

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



TUMUGONGCHENG CAILIAO

土木工程材料

董梦臣 主 编
赵 建 叶成杰 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

TU5/81

2008

普通高等教育“十一五”规划教材

UTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



TUMUGONGCHENG CAILIAO

土木工程材料

主 编 董梦臣
副主编 赵 建 叶成杰
编 写 于顺达 宫克勤 郑秀梅
主 审 朱宏军



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。全书共十三章，主要内容包括土木工程材料的基本性质、天然石材、无机气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、金属材料、墙体材料及屋面材料、沥青及沥青混合料、合成高分子材料、防水材料、土木工程装饰材料、绝热材料和吸声材料及土木工程材料试验等。本书编写时采用了最新技术标准，并有代表性地介绍了土木工程材料的新技术和发展方向，应用性强、适用面宽。

本书可作为土木工程类各专业教材，也可作为建筑工程技术类专业教学用书，还可作为土木工程设计、施工、科研、工程管理和监理人员学习参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程材料/董梦臣主编. —北京: 中国电力出版社,
2008

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 6810 - 8

I. 土… II. 董… 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 (2008) 第 029353 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 4 月第一版 2008 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17 印张 413 千字

定价 27.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

本书以高等学校土木工程专业委员会制订的土木工程材料教学大纲为基本依据,在原建筑工程专业的基础上拓宽并覆盖了交通土建工程、工程管理、建筑学、矿井建设等专业的内容,并加强了本课程与其他专业课程的有机沟通,用系统的观点和方法设计了本教材。在编写过程中紧密结合现代人才培养模式改革,对拓宽专业基础、提高学生综合素质、增强学生创新能力将起到一定的作用。

土木工程材料是一门重要的技术基础课,主要介绍了各类土木工程材料的性质、用途、制备和使用方法,以及这些材料的质量检测和质量控制方法,工程材料性质和结构的关系及改善性能的方法。通过对本课程的学习,可学会根据工程特点,合理选择和正确使用材料,并能与后续课程密切配合,了解材料与设计参数、施工措施的相关关系。

本书在编写过程中力求理论联系实际,涉及土木工程材料的规范均采用了最新颁布的技术标准和规范,并且与工程实际相结合,在内容上尽可能的反映本学科国内外的新成果。

本书由董梦臣任主编,赵建、叶成杰任副主编,全书由董梦臣统稿。各章的编写人员是:董梦臣编写绪论及第四章至第六章,赵建编写第三章、第七章、第十二章及土木工程材料试验,叶成杰编写第一章、第二章、第八章、第九章,于顺达编写第十章,郑秀梅编写第十一章,宫克勤编写第十三章。

全书由北方工业大学朱宏军教授审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,本书难免有不足之处,欢迎读者批评指正。

目 录

前言

绪论	1
第一节 土木工程材料在建设工程中的地位和作用	1
第二节 土木工程材料发展的现状和趋势	1
第三节 土木工程材料的分类及技术标准	2
第四节 学习本课的目的、任务和基本要求	3
第一章 土木工程材料的基本性质	4
第一节 材料的基本物理性质	4
第二节 材料的力学性质	10
第三节 材料的耐久性	14
第四节 材料的组成、结构和构造	14
复习思考题	16
第二章 天然石材	18
第一节 天然石材的形成和分类	18
第二节 天然石材的技术性质	21
第三节 土木工程常用石材的选用原则	23
复习思考题	28
第三章 无机气硬性胶凝材料	29
第一节 石膏	29
第二节 石灰	32
第三节 水玻璃	35
第四节 菱苦土	36
复习思考题	37
第四章 水泥	38
第一节 水泥概述	38
第二节 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥	40
第三节 掺大量混合材料的硅酸盐水泥	50
第四节 其他品种水泥	55
复习思考题	58
第五章 混凝土	60
第一节 普通混凝土的组成材料	61
第二节 普通混凝土的主要技术性质	79
第三节 混凝土的变形性能	91
第四节 混凝土的耐久性	94

