

建筑工程施工技术培训丛书

混凝土工程 施工技术

HUNNINGTU GONGCHENG SHIGONG JISHU

孙培祥 主编

依据最新标准规范
收录最新施工技术
结合图表思路清晰
提高技术一本就够

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

建筑工程施工技术培训丛书

混凝土工程施工技术

孙培祥 主编

中国铁道出版社

2012年·北京

内 容 提 要

本书主要内容包括:普通混凝土配合比设计,混凝土工程基本施工技术,预应力混凝土施工,常用特殊混凝土施工,泵送混凝土施工,构筑物混凝土施工,大模板、滑升模板、永久性模板混凝土施工等。

本书内容翔实,语言简洁,重点突出,力求做到图文并茂,表述准确,取值有据,具有较强的指导性和可操作性,是建筑工程项目各级工程技术人员、工程建设监理人员、施工操作人员等必备工具书,也可以作为大中专院校相关专业及建筑施工企业职工培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土工程施工技术/孙培祥主编. —北京:中国铁道出版社,2012. 11

(建筑工程施工技术培训丛书)

ISBN 978-7-113-15349-6

I. ①混… II. ①孙… III. ①混凝土施工—技术培训—教材 IV. ①TU755

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 221094 号

书 名: 建筑工程施工技术培训丛书
混凝土工程施工技术

作 者: 孙培祥

策划编辑: 江新锡 曹艳芳

责任编辑: 冯海燕 电话: 010-51873193

封面设计: 郑春鹏

责任校对: 张玉华

责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京市燕鑫印刷有限公司

版 次: 2012年11月第1版 2012年11月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 11.5 字数: 286千

书 号: ISBN 978-7-113-15349-6

定 价: 29.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话: 市电(010)51873170, 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010)63549504, 路电(021)73187

前 言

我国经济建设飞速发展,城乡建设规模日益扩大,建筑施工队伍不断增加。建筑工程基层施工人员肩负着重要的施工职责,他们将图纸上的建筑线条和数据,一砖一瓦建成实实在在的建筑空间。基层施工人员的技术水平的高低,直接关系到工程项目施工的质量和效率,关系到建筑物的经济效益和社会效益,关系到使用者的生命和财产安全,关系到企业的信誉、前途和发展。为此我们特组织编写该套《建筑工程施工技术培训丛书》。

本丛书不仅涵盖了先进、成熟、实用的建筑工程施工技术,还包括了现代新材料、新技术、新工艺和环境、职业健康安全、节能环保等方面的知识,力求做到技术内容最新、最实用,文字通俗易懂,语言生动,并辅以大量直观的图表,能满足不同文化层次的技术工人和其他读者的需要。

本丛书在编写上充分考虑了施工人员的知识需求,形象具体地阐述施工的要点及基本方法,以使读者从理论知识和技能知识两方面掌握关键点,满足施工现场应具备的技术及操作岗位的基本要求,使刚入行的施工人员与上岗“零距离”接口,尽快入门。

《建筑工程施工技术培训丛书》共分6个分册,包括:《钢筋工程施工技术》、《防水工程施工技术》、《混凝土工程施工技术》、《脚手架及模板工程施工技术》、《砌体工程施工技术》、《装饰装修工程施工技术》。

本丛书所涵盖的内容全面,真正做到了内容的广泛性与结构的系统性相结合,让复杂的内容变得条理清晰,主次分明,有助于广大读者更好地理解和应用。

本丛书涉及施工、质量验收、安全生产等一系列生产过程中的技术问题,内容翔实易懂,最大限度地满足了广大施工人员对施工技术方面知识的需求。

参加本丛书的编写人员有王林海、孙培祥、栾海明、孙占红、宋迎迎、张正南、武旭日、张学宏、孙欢欢、王双敏、王文慧、彭美丽、李仲杰、李芳芳、乔芳芳、张凌、蔡丹丹、许兴云、张亚、张婧芳、叶梁梁、李志刚、朱天立、贾玉梅、白二堂等。

