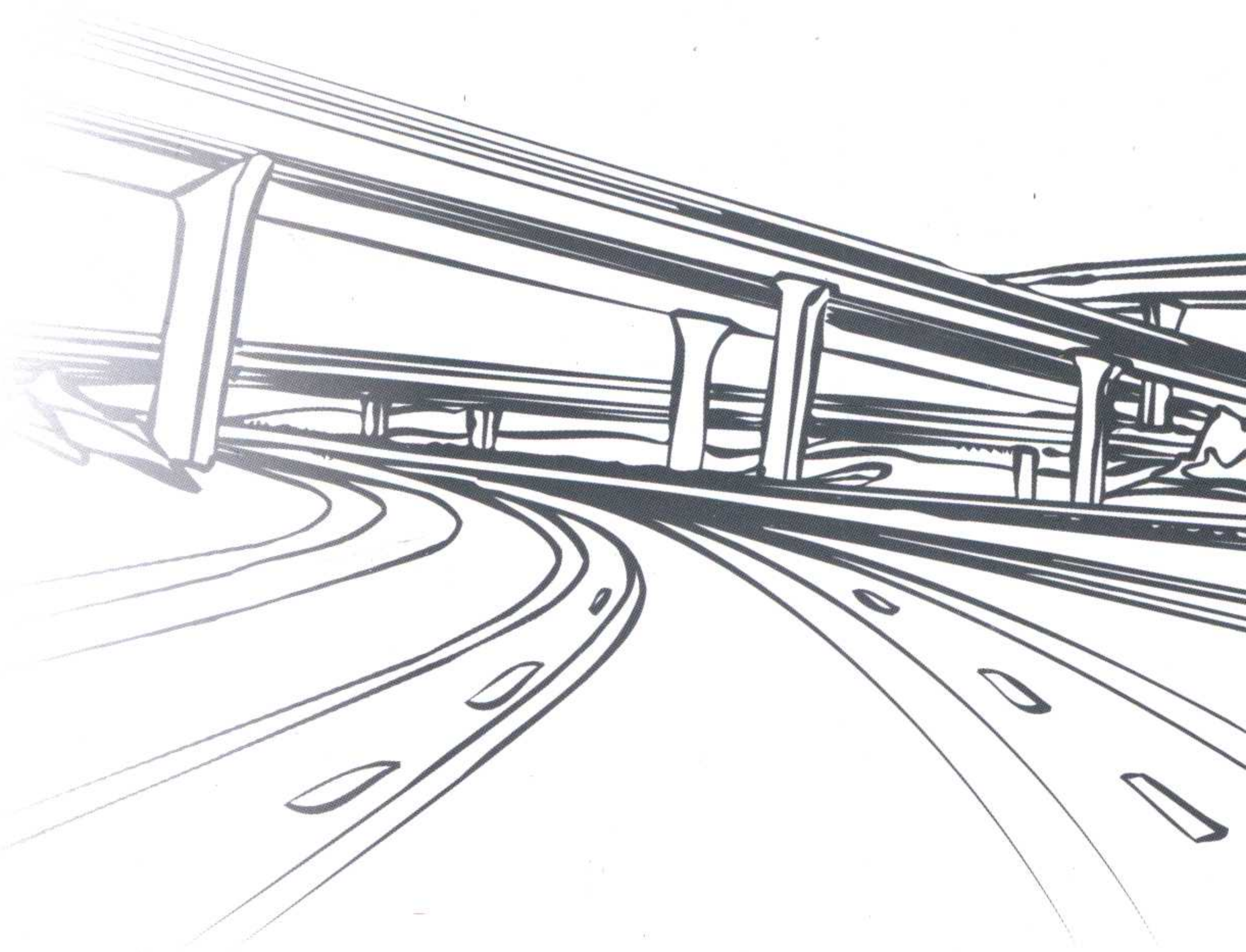


建筑材料

主编 皇民



建筑材料

主 编 皇 民
副主编 冯荣贞 宋立峰
参 编 赵玉如 苑俊杰
赵书勤 祁术洪

内 容 提 要

本书为高等院校土木工程专业基础教程。全书共分为16章,主要包括绪论,建筑材料的基本性质,气硬性胶凝材料,水硬性胶凝材料,混凝土,砂浆,石材,建筑钢材,墙体与屋面材料,沥青及防水材料,木材,玻璃及玻璃制品,合成高分子材料,绝热材料与吸声、隔声材料,装饰材料和建筑材料试验等内容。

本书采用了最新标准和规范,在重点讲述建筑材料的基本性质的基础上,广泛介绍了目前土木工程建设中常用的各种建筑材料以及有关的新材料、新技术,有助于拓宽视野,更好地掌握建筑材料的性质和应用情况。