第五节 混凝土质量波动与混凝土配制强度	99
第六节 普通混凝土的配合比设计	102
第七节 其他种类混凝土	108
复习思考题	113
第六章 建筑砂浆	115
第一节 砂浆的组成材料	115
第二节 砂浆的主要技术性质	116
第三节 砌筑砂浆	119
第四节 其他建筑砂浆	122
复习思考题	125
第七章 金属材料	127
第一节 钢材的生产与分类	127
第二节 钢材的技术性质	129
第三节 钢材的组织、化学成分及其对钢材性能的影响	133
第四节 钢材的冷加工、时效及热处理	135
第五节 土木工程用钢的标准与选用	137
第六节 钢材的锈蚀与防止	144
第七节 铝及铝合金	145
复习思考题	147
第八章 墙体材料及屋面材料	148
第一节 墙体材料	148
第二节 屋面材料	160
复习思考题	162
第九章 沥青及沥青混合料	163
第一节 沥青材料	163
第二节 石油沥青的老化与改性	172
第三节 沥青混合料	176
第四节 沥青混合料配合比设计方法	183
复习思考题	188
第十章 合成高分子材料	189
第一节 高分子化合物概述	189
第二节 聚合物的结构与性能特点	190
第三节 常用的聚合物	191
第四节 建筑塑料	195
第五节 胶粘剂及合成材料	198
复习思考题	200
第十一章 防水材料	201
第一节 防水卷材	201
第二节 防水涂料	206

第三节 建筑密封材料	209
复习思考题	210
第十二章 土木工程装饰材料	211
第一节 概述	211
第二节 石膏装饰材料	212
第三节 建筑装饰陶瓷	214
第四节 建筑装饰玻璃制品	218
第五节 纤维装饰织物和制品	221
第六节 建筑涂料	223
第七节 建筑装饰塑料制品	226
第八节 木材装饰制品	228
第九节 金属装饰制品	230
复习思考题	232
第十三章 绝热材料和吸声材料	233
第一节 绝热材料	233
第二节 吸声材料	235
复习思考题	238
附录 土木工程材料试验	239
试验一 土木工程材料的基本性质试验	239
试验二 水泥试验	240
试验三 混凝土用骨料试验	245
试验四 普通混凝土试验	249
试验五 砂浆试验	253
试验六 墙体材料试验	255
试验七 钢材试验	258
试验八 沥青试验	260
参考文献	264

绪 论

第一节 土木工程材料在建设工程中的地位和作用

土木工程材料是指应用于土木工程建设中的任何材料和制品的总称。土木工程材料品种繁多,作用和功能各异,材料作为土木工程建设中的物质基础,对土木工程的发展起着重要作用。

土木工程材料的发展离不开土木工程技术的进步,同时土木工程技术的进步又依赖于土木工程材料的发展。新型土木工程材料的诞生推动了土木工程设计理论和施工技术的更新,而新的设计理论和施工技术又对土木工程材料提出了更高的要求,从而促进新材料的诞生和发展。土木工程材料的生产及其科学技术的发展,对构建和谐建设和建设节约型、环保型国家具有非常重要的意义。

土木工程含建筑工程、道路工程、桥梁工程、隧道工程、港口工程、水利工程及市政工程等多种类别,每一类别的工程从实施到动工都离不开土木工程材料的使用。土木工程材料的选用直接影响着工程的造价,同时材料的性能直接影响着工程的质量、工程的耐久性能和使用功能。因此,工程技术人员必须了解和掌握土木工程材料的有关知识,材料决定建筑形式和施工方法,新材料的使用推动建筑形式、结构设计和施工技术的革新。

第二节 土木工程材料发展的现状和趋势

纵观土木工程材料的发展历史,从人类原始社会“穴居巢处”到出现“版筑建筑”为止,这一时期均采用天然材料;到了封建社会出现了“秦砖汉瓦”,土木工程材料才开始有了人工烧制和雕琢的痕迹,但这一时期的结构材料仍仅限于使用砖、石、木材;到了18、19世纪,由于社会和经济的发展,旧的建筑材料已不能满足工程结构的需要,在科学技术的配合下,土木工程材料进入了一个全新的发展阶段,相继出现了钢材、水泥、混凝土、钢筋混凝土和预应力混凝土及其他材料;进入20世纪后,材料科学与工程的形成和发展使土木工程材料有了长足的发展,出现了塑料、涂料、建筑陶瓷、玻璃、复合材料、绝热材料、吸声材料、耐热防火材料、防水抗渗材料等功能各异和品种多样的新材料。

