

高等学校土木工程专业系列教材

JIANZHU CAILIAO



建筑材料

杨彦克 李固华 潘绍伟 主编
叶跃忠 何川祥 主审



西南交通大学出版社
<http://press.swjtu.edu.cn>

责任编辑 唐元宁
责任校对 李 梅
封面设计 肖 勤

高等学校土木工程专业系列教材

- ◎ 土木工程地质
- ◎ 工程流体力学（水力学）
- ◎ 结构力学教程
- ◎ 结构力学学习指导与能力训练
- ◎ 土力学
- ◎ 建筑材料
- ◎ 建筑材料学习指导
- ◎ 基础工程
- ◎ 钢结构设计原理
- ◎ 建筑法规
- ◎ 土木工程专业英语
- ◎ 铁路选线设计（第二版）
- ◎ 铁路选线课程设计指导书（第二版）
- ◎ 轨道
- ◎ 路基工程
- ◎ 桥梁工程概论
- ◎ 地下工程概论
- ◎ 地下结构设计原理与方法
- ◎ 地下工程施工与管理
- ◎ 房屋建筑工程
- ◎ 高层建筑结构设计原理

ISBN 7-81104-097-2



9 787811 040975 >

ISBN 7-81104-097-2/TU·035

定价：29.50元

高等学校土木工程专业系列教材

建 筑 材 料

杨彦克 李固华 潘绍伟 主编

叶跃忠 何川祥 主审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

建筑材料 / 杨彦克, 李国华, 潘绍伟主编. — 成都:
西南交通大学出版社, 2006.2
(高等学校土木工程专业系列教材)
ISBN 7-81104-097-2

I. 建... II. ①杨...②李...③潘... III. 建筑材
料—高等学校—教材 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 074791 号

建 筑 材 料

杨彦克 李国华 潘绍伟 主编
叶跃忠 何川祥 主审

责任编辑	唐元宁
责任校对	李 梅
封面设计	肖 勤
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
电子邮箱	cbsxx@swjtu.edu.cn
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	19.5
字 数	485 千字
印 数	1—4 000 册
版 次	2006 年 2 月第 1 版
印 次	2006 年 2 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-81104-097-2/TU · 035
定 价	29.50 元

图书如有印装问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

根据国家教育委员会对普通高等学校本科专业目录的修订,土木工程专业与原有专业目录有了较大变化,专业面涵盖了原来的交通、土建、道路工程、桥梁工程、地下结构工程等多个专业方向。本教材是为适应按大类专业培养人才的要求,根据各专业特点,并按高等学校土木工程专业指导委员会编制的“土木工程材料课程教学大纲”的要求而编写的。本书重点讲述了建筑材料的基本性能、无机胶凝材料(重点是水泥)、混凝土和砂浆、钢材与铝合金、木材、合成高分子材料、沥青及防水材料、墙体材料及石材等。

由于建筑材料课程强调实践环节,本书将建筑材料试验集中在后面,并列出了每个试验所采用的试验规范。

本教材除适合铁道桥梁、铁道工程、地下工程、工民建等专业的教学外,还适合建筑学、工程管理等专业的教学。教材深入浅出,叙述生动,结合工程实际,既注重理论知识又突出该课程的工程实际应用特点。

参加本书编写的有西南交通大学杨彦克(绪论、第四章及有关试验)、何川祥(第一章、第二章及有关试验)、李固华(第三章、第六章及有关试验)、潘绍伟(第五章、第七章及有关试验)、叶跃忠(第八、九、十、十一、十二章及有关试验)。由杨彦克、李固华、潘绍伟主编,叶跃忠、何川祥主审。

本书在编写过程中,得到了西南交通大学土木工程学院领导和建筑材料教研室、建筑材料实验室同志们的大力支持和帮助,对书中内容提出了宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

