

357

高等学校教材



建筑材料

(第四版)

武汉大学 李亚杰 主编



A0970727

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书主要讲述水利水电工程、工业与民用建筑工程及水运工程中常用的各种建筑材料的成分、生产过程、技术性能、质量检验、使用及保管等基本知识。其中,以技术性质、质量检验及合理使用为重点。全书共分为十四章,即建筑材料基本性质,天然石料,气硬性胶凝材料,水泥,水泥混凝土,建筑砂浆,沥青及沥青混合料,建筑钢材,合成高分子材料,木材,墙体材料及屋面材料,防水材料,绝热、吸声及装饰材料,建筑材料试验等。

本书全部按现行国家标准、部及行业标准和最新规范编写。

本书为高等学校水利水电工程、农田水利工程、河流工程、港口、航道及海洋工程、工业与民用建筑工程、道路工程及工程建设监理等专业的教材和教学用书,也可供有关大专和中等专业学校的教师和工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑材料/李亚杰主编. —4 版. —北京: 中国水利水电出版社, 2001. 3

高等学校教材

ISBN 7-5084-0593-5

I. 建… II. 李… 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 (2001) 第 05976 号

书 名	高等学校教材 建筑材料 (第四版)
作 者	武汉大学 李亚杰 主编
出 版	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	水利电力出版社印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 19.75 印张 467 千字
版 次	1979 年 6 月第一版 1985 年 5 月第二版 1993 年 6 月第三版 2001 年 3 月第四版 2002 年 3 月北京第十一次印刷
印 数	139871—145970 册
定 价	24.90 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

第 四 版 前 言

本书是根据高等学校水利水电类专业第四轮教材选题出版规划，在第三版的基础上进行修订的。修订中，尽量反映近年来我国建筑材料科研、生产及工程应用的新成果，全部按现行国家标准、部及行业标准和最新规范编写。同时，为了适应教学改革发展的需要，适当拓宽了本书的内容和使用专业。本书主要讲述水利水电工程、水运工程、工业与民用建筑工程中常用的主要建筑材料的成分、生产过程、技术性能、质量检验、使用及运输保管等基本知识。

本书为高等学校水利水电工程建筑、农田水利工程、水利水电工程施工、河流工程、港口、航道及海洋工程、工业与民用建筑工程、道路工程及工程建筑监理等专业的教材和教学用书，也可作为工程技术人员的参考书。

本书由下列院校的教师分工编写：武汉大学李亚杰负责编写绪论、第一、八、九、十二章、第十四章第九节及附录一、附录二、附录三；曾力负责编写第二、十章；何真负责编写第三、四章；方坤河负责编写第五章。西安理工大学张浩博负责编写第六、七章及第十四章的第六、七、八节。河海大学肖玉明负责编写第十一、十三章及第十四章的第一～五节、第十、十一节。

全书由李亚杰主编，河海大学梁正平教授担任主审。

在编写过程中，参考了各校对第三版教材所提出的修改意见，得到了第三版作者的大力支持，还有很多同志对本书提出过许多宝贵意见和建议，特此表示衷心感谢。

由于我们的水平有限，书中难免有缺点和不妥之处，恳请指正。

编 者

2000 年 8 月

第三版前言

本书是根据“高等学校水利水电类专业教材编审出版规划”，在第二版的基础上进行修订的。修订中，参考了各院校对第二版所提的修改意见。同时，为适应当前教学改革中专业发展的需要，适当拓宽了本书的内容，主要讲述水利水电工程及工业与民用建筑工程中常用的各项主要建筑材料。

本书由下列院校的教师分工编写：武汉水利电力学院王国欣、李鸿恩、白福来、牛光庭、李亚杰负责编写绪论、第一、二、四、五、六、十一章及试验第十部分；陕西机械学院丁朴荣负责编写第七、八章及试验第九部分；成都科技大学李玉德负责编写第九、十章；河海大学卢瑞珍负责编写第三、十二章及试验第一至八及十一部分。

本书由武汉水利电力学院牛光庭、李亚杰合编，大连理工大学王庆寿担任主审。

在编写过程中，许多同志曾对本书提出了宝贵建议，在此致以衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中难免有不少缺点和不妥之处，希望同志们继续提出宝贵意见。书中用*或*- *号隔开的部分，带*号的章、节、附录，为选学内容。

