

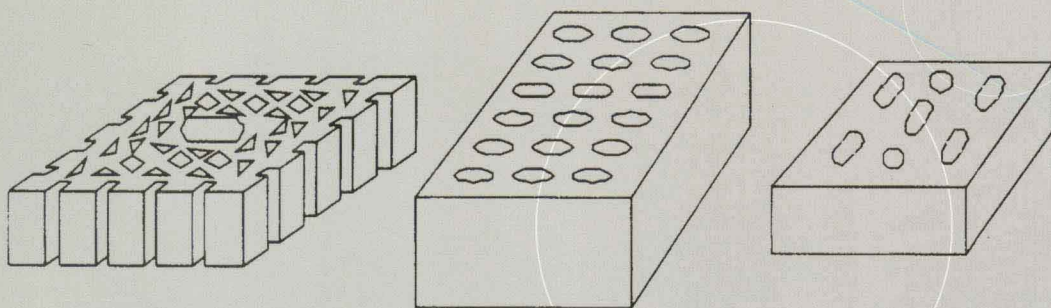


高等院校土木工程专业“十二五”规划教材

TUMU GONGCHENG CAILIAO

土木工程材料

主 编 陈忠购 付传清
副主编 陈 峰 杨英武 张燕飞



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



高等院校土木工程专业“十二五”规划教材

土木工程材料

主 编 陈忠购 付传清

副主编 陈 峰 杨英武 张燕飞



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是高等院校土木工程专业“十二五”规划教材之一，主要介绍土木工程中常用建筑材料的基本组成、材料性能、质量要求及检验方法，包括无机气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、金属材料、沥青及沥青混合料、墙体材料、木材、合成高分子材料和功能材料，以及土木工程材料试验等。

本书采用最新国家或行业标准，可作为土木工程专业或土木建筑类其他专业本科教学的教材，也可作为从事建设工程勘测、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（C I P）数据

土木工程材料 / 陈忠购，付传清主编. -- 北京：
中国水利水电出版社，2013.6
高等院校土木工程专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-1011-1

I. ①土… II. ①陈… ②付… III. ①土木工程—建
筑材料—高等学校—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第146021号

书 名	高等院校土木工程专业“十二五”规划教材 土木工程材料
作 者	主编 陈忠购 付传清 副主编 陈峰 杨英武 张燕飞
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 19印张 451千字
版 次	2013年6月第1版 2013年6月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	35.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

“土木工程材料”课程是土木工程专业本科生的一门重要的专业基础课。其教学目的，就是为学生提供合理选择、正确使用土木工程材料的基本知识，培养学生应用土木工程材料的能力。近年来，建筑材料技术和产品不断创新，有关标准和规范不断更新，这对“土木工程材料”教材的编写提出了新的要求。

本书以国家住房与城乡建设部高等土木工程专业委员会制定的土木工程专业培养目标、培养规格及土木工程专业课程设置为指导，以专业委员会审定的土木工程材料课程教学大纲为基本依据编写。全书按照国家最新标准、规范和规程编写，并注重吸收最新的研究成果，更新和充实了传统土木工程材料教材的骨架和内容，使之更适合现代社会的知识需求和教学要求。

本教材是高等院校土木工程专业“十二五”规划教材编写计划项目之一，由浙江农林大学陈忠购和浙江工业大学付传清主编，浙江大学金贤玉教授主审。各章编写分工为：绪论、第三章、第六章由陈忠购（浙江农林大学）负责；第一章、第二章、第四章由付传清（浙江工业大学）负责；第五章、第八章由张燕飞（浙江农林大学）负责；第七章、第十章由陈峰（福州大学）负责；第九章、第十一章、第十二章由杨英武（浙江农林大学）负责。

