

混凝土配合比设计手册

李立权

目 录

1 普通混凝土配合比设计方法

- 1. 1 概述
- 1. 2 设计流程及配制强度
- 1. 3 选料
- 1. 4 配料
- 1. 5 试配、调整及确定
- 1. 6 降低成本的措施
- 1. 7 普通混凝土配合比参考表

2 特种混凝土配合比设计

- 2. 1 掺外加剂混凝土
- 2. 2 掺粉煤灰混凝土
- 2. 3 高强混凝土
- 2. 4 泵送混凝土
- 2. 5 轻骨料混凝土
- 2. 6 大体积混凝土
- 2. 7 抗渗混凝土
- 2. 8 抗冻混凝土
- 2. 9 钢纤维混凝土
- 2. 10 无砂大孔混凝土
- 2. 11 离心成型混凝土

附录

参考文献

1 普通混凝土配合比设计方法

1.1 概述

混凝土的历史，可追溯到泥结卵石、石灰三合土等的时代，已有 4000 多年的历史。作为波特兰水泥混凝土，从 1824 年发明至今，虽只有 100 多年的历史，但发展很快，在土木工程中是用途最广、用量最大的建筑材料。

混凝土发展到今天，根据各种工程的特殊要求，也形成了种类纷繁的特种混凝土。高耸建筑的基础，需要大体积的特种混凝土；有防水要求的工程，需要抗渗混凝土；重要工程需要高强混凝土；寒冷气候地区需要抗冻混凝土；对耐受冲击和抗疲劳的构件，需要纤维混凝土；为降低建筑物自身质量，为调节气温，常常选用轻骨料*或无砂大孔混凝土；为节省垂直运输的费用，应选用泵送混凝土；在目前，为提高混凝土的施工可操作性，为获得混凝土硬化后的高性能，采用双掺（掺外加剂、掺粉煤灰）混凝土已成为混凝土工作者的首要选择。可以说，混凝土家族已形成以普通混凝土为主，以特种混凝土为辅的庞大混凝土家族。

我国新颁布的《JGJ/T 55—96 普通混凝土配合比设计规

* 某些书籍称为集料，此处仍沿用习惯用法为骨料。

程》积累、收集了广泛的资料和意见,对旧的《JGJ 55—81 普通混凝土配合比设计技术规定》作了必要的修订,同时增补了常用的特种混凝土配合比设计的规定。这标志着我国混凝土技术在发展道路上又向前迈了一大步。本书谨就各种混凝土配合比的设计工作,作重点的而又是普及式的推广和介绍。

混凝土配合比设计为什么不叫混凝土配合比配合法或混凝土配合比计算法呢。因为混凝土配合比是一个牵涉到各个方面的工作。一是要保证混凝土硬化后的结构强度和所要求的其他性能;二是要满足施工工艺易于操作而又不遗留隐患;三是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;四是对初步的设计结果进行试配、调整使之达到工程的要求;五是要在满足上述要求的同时降低成本。

我们作为混凝土配合比设计工作者,在配合比设计之前,要做好下列准备工作:一要掌握设计图纸对混凝土结构的全部要求;二要了解施工单位对混凝土工程的施工组织设计方案;三要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,才能选择配合比设计的适当的参数进行工作。

1.2 设计流程及配制强度

1.2.1 设计流程

混凝土配合比设计的基本流程如图 1-1。

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

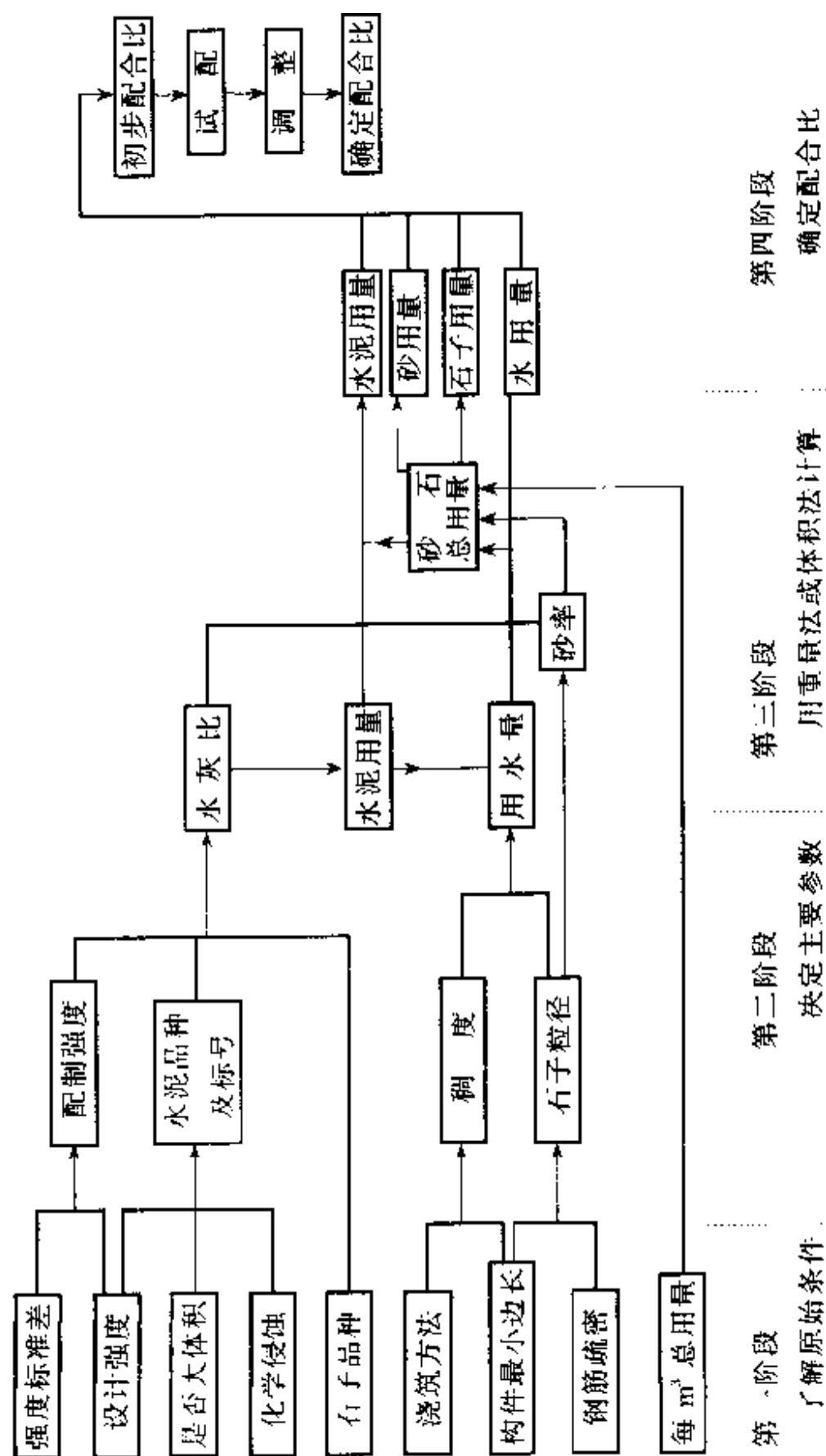


图 1-1 配合比设计的基本流程

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 1-1。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。

1.2.2 配制强度

普通混凝土配合比设计的配制强度，按式 (1-1) 计算：

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma^*$$
(1-1)

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；

σ ——施工单位的混凝土强度标准差，MPa。

在正常情况下，式(1-1)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。

1.2.3 强度标准差

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按式(1-2)计算。如没有资料可

* 本书公式基本上引自国家标准，个别公式由编者根据标准公式推导。

表 1-1 混凝土配合比设计通知书

施 工 资 料	工程名称: _____ 特殊要求: _____									
	项目名称: _____									
	工程数量: _____ 委托日期 年 月 日									
	基本参数		强度标准差	混凝土强度等级	坍落度	构件最小截面		最小钢筋间距		
(每立方米混凝土用量) 配合比材料质量及数量	水 泥		砂			石 子		外 加 剂		粉 煤 灰
	品种	标号	密度	规格	等级	密度	品种	级配	密度	减水率
			kg				kg		kg	
	水用量 kg(用当地自来水)。以水泥为 1, 确定后配合比: $m_w:m_c:m_s:m_a:m_g:m_f=$									
其他事项										

供计算标准差时，可参照表 1-2 及表 1-3 选用。

[2]*

表 1-2 σ 值

单位：MPa

混凝土强度等级	低于 C20	C20 ~ C35	高于 C35
σ	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 σ 值作适当调整。

[2]

表 1-3 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

标准差：

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

* 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。

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;

μ_{fcu} ——统计周期内 N 组混凝土试件立方体抗压强度的平均值。

1.2.4 配制强度计算例题

例 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 $\mu_{fcu} = 36.548$;

⑤强度平均值的平方值乘组数 $N\mu_{fcu}^2 = 36065.42$ 。

解 (1) 标准差。将资料各值代入式 (1-2):

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

如查表 1-2, 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 (1-1):

$$f_{cu,0} = 25 + 1.645 \times 3.6$$

$$= 31.00 \text{ MPa}$$

如查表 1-3, 则 $f_{\text{cu},0} = 33.2 \text{ MPa}$ 。

1.3 选料

选料的原则:

- 1) 保证混凝土的强度;
- 2) 符合工程性能和长期气象、水文条件的要求;
- 3) 就地取材。

1.3.1 水泥

水泥为水硬性材料, 经水化后在混凝土中主要起胶结作用。

水泥的强度以标号表示, 其名称、代号、标号和抗压强度如表 1-4。

水泥品种繁多, 各种工程有其特定的水泥。用于建筑工程的通常有 5 种, 各有其特性, 应根据工程的具体要求作选择。其特性如表 1-5。

选用水泥时, 应选用与工程相对应的品种, 可参考表 1-6。

所选水泥, 其强度应稍高于混凝土的设计强度。但高强、高性能混凝土经采取工艺措施后, 可略低于混凝土强度。普通混凝土选用水泥的标准, 可参考表 1-7。

表 1-4 土建工程常用硅酸盐水泥强度指标

水泥名称	代 号	标 号	28d 强度 (MPa)	
			抗 压	抗 折
硅酸盐水泥	P. I	425R	42.5	6.5
		525、525R	52.5	7.0
	P. II	625、625R	62.5	8.0
		725R	72.5	8.5
普通水泥	P. O	325	32.5	5.5
		425、425R	42.5	6.5
		525、525R	52.5	7.0
		625、625R	62.5	8.0
矿渣水泥	P. S	275	27.5	5.0
		325	32.5	5.5
火山灰水泥	P. P	425、425R	42.5	6.5
		525、525R	52.5	7.0
粉煤灰水泥	P. F	625R	62.5	8.0

注：标号后加 R 的，表示快硬水泥。

表 1-5 五种常用水泥的特性

	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 ³)	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	低	低	低
	③水化热	高	低	低	低
	④抗冻性	好	较差	较差	较差
	⑤耐热性	较差	好	较差	较差
	⑥耐腐蚀性	较强	强		
性	⑦干缩性		较大	较大	较小
	⑧抗水性		较好	较好	较好
	⑨耐硫酸盐类侵蚀		较好	较好	较好
	⑩抗碳化能力				较好

表 1-6 对五种常用水泥的选用

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（水泥标号 ≥ 325 号）		✓✓	✓	×	×
	严寒地区处在水位升降范围内的混凝土（水泥标号 ≥ 425 号）		✓✓	×	×	×
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（水泥标号 ≥ 325 号）	✓✓	✓✓	✓	×	×

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严寒地区与寒冷地区的区分详见表 2-23（92 页）。

表 1-7 水泥标号的选择

混凝土强度等级	$\leq C10$	C15 ~ C25	C30 ~ C40	$\geq C50$
水泥标号	275	325, 425	425, 525	525 ~ 725

1.3.2 砂

砂与石子统称混凝土的骨料，砂属细骨料。骨料在混凝土中起架构作用。用砂时应注意 3 点：

1) 通常使用天然河砂或淡水湖砂；海砂应经冲洗除净氯盐，经检验合格后方可用于钢筋混凝土；山砂含矿物质较多，应经处理并检验合格方可使用。

2) 砂按粒径组合，以细度模数表示，如表 1-8。普通混凝土用砂，其细度模数在 2.7 ~ 3.4 之间的中粗砂较好。砂子颗粒级配如表 1-9，通常采用 1 区或 2 区。如为特细砂，则应按特细砂混凝土设计。

3) 砂的质量分为优等品、一等品及合格品三个等级，选用时应与混凝土强度相匹配。通常如表 1-10。质量标准见附表 I（134 页）。

[4] 表 1-8 砂的规格分类

规 格	粗	中	细	特细
细度模数	3.7 ~ 3.1	3.0 ~ 2.3	2.2 ~ 1.6	1.5 ~ 0.7

[4] 表 1-9 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	51 ~ 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

表 1-10 混凝土强度与砂、石子质量等级的匹配

混凝土强度等级 (MPa)	高强、高性能	$\geq C30$	$\leq C25$
砂、石子质量等级	优等品	一等品	合格品

1.3.3 石子

石子品种的选用,可按该地区常用的石材。并符合下列三个要求:

- 1) 石子的最大粒径应符合表 1-11 的要求;

[2] 表 1-11 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) 要有一定的级配,如表 1-12;

3) 石材的极限强度应不小于混凝土强度的 1.5 倍,同时不应小于 45MPa; 质量要求(包括针片状颗粒含量、坚固性和压碎值)的等级同表 1-10。石子有害物质的含量指标见附表 II (135 页)。

表 1-12 石子颗粒的级配

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
	筛余 %	筛余 %	筛余 %	筛余 %	筛余 %	筛余 %	筛余 %	筛余 %	筛余 %	筛余 %	筛余 %	筛余 %
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	95~100	75~90		30~60		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		70~80		30~60	0~10	0

1.3.4 水

水的质量应为符合国家标准的饮用水。

1.4 配料

上述选料是解决用料的规格、强度和质量问题。这里的配料是解决用料的数量问题。其设计程序如下：

- 1) 根据所选定的水泥的实际强度和混凝土的设计强度，找出水灰比；
- 2) 根据粗骨料的最大粒径、工艺要求的坍落度，找出所需的用水量；
- 3) 根据水灰比和用水量，找出水泥用量；
- 4) 根据水灰比和粗骨料的最大粒径，找出砂率；
- 5) 根据用水量、水泥用量和砂率，设计砂和石子的用量。

这个程序有两种设计法，一是重量法，二是体积法。详见 1.4.4 及 1.4.5。

1.4.1 水灰比

国家规程建议，混凝土水灰比应按下式计算：

$$W/C = \frac{A f_{ce}}{f_{cu,0} + A \cdot B \cdot f_{ce}} \quad (1-3)$$

式中 A 、 B ——回归系数。回归系数 A 和 B 宜按下列规定确定：回归系数 A 和 B 应根据工程所使用的水泥、骨料和通过试验建立灰水比与混凝土强度关系式确定，当不具备上述试验

统计资料时，其回归系数对碎石混凝土 A 可取 0.48、 B 可取 0.52，对卵石混凝土 A 可取 0.50、 B 可取 0.61。

$f_{cu,0}$ 值请参阅式 (1-1)；

f_{ce} ——水泥的实际强度，MPa；无水泥实际强度数据时，式中的 f_{ce} 值可按下式确定：

$$f_{ce} = \gamma_c \cdot f_{ce,k} \quad (1-4)$$

$f_{ce,k}$ ——水泥标号的标准值；

γ_c ——水泥标号标准值的富余系数，该值应按实际统计资料确定。

式中的水泥实际强度，可由实验室参照《ZBQ11004—86 水泥强度快速检验方法》测定。如无法测定时，可参照水泥厂的出厂证明书的出厂强度减去龄期降低值（在合理的保管条件下估计每天约降低强度 0.1 MPa）；仍无法测定时，可征询当地建材质检中心确定其富余系数，按式 (1-4) 计算。

当回归系数 A 、 B 值按上述规程提供数值时，碎石混凝土水灰比公式可推导如式 (1-5)；卵石混凝土水灰比公式如式 (1-6)。但水灰比值不能大于表 1-13。

碎石混凝土水灰比公式：

$$\frac{W}{C} = \frac{0.48f_{ce}}{f_{cu,0} + 0.2496f_{ce}} \quad (1-5)$$

卵石混凝土水灰比公式：

$$\frac{W}{C} = \frac{0.50f_{ce}}{f_{cu,0} + 0.305f_{ce}} \quad (1-6)$$

[1] 表 1-13 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	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 ·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 ·高湿度且经受冻害中的室内部件	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：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。

普通混凝土常用的水灰比值（假设水泥的富余系数 γ_c 为 1.00 或 1.08 时）如表 1-14 或表 1-15。

表 1-14 碎石混凝土的水灰比值

混凝土 (MPa)			水泥 (MPa)			式 (1-5) 的参数			水灰比
强度等级	标准差	配制强度	标号	富余系数	实际强度				
C	σ	$f_{cu,0}$	$f_{ce,t}$	γ_c	f_{ce}	$0.48f_{ce}$	$0.2496f_{ce}$	$f_{cu,0} + 0.2496f_{ce}$	W/C
10	4	16.6	27.5	1.00	27.5	13.20	6.864	23.464	0.5626
				1.08	29.7	14.256	7.413	24.013	0.5937
			32.5	1.00	32.5	15.60	8.112	24.712	0.6313
				1.08	35.1	16.848	8.761	25.361	0.6643
15	4	21.6	32.5	1.00	32.5	15.60	8.112	29.712	0.5250
				1.08	35.1	16.848	8.761	30.361	0.5549
			42.5	1.00	42.5	20.40	10.608	32.208	0.6334
				1.08	45.9	22.032	11.457	33.057	0.6665
20	4	26.6	32.5	1.00	32.5	15.60	8.112	34.712	0.4494
				1.08	35.1	16.848	8.761	35.361	0.4765
			42.5	1.00	42.5	20.40	10.608	37.208	0.5483
				1.08	45.9	22.032	11.457	38.057	0.5789
25	5	33.2	32.5	1.00	32.5	15.60	8.112	41.312	0.3776
				1.08	35.1	16.848	8.761	41.961	0.4015
			42.5	1.00	42.5	20.40	10.608	43.808	0.4657
				1.08	45.9	22.032	11.457	44.657	0.4934
30	5	38.2	42.5	1.00	42.5	20.40	10.608	48.808	0.4180
				1.08	45.9	22.032	11.457	49.657	0.4437
			52.5	1.00	52.5	25.20	13.104	51.304	0.4912
				1.08	56.7	27.216	14.152	52.352	0.5200
35	5	43.2	42.5	1.00	42.5	20.40	10.608	53.808	0.3791
				1.08	45.9	22.032	11.457	54.657	0.4031
			52.5	1.00	52.5	25.20	13.104	56.304	0.4476
				1.08	56.7	27.216	14.152	57.352	0.4745
40	5	48.2	42.5	1.00	42.5	20.40	10.608	58.808	0.3469
				1.08	45.9	22.032	11.457	59.657	0.3693
			52.5	1.00	52.5	25.20	13.104	61.304	0.4111
				1.08	56.7	27.216	14.152	62.352	0.4365

计算说明: ①计算混凝土配制强度所用的强度标准差值, 按表 1-2 取值;

②水泥富余系数只作例子, 计算时应按实际取值。

表 1-15 卵石混凝土的水灰比值

混凝土 (MPa)			水泥 (MPa)			式 (1-6) 的参数			水灰比
强度等级	标准差	配制强度	标号	富余系数	实际强度				
C	σ	$f_{cu,0}$	$f_{ce,k}$	γ_c	f_{ce}	$0.5f_{ce}$	$0.305f_{ce}$	$f_{cu,0} + 0.305f_{ce}$	W/C
10	4	16.6	27.5	1.00	27.5	13.75	8.3875	24.9875	0.5503
				1.08	29.7	14.85	9.0585	25.6585	0.5788
			32.5	1.00	32.5	16.25	9.9125	26.5125	0.6129
				1.08	35.1	17.55	10.7055	27.3055	0.6427
15	4	21.6	32.5	1.00	32.5	16.25	9.9125	31.5125	0.5157
				1.08	35.1	17.55	10.7055	32.3055	0.5433
			42.5	1.00	42.5	21.25	12.9625	34.5625	0.6148
				1.08	45.9	22.95	13.9995	35.5995	0.6447
20	4	26.6	32.5	1.00	32.5	16.25	9.9125	36.5125	0.4451
				1.08	35.1	17.55	10.7055	37.3055	0.4704
			42.5	1.00	42.5	21.25	12.9625	39.5625	0.5371
				1.08	45.9	22.95	13.9995	40.5995	0.5653
25	5	33.2	32.5	1.00	32.5	16.25	9.9125	43.1125	0.3769
				1.08	35.1	17.55	10.7055	43.9055	0.3997
			42.5	1.00	42.5	21.25	12.9625	46.1625	0.4603
				1.08	45.9	22.95	13.9995	47.1995	0.4862
30	5	38.2	42.5	1.00	42.5	21.25	12.9625	51.1625	0.4153
				1.08	45.9	22.95	13.9995	52.1995	0.4397
			52.5	1.00	52.5	26.25	16.0125	54.2125	0.4842
				1.08	56.7	28.35	17.2935	55.4935	0.5109
35	5	43.2	42.5	1.00	42.5	21.25	12.9625	56.1625	0.3784
				1.08	45.9	22.95	13.9995	57.1995	0.4012
			52.5	1.00	52.5	26.25	16.0125	59.2125	0.4433
				1.08	56.7	28.35	17.2935	60.4935	0.4686
40	5	48.2	42.5	1.00	42.5	21.25	12.9625	61.1625	0.3474
				1.08	45.9	22.95	13.9995	62.1995	0.3690
			52.5	1.00	52.5	26.25	16.0125	64.2125	0.4088
				1.08	56.7	28.35	17.2935	65.4935	0.4329