编者

1992年5月

第 二 版 前 言

根据“高等学校水利电力类专业教材编审出版规划”，按照1982年讨论拟定的水利水电工程建筑专业、农田水利工程专业的教学大纲，对本书进行了修订。

修订中，力求反映近年来我国建筑材料方面的新成就；适当加强了有关基础理论的阐述；引用了近年来我国新修订的有关技术标准及试验规程。同时，对于某些部分，作了必要的精简。

第二版由武汉水利电力学院王国欣同志担任主编，大连工学院王庆寿同志担任主审。各章节的修订工作，均按初版的分工进行。除原有参加编写的同志外，华东水利学院卢瑞珍同志、武汉水利电力学院李亚杰同志也参加了部分编写工作。

本书初版发行以来，有不少同志对本书提出过宝贵建议。在此，特向他们表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中仍有不少缺点和不妥之处，希望同志们提出宝贵意见。

编 者

1984年4月

第一版前言

本书是根据 1978 年 1 月水利电力部召开的教学计划和教材规划座谈会的要求，按照 1978 年 4 月建筑材料教材编写大纲讨论会所拟定的教材编写大纲编写的，作为高等学校水利水电工程建筑专业、农田水利工程专业、水道及港口工程建筑专业的教材，也可作为水利类其他各专业的教学用书。

由于建筑材料试验是建筑材料课程的重要组成部分，为学习使用方便起见，建筑材料试验的内容也包括在本书中，一并出版。

在编写中，力求贯彻“少而精”的原则，注意加强基本理论的阐述及基本技能的培养。主要讲述了水利工程中常用的各项主要建筑材料，其中重点突出了水泥、水泥混凝土、沥青及沥青防水材料等有关部分的内容及其试验；对近年来国内外出现的新型材料（如合成高分子材料等），亦作了一定的介绍。对于某些章节，采用小字排印，以供不同专业根据情况选用。

书中引用的有关技术标准及试验规程，均采自现行的技术规范。随着科学技术的不断发展，对原有规范将不断进行修订。因此，国家颁布新的规范时，应以新的技术标准及试验规程为准。

本书由下列院校的教师分工编写：武汉水利电力学院王国欣、李鸿恩、白福来、牛光庭同志负责编写绪论、第一至四章及第九章，并担任全书主编；西北农学院叶淑君、丁朴荣同志负责编写第五、六章及试验第六部分的第（五）、（六）项、试验第七部分；成都工学院李玉德同志负责编写第七、八章；华东水利学院谢年祥、林毓梅同志负责编写试验第一至五部分、试验第六部分的（一）至（四）项、试验第八部分。

本书由大连工学院王庆寿同志担任主审。

全书的绘图工作由武汉水利电力学院杨玉琦同志担任。

对于本书存在的缺点和不妥之处，希各院校师生及读者提出宝贵意见。

编 者

1978 年 12 月

目 录

第四版前言	
第三版前言	
第二版前言	
第一版前言	
绪论	1
第一章 建筑材料的基本性质	3
第一节 材料的组成、结构与构造	3
第二节 材料的密度、表观密度和孔隙率	6
第三节 材料的力学性质	7
第四节 材料与水有关的性质	13
第五节 材料的耐久性	15
第六节 材料与热有关的性质	17
复习思考题	18
第二章 天然石料	19
第一节 岩石的形成与分类	19
第二节 天然石料的主要技术性质	21
第三节 工程中常用的天然石料	23
复习思考题	25
第三章 气硬性胶凝材料	26
第一节 石灰	26
第二节 石膏	28
第三节 水玻璃	30
第四节 镁质胶凝材料	31
复习思考题	32
第四章 水泥	33
第一节 概述	33
第二节 硅酸盐水泥	33
第三节 混合材料及掺有混合材料的硅酸盐水泥	42
第四节 其它品种水泥	47
第五节 水泥的应用	50
复习思考题	51
第五章 水泥混凝土	53
第一节 概述	53

