

21世纪高等学校土木工程专业规划教材

土木工程材料

(精编本)

宋少民 孙 凌 主编



武汉理工大学出版社
Wuhan University of Technology Press

21 世纪高等学校土木工程专业规划教材

土木工程材料

主 编 宋少民 孙 凌
副主编 要秉文 王彤章

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

【内 容 简 介】

本书主要介绍常用土木工程材料的基本组成、材料性能及应用、质量要求等方面要点,并对实际工程中出现的事故和案例进行分析。内容包括建筑钢材、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、墙体材料、沥青材料、沥青混合料、建筑材料与胶粘剂、装饰材料及各种材料的实验。各章节的后面附有课后小阅读和适量的习题、思考题,全书的最后还附有大量练习题及习题解答。

本书采用最新国家或行业标准,可作为高等院校土建类专业教学用书,也可作为从事土木勘测、设计、施工、科研和管理工作的专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/宋少民,孙凌主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2006.9
ISBN 7-5629-2430-9

I. 土…

II. ① 宋… ② 孙…

III. 土木工程-建筑材料-高等学校-教材

IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 071169 号

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070

<http://www.techbook.com.cn>

E-mail:wangzhg@mail.whut.edu.cn

印 刷 者:武汉理工大印刷厂

经 销 者:各地新华书店

开 本:850×1168 1/16

印 张:26.5

字 数:712 千字

版 次:2006 年 9 月第 1 版

印 次:2006 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1—5000 册

定 价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

前言

伴随着新世纪的到来,我国迎来了史无前例的大规模建设,建筑材料种类大幅度增加,性能明显提高,各类新技术、新工艺更是层出不穷。例如作为结构工程材料的主体——水泥基材料,尤其是混凝土,其理论和技术正在发生着革命性的变化,并已经迅速、广泛地应用到各类重要工程中,许多材料学者呼吁我们应也可以建造使用几百年乃至上千年的建筑物,保护生态,造福子孙。在此形势下,在教科书中向学生介绍建筑材料新技术、新知识,使他们毕业后能够尽快适应现代化工程建设的需要,并为新技术推广做出贡献,是我们建筑材料教师的一项紧迫任务。

本书依据建设部土木工程专业指导委员会教学大纲要求进行编写。指导思想是符合教学应用型学校使用,着重培养学生分析与解决实际问题的能力。主要突出以下特点:

(1) 要求在各章节中要在应有【例题】引导学生掌握理论知识的基础上,多设【案例】,密切与工程和生产实际相结合,体现学以致用、理论和实践相结合的精神。

(2) 本教材包含习题与解答部分,依据现代教育理论,教材不再只是教师讲授的内容,重要的是学生主动学习、掌握课程知识的工具。本书习题与解答要力争做到知识点全、内容更新、注重实际应用、题型多样,主观题答案供参考。

(3) 各章节内容务求体现最新标准、规范和已经广泛应用的新成果。教学实验接近、模拟工程检测,表格规范。

(4) 排版要突出基本概念和知识重点,基本概念要有英文注释。

(5) 增设课后阅读,增加趣味性和拓宽知识面。

本书由宋少民、孙凌主编,要秉文、王彤章任副主编。参加编写的有宋少民(绪论、第5章、附录2、附录3),孙凌(第9章、附录1试验1、2),要秉文(第4章),王彤章(第7章、第11章),张长清(第1章、第3章、第10章),薛斌(第2章),侯云芬(第6章),魏建军(第8章、附录1试验3)。

由于近几年土木工程材料发展很快,新材料、新理论不断出现,标准、规范繁多且更新快,加之时间仓促和编者水平所限,书中疏漏、不当乃至错误之处恳请广大教师、同学以及各方面读者批评指正,以利修订和更正(E-mail: John. Song65@163.com)。同时本书编写的思路和特色,如有考虑不周之处,也欢迎大家多提意见。谢谢大家对教材的关心和爱护。

