

高等学校建筑类专业“十三五”规划教材

土木工程材料

主编 贾淑明 赵永花

CIVIL
ENGINEERING
MATERIALS

内 容 简 介

本书依据高等学校土木工程专业指导委员会编写的《土木工程材料教学大纲》和最新修订的相关规范、标准编写而成。全书共十三章,分别为绪论、土木工程材料的基本性质、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、墙体和屋面材料、金属材料、木材、建筑功能材料、建筑塑料、装饰材料和土木工程材料试验等。

本书适用面宽,可作为高职高专、应用型本科院校土木工程类各专业的教学用书,也可作为土木工程设计、施工、科研、工程管理、监理等人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/贾淑明,赵永花主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2019.2

高等学校建筑类专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-5245-0

I. ① 土… II. ① 贾… ② 赵… III. ① 土木工程—建筑材料—高等学校—教材

IV. ① TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 023725 号

策 划 秦志峰

责任编辑 买永莲

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2019年2月第1版 2019年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 21

字 数 499千字

印 数 1~3000册

定 价 48.00元

ISBN 978-7-5606-5245-0/TU

XDUP 5547001-1

如有印装问题可调换

前 言

本书以高等学校土木工程专业指导委员会编写的《土木工程材料教学大纲》为依据编写而成。全书的编写风格和内容结构体现了高等学校教材编写的指导思想、原则和特色，符合高等教育的方向和社会对应用型人才培养的需求。本书主要讲述了常用土木工程材料的基本成分、原料及生产工艺、技术性质、应用、材料试验等基本理论及应用技术。通过对本书的学习，读者将能掌握主要土木工程材料的性质、用途、制备、使用方法以及检测和质量控制方法，并了解土木工程材料性质与材料结构的关系以及性能改善的途径；能针对不同工程合理选用材料，了解材料与设计参数及施工措施选择的相互关系。

本书突出一个“新”字，采用了最新的国家标准和行业规范，内容充实，理论联系实际，应用性强，并介绍了土木工程材料的新技术和发展方向。在内容组织上，本书突出能力培养，以基本理论和基本知识为基础，重点阐述各建筑材料的性能特点和应用。同时，为了帮助读者更好地理解土木工程材料的内容体系，本书的每章开头均有教学提示和教学要求，供读者参考。

本书由兰州工业学院的贾淑明和赵永花担任主编。全书共 13 章，其中，贾淑明编写了绪论和第 4 章，王生廷编写了第 1 章，山水龙编写了第 2 章，胡愈(河南工程学院)编写了第 3 章，王宏东编写了第 5 章，赵永花编写了第 6~11 章，杨苏宁编写了第 12 章。全书由贾淑明进行统稿。

鉴于土木工程材料涉及的范围广，相关的标准众多，加上编者水平有限，书中的不妥及疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2018 年 10 月