由于我们编写水平有限,书中的缺点在所难免,希望同行和读者给予指正。

编 者
2012年10月

目 录

第一章 普通混凝土配合比设计	1
第一节 普通混凝土配合比设计方法和步骤	1
第二节 普通混凝土配合比计算	3
第三节 特种混凝土的配合比要求	11
第二章 混凝土工程基本施工技术	15
第一节 混凝土的搅拌	15
第二节 混凝土的运输	23
第三节 混凝土的浇筑和振捣	26
第四节 施工缝设置	32
第五节 现浇结构混凝土浇筑	36
第六节 混凝土养护与拆模	56
第七节 混凝土分项工程质量检验	65
第三章 预应力混凝土施工	71
第一节 柱和桩的预制	71
第二节 屋架预制	73
第三节 吊车梁预制	77
第四节 施工质量控制要点	80
第五节 预应力工程质量检验标准	83
第四章 常用特殊混凝土施工	90
第一节 特种材料混凝土	90
第二节 特种功能混凝土	99
第五章 泵送混凝土施工	113
第一节 混凝土的拌制和运输	113
第二节 混凝土泵送及浇筑	114
第三节 质量与安全措施	119
第四节 泵送混凝土施工常见质量问题及防治	120
第六章 构筑物混凝土施工	122
第一节 筒仓混凝土施工	122

第二节 烟囱混凝土施工	126
第三节 水塔混凝土施工	130
第七章 大模板、滑升模板、永久性模板混凝土施工	134
第一节 大模板混凝土施工	134
第二节 滑升模板混凝土施工	143
第三节 永久性模板安装	160
参考文献	178

第一章 普通混凝土配合比设计

第一节 普通混凝土配合比设计方法和步骤

一、配合比设计方法

我国现行的《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)中采用了绝对体积法和假定质量法两种配合比设计方法。所谓绝对体积法(简称“体积法”)是根据填充理论进行设计的。即将混凝土按体积配制粗骨料,细骨料填充粗骨料空隙并考虑混凝土的工作性能确定砂率,根据强度要求及其他要求确定用胶量和水胶比的混凝土配制方法。质量法则是假定混凝土的质量,考虑混凝土不同要求,采用不同质量比的设计方法。

二、配合比设计步骤

- (1) 计算混凝土配制强度,并求出相应的水胶比。
- (2) 选取每立方米混凝土的用水量,并计算出每立方米混凝土的水泥用量。
- (3) 选取砂率,计算粗骨料和细骨料的用量,并提出供试配用的计算配合比。
- (4) 混凝土配合比试配。
- (5) 混凝土配合比调整。
- (6) 混凝土配合比确定。
- (7) 根据粗骨料与细骨料的实际含水量,调整计算配合比,确定混凝土施工配合比。

三、配合比设计的要求

(1) 混凝土配合比设计应采用工程实际使用的原材料,并应满足国家现行标准的有关要求;配合比设计应以干燥状态骨料为基准,细骨料含水率应小于0.5%,粗骨料含水率应小于0.2%。

(2) 混凝土的最大水胶比应符合《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2011)的规定。

(3) 除配制C15及其以下强度等级的混凝土外,混凝土的最小胶凝材料用量见表1-1。

表 1-1 混凝土的最小胶凝材料用量

最大水胶比	最小胶凝材料用量 (kg/m ³)		
	素混凝土	钢筋混凝土	预应力混凝土
0.60	250	280	300
0.55	280	300	300
0.50	320		
≤0.45	330		

(4) 矿物掺合料在混凝土中的掺量应通过试验确定。钢筋混凝土中矿物掺合料最大掺量

宜符合表 1-2 的规定；预应力钢筋混凝土中矿物掺合料最大掺量宜符合表 1-3 的规定。对基础大体积混凝土，粉煤灰、粒化高炉矿渣粉和复合掺合料的最大掺量可增加 5%。采用掺量大于 30% 的 C 类粉煤灰的混凝土应以实际使用的水泥和粉煤灰掺量进行安定性检验。

表 1-2 钢筋混凝土中矿物掺合料最大掺量

矿物掺合料种类	水胶比	最大掺量 (%)	
		硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥
粉煤灰	≤0.40	≤45	≤35
	>0.40	≤40	≤30
粒化高炉矿渣粉	≤0.40	≤65	≤55
	>0.40	≤55	≤45
钢渣粉	—	≤30	≤20
磷渣粉	—	≤30	≤20
硅灰	—	≤10	≤10
复合掺合料	≤0.40	≤60	≤50
	>0.40	≤50	≤40