编者

2006年4月

目 录

- 绪论..... (1)
- 1 土木工程材料的基本性质 (4)
 - 1.1 材料科学的基础知识 (4)
 - 1.2 材料的物理性质 (7)
 - 1.3 材料的力学性质..... (14)
 - 1.4 材料的耐久性..... (17)
 - 复习思考题 (18)
- 2 建筑钢材..... (19)
 - 2.1 钢的生产与分类..... (19)
 - 2.2 建筑钢材的主要技术性能..... (22)
 - 2.3 钢的晶体组织、化学成分及其对性能的影响 (29)
 - 2.4 建筑钢材的品种与选用..... (31)
 - 2.5 钢材的防火与防锈..... (39)
 - 复习思考题 (42)
- 3 气硬性胶凝材料..... (43)
 - 3.1 石灰..... (43)
 - 3.2 建筑石膏..... (47)
 - 3.3 水玻璃..... (51)
 - 复习思考题 (52)
- 4 水泥..... (53)
 - 4.1 硅酸盐水泥..... (53)
 - 4.2 掺混合材料的硅酸盐水泥..... (66)
 - 4.3 其它品种的硅酸盐水泥..... (73)
 - 4.4 铝酸盐水泥..... (78)
 - 4.5 硫铝酸盐水泥..... (80)
 - 复习思考题 (83)
- 5 混凝土..... (85)
 - 5.1 概述..... (85)
 - 5.2 混凝土的组成材料..... (88)
 - 5.3 新拌混凝土(fresh concrete)性能 (108)
 - 5.4 混凝土的力学性能 (113)

5.5	混凝土的变形	(118)
5.6	混凝土耐久性	(122)
5.7	混凝土的质量控制与强度评定	(128)
5.8	传统塑性混凝土配合比设计	(132)
5.9	泵送混凝土	(140)
5.10	高性能混凝土简述.....	(145)
	复习思考题.....	(150)
6	建筑砂浆	(151)
6.1	砌筑砂浆	(151)
6.2	抹面砂浆	(158)
6.3	特种砂浆	(161)
	复习思考题.....	(163)
7	墙体材料	(164)
7.1	砖	(164)
7.2	砌块	(167)
7.3	墙板	(169)
	复习思考题.....	(170)
8	沥青材料	(171)
8.1	石油沥青	(171)
8.2	乳化沥青	(187)
8.3	沥青基防水卷材	(195)
8.4	沥青防水涂料	(202)
	复习思考题.....	(204)
9	沥青混合料	(205)
9.1	沥青混合料的定义、分类及基本性质.....	(205)
9.2	热拌沥青混合料	(207)
9.3	其它沥青混合料	(232)
	复习思考题.....	(234)
10	建筑塑料与胶粘剂.....	(236)
10.1	高分子化合物基本知识.....	(236)
10.2	建筑塑料.....	(238)
10.3	胶粘剂.....	(241)
10.4	高分子化合物在岩土工程中的其它应用.....	(245)
	复习思考题.....	(247)
11	装饰材料.....	(248)

11.1 装饰材料的定义、作用和发展趋势	(248)
11.2 装饰材料的分类与选择	(249)
11.3 无机装饰材料	(251)
11.4 有机装饰材料	(254)
11.5 复合装饰材料	(256)
复习思考题	(258)
附录 1 常用土木工程材料试验	(259)
试验 1 石灰、水泥及钢材试验	(259)
试 1.1 石灰中有效氧化钙和氧化镁含量测定试验	(259)
试 1.2 水泥细度、标准稠度用水量、凝结时间和体积安定性试验	(263)
试 1.3 水泥强度试验(ISO)	(269)
试 1.4 钢筋的拉伸试验	(274)
试 1.5 钢筋的冷弯试验	(278)
试验 2 水泥混凝土试验	(281)
试 2.1 集料的表观密度、装填密度和空隙率试验	(281)
试 2.2 粗集料针、片状颗粒含量试验	(287)
试 2.3 水泥混凝土粗集料压碎指标值试验	(289)
试 2.4 集料含水率试验	(290)
试 2.5 集料的含泥量试验	(291)
试 2.6 混凝土配合比设计	(294)
试 2.7 水泥混凝土拌合物的拌制和工作性试验	(295)
试 2.8 水泥混凝土力学强度试验	(298)
试 2.9 混凝土拌合物实测密度	(301)
试验 3 沥青及沥青混合料试验	(303)
试 3.1 石油沥青的针入度、延度和软化点试验	(303)
试 3.2 石料的抗压强度和磨耗试验	(310)
试 3.3 沥青的粘附性试验	(314)
试 3.4 粗、细集料及矿粉的筛析试验	(315)
试 3.5 沥青混合料组成设计	(321)
试 3.6 沥青混合料的制备	(322)
试 3.7 沥青混合料物理指标测定	(324)
试 3.8 沥青混合料马歇尔稳定度试验	(326)
试 3.9 沥青混合料车辙试验(选做)	(329)
附录 2 习题	(332)
第一部分 绪论与建筑材料的基本性质	(332)