目 录

绪论	1	2.3.2 水玻璃的硬化	33
0.1 土木工程材料的定义及分类	1	2.3.3 水玻璃的性质	34
0.2 土木工程材料在工程中的地位和作用	2	2.3.4 水玻璃的应用	34
0.3 土木工程材料的历史、现状及发展	3	2.4 菱苦土	35
0.4 土木工程材料的技术标准	5	2.4.1 菱苦土的硬化	36
0.5 本课程的特点、学习目的和学习方法	6	2.4.2 菱苦土的技术指标	36
第1章 土木工程材料的基本性质	8	2.4.3 菱苦土的性质与应用	36
1.1 材料的组成与结构	8	思考与练习	37
1.1.1 材料的组成	8	第3章 水泥	38
1.1.2 材料的结构	9	3.1 硅酸盐水泥	38
1.2 材料的物理性质	10	3.1.1 硅酸盐水泥的生产工艺	38
1.2.1 与质量和体积有关的性质	11	3.1.2 硅酸盐水泥的材料及 主要矿物组成	39
1.2.2 与水有关的性质	13	3.1.3 硅酸盐水泥的水化与凝结硬化	41
1.2.3 热工性质	17	3.1.4 硅酸盐水泥的技术性质和 技术标准	44
1.3 材料的力学性质	18	3.1.5 水泥石的侵蚀和防止	46
1.3.1 材料的强度与比强度	18	3.1.6 硅酸盐水泥的特性及应用	49
1.3.2 材料的弹性与塑性	20	3.1.7 硅酸盐水泥的包装、标志与储运	50
1.3.3 材料的脆性与韧性	21	3.2 掺加混合材料的硅酸盐水泥	50
1.3.4 材料的硬度与耐磨性	21	3.2.1 混合材料	50
1.4 材料的耐久性	22	3.2.2 掺加混合材料的硅酸盐水泥 种类	51
思考与练习	23	3.3 其他品种水泥	54
第2章 气硬性胶凝材料	24	3.3.1 铝酸盐水泥	54
2.1 石灰	24	3.3.2 快硬硅酸盐水泥	57
2.1.1 石灰的品种和生产	24	3.3.3 道路硅酸盐水泥	58
2.1.2 石灰的熟化和硬化	25	3.3.4 白色硅酸盐水泥及彩色 硅酸盐水泥	59
2.1.3 石灰的技术要求	26	3.3.5 膨胀水泥及自应力水泥	60
2.1.4 石灰的技术性质和应用	28	3.3.6 抗硫酸盐硅酸盐水泥	61
2.2 石膏	29	3.3.7 中、低热硅酸盐水泥	62
2.2.1 石膏的生产与品种	29	思考与练习	63
2.2.2 石膏的凝结与硬化	30		
2.2.3 建筑石膏的技术要求	31		
2.2.4 石膏的性质与应用	31		
2.3 水玻璃	32		
2.3.1 水玻璃的生产与组成	32		

第4章 混凝土	65	4.7.7 泵送混凝土	128
4.1 普通混凝土的组成材料	66	4.7.8 纤维混凝土	130
4.1.1 水泥	67	4.7.9 喷射混凝土	131
4.1.2 细骨料——砂子	68	4.7.10 绿化混凝土	132
4.1.3 粗骨料——石子	72	4.7.11 智能混凝土	134
4.1.4 拌和及养护用水	75	思考与练习	135
4.2 混凝土外加剂与掺合料	76	第5章 建筑砂浆	137
4.2.1 混凝土外加剂的定义和分类	76	5.1 砌筑砂浆	137
4.2.2 常用的混凝土外加剂	76	5.1.1 砌筑砂浆的组成材料	137
4.2.3 使用外加剂的注意事项	81	5.1.2 砌筑砂浆的技术性质	138
4.2.4 混凝土掺合料	82	5.1.3 砌筑砂浆配合比设计	139
4.3 普通混凝土的主要技术性质	85	5.1.4 砌筑砂浆的工程应用	143
4.3.1 混凝土拌合物的和易性	85	5.2 抹面砂浆	143
4.3.2 硬化混凝土的强度及提高混凝土强度的主要措施	90	5.3 装饰砂浆	144
4.4 混凝土的变形性能	99	5.4 其他品种砂浆	145
4.4.1 混凝土在非荷载作用下的变形	99	思考与练习	147
4.4.2 混凝土在荷载作用下的变形	100	第6章 墙体和屋面材料	148
4.5 混凝土的耐久性	102	6.1 砌墙砖	148
4.5.1 混凝土的抗渗性	102	6.1.1 烧结砖	149
4.5.2 混凝土的抗冻性	103	6.1.2 非烧结砖	158
4.5.3 混凝土的抗侵蚀性	103	6.2 砌块	162
4.5.4 混凝土的碳化	103	6.2.1 混凝土小型空心砌块	162
4.5.5 混凝土碱—骨料反应	104	6.2.2 混凝土中型空心砌块	164
4.5.6 提高混凝土耐久性的措施	105	6.2.3 轻集料混凝土小型空心砌块	165
4.6 普通混凝土的配合比设计	106	6.2.4 蒸压加气混凝土砌块	166
4.6.1 混凝土配合比设计的基本要求	106	6.2.5 粉煤灰混凝土小型空心砌块	167
4.6.2 混凝土配合比设计的资料准备	106	6.2.6 泡沫混凝土小型砌块	168
4.6.3 混凝土配合比设计中的三个重要参数	106	6.3 墙用板材	169
4.6.4 混凝土配合比设计的步骤	107	6.3.1 水泥类墙板	169
4.6.5 普通混凝土配合比设计实例	114	6.3.2 石膏类墙板	170
4.7 其他品种混凝土	118	6.3.3 植物纤维类墙板	171
4.7.1 高性能混凝土	118	6.3.4 复合墙板	172
4.7.2 轻骨料混凝土	122	6.4 屋面材料	173
4.7.3 抗渗混凝土	124	6.4.1 烧结类瓦材	173
4.7.4 大体积混凝土	125	6.4.2 水泥类屋面瓦材	175
4.7.5 碾压混凝土	127	6.4.3 高分子类复合瓦材	176
4.7.6 防辐射混凝土	127	6.4.4 轻型板材	177
		思考与练习	177

