

土木工程材料

MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING

主编 朋改非

普通高等院校土木专业“十一五”规划精品教材

Civil Professional Textbooks for the 11th Five-Year Plan

主审 冯乃谦

ISBN 7-111-16000-1

土木工程材料

第2版 下册 混凝土、砂浆与砌体

主编 曹晓冬

（混凝土、砂浆与砌体）

（混凝土、砂浆与砌体）

（混凝土、砂浆与砌体）

（混凝土、砂浆与砌体）

普通高等院校土木专业“十一五”规划精品教材

土木工程材料

Materials in Civil Engineering

丛书审定委员会

王思敬 彭少民 石永久 白国良
李 杰 姜忻良 吴瑞麟 张智慧

本书顾问委员会

本书主审 冯乃谦

本书主编 朋改非

本书副主编 刘娟红 李 悦 严林木

本书编写委员会

朋改非 刘娟红 李 悦 严林木
尉 敏 高少霞 杨新磊 潘 雨
许乾慰 宋少民 邓宋才 高礼雄

华中科技大学出版社

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/朋改非 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2008 年 12 月
ISBN 978-7-5609-4939-0

I. 土… II. 朋… III. 土木工程-建筑材料 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 165097 号

土木工程材料

朋改非 主编

责任编辑:蒋玉霞

封面设计:张璐

责任校对:周娟

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:850mm×1065mm 1/16

印张:25

字数:510 000

版次:2008 年 12 月第 1 版

印次:2008 年 12 月第 1 次印刷

定价:45.00 元

ISBN 978-7-5609-4939-0/TU·450

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

总 序

教育可理解为教书与育人。所谓教书,不外乎是教给学生科学知识、技术方法和运作技能等,教学生以安身之本。所谓育人,则要教给学生做人道理,提升学生的人文素质和科学精神,教学生以立命之本。我们教育工作者应该从中华民族振兴的历史使命出发,来从事教书与育人工作。作为教育本源之一的教材,必然要承载教书和育人的双重责任,体现两者的高度结合。

中国经济建设高速持续发展,国家对各类建筑人才需求日增,对高校土建类高素质人才培养提出了新的要求,从而对土建类教材建设也提出了新的要求。这套教材正是为了适应当今时代对高层次建设人才培养的需求而编写的。

一部好的教材应该把人文素质和科学精神的培养放在重要位置。教材中不仅要内容上体现人文素质教育和科学精神教育,而且还要从科学严谨性、法规权威性、工程技术创新性来启发和促进学生科学世界观的形成。简而言之,这套教材有以下特点。

一方面,从指导思想来讲,这套教材注意到“六个面向”,即面向社会需求、面向建筑实践、面向人才市场、面向教学改革、面向学生现状、面向新兴技术。

二方面,教材编写体系有所创新。结合具有土建类学科特色的教学理论、教学方法和教学模式,这套教材进行了许多新的教学方式的探索,如引入案例式教学、研讨式教学等。

三方面,这套教材适应现在教学改革发展的要求,提倡所谓“宽口径、少学时”的人才培养模式。在教学体系、教材编写内容和数量等方面也做了相应改变,而且教学起点也可随着学生水平做相应调整。同时,在这套教材编写中,特别重视人才的能力培养和基本技能培养,适应土建专业特别强调实践性的要求。

我们希望这套教材能有助于培养适应社会发展需要的、素质全面的新型工程建设人才。我们也相信这套教材能达到这个目标,从形式到内容都成为精品,为教师和学生,以及专业人士所喜爱。

中国工程院院士 王 思 敬

2006年6月于北京

前 言

本书是高等院校土木工程及相关专业基础课程学习教材,可用于结构工程、道路与铁道工程、桥梁工程、隧道与地下工程、工业与民用建筑工程、建筑学等学科的专业基础课程学习。本教材为学生提供土木工程材料的基本理论、基本知识和试验技能,为今后从事土木工程专业及相关专业的科技工作,能开展材料选用、检验、质量控制、验收、改性和科学研究建立必要的基础,为大学后续课程如钢筋混凝土结构和施工等提供必要的准备。