社会在发展,人类在进步,当人们意识到节约能源、保护生态、爱护环境时,有效地利用资源、全面地改善人类的生存空间成为人们亟待解决的课题。在工程建设中,要求材料的使用要最大限度地节约有限资源,充分利用可再生资源,甚至变废为宝。在材料生产工艺上、性能上及产品的形式上要实现可持续发展。不仅要筹谋当世发展,更要顾及后世子孙。

轻质、高强、耐久、多功能、高性能、高机械化施工将成为土木工程材料发展的主要方向。当前具有自感知、自调节、自修复功能的土木工程材料的开发和研制,以及各种机敏或智能材料在土木工程中应用的研究也正在蓬勃开展。

第三节 土木工程材料的分类及技术标准

土木工程材料的分类方法有很多,根据材料来源可以分为天然材料和人工材料;根据使用功能可以分为结构材料、非结构材料、保温材料、吸声(隔声)材料、防水材料、耐热防火材料、装饰材料、防腐材料、采光材料等;根据在工程中的使用部位不同可以分为墙体材料、屋面材料、地面材料、装饰材料等。但为了便于土木工程材料的定性研究我们常根据土木工程材料的化学组成进行划分,通常分为无机材料、有机材料和复合材料三大类,各大类中又可细分,如图 0-1 所示。

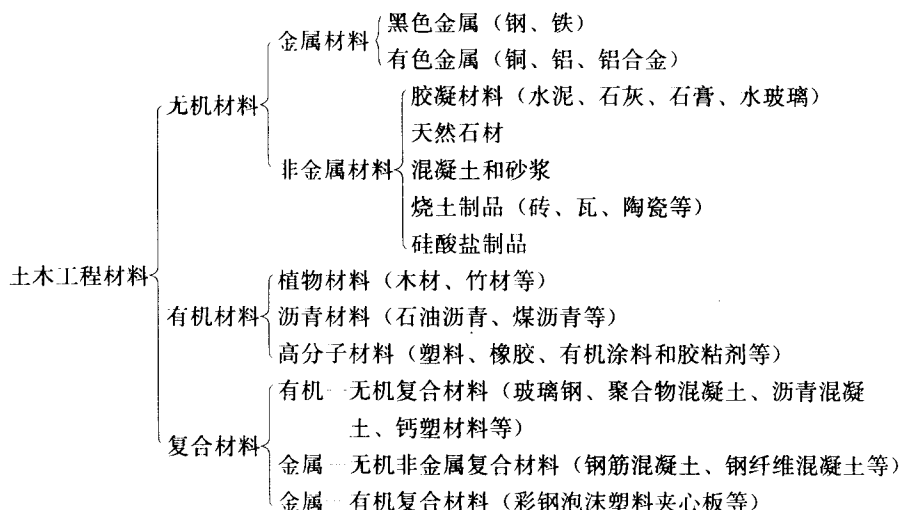


图 0-1 土木工程材料的分类

土木工程材料的技术标准是生产和使用单位检验并确认产品质量是否合格的技术文件。为了保证材料的质量,必须对材料产品的技术要求制订统一的执行标准,其内容主要包括产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、标志、运输和储存注意事项等方面。我国的技术标准分为四级,即国家标准、部级标准、地方标准和企业标准。技术标准的表示方法由标准名称、代号、标准号、标准颁布年代号组成。国家标准代号为 GB(强制性标准)和 GB/T(推荐标准);建工行业标准代号为 JG;水利行业标准代号为 SL;电力行业标准代号为 DL;交通行业标准代号为 JT;冶金行业标准代号为 YB;国家建材局标准代号为 JC;企业标准代号为 QB 等。如 2003 年颁布的国家推荐性 5101 号建筑用烧结普通砖标准为《烧结普通砖》(GB/T 5101—2003),建设部 2006 年颁布的 52 号行业标准为《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52—2006)及国家标准《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥》(GB 200—2003)等。随着建筑材料科研及生产的发展,建筑材料技术标准也不断变化。根据需要国家每年都发布一批新的技术标准,修订或废止一些旧的标准。

