

“十二五”普通高等教育本科规划教材

混凝土材料

张丰庆 主编
林荣峰 安雪蕾 副主编

HUNNINGTU
CAILIAO



化学工业出版社

“十二五”普通高等教育本科规划教材

混凝土材料

张丰庆 主编
林荣峰 安雪蕾 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

为适应高校创新实践教学改革的需要,结合当前建筑发展背景,对混凝土实验教学内容进行理性地设计和整合,全书包含混凝土相关知识及其原材料实验,并从实验教学内容、教学方法和教学手段入手,围绕混凝土配合比设计、混凝土拌和物性能试验、混凝土长期性和耐久性、混凝土组成材料的试验展开,结合标准规范,对组成混凝土的原材料从试验入手了解,以深化读者对混凝土性能的理解,提高学生的实验动手能力,分析解决问题的能力,加强学生实践能力与创新能力的培养。

本书可以作为普通高等学校材料和土木类及相关专业本科生与研究生的实验教学用书,也可以为从事与混凝土相关工作的科技人员和相关专业工程技术人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土材料/张丰庆主编. —北京:化学工业出版社,
2015.8

“十二五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-122-24084-2

I. ①混… II. ①张… III. ①混凝土-建筑材料-教材
IV. ①TU528

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 111254 号

责任编辑:杨 菁 李玉晖
责任校对:王素芹

文字编辑:李锦侠
装帧设计:韩 飞

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 装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张12¼ 字数305千字 2015年8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:32.00元

版权所有 违者必究

前言

混凝土是土木工程中用途最广、用量最大的一种建筑材料。随着社会主义建设的发展,对高等教育培养的人才提出了更高的要求。同时,考虑到我国高等教育的现状,绝大多数学校在一段时间内仍然会以建筑工程为主要培养方向,但是,很多学校存在的问题是:把土木工程中的施工和设计作为主要教学方向,而在材料专业中也不以混凝土材料作为重点教学内容,都只是把混凝土材料作为介绍内容,大部分从事混凝土材料工作方向的学生都是在实践中学习,没有系统理论的学习。

近年来我国对从事混凝土材料的研究、生产与应用等方面工作的人才的需求量呈现不断增加的趋势。在混凝土材料的研究、开发和生产中,人们越来越注重采用科学合理的方法来管理和生产,以充分提高材料、产品的性能,更好地满足实际应用的需要。因此,加强对学生在混凝土方面的基本知识、基本能力和基本技能的培养和训练,是造就适应社会需要的合格人才的客观要求。

为适应高校创新实践教学改革的需要,结合当前建筑发展背景,对混凝土实验教学内容进行理性地设计和整合,全书包含混凝土相关知识及其原材料实验,并从实验教学内容、教学方法和教学手段入手,围绕混凝土配合比设计、混凝土拌和物性能试验、混凝土长期性和耐久性、混凝土组成材料的试验展开,结合标准规范,对组成混凝土的原材料从试验入手了解,以深化读者对混凝土性能的理解,提高学生的实验动手能力,分析解决问题的能力,加强学生实践能力与创新能力的培养。混凝土及其原材料实验是充实、加深和强化学生对相关专业知识的认识和理解的重要教学环节,在培养和提高学生对基础理论、基本知识的实际运用能力方面起着不可替代的作用。本书旨在进一步充实、加深和强化学生对相关专业知识的认识和理解,使学生与时俱进,掌握材料混凝土设计和性能及其原材料实验测试方法,以深化对混凝土性能的理解,具备配合比设计、正确选择原材料以及对材料进行检测及相关性研究的能力;提高学生的实验技能、动手能力、分析问题和解决问题的能力,加强学生实践能力和创新能力的培养,为今后改进现有材料的制备工艺或探索新型材料打下基础。

本书内容丰富、涉及面广、实用性强。全书共设混凝土配合比设计、混凝土拌和物性能试验、混凝土硬化后性能试验、混凝土长期性和耐久性试验、混凝土的组成原材料试验,旨在让学生能全方位对混凝土材料有一个初步的认识。

本书由张丰庆编写1~4章,林荣峰编写5~7章、安雪蕾编写第8章,全书

由张丰庆统稿。本书的出版得到了山东建筑大学材料科学与工程学院的大力支持，谨此一并表示感谢。对关心本教材和为本教材的编写付出辛勤劳动的所有老师和学生表示衷心的感谢。

