

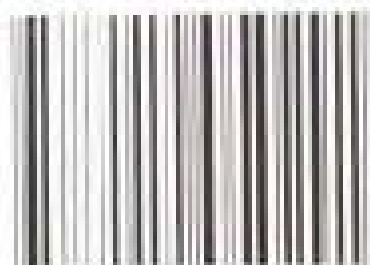
凝士配
实用手册
一比

主编 杨绍林 田加才 田丽

中国建材工业出版社

责任编辑 / 袁孝敬
封面设计 / 张树杰

ISBN 7-112-05029-4



9 787112 050291 >

H556 / 定价: 11.00 元



TU528.062
2002585

新 编

混凝土配合比实用手册

主编：杨绍林 田加才 田 丽

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

新编混凝土配合比实用手册/杨绍林等主编. —北京:
中国建筑工程出版社, 2002

ISBN 7-112-05029-4

I. 新... I. 杨... II. 混凝土 配合—比例—手册
N. TU528.062

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 012444 号

新 编

混凝土配合比实用手册

主编: 杨绍林 田加才 田丽

*

中国建筑工程出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

世界知识印刷厂印刷

*

开本: 850 × 1168 毫米 1/32 印张: 6³/₄ 字数: 178 千字

2002 年 5 月第一版 2002 年 8 月第二次印刷

印数: 3001—7000 册 定价: 11.00 元

ISBN 7-112-05029-4

TU·4482(10556)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书结合最新颁布的混凝土配合比设计规程,以及混凝土用水泥、砂、石的最新国家标准,详细介绍了普通混凝土的材料要求、配合比设计方法及计算实例。为减少繁琐的计算工作,书中还给出了近1000组普通混凝土配合比参考表,供读者根据各自的材料特点和强度要求参考选用。

本书还介绍了六种特殊混凝土的配合比设计要点及计算实例。

* * *

责任编辑 袁孝敏

前 言

随着现代科学技术的发展,混凝土已成为用量最大,用途最广的一种建筑材料。混凝土的质量直接影响建筑工程的质量。合理的混凝土配合比设计不仅能满足结构设计和施工要求,且能有效地降低工程成本。特根据我国新颁布的《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55-2000)、《建筑用砂》(GB/T 14684-2001)、《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685—2001)以及其他与混凝土有关的标准、规程,结合多年从事工程施工及质量检测实践,编成此书。

该手册详细地介绍了普通混凝土和特殊混凝土使用的原材料质量技术要求及其混凝土配合比设计方法,并进行了详细的配合比设计举例。另外,为了减少计算工作,本书根据不同混凝土强度等级,使用不同强度等级水泥(ISO法),不同种类、规格的粗骨料,在不同坍落度条件下,列出了C10~C50共千余组普通混凝土理论配合比参考表,供读者选用。

普通混凝土配合比设计新标准允许采用快速检验试压强度,提前定出混凝土配合比供施工使用。另外,采用可靠的快速强度检验,对确保混凝土和水泥质量、节约水泥、避免事故具有重大意义。因此,本书收编了混凝土和水泥快速检验方法共七种,以便检测单位需要时选用。本书的编写出版,目的就是为广大试验人员及施工技术人员提供一本实用方便的参考书。希望本书能成为有关技术人员的得力助手,在确保工程质量、贯彻新标准、推动本行业的技术进步方面发挥应有的作用。

由于水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳请读者不吝赐教,以便再版时改正。

本手册在编写过程中得到了罗鹏同志的大力支持,在此表示衷心的感谢。

目 录

第一章 概 述

1.1 混凝土定义	1
1.2 混凝土分类	1
1.3 混凝土发展简史	2

第二章 普通混凝土

2.1 普通混凝土的组成材料	4
2.1.1 水泥	4
2.1.2 砂	12
2.1.3 卵石、碎石	16
2.1.4 混凝土拌合用水	20
2.2 普通混凝土配合比设计	22
2.2.1 配合比设计的基本资料	22
2.2.2 设计方法与步骤	22
2.2.3 普通混凝土配合比设计实例	40
2.2.4 普通混凝土配合比参考表	47

第三章 特殊混凝土

3.1 高强混凝土	94
3.1.1 配制高强混凝土所用的材料	94
3.1.2 高强混凝土配合比计算	94
3.1.3 试配、调整及确定试验室配合比	95
3.1.4 验证试验室配合比	95
3.1.5 高强混凝土配合比设计实例	95

3.2	粉煤灰混凝土	100
3.2.1	概述	100
3.2.2	粉煤灰的质量要求和适用范围	101
3.2.3	粉煤灰的掺用方式及适宜掺量	101
3.2.4	粉煤灰掺合料对混凝土性能的影响	102
3.2.5	粉煤灰混凝土配合比设计	103
3.2.6	粉煤灰混凝土配合比设计实例	105
3.3	泵送混凝土	109
3.3.1	泵送混凝土所采用的材料	109
3.3.2	泵送混凝土配合比设计、计算及试配	110
3.3.3	泵送混凝土配合比设计实例	110
3.4	抗渗混凝土	113
3.4.1	抗渗混凝土所用的材料	113
3.4.2	抗渗混凝土配合比设计	113
3.4.3	抗渗混凝土配合比设计实例	114
3.5	大体积混凝土	116
3.5.1	大体积混凝土所用的原材料	117
3.5.2	大体积混凝土的热工计算	117
3.5.3	大体积混凝土养护时的温度控制	126
3.6	道路混凝土	130
3.6.1	道路混凝土的技术要求	131
3.6.2	道路混凝土的组成材料	132
3.6.3	道路混凝土的配合比设计	133
3.6.4	道路混凝土配合比设计实例	135

第四章 混凝土和水泥快速试验方法

4.1	混凝土强度快速试验方法	140
4.1.1	1h 促凝压蒸法	140
4.1.2	4h 压蒸养护法	146
4.1.3	沸水法、80℃热水法及 55℃温水法	148

4.2 水泥快速试验方法	152
4.2.1 1.5h 促凝压蒸法	152
4.2.2 24h 湿热养护法	156

附 录

A. 混凝土强度推定经验式的建立方法及精度要求	160
B. 水泥胶砂强度推定经验式的建立方法及精度要求	166
C. 混凝土强度推定计算实例	167
D. 混凝土外加剂	181
E. 混凝土拌合物坍落度试验方法	196
F. 混凝土拌合物工作度(维勃稠度)试验方法	197
G. 混凝土拌合物表观密度试验方法	199
H. 混凝土立方体抗压强度试验	201
K. 代号及公式符号	202
主要参考文献	205

第一章 概 述

1.1 混凝土定义

混凝土是指由无机胶结材料(水泥、石灰、石膏、硫磺、菱苦土、水玻璃等)或有机胶结材料(沥青、树脂等)、水、骨料(粗骨料、细骨料和轻骨料等)和外加剂、掺合料,按一定比例配制,经搅拌、捣实成型,并在一定条件下硬化而成的一种人造石材。

一般所称的混凝土是指水泥混凝土。它由胶结材料水泥和水、砂及石子按一定的比例配制而成,经养护使混凝土具有一定的强度,其质量干密度为 $2000 \sim 2800 \text{kg/m}^3$ 的混凝土,称为普通混凝土。简称混凝土。

普通混凝土的组成及各组成材料在混凝土中所占的大致比例见表 1-1。

普通混凝土的组成及各组成材料的绝对体积比 表 1-1

组成成分	水泥	水	砂	石	空气
约占混凝土总体积的 (%)	8~16	15~22	18~30	38~52	1~3
	23~38		62~76		1~3

1.2 混凝土分类

目前混凝土的品种日益增多,其性能和应用也各不相同。一般可按胶结材料、骨料品种、混凝土用途、施工工艺和流动性等进行分类。

1. 按胶结材料分类

无机胶结材料：水泥混凝土、石灰混凝土、石膏混凝土、硫磺混凝土、水玻璃混凝土、碱矿渣混凝土。

有机胶结材料：沥青混凝土、聚合物水泥混凝土、树脂混凝土、聚合物浸渍混凝土。

2. 按骨料分类

重混凝土、普通混凝土、轻骨料混凝土、大孔混凝土、细颗粒混凝土。

3. 按用途分类

水工混凝土、海工混凝土、防水混凝土、道路混凝土、耐热混凝土、耐酸混凝土、防辐射混凝土、结构混凝土。

4. 按施工工艺分类

现浇类：普通现浇混凝土、喷射混凝土、泵送混凝土、灌浆混凝土、真空吸水混凝土。

预制类：振压混凝土、挤压混凝土、离心混凝土。

5. 按配筋方式分类

无筋类：素混凝土。

配筋类：钢筋混凝土、钢丝网混凝土、纤维混凝土、预应力混凝土。

6. 按流动性(稠度)分类

干硬性混凝土、塑性混凝土、流动性混凝土、大流动性混凝土。

1.3 混凝土发展简史

混凝土的发展历史可以追溯到很古老的年代。相传数千年前，我国劳动人民及埃及人民就用石灰与砂混合配制成的砂浆砌筑房屋，后来罗马人又使用石灰、砂及石子配制成混凝土，并在石灰中掺入火山灰配制成用于海岸工程的混凝土。这类混凝土强度不高，使用范围有限。

1824年波特兰水泥的出现使混凝土的强度及其他性能都有了很大的提高，因而得以飞速发展。以后又出现早强水泥、快硬水

泥等特种水泥,使混凝土成为一种主要建筑材料。

1850 年法国朗波特发现用钢筋加强混凝土,并首次制成了钢筋混凝土船,使混凝土的应用范围更加扩大。

1928 年法国发明了预应力钢筋混凝土施工工艺,进一步弥补了混凝土抗拉强度低的弱点,为钢筋混凝土结构在大跨度桥梁等结构建筑物中的应用开辟了新的途径。

1960 年前后各种混凝土外加剂不断涌现,不仅改善了混凝土的各种性能,而且为混凝土施工工艺的发展变化创造了良好的条件。

混凝土的有机化又使混凝土这种结构材料走上了一个新的发展阶段。发展到今天,混凝土不仅广泛用于工业与民用建筑,还在铁路、公路、桥梁及各种水工、海洋工程中占有主要地位。并沿着轻质、高强、多功能的方向发展,不断以各种新的面目出现,改善其各种性能。

第二章 普通混凝土

2.1 普通混凝土的组成材料

2.1.1 水泥

水泥是一种无机粉状水硬性胶凝材料。加入适量水后搅拌成塑性浆体,能在空气和水中硬化,并能把砂、石等材料牢固地胶结在一起,具有一定的强度。

2.1.1.1 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥

1. 定义与代号

(1) 硅酸盐水泥:

凡由硅酸盐水泥熟料、0~5%石灰石或粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为硅酸盐水泥(即国外通称的波特兰水泥)。硅酸盐水泥分两种类型,不掺加混合材料的称Ⅰ类硅酸盐水泥,代号P·Ⅰ。在硅酸盐水泥粉磨时掺加不超过水泥重量5%石灰石或粒化高炉矿渣混合材料的称Ⅱ型硅酸盐水泥,代号P·Ⅱ。

(2) 普通硅酸盐水泥:

凡由硅酸盐水泥熟料、6%~15%混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为普通硅酸盐水泥(简称普通水泥),代号P·O。

2. 强度等级

硅酸盐水泥强度等级分为:42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5、62.5R^①。

① R表示快硬水泥。

普通水泥强度等级分为：32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R。

3. 技术要求

(1) 不溶物：

Ⅰ型硅酸盐水泥中不溶物不得超过 0.75%；

Ⅱ型硅酸盐水泥中不溶物不得超过 1.50%。

(2) 烧失量：

Ⅰ型硅酸盐水泥中烧失量不得大于 3.0%；Ⅱ型硅酸盐水泥中烧失量不得大于 3.5%；普通水泥中烧失量不得大于 5.0%。

(3) 氧化镁：

水泥中氧化镁的含量不宜超过 5.0%。如果水泥经压蒸安定性试验合格，则水泥中氧化镁的含量允许放宽到 6.0%。

(4) 三氧化硫：

水泥中三氧化硫的含量不得超过 3.5%。

(5) 细度：

硅酸盐水泥的比表面积大于 $300\text{m}^2/\text{kg}$ ；普通水泥 $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余不得超过 10.0%。

(6) 凝结时间：

硅酸盐水泥初凝时间不得早于 45min，终凝不得迟于 6.5h。普通水泥初凝时间不得早于 45min，终凝不得迟于 10h。

(7) 安定性：

用沸煮法检验必须合格。

(8) 强度：

水泥强度等级按规定龄期的抗压强度和抗折强度来划分，各强度等级水泥的各龄期强度不得低于表 2-1 规定。

(9) 碱：

水泥中碱含量按 $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值来表示。若使用活性骨料，用户要求提供低碱水泥时，水泥中碱含量不得大于 0.60%或由供需双方商定。

4. 废品与不合格品

硅酸盐水泥、普通水泥强度指标(MPa)

表 2-1

品 种	强度等级	抗压强度		抗折强度	
		3 天	28 天	3 天	28 天
硅 酸 盐 水 泥 (P·I) (P·I)	42.5	17.0	42.5	3.5	6.5
	42.5R	22.0	42.5	4.0	6.5
	52.5	23.0	52.5	4.0	7.0
	52.5R	27.0	52.5	5.0	7.0
	62.5	28.0	62.5	5.0	8.0
	62.5R	32.0	62.5	5.5	8.0
普 通 水 泥 (P·O)	32.5	11.0	32.5	2.5	5.5
	32.5R	16.0	32.5	3.5	5.5
	42.5	16.0	42.5	3.5	6.5
	42.5R	21.0	42.5	4.0	6.5
	52.5	22.0	52.5	4.0	7.0
	52.5R	26.0	52.5	5.0	7.0

注:表中有 R 标志者为快硬水泥。

(1)废品:

凡氧化镁、三氧化硫、初凝时间、安定性中任一项不符合标准规定时,均为废品。

(2)不合格品:

凡细度、终凝时间、不溶物和烧失量中的任一项不符合标准规定或混合材料掺加量超过最大限量和强度低于商品强度等级的指标时为不合格品。水泥包装标志中水泥品种、强度等级、生产者名称和出厂编号不全的也属于不合格品。

2.1.1.2 矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥

1. 定义与代号

(1)矿渣硅酸盐水泥:

凡由硅酸盐水泥熟料和粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的

水硬性胶凝材料称为矿渣硅酸盐水泥(简称矿渣水泥),代号:P·S。水泥中粒化高炉矿渣掺加量按重量百分比计为20%~70%。允许用石灰石、窑灰、粉煤灰和火山灰质混合材料中的一种材料代替矿渣,代替数量不得超过水泥重量的8%,替代后水泥中粒化高炉矿渣不得少于20%。

(2) 火山灰质硅酸盐水泥:

凡由硅酸盐水泥熟料和火山灰质混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为火山灰质硅酸盐水泥(简称火山灰水泥),代号:P·P。水泥中火山灰质混合材料掺量按重量百分比计为20%~50%。

(3) 粉煤灰硅酸盐水泥:

凡由硅酸盐水泥熟料和粉煤灰、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为粉煤灰硅酸盐水泥(简称粉煤灰水泥),代号:P·F。水泥中粉煤灰掺量按重量百分比计为20%~40%。

2. 强度等级

矿渣水泥、火山灰水泥和粉煤灰水泥强度等级分为:32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R。

3. 技术要求

(1) 氧化镁:

熟料中氧化镁的含量不宜超过5.0%。如果水泥经压蒸安定性试验合格,则熟料中氧化镁的含量允许放宽到6.0%。

(2) 三氧化硫:

矿渣水泥中三氧化硫的含量不得超过4.0%;火山灰水泥和粉煤灰水泥中三氧化硫的含量不得超过3.5%。

(3) 细度:

80 μ m方孔筛筛余不得超过10.0%。

(4) 凝结时间:

初凝不得早于45min,终凝不得迟于10h。

(5) 安定性:

用沸煮法检验必须合格。

(6)强度:

水泥强度等级按规定龄期的抗压强度和抗折强度来划分,各强度等级水泥的各龄期强度不得低于表 2-2 中的规定。

矿渣、火山灰、粉煤灰水泥强度等级指标(MPa) 表 2-2

强度等级	抗压强度		抗折强度	
	3 天	28 天	3 天	28 天
32.5	10.0	32.5	2.5	5.5
32.5R	15.0	32.5	3.5	5.5
42.5	15.0	42.5	3.5	6.5
42.5R	19.0	42.5	4.0	6.5
52.5	21.0	52.5	4.0	7.0
52.5R	23.0	52.5	4.5	7.0

注:有 R 者为快硬水泥。

4. 废品与不合格品

(1)废品:

凡氧化镁、三氧化硫、初凝时间、安定性中任一项不符合标准规定时,均为废品。

(2)不合格品:

凡细度、终凝时间中的任一项不符合标准规定或混合材料掺加量超过最大限量和强度低于商品强度等级指标时为不合格品。水泥包装标志中水泥品种、强度等级、生产者名称和出厂编号不全的也属于不合格品。

2.1.1.3 复合硅酸盐水泥

1. 定义和代号

凡由硅酸盐水泥熟料、两种或两种以上规定的混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为复合硅酸盐水泥(简称复合水泥),代号 P·C。水泥中混合材料总掺加量按重量百分比计应大于 15%,但不超过 50%。

2. 强度等级

强度等级分为 32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R。

3. 技术要求

(1) 氧化镁：

熟料中氧化镁的含量不宜超过 5.0%。如水泥经压蒸安定性试验合格，则熟料中氧化镁的含量允许放宽到 6.0%。

(2) 三氧化硫：

水泥中三氧化硫的含量不得超过 3.5%。

(3) 细度：

80 μ m 方孔筛筛余不得超过 10.0%。

(4) 凝结时间：

初凝不得早于 45min，终凝不得迟于 10h。

(5) 安定性：

用沸煮法检验必须合格。

(6) 强度：

水泥强度等级按规定龄期的抗压强度和抗折强度来划分，各强度等级水泥的各龄期强度不得低于表 2-3 中的规定。

复合水泥各强度指标(MPa)

表 2-3

强度等级	抗压强度		抗折强度	
	3 天	28 天	3 天	28 天
32.5	11.0	32.5	2.5	5.5
32.5R	16.0	32.5	3.5	5.5
42.5	16.0	42.5	3.5	6.5
42.5R	21.0	42.5	4.0	6.5
52.5	22.0	52.5	4.0	7.0
52.5R	26.0	52.5	5.0	7.0

4. 废品与不合格品

(1) 废品：

凡氧化镁、三氧化硫、初凝时间、安定性中任一项不符合标准规定时，均为废品。

(2) 不合格品：

凡细度、终凝时间中的任一项不符合标准规定或混合材料掺

量超过最大限量和强度低于商品强度等级的指标时为不合格。水泥包装标志中水泥品种、强度等级、生产者名称和出厂编号不全的也属于不合格品。

2.1.1.4 水泥强度等级和品种选择

1. 水泥强度等级的选用

水泥强度等级的选用,不仅要能使所配的混凝土强度达到要求,而且和易性和耐久性也必须满足施工和规范要求。如果用低强度等级水泥配制高强度等级的混凝土,由于水泥用量大,比用高强度等级水泥成本高。另外,水泥用量大的混凝土其砂浆体积也大,会造成混凝土收缩性大,耐久性差。如果用高强度等级水泥配制低强度等级的混凝土,从强度考虑,少量水泥就能满足要求,但和易性和耐久性不能满足规定要求,必须增加水泥用量,造成水泥的浪费。合理选用水泥可参考表 2-4。

水泥强度等级的选用

表 2-4

混凝土强度等级	≤C20	C25~C30	C35~C40	≥45
水泥强度等级	32.5	32.5, 42.5	42.5, 52.5	52.5, 62.5

2. 水泥品种的选用

用于一般土木建筑工程的水泥有硅酸盐水泥、普通水泥、矿渣水泥、火山灰质水泥、粉煤灰水泥和复合水泥(称为六大通用水泥)。选用时应注意其特征对混凝土结构强度和使用条件是否有不利影响。可参考表 2-5 选用。

常用水泥的选用参考表

表 2-5

水泥品种	特 性		使 用 范 围	
	优 点	缺 点	适用于	不适用于
硅酸盐水泥	1. 强度高 2. 快硬、早强 3. 抗冻性好, 耐磨性和不透水性强	1. 水化热高 2. 抗水性差 3. 耐蚀性差	1. 配制高强度等级混凝土 2. 先张预应力制品、石棉制品 3. 道路、低温下施工的工程	1. 大体积混凝土 2. 地下工程

续表

水泥品种	特 性		使 用 范 围	
	优 点	缺 点	适用于	不适用于
普通硅酸盐水泥	与硅酸盐水泥相比无根本区别,但有所改变: 1. 早期强度增进率略有减少 2. 抗冻性、耐磨性稍有下降 3. 低温凝结时间有所延长 4. 抗硫酸盐侵蚀能力强		适应性较强,如无特殊要求的工程都可以使用	
矿渣硅酸盐水泥	1. 水化热低 2. 抗硫酸盐侵蚀性好 3. 蒸汽养护有较好的效果 4. 耐热性较普通硅酸盐水泥高	1. 早期强度低,后期强度增进率大 2. 保水性差 3. 抗冻性差	1. 地面、地下、水中各种混凝土工程 2. 高温车间建筑 3. 大体积混凝土工程	1. 需要早强和受冻融循环、干湿交替的工程 2. 有抗渗要求的混凝土工程
火山灰质硅酸盐水泥	1. 保水性好 2. 水化热低 3. 抗硫酸盐侵蚀能力强	1. 早期强度低,后期强度增进率大 2. 需水性大,干缩性大 3. 抗冻性差	1. 地下、水下工程、大体积混凝土工程 2. 一般工业和民用建筑	需要早强和受冻融循环干湿交替的工程
粉煤灰硅酸盐水泥	与火山灰硅酸盐水泥相比: 1. 水化热低 2. 抗硫酸盐侵蚀性能好 3. 后期强度发展高 4. 保水性好 5. 需水性及干缩率较小 6. 抗裂性较好	1. 早期强度增进率比矿渣水泥还低 2. 其余同火山灰水泥	1. 大体积混凝土和地下工程 2. 一般工业和民用建筑	同火山灰质水泥
复合硅酸盐水泥	1. 水化热低 2. 保水性好 3. 抗硫酸侵蚀性好	1. 早期强度低,后期强度增进率大 2. 抗冻性差	1. 大体积混凝土和地下工程 2. 一般工业和民用建筑	同火山灰水泥

2.1.2 砂

砂分为天然砂和人工砂两类,我国建筑用砂主要以河砂(天然砂)为主。

配制混凝土宜选用 2 区颗粒级配的砂。当选用 1 区砂或 3 区砂时,应相应提高或降低砂率,以满足和易性、强度及耐久性的要求。

2.1.2.1 定义

(1)天然砂:由自然风化、水流搬运和分选、堆积形成的、粒径小于 4.75mm 的岩石颗粒,但不包括软质岩、风化岩石的颗粒。

(2)人工砂:经除土处理的机制砂、混合砂的统称。

机制砂:由机械破碎、筛分制成的,粒径小于 4.75mm 的岩石颗粒,但不包括软质岩、风化岩石的颗粒。

混合砂:由机制砂和天然砂混合制成的砂。

(3)含泥量:天然砂中粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的颗粒含量。

(4)石粉含量:人工砂中粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的颗粒含量。

(5)泥块含量:砂中原粒径大于 1.18mm,经水浸洗、手捏后小于 $600\mu\text{m}$ 的颗粒含量。

(6)细度模数:衡量砂粗细度的指标。

(7)坚固性:砂在自然风化和其他外界物理化学因素作用下抵抗破裂的能力。

(8)轻物质:表观密度小于 $2000\text{kg}/\text{m}^3$ 的物质。

(9)碱骨料反应:指水泥、外加剂等混凝土组成物中的碱与骨料中碱活性矿物在潮湿环境下缓慢作用并导致混凝土开裂破坏的膨胀反应。

2.1.2.2 分类与规格

1. 分类

砂按产源分天然砂、人工砂两类:

天然砂:包括河砂、湖砂、山砂、淡化海砂。

人工砂:包括机制砂、混合砂。

2. 规格

砂按细度模数分为粗、中、细三种规格,其细度模数分别为:

粗砂 $\mu_t = 3.7 \sim 3.1$

中砂 $\mu_t = 3.0 \sim 2.3$

细砂 $\mu_t = 2.2 \sim 1.6$

3. 类别与用途

砂按技术要求分为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类。

Ⅰ类宜用于强度等级大于 C60 的混凝土;Ⅱ类宜用于强度等级 C30~C60 及抗冻、抗渗或其他要求的混凝土;Ⅲ类宜用于强度等级小于 C30 的混凝土和建筑砂浆。

2.1.2.3 技术要求

1. 颗粒级配

砂的颗粒级配,表示砂的大小颗粒搭配情况。在混凝土中砂粒之间的空隙是由水泥浆所填充,为了达到节约水泥和提高强度的目的,应尽量选用颗粒级配较好的砂。使用良好颗粒级配的砂配制混凝土可用较少的水,且和易性好、均匀密实,同时达到节约水泥的效果。因此,颗粒级配是评定砂质量的重要指标。

砂的颗粒级配应符合表 2-6 的规定。

砂的颗粒级配

表 2-6

级配区 累计筛余(%) 方筛孔	1 区	2 区	3 区
9.50mm	0	0	0
4.75mm	10~0	10~0	10~0
2.36mm	35~5	25~0	15~0
1.18mm	65~35	50~10	25~0
600 μ m	85~71	70~41	40~16
300 μ m	95~80	92~70	85~55
150 μ m	100~90	100~90	100~90

- 注:1. 砂的实际颗粒级配与表中所列数字相比,除 4.75mm 和 600 μ m 筛档外,可以略有超出,但超出总量应小于 5%。
2. 1 区人工砂中 150 μ m 筛孔的累计筛余可以放宽到 100~85,2 区人工砂中 150 μ m 筛孔的累计筛余可以放宽到 100~80,3 区人工砂中 150 μ m 筛孔的累计筛余可以放宽到 100~75。

当颗粒级配不符合表 2-6 中要求时,应采取相应的技术措施,经试验证明能确保工程质量,方可使用。

2. 含泥量、石粉含量和泥块含量

(1)天然砂的含泥量和泥块含量应符合表 2-7 的规定。

天然砂的含泥量和泥块含量

表 2-7

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
含泥量 (按质量计), %	<1.0	<3.0	<5.0
泥块含量 (按质量计), %	0	<1.0	<2.0

(2)人工砂的石粉含量和泥块含量:

由于人工砂是机械破碎制成,其颗粒尖锐有棱角。石粉主要是由 $40\sim 75\mu\text{m}$ 的微粒组成,经实践证明,人工砂中有适量石粉的存在能起到完善其颗粒级配,提高混凝土密实性等益处。而砂石中的泥块将妨碍骨料与水泥浆的粘结,影响混凝土的强度和耐久性。人工砂的石粉含量和泥块含量应符合表 2-8 的规定。

砂的石粉含量和泥块含量

表 2-8

项 目				指 标		
				I 类	II 类	III 类
1	亚甲蓝试验	MB 值<1.40 或合格	石粉含量 (按质量计), %	<3.0	<5.0	<7.0 ^①
2			泥块含量 (按质量计), %	0	<1.0	<2.0
3		MB 值≥1.40 或不合格	石粉含量 (按质量计), %	<1.0	<3.0	<5.0
4			泥块含量 (按质量计), %	0	<1.0	<2.0

①根据使用地区和用途,在试验验证的基础上,可由供需双方协商确定

3. 有害物质

砂不应混有草根、树叶、树枝、煤块、炉渣等杂物。砂中如含有云母、轻物质、有机物、硫化物及硫酸盐、氯盐等,其含量应符合表 2-9 的规定。

砂的有害物质含量

表 2-9

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
云母(按质量计),%,<	1.0	2.0	2.0
轻物质(按质量计),%,<	1.0	1.0	1.0
有机物(比色法)	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐(按 SO_3 质量计),%,<	0.5	0.5	0.5
氯化物(以氯离子质量计),%,<	0.01	0.02	0.06

4. 坚固性

(1)天然砂采用硫酸钠溶液法进行试验,砂样经 5 次循环后其重量损失应符合表 2-10 的规定。

砂的坚固性指标

表 2-10

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
重量损失(%)<	8	8	10

(2)人工砂采用压碎指标法进行试验,压碎指标值应小于表 2-11 的规定。

人工砂压碎指标

表 2-11

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
单级最大压碎指标(%)≤	20	25	30

5. 表观密度、堆积密度、空隙率

砂表观密度、堆积密度、空隙率应符合如下规定:表观密度大于 $2500\text{kg}/\text{m}^3$;松散堆积密度大于 $1350\text{kg}/\text{m}^3$;空隙率小于 47%。

6. 碱骨料反应

经碱骨料反应试验后,由砂制备的试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象,在规定的试验期膨胀率应小于 0.10%。如经检验判断有潜在危害时,应尽量使用含碱量小于 0.6%的水泥,或采用能抑制碱—骨料反应的掺合料。

2.1.3 卵石、碎石

卵石、碎石是混凝土的主要组成材料之一,在混凝土中起骨架作用。卵石表面光滑,制成的混凝土和易性好,易捣固密实,缺点是与水泥浆的粘结力较碎石差,碎石表面粗糙且带棱角,与水泥浆粘结比较牢固。在配制高强混凝土时宜选用碎石。

2.1.3.1 定义

(1)卵石:由自然风化、水流搬运和分选、堆积形成的,粒径大于 4.75mm 的岩石颗粒。

(2)碎石:天然岩石或卵石经机械破碎、筛分制成的,粒径大于 4.75mm 的岩石颗粒。

(3)针、片状颗粒:卵石和碎石颗粒的长度大于该颗粒所属相应粒级的平均粒径 2.4 倍者为针状颗粒;厚度小于平均粒径 0.4 倍者为片状颗粒(平均粒径指该粒级上、下限粒径的平均值)。

(4)含泥量:卵石、碎石中粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的颗粒含量。

(5)泥块含量:卵石、碎石中原粒径大于 4.75mm ,经水浸洗、手捏后小于 2.36mm 的颗粒含量。

(6)坚固性:卵石、碎石在自然风化和其他外界物理化学因素作用下抵抗破裂的能力。

(7)碱骨料反应:指水泥、外加剂等混凝土构成物及环境中的碱与骨料中碱活性矿物在潮湿环境下缓慢发生并导致混凝土开裂破坏的膨胀反应。

2.1.3.2 分类与规格

1. 分类

(1)卵石;

(2)碎石。

2. 规格

按卵石、碎石粒径尺寸分为单粒粒级和连续粒级。亦可以根据需要采用不同单粒级卵石、碎石混合成特殊粒级的卵石、碎石。

3. 类别与用途

按卵石、碎石技术要求分为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类。

Ⅰ类宜用于强度等级大于C60的混凝土;Ⅱ类宜用于强度等级C30~C60及抗冻、抗渗或有其他要求的混凝土;Ⅲ类宜用于强度等级小于C30的混凝土。

2.1.3.3 技术要求

1. 颗粒级配

卵石、碎石应具有良好的颗粒级配,以减少空隙率,增强密实性,从而可以节约水泥,保证混凝土拌合物的和易性及强度。特别是配制高强混凝土,颗粒级配尤为重要。

单粒级宜用于组合成具有要求级配的连续粒级,也可与连续粒级混合使用,以改善其级配或配成较大粒度的连续粒级。不宜用单一的单粒级配制混凝土。如必须单独使用,则应作技术经济分析,并应通过试验证明不会发生离析或影响混凝土的质量,方允许使用。

卵石和碎石的颗粒级配应符合表2-12的规定。

表 2-12

碎石和卵石的颗粒级配

方筛孔(mm) 累计筛余(%)	公称粒径(mm)													
	2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5	53.0	63.0	75.0	90		
连续粒级	5~10	95~100	80~100	0~15	0									
	5~16	95~100	85~100	30~60	0~10	0								
	5~20	95~100	90~100	40~80	—	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	70~90	—	30~65	—	—	0~5	0				
单粒粒级	10~20		95~100	85~100		0~15	0							
	16~31.5		95~100		85~100		0~10	0						
	20~40			95~100		80~100		0~10	0					
	31.5~63				95~100		75~100	45~75		0~10	0			
	40~80					95~100		70~100		30~60	0~10	0		

2. 含泥量和泥块含量

卵石、碎石的含泥量和泥块含量应符合表 2-13 的规定。

碎石和卵石的含泥量和泥块含量 表 2-13

项 目	指 标		
	I 类	Ⅱ类	Ⅲ类
含泥量(按重量计), %	<0.5	<1.0	<1.5
泥块含量(按重量计), %	0	<0.5	<0.7

3. 针片状颗粒含量

卵石和碎石的针片状颗粒含量应符合表 2-14 的规定。

碎石和卵石的针片状颗粒含量 表 2-14

项 目	指 标		
	I 类	Ⅱ类	Ⅲ类
针片状颗粒(按重量计), %<	5	15	25

4. 有害物质

卵石和碎石中不应混有草根、树叶、塑料、煤块和炉渣等杂物。其有害物质含量应符合表 2-15 的规定。

碎石和卵石的有害物质含量 表 2-15

项 目	指 标		
	I 类	Ⅱ类	Ⅲ类
有机物	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐 (按 SO_3 重量计), %<	0.5	1.0	1.0

5. 坚固性

采用硫酸钠溶液法进行试验, 卵石和碎石经 5 次循环后, 其质量损失应符合表 2-16 的规定。

碎石和卵石的坚固性指标 表 2-16

项 目	指 标		
	I 类	Ⅱ类	Ⅲ类
重量损失(%)<	5	8	12

6. 强度

(1) 岩石抗压强度:

在水饱和状态下,其抗压强度火成岩应不小于 80MPa,变质岩应不小于 60MPa,水成岩应不小于 30MPa。

(2) 压碎指标

压碎指标值应不小于表 2-17 的规定。

碎石和卵石的压碎指标

表 2-17

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
碎石压碎指标(%)<	10	20	30
卵石压碎指标(%)<	12	16	16

7. 表观密度、堆积密度、空隙率

表观密度、堆积密度、空隙率应符合如下规定:表观密度大于 2500kg/m³;松散堆积密度大于 1350kg/m³;空隙率小于 47%。

8. 碱骨料反应

经碱骨料反应试验后,由卵石、碎石制备的试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象,在规定的试验龄期的膨胀率应小于 0.10%。

2.1.3.4 最大粒径及选用

粗骨料中公称粒级的上限称为该粒级的最大粒径。

混凝土用的粗骨料,其最大颗粒粒径不得超过结构截面最小尺寸的 1/4,且不得超过钢筋间最小净距的 3/4。对混凝土实心板,骨料的最大粒径不宜超过板厚的 1/2,且不得超过 50mm。

2.1.3.5 注意事项

骨料应按品种、规格分别堆放,不得混杂,并应做出相应的标识,骨料中严禁混入煅烧过的白云石或石灰块。

2.1.4 混凝土拌合用水

水是混凝土的主要组成材料之一。拌合用的水质不纯,可能产生多种有害作用,最常见的有:(1)影响混凝土的和易性及凝结;(2)有损混凝土强度的发展;(3)降低混凝土的耐久性,加快钢筋的腐蚀和导致预应力钢筋的脆断;(4)使混凝土表面出现污斑等。为

保证混凝土的质量和耐久性,必须使用合格的水拌制混凝土。

2.1.4.1 混凝土拌合用水的类型和应用

混凝土拌合用水按水源可分为饮用水、地表水、地下水、海水及经适当处理后的工业废水。

凡符合国家标准的生活用水,均可用于拌混凝土。地表水或地下水首次使用应进行适用性试验,合格才能使用。海水只允许用来拌制素混凝土,不宜用于拌制有饰面要求的混凝土、钢筋混凝土及预应力混凝土。混凝土生产厂及预拌混凝土搅拌站设备的洗刷水要依水中有害物含量确定适用于配制哪种混凝土,同时要注意其所含水泥和外加剂品种对拌混凝土性能的影响。工业废水必须经过处理,检验合格后方可使用。

2.1.4.2 混凝土拌合水的技术要求

按我国现行标准《混凝土拌合用水标准》(JGJ 63-1989)规定,混凝土拌合用水根据其对混凝土(或砂浆)物理力学性能的影响和有害物质含量控制质量,具体要求如下:

1. 凝结时间

用待检水与蒸馏水(或符合国家标准的生活用水)进行水泥凝结时间试验,两者的初、终凝时间差均不得大于 30min。待检水拌制的水泥浆的凝结时间尚应符合水泥国家标准的规定。

2. 强度

用待检水配制水泥砂浆或混凝土,并测定其 28 天抗压强度(有早期强度要求时需多留置试件),其强度值不应低于蒸馏水(或符合国家标准的生活用水)拌制的相应砂浆或混凝土抗压强度的 90%。

3. 有害物质含量

混凝土拌合用水的有害物质含量应符合表 2-18 的规定。

混凝土拌合用水质量要求

表 2-18

项 目	素混凝土	钢筋混凝土	预应力混凝土
pH 值不小于	4	4	4
不溶物(mg/L)不大于	5000	2000	2000
可溶物(mg/L)不大于	10000	5000	2000

续表

项 目	素混凝土	钢筋混凝土	预应力混凝土
氯化物(以 Cl^- 计,mg/L)不大于	3500	1200	500
硫酸盐(以 SO_4^{2-} 计,mg/L)不大于	2700	2700	600
硫化物(以 S^{2-} 计,mg/L)不大于			100

注:使用钢丝或热处理的预应力混凝土中氯化物含量不得超过 350mg/L。

2.2 普通混凝土配合比设计

普通混凝土的配合比设计,应以满足设计和施工要求,确保混凝土工程质量且达到经济合理为原则。按原材料性能及对混凝土的技术要求进行计算,并经试验室试配调整后确定。

本方法适用于工业与民用建筑及一般构筑物所采用的普通混凝土的配合比设计。

2.2.1 配合比设计的基本资料

- (1)混凝土设计强度等级;
- (2)工程特征(工程所处环境、结构断面、钢筋最小净距等);
- (3)水泥品种和强度等级;
- (4)砂、石的种类规格、表观密度及石子最大粒径;
- (5)施工方法等。

2.2.2 设计方法与步骤

普通混凝土配合比设计步骤,首先按照原始资料进行初步计算,得出“理论配合比”;经过试验室试拌调整,提出一个满足施工和易性的“基准配合比”;然后根据基准配合比进行表观密度和强度的调整,确定出满足设计和施工要求的“试验室配合比”;最后根据现场砂石实际含水率,将试验室配合比换算成“施工配合比”。

2.2.2.1 理论配合比的设计与计算

1. 混凝土配制强度的确定

(1)在实际施工过程中,由于原材料质量的波动和施工条件的波动,混凝土强度难免有波动,为使混凝土的强度保证率能满足国家标准的要求,必须使混凝土的试配强度高于设计强度等级。混凝

土配制强度应按下式计算：

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (2-1)$$

式中 $f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度(MPa)；

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值(MPa)；

σ ——混凝土强度标准差(MPa)。

(2)遇有下列情况时应提高混凝土配制强度：

1)现场条件与试验条件有显著差异时。

2)C30 级及其以上强度等级的混凝土,采用非统计方法评定时。

(3)混凝土强度标准差宜根据同类混凝土统计资料计算确定,并应符合下列规定：

1)计算时,强度试件组数不应少于 25 组。

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

3)当无统计资料计算混凝土强度标准差时,其值应按现行国家标准《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB 50204—92)的规定取用,即标准差 σ 按表 2-19 中数值取用,混凝土配制强度可按表 2-20 选取。

混凝土强度标准差 σ 值

表 2-19

混凝土强度等级	低于 C20	C20~C35	高于 C35
标准差 σ (MPa)	4.0	5.0	6.0

注:采用本表时,施工单位可根据实际情况对 σ 值作适当调整。

混凝土配制强度(MPa)

表 2-20

混凝土强度等级	混凝土强度标准差 σ (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

续表

混凝土强度等级	混凝土强度标准差 σ (MPa)					
	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
C20	—	24.1	24.9	26.6	28.2	29.9
C25	—	29.1	29.9	31.6	33.2	34.9
C30	—	—	34.9	36.6	38.2	39.9
C35	—	—	39.9	41.6	43.2	44.9
C40	—	—	44.9	46.6	48.2	49.9
C45	—	—	49.9	51.6	53.2	54.9
C50	—	—	54.9	56.6	58.2	59.9
C55	—	—	59.9	61.6	63.2	64.9
C60	—	—	64.9	66.6	68.2	69.9

2. 水灰比的确定

混凝土的强度主要取决于其水灰比值。当其他条件相同时,水灰比愈大,则混凝土强度愈低;反之,水灰比愈小,则混凝土强度愈高。它们之间的关系可用下式表示(此式适用于混凝土强度等级小于 C60 级):

$$W/C = \frac{\alpha_a \cdot f_{ce}}{f_{cu,0} + \alpha_a \cdot \alpha_b \cdot f_{ce}} \quad (2-2)$$

式中 W/C ——水灰比值;

α_a, α_b ——回归系数;

f_{ce} ——水泥 28d 抗压强度实测值(MPa)。

(1)当无水泥 28d 抗压强度实测值时,公式(2-2)中的 f_{ce} 值可按下式确定:

$$f_{ce} = \gamma_c \cdot f_{ce,g} \quad (2-3)$$

式中 γ_c ——水泥强度等级值的富余系数,可按实际统计资料确定;

$f_{ce,g}$ ——水泥强度等级值(MPa)。

(2) f_{ce} 值也可根据 3d 强度或快测强度推定 28d 强度关系式推定得出。

(3)回归系数 α_a 和 α_b 宜按下列规定确定:

1)回归系数 α_a 和 α_b 根据工程所使用的水泥、骨料,通过试验

由建立的水灰比与混凝土强度关系式确定。

2) 当不具备上述试验统计资料时,其回归系数可按表 2-21 采用。

回归系数 α_a, α_b 选用表

表 2-21

系数 \ 石子品种	碎石	卵石
α_a	0.46	0.48
α_b	0.07	0.33

(4) 由计算得出的水灰比值仅满足试配强度的需要,从耐久性角度出发混凝土还必须满足表 2-22 最大水灰比限值的规定。

混凝土的最大水灰比和最小水泥用量

表 2-22

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

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

2. 配制 C15 级及其以下等级的混凝土,可不受本表限制。

3. 冬季施工应优先选用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥。最少水泥用量不应少于 $300\text{kg}/\text{m}^3$,水灰比不应大于 0.60。

(5) 水灰比的确定和水灰比的调整可参考表 2-23 碎石混凝土强度与水泥强度、水灰比换算表和表 2-24 卵石混凝土强度与水泥强度、水灰比换算表取值。

表 2-23

碎石混凝土强度(f_{cu})与水泥强度(f_c)、水灰比(W/C)换算表

$\frac{f_c}{f_{cu,0.01}}$	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	44.0	45.0	46.0	47.0	48.0	49.0	50.0
0.40	36.9	38.0	39.1	40.2	41.4	42.5	43.6	44.7	45.8	46.9	48.1	49.2	50.3	51.4	52.5	53.7	54.8	55.9
0.41	36.0	37.1	38.1	39.2	40.3	41.4	42.5	43.6	44.7	45.8	46.9	48.0	49.0	50.1	51.2	52.3	53.4	54.5
0.42	35.1	36.1	37.2	38.3	39.3	40.4	41.5	42.5	43.6	44.6	45.7	46.8	47.8	48.9	50.0	51.0	52.1	53.2
0.43	34.2	35.3	36.3	37.4	38.4	39.4	40.5	41.5	42.5	43.6	44.6	45.7	46.7	47.7	48.8	49.8	50.8	51.9
0.44	33.4	34.5	35.5	36.5	37.5	38.5	39.5	40.5	41.5	42.6	43.6	44.6	45.6	46.6	47.6	48.6	49.7	50.7
0.45	32.7	33.7	34.6	35.6	36.6	37.6	38.6	39.6	40.6	41.6	42.6	43.6	44.6	45.5	46.5	47.5	48.5	49.5
0.46	31.9	32.9	33.9	34.8	35.8	36.8	37.7	38.7	39.7	40.6	41.6	42.6	43.6	44.5	45.5	46.5	47.4	48.4
0.47	31.2	32.2	33.1	34.1	35.0	36.0	36.9	37.9	38.8	39.8	40.7	41.6	42.6	43.5	44.5	45.4	46.4	47.3
0.48	30.6	31.5	32.4	33.3	34.3	35.2	36.1	37.0	38.0	38.9	39.8	40.7	41.7	42.6	43.5	44.5	45.4	46.3
0.49	29.9	30.8	31.7	32.6	33.5	34.5	35.4	36.3	37.2	38.1	39.0	39.9	40.8	41.7	42.6	43.5	44.4	45.3
0.50	29.3	30.2	31.1	32.0	32.8	33.7	34.6	35.5	36.4	37.3	38.2	39.1	40.0	40.8	41.7	42.6	43.5	44.4
0.51	28.7	29.6	30.4	31.3	32.2	33.1	33.9	34.8	35.7	36.5	37.4	38.3	39.1	40.0	40.9	41.8	42.6	43.5
0.52	28.1	29.0	29.8	30.7	31.5	32.4	33.2	34.1	34.9	35.8	36.7	37.5	38.4	39.2	40.1	40.9	41.8	42.6
0.53	27.6	28.4	29.2	30.1	30.9	31.8	32.6	33.4	34.3	35.1	35.9	36.8	37.6	38.4	39.2	40.1	40.9	41.8
0.54	27.1	27.9	28.7	29.5	30.3	31.1	32.0	32.8	33.6	34.4	35.2	36.1	36.9	37.7	38.5	39.3	40.2	41.0
0.55	26.5	27.3	28.1	29.0	29.8	30.6	31.4	32.2	33.0	33.8	34.6	35.4	36.2	37.0	37.8	38.6	39.4	40.2
0.56	26.0	26.8	27.6	28.4	29.2	30.0	30.8	31.6	32.4	33.1	33.9	34.7	35.5	36.3	37.1	37.9	38.7	39.5
0.57	25.6	26.3	27.1	27.9	28.7	29.4	30.2	31.0	31.8	32.6	33.3	34.1	34.9	35.6	36.4	37.2	38.0	38.7
0.58	25.1	25.9	26.6	27.4	28.2	28.9	29.6	30.4	31.2	32.0	32.8	33.5	34.2	35.0	35.7	36.5	37.3	38.0
0.59	24.7	25.4	26.2	26.9	27.6	28.4	29.2	29.9	30.6	31.4	32.1	32.9	33.6	34.4	35.1	35.9	36.6	37.4
0.60	24.2	25.0	25.7	26.4	27.2	27.9	28.6	29.4	30.1	30.8	31.6	32.3	33.1	33.8	34.5	35.2	36.0	36.7

续表

$\frac{f_{\text{e}}}{f_{\text{a},0}}$	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	44.0	45.0	46.0	47.0	48.0	49.0	50.0
W/C																		
0.61	23.8	24.5	25.3	26.0	26.7	27.5	28.2	28.9	29.6	30.3	31.0	31.8	32.5	33.3	34.0	34.7	35.4	36.1
0.62	23.4	24.1	24.8	25.6	26.3	27.0	27.8	28.4	29.1	29.8	30.5	31.2	31.9	32.6	33.4	34.1	34.8	35.5
0.63	23.0	23.7	24.4	25.1	25.8	26.5	27.2	27.9	28.5	29.3	30.0	30.7	31.4	32.1	32.8	33.5	34.2	34.9
0.64	22.7	23.3	24.0	24.7	25.4	26.1	26.8	27.5	28.2	28.8	29.5	30.2	30.9	31.6	32.3	33.0	33.6	34.3
0.65	22.3	23.0	23.6	24.3	25.0	25.7	26.3	27.0	27.7	28.4	29.0	29.7	30.4	31.1	31.7	32.4	33.1	33.8
0.66	21.9	22.6	23.3	23.9	24.6	25.3	26.0	26.6	27.3	27.9	28.6	29.2	29.9	30.6	31.3	31.9	32.6	33.2
0.67	21.6	22.2	22.9	23.6	24.2	24.9	25.5	26.2	26.8	27.5	28.1	28.8	29.4	30.1	30.8	31.4	32.0	32.7
0.68	21.3	21.9	22.6	23.2	23.9	24.5	25.1	25.7	26.4	27.0	27.7	28.3	29.0	29.6	30.3	30.9	31.6	32.2
0.69	20.9	21.6	22.2	22.8	23.5	24.2	24.8	25.4	26.0	26.7	27.3	28.0	28.6	29.2	29.8	30.5	31.1	31.7
0.70	20.6	21.2	21.9	22.5	23.1	23.7	24.4	25.0	25.6	26.2	26.9	27.5	28.1	28.7	29.4	30.0	30.6	31.2
0.71	20.3	20.9	21.5	22.2	22.8	23.4	24.0	24.7	25.3	25.9	26.5	27.1	27.7	28.3	28.9	29.6	30.2	30.8
0.72	20.0	20.6	21.2	21.8	22.5	23.1	23.7	24.3	24.9	25.5	26.1	26.7	27.3	27.9	28.5	29.1	29.7	30.3
0.73	19.7	20.3	20.9	21.5	22.1	22.8	23.4	23.9	24.5	25.1	25.7	26.3	26.9	27.5	28.1	28.7	29.3	29.9
0.74	19.5	20.0	20.6	21.2	21.7	22.3	23.0	23.6	24.1	24.7	25.3	25.9	26.5	27.1	27.7	28.3	28.9	29.5
0.75	19.2	19.8	20.3	20.9	21.5	22.1	22.7	23.2	23.8	24.3	24.9	25.5	26.1	26.7	27.3	27.9	28.5	29.1
0.76	18.9	19.5	20.1	20.6	21.2	21.8	22.4	22.9	23.5	24.1	24.6	25.2	25.8	26.4	26.9	27.5	28.1	28.7
0.77	18.6	19.2	19.8	20.4	20.9	21.5	22.0	22.6	23.1	23.7	24.3	24.9	25.4	26.0	26.6	27.1	27.7	28.3
0.78	18.4	19.0	19.5	20.1	20.6	21.2	21.7	22.3	22.9	23.4	24.0	24.5	25.1	25.6	26.2	26.8	27.3	27.9
0.79	18.2	18.7	19.3	19.8	20.4	20.9	21.5	22.0	22.6	23.1	23.7	24.2	24.8	25.3	25.9	26.4	27.0	27.5
0.80	17.9	18.5	19.0	19.5	20.1	20.6	21.1	21.7	22.2	22.8	23.3	23.9	24.4	25.0	25.5	26.1	26.6	27.1
0.81	17.7	18.2	18.7	19.3	19.8	20.4	20.9	21.4	22.0	22.5	23.1	23.6	24.1	24.6	25.2	25.7	26.3	26.8

续表

$\frac{f_1}{f_2}$	$\frac{f_1}{f_2}$	51.0	52.0	53.0	54.0	55.0	56.0	57.0	58.0	59.0	60.0	61.0	62.0	63.0	64.0	65.0	66.0	67.0	68.0
0.40	57.0	58.1	59.2	60.4	61.5	62.6	63.7	64.8	66.0	67.1	68.2	69.3	70.4	71.5	72.7	73.8	74.9	76.0	
0.41	55.6	56.7	57.8	58.8	59.9	61.0	62.1	63.2	64.3	65.4	66.5	67.6	68.7	69.7	70.8	71.9	73.0	74.1	
0.42	54.2	55.3	56.3	57.4	58.5	59.5	60.6	61.7	62.7	63.8	64.8	65.9	67.0	68.0	69.1	70.2	71.2	72.3	
0.43	52.9	54.0	55.0	56.0	57.1	58.1	59.1	60.2	61.2	62.3	63.3	64.3	65.4	66.4	67.4	68.5	69.4	70.6	
0.44	51.7	52.7	53.7	54.7	55.7	56.7	57.8	58.8	59.8	60.8	61.8	62.8	63.8	64.9	65.9	66.9	67.9	68.9	
0.45	50.5	51.5	52.5	53.5	54.5	55.5	56.4	57.4	58.4	59.4	60.4	61.4	62.4	63.4	64.4	65.3	66.3	67.3	
0.46	49.4	50.3	51.3	52.3	53.3	54.2	55.2	56.1	57.1	58.1	59.0	60.0	61.0	61.9	62.9	63.9	64.8	65.8	
0.47	48.3	49.2	50.2	51.1	52.1	53.0	54.0	54.9	55.8	56.8	57.7	58.7	59.6	60.6	61.5	62.5	63.4	64.4	
0.48	47.2	48.2	49.1	50.0	50.9	51.9	52.8	53.7	54.6	55.6	56.5	57.4	58.3	59.3	60.2	61.1	62.0	63.0	
0.49	46.2	47.1	48.0	49.0	49.9	50.8	51.7	52.6	53.5	54.4	55.3	56.2	57.1	58.0	58.9	59.8	60.7	61.6	
0.50	45.3	46.2	47.1	47.9	48.8	49.7	50.6	51.5	52.4	53.3	54.2	55.0	55.9	56.8	57.7	58.6	59.5	60.4	
0.51	44.1	45.2	46.1	47.0	47.8	48.7	49.6	50.4	51.3	52.2	53.1	53.9	54.8	55.7	56.5	57.4	58.3	59.1	
0.52	43.5	44.3	45.2	46.0	46.9	47.7	48.6	49.1	50.3	51.1	52.0	52.8	53.7	54.6	55.4	56.3	57.1	58.0	
0.53	42.6	43.5	44.3	45.1	46.0	46.8	47.6	48.5	49.3	50.1	51.0	51.8	52.6	53.5	54.3	55.2	56.0	56.8	
0.54	41.8	42.6	43.4	44.3	45.1	45.9	46.7	47.5	48.4	49.2	50.0	50.8	51.6	52.5	53.3	54.1	54.9	55.7	
0.55	41.0	41.8	42.6	43.4	44.2	45.0	45.8	46.6	47.4	48.3	49.1	49.9	50.7	51.5	52.3	53.1	53.9	54.7	
0.56	40.2	41.0	41.8	42.6	43.4	44.2	45.0	45.8	46.6	47.4	48.1	48.9	49.7	50.5	51.3	52.1	52.9	53.7	
0.57	39.5	40.3	41.1	41.8	42.6	43.4	44.2	44.9	45.7	46.5	47.3	48.0	48.8	49.6	50.4	51.1	51.9	52.7	
0.58	38.8	39.6	40.3	41.1	41.8	42.6	43.4	44.1	44.9	45.7	46.4	47.2	47.9	48.7	49.5	50.2	51.0	51.7	
0.59	38.1	38.9	39.6	40.4	41.1	41.9	42.6	43.4	44.1	44.8	45.6	46.3	47.1	47.8	48.6	49.3	50.1	50.8	
0.60	37.5	38.2	38.9	39.7	40.4	41.1	41.9	42.6	43.3	44.1	44.8	45.5	46.3	47.0	47.7	48.5	49.2	49.9	

