	较差	较差	好	较差	较差
	⑥耐磨性	较强	强			
性	⑦干缩性			较大	较大	较小
	⑧保水性			较好	较好	较好
	⑨耐硫酸盐类侵蚀		较差	较好	较好	较好
	⑩抗碳化能力					较好

表 2-4 对 5 种常用水泥的选用

项 目		硅酸盐 水 泥	普通 水泥	矿渣 水泥	火山灰 质水泥	粉煤灰 水 泥
环 境 条 件	在普通气候环境中的 混凝土		√√	√	√	√
	在干燥环境下的混 凝土		√√	√	×	×
	在高湿度环境中， 或永远处在水下的混 凝土			√√	√	√
	在严寒地区的露天 混凝土、寒冷地区的 经常处在水位升降范 围内的混凝土（强度 等级≥32.5）		√√	√	×	×
	严寒地区处在水位 升降范围内的混凝土 （强度等级≥42.5）		√√	×	×	×

续表 2-4

项 目		硅酸盐 水 泥	普通 水 泥	矿渣 水 泥	火山灰 质水 泥	粉煤灰 水 泥
工程特点	厚大体积的混凝土			√√	√√	√√
	要求快硬的混凝土	√√	√	×	×	×
	C40 以上的混凝土	√√	√	√	×	×
	有抗渗要求的混凝土	√√	√√	√	√√	√
工程特点	有耐磨性要求的混凝土 (强度等级 $\geq$ 32.5)	√√	√√	√	×	×

注：①符号意义：√√优先选用，√可以选用，×不得选用。

②受侵蚀性环境水或侵蚀性气体作用的混凝土，应根据侵蚀性介质的种类、浓度等具体条件，按专门（或设计）规定选用。

③蒸汽养护用的水泥品种，宜根据具体条件通过试验确定。

④严寒地区指最寒冷月份的月平均温度低于  $-15^{\circ}\text{C}$  者；寒冷地区指最寒冷月份的月平均温度处于  $-5\sim-15^{\circ}\text{C}$  者。

## 2.2 骨料\*

砂与石子统称混凝土的骨料。在混凝土中起架构作用。应重视其规格及质量，并在配合比设计通知书（见表 3-13）中注明。

### 2.2.1 砂

砂分天然砂和人工砂。人工砂是指采矿和加工过程中产生的尾矿或石屑，经过再加工成为人工砂（或称机制砂），经过

注：\* 有称为集料，本手册按规程用词。

处理后符合标准的，也可用于混凝土。人工砂的粒型比天然砂多棱角，有利于混凝土内部的构造。

天然砂按其来源分为河砂、湖砂、山砂和海砂。咸水湖砂和海砂未经淡水冲洗处理，不得用于钢筋混凝土和预应力混凝土工程，处理后标准是：对钢筋混凝土，氯离子含量不应大于干砂重的 0.06%。对预应力混凝土不宜用海砂。必须使用时，其氯离子含量不得大于 0.02%。

### 2.2.1.1 砂的细度模数 ( $\mu_f$ )

砂的细度模数分为粗砂、中砂和细砂。其范围如下：

粗砂  $\mu_f = 3.7 \sim 3.1$ ；

中砂  $\mu_f = 3.0 \sim 2.3$ ；

细砂  $\mu_f = 2.2 \sim 1.6$ 。

砂的细度模数是按颗粒组成划分的。其颗粒级配区累计筛余如表 2-5。

[5] 表 2-5 砂子颗粒级配区

筛孔尺寸 (mm)	孔 型	累 计 筛 余 (%)		
		级配 1 区	级配 2 区	级配 3 区
10.00	圆	0	0	0
5.00	圆	10~0	10~0	10~0
2.50	圆	35~5	25~0	15~0
1.25	方	65~35	50~10	25~0
0.63	方	85~71	70~41	40~16
0.315	方	95~80	92~70	85~55
0.16	方	100~90	100~90	100~90

细度模数的计算式如下：

$$\mu_f = \frac{(A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) - 5A_1}{100 - A_1} \quad (2-1)$$

式中  $\mu_f$ ——细度模数；

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_6$ ——分别为 5mm、2.5mm、1.25mm、0.63mm、0.315mm、0.16mm 各筛上的累计筛余百分率。

配制混凝土时，宜选用级配 2 区；或按细度模数选用  $\mu_f = 2.7 \sim 3.4$  范围内的砂子。如只有级配 1 区时，应提高砂率，并保持足够的水泥用量；如只有 3 区时，宜适当降低砂率。

### 2.2.1.2 砂的质量

1) 砂中含泥量及含泥块量的限值，如表 2-6。

[5] 表 2-6 砂中含泥量限值

混凝土强度等级	大于或等于 C30	小于 C30
含泥量（按重量计%）	$\leq 3.0$	$\leq 5.0$
含泥块量（按重量计%）	$\leq 1.0$	$\leq 2.0$

注：①对于有抗冻、抗渗或其他特殊要求的混凝土用砂，含泥量应不大于 3.0%；其泥块含量应不大于 1.0%。

②对于 C10 和 C10 以下的混凝土用砂，根据水泥强度等级，其含泥量可予以放宽。

### 2) 砂的坚固性

砂的坚固性用硫酸钠溶液检验，试样经 5 次循环后，其重量损失应符合表 2-7 规定。

[5] 表 2-7 砂的坚固性指标

混凝土所处的环境条件	循环后的重量损失（%）
在严寒及寒冷地区室外使用并经常处于潮湿或干湿交替状态下的混凝土	$\leq 8$
其他条件下使用的混凝土	$\leq 10$

注：对于有抗疲劳、耐磨、抗冲击要求的混凝土用砂或有腐蚀介质作用或经常处于水位变化区的地下结构混凝土用砂，其坚固性重量损失率应小于 8%。

3) 砂中如含有有害物质，其含量应符合表 2-8 的规定。

[ 5 ] 表 2-8 砂中的有害物质限值

项 目	质量指标
云母含量 (按重量计 %)	$\leq 2.0$
轻物质含量 (按重量计 %)	$\leq 1.0$
硫化物及硫酸盐含量 (折算成 $\text{SO}_3^{2-}$ , 按重量计 (%))	$\leq 1.0$
有机物含量 (用比色法试验)	颜色不应深于标准色。如深于标准色, 则应按水泥胶砂强度试验方法, 进行强度对比试验, 抗压强度比不应低于 0.95

注: ①有抗冻、抗渗要求的混凝土, 砂中云母含量不应大于 1.0%。

②砂中如发现含有颗粒状的硫酸盐或硫化物杂质时, 则要进行专门检验, 确认能满足混凝土耐久性要求时, 方能采用。

4) 对重要工程混凝土使用的砂, 应采用化学法和砂浆长度法进行骨料的碱活性检验。如经检验判断为有潜在危害时, 应采取下列措施:

①使用含碱量小于 0.6% 的水泥或采用能抑制碱—骨料反应的掺合料;

②当使用含钾、钠离子的外加剂时, 必须进行专门试验。

## 2.2.2 石子

### 2.2.2.1 石子的规格

用于工业与民用建筑混凝土的碎石或卵石, 其最大粒径应不大于 80 mm。

#### 1) 颗粒级配

碎石及卵石的颗粒级配应符合表 2-9 的要求。其级配分为单粒级及连续粒级。单粒级不宜单独使用, 宜用于组合成具有

表 2-9 碎石或卵石的颗粒级配范围

级配情况	公称 粒级 (mm)	累计筛余(按重量计)(%)											
		筛孔尺寸(圆孔筛)(mm)											
		2.50	5.00	10.0	16.0	20.0	25.0	31.5	40.0	50.0	63.0	80.0	100
连续粒级	5~10	95~100	80~100	0~15	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	5~16	95~100	90~100	30~60	0~10	0	—	—	—	—	—	—	—
	5~20	95~100	90~100	40~70	—	0~10	0	—	—	—	—	—	—
	5~25	95~100	90~100	—	30~70	—	0~5	0	—	—	—	—	—
	5~31.5	95~100	90~100	70~90	—	15~45	—	0~5	0	—	—	—	—
	5~40	—	95~100	75~90	—	30~65	—	—	0~5	0	—	—	—
单粒级	10~20	—	95~100	85~100	—	0~15	0	—	—	—	—	—	—
	16~31.5	—	95~100	—	85~100	—	—	0~10	0	—	—	—	—
	20~40	—	—	95~100	—	80~100	—	—	0~10	0	—	—	—
	31.5~63	—	—	—	95~100	—	—	75~100	45~75	—	0~10	0	—
	40~80	—	—	—	—	95~100	—	—	70~100	—	30~60	0~10	0

注：公称粒级的上限为该粒级的最大粒径。

级配连续粒级，也可以与连续粒级混合使用。单粒级如必须单独使用，则应作技术经济分析，通过试验确定不会发生离析，不影响混凝土质量时，方可使用。碎石及卵石的颗粒级配范围，如表 2-9。

### 2) 针片状颗粒含量

石子颗粒内针片状颗粒的含量，因混凝土强度等级不同而应予以限制，如表 2-10。

[6] 表 2-10 针、片状颗粒含量

混凝土强度等级	大于或等于 C30	小于 C30
针、片状颗粒含量 (按重量计) (%)	≤15	≤25

注：等于及小于 C10 级的混凝土，其针、片状颗粒含量可放宽到 40%。

### 3) 石子粒径在混凝土构件形状中的限制如表 2-11。

[6] 表 2-11 粗骨料粒径的限制

结构种类	最大粒径尺寸
方形或矩形截面的构件	不得超过最小边长的 1/4
混凝土实心板	①不宜超过板厚的 1/2 ②不得超过 50 mm
钢筋混凝土	同时不得大于两根钢筋间净距的 3/4

## 2.2.2.2 石子的质量

### 1) 石子的强度

碎石的强度应由岩石生产单位提供，工程中可采用压碎指标值进行控制。碎石、卵石的压碎指标值宜符合表 2-12、表 2-13 的规定。岩石的抗压强度应大于混凝土强度的 1.5 倍。

[ 6 ] 表 2-12 碎石的压碎指标值

岩石品种	混凝土强度等级	碎石压碎指标值 ( % )
水成岩	C55~C40	$\leq 10$
	$\leq C35$	$\leq 16$
变质岩或深成的火成岩	C55~C40	$\leq 12$
	$\leq C35$	$\leq 20$
火成岩	C55~C40	$\leq 13$
	$\leq C35$	$\leq 30$

注：水成岩包括石灰岩、砂岩等。变质岩石包括片麻岩、石英岩等。深成的火成岩包括花岗岩、正长岩、闪长岩和橄榄岩等。喷出的火成岩包括玄武岩和辉绿岩等。

[ 6 ] 表 2-13 卵石的压碎指标值

混凝土强度等级	C55~C40	$\leq C35$
压碎指标值 ( % )	$\leq 12$	$\leq 16$

## 2) 石子的坚固性

碎石及卵石的坚固性用硫酸钠溶液法检验，试样经 5 次循环后，其重量损失应符合表 2-14 的规定。

[ 6 ] 表 2-14 碎石或卵石的坚固性指标

混凝土所处的环境条件	循环后的重量损失 ( % )
在严寒及寒冷地区室外使用，并经常处于潮湿或干湿交替状态下的混凝土	$\leq 8$
在其他条件下使用的混凝土	$\leq 12$

注：在腐蚀性介质作用或经常处于水位变化区的地下结构或有抗疲劳、耐磨、抗冲击等要求的混凝土用碎石或卵石，其重量损失应不大于 8%。

### 3) 有害物质含量的限制，如表 2-15。

[6] 表 2-15 碎石或卵石中的有害物质含量

项 目	质量要求
硫化物及硫酸盐含量 (折算成 $\text{SO}_3^{2-}$ ，按重量计) (%)	$\leq 1.0$
卵石中有机质含量 (用比色法试验)	颜色应不深于标准色。如深于标准色，则应配制成混凝土进行强度对比试验，抗压强度比应不低于 0.95

注：①如发现有颗粒状硫酸盐或硫化物杂质的碎石或卵石，则要求进行专门检验，确认能满足混凝土耐久性要求时方可采用。

②对重要工程的混凝土所使用的碎石或卵石应进行碱活性检验。

### 4) 石子中含泥量

碎石或卵石的含泥量应符合表 2-16 的规定。

[6] 表 2-16 碎石或卵石中的含泥量

混凝土强度等级	大于或等于 C30	小于 C30
含泥量按重量计 (%)	$\leq 1.0$	$\leq 2.0$
泥块含量按重量计 (%)	$\leq 0.5$	$\leq 0.7$

注：①有抗冻、抗渗和其他特殊要求的混凝土，其含泥量或含泥块量，均不应大于 C30 级的规定。

②等于或小于 C10 级的混凝土，其含泥量可放宽至 2.5%，含泥块量可放宽至 1.0%。

## 2.3 水

凡符合国家标准的生活饮用水，可以用作拌制各种混凝

土。

海水只能拌制不受氯分子影响的素混凝土，不得用于结构用的素混凝土、钢筋混凝土和预应力混凝土，也不得用于影响浇筑时的和易性及凝结时间的混凝土。

不明成分的地表水或地下水，首次使用时应进行检验；工业废水如经处理，亦应进行检验，符合表 2-17 的要求，方可使用。

[ 7 ] 表 2-17 混凝土用水的物质含量限值

项 目	预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
pH 值	>4	>4	>4
不溶物 mg/L	<2000	<2000	<5000
可溶物 mg/L	<2000	<5000	<10000
氯化物 (以 $\text{Cl}^-$ 计) mg/L	<500 <sup>(注)</sup>	<1200	<3500
硫酸盐 (以 $\text{SO}_4^{2-}$ 计) mg/L	<600	<2700	<2700
硫化物 (以 $\text{S}^{2-}$ 计) mg/L	<100	—	—

注：使用钢丝或经热处理钢筋的预应力混凝土，氯化物含量不得超过 350 mg/L。

## 2.4 外加剂

混凝土在传统的 4 种组分外，在搅拌过程中掺入一些所需要的化学制剂，以满足工艺性或硬化后性能的要求。这些制剂的掺量一般不大于水泥用量的 5%。这种制剂称为外加剂。

我国于 20 世纪 60 年代已开始用制纸的废液作为改善混凝

土工作性的外加剂。发展至现在已有 300 多家各种性能外加剂的生产厂，共有 1000 多个品牌。

外加剂是一种用量小、作用大的化学制剂，使用时应注意其功能和作用，善于选用。通常是在通过试配后才决定其掺用量。

外加剂的类型、主要功能及其原材料组成，如表 2-18；各种混凝土工程对外加剂的选择，如表 2-19。外加剂质量检验，从两个方面进行，一是匀质性，其要求如表 2-20；二是其效果，其检验方法是采用对比法，即用掺入外加剂混凝土与未掺外加剂混凝土（即基准混凝土）两者之间的对比值或差值来衡量，如表 2-21。

此外，有些外加剂含氯、硫和其他物质，对混凝土有不良影响或影响其耐久性，应限制使用。其规定如表 2-22。

表 2-18 外加剂名称、功能及组成材料

外加剂类型	主要功能	材 料
普通减水剂	①在混凝土和易性及强度不变的条件下，可节省水泥 5%~10% ②在保证混凝土工作性及水泥用量不变的条件下，可减少用水量 10% 左右，混凝土强度提高 10% 左右 ③在保持混凝土用水量及水泥用量不变条件下，可增大混凝土流动性	①木质磺酸盐类（木钙、木镁、木钠） ②腐植酸类 ③烤胶类

外加剂类型	主要功能	材 料
高效减水剂	①在保证混凝土工作性及水泥用量不变的条件下,减少用水量 15% 左右,混凝土强度提高 20% 左右 ②在保持混凝土用水量及水泥用量不变条件下,可大幅度提高混凝土拌合物流动性 ③可节省水泥 10%~20%	①多环芳香族磺酸盐类(萘系磺化物与甲醛缩合的盐类) ②水溶性树脂磺酸盐类(磺化三聚氰胺树脂、磺化古玛隆树脂)
引气剂及引气减水剂	①提高混凝土耐久性和抗渗性 ②提高混凝土拌合物和易性,减少混凝土泌水离析 ③引气减水剂还有减水剂的功能	①松香树脂类(松香热聚物、松香皂) ②烷基苯磺酸盐类(烷基苯磺酸盐、烷基苯酚聚氧乙烯醚) ③脂肪醇磺酸盐类(脂肪醇聚氧乙烯醚、脂肪醇聚氧乙烯磺酸钠)
早强剂及早强减水剂	①提高混凝土的早期强度 ②缩短混凝土的蒸养时间 ③早强减水剂还具有减水剂功能	①氯盐类(氯化钙、氯化钠) ②硫酸盐类(硫酸钠、硫代硫酸钠) ③有机胺类(三乙醇胺、三异丙醇胺)
缓凝剂及缓凝减水剂	①延缓混凝土的凝结时间 ②降低水泥初期水化热 ③缓凝减水剂还具有减水剂功能	①糖类(糖钙) ②木质素磺酸盐类(木钙、木钠、木镁) ③羟基羧酸及其盐类(柠檬酸、酒石酸钾钠) ④无机盐类(锌盐、硼酸盐、磷酸盐)

续表 2-18

外加剂类型	主要功能	材 料
膨胀剂	使混凝土体积在水化、硬化过程中产生一定膨胀，减少混凝土干缩裂缝，提高抗裂性和抗渗性能	①硫铝酸钙类（明矾石、CSA 膨胀剂） ②氧化钙类（石灰膨胀剂） ③氧化镁类（氧化镁） ④金属类（铁屑） ⑤复合类（氧化钙、硫铝酸钙）

表 2-19 各种混凝土工程对外加剂的选择

序号	工程 项目	选用目的	选用剂型
1	自然条件下的混凝土工程或构件	改善工作性，提高早期强度，节约水泥	各种减水剂，常用木质素类
2	太阳直射下施工	缓 凝	缓凝减水剂，常用糖蜜类
3	大体积混凝土	减少水化热	缓凝剂，缓凝减水剂
4	冬期施工	早 强 防寒、抗冻	早强减水剂 早强剂、抗冻剂
5	流态混凝土	提高流动度	非引气型减水剂，常用 FDN、UNF-5
6	泵送混凝土	减少坍落度损失	泵送剂、引气剂、缓凝减水剂，常用 FDN-P、UNF-5

续表 2-19

序号	工程 项 目	选 用 目 的	选 用 剂 型
7	高强混凝土	C50 以上混凝土	高效减水剂、非引气减水剂、密实剂
8	灌浆、补强、填缝	防止混凝土收缩	膨 胀 剂
9	蒸养混凝土	缩短蒸养时间	非引气高效减水剂、早强减水剂
10	预制构件	缩短生产周期，提高模具周转率	高效减水剂、早强减水剂
11	滑模工程	夏季宜缓凝	普通减水剂木质素类或糖蜜类
		冬季宜早强	高效减水剂或早强减水剂
12	大模板工程	提高和易性，一天强度能拆模	高效减水剂或早强减水剂
13	钢筋密集的构筑物	提高和易性，利于浇筑	普通减水剂、高效减水剂
14	耐冻融混凝土	提高耐久性	引气型高效减水剂
15	灌注桩基础	改善和易性	普通减水剂、高效减水剂
16	商品混凝土	节约水泥 保证运输后的和易性	普通减水剂 缓凝型减水剂

[ 8 ]

表 2-20 匀质性指标

试验项目	指 标
含固量或含水量	a. 对液体外加剂, 应在生产厂控制值的相对量的 3% 内 b. 对固体外加剂, 应在生产厂控制值的相对量的 5% 之内
密度	对液体外加剂, 应在生产厂所控制值的 $\pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ 之内
氯离子含量	应在生产厂所控制值相对量的 5% 之内
水泥净浆流动度	应不小于生产控制值的 95%
细度	0.315 mm 筛筛余量应小于 15%
pH 值	应在生产厂控制值 $\pm 1$ 之内
表面张力	应在生产厂控制值 $\pm 1.5$ 之内
还原糖	应在生产厂控制值 $\pm 3\%$
总碱量 ( $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ )	应在生产厂控制值的相对量的 5% 之内
硫酸钠	应在生产厂控制值的相对量的 5% 之内
泡沫性能	应在生产厂控制值的相对量的 5% 之内
砂浆减少率	应在生产厂控制值 $\pm 1.5\%$ 之内

[ 8 ]

表 2-21 掺外加剂

试验项目		外 加 剂							
		普通减水剂		高效减水剂		早强减水剂		缓凝高效减水剂	
		一等品	合格品	一等品	合格品	一等品	合格品	一等品	合格品
减水率, % (不小于)		8	5	12	10	8	5	12	10
泌水率比, % (不大于)		95	100	90	95	95	100	100	
含气量, %		≤3.0	≤4.0	≤3.0	≤4.0	≤3.0	≤4.0	<4.5	
凝结时间之比 min		初凝	-90 ~ +120		-90 ~ +120		-90 ~ +90		> +90
		终凝	-		-		-		-
抗压强度比, % (不小于)		1 d	-	-	140	130	140	130	-
		3 d	115	110	130	120	130	120	125 120
		7 d	115	110	125	115	115	110	125 115
		28 d	110	105	120	110	105	100	120 110
收缩率比, % (不大于)		28 d	135		135		135		135
相对耐久性指标, % (200 次, 不小于)		-		-		-		-	
对钢筋锈蚀作用		应说明对钢筋有无锈蚀危害							

注:

①除含气量外, 表中所列数据为掺外加剂混凝土与基准混凝土的差值或比值。

③相对耐久性指标一栏中, “200 次 ≥ 80 和 60” 表示将 28 d 龄期的掺外加剂混凝土试件冻融循环 200 次后, 动弹性模量保留值 ≥ 80% 或 ≥ 60%。

## 混凝土性能指标

品 种									
缓凝减水剂		引气减水剂		早强剂		缓凝剂		引气剂	
一等品	合格品	一等品	合格品	一等品	合格品	一等品	合格品	一等品	合格品
8	5	10	10	—	—	—	—	6	6
100		70	80	100		100	110	70	80
<5.5		>3.0		—		—		>3.0	
>+90		-90~+120		-90~+90		>+90		-90~+120	
—						—			
—		—		135	125	—		—	
100		115	110	130	120	100	90	95	80
110		110		110	105	100	90	95	80
110	105	100		100	95	100	90	90	80
135		135		135		135		135	
—		80	60	—		—		80	60

②凝结时间指标，“—”号表示提前，“+”号表示延缓。

④对于可以用高频振捣排除由外加剂所引入的气泡的产品，允许用高频振捣。达到某类型性能指标要求的外加剂，可按本表进行命名和分类，但应在产品说明书和包装上注明“用于高频振捣的××剂”。

[ 2 ] 表 2-22 氯盐、硫酸盐制剂等在混凝土工程中使用的限制

外加剂名称	不得使用的混凝土工程
氯盐、含氯盐的早强剂、含氯盐的早强减水剂	①在高湿度空气环境中使用的结构（排出大量蒸汽的车间、澡堂、洗衣房和经常处于空气相对湿度大于 80% 的房间以及有顶盖的钢筋混凝土蓄水池等） ②处于水位升降部位的结构 ③露天结构或经常受水淋的结构 ④有镀锌钢材或铝铁相接触部位的结构，以及有外露钢筋预埋件而无防护措施的结构 ⑤与含有酸、碱或硫酸盐等侵蚀性介质相接触的结构 ⑥使用过程中经常处于环境温度为 60℃ 以上的结构 ⑦使用冷拉钢筋、冷轧或冷拔钢丝的结构 ⑧薄壁结构、中或重级工作制吊车梁、屋架、落锤或锻锤基础等结构 ⑨电解车间和直接靠近直流电源的结构 ⑩直接靠近高压电源（发电站、变电所）的结构 ⑪预应力混凝土结构 ⑫蒸养混凝土构件 注：在使用掺氯盐的钢筋混凝土中，氯盐掺量（按无水状态计算）不得超过水泥重量的 1%
硫酸盐及其复合剂	①有活性骨料的混凝土 ②电器化运输设施和使用直流电源的工厂、企业的钢筋混凝土结构 ③有镀锌钢材或铝铁相接触部位的结构 ④有外露钢筋预埋件而无防护措施的结构
含有毒性的外加剂	饮水工程的混凝土

## 2.5 掺合料

掺合料在混凝土中的主要作用是减少水泥的用量和提高混凝土的某种性能。使用时应注意 3 点：

- ①掺合料的细度应与水泥相同或比水泥更细；
- ②掺用量通常不小于水泥用量的 5%；
- ③掺合料的质量应符合有关规定。

掺合料可分为惰性与活性两大类。

### 2.5.1 惰性掺合料

通常有磨细的石英砂、石灰岩等。此项材料在常温常压下与水泥不起反应，只作水泥的填充料，以增加混凝土中的含灰量，以节约水泥和提高新拌混凝土的流动性。这些惰性掺合料，应符合下列规定：

- ①掺合料的硫化物、硫酸盐的  $\text{SO}_3^{2-}$  含量不得超过掺合料质量的 3%；
- ②混凝土强度  $\geq$  C40 级时，不宜掺用惰性掺合料；
- ③在配合比设计强度有富余时，为节约水泥，可等量置换水泥，但置换量不宜超过水泥用量的 15%；
- ④为提高混凝土的坍落度，可用外加法掺入，其掺量不宜超过水泥用量的 20%。

### 2.5.2 活性掺合料

活性掺合料在混凝土中的作用主要是：

- ①提高混凝土的密实度，提高抗冻、抗渗等性能；

- ②增加混凝土的含灰量，提高流动性，可作泵送混凝土；  
 ③配制高强度、高性能混凝土。

各项混凝土工程适用的掺合料如表 2-23。

表 2-23 各项混凝土工程适用的掺合料

工程 项目	适用的掺合料
大体积混凝土工程，抗冻、抗渗工程	粉煤灰、火山灰质掺合料
抗软水、抗硫酸盐介质腐蚀工程	粉煤灰、粒化高炉矿渣、火山灰质掺合料
经常处于高温环境的工程	粒化高炉矿渣
高强混凝土、高性能混凝土	硅灰、粉煤灰

粉煤灰常掺用于泵送混凝土、大体积混凝土、抗渗混凝土、填石压浆混凝土、轻骨料混凝土、抗硫酸盐和抗软水侵蚀混凝土、碾压混凝土、高强混凝土、高性能混凝土以及蒸汽养护混凝土。与各类外加剂配合使用，称为双掺混凝土，更能提高其性能。

粉煤灰混凝土已作为节约水泥和改进混凝土性能的一项措施。粉煤灰的质量指标及其使用范围如表 2-24。

[9] 表 2-24 粉煤灰质量指标及其使用范围

等级	质量指标				使用范围
	细度	烧失量	需水量比	三氧化硫含量	
I	≤12	≤5	≤95	≤3	允许用于后张法及跨度小于 6 m 的先张法预应力混凝土工程
II	≤20	≤8	≤105	≤3	主要用于普通钢筋混凝土、轻骨料钢筋混凝土工程及 C30 或以上等级的无筋混凝土
III	≤45	≤15	≤115	≤3	主要用于无筋混凝土

注：①细度指标系指用 45  $\mu\text{m}$  方孔筛的筛余值；

②粉煤灰应由供货单位出具等级合格证；

③干排法获得的粉煤灰的含水量不宜大于 1%，湿排法的质量应均匀；

④主要用于改善混凝土和易性的，可不受本表限制；

⑤用于预应力混凝土、钢筋混凝土及强度等于或高于 C30 级无筋混凝土的粉煤灰，如经试验论证，可采用比表列规定低一级的粉煤灰。

## 3 普通混凝土配合比设计

### 3.1 设计要领

普通混凝土由 4 种基本材料组成。配合比设计就是解决 4 种材料用量的 3 个比例，即水和胶凝材料之比，简称水灰比；骨料中砂子所占比例，简称砂率；胶凝体与骨料的比例，简称胶骨比。这几个比例，有其基本规律：

1) 决定混凝土强度的基本因素是水泥的强度和水灰比。在水泥强度确定之后，水灰比是决定因素。

2) 在水灰比决定后，由用水量决定水泥的用量。

3) 砂和石是混凝土的骨架，是主体，其用量占混凝土用料量的三分之二以上。砂率，按石子的空隙率和水灰比确定。

### 3.2 设计流程

混凝土配合比设计的基本流程如图 3-1 及其说明。

图 3-1 中各数字代号的含义如下：

- ①强度标准差参阅 3.3.2；
- ②设计强度，即  $f_{cu,k}$ ，参阅 3.3.3；
- ③是否大体积，参阅第 5 章；
- ④耐久性要求，如抗腐蚀、抗渗等，参阅第 5 章；

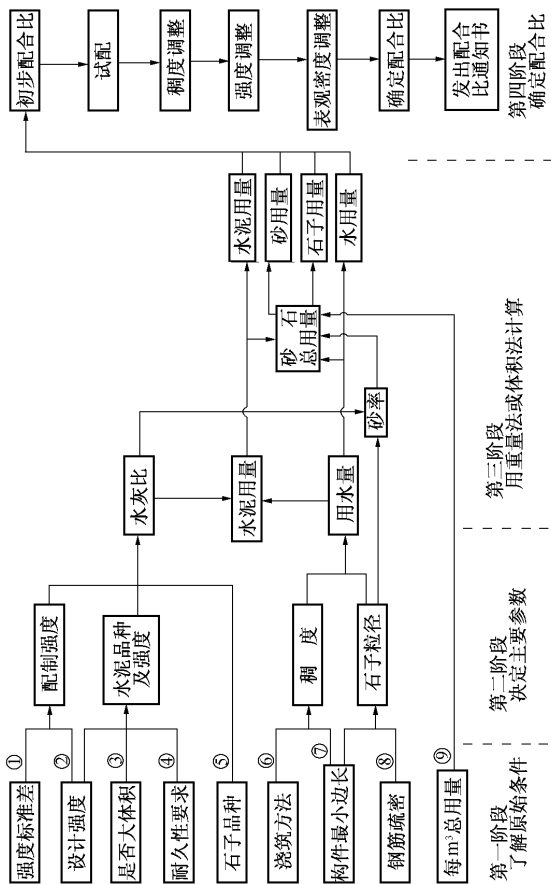


图 3-1 配合比设计的基本流程

- ⑤石子品种，指选用碎石或卵石；
- ⑥浇筑方法，指施工工艺措施，考虑坍落度；
- ⑦构件最小边长，考虑采用石子粒径，或是否属大体积；
- ⑧钢筋疏密程度，考虑石子粒径；
- ⑨每  $\text{m}^3$  总用料量，参阅表 3-11（见第 46 页）。

第一阶段：根据设计图纸及施工单位的工艺条件，结合当地当时的具体条件，提出要求，为第二阶段作准备。

第二阶段：选用材料、选用设计参数，这是整个设计的基础。材料和参数的选择，决定配合比设计是否合理。

第三阶段：计算用料，可用重量法或体积法计算。

第四阶段：对配合比设计的初步结果，进行试配、调整并加以确定。

配合比确定后，应签发配合比通知书。通知书的格式如表 3-13（见第 59 页）。搅拌站在进行搅拌前，应根据仓存砂、石的含水率作必要的调整，并根据搅拌机的规格确定每拌的投料量。搅拌后应将试件强度反馈给签发通知书的单位。

### 3.3 设计参数及运算

#### 3.3.1 参数与混凝土性能的关系

现行混凝土配合比的 3 个基本参数是水灰比、用水量和砂率。水灰比和用水量是简单而又重要的参数，它决定水泥的强度和用量。

混凝土配合比所要求达到的主要性能也有 3 个，是强度、耐久性及和易性。3 个基本参数和 3 个性能的关系如图 3-2。

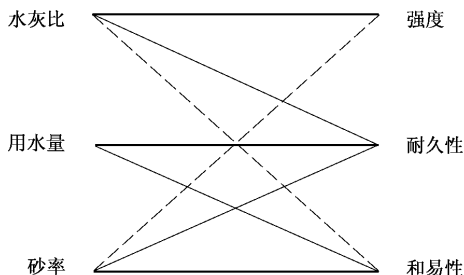


图 3-2 混凝土配合比设计的基本参数和主要性能的关系

图中，粗实线表示直接关系，细实线表示主要关系，虚线表示次要关系。掌握了这个规律，我们在作配合比设计时就能掌握主线，照顾次线，做好选择。

### 3.3.2 强度标准差

1) 强度标准差是检验混凝土搅拌部门的生产质量水平的标准之一。混凝土配合比设计引入标准差，目的是使所配制的混凝土强度有必需的保证率。标准差应由搅拌单位提供的近期生产混凝土的强度统计值计算，即

标准差：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N f_{cu,i}^2 - N \cdot \mu_{f_{cu}}^2}{N - 1}} \quad (3-1)$$

式中  $f_{cu,i}$ ——统计周期内第  $i$  组混凝土试件的立方体抗压强度值，MPa；

$N$ ——统计周期内相同强度等级的混凝土试件组数，该

值不得少于 25 组；

$\mu_{f_{cu}}$ ——统计周期内  $N$  组混凝土试件立方体抗压强度的平均值。

2) 当混凝土强度等级为 C20 和 C25，其强度标准差计算值小于 2.5 MPa 时，计算配制强度用的标准差应取不小于 2.5 MPa；当混凝土强度等级等于或大于 C30，其强度标准差计算值小于 3.0 MPa 时，计算配制强度用的标准差应取不小于 3.0 MPa；

3) 当无统计资料计算混凝土强度标准差时，其值应按现行国家标准《GB 50204 混凝土结构工程施工及验收规范》的规定取用，如表 3-1。

[ 2 ] 表 3-1  $\sigma$  值 单位：MPa

混凝土强度等级	低于 C20	C20~C35	高于 C35
$\sigma$	4.0	5.0	6.0

注：在采用本表时，施工单位可根据实际情况，对  $\sigma$  值作适当调整。

### 3.3.3 配制强度

普通混凝土配合比设计的配制强度，按下式计算：

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (3-2)$$

式中  $f_{cu,0}$ ——混凝土的施工配制强度，MPa；

$f_{cu,k}$ ——设计的混凝土强度标准值，MPa；

$\sigma$ ——施工单位的混凝土强度标准差，MPa。

在正常情况下，式 (3-2) 可以采用等号。但在现场条件与试验条件有显著差异时，或重要工程对混凝土工程有特殊要求时，或 C30 级及其以上强度混凝土在工程验收可能采用非