本书根据高等学校土木工程专业指导委员会编制的《土木工程材料》教学大纲要求编写,主要介绍土木工程材料基本性质、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、墙体材料、钢材、装饰材料、沥青、沥青混合料、合成高分子材料、绝热材料、吸声材料、木材、绿色建材等。

本书由北京交通大学朋改非任主编,北京科技大学刘娟红、北京工业大学李悦、哈尔滨商业大学严林木任副主编。

参加编写人员与分工如下。

北京交通大学朋改非(绪论,第3章,第4章第4节)

北京科技大学刘娟红(第1章,第4章第1、6、9节)

北京工业大学李悦(第4章第3、5节,第9章)

哈尔滨商业大学严林木(第4章第8、14节,第5章,第11章,第12章第1~4节)

山西师范大学尉敏(第2章,第4章第2节,第10章第5节,第12章第5、6节)

大连水产学院高少霞(第4章第11节,第6章)

天津城建学院杨新磊(第4章第7、16节,第7章,第8章第2节)

北京交通大学潘雨(第8章,除第2节)

同济大学许乾慰(第10章,除第5节)

北京建筑工程学院宋少民(第4章第10、13、17节)

北京工业大学邓宗才(第4章第12节)

石家庄铁道学院高礼雄(第4章第15节)

本书强调理论联系实际,重点突出,思路表达清晰,能反映当前国内外土木工程领域的新材料、新技术、新动态。在编写过程中,得到了编者所在单位及华中科技大学出版社的大力支持与帮助,在此表示衷心的感谢。书中不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2007年8月

内 容 提 要

本书共分为十二章,包括绪论、土木工程材料的基本性质、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、钢材、砌体材料、装饰装修材料、沥青和沥青混合料、合成高分子材料、木材与绿色建筑材料。

本书适用于土木工程及与土木建筑相关专业的学生学习使用,也可供土木工程设计、施工、科研、管理与监理等人员学习参考。

目 录

绪论	(1)
第 1 章 土木工程材料的基本性质	(4)
1.1 材料的基本物理性质	(4)
1.2 材料的基本力学性质	(13)
1.3 材料的耐久性	(18)
1.4 材料的组成及结构	(20)
【思考和练习】	(23)
第 2 章 气硬性胶凝材料	(24)
2.1 胶凝材料简介	(24)
2.2 石灰	(25)
2.3 建筑石膏	(29)
2.4 水玻璃	(33)
2.5 镁氧水泥	(35)
【思考和练习】	(36)
第 3 章 水泥	(37)
3.1 硅酸盐水泥	(37)
3.2 掺混合材料的硅酸盐水泥	(45)
3.3 常用水泥的选用与储运	(48)
3.4 铝酸盐水泥	(51)
3.5 其他品种水泥	(52)
【思考和练习】	(54)
第 4 章 混凝土	(56)
4.1 概述	(56)
4.2 普通混凝土的组成材料	(59)
4.3 新拌混凝土的和易性	(82)
4.4 混凝土力学性能	(88)
4.5 变形	(95)
4.6 混凝土耐久性	(101)
4.7 混凝土质量评定	(109)
4.8 混凝土配合比设计	(114)
4.9 轻集料混凝土	(126)
4.10 高性能混凝土	(130)
4.11 水工混凝土	(136)