本书可作为土木工程专业或土木建筑类其他专业本科教学的教材，也可作为从事建设工程勘测、设计、施工、科研和管理工作的专业人员的参考书。

限于编者的学识，本书中定有不当或错误之处，敬请广大读者批评指正！

编 者

2013年5月

目 录

前言

绪论	1
第一节 土木工程与土木工程材料	1
第二节 土木工程材料的发展	1
第三节 土木工程材料的分类	3
第四节 土木工程材料的质量及其控制	4
第五节 本课程内容和学习要点	5
复习思考题	6
第一章 土木工程材料的基本性质	7
第一节 材料的物理性质	7
第二节 材料的力学性质	15
第三节 材料的耐久性	19
第四节 材料的组成、结构和构造	20
复习思考题	23
第二章 无机气硬性胶凝材料	24
第一节 建筑石膏	24
第二节 建筑石灰	27
第三节 水玻璃	31
复习思考题	33
第三章 水泥	34
第一节 硅酸盐水泥与普通硅酸盐水泥	34
第二节 掺大量混合材料的硅酸盐水泥	44
第三节 特性水泥	50
复习思考题	54
第四章 混凝土	56
第一节 概述	56
第二节 普通混凝土的组成材料	58
第三节 混凝土外加剂	71
第四节 混凝土的技术性质	78
第五节 混凝土的质量控制与评定	98

第六节 普通混凝土的配合比设计·····	102
第七节 其他混凝土·····	109
复习思考题·····	123
第五章 建筑砂浆·····	125
第一节 建筑砂浆的基本组成和性质·····	125
第二节 砌筑砂浆·····	128
第三节 抹面砂浆·····	129
第四节 特种砂浆·····	131
第五节 预拌砂浆·····	133
复习思考题·····	135
第六章 金属材料·····	136
第一节 钢材的冶炼与分类·····	136
第二节 钢材的技术性质·····	138
第三节 钢材的组织、化学成分及其对钢材性能的影响·····	145
第四节 钢材的冷加工强化与时效处理·····	148
第五节 钢材的热处理与焊接·····	149
第六节 建筑钢材的技术标准及选用·····	151
第七节 钢材的锈蚀与防止·····	163
第八节 建筑装饰用钢材制品·····	164
第九节 铝和铝合金·····	165
复习思考题·····	169
第七章 沥青及沥青混合料·····	170
第一节 沥青材料·····	170
第二节 沥青混合料·····	179
第三节 沥青混合料配合比设计·····	185
复习思考题·····	189
第八章 墙体材料·····	191
第一节 砌墙砖·····	191
第二节 建筑砌块·····	198
第三节 建筑墙板·····	202
第四节 天然石料·····	205
复习思考题·····	209
第九章 木材·····	210
第一节 木材的分类、构造及物理性质·····	210
第二节 木材在土木工程中的应用·····	216
第三节 木材的防腐与防火·····	222
复习思考题·····	223

第十章 合成高分子材料	225
第一节 高分子化合物概述	225
第二节 建筑塑料	227
第三节 建筑涂料	232
第四节 胶黏剂	235
复习思考题	236
第十一章 功能材料	238
第一节 防水材料	238
第二节 保温隔热材料	248
第三节 吸声材料	252
复习思考题	255
第十二章 土木工程材料试验	256
试验一 材料基本性质试验	256
试验二 水泥试验	260
试验三 混凝土用砂、石试验	268
试验四 普通混凝土配合比试验	275
试验五 混凝土性能与非破损法抗压强度试验	279
试验六 建筑砂浆试验	284
试验七 钢筋试验	286
试验八 石油沥青试验	290
试验九 沥青混合料试验	293
参考文献	297

绪 论

第一节 土木工程与土木工程材料

土木工程包括建筑工程、道路工程、桥梁工程、岩土与地下工程、港口工程、水利工程和市政工程等，用于建设这些工程的材料统称为土木工程材料。土木工程材料品种繁多，性能各异，土木工程材料的选用直接影响工程造价、工程质量、使用功能和工程耐久性。因此，土木工程材料是土木工程建设的基础。

