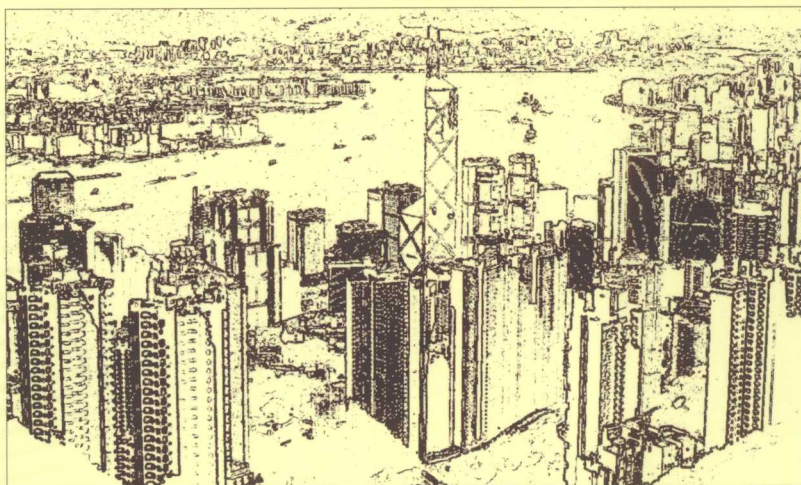


普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

土木工程 材料

● 刘娟红 梁文泉 主编

EDUCATION



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

.. 013042386

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

土木工程材料

主 编 刘娟红 梁文泉
副主编 王信刚 徐国强
参 编 李志国 陈德平 王 琴



机械工业出版社



北航

C1651228

TU5-43
67

013045388

本书主要介绍常用土木工程材料的基本组成、材料性能、质量要求及应用等方面的要点,并对实际工程中出现的问题和案例进行分析,从整体上反映当代土木工程材料的新成果、新技术。主要内容包括绪论、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、沥青及沥青混合料、墙体材料、建筑钢材、合成高分子材料、建筑节能材料及功能材料、石材与木材,附录为常用土木工程材料试验。各章节的后面附有适量的习题。

本书采用最新国家标准或行业标准,可作为普通高等院校土建类专业教学用书,也可作为从事土木工程勘察、设计、施工、科研和管理等专业人士的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/刘娟红,梁文泉主编. —北京:机械工业出版社, 2013.5

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材
ISBN 978-7-111-41988-4

I. ①土… II. ①刘… ②梁… III. ①土木工程-建筑材料
IV. ①TU5

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第062397号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:马军平 责任编辑:马军平 林辉

版式设计:霍永明 责任校对:张玉琴

封面设计:张静 责任印制:张楠

北京玥实印刷有限公司印刷

2013年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·20印张·491千字

标准书号:ISBN 978-7-111-41988-4

定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前言

我国现阶段正经历着人类历史上最大规模的基础设施建设,土木工程材料的种类大幅度增加、性能明显提高,各类新技术、新工艺更是层出不穷。例如:结构工程材料的主体是指水泥基材料,尤其是混凝土,其理论和技术发生了革命性的变化,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建造能够使用几百年乃至上千年的建筑物以保护生态,造福子孙。本书向学生介绍土木工程材料的新技术、新知识,使毕业生能够尽快适应现代化工程建设的需要,并为新技术的推广做出贡献。

本书的编写得到了“十二五”期间高等学校本科教学质量与教学改革工程建设项目和北京科技大学教材建设的经费资助,着重培养学生分析与解决实际问题的能力。本书主要有以下突出特点:首先在各章节中有例题引导学生掌握理论知识,设有案例,使本书紧密结合工程和生产实际,体现学以致用、理论和实践相结合的精神。其次,本书基本达到“内容新、有特点、重应用、便于自学”的目的,可以引导土木工程专业学生掌握现代土木工程建设中的新材料、新技术及其相关理论与应用技术。第三,本书各章节内容体现了最新标准、规范和已经广泛应用的新成果,全面介绍了水泥、混凝土的全新知识体系。第四,本书排版突出基本概念和知识重点,使读者一目了然。