4.12	纤维增强混凝土	(138)
4.13	再生混凝土	(142)
4.14	大体积混凝土	(145)
4.15	喷射混凝土	(150)
4.16	道路混凝土	(154)
4.17	活性粉末混凝土	(155)
	【思考和练习】	(158)
第5章	砂浆	(161)
5.1	砂浆的组成材料	(161)
5.2	砌筑砂浆	(164)
5.3	抹面砂浆	(170)
5.4	干粉砂浆	(174)
	【思考和练习】	(178)
第6章	钢材	(179)
6.1	钢的冶金与分类	(180)
6.2	钢材的力学性能与工艺性能	(181)
6.3	钢的组织 and 化学成分对钢材性能的影响	(187)
6.4	建筑钢材的品种与选用	(188)
6.5	土木工程常用钢材	(192)
6.6	钢材的锈蚀与防护	(195)
	【思考和练习】	(197)
第7章	砌体材料	(198)
7.1	砌墙砖	(199)
7.2	建筑用非烧结砌块	(209)
	【思考和练习】	(212)
第8章	装饰装修材料	(213)
8.1	装饰装修材料的分类及功能	(213)
8.2	装饰石材	(215)
8.3	金属装饰材料	(218)
8.4	建筑装饰木材	(221)
8.5	建筑装饰塑料制品	(225)
8.6	纤维装饰织物与制品	(226)
8.7	建筑玻璃及制品	(227)
8.8	建筑陶瓷	(230)
	【思考和练习】	(234)
第9章	沥青和沥青混合料	(235)
9.1	概述	(235)
9.2	石油沥青	(236)

9.3 其他沥青	(243)
9.4 沥青基防水材料	(246)
9.5 沥青混合料	(250)
【思考和练习】	(268)
第10章 合成高分子材料	(269)
10.1 概述	(269)
10.2 合成高分子材料的基本特性	(270)
10.3 建筑塑料及其制品	(280)
10.4 建筑涂料	(282)
10.5 建筑防水材料	(284)
10.6 建筑胶黏剂	(292)
10.7 土工合成材料	(295)
【思考和练习】	(298)
第11章 木材	(299)
11.1 木材的分类与构造	(299)
11.2 木材的主要性能	(302)
11.3 木材的干燥、防腐和防火	(309)
【思考和练习】	(310)
第12章 绿色建筑材料与功能材料	(311)
12.1 绿色建材与健康建筑的概念	(311)
12.2 空气主要污染物质对人体的危害	(313)
12.3 向绿色建材转化中的混凝土	(315)
12.4 我国绿色建材的状况与展望	(320)
12.5 绝热材料	(325)
12.6 吸声材料	(329)
【思考和练习】	(332)
附录	(334)
试验一 土木工程材料基本性质试验	(334)
试验二 水泥试验	(339)
试验三 混凝土试验	(348)
试验四 砂浆试验	(370)
试验五 钢筋试验	(374)
试验六 石油沥青试验	(377)
试验七 木材试验	(384)
参考文献	(389)

绪 论

土木工程材料是用于土木工程中的多种材料的总称,包括气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、墙体材料、钢材、木材、沥青、沥青混合料、合成高分子材料、绝热材料、吸声材料、装饰材料等。其英文术语为 Materials in civil engineering,或者 Civil engineering materials。土木工程材料这一概念,基本上等同于我国 20 世纪常用的“建筑材料”概念,以前诸多题为“建筑材料”的书籍所涉及的内容基本上均为土木工程材料。但进入 21 世纪以后,为了更好地适应我国土木工程行业发展,更好地与国际上土木工程学科发展规律接轨,更清晰地确立土木工程材料的概念,不宜再沿用建筑材料一词,故采用土木工程材料这一术语。

土木工程材料是土木工程的物质基础,在土木工程行业中其意义之重要自不待言。土木工程材料具有丰富的内涵,它既是土木工程学科范围内的一个学科方向,有着活跃的学科发展前沿动态;同时它又是土木工程专业学生及相关专业学生的一门重要专业基础课,其课程内容既可提供给学生大量的“应知应会”的从业知识,又能提供进一步研究深造的知识基础;它还在每一个具体的土木工程建设项目中起重要作用,决定项目的安全性、耐久性与经济性,譬如在建筑工程中,建筑物造价中 40%~60% 为土木工程材料费用,每 1 m² 建筑面积房屋要用 1~2 t 的土木工程材料。