本书可供高等院校土木工程类专业的学生使用,也可供从事土木工程的设计、施工人员使用或参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料 / 皇民主编. — 北京: 北京理工大学出版社, 2016.10

ISBN 978-7-5682-2474-1

I. ①建… II. ①皇… III. ①建筑材料—高等学校—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第139658号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 414千字

版 次 / 2016年10月第1版 2016年10月第1次印刷

定 价 / 56.00元

责任编辑 / 钟 博

文案编辑 / 钟 博

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言

“建筑材料”课程是培养土木工程技术人才的一门专业基础课，其目的在于配合专业课程，为工程设计和施工提供合理选择及使学生掌握建筑材料的基本知识，是土木工程专业学生必须掌握的重要学科。本书按照《高等学校土木工程本科指导性专业规范》关于土木工程专业建设和学科要求进行编写。为了更好地适应当前教学改革的需要，突出应用型本科教学的特点，本书在编写过程中力求突出以下特点：

(1) 教材在内容安排上，根据应用型土木工程专业岗位要求和学生的认知规律来设计教材内容，突出教材内容的实践性和实用性。

(2) 内容全面。教材内容涵盖了石灰、水泥、混凝土、钢材、木材等土木工程涉及的大部分材料，从材料的基本组成和性质到材料的具体选用都进行了一定的说明，使读者对建筑材料有一个比较全面系统的了解。

(3) 重点突出。为了在有限的篇幅内尽可能多地涵盖实用价值较高的内容，本教材对混凝土、水泥、钢材等土木工程常用材料进行了比较详细的说明，对混凝土的强度形成原理和强度评定以及配合比设计等重要内容均进行了详细的说明，以使读者能够深入掌握其原理。

(4) 突出试验操作。“建筑材料”是实践性很强的学科，要想学好“建筑材料”，离不开试验操作。为了加强读者的试验操作技能，教材最后一章为建筑材料试验内容，包括建筑常用材料试验的试验目的和详细操作步骤等。

(5) 突出时效性。本教材内容均按照建筑材料相关的最新规范进行编写，突出建筑材料学科与时俱进的特点，同时，教材也对部分新型建筑材料和新技术作了一定的说明。

本书由河南工程学院皇民担任主编，冯荣贞、宋立峰担任副主编。具体编写分工为：第1、5章由河南工程学院皇民编写；第2、7、14、15章由河南工程学院冯荣贞编写；第3、4章由河南工程学院赵玉如编写；第6、8章由河南工程学院苑俊杰编写；第9、10章由河南工程学院宋立峰编写；第11、12、13章由河南牧业经济学院赵书勤编

写；第16章由郑州升达经贸管理学院祁术洪编写。全书由河南工程学院皇民统稿。

本书在编写过程中参阅了大量资料与相关规范，在此向各位编者表示感谢。

编者深知内容如此庞杂的教材编写难度很大，且编者水平有限，书中一定有不足之处，敬请读者批评指正，多提宝贵意见，编者邮箱为huangmin_2006@163.com，谢谢！

编 者

目 录

1 绪论 1

- 1.1 建筑材料的定义与分类 1
- 1.2 材料在建筑工程中的作用 2
- 1.3 建筑材料的技术标准 2
- 1.4 建筑材料的发展 3
- 1.5 本课程的内容和学习方法 4

2 建筑材料的基本性质 5

- 2.1 材料的基本物理性质 5
- 2.2 材料的基本力学性质 15
- 2.3 材料的耐久性 18

3 气硬性胶凝材料 21

- 3.1 石灰 21
- 3.2 石膏 25
- 3.3 水玻璃 29
- 3.4 镁质胶凝材料 31

4 水硬性胶凝材料 33

- 4.1 硅酸盐水泥 34
- 4.2 掺混合材料的硅酸盐水泥 41
- 4.3 其他品种水泥 47

5	混凝土	53
5.1	混凝土概述	53
5.2	普通混凝土的组成材料	55
5.3	水泥混凝土的技术性质及检验	64
5.4	混凝土的外加剂	76
5.5	混凝土质量控制与强度评定	80
5.6	普通混凝土的配合比设计	84
6	砂浆	95
6.1	砂浆的分类与性质	95
6.2	砌筑砂浆配合比设计	97
7	石材	102
7.1	天然岩石的组成及分类	102
7.2	石材的技术性质	106
7.3	石材的加工及选用	108
7.4	人造石材	110
8	建筑钢材	112
8.1	钢的冶炼和分类	112
8.2	钢材的主要性能	115
8.3	建筑钢材的技术标准及选用	122
8.4	钢材的锈蚀与保护	128
9	墙体与屋面材料	130
9.1	砌墙砖	130
9.2	墙用砌块	135
9.3	墙用板材	139
9.4	屋面材料	142