统计方法评定时，则应采用大于号。

例 3-1 某多层钢筋混凝土框架结构房屋，柱、梁、板混凝土设计的结构强度为 C25 级，据搅拌站提供该站前一个月的生产水平资料如下，请计算其标准差及混凝土的配制强度。

资料：

- ①组数  $N = 27$ ；
- ②前一个月各组总强度  $\sum f_{cu,i} = 968.8$ ；
- ③各组强度值的总值  $\sum f_{cu,i}^2 = 36401.18$ ；
- ④各组强度的平均值  $\mu_{f_{cu}} = 36.548$ ；
- ⑤强度平均值的平方值乘组数  $N\mu_{f_{cu}}^2 = 36065.42$ 。

解：

(1) 标准差。将资料各值代入式 (3-1)：

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{36401.18 - 36065.42}{27 - 1}} \\ &= 3.594 \text{ MPa (取 } \sigma = 3.6 \text{ MPa)}\end{aligned}$$

如查表 3-1，则  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 。

(2) 配制强度。按题意：混凝土的设计强度  $f_{cu,k} = 25 \text{ MPa}$ ；施工单位混凝土强度标准差  $\sigma = 3.6 \text{ MPa}$ 。

将上列两值代入式 (3-2)：

$$\begin{aligned}f_{cu,0} &= 25 + 1.645 \times 3.6 \\ &= 31.00 \text{ MPa}\end{aligned}$$

配制强度亦可采用查表法取得。表 3-2 是常见的强度标准差  $\sigma$  值代入式 (3-2) 所得的配制强度（粗线内为按表 3-1 的  $\sigma$  值所得的配制强度）。

表 3-2 混凝土的配制强度

强度等级	强度标准差 (MPa)					
	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
C7.5	10.8	11.6	12.4	14.1	15.7	17.4
C10	13.3	14.1	14.9	16.6	18.2	19.9
C15	18.3	19.1	19.9	21.6	23.2	24.9
C20	24.1	24.1	24.9	26.6	28.2	29.9
C25	29.1	29.1	29.9	31.6	33.2	34.9
C30	34.9	34.9	34.9	36.6	38.2	39.9
C35	39.9	39.9	39.9	41.6	43.2	44.9
C40	44.9	44.9	44.9	46.6	48.2	49.9
C45	49.9	49.9	49.9	51.6	53.2	54.9
C50			54.9	56.5	58.2	59.9
C55			59.9	61.5	63.2	64.9

### 3.3.4 水灰比

新规程明确规定，强度等级为 C60 及其以上的称为高强混凝土。小于 C60 的称为普通混凝土。普通混凝土水灰比 ( $W/C$ ) 的计算，可按下列式。

$$W/C = \frac{\alpha_a \cdot f_{ce}}{f_{cu,0} + \alpha_a \cdot \alpha_b \cdot f_{ce}} \quad (3-3)$$

式中  $\alpha_a$ 、 $\alpha_b$ ——回归系数宜按下列规定确定：

①回归系数  $\alpha_a$  和  $\alpha_b$  应根据工程所使用的水泥、骨料，通过试验由建立的水灰比与混凝土强度关系式确定；

②当不具备上述试验统计资料时，其回归系数可按表 3-3 选用。

[1] 表 3-3 回归系数  $\alpha_a$ 、 $\alpha_b$  选用表

系 数	石子品种	碎石	卵石
	$\alpha_a$		0.46
$\alpha_b$		0.07	0.33

$f_{ce}$ ——水泥 28 d 抗压强度实测值，MPa。当无水泥 28d 抗压强度实测值时，公式 (3-3) 中的  $f_{ce}$  值可按以下规定确定：

①按计算公式

$$f_{ce} = \gamma_c \cdot f_{ce,g} \quad (3-4)$$

式中  $\gamma_c$ ——水泥强度等级值的富余系数，可按实际统计资料确定；

$f_{ce,g}$ ——水泥强度等级值，MPa。

②根据 3d 强度或快测强度推定 28d 强度关系式得出。

当回归系数按表 3-3 取值时，可推导碎石混凝土卵石混凝土水灰比的计算式，即

碎石混凝土水灰比：

$$\frac{W}{C} = \frac{0.46f_{ce}}{f_{cu,0} + 0.0322f_{ce}} \quad (3-5)$$

卵石混凝土水灰比：

$$\frac{W}{C} = \frac{0.48f_{ce}}{f_{cu,0} + 0.1584f_{ce}} \quad (3-6)$$

式中符号意义同式 (3-3)。

在运算式(3-5)和式(3-6)时,混凝土的施工配制强度已由式(3-3)求得,尚有水泥的实际强度 $f_{ce}$ 为未知数,本手册在表2-2中提供了经验参数,可供选择。也可以假定灰水比值按下式反求取得。

$$f_{ce} = \frac{f_{cu,0}}{\alpha_a \cdot \left( \frac{C}{W} - \alpha_b \right)} \quad (3-7)$$

式中符号同前,  $\frac{C}{W}$ 称为灰水比,即 $\frac{W}{C}$ 的倒数。

此外,水灰比值与混凝土所处的环境、构筑物的类别有关,不应超过表3-4的规定。同时,水灰比值除干硬性混凝土外,不能小于0.4。低于此值时,水泥用量\*将较大,每立方米普通混凝土用量不应超过550 kg。否则,将容易出现裂缝。

现按下列条件:

- ①强度标准差按表3-2;
- ②回归系数按规程提供的值,如表3-3;
- ③水泥强度等级按表2-2,实际强度举两例:一为按强度等级无富余,即 $f_{ce} = f_{ce,g}$ ;二为按富余系数为1.08,即 $f_{ce} = 1.08f_{ce,g}$ 。

将混凝土强度C15~C50代入式(3-5)或式(3-6),碎石混凝土的水灰比值如表3-5,卵石混凝土的水灰比值如表3-6,可供使用时对照。

---

注:\*此处指每立方米混凝土中的水泥用量。本书中所指各物质的用量均为每立方米混凝土中各成分的用量。

[ 1 ] 表 3-4 混凝土的最大水灰比和最小水泥用量

环境条件		结构物类别	最大水灰比值			最小水泥用量 ( kg )		
			素混凝土	钢筋混凝土	预应力混凝土	素混凝土	钢筋混凝土	预应力混凝土
1. 干燥环境		正常的居住或办公用房屋内部件	不作规定	0.65	0.60	200	260	300
2. 潮湿环境	无冻害	高湿度的室内部件 室外部件 在非侵蚀性土和 ( 或 ) 水中的部件	0.70	0.60	0.60	225	280	300
	有冻害	经受冻害的室外部件 在非侵蚀性土和 ( 或 ) 水中且经受冻害的部件 高湿度且经受冻害的室内部件	0.55	0.55	0.55	250	280	300
3. 有冻害和除冰剂的潮湿环境		经受冻害和除冰剂作用的室内和室外部件	0.50	0.50	0.50	300	300	300

注：①当用活性掺合料取代部分水泥时，表中的最大水灰比及最小水泥用量即为替代前的水灰比和水泥用量。

②配制 C15 级及其以下等级的混凝土，可不受本表限制。

表 3-5 碎石混凝土的水灰比值

混凝土 (MPa)			水泥 (MPa)			式 (3-5) 的参数			水灰比
强度等级	标准差	配制强度	强度等级	富余系数	实际强度				
$C$	$\sigma$	$f_{cu,0}$	$f_{ce,g}$	$\gamma_c$	$f_{ce}$	$0.46f_{ce}$	$0.0322f_{ce}$	$f_{cu,0} + 0.0322f_{ce}$	$W/C$
15	4	21.58	32.5	1.00	32.5	14.95	1.0465	22.6265	0.6607
				1.08	35.1	16.146	1.1302	22.7102	0.7109
20	5	28.23	32.5	1.00	32.5	14.95	1.0465	29.2765	0.5106
				1.08	35.1	16.146	1.1302	29.3602	0.5499
			42.5	1.00	42.5	19.55	1.3685	29.5985	0.6605
				1.08	45.9	21.114	1.4780	29.7080	0.7107
25	5	33.23	32.5	1.00	32.5	14.95	1.0465	34.2765	0.4361
				1.08	35.1	16.146	1.1302	34.3602	0.4699
			42.5	1.00	42.5	19.55	1.3685	34.5985	0.5651
				1.08	45.9	21.114	1.4780	34.7080	0.6083
30	5	38.23	32.5	1.00	32.5	14.95	1.0465	39.2765	0.3806
				1.08	35.1	16.146	1.1302	39.3602	0.4102
			42.5	1.00	42.5	19.55	1.3685	39.5985	0.4937
				1.08	45.9	21.114	1.4780	39.7080	0.5317
35	5	43.23	42.5	1.00	42.5	19.55	1.3685	44.5985	0.4383
				1.08	45.9	21.114	1.4780	44.7080	0.4723
			52.5	1.00	52.5	24.15	1.6905	44.9205	0.5376
				1.08	56.7	26.082	1.8257	45.0557	0.5789

续表 3-5

混凝土 (MPa)			水泥 (MPa)			式 (3-5) 的参数			水灰比
强度等级	标准差	配制强度	强度等级	富余系数	实际强度				
$C$	$\sigma$	$f_{cu,0}$	$f_{ce,g}$	$\gamma_c$	$f_{ce}$	$0.46f_{ce}$	$0.0322f_{ce}$	$f_{cu,0} + 0.0322f_{ce}$	$W/C$
40	6	49.87	42.5	1.00	42.5	19.55	1.3685	51.2385	0.3815
				1.08	45.9	21.114	1.4780	51.3480	0.4112
			52.5	1.00	52.5	24.15	1.6905	51.5605	0.4684
				1.08	56.7	26.082	1.8257	51.6957	0.5045
45	6	54.87	52.5	1.00	52.5	24.15	1.6905	56.5605	0.4270
				1.08	56.7	26.082	1.8257	56.6957	0.4600
			62.5	1.00	62.5	28.75	2.0125	56.8825	0.5054
				1.08	67.5	31.05	2.1735	57.0435	0.5443
50	6	59.87	52.5	1.00	52.5	24.15	1.6905	61.5605	0.3923
				1.08	56.7	26.082	1.8257	61.6957	0.4228
			62.5	1.00	62.5	28.75	2.0125	61.8825	0.4646
				1.08	67.5	31.05	2.1735	62.0435	0.5005
55	6	64.87	62.5	1.00	62.5	28.75	2.0125	66.8825	0.4299
				1.08	67.5	31.05	2.1735	67.0435	0.4631

表 3-6 卵石混凝土的水灰比值

混凝土 (MPa)			水泥 (MPa)			式 (3-6) 的参数			水灰比
强度等级	标准差	配制强度	强度等级	富余系数	实际强度				
C	$\sigma$	$f_{cu,0}$	$f_{ce,g}$	$\gamma_c$	$f_{ce}$	$0.48f_{ce}$	$0.1584f_{ce}$	$f_{cu,0} + 0.1584f_{ce}$	W/C
15	4	21.58	32.5	1.00	32.5	15.60	5.148	26.728	0.5837
				1.08	35.1	16.85	5.560	27.140	0.6209
20	5	28.23	32.5	1.00	32.5	15.60	5.148	33.378	0.4674
				1.08	35.1	16.85	5.560	33.790	0.4987
			42.5	1.00	42.5	20.40	6.732	34.962	0.5835
				1.08	45.9	22.03	7.271	35.501	0.6205
25	5	33.23	32.5	1.00	32.5	15.60	5.148	38.378	0.4065
				1.08	35.1	16.85	5.560	38.790	0.4344
			42.5	1.00	42.5	20.40	6.732	39.962	0.5105
				1.08	45.9	22.03	7.271	40.501	0.5439
30	5	38.23	42.5	1.00	42.5	20.40	6.732	44.962	0.4537
				1.08	45.9	22.03	7.271	45.501	0.4842
			52.5	1.00	52.5	25.20	8.316	46.546	0.5414
				1.08	56.7	27.216	8.981	47.211	0.5765
35	5	43.23	42.5	1.00	42.5	20.40	6.732	49.962	0.4083
				1.08	45.9	22.03	7.271	50.501	0.4362
			52.5	1.00	52.5	25.20	8.316	51.546	0.4889
				1.08	56.7	27.216	8.981	52.211	0.5213

续表 3-6

混凝土 (MPa)			水泥 (MPa)			式 (3-6) 的参数			水灰比
强度等级	标准差	配制强度	强度等级	富余系数	实际强度				
C	$\sigma$	$f_{cu,0}$	$f_{ce,g}$	$\gamma_c$	$f_{ce}$	$0.48f_{ce}$	$0.1584f_{ce}$	$f_{cu,0} + 0.1584f_{ce}$	W/C
40	6	49.87	52.5	1.00	52.5	25.20	8.316	58.186	0.4331
				1.08	56.7	27.216	8.981	58.851	0.4632
			62.5	1.00	62.5	30.000	9.900	59.770	0.5019
				1.08	67.5	32.400	10.692	60.562	0.5350
45	6	54.87	52.5	1.00	52.5	25.200	8.316	63.186	0.3988
				1.08	56.7	27.220	8.981	63.851	0.4269
			62.5	1.00	62.5	30.00	9.900	64.770	0.4263
				1.08	67.5	32.40	10.692	65.562	0.4942
50	6	59.87	62.5	1.00	62.5	30.00	9.900	69.77	0.4300
				1.08	67.5	32.40	10.692	70.562	0.4592
55	6	64.87	62.5	1.00	62.5	30.00	9.900	74.77	0.4012
				1.08	67.5	32.40	10.692	75.562	0.4288

### 3.3.5 基本参数

本节讨论的基本参数是用水量、水泥用量和砂率。用水量和砂率是通过经验积累由规程提供的。水泥用量是根据水灰比计算的。

### 3.3.5.1 用水量

用水量是根据粗骨料的品种、粒径\*和施工对混凝土的坍落度的要求而选用的。

混凝土坍落度的选用，请参阅表 3-7。

[ 2 ] 表 3-7 混凝土浇筑时的坍落度

结构种类	坍落度 (mm)
基础或地面等的垫层、无配筋的大体积结构 (挡土墙、基础等) 或配筋稀疏的结构	10~30
板、梁和大型中型截面的柱子等	30~50
配筋密列的结构 (薄壁、斗仓、筒仓、细柱等)	50~70
配筋特密的结构	70~90

注：①本表系采用机械振捣混凝土时的坍落度，当采用人工捣实混凝土时其值可适当增大；

- ②当需要配制大坍落度混凝土时，应掺用外加剂；
- ③曲面或斜面结构混凝土的坍落度应根据实际需要另行选定；
- ④轻骨料混凝土的坍落度，宜比表中数值减少 10~20 mm；
- ⑤泵送混凝土的坍落度宜为 80~180 mm，详见第 5 章。

用水量如表 3-8 及表 3-9。并注意下列事项：

- ①此两表只适用于水灰比在 0.4~0.8 范围内使用；
- ②水灰比小于 0.4 的混凝土以及采用特殊成型工艺的混凝土用水量，应通过试验确定；

③流动性和大流动性混凝土的用水量，可以表 3-9 中坍落度 90 mm 的用水量为基数，按坍落度每增加 20 mm，用水量增加 5kg 的幅度，计算所得的用水量即为未掺用外加剂时的混

注：\* 粒径选用的标准，请参阅第 2 章石子的规格表 2-10。

凝土用水量；

④如掺用外加剂时，混凝土的用水量，请参照第4章。

[1] 表 3-8 每立方米干硬性混凝土的用水量 (kg)

拌合物稠度		卵石最大粒径 (mm)			碎石最大粒径 (mm)		
项目	指标	10	20	40	16	20	40
维勃稠度( $s$ )	16~20	175	160	145	180	170	155
	11~15	180	165	150	185	175	160
	5~10	185	170	155	190	180	165

[1] 表 3-9 每立方米塑性混凝土的用水量 (kg)

拌合物稠度		卵石最大粒径 (mm)				碎石最大粒径 (mm)			
项目	指标	10	20	31.5	40	16	20	31.5	40
坍落度 (mm)	10~30	190	170	160	150	200	185	175	165
	35~50	200	180	170	160	210	195	185	175
	55~70	210	190	180	170	220	205	195	185
	75~90	215	195	185	175	230	215	205	195

注：①本表用水量系采用中砂时的平均取值。采用细砂时，每立方米混凝土用水量可增加 5~10 kg；采用粗砂时，则可减少 5~10 kg。

②掺用各种外加剂或掺合料时，用水量应相应调整。

### 3.3.5.2 水泥用量

每立方米混凝土水泥用量可按式 (3-8) 计算。

$$m_{c0} = \frac{m_{w0}}{W/C} \quad (3-8)$$

式中  $m_{c0}$ ——水泥用量，kg；

$m_{w0}$ ——水用量，kg；

$W/C$ ——水灰比。

注：掺用外加剂时的水泥用量，请参阅第 4 章。

### 3.3.5.3 砂率

砂率是指砂在骨料总量中的百分率。其理论值为

$$\beta_s = \alpha \cdot \frac{\rho_s P_g}{\rho_s P_g + \rho_g} \quad (3-9)$$

式中  $\beta_s$ ——砂率，%；

$\alpha$ ——拨开系数，用机械振捣成型，取 1.1~1.2；用人工捣固，取 1.2~1.4；

$\rho_s$ ——砂的堆积密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$P_g$ ——石子的空隙率，%；

$\rho_g$ ——石子的堆积密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

砂率对混凝土强度影响不大，但对新拌混凝土的稠度、粘聚性和保水性有一定的影响。同时，砂率也受下列因素的影响：

粗骨料粒径大，则砂率小；

细砂的砂率应小，粗砂的砂率应大；

粗骨料为碎石，则砂率大；粗骨料为卵石，则砂率小；

水灰比大则砂率大，水灰比小则砂率小；

水泥用量大则砂率小，水泥用量小则砂率大。

因此，砂率很难用计算决定，往往参考当地历史资料作参考。如无当地资料可参考时，可参考表 3-10 选用。

如按表 3-10 选用砂率时，可按照下列 3 种情况作必要的调整。

①坍落度为 10~60mm 的混凝土砂率，可根据粗骨料品种、粒径及水灰比按表 3-10 选取；

[ 1 ] 表 3-10 混凝土的砂率 ( % )

水灰比 ( W/C )	卵石最大粒径 ( mm )			碎石最大粒径 ( mm )		
	10	20	40	16	20	40
0.40	26~32	25~31	24~30	30~35	29~34	27~32
0.50	30~35	29~34	28~33	33~38	32~37	30~35
0.60	33~38	32~37	31~36	36~41	35~40	33~38
0.70	36~41	35~40	34~39	39~44	38~43	36~41

注：①本表数值系中砂的选用砂率，对细砂或粗砂，可相应地减少或增大砂率；

②只用一个单粒级粗骨料配制混凝土时，砂率应适当增大；

③对薄壁构件，砂率取偏大值；

④本表中的砂率系指砂与骨料总量的重量比。

②坍落度大于 60mm 的混凝土砂率，可经试验确定，也可在表 3-10 的基础上，按坍落度每增大 20mm，砂率增大 1% 的幅度予以调整；

③坍落度小于 10mm 的混凝土，其砂率应经试验确定；

④对薄壁构件砂率应采用偏大值；

⑤如粗骨料只用一个单粒级配制混凝土时，砂率应适当增大。

### 3.3.6 骨料用量的两种算法

经过以上的叙述，4 种基本材料已解决了水和水泥的用量。未知的砂和石子用量计算有两种方法：重量法\* 和体积法。两种方法所得的结果基本接近。分别介绍如下。

注：\* 亦称表观密度法。（JGJ 55—2000）规程称为重量法，本手册从规程。

## 3.3.6.1 重量法

## 1) 依据

重量法计算配合比的依据是假定混凝土的总量等于所投放材料的总量。其表达式：

$$m_{c0} + m_{g0} + m_{s0} + m_{w0} = m_{cp} \quad (3-10)$$

式中  $m_{c0}$ ——每立方米混凝土的水泥用量，kg；  
 $m_{g0}$ ——每立方米混凝土的粗骨料用量，kg；  
 $m_{s0}$ ——每立方米混凝土的细骨料用量，kg；  
 $m_{w0}$ ——每立方米混凝土的用水量，kg；  
 $m_{cp}$ ——每立方米混凝土拌合物的假定总用量，kg，其值可按表 3-11 选用。

表 3-11 普通混凝土的假定总量 ( $m_{cp}$ )

混凝土强度等级	≤C15	C20~C35	≥C40
假定每立方米总量 (kg)	2360	2400	2450

## 2) 砂石总用量及个别用量的计算

砂石总用量可将式 (3-10) 移项便得：

$$m_{g0} + m_{s0} = m_{cp} - m_{c0} - m_{w0} \quad (3-11)$$

砂石个别用量可利用砂率计算，因

$$\beta_s = \frac{m_{s0}}{m_{s0} + m_{g0}} \times 100 \quad (3-12)$$

砂的用量

$$m_{s0} = \beta_s (m_{s0} + m_{g0}) \quad (3-13)$$

石的用量

$$m_{g0} = (m_{s0} + m_{g0}) - m_{s0} \quad (3-14)$$

式中  $\beta_s$ ——砂率，%。

## 3.3.6.2 体积法

## 1) 依据

体积法是以所投放材料的总体积  $1 \text{ m}^3$ ，能完成混凝土工

作量为 $1 \text{ m}^3$ 体积。用公式表示：

$$\frac{m_{c0}}{\rho_c} + \frac{m_{g0}}{\rho_g} + \frac{m_{s0}}{\rho_s} + \frac{m_{w0}}{\rho_w} + 0.01\alpha = 1 \quad (3-15)$$

$$V_c + V_g + V_s + V_w + 0.01\alpha = 1 \text{ m}^3 \quad (3-16)$$

式中  $\rho_c$ ——水泥密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ，可取 2900~3100；

$\rho_g$ ——粗骨料的表观密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$\rho_s$ ——细骨料的表观密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$\rho_w$ ——水的密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ，可取 1000；

$\alpha$ ——混凝土含气量的百分数，在不使用引气型外加剂时， $\alpha = 1$ ；

$V_c$ 、 $V_g$ 、 $V_s$ 、 $V_w$ ——依次代表水泥、石子、砂、水的体积， $\text{m}^3$ 。

## 2) 运算

①向实验室了解水泥、砂、石子的密度；

②将已知的水、水泥的用量换算为体积，按下式计算：

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (3-17)$$

式中  $V$ ——体积， $\text{m}^3$ ；

$m$ ——材料用量， $\text{kg}$ ；

$\rho$ ——材料密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

③计算砂、石的总体积及个别体积，公式如下。

$$(V_g + V_s) = 1 - V_c - V_w - 0.01\alpha \quad (3-18)$$

$$V_s = \beta_s (V_s + V_g) \quad (3-19)$$

$$V_g = (V_g + V_s) - V_s \quad (3-20)$$

④将体积比的配合比换算成重量比，以便于搅拌站使用。

换算的公式如下：

$$m = V \cdot \rho \quad (3-21)$$

### 3.3.6.3 初步配合比

上列 4 种材料得出后，通常按一定次序列出，并以水泥的用量为 100%，算出其他 3 种材料的比值，即

$$\frac{m_{w0}}{m_{c0}} : \frac{m_{s0}}{m_{c0}} : \frac{m_{g0}}{m_{c0}} \quad (3-22)$$

## 3.4 综合例题

例 3-2 某多层钢筋混凝土框架结构房屋，柱、梁、板混凝土设计的结构强度为 C25 级，（据例 3-1 计算，其配制强度为 31.00 MPa）。设计图梁柱的最小截面为 240 mm，钢筋最小间距为 39 mm，楼板厚度为 90 mm。用轻型振动器振捣，要求用普通硅酸盐水泥、中砂和碎石。请用重量法及体积法分别设计其混凝土配合比。

解：1) 选料

### ①水泥

按题意，可用普通硅酸盐水泥。其强度等级按表 2-2 选用  $f_{\text{ce}g} = 32.5$  MPa 级。因无 28 d 抗压强度实测值，但查随货质量证明，其富余系数可达 1.08，要求按实际强度  $f_{\text{ce}} = 35.1$  MPa 使用。

### ②碎石

其品种可用当地生产的花岗岩，其最大粒径为 31.5 mm（经查表 2-11，未超过规定）。可选用连续级配为 5~31.5 mm 的、密度不小于  $2.6 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup> 的合格碎石。

### ③砂

可采用当地生产的符合标准的河砂。其细度模数为 2.7~

### 3.4 的中粗砂。

#### ④水

用当地的自来水。

#### ⑤坍落度

施工部门浇筑时使用轻型振动器，按表 3-7，选用坍落度为 35~50 mm。

#### ⑥回归系数

按表 3-3 取值：碎石  $\alpha_a = 0.46$ ， $\alpha_b = 0.07$ 。

### 2) 运算

#### ①计算强度标准差

见例 3-1。

#### ②计算配制强度 $f_{cu,0}$

引用式 (3-2)，见例 3-1。

#### ③计算水灰比

引用式 (3-5)，各值代入：

$$\begin{aligned}\frac{W}{C} &= \frac{0.46 \times 35.1}{31 + 0.0322 \times 35.1} \\ &= 0.5025\end{aligned}$$

#### ④确定用水量

查表 3-9，当坍落度为 35~50 mm、碎石为 31.5 mm，其相交值为 185 kg，即为本题的每立方米混凝土用水量。

#### ⑤计算水泥用量

引用式 (3-8)，各值代入，得每立方米混凝土水泥用量

$$\begin{aligned}m_{c0} &= \frac{185}{0.5} \\ &= 370 \text{ kg}\end{aligned}$$

#### ⑥确定砂率

查表 3-10，水灰比取 0.5，碎石粒径设计为 31.5 mm，但表上只有 20 mm 和 40 mm，取此两值的平均值为 33.5%，即为本题的砂率。

⑦ 分别用重量法及体积法运算：

重量法：

每立方米混凝土的骨料总用量，引用式 (3-11)：

$$\begin{aligned} m_{g0} + m_{s0} &= 2400 - 185 - 370 \\ &= 1845 \text{ kg} \end{aligned}$$

每立方米混凝土砂用量，引用式 (3-13)：

$$\begin{aligned} m_{s0} &= 0.335 \times 1845 \\ &= 618 \text{ kg} \end{aligned}$$

每立方米混凝土石子用量，引用式 (3-14)：

$$\begin{aligned} m_{g0} &= 1845 - 618 \\ &= 1227 \text{ kg} \end{aligned}$$

按重量法配合比计算结果，每立方米混凝土用量列出如下：

$$\begin{aligned} m_{w0} &= 185 \text{ kg} \\ m_{c0} &= 370 \text{ kg} \\ m_{s0} &= 618 \text{ kg} \\ m_{g0} &= 1227 \text{ kg} \end{aligned}$$

据式 (3-22)，综合配合比为：

$$\begin{aligned} m_{w0} : m_{c0} : m_{s0} : m_{g0} &= 185 : 370 : 618 : 1227 \\ &= 0.5 : 1 : 1.67 : 3.316 \end{aligned}$$

体积法：

a. 补充几个参数：

水泥密度  $\rho_c = 3.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

水的密度  $\rho_w = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

砂的密度  $\rho_s = 2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

碎石的密度  $\rho_g = 2.67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

将水、水泥用量代入式 (3-17), 则  $1\text{m}^3$  混凝土中:

$$\begin{aligned} \text{水的用量} &= \frac{185}{1.0 \times 10^3} \\ &= 185 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{水泥用量} &= \frac{370}{3.1 \times 10^3} \\ &= 119.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

设含气量  $= 10 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

b. 每立方米混凝土骨料总用量, 引用式 (3-18):

$$\begin{aligned} (V_s + V_g) &= 1 - 185 \times 10^{-3} - 119.35 \times 10^{-3} - 10 \times 10^{-3} \\ &= 685.65 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

c. 每立方米混凝土砂的用量, 引用式 (3-19):

$$\begin{aligned} m_{s0} &= 0.335 \times 685.65 \times 10^{-3} \\ &= 229.70 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

d. 每立方米混凝土石子的用量, 引用式 (3-20):

$$\begin{aligned} m_{g0} &= (685.65 - 229.7) \times 10^{-3} \\ &= 455.95 \times 10^{-3} \text{ 取 } 456 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

e. 为便于施工, 引用式 (3-21), 转换为每立方米混凝土中各材料重量:

$$\begin{aligned} m_{s0} &= 229.7 \times 10^{-3} \times 2.65 \times 10^3 \\ &= 609 \text{ kg/m}^3 \\ m_{g0} &= 456 \times 10^{-3} \times 2.67 \times 10^3 \\ &= 1218 \text{ kg} \end{aligned}$$

据式 (3-22), 综合配合比为:

$$m_{w0} : m_{c0} : m_{s0} : m_{g0} = 185 : 370 : 609 : 1218$$

$$= 0.5 : 1 : 1.65 : 3.292$$

### 3) 表格法运算

表格法运算是将分类法简化成表格，重量法及体积法均适用。更适合经常有配合比设计工作的部门。当各种数据汇集齐后，在很短时间内便可得出结果。

表 3-12 是以例 3-2 的重量法采用表格法运算示例。计算结果与例题 2 相同。

表 3-12 混凝土配合比重量法计算表

序号	项 目	计算公式或应查表号	计算结果
1	强度标准差	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N f_{cu,i}^2 - N \cdot \mu_{fcu}^2}{N-1}}$	3.6 MPa
2	配制强度	$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma$	31.0 MPa
3	水泥实际强度	快速测定，或按下式计算 $f_{ce} = \gamma_c \cdot f_{ce,g}$	35.1 MPa
4	水灰比	$W/C = \frac{\alpha_a \cdot f_{ce}}{f_{cu,0} + \alpha_a \cdot \alpha_b \cdot f_{ce}}$	0.50
5	坍落度	表 3-7	35~50 mm
6	粗骨粒最大粒径	表 2-11	31.5 mm
7	用水量（每立方米混凝土）	表 3-8、3-9	185 kg
8	水泥用量（每立方米混凝土）	$m_{c0} = \frac{m_{w0}}{W/C}$	370 kg
9	复查水灰比值及水泥用量	表 3-4	合格
10	砂率	表 3-10	33.5%
11	混凝土假定总量（每立方米）	表 3-11。计算按下式 $m_{c0} + m_{g0} + m_{s0} + m_{w0} = m_{cp}$	2400 kg

续表 3-12

序号	项 目	计算公式或应查表号	计算结果
12	粗、细骨料总量 (每立方米混凝土)	$m_{g0} + m_{s0} = m_{cp} - m_{c0} - m_{w0}$	1845 kg
13	砂用量 (每立方米 混凝土)	$m_{s0} = \beta_s (m_{s0} + m_{g0})$	618 kg
14	石子用量 (每立方 米混凝土)	$m_{g0} = (m_{s0} + m_{g0}) - m_{s0}$	1227 kg
15	配合比： $m_{w0} : m_{c0} : m_{s0} : m_{g0}$ $= 185 : 370 : 618 : 1227$	$\frac{m_{w0}}{m_{c0}} : \frac{m_{c0}}{m_{c0}} : \frac{m_{s0}}{m_{c0}} : \frac{m_{g0}}{m_{c0}}$ $= 0.5 : 1 : 1.67 : 3.316$	

注：如改为体积法计算表，序号 1~10 均相同。以下各项目请改按例 3-2 第 a~e 中的体积法的次序列算。

## 3.5 试配、调整及确定

### 3.5.1 试配

混凝土配合比设计完成后必须进行试配。试配的作用是检验配合比是否与设计要求相符。如不符合，应进行调整。

试配工作应注意下列几点：

- 1) 所用的设备及工艺方法应与生产时的条件相同；
- 2) 所使用的粗细骨料应处于干燥状态；
- 3) 每盘的拌合量：当粗骨料粒径  $\leq 31.5$  mm 时，试配量应  $\geq 0.015$  m<sup>3</sup>；最大粒径为 40 mm 时，试配量应  $\geq 0.025$  m<sup>3</sup>；
- 4) 材料的总量应不少于所用搅拌机容量的 25%；
- 5) 混凝土试配项目次序的安排应为：①稠度；②强度；

③用料量。每个项目经过试配、调整符合设计要求后，方可再安排下个项目的试配和调整。

### 3.5.2 稠度的调整

#### 3.5.2.1 检测

稠度的调整应从检测三个项目入手。一是粘聚性，二是泌水性，三是坍落度。

按试配要求拌好拌合物后，可先观测前两个项目：随意取少量拌合物置于手掌内，两手用力将之捏压成不规则的球状物，放手后如拌合物仍成团不散不裂，则粘聚性好。如有水分带有水泥微粒流出，则表示泌水性大。

坍落度试验，可用坍落度筒法，当坍落度筒垂直平稳提起时，筒内拌合物向下坍落，将有4种不同形态出现，如图3-3。图a为无坍落度或坍落度很少；图b为有坍落度，用直尺测量其与坍落度筒顶部的高差，为坍落度值，如与设计值相符，便视为合格；图c则表示砂浆少、粘聚性差；图d如不是有意拌制大流动性混凝土，则可能坍落度过大。