续表

$\frac{f_{cu}}{W/C}$	51.0	52.0	53.0	54.0	55.0	56.0	57.0	58.0	59.0	60.0	61.0	62.0	63.0	64.0	65.0	66.0	67.0	68.0
0.61	36.8	37.5	38.3	39.0	39.7	40.4	41.1	41.9	42.6	43.3	44.0	44.8	45.5	46.2	46.9	47.6	48.4	49.1
0.62	36.2	36.9	37.6	38.3	39.0	39.7	40.5	41.2	41.9	42.6	43.3	44.0	44.7	45.4	46.1	46.8	47.5	48.3
0.63	35.6	36.3	37.0	37.7	38.4	39.1	39.8	40.5	41.2	41.9	42.6	43.3	44.0	44.7	45.4	46.1	46.8	47.5
0.64	35.0	35.7	36.4	37.1	37.8	38.4	39.1	39.8	40.5	41.2	41.9	42.6	43.3	44.0	44.7	45.4	46.1	46.8
0.65	34.5	35.1	35.8	36.5	37.2	37.8	38.5	39.2	39.9	40.5	41.2	41.9	42.6	43.3	44.0	44.7	45.4	46.1
0.66	33.9	34.6	35.2	35.9	36.6	37.2	37.9	38.6	39.2	39.9	40.6	41.2	41.9	42.5	43.2	43.9	44.5	45.2
0.67	33.3	34.0	34.7	35.3	36.0	36.6	37.3	38.0	38.6	39.3	39.9	40.6	41.2	41.9	42.5	43.2	43.8	44.5
0.68	32.9	33.5	34.1	34.8	35.4	36.1	36.7	37.4	38.0	38.7	39.3	39.9	40.6	41.2	41.9	42.5	43.2	43.8
0.69	32.3	33.0	33.6	34.3	34.8	35.5	36.2	36.8	37.4	38.1	38.7	39.3	40.0	40.6	41.2	41.9	42.5	43.1
0.70	31.9	32.5	33.1	33.7	34.4	35.0	35.6	36.2	36.8	37.5	38.1	38.7	39.4	40.0	40.6	41.2	41.9	42.5
0.71	31.4	32.0	32.6	33.2	33.9	34.5	35.0	35.7	36.3	36.9	37.6	38.2	38.8	39.4	40.0	40.6	41.3	41.9
0.72	30.9	31.5	32.2	32.8	33.4	34.0	34.6	35.2	35.8	36.4	37.0	37.6	38.2	38.8	39.4	40.0	40.6	41.3
0.73	30.5	31.1	31.7	32.3	32.9	33.5	34.1	34.7	35.3	35.9	36.5	37.1	37.7	38.3	38.9	39.5	40.1	40.7
0.74	30.1	30.6	31.2	31.8	32.4	33.0	33.6	34.2	34.8	35.4	36.0	36.5	37.1	37.7	38.3	38.9	39.5	40.0
0.75	29.6	30.2	30.8	31.4	32.0	32.5	33.1	33.7	34.3	34.9	35.4	36.0	36.6	37.2	37.8	38.4	38.9	39.5
0.76	29.3	29.8	30.4	30.9	31.5	32.1	32.7	33.2	33.8	34.4	35.0	35.5	36.1	36.7	37.3	37.8	38.4	39.0
0.77	28.9	29.4	30.0	30.5	31.1	31.7	32.2	32.8	33.3	33.9	34.5	35.0	35.6	36.2	36.7	37.3	37.9	38.4
0.78	28.4	29.0	29.5	30.1	30.7	31.2	31.8	32.3	32.9	33.4	34.0	34.6	35.1	35.7	36.2	36.8	37.4	37.9
0.79	28.1	28.6	29.2	29.7	30.2	30.8	31.4	31.9	32.4	33.0	33.6	34.1	34.6	35.2	35.8	36.3	36.8	37.4
0.80	27.6	28.2	28.8	29.3	29.9	30.4	30.9	31.5	32.0	32.6	33.1	33.7	34.2	34.7	35.3	35.8	36.4	36.9
0.81	27.3	27.9	28.4	28.9	29.5	30.0	30.5	31.1	31.6	32.1	32.7	33.2	33.7	34.3	34.8	35.4	35.9	36.4

注:表中所示混凝土配制强度($f_{cu,o}$)及相对应的水灰比值(W/C)系按表 2-21 回归系数值推导而得,当回归系数不同时不得参考该表选取水灰比。 f_{cu} 值可根据 3d 强度或快测强度推定 28d 强度关系式推定得出。

表 2-24

卵石混凝土强度($f_{cu,0}$)与水泥强度(f_{ce})、水灰比(W/C)换算表

f_{ce} W/C	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	44.0	45.0	46.0	47.0	48.0	49.0	50.0
0.40	34.4	35.4	36.5	37.5	38.5	39.6	40.6	41.7	42.7	43.7	44.8	45.8	46.9	47.9	49.0	50.0	51.0	52.0
0.41	33.4	34.4	35.4	36.4	37.5	38.5	39.5	40.5	41.5	42.5	43.5	44.5	45.6	46.6	47.6	48.6	49.6	50.6
0.42	32.5	33.5	34.5	35.4	36.4	37.4	38.4	39.4	40.4	41.3	42.3	43.3	44.3	45.3	46.3	47.3	48.2	49.2
0.43	31.6	32.6	33.5	34.5	35.4	36.4	37.4	38.3	39.3	40.2	41.2	42.1	43.1	44.1	45.0	46.0	46.9	47.9
0.44	30.8	31.7	32.6	33.6	34.5	35.4	36.4	37.3	38.2	39.2	40.1	41.0	42.0	42.9	43.8	44.8	45.7	46.6
0.45	30.0	30.9	31.8	32.7	33.6	34.5	35.4	36.3	37.2	38.1	39.1	40.0	40.9	41.8	42.7	43.6	44.5	45.4
0.46	29.2	30.1	31.0	31.9	32.7	33.6	34.5	35.4	36.3	37.2	38.1	38.9	39.8	40.7	41.6	42.5	43.4	44.3
0.47	28.5	29.3	30.2	31.1	31.9	32.8	33.7	34.5	35.4	36.2	37.1	38.0	38.8	39.7	40.6	41.4	42.3	43.1
0.48	27.8	28.6	29.5	30.3	31.1	32.0	32.8	33.7	34.5	35.3	36.2	37.0	37.9	38.7	39.6	40.4	41.2	42.1
0.49	27.1	27.9	28.7	29.6	30.4	31.2	32.0	32.8	33.7	34.5	35.3	36.1	37.0	37.8	38.6	39.4	40.2	41.1
0.50	26.5	27.3	28.1	28.9	29.7	30.5	31.3	32.1	32.9	33.7	34.5	35.3	36.1	36.9	37.7	38.5	39.3	40.1
0.51	25.8	26.6	27.4	28.2	29.0	29.7	30.5	31.3	32.1	32.9	33.7	34.4	35.2	36.0	36.8	37.6	38.4	39.1
0.52	25.2	26.0	26.8	27.5	28.3	29.1	29.8	30.6	31.4	32.1	32.9	33.6	34.4	35.2	35.9	36.7	37.5	38.2
0.53	24.7	25.4	26.2	26.9	27.7	28.4	29.1	29.9	30.6	31.4	32.1	32.9	33.6	34.4	35.1	35.9	36.6	37.4
0.54	24.1	24.8	25.6	26.3	27.0	27.8	28.5	29.2	30.0	30.7	31.4	32.1	32.9	33.6	34.3	35.1	35.8	36.5
0.55	23.6	24.3	25.0	25.7	26.4	27.1	27.9	28.6	29.3	30.0	30.7	31.4	32.1	32.9	33.6	34.3	35.0	35.7
0.56	23.1	23.8	24.5	25.2	25.9	26.6	27.2	27.9	28.6	29.3	30.0	30.7	31.4	32.1	32.8	33.5	34.2	34.9
0.57	22.6	23.2	23.9	24.6	25.3	26.0	26.7	27.3	28.0	28.7	29.4	30.1	30.8	31.5	32.1	32.8	33.5	34.2
0.58	22.1	22.8	23.4	24.1	24.8	25.4	26.1	26.8	27.4	28.1	28.8	29.4	30.1	30.8	31.5	32.1	32.8	33.5
0.59	21.6	22.3	22.9	23.6	24.2	24.9	25.6	26.2	26.9	27.5	28.2	28.8	29.5	30.1	30.8	31.4	32.1	32.8
0.60	21.2	21.8	22.5	23.1	23.7	24.4	25.0	25.7	26.3	26.9	27.6	28.2	28.9	29.5	30.2	30.8	31.4	32.1

续表

$\frac{f_{ce}}{W/C}$	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	44.0	45.0	46.0	47.0	48.0	49.0	50.0
0.61	20.7	21.4	22.0	22.6	23.3	23.9	24.5	25.1	25.8	26.4	27.0	27.7	28.3	28.9	29.5	30.2	30.8	31.4
0.62	20.3	20.9	21.6	22.2	22.8	23.4	24.0	24.6	25.2	25.9	26.5	27.1	27.7	28.3	28.9	29.6	30.2	30.8
0.63	19.9	20.5	21.1	21.7	22.3	22.9	23.5	24.1	24.7	25.3	26.0	26.6	27.2	27.8	28.4	29.0	29.6	30.2
0.64	19.5	20.1	20.7	21.3	21.9	22.5	23.1	23.7	24.3	24.8	25.4	26.0	26.6	27.2	27.8	28.4	29.0	29.6
0.65	19.1	19.7	20.3	20.9	21.5	22.0	22.6	23.2	23.8	24.4	24.9	25.5	26.1	26.7	27.3	27.8	28.4	29.0
0.66	18.8	19.3	19.9	20.5	21.0	21.6	22.2	22.8	23.3	23.9	24.5	25.0	25.6	26.2	26.7	27.3	27.8	28.4
0.67	18.4	19.0	19.5	20.1	20.6	21.2	21.8	22.3	22.9	23.4	24.0	24.6	25.1	25.7	26.2	26.8	27.3	27.9
0.68	18.1	18.6	19.2	19.7	20.3	20.8	21.4	21.9	22.4	23.0	23.5	24.1	24.6	25.2	25.7	26.3	26.8	27.4
0.69	17.7	18.3	18.8	19.3	19.9	20.4	21.0	21.5	22.0	22.6	23.1	23.6	24.2	24.7	25.3	25.8	26.3	26.9
0.70	17.4	17.9	18.5	19.0	19.5	20.0	20.6	21.1	21.6	22.1	22.7	23.2	23.7	24.3	24.8	25.3	25.8	26.4
0.71	17.1	17.6	18.1	18.6	19.2	19.7	20.2	20.7	21.2	21.7	22.3	22.8	23.3	23.8	24.3	24.8	25.4	25.9
0.72	16.8	17.3	17.8	18.3	18.8	19.3	19.8	20.3	20.8	21.3	21.9	22.4	22.9	23.4	23.9	24.4	24.9	25.4
0.73	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
0.74	16.2	16.7	17.2	17.6	18.1	18.6	19.1	19.6	20.1	20.6	21.1	21.6	22.1	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5
0.75	15.9	16.4	16.9	17.3	17.8	18.3	18.8	19.3	19.7	20.2	20.7	21.2	21.7	22.2	22.6	23.1	23.6	24.1
0.76	15.6	16.1	16.6	17.0	17.5	18.0	18.5	18.9	19.4	19.9	20.3	20.8	21.3	21.8	22.2	22.7	23.2	23.7
0.77	15.3	15.8	16.3	16.7	17.2	17.7	18.1	18.6	19.1	19.5	20.0	20.5	20.9	21.4	21.9	22.3	22.8	23.2
0.78	15.1	15.5	16.0	16.5	16.9	17.4	17.8	18.3	18.7	19.2	19.7	20.1	20.6	21.0	21.5	21.9	22.4	22.8
0.79	14.8	15.3	15.7	16.2	16.6	17.1	17.5	18.0	18.4	18.9	19.3	19.8	20.2	20.7	21.1	21.6	22.0	22.5
0.80	14.6	15.0	15.5	15.9	16.3	16.8	17.2	17.7	18.1	18.5	19.0	19.4	19.9	20.3	20.8	21.2	21.6	22.1
0.81	14.3	14.8	15.2	15.6	16.1	16.5	16.9	17.4	17.8	18.2	18.7	19.1	19.5	20.0	20.4	20.8	21.3	21.7

续表

$\frac{f_{\alpha}}{W/C}$	$f_{\alpha,0}$	51.0	52.0	53.0	54.0	55.0	56.0	57.0	58.0	59.0	60.0	61.0	62.0	63.0	64.0	65.0	66.0	67.0	68.0
0.40	53.1	54.2	55.2	56.2	57.3	58.3	59.1	60.4	61.5	62.5	63.4	64.6	65.6	66.7	67.7	68.7	69.8	70.8	
0.41	51.6	52.6	53.7	54.7	55.7	56.7	57.7	58.7	59.7	60.7	61.8	62.8	63.8	64.8	65.8	66.8	67.8	68.8	
0.42	50.2	51.2	52.2	53.2	54.1	55.1	56.1	57.1	58.1	59.1	60.1	61.0	62.0	63.0	64.0	65.0	66.0	66.9	
0.43	48.9	49.8	50.8	51.7	52.7	53.6	54.6	55.6	56.5	57.5	58.4	59.4	60.3	61.3	62.3	63.2	64.2	65.1	
0.44	47.6	48.5	49.4	50.4	51.3	52.2	53.2	54.1	55.0	56.0	56.9	57.8	58.7	59.7	60.6	61.5	62.5	63.4	
0.45	46.3	47.2	48.1	49.0	50.0	50.9	51.8	52.7	53.6	54.5	55.4	56.3	57.2	58.1	59.0	59.9	60.9	61.8	
0.46	45.1	46.0	46.9	47.8	48.7	49.6	50.5	51.3	52.2	53.1	54.0	54.9	55.8	56.6	57.5	58.4	59.3	60.2	
0.47	44.0	44.9	45.7	46.6	47.5	48.3	49.2	50.0	50.9	51.8	52.6	53.5	54.4	55.2	56.1	57.0	57.8	58.7	
0.48	42.9	43.8	44.6	45.4	46.3	47.1	48.0	48.8	49.7	50.5	51.3	52.2	53.0	53.9	54.7	55.5	56.4	57.2	
0.49	41.9	42.7	43.5	44.3	45.2	46.0	46.8	47.6	48.5	49.3	50.1	50.9	51.7	52.6	53.4	54.2	55.0	55.8	
0.50	40.9	41.7	42.5	43.3	44.1	44.9	45.7	46.5	47.3	48.1	48.9	49.1	50.5	51.3	52.1	52.9	53.7	54.5	
0.51	39.9	40.7	41.5	42.3	43.1	43.8	44.6	45.4	46.2	47.0	47.8	48.5	49.3	50.1	50.9	51.7	52.4	53.2	
0.52	39.0	39.8	40.5	41.3	42.1	42.8	43.6	44.4	45.1	45.9	46.6	47.4	48.2	48.9	49.7	50.5	51.2	52.0	
0.53	38.1	38.9	39.6	40.4	41.1	41.8	42.6	43.3	44.1	44.8	45.6	46.3	47.1	47.8	48.6	49.3	50.1	50.8	
0.54	37.3	38.0	38.7	39.4	40.2	40.9	41.6	42.4	43.1	43.8	44.6	45.3	46.0	46.8	47.5	48.2	48.9	49.7	
0.55	36.4	37.1	37.9	38.6	39.3	40.0	40.7	41.4	42.1	42.9	43.6	44.3	45.0	45.7	46.4	47.1	47.9	48.6	
0.56	35.6	36.3	37.0	37.7	38.4	39.1	39.8	40.5	41.2	41.9	42.6	43.3	44.0	44.7	45.4	46.1	46.8	47.5	
0.57	34.9	35.6	36.2	36.9	37.6	38.3	39.0	39.7	40.3	41.0	41.7	42.4	43.1	43.8	44.4	45.1	45.8	46.5	
0.58	34.1	34.8	35.5	36.1	36.8	37.5	38.1	38.8	39.5	40.2	40.8	41.5	42.2	42.8	43.5	44.2	44.8	45.5	
0.59	33.4	34.1	34.7	35.1	36.0	36.7	37.3	38.0	38.7	39.3	40.0	40.6	41.3	41.9	42.6	43.2	43.9	44.6	
0.60	32.7	33.4	34.0	34.6	35.3	35.9	36.6	37.2	37.9	38.5	39.1	39.8	40.4	41.1	41.7	42.3	43.0	43.6	

续表

f_{cc} $f_{cu,0}$ W/C	51.0	52.0	53.0	54.0	55.0	56.0	57.0	58.0	59.0	60.0	61.0	62.0	63.0	64.0	65.0	66.0	67.0	68.0
0.61	32.1	32.7	33.3	33.9	34.6	35.2	35.8	36.5	37.1	37.7	38.3	39.0	39.6	40.2	40.9	41.5	42.1	42.7
0.62	31.4	32.0	32.6	33.3	33.9	34.5	35.1	35.7	36.3	36.9	37.6	38.2	38.8	39.4	40.0	40.6	41.3	41.9
0.63	30.8	31.4	32.0	32.6	33.2	33.8	34.4	35.0	35.6	36.2	36.8	37.4	38.0	38.6	39.2	39.8	40.4	41.0
0.64	30.2	30.8	31.4	31.9	32.5	33.1	33.7	34.3	34.9	35.5	36.1	36.7	37.3	37.9	38.5	39.0	39.6	40.2
0.65	29.6	30.2	30.7	31.3	31.9	32.5	33.1	33.6	34.2	34.8	35.4	36.0	36.5	37.1	37.7	38.3	38.9	39.4
0.66	29.0	29.6	30.2	30.7	31.3	31.9	32.4	33.0	33.6	34.1	34.7	35.3	35.8	36.4	37.0	37.5	38.1	38.7
0.67	28.5	29.0	29.6	30.1	30.7	31.2	31.8	32.4	32.9	33.5	34.0	34.6	35.2	35.7	36.3	36.8	37.4	37.9
0.68	27.9	28.5	29.0	29.6	30.1	30.7	31.2	31.8	32.3	32.8	33.4	33.9	34.5	35.0	35.6	36.1	36.7	37.2
0.69	27.4	27.9	28.5	29.0	29.6	30.1	30.6	31.2	31.7	32.2	32.8	33.3	33.8	34.4	34.9	35.5	36.0	36.5
0.70	26.9	27.4	27.9	28.5	29.0	29.5	30.1	30.6	31.1	31.6	32.2	32.7	33.2	33.7	34.3	34.8	35.3	35.9
0.71	26.4	26.9	27.4	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0	30.5	31.1	31.6	32.1	32.6	33.1	33.7	34.2	34.7	35.2
0.72	25.9	26.4	26.9	27.4	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.1	34.6
0.73	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	27.9	28.4	28.9	29.4	29.9	30.4	30.9	31.4	31.9	32.4	32.9	33.4	33.9
0.74	25.0	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	27.9	28.4	28.9	29.4	29.9	30.4	30.9	31.4	31.9	32.4	32.8	33.3
0.75	24.6	25.0	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	27.9	28.4	28.9	29.4	29.9	30.4	30.9	31.4	31.8	32.3	32.7
0.76	24.1	24.6	25.1	25.6	26.0	26.5	27.0	27.4	27.9	28.4	28.9	29.4	29.9	30.4	30.8	31.2	31.7	32.2
0.77	23.7	24.2	24.6	25.1	25.6	26.0	26.5	27.0	27.4	27.9	28.4	28.9	29.4	29.9	30.3	30.7	31.2	31.6
0.78	23.3	23.8	24.2	24.7	25.1	25.6	26.0	26.5	27.0	27.4	27.9	28.4	28.9	29.4	29.8	30.2	30.6	31.1
0.79	22.9	23.4	23.8	24.3	24.7	25.2	25.6	26.1	26.5	27.0	27.4	27.9	28.3	28.7	29.2	29.6	30.1	30.5
0.80	22.5	23.0	23.4	23.8	24.3	24.7	25.2	25.6	26.1	26.5	26.9	27.4	27.8	28.3	28.7	29.1	29.6	30.0
0.81	22.1	22.6	23.0	23.4	23.9	24.3	24.7	25.2	25.6	26.1	26.5	26.9	27.4	27.8	28.2	28.7	29.1	29.5

注:表中所列混凝土配制强度($f_{cu,0}$)及相对应的水灰比值(W/C)系按表 2-21 回归系数值推导而得,当回归系数不同时不得参考该表选取水灰比。 f_{cc} 值可根据 3d 强度或快测强度推定 28d 强度关系式推定得出。

3. 每立方米混凝土用水量的确定

(1) 干硬性和塑性混凝土上的用水量的确定:

1) 水灰比 0.40~0.80 范围时, 根据粗骨料的品种、粒径及施工要求的混凝土拌合物稠度, 其用水量可按表 2-25 选取。

干硬性和塑性混凝土的用水量(kg/m³) 表 2-25

拌合物稠度		卵石最大粒径(mm)				碎石最大粒径(mm)			
项目	指标	10	20	31.5	40	16	20	31.5	40
维勃稠度(s)	16~20	175	160	—	145	180	170	—	155
	11~15	180	165	—	150	185	175	—	160
	5~10	185	170	—	155	190	180	—	165
坍落度(mm)	10~30	190	170	160	150	200	185	175	165
	35~50	200	180	170	160	210	195	185	175
	55~70	210	190	180	170	220	205	195	185
	75~90	215	195	185	175	230	215	205	195

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

2. 掺用各种外加剂或掺合料时, 用水量应相应调整。

2) 水灰比小于 0.40 的混凝土以及采用特殊成型工艺的混凝土用水量应通过试验确定。

(2) 流动性和大流动性的混凝土的用水量宜按下列步骤计算:

1) 以表 2-25 中的坍落度 90mm 的用水量为基础, 按坍落度每增大 20mm 用水量增加 5kg, 计算出未掺外加剂时的混凝土的用水量。

2) 掺外加剂时的混凝土用水量可按下式计算:

$$m_{wa} = m_{wo}(1 - \beta) \quad (2-4)$$

式中 m_{wa} ——掺外加剂混凝土每立方米混凝土上的用水量(kg);

m_{wo} ——未掺外加剂混凝土每立方米混凝土的用水量(kg);

β ——外加剂的减水率(%)。

3) 外加剂的减水率应经试验确定。

4. 每立方米混凝土上的水泥用量(m_{co})的计算

$$m_{co} = \frac{m_{wo}}{W/C} \quad (2-5)$$

按上式计算所得的每立方米水泥用量应不低于表 2-22 规定的最小水泥用量值。

5. 混凝土的砂率选取

当无历史资料可参考时,混凝土砂率的确定应符合下列规定:

(1)坍落度为 10~60mm 的混凝土砂率,可根据粗骨料品种、粒径及水灰比按表 2-26 选取。

混凝土的砂率(%)

表 2-26

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

注:1. 本表数值系中砂的选用砂率,对细砂或粗砂可相应地减少或增大砂率。

2. 只用一个单粒级粗骨料配制混凝土时,砂率应适当增大。

3. 对薄壁构件,砂率取偏大值。

4. 本表中的砂率系指砂与骨料总量的重量比。

(2)坍落度大于 60mm 的混凝土砂率,可经试验确定,也可在表 2-26 的基础上,按坍落度每增大 20mm,砂率增大 1% 的幅度予以调整。

(3)坍落度小于 10mm 的混凝土,其砂率应经试验确定。

6. 粗骨料和细骨料用量的计算

进行混凝土配合比计算时,其计算公式和有关参数表格中的数值均系以干燥状态骨料(系指含水率小于 0.5% 的细骨料或含水率小于 0.2% 的粗骨料)为基准。当以饱和面干骨料为基准进行计算时,则应做相应的修正。

水泥用量和用水量确定以后就可以计算出每立方米混凝土中的粗、细骨料用量。一般可以用重量法和体积法两种方法来进行计算。

(1) 当采用重量法时,应按下列公式计算:

$$m_{co} + m_{go} + m_{so} + m_{wo} = m_{cp} \quad (2-6)$$

$$\beta_s = \frac{m_{so}}{m_{go} + m_{so}} \times 100\% \quad (2-7)$$

式中 m_{co} ——每立方米混凝土的水泥用量(kg);

m_{go} ——每立方米混凝土的粗骨料用量(kg);

m_{so} ——每立方米混凝土的细骨料用量(kg)

m_{wo} ——每立方米混凝土的用水量(kg);

β_s ——砂率(%);

m_{cp} ——每立方米混凝土拌合物的假定重量(kg),其值可取 2350~2450kg。

(2) 当采用体积法时,应按下列公式计算:

$$\frac{m_{co}}{\rho_c} + \frac{m_{go}}{\rho_g} + \frac{m_{so}}{\rho_s} + \frac{m_{wo}}{\rho_w} + 0.01\alpha = 1 \quad (2-8)$$

$$\beta_s = \frac{m_{so}}{m_{go} + m_{so}} \times 100\% \quad (2-9)$$

式中 ρ_c ——水泥密度(kg/m³),可取 2900~3100kg/m³;

ρ_g ——粗骨料的表观密度(kg/m³);

ρ_s ——细骨料的表观密度(kg/m³);

ρ_w ——水的密度(kg/m³),可取 1000kg/m³;

α ——混凝土的含气量百分数,在不使用引气型外加剂时, α 可取 1。

2.2.2.2 试配,提出基准配合比

试配是混凝土配合比设计中的一个重要阶段。按前面方法设计和计算得到的每立方米混凝土各组分材料用量必须经试配,进行拌合物性能检验,并提出供强度试验用的基准配合比。

(1) 进行混凝土配合比试配时应采用工程中实际使用的原材料。混凝土的搅拌方法,宜与生产时使用的方法相同。

(2) 混凝土配合比试配时, 每盘混凝土的最小搅拌量应符合表 2-27 的规定; 当采用机械搅拌时, 其搅拌量不应小于搅拌机额定搅拌量的 1/4。

混凝土试配的最小搅拌量

表 2-27

骨料最大粒径 (mm)	拌合物数量 (L)
31.5 及以下	15
40	25

(3) 试配时材料称量的精确度为: 骨料 $\pm 1\%$; 水、水泥及外加剂均为 $\pm 0.5\%$ 。

(4) 按计算得出的理论配合比进行试配, 首先应检查拌合物的性能。当坍落度或维勃稠度不能满足要求, 或粘聚性和保水性不好时, 应在保证水灰比不变的条件下相应调整用水量或砂率, 一般调整幅度为 $1\% \sim 2\%$, 逐步调整直到符合要求为止。然后提出供强度试验用的基准混凝土配合比。具体调整方法见表 2-28。

混凝土拌合物和易性的调整方法

表 2-28

不能满足要求情况	调 整 方 法
坍落度小于要求, 粘聚性和保水性合适	保持水灰比不变, 增加水泥和水用量。相应减少砂石用量 (砂率不变)
坍落度大于要求, 粘聚性和保水性合适	保持水灰比不变, 减少水和水泥用量, 相应增加砂、石用量 (砂率不变)
坍落度合适, 粘聚性和保水性不好	增加砂率 (保持砂、石总量不变, 提高砂用量, 减少石子用量)
砂浆过多引起坍落度过大	减少砂率 (保持砂、石总重量不变, 减少砂用量, 增加石子用量)

经调整后得基准混凝土配合比: $m_{cj} : m_{wj} : m_{sj} : m_{gj}$ 。

2.2.2.3 检验强度, 确定试验室配合比

1. 检验强度

(1) 检验混凝土强度时, 至少应采用三个不同的配合比, 其中一个应为已确定的基准配合比, 另外两个配合比的水灰比, 宜

较基准配合比分别增加和减少 0.05；用水量应与基准配合比相同，砂率可分别增加或减少 1%。

(2) 制作混凝土强度试件时，尚应检验混凝土拌合物的坍落度或维勃稠度、粘聚性、保水性及拌合物的表观密度，并以此结果作为代表相应配合比的混凝土拌合物的性能。当不同水灰比的混凝土拌合物的坍落度超过要求值时，保持水灰比不变，用水量可作适当调整。制作的混凝土立方体试件的边长，应根据石子最大粒径按表 2-29 中的规定选定。

允许的试件最小尺寸及其强度折算系数 表 2-29

骨料最大粒径 (mm)	试件边长 (mm)	强度折算系数
31.5 及以下	100	0.95
40	150	1
63	200	1.05

(3) 进行混凝土强度试验时，每种配合比至少应制作一组（三块）试件，标准养护到 28 天（当掺用粉煤灰时，应按有关现行国家标准规定的龄期进行强度的检验）时试压，其结果作为确定试验室配合比的依据。

需要时可同时制作几组试件，供快速检验或较早龄期试压，以便提前定出混凝土配合比供施工使用。但应待标准养护 28 天的龄期强度检验结果出来后重新调整配合比。

2. 确定试验室配合比

(1) 根据试验得出的混凝土强度与其相应的灰水比 (C/W) 关系，用作图法或计算法求出与混凝土配制强度 ($f_{cu,0}$) 相对应的灰水比，并应按下列原则确定每立方米混凝土的材料用量：

1) 用水量 (m_w) 应在基准配合比用水量的基准上，根据制作强度试件的测得坍落度或维勃稠度进行调整确定。

2) 水泥用量 (m_c) 应以用水量乘以选定的灰水比计算确定。

3) 粗骨料和细骨料用量 (m_g 和 m_s) 应在基准配合比的粗骨

料和细骨料用量的基础上，按选定的灰水比进行调整后确定。

(2) 按强度确定配合比后，尚应按下列步骤进行表观密度校正：

1) 应根据以上确定的材料用量按下式计算混凝土的表观密度计算值 $\rho_{c,c}$ ：

$$\rho_{c,c} = m_c + m_g + m_s + m_w \quad (2-10)$$

2) 应按下式计算混凝土配合比的校正系数 δ ：

$$\delta = \frac{\rho_{c,t}}{\rho_{c,c}} \quad (2-11)$$

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)。

3) 当混凝土表观密度实测值与计算值之差的绝对值不超过计算值的 2% 时，按上述确定的配合比即为试验室配合比；当二者之差超过 2% 时，应将配合比中每项材料用量均乘以校正系数 δ ，即为确定的试验室配合比： $m_c : m_w : m_s : m_g$ 。

2.2.2.4 施工配合比的换算

由于试验室配合比是以干燥状态骨料（砂含水率小于 0.5%，石子含水率小于 0.2%）为基准计算的。因此，施工现场进行混凝土搅拌前，必须测定骨料的含水率，按实测结果将试验室配合比换算为施工配合比。可按下式进行计算（水泥用量为原值 $m'_c = m_c$ ）：

1. 砂用量计算

$$m'_s = m_s(1 + a') \quad (2-12)$$

式中 m'_s ——施工配合比中砂每立方米用量 (kg)；

m_s ——试验室配合比中砂每立方米用量 (kg)；

a' ——砂的含水率 (%)。

2. 石子用量计算

$$m'_g = m_g(1 + b') \quad (2-13)$$

式中 m'_g ——施工配合比中石子每立方米用量 (kg)；

m_g ——试验室配合比中石子每立方米用量 (kg)；

b' ——石子的含水率(%)。

3. 用水量计算

$$m'_w = m_w - (m_s \cdot a' + m_g \cdot b') \quad (2-14)$$

式中 m'_w ——施工配合比中每立方米的用水量(kg)；

m_w ——试验室配合比中每立方米的用水量(kg)；

施工配合比为：

$$m'_w : m'_c : m'_s : m'_g$$

2.2.3 普通混凝土配合比设计实例

【基本资料】

某工程为多层办公楼，主体为钢筋混凝土框架结构，设计混凝土强度等级为C30，梁、柱的最小截面边长为300mm，钢筋间最小净距为50mm，施工要求混凝土拌合物坍落度为35~50mm，机拌、机捣所用原材料如下：

水泥：普通32.5级， $\rho_c = 3000\text{kg/m}^3$ ， $f_{ce} = 37.0\text{MPa}$ 。

砂：中砂，属Ⅱ区颗粒级配， $\rho_s = 2650\text{kg/m}^3$ 。

碎石：5~31.5mm连续粒级，最大粒径31.5mm， $\rho_g = 2680\text{kg/m}^3$ 。

水：饮用水。

【设计步骤】

一、计算理论配合比

1. 确定混凝土配制强度($f_{cu,0}$)

按题意已知：设计要求混凝土强度 $f_{cu,k} = 30\text{MPa}$ ，无历史统计资料，查表2-19，标准差 $\sigma = 5.0\text{MPa}$ 。

混凝土配制强度：

$$f_{cu,0} = 30 + 1.645 \times 5.0 = 38.2\text{MPa}$$

2. 计算水灰比(W/C)

(1) 按强度要求计算水灰比：

已知：混凝土配制强度 $f_{cu,0} = 38.2\text{MPa}$ ，水泥28天实际强度 $f_u = 37.0\text{MPa}$ 。无混凝土强度回归系数统计资料，采用碎石查表2-21 $\alpha_a = 0.46$ ； $\alpha_b = 0.07$ 。计算水灰比：

$$\begin{aligned}
 W/C &= \frac{\alpha_a \cdot f_{ce}}{f_{cu,0} + \alpha_a \cdot \alpha_b \cdot f_{ce}} \\
 &= \frac{0.46 \times 37.0}{38.2 + 0.46 \times 0.07 \times 37.0} \\
 &= 0.43
 \end{aligned}$$

注：水灰比值可直接查表 2-23。

(2) 验 W/C 是否符合耐久性要求：

查表 2-22，混凝土结构所处的环境属于干燥环境，允许最大水灰比为 0.65。按强度计算的水灰比值 0.43 符合耐久性要求。采用计算水灰比值 0.43。

3. 确定每立方米混凝土的用水量 (m_{w0})

按题意，已知混凝土拌合物要求坍落度 35~50mm，碎石最大粒径为 31.5mm。查表 2-25 得知用水量 $m_{w0}=185\text{kg/m}^3$ 。

4. 计算每立方米混凝土的水泥用量 (m_{c0})

(1) 按强度计算水泥用量：

已知：混凝土单方水用量 $m_{w0}=185\text{kg/m}^3$ ，水灰比 $W/C=0.43$ 。计算混凝土单方水泥用量：

$$m_{c0} = \frac{m_{w0}}{W/C} = \frac{185}{0.43} = 430\text{kg/m}^3$$

(2) 验水泥用量是否符合耐久性要求：

查表 2-22，混凝土结构所处的环境属于干燥环境，其最小水泥用量不得低于 260kg/m^3 。按强度计算单方水泥用量 430kg/m^3 符合耐久性要求。采用计算的水泥用量。

5. 砂率 (β_s) 的选择

已知：粗骨料采用碎石，最大粒径 31.5mm，水灰比 $W/C=0.43$ 。查表 2-26 取砂率 $\beta_s=32\%$ 。

6. 计算砂、石用量

(1) 按重量法计算：

已知：单方用水量 $m_{w0}=185\text{kg/m}^3$ ，水泥用量 $m_{c0}=430\text{kg/m}^3$ ，砂率 $\beta_s=32\%$ 。假定混凝土拌合物表观密度 $m_{cp}=2400\text{kg/m}^3$ ，由 (2-6) 式和 (2-7) 式，得：

$$\begin{cases} 430 + m_{go} + m_{so} + 185 = 2400 \\ \frac{m_{so}}{m_{go} + m_{so}} = 0.32 \end{cases}$$

$$m_{go} + m_{so} = 2400 - 430 - 185 = 1785 \text{kg/m}^3$$

$$m_{so} = (m_{go} + m_{so}) \times 0.32 = 1785 \times 0.32 = 571 \text{kg/m}^3$$

$$m_{go} = (m_{go} + m_{so}) - m_{so} = 1785 - 571 = 1214 \text{kg/m}^3$$

按重量法计算得到的理论配合比如下:

$$m_{co} : m_{wo} : m_{so} : m_{go}$$

$$430 : 185 : 571 : 1214$$

(2) 按体积法计算:

已知:水泥密度 $\rho_w = 3000 \text{kg/m}^3$, 砂表观密度 $\rho_s = 2650 \text{kg/m}^3$, 碎石表观密度 $\rho_g = 2680 \text{kg/m}^3$, 砂率 $\beta_s = 32\%$ 。将数据代入(2-8)式和(2-9)式, 得:

$$\begin{cases} \frac{430}{3000} + \frac{m_{go}}{2680} + \frac{m_{so}}{2650} + \frac{185}{1000} + 0.01 \times 1 = 1 \\ 32\% = \frac{m_{so}}{m_{go} + m_{so}} \times 100\% \end{cases}$$

$$\text{解联立方程} \begin{cases} \frac{m_{go}}{2680} + \frac{m_{so}}{2650} = 0.6617 & (1) \\ 0.32 = \frac{m_{so}}{m_{go} + m_{so}} & (2) \end{cases}$$

用消元法由(2)式:

$$m_{so} = 0.32m_{go} + 0.32m_{so}$$

$$m_{so} - 0.32m_{so} = 0.32m_{go}$$

$$0.68m_{so} = 0.32m_{go}$$

$$\text{故: } m_{so} = \frac{0.32}{0.68}m_{go} = 0.4706m_{go} \quad (3)$$

将(3)代入(1)式, 得:

$$\begin{aligned} \frac{m_{go}}{2680} + \frac{0.4706m_{go}}{2650} &= 0.6617 \\ 3911m_{go} &= 4699393 \end{aligned}$$

$$m_{\text{so}} = 1202 \text{ kg/m}^3$$

代 m_{so} 入 (3) 式, 得:

$$m_{\text{so}} = 0.4706 \times 1202 = 566 \text{ kg/m}$$

按体积法计算得到理论配合比如下:

$$m_{\text{c}} : m_{\text{wj}} : m_{\text{sj}} : m_{\text{so}}$$

$$130 : 185 : 566 : 1202$$

$$1 : 0.13 : 1.32 : 2.80$$

二、试配, 提出基准配合比

1. 确定各组成材料用量

试配时采用例题中体积法计算的配合比, 拌制 15L 混凝土拌合物, 各组成材料用量如下:

$$\text{水泥} = 430 \times 0.015 = 6.45 \text{ kg}$$

$$\text{水} = 185 \times 0.015 = 2.78 \text{ kg}$$

$$\text{砂} = 566 \times 0.015 = 8.49 \text{ kg}$$

$$\text{碎石} = 1202 \times 0.015 = 18.03 \text{ kg}$$

2. 检验及调整混凝土拌合物性能

按以上计算的材料用量进行试拌, 测得其混凝土拌合物坍落度为 30mm, 小于施工要求值, 保持水灰比不变, 增加 1% 水泥浆。经重新搅拌后的混凝土拌合物实测坍落度为 40mm, 粘聚性和保水性良好, 满足施工要求。因此, 可确定基准配合比。

3. 提出基准配合比

理论配合比经试配、调整后, 确定基准配合比如下:

$$\text{水泥 } m_{\text{c}} = 430(1 + 0.01) = 434 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{水 } m_{\text{wj}} = 185(1 + 0.01) = 187 \text{ kg/m}^3$$

砂、石按体积法计算用量:

$$\begin{cases} \frac{m_{\text{sj}}}{2650} + \frac{m_{\text{sj}}}{2680} = 1 - \frac{434}{3000} - \frac{187}{1000} - 0.01 \times 1 = 0.658 \\ \frac{m_{\text{sj}}}{m_{\text{sj}} + m_{\text{sj}}} = 0.32 \end{cases}$$

解得:

砂 $m_{sj} = 562\text{kg/m}^3$; 碎石 $m_{gj} = 1195\text{kg/m}^3$
 基准配合比为:

$$m_{cj} : m_{wj} : m_{sj} : m_{gj} = 434 : 187 : 562 : 1195$$

三、检验强度, 确定试验室配合比

1. 强度检验

根据已确定的基准配合比, 另外计算两个水灰比较基准配合比分别增加和减少 0.05 的配合比进行混凝土强度试验, 用水量与基准配合比相同, 砂率分别增加和减少 1%。每个配合比均试拌 15L 混凝土拌合物, 经观察粘聚性和保水性均良好, 各配合比组成材料拌和量及其试验结果见表 2-30。

不同配合比拌和量及试验结果

表 2-30

一、配合比材料拌和量 (kg)				
	水	水 泥	砂	石 子
1. 基准	2.805	6.51	8.43	17.925
2. +0.05	2.805	5.85	8.895	18.06
3. -0.05	2.805	7.38	7.935	17.67

二、混凝土拌合物坍落度、表观密度测定结果					
配比编号	坍落度 (mm)	空筒重 G (kg)	筒容积 V (m ³)	筒+混凝土重 (kg)	表观密度 (kg/m ³)
1. 基准	40	2.25	0.005	14.23	2400
2. +0.05	45	2.25	0.005	14.15	2380
3. -0.05	35	2.25	0.005	14.31	2410

三、混凝土强度检验结果 (MPa)				
	(3) d	(7) d	(28) d	() d
1. 基准	16.1	23.7	37.4	—
2. +0.05	13.9	21.0	33.2	-
3. -0.05	18.5	27.2	42.7	--

根据表 2-30 中混凝土 28 天强度试验结果, 用作图法求出与混凝土配制强度 ($f_{cu,0}$) 相对应的灰水比 (C/W), 如图 2-1 所示。

由图可知相应于配制强度 ($f_{cu,0}$) 38.2MPa 的灰水比值为 2.36, 即水灰比 = 0.42。

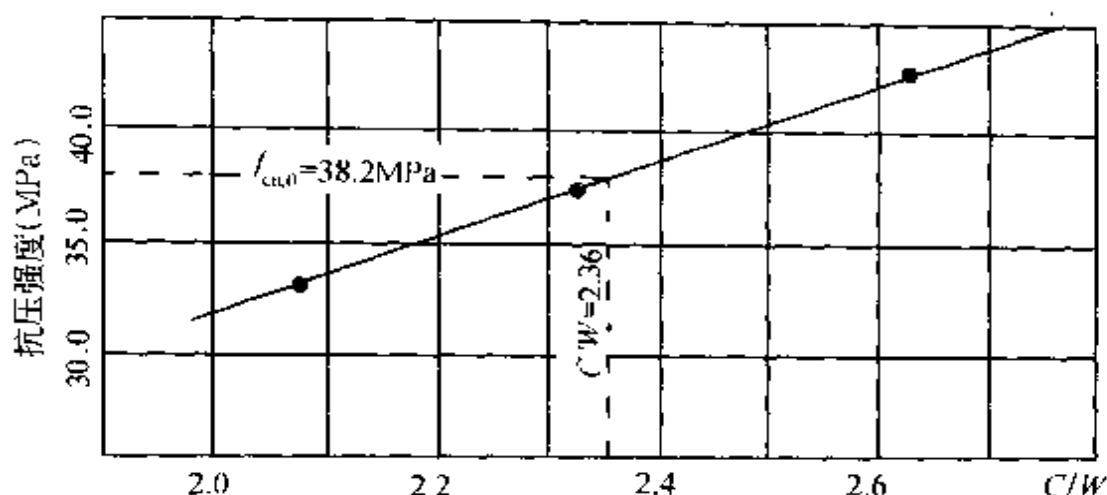


图 2-1 混凝土抗压强度与灰水比关系曲线图

2. 确定试验室配合比

(1) 根据强度试验结果, 确定每立方米混凝土的材料用量如下:

$$\text{水用量} \quad m_w = 187 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{水泥用量} \quad m_c = 187 \times 2.36 = 441 \text{ kg/m}^3$$

砂、石用量按体积法计算:

$$\begin{cases} \frac{m_s}{2650} + \frac{m_g}{2680} = 1 - \frac{441}{3000} - \frac{187}{1000} - 0.01 \times 1 = 0.656 \\ \frac{m_g}{m_g + m_s} = 0.32 \end{cases}$$

解得:

$$\text{砂用量} \quad m_s = 561 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{碎石用量} \quad m_g = 1191 \text{ kg/m}^3$$

按强度调整后配合比为:

$$m_w : m_c : m_s : m_g$$

$$187 : 441 : 561 : 1191$$

$$0.42 : 1 : 1.27 : 2.70$$

(2) 经强度确定后的配合比, 还应按表观密度进行校正:

1) 计算混凝土的表观密度计算值 $\rho_{c,c}$:

$$\rho_{c,c} = m_w + m_c + m_s + m_g$$

$$-187 + 441 + 561 + 1191 \\ -2380 \text{ kg/m}^3$$

2) 计算校正系数 δ :

$$\delta = \frac{\rho_{c,t}}{\rho_{c,c}} = \frac{2400}{2380} = 1.008$$

3) 按校正系数调整各组成材料用量:

$$\text{水泥用量}(m_c) = 441 \times 1.008 = 445(\text{kg/m}^3)$$

$$\text{水用量}(m_w) = 187 \times 1.008 = 188(\text{kg/m}^3)$$

$$\text{砂用量}(m_s) = 561 \times 1.008 = 565(\text{kg/m}^3)$$

$$\text{石子用量}(m_g) = 1191 \times 1.008 = 1201(\text{kg/m}^3)$$

至此, 最终确定的试验室配合比见表 2-31

混凝土试验室配合比

表 2-31

混凝土	水泥	水	砂	石	砂率 (%)	坍落度 (mm)	备注
配合比	1	0.42	1.27	2.70	32	40	
每立方米材料用量 (kg)	445	188	565	1201			

注: 因混凝土表观密度实测值与计算值之差的绝对值没超过计算值的 2%, 故可不按校正系数校正混凝土每立方米用量, 可采用经强度调整后的配合比确定为试验室配合比。

四、换算施工配合比

现测得施工现场混凝土用砂含水率为 3.8%, 碎石含水率为 0.7%, 求施工配合比。

解得:

$$\text{水泥用量}(m'_c) = 445\text{kg/m}^3$$

$$\text{砂用量}(m'_s) = 565(1 + 3.8\%) = 586\text{kg/m}^3$$

$$\text{碎石用量}(m'_g) = 1201(1 + 0.7\%) = 1209\text{kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{水用量}(m'_w) &= 188 - (565 \times 3.8\% + 1201 \times 0.7\%) \\ &= 159\text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

因此, 施工配合比为:

$$m'_c : m'_s : m'_g : m'_w$$

$$1 : 1.31 : 2.69 : 0.35$$

为了便于施工计量和混凝土质量控制，生产场所可参照表 2-32 制作施工配合比牌。

施工配合比牌

表 2-32

施工单位			试验室 配合比	报告编号		
工程名称				报告日期		
结构部位			水泥品种、等级、产地			
设计强度等级			砂品种规格			
坍落度（稠度）			(mm)	石子品种规格		
现场砂含水率			(%)	现场石子含水率		(%)
材 料		水泥	水	砂	石子	
试验室配合比						
施工配合比						
每盘用量（kg）						
备 注						

填写人：

生产日期：

2.2.4 普通混凝土配合比参考表

2.2.4.1 重要说明

(1) 配制强度按 (2-1) 式计算。

(2) 强度标准差 σ 按表 2-19 选用。

(3) 表中列出 32.5 级、42.5 级和 52.5 级三个水泥强度等级的混凝土理论配合比，其水泥强度分别按 33.0MPa、36.0MPa、39.0MPa、43.0MPa、46.0MPa、49.0MPa、53.0MPa、55.0MPa 和 57.0MPa 进行计算。

(4) 根据工程结构需要，混凝土坍落度列有 10~30mm、35~50mm 和 55~70mm 三种，适用机械搅拌，不适用人工搅拌时参考。

(5) 表中混凝土配合比均按中砂考虑砂率，使用粗砂或细砂时，可相应增加和减少砂率。

(6) 表中各配合比组成材料用量均按重量法计算所得，其混凝土假定重量值为：C10 和 C15 级混凝土按 2360kg/m³ 计算；C20~C35

级混凝土按 2400kg/m^3 计算；大于 C35 级按 2450kg/m^3 计算。

(7) 有个别配合比的水灰比值或水泥用量超过规范对耐久性的要求，应改用符合要求的配合比或重新计算。

(8) 该系列配合比参考表适用于六大通用水泥。

(9) 该系列配合比可供试验室试配时参考，不作为施工使用。

(10) 由于受水泥强度等级所限，C10 级和 C15 级混凝土配合比按有关公式计算出的水灰比较大，水泥用量较少，考虑规程对 C15 级及其以下等级混凝土不限制水灰比值和水泥用量，故也列出作为参考，建议进行配合比设计和施工时，适量掺入活性掺合料改善混凝土拌合物性能。

(11) 选用本书参考配合比时，所使用的原材料质量应符合现行标准要求，并与表中砂、石规格和水泥强度等相一致。应对本地所用砂石先做一些试验，以便更符合选用。

2.2.4.2 普通混凝土配合比参考表

(1) 碎石混凝土配合比参考表（见表 2-33-①～表 2-33-⑮）。

(2) 卵石混凝土配合比参考表（见表 2-34-①～表 2-34-⑫）。

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-①

用 32.5 级水泥、中砂、5~16mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m^3)				配合比 (重量比) $m_{\text{wo}} : m_{\text{co}} : m_{\text{so}} : m_{\text{go}}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C10	16.6	0.86	33.0	45	10~30	200	233	867	1060	0.86 : 1 : 3.72 : 4.55
					35~50	210	244	858	1048	0.86 : 1 : 3.52 : 4.30
					55~70	220	256	848	1036	0.86 : 1 : 3.31 : 4.05
		0.93	36.0	46	10~30	200	215	895	1050	0.93 : 1 : 4.16 : 4.88
					35~50	210	226	885	1039	0.93 : 1 : 3.92 : 4.60
					55~70	220	237	875	1028	0.93 : 1 : 3.69 : 4.31
		1.00	39.0	47	10~30	200	200	921	1039	1 : 1 : 4.60 : 5.20
					35~50	210	210	912	1028	1 : 1 : 4.34 : 4.90
					55~70	220	220	902	1018	1 : 1 : 4.10 : 4.63

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{\text{水}} : m_{\text{水}} : m_{\text{砂}} : m_{\text{石}}$
						水	水泥	砂	石子	
						$m_{\text{水}}$	$m_{\text{水}}$	$m_{\text{砂}}$	$m_{\text{石}}$	
C15	21.6	0.67	33.0	41	10~30	200	299	763	1098	0.67 : 1 : 2.55 : 3.67
					35~50	210	313	753	1084	0.67 : 1 : 2.41 : 3.46
					55~70	220	328	743	1069	0.67 : 1 : 2.27 : 3.26
		0.73	36.0	42	10~30	200	274	792	1094	0.73 : 1 : 2.89 : 3.99
					35~50	210	288	782	1080	0.73 : 1 : 2.72 : 3.75
					55~70	220	301	772	1067	0.73 : 1 : 2.56 : 3.54
		0.78	39.0	43	10~30	200	256	819	1085	0.78 : 1 : 3.20 : 4.24
					35~50	210	269	809	1072	0.78 : 1 : 3.01 : 3.99
					55~70	220	282	799	1059	0.78 : 1 : 2.83 : 3.76
C20	28.2	0.52	33.0	37	10~30	200	385	672	1113	0.52 : 1 : 1.75 : 2.97
					35~50	210	404	661	1125	0.52 : 1 : 1.64 : 2.78
					55~70	220	423	650	1107	0.52 : 1 : 1.54 : 2.62
		0.56	36.0	38	10~30	200	357	700	1143	0.56 : 1 : 1.96 : 3.20
					35~50	210	375	690	1125	0.56 : 1 : 1.84 : 3.00
					55~70	220	393	679	1108	0.56 : 1 : 1.73 : 2.82
		0.61	39.0	39	10~30	200	328	730	1142	0.61 : 1 : 2.23 : 3.48
					35~50	210	344	720	1126	0.61 : 1 : 2.09 : 3.27
					55~70	220	361	709	1110	0.61 : 1 : 1.96 : 3.07
C25	33.2	0.44	33.0	34	10~30	200	455	593	1152	0.44 : 1 : 1.30 : 2.53
					35~50	210	477	582	1131	0.44 : 1 : 1.22 : 2.37
					55~70	220	500	571	1109	0.44 : 1 : 1.14 : 2.22
		0.48	36.0	35	10~30	200	417	624	1159	0.48 : 1 : 1.50 : 2.78
					35~50	210	438	613	1139	0.48 : 1 : 1.40 : 2.60
					55~70	220	458	603	1119	0.48 : 1 : 1.32 : 2.44
		0.52	39.0	36	10~30	200	385	653	1162	0.52 : 1 : 1.70 : 3.02
					35~50	210	404	643	1143	0.52 : 1 : 1.59 : 2.83
					55~70	220	423	633	1124	0.52 : 1 : 1.50 : 2.66

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wa} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wa}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C30	38.2	0.39	33.0	33	10~30	200	513	557	1130	0.39 : 1 : 1.09 : 2.20
					35~50	210	538	545	1107	0.39 : 1 : 1.01 : 2.06
					55~70	220	564	533	1083	0.39 : 1 : 0.95 : 1.92
		0.42	36.0	34	10~30	200	476	586	1138	0.42 : 1 : 1.23 : 2.39
					35~50	210	500	575	1115	0.42 : 1 : 1.15 : 2.23
					55~70	220	524	563	1093	0.42 : 1 : 1.07 : 2.09
		0.45	39.0	35	10~30	200	444	615	1141	0.45 : 1 : 1.39 : 2.57
					35~50	210	467	603	1120	0.45 : 1 : 1.29 : 2.40
					55~70	220	489	592	1099	0.45 : 1 : 1.21 : 2.25

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-②

用 32.5 级水泥、中砂、5~20mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wa} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wa}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C10	16.6	0.86	33.0	44	10~30	185	215	862	1098	0.86 : 1 : 4.01 : 5.11
					35~50	195	227	853	1085	0.86 : 1 : 3.76 : 4.78
					55~70	205	238	843	1074	0.86 : 1 : 3.54 : 4.51
		0.93	36.0	45	10~30	185	199	889	1087	0.93 : 1 : 4.47 : 5.46
					35~50	195	210	880	1075	0.93 : 1 : 4.19 : 5.12
					55~70	205	220	871	1064	0.93 : 1 : 3.96 : 4.84
		1.00	39.0	46	10~30	185	185	915	1075	1 : 1 : 4.95 : 5.81
					35~50	195	195	906	1064	1 : 1 : 4.65 : 5.46
					55~70	205	205	897	1053	1 : 1 : 4.38 : 5.14
C15	21.6	0.67	33.0	40	10~30	185	276	760	1139	0.67 : 1 : 2.75 : 4.13
					35~50	195	291	750	1124	0.67 : 1 : 2.58 : 3.86
					55~70	205	306	740	1109	0.67 : 1 : 2.42 : 3.62
		0.73	36.0	41	10~30	185	253	788	1134	0.73 : 1 : 3.11 : 4.48
					35~50	195	267	778	1120	0.73 : 1 : 2.91 : 4.19
					55~70	205	281	768	1106	0.73 : 1 : 2.73 : 3.94
		0.78	39.0	42	10~30	185	237	814	1124	0.78 : 1 : 3.43 : 4.74
					35~50	195	250	804	1111	0.78 : 1 : 3.22 : 4.44
					55~70	205	263	795	1097	0.78 : 1 : 3.02 : 4.17

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{w0} : m_{c0} : m_{s0} : m_{g0}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{w0}	m_{c0}	m_{s0}	m_{g0}	
C20	28.2	0.52	33.0	35	10~30	185	356	651	1208	0.52 : 1 : 1.83 : 3.39
					35~50	195	375	640	1190	0.52 : 1 : 1.71 : 3.17
					55~70	205	394	630	1171	0.52 : 1 : 1.60 : 2.97
		0.56	36.0	36	10~30	185	330	679	1206	0.56 : 1 : 2.06 : 3.65
					35~50	195	348	669	1188	0.56 : 1 : 1.92 : 3.41
					55~70	205	366	658	1171	0.56 : 1 : 1.80 : 3.20
		0.61	39.0	37	10~30	185	303	707	1205	0.61 : 1 : 2.33 : 3.98
					35~50	195	320	697	1188	0.61 : 1 : 2.18 : 3.71
					55~70	205	336	688	1171	0.61 : 1 : 2.05 : 3.49
C25	33.2	0.44	33.0	33	10~30	185	420	592	1203	0.44 : 1 : 1.41 : 2.86
					35~50	195	443	581	1181	0.44 : 1 : 1.31 : 2.67
					55~70	205	466	571	1158	0.44 : 1 : 1.23 : 2.48
		0.48	36.0	34	10~30	185	385	622	1208	0.48 : 1 : 1.62 : 3.14
					35~50	195	406	612	1187	0.48 : 1 : 1.51 : 2.92
					55~70	205	427	601	1167	0.48 : 1 : 1.41 : 2.73
		0.52	39.0	35	10~30	185	356	651	1208	0.52 : 1 : 1.83 : 3.39
					35~50	195	375	640	1190	0.52 : 1 : 1.71 : 3.17
					55~70	205	394	630	1171	0.52 : 1 : 1.60 : 2.97
C30	38.2	0.39	33.0	31	10~30	185	474	540	1201	0.39 : 1 : 1.14 : 2.53
					35~50	195	500	529	1176	0.39 : 1 : 1.06 : 2.35
					55~70	205	526	517	1152	0.39 : 1 : 0.98 : 2.19
		0.42	36.0	32	10~30	185	440	568	1207	0.42 : 1 : 1.29 : 2.74
					35~50	195	464	557	1184	0.42 : 1 : 1.20 : 2.55
					55~70	205	488	546	1161	0.42 : 1 : 1.12 : 2.38
		0.45	39.0	33	10~30	185	411	595	1209	0.45 : 1 : 1.45 : 2.94
					35~50	195	433	585	1187	0.45 : 1 : 1.35 : 2.74
					55~70	205	456	574	1165	0.45 : 1 : 1.26 : 2.55