第二部分	无机胶凝材料.....	(339)
第三部分	混凝土.....	(350)
第四部分	砂浆.....	(363)
第五部分	砌筑块材.....	(367)
第六部分	建筑钢材.....	(371)
第七部分	沥青及沥青防水材料.....	(376)
第八部分	木材.....	(381)
第九部分	其它.....	(383)
附录 3	习题答案	(384)
第一部分	绪论与建筑材料的基本性质.....	(384)
第二部分	无机胶凝材料.....	(388)
第三部分	混凝土.....	(394)
第四部分	砂浆.....	(403)
第五部分	砌筑块材.....	(405)
第六部分	建筑钢材.....	(407)
第七部分	沥青及沥青防水材料.....	(409)
第八部分	木材.....	(412)
第九部分	其它.....	(412)
参考文献		(413)

绪论

在历史发展的长河中,人类通过劳动不断地改造自然,创造文明。在这一漫长的过程中,材料始终扮演着重要角色,我们可以从旧石器时代、新石器时代、青铜器时代、铁器时代、钢铁时代等历史时期的划分体会到材料对我们的重要意义,可以说材料是人类历史发展的里程碑。

真正意义上的建筑历史应该说与文明的发展同步,人类要居住,要形成社会,从事各种活动,自然离不开建筑。建筑的行为属于工程范畴。我们说工程的本质是创造,是从无到有,这个建设行为的物质基础就是建筑材料,它与建筑也可以说与土木工程关系密切。近年来,我们常称建筑材料为土木工程材料。

回顾建筑材料的历史,就是回顾人类发展的足迹。我们的远古祖先茹毛饮血、混沌未开,岩洞穴居,和其它动物一样经历风霜雪雨。但劳动改变了这一切,人类开始制造工具,使用天然材料凿洞搭棚,遮风避雨。到公元前 10 世纪前后,实现了一次重大的跨越,人类学会了用粘土烧制砖、瓦,用岩石烧制石灰、石膏,这意味着建筑材料进入初期生产阶段,于是在西方有了古希腊文明和古罗马的辉煌,在东方有了中华文明,有了大汉和盛唐。这个过程很长,直到 18 世纪,我们可以称其为“秦砖汉瓦”的时代,在这一时期,人类创造了大量的建筑文明,许多古罗马建筑和中国古建筑,经历数千年,历久弥坚,至今仍和我们为伴。18 世纪欧洲工业革命像一声惊雷驱散两千年的沉闷,将建筑材料推进到一个新的阶段,重要的标志就是水泥、钢材、混凝土的发明和应用,建筑为之改变,人类社会也为之改变。接下来人类迎来了 20 世纪建筑材料的大发展,无论品种还是品质都有了极大的拓展和提高,各种新材料层出不穷,有力地推动社会快速实现了现代化,可以说是日新月异、一日千里。

目前,土木工程材料可以按照不同原则进行分类。根据材料来源,可分为天然材料及人造材料;根据其功能,可分为结构材料、装饰材料、防水材料、绝热材料等。通常根据组成物质的种类及化学成分,将土木工程材料分为无机材料、有机材料和复合材料三大类,各大类中又可进行更细的分类,如图 0.1 所示。

进入 21 世纪,人类一方面为惊人的发展震惊和骄傲,同时也为征服自然的后果感到恐慌。大量水泥、钢铁、玻璃、陶瓷制品、化学建材的生产造成温室效应,在污染空气、河流的同时,消耗了大量的自然资源,许多优质资源短缺或濒于枯竭,人类开始有了坐吃山空的感觉。有人说 20 世纪是一个疯狂发展的时期不无道理。所谓疯狂就是没有节制、就是为所欲为。20 世纪我们吃了祖先的,用了子孙的,具体说我们消耗的资源、能源,造成的污染和环境破坏超过人类有史以来至 19 世纪的总和,“我们到底是人类的娇子,还是罪人”值得深思!

