

HUNNINGTU PEIZHI
SHIYONG JISHU SHOUC

混凝土配制 实用技术手册

李继业 主 编

刘经强 张 峰 郝忠梅 副主编



062-62
4



化学工业出版社

HUNNINGTU PEIZHI
SHIYONG JISHU SHOUC

混凝土配制 实用技术手册

李继业 主 编

刘经强 张 峰 郝忠梅 副主编



化学工业出版社
· 北 京 ·

本书比较详细系统地介绍了多种混凝土的材料组成和要求、配合比设计的方法步骤及配制混凝土的参考配合比；同时，在编写过程中参考了大量的有关资料，按照国家现行的标准、规范、规定和规程进行编写，不仅涵盖面比较广、内容先进丰富，而且具有很强的工程实用性，是一部供混凝土配合比设计和施工的应用性工具书。

本书可以供建筑、土木工程、水利等领域从事科研、设计、施工、监理、质检、造价等专业的技术人员、科研人员和管理人员参考，也可供高等院校相关专业师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土配制实用技术手册/李继业主编. —北京:
化学工业出版社, 2008. 2
ISBN 978-7-122-01981-3

I. 混… II. 李… III. 混凝土-配制-技术手册
IV. TU528.062-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 010973 号

责任编辑: 刘兴春
责任校对: 王素芹

文字编辑: 颜克俭
装帧设计: 晟智设计

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 26¼ 字数 676 千字 2008 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

前 言

在人类社会发展和科学技术发展的实践中，人们将材料、信息和能源作为实现现代文明的三大支柱，把信息技术、生物技术和新材料作为“新产业革命”的重要标志。由此可以清楚地看出，建筑材料在社会发展和国民经济建设中具有举足轻重的作用。

纵观混凝土 100 余年的发展历程，特别是当今混凝土科学技术的进步，才使得混凝土这种传统的建筑材料立于不败之地。各国的经济发展充分证明：混凝土仍然是现代建筑中运用最广泛的材料之一，它具有结构性能好、可塑性好、防水性能好和适合工业化生产等优点。混凝土经过 20 世纪的发展，已经从一种简单的结构材料转变成一种富有诗意的、浪漫的建筑材料，从一种单一性能的材料扩展成为一种多性能的材料，从一种低技术含量的材料发展成为一种高技术含量的材料。

根据专家预测，混凝土今后发展的基本趋势是：①混凝土技术已进入高科学技术时代，正向着高强度、高工作性和高耐久性的高性能方向发展；②混凝土科学技术的任务已从过去的“最大限度向自然索取财富”变为合理应用、节省能源、保护生态平衡，使其成为科学、节能和绿色建筑材料；③混凝土能否长期维持在特殊环境中正常使用，以适应特殊性能、特殊材料和特殊施工的要求也成为今后混凝土的研制、发展的方向，也是混凝土的未来和希望；④如何科学合理地进行配制，以达到混凝土的性能和技术要求，这也是混凝土技术发展和研究的重要课题。

我们根据一些混凝土工程的实践和科研项目，参考近几年国内外有关专家的研究成果，在总结、学习和发展的基础上，组织编写了这本《混凝土配制实用技术手册》，目的是通过介绍这些混凝土的组成材料、配合比设计和参考配合比等，大力推广应用、发展混凝土先进、快捷的配制技术，为混凝土的配合比设计和配制做出更大的贡献。

本书在编写过程中非常注重实践与理论相结合，特别注意突出了工程的应用性、实用性，尽量为混凝土配合比设计和施工技术人员的具体应用创造有利条件。

全书由山东农业大学李继业教授担任主编，由刘经强副教授、张峰工程师和郝忠梅副教授担任副主编，张平、沈万和、武岩、李琪、李凌霄参加了编写。

本书由李继业教授负责全书的规划及统稿，刘经强负责全书的资料收集，张

峰负责全书的校核，郝忠梅负责为全书绘图。编写具体分工为：李继业编写第一章、第三章、第四章、第十九章、第三十六章；刘经强编写第二章、第十章、第十二章、第二十四章、第三十章；张峰编写第五章、第十一章、第二十二章、第三十一章；郝忠梅编写第七章、第十三章、第二十五章、第二十六章、第二十九章；张平编写第六章、第十四章、第二十三章、第二十七章、第三十五章；沈万和编写第八章、第十五章、第三十三章；武岩编写第九章、第十六章、第三十四章；李琪编写第十七章、第二十一章、第三十二章；李凌霄编写第十八章、第二十章、第二十八章。