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-③

用 32.5 级水泥、中砂、5~25mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wo}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C10	16.6	0.86	33.0	44	10~30	181	210	866	1103	0.86 : 1 : 4.12 : 5.25
					35~50	191	222	857	1090	0.86 : 1 : 3.86 : 4.91
					55~70	201	234	847	1078	0.86 : 1 : 3.62 : 4.61
		0.93	36.0	45	10~30	181	195	893	1091	0.93 : 1 : 4.58 : 5.60
					35~50	191	205	884	1080	0.93 : 1 : 4.31 : 5.27
					55~70	201	216	874	1069	0.93 : 1 : 4.05 : 4.95
		1.00	39.0	46	10~30	181	181	919	1079	1 : 1 : 5.08 : 5.96
					35~50	191	191	910	1068	1 : 1 : 4.76 : 5.59
					55~70	201	201	905	1057	1 : 1 : 4.50 : 5.26
C15	21.6	0.67	33.0	40	10~30	181	270	764	1145	0.67 : 1 : 2.83 : 4.24
					35~50	191	285	754	1130	0.67 : 1 : 2.67 : 3.97
					55~70	201	300	744	1115	0.67 : 1 : 2.48 : 3.72
		0.73	36.0	41	10~30	181	248	792	1139	0.73 : 1 : 3.19 : 4.60
					35~50	191	262	782	1125	0.73 : 1 : 2.98 : 4.29
					55~70	201	275	772	1112	0.73 : 1 : 2.81 : 4.04
		0.78	39.0	42	10~30	181	232	818	1129	0.78 : 1 : 3.53 : 4.87
					35~50	191	245	808	1116	0.78 : 1 : 3.30 : 4.55
					55~70	201	258	798	1103	0.78 : 1 : 3.09 : 4.27
C20	28.2	0.52	33.0	35	10~30	181	348	655	1216	0.52 : 1 : 1.88 : 3.49
					35~50	191	367	645	1197	0.52 : 1 : 1.76 : 3.26
					55~70	201	387	634	1178	0.52 : 1 : 1.64 : 3.04
		0.56	36.0	36	10~30	181	323	683	1213	0.56 : 1 : 2.11 : 3.76
					35~50	191	341	672	1196	0.56 : 1 : 1.97 : 3.51
					55~70	201	359	662	1178	0.56 : 1 : 1.84 : 3.28
		0.61	39.0	37	10~30	181	297	711	1211	0.61 : 1 : 2.39 : 4.08
					35~50	191	313	702	1194	0.61 : 1 : 2.24 : 3.81
					55~70	201	330	692	1177	0.61 : 1 : 2.10 : 3.57

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C25	33.2	0.41	33.0	33	10~30	181	411	597	1211	0.44 : 1 : 1.45 : 2.95
					35~50	191	434	586	1188	0.44 : 1 : 1.35 : 2.74
					55~70	201	457	575	1167	0.44 : 1 : 1.26 : 2.55
		0.48	36.0	34	10~30	181	377	626	1216	0.48 : 1 : 1.66 : 3.23
					35~50	191	398	616	1195	0.48 : 1 : 1.55 : 3.00
					55~70	201	419	605	1175	0.48 : 1 : 1.44 : 2.80
		0.52	39.0	35	10~30	181	348	655	1216	0.52 : 1 : 1.88 : 3.49
					35~50	191	367	645	1197	0.52 : 1 : 1.76 : 3.26
					55~70	201	387	634	1178	0.52 : 1 : 1.64 : 3.04
C30	38.2	0.39	33.0	31	10~30	181	464	544	1211	0.39 : 1 : 1.17 : 2.61
					35~50	191	490	533	1186	0.39 : 1 : 1.09 : 2.42
					55~70	201	515	522	1162	0.39 : 1 : 1.01 : 2.26
		0.42	36.0	32	10~30	181	431	572	1216	0.42 : 1 : 1.33 : 2.82
					35~50	191	455	561	1193	0.42 : 1 : 1.23 : 2.62
					55~70	201	479	550	1170	0.42 : 1 : 1.15 : 2.44
		0.45	39.0	33	10~30	181	402	600	1217	0.45 : 1 : 1.49 : 3.03
					35~50	191	424	589	1196	0.45 : 1 : 1.39 : 2.82
					55~70	201	447	578	1174	0.45 : 1 : 1.29 : 2.63

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-①

用 32.5 级水泥、中砂、5~31.5mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C10	16.6	0.86	33.0	43	10~30	175	203	852	1130	0.86 : 1 : 4.20 : 5.57
					35~50	185	215	843	1117	0.86 : 1 : 3.92 : 5.20
					55~70	195	227	833	1105	0.86 : 1 : 3.67 : 4.87
		0.93	36.0	44	10~30	175	188	879	1118	0.93 : 1 : 4.68 : 5.95
					35~50	185	199	869	1107	0.93 : 1 : 4.37 : 5.56
					55~70	195	210	860	1095	0.93 : 1 : 4.10 : 5.21
		1.0	39.0	45	10~30	175	175	904	1166	1 : 1 : 5.17 : 6.32
					35~50	185	185	896	1114	1 : 1 : 4.84 : 6.02
					55~70	195	195	886	1084	1 : 1 : 4.54 : 5.56

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{w0}	m_{c0}	m_{s0}	m_{g0}	
C15	21.6	0.67	33.0	39	10~30	175	261	750	1174	0.67 : 1 : 2.87 : 4.50
					35~50	185	276	741	1158	0.67 : 1 : 2.68 : 4.20
					55~70	195	291	731	1143	0.67 : 1 : 2.51 : 3.93
		0.73	36.0	40	10~30	175	240	778	1167	0.73 : 1 : 3.24 : 4.86
					35~50	185	253	769	1153	0.73 : 1 : 3.04 : 4.56
					55~70	195	267	759	1139	0.73 : 1 : 2.84 : 4.27
		0.78	39.0	41	10~30	175	224	804	1157	0.78 : 1 : 3.59 : 5.17
					35~50	185	237	795	1143	0.78 : 1 : 3.35 : 4.82
					55~70	195	250	785	1130	0.78 : 1 : 3.14 : 4.52
C20	28.2	0.52	33.0	34	10~30	175	337	642	1246	0.52 : 1 : 1.91 : 3.70
					35~50	185	356	632	1227	0.52 : 1 : 1.78 : 3.45
					55~70	195	375	622	1208	0.52 : 1 : 1.66 : 3.22
		0.56	36.0	35	10~30	175	313	669	1243	0.56 : 1 : 2.14 : 3.97
					35~50	185	330	660	1225	0.56 : 1 : 2.00 : 3.71
					55~70	195	348	650	1207	0.56 : 1 : 1.87 : 3.47
		0.61	39.0	36	10~30	175	287	698	1240	0.61 : 1 : 2.43 : 4.32
					35~50	185	303	688	1224	0.61 : 1 : 2.27 : 4.04
					55~70	195	320	679	1206	0.61 : 1 : 2.12 : 3.77
C25	33.2	0.44	33.0	32	10~30	175	398	585	1242	0.44 : 1 : 1.47 : 3.12
					35~50	185	420	574	1221	0.44 : 1 : 1.37 : 2.91
					55~70	195	443	564	1198	0.44 : 1 : 1.27 : 2.70
		0.48	36.0	33	10~30	175	365	614	1246	0.48 : 1 : 1.68 : 3.41
					35~50	185	385	604	1226	0.48 : 1 : 1.57 : 3.18
					55~70	195	406	594	1205	0.48 : 1 : 1.46 : 2.97
		0.52	39.0	34	10~30	175	337	642	1246	0.52 : 1 : 1.91 : 3.70
					35~50	185	356	632	1227	0.52 : 1 : 1.78 : 3.45
					55~70	195	375	622	1208	0.52 : 1 : 1.66 : 3.22

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C30	38.2	0.39	33.0	30	10~30	175	449	533	1243	0.39 : 1 : 1.19 : 2.77
					35~50	185	474	522	1219	0.39 : 1 : 1.10 : 2.57
					55~70	195	500	512	1193	0.39 : 1 : 1.02 : 2.39
		0.42	36.0	31	10~30	175	417	560	1248	0.42 : 1 : 1.34 : 2.99
					35~50	185	440	550	1225	0.42 : 1 : 1.25 : 2.78
					55~70	195	464	540	1201	0.42 : 1 : 1.16 : 2.59
		0.45	39.0	32	10~30	175	389	588	1248	0.45 : 1 : 1.51 : 3.21
					35~50	185	411	577	1227	0.45 : 1 : 1.40 : 2.99
					55~70	195	433	567	1205	0.45 : 1 : 1.31 : 2.78
C35	43.2	0.34	33.0	29	10~30	175	515	496	1214	0.34 : 1 : 0.96 : 2.36
					35~50	185	544	485	1186	0.34 : 1 : 0.89 : 2.18
					55~70	195	574	473	1158	0.34 : 1 : 0.82 : 2.02
		0.37	36.0	30	10~30	175	473	526	1226	0.37 : 1 : 1.11 : 2.59
					35~50	185	500	515	1200	0.37 : 1 : 1.03 : 2.40
					55~70	195	527	503	1175	0.37 : 1 : 0.95 : 2.23
		0.40	39.0	31	10~30	175	438	554	1233	0.40 : 1 : 1.26 : 2.82
					35~50	185	462	543	1210	0.40 : 1 : 1.18 : 2.62
					55~70	195	488	532	1185	0.40 : 1 : 1.09 : 2.43

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-⑤

用 32.5 级水泥、中砂、5~40mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C10	16.6	0.86	33.0	42	10~30	165	192	841	1162	0.86 : 1 : 4.38 : 6.05
					35~50	175	203	832	1150	0.86 : 1 : 4.10 : 5.67
					55~70	185	215	823	1137	0.86 : 1 : 3.83 : 5.29
		0.93	36.0	43	10~30	165	177	868	1150	0.93 : 1 : 4.90 : 6.50
					35~50	175	188	859	1138	0.93 : 1 : 4.57 : 6.05
					55~70	185	199	850	1126	0.93 : 1 : 4.27 : 5.66
		1.00	39.0	44	10~30	165	165	893	1137	1 : 1 : 5.41 : 6.89
					35~50	175	175	884	1126	1 : 1 : 5.05 : 6.43
					55~70	185	185	876	1114	1 : 1 : 4.74 : 6.02

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wo}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C15	21.6	0.67	33.0	38	10~30	165	246	741	1208	0.67 : 1 : 3.01 : 4.91
					35~50	175	261	731	1193	0.67 : 1 : 2.80 : 4.57
					55~70	185	276	722	1177	0.67 : 1 : 2.62 : 4.27
		0.73	36.0	39	10~30	165	226	768	1201	0.73 : 1 : 3.40 : 5.31
					35~50	175	240	759	1186	0.73 : 1 : 3.16 : 4.94
					55~70	185	253	750	1172	0.73 : 1 : 2.96 : 4.63
		0.78	39.0	40	10~30	165	212	793	1190	0.78 : 1 : 3.74 : 5.61
					35~50	175	224	784	1177	0.78 : 1 : 3.50 : 5.25
					55~70	185	237	775	1163	0.78 : 1 : 3.27 : 4.91
C20	28.2	0.52	33.0	33	10~30	165	317	633	1285	0.52 : 1 : 2.00 : 4.05
					35~50	175	337	623	1255	0.52 : 1 : 1.85 : 3.75
					55~70	185	356	613	1246	0.52 : 1 : 1.72 : 3.50
		0.56	36.0	34	10~30	165	295	660	1280	0.56 : 1 : 2.24 : 4.34
					35~50	175	312	650	1253	0.56 : 1 : 2.08 : 4.05
					55~70	185	330	641	1244	0.56 : 1 : 1.94 : 3.77
		0.61	39.0	35	10~30	165	270	688	1277	0.61 : 1 : 2.55 : 4.73
					35~50	175	287	678	1260	0.61 : 1 : 2.36 : 4.39
					55~70	185	303	669	1243	0.61 : 1 : 2.21 : 4.10
C25	33.2	0.44	33.0	31	10~30	165	375	577	1283	0.44 : 1 : 1.54 : 3.42
					35~50	175	398	566	1261	0.44 : 1 : 1.42 : 3.17
					55~70	185	420	556	1239	0.44 : 1 : 1.32 : 2.95
		0.48	36.0	32	10~30	165	344	605	1286	0.48 : 1 : 1.76 : 3.74
					35~50	175	365	595	1265	0.48 : 1 : 1.63 : 3.47
					55~70	185	385	586	1244	0.48 : 1 : 1.52 : 3.23
		0.52	39.0	33	10~30	165	317	633	1285	0.52 : 1 : 2.00 : 4.05
					35~50	175	337	623	1265	0.52 : 1 : 1.85 : 3.75
					55~70	185	356	613	1246	0.52 : 1 : 1.72 : 3.50

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wu} : m_{cu} : m_{su} : m_{gu}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wu}	m_{cu}	m_{su}	m_{gu}	
C30	38.2	0.39	33.0	29	10~30	165	423	525	1287	0.39 : 1 : 1.24 : 3.04
					35~50	175	449	515	1261	0.39 : 1 : 1.15 : 2.81
					55~70	185	474	505	1236	0.39 : 1 : 1.07 : 2.61
		0.42	36.0	30	10~30	165	393	553	1289	0.42 : 1 : 1.41 : 3.28
					35~50	175	417	542	1266	0.42 : 1 : 1.30 : 3.04
					55~70	185	440	532	1243	0.42 : 1 : 1.21 : 2.83
		0.45	39.0	31	10~30	165	367	579	1289	0.45 : 1 : 1.58 : 3.51
					35~50	175	389	569	1267	0.45 : 1 : 1.46 : 3.26
					55~70	185	411	559	1245	0.45 : 1 : 1.36 : 3.03
C35	43.2	0.34	33.0	28	10~30	165	485	490	1260	0.34 : 1 : 1.01 : 2.60
					35~50	175	515	479	1231	0.34 : 1 : 0.93 : 2.39
					55~70	185	544	468	1203	0.34 : 1 : 0.86 : 2.21
		0.37	36.0	29	10~30	165	446	519	1270	0.37 : 1 : 1.16 : 2.85
					35~50	175	473	508	1244	0.37 : 1 : 1.07 : 2.63
					55~70	185	500	497	1218	0.37 : 1 : 0.99 : 2.41
		0.40	39.0	30	10~30	165	412	547	1276	0.40 : 1 : 1.33 : 3.10
					35~50	175	438	536	1251	0.40 : 1 : 1.22 : 2.86
					55~70	185	462	526	1227	0.40 : 1 : 1.14 : 2.66

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-⑥

用 42.5 级水泥、中砂、5~16mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wu} : m_{cu} : m_{su} : m_{gu}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wu}	m_{cu}	m_{su}	m_{gu}	
C20	28.2	0.67	43.0	41	10~30	260	299	779	1122	0.67 : 1 : 2.61 : 3.75
					35~50	210	313	770	1107	0.67 : 1 : 2.46 : 3.54
					55~70	220	328	759	1095	0.67 : 1 : 2.31 : 3.33
		0.71	46.0	42	10~30	200	282	806	1112	0.71 : 1 : 2.86 : 3.94
					35~50	210	296	795	1099	0.71 : 1 : 2.69 : 3.71
					55~70	220	310	785	1085	0.71 : 1 : 2.53 : 3.50
		0.76	49.0	43	10~30	200	263	833	1104	0.76 : 1 : 3.17 : 4.20
					35~50	210	276	823	1091	0.76 : 1 : 2.98 : 3.95
					55~70	220	289	813	1078	0.76 : 1 : 2.81 : 3.73

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wa} : m_{ce} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wa}	水泥 m_{ce}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C25	33.2	0.57	43.0	38	10~30	200	351	703	1146	0.57 : 1 : 2.00 : 3.26
					35~50	210	368	692	1130	0.57 : 1 : 1.88 : 3.07
					55~70	220	386	682	1112	0.57 : 1 : 1.77 : 2.88
		0.61	46.0	39	10~30	200	328	730	1142	0.61 : 1 : 2.23 : 3.48
					35~50	210	344	720	1126	0.61 : 1 : 2.09 : 3.27
					55~70	220	361	709	1110	0.61 : 1 : 1.96 : 3.07
		0.65	49.0	40	10~30	200	308	757	1135	0.65 : 1 : 2.46 : 3.69
					35~50	210	323	747	1120	0.65 : 1 : 2.31 : 3.47
					55~70	220	338	737	1105	0.65 : 1 : 2.18 : 3.27
C30	38.2	0.50	43.0	36	10~30	200	400	648	1152	0.50 : 1 : 1.62 : 2.88
					35~50	210	420	637	1133	0.50 : 1 : 1.52 : 2.70
					55~70	220	410	626	1114	0.50 : 1 : 1.42 : 2.53
		0.53	46.0	37	10~30	200	377	675	1148	0.53 : 1 : 1.79 : 3.05
					35~50	210	396	664	1130	0.53 : 1 : 1.68 : 2.85
					55~70	220	415	653	1112	0.53 : 1 : 1.57 : 2.68
		0.57	49.0	38	10~30	200	351	703	1146	0.57 : 1 : 2.00 : 3.26
					35~50	210	368	692	1130	0.57 : 1 : 1.88 : 3.07
					55~70	220	386	682	1112	0.57 : 1 : 1.77 : 2.88
C35	43.2	0.44	43.0	34	10~30	200	455	593	1152	0.44 : 1 : 1.30 : 2.53
					35~50	210	477	582	1131	0.44 : 1 : 1.22 : 2.37
					55~70	220	500	571	1109	0.44 : 1 : 1.14 : 2.22
		0.47	46.0	35	10~30	200	426	621	1153	0.47 : 1 : 1.46 : 2.71
					35~50	210	447	610	1133	0.47 : 1 : 1.36 : 2.53
					55~70	220	468	599	1113	0.47 : 1 : 1.28 : 2.38
		0.50	49.0	36	10~30	200	400	648	1152	0.50 : 1 : 1.62 : 2.88
					35~50	210	420	637	1133	0.50 : 1 : 1.52 : 2.70
					55~70	220	440	626	1114	0.50 : 1 : 1.42 : 2.53

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C40	49.9	0.39	43.0	32	10~30	200	513	556	1181	0.39 : 1 : 1.08 : 2.30
					35~50	210	538	545	1157	0.39 : 1 : 1.01 : 2.15
					55~70	220	564	533	1133	0.39 : 1 : 0.95 : 2.01
		0.41	46.0	33	10~30	200	488	581	1181	0.41 : 1 : 1.19 : 2.42
					35~50	210	512	570	1158	0.41 : 1 : 1.11 : 2.26
					55~70	220	537	559	1134	0.41 : 1 : 1.04 : 2.11
		0.44	49.0	34	10~30	200	455	610	1185	0.44 : 1 : 1.34 : 2.60
					35~50	210	477	599	1164	0.44 : 1 : 1.26 : 2.44
					55~70	220	500	588	1142	0.44 : 1 : 1.18 : 2.28

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-⑦

用 42.5 级水泥、中砂、5~20mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C20	28.2	0.57	43.0	40	10~30	185	276	776	1163	0.67 : 1 : 2.81 : 4.21
					35~50	195	291	766	1148	0.67 : 1 : 2.63 : 3.95
					55~70	205	306	756	1133	0.67 : 1 : 2.47 : 3.70
		0.71	46.0	41	10~30	185	261	801	1153	0.71 : 1 : 3.07 : 4.42
					35~50	195	275	791	1139	0.71 : 1 : 2.88 : 4.14
					55~70	205	289	781	1125	0.71 : 1 : 2.70 : 3.89
		0.76	49.0	42	10~30	185	243	828	1144	0.76 : 1 : 3.41 : 4.71
					35~50	195	257	818	1130	0.76 : 1 : 3.18 : 4.40
					55~70	205	270	808	1117	0.76 : 1 : 2.99 : 4.14
C25	33.2	0.57	43.0	37	10~30	185	325	699	1191	0.57 : 1 : 2.15 : 3.66
					35~50	195	342	689	1174	0.57 : 1 : 2.01 : 3.43
					55~70	205	360	679	1156	0.57 : 1 : 1.89 : 3.21
		0.61	46.0	38	10~30	185	303	727	1185	0.61 : 1 : 2.40 : 3.91
					35~50	195	320	716	1169	0.61 : 1 : 2.24 : 3.65
					55~70	205	336	706	1153	0.61 : 1 : 2.10 : 3.43
		0.65	49.0	39	10~30	185	285	753	1177	0.65 : 1 : 2.64 : 4.13
					35~50	195	300	743	1162	0.65 : 1 : 2.48 : 3.87
					55~70	205	315	733	1147	0.65 : 1 : 2.33 : 3.64

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wa}	m_{ca}	m_{sa}	m_{ga}	
C30	38.2	0.50	43.0	35	10~30	185	370	646	1199	0.50 : 1 : 1.75 : 3.24
					35~50	195	390	635	1180	0.50 : 1 : 1.63 : 3.02
					55~70	205	410	625	1160	0.50 : 1 : 1.52 : 2.83
		0.53	46.0	36	10~30	185	349	672	1194	0.53 : 1 : 1.93 : 3.42
					35~50	195	358	661	1176	0.53 : 1 : 1.80 : 3.19
					55~70	205	387	651	1157	0.53 : 1 : 1.68 : 2.99
		0.57	49.0	37	10~30	185	325	699	1191	0.57 : 1 : 2.15 : 3.66
					35~50	195	342	689	1174	0.57 : 1 : 2.01 : 3.43
					55~70	205	360	679	1156	0.57 : 1 : 1.89 : 3.21
C35	43.2	0.44	43.0	33	10~30	185	420	592	1203	0.44 : 1 : 1.41 : 2.86
					35~50	195	443	581	1181	0.44 : 1 : 1.31 : 2.66
					55~70	205	466	571	1158	0.44 : 1 : 1.23 : 2.49
		0.47	45.0	34	10~30	185	394	619	1202	0.47 : 1 : 1.57 : 3.05
					35~50	195	415	609	1181	0.47 : 1 : 1.47 : 2.85
					55~70	205	436	598	1161	0.47 : 1 : 1.37 : 2.66
		0.50	49.0	35	10~30	185	370	646	1199	0.50 : 1 : 1.75 : 3.24
					35~50	195	390	635	1180	0.50 : 1 : 1.63 : 3.02
					55~70	205	410	625	1160	0.50 : 1 : 1.53 : 2.83
C40	49.9	0.39	43.0	31	10~30	185	474	555	1236	0.39 : 1 : 1.17 : 2.61
					35~50	195	500	544	1211	0.39 : 1 : 1.09 : 2.42
					55~70	205	526	533	1186	0.39 : 1 : 1.01 : 2.25
		0.41	46.0	32	10~30	185	451	580	1234	0.41 : 1 : 1.29 : 2.74
					35~50	195	476	569	1210	0.41 : 1 : 1.20 : 2.54
					55~70	205	500	558	1187	0.41 : 1 : 1.12 : 2.37
		0.44	49.0	33	10~30	185	420	609	1236	0.44 : 1 : 1.45 : 2.94
					35~50	195	443	598	1214	0.44 : 1 : 1.35 : 2.74
					55~70	205	466	587	1192	0.44 : 1 : 1.26 : 2.55

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-⑧

用 42.5 级水泥、中砂、5~25mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wu} : m_{cu} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wu}	水泥 m_{cu}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C20	28.2	0.67	43.0	40	10~30	181	270	780	1169	0.67 : 1 : 2.89 : 4.33
					35~50	191	285	770	1154	0.67 : 1 : 2.70 : 4.06
					55~70	201	300	760	1139	0.67 : 1 : 2.53 : 3.80
		0.71	46.0	41	10~30	181	255	805	1159	0.71 : 1 : 3.16 : 4.54
					35~50	191	269	795	1145	0.71 : 1 : 2.96 : 4.26
					55~70	201	283	786	1130	0.71 : 1 : 2.78 : 3.99
		0.76	49.0	42	10~30	181	238	832	1149	0.76 : 1 : 3.50 : 4.83
					35~50	191	251	822	1136	0.76 : 1 : 3.27 : 4.52
					55~70	201	264	813	1122	0.76 : 1 : 3.08 : 4.25
C25	33.2	0.57	43.0	37	10~30	181	318	703	1198	0.57 : 1 : 2.21 : 3.77
					35~50	191	335	693	1181	0.57 : 1 : 2.07 : 3.52
					55~70	201	353	683	1163	0.57 : 1 : 1.93 : 3.29
		0.61	46.0	38	10~30	181	297	730	1192	0.61 : 1 : 2.46 : 4.01
					35~50	191	313	720	1176	0.61 : 1 : 2.30 : 3.76
					55~70	201	330	710	1159	0.61 : 1 : 2.15 : 3.51
		0.65	49.0	39	10~30	181	278	757	1184	0.65 : 1 : 2.72 : 4.26
					35~50	191	294	747	1168	0.65 : 1 : 2.54 : 3.97
					55~70	201	309	737	1153	0.65 : 1 : 2.39 : 3.73
C30	38.2	0.50	43.0	35	10~30	181	362	650	1207	0.50 : 1 : 1.80 : 3.33
					35~50	191	382	639	1188	0.50 : 1 : 1.67 : 3.11
					55~70	201	402	629	1168	0.50 : 1 : 1.56 : 2.91
		0.53	46.0	36	10~30	181	342	676	1201	0.53 : 1 : 1.98 : 3.51
					35~50	191	360	666	1183	0.53 : 1 : 1.85 : 3.29
					55~70	201	379	655	1165	0.53 : 1 : 1.73 : 3.07
		0.57	49.0	37	10~30	181	318	703	1198	0.57 : 1 : 2.21 : 3.77
					35~50	191	335	693	1181	0.57 : 1 : 2.07 : 3.52
					55~70	201	353	683	1163	0.57 : 1 : 1.93 : 3.29

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C35	43.2	0.44	43.0	33	10~30	181	411	597	1211	0.44 : 1 : 1.45 : 2.95
					35~50	191	434	586	1189	0.44 : 1 : 1.35 : 2.74
					55~70	201	457	575	1167	0.44 : 1 : 1.26 : 2.55
		0.47	46.0	34	10~30	181	385	624	1210	0.47 : 1 : 1.62 : 3.14
					35~50	191	406	613	1190	0.47 : 1 : 1.51 : 2.93
					55~70	201	428	602	1169	0.47 : 1 : 1.41 : 2.73
		0.50	49.0	35	10~30	181	362	650	1207	0.50 : 1 : 1.80 : 3.33
					35~50	191	382	639	1188	0.50 : 1 : 1.67 : 3.11
					55~70	201	402	629	1168	0.50 : 1 : 1.56 : 2.91
C40	49.9	0.39	43.0	31	10~30	181	464	560	1245	0.39 : 1 : 1.21 : 2.68
					35~50	191	490	548	1221	0.39 : 1 : 1.12 : 2.49
					55~70	201	515	538	1196	0.39 : 1 : 1.04 : 2.32
		0.41	46.0	32	10~30	181	441	585	1243	0.41 : 1 : 1.33 : 2.82
					35~50	191	466	574	1219	0.41 : 1 : 1.23 : 2.62
					55~70	201	490	563	1196	0.41 : 1 : 1.15 : 2.44
		0.44	49.0	33	10~30	181	411	613	1245	0.44 : 1 : 1.49 : 3.03
					35~50	191	434	602	1233	0.44 : 1 : 1.39 : 2.82
					55~70	201	457	591	1201	0.44 : 1 : 1.29 : 2.63

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-(9)

用 42.5 级水泥、中砂、5~31.5mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C20	28.2	0.67	43.0	39	10~30	175	261	766	1198	0.67 : 1 : 2.93 : 4.59
					35~50	185	276	756	1183	0.67 : 1 : 2.74 : 4.29
					55~70	195	291	746	1168	0.67 : 1 : 2.56 : 4.01
		0.71	46.0	40	10~30	175	246	792	1187	0.71 : 1 : 3.22 : 4.83
					35~50	185	261	782	1172	0.71 : 1 : 3.00 : 4.49
					55~70	195	275	772	1158	0.71 : 1 : 2.81 : 4.21
		0.76	49.0	41	10~30	175	230	818	1177	0.76 : 1 : 3.56 : 5.12
					35~50	185	243	809	1163	0.76 : 1 : 3.33 : 4.79
					55~70	195	257	799	1149	0.76 : 1 : 3.11 : 4.47

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{w0} : m_{c0} : m_{s0} : m_{g0}$
						水 m_{w0}	水泥 m_{c0}	砂 m_{s0}	石子 m_{g0}	
C25	33.2	0.57	43.0	36	10~30	175	307	690	1228	0.57 : 1 : 2.25 : 4.00
					35~50	185	325	680	1210	0.57 : 1 : 2.09 : 3.72
					55~70	195	342	671	1192	0.57 : 1 : 1.96 : 3.49
		0.61	46.0	37	10~30	175	287	717	1221	0.61 : 1 : 2.50 : 4.25
					35~50	185	303	707	1205	0.61 : 1 : 2.33 : 3.98
					55~70	195	320	697	1188	0.61 : 1 : 2.18 : 3.71
		0.65	49.0	38	10~30	175	269	743	1213	0.65 : 1 : 2.76 : 4.51
					35~50	185	285	733	1197	0.65 : 1 : 2.57 : 4.20
					55~70	195	300	724	1181	0.65 : 1 : 2.41 : 3.94
C30	38.2	0.50	43.0	34	10~30	175	350	638	1237	0.50 : 1 : 1.82 : 3.53
					35~50	185	370	627	1218	0.50 : 1 : 1.69 : 3.29
					55~70	195	390	617	1198	0.50 : 1 : 1.58 : 3.07
		0.53	46.0	35	10~30	175	330	663	1232	0.53 : 1 : 2.01 : 3.73
					35~50	185	349	653	1213	0.53 : 1 : 1.87 : 3.48
					55~70	195	368	643	1194	0.53 : 1 : 1.75 : 3.24
		0.57	49.0	36	10~30	175	307	690	1228	0.57 : 1 : 2.25 : 4.00
					35~50	185	325	680	1210	0.57 : 1 : 2.09 : 3.72
					55~70	195	342	671	1192	0.57 : 1 : 1.96 : 3.49
C35	43.2	0.44	43.0	32	10~30	175	398	585	1242	0.44 : 1 : 1.47 : 3.12
					35~50	185	420	574	1221	0.44 : 1 : 1.37 : 2.91
					55~70	195	443	564	1198	0.44 : 1 : 1.27 : 2.70
		0.47	46.0	33	10~30	175	372	611	1242	0.47 : 1 : 1.64 : 3.34
					35~50	185	394	601	1220	0.47 : 1 : 1.53 : 3.10
					55~70	195	415	591	1199	0.47 : 1 : 1.42 : 2.89
		0.50	49.0	34	10~30	175	350	638	1237	0.50 : 1 : 1.82 : 3.53
					35~50	185	370	627	1218	0.50 : 1 : 1.69 : 3.29
					55~70	195	390	617	1198	0.50 : 1 : 1.58 : 3.07

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C40	49.9	0.39	43.0	30	10~30	175	449	548	1278	0.39 : 1 : 1.22 : 2.85
					35~50	185	474	537	1254	0.39 : 1 : 1.13 : 2.64
					55~70	195	500	526	1229	0.39 : 1 : 1.05 : 2.46
		0.41	46.0	31	10~30	175	427	573	1275	0.41 : 1 : 1.34 : 2.99
					35~50	185	451	562	1252	0.41 : 1 : 1.25 : 2.78
					55~70	195	476	551	1228	0.41 : 1 : 1.16 : 2.58
		0.44	49.0	32	10~30	175	398	601	1276	0.44 : 1 : 1.51 : 3.21
					35~50	185	420	590	1255	0.44 : 1 : 1.40 : 2.99
					55~70	195	443	580	1232	0.44 : 1 : 1.31 : 2.78

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-10

用 42.5 级水泥、中砂、5~40mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C25	33.2	0.57	43.0	35	10~30	165	289	681	1265	0.57 : 1 : 2.36 : 4.38
					35~50	175	307	671	1247	0.57 : 1 : 2.19 : 4.06
					55~70	185	325	662	1228	0.57 : 1 : 2.04 : 3.78
		0.61	46.0	36	10~30	165	270	707	1258	0.61 : 1 : 2.62 : 4.66
					35~50	175	287	698	1240	0.61 : 1 : 2.43 : 4.32
					55~70	185	303	688	1224	0.61 : 1 : 2.27 : 4.04
		0.65	49.0	37	10~30	165	254	733	1248	0.65 : 1 : 2.89 : 4.91
					35~50	175	269	724	1232	0.65 : 1 : 2.69 : 4.58
					55~70	185	285	714	1216	0.65 : 1 : 2.51 : 4.27
C30	38.2	0.53	43.0	33	10~30	165	330	629	1276	0.50 : 1 : 1.91 : 3.87
					35~50	175	350	619	1256	0.50 : 1 : 1.77 : 3.59
					55~70	185	370	609	1236	0.50 : 1 : 1.65 : 3.34
		0.53	46.0	34	10~30	165	311	654	1270	0.53 : 1 : 2.10 : 4.08
					35~50	175	330	644	1251	0.53 : 1 : 1.95 : 3.79
					55~70	185	349	634	1232	0.53 : 1 : 1.82 : 3.53
		0.57	49.0	35	10~30	165	289	681	1265	0.57 : 1 : 2.36 : 4.38
					35~50	175	307	671	1247	0.57 : 1 : 2.19 : 4.06
					55~70	185	325	662	1228	0.57 : 1 : 2.04 : 3.78

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wi}	m_{ci}	m_{si}	m_{gi}	
C25	43.2	0.44	43.0	31	10~30	165	375	577	1283	0.44 : 1 : 1.54 : 3.42
					35~50	175	398	566	1261	0.44 : 1 : 1.42 : 3.17
					55~70	185	420	556	1239	0.44 : 1 : 1.32 : 2.95
		0.47	46.0	32	10~30	165	351	603	1281	0.47 : 1 : 1.72 : 3.65
					35~50	175	372	593	1260	0.47 : 1 : 1.59 : 3.39
					55~70	185	394	583	1238	0.47 : 1 : 1.48 : 3.14
		0.50	49.0	33	10~30	165	330	629	1276	0.50 : 1 : 1.91 : 3.87
					35~50	175	350	619	1256	0.50 : 1 : 1.77 : 3.59
					55~70	185	370	609	1236	0.50 : 1 : 1.65 : 3.34
C40	49.9	0.39	43.0	29	10~30	165	423	540	1322	0.39 : 1 : 1.28 : 3.13
					35~50	175	449	530	1296	0.39 : 1 : 1.18 : 2.89
					55~70	185	474	519	1272	0.39 : 1 : 1.09 : 2.68
		0.41	46.0	30	10~30	165	402	565	1318	0.41 : 1 : 1.41 : 3.28
					35~50	175	427	554	1294	0.41 : 1 : 1.30 : 3.03
					55~70	185	451	544	1270	0.41 : 1 : 1.21 : 2.82
		0.44	49.0	31	10~30	165	375	592	1318	0.44 : 1 : 1.58 : 3.51
					35~50	175	398	582	1295	0.44 : 1 : 1.46 : 3.25
					55~70	185	420	572	1273	0.44 : 1 : 1.36 : 3.03

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-①

用 52.5 级水泥、中砂、5~16mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wi}	m_{ci}	m_{si}	m_{gi}	
C25	33.2	0.70	53.0	42	10~30	200	286	801	1110	0.70 : 1 : 2.81 : 3.88
					35~50	210	300	794	1096	0.70 : 1 : 2.65 : 3.65
					55~70	220	314	784	1082	0.70 : 1 : 2.50 : 3.45
		0.72	55.0	43	10~30	200	278	826	1096	0.72 : 1 : 2.97 : 3.94
					35~50	210	292	816	1082	0.72 : 1 : 2.79 : 3.71
					55~70	220	306	806	1068	0.72 : 1 : 2.63 : 3.49
		0.75	57.0	44	10~30	200	267	851	1082	0.75 : 1 : 3.19 : 4.05
					35~50	210	280	840	1070	0.75 : 1 : 3.00 : 3.82
					55~70	220	293	830	1057	0.75 : 1 : 2.83 : 3.61

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C30	38.2	0.61	53.0	38	10~30	200	328	711	1161	0.61 : 1 : 2.17 : 3.54
					35~50	210	344	701	1145	0.61 : 1 : 2.04 : 3.33
					55~70	220	361	691	1128	0.61 : 1 : 1.91 : 3.12
		0.63	55.0	39	10~30	200	317	734	1149	0.63 : 1 : 2.32 : 3.62
					35~50	210	333	724	1133	0.63 : 1 : 2.17 : 3.40
					55~70	220	349	714	1117	0.63 : 1 : 2.05 : 3.20
		0.65	57.0	40	10~30	200	308	757	1135	0.65 : 1 : 2.46 : 3.69
					35~50	210	323	747	1120	0.65 : 1 : 2.31 : 3.47
					55~70	220	338	737	1105	0.65 : 1 : 2.18 : 3.27
C35	43.2	0.54	53.0	37	10~30	200	370	677	1153	0.54 : 1 : 1.83 : 3.12
					35~50	210	389	666	1135	0.54 : 1 : 1.71 : 3.07
					55~70	220	407	656	1117	0.54 : 1 : 1.61 : 2.74
		0.56	55.0	38	10~30	200	357	700	1143	0.56 : 1 : 1.96 : 3.20
					35~50	210	375	690	1125	0.56 : 1 : 1.84 : 3.00
					55~70	220	393	679	1108	0.56 : 1 : 1.73 : 2.82
		0.58	57.0	39	10~30	200	345	723	1132	0.58 : 1 : 2.10 : 3.28
					35~50	210	362	713	1115	0.58 : 1 : 1.97 : 3.08
					55~70	220	379	702	1099	0.58 : 1 : 1.85 : 2.90
C40	49.9	0.47	53.0	35	10~30	200	426	638	1186	0.47 : 1 : 1.50 : 2.78
					35~50	210	447	628	1165	0.47 : 1 : 1.40 : 2.61
					55~70	220	468	617	1145	0.47 : 1 : 1.32 : 2.45
		0.49	55.0	36	10~30	200	408	663	1179	0.49 : 1 : 1.63 : 2.89
					35~50	210	429	652	1159	0.49 : 1 : 1.52 : 2.70
					55~70	220	449	641	1140	0.49 : 1 : 1.43 : 2.54
		0.51	57.0	37	10~30	200	392	687	1171	0.51 : 1 : 1.75 : 2.99
					35~50	210	412	676	1152	0.51 : 1 : 1.64 : 2.80
					55~70	220	431	666	1133	0.51 : 1 : 1.55 : 2.63

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C45	54.9	0.43	53.0	33	10~30	200	465	589	1196	0.43 : 1 : 1.27 : 2.57
					35~50	210	488	578	1174	0.43 : 1 : 1.18 : 2.41
					55~70	220	512	567	1151	0.43 : 1 : 1.11 : 2.25
		0.45	55.0	34	10~30	200	444	614	1192	0.45 : 1 : 1.38 : 2.68
					35~50	210	467	603	1170	0.45 : 1 : 1.29 : 2.51
					55~70	220	489	592	1149	0.45 : 1 : 1.21 : 2.35
		0.46	57.0	35	10~30	200	435	635	1180	0.46 : 1 : 1.46 : 2.71
					35~50	210	457	624	1159	0.46 : 1 : 1.37 : 2.54
					55~70	220	478	613	1139	0.46 : 1 : 1.28 : 2.38

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-⑫

用 52.5 级水泥、中砂、5~20mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C25	33.2	0.70	53.0	40	10~30	185	264	780	1171	0.70 : 1 : 2.95 : 4.44
					35~50	195	279	770	1156	0.70 : 1 : 2.76 : 4.14
					55~70	205	293	761	1141	0.70 : 1 : 2.60 : 3.89
		0.72	55.0	41	10~30	185	257	803	1155	0.72 : 1 : 3.12 : 4.50
					35~50	195	271	793	1141	0.72 : 1 : 2.93 : 4.21
					55~70	205	285	783	1127	0.72 : 1 : 2.75 : 3.95
		0.75	57.0	42	10~30	185	247	827	1141	0.75 : 1 : 3.35 : 4.62
					35~50	195	260	817	1128	0.75 : 1 : 3.14 : 4.34
					55~70	205	273	807	1115	0.75 : 1 : 2.96 : 4.08
C30	38.2	0.61	53.0	37	10~30	185	303	707	1205	0.61 : 1 : 2.33 : 3.98
					35~50	195	320	697	1188	0.61 : 1 : 2.18 : 3.71
					55~70	205	336	688	1171	0.61 : 1 : 2.05 : 3.49
		0.63	55.0	38	10~30	185	294	730	1191	0.63 : 1 : 2.48 : 4.05
					35~50	195	310	720	1175	0.63 : 1 : 2.32 : 3.79
					55~70	205	325	711	1159	0.63 : 1 : 2.19 : 3.57
		0.65	57.0	39	10~30	185	285	753	1177	0.65 : 1 : 2.54 : 4.13
					35~50	195	300	743	1162	0.65 : 1 : 2.48 : 3.87
					55~70	205	315	733	1147	0.65 : 1 : 2.33 : 3.64

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{w0} : m_{c0} : m_{s0} : m_{g0}$
						水 m_{w0}	水泥 m_{c0}	砂 m_{s0}	石子 m_{g0}	
C35	43.2	0.54	53.0	36	10~30	185	343	674	1198	0.54 : 1 : 1.97 : 3.49
					35~50	195	361	664	1180	0.54 : 1 : 1.84 : 3.27
					55~70	205	380	653	1162	0.54 : 1 : 1.72 : 3.06
		0.56	55.0	37	10~30	185	330	697	1188	0.56 : 1 : 2.11 : 3.60
					35~50	195	348	687	1170	0.56 : 1 : 1.97 : 3.36
					55~70	205	366	677	1152	0.56 : 1 : 1.85 : 3.15
		0.58	57.0	38	10~30	185	319	720	1176	0.58 : 1 : 2.26 : 3.69
					35~50	195	336	710	1159	0.58 : 1 : 2.11 : 3.45
					55~70	205	353	700	1142	0.58 : 1 : 1.98 : 3.24
C40	49.9	0.47	53.0	33	10~30	185	394	617	1254	0.47 : 1 : 1.57 : 3.18
					35~50	195	415	607	1233	0.47 : 1 : 1.46 : 2.97
					55~70	205	436	597	1212	0.47 : 1 : 1.37 : 2.78
		0.49	55.0	34	10~30	185	378	642	1245	0.49 : 1 : 1.70 : 3.29
					35~50	195	398	631	1226	0.49 : 1 : 1.59 : 3.08
					55~70	205	418	621	1206	0.49 : 1 : 1.49 : 2.89
		0.51	57.0	35	10~30	185	363	666	1236	0.51 : 1 : 1.83 : 3.40
					35~50	195	382	656	1217	0.51 : 1 : 1.72 : 3.19
					55~70	205	402	645	1198	0.51 : 1 : 1.60 : 2.98
C45	54.9	0.43	53.0	32	10~30	185	430	587	1248	0.43 : 1 : 1.37 : 2.90
					35~50	195	453	577	1225	0.43 : 1 : 1.27 : 2.70
					55~70	205	477	566	1202	0.43 : 1 : 1.19 : 2.52
		0.45	55.0	33	10~30	185	411	612	1242	0.45 : 1 : 1.49 : 3.02
					35~50	195	433	601	1221	0.45 : 1 : 1.39 : 2.82
					55~70	205	456	590	1199	0.45 : 1 : 1.29 : 2.63
		0.46	57.0	34	10~30	185	402	633	1230	0.46 : 1 : 1.57 : 3.06
					35~50	195	424	623	1208	0.46 : 1 : 1.47 : 2.85
					55~70	205	446	612	1187	0.46 : 1 : 1.37 : 2.66

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C50	59.9	0.40	53.0	31	10~30	185	462	559	1244	0.40 : 1 : 1.21 : 2.69
					35~50	195	488	548	1219	0.40 : 1 : 1.12 : 2.50
					55~70	205	512	537	1196	0.40 : 1 : 1.05 : 2.34
		0.41	55.0	32	10~30	185	451	580	1234	0.41 : 1 : 1.29 : 2.74
					35~50	195	476	569	1210	0.41 : 1 : 1.20 : 2.54
					55~70	205	500	558	1187	0.41 : 1 : 1.12 : 2.37
		0.42	57.0	33	10~30	185	440	602	1223	0.42 : 1 : 1.37 : 2.78
					35~50	195	464	591	1200	0.42 : 1 : 1.27 : 2.59
					55~70	205	488	580	1177	0.42 : 1 : 1.19 : 2.41

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-⑬

用 52.5 级水泥、中砂、5~25mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C25	33.2	0.70	53.0	40	10~30	181	259	784	1176	0.70 : 1 : 3.03 : 4.54
					35~50	191	273	774	1162	0.70 : 1 : 2.84 : 4.26
					55~70	201	287	765	1147	0.70 : 1 : 2.67 : 4.00
		0.72	55.0	41	10~30	181	251	807	1161	0.72 : 1 : 3.22 : 4.63
					35~50	191	265	797	1147	0.72 : 1 : 3.01 : 4.33
					55~70	201	279	787	1133	0.72 : 1 : 2.82 : 4.06
		0.75	57.0	42	10~30	181	241	831	1147	0.75 : 1 : 3.45 : 4.76
					35~50	191	255	821	1133	0.75 : 1 : 3.22 : 4.44
					55~70	201	268	811	1120	0.75 : 1 : 3.03 : 4.18
C30	38.2	0.61	53.0	37	10~30	181	297	711	1211	0.61 : 1 : 2.39 : 4.08
					35~50	191	313	702	1194	0.61 : 1 : 2.24 : 3.82
					55~70	201	330	692	1177	0.61 : 1 : 2.10 : 3.57
		0.63	55.0	38	10~30	181	287	734	1198	0.63 : 1 : 2.56 : 4.17
					35~50	191	303	724	1182	0.63 : 1 : 2.39 : 3.90
					55~70	201	319	714	1166	0.63 : 1 : 2.24 : 3.66
		0.65	57.0	39	10~30	181	278	757	1184	0.65 : 1 : 2.72 : 4.26
					35~50	191	294	747	1168	0.65 : 1 : 2.54 : 3.97
					55~70	201	309	737	1153	0.65 : 1 : 2.39 : 3.73

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wu} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wu}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C35	43.2	0.54	53.0	36	10~30	181	335	678	1206	0.54 : 1 : 2.02 : 3.60
					35~50	191	354	668	1187	0.54 : 1 : 1.89 : 3.35
					55~70	201	372	658	1169	0.54 : 1 : 1.77 : 3.14
		0.56	55.0	37	10~30	181	323	702	1194	0.56 : 1 : 2.17 : 3.70
					35~50	191	341	691	1177	0.56 : 1 : 2.03 : 3.45
					55~70	201	359	681	1159	0.56 : 1 : 1.90 : 3.23
		0.58	57.0	38	10~30	181	312	725	1182	0.58 : 1 : 2.32 : 3.79
					35~50	191	329	714	1166	0.58 : 1 : 2.17 : 3.54
					55~70	201	347	704	1148	0.58 : 1 : 2.03 : 3.31
C40	49.9	0.47	53.0	33	10~30	181	385	622	1262	0.47 : 1 : 1.62 : 3.28
					35~50	191	406	611	1242	0.47 : 1 : 1.50 : 3.06
					55~70	201	428	601	1220	0.47 : 1 : 1.40 : 2.85
		0.49	55.0	34	10~30	181	369	646	1254	0.49 : 1 : 1.75 : 3.40
					35~50	191	390	635	1234	0.49 : 1 : 1.63 : 3.16
					55~70	201	410	625	1214	0.49 : 1 : 1.52 : 2.96
		0.51	57.0	35	10~30	181	355	670	1244	0.51 : 1 : 1.89 : 3.50
					35~50	191	375	659	1225	0.51 : 1 : 1.76 : 3.27
					55~70	201	394	649	1206	0.51 : 1 : 1.65 : 3.06
C45	54.9	0.43	53.0	32	10~30	181	421	591	1257	0.43 : 1 : 1.40 : 2.99
					35~50	191	444	581	1234	0.43 : 1 : 1.31 : 2.78
					55~70	201	467	570	1212	0.43 : 1 : 1.22 : 2.60
		0.45	55.0	33	10~30	181	402	616	1251	0.45 : 1 : 1.53 : 3.11
					35~50	191	424	606	1229	0.45 : 1 : 1.43 : 2.90
					55~70	201	447	595	1207	0.45 : 1 : 1.33 : 2.70
		0.46	57.0	34	10~30	181	393	638	1238	0.46 : 1 : 1.62 : 3.15
					35~50	191	415	627	1217	0.46 : 1 : 1.51 : 2.93
					55~70	201	437	616	1196	0.46 : 1 : 1.41 : 2.74

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wo}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C50	59.9	0.40	53.0	31	10~30	181	452	563	1254	0.40 : 1 : 1.25 : 2.77
					35~50	191	478	552	1229	0.40 : 1 : 1.15 : 2.57
					55~70	201	502	542	1205	0.40 : 1 : 1.08 : 2.40
		0.41	55.0	32	10~30	181	441	585	1243	0.41 : 1 : 1.33 : 2.82
					35~50	191	466	574	1219	0.41 : 1 : 1.23 : 2.62
					55~70	201	490	563	1196	0.41 : 1 : 1.15 : 2.44
		0.42	57.0	33	10~30	181	431	607	1231	0.42 : 1 : 1.41 : 2.86
					35~50	191	455	595	1209	0.42 : 1 : 1.31 : 2.66
					55~70	201	479	584	1186	0.42 : 1 : 1.22 : 2.48

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-①

用 52.5 级水泥、中砂、5~31.5mm 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wo}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C30	38.2	0.61	53.0	36	10~30	175	287	698	1240	0.61 : 1 : 2.43 : 4.32
					35~50	185	303	688	1224	0.61 : 1 : 2.27 : 4.04
					55~70	195	320	679	1206	0.61 : 1 : 2.12 : 3.77
		0.63	55.0	37	10~30	175	278	720	1227	0.63 : 1 : 2.59 : 4.41
					35~50	185	294	711	1210	0.63 : 1 : 2.42 : 4.12
					55~70	195	310	701	1194	0.63 : 1 : 2.26 : 3.85
		0.65	57.0	38	10~30	175	269	743	1213	0.65 : 1 : 2.76 : 4.51
					35~50	185	285	733	1197	0.65 : 1 : 2.57 : 4.20
					55~70	195	300	724	1181	0.65 : 1 : 2.41 : 3.94
C35	43.2	0.54	53.0	35	10~30	175	324	665	1236	0.54 : 1 : 2.05 : 3.81
					35~50	185	343	655	1217	0.54 : 1 : 1.91 : 3.55
					55~70	195	361	645	1199	0.54 : 1 : 1.79 : 3.32
		0.56	55.0	36	10~30	175	312	689	1224	0.56 : 1 : 2.21 : 3.92
					35~50	185	330	679	1206	0.56 : 1 : 2.06 : 3.66
					55~70	195	348	669	1188	0.56 : 1 : 1.92 : 3.41
		0.58	57.0	37	10~30	175	302	712	1211	0.58 : 1 : 2.36 : 4.01
					35~50	185	319	702	1194	0.58 : 1 : 2.20 : 3.74
					55~70	195	336	692	1177	0.58 : 1 : 2.06 : 3.50

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_w	水泥 m_c	砂 m_s	石子 m_g	
C40	49.9	0.47	53.0	32	10~30	175	372	609	1294	0.47 : 1 : 1.64 : 3.48
					35~50	185	394	599	1272	0.47 : 1 : 1.52 : 3.23
					55~70	195	415	589	1251	0.47 : 1 : 1.42 : 3.01
	49.9	0.49	55.0	33	10~30	175	357	633	1285	0.49 : 1 : 1.77 : 3.60
					35~50	185	378	623	1264	0.49 : 1 : 1.65 : 3.34
					55~70	195	398	613	1244	0.49 : 1 : 1.54 : 3.13
	49.9	0.51	57.0	34	10~30	175	343	657	1275	0.51 : 1 : 1.92 : 3.72
					35~50	185	363	647	1255	0.51 : 1 : 1.78 : 3.46
					55~70	195	382	637	1236	0.51 : 1 : 1.67 : 3.24
C45	54.9	0.43	53.0	31	10~30	175	407	579	1289	0.43 : 1 : 0.42 : 3.17
					35~50	185	430	569	1266	0.43 : 1 : 1.32 : 2.94
					55~70	195	453	559	1243	0.43 : 1 : 1.23 : 2.74
	54.9	0.45	55.0	32	10~30	175	389	604	1282	0.45 : 1 : 1.55 : 3.30
					35~50	185	411	593	1261	0.45 : 1 : 1.44 : 3.07
					55~70	195	433	583	1239	0.45 : 1 : 1.35 : 2.86
	54.9	0.46	57.0	33	10~30	175	380	625	1270	0.46 : 1 : 1.64 : 3.34
					35~50	185	402	615	1248	0.46 : 1 : 1.53 : 3.10
					55~70	195	424	604	1227	0.46 : 1 : 1.42 : 2.89
C50	59.9	0.40	53.0	30	10~30	175	438	551	1286	0.40 : 1 : 1.26 : 2.94
					35~50	185	462	541	1262	0.40 : 1 : 1.17 : 2.73
					55~70	195	488	530	1237	0.40 : 1 : 1.09 : 2.53
	59.9	0.41	55.0	31	10~30	175	427	573	1272	0.41 : 1 : 1.34 : 2.99
					35~50	185	451	562	1252	0.41 : 1 : 1.25 : 2.78
					55~70	195	476	551	1228	0.41 : 1 : 1.16 : 2.58
	59.9	0.42	57.0	32	10~30	175	417	595	1263	0.42 : 1 : 1.43 : 3.03
					35~50	185	440	584	1241	0.42 : 1 : 1.33 : 2.82
					55~70	195	464	573	1218	0.42 : 1 : 1.23 : 2.63