计算说明：①计算混凝土配制强度所用的强度标准差值，按表 1-2 取值；

②水泥富余系数只作举例，计算时应按实际取值。

1.4.2 用水量及水泥用量

用水量按混凝土的稠度（塑性混凝土以坍落度表示，干硬性混凝土以维勃稠度表示）和粗骨料品种及其最大粒径而定，可按表 1-16 选取。

[1] 表 1-16 每立方米干硬性和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	40	16	20	40
维勃稠度 (s)	15 ~ 20	175	160	145	180	170	155
	10 ~ 15	180	165	150	185	175	160
	5 ~ 10	185	170	155	190	180	165
坍落度 (mm)	10 ~ 30	190	170	150	200	185	165
	30 ~ 50	200	180	160	210	195	175
	50 ~ 70	210	190	170	220	205	185
	70 ~ 90	215	195	175	230	215	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本表不适用于水灰比小于 0.4 或大于 0.8 的混凝土；

④大坍落度的用水量可以 90 mm 为基础，坍落度每增大 20 mm，则每立方米混凝土用水量增加 5 kg。

水泥用量，按用水量与水灰比之比计算。如公式(1-7)：

$$m_{c0} = \frac{m_{w0}}{W/C} \quad (1-7)$$

式中 m_{c0} ——每立方米混凝土的水泥用量，kg；

m_{w0} ——每立方米混凝土的水用量，kg。

每立方米混凝土的水泥用量，不得小于表 1-13 所示，但不宜大于 500 kg；高强混凝土也不宜大于 550 kg。

1.4.3 砂率

砂率是指砂在骨料(砂及石子)总量中所占用量的百分率。影响砂率的因素有:

- ①粗骨料粒径大,则砂率小;
- ②细砂的砂率应小,粗砂的砂率应大;
- ③粗骨料为碎石,则砂率大;粗骨料为卵石,则砂率小;
- ④水灰比大则砂率大,水灰比小则砂率小;
- ⑤水泥用量大则砂率小,水泥用量小则砂率大。

砂率可按表 1-17 选用。

[1] 表 1-17 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,可相应地减小或增大砂率;

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;

⑤混凝土坍落度大于 100 mm 时的砂率,应在本表的基础上按坍落度每增大 20 mm,砂率增大 1% 的幅度调整;

⑥掺有各种掺合料时,其合理砂率应经试验确定,粉煤灰混凝土请参阅 2.2 节。

1.4.4 砂石用量的重量法计算

1.4.4.1 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。其表达式如式 (1-8):

$$m_{c0} + m_{g0} + m_{s0} + m_{w0} = m_{cp} \quad (1-8)$$

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 1-18 选用。

表 1-18 普通混凝土的假定总量 (m_{cp})

混凝土强度等级	$\leq C10$	C15 ~ C35	$\geq C40$
假定每立方米总量 (kg)	2360	2400	2450

1.4.4.2 砂石总用量及个别用量

砂石总用量可将式 (1-8) 移项便得:

$$m_{g0} + m_{s0} = m_{cp} - m_{c0} - m_{w0} \quad (1-9)$$

砂石个别用量可利用砂率计算; 砂的用量如式 (1-11); 石的用量如式 (1-12)。

$$\beta_s = \frac{m_{s0}}{m_{s0} + m_{g0}} \times 100 \quad (1-10)$$

$$m_{s0} = \beta_s (m_{s0} + m_{g0}) \quad (1-11)$$

$$m_{g0} = (m_{s0} + m_{g0}) - m_{s0} \quad (1-12)$$

式中 β_s ——砂率, %。

1.4.4.3 初步配合比

上列四种材料得出后,通常按一定次序列出,并以水泥为 100 % 列出其他三种材料的比值。如式 (1-13):

$$\frac{m_{w0}}{m_{c0}}; \frac{m_{s0}}{m_{c0}}; \frac{m_{g0}}{m_{c0}} \quad (1-13)$$

1.4.5 砂石用量的体积法计算

1.4.5.1 依据

体积法是假定所投放材料的总体积等于 1m^3 , 用计算法表示如式 (1-14), 可简化如式 (1-15)。

$$\frac{m_{c0}}{\rho_c} + \frac{m_{g0}}{\rho_g} + \frac{m_{s0}}{\rho_s} + \frac{m_{w0}}{\rho_w} + 0.01\alpha = 1 \quad (1-14)$$

$$V_c + V_g + V_s + V_w + 0.01\alpha = 1\text{ m}^3 \quad (1-15)$$

式中 ρ_c ——水泥密度, kg/m^3 , 可取 2900 ~ 3100;

ρ_g ——粗骨料的表观密度, kg/m^3 ;

ρ_s ——细骨料的表观密度, kg/m^3 ;

ρ_w ——水的密度, kg/m^3 , 可取 1000;

α ——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, m^3 。

1.4.5.2 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:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (1-16)$$

式中 V ——体积, m^3 ;

m ——材料用量, kg;

ρ ——材料密度, kg/m^3 。

3) 计算砂、石的总体积及个别体积, 公式如下。

$$(V_g + V_s) = 1 - V_c - V_w - 0.01\alpha \quad (1-17)$$

$$V_s = \beta_s(V_s + V_g) \quad (1-18)$$

$$V_g = (V_g + V_s) - V_s \quad (1-19)$$

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。

$$m = V \cdot \rho \quad (1-20)$$

1.4.6 综合例题

例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 1.2.4 例题计算, 其配制强度为 31.00MPa)。设计图梁柱的最小截面为 240mm , 钢筋最小间距为 39mm , 楼板厚度为 90mm 。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, 按设计意见, 用普硅水泥。经测试,

$f_{ce} = 46.0\text{MPa}$; $\rho_c = 3.1$;

②水, 用当地自来水, $\rho_w = 1.00$;

③砂、细度模数 $= 2.7 \sim 3.2$ 的中粗砂, $\rho_s = 2.65$

④碎石, 当地生产的花岗岩碎石, 最大粒径 $31.5 < 3/4 \times 39$, $\rho_g = 2.67$;

⑤不参加气剂;

⑥施工工艺要求坍落度为 $30 \sim 50\text{mm}$ 。

(2) 配料

用表格式计算：重量法如表 1-19；

体积法如表 1-20。

表 1-19 重量法计算表

序号	项 目	符号	公式或表号	计算结果
1	强度标准差	σ	按 2.4 例题	3.6 MPa
2	配制强度	$f_{cu,0}$	式(1-1)	31.0 MPa
3	水泥实际强度	f_{ce}	实测值	46.0 MPa
4	水灰比	W/C	式(1-5)	0.52
5	坍落度		工艺要求	30 ~ 50 mm
6	粗骨料最大粒径		表 1-11	31.5 mm
7	用水量(每立方米混凝土)	m_{w0}	表 1-16	185 kg
8	水泥用量(每立方米混凝土)	m_{c0}	式(1-7)	356 kg
9	复查水灰比值及水泥用量		表 1-13	合格
10	砂率	β_s	表 1-17	0.34
11	混凝土假定总量(每立方米)	m_{cp}	表 1-18	2400 kg
12	粗细骨料总量(每立方米混凝土)	$m_{s0} + m_{g0}$	式(1-9)	1859 kg
13	砂用量(每立方米混凝土)	m_{s0}	式(1-11)	632 kg
14	石子用量(每立方米混凝土)	m_{g0}	式(1-12)	1227 kg
15	配合比： $m_{w0} : m_{c0} : m_{s0} : m_{g0} = 185 : 356 : 632 : 1227$			
	按式(1-13)计算 $= 0.52 : 1 : 1.775 : 3.447$			

表 1-20 体积法计算表

序号	项 目	符号	公式或表号	计算结果
1~10	项目、使用公式或表号,及其 计算结果,均与表 1-19 相同			
11	水泥体积	V_c	式(1-16)	0.115 m^3
12	含气量	α	式(1-15)	0.010 m^3
13	粗细骨料总体积	$V_s + V_g$	式(1-17)	0.690 m^3
14	砂的体积	V_s	式(1-18)	0.2346 m^3
15	砂的用量	m_{s0}	式(1-20)	622 kg
16	碎石体积	V_g	式(1-19)	0.4554 m^3
17	碎石用量	m_{g0}	式(1-20)	1216 kg
18	配合比: $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0} = 185:356:622:1216$			
	按式(1-13)计算 $= 0.52:1:1.747:3.416$			

说明: ①水的密度为 1, 质量值与体积值相同, 故在表内不另列算;

②砂、石用料量体积法较重量法为小, 原因一是密度实验值不尽精确; 二是体积法考虑了含气量;

③表中计算结果为每立方米混凝土中各成分用量。

1.5 试配、调整及确定

1.5.1 试配

混凝土配合比设计完成后应进行试配。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 $\leq 31.5 \text{ mm}$ 时, 试配量应 $\geq 0.015 \text{ m}^3$; 最大粒径为 40 mm 时, 试配量应 $\geq 0.025 \text{ m}^3$;

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质量。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。

1.5.2 稠度的调整

稠度的检测, 包括坍落度、粘聚性和保水性。

当混凝土较稀, 坍落度过大时, 调整的方法是保持水灰比不变, 减少水和水泥, 按比例补回砂和石子。如混凝土较稠, 坍落度过小, 调整的方法仍是保持水灰比不变, 增加水和水泥, 按比例减少砂和石子。

如砂浆过多, 坍落度过大, 调整的方法是降低砂率, 减砂、加石子。如砂浆不足, 难于包裹石子, 引起离析时, 调整的方法是加大砂率, 加砂、减石子。

上述的材料增加或减少用量, 每次的调整幅度为 1 %, 逐步修正, 直至符合要求为准。所得的新配合比, 是为稠度调整后的基准配合比。

1.5.3 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 31.5 mm 时, 用 $100 \times 100 \times 100$ 试模;

当石子最大粒径为 40 mm 时, 用 $150 \times 150 \times 150$ 试模;

当石子最大粒径为 60 mm 时, 用 $200 \times 200 \times 200$ 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 7d 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 $f_{cu,0}$ 时, 按强度较高的一组用降低水灰比方法进行调整。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, 应同时检测坍落度, 如坍落度已符合要求, 则不必减水, 但按比例加水泥。直至强度满足要求。

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。调整幅度视超高值大小而定。如坍落度已符合要求, 则不加水, 按比例减少水泥, 按比例补回砂、石、直至强度接近或稍高于 $f_{cu,0}$ 。此配合比即为强度调整后基准配合比。

1.5.4 表观密度的调整

经过稠度和强度检测后, 混凝土的配合比便可确定。式 (1-8) 的材料计算, 可以改用表观密度计算值表示, 如式 (1-21)。

$$\rho_{c,c} = m_w + m_c + m_s + m_g \quad (1-21)$$

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 (1-22)。

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

$$\delta = \frac{\rho_{c,t}}{\rho_{c,c}} \quad (1-22)$$

式中 $\rho_{c,t}$ ——混凝土表观密度实测值, kg/m^3 ;

$\rho_{c,c}$ ——混凝土表观密度计算值, kg/m^3 ;

δ ——校正系数。

例 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 kg 。按照试件实测其表观密度为 $2460 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。请计算其校正系数及确定其调整后的配合比。

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 $0.58:1:2.314:4.297$, 不变。

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

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

其校正系数绝对值 $< 2\%$ ，可不再作调整。

1.5.5 早期推定混凝土强度

规范规定，混凝土强度应以 28 d 龄期为标准强度。以致配合比设计过程需时过长，将影响投产。为缩短设计过程，可以按照《JGJ 15—83 早期推定混凝土强度试验方法》推定混凝土的 28 d 强度。

早期推定混凝土强度，是利用混凝土强度发展规律，将混凝土试块放在温水或沸水中蒸煮后检验其强度，乘以换算系数而推定 28 d 标准养护的强度。

换算系数应通过测试取得，其计算式如下：

$$\text{换算系数} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{f_{\text{cu},28}}{f_{\text{cu},\text{早}}} \quad (1-23)$$

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；

$f_{\text{cu},\text{早}}$ ——试块蒸煮养护强度，MPa；

注：上式对比用试块，制作条件应相同，亦可分期进行，组数应为 10 个对比组以上。经长期资料积累后，换算系数可相应调整。

试块蒸煮方法有三种：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 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 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,水温保持沸腾。

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 $f_{\text{cu},\text{早}}$ 。

8) 混凝土推定强度 $f_{\text{cu},\text{推}}$ 的计算:

$$f_{\text{cu},\text{推}} = \text{换算系数} \times f_{\text{cu},\text{早}} \quad (1-24)$$

9) $f_{\text{cu},\text{推}}$ 只能作为生产过程中质量控制和配合比设计调整之用。

1.6 降低成本的措施

降低成本的措施应在保证混凝土稠度和混凝土配制强度达标的基础上进行。

四种基本材料中以水泥的价值所占比例较大,通常以节约水泥为考虑的重点。

1.6.1 使用较高标号的水泥

本书“普通混凝土配合比参考表”每个配制强度都配有两种标号水泥的例题。不难发现,同一配制强度所用较高标号水泥的用量较少,而砂石的用量较多。究竟砂石多耗的价

值与水泥少耗的价值，哪方面合算？各地可根据当地物价进行核算对比。通常是用较高标号水泥较为有利。

1.6.2 采用较粗粒径的石子

从表 1-16 可以看出，石子的粒径越粗，用水量越少；又从式 (1-7) 看到，用水量越少，水泥用量也少。

在**高强混凝土**中规定要采用细粒径的粗骨料，是因为细粒径的粗骨料可以提高混凝土的密实度，也能减少混凝土中的水膜，保证其强度，是合理的。但在中、低强度等级的混凝土中，符合表 1-11 的要求，在试配阶段又能符合稠度、强度的要求，就是可行了。

1.6.3 掺用外加剂或掺合料

掺用减水剂或掺用粉煤灰等掺合料，也能降低成本。请参阅 2.1 及 2.2 节。

1.7 普通混凝土配合比参考表

1.7.1 设计说明

- 1) 配制强度按式 (1-1) 计算。
- 2) 强度标准差按表 1-2 选用。
- 3) 水泥标号按表 1-7 选用。每个混凝土强度等级列两个标号的水泥，便于选择。
- 4) 水泥的实际强度只列两例，一例为按标号的标准值，即 $f_{ce} = f_{ce,k}$ ；亦即富余系数 = 1.00。另一例的富余系数 = 1.08，亦即 $f_{ce} = 1.08f_{ce,k}$ 。

5) 混凝土浇筑稠度按使用轻型振捣器考虑,坍落度列有 10~30 mm、30~50 mm 和 50~70 mm 三种。

6) 砂按表 1-9,采用Ⅰ区或Ⅱ区,其细度模数为 2.7~3.4 的中粗砂。

7) 石子粒径除表 1-16 所列的三种外,考虑到较常用的为 31.5 mm,也一并列入。其用水量按 20~40 mm 的平均值。

8) 全部例题均用重量法设计,混凝土的假定总量见表 1-18。

9) 设计程序及方法,与例 2 相同。

10) 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条件完全相同,采用此配合比时,仍应按规定进行试配、调整,符合要求时,方可使用。

11) 规程要求每立方米混凝土最大水泥用量不宜大于 550 kg,参考表内有个别配合比已超过此值,且出现砂用量比水泥用量少的不合理现象,将使混凝土易出现裂纹。应改用较高标号水泥,或掺用减水剂以降低水泥用量。

12) 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,建议采用低一级标号水泥,便可符合规程要求。

1.7.2 各级碎石混凝土配合比 (表 1-21 ~ 表 1-34)

表 1-21 C10 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 4 \text{ MPa}$

水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$

配制强度 $f_{cu,0} = 16.6 \text{ MPa}$

每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2360 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_w: m_c: m_s: m_g$
					水	水 泥	砂	石 子	
20	275	0.56	10 ~ 30	36	185	330	664	1181	0.56:1:2.012:3.579
			30 ~ 50	36	195	348	654	1163	0.56:1:1.879:3.342
			50 ~ 70	36	205	366	644	1145	0.56:1:1.760:3.128
	325	0.63	10 ~ 30	39	185	294	736	1145	0.63:1:2.503:3.895
			30 ~ 50	39	195	310	723	1132	0.63:1:2.332:3.652
			50 ~ 70	39	205	325	714	1116	0.63:1:2.197:3.434
31.5	275	0.56	10 ~ 30	35	175	313	655	1217	0.56:1:2.093:3.888
			30 ~ 50	35	185	330	646	1199	0.56:1:1.958:3.633
			50 ~ 70	35	195	348	636	1181	0.56:1:1.828:3.394
	325	0.63	10 ~ 30	37	175	278	706	1201	0.63:1:2.540:4.320
			30 ~ 50	37	185	294	696	1185	0.63:1:2.367:4.031
			50 ~ 70	37	195	309	687	1169	0.63:1:2.223:3.783
40	275	0.56	10 ~ 30	34	165	295	646	1254	0.56:1:2.190:4.251
			30 ~ 50	34	175	313	636	1236	0.56:1:2.032:3.949
			50 ~ 70	34	185	330	627	1218	0.56:1:1.900:3.691
	325	0.63	10 ~ 30	36	165	262	696	1237	0.63:1:2.656:4.721
			30 ~ 50	36	175	278	687	1220	0.63:1:2.471:4.388
			50 ~ 70	36	185	294	677	1204	0.63:1:2.303:4.095

表 1-22 C15 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 4$ MPa水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$ 配制强度 $f_{cu,0} = 21.6$ MPa每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400$ kg

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
16	325	0.53	10~30	36	200	377	656	1167	0.53:1:1.740:3.095
			30~50	36	210	396	646	1148	0.53:1:1.631:2.899
			50~70	36	220	415	635	1130	0.53:1:1.530:2.723
	425	0.63	10~30	39	200	317	734	1149	0.63:1:2.315:3.625
			30~50	39	210	333	724	1133	0.63:1:2.174:3.402
			50~70	39	220	349	714	1117	0.63:1:2.046:3.201
20	325	0.53	10~30	35	185	349	653	1213	0.53:1:1.871:3.476
			30~50	35	195	369	643	1193	0.53:1:1.747:3.242
			50~70	35	205	387	633	1175	0.53:1:1.636:3.036
	425	0.63	10~30	38	185	294	730	1191	0.63:1:2.483:4.051
			30~50	38	195	310	720	1175	0.63:1:2.323:3.790
			50~70	38	205	325	711	1159	0.63:1:2.188:3.566
31.5	325	0.53	10~30	34	175	330	644	1251	0.53:1:1.952:3.791
			30~50	34	185	349	634	1232	0.53:1:1.817:3.530
			50~70	34	195	368	625	1212	0.53:1:1.698:3.293
	425	0.63	10~30	37	175	278	720	1227	0.63:1:2.590:4.414
			30~50	37	185	294	711	1210	0.63:1:2.418:4.116
			50~70	37	195	310	701	1194	0.63:1:2.261:3.852
40	325	0.53	10~30	33	165	311	635	1289	0.53:1:2.042:4.145
			30~50	33	175	330	625	1270	0.53:1:1.894:3.848
			50~70	33	185	349	616	1250	0.53:1:1.765:3.582
	425	0.63	10~30	36	165	261	711	1263	0.63:1:2.663:4.730
			30~50	36	175	278	701	1246	0.63:1:2.522:4.482
			50~70	36	185	294	692	1229	0.63:1:2.354:4.180

表 1-23 C20 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 4$ MPa水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$ 配制强度 $f_{cu,0} = 26.6$ MPa每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400$ kg

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
16	325	0.45	10~30	34	200	444	597	1159	0.45:1:1.345:2.610
			30~50	34	210	467	586	1137	0.45:1:1.255:2.435
			50~70	34	220	489	575	1116	0.45:1:1.176:2.282
	425	0.55	10~30	37	200	364	679	1157	0.55:1:1.865:3.179
			30~50	37	210	382	669	1139	0.55:1:1.751:2.982
			50~70	37	220	400	659	1121	0.55:1:1.648:2.803
20	325	0.45	10~30	33	185	411	595	1209	0.45:1:1.448:2.942
			30~50	33	195	433	585	1187	0.45:1:1.351:2.741
			50~70	33	205	456	574	1165	0.45:1:1.259:2.555
	425	0.55	10~30	36	185	336	676	1203	0.55:1:2.012:3.580
			30~50	36	195	355	666	1184	0.55:1:1.876:3.335
			50~70	36	205	373	656	1166	0.55:1:1.759:3.126
31.5	325	0.45	10~30	32	175	389	588	1248	0.45:1:1.512:3.208
			30~50	32	185	411	577	1227	0.45:1:1.404:2.985
			50~70	32	195	433	567	1205	0.45:1:1.309:2.783
	425	0.55	10~30	35	175	318	667	1240	0.55:1:2.097:3.899
			30~50	35	185	336	658	1221	0.55:1:1.958:3.634
			50~70	35	195	355	648	1202	0.55:1:1.825:3.386
40	325	0.45	10~30	31	165	367	579	1289	0.45:1:1.578:3.512
			30~50	31	175	389	569	1267	0.45:1:1.463:3.257
			50~70	31	185	411	559	1245	0.45:1:1.360:3.029
	425	0.55	10~30	34	165	300	658	1277	0.55:1:2.193:4.257
			30~50	34	175	318	648	1259	0.55:1:2.038:3.959
			50~70	34	185	336	639	1240	0.55:1:1.902:3.941