10 沥青及防水材料 144

- 10.1 沥青 144
- 10.2 防水卷材 151
- 10.3 防水涂料 157
- 10.4 建筑密封材料 160
- 10.5 沥青混合料 164

11 木材 169

- 11.1 木材的分类及构造 169
- 11.2 木材的物理性质及力学性能 171
- 11.3 木材的防腐和防火处理 174
- 11.4 木材的主要产品及应用 176

12 玻璃及玻璃制品 180

- 12.1 玻璃的基本知识 180
- 12.2 平板玻璃 182
- 12.3 节能装饰玻璃 187
- 12.4 中空玻璃 189
- 12.5 真空玻璃 192
- 12.6 其他玻璃装饰制品 193
- 12.7 玻璃马赛克 201

13 合成高分子材料 203

- 13.1 建筑塑料及其制品 203
- 13.2 树脂胶粘剂 208
- 13.3 涂料 210

14 绝热材料与吸声、隔声材料 214

- 14.1 绝热材料 214
- 14.2 吸声、隔声材料 218

15 装饰材料 222

15.1 装饰材料概述 222

15.2 常用装饰材料 223

16 建筑材料试验 232

16.1 建筑材料试验概述 232

16.2 建筑材料的基本性质试验 233

16.3 钢材试验 235

16.4 水泥的基本性质试验 241

16.5 混凝土集料试验 247

16.6 新拌混凝土试验 251

16.7 混凝土试验室配合比设计 255

16.8 砂浆试验 258

16.9 沥青材料试验 260

16.10 木材试验 266

16.11 砌墙砖试验 267

参考文献 272

1 绪 论

建筑材料是指在土木建筑工程中所使用的各种材料的总称，是建筑工程的物质基础。在我国建筑工程的总造价中，建筑材料的费用占40%~70%。不同建筑材料的物理力学性能、生产和使用成本各不相同。正确选择和合理使用建筑材料对工程结构的安全性、适用性、经济性和耐久性有着直接的影响。随着科学技术的发展，结构设计和施工工艺日益进步，各种新材料不断涌现，这要求建筑工程的设计 and 施工技术人员必须具备材料科学方面的基本知识，熟悉常用的各类建筑材料的组成结构、技术性能、检测方法和基本性能。

1.1

建筑材料的定义与分类

建筑材料是指土木建筑工程（水利、水运、房屋、道路、桥梁等）中所应用的材料。其通常按材料的组成分为三大类：第一类是无机材料，它可分为非金属材料（也称矿物质材料）和金属材料；第二类是有机材料，包括天然植物材料、沥青材料和合成高分子材料等；第三类是复合材料，它是由两种或两种以上不同性质的材料人工复合成的多相材料。具体见表1-1。

表1-1 建筑材料按材料的组成分类

分类			举例
无机材料	金属材料	黑色金属	铁、钢
		有色金属	铝、铜及其合金
	非金属材料	天然石材	石灰石、花岗石、大理石
		烧土制品	普通烧结砖、陶瓷
		玻璃及熔融制品	玻璃、岩棉
		胶凝材料	水泥、石灰、石膏、水玻璃
		混凝土及硅酸盐制品	混凝土、砂浆

分类		举例
有机材料	植物材料	竹材、木材、植物纤维
	沥青材料	石油沥青、煤沥青
	合成高分子材料	塑料、合成橡胶、涂料
复合材料	无机非金属材料与有机材料复合	沥青混凝土
	金属材料与无机非金属材料复合	钢筋混凝土
	金属材料与有机材料复合	轻金属夹芯板

1.2

材料在建筑工程中的作用

建筑材料是建筑工程的物质基础，建筑材料的性能、质量和价格直接关系到建筑产品的适用性、安全性、经济性和美观性。没有建筑材料，就没有建筑工程。因此，建筑材料在建筑工程中占有极其重要的地位。

建筑材料的质量直接影响建筑物的安全性和耐久性。只有使用符合质量要求的建筑材料，才能建造符合质量要求的建筑物，并满足建筑物的安全性和耐久性等设计要求。因此，要求工程技术人员必须熟练地掌握各种建筑材料的性能和适用范围，做到正确地选择和合理地使用建筑材料。

在建筑工程造价中，材料费用所占的比例很大，一般都超过工程总造价的一半，因此，若能够经济合理地使用建筑材料，减少浪费和损失，就可以降低工程造价，提高建设投资的经济效益。