编 者

2005年5月

目 录

绪 论	1
第一章 建筑材料基本性质	5
第一节 材料的组成、结构和构造与性质的关系	5
第二节 材料的物理性质	8
第三节 材料的力学性质	16
第四节 材料的耐久性、装饰性和环保性	22
复习思考题	25
第二章 气硬性胶凝材料	26
第一节 建筑石膏	26
第二节 建筑石灰	32
第三节 水玻璃	37
第四节 镁氧水泥	39
复习思考题	41
第三章 水泥	42
第一节 硅酸盐水泥	42
第二节 掺混合材的硅酸盐水泥	55
第三节 专用水泥和特性水泥	62
第四节 铝酸盐水泥	68
复习思考题	71
第四章 混凝土	73
第一节 普通混凝土组成材料及其作用	73
第二节 新拌混凝土和易性	83
第三节 混凝土硬化特性及强度	87
第四节 混凝土在硬化过程中及硬化后的变形性能	94
第五节 硬化钢筋混凝土的耐久性	97
第六节 混凝土质量控制与强度评定	104
第七节 普通混凝土配合比设计	108
第八节 其他混凝土	115
复习思考题	130

第五章 建筑砂浆	134
第一节 砂浆的定义和分类	134
第二节 建筑砂浆的技术性质	136
第三节 砌筑砂浆	138
第四节 砌筑砂浆配合比设计	140
第五节 一般抹灰砂浆	142
第六节 装饰砂浆	144
复习思考题	146
第六章 钢材与铝合金	147
第一节 钢的生产、分类与晶体组织	147
第二节 钢材的技术性质	153
第三节 化学成分、热处理、冷加工硬化与时效对钢性质的影响	159
第四节 建筑钢材的标准与选用	162
第五节 建筑钢材的锈蚀及其防止	176
第六节 铝及铝合金	178
复习思考题	181
第七章 木材	182
第一节 木材的分类与构造	182
第二节 木材的物理力学性质	183
第三节 木材的防护处理	186
第四节 木材的综合利用	187
复习思考题	189
第八章 合成高分子建筑材料	190
第一节 合成高分子材料基础知识	190
第二节 塑料	192
第三节 橡胶	197
第四节 合成高分子防水卷材	198
第五节 合成胶粘剂	199
复习思考题	201
第九章 沥青及防水材料	202
第一节 石油沥青与煤沥青	202
第二节 防水卷材	208
第三节 沥青基防水涂料	211
第四节 沥青基建筑密封材料	214
第五节 沥青混合料及沥青砂浆	216
复习思考题	220

第十章 墙体材料及石材	221
第一节 墙体材料	221
第二节 石材	229
复习思考题	232
第十一章 常用建筑装饰材料	233
第一节 玻璃	233
第二节 建筑涂料	240
第三节 建筑饰面石材	243
第四节 建筑陶瓷	245
复习思考题	246
第十二章 绝热材料与吸声材料	247
第一节 绝热材料	247
第二节 吸声材料	251
复习思考题	253
建筑材料试验	254
试验一 材料的基本性质试验	254
试验二 水泥性能检验	262
试验三 混凝土试验	271
试验四 建筑砂浆试验	290
试验五 建筑钢材试验	292
试验六 石油沥青及沥青混合料马歇尔稳定度试验	297
参考文献	304

绪 论

一、建筑材料与土木工程

广义上的建筑材料指构成土木工程的材料总和,它包括结构材料、维护材料、装饰材料,以及各种功能材料(如防水、保温隔热、隔声吸声、透光反光材料)、门窗材料、小五金材料等。

建筑材料的发展是随着社会科技的进步而不断发展的。我们的祖先最早就是从利用自然界材料建造人们赖以生活的住所开始,才有了后来的古罗马建筑、埃及金字塔、中国的万里长城。人类在土木工程的建造中发现(发明)了许多现在仍被广泛使用的建筑材料,如石灰、石膏、波特兰水泥、钢铁、减水剂、碳纤维等,也正是由于出现了钢筋混凝土、高强合金钢、高强纤维等,才使我们今天的建筑发生了如此巨大的变化。如波兰的 65 m 高的钢筋混凝土世纪大厅;德国采用玻璃纤维增强水泥建造的联邦园艺展览厅的双曲抛物面屋顶,直径 31 m,厚 1 cm,重量才 25 t;还有我国正在建造的苏通长江公路大桥,其全长 8 206 m,主跨 1 088 m,是一座双塔斜拉桥,这些都说明材料的发展对土木工程的发展贡献是多么的巨大。

现代土建工程中采用的钢材强度已达 1 800 MPa,碳纤维可达 2 000~4 000 MPa,而混凝土材料强度在很多建筑中已用到 100~150 MPa。由于不断应用新型材料,才可能有结构的创新和发展。可以这样认为:如果说土木建筑业的发展可以折射出社会的进步,那么建筑材料的发展对它的促进作用则功不可没。