表 1-24 C25 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$ 配制强度 $f_{cu,0} = 33.2 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
16	325	0.38	10~30	33	200	526	552	1122	0.38:1:1.049:2.133
			30~50	33	210	553	540	1097	0.38:1:0.976:1.984
			50~70	33	220	579	528	1073	0.38:1:0.912:1.853
	425	0.47	10~30	35	200	426	621	1153	0.47:1:1.458:2.707
			30~50	35	210	447	610	1133	0.47:1:1.365:2.535
			50~70	35	220	468	599	1113	0.47:1:1.280:2.378
20	325	0.38	10~30	31	185	487	536	1192	0.38:1:1.101:2.448
			30~50	31	195	513	525	1167	0.38:1:1.023:2.275
			50~70	31	205	539	513	1143	0.38:1:0.952:2.121
	425	0.47	10~30	34	185	394	619	1202	0.47:1:1.571:3.051
			30~50	34	195	415	609	1181	0.47:1:1.467:2.846
			50~70	34	205	436	598	1161	0.47:1:1.372:2.663
31.5	325	0.38	10~30	30	175	461	529	1235	0.38:1:1.148:2.679
			30~50	30	185	487	518	1210	0.38:1:1.064:2.485
			50~70	30	195	513	508	1184	0.38:1:0.990:2.308
	425	0.47	10~30	33	175	372	611	1242	0.47:1:1.642:3.339
			30~50	33	185	394	601	1220	0.47:1:1.525:3.096
			50~70	33	195	415	591	1199	0.47:1:1.424:2.889
40	325	0.38	10~30	29	165	434	522	1279	0.38:1:1.203:2.947
			30~50	29	175	461	512	1252	0.38:1:1.111:2.716
			50~70	29	185	487	501	1227	0.38:1:1.029:2.520
	425	0.47	10~30	32	165	351	603	1281	0.47:1:1.718:3.650
			30~50	32	175	372	593	1260	0.47:1:1.594:3.387
			50~70	32	185	394	583	1238	0.47:1:1.480:3.142

表 1-25 C30 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$ 配制强度 $f_{cu,0} = 38.2 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
16	425	0.42	10~30	33	200	476	569	1155	0.42:1:1.195:2.426
			30~50	33	210	500	558	1132	0.42:1:1.116:2.264
			50~70	33	220	524	546	1110	0.42:1:1.042:2.118
	525	0.49	10~30	35	200	408	627	1165	0.49:1:1.537:2.855
			30~50	35	210	429	616	1145	0.49:1:1.436:2.669
			50~70	35	220	449	606	1125	0.49:1:1.350:2.506
20	425	0.42	10~30	32	185	440	568	1207	0.42:1:1.291:2.743
			30~50	32	195	464	557	1184	0.42:1:1.200:2.552
			50~70	32	205	488	546	1161	0.42:1:1.119:2.379
	525	0.49	10~30	34	185	376	625	1214	0.49:1:1.662:3.229
			30~50	34	195	398	614	1193	0.49:1:1.543:2.997
			50~70	34	205	418	604	1173	0.49:1:1.445:2.806
31.5	425	0.42	10~30	31	175	417	560	1248	0.42:1:1.343:2.993
			30~50	31	185	440	550	1225	0.42:1:1.250:2.784
			50~70	31	195	464	540	1201	0.42:1:1.164:2.588
	525	0.49	10~30	33	175	357	616	1252	0.49:1:1.725:3.507
			30~50	33	185	376	607	1232	0.49:1:1.614:3.277
			50~70	33	195	398	596	1211	0.49:1:1.497:3.043
40	425	0.42	10~30	30	165	393	553	1289	0.42:1:1.407:3.280
			30~50	30	175	417	542	1266	0.42:1:1.300:3.036
			50~70	30	185	440	533	1242	0.42:1:1.211:2.823
	525	0.49	10~30	32	165	337	607	1291	0.49:1:1.801:3.831
			30~50	32	175	357	598	1270	0.49:1:1.675:3.557
			50~70	32	185	378	588	1249	0.49:1:1.556:3.304

表 1-26 C35 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$ 配制强度 $f_{cu,0} = 43.2 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定总量 $m_{tp} = 2400 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
16	425	0.38	10 ~ 30	32	200	526	536	1138	0.38:1:1.019:2.613
			30 ~ 50	32	210	553	524	1113	0.38:1:0.948:2.013
			50 ~ 70	32	220	579	512	1089	0.38:1:0.884:1.881
	525	0.45	10 ~ 30	34	200	444	597	1159	0.45:1:1.345:2.610
			30 ~ 50	34	210	467	586	1137	0.45:1:1.255:2.435
			50 ~ 70	34	220	489	575	1116	0.45:1:1.176:2.282
20	425	0.38	10 ~ 30	31	185	487	536	1192	0.38:1:1.101:2.448
			30 ~ 50	31	195	513	525	1167	0.38:1:1.023:2.275
			50 ~ 70	31	205	539	513	1143	0.38:1:0.952:2.121
	525	0.45	10 ~ 30	33	185	411	595	1209	0.45:1:1.448:2.942
			30 ~ 50	33	195	433	585	1187	0.45:1:1.351:2.741
			50 ~ 70	33	205	456	574	1165	0.45:1:1.259:2.555
31.5	425	0.38	10 ~ 30	30	175	461	529	1235	0.38:1:1.148:2.679
			30 ~ 50	30	185	487	518	1210	0.38:1:1.064:2.485
			50 ~ 70	30	195	513	508	1184	0.38:1:0.990:2.308
	525	0.45	10 ~ 30	32	175	389	588	1248	0.45:1:1.512:3.208
			30 ~ 50	32	185	411	577	1227	0.45:1:1.404:2.985
			50 ~ 70	32	195	433	567	1205	0.45:1:1.309:2.783
40	425	0.38	10 ~ 30	29	165	434	522	1279	0.38:1:1.203:2.947
			30 ~ 50	29	175	461	512	1252	0.38:1:1.111:2.716
			50 ~ 70	29	185	487	501	1227	0.38:1:1.029:2.520
	525	0.45	10 ~ 30	31	165	367	579	1289	0.45:1:1.578:3.512
			30 ~ 50	31	175	389	569	1267	0.45:1:1.463:3.257
			50 ~ 70	31	185	411	559	1245	0.45:1:1.360:3.029

表 1-27 C40 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$ 配制强度 $f_{w,0} = 48.2 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2450 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w,0}:m_{c,0}:m_{s,0}:m_{g,0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
16	425	0.35	10~30	31	200	571	520	1159	0.35:1:0.911:2.030
			30~50	31	210	600	508	1132	0.35:1:0.847:1.887
			50~70	31	220	629	496	1105	0.35:1:0.789:1.757
	525	0.41	10~30	33	200	488	581	1181	0.41:1:1.191:2.420
			30~50	33	210	512	570	1158	0.41:1:1.113:2.262
			50~70	33	220	537	559	1134	0.41:1:1.041:2.112
20	425	0.35	10~30	30	185	529	521	1215	0.35:1:0.985:2.297
			30~50	30	195	557	509	1189	0.35:1:0.911:2.135
			50~70	30	205	586	498	1161	0.35:1:0.850:1.981
	525	0.41	10~30	32	185	451	580	1234	0.41:1:1.286:2.736
			30~50	32	195	476	569	1210	0.41:1:1.195:2.542
			50~70	32	205	500	558	1187	0.41:1:1.116:2.374
31.5	425	0.35	10~30	29	175	500	515	1260	0.35:1:1.030:2.520
			30~50	29	185	529	503	1233	0.35:1:0.951:2.331
			50~70	29	195	557	492	1206	0.35:1:0.883:2.165
	525	0.41	10~30	31	175	427	573	1275	0.41:1:1.342:2.986
			30~50	31	185	451	562	1252	0.41:1:1.246:2.776
			50~70	31	195	476	551	1228	0.41:1:1.158:2.580
40	425	0.35	10~30	28	165	471	508	1306	0.35:1:1.079:2.773
			30~50	28	175	500	497	1278	0.35:1:0.994:2.556
			50~70	28	185	529	486	1250	0.35:1:0.919:2.363
	525	0.41	10~30	30	165	402	565	1318	0.41:1:1.405:3.279
			30~50	30	175	427	554	1294	0.41:1:1.297:3.030
			50~70	30	185	451	544	1270	0.41:1:1.206:2.816

表 1-28 C10 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 4$ MPa水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 16.6$ MPa每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2360$ kg

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
20	275	0.59	10 ~ 30	37	185	314	689	1172	0.59:1:2.194:3.732
			30 ~ 50	37	195	331	679	1155	0.59:1:2.051:3.489
			50 ~ 70	37	205	347	669	1139	0.59:1:1.928:3.282
	325	0.66	10 ~ 30	39	185	280	739	1156	0.66:1:2.639:4.129
			30 ~ 50	39	195	295	729	1141	0.66:1:2.471:3.868
			50 ~ 70	39	205	311	719	1125	0.66:1:2.312:3.617
31.5	275	0.59	10 ~ 30	36	175	297	679	1209	0.59:1:2.286:4.071
			30 ~ 50	36	185	314	670	1191	0.59:1:2.134:3.793
			50 ~ 70	36	195	331	660	1174	0.59:1:1.994:3.547
	325	0.66	10 ~ 30	38	175	265	730	1190	0.66:1:2.755:4.490
			30 ~ 50	38	185	280	720	1175	0.66:1:2.571:4.196
			50 ~ 70	38	195	295	711	1159	0.66:1:2.410:3.929
40	275	0.59	10 ~ 30	35	165	280	670	1245	0.59:1:2.393:4.446
			30 ~ 50	35	175	297	661	1227	0.59:1:2.226:4.131
			50 ~ 70	35	185	314	651	1210	0.59:1:2.073:3.854
	325	0.66	10 ~ 30	37	165	250	720	1225	0.66:1:2.880:4.900
			30 ~ 50	37	175	265	710	1210	0.66:1:2.679:4.566
			50 ~ 70	37	185	280	701	1194	0.66:1:2.504:4.264

表 1-29 C15 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 4 \text{ MPa}$ 水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 21.6 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水泥 标号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
16	325	0.55	10~30	37	200	364	679	1157	0.55:1:1.865:3.179
			30~50	37	210	382	669	1139	0.55:1:1.751:2.982
			50~70	37	220	400	659	1121	0.55:1:1.648:2.803
	425	0.67	10~30	41	200	299	779	1122	0.67:1:2.605:3.753
			30~50	41	210	313	770	1107	0.67:1:2.460:3.537
			50~70	41	220	328	759	1093	0.67:1:2.314:3.332
20	325	0.55	10~30	36	185	336	676	1203	0.55:1:2.012:3.580
			30~50	36	195	355	666	1184	0.55:1:1.876:3.335
			50~70	36	205	373	656	1166	0.55:1:1.759:3.126
	425	0.67	10~30	40	185	276	776	1163	0.67:1:2.812:4.214
			30~50	40	195	291	766	1148	0.67:1:2.632:3.945
			50~70	40	205	306	756	1133	0.67:1:2.471:3.703
31.5	325	0.55	10~30	35	175	318	667	1240	0.55:1:2.097:3.899
			30~50	35	185	336	658	1221	0.55:1:1.958:3.634
			50~70	35	195	355	648	1202	0.55:1:1.825:3.386
	425	0.67	10~30	39	175	261	766	1198	0.67:1:2.935:4.590
			30~50	39	185	276	756	1183	0.67:1:2.739:4.286
			50~70	39	195	291	746	1168	0.67:1:2.563:4.014
40	325	0.55	10~30	34	165	300	658	1277	0.55:1:2.193:4.257
			30~50	34	175	318	648	1259	0.55:1:2.038:3.959
			50~70	34	185	336	639	1240	0.55:1:1.902:3.690
	425	0.67	10~30	38	165	246	756	1233	0.67:1:3.073:5.012
			30~50	38	175	261	746	1218	0.67:1:2.858:4.667
			50~70	38	185	276	737	1202	0.67:1:2.670:4.355

表 1-30 C20 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 4$ MPa水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 26.6$ MPa每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400$ kg

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
16	325	0.48	10~30	35	200	417	624	1159	0.48:1:1.496:2.779
			30~50	35	210	438	613	1139	0.48:1:1.400:2.600
			50~70	35	220	458	603	1119	0.48:1:1.317:2.443
	425	0.58	10~30	38	200	345	705	1150	0.58:1:2.043:3.333
			30~50	38	210	362	695	1133	0.58:1:1.920:3.130
			50~70	38	220	379	684	1117	0.58:1:1.805:2.947
20	325	0.48	10~30	34	185	385	622	1208	0.48:1:1.616:3.138
			30~50	34	195	406	612	1187	0.48:1:1.507:2.924
			50~70	34	205	427	601	1167	0.48:1:1.407:2.733
	425	0.58	10~30	37	185	319	702	1194	0.58:1:2.201:3.743
			30~50	37	195	336	692	1177	0.58:1:2.060:3.503
			50~70	37	205	353	682	1160	0.58:1:1.932:3.286
31.5	325	0.48	10~30	33	175	365	614	1246	0.48:1:1.682:3.414
			30~50	33	185	385	604	1226	0.48:1:1.569:3.184
			50~70	33	195	406	594	1205	0.48:1:1.463:2.968
	425	0.58	10~30	36	175	302	692	1231	0.58:1:2.291:4.076
			30~50	36	185	319	683	1213	0.58:1:2.141:3.803
			50~70	36	195	336	673	1196	0.58:1:2.003:3.560
40	325	0.48	10~30	32	165	344	605	1286	0.48:1:1.759:3.738
			30~50	32	175	365	595	1265	0.48:1:1.630:3.466
			50~70	32	185	385	586	1244	0.48:1:1.522:3.231
	425	0.58	10~30	35	165	284	683	1268	0.58:1:2.405:4.465
			30~50	35	175	302	673	1250	0.58:1:2.228:4.139
			50~70	35	185	319	664	1232	0.58:1:2.082:3.862

表 1-31 C25 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 33.2 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍 落 度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
16	325	0.40	10 ~ 30	33	200	500	561	1139	0.40:1:1.122:2.278
			30 ~ 50	33	210	525	549	1116	0.40:1:1.046:2.126
			50 ~ 70	33	220	550	538	1092	0.40:1:0.978:1.985
	425	0.49	10 ~ 30	36	200	408	645	1147	0.49:1:1.581:2.811
			30 ~ 50	36	210	429	634	1127	0.49:1:1.478:2.627
			50 ~ 70	36	220	449	623	1108	0.49:1:1.388:2.468
20	325	0.40	10 ~ 30	32	185	463	561	1191	0.40:1:1.212:2.572
			30 ~ 50	32	195	488	549	1168	0.40:1:1.125:2.393
			50 ~ 70	32	205	513	538	1144	0.40:1:1.049:2.230
	425	0.49	10 ~ 30	35	185	378	643	1194	0.49:1:1.701:3.159
			30 ~ 50	35	195	398	632	1175	0.49:1:1.588:2.952
			50 ~ 70	35	205	418	622	1155	0.49:1:1.488:2.763
31.5	325	0.40	10 ~ 30	31	175	438	554	1233	0.40:1:1.265:2.815
			30 ~ 50	31	185	463	543	1209	0.40:1:1.173:2.611
			50 ~ 70	31	195	488	532	1185	0.40:1:1.090:2.428
	425	0.49	10 ~ 30	34	175	357	635	1233	0.49:1:1.779:3.454
			30 ~ 50	34	185	378	625	1212	0.49:1:1.653:3.206
			50 ~ 70	34	195	398	614	1193	0.49:1:1.543:2.997
40	325	0.40	10 ~ 30	30	165	413	547	1275	0.40:1:1.324:3.807
			30 ~ 50	30	175	438	536	1251	0.40:1:1.224:2.856
			50 ~ 70	30	185	463	526	1226	0.40:1:1.136:2.648
	425	0.49	10 ~ 30	33	165	337	626	1272	0.49:1:1.858:3.774
			30 ~ 50	33	175	357	616	1252	0.49:1:1.725:3.507
			50 ~ 70	33	185	378	606	1231	0.49:1:1.603:3.257

表 1-32 C30 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 38.2 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
16	425	0.44	10 ~ 30	34	200	455	593	1152	0.44:1:1.303:2.532
			30 ~ 50	34	210	477	582	1131	0.44:1:1.220:2.371
			50 ~ 70	34	220	500	571	1109	0.44:1:1.142:2.218
	525	0.52	10 ~ 30	36	200	385	653	1162	0.52:1:1.696:3.018
			30 ~ 50	36	210	404	643	1143	0.52:1:1.592:2.702
			50 ~ 70	36	220	423	633	1124	0.52:1:1.496:2.653
20	425	0.44	10 ~ 30	33	185	420	592	1203	0.44:1:1.409:2.864
			30 ~ 50	33	195	443	581	1181	0.44:1:1.312:2.666
			50 ~ 70	33	205	466	571	1158	0.44:1:1.225:2.485
	525	0.52	10 ~ 30	35	185	356	651	1208	0.52:1:1.829:3.393
			30 ~ 50	35	195	375	641	1189	0.52:1:1.709:3.171
			50 ~ 70	35	205	394	630	1171	0.52:1:1.599:2.972
31.5	425	0.44	10 ~ 30	32	175	398	585	1242	0.44:1:1.470:3.121
			30 ~ 50	32	185	420	574	1221	0.44:1:1.367:2.907
			50 ~ 70	32	195	443	564	1198	0.44:1:1.273:2.704
	525	0.52	10 ~ 30	34	175	337	642	1246	0.52:1:1.905:3.697
			30 ~ 50	34	185	356	632	1227	0.52:1:1.775:3.447
			50 ~ 70	34	195	375	622	1208	0.52:1:1.659:3.221
40	425	0.44	10 ~ 30	31	165	375	577	1283	0.44:1:1.539:3.421
			30 ~ 50	31	175	398	566	1261	0.44:1:1.422:3.168
			50 ~ 70	31	185	420	556	1239	0.44:1:1.324:2.950
	525	0.52	10 ~ 30	33	165	317	633	1285	0.52:1:1.997:4.054
			30 ~ 50	33	175	337	623	1265	0.52:1:1.849:3.748
			50 ~ 70	33	185	356	613	1246	0.52:1:1.722:3.500

表 1-33 C35 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 43.2 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水泥 标号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
16	425	0.40	10 ~ 30	33	200	500	561	1139	0.40:1:1.122:2.278
			30 ~ 50	33	210	525	549	1116	0.40:1:1.046:2.126
			50 ~ 70	33	220	550	538	1092	0.40:1:0.978:1.985
	525	0.47	10 ~ 30	35	200	426	621	1153	0.47:1:1.458:2.707
			30 ~ 50	35	210	449	609	1132	0.47:1:1.356:2.521
			50 ~ 70	35	220	468	599	1113	0.47:1:1.280:2.378
20	425	0.40	10 ~ 30	32	185	463	561	1191	0.40:1:1.212:2.572
			30 ~ 50	32	195	488	549	1168	0.40:1:1.125:2.393
			50 ~ 70	32	205	513	538	1144	0.40:1:1.049:2.230
	525	0.47	10 ~ 30	34	185	394	619	1202	0.47:1:1.571:3.051
			30 ~ 50	34	195	415	609	1181	0.47:1:1.467:2.846
			50 ~ 70	34	205	436	598	1161	0.47:1:1.372:2.663
31.5	425	0.40	10 ~ 30	31	175	438	554	1233	0.40:1:1.265:2.815
			30 ~ 50	31	185	463	543	1209	0.40:1:1.173:2.611
			50 ~ 70	31	195	488	532	1185	0.40:1:1.090:2.428
	525	0.47	10 ~ 30	33	175	372	611	1242	0.47:1:1.642:3.339
			30 ~ 50	33	185	394	601	1220	0.47:1:1.525:3.096
			50 ~ 70	33	195	414	591	1200	0.47:1:1.428:2.899
40	425	0.40	10 ~ 30	30	165	413	547	1275	0.40:1:1.324:3.087
			30 ~ 50	30	175	438	536	1251	0.40:1:1.224:2.856
			50 ~ 70	30	185	463	526	1226	0.40:1:1.136:2.648
	525	0.47	10 ~ 30	32	165	351	603	1281	0.47:1:1.718:3.650
			30 ~ 50	32	175	372	593	1260	0.47:1:1.594:3.387
			50 ~ 70	32	185	394	583	1238	0.47:1:1.480:3.142

表 1-34 C40 级碎石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5$ MPa水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 48.2$ MPa每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2450$ kg