本书可作为建筑、土木工程、水利等领域混凝土配合比设计和施工技术人员的工具书、技术参考书，也可作为建筑类技术工人的自学教材，还可作为高等院校相关专业的本科生、研究生参考和辅助教材。

由于混凝土技术与施工工艺发展非常迅速，限于编者掌握的技术资料和水准，不当之处，敬请专家和读者提出宝贵的意见。

编 者

2008年1月于泰山

目 录

第一章 普通混凝土	1
第一节 普通混凝土的材料组成	1
第二节 普通混凝土配合比设计	6
第三节 普通混凝土参考配合比	10
第二章 道路水泥混凝土	27
第一节 道路水泥混凝土的材料组成	27
第二节 道路水泥混凝土配合比设计	48
第三节 道路水泥混凝土参考配合比	56
第三章 高性能混凝土	58
第一节 高性能混凝土的材料组成	58
第二节 高性能混凝土配合比设计	66
第三节 高性能混凝土参考配合比	73
第四章 轻骨料混凝土	75
第一节 轻骨料混凝土的材料组成	75
第二节 轻骨料混凝土配合比设计	82
第三节 轻骨料混凝土参考配合比	93
第五章 防射线混凝土	94
第一节 防射线混凝土的材料组成	94
第二节 防射线混凝土配合比设计	98
第三节 防射线混凝土参考配合比	101
第六章 聚合物混凝土	103
第一节 聚合物混凝土的材料组成	103
第二节 聚合物混凝土配合比设计	110
第三节 聚合物混凝土参考配合比	111
第七章 高强混凝土	113
第一节 高强混凝土的材料组成	113
第二节 高强混凝土配合比设计	123
第三节 高强混凝土参考配合比	126
第八章 耐酸混凝土	129
第一节 耐酸混凝土的材料组成	129
第二节 耐酸混凝土配合比设计	137
第三节 耐酸混凝土参考配合比	139
第九章 耐碱混凝土	141
第一节 耐碱混凝土的材料组成	141
第二节 耐碱混凝土配合比设计	143

第三节	耐碱混凝土参考配合比	144
第十章	耐油混凝土	145
第一节	耐油混凝土的材料组成	145
第二节	耐油混凝土配合比设计	148
第三节	耐油混凝土参考配合比	148
第十一章	耐磨混凝土	150
第一节	耐磨混凝土的材料组成	150
第二节	耐磨混凝土配合比设计	154
第三节	耐磨混凝土参考配合比	160
第十二章	耐热混凝土	164
第一节	耐热混凝土的材料组成	164
第二节	耐热混凝土配合比设计	169
第三节	耐热混凝土参考配合比	170
第十三章	耐火混凝土	172
第一节	耐火混凝土的材料组成	172
第二节	耐火混凝土配合比设计	180
第三节	耐火混凝土参考配合比	181
第十四章	耐海水混凝土	184
第一节	耐海水混凝土的材料组成	184
第二节	耐海水混凝土配合比设计	188
第三节	耐海水混凝土参考配合比	190
第十五章	喷射混凝土	191
第一节	喷射混凝土的材料组成	191
第二节	喷射混凝土配合比设计	198
第三节	喷射混凝土参考配合比	203
第十六章	泵送混凝土	205
第一节	泵送混凝土的材料组成	205
第二节	泵送混凝土配合比设计	211
第三节	泵送混凝土参考配合比	216
第十七章	膨胀混凝土	219
第一节	膨胀混凝土的材料组成	219
第二节	膨胀混凝土配合比设计	227
第三节	膨胀混凝土参考配合比	229
第十八章	钢纤维混凝土	231
第一节	钢纤维混凝土的材料组成	231
第二节	钢纤维混凝土配合比设计	234
第三节	钢纤维混凝土参考配合比	241
第十九章	冬季施工混凝土	243
第一节	冬季施工混凝土的材料组成	243
第二节	冬季施工混凝土配合比设计	247
第三节	冬季施工混凝土参考配合比	248