此外,世界各国均有自己的国家标准,如,BS 为英国标准,JIS 为日本国家标准,DIM 为德国标准,NF 为法国标准。在世界范围内统一执行的标准为国际标准,其代号为 ISO。

标准是根据一个时期的技术水平制订的,随着科学技术的发展,标准也在不断变化,应根据技术发展的速度与要求不断进行修订。

第四节 学习本课的目的、任务和基本要求

本课程是土木工程专业的专业基础课。学习本课程的目的在于使学生获得有关土木工程材料科学的基础理论、基本知识和基本技能。为后续课程,如砖石砌体结构、混凝土结构、钢结构、组合钢结构、房屋建筑学、建筑工程施工等专业课程提供建筑材料的基础知识;为以后将要从事土木工程建设工作的技术人员认识与掌握材料的有关性质和正确使用材料打下良好的基础,同时为材料科学的专门研究打下必要的基础。

在本教材中重点介绍了土木工程材料的一些基本性质,在此基础上本书重点介绍了当前土木工程中常用的材料,如砖、砌块、石材、石灰、石膏、水玻璃、各种水泥、混凝土、建筑砂浆、钢材、沥青、塑料、绝热材料、吸声材料及装饰材料等。

土木工程材料的研究是一种以生产实践和科学实验为基础的实践性很强的科学,因而实验课是本课程的重要环节。通过实验可以使学到的基础理论得以验证,可以学会和掌握鉴定材料性质和性能的基本试验方法。

根据以上教学目的和任务,对学习本门课程应提出如下基本要求。

(1) 以材料的技术性质、质量检验及其在工程中的应用为重点,并须注意材料的成分、构造、生产过程等对其性能的影响,掌握各项性能间的有机联系。

(2) 对一些在土木工程中需现场配制的材料,如砂浆、混凝土等应掌握配制材料的配合设计原理及方法。

(3) 教学过程中,必须贯彻理论联系实际的原则,教师应多结合工程实例进行讲授,同时重视试验课及习题作业。

建筑材料种类繁多,内容庞杂,在学习中要避免死记硬背,要注意理解、抓住重点,着重学好各种材料的性质与应用,以及材料的技术要求。

第一章 土木工程材料的基本性质

土木工程材料作为建设工程的物质基础,所表现出来的基本性质直接影响工程结构的可靠、耐久和使用性能。这些材料所使用的环境不同,所起的作用也各不相同,因此,对于不同的土木工程必须选择合适的材料,才能达到不同的使用要求。

土木工程材料的性质就是在实际使用过程中材料所表现出来的基本属性。如力学性能、耐久性能、保温、隔热、防水、防潮、防腐性能等。这些性质都是我们选择、应用、分析材料时的依据。这些繁多的性质又是工程技术人员在工程设计和施工过程中必须掌握的内容,土木工程材料使用过程中应严格、慎重地选取,使其充分发挥性能优势。所以掌握土木工程材料性质和性能特点是土木工程专业学习、合理选择和使用材料的基础。

第一节 材料的基本物理性质

一、材料的密度、表观密度与堆积密度

1. 密度

材料在绝对密实状态下单位体积的质量。按式(1-1)计算

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

式中 ρ — 密度, g/cm^3 ;

m — 材料的质量, g ;

V — 材料在绝对密实状态下的体积, cm^3 。

绝对密实状态下的体积是指不包括孔隙在内的体积。除了钢材、玻璃等少数材料外绝大多数材料都有一些孔隙。测定有孔隙材料的密度时,应将材料磨成一定细度的细粉,干燥后,用李氏瓶测定其体积。砖、石材等都用这种方法测定其密度。