碎石混凝土配合比参考表

表 2-33-③

用 52.5 级水泥、中砂、5~40 (mm) 碎石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C30	38.2	0.61	53.0	35	10~30	165	270	688	1277	0.61 : 1 : 2.55 : 4.73
					35~50	175	287	678	1260	0.61 : 1 : 2.36 : 4.39
					55~70	185	303	669	1243	0.61 : 1 : 2.21 : 4.10
		0.63	55.0	36	10~30	165	262	710	1263	0.63 : 1 : 2.71 : 4.82
					35~50	175	278	701	1246	0.63 : 1 : 2.52 : 4.48
					55~70	185	294	692	1229	0.63 : 1 : 2.35 : 4.18
		0.65	57.0	37	10~30	165	254	733	1248	0.65 : 1 : 2.89 : 4.91
					35~50	175	269	724	1232	0.65 : 1 : 2.69 : 4.58
					55~70	185	285	714	1216	0.65 : 1 : 2.51 : 4.27
C35	43.2	0.54	53.0	34	10~30	165	306	656	1273	0.54 : 1 : 2.14 : 4.16
					35~50	175	324	646	1255	0.54 : 1 : 1.99 : 3.87
					55~70	185	343	636	1235	0.54 : 1 : 1.85 : 3.60
		0.56	55.0	35	10~30	165	295	679	1261	0.56 : 1 : 2.30 : 4.27
					35~50	175	312	670	1243	0.56 : 1 : 2.15 : 3.98
					55~70	185	330	660	1225	0.56 : 1 : 2.00 : 3.71
		0.58	57.0	36	10~30	165	284	702	1249	0.58 : 1 : 2.47 : 4.40
					35~50	175	302	692	1231	0.58 : 1 : 2.29 : 4.08
					55~70	185	319	683	1213	0.58 : 1 : 2.14 : 3.80
C40	49.9	0.47	53.0	31	10~30	165	351	600	1334	0.47 : 1 : 1.71 : 3.80
					35~50	175	372	590	1313	0.47 : 1 : 1.59 : 3.53
					55~70	185	391	580	1291	0.47 : 1 : 1.47 : 3.28
		0.49	55.0	32	10~30	165	337	625	1325	0.49 : 1 : 1.85 : 3.93
					35~50	175	357	614	1304	0.49 : 1 : 1.72 : 3.65
					55~70	185	378	604	1283	0.49 : 1 : 1.60 : 3.39
		0.51	57.0	33	10~30	165	324	647	1314	0.51 : 1 : 2.00 : 4.06
					35~50	175	343	638	1294	0.51 : 1 : 1.86 : 3.77
					55~70	185	363	628	1274	0.51 : 1 : 1.73 : 3.51

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wo}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C45	54.9	0.43	53.0	30	10~30	165	384	570	1331	0.43 : 1 : 1.48 : 3.47
					35~50	175	407	560	1308	0.43 : 1 : 1.38 : 3.21
					55~70	185	430	499	1284	0.43 : 1 : 1.28 : 2.99
		0.45	55.0	31	10~30	165	367	595	1323	0.45 : 1 : 1.62 : 3.60
					35~50	175	389	585	1301	0.45 : 1 : 1.50 : 3.34
					55~70	185	411	575	1279	0.45 : 1 : 1.40 : 3.11
		0.46	57.0	32	10~30	165	359	616	1310	0.46 : 1 : 1.72 : 3.65
					35~50	175	380	606	1289	0.46 : 1 : 1.59 : 3.39
					55~70	185	402	596	1267	0.46 : 1 : 1.48 : 3.15
C50	59.9	0.40	53.0	29	10~30	165	412	543	1330	0.40 : 1 : 1.32 : 3.23
					35~50	175	438	533	1304	0.40 : 1 : 1.22 : 2.98
					55~70	185	462	523	1280	0.40 : 1 : 1.13 : 2.77
		0.41	55.0	30	10~30	165	402	565	1318	0.41 : 1 : 1.41 : 3.28
					35~50	175	427	554	1294	0.41 : 1 : 1.30 : 3.03
					55~70	185	451	544	1270	0.41 : 1 : 1.21 : 2.82
		0.42	57.0	31	10~30	165	393	587	1305	0.42 : 1 : 1.49 : 3.32
					35~50	175	417	576	1282	0.42 : 1 : 1.38 : 3.07
					55~70	185	440	566	1259	0.42 : 1 : 1.29 : 2.86

卵石混凝土配合比参考表

表 2-34-①

用 32.5 级水泥、中砂、5~10 (mm) 卵石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wo}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C10	16.6	0.73	33.0	40	10~30	190	260	764	1146	0.73 : 1 : 2.94 : 4.41
					35~50	200	274	754	1132	0.73 : 1 : 2.75 : 4.13
					55~70	210	288	745	1117	0.73 : 1 : 2.59 : 3.88
		0.77	36.0	41	10~30	190	247	788	1135	0.77 : 1 : 3.19 : 4.60
					35~50	200	260	779	1121	0.77 : 1 : 3.00 : 4.31
					55~70	210	273	770	1107	0.77 : 1 : 2.82 : 4.05
		0.82	39.0	42	10~30	190	232	814	1124	0.82 : 1 : 3.51 : 4.84
					35~50	200	244	805	1111	0.82 : 1 : 3.30 : 4.55
					55~70	210	256	795	1099	0.82 : 1 : 3.11 : 4.29

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wa} : m_{ca} : m_{sa} : m_{ga}$
						水 m_{wa}	水泥 m_{ca}	砂 m_{sa}	石子 m_{ga}	
C15	21.6	0.59	33.0	35	10~30	190	322	647	1201	0.59 : 1 : 2.01 : 3.73
					35~50	200	339	637	1184	0.59 : 1 : 1.88 : 3.49
					55~70	210	356	628	1166	0.59 : 1 : 1.76 : 3.28
		0.63	36.0	36	10~30	190	302	672	1196	0.63 : 1 : 2.23 : 3.96
					35~50	200	317	663	1180	0.63 : 1 : 2.09 : 3.72
					55~70	210	333	654	1163	0.63 : 1 : 1.96 : 3.49
		0.67	39.0	37	10~30	190	284	698	1188	0.67 : 1 : 2.46 : 4.18
					35~50	200	299	689	1172	0.67 : 1 : 2.30 : 3.92
					55~70	210	313	680	1157	0.67 : 1 : 2.17 : 3.70
C20	28.2	0.47	33.0	32	10~30	190	404	578	1228	0.47 : 1 : 1.43 : 3.04
					35~50	200	426	568	1206	0.47 : 1 : 1.33 : 2.83
					55~70	210	447	558	1185	0.47 : 1 : 1.25 : 2.65
		0.51	36.0	33	10~30	190	373	606	1231	0.51 : 1 : 1.62 : 3.30
					35~50	200	392	597	1211	0.51 : 1 : 1.52 : 3.09
					55~70	210	412	587	1191	0.51 : 1 : 1.42 : 2.89
		0.54	39.0	34	10~30	190	352	632	1226	0.54 : 1 : 1.80 : 3.48
					35~50	200	370	622	1208	0.54 : 1 : 1.68 : 3.26
					55~70	210	389	612	1189	0.54 : 1 : 1.57 : 3.06
C25	33.2	0.41	33.0	30	10~30	190	463	524	1223	0.41 : 1 : 1.13 : 2.64
					35~50	200	488	514	1198	0.41 : 1 : 1.05 : 2.45
					55~70	210	512	503	1175	0.41 : 1 : 0.98 : 2.29
		0.44	36.0	31	10~30	190	432	551	1227	0.44 : 1 : 1.28 : 2.84
					35~50	200	455	541	1204	0.44 : 1 : 1.19 : 2.65
					55~70	210	477	531	1182	0.44 : 1 : 1.11 : 2.48
		0.48	39.0	32	10~30	190	396	580	1234	0.48 : 1 : 1.46 : 3.12
					35~50	200	417	571	1212	0.48 : 1 : 1.37 : 2.91
					55~70	210	438	561	1191	0.48 : 1 : 1.28 : 2.72

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wo}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C30	38.2	0.36	33.0	28	10~30	190	528	471	1211	0.36 : 1 : 0.89 : 2.29
					35~50	200	556	460	1184	0.36 : 1 : 0.83 : 2.13
					55~70	210	583	450	1157	0.36 : 1 : 0.77 : 1.98
		0.39	36.0	29	10~30	190	487	500	1223	0.39 : 1 : 1.03 : 2.51
					35~50	200	513	489	1198	0.39 : 1 : 0.95 : 2.34
					55~70	210	538	479	1173	0.39 : 1 : 0.89 : 2.18
		0.42	39.0	30	10~30	190	452	527	1231	0.42 : 1 : 1.17 : 2.72
					35~50	200	476	517	1207	0.42 : 1 : 1.09 : 2.54
					55~70	210	500	507	1183	0.42 : 1 : 1.01 : 2.37

卵石混凝土配合比参考表

表 2-34-②

用 32.5 级水泥、中砂、5~20 (mm) 卵石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wo}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C10	16.6	0.73	33.0	39	10~30	170	233	763	1194	0.73 : 1 : 3.27 : 5.12
					35~50	180	247	754	1179	0.73 : 1 : 3.05 : 4.77
					55~70	190	260	745	1165	0.73 : 1 : 2.87 : 4.48
		0.77	36.0	40	10~30	170	221	788	1181	0.77 : 1 : 3.57 : 5.34
					35~50	180	234	778	1168	0.77 : 1 : 3.32 : 4.99
					55~70	190	247	769	1154	0.77 : 1 : 3.11 : 4.67
		0.82	39.0	41	10~30	170	207	813	1170	0.82 : 1 : 3.93 : 5.65
					35~50	180	220	804	1155	0.82 : 1 : 3.65 : 5.25
					55~70	190	232	795	1143	0.82 : 1 : 3.42 : 4.93
C15	21.6	0.59	33.0	34	10~30	170	288	647	1255	0.59 : 1 : 2.25 : 4.36
					35~50	180	305	637	1238	0.59 : 1 : 2.09 : 4.06
					55~70	190	322	628	1220	0.59 : 1 : 1.95 : 3.79
		0.63	36.0	35	10~30	170	270	672	1248	0.63 : 1 : 2.49 : 4.62
					35~50	180	286	663	1231	0.63 : 1 : 2.32 : 4.30
					55~70	190	302	654	1214	0.63 : 1 : 2.17 : 4.02
		0.67	39.0	36	10~30	170	254	697	1239	0.67 : 1 : 2.71 : 4.88
					35~50	180	269	688	1223	0.67 : 1 : 2.56 : 4.55
					55~70	190	284	679	1207	0.67 : 1 : 2.39 : 4.25

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C20	28.2	0.47	33.0	31	10~30	170	362	579	1289	0.47 : 1 : 1.60 : 3.56
					35~50	180	383	569	1268	0.47 : 1 : 1.49 : 3.31
					55~70	190	404	560	1246	0.47 : 1 : 1.39 : 3.08
		0.51	36.0	32	10~30	170	333	607	1290	0.51 : 1 : 1.82 : 3.87
					35~50	180	353	597	1270	0.51 : 1 : 1.69 : 3.60
					55~70	190	373	588	1249	0.51 : 1 : 1.58 : 3.35
		0.54	39.0	33	10~30	170	315	632	1283	0.54 : 1 : 2.01 : 4.07
					35~50	180	333	623	1264	0.54 : 1 : 1.87 : 3.80
					55~70	190	352	613	1245	0.54 : 1 : 1.74 : 3.54
C25	33.2	0.41	33.0	29	10~30	170	415	526	1289	0.41 : 1 : 1.27 : 3.11
					35~50	180	439	516	1265	0.41 : 1 : 1.18 : 2.88
					55~70	190	463	507	1240	0.41 : 1 : 1.10 : 2.68
		0.44	36.0	30	10~30	170	386	553	1291	0.44 : 1 : 1.43 : 3.34
					35~50	180	409	543	1268	0.44 : 1 : 1.33 : 3.10
					55~70	190	432	533	1245	0.44 : 1 : 1.23 : 2.88
		0.48	39.0	31	10~30	170	354	582	1294	0.48 : 1 : 1.64 : 3.66
					35~50	180	375	572	1273	0.48 : 1 : 1.53 : 3.39
					55~70	190	396	562	1252	0.48 : 1 : 1.42 : 3.16
C30	38.2	0.36	33.0	27	10~30	170	472	475	1283	0.36 : 1 : 1.01 : 2.72
					35~50	180	500	464	1256	0.36 : 1 : 0.93 : 2.51
					55~70	190	528	454	1228	0.36 : 1 : 0.86 : 2.33
		0.39	36.0	28	10~30	170	436	502	1292	0.39 : 1 : 1.15 : 2.96
					35~50	180	462	492	1266	0.39 : 1 : 1.06 : 2.74
					55~70	190	487	482	1241	0.39 : 1 : 0.99 : 2.55
		0.42	39.0	29	10~30	170	405	529	1296	0.42 : 1 : 1.31 : 3.20
					35~50	180	429	519	1272	0.42 : 1 : 1.21 : 2.97
					55~70	190	452	510	1248	0.42 : 1 : 1.13 : 2.76

卵石混凝土配合比参考表

表 2-34-③

用 32.5 级水泥、中砂、5~31.5 (mm) 卵石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wu}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C10	16.6	0.73	33.0	38	10~30	160	219	753	1228	0.73 : 1 : 3.44 : 5.61
					35~50	170	233	744	1213	0.73 : 1 : 3.19 : 5.21
					55~70	180	247	735	1198	0.73 : 1 : 2.98 : 4.85
		0.77	36.0	39	10~30	160	208	777	1215	0.77 : 1 : 3.74 : 5.84
					35~50	170	221	768	1201	0.77 : 1 : 3.48 : 5.43
					55~70	180	234	759	1187	0.77 : 1 : 3.24 : 5.07
		0.82	39.0	40	10~30	160	195	802	1203	0.82 : 1 : 4.11 : 6.17
					35~50	170	207	793	1190	0.82 : 1 : 3.83 : 5.75
					55~70	180	220	784	1176	0.82 : 1 : 3.56 : 5.35
C15	21.6	0.59	33.0	33	10~30	160	271	637	1292	0.59 : 1 : 2.35 : 4.77
					35~50	170	288	628	1274	0.59 : 1 : 2.18 : 4.42
					55~70	180	305	619	1256	0.59 : 1 : 2.03 : 4.12
		0.63	36.0	34	10~30	160	254	662	1284	0.63 : 1 : 2.61 : 5.06
					35~50	170	270	653	1267	0.63 : 1 : 2.42 : 4.69
					55~70	180	286	644	1250	0.63 : 1 : 2.25 : 4.37
		0.67	39.0	35	10~30	160	239	686	1275	0.67 : 1 : 2.87 : 5.33
					35~50	170	254	678	1258	0.67 : 1 : 2.67 : 4.95
					55~70	180	269	669	1242	0.67 : 1 : 2.49 : 4.62
C20	28.2	0.47	33.0	30	10~30	160	340	570	1330	0.47 : 1 : 1.68 : 3.91
					35~50	170	362	560	1308	0.47 : 1 : 1.55 : 3.61
					55~70	180	383	551	1286	0.47 : 1 : 1.44 : 3.36
		0.51	36.0	31	10~30	160	314	597	1329	0.51 : 1 : 1.90 : 4.23
					35~50	170	333	588	1309	0.51 : 1 : 1.77 : 3.93
					55~70	180	353	579	1288	0.51 : 1 : 1.64 : 3.65
		0.54	39.0	32	10~30	160	296	622	1322	0.54 : 1 : 2.10 : 4.47
					35~50	170	315	613	1302	0.54 : 1 : 1.95 : 4.13
					55~70	180	333	604	1283	0.54 : 1 : 1.81 : 3.85

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C25	33.2	0.41	33.0	28	10~30	160	390	518	1332	0.41 : 1 : 1.33 : 3.42
					35~50	170	415	508	1307	0.41 : 1 : 1.22 : 3.15
					55~70	180	439	499	1282	0.41 : 1 : 1.14 : 2.92
		0.44	36.0	29	10~30	160	364	544	1332	0.44 : 1 : 1.49 : 3.66
					35~50	170	386	535	1309	0.44 : 1 : 1.39 : 3.39
					55~70	180	409	525	1286	0.44 : 1 : 1.28 : 3.14
		0.48	39.0	30	10~30	160	333	572	1335	0.48 : 1 : 1.72 : 4.01
					35~50	170	354	563	1313	0.48 : 1 : 1.59 : 3.71
					55~70	180	375	554	1291	0.48 : 1 : 1.48 : 3.44
C30	38.2	0.36	33.0	26	10~30	160	444	467	1329	0.36 : 1 : 1.05 : 2.99
					35~50	170	472	457	1301	0.36 : 1 : 0.97 : 2.76
					55~70	180	500	447	1273	0.36 : 1 : 0.89 : 2.55
		0.39	36.0	27	10~30	160	410	494	1336	0.39 : 1 : 1.20 : 3.26
					35~50	170	436	484	1310	0.39 : 1 : 1.10 : 3.00
					55~70	180	462	475	1283	0.39 : 1 : 1.03 : 2.78
		0.42	39.0	28	10~30	160	381	521	1338	0.42 : 1 : 1.37 : 3.51
					35~50	170	405	511	1314	0.42 : 1 : 1.26 : 3.24
					55~70	180	429	501	1290	0.42 : 1 : 1.17 : 3.01

卵石混凝土配合比参考表

表 2-34-④

用 32.5 级水泥、中砂、5~40 (mm) 卵石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C10	16.6	0.73	33.0	38	10~30	150	205	762	1243	0.73 : 1 : 3.72 : 6.06
					35~50	160	219	753	1228	0.73 : 1 : 3.44 : 5.61
					55~70	170	233	744	1213	0.73 : 1 : 3.19 : 5.21
		0.77	36.0	39	10~30	150	195	786	1229	0.77 : 1 : 4.03 : 6.30
					35~50	160	208	777	1215	0.77 : 1 : 3.74 : 5.84
					55~70	170	221	768	1201	0.77 : 1 : 3.48 : 5.43
		0.82	39.0	40	10~30	150	183	811	1216	0.82 : 1 : 4.43 : 6.64
					35~50	160	195	802	1203	0.82 : 1 : 4.11 : 6.17
					55~70	170	207	793	1190	0.82 : 1 : 3.83 : 5.75

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C15	21.6	0.59	33.0	32	10~30	150	254	626	1330	0.59 : 1 : 2.46 : 5.24
					35~50	160	271	617	1312	0.59 : 1 : 2.28 : 4.84
					55~70	170	288	609	1293	0.59 : 1 : 2.11 : 4.49
		0.63	36.0	33	10~30	150	238	651	1321	0.63 : 1 : 2.74 : 5.55
					35~50	160	254	642	1304	0.63 : 1 : 2.53 : 5.13
					55~70	170	270	634	1286	0.63 : 1 : 2.35 : 4.76
		0.67	39.0	34	10~30	150	224	675	1311	0.67 : 1 : 3.01 : 5.85
					35~50	160	239	667	1294	0.67 : 1 : 2.79 : 5.41
					55~70	170	254	658	1278	0.67 : 1 : 2.59 : 5.03
C20	28.2	0.47	33.0	29	10~30	150	319	560	1371	0.47 : 1 : 1.76 : 4.30
					35~50	160	340	551	1349	0.47 : 1 : 1.62 : 3.97
					55~70	170	362	542	1326	0.47 : 1 : 1.50 : 3.66
		0.51	36.0	30	10~30	150	294	587	1369	0.51 : 1 : 2.00 : 4.66
					35~50	160	314	578	1348	0.51 : 1 : 1.84 : 4.29
					55~70	170	333	569	1328	0.51 : 1 : 1.71 : 3.99
		0.54	39.0	31	10~30	150	278	611	1361	0.54 : 1 : 2.20 : 4.90
					35~50	160	296	603	1341	0.54 : 1 : 2.04 : 4.53
					55~70	170	315	594	1321	0.54 : 1 : 1.89 : 4.19
C25	33.2	0.41	33.0	27	10~30	150	366	509	1375	0.41 : 1 : 1.39 : 3.76
					35~50	160	390	500	1350	0.41 : 1 : 1.28 : 3.46
					55~70	170	415	490	1325	0.41 : 1 : 1.18 : 3.19
		0.44	36.0	28	10~30	150	341	535	1374	0.44 : 1 : 1.57 : 4.03
					35~50	160	364	525	1351	0.44 : 1 : 1.44 : 3.71
					55~70	170	386	516	1328	0.44 : 1 : 1.34 : 3.44
		0.48	39.0	29	10~30	150	312	562	1376	0.48 : 1 : 1.80 : 4.41
					35~50	160	333	553	1354	0.48 : 1 : 1.66 : 4.07
					55~70	170	354	544	1332	0.48 : 1 : 1.54 : 3.76

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C30	38.2	0.36	33.0	25	10~30	150	417	458	1375	0.36 : 1 : 1.10 : 3.30
					35~50	160	444	449	1347	0.36 : 1 : 1.01 : 3.03
					55~70	170	472	440	1318	0.36 : 1 : 0.93 : 2.79
		0.39	36.0	26	10~30	150	385	485	1380	0.39 : 1 : 1.26 : 3.58
					35~50	160	410	476	1354	0.39 : 1 : 1.16 : 3.30
					55~70	170	436	466	1328	0.39 : 1 : 1.07 : 3.05
		0.42	39.0	27	10~30	150	357	511	1382	0.42 : 1 : 1.43 : 3.87
					35~50	160	381	502	1357	0.42 : 1 : 1.32 : 3.56
					55~70	170	405	493	1332	0.42 : 1 : 1.22 : 3.29

卵石混凝土配合比参考表

表 2-34-⑤

用 42.5 级水泥、中砂、5~10 (mm) 卵石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C20	28.2	0.59	43.0	34	10~30	190	322	642	1246	0.59 : 1 : 1.99 : 3.87
					35~50	200	339	633	1228	0.59 : 1 : 1.87 : 3.62
					55~70	210	356	624	1210	0.59 : 1 : 1.75 : 3.40
		0.62	46.0	35	10~30	190	306	666	1238	0.62 : 1 : 2.18 : 4.05
					35~50	200	323	657	1220	0.62 : 1 : 2.03 : 3.78
					55~70	210	339	648	1203	0.62 : 1 : 1.91 : 3.55
		0.65	49.0	36	10~30	190	292	690	1228	0.65 : 1 : 2.36 : 4.20
					35~50	200	308	681	1211	0.65 : 1 : 2.21 : 3.93
					55~70	210	323	672	1195	0.65 : 1 : 2.08 : 3.70
C25	33.2	0.52	43.0	32	10~30	190	365	590	1255	0.52 : 1 : 1.62 : 3.44
					35~50	200	385	581	1234	0.52 : 1 : 1.51 : 3.21
					55~70	210	404	572	1214	0.52 : 1 : 1.42 : 3.00
		0.55	46.0	33	10~30	190	345	615	1250	0.55 : 1 : 1.78 : 3.62
					35~50	200	364	606	1230	0.55 : 1 : 1.66 : 3.38
					55~70	210	382	597	1211	0.55 : 1 : 1.56 : 3.17
		0.57	49.0	34	10~30	190	333	638	1239	0.57 : 1 : 1.92 : 3.72
					35~50	200	351	629	1220	0.57 : 1 : 1.79 : 3.48
					55~70	210	368	619	1203	0.57 : 1 : 1.68 : 3.27

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wo}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C30	38.2	0.46	43.0	31	10~30	190	413	557	1240	0.46 : 1 : 1.35 : 3.00
					35~50	200	435	547	1218	0.46 : 1 : 1.26 : 2.80
					55~70	210	457	537	1196	0.46 : 1 : 1.18 : 2.62
		0.49	46.0	32	10~30	190	388	583	1239	0.49 : 1 : 1.50 : 3.19
					35~50	200	408	573	1219	0.49 : 1 : 1.40 : 2.99
					55~70	210	429	564	1197	0.49 : 1 : 1.31 : 2.79
		0.51	49.0	33	10~30	190	373	606	1231	0.51 : 1 : 1.62 : 3.30
					35~50	200	392	597	1211	0.51 : 1 : 1.52 : 3.09
					55~70	210	412	587	1191	0.51 : 1 : 1.42 : 2.89
C35	43.2	0.41	43.0	29	10~30	190	463	507	1240	0.41 : 1 : 1.10 : 2.68
					35~50	200	488	496	1216	0.41 : 1 : 1.02 : 2.49
					55~70	210	512	487	1191	0.41 : 1 : 0.95 : 2.33
		0.44	46.0	30	10~30	190	432	533	1245	0.44 : 1 : 1.23 : 2.88
					35~50	200	455	524	1221	0.44 : 1 : 1.15 : 2.68
					55~70	210	477	514	1199	0.44 : 1 : 1.08 : 2.51
		0.46	49.0	31	10~30	190	413	557	1240	0.46 : 1 : 1.35 : 3.00
					35~50	200	435	547	1218	0.46 : 1 : 1.26 : 2.80
					55~70	210	457	537	1196	0.46 : 1 : 1.18 : 2.62

卵石混凝土配合比参考表

表 2-34-⑥

用 42.5 级水泥、中砂、5~20 (mm) 卵石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wo}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C20	28.2	0.59	43.0	34	10~30	170	288	660	1282	0.59 : 1 : 2.29 : 4.45
					35~50	180	305	651	1264	0.59 : 1 : 2.13 : 4.14
					55~70	190	322	642	1246	0.59 : 1 : 1.99 : 3.87
		0.62	46.0	35	10~30	170	274	685	1271	0.62 : 1 : 2.50 : 4.64
					35~50	180	290	676	1254	0.62 : 1 : 2.33 : 4.32
					55~70	190	306	666	1238	0.62 : 1 : 2.18 : 4.05
		0.65	49.0	36	10~30	170	262	708	1260	0.65 : 1 : 2.70 : 4.81
					35~50	180	277	699	1244	0.65 : 1 : 2.52 : 4.49
					55~70	190	292	690	1228	0.65 : 1 : 2.36 : 4.21

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C25	33.2	0.52	43.0	32	10~30	170	327	609	1294	0.52 : 1 : 1.86 : 3.96
					35~50	180	346	600	1274	0.52 : 1 : 1.73 : 3.68
					55~70	190	365	590	1255	0.52 : 1 : 1.62 : 3.44
		0.55	46.0	33	10~30	170	309	634	1287	0.55 : 1 : 2.05 : 4.17
					35~50	180	327	625	1268	0.55 : 1 : 1.91 : 3.88
					55~70	190	345	615	1250	0.55 : 1 : 1.78 : 3.62
		0.57	49.0	34	10~30	170	298	657	1275	0.57 : 1 : 2.20 : 4.28
					35~50	180	316	647	1257	0.57 : 1 : 2.05 : 3.98
					55~70	190	333	638	1239	0.57 : 1 : 1.92 : 3.72
C30	38.2	0.46	43.0	30	10~30	170	370	558	1302	0.46 : 1 : 1.51 : 3.52
					35~50	180	391	549	1280	0.46 : 1 : 1.40 : 3.27
					55~70	190	413	539	1258	0.46 : 1 : 1.31 : 3.05
		0.49	46.0	31	10~30	170	347	584	1299	0.49 : 1 : 1.68 : 3.74
					35~50	180	367	574	1279	0.49 : 1 : 1.56 : 3.46
					55~70	190	388	565	1257	0.49 : 1 : 1.46 : 3.24
		0.51	49.0	32	10~30	170	333	607	1290	0.51 : 1 : 1.82 : 3.87
					35~50	180	353	597	1270	0.51 : 1 : 1.69 : 3.60
					55~70	190	373	588	1249	0.51 : 1 : 1.58 : 3.35
C35	33.2	0.41	43.0	28	10~30	170	415	508	1307	0.41 : 1 : 1.22 : 3.15
					35~50	180	439	499	1282	0.41 : 1 : 1.14 : 2.92
					55~70	190	463	489	1258	0.41 : 1 : 1.06 : 2.72
		0.44	46.0	29	10~30	170	386	535	1309	0.44 : 1 : 1.39 : 3.39
					35~50	180	409	525	1286	0.44 : 1 : 1.28 : 3.14
					55~70	190	432	516	1262	0.44 : 1 : 1.19 : 2.92
		0.46	49.0	30	10~30	170	370	558	1302	0.46 : 1 : 1.51 : 3.52
					35~50	180	391	549	1280	0.46 : 1 : 1.40 : 3.27
					55~70	190	413	539	1258	0.46 : 1 : 1.31 : 3.05

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C40	49.9	0.36	43.0	26	10~30	170	472	470	1338	0.36 : 1 : 1.00 : 2.83
					35~50	180	500	460	1310	0.36 : 1 : 0.92 : 2.62
					55~70	190	528	450	1282	0.36 : 1 : 0.85 : 2.43
		0.39	46.0	27	10~30	170	436	498	1346	0.39 : 1 : 1.14 : 3.09
					35~50	180	462	488	1320	0.39 : 1 : 1.06 : 2.86
					55~70	190	487	479	1294	0.39 : 1 : 0.98 : 2.66
		0.41	49.0	28	10~30	170	415	522	1343	0.41 : 1 : 1.26 : 3.24
					35~50	180	439	513	1318	0.41 : 1 : 1.17 : 3.00
					55~70	190	463	503	1294	0.41 : 1 : 1.09 : 2.79

卵石混凝土配合比参考表

表 2-34-⑦

用 42.5 级水泥、中砂、5~31.5 (mm) 卵石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C20	28.2	0.59	43.0	34	10~30	160	271	669	1300	0.59 : 1 : 2.47 : 4.80
					35~50	170	288	660	1282	0.59 : 1 : 2.29 : 4.45
					55~70	180	305	651	1264	0.59 : 1 : 2.13 : 4.14
		0.62	46.0	35	10~30	160	258	694	1288	0.62 : 1 : 2.69 : 4.99
					35~50	170	274	685	1271	0.62 : 1 : 2.50 : 4.64
					55~70	180	290	676	1254	0.62 : 1 : 2.33 : 4.32
		0.65	49.0	36	10~30	160	246	718	1276	0.65 : 1 : 2.92 : 5.19
					35~50	170	262	708	1260	0.65 : 1 : 2.70 : 4.81
					55~70	180	277	699	1244	0.65 : 1 : 2.52 : 4.49
C25	33.2	0.52	43.0	32	10~30	160	308	618	1314	0.52 : 1 : 2.01 : 4.27
					35~50	170	327	609	1294	0.52 : 1 : 1.86 : 3.96
					55~70	180	346	600	1274	0.52 : 1 : 1.73 : 3.68
		0.55	46.0	33	10~30	160	291	643	1306	0.55 : 1 : 2.21 : 4.49
					35~50	170	309	634	1287	0.55 : 1 : 2.05 : 4.17
					55~70	180	327	625	1268	0.55 : 1 : 1.91 : 3.88
		0.57	49.0	34	10~30	160	281	666	1293	0.57 : 1 : 2.37 : 4.60
					35~50	170	298	657	1275	0.57 : 1 : 2.20 : 4.28
					55~70	180	316	647	1257	0.57 : 1 : 2.05 : 3.98

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_w : m_{ce} : m_s : m_{gs}$
						水 m_w	水泥 m_{ce}	砂 m_s	石子 m_{gs}	
C30	38.2	0.46	43.0	30	10~30	160	348	568	1324	0.46 : 1 : 1.63 : 3.80
					35~50	170	370	558	1302	0.46 : 1 : 1.51 : 3.52
					55~70	180	391	549	1280	0.46 : 1 : 1.40 : 3.27
		0.49	46.0	31	10~30	160	327	593	1320	0.49 : 1 : 1.81 : 4.04
					35~50	170	347	584	1299	0.49 : 1 : 1.68 : 3.74
					55~70	180	367	574	1279	0.49 : 1 : 1.56 : 3.49
		0.51	49.0	32	10~30	160	314	616	1310	0.51 : 1 : 1.96 : 4.17
					35~50	170	333	607	1290	0.51 : 1 : 1.82 : 3.87
					55~70	180	353	597	1270	0.51 : 1 : 1.69 : 3.60
C35	43.2	0.41	43.0	28	10~30	160	390	518	1332	0.41 : 1 : 1.33 : 3.42
					35~50	170	415	508	1307	0.41 : 1 : 1.22 : 3.15
					55~70	180	439	499	1282	0.41 : 1 : 1.14 : 2.92
		0.41	46.0	29	10~30	160	364	544	1332	0.44 : 1 : 1.49 : 3.66
					35~50	170	386	535	1309	0.44 : 1 : 1.39 : 3.39
					55~70	180	409	525	1286	0.44 : 1 : 1.28 : 3.14
		0.46	49.0	30	10~30	160	348	568	1324	0.46 : 1 : 1.63 : 3.80
					35~50	170	370	558	1302	0.46 : 1 : 1.51 : 3.52
					55~70	180	391	549	1280	0.46 : 1 : 1.40 : 3.27
C40	49.9	0.36	43.0	26	10~30	160	444	480	1366	0.36 : 1 : 1.08 : 3.08
					35~50	170	472	470	1338	0.36 : 1 : 1.00 : 2.83
					55~70	180	500	460	1310	0.36 : 1 : 0.92 : 2.62
		0.39	46.0	27	10~30	160	410	508	1372	0.39 : 1 : 1.24 : 3.35
					35~50	170	436	498	1346	0.39 : 1 : 1.14 : 3.09
					55~70	180	462	488	1320	0.39 : 1 : 1.06 : 2.86
		0.41	49.0	28	10~30	160	390	532	1368	0.41 : 1 : 1.36 : 3.51
					35~50	170	415	522	1343	0.41 : 1 : 1.26 : 3.24
					55~70	180	439	513	1318	0.41 : 1 : 1.17 : 3.00

卵石混凝土配合比参考表

表 2-34-⑧

用 42.5 级水泥、中砂、5~40 (mm) 卵石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{\text{水}} : m_{\text{水}} : m_{\text{砂}} : m_{\text{石}}$
						水 $m_{\text{水}}$	水泥 $m_{\text{水}}$	砂 $m_{\text{砂}}$	石子 $m_{\text{石}}$	
C25	33.2	0.52	43.0	31	10~30	150	288	608	1354	0.52 : 1 : 2.11 : 4.70
					35~50	160	308	599	1333	0.52 : 1 : 1.94 : 4.33
					55~70	170	327	590	1313	0.52 : 1 : 1.80 : 4.02
		0.55	46.0	32	10~30	150	273	633	1344	0.55 : 1 : 2.32 : 4.92
					35~50	160	291	624	1325	0.55 : 1 : 2.14 : 4.55
					55~70	170	309	615	1306	0.55 : 1 : 1.99 : 4.23
		0.57	49.0	33	10~30	150	263	656	1331	0.57 : 1 : 2.49 : 5.06
					35~50	160	280	647	1313	0.57 : 1 : 2.31 : 4.69
					55~70	170	298	638	1294	0.57 : 1 : 2.14 : 4.34
C30	38.2	0.46	43.0	29	10~30	150	326	558	1366	0.46 : 1 : 1.71 : 4.19
					35~50	160	348	549	1343	0.46 : 1 : 1.58 : 3.86
					55~70	170	370	539	1321	0.46 : 1 : 1.46 : 3.57
		0.49	46.0	30	10~30	150	306	583	1361	0.49 : 1 : 1.91 : 4.45
					35~50	160	327	574	1339	0.49 : 1 : 1.76 : 4.10
					55~70	170	347	565	1318	0.49 : 1 : 1.63 : 3.80
		0.51	49.0	31	10~30	150	294	606	1350	0.51 : 1 : 2.06 : 4.59
					35~50	160	314	597	1329	0.51 : 1 : 1.90 : 4.23
					55~70	170	333	588	1309	0.51 : 1 : 1.77 : 3.93
C35	43.2	0.41	43.0	27	10~30	150	366	509	1375	0.41 : 1 : 1.39 : 3.76
					35~50	160	390	500	1350	0.41 : 1 : 1.28 : 3.46
					55~70	170	415	490	1325	0.41 : 1 : 1.18 : 3.19
		0.44	46.0	28	10~30	150	341	535	1374	0.44 : 1 : 1.57 : 4.03
					35~50	160	364	525	1351	0.44 : 1 : 1.44 : 3.71
					55~70	170	386	516	1328	0.44 : 1 : 1.34 : 3.44
		0.46	49.0	29	10~30	150	326	558	1366	0.46 : 1 : 1.71 : 4.19
					35~50	160	348	549	1343	0.46 : 1 : 1.58 : 3.86
					55~70	170	370	539	1321	0.46 : 1 : 1.46 : 3.57

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wi}	m_{ci}	m_{si}	m_{gi}	
C40	49.9	0.36	43.0	25	10~30	150	417	471	1412	0.36 : 1 : 1.13 : 3.39
					35~50	160	444	462	1384	0.36 : 1 : 1.04 : 3.12
					55~70	170	472	452	1356	0.36 : 1 : 0.96 : 2.87
		0.39	46.0	26	10~30	150	385	498	1417	0.39 : 1 : 1.29 : 3.68
					35~50	160	410	489	1391	0.39 : 1 : 1.19 : 3.39
					55~70	170	436	479	1365	0.39 : 1 : 1.10 : 3.13
		0.41	49.0	27	10~30	150	366	522	1412	0.41 : 1 : 1.43 : 3.86
					35~50	160	390	513	1387	0.41 : 1 : 1.32 : 3.56
					55~70	170	415	504	1361	0.41 : 1 : 1.21 : 3.28

卵石混凝土配合比参考表

表 2-34-⑨

用 52.5 级水泥、中砂、5~10 (mm) 卵石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wi}	m_{ci}	m_{si}	m_{gi}	
C25	33.2	0.61	53.0	35	10~30	190	311	665	1234	0.61 : 1 : 2.14 : 3.97
					35~50	200	328	655	1217	0.61 : 1 : 2.00 : 3.71
					55~70	210	344	646	1200	0.61 : 1 : 1.88 : 3.49
		0.63	55.0	36	10~30	190	302	687	1221	0.63 : 1 : 2.27 : 4.04
					35~50	200	317	678	1205	0.63 : 1 : 2.14 : 3.80
					55~70	210	333	669	1188	0.63 : 1 : 2.01 : 3.57
		0.65	57.0	37	10~30	190	292	710	1208	0.65 : 1 : 2.43 : 4.14
					35~50	200	308	700	1192	0.65 : 1 : 2.27 : 3.87
					55~70	210	323	691	1176	0.65 : 1 : 2.14 : 3.64
C30	38.2	0.55	53.0	33	10~30	190	345	615	1250	0.55 : 1 : 1.78 : 3.62
					35~50	200	364	606	1230	0.55 : 1 : 1.66 : 3.38
					55~70	210	382	597	1211	0.55 : 1 : 1.56 : 3.17
		0.56	55.0	34	10~30	190	339	636	1235	0.56 : 1 : 1.88 : 3.64
					35~50	200	357	627	1216	0.56 : 1 : 1.76 : 3.41
					55~70	210	375	617	1198	0.56 : 1 : 1.65 : 3.19
		0.58	57.0	35	10~30	190	328	659	1223	0.58 : 1 : 2.01 : 3.73
					35~50	200	345	649	1206	0.58 : 1 : 1.88 : 3.50
					55~70	210	362	640	1188	0.58 : 1 : 1.77 : 3.28

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wo}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C35	43.2	0.49	53.0	32	10~30	190	388	583	1239	0.49 : 1 : 1.50 : 3.19
					35~50	200	408	573	1219	0.49 : 1 : 1.40 : 2.99
					55~70	210	429	564	1197	0.49 : 1 : 1.31 : 2.79
		0.51	55.0	33	10~30	190	373	606	1231	0.51 : 1 : 1.62 : 3.30
					35~50	200	392	597	1211	0.51 : 1 : 1.52 : 3.09
					55~70	210	412	587	1191	0.51 : 1 : 1.42 : 2.89
		0.52	57.0	34	10~30	190	365	627	1218	0.52 : 1 : 1.72 : 3.34
					35~50	200	385	617	1198	0.52 : 1 : 1.60 : 3.11
					55~70	210	404	607	1179	0.52 : 1 : 1.50 : 2.92
C40	49.9	0.44	53.0	30	10~30	190	432	548	1280	0.44 : 1 : 1.27 : 2.96
					35~50	200	455	538	1257	0.44 : 1 : 1.18 : 2.76
					55~70	210	477	529	1234	0.44 : 1 : 1.11 : 2.59
		0.45	55.0	31	10~30	190	422	570	1268	0.45 : 1 : 1.35 : 3.00
					35~50	200	444	560	1246	0.45 : 1 : 1.26 : 2.81
					55~70	210	467	550	1223	0.45 : 1 : 1.18 : 2.62
		0.46	57.0	32	10~30	190	413	591	1256	0.46 : 1 : 1.43 : 3.04
					35~50	200	435	581	1234	0.46 : 1 : 1.34 : 2.84
					55~70	210	457	571	1212	0.46 : 1 : 1.25 : 2.65

卵石混凝土配合比参考表

表 2-34-⑩

用 52.5 级水泥、中砂、5~20 (mm) 卵石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{wo}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C25	33.2	0.61	53.0	35	10~30	170	279	683	1268	0.61 : 1 : 2.45 : 4.54
					35~50	180	295	674	1251	0.61 : 1 : 2.28 : 4.24
					55~70	190	311	665	1234	0.61 : 1 : 2.14 : 3.97
		0.63	55.0	36	10~30	170	270	706	1254	0.63 : 1 : 2.14 : 4.64
					35~50	180	286	696	1238	0.63 : 1 : 2.43 : 4.33
					55~70	190	302	687	1221	0.63 : 1 : 2.27 : 4.04
		0.65	57.0	37	10~30	170	262	728	1240	0.65 : 1 : 2.78 : 4.73
					35~50	180	277	719	1224	0.65 : 1 : 2.60 : 4.42
					55~70	190	292	710	1208	0.65 : 1 : 2.43 : 4.14

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{w0} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
						m_{w0}	m_{co}	m_{so}	m_{go}	
C30	38.2	0.55	53.0	33	10~30	170	309	634	1287	0.55 : 1 : 2.05 : 4.17
					35~50	180	327	625	1268	0.55 : 1 : 1.91 : 3.88
					55~70	190	345	615	1250	0.55 : 1 : 1.78 : 3.62
		0.56	55.0	34	10~30	170	304	655	1271	0.56 : 1 : 2.15 : 4.18
					35~50	180	321	646	1253	0.56 : 1 : 2.01 : 3.90
					55~70	190	339	636	1235	0.56 : 1 : 1.88 : 3.64
		0.58	57.0	35	10~30	170	293	678	1259	0.58 : 1 : 2.31 : 4.30
					35~50	180	310	668	1242	0.58 : 1 : 2.15 : 4.00
					55~70	190	328	659	1223	0.58 : 1 : 2.01 : 3.73
C35	43.2	0.49	53.0	31	10~30	170	347	584	1299	0.49 : 1 : 1.68 : 3.74
					35~50	180	367	574	1276	0.49 : 1 : 1.56 : 3.49
					55~70	190	388	565	1257	0.49 : 1 : 1.46 : 3.24
		0.51	55.0	32	10~30	170	333	607	1290	0.51 : 1 : 1.82 : 3.87
					35~50	180	353	597	1270	0.51 : 1 : 1.69 : 3.60
					55~70	190	373	588	1249	0.51 : 1 : 1.58 : 3.35
		0.52	57.0	33	10~30	170	327	628	1275	0.52 : 1 : 1.92 : 3.90
					35~50	180	346	618	1256	0.52 : 1 : 1.79 : 3.63
					55~70	190	365	609	1236	0.52 : 1 : 1.67 : 3.39
C40	49.9	0.44	53.0	29	10~30	170	386	549	1345	0.44 : 1 : 1.42 : 3.48
					35~50	180	409	540	1321	0.44 : 1 : 1.32 : 3.23
					55~70	190	432	530	1298	0.44 : 1 : 1.23 : 3.00
		0.45	55.0	30	10~30	170	378	571	1331	0.45 : 1 : 1.51 : 3.52
					35~50	180	400	561	1309	0.45 : 1 : 1.40 : 3.27
					55~70	190	422	551	1287	0.45 : 1 : 1.31 : 3.05
		0.46	57.0	31	10~30	170	370	592	1318	0.46 : 1 : 1.60 : 3.56
					35~50	180	391	582	1297	0.46 : 1 : 1.49 : 3.32
					55~70	190	413	573	1274	0.46 : 1 : 1.39 : 3.08

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C45	54.9	0.40	53.0	28	10~30	170	425	519	1336	0.40 : 1 : 1.22 : 3.14
					35~50	180	450	510	1310	0.40 : 1 : 1.13 : 2.91
					55~70	190	475	500	1285	0.40 : 1 : 1.05 : 2.71
		0.42	55.0	29	10~30	170	405	544	1331	0.42 : 1 : 1.34 : 3.29
					35~50	180	429	534	1307	0.42 : 1 : 1.24 : 3.05
					55~70	190	452	524	1284	0.42 : 1 : 1.16 : 2.84
		0.43	57.0	30	10~30	170	395	566	1319	0.43 : 1 : 1.43 : 3.34
					35~50	180	419	555	1296	0.43 : 1 : 1.32 : 3.09
					55~70	190	442	545	1273	0.43 : 1 : 1.23 : 2.88
C50	59.9	0.37	53.0	26	10~30	170	459	473	1348	0.37 : 1 : 1.03 : 2.94
					35~50	180	486	464	1320	0.37 : 1 : 0.95 : 2.72
					55~70	190	514	454	1292	0.37 : 1 : 0.88 : 2.51
		0.38	55.0	27	10~30	170	447	495	1338	0.38 : 1 : 1.11 : 2.99
					35~50	180	474	485	1311	0.38 : 1 : 1.02 : 2.77
					55~70	190	500	475	1285	0.38 : 1 : 0.95 : 2.57
		0.40	57.0	28	10~30	170	425	519	1336	0.40 : 1 : 1.22 : 3.14
					35~50	180	450	520	1310	0.40 : 1 : 1.16 : 2.91
					55~70	190	475	500	1285	0.40 : 1 : 1.05 : 2.71

卵石混凝土配合比参考表

表 2-34-①

用 52.5 级水泥、中砂、5~31.5 (mm) 卵石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C30	38.2	0.55	53.0	32	10~30	160	291	624	1325	0.55 : 1 : 2.14 : 4.55
					35~50	170	309	615	1306	0.55 : 1 : 1.99 : 4.23
					55~70	180	327	606	1287	0.55 : 1 : 1.85 : 3.94
		0.56	55.0	33	10~30	160	286	645	1309	0.56 : 1 : 2.26 : 4.58
					35~50	170	304	626	1290	0.56 : 1 : 2.09 : 4.24
					55~70	180	321	627	1272	0.56 : 1 : 1.95 : 3.96
		0.58	57.0	34	10~30	160	276	668	1236	0.58 : 1 : 2.42 : 4.70
					35~50	170	293	659	1278	0.58 : 1 : 2.25 : 4.36
					55~70	180	310	649	1251	0.58 : 1 : 2.09 : 4.07

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{w0} : m_{c0} : m_{s0} : m_{g0}$
						水 m_{w0}	水泥 m_{c0}	砂 m_{s0}	石子 m_{g0}	
C35	43.2	0.49	53.0	30	10~30	160	327	574	1339	0.49 : 1 : 1.75 : 4.09
					35~50	170	347	565	1318	0.49 : 1 : 1.63 : 3.80
					55~70	180	367	556	1297	0.49 : 1 : 1.51 : 3.53
		0.51	55.0	31	10~30	160	314	597	1329	0.51 : 1 : 1.90 : 4.23
					35~50	170	333	588	1309	0.51 : 1 : 1.77 : 3.93
					55~70	180	353	579	1288	0.51 : 1 : 1.64 : 3.65
		0.52	57.0	32	10~30	160	308	618	1314	0.52 : 1 : 2.01 : 4.27
					35~50	170	327	609	1294	0.52 : 1 : 1.86 : 3.96
					55~70	180	346	600	1274	0.52 : 1 : 1.73 : 3.68
C40	49.9	0.44	53.0	28	10~30	160	364	539	1387	0.44 : 1 : 1.48 : 3.81
					35~50	170	386	530	1364	0.44 : 1 : 1.37 : 3.53
					55~70	180	409	521	1340	0.44 : 1 : 1.27 : 3.28
		0.45	55.0	29	10~30	160	356	561	1373	0.45 : 1 : 1.58 : 3.86
					35~50	170	378	552	1350	0.45 : 1 : 1.46 : 3.57
					55~70	180	400	542	1328	0.45 : 1 : 1.36 : 3.32
		0.46	57.0	30	10~30	160	348	583	1359	0.46 : 1 : 1.68 : 3.91
					35~50	170	370	573	1337	0.46 : 1 : 1.55 : 3.61
					55~70	180	391	564	1315	0.46 : 1 : 1.44 : 3.36
C45	54.9	0.40	53.0	27	10~30	160	400	510	1380	0.40 : 1 : 1.28 : 3.45
					35~50	170	425	501	1354	0.40 : 1 : 1.18 : 3.19
					55~70	180	450	491	1329	0.40 : 1 : 1.09 : 2.95
		0.42	55.0	28	10~30	160	381	535	1374	0.42 : 1 : 1.40 : 3.61
					35~50	170	405	525	1350	0.42 : 1 : 1.30 : 3.33
					55~70	180	429	515	1326	0.42 : 1 : 1.20 : 3.09
		0.43	57.0	29	10~30	160	372	556	1362	0.43 : 1 : 1.49 : 3.66
					35~50	170	395	547	1338	0.43 : 1 : 1.38 : 3.39
					55~70	180	419	537	1314	0.43 : 1 : 1.28 : 3.14

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m³)				配合比 (重量比) $m_{wa} : m_{cu} : m_{sa} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
C50	59.9	0.37	53.0	25	10~30	160	432	464	1394	0.37 : 1 : 1.07 : 3.23
					35~50	170	459	455	1366	0.37 : 1 : 0.99 : 2.98
					55~70	180	486	446	1338	0.37 : 1 : 0.92 : 2.75
		0.38	55.0	26	10~30	160	424	486	1383	0.38 : 1 : 1.15 : 3.29
					35~50	170	447	477	1356	0.38 : 1 : 1.07 : 3.03
					55~70	180	474	467	1329	0.38 : 1 : 0.99 : 2.80
		0.40	57.0	27	10~30	160	400	510	1380	0.40 : 1 : 1.28 : 3.45
					35~50	170	425	501	1354	0.40 : 1 : 1.18 : 3.19
					55~70	180	450	491	1329	0.40 : 1 : 1.09 : 2.95

卵石混凝土配合比参考表

表 2-34-②

用 52.5 级水泥、中砂、5~40 (mm) 卵石配制

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m³)				配合比 (重量比) $m_{wa} : m_{cu} : m_{sa} : m_{go}$
						水	水泥	砂	石子	
C30	38.2	0.55	53.0	31	10~30	150	273	613	1364	0.55 : 1 : 2.25 : 5.00
					35~50	160	291	604	1345	0.55 : 1 : 2.08 : 4.62
					55~70	170	309	596	1325	0.55 : 1 : 1.93 : 4.29
		0.56	55.0	32	10~30	150	268	634	1348	0.56 : 1 : 2.37 : 5.03
					35~50	160	286	625	1329	0.56 : 1 : 2.19 : 4.65
					55~70	170	304	616	1310	0.56 : 1 : 2.03 : 4.31
		0.58	57.0	33	10~30	150	259	657	1334	0.58 : 1 : 2.54 : 5.15
					35~50	160	276	648	1316	0.58 : 1 : 2.35 : 4.77
					55~70	170	293	639	1298	0.58 : 1 : 2.18 : 4.43
C55	43.2	0.49	53.0	29	10~30	150	306	561	1380	0.49 : 1 : 1.84 : 4.51
					35~50	160	327	555	1358	0.49 : 1 : 1.70 : 4.15
					55~70	170	347	546	1337	0.49 : 1 : 1.57 : 3.85
		0.51	55.0	30	10~30	150	294	587	1369	0.51 : 1 : 2.00 : 4.66
					35~50	160	314	578	1348	0.51 : 1 : 1.84 : 4.29
					55~70	170	333	569	1328	0.51 : 1 : 1.71 : 3.99
		0.52	57.0	31	10~30	150	288	608	1354	0.52 : 1 : 2.11 : 4.70
					35~50	160	308	599	1333	0.52 : 1 : 1.94 : 4.33
					55~70	170	327	590	1313	0.52 : 1 : 1.80 : 4.02

续表

混凝土强度等级	配制强度 (MPa)	水灰比	水泥强度 (MPa)	砂率 (%)	坍落度 (mm)	材料用量 (kg/m ³)				配合比 (重量比) $m_{wo} : m_{co} : m_{so} : m_{go}$
						水 m_{wo}	水泥 m_{co}	砂 m_{so}	石子 m_{go}	
C40	49.9	0.44	53.0	27	10~30	150	341	529	1430	0.44 : 1 : 1.55 : 4.19
					35~50	160	364	520	1406	0.44 : 1 : 1.43 : 3.86
					55~70	170	386	511	1383	0.44 : 1 : 1.32 : 3.58
		0.45	55.0	28	10~30	150	333	551	1416	0.45 : 1 : 1.65 : 4.25
					35~50	160	356	542	1392	0.45 : 1 : 1.52 : 3.91
					55~70	170	378	533	1369	0.45 : 1 : 1.41 : 3.62
		0.46	57.0	29	10~30	150	326	572	1402	0.46 : 1 : 1.75 : 4.30
					35~50	160	348	563	1379	0.46 : 1 : 1.62 : 3.96
					55~70	170	370	554	1356	0.46 : 1 : 1.50 : 3.66
C45	54.9	0.40	53.0	26	10~30	150	375	500	1425	0.40 : 1 : 1.33 : 3.80
					35~50	160	400	491	1399	0.40 : 1 : 1.23 : 3.50
					55~70	170	425	482	1373	0.40 : 1 : 1.13 : 3.23
		0.42	55.0	27	10~30	150	357	525	1418	0.42 : 1 : 1.47 : 3.97
					35~50	160	381	515	1394	0.42 : 1 : 1.35 : 3.66
					55~70	170	405	506	1369	0.42 : 1 : 1.25 : 3.38
		0.43	57.0	28	10~30	150	349	546	1405	0.43 : 1 : 1.56 : 4.03
					35~50	160	372	537	1381	0.43 : 1 : 1.44 : 3.71
					55~70	170	395	528	1357	0.43 : 1 : 1.34 : 3.44
C50	59.9	0.37	53.0	24	10~30	150	405	455	1440	0.37 : 1 : 1.12 : 3.56
					35~50	160	432	446	1412	0.37 : 1 : 1.03 : 3.27
					55~70	170	459	437	1384	0.37 : 1 : 0.95 : 3.03
		0.38	55.0	25	10~30	150	395	476	1429	0.38 : 1 : 1.21 : 3.62
					35~50	160	421	467	1402	0.38 : 1 : 1.11 : 3.33
					55~70	170	447	458	1375	0.38 : 1 : 1.02 : 3.08
		0.40	57.0	26	10~30	150	375	500	1425	0.40 : 1 : 1.33 : 3.80
					35~50	160	400	491	1399	0.40 : 1 : 1.23 : 3.50
					55~70	170	425	482	1373	0.40 : 1 : 1.13 : 3.23

第三章 特殊混凝土

3.1 高强混凝土

强度等级为 C60 及其以上的混凝土称为高强混凝土。

3.1.1 配制高强混凝土所用的材料

(1) 应选用质量稳定, 强度等级不低于 42.5 级的硅酸盐水泥或普通水泥。

(2) 对强度等级为 C60 级的混凝土, 其粗骨料的最大粒径不应大于 31.5mm, 对强度等级高于 C60 级的混凝土, 其粗骨料的最大粒径不应大于 25mm; 针、片状颗粒含量不宜大于 5.0%; 含泥量不应大于 0.5%, 泥块含量不宜大于 0.2%; 其他质量指标应符合现行国家标准《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685—2001) 的规定。

(3) 细骨料的细度模数宜大于 2.6, 含泥量不应大于 2.0%, 泥块含量不应大于 0.5%。其他质量指标应符合现行国家标准《建筑用砂》(GB/T 14684—2001) 的规定。

(4) 配制高强混凝土时应掺用高效减水剂或缓凝高效减水剂。

(5) 配制高强混凝土时应掺用活性较好的矿物掺合料, 且宜复合使用矿物掺合料。

3.1.2 高强混凝土配合比计算

高强混凝土配合比的计算方法和步骤按普通混凝土方法进行, 同时还应满足以下原则:

1. 配制强度

高强混凝土的配制强度按普通混凝土配制强度的方法确定。

2. 水灰比

基准配合比中的水灰比，可根据现有试验资料选取。一般水灰比宜小于 0.35；对于 C80～C100 的超高强混凝土水灰比宜小于 0.30；对于 C100 以上的特高强混凝土水灰比宜小于 0.26。

3. 选择用水量

配制高强混凝土其用水量可按第二章表 2-25 确定。掺高效减水剂后，一般用水量宜控制在 $160\sim 180\text{kg}/\text{m}^3$ ，对于 C80～C100 的超高强混凝土其用水量宜控制在 $130\sim 150\text{kg}/\text{m}^3$ 。

4. 水泥用量

高强混凝土的水泥用量一般控制在 $400\sim 500\text{kg}/\text{m}^3$ ，最大不应超过 $550\text{kg}/\text{m}^3$ ，水泥和矿物掺合料的总量不应大于 $600\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5. 选择砂率

按经验和统计资料分析，高强混凝土砂率一般控制在 $\beta_s = 29\%\sim 35\%$ ，对于泵送工艺宜控制在 $\beta_s = 33\%\sim 42\%$ 。

6. 掺粉煤灰

当掺加粉煤灰时，应采用超量取代法计算粉煤灰高强混凝土配合比。

3.1.3 试配、调整及确定试验室配合比

高强混凝土配合比的试配与确定的步骤按普通混凝土方法进行。当采用三个不同的配合比进行混凝土强度试验时，其中一个为基准配合比，另外两个配合比的水灰比，宜较基准配合比分别增加和减少 0.02～0.03。

3.1.4 验证试验室配合比

高强混凝土试验室配合比确定后，尚应用该配合比进行不少于 6 次的重复试验进行验证，其平均值不应低于配制强度。

3.1.5 高强混凝土配合比设计实例

【基本资料】

1. 工程情况

某高层建筑工程主体 1～3 层剪力墙、柱混凝土设计强度等级为 C60 级高强混凝土，该结构最小断面长为 240mm，钢筋间最小净距为 38mm，要求混凝土拌合物坍落度为 55～70mm。已知搅拌

站生产水平的强度标准差为 $\sigma=4.0\text{MPa}$ 。

2. 组成材料

水泥：普通 52.5 级，密度 $\rho_c=3100\text{kg/m}^3$ ，28 天强度 $f_{ce}=55.0\text{MPa}$ 。

河砂：中砂（细度模数 $\mu_f=2.9$ ），表观密度 $\rho_s=2660\text{kg/m}^3$ 。

碎石：连续粒级，最大粒径为 25mm，表观密度 $\rho_s=2700\text{kg/m}^3$ 。

减水剂：FDN 高效减水剂，当掺量为水泥用量的 0.8% 时，减水率为：17%。

水：自来水。

【设计步骤】

一、计算理论配合比

1. 确定混凝土配制强度 ($f_{cu,0}$)

按题意已知：设计要求混凝土强度 $f_{cu,k}=60\text{MPa}$ ，强度标准差 $\sigma=4.0\text{MPa}$ 。计算混凝土配制强度：

$$f_{cu,0}=f_{cu,k}+1.645\sigma=60+1.645\times 4.0=66.6\text{MPa}$$

2. 确定水灰比

初步取 $W/C=0.34$

3. 计算用水量

已知混凝土拌合物要求坍落度 55~70mm，碎石最大粒径为 25mm，查表 2-25 选用混凝土用水量 $m_{w0}=201\text{kg/m}^3$ 。又知 FDN 高效减水剂的减水率为 17%，计算混凝土用水量：

$$m_{w0}=201(1-0.17)=167\text{kg/m}^3$$

4. 计算水泥用量

已知单方混凝土用水量 $m_{w0}=167\text{kg/m}^3$ ，水灰比 $W/C=0.34$ ，单方混凝土水泥用量为：

$$m_{c0}=\frac{m_{w0}}{W/C}=\frac{167}{0.34}=491\text{kg/m}^3$$

5. 计算减水剂用量

已知：单方水泥用量 $m_{c0}=491\text{kg/m}^3$ ，FDN 高效减水剂掺量

为水泥用量的 0.8%，减水剂用量为：

$$m_{so} = 491 \times 0.008 = 3.93 \text{ kg/m}^3。$$

6. 选择砂率 (β_s)

初步选取砂率 $\beta_s = 35\%$

7. 计算砂、石用量

采用体积法计算：

已知：水泥密度 $\rho_c = 3100 \text{ kg/m}^3$ ，砂表观密度 $\rho_s = 2660 \text{ kg/m}^3$ ，碎石表观密度 $\rho_x = 2700 \text{ kg/m}^3$ 。现将数据代入 (2-8)、(2-9) 式，得：

$$\begin{cases} \frac{491}{3100} + \frac{m_{go}}{2700} + \frac{m_{so}}{2660} + \frac{167}{1000} + 0.01 \times 1 = 1 \\ 35\% = \frac{m_{so}}{m_{go} + m_{so}} \times 100\% \end{cases}$$

$$\frac{m_{go}}{2700} + \frac{m_{so}}{2660} = 0.665$$

$$0.35 = \frac{m_{so}}{m_{go} + m_{so}}$$

解得：

$$m_{so} = 625 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{go} = 1161 \text{ kg/m}^3$$

由此，得理论配合比如下：

水泥 : 水 : 砂 : 石子 : FDN 高减剂

491 : 167 : 625 : 1161 : 3.93

1 : 0.34 : 1.27 : 2.36 : 0.008

二、试配，提出基准配合比

1. 确定各组分材料用量

按理论配合比，试拌 15L 混凝土拌合物，各组成材料用量为：

水泥： $491 \times 0.015 = 7.36 \text{ kg}$

水： $167 \times 0.015 = 2.50 \text{ kg}$

砂： $625 \times 0.015 = 9.38 \text{ kg}$

石子： $1161 \times 0.015 = 17.42 \text{ kg}$

FDN 高效减水剂： $3.93 \times 0.015 = 0.059\text{kg}$

2. 试拌，调整混凝土拌合物和易性

按以上计算用量进行试拌，测得坍落度为 65mm，满足施工要求，且粘聚性和保水性均良好，不必进行用量调整，视理论配合比为基准配合比。

3. 经试配，确定基准配合比

水泥 : 水 : 砂 : 石子 : FDN 高减剂
491 : 167 : 625 : 1162 : 3.93

三、检验强度，确定试验室配合比

1. 强度检验

根据已确定的基准配合比，另外计算两个水灰比较基准配合比分别增加和减少 0.03 的配合比，用水量与基准配合比相同，砂率分别增加和减少 1.0%，每个配合比均按 15L 计算材料用量进行试拌，三个不同水灰比混凝土拌合物首先进行表观密度和坍落度的测定，同时观察粘聚性和保水性是否合适，然后制作立方体试件以备用于强度检验。最终试验结果见表 3-1。

不同水灰比的混凝土拌合物及强度试验结果 表 3-1

配合比编号	实测坍落度 (mm)	表观密度 (kg/m^3)	粘聚性和 保水性	28 天抗压强度 (MPa)
1. 基准	65	2470	良 好	68.8
2. +0.03	70	2450	良 好	63.4
3. -0.03	60	2480	良 好	75.1

根据表 3-1 混凝土 28 天抗压强度试验结果，用作图法求出混凝土配制强度 ($f_{\text{cu},0}$) 相对应的灰水比 (C/W) 如图 3-1 所示。

由图可知相应于配制强度 $f_{\text{cu},0} = 66.6\text{MPa}$ 的灰水比值 $C/W = 2.84$ 即水灰比 $W/C = 0.35$ 。

2. 确定试验室配合比

(1) 根据强度试验结果，确定每立方米混凝土的材料用量如下：

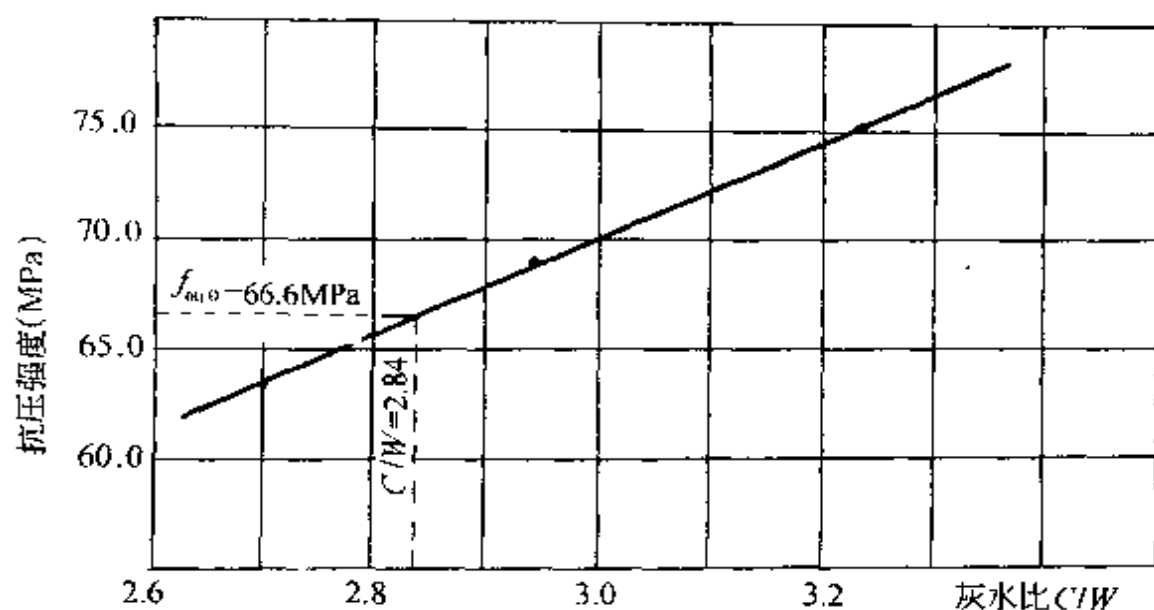


图 3-1 混凝土 28d 抗压强度与灰水比关系曲线图

水 $m_w = 167 \text{ kg/m}^3$

水泥 $m_c = 167 \div 0.35 = 477 \text{ kg/m}^3$

FDN $= 477 \times 0.008 = 3.82 \text{ kg/m}^3$

砂、碎石用量按体积法计算：

$$\begin{cases} \frac{m_s}{2660} + \frac{m_g}{2700} = 1 - \frac{477}{3100} - \frac{167}{1000} - 0.01 \times 1 = 0.669 \\ \frac{m_s}{m_g + m_s} = 0.35 \end{cases}$$

解得：

砂： $m_s = 629 \text{ kg/m}^3$

碎石： $m_g = 1168 \text{ kg/m}^3$

按强度调整后配合比为：

水泥 : 水 : 砂 : 石子 : FDN

477 : 167 : 629 : 1168 : 3.82

1 : 0.35 : 1.32 : 2.45 : 0.008

(2) 经强度确定后的配合比，还应按表观密度进行校正。

计算混凝土的表观密度计算值 $\rho_{c,c}$ ：

$$\begin{aligned}
\rho_{c,0} &= m_w + m_c + m_s + m_g + m_a \\
&= 167 + 477 + 629 + 1168 + 3.82 \\
&= 2445 \text{ kg/m}^3
\end{aligned}$$

计算混凝土配合比校正系数 δ ：

$$\delta = \frac{\rho_{c,0}}{\rho_{c,1}} = \frac{2470}{2445} = 1.01$$

因混凝土表观密度实测值与计算值之差的绝对值不超过计算值的 2%，故可不按校正系数调整立方用量，以表观密度计算值 ($\rho_{c,0}$) 配合比确定为试验室配合比。

根据试验室配合比，进行了 8 次重复试验验证，8 次混凝土平均抗压强度为 67.2MPa，大于配制强度值 66.6MPa，该配合比可供施工使用。

四、换算施工配合比

由于试验室配合比采用的砂、石均系以干燥状态为基准。因而当现场砂、石含水率为 4.0%、1% 时的施工配合比为：

$$\begin{aligned}
m_c' &= 477 \text{ kg/m}^3 \\
m_s' &= 629 (1 + 0.04) = 654 \text{ kg/m}^3 \\
m_g' &= 1168 (1 + 0.01) = 1180 \text{ kg/m}^3 \\
m_w' &= 167 - 629 \times 0.04 - 1168 \times 0.01 = 130 \text{ kg/m}^3 \\
m_a' &= 3.82 \text{ kg/m}^3
\end{aligned}$$

3.2 粉煤灰混凝土

粉煤灰混凝土是指掺加一定量粉煤灰的水泥混凝土。

3.2.1 概述

粉煤灰是一种火山灰质工业废料活性矿物掺合料。它是从燃煤粉的锅炉烟气中收集到的细粉末，其颗粒多数呈球形，表面光滑。粉煤灰的密度为 1950~2400kg/m³，堆积密度为 550~800 kg/m³。

1940 年美国首先在水坝等水工构筑中使用掺粉煤灰的混凝土，由于其性能优越，所以很快就被广泛使用。随着火力发电业的发展，粉煤灰的排放量日益增多，各国都很重视粉煤灰的应用研究，并先后制定粉煤灰标准。

20 世纪 50 年代初期，我国就对粉煤灰掺入水泥的性能进行了系统的研究，后来在干硬性混凝土中掺入了占水泥重量 20% 左右的粉煤灰，并在大坝混凝土工程中使用，收到了较好的技术和经济效果。

1960 年以后粉煤灰已开始在水工以外的混凝土工程中使用，并成为混凝土的主要掺合料。

我国曾于 1990 年制定了《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB 1596 -91) 标准，这个标准目前仍在使用。

3.2.2 粉煤灰的质量要求和适用范围

粉煤灰的质量指标和适用范围根据我国现行国标《粉煤灰混凝土应用技术规范》(GBJ 146 -90) 规定，如表 3-2 所示。

粉煤灰质量指标及适用范围

表 3-2

等级	质 量 指 标 (%)				适 用 范 围
	细度	烧失量	需水量比	三氧化硫含量	
I	≤12	≤5	≤95	≤3	钢筋混凝土和跨度小于 6m 的预应力混凝土
II	≤20	≤8	≤105	≤3	钢筋混凝土和 C30 及以上等级的无筋混凝土
III	≤45	≤15	≤115	≤3	无筋混凝土

注：1. 细度指标是指用 15μm 方孔筛的筛余值。

2. 用于预应力混凝土、钢筋混凝土及强度等级为 C30 或以上的无筋混凝土的粉煤灰等级，如经试验论证，可以采用比表列规定低一级的粉煤灰。

3.2.3 粉煤灰的掺用方式及适宜掺量

在混凝土中掺粉煤灰可取代部分水泥，也可取代部分细骨料，或既不取代水泥也不取代细骨料。取代水泥又分为等量取代和超

量取代。粉煤灰的掺用方式及适宜掺量主要取决于所要达到的目的和要求。例如为改善混凝土和易性及可泵性而掺用粉煤灰时,则可保持原有水泥用量不变,即不取代水泥;而为了降低大体积混凝土的水化热,或为了节约水泥而掺用粉煤灰时,则应取代部分水泥。以粉煤灰取代部分水泥时,为保证混凝土的强度不变,常采用超量取代法,即一部分取代等量的水泥,超量部分和超水泥体积部分粉煤灰取代等体积的砂。粉煤灰超量系数(δ_f)根据粉煤灰的等级按表 3-3 选用。而各种混凝土的粉煤灰最大掺量百分率 f (%),不得超过表 3-4 规定的允许值。

粉煤灰超量系数选用表

表 3-3

粉煤灰级别	超量系数 (δ_f)
I	1.1~1.4
II	1.3~1.7
III	1.5~2.0

粉煤灰取代法水泥最大限量

表 3-4

混凝土种类	粉煤灰取代水泥最大限量 (%)			
	硅酸盐水泥	普通水泥	矿渣水泥	火山灰水泥
预应力钢筋混凝土	25	15	10	—
钢筋混凝土、高强混凝土、耐冻混凝土、蒸养混凝土	30	25	20	15
中、低强度混凝土、泵送混凝土、大体积混凝土、地下、水下混凝土	50	40	30	20
碾压混凝土	65	55	45	35

3.2.4 粉煤灰掺合料对混凝土性能的影响

1. 对混凝土拌合物性能的影响

以粉煤灰取代部分水泥或骨料,一般都能在保持混凝土原有和易性的条件下减少用水量。粉煤灰愈细,球形颗粒含量愈高,其减水效果愈好。如果掺粉煤灰而不减用水量,则可改善混凝土的

和易性并能减少混凝土的泌水率，防止离析。因而粉煤灰掺合料更适合于压浆混凝土及泵送混凝土。

2. 对混凝土强度、耐久性等物理力学性能的影响

以粉煤灰取代部分水泥时，混凝土的早期强度可能稍有降低，但后期强度则与基准混凝土相等或略高。

由于以粉煤灰取代部分水泥或细骨料能减少混凝土的用水量，相应降低水灰比，因此能提高混凝土的密实性及抗渗性，并改善混凝土的抗化学侵蚀性。粉煤灰对混凝土的抗冻性略有不利影响，因此当对混凝土有特殊抗冻性要求时，应在掺粉煤灰的同时，适当加入引气剂。

粉煤灰还能使混凝土的干缩减少 5% 左右，使混凝土的弹性模量大约提高 5%~10%。

因粉煤灰与混凝土的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生反应，降低了混凝土的碱性，对钢筋防锈不利。但国内外的大量研究证明，只要保持混凝土的 28d 强度与基准混凝土相等，则可认为粉煤灰对混凝土中钢筋的防锈无不良影响。

粉煤灰掺合料还能减少混凝土的水化热，防止大体积混凝土开裂。

3.2.5 粉煤灰混凝土配合比设计

混凝土中掺用粉煤灰的配合比设计方法有等量取代法、超量取代法和外加法等。目前采用较多的是超量取代法。

一、设计原则

掺粉煤灰混凝土配合比设计，是以基准混凝土配合比为基础，按等稠度、等强度等级为原则，用超量取代法进行调整。

所谓“基准混凝土配合比”是指与粉煤灰混凝土相对应的不掺粉煤灰和外加剂的对比试验用的混凝土配合比。

二、设计步骤

1. 基准混凝土配合比

根据第二章 2.2 或《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2000) 的要求，先计算出理论配合比，然后按理论配合比进行试

配。混凝土拌合物经和易性调整后得基准混凝土配合比 ($m_{cj} : m_{wj} : m_{sj} : m_{gj}$)。

2. 根据基准配合比, 计算掺粉煤灰混凝土的配合比

(1) 根据水泥品种和混凝土种类, 按表 3-4 选择粉煤灰取代水泥百分率 f (%)。

(2) 按所选用的取代水泥百分率 f (%) , 求出每立方米粉煤灰混凝土的水泥用量 (m_{cf}) :

$$m_{cf} = m_{cj} (1 - f) \quad (3-1)$$

(3) 根据粉煤灰级别, 按表 3-3 选用粉煤灰超量系数 (δ_f) ;

(4) 按选用的粉煤灰超量系数 δ_f , 求出每立方米混凝土的粉煤灰掺量 (m_f) :

$$m_f = \delta_f (m_{cj} - m_{cf}) \quad (3-2)$$

式中 m_f ——每立方米混凝土的粉煤灰掺入量 (kg) ;

m_{cj} ——每立方米基准混凝土配合比的水泥用量 (kg) ;

m_{cf} ——每立方米粉煤灰混凝土的水泥用量 (kg) ;

δ_f ——超量系数。

(5) 计算水泥、粉煤灰和砂的绝对体积, 求出粉煤灰超出水泥部分的体积, 并扣除同体积的用砂量, 得出粉煤灰混凝土的用砂量 (m_{sf}) :

$$m_{sf} = m_{sj} - \left(\frac{m_{cf}}{\rho_c} + \frac{m_f}{\rho_f} - \frac{m_{cf}}{\rho_c} \right) \cdot \rho_s \quad (3-3)$$

式中 m_{sf} ——每立方米粉煤灰混凝土的砂用量 (kg/m^3) ;

m_{sj} ——每立方米基准混凝土的砂用量 (kg/m^3) ;

ρ_c ——水泥密度 (kg/m^3) , 可取 $2900 \sim 3100 \text{kg}/\text{m}^3$;

ρ_f ——粉煤灰的表观密度 (kg/m^3) ;

ρ_s ——细骨料的表观密度 (kg/m^3) 。

(6) 粉煤灰混凝土的用水量和粗骨料用量, 均按基准混凝土配合比的用量取用 $m_{wl} = m_{wj}$ 、 $m_{gl} = m_{gj}$

由此, 得粉煤灰混凝土理论配合比:

$$m_{cf} : m_{wf} : m_{sf} : m_{pf} : m_f$$

3. 提出试验室粉煤灰混凝土配合比

根据计算的粉煤灰混凝土配合比,按第二章 2.2 普通混凝土的试配、调整与确定方法,提出试验室粉煤灰混凝土配合比。

3.2.6 粉煤灰混凝土配合比设计实例

【基本资料】

某工程为多层办公楼,主体为钢筋混凝土框架结构,设计混凝土强度等级为 C30,梁、柱的最小截面边长为 300mm,钢筋间最小净距为 50mm,施工要求混凝土拌合物坍落度为 35~50mm,机拌、机捣。所用原材料如下:

水泥:普通 32.5 级, $\rho_c = 3000\text{kg/m}^3$, 28 天实测强度 = 37.0MPa。

河砂:中砂,属 I 区颗粒级配,表观密度 $\rho_s = 2650\text{kg/m}^3$ 。

碎石:连续级配,最大粒径为 31.5mm,表观密度 $\rho_g = 2680\text{kg/m}^3$ 。

粉煤灰: I 级磨细粉,密度 $\rho_f = 2200\text{kg/m}^3$ 。

水:自来水、可饮用水。

【设计步骤】

1. 确定基准混凝土配合比

根据第二章 2.2.3 普通混凝土配合比设计实例,得基准混凝土配合比如下:

$$\begin{array}{cccc} m_{c1} & : & m_{w1} & : & m_{s1} & : & m_{g1} \\ 434 & : & 187 & : & 562 & : & 1195 \end{array}$$

2. 计算掺粉煤灰混凝土配合比

按等稠度、等强度等级为原则,以基准配合比为基础,用超量取代法进行计算调整:

(1) 选取粉煤灰取代水泥的掺量百分率 f (%):

根据表 3-4 选取每立方米混凝土中被粉煤灰取代的水泥百分率: $f = 20\%$

(2) 选取粉煤灰超量系数 δ_f ;

根据表 3-3 选取粉煤灰超量系数为: $\delta_f=1.5$

(3) 按选用的 f 、求出粉煤灰混凝土的水泥用量 (m_{cf}):

$$m_{cf} = m_{cj} (1-f) = 434 (1-0.2) = 347 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

(4) 按选取的粉煤灰超量系数 δ_f , 计算每立方米混凝土粉煤灰掺量 (m_f):

$$m_f = \delta_f (m_{cj} - m_{cf}) = 1.5 (434 - 347) = 130 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

(5) 计算水泥、粉煤灰和砂的绝对体积, 求出粉煤灰超出水泥部分的体积, 并扣除同体积的用砂量, 得出粉煤灰混凝土的用砂量。

$$\begin{aligned} m_{sj} &= m_{sj} - \left(\frac{m_{cf}}{\rho_c} + \frac{m_f}{\rho_f} - \frac{m_{cf}}{\rho_c} \right) \cdot \rho_s \\ &= 562 - \left(\frac{347}{3000} + \frac{130}{2200} - \frac{434}{3000} \right) \times 2650 \\ &= 482 \text{ (kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

(6) 水用量 $m_{wf} = m_{wj}$; 碎石用量 $m_{gf} = m_{gj}$

$$m_{wf} = 187 \text{ kg/m}^3 \quad m_{gf} = 1195 \text{ kg/m}^3$$

由此, 得每立方米粉煤灰混凝土材料的计算用量为:

$$\begin{array}{cccccc} m_{cf} & : & m_{wf} & : & m_{sj} & : & m_{gf} & : & m_f \\ 347 & : & 187 & : & 482 & : & 1195 & : & 130 \end{array}$$

3. 试配、调整与确定

(1) 试配, 按和易性调整配合比:

按计算的粉煤灰混凝土配合比进行试配, 验证是否与基准混凝土配合比等稠度, 当稠度不一致但在施工要求范围内时, 可不作水用量调整, 试拌 15L 混凝土拌合物, 各种材料用量为:

$$\text{水泥} \quad 347 \times 0.015 = 5.205 \text{ kg}$$

$$\text{水} \quad 187 \times 0.015 = 2.805 \text{ kg}$$

$$\text{砂} \quad 482 \times 0.015 = 7.23 \text{ kg}$$

$$\text{碎石} \quad 1195 \times 0.015 = 17.92 \text{ kg}$$

$$\text{粉煤灰} \quad 130 \times 0.015 = 1.95 \text{ kg}$$

根据计算的材料用量拌制的混凝土拌合物，测得其坍落度为45mm，粘聚性和保水性亦良好，满足施工要求，可不进行任何调整，此配合比可作为粉煤灰混凝土基准配合比，（以下简称粉基配合比）。

（2）检验强度，按强度确定配合比：

粉煤灰混凝土强度试验试件标准养护龄期一般地下工程为60天，地上工程为28天，其抗压强度值应等于或大于配制强度。因此，为确保粉煤灰混凝土的设计在规定龄期内有一个合适的配合比供施工使用，与普通混凝土配合比设计一样，进行强度检验时至少采用三个不同的配合比，水灰比分别比“粉基配合比”增加和减少0.05，用水量、粉煤灰取代水泥掺量 f （%）及超量系数 δ_1 与“粉基配合比”相同，砂率分别增加和减少1%。本例题粉煤灰混凝土用于地上工程，三组配合比经拌制成型，在标准条件下养护28天，按规定方法测定其立方体抗压强度值列表3-5。

不同水灰比的粉煤灰混凝土强度值

表 3-5

配合比编号	水灰比 (W/C)	拌合物坍落度 (mm)	表观密度 (kg/m ³)	28天抗压强度 (MPa)
未 掺	0.43	40	2400	37.4
1. 粉基	0.43	45	2350	38.5
2. +0.05	0.48	45	2340	33.2
3. - 0.05	0.38	40	2350	44.3

注：该表各组混凝土拌合物粘聚性和保水性均良好。

根据表3-5试验结果，绘制混凝土28天立方体抗压强度($f_{cu,28}$)与灰水比(C/W)关系如图3-2所示。

由图3-2可知，相应混凝土配制强度 $f_{cu,0}=38.2\text{MPa}$ 的灰水比 $C/W=2.31$ ，即水灰比值=0.43。

由于用作图法求得出的水灰比值与“粉基配合比”的水灰比值相同，故不必调整。但应按表观密度进行修正，先计算粉煤灰

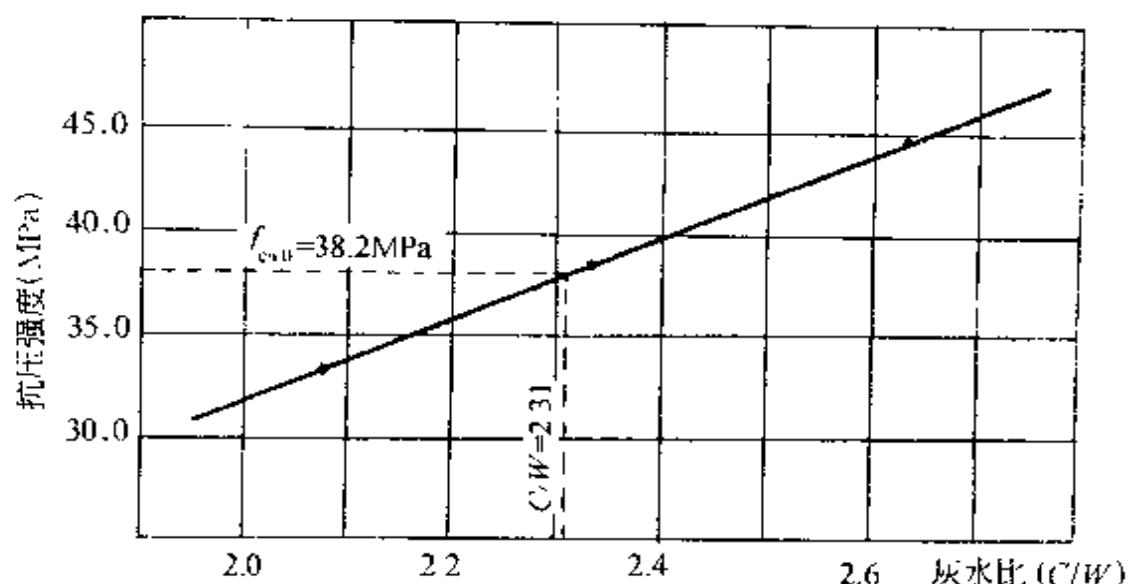


图 3-2 混凝土 28d 抗压强度与灰水比关系曲线图

混凝土的表观密度计算值 $\rho_{c,c}$:

$$\begin{aligned}
 \rho_{c,c} &= m_{cf} + m_{wf} + m_{sf} + m_{gf} + m_f \\
 &= 347 + 187 + 482 + 1195 + 130 \\
 &= 2341 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

然后计算粉煤灰混凝土配合比校正系数 δ :

$$\delta = \frac{\rho_{c,d}}{\rho_{c,c}} = \frac{2350}{2341} = 1.00$$

由于校正系数为 1，所以不必进行表观密度校正。

由此，最终确定试验室粉煤灰混凝土配合比为：

$$\begin{aligned}
 m_{cf} &: m_{wf} : m_{sf} : m_{gf} : m_f \\
 347 &: 187 : 482 : 1195 : 130
 \end{aligned}$$

4. 换算粉煤灰混凝土施工配合比

由于现场骨料受环境条件影响，施工前必须测定其含水率，如粉煤灰为湿排灰也应测定其含水率，根据现场材料含水率调整试验室配合比，计算方法参照第二章 2.2 节普通混凝土配合比例题。

3.3 泵送混凝土

现代科学技术的发展,使泵送混凝土逐渐成为--种常用的浇筑施工工艺。适用于高层建筑、大体积混凝土、大型桥梁等工程。由于混凝土是通过泵送机械和输送管到达浇筑地点,所以,对原材料和混凝土拌合物坍落度有一定的要求。

3.3.1 泵送混凝土所采用的材料

1. 水泥

应选用硅酸盐水泥、普通水泥、矿渣水泥、粉煤灰水泥和复合水泥,不宜使用火山灰水泥。

2. 粗骨料

宜采用连续级配,其针片状颗粒含量不宜大于10%;最大粒径与输送管径之比宜符合表3-6的规定。

粗骨料的最大粒径与输送管径之比 表 3-6

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

3. 细骨料

宜采用中砂,其通过0.315mm筛孔的颗粒含量不应少于15%。

4. 外加剂及掺合料

泵送混凝土应掺用泵送剂或减水剂,并宜掺用粉煤灰或其他活性矿物掺合料,其质量应符合国家现行有关标准的规定。

5. 坍落度的确定

(1) 泵送混凝土拌合物入泵坍落度不宜小于100mm,可按表3-7选用。

混凝土入泵坍落度选用表

表 3-7

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

(2) 泵送混凝土试配时要求的坍落度值应按下式计算:

$$T_1 = T_p + \Delta T \quad (3-4)$$

式中 T_1 ——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。

3.3.2 泵送混凝土配合比设计、计算及试配

泵送混凝土配合比设计、计算及试配步骤除应按第二章 2.2 要求进行外, 尚应符合下列规定:

(1) 泵送混凝土的用水量与水泥和矿物掺合料的总量之比不宜大于 0.60,

(2) 泵送混凝土的水泥和矿物掺合料的总量不宜小于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(3) 泵送混凝土的砂率宜为 35%~45%。

(4) 掺用引气型外加剂时, 其混凝土含气量不宜大于 4%。

3.3.3 泵送混凝土配合比设计实例

【基本资料】

某高层商品住宅楼, 主体为钢筋剪力墙混凝土结构, 设计混凝土强度等级为 C30。泵送施工要求混凝土拌合物入泵时坍落度为 $150\text{mm} \pm 10\text{mm}$, 现场搅拌所用原材料如下:

水泥: 普通 42.5 级, 密度 $\rho_c = 3100\text{kg}/\text{m}^3$, 水泥实际强度 $f_{cc} = 45.0\text{MPa}$ 。

河砂: 中砂, 表观密度 $\rho_s = 2630\text{kg}/\text{m}^3$ 。

碎石: 5~20mm 连续级配, 最大粒径 20mm, 表观密度 $\rho_g = 2690\text{kg}/\text{m}^3$ 。

粉煤灰: 磨细 II 级干排灰, 表观密度 $\rho_f = 2200\text{kg}/\text{m}^3$ 。

JT 38 型高效泵送剂: 掺量为水泥重量的 0.8% 时, 减水率为 16%。

水：可饮用水。

【设计步骤】

一、计算理论配合比

1. 确定配制强度 ($f_{cu,0}$)

已知：设计混凝土强度 $f_{cu,k}=30\text{MPa}$ ，无混凝土强度统计资料，查表 2-19 标准差 $\sigma=5.0\text{MPa}$ ，计算混凝土配制强度：

$$f_{cu,0}=f_{cu,k}+1.645\sigma=38.2\text{MPa}$$

2. 确定水灰比

已知：混凝土配制强度 $f_{cu,0}=38.2\text{MPa}$ ，水泥 28d 实际强度 $f_{ce}=45.0\text{MPa}$ ，无混凝土强度回归系数统计资料，采用碎石查表 2-21 $\alpha_a=0.46$ ， $\alpha_b=0.07$ ，计算水灰比：

$$\begin{aligned} W/C &= \frac{\alpha_a \cdot f_{ce}}{f_{cu,0} + \alpha_a \cdot \alpha_b \cdot f_{ce}} \\ &= \frac{0.46 \times 45.0}{38.2 + 0.46 \times 0.07 \times 45.0} \\ &= 0.52 \end{aligned}$$

3. 确定用水量 (m_{w0})

已知：施工要求混凝土拌合物入泵坍落度为 $150\text{mm} \pm 10\text{mm}$ ，碎石最大粒径为 20mm ；现场搅拌并泵送，故可不考虑经时坍落度损失，查表 2-25 取混凝土用水量 $m_{w0}=232\text{kg/m}^3$ ，由于采用 JT-38 型高效泵送剂，其减水率 (β) 为 16% ，计算用水量：

$$m_{ws}=m_{w0}(1-\beta)=232(1-0.16)=195\text{kg/m}^3$$

4. 计算水泥用量 (m_{cs})

已知：混凝土用水量 $m_{ws}=195\text{kg/m}^3$ ，水灰比 $W/C=0.52$ ，粉煤灰掺入量采用等量取代法，取代水泥百分率 $f=15\%$ ，得：

$$m_{cs}=\frac{m_{ws}}{W/C}(1-f)=\frac{195}{0.52}(1-0.15)=319\text{kg/m}^3$$

5. 计算粉煤灰取代水泥量 (m_{fs})

$$m_{fs}=\frac{m_{ws}}{W/C}-m_{cs}=\frac{195}{0.52}-319=56\text{kg/m}^3$$

验：水泥和粉煤灰总量 375kg/m^3 大于 300kg/m^3 的要求。

6. 计算泵送剂用量 (m_{bs})

已知: JT-38 型高效泵送剂掺量为水泥重量的 0.8%, 由于粉煤灰是等量取代水泥用量, 水泥用量为 $(319+56) \text{ kg/m}^3$, 计算泵送剂用量:

$$m_{bs} = 375 \times 0.008 = 3.0 \text{ kg/m}^3$$

7. 确定砂率 (β_s)

初步确定砂率 $\beta_s = 41\%$ 。

8. 计算砂、石用量

已知: 水泥密度 $\rho_c = 3100 \text{ kg/m}^3$, 砂表观密度 $\rho_s = 2630 \text{ kg/m}^3$, 碎石表观密度 $\rho_g = 2690 \text{ kg/m}^3$, 粉煤灰表观密度 $\rho_f = 2200 \text{ kg/m}^3$, 采用体积法计算, 由 (2-8) 式, 得:

$$\frac{319}{3100} + \frac{m_{ss}}{2630} + \frac{m_{gs}}{2690} + \frac{195}{1000} + \frac{56}{2200} + 0.01 \times 1 = 1$$

$$2690m_{ss} + 2630m_{gs} = 4718825 \quad (1)$$

由 (2-9) 式:

$$\frac{m_{ss}}{m_{ss} + m_{gs}} = 0.41$$

$$m_{gs} = 0.41m_{ss} + 0.41m_{gs}$$

$$\text{得: } m_{gs} = \frac{1-0.41}{0.41} m_{ss} = 1.439m_{ss} \quad (2)$$

将 (2) 式代入 (1) 式, 得:

$$m_{ss} = 729 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{gs} = 1.439 \times 729 = 1049 \text{ kg/m}^3$$

由此得每立方米双掺泵送混凝土理论配合比为:

$$m_c : m_{ss} : m_{gs} : m_{gs} : m_f : m_{bs}$$

$$319 : 195 : 729 : 1049 : 56 : 3$$

二、试配、调整及配合比的确定

按第二章 2.2 节的试配步骤及确定方法提出试验室配合比。

3.4 抗渗混凝土

抗渗混凝土又称防水混凝土，其抗渗等级等于或大于 P6 级。

3.4.1 抗渗混凝土所用的材料

1. 水泥

(1) 一般结构且无其他要求时，应优先选用普通水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥，可以使用复合水泥、硅酸盐水泥，不宜使用矿渣水泥。

(2) 当有抗冻要求时，应优先选用硅酸盐水泥、普通水泥；不宜使用矿渣水泥、粉煤灰水泥、火山灰水泥。

(3) 抗渗混凝土用于厚大体积结构时，应优先选用矿渣水泥、粉煤灰水泥；可使用普通水泥，不宜使用硅酸盐水泥。

2. 粗骨料

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

3. 细骨料

含泥量不得大于 3.0%，泥块含量不得大于 1.0%。

4. 外加剂

宜采用防水剂、膨胀剂、引气剂、减水剂或引气减水剂。

5. 矿物掺合料

为提高混凝土的密实性、抗渗性，抗渗混凝土宜掺用矿物掺合料，当前使用最多的是工业废料粉煤灰等。

3.4.2 抗渗混凝土配合比设计

抗渗混凝土配合比的设计、计算和试配步骤应按第二章 2.2 节的方法进行，同时，尚应满足下列要求：

(1) 每立方米混凝土中的水泥和矿物掺合料总量不宜小于 $320\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(2) 砂率宜为 35%~45%。

(3) 供试配用的最大水灰比应符合表 3-8 的规定。

抗渗混凝土最大水灰比

表 3-8

抗渗等级	最大水灰比	
	C20~C30 混凝土	C30 以上混凝土
P6	0.60	0.55
P8~P12	0.55	0.50
P12 以上	0.50	0.45

(4) 试配时, 应增加抗渗性能试验, 并应符合下列规定:

1) 试配要求的抗渗水压值应比设计值提高 0.2MPa。

2) 采用水灰比最大的配合比做抗渗试验, 其试验结果应符合下式要求:

$$p_i \geq \frac{P}{10} + 0.2 \quad (3-5)$$

式中 p_i ——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值。

3) 掺引气剂的混凝土还应进行含气量试验, 其含气量宜控制在 3%~5%。

3.4.3 抗渗混凝土配合比设计实例

【任务】

某高层地下室剪力墙, 壁厚 350mm, 钢筋间最小净距 40mm, 设计混凝土抗渗等级 P8, 强度等级 C40, 无其他设计要求, 施工要求坍落度为 35~50mm。所用的原材料如下:

水泥: 普通 42.5 级, 密度 $\rho_c = 3100 \text{kg/m}^3$, 水泥强度 $f_{ce} = 46.6 \text{MPa}$ 。

砂: 河砂, 中砂, 表观密度 $\rho_s = 2660 \text{kg/m}^3$ 。

碎石: 5~25mm 连续级配, 表观密度 $\rho_g = 2680 \text{kg/m}^3$ 。

水: 自来饮用水。

【设计步骤】

一、计算理论配合比

1. 确定混凝土配制强度 ($f_{cu,0}$)

按题意已知: 设计混凝土强度 $f_{cu,k} = 40 \text{MPa}$, 无历史统计资

料，查表 2-19 标准差 $\sigma=6.0\text{MPa}$ ，计算混凝土配制强度：

$$f_{\text{cu},0}=f_{\text{cu,k}}+1.645\sigma=40+1.645\times 6=49.9\text{ (MPa)}$$

2. 计算水灰比 (W/C)

已知混凝土配制强度 $f_{\text{cu},0}=49.9\text{MPa}$ ，水泥实际强度 $f_{\text{ce}}=46.6\text{MPa}$ 。无混凝土强度回归系数统计资料，采用碎石查表 2-21 $\alpha_a=0.46$ ， $\alpha_b=0.07$ 。计算水灰比：

$$\begin{aligned} W/C &= \frac{\alpha_a \cdot f_{\text{ce}}}{f_{\text{cu},0} + \alpha_a \cdot \alpha_b \cdot f_{\text{ce}}} \\ &= \frac{0.46 \times 46.6}{49.9 + 0.46 \times 0.07 \times 46.6} = 0.42 \end{aligned}$$

此水灰比小于表 3-8 的规定要求，可用。

3. 确定用水量 (m_{w0})

已知施工要求混凝土拌合物坍落度为 35~50mm，碎石最大粒径为 25mm，查表 2-25 确定混凝土用水量 $m_{w0}=191\text{kg/m}^3$ 。

4. 计算水泥用量 (m_{c0})

已知混凝土用水量 $m_{w0}=191\text{kg/m}^3$ ，水灰比 $W/C=0.42$ ，水泥用量为：

$$m_{c0} = \frac{m_{w0}}{W/C} = \frac{191}{0.42} = 455\text{kg/m}^3$$

验水泥用量 $m_{c0}=455\text{kg/m}^3$ 符合 3.4.2 条水泥和矿物掺合料总量不小于 320kg/m^3 的要求。

5. 确定砂率 β_s

初步确定砂率 $\beta_s=36\%$

6. 计算砂、石用量

采用体积法：

已知：水泥密度 $\rho_c=3100\text{kg/m}^3$ ，砂表观密度 $\rho_s=2660\text{kg/m}^3$ ，碎石表观密度 $\rho_g=2680\text{kg/m}^3$ 。砂、石用量为：

$$\begin{cases} \frac{455}{3200} + \frac{m_{g0}}{2680} + \frac{m_{s0}}{2660} + \frac{191}{1000} + 0.01 \times 1 = 1 & (1) \\ 0.36 = \frac{m_{s0}}{m_{g0} + m_{s0}} & (2) \end{cases}$$

$$\frac{m_{go}}{2680} + \frac{m_{so}}{2660} = 1 - \frac{455}{3100} - \frac{191}{1000} - 0.01 = 0.652$$

去分母，得：

$$2680m_{so} + 2660m_{go} = 4647978 \quad (3)$$

把 (2) 变形

$$\begin{aligned} m_{so} &= 0.36m_{so} + 0.36m_{go} \\ m_{so} - 0.36m_{so} &= 0.36m_{go} \\ 0.64m_{so} &= 0.36m_{go} \\ m_{so} &= 0.5625m_{go} \end{aligned} \quad (4)$$

把 (4) 代入 (3)，得：

$$\begin{aligned} 2680 \times 0.5625m_{go} + 2660m_{go} &= 4647978 \\ 4168m_{go} &= 4647978 \\ m_{go} &= 1115\text{kg/m}^3 \\ m_{so} &= 0.5625 \times 1115 = 627\text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

得理论配合比：

$$\begin{aligned} m_{co} &: m_{wo} : m_{so} : m_{go} \\ 455 &: 191 : 627 : 1115 \\ 1 &: 0.42 : 1.38 : 2.45 \end{aligned}$$

二、基准配合比和试验室配合比

将理论配合比按第二章 2.2 节的方法提出基准配合比和试验室配合比。但试验室配合比尚应符合本节 3.4.2 条抗渗性能的规定。

三、掺入外加剂或粉煤灰

当在掺入外加剂或粉煤灰时，请同时参阅 3.2 节或 3.3 节进行配合比设计。

3.5 大体积混凝土

混凝土结构实体最小尺寸等于或大于 1m，或预计会因水泥水

化热引起混凝土内外温差过大而导致裂缝的混凝土，称为大体积混凝土。大体积混凝土配合比的设计、计算和试配、调整按第二章 2.2 节进行。

大体积混凝土应在保证混凝土强度、和易性及耐久性要求的前提下，掺用缓凝剂、减水剂和减少水泥水化热的掺合料，提高掺合料和骨料的含量，以降低每立方米混凝土的水泥用量。从而减少混凝土的水化热。

3.5.1 大体积混凝土所用的原材料

(1) 水泥应选用水化热低和凝结时间长的水泥，优先选用矿渣水泥、粉煤灰水泥、火山灰水泥和复合水泥；当采用硅酸盐水泥和普通水泥时，应采取相应措施延缓水化热的释放。

(2) 粗骨料宜采用连续级配，细骨料宜采用中砂。

(3) 其他要求应符合现行国家标准的有关规定。

3.5.2 大体积混凝土的热工计算

1. 混凝土拌合物温度

关于混凝土拌合物温度（或称出机温度）的计算方法，大致可分为计算法和图表法两类。由于混凝土的温度涉及的因素很多，条件变化不一，要制作简便实用的图表比较困难。下面介绍一种“计算表格法”。这种方法既便于计算和复查，又醒目易懂。

混凝土拌合物的热量，是由各种原材料所供给，根据拌合前混凝土原材料的总热量，与拌合后流态混凝土的总热量两者相等这一原则，即可求得混凝土的拌合温度，其关系式如下：

$$T_0 \Sigma WC = \Sigma T_i WC \quad (3-6)$$

式中 T_0 —— 混凝土拌合物温度（℃）；

W —— 各种材料的重量（kg）；

C —— 各种材料的比热 [kJ/（kg·K）]；

T_i —— 各种材料的初始温度（℃）。

式（3-6）等号的右侧，是按各种材料分别计算，然后相加。计算时可列成表格，如表 3-9。

混凝土拌合物温度计算表

表 3-9

材料名称	重量 W (kg) (1)	比热 c [kJ]/(kg · K)] (2)	热当量 Wc (kJ/°C) (3) = (1) × (2)	温度 T (°C) (4)	热量 T_c, Wc (kJ) (5) = (3) × (4)
水 泥	270	0.84	227	28	6356
砂 子	600	0.84	504	23	11592
碎 石	1275	0.84	1071	22	23562
粉煤灰	80	0.84	67	22	1474
砂中含水量 3%	18	4.2	76	17	1292
石中含水量 1%	13	4.2	55	17	935
拌和水	144	4.2	605	17	10285
合计 Σ	2400		2605		55496

注：砂、石重量是扣除含水量后的净重。

由此可得出混凝土的拌合物温度：

$$T_0 = \frac{\Sigma T_c W_c}{\Sigma W_c} = \frac{(5)}{(3)} = \frac{55496}{2605} = 21.3^\circ\text{C}$$

在表 3-9 中，原材料的用量是根据试验室提供的混凝土配合比资料，材料温度则根据施工时的气温进行预估。

另外，《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB 50204—92) 规定冬季混凝土施工拌合物温度计算公式为：

$$\begin{aligned}
 T_0 = & [0.9 (m_c T_{ce} + m_s T_{se} + m_g T_g) \\
 & + 4.2 T_w (m_w - w_{sa} m_s - w_g m_g) \\
 & + C_1 (w_{sa} m_s T_{se} + w_g m_g T_g) \\
 & + C_2 (w_{sa} m_s + w_g m_g)] \\
 & \div [4.2 m_w + 0.9 (m_c + m_s + m_g)]
 \end{aligned} \quad (3-7)$$

式中 T_0 — 混凝土拌合物的温度 (°C)；

m_w 、 m_c 、 m_s 、 m_g — 水、水泥、砂、石的用量 (kg)；

T_w 、 T_{ce} 、 T_{se} 、 T_g — 水、水泥、砂、石的温度 (°C)；

w_{sa} 、 w_g — 砂、石的含水率 (%)；

C_1 、 C_2 ——水的比热容 $[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$ 及溶解热 (kJ/kg) 。

当骨料温度 $> 0^\circ\text{C}$ 时, $C_1 = 4.2$, $C_2 = 0$;

$\leq 0^\circ\text{C}$ 时, $C_1 = 2.1$, $C_2 = 335$ 。

2. 混凝土浇筑温度

混凝土拌合物出机后, 经运输、平仓、振捣过程后的温度, 称为浇筑温度。

混凝土浇筑温度与外界气温有关。当外界气温高于拌和温度时, 浇筑温度比拌合物温度高; 反之亦然。这种冷量或热量的损失, 随混凝土运输工具的类型、转运次数及平仓振捣的时间而变化。根据实测资料, 浇筑温度可采用下式计算:

$$T_j = T_0 + (T_q - T_0) \cdot (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n) \quad (3-8)$$

式中 T_j ——混凝土浇筑温度 ($^\circ\text{C}$);
 T_0 ——混凝土拌合物温度 ($^\circ\text{C}$);
 T_q ——外界气温 ($^\circ\text{C}$);

A_1 、 A_2 、 A_3 …… A_n ——温度损失系数。

其值如下:

(1) 混凝土装、卸和转运, 每次 $A = 0.032$ 。

(2) 混凝土运输时 $A = \theta\tau$, τ 为运输时间 (以 min 计), θ 如表 3-10 所列。

(3) 浇筑过程中 $A = 0.003\tau$, τ 为浇筑时间 (以 min 计)。

混凝土运输时冷量或热量损失计算 θ 值 表 3-10

运 输 工 具	混凝土容积 (m^3)	θ
滚动式搅拌机	6.0	0.0042
自卸汽车 (开敞式)	1.0	0.0040
自卸汽车 (开敞式)	1.4	0.0037
自卸汽车 (开敞式)	2.0	0.0030
自卸汽车 (封闭式)	2.0	0.0017

续表

运 输 工 具	混凝土容积 (m^3)	θ
长方形吊斗	0.3	0.022
长方形吊斗	1.6	0.013
圆柱形吊斗	1.6	0.009
双轮手推车 (保温)	0.15	0.0070
双轮手推车 (不保温)	0.15	0.0100

【例】 夏季施工的混凝土原材料经预冷后,混凝土出机拌合物温度 $T_0=20^\circ\text{C}$, 外界气温 $T_q=30^\circ\text{C}$, 2m^3 汽车运输 10min, 长方形吊斗下料 10min, 平仓振捣至混凝土浇筑完毕共 90min, 计算混凝土的浇筑温度 T_j 。

【解】 先求出各温度损失系数值

装料 $A_1=0.032$

2m^3 汽车运输 10min $A_2=0.0030\times 10=0.030$

转运 $A_3=0.032$

长方形吊斗 10min $A_4=0.0013\times 10=0.013$

卸料 $A_5=0.032$

浇捣 $A_6=0.003\times 90=0.270$

$A_1+A_2+\cdots+A_6=0.409$

故 $T_j=20+(30-20)\times 0.409=24.1^\circ\text{C}$

另外,《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB 50204—92)规定大体积混凝土的浇筑温度不宜超过 28°C , 并规定冬季混凝土浇筑温度计算公式如下:

$$T_j=T_0-(at_r+0.032n)(T_0-T_q) \quad (3-9)$$

式中 t_r —混凝土自运输至浇筑成型完成的时间 (h);

n —混凝土的转运次数;

a —温度损失系数 (h^{-1});

当用混凝土搅拌输送车时, $a=0.25$;

当用开敞式大型自卸汽车时, $a = -0.20$;

当用开敞式小型自卸汽车时, $a = -0.30$;

当用封闭式自卸汽车时, $a = 0.10$;

当用手推车时, $a = 0.50$ 。

外界气温与混凝土拌合物温度相差越大, 对浇筑温度的影响就越大。因此, 当使用预冷后的原材料拌制混凝土时, 更须加快施工速度, 缩短浇筑时间, 这样能降低混凝土的浇筑温度, 相应地降低了混凝土内部的最高温度, 并减少了结构物的内外温差。同时, 降低浇筑温度, 尚可延长混凝土的初凝时间, 改善混凝土的浇筑性能, 这对保证混凝土的施工质量十分有利。

3. 混凝土的绝热温升

在进行混凝土的绝热温升计算时, 假定结构物四周没有任何散热和热损失的情况下, 水泥水化热全部转化成温升后的温度值。而混凝土的最终绝热温升是与水泥用量、水泥品种、混凝土的热学性能有关, 可按下式进行计算:

$$T_0 = \frac{m_c \cdot Q}{c \cdot \rho} + \frac{m_f}{50} \quad (3-10)$$

不同龄期的混凝土绝热温升可按下式计算:

$$T_\tau = T_0 (1 - e^{-m\tau}) \quad (3-11)$$

式中 T_0 —— 混凝土最终绝热温升 ($^{\circ}\text{C}$);

T_τ —— 在 τ 龄期时混凝土的绝热温升 ($^{\circ}\text{C}$);

m_c —— 每立方米混凝土中的水泥用量 (kg);

Q —— 每 kg 水泥水化热量 (kJ/kg);

c —— 混凝土的比热, 可按 $0.97 [\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$ 计算;

ρ —— 混凝土的密度, 取 $2400 (\text{kg/m}^3)$;

m_f —— 每立方米混凝土中粉煤灰用量 (kg);

e —— 常数, 为 2.718 ;

m —— 混凝土水化时温升系数, 随水泥品种及浇筑温度而异, 一般为 $0.30 \sim 0.41$; (如表 3-11 所示)

τ —— 龄期 (d)。

计算水化热温升时的 m 值

表 3-11

浇筑温度 (°C)	5	10	15	20	25	30
m	0.295	0.318	0.340	0.362	0.384	0.406

为了方便计算, 现将 $e^{-m\tau}$ 及 $(1-e^{-m\tau})$ 值列于表 3-12。

 $e^{-m\tau}$ 、 $(1-e^{-m\tau})$ 值

表 3-12

浇筑温度 (°C)	m	龄 期 (d)					
		1	2	3	4	5	6
5	0.295	$\frac{0.255}{0.745}$	$\frac{0.446}{0.554}$	$\frac{0.587}{0.413}$	$\frac{0.693}{0.307}$	$\frac{0.771}{0.229}$	$\frac{0.830}{0.170}$
10	0.318	$\frac{0.272}{0.728}$	$\frac{0.471}{0.529}$	$\frac{0.615}{0.385}$	$\frac{0.720}{0.280}$	$\frac{0.796}{0.204}$	$\frac{0.852}{0.148}$
15	0.340	$\frac{0.288}{0.712}$	$\frac{0.493}{0.507}$	$\frac{0.639}{0.361}$	$\frac{0.743}{0.257}$	$\frac{0.817}{0.183}$	$\frac{0.870}{0.130}$
20	0.362	$\frac{0.304}{0.696}$	$\frac{0.515}{0.485}$	$\frac{0.662}{0.338}$	$\frac{0.765}{0.235}$	$\frac{0.836}{0.164}$	$\frac{0.886}{0.114}$
25	0.384	$\frac{0.319}{0.681}$	$\frac{0.536}{0.464}$	$\frac{0.684}{0.316}$	$\frac{0.785}{0.215}$	$\frac{0.853}{0.147}$	$\frac{0.900}{0.100}$
30	0.406	$\frac{0.331}{0.666}$	$\frac{0.556}{0.444}$	$\frac{0.704}{0.296}$	$\frac{0.803}{0.197}$	$\frac{0.869}{0.131}$	$\frac{0.913}{0.087}$