第二十章 流态混凝土	249
第一节 流态混凝土的材料组成	249
第二节 流态混凝土配合比设计	255
第三节 流态混凝土参考配合比	261
第二十一章 水工混凝土	265
第一节 水工混凝土的材料组成	265
第二节 水工混凝土配合比设计	269
第三节 水工混凝土参考配合比	274
第二十二章 大体积混凝土	275
第一节 大体积混凝土的材料组成	275
第二节 大体积混凝土配合比设计	280
第三节 大体积混凝土参考配合比	282
第二十三章 防水混凝土	283
第一节 防水混凝土的材料组成	283
第二节 防水混凝土配合比设计	293
第三节 防水混凝土参考配合比	295
第二十四章 绿化混凝土	298
第一节 绿化混凝土的材料组成	298
第二节 绿化混凝土配合比设计	301
第三节 绿化混凝土参考配合比	303
第二十五章 水下浇筑混凝土	304
第一节 水下浇筑混凝土的材料组成	304
第二节 水下浇筑混凝土配合比设计	311
第三节 水下浇筑混凝土参考配合比	318
第二十六章 导电混凝土	320
第一节 导电混凝土的材料组成	320
第二节 导电混凝土配合比设计	322
第三节 导电混凝土参考配合比	324
第二十七章 煤矸石混凝土	325
第一节 煤矸石混凝土的材料组成	325
第二节 煤矸石混凝土配合比设计	332
第三节 煤矸石混凝土参考配合比	332
第二十八章 粉煤灰陶粒混凝土	334
第一节 粉煤灰陶粒混凝土的材料组成	334
第二节 粉煤灰陶粒混凝土配合比设计	336
第三节 粉煤灰陶粒混凝土参考配合比	338
第二十九章 粉煤灰混凝土	339
第一节 粉煤灰混凝土的材料组成	339
第二节 粉煤灰混凝土配合比设计	341
第三节 粉煤灰混凝土参考配合比	352
第三十章 无砂大孔混凝土	356

第一节	无砂大孔混凝土的材料组成	356
第二节	无砂大孔混凝土配合比设计	357
第三节	无砂大孔混凝土参考配合比	361
第三十一章	泡沫混凝土	363
第一节	泡沫混凝土的材料组成	363
第二节	泡沫混凝土配合比设计	366
第三节	泡沫混凝土参考配合比	369
第三十二章	树脂混凝土	370
第一节	树脂混凝土的材料组成	370
第二节	树脂混凝土配合比设计	374
第三节	树脂混凝土参考配合比	375
第三十三章	沥青混凝土	377
第一节	沥青混凝土的材料组成	377
第二节	沥青混凝土配合比设计	381
第三节	沥青混凝土参考配合比	388
第三十四章	加气混凝土	390
第一节	加气混凝土的材料组成	390
第二节	加气混凝土配合比设计	395
第三节	加气混凝土参考配合比	397
第三十五章	碾压混凝土	398
第一节	碾压混凝土的材料组成	398
第二节	碾压混凝土配合比设计	402
第三节	碾压混凝土参考配合比	405
第三十六章	补偿收缩混凝土	407
第一节	补偿收缩混凝土的材料组成	407
第二节	补偿收缩混凝土配合比设计	408
第三节	补偿收缩混凝土参考配合比	411
参考文献		412

第一章 普通混凝土

普通混凝土也称为普通水泥混凝土或水泥混凝土,这种混凝土是由胶凝材料(水泥)、水、粗骨料、细骨料和适宜的外加剂按适当比例配合,经人工或机械拌制而成的拌和物,经一定时间硬化而成的人造石材。为了改善普通混凝土的某些性能,还常常在混凝土中掺入适量的外加剂和掺和料。

普通混凝土具有很多的优异性能,广泛地应用于建筑工程、水利水电工程、道路桥梁工程、地下工程、国防工程、港口工程等,是当代最重要的建筑材料之一,也是世界上用量最大的人工建筑材料。

第一节 普通混凝土的材料组成

普通混凝土是由水泥、砂子、石子和水按适当比例配合,经过混合、拌制而成的混合材料。在普通混凝土中,砂子和石子统称为骨料,主要起着骨架的作用,一般不参与水泥与水的化学反应;水泥与水混合形成水泥浆,水泥浆包裹在骨料的表面并填充其空隙。在混凝土硬化前,水泥浆主要起润滑作用,赋予混凝土拌和物一定的流动性,以便于混凝土浇筑、振捣施工;水泥浆硬化后主要起胶结作用,将砂、石骨料胶结成为一个坚硬的整体。

普通混凝土的技术性能在很大程度上是由原材料及其相对含量决定的,另外也与施工环境条件、施工工艺等有关。因此,要确保普通混凝土的质量,必须了解组成混凝土原材料的性质和质量要求。

一、水泥

水泥是普通水泥混凝土中价格最贵、影响质量和性能的关键性材料,它不仅直接影响普通混凝土的强度和耐久性,而且还影响工程的经济性。因此,在普通水泥混凝土中主要是合理选择水泥品种和强度等级。