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
16	425	0.37	10 ~ 30	32	200	541	547	1162	0.37:1:1.011:2.148
			30 ~ 50	32	210	568	535	1137	0.37:1:0.942:2.002
			50 ~ 70	32	220	595	523	1112	0.37:1:0.879:1.869
	525	0.44	10 ~ 30	34	200	455	610	1185	0.44:1:1.341:2.604
			30 ~ 50	34	210	477	599	1164	0.44:1:1.256:2.440
			50 ~ 70	34	220	500	588	1142	0.44:1:1.176:2.284
20	425	0.37	10 ~ 30	31	185	500	547	1218	0.37:1:1.094:2.436
			30 ~ 50	31	195	527	536	1192	0.37:1:1.017:2.262
			50 ~ 70	31	205	554	524	1167	0.37:1:0.946:2.106
	525	0.44	10 ~ 30	33	185	420	609	1236	0.44:1:1.450:2.943
			30 ~ 50	33	195	443	598	1214	0.44:1:1.350:2.740
			50 ~ 70	33	205	466	587	1192	0.44:1:1.260:2.443
31.5	425	0.37	10 ~ 30	30	175	473	541	1261	0.37:1:1.144:2.666
			30 ~ 50	30	185	500	530	1235	0.37:1:1.060:2.470
			50 ~ 70	30	195	527	518	1210	0.37:1:0.983:2.296
	525	0.44	10 ~ 30	32	175	398	601	1276	0.44:1:1.510:3.206
			30 ~ 50	32	185	420	590	1255	0.44:1:1.405:2.988
			50 ~ 70	32	195	443	580	1232	0.44:1:1.309:2.781
40	425	0.37	10 ~ 30	29	165	446	533	1306	0.37:1:1.195:2.928
			30 ~ 50	29	175	473	523	1279	0.37:1:1.106:2.704
			50 ~ 70	29	185	500	512	1253	0.37:1:1.024:2.506
	525	0.44	10 ~ 30	31	165	375	592	1318	0.44:1:1.579:3.515
			30 ~ 50	31	175	398	582	1295	0.44:1:1.462:3.254
			50 ~ 70	31	185	420	572	1273	0.44:1:1.362:3.031

1.7.3 各级卵石混凝土配合比 (表 1-35 ~ 表 1-48)

表 1-35 C10 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 4 \text{ MPa}$

水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$

配制强度 $f_{cu,0} = 16.6 \text{ MPa}$

每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2360 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
20	275	0.55	10 ~ 30	33	170	309	621	1260	0.55:1:2.010:4.078
			30 ~ 50	33	180	327	611	1242	0.55:1:1.869:3.798
			50 ~ 70	33	190	345	602	1223	0.55:1:1.745:3.545
	325	0.61	10 ~ 30	35	170	279	669	1242	0.61:1:2.398:4.452
			30 ~ 50	35	180	295	660	1225	0.61:1:2.237:4.153
			50 ~ 70	35	190	311	651	1208	0.61:1:2.093:3.884
31.5	275	0.55	10 ~ 30	32.5	160	291	620	1289	0.55:1:2.131:4.430
			30 ~ 50	32.5	170	309	611	1270	0.55:1:1.977:4.110
			50 ~ 70	32.5	180	327	602	1251	0.55:1:1.841:3.826
	325	0.61	10 ~ 30	35	160	262	678	1260	0.61:1:2.588:4.809
			30 ~ 50	35	170	279	669	1242	0.61:1:2.398:4.452
			50 ~ 70	35	180	295	660	1225	0.61:1:2.237:4.153
40	275	0.55	10 ~ 30	32	150	273	620	1317	0.55:1:2.271:4.824
			30 ~ 50	32	160	291	611	1298	0.55:1:2.100:4.460
			50 ~ 70	32	170	309	602	1279	0.55:1:1.948:4.139
	325	0.61	10 ~ 30	34	150	246	668	1296	0.61:1:2.715:5.268
			30 ~ 50	34	160	262	659	1279	0.61:1:2.515:4.882
			50 ~ 70	34	170	279	650	1261	0.61:1:2.330:4.520

表 1-36 C15 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 4$ MPa水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$ 配制强度 $f_{cu,0} = 21.6$ MPa每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400$ kg

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
10	325	0.52	10 ~ 30	33	190	365	609	1236	0.52:1:1.668:3.386
			30 ~ 50	33	200	385	599	1216	0.52:1:1.556:3.158
			50 ~ 70	33	210	404	589	1197	0.52:1:1.458:2.963
	425	0.61	10 ~ 30	36	190	311	684	1215	0.61:1:2.199:3.907
			30 ~ 50	36	200	328	674	1198	0.61:1:2.055:3.652
			50 ~ 70	36	210	344	665	1181	0.61:1:1.933:3.433
20	325	0.52	10 ~ 30	32	170	327	609	1294	0.52:1:1.862:3.957
			30 ~ 50	32	180	346	600	1274	0.52:1:1.734:3.682
			50 ~ 70	32	190	365	590	1255	0.52:1:1.616:3.438
	425	0.61	10 ~ 30	35	170	279	683	1268	0.61:1:2.448:4.545
			30 ~ 50	35	180	295	674	1251	0.61:1:2.285:4.241
			50 ~ 70	35	190	311	665	1234	0.61:1:2.138:3.968
31.5	325	0.52	10 ~ 30	32	160	308	618	1314	0.52:1:2.006:4.266
			30 ~ 50	32	170	327	609	1294	0.52:1:1.862:3.957
			50 ~ 70	32	180	346	600	1274	0.52:1:1.734:3.682
	425	0.61	10 ~ 30	35	160	262	692	1286	0.61:1:2.641:4.908
			30 ~ 50	35	170	279	683	1268	0.61:1:2.448:4.545
			50 ~ 70	35	180	295	674	1251	0.61:1:2.285:4.241
40	325	0.52	10 ~ 30	31	150	288	608	1354	0.52:1:2.111:4.701
			30 ~ 50	31	160	308	599	1333	0.52:1:1.945:4.328
			50 ~ 70	31	170	327	590	1313	0.52:1:1.804:4.015
	425	0.61	10 ~ 30	34	150	246	681	1323	0.61:1:2.768:5.378
			30 ~ 50	34	160	262	673	1305	0.61:1:2.569:4.980
			50 ~ 70	34	170	279	663	1288	0.61:1:2.376:4.616

表 1-37 C20 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 4$ MPa水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$ 配制强度 $f_{cu,0} = 26.6$ MPa每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400$ kg

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
10	325	0.45	10~30	31	190	422	554	1234	0.45:1:1.313:2.927
			30~50	31	200	444	544	1212	0.45:1:1.225:2.730
			50~70	31	210	467	534	1189	0.45:1:1.143:2.546
	425	0.54	10~30	34	190	352	632	1226	0.54:1:1.795:3.483
			30~50	34	200	370	622	1208	0.54:1:1.681:3.265
			50~70	34	210	389	612	1189	0.54:1:1.573:3.057
20	325	0.45	10~30	30	170	378	556	1296	0.45:1:1.471:3.429
			30~50	30	180	400	546	1274	0.45:1:1.365:3.185
			50~70	30	190	422	536	1252	0.45:1:1.270:2.967
	425	0.54	10~30	33	170	315	632	1283	0.54:1:2.006:4.073
			30~50	33	180	333	623	1264	0.54:1:1.871:3.796
			50~70	33	190	352	613	1245	0.54:1:1.741:3.537
31.5	325	0.45	10~30	29	160	355	547	1338	0.45:1:1.541:3.769
			30~50	29	170	378	537	1315	0.45:1:1.421:3.479
			50~70	29	180	400	528	1292	0.45:1:1.320:3.230
	425	0.54	10~30	32	160	296	622	1322	0.54:1:2.101:4.466
			30~50	32	170	315	613	1302	0.54:1:1.946:4.133
			50~70	32	180	333	604	1283	0.54:1:1.814:3.853
40	325	0.45	10~30	29	150	333	556	1361	0.45:1:1.670:4.087
			30~50	29	160	356	546	1338	0.45:1:1.534:3.758
			50~70	29	170	378	537	1315	0.45:1:1.421:3.479
	425	0.54	10~30	32	150	278	631	1341	0.54:1:2.270:4.824
			30~50	32	160	296	622	1322	0.54:1:2.101:4.466
			50~70	32	170	315	613	1302	0.54:1:1.946:4.133

表 1-38 C25 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5$ MPa水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$ 配制强度 $f_{cu,0} = 33.2$ MPa每立方米混凝土假定总量 $m_{tp} = 2400$ kg

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
10	325	0.38	10 ~ 30	29	190	500	496	1214	0.38:1:0.992:2.428
			30 ~ 50	29	200	526	485	1189	0.38:1:0.922:2.260
			50 ~ 70	29	210	553	475	1162	0.38:1:0.859:2.101
	425	0.46	10 ~ 30	31	190	413	557	1240	0.46:1:1.349:3.002
			30 ~ 50	31	200	435	547	1218	0.46:1:1.257:2.800
			50 ~ 70	31	210	457	537	1196	0.46:1:1.175:2.617
20	325	0.38	10 ~ 30	28	170	447	499	1284	0.38:1:1.116:2.872
			30 ~ 50	28	180	474	489	1257	0.38:1:1.032:2.652
			50 ~ 70	28	190	500	479	1231	0.38:1:0.958:2.462
	425	0.46	10 ~ 30	30	170	370	558	1302	0.46:1:1.508:3.519
			30 ~ 50	30	180	391	549	1280	0.46:1:1.404:3.274
			50 ~ 70	30	190	413	539	1258	0.46:1:1.305:3.046
31.5	325	0.38	10 ~ 30	27	160	421	491	1328	0.38:1:1.166:3.154
			30 ~ 50	27	170	447	481	1302	0.38:1:1.076:2.913
			50 ~ 70	27	180	474	471	1275	0.38:1:0.994:2.690
	425	0.46	10 ~ 30	30	160	348	568	1324	0.46:1:1.632:3.805
			30 ~ 50	30	170	370	558	1302	0.46:1:1.508:3.519
			50 ~ 70	30	180	391	549	1280	0.46:1:1.404:3.274
40	325	0.38	10 ~ 30	27	150	395	501	1354	0.38:1:1.268:3.428
			30 ~ 50	27	160	421	491	1328	0.38:1:1.166:3.154
			50 ~ 70	27	170	447	481	1302	0.38:1:1.076:2.913
	425	0.46	10 ~ 30	29	150	326	558	1366	0.46:1:1.712:4.190
			30 ~ 50	29	160	348	548	1344	0.46:1:1.575:3.862
			50 ~ 70	29	170	370	539	1321	0.46:1:1.457:3.570

表 1.39 C30 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$ 配制强度 $f_{cu,0} = 38.2 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
10	425	0.42	10 ~ 30	30	190	452	527	1231	0.42:1:1.166:2.723
			30 ~ 50	30	200	476	517	1207	0.42:1:1.086:2.535
			50 ~ 70	30	210	500	507	1183	0.42:1:1.014:2.366
	525	0.48	10 ~ 30	32	190	396	580	1234	0.48:1:1.465:3.116
			30 ~ 50	32	200	417	571	1212	0.48:1:1.369:2.906
			50 ~ 70	32	210	438	561	1191	0.48:1:1.281:2.719
20	425	0.42	10 ~ 30	29	170	405	529	1296	0.42:1:1.306:3.200
			30 ~ 50	29	180	429	519	1272	0.42:1:1.210:2.965
			50 ~ 70	29	190	452	510	1248	0.42:1:1.128:2.761
	525	0.48	10 ~ 30	31	170	354	582	1294	0.48:1:1.644:3.655
			30 ~ 50	31	180	375	572	1273	0.48:1:1.525:3.395
			50 ~ 70	31	190	396	562	1252	0.48:1:1.419:3.162
31.5	425	0.42	10 ~ 30	28	160	381	521	1338	0.42:1:1.367:3.512
			30 ~ 50	28	170	405	511	1314	0.42:1:1.262:3.244
			50 ~ 70	28	180	429	499	1292	0.42:1:1.163:3.012
	525	0.48	10 ~ 30	30	160	333	572	1335	0.48:1:1.718:4.009
			30 ~ 50	30	170	354	563	1313	0.48:1:1.590:3.709
			50 ~ 70	30	180	375	554	1291	0.48:1:1.477:3.443
40	425	0.42	10 ~ 30	28	150	357	530	1363	0.42:1:1.485:3.818
			30 ~ 50	28	160	381	521	1338	0.42:1:1.367:3.512
			50 ~ 70	28	170	405	511	1314	0.42:1:1.262:3.244
	525	0.48	10 ~ 30	30	150	313	581	1356	0.48:1:1.856:4.332
			30 ~ 50	30	160	333	572	1335	0.48:1:1.718:4.009
			50 ~ 70	30	170	354	563	1313	0.48:1:1.590:3.709

表 1-40 C35 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$ 配制强度 $f_{cu,0} = 43.2 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
10	425	0.38	10 ~ 30	28	190	500	479	1231	0.38:1:0.958:2.462
			30 ~ 50	28	200	526	469	1205	0.38:1:0.892:2.291
			50 ~ 70	28	210	553	458	1179	0.38:1:0.828:2.132
	525	0.44	10 ~ 30	31	190	432	551	1227	0.44:1:1.275:2.840
			30 ~ 50	31	200	455	541	1204	0.44:1:1.189:2.646
			50 ~ 70	31	210	477	531	1182	0.44:1:1.113:2.478
20	425	0.38	10 ~ 30	28	170	447	499	1284	0.38:1:1.116:2.872
			30 ~ 50	28	180	474	489	1257	0.38:1:1.032:2.652
			50 ~ 70	28	190	500	479	1231	0.38:1:0.958:2.462
	525	0.44	10 ~ 30	30	170	386	553	1291	0.44:1:1.433:3.345
			30 ~ 50	30	180	409	543	1268	0.44:1:1.328:3.100
			50 ~ 70	30	190	432	533	1245	0.44:1:1.234:2.882
31.5	425	0.38	10 ~ 30	27	160	421	491	1328	0.38:1:1.166:3.154
			30 ~ 50	27	170	447	481	1302	0.38:1:1.076:2.913
			50 ~ 70	27	180	474	471	1275	0.38:1:0.994:2.690
	525	0.44	10 ~ 30	29	160	364	544	1332	0.44:1:1.495:3.659
			30 ~ 50	29	170	386	535	1309	0.44:1:1.386:3.391
			50 ~ 70	29	180	409	525	1286	0.44:1:1.284:3.144
40	425	0.38	10 ~ 30	27	150	395	501	1354	0.38:1:1.268:3.428
			30 ~ 50	27	160	421	491	1328	0.38:1:1.166:3.154
			50 ~ 70	27	170	447	481	1302	0.38:1:1.076:2.913
	525	0.44	10 ~ 30	29	150	341	554	1355	0.44:1:1.625:3.974
			30 ~ 50	29	160	364	544	1332	0.44:1:1.495:3.659
			50 ~ 70	29	170	386	535	1309	0.44:1:1.386:3.391

表 1-41 C40 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5$ MPa水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.00$ 配制强度 $f_{cu,0} = 48.2$ MPa每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2450$ kg

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
10	425	0.35	10 ~ 30	29	190	543	498	1219	0.35:1:0.917:2.245
			30 ~ 50	29	200	571	487	1192	0.35:1:0.853:2.088
			50 ~ 70	29	210	600	476	1164	0.35:1:0.793:1.940
	525	0.41	10 ~ 30	30	190	463	539	1258	0.41:1:1.164:2.717
			30 ~ 50	30	200	488	529	1233	0.41:1:1.084:2.527
			50 ~ 70	30	210	512	518	1210	0.41:1:1.012:2.363
20	425	0.35	10 ~ 30	28	170	486	502	1292	0.35:1:1.033:2.658
			30 ~ 50	28	180	514	492	1264	0.35:1:0.957:2.459
			50 ~ 70	28	190	543	481	1236	0.35:1:0.886:2.276
	525	0.41	10 ~ 30	29	170	415	541	1324	0.41:1:1.304:3.190
			30 ~ 50	29	180	439	531	1300	0.41:1:1.210:2.961
			50 ~ 70	29	190	463	521	1276	0.41:1:1.125:2.756
31.5	425	0.35	10 ~ 30	27	160	457	495	1338	0.35:1:1.083:2.928
			30 ~ 50	27	170	486	484	1310	0.35:1:0.996:2.695
			50 ~ 70	27	180	514	474	1282	0.35:1:0.922:2.494
	525	0.41	10 ~ 30	28	160	390	532	1368	0.41:1:1.364:3.508
			30 ~ 50	28	170	415	522	1343	0.41:1:1.258:3.236
			50 ~ 70	28	180	439	513	1318	0.41:1:1.169:3.002
40	425	0.35	10 ~ 30	26	150	429	486	1385	0.35:1:1.133:3.228
			30 ~ 50	26	160	457	477	1356	0.35:1:1.044:2.967
			50 ~ 70	26	170	486	466	1328	0.35:1:0.959:2.733
	525	0.41	10 ~ 30	28	150	366	542	1392	0.41:1:1.481:3.803
			30 ~ 50	28	160	390	532	1368	0.41:1:1.364:3.508
			50 ~ 70	28	170	415	522	1343	0.41:1:1.258:3.236

表 1-42 C10 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 4 \text{ MPa}$ 水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 14.6 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2360 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w,0}:m_{c,0}:m_{s,0}:m_{g,0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
20	275	0.58	10~30	34	170	293	645	1252	0.58:1:2.201:4.273
			30~50	34	180	310	636	1234	0.58:1:2.052:3.981
			50~70	34	190	328	626	1216	0.58:1:1.909:3.707
	325	0.64	10~30	36	170	266	693	1231	0.64:1:2.605:4.628
			30~50	36	180	281	684	1215	0.64:1:2.434:4.324
			50~70	36	190	297	674	1199	0.64:1:2.269:4.037
31.5	275	0.58	10~30	33	160	276	635	1289	0.58:1:2.301:4.670
			30~50	33	170	293	626	1271	0.58:1:2.137:4.338
			50~70	33	180	310	617	1253	0.58:1:1.990:4.042
	325	0.64	10~30	35	160	250	683	1267	0.64:1:1.732:5.068
			30~50	35	170	266	673	1251	0.64:1:2.530:4.703
			50~70	35	180	281	665	1234	0.64:1:2.367:4.391
40	275	0.58	10~30	33	150	260	644	1306	0.58:1:2.477:5.231
			30~50	33	160	276	635	1289	0.58:1:2.301:4.670
			50~70	33	170	293	626	1271	0.58:1:2.137:4.338
	325	0.64	10~30	35	150	234	692	1284	0.64:1:2.957:5.487
			30~50	35	160	250	683	1267	0.64:1:2.732:5.068
			50~70	35	170	266	673	1251	0.64:1:2.530:4.703

表 1-43 C15 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 4$ MPa水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 21.6$ MPa每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400$ kg

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
10	325	0.54	10 ~ 30	34	190	352	632	1226	0.54:1:1.795:3.483
			30 ~ 50	34	200	370	622	1208	0.54:1:1.681:3.265
			50 ~ 70	34	210	389	612	1189	0.54:1:1.573:3.057
	425	0.64	10 ~ 30	37	190	297	708	1205	0.64:1:2.384:4.057
			30 ~ 50	37	200	313	698	1189	0.64:1:2.230:3.799
			50 ~ 70	37	210	328	689	1173	0.64:1:2.101:3.576
20	325	0.54	10 ~ 30	33	170	315	632	1283	0.54:1:2.006:4.073
			30 ~ 50	33	180	333	623	1264	0.54:1:1.871:3.796
			50 ~ 70	33	190	352	613	1245	0.54:1:1.741:3.537
	425	0.64	10 ~ 30	36	170	266	707	1257	0.64:1:2.658:4.726
			30 ~ 50	36	180	281	698	1243	0.64:1:2.484:4.416
			50 ~ 70	36	190	297	689	1224	0.64:1:2.320:4.121
31.5	325	0.54	10 ~ 30	32	160	296	622	1322	0.54:1:2.101:4.466
			30 ~ 50	32	170	315	613	1302	0.54:1:1.946:4.133
			50 ~ 70	32	180	333	604	1283	0.54:1:1.814:3.853
	425	0.64	10 ~ 30	35	160	250	697	1293	0.64:1:2.788:5.172
			30 ~ 50	35	170	266	687	1277	0.64:1:2.583:4.801
			50 ~ 70	35	180	281	679	1260	0.64:1:2.416:4.484
40	325	0.54	10 ~ 30	32	150	278	631	1341	0.54:1:2.270:4.824
			30 ~ 50	32	160	296	622	1322	0.54:1:2.101:4.466
			50 ~ 70	32	170	315	613	1302	0.54:1:1.946:4.133
	425	0.64	10 ~ 30	35	150	234	706	1310	0.64:1:3.017:5.598
			30 ~ 50	35	160	250	697	1293	0.64:1:2.788:5.172
			50 ~ 70	35	170	266	687	1277	0.64:1:2.583:4.801

表 1-44 C20 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 4$ MPa水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 26.6$ MPa每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400$ kg