鉴于编者水平有限，书中疏漏及欠妥之处在所难免，希望使用本书的老师、同学及读者及时向我们提出宝贵意见，便于我们在工作中及时改进，也可避免再版时再犯同类错误。

张丰庆

2015年1月

目 录

1 混凝土	1
1.1 普通混凝土的组成材料	1
1.1.1 水泥	2
1.1.2 集料	3
1.1.3 掺和料	6
1.1.4 掺和料	8
1.1.5 混凝土拌和及养护用水	8
1.2 普通混凝土的配合比设计及质量控制	9
1.2.1 混凝土的基本要求与质量控制	9
1.2.2 普通混凝土的配合比设计	11
1.2.3 有特殊要求的混凝土	17
1.3 混凝土拌和物的性能	20
1.3.1 和易性	20
1.3.2 新拌混凝土的凝结时间	24
1.4 新拌混凝土拌和物的性能试验	25
1.4.1 混凝土拌和物试样制备	25
1.4.2 拌和物稠度试验	26
1.4.3 拌和表观密度试验	27
1.4.4 凝结时间试验	27
1.4.5 泌水试验	29
1.4.6 压力泌水试验	31
1.4.7 含气量试验	31
1.5 硬化后混凝土的力学性能	34
1.5.1 混凝土的受力破坏特点	34
1.5.2 混凝土的强度	35
1.6 硬化后混凝土的力学性能试验	40
1.6.1 混凝土试样制作与养护	40
1.6.2 抗压强度试验	42
1.6.3 轴心抗压强度试验	43
1.6.4 抗折强度试验	43
1.6.5 劈裂抗拉强度试验	44
1.6.6 静力受压弹性模量试验	45

2 水泥	48
2.1 水泥介绍	48
2.2 水泥试验	48
2.2.1 水泥试验的一般规定	48
2.2.2 密度试验	49
2.2.3 细度试验	49
2.2.4 标准稠度用水量	50
2.2.5 水泥净浆凝结时间的测定	52
2.2.6 安定性的测定	53
2.2.7 水泥胶砂强度检验	54
2.2.8 水泥胶砂流动度测定方法	57
2.2.9 比表面积	58
3 粉煤灰	61
3.1 粉煤灰介绍	61
3.1.1 粉煤灰在混凝土中的作用机理	61
3.1.2 粉煤灰的化学成分和物理性能指标	62
3.1.3 粉煤灰对混凝土性能的影响	63
3.2 粉煤灰试验	63
3.2.1 细度试验	63
3.2.2 需水量试验	65
3.2.3 含水量试验	65
3.2.4 活性指数试验	66
4 矿渣粉	68
4.1 矿渣粉介绍	68
4.2 矿渣粉试验	69
4.2.1 粒化高炉矿渣粉活性指数及流动度比的测定	69
4.2.2 矿渣粉含水量的测定	70
4.2.3 矿渣粉玻璃体含量的测定	70
5 矿试验	72
5.1 砂介绍	72
5.2 砂试验	72
5.2.1 砂的取样与处理	72
5.2.2 砂的颗粒级配试验	73

5.2.3	砂的表观密度	75
5.2.4	砂的堆积密度与空隙率试验	76
5.2.5	砂的含泥量试验	77
5.2.6	石粉含量与 MB 值试验	78
5.2.7	泥块含量试验	80
5.2.8	云母含量试验	81
5.2.9	轻物质含量试验	82
5.2.10	有机物含量试验	83
5.2.11	硫化物和硫酸盐含量试验	84
5.2.12	氯化物含量试验	85
5.2.13	坚固性试验	86
5.2.14	压碎指标法	88
5.2.15	集料碱活性检验 (岩相法)	89
5.2.16	碱-硅酸反应 (砂浆长度法)	90
5.2.17	快速碱-硅酸反应	91
5.2.18	砂的含水率试验 (标准法)	93
5.2.19	砂的含水率试验 (快速法)	94
5.2.20	砂的吸水率试验	94
5.2.21	海砂中贝壳含量试验 (盐酸清洗法)	96

6 石试验 97

6.1	石介绍	97
6.2	石试验	97
6.2.1	石的取样与处理	97
6.2.2	碎石或卵石的筛分析试验	98
6.2.3	石的表观密度试验 (简易法)	99
6.2.4	石的堆积密度和紧密密度试验	100
6.2.5	碎石或卵石的含泥量	102
6.2.6	碎石或卵石中泥块含量试验	103
6.2.7	针片状颗粒含量	104
6.2.8	卵石中有机物含量试验	105
6.2.9	碎石或卵石中硫化物和硫酸盐含量试验	106
6.2.10	碎石或卵石的坚固性试验	107
6.2.11	岩石抗压强度	109
6.2.12	碎石或卵石的压碎指标值指标试验	110
6.2.13	集料碱活性检验 (岩相法)	111
6.2.14	碱-硅酸反应 (石料长度法)	113
6.2.15	碎石或卵石的碱活性试验 (快速法)	114
6.2.16	碳酸盐骨料的碱活性试验 (岩石柱法)	116
6.2.17	碎石或卵石的含水率试验	117