(一) 水泥品种的选择

配制普通混凝土所用的水泥,应根据混凝土的工程特点和所处环境,结合各种水泥的不同特性进行选用。常用水泥品种的选用如表 1-1 所列。

(二) 水泥强度等级的选择

配制普通混凝土所用水泥的强度等级,应当与混凝土的设计强度等级相适应。原则上是配制高强度等级的混凝土,应选用高强度等级的水泥;配制低强度等级的混凝土,应选用低强度等级的水泥。

对于一般强度的混凝土,水泥的强度等级宜为混凝土强度等级的 1.5~2.0 倍。例如,配制 C25 混凝土,可选用强度等级为 42.5 的水泥;配制 C30 混凝土,可选用强度等级为 52.5 的水泥。

表 1-1 常用水泥品种的选用

混凝土工程特点或所处的环境条件		优先选用	可以选用	不宜选用
普通混凝土	(1)在普通气候环境中的混凝土	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥 火山灰硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥	
	(2)在干燥环境中的混凝土	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	火山灰硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	(3)在高湿环境中或水下的混凝土	矿渣硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥 火山灰硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥	
	(4)厚大体积的混凝土	粉煤灰硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥 火山灰硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥	硅酸盐水泥 快硬硅酸盐水泥
有特殊要求的混凝土	(1)要求快硬的混凝土	快硬硅酸盐水泥 硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥 火山灰硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	(2)高强(大于 C40)混凝土	硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥 矿渣硅酸盐水泥	火山灰硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	(3)严寒地区的露天混凝土和处在水位升降范围内的混凝土	普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	火山灰硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	(4)严寒地区处在水位升降范围内的混凝土	普通硅酸盐水泥	—	矿渣硅酸盐水泥 火山灰硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥
	(5)有抗渗要求的混凝土	普通硅酸盐水泥 火山灰硅酸盐水泥	—	矿渣硅酸盐水泥
	(6)有耐磨性要求的混凝土	硅酸盐水泥 普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥	火山灰硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥

二、细骨料

粒径在 0.15~4.75mm 之间的骨料称为细骨料，俗称为砂（子）。砂可分为天然砂和人工砂两类。天然砂是岩石经自然风化后所形成的大小不等的颗粒，包括河砂、山砂及淡化海砂；人工砂包括机制砂和混合砂。

配制混凝土应选用质量良好的砂子，对砂的质量要求主要包括：砂中有害杂质的含量、砂的坚固性与碱活性、砂的粗细程度与级配等。

（一）砂中有害杂质的含量

在砂中常含有云母、轻物质、硫酸盐、黏土、淤泥等有害杂质，这些杂质附在砂的表面，不仅严重影响水泥与砂的黏结，降低混凝土的强度，而且还增加混凝土的用水量，加大混凝土的体积收缩，降低混凝土的耐久性。另外，硫酸盐和硫化物会对水泥石有腐蚀作用，氯化物易加剧钢筋的锈蚀，因此对这些物质应进行限制。

根据国家标准《建筑用砂》（GB/T 14684—2001）中的规定，砂中有害杂质的含量有以下具体要求，见表 1-2。

（二）砂的坚固性与碱活性

砂子的坚固性，是指其抵抗自然环境对其腐蚀或风化的能力。通常用硫酸钠溶液干湿循环 5 次后的质量损失来表示砂子坚固性的好坏。砂子坚固性的要求，《建筑用砂》（GB/T 14684—2001）中的规定，Ⅰ类砂和Ⅱ类砂应小于 8%，Ⅲ砂应小于 10%。

表 1-2 混凝土用砂有害杂质含量的限制

单位：%

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(按氯离子质量计)	<	0.01	0.02	0.05
含泥量(按质量计)	<	1.5	3.0	5.0
泥块含量(按质量计)		0	<1.0	<2.0

注：表中 I 类宜用于强度等级大于 C60 的混凝土；II 类宜用于强度等级大于 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（或建筑砂浆）。

砂中若合有活性氧化硅时，可能与水泥中的碱起化学反应，从而产生碱-骨料反应，并使混凝土发生膨胀开裂。因此，配制混凝土的砂子通常应选用无活性氧化硅的骨料。

(三) 砂的粗细程度与级配

砂的粗细程度是指不同粒径的砂粒混合在一起的平均粗细程度。根据砂的粗细程度不同，用细度模数可将砂分为粗砂、中砂、细砂和特细砂。细度模数在 3.1~3.7 范围内为粗砂；细度模数在 2.3~3.0 范围内为中砂；细度模数在 1.6~2.2 范围内为细砂；细度模数在 0.7~1.5 范围内为特细砂。配制普通混凝土用砂的细度模数，一般应控制在 2.0~3.5 之间。