第二节	混凝土的主要技术性质	54
第三节	水泥混凝土的骨料及拌和（养护）用水	72
第四节	混凝土外加剂	78
第五节	混凝土的掺合料	86
第六节	混凝土的配合比设计	90
第七节	混凝土的质量控制	101
第八节	轻混凝土	106
第九节	碾压混凝土	112
第十节	其它品种水泥混凝土	117
复习思考题		121
第六章	建筑砂浆	123
第一节	建筑砂浆的组成材料	123
第二节	建筑砂浆的技术性质	124
第三节	建筑砂浆配合比设计	126
复习思考题		130
第七章	沥青及沥青混合料	131
第一节	沥青材料	131
第二节	沥青混合料	147
复习思考题		158
第八章	建筑钢材	160
第一节	概述	160
第二节	建筑钢材的力学性能和工艺性能	161
第三节	铁碳合金的晶体结构	164
第四节	化学元素对钢材性能的影响	168
第五节	钢的压延加工及热处理	169
第六节	建筑钢材的牌号与应用	171
第七节	钢材的腐蚀与防护	180
复习思考题		182
第九章	合成高分子材料	183
第一节	合成高分子化合物基础知识	183
第二节	建筑塑料	185
第三节	常用合成橡胶及合成纤维	187
第四节	合成胶粘剂	189
第五节	聚合物混凝土	191
复习思考题		194
第十章	木材	195
第一节	木材的构造	195
第二节	木材的物理和力学性质	196

第三节 木材的主要产品及等级	199
第四节 木材的腐蚀及防护	201
复习思考题	202
第十一章 墙体材料和屋面材料	203
第一节 烧结砖	203
第二节 工业废渣砖	209
第三节 建筑砌块	210
第四节 建筑板材	211
第五节 屋面材料	212
复习思考题	214
第十二章 防水材料	215
第一节 防水涂料	215
第二节 防水卷材	217
第三节 建筑密封材料	224
复习思考题	229
第十三章 绝热、吸声及装饰材料	230
第一节 绝热材料	230
第二节 吸声材料	231
第三节 装饰材料	233
复习思考题	237
第十四章 建筑材料试验	238
第一节 石料试验	239
第二节 水泥试验	243
第三节 混凝土骨料试验	254
第四节 混凝土拌和物试验	263
第五节 混凝土试验	271
第六节 砂浆试验	278
第七节 沥青材料试验	281
第八节 沥青混凝土试验	285
第九节 木材试验	289
第十节 砌墙砖试验	293
第十一节 试验资料整理分析	295
附录一 工业与民用建筑工程普通混凝土的几项技术指标	298
附录二 水工混凝土的几项技术指标	299
附录三 水运工程混凝土的几项技术指标	303
主要参考文献	306

绪 论

建筑材料是指建造各种土木建筑工程——水利、水运、房屋、道路、桥梁等所应用的材料。通常按材料的组成为三大类：第一类是无机材料，它又分为无机非金属材料（也称为矿物质材料）和金属材料；第二类为有机材料，包括植物材料、沥青材料和合成高分子材料等；第三类为复合材料，它是由两种或两种以上材料复合而成的材料，例如由金属——矿物质材料复合的钢筋混凝土材料，由无机——有机材料复合的聚合物混凝土及玻璃纤维增强塑料（又名玻璃钢）等。建筑材料还可按其功能分为结构材料、防水材料、装饰材料、防护材料及隔热保温材料等。

建筑材料是一切建筑工程的重要物质基础。在任何一项建筑工程中，用于建筑材料的投资都占有很大的比重。同时，建筑材料的品种、质量与规格，直接影响着工程结构形式和施工方法，决定着工程的坚固、耐久、适用、美观和经济性。因此，凡从事建筑工程的技术人员和专家——建筑师、建筑经济师、设计及施工工程师，都应该懂得建筑材料知识。

建筑材料的发展是随着人类社会生产力的不断发展而发展的，与建筑技术的进步有着不可分割的联系，它们相互制约又相互推动。建筑物的结构形式及施工方法受到建筑材料性能的制约，建筑工程中许多技术问题的解决，往往依赖于建筑材料问题的突破；建筑工程的需要，对建筑材料的品种、质量不断提出更高、更新的要求，而新型建筑材料的出现又将促进结构设计和施工技术的革新。建筑材料生产及其科学技术的发展，对于社会主义现代化建设，具有重要作用。