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_w: m_c: m_s: m_g$
					水	水 泥	砂	石 子	
10	325	0.47	10~30	32	190	404	578	1228	0.47:1:1.431:3.040
			30~50	32	200	426	568	1206	0.47:1:1.333:2.831
			50~70	32	210	447	558	1185	0.47:1:1.248:2.651
	425	0.57	10~30	35	190	333	657	1220	0.57:1:1.973:3.664
			30~50	35	200	351	647	1202	0.57:1:1.843:3.425
			50~70	35	210	368	638	1184	0.57:1:1.734:3.217
20	325	0.47	10~30	31	170	362	579	1289	0.47:1:1.599:3.561
			30~50	31	180	383	569	1268	0.47:1:1.486:3.311
			50~70	31	190	404	560	1246	0.47:1:1.386:3.084
	425	0.57	10~30	34	170	298	657	1275	0.57:1:2.205:4.279
			30~50	34	180	316	647	1257	0.57:1:2.047:3.978
			50~70	34	190	333	638	1239	0.57:1:1.916:3.721
31.5	325	0.47	10~30	30	160	340	570	1330	0.47:1:1.676:3.912
			30~50	30	170	362	560	1308	0.47:1:1.547:3.613
			50~70	30	180	383	551	1286	0.47:1:1.439:3.358
	425	0.57	10~30	33	160	281	646	1313	0.57:1:2.299:4.673
			30~50	33	170	298	638	1294	0.57:1:2.141:4.342
			50~70	33	180	316	628	1276	0.57:1:1.987:4.038
40	325	0.47	10~30	30	150	319	579	1352	0.47:1:1.815:4.238
			30~50	30	160	340	570	1330	0.47:1:1.676:3.912
			50~70	30	170	362	560	1308	0.47:1:1.547:3.613
	425	0.57	10~30	33	150	263	656	1331	0.57:1:2.494:5.061
			30~50	33	160	281	646	1313	0.57:1:2.299:4.673
			50~70	33	170	298	638	1294	0.57:1:2.141:4.342

表 1-45 C25 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5$ MPa水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 33.2$ MPa每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400$ kg

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
10	325	0.40	10~30	29	190	475	503	1232	0.40:1:1.059:2.594
			30~50	29	200	500	493	1207	0.40:1:0.986:2.414
			50~70	29	210	525	483	1182	0.40:1:0.920:2.364
	425	0.49	10~30	32	190	388	583	1239	0.49:1:1.523:3.193
			30~50	32	200	408	573	1219	0.49:1:1.404:2.988
			50~70	32	210	428	564	1198	0.49:1:1.318:2.799
20	325	0.40	10~30	28	170	425	505	1300	0.40:1:1.188:3.059
			30~50	28	180	450	496	1274	0.40:1:1.102:2.831
			50~70	28	190	475	486	1249	0.40:1:1.023:2.629
	425	0.49	10~30	31	170	347	584	1299	0.49:1:1.683:3.744
			30~50	31	180	367	574	1279	0.49:1:1.564:3.485
			50~70	31	190	388	565	1257	0.49:1:1.456:3.240
31.5	325	0.40	10~30	28	160	400	515	1325	0.40:1:1.288:3.313
			30~50	28	170	425	505	1300	0.40:1:1.188:3.059
			50~70	28	180	450	496	1274	0.40:1:1.102:2.831
	425	0.49	10~30	31	160	327	593	1320	0.49:1:1.813:4.037
			30~50	31	170	347	584	1299	0.49:1:1.683:3.744
			50~70	31	180	367	574	1279	0.49:1:1.564:3.485
40	325	0.40	10~30	27	150	375	506	1369	0.40:1:1.349:3.651
			30~50	27	160	400	497	1343	0.40:1:1.243:3.358
			50~70	27	170	425	487	1318	0.40:1:1.146:3.101
	425	0.49	10~30	30	150	306	583	1361	0.49:1:1.905:4.448
			30~50	30	160	327	574	1339	0.49:1:1.755:4.095
			50~70	30	170	347	565	1318	0.49:1:1.628:3.798

表 1-46 C30 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 38.2 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{ce} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
					水	水 泥	砂	石 子	
10	425	0.44	10 ~ 30	31	190	432	551	1227	0.44 : 1 : 1.275 : 2.840
			30 ~ 50	31	200	455	541	1204	0.44 : 1 : 1.189 : 2.646
			50 ~ 70	31	210	477	531	1182	0.44 : 1 : 1.113 : 2.478
	525	0.51	10 ~ 30	33	190	373	606	1231	0.51 : 1 : 1.625 : 3.300
			30 ~ 50	33	200	392	597	1211	0.51 : 1 : 1.523 : 3.089
			50 ~ 70	33	210	412	587	1191	0.51 : 1 : 1.425 : 2.891
20	425	0.44	10 ~ 30	30	170	386	553	1291	0.44 : 1 : 1.433 : 3.345
			30 ~ 50	30	180	409	543	1268	0.44 : 1 : 1.328 : 3.100
			50 ~ 70	30	190	432	533	1245	0.44 : 1 : 1.234 : 2.882
	525	0.51	10 ~ 30	32	170	333	607	1290	0.51 : 1 : 1.823 : 3.874
			30 ~ 50	32	180	353	597	1270	0.51 : 1 : 1.691 : 3.598
			50 ~ 70	32	190	373	588	1249	0.51 : 1 : 1.576 : 3.349
31.5	425	0.44	10 ~ 30	29	160	364	544	1332	0.44 : 1 : 1.495 : 3.659
			30 ~ 50	29	170	386	535	1309	0.44 : 1 : 1.386 : 3.391
			50 ~ 70	29	180	409	525	1286	0.44 : 1 : 1.284 : 3.144
	525	0.51	10 ~ 30	31	160	314	597	1329	0.51 : 1 : 1.901 : 4.232
			30 ~ 50	31	170	333	588	1309	0.51 : 1 : 1.766 : 3.931
			50 ~ 70	31	180	353	579	1288	0.51 : 1 : 1.640 : 3.649
40	425	0.44	10 ~ 30	29	150	341	554	1355	0.44 : 1 : 1.625 : 3.974
			30 ~ 50	29	160	364	544	1332	0.44 : 1 : 1.495 : 3.659
			50 ~ 70	29	170	386	535	1309	0.44 : 1 : 1.386 : 3.391
	525	0.51	10 ~ 30	31	150	294	606	1350	0.51 : 1 : 2.061 : 4.592
			30 ~ 50	31	160	314	597	1329	0.51 : 1 : 1.901 : 4.232
			50 ~ 70	31	170	333	588	1309	0.51 : 1 : 1.766 : 3.931

表 1-47 C35 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5 \text{ MPa}$ 水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 43.2 \text{ MPa}$ 每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2400 \text{ kg}$

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
10	425	0.40	10~30	29	190	475	503	1232	0.40:1:1.059:2.594
			30~50	29	200	500	493	1207	0.40:1:0.986:2.414
			50~70	29	210	525	483	1182	0.40:1:0.920:2.251
	525	0.47	10~30	32	190	404	578	1228	0.47:1:1.431:3.040
			30~50	32	200	426	568	1206	0.47:1:1.333:2.831
			50~70	32	210	447	558	1185	0.47:1:1.248:2.651
20	425	0.40	10~30	28	170	425	505	1300	0.40:1:1.188:3.059
			30~50	28	180	450	496	1274	0.40:1:1.102:2.831
			50~70	28	190	475	486	1249	0.40:1:1.023:2.629
	525	0.47	10~30	31	170	362	579	1289	0.47:1:1.599:3.561
			30~50	31	180	383	569	1268	0.47:1:1.486:3.311
			50~70	31	190	404	560	1246	0.47:1:1.386:3.084
31.5	425	0.40	10~30	27	160	400	497	1343	0.40:1:1.243:3.358
			30~50	27	170	425	487	1318	0.40:1:1.146:3.101
			50~70	27	180	450	478	1292	0.40:1:1.062:2.871
	525	0.47	10~30	30	160	340	570	1330	0.47:1:1.676:3.912
			30~50	30	170	362	560	1308	0.47:1:1.546:3.613
			50~70	30	180	383	551	1286	0.47:1:1.439:3.358
40	425	0.40	10~30	27	150	375	506	1369	0.40:1:1.349:3.651
			30~50	27	160	400	497	1343	0.40:1:1.243:3.358
			50~70	27	170	425	487	1318	0.40:1:1.146:3.101
	525	0.47	10~30	30	150	319	579	1352	0.47:1:1.815:4.238
			30~50	30	160	340	570	1330	0.47:1:1.676:3.912
			50~70	30	170	362	560	1308	0.47:1:1.547:3.613

表 1-48 C40 级卵石混凝土配合比参考表

强度标准差 $\sigma = 5$ MPa水泥强度富余系数 $\gamma_c = 1.08$ 配制强度 $f_{cu,0} = 48.2$ MPa每立方米混凝土假定总量 $m_{cp} = 2450$ kg

粗骨料 最大粒 径 (mm)	水 泥 标 号	水 灰 比	坍落度 (mm)	砂 率 (%)	每立方米用料量(kg)				配 合 比 $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}$
					水	水 泥	砂	石 子	
10	425	0.37	10 ~ 30	28	190	514	489	1257	0.37:1:0.951:2.446
			30 ~ 50	28	200	541	479	1230	0.37:1:0.884:2.274
			50 ~ 70	28	210	568	468	1204	0.37:1:0.824:2.120
	525	0.43	10 ~ 30	30	190	442	545	1273	0.43:1:1.233:2.880
			30 ~ 50	30	200	465	536	1249	0.43:1:1.153:2.686
			50 ~ 70	30	210	488	526	1226	0.43:1:1.078:2.512
20	425	0.37	10 ~ 30	28	170	459	510	1311	0.37:1:1.111:2.856
			30 ~ 50	28	180	486	500	1284	0.37:1:1.029:2.642
			50 ~ 70	28	190	514	489	1257	0.37:1:0.951:2.446
	525	0.43	10 ~ 30	29	170	395	547	1338	0.43:1:1.385:3.387
			30 ~ 50	29	180	419	537	1314	0.43:1:1.282:3.136
			50 ~ 70	29	190	442	527	1291	0.43:1:1.192:2.921
31.5	425	0.37	10 ~ 30	27	160	432	502	1356	0.37:1:1.162:3.139
			30 ~ 50	27	170	459	492	1329	0.37:1:1.072:2.895
			50 ~ 70	27	180	486	482	1302	0.37:1:0.992:2.679
	525	0.43	10 ~ 30	28	160	372	537	1381	0.43:1:1.444:3.712
			30 ~ 50	28	170	395	528	1357	0.43:1:1.337:3.435
			50 ~ 70	28	180	419	518	1333	0.43:1:1.236:3.181
40	425	0.37	10 ~ 30	27	150	405	512	1383	0.37:1:1.264:3.415
			30 ~ 50	27	160	432	502	1356	0.37:1:1.162:3.139
			50 ~ 70	27	170	459	492	1329	0.37:1:1.072:2.895
	525	0.43	10 ~ 30	28	150	349	546	1405	0.43:1:1.564:4.026
			30 ~ 50	28	160	372	537	1381	0.43:1:1.444:3.712
			50 ~ 70	28	170	395	528	1357	0.43:1:1.370:3.435

2 特种混凝土配合比设计

2.1 掺外加剂混凝土

混凝土掺用外加剂，是水泥混凝土发展史上继钢筋、水灰比理论和预应力技术之后的第四次飞跃。外加剂的出现，使混凝土的应用更广泛，凡是有建设工程就有混凝土的使用。

外加剂牌号虽多，用途虽广，但从配合比设计方法来划分，只分为减水性外加剂和非减水性外加剂。减水性外加剂，如减水剂、某某减水剂等；非减水性外加剂或称专用性外加剂，如早强剂、引气剂、防锈剂等等。

如掺用减水性外加剂，配合比设计时应从基准混凝土配合比的用水量按其减水率减除一部分用水量，其所减除的水量则补充回砂、石的用量。本章将作具体介绍。使用非减水性外加剂时，可以不调整基准混凝土配合比，通常按实验法确定外加剂的用量。因用量极少，原有配合比不必调整。

2.1.1 外加剂的选用

各种外加剂名称、主要功能及组成材料如表 2-1。

表 2-1 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
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)

续表 2-1

外加剂 类型	主 要 功 能	材 料
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）
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）

各种混凝土工程对外加剂的选择如表 2-2。

表 2-2 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

续表 2-2

序号	工程 项 目	选 用 目 的	选 用 剂 型
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 EDN-P、UNF-5
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	灌注柱基础	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

有些外加剂含氯、硫和其他杂质，对混凝土的耐久性有影响，应限制使用。其限制规定如表 2-3。

表 2-3 氯盐、硫酸盐制剂等在混凝土工程中的限制

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）不得超过水泥用量的 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

2.1.2 掺用减水性外加剂配合比的设计方法

混凝土掺用减水性外加剂配合比的设计方法可分两步：第一步是根据工程要求，按照 1.2 ~ 1.5 节普通混凝土配合比设计方法，设计一个基准配合比。第二步是根据掺减水剂的目的，按照下列几种方法的一种进行设计。

2.1.2.1 提高强度的设计方法

- 1) 维持基准混凝土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(1-1)，得出新的配制强度($f_{cu,0}$)；
- 3) 以新的 $f_{cu,0}$ 代入式(1-5)或式(1-6)得出新的水灰比；
- 4) 按新的水灰比与基准混凝土的水泥用量算出新用水量；新、旧用水量对比，得出减水率；
- 5) 按减水率的要求寻找合适的减水剂，并确定掺用量；
- 6) 按式(1-9)或式(1-17)计算骨料用量，按原程序计算得出新配合比；
- 7) 用新的配合比按 1.5 节规定进行试配、调整，直至符合要求。

(如此种牌号减水剂不理想，可另换牌号再作试验)。

例 1 混凝土基准配合比如表 1-19。原设计强度为 C25 级，强度标准差 $\sigma = 3.6$ MPa。现要求将设计强度提高为 C30 级，不拟增加水泥用量，改掺用减水剂，请设计减水剂的掺量及新的配合比。

已知资料：①原基准混凝土配合比 = 185:356:632:1227；
②四种基本材料质量规格不变，其中 $f_{ce} = 46$ MPa, $\beta_s = 34\%$ 。

解

(1) 求新 $f_{cu,cc}$ 按式 (1-1):

$$f_{cu,0} = 30 + 1.645 \times 3.6 = 35.922 \text{ MPa}$$

(2) 求新 $\frac{W}{C}$ 。按式 (1-5):

$$\frac{W}{C} = \frac{0.48 \times 46}{35.922 + 0.2496 \times 46} = 0.466$$

(3) 求每立方米混凝土上新用水量。

$$\begin{aligned} m_{w,0} &= \frac{W}{C} \cdot m_{c,0} \\ &= 0.466 \times 356 = 166 \text{ kg} \end{aligned}$$

(4) 求减水率。

$$\text{减水率} = 1 - \frac{166}{185} = 10.3 \%$$

(5) 选减水剂。

从资料中查得, 减水率达 10 % 的有很多, 按就地取材原则, 暂定选用 FDN, 掺量为水泥用量的 0.35 % ~ 0.40 %, 减水率为 11 %。

(6) 每立方米混凝土骨料总用量。按式 (1-9):

$$\begin{aligned} m_{g,0} + m_{s,0} &= 2400 - 356 - 166 \\ &= 1878 \text{ kg} \end{aligned}$$

(7) 每立方米混凝土砂、石用量。按式 (1-11) 及 (1-12):

$$\begin{aligned} m_{s,0} &= 0.34 \times 1878 = 639 \text{ kg} \\ m_{g,0} &= 1878 - 639 = 1239 \text{ kg} \end{aligned}$$

(8) 每立方米混凝土 FDN 用量 ($m_{a,0}$):

$$m_{a,0} = 356 \times 0.35 \sim 0.40 \% = 1.246 \sim 1.424 \text{ kg}$$

此值在试配时调整至符合要求

(9) 新的配合比:

$$m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}:m_{a0}=166:356:639:1239:1.246\sim 1.424$$
$$=0.466:1:1.795:3.48:0.35\sim 0.40$$

2.1.2.2 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 (2-1) 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:

$$m_{wa} = m_{w0}(1 - \beta) \quad (2-1)$$

式中 m_{wa} ——掺外加剂混凝土每立方米混凝土中的用水量, kg;

β ——外加剂的减水率, %。

外加剂的减水率 β , 应经试验确定。

3) 将新的用水量代入式 (1-7), 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 (1-9) 计算骨料总用量, 用式 (1-11) 及式 (1-12) 计算砂、石用量;

5) 用新的配合比按 1.5 节规定进行试配、调整。

例 2 混凝土配合比原设计如表 1-19, 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

已知资料如下:

原配合比 = 185:356:632:1227;

水灰比为 0.52;

砂率为 34 %。

计算如下：

(1) 按式 (2-1) 计算每立方米混凝土新用水量：

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

(2) 按式 (1-7) 计算每立方米混凝土新水泥用量：

$$m_{ca} = \frac{157}{0.52} = 302 \text{ kg}$$

(3) 按式 (1-9) 计算每立方米混凝土新砂、石总量：

$$(m_{sa} + m_{ga}) = 2400 - 157 - 302 = 1941 \text{ kg}$$

(4) 按原砂率计算每立方米混凝土砂用量及石子用量：

$$m_{sa} = 1941 \times 0.34 = 660 \text{ kg}$$

$$m_{ga} = 1941 - 660 = 1281 \text{ kg}$$

(5) 每立方米混凝土减水剂用量：

$$m_{a0} = 302 \times 0.5 \% = 1.51 \text{ kg}$$

此值在试配时调整至符合要求。

(6) 新配合比：

$$\begin{aligned} m_{wa} : m_{ca} : m_{sa} : m_{ga} : m_{a0} &= 157 : 302 : 660 : 1281 : 1.51 \\ &= 0.52 : 1 : 2.185 : 4.242 : 0.005 \end{aligned}$$

2.1.2.3 增加混凝土坍落度的设计方法

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。可以在不改变原配合比的原则下，只掺用减水剂，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。

2.1.2.4 同时要求有两种效果的设计方法

1) 提高强度又节约水泥的方法，可参照 2.1.2.1 和 2.1.2.2 的方法结合使用；

2) 提高强度又提高坍落度的方法，可参照 2.1.2.1 和 2.1.2.3 的方法结合使用；

3) 提高坍落度又节约水泥的方法，可参照 2.1.2.2 和 2.1.2.3 的方法结合使用。

主要之点，一定要通过试配、调整才能将新配合比定下来。这就是常说的“实验法配合比”。

2.1.3 掺用其他外加剂配合比的设计方法

2.1.3.1 掺用非减水性外加剂

掺用非减水性外加剂混凝土配合比设计，通常采用实验法。即首先按 1.2 ~ 1.5 节普通混凝土的设计方法，得出所需要的混凝土基准配合比，然后按所掺外加剂的性能，提出掺用率，即可进入实验工作。

在实验工作中大致有四种情况：

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（四种基本材料规格及用量均不变动）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 1.5 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 1.5 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掺量。经两次试配均能达标, 即可肯定该配合比。

2.1.3.2 掺用其他外加剂的注意事项

1) 引气剂

①含气量宜控制在 3 % ~ 5 %; 粗骨料粒径小的取上限, 粗骨料粒径大的取下限。

②可以与早强剂、缓凝剂、防冻剂等复合使用。为避免混合制剂产生絮凝现象, 可分别配成溶液, 分别掺入搅拌。

2) 缓凝剂

①糖类缓凝剂不宜与用硬石膏或工业废石膏作调凝剂的水泥配伍。如使用时, 应先作水泥适应性试验。

②常用量如表 2-4。

表 2-4 缓凝剂的常用掺量

序号	缓凝剂种类	掺量 (水泥用量的百分数)
1	糖 类	0.1 ~ 0.3
2	木质素磺酸盐类	0.2 ~ 0.3
3	羟基酸及其盐类	0.03 ~ 0.1
4	锌盐、硼酸盐、磷酸盐	0.1 ~ 0.2

注: 序号 3 系指柠檬酸、酒石酸钾钠等。

3) 膨胀剂

①使用膨胀剂的混凝土通常有三种类型:

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、基础后浇缝等。

填充用膨胀混凝土: 如机械设备底座, 地脚螺栓锚固, 梁柱安装接头的浇注, 防水堵漏。

自应力混凝土：制作自应力混凝土水管。

②每立方米掺用膨胀剂的混凝土的水泥用量应大于 300 kg，其标号应大于或等于 425 号。掺用量可在水泥用量中等量代换。

③配伍水泥以硅酸盐水泥或普硅水泥较好，其他水泥应通过试验确定。

④膨胀剂的掺量如表 2-5。

表 2-5 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	每立方米 水泥用量 (kg)	膨 胀 剂 名 称	掺 量 (水泥用量的 百分数)
补偿收缩混凝土	≥ 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。

2.2 掺粉煤灰混凝土

粉煤灰混凝土水化热低、和易性好、致密性高并能抵抗一定程度的化学侵蚀，已逐渐成为建筑工程中一种经常使用的混凝土。

掺粉煤灰混凝土常用于泵送混凝土、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、蒸养混凝土、碾压混凝土以及高强混凝土和高性能混凝土。如与各类外加剂配合使用，更能提高其性能。

掺粉煤灰混凝土已作为节约水泥的一项主要措施。

掺粉煤灰混凝土，因和易性好，易于成型，也易于抹面，外观质量好，亦为施工单位所欢迎。

2.2.1 粉煤灰的质量要求和使用范围

粉煤灰的质量指标及其使用范围如表 2-6。

2.2.2 粉煤灰用量的规定

掺用粉煤灰的粉煤灰等级，应按工程项目参照表 2-6 选用。

掺用粉煤灰混凝土配合比的设计，是以该工程的水泥基准混凝土配合比为基础。按等强度、等稠度的原则进行取代。当基准混凝土超强较大或配制大体积混凝土时，可采用等量取代法，其取代最大限量如表 2-7。当主要为改善混凝土稠度时，可采用外加法。如采用超量取代时，其超量系数应不大于表 2-8。除上述规定外，根据经验，每立方米混凝土