根据国家标准《建筑用砂》中对细度模数为 1.6~3.7 的普通混凝土用砂，根据 0.6mm 筛孔的累计筛余百分率分成三个级配区，如表 1-3 所列和图 1-1 所示，普通混凝土用砂的颗粒级配，应处于表 1-3 或图 1-1 中的任何一个级配区内，否则认为砂的颗粒级配不合格。

表 1-3 砂的颗粒级配区

筛孔尺寸/mm	累计筛余/%	级 配 区		
		1	2	3
4.75		0~10	0~10	0~10
2.36		5~35	5~25	0~15
1.18		35~65	10~50	0~25
0.60		71~85	41~70	16~40
0.30		80~95	70~92	55~85
0.15		90~100	90~100	90~100

注：1. 砂的实际颗粒级配与表中所列数字相比，除 4.75mm 和 0.60mm 筛孔外，可以略有超出，但超出总量应小于 5%。

2. 1 区人工砂中 0.15mm 筛孔的累计筛余可以放宽到 85~100，2 区人工砂中 0.15mm 筛孔的累计筛余可以放宽到 80~100，3 区人工砂中 0.15mm 筛孔的累计筛余可以放宽到 75~100。

一般认为：处于 2 区级配的砂其粗细适中，级配较好；处于 1 区砂含粗颗粒较多，属于粗砂，配制的混凝土保水性较差；处于 3 区砂属于细砂，配制的混凝土保水性、黏聚性均很好，但水泥用量大，干缩性也大，容易产生微裂缝。

三、粗骨料

粗骨料一般是指粒径大于 4.75mm 的岩石颗

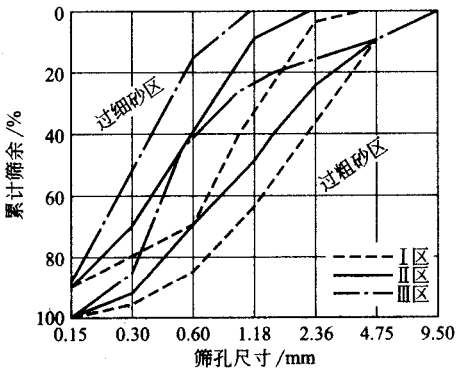


图 1-1 砂子的级配曲线

粒，主要可分为卵石和碎石两类。卵石是由于自然条件的作用形成的岩石颗粒，一般可分为河卵石、海卵石和山卵石；碎石是由天然岩石（或卵石）经破碎、筛分而制得。

根据国家标准《建筑用卵石、碎石》（GB/T 14685—2001）中的规定，按卵石、碎石的技术要求，将卵石、碎石分为Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类。Ⅰ类宜用于强度等级大于 C60 的混凝土，Ⅱ类宜用于强度等级大于 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 C63 的混凝土（或建筑砂浆）。

为保证混凝土的强度和耐久性，在国家标准《建筑用卵石、碎石》（GB/T 14685—2001）中，对卵石和碎石的各项技术指标都做了具体规定，主要包括以下几个方面。

（一）有害杂质的含量

粗骨料中的有害杂质主要有黏土、淤泥、硫酸盐及硫化物和一些有机杂质等，这些有害杂质对混凝土的危害作用与细骨料中的相同。另外，粗骨料中还可能含有针状和片状颗粒，会严重降低新拌混凝土的流动性和硬化混凝土的强度。粗骨料中有害杂质及针、片状颗粒的允许含量，应符合表 1-4 中的规定。

表 1-4 粗骨料中有害杂质及针、片状颗粒允许含量 单位：%

项 目		指 标		
		Ⅰ 类	Ⅱ 类	Ⅲ 类
含泥量(按质量计)	<	0.5	1.0	1.5
泥块含量(按质量计)		0	<0.5	<0.7
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	1.0	1.0
针片状颗粒含量(按质量计)	<	5	15	25

（二）强度和坚固性

1. 粗骨料的强度

为了保证混凝土具有足够的强度，所采用的粗骨料应当质地致密，具有足够的强度。碎石或卵石的强度，可用压碎指标或岩石立方体强度两种方法表示。对经常性的生产质量控制常用压碎指标来检验石子的强度。但当在选择石子的采石场，或对粗骨料强度有严格要求，或对粗骨料强度有争议时，应采用岩石立方体强度进行检验。