本书由刘娟红、梁文泉担任主编,徐国强、王信刚担任副主编。各章编写人员是:北京科技大学刘娟红(绪论、第1章、第3章部分内容、第4章、附录中试验I-IV),武汉大学梁文泉(第3章部分内容、第5章),河北联合大学徐国强(第2章、第8章、附录中试验V),南昌大学王信刚(第6章部分内容、第7章、附录中试验VI),天津大学李志国(第6章部分内容、第11章),北京科技大学陈德平(第10章),北京建筑工程学院王琴(第9章)。

由于土木工程材料发展迅速,新材料、新理论不断涌现,标准、规范繁多且更新快,加之编者水平所限,书中疏漏、不当之处恳请广大读者批评指正(E-mail: juanhong1966@ hot-mail. com)。

编者

目 录

前言		习题	152
绪论	1	第5章 砂浆	155
第1章 土木工程材料的基本性质	4	5.1 砂浆的组成材料	155
1.1 材料的基本物理性质	4	5.2 砌筑砂浆	156
1.2 材料的基本力学性质	12	5.3 抹面砂浆	162
1.3 材料的耐久性	15	5.4 特殊用途砂浆	164
1.4 材料的组成、结构和构造	17	5.5 干粉砂浆	166
习题	20	习题	168
第2章 气硬性胶凝材料	21	第6章 沥青及沥青混合料	169
2.1 石灰	21	6.1 石油沥青	169
2.2 石膏	26	6.2 煤沥青	176
2.3 水玻璃	29	6.3 改性石油沥青	178
2.4 镁质胶凝材料	31	6.4 沥青混合料的组成与性质	180
习题	32	6.5 沥青混合料的配合比设计	183
第3章 水泥	34	习题	192
3.1 硅酸盐水泥	34	第7章 墙体材料	193
3.2 掺混合材料的硅酸盐水泥	44	7.1 砌墙砖	193
3.3 常用水泥的选用与储运	49	7.2 砌块	197
3.4 铝酸盐水泥	50	7.3 墙板	199
3.5 其他品种水泥	52	习题	200
习题	53	第8章 建筑钢材	201
第4章 混凝土	55	8.1 概述	201
4.1 概述	55	8.2 建筑钢材的微观结构及化学组成	203
4.2 普通混凝土的组成材料	57	8.3 建筑钢材的力学性能和工艺性能	206
4.3 新拌混凝土的和易性	81	8.4 建筑钢材的牌号与选用	213
4.4 混凝土的力学性能	86	8.5 建筑钢材的腐蚀与防护	221
4.5 变形	93	习题	223
4.6 混凝土的耐久性	101	第9章 合成高分子材料	224
4.7 混凝土质量评定	108	9.1 合成高分子材料的基本知识	224
4.8 混凝土配合比设计	112	9.2 建筑塑料及其制品	227
4.9 轻质混凝土	125	9.3 建筑涂料	229
4.10 高性能混凝土	129	9.4 建筑防水材料	232
4.11 纤维增强混凝土	135	9.5 建筑胶粘剂	235
4.12 再生混凝土	139	9.6 土工合成材料	237
4.13 大体积混凝土	142	习题	239
4.14 喷射混凝土	147	第10章 建筑节能材料与功能材料	240
4.15 活性粉末混凝土	150	10.1 建筑节能材料	240

10.2 建筑防火材料	248	附录 常用土木工程材料试验	273
10.3 灌浆材料	251	试验 I 土木工程材料基本性质试验	273
10.4 吸声材料	254	试验 II 水泥试验	276
习题	257	试验 III 混凝土试验	285
第 11 章 石材与木材	258	试验 IV 砂浆试验	302
11.1 石材	258	试验 V 钢筋试验	304
11.2 木材	260	试验 VI 石油沥青	306
习题	272	参考文献	311

绪 论

土木工程材料是用于土木工程中的各种材料的总称,包括气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、墙体材料、钢材、沥青、沥青混合料、合成高分子材料、绝热材料、防火材料、吸声材料、木材和石材等,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”的概念,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,便更清晰地确立了土木工程材料的概念。