6.2.18 碎石或卵石的吸水率试验	118
--------------------------	-----

7 混凝土外加剂 **119**

7.1 混凝土外加剂种类	119
7.1.1 减水剂	119
7.1.2 缓凝剂	123
7.1.3 早强剂	123
7.1.4 引气剂	124
7.1.5 膨胀剂	125
7.1.6 防冻剂	126
7.1.7 速凝剂	127
7.1.8 防水剂	127
7.1.9 泵送剂	127
7.1.10 絮凝剂	128
7.1.11 阻锈剂	129
7.2 外加剂试验	129
7.2.1 水泥净浆流动度	129
7.2.2 水泥砂浆工作性	130
7.2.3 氯离子含量	131
7.2.4 固体含量	133
7.2.5 细度	134
7.2.6 pH 值	134
7.2.7 表面张力	135
7.2.8 含水率	135
7.2.9 碱含量-火焰光度法	136
7.2.10 外加剂-混凝土试验	137
7.2.11 混凝土外加剂中氯离子含量的测定方法（离子色谱法）	142

8 混凝土长期性能和耐久性能 **144**

8.1 混凝土的变形性能	144
8.2 混凝土的耐久性	146
8.3 混凝土的长期性和耐久性试验	148
8.3.1 混凝土取样和试件的基本规定	148
8.3.2 抗冻试验——慢冻法	149
8.3.3 抗冻试验——快冻法	151
8.3.4 抗冻试验——单面冻融法（或称盐冻法）	153
8.3.5 动弹性模量试验	159
8.3.6 抗水渗透试验——渗水高度法	161

8.3.7	抗水渗透试验——逐级加压法	162
8.3.8	抗氯离子渗透试验——快速氯离子迁移系数法（或称 RCM 法）	163
8.3.9	抗氯离子渗透试验——电通 A 法	167
8.3.10	收缩试验——非接触法	169
8.3.11	收缩试验——接触法	170
8.3.12	早期抗裂试验	172
8.3.13	受压徐变试验	174
8.3.14	碳化试验	177
8.3.15	混凝土中钢筋锈蚀试验	179
8.3.16	抗压疲劳变形试验	180
8.3.17	抗硫酸盐侵蚀试验	181
8.3.18	碱-骨料反应试验	183

参考文献	186
-------------------	------------

1 混 凝 土

混凝土是由胶凝材料、水和粗、细集料按适当比例配合、拌制成拌和物，经一定时间硬化而成的人造石材。混凝土种类繁多，按所用胶凝材料种类不同可分为水泥混凝土、石膏混凝土、水玻璃混凝土、沥青混凝土、聚合物混凝土等。土木工程中用量最大的为水泥混凝土，属于水泥基复合材料。

混凝土按体积密度的大小可分为以下四种。

① 重混凝土。干体积密度大于 2800kg/m^3 ，是用体积密度大的集料（重晶石、铁矿石和钢屑等）制成的混凝土。常用重混凝土干体积密度大于 3200kg/m^3 。由于其对 X 射线和 γ 射线有较高的屏蔽能力，主要用于核反应堆以及其他放射线工程中。

② 普通混凝土。干体积密度为 $2300\sim 2800\text{kg/m}^3$ ，用普通的砂、石作集料配制而成，常用普通混凝土干体积密度为 $2300\sim 2500\text{kg/m}^3$ 。广泛应用于房屋、桥梁、大坝、路面、海洋等工程，是各种工程中用量最大的混凝土。

③ 次轻混凝土。干体积密度 $1950\sim 2300\text{kg/m}^3$ ，除采用轻粗集料外，还部分使用了普通天然密实的粗集料。主要用于高层、大跨度结构。

④ 轻混凝土。干体积密度小于 1950kg/m^3 ，是采用轻集料或引入气孔制成的混凝土，包括轻集料混凝土、多孔混凝土和大孔混凝土。强度等级较高的轻混凝土可用于桥梁、房屋等承重结构，强度等级较低的轻混凝土主要作隔热保温用。

