



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

土木工程材料

张丽 主编
温俊生 副主编
张巨松 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

土木工程材料

主 编	张 丽
副主编	温俊生
编 写	刘存柱
主 审	张巨松



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育），主要内容包括土木工程材料的基本性质、土、无机胶凝材料、水泥混凝土、建筑钢材、砌体材料、沥青材料、高分子聚合物材料、沥青混合料、建筑功能材料、土木工程材料试验。本书全部采用国家（部）、行业的最新技术标准、规范和试验规程，将新材料、新理论、新技术和新方法充实到教材中，并结合具体的工程实践，使教材具有先进性、实效性和针对性。

本书主要作为道路桥梁工程技术、公路监理、高等级公路维护与管理、土建类各专业的教材，也可供土木工程监理、工程设计、施工和管理等技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

土木工程材料/张丽主编. —北京：中国电力出版社，2015.1
普通高等教育“十二五”规划教材. 高职高专教育
ISBN 978-7-5123-7069-2

I. ①土… II. ①张… III. ①土木工程—建筑材料—高等
职业教育—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 015123 号

中国电力出版社出版、发行
（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）
汇鑫印务有限公司印刷
各地新华书店经售

*

2015 年 1 月第一版 2015 年 1 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 17 印张 411 千字
定价 34.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
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

“土木工程材料”是“道桥工程检测技术”系列课程教程之一，本书是依据道路桥梁工程技术专业（检测方向）高等职业教育的培养目标为重点而编写的。主要适用于土木工程专业及相关专业在校大学生和土木工程监理、工程设计、施工和管理等技术人员参考。

教材力求体现高等职业教育的特点，以培养学生的职业能力为目标，理论内容以“基本理论和基础知识为基础，重点阐述建筑材料的性质、特点、应用和工程案例”的原则进行编写；试验部分按“明确试验目的、介绍试验仪器；说明试验方法、叙述试验步骤；引用规程原文、强调注意事项；注重结果分析、侧重技能培养”的原则进行编写，以增强学生毕业后的工作适应性。本教材全部采用国家（部）、行业的最新技术标准、规范和试验规程，将新材料、新理论、新技术和新方法充实到教材中，并结合具体的工程实践，使教材具有先进性、实效性和针对性。由于学时有限，教师对教材中的次要内容和提高部分，可酌情选用。

本书由辽宁省交通高等专科学校张丽主编，温俊生担任副主编。第二章、第三章、第四章、第五章、第六章、第七章、第九章和土木工程材料试验由张丽编写；绪论、第一章、第十章由温俊生编写；第八章由刘存柱编写。全书由张丽统稿。

全书由沈阳建筑大学张巨松教授担任主审，并为本书的编写提供了大量的参考资料，在此表示衷心的感谢！

对支持本书编写的各位同事、朋友以及附于书末主要参考文献的作者们致以诚挚的谢意！

由于编者学识水平和实践经验所限，加之时间仓促，书中错误和疏漏在所难免，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2015年1月

目 录

前言

绪论	1
第一章 土木工程材料的基本性质	6
第一节 材料的组成与结构	6
第二节 材料的物理性质	8
第三节 材料的力学性质	13
第四节 材料的耐久性	15
复习思考题	17
第二章 土	18
第一节 土的工程分类	18
第二节 土的物理性质	23
第三节 土的应用	26
复习思考题	27
第三章 无机胶凝材料	28
第一节 石灰	28
第二节 石膏	35
第三节 水玻璃	39
第四节 水泥	41
复习思考题	58
第四章 水泥混凝土	60
第一节 水泥混凝土的定义、分类	60
第二节 普通水泥混凝土的组成材料	61
第三节 普通水泥混凝土的技术性质	74
第四节 普通水泥混凝土的组成设计	84
第五节 其他功能混凝土	95
第六节 混凝土工程应用实例	97
复习思考题	98
第五章 建筑钢材	100
第一节 钢的定义、生产和分类	100
第二节 建筑钢材的技术性质	102
第三节 常用建筑钢材	109
第四节 钢材的锈蚀与防护	113
复习思考题	114

第六章 砌体材料	115
第一节 岩石	115
第二节 砖	121
第三节 建筑砂浆	126
第四节 其他砌体材料	134
复习思考题	137
第七章 沥青材料	138
第一节 沥青的基本概念、分类与生产	138
第二节 石油沥青	141
第三节 改性沥青	153
第四节 乳化沥青	155
复习思考题	160
第八章 高分子聚合物材料	161
第一节 高分子聚合物材料基础	161
第二节 工程塑料	163
第三节 土工布	165
第四节 高聚物改性水泥混凝土和沥青混合料	166
复习思考题	167
第九章 沥青混合料	168
第一节 概述	168
第二节 热拌沥青混合料	170
第三节 其他沥青混合料	196
复习思考题	199
第十章 建筑功能材料	201
第一节 建筑木材	201
第二节 防水材料	208
第三节 装饰材料	209
第四节 绝热材料	214
第五节 吸声与隔声材料	216
复习思考题	217
土木工程材料试验	218
试验一 水泥标准稠度用水量(标准法)、凝结时间、安定性检验方法	218
试验二 水泥胶砂强度检验方法(ISO法)	223
试验三 粗集料及集料混合料筛分试验	227
试验四 粗集料表观密度试验(网篮法)	230
试验五 粗集料堆积密度及空隙率试验	232
试验六 细集料筛分试验	235
试验七 细集料表观密度试验(容量瓶法)	238
试验八 细集料堆积密度及紧密密度试验	239

试验九	水泥混凝土拌和物的拌和方法	241
试验十	水泥混凝土拌和物稠度试验方法（坍落度仪法）	243
试验十一	水泥混凝土试件制作方法	245
试验十二	水泥混凝土立方体抗压强度试验方法	246
试验十三	岩石密度试验	248
试验十四	岩石毛体积密度试验	250
试验十五	沥青针入度试验	253
试验十六	沥青延度试验	256
试验十七	沥青软化点试验（环球法）	258
附表	本教材采用的主要标准、规范和试验规程一览表	261
参考文献		263



绪 论

“土木工程材料”课程是土木工程类各专业的一门专业基础课，是研究土木工程用材料组成、性能和应用的一门课程。

一、土木工程材料的定义、特点及分类

1. 土木工程材料的定义

土木工程材料是指在各种土木建筑工程中应用的各种材料的总称。从广义上讲应包括构成建筑物本身的材料（钢材、木材、水泥、砂石、砖、防水材料等），施工过程中所用的材料（脚手架、模板等）以及各种配套器材（水、暖、电设备等）。

2. 土木工程材料的特点

随着基本建设的飞速发展，有大量的工业建筑、水利工程、交通运输、农田水利、港口建设、科学文化和民用住宅等基建工程，需要大量的土木工程材料。土木工程材料必须具有一定的强度以及耐久性能，才能使工程具有足够的使用寿命并尽量减少维修费用。现代科学的发展，使生产力不断的提高，人民生活水平不断改善，这就要求土木工程材料的品种与性能更加完备，要求土木工程材料具有轻质、高强、美观、保温、吸声、防水、防震、防火、节能等功能。因此，土木工程材料具有四大特点：使用量大、价格低廉、经久耐用，以及具有一定的使用功能。

3. 土木工程材料的分类

土木工程材料种类繁多，为了便于研究及使用常从不同角度对其进行分类。

根据材料的化学组成可分为无机材料和有机材料以及这两类材料的复合物，见表 0-1。

表 0-1 土木工程材料分类

土木工程材料	无机材料	金属材料	黑色金属：铁，碳素钢，合金钢 有色金属：铝、锌、钢等及其合金
	无机材料	非金属材料	天然石材：毛石、料石、石板、碎石、卵石、砂 烧土制品：瓷器、石、陶瓷、砖、瓦 玻璃及熔融制品：玻璃、玻璃棒、矿棉、铸石 胶凝材料： 气硬性：石灰、石膏、菱苦土、水玻璃 水硬性：各类水泥，混凝土、砂浆、硅酸盐制品
	有机材料	植物质材料	木材、竹材、植物纤维及其制品
		高分子材料	涂料、橡胶、胶黏剂、塑料
		沥青材料	石油沥青、煤沥青、沥青制品
	复合材料	金属-非金属 无机非金属-有机	钢纤维混凝土、钢筋混凝土等 玻纤增强塑料，聚合物混凝土、沥青混凝土、水泥刨花板等

根据土木工程材料在建筑物上的使用功能，可分为结构材料、墙体材料、建筑功能材料和交通工程材料，见表 0-2。

表 0-2 土 木 工 程 材 料 分 类

土木工程材料	建筑结构材料	基础柱、梁、框架、板等	砖、钢筋混凝土、木材、钢材、预应力钢筋混凝土
	墙体材料	内外承重墙	石材、普通砖、空心砖、混凝土、砌块、加气混凝土砌块、混凝土墙板、石膏板、金属板材以及复合墙板等
	功能材料	防水材料 绝热材料 吸声材料 装饰材料及其他功能材料	沥青制品、橡胶及树脂基防水材料 玻璃棉、矿棉及制品、膨胀珍珠岩、膨胀蛭石及制品、加气混凝土、微孔硅酸钙、泡沫塑料、木丝板等 石材，建筑陶瓷、玻璃及制品、塑料制品、涂料、木材、金属等
	交通工程材料	道路工程材料 桥梁工程材料	石材、混凝土、沥青混凝土 桥梁用钢材、石材、混凝土

二、本课程的学习目的、内容及学习方法

1. 学习本课程的目的

学习本课程目的在于使学生获得土木工程材料科学的基础理论、基础知识和基本技能，掌握常用土木工程材料的基本概念和技术性质；为后续专业课程提供建筑材料的基础知识；为今后工作，能合理地选择和正确的使用建筑材料打下基础。

2. 本课程研究的内容

本课程涉及各种常用的土木工程材料，如土、石灰、石膏、水玻璃、水泥、砂石、混凝土、岩石、砖、砌块、建筑砂浆、钢材、木材、沥青、沥青混合料、高分子聚合物、塑料、防水材料、装饰材料、绝热材料及吸声材料等。本课程主要讨论这些材料的组成结构、技术性质、技术要求与应用，以及试验方法等方面的内容。

3. 本课程的学习方法

由于本课程涉及的材料种类繁多、内容庞杂、系统性差、理论不完善、经验公式多，试验内容广和操作技能要求高等特点。因此，要着重掌握材料的基本概念、技术性质、技术要求与应用。避免死记硬背，要运用好事物的内因和外因的关系，共性与特性的关系。材料的组成与结构是决定材料性质的内在因素，而外界条件则是影响性质的外在因素，抓住代表性材料的一般性质，运用对比的方法去掌握其他品种工程材料的特性。

土木工程材料课程是一门以生产实践和科学实验为基础的实践性很强的科学，因而试验课是本课程的重要环节。通过试验可以使基础理论得以验证，学会检测材料性质的试验方法，从而培养学生严谨、科学的态度。因此，要求学生试验前要做好预习，明确试验目的，在试验过程中严格按照试验规程，利用试验仪器和设备，对材料的性能和技术指标进行试验室测定，这样才能更好地掌握常用土木工程材料的常规试验方法。试验结束后要具有整理、分析和报告试验结果的能力，并评定材料的技术性质。

三、土木工程材料应具备的工程性质

土木工程的各个部位都处于不同的环境条件并起一定的作用，如道路和桥梁建筑物不仅

要受到车辆动荷载的复杂力系作用,而且又受到复杂恶劣环境的影响;梁、板、柱以及承重的墙体主要承受各种荷载作用;房屋屋面要承受风霜雨雪的作用且能保温、防水;基础除承受建筑物全部荷载外,还要承受冰冻及地下水的侵蚀;墙体要起到抗冻、隔声、保温隔热等作用。这就要求用于不同工程部位的材料应具有相应的性质。这些性质归纳起来可分为:

1. 力学性质

力学性质是指材料抵抗荷载作用的能力。主要通过测定各种材料的静态强度(如抗压、抗拉、抗弯、抗剪等强度)来反映材料的力学性质,还可通过某些特殊的指标来反映(如道路工程中粗集料的磨耗值、磨光值、冲击值及沥青混合料的稳定度、流值等)。

2. 物理性质

物理性质是指材料与各种物理过程(水、热作用)有关的性质。一般材料的强度随温度的升高或湿度的加大而降低。通常用热稳定性和水稳定性来表征材料强度变化的程度。通常通过测定材料的物理常数,来了解材料的内部组成结构,根据物理常数推断材料的力学性能,并进行材料的配合比设计。物理指标包括:

(1) 热稳定性:如沥青软化点等。

(2) 水稳定性:如沥青混合料的残留稳定度等。

(3) 物理常数:如材料的密度、孔隙率、含水率等。

3. 耐久性

耐久性是指材料在使用环境中,受到各种因素(如日光、空气、水、荷载等)的长期作用下,仍能基本保持原有的性能。为保证建筑物具有较长的使用年限,要求材料必须具有良好的耐久性。

材料在受到周围介质的侵蚀时,会导致强度降低(如桥墩在工业污水中);在受到大气因素(气温的变化、紫外线、空气中的氧、水等)的综合作用,会引起材料的老化(如沥青的老化)。

4. 工艺性质

工艺性质是指材料适合于按照一定工艺要求加工的性能。例如,水泥混凝土拌和物要求有一定的和易性,以便浇筑。材料的工艺性质可通过一定的试验方法和指标进行控制。

四、土木工程材料与建筑工程的关系

1. 材料是工程结构物的物质基础

土木工程材料是土木工程重要的物质基础。材料质量的好坏、选用是否适当、配制是否合理等,均直接影响结构物的质量和使用寿命。

2. 材料的使用与工程造价密切相关

在建筑结构物的修建费用中,土木工程材料费用占很大比重。一般工程,材料费占工程总造价的50%~60%,重要工程约占70%~80%。因此,在保证工程质量的前提下,要节约工程投资、降低工程造价,必须合理地选择和应用材料。

3. 材料是促进工程技术发展的重要基础

工程建筑实现新设计、新技术、新工艺,新材料是重要的一环。许多新设计由于材料未能突破,而未能实现。新材料的出现,又推动新设计、新技术的发展。在工程建设中,材料是促进工程技术发展的重要基础。

五、土木工程材料的发展概况

土木工程材料的发展是随着人类社会生产力的发展而发展的。在古代人类的主要建筑材料是天然的土、石、竹、木等。到了人类用黏土烧制砖瓦、陶瓷,用岩石烧制石灰、石膏,土木工程材料进入了人工生产阶段,为较大规模的土木工程建立了基本条件。在漫长的封建社会中,土木工程材料的发展极为缓慢,长期限于砖、石、木材作为结构材料。资本主义的兴起,城市的出现与扩大,工业的迅速发展,交通的日益发达,需要建造大规模的建筑物和建筑设施,例如大跨度的工业厂房,高层的公用建筑以及桥梁、港口等,推动了土木工程材料的前进,在18~19世纪相继出现了钢材、水泥、混凝土以及钢筋混凝土成为了主要的结构材料,使建筑业的发展进入了一个新阶段。20世纪出现了预应力混凝土,工业的发展使具有特殊功能的材料应运而生,如绝热材料,吸声材料,耐热、耐腐蚀、抗渗透以及防辐射材料等,各种装饰材料层出不穷。21世纪高性能混凝土将得到广泛应用。

随着技术的进步,传统材料的性能越来越难以满足建筑工程发展的要求,为了适应建筑工业的自动化和不断提高土木工程质量的要求,土木工程材料今后的发展趋势将向着轻质、高强、耐久、多功能、复合材料、制品预制化、良好的工艺性、智能化,以及再生化、利废化、节能化和绿色化等方向发展。

- (1) 尽可能地提高材料的强度,降低材料的自重。
- (2) 提高材料的耐久性。
- (3) 生产多功能、高效能的材料,产品可再生循环和回收利用。
- (4) 由单一材料向复合材料以及制品发展。
- (5) 建筑制品将向预制化方向发展,构件尺寸日益增大。
- (6) 生产所用的原材料充分利用工农业废料,生产价廉、低能耗的材料;不破坏生态环境、有效保护天然资源。
- (7) 利用现代科学技术及手段,在深入认识材料的内在结构对性能影响的基础上,按指定的要求,设计与制造更多品种的土木工程材料。

六、建筑材料技术标准简介

1. 技术标准的内容及作用

技术标准(技术规范)是针对原材料、产品以及工程的质量、规格、等级、性质要求、检验方法、评定方法、应用技术等所作出的技术规定。因此,技术标准是在从事产品生产、工程建设、科学研究以及商品流通领域中所需共同遵循的技术依据。

2. 技术标准的等级

根据发布单位与适用范围不同,技术标准可分为国家标准、行业标准和企业及地方标准四级。

(1) 国家标准。

国家标准是指对全国范围的经济、技术及生产发展有重大意义的标准。对需要在全国范围内统一的技术要求,需制定国家标准。它是由国务院标准化主管部门组织草拟、审批、并由国家技术监督局发布。

(2) 行业标准。

行业标准是指全国某行业范围的技术标准。这级标准由国务院有关行政主管部门制定发布,报国家技术监督局备案。在公布国家标准之后,该项行业标准即行废止。

(3) 地方标准。

对没有国家标准和行业标准，又需在省、自治区、直辖市范围内统一的技术要求，可以制定地方标准，在该地区执行。

(4) 企业标准。

企业生产的产品没有国家标准和行业标准，根据生产厂能保证的产品质量水平，应当制定企业标准，作为组织生产的依据。

各级技术标准在必要时可分为试行与正式标准。按其权威程度又可分为强制性标准和推荐性标准。按其特性可分为基础标准、方法标准、原材料标准、能源标准、包装标准、产品标准等。

3. 标准的代号、编号与名称

每个技术标准都由代号、编号、制订修订年份和标准名称组成。标准代号反映了该标准的等级是国家标准、行业标准、地方标准还是企业标准，代号用汉语拼音字母的首母表示，如国标 GB、建工 JG、建材 JC，交通 JT、石油 SY、冶金 YB、水电 SD 等。推荐性国家标准，在代号后加符号 T，表示为 GB/T。国家标准和行业标准代号列于表 0-3。

表 0-3 国家标准和行业标准代号

标准等级	代号	示 例
国家标准	国标 GB (guo biao)	GB 175—2007 通用硅酸盐水泥
交通行业标准	交通 JT (Jiao Tong)	JTG E 30—2005 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
建材行业标准	建材 JC (Jian Cai)	JC/T 479—2013 建筑生石灰

技术标准是根据一个时期的技术水平制定的。随着科学技术的发展，不变的标准不但不能满足技术发展的需要，而且会对技术的发展起到限制和束缚的作用。技术标准应根据技术发展的要求不断地进行修订。目前世界各国与我国都确定为每五年左右修订一次。

4. 国际标准化组织 ISO

ISO 是国际上范围与作用最大的标准化组织之一。它的宗旨是在世界范围内促进标准化工作的发展，以便于国际物质交流与互助，并扩大在知识、科学、技术与经济方面的合作。其主要任务是制定国际标准，协调世界范围内的标准化工作，报道国际标准化的交流情况以及其他国际性组织合作研究有关标准化问题等。我国是国际标准化协会成员之一，当前我国各种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。

第一章 土木工程材料的基本性质



基本要求

了解土木工程材料的组成与结构；掌握土木工程材料的物理性质、力学性质和耐久性；掌握材料各种密度的含义和它们之间的关系。



重点

土木工程材料的物理性质、力学性质和耐久性。

工程材料所具有的各种性质，主要取决于材料的组成和结构状态，同时还受到环境条件的影响。为了能够合理地选择和正确地使用材料，必须了解材料的各种性质及其与组成、结构状态的关系。

第一节 材料的组成与结构

一、材料的组成

无机非金属材料是由金属元素和非金属元素所组成，其化学成分常以氧化物含量的百分数形式表示。根据化学组成可大致地判断材料的化学稳定性，如氧化、燃烧、受酸、碱、盐类的侵蚀等。

金属元素与非金属元素按一定化学组成及结构特征构成具有一定的分子结构和性质的物质，称为矿物。无机非金属材料是由不同的矿物构成的，其性质主要取决于其矿物组成。有些材料由单一矿物组成，如石灰、石膏等。有些材料由多种矿物组成，其性质决定于每种矿物的性质及其含量，如硅酸盐水泥。

金属材料的化学成分，以其元素的百分含量表示。金属元素与合金元素之间常以固溶体、化合物及混合物等形式共存，形成不同的金属组织。每种组织具有一定的性质，因此金属中各种组织的含量比例不同，将使金属具有明显不同的性质。

工程中的有机材料主要是有机高分子材料，它是由分子量极大的聚合物组成，其组成元素主要有 C 和 H，以及 O、N、S 等。

材料的化学组成和矿物组成是影响材料性质的决定性因素，不仅影响其化学性质，而且也是决定其物理力学性质的重要因素。

二、材料的结构

对固体材料的研究，可包括从原子、分子直至宏观可见的各个层次的构造状态，统称为结构。对材料结构的研究，通常可分为微观结构、亚微观结构和宏观结构三个结构层次。

（一）微观结构

微观结构是指用电子显微镜及 X 射线衍射分析等手段来研究材料内部质点（原子、离

子、分子)在空间中分布情况的结构层次。根据内部质点在空间的分布状态不同可分为晶体和非晶体。

1. 晶体

相同质点在空间中作周期性重复排列的固体称为晶体。晶体可分为原子晶体、离子晶体、分子晶体和金属晶体。

晶体具有以下特点:

- (1) 具有一定的几何外形。
- (2) 具有各向异性。
- (3) 具有固定的熔点和良好的化学稳定性。

(4) 质点的规则排列使得晶体内部的不同晶面上质点分布密度不同,在那些质点密集的晶面之间联系薄弱。当外力作用时,若在一定限度内,可产生弹性变形,若超过某一限度,这些晶面之间将受到剪应力作用,或者产生断键而开裂(脆性材料的破坏)或者晶面间发生相对滑动,使材料产生塑性变形(金属的塑性变形)。

2. 非晶体

非晶体是一种不具有明显晶体结构的结构状态,常称为无定形体或玻璃体,如玻璃、硅胶等。质点间的结合力为共价键与离子键。熔融状态的物质经急剧冷却,当接近凝固点时,熔融体具有很大的黏度,因此质点来不及达到位能最低就凝固成固体状态,即成为一种无序的玻璃体结构。

玻璃体没有规则的几何外形,不具有各向异性的性质,没有一定的熔点,只能出现软化现象。由于玻璃体中质点的化学键没有达到最大程度的满足,它总有自发地向晶态转变的趋势,是化学不稳定的结构。它易与其他物质发生化学作用,如水淬矿渣磨细后与石灰在有水的条件下能起硬化作用而被用作水泥的混合材料。

(二) 亚微观结构

亚微观结构也称细观结构,是指用光学显微镜观测手段研究的结构层次。它包括晶体粒子、玻璃体、胶体,以及材料内部孔隙的形态、大小、分布等结构状况。晶体粒子、玻璃体、胶体,以及材料内部孔隙的形态、大小、分布等状态不同都将影响材料的性质。例如:所有晶体材料都是由大量的、排列不规则的晶粒所组成,因此晶体材料并不像晶体本身那样具有固定的几何外形和明显的各向异性。晶粒的形状和大小对材料的性质也有很大的影响,晶粒细化往往会使材料强度提高。

(三) 宏观结构

宏观结构(亦称构造)是指用放大镜或用肉眼即能分辨的结构层次,如材料的孔隙、岩石的层理、木材的纹理、节疤等。

1. 按孔隙尺寸分

- (1) 致密结构,如金属、玻璃、天然石材等。
- (2) 微孔结构,如水泥制品、石膏制品及黏土砖瓦等。
- (3) 多孔结构,如加气混凝土、泡沫塑料等。

2. 按构成形态分

- (1) 聚集结构,如水泥混凝土、砂浆、沥青混凝土、烧土制品、塑料等。
- (2) 纤维结构,如玻璃纤维、矿棉、棉麻等。

(3) 层状结构, 如胶合板、纸面石膏板等各种叠合成层状的板材。

(4) 散粒结构, 如砂、石及粉状或颗粒状的材料 (膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、粉煤灰等)。

(5) 纹理结构: 天然材料在生长或形成过程中自然造就天然纹理, 如大理石等。

材料的宏观结构是影响材料性能的重要因素。若组成和微观结构相同, 宏观结构不同的材料会出现不同的工程性质, 如玻璃砖及泡沫玻璃具有不同的使用功能。若组成和微观结构不同, 但宏观结构相同, 也会出现相似的工程性质, 如泡沫玻璃与泡沫混凝土都可以作为绝热材料。

第二节 材料的物理性质

一、材料的密度

在土木工程材料中, 没有孔隙的少数匀质材料 (如金属、玻璃等) 密度只有一种, 但是绝大多数材料 (如粗、细集料等) 都含有孔隙。由于材料状态及测定条件不同, 质量有干燥质量与潮湿质量, 体积所包含内部的孔隙不同, 由此得出不同密度的定义。

现以粗集料为例, 集料的组成结构除具有单一岩石外, 集料间还具有空隙, 空隙存在于颗粒之间, 孔隙存在于颗粒内部。材料孔隙之间相互连通, 且与外界相通的孔隙称为开口孔隙, 而不与外界相通的孔隙称为闭口孔隙。

集料体积与质量关系如图 1-2-1 所示。

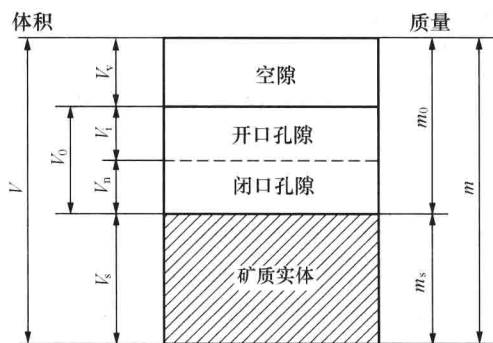


图 1-2-1 集料体积与质量关系图

1. 密度

密度是指材料在绝对密实状态下, 烘干材料单位体积 (不包括开口与闭口孔隙) 的质量。

$$\rho_1 = \frac{m_s}{V_s} = \frac{m}{V_s} \quad (1-2-1)$$

式中 ρ_1 ——密度, g/cm^3 ;

m_s ——材料实体的烘干质量, g ;

V_s ——材料在绝对密实状态下实体的体积, cm^3 ;

m ——材料的质量, g 。

由于密度试验是在空气中称量材料的质量, 材料中的空气质量为 0, 故 $m_s = m$ 。

材料密度的大小取决于材料的组成及微观结构, 相同组成及微观结构的材料其密度为定值。

为了测得含有孔隙材料的密度, 应将其磨成细粉, 除去孔隙, 经干燥至恒重后用李氏瓶测定其绝对密实体积。

2. 表观密度

表观密度 (亦称视密度) 是指材料在规定条件下, 单位表观体积 (包括材料实体、闭口孔隙体积) 的质量。

$$\rho_a = \frac{m_s}{V_s + V_n} = \frac{m}{V_s + V_n} \quad (1-2-2)$$

式中 ρ_a ——表观密度, g/cm^3 ;

V_s 、 V_n ——分别为材料实体、闭口孔隙体积, cm^3 。

3. 毛体积密度

毛体积密度是指材料在规定条件下, 单位毛体积 (包括材料实体、闭口孔隙和开口孔隙的体积) 的质量。

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_s + V_n + V_i} = \frac{m}{V_s + V_n + V_i} \quad (1-2-3)$$

式中 ρ_b ——毛体积密度, g/cm^3 ;

V_s 、 V_n 、 V_i ——分别为材料实体、闭口孔隙和开口孔隙体积, cm^3 。

根据材料含水状态, 毛体积密度可分为干密度、饱和密度和天然密度。

4. 堆积密度

堆积密度是指材料在堆积状态下, 单位体积 (包括材料实体、闭口孔隙和开口孔隙及颗粒间空隙体积) 物质颗粒的质量。

$$\rho = \frac{m_s}{V_s + V_n + V_i + V_v} = \frac{m}{V} \quad (1-2-4)$$

式中 ρ ——材料的堆积密度, kg/m^3 ;

V_s 、 V_n 、 V_i 、 V_v ——分别为材料实体、闭口孔隙、开口孔隙和空隙的体积, m^3 ;

V ——材料的堆积体积, m^3 。

同一种材料存在如下关系: 密度 > 表观密度 > 毛体积密度 > 堆积密度。

在土木工程中, 进行配合比计算、确定材料堆放空间, 以及运输量、材料用量及构件自重等, 经常会用到材料的密度、表观密度、毛体积密度和堆积密度的数值。

二、材料的孔隙率与密实度

1. 孔隙率

材料的孔隙率是指材料孔隙体积占其总体积 (包括孔隙体积在内) 的百分率。

$$n = \frac{V_0}{V_s + V_n + V_i} = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_i}\right) \times 100\% \quad (1-2-5)$$

式中 n ——材料的孔隙率, %;

V_0 ——材料的孔隙体积 (包括闭口孔隙、开口孔隙), cm^3 ;

V_s 、 V_n 、 V_i ——分别为材料实体、闭口孔隙、开口孔隙的体积, cm^3 。

2. 密实度

密实度是指材料体积内被固体物质充实的程度。

$$D = \frac{V_s}{V_s + V_n + V_i} \times 100\% \quad (1-2-6)$$

式中 D ——材料的密实度, %;

V_s 、 V_n 、 V_i ——分别为材料实体、闭口孔隙、开口孔隙的体积, cm^3 。

孔隙率与密实度从两个不同侧面来反映材料的致密程度, 即 $D + n = 1$ 。

建筑材料的许多工程性质, 如强度、吸水性、抗渗性、抗冻性、导热性、吸声性等都与材料的致密程度有关。这些性质除取决于孔隙率的大小外, 还与孔隙的构造特征密切相关。孔隙特征主要指孔隙的种类 (开口孔与闭口孔隙)、大小及孔的分布等。在土木工程材料中, 常以在常温、常压下水能否进入孔中来区分开口与闭口。

因此，开口孔隙率(n_k)是指常温常压下能被水所饱和的孔体积（即开口孔体积 V_i ）占材料总体积的百分率，即

$$n_k = \frac{V_i}{V_s + V_n + V_i} \times 100\% \tag{1-2-7}$$

闭口孔隙率(n_b)是总孔隙率 n 与开口孔隙率 n_k 之差，即

$$n_b = n - n_k \tag{1-2-8}$$

由于孔隙率的大小及孔隙特征对材料的工程性质有不同的影响，因此常采用改变材料的孔隙率及孔隙特征的方法来改善材料的性能，例如对水泥混凝土加强养护提高密实度或加入引气剂，引入一定数量的闭口孔，都可以提高混凝土的抗渗及抗冻性能。

三、材料的空隙率与填充率

1. 空隙率

空隙率是指材料的堆积体积中，颗粒之间空隙体积占其总体积的百分率。

$$n' = \frac{V_v}{V_s + V_n + V_i + V_v} = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_a}\right) \times 100\% \tag{1-2-9}$$

式中 n' ——材料空隙率， $\%$ ；
 ρ ——材料的堆积密度， g/cm^3 ；
 ρ_a ——材料的表观密度， g/cm^3 。

2. 填充率

填充率是指材料的堆积体积中，颗粒填充的程度。以 D' 表示，用式（1-2-10）计算：
$$D' = 1 - n' \tag{1-2-10}$$

四、材料与水有关的性质

（一）亲水性与憎水性

材料与水接触时有两种现象，如图 1-2-2 所示。若材料遇水后其表面能降低，则水在

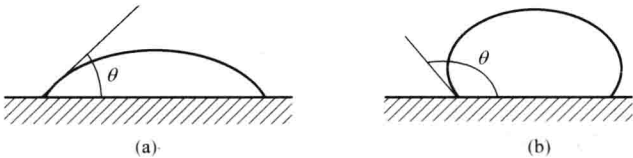


图 1-2-2 材料润湿边角
(a) 亲水性材料；(b) 憎水性材料

材料表面易于扩展，这种与水的亲和性称为亲水性。表面与水亲和能力较强的材料称为亲水性材料，遇水后呈图 1-2-2 (a) 的现象，其润湿边角（固、气、液三态交点处，沿水滴表面的切线与水与固体接触面所成的夹角） $\theta \leq 90^\circ$ 。与此相反，

当材料与水接触时不与水亲和，这种性质称为憎水性，遇水呈图 1-2-2 (b) 的现象， $\theta > 90^\circ$ 。

工程材料中，各种无机胶凝混凝土、石料、砖瓦等均为亲水性材料，它们为极性分子所组成，与水之间有良好的亲和性。沥青、油漆、塑料等为憎水性材料，因为极性分子的水与这些非极性分子组成的材料互相排斥的缘故。憎水性材料常作为防潮、防水及防腐材料。

（二）吸湿性与吸水性

1. 吸湿性

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。材料的吸湿性用含水率表示，即材料在自然状态下，所含水分的质量占其干燥质量的百分率。