在新世纪中,人类必将不断拓展和提高自己的活动空间和建筑质量,迎接环境、资源的巨大挑战。将建筑材料开发和生产引入健康和可持续发展的轨道是我们不可推卸的使命,别无选择。优先发展的两个领域是绿色建材和高性能建

材。所谓绿色建材就是资源、能源消耗低,大量应用废弃资源;对环境、对人身友好无害;可以循环利用的建筑材料。所谓高性能材料就是指那些具备轻质、高强、耐久、智能或其它特殊应用性能的建筑材料。

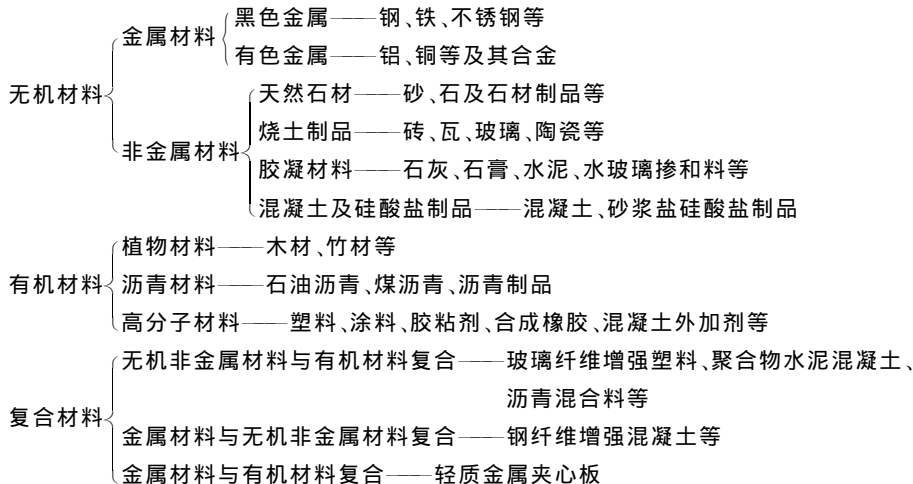


图 0.1 土木工程材料的分类

材料和建筑、结构、施工一起构成建筑工程学科的主体。作为建筑工程的物质基础,建筑材料的作用是举足轻重的。第一,从工程造价上看,50%以上来自于建筑材料,并且随着建筑级别和档次的提高,材料所占比例不断提高。第二,正确使用建筑材料是保证工程质量的关键。多数建筑物的病害和工程质量事故都与建筑材料有关,建筑材料选择不当、质量不符合要求,建筑物的正常使用和耐久性就得不到保障。第三,建筑材料的水平和种类制约着建筑设计和结构设计的形式,影响着施工技术的发展。举例来说,没有混凝土外加剂的发明,就没有混凝土泵送施工。

建筑材料工业是我国重要的原材料工业,和建筑业一起成为我国国民经济支柱产业。近年来,在我国大规模建设的拉动下,主要建筑材料产量快速增长。2004 年我国水泥产量为 9.7 亿吨,占世界水泥产量的 46%;2005 年水泥产量为 10 亿吨,超过世界水泥产量的一半。2004 年我国生产钢材 2.97 亿吨,接近世界总产量的 30%,居于首位。依据水泥和钢材的产量推测我国目前建设用混凝土量应占世界混凝土产量的 30%~40%。我们拥有很大的建筑材料产业,但我国的建筑材料工业并不强,集中体现在装备与技术落后、生产能耗高、发展不平衡等方面,可以说我们是“大而不强”。我国建筑材料行业发展的出路在于:① 节约能源,提高能源利用率;② 节约资源,提高资源利用率;③ 减排降污,保护环境;④ 提高产品质量,延长使用寿命;⑤ 促进科技进步,发展循环产业。

我国技术标准分为四级:国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。国家标准是由国家标准局发布的全国性的指导技术文件,其代号为 GB;行业标准也是国家性的指导技术文件,但它由主管生产部(或总局)发布,如建材行业标准代号为 JC,建工行业标准代号为 JG,交通行业标准代号为 JT;地方标准是地方主管部门发布的地方性指导技术文件,其代号为 DB;企业标准则仅适用于本企业,其代号为 QB。凡没有制定国家标准、行业标准的产品,均应制定企业标准。随着我国对外开放和加入世界贸易组织(WTO),常常还涉及到一些与土木工程材料关系密切的国际标准或外国标准,其中主要有:国际标准,代号为 ISO;美国材料试验学会标准,代号为 ASTM;日本工业标准,代号为 JIS;德国工业标准,代号为 DIN;英国标准,代号为 BS;法国标准,代号为 NF 等。了解和掌握建筑材料的品质要求和检测方法对掌握本课程知识,对今后的实际工作都是十分必要的。