- 注：1. 采用其他通用硅酸盐水泥时，宜将水泥混合料掺量 20% 以上的混合料计入矿物掺合料。
2. 复合掺合料各组分的掺量不宜超过单掺时的最大掺量。
3. 在混合使用两种或两种以上矿物掺合料时，矿物掺合料总掺量应符合表中复合掺合料的规定。

表 1-3 预应力钢筋混凝土中矿物掺合料最大掺量

矿物掺合料种类	水胶比	最大掺量 (%)	
		硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥
粉煤灰	≤0.40	35	30
	>0.40	25	20
粒化高炉矿渣粉	≤0.40	55	45
	>0.40	45	35
钢渣粉	—	20	10
磷渣粉	—	20	10
硅灰	—	10	10
复合掺合料	≤0.40	50	40
	>0.40	40	30

- 注：1. 采用其他通用硅酸盐水泥时，宜将水泥混合料掺量 20% 以上的混合料计入矿物掺合料。
2. 复合掺合料各组分的掺量不宜超过单掺时的最大掺量。
3. 在混合使用两种或两种以上矿物掺合料时，矿物掺合料总掺量应符合表中复合掺合料的规定。

(5) 混凝土拌和物中水溶性氯离子最大含量应符合表 1-4 的要求。混凝土拌和物中水溶性氯离子含量应按照现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270—1998) 中混凝土拌和物中氯离子含量的快速测定方法进行测定。

表 1-4 混凝土拌和物中水溶性氯离子最大含量

环境条件	水溶性氯离子最大含量（%，水泥用量的质量百分数）		
	钢筋混凝土	预应力混凝土	素混凝土
干燥环境	0.30	0.06	1.00
潮湿但不含氯离子的环境	0.20		
潮湿而含有氯离子的环境、盐渍土环境	0.10		
除冰盐等侵蚀性物质的腐蚀环境	0.06		

(6) 长期处于潮湿或水位变动的寒冷和严寒环境、以及盐冻环境的混凝土应掺用引气剂。引气剂掺量应根据混凝土含气量要求经试验确定；掺用引气剂的混凝土最小含气量应符合表 1-5 的规定，最大不宜超过 7.0%。

表 1-5 掺用引气剂的混凝土最小含气量

粗骨料最大公称粒径（mm）	混凝土最小含气量（%）	
	潮湿或水位变动的寒冷和严寒环境	盐冻环境
40.0	4.5	5.0
25.0	5.0	5.5
20.0	5.5	6.0

注：含气量为气体占混凝土体积的百分率。

(7) 对于有预防混凝土碱骨料反应设计要求的工程，混凝土中最大碱含量不应大于 3.0 kg/m^3 ，并宜掺用适量粉煤灰等矿物掺合料；对于矿物掺合料碱含量，粉煤灰碱含量可取实测值的 1/6，粒化高炉矿渣粉碱含量可取实测值的 1/2。

第二节 普通混凝土配合比计算

一、混凝土配制强度的确定

1. 混凝土配制强度

(1) 当混凝土的设计强度等级小于 C60 时，配制强度应按下式计算。

$$f_{\text{cu},0} \geq f_{\text{cu},k} + 1.645\sigma$$

式中 $f_{\text{cu},0}$ ——混凝土配制强度（MPa）；

$f_{\text{cu},k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值，这里取设计混凝土强度等级值（MPa）；

σ ——混凝土强度标准差（MPa）。

(2) 当设计强度等级大于或等于 C60 时，配制强度应按下式计算。

$$f_{\text{cu},0} \geq 1.15f_{\text{cu},k}$$

混凝土强度的简介

1. 混凝土强度

混凝土强度包括抗压、抗拉、抗弯和抗剪，其中以抗压强度为最高，所以混凝土主要用来抗压。混凝土的抗压强度是一项最重要的性能指标。按照国家规定，以边长为 150 mm 的立方体试块，在标准养护条件下（温度为 20℃ 左右，相对湿度大于 90%）养护