另外，还可对已坍落拌合物的粘聚性再进行观测，用捣棒轻轻敲击试体的两侧，如试体继续整体下沉，则粘聚性良好；如试体分块崩落或出现离析，表示粘聚性不够好。

对已坍落的试体，可同时作泌水性观测：如有含细颗粒的稀浆水自试体表面流出，则是泌水性较大。

#### 3.5.2.2 调整

##### 1) 坍落度调整

如坍落度如图a，则拌合物属干硬性混凝土。如坍落度过小，可采取两种措施：一是维持原水灰比，略微增加用水量和水泥用量；二是略为加大砂率。如坍落度过大，也是维持原水

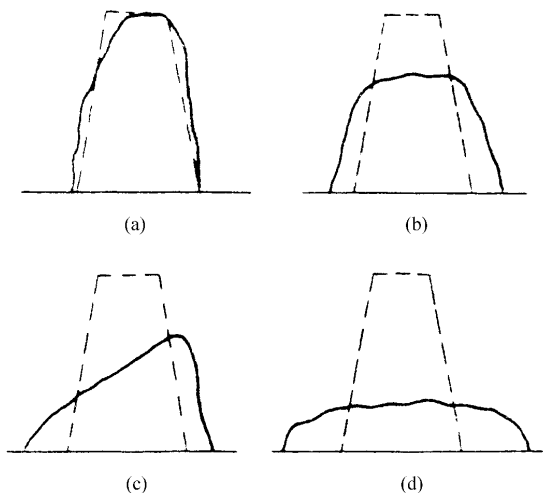


图 3-3 坍落度的形状

灰比，略微减少用水量和水泥用量，或减少砂率。

#### 2) 粘聚性调整

粘聚性不好有两种原因，一是粗骨料过多，水泥砂浆不足；二是水泥砂浆过多。应对原配合比仔细分析，针对原因采取措施。

#### 3) 泌水性调整

泌水性大，有可能降低混凝土强度，解决措施是减少用水量，但不减水泥。

#### 4) 调整幅度

进行调整时，每次调幅应以 1% 为限。一次未能解决，则

多次逐步进行，直至符合要求。调整时，应按前述流程重新计算用量。

稠度调整合格的配合比，亦即是下一个项目强度试验的基准配合比。

### 3.5.3 强度的检测及调整

强度的检测，是以稠度调整后的基准配合比为对象。

制作强度试件时，应按石子最大粒径选用模型：

当石子最大粒径为 31.5mm 时，用 100mm × 100mm × 100mm 试模；

当石子最大粒径为 40mm 时，用 150mm × 150mm × 150mm 试模；

当石子最大粒径为 60mm 时，用 200mm × 200mm × 200mm 试模。

强度试件制作 3 组，每组 3 块。一组按稠度调整后的基准配合比制作，称为基准组；一组按基准组的水灰比加大 0.05 计算其配合比制作，称为加水基准组；一组按基准组的水灰比减少 0.05 计算其配合比制作，称为减水基准组。

此 3 组试件如时间允许可用 28d 或 3d 的标准养护试件进行对比；亦可按《JGJ 15—83 早期推定混凝土强度试验方法》的方法，用早期强度推定其强度。此法将在下节介绍。

试件强度经检测部门检测后，视其检测结果按下列情况处理：

①强度满足  $f_{cu,0}$  的要求，可选强度稍高于  $f_{cu,0}$  的一组为强度调整后的基准配合比。

②强度低于  $f_{cu,0}$ ，按强度较高的一组用降低水灰比的方法进行调整。如强度已比较接近，水灰比降低值可较少；如强

度相差较大，则水灰比值可降低 0.05，再制作 3 组试件试验。此时，应同时检测稠度，如稠度已符合要求，则不必减水，但按比例加水泥。直试至强度满足要求。

③强度过高时，如超强幅度不大，就不必调整，即以稠度调整后基准配合比为强度调整后配合比。如超强幅度过大，则用加大水灰比方法进行调整。调整幅度视超强多少而定。如稠度已符合要求，则不加水，按比例减少水泥，按比例补回砂、石，直试至强度接近或稍高于  $f_{cu, \rho}$ 。此配合比即为强度调整后基准配合比。

#### 3.5.4 用料量的调整

经过稠度和强度检测后，混凝土的配合比便可确定。式 (3-10) 的材料计算，可以改用表观密度计算值表示，如式 (3-23)：

$$\rho_{c, \kappa} = m_w + m_c + m_s + m_g \quad (3-23)$$

但混凝土成型后（例如试件）的表观密度实测值与计算值可能不一致。当出现差异时，应进行调整。其校正系数如式 (3-24)。

当  $\delta$  值的绝对值  $< 2\%$  时，可不进行调整；如  $> 2\%$  时，则应进行调整。

$$\delta = \frac{\rho_{c, t}}{\rho_{c, \kappa}} \quad (3-24)$$

式中  $\rho_{c, t}$ ——混凝土表观密度实测值， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；  
 $\rho_{c, \kappa}$ ——混凝土表观密度计算值， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；  
 $\delta$ ——校正系数。

例 3-3 C20 级混凝土配合比，经稠度及强度试验后，确定配合比如下（每立方米混凝土中各成分的用量）： $m_w = 170 \text{ kg}$ 、

$m_c = 293 \text{ kg}$ 、 $m_s = 678 \text{ kg}$ 、 $m_g = 1259 \text{ kg}$ ，总用量为  $2400 \text{ kg}$ 。按照试件实测其表观密度为  $2460 \text{ kg/m}^3$ 。请计算其校正系数及确定其调整后的配合比。

$$\text{解：} \delta = \frac{2460}{2400} = 1.025$$

校正系数  $> 2\%$ ，应再作调整。

调整后每立方米混凝土中各成分的用量：

$$m_w = 170 \times 1.025 = 174.3 \text{ kg}$$

$$m_c = 293 \times 1.025 = 300.3 \text{ kg}$$

$$m_s = 678 \times 1.025 = 695.0 \text{ kg}$$

$$m_g = 1259 \times 1.025 = 1290.4 \text{ kg}$$

其原来配合比为  $0.58:1:2.314:4.297$ ，不变。

例 3-4 某混凝土配合比，其表观密度实测值  $= 2360 \text{ kg/m}^3$ ，其表观密度计算值  $= 2400 \text{ kg/m}^3$ 。请计算其校正系数，应否对原来配合比用料进行调整。

$$\text{解：} \delta = \frac{2360}{2400} = 98.33\%$$

其校正系数绝对值  $< 2\%$ ，可不再作调整。

### 3.5.5 通知书

通过配合比设计的各个阶段后，配合比得到确定，最后的工作是发给配合比设计通知书。通知书的格式如表 3-13。

搅拌站在投料生产前，应根据仓存砂、石的含水率进行调整。在用水量中扣除含水量，补回砂、石量。投产后应按期将实际配合比及试件强度反馈给签发通知书的单位。配合比设计部门应按反馈资料与原配合比进行对照统计，改进工作。

表 3-13 混凝土配合比设计结果通知书

施工资料	工程名称：_____ 特殊要求：_____														
	项目或部位名称：_____														
	混凝土数量：_____ 委托日期：_____年_____月_____日_____时														
	设计强度	强度标准差	配制强度	坍落度	构件最小截面	最小钢筋间距									
MPa	MPa	MPa	mm	mm	mm										
其他施工资料															
配合比设计结果	水泥			砂			石子			外加剂或掺合料					
	品种	强度等级	富余系数	品种	细度模数	密度	品种	粒级级配	密度	名称：			名称：		
		品牌	质量指标		品牌	质量指标		品牌	质量指标	品牌	质量指标				
	kg/m <sup>3</sup>			kg/m <sup>3</sup>			kg/m <sup>3</sup>			kg/m <sup>3</sup>			kg/m <sup>3</sup>		
用水量			kg/m <sup>3</sup> 确定后配合比，以水泥为 1， $m_w:m_c:m_s:m_g:m_a:m_f=$												
其他注意事项															

发出日期：\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日

设计单位负责人：\_\_\_\_\_设计人：\_\_\_\_\_

### 3.6 混凝土强度的早期推定

混凝土试件强度的确定，是以标准养护 28d 的强度为准。常常影响工作进度。解决的措施可以同时制作多几组试件，一部分提供作快速推定用，在较早龄期试压，推定其强度。另一部分留待 28d 标准养护后检验。

如何进行早期强度推定，通常有以下两种措施。

#### 3.6.1 制作混凝土龄期强度曲线图

此法较为简单，但需长期积累资料。

曲线图以混凝土抗压强度为纵坐标，单位为 MPa；以混凝土龄期为横坐标，以 d 为单位，以 3、7、28d 等分度。各个配合比试件强度便可连成一条曲线。日积月累，就能成为一个很可观的、很宝贵的参考资料。

入编此图的试件，应符合下列要求：

- 1) 试件的养护，在 28d 以前的，应采用标准养护；
- 2) 如几个配合比试件共用一个图，每个配合比应各有编号；
- 3) 每个编号的配合比试件的用料质量和用量均应相同；
- 4) 在积累了相当数量的数据后，可以统计各种水泥、各种配制强度制成各种配合比的曲线。以后遇有同条件的试件，便可参照 3d、7d 强度，推定 28d 强度。

#### 3.6.2 用蒸煮试件法推定

此法只适用于蒸煮试件与标准养护试件在材料、配合比、生产条件相同的情况下使用。更适用于设计频率较繁的预拌混凝土厂或构件预制厂中使用。

##### 3.6.2.1 换算系数

蒸煮试件法推定混凝土强度的原理是事先用若干组试件进

行蒸煮加速养护所得的强度与 28 d 标准养护试件的强度进行对比, 取得两者抗压强度的换算系数, 作为备用。

换算系数初期的对比组应各有 10 组以上, 通过下列计算式取得。经过长期资料积累后, 换算系数可以相应调整。

$$\text{换算系数} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{f_{\text{cu}28}}{f_{\text{cu}早}} \quad (3-25)$$

式中  $n$ ——试块组数,  $n \geq 10$ ;

$f_{\text{cu}28}$ ——试块标准养护 28 d 强度, MPa;

$f_{\text{cu}早}$ ——试块蒸煮养护强度, MPa。

### 3.6.2.2 蒸煮设备及强度的推定

试块蒸煮方法有 3 种: ① 55℃ 温水法; ② 80℃ 热水法; ③ 沸水法。前两种要有自动控温装置, 试模为密封试模, 较为复杂。通常采用沸水法, 介绍如下:

1) 试件在制作完成抹面后, 用橡胶片或薄膜覆盖表面, 放在室温为  $20 \pm 5$ ℃ 的环境中静停 24 h (从开始拌和时计)。

2) 养护箱要求:

① 试件与试件之间应有 5 cm 的空隙;

② 试件距热源不小于 10 cm;

③ 试件面上水深不小于 5 cm;

④ 可用双层金属板制作, 以起保温作用。

3) 静停期满后:

① 如已有一定强度, 可拆模放入养护箱沸水中;

② 如强度仍低, 可带模入箱养护。

4) 试件入箱后, 应使水温在 15 min 内恢复到沸点。

5) 试件在沸水中养护  $4 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$ ; 整个养护期, 水温保持在沸点。

6) 取出试件后静置  $1 \text{ h} \pm 10 \text{ min}$ 。

7) 试件于龄期为  $29 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$  时进行试压, 其强度即为  $f_{\text{cu}早}$ 。

8) 混凝土推定强度  $f_{\text{cu}推}$  的计算:

$$f_{\text{cu推}} = \text{换算系数} \times f_{\text{cu早}} \quad (3-26)$$

## 3.7 普通混凝土配合比参考表

### 3.7.1 设计说明

- 1) 混凝土强度标准差按表 3-2 选用。
- 2) 混凝土配制强度按式 (3-2) 计算。
- 3) 每个混凝土配制强度基本上选两个强度等级的水泥。
- 4) 水泥强度实测值, 只列两例。一为按强度等级的标准值, 即  $f_{\text{ce}} = f_{\text{ce.g}}$ , 亦即富余系数 = 1.00; 一为富余系数为 1.08, 亦即  $f_{\text{ce}} = 1.08f_{\text{ce.g}}$ 。
- 5) 水灰比公式, 碎石按式 (3-5); 卵石按式 (3-6)。
- 6) 混凝土浇筑稠度按使用轻型振捣器考虑。除 C15 级混凝土多用于基础, 采用 10~30 mm 外, (大体积混凝土另见第 5 章), 其余均采用 35~90 mm 的三种稠度。
- 7) 砂按表 2-5, 其细度模数为 2.7~3.4 的中粗砂。
- 8) 石子粒径采用常用的 4 种规格。
- 9) 全部例题均用重量法设计, 混凝土的总用料量见表 3-11。
- 10) 设计程序及方法与例题 2 相同。
- 11) 本参考表只供参照对比之用, 使用时应按实际条件另行设计。如实际条件与本参考表的假设条件完全相同, 采用本手册的配合比时, 仍应按“3.5 试配、调整及确定”的要求进行检测, 符合要求时方可使用。
- 12) 每立方米混凝土最大水泥用量不宜大于 550 kg。如采用此项配合比时, 应改用高一强度等级的水泥, 或掺用减水剂以降低水泥用量。请参阅第 4 章。
- 13) 规程要求每立方米配筋混凝土水泥用量不应少于 260 kg, 当计算值低于此值时, 可选用强度低一级的水泥。

## 3.7.2 各级碎石混凝土配合比(表 3-14 ~ 表 3-29)

表 3-14 C15 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 4$  MPa

水泥强度等级 = 32.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 21.58$  MPa每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2360$  kg

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍 落 度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	32.5	0.66	10~30	41	200	303	761	1096	0.66	1	2.512	3.617
				35~50		210	318	751	1081			2.362	3.399
				55~70		220	333	741	1066			2.225	3.201
	1.08	35.1	0.71	10~30	43	200	282	807	1071	0.71	1	2.862	3.798
				35~50		210	296	797	1057			2.693	3.571
				55~70		220	310	787	1043			2.539	3.365
20	1.00	32.5	0.66	10~30	39	185	280	739	1156	0.66	1	2.639	4.129
				35~50		195	295	729	1141			2.471	3.868
				55~70		205	311	719	1125			2.312	3.617
	1.08	35.1	0.71	10~30	41	185	261	785	1129	0.71	1	3.008	4.326
				35~50		195	275	775	1115			2.818	4.055
				55~70		205	289	765	1101			2.647	3.810
31.5	1.00	32.5	0.66	10~30	38	175	265	730	1190	0.66	1	2.755	4.491
				35~50		185	280	720	1175			2.571	4.196
				55~70		195	295	710	1160			2.407	3.932
	1.08	35.1	0.71	10~30	40	175	246	776	1163	0.71	1	3.154	4.728
				35~50		185	261	766	1148			2.935	4.398
				55~70		195	275	756	1134			2.749	4.124
40	1.00	32.5	0.66	10~30	37	165	250	720	1225	0.66	1	2.880	4.900
				35~50		175	265	710	1210			2.679	4.566
				55~70		185	280	701	1194			2.504	4.264
	1.08	35.1	0.71	10~30	39	165	232	766	1197	0.71	1	3.302	5.159
				35~50		175	246	756	1183			3.073	4.809
				55~70		185	261	746	1168			2.858	4.475

表 3-15 C20 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 32.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 28.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	32.5	0.51	35~50	36	210	412	640	1138	0.51	1	1.553	2.762
				55~70		220	431	630	1119			1.462	2.596
				75~90		230	451	619	1100			1.373	2.439
	1.08	35.1	0.55	35~50	37	210	382	669	1139	0.55	1	1.751	2.982
				55~70		220	400	659	1121			1.648	2.803
				75~90		230	418	648	1104			1.550	2.641
20	1.00	32.5	0.51	35~50	35	195	382	638	1185	0.51	1	1.670	3.102
				55~70		205	402	628	1165			1.562	2.898
				75~90		215	422	617	1146			1.462	2.716
	1.08	35.1	0.55	35~50	36	195	355	666	1184	0.55	1	1.876	3.335
				55~70		205	373	656	1166			1.759	3.126
				75~90		215	391	646	1148			1.652	2.936
31.5	1.00	32.5	0.51	35~50	34	185	363	630	1222	0.51	1	1.736	3.366
				55~70		195	382	620	1203			1.623	3.149
				75~90		205	402	609	1184			1.515	2.945
	1.08	35.1	0.55	35~50	35	185	336	658	1221	0.55	1	1.958	3.634
				55~70		195	355	648	1202			1.825	3.386
				75~90		205	373	638	1184			1.710	3.174
40	1.00	32.5	0.51	35~50	33	175	343	621	1261	0.51	1	1.810	3.676
				55~70		185	363	611	1241			1.683	3.419
				75~90		195	382	602	1221			1.576	3.196
	1.08	35.1	0.55	35~50	34	175	318	648	1259	0.55	1	2.038	3.959
				55~70		185	336	639	1240			1.902	3.690
				75~90		195	355	629	1221			1.772	3.439

表 3-16 C20 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 42.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 28.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	42.5	0.66	35~50	41	210	318	768	1104	0.66	1	2.415	3.472
				55~70		220	333	757	1090			2.273	3.273
				75~90		230	348	747	1075			2.147	3.089
	1.08	45.9	0.71	35~50	43	210	296	814	1080	0.71	1	2.750	3.649
				55~70		220	310	804	1066			2.594	3.439
				75~90		230	324	794	1052			2.451	3.247
20	1.00	42.5	0.66	35~50	39	195	295	745	1165	0.66	1	2.525	3.949
				55~70		205	311	735	1149			2.363	3.695
				75~90		215	326	725	1134			2.224	3.479
	1.08	45.9	0.71	35~50	41	195	275	791	1139	0.71	1	2.876	4.142
				55~70		205	289	781	1125			2.702	3.893
				75~90		215	303	772	1110			2.548	3.663
31.5	1.00	42.5	0.66	35~50	38	185	280	735	1200	0.66	1	2.625	4.286
				55~70		195	295	726	1184			2.461	4.014
				75~90		205	311	716	1168			2.302	3.756
	1.08	45.9	0.71	35~50	40	185	261	782	1172	0.71	1	2.996	4.490
				55~70		195	275	772	1158			2.807	4.211
				75~90		205	289	762	1144			2.637	3.958
40	1.00	42.5	0.66	35~50	37	175	265	725	1235	0.66	1	2.736	4.660
				55~70		185	280	716	1219			2.557	4.354
				75~90		195	295	707	1203			2.397	4.078
	1.08	45.9	0.71	35~50	39	175	246	772	1207	0.71	1	3.138	4.907
				55~70		185	261	762	1192			2.919	4.567
				75~90		195	275	753	1177			2.738	4.280

表 3-17 C25 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 32.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 33.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	32.5	0.44	35~50	34	210	477	582	1131	0.44	1	1.220	2.371
				55~70		220	500	571	1109			1.142	2.218
				75~90		230	523	560	1087			1.071	2.078
	1.08	35.1	0.47	35~50	36	210	447	627	1116	0.47	1	1.403	2.497
				55~70		220	468	616	1096			1.316	2.342
				75~90		230	489	605	1076			1.237	2.200
20	1.00	32.5	0.44	35~50	33	195	443	581	1181	0.44	1	1.312	2.666
				55~70		205	466	571	1158			1.225	2.485
				75~90		215	489	560	1136			1.145	2.323
	1.08	35.1	0.47	35~50	35	195	415	627	1163	0.47	1	1.511	2.802
				55~70		205	436	616	1143			1.413	2.622
				75~90		215	457	605	1123			1.324	2.457
31.5	1.00	32.5	0.44	35~50	32	185	420	574	1221	0.44	1	1.367	2.907
				55~70		195	443	564	1198			1.273	2.704
				75~90		205	466	553	1176			1.187	2.524
	1.08	35.1	0.47	35~50	34	185	394	619	1202	0.47	1	1.571	3.051
				55~70		195	415	609	1181			1.467	2.846
				75~90		205	436	598	1161			1.372	2.663
40	1.00	32.5	0.44	35~50	31	175	398	566	1261	0.44	1	1.422	3.168
				55~70		185	420	556	1239			1.324	2.950
				75~90		195	443	546	1216			1.233	2.745
	1.08	35.1	0.47	35~50	31.5	175	372	584	1269	0.47	1	1.570	3.411
				55~70		185	394	574	1247			1.457	3.165
				75~90		195	415	564	1226			1.359	2.954

表 3-18 C25 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 42.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 33.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	42.5	0.57	35~50	37	210	368	674	1148	0.57	1	1.832	3.120
				55~70		220	386	664	1130			1.720	2.927
				75~90		230	404	653	1113			1.616	2.755
	1.08	45.9	0.61	35~50	39	210	344	720	1126	0.61	1	2.093	3.273
				55~70		220	361	709	1110			1.964	3.075
				75~90		230	377	699	1094			1.854	2.902
20	1.00	42.5	0.57	35~50	36	195	342	671	1192	0.57	1	1.962	3.485
				55~70		205	360	661	1174			1.836	3.261
				75~90		215	377	651	1157			1.727	3.069
	1.08	45.9	0.61	35~50	38	195	320	716	1169	0.61	1	2.238	3.653
				55~70		205	336	706	1153			2.101	3.432
				75~90		215	352	697	1136			1.980	3.227
31.5	1.00	42.5	0.57	35~50	35	185	325	662	1228	0.57	1	2.037	3.778
				55~70		195	342	652	1211			1.906	3.541
				75~90		205	360	642	1193			1.783	3.314
	1.08	45.9	0.61	35~50	37	185	303	707	1205	0.61	1	2.333	3.977
				55~70		195	320	697	1188			2.178	3.713
				75~90		205	336	688	1171			2.048	3.485
40	1.00	42.5	0.57	35~50	34	175	307	652	1266	0.57	1	2.124	4.124
				55~70		185	325	643	1247			1.978	3.837
				75~90		195	342	633	1230			1.851	3.596
	1.08	45.9	0.61	35~50	36	175	287	697	1241	0.61	1	2.347	4.324
				55~70		185	303	688	1224			2.271	4.040
				75~90		195	320	679	1206			2.122	3.769

表 3-19 C30 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 32.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 38.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比								
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$					
16	1.00	32.5	0.38	35~50	32	210	553	524	1113	水泥用量过大,不宜 选用								
				55~70		220	579	512	1089									
				75~90		230	605	510	1064									
	1.08	35.1	0.41	35~50	33	210	512	554	1124									
				55~70		220	536	543	1101									
				75~90		230	561	531	1078									
20	1.00	32.5	0.38	35~50	31	195	513	525	1167									
				55~70		205	539	513	1143									
				75~90		215	566	502	1117									
	1.08	35.1	0.41	35~50	34	195	477	552	1176						0.41	1	1.157	2.465
				55~70		205	500	542	1153								1.084	2.306
				75~90		215	524	532	1129								1.015	2.155
31.5	1.00	32.5	0.38	35~50	30	185	487	518	1210									
				55~70		195	513	508	1184						0.38	1	1.064	2.485
				75~90		205	539	497	1159								0.990	2.308
	35~50	31	185	451	547	1217	0.41	1	1.213								2.698	
	55~70		195	475	536	1194			1.128						2.514			
	75~90		205	500	525	1170			1.050						2.340			
40	1.00	32.5	0.38	35~50	29	175	461	512	1252									
				55~70		185	487	501	1227						0.38	1	1.111	2.716
				75~90		195	513	491	1201								1.029	2.520
	35~50	30	175	427	539	1259	0.41	1	1.239								2.948	
	55~70		185	451	529	1235			1.173						2.738			
	75~90		195	476	519	1210			1.090						2.542			

表 3-20 C30 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 42.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 38.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	42.5	0.49	35~50	35.5	210	429	625	1136	0.49	1	1.457	2.648
				55~70		220	449	615	1116			1.370	2.486
				75~90		230	469	604	1097			1.288	2.339
	1.08	45.9	0.53	35~50	37	210	396	664	1130	0.53	1	1.677	2.854
				55~70		220	415	653	1112			1.573	2.680
				75~90		230	434	642	1094			1.479	2.521
20	1.00	42.5	0.49	35~50	34.5	195	398	623	1184	0.49	1	1.565	2.975
				55~70		205	418	613	1164			1.467	2.785
				75~90		215	439	602	1144			1.371	2.606
	1.08	45.9	0.53	35~50	36	195	368	661	1176	0.53	1	1.796	3.196
				55~70		205	387	651	1157			1.682	2.990
				75~90		215	407	640	1138			1.572	2.796
31.5	1.00	42.5	0.49	35~50	33.5	185	378	615	1222	0.49	1	1.627	3.233
				55~70		195	398	605	1202			1.520	3.020
				75~90		205	418	595	1182			1.423	2.828
	1.08	45.9	0.53	35~50	35	185	349	653	1213	0.53	1	1.871	3.476
				55~70		195	368	643	1194			1.747	3.245
				75~90		205	387	633	1175			1.636	3.036
40	1.00	42.5	0.49	35~50	32.5	175	357	607	1261	0.49	1	1.700	3.532
				55~70		185	378	597	1240			1.579	3.280
				75~90		195	398	587	1220			1.475	3.065
	1.08	45.9	0.53	35~50	34	175	330	644	1251	0.53	1	1.952	3.791
				55~70		185	349	634	1232			1.817	3.530
				75~90		195	368	625	1212			1.698	3.293

表 3-21 C35 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 42.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 43.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	42.5	0.44	35~50	34	210	477	582	1131	0.44	1	1.220	2.371
				55~70		220	500	571	1109			1.142	2.218
				75~90		230	522	560	1088			1.073	2.084
	1.08	45.9	0.47	35~50	35	210	447	610	1133	0.47	1	1.365	2.535
				55~70		220	468	599	1113			1.280	2.378
				75~90		230	489	588	1093			1.202	2.235
20	1.00	42.5	0.44	35~50	33	195	443	581	1181	0.44	1	1.312	2.666
				55~70		205	466	571	1158			1.225	2.485
				75~90		215	489	560	1136			1.145	2.323
	1.08	45.9	0.47	35~50	34	195	415	609	1181	0.47	1	1.467	2.846
				55~70		205	436	598	1161			1.372	2.663
				75~90		215	457	588	1140			1.287	2.495
31.5	1.00	42.5	0.44	35~50	32	185	420	574	1221	0.44	1	1.367	2.907
				55~70		195	443	564	1198			1.273	2.704
				75~90		205	466	553	1176			1.187	2.524
	1.08	45.9	0.47	35~50	33	185	394	601	1220	0.47	1	1.525	3.096
				55~70		195	415	591	1199			1.424	2.889
				75~90		205	436	580	1179			1.330	2.704
40	1.00	42.5	0.44	35~50	31	175	398	566	1261	0.44	1	1.422	3.168
				55~70		185	420	556	1239			1.324	2.950
				75~90		195	443	546	1216			1.233	2.745
	1.08	45.9	0.47	35~50	32	175	372	593	1260	0.47	1	1.594	3.387
				55~70		185	394	583	1238			1.480	3.142
				75~90		195	415	573	1217			1.381	2.933

表 3-22 C35 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 52.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 43.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	52.5	0.54	35~50	36	210	389	648	1153	0.54	1	1.666	2.964
				55~70		220	407	638	1135			1.568	2.789
				75~90		230	426	627	1117			1.472	2.622
	1.08	56.7	0.58	35~50	38	210	362	695	1133	0.58	1	1.920	3.130
				55~70		220	379	684	1117			1.805	2.955
				75~90		230	397	674	1099			1.698	2.768
20	1.00	52.5	0.54	35~50	35	195	361	645	1199	0.54	1	1.787	3.321
				55~70		205	380	635	1180			1.671	3.105
				75~90		215	398	625	1162			1.570	2.920
	1.08	56.7	0.58	35~50	37	195	336	692	1177	0.58	1	2.060	3.503
				55~70		205	353	682	1160			1.932	3.286
				75~90		215	371	671	1143			1.809	3.088
31.5	1.00	52.5	0.54	35~50	34	185	343	636	1236	0.54	1	1.854	3.603
				55~70		195	361	627	1217			1.737	3.371
				75~90		205	380	617	1198			1.624	3.153
	1.08	56.7	0.58	35~50	36	185	320	682	1213	0.58	1	2.131	3.791
				55~70		195	336	673	1196			2.003	3.560
				75~90		205	353	663	1179			1.878	3.340
40	1.00	52.5	0.54	35~50	33	175	324	627	1274	0.54	1	1.935	3.932
				55~70		185	343	618	1254			1.802	3.656
				75~90		195	361	609	1235			1.687	3.421
	1.08	56.7	0.58	35~50	35	175	302	673	1250	0.58	1	2.228	4.139
				55~70		185	319	664	1232			2.082	3.862
				75~90		195	336	654	1215			1.946	3.616

表 3-23 C40 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 42.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 49.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	42.5	0.38	35~50	33	210	553	540	1097	水泥用量过大,不宜 选用			
				55~70		220	579	528	1073				
				75~90		230	603	517	1050				
	1.08	45.9	0.41	35~50	34	210	512	586	1142	0.41	1	1.145	2.230
				55~70		220	537	576	1117			1.073	2.080
				75~90		230	561	564	1095			1.005	1.952
20	1.00	42.5	0.38	35~50	33	195	513	575	1167	0.38	1	1.121	2.275
				55~70		205	539	563	1143			1.045	2.121
				75~90		215	566	551	1118			0.973	1.975
	1.08	45.9	0.41	35~50	34	195	476	605	1174	0.41	1	1.271	2.466
				55~70		205	500	593	1152			1.186	2.304
				75~90		215	524	582	1129			1.111	2.155
31.5	1.00	42.5	0.38	35~50	32	185	487	569	1209	0.38	1	1.168	2.483
				55~70		195	513	557	1185			1.086	2.310
				75~90		205	539	546	1160			1.013	2.152
	1.08	45.9	0.41	35~50	33	185	451	599	1215	0.41	1	1.328	2.694
				55~70		195	476	587	1192			1.233	2.504
				75~90		205	500	576	1169			1.152	2.338
40	1.00	42.5	0.38	35~50	30	175	460	545	1270	0.38	1	1.185	2.761
				55~70		185	487	533	1245			1.094	2.556
				75~90		195	513	523	1219			1.019	2.376
	1.08	45.9	0.41	35~50	32	175	427	591	1257	0.41	1	1.384	2.944
				55~70		185	451	580	1234			1.286	2.736
				75~90		195	475	570	1210			1.200	2.547

表 3-24 C40 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 52.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 49.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	52.5	0.47	35~50	34	210	447	610	1183	0.47	1	1.365	2.647
				55~70		220	468	599	1163			1.280	2.485
				75~90		230	489	589	1142			1.204	2.335
	1.08	56.7	0.50	35~50	35.5	210	420	646	1174	0.50	1	1.538	2.795
				55~70		220	440	635	1155			1.443	2.625
				75~90		230	460	625	1135			1.359	2.467
20	1.00	52.5	0.47	35~50	33	195	415	607	1233	0.47	1	1.463	2.971
				55~70		205	436	597	1212			1.369	2.780
				75~90		215	457	587	1191			1.284	2.606
	1.08	56.7	0.50	35~50	34.5	195	390	643	1222	0.50	1	1.649	3.133
				55~70		205	410	633	1202			1.544	2.932
				75~90		215	430	623	1181			1.449	2.749
31.5	1.00	52.5	0.47	35~50	32	185	394	599	1272	0.47	1	1.520	3.228
				55~70		195	415	589	1251			1.419	3.014
				75~90		205	436	579	1230			1.328	2.821
	1.08	56.7	0.50	35~50	33.5	185	370	635	1260	0.50	1	1.716	3.407
				55~70		195	390	625	1240			1.597	3.179
				75~90		205	410	615	1220			1.500	2.976
40	1.00	52.5	0.47	35~50	31	175	372	590	1313	0.47	1	1.586	3.530
				55~70		185	394	580	1291			1.472	3.277
				75~90		195	415	570	1270			1.373	3.060
	1.08	56.7	0.50	35~50	32.5	175	350	626	1299	0.50	1	1.789	3.711
				55~70		185	370	616	1279			1.665	3.457
				75~90		195	390	606	1259			1.554	3.228

表 3-25 C45 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 52.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 54.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	52.5	0.43	35~50	33	210	488	578	1174	0.43	1	1.184	2.406
				55~70		220	511	567	1152			1.110	2.254
				75~90		230	535	556	1129			1.039	2.031
	1.08	56.7	0.46	35~50	34.5	210	456	615	1169	0.46	1	1.349	2.564
				55~70		220	478	604	1148			1.264	2.402
				75~90		230	500	593	1127			1.186	2.254
20	1.00	52.5	0.43	35~50	32	195	453	577	1225	0.43	1	1.274	2.704
				55~70		205	477	566	1202			1.187	2.520
				75~90		215	500	555	1180			1.110	2.360
	1.08	56.7	0.46	35~50	33.5	195	424	613	1218	0.46	1	1.446	2.873
				55~70		205	446	603	1196			1.352	2.682
				75~90		215	467	592	1176			1.268	2.518
31.5	1.00	52.5	0.43	35~50	31	185	430	569	1266	0.43	1	1.323	2.944
				55~70		195	453	559	1243			1.234	2.744
				75~90		205	477	548	1220			1.149	2.558
	1.08	56.7	0.46	35~50	33	185	402	615	1248	0.46	1	1.530	3.104
				55~70		195	424	604	1227			1.425	2.894
				75~90		205	446	594	1205			1.332	2.702
40	1.00	52.5	0.43	35~50	30	175	407	560	1308	0.43	1	1.376	3.214
				55~70		185	430	551	1284			1.281	2.986
				75~90		195	453	541	1261			1.194	2.784
	1.08	56.7	0.46	35~50	32	175	380	606	1289	0.46	1	1.595	3.392
				55~70		185	402	596	1267			1.483	3.152
				75~90		195	424	586	1245			1.382	2.936

表 3-26 C45 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 62.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 54.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	62.5	0.51	35~50	35	210	412	640	1188	0.51	1	1.553	2.883
				55~70		220	431	630	1169			1.462	2.712
				75~90		230	451	619	1150			1.373	2.550
	1.08	67.5	0.54	35~50	37	210	389	685	1166	0.54	1	1.761	2.997
				55~70		220	407	675	1148			1.658	2.821
				75~90		230	426	664	1130			1.559	2.653
20	1.00	62.5	0.51	35~50	34	195	382	637	1236	0.51	1	1.668	3.236
				55~70		205	402	627	1216			1.560	3.025
				75~90		215	422	616	1197			1.460	2.836
	1.08	67.5	0.54	35~50	36	195	361	682	1212	0.54	1	1.889	3.357
				55~70		205	380	671	1194			1.766	3.142
				75~90		215	398	661	1176			1.661	2.955
31.5	1.00	62.5	0.51	35~50	33	185	363	628	1274	0.51	1	1.730	3.510
				55~70		195	382	618	1255			1.618	3.285
				75~90		205	402	608	1235			1.512	3.072
	1.08	67.5	0.54	35~50	35	185	343	673	1249	0.54	1	1.962	3.641
				55~70		195	361	663	1231			1.837	3.410
				75~90		205	380	653	1212			1.718	3.189
40	1.00	62.5	0.51	35~50	32	175	343	618	1314	0.51	1	1.802	3.831
				55~70		185	363	609	1293			1.678	3.562
				75~90		195	382	599	1274			1.568	3.335
	1.08	67.5	0.54	35~50	34	175	324	663	1288	0.54	1	2.046	3.975
				55~70		185	343	653	1269			1.904	3.700
				75~90		195	361	644	1250			1.784	3.463