土木工程中,砂、石等材料内部有些与外部不连通的孔隙,使用时既无法排除,又没有物质进入,在密度测定时,直接以块状材料为试样,以排液置换法测量其体积,近似作为其绝对密实状态的体积,并按式(1-1)计算,这时所求得的密度称为近似密度(ρ_a)。

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。按式(1-2)计算

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

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 — 材料在自然状态下的体积,或称表观体积, cm^3 或 m^3 。

材料的表观体积是指包含内部孔隙的体积。当材料内部孔隙含水时,其质量和体积均会发生变化,故测定材料的表观密度时,应注意其含水情况。测定表观密度时,是将材料在规

定条件下干燥至恒重时的质量和体积之比。一般情况下，表观密度是指气干（长期在空气中干燥）状态下的表观密度。

3. 堆积密度

堆积密度是指散粒材料（粉状或粒状材料），在堆积状态下单位体积的质量。按式（1-3）计算

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \tag{1-3}$$

式中 ρ'_0 堆积密度，kg/m³；
 m 材料的质量，kg；
 V'_0 材料的堆积体积，m³。

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，其堆积体积是指材料所占容器的容积。因此，材料的堆积体积包含了颗粒之间的空隙。

在土木工程中，计算材料的用量、构件的自重、配料计算以及确定材料的堆放空间时，经常需用到密度、表观密度和堆积密度等数据。常用土木工程材料的有关数据见表 1-1。

表 1-1 常用土木工程材料的密度、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	7.85	—	—
花岗岩	2.70~3.00	2500~2900	—
石灰石（碎石）	2.40~2.60	1600~2400	1400~1700
砂	2.50~2.60	—	1450~1650
粘土	2.50~2.70	—	1600~1800
水泥	2.80~3.10	—	1250~1600
烧结普通砖	2.60~2.70	1600~1900	—
烧结多孔砖	2.60~2.70	900~1450	—
普通混凝土	—	1950~2500	—
红松木	—	400~500	—
泡沫塑料	—	20~50	—
粉煤灰（气干）	1.95~2.40	1600~1900	550~800
普通玻璃	2.70~2.90	2700~2900	—

二、材料的孔隙率、密实度、空隙率与填充率

1. 孔隙率

孔隙率是指材料内部孔隙体积占总体积的百分率（P）。按式（1-4）计算

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \tag{1-4}$$

2. 密实度

密实度是指材料的体积内被固体物质充实的程度（D）。按式（1-5）计算

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% \tag{1-5}$$

3. 空隙率

空隙率是指散粒材料堆积体积中, 颗粒间空隙体积占总体积的百分率 (P')。按式 (1-6) 计算

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

4. 填充率

填充率是指散粒材料堆积体积中, 颗粒填充的程度 (D')。按式 (1-7) 计算

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

三、材料与水有关的性质

(一) 材料的亲水性与憎水性

土木工程中不论是建筑物还是构筑物, 它们常与水或大气中的水汽相接触。水分与不同的材料表面接触时, 其作用的结果表现不同, 会产生如图 1-1 所示的两种情况。这是由于材料与水之间的分子亲和力大于或小于水本身分子间的内聚力所造成的。

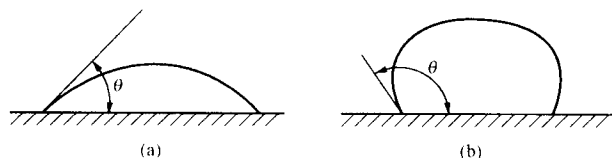


图 1-1 材料润湿示意图

(a) 亲水材料; (b) 憎水材料

如图 1-1 所示, 在材料、水和空气的交点处, 沿水滴表面的切线与水和固体接触面所成的夹角 (θ) 称为润湿边角。润湿边角 θ 越小, 浸润性越好。一般认为, 当 $\theta \leq 90^\circ$ 时, 材料与水之间的分子亲和力大于水本身分子间的内聚力, 此种材