28 d, 测得的抗压强度值, 称为立方抗压强度 f_{cu} 。混凝土按强度分成若干强度等级, 混凝土的强度等级是按立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 划分的。立方体抗压强度标准值是立方抗压强度总体分布中的一个值, 强度低于该值的百分率不超过 5%, 即有 95% 的保证率。混凝土的强度分为 C7.5、C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60 12 个等级。

2. 提高混凝土强度措施

(1) 采用高强度等级水泥。

(2) 采用干硬性混凝土拌和物。

(3) 采用湿热处理: 分为蒸汽养护和蒸压养护。蒸汽养护是在温度低于 100℃ 的常压蒸汽中进行。一般混凝土经 16~20 h 的蒸汽养护后, 强度可达正常养护条件下 28 d 强度的 70%~80%。蒸压养护是在 175℃ 的蒸压釜内进行。在高温高压的条件下, 可有效提高混凝土强度。

(4) 改进施工工艺: 加强搅拌和振捣, 采用混凝土拌和用水磁化、混凝土裹石搅拌等新技术。

(5) 加入外加剂: 如加入减水剂和早强剂等, 可提高混凝土强度。

2. 混凝土强度标准差

(1) 当具有近 1~3 个月的同一品种、同一强度等级混凝土的强度资料时, 其混凝土强度标准差 σ 应按下式计算。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - n m_{f_{cu}}^2}{n - 1}}$$

式中 σ ——混凝土强度标准差;

$f_{cu,i}$ ——第 i 组的试件强度 (MPa);

$m_{f_{cu}}$ —— n 组试件的强度平均值 (MPa);

n ——试件组数, n 值应大于或者等于 30。

对于强度等级不大于 C30 的混凝土: 当 σ 计算值不小于 3.0 MPa 时, 应按上式计算结果取值; 当 σ 计算值小于 3.0 MPa 时, σ 应取 3.0 MPa。对于强度等级大于 C30 且小于 C60 的混凝土: 当 σ 计算值不小于 4.0 MPa 时, 应按上式计算结果取值; 当 σ 计算值小于 4.0 MPa 时, σ 应取 4.0 MPa。

(2) 当没有近期的同一品种、同一强度等级混凝土强度资料时, 其强度标准差 σ 可按表 1-6 取值。

表 1-6 混凝土强度标准差 σ 值

(单位: MPa)

混凝土强度标准值	≤20	C25~C45	C50~C55
σ	4.0	5.0	6.0

二、混凝土配合比计算

1. 水胶比

(1) 混凝土强度等级不大于 C60 等级时, 混凝土水胶比宜按下式计算。

$$W/B=\frac{\alpha_a\cdot f_b}{f_{cu,0}+\alpha_a\cdot\alpha_b\cdot f_b}$$

式中 W/B——混凝土水胶比；

α_a 和 α_b ——回归系数，取值应符合表 1-7 的规定；

f_b ——胶凝材料（水泥与矿物掺合料按使用比例混合）28 d 胶砂强度（MPa），试验方法应按现行国家标准《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》（GB/T 17671—1999）执行；当无实测值时，可按下列第（3）条中的公式确定。

（2）回归系数 α_a 和 α_b 宜按下列规定确定。

- 1）根据工程所使用的原材料，通过试验建立的水胶比与混凝土强度关系式来确定。
- 2）当不具备上述试验统计资料时，可按表 1-7 采用。

表 1-7 回归系数 α_a 、 α_b 选用表

系 数 \ 粗骨料品种	碎石	卵石
α_a	0.53	0.49
α_b	0.20	0.13

（3）当胶凝材料 28 d 胶砂抗压强度值（ f_b ）无实测值时，可按下式计算。

$$f_b=\gamma_f\gamma_s f_{ce}$$

式中 γ_f 、 γ_s ——粉煤灰影响系数和粒化高炉矿渣粉影响系数，可按表 1-8 选用；

f_{ce} ——水泥 28 d 胶砂抗压强度（MPa），可实测，也可按下面第（4）条中的公式选用。

表 1-8 粉煤灰影响系数（ γ_f ）和粒化高炉矿渣粉影响系数（ γ_s ）

种 类 \ 掺量（%）	粉煤灰影响系数 γ_f	粒化高炉矿渣粉影响系数 γ_s
0	1.00	1.00
10	0.90~0.95	1.00
20	0.80~0.85	0.95~1.00
30	0.70~0.75	0.90~1.00
40	0.60~0.65	0.80~0.90
50	—	0.70~0.85