第7章 金属材料	178	9.4.1 隔音材料的性质	249
7.1 建筑钢材	178	9.4.2 常用的隔音材料	250
7.1.1 钢的冶炼和分类	178	9.5 建筑防火材料	250
7.1.2 建筑钢材的技术性能	182	9.5.1 建筑防火涂料	251
7.1.3 建筑钢材的种类和选用	188	9.5.2 建筑防火板材	251
7.1.4 钢材的锈蚀及防止	204	9.5.3 防火门窗及其他防火制品	252
7.2 铝材和铝合金	205	思考与练习	253
7.2.1 铝及铝合金	205	第10章 建筑塑料	254
7.2.2 常用的铝合金制品	206	10.1 塑料的基本知识	254
思考与练习	207	10.1.1 塑料的组成	254
第8章 木材	208	10.1.2 塑料的分类	254
8.1 木材的分类与构造	208	10.1.3 塑料的特性	255
8.1.1 木材的分类	208	10.2 常用建筑塑料品种	256
8.1.2 木材的构造	210	10.2.1 聚乙烯	256
8.2 木材的物理与力学性质	211	10.2.2 聚氯乙烯	256
8.2.1 木材的物理性质	211	10.2.3 聚丙烯	257
8.2.2 木材的力学性质	212	10.2.4 聚苯乙烯	257
8.3 木材在建筑工程中的应用	214	10.2.5 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物	257
8.3.1 木材的优良特性	214	10.2.6 不饱和聚酯树脂	257
8.3.2 木材在建筑中的应用	214	10.2.7 聚甲基丙烯酸甲酯	258
8.3.3 木质地板	216	10.2.8 聚碳酸酯	258
8.4 木材的防腐与防火	217	10.2.9 玻璃钢	258
8.4.1 木材的腐朽	218	10.3 建筑塑料制品及应用	258
8.4.2 木材的防火	218	10.3.1 UPVC 塑料扣板	258
思考与练习	219	10.3.2 PVC 地板	259
第9章 建筑功能材料	220	10.3.3 三聚氰胺板	259
9.1 防水材料	220	10.3.4 铝塑复合板	259
9.1.1 沥青	220	10.3.5 聚碳酸酯板	260
9.1.2 防水卷材	228	10.3.6 塑料壁纸	260
9.1.3 防水涂料、防水油膏和防水粉	242	10.3.7 塑料门窗	260
9.2 绝热材料	244	思考与练习	261
9.2.1 绝热材料的性质	244	第11章 装饰材料	262
9.2.2 建筑工程对保温、绝热材料的基本要求	244	11.1 装饰材料的基本要求及选用原则	262
9.2.3 常用绝热材料	245	11.1.1 装饰材料的基本要求	262
9.3 吸声材料	247	11.1.2 装饰材料的选用原则	263
9.3.1 吸声材料的性质	247	11.2 常用的装饰材料	264
9.3.2 常用的吸声材料	248	11.2.1 建筑装饰石材	264
9.4 隔音材料	249	11.2.2 建筑陶瓷	267
		11.2.3 建筑装饰玻璃	270