建筑材料的发展与工程技术的进步有着相互依存、相互制约和相互推动的关系。新材料的诞生和应用，推动了建筑与结构设计方法和施工生产的进步，而新的工程设计方法和施工技术对建筑材料的品种、质量和功能又提出更高、更多样化的要求。例如，高效减水剂的使用，促进了混凝土强度的大大提高，使得高层建筑大规模发展。随着建筑高度的不断增加，建筑物的自重越来越大，这又要求材料向轻质高强方向发展，催生了加气混凝土砌块以及轻集料混凝土等新材料的发展。

1.3

建筑材料的技术标准

建筑材料的技术标准是生产和使用单位检验、确认建筑材料产品质量是否合格的技术性文件和依据。根据发布单位与适用范围，建筑材料的技术标准分为国家标准、行业标准（含协会标准）、地方标准和企业标准四级。

各级标准分别由相应的标准化管理部门批准并颁布，我国国家质量监督检验检疫总局是国家标准化管理的最高机关。国家标准和部门行业标准部是全国通用标准，分为强制性标准和推荐性标准；省、自治区、直辖市有关部门制定的工业产品安全、卫生要求等地方标准在本行政区域内是强制性标准；企业生产的产品没有国家标准、行业标准和地方标准的，企业应制定相应的企业标准作为组织生产的依据。企业标准由企业组织制定，并报请有关主管部门审查备案。

(1) 国家标准。国家标准是由国家统一发布与执行的标准，分为强制性标准（代号GB）和推荐性标准（代号GB/T），如《通用硅酸盐水泥》（GB 175—2007）和《白色硅酸盐水泥》（GB/T 2015—2005）。对于强制性国家标准，任何技术或产品不得低于其规定的要求。

(2) 行业标准。行业标准是由行业制定并在本行业内执行的标准，建筑材料有关的常用行业标准包括：中华人民共和国住房和城乡建设部建筑工程行业标准（代号JGJ）、中华人民共和国住房和城乡建设部建筑工程行业推荐性标准（代号JG/T）、中华人民共和国建筑材料工业局行业标准（代号JC）、中华人民共和国交通部行业标准（JTJ）等。如《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55—2011）就是由住房和城乡建设部颁布的建筑工程行业标准。

(3) 地方标准。地方标准是由地方行政主管部门发布的地方性技术指导文件，代号为DBJ，如《河南省既有建筑节能改造技术规程》（DBJ 41/089—2008）。

(4) 企业标准。企业标准是由企业制定的产品（技术）标准，代号为QB。

无论是国家标准还是部门行业标准，都属于国家指令性技术文件，均需严格遵循，尤其是对于强制性标准。地方标准和企业标准的规定不得低于国家标准。

此外，其他国家和地区的标准代号也不相同，例如，美国材料试验标准代号为ASTM、日本国家标准的代号为JIS、英国国家标准的代号为BS。在世界范围内统一执行的标准为国际标准，其代号为ISO。

1.4

建筑材料的发展

建筑材料的发展，经历了从无到有，从天然材料到人工材料，从手工业生产到工业化生产几个阶段。

在原始社会后期，人们开始懂得利用岩石、木材等天然建筑材料修建房屋。进入奴隶社会和封建社会，随着生产技术的不断发展，人们开始使用铜、铁等金属材料，并使用烧结黏土砖作为墙体材料，这也标志着建筑材料由天然材料发展到人工材料阶段。进入18、19世纪后，随着工业革命的兴起，原有的建筑材料已经不能满足社会的需要，在其他科学技术的推动下，建筑材料进入了一个新的发展时期，钢铁、水泥和混凝土这些具有优良性能的建筑材料相继问世，同时，材料的生产也从手工业阶段过渡到工业化的生产阶段。这为现代的大规模工程建设奠定了雄厚的物质基础。

目前,各种大分子有机材料、新型金属材料和各种复合材料使建筑物的功能和外观发生了根本性的变化。材料的综合性能不断增强和完善,并向轻质高强方向发展,兼具多种功能性作用。现阶段建筑材料的发展体现为:

(1) 传统建筑材料在工程中仍然普遍应用,如天然石材、木材、土等,但其在工程中已不占据主导地位。

(2) 新型建筑材料不断涌现,性能不断完善提高,如自密实混凝土、超高强度混凝土等。

(3) 体现节能环保的发展趋势。材料的生产充分利用各种工业废料和建筑垃圾,体现了资源的循环利用,墙体材料除了满足结构安全之外,应兼具保温、隔热、隔声等多种功能,满足节能的需求。