土木工程材料是材料科学在土木工程中应用的产物。作为当今人类社会科技发展的主要分支之一,材料科学是研究材料内部组成、结构对材料性能的影响及其相互关系的一门新兴交叉科学。材料科学通常采用三个不同的尺度分析问题,即微观、细观和宏观尺度。微观尺度约为 nm 数量级,其对象为原子、分子;细观尺度约为 μm 级,材料被视为连续介质,不考虑其中单个原子、分子;宏观尺度约为 mm 级及更大尺寸范围,主要涉及材料的宏观性能或行为。

土木工程材料作为土木工程学科与材料学科交叉、渗透的产物,其主要关注的是宏观尺度上的材料性能与行为,在必要时则进一步探究材料细观尺度乃至微观尺度的组成与结构的特征,明确这些组成及结构特征与宏观性能、行为的关系,在此基础上,为土木工程材料的工程应用和性能优化提供依据。因此,土木工程材料是一门实用性学术性两方面特色都很突出的学科。

一方面,土木工程材料的不断更新优化,使得我国近年来重要的工程建设项目都建立在高质量的工程材料基础上,例如,青藏铁路工程采用了抗冻高性能混凝土,三峡大坝工程采用了低水化热高性能混凝土,2008 年北京奥运会国家体育中心“鸟巢”工程采用了高强优质钢材。另一方面,随着人类在地球甚至在太空开展科学探索及较长时间的生存、生活,对建筑群与构筑物的工程要求越来越高,促使土木工程材料

研究不断深化,例如近年来日本开始研究在微重力条件下的水泥水化过程,这是为人类开发太空、在太空或其他星球上使用水泥做必要的前期准备与探索。由此可见,土木工程材料研究探索与实际工程应用具有互相推动、互相促进的关系,这种关系极大地激励着土木工程行业众多学科科技人员进行探索创新。近年来在土木工程材料的研究应用中,已出现了多学科结合的趋势,例如材料与结构工程的结合、材料与隧道工程的结合、材料与水利工程的结合、材料与道路铁道工程的结合、建筑结构的健康检测及诊断等,这些结合也产生了一批复合型科技人才与工作岗位。

土木工程材料包含各式各样的材料,按化学成分可将其划分为无机材料、有机材料与复合材料,如图 0-1 所示。

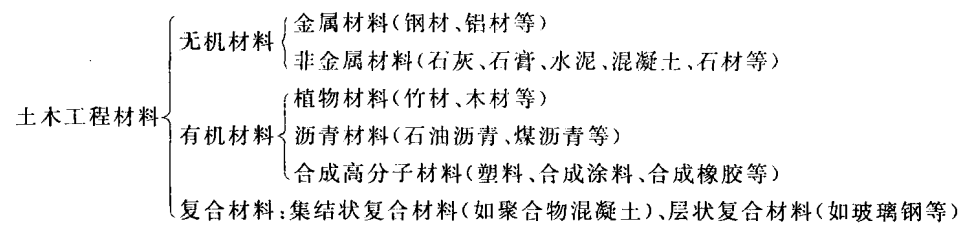


图 0-1 土木工程材料按化学成分分类

按功能,还可将土木工程材料划分为承重材料、防水材料、隔热保温材料、吸声隔音材料、装饰装修材料与防护材料等;按用途,可将土木工程材料划分为结构材料、墙体材料、屋面材料、地面材料、装饰材料与吊顶材料等。