随着现代社会的发展,人们对土木建筑工程,如桥梁、隧道、高层建筑、城市交通网、地下铁路、大型标志性建筑、大型水利工程、海港工程等,提出了更高的要求,除了高强轻质外,还要求高寿命(100~500年)、低能耗、绿色环保。

从成本上考虑,一项土建工程,材料所占工程造价的比例是最高的(根据工程性质的不同,比例在 50%~80% 范围内变化)。因此,合理、正确地选用材料,是降低工程造价的关键,否则会由于材料选用不当甚至严重失误而导致重大工程事故的发生。

二、我国建筑材料的发展

建国初期,我国水泥年产量仅 66 万吨,钢产量几乎为零。改革开放后我国土木工程和建材业得到了迅速的发展,2004 年钢材已达到 1.25 亿吨,占全世界的 1/4,居世界首位;1985 年水泥年产量就达到了 1.5 亿吨,居世界第一,2003 年我国水泥产量已达世界产量的 1/3 以上;普通玻璃年产量现在已达到 1 亿标箱以上;其他建筑材料如建筑陶瓷,已占到世界产量

的 1/4 以上。我国是建筑材料名副其实的大国。当然,我国的建筑材料产业得益于蓬勃发展的建筑业,但基建投资的迅速发展,使很多生产还停留在高能耗、低效率、高污染状况。要改善现状,必须建立健全相关法律,并与国际接轨。

随着科学技术的发展,材料的研究与开发利用已成为国民经济的支柱产业,并相应产生了一门新的学科——材料科学。它是运用物理、化学、力学的基本理论,通过电子显微镜、X 射线、红外光谱仪及其他现代测试手段,研究材料组成、内部结构和构造对性能的影响以及相互作用的一门科学。它的产生为材料的研制、生产和应用提供了广泛的理论依据,也为新产品的产生奠定了理论基础。随着土木工程的发展,人们对未来的建筑材料提出了以下要求:

(1) 高耐久性。有高的预期寿命,且综合单价低(含运营期维护费)。

(2) 高性能。要求综合性能优良,如结构材料轻质、高强、高抗震性。

(3) 多功能化。既是承重材料,又是维护材料,还具有良好的保温、隔热、隔声等功能。如多功能玻璃墙可起到装饰、隔声、吸热、防辐射、单面透光等作用。

(4) 绿色环保。材料从生产、施工到使用多个环节上都是低能耗、低污染,不影响生态环境。

(5) 智能化。某些土木工程重要部位的材料在发生破坏前能产生自救功能,或发出警示信号等。

三、建筑材料的分类

建筑材料品种繁多,由于使用和生产的目不同,分类方法也就不同。如按化学成分可分为无机材料、有机材料和复合材料,见表 0.1。

表 0.1 按化学成分建筑材料的分类

建 筑 材 料	无机材料	金属材料	黑色金属:钢、铁 有色金属:铝及铝合金、铜及铜合金
		非金属材料	天然石材:石灰岩、大理石、花岗岩、砂岩
			陶瓷和玻璃:砖、瓦、玻璃、陶瓷
			无机胶凝材料:石膏、石灰、菱苦土、水玻璃、水泥
			混凝土与砂浆:混凝土、砂浆、硅酸盐制品
	有机材料	植物材料	木材、竹材、纤维制品
		高分子材料	塑料:聚乙烯、聚氯乙烯、工程塑料
			涂料:聚乙烯醇、丙烯酸酯、聚胺酯
			胶粘剂:环氧类、聚酯酸乙烯、丙烯酸酯
			密封膏:聚硫橡胶
		沥青材料	石油沥青、煤沥青
	复合材料	金属与非金属:钢筋混凝土、钢丝网水泥、钢纤维混凝土	
		有机与无机:聚合物混凝土、沥青混凝土、纤维增强塑料	

若按材料在工程中的功能可分为承重材料、防水材料、隔热保温材料、吸声材料、装饰材料 and 防护材料等；按用途可分为结构材料、墙体材料、屋面材料、地面材料、装饰材料等。