本课程作为土建类专业的专业基础课,为后继专业课“房屋建筑学”、“建筑施工”、“钢筋混凝土结构”、“道路与桥梁工程”等的学习提供基础知识;学生通过学习主要掌握以下几个方面的知识和技能:

- (1) 了解常用建筑材料的基本性质,能够正确地选择和使用材料;
- (2) 同一类不同品种的材料要了解它们的共性和个性;
- (3) 了解材料性质变化的外在和内在原因,掌握变化规律,采取相应的应对措施;
- (4) 学会材料检验、评定的方法,理解课程知识,培养动手能力,磨炼科学态度;
- (5) 树立新的材料观念。

换个说法,作为一个土建工程师,对于建筑材料至少要了解以下三个方面:

- (1) 材料在结构物中使用时呈现哪些性能?
- (2) 为什么材料具有这样的性能?
- (3) 材料的性能能否改变及其原因。

建筑材料种类繁多,涉及面广,内容庞杂,且各类自成体系。建筑材料发展迅速,新材料、新工艺不断涌现。有学者称土木工程材料这门课内容是“中药铺”,教材中大多数是叙述性和分析性内容,缺乏逻辑性和理论计算,授课时数少。这些原因使本课程看似容易,实则不易掌握,“一听就能懂,一考就不会”。在学习过程中希望同学们注意以下几点:① 要求做好课堂笔记,并注意听讲;② 课上讲解课程重点、难点与新内容,由于课内学时有限,要求同学们课下以作业形式自学部分章节和内容,课上提问检查;③ 结合作业和课堂练习、测验,对课内知识点加以巩固和掌握;④ 利用“习题与解答”和网络课件强化所学知识。总之归纳起来就是一句话“听好课,多练习”。

1 土木工程材料的基本性质

本章提要

本章介绍土木工程材料内部不同层次结构的特性和材料组成的表示方法,阐明材料层次构造与材料性质的关系。重点阐明材料各种基本性质的定义、表示方法、影响因素。

通过学习材料基本性质,要了解土木工程各种结构物的基本性质与工程特性的关系,牢固掌握表示土木工程材料的物理性质、力学性质及耐久性的术语,并能熟练运用,以便为后面章节学习奠定基础。

土木工程材料(civil engineering materials)的基本性质包括物理性质、力学性质以及耐久性方面。土木工程材料承受不同的作用,就需具备不同的性质。承受外力的结构材料要求具备必要的力学性质,房屋建筑围护材料须满足保温、隔热、防水及必要的环境要求,道路桥梁材料长期暴露在大气环境或与侵蚀性介质相接触的环境中,经受风吹、雨淋、日晒、冰冻而引起的温度变化、湿度变化及反复冻融等的破坏作用,要求材料具备一定的耐久性。土木工程对材料性质的严格要求是多方面的,为了在工程设计与施工中正确选择和合理使用材料,须熟悉和掌握各种材料的基本性质。

1.1 材料科学的基础知识

材料的组成(components of materials)、结构和构造是决定材料性质的内在因素,要了解材料的性质,必须先了解材料的组成、结构与材料性质之间的关系。

1.1.1 材料的组成

1.1.1.1 化学组成

化学组成(chemical components)是指材料的化学成分。金属材料以化学元素含量表示,无机非金属材料通常用各种氧化物含量的百分数表示,聚合物是以有机元素链节重复形式表示。材料的化学成分是决定材料化学性质、物理性质和力学性质的主要因素。

1.1.1.2 矿物组成

将材料中具有特定的晶体结构和特定物理力学性能的组织结构称为矿物。矿物组成(mineral components)是指构成材料的矿物种类和数量。如花岗石的主要矿物组成为长石、石英和少量云母,酸性岩石多,决定了花岗石耐酸性好,但耐火性差;大理石的主要矿物组成为方解石、白云石,含有少量石英,因此大理石不耐酸腐蚀,酸雨会使大理石中的方解石腐蚀成石膏,致使石材表面失去光泽;

石英砂的主要成分是石英,如果其中含有玉髓、蛋白石,易降低水泥混凝土的耐久性。

1.1.1.3 相组成

将材料中结构相近、性质相同的均匀部分称为相(phase)。同一种材料可由多相物质组成。例如,建筑钢材中就有铁素体、渗碳体、珠光体,铁素体软,渗碳体硬,它们的比例不同,就能生产不同强度和塑性的钢材;利用油和水不相溶,形成油包水或水包油的乳液涂料,能产生梦幻般多彩的效果;复合材料是宏观层次上的多相组成材料,如钢筋混凝土、沥青混凝土、塑料泡沫夹心压型钢板,它们的配比和构造形式不同,材料性质变化可能较大。