表 3-27 C50 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 52.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 59.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配合比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	52.5	0.39	35~50	32.5	210	538	537	1115	水泥用量过大,不宜 选用			
				55~70		220	564	525	1091				
				75~90		230	590	514	1066				
	1.08	56.7	0.42	35~50	33	210	500	572	1168	0.42	1	1.144	2.336
				55~70		220	524	563	1143			1.074	2.181
				75~90		230	548	552	1120			1.007	2.044
20	1.00	52.5	0.39	35~50	31.5	195	500	553	1202	0.39	1	1.106	2.404
				55~70		205	526	541	1178			1.029	2.240
				75~90		215	551	530	1154			0.962	2.094
	1.08	56.7	0.42	35~50	32	195	464	573	1218	0.42	1	1.235	2.625
				55~70		205	488	562	1195			1.152	2.449
				75~90		215	512	551	1172			1.076	2.289
31.5	1.00	52.5	0.39	35~50	30.5	185	474	546	1245	0.39	1	1.152	2.627
				55~70		195	500	535	1220			1.070	2.440
				75~90		205	526	524	1195			0.996	2.272
	1.08	56.7	0.42	35~50	31	185	440	566	1259	0.42	1	1.286	2.861
				55~70		195	464	555	1236			1.196	2.664
				75~90		205	488	545	1212			1.117	2.484
40	1.00	52.5	0.39	35~50	29.5	175	449	539	1287	0.39	1	1.200	2.866
				55~70		185	474	528	1263			1.114	2.665
				75~90		195	500	518	1237			1.036	2.474
	1.08	56.7	0.42	35~50	30	175	417	557	1301	0.42	1	1.336	3.120
				55~70		185	440	548	1277			1.245	2.902
				75~90		195	464	537	1254			1.157	2.703

表 3-28 C50 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 62.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 59.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	62.5	0.46	35~50	33	210	457	588	1195	0.46	1	1.287	2.615
				55~70		220	478	578	1174			1.209	2.456
				75~90		230	500	568	1152			1.136	2.304
	1.08	67.5	0.50	35~50	36	210	420	655	1165	0.50	1	1.560	2.774
				55~70		220	440	644	1146			1.464	2.605
				75~90		230	460	634	1126			1.378	2.448
20	1.00	62.5	0.46	35~50	32	195	424	586	1245	0.46	1	1.382	2.936
				55~70		205	446	576	1223			1.291	2.742
				75~90		215	467	566	1202			1.212	2.574
	1.08	67.5	0.50	35~50	35	195	390	653	1212	0.50	1	1.674	3.108
				55~70		205	410	642	1193			1.566	2.910
				75~90		215	430	632	1173			1.470	2.728
31.5	1.00	62.5	0.46	35~50	31	185	402	578	1285	0.46	1	1.438	3.197
				55~70		195	424	568	1263			1.340	2.978
				75~90		205	446	558	1241			1.251	2.783
	1.08	67.5	0.50	35~50	34	185	370	644	1251	0.50	1	1.741	3.381
				55~70		195	390	634	1231			1.626	3.156
				75~90		205	410	624	1211			1.522	2.954
40	1.00	62.5	0.46	35~50	30	175	380	569	1326	0.46	1	1.497	3.489
				55~70		185	402	559	1304			1.391	3.244
				75~90		195	424	549	1282			1.295	3.024
	1.08	67.5	0.50	35~50	33	175	350	635	1290	0.50	1	1.814	3.686
				55~70		185	370	625	1270			1.689	3.432
				75~90		195	390	615	1250			1.577	3.205

表 3-29 C55 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 62.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 64.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
16	1.00	62.5	0.43	35~50	32.5	210	488	569	1183	0.43	1	1.166	2.424
				55~70		220	512	558	1160			1.090	2.266
				75~90		230	535	548	1137			1.024	2.125
	1.08	67.5	0.46	35~50	34	210	457	606	1177	0.46	1	1.326	2.575
				55~70		220	478	597	1155			1.249	2.416
				75~90		230	500	585	1135			1.170	2.270
20	1.00	62.5	0.43	35~50	31.5	195	453	568	1234	0.43	1	1.254	2.724
				55~70		205	477	557	1211			1.168	2.539
				75~90		215	500	547	1188			1.094	2.376
	1.08	67.5	0.46	35~50	33	195	424	604	1227	0.46	1	1.425	2.894
				55~70		205	446	594	1205			1.332	2.702
				75~90		215	467	583	1185			1.248	2.593
31.5	1.00	62.5	0.43	35~50	30.5	185	430	560	1275	0.43	1	1.302	2.965
				55~70		195	453	550	1252			1.214	2.764
				75~90		205	477	539	1229			1.130	2.577
	1.08	67.5	0.46	35~50	32	185	402	596	1267	0.46	1	1.483	3.152
				55~70		195	424	586	1245			1.382	2.936
				75~90		205	446	576	1223			1.291	2.742
40	1.00	62.5	0.43	35~50	29.5	175	407	551	1317	0.43	1	1.354	3.236
				55~70		185	430	541	1294			1.258	3.009
				75~90		195	453	532	1270			1.174	2.803
	1.08	67.5	0.46	35~50	31	175	380	587	1308	0.46	1	1.545	3.442
				55~70		185	402	578	1285			1.438	3.197
				75~90		195	424	568	1263			1.340	2.979

## 3.7.3 各级卵石混凝土配合比(表 3-30 ~ 表 3-45)

表 3-30 C15 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 4 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 32.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 21.58 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2360 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍 落 度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	32.5	0.58	10~30	35.5	190	328	654	1188	0.58	1	1.994	3.622
				35~50		200	345	644	1171			1.867	3.394
				55~70		210	362	635	1153			1.754	3.185
	1.08	35.1	0.62	10~30	36.0	190	306	671	1193	0.62	1	2.193	3.897
				35~50		200	323	661	1176			2.046	3.641
				55~70		210	339	652	1159			1.923	3.419
20	1.00	32.5	0.58	10~30	34.5	170	293	654	1243	0.58	1	2.232	4.242
				35~50		180	310	645	1225			2.080	3.952
				55~70		190	328	635	1207			1.936	3.608
	1.08	35.1	0.62	10~30	35.0	170	274	671	1245	0.62	1	2.449	4.544
				35~50		180	290	662	1228			2.283	4.234
				55~70		190	306	652	1212			2.131	3.961
31.5	1.00	32.5	0.58	10~30	33.5	160	276	645	1279	0.58	1	2.337	4.634
				35~50		170	293	635	1262			2.167	4.307
				55~70		180	310	626	1244			2.019	4.013
	1.08	35.1	0.62	10~30	34.0	160	258	660	1282	0.62	1	2.558	4.969
				35~50		170	274	651	1265			2.376	4.617
				55~70		180	290	643	1247			2.217	4.300
40	1.00	32.5	0.58	10~30	33.0	150	259	644	1307	0.58	1	2.486	5.046
				35~50		160	276	635	1289			2.301	4.670
				55~70		170	293	626	1271			2.137	4.338
	1.08	35.1	0.62	10~30	34.5	150	242	679	1289	0.62	1	2.806	5.326
				35~50		160	258	670	1276			2.597	4.930
				55~70		170	274	661	1255			2.412	4.580

表 3-31 C20 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 32.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 28.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	32.5	0.47	35~50	31	200	426	550	1224	0.47	1	1.291	2.873
				55~70		210	447	540	1203			1.208	2.691
				75~90		215	457	536	1192			1.173	2.608
	1.08	35.1	0.50	35~50	32.5	200	400	585	1215	0.50	1	1.463	3.038
				55~70		210	420	575	1195			1.369	2.845
				75~90		215	430	570	1185			1.326	2.756
20	1.00	32.5	0.47	35~50	30	180	383	551	1286	0.47	1	1.439	3.358
				55~70		190	404	542	1264			1.342	3.129
				75~90		195	415	537	1253			1.294	3.019
	1.08	35.1	0.50	35~50	31.5	180	360	586	1274	0.50	1	1.628	3.539
				55~70		190	380	576	1254			1.516	3.300
				75~90		195	390	572	1243			1.467	3.187
31.5	1.00	32.5	0.47	35~50	29.5	170	362	551	1317	0.47	1	1.522	3.638
				55~70		180	383	542	1295			1.415	3.381
				75~90		185	394	537	1284			1.363	3.259
	1.08	35.1	0.50	35~50	31	170	340	586	1304	0.50	1	1.724	3.835
				55~70		180	360	577	1283			1.603	3.564
				75~90		185	370	572	1273			1.546	3.441
40	1.00	32.5	0.47	35~50	29	160	340	551	1349	0.47	1	1.621	3.968
				55~70		170	362	542	1326			1.497	3.663
				75~90		175	372	537	1316			1.444	3.538
	1.08	35.1	0.50	35~50	30.5	160	320	586	1334	0.50	1	1.831	4.169
				55~70		170	340	576	1314			1.694	3.865
				75~90		175	350	572	1303			1.634	3.723

表 3-32 C20 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 42.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 28.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	42.5	0.58	35~50	35	200	345	649	1206	0.58	1	1.881	3.496
				55~70		210	362	640	1188			1.768	3.282
				75~90		215	371	635	1179			1.716	3.178
	1.08	45.9	0.62	35~50	36.5	200	323	685	1192	0.62	1	2.121	3.690
				55~70		210	339	676	1175			1.994	3.466
				75~90		215	347	671	1167			1.934	3.363
20	1.00	42.5	0.58	35~50	34	180	310	649	1261	0.58	1	2.094	4.068
				55~70		190	328	640	1242			1.951	3.787
				75~90		195	336	635	1234			1.890	3.673
	1.08	45.9	0.62	35~50	35.5	180	290	685	1245	0.62	1	2.362	4.293
				55~70		190	306	676	1228			2.209	4.013
				75~90		195	315	671	1219			2.130	3.869
31.5	1.00	42.5	0.58	35~50	33.5	170	293	649	1288	0.58	1	2.215	4.396
				55~70		180	310	640	1270			2.065	4.097
				75~90		185	319	635	1261			1.991	3.953
	1.08	45.9	0.62	35~50	34.5	170	274	675	1281	0.62	1	2.464	4.675
				55~70		180	290	666	1264			2.297	4.357
				75~90		185	298	661	1256			2.218	4.215
40	1.00	42.5	0.58	35~50	33	160	276	648	1316	0.58	1	2.348	4.768
				55~70		170	293	639	1298			2.181	4.430
				75~90		175	302	635	1288			2.103	4.265
	1.08	45.9	0.62	35~50	34	160	258	674	1308	0.62	1	2.612	5.070
				55~70		170	274	665	1291			2.427	4.712
				75~90		175	282	661	1282			2.344	4.546

表 3-33 C25 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 32.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 33.27 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	32.5	0.41	35~50	29	200	488	496	1216	0.41	1	1.016	2.492
				55~70		210	512	487	1191			0.951	2.326
				75~90		215	524	482	1179			0.920	2.250
	1.08	35.1	0.43	35~50	30.5	200	465	529	1206	0.43	1	1.138	2.594
				55~70		210	488	519	1183			1.064	2.424
				75~90		215	500	514	1171			1.028	2.342
20	1.00	32.5	0.41	35~50	28	180	439	499	1282	0.41	1	1.137	2.920
				55~70		190	463	489	1258			1.056	2.717
				75~90		195	476	484	1245			1.017	2.616
	1.08	35.1	0.43	35~50	29.5	180	419	531	1270	0.43	1	1.267	3.031
				55~70		190	442	521	1247			1.179	2.821
				75~90		195	453	517	1235			1.141	2.726
31.5	1.00	32.5	0.41	35~50	27.5	170	415	499	1316	0.41	1	1.202	3.171
				55~70		180	439	490	1291			1.116	2.941
				75~90		185	451	485	1279			1.075	2.836
	1.08	35.1	0.43	35~50	29.0	170	395	532	1303	0.43	1	1.347	3.299
				55~70		180	419	522	1279			1.246	3.053
				75~90		185	430	518	1267			1.205	2.947
40	1.00	32.5	0.41	35~50	27	160	390	500	1350	0.41	1	1.282	3.462
				55~70		170	415	490	1325			1.181	3.193
				75~90		175	427	485	1313			1.136	3.075
	1.08	35.1	0.43	35~50	28.5	160	372	532	1336	0.43	1	1.430	3.591
				55~70		170	395	523	1312			1.324	3.322
				75~90		175	407	518	1300			1.273	3.194

表 3-34 C25 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 42.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 33.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	42.5	0.51	35~50	32.8	200	392	593	1215	0.51	1	1.513	3.099
				55~70		210	412	583	1195			1.415	2.900
				75~90		215	422	578	1185			1.370	2.808
	1.08	45.9	0.54	35~50	33.7	200	370	617	1213	0.54	1	1.668	3.278
				55~70		210	389	607	1194			1.560	3.069
				75~90		215	398	602	1185			1.513	2.977
20	1.00	42.5	0.51	35~50	31.8	180	353	594	1273	0.51	1	1.683	3.606
				55~70		190	373	584	1253			1.566	3.359
				75~90		195	382	580	1243			1.518	3.254
	1.08	45.9	0.54	35~50	32.7	180	333	617	1270	0.54	1	1.824	3.814
				55~70		190	352	608	1250			1.727	3.551
				75~90		195	361	603	1241			1.670	3.438
31.5	1.00	42.5	0.51	35~50	31.3	170	333	594	1303	0.51	1	1.784	3.913
				55~70		180	353	584	1283			1.654	3.635
				75~90		185	363	580	1272			1.598	3.504
	1.08	45.9	0.54	35~50	32.2	170	315	617	1298	0.54	1	1.959	4.121
				55~70		180	333	608	1279			1.826	3.841
				75~90		185	343	603	1269			1.758	3.700
40	1.00	42.5	0.51	35~50	30.8	160	314	593	1333	0.51	1	1.889	4.245
				55~70		170	333	584	1313			1.754	3.943
				75~90		175	343	580	1302			1.691	3.796
	1.08	45.9	0.54	35~50	31.7	160	296	616	1328	0.54	1	2.081	4.486
				55~70		170	315	607	1308			1.927	4.152
				75~90		175	324	602	1299			1.858	4.009

表 3-35 C30 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 32.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 38.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配合比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	32.5	0.38	35~50	28.5	200	526	477	1197	水泥用量过大,不宜 选用			
				55~70		210	553	467	1170				
				75~90		215	566	461	1158				
	1.08	35.1	0.41	35~50	29.5	200	488	505	1207	0.41	1	1.035	2.473
				55~70		210	512	495	1183			0.967	2.311
				75~90		215	524	490	1171			0.935	2.235
20	1.00	32.5	0.38	35~50	28	180	474	489	1257	0.38	1	1.032	2.652
				55~70		190	500	479	1231			0.958	2.462
				75~90		195	513	474	1218			0.924	2.374
	1.08	35.1	0.41	35~50	30	180	439	534	1247	0.41	1	1.216	2.841
				55~70		190	463	524	1223			1.132	2.641
				75~90		195	476	519	1210			1.090	2.542
31.5	1.00	32.5	0.38	35~50	27	170	447	481	1302	0.38	1	1.076	2.913
				55~70		180	474	471	1275			0.994	2.690
				75~90		185	487	467	1261			0.959	2.589
	1.08	35.1	0.41	35~50	29	170	415	526	1289	0.41	1	1.267	3.106
				55~70		180	439	516	1265			1.175	2.882
				75~90		185	451	512	1252			1.135	2.776
40	1.00	32.5	0.38	35~50	26	160	421	473	1346	0.38	1	1.124	3.197
				55~70		170	447	464	1319			1.038	2.951
				75~90		175	461	459	1305			0.996	2.831
	1.08	35.1	0.41	35~50	28	160	390	518	1332	0.41	1	1.328	3.415
				55~70		170	415	508	1307			1.224	3.149
				75~90		175	427	503	1295			1.178	3.033

表 3-36 C30 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 42.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 38.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	42.5	0.45	35~50	30.7	200	444	539	1217	0.45	1	1.214	2.741
				55~70		210	467	529	1194			1.133	2.557
				75~90		215	478	524	1183			1.096	2.475
	1.08	45.9	0.48	35~50	32.3	200	417	576	1207	0.48	1	1.381	2.894
				55~70		210	438	566	1186			1.292	2.708
				75~90		215	448	561	1176			1.252	2.625
20	1.00	42.5	0.45	35~50	29.7	180	400	541	1279	0.45	1	1.353	3.198
				55~70		190	422	531	1257			1.258	2.979
				75~90		195	433	526	1246			1.215	2.878
	1.08	45.9	0.48	35~50	31.5	180	375	581	1264	0.48	1	1.549	3.371
				55~70		190	396	571	1243			1.442	3.139
				75~90		195	406	567	1232			1.397	3.034
31.5	1.00	42.5	0.45	35~50	29.3	170	378	543	1309	0.45	1	1.437	3.463
				55~70		180	400	533	1287			1.333	3.218
				75~90		185	411	529	1275			1.287	3.102
	1.08	45.9	0.48	35~50	30.8	170	354	578	1398	0.48	1	1.633	3.949
				55~70		180	375	568	1277			1.515	3.405
				75~90		185	385	564	1266			1.465	3.288
40	1.00	42.5	0.45	35~50	28.7	160	356	541	1343	0.45	1	1.520	3.772
				55~70		170	378	532	1320			1.407	3.492
				75~90		175	389	527	1309			1.355	3.365
	1.08	45.9	0.48	35~50	30.3	160	333	578	1329	0.48	1	1.736	3.991
				55~70		170	354	568	1308			1.605	3.695
				75~90		175	365	564	1296			1.545	3.551

表 3-37 C35 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 42.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 43.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	42.5	0.41	35~50	29	200	488	496	1216	0.41	1	1.016	2.492
				55~70		210	512	487	1191			0.951	2.326
				75~90		215	524	482	1179			0.920	2.250
	1.08	45.9	0.44	35~50	30.5	200	455	532	1213	0.44	1	1.169	2.666
				55~70		210	477	522	1191			1.094	2.497
				75~90		215	489	517	1179			1.057	2.411
20	1.00	42.5	0.41	35~50	28	180	439	499	1292	0.41	1	1.137	2.943
				55~70		190	463	489	1258			1.056	2.717
				75~90		195	476	484	1245			1.017	2.616
	1.08	45.9	0.44	35~50	29.5	180	409	534	1277	0.44	1	1.306	3.122
				55~70		190	432	525	1253			1.215	2.900
				75~90		195	443	520	1242			1.174	2.804
31.5	1.00	42.5	0.41	35~50	27.5	170	415	499	1316	0.41	1	1.202	3.171
				55~70		180	439	490	1291			1.116	2.941
				75~90		185	451	485	1279			1.075	2.836
	1.08	45.9	0.44	35~50	29	170	386	535	1309	0.44	1	1.386	3.391
				55~70		180	409	525	1286			1.284	3.144
				75~90		185	420	521	1274			1.240	3.033
40	1.00	42.5	0.41	35~50	27	160	390	500	1350	0.41	1	1.282	3.462
				55~70		170	415	490	1325			1.181	3.193
				75~90		175	427	485	1313			1.136	3.075
	1.08	45.9	0.44	35~50	28.5	160	364	535	1341	0.44	1	1.470	3.684
				55~70		170	386	526	1318			1.363	3.415
				75~90		175	398	521	1306			1.309	3.281

表 3-38 C35 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 52.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 43.23 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	52.5	0.54	35~50	34	200	370	622	1208	0.54	1	1.681	3.265
				55~70		210	389	612	1189			1.573	3.057
				75~90		215	398	608	1179			1.528	2.962
	1.08	56.7	0.58	35~50	35	200	345	649	1206	0.58	1	1.881	3.496
				55~70		210	362	640	1188			1.768	3.281
				75~90		215	371	635	1179			1.712	3.178
20	1.00	52.5	0.54	35~50	33	180	333	623	1264	0.54	1	1.871	3.796
				55~70		190	352	613	1245			1.741	3.537
				75~90		195	361	609	1235			1.687	3.421
	1.08	56.7	0.58	35~50	34	180	310	649	1261	0.58	1	2.094	4.068
				55~70		190	328	640	1242			1.951	3.787
				75~90		195	336	635	1234			1.890	3.673
31.5	1.00	52.5	0.54	35~50	32	170	315	613	1302	0.54	1	1.946	4.133
				55~70		180	333	604	1283			1.814	3.853
				75~90		185	343	599	1273			1.746	3.711
	1.08	56.7	0.58	35~50	33	170	293	639	1298	0.58	1	2.181	4.430
				55~70		180	310	630	1280			2.032	4.129
				75~90		185	319	626	1270			1.962	3.981
40	1.00	52.5	0.54	35~50	31	160	296	603	1341	0.54	1	2.037	4.530
				55~70		170	315	594	1321			1.886	4.194
				75~90		175	324	589	1312			1.818	4.049
	1.08	56.7	0.58	35~50	32	160	276	628	1336	0.58	1	2.275	4.841
				55~70		170	293	620	1317			2.116	4.495
				75~90		175	302	615	1308			2.036	4.331

表 3-39 C40 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 42.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 49.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	42.5	0.38	35~50	28	200	526	483	1241	水泥用量过大,不宜 选用			
				55~70		210	553	472	1215				
				75~90		215	566	467	1202				
	1.08	45.9	0.41	35~50	30	200	488	529	1233	0.41	1	1.084	2.527
				55~70		210	512	518	1210			1.012	2.363
				75~90		215	524	513	1198			0.979	2.286
20	1.00	42.5	0.38	35~50	27	180	474	485	1311	0.38	1	1.023	2.766
				55~70		190	500	475	1285			0.950	2.570
				75~90		195	513	470	1272			0.916	2.480
	1.08	45.9	0.41	35~50	29	180	439	531	1300	0.41	1	1.210	2.961
				55~70		190	463	521	1276			1.125	2.756
				75~90		195	476	516	1263			1.084	2.653
31.5	1.00	42.5	0.38	35~50	26.5	170	447	486	1347	0.38	1	1.087	3.013
				55~70		180	474	476	1320			1.004	2.785
				75~90		185	487	471	1307			0.967	2.684
	1.08	45.9	0.41	35~50	28.5	170	415	532	1333	0.41	1	1.282	3.212
				55~70		180	439	522	1309			1.189	2.982
				75~90		185	451	517	1297			1.146	2.876
40	1.00	42.5	0.38	35~50	25	160	421	467	1402	0.38	1	1.109	3.330
				55~70		170	447	458	1375			1.025	3.076
				75~90		175	461	454	1360			0.985	2.950
	1.08	45.9	0.41	35~50	28	160	390	532	1368	0.41	1	1.364	3.508
				55~70		170	415	522	1343			1.258	3.236
				75~90		175	429	517	1329			1.205	3.098

表 3-40 C40 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 52.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 49.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	52.5	0.43	35~50	30	200	465	536	1249	0.43	1	1.153	2.686
				55~70		210	488	526	1226			1.078	2.512
				75~90		215	500	521	1214			1.042	2.428
	1.08	56.7	0.46	35~50	31	200	435	563	1252	0.46	1	1.294	2.878
				55~70		210	457	553	1230			1.210	2.691
				75~90		215	467	548	1220			1.173	2.612
20	1.00	52.5	0.43	35~50	29	180	419	537	1314	0.43	1	1.281	3.136
				55~70		190	442	527	1291			1.192	2.921
				75~90		195	453	523	1279			1.155	2.823
	1.08	56.7	0.46	35~50	30	180	391	564	1315	0.46	1	1.442	3.363
				55~70		190	413	554	1293			1.341	3.131
				75~90		195	424	549	1282			1.294	3.024
31.5	1.00	52.5	0.43	35~50	28.5	170	395	537	1348	0.43	1	1.359	3.413
				55~70		180	419	528	1323			1.260	3.158
				75~90		185	430	523	1312			1.216	3.051
	1.08	56.7	0.46	35~50	29.5	170	370	563	1347	0.46	1	1.522	3.641
				55~70		180	391	554	1325			1.417	3.389
				75~90		185	402	550	1313			1.368	3.266
40	1.00	52.5	0.43	35~50	28	160	372	537	1381	0.43	1	1.998	3.712
				55~70		170	395	528	1357			1.337	3.435
				75~90		175	407	523	1345			1.285	3.305
	1.08	56.7	0.46	35~50	29	160	348	563	1379	0.46	1	1.618	3.963
				55~70		170	370	553	1357			1.495	3.668
				75~90		175	380	550	1345			1.447	3.539

表 3-41 C45 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 52.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 54.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	52.5	0.40	35~50	29	200	500	508	1242	0.40	1	1.016	2.484
				55~70		210	525	497	1228			0.947	2.339
				75~90		215	538	492	1205			0.914	2.240
	1.08	56.7	0.43	35~50	30.5	200	465	544	1241	0.43	1	1.170	2.669
				55~70		210	488	534	1218			1.094	2.496
				75~90		215	500	529	1206			1.058	2.412
20	1.00	52.5	0.40	35~50	28	180	450	510	1310	0.40	1	1.133	2.911
				55~70		190	475	500	1285			1.053	2.705
				75~90		195	488	495	1272			1.014	2.607
	1.08	56.7	0.43	35~50	30.0	180	419	555	1296	0.43	1	1.325	3.093
				55~70		190	442	545	1273			1.233	2.880
				75~90		195	453	541	1261			1.194	2.784
31.5	1.00	52.5	0.40	35~50	27.5	170	425	510	1345	0.40	1	1.200	3.165
				55~70		180	450	501	1319			1.113	2.931
				75~90		185	463	596	1306			1.071	2.821
	1.08	56.7	0.43	35~50	29	170	395	547	1338	0.43	1	1.385	3.387
				55~70		180	419	537	1314			1.282	3.136
				75~90		185	430	532	1303			1.237	3.030
40	1.00	52.5	0.40	35~50	27	160	400	510	1380	0.40	1	1.275	3.450
				55~70		170	425	501	1354			1.179	3.186
				75~90		175	438	496	1341			1.132	3.062
	1.08	56.7	0.43	35~50	28.5	160	372	547	1371	0.43	1	1.470	3.685
				55~70		170	395	537	1348			1.359	3.413
				75~90		175	407	532	1336			1.307	3.283

表 3-42 C45 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 62.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 54.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	62.5	0.51	35~50	32.5	200	392	604	1251	0.51	1	1.541	3.191
				55~70		210	412	594	1234			1.442	2.995
				75~90		215	422	589	1224			1.396	2.900
	1.08	67.5	0.54	35~50	33.5	200	370	630	1250	0.54	1	1.698	3.378
				55~70		210	389	620	1231			1.594	3.165
				75~90		215	398	615	1222			1.545	3.070
20	1.00	62.5	0.51	35~50	31.5	180	353	604	1313	0.51	1	1.711	3.720
				55~70		190	373	594	1293			1.592	3.466
				75~90		195	382	590	1283			1.545	3.359
	1.08	67.5	0.54	35~50	33	180	333	639	1298	0.54	1	1.919	3.898
				55~70		190	352	630	1278			1.790	3.631
				75~90		195	361	625	1269			1.731	3.515
31.5	1.00	62.5	0.51	35~50	31	170	333	604	1343	0.51	1	1.814	4.033
				55~70		180	353	594	1323			1.683	3.748
				75~90		185	363	590	1312			1.625	3.614
	1.08	67.5	0.54	35~50	32.5	170	315	639	1326	0.54	1	2.029	4.210
				55~70		180	333	630	1307			1.892	3.925
				75~90		185	343	625	1297			1.822	3.781
40	1.00	62.5	0.51	35~50	30.5	160	314	603	1373	0.51	1	1.920	4.373
				55~70		170	333	594	1353			1.784	4.063
				75~90		175	343	589	1343			1.717	3.915
	1.08	67.5	0.54	35~50	32	160	296	638	1356	0.54	1	2.155	4.581
				55~70		170	315	629	1336			1.997	4.241
				75~90		175	324	624	1327			1.926	4.096

表 3-43 C50 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 52.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 59.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	52.5	0.37	35~50	29	200	540	496	1214	水泥用量过大,不宜 选用			
				55~70		210	568	485	1187				
				75~90		215	581	480	1174				
	1.08	56.7	0.40	35~50	31	200	500	543	1207	0.40	1	1.086	2.414
				55~70		210	525	532	1183			1.013	2.253
				75~90		215	538	526	1171			0.978	2.177
20	1.00	52.5	0.37	35~50	28	180	486	500	1284	0.37	1	1.029	2.642
				55~70		190	514	489	1251			0.951	2.446
				75~90		195	527	484	1244			0.918	2.361
	1.08	56.7	0.40	35~50	30	180	450	546	1274	0.40	1	1.213	2.831
				55~70		190	475	536	1249			1.128	2.629
				75~90		195	488	530	1237			1.086	2.535
31.5	1.00	52.5	0.37	35~50	27	170	459	492	1329	0.37	1	1.072	2.895
				55~70		180	486	482	1302			0.992	2.679
				75~90		185	500	477	1288			0.954	2.576
	1.08	56.7	0.40	35~50	29	170	425	538	1317	0.40	1	1.266	3.099
				55~70		180	450	528	1292			1.173	2.871
				75~90		185	463	523	1279			1.130	2.743
40	1.00	52.5	0.37	35~50	26	160	432	483	1375	0.37	1	1.118	3.183
				55~70		170	459	473	1348			1.031	2.937
				75~90		175	473	469	1333			0.992	2.818
	1.08	56.7	0.40	35~50	28	160	400	529	1361	0.40	1	1.323	3.403
				55~70		170	425	519	1336			1.221	3.144
				75~90		175	438	514	1323			1.174	3.021

表 3-44 C45 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 62.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 59.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	62.5	0.46	35~50	31	200	435	563	1252	0.46	1	1.294	2.878
				55~70		210	457	553	1230			1.210	2.691
				75~90		215	467	548	1220			1.173	2.612
	1.08	67.5	0.50	35~50	32.5	200	400	601	1249	0.50	1	1.503	3.123
				55~70		210	420	591	1229			1.407	2.926
				75~90		215	430	587	1218			1.365	2.833
20	1.00	62.5	0.46	35~50	30	180	391	564	1315	0.46	1	1.442	3.363
				55~70		190	413	554	1293			1.341	3.131
				75~90		195	424	549	1282			1.295	3.024
	1.08	67.5	0.50	35~50	31.5	180	360	602	1308	0.50	1	1.672	3.633
				55~70		190	380	592	1288			1.558	3.389
				75~90		195	390	587	1278			1.505	3.277
31.5	1.00	62.5	0.46	35~50	29.5	170	370	563	1347	0.46	1	1.522	3.641
				55~70		180	391	554	1325			1.417	3.388
				75~90		185	402	550	1313			1.368	3.266
	1.08	67.5	0.50	35~50	31	170	340	601	1339	0.50	1	1.768	3.938
				55~70		180	360	592	1318			1.644	3.661
				75~90		185	370	587	1308			1.586	3.535
40	1.00	62.5	0.46	35~50	29	160	348	563	1379	0.46	1	1.618	3.963
				55~70		170	370	554	1356			1.497	3.665
				75~90		175	380	550	1345			1.447	3.539
	1.08	67.5	0.50	35~50	30.5	160	320	601	1369	0.50	1	1.878	4.278
				55~70		170	340	592	1348			1.741	3.965
				75~90		175	350	587	1338			1.677	3.823

表 3-45 C55 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差  $\sigma = 6 \text{ MPa}$ 

水泥强度等级 = 62.5 MPa

配制强度  $f_{cu,0} = 64.87 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定用料总量  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ 

粗骨料 最大 粒径 (mm)	水泥 富余 系数	水泥 强度 (MPa)	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比			
						水	水 泥	砂	石 子	$m_{w0}$	$m_{c0}$	$m_{s0}$	$m_{g0}$
10	1.00	62.5	0.40	35~50	29	200	500	508	1242	0.40	1	1.016	2.484
				55~70		210	525	497	1218			0.947	2.320
				75~90		215	538	492	1205			0.914	2.240
	1.08	67.5	0.43	35~50	33	200	465	589	1196	0.43	1	1.267	2.572
				55~70		210	488	578	1174			1.184	2.406
				75~90		215	500	573	1162			1.146	2.324
20	1.00	62.5	0.40	35~50	28	180	450	510	1310	0.40	1	1.133	2.911
				55~70		190	475	500	1285			1.053	2.705
				75~90		195	488	495	1272			1.014	2.607
	1.08	67.5	0.43	35~50	32	180	419	592	1259	0.43	1	1.413	3.005
				55~70		190	442	582	1236			1.317	2.796
				75~90		195	453	577	1225			1.274	2.704
31.5	1.00	62.5	0.40	35~50	27.5	170	425	510	1345	0.40	1	1.200	3.165
				55~70		180	450	501	1319			1.113	2.931
				75~90		185	463	496	1306			1.071	2.821
	1.08	67.5	0.43	35~50	31.5	170	395	594	1291	0.43	1	1.504	3.268
				55~70		180	419	583	1268			1.391	3.026
				75~90		185	430	578	1357			1.344	3.156
40	1.00	62.5	0.40	35~50	27	160	400	510	1380	0.40	1	1.275	3.450
				55~70		170	425	501	1354			1.179	3.186
				75~90		175	438	496	1341			1.132	3.062
	1.08	67.5	0.43	35~50	31	160	372	595	1323	0.43	1	1.599	3.556
				55~70		170	395	584	1301			1.478	3.294
				75~90		175	407	579	1289			1.423	3.167

## 4 掺第五、第六组分配合比设计

混凝土从它诞生时起，就是一种多材料复合的建材。在它6000多年的历史中，随着科学技术的发展，不断更新。从泥结卵石到石灰、石膏、火山灰等混凝土，至1824年波特兰水泥发明，才开始成为4种组分的复合建材。但也只维持了100多年，化学外加剂、磨细矿粉料闯进了它的领域，成为第五、第六组分，提高了混凝土各种性能，使混凝土在建设发挥更大的能量，被誉为当代文明建设的基石。

本章就普通混凝土如何掺用外加剂、磨细矿粉料配合比设计加以介绍。

### 4.1 掺外加剂混凝土

外加剂的种类、材性和质量标准，在第2章已作了介绍。

外加剂牌号虽多，用途虽广，但从配合比设计方法划分，只分为减水性外加剂和非减水性外加剂两种。减水性外加剂称为减水剂或某某减水剂。非减水性外加剂又称专用性外加剂，按其作用命名，如早强剂、引气剂、缓凝剂等等。