注：1. 采用Ⅰ级、Ⅱ级粉煤灰宜取上限值。

2. 采用 S75 级粒化高炉矿渣粉宜取下限值，采用 S95 级粒化高炉矿渣粉宜取上限值，采用 S105 级粒化高炉矿渣粉可取上限值加 0.05。

3. 当超出表中的掺量时，粉煤灰和粒化高炉矿渣粉影响系数应经试验确定。

（4）当水泥 28 d 胶砂抗压强度（ f_{ce} ）无实测值时，可按下式计算。

$$f_{ce}=\gamma_c f_{c,e,g}$$

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；当缺乏实际统计资料时，也可按表 1-9 选用；

$f_{ce,g}$ ——水泥强度等级值 (MPa)。

表 1-9 水泥强度等级值的富余系数 (γ_c)

水泥强度等级值	32.5	42.5	52.5
富余系数	1.12	1.16	1.10

水胶比简介

水胶比是拌制水泥浆、砂浆、混凝土时所用的水和水泥的质量之比。水胶比影响混凝土的流变性能、水泥浆凝聚结构以及其硬化后的密实度，因而在组成材料给定的情况下，水胶比是决定混凝土强度、耐久性和其他一系列物理力学性能的主要参数。

2. 用水量和外加剂用量

(1) 每立方米干硬性或塑性混凝土的用水量 (m_{w0}) 应符合下列规定。

- 1) 混凝土水胶比在 0.40~0.80 范围时，可按表 1-10 和表 1-11 选取。
- 2) 混凝土水胶比小于 0.40 时，可通过试验确定。

表 1-10 干硬性混凝土的用水量 (单位: kg/m^3)

拌和物稠度		卵石最大公称粒径 (mm)			碎石最大粒径 (mm)		
项目	指标	10.0	20.0	40.0	16.0	20.0	40.0
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

表 1-11 塑性混凝土的用水量 (单位: kg/m^3)

拌和物稠度		卵石最大粒径 (mm)				碎石最大粒径 (mm)			
项目	指标	10.0	20.0	31.5	40.0	16.0	20.0	31.5	40.0
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取值。采用细砂时，每立方米混凝土用水量可增加 5~10 kg；采用粗砂时，可减少 5~10 kg。

2. 掺用矿物掺合料和外加剂时，用水量应相应调整。

(2) 掺外加剂时，每立方米流动性或大流动性混凝土的用水量 (m_{w0}) 可按下式计算。

$$m_{w0} = m_{w0'} (1 - \beta)$$

式中 m_{w0} ——满足实际坍落度要求的每立方米混凝土用水量 (kg/m^3)；

$m_{w0'}$ ——未掺外加剂时推定的满足实际坍落度要求的每立方米混凝土用水量 (kg/m^3)，以表 1-11 中 90 mm 坍落度的用水量为基础，按每增大 20 mm 坍落度相应增加 5 kg/m^3 用水量来计算，当坍落度增大到 180 mm 以上时，随坍



落度相应增加的用水量可减少；

β ——外加剂的减水率（%），应经混凝土试验确定。

(3) 每立方米混凝土中外加剂用量 (m_{a0}) 应按下式计算：

$$m_{a0} = m_{b0} \beta_a$$

式中 m_{a0} ——每立方米混凝土中外加剂用量 (kg/m^3)；

m_{b0} ——计算配合比每立方米混凝土中胶凝材料用量 (kg/m^3)；

β_a ——外加剂掺量（%），应经混凝土试验确定。

混凝土用水标准简介

混凝土拌和用水水质要求应符合表 1-12 的要求，对于设计使用年限为 100 年的结构混凝土，氯离子含量不得超过 500 mg/L，对于使用钢丝或经热处理钢筋的预应力混凝土，氯离子含量不得超过 350 mg/L。