注: 表中分母为 $e^{-m\tau}$ 值; 分子为 $(1-e^{-m\tau})$ 值。

【例】 某工程基础为大体积 C25 混凝土, 用矿渣 32.5 级水泥配制, $m_c=270$ (kg/m³), $Q=285$ (kJ/kg), $m_f=80$ (kg/m³), $c=0.97$ [kJ/(kg·K)], $\rho=2400$ (kg/m³), $m=0.362$, 计算混凝土最高绝热温升和 1d、3d、5d 的绝热温升。

【解】 (1) 计算混凝土的最高绝热温升:

$$T_n = \frac{m_c \cdot Q}{c \cdot \rho} + \frac{m_f}{50} = \frac{270 \times 285}{0.97 \times 2400} + \frac{80}{50} = 34.7^\circ\text{C}$$

(2) 计算混凝土 1d、3d、5d 的绝热温升:

$$T_{(t)} = 34.7 (1 - 2.718^{-0.362\tau})$$

当 $\tau=1$ 时:

$$T_{(1)} = 34.7 (1 - 2.718^{-0.362 \times 1}) = 10.5 \text{ C}$$

当 $\tau=3$ 时:

$$T_{(3)} = 34.7 (1 - 2.718^{-0.362 \times 3}) = 23.0 \text{ C}$$

当 $\tau=5$ 时:

$$T_{(5)} = 34.7 (1 - 2.718^{-0.362 \times 5}) = 29.0 \text{ C}$$

以上数值分别加上混凝土浇筑温度 (T_j), 即为不同龄期混凝土内部的计算最高温度。

4. 混凝土内部温度

水泥水化热引起的绝热温升后, 浇筑温度 T_j , 即为在绝热状态下的混凝土内部温度, 可用下式表达:

$$T_{T(\tau)} = T_j + T_{(\tau)} \quad (3-12)$$

式中 $T_{T(\tau)}$ ——在绝热状态下, 不同龄期的混凝土内部温度 (C)。

大体积混凝土内的实际温度是一个“由低到高, 又由高到低”的变化曲线 (如图 3-3)。即混凝土从浇筑完毕后, 就有一个初始温度——浇筑温度。以后由于水泥水化热的影响, 混凝土内部温度不断上升, 然后通过天然散热或人工冷却, 温度又逐渐下降。待水泥水化热大致散发完毕后, 混凝土的温度才与大气温度相接近, 此时称为稳定温度。

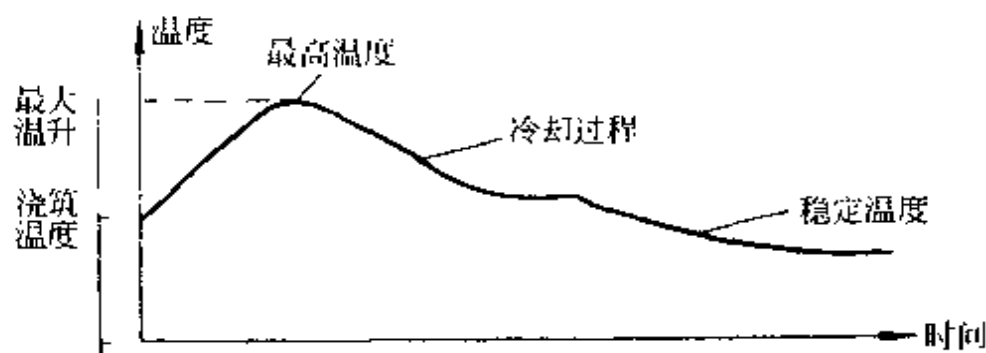


图 3-3 混凝土温度变化曲线

从图 3-3 中可以看出, 混凝土内部的实际温度并不是符合式 (3-12) 的假定条件。这是因为混凝土在浇筑后, 温度一面在上升, 另一面也在不断散发, 并非“绝热状态”, 由于结构物散热的边界条件比较复杂, 要严格解出答案非常困难。下面介绍一种简便的

方法来确定混凝土的内部温度——图表法。

图表法：

混凝土由水泥水化热引起的实际温升，远比在绝热条件下最终水化热的温升要小。工程实践证明，在散热条件大致相似的情况下，浇筑块的厚度不同，散热的温度也不同，并大致符合“越薄散热越快，越厚散热越慢”的规律：当浇筑块厚在 5m 以上时，混凝土的实际温升已接近于绝热温升。不同浇筑块厚度与混凝土最终绝热温升的关系 ξ 值。如表 3-13。另外，不同龄期混凝土水化热温升曲线与浇筑厚度的关系。详见表 3-14 及图 3-4。

不同浇筑块厚度与混凝土绝热温升的关系 (ξ) 值 表 3-13

浇筑块厚度 (m)	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0	6.0
ξ	0.36	0.49	0.57	0.68	0.79	0.82

注： $\xi = T_m / T_n$ ； T_m ——混凝土由水化热引起的实际温升 (°C)。

不同龄期水化热温升与浇筑块厚度的关系 表 3-14

浇筑块厚度 (m)	不同龄期 (d) 时的 ξ 值									
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
1.00	0.36	0.29	0.17	0.09	0.05	0.03	0.01			
1.25	0.42	0.31	0.19	0.11	0.07	0.04	0.03			
1.50	0.49	0.36	0.26	0.20	0.21	0.15	0.12	0.08	0.05	0.04
2.50	0.65	0.62	0.59	0.48	0.38	0.29	0.23	0.19	0.16	0.15
3.00	0.68	0.67	0.63	0.57	0.45	0.36	0.30	0.25	0.21	0.19
4.00	0.71	0.73	0.72	0.67	0.55	0.46	0.37	0.30	0.25	0.24

注：本表适用于混凝土浇筑温度为 20~30°C 的工程。

从图中可以看出，混凝土浇筑块厚度越薄，水化热温升阶段则越短；最高温度的峰值出现较早；并且很快有降温趋势。而浇筑块越厚，则水化热的温升阶段较长，最高温度的峰值出现时间稍后，且持续较长。另外，大量工程实践证明，混凝土内部的实际水化热温升还与外界气候条件有关。外界气温越高，混凝土内

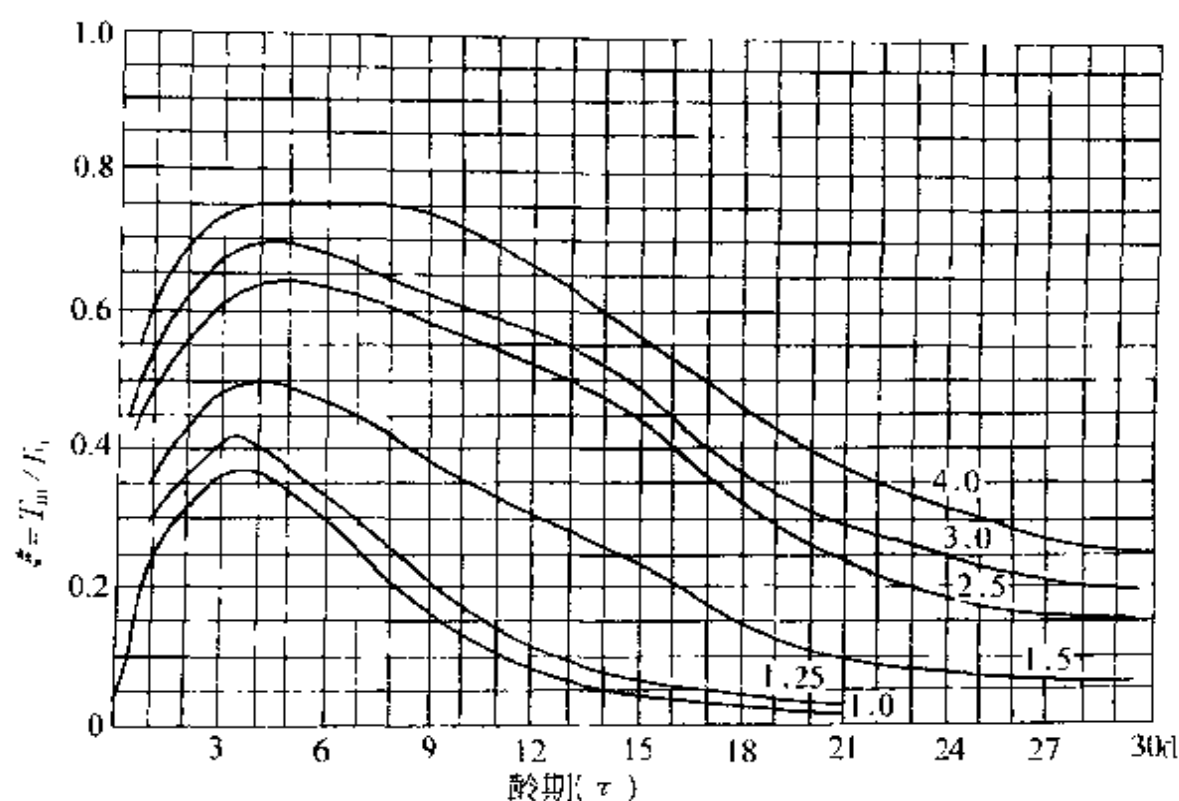


图 3-1 不同浇筑块厚度与混凝土绝热温升的关系 (ξ 值)

部愈不易散热，因此，水化热温升阶段较短，最高温度的峰值出现时间更早，并且持续更长的时间。

所以，混凝土内部的中心温度，可按下列式计算：

$$T_{\text{max}} = T_f + T_{(\tau)} \cdot \xi \quad (3-13)$$

式中 T_{max} ——混凝土中心温度 (C)；

T_f ——混凝土的浇筑温度 (C)，见式 (3-8)；

$T_{(\tau)}$ ——在 τ 龄期时混凝土上的绝热温升 (C)，见式 (3-11)；

ξ ——不同浇筑块厚度的温度系数。

【例】 某基础底板长 91m，宽 31m，厚 2.5m，设计混凝土强度等级为 C20，采用 60d 强度，用 32.5 级矿渣水泥，每 m^3 混凝土水泥用量 $m_c = 250\text{kg}$ ， $Q = 285 (\text{kJ/kg})$ ，粉煤灰 $F = 60 (\text{kg/m}^3)$ ，混凝土比热取 $0.97\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ，混凝土浇筑温度为 25°C ，试估算不同龄期时混凝土的内部温度。

【解】 先求出混凝土上的最终绝热温升

$$T_n = \frac{m_c \cdot Q}{c \cdot \rho} + \frac{m_l}{50} = \frac{250 \times 285}{0.97 \times 2400} + \frac{60}{50} = 31.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

查表 3-14 的 ξ 值, 可求出不同龄期的水化热温升

$\tau=3\text{d}$	$\xi=0.65$	$\xi \cdot T_n=0.65 \times 31.8=20.7 \text{ } ^\circ\text{C}$
$\tau=6\text{d}$	$\xi=0.62$	$\xi \cdot T_n=0.62 \times 31.8=19.7 \text{ } ^\circ\text{C}$
$\tau=9\text{d}$	$\xi=0.59$	$\xi \cdot T_n=0.59 \times 31.8=18.8 \text{ } ^\circ\text{C}$
.....
$\tau=30\text{d}$	$\xi=0.15$	$\xi \cdot T_n=0.15 \times 31.8=4.8 \text{ } ^\circ\text{C}$

以上数值分别加上混凝土的浇筑温度 ($T_j=25 \text{ } ^\circ\text{C}$), 即为不同龄期混凝土内部的估算温度。

3.5.3 大体积混凝土养护时的温度控制

进行大体积混凝土温控的目的, 是防止因温度变化引起结构物的开裂。《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB 50204—92) 规定: 对大体积混凝土的养护, 应根据气候条件采取控温措施, 并按需要测定浇筑后的混凝土表面和内部温度, 将温度差控制在设计要求范围以内; 当设计无具体要求时, 温度不宜超过 $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

混凝土的养护时间, 应根据水泥品种而定 (见表 3-15)。利用后期强度的以及干燥、炎热气候条件下的混凝土, 应延长养护时间, 至少养护 28d, 对裂缝有严格要求时, 应适当延长。

大体积混凝土养护时间

表 3-15

水 泥 品 种	养护时间 (d)
普通水泥	14
矿渣水泥、粉煤灰水泥、火山灰水泥、大坝水泥、复合水泥	21
混凝土中掺入掺合料时	21

混凝土养护时的温度控制方法有降温法、保温法、蓄水法和水浴法, 施工中采用最多的是保温法。

保温法:

大体积混凝土常见的裂缝大多数发生在不同深度的表面, 而

这些裂缝又较多发生于早期,这主要是早期混凝土内升温度高,过早拆模使混凝土表面温度骤降,形成很陡的温度梯度,而混凝土的早期强度低,极限拉伸小,如果养护不善,容易产生裂缝。

此外,在冬季负温季节,或在早春晚秋气温变化大且频繁的时节,由于表面处于负温或因温度骤降,也易产生裂缝。因此表面裂缝也可能出现于晚期,这在寒冷地区更为明显。

鉴于上述情况,利用保温材料提高新浇筑的混凝土表面和四周温度,减少混凝土的内外温差,是一项简便有效的温度控制方法。同时在后期拆除四周模板后,还应对结构物及时覆盖加以养护,防止晚期混凝土出现开裂。

1. 保温材料及导热系数 λ

由于大体积混凝土保温的规模较大,因此除了满足必要的隔热要求外,在材料选择上应尽量就地取材,施工简便和经济为目的。各种保温材料及导热系数 $[W/(m \cdot K)]$ 列表 3-16。

各种保温材料及导热系数 $\lambda [W/(m \cdot K)]$ 表 3-16

材料名称	λ	材料名称	λ
木 模	0.23	甘蔗板	0.05
钢 模	58	沥青玻璃棉毡	0.05
草 袋	0.14	沥青矿棉	0.09~0.12
木 屑	0.17	油毡纸	0.05
炉 渣	0.47	泡沫塑料制品	0.03~0.05
下 砂	0.33	普通混凝土	2.30~3.49
湿 砂	1.71~3.14	加气混凝土	0.16
粘 土	1.38~1.47	泡沫混凝土	0.10
粘土砖	0.43	水	0.605
灰砂砖	0.69~0.79	空气	0.03

2. 保温层构造

根据工程特点、气候和施工条件情况,保温层可选用以下几种构造:

(1) 结构物表面。气温在 15℃ 以上季节施工时, 对于裸露的混凝土表面可采用层状材料, 或一般简便的散状材料 (如湿砂、锯末等) 覆盖。低温季节施工时, 则必须采取多种层状材料覆盖; 此时如遇气温骤变时, 还应特别注意将保温材料紧密地固定于混凝土的表面, 以便形成不透风的围护层, 否则很难奏效。

(2) 结构物四周。除按规定设横板保护外, 气温在 15℃ 以上季节可在模板外侧再覆挂层状保温材料。低温季节施工时, 则必须采用带填充材料的双层箱形保温模板或再在外侧覆挂层状保温材料。

表 3-17 列出了各种保温层的隔热性能, 以供参考。

各种构造保温层的传热系数 β 值 [$W/(m^2 \cdot K)$] 表 3-17

保温层的构造		系数 β 值, 当修正系数 k 值 ^① 为							
		3.00	2.60	2.30	2.00	1.90	1.60	1.50	1.30
木模板 (30mm), 外包二层草袋		3.38	2.93	2.59	2.26	2.14	1.80	1.69	1.47
木模板 (50mm), 外包二层草袋		3.09	2.67	2.36	2.06	1.95	1.65	1.55	1.34
钢模板, 外包二层草袋		3.98	3.44	3.05	2.64	2.51	2.12	1.99	1.72
双层箱形保温层 (内外模板各为 25 及 20mm), 用锯末填充, 其厚度为	100mm						1.14	1.07	0.93
	150mm						0.86	0.80	0.70
	200mm						0.64	0.60	0.52
锯末层, 厚度为	100mm	2.69	2.33	2.06	1.79	1.70	1.43	1.34	1.16
	150mm	1.88	1.63	1.44	1.26	1.19	1.00	0.94	0.81
	200mm	1.69	1.47	1.29	1.13	1.07	0.91	0.85	0.73
湿砂层, 厚度为	100mm	23.36	20.15	17.83	15.50	14.71	12.41	11.63	10.08
	150mm	13.43	11.64	10.30	8.96	8.51	7.16	6.72	5.83
	200mm	9.70	8.41	7.43	6.47	6.14	5.18	4.85	4.20
干砂层, 厚度为	100mm	8.51	7.37	6.52	5.68	5.40	4.54	4.26	3.69
	150mm	4.61	3.99	3.54	3.07	2.92	2.45	2.30	2.00
	200mm	3.11	2.69	2.38	2.07	1.97	1.65	1.56	1.35

① k 值可根据刮风及结构高出地面位置决定, 见表 3-18。

计算传热系数的修正值 K

表 3-18

保 温 层 种 类	K_1	K_2
1. 保温层纯粹由容易透风的保温材料组成	2.6	3.00
2. 保温层由容易透风的保温材料组成,但在混凝土面层上铺一层不易透风的材料	2.00	2.30
3. 保温层由容易透风的保温材料组成,并在保温层的上面再铺一层不易透风的材料	1.60	1.90
4. 保温层由容易透风的保温材料组成,而保温层的上面和下面各铺一层不易透风的材料	1.30	1.50
5. 保温层纯粹由不易透风的保温材料所组成	1.30	1.50

注: 1. K_1 值为一般刮风情况 (风速 $< 4\text{m/s}$, 且结构物位置高出地面水平 $\geq 25\text{m}$) 的修正系数; K_2 值是刮大风时的修正系数。

2. 属于不易透风保温材料的有油布、帆布、棉麻毡、胶合板、装设很好的模板; 属于容易透风的保温材料有锯末、砂、炉渣、草袋等。

如在表 3-17 中找不到所需要的保温层的传热系数时,则可由下式计算:

$$\beta = \frac{K}{0.05 + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}} \quad (3-14)$$

式中 δ_i —— 保温材料的厚度 (其中包括模板) $i=1, 2, 3, \dots, n$;
 λ_i —— 保温材料的导热系数。

关于混凝土表面保温材料所需的厚度,可按下式进行估算:

$$\delta_i = \frac{0.5h\lambda_i(T_b - T_q)}{\lambda(T_{\max} - T_b)} \cdot K \quad (3-15)$$

式中 δ_i —— 保温材料所需的厚度 (m);

λ_i —— 保温材料导热系数 $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$;

λ —— 混凝土导热系数 $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$;

T_{\max} —— 混凝土中心最高温度 (°C);

T_b —— 混凝土表面温度 (°C);

T_q —— 混凝土浇筑后 3~5d 空气平均温度 (°C);

K —— 传热系数的修正值;

0.5h —— 指中心温度向边界散热的距离,恰为结构物厚度 (h) 的一半。

由于式(3-15)是根据热交换原理,假定混凝土的中心温度向混凝土表面的散热量等于混凝土表面保温材料应补充的发热量。在前面已经知道,混凝土内部的最高温度,一般发生在浇筑后的3~5d,因此 T_{\max} 、 T_b 值可近似地按龄期3d时的温度计算。现举例说明如下:

【例】 宝钢转炉基础底板,厚度为2.5m,在第3d时混凝土的内部中心温度为53.1℃,此时实测表面温度为31℃,气温21℃,混凝土的导热系数 $\lambda=2.3\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,试求表面所需保温材料的厚度。

【解】 设采用草袋保温, $\lambda_i=0.14\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, $K=1.5$,代入公式(3-15)得:

$$\begin{aligned}\delta_i &= \frac{0.5h\lambda_i(T_b-T_q)}{\lambda(T_{\max}-T_b)} \cdot K \\ &= \frac{0.5 \times 2.5 \times 0.14(31-21)}{2.3 \times (53.1-31)} \times 1.5 \\ &= 0.05\text{m} \\ &= 50\text{mm}\end{aligned}$$

即混凝土表面需铺设50mm厚草袋,同理,也可以计算出侧面需要的保温材料(应包括模板在内)。

应该指出,采用保温法控制温度的基本原理是利用混凝土的初始温度加上水泥水化热的温升,在缓慢的散热过程中(通过人为控制),使混凝土获得必要的强度。因此在冬季施工中,混凝土的原材料必须加热搅拌,而且混凝土的浇筑温度不应低于10℃。离开了这个前提,保温法就不复存在,也无法控制混凝土内外温差小于25℃的要求。

3.6 道路混凝土

道路混凝土主要指路面混凝土,它是以水泥混凝土板作为面层、下设基(垫)层所组成的路面。至于沥青混凝土路面本节不

作介绍。

3.6.1 道路混凝土的技术要求

路面水泥混凝土既要受车辆荷载的反复作用，又要受到自然气候的直接影响，因而需要具备优良的技术性质。在进行配合比设计时，应符合以下要求：

1. 强度

道路混凝土主要是以抗折强度（抗弯拉强度）为设计标准。根据各种交通等级，对混凝土抗折强度 σ_c 的要求不得低于表 3-19 的标准。条件许可时，应尽量采用较高的设计强度，特别是特重交通的道路。

路面混凝土抗折强度最低限值

表 3-19

交通等级	特重	重	中等	轻
混凝土抗折强度 (MPa)	5.0	4.5	4.5	4.0

一般情况下，混凝土抗折强度约为立方体抗压强度的 10%~20%。为了保证路面混凝土的耐久性、耐磨性、抗冻性等要求，除具有一定的抗折强度外，其抗压强度也不应太低。道路混凝土要求的抗折强度与抗压强度见表 3-20。

混凝土抗折强度与抗压强度的关系

表 3-20

抗折强度 (MPa)	4.0	4.5	5.0	5.5
抗压强度 (MPa)	25.0	30.0	35.5	40.0

2. 耐久性

混凝土与大自然接触，受到干湿、冷热、水流冲刷、行车磨损和冲击、腐蚀等作用，要求混凝土路面必须具有良好的耐久性。据研究表明，密实度是混凝土耐久性的关键，而获得密实的混凝土，水灰比又是关键。由于混凝土耐久性试验周期长，不易进行，故在一般情况下，都在混凝土配合比设计时，采用限制最大水灰比和最小水泥用量来满足道路混凝土耐久性的要求，见表 3-21。

由混凝土耐久性决定的最大水灰比与最小水泥用量 表 3-21

道路混凝土所处的环境条件	最大水灰比	最小水泥用量 (kg/m ³)
公路、城市道路和厂矿道路	0.50	300
机场道面和高速公路	0.46	300
冰冻地区冬季施工	0.45	300

3. 工作性（和易性）

混凝土拌合物在施工拌和、运输、浇筑、捣实和抹面等过程中不分层、不离析、不泌水，能均匀密实填充在结构物模板内，即具有良好的工作性，符合施工要求。对于一般混凝土，当粗骨料最大粒径不超过 40mm 时，通常在直观评价水泥混凝土拌合物粘聚性、保水性良好的基础上以测定混凝土拌合物坍落度作为工作性的指标；但对坍落度小于 10mm 的干硬性混凝土，可采用维勃稠度仪测定其工作性。

道路水泥混凝土的坍落度一般宜采用 10~25mm，维勃稠度宜在 10~30s。

3.6.2 道路混凝土的组成材料

道路水泥混凝土由水泥、粗、细骨料、水及外加剂等组成。

1. 水泥

水泥是道路混凝土的重要组成材料，它直接影响混凝土的强度、早期干缩和温度徐变以及磨耗。因而在施工时应优先选用硅酸盐水泥、普通水泥和道路水泥；对中等及轻交通的路面，也可采用矿渣水泥。

2. 粗骨料

应采用连续颗粒级配，且最大粒径最好在 40mm 以下。碎石或卵石应符合Ⅱ类或Ⅰ类的质量要求。参见第二章 2.1.3 节或《建筑用碎石、卵石》(GB/T 14685—2001)。

3. 细骨料

路面混凝土一般要求用洁净、坚硬、耐久、级配良好的中、粗砂。并应符合Ⅰ类或Ⅱ类质量要求。参见第二章 2.1.2 节或《建

筑用砂》(GB/T 14684 - 2001)。

如果当地(或就近)无法取得理想的中、粗砂时,经过拌制混凝土能达到设计要求时,可以采用细砂。

4. 拌和水

凡符合第二章 2.1.4 节或《混凝土拌和用水标准》(JGJ 63—89)规定的均可用于拌制道路混凝土。

5. 外加剂

为了减少拌制混凝土的用水量,改善和易性,节约水泥用量,提高混凝土的密实性、强度、抗渗性、抗冻性可掺用适量的外加剂,例如:减水剂、引气剂、早强剂等。混凝土外加剂的质量应符合现行有关标准规定。

3.6.3 道路混凝土的配合比设计

道路混凝土配合比设计的任务是将混凝土各组材料加以合理配合,使所配制的混凝土能满足强度、耐久性及和易性等技术要求,并尽可能节约水泥,以取得最大的经济效益。

水泥混凝土路面的混凝土配合比设计方法,按我国现行国标《水泥混凝土路面施工及验收规范》(GBJ 97 - 94)的规定,系采用抗折强度或抗压强度为指标的方法,本节介绍(GBJ 97 -94)规范推荐的以抗折强度为指标的经验公式法。

1. 计算理论配合比

(1) 确定道路混凝土的配制抗折强度:

道路混凝土的配制强度可按式计算:

$$f_{cl,n} = k \cdot f_{cl,k} \quad (3-16)$$

式中 $f_{cl,c}$ ——混凝土配制抗折强度 (MPa);

$f_{cl,k}$ ——混凝土设计抗折强度 (MPa);

k ——系数,一般取 1.10~1.15,对于施工管理水平较高者取 1.10,一般取 1.15。

(2) 计算水灰比:

道路混凝土拌合物的水灰比根据已知的混凝土配制抗折强度 $f_{cl,c}$ 和水泥的实际抗折强度 $f_{ce,t}$ 由下式来确定。

碎石混凝土:

$$f_{cf,0} = -1.0079 + 0.3485f_{cc,f} + 1.5684 \frac{C}{W} \quad (3-17)$$

卵石混凝土:

$$f_{cf,0} = -1.5492 + 0.4565f_{cc,f} + 1.2618 \frac{C}{W} \quad (3-18)$$

式中 $f_{cf,0}$ ——混凝土试件标准养护 28d 的抗折强度 (MPa);

$f_{cc,f}$ ——水泥胶砂标准养护 28d 的抗折强度 (MPa)。

计算的水灰比值如超过耐久性的规定限值 (见表 3-21) 要求, 取规定的最大水灰比值。

(3) 确定用水量:

道路混凝土拌合物每立方米用水量 m_{w0} 可按第二章表 2-25 选取。

(4) 计算水泥用量:

每立方米混凝土拌合物水泥用量按下式计算

$$m_{c0} = m_{w0} \cdot \frac{C}{W} \quad (3-19)$$

为了保证混凝土路面的耐久性, 上式计算的水泥用量不得少于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 。但对道路混凝土而言, 水泥用量也不宜太多, 用量多不仅不经济, 而且容易产生塑性裂缝、温度裂缝, 路面的耐磨性也会降低。

(5) 确定砂率

当无历史资料可参考时, 道路混凝土砂率的确定可参照表 3-22 选取。

道路混凝土的砂率选择 (%)

表 3-22

水灰比 W/C	碎石最大粒径 (mm)			卵石最大粒径 (mm)		
	16	20	40	10	20	40
0.10	30~35	29~34	27~32	26~32	25~31	24~30
0.50	33~38	32~37	30~35	30~35	29~34	28~33

注: 1. 本表数值是中砂的选用砂率, 用细砂或粗砂时, 可相应减少或增大砂率。

2. 本表中的砂率是指砂与石子总量的重量比。

(6) 计算砂、石材料用量

砂、石用量的计算可采用重量法或体积法,参照第二章 2.2 节或《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2000) 计算。

2. 基准配合比

按第二章 2.2 节的方法进行试配和对混凝土拌合物和易性的调整,并确定出基准配合比。

3. 试验室配合比

根据基准配合比另外计算两个配合比进行抗折强度检验,另外两个配合比的水灰比分别比基准配合比增加和减少 0.03;最终试验室配合比的确定方法,可按第二章 2.2 节进行。

4. 施工配合比的换算

施工配合比的换算方法按第二章 2.2.2.4 节进行。

3.6.4 道路混凝土配合比设计实例

【基本资料】

某公路路面为水泥混凝土,设计混凝土抗折强度 5MPa,施工要求混凝土拌合物坍落度为 10~25mm,所用原材料如下:

水泥:普通 42.5 级,密度 $\rho_c=3100\text{kg/m}^3$,实测 28d 抗折强度 $f_{c,t}=7.2\text{MPa}$ 。

河砂:中砂,表观密度 $\rho_s=2650\text{kg/m}^3$ 。

碎石:符合连续颗粒级配,最大粒径 31.5mm,表观密度 $\rho_g=2680\text{kg/m}^3$ 。

水:自来水、饮用水。

外加剂:FDN 高效减水剂,掺量 1%,减水率 15%。

【设计步骤】

(一) 计算理论配合比

1. 确定混凝土的配制抗折强度 $f_{d,0}$

按式 (3-16) 计算:

$$f_{d,0}=1.15\times 5.0=5.75\text{ (MPa)}$$

2. 计算水灰比 W/C

已知混凝土抗折配制强度 $f_{d,0}=5.75\text{MPa}$,水泥实测 28d 抗

折强度 $f_{ce,f}=7.2\text{MPa}$ ，施工采用碎石，由式 (3-17)，得：

$$\begin{aligned} 5.75 &= -1.0079 + 0.3785 \times 7.2 + 1.5684 \frac{C}{W} \\ &= 1.7173 + 1.5684 \frac{C}{W} \end{aligned}$$

$$W/C = 0.39$$

查表 3-21， $W/C=0.39$ 符合耐久性要求，可用。

3. 确定用水量

已知：施工要求混凝土拌合物坍落度为 $10\sim 25\text{mm}$ ，碎石最大粒径为 31.5mm 。查表 2-25 选用混凝土用水量 $m_{w0}=175\text{kg/m}^3$ 。由于使用高效减水剂，减水率为 15% ，故计算用水量为 $m_{w0}=175 \times (1-15\%) = 149 (\text{kg/m}^3)$ 。

4. 计算水泥用量

已知混凝土单方用水量 $m_{w0}=149\text{kg/m}^3$ ，水灰比 $=0.39$ ，按式 (3-19) 得：

$$m_{c0} = 149 \times \frac{1}{0.39} = 382 (\text{kg/m}^3)$$

查表 3-21，水泥用量 $m_{c0}=382\text{kg/m}^3$ 符合耐久性要求。

5. 计算外加剂用量

已知混凝土水泥用量 $m_{c0}=382\text{kg}$ ，FDN 高效减水剂掺量为 1% ，得：

$$m_a = 382 \times 1\% = 3.82\text{kg/m}^3$$

6. 确定砂率

已知：粗骨料采用碎石，最大粒径为 31.5mm ，水灰比 $W/C=0.39$ 。查表 3-21 取砂率 $\rho_s=30\%$ 。

7. 计算砂、石用量

采用体积法计算

已知：水泥密度 $\rho_c=3100\text{kg/m}^3$ ，砂表观密度 $\rho_s=2650\text{kg/m}^3$ ，碎石表观密度 $\rho_g=2680\text{kg/m}^3$ ，由式 (2-8) 和 (2-9) 得：

$$\begin{cases} \frac{382}{3100} + \frac{m_{so}}{2650} + \frac{m_{go}}{2680} + \frac{149}{1000} + 0.01 \times 1 = 1 \\ 30\% = \frac{m_{so}}{m_{go} + m_{so}} \times 100\% \end{cases}$$

解得：

$$m_{so} = 576 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{go} = 1342 \text{ kg/m}^3$$

至此，得理论配合比为：

水泥 : 水 : 砂 : 碎石 : FDN
382 : 149 : 576 : 1342 : 3.82

(二) 试配，调整混凝土拌合物和易性，确定基准配合比

根据理论配合比，计算拌制 30L 混凝土拌合物，测得其坍落度为 20mm，符合施工对稠度的要求；观察粘聚性和保水性均良好，所以不必调整配合比，理论配合比即为基准配合比。

(三) 检验抗折和抗压强度，确定试验室配合比

根据已确定的基准配合比，另外计算两个水灰比较基准配合比分别增加 0.03 和减少 0.03 的配合比，用水量与基准配合比相同，砂率分别增加和减少 1%，每个配合比均计算拌制 30L 混凝土拌合物，首先进行混凝土坍落度的验证，观察粘聚性与保水性是否合适。然后测定混凝土拌合物的表观密度及制作抗折、抗压试件。其试验结果见表 3-23。

不同配合比混凝土拌合物及强度试验结果 表 3-23

配合比编号	实测坍落度 (mm)	表观密度 (kg/m ³)	标准养护 28d 强度 (MPa)	
			抗 折	抗 压
1. 基准	20	2470	6.1	51.7
2. +0.03	25	2450	5.6	48.1
3. -0.03	15	2480	6.7	56.4

注：表中三个配合比混凝土拌合物经观察粘聚性和保水性均良好。

前面已述，道路混凝土主要是以抗折强度为设计标准。本例

题也是要求按抗折强度设计混凝土配合比,从表 3-23 可知,三个配合比的 28d 抗压强度均远远超过表 3-19 的规定要求,故按强度调整配合比时可不考虑抗压强度。因此,根据表 3-23 28d 抗折强度试验结果,绘制出抗折强度与灰水比关系图如图 3-5 所示。

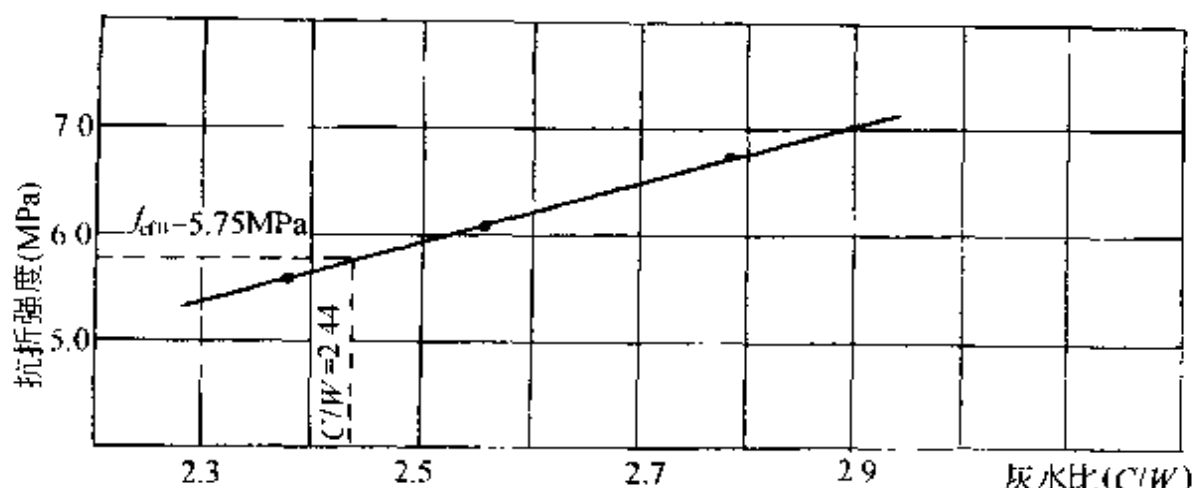


图 3-5 实测 28d 抗折强度与灰水比关系曲线图

由图可知相应于配制抗折强度 $f_{ct,0} = 5.75\text{MPa}$ 的灰水比 $C/W = 2.44$, 即水灰比 $W/C = 0.41$ 。根据抗折强度确定试验室配合比如下:

水 $m_w = 149\text{kg/m}^3$

水泥 $m_c = 149 \div 0.41 = 363\text{kg/m}^3$

外加剂 $m_a = 363 \times 0.01 = 3.63\text{kg/m}^3$

砂、石用量按体积法计算得:

$$\begin{cases} \frac{m_s}{2650} + \frac{m_g}{2680} = 1 - \frac{363}{3100} - \frac{149}{1000} - 0.01 \times 1 = 0.724 \\ \frac{m_s}{m_g + m_s} = 31\% \end{cases}$$

解得:

砂 $m_s = 599\text{kg/m}^3$

碎石 $m_g = 1333\text{kg/m}^3$

按抗折强度确定试验室配合比后,还应进行表观密度的校正。

先计算混凝土的表观密度计算值 $\rho_{c,c}$ ：

$$\begin{aligned}\rho_{c,c} &= m_w + m_c + m_s + m_g + m_a \\ &= 149 + 363 + 599 + 1333 + 3.63 \\ &= 2448 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

计算混凝土配合比校正系数 δ ：

$$\delta = \frac{\rho_{c,d}}{\rho_{c,c}} = \frac{2450}{2448} = 1.00$$

因校正系数为 1.00，故可不必调整混凝土的表观密度。最终试验室配合比为：

$$\begin{array}{cccccc}\text{水泥} & : & \text{水} & : & \text{砂} & : & \text{碎石} & : & \text{外加剂} \\ 363 & : & 149 & : & 599 & : & 1333 & : & 3.63\end{array}$$

第四章 混凝土和水泥快速试验方法

快速测定混凝土和水泥胶砂强度，建立 28d（或其他龄期）强度推定经验式，是检测单位提前定出混凝土配合比供施工使用的不可缺少的检测技术。同时，采用可靠的快速强度试验，对保证混凝土和水泥质量、节约水泥、避免事故具有重大意义。

目前，我国已研究提出并被交通部和建设部列为标准的就有七种（其中混凝土为五种）之多。为了方便有条件的检测单位尽量利用现有设备选择试验方法，以下将分节予以介绍。但由于水泥强度试验原标准采用的是 GB 177—1992 标准，已被现行 GB/T 17671—1999（ISO 法）新标准所淘汰。因此，在收编过程中作了相应的更改，试验方法和其他要求均未变。

4.1 混凝土强度快速试验方法

4.1.1 1h 促凝压蒸法

一、目的和适用范围

（1）在事先已建立同材料混凝土强度推定式的条件下，通过测定新拌混凝土湿筛砂浆试样促凝压蒸 1h 后的快硬强度，可即时预测出该混凝土试样潜在的标准养护 28d 龄期（抗压和抗折）强度，用于混凝土现场质量管理或配合比设计及其调整。

（2）本方法适用于采用我国六大品种水泥和一些特种水泥以及掺加常用外加剂的质量均一的新拌水泥混凝土。

二、仪器设备与材料

1. 压力机或万能试验机

表盘量程为 20~30kN，刻度读数不超过 20~40N。如采用手动筒便小型压力机（如 JKY—2 型轻便压力机）刻度精度不能满足

上述要求时，应事先进行压力机检定试验，确定其精度满足要求后方可使用。所用压力机或万能试验机应进行定期（半年至一年）检定，示值允许偏差为标准示值的 $\pm 2\%$ ，示值变动度应小于 1% 。

2. 混凝土湿筛砂浆振动筛成型两用机（简称两用机）

有机体、筛子、振动台、下料漏斗等部件组成，如图4-1和图4-2所示。

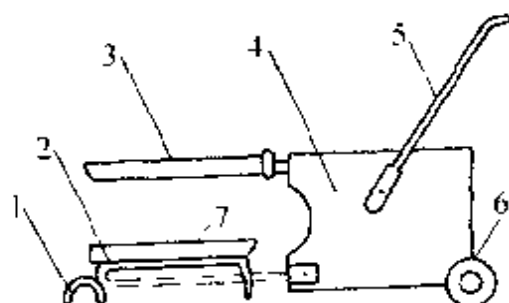


图4-1 两用机筛分工作状态

1—筛分支撑；2—接料盘；
3—筛子；4—机体；5—成型
支撑；6—胶轮；7—接料盘架

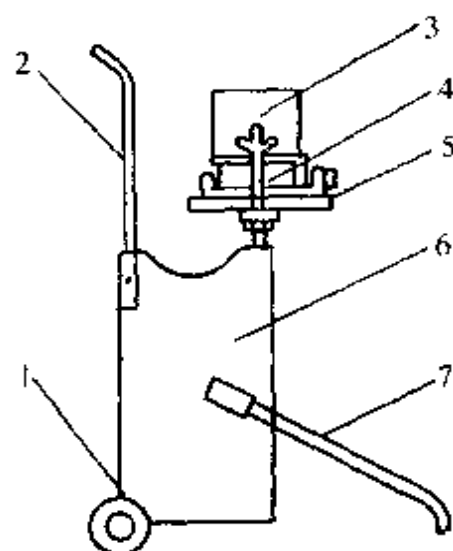


图4-2 两用机成型工作状态

1—胶轮；2—筛分支撑；
3—下料漏斗；4—试模；5—振动
台面；6—机体；7—成型支撑

机体由0.5kW电机带动凸轮产生连续简谐振动，频率为2800~3000次/min，振幅为 1 ± 0.1 mm，筛子孔径为 $\phi 5$ mm。

将机体平放，装上筛子（图4-1），可筛分混凝土中的砂浆；卸下筛子，将机体翻转 90° 使之直立，装上振动台面、试模及下料漏斗（图4-2），可振动成型湿筛砂浆试件。

3. 专用压蒸仪

采用装有压力表的 $\phi 240$ mm压蒸锅，如图4-3所示。压力表盘尺寸为 $\phi 55$ mm，量程为0~250kPa。

压蒸仪配用1.5kW电炉加热。将试件带模放入盛有沸水的压蒸仪内压蒸养护时，正常情况下，加盖安全阀约15min后，锅内蒸汽压力达到并稳定在 100 ± 10 kPa，温度约为 120°C 。

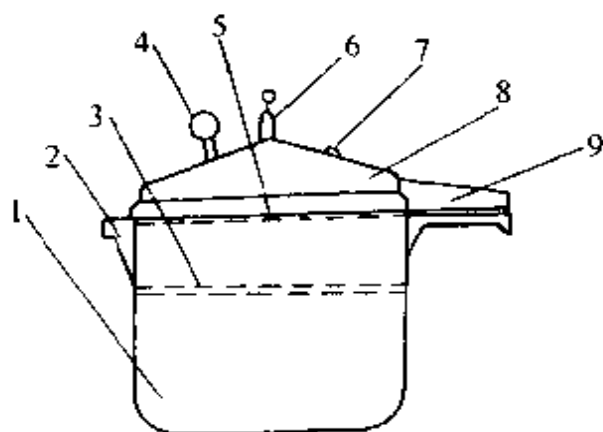


图 4-3 专用压蒸仪结构

- 1—锅体；2—小手柄；3—蒸屉；
4—压力表；5—密封圈；6—限压阀；
7—易熔塞；8—锅盖；9—手把

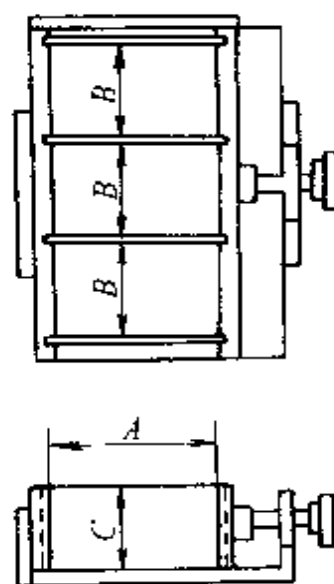


图 4-4 试模结构

4. 湿筛砂浆专用试模

湿筛砂浆专用试模包括可装卸的三联钢模和钢盖板。钢模组装后内壁互相垂直，有效尺寸为 $31.6\text{mm} \times 31.6\text{mm} \times 50\text{mm}$ 。试模结构如图 4-4 所示，尺寸精度要求如表 4-1。

试模尺寸 表 4-1

符号	制造尺寸 (mm)	磨损后允许尺寸 (mm)
A	50	
B	31.6 ± 0.1	31.6 ± 0.1
C	31.6 ± 0.1	31.6 ± 0.1

5. 其他设备

台秤：秤量 5kg，感量 5g。

天平：秤量 100g，感量 0.1g。

砂浆搅拌锅、拌和铲、小刀、方形搪瓷盘（或铁皮制作的料盘，尺寸约 $250\text{mm} \times 400\text{mm}$ ）、秒表等。

6. 专用促凝剂

CS 或 CAS 专用促凝剂，每次试验用量 5g，采用分析纯或化学纯的化学试剂按表 4-2 的配方配成。一般情况下用 CS 促凝剂，当混凝土掺用粉煤灰或缓凝型外加剂时，可用 CAS 促凝剂。为提高促凝剂的均匀分散性，应事先将所用化学试剂（白色颗粒）分

别研细，再按一次用量以塑料袋密封分装，应在阴凉干燥处存放，防止受潮结块。

促凝剂配方（质量比例：%）

表 4-2

名称	Na_2CO_3 无水碳酸钠 (%)	Na_2HSO_4 无水硫酸钠 (%)	NaHAIO_2 铝酸钠 (%)
CS	75	25	—
CAS	60	25	15

三、试验步骤

1. 试验准备

(1) 将试模擦净，四周模板与底座的接触面上涂抹黄油，紧密装配，防止漏浆。试模内壁均匀刷一薄层机油。

(2) 压蒸锅内加水至离蒸屉约 20mm 的高度，将水烧沸并检查压蒸锅是否漏汽。如漏汽，须采取相应改善措施（更换密封圈等）。

2. 筛取新拌混凝土的湿筛砂浆试样

(1) 在现场或试验室成型标准养护 28d 龄期混凝土（抗压、抗折强度）试件的同时，称取有代表性的新拌混凝土试样约 4~5kg 均匀摊放在两用机的筛子中。筛面及其他用具的表面均应事先用湿布擦拭。

(2) 开动两用机，手持小铲轻轻翻拌筛内的混凝土拌合物，筛至粗集料表面不沾砂浆并基本不见砂浆落入接料盘为止。为防止试样中水分损失，筛分工作应力求快速。

(3) 混凝土筛分完毕后，立即将接料盘中的湿筛砂浆试样拌匀，并用经湿布擦过的拌和锅称取 500g 砂浆试样。

3. 在砂浆试样中加入促凝剂

将砂浆试样摊平，均匀撒入规定量的促凝剂，按动秒表开始计时并立即用湿布擦过的拌和铲迅速将砂浆翻拌、拨压 30s。翻拌时，锅沿逆时针方向转动，铲沿顺时针方向翻拌、拨压，每翻拌

一次，约拨压 3~4 次，共反复 15 次左右。

4. 成型试件

(1) 将加有促凝剂的湿筛砂浆试样通过两用机的下料漏斗一次加入试模中。

(2) 开动两用机，振动成型试件。振动成型时间根据混凝土坍落度参照表 4-3 选定。

振动成型时间选用参考表

表 4-3

混凝土坍落度 (mm)	0~50	55~100	105~150	>150
试件振动成型时间 (s)	60	50	10	30

(3) 从两用机上取下试模，用小刀将高出试模的砂浆轻轻刮去、抹平并盖上事先刷过机油的钢盖板。

5. 试件蒸压养护

(1) 从加入促凝剂起至 5min 时，将带模的试件放入水已烧沸的压蒸仪内压蒸养护。压蒸时间从加盖、压阀后起计，一般为 1h。采用快硬水泥时，可缩短为 30~40min；使用缓凝型外加剂或掺粉煤灰混合材时，可延长至 1.5h。适宜的压蒸时间应通过试验确定。

(2) 记录压蒸过程中的升压时间（加盖锅盖后至蒸汽压力达到 $100 \pm 10 \text{ kPa}$ 并且开始释放蒸汽时）各次试验应基本相同，为 15min 左右。如发现异常，应查找原因并及时处理，所作试验无效。

(3) 压蒸养护到规定时间（允许误差为 $\pm 2 \text{ min}$ ）时，切断电源，将压蒸锅从电炉上搬下，去阀放汽，在确认锅内无蒸汽压力后，开盖取出试模，立即拆模进行试件抗压强度试验。

6. 测定快硬砂浆抗压强度

(1) 检查并放正压力机球座，球座应转动灵活，防止试件局部或偏心受压。

(2) 清除试件端面和压力机加压板上的砂粒或杂物，将试件直立放在加压板的中心，均匀加荷，直至试件破坏。

四、试验结果计算

1. 按下式计算快硬湿筛砂浆抗压强度

$$R_{1h} = \frac{P}{F} \quad (4-1)$$

式中 R_{1h} ——促凝压蒸 1h 快硬湿筛砂浆抗压强度 (MPa);

P ——破坏荷载 (N);

F ——试件受压面积 (1000mm^2)

快硬砂浆强度值计算精确至 0.01MPa。

以三个试件测值的算术平均值作为试验结果。如任一测值与中值的差值超过中值的 15%，则取中值为试验结果；当有两个测值与中值的差值超过上述规定时，则该组试验结果无效。

2. 推定混凝土强度

(1) 采用事先建立且推定精度满足使用要求的混凝土抗压、抗折强度推定试验式 (见式 4-2 至式 4-5)，根据快硬湿筛砂浆抗压强度试验结果 R_{1h} ，推定标准养护 28d 龄期的混凝土抗压强度 R_{28} 及抗折强度 R_{b28} 如下：

$$\hat{R}_{28} = a_1 + b_1 R_{1h} \quad (4-2)$$

$$\hat{R}_{b28} = a_2 + b_2 R_{1h} \quad (4-3)$$

$$\text{或 } \hat{R}_{28} = A_1 R_{1h}^{B_1} \quad (4-4)$$

$$\hat{R}_{28} = A_2 R_{1h}^{B_2} \quad (4-5)$$

式中 R_{28} ——混凝土试件标准养护 28d 的抗压强度 (MPa);

R_{b28} ——混凝土试件标准养护 28d 的抗折强度 (MPa);

R_{1h} ——促凝压蒸 1h 的快硬湿筛砂浆试件抗压强度 (MPa);

a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 或 A_1 、 B_1 、 A_2 、 B_2 ——待定系数^② (与原材料性质有关, 通过试验确定)。

① 压蒸养护时间为 0.5h 或 1.5h 时，强度相应记为 $R_{0.5h}$ 或 $R_{1.5h}$ 。

② 进行预备试验建立混凝土强度推定经验式的方法符合附录 A 的规定。

(2) 推定标准养护 28d 抗压、抗折强度时，快硬湿筛砂浆强度的测值应在预备试验所得强度经验式的回归线范围内，不得外推。

4.1.2 4h 压蒸养护法

一、目的和适用范围

用混凝土标准试件经压蒸养护 4h 测定的快硬强度，在事先建立同材料混凝土强度推定式的条件下，可推算混凝土标准养护 28d 的抗折和抗压强度，用于现场质量管理和混凝土配合比设计及调整。

二、仪器设备

(1) 主要仪器设备应符合 JTJ 053-94 规程的 4.1.3 条规定。

(2) 对于抗折强度试验，仪器设备还应符合 JTJ 053—94 规程的 4.11.3 条规定。

(3) 压蒸养护器：如图 4-5 所示，内部尺寸：直径 600mm，长度 800mm，电热自控卧式，三相电源，电压 380V，功率 9kW；标准工作压力 (0.142 ± 0.005) MPa。

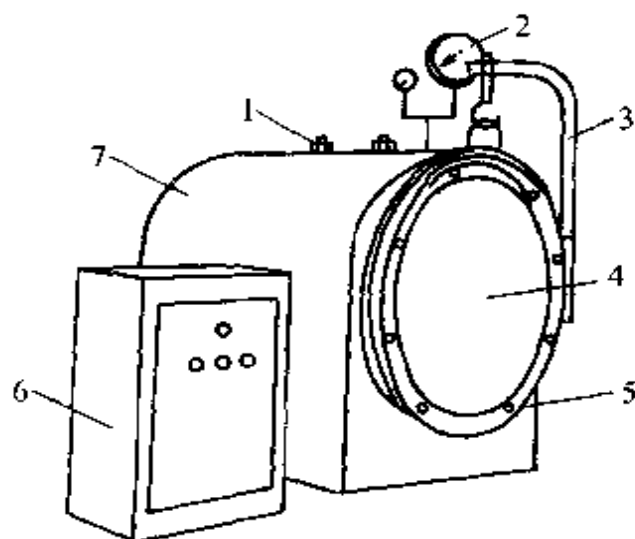


图 4-5 压蒸养护器

1—安全阀；2—压力表；3—吊臂；
4—侧盖；5—紧固螺丝；6—电控器；7—箱体

(4) 铁板: $570\text{mm} \times 170\text{mm} \times 10\text{mm}$ 三块, $170\text{mm} \times 170\text{mm} \times 10\text{mm}$ 三块。

三、试件制备

(1) 混凝土抗折强度试件为直角棱柱体小梁, 其尺寸为 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 550\text{mm}$; 混凝土抗压强度试件为正立方体, 尺寸为 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$, 骨料粒径均不应大于 40mm 。

(2) 抗折强度和抗压强度试件各以三个为一组。

(3) 试件成型应符合 JTJ 053—94 规程 (4.1.4 条) 的规定。

四、试件的压蒸养护

(1) 制备试件过程中, 预先将压蒸养护器加水到规定标记, 盖上侧盖, 搭上螺丝 (只搭一个螺丝, 不要旋紧), 接通电源, 将水加热至沸腾。

(2) 打开养护器侧盖, 将试件连模一同放入养护器内, 每个试模均盖一块厚度 10mm 的钢板, 钢板与试件接触面应涂一薄层矿物油。每次试验同时放入三个抗折试件和三个抗压试件, 但必须与建立混凝土强度推定关系式时的情况一致。

(3) 盖上侧盖, 旋紧规定数量的螺丝, 继续加热。从关闭侧盖到达规定工作压力 ($0.142\text{MPa} \pm 0.005\text{MPa}$) 的时间应与建立强度推定关系式时升压时间相同, 误差控制在 $60 \pm 10\text{min}$ 以内, 超出规定时间试件作废。

(4) 养护器达工作压力时, 继电器自动切断电源; 低于工作压力时, 自动接通电源加热。在工作压力下, 试件养护 3h (误差 $\pm 3\text{min}$)。

(5) 达养护时间后, 切断电源, 打开排气阀门排气。至养护器内压力与大气压持平, 排气时间应控制在 $(10 \pm 1)\text{min}$ 内排完。打开侧盖, 取出试件, 立即拆模, 准备进行强度试验。

五、测定压蒸试件的快硬强度

(1) 抗折强度试验与 JTJ 053—94 规程 4.11.4 条基本相同, 并按该规程 4.11.5 条规定计算试验结果。

(2) 抗压强度试验与 JTJ 053—94 规程 4.8.4 条基本相同, 并

按该规程 4.8.5 条规定计算试验结果。

(3) 试件从拆模到强度试验结束, 应在 30min 内完成。

六、混凝土标准养护 28d 抗折与抗压强度经验式的推定

根据压蒸试件的快硬抗折与抗压强度, 采用下列事先建立的强度关系式, 分别推定标准养护 28d 龄期混凝土的抗折 R_{th} 与抗压强度 R 。

$$\hat{R}_{th} = A_1 + B_1 R_{th} \quad (4-6)$$

$$\hat{R} = A_2 + B_2 R_{th} \quad (4-7)$$

式中 R_{th} 、 R_{th} — 分别为压蒸试件快硬抗折与抗压强度(MPa);
 A_1 、 B_1 、 A_2 、 B_2 — 通过试验求得的系数(与原材料性质和压蒸养护方法有关)。

七、有关事项

用该试验推定混凝土标准养护 28d 龄期的抗折与抗压强度, 应事先建立同材料、同压蒸方法的混凝土强度推定关系式, 并经现场试用验证, 证明其推定精度满足使用要求后, 方可正式采用。

进行预备试验建立混凝土强度推定式的统计方法及精度要求应符合附录 A 的规定。

4.1.3 沸水法、80℃热水法及 55℃温水法

一、总则

(1) 本节的试验方法。是用加速养护的混凝土试件强度早期推定标准养护 28d (或其他龄期) 的混凝土强度。推定的混凝土强度适用于混凝土生产中的质量控制以及混凝土配合比的设计和调整。