料称为亲水性材料 [图 1-1 (a)]。当 $\theta > 90^\circ$ 时, 材料与水之间的分子亲和力小于水本身分子间的内聚力, 材料表面不会被水浸润, 此种材料称为憎水性材料 [图 1-1 (b)]。这一概念也可用于其他液体对固体材料表面的浸润情况, 相应的称为亲液材料或憎液材料。

亲水性材料易被水润湿, 且水能通过毛细管作用而被吸入材料内部。憎水性材料则能阻止水分渗入毛细管中, 从而降低材料的吸水性。因此, 憎水性材料常被用作防水材料。大多数土木工程材料, 如砖、木、混凝土等均属于亲水性材料; 沥青、石蜡等则属于憎水性材料。

(二) 材料的吸水性与吸湿性

1. 吸水性

吸水性是指材料在水中能吸收水分的性质。材料的吸水性大小用吸水率表示。吸水率有两种表示方法, 即质量吸水率和体积吸水率。

(1) 质量吸水率。质量吸水率是指材料吸水饱和时, 其内部所吸收水分的质量与材料干燥质量的百分率, 按式 (1-8) 计算

$$W_m = \frac{m_b - m}{m} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 W_m 材料的质量吸水率, %;

m 材料在干燥状态下的质量, g 或 kg;

m_b 材料在吸水饱和状态下的质量, g 或 kg。

(2) 体积吸水率。体积吸水率是指材料在吸水饱和时,其内部所吸收水分的体积占干燥材料自然体积的百分率。按式(1-9)计算

$$W_V = \frac{m_b - m}{V_0 \rho_w} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中 W_V ——材料的体积吸水率, %;

m ——材料在干燥状态下的质量, g;

m_b ——材料在吸水饱和状态下的质量, g;

V_0 ——干燥材料在自然状态下的体积, cm^3 ;

ρ_w ——水的密度, g/cm^3 , 常温下可取 $\rho_w = 1\text{g}/\text{cm}^3$ 。

两种吸水率之间存在式(1-10)所示关系

$$W_V = W_m \rho_0 \quad (1-10)$$

式中 ρ_0 ——材料在干燥状态下的表观密度, g/cm^3 。

材料的吸水性不仅与材料的亲水性或憎水性有关,而且与孔隙率的大小及孔隙特征(孔尺寸、封闭性、贯通性等)有关。对于孔特征相近的材料,一般孔隙率越大,吸水性也越强。

对于某些孔隙率很大的轻质材料,如加气混凝土、软木等,由于具有很多开口而微小的孔隙,所以它的质量吸水率往往超过 100%,即吸水饱和的质量为干质量的几倍。在这种情况下,最好用体积吸水率表示其吸水性。

由于材料结构的不同,各种材料的吸水率相差很大。如花岗岩等致密岩石的吸水率仅为 0.5%~0.7%,普通混凝土的吸水率为 2%~3%,粘土砖的吸水率为 8%~20%,而木材或其他轻质材料的吸水率则常大于 100%。

2. 吸湿性

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。吸湿作用是可逆的,也就是说材料可以从空气中吸收水分,也可向空气中释放水分。材料的吸湿性用含水率表示,含水率是指材料内部所含水的质量占干燥材料质量的百分率。按式(1-11)计算

$$W_h = \frac{m_s - m}{m} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中 W_h ——材料的含水率, %;

m_s ——材料在吸湿状态下的质量, g;

m ——材料在干燥状态下的质量, g。

材料与空气湿度达到平衡时的含水率称为平衡含水率。吸湿对材料性能亦有显著的影响。例如,木制门窗在潮湿环境中形状和尺寸变形,就是由于木材吸湿膨胀而引起的。而保温材料吸湿含水后,导热系数将增大,保温性能会降低。