土木工程材料发展的历史,充分说明材料与土木工程技术是相互制约、相互促进的。在原始社会,人类只能简单使用天然材料如泥土、砂石和树木。在学会用黏土烧制砖瓦,用岩石烧制石灰、石膏后,人类开始使用人造材料,并建成了保存至今的万里长城、赵州桥、古埃及金字塔等。在公元初,人类学会了使用水硬性胶凝材料,建造了罗马圣庙与庞贝城。近代土木工程材料方面具有划时代意义的事件,是 1824 年英国人 J. Aspdin 获得了人工配料生产硅酸盐水泥的专利,开启了近现代的水泥混凝土时代。19 世纪中叶发明的工业化炼钢技术,催生了钢结构技术,从而使结构物跨度从砖木结构时代的几十米增加到超过百米,并出现了钢筋混凝土结构。20 世纪初发明的合成高分子材料至今已进入了人类社会的方方面面。1928 年法国人 E. Freyssinet 获得预应力钢筋混凝土的专利,开创了预应力钢筋混凝土的应用。进入 21 世纪以来,土木工程材料的发展方向呈现为高性能、长寿命、节能、环境友好、人居舒适、多功能、复合化等多种要求的组合。

目前我国正在构建和谐社会,推动社会经济的可持续发展,必须大力发展循环经济。循环经济的核心是 3R 原理,即 Reduce(减量化)、Reuse(再使用)、Recycle(再循环)。水泥生产过程中节能、节材,高性能混凝土提高耐久性,减少材料的消耗,再生混凝土的研究开发,新型墙体材料的推广应用等,都是 3R 原理的具体表现。

标准规范是土木工程材料使用的重要技术依据。本书涉及的标准及规范符号分别是:国家标准(GB)、建筑工程国家标准(GBJ)、建设部行业标准(JGJ)、建筑工业行业标准(JG)、中国工程建设标准化协会标准(CECS)、建材标准(JC)、冶金标准(YB)、铁道部标准(TB)、化工部标准(HG)、林业标准(LY)等。国外常见标准为美国材料试验标准(ASTM)、欧洲共同体标准(EU)、国际标准(ISO)、英国标准(BS)、德国国家标准(DIN)、日本工业标准(JIS)等。

为提高读者的阅读效率与本书的参考价值,本书在各章节专门辟有介绍相关标准规范的内容。因为这些标准规范的时间截止到本书出版,所以请读者在使用本书的同时,还应注意标准规范如有更新,则应以最新版本为准。

土木工程材料课程的教学目的是:为后续专业课,如钢筋混凝土结构、钢结构、房屋建筑学、建筑施工等的学习建立必要的基础知识;毕业后在设计和施工中能够合理选用土木工程材料;为今后从事土木工程结构与材料的科学应用研究准备必要的基础。

土木工程材料课程,不像数学、物理等基础课有较多的复杂计算,而是有其特定的学习特点,即以理解原理为要。应注重多用比较、归纳的方法,首先熟悉某一特定材料的性能特征,再从材料组成、结构着手,了解形成材料性能特征的内在根源。在熟悉材料性能特征的基础上,了解材料的适用范围与注意事项。在有一定可比性的多种材料之间,注意分析、比较、归纳它们的相同点与不同点,并知晓其不同点的根源。实验课,以及反映最新科研成果或工程应用的参考文献阅读,均为本课程的重要学习环节,有助于验证理论、理论联系实际、基本理论联系最新动态。在学习本课程过程中,应养成仔细观察现象、认真理性分析本质的良好习惯,培养严谨的科学态度与实事求是的精神,培养专业兴趣,建立必要的工程概念。

第 1 章 土木工程材料的基本性质

【本章要点】

本章主要介绍土木工程材料的基本性质,包括基本物理性质、力学性质及耐久性等方面内容。土木工程材料发挥不同的作用,就须具备不同的性质。本章的学习目标是熟悉和掌握各种材料的基本性质,在工程设计与施工中正确选择和合理使用各种材料。

1.1 材料的基本物理性质

在土木工程各类建筑物中,材料要受到物理、化学、力学等因素的单独及综合作用。例如,用于各种受力结构中的材料,要受到各种外力的作用;有些土木工程材料,长期暴露于大气环境中或与酸性、碱性等侵蚀性介质相接触,除受到冲刷磨损、机械振动外,还会受到化学侵蚀、干湿循环、冻融循环等破坏作用。可见土木工程材料在实际工程中所受的作用是复杂的。

材料的应用与其所具有的性质是密切相关的。根据材料科学的基本理论,材料的性质又是由材料的组成、结构(或构造)等因素所决定的。所以,为了确保工程项目安全、经济、美观、经久耐用,要求必须掌握材料的性质,并了解它们与材料的组成、结构的关系,从而合理地选用材料。

1.1.1 材料的密度、表观密度、堆积密度

1. 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量,计算式如下:

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

式中 ρ ——材料的密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;

V ——材料的绝对密实体积, cm^3 或 m^3 。

材料的绝对密实体积是指材料内部没有孔隙时的体积,或不包括内部孔隙的材料体积。玻璃、钢铁、沥青等少数材料在自然状态下绝对密实,较易于测定其绝对密实体积,从而测定其密度。但大多数材料在自然状态下或多或少含有孔隙,如砖、石等块状材料,一般先将其粉碎磨细成粉状,消除内部孔隙,经干燥至恒重后,用李氏瓶

测定其体积,再测定其密度。材料粉磨得越细,测定结果越准确。

材料的密度 ρ 的大小取决于组成物质的原子量和分子结构。重金属材料的密度为 $7.50 \sim 9.00 \text{ g/cm}^3$; 硅铝酸盐的密度多在 $1.80 \sim 3.30 \text{ g/cm}^3$ 之间; 有机高分子材料的密度小于 2.50 g/cm^3 。同为碳原子组成,石墨的分子结构较松散,密度为 2.20 g/cm^3 ,而金刚石极为坚实,密度高达 3.50 g/cm^3 。

2. 表观密度

表观密度是指材料在自然状态下单位体积的质量,计算式如下:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-2)$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;

V_0 ——材料的表观体积, cm^3 或 m^3 。

单个颗粒内部有孔隙,包括开口孔和闭口孔,这样一个整体材料的外观体积称为材料的表观体积。规则外形材料的表观体积,可通过测量体积尺度或蜡封法用静水天平置换法得到,按上式计算得到的表观密度也称为体积密度;不规则外形材料的表观体积,如砂石类散粒材料,可用排水法测得,它实际上扣除了材料内部的开口孔隙的体积,故称用排水法测得材料的体积为近似表观体积,也称为视体积,按上式计算得到的表观密度也称为视密度。

根据材料所处含水状态或环境的不同,有干表观密度和湿表观密度之分。未注明含水情况常指气干状态。绝干状态下的表观密度称为干表观密度。

土木工程中用的粉状材料,如水泥、粉煤灰、磨细生石灰粉等,其颗粒很小,与一般块体材料测定密度时所研碎制作的试样粒径相近似,因而它们的表观密度,特别是干表观密度值与密度值可视为相等。

3. 堆积密度

堆积密度是指粉状或散粒材料在自然堆积状态下单位体积的质量,计算式如下:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-3)$$

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;

V'_0 ——材料的堆积体积, cm^3 或 m^3 。

测定散粒材料的堆积密度时,材料的质量是指填充在一定容器内的材料质量,其堆积体积是指所用容器的体积,因此,材料的堆积体积包含了颗粒之间的空隙。同一种材料堆积状态不同,堆积体积大小也不一样,松散堆积下的体积较大,密实堆积状态下的体积较小。按自然堆积体积计算的密度为松堆密度,以振实体积计算的则为紧堆密度。

对于同一种材料,由于材料内部存在孔隙和空隙,故一般有“密度大于表观密度,表观密度大于堆积密度”之说。土木工程中常用材料密度、表观密度、堆积密度见

表 1-1。

表 1-1 土木工程中常用材料密度

材料名称	密度 /(g/cm ³)	表观密度 /(kg/m ³)	堆积密度 /(kg/m ³)
钢材	7.85	—	—
铝合金	2.7	—	—
石灰石	2.4~2.6	1 600~2 400	1 400~1 700(碎石)
花岗石	2.7~3.0	2 500~2 900	—
砂	2.5~2.6	—	1 450~1 650
黏土	2.5~2.7	—	1 600~1 800
粉煤灰	1.95~2.40	—	550~800
水泥	2.8~3.1	—	1 250~1 600
普通混凝土	—	1 900~2 500	—
空心砖	2.6~2.7	—	1 000~1 400
玻璃	2.45~2.55	2 450~2 500	—
红松木	1.55~1.60	400~500	—
石油沥青	0.96~1.04	—	—
泡沫塑料	—	20~50	—

1.1.2 材料的密实度与孔隙率

1. 材料的密实度

材料的密实度是指材料的体积内被固体物质填充的程度,计算式如下:

$$D=\frac{V}{V_0}\times 100\%=\frac{\rho}{\rho_0}\times 100\% \tag{1-4}$$

2. 材料的孔隙率

材料的孔隙率是指材料内部孔隙的体积占其总体积的百分率,计算式如下:

$$P=\frac{V_0-V}{V_0}\times 100\%=\left(1-\frac{\rho}{\rho_0}\right)\times 100\% \tag{1-5}$$

即

$$P+D=1 \tag{1-6}$$

材料的孔隙特征多种多样,如大小、形状、分布、连通性等。材料孔隙特征直接影响材料的多种性质。一般情况下,孔隙率大的材料宜选择作为保温隔热材料和吸声材料,同时还要考虑材料开口与闭口状态。开口孔隙指材料内部孔隙不仅彼此互相

贯通,并且与外界相连。开口孔隙对吸水、透水、吸声有利,对材料的强度、抗渗、抗冻和耐久性不利。闭口孔隙指材料内部孔隙彼此不贯通,而且与外界隔绝。微小而均匀的闭口孔隙可降低材料表观密度和导热系数,使材料具有轻质绝热的性能,并可提高材料的耐久性。由此可见,材料的孔隙率 P 也可分为开口孔隙率 P_{or} 和闭口孔隙率 P_{cl} 。

按照孔径大小可将材料内部的孔隙分为气孔(或大孔)、毛细孔和凝胶孔三种,其中气孔的平均孔径范围为 $50 \sim 200 \mu\text{m}$,最大甚至达到 1 mm 以上;毛细孔的孔径范围为 $2.0 \text{ nm} \sim 20 \mu\text{m}$,对材料的吸水性、干缩性和抗冻性影响较大;凝胶孔极其微细,孔径为 20 nm 以下,对材料的性能几乎没有任何影响。所以,除孔隙率之外,孔径大小、孔隙特征对材料的性能都具有重要的影响作用。

1.1.3 材料的填充率与空隙率

材料的填充率与孔隙率是仅适用于粉状或散粒材料的两个术语。

1. 材料的填充率

材料的填充率是指在某堆积体积中,被散粒状材料所填充的程度,计算公式如下:

$$D' = \frac{V}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

2. 材料的空隙率

材料的空隙率是指散粒状材料堆积体积中,颗粒间空隙的体积占其总体积的百分率,计算公式如下:

$$P' = \frac{V'_0 - V}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (1-8)$$

即

$$P' + D' = 1 \quad (1-9)$$

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒之间互相填充的程度,在配制混凝土、砂浆时可作为控制集料的级配、计算配合比的依据。其基本思路是粗集料空隙被细集料填充,细集料空隙被细粉填充,细粉空隙被胶凝材料填充,以达到节约胶凝材料的效果。

1.1.4 材料与水相关的性质

1. 材料的亲水性与憎水性

材料在使用过程中,常与水或大气中的水汽相接触,但材料与水的亲和情况是不同的。当材料与水接触时,能被水湿润的性质称为亲水性,具备这种性质的材料称为亲水性材料;反之,不能被水湿润的性质称为憎水性,具备这种性质的材料称为憎水性材料。

材料的亲水性和憎水性用润湿边角区分。如图 1-1 所示,在材料、水和空气的三