适用于符合国家标准规定的各种硅酸盐水泥拌制的普通混凝土。

注: 适用于掺用木质素磺酸钙的普通混凝土, 当掺用其他类型外加剂时, 须经试验确定。

(2) 加速养护试验方法包括沸水法、80℃热水法及 55℃温水法三种。使用时, 可根据具体条件选择。

(3) 混凝土试件的尺寸、成型方法和拌合物的坍落度、工作度、立方体抗压强度的测试方法, 以及不同尺寸试件强度的换算

系数，按《普通混凝土拌合物性能试验方法》(GBJ 80) 及《普通混凝土力学性能试验方法》(GBJ 81) 进行。

二、加速养护设备

(1) 加速养护箱：加速养护箱的形状、尺寸应根据试件的尺寸、数量及在箱内放置形式而定。试件与箱壁之间及各个试件之间至少应留有 50mm 的空隙，试件底面距热源应不小于 100mm。在整个养护期间，箱内水面应保持在试件顶面 50mm 以上 (图 4-6)。

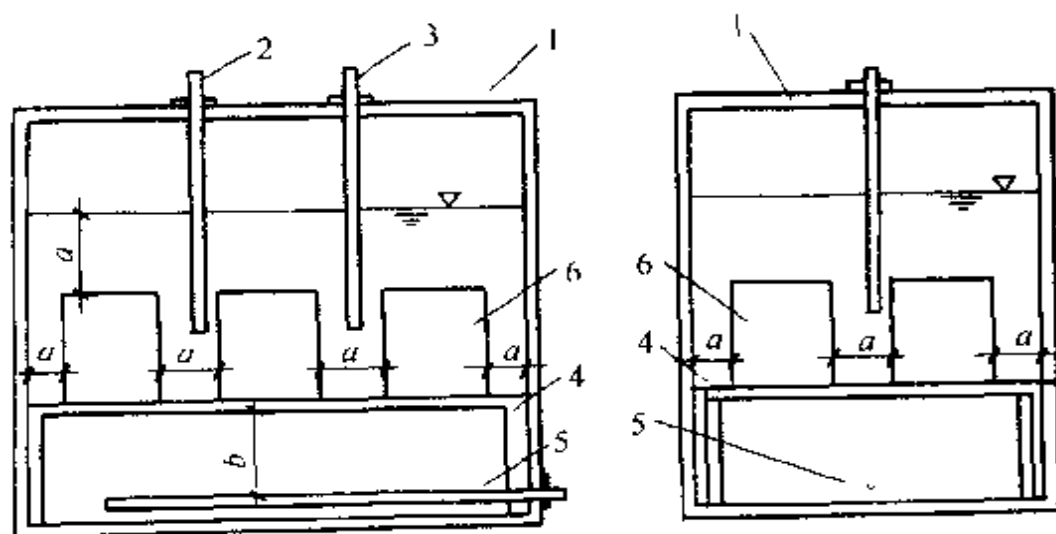


图 4-6 加速养护箱示意图

1—养护箱由双层金属板中填保温材料组成；2 连接温度自动控制系统的热电阻或接点温度计；3 普通温度计；4 放置试件的支架；5—管状电热元件；6—试件 $a \geq 50\text{mm}$ ； $b \geq 100\text{mm}$

加速养护箱应能保证箱内各处水温保持在规定的温度 $\pm 2^\circ\text{C}$ 之内。热源应能保证于试件放入水箱后 15min 内使箱内水温恢复到规定的温度。加速养护箱具有自动控制温度装置时^①，还应用独立于温度自动控制系统之外的温度计或其他的测温装置校核水的温度。

(2) 试模：带模加速养护时，试模应具有密封装置，以保证不漏失砂浆水分而影响混凝土的组成。试验时可用特制的密封试

① 用于沸水法时，加速养护箱可不用温度自动控制装置。

模，也可在普通试模上覆盖橡皮垫，加盖钢板，用夹具夹紧，使试模密封（图 4-7）。

三、加速养护试验方法

1. 沸水法

试件成型、抹面后，随即以橡皮垫或塑料布覆盖表面，放在标准养护室（ $20\text{C}\pm 3\text{C}$ ）内静置。从加水拌和、取样，至成型、静置结束及脱模共 $24\text{h}\pm 15\text{min}$ 。

将脱模试件浸入加速养护箱沸水中。箱中水温应于浸放试件后 15min 内恢复到沸点。整个养护期间，箱中水应保持沸腾。

在整个养护期间内，必须连续或定时测定并记录养护水的温度。

注：1. 当混凝土早期强度过低，不宜脱模加速养护时，试件应带模加速养护。

2. 为防止沸水箱中水分过多蒸发，在装有温度控制装置时，允许将水温控制在沸点下 $1\sim 2\text{C}$ 。

2. 80C 热水法

试件成型、抹面后，随即密封试模。从加水拌和、取样，至成型、静置结束共 $1\text{h}\pm 10\text{min}$ 。然后，将带有试模的试件浸入养护箱 80C 热水中。箱中水温应于浸放试件后 15min 内恢复到 $(80\pm 2)\text{C}$ 。整个养护期间，箱中水温应保持 $(80\pm 2)\text{C}$ 。

在整个养护期间内必须连续或定时测定并记录养护水温度。

试件在 $80\pm 2\text{C}$ 热水中养护 $5\text{h}\pm 5\text{min}$ ，取出带模试件，脱模，在室温下静置，使其冷却，共 $1\text{h}\pm 10\text{min}$ 。然后，于试件龄期为 $7\text{h}\pm 15\text{min}$ 时按有关标准规定的方法进行抗压试验，测得其加速养护强度。

3. 55C 温水法

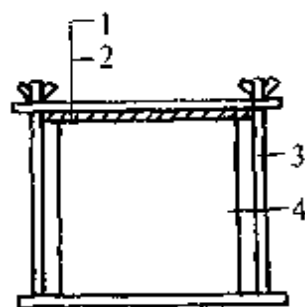


图 4-7 试模密封装置示意图

- 1—钢板，厚 $6\sim 8\text{mm}$ ，长、宽视试模尺寸而定；2—橡皮垫，厚 $3\sim 5\text{mm}$ ，长、宽略大于试模外缘尺寸；3—拉杆， $\phi 6\sim 8\text{mm}$ ；4—试模

试件成型、抹面后，随即密封试模。从加水拌和、取样，至成型、静置结束共 $1\text{h} \pm 10\text{min}$ 。然后将带有试模的试件浸入养护箱 55°C 温水中。箱中水温应于浸放后 15min 内恢复到 $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。整个养护期间，箱中水温应保持 $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。

在整个养护期间内，必须连续或定时测定并记录养护水温度。

试件在 $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$ 温水中养护 $23\text{h} \pm 15\text{min}$ 。取出带模试件，脱模，在室温下静置，使其冷却，共 $1\text{h} \pm 10\text{min}$ 。然后，于试件龄期为 $25\text{h} \pm 15\text{min}$ 时按有关标准规定的方法进行抗压试验，测得其加速养护强度。

四、混凝土强度关系式的建立与强度的推定

(1) 用加速养护混凝土试件强度推定标准养护 28d (或其他龄期) 强度时，应先通过专门试验建立两者之间的强度关系式。

(2) 配制不同强度等级混凝土时，可采用线性回归方法建立强度关系式：

$$\hat{R} = a + bR_j \quad (4-8)$$

配制单一强度等级混凝土时，可采用换算系数方法建立强度关系式：

$$\hat{R} = KR_j \quad (4-9)$$

式中 \hat{R} ——标准养护 28d (或其他龄期) 混凝土试件强度的推定值 (MPa)；

R_j ——加速养护的混凝土试件强度测定值 (MPa)；

a 、 b 、 K ——待定系数。

其中：

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{R_j}$$

R_j ——标准养护 28d (或其他龄期) 混凝土试件强度测定值 (MPa)。

(3) 为建立混凝土强度关系式而进行专门试验时，应采用与工程相同的原材料制作试件。试样拌合物的坍落度或工作度应与工程所用的相近。

每一混凝土试样应成型两组试件，组成一个对组。其中一组应

按本方法规定进行加速养护，测得加速养护强度；另一组应按有关标准规定进行标准养护，测得 28d（或其他龄期）标准养护强度。

当建立强度关系式（4-8）时，混凝土试件数量应不小于 30 对组。混凝土试样拌合物的水灰比应不少于三种。每种水灰比拌合物成型的试件对组数宜相同，其最大和最小水灰比之差不宜小于 0.2。且使常用的水灰比值，位于所选水灰比范围的中间区段。

当建立强度关系式（4-9）时，混凝土试件数量应不少于 10 对组。混凝土试样拌合物水灰比与配制该强度等级混凝土实际所用的水灰比相近。

（4）当应用专门建立的强度关系式推定实际工程用的混凝土强度时，应与建立强度关系式时的条件相同；其混凝土试件的加速养护强度应在事先建立强度关系式时的最大、最小加速养护强度值范围内，不得外延。

（5）混凝土强度关系式，可利用应用过程中累积的数据加以校核，若无异常情况时，可用累积的数据加原有试验数据修订原混凝土强度关系式。若有异常情况，应查找原因，及时处理。当发现有系统误差时，应重新建立强度关系式。

进行预备试验建立混凝土强度推定式的统计方法及精度要求应符合附录 A 的规定。

4.2 水泥快速试验方法

4.2.1 1.5h 促凝压蒸法

一、目的和适用范围

（1）在事先已有精度满足要求的强度推定经验式的条件下，通过测定促凝压蒸 1.5h 的水泥胶砂快硬强度，快速推定水泥胶砂 28d 龄期（抗压、抗折）强度。

（2）本试验快速推定的水泥胶砂 28d 龄期强度，可供水泥生产厂及使用单位及时检测水泥质量或用于混凝土配合比设计，不作为仲裁水泥强度等级合格与否的依据。

(3) 本试验原则上适用于硅酸盐水泥、普通水泥、矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥及复合水泥。

二、仪器设备

(1) 抗压试验机或万能试验机：表盘量程不超过 100kN，示值允许误差为标准荷载的 $\pm 2\%$ ，示值变动度不超过 1%。

(2) 压蒸仪：采用电热手提式高压消毒器，如图 4-8 所示。主体和盖为优质铸铝合金制成，盖上装有安全阀和压力表，铝质内桶的容积为 $\phi 280\text{mm} \times 280\text{mm}$ （本试验不用内桶，另加工制作 1 个高度不低于 150mm 的算架），电热管额定功率为 2kW，工作蒸汽压力为 140~160kPa，相应温度约为 126~128℃。当采用外加热型高压消毒器时，配用 2kW 电炉。将试件带模放入盛有沸水的压蒸仪中压蒸养护时，从加盖、压阀后至蒸汽压力升至工作压力的时间为 20~30min。

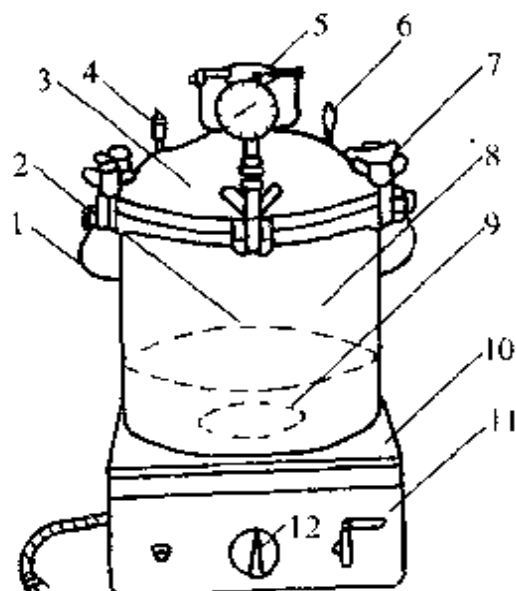


图 4-8 压蒸仪

（电热手提式高压消毒器）注：1—提手；2—算架；3—盖；4—放汽阀；5—压力表；6—安全阀；7—紧固螺栓；8—主体；9—电热管；10—电流控制箱；11—放水龙头；12—开关

如采用其他规格的压蒸设备，需在试验报告中注明。

(3) 架盘天平 (1)：精度应为 $\pm 1\text{g}$ （称水泥、砂用）。

(4) 架盘天平 (2)：称量 100g，感量 0.1g（配促凝剂用）。

(5) 试模盖板：由钢板制成，200mm×150mm×10mm，上下板面光洁、平整。

(6) 秒表。

(7) 0.9mm 方孔筛。

(8) 水泥胶砂搅拌机、胶砂振实台、规格为 40mm×40mm×160mm 的三联钢模、刮平刀及 40mm×40mm 抗压夹具等，均应符合《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》GB/T 17671 的要求。

三、材料和试剂

(1) 水泥：水泥试样应充分拌匀，通过 0.9mm 方孔筛并记录筛余物。

(2) 标准砂：应符合《水泥胶砂强度检验方法》GB/T 17671 的中国 ISO 标准砂的质量要求。

(3) 水：必须是洁净的淡水。

(4) CS 专用促凝剂：采用化学试剂无水碳酸钠 Na_2CO_3 和无水硫酸钠 NaHSO_4 按 3 : 1 的质量比合成。为提高促凝剂的分散均匀性，宜事先将所有化学试剂（白色颗粒）研细，再采用塑料袋按每次试验用量 5g 密封分装，于阴凉干燥处保存，防止受潮结块。化学试剂的规格：化学纯或分析纯均可。

四、试验步骤

1. 试验准备

(1) 把试模擦净，四周的模板与底座的接触面应涂上黄油，紧密装配，防止漏浆，内壁均匀刷一薄层机油。将准备好的试模连同下料漏斗一起固定在水泥胶砂振动台上。

(2) 将压蒸仪中的水加至离算约 50mm 的高度并烧开，检查压蒸仪是否漏气，如有漏气现象，必须采取相应的改善措施（更换密封胶圈或采取其他措施）。

(3) 称取试验材料：一组三个试件的材料用量如表 4-4 所示。

三个试件的材料用量

表 4-4

材 料 名 称	用 量
水泥 (g)	450 ± 2
标准砂 (g)	1350 ± 5
CS 促凝剂 (g)	5 ± 0.1
水 (mL)	225 ± 1

试验室的温度应为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度大于 50%。水泥试样、标准砂、试模、拌和水等的温度应与室温相同。

(4) 配制 CS 促凝剂溶液：将 CS 促凝剂 5g 加入规定量的拌和水中，充分搅拌使之熔化。

2. 拌制水泥胶砂

把水（促凝剂溶液）加入锅里，再加入水泥，把锅放在固定架上，上升至固定位置。然后立即开动机器，低速搅拌 30s 后，在第二个 30s 开始的同时均匀地将砂子加入。当各级砂是分装时，从粗粒级开始，依次将所需的每级砂量加完。把机器转至高速再拌 30s。停拌 90s，再在第一个 15s 内用一胶皮刮具将叶片和锅壁上的胶砂刮入锅中间。再在高速下继续搅拌 60s。各个搅拌阶段误差应在 $\pm 1s$ 以内。

3. 成型试件

按照《水泥胶砂强度检验方法》GB/T 17671 的有关规定进行。

4. 试件压蒸养护

(1) 试件成型后即加盖事先刷过机油的钢盖板，并将试件带模放至水已烧沸的压蒸仪中压蒸养护。加盖、压阀后立即记录压蒸养护的始、末时间。试件的压蒸养护时间从压蒸仪加盖、压安全阀时起计为 1.5h，允许偏差为 $\pm 2min$ 。

(2) 压蒸过程中应经常观察压力表示值，记录自压蒸仪加盖、压阀至蒸汽压力达到 140~160kPa 并开始释放蒸汽的时间。每次试验时的升压时间应基本相同，为 $25 \pm 5min$ 。压蒸过程中如发现漏汽或安全阀座堵塞等致使蒸汽压力产生异常现象时，应及时处理，所作试验作废；当试验室的电压变化较大致使升压时间不稳定时，应采用稳压电源。

(3) 压蒸养护到规定时间时，将压蒸仪从电炉上搬下，提阀放汽，在确认压蒸仪内无蒸汽压力后，开盖取出试模，立即拆模，待试件冷却约 10min 后，即测定快硬胶砂的抗压强度。

5. 测定快硬胶砂抗压强度

(1) 检查压力机和抗压夹具的球座，必须转动灵活，防止试件偏心受压。

(2) 清除试件受压面与抗压夹具加压板上的砂粒或杂物，并使夹具对准压力机中心。

(3) 将试件两端轮流进行抗压试验。试验时, 以试件的侧面为受压面, 试件端头伸出夹具约 10mm, 加荷速度 $2400\text{N/s} \pm 200\text{N/s}$, 均匀加荷直至试件破坏。

五、试验结果计算

1. 计算快硬水泥胶砂抗压强度

$$R_{1.5h} = \frac{P}{A} \quad (4.10)$$

式中 $R_{1.5h}$ ——快硬水泥胶砂抗压强度 (MPa);

P ——试件的破坏荷载 (N);

A ——试件受压面积, 即 $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ (mm^2)。

抗压强度计算值精确至 0.1MPa。

以一组三个棱柱体上得到的六个抗压强度测定值的算术平均值为试验结果。如六个测定值中有一个超出六个平均值的 $\pm 10\%$, 就应剔除这个结果, 而以剩下五个的平均值为结果。如果五个测定值中再有超过它们平均数 $\pm 10\%$ 的, 则此组结果作废。

2. 推定标准养护 28d 龄期的水泥胶砂抗压、抗折强度

(1) 采用事先通过试验建立的强度推定经验式^①, 根据快硬水泥胶砂抗压强度试验结果, 推算出标准养护 28d 龄期的水泥胶砂抗压强度和抗折强度。

(2) 推定标准养护 28d 龄期的水泥胶砂抗压强度 R_{28} 和抗折强度 R_{b28} 时, 所测快硬水泥胶砂强度 $R_{1.5h}$ 的测值应在建立强度推定经验式试验所得 $R_{28} = a + bR_{1.5h}$ 或 $\hat{R}_{28} = A \cdot R_{1.5h}^B$ 回归线的范围内, 不得外推; 快速试验的水泥样品, 其品种、牌名须与事先建立强度推定式试验所用水泥相同。

4.2.2 24h 湿热养护法

一、目的和适用范围

(1) 在事先已有精度满足要求的强度推定经验式的条件下, 通

① 进行预备试验建立强度推定经验式及推定精度校核的方法应符合附录 B 的规定。

过测定 55℃ 湿热养护 24h 的水泥胶砂快硬强度来推定水泥 28d 抗压强度，用于水泥生产和使用单位进行水泥质量控制或混凝土配合比设计，不作为水泥品质鉴定的最终结果。

(2) 本方法适用于硅酸盐水泥、普通水泥、矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥和复合水泥。

二、仪器设备

(1) 胶砂搅拌机、振实台、试模、刮平刀、抗压试验机及抗压夹具应符合《水泥胶砂强度检验方法》GB/T 17671—99 的有关规定。

(2) 湿热养护箱：

湿热养护箱，如图 4-9 所示，由箱体和温度控制装置组成。箱体内腔尺寸 650mm×350mm×260mm；腔内装有试件架，试件架距箱底高度为 150mm；箱顶有密封的箱盖；箱壁内填有良好的保温材料。养护箱用 1kW 电热管加热。温度控制装置由感温计及定时控制器组成。

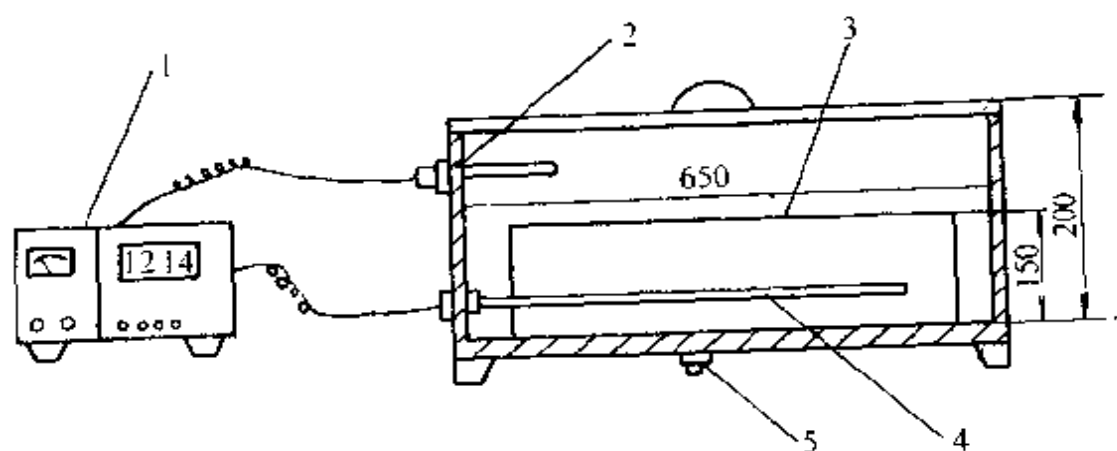


图 4-9 湿热养护箱示意图（尺寸单位：mm）

1—恒温定时控制器；2—感温探头；3—试件架；4—电热管；5—放水阀

三、材料

(1) 水泥试样应充分拌匀，通过 0.9mm 方孔筛并记录筛余物。

(2) 标准砂应符合《水泥强度试验用标准砂》GB/T 17671 中

国 ISO 标准砂的质量要求。

(3) 试验用水必须用洁净的淡水。

四、试验步骤

(1) 试验准备、材料用量、水泥胶砂的拌制及试件成型均与《水泥胶砂强度检验方法 (ISO 法)》GB/T 17671—99 有关规定相同。

(2) 试件成型后, 立即连同试模放入温度为 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度大于 90% 的标准养护箱内预养 $3\text{h} \pm 15\text{min}$ 。

(3) 将带模试件放入湿热养护箱的试体架上, 盖好箱盖, 从室温开始加热。在 $1.5\text{h} \pm 10\text{min}$ 内等速升温到 55°C , 并在 $55 \pm 2^\circ\text{C}$ 下恒温 $18\text{h} \pm 10\text{min}$ 。然后, 停止加热。

(4) 打开箱盖, 端出试模, 在室温下冷却 $50 \pm 10\text{min}$ 。

(5) 脱模并立即进行抗压强度试验。

(6) 测定快硬水泥胶砂抗压强度及试验结果计算:

按《水泥胶砂强度检验方法》GB/T 17671—1999 的规定进行。

(7) 推定水泥胶砂 28d 抗压强度 (MPa):

按下式计算水泥胶砂 28d 抗压强度:

$$\hat{R}_{28} = A + B \times R_{21\text{h}} \quad (4-11)$$

式中 \hat{R}_{28} ——推定的水泥胶砂 28d 抗压强度 (MPa);

$R_{21\text{h}}$ ——快硬水泥胶砂抗压强度 (MPa);

A 、 B ——待定常数 (与水泥性质有关)。

五、推定公式的建立

为提高推定水泥 28d 强度的准确性, 推定公式应由检测单位通过试验确定。推定公式的建立方法及推定式的精度要求应符合附录 B 的规定。

注意事项:

(1) 混凝土或水泥强度推定式 $Y = a + bX$ (或 $y = A + BX^B$) 的系数 a 和 b (或 A 和 B) 主要与试验采用的原材料有关。因此, 预备试验所用的原材料 (水泥、砂、石、外加剂等) 必须有代表

性（混凝土用料与现场相同）。在水泥繁杂的情况下，不同品种、强度等级、生产厂家的水泥有可能建立一个适用的强度推定式。进行预备试验时，不同水泥试验的总数应不小于 30 对组，所得强度推定式必须有足够的精度，即相关系数 r 必须高度显著，回归离差系数 C_v ，剩余标准差 s 及平均试验误差 \bar{v} 应满足精度要求。否则，应按不同水泥分别建立相应的强度推定式。

(2) 在现场取样建立混凝土强度推定式的情况下，如所有试验数据均取自单一强度等级的混凝土，强度推定式仍根据最小二乘法原理回归分析求得。

对单一强度等级的混凝土采取换算系数法建立混凝土强度推定式： $\hat{R}_{28} = KR_{快}$ $\left[K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{28}/R_{快}) \right]$ 。经实测数据的计算比较认为：用换算系数法建立的单一强度等级混凝土强度推定式，其推定精度不如用回归分析法建立的高。由于取自单一强度等级混凝土的试验数据点在 $R_{28}-R_{快}$ 坐标图上几乎成为一团。所以相关性较差。此时可不必计较所得 $R_{28}-R_{快}$ 关系式的相关系数 r 的大小，只要剩余标准差 s 及离差系数 C_v 满足使用要求，该强度推定式即可使用。

附 录

A. 混凝土强度推定经验式的建立 方法及精度要求

A. 0. 1 目的和适用范围

建立混凝土（抗压、抗折）强度推定经验式，用于 1h 促凝压蒸法快速推定混凝土强度试验。

A. 0. 2 仪器设备与材料

(1) 第四章 4. 1 节 [混凝土强度快速试验方法 (1h 促凝压蒸法)] 所用仪器设备及促凝剂。

(2) JGJ 053- 94 规程 4. 9 节“混凝土轴心抗压强度试验”及 4. 11 节“混凝土抗折强度试验”所用仪器设备。

A. 0. 3 试验步骤

(1) 在试验室采用与现场混凝土相同的原材料，设计 4~6 种灰水比（如 1. 25、1. 50、1. 75、2. 00、2. 25、2. 50 等）的混凝土配合比。最大、最小灰水比之差不应小于 1，且现场混凝土上的灰水比必须包括在此灰水比范围中。混凝土的石子用量或砂率适中，坍落度与施工要求相同。

(2) 按照设计配合比相继拌制各级混凝土，每种配合比均同时取样分别按第四章 4. 1. 1 第三条、JGJ 053--94 规程 4. 8 节及 4. 11 节的规定测定促凝压蒸 1h 湿筛砂浆抗压强度 R_{1h} 、混凝土 28d 抗压强度 R_{28} 及抗折强度 R_{b28} 。一般情况下，建立一个推定经验式的数据不宜少于 30 组，因此，各个配合比的重复试验次数不

宜少于 5~8 次。

如直接取现场混凝土进行预备试验, 应注意取样混凝土的强度等级范围 (尽量取不同强度等级的混凝土) 及材料的均一性。

A. 0. 4 试验结果计算

1. 建立混凝土强度推定经验式

将各组快硬湿筛砂浆抗压强度及相应的混凝土 28d 抗压、抗折强度结果汇总, 进行数据回归分析, 得出直线型 ($\hat{R}_{28} = a + bR_{1h}$) 或幂函数型 ($\hat{R}_{28} = AR_{1h}^B$) 的混凝土抗压、抗折强度推定经验式。

(1) 直线型推定经验式及其相关系数 r 、剩余标准差 s 、离差系数 C_v 的计算

为了便于书写, 用 x 表示湿筛砂浆快硬强度 R_{1h} ; 用 y 表示混凝土 28d 强度 R_{28} , 则混凝土强度推定经验式可用通用形式表示如下:

$$\bar{y} = a + bx \quad (\text{A-1})$$

则
$$b = \frac{L_{xy}}{L_{xx}} \quad (\text{A-2})$$

$$a = \bar{y} - bx \quad (\text{A-3})$$

其中
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{A-4})$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (\text{A-5})$$

$$\begin{aligned} L_{xx} &= \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \\ &= \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \end{aligned} \quad (\text{A-6})$$

$$\begin{aligned} L_{xy} &= \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \\ &= \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \end{aligned} \quad (\text{A-7})$$

为了计算相关系数和剩余标准差, 还要计算

$$L_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \quad (\text{A-8})$$

以上各式中: n — 试验组数;

x_i — 任意一组试验所得湿筛砂浆快硬强度的测定值 (MPa), ($i=1, 2, 3, \dots, n$);

y_i — 任意一组试验所得混凝土标准养护 28d 龄期强度的测定值 (MPa);

\bar{x} — n 组试验所得湿筛砂浆快硬强度测定平均值 (MPa);

\bar{y} — n 组试验所得混凝土标准养护 28d 龄期强度测定值的平均值 (MPa)。

直线回归方程 $\hat{y} = a + bx$ 的相关系数 r 、剩余标准差 s 回归离差系数 C_v 按下列各式计算:

$$\text{相关系数: } r = \frac{L_{xy}}{\sqrt{L_{xx} \cdot L_{yy}}} \quad (\text{A-9})$$

$$\begin{aligned} \text{剩余标准差: } s &= \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \\ &= \sqrt{\frac{L_{yy} - L_{xy} \cdot b}{n-2}} \\ &= \sqrt{\frac{(1-r^2)L_{yy}}{n-2}} \end{aligned} \quad (\text{A-10})$$

$$\text{回归离差系数: } C_v = \frac{s}{\bar{y}} \times 100\% \quad (\text{A-11})$$

(2) 幂函数型推定式及相关系数 r 、剩余标准差 s 及回归离差系数 C_v 的计算:

一元非线性回归方程的计算方法是通过变量变换, 使非线性方程变为直线方程形式, 只要求出变换后的直线方程的系数, 便可根据变换关系式算出原非线性方程的系数。

若采用通用形式表示混凝土强度幂函数推定式, 则 \hat{R}_{28} $= AR_{1h}^B$ 可写成:

$$\hat{y} = Ax^B \quad (\text{A-12})$$

若将式 (A-12) 变换成直线式, 则对方程两边取对数, 即:

$$\lg \hat{y} = \lg A + B \lg x \quad (\text{A-13})$$

令 $\hat{Y} = \lg \hat{y}; x = \lg x; A' = \lg A; B' = B$

则 $\hat{y} = A' + B'x \quad (\text{A-14})$

因此, 只要先将参加计算的 x 和 y 值取对数, 再进行直线回归计算, 便可求出式 (A-14) 的系数 A' 和 B' 。根据变换条件 $A' = \lg A, B' = B$, 即可求出:

$$A = 10^{A'}, B = B'$$

幂函数回归方程的相关系数 r , 剩余标准差 s 及回归离差系数 C_v 按下列各式计算:

$$\text{相关系数: } r = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{A-15})$$

$$\text{剩余标准差: } s = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (\text{A-16})$$

$$\text{回归离差系数: } C_v = \frac{s}{\bar{y}} \times 100\% \quad (\text{A-17})$$

以上各式中: y_i ——任意一组试验所得混凝土标准养护 28 d 龄期强度的测定值 (MPa);

\hat{y}_i ——根据任意一组试验所得湿筛砂浆快硬强度测定值 x_i 按强度推定式求出的混凝土强度推定值 (MPa);

\bar{y} —— n 组试验所得混凝土标准养护 28d 龄期强度测定值的平均值 (MPa)。

由式 (A-15) 和式 (A-16) 可见, 一元非线性回归方程的相关系数及剩余标准差的计算不同于直线式, 必须先根据所得回归方程计算出每个 x_i 值相应的推定值 \hat{y}_i , 方可按式 (A-15) 和式 (A-16) 计算出 r 和 s 。

所建混凝土强度推定式的相关性必须高度显著(一般情况下,室内试验的相关系数可达 0.95 左右,现场试验可达 0.85 左右;在现场混凝土强度等级单一的情况下,相关系数有可能达不到显著性程度),回归离差系数一般不应超过 10%,最大不应超过 15%。

2. 验证混凝土强度经验式的推定精度

所建混凝土强度推定经验式须经现场试用验证其推定精度,在确认推定精度满足要求后方可正式采用。使用中的经验式也须经常校核推定精度。

(1) 在现场成型标准养护 28d 龄期混凝土抗压、抗折强度试件的同时,取相同混凝土试样进行湿筛砂浆促凝压蒸 1h 快硬强度试验,根据所建强度经验式推定混凝土 28d 抗压强度或抗折强度。

(2) 在现场试验数据不少于 20~30 组的条件下,根据经验式得出的 28d 龄期混凝土强度实测值与快速推定值的平均误差百分率 \bar{V} 不宜超过 10%,最大不应超过 15%。否则,应分析原因,必要时对所建经验式进行适当修正或重新建立新的强度经验式。

平均误差百分率 \bar{V} 按下式统计:

$$\bar{V} = \left[\sum_{i=1}^n (|Y_i - \hat{Y}_i| / Y_i) / n \right] \times 100\% \quad (\text{A-18})$$

式中 \bar{V} ——平均误差百分率(%)

Y_i ——试验实测的混凝土 28d 强度 (R_{28} 或 R_{b28}) (MPa);

\hat{Y} ——根据湿筛砂浆快硬强度 (R_{1h}) 推定的 28d 强度 (MPa);

n ——试验组数。

3. 统计试验误差

在试验数据不少于 20~30 组的条件下,混凝土强度及湿筛砂浆快硬强度的平均组内试验误差 V_i 不应大于 5%,平均多天试验变异系数 \bar{V}_i 不应大于 10%。否则,应分析原因,采取相应改进措施。

(1) 按下式计算组内试验误差 V_i 及其平均值 \bar{V}_i :

$$(V_1)_i = (1/d_2) \times (R_i/\bar{R}) \times 100\% \quad (\text{A-19})$$

$$\bar{V}_1 = \sum_{i=1}^n (V_1)_i / n \quad (\text{A-20})$$

式中 $(V_1)_i$ ——任意一组试验的组内试验误差 (%)；
 \bar{V}_1 —— n 组试验的平均组内试验误差 (%)；
 d_2 ——极差系数：一组 3 个试件时， $d_2=1.693$ ， $1/d_2=0.591$ ；一组 6 个数据时， $d_2=2.534$ ， $1/d_2=0.395$ ；
 R_i ——组内极差 (1 组 n 个试件强度的最大值与最小值之差) (MPa)；
 \bar{R} ——1 组 n 个试件强度的平均值 (MPa)；
 n ——试验数据。

(2) 按下式计算多天变异系数 V_d 及其平均值 \bar{V}_d ：

$$(V_d)_i = (s/\bar{R}) \times 100\% \quad (\text{A-21})$$

$$\bar{V}_d = \sum_{i=1}^m (V_d)_i / m \quad (\text{A-22})$$

式中 $(V_d)_i$ ——任意一个配合比试件的多天试验变异系数 (%)；
 \bar{V}_d —— m 个配合比试件的平均多天变异系数 (%)；
 \bar{R}_i ——任意一个配合比试件任意一次试验的强度结果 (MPa)；
 $\bar{\bar{R}}$ ——同一配合比试件不同天 n 次重复试验结果的平均值 (MPa)；
 n ——同一配合比试件不同天重复试验的次数；
 m ——不同配合比试件的个数；
 s ——同一配合比试件不同天重复试验强度结果的标准离差 (MPa)。

$$s = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n \bar{R}_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \bar{R}_i \right)^2 / n \right] / (n-1)} \quad (\text{A-23})$$

B. 水泥胶砂强度推定经验式的 建立方法及精度要求

B. 0. 1 目的和适用范围

建立水泥胶砂 28d 龄期强度推定经验式,用于 1. 5h 促凝压蒸法快速测定水泥胶砂强度试验。

B. 0. 2 仪器设备

(1) 符合《水泥胶砂强度检验方法 (ISO 法)》GB/T 17671 所用仪器设备。

(2) 符合第四章 4. 2. 1 节《水泥胶砂强度快速试验 (1. 5h 促凝压蒸法)》所用仪器设备。

B. 0. 3 材料与试剂

(1) 水泥、标准砂、水、促凝剂,其技术要求与第四章 4. 2. 1 节相同。

(2) 预备试验采用的水泥样品数不宜少于 30 个,不同样品的水泥胶砂 28d 抗压强度最高、最低值之差不宜小于 20MPa。

B. 0. 4 试验步骤

(1) 试验准备与第四章 4. 2. 1 节相同。

(2) 每种水泥样品均同时取两份试样,分别按照 GB/T 17671 -99 及第四章 4. 2. 1 节的有关测定水泥胶砂 28d 龄期抗压强度 R_{28} 、抗折强度 R_{b28} 及促凝压蒸 1. 5h 的快硬强度 $R_{1. 5h}$ 。

B. 0. 5 试验结果计算

1. 建立 28d 水泥胶砂强度推定经验式

将各个水泥样品的 R_{28} 、 R_{b28} 、 $R_{1. 5h}$ 试验结果汇总,进行数据回归分析,建立直线型 ($\hat{R}_{28} = a + bR_{1. 5h}$) 或幂函数型 ($\hat{R}_{28} = A \cdot R_{1. 5h}^B$) 的水泥胶砂抗压、抗折强度推定式。所建立的强度推定式相关性必须高度显著 (一般情况下相关系数不小于 0. 85,水泥样品强度等级单一时不作规定),回归离差系数 C_v 不宜超过 8%,最大不应超过 10%。

2. 验证强度经验式的推定精度

预备试验建立的强度经验式须经试用验证其推定精度，确认推定精度满足实用要求后方可正式采用。采用中的推定式，也须经常进行推定精度校核。在试验数据不少于 20~30 组的条件下，根据经验式得出的 28d 强度推定值 (\hat{R}_{28} 、或 \hat{R}_{b28}) 与试验实测值 (R_{28} 或 R_{b28}) 的平均误差百分率 \bar{V} 不宜超过 8%，最大不应超过 10%，当发现推定精度有异常变化时，应分析原因，必要时应对此经验式进行适当修正或重新建立新的经验式。

3. 统计试验误差^①

在试验数据不少于 30 组的条件下， R_{28} 、 R_{b28} 及 $R_{1.5h}$ 的平均组内试验误差 \bar{V}_i 应小于 5%；平均多天试验变异系数 \bar{V}_e 应小于 10%。否则，应分析原因，采取相应改进措施。

C. 混凝土强度推定计算实例

某试验室建立某厂 32.5 级普通水泥混凝土推定经验式，推定方法采用 1h 促凝压蒸法。砂、石与现场相同，砂率适中，坍落度与施工要求相同。选定 $C/W = 1.25, 1.50, 1.75, 2.00, 2.25, 2.50$ 六个灰水比，六个配合比各重复六次试验。试验所得 36 组混凝土抗压强度 R_{28} 及对应的湿筛砂浆快硬强度 R_{1h} 测定值列于附表 1。现计算混凝土抗压强度推定式 $\hat{R}_{28} = a_1 + b_1 R_{1h}$ 及 $\hat{R}_{28} = A_1 R_{1h}^B$ 和相应的相关系数 r 、剩余标准差 s 、回归离差系数 C_v 、平均误差百分率 \bar{V} 、平均组内试验误差 \bar{V}_i 和平均多天试验变异系数 \bar{V}_e 。

一、直线型推定式的计算

在不具备回归功能计算器的情况下，为了便于计算，列出回归方程计算表（表 C-1）

① 水泥胶砂强度推定式的建立方法：直线型或幂函数型的计算，推定精度的计算及统计试验误差的计算方法均同附录 A。

试验结果及回归方程计算表

表 C-1

组号	灰水比	试验 重复 次数	x R_{1h} (MPa)	y R_{28} (MPa)	x^2 R_{1h}^2	y^2 R_{28}^2	$x \cdot y$ $R_{1h} \cdot R_{28}$
1	1.25	1	2.28	18.6	5.1984	345.96	42.408
2		2	2.35	19.2	5.5225	368.64	45.120
3		3	2.37	19.6	5.6169	384.16	46.452
4		4	2.46	20.2	6.0516	408.04	49.692
5		5	2.31	19.0	5.3361	361.00	43.890
6		6	2.16	18.4	4.6656	338.56	39.744
7	1.50	1	3.26	23.7	10.6276	561.69	77.262
8		2	3.22	23.1	10.3684	533.61	74.382
9		3	3.45	24.4	11.9025	595.36	84.180
10		4	3.30	24.1	10.8900	580.81	79.530
11		5	2.96	20.8	8.7616	432.64	61.568
12		6	3.24	23.5	10.4976	552.25	76.140
13	1.75	1	4.75	28.4	22.5625	806.56	134.900
14		2	4.81	27.6	23.1361	761.76	132.756
15		3	4.62	27.2	21.3444	739.84	125.664
16		4	4.85	28.8	23.5225	829.44	139.680
17		5	5.06	29.5	25.6036	870.25	149.270
18		6	4.83	28.1	23.3289	789.61	135.723
19	2.00	1	5.74	30.2	32.9176	912.04	173.348
20		2	6.42	34.7	41.2164	1204.09	222.774
21		3	6.13	32.6	37.5769	1062.76	199.838
22		4	6.32	33.5	39.9424	1122.25	211.720
23		5	6.14	32.4	37.6996	1049.76	198.936
24		6	6.23	32.9	38.8129	1082.41	204.967
25	2.25	1	7.76	36.8	60.2176	1354.24	285.568
26		2	7.41	35.2	54.9081	1239.04	260.832
27		3	8.01	37.4	64.1601	1398.76	299.574
28		4	8.23	38.9	67.7329	1513.21	320.147
29		5	7.74	36.3	59.8076	1317.69	280.962
30		6	7.92	37.1	62.7264	1376.41	293.832
31	2.50	1	10.13	42.5	102.6169	1806.25	430.525
32		2	9.57	38.8	91.5849	1505.44	371.316
33		3	9.90	40.7	98.0100	1656.49	402.930
34		4	9.71	39.4	94.2841	1552.36	382.574
35		5	9.83	40.2	96.6289	1616.04	395.166
36		6	9.28	38.3	86.1184	1466.89	355.424
$\sum_{i=1}^n$			204.75	1082.10	1402.0285	34496.31	6828.794

由表 C-1 的统计结果, 得:

$$\begin{aligned}\Sigma x &= 204.75 & \Sigma y &= 1082.1 \\ \bar{x} &= \frac{\Sigma x}{n} = \frac{204.75}{36} = 5.69 & \bar{y} &= \frac{\Sigma y}{n} = \frac{1082.1}{36} = 30.06\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_{xx} &= \Sigma x^2 - \frac{1}{n}(\Sigma x)^2 \\ &= 1402.0285 - \frac{1}{36} \times (204.75)^2 \\ &= 237.5129\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_{yy} &= \Sigma y^2 - \frac{1}{n}(\Sigma y)^2 \\ &= 34496.31 - \frac{1}{36} \times (1082.10)^2 \\ &= 1970.1875\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_{xy} &= \Sigma xy - \frac{1}{n}(\Sigma x)(\Sigma y) \\ &= 6828.794 - \frac{1}{36} \times 204.75 \times 1082.10 \\ &= 674.350\end{aligned}$$

由此, 得:

$$b = \frac{L_{xy}}{L_{xx}} = \frac{674.350}{237.5129} = 2.839$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 30.06 - 2.839 \times 5.69 = 13.91$$

所得直线型混凝土强度推定式为:

$$\hat{y} = 13.91 + 2.839x \quad (\text{MPa})$$

即 $\hat{R}_{28} = 13.91 + 2.839R_{1h} \quad (\text{MPa})$

相关系数 r 为:

$$r = \frac{L_{xy}}{\sqrt{L_{xx} \cdot L_{yy}}} = \frac{674.350}{\sqrt{237.5129 \times 1970.1875}} = 0.986$$

剩余标准差 s 为:

$$s = \sqrt{\frac{(1-r^2) \cdot L_{yy}}{n-2}} = \sqrt{\frac{(1-0.986^2) \times 1970.1875}{36-2}} = 1.27 (\text{MPa})$$

回归离差系数为:

$$C_v = \frac{s}{\bar{y}} \times 100\% = \frac{1.27}{30.06} \times 100\% = 4.2\%$$

由以上相关系数 r 及回归离差系数 C_v 值可见, 所建立的直线型混凝土强度推定式 $\hat{R}_{28} = 13.91 + 2.839R_{1b}$ (MPa) 的相关系数高度显著, 回归离差系数满足实用精度要求。

二、幂函数型推定式的计算

对幂函数式 $\hat{y} = Ax^B$ 两边取对数, 使其变换成对数直线式, 即:

$$\lg \hat{y} = \lg A + B \lg x$$

$$\text{令: } \hat{y} = \lg \hat{y}; x = \lg x; A' = A; B' = B$$

$$\text{则: } \hat{y} = A' + B' x$$

因此, 先求出每对 x 、 y (即 R_{1b} 、 R_{28}) 的对数值, 再根据最小二乘法原理求出变换后的直线回归式。对数直线回归方程的计算可通过表 C-2 进行。

对数直线回归方程计算表

表 C-2

组号	灰水比	重复次数	x (R_{1b}) (MPa)	y (R_{28}) (MPa)	X $X = \lg x$	Y $Y = \lg y$	X^2	Y^2	$X \cdot Y$
1	1.25	1	2.28	18.6	0.3579	1.2695	0.1281	1.6116	0.4544
2		2	2.35	19.2	0.3711	1.2833	0.1377	1.6469	0.4762
3		3	2.37	19.6	0.3747	1.2923	0.1404	1.6700	0.4842
4		4	2.46	20.2	0.3909	1.3051	0.1528	1.7041	0.5103
5		5	2.31	19.0	0.3636	1.2788	0.1322	1.6353	0.4650
6		6	2.16	18.4	0.3345	1.2648	0.1119	1.5997	0.4231
7	1.50	1	3.26	23.7	0.5132	1.3747	0.2634	1.8898	0.7055
8		2	3.22	23.1	0.5079	1.3636	0.2580	1.8594	0.6926
9		3	3.45	24.4	0.5378	1.3874	0.2892	1.9249	0.7461
10		4	3.30	24.1	0.5185	1.3820	0.2688	1.9099	0.7166
11		5	2.96	20.8	0.4713	1.3181	0.2221	1.7374	0.6212
12		6	3.24	23.5	0.5105	1.3711	0.2606	1.8799	0.6999

续表

组号	灰水比	重复次数	x (R_{1b}) (MPa)	y (R_{2b}) (MPa)	X $X = \lg x$	Y $Y = \lg y$	X^2	Y^2	$X \cdot Y$
13	1.75	1	4.75	28.4	0.6767	1.4533	0.4579	2.1121	0.9835
14		2	4.81	27.6	0.6821	1.4409	0.4653	2.0762	0.9828
15		3	4.62	27.2	0.6646	1.4346	0.4417	2.0581	0.9534
16		4	4.85	28.8	0.6857	1.4594	0.4702	2.1298	1.0007
17		5	5.06	29.5	0.7042	1.4698	0.4959	2.1603	1.0350
18		6	4.83	28.1	0.6839	1.4487	0.4677	2.0987	0.9908
19	2.00	1	5.74	30.2	0.7589	1.4800	0.5759	2.1904	1.1232
20		2	6.42	34.7	0.8075	1.5403	0.6521	2.3725	1.2438
21		3	6.13	32.6	0.7875	1.5132	0.6202	2.2898	1.1916
22		4	6.32	33.5	0.8007	1.5250	0.6411	2.3256	1.2211
23		5	6.14	32.4	0.7882	1.5105	0.6213	2.2816	1.1906
24		6	6.23	32.9	0.7945	1.5172	0.6312	2.3019	1.2054
25	2.25	1	7.76	36.8	0.8899	1.5658	0.7919	2.4517	1.3934
26		2	7.41	35.2	0.8698	1.5465	0.7566	2.3917	1.3451
27		3	8.01	37.4	0.9036	1.5729	0.8165	2.4740	1.4213
28		4	8.23	38.9	0.9154	1.5899	0.8380	2.5278	1.4554
29		5	7.74	36.3	0.8887	1.5599	0.7898	2.4333	1.3863
30		6	7.92	37.1	0.8987	1.5694	0.8067	2.4630	1.4104
31	2.50	1	10.13	42.5	1.0056	1.6284	1.0112	2.6517	1.6375
32		2	9.57	38.8	0.9809	1.5888	0.9622	2.6243	1.5585
33		3	9.90	40.7	0.9956	1.6096	0.9912	2.5908	1.6025
34		4	9.71	39.4	0.9872	1.5955	0.9746	2.5456	1.5751
35		5	9.83	40.2	0.9926	1.6042	0.9853	2.5735	1.5923
36		6	9.28	38.3	0.9675	1.5832	0.9361	2.5065	1.5317
$\sum_{i=1}^n$					25.3819	52.6980	19.6268	77.6998	38.0265

由表 C-2 的统计结果, 得:

$$\Sigma x = 25.3819 \quad \Sigma y = 52.6980$$

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} = \frac{25.3819}{36} = 0.7051$$

$$\bar{y} = \frac{\Sigma y}{n} = \frac{52.6980}{36} = 1.4638$$

$$L_{xx} = \Sigma x^2 - \frac{1}{n}(\Sigma x)^2$$

$$= 19.6268 - \frac{1}{36} \times 25.3819^2$$

$$= 1.7312$$

$$L_{yy} = \Sigma y^2 - \frac{1}{n}(\Sigma y)^2$$

$$= 77.6998 - \frac{1}{36}(52.6980)^2$$

$$= 0.5587$$

$$L_{xy} = \Sigma xy - \frac{1}{n}\Sigma x \cdot \Sigma y$$

$$= 38.0265 - \frac{1}{36}25.3819 \times 52.698$$

$$= 0.8716$$

由此, 得:

$$B' = \frac{L_{xy}}{L_{xx}} = \frac{0.8716}{1.7312} = 0.5035$$

$$A' = \bar{y} - B'\bar{x} = 1.4638 - 0.5035 \times 0.7051 = 1.1088$$

因为: $A' = \lg A, \quad B' = B$

所以: $A = 10^{A'} = 10^{1.1088} = 12.85$

$$B = B' = 0.5035$$

所得幂函数型混凝土强度推定经验式为:

$$\hat{y} = 12.85x^{0.5035}$$

即: $\hat{R}_{28} = 12.85R_{1b}^{0.5035}$

由表 C-2 及表 C-3 所示结果, 按式 (A-15)、式 (A-16) 及式

(A-17) 分别计算相关系数 r 、剩余标准差 s 和离差系数 C_v 。

$$\begin{aligned}
 r &= \sqrt{1 - \frac{\sum(y - \hat{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2}} \\
 &= \sqrt{1 - \frac{\sum d^2}{\sum y^2 - \frac{1}{n}(\sum y)^2}} \\
 &= \sqrt{1 - \frac{22.99}{34496.31 - \frac{1}{36} \times 1082.10^2}} \\
 &= 0.994 \\
 s &= \sqrt{\frac{\sum(y - \hat{y})^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{22.99}{36 - 2}} = 0.82(\text{MPa}) \\
 C_v &= \frac{s}{\bar{y}} \times 100\% = \frac{0.82}{30.06} \times 100\% = 2.73\%
 \end{aligned}$$

混凝土强度幂函数型推定误差列于表 C-3。

混凝土强度幂函数型推定误差统计表

表 C-3

组号	灰水比	试验重 复次数	x (R_{th}) (MPa)	y (R_{28}) (MPa)	\hat{y} (R_{28}) (MPa)	$ y - \hat{y} $ (d)	$(y - \hat{y}^2)$ (d) ²	$ y - \hat{y} $ (%)
	1.25	1	2.28	18.6	19.5	0.9	0.81	4.8
2		2	2.35	19.2	19.8	0.6	0.36	3.1
3		3	2.37	19.6	19.8	0.2	0.04	1.0
4		4	2.46	20.2	20.2	0.0	0.00	0.0
5		5	2.31	19.0	19.6	0.6	0.36	3.2
6		6	2.16	18.4	18.9	0.5	0.25	2.7
7	1.50	1	3.26	23.7	23.3	0.4	0.16	1.7
8		2	3.22	23.1	23.2	0.1	0.01	0.4
9		3	3.45	24.4	24.0	0.4	0.16	1.6
10		4	3.30	24.1	23.4	0.7	0.49	2.9
11		5	2.96	20.8	22.2	1.4	1.96	6.7
12		6	3.24	23.5	23.2	0.3	0.09	1.3

续表

组号	灰水比	试验重 复次数	x (R_{1h}) (MPa)	y (R_{28}) (MPa)	\hat{y} (R_{28}) (MPa)	$ y - \hat{y} $ (d)	$(y - \hat{y})^2$ (d) ²	$ y - \hat{y} $ (%)
13	1.75	1	4.75	28.4	28.2	0.2	0.04	0.7
14		2	4.81	27.6	28.3	0.7	0.49	2.5
15		3	4.62	27.2	27.8	0.6	0.36	2.2
16		4	4.85	28.8	28.5	0.3	0.09	1.0
17		5	5.06	29.5	29.1	0.4	0.16	1.4
18		6	4.83	28.1	28.4	0.3	0.09	1.1
19	2.00	1	5.74	30.2	31.0	0.8	0.64	2.6
20		2	6.42	34.7	32.8	1.9	3.61	5.5
21		3	6.13	32.6	32.0	0.6	0.36	1.8
22		4	6.32	33.5	32.5	1.0	1.00	3.0
23		5	6.14	32.4	32.0	0.4	0.16	1.2
24		6	6.23	32.9	32.3	0.6	0.36	1.8
25	2.25	1	7.76	36.8	36.1	0.7	0.49	1.9
26		2	7.41	35.2	35.2	0.0	0.0	0.0
27		3	8.01	37.4	36.6	0.8	0.64	2.1
28		4	8.23	38.9	37.1	1.8	3.24	4.6
29		5	7.74	36.3	36.0	0.3	0.09	0.8
30		6	7.92	37.1	36.4	0.7	0.49	1.9
31	2.50	1	10.13	42.5	41.2	1.3	1.69	3.1
32		2	9.57	38.8	40.1	1.3	1.69	3.4
33		3	9.90	40.7	40.8	0.1	0.01	0.2
34		4	9.71	39.4	40.4	1.0	1.00	2.5
35		5	9.83	40.2	40.5	0.4	0.16	1.0
36		6	9.28	38.2	39.5	1.2	1.44	3.1
$\sum_{i=1}^n$						23.3	22.99	78.8

注: $\hat{y} = 12.85x^{0.5935}$

三、验证强度推定式的推定精度

1. 计算平均误差百分率 \bar{V}

(1) 直线型推定式平均误差百分率 V ;

为了便于计算, 现将直线型推定式误差列于表 C-4。

直线型混凝土强度推定误差统计表 表 C-4

组号	灰水比	试验重 复次数	x (R_{1b}) (MPa)	y (R_{2b}) (MPa)	\hat{y} (R_{2a}) (MPa)	$ y - \hat{y} $ (MPa)	$ y - \hat{y} $ (%)
1	1.25	1	2.28	18.6	20.4	1.8	9.7
2		2	2.35	19.2	20.6	1.4	7.3
3		3	2.27	19.6	20.4	0.8	4.1
4		4	2.46	20.2	20.9	0.7	3.5
5		5	2.31	19.0	20.5	1.5	7.9
6		6	2.16	18.4	20.0	1.6	8.7
7	1.50	1	3.26	23.7	23.2	0.5	2.1
8		2	3.22	23.1	23.1	0.0	0.0
9		3	3.45	24.4	23.7	0.7	2.9
10		4	3.30	24.1	23.3	0.8	3.3
11		5	2.96	20.8	22.3	1.5	7.2
12		6	3.24	23.5	23.1	0.4	1.7
13	1.75	1	4.75	28.4	27.4	1.0	3.5
14		2	4.81	27.6	27.6	0.0	0.0
15		3	4.62	27.2	27.0	0.2	0.7
16		4	4.85	28.8	27.7	1.1	3.8
17		5	5.06	29.5	28.3	1.2	4.1
18		6	4.83	28.1	27.6	0.5	1.8
19	2.00	1	5.74	30.2	30.2	0.0	0.0
20		2	6.42	34.7	32.1	2.6	7.5
21		3	6.13	32.6	31.3	1.3	4.0
22		4	6.32	33.5	31.9	1.6	4.8
23		5	6.14	32.4	31.3	1.1	3.4
24		6	6.23	32.9	31.6	1.3	4.0