掺用外加剂混凝土配合比设计前，应先按普通混凝土配合比设计得出基准混凝土配合比。

如系掺用减水性外加剂，则应从基准混凝土配合比的用水量中按其减水率减除一部分用水量开始设计。

如系掺用非减水性外加剂，可以即按基准混凝土配合比开

始设计。通常按实验法确定外加剂掺量。因用量不多，原有配合比不必调整。

设计前先详细熟悉各种外加剂的类型、名称、功能和组成材料（见表 2-18）。再根据工程项目和使用目的按表 2-19 选择外加剂的剂型，并根据当地市场供应情况作出选择。但应注意，有些外加剂因含有氯、硫等物质，不能在一些工程中使用，其限制范围如表 2-22。

#### 4.1.1 掺用减水性外加剂配合比设计方法

使用减水剂的目的通常有 3 种情况。

- ①维持原有水泥用量，提高混凝土的强度；
- ②维持混凝土原设计强度，减少水泥用量；
- ③维持混凝土原设计强度和维持原水泥用量均不变，增加混凝土的和易性。

分别介绍如下。

##### 4.1.1.1 提高混凝土强度设计方法

- 1) 维持基准配合比水泥用量和坍落度；
- 2) 以准备提高的强度 ( $f_{cu,k}$ ) 代入式 (3-2)，得出新的配制强度 ( $f_{cu,0}$ )；
- 3) 以新的  $f_{cu,0}$  代入式 (3-5) 或式 (3-6)，得出新的水灰比；
- 4) 按新的水灰比与基准混凝土配合比的水泥用量，按式 (3-8) 推导得出下式，算出新用水量；

$$m_{w0} = m_{c0} \cdot \left( \frac{W}{C} \right) \quad (4-1)$$

- 5) 新、旧用水量相比，其减水率如下：

$$\text{减水率} = 1 - \frac{\text{新用水量}}{\text{旧用水量}} \times 100\% \quad (4-2)$$

6) 按减水率的要求, 寻找合适的减水剂, 并确定减水剂的掺量;

7) 按照原水泥用量和新用水量代入式(3-11)或式(3-18)进行砂、石子用量的计算, 得出新的配合比;

8) 再进行试配、检测、调整;

9) 在试配过程中, 可调整减水剂的掺量, 或换用其他品牌减水剂, 直至符合要求。

例 4-1 混凝土基准配合比采用表 3-12 的数值, 原设计混凝土强度为 C25, 标准差为 3.6 MPa。现要求将混凝土强度提高为 C30, 标准差维持原值, 水泥质量及用量维持原用量。请设计减水剂掺用量及其他材料的用量。

解:

已知资料: 原每立方米基准混凝土配合比用料量为: 用水量 185 kg, 水泥用量 370 kg, 砂用量 618 kg, 石子用量 1227 kg, 砂率为 33.5%。

水泥用量维持不变, 其他材料用量解答如下:

①求 C30 的  $f_{cu, \rho}$ , 按式(3-2):

$$\begin{aligned} f_{cu, \rho} &= 30 + 1.645 \times 3.6 \\ &= 35.922 \text{ MPa} \end{aligned}$$

②求新水灰比, 按式(3-5):

$$\begin{aligned} \frac{W}{C} &= \frac{0.46 \times 35.1}{35.922 + 0.0322 \times 35.1} \\ &= 0.436 \end{aligned}$$

③求新用水量, 按式(4-1):

$$\begin{aligned} m_{w0} &= m_{c0} \cdot \frac{W}{C} \\ &= 370 \times 0.436 \end{aligned}$$

$$= 161 \text{ kg}$$

④求新减水率，按式(4-2)：

$$\begin{aligned} \text{新减水率} &= 1 - \frac{161}{185} \times \% \\ &= 13\% \end{aligned}$$

⑤选减水剂

从资料中查处，减水率达 13% 的有多种，按就地取材原则，先选用 FDN，掺量为水泥用量的 0.5%，减水率为 12% ~ 15%，合用。

⑥按第 3 章有关计算式，得出每立方米混凝土骨料用量：

$$\begin{aligned} \text{骨料总用量} &= 2400 - 370 - 161 \\ &= 1869 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{用砂量} &= 1869 \times 0.335 \\ &= 626 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{用碎石量} &= 1869 - 626 \\ &= 1243 \text{ kg} \end{aligned}$$

⑦减水剂 FDN 用量：

$$\begin{aligned} m_{a0} &= 370 \times 0.5\% \\ &= 1.85 \text{ kg} \end{aligned}$$

⑧初步结果，新的配合比：

$$m_{w0} : m_{c0} : m_{s0} : m_{g0} : m_{a0} = 161 : 370 : 626 : 1243 : 1.85$$

掺用减水剂的效果，增加减水剂 1.85 kg，得到混凝土强度从 C25 提高为 C30。这是初步的效果，仍应通过试配、调整等过程，按实验法的结果取值。

#### 4.1.1.2 节约水泥的设计方法

1) 以原配合比为基准配合比；

2) 按减水剂出厂说明书推荐的减水率（或经试验认可的

减水率), 按照式(4-3)计算掺减水剂后的用水量  $m_{wa}$ ;

掺减水性外加剂时的混凝土用水量可按下式计算:

$$m_{wa} = m_{w0}(1 - \beta) \quad (4-3)$$

式中  $m_{wa}$ ——掺外加剂混凝土每立方米混凝土中的用水量, kg;

$\beta$ ——外加剂的减水率, %。

外加剂的减水率  $\beta$ , 应经试验确定。

3) 将新的用水量代入式(3-8), 重新计算水泥用量(因水灰比不变, 用水量减少, 水泥用量也少);

4) 按式(3-11)计算骨料总用量, 用式(3-13)及式(3-14)计算砂、石用量;

5) 用新的配合比按3.5节规定进行试配、调整。

例4-2 混凝土配合比原设计如表3-12, 现掺用某高效减水剂, 以节约水泥。从减水剂说明书中及经试验得知, 当减水剂掺入量为水泥用量的0.5%时, 减水率为15%。请设计其新配合比。

解:

已知原配合比资料:

$$m_{w0} : m_{c0} : m_{s0} : m_{g0} = 185 : 370 : 618 : 1227 ;$$

水灰比 = 0.50;

砂率为 33.5%。

每立方米混凝土中各成分用量计算如下:

①按式(4-3)计算新用水量:

$$\begin{aligned} m_{wa} &= 185 \times (1 - 0.15) \\ &= 157 \text{ kg} \end{aligned}$$

②按式(3-8)计算水泥新用量:

$$m_{ca} = \frac{157}{0.5}$$

$$= 314 \text{ kg}$$

③按式(3-11)计算砂石新总用量：

$$m_{sa} + m_{ga} = 2400 - 157 - 314$$

$$= 1929 \text{ kg}$$

④按原砂率计算新用砂量、新用石量：

$$m_{sa} = 1929 \times 0.335$$

$$= 646 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{ga} = 1929 - 646$$

$$= 1283 \text{ kg}$$

⑤按水泥新用量计算减水剂用量：

$$m_{a0} = 314 \times 0.5\%$$

$$= 1.57 \text{ kg}$$

⑥初步结果，增加减水剂 1.57 kg，但水泥由 370 kg 减为 314 kg。此新配合比，应按 3.5 节试配、检测、实验后调整至符合要求。

#### 4.1.1.3 增加混凝土坍落度的方法

在浇筑混凝土过程中，往往发现原配合比设计的坍落度过小，难于操作。但又无法改变原配合比。在不改变原配合比的原则下，只掺用减水剂，用实验法设计，可以提高坍落度。措施是：

①维持水泥及水的用量，保持水灰比不变，即混凝土的强度不变；

②调整砂率，通常加大 2% ~ 5%（但砂率不宜大于 40%），按此比例减少石子用量；

③按减水剂说明书掺入减水剂，品种以普通减水剂较好。

掺量从少量起掺，通过试验后确定。

#### 4.1.2 掺用非减水性外加剂配合比设计方法

1) 掺用非减水性外加剂混凝土配合比设计，通常采用实验设计法。其工作可分 4 点。

①按第 3 章的全过程设计（包括试配阶段），得出混凝土的基准配合比。

②根据工程设计书或施工的要求，选择适合的专用外加剂，选用时可参阅表 2-19。

③按照基准配合比和外加剂的计划用量，作为新的配合比进行试配、检测，重点为专用性能的试验。

④对肯定的新配合比再按规定要求，进行一次或多次检测。

2) 在考虑以上第①步选择水泥品种时，应注意外加剂材性与水泥材性的配伍：

①引气剂应配硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，因其出气量较多。而矿渣水泥、火山灰质水泥、粉煤灰水泥的出气量较差，应避免配用。

②膨胀混凝土所用的水泥强度要高一些，通常选用水泥强度等级为 42.5 MPa 以上的水泥。

③有些水泥在粉磨时有部分二水石膏受热变成半水石膏或氟石膏，它们与木质素磺酸钙或糖钙相遇时，可能产生混凝土假凝现象。如使用此种外加剂时，应先作检验。

④三乙醇胺早强剂不适用于蒸养混凝土。

3) 在实验工作中大致有 4 种情况：

①试件的各种性能（包括拌合物性能和硬化后性能）皆符合要求，即可将外加剂的掺量列入基准配合比中（4 种基本材

料规格及用量均不变动)成为新的配合比。重做一次试件,再进行一次检验后确定。

②试件只有强度合格,其他性能未符合要求,则应肯定水灰比符合要求,再根据其他性能的差距,修改外加剂的品种或掺量,据此制作试件,再进行试验。

③试件只符合其他性能的要求,但强度不符合要求,则保留外加剂的掺量,再按 3.5 节的方法进行调整。

④试件的强度及性能均不符合要求,应按 3.5 节的程序先将基准混凝土配合比调整至合格,方可再考虑外加剂的品种及掺量。经两次试配均能达标,即可肯定该配合比。

各种专用性外加剂配合比设计的要点,分述如下。

#### 4.1.3 引气剂的掺用

引气剂,是在搅拌混凝土过程中能引入大量均匀分布、稳定而又各自封闭的微小气泡的形成剂。这些气泡直径在  $20\ \mu\text{m}$  ~  $1\ \text{mm}$ ,但绝大多数小于  $200\ \mu\text{m}$ 。直径小的比较不稳定,混凝土在运输浇筑过程中会发生移动而成为较大的气泡。气泡较大,使用效果较差。应注意缩短运输环节。

这些小气泡可以改善新拌混凝土的和易性,减少拌合物的离析和泌水。成型后分散在混凝土中形成密闭的小气泡,减少混凝土内部的连通孔洞。适用于滑模施工、泵送混凝土、碾压混凝土和冬期施工。但不影响凝结时间。

引气混凝土硬化后,可提高抗渗性、抗冻性、耐磨性,提高混凝土的耐久性。在规定的含气量内,不影响混凝土强度。其含气量的限制,与所用的粗骨料粒径有关,如表 4-1。

[ 17 ] 表 4-1 掺引气剂及引气减水剂混凝土的含气量的限制

粗骨料最大粒径 (mm)	混凝土含气量 (%)	粗骨料最大粒径 (mm)	混凝土含气量 (%)
10	7.0	40	4.5
15	6.0	50	4.0
20	5.5	80	3.5
25	5.0	150	3.0

## 4.1.3.1 掺用引气剂混凝土配合比设计应考虑的问题

①每立方米混凝土水泥用量低于 300 kg，强度低于 C20 时，无降低强度的影响；

②C20~C30 的混凝土，可降低强度 5%~10%；

③C30 以上的混凝土，可降低强度 20%。

因此，在设计引气混凝土配合比又需要增大含气量时，应同时考虑加大配制强度。

## 4.1.3.2 引气混凝土的性能指标和有关参考值

①掺引气减水剂和引气剂混凝土对引气剂性能要求的指标如表 2-21；

②常用引气剂的掺量、含气量、混凝土强度与基准混凝土配合比强度之比，如表 4-2；

表 4-2 混凝土常用引气剂

类 别	掺量 ( $C \times \%$ )	含气量 (%)	抗压强度比 (%)		
			7d	28d	90d
松香热聚物及松脂皂	0.003~0.02	3~7	90	90	90
烷基苯磺酸钠	0.005~0.02	2~7	—	87~92	90~93
脂肪醇硫酸钠	0.005~0.02	2~5	95	94	95
OP 乳化剂	0.012~0.07	3~6	—	85	—
皂角粉	0.005~0.02	1.5~4	—	90~100	—

注：C 为水泥用量。

③引气减水剂品种及性能的参考值，如表 4-3。

表 4-3 引气减水剂品种及性能

项 目		主要成分	引气性 (%)	掺量 ( $C \times \%$ )	代表性品牌
普通型	木质素磺酸	松柏醇、芥子	2~4	0.15~0.5	CM, 干粉
	盐腐植酸系	醇酚、羟基、	2~4	0.2~0.3	天山-1
	多元醇复合物	羧基、醇基	1.5~4.5	0.1~0.3	
高效型	甲基萘磺酸	甲基萘	4~5	0.3~0.7	MF, JN
	盐缩合物				
	聚烷基芳基 磺酸盐缩合物	蒽	1.5~3.5	0.7~1.2	A, AF

#### 4.1.4 膨胀剂

##### 4.1.4.1 膨胀剂的特性和作用

膨胀剂是一种能使混凝土产生轻微的有一定的体积膨胀的外加剂。

膨胀剂的使用通常有 3 种情况：

1) 补偿收缩混凝土：其作用是减少混凝土干缩裂缝，提高抗裂性和抗渗性。常用于抗渗混凝土工程、混凝土构件补强和基础后浇缝等。

2) 填充用膨胀混凝土：如机械设备底座、地脚螺栓锚固、预制混凝土构件安装接头的浇注和防水堵漏。

3) 自应力混凝土：如制作自应力混凝土水管等。

##### 4.1.4.2 掺膨胀剂混凝土配合比设计应考虑的问题

水泥的膨胀剂的配伍及掺量：

膨胀混凝土应选用 P. I、P. II 和 P.0 三种硅酸盐水泥；

只有采用明矾石作膨胀剂时，可使用矿渣硅酸盐水泥。

膨胀混凝土的水泥用量及膨胀剂的常用掺量如表 4-4。

表 4-4 每立方米膨胀混凝土的水泥用量及膨胀剂的常用掺量

膨胀混凝土种类	水泥用量 (kg)	膨 胀 剂 名 称	掺 量 $C'$ (水泥用量的%)
补偿收缩混凝土	$\geq 300$	明矾石膨胀剂	13~17
		硫铝酸钙膨胀剂	8~10
		氧化钙膨胀剂	3~5
		氧化钙—硫铝酸钙复合膨胀剂	8~12
填充用膨胀混凝土	300~700	明矾石膨胀剂	10~13
		硫铝酸钙膨胀剂	8~10
		氧化钙膨胀剂	3~5
		氧化钙—硫铝酸钙复合膨胀剂	8~10
		铁屑膨胀剂	30~35
自应力混凝土		硫铝酸钙膨胀剂	15~25
		氧化钙—硫铝酸钙复合膨胀剂	15~25

注：配合比设计时：水泥标号不应低于 425 号；水泥及膨胀剂用量，应按内掺法计，即：

$$C = C' + P$$

式中  $C$ ——计算水泥用量，kg；

$C'$ ——实际水泥用量，kg；

$P$ ——膨胀剂用量，kg。

#### 4.1.4.3 注意事项

为使膨胀混凝土发挥其应有的作用，在配合比设计通知书上应交代下列注意事项：

- ①浇筑时必须从一个方向浇注；
- ②补偿收缩混凝土必须用机械振捣；
- ③坍落度在 150mm 以上的填充用膨胀混凝土，不得用机械振捣，可用竹竿或竹片上下拉动振捣；
- ④必须保湿养护，在冬期应保温养护。

#### 4.1.5 缓凝剂

##### 4.1.5.1 缓凝剂的选用

缓凝剂是用以延缓混凝土凝结时间的外加剂，选用时视使用目的作选择。用于控制混凝土坍落度的经时损失，使其在较长时间内保持良好的和易性，可按表 4-5 选用；大体积混凝土用于降低水化热、推迟放热峰，可选择初、终凝时间相隔较长，但不影响后期水化和强度增长的缓凝剂，可按表 4-6 及表 4-7 选用。

表 4-5 几种缓凝剂的水泥浆缓凝效果

类型	缓凝剂名称	掺量 (%)	W/C = 0.29 (min)			W/C = 0.245, 掺 UNF-5 剂 1%(min)		
			初凝	终凝	初、终凝间隔	初凝	终凝	初终凝间隔
	空 白	0	125	190	65	160	210	50
糖	蔗 糖	0.05	255	288	33	357	395	38
		0.10	465	520	55	—	—	—
羟 基 羧 酸	水相酸	0.05	170	218	48	—	—	—
	柠檬酸	0.05	170	265	95	240	397	157
	柠檬酸	0.10	295	475	180	415	590	175

续表 4-5

类型	缓凝剂名称	掺量 (%)	W/C=0.29 (min)			W/C=0.245, 掺 UNF-5 剂 1%(min)		
			初凝	终凝	初、终 凝间隔	初凝	终凝	初终凝 间隔
多元醇 衍生物	三乙醇胺	0.05	205	260	55	340	375	35
	聚乙烯醇	0.10	225	356	126	240	475	235
	甲基纤维素	0.05	145	240	90	200	355	155
	甲基纤维素	0.10	170	350	180	—	—	—
	羧甲基纤维素钠	0.05	125	240	115	188	345	157
	羧甲基纤维素钠	0.10	175	265	90	282	405	123
无机物	磷酸	0.85	262	298	36	340	410	70
		0.10	350	430	80	410	470	60

表 4-6 缓凝减水剂对水泥水化热影响

缓凝减水剂		水化热 (J/g)			试验使用的水泥
品种	掺量 (C×%)	1 d	3 d	7 d	
木钙	0.3	-56.85	-28	+10.5	水城厂 325 号矿渣水泥
糖蜜	0.1	—	-19.23	+6.27	柳州厂 525 号硅酸盐水泥
糖蜜	0.15	—	-98.65	-19.23	华新厂 425 号大坝矿渣水泥

注：①水化热栏内“-”号表示降低水化热值；“+”表示增加水化热值。

②C 为水泥用量。

表 4-7 缓凝减水剂对混凝土温升影响

减水剂	掺量 (C×%)	节约水泥 (%)	降低温峰 (℃)	推迟温峰时间 (h)
木钙	0.3	4.5	3.4	1.0
糖钙	0.10	11.5	2.8	6.7
糖钙粉	0.15	17.7	3.7	5.9
糖蜜	0.2	6.7	5.5	—

注：C 为水泥用量。

#### 4.1.5.2 掺缓凝剂混凝土配合比设计应考虑的问题

1) 羟基羧酸盐在高温时对硅酸三钙的抑制减弱, 用量要稍微加大。醇、酮、酯类则不受影响, 不必随温度增减。

2) 羟基羧酸盐、糖类、无机盐类在低温时缓凝时间将显著增长, 缓凝减水剂和缓凝剂不宜在  $5^{\circ}\text{C}$  以下环境使用。也不宜用于蒸汽养护混凝土。

3) 各种缓凝剂各有其剂量及缓凝程度, 如表 4-8。

表 4-8 常用缓凝剂掺量及缓凝性

剂 名	掺量 ( $C \times \%$ )	缓凝程度 (h)	备 注
糖钙减水剂	0.05~0.25	2~4	掺吸收剂的除外
蔗 糖	0.008~0.5		超过 $0.5 C \times \%$ 强度损失严重
木钙减水剂	0.05~0.5	2~3	超过 $0.5 C \times \%$ 强度受损失
柠 檬 酸	0.02~0.1	2~9	超过 $0.06 C \times \%$ 强度下降
酒 石 酸	0.03~0.1		
葡萄糖酸盐	0.01~0.1		7 d 后强度超过空白*
聚 乙 烯 醇	0.01~0.3	0.5~1.0	低掺量用作增稠剂
磷 酸 盐 (包括多聚磷酸盐)	0.01~0.2		低掺量用作调凝
硼 酸 盐	0.1~0.2	不够稳定	
锌 盐	0.1~0.2	10~29	

注:  $C$  为水泥用量。

\* 空白指未掺任何添加剂。

4) 糖钙减水剂缓凝程度较重, 超掺即会引致后期强度在 90 d 才出现, 请参阅表 4-9。

5) 必须按设计用量, 通过实验后, 即按认可品牌及掺量选用。应在配合比设计通知书上注明。

表 4-9 缓凝剂掺量与混凝土凝结时间

水泥品种	缓凝剂品种及掺量 (占水泥重量%)		减水 率	凝结时间(h:min)		延缓时间(h:min)		抗压强度(MPa)			
				初凝	终凝	初凝	终凝	3d	7d	28d	90d
抚顺 575 号 大坝水泥	柠檬酸	0		7:00	13:00			8.9/100	15.3/100	26.6/100	
		0.05		11:00	15:00	4:00	2:00	8.6/97	15.2/99	27.0/102	
		0.10*		16:00	21:15	9:00	8:15	8.0/91	15.4/100	24.5/92	
	氯化锌	0		7:00	13:00			12.9/100	18.8/100	28.5/100	
		0.20		17:00	26:00	10:00	13:00	11.5/89	18.8/100	30.3/106	
		0.30*		35:00	53:00	28:00	40:00	90.6/70	19.8/106	28.4/99	
北京 425 号 普通水泥	木质素	0	0	7:28	10:00			14.8/100	22.5/100	32.9/100	38.0/100
		0.25	8.2	9:14	11:07	1:46	1:07	15.5/106	25.8/114	38.1/116	41.9/111
		0.50	24	10:10	12:55	2:42	2:55	16.9/115	30.3/134	38.5/117	38.2/102
	磺酸钙	0.75*	27	14:16	17:14	6:48	7:14	12.5/85	22.4/104	31.5/96	33.0/87
		1.0*	29	20:00	21:25	12:32	11:25	3.4/23	8.3/87	17.2/52	21.2/56
		1.5*	32	—	—	—	—	2.7/18	5.6/25	9.4/28	15.7/41
巨化 325 号 矿渣水泥	糖蜜	0	0		7:30			6.8/100	10.9/100	19.7/100	26.9/100
		0.2	9		12:40		5:10	8.3/122	12.6/116	23.1/117	29.3/109
		0.5			22:30		15:00	4.5/66	12.8/117	25.0/127	33.6/125
	缓凝剂	0.8*			35:00		27:30	1.0/15	12.1/111	24.1/122	37.6/140
		1.1*			43:45		36:15	0.3/4	8.0/73	21.6/110	33.4/124
		1.4*			54:00		46:30	0.2/3	3.5/32	18.1/92	32.7/122

注：①本表摘自中国建筑科学研究院等编《混凝土外加剂应用技术规范》编制说明。

②掺量栏有\*号者为超掺量。

③水泥品种栏的×××号，是指旧标准的标号。

## 4.1.6 早强剂

### 4.1.6.1 早强剂的特性和作用

早强剂是一种加速混凝土早期强度发展的外加剂。在自然养护中能缩短养护时间。通常用于常温、低温和负温环境中施工而有早强要求的混凝土。

早强混凝土对早强剂的技术指标要求如表 2-21。

早强剂的用料及其品种较多，常用的氯盐类，技术性能如表 4-10；其他材料早强剂技术特性如表 4-11。

表 4-10 氯化物早强混凝土技术性能

品名	技术性能	混凝土性能	用量 ( $C \times \%$ )
氯化钙 $\text{CaCl}_2$	$\text{CaCl}_2 \geq 96\%$ $\text{H}_2\text{O} \leq 3$ 镁及碱金属 $\leq 1\%$ 水不溶物 $\leq 0.5$	因本品加速钢筋锈蚀，故应注意将混凝土捣实。保护层有足够厚度用亚硝酸钠作阻锈剂	钢筋混凝土为 $< 1\%$ ，素混凝土为 $< 3\%$
氯化钠 $\text{NaCl}$	白色晶体 $\text{NaCl} \geq 95\%$ 比重 = 2.165 水中最大溶解度为 0.3kg/L 此液冰点 $-21.2^\circ\text{C}$	单掺时早强增长不明显，与 $\text{CaCl}_2$ 复合为 1:2，上述复盐使用时掺量不超过混凝土用水量 10%，与三乙醇胺复合早强效果突出	$\leq 0.3\%$
六水三氯化铝 $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	黄色晶体、易潮解 含量 (%) 1 级 $\geq 94.5$ 2 级 $\geq 87.5$ 氧化铁 (%) 1 级 $\leq 0.5$ 2 级 $\leq 2.6$ 水不溶物 (%) 1 级 $\leq 0.1$ 2 级 $\leq 0.1$	强烈促凝，但后期强度偏低，故多与三乙醇胺合用，作防水剂，可以提高混凝土密实度	1.5% ~ 5.0%

注：以上均摘自产品企业标准。

表 4-11 早强剂的名称和特性

名 称	特 性
硫酸钠	不锈蚀钢筋 在矿渣水泥混凝土中早强效果较好 适宜掺量为水泥用量的 0.8%~2.0%
硫酸钾	早强作用较硫酸钠显著, 但 7d 后则不如未掺混凝土
硫酸铝	原是水泥速凝剂, 掺量在 2% 以下时可作早强剂使用, 但 28d 后则比未掺混凝土低
硫代硫酸钠 (俗称大苏打)	对水泥有塑化作用, 一般掺量为 1.0%~1.5%, 28 d 强度高于掺硫酸钠混凝土; 一般掺量为 1.0%~1.5%
碳酸钾	可使混凝土在 -25℃ 的环境下硬化, 但易引起混凝土碱骨料反应, 不宜随便使用
硝酸钙	无毒性 能改善混凝土孔结构, 提高密实性 缺点是在低温下早强增长慢 掺量较大
三乙醇胺	单独使用是缓凝剂, 与氯盐复合后才发挥早强作用

注: 掺量均按水泥用量。即  $m_a = m_c \times x\%$ 。

#### 4.1.6.2 掺早强剂混凝土配合比设计应考虑的问题

1) 对含有氯、硫等物质的外加剂, 使用时应按表 2-22 的限制使用, 避免发生意外。

2) 早强剂的使用, 其掺量也应严格按表 4-10 控制。

3) 三乙醇胺与氯盐复合在配合比上常用量为水泥用量的 0.03% + 0.3%。其混凝土强度不复合与复合之比: 1d 为 1:1.8, 3d 为 1:1.5, 7d 为 1:1.2。早强效果较好, 可供参考。

4) 有些施工部门自行配制一些复合早强剂，应按规程进行检测，经技监部门认可，方可使用。

## 4.2 掺粉煤灰混凝土配合比设计

### 4.2.1 粉煤灰混凝土的性能和应用

掺粉煤灰混凝土简称粉煤灰混凝土，可用于无筋混凝土、钢筋混凝土和预应力混凝土。从混凝土的种类来说，可用于普通混凝土、泵送混凝土、大体积混凝土、抗渗混凝土、抗硫酸盐和软水侵蚀混凝土、蒸养混凝土、地下或水下混凝土、压浆混凝土、碾压混凝土等等的无筋的、钢筋的和预应力混凝土。

粉煤灰混凝土根据工程的需要，也可与其他外加剂掺用，称为双掺混凝土。在双掺前应进行适应性和合理掺用量的试验。如外加剂有含氯和含硫物质时，应受表 2-22 的限制。

通常采用双掺的有：

用于高抗冻性混凝土时，必须掺用引气剂；

用于低温施工时，宜掺用对粉煤灰无害的早强剂和防冻剂；

用于早期脱模、提前有负荷的，宜掺用高效早强剂或高效减水剂。

### 4.2.2 粉煤灰混凝土配合比设计的 3 种情况

1) 为了改善混凝土的和易性，可用外加法。可直接从小掺量开始递增，试验至适用为止。

2) 如用于结构混凝土，当混凝土设计有超强，或混凝土有其他性能待改善时（如大体积混凝土需降低水化热之类情

况), 可用等量代换法。其取代水泥的最大限量如表 4-12。

[9] 表 4-12 粉煤灰取代水泥的最大限量

混凝土种类	粉煤灰取代水泥的最大限量 (%)			
	硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥
预应力钢筋混凝土	25	15	10	—
钢筋混凝土 高强度混凝土 高抗冻融性混凝土 蒸养混凝土	30	25	20	15
中、低强度混凝土 泵送混凝土 大体积混凝土 水下混凝土 地下混凝土 压浆混凝土	50	40	30	20
碾压混凝土	65	55	45	35

3) 等量取代法进行检测时, 如混凝土性能仍需改善, 须增加粉煤灰掺量时, 可用超量取代法。超量取代的超最系数如表 4-13。

[9] 表 4-13 粉煤灰超量系数

粉煤灰级别	超量系数 (K)	附注
I	1.0~1.4	混凝土强度为 C25 以下时取上限, 为 C25 以上时取下限
II	1.2~1.7	
III	1.5~2.0	

### 4.2.3 粉煤灰水泥配合比设计的步骤

1) 配合比设计配制强度的龄期, 可按实际需要, 参照表 4-14 取值。

[9] 表 4-14 粉煤灰混凝土设计强度的龄期

工程项目	设计龄期 (d)	工程项目	设计龄期 (d)
地上工程	28	地下工程	60 或 90
地面工程	28 或 60	大体积工程	90 或 180

2) 设计用的基准配合比, 以体积法设计的为准。

3) 粉煤灰用量按下式计算:

$$m'_{f0} = m_{c0} \cdot \beta_c \quad (4-4)$$

式中  $m'_{f0}$ ——等量取代法的粉煤灰用量;

$\beta_c$ ——等量取代水泥率, 见表 4-12。

4) 水泥用量按下式计算:

$$m_{cf} = m_{c0} - m'_{f0} \quad (4-5)$$

式中  $m_{cf}$ ——掺粉煤灰混凝土的水泥用量。

5) 粉煤灰混凝土的灰浆体体积, 按下式计算:

$$V_p = \frac{m_{cf}}{\rho_c} + \frac{m'_{f0}}{\rho_f} + m_{w0} \quad (4-6)$$

式中  $V_p$ ——粉煤灰混凝土灰浆体体积,  $m^3$ ;

$\rho_f$ ——粉煤灰的密度,  $kg/m^3$ 。

6) 砂、石子的总体积按下式计算:

$$(V_{sf} + V_{gf}) = 1 - 0.1\alpha - V_p \quad (4-7)$$

7) 砂、石子的用量及砂率取值, 与体积法基准混凝土的计算法相同, 砂率亦可稍低。

8) 将体积法配合比转换为重量比。

例 4-3 以例 3-2 体积法计算的基准混凝土配合比为例，掺用粉煤灰，等量取代率为 15%，测得粉煤灰表观密度  $\rho_f = 2.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，请计算其掺用后配合比。

解：按等量取代法的计算步骤，用表格式计算，列于表 4-15。

表 4-15 掺用粉煤灰混凝土等量取代法配合比计算表

序号	项 目	符 号	计算式或表号	计算结果 (每立方米用量)	
				重量 (kg)	体积 (L)
1	体积法:基准混凝土配合比	$m_{w0}$	按例题体积法	185	185
		$m_{c0}$		370	119.35
		$m_{s0}$		609	229.8
		$m_{g0}$		1218	456.2
2	粉煤灰取代量(15%)	$m'_{f0}$	$= m_{c0} \cdot \beta_c$	55.5	25.23
3	水泥实际用量	$m_{cf}$	$= m_{c0} - m'_{f0}$	314.5	101.45
4	粉煤灰等浆体体积	$V_p$	$= \frac{m_{cf}}{\rho_c} + \frac{m'_{f0}}{\rho_f} + m_{w0}$		311.68
5	砂石子的总体积	$V_{sf} + V_{gf}$	$= 1000 - V_p - 10\alpha$		678.32
6	砂的用量(砂率 34%)	$V_{sf}$	$= (V_{sf} + V_{gf}) \cdot \beta_s$	602.2	227.24
7	石子的用量	$V_{gf}$	$= (V_{sf} + V_{gf}) - V_{sf}$	1204	451.08
8	配合化	$m_{w0} : m_{cf} : m'_{f0} : m_{sf} : m_{gf}$ $= 185 : 314.5 : 55.5 : 602 : 1204$			

注：①水泥表观密度  $3.10 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ；砂表观密度  $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ；石子表观密度  $2.67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

②掺用后，每立方米混凝土少用水泥 55.5 kg，砂 7 kg，石子 14 kg，加用粉煤灰 55.5 kg。

#### 4.2.4 超量取代法的运算

在等量取代法试配过程中，发现粉煤灰混凝土的性质仍有潜力可用时，可用超量取代法对设计再作调整。方法如下：

- ①以等量取代法配合比设计的参数为基础；
- ②按表 4-13 选用超量系数  $\delta_c$ ；
- ③等量及超量取代的粉煤灰总量  $m_{f0}$ ，按下式计算：

$$m_{f0} = m_{c0} \cdot \beta_c \cdot \delta_c \quad (4-8)$$

- ④粉煤灰超量部分  $f_e$ ，按下式计算：

$$f_e = m_{f0} - m'_{f0} \quad (4-9)$$

⑤粉煤灰超用的体积，应在砂的体积中扣除，砂的实际体积，按下式计算：

$$V'_{sf} = (V_{sf} + V_{gf}) \cdot \beta_s - \frac{f_e}{\rho_f} \quad (4-10)$$

- ⑥石子用量与等量取代法相同。

例 4-4 在表 4-15 配合比的基础上，粉煤灰再超量取代，超量系数为 1.4。请计算其配合比。

解：按超量取代法的设计程序，用表格式计算，列于表 4-16。

表 4-16 掺用粉煤灰混凝土超量取代法配合比计算表

序号	项 目	符 号	计算式或表号	计算结果 (每立方米用量)	
				重量 (kg)	体积 (L)
1	等量取代法,粉煤灰混凝土配合比	$m_{w0}$	按表 4-15 序号 8	185	185
		$m_{cf}$		314.5	101.45
		$m'_{f0}$		55.5	25.23
		$m_{sf}$		602	227.24
		$m_{gf}$		1204	451.08
2	超量取代粉煤灰的总量	$m_{f0}$	$= m_{c0} \cdot \beta_c \cdot \delta_c$	77.7	35.32
3	粉煤灰的超用量	$f_e$	$= m_{f0} - m'_{f0}$	22.2	10.09
4	砂的实际用量	$V'_{sf}$	$= (V_{sf} + V_{gf}) \times$ $\beta_s - \frac{f_e}{\rho_f}$	590	222.65
5	石子的用量	$V_{gf}$		1204	451.08
6	配合化	$m_{w0} : m_{cf} : m_{f0} : m_{sf} : m_{gf}$ $= 185 : 314.5 : 77.7 : 590 : 1204$			