改革开放以来，建筑材料工业有了巨大发展，基本解决了建筑材料生产不能满足建筑工程需要的被动局面。在四个现代化的进程中，建筑工程的规模日趋扩大，结构形式、施工方法不断进步，对建筑材料的需要，不仅数量大，更对其品种、规格及质量有越来越高的要求，促进了建筑材料生产及其科学技术的迅速发展。当前，高性能、多功能的新型建筑材料，特别是新型复合材料的研究和生产，使建筑材料品种大增、质量和配套水平显著提高；充分利用工农业废料及再生资源的建筑材料不断出现；节约能源、减少污染保护环境的新材料和现代化生产工艺不断开发；建筑材料的理论研究及试验技术、测试方法也正逐步达到现代化，并朝着按指定性能设计、生产新建筑材料的方向不断前进。建筑材料行业正沿着科学创新和可持续发展的道路，发展到了一个新的阶段。

产品标准化是现代化大生产的产物，是组织现代化大生产的重要手段，也是科学管理的重要组成部分。建筑材料的技术标准，是产品质量的技术依据。生产企业必须按标准生产合格产品；使用者应按标准选用材料、按规范进行工程的设计与施工，以保证工程的优质、高速、低成本。同时，技术标准还是供需双方对产品进行质量检查、验收的依据。

我国的技术标准分为国家标准、部级标准及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、年代号组成。国家标准代号 GB 及 GB/T（推荐标准）；建设部行业标准代号 JG；水利部标准代号 SL；电力行业标准代号 DL；国家建材局标准代号

JC 等。如：GB175—1999《硅酸盐水泥及普通硅酸盐水泥》；JC714—1996《快硬硫铝酸盐水泥》；SL211—98《水工建筑物抗冰冻设计规范》；SL48—94《水工碾压混凝土试验规程》；DL5017—93《压力钢管制造安装及验收规范》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，并逐步与国际标准相接轨。

对于建筑材料使用者，熟悉和运用建筑材料技术标准，有着十分重要的意义。除了在选择材料时必须严格执行技术标准外，使用代用材料时，必须按标准进行试验和论证，对于新材料还必须经过技术鉴定。此外，在选择和使用材料时，还必须充分认识到，我国将长期处于社会主义初级阶段这一基本国情，贯彻自力更生、勤俭建国方针，在保证工程质量的前提下，因地制宜，合理用材，节约用材，尤其应该大力节约木材、烧土制品等对国民经济持续发展有重要影响的材料。

本书着重讲述在水利水电工程、工业与民用建筑工程及水运工程中常用的各种建筑材料。既为学生学习专业课程提供必要的基础知识，也为工程技术人员解决实际工程中的建筑材料问题提供一定的基本理论知识和基本试验技能。

《建筑材料》是一门技术基础课，在学习过程中，应以材料的技术性质、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。对于现场配制的材料，如水泥混凝土、沥青混凝土等，应掌握其配合设计的原理及方法。学习中，必须贯彻理论联系实际的原则，重视试验课及习题作业。建筑材料试验是本课程的重要教学环节，通过试验操作及对试验结果的分析，一方面可以丰富感性认识，加深理解，另一方面对于培养科学试验的技能以及提高分析问题、解决问题的能力，也具有重要作用。

第一章 建筑材料的基本性质

建筑材料在建筑物中承受各种不同的作用，要求具有相应的性质：如承重构件的材料要求一定的强度和刚度；防水材料要有不透水的性质；隔热保温材料应具有不易传热的性质等。同时，建筑物在使用过程中，还经常受到各种环境因素的作用，使材料逐渐遭受破坏，例如：风、雨和日晒等大气因素的作用；水流和泥沙的冲刷作用；温湿度变化及冻融作用；环境水或空气中所含有害成分的化学侵蚀作用等。因此，材料在满足建筑物所要求的功能性质的同时，还需具有抵抗这些破坏作用的性质，以保证在所处环境中经久耐用。

建筑材料的性质是多方面的，不同材料又有其特殊性质。本章将具有共同性和比较重要的材料性质作为基本性质重点论述，各类材料的特殊性质及工艺性质，将分别在有关章节中介绍。