1.1.2 材料的结构

材料的结构(the structure of materials)分为微观结构(microstructure)、细观结构(meso-structure)和宏观结构(macrostructure),是决定材料性质的重要因素之一。

1.1.2.1 微观结构

材料微观结构是指用电子显微镜或X射线来分析研究的原子、分子层次的结构。材料的微观结构决定材料的许多物理性质,如强度、硬度、熔点、导热、导电性等。

按材料组成质点的空间排列或联结方式,材料微观结构可分为晶体、玻璃体和胶体。

(1) 晶体

在空间上,质点(离子、原子、分子)按特定的规则、呈周期性排列的固体称为晶体(the crystalline state)。晶体具有特定的几何外形和固定的熔点和化学稳定性。根据组成晶体的质点及化学键的不同,晶体可分为:

原子晶体(atomic crystal):中性原子以共价键结合而形成的晶体,如石英;

离子晶体(ionic crystal):正负离子以离子键结合而形成的晶体,如NaCl;

分子晶体(molecular crystal):以分子间的范德华力即分子键结合而成的晶体,如有机化合物;

金属晶体(metallic crystal):以金属阳离子为晶格,由自由电子与金属阳离子间的金属键结合而成的晶体,如钢铁材料。

从键的结合力来看,共价键和离子键最强,金属键较强,分子键最弱。如纤维状矿物材料玻璃纤维和岩棉,纤维内链状方向上的共价键力要比纤维与纤维之间的分子键结合力大得多,这类材料易分散成纤维,强度具有方向性;云母、滑石等结构层状材料的层间键力是分子力,结合力较弱,这类材料易被剥离成薄片;岛状材料如石英,硅氧原子以共价键结合成四面体,四面体在三维空间形成立体空间网架结构,因此质地坚硬,强度高。

(2) 玻璃体

呈熔融状态材料在急速冷却时,其质点来不及或因某种原因不能按规则排列就产生凝固所形成的结构称为玻璃体(amorphous state)。玻璃体又称无定形体或非晶体,结构特征为质点在空间上呈非周期性排列。

玻璃体是化学不稳定结构,容易与其它物质起化学作用,具有较高的化学活性。如生产水泥熟料时,硅酸盐从高温水泥回转窑急速落入空气中,急冷过程使得它来不及作定向排列,质点间的能量只能以内能的形式储存起来,具有化学不稳定性,能与水反应产生水硬性;粉煤灰、水淬粒化高炉矿渣、火山灰等玻璃体材料,能与石膏、石灰在有水的条件下水化和硬化,常掺入到硅酸盐水泥,丰富了硅酸盐水泥的品种。

(3) 胶体

胶体(colloid)是指物质以极微小的质点(粒径为 $1\sim 100\mu\text{m}$)分散在介质中所形成的结构。由

于胶体中的分散质与分散介质带相反的电荷,胶体能保持稳定。分散质颗粒细小,使胶体具有吸附性、粘结性。根据分散质与分散介质的相对比例不同,胶体结构分为溶胶、溶凝胶和凝胶。乳胶漆是高分子树脂通过乳化剂分散在水中形成的涂料;道路石油沥青要求高温不软低温不脆,需具有溶凝胶结构;硅酸盐水泥水化形成的水化产物中的凝胶将砂和石粘结成一个整体,形成人工石材。

1.1.2.2 细观结构

细观结构是指在光学显微镜下能观察到的结构,主要用于研究材料内部的晶粒、颗粒的大小和形态、晶界与界面、孔隙与微裂纹等。材料的细观结构,只能针对某种具体土木工程材料来进行分类研究,如混凝土可分为基相、集料相、界面相;天然岩石可分为矿物、晶体颗粒、非晶体组织;钢铁可分为铁素体、渗碳体、珠光体;木材可分为木纤维、导管髓线、树脂道。