表 1-12 混凝土拌和用水水质要求

项目	预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
pH 值	≥ 5.0	≥ 4.5	≥ 4.5
不溶物 (mg/L)	$\leq 2\ 000$	$\leq 2\ 000$	$\leq 5\ 000$
可溶物 (mg/L)	$\leq 2\ 000$	$\leq 5\ 000$	$\leq 10\ 000$
Cl^- (mg/L)	≤ 500	$\leq 1\ 000$	$\leq 3\ 500$
SO_4^{2-} (mg/L)	≤ 600	$\leq 2\ 000$	$\leq 2\ 700$
碱含量 (mg/L)	$\leq 1\ 500$	$\leq 1\ 500$	$\leq 1\ 500$

注：碱含量按 $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值来表示。采用非碱活性骨料时，可不检验碱含量。

外加剂的简介

外加剂是指在混凝土拌和过程中掺入的，且能使混凝土按要求改性的物质。混凝土外加剂的特点是品种多、掺量小，在改善新拌和硬化混凝土性能中起着重要的作用。外加剂的研究和实践证明，在混凝土中掺入功能各异的外加剂，满足了改善混凝土的工艺性能和力学性能的要求，如改善和易性、调节凝结时间、延缓水化放热、提高早期强度、增加后期强度、提高耐久性、增加混凝土与钢筋的握裹力、防止钢筋锈蚀等的要求。外加剂的应用促进了混凝土施工新技术和新品种混凝土的发展。

3. 胶凝材料、矿物掺合料和水泥用量

(1) 每立方米混凝土的胶凝材料用量 (m_{b0}) 应按下式计算。

$$m_{b0} = \frac{m_{w0}}{W/B}$$

式中 m_{b0} ——计算配合比每立方米混凝土中胶凝材料用量 (kg/m^3)；

m_{w0} ——计算配合比每立方米混凝土的用水量 (kg/m^3)；

W/B ——混凝土水胶比。

(2) 每立方米混凝土的矿物掺合料用量 (m_{f0}) 应按按下式计算。

$$m_{f0} = m_{b0} \beta_f$$

式中 m_{f0} ——计算配合比每立方米混凝土中矿物掺合料用量 (kg/m^3)；

β_f ——矿物掺合料掺量（%），可结合表 1-3 和混凝土水胶比计算公式确定。

(3) 每立方米混凝土的水泥用量 (m_{c0}) 应按下式计算。

$$m_{c0} = m_{b0} - m_{f0}$$

式中 m_{c0} ——计算配合比每立方米混凝土中水泥用量 (kg/m^3)。

4. 砂率

(1) 砂率 (β_s) 应根据骨料的技术指标、混凝土拌和物性能和施工要求, 参考既有历史资料确定。

(2) 当缺乏砂率的历史资料时, 混凝土砂率的确定应符合下列规定。

1) 坍落度小于 10 mm 的混凝土, 其砂率应经试验确定。

2) 坍落度为 10~60 mm 的混凝土砂率, 可根据粗骨料品种、最大公称粒径及水胶比按表 1-13 选取。

3) 坍落度大于 60 mm 的混凝土砂率, 可经试验确定, 也可在表 1-13 的基础上, 按坍落度每增大 20 mm、砂率增大 1% 的幅度予以调整。

表 1-13 混凝土的砂率 (%)

水胶比 (W/B)	卵石最大公称粒径 (mm)			碎石最大粒径 (mm)		
	10.0	20.0	40.0	16.0	20.0	40.0
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. 采用人工砂配制混凝土时, 砂率可适当增大。

3. 只用一个单粒级粗骨料配制混凝土时, 砂率应适当增大。

砂率的简介

砂率是指混凝土中砂的用量占砂、石总量的质量分数。当砂率过大时, 由于骨料的空隙率与总表面积增大, 在水泥浆用量一定的条件下, 包覆骨料的水泥浆层减薄, 流动性变差; 若砂率过小, 砂的体积不足以填满石子的空隙, 要用部分水泥浆填充, 使起润滑作用的水泥浆层减薄, 混凝土变得粗涩, 和易性变差, 出现离析、溃散现象。而在合理砂率下, 在水泥浆量一定的情况下, 使混凝土拌和物有良好的和易性。或者说, 当采用合理砂率时, 在混凝土拌和物有良好的和易性条件下, 可使水泥用量最少。可见合理砂率, 就是保持混凝土拌和物有良好粘聚性和保水性的最小砂率。