(三) 材料的耐水性

材料长期在水作用下不破坏,强度也不显著降低的性质称耐水性。材料的耐水性用软化系数来衡量,按式(1-12)计算

$$K_R = \frac{f_b}{f_R} \quad (1-12)$$

式中 K_R ——材料的软化系数;

f_b ——材料在吸水饱和状态下的抗压强度, MPa;

f_k ——材料在干燥状态下的抗压强度, MPa。

很多材料在水的作用下, 强度会降低。水的作用使材料强度降低的原因很多, 其中主要原因是由于水分进入材料内部后, 削弱了材料微粒间的结合力所致。

软化系数 K_R 的范围在 $0 \sim 1$ 之间, 它是选择使用材料的重要参数。工程中通常将 $K_R > 0.85$ 的材料看做是耐水材料, 可以用于水中或潮湿环境中的重要结构; 用于受潮较轻或次要结构时, 材料的 K_R 值不得低于 0.75 。

(四) 材料的抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性。材料的抗渗性用渗透系数来表示, 见式(1-13)

$$K_s = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-13)$$

式中 K_s ——渗透系数, cm/h;

Q ——渗透水量, cm^3 ;

d ——试件厚度, cm;

A ——透水面积, cm^2 ;

t ——时间, h;

H ——静水压力水头, cm。

渗透系数 K_s 的物理意义是在一定时间内, 在一定水压力作用下, 单位厚度的材料在单位渗水面积上的渗水量。 K_s 值越小, 抗渗性也越好。

土木工程中, 用抗渗等级来评价材料的抗渗性。抗渗等级是以规定的试件, 在标准试验方法下所能承受的最大水压力来确定, 以符号“ P_n ”表示, 其中 n 为该材料在标准试验条件下所能承受的最大水压力的 10 倍数, 如 P_6 、 P_8 、 P_{10} 、 P_{12} 等分别表示材料能承受 0.6 、 0.8 、 1.0 、 1.2 MPa 的水压而不渗水。材料的抗渗等级越高, 其抗渗性越好。

材料的抗渗性与材料的孔隙特征及裂缝缺陷有关。细微连通的孔隙水易渗入, 开口孔、连通孔是材料渗水的主要通道。工程中常用改变憎水性能、降低孔隙率、改善孔隙特征等方法来提高材料的抗渗性能。

(五) 材料的抗冻性

材料的抗冻性是指材料在吸水饱和状态下, 在多次冻融循环(多次冻结和融化)作用下不破坏, 强度也无显著降低的性质。

材料的抗冻性用抗冻等级表示。土木工程中通常按规定的方法对材料的试件进行冻融循环试验, 测得其质量损失和强度损失不超过规定值的最大循环次数。如混凝土的抗冻性能是在 $-20 \sim 20^\circ\text{C}$ 的冻融循环条件下以试件质量损失不超过 5% 、强度损失不超过 25% 时所能承受的最多冻融循环次数来确定的。材料的抗冻性用“ F_n ”表示, 其中 n 为最大冻融循环次数, 如 F_{15} 、 F_{25} 等。

显然, 冻融循环次数越多, 抗冻等级越高, 抗冻性越好。

材料受冻融破坏的原因目前尚无一致的结论, 一般认为是材料孔隙内所含水结冰时体积膨胀(约增大 9%), 对孔壁造成非常大的冻胀应力超过材料的抗拉强度所致。若材料的孔隙中充满水, 则结冰膨胀对孔壁产生很大的冻胀应力, 当此应力超过材料的抗拉强度时, 孔

壁将产生局部开裂。随着冻融循环次数的增多,材料破坏加重。所以材料的抗冻性取决于其孔隙率、孔隙特征、充水程度和材料对结冰膨胀所产生的冻胀应力的抵抗能力。如果孔隙未充满水而不饱和,具有足够的自由空间,则即使受冻也不致产生很大的冻胀应力。极细的孔隙虽可充满水,但因孔壁对水的吸附力极大,吸附在孔壁上的水冰点很低,它在一般负温下不会结冰。粗大孔隙,一般水分不会充满其中,对冻胀破坏可起缓冲作用。毛细管孔隙中易充满水分,又能结冰,故对材料的冻结破坏影响最大。故材料的变形能力大、强度高、软化系数大,则其抗冻性就较高。一般认为软化系数小于 0.80 的材料,其抗冻性较差。