1.5

本课程的内容和学习方法

本课程主要讲述了常用建筑材料的品种、规格、技术性能、质量标准、试验检测方法、储运保管和工程中的应用等方面的知识。课程内容包括理论课和试验课两大部分。学习建筑材料课程应做到以下几个方面:

(1) 认真听课,认真复习。对老师上课讲授的重点、难点内容,应多看多想,善于思考;课后应定期复习和总结,做到温故知新。

(2) 注重联系实际。建筑材料是一门以实践为基础的课程,各种材料的性能特点基本都来源于实践和经验的积累总结,这就要求我们在学习这门课程的时候不能限于课本,应多参加相关的实习活动,注意观摩实体的建筑材料,感受其不同的特征。例如,通过观察和收集不同的岩石标本来体会不同石材的各种性能指标,这比单纯看书本要形象得多,对知识点的记忆也就比较牢固。

(3) 注重试验动手能力的培养。试验课是本课程主要的教学内容,通过试验课的学习,可以验证所学的基本理论,学会检验常用建筑材料的基本性能,掌握一定的试验技能并培养实事求是的科学研究能力和严谨的科学态度。



2 建筑材料的基本性质

正确合理地选择和使用材料是保证建筑材料经久耐用的关键，而材料的性质是选择和使用材料的重要依据，因此，必须研究和掌握材料的有关性质。建筑材料的性质是多方面的，不同的材料具有不同的特殊性。本章只研究和讨论建筑材料共同的、基本的物理性质和力学性质，对于各类材料的基本性质和特殊性质，分别在后面相应的章节中讨论。

2.1

材料的基本物理性质

建筑材料使用在不同的建筑物中，处于不同的环境，起着各种不同的作用，这要求其具有相应的性质。承重构件要求材料有足够的强度；保温、隔热的屋顶和墙面要求材料有热容量大且不易传热的性质；挡水、蓄水或防水的建筑物要求材料具有一定的抗渗透性或不透水性；常受水流泥沙冲刷的建筑物要求材料抗冲耐磨。同时，建筑物在使用过程中还会长期受到环境因素的影响，如大气因素引起的热胀冷缩、干湿变化、冷融循环、化学侵蚀以及昆虫和菌类等的生物危害，因此，建筑材料应具有与环境相适应的耐久性。

2.1.1 材料与质量有关的性质

材料内部一般含有两种孔隙类型，即自身封闭的孔隙（b）和与外界相连通的开口孔隙（k），如图2-1、图2-2所示。

材料的总体积由材料固体物质所占的体积 V 、孔隙体积 V_p （ $V_p=V_b+V_k$ ）及颗粒之间的空隙体积 V_s 所组成。材料在不同的环境状态条件下，其单位体积的量值是不同的，现分述如下：

（1）密度。材料在绝对密实的状态下单位体积的质量称为密度，用 ρ 表示。其计算公式为：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中 ρ ——材料密度（ kg/m^3 ）；