土掺入粉煤灰的总量，不宜大于 80 kg。

[7] 表 2-6 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 6m 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 μm 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。

[7] 表 2-7 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	30	25	20	15
高强度混凝土				
高抗冻融性混凝土				
蒸养混凝土				

续表 2-7

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
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

[7] 表 2-8 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	

2.2.3 等量取代法的设计程序

- 1) 按体积法设计水泥基准混凝土配合比。
- 2) 粉煤灰用量按下式计算:

$$m'_{f0} = m_{c0} \cdot \beta_c \quad (2-2)$$

式中 m'_{f0} ——等量取代法的粉煤灰用量;
 β_c ——等量取代水泥率, 见表 2-7。

- 3) 水泥用量按下式计算:

$$m_{cf} = m_{c0} - m'_{f0} \quad (2-3)$$

式中 m_{cf} ——掺粉煤灰混凝土的水泥用量。

4) 粉煤灰混凝土的灰浆体体积,按下式计算:

$$V_p = \frac{m_{cf}}{\rho_c} + \frac{m'_{f0}}{\rho_f} + m_{w0} \quad (2-4)$$

式中 V_p ——粉煤灰混凝土灰浆体体积, m^3 ;

ρ_f ——粉煤灰的密度, kg/m^3 。

5) 砂、石子的总体积按下式计算:

$$(V_{sf} + V_{gf}) = 1 - 0.1 \alpha - V_p \quad (2-5)$$

6) 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。

7) 将体积法配合比转换为重量比。

例 3 以表 1-20 体积法的配合比为基准配合比,粉煤灰等量取代率为 15%,测得粉煤灰密度 $\rho_f = 2200$ 。请计算其配合比。 ρ_c 、 ρ_s 、 ρ_g 同 1.4.6 综合例题。

解 按等量取代法的设计程序,用表格式计算,列如表 2-9。

表 2-9 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 (每立方米含量)	
				用量 (kg)	体积 (m^3)
1	体积法:基准混凝土配合比	m_{w0}	表 1-20	185	0.185
		m_{c0}	表 1-20	356	
		m_{s0}	表 1-20	622	
		m_{g0}	表 1-20	1216	
2	粉煤灰取代量(15%)	m'_{f0}	$= m_{c0} \cdot \beta_c$	53	0.0241

续表 2-9

序号	项 目	符号	计算式或表号	计算结果 (每立方米含量)	
				用量 (kg)	体积 (m ³)
3	水泥实际用量	m_{cf}	$= m_{c0} - m'_{f0}$	303	0.09774
4	粉煤灰等浆体体积	V_p	$= \frac{m_{cf}}{\rho_c} + \frac{m'_{f0}}{\rho_f} + m_{w0}$		0.307
5	砂石子的总体积	$V_d + V_g$	$= 1000 - V_p - 10 \alpha$		0.683
6	砂的用量(砂率 34 %)	V_{sf}	$= (V_d + V_g) \cdot \beta_s$	615	0.232
7	石子的用量	V_{gf}	$= (V_d + V_g) - V_{sf}$	1204	0.451
8	配合比	$m_{w0} : m_{cf} : m'_{f0} : m_{sf} : m_{gf}$ $= 185 : 303 : 53 : 615 : 1204$ $= 0.52 : (1) : 1.728 : 3.382$			

注：体积与质量的转换，参阅式 (1-16)。

2.2.4 超量取代法的设计程序

- 1) 以等量取代法配合比设计的参数为基础；
- 2) 按表 2-8 选用超量系数 δ_c ；
- 3) 等量及超量取代的粉煤灰总量 m_{f0} ，按下式计算：

$$m_{f0} = m_{c0} \cdot \beta_c \cdot \delta_c \quad (2-6)$$

- 4) 粉煤灰超量部分 f_e ，按下式计算：

$$f_e = m_{f0} - m'_{f0} \quad (2-7)$$

- 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：

$$V'_{sf} = (V_{sf} + V_{gf}) \cdot \beta_s - \frac{f_e}{\rho_f} \quad (2-8)$$

6) 石子用量与等量取代法相同。

例 4 在表2-9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, 列如表 2-10。

表 2-10 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 (每立方米含量)	
				用量 (kg)	体积 (m ³)
1	等量取代法, 粉煤灰混凝土(表2-9 序号 8 配合比)	m_{w0}	表 2-9	185	0.185
		m_{cf}	表 2-9	303	0.09774
		m'_{f0}	表 2-9	53	0.0241
		m_{sf}	表 2-9	615	0.232
		m_{gf}	表 2-9	1204	0.451
2	超量取代粉煤灰的总量	m_{f0}	$= m_{c0} \cdot \beta_c \cdot \delta_c$	75	0.0341
3	粉煤灰的超用量	f_c	$= m_{f0} - m'_{f0}$	22	0.010
4	砂的实际用量	V_{sf}	$= (V_{sf} + V_{gf}) \times 0.34 - \frac{f_c}{\rho_f}$	589	0.2222
5	石子的用量	V_{gf}		1204	0.451
6	配合比		$m_{w0} : m_{cf} : m_{f0} : m_{sf} : m_{gf}$ $= 185 : 303 : 75 : 589 : 1204$ $= 0.49 : (1) : 1.558 : 3.185$		

2.3 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。

2.3.1 材料的选用

所用的材料除 1.3 节中已介绍外，要求如下：

- 1) 水泥应选用标号不低于 525 的硅酸盐水泥或普硅水泥；
- 2) 水泥的实际强度 f_{ce} 不宜低于 57 MPa；
- 3) 砂的级配应用良好的中砂，细度模数不宜小于 2.6；
- 4) 砂、石子的质量应符合附表 I、II 优等品的要求，石子中针片状颗粒含量不宜超过 5 %；
- 5) 石子的最大粒径不应大于 31.5 mm，C70 级以上强度的混凝土，不应大于 20 mm；
- 6) 石子品种建议选用级配良好的石灰岩、花岗岩、辉绿岩等的碎石或碎卵石；
- 7) 外加剂必须使用高效减水剂；
- 8) 如采用复合减水剂或其他外加剂时，应有检测中心的合格证明；
- 9) 掺合料宜采用细掺料，粉煤灰应选用 I 级，尽可能选用细度细、烧失量低的粉煤灰。

2.3.2 配料设计

按照普通混凝土配合比设计的基本原则和方法设计。

2.3.2.1 试配强度

可按下列公式设计：

1) 混凝土强度为 C60 时^[10];

$$f_{cu,0} \geq 1.15f_{cu,k} \quad (2-9)$$

2) 混凝土强度为 C70 或以上时^[10];

$$f_{cu,0} \geq 1.12f_{cu,k} \quad (2-10)$$

3) 冯乃谦提出^[14];

$$f_{cu,0} = \alpha [(f_{cu,k} + T) + (k_1 \cdot \sigma)] \quad (2-11)$$

式中 α ——未知因素系数, 拌制因素稳定时取 1, 通常不大于 1.1;

T ——温度修正系数, 温度低强度发展慢时加入, 气温高于 20℃ 时为 0;

k_1 ——不合格率, 通常为 2.5 ~ 3.5;

σ ——强度标准差。

2.3.2.2 材料用量

1) 水灰比

①设计强度愈高, 用水量应愈低; 强度 $\leq$ C60 时, 可按表 1-16 选用; 强度 $>$ C60 时, 可按经验选用。

②用水量可控制在水胶比为 0.24 ~ 0.38 (水胶比指水、水泥及细掺料的总量)。

2) 水泥及掺合料

①每立方米混凝土水泥用量不宜超过 550 kg;

②每立方米混凝土水泥与掺合料的总量不宜超过 600 kg;

③如掺用粉煤灰, 掺量不大于胶结料总量的 30 %;

④如掺用硅粉, 掺量不大于胶结料总量的 10 %。

3) 砂率

①一般施工工艺为 28 % ~ 34 %;

②泵送工艺为 32 % ~ 40 %。

4) 减水剂

为避免减水剂在贮运过程中或其他原因影响变质,减水剂的减水率应经试验后确定。

5) 设计程序

如采用式(2-9)或式(2-10)时,可按普通混凝土设计程序进行,需掺用减水剂或掺用粉煤灰时,请参考2.1~2.2节。

如采用式(2-11)时,请参阅以下例题。

2.3.3 例题

例5 请设计强度为C60、坍落度为180 mm的高强混凝土配合比。已知搅拌站生产水平的强度标准差 $\sigma = 3.5$ MPa;水泥用纯硅575标号;砂的密度为 2650 kg/m^3 ,级配及杂物含量均未超指标;石子为石灰岩碎石,级配为5~20 mm的连续级配,密度为 2700 kg/m^3 ,质量符合要求;掺合料用清华大学生产的增强剂;减水剂用NF;水为自来水。

解

(1) 配制强度 $f_{cu,0}$ 。

按式(2-11),其中, α 取1.0; T 取0; k_1 取2.5; σ 取3.5。则 $f_{cu,0} = 1 \times [(60 + 0) + (2.5 \times 3.5)] = 68.75 \text{ MPa}$

(2) 水胶比。

初步取0.32,如试配不合时,再调整。

(3) 胶结料。

每立方米混凝土水泥取450 kg,增强剂取50 kg。

(4) 每立方米混凝土用水量。

$$m_{w0} = (450 + 50) \times 0.32 = 160 \text{ kg}$$

(5) 每立方米混凝土砂、石总量。

设高强混凝土重量 = 2450 kg, 代入式(1-9), 则:

$$m_{s0} + m_{g0} = 2450 - 450 - 50 - 160 = 1790 \text{ kg}$$

(6) 每立方米混凝土石子用量。

设石子体积为混凝土体积的 42%, 即每立方米混凝土中含 0.42 m^3 。代入式 (1-20), 则

$$m_{g0} = 0.42 \times 2700 = 1134 \text{ kg}$$

(7) 砂用量。

$$m_{s0} = 1790 - 1134 = 656 \text{ kg}$$

$$\text{砂率} = \frac{656}{1790} = 0.3665$$

(8) NF 高效减水剂。

用实验法试配, 当 NF 掺量为胶结料的 1.4% 时, 取得坍落度为 170~180 mm。

$$(\text{NF})m_{a0} = m_{c0} \times 1.4\% = 500 \times 0.014 = 7 \text{ kg}$$

(9) 配合比。

配合比如表 2-11。

表 2-11

	水	水泥	增强剂	砂	石子	NF
每立方米混凝土用量 (kg)	160	450	50	656	1134	7
配合比率	0.32	1		1.312	2.268	0.014

说明: 此例题解法虽与普通混凝土配合比不同, 但其参数与参考文献 [10] 接近。如:

①配制强度用式 (2-9) 时, $f_{cu,0} = 69 \text{ MPa}$;

②胶结料用量、水胶比及砂率, 均在 2.3.2.2 范围内;

③减水剂通过试配决定掺量, 避免计算上的繁琐, 少走弯路。此法可行。

(10) 试配

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 m³混凝土试拌,用多次投料法搅拌,历时160 s,用150 mm³试模制作试件,标养7 d。28 d试验结果,平均强度为 $f_{cu,28} = 68.90$ MPa。结论:符合要求。

2.4 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。

2.4.1 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、普硅水泥或矿渣水泥。

2) 不宜选用火山灰水泥。

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%;通过0.160 mm筛孔的颗粒应不少于5%。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2-12。

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或减水剂。

表 2-12 泵送混凝土石子最大粒径与管道直径的比例

泵送高度 (m)	碎石 (不大于)	卵石 (不大于)
50 以下	1/3	1/2.5
50 ~ 100	1/4	1/3
100 以上	1/5	1/4

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 2-6 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。

2.4.2 配料设计

配料设计应按照普通混凝土配合比的基本原则和方法进行。如掺用外加剂、粉煤灰等, 可参照 2.1 及 2.2 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, 而是要适用。入泵时的坍落度应符合表 2-13 的规定。

[1] 表 2-13 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

- 3) 泵送混凝土在试配时的坍落度值, 应按下式计算:

$$T_t = T_p + \Delta T \quad (2-12)$$

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;

ΔT ——试验测得在预计时间内的坍落度经时损失值。

4) 泵送混凝土的水灰比不宜大于 0.6。过大在泵送时容易引起离析、硬化后容易引起混凝土收缩。

5) 泵送混凝土的水泥用量不宜小于每立方米混凝土 300 kg, 过小则含浆量不足, 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) 砂率可比常规增大 2 % ~ 5 %, 以增加混凝土的可泵性, 增加混凝土在管道中的应变能力。但也不宜随意增大。

2.4.3 例题

泵送混凝土配合比的设计计算方法除上述要求外, 其他均与普通混凝土、掺外加剂混凝土、掺粉煤灰混凝土相同。不另举例。建议在试配、调整阶段, 增加可泵性实验, 或在泵送过程中注意运行情况。

表 2-14 为我国较大工程泵送混凝土配合比资料的摘录, 供参考。

2.5 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。

2.5.1 轻骨料的材料

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 1.3 及 1.4 节。

表 2-14 泵送混凝土配合比实例

序号	工 程 名 称	泵送混凝土 高度 (m)	混凝土 强度 (MPa)	入泵 坍落度 (mm)	水 胶 比	砂 率 (%)	水		泥		粉煤灰		用水量 (kg)	用砂碎石 量 (kg)	减水剂	
							品 种	标 号	用 量 (kg)	等 级	用 量 (kg)	用 量 (kg)			品 牌	掺 量 (kg)
1	广东国际大厦顶层	200	C60	190	0.35	36	普硅	525	498	田东 I	75	198	590	1031	DP ₄₀₀	1.0
2	上海东方实业大厦	150	C60	140	0.37		普硅	725	440	II	50	181			南浦 II	
3	上海南浦大桥	154	C40	180	0.42		普硅	525	400	II	40	185			南浦 II	
4	上海电视塔基础(大体积)	水平	C40	120	0.41		普硅	525	360	II	70	176			南浦 II	
5	南京金陵饭店	30 层	C30	180	0.55	40	普硅	525	390	—	0	215	732	1100	木钙	1.95
6	联谊大厦	12 层	C30	160	0.47	38	矿硅	425	420	—	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	425	364	—	46	192	762	1061	木钙	0.78
8	上海宝钢设备基础	水平	263	120	0.548	43			369		0	202	786	1043	木钙	0.922
9	上海宝钢设备基础	水平	263	120	0.625	41			341	原状	60	210	733	1056	木钙	1.003
10	北京地铁西直门车站	水平	300	180	0.476	44			306	—	51	170	823	1050	木钙	0.765
11	北京地铁西直门车站	水平	200	180	0.53	41			280	—	62	180	778	1100	木钙	0.765

注:①序号 8~11,混凝土强度为旧标准的标号,即 kgf/cm^2 , $1\text{kgf/cm}^2 = 100\text{kPa}$;

②各成分用量均为每立方米混凝土中的用量。

轻骨料混凝土所用的轻骨料有三种来源：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 kg/m^3 的为轻细骨料；粒径大于 5 mm，堆积密度小于 1000 kg/m^3 的为轻粗骨料。

轻骨料的堆积密度如表 2-15。

[11] 表 2-15 轻骨料的密度等级

密 度 等 级		堆积密度范围 (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，可分为三类：

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、自燃煤矸石、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 2-16。

[11] 表 2-16 轻粗骨料的筒压强度及强度标号

密度等级	筒压强度 f_c (MPa)		强度标号 $f_{u,k}$ (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。

2.5.2 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 2-17。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。

[11] 表 2-17 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^3)	密度等级	干表观密度的变化范围 (kg/m^3)
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三大类。其强度等级、密度等级如表 2-18。

[11] 表 2-18 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

轻骨料混凝土按用料种类划分,如按粗骨料划分可分为三种:

- 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。

如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。

2.5.3 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(单位体积质量)。如有其他特殊要求,也要同时考虑。

配合比设计的程序和基本参数如下:

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

2) 选用水泥品种和标号。其参数与轻骨料混凝土强度有关,如表2-19。

[11] 表 2-19 轻骨料混凝土合理水泥品种和标号的选择

混凝土强度等级	水 泥 标 号	水 泥 品 种
CL5.0 CL7.5	275	火山灰质硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥 普通硅酸盐水泥
CL10 CL15 CL20	325	
CL20 CL25 CL30	425	

续表 2-19

混凝土强度等级	水泥标号	水泥品种
CL30 CL35 CL40 CL45 CL50	525 (或 625)	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 2-20。

[11] 表 2-20 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 425 号水泥时的水泥用量值; 横线以下为采用 525 号水泥时的水泥用量值; 采用 325 标号代替 425 标号或 425 标号代替 525 标号时, 其用量可乘以 1.15; 用 525 标号代替 425 标号或 625 标号代替 525 标号时, 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 2-21。

[11] 表 2-21 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°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 2-22。

6) 确定砂率。轻骨料混凝土的砂率应按体积砂率计算, 如表 2-23。

[11]

表 2-22 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)振捣棒或平板震捣器振实	—	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。

[11]

表 2-23 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。

7) 计算细、粗骨料用量。

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。

密实体积法的计算公式如下:

①砂的体积如式 (2-13), 砂的用量如式 (2-14)。

$$V_s = \left[1 - \left(\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_{wn}}{\rho_w} \right) \right] \times S_p \quad (2-13)$$

$$m_s = V_s \times \rho_s \times 1000 \quad (2-14)$$

②粗轻骨料的体积如式 (2-15), 粗轻骨料的用量如式 (2-16)。

$$V_a = \left[1 - \left(\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_{wn}}{\rho_w} + \frac{m_s}{\rho_s} \right) \right] \quad (2-15)$$

$$m_a = V_a \times \rho_{ap} \quad (2-16)$$

式中 V_s ——每立方米混凝土上的细骨料体积, 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;

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

ρ_w ——水的密度, 可取 $\rho_w = 1000$;

ρ_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, ρ_{sp} 单位为 g/cm^3 ;

ρ_{ap} ——轻粗骨料的颗粒表观密度, kg/m^3 。

松散体积法的计算程序如下:

前述六个程序与密实体积法相同, 不另列举。细、粗骨料的计算方法及程序如下:

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 2-24。

[11] 表 2-24 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^3) 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，如下式：

$$V_t = \left[1 - \left(\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_{wn}}{\rho_w} \right) \div 1000 \right] \times \text{总体积比率} \quad (2-17)$$

③细轻骨料的松散体积如式 (2-18)，细轻骨料的用量如式 (2-19)。

$$V_s = V_t \times S_p \quad (2-18)$$

$$m_s = V_s \times \rho_{is} \quad (2-19)$$

④粗轻骨料的松散体积如式 (2-20)，粗轻骨料的用量如式 (2-21)。

$$V_a = V_t - V_s \quad (2-20)$$

$$m_a = V_a \times \rho_{ia} \quad (2-21)$$

式中 V_s 、 V_a 、 V_t ——分别为细骨料、粗骨料和粗细骨料的松散体积， m^3 ；

m_s 、 m_a ——分别为细骨料和粗骨料的用量，kg；

S_p ——松散体积砂率，%；

ρ_{is} 、 ρ_{ia} ——分别为细骨料和粗骨料的堆积密度，
kg/m³。

8) 复查干表观密度 (ρ_{ed})。

干表观密度计算式如式 (2-22)，计算结果与表 2-17 对比，如误差大于 3 % 时，则应重新设计。

$$\rho_{ed} = 1.15m_c + m_a + m_s \quad (2-22)$$

9) 总用水量。

总用水量按式 (2-23) 计算：

$$m_{wt} = m_{wn} + m_{wa} \quad (2-23)$$

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。

10) 外加剂和粉煤灰的掺用。

外加剂的掺用，请参阅 2.1 节。

粉煤灰的掺用，请参阅 2.2 节。其中，粉煤灰取代水泥百分率如表 2-25，其骨料用量的调整，均与 2.2 节相同。

11) 试配、调整及确定配合比。

请参照 1.5 节程序及方法。

2.5.4 例题

例 6 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 kg/m³，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。

[11] 表 2-25 粉煤灰取代水泥百分率 (β_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 425 号水泥配制成的混凝土取表中下限值；以 525 号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 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 kg/m^3 ；

强度标准差 σ 无资料，查表 1-2， $\sigma = 5.0 \text{ MPa}$ 。

(2) 决定基本参数：

①配制强度按式 (1-1) 计算

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

②水泥品种及标号，查表 2-19，用标号 425 的普硅水泥，其密度为 3100 kg/m^3 ；

③水泥用量，查表 2-20，定为 330 kg/m^3 ；

④净用水量，查表 2-22，定为 185 kg/m^3 ；

复查水灰比, $185/330 = 0.56$, 没有超过表 2-21 的规定;

⑤砂率, 查表 2-23, 按表选用中间值 35 %;

(3) 计算, 按式 (2-13) 及 (2-14) 计算砂的体积及用量; 按式 (2-15) 及 (2-16) 计算陶粒的体积和用量:

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

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

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

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

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

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

(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 (2-22):

$$\rho_{cd} = 1.15 \times 330 + 644.8 - 575.6 = 1599.9 \text{ kg/m}^3$$

符合表 2-17 的要求。

2.5.5 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 2-26。

2.6 大体积混凝土

2.6.1 大体积混凝土的定义

大体积混凝土是指混凝土实体任何一向边长的最小尺寸

[11] 表 2-26 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 ³)	表观密度 (kg/m ³)	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	轻砂	< 900	1400 ~ 1600	CL10 ~ CL20
	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