回顾土木工程材料的历史,就是回顾人类发展的足迹。我们的远古祖先茹毛饮血、混沌初开,岩洞穴居,和其他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,人类历史实现了一次重大的跨越,人类学会了用黏土烧制砖、瓦,用岩石烧制石灰石膏,这意味着土木工程材料进入了初期生产阶段,于是在西方有了古希腊文明和罗马的辉煌,在东方有了中华文明,有了大汉和盛唐。直到 18 世纪,我们可以称这段时期为“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,直至今日仍和我们为伴。18 世纪的欧洲工业革命像一声惊雷驱散两千年沉闷,将土木工程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,人类社会为之改变。20 世纪,人类迎来了土木工程材料的大发展,无论品种还是品质,土木工程材料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发展,可以说是日新月异、一日千里。

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,针对原子、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。

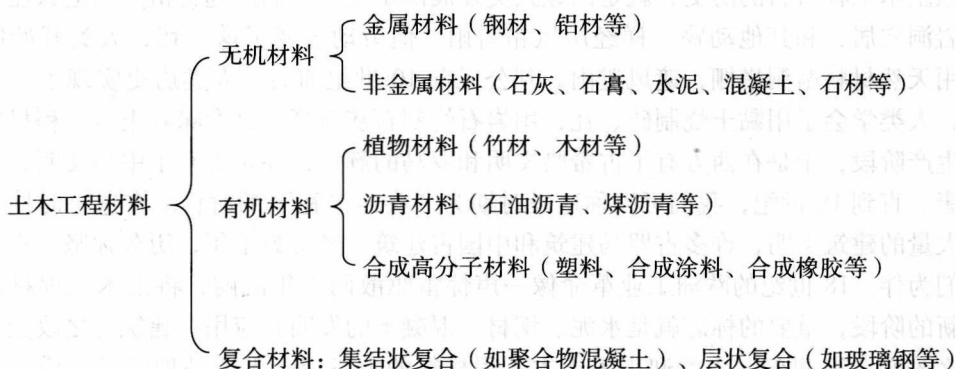
土木工程材料作为土木工程学科与材料学科交叉、渗透的产物,主要关注宏观尺度上材料的性能与行为,必要时则进一步探究材料细观尺度甚至微观尺度的组成与结构的特征。明确材料的组成、结构特征与宏观性能、行为的关系,可以为土木工程材料的工程应用和性能优化提供依据。因此,土木工程材料是一门实用性与学术性两方面特色都很突出的学科。

近年来在土木工程材料的研究应用中,已呈现出多学科结合的趋势,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、诊断、修复等,这些多学科结合也产生了一批复合型科技人才与工作岗位。在 21 世纪,人类必将通过不断拓展自己的活动空间和提高建筑质量来应对环境、资源的巨大挑战。将土木工程材料的开发和生产引到健康和可持续发展的轨道是我们不可推卸的

使命。绿色建材和高性能建材应得到优先发展。所谓绿色建材就是资源、能源消耗低,大量应用废弃资源,对环境和人友好无害,可以循环利用的土木工程材料。所谓高性能建材是指具备轻质、高强、耐久、智能或其他特殊应用性能的土木工程材料。

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,土木工程材料的作用是举足轻重的。首先,从工程造价上看,50%以上用于购买土木工程材料,并且随着建筑级别和档次的提高,材料费用所占比例不断提高。其次,正确使用土木工程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和土木工程材料的不恰当应用有关。土木工程材料选择不当、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。最后,土木工程材料的质量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。

土木工程材料各式各样,按化学成分可将其划分为无机材料、有机材料与复合材料三大类,如下所示:



近年来,在我国大规模工程建设的拉动下,主要土木工程材料的产量快速增长。2011年我国水泥产量为20.8亿t;占世界水泥产量的60%;我国钢材产量为8.81亿t,居世界首位。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50%~60%。我国拥有很大的土木工程材料产业,但我国的土木工程材料产业并不强,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,可以说我国土木工程材料产业是“大而不强”。我国土木工程材料产业发展的出路在于: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。

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定符号分别是: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)、德国工业标准(DIN)、日本工业标准(JIS)等。

“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”等课程的学习建立必要的基础知识,使学生毕业后在设计、施工、监理、检测等工作中能够合理选用土木工程材料,为其今后从事土木工程结构与材料

等方向的科学研究准备必要的基础知识。

土木工程材料种类繁多,涉及面广,内容庞杂,且各类自成体系。土木工程材料发展迅速,新材料、新工艺不断涌现;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;授课课时数少等,这些原因使得本课程看似容易,实则不易掌握,“一听就能懂,一考就不会”。在此,希望同学们在学习过程中注意以下几点:①要做好课堂笔记,并注意听讲;②及时复习课上讲授的课程重点、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利用习题和网络课件强化所学知识。总之,同学们要做到“听好课,多练习”。