压碎指标值越小，证明石子的强度越高。配制不同强度等级的混凝土，最好采用相应压碎指标的石子。在一般情况下，配制混凝土所用石子的压碎指标，应当满足表 1-5 中的要求。

表 1-5 卵石及碎石压碎指标和坚固性指标要求

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
硫酸钠溶液干湿 5 次循环后的质量损失/%	<	8	8	12

2. 粗骨料的坚固性

粗骨料的坚固性是指石子在气候、环境变化和其他物理力学因素的作用下，抵抗破碎的能力。粗骨料的坚固性试验是用硫酸钠溶液浸泡法检验，试样经 5 次干湿循环后，其质量损失应满足表 1-5 中的要求。

(三) 最大粒径和颗粒级配

1. 粗骨料的最大粒径

粗骨料公称粒径的上限称为该粒级的最大粒径，如当使用 5~40mm 的粗骨料时，此粗骨料的最大粒径为 40mm。配制试验证明，在一定范围内，粗骨料最大粒径增大时，其表面积减小，这样有利于节约水泥、降低造价。但粒径超过一定数值，不仅节约水泥效果不明显，而且还会给混凝土搅拌、运输、浇筑和振捣常来困难。

在国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2002) 中，从结构和施工的角度，对粗骨料的最大粒径做以下规定：①粗骨料的最大粒径不得超过结构截面最小尺寸的 1/4，同时不得超过钢筋最小净间距的 3/4；②对混凝土的实心板，粗骨料的最大粒径不宜超过板厚的 1/2，且不得超过 50mm；③对于泵送混凝土，粗骨料的最大粒径与输送管内径之比，要求碎石不宜大于 1：3，卵石不宜大于 1：2.5。

2. 粗骨料的颗粒级配

粗骨料的级配原理与细骨料基本相同，也要求具有良好的颗粒级配，以减小混凝土的空隙率，达到节约水泥、提高混凝土密实度和强度的目的。

粗骨料的颗粒级配分为连续级配和单粒级配，配制普通混凝土所用粗骨料的颗粒级配应符合表 1-6 中的规定。连续级配是粗骨料最理想的级配形式，目前在建筑工程中最常采用。

表 1-6 混凝土用粗骨料的颗粒级配要求

累计筛余/%		筛孔尺寸/mm										
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
连续级配	5~10	95~100	80~100	0~15	0							
	5~15	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			
	4~40	—	95~100	70~90	—	30~65	—	—		0		
单粒级配	5~20		95~100	85~100		0~15	0					
	16~31.5		95~100		80~100			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

四、拌和及养护用水

混凝土所用的拌和及养护用水，对混凝土的质量具有很大影响。其质量要求是：不影响混凝土的正常凝结和硬化；无损于混凝土的强度发展和耐久性；不加快混凝土中的钢筋锈蚀；不引起预应力钢筋的脆断；不污染混凝土的表面等。总之，混凝土拌和及养护用水的质量，应符合《混凝土用水标准》(JGJ 63—2006) 中的具体规定。

五、混凝土外加剂

混凝土外加剂的使用是混凝土技术的重大突破，其掺量虽然很小，但能显著改善混凝土的某些性能，具有投资少、见效快、技术经济效益显著的特点。随着科学技术的不断进步，如今外加剂已成为混凝土中的重要组分。

在使用混凝土外加剂时，应特别注意品种和掺量的选择、掺入方法的确定。无论掺加何

种外加剂，其质量均应符合《混凝土外加剂应用技术规范》（GB 50119—2003）中的要求。

第二节 普通混凝土配合比设计

普通混凝土配合比设计，实质上就是确定混凝土中各组成材料数量之间的比例关系，即确定 1m³ 混凝土中各组成材料的用量，使得按此用量拌制出的混凝土能够满足工程所需的各项性能要求。

混凝土配合比设计的基本要求主要包括：①满足施工条件所要求的和易性；②满足混凝土结构设计的强度等级；③满足工程所处环境和设计规定的耐久性；④在满足以上 3 项要求的前提下，尽可能节约水泥，降低混凝土成本。

一、混凝土配合比设计的参数

普通混凝土配合比设计，实质上就是确定水泥、水、砂子与石子这 4 种基本组成材料的相对比例关系，通常是以水灰比、砂率和单位用水量这 3 个参数来控制。水灰比是指混凝土中水的用量与水泥用量的比值；砂率是指混凝土中砂的质量占砂、石总质量的百分率；单位用水量是指 1m³ 混凝土中的用水量。水灰比、砂率和单位用水量这 3 个参数，与混凝土各项性能之间有着密切的关系，正确地确定这三个参数，就能使混凝土满足各项技术性能要求。

二、混凝土配合比设计的步骤

在进行普通混凝土配合比设计时，首先应明确如下基本资料：混凝土设计要求的强度等级；工程所处环境对耐久性的要求；混凝土的施工方法及施工管理水平；混凝土结构的类型；原材料的品种及技术指标等。然后，根据原材料的性能及对混凝土的技术要求进行初步计算，得出初步配合比；再经过实验室试拌调整，得出满足和易性、强度和耐久性要求的实验室配合比；最后再根据施工现场砂、石含水情况，对实验室配合比进行修正，计算出施工配合比。

（一）初步配合比的计算

1. 确定混凝土配制强度

为了保证混凝土能够达到设计要求的强度等级，在进行混凝土配合比设计时，既要考虑到实际施工条件与实验室条件的差别，又要考虑到对混凝土强度的不利影响因素，必须使混凝土的配制强度高于设计强度等级。根据《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 055—2000）中的规定，配制强度 $f_{cu,0}$ 可按式(1-1) 计算：

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + t\sigma \tag{1-1}$$

式中， $f_{cu,0}$ 为混凝土的配制强度，MPa； $f_{cu,k}$ 为混凝土的设计强度等级，MPa； t 为强度保证率系数，当强度保证率为 95% 时，取 $t=1.645$ ； σ 为混凝土强度标准差，MPa，可根据施工单位以往的生产质量水平进行测算，如施工单位无历史统计资料时，可按表 1-7 选用。

表 1-7 混凝土强度标准差取值表（JGJ 55—2000）

混凝土强度等级	<C20	C20~C35	>C35
混凝土强度标准差/MPa	4.0	5.0	6.0

2. 确定混凝土的水灰比

瑞士学者保罗米，通过大量混凝土试验研究，应用数理统计的方法，提出了混凝土强度与水泥强度等级及水灰比之间的关系式，即混凝土强度公式。

$$f_{cu,28}=Af_{ce}\left(\frac{C}{W}-B\right)$$
 (1-2)

式中， $f_{cu,28}$ 为混凝土 28 天龄期立方体抗压强度，MPa； f_{ce} 为水泥实际强度，MPa， f_{ce} 可通过试验确定，也可根据《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2000) 中的规定，取水泥强度富余系数为 1.13，按 $f_{ce}=1.13f_c$ 计算，其中 f_c 为水泥强度等级；C 为每立方米混凝土中水泥用量，kg；W 为每立方米混凝土中水的用量，kg；A、B 分别为经验系数，与骨料品种等有关，当采用碎石时， $A=0.46$ ， $B=0.07$ ；采用卵石时， $A=0.48$ ， $B=0.33$ 。

根据混凝土强度公式(1-2)，可推导出满足配制强度要求的水灰比，如式(1-3)：

$$\frac{W}{C}=\frac{Af_{ce}}{f_{cu,0}+ABf_{ce}}$$
 (1-3)

混凝土工程实践证明：混凝土的水灰比不仅要满足强度的要求，而且还要满足耐久性的要求，这是配制混凝土不可缺少的条件。

根据行业标准《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2000) 中的规定，混凝土的最大水灰比和最小水泥用量，如表 1-8 所列。最后应在按强度计算出的水灰比与查表所得的水灰比中，选用其中较小的一个值作为混凝土的设计水灰比。

表 1-8 混凝土的最大水灰比和最小水泥用量 (JGJ 55—2000)

环境条件		结构物类型	最大水灰比(W/C)			最小水泥用量/(kg/m³)		
			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
干燥环境		正常的居住或办公用房屋内部件	无规定	0.65	0.60	200	260	300
潮湿环境	无冻害	①高湿度的室内部件	0.70	0.60	0.60	225	280	300
		②室外部件						
		③在非侵蚀土或水中的部件						
	有冻害	①经受冻害的室外部件	0.55	0.55	0.55	250	280	300
②在非侵蚀土或水中且经受冻害的部件								
③高湿度且经受冻害的室内部件								
有冻害和除冰剂的潮湿环境		经受冻害和除冰剂作用的室内和室外部件	0.50	0.50	0.50	300	300	300

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

3. 确定混凝土的用水量 (W₀)