m ——材料在干燥状态下的质量 (kg) ;
 V ——干燥材料的绝对密实体积 (m^3) 。

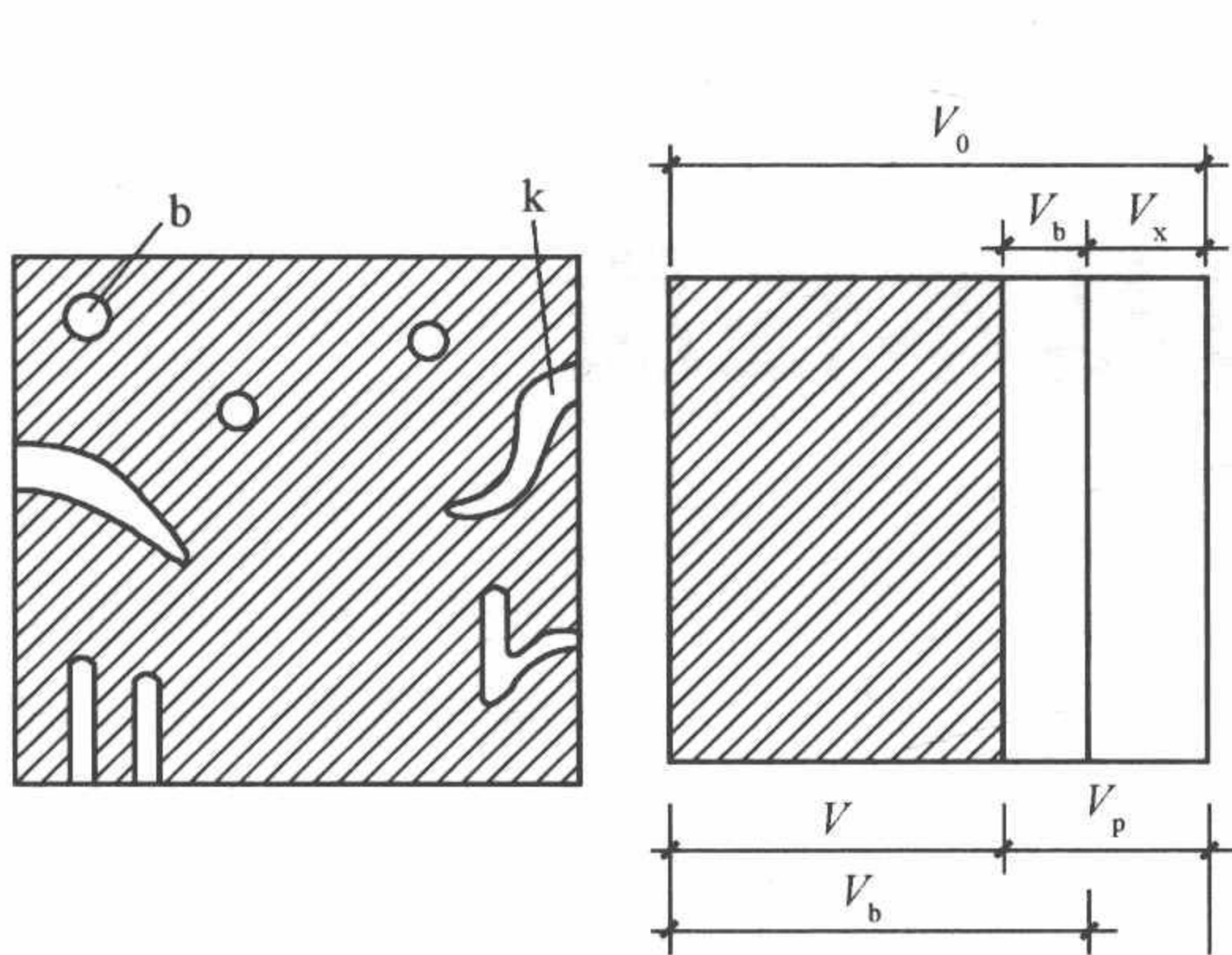


图2-1 含孔材料体积组成示意

b—闭孔；k—开孔； V_0 —自然状态下的总体积

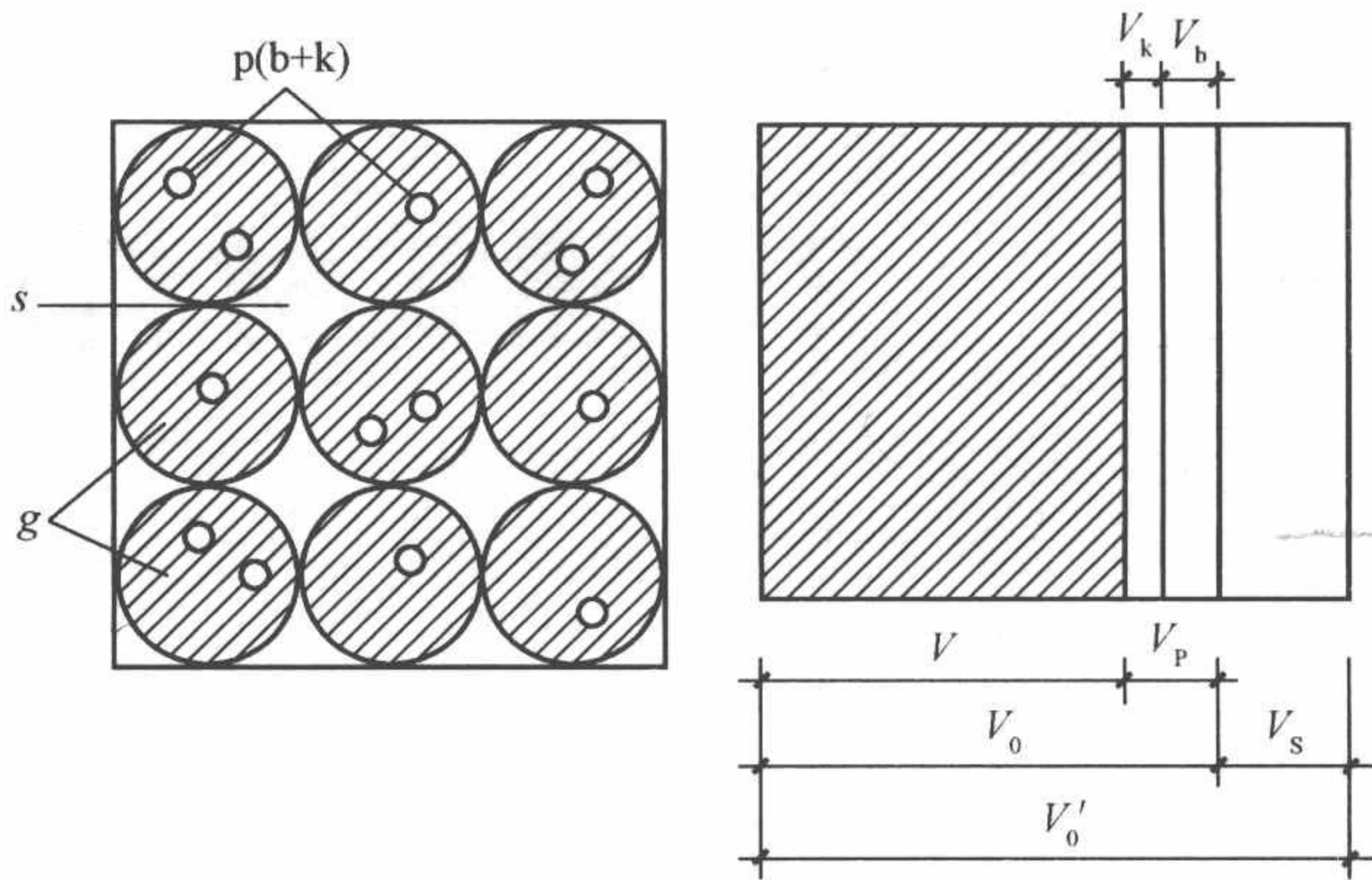


图2-2 散粒材料堆积状态体积组成示意

p—孔隙；g—固体体积；
 V —材料密实体积； V_p —孔隙体积； s —颗粒之间空隙的体积

材料的绝对密实体积是指不包括材料孔隙在内的体积。对钢材、玻璃等少数密实材料可根据外形尺寸求得体积，按式 (2-1) 求得密度。大多数有孔隙的材料，在测定材料的密度时，应该把材料磨成细粉，干燥后用李氏瓶测定其体积。材料磨得越细，测得的密度数值就越精确。砖、石等块材料的密度即用此法测得。在测定某些致密材料（如卵石、碎石等）的密度时，直接以颗粒材料为试样，用排水法测定其体积，材料中部分与外部不连通的封闭的孔隙无法排除，只是所求的密度成为视密度或近似密度，通常称为密度。

(2) 表观密度。材料在自然状态下单位表观体积的质量称为表观密度，用 ρ_0 表示。其计算公式为：

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \tag{2-2}$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度 (kg/m^3) ;
 m ——材料的质量 (kg) ;
 V_0 ——材料在自然状态下的体积 (m^3) 。

材料在自然状态下的体积是指包含材料内部孔隙的体积。对外形规则的材料，可直接按外形尺寸计算出体积，按式 (2-2) 求得表观密度。对外形不规则的材料，可将其加工成规则外形后求得体积。当材料孔隙内含有水分时，其质量和体积均有所变化，故测定表观密度时，需要注明其含水情况。表观密度一般是指材料在气干状态下（长期在空气中干燥）的测定值。干表密度是指材料在烘干状态下的测定值。