土木工程材料与工程的建筑形式、结构构造、施工工艺之间存在着相互促进、相互依存的密切关系。一种新的土木工程材料的出现，必将促进建筑形式的再创新，同时，结构设计理论和施工技术也将相应地进行改革和革新。例如，钢材及混凝土强度的提高，预应力技术的应用，在同样承载力下构件的截面尺寸可以缩小，自重也随之降低；采用多孔砖、空心砌块、轻质墙板等取代实心砖，不仅可以减轻墙体自重、改善墙体绝热功能，还减轻了下部结构和基础的负荷，增强了结构抗震能力，也利于机械化施工。反过来，新的土木工程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材料科学的发展。例如，现代高层建筑和大跨度桥梁工程需要高强轻质材料；化学工业厂房、港口工程、海洋工程等需要耐化学腐蚀材料；建筑物地下结构、地铁和隧道工程等需要高性能防水材料；建筑节能需要高效保温隔热材料；严寒地区的工程需要高性能抗冻性材料；核工业发展需要防核辐射材料；为使建筑物装修得更美观，则需要各种绚丽多彩的装饰材料，等等。

土木工程材料品种繁多，又性能各异。因此，在土木工程中，按照建筑物和构筑物对材料功能的要求及其使用时的环境条件，正确合理地选用材料，做到才尽其能、物尽其用。这对于节约材料、降低工程造价、提高基本建设的技术经济效益，具有十分重要的意义。

土木工程建设是人类对自然资源、环境影响最大的活动之一。我国正处于经济建设快速发展阶段，年土建工程总量居世界第一位，资源消耗逐年快速增长。因此，必须牢固树立和认真落实科学发展观，坚持以人为本、可持续发展的理念，大力发展绿色工程、绿色建筑、绿色材料。

第二节 土木工程材料的发展

土木工程材料是伴随着人类社会的不断进步和社会生产力的发展而发展，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这样几个阶段。

纵观土木工程材料的发展历程，无不闪烁着人类智慧的光芒，可以说，土木工程材料的发展史就是人类文明的编年史。在远古时代，人类居于天然山洞或树巢中，18000

年前的北京周口店龙骨山山顶洞人（旧石器时代晚期），仍是住在天然岩洞里。大约距今 10000~6000 年前，人类学会了建造自己的居所。这一时期的房屋多为半地穴式，所使用的材料为天然的木、竹、苇、草、泥等。墙体多为木骨抹泥，有的还用火烤得极为坚实，屋顶多为茅草或草泥。在距今约 6000 年前的西安半坡遗址（新石器时代后期），已是采用木骨泥墙建房，并发现有制陶窑场。随着人类生产工具的进步，取材能力增强，人们开始利用天然石材建造房屋和纪念性结构物。天然石材具有比木材、泥、土等材料更坚硬、耐久的性质，但不易切割和使用。最早利用大块石材的结构物当数公元前 2500 年前后建造的埃及金字塔。石材的开采利用难度较大，制约了其大面积推广应用。为了改善土制材料的耐久性，在公元前 500 年左右，人们将土坯在高温下焙烧，成为坚实、耐水的黏土砖。这种黏土砖最早被苏美尔人用于建造宫殿。我国的秦汉时期，黏土砖已经作为最主要的房屋建筑材料被大量使用，因此有“秦砖汉瓦”之称。黏土砖是烧土制品的代表性材料，其强度高、耐水性好，同时外形规则、尺寸适中，易于砌筑。2000 多年以来，黏土砖在我国房屋建筑中始终是墙体材料的主角。但是烧制黏土砖要破坏大量的耕地，随着人口的增多，土地资源的匮乏，我国正在逐步限制实心黏土砖的使用和生产。这种传统的墙体材料将逐步被其他材料所取代。

烧土制品的出现，使人类建造房屋的能力和水平跃上了新的台阶，土坯、黏土砖作为块体材料用来砌筑墙体，其强度和保温隔热性能远远优于木骨抹泥的墙体。烧制黏土瓦作为屋面材料大大提高了房屋的防雨、防渗漏功能，使居室环境得到改善。以石灰为胶凝材料拌制的砂浆，既可以用于块体材料之间的胶结，提高砌筑墙体的强度和整体性。又可以用于墙体的抹面，提高墙体的隔断性能和表面美观性。玻璃用于房屋建筑的门窗，大大提高了居室的采光效果。因此，烧土制品作为最早的人工建筑材料，使人类的居住环境得到了根本性的改善。