根据混凝土施工所要求的坍落度，以及所用骨料的品种、最大粒径等因素，参考表 1-9 选用 1m³混凝土的用水量。

表 1-9 混凝土用水量选用表 (JGJ 55—2000) 单位：kg/m³

所需坍落度/mm	卵石最大粒径/mm				碎石最大粒径/mm			
	10.0	20.0	31.5	40.0	16.0	20.0	31.5	40.0
10~30	190	170	160	150	205	185	175	165
30~50	200	180	170	160	215	195	185	175
50~70	210	190	180	170	225	205	195	185
70~90	215	195	185	175	235	215	205	195

- 注：1. 本表不宜用于水灰比小于 0.40 或大于 0.80 的混凝土。
2. 本表用水量采用中砂时的平均值，若用细（粗）砂时，每立方米混凝土用水量可增加（减少）5~10kg。
3. 掺用外加剂（掺和料），可相应增减用水量。

4. 确定混凝土水泥用量 (C_0)

根据确定出的水灰比 (W/C) 和 1m^3 混凝土的用水量 (W_0)，用公式(1-4) 可求出 1m^3 混凝土中的水泥用量 (C_0)。

$$C_0 = \frac{W_0 C}{W} \tag{1-4}$$

为了保证满足混凝土的耐久性，由公式(1-4) 计算得出的水泥用量，还应当满足表 1-8 中规定的最小水泥用量的要求。如果算得的水泥用量小于表 1-8 中规定的最小水泥用量，则应取表 1-8 中规定的最小水泥用量值。

5. 选取合理的砂率 (S_p)

应当根据混凝土拌和物的和易性，通过试验求出合理砂率。在初步计算配合比或无试验资料时，可以根据骨料的品种、规格和水灰比 (W/C)，按表 1-10 中选取。

表 1-10 混凝土砂率选用表 (JGJ 55—2000) 单位：%

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	33~40
0.70	36~41	35~40	34~39	39~44	38~43	36~41

注：1. 本表适用于坍落度为 10~60mm 的混凝土；坍落度若大于 60mm，应在上表的基础上，按坍落度每增大 20mm 砂率增大 1% 的幅度予以调整。

- 2. 本表数值系采用中砂时选用的砂率，若用细（粗）砂，可相应减少（增加）砂率。
- 3. 只用一个单粒级骨料配制的混凝土，砂率应适当增加。
- 4. 掺有外加材料时，合理砂率经试验或参考有关规定选用。

6. 计算粗、细骨料的用量 (S_0 、 G_0)

在混凝土配合比组成材料用量计算中，确定砂、石骨料用量的方法很多，最常用的是绝对体积法和假定表观密度法。

(1) 绝对体积法 绝对体积法是假定混凝土拌和物的体积等于各组成材料的绝对体积和拌和物中所含空气的体积之和。因此，在计算 1m^3 混凝土拌和物的各材料用量时，可列出式(1-5)。再根据砂率的计算公式(1-6)，将式(1-5) 和式(1-6) 联立，即可求出 1m^3 混凝土中砂 (S_0)、石子 (G_0) 的用量。

$$\frac{C_0}{\rho_c} + \frac{S_0}{\rho_{0s}} + \frac{G_0}{\rho_{0g}} + \frac{W_0}{\rho_w} + 10\alpha = 1000 \text{ (L)} \tag{1-5}$$

$$S_p = \frac{S_0}{S_0 + G_0} \times 100\% \tag{1-6}$$

式中， C_0 、 W_0 分别为 1m^3 混凝土中的水泥、水的用量，kg； S_0 、 G_0 分别为 1m^3 混凝土中的砂、石子的用量，kg； ρ_c 、 ρ_w 分别为混凝土中的水泥、水的密度， g/cm^3 ，通常取 $\rho_c = 3.1$ ， $\rho_w = 1.0$ ； ρ_{0s} 、 ρ_{0g} 分别为混凝土中的砂、石的密度， g/cm^3 ； α 为混凝土中含气百分数，%，在不使用引气型外加剂时， α 取 1.0； S_p 为混凝土的砂率，%。

(2) 假定表观密度法 如果混凝土所用原材料的情况比较稳定，所配制混凝土的表观密度将接近一个固定值，这样就可以根据施工水平和管理水平，假定一个混凝土拌和物的表观密度 ρ_{0h} ，可得公式(1-7)。

$$C_0 + S_0 + G_0 + W_0 = \rho_{0h} \tag{1-7}$$

式中， ρ_{0h} 为假定混凝土拌和物的表观密度， kg/m^3 。