(3) 体积密度（也称容积密度或相对密度）。材料在自然状态下单位体积的质量，用 ρ' 来表示。其计算公式为：

$$\rho' = \frac{m}{V'} \tag{2-3}$$

式中 ρ' ——材料的体积密度 (kg/m^3) ;
 m ——材料的质量 (kg) ;

V' ——材料在自然状态下（包括开口和闭口孔隙）的体积（ m^3 ）。

当材料孔隙内含有水分时，其质量和体积均有所变化，所以，在测定体积密度时，需注明材料的含水情况。一般情况下的体积密度（或容积密度）指的是干燥状态下的测定值。

（4）堆积密度。散粒或粉状材料，如砂、石子、水泥等，在自然堆积状态下单位体积和质量称为堆积密度，用 ρ'_0 表示。其计算公式为：

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (2-4)$$

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度（ kg/m^3 ）；

m ——材料的质量（ kg ）；

V'_0 ——材料在自然（松散）状态下的堆积体积（包括颗粒体积和颗粒之间空隙的体积）（ m^3 ）。

测定散粒材料的堆积密度时，按一定的方法将散粒材料装进一定的容器中，则堆积体积为容器的容积，如图2-2所示。

由于散粒材料堆积的紧密程度不同，堆积密度可分为疏松堆积密度、振实堆积密度和紧密堆积密度。

在土木工程中，材料的密度、表观密度与堆积密度，经常被用来计算材料的用量以及构件的自重，配料、运输、堆放、碾压参数等。

（5）材料的密实度与孔隙率。

1）密实度。在材料自然体积内固体物质占材料总体积的百分率，称为材料的密实度，用 D 表示。其计算公式为：

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho}{\rho_0} \times 100\% \quad (2-5)$$