混凝土用砂、石的简介

1. 砂

砂按其产源可分天然砂、人工砂。由自然条件作用而形成的, 粒径在 5 mm 以下的岩石颗粒, 称为天然砂。天然砂可分为河砂、湖砂、海砂和山砂。人工砂又分机制砂、混合砂。人工砂是未经除土处理的机制砂、混合砂的统称。机制砂是由机械破碎、筛分制成的, 粒径小于 4.75 mm 的岩石颗粒, 但不包括软质岩、风化岩石的颗粒。混合砂是由机制砂和天然砂混合制成的砂。按砂的粒径可分为粗砂、中砂和细砂, 目前以细度模数来划分粗砂、中砂和细砂, 习惯上仍用平均粒径来区分, 见表 1-14。

表 1-14 砂的分类

粗细程度	细度模数 M_x	平均粒径 (mm)
粗砂	3.7~3.1	0.5 以上
中砂	3.0~2.3	0.35~0.5
细砂	2.2~1.6	0.25~0.35

2. 石

由天然岩石或卵石经破碎、筛分而得的，粒径在 5 mm 以上的岩石颗粒称为粗骨料，即石子。石子有天然卵石和人工碎石两种。卵石（砾石）根据产源可分为河卵石、海卵石及山卵石三种。山卵石杂质含量多，使用时需冲洗；海卵石中常混有不坚固的贝壳；河卵石表面光滑，少棱角，比较洁净，基本具天然级配，且产地分布广，是普通混凝土常用的粗骨料。碎石是由天然岩石或卵石经破碎、筛分而得的粒径大于 5 mm 的岩石颗粒，表面粗糙且带棱角，与水泥粘结比较牢固，也是普通混凝土特别是高强混凝土的首选骨料。

5. 粗、细骨料用量

(1) 采用质量法计算粗、细骨料用量和砂率时，应按下列公式计算。

$$m_{f0} + m_{c0} + m_{g0} + m_{s0} + m_{w0} = m_{cp}$$

$$\beta_s = \frac{m_{s0}}{m_{g0} + m_{s0}} \times 100\%$$

式中 m_{g0} ——每立方米混凝土的粗骨料用量 (kg/m^3)；

m_{s0} ——每立方米混凝土的细骨料用量 (kg/m^3)；

m_{w0} ——每立方米混凝土的用水量 (kg/m^3)；

β_s ——砂率 (%)；

m_{cp} ——每立方米混凝土拌和物的假定质量 (kg/m^3)，可取 2 350~2 450 kg/m^3 。

(2) 当采用体积法计算混凝土配比时，砂率用上述公式计算，粗、细骨料用量应按下列公式计算。

$$\frac{m_{c0}}{\rho_c} + \frac{m_{f0}}{\rho_f} + \frac{m_{g0}}{\rho_g} + \frac{m_{s0}}{\rho_s} + \frac{m_{w0}}{\rho_w} + 0.01\alpha = 1$$

式中 ρ_c ——水泥密度 (kg/m^3)，应按《水泥密度测定方法》(GB/T 208—1994) 测定，也可取 2 900~3 100 kg/m^3 ；

ρ_f ——矿物掺合料密度 (kg/m^3)，可按《水泥密度测定方法》(GB/T 208—1994) 测定；

ρ_g ——粗骨料的表观密度 (kg/m^3)，应按现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52—2006) 测定；

ρ_s ——细骨料的表观密度 (kg/m^3)，应按现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52—2006) 测定；