第 1 章 土木工程材料的基本性质

【本章提要】土木工程材料的基本性质包括基本物理性质、基本力学性质、耐久性、材料的组成及结构等。土木工程材料遭受不同的作用，就需具备不同的性质。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

建筑物中的各类土木工程材料都要受到各种物理、化学、生物作用。例如，承重结构中的材料，要受到内力、外力的作用；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的土木工程材料，除受到化学侵蚀、生物作用外，还会受到干湿循环、冻融循环等作用。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。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，为了确保工程结构能安全、经济、美观、耐久，要求我们掌握材料的性质，了解材料的组成、结构，从而合理地选用土木工程材料。

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 ——材料在干燥状态下的质量 (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 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 $7.50 \sim 9.00 \text{g}/\text{cm}^3$ ；硅铝酸盐的密度多为 $1.80 \sim 3.30 \text{g}/\text{cm}^3$ ；有机高分子材料的密度小于 $2.50 \text{g}/\text{cm}^3$ 。同为碳原子组成，石墨的分子结构较松散，密度为 $2.20 \text{g}/\text{cm}^3$ ，而金刚石极为坚实，密度高达 $3.50 \text{g}/\text{cm}^3$ 。

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)。

材料的表观体积是指包含内部孔隙的体积。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,按式(1-2)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,按式(1-2)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。未注明含水情况时常指气干状态。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,故一般密度 > 表观密度 > 堆积密度。土木工程中常用材料密度、表观密度和堆积密度见表 1-1。

表 1-1 土木工程中常用材料密度、表观密度和堆积密度

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	1600 ~ 2400	1400 ~ 1700 (碎石)
花岗石	2.7 ~ 3.0	2500 ~ 2900	—
砂	2.5 ~ 2.6	—	1450 ~ 1650
黏土	2.5 ~ 2.7	—	1600 ~ 1800
粉煤灰	1.95 ~ 2.40	—	550 ~ 800
水泥	2.8 ~ 3.1	—	1250 ~ 1600
普通混凝土	—	1900 ~ 2500	—

(续)

材料名称	密度/(g/cm ³)	表观密度/(kg/m ³)	堆积密度/(kg/m ³)
空心砖	2.6~2.7	—	1000~1400
玻璃	2.45~2.55	2450~2500	—
红松木	1.55~1.60	400~500	—
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

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

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

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

即

$$P + D = 1 \quad (1-6)$$

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。开口孔隙是指材料内部孔隙不仅彼此互相贯通, 并且与外界相连。开口孔隙除对吸水、透水、吸声有利外, 对材料的强度、抗渗、抗冻和耐久性均不利。闭口孔隙是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热导率, 使材料具有轻质绝热性能, 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_{OP} 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 50~200 μm , 最大甚至达到 1mm 以上; 毛细孔的孔径范围为 2.0nm~20 μm , 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 20nm 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

材料的填充率与空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, 计算式如下

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

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

算式如下

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (1-8)$$

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,空隙率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(见图1-1),在材料、水和空气的三相交点处,沿水滴表面的切线与水与固体接触面所形成的夹角 θ ,称为润湿边角, θ 角越小,浸润性越好。如果润湿边角 θ 为零,表示材料完全被水所浸润。一般认为,当 $\theta \leq 90^\circ$ 时为亲水性材料,材料分子与水分子之间的亲和作用力大于水分子间的内聚力,材料表面易被水润湿;当材料润湿边角 $\theta > 90^\circ$ 时,为憎水性材料,材料分子与水分子之间的亲和作用力小于水分子间的内聚力,材料表面不易被水润湿。

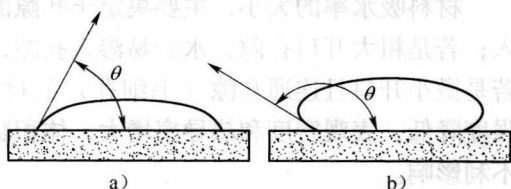


图1-1 材料润湿边角

a) 亲水性材料 b) 憎水性材料

土木工程中的多数材料(如钢筋、集料、砌块、砂浆和混凝土、木材等)属于亲水性材料;多数高分子有机材料(如塑料、沥青、石蜡等)属于憎水性材料。憎水性材料的表面不易被水润湿,适宜作防水材料和防潮材料;此外还可用于涂覆亲水性材料表面,以改善其耐水性能,这样外界水分难以渗入材料的毛细管中,从而能降低材料的吸水性及渗透性。