材料细观结构层次上的各种组织的特征、数量、分布和界面性质对材料性能有重要影响。

1.1.2.3 宏观结构

宏观结构是指用肉眼或放大镜就能够观察到的粗大组织。材料宏观结构主要有密实结构、多孔结构、纤维结构、层状结构、粒状结构和纹理结构。

(1) 密实结构

密实结构(dense structure)指孔隙率很低或趋近为零、结构致密的材料,如钢材、玻璃和沥青等,具有吸水率低、抗渗性好、强度较高等性质。

(2) 多孔结构

多孔结构(porous structure)指材料孔隙率高的结构,如石膏制品、加气混凝土、多孔砖等,这类材料质轻,吸水率高,抗渗性差,但保温、隔热、吸声性好。

(3) 纤维结构

纤维结构(fibrous structure)是由纤维状物质构成的材料结构,纤维之间存在相当多的孔隙,如木材、钢纤维、玻璃纤维、矿棉等,平行纤维方向的抗拉强度较高,能用做保温隔热和吸声材料。

(4) 层状结构

层状结构(layer structure)是天然形成或人工采用粘结等方法将材料叠合成层状的结构,如胶合板、纸面石膏板、泡沫压型钢板复合墙等,各层材料性质不同,但叠合后材料综合性质较好,扩大了材料的使用范围。

(5) 粒状结构

粒状结构(particle structure)是材料呈松散颗粒状结构,如石粉、砂石、粉煤灰陶粒,能作为普通混凝土集料、沥青混凝土集料以及轻混凝土集料,聚苯乙烯泡沫颗粒能作为轻混凝土和轻砂浆的集料,赋予材料以保温、隔热性能。

(6) 纹理结构

纹理结构(texture structure)是指天然材料在生长或形成过程中,自然形成有天然纹理的结构,如木板、大理石板和花岗石板等。也能人工制造表面纹理,如木屑板压粘涂覆三聚氰胺的装饰纸形成书桌面以及复合地板,模仿天然木纹;墙地砖烧结出仿天然石材的纹理,具有较强的装饰表现力。

1.2 材料的物理性质

1.2.1 材料的体积

材料体积(the volume of materials)是指材料占据的空间大小,同一种材料由于所处的物理状态不同,能表现不同的体积。

1.2.1.1 材料的堆积体积

材料的体积见图 1.1(a),散粒状材料除了矿质料颗粒占有体积外,颗粒之间还有间隙或空隙,二者体积之和就是材料的堆积体积(the bulk volume of materials),故堆积体积是散粒状材料堆积状态下总体外观体积。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。材料的堆积体积,常以材料填充容器的容积大小来测量。

1.2.1.2 材料的表观体积

见图 1.1(b),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(the relative volume of materials)。规则外形材料的表观体积,可通过测量体积尺度后计算得到,不规则外形材料的表观体积,用排水法或排抽法测得。用排水法测材料的表观体积,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视表观体积,也称为视体积。材料颗粒表面裹覆石蜡,采用蜡封法能避免排水法测定体积时开口孔进水对测定表观体积带来的影响。

1.2.1.3 材料的绝对密实体积

见图 1.1(c),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称为材料的绝对密实体积(the absolute volume of materials)。玻璃、钢铁、沥青等少数材料在自然状态下绝对密实,能直接测定其绝对密实体积。大多数材料在自然状态下或多或少含有孔隙,一般先将材料粉碎磨细成粉状,消除材料内部孔隙,再测定材料的绝对密实体积。材料粉磨得越细,测定结果越准确。

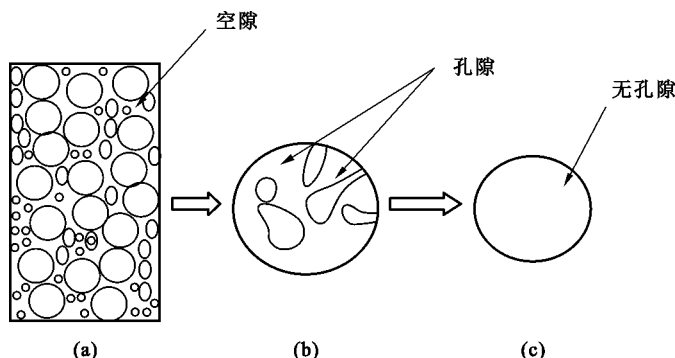


图 1.1 材料的体积状态

(a) 颗粒材料堆积;(b) 含有开口孔和闭口孔的单颗粒材料;(c) 绝对密实

1.2.2 材料的密度、表观密度和堆积密度

1.2.2.1 材料的密度

材料的密度(specific density)是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量,计算式如下:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