第一节 材料的组成、结构与构造

材料的组成、结构与构造是决定材料性质的内部因素。

一、材料的组成

物质是由分子、原子组成的。材料的组成可按不同层次来讨论。

材料的化学组成，是指组成材料的化学元素及化合物的种类和数量。通常金属材料以化学元素含量百分数表示；无机非金属材料以元素的氧化物含量表示；有机高分子材料常以构成高分子材料的一种或几种低分子化合物（单体）来表示。材料的化学成分，直接影响材料的化学性质，也是决定材料物理性质及力学性质的重要因素。

材料的矿物组成，是指组成材料的矿物种类和数量。具有特定化学成分、特定结构及物理力学性质的物质或单质称为矿物。矿物是构成岩石及各类无机非金属材料的基本单元。例如，花岗岩的矿物组成主要是石英和长石；石灰岩的矿物组成为方解石。材料的矿物组成直接影响无机非金属材料的性质。

有机高分子材料分子组成的基本单元为链节。所谓链节，是由一种或几种低分子化合物按特定结构构成的基本单元。链节的多次重复即构成合成高分子材料。例如，聚氯乙烯的链节为氯乙烯，其重复次数称为聚合度。

二、材料的结构

材料的结构是指材料的微观组织状况。可分为微观结构和亚微观结构两个层次。

（一）微观结构

微观结构是指组成材料原子、分子的排列方式、结合状况等。可用电子显微镜观察。材料的微观结构可分为晶体、非晶体及胶体。

1. 晶体结构

晶体是由离子、原子或分子等质点，在空间按一定方式重复排列而成的固体，具有特定的外形。这种有规则的排列称为晶体的空间格子（晶格）；构成晶格的最基本单元，称为晶胞。晶体颗粒具有各向异性性质。但是在实际晶体材料中，晶粒的大小及排列方向往往是随机的，故晶体材料也可能是各向同性的。

晶体的物理力学性质，除与晶格形态有关外，还与质点间结合力有关。这种结合力称为化学键，可分为共价键、离子键、分子键及金属键。

按组成材料的晶体质点及化学键的不同，晶体可分为如下几种。

(1) 原子晶体：由原子以共价键构成的晶体，如石英等。共价键的结合力很强，故原子晶体的强度高、硬度大，常为电、热的不良导体。

(2) 离子晶体：由正、负离子以离子键构成的晶体。离子键的结合力也很强。离子晶体凝固时为脆硬固体，是电、热的不良导体，熔、溶时可导电。

(3) 金属晶体：由金属阳离子组成晶格，自由电子运动其间，阳离子与自由电子形成金属键，如钢铁材料等。金属键的结合力也较强。金属晶体常有较好的变形性能，具有导电及传热性质。

(4) 分子晶体：由分子以分子键（分子间范德华力）构成的晶体，如合成高分子材料的晶体。分子键结合力低，分子晶体具有较大的变形性能，为电、热的不良导体。

在实际材料中，晶体结构的结合键常常是比较复杂的。如硅酸盐结构是由共价键组成的 SiO_4 四面体单元，与钙、镁等离子以离子键形式结合而成。当 SiO_4 四面体单元相互连结成层状，层间由范德华力相结合时，其晶体易于被剥成片，如云母。

实际材料中的晶体，都有各种晶格缺陷。主要有点缺陷、线缺陷及面缺陷三种。

(1) 点缺陷：是指晶格中有空位和填隙原子，如图 1-1 (a) 所示。这是由于晶体内部原子热运动，某些质点脱离了晶格，出现了暂时的晶格空位。晶格空位削弱了晶体材料强度，但它是材料发生固相反应的媒介。晶格间隙中嵌入的杂质原子（原子直径较小）称为填隙原子。填隙原子造成晶格畸变，使晶体强度增加、塑性降低。

(2) 线缺陷（位错）：是指晶体中存在着多余的半平面，如图 1-1 (b) 所示。位错使晶面容易滑移产生塑性变形。当晶体受力后，位错线很容易在晶粒内移动，当其移至晶粒表面时，晶粒即产生了永久变形。因此，位错是使晶体材料成为不完全弹性体的原因之一，也是影响晶体结晶生长、造成杂质在晶体中扩散并改变其性能的原因。