续表

组号	灰水比	试验重 复次数	x (R_{1h}) (MPa)	y (R_{28}) (MPa)	\hat{y} (R_{28}) (MPa)	$ y-\hat{y} $ (MPa)	$ y-\hat{y} $ (%)
25	2.25	1	7.76	36.8	35.9	0.9	2.4
26		2	7.41	35.2	34.9	0.3	0.9
27		3	8.01	37.4	36.7	0.7	1.9
28		4	8.23	38.9	37.3	1.6	4.1
29		5	7.74	36.3	35.9	0.4	1.1
30		6	7.92	37.1	36.4	0.7	1.9
31	2.50	1	10.13	42.5	42.7	0.2	0.5
32		2	9.57	38.8	41.1	2.3	5.9
33		3	9.90	40.7	42.0	1.3	3.2
34		4	9.71	39.4	41.5	2.1	5.3
35		5	9.83	40.2	41.8	1.6	4.0
36		6	9.28	38.3	40.3	2.0	5.2
$\sum_{i=1}^n$							132.4

注: $\hat{y}=13.91+2.839R_{1h}$ 。

由表 C-4 所示结果,按式 (A-18) 计算直线式平均误差百分率。

$$\bar{V} = \left[\sum_{i=1}^n (|y_i - \hat{y}_i|/y_i)/n \right] \times 100\% = \frac{132.4\%}{36} = 3.7\%$$

(2) 幂函数型推定式混凝土强度平均误差百分率 \bar{V} 的计算,由表 C-3 所示的结果,得:

$$\bar{V} = \left[\sum_{i=1}^n (|y_i - \hat{y}_i|/y_i)/n \right] \times 100\% = \frac{78.8\%}{36} = 2.2\%$$

四、两种混凝土强度推定式 (直线式和幂函数式) 的比较

将本例所求直线型推定式和幂函数型推定式的计算结果示于表 C-5。

两种混凝土强度推定式的比较

表 C-5

推定式类型	推定式	r	s (MPa)	C (%)	\bar{V} (%)
直线式	$\hat{R}_{28}=13.91+2.839R_{1h}$	0.986	1.27	4.2	3.7
幂函数式	$\hat{R}_{28}=12.85R_{1h}^{0.5035}$	0.994	0.82	2.73	2.2

由表C-5可见,幂函数型推定式的相关系数 r 稍大,剩余标准差 s 、回归离差系数 C 及平均试验误差 \bar{V} 略小,说明推定精度比直线型推定式有所提高。一般情况下,为简化计算,节省工作量,采用直线型推定式也可获得较高的推定精度。

五、统计试验误差

试验误差的存在直接影响着试验结果的准确性,即试验精度。组内试验误差和多天变异系数是衡量试验精度的两个主要指标。为了保证此试验的准确性,因此,应进行试验精度的统计分析。

(1) 计算湿筛砂浆快硬强度的平均组内试验误差 V_i 及平均多天试验变异系数 V_d 。为便于计算,现将混凝土湿筛砂浆快硬强度值列于表C-6。

快硬砂浆强度及其组内试验误差和多天变异系数 表 C-6

组号	灰水比	试验重复次数	R_{ih} (MPa)			\bar{R}_{ih} (MPa)	R_i (MPa)	V_i (%)	\bar{R}_{ih} (MPa)	S (MPa)	V_d (%)
			1	2	3						
1	1.25	1	2.32	2.24	2.28	2.28	0.08	2.07	2.32	0.10	4.31
2		2	2.37	2.36	2.32	2.35	0.05	1.26			
3		3	2.33	2.42	2.36	2.37	0.09	2.24			
4		4	2.38	2.43	2.57	2.46	0.19	4.56			
5		5	2.34	2.28	2.31	2.31	0.06	1.53			
6		6	2.24	2.10	2.14	2.16	0.14	3.83			
7	1.50	1	3.18	3.32	3.28	3.26	0.14	2.54	3.24	0.16	4.94
8		2	3.20	3.19	3.27	3.22	0.08	1.47			
9		3	3.43	3.47	3.45	3.45	0.04	0.68			
10		4	3.05	3.38	3.47	3.30	0.42	7.52			
11		5	2.88	3.05	2.95	2.96	0.17	3.39			
12		6	3.15	3.26	3.3	3.24	0.16	2.92			
13	1.75	1	4.55	4.82	4.88	4.75	0.33	4.10	4.82	0.14	2.90
14		2	4.78	4.96	4.69	4.81	0.27	3.32			
15		3	4.76	4.54	4.56	4.62	0.22	2.81			
16		4	4.82	4.87	4.86	4.85	0.05	0.61			
17		5	4.99	5.12	5.07	5.06	0.13	1.52			
18		6	4.88	4.79	4.82	4.83	0.09	1.10			

续表

组号	灰水比	试验 重复 次数	R_{1h} (MPa)			\bar{R}_{1h} (MPa)	R_t (MPa)	V_t (%)	\bar{R}_{1h} (MPa)	S (MPa)	V_d (%)
			1	2	3						
19	2.00	1	5.52	5.77	5.93	5.74	0.41	4.22	6.16	0.23	3.73
20		2	6.23	6.52	6.51	6.42	0.29	2.67			
21		3	5.76	6.35	6.28	6.13	0.59	5.69			
22		4	6.08	6.43	6.49	6.32	0.41	3.83			
23		5	6.22	6.04	6.16	6.14	0.18	1.73			
24		6	6.15	6.28	6.26	6.23	0.13	1.23			
25	2.25	1	7.45	7.84	7.99	7.76	0.54	4.11	7.84	0.28	3.57
26		2	7.26	7.53	7.44	7.41	0.27	2.15			
27		3	8.17	7.86	8.00	8.01	0.31	2.29			
28		4	7.94	8.38	8.37	8.23	0.44	3.16			
29		5	8.05	7.64	7.53	7.74	0.41	3.13			
30		6	7.96	8.17	7.63	7.92	0.54	4.03			
31	2.50	1	10.38	9.77	10.24	10.13	0.61	3.56	9.74	0.29	2.98
32		2	9.42	9.68	9.61	9.57	0.26	1.61			
33		3	9.71	10.14	9.85	9.90	0.43	2.57			
34		4	9.96	9.74	9.43	9.71	0.53	3.22			
35		5	9.88	9.70	9.91	9.83	0.21	1.26			
36		6	9.45	9.03	9.36	9.28	0.42	2.67			
$\bar{V}_t = 2.79$									$\bar{V}_d = 3.74$		

根据表 C-6 所示数据, V_t 、 \bar{V}_t 、 V_d 及 \bar{V}_d 计算如下:

$$(V_t)_i = \frac{1}{d_2} \times \frac{R_t}{R_{1h}} \times 100\% = 0.591 \times \frac{0.08}{2.28} \times 100\% \\ = 2.07\%$$

$$\bar{V}_t = \sum_{i=1}^n (V_t)_i / n = (2.07 + 1.26 + \dots + 2.67) \times \frac{1}{36} \\ = 2.79\%$$

$$(V_d)_i = (s/\bar{R}) \times 100\% = \frac{0.10}{2.32} \times 100\% = 4.31\%$$

$$s = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n \bar{R}_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \bar{R}_i \right)^2 / n \right] / (n - 1)}$$

$$= \sqrt{\left[(2.28^2 + \cdots + 2.16^2) - (2.28 + \cdots + 2.16)^2 \frac{1}{6} \right] / 6 - 1}$$

$$= 0.10 \text{ MPa}$$

$$(\bar{R}_{1b})_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{1b})_i = \frac{1}{6} (2.28 + 2.35 + \cdots + 2.16) = 2.32 \text{ MPa}$$

$$\bar{V}_d = \sum_{i=1}^m (v_d)_i / m$$

$$= (4.31 + 4.94 + 2.90 + 3.73 + 3.57 + 2.98) \times \frac{1}{6}$$

$$= 3.74\%$$

(2) 计算标准养护 28d 混凝土强度的平均组内试验误差 \bar{V}_1 及平均多天试验变异系数 \bar{V}_d ，现将混凝土强度值及计算结果列于表 C-7。

混凝土 28d 强度及组内试验误差和多天变异系数统计表 表 C-7

组号	灰水比	试验重复次数	R_{28} (MPa)			R_{28} (MPa)	R_1 (MPa)	V_1 (%)	\bar{R}_{28} (MPa)	S (MPa)	V_d (%)
			1	2	3						
1	1.25	1	18.1	19.0	18.7	18.6	0.9	2.86	19.2	0.66	3.44
2		2	19.4	19.5	18.7	19.2	0.8	2.46			
3		3	18.8	19.6	20.4	19.6	1.6	4.82			
4		4	20.3	20.5	19.8	20.2	0.7	2.04			
5		5	18.2	19.6	19.2	19.0	1.4	4.35			
6		6	18.8	18.2	18.2	18.4	0.6	1.93			
7	1.50	1	23.1	23.9	24.1	23.7	1.0	2.49	23.3	1.29	5.54
8		2	22.7	23.4	23.0	23.1	0.7	1.79			
9		3	24.6	24.1	24.5	24.4	0.5	1.21			
10		4	23.8	24.6	23.9	24.1	0.8	1.96			
11		5	20.4	21.1	20.9	20.8	0.7	1.99			
12		6	23.6	22.5	24.4	23.5	1.9	4.78			

续表

组号	灰水比	试验 重复 次数	R_{28} (MPa)			\bar{R}_{28} (MPa)	R (MPa)	V_1 (%)	\bar{R}_{28} (MPa)	S (MPa)	V_d (%)
			1	2	3						
13	1.75	1	28.9	27.8	28.5	28.4	1.1	2.29	28.3	0.83	2.93
14		2	27.3	27.6	27.9	27.6	0.6	1.28			
15		3	26.1	27.5	27.7	27.2	1.3	2.82			
16		4	28.2	29.0	29.2	28.8	1.0	2.05			
17		5	29.8	29.3	29.4	29.5	0.5	1.00			
18		6	28.5	27.6	28.2	28.1	0.9	1.89			
19	2.00	1	29.8	30.8	30.0	30.2	1.0	1.96	32.7	1.49	4.56
20		2	34.5	35.2	34.1	34.7	0.8	1.36			
21		3	32.3	32.9	32.6	32.6	0.6	1.09			
22		4	33.8	32.7	34.0	33.5	1.3	2.29			
23		5	32.1	31.3	33.8	32.4	2.5	4.56			
24		6	32.6	33.4	32.7	32.9	0.8	1.44			
25	2.25	1	36.3	37.9	36.2	36.8	1.7	2.73	37.0	1.23	3.32
26		2	35.0	35.7	34.9	35.2	0.8	1.34			
27		3	37.9	37.1	36.9	37.4	1.0	1.58			
28		4	39.2	38.5	39.0	38.9	0.7	1.06			
29		5	35.7	37.1	36.1	36.3	1.4	2.28			
30		6	36.9	37.4	37.0	37.1	0.5	0.80			
31	2.50	1	41.8	43.2	42.5	42.5	1.4	1.95	40.0	1.51	3.78
32		2	38.2	38.7	39.2	38.8	1.0	1.52			
33		3	40.9	40.1	40.8	40.7	0.5	0.73			
34		4	38.8	39.9	39.5	39.4	1.1	1.65			
35		5	40.6	39.1	40.9	40.2	1.8	2.65			
36		6	38.7	37.3	38.9	38.3	1.6	2.47			
$\bar{V}_1 = 2.15$									$\bar{V}_d = 3.93$		

根据表C-7所示数据, V_1 、 \bar{V}_1 、 V_d 及 v_d 计算如下:

$$(V_1)_1 = \frac{1}{d_2} \times \frac{R_1}{\bar{R}_{28}} \times 100\% = 0.591 \times \frac{0.9}{18.6} \times 100\% = 2.86\%$$

$$\bar{V}_1 = \sum_{i=1}^n (v_1)_i / n = (2.86 + 2.46 + \dots + 2.47) \times \frac{1}{36} = 2.15\%$$

$$s = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n R_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n R_i \right)^2 \right] / (n-1)}$$

$$= \sqrt{\left[(18.6^2 + \dots + 18.4^2) - (18.6 + \dots + 18.4)^2 \frac{1}{6} \right] / 5}$$

$$= 0.66 \text{ MPa}$$

$$(\bar{R}_{28})_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{R}_{28})_i = \frac{1}{6} (18.6 + 19.2 + \dots + 18.4) = 19.2 \text{ MPa}$$

$$\bar{V}_d = \sum_{i=1}^m (v_d)_i / m$$

$$= (3.44 + 5.54 + 2.93 + 4.56 + 3.32 + 3.78) \times \frac{1}{6}$$

$$= 3.93\%$$

以上结果表明, 此批试验快硬砂浆强度的平均组内试验误差 $\bar{V}_1 = 2.79\% < 5\%$, 平均多天变异系数 $\bar{V}_d = 3.74\% < 10\%$; 标准养护 28d 强度的平均组内试验误差 $\bar{V}_1 = 2.15\% < 5\%$, 平均多天变异系数 $\bar{V}_d = 3.93\% < 10.0\%$, 证明试验精度满足要求。

D. 混凝土外加剂

D. 0.1 概述

混凝土外加剂技术是半个世纪来发展较快的一项混凝土新技术。应用混凝土外加剂可改善混凝土的性能, 节省水泥和能源, 提高施工速度和施工质量, 改善工艺和劳动条件, 具有显著的经济效益和社会效益。

一、定义

在混凝土拌合过程中掺入的, 并能按要求改善混凝土性能的,

一般掺量不超过水泥重量 5% (特殊情况除外) 的材料称为混凝土外加剂。

二、分类

外加剂按其使用效果分类如下:

1. 减水剂

在不影响混凝土和易性条件下, 具有减水及增强作用的外加剂称为减水剂。

减水剂按功能分以下几类:

(1) 普通减水剂: 在混凝土坍落度基本相同的条件下, 具有一般减水增强作用的外加剂。

(2) 高效减水剂: 在混凝土坍落度基本相同的条件, 具有大幅度减水增强作用的外加剂。

(3) 早强减水剂: 兼有早强和减水作用的外加剂。

(4) 缓凝减水剂: 兼有缓凝和减水作用的外加剂。

(5) 引气减水剂: 兼有引气和减水作用的外加剂。

2. 引气剂

在混凝土搅拌过程中, 能引入大量分布均匀的微小气泡, 以减少混凝土拌合物泌水离析、改善和易性, 并能显著提高硬化混凝土抗冻融耐久性的外加剂。

3. 调凝剂

能调节混凝土凝结时间、硬化性能的外加剂称为调凝剂, 包括以下三种:

(1) 早强剂: 能提高混凝土早期强度, 并对后期强度无显著影响的外加剂。

(2) 缓凝剂: 能延缓混凝土凝结时间, 并对混凝土后期强度发展无不利影响的外加剂。

(3) 速凝剂: 能使混凝土迅速凝结硬化的外加剂。

4. 防冻剂

在规定温度下, 能显著降低混凝土的冰点, 能使混凝土液相不冻结或仅部分冻结, 以保证水泥的水化作用, 并在一定的时间

内获得预期强度的外加剂。

5. 膨胀剂

能使混凝土(或砂浆)在水化过程中产生一定的体积膨胀,并在有约束条件下产生适宜自应力的外加剂。

6. 防水剂

能降低混凝土在静水压力下的透水性的外加剂。

7. 阻锈剂

能抑制或减轻混凝土中钢筋或其他预埋金属锈蚀的外加剂。

8. 泵送剂

能改善混凝土拌合物泵送性能的外加剂。

9. 着色剂

能制备具有稳定色彩混凝土的外加剂。

三、适用范围

不同品种的外加剂,其主要功能和适用范围不同。

我国常用外加剂的适用范围见表 D-1。

外加剂适用范围表

表 D-1

外加剂类型	主要功能	适用范围
普通减水剂	1. 在保证混凝土工作性及强度不变条件下,可节约水泥用量 2. 在保证混凝土工作性及水泥用量不变条件下,可减少用水量,提高混凝土强度 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. 用于日最低气温 $+5^{\circ}$ 以上的混凝土施工 2. 各种预制及现浇混凝土、钢筋混凝土及预应力混凝土 3. 大模板施工、滑模施工、大体积混凝土、泵送混凝土以及流动性混凝土
高效减水剂	1. 在保证混凝土工作性及水泥用量不变条件下,可大幅度减少用水量(减水率大于12%)可制备早强、高强混凝土 2. 在保持混凝土用水量及水泥用量不变条件下,可增大混凝土拌合物流动性,制备大流动性混凝土	1. 用于日最低气温 0°C 以上的混凝土施工 2. 用于钢筋密集、截面复杂、空间窄小及混凝土不易振捣的部位 3. 凡普通减水剂适用的范围高效减水剂亦适用 4. 制备早强、高强混凝土以及流动性混凝土

续表

外加剂类型	主要功能	适用范围
早强剂及 早强减水剂	1. 缩短混凝土的热蒸汽时间 2. 加速自然养护混凝土的硬化	1. 用于日最低温度 3°C 以上时, 自然气温正负交替的亚寒地区的混凝土施工 2. 用于蒸汽混凝土、早强混凝土
引气剂及 引气减水剂	1. 改善混凝土拌合物的工作性, 减少混凝土泌水离析 2. 提高硬化混凝土的抗冻融性	1. 有抗冻融要求的混凝土, 如公路路面、飞机跑道等大面积易受冻部位 2. 骨料质量差以及轻骨料混凝土 3. 提高混凝土抗渗性, 可用于防水混凝土 4. 改善混凝土的抹光性 5. 泵送混凝土
缓凝剂及 缓凝减水剂	降低热峰值及推迟热峰出现的时间	1. 大体积混凝土 2. 夏季和炎热地区的混凝土施工 3. 用于日最低气温 5°C 以上的混凝土施工 4. 预拌混凝土、泵送混凝土以及滑模施工的混凝土
泵送剂	改善混凝土拌合物的流动性、粘聚性、和粘滞性、从而提高其可泵性	用于泵送混凝土
防冻剂	混凝土在负温条件下, 使拌合物中仍有液相的自由水, 以保证水泥水化, 使混凝土达到预期强度	冬季负温 (0°C 以下) 混凝土施工
膨胀剂	使混凝土体积在水化、硬化过程中产生一定膨胀, 以减少混凝土干缩裂缝, 提高抗裂性和抗渗性能	1. 补偿收缩混凝土, 用于自防水屋面、地下防水及基础后浇缝、防水堵漏等 2. 填充用膨胀混凝土, 用于设备底座灌浆, 地脚螺栓固定等 3. 自应力混凝土, 用于自应力混凝土压力管
速凝剂	速凝、早强	用于喷射混凝土
微沫剂	改善砂浆稠度, 节约白灰及水泥	砌筑砂浆

四、使用要点

(1) 选择外加剂的品种，应根据使用外加剂的主要目的，通过技术经济比较确定。

(2) 外加剂的掺量，应按其品种并根据使用要求、施工条件、混凝土原材料等因素通过试验确定。

(3) 外加剂的掺量（按固体计算），应以水泥重量的百分率表示，称量误差不应超过外加剂规定计量的 2%。

(4) 掺外加剂混凝土所用的水泥，可采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥。

(5) 掺外加剂混凝土所用的粗、细骨料，应符合国家现行的有关标准的规定。

五、注意事项

(1) 必须严格控制外加剂掺量。掺量在 1% 以下的外加剂如高效减水剂、普通减水剂、糖蜜、引气剂等，应以水溶液掺加。

(2) 两种或两种以上外加剂复合使用，在配制溶液时，如产生絮凝或沉淀等现象，应分别配制溶液并分别加入搅拌机内。

(3) 在用硬石膏或工业废料石膏作调凝剂的水泥中，掺用木质素磺酸盐类减水剂或糖蜜类缓凝剂时，常常会产生速凝或假凝现象。因此，使用前需先做水泥适应性试验，合格后方可使用。

(4) 外加剂因受潮结块时，粉状外加剂应再粉碎并通过 0.63mm 筛子才能使用，液体外加剂应重新测定外加剂的固体含量。

D.0.2 技术要求

混凝土外加剂的技术性能，分为掺外加剂混凝土（或砂浆）性能及外加剂匀质性两大部分。

一、掺外加剂混凝土的技术性能

掺外加剂混凝土的技术性能，是评定外加剂质量的标准，是在统一试验条件下，以掺外加剂混凝土（统称受检混凝土）与不掺外加剂混凝土（统称基准混凝土）性能的比值或差值来表示。

我国现有外加剂的质量标准及其编号如下：

标准名称	标准编号
1. 混凝土外加剂的分类命名与定义	GB 8075—87
2. 混凝土外加剂	GB 8076—87
3. 混凝土匀质性试验方法	GB 8077—87
4. 混凝土泵送剂	JC 473—92
5. 砂浆、混凝土防水剂	JC 474—92
6. 混凝土防冻剂	JC 475—92
7. 混凝土膨胀剂	JC 476—92
8. 喷射混凝土用速凝剂	JC 477—92

注：GB 8076—87 标准包括的外加剂品种有：普通减水剂、高效减水剂、早强减水剂、缓凝减水剂、引气减水剂、早强剂、缓凝剂及引气剂。

根据以上国家标准，对掺外加剂混凝土（或砂浆）的性能试验项目及质量指标要求如下：

（一）减水率

减水率试验是仅对各类减水剂、引气剂和防冻剂而言。减水率是区别高效型或普通型减水剂的主要技术指标之一。在混凝土中掺入适量减水剂，在混凝土稠度相同情况下，可减少用水量5%~20%，从而显著提高混凝土的强度及耐久性，如抗渗、抗冻等性能。

按国家标准规定，掺外加剂混凝土的减水率指标见表 D-2。

掺外加剂混凝土减水率指标

表 D-2

外加剂种类	减 水 率 (%)	
	一等品	合格品
高效减水剂	≥ 12	≥ 10
普通减水剂、缓凝减水剂、引气减水剂	≥ 8	≥ 5
引气减水剂	≥ 10	≥ 10
引 气 剂	≥ 6	≥ 6
防 冻 剂	≥ 8	—

(二) 泌水率比

在混凝土中掺入某些外加剂,对混凝土泌水和沉降影响十分显著。一般缓凝剂使泌水率增大;引气剂、减水剂使泌水率减小。如掺木钙减水剂混凝土,其泌水率可比基准混凝土减少30%以上,有利于减少混凝土的离析,改善混凝土性能,保持施工所需要的和易性,因此泌水率比应愈小愈好。

泵送混凝土是在泵送压力下将混凝土输送到浇灌地点。为了防止混凝土受压情况下产生泌水,标准还规定了混凝土在压力状态下的泌水率比。这是混凝土泵送过程中反映其可泵性的一个特征指标,也是评价和检测可泵送性的控制指标。

国家标准规定的掺外加剂混凝土的泌水率比的指标见表D-3。

掺外加剂混凝土泌水率比指标

表 D-3

外加剂种类		泌 水 率 比 (%)	
		等品	合格品
高效减水剂, 早强剂		≤100	≤100
普通减水剂, 早强减水剂、缓凝减水剂		≤95	≤100
引气剂、引气减水剂		≤70	≤80
防 冻 剂		≤100	≤100
防 水 剂		≤80	≤90
泵送剂	常压泌水率比	≤100	≤120
	压力泌水率比	≤95	≤100

(三) 含气量

混凝土中引入一定量的微细气泡,可以阻止固体颗粒的沉降和水分上升,从而减少泌水率,并能改善混凝土的和易性和流动性。此时气泡的直径小于 $200\mu\text{m}$ 的数量最多,气泡的间隔系数一般在 $0.1\sim0.2\text{mm}$ 范围内,对混凝土上的毛细管有切断、封闭的作用,而又能提高混凝土的抗冻性和抗渗性。但有含气量与抗压强

度的关系十分密切，通常在水泥用量相同时，含气量增加1%，混凝土28d抗压强度降低2%~3%；当水灰比相同时，含气量增加1%，混凝土28d抗压强度降低5%左右。适宜的含气量一般为2%~6%。

国家标准规定，掺外加剂混凝土的含气量指标见表D-4。

掺外加剂混凝土含气量指标

表 D-4

外加剂种类	含 气 量 (%)	
	一等品	合格品
引气剂及引气减水剂	3.5~5.5	3.5~5.5
普通减水剂、高效减水剂 早强减水剂、缓凝减水剂	≤3.0	≤4.0
早强剂、缓凝剂	—	
防 冻 剂	≥2.5	≥2.0
泵 送 剂	≤4.5	≤5.5

(四) 坍落度增加值、坍落度保留值

坍落度增加值和坍落度保留值，是反应泵送剂混凝土可泵性的主要参数，是混凝土泵送剂特有的技术指标。

坍落度增加值，是指在水泥用量和水灰比相同情况下，掺外加剂混凝土比基准混凝土坍落度增加的数值。坍落度增加值愈大，混凝土的流动性愈大，可泵性愈好。

坍落度保留值，是指刚出机的混凝土坍落度值，间隔一定时间后的变化。间隔时间越长，保留的坍落度值越小，变化值的大小与外加剂的品种、性能、环境温度、含气量等因素有关。温度愈高、含气量越大、坍落度保留值愈小，也就是坍落度损失越大。这不利于混凝土的浇灌，特别是对泵送混凝土的可泵性影响最大。

我国《混凝土泵送剂》JC 473 -92 标准规定坍落度增加值和坍落度保留值见表D-5。

坍落度增加值、坍落度保留值

表 D-5

指 标 (cm)		一 等 品	合 格 品
试验项目			
坍落度增加值		10	8
坍落度	30min	12	10
保留值	60min	10	8

(五) 凝结时间差

掺外加剂混凝土的凝结时间,随着所用水泥品种、外加剂种类及掺量、气温等条件不同而变化。缓凝剂用于延缓混凝土的凝结,有利于解决大体积混凝土等工程中的问题。早强剂用于加速混凝土的凝结及硬化,促进早期强度的提高,但凝结太快,影响混凝土施工,相反凝结过慢影响混凝土早期强度的增长及拆模时间。

国家标准规定,掺外加剂混凝土凝结时间差指标见表 D-6。

掺外加剂混凝土凝结时间差指标

表 D-6

外加剂种类	凝结时间之差 (min)			
	初 凝		终 凝	
	等品	合格品	等品	合格品
高效减水剂、普通减水剂 早强剂及早强减水率 引气减水剂	-60~+90	-60~+120	-60~+90	-60~+120
缓凝剂及缓凝减水剂	+60~+210		+60~+210	
引 气 剂	-60~+60		-60~+60	
防 水 剂	-90~+120		-120~+120	
防 冻 剂	-120~ +120	-150~ +150	-120~ +120	-150~ +150

注:表内“-”号表示提前,“+”号表示延缓。

(六) 抗压强度比

抗压强度是评定外加剂质量及等级的主要指标。抗压强度比与减水率有密切关系,减水率愈大,强度比值愈高。

国家标准规定,掺外加剂混凝土的抗压强度比指标见表 D-7。

掺外加剂混凝土的强度比指标

表 D-7

外加剂种类		抗压强度比 (%)				
		1d	3d	7d	28d	90d
普通减水剂	一等品	—	≥ 115	≥ 115	≥ 110	≥ 100
	合格品	—	≥ 110	≥ 110	≥ 105	≥ 100
高效减水剂	一等品	≥ 140	≥ 130	≥ 125	≥ 120	≥ 100
	合格品	≥ 130	≥ 125	≥ 120	≥ 115	≥ 100
早强减水剂	一等品	≥ 140	≥ 135	≥ 120	≥ 110	≥ 110
	合格品	≥ 130	≥ 120	≥ 115	≥ 105	≥ 100
缓凝减水剂	一等品	—	≥ 110	≥ 110	≥ 110	≥ 100
	合格品	—	≥ 100	≥ 110	≥ 105	≥ 100
引气减水剂	一等品	—	≥ 115	≥ 110	≥ 110	≥ 100
	合格品	—	≥ 110	≥ 110	≥ 110	≥ 100
早强剂	一等品	≥ 140	≥ 130	≥ 115	≥ 100	≥ 95
	合格品	≥ 125	≥ 120	≥ 110	≥ 95	≥ 95
缓凝剂	一等品	—	≥ 100	≥ 100	≥ 100	≥ 100
	合格品	—	≥ 90	≥ 90	≥ 90	≥ 90
引气剂	一等品	—	≥ 95	≥ 95	≥ 90	≥ 90
	合格品	—	≥ 80	≥ 90	≥ 80	≥ 80
防水剂	一等品	—	—	≥ 110	≥ 100	≥ 100
	合格品	—	—	≥ 100	≥ 95	≥ 90
泵送剂	一等品	—	≥ 85	≥ 85	≥ 85	≥ 85
	合格品	—	≥ 80	≥ 80	≥ 80	≥ 80

注：表内泵送剂的强度比，是掺泵送剂混凝土与基准混凝土在水泥用量和水灰比相同情况下（即不减水）的强度比值。

按 JC 475-92 标准规定，掺防冻剂混凝土的强度比指标见表 D-8。

掺防冻剂混凝土强度比指标

表 D-8

试验龄期	抗压强度比 (%)					
	一等品			合格品		
规定温度 (°C)	5	-10	15	-5	-10	-15
$f_{cu, 28}$ 不小于	95	95	90	90	90	85
$f_{cu, -7+28}$ 不小于	95	90	85	90	85	80
$f_{cu, -15+56}$ 不小于	100			100		

注：不同的负温养护条件，掺防冻剂混凝土的强度比指标不同，在相同的养护温度下，强度比愈高，证明防冻效果愈好，强度比愈小，则防冻效果愈差。

试验龄期为 $f_{cu, -7+28}$ 和 $f_{cu, -15+56}$ ，是指试件在负温养护 7d 后转标养 28d 或 56d，与基准混凝土标养 28d 的强度比。

(七) 相对耐久性

相对耐久性，是以标养 28d 龄期的试件，经冻融试验后，掺外加剂混凝土与基准混凝土的弹性模量、强度损失率、质量损失等性能之比。此项性能，国家标准中仅对引气剂、引气减水剂、防水剂和防冻剂有规定，其指标及表示方式见表 D-9。

掺外加剂混凝土相对耐久性指标

表 D-9

性能指标(%)		强度损失率比		质量损失率比		相对动弹性模量比	
		一等品	合格品	等品	合格品	一等品	合格品
防冻水剂	慢冻法	≤100		≤100			
	快冻法	—		≤100		≥100	
防冻剂		≤100		—		—	
引气剂及 引气减水剂		一等品：以 200 次≥30 表示 合格品：以≥300 表示					

注：1. “200 次 ≥ 80 ”表示 28d 龄期掺外加剂混凝土的试件，经冻融循环 200 次后，动弹性模量保留值应 $\geq 80\%$ ；

2. “ ≥ 300 ”表示 28d 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应 $\geq 300\%$ 。

3. 防水剂混凝土上用快冻法或慢冻法试验结果不一致时，应以慢冻法为准。

(八) 抗渗水性比

抗渗水性是反应混凝土防水效果的主要技术指标，抗渗水性能的好坏与掺入防水剂的品种、掺量有关，还与混凝土的配合比及试件制作等因素有关。对掺防冻剂混凝土来说，它是反应防冻剂混凝土早期受冻结后性能是否变坏的主要指标之一。抗渗水性一般以抗渗水压力比表示。渗水压力比愈大，表示防水效果愈好。当基准混凝土的抗渗压力较高时，为了节省时间，当掺外加剂混凝土的抗渗压力达到与基准混凝土相同时，停止升压，将试件劈开，测量试件平均渗水高度，试验结果以渗水高度比表示。

国家标准规定，掺防水剂、防冻剂混凝土抗渗水指标见表 D-10。

掺外加剂混凝土抗渗水指标

表 D-10

抗渗水指标(%)		一等品	合格品
外加剂种类			
防水剂	渗透高度比，不大于	30	40
防冻剂	渗透压力比（或高度比）	不小于 100（或不大于 100）	

（九）吸水率比

吸水率比也是反应掺防水剂混凝土防水效果的重要技术指标之一。吸水率比愈小，表示防水效果愈好。

我国《混凝土防水剂》JC 474—92 标准规定，掺防水剂混凝土 48h 的吸水率比如下：

一级品 $\leq 65\%$

合格品 $\leq 75\%$

（十）钢筋锈蚀

某些外加剂如氯盐类，对混凝土中钢筋有锈蚀作用，而不适用于钢筋混凝土，特别是预应力混凝土，但不影响用于无筋混凝土。因此国家标准不作氯盐含量的规定，只要求说明对钢筋有无锈蚀作用，以使用户掌握使用范围。

二、掺外加剂砂浆的技术性能

有些混凝土外加剂除掺入混凝土中使用外，也常用于水泥砂浆中，如防水剂、膨胀剂、速凝剂。因此规定以水泥砂浆（凝结时间用水泥净浆）的技术性能作为评定这些外加剂的质量，其测试项目及技术要求如下。

（一）防水剂

掺防水剂砂浆的技术要求见表 D-11。

掺防水剂砂浆的技术要求

表 D-11

性能指标		一等品	合格品
试验项目			
安定性		合格	合格
净浆凝结时间	初凝 min, 不早于	45	45
	终凝, h, 不迟于	10	10
抗压强度比, %, 不小于	7d	100	95
	28d	90	85
	90d	85	80
透水压力比, %, 不小于		300	200
48h 吸水量比, %, 不大于		65	75
90d 收缩率比, %, 不大于		110	120

注: 除凝结时间、安定性为受检净浆的试验结果外, 表中所列数据均为受检砂浆与基准砂浆的比值。

(二) 膨胀剂

掺膨胀剂砂浆的技术要求见表 D-12。

掺膨胀剂砂浆的技术要求

表 D-12

项 目		指 标	
细度 1)	比表面积, cm^2/g , 不小于	2500	
	0.08mm 筛筛余, %, 不大于	10	
	1.25mm 筛筛余, %, 不大于	0.5	
含水率, %, 不大于		5.0	
氧化镁, %, 不大于		5.0	
净浆凝结时间	初凝, min, 不早于	45	
	终凝, h, 不迟于	10	
限制膨胀率	水中	一等品, 不小于	0.04
	14d	合格品, 不小于	0.02
(%)	空气 28d, 不小于		-0.02
抗压强度 MPa	7d, 不小于		30.0
	28d, 不小于		47.0
抗折强度 (MPa)	7d, 不小于		5.0
	28d, 不小于		6.8

注: 细度用比表面积和 1.25mm 筛筛余或 0.08mm 筛筛余表示, 但仲裁检验用比表面积和 1.25mm 筛筛余表示。

(三) 速凝剂

掺速凝剂砂浆的技术要求见表 D-13。

掺速凝剂砂浆的技术要求

表 D-13

试验项目 性能指标 产品等级	净浆凝结时间 不迟于(min)		1d 抗压强度 不小于 (MPa)	28d 抗压强度 比, 不小 于, (%)	细度 不大于 (%筛余)	含水率 不大于 (%)
	初凝	终凝				
一等品	3	10	8	75	15	2
合格品	5	10	7	70	15	2

二、外加剂的匀质性

匀质性是指外加剂本身的性能, 生产厂用来控制产品质量的稳定性。国标 GB 8077- 87《混凝土匀质性试验方法》只规定工厂对各项指标控制在一定的波动范围内, 具体指标由各生产厂自定。

匀质性指标的波动范围应符合表 D-14 的要求。

外加剂匀质性指标

表 D-14

试验项目	指标
含固量或含水量	1. 对液体外加剂, 应在生产厂所控制值的相对量的 3% 之内 2. 对固体外加剂, 应在生产厂所控制值的相对量的 5% 之内
密度	对液体外加剂, 应在生产厂所控制值的 ± 0.02 之内
氯离子含量	应在生产厂所控制值相对量的 5% 之内
水泥净浆流动度	应不小于生产厂控制值的 95%

匀质性试验项目包括: 固体含量 (或含水量)、密度、细度、pH 值、表面张力、泡沫性能、氯离子含量、碳酸钠含量、还原糖含量、水泥净浆流动度、水泥砂浆工作性。

D. 0.3 验收规则

一、产品出厂规则

(1) 凡有下列情况之一者, 不得出厂: 无性能检验合格证; 技

术文件不全；包装不符；质量不足；产品受潮变质；以及超过有效期限。

(2) 每个产品均应由生产厂随货提供包括以下内容的技术文件或说明书：产品名称及型号；出厂日期，主要特性及成分；适用范围及适宜掺量；性能检验合格证（匀质性指标及混凝土性能指标）；贮存条件及有效期；使用方法及注意事项。

二、复验规则

复验及仲裁以封存样进行。如使用单位要求现场取样时，可在现场取平均样，并按型式检验项目检验。

三、判定规则

产品经检验应全部符合本标准技术要求的性能指标，否则作为不合格品。

四、包装、贮存及退货

1. 包装

粉状外加剂应采用有塑料袋衬里的编织袋为容器，每袋重20~50kg。液体外加剂应采用塑料桶或有塑料袋内衬的金属桶。所有包装的容器上均应在明显位置注明以下内容：产品名称、型号、净重或体积（包括含量或浓度）、推荐掺量范围、毒性、腐蚀性、易燃性状况、生产厂家、生产日期及出厂编号。

2. 贮存

外加剂应存放在专用仓库或固定的场所妥善保管，并应易于识别，便于检查和提货为原则。

3. 退货

(1) 使用单位在规定的存放条件和有效期内，经复验发现外加剂性能与本标准任何一条不符时，则应予退回或更换。

(2) 实际的质量、体积与规定的质量、体积（按固形物计）有2%的差异时，可以要求退货或补足。粉状的可取50包、液体的可取30桶，称重取平均值而计。

(3) 凡无出厂文件或出厂技术文件不全，以及发现有与出厂技术文件不符合者，可退货。

E. 混凝土拌合物坍落度试验方法

E. 0.1 适用范围

本方法适用于骨料最大粒径不大于 40mm，坍落度值不小于 10mm 的混凝土拌合物稠度测定。

E. 0.2 设备

1. 坍落度筒——用薄钢板或其他金属制成的截头圆锥体筒。低面和顶面应相互平行并与锥体轴线垂直，筒外两侧三分之二高处焊两只把手，近下端两侧焊脚踏板，锥筒内面应光滑且无凸出或凹陷。坍落度筒的内部尺寸为：

底部直径	200±2mm。
顶部直径	100±2mm。
高	300±2mm。
筒壁厚度	不小于 1.5mm。

2. 捣棒——直径 16mm，长 600mm 的钢棒，端部磨圆。

3. 小铲、钢尺等。

E. 0.3 试验步骤

(1) 用湿布湿润坍落度筒及其他用具，并把筒放在一块刚性水平且不吸水的底板上，然后用脚踩住两个脚踏板，使坍落度筒在装料时保持位置固定。

(2) 把按要求取得的混凝土试样用小铲分三层装入筒内，每层捣实后的高度大致为坍落度筒高的三分之一。每层用捣棒插捣二十五次，各次插捣应在每层截面上均匀分布。插捣底层时，捣棒需稍稍倾斜并贯穿整个深度。插捣第二层和顶层时捣棒应插透本层，并使之刚刚插入下一层的表面。各层插捣时均应呈螺旋形由外向中心进行。

插捣顶层前，应将混凝土灌满到高出坍落度筒。如果插捣使混凝土沉落到低于筒口，则应随时添加混凝土。顶层插捣完后，刮去多余的混凝土，并用抹刀抹平。

(3) 清除筒边底板上的混凝土后, 小心垂直平稳地向上提起坍落度筒。坍落度筒的提高过程应在 5~10s 内完成, 注意混凝土试体不受碰撞或震动。从开始装料到提起坍落度筒的整个过程应不间断地进行, 并应在不大于 150s 内完成。

(4) 提起坍落度筒后, 立即量测筒高与坍落后混凝土试体最高点之间的高度差, 即为该混凝土拌合物的坍落度值。^①

粘聚性的检查方法, 是用捣棒在已坍落的混凝土锥体一侧轻打, 如果轻打后锥体渐渐下沉, 表示粘聚性良好, 如果锥体倒塌, 部分崩裂或发生离析现象, 即表示粘聚性不好。

保水性是以混凝土拌合物中稀浆析出的程度来评定。坍落度筒提起后, 如有较多稀浆从底部析出, 而混凝土试体则因失浆而骨料外露, 则表示此类混凝土拌合物的保水性能不好。如坍落度筒提起后无稀浆或仅有少量稀浆自底部析出, 而锥体部分混凝土试体含浆饱满, 则表示此混凝土拌合物保水性良好。

E. 0. 4 结果表达

混凝土拌合物坍落度以 mm 表达, 精确至 5mm。

如果所测的混凝土拌合物坍落度值小于 10mm, 则该拌合物的稠度过干, 宜用其他方法进行测定。

在记录坍落度值的同时应记录混凝土拌合物的粘聚性和保水性情况。

F. 混凝土拌合物工作度 (维勃稠度)

试 验 方 法

F. 0. 1 适用范围

本方法适用于骨料最大粒径不超过 40mm、维勃稠度在 5~30s 之间的混凝土拌合物稠度测定。

① 在测量坍落度值的同时, 应目测检查混凝土的粘聚性及保水性。

F.0.2 设备

(1) 维勃稠度仪 (见图 F-1):

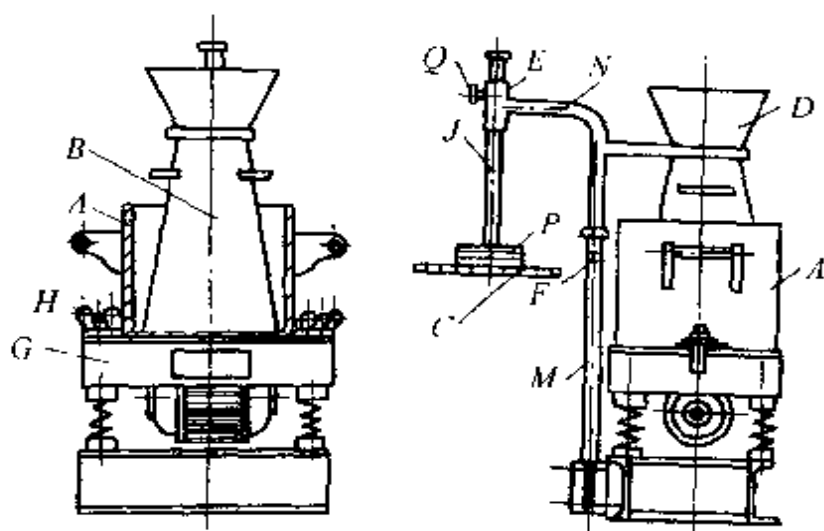


图 F-1 维勃稠度仪

注: A—容器; B—坍落度筒; C—透明圆盘; D—喂料斗;
E—套管; F—定位螺丝; G—震动台; H—固定螺丝; J—测杆;
M—支柱; N—旋转架; P—荷重块; Q—测杆螺丝

其组成如下:

1) 振动台:

台面 380mm, 宽 260mm, 支承在四个减振器上, 其水平误差全长不超过 1mm。

2) 容器:

由钢板制成, 内径为 $240 \pm 3\text{mm}$, 高为 $200 \pm 2\text{mm}$, 筒壁厚为 3mm, 筒底厚为 7.5mm。

3) 坍落度筒: 要求及构造与附录 E 相同, 但应去掉两侧的脚步板。

4) 旋转架连接测杆及喂料斗: 测杆下端安装透明而水平的圆盘, 并用螺栓把测杆固定在套筒中。坍落度筒在容器中心安放好后, 把喂料斗的底部套在坍落度筒上。旋转架安装在支柱上, 通过十字凹槽来转换方向, 并用定位螺丝来固定其位置。就位后, 测杆或喂料斗的轴线应和容器的轴线重合。

透明圆盘直径为 $230 \pm 2\text{mm}$, 厚度为 $10 \pm 2\text{mm}$ 。荷重块直接

固定在圆盘上。由测杆、圆盘及荷重块组成的滑动部分之重量应调至 $2750 \pm 50\text{g}$ 。测杆上应有刻度以读出混凝土的坍落度值。

(2) 捣棒：同附录 E。

(3) 秒表：精度 0.5s。

(4) 小铲等。

F.0.3 试验步骤

(1) 把维勃稠度仪水平放置在坚实的基面上。

(2) 用湿布把容器、坍落度筒及喂料斗内壁湿润。

(3) 将喂料斗转到坍落度筒上方扣紧，校正容器位置，使其中心与喂料斗中心重合，然后拧紧螺丝。

(4) 装料及插捣方法见附录 E。

(5) 使圆盘、喂料斗都转离坍落度筒，小心并垂直地提起坍落度筒，并注意不使混凝土试体受到碰撞或震动。

(6) 把透明圆盘转到混凝土锥体顶面，放松测杆螺丝，使圆盘轻轻落到混凝土顶面，此时应防止塌落的混凝土倒下与容器内壁相碰。如有需要可记录坍落度值。

(7) 拧紧螺丝，同时开启振动台和秒表，当振动到透明圆盘的底面被水泥浆布满的瞬间停表计时，并关闭振动台。

(8) 记录秒表上时间，读数精确到 1s。

F.0.4 结果表达

由秒表读出的时间，表示所试验混凝土拌合物的维勃稠度值。

如果维勃稠度值小于 5s 或大于 30s，由此种混凝土所具有的稠度已超出本仪器的实用范围。

G. 混凝土拌合物表观密度试验方法

G.0.1 适用范围

本方法适用于测定骨料最大粒径不大于 40mm 的混凝土拌合物捣实后的单位体积质量。

G.0.2 设备

(1) 磅 秤：秤量 100kg，感量 50g。

(2) 容量筒：金属制成的圆筒，容积为 5L，内径与高均为 $186 \pm 2\text{mm}$ ，筒壁厚为 3mm。容量筒上缘及内壁应平整无凹凸部位，顶面与底面应平行并与圆柱体的轴线垂直。两旁装有把手，容量筒应具有一定的刚性且不漏水。

(3) 捣 棒：同附录 E。

(4) 振动台：频率应为 $50 \pm 3\text{Hz}$ ，空载振幅应为 $0.5 \pm 0.1\text{mm}$ 。

(5) 小铲、抹刀、金属直尺等。

G.0.3 试验步骤

(1) 试验前用湿布将容量筒内外擦干净，称出容量筒重量，精确至 50g。

(2) 拌合物的装料及捣实方法应视混凝土的稠度而定，一般来说，坍落度不大于 70mm 的混凝土，用振动台振实，大于 70mm 的用捣棒人工捣实。

(3) 采用振动法捣实时，混凝土拌合物应一次装入容量筒，装料时可稍加插捣，并应装满至高出筒口，然后把筒移至振动台上振实至拌合物表面出现水泥浆为止。振动时混凝土沉落到低于筒口，则应随时添加混凝土。

(4) 采用插捣法捣实时，混凝土拌合物分二层装入容量筒，每层捣实后的高度约为筒高的二分之一。每层插捣二十五次，各次插捣应在每层截面上均匀分布。插捣底层时捣棒应贯穿整个深度，插捣顶层时，捣棒应插透本层，并使之刚刚插入下一层的表面。每捣一层完毕后，可把捣棒垫在筒底，将筒左右交替地颠击地而各 15 次。

(5) 用金属直尺沿筒口将捣实后多余的混凝土拌合物刮去，仔细擦净容量筒外壁，然后称出重量，精确至 50g。

G.0.4 结果计算

用下式计算混凝土拌合物表观密度，计算精确至 10kg/m^3 。

$$\rho_b = \frac{G_b - G_1}{V} \times 1000$$

式中 ρ_b ——混凝土拌合物的表观密度 (kg/m³);

G_b ——容量筒和混凝土拌合物共重 (kg);

G_1 ——空容量筒的重量 (kg);

V ——空容量筒的容积 (L)。

注: 容量筒容积应经常予以校正, 校正方法是用一块能覆盖住容量筒的玻璃板, 先称出玻璃板和空筒的重量, 然后向容量筒中灌入清洁的饮用水, 灌水满到上口时把玻璃板沿筒口徐徐推入, 同时并应继续加水以排除玻璃板底部的气泡盖严。最后擦净筒外壁水分, 将容量筒连同玻璃板放在磅秤上称量, 两次称量之差 (以 kg 计) 即为容量筒的容积 (L)。

H. 混凝土立方体抗压强度试验

H. 0. 1 适用范围

本方法适用于测定混凝土立方体试件的抗压强度。

H. 0. 2 设备

试验机: 混凝土立方体抗压强度试验所采用试验机的精度 (示值的相对误差) 至少应为 $\pm 2\%$, 其量程应能使试件的预期破坏荷载值不小于全量程的 20%, 也不大于全量程的 80%。

试验机上、下压板及试件之间可各垫以钢垫板, 钢垫板的两承压面均应机械加工。

与试件接触的压板或垫板的尺寸应大于试件的承压面, 其不平度应为每 100mm 不超过 0. 02mm。

H. 0. 3 试验步骤

试件从养护地点取出后, 应尽快进行试验, 以免试件内部的温度发生显著变化。混凝土立方体抗压强度试验应按下列步骤进行:

(1) 先将试件擦拭干净, 测量尺寸, 并检查其外观。试件尺寸测量精确至 1mm, 并据此计算试件的承压面积。如实测尺寸与公称尺寸之差不超过 1mm, 可按公称尺寸进行计算。

试件承压面的不平度应为每 100mm 不超过 0. 05mm, 承压面

与相邻面的不垂直度不应超过 $\pm 1^\circ$ 。

(2) 将试件安放在试验机的下压板上，试件的承压面应与成型时的顶面垂直。试件的中心应与试验机下压板中心对准。开动试验机，当上压板与试件接近时，调整球座，使接触均衡。

(3) 混凝土试件的试验应连续而均匀地加荷，加荷速度应为：混凝土强度等级低于 C30 时，取每秒钟 0.3~0.5MPa；混凝土强度等级高于或等于 C30 时，取每秒钟 0.5~0.8MPa。当试件接近破坏而开始迅速变形时，停止调整试验机油门，直至试件破坏。然后记录破坏荷载 (P)。

H.0.4 结果计算

混凝土立方体试件抗压强度应按下列公式计算：

$$f_{cc} = \frac{P}{A}$$

式中 f_{cc} — 混凝土立方体试件抗压强度 (MPa)；

P — 破坏荷载 (N)；

A — 试件承压面积 (mm^2)。

混凝土立方体抗压强度计算应精确至 0.1MPa。

以三个试件测值的算术平均值作为该组试件的抗压强度值。三个测值中的最大值或最小值中如有一个与中间值的差值超过中间值的 15% 时，则把最大及最小值一并舍除，取中间值作为该组试件的抗压强度值。如有两个测值与中间值的差均超过中间值的 15%，则该组试件的试验结果无效。

取 150mm×150mm×150mm 试件的抗压强度为标准值，用其他尺寸时测得的强度值均应乘以尺寸换算系数，其值为对 200mm×200mm×200mm 试件为 1.05；对 100×100×100mm 试件为 0.95。

K. 代号及公式符号

1. 水泥代号

P·I — 硅酸盐水泥（不掺混合材料）。

P · I --- 掺入不超过水泥重量 5% 高炉矿渣的硅酸盐水泥。

P · O——普通硅酸盐水泥（掺水泥重 6%~15% 混合材）。

P · S --- 矿渣硅酸盐水泥（掺水泥重量 20%~70% 高炉矿渣混合材）。

P · P——火山灰质硅酸盐水泥，简称火山灰水泥（掺水泥重量 20%~50% 火山灰混合材）。

P · F——粉煤灰硅酸盐水泥，简称粉煤灰水泥（掺水泥重量 20%~40% 粉煤灰混合材）。

P · C——复合硅酸盐水泥，简称复合水泥（掺入水泥重量 15%~50% 两种或两种以上混合材）。

2. 本书主要公式符号

$f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度，MPa；

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值，MPa；

σ ——混凝土强度标准差，MPa（查本书表 2-19）；

α_a 、 α_b ——回归系数（查本书表 2-21）；

f_{ce} ——水泥 28d 抗压强度实测值，MPa；

$f_{ce,g}$ ——水泥强度等级值，MPa；

γ_c ——水泥强度等级值的富余系数（可按实际统计资料确定）；

m_{co} ——每立方米混凝土理论配合比水泥用量，kg；

m_{go} ——每立方米混凝土理论配合比粗骨料用量，kg；

m_{so} ——每立方米混凝土理论配合比细骨料用量，kg；

m_{wo} ——每立方米混凝土理论配合比的用水量，kg；

β_s ——砂率，%；

m_{cp} ——每立方米混凝土拌合物的假定重量，kg（可取 2350~2450）；

ρ_c ——水泥密度，kg/m³（可取 2900~3100）；

ρ_g 、 ρ_s 、 ρ_w ——粗骨料、细骨料和水的密度，kg/m³（ ρ_w 可取 1000）；

α ——混凝土的含气量百分数, % (不用引气型外加剂时, $\alpha=1$);

m_{wa} ——掺外加剂混凝土每立方米用水量, kg;

β ——外加剂的减水率, %;

m_{cj} 、 m_{gj} 、 m_{sj} 、 m_{wj} ——经试配调整后的基准混凝土配合比每立方米材料用量, kg;

m_c 、 m_g 、 m_s 、 m_w ——每立方米混凝土试验室配合比材料用量, kg;

$\rho_{c,t}$ ——混凝土表观密度实测值, kg/m³;

$\rho_{c,c}$ ——混凝土表观密度计算值, kg/m³;

δ ——混凝土配合比校正系数, $\delta = \frac{\rho_{c,t}}{\rho_{c,c}}$;

m'_c 、 m'_g 、 m'_s 、 m'_w ——每立方米混凝土施工配合比材料用量, kg;

a' ——现场砂的含水率, %;

b' ——现场石子的含水率, %;

f' ——粉煤灰取代水泥百分率, % (可查本书表 3-4);

δ_f ——粉煤灰超量系数, (可查本书表 3-3);

m_f ——每立方米混凝土的粉煤灰掺量, kg;

m_{cf} 、 m_{gf} 、 m_{sf} 、 m_{wf} ——每立方米粉煤灰混凝土的材料用量, kg;

T_1 ——泵送混凝土试配时要求的坍落度值, mm;

T_p ——泵送混凝土入泵时要求的坍落度值, mm (可查表 3-7);

ΔT ——试验测得在预计时间内的坍落度经时损失值, mm;

m_{bs} ——每立方米泵送混凝土中泵送剂用量, kg;

m_{cs} 、 m_{gs} 、 m_{ss} 、 m_{ws} ——每立方米泵送混凝土材料用量, kg;

P ——抗渗混凝土设计要求的抗渗等级值;

P_1 ——6 个试件中 4 个未出现渗水时的最大水压值, MPa

$(P_1 \geq \frac{P}{10} + 0.2)$ 。

主要参考文献

1. 《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2000)
2. 《建筑用砂》(GB/T 14684—2001)
3. 《建筑卵石、碎石》(GB/T 14685—2001)
4. 《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB 175—1999)
5. 《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥》(GB 1344—1999)
6. 《复合硅酸盐水泥》(GB 12958—1999)
7. 《混凝土拌合物用水标准》(JGJ 63—1989)
8. 《混凝土结构工程施工及验收规程》(GB 50204—1992)
9. 《混凝土强度等级检验评定标准》(GBJ 107—1987)
10. 《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ 053—1994)
11. 《水泥胶砂强度检验方法 (ISO 法)》(GB/T 17671—1999)
12. 《现行建筑材料规范大全》. 北京: 中国建筑工程出版社, 1993
13. 龚洛书主编. 混凝土实用手册. 北京: 中国建筑工程出版社, 1995
14. 龚洛书主编. 混凝土实验员手册. 北京: 中国建筑科学研究院科技交流部出版. 1994
15. 申爱琴主编. 水泥与水泥混凝土. 北京: 人民交通出版社, 2000
16. 叶琳昌, 沈义编著. 大体积混凝土. 北京: 中国建筑工程出版社, 1987
17. 蔡正咏, 李世绮, 俞瑞堂编著. 1 小时推定混凝土强度新技术. 北京: 人民交通出版社, 1992