四、建筑材料的标准与工程建设规范

为了确保土木工程质量的百年大计，必须从材料的生产、运输、保管、施工、验收等方面全方位监控，而监控的依据就是规范。目前我国已制定了各种建筑材料的技术标准，它们包括产品的规格、分类、技术要求、检验方法、验收方法、验收标准、包装标志、运输和储存等要求。

按照这些标准，企业就可以进行生产质量控制，也可以依此评定产品质量合格与否，并为需求一方对产品质量进行验收提供了依据。

我国建筑材料标准分为国家标准、部委行业标准、地区标准和企业标准。国家标准和部委行业标准是全国通用标准。

世界各国对建筑材料均有各自的国家标准，如美国的“ASTM”标准、德国的“DIN”标准、英国的“BS”标准、日本的“JIS”标准等。另外，世界范围还统一使用“ISO”国际标准。

我国常用的标准有：

(1) 国家标准。国家标准有强制性标准（代号 GB），推荐标准（代号 GB/T）。

(2) 部委行业标准。有建筑工业标准（代号 JG）、建材行业标准（代号 JC）、冶金行业标准（代号 YB）、交通行业标准（代号 JT）、铁道部标准（代号 TB）等。

(3) 地方标准（代号 DB）和企业标准（代号 QB）。

另外，我国土木工程协会标准（代号 CCES）也是全国推荐标准，它具有前瞻性和引导性。

标准表示方法一般是由标准名称，部门代号，编号和批准年份等组成。例如，国家标准《建筑用砂》（推荐性）为 GB/T14684—2001，国家标准《钢筋混凝土热轧带肋钢筋》（强制性）为 GB1499—1998。对强制性标准，任何技术（或产品）不得低于其规定的要求；对推荐性国家标准，也可执行其他标准。地方标准和企业标准所制定的技术要求应高于国家标准。

五、本课程的目的和要求

建筑材料课程是针对土木类及相关专业开设的专业基础课。它是从工程实用的角度去研究材料的原料和生产、成分和组成、结构和构造、环境条件等对材料性能的影响以及其相互关系的一门应用科学。作为一个未来的土木工程技术人员，建筑材料的一些基本知识是必须具备的，这样才能在今后从事专业技术工作时，合理选择和使用建筑材料。

虽然建筑材料种类、品种、规格繁多，但常用的建筑材料品种并不多，通过对常用的、有代表性的建筑材料的学习，可以为今后工作中了解和运用其他建筑材料打下基础。

建筑材料课程的学习要抓住一个中心，即材料的性能，但如果我们孤立地去死记这一性能实际上是很困难的。只有通过学习材料的组成、结构、构造和其性能的内在联系，以及影响这些性能的因素，才有可能从本质上去认识它。

此外，在学习建筑材料课程时，可把相关内容分为三个层次。第一层次是建筑材料基础

知识,所谓基础知识是指在土木工程中与建筑材料有关的术语,如标准试件、标准强度、强度等级、屈服强度(σ_s)、材料牌号、材料技术指标等;第二层次是建筑材料的基本性质,它包括材料的生产工艺,材料的组成、结构、构造和性能的关系及其影响因素,这一层次要求学生重点掌握,并能运用已有的理论知识对上述关系进行分析;第三层次是有关建筑材料的基本技能,指能够结合工程实际,正确选用材料,而且可根据工程实际情况对材料进行改性,设计计算材料配比、材料强度、耐久性等。上述三个层次也是本门课程考核的重点。

在学习中,通常可以通过对比法找出它们的共性和各自的特性。此外,要抓住建筑材料中典型材料、通用材料,举一反三,紧密联系工程实际问题,在学习中寻求答案,这样有助于增强学习的兴趣和效率。

本课程是一门实践性很强的课程,为了配合理论教学,还开设了必要的建筑材料试验。试验是本课程的重要教学环节,通过试验可验证所学的基础理论,熟悉材料检验方法,掌握一定的试验技能,对培养分析和判断问题的能力、试验工作能力以及严谨的科学态度十分有益,也为今后从事既有材料的改性、新材料的研制以及材料方面的科学研究打下基础。

第一章 建筑材料基本性质

各种不同结构形式、不同使用环境和不同使用功能的现代建筑物是由具有相应优良性能的建筑材料构筑而成的。建筑材料性能的优劣在很大程度上决定了建筑物的安全性、耐久性、适用性和美观性。因此，熟悉和掌握各种建筑材料的技术性质和特点，对现代建筑工程技术人员是十分重要的。

建筑材料的技术性质很多，为了便于研究，我们把不同材料所具有的一些重要的共同性质称为材料的基本性质。在本章中主要介绍材料的物理性质、力学性质、耐久性质等，并讨论这些性质与材料的组成、结构和构造的关系。

第一节 材料的组成、结构和构造与性质的关系

影响材料性质的因素很多，通常可以归纳为两部分，即外部因素和材料自身的内部因素。材料的组成、结构和构造是影响其性质的内部因素。

一、材料的组成

建筑材料的组成包括化学组成和矿物组成，它是决定材料各种性质的重要因素。

化学组成是指构成材料的各种化学元素和氧化物含量。根据化学组成可大致判断材料的一些性质，如耐火性、化学稳定性等。不同化学组成的材料其性质不同，如碳素钢随含碳量的改变，其强度、硬度、塑性、冲击韧性等将发生变化；硅酸盐水泥熟料中若游离氧化钙含量过多会影响水泥体积的安定性。由于多数建筑材料的化学组成非常复杂，因此很难用某种化合物来表示，也很难找到化学组成与材料性能之间的直接关系。有时即使化学组成相同，其性质也不尽相同，如金刚石和石墨、有机高分子材料的同分异构现象等。因此，对不同的材料应采用与之相适宜的化学组成分析方法，如石油沥青材料在工程实践中是采用化学组成的分析方法代替化学元素的分析方法。

矿物组成是指构成材料的矿物种类与含量。矿物是指具有相对固定的化学成分和结构特征的单质和化合物，包括天然矿物和人造矿物。组成矿物的物质是各种氧化物和无机盐类，无机非金属材料则是由不同的矿物组成，每一种矿物都具有一些特殊的性质，如果不考虑材料内部各种矿物之间的相互作用，无机非金属材料的性质就取决于组成该材料的各种矿物的

相对含量。如硅酸盐水泥中,若硬化强度较高的熟料矿物硅酸三钙含量高,则该水泥的硬化强度较高;若水化放热量较小的熟料矿物硅酸二钙含量较多,则该水泥为水化速度较慢的低热水泥。

二、材料的结构

材料的结构是决定材料性能最重要的因素,是指用肉眼或放大镜不能观察到的材料内部的组织状态,它可分为微观结构和亚微观结构。

(一) 微观结构

微观结构是原子、分子层次的材料内部组织状态,可通过电子显微镜、X射线衍射等检测手段对其进行观察、分析和研究。建筑材料的微观组织结构可分为晶体结构、玻璃体结构和胶体结构等三种。

1. 晶体结构

晶体结构是材料内部质点(离子、原子、分子)按照特定的规则排列形成的呈周期重复的空间点阵。它根据各类质点在空间排列规律的不同而构成不同的晶格形式,如体心立方晶格、面心立方晶格、六方晶格、斜方晶格等。

单晶体具有规则的几何外形、固定的熔点、各向异性、化学稳定性好等特点。这些性能特点与单晶体中质点种类及相互作用力、排列方式、密集程度、质点处于最低能量位置等结构特征有必然的联系。质点之间的相互作用根据质点种类不同有共价键(原子键)、离子键、分子键等,其中原子键力最大,离子键力次之,分子键力最小。金属键力则由电子数目确定,电子越多,结合力越大。质点密集程度较高的材料密度较大,强度较高,硬度也较高。钢材中晶格的质点密集程度很高,质点间有金属键联结着,这使得钢材具有很大的塑性变形能力,并且具有良好的导热性和导电性。一定数目的自由电子也使得钢材有较高的强度。如果晶格中质点的密集程度不高,则材料的变形能力就很小,即使质点间以共价键联结,其脆性也很大,如天然石材等。

实际上多数晶体材料是由很多的微小晶粒杂乱堆积而成,因而其性能特点是大致各向同性,且具有固定的熔点和稳定的化学性质。材料结构中微小晶粒之间的接触面称为材料的晶界面,晶界面的界面性质及界面面积在很大程度上影响着材料的宏观性质。晶体尺寸越小,单位体积晶界面积就越大,通常情况下,材料的内聚力也就越大,从而具有较好的宏观力学性质。例如采用合金化、热处理等工艺措施可使建筑钢材中的晶粒细化、粒形改变、强化铁素体,从而获得较好的力学性能。

在复杂的晶体结构中,原子团可以联结成不同的结构形式。在建筑材料中占有重要地位的硅酸盐晶体材料,其基本结构单元——硅氧四面体联结形式的不同导致了性能上的巨大差异。具有空间结构形式的硅酸盐晶体材料,其整体性好,也比较坚固,如石英砂等;具有平面网状结构的硅酸盐晶体材料,由于结构平面间的联结比较薄弱,因此易分解成片状,如云母等;具有链状结构形式的硅酸盐晶体材料,链与链之间的联结作用弱于链本身,则形成纤维状物质,纤维材料顺纤维方向的抗拉强度和抵抗变形的能力均很高,如石棉等。

2. 玻璃体结构

玻璃体结构是材料内部质点无规律的排列而形成的紊乱的空间点阵。玻璃体材料是无定型物质,性能特点为各向同性,且无固定熔点,只是出现软化现象,具有化学不稳定性。其性能特点与结构内部质点种类及质点在空间无规律排列的紊乱程度有关。

晶体材料熔融物经缓慢冷却后可重新生成晶体,其再结晶程度与冷却速度有关。如果熔融物冷却速度很快,液相粘度将急剧增大,质点来不及回到原来的位置便凝固成固体状态。所以,玻璃体结构是无机非金属晶体熔融物经急速冷却后在常温下保留的高温组织状态。

由于高温组织状态中各质点都处于极不稳定的位置,都具有较高的能量,因此玻璃体材料具有较高的内部能量。在一定的条件下,无机非金属玻璃体材料容易发生化学反应。如火山灰、粉煤灰、粒化高炉矿渣在碱性和硫酸盐环境中具有较好的水硬胶凝性能而被用来作为建筑材料;混凝土用天然岩石骨料中若含有无定型二氧化硅则易产生碱—骨料反应,生成膨胀性的碱—硅酸凝胶,从而导致混凝土开裂破坏;而含结晶态二氧化硅的石英砂在常温下却不能与石灰进行化学反应。

3. 胶体结构

胶体结构是指大量微小的固体粒子(直径为 $1 \sim 100 \mu\text{m}$) 均匀稳定地分散在介质中所形成的结构。由于分散介质可以有不同的形态,因此胶体材料在常温下呈固态、半固态、液态等形式。

由于胶体材料中分散相固体粒子尺寸很小,因此具有很大的内比表面积和表面能,从而具有很强的吸附能力和粘结强度。水泥石强度理论认为:水泥石具有较高强度的原因是由于水泥水化产物——水泥凝胶具有巨大的内比表面积(约 $210 \text{ m}^2/\text{g}$)。

液态和半液态胶体由于脱水作用或质点的凝聚作用而产生凝胶。凝胶具有固体性质,但凝胶在长期应力作用下又具有粘性液体的流动性,这个性质是混凝土徐变机理的理论依据。

胶体结构材料的性能取决于分散相和分散介质的性质,以及两者之间的相互作用和相对含量。如建筑石油沥青中油分组分(液体分散介质)含量较多时,沥青的流动性和塑性较好,但粘性和温度稳定性较差。由于石油沥青和煤沥青两者表面张力相差很大,因此两者不能直接混合形成稳定的胶体结构。

胶体材料是一种非晶体材料,在外力作用下,其弹性变形和塑性变形并没有明显的界限划分,而是同时产生可恢复的弹性变形和不可恢复的粘性流动。

(二) 亚微观结构

材料的亚微观结构是指借助光学显微镜所能观察到的材料内部的组织状态。材料的亚微观结构与性能之间往往有直接的联系,因此对亚微观结构的研究是改善材料性能、开发新型材料的有效途径。

利用亚微观光学显微镜,可研究钢材中各种晶体组织,如铁素体、珠光体、渗碳体等的分布及含量,从而确定钢材的力学性能;可以观察木材内部组织,如管胞、导管、木纤维、树脂道的分布情况;可以对水泥熟料进行物相分析,借此确定各种熟料矿物的晶相及相对含量以预测水泥的性能并指导水泥生产;可以观察材料中较小孔隙的情况,研究混凝土中骨料与水泥石的粘结。利用光学显微硬度仪,可以研究复合材料中两相界面作用的效应及范围等。

三、材料的构造

材料的构造是指宏观的内部组织状态和具有特定性质的材料单元的组合情况。材料的性质不但与材料的组成和结构有关,而且与材料的构造有极其密切的联系。常见的材料构造有材料的孔隙构造,天然岩石的层状构造及层理,木材的纤维构造,混凝土的三相多孔构造等。

天然或人工的石材由固体和孔隙组成,当固体的性质确定以后,石材的性质在很大程度上由孔隙构造决定。孔隙构造的内容包括:孔隙率、孔径分布、孔几何形状、孔连通程度等。通常情况下,材料的孔隙率小,则有效承载面积大,材料的密实度高、强度高并具有较好的耐久性;当孔隙率不变时,若接近球形的孔较多,则应力集中程度小,强度较高;孔径分布指材料内部各种不同尺寸的孔的数量分布。研究表明,在前述两个条件(孔隙率、孔几何形状)相同时,含小孔多的天然或人工石材性能较优;连通孔多会降低材料的耐久性和隔热性。

具有层理或纹理的材料是各向异性的,如云母可沿其解理面分解;天然石料的开采可沿岩石层状构造的方向进行;木材具有较高的顺纹抗弯强度,在纤维方向具有较小的干缩变形值。

使用单一种类的材料已很难满足现代建筑的要求,因此应研发、应用更多的复合材料来获得更多的优良性能。复合材料的性能取决于各材料组成单元的性质、相对含量和相互作用。按各材料单元的组合方式,可将材料分为堆聚构造材料(如水泥、混凝土等)、纤维构造材料(如纤维混凝土、纤维增强塑料等)、层状构造材料(如胶合板等)和散粒构造材料(如膨胀珍珠岩等)。

第二节 材料的物理性质

材料的物理性质包括材料与质量、水、热等有关的性质。

一、材料与质量有关的性质

(一) 材料的密度(ρ)

材料的密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的干质量。材料的密度按下式计算:

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

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 ——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体实体积。按材料内部孔隙的多少可分为密实材料、多孔材料和微孔材料。除钢材、玻璃等少数密实材料外,绝大多数材料内部都有一定数量的孔隙。在测定材料的密度时,应先将试样磨细,烘干至恒质量,称

取规定质量试样，然后将其装入李氏瓶用排液法测得固体实体积，再由上式计算得到密度。在试验过程中将材料磨得越细，所测得的固体实体积就越精确。

(二) 材料的视密度 (ρ')

工程中使用的某些材料，如混凝土用砂、石骨料等均属比较密实的材料，其视密度值和密度值或表观密度值相差很小，为应用方便，对这类材料可以用视密度代替密度或表观密度。材料的视密度按下式计算：

$$\rho' = \frac{m}{V'}$$

式中 ρ' ——材料的视密度 (g/cm^3)；
 m ——材料在干燥状态下的质量 (g)；
 V' ——材料的视体积 (cm^3)。

材料的视体积用排液法进行测定，其值为材料的固体体积与材料内孔（常压下水或其他液体不能够进入的孔）体积之和。

(三) 材料的表观密度 (ρ_0)

材料的表观密度是指块体材料在自然状态下单位体积的干质量。材料的表观密度按下式计算：

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

式中 ρ_0 ——块体材料的表观密度 (g/cm^3 或 kg/m^3)；
 m ——块体材料在干燥状态下的质量 (g 或 kg)；
 V_0 ——块体材料在自然状态下的体积或表观体积 (cm^3 或 m^3)。

在测定材料的表观体积时，先用蜡或其他材料封闭材料的外孔（常压下水或其他液体能够进入的孔），然后用排液法测定，其值为材料的固体体积和材料的内、外孔体积三者之和。

在实际工程中，有时需要测定含有水分的材料的表观密度。当材料含水时，其质量和体积均发生改变，此时测定的表观密度应注明含水情况。

(四) 材料的堆积密度 (ρ'_0)

材料的堆积密度是粉状或粒状材料在堆积状态下单位体积的干质量。材料的堆积密度按下式计算：

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

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度 (kg/m^3)；
 m ——材料在干燥状态下的堆积质量 (kg)；
 V'_0 ——材料在堆积状态下的体积 (m^3)。

材料的堆积体积用容积升来测定，当散粒材料将容积升填满时，该容积升的体积则为