从冻融破坏的外界条件上看,材料受冻融作用破坏的程度与冻融温度、结冰速度、冻融频繁程度等因素有关。环境温度越低、降温越快、冻融越频繁,材料受冻融破坏就越严重。材料的冻融破坏作用是从外表面产生剥落,逐渐向内部深入发展的。

在寒冷地区和环境中的结构设计和材料选用,必须考虑到材料的抗冻性能。

四、材料的热工性质

为响应国家建设节约型、环保型社会的号召,建筑节能工作提上了日程。为了从建筑技术领域为建筑节能工作提出必要的技术保证,我们有必要学习和掌握建筑材料的热工性质。建筑材料的热工性质有导热性、热容量、比热等。

(一) 导热性

导热性是指材料传导热量的能力。导热性可用导热系数来表示,其物理意义是为单位厚度的材料,当其两侧表面的温度差为 1K 时,1s 时间内通过单位面积的热量。按式 (1-14) 计算

$$\lambda = \frac{Qa}{(t_1 - t_2)AZ} \quad (1-14)$$

式中 λ ——材料的导热系数, W/(m·K);

Q ——传导的热量, J;

a ——材料厚度, m;

A ——热传导面积, m²;

Z ——热传导时间, s;

$t_1 - t_2$ ——材料两侧温度差, K。

材料的导热系数越小,表示其绝热性能越好。各种材料的导热系数差别很大,这不仅与材料的组成有关,还与材料内部孔隙率和孔隙特征有密切关系。由于密闭空气的导热系数很小 [$\lambda < 0.23 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$], 所以,孔隙率较大的材料其导热系数较小,但当材料内部含有较多粗大、连通的孔隙时,空气会产生对流作用,使其传热性大大提高。

(二) 热容量和比热

热容量是指材料在温度变化时吸收或放出热量的能力。比热也叫比热容,指单位质量的材料在温度每变化 1K 时所吸收或放出的热量。热容量用“ Q ”表示,比热用“ c ”表示。其计算式如下

$$Q = cm(t_1 - t_2) \quad (1-15)$$

$$c = \frac{Q}{m(t_1 - t_2)} \quad (1-16)$$

式中 Q ——材料的热容量, KJ;

c —— 材料的比热容, $\text{KJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

m —— 材料的质量, kg ;

$t_1 - t_2$ —— 材料受热或冷却后的温度差, K 。

材料的比热容值大小与其组成和结构有关, 材料比热容值的大小将直接影响建筑物构造及建筑物内部空间的温度变化率。

材料导热系数和热容量是建筑设计热计算的重要参数, 设计过程中应选用导热系数较小而热容量较大的土木工程材料, 有利于保持建筑物室内温度的稳定性。常用材料的热工性质指标见表 1-2。

表 1-2 常用材料的热工性质指标

材料名称	导热系数 $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	比热容 $[\text{KJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$
铜	370	0.38
钢	55	0.46
石灰岩	2.66~3.23	0.749~0.846
花岗岩	2.91~3.08	0.716~0.787
大理石	2.45	0.875
普通混凝土	1.28~1.8	0.48~1.0
烧结普通砖	0.4~0.7	0.84
木材	0.17~0.35	2.51
玻璃	2.7~3.26	0.83
泡沫塑料	0.03	1.30
沥青混凝土	1.05	—
水	0.6	4.187
密闭空气	0.023	1

第二节 材料的力学性质

材料的力学性质是指材料在外力作用下抵抗破坏和产生变形的性质。

一、材料的强度及强度等级

(一) 强度

材料在外力作用下抵抗破坏的能力称为强度。当材料受外力作用时, 其内部将产生应力, 外力逐渐增大, 内部应力也相应地增大, 直至材料内部质点间结合力不足以承受时, 材料发生破坏。此时材料所承受的极限应力值, 就是材料的强度。

材料的强度分抗压强度、抗拉强度、抗剪强度及抗弯强度 (如图 1-2 所示)。材料强度是通过标准试件的破坏试验测得的。材料的抗压、抗拉和抗剪强度可用一个表达式表示, 按式 (1-17) 计算

$$f = \frac{F}{A} \quad (1-17)$$