11.2.4	建筑装饰涂料	272	12.3	普通混凝土试验	301
11.2.5	建筑木装饰	274	12.3.1	混凝土拌合物取样及试样制备	301
11.2.6	金属装饰材料	275	12.3.2	普通混凝土拌合物的 和易性测定	302
11.2.7	建筑装饰织物	276	12.3.3	混凝土拌合物表观密度测定	305
	思考与练习	277	12.3.4	普通混凝土抗压强度试验	306
第 12 章	土木工程材料试验	278	12.3.5	混凝土非破损检验	308
12.1	水泥试验	278	12.4	建筑砂浆试验	311
12.1.1	水泥试验的一般规定	278	12.4.1	砂浆取样及试样制备	311
12.1.2	水泥细度测定	279	12.4.2	砂浆的稠度试验	312
12.1.3	水泥标准稠度用水量的 测定(标准法)	281	12.4.3	砂浆分层度试验	313
12.1.4	水泥净浆凝结时间的测定	284	12.4.4	砂浆立方体抗压强度试验	314
12.1.5	水泥安定性检验	285	12.5	钢筋试验	315
12.1.6	水泥胶砂强度检验(ISO 法)	287	12.5.1	试验依据	315
12.2	混凝土用骨料试验	292	12.5.2	取样方法及验收规定	315
12.2.1	概述	292	12.5.3	低碳钢拉伸试验	316
12.2.2	砂的颗粒级配试验	293	12.5.4	冷弯试验	319
12.2.3	砂的表观密度试验	294	12.6	沥青试验	321
12.2.4	砂的堆积密度试验	295	12.6.1	试验依据	321
12.2.5	砂的含水率试验	296	12.6.2	取样方法	321
12.2.6	石子颗粒级配试验	297	12.6.3	沥青针入度试验	321
12.2.7	石子的表观密度 试验(广口瓶法)	298	12.6.4	延度(延伸度)试验	323
12.2.8	石子堆积密度试验	299	12.6.5	沥青软化点试验(环球法)	325
12.2.9	石子的含水率试验	300	参考文献	327	

第4章 混 凝 土

教学提示 本章是全书的重点,将以普通混凝土为学习基础,按“原材料—硬化前的性能(和易性)—硬化后的性能(强度、变形性、耐久性)—配合比设计—质量控制与评定”这一主线来学习。配合比设计是本章的重点,学习时要掌握普通混凝土配合比的设计方法,了解混凝土技术的新进展及其发展趋势。

教学要求 掌握普通混凝土的组成、原材料的质量控制,以及普通混凝土的主要技术性质(和易性、强度、变形和耐久性等);了解混凝土外加剂的性能特点及使用注意事项;掌握普通混凝土的配合比设计方法;了解普通混凝土的质量控制以及其他品种混凝土的特点及应用。

混凝土一般是指由胶凝材料(胶结料),粗、细骨料(或称集料),水及其他材料,按适当比例配制并硬化而成的具有所需形状、强度和耐久性的人造石材。混凝土是目前世界上用量最大的人工建筑材料,广泛应用于建筑、水利、水电、道路和国防等工程。

1. 混凝土的分类

1) 按表观密度分类

(1) 重混凝土。重混凝土是指干表观密度大于 2800 kg/m^3 的混凝土,常用密度很大的重晶石、铁矿石、铁屑等重骨料和钡水泥、锶水泥等重水泥配置而成。由于厚重密实,具有不透 X 射线和 γ 射线的性能,故主要用作防辐射的屏蔽结构材料。

(2) 普通混凝土。普通混凝土是指干表观密度为 $2000 \text{ kg/m}^3 \sim 2800 \text{ kg/m}^3$ 的混凝土,一般采用普通的天然砂、石作骨料配制而成,是建筑工程中最常用的混凝土,主要用于各种建筑的承重结构。

(3) 轻混凝土。轻混凝土是干表观密度小于 2000 kg/m^3 的混凝土。它是采用陶粒等轻质多孔骨料配制的混凝土以及无砂的大孔混凝土,或者不采用骨料而掺入引气剂或泡沫剂,形成多孔结构的混凝土,主要用作轻质结构材料和保温隔热材料。

轻混凝土可以分为三种:轻骨料混凝土(用膨胀珍珠岩、浮石、陶粒、煤渣等轻质材料作骨料)、多孔混凝土(泡沫混凝土、加气混凝土等)和无砂大孔混凝土(组成材料中不加细骨料)。

2) 按所用胶凝材料分类

按所用胶凝材料的不同,混凝土可分为水泥混凝土、沥青混凝土、石膏混凝土、水玻璃混凝土、聚合物混凝土等。其中,水泥混凝土在建筑工程中用量最大、用途最广。

3) 按强度等级分类

(1) 普通混凝土。普通混凝土是指抗压强度在 60 MPa 以下的混凝土。其中,抗压强度小于 30 MPa 的混凝土为低强度等级混凝土,抗压强度为 $30 \text{ MPa} \sim 60 \text{ MPa}$ 的为中强度混凝土。

(2) 高强混凝土。高强混凝土是指抗压强度为 60 MPa~100 MPa 的混凝土。

(3) 超高强混凝土。超高强混凝土是指抗压强度在 100 MPa 以上的混凝土。

4) 按用途分类

按用途的不同,混凝土主要有结构混凝土、装饰混凝土、防水混凝土、道路混凝土、防辐射混凝土、耐热混凝土和耐酸混凝土等。

5) 按生产和施工方法分类

按生产和施工方法的不同,混凝土可分为现场浇筑混凝土、泵送混凝土、喷射混凝土、碾压混凝土、真空脱水混凝土、离心密实混凝土、压力灌浆混凝土及预拌混凝土(商品混凝土)等。

2. 混凝土的特点

1) 混凝土的优点

混凝土是当代最大宗、最重要的一种土木工程材料。其技术与经济意义是其他土木工程材料所无法比拟的,根本原因是混凝土材料具备以下优点:

(1) 原材料来源广泛。混凝土组成材料中,砂、石等地方材料占 80%以上,可就地取材,大大降低了材料生产成本。

(2) 拌合物具有良好的可塑性。新拌混凝土有良好的可塑性和浇注性,可满足设计要求的形状和尺寸。

(3) 能与钢筋协同工作。钢筋与混凝土虽为性能迥异的两种材料,但两者却有近乎相等的线胀系数,黏结力强,从而它们可以各取所长,互相配合,协同工作。

(4) 有较高的强度和耐久性。随着科学技术的发展,我国混凝土生产技术也取得了很大进步;在外加剂的作用下,可配制出抗压强度达 100 MPa 以上的高强和超高强混凝土,并具有较高的抗渗、抗冻、抗腐蚀及抗碳化性能,其使用年限可达数百年之久。

(5) 易于施工。混凝土既可进行人工浇筑,也可根据不同的工程环境特点灵活采用泵送、喷射等方式施工,必要时可配制自流平混凝土。

2) 混凝土的缺点

混凝土除了以上优点外,也存在着以下缺点:

(1) 抗拉强度小。混凝土抗拉强度一般只有其抗压强度的 1/10~1/15,属于一种脆性材料,很多情况下必须配合钢筋使用。

(2) 自重大。混凝土自重大,不利于提高有效承载能力,也会给施工带来一定困难。

(3) 凝结硬化前需要较长时间的养护,从而延长了施工期。

另外,混凝土还有导热系数大、不耐高温、拆除后再生利用性差等缺点。

随着科学技术的发展,混凝土的缺点正逐渐被克服。如采用轻质骨料可显著降低混凝土的自重;掺入纤维或聚合物,可提高抗拉强度;掺入早强剂,可显著缩短硬化时间等。

4.1 普通混凝土的组成材料

普通混凝土的基本组成材料是天然砂、石子、水泥和水。为改善混凝土的某些性能,还常加入适量的外加剂或外掺料。

在混凝土中，砂、石起骨架作用，因此称为骨料或集料。水泥和水形成的水泥浆，包裹在砂粒表面并填充砂粒间的空隙而形成水泥砂浆，水泥砂浆又包裹在石子表面并填充石子之间的空隙。

在混凝土硬化前，水泥浆起润滑作用，赋予混凝土拌合物一定的流动性，便于施工。混凝土硬化后，水泥浆则将骨料胶结成一个坚实的整体，并产生一定的强度。混凝土结构如图 4-1 所示。

4.1.1 水泥

水泥在混凝土中起胶结作用，是最重要的材料之一，是影响混凝土强度、耐久性及经济性的重要因素，因此，要正确、合理地选择水泥的品种和强度等级。

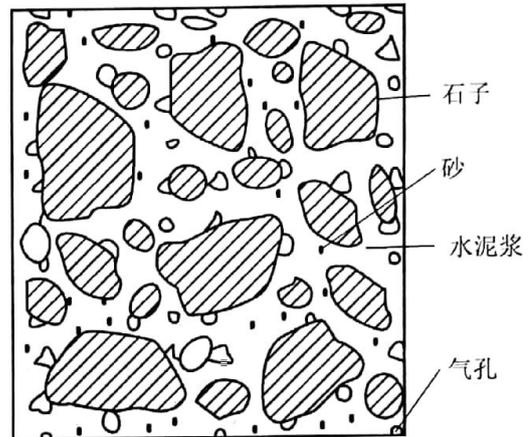


图 4-1 混凝土结构

1. 水泥品种的选择

配制混凝土用的水泥，应根据混凝土工程的特点和所处环境，结合各种水泥的不同特性进行选用。常用水泥品种的具体使用情况可参考表 4-1。

2. 水泥强度等级的选择

配制混凝土所用水泥的强度等级应与混凝土的设计强度等级相适应。原则上，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。对于一般强度等级的混凝土，水泥强度等级宜为混凝土强度等级的 1.5~2.0 倍；对于较高强度等级的混凝土，水泥强度等级宜为混凝土强度等级的 0.9~1.5 倍。

表 4-1 常用水泥品种的具体使用情况

工程性质		硅酸盐水泥	普通水泥	矿渣水泥	火山灰水泥	粉煤灰水泥
工程特点	大体积工程	不宜	可	宜	宜	宜
	早强混凝土	宜	可	不宜	不宜	不宜
	高强混凝土	宜	可	可	不宜	不宜
	抗渗混凝土	宜	宜	不宜	宜	宜
	耐磨混凝土	宜	宜	可	不宜	不宜
环境特点	普通环境	可	宜	可	可	可
	干燥环境	可	宜	不宜	不宜	可
	潮湿或水下环境	可	可	可	可	可
	严寒地区	宜	宜	可	不宜	不宜
	严寒地区并有水位升降	宜	宜	不宜	不宜	不宜

若用高强度等级的水泥配制低强度等级的混凝土，少量水泥即能满足强度要求，但为

为了满足混凝土拌合物的和易性和密实性，需增加水泥用量，这会造成水泥的浪费。若用低强度等级的水泥配制高强度等级的混凝土，会使水泥用量过多，不经济，而且会影响混凝土的其他技术性质。

4.1.2 细骨料——砂子

粒径为 0.15 mm~4.75 mm 的岩石颗粒，称为细骨料或细集料；粒径大于 4.75 mm 的称为粗骨料。粗、细骨料的总体积占混凝土体积的 70%~80%，因此，骨料的性能对所配制的混凝土性能有很大影响。

为了保证混凝土的质量，对骨料技术性能的要求主要有：有害杂质含量少；具有良好的颗粒形状，适宜的颗粒级配和细度；表面粗糙，与水泥黏结牢固；性能稳定，坚固耐久等。

1. 砂的分类

砂按其产源不同可分为天然砂和机制砂两种。

天然砂是由自然风化、水流搬运和分选、堆积形成的粒径小于 4.75 mm 的岩石颗粒，但不包括软质岩、风化岩石的颗粒。按其产源不同可分为河砂、湖砂、山砂和淡化海砂。河砂和海砂由于长期受水流的冲刷作用，颗粒表面比较圆滑、洁净，且产源较广，但海砂中常含有贝壳碎片及可溶盐等有害物质。山砂颗粒多具棱角，表面粗糙，砂中含泥量及有机质等有害杂质较多。建筑工程中一般多采用河砂作细骨料。

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。机制砂单纯由矿石、卵石或尾矿加工而成，其颗粒尖锐，有棱角，较洁净，但片状颗粒及细粉含量较多，成本较高。

2. 砂的技术要求

根据我国《建设用砂》(GB/T 14684—2011)的规定，砂按技术要求分为 I 类、II 类、III 类三种类别。I 类砂宜用于强度等级大于 C60 的混凝土；II 类砂宜用于强度等级为 C30~C60 及有抗冻、抗渗或其他要求的混凝土；III 类砂宜用于强度等级小于 C30 的混凝土和建筑砂浆。

1) 砂的粗细程度和颗粒级配

砂的粗细程度是指不同粒径的砂子混合在一起的平均粗细程度。在砂用量相同的条件下，若砂子过细，则砂子的总表面积较大，需要包裹砂粒表面的水泥浆的数量较多，水泥用量就多；若砂子过粗，虽能少用水泥，但混凝土拌合物黏聚性较差。所以，用于拌制混凝土的砂不宜过粗，也不宜过细，应符合规定的粗细程度。

砂的颗粒级配是指不同粒径的砂粒相互间的搭配情况，如图 4-2 所示。由于混凝土中砂粒之间的空隙是由水泥浆填充的，所以为了节约水泥，提高混凝土强度，就应尽量减少砂粒之间的空隙。

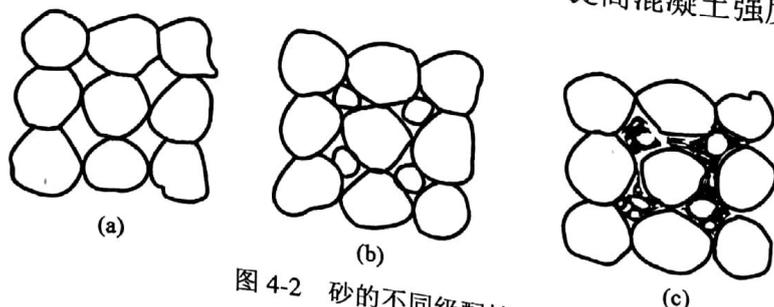


图 4-2 砂的不同级配情况

从图 4-2 可以看出：如果是相同粒径的砂，空隙就大(图 4-2(a))；用两种不同粒径的砂搭配起来空隙就小了(图 4-2(b))；用三种以上不同粒径的砂搭配，空隙就更小了(图 4-2(c))。由此可见，要想减少砂粒之间的空隙，不宜使用单一粒级的砂，而应使用颗粒大小不同的砂子相互搭配，即选用颗粒级配良好的砂。

综上所述，混凝土用砂应同时考虑砂的粗细程度和颗粒级配。当砂的颗粒较粗且级配良好时，砂的空隙和总表面积均较小，这样不仅可以节省水泥，而且还可以提高混凝土的密实性和强度。由此可见，控制混凝土用砂的粗细程度和颗粒级配有很大技术经济意义。

砂的粗细程度和颗粒级配常用筛分析实验进行测定，用细度模数来判断砂的粗细程度，用级配区来表示砂的颗粒级配。筛分析法是用一套孔径分别为 4.75 mm、2.36 mm、1.18 mm、600 μm、300 μm、150 μm 的标准方孔筛，将 500 g 干砂试样依次过筛，然后称取筛余在各号筛上砂的质量(分计筛余量)，并计算出各筛上的分计筛余百分率(分计筛余量占砂样总质量的百分数)及累计筛余百分率(各筛和比该筛粗的所有分计百分率之和)。砂的筛余量、分计筛余百分率、累计筛余百分率的关系见表 4-2。

表 4-2 分计筛余百分率和累计筛余百分率的关系

方孔筛	分计筛余		累计筛余百分率(%)
	质量(g)	百分率(%)	
4.75 mm	m_1	$a_1 = m_1/500$	$A_1 = a_1$
2.36 mm	m_2	$a_2 = m_2/500$	$A_2 = a_1 + a_2$
1.18 mm	m_3	$a_3 = m_3/500$	$A_3 = a_1 + a_2 + a_3$
600 μm	m_4	$a_4 = m_4/500$	$A_4 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$
300 μm	m_5	$a_5 = m_5/500$	$A_5 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5$
150 μm	m_6	$a_6 = m_6/500$	$A_6 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6$

根据累计筛余百分率可计算出砂的细度模数，并划分砂的级配区，以评定砂子的粗细程度和颗粒级配。砂的细度模数计算公式如下：

$$M_x = \frac{(A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) - 5A_1}{100 - A_1} \quad (4-1)$$

砂的细度模数越大，表示砂越粗。

根据我国《建设用砂》(GB/T 14684—2011)的规定， M_x 的取值为 1.6~2.2 的为细砂， M_x 的取值为 2.3~3.0 的为中砂， M_x 的取值为 3.1~3.7 的为粗砂。普通混凝土用砂的细度模数，一般控制在 2.0~3.5 之间较为适宜。

砂的颗粒级配用级配区来表示。对细度模数为 3.7~1.6 的普通混凝土用砂，根据 600 μm 筛孔的累计筛余百分率，划分成三个级配区，见表 4-3。凡经筛分析检验的砂，若各筛的累计筛余百分率处于表 4-3 中的任何一个级配区内，其级配才符合设计要求。

为了更直观地反映砂的级配情况，可按表 4-3 的规定画出天然砂级配区曲线图，天然砂筛分曲线如图 4-3 所示。当筛分曲线偏向右下方时，表示砂较粗，配制的混凝土拌合物和易性不易控制，且内摩擦大，不易浇捣成型；当筛分曲线偏向左上方时，表示砂较细，配制的混凝土既要增加较多的水泥用量，而且强度会显著降低。

表 4-3 砂的颗粒级配区

砂的分类	天然砂			机制砂		
	1区	2区	3区	1区	2区	3区
级配区	1区	2区	3区	累计筛余(%)		
方筛孔	10~0					
4.75 mm	10~0	10~0	10~0	10~0	10~0	10~0
2.36 mm	35~5	25~0	15~0	35~5	25~0	15~0
1.18 mm	65~35	50~10	25~0	65~35	50~10	25~0
600 μm	85~71	70~41	40~16	85~71	70~41	40~16
300 μm	95~80	92~70	85~55	95~80	92~70	85~55
150 μm	100~90	100~90	100~90	97~85	94~80	94~75

注：对于砂浆用砂，4.75 mm 筛孔的累计筛余应为 0，砂的实际颗粒级配除 4.75 mm 和 600 μm 筛挡外，可以略有超出，但各级累计筛余超出值总量应小于 5%。

因此，配制混凝土时宜优先选用 2 区砂。当采用 1 区砂时，应适当提高砂率，并保证足够的水泥用量，以满足混凝土的工作性；当采用 3 区砂时，宜适当降低砂率，以保证混凝土的强度。在实际工程中，若砂的级配不符合级配区的要求，可采用人工掺配的方法来改善，即将粗、细砂按适当比例进行试配，掺和使用；或将砂过筛，筛除过粗或过细的颗粒。

2) 有害杂质

砂中的有害杂质包括含泥量、泥块含量、云母、轻物质、硫化物及硫酸盐、有机物、氯化物及石粉等。含泥量是指天然砂中粒径小于 75 μm 的颗粒含量；泥块含量则是指砂中粒径大于 1.18 mm，经水浸洗、手捏后小于 600 μm 的颗粒含量；轻物质是指表观密度小于 2000 kg/m³ 的物质。

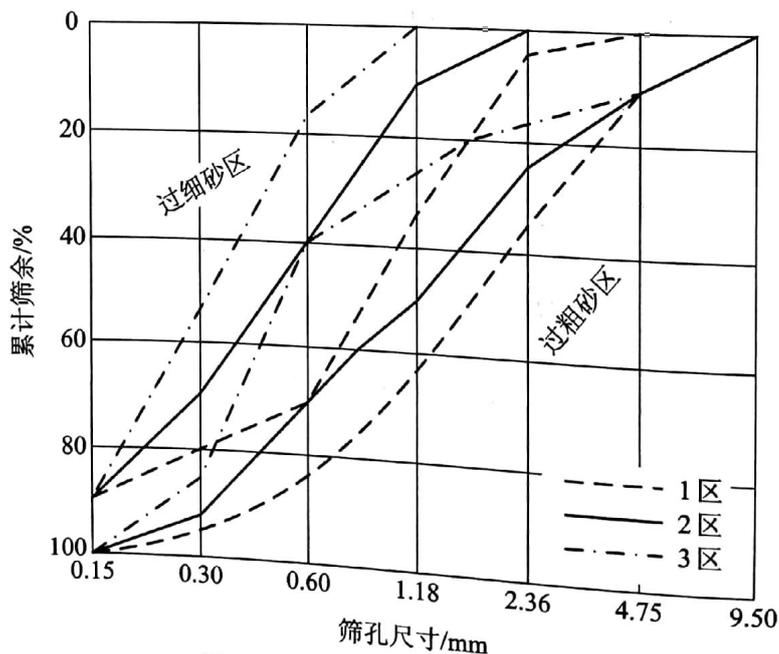


图 4-3 天然砂的级配区筛分曲线