## 5 特种混凝土配合比设计

### 5.1 高强混凝土

这里所称的高强混凝土，是指以常规工艺制成的 C60 级及以上的混凝土。

#### 5.1.1 材料的选用

##### 5.1.1.1 胶凝材料

1) 所用水泥应选用质量稳定的、强度等级不低于 42.5MPa 的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；

2) 应掺用高效减水剂或缓凝高效减水剂；

3) 应掺用活性较好的磨细矿物掺合料，且宜复合使用上述矿物掺合料，其品种、掺量应通过试验确定；

4) 每立方米混凝土水泥用量不应大于 550kg，水泥和掺合料的总量不应大于 600kg。

##### 5.1.1.2 粗骨料

1) 粗骨料的粒径不应大于 31.5mm，如强度等级大于 C60，其最大粒径不应大于 25mm；

2) 粗骨料的针片状颗粒含量不宜大于 5.0%；

3) 粗骨料的含泥量不应大于 0.5%，泥块含量不宜大于 0.2%；

4) 粗骨料的其他技术指标应符合第 2 章的有关规定。

### 5.1.1.3 细骨料

- 1) 细骨料的细度模数宜大于 2.6；
- 2) 细骨料含泥量不应大于 2.0%，泥块含量不应大于 0.5%；
- 3) 细骨料的其他技术指标应符合第 2 章的有关规定。

### 5.1.2 配合比设计方法及基本参数

1) 配合比的设计方法和步骤，应按第 3 章的规定进行，同时应符合下列规定：

- ① 基准配合比中水灰比，可根据现有试验资料选取；
- ② 用水量可按表 3-8 或表 3-9 选用；
- ③ 砂率应与所采用的外加剂、矿物掺合料的品种、掺量通过试验确定。

#### 2) 试配

试配的步骤按 3.5 节规定进行。但要求较高：当采用 3 组不同配合比制作试件作强度试验时，试件的水灰比采用如下办法：一组按设计水灰比，是为基准配合比试件；其余两组的水灰比，一组增加 0.02~0.03，另一组则减少 0.02~0.03，进行对比取舍。

所确定的配合比，仍应再进行不少于 6 次的重复试验。其平均值不应低于配制强度。

### 5.1.3 例题

例 5-1 请设计强度为 C60、坍落度为 180mm 的高强混凝土配合比。已知搅拌站生产水的强度标准差  $\sigma = 5.0$  MPa，所用硅酸盐水泥强度等级为 52.5 MPa，其实测强度为 57.5 MPa；砂的密度为  $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，质量合格；碎石为 5~20 mm 的

连续级配的石灰岩，密度为  $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，质量合格；掺合料为清华大学的增强剂；减水剂为  $\text{NF}_1$ ；水为自来水。

解：

按第 3 章步骤运算：

① 配制强度，按式 (3-2)：

$$\begin{aligned} f_{\text{cu},0} &= 60 + 5 \times 1.645 \\ &= 68.225 \text{ MPa} \end{aligned}$$

② 水灰比，按式 (3-5)：

$$\begin{aligned} \frac{W}{C} &= \frac{0.46 \times 57.5}{68.225 + 0.0322 \times 57.5} \\ &= 0.38 \end{aligned}$$

③ 每立方米混凝土用水量

初步用水量，按表 3-9， $m_{w0} = 215 \text{ kg}$ ；

掺用  $\text{NF}_1$  减水剂，经试验：掺量为水泥的 1.4% 时，可减水 18%。按此比例，实际用水量：

$$\begin{aligned} m_{\text{wa}} &= 215 \times (1 - 0.18) \\ &= 176 \text{ kg} \end{aligned}$$

④ 每立方米混凝土水泥用量，按式 (3-8)：

$$\begin{aligned} m_{c0} &= \frac{176}{0.38} \\ &= 463 \text{ kg} \end{aligned}$$

照题意，每立方米混凝土掺用增强剂 50 kg，则胶凝材料总用量为：

$$\begin{aligned} m_{\text{ca}} &= 463 + 50 \\ &= 513 \text{ kg} \end{aligned}$$

⑤ 每立方米混凝土减水剂用量

$$m_{\text{a}} = 513 \times 1.4\%$$

$$= 7.2 \text{ kg}$$

### ⑥砂率

通过试验，取 37%。

⑦每立方米混凝土骨料用量，按重量法计算，设  $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$ ，按式 (3-11)，则

$$\begin{aligned} m_{sa} + m_{sg} &= 2450 - 176 - 463 - 50 \\ &= 1759 \text{ kg} \end{aligned}$$

则

$$\begin{aligned} m_{sa} &= 0.37 \times 1759 \\ &= 651 \text{ kg} \\ m_{ga} &= 1759 - 651 \\ &= 1108 \text{ kg} \end{aligned}$$

### ⑧初步配合比

$$\begin{aligned} \text{水} : \text{水泥} : \text{增强剂} : \text{砂} : \text{碎石} : \text{NF} \\ &= 176 : 463 : 50 : 651 : 1108 : 7.2 \end{aligned}$$

### ⑨试配

稠度检验符合要求。

强度检测，应采用与生产时相同的工艺方法试配，并进行 6~10 次重复试验验证。

上述配合比用  $0.010 \text{ m}^3$  混凝土试拌，用多次投料法搅拌，历时 160 s，用  $150\text{mm}^3$  试模制作试件，标养 7 d。28 d 试验结果，平均强度为  $f_{cu,28} = 68.90 \text{ MPa}$ 。结论：符合要求。

注：本例题引自文献 [18]。编者按文献 [1] 的步骤、方法作了调整。

## 5.2 泵送混凝土

泵送混凝土已逐渐成为混凝土施工中一个常用的品种。适

用于大体积混凝土、高层建筑、大型桥梁等工程。既可以作水平及垂直运输，又可直接用布料杆浇筑。但泵送混凝土对材料要求较严格，对配合比及其称量要求较准确，对施工组织设计要求较严密。

### 5.2.1 材料的选用

1) 要求采用具有保水性好、泌水性小的水泥。通常优先选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或矿渣水泥。

2) 不宜选用火山灰质硅酸盐水泥。

3) 砂应采用中砂。其中能通过 0.315 mm 筛孔的颗粒应不少于 15%。目的是利用这些小颗粒在管壁中起润滑作用，提高混凝土在管道中的通过能力。

4) 石子的规格与输送管道及泵送高度有关，如表 5-1。

5) 石子的级配应为连续级配。

6) 石子中针片状颗粒含量不宜大于 10%。

7) 外加剂可掺用泵送剂、引气剂或减水剂。

8) 宜掺用粉煤灰或其他活性掺合料，以减少管壁的摩阻力。所掺用的粉煤灰应符合表 2-24 中 I、II 级灰的要求。质量差的粉煤灰对泵送混凝土强度和可泵性都不利。

[1] 表 5-1 粗骨料的最大粒径与输送管径之比

石子品种	泵送高度 (m)	粗骨料最大粒径与输送管径比
碎石	< 50	$\leq 1:3.0$
	50~100	$\leq 1:4.0$
	> 100	$\leq 1:5.0$
卵石	< 50	$\leq 1:2.5$
	50~100	$\leq 1:3.0$
	> 100	$\leq 1:4.0$

### 5.2.2 配合比设计

配合比设计应按照第 3 章普通混凝土配合比设计的基本原则和方法进行。如掺用外加剂、粉煤灰等，可参照第 4 章及 5.1 节进行。同时应遵照下列要点：

①泵送混凝土的坍落度不宜小于 80 mm。

②泵送混凝土的坍落度不是越大越好，过大易离析，过小易堵管，而是要适用。

③泵送混凝土在试配时的坍落度值，应按下式计算：

$$T_t = T_p + \Delta T \quad (5-1)$$

式中  $T_t$ ——试配时要求的坍落度值；

$T_p$ ——入泵时要求的坍落度值，表 5-2 可供参考；

$\Delta T$ ——试验测得在预计时间内的坍落度经时损失值，表 5-3 可供参考。

[1] 表 5-2 混凝土入泵坍落度选用表

泵送高度 (m)	<30	30~60	60~100	>100
坍落度 (mm)	100~140	140~160	160~180	180~200

表 5-3 混凝土经时坍落度损失值

大气温度 (°C)	10~20	20~30	30~35
混凝土经时坍落度损失值 (掺粉煤灰和木钙, 经时 1h) (mm)	5~25	25~35	35~50

注：掺粉煤灰与其他外加剂时，坍落度经时损失可根据施工经验确定。无施工经验时，应通过试验确定。

④泵送混凝土的水胶比，不宜大于 0.6。过大则在泵送时引起离析，在硬化期容易引致体积收缩，出现裂缝。

⑤泵送混凝土的水泥用量不宜小于 300kg，如浆量不足，不利于泵送。

⑥掺用引气型外加剂时，混凝土的含气量不宜大于 4%。

⑦砂率可以比常规增大 2%~3%。宜在 35%~45% 之间。目的是增加混凝土的可泵性，增加混凝土在管道中的应变能力。

### 5.2.3 例题

泵送混凝土配合比设计的计算方法，除上述要求外，其他与第 3 章、第 4 章相同，不另举例。在试配、调整阶段，应增加可泵性实验，在泵送过程中注意运行情况。

表 5-4 为我国较大工程泵送混凝土配合比资料的摘录，供参考。

## 5.3 抗渗混凝土

抗渗混凝土又称防水混凝土。其考核指标是抗渗等级，以 P 表示。普通混凝土的抗渗能力一般可以满足 P6 级以下。当混凝土的抗渗等级  $\geq$  P6 时，就应按抗渗混凝土考虑其配合比。

抗渗混凝土的分类以其所用的材料划分，分为普通抗渗混凝土、外加剂抗渗混凝土、膨胀水泥抗渗混凝土等。本书主要是介绍普通抗渗混凝土。

抗渗混凝土配合比设计与普通混凝土配合比设计，有两个较大的不同：

①普通混凝土配合比设计的主要指标是稠度和强度，抗渗混凝土还要考虑抗渗指标；

②抗渗混凝土要考虑砂浆体积应稍有富余，即其体积应稍

表 5-4 泵送混凝土配合比实例 (每 m<sup>3</sup> 用料量)

序号	工程名称	泵送混凝土	入泵	水	砂	水 泥			掺合料		用水	用砂	碎石	减水剂		
		高度 (m)	强度 (MPa)	坍落度 (mm)	胶 比	率 (%)	品 种	强度 (MPa)	用量 (kg)	名 称	用量 (kg)	量 (kg)	量 (kg)	量 (kg)	品牌	掺量 (kg)
1	广东国际大厦顶层	200	C60	190	0.35	36	普硅	52.5	498	粉煤灰	75	198	590	1031	DP <sub>440</sub>	1.0
2	上海东方实业大厦	150	C60	140	0.37		普硅	72.5	440	粉煤灰	50	181			南浦II	
3	上海南浦大桥	154	C40	180	0.42	33	普硅	52.5	400	粉煤灰	40	185	648	1100	南浦II	6.8(L)
4	上海电视塔基础(大体积)	水平	C40	120	0.41		普硅	52.5	360	粉煤灰	70	176			南浦II	
5	南京金陵饭店	30层	C30	180	0.55	40	普硅	52.5	390		0	215	732	1100	木钙	1.95
6	联谊大厦	12层	C30	160	0.47	38	矿硅	42.5	420	粉煤灰	40	215	632	1020	木钙	0.88
7	上海八区引水工程	水平	C20	120	0.62	42	矿硅	42.5	364	粉煤灰	46	192	762	1061	木钙	0.78
8	南京邮电大楼		C50	215	0.30	34	矿硅	52.5	488	RPA	42	170	568	1102		
9		170	C60	215	0.30	33	矿硅	52.5	539	RPA	47	176	531	1078		
10	上海金茂大厦(基础)	水平	C50	100	0.31	37	矿硅	52.5	420	粉煤灰	70	190	626	1050	EA <sub>2</sub>	3.36
11	上海世界广场地下室	水平	C80	200	0.28	43	硅	72.5	425	FRC	180	169	700	905	YJC <sub>2</sub>	3.90
12	新上海国际大厦	87	C80	200	0.27	42	硅	72.5	480	FRC	150	170	680	910	YJC <sub>2</sub>	3.60
13	广州中天广场	146	C60	180	0.33	38	硅	52.5	545		180	640	985	RBI1000	2.0(L)	
														MBL	4.36(L)	
14	青岛中银大厦	244	C60		0.30	30	普硅	52.5	491	粉煤灰	49	161	560	1137		

注：掺合料中的 RPA 是江苏省建科院研制的多功能抗裂防渗材料；FRC 是以化铁炉渣为基料研制的掺合料。

大于石子的空隙率，设计时要考虑灰砂比指标。

### 5.3.1 材料选用

#### 5.3.1.1 水泥

①水泥品种可选用普通硅酸盐水泥，如同时有抗冻要求时，可优先选用硅酸盐水泥；

②掺有混合材较多的水泥，需水量大，对抗渗混凝土不利，不宜使用。如采用泌水率较高的水泥，应掺用外加剂以降低泌水率。

#### 5.3.1.2 骨料

①砂、石的质量应符合第 2 章的要求。

②粗骨料宜采用连续级配，其最大粒径不宜大于 40 mm，含泥量不得大于 1.0%，泥块含量不得大于 0.5%。

③细骨料的含泥量不得大于 3.0%，泥块含量不得大于 1.0%；

④用于喷射混凝土所用的粗骨料，应按喷射设备考虑。一般不宜大于 16 mm。

#### 5.3.1.3 掺合料

为填充混凝土中微细孔隙，普通抗渗混凝土可掺入细掺料，如磨细粉煤灰、磨细砂，其细度可参照表 2-24 的要求。

#### 5.3.1.4 外加剂

宜采用防水剂、膨胀剂、引气剂、减水剂或引气减水剂。

### 5.3.2 配合比设计

普通抗渗混凝土配合比设计的计算方法和步骤，应与第 3 章、第 4 章相同。但应符合下列规定：

①每立方米混凝土所用水泥与掺合料的总量，不宜小于

320 kg。

②砂率不宜过小，一般为 35%~45%，表 5-5 可供参考。此外，规程上虽未提出灰砂比的要求，但经验上认为不宜小于 1:2。如设计达不到此值时，可留在试配调整阶段，当抗渗试验不合要求时，可考虑加大砂率调整灰砂比。

表 5-5 砂率选用表 (%)

砂的细度模数和平均粒径		石子空隙率 (%)				
细度模数 $M_k$	平均粒径 (mm)	30	35	40	45	50
0.70	0.25	35	35	35	35	35
1.18	0.30	35	35	35	35	36
1.62	0.35	35	35	35	36	37
2.16	0.40	35	35	36	37	38
2.71	0.45	35	36	37	38	39
3.25	0.50	36	37	38	39	40

注：本表是按石子平均粒径为 5~50 mm 计算的，若采用 5~20 mm 石子时，砂率可增加 2%；用 5~31.5 mm 时，砂率可增加 1%。

③供试配用的最大水灰比应符合表 5-6 的规定。

[1] 表 5-6 抗渗混凝土最大水灰比

抗 渗 等 级	最 大 水 灰 比	
	C20~C30 混凝土	C30 以上混凝土
P6	0.60	0.55
P8~P12	0.55	0.50
P12 以上	0.50	0.45

④掺用引气剂的抗渗混凝土，其含气量宜控制在 3% ~ 5%。

### 5.3.3 配合比的检验

抗渗混凝土的试配、调整与普通混凝土相同。但应增加抗渗检验，规定如下：

①试件的选用，可采用水灰比最大的一组试件作抗渗试验。如达到要求，水灰比较小的试件可以免检。

②试件尺寸按试验设备而定。通常为两种：圆柱形试件，直径与高度均为 150 mm；圆台形试件，台面直径 175 mm，底面直径 185 mm，高度 150 mm。

③抗渗试件以 6 个为一组。

④龄期按标准养护 28 d 或按设计要求进行试验。

⑤试配要求的抗渗水压值应比设计值提高 0.2 MPa；其抗渗等级按下式计算：

$$p_t \geq \frac{p}{10} + 0.2 \quad (5-2)$$

式中  $p_t$ ——6 个试件中 4 个未出现渗水时的最大水压值，MPa；

$p$ ——设计要求的抗渗等级。

⑥掺引气剂的混凝土还应进行含气量试验，其结果应符合 5.3.2 第④点的要求。

### 5.3.4 抗渗混凝土配合比设计例题

例 5-2 某厂地下室车间，地下混凝土壁厚 0.5 m，埋置深度 9.5m，抗渗等级要求为 P12，混凝土抗压强度为 C20，坍落度要求为 35 ~ 50mm。已掌握资料有：水泥为普硅水泥，

强度等级待配合比设计决定；砂的平均粒径为 0.45mm，密度为  $2.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ；碎石为连续级配的 5~31.5mm；密度为  $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。请设计抗渗混凝土配合比。

设计程序：先按普通混凝土的步骤设计，在试配阶段如符合抗渗要求，就不考虑掺用外加剂或掺合料；如不符合要求，可按普通混凝土设计的结果为基准配合比，再按第 4 章的方法掺用外加剂或掺合料。

解：

① 配制强度按式 (3-2) 及表 3-1 计算：

$$\begin{aligned} f_{\text{cu},0} &= 20 + 1.645 \times 5 \\ &= 28.225 \text{ MPa} \end{aligned}$$

② 水灰比按式 (3-5)，先设水泥实际强度  $f_{\text{ce}} = 42.5 \text{ MPa}$ ，试算如下：

$$\begin{aligned} \frac{W}{C} &= \frac{0.46 \times 42.5}{28.225 + 0.0322 \times 42.5} \\ &= 0.66 \end{aligned}$$

此值大于表 5-6 的规定。应改用强度较低的 32.5 MPa 水泥。复算如下：

$$\begin{aligned} \frac{W}{C} &= \frac{0.46 \times 32.5}{28.225 + 0.0322 \times 32.5} \\ &= 0.51 \end{aligned}$$

此水灰比值小于表 5-6 的规定，符合要求。

③ 用水量，查表 3-9，坍落度为 35~50 mm 时，每立方米混凝土用水量为 185 kg。

④ 每立方米混凝土水泥用量，按式 (3-8) 计算：

$$\begin{aligned} m_{\text{c}0} &= \frac{185}{0.51} \\ &= 363 \text{ kg} \end{aligned}$$

此值大于 5.3.2 第①点的规定。可行。

⑤每立方米混凝土砂石总量按体积法计算，按式(3-18)：

$$\begin{aligned} V_g + V_s &= 1000 - \frac{363}{3.1} - 185 - 10 \\ &= 688 \text{ L} = 0.688 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

⑥砂率，按表 5-5，砂的平均粒径为 0.45 mm，石子的空隙率为 45%，其粒径为 31.5 mm，砂率暂定为 39%，进行试算：

⑦每立方米混凝土砂用量，按式(3-19)：

$$\begin{aligned} V_s &= 0.39 \times 688 \times 10^{-3} \\ &= 0.26832 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

转换为重量时：

$$\begin{aligned} m_{s0} &= 0.26832 \times 2.6 \times 10^3 \\ &= 698 \text{ kg} \end{aligned}$$

⑧每立方米混凝土碎石用量，按式(3-20)：

$$\begin{aligned} V_g &= (688 - 268.32) \times 10^{-3} \\ &= 0.41968 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

转换为重量时：

$$\begin{aligned} m_{g0} &= 0.41968 \times 2.7 \times 10^3 \\ &= 1133 \text{ kg} \end{aligned}$$

⑨总配合比

$$m_{w0} : m_{c0} : m_{s0} : m_{g0} = 185 : 363 : 698 : 1133$$

⑩送测检部门进行试配、检验。

试配结果可能出现几种情况：

- 一是稠度、强度、容重及抗渗指标均符合要求；
- 二是稠度、强度、容重 3 个指标有不符合要求时，按 3.5

节进行调整至合格后，才可进行抗渗试验；

三是三个基本指标均符合要求，但抗渗指标不合要求，则以此合格的配合比作为基准配合比，考虑掺用外加剂或掺用粉煤灰等掺合料。请参阅下一节。

### 5.3.4 实例

抗渗混凝土通常掺用引气剂、膨胀剂、减水剂或粉煤灰掺合料。其配合比设计请参阅第4章。表5-7是我国应用实例，请参考。表中抗渗标号系按《GBJ 82—85 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》取得的。

表 5-7 掺有外加材料抗渗混凝土配合比实例

工程名称	抗渗等级	每立方米混凝土材料用量(kg)						坍落度 (mm)	抗压强度 (MPa)		
		水泥	粉煤灰	膨胀剂	水	砂	石子		减水剂	设计	实测
吉林冶金污水处理池	S8	345	—	—	153	725	1207	木钙 1.55	30		34.2
国家技监局大楼基础	S6	298	60	24	186	586	1250	木钙 0.7	—	23.0	31.7
苏州市五交化大楼基础	S8	380	61	—	182	699	1049	AT 1.9	150~ 180	38.0	44.0
青岛酒精厂地下室	S12	340	—	47	185	670	1150	AF 1.5	70	28.0	38.5
大连水下世界外墙	S8	410		U型 65	200	638	1061	中联 2.46	190	30.0	—

注：表内S是旧标准抗渗等级的代号，相当于现行标准的P。

## 5.4 抗冻混凝土

抗冻混凝土不同于冬期施工混凝土。

抗冻混凝土是指投入使用后能抵抗一定的冻害。冬期施工混凝土是指在施工时能抵抗一定的低温而继续发展其强度。抗冻混凝土有在冬期施工的，也有不在冬期施工的。

普通混凝土通常可以抵受 50 次以下的冻融循环。设计要求冻融循环在 50 次以上的，便应按抗冻混凝土考虑配合比的设计。

### 5.4.1 抗冻混凝土所用原材料应符合的规定

- ①应选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，不宜使用火山灰质硅酸盐水泥；
- ②宜选用连续级配的粗骨料，其含泥量不得大于 1.0%，泥块含量不得大于 0.5%；
- ③细骨料含泥量不得大于 3.0%，泥块含量不得大于 1.0%；
- ④抗冻等级 F100 及以上的混凝土所用的粗骨料和细骨料均应进行坚固性试验，并应符合现行行业标准《JGJ53 普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法》及《JGJ52 普通混凝土用砂质量标准及检验方法》的规定；\*
- ⑤抗冻混凝土宜采用减水剂，对抗冻等级 F100 及以上的混凝土应掺引气剂。

注：\* 详见本书第 2 章。

### 5.4.2 配合比设计

1) 抗冻混凝土配合比设计的计算方法和试验步骤, 均与第三章相同, 但应注意下列几点:

①供试配用的最大水灰比应符合表 5-8 的规定。

[1] 表 5-8 抗冻混凝土的最大水灰比

抗冻等级	无引气剂时	掺引气剂时
F50	0.55	0.60
F100	—	0.55
F150 及以上	—	0.50

②抗冻混凝土掺用引气剂后, 其含气量应符合表 4-1 的规定。

③除按第 3 章进行稠度、强度、密度等检测试配外, 还应进行抗冻试验。

#### 2) 抗冻性试验

抗冻性能试验主要是抗冻融循环次数和含气量的检测。

抗冻性能试验方法分慢冻法和快冻法。我国建筑工程采用慢冻法; 水工、港工多采用快冻法。

抗冻混凝土以 F 代表其等级, 是以抗冻融循环的次数为等级值。经过若干次冻融循环后能符合下述两个指标的便达到等级。这两个指标是: ①质量损失不得超过 5%; ②强度损失不超过 25%。

### 5.4.3 配合比实例

表 5-9 是某氧气站冷箱基础及空气分离塔基础的抗冻混凝土配合比的实例。供参阅。

表 5-9 150 次抗冻融混凝土施工配合比

序号	重量配合比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$	每立方米混凝土水泥用量 (kg)	粗骨料		泡沫剂掺量(水泥用量的百分数)	抗压强度	
			粒径 (mm)	用量 (%)		28 d	冻融 150 次后损失 (%)
1	0.5:1:1.57:3.35	370	20~40	100	0	30.8	31.4
2	0.5:1:1.57:3.34	368	20~40	100	0.01	21.9	16.0
3	0.5:1:1.57:2.92	384	20~40 5~15	80 20	0.01	23.8	14.5
4	0.5:1:1.63:3.00	380	20~40 5~15	80 20	0.01	31.5	9.6
5	0.45:1:1.77:3.15	385	20~40 15~20 5~15	50 30 20	0.075	32.7	10.0

注：序号 1 为未掺泡沫剂的配合比，供参考。其余 2~5 均掺有泡沫剂，强度的损失均合格。

## 5.5 大体积混凝土

大体积混凝土是指混凝土结构物实体最小尺寸等于或大于 1m 的部位。在建筑上多用于高耸建筑物的基础底板、大型设备基础、大型柱、转换层的大梁、机场跑道等。

### 5.5.1 大体积混凝土的特点和配合比设计的措施

大体积混凝土\* 由于截面尺寸一般较大，水泥水化所释放

注：\* 某些边长不到 1m 的混凝土实体如预计会出现因水泥水化热导致裂缝问题，亦应按大体积混凝土处理。

的水化热散失较慢，而混凝土内部硬化冷却发生收缩。这种温差引起的变形，加上混凝土体积的收缩，将发生不同程度的拉应力而出现裂缝，成为大体积混凝土的隐患。

为避免或控制这种裂缝的出现，在配合比设计时要考虑尽量使用水化热低的水泥；掺用能降低水化热的掺合料；掺用缓凝外加剂；选用低空隙率的骨料。在施工时，搅拌站按照现场条件，降低拌合物的温度；浇筑时加强措施使混凝土密实，减少其收缩变形。

大体积混凝土配合比设计配料计算程序可完全按普通混凝土的程序和公式。如掺用外加剂和掺用粉煤灰可按第4章的介绍。不另举例。

大体积混凝土配合比设计选料的规定如下：

①应选用水化热较低、凝结时间较缓的水泥。如大坝水泥、矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥等。

②粗骨料宜采用连续级配，以选用粒径较大的骨料较好。

③细骨料宜选用中砂。

④宜掺用粉煤灰以降低水化热。

⑤宜掺用减水剂或缓凝剂。

⑥在保证混凝土的稠度和强度性能的同时，可降低水泥用量以减低水化热。

### 5.5.2 大体积混凝土的热工计算

混凝土热工性能计算的范围很广。与大体积混凝土配合比相关，要进行控制的主要有两个方面：一是水泥水化热绝热温升值的控制；二是混凝土拌合物温度的控制。

### 5.5.2.1 水泥水化热

水泥水化热绝热温升值的计算如式(5-3)。计算结果如超出要求时,应考虑改用水化热较低的水泥品种,或掺用减水剂或粉煤灰以降低水泥用量。

混凝土的水化热绝热温升值一般按下式计算:

$$T_{(t)} = \frac{m_c Q}{c \cdot \rho} (1 - e^{-mt}) \quad (5-3)$$

式中  $T_{(t)}$ ——浇完一段时间  $t$ , 混凝土的绝热温升值,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $m_c$ ——每立方米混凝土水泥用量,  $\text{kg}$ ;  
 $Q$ ——每千克水泥水化热量,  $\text{J}$ , 可查表 5-10 求得;  
 $c$ ——混凝土的比热, 一般  $0.92 \sim 1.00$ , 取  $0.96$ ,  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;  
 $\rho$ ——混凝土密度, 取  $2400 \text{ kg}/\text{m}^3$ ;  
 $e$ ——常数, 为  $2.718$ ;  
 $m$ ——与水泥品种、浇捣时温度有关的经验系数, 一般为  $0.2 \sim 0.4$ ;  
 $i$ ——龄期,  $\text{d}$ 。

表 5-10 每千克水泥水化热量  $Q$  ( $\text{J}$ )

水泥品种	水 泥 强 度 等 级 ( $\text{MPa}$ )		
	32.5	42.5	52.5
普通水泥	289	377	461
矿渣水泥	247	335	—

例 5-3 用  $42.5 \text{ MPa}$  矿渣水泥配制混凝土,  $m_c = 275 \text{ kg}$ ,  $Q = 335 \text{ J}$ ,  $c = 0.96 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ,  $\rho = 2400 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。求混凝土最高水化热绝热温度及 1 d、3 d、7 d 的水化热绝热温度。

解：(1) 混凝土最高水化热绝热温度：

$$T_{\max} = \frac{275 \times 335}{0.96 \times 2400} (1 - e^{-\infty}) = 39.98 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

(2) 混凝土 1 d、3 d、7 d 的水化热绝热温度：

$$T_{(t)} = 39.98 \times (1 - 2.718^{-0.3t})$$

当  $t=1$  :  $T = 39.98 \times (1 - 2.718^{-0.3 \times 1}) = 10.35 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\Delta T_1 = 10.35 - 0 = 10.35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

当  $t=3$  :  $T = 39.98 \times (1 - 2.718^{-0.3 \times 3}) = 23.72 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\Delta T_3 = 23.72 - 10.35 = 13.37 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

当  $t=7$  :  $T = 39.98 \times (1 - 2.718^{-0.3 \times 7}) = 35.08 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\Delta T_7 = 35.08 - 23.72 = 11.36 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

### 5.5.2.2 拌合物温度<sup>[2]</sup>

混凝土的原材料在投入搅拌前，各有各的温度。通过搅拌均匀调合成一个温度，称为拌合物温度。拌合物浇筑成型后，其温度受运输工具和模具的影响，会有变化，此时的温度称为混凝土温度。

拌合物温度计算式如式(5-4)：

$$T_0 = [0.9(m_{ce}T_{ce} + m_{sa}T_{sa} + m_gT_g) + 4.2T_w \times (m_w - \omega_{sa}m_{sa} - \omega_gm_g) + c_1(\omega_{sa}m_{sa}T_{sa} + \omega_gm_gT_g) - c_2(\omega_{sa}m_{sa} + \omega_gm_g)] \div [4.2m_w + 0.9 \times (m_{ce} + m_{sa} + m_g)] \quad (5-4)$$

式中  $T_0$ ——混凝土拌合物的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$m_w$ 、 $m_{ce}$ 、 $m_{sa}$ 、 $m_g$ ——每立方米混凝土水、水泥、砂、石的用量，kg；

$T_w$ 、 $T_{ce}$ 、 $T_{sa}$ 、 $T_g$ ——水、水泥、砂、石的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\omega_{sa}$ 、 $\omega_g$ ——砂、石的含水率，%；

$c_1$ 、 $c_2$ ——水的比热容 $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 及溶解热， $\text{kJ}/\text{kg}$ 。

当骨料温度 $>0^\circ\text{C}$ 时， $c_1=4.2$ ， $c_2=0$ ；

$\leq 0^\circ\text{C}$ 时， $c_1=2.1$ ， $c_2=335$ 。

大体积混凝土温度，《GB 50204—92 混凝土结构工程施工及验收规范》规定不宜超过 $28^\circ\text{C}$ ；《JGJ 3—91 钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规程》规定，浇筑后混凝土内外温差不应超过 $25^\circ\text{C}$ 。因此，大体积混凝土的拌合物温度，在夏季施工或某些特定情况下要采取降温措施。其措施由施工部门因地制宜。拌合物的温度计算如例 5-4。

例 5-4 某大型基础工程，大体积混凝土设计强度为 C15 级，坍落度为 80 mm，配合比用料如下：每立方米混凝土含 42.5MPa 矿渣水泥 275 kg、水 173 kg、中砂 703 kg、40 mm 碎石 1249 kg，即配合比为 0.63:1:2.556:4.542。外界气温为 $30^\circ\text{C}$ ，要求拌合物温度小于 $20^\circ\text{C}$ 。经采取降温措施后，阴棚内砂、石温度为 $20^\circ\text{C}$ ，砂含水率为 2%，石含水率为 1%，采用加冰水搅拌，使水温降为 $15^\circ\text{C}$ ，水泥在库温度为 $27^\circ\text{C}$ 。请计算拌合物的温度。

解：按式 (5-4) 计算。为简化计算，4 种材料的用量按以水泥为 1 的配合比代入计算式。各值如下：

$$m_{\text{ce}} = 1; \quad T_{\text{ce}} = 27;$$

$$m_{\text{sa}} = 2.556; \quad T_{\text{sa}} = 20;$$

$$m_{\text{g}} = 4.542; \quad T_{\text{g}} = 20;$$

$$T_{\text{w}} = 15; \quad m_{\text{w}} = 0.63;$$

$$\omega_{\text{sa}} = 0.02; \quad \omega_{\text{g}} = 0.01;$$

$$c_2 = 0; \quad c_1 = 4.2$$

代入式 (5-4) 运算：

$$\begin{aligned}
 T_0 &= [0.9 \times (1 \times 27 + 2.556 \times 20 + 4.542 \times 20) + \\
 &4.2 \times 15 \times (0.63 - 0.02 \times 2.556 - 0.01 \times 4.542) + \\
 &4.2 \times (0.02 \times 2.556 \times 20 + 0.01 \times 4.542 \times 20) - \\
 &0 \times (0.02 \times 2.556 + 0.01 \times 4.542)] \div \\
 &[4.2 \times 0.63 + 0.9(1 + 2.556 + 4.542)] \\
 &= [152.064 + 33.60798 + 8.10936 - 0] \div 9.9342 \\
 &= 19.5 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

计算结果，拌合物温度为  $19.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，符合要求。

### 5.5.3 试配

大体积混凝土试配阶段，应包括水化热的检测。在完成稠度、强度和容重调整后，应进行水化热的检测。如不符合计算结果时，可作水泥品种、强度等级或用量的调整。

## 5.6 路面混凝土

路面混凝土亦称道路混凝土。用于新建的和改建的公路路面、城市道路、厂矿道路、民航机场的跑道、停机坪和滑行道等的面层工程。

路面混凝土是在露天条件下施工和使用的结构混凝土板件。这个板件是铺设在基层上，基层的质量直接影响到混凝土板的质量和寿命。基层的施工应完全满足道路设计的要求，方可进行路面混凝土的施工。

### 5.6.1 材料选用

路面混凝土除了有强度和良好的耐磨性外，其寿命和当地地质、水文、气象等有关。厂矿的道路还应考虑工业废气、废

渣等对路面的污染。在选料时除按照普通混凝土考虑外，也应针对现场条件进行选择。通常注意下述几个问题。

#### 5.6.1.1 水泥

应选用强度高、收缩性小、耐磨性强、抗冻性好的水泥。并根据施工项目按下述条件选用：

①高速公路和机场跑道，必须采用强度不低于 42.5 MPa 的硅酸盐 P. I 或 P. II 水泥。

②一般公路、城市或厂矿道路可用硅酸盐或普硅 P.0 或矿渣 P.S 水泥。其强度也不应低于 42.5 MPa。如采用 32.5 MPa 水泥，在施工时应采取工艺措施，或掺用外加剂；或用于硬性混凝土；或采用真空吸水等。

#### 5.6.1.2 砂

除按第 2 章的要求外，还应符合下列两点：

①细度模数在 2.5 以上的中粗砂；

②不得混有石灰、煤渣等杂物；有机质含量用比色法试验，不应大于标准色。

#### 5.6.1.3 石子

除按第 2 章要求外，还应符合下列 5 点：

①石子规格通常采用表 2-9 的 5~40 mm 的连续级配；如板厚度大于 250 mm 时，最大粒径亦不得大于 50 mm；

②石材的抗压强度应大于或等于混凝土抗压强度的 2 倍；

③针片状颗粒的含量应符合表 2-10 的要求；

④用于有抗冻性要求的路面混凝土，其石质应进行抗冻融和坚固性试验；

⑤按就地取材的原则选用耐磨性较好的卵石、石灰岩或火成岩的石子。不得使用表层风化的石材。

#### 5.6.1.4 水

①应符合饮用水的要求；

②如采用山区溪河或沼泽地的水作搅拌用水，应进行试验并达到饮用水的标准；

③用作养护用水，每升水的硫酸盐含量按  $\text{SO}_4$  计，不得超过 2700 mg、含盐量不得超过 5000 mg、pH 值不得小于 4。

#### 5.6.1.5 其他

如需掺用外加剂或粉煤灰，应符合本手册第 2 章和第 4 章的规定。

严寒地区的抗冻混凝土，应符合本手册第 5.4 节的要求。

### 5.6.2 设计参数

路面混凝土配合比设计程序和方法，基本上与第 3 章内容相同。简介如下。

#### 5.6.2.1 配制强度

路面混凝土的设计要求，有的同时提出混凝土的抗压强度和抗折强度；有的只提出抗折强度而没有提出抗压强度。而混凝土配合比是以抗压强度为标准。如只提出抗折强度要求时，则应将抗折强度转变为抗压强度才能进行配合比的设计。

混凝土的抗折强度与抗压强度之间本无一定的对应关系。其转换强度可按表 5-11 计算。

[ 21 ] 表 5-11 混凝土 28d 抗折强度与抗压强度对比参考表

抗折强度 $f_s$ (MPa)	4.0	4.5	5.0	5.5
抗压强度 $f_{cu}$ (MPa)	25.0	30.0	35.0	40.0

取得设计的抗压强度后，配制强度可按式 (3-2) 计算。

其中强度标准差对于固定搅拌站用搅拌运输车运送的、或设备及操作人员相对稳定的流动搅拌站的，可按式(3-1)计算。如移动性大无法取得历史性强度标准差时，可参照表3-1及表3-2选用。

#### 5.6.2.2 水灰比

水灰比可按式(3-5)或式(3-6)计算，但不应大于表5-12的规定。

[21] 表 5-12 路面混凝土的最大水灰比

项 目	最大水灰比
公路、厂矿和城市道路	0.5
机场道面、高速公路	0.46
冰冻地区冬期施工	0.45

#### 5.6.2.3 用水量

用水量与拌合物的稠度和粗骨料粒径有关。路面混凝土一般用半干硬性混凝土，其坍落度通常为10~25mm，或维勃稠度为10~30s。粗骨料通常为40mm。用水量可参考表3-8及表3-9。用碎石时应不大于 $170\text{ kg/m}^3$ ，用卵石时应不大于 $160\text{ kg/m}^3$ 。

如掺用外加材料时，请参阅第4章。

#### 5.6.2.4 水泥用量

水泥用量可按式(3-8)计算，但每立方米混凝土的水泥用量应不小于300kg。

#### 5.6.2.5 砂率

砂率与水灰比及粗骨料有关，请按表5-13选用。

[ 21 ]

表 5-13 混凝土砂率

水灰比 \ 碎卵石	碎石最大粒径	卵石最大粒径
	40 mm	40 mm
0.40	27% ~ 32%	24% ~ 30%
0.50	30% ~ 35%	28% ~ 33%

注：①表中数值为Ⅱ区砂的选用砂率。

②采用Ⅰ区砂时，应采用较大的砂率，采用Ⅲ区砂时，应采用较小的砂率。

### 5.6.2.6 骨料和配合比

上述的几个基本参数解决后，便可按第3章有关章节用重量法或体积法计算砂、石用量和总配合比。请参阅例题5-5。

### 5.6.3 综合例题

例5-5 某地公路路面，板厚为200 mm，抗折强度要求为4.5 MPa，施工工艺要求坍落度为10~20 mm，无历史强度标准差。当地可以供应下列材料：普硅（P.0）水泥4.25 MPa，碎石、中粗砂和减水剂。减水剂的掺量为水泥用量的0.2%时，减水率为10%。请设计其配合比。

解：

#### 1) 混凝土的配制强度

##### ①抗压强度

因例题未给出抗压强度，按上文提示，将抗折强度转换为抗压强度。查表5-11得知当 $f_s = 4.5$  MPa时， $f_{cu,k} = 30$  MPa。

##### ②配制强度

因无历史性强度标准差资料，查表1-3，强度等级为C30时，粗线框内查得：

$$f_{\text{cu},0} = 38.2 \text{ MPa}$$

## 2) 选料

①水泥 用当地生产的 42.5 MPa 普硅水泥，经试验其实际强度  $f_{\text{ce}} = 42.5 \text{ MPa}$ ，其相对密度  $\rho_c = 3.1$ ；

②砂 选用当地生产的中粗砂，经检测其细度模数为 3.0，其相对密度  $\rho_s = 2.7$ ；

③碎石 选用当地常用的花岗岩碎石，粒径为 5~40 mm 的连续级配，其相对密度  $\rho_g = 2.65$ ；

④水 用当地市镇的自来水，由储罐车送至搅拌站的储水池备用；

⑤减水剂 按题意选用普通减水剂。

## 3) 配合比设计

配合比设计用重量法，分别如下：

### ①水灰比

按式 (3-5) 计算：

$$\begin{aligned} \frac{W}{C} &= \frac{0.46 \times 42.5}{38.2 + 0.0322 \times 42.5} \\ &= 0.494 \end{aligned}$$

### ②每立方米混凝土用水量

按表 3-9 选用：

$$m_{w0} = 165 \text{ kg}$$

符合表 5-12 的要求。

但按题意，掺用减水剂为水泥的 0.2% 可减水 10%。则实际用水量：

$$\begin{aligned} m_{\text{wa}} &= 165 \times (1 - 0.10) \\ &= 148.5 \text{ kg} \end{aligned}$$

## ③每立方米混凝土的水泥用量

按式 (3-8) 计算：

$$\begin{aligned} m_{ca} &= \frac{148.5}{0.494} \\ &= 301 \text{ kg} \end{aligned}$$

符合 5.6.2.4 不少于 300 kg 的要求。

## ④砂率

按表 5-13，砂率定为 31%。

## ⑤假定每立方米混凝土的总用量

按表 3-11， $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$

## ⑥每立方米混凝土砂石总用量

按式 (3-11) 计算：

$$\begin{aligned} m_{ga} + m_{sa} &= 2400 - 148.5 - 301 \\ &= 1950.5 \text{ kg} \end{aligned}$$

## ⑦每立方米混凝土砂用量

按式 (3-13) 计算：

$$\begin{aligned} m_{sa} &= 1950.5 \times 0.31 \\ &= 605 \text{ kg} \end{aligned}$$

## ⑧每立方米混凝土碎石用量

按式 (3-14) 计算：

$$\begin{aligned} m_{ga} &= 1950.5 - 605 \\ &= 1345.5 \text{ kg} \end{aligned}$$

## ⑨每立方米混凝土减水剂用量

$$\begin{aligned} m_a &= 301 \times 0.002 \\ &= 0.6 \text{ kg} \end{aligned}$$

## ⑩初步配合比

$$m_{wa} : m_{ca} : m_{sa} : m_{ga} : m_a$$

$$\begin{aligned} &= 148.5 : 301 : 605 : 1345.5 : 0.6 \\ &= 0.494 : 1 : 2.01 : 4.47 : 0.002 \end{aligned}$$

## 5.6.4 试配调整及确定

### 5.6.4.1 试配工作

试配工作的安排，请参照 3.5 节的规定。但试配项目增加抗折强度试验。其试配项目的次序应改为：①稠度；②抗折强度试验；③抗压强度试验；④表观密度试验。其中稠度、抗压强度和表观密度的试验，均可照 3.5 节的方法进行。抗折强度试验方法如下。

### 5.6.4.2 抗折试验

①试件为  $150\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 550\text{ mm}$  的无筋混凝土小梁，棱角必须为直角，底面宽和高度的误差不得大于  $\pm 1\text{ mm}$ ；

②试件配合比按稠度调整后的基准配合比；

③可制作一组，每组 3 件小梁；

④试件中部三分之一长度内如有大于  $\phi 7 \times 2\text{ mm}$  的蜂窝，该试件应作废，可补制；

⑤为便于试件制作，亦应同时制作抗压强度的立方体试件；

⑥试件应为 28 d 的标准养护；

⑦抗折试验装置如图 5-1。试件应试至破坏。

试件破坏时，如折断面位于两个集中荷载点之间，为有效试件。如折断面位于两个集中荷载点之外，为无效试件。

三件小梁试件如有一件为无效试件，可取其余两件有效试件的试验结果的平均值。

⑧抗折强度的评定

有效试件的抗折强度，按式 (5-5) 计算。

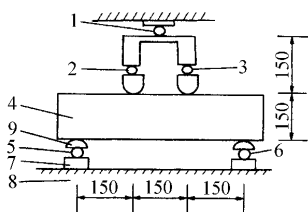


图 5-1 抗折试验装置图 (尺寸单位: mm)

1、2、3—一个钢球；4—试件；5、6—两个钢球；  
7—活动支座；8—机台；9—活动船形垫块

$$f_s = \frac{Pl}{bh^2} \quad (5-5)$$

式中  $f_s$ ——混凝土抗折强度, MPa;  
 $P$ ——破坏荷载, N;  
 $l$ ——试验跨度, 即支座间距, 450 mm;  
 $b$ ——试件宽度, 150 mm;  
 $h$ ——试件高度, 150 mm。

当抗折强度平均值大于设计要求时, 为合格。可继续进行抗压强度试验和表观密度的调整。

如抗折强度平均值小于设计要求时, 可按 3.5 节抗压强度的调整办法再作试配, 直至合格后方可确定其配合比。

## 5.7 高性能混凝土

### 5.7.1 简介

混凝土的强度, 一直被认为是混凝土性能的主要指标。其

实，混凝土历史因强度不足而引致破坏的例子并不多，而因受环境侵蚀以致破坏的却是混凝土致命要害。在 20 世纪末就提出了混凝土耐久性问题，就是如何抵抗环境对混凝土的伤害，如抗渗、抗冻、抗磨、抗介质侵蚀、抗碱骨料反应、抗碳化等等。也就是混凝土除了强度指标，还应因环境或使用要求，提高其对有关性能的指标。高性能混凝土就被提到国际混凝土会议上，深为国际土木工程界所接受和推崇。

我国已故资深院士吴中伟教授认为：高性能混凝土是一种新型高技术混凝土，采用现代混凝土技术，选用优质材料，在严格的质量管理下制成的；除了水泥、水、骨料以外，必须参加足够数量的细掺料和高效外加剂；高性能混凝土重点保证下列诸性能：耐久性、工作性、各种力学性能、适用性、体积稳定性以及经济合理性。

### 5.7.2 材料选用

本书在第 1 章就提出，混凝土配合比设计工作，首先是对材料的选用。

混凝土发展到现在，虽然取得了社会的认可，但混凝土本身存在的问题，已逐渐在各种严酷环境中显露：在材料方面，水泥的矿物组成不理想，或与外加剂配伍不协调；骨料的有害成分仍有超标……在施工工艺方面，混凝土浇筑形成的分层现象虽已减少，但各种组分界面仍有极微细的孔隙等等。由此，可知配合比设计中材料的选用的重要性。

#### 5.7.2.1 水泥

水泥的材质除按国家标准要求外，要注意两种情况：①水泥中矿物组分对减水剂的吸附量，吸附量少才能提高浆体的流动性。一般情况下，宜采用下列含量的水泥： $C_3A$  宜小于

8%， $C_4AF$ 宜小于7%， $C_3S$ 、 $C_2S$ 宜在40%~45%之间，以提高拌合物的流动性。②有防碱骨料反应要求的项目，不宜采用碱（ $Na_2O$ 或 $K_2O$ ）含量大于0.6%的水泥。至于水泥强度一般应选用强度等级为52.5~62.5 MPa的水泥；如系中等强度的混凝土，亦可选用强度等级为42.5 MPa的水泥。

#### 5.7.2.2 粗细骨料

请按高强混凝土的要求选用。

但有防碱骨料反应要求的混凝土，除在水泥中控制含碱量外，对骨料也应进行检验控制，保证每立方米混凝土含碱总量不大于2.1 kg。

#### 5.7.2.3 外加剂

减水剂在高性能混凝土中的作用，一是提高流动度，二是提高强度。通常选用萘系或聚三氰胺系的甲醛缩合物减水剂，可以得到较高的减水率和减少拌合物流动度的经时损失。

减水剂掺量不宜过大，约相当于水泥用量的0.5%~2.0%。搅拌时或在搅拌运输车上采用滞后掺入法，可提高其效果。

其他外加剂，请按高性能混凝土的特性要求，按上述各种混凝土的要求掺用。

#### 5.7.2.4 细掺料

混凝土的耐久性问题，可以说是混凝土的密实度问题。普通混凝土的耐久性不理想，是由于硬化后仍存在着水泥颗粒间的微孔隙，为介质渗透所利用。如果掺用比水泥颗粒更细的细掺料填充这些微孔隙，或采用引气剂将这些连通式孔隙改变为封闭式孔隙，便可提高混凝土的密实度，也就是提高了混凝土的耐久性。

常用的细掺料有硅粉、磨细粉煤灰、磨细矿渣粉、磨细沸

石粉（F 矿粉）和磨细凝灰岩等。微膨胀 UEA 剂和引气剂亦可采用。硅粉的粒径约为水泥粒径的  $1/50$ ，即可使用；粉煤灰的要求见表 2-24；其他可加工磨细至比表面积  $\geq 4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ ，或通过试验决定。

这些细掺料除具有填充微孔隙作用外，同时具有火山灰质活性效应，也能提高混凝土的强度。

外加剂及细掺料的选用，请参考本章各特种混凝土的介绍。

### 5.7.3 配合比设计

高性能混凝土配合比设计，可按第 3 章、第 4 章的程序和方法进行。但应重点放在试配、检测、调整阶段。

设计的步骤是首先按常规设计方法，即是按第 3 章的方法设计出一个普通混凝土配合比。通常称为基准配合比。其次是按高性能混凝土的要求，对基准配合比进行调整。调整步骤如下：

- ①根据高性能混凝土的性能指标，考虑适当的细掺料及其取代水泥的比例；
- ②调整水泥用量及拟定细掺料的用量；
- ③选用减水剂，按其掺量及减水率，按其流动性指标定出水胶比（水胶比按胶结料总用量计），计算用水量；
- ④参照第 3 章选用砂率及计算粗、细骨料用量；
- ⑤得出高性能混凝土初步配合比。

表 5-14 为广州市地铁及青岛啤酒厂深圳分厂所用高流动性、高抗渗性和低水化热大体积混凝土配合比设计及其效果。表 5-15 为我国三峡工程抗冲磨高性能混凝土及其试验结果。表 5-16 为我国各地高性能混凝土的应用实例。表 5-17 为高性

能混凝土用料配合比的典型范围，可供参考。

[ 23 ] 表 5-14 广州地铁高性能混凝土配合比

	配合比						效果实测			
	水泥 (kg/m <sup>3</sup> )	粉煤 灰	FDN 减 水剂 (%)	引气剂 (%)	水	砂率 (%)	坍落 度 (cm)	$f_{cu,28}$ (MPa)	含气 量 (%)	抗渗标 号 (P)
基准混 凝土	1 (350)	0	0	0	0.57	36	16.5	31.9	<1	7
高性能 混凝土	1 (315)	0.15	0.5	0.01	0.43	36	16~20	48~54	2~4	>20

注：①粉煤灰为水泥用量之比；

②水、减水剂、引气剂均为胶结料总用量之比。

[ 22 ] 表 5-15 三峡工程抗冲磨高性能混凝土试验结果

总量	每立方米混凝土 胶凝材料用量 (kg)				外加剂		水 胶 比	坍落 度 (cm)	抗压强度 (MPa)		28d 相 对抗冲 磨强度
	C	FA	SF	UEA	品种	掺量 (%)			28d	90d	
448	448	0	0	0	—	—	0.357	5.5	44.0	—	1.00
455	335	50.5	32.7	36.9	N—3	2.0	0.202	9.0	77.5	79.6	1.74
448	371	0	36.9	40.8	N—3	2.0	0.234	8.0	82.5	88.4	1.86
448	330	49.7	32.2	36.3	N—5	2.5	0.234	7.3	78.1	86.5	1.78

表 5-16 高性能混凝土工程应用实例

工程名称	每立方米混凝土胶凝材料用量 (kg)					高效减水剂	水胶比	砂率 (%)	坍落度 (mm)	平均抗压强度 (MPa)	
	水泥	硅粉	粉煤灰	矿渣	其他					28d	90d
飞来峡水电站* (广东)	298	52.5 (NSF)	—	—	—	—	0.39	32	56	58	—
水口水电站 (福建)	255	34	45	—	38 (UEA)	—	0.27	35	—	57.7	70.8
五强溪水电站 (湖南)	259	33.6	46	—	30.5 (UEA)	—	0.42	36	60	49.7	—
依兰桥 (牡丹江)	420	—	43 (F 矿粉)	18	43 (UEA)	7.1kg	0.32	36	170	65~ 70	—
85 国际广场 (台湾)	395	—	94	20	—	8.4kg	0.33	44	230	—	56 (56d)
金茂大厦 (上海)	420	—	70	—	—	3.4kg	0.38	37	150	50.9	59.7 (56d)
首都国际机场 (北京)	<450	—	20%~ 25%	—	UEA 8%~ 10%	1.4%~ 1.8%	—	—	220	69.2	—

注：\* NSF 剂由硅粉、UEA、高效减水剂、缓凝剂组成。

[ 22 ] 表 5-17 高性能混凝土的典型配合比

强 度 等 级		C60~C100
胶凝材料浆体体积	(%)	28~32
每立方米混凝土水泥用量	(kg)	330~450
胶凝材料	粉煤灰	(%) 15~30
	矿渣	(%) 20~30
	硅 粉	(%) 5~15
	F 矿 粉	(%) 5~10
	UEA	(%) 8~12
高效减水剂*	(%)	0.5~2.0
水 胶 比		0.25~0.40
砂 率	碎 石	(%) 0.34~0.42
	卵 石	(%) 0.26~0.36
每立方米混凝土 最大用水量	塑 性	(kg) 90~130
	自流性(自密性)	(kg) 110~150

注：\* 按总胶凝材料重量计。

#### 5.7.4 试配

除按第 3 章的要求进行试配、调整外，高性能混凝土应按设计要求，逐项进行试验。

##### 5.7.4.1 工作性

工作性如为高流动性或免振自密实混凝土，用通常的坍落度法未能满足实验要求时，可用下列方法作补充实验。

##### 1) 坍扩度

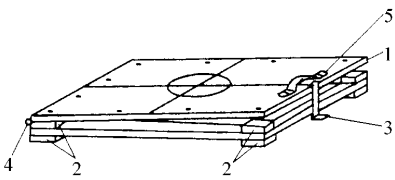
此法利用坍落度试验后拌合物向外周流动 10~30 s 后，测量其扩散后的直径，纵横各取一值，其平均值即为坍扩度。坍扩度越大则流动性越好。一般高流动性混凝土要求坍扩度 > 500 mm。

此法所用的底板板面应平整光滑。

## 2) 扩散度

亦称扩展度。是德国标准 DIN1048 的方法。适用于高流动性混凝土。其试验设备及方法如表 5-18。其扩散度达到 600 mm 即属高流动度混凝土。

[ 25 ] 表 5-18 扩散度试验

项目名称	主要内容
试验目的	检验混凝土的稠度
主要设备	<p>①扩散度仪：木制，顶面蒙 3 mm 钢板（见图）；</p>  <p>1—厚 21 mm 木质夹层板，顶面为 3 mm 钢板；2—底框上的 20 mm 厚木角垫；3—用于控制提升高度（<math>40 \pm 1</math> mm）的钢挡板及脚踏；4—合页；5—手把</p> <p>②模筒：底部内径 <math>200 \pm 2</math> mm； 顶部内径 <math>130 \pm 2</math> mm； 高度 <math>200 \pm 2</math> mm</p> <p>③木质捣棒：方形截面 <math>40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}</math>，端部磨圆</p>

续表 5-18

项目名称	主要内容
操作要点	混凝土分两层注入模筒，每层用木质捣棒插捣 10 下。表面抹平，0.5 min 后把模筒提起，以 2 s 一次的速度把面板提起并让它自由落下，共提落 15 次。按平行纵横两边的方向量测混凝土的直径
结果评定	按互相垂直的两个方向量得的直径平均值作为该混凝土的扩散度值

### 3) 流出时间

通常用坍落度筒反置，小端向下，底下加一活门。填充好拌合物后，悬置在平板上方。测试时在打开活门的同时，按动计时器，以拌物流净的时间为流出时间。时间越少则流动度越高。通常要求小于 30 s。

### 4) L 形流动装置

其装置如图 5-2。试验时将拌合物填充入竖箱，括平。在拉起隔板的同时按动计时器，拌合物沿水平槽流动停止时按停计时器。一是看流动的时间  $t$  (s) 和水平流动值  $L_f$  (cm)， $L_f/t$  称为 L 形流动速度；二是看拌合物的下沉值  $L_s$  (cm)，其值与锥形坍落度筒法的坍落度基本接近。此装置于 20 世纪 90 年代开始在日本使用，我国也用作室内检验的参考。尚未列入标准。

#### 5.7.4.2 耐久性

耐久性通常包括抗渗、抗冻、耐磨、抗腐蚀、防碱骨料反应和抗碳化等性能。可根据要求制成试件送有关科研单位或实验部门按专门规程进行测试。本手册从略。

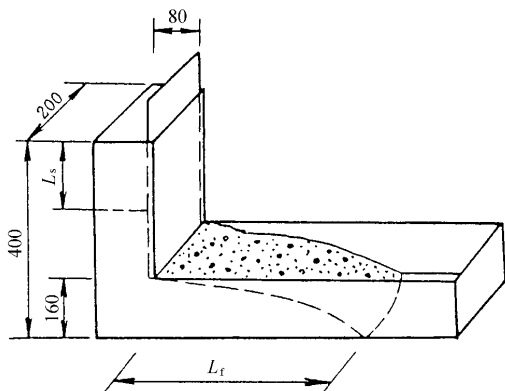


图 5-2 L 形流动试验装置

#### 5.7.4.3 调整

通过上述实验，其结果与设计要求进行对比，如不符合要求，应对原材料、外加剂和细掺料的品种、品牌、材质、用量等进行再检测，再配合，直至符合要求。

## 5.8 钢纤维混凝土

### 5.8.1 简介

纤维混凝土有两种构造，一种是使用短纤维，以少量纤维混入混凝土中作为复合材料的一个组分组成的纤维混凝土，这是本手册准备介绍的。另一种是使用长纤维，按结构需要用配筋方式，多根或连续配筋或编织成网成为配筋混凝土。

短纤维钢纤维混凝土又可分为无筋钢纤维混凝土结构、钢筋纤维混凝土结构和预应力钢纤维混凝土结构。本手册介绍的是将短钢纤维断续地、均匀地、乱向地分散于混凝土中的钢纤维混凝土。

钢纤维混凝土适用于对抗拉、抗剪、抗折强度和抗裂、抗冲击、抗疲劳、抗震、抗爆和耐磨等性能要求较高的结构工程或局部部位，如码头、抗震建筑、船壳、设备基础、隧道护壁、山岩护坡，以及承受冷热骤变的炉窑工程等等。

钢纤维混凝土的强度等级以 CF 表示，其最小强度为 CF20 级。

## 5.8.2 材料选用

钢纤维混凝土如用于特殊混凝土，其所用的各种材料应按特殊混凝土的规定选料。如无特殊要求，可按普通混凝土选用。但应考虑下列要求。

### 5.8.2.1 基本材料

1) 水泥一般选用硅酸盐水泥或普通水泥；水泥强度等级不宜低于 42.5 MPa。

2) 砂可选用中砂或中粗砂，但不得使用海砂或咸水湖砂。

3) 石子粒径不宜大于 20 mm，亦不大于钢纤维长度的 2/3。用于喷射钢纤维混凝土的，按设备条件选用，不宜大于 10 mm。

4) 外加剂宜选用优质减水剂，用于喷射混凝土则选用速凝剂。对有抗冻要求的钢纤维混凝土宜选用引气型减水剂。宜选用防锈剂。不得使用含氯盐的外加剂。

5) 采用纯硅水泥拌制的钢纤维混凝土，可掺用粉煤灰，其质量及掺量应通过试验确定。

### 5.8.2.2 钢纤维

1) 钢纤维的类型如表 5-19。

2) 钢纤维的规格及其使用范围如表 5-20。

[ 26 ] 表 5-19 钢纤维类型

类型号	类型名称	截面形状	长度方向形状
I	圆直型	圆 形	直
II	熔抽型	月牙形	直
III	剪切型	矩 形	直、扭曲或两端带钩

[ 26 ] 表 5-20 钢纤维几何参数采用范围

钢纤维混凝土结构类别	长 度 (mm)	直径 (等效直径) (mm)	长径比
一般浇筑成型的结构	25~50	0.3~0.8	40~100
抗震框架节点	40~50	0.4~0.8	50~100
铁路轨枕	20~30	0.3~0.6	50~70
喷射钢纤维混凝土	20~25	0.3~0.5	40~60

注：①钢纤维的等效直径是指非圆形截面按面积相等的原则换算成圆形截面的直径；

②钢纤维的长径比是指长度对直径（或等效直径）的比值，计算精确到个位数。

### 5.8.3 配合比设计

#### 5.8.3.1 步骤

钢纤维混凝土配合比设计应采用试验—计算法。步骤如下。

①根据式 (3-2) 或根据抗压强度设计值及强度提高系数确定配制强度。同时根据其用途提出抗拉强度或抗折强度或其他要求。

②根据配制强度按式(3-5)或式(3-6)计算水灰比,宜控制在0.45~0.50之间;如有耐久性要求,不得大于0.50。

③按结构设计要求的抗拉或抗折强度,定出所需的钢纤维体积率。

④根据施工要求的稠度,选出用水量。

⑤确定合理砂率。

⑥按重量法或体积法计算试配用的初步配合比。

⑦按3.5节的方法进行稠度、强度试验,确定抗压强度的基准配合比。

⑧用上述配合比进行抗拉或抗折强度试验或其他试验时,按其试验要求制作相应试件,用调整钢纤维体积的实验法确定钢纤维的体积率,定出施工配合比。

### 5.8.3.2 基本参数

1) 每立方米混凝土水泥用量宜在360~400kg之间;如钢纤维体积率较大时,可适当增加水泥用量,但不应大于500kg。

2) 用水量,如已有经验资料,可按经验资料。如无经验资料,可先按表5-21或表5-22试配,以稠度符合要求为准。

[26] 表5-21 半干硬性钢纤维混凝土单位体积用水量选用表

拌合料条件	维勃稠度(s)	单位体积用水量(kg)
$\rho_f = 1.0\%$ 碎石最大粒径 10~15 mm $W/C = 0.4 \sim 0.5$ 中 砂	10	195
	15	182
	20	175
	25	170
	30	166

注:①碎石最大粒径为20mm时,单位体积用水量相应减少5kg;

②粗骨料为卵石时,单位体积用水量相应减少10kg;

③钢纤维体积率每增减0.5%,单位体积用水量相应增减8kg。

[ 26 ] 表 5-22 塑性钢纤维混凝土单位体积用水量选用表

拌合料条件	粗骨料品种	粗骨料最大粒径 ( mm )	单位体积用水量 ( kg )
$l_f/d_f = 50$ $\rho_f = 0.5\%$ 塌落度 = 20 mm $W/C = 0.50 \sim 0.60$ 中 砂	碎 石	10~15	235
		20	220
	卵 石	10~15	225
		20	205

注：①塌落度变化范围为 10~50 mm 时，每增减 10 mm，单位用水量相应增减 7 kg；

②钢纤维体积率每增减 0.5%，单位体积用水量相应增减 8 kg；

③钢纤维长径比每增减 10，单位体积用水量相应增减 10 kg。

表中符号：

$\rho_f$ ——钢纤维体积率；

$l_f/d_f$ ——钢纤维长度与钢纤维直径（等效直径）之比，简称长径比。

3) 砂率可比普通混凝土稍大，可参考表 5-23。

[ 26 ] 表 5-23 钢纤维混凝土砂率选用值（%）

拌合料条件	最大粒径 20 mm 的碎石	最大粒径 20 mm 的卵石
$l_f/d_f = 50$ $\rho_f = 1.0\%$ $W/C = 0.50$ 砂细度模数 = 3.0	50	45
$l_f/d_f$ 增减 10	±5	±3
$\rho_f$ 增减 0.5%	±3	±3
$W/C$ 增减 0.1	±2	±2
砂细度模数增减 0.1	±1	±1

4) 钢纤维按其占用混凝土体积的百分率计算,可参照表 5-24 选用。但不应小于 0.5%。

5) 钢纤维体积转换为重量时,密度按  $7.854 \times 10^3 \text{kg/m}^3$  换算。

[ 26 ] 表 5-24 钢纤维体积率采用范围

钢纤维混凝土结构类别	钢纤维体积率 (%)
一般浇筑成型的结构	0.5~2.0
局部受压构件、桥面、预制桩桩顶桩尖	1.0~1.5
铁路轨枕、刚性防水屋面	0.8~1.2
喷射钢纤维混凝土	1.0~1.5

注:钢纤维体积率系指  $1 \text{m}^3$  钢纤维混凝土中钢纤维所占体积百分数。

#### 5.8.4 配合比实例

钢纤维混凝土在国外已应用于桥梁、机场跑道、路面、水工构筑物、堤坝等等项目。我国亦已多用于水工项目,但经介绍的例子不多,其中的几个项目配合比实例如表 5-25。

表 5-25 钢纤维混凝土配合比实例

序号	工程名称	水灰比	水用量 (kg)	水泥用量 (kg)	砂		石子用量 (kg)	钢纤维		强度 (MPa)		
					砂率 (%)	用量 (kg)		体积率 (%)	用量 (kg)	抗压	抗拉	抗折
1	浙江省百丈 漈水电厂引水 隧洞	0.45	225	500	50	800	800	1	78.5			
2	南京五台山 体育馆屋面	0.45	176	391	41	751	1079	0.95	75.0		4.64	15.47

续表 5-25

序号	工程名称	水灰比	水用量 (kg)	水泥用量 (kg)	砂		石子用量 (kg)	钢纤维		强度 (MPa)		
					砂率 (%)	用量 (kg)		体积率 (%)	用量 (kg)	抗压	抗拉	抗折
3	南京五台山体育馆屋面	0.435	182	420	43	773	1025	1.9	150		4.81	19.35
4	杭州德胜坝抽水站闸门	0.45	232	516	50	826	826	1	78.5			
5	美国加州尤里卡防波堤双头锚构件	0.41	132	323	37.5	748	1246	0.60	47	50.0	5.0	
6	美国加州尤里卡防波堤双头锚构件	0.41	159	390	45.2	842	1020	1.51	119	54.0	5.9	

注：①序号 2、3、5、6 均掺用减水剂。

②双头锚构件每件高度 4570 mm，最小截面边长为 910 mm。每件质量 38~39t，粗骨料最大粒径为 380 mm。

③表中材料用量为每立方米混凝土中的用量。

## 5.9 离心成型混凝土

离心成型混凝土简称离心混凝土。其成型过程是将拌合物投放于装有跑轮的模型上，构件的外形多为圆形，亦有设计为正多边形。转动模型使其产生离心力，混凝土压向模型内壁，形成空心构件。多用于制造水管、管桩、电杆等。近年已出现用离心生产的钢管空心混凝土，用于送电杆塔及建筑管柱。

### 5.9.1 离心混凝土的特点

#### 1) 水灰比降低, 强度提高

混凝土在模型旋转过程中, 离心力将密度大的混凝土挤压至模壁而成型; 部分水和空气因离心力小而留在模内而形成空心。其排出的水量为原始用水的 25%~35%, 同时也带走 5%~8% 的水泥。因剩余的水灰比较原始水灰比小, 混凝土的强度因而提高了。