2. 材料的吸水性及吸湿性

1) 材料与水接触时吸收水分的性质为吸水性。吸水性的用吸水率表示,吸水率分为质量吸水率和体积吸水率。

质量吸水率指材料吸水饱和时所吸入水分质量占材料干燥状态下质量的百分率,计算式如下

$$w_m = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中 w_m ——材料吸水率(%);

m_1 ——材料吸水饱和状态下的质量(g或kg);

m ——材料在干燥状态下的质量(g或kg)。

体积吸水率是材料吸水饱和时所吸水分的体积占材料自然状态下体积的百分率,计算式如下

$$w_v = \frac{m_1 - m}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中 w_v ——材料吸水率 (%)；

m_1 ——材料吸水饱和状态下的质量 (g 或 kg)；

m ——材料在干燥状态下的质量 (g 或 kg)；

V_0 ——材料在自然状态下的体积 (cm^3 或 m^3)；

ρ_w ——水的密度，常温下取 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 或 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

材料的质量吸水率与体积吸水率的关系为

$$W_m = W_v \times \frac{\rho_w}{\rho_0} \quad (1-12)$$

式中 ρ_0 ——材料在干燥状态下的表观密度 (g/cm^3)。

材料吸水率的大小，主要决定于孔隙的孔隙特征。如果材料具有闭口孔隙，水分不易进入；若是粗大开口孔隙，水分易渗入孔隙，但材料孔隙表面仅被水湿润，不易在空中留存；若是微小开口且连通孔隙（毛细孔）的材料，则具有强的吸水能力。材料吸水会使材料的强度降低，表观密度和热导率增大，体积膨胀，因此，吸水这种行为往往可对材料性质产生不利影响。

由于孔隙率和孔隙结构不同，各种材料的吸水率相差很大，如花岗石等致密岩石的吸水率仅为 $0.5\% \sim 0.7\%$ ，普通混凝土为 $2\% \sim 3\%$ ，黏土砖为 $8\% \sim 20\%$ ，而加气混凝土、软木轻质材料吸水率常大于 100% 。

2) 材料在潮湿的空气中吸收水分的性质为吸湿性。吸湿性的大小用含水率表示，计算式如下

$$w_k = \frac{m_k - m}{m} \times 100\% \quad (1-13)$$

式中 w_k ——材料含水率 (%)；

m_k ——材料在吸湿状态下的质量 (g 或 kg)；

m ——材料在干燥状态下的质量 (g 或 kg)。

含水率是材料所含水的质量占材料干燥质量的百分率。材料含水率不仅与材料本身的孔隙率有关，还与大气温度和湿度有关。在一定的温度和湿度条件下，材料与空气湿度达到平衡时的含水率称为材料的平衡含水率。材料吸湿后，也将对材料性质产生一系列不良影响，如表观密度增大、体积膨胀、强度下降、保温性能降低、抗冻性变差等，所以材料的含水状态对材料性质有很大影响。

3. 材料的耐水性

材料在饱和水的长期作用下维持不破坏而且强度也不明显降低的性质称为耐水性。水对材料的力学性质、光学性质、装饰性等多方面均有劣化作用，但习惯上将水对材料的力学性质及结构性质的劣化作用称为耐水性，也称为狭义耐水性。材料的耐水性用软化系数表示，计算式如下

$$K_R = \frac{f_1}{f_0} \quad (1-14)$$

式中 K_R ——材料的软化系数；

f_1 ——材料在吸水饱和状态下的抗压强度 (MPa);
 f_0 ——材料在干燥状态下的抗压强度 (MPa)。

水分子进入材料后,会在材料表面力的作用下产生定向吸附,产生劈裂破坏作用;材料可能发生吸水膨胀,导致开裂破坏;材料内部某些可溶性物质发生溶解,材料孔隙率增加。以上这些都将使材料的强度有不同程度的降低,如花岗石长期浸泡在水中,强度将下降3%,黏土砖和木材吸水后强度降低更大。所以,材料软化系数在0~1之间,钢铁、玻璃、陶瓷近似于1,石膏、石灰的软化系数较低。通常认为软化系数大于0.85的材料为耐水材料。