等于或大于 1 m 的部位，称为大体积混凝土。在建筑上多用于高耸建筑物的基础底板、大型设备基础、大型柱及其基础、机场跑道等。

大体积混凝土配合比设计，在计算方面的方法，与普通混凝土完全相同。按照 1.1 ~ 1.6 节的介绍可进行设计。但由于大体积混凝土的特殊性，其选料、配料应有所不同。

本章内容只适用于建筑工程。大坝工程请按大坝的规定考虑。

2.6.2 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较大，水泥水化所释放的水化热散失较慢，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选料的规定如下：

- 1) 应选用水化热较低、凝结时间较长的水泥。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。

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。如掺用外加剂可按 2.1 节的介绍；如掺用粉煤灰可按 2.2 节的介绍。不另举例。

2.6.3 大体积混凝土配合比的热工计算

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。

1) 水泥水化热^[20]

水泥水化热绝热温升值的计算如式 (2-24)。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：

$$T_{(t)} = \frac{m_c Q}{c \cdot \rho} (1 - e^{-m}) \quad (2-24)$$

式中 $T_{(t)}$ ——浇完一段时间 t ，混凝土的绝热温升值，℃；
 m_c ——每立方米混凝土水泥用量，kg；
 Q ——每千克水泥水化热量，J，可查表 2-27 求得；
 c ——混凝土的比热，一般 0.92 ~ 1.00，取 0.96，J/(kg·K)；
 ρ ——混凝土密度；取 2400 kg/m³；
 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 ~ 0.4；
 t ——龄期，d。

表 2-27 每千克水泥水化热量 Q

品 种	水化热量 Q (J)				
	225 号	275 号	325 号	425 号	525 号
普通水泥	201	243	289	377	461
矿渣水泥	188	205	247	335	

例 7 用 425 号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:

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

(2) 混凝土 1 d、3 d、7 d 的水化热绝热温度:

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

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

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

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

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

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

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

2) 拌合物温度^[1]

混凝土上的原材料在投入搅拌前, 各有各的温度。通过搅拌便调合成一个温度, 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 (2-25)：

$$T_0 = [0.9(m_{ce}T_{ce} + m_{sa}T_{sa} + m_gT_g) + 4.2T_w \times (m_w - \omega_{sa}m_{sa} - \omega_gm_g) + c_1(\omega_{sa}m_{sa}T_{sa} + \omega_gm_gT_g) - c_2(\omega_{sa}m_{sa} + \omega_gm_g)] \div [4.2m_w + 0.9 \times (m_{ce} + m_{sa} + m_g)] \quad (2-25)$$

式中 T_0 ——混凝土拌合物的温度,℃；

m_w 、 m_{ce} 、 m_{sa} 、 m_g ——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,℃；

ω_{sa} 、 ω_g ——砂、石的含水率, %；

c_1 、 c_2 ——水的比热容 kJ/(kg·K) 及溶解热 kJ/kg。

当骨料温度 > 0℃ 时, $c_1 = 4.2$, $c_2 = 0$ ；

≤ 0℃ 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℃；《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℃。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 8。

例 8 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 425 标号矿渣水泥 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℃,要求拌合物温度小于 20℃。经采取降温措施后,荫棚内砂、石温度为 20℃,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℃,水泥在库温度为

27℃。请计算拌合物的温度。

解 按式 (2-25) 计算。为简化计算, 四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:

$$\begin{aligned}m_{ce} &= 1; & T_{ce} &= 27; \\m_{sa} &= 2.556; & T_{sa} &= 20; \\m_g &= 4.542; & T_g &= 20; \\T_w &= 15; & m_w &= 0.63; \\\omega_{sa} &= 0.02; & \omega_g &= 0.01; \\c_2 &= 0; & c_1 &= 4.2\end{aligned}$$

代入式 (2-25) 运算:

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

计算结果, 拌合物温度为 19.5℃, 符合要求。

2.7 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：

一是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；

二是抗渗混凝土要考虑砂浆体积应稍有富余，即其体积应稍大于石子的空隙率，设计时要考虑灰砂比指标。

2.7.1 选料

1) 水泥

①水泥品种按表 1-6，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；

③水泥标号不宜低于 425 号。目前低标号水泥成分复杂，质量较差，不宜使用。

2) 骨料

①砂、石的质量应符合附表 I、II 的一等品的要求，抗渗等级较高的要符合优等品的要求；

②砂用中砂或中粗砂；

③粗骨料粒径不宜大于 40 mm，用于喷射混凝土的应按喷射设备考虑，一般不宜大于 16 mm。

3) 掺合料

为填充混凝土中的微细孔隙，普通抗渗混凝土可掺入细掺料。如磨细粉煤灰、磨细砂，其细度应 100 % 通过

0.15 mm筛孔。

2.7.2 基本参数

普通抗渗混凝土配合比设计方法、步骤，计算均与普通混凝土配合比相同。但其参数要求有所不同：

1) 每立方米混凝土最小水泥用量不宜少于 320 kg (包括细掺料)；

2) 砂率不宜过小，一般为 35 % ~ 40 %，表 2-28 可供参考；

表 2-28 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 %

3) 应考虑灰砂比，一般要求为 1:2 ~ 1:2.5；对于高强抗渗混凝土，水泥用量较多时，可少于 1:2；

4) 抗渗混凝土的最大水灰比，应符合表 2-29 的要求；

5) 掺用引气剂时，抗渗混凝土的含气量宜控制在 3 % ~ 5 %。

[1]

表 2-29 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
P 6	0.60	0.55
P 8 ~ P12	0.55	0.50
> P12	0.50	0.45

2.7.3 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,《JGJ/T55—96 普通混凝土配合比设计规程》的规定如下:

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:

$$P_t \geq \frac{P}{10} + 0.2 \quad (2-26)$$

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。

注:标准《GBJ 82—85 普通混凝土长期性能和耐久性能

试验方法》抗渗标号 S 的计算式如下：

$$S = 10H - 1 \quad (2-27)$$

式中 S ——抗渗标号；

H ——6 个试件中 3 个渗水时的水压力，MPa。

6) 如抗渗混凝土掺有引气剂时，还应进行含气量试验，应符合上述“基本参数”第 5 点的要求。

2.7.4 普通抗渗混凝土配合比设计例题

例 9 某厂地下室车间，地下室壁厚 0.5 m，埋置深度为 9.5 m，抗渗等级要求为 P12，抗压强度为 C20，坍落度要求为 30 ~ 50 mm。已掌握资料有：水泥为 425 标号普硅水泥；实际强度为 42.5 MPa；密度 $\rho_c = 3100 \text{ kg/m}^3$ ；砂的平均粒径 $d_s = 0.45 \text{ mm}$ ；密度 $\rho_s = 2600 \text{ kg/m}^3$ ；碎石级配为 5 ~ 31.5 mm；密度 $\rho_g = 2.7$ 。试设计混凝土的配合比。

解

(1) 配制强度按式 (1-1) 及表 1-2 计算：

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

(2) 水灰比按式 (1-5) 计算：

$$\frac{W}{C} = \frac{0.48 \times 42.5}{28.225 + 0.2496 \times 42.5} = 0.525$$

此水灰比小于表 2-29 的规定，可用。

(3) 查表 1-16，碎石最大粒径 31.5 mm（按 20 ~ 40 的平均值），坍落度为 30 ~ 50 mm 时，每立方米混凝土用水量应为 185 kg。

(4) 每立方米混凝土水泥用量按式 (1-7) 计算：

$$m_{c,0} = \frac{185}{0.525} = 352 \text{ kg}$$

符合水泥用量不少于 320 kg 的要求。

(5) 砂率, 按照表 2-28 的提示, 砂子平均粒径为 0.45 mm 时, 选用 38 %。

(6) 每立方米混凝土砂、石用量按体积法计算, 不考虑采用引气剂, 式 (1-15) 的 $\alpha \approx 0$, 按式 (1-17) 计算砂石总量, 则:

$$V_g + V_s = 1 - \frac{352}{3100} - \frac{185}{1000} = 0.7014 \text{ m}^3$$

(7) 砂用量按式 (1-18)、(1-20) 计算:

$$\begin{aligned} V_s &= 0.7014 \times 0.38 \\ &= 0.26655 \text{ m}^3 \\ m_{s0} &= 0.26655 \times 2600 \\ &= 693 \text{ kg} \end{aligned}$$

(8) 碎石用量按式 (1-19)、(1-20) 计算:

$$\begin{aligned} V_g &= 0.7014 - 0.26655 \\ &= 0.4349 \text{ m}^3 \\ m_{g0} &= 0.4349 \times 2700 \\ &= 1174 \text{ kg} \end{aligned}$$

(9) 初步配合比

$$\begin{aligned} m_{w0} : m_{c0} : m_{s0} : m_{g0} &= 185 : 352 : 693 : 1174 \\ &= 0.525 : 1 : 1.968 : 3.335 \end{aligned}$$

复核灰砂比, 接近 1:2, 可行。

(10) 试配及调整

按 1.5 节进行, 并送检测部门进行抗渗等级测试。

2.7.5 其他抗渗混凝土

其他抗渗混凝土通常使用减水剂、粉煤灰或膨胀剂等。

其配合比设计请参阅 2.1 及 2.2 节。其应用实例请参阅表 2-30。表中抗渗等级的计算方法, 请参阅式 (2-27)。

表 2-30 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	—

2.8 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。

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质量损失不超过 5%; ②强度损失不超过 25%。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 次及以上的，便应按抗冻混凝土上考虑配合比的设计。

抗冻混凝土配合比设计的方法和步骤，与普通混凝土相同，可以掺用外加剂，但在选料方面有不同的要求。

2.8.1 选料要点

1) 水泥

优先选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。不得使用火山灰水泥，因其需水性较大，不利于抗冻。

2) 骨料

①粗细骨料的质量等级应符合附录 I、II 一等品的要求，F100 级及以上的宜选用优等品；

②F100 级以上的所用粗、细骨料均应进行坚固性试验。严禁使用风化骨料。

3) 外加剂

①抗冻混凝土宜加入减水剂以减少用水量；

②F100 级及以上的应掺用引气剂。掺用后混凝土的含气量应符合表 2-31 的要求，但不宜超过 7 %。

[1] 表 2-31 长期处于潮湿和严寒环境中混凝土的最小含气量

粗骨料最大粒径 (mm)	最小含气量值 (%)
31.5 及以上	4
16	5
10	6

注：含气量的百分比为体积比。

2.8.2 配合比设计要点

1) 配制强度、水灰比均按普通混凝土的计算公式。但

最大水灰比应加以限制,应符合表 2-32 的要求。

[1] 表 2-32 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) 水、水泥用量、砂率及砂、石用量等的参数及计算,均按普通混凝土用表或公式取值或计算。

3) 可以按 2.1 节的介绍掺用外加剂。

4) 按 1.5 节进行试配、调整时,应增加抗冻融性能试验。其试件应以三个配合比中水灰比最大的混凝土制作。如能通过,水灰比较小的试件便可免试。

5) 抗冻融试验能达到抗冻等级便可,不必提高试验等级。

2.8.3 配合比实例

表 2-33 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 2-33 150 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

续表 2-33

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(%)
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。

2.9 钢纤维混凝土

2.9.1 简介

纤维混凝土有两种构造：一是使用短纤维，以少量纤维混入脆性基体中组成的复合建材；二是使用长纤维，按结构需要用配筋方式，多根或连续配筋（如玻璃纤维）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、钢筋钢纤维混凝土结构和预应力钢纤维混凝土结构。这里介绍的是将短钢纤维不连续地、均匀地、乱向地分散于混凝土中的复合基材。

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、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。CF20 表示抗压强度为 20 MPa 的钢纤维混凝土。钢纤维混凝土的最小强度为 CF20 级。

2.9.2 材料要求

1) 钢纤维混凝土如用于特殊用途混凝土（如高强、泵送、抗冻、抗渗等等），其所用的水泥、砂、石和外加材料应仍按特殊用途的规定选料；如无特殊要求时，可按普通混凝土选用。

2) 钢纤维的类型如表 2-34。

[12] 表 2-34 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

3) 钢纤维的规格及其使用范围如表 2-35。

2.9.3 配合比设计方法

钢纤维混凝土配合比设计应采用试验-计算法。可按下述步骤进行：

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

[12]

表 2-35 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。

2) 根据抗压强度按式 (1-5) 或 (1-6) 计算水灰比，宜控制在 0.45 ~ 0.50 之间；如有耐久性要求的，不得大于 0.50；

3) 按结构设计要求的抗拉强度或抗折强度，定出所需的钢纤维体积率；

4) 根据施工要求的稠度选用用水量；

5) 确定合理砂率；

6) 按重量法或体积法计算试配用的配合比；

7) 按 1.5 节的介绍进行稠度、强度试验，确定抗压强度的基准配合比；

8) 用基准配合比进行抗拉或抗折强度试验（或其他特殊试验），用调整钢纤维体积的实验法校正其强度，定出施工配合比。

2.9.4 材料选用及基本参数

1) 水泥

①一般选用硅酸盐水泥；

②水泥标号不宜低于 425;

③每立方米混凝土水泥用量宜在 360 ~ 400 kg 之间; 如钢纤维体积率较大, 可适当增加水泥用量, 但不应大于 500 kg。

2) 用水量

①如已有经验资料, 可按经验资料;

②如无经验资料, 可先按表 2-36 或表 2-37 试配, 以稠度符合要求制作试件。

表 2-36 及表 2-37 中符号:

ρ_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

①砂可选用中砂或中粗砂;

②不得使用海砂;

③砂率可比普通混凝土稍大, 可参考表 2-38 选用。

[12] 表 2-36 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 20 mm 时, 单位体积用水量相应减少 5 kg;

②粗骨料为卵石时, 单位体积用水量相应减少 10 kg;

③钢纤维体积率每增减 0.5 %, 单位体积用水量相应增减 8 kg。

[12] 表 2-37 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)
$l_f/d_f = 50$ $\rho_f = 0.5\%$ 坍落度 = 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坍落度变化范围为 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。

[12] 表 2-38 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 ρ_f 增减 0.5% W/C 增减 0.1 砂细度模数增减 0.1	± 5 ± 3 ± 2 ± 1	± 3 ± 3 ± 2 ± 1

4) 石子

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。

5) 钢纤维

①钢纤维按其占混凝土体积的百分率计算,可参照表 2-39 选用。亦不应小于 0.5 %。

②钢纤维体积转换为质量时,按密度为 7.854 换算。

[12] 表 2-39 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 m^3 钢纤维混凝土中钢纤维所占体积百分数

6) 外加剂

①宜选用优质减水剂,用于喷射钢纤维混凝土则选用速凝剂;

②对抗冻有要求的钢纤维混凝土宜选用引气型减水剂;

③不得使用含氯盐的外加剂。

7) 掺合料

采用纯硅水泥拌制的钢纤维混凝土,可以掺用粉煤灰。其质量及掺量应经试验后确定。

2.9.5 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 2-40。

表 2-40 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	浙江省百丈瀑水电厂引水隧洞	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
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。

2.10 无砂大孔混凝土

2.10.1 简介

无砂大孔混凝土是一种值得推广的轻质墙体混凝土。

无砂大孔混凝土是只用水泥、水和粗骨料胶结而成的混凝土。粗骨料可以用石子，也可以用轻骨料。由于水泥不需包裹砂子而只包裹粗骨料，用量极少，只等于普通混凝土的一半左右，因而造价也低。由于质轻，隔热性能也很好。

无砂大孔混凝土于 100 多年前已出现，现流行于欧洲和南非。我国贵州、四川、广西、陕西和上海等地已有推广，同济大学已用这种混凝土建成一幢 13 层的宿舍，中国建筑工程公司四局正式制订了《无砂大孔混凝土设计施工暂行规定》。在四川还用作地坪材料，解决了地面防潮问题。预计将成为一种有发展前途的混凝土品种。

无砂大孔混凝土的分类如表 2-41。但通常选用的强度为 C5 及 C7.5 两级。

表 2-41 无砂大孔混凝土的分类

类 别	骨料品种	堆密度 (kg/m^3)	抗压强度 f_{c28} (MPa)	适用范围
普通无砂大孔混凝土	碎石、卵石	1500 ~ 1900	3.5 ~ 10.0	可作预制墙板,也可作多层、高层住宅建筑的承重墙体
轻骨料无砂大孔混凝土	陶粒、浮石、碎砖块、烧结料等	500 ~ 1500	3.0 ~ 7.5	可作现浇或预制墙体(砌块或墙板)

2.10.2 对材料的要求

1) 水泥

①由于粗骨料的界面是靠水泥胶结，水泥活性就决定了混凝土的强度。通常采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。水泥标号与混凝土强度的关系如表 2-42。

表 2-42 水泥与混凝土强度关系

大孔混凝土强度等级	水泥标号
< C5.0	325 ~ 425
C5.0 ~ C7.5	425 ~ 525
> C7.5	525

②每立方米混凝土的水泥用量通常在 100 ~ 250 kg 之间，粗骨料用量大则水泥用量少。

2) 粗骨料

①粗骨料品种较广泛，各地可因地制宜。碎石、卵石、浮石、各种陶粒、较规整的砖碎等都可。

②粗骨料粒径不宜小于 5 mm，亦不宜大于 40 mm。配制强度较高时，宜用小粒径。

③颗粒级配以用单一粒级为佳。通常为 10 ~ 20 mm 或 10 ~ 31.5 mm。

④粗骨料质量应满足有关质量规定的要求，其中针片状颗粒含量不大于 15 %，炉渣中未燃烧物含量应小于 15 %。

⑤粗骨料强度应满足强度指标、压碎值指标的要求。

3) 外加剂

一般情况下不使用外加剂。冬期施工可酌情采用早强剂。

4) 水

按混凝土的规程采用，一般饮用水即可。

2.10.3 配合比设计

无砂大孔混凝土配合比设计的程序，除不考虑砂率外，基本上与普通混凝土配合比的程序相同。分述如下：

2.10.3.1 配制强度

配制强度计算式如式 (2-28)。此式通用于以碎石、卵石、陶粒等为骨料的大孔混凝土。

$$f_{cu,0} = \frac{f_{cu,k}}{1 - 1.645 C_v} \quad (2-28)$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu_{f_{cu}}} \times 100 \% \quad (2-29)$$

式中 $f_{cu,0}$ 、 $f_{cu,k}$ 、 $\mu_{f_{cu}}$ 、 σ ——与式(1-1)及式(1-2)相同；

C_v ——混凝土强度离散系数（亦称变异系数）。其计算式如 (2-29)。如无资料计算时，视生产管理水平按下述取值：

没有生产过大孔混凝土的为 25 %；

管理水平一般的为 20 %；

管理水平较好的为 15 %。

例 10 某多层房屋墙体用无砂大孔混凝土浇筑，设计强度为 C5 级，施工单位提供其生产强度标准差 $\sigma = 1$ ，平均强度 $\mu_{f_{cu}} = 6.6$ MPa，请计算其配制强度 $f_{cu,0}$ 。

解

按式 (2-29)：

$$C_v = \frac{1}{6.6} \times 100 \% = 15 \%$$

按式 (2-28) 求 $f_{cu,0}$ ：

$$f_{cu,0} = \frac{5}{1 - 1.645 \times 0.15} = 6.638 \text{ MPa}$$

配制强度为 6.638 MPa。

2.10.3.2 水泥用量

水泥用量与粗骨料品种有关，与水泥的实际强度有关，其计算式列如表 2-43。为进行示范对比，统一以 $f_{cu,0} = 6.638$ MPa 为标的，用不同标号水泥及不同粗骨料分别计算，其水泥用量也列入表内。其计算式列如表 2-43。

表 2-43 水泥用量计算

序号	粗骨料品种及水泥 标号或实际强度	公 式	例题计算 (每立方米混凝土水泥用量) (kg)
1	卵石配 525 标号 水泥	$m_{c,0} = 59.58 + 13.78f_{cu,0}$	$59.58 + 13.78 \times 6.638 = 151$
2	卵石配 425 标号 水泥	$m_{c,0} = 37.19 + 20.5f_{cu,0}$	$37.19 + 20.5 \times 6.638 = 173$
3	碎石配普硅水泥 (水泥强度按 f_{ce} = 46 MPa 计)	$m_{c,0} = 69.36 + 784.93 \frac{f_{cu,0}}{f_{ce}}$	$69.36 + 784.93 \times \frac{6.638}{46} = 183$
4	陶粒配 425 标号 水泥	$m_{c,0} = \frac{10f_{cu,0} + 3.4}{0.329}$	$\frac{10 \times 6.638 + 3.4}{0.329} = 212$
5	陶粒配 525 标号 水泥	$m_{c,0} = \frac{10f_{cu,0} - 8.84}{0.314}$	$\frac{10 \times 6.638 - 8.84}{0.314} = 183$