水泥的发明和钢材在土木工程中的应用掀开了建筑材料发展史的新篇章。土木工程材料、土木工程结构发生了翻天覆地的变化。水泥的应用可追溯到公元前 2 世纪的欧洲，人们用天然火山灰、石灰、碎石拌制天然混凝土用于建筑。直到 1824 年，英国人 Joseph Asping 将石灰石与黏土混合制成料浆，再经煅烧、磨细制成水泥，并取得了发明专利。因其凝结后与英国波特兰岛的石灰石颜色相似，故称波特兰水泥（我国称之为硅酸盐水泥）。钢材在土木工程中的应用也始于 19 世纪。1823 年，英国建成世界上第一条铁路，1889 年建造的巴黎埃菲尔铁塔高达 320m。钢材在使用过程中容易生锈，而混凝土属于脆性材料，虽然抗压强度较高，但抗拉强度很低，易开裂。在混凝土中放入钢筋，既可以使钢筋免于大气中有害介质的侵蚀，防止生锈，同时钢筋提高了构件的抗拉性能，于是出现了钢筋混凝土材料。1850 年，法国人朗波制造了第一只钢筋混凝土小船，1872 年，在纽约出现了第一所钢筋混凝土房屋。1887 年，M. Koenen 发表了钢筋混凝土梁的荷载计算方法。1892 年，法国的 Hennebique 发表了梁的剪切增强配筋方法。这些计算及设计方法成为今天钢筋混凝土结构设计的基础。

进入 20 世纪，社会生产力的提高和高新科学技术的进步，尤其是材料科学与工程学

的形成与发展,使无机材料的性能和质量不断改善,品种不断增加。特别是以有机材料为主的化学建材的异军突起,使高性能和多功能的新型材料有了长足的发展。铝合金、不锈钢等新型金属材料,成为现代建筑理想的门窗以及住宅设备材料,其应用极大地改善了建筑物的密封性、美观性与清洁性,提高了人们的居住质量。

20 世纪材料科学的另一个明显的进步,就是各种复合材料的出现和使用,大大地改善了材料的工程性能。例如,纤维增强混凝土提高了混凝土的抗拉强度和抗冲击韧性,克服了混凝土材料脆性大、容易开裂的缺点,使混凝土材料的适用范围得到扩大;聚合物混凝土制造的仿大理石台面,既有天然石材的质地和纹理,又具有良好的加工性;利用含水钙硅酸盐、玻璃纤维和高分子材料制造的硅钙板,不仅可以替代天然木材,解决木材资源不足的问题,而且这种材料耐高温,尺寸稳定,加工性好。

绿色建筑材料又称生态建筑材料或健康建筑材料。它是指采用清洁生产技术,不用或少用天然资源和能源,大量使用工农业或城市固态废弃物生产的无毒害、无污染、无放射性,达到使用周期后,可回收利用,有利于环境保护和人体健康的建筑材料。总之,绿色建材是既能满足可持续发展之需,又做到发展与环保统一;既满足现代人安居乐业、健康长寿的需要,又不损害后代人利益的一种材料。因此,绿色建材已成为世界各国 21 世纪建材工业发展的战略重点。

第三节 土木工程材料的分类

土木工程材料的种类繁多,为了研究、使用上的方便,通常根据材料的组成、功能和用途分别加以分类。

一、按土木工程材料的使用性能分类

通常分为承重结构材料、非承重结构材料及功能材料三大类。

(1) 承重结构材料。主要指梁、板、柱、基础、墙体和其他受力构件所用的材料。最常用的有钢材、混凝土、沥青混合料、砖、砌块、木材、石材和部分合成高分子材料等。

(2) 非承重结构材料。主要包括框架结构的填充墙、内隔墙和其他围护材料等。

(3) 功能材料。主要有防水材料、防火材料、装饰材料、保温隔热材料、吸声(隔声)材料、采光材料、防腐材料、合成高分子材料等。

二、按土木工程材料的使用部位分类

按土木工程材料的使用部位通常分为结构材料、墙体材料、屋面材料、楼地面材料、路面材料、路基材料、饰面材料和基础材料等。

三、按土木工程材料的化学组成分类

根据土木工程材料的化学组成,通常可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类。这三大类中又分别包含多种材料类别,如图 0-1 所示。

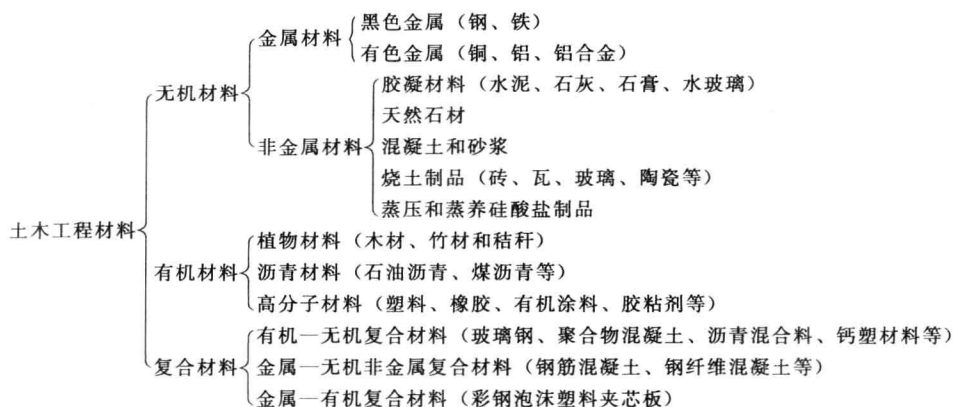


图 0-1 土木工程材料的分类

第四节 土木工程材料的质量及其控制

质量是材料技术性能指标的综合体现。材料的质量对土木工程的质量与技术水平会产生十分重要的影响。因此，掌握与控制好材料的质量对于保证工程质量具有决定性的作用。然而，不同类别的工程或工程所处的位置，对于材料的技术指标会有所差别，这就需要针对不同的工程确定相适应的质量等级或技术指标。

材料的质量等级或技术指标取决于材料的组成与结构，形成于其生产、储运、使用过程中，正确地选择和使用质量合格的材料，不仅要熟悉工程对其质量的具体要求，了解质量的形成过程，而且要正确掌握检测或鉴别材料质量的方法。

一、土木工程材料的技术标准

技术标准主要是对产品与工程建设的质量、规格及其检验方法等所做的技术规定，是从事生产、建设、科学研究工作与商品流通的一种共同的技术依据。

（一）技术标准的分类

技术标准通常分为基础标准、产品标准和方法标准。

（1）基础标准。基础标准是指在一定范围内作为其他标准的基础，并普遍使用的具有广泛指导意义的标准，如《水泥、命名、定义和术语》（CB/T 4131—1997）。

（2）产品标准。产品标准是衡量产品质量优劣的技术依据，如《通用硅酸盐水泥》（CB 175—2007）。

（3）方法标准。方法标准是指以试验、检查、分析、抽样、统计、计算、测定作业等各种方法为对象制定的标准，如《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》（GB/T 17671—1999）。

（二）技术标准的等级

根据发布单位与适用范围，土木工程材料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都是全国通用标准，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的安全、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。鼓励企业制定各项技术指标均严于国家、行业、地方标准的企业标准在企业内使用。

（三）技术标准的代号与表示方法

各级标准都有自己的部门代号，常用的有：GB 中华人民共和国国家标准，GBJ 国家工程建设标准，GB/T 中华人民共和国推荐性国家标准，ZB 中华人民共和国专业标准，ZB/T 中华人民共和国推荐性专业标准，JG 中华人民共和国建筑材料行业标准，JG/T 中华人民共和国建筑工程行业推荐性标准，JGJ 中华人民共和国建筑工程行业标准，YB 中华人民共和国冶金行业标准，SL 中华人民共和国水利行业标准，JTJ 中华人民共和国交通行业标准，CECS 中国工程建设标准化协会标准，JJG 国家计量检定规程，DB 地方标准，Q/×××—×××企业标准。

各个国家均有自己的国家标准代号，例如，ASTM 美国材料试验标准，JIS 日本国家标准，BS 英国国家标准。另外，在世界范围内统一执行的标准为国际标准，其代号为 ISO。我国是国际标准化协会成员国，当前，我国各项技术标准都正在向国际标准靠拢，以便于科学技术的交流与提高。例如，我国制定的《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》（GB/T 17671—1999），其主要内容与 ISO 679 完全一致，其抗压强度检验结果与 ISO 679：1989 等同。

标准的表示方法，系由标准名称、部门代号、编号和批准年份等组成。例如，我们常用的国家标准《通用硅酸盐水泥》（GB 175—2007），标准名称为“通用硅酸盐水泥”，部门代码位“GB”，编号为“175”，批准年份为 2007 年。

二、土木工程材料的质量控制

为满足工程设计要求的技术性能和使用条件，所用材料的质量必须达到相应的要求。工程中对材料质量控制的方法主要有：

（1）通过对材料有关的质量文件（书面检验报告）的检查初步确定其来源及其质量状况。

（2）对工程拟采用的材料进行抽样检验，根据检验的技术指标判定其实际质量，只有相关指标达到标准规定的要求时，才允许其在工程中使用。

（3）在使用过程中，监测材料的使用行为，监测半成品和成品的技术性能，从而评定材料在实际工程中的实际技术性能。

（4）在使用过程中，材料性能未能达到相应指标要求时，应根据材料的有关知识判定其原因，并采取相应的措施避免其对工程质量造成的不良影响。

第五节 本课程内容和学习要点

土木工程材料是土木工程类专业的专业基础课。它是以数学、力学、物理、化学等课程为基础，而又为学习建筑、结构、施工等后续专业课程提供材料基础知识，同时它还为

今后从事工程实践和科学研究打下必要的专业基础。

书中对每一种土木工程材料的叙述，一般包括原材料、生产、组成、构造、性质、应用、检验、运输和贮存等方面的内容，以及现行的相关技术标准。学习本课程的学生，多数是材料的使用者，所以学习重点应是掌握材料的基本性质和合理选用材料。要达到这一点，就必须了解各种材料的特性，在学习时，不但要了解每一种材料具有哪些基本性质，而且还应对不同类属、不同品种材料的特性相互进行比较。只有掌握其特点，才能做到正确合理地选用材料。同时，还要知道材料之所以具有某种基本性质的基本原理，以及影响其性质变化的外界条件。此外，材料的运输和贮存的注意事项，也是根据该材料的性质所规定的。

实验课是本课程的重要教学环节，其任务是验证基本理论，学习试验方法，培养科学研究能力和严谨缜密的科学态度。做实验时要严肃认真，一丝不苟，即使对一些操作简单的实验，也不应例外。要了解实验条件对实验结果的严重影响，并对实验结果作出正确的分析和判断。

复 习 思 考 题

- 0-1 土木工程材料主要有哪些类别？
- 0-2 土木工程材料的发展与建设工程技术进步的关系如何？
- 0-3 土木工程材料的发展趋势如何？
- 0-4 土木工程材料性能的检测方法与技术标准主要有哪些？

第一章 土木工程材料的基本性质

材料是构成土木工程的物质基础。所有的建筑物、桥梁、道路等都是由各种不同的材料经设计、施工建造而成的。这些材料所处的环境和部位不同，所起的作用也各不相同。为此，要求材料必须具备相应的基本性质。例如，结构材料必须具有良好的力学性能和耐久性能；屋面材料应具有保温隔热、抗渗性能；地面材料应具有耐磨性能等。根据构筑物中的不同使用部位和功能，建筑工程材料要求具有保温隔热、吸声、耐腐蚀等性能，而对于长期暴露于大气环境中的材料，要求能经受风吹、雨淋、日晒、冰冻等而引起的冲刷、化学侵蚀、生物作用、温度变化、干湿循环及冻融循环等破坏作用，即具有良好的耐久性。可见，建筑工程材料在使用过程中所受的影响很复杂，而且它们之间又是相互影响的。因此，对建筑工程材料性质的要求应当是严格的和多方面的，充分发挥建筑工程材料的正常服役性能，满足建筑结构的正常使用寿命。

建筑工程材料所具有的各项性质主要是由材料的组成、结构和构造等因素决定的。为了保证构筑物经久耐用，就需要掌握建筑工程材料的性质，并了解它们与材料的组成、结构、构造的关系，从而合理地选用材料。

第一节 材料的物理性质

一、材料的密度、表观密度和堆积密度

（一）密度

材料在绝对密实状态下单位体积的质量（俗称重量）称为材料的密度（又称质量密度）。可用公式表示如下

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

式中 ρ ——材料的密度， g/cm^3 ；

m ——材料在干燥状态下的质量， g ；

V ——干燥材料在绝对密实状态下的体积， cm^3 。

材料在绝对密实状态下的体积，是指不包括材料内部孔隙的固定物体本身的体积，亦称实体积。建筑材料中除钢材、玻璃、沥青等外，绝大多数材料均含有一定的孔隙。测定含孔材料的密度时，须将材料磨成细粉（粒径小于 0.20mm ），经干燥后用李氏瓶测得其实体积。材料磨得愈细，测得的密度值愈精确。对砖、石材料常采用此种方法测定其密度。

（二）表观密度

材料在自然状态下单位体积的质量称为材料的表观密度，亦称体积密度。用公式表示为

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

(1-2)

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材料的实体积与材料所含全部空隙体积之和。对于外形规则的材料,其表观密度的测定很简单,只要测得材料的质量和体积(可用量具测量),即可算得。不规则材料的体积要采用排水法求得,但材料的表面应先涂上蜡,以防水分渗入材料内部而使测值不准。

土木工程中常用砂、石材料,其颗粒内部孔隙极少,用排水法测出的颗粒体积与实体体积基本相同,所以,砂、石的表观密度可近似地视作其密度,常称视密度。

材料表观密度的大小与其含水情况有关。当材料含水时,其质量增大,体积也会发生不同程度的变化。因此测定材料表观密度时,须同时测定其含水率,并给予注明。通常材料的表观密度是指气干状态下的表观密度。材料在烘干状态下的表观密度称干表观密度。

(三) 堆积密度

散粒材料在自然堆积状态下的单位体积的质量称为堆积密度。可用下式表示为

$$\rho_0'=\frac{m}{V_0'}$$

(1-3)

式中 ρ_0' ——散粒材料的堆积密度, kg/m^3 ;
 m ——散粒材料的质量, kg ;
 V_0' ——散粒材料在自然堆积状态下的体积, m^3 。

散粒材料在自然堆积状态下的体积,是指其既含颗粒内部的孔隙又含颗粒之间空隙在内的总体积。测定散粒材料的体积可通过已标定容积的容器计量而得。测定砂子、石子的堆积密度即用此方法求得。若以捣实体积计算时,则称紧密堆积密度。

由于大多数材料或多或少均含有一些空隙,故一般材料的表观密度总是小于其密度,即 $\rho_0<\rho$ 。

在土木工程中,计算材料用量、构件自重、配料、材料堆场体积或面积时,常用到材料的密度、表观密度和堆积密度。常用土木工程材料的密度、表观密度和堆积密度如表 1-1 所示。

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	7850	
花岗岩	2.60~2.90	2500~2900	
石灰石	2.40~2.60	1600~2400	1400~1700 (碎石)
砂	2.50~2.60		1450~1700
水泥	2.80~3.10		1250~1600
烧结普通砖	2.60~2.70	1600~1900	

续表

材 料 名 称	密 度 (g/cm ³)	表 观 密 度 (kg/m ³)	堆 积 密 度 (kg/m ³)
烧结多孔砖	2.60~2.70	800~1480	
红松木	1.55~1.60	400~600	
泡沫塑料		20~50	
玻璃	2.45~2.55	2450~2550	
铝合金	2.70~2.90	2700~2900	
普通混凝土	2.50~2.90	2100~2600	

二、材料的孔隙率与密实度

(一) 孔隙率

材料内部孔隙的体积占材料总体积的百分率，称为材料的孔隙率（ P_0 ）。可用下式表示

$$P_0 = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \tag{1-4}$$

材料的孔隙率的大小直接反映材料的密实程度，孔隙率小，则密实程度高。孔隙率相同的材料，它们的孔隙特征（即孔隙构造与孔径）可以不同。按孔隙构造，材料的孔隙可分为开口孔隙（连通孔隙）和闭口孔隙（封闭孔隙）两种，两者孔隙率之和等于材料的总孔隙率。连通孔隙不仅彼此贯通而且与外界相通，而封闭孔隙彼此独立且与外界隔绝。按孔隙的尺寸大小，孔隙又可分为微孔、细孔及大孔三种。不同的孔隙对材料的性能影响各不相同。一般而言，孔隙率较小，封闭的微孔较多且孔隙分布均匀的材料，其吸水性较小，强度较高，导热系数较小，抗渗性好。

(二) 密实度

材料内部固体物质的体积占总体积的百分率称为密实度。反映材料体积内固体物质充实的程度。用公式表示为

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

根据上述孔隙率和密实度的定义，孔隙率和密实度的关系为

$$P_0 + D = 1 \tag{1-6}$$

三、材料的空隙率与填充率

(一) 空隙率

散粒材料（如砂、石子）的堆积体积（ V'_0 ）中，颗粒间空隙体积所占的百分率称为空隙率（ P'_0 ）。可用下式表示为

$$P'_0 = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_0'}\right) \times 100\% \tag{1-7}$$

空隙率的大小反映了粒状材料的颗粒之间相互填充的密实程度。

在配制混凝土时，砂、石子的空隙率是作为控制混凝土中骨料级配与计算混凝土含砂率时的重要依据。

(二) 填充率

粒状材料堆积体积中, 颗粒体积所占总体积的百分率称为填充率。反映粒状材料堆积体积中颗粒填充的程度。用公式表示为

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

根据上述孔隙率和填充率的定义, 孔隙率和填充率的关系为

$$P'_0 + D' = 1 \quad (1-9)$$

四、材料与水有关的性质

(一) 亲水性与憎水性

当材料与水接触时可以发现, 有些材料能被水润湿, 有些材料则不能被水润湿, 前者称材料具有亲水性, 后者称具有憎水性。

材料产生亲水性的原因是因其与水接触时, 材料与水之间的分子亲和力大于水本身分子间的内聚力所致。当材料与水接触, 材料与水之间的分子亲和力小于水本身之间的内聚力时, 则材料表现为憎水性。

材料被水润湿的情况可用润湿边角 θ 表示。当材料与水接触时, 在材料、水、空气这三相体的交点处, 作沿水滴表面的切线, 此切线与材料和水接触面的夹角, 称为润湿边角, 如图 1-1 所示。 θ 角愈小, 表面材料愈易被水润湿。实验证明, 当 $\theta \leq 90^\circ$, 如图 1-1 (a) 所示, 材料表面容易吸附水, 材料能被水润湿而表现出亲水性。当 $\theta > 90^\circ$, 如图 1-1 (b) 所示, 材料表面不易吸附水, 此称憎水性材料。当 $\theta = 0^\circ$, 表面材料完全被水润湿。上述概念也适用于其他液体对固体的润湿情况, 相应称为亲液材料和憎液材料。

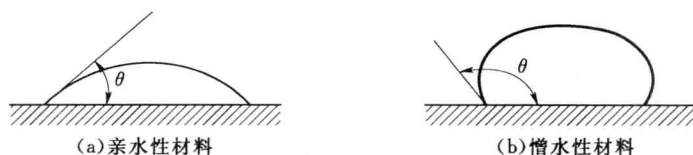


图 1-1 材料润湿示意图

亲水性材料易被水润湿, 且水能沿着材料表面的连通孔隙或通过毛细管作用而渗入材料内部。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。憎水性材料常被用作防水材料, 或用作亲水性材料的覆面层, 以提高其防水、防潮性能。

土木工程材料大多数为亲水性材料, 如水泥、混凝土、砂、石、砖、木材等, 只有少数材料如沥青、石蜡及塑料等为憎水性材料。

(二) 材料的吸水性与吸湿性

1. 吸水性

材料在水中能吸收水分的性质称为吸水性。材料的吸水性用吸水率表示, 吸水率有以下两种表示方法。

(1) 质量吸水率: 质量吸水率是指材料在吸水饱和时, 内部所吸水分的质量占材料干质量的百分率。用公式表示如下

$$W_m = \frac{m_b - m_g}{m_g} \times 100\% \quad (1-10)$$