根据建筑物所处的环境,软化系数成为选择材料的重要依据。长期受水浸泡或处于潮湿环境的重要建筑物,必须选用软化系数不低于0.85的材料建造,受潮较轻或次要建筑物的材料,其软化系数也不宜小于0.75。

4. 材料的抗渗性

材料的抗渗性是指材料抵抗压力水渗透的性质。材料的抗渗性用渗透系数或抗渗等级来表示。对于防潮、防水材料,如油毡、瓦、沥青、沥青混凝土等材料,常用渗透系数 K 表示其抗渗性,计算式如下

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-15)$$

式中 K ——材料的渗透系数 (cm/h);

Q ——渗水量 (cm^3);

d ——试件厚度 (cm);

A ——渗水面积 (cm^2);

t ——渗水时间 (h);

H ——静水压力水头 (cm)。

渗透系数越小,材料抗渗性也越好。

对于砂浆、混凝土等材料,常用抗渗等级 P 表示其抗渗性。抗渗等级是以在标准试验条件下,规定的一组六个试件所能承受的最大水压力来确定的,试验从水压为0.1MPa开始,以后每隔8h增加水压0.1MPa,并且要随时注意观察试件端面的渗水情况。当六个试件中有三个试件端面有渗水现象时,或加至规定压力(设计抗渗等级)在8h内六个试件中表面渗水试件少于三个时,即可停止试验,记下当时的水压。在试验过程中,如发现水从试件周边渗出,则应停止试验,重新密封。抗渗等级 P 以每组六个试件中四个未出现渗水时的最大水压力计算,其计算式为

$$P = 10H - 1 \quad (1-16)$$

式中 P ——抗渗等级;

H ——六个试件中三个渗水时的水压力 (MPa)。

若加压至规定数值,在8h内,六个试件中表面渗水的试件少于三个,则试件的抗渗等级等于或大于规定值。

材料抗渗性与材料的孔隙率、孔隙特征及亲水性、憎水性有密切关系。微细连通孔、开口大孔,水易渗入,材料的抗渗性能差;闭口孔隙,水不易渗入,材料的抗渗性能良好;微细连通孔,如材料属憎水性的,则水不易渗入,材料的抗渗性能较好。良好的抗渗性是材料

满足使用性质和耐久性的重要因素。地下建筑、基础、压力管道和容器、水工构筑物等,因受到压力水的作用,故它们对材料抗渗性的要求较高。防水材料的抗渗性是检验产品的重要指标。材料抵抗其他液体渗透的性质,也属于抗渗性,如储油罐则要求材料具有良好的抗渗油性能。

5. 材料的抗冻性

材料的抗冻性是指材料在吸水饱和状态下,能抵抗多次冻融循环作用而不破坏,同时强度也不严重降低的性质,用抗冻等级来表示。材料抗冻等级是用材料在吸水饱和状态下,经一定次数的冻融循环作用,其强度损失率不超过 25% 且质量损失率不超过 5%,并无明显损坏和剥落时所能抵抗的最多冻融循环次数来确定,符号为 D,如 D25、D50、D100 等,分别表示在经受 25、50、100 次的冻融循环后仍可满足使用要求。烧结普通砖、陶瓷面砖等墙体材料一般要求抗冻等级为 D15 或 D25。

对于抗冻性要求高的混凝土可用快冻法来测定其抗冻性能,确定抗冻等级。混凝土试件在吸水饱和状态下,按规定测其横向基频的初始值;在规定的冻融循环条件下,每隔 25 次循环做一次横向基频测量。冻融达到以下三种情况之一时即可停止试验:①冻融至规定的循环次数;②相对动弹性模量下降至初始值的 60%;③质量损失率达 5%。混凝土试件的相对动弹性模量可按式计算

$$P = \frac{f_n^2}{f_0^2} \quad (1-17)$$

式中 P ——经 n 次冻融循环后试件的相对动弹性模量 (%);

f_n —— n 次冻融循环后试件的横向基频 (Hz);

f_0 ——冻融循环试验前测得的试件横向基频初始值 (Hz)。

混凝土试件冻融后的质量损失率按下式计算

$$\Delta W_n = \frac{G_0 - G_n}{G_0} \times 100\% \quad (1-18)$$

式中 ΔW_n —— n 次冻融循环后试件的质量损失率 (%);