式中 V ——干燥材料的绝对密实体积（ m^3 ）；

V_0 ——材料在自然状态下的体积（ m^3 ）；

ρ ——材料的密度（ kg/m^3 ）；

ρ_0 ——材料的表观密度（ kg/m^3 ）。

2）孔隙率。在材料自然体积内孔隙体积占材料总体积的百分率，称为材料的孔隙率，用 P 表示。其计算公式为：

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (2-6)$$

式中 V ——干燥材料的绝对密实体积（ m^3 ）；

V_0 ——材料在自然状态下的体积（ m^3 ）；

ρ ——材料的密度（ kg/m^3 ）；

ρ_0 ——材料的表观密度（ kg/m^3 ）。

孔隙率与密实度的关系为：

$$P + D = 1 \quad (2-7)$$

由此可见，材料的总体积是由该材料的固体物质与其所含的孔隙率所组成的。孔隙率的大小直接反映了材料的致密程度。孔隙率大，材料的表观密度小，强度降低。孔隙率和

孔隙特征对材料的性质均有显著影响。材料内部孔隙的构造，可分为自身封闭的孔隙和与外界连通的开口孔隙两种，如图2-1、图2-2所示。连通孔隙不仅彼此贯通且与外界相通，而封闭孔隙则不仅彼此不连通且与外界相隔绝。可用公式表示为：

$$P = P_k + P_b \quad (2-8)$$

$$P_k = (m_{\text{sat}} - m) / (V_0 + \rho_w) \quad (2-9)$$

式中 P_k ——材料的开口孔隙率（指能被饱和的孔隙体积占材料自然体积的比例）；

m_{sat} ——材料吸水饱和时的质量（kg）；

ρ_w ——水的密度（kg/m³）；

m ——材料干燥时的质量（kg）；

P_b ——材料的闭口孔隙率。

孔隙按尺寸大小又分为微细孔隙（孔径在0.01 mm以下）、细小孔隙（即毛细孔隙，孔径在1.0 mm以下）、粗大孔隙（孔径在1.0 mm以上）。孔隙特征对材料的性能影响较大。开口孔隙、粗大孔隙水分易于渗透，渗透性最大；微细孔隙，水分及溶液易被吸入，但不易在其中流动，渗透性最小；介于二者之间的毛细孔隙，既易被水分充满，水分又易在其中渗透，对材料的抗渗性、抗冻性、抗侵蚀性均有非常不利的影响；闭口孔隙，不易被水分或溶液渗入，对材料的抗渗、抗侵蚀性能的影响甚微，且对抗冻性起有利作用。

（6）材料的填充率与空隙率。

1）填充率。散粒材料在任一容器的堆积体积中，被颗粒实体体积所填充的程度，用 D' 表示。其计算公式为：

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\% \quad (2-10)$$

式中 D' ——散粒材料在体积状态下的填充率（%）；

V_0 ——材料在自然状态下的体积（m³）；

V'_0 ——材料在自然堆积状态下的体积（m³）。

2）空隙率。散粒材料颗粒之间空隙的多少用空隙率来表示。空隙率是指散粒材料在容器当中堆积，颗粒之间的空隙体积所占堆积体积的百分率，其计算公式为：

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{V_0}{V'_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% = 1 - D' \quad (2-11)$$

式中 V_0 ——材料在自然状态下的体积（m³）；

V'_0 ——材料在自然（松散）状态下的堆积体积（m³）；

ρ ——材料的密度（kg/m³）；

ρ'_0 ——材料的堆积密度（kg/m³）。

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒互相填充的致密程度。空隙率可作为控制混凝土集料级配与计算砂率的依据。

（7）材料的压实度与相对密度。

1）材料的压实度。材料的压实度是指散粒堆积材料被碾压或振压等压实的程度。散粒材料的压实度常用经压实后施工现场的干堆积密度 ρ'_0 与材料经充分压实后（在试验室振动台上按规定的振动次数振动后）的最大干堆积密度 ρ'_m 比值的百分率表示。可用下式计算：