2.10.3.3 水灰比及用水量

1) 水灰比计算法

当骨料为碎石或卵石时，通常采用计算法。计算法因振捣工艺又分为两个计算式：

① 用人工捣固时，

$$\frac{W}{C} = 0.58 - 0.000715m_{c,0} \quad (2-30)$$

②用锤击板捣固时,

$$\frac{W}{C} = 0.5372 - 0.0007914m_{c0} \quad (2-31)$$

当骨料为陶粒时,用水量按净用水量计,其水灰比如表 2-44。

表 2-44 陶粒大孔混凝土净水灰比

水泥品种	净水灰比
普通水泥	0.30 ~ 0.37
矿渣水泥	0.34 ~ 0.42

2) 水灰比查图法

亦可以将水灰比资料绘制成坐标图,便于查阅使用。图 2-1 可供参考。

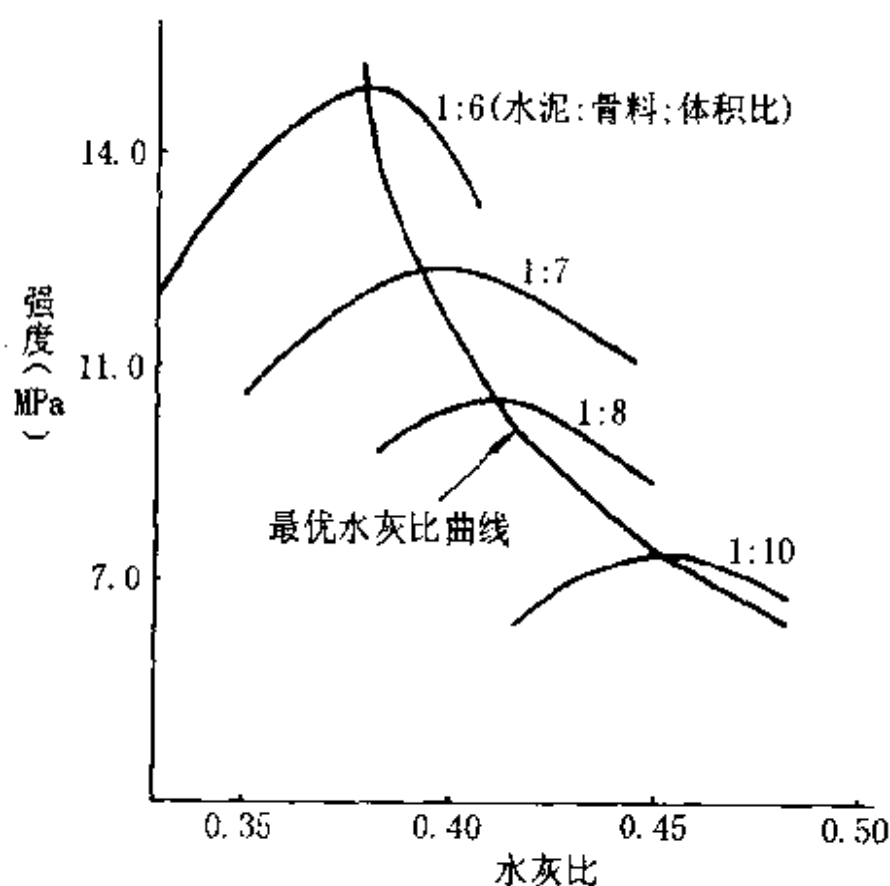


图 2-1 水灰比与强度的关系

3) 用水量

得出水灰比值后,可按下式计算用水量。

$$m_{w0} = \frac{W}{C} \cdot m_{c0} \quad (2-32)$$

式中符号意义同前。

2.10.3.4 粗骨料用量

粗骨料用量按下式计算:

$$m_{g0} = K_z \cdot \rho_0 \quad (2-33)$$

式中 K_z ——粗骨料的折减系数,通常取 0.95~0.98,与骨料品种有关,碎石可取接近下限,卵石及陶粒可取接近上限;又与捣固方法有关,锤击板法取接近下限,全捣固法取接近上限。可两者结合取值。

ρ_0 ——粗骨料实堆密度,按用料而异,可通过试验取值。

2.10.3.5 配合比例题

例 11 请按例10的配制强度 $f_{cu,0} = 6.638$ MPa、普硅水泥实际强度 $f_{ce} = 46$ MPa,选用粗骨料为 10~20 mm 碎石,其实堆密度为 1650 kg/m^3 。用锤击板法捣固。请设计其配合比。

解 (1) 每立方米混凝土水泥用量:

按表 2-43 序号 3, 得 $m_{c0} = 183 \text{ kg}$

(2) 水灰比:

按式 (2-31) 计算:

$$\frac{W}{C} = 0.5372 - 0.0007914 \times 183 \approx 0.392$$

(3) 每立方米混凝土用水量:

按式 (2-32) 计算:

$$m_{w0} = 0.392 \times 183 = 72 \text{ kg}$$

(4) 每立方米混凝土碎石用量:

按式 (2-33), K_z 取 0.96 计算:

$$m_{p0} = 0.96 \times 1650 = 1584 \text{ kg}$$

(5) 重量配合比:

$$m_{w0} : m_{c0} : m_{g0} = 72 : 183 : 1584 = 0.392 : 1 : 8.66。$$

2.10.3.6 配合比查表法

经常浇筑大孔混凝土的施工单位, 通过实验, 自行制定大孔混凝土配合比表。并简化施工工艺, 水泥与粗骨料的比例采用体积比。亦可作查对之用。

表 2-45 为中国建筑公司第四工程局在贵州地区所编制的碎石大孔混凝土配合比参考表。

表 2-46 为四川省建筑科研所编制的卵石大孔混凝土配合比参考表。

表 2-45 碎石无砂大孔混凝土参考配合比

序 号	水泥:粗骨料 (体积比)	水灰比	水泥用量 (kg)	混凝土堆密度 (kg/m ³)	抗压强度 (MPa)
1	1:9	0.40	170	1850	5.5
2	1:10	0.45	150	1800	4.5
3	1:12	0.50	130	1750	3.5
4	1:15	0.55	110	1700	2.5

表 2-46 卵石无砂大孔混凝土参考配合比

序号	每立方米混凝土水泥用量 (kg)	水灰比	每立方米混凝土石子用量 (kg)	混凝土堆密度 (kg/m ³)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	抗折强度 (MPa)	棱柱强度 (MPa)
1	80	0.50	1540	1660	1.55	0.31	0.90	1.82
2	100	0.47	1554	1701	3.32	0.38	0.99	2.36

续表 2-46

序号	每立方米混凝土水泥用量 (kg)	水灰比	每立方米混凝土石子用量 (kg)	混凝土堆密度 (kg/m ³)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	抗折强度 (MPa)	棱柱强度 (MPa)
3	120	0.43	1553	1705	4.86	0.50	1.21	2.96
4	140	0.40	1539	1735	5.39	0.57	1.25	3.11
5	160	0.40	1555	1779	6.13	0.58	1.57	3.68
6	180	0.38	1540	1788	6.41	0.70	1.65	4.71
7	200	0.37	1504	1778	8.63	0.79	1.80	5.56
8	220	0.35	1508	1805	7.72	0.88	1.89	5.61

注：卵石的实堆密度为 1588 kg/m³。

2.10.4 试配

试配工作和程序可按 1.5 节介绍。

应提请注意的是：制作试件时必须注意制作工艺，应与施工的捣固法相同。浇筑时，捣固工作应适可而止。捣插过少，则混凝土堆积不够紧密；捣插过度，水泥浆将大多沉积在下部，因水泥浆仅够包裹骨料，上部骨料界面就缺浆，混凝土强度均匀性将受影响。浇筑时注意骨料均匀填充，注意边角密实。多做几组，可选取其均匀性较好的作试件。

2.11 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，亦有设计为正多角形。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、管柱、管桩、电杆等。

2.11.1 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。其排出的水量约为原始用水的 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 (2-34)， K_b 值如表 2-47。

$$\text{离心混凝土投料量} = \frac{\text{普通混凝土投料量}}{K_b} \quad (2-34)$$

表 2-47 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

2.11.2 选料

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。不应采用。

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 2-48。

表 2-48 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

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 %。

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。

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 SiO_2 水热合成托勃莫来石，强度大大提高，又可节约水泥。石英砂中 SiO_2 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水泥细，比表面积应大于水泥（水泥比表面积的标准值 $\geq 3000 \text{ cm}^2/\text{g}$ ）。

2.11.3 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。

2.11.4 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 (1-1)。

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 (1-3)，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：

$$\frac{W}{C} = \frac{0.48f_{ce} \cdot K_1 \cdot K_2}{f_{cu,0} + 0.2496f_{ce}} \quad (2-35)$$

卵石离心混凝土水灰比公式:

$$\frac{W}{C} = \frac{0.50f_{ce} \cdot K_1 \cdot K_2}{f_{cu,0} + 0.305f_{ce}} \quad (2-36)$$

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;

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 1-16 确定用水量。

4) 按式 (1-7) 计算水泥用量。

5) 按 1.4 节用重量法或体积法计算砂石总用量。如用重量法则 $m_{cp} = 2400 \sim 2450$; 如用体积法则 $\alpha = 0$ 。

6) 按表 2-48 计算砂用量。

7) 石子按式 (1-12) 计算。

8) 按式 (1-13) 列出设计配合比。

9) 试配: 程序同 1.5 节, 但试件成型方法用离心试模和试验用离心机。

10) 按式 (2-34) 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 kg/m³。

2.11.5 例题

例 12 有 $\phi = 1.20$ m, $l = 10$ m 的预应力高架桥管柱一批, (壁厚 100 ~ 150 mm, 其附件及装置另详), 混凝土设计

强度 $f_{cu,k} = 40 \text{ MPa}$, 搅拌站强度标准差 $\sigma = 4.4 \text{ MPa}$ 。用 525 普硅水泥, 实际强度 $f_{ce} = 56.0 \text{ MPa}$, 密度 $\rho_c = 3100 \text{ kg/m}^3$; 采用中砂, 密度 $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$; 碎石粒径为 5 ~ 20 mm 级, 密度 $\rho_g = 2700 \text{ kg/m}^3$; 混凝土坍落度要求 50 ~ 70 mm; 按常规离心制度生产, $K_1 = 1.25$; $K_2 = 0.85$ 。请设计其配合比。

解

(1) 配制强度按式 (1-1):

$$f_{cu,0} = 40 + 1.645 \times 4.4 = 47.238 \text{ MPa}$$

(2) 水灰比, 按式 (2-35):

$$\frac{W}{C} = \frac{0.48 \times 56 \times 1.25 \times 0.85}{47.238 + 0.2496 \times 56} = 0.4665$$

(3) 每立方米混凝土用水量, 查表 1-16, 按坍落度为 50 ~ 70 mm, 碎石最大粒径为 20 mm。

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

(4) 每立方米混凝土水泥用量, 按式 (1-7):

$$m_{c0} = \frac{205}{0.4665} = 439 \text{ kg}$$

(5) 用体积法计算砂、石总量, 按式 (1-17) 计算, 因离心混凝土密实度高, 设 $\alpha = 0$:

$$\begin{aligned} (V_s + V_g) &= 1 - 0.205 - \frac{0.439}{3100} - 0.1 \times 0 \\ &= 0.65339 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

(6) 每立方米混凝土砂用量, 查表 2-48, 砂灰比采用 1.4:

$$V_s = 1.4 \times \frac{0.439}{3100} = 0.19825 \text{ m}^3$$

$$m_{s0} = 0.19825 \times 2650 = 525 \text{ kg}$$

(7) 每立方米混凝土碎石用量, 按式 (2-19);

$$V_g = 0.65339 - 0.19825 = 0.45514 \text{ m}^3$$

$$m_{g0} = 0.45514 \times 2700 = 1229 \text{ kg}$$

(8) 设计配合比。

用重量比: $m_{w0}:m_{c0}:m_{s0}:m_{g0} = 205:439:525:1229$

$$= 0.467:1:1.196:2.800$$

(9) 试配 (按 1.5 节, 用离心试件。从略)。

(10) 设计投料量。

假设试配、调整的结果与设计配合比相同, 则设计配合比的投料量按式 (2-34) 计算, 按表 2-47 取 $K_b = 0.926$, 则:

$$m_w = \frac{205}{0.926} = 221 \text{ kg}$$

$$m_c = \frac{439}{0.926} = 474 \text{ kg}$$

$$m_s = \frac{525}{0.926} = 567 \text{ kg}$$

$$m_g = \frac{1229}{0.926} = 1327 \text{ kg}$$

结论: 每立方米混凝土总投料量 $= 221 + 474 + 567 + 1327 = 2589 \text{ kg}$ 。按 2.11.1 节的介绍, 水量排出 $30\% = 66 \text{ kg}$, 水泥量排出 $6\% = 28 \text{ kg}$, 则实际质量 $= 2589 - 28 - 66 = 2495 \text{ kg}$ 。此值与离心混凝土每立方米的表观密度值 2500 kg 接近, 可行。

(11) 如掺用减水剂时, 参阅 2.1 节。

(12) 如二次蒸养掺用磨细石英砂时, 可用内掺法。用磨细砂等量代换水泥。其代换量以水泥用量的 $20\% \sim 30\%$ 为佳。

附 录

附表 I 砂的质量标准

项 目	等 级	优等品	一等品	合格品
含泥量, 小于 (%)		2.0	3.0	5.0
粘土块, 小于 (%)		0.5	1.0	1.0
云母, 小于 (%)		1.0	2.0	2.0
硫化物与硫酸盐 (以 SO_3 计) 小于 (%)		0.5	1.0	1.0
氯化物 (以 NaCl 计) 小于 (%)		0.03	0.1	—
坚固性 (硫酸钠溶液浸渍法, 其质量损失) 小于 (%)		8	10	10
碱集料反应		试验后, 试件无裂缝、酥裂、胶体外溢。经养护 6 个月膨胀率值小于 0.1 %		

附表Ⅱ 石子的有害物质含量指标 (%)

项 目	等 级		
	优等品	一等品	合格品
针片状颗粒, 小于	15	20	25
泥, 小于	0.5	1.0	1.5
粘土块, 小于	0.25	0.25	0.5
硫化物与硫酸盐 (以 SO_3 计) 小于	0.5	1.0	1.0
氯化物 (以 NaCl 计) 小于	0.03	0.1	—
坚固性 (用硫酸钠溶液浸渍 5 个循环后, 其质量损失) 小于	5	8	12

附表Ⅱ 掺外加剂混凝土质量指标

性能标准 试验项目		外加剂种类		普通减水剂		高效减水剂	
				一等品	合格品	一等品	合格品
减水率(%)				≥ 8	≥ 5	≥ 12	≥ 10
泌水率比(%)				≤ 95	≤ 100	≤ 100	≤ 100
含气量(%)				≤ 3.0	≤ 4.0	≤ 3.0	≤ 4.0
凝结时间之差 (min)	初凝	-60 ~ +90	-60 ~ +120	-60 ~ +90	-60 ~ +120	-60 ~ +90	-60 ~ +120
	终凝	-60 ~ +90	-60 ~ +120	-60 ~ +90	-60 ~ +120	-60 ~ +90	-60 ~ +120
抗压强度比 (%)	1 d	—	—	≥ 140	≥ 130	—	—
	3 d	≥ 115	≥ 110	≥ 130	≥ 125	—	—
	7 d	≥ 115	≥ 110	≥ 125	≥ 120	—	—
	28 d	≥ 110	≥ 105	≥ 120	≥ 115	—	—
	90 d	≥ 100	≥ 100	≥ 100	≥ 100	—	—
收缩率比(%) (90 d)		≤ 120	≤ 120	≤ 120	≤ 120	—	—
相对耐久性指标(%)		—	—	—	—	—	—
钢筋锈蚀		应说明对钢筋有无锈蚀					

续附表Ⅲ

性能标准 外加剂种类 试验项目		早强减水剂		缓凝减水剂	
		一等品	合格品	一等品	合格品
减水率(%)		≥ 8	≥ 5	≥ 8	≥ 5
泌水率比(%)		≤ 95	≤ 100	≤ 95	≤ 100
含气量(%)		≤ 3.0	≤ 4.0	≤ 3.0	≤ 4.0
凝结时间之差 (min)	初凝	-60 ~ +90	-60 ~ +120	-60 ~ +210	-60 ~ +210
	终凝	-60 ~ +90	-60 ~ +120	$\leq +210$	$\leq +210$
抗压强度比 (%)	1 d	≥ 140	≥ 130	—	—
	3 d	≥ 130	≥ 120	≥ 110	≥ 100
	7 d	≥ 120	≥ 115	≥ 110	≥ 110
	28 d	≥ 110	≥ 105	≥ 110	≥ 105
	90 d	≥ 100	≥ 100	≥ 100	≥ 100
收缩率比(%) (90 d)		≤ 120	≤ 120	≤ 120	≤ 120
相对耐久性指标(%)		—	—	—	—
钢筋锈蚀		应说明对钢筋有无锈蚀			

续附表Ⅲ

性能标准 试验项目		外加剂种类 引气减水剂		早强剂	
		一等品	合格品	一等品	合格品
减水率(%)		≥ 10	≥ 8	—	—
泌水率比(%)		≤ 70	≤ 80	≤ 100	≤ 100
含气量(%)		3.5 ~ 5.5	3.5 ~ 5.5	—	—
凝结时间之差 (min)	初凝	-60 ~ +90	-60 ~ +120	-60 ~ +90	-120 ~ +120
	终凝	-60 ~ +90	-60 ~ +120	-60 ~ +90	-120 ~ +120
抗压强度比 (%)	1 d	—	—	≥ 140	≥ 125
	3 d	≥ 115	≥ 110	≥ 130	≥ 120
	7 d	≥ 110	≥ 110	≥ 115	≥ 110
	28 d	≥ 110	≥ 110	≥ 100	≥ 95
	90 d	≥ 100	≥ 100	≥ 95	≥ 95
收缩率比(%) (90 d)		≤ 120	≤ 120	≤ 120	≤ 120
相对耐久性指标(%)		200次 ≥ 80	≥ 300	—	—
钢筋锈蚀		应说明对钢筋有无锈蚀			

续附表 III

性能标准 试验项目	外加剂种类	缓凝剂		引气剂	
		一等品	合格品	一等品	合格品
减水率(%)		—	—	≥ 6	≥ 6
泌水率比(%)		≤ 100	≤ 110	≤ 70	≤ 80
含气量(%)		—	—	3.5 ~ 5.5	3.5 ~ 5.5
凝结时间之差 (min)	初凝	-60 ~ +210	-60 ~ +210	-60 ~ +60	-60 ~ +60
	终凝	$\leq +210$	$\leq +210$	-60 ~ +60	-60 ~ +60
抗压强度比 (%)	1 d	—	—	—	—
	3 d	≥ 100	≥ 90	≥ 95	≥ 80
	7 d	≥ 100	≥ 90	≥ 95	≥ 80
	28 d	≥ 100	≥ 90	≥ 90	≥ 80
	90 d	≥ 100	≥ 90	≥ 90	≥ 80
收缩率比(%) (90 d)		≤ 120	≤ 120	≤ 120	≤ 120
相对耐久性指标(%)		—	—	200 次 ≥ 80	≥ 300
钢筋锈蚀 应说明对钢筋有无锈蚀					

注：①外加剂的质量，以其掺入混凝土中的效果衡量。表中所列的值为对比值，即掺入外加剂混凝土对未掺入外加剂的基准混凝土的比值。

②对于可以用高频振捣排除由外加剂引入气泡的产品，允许用高频振捣，达到某类型质量指标的，可以按本标准进行命名和分类，但需在产品说明书和包装上说明用于“高频振捣的××剂”种。

③表中含气量是绝对值，不是对比值；凝结时间指标“-”表示提前，“+”表示延迟。

④相对耐久性指标一栏中，“200次 ≥ 80 ”表示将28 d龄期的掺外加剂混凝土试件冻融循环200次以后，动弹性模量保留值 $\geq 80\%$ ；“ ≥ 300 ”表示28 d龄期的试件经冻融后，动弹性模量保留值等于80%时掺外加剂混凝土与基准混凝土冻融次数的比值 $\geq 300\%$ 。

参 考 文 献

- 1 JGJ/T 55—96 普通混凝土配合比设计规程
- 2 GB 50204—92 混凝土结构工程施工及验收规范
- 3 GB 50164—92 混凝土质量控制标准
- 4 GB/T 14684—93 建筑用砂
- 5 GB/T 14685—93 建筑用卵石、碎石
- 6 GBJ 119—88 混凝土外加剂应用技术规程
- 7 GBJ 146—90 粉煤灰混凝土应用技术规范
- 8 JGJ 15—83 早期推定混凝土强度试验方法
- 9 GB 8076—87 混凝土外加剂
- 10 HSCC 93—2 高强混凝土结构施工指南
- 11 JGJ 51—90 轻集料混凝土技术规程
- 12 CECS 38—92 钢纤维混凝土结构设计与施工规程
- 13 GBJ 82—85 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法
- 14 冯乃谦. 高强混凝土技术. 北京: 中国建材工业出版社, 1992
- 15 赵志缙. 泵送混凝土. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985
- 16 李桂林等. 混凝土与钢筋混凝土施工手册. 北京: 冶金工业出版社, 1988
- 17 王焕德. 钢纤维混凝土. 水利电力出版社, 北京: 1985
- 18 赵志缙等. 新型混凝土及其施工工艺. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986
- 19 雍本. 特种混凝土设计与施工. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993
- 20 汪正荣等. 简明施工计算手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989
- 21 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
- 22 广东省第四建筑工程公司. 广东国际大厦主楼结构施工技术. 广东省建筑工程总公司, 1991
- 23 李立权. 离心混凝土配合比设计. 广东建材, 1992 (2)
- 24 李立权. 混凝土工手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998, 第9次印刷
- 25 JGJ 3—91 钢筋混凝土高层建筑设计规程