G_0 ——冻融循环试验前的试件质量 (kg);

G_n ——经 n 次冻融循环后的试件质量 (kg)。

混凝土相对动弹性模量值下降至初始值的 60% 或质量损失率达 5% 时,即可认为试件已破坏,并以相应的冻融循环次数作为该混凝土的抗冻等级,以 F 表示。若冻融至规定的循环次数,而相对动弹性模量值或质量损失率均未达到上述指标,可认为混凝土的抗冻性已满足设计要求。用于桥梁和道路的混凝土材料应为 F100、F150 或 F250,而水工混凝土要求高达 F500。

材料在冻融循环作用下产生破坏主要是因材料内部孔隙中的水分结冰引起的。水结冰时体积膨胀约 9%,对材料孔壁产生巨大的压力而使孔壁开裂,使材料内部产生裂纹,强度下降。所以,材料的抗冻性与材料的强度、孔隙构造及冻结条件(冻结温度、冻结速度、冻融循环频率)有关。

抗冻性良好的材料,具有较强的抵抗温度变化、干湿交替等风化作用的能力,所以,抗冻性常作为考查材料耐久性的一个指标。寒冷地区和寒冷环境的建筑必须选择抗冻性好的材料;处于温暖地区的建筑物,虽无冻害作用,为抵抗大气的风化作用,确保建筑物的耐久

性,对材料也常提出一定的抗冻性要求。

1.1.5 材料的热工性质

土木工程材料除应满足强度和其他性能的要求外,还要考虑材料的热工性质,使建筑结构具有保温和隔热的性质,以达到节约建筑使用能耗,维持室内温度的目的。

1. 材料的导热性

导热性是指材料将热量从温度高的一侧传递到温度低的一侧的能力,用热导率表示,即厚度为1m的材料,当温度改变1K时,在1s时间内通过1m²面积的热量,计算式如下

$$\lambda = \frac{Q\delta}{At(T_2 - T_1)} \quad (1-19)$$

式中 λ ——热导率 [W/(m·K)];

Q ——传导的热量 (J);

δ ——材料的厚度 (m);

A ——材料的热传导面积 (m²);

t ——热传导时间 (h);

$T_2 - T_1$ ——材料两侧的温度差 (K)。

热导率小的材料,导热性差,绝热性好,通常将 $\lambda \leq 0.23 \text{ W/(m·K)}$ 的材料称为绝热材料。为了提高建筑物的保温效果,节省温控能耗,房屋建筑的围护结构应尽量采用热导率小的材料。

影响材料热导率大小的因素有物质构成、微观结构、孔隙率与孔隙特征、温度、湿度与热流方向等。固体热导率最大,液体次之,气体最小,材料孔隙率越大,尤其是闭口孔隙率越大,热导率越小,材料吸湿受潮或冰冻后热导率增大,故对绝热材料要注意防潮。

2. 材料的热阻

热阻是指热量通过材料层时所受到的阻力,即材料层厚度 δ 与热导率 λ 的比值, $R = \delta/\lambda$ 。在同样的温差条件下,热阻越大,通过材料层的热量越少。热阻或热导率是评定材料绝热性能的主要指标。

3. 材料的热容量

热容量是指材料受热时吸收热量、冷却时放出热量的性质,用比热容 c 表示,即单位质量的材料,当温度升高或降低1K时所吸收或放出的热量,计算式如下

$$c = \frac{Q}{m(T_1 - T_2)} \quad (1-20)$$

式中 c ——材料的比热容 [kJ/(kg·K)];

Q ——材料的热容量 (kJ);

m ——材料的质量 (kg);

$T_1 - T_2$ ——材料受热或冷却前后的温度差 (K)。

比热容 c 与材料质量 m 的乘积为热容量。材料的热容量对保持室内温度的稳定、减少能耗、冬期施工等有很重要的作用。

热导率表示热量通过材料传递的速度,热容量或比热容表示材料内部存储热量的能力。对于建筑物围护结构所用材料,设计时应选择热导率较小而热容量较大的材料,来达到冬季