混凝土还可按照主要功能或结构特征、施工特点来分类，如防水混凝土、耐热混凝土、高强混凝土、泵送混凝土、流态混凝土、喷射混凝土、纤维混凝土等。

1.1 普通混凝土的组成材料

普通混凝土一般由水泥、砂、石和水所组成，其结构如图 1-1 所示。为改善混凝土的某些性能还常加入适量的外加剂和掺和料。水和水泥组成水泥浆，水泥浆包裹在砂的表面，并填充于砂的空隙中形成砂浆，砂浆又包裹在石子的表面，并填充石子的空隙。水泥浆和砂浆在混凝土拌和物中分别起到润滑砂、石的作用，使混凝土具有施工要求的流动性，并使混凝土易于成型密实。硬化后，水泥石将砂、石牢固地胶结成为整体，使混凝土具有所需的强度、耐久性等性能。通常所用砂、石的强度高于水泥石的强度，且砂、石占混凝土总体积的 $65\%\sim 75\%$ ，因而它们在混凝土中起到骨架的作用，又称为集料。集料主要起到限制与减小混凝土的干缩与开

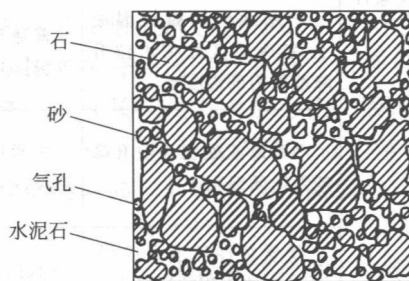


图 1-1 混凝土结构示意图

裂，减少水泥用量、降低水泥水化热与混凝土温升，降低混凝土成本的作用，并可起到提高混凝土强度和耐久性的作用。

混凝土是一种非均质多相复合材料。从亚微观上来看，混凝土是由粗、细集料、水泥的水化产物、毛细孔、气孔、微裂纹（因水化热、干缩等致使水泥石开裂）、界面微裂纹（因干缩、泌水所致）及界面过渡层等组成。混凝土在受力之前，内部就存在有许多微裂纹。界面过渡层是由于泌水等原因，在集料表面形成的厚度为 30~60 μm 的水泥石薄层，结构相对较为疏松，其中常含有微裂纹或孔隙。界面过渡层对混凝土的强度和耐久性有着重大的影响，特别是粗集料与砂浆（或水泥石）的界面。从宏观上看，混凝土是由集料和水泥石组成的二相复合材料。因此，混凝土的性质主要取决于混凝土中集料与水泥石的性质、它们的相对含量以及集料与水泥石间的界面黏结强度。

集料的强度一般均高于水泥石的强度，因而普通混凝土的强度主要取决于水泥石的强度和界面黏结强度，界面黏结强度又取决于水泥石的强度和集料的表面状况（粗糙程度、棱角的多少、黏附的泥等杂质的多少、吸水性的多少等），以及凝结硬化条件和混凝土拌和物的泌水性等。界面是普通混凝土中最为薄弱的环节。

1.1.1 水泥

1.1.1.1 水泥的品种选择

配制普通混凝土通用的水泥有：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。必要时也可采用快硬硅酸盐水泥或其他水泥。水泥品种的选择应根据混凝土工程特点、所处环境条件以及设计施工的要求进行，常用水泥品种的选择见表 1-1。

表 1-1 不同环境及工程特点条件下常用水泥的选用

混凝土工程特点或所处环境条件		优先选用	可以选用	不得使用
环境条件	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, 火山灰质硅酸盐水泥, 粉煤灰硅酸盐水泥	
	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
	在高温、湿度环境中或永远处在水下的混凝土	矿渣硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥	
	严寒地区的露天混凝土、寒冷地区处在水位升降范围内的混凝土	普通硅酸盐水泥(强度等级 ≥ 32.5 级)	矿渣硅酸盐水泥(强度等级 ≥ 32.5 级)	火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥
	严寒地区处在水位升降范围内的混凝土	普通硅酸盐水泥(强度等级 ≥ 32.5 级)		火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥
	受侵蚀性环境水或侵蚀性气体作用的混凝土	根据侵蚀性介质的种类、浓缩等具体条件按专门(或设计)规定选用		
工程特点	庞大体积的混凝土	粉煤灰硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥	硅酸盐水泥、快硬硅酸盐水泥

续表

混凝土工程特点或所处环境条件		优先选用	可以选用	不得使用
工程特点	要求快硬的混凝土	硅酸盐水泥、快硬硅酸盐水泥	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
	高强（大于 C50）的混凝土	硅酸盐水泥	普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥	火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥
	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
	有耐磨要求的混凝土	硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥（强度等级≥32.5 级）	矿渣硅酸盐水泥（强度等级≥32.5 级）	火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥

1.1.1.2 水泥强度等级选择

水泥强度等级的选择应与混凝土的设计强度等级相适应。混凝土用水泥强度等级选择的一般原则是：配制高强度的混凝土选用强度等级高的水泥；配制低强度的混凝土，选用强度等级低的水泥。对 C30 及其以下的混凝土，水泥强度等级一般应为混凝土强度等级的 1.5～2.5 倍；对 C30～C50 的混凝土，水泥强度等级一般应为混凝土强度等级的 1.1～1.5 倍；对 C60 以上的高强混凝土，水泥强度等级与混凝土强度等级的比值可小于 1.0，但一般不宜低于 0.70。如配制混凝土的水泥强度偏低，会使水泥用量过大，不经济，而且会显著增加混凝土的水化热和温升、干缩与徐变。如配制混凝土的水泥强度偏高，则水泥用量必然偏少，会影响混凝土的和易性和密实度，导致该混凝土的耐久性差。如必须用强度等级高的水泥配低强度的混凝土，可通过掺入一定数量的混合材料来改善和易性，提高密实度。

过分追求高强度水泥或早强型水泥在很多情况下是非常有害的。高强度水泥或早强型水泥，特别是铝酸三钙含量高的水泥，凝结硬化速度快、水化放热量高，化学收缩和干缩大，常会使混凝土在尚未凝结的情况下，即在塑性阶段出现大量表面裂纹（即早期塑性开裂），这对混凝土的耐久性极为不利。此种现象在掺用膨胀剂、高效减水剂、促凝型外加剂等的混凝土中，更易出现。

1.1.2 集料

1.1.2.1 集料的分类

集料按粒径大小分为粗集料和细集料。

粒径为 0.15～4.75mm（方孔筛）的集料称为细集料，俗称砂。混凝土用砂分为天然砂、人工砂两类。天然砂是由自然风化、水流搬运、分选和堆积形成的、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。天然砂按产源分为河（江）砂、山砂、海砂等。山砂表面粗糙、棱角高，含泥量和有机质含量较高。海砂长期受海水的冲刷，表面圆滑，较为清洁，但海砂中常混有贝壳和较多的盐分；河砂（江砂）的表面圆滑，较为清洁，且分布广，为混凝土的主要用砂，特别是河砂的耐磨性较机制砂高，故在混凝土路面中广泛使用。

人工砂是经过除土处理的机制砂、混合砂的统称。机制砂是由天然岩石或河卵石破碎而成的，表面粗糙、棱角多、较为清洁，但砂中含有较多的片状颗粒及石粉，且成本较高，一般仅在缺乏天然砂时才使用。使用机制砂时，其磨光值应大于 35。由泥岩、页岩、板岩制得的机制砂的耐磨性差，不宜用于路面和桥面混凝土。

粒径大于 4.75mm 的集料称为粗集料，俗称石。常用的有碎石和卵石两类。碎石是天然岩石经过机械破碎、筛分制成的、粒径大于 4.75mm 的岩石颗粒。卵石是由自然风化、水流搬运、分选和堆积而成的、粒径大于 4.75mm 的岩石颗粒。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的 2.4 倍者称为针状颗粒；厚度小于平均粒径的 0.4 倍者称为片状颗粒（平均粒径指该粒级上、下限粒径的平均值）。

1.1.2.2 集料的技术性质对混凝土性能的影响

集料的各项性能指标将直接影响到混凝土的施工性能和使用性能。集料的主要技术性质包括：颗粒级配及粗细程度、颗粒形态和表面特征、强度、坚固性、含泥量、泥块含量、有害物质及碱集料反应等。

(1) 颗粒级配及粗细程度

颗粒级配表示集料大小颗粒的搭配情况。在混凝土中集料间的空隙是由水泥浆所填充的，为达到节约水泥和提高强度的目的，应尽量减少集料的总表面积和集料间的空隙。集料的总表面积通过集料粗细程度控制，集料间的空隙通过颗粒级配来控制。

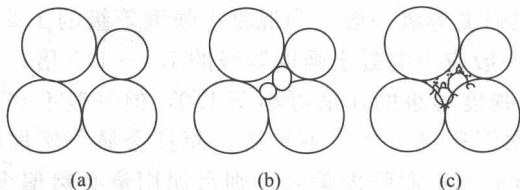


图 1-2 集料颗粒级配

从图 1-2 可以看到：如果集料粗细相同，则空隙很大 [见图 1-2(a)]；粗颗粒间填充了小的颗粒，则空隙就减少了 [见图 1-2(b)]；当用更小的颗粒填充，其空隙就更小了 [见图 1-2(c)]。由此可见，要想减小颗粒间的空隙，就必须有大小不同的颗粒搭配。

在配制混凝土时，集料的颗粒级配和粗细程度这两个因素应同时考虑。当集料的级配良好且颗粒较大时，则使空隙及总表面积均较小，这样的集料比较理想，不仅水泥浆用量较少，而且还可以提高混凝土的密实性和强度。粗集料颗粒级配有连续级配与间断级配之分。连续级配是从最大粒径开始，由大到小各级相连，其中每一级石子都占有相当的比例，连续级配在工程中应用较多。间断级配是各级石子不连续，即省去中间的一级、二级石子。例如将 5~10mm 与 20~40mm 两种粒级的石子配合使用，中间缺少了 10~20mm 的石子，即称为间断级配。间断级配能降低集料的空隙率，可节约水泥，但易使混凝土拌和物产生离析，故工程中应用较少。

工程中应优先使用中砂或粗砂。当使用细砂和特细砂时，应采取一些相应的技术措施。对路面工程，应优先使用中砂，也可使用细度模数为 2.0~3.5 的砂，而细砂和特细砂会降低路面的耐磨性和抗滑性，因而不宜选用。

(2) 颗粒形态和表面特征

集料特别是粗集料的颗粒形状和表面特征对水泥混凝土和沥青混合料的性能有显著的影响。通常，集料颗粒有浑圆状、多棱角状、针状和片状四种类型。其中，较好的是接近球体或立方体的浑圆状和多棱角状颗粒；呈细长和扁平的针状和片状颗粒对水泥混凝土的和易性、强度和稳定性等性能有不良影响，因此，应限制集料中针、片状颗粒的含量。

针、片状集料的比表面积与空隙率较大，且内摩擦力大，受力时易折断，含量高时会显著增加混凝土的用水量、水泥用量及混凝土的干缩与徐变，降低混凝土拌和物的流动性及混凝土的强度与耐久性。针片状颗粒还影响混凝土的铺摊效果和平整度。国内大部分采石厂使用颞式破碎机加工集料，虽然生产效率高，价格便宜，但集料中的针片状颗粒多、质量低，在很大程度上制约了配制的混凝土的质量。锤式、反击式、对流式破碎机生产的粒型较好。

C60 与 C60 以上的混凝土, 以及泵送混凝土、自密实混凝土、高耐久性混凝土, 粗集料中针、片状颗粒的含量须小于 10%, 高性能混凝土须小于 5%; C30~C55 的混凝土以及有耐久性要求的混凝土, 小于 15%; C30 以下的混凝土, 须小于 25% (道路混凝土须小于 20%); C10 及 C10 以下的混凝土, 可放宽到 40%。

集料的表面特征又称表面结构, 是指集料表面的粗糙程度及孔隙特征等。集料按表面特征分为光滑的、平整的和粗糙的颗粒表面。集料的表面特征主要影响混凝土的和易性和胶结料的黏结力: 表面粗糙的集料制作的混凝土的和易性较差, 与胶结料的黏结力较强; 反之, 表面光滑的集料制作的混凝土的和易性较好, 一般与胶结料的黏结力较差。

(3) 强度

粗集料在水泥混凝土中起骨架作用, 应具有一定的强度。粗集料的强度可用抗压强度和压碎指标值两种方法表示。碎石的强度用岩石的抗压强度和碎石的压碎指标值来表示, 卵石的强度用压碎指标值来表示。工程上可采用压碎指标值来进行质量控制。

压碎指标值越大, 则粗集料的强度越小。C60 及 C60 以上的混凝土应进行岩石的抗压强度检验。岩石的抗压强度与混凝土强度等级之比不应小于 1.5。

(4) 坚固性

坚固性是指集料在自然风化和其他外界物理化学因素作用下抵抗破坏的能力。集料在长期受到各种自然因素的综合作用下, 其物理力学性能会逐渐下降。这些自然因素包括温度变化、干湿变化和冻融循环等。对粗集料及天然砂采用硫酸钠溶液法进行试验, 对人工砂采用压碎值指标法进行试验。

(5) 含泥量与泥块含量

粒径小于 0.075mm 的黏土、淤泥、石屑等粉状物统称为泥。块状的黏土、淤泥统称为泥块或黏土块 (对于细集料指粒径大于 1.20mm, 经水洗手捏后成为小于 0.60mm 的颗粒; 对于粗集料指粒径大于 4.75mm, 经水洗手捏后成为小于 2.36mm 的颗粒)。泥常包覆在砂粒的表面, 因而会大大降低砂与水泥石间的界面黏结力, 使混凝土的强度降低, 同时泥的比表面积大, 含量多时会降低混凝土拌和物流动性, 或增加拌和用水量和水泥用量以及混凝土的干缩与徐变, 并使混凝土的耐久性降低。泥块对混凝土性质的影响更为严重, 因为它在搅拌时不易散开。

(6) 有害物质

集料中除不应有草根、树叶、塑料、煤块、炉渣等杂物外, 应对卵石和碎石中的有机物、硫化物及硫酸盐做出限制, 还应对砂中的云母、轻物质、氯化物做出限制。

硫化物、硫酸盐、有机物等对水泥石有腐蚀作用。云母表面光滑, 与水泥石的黏结力差, 且本身强度低, 会降低混凝土的强度和耐久性。

轻物质 (表观密度小于 2000kg/m^3) 本身强度低, 与水泥石黏结不牢, 因而会降低混凝土强度及耐久性。

氯离子对钢筋有腐蚀作用, 当采用海砂配制混凝土时, 海砂中氯离子含量不应大于 0.06% (以干砂的质量计); 对于预应力混凝土, 则不宜用海砂。

(7) 碱集料反应

碱集料反应是指水泥、外加剂等混凝土构成物及环境中的碱集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。碱集料反应包括碱-硅酸盐反应和碱-碳酸盐反应等。

集料中若含有无定形二氧化硅等活性集料, 当混凝土中有水分存在时能与水泥中的碱 (K_2O 及 Na_2O) 起作用, 产生碱-集料反应, 使混凝土发生破坏。重要工程混凝土使用的集

料或者怀疑集料中含有无定形二氧化硅可能引起碱-集料反应时,应进行专门试验,以确定集料是否可用。

(8) 集料的含水状态

集料含水状态可分为干燥状态、气干状态、饱和面干状态和湿润状态四种,如图 1-3 所示。

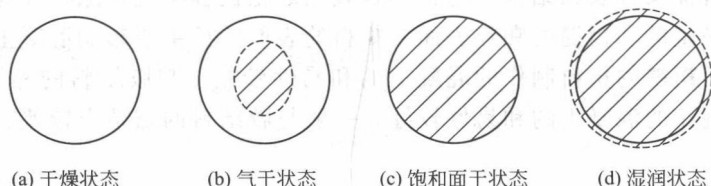


图 1-3 集料含水状态

- ① 干燥状态 含水率等于或接近于零 [见图 1-3(a)]。
- ② 气干状态 含水率与大气湿度相平衡 [见图 1-3(b)]。
- ③ 饱和面干状态 集料表面干燥而内部孔隙含水达到饱和 [见图 1-3(c)]。
- ④ 湿润状态 集料内部孔隙充满水,而且表面还附有一层表面水 [见图 1-3(d)]。

在拌制混凝土时,由于集料含水状态不同,将影响混凝土的用水量和集料用量。集料在饱和面干状态时的含水率,称为饱和面干吸水率。在计算混凝土中各项材料的配合比时,如以饱和面干集料为基准,则不会影响混凝土的用水量和集料用量,因为饱和面干集料既不从混凝土中吸取水分,也不向混凝土拌和物中释放水分。因此一些大型水利工程常以饱和面干状态集料为基准,这样混凝土的用水量控制比较准确。

在一般工业和民用建筑工程中混凝土配合比设计,常以干燥状态集料为基准。这是因为坚固的集料其饱和面干吸水率一般不超过 2%,而且在工程施工中,必须经常测定集料的含水率,以及时调整混凝土组成材料实际用量的比例,从而保证混凝土的质量。

1.1.3 掺和料

在混凝土拌和物制备时,为了节约水泥、改善混凝土性能、调节混凝土强度等级而加入的天然或人工的矿物材料,通称为混凝土矿物掺和料,已成为混凝土的第六组分。矿物掺和料的比表面积一般应大于 $350\text{m}^2/\text{kg}$ 。比表面积大于 $600\text{m}^2/\text{kg}$ 的称为超细矿物掺和料,其增强效果更优,但对混凝土早期塑性开裂有不利影响。

用于混凝土中的掺和料可分为两大类。

① 非活性矿物掺和料 非活性矿物掺和料一般与水泥组分不起化学作用或化学作用很小,如磨细石英砂、石灰石或活性指标达不到要求的矿渣等材料。

② 活性矿物掺和料 活性矿物掺和料虽然本身不硬化或硬化速度很慢,但能与水泥水化产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生化学反应,生成具有水硬性的胶凝材料。如粒化高炉矿渣粉、火山灰质材料、粉煤灰、硅灰等。

1.1.3.1 粉煤灰

粉煤灰是从煅烧煤粉的锅炉烟气中收集到的细粉末,其颗粒多呈球形,表面光滑。粉煤灰按其钙含量分为高钙粉煤灰和低钙粉煤灰。

粉煤灰的细度、活性氧化硅和活性氧化铝的含量等直接影响粉煤灰的质量。为提高粉煤灰的活性,经常将粉煤灰进行磨细处理。高钙粉煤灰的活性优于低钙粉煤灰,但使用时需注意其体积安定性必须合格。低钙粉煤灰的来源比较广泛,是当前国内外用量最大、使用范围

最广的混凝土掺和料。

由于粉煤灰为球形玻璃体微珠,掺入到混凝土中可减少用水量或可提高混凝土拌和物的和易性,特别是混凝土拌和物的流动性。此外,掺加粉煤灰还可以减小混凝土的干缩性,提高混凝土的体积安定性。

粉煤灰适合用于普通工业与民用建筑结构用的混凝土,尤其适用于配制预应力混凝土、高强混凝土、高性能混凝土、泵送混凝土与流态混凝土、大体积混凝土、抗渗混凝土、高抗冻性混凝土、抗硫酸盐与抗软水侵蚀的混凝土、蒸养混凝土、轻集料混凝土、地下与水下工程混凝土、压浆混凝土、碾压混凝土、道路混凝土等。当粉煤灰用于抗冻性要求高的混凝土时,必须掺加引气剂;用于水泥混凝土路面工程时不得使用湿排灰、潮湿粉煤灰和已结块的粉煤灰;此外,非大体积工程低温季节施工时,粉煤灰掺量不宜太多。

1.1.3.2 硅灰

硅灰又称硅粉,是从电弧炉冶炼硅铁合金时所排放烟气中收集到的颗粒极细的烟尘,色呈铅灰到深灰。是石英在 2000℃ 的高温下被还原成 Si、SiO 气体,冷却过程中又被氧化成 SiO₂ 的极微细颗粒。硅灰中 SiO₂ 的含量达 80% 以上,主要是非晶体的 SiO₂。硅灰颗粒的平均粒径为 0.1~0.2 μm,比表面积为 20000~25000 m²/kg,因而具有极高的活性。

硅灰有很高的火山灰活性,硅灰取代水泥的效果远远高于粉煤灰,它可大幅度提高混凝土的强度、抗渗性、抗侵蚀性,并可明显抑制碱-集料反应,降低水化热,减小温升。由于硅灰的活性极高,即使在早期也会与氢氧化钙发生水化反应。所以,利用硅灰取代水泥后还可提高混凝土的早期强度。由于硅灰的比表面积巨大,故掺加硅灰后混凝土拌和物的泌水性和流动性明显降低,须配以减水剂才能保证混凝土的和易性。硅灰对混凝土的早期干裂有促进作用,使用时需特别注意。

硅灰的取代水泥量一般为 5%~15%,使用时必须同时掺加减水剂,以保证混凝土的流动性。同时,掺用硅灰和高效减水剂可配制出 100MPa 的高强混凝土,但由于硅灰的价格很高,故一般只用于高强或超高强混凝土、泵送混凝土、高耐久性混凝土以及其他高性能混凝土。

1.1.3.3 磨细粒化高炉矿渣

由粒化高炉矿渣磨细而得(磨细时可添加少量石膏),简称磨细矿渣或矿渣粉。磨细矿渣的活性与其碱性系数 $[M = (m\text{CaO} + m\text{MgO}) / (m\text{SiO}_2 + m\text{Al}_2\text{O}_3)]$, $M > 1$ 为碱性矿渣, $M = 1$ 为中性矿渣, $M < 1$ 为酸性矿渣]和质量系数 $[K = (m\text{CaO} + m\text{MgO} + m\text{Al}_2\text{O}_3) / (m\text{SiO}_2 + m\text{MnO} + m\text{TiO}_2)]$ 有着密切的关系。通常采用碱性系数 $M > 1$,质量系数 $K \geq 1.2$ 的粒化高炉矿渣来磨制。磨细矿渣除含有活性 SiO₂ 和 Al₂O₃ 外,还含有部分 β-C₂S,因而磨细矿渣具有较高的活性,其掺量与效果均高于粉煤灰。

磨细矿渣的掺量为 10%~70%,对拌和物的流动性影响不大,可明显降低混凝土的温升。细度较低时,随掺量的增加,泌水量增大。对混凝土的干缩影响不大,但超细矿渣会加大混凝土的塑性开裂。磨细矿渣的适用范围与粉煤灰基本相同,但掺量更高。

1.1.3.4 磨细天然沸石

磨细天然沸石,由天然沸石(主要为斜发沸石和丝光沸石)磨细而成,代号 Z。沸石是含有微孔的含水铝酸盐矿物, SiO₂ 含量为 60%~70%, Al₂O₃ 含量为 8%~12%,内比表面积很大。因此,磨细沸石具有较高的活性,其效果优于粉煤灰。

磨细天然沸石的掺量一般为 5%~20%,掺加后混凝土拌和物的流动性降低,掺量大