式中 ρ ——材料的密度(g/cm^3)；
 M ——材料的质量(g)；
 V ——材料的绝对密实体积(cm^3)。

这时的质量是指材料所含物质的多少,工程上常用重量多少来衡量质量的大小,以避免材料质量与工程质量相混淆,但从概念上讲,质量与重量有一个加速度的区别。

土木工程中常用材料密度大小见表 1. 1。材料密度仅由材料的组成和材料的结构决定,与材料所处的环境、材料干湿和孔隙无关,故密度是材料的特征指标,能用于区分不同的材料。

表 1. 1 土木工程中常用材料的密度

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	—	—
碎石(石灰石)	2. 6~2. 8	2300~2700	1400~1700
碎石(花岗石)	2. 6~2. 9	2500~2800	—
砂	2. 5~2. 8	—	1450~1650
粉煤灰	1. 95~2. 40	—	550~800
水 泥	2. 8~3. 1	—	1600~1800
普通混凝土	—	2400~2500	—
空心砖	2. 6~2. 7	—	1000~1400
玻 璃	2. 45~2. 55	2450~2500	—
红松木	1. 55~1. 60	400~600	—
石油沥青	0. 96~1. 04	—	—
泡沫塑料	—	20~50	—

1. 2. 2. 2 材料的表观密度

材料的表观密度(relative density)是指材料在自然状态下单位体积的质量,计算式如下:

$$\rho_0 = \frac{M}{V_0}$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度(kg/m^3)；
 M ——材料的质量(kg)；
 V_0 ——材料的表观体积(m^3)。

材料的自然状态有两种情形:其一是材料内部有不少孔隙,包括开口孔隙和闭口孔隙,有时也区分这两种孔隙体积对表观密度计算带来的影响,如表观体积计算时包括材料内部闭口孔隙和开口孔隙体积,按上式计算得到的表观密度也称为体积密度;如表观体积计算时不包括或者忽略开口体积,按上式计算得到的表观密度也称为视密度。其二是材料处在不同的含水状态或环境,表观密度大小也不同,有干表观密度和湿表观密度之分,故表观密度值必须注明含水情况,未注明者常指气干状态,绝干状态下的表观密度称为干表观密度。

土木工程中常用材料表观密度大小见表 1.1。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,与一般石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。砂石类散粒材料自然状态下的表观密度测定是将其饱水后在水中称量质量,按排水法计算其体积,体积包括固体实体体积和闭口孔隙体积,而不包括其开口孔隙和颗粒间隙,测得结果为视密度。块状材料体积采用几何外形计算体积或用静水天平置换法求体积,包括材料全部体积即实体积与所含全部孔隙体积之和,测得结果为体积密度。

1.2.2.3 材料的堆积密度

材料的堆积密度(bulk density)是指粉状或颗粒材料在自然堆积状态下单位体积的质量,计算式如下:

$$\rho'_0 = \frac{M}{V'_0}$$

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度(kg/m^3);

M ——材料的质量(kg);

V'_0 ——材料的堆积体积(m^3)。

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。

1.2.3 材料的孔隙与空隙

1.2.3.1 材料孔隙与孔隙特征

表明材料孔隙的多少用孔隙率(porosity)。

材料的孔隙率是指材料内部孔隙的体积与材料总体积的比值。孔隙率 P 的计算公式为:

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

上式中, $\frac{\rho_0}{\rho}$ 称为材料的密实度,用符号 D 表示。密实度表示材料内部被固体所填充的程度,它对材料的影响恰好与孔隙率的影响相反,二者关系为:

$$P + D = 100\%$$

材料的孔隙特征包括材料孔隙开口与闭口状态和孔的大小。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,开口孔与大气相连,空气、水能进出,闭口孔在材料内部,是封闭的,有的孔在材料内部被分割成独立的,有的孔在材料内部又是相互连通的。材料的开口孔隙除对吸声有利外,对材料的强度、抗渗、抗冻和耐久性均不利;微小而均匀的闭口孔隙对材料抗渗、抗冻和耐久性无害,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。可见,对于同种材料,孔隙率相同时,其性质不一定相同。孔隙尺寸大小又将孔隙分为大孔、中孔(毛细孔)和小孔,其中毛细孔对材料性质影响最大,毛细水的去与留影响材料的干缩与湿胀。

1.2.3.2 材料的空隙

材料空隙(void of materials)是散粒状材料颗粒之间的间隙,其多少用空隙率(void content)表示。

材料的空隙率是指散粒状堆积体积中,颗粒间空隙体积(开口孔隙与间隙之和)与材料总体积的比值。空隙率 P' 的计算公式为: