

HUNNINGTU PEIZHI
SHIYONG JISHU SHOUC

混凝土配制 实用技术手册

第二版

李继业 主 编

刘经强 高树清 黄传国 副主编



化学工业出版社

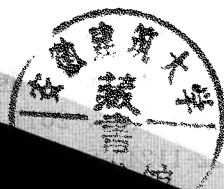
HUNNINGTU PEIZHI
SHIYONG JISHU SHOUC

混凝土配制 实用技术手册

第二版

李继业 主 编

刘经强 高树清 黄传国 副主编



化学工业出版社
· 北京 ·

本书较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型工具书。

本书可以供建筑、土木工程、水利等领域从事设计、施工、监理、质监、造价等专业的技术人员、科研人员和管理人员参考，也可供高等学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. —2 版

—北京：化学工业出版社，2011.6

ISBN 978-7-122-11240-8

I. 混… II. 李… III. 混凝土-配合比设计-技术手册

IV. TU528.062-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 085060 号

责任编辑：刘兴春

责任校对：洪雅姝

装帧设计：杨 北

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：北京市振南印刷有限责任公司

装 订：三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 24 字数 684 千字 2011 年 9 月北京第 2 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：68.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

混凝土是土建工程中应用最广、用量最大的建筑材料之一，任何一个现代建筑工程都离不开混凝土。据有关部门初步估计，目前全世界每年生产的混凝土材料已超过100亿吨，预计今后每年生产混凝土将达到120亿~150亿吨，随着科学技术的进步，混凝土不仅广泛地应用于工业与民用建筑、水工建筑和城市建设，而且还可以制成压力管道、地下工程、宇宙空间站及海洋开发用的各种构筑物等。

进入21世纪以来，我国各项建设事业飞速发展，给混凝土科学技术的发展带来欣欣向荣的景象，各种现代化的大型建筑如雨后春笋，新型混凝土技术和施工工艺不断涌现，并在工程应用中获得巨大的经济效益和社会效益，为我国社会主义现代化建设插上了腾飞的翅膀，有力地促进了国民经济各项事业的发展。

2008年，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《混凝土配制实用技术手册》。由于本书非常注重实践与理论相结合，特别注意突出了应用性和实用性，得到广大读者的认可。

随着混凝土科学技术的发展，国家对混凝土所用材料、施工工艺、质量标准提出新的要求，自2008年以来颁布了很多新的规范和规程，如《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204—2010）、《通用硅酸盐水泥》（GB 175—2007/XG1—2009）、《混凝土膨胀剂》（GB 23439—2009）、《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3—2010）和《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）等。为适应新形势的变化，在2008年版《混凝土配制实用技术手册》的基础上，我们又修订出版了《混凝土配制实用技术手册》（第二版）。

本书由山东农业大学李继业教授担任主编，由刘经强副教授、高树清高级工程师和黄传国工程师担任副主编，孔繁明、孔祥田、李海豹、任烁、王海宇参加了编写。

本书编写具体分工为：李继业编写第一章、第三章、第四章、第十九章；刘经强编写第二章、第十章、第十二章、第二十四章、第三十章；高树清编写第五章、第十一章、第二十二章、第三十一章；黄传国编写第七章、第十三章、第二十五章、第二十六章、第二十九章；孔繁明编写第六章、第十四章、第二十三章、第二十七章、第三十五章；孔祥田编写第八章、第十五章、第三十三章；李海豹编写第九章、第十六章、第三十四章；任烁编写第十七章、第二十一章、第三十二章；王海宇编写第十八章、第二十章、第二十八章。

本书虽然经过修订，但由于混凝土的材料和施工工艺发展非常迅速，限于编者掌握的技术资料 and 水平，不当和疏漏之处仍在所难免，敬请读者提出宝贵的意见。

编 者

2011 年 5 月于泰山

第一版前言

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；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 and 水平，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	5
第三节 普通混凝土参考配合比	9
第二章 道路水泥混凝土	26
第一节 道路水泥混凝土的材料组成	26
第二节 道路水泥混凝土配合比设计	44
第三节 道路水泥混凝土参考配合比	52
第三章 高性能混凝土	53
第一节 高性能混凝土的材料组成	53
第二节 高性能混凝土配合比设计	60
第三节 高性能混凝土参考配合比	66
第四章 轻骨料混凝土	68
第一节 轻骨料混凝土的材料组成	68
第二节 轻骨料混凝土配合比设计	74
第三节 轻骨料混凝土参考配合比	84
第五章 防射线混凝土	85
第一节 防射线混凝土的材料组成	85
第二节 防射线混凝土配合比设计	88
第三节 防射线混凝土参考配合比	91
第六章 聚合物混凝土	93
第一节 聚合物混凝土的材料组成	93
第二节 聚合物混凝土配合比设计	99
第三节 聚合物混凝土参考配合比	100
第七章 高强混凝土	102
第一节 高强混凝土的材料组成	102
第二节 高强混凝土配合比设计	110
第三节 高强混凝土参考配合比	114
第八章 耐酸混凝土	116
第一节 耐酸混凝土的材料组成	116
第二节 耐酸混凝土配合比设计	122
第三节 耐酸混凝土参考配合比	124
第九章 耐碱混凝土	127
第一节 耐碱混凝土的材料组成	127
第二节 耐碱混凝土配合比设计	128
第三节 耐碱混凝土参考配合比	130
第十章 耐油混凝土	131
第一节 耐油混凝土的材料组成	131

第二节	耐油混凝土配合比设计	133
第三节	耐油混凝土参考配合比	134
第十一章	耐磨混凝土	136
第一节	耐磨混凝土的材料组成	136
第二节	耐磨混凝土配合比设计	140
第三节	耐磨混凝土参考配合比	145
第十二章	耐热混凝土	149
第一节	耐热混凝土的材料组成	149
第二节	耐热混凝土配合比设计	153
第三节	耐热混凝土参考配合比	154
第十三章	耐火混凝土	157
第一节	耐火混凝土的材料组成	157
第二节	耐火混凝土配合比设计	164
第三节	耐火混凝土参考配合比	165
第十四章	耐海水混凝土	168
第一节	耐海水混凝土的材料组成	168
第二节	耐海水混凝土配合比设计	171
第三节	耐海水混凝土参考配合比	174
第十五章	喷射混凝土	175
第一节	喷射混凝土的材料组成	175
第二节	喷射混凝土配合比设计	181
第三节	喷射混凝土参考配合比	185
第十六章	泵送混凝土	187
第一节	泵送混凝土的材料组成	187
第二节	泵送混凝土配合比设计	192
第三节	泵送混凝土参考配合比	196
第十七章	膨胀混凝土	199
第一节	膨胀混凝土的材料组成	199
第二节	膨胀混凝土配合比设计	206
第三节	膨胀混凝土参考配合比	208
第十八章	钢纤维混凝土	210
第一节	钢纤维混凝土的材料组成	210
第二节	钢纤维混凝土配合比设计	213
第三节	钢纤维混凝土参考配合比	219
第十九章	冬季施工混凝土	221
第一节	冬季施工混凝土的材料组成	221
第二节	冬季施工混凝土配合比设计	225
第三节	冬季施工混凝土参考配合比	225
第二十章	流态混凝土	226
第一节	流态混凝土的材料组成	226
第二节	流态混凝土配合比设计	231
第三节	流态混凝土参考配合比	237
第二十一章	水工混凝土	240
第一节	水工混凝土的材料组成	240

第二节 水工混凝土配合比设计	243
第三节 水工混凝土参考配合比	248
第二十二章 大体积混凝土	249
第一节 大体积混凝土的材料组成	249
第二节 大体积混凝土配合比设计	253
第三节 大体积混凝土参考配合比	255
第二十三章 防水混凝土	256
第一节 防水混凝土的材料组成	256
第二节 防水混凝土配合比设计	265
第三节 防水混凝土参考配合比	267
第二十四章 绿化混凝土	270
第一节 绿化混凝土的材料组成	270
第二节 绿化混凝土配合比设计	272
第三节 绿化混凝土参考配合比	274
第二十五章 水下浇筑混凝土	276
第一节 水下浇筑混凝土的材料组成	276
第二节 水下浇筑混凝土配合比设计	282
第三节 水下浇筑混凝土参考配合比	289
第二十六章 再生混凝土	291
第一节 再生混凝土的基本性能	291
第二节 再生混凝土配合比设计	292
第三节 再生混凝土参考配合比	294
第二十七章 煤矸石混凝土	295
第一节 煤矸石混凝土的材料组成	295
第二节 煤矸石混凝土配合比设计	301
第三节 煤矸石混凝土参考配合比	301
第二十八章 粉煤灰陶粒混凝土	303
第一节 粉煤灰陶粒混凝土的材料组成	303
第二节 粉煤灰陶粒混凝土配合比设计	305
第三节 粉煤灰陶粒混凝土参考配合比	306
第二十九章 粉煤灰混凝土	308
第一节 粉煤灰混凝土的材料组成	308
第二节 粉煤灰混凝土配合比设计	309
第三节 粉煤灰混凝土参考配合比	320
第三十章 无砂大孔混凝土	323
第一节 无砂大孔混凝土的材料组成	323
第二节 无砂大孔混凝土配合比设计	324
第三节 无砂大孔混凝土参考配合比	328
第三十一章 泡沫混凝土	330
第一节 泡沫混凝土的材料组成	330
第二节 泡沫混凝土配合比设计	332
第三节 泡沫混凝土参考配合比	335
第三十二章 树脂混凝土	337
第一节 树脂混凝土的材料组成	337

第二节 树脂混凝土配合比设计 340

第三节 树脂混凝土参考配合比 342

第三十三章 沥青混凝土 343

第一节 沥青混凝土的材料组成 343

第二节 沥青混凝土配合比设计 347

第三节 沥青混凝土参考配合比 353

第三十四章 加气混凝土 355

第一节 加气混凝土的材料组成 355

第二节 加气混凝土配合比设计 360

第三节 加气混凝土参考配合比 361

第三十五章 碾压混凝土 362

第一节 碾压混凝土的材料组成 362

第二节 碾压混凝土配合比设计 366

第三节 碾压混凝土参考配合比 369

参考文献 370

第一章 普通混凝土

普通混凝土一般指以水泥为主要胶凝材料，与水、砂、石子，必要时掺入化学外加剂和矿物掺合料，按适当比例配合，经过均匀搅拌、密实成型及养护硬化而成的人造石材。混凝土在凝结硬化前的塑性状态，即新拌混凝土或混凝土拌和物；硬化之后的坚硬状态，即硬化混凝土或混凝土。

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、水和外加剂按适当比例配合，经过混合、拌制而成的水硬性材料。在普通混凝土中，砂子（细骨料）和石子（粗骨料）统称为骨料，主要起着骨架的作用，是混凝土中占比例最大的材料，它们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。在建筑工程中最常用的水泥是硅酸盐系列水泥，其技术性能应符合国家标准《通用硅酸盐水泥》（GB 175—2007/XG1—2009）中的规定。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。

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。

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

(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。

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）。

(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类砂应小于10%。

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

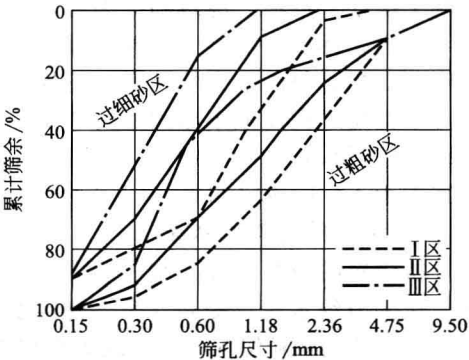


图 1-1 砂子的级配曲线

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

公称粒径/mm		累计筛余/%		筛孔尺寸/mm								
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5	53.0	63.0	75.0
连续粒级	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		
单粒粒级	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。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—2011) 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—2011)

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。

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

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—2011) 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) 所列：

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

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—2011) 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—2011)

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