ρ_w ——水的密度 (kg/m^3)，可取 1 000 kg/m^3 ；

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。

三、混凝土配合比的试配与调整

1. 试配

(1) 混凝土试配应采用强制式搅拌机，搅拌机应符合现行行业标准《混凝土试验用搅拌机》(JG 244—2009) 的规定，搅拌方法宜与施工采用的方法相同。

(2) 试验室成型条件应符合现行国家标准《普通混凝土拌和物性能试验方法标准》(GB/T 50080—2002) 的规定。

(3) 每盘混凝土试配的最小搅拌量应符合表 1-15 的规定，并不应小于搅拌机公称容量的 1/4 且不应大于搅拌机公称容量。

表 1-15 混凝土试配的最小搅拌量

粗骨料最大公称粒径 (mm)	最小搅拌的拌和物量 (L)
≤31.5	20
40.0	25

(4) 在计算配合比的基础上进行试拌。计算水胶比宜保持不变，并应通过调整配合比其他参数使混凝土拌和物性能符合设计和施工要求，然后修正计算配合比，提出试拌配合比。

(5) 应在试拌配合比的基础上，进行混凝土强度试验，并应符合下列规定。

1) 应至少采用三个不同的配合比。当采用三个不同的配合比时，其中一个应为上述第 (4) 条确定的试拌配合比，另外两个配合比的水胶比宜较试拌配合比分别增加和减少 0.05，用水量应与试拌配合比相同，砂率可分别增加和减少 1%。

2) 进行混凝土强度试验时，应继续保持拌和物性能符合设计和施工要求。

3) 进行混凝土强度试验时，每个配合比至少应制作一组试件，标准养护到 28 d 或设计规定龄期时试压。

2. 配合比的调整

(1) 配合比调整应符合下述规定。

1) 根据上述第 (5) 条混凝土强度试验结果，宜绘制强度和胶水比的线性关系图或用插值法确定略大于配制强度的强度对应的胶水比。

2) 在试拌配合比的基础上，用水量 (m_w) 和外加剂用量 (m_a) 应根据确定的水胶比作调整。

3) 胶凝材料用量 (m_b) 应以用水量乘以确定的胶水比计算得出。

4) 粗骨料和细骨料用量 (m_g 和 m_s) 应在用水量和胶凝材料用量进行调整。

(2) 混凝土拌和物表观密度和配合比校正系数的计算应符合下列规定。

1) 配合比调整后的混凝土拌和物的表观密度应按下式计算。

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

2) 混凝土配合比校正系数按下式计算。

$$\delta = \frac{\rho_{c,t}}{\rho_{c,c}}$$

式中 δ ——混凝土配合比校正系数；

$\rho_{c,t}$ ——混凝土拌和物表观密度实测值 (kg/m^3)；

$\rho_{c,c}$ ——混凝土拌和物表观密度计算值 (kg/m^3)。

(3) 当混凝土拌和物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, 按上述第 (1) 条调整的配合比可维持不变; 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 。

(4) 配合比调整后, 应测定拌和物水溶性氯离子含量, 试验结果应符合表 1-4 的规定。

(5) 对耐久性有设计要求的混凝土应进行相关耐久性试验验证。

(6) 生产单位可根据常用材料设计出常用的混凝土配合比备用, 并应在使用过程中予以验证或调整。遇有下列情况之一时, 应重新进行配合比设计:

- 1) 对混凝土性能有特殊要求时;
- 2) 水泥外加剂或矿物掺合料品种质量有显著变化时。

第三节 特种混凝土的配合比要求

一、抗渗混凝土

1. 原材料

- (1) 水泥宜采用普通硅酸盐水泥。
- (2) 粗骨料宜采用连续级配, 其最大公称粒径不宜大于 40.0 mm, 含泥量不得大于 1.0%, 泥块含量不得大于 0.5%。
- (3) 细骨料宜采用中砂, 含泥量不得大于 3.0%, 泥块含量不得大于 1.0%。
- (4) 抗渗混凝土宜掺用外加剂和矿物掺合料; 粉煤灰应采用 F 类, 并不应低于 II 级。

2. 配合比规格

- (1) 最大水胶比应符合表 1-16 的规定。
- (2) 每立方米混凝土中的胶凝材料用量不宜小于 320 kg。
- (3) 砂率宜为 35%~45%。

表 1-16 抗渗混凝土最大水胶比

设计抗渗等级	最大水胶比	
	C20~C30	C30 以上混凝土
P6	0.60	0.55
P8~P12	0.55	0.50
>P12	0.50	0.45

3. 抗渗技术规定

- (1) 配制抗渗混凝土要求的抗渗水压值应比设计值提高 0.2 MPa。
- (2) 抗渗试验结果应符合下式要求。

$$P_t \geq \frac{P}{10} + 0.2$$

式中 P_t ——6 个试件中不少于 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。

4. 含气量规定

掺用引气剂或引气型外加剂的抗渗混凝土, 应进行含气量试验, 含气量宜控制在