#### 2) 密度和材料用量增加

混凝土经离心挤压后, 密度比普通混凝土提高了 3%~4%, 因而增加了用料量。计算投料量时应考虑此值, 以出料系数  $K_b$  表示。其计算式如式 (5-6),  $K_b$  值如表 5-26。

$$\text{离心混凝土投料量} = \frac{\text{普通混凝土投料量}}{K_b} \quad (5-6)$$

表 5-26 离心混凝土的出料系数  $K_b$

每立方米混凝土原始水泥用量 (kg)	$K_b$
600	0.91
500	0.92
400	0.93

### 5.9.2 材料选用

#### 5.9.2.1 水泥

通常使用纯硅、普硅或矿渣水泥。

火山灰质水泥因其混合材质量小, 在离心力作用下, 不易与砂、石同步外压, 而被砂、石排挤在内壁, 因而减弱了混凝

土强度，严禁采用。

### 5.9.2.2 粗细骨料

通常使用中粗砂，细度模数控制在 2.7~3.2 之间。

离心混凝土成型后骨料排列比较紧密，有足够的砂浆包裹粗骨料便可。配合比通常不考虑砂率而考虑砂灰比。砂灰比值列于表 5-27。

粗骨料粒径不宜过大，通常不大于 20 mm。粒型要求较规整；针片状颗粒含量应严格控制，不多于 10%；软弱颗粒含量应小于 3%。

表 5-27 离心混凝土的砂灰比值

每立方米混凝土水泥用量 (kg)	砂灰比
350	1.6~1.7
400	1.4~1.5
500	1.2~1.3
600	1.0~1.1

### 5.9.2.3 外加剂

可以使用高效减水剂。

离心制品为使模具迅速周转，一般均采用蒸汽养护，因而不得使用引气剂。某些木质素或糖蜜类减水剂有缓凝和引气作用，也不得使用。其他外加剂应通过试验后方可采用。

### 5.9.2.4 掺合料

常压蒸汽养护的生产流程一般不掺用掺合料。但采用二次高压蒸汽养护时，可掺入磨细石英砂。磨细砂在高压高温条件下，将原来的水泥水化形成的凝胶体与磨细砂中的  $\text{SiO}_2$  水热合成为托勃莫来石，强度大大提高，又可节约水泥。石英砂中

SiO<sub>2</sub> 的含量应不少于 65%，以超过 90% 为佳，含量越大则强度提高越显著。磨细砂的细度要求比表面积应大于水泥（水泥比表面积标准值为大于 300 m<sup>2</sup>/kg）。

### 5.9.3 工艺制度与制品强度的关系

上述离心成型后水灰比减少和强度提高，以强度提高系数  $K_1$  表示。通常  $K_1 = 1.2 \sim 1.4$ 。

当采用常压蒸汽养护时，蒸汽影响混凝土内水分膨胀，削弱了刚刚形成水泥凝胶的强度。这个损失称为常压蒸汽养护条件系数，以  $K_2$  表示。当再进行二次高压蒸汽养护，使混凝土内部合成托勃莫来石，强度大大提高。此时强度的提高，与配合比的水灰比无关，在计算水灰比时，不再考虑其系数。

### 5.9.4 配合比设计

#### 5.9.4.1 配合比设计程序及公式

离心混凝土配合比设计，除不采用砂率改用砂灰比外，其他基本与普通混凝土相同。

1) 配制强度仍按式 (3-2)。

2) 水灰比因离心前后不同，配合比设计仍用离心前水灰比，称为原始水灰比。仍按式 (3-3)，代入粗骨料的回归系数，再加上离心工艺的两个系数，推导出水灰比公式如下。

碎石离心混凝土水灰比公式：

$$\frac{W}{C} = \frac{0.46f_{ce} \cdot K_1 \cdot K_2}{f_{cu,0} + 0.0322f_{ce}} \quad (5-7)$$

卵石离心混凝土水灰比公式：

$$\frac{W}{C} = \frac{0.48f_{ce} \cdot K_1 \cdot K_2}{f_{cu,0} + 0.1584f_{ce}} \quad (5-8)$$

式中  $\frac{W}{C}$ ——水灰比；

$f_{ce}$ ——水泥实际强度，MPa；

$f_{cu,0}$ ——离心混凝土配制强度，MPa；

$K_1$ ——离心混凝土强度提高系数，见 5.9.3 节；

$K_2$ ——常压蒸汽养护条件系数，采用纯硅或普硅水泥时  $K_2=0.8\sim 0.92$ ，采用矿渣水泥时  $K_2=1.0$ 。

3) 查表 3-9 确定用水量。

4) 按式 (3-8) 计算水泥用量。

5) 按第 3 章用重量法或体积法计算砂石总用量。如用重量法则  $m_{cp}=2400\sim 2450\text{kg}$ ；如用体积法则  $\alpha=0$ 。

6) 按表 5-27 计算砂用量。

7) 石子按式 (3-14) 计算。

8) 按式 (3-22) 列出设计配合比。

9) 试配：程序同 3.5 节，但试件成型方法用离心试模和试验用离心机。按式 (5-6) 计算投料配合比。每立方米混凝土投料配合比总用料量通常大于 2500 kg，但因离心成型时排出的水和水泥，成型后混凝土的表观密度约为  $2500\text{ kg/m}^3$ 。

#### 5.9.4.2 例题

例 5-6 有预应力高架桥管柱一批。标准管柱尺寸为： $\phi 1.2\text{ m}$ ， $l=10\text{ m}$ ，壁厚 150 mm，设计强度  $f_{cu,k}=60\text{ MPa}$ 。已知搅拌站施工水平的强度标准差  $\sigma=5.6\text{ MPa}$ 。拟用强度等级为 62.5MPa 的硅酸盐水泥 (P. II)，经检测其实际强度  $f_{ce}=67.0\text{ MPa}$ ，密度 = 3.1。采用中砂，细度模数为 2.7~3.2，密度 = 2.65。碎石为连续级配 5~20 mm 粒级，密度 =  $2.7\times 10^3\text{ kg/m}^3$ 。混凝土入模坍落度要求为 55~70 mm。不掺外加剂，按常规离心工艺制度操作。设  $K_1=1.25$ ， $K_2=0.85$ 。请

设计其配合比。

①配制强度，按式(3-2)：

$$\begin{aligned} f_{\text{cu},0} &= 60 + 1.645 \times 5.6 \\ &= 69.212 \text{ MPa} \end{aligned}$$

②水灰比，按式(5-8)：

$$\begin{aligned} \frac{W}{C} &= \frac{0.46 \times 67 \times 1.25 \times 0.85}{69.212 + 0.0322 \times 67} \\ &= 0.46 \end{aligned}$$

③每立方米混凝土用水量，查表3-9，坍落度为55~70 mm，碎石粒级为20 mm：

$$m_{w0} = 205 \text{ kg}$$

④每立方米混凝土水泥用量，按式(3-8)：

$$\begin{aligned} m_{c0} &= \frac{205}{0.46} \\ &= 446 \text{ kg} \end{aligned}$$

⑤每立方米混凝土砂用量，查表5-27，取砂灰比=1.25

$$\begin{aligned} m_{s0} &= 446 \times 1.25 \\ &= 558 \text{ kg} \end{aligned}$$

⑥每立方米混凝土石子用量，按重量法计算，设  $m_{\text{cp}} = 2400 \text{ kg}$ ，则碎石用量：

$$\begin{aligned} m_{g0} &= 2400 - 205 - 446 - 558 \\ &= 1191 \text{ kg} \end{aligned}$$

⑦初步配合比：

$$\begin{aligned} m_{w0} : m_{c0} : m_{s0} : m_{g0} &= 205 : 446 : 558 : 1191 \\ &= 0.46 : 1 : 1.25 : 2.67 \end{aligned}$$

⑧试配，按3.5节。但强度试件采用离心试件。从略。

⑨每立方米混凝土投料量。假设试配阶段调整的结果与初

步配合比相同，投料量应按表 5-26 的出料系数计算。查得  $K_b = 0.925$ ，则：

$$m_{w0} = 205/0.925 = 222 \text{ kg}$$

$$m_{c0} = 446/0.925 = 482 \text{ kg}$$

$$m_{s0} = 558/0.925 = 603 \text{ kg}$$

$$m_{g0} = 1191/0.925 = 1288 \text{ kg}$$

#### ⑩复核

$$\begin{aligned} \text{每立方米混凝土总投料量} &= 222 + 482 + 603 + 1288 \\ &= 2595 \text{ kg} \end{aligned}$$

按离心混凝土的特点，成型过程排出一部分水和少量水泥。设排出 30% 的水和 6.5% 的水泥，则每立方米混凝土中

$$\begin{aligned} \text{排出水量} &= 222 \times 30\% \\ &= 66.6 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{排出水泥量} &= 482 \times 6.5\% \\ &= 31 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{再核实每立方米混凝土剩余总用料量} &= 2595 - 66.6 - 31 \\ &= 2497 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 5.9.4.3 其他

①如掺用外加剂时，请参考第 4 章。

②如采用二次高压蒸汽养护掺用磨细石英砂时，可用内掺法。用磨细石英砂等量代换水泥。其代换量以水泥用量的 20%~30% 为佳。是制成 C80~C90 高强混凝土的措施之一。

### 5.10 轻骨料混凝土

轻骨料混凝土是指以水泥为胶凝材料，以轻骨料为骨架构

成的混凝土。另有以石灰为胶凝材料制成的轻骨料混凝土，本书从略。

### 5.10.1 轻骨料混凝土的材料

轻骨料混凝土所用的水泥、天然砂均与普通混凝土相同，请参阅第2章。

轻骨料混凝土所用的轻骨料有3种来源：一是天然轻骨料，如浮石、火山渣、凝灰岩等；二是工业废料或加工而成的，如粉煤灰陶粒、膨胀矿渣珠、煤渣等；三是人造的，如页岩陶粒、粘土陶粒、膨胀珍珠岩、聚苯乙烯泡沫粒等等。

轻骨料按粒径划分为轻细骨料和轻粗骨料，粒径小于5 mm的、堆积密度（旧称松散容重）小于 $1200 \text{ kg/m}^3$ 的为轻细骨料；粒径大于5 mm，堆积密度小于 $1000 \text{ kg/m}^3$ 的为轻粗骨料。

轻骨料的堆积密度如表5-28。

[28] 表5-28 轻骨料的密度等级

密 度 等 级		堆积密度范围 ( $\text{kg/m}^3$ )
轻粗骨料	轻 砂	
300	—	210~300
400	—	310~400
500	500	410~500
600	600	510~600
700	700	610~700
800	800	710~800
900	900	810~900
1000	1000	910~1000
—	1100	1010~1100
—	1200	1110~1200

轻粗骨料按其粒型，可分为 3 类：

1) 圆球型：原材料经造粒工艺加工而成，呈圆球状。有粉煤灰陶粒、磨细成球的页岩陶粒等；

2) 普通型：原材料经破碎加工而成，呈非圆球状。有页岩陶粒、膨胀珍珠岩等；

3) 碎石型：由天然轻骨料或多孔烧结块经破碎加工而成，呈碎石状的轻骨料。如浮石、自然煤矸石、煤渣等。

各种密度等级轻粗骨料的筒压强度及强度标号如表 5-29。

[ 28 ] 表 5-29 轻粗骨料的筒压强度及强度标号

密度等级	筒压强度 $f_a$ (MPa)		强度标号 $f_{ak}$ (MPa)	
	碎石型	普通和圆球型	普通型	圆球型
300	0.2/0.3	0.3	3.5	3.5
400	0.4/0.5	0.5	5.0	5.0
500	0.6/1.0	1.0	7.5	7.5
600	0.8/1.5	2.0	10	15
700	1.0/2.0	3.0	15	20
800	1.2/2.5	4.0	20	25
900	1.5/3.0	5.0	25	30
1000	1.8/4.0	6.5	30	40

注：碎石型天然轻骨料取斜线以左值；其他碎石型轻骨料取斜线以右值。

### 5.10.2 轻骨料混凝土的技术性能

轻骨料混凝土的强度等级以 CL 表示。例如 CL20，表示抗压强度为 20 MPa 的轻骨料混凝土。

轻骨料混凝土按其干表观密度分为十二个等级，如表 5-30。其密度标准值可取该密度等级干表观密度变化范围的上限值。

[ 28 ] 表 5-30 轻骨料混凝土的密度等级

密度等级	干表观密度的变化范围 ( kg/m <sup>3</sup> )	密度等级	干表观密度的变化范围 ( kg/m <sup>3</sup> )
800	760~850	1400	1360~1450
900	860~950	1500	1460~1550
1000	960~1050	1600	1560~1650
1100	1060~1150	1700	1660~1750
1200	1160~1250	1800	1760~1850
1300	1260~1350	1900	1860~1950

轻骨料混凝土按其用途可分为 3 大类。其强度等级、密度等级如表 5-31。

[ 28 ] 表 5-31 轻骨料混凝土按用途分类

类别名称	混凝土强度等级的合理范围	混凝土密度等级的合理范围	用 途
保温轻骨料混凝土	CL5.0	800	主要用于保温的围护结构或热工构筑物
结构保温轻骨料混凝土	CL5.0 CL7.5 CL10 CL15	800~1400	主要用于既承重又保温的围护结构
结构轻骨料混凝土	CL15 CL20 CL25 CL30 CL35 CL40 CL45 CL50	1400~1900	主要用于承重构件或构筑物

1) 轻骨料混凝土按用料种类划分, 如按粗骨料划分可分为 3 种:

- ①工业废料轻骨料混凝土；
  - ②天然轻骨料混凝土；
  - ③人造轻骨料混凝土。
- 2) 按轻骨料划分可分为两种：
- ①用天然砂配制的称砂轻混凝土；
  - ②用轻砂配制的称全轻混凝土。

### 5.10.3 配合比设计

普通混凝土配合比设计，通常是以稠度和强度指标为设计基点。轻骨料混凝土配合比设计，除稠度、强度外，应同时考虑密度。如有其他特殊要求，也要同时考虑。

#### 5.10.3.1 配合比设计的程序和基本参数

1) 按式(3-2)计算配制强度。其中强度标准差应由施工单位根据式(3-2)提供，如无资料时，按表3-2选用。

2) 选用水泥品种的强度。其参数与轻骨料混凝土强度有关，如表5-32。

[28] 表5-32 轻骨料混凝土合理水泥品种和强度的选择

混凝土强度等级	水泥强度等级 (MPa)	水 泥 品 种
CL10 CL15 CL20	32.5	火山灰质硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥
CL20 CL25 CL30	42.5	粉煤灰硅酸盐水泥 普通硅酸盐水泥
CL30 CL35 CL40 CL45 CL50	52.5 (或 62.5)	矿渣硅酸盐水泥 普通硅酸盐水泥 硅酸盐水泥

3) 选择水泥用量。其用量与配制强度、轻骨料的密度等级有关, 如表 5-33。

[ 28 ] 表 5-33 每立方米轻骨料混凝土的水泥用量 ( kg )

混凝土配制强度 ( MPa )	轻 骨 料 密 度 等 级						
	400	500	600	700	800	900	1000
<5.0	260~320	250~300	230~280				
5.0~7.5	280~360	260~340	240~320	220~300			
7.5~10		280~370	260~350	240~320			
10~15			280~350	260~340	240~330		
15~20			300~400	280~380	270~370	260~360	250~350
20~25				330~400	320~390	310~380	300~370
25~30				380~450	370~440	360~430	350~420
30~40				420~500	390~490	380~480	370~470
40~50					430~530	420~520	410~510
50~60					450~550	440~540	430~530

注: ①表中横线以上为采用 42.5 MPa 水泥时的水泥用量值; 横线以下为采用 52.5 MPa 水泥时的水泥用量值; 采用 32.5 MPa 代替 42.5 MPa 或 42.5 MPa 代替 52.5 MPa 时, 其用量可乘以 1.15; 用 52.5 MPa 代替 42.5 MPa 或 62.5 MPa 代替 52.5 MPa 时, 其用量可乘以 0.85。

②表中下限值适用于圆球型和普通型轻粗骨料; 上限适用于碎石型轻粗骨料及全轻混凝土。

③每立方米混凝土最高水泥用量不宜超过 550 kg。

4) 水灰比。轻骨料混凝土的最大水灰比和最小水泥用量, 如表 5-34。

[ 28 ] 表 5-34 轻骨料混凝土的最大水灰比和最小水泥用量

混凝土所处的环境条件	最大水灰比	每立方米混凝土 最小水泥用量 (kg)	
		配筋的	无筋的
不受风雪影响的混凝土	不作规定	250	225
受风雪影响的露天混凝土； 位于水中及水位升降范围内的 混凝土和在潮湿环境中的混 凝土	0.7	275	250
寒冷地区位于水位升降范围 内的混凝土和受水压作用的混 凝土	0.65	300	275
严寒地区位于水位升降范围 内的混凝土	0.60	325	300

注：①严寒地区指最寒冷月份的月平均温度低于  $-15^{\circ}\text{C}$  者，寒冷地区指最寒冷月份的月平均温度处于  $-5^{\circ}\text{C} \sim -15^{\circ}\text{C}$  者。

②水泥用量不包括掺合料。

5) 选定用水量。轻骨料混凝土用水量有两种，一为轻骨料使用前 1 h 的预吸水量（称为附加水量），二为搅拌时用水量（称为净用水量）。

用水量可按水泥用量、最小水灰比和稠度考虑。这里的用水量是指净用水量。如表 5-35。

6) 确定砂率。轻骨料混凝土的砂率应按体积砂率计算，如表 5-36。

[ 28 ] 表 5-35 每立方米轻骨料混凝土用水量

轻骨料混凝土用途	稠 度		净用水量 (kg)
	维勃稠度 (s)	坍落度 (mm)	
预制混凝土构件			
(1) 振动台成型	5~10	0~10	155~180
(2) 振捣棒或平板震动器振实	—	30~50	165~200
现浇混凝土(大模、滑模)			
(1) 机械振捣	—	50~70	180~210
(2) 人工振捣或钢筋较密的	—	60~80	200~220

注：①表中值适用于圆球型和普通型轻粗骨料，对于碎石型轻粗骨料需按表中值增加 10 kg 左右的用水量；

②表中值适用于砂轻混凝土，若采用轻砂时，需取轻砂 1 h 吸水量为附加水量；若无轻砂吸水率数据时，也可适当增加用水量，最后按施工稠度的要求进行调整。

[ 28 ] 表 5-36 轻骨料混凝土的砂率

轻骨料混凝土用途	细骨料品种	砂率(%)
预制构件用	轻 砂	35~50
	普通砂	30~40
现浇混凝土用	轻 砂	—
	普通砂	35~45

注：①当细骨料采用普通砂和轻砂混合使用时，宜取中间值，并按普通砂和轻砂的混合比例进行插入计算。

②采用圆球型轻粗骨料时，宜取表中值下限；采用碎石型时，则取上限。

### 5.10.3.2 骨料用量的计算

细、粗骨料的计算应用体积法。体积法对轻骨料混凝土有两种，如为砂轻混凝土，则用绝对体积法（即密实体积法）；如为全轻混凝土，则用松散体积法。

## 1) 密实体积法的计算公式

①每立方米混凝土砂的体积如式(5-9), 砂的用量如式(5-10)

$$V_s = \left[ 1 - \left( \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_{wn}}{\rho_w} \right) \right] \times S_p \quad (5-9)$$

$$m_s = V_s \times \rho_s \times 1000 \quad (5-10)$$

②每立方米混凝土粗轻骨料的体积如式(5-11), 粗轻骨料的用量如式(5-12)

$$V_a = \left[ 1 - \left( \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_{wn}}{\rho_w} + \frac{m_s}{\rho_s} \right) \right] \quad (5-11)$$

$$m_a = V_a \times \rho_{ap} \quad (5-12)$$

式中  $V_s$ ——每立方米混凝土的细骨料体积,  $m^3$ ;

$m_s$ ——每立方米混凝土的细骨料用量, kg;

$m_c$ ——每立方米混凝土的水泥用量, kg;

$m_{wn}$ ——每立方米混凝土的净用水量, kg;

$S_p$ ——密实体积砂率, %;

$V_a$ ——每立方米混凝土的轻粗骨料体积,  $m^3$ ;

$m_a$ ——每立方米混凝土的轻粗骨料用量, kg;

$\rho_c$ ——水泥的相对密度, 可取  $\rho_c = 2900 \sim 3100$ ;

$\rho_w$ ——水的密度, 可取  $\rho_w = 1000$ ;

$\rho_s$ ——细骨料的密度, 采用普通砂时, 为砂的相对密度, 可取  $\rho_s = 2600$ ; 采用轻砂时, 为轻砂的颗粒表观密度,  $\rho_{sp}$  单位为  $g/cm^3$ ;

$\rho_{ap}$ ——轻粗骨料的颗粒表观密度,  $kg/m^3$ 。

## 2) 松散体积法的计算程序

松散体积法细、粗骨料的计算, 由1)配制强度至6)确定砂率, 均与密实体积法相同, 不再重复。其余方法及程序如

下：

①确定细、粗骨料密实体积与松散体积总体积的比率。总体积比率如表 5-37。

[ 28 ] 表 5-37 粗细骨料总体积比率

轻粗骨料粒型	细骨料品种	粗细骨料总体积 (m <sup>3</sup> ) 比率
圆球型	轻 砂	1.25~1.50
	普通砂	1.20~1.40
普通型	轻 砂	1.30~1.60
	普通砂	1.25~1.50
碎石型	轻 砂	1.35~1.65
	普通砂	1.30~1.60

注：①当采用膨胀珍珠岩砂时，宜取表中上限值；

②混凝土强度等级较高时，宜取表中下限值。

②求细、粗轻骨料松散体积的总体积：

$$V_t = \left[ 1 - \left( \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_{wn}}{\rho_w} \right) \div 1000 \right] \times \text{总体积比率} \quad (5-13)$$

③细轻骨料的松散体积：

$$V_s = V_t \times S_p \quad (5-14)$$

细轻骨料的用量：

$$m_s = V_s \times \rho_{is} \quad (5-15)$$

③粗轻骨料的松散体积及粗轻骨料的用量：

$$V_a = V_t - V_s \quad (5-16)$$

$$m_a = V_a \times \rho_{ia} \quad (5-17)$$

式中  $V_s$ 、 $V_a$ 、 $V_t$ ——分别为每立方米混凝土细骨料、粗骨料和粗细骨料的松散体积，m<sup>3</sup>；

$m_s$ 、 $m_a$ ——分别为每立方米混凝土细骨料和粗骨料的

用量, kg;

$S_p$ ——松散体积砂率, %;

$\rho_{is}$ 、 $\rho_{ia}$ ——分别为细骨料和粗骨料的堆积密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

### 5.10.3.3 复查

#### ①复查干表观密度 ( $\rho_{cd}$ )

干表观密度计算式如式(5-18), 计算结果与表 5-30 对比, 如误差大于 3% 时, 则应重新设计。

$$\rho_{cd} = 1.15m_c + m_a + m_s \quad (5-18)$$

#### ②总用水量

总用水量按式(5-19)计算:

$$m_{wt} = m_{wn} + m_{wa} \quad (5-19)$$

式中  $m_{wt}$ ——每立方米混凝土的总用水量, kg;

$m_{wn}$ ——每立方米混凝土的净用水量, kg;

$m_{wa}$ ——每立方米混凝土的附加水量, kg。

### 5.10.3.4 外加剂和粉煤灰的掺用

外加剂或粉煤灰的掺用, 请参阅第 4 章。其中, 粉煤灰取代水泥的比例, 如表 5-38。其骨料用量的调整, 均与第 4 章相同。

### 5.10.3.5 试配

试配、调整及确定配合比的程序及方法, 与 3.5 节相同。

## 5.10.4 例题

例 5-7 某批量生产的预制粉煤灰陶粒混凝土墙板, 设计强度为 CL20 级, 密度等级为  $1600 \text{ kg}/\text{m}^3$ , 坍落度要求为 30~50 mm, 粉煤灰陶粒最大粒径为 15 mm, 细骨料为天然河砂, 细度模数为 2.7~3.0, 请设计砂轻混凝土的配合比。

[ 28 ] 表 5-38 粉煤灰取代水泥百分率 ( $\beta_c$ )

混凝土强度等级	取代普通硅酸盐水泥率 (%)	取代矿渣硅酸盐水泥率 (%)
CL15 以下	15~25	10~20
CL20	10~15	10
CL25~CL30	15~20	10~15

注：①以 42.5 MPa 水泥配制成的混凝土取表中下限值；以 52.5 MPa 水泥配制成的混凝土取上限值。

②CL20 以上的混凝土宜采用 I、II 级粉煤灰，CL15 以下的素混凝土可采用 III 级粉煤灰。

③在预应力混凝土中的取代水泥率，普通硅酸盐水泥不大于 15%；矿渣硅酸盐水泥不大于 10%。

④钢筋轻骨料混凝土的粉煤灰取代水泥率不宜大于 15%。

⑤根据所用粉煤灰级别和混凝土强度等级，需超量取代时，其超量取代系数为 1.2~2.0。

解：

1) 测得各项参数：

轻粗骨料的干表观密度为  $1250 \text{ kg/m}^3$ ，筒压强度为 4.0 MPa，1 h 的吸水率为 16%；

天然砂的密度为  $2600 \text{ kg/m}^3$ ；

强度标准差  $\sigma$  无资料，查表 3-1， $\sigma = 5.0 \text{ MPa}$ 。

2) 决定基本参数：

①配制强度按式 (3-2) 计算

$$\begin{aligned} f_{cu,0} &= f_{cu,k} + 1.645 \times 5 \\ &= 20 + 8.225 = 28.225 \text{ MPa} \end{aligned}$$

②水泥品种及强度，查表 5-32，用 42.5MPa 的普硅水泥，其密度为  $3100 \text{ kg/m}^3$ ；

③每立方米混凝土水泥用量，查表 5-33，定为 330 kg；

- ④每立方米混凝土净用水量，查表 5-35，定为 185 kg。  
 复查水灰比， $185/330=0.56$ ，没有超过表 5-34 的规定；  
 ⑤砂率，查表 5-36，按表选用中间值 35%。

3) 计算，按式 (5-9) 及式 (5-10) 计算每立方米混凝土砂的体积及用量；按式 (5-11) 及式 (5-12) 计算每立方米混凝土陶粒的体积和用量：

$$V_s = \left[ 1 - \left( \frac{0.330}{3100} + \frac{0.185}{1000} \right) \right] \times 35\%$$

$$= 0.248 \text{ m}^3$$

$$m_s = 0.248 \times 2600 = 644.8 \text{ kg}$$

$$V_a = \left[ 1 - \left( \frac{0.330}{3100} + \frac{0.185}{1000} + \frac{644.8}{2600} \right) \right]$$

$$= 0.4605 \text{ m}^3$$

$$m_a = 0.4605 \times 1250 = 575.6 \text{ kg}$$

4) 复核。

复核轻骨料混凝土表观密度是否与设计要求相符。按式 (5-18)：

$$\rho_{cd} = 1.15 \times 330 + 644.8 + 575.6 = 1599.9 \text{ kg/m}^3$$

符合表 5-30 的要求。

### 5.10.5 参考资料

为便于轻骨料混凝土配合比设计的参考，现将轻骨料混凝土的强度和表观密度的常用参数范围，列于表 5-39。

[ 28 ] 表 5-39 常用轻骨料混凝土的强度和表观密度范围

轻 粗 骨 料			细 骨 料		轻骨料混凝土	
品种	密度 等级	筒压强度 (MPa) 不小于	品种	堆积密度 (kg/m <sup>3</sup> )	表观密度 (kg/m <sup>3</sup> )	强度等级
浮石或 火山渣	400	0.4	轻砂	<250	800~1000	CL3.5~CL5.0
	400	0.4	普砂	1450	1200~1400	CL5.0~CL7.5
	600	0.8	轻砂	<900	1400~1600	CL7.5~CL10
	600	0.8	普砂	1450	1600~1800	CL10~CL15
	800	2.0	轻砂	<250	1000~1200	CL7.5~CL10
	800	2.0	普砂	1450	1600~1800	CL10~CL25
页 岩 陶 粒	500	1.0	轻砂	<250	<1000	CL5.0~CL7.5
	500	1.0	轻砂	<900	1000~1200	CL7.5~CL10
	500	1.0	普砂	1450	1400~1600	CL10~CL15
	800	4.0	轻砂	<250	1000~1200	CL7.5~CL10
	800	4.0	轻砂	<900	1400~1600	CL10~CL20
	800	4.0	普砂	1450	1600~1800	CL20~CL25
粘 土 陶 粒	500	1.0	轻砂	<250	800~1000	CL5.0~CL7.5
	500	1.0	轻砂	<900	1000~1200	CL7.5~CL10
	500	1.0	普砂	1450	1400~1600	CL10~CL15
	600	2.0	轻砂	<250	1000~1200	CL7.5~CL10
	600	2.0	轻砂	<900	1200~1400	CL10~CL15
	600	2.0	普砂	1450	1400~1600	CL10~CL20
	800	4.0	轻砂	<250	1200~1400	CL10
	800	4.0	普砂	1450	1600~1900	CL20~CL40
粉煤灰 陶 粒	700	3.0	轻砂	<250	1000~1200	CL7.5~CL10
	700	3.0	轻砂	<900	1400~1600	CL10~CL20
	700	3.0	普砂	1450	1600~1800	CL20~CL25
	900	5.0	轻砂	<250	1200~1400	CL10
	900	5.0	轻砂	<900	1600~1800	CL10~CL20
	900	5.0	普砂	1450	1700~1900	CL20~CL50
自 燃 煤矸石	1000	4.0	轻砂	<250	1200~1400	CL7.5~CL10
	1000	4.0	轻砂	<1200	1400~1600	CL10~CL15
	1000	4.0	普砂	1450	1800~1900	CL15~CL30
膨 胀 珍珠岩	400	0.5	轻砂	<250	800~1000	CL5.0~CL7.5
	400	0.5	普砂	1450	1200~1400	CL10~CL20

# 附 录

## I 术语

1. 普通混凝土 ordinary concrete

干密度为  $2000 \sim 2800 \text{ kg/m}^3$  的水泥混凝土。

2. 干硬性混凝土 stiff concrete

混凝土拌合物的坍落度小于  $10 \text{ mm}$  且须用维勃稠度 (s) 表示其稠度的混凝土。

3. 塑性混凝土 plastic concrete

混凝土拌合物坍落度为  $10 \sim 90 \text{ mm}$  的混凝土。

4. 流动性混凝土 pasty concrete

混凝土拌合物坍落度为  $100 \sim 150 \text{ mm}$  的混凝土。

5. 大流动性混凝土 flowing concrete

混凝土拌合物坍落度等于或大于  $160 \text{ mm}$  的混凝土。

6. 抗渗混凝土 impermeable concrete

抗渗等级等于或大于 P6 级的混凝土。

7. 抗冻混凝土 frost-resistant concrete

抗冻等级等于或大于 F50 级的混凝土。

8. 高强混凝土 high-strength concrete

强度等级为 C60 及其以上的混凝土。

9. 泵送混凝土 pumped concrete

混凝土拌合物的坍落度不低于  $100 \text{ mm}$  并用泵送施工的混

凝土。

### 10. 大体积混凝土 mass concrete

混凝土结构物实体最小尺寸等于或大于 1 m，或预计会因水泥水化热引起混凝土内外温差过大而导致裂缝的混凝土。

## II 符号

$f_{cu0}$ ——混凝土配制强度，MPa；

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值，MPa；

$f_{ce}$ ——水泥 28d 抗压强度实测值，MPa；

$f_{ce,g}$ ——水泥强度等级值，MPa；

$m_{wa}$ ——掺外加剂时每立方米混凝土中的用水量，kg；

$m_{c0}$ ——基准配合比混凝土每立方米的水泥用量，kg；

$m_{g0}$ ——基准配合比混凝土每立方米的粗骨料用量，kg；

$m_{s0}$ ——基准配合比混凝土每立方米的细骨料用量，kg；

$m_{w0}$ ——基准配合比混凝土每立方米的用水量，kg；

$m_c$ ——每立方米混凝土的水泥用量，kg；

$m_g$ ——每立方米混凝土的粗骨料用量，kg；

$m_s$ ——每立方米混凝土的细骨料用量，kg；

$m_w$ ——每立方米混凝土的用水量，kg；

$m_{cp}$ ——每立方米混凝土拌合物的假定重量，kg；

$\gamma_c$ ——水泥强度等级值的富余系数；

$\beta$ ——外加剂的减水率，%；

$\beta_s$ ——砂率，%；

$\rho_c$ ——水泥密度，kg/m<sup>3</sup>；

$\rho_g$ ——粗骨料的表观密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$\rho_s$ ——细骨料的表观密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$\rho_w$ ——水的密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$\alpha$ ——混凝土的含气量百分数；

$\rho_{c,t}$ ——混凝土表观密度实测值， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$\rho_{c,c}$ ——混凝土表观密度计算值， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$\delta$ ——混凝土配合比较正系数。

### III 关于密度名词的新、旧对照

新标准	旧习惯用法
堆积密度	松散容重
颗粒表观密度	颗粒容重
干表观密度	干容重
湿表观密度	湿容重
密度	比重

## 参考文献

- 1 JGJ 55—2000 普通混凝土配合比设计规程
- 2 GB 50204—1992 混凝土结构工程施工及验收规范
- 3 GB 175—1999 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥
- 4 GB 1344—1999 矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥
- 5 JGJ 52—1992 普通混凝土用砂
- 6 JGJ 53—1992 普通混凝土用碎石或卵石
- 7 JGJ 63—1989 混凝土用水标准
- 8 GB 8076—1997 混凝土外加剂
- 9 GBJ 146—1990 粉煤灰混凝土应用技术规范
- 10 冯浩，等．混凝土外加剂应用手册．北京：中国建筑工业出版社，1999
- 11 CECS 104：99 高强混凝土结构技术规程
- 12 GB 203 混凝土掺合料粒化高炉矿渣
- 13 GB 2847 用于水泥中的火山灰质混合材料
- 14 刘秉京．混凝土技术．北京：人民交通出版社，2000
- 15 杨生茂，等．混凝土及拌合料．北京：中国计划出版社，1999
- 16 沈旦申，等．现代混凝土设计．上海：上海科学技术文献出版社，1987
- 17 GBJ 119—1988 混凝土外加剂应用技术规程
- 18 冯乃谦．高强混凝土技术．北京：中国建材工业出版社
- 19 JGJ/T 10—1995 混凝土泵送技术规程
- 20 汪玉荣，等．简明施工计算手册．北京：中国建筑工业出版社，1989
- 21 GBJ 97—1987 水泥混凝土路面施工及验收规范
- 22 林宝玉，等．混凝土工程新材料设计与施工．北京：中国水利水电

出版社, 1998

- 23 樊粤明, 等. 用复合添加剂配制高抗渗抗腐蚀混凝土. 广州: 华南理工大学学报(自然科学报), 1999(7)
- 24 中国建筑科学研究院. 混凝土实用手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987
- 25 冯乃谦, 等. 实用混凝土大全. 北京: 北京科学出版社, 2001
- 26 CECS 38—1992 钢纤维混凝土结构设计与施工规程
- 27 李立权. 离心混凝土配合比设计. 广东建材, 1992(2)
- 28 JGJ 51—1990 轻集料混凝土技术规程