(3) 面缺陷：晶体材料中相邻两晶粒的晶格常存在相位差，在界面处原子排列不规则，称为面缺陷，如图 1-1 (c) 所示。面缺陷使界面处原子滑移困难。相邻两晶粒，若其一的晶格滑移（位错在其中运动），当其至面缺陷后滑移终止，使位错不易向另一晶粒传递。因此，面缺陷使晶体材料强度提高、塑性降低。

此外，材料的性质还与晶粒大小及分布状态有关。一般晶粒越细、分布越均匀，材料的强度越高。

2. 非晶体结构

非晶体结构又称无定形结构或玻璃体结构。它与结晶体的区别在于质点排列没有一定规律性（或仅在局部存在规律性）。非晶体没有特定的几何外形，是各向同性的，也没有固定的熔点，如石英玻璃等。

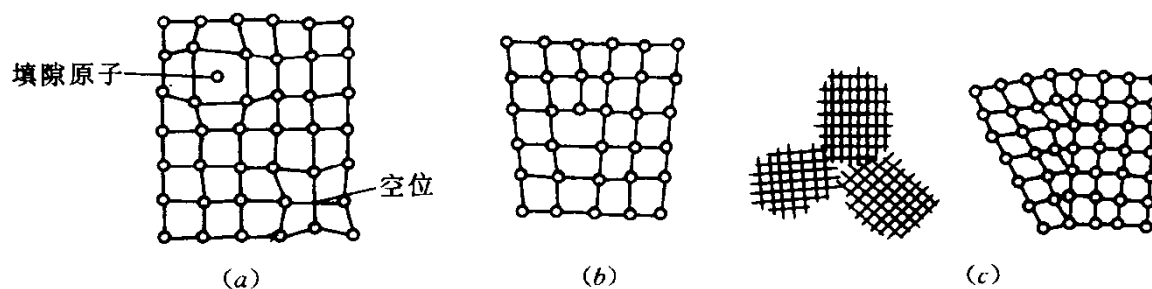


图 1-1 晶格缺陷示意图
(a) 点缺陷；(b) 线缺陷；(c) 面缺陷

由于玻璃体凝固时没有结晶放热过程，在内部蓄积着大量内能，因此，它是一种不稳定的结构，可逐渐地发生结构转化。它具有较高的化学活性，也是它能与其它物质起化学反应的原因之一。

3. 胶体结构

胶体是指粒径为 $10^{-6} \sim 10^{-4} \text{mm}$ 的颗粒在介质中形成的分散体系。

在胶体结构中，当对胶体的物理力学性质起决定作用的是介质时，此种胶体称为溶胶，如含水较多的水泥浆体等。溶胶有可流动的性质。

由于胶体颗粒极细，具有很大的表面积和表面能，当胶粒数量较多（胶体浓度大）或在物理化学作用下，胶粒相互吸附凝聚而形成网状结构。此时，胶体反映出胶粒的物理力学性质，称为凝胶。如凝固后失去流动性的水泥浆体。

凝胶体中胶粒之间由范德华力结合。在搅拌、振动等剪切力的作用下，结合键很容易断裂，使凝胶变成溶胶，粘度降低，重新具有流动性。但静置一定时间后，溶胶又会慢慢地恢复成凝胶。这一转变过程可以反复多次。凝胶—溶胶这种互变的性质称为触变性。

(二) 亚微观结构

亚微观结构是指用光学显微镜可以观察到的材料内部结构。一般可分辨的范围是 $1 \sim 10^{-3} \text{mm}$ 。

材料在亚微观层次上的组成及其聚集状态，对其性质有着重要影响。例如水泥混凝土材料，可以分为水泥基体相、集料分散相、界面相及孔隙等。它们的状态、数量及性质将决定水泥混凝土的物理力学性质。又如木材，可以分为木纤维、导管及髓线等，它们的分布、排列状况不同，使木材在宏观上形成年轮、弦向与径向、顺纹与横纹等性能的差别。钢铁材料在显微镜下，可以观察到铁素体晶粒、不同状态的珠光体、渗碳体及石墨等，它们是决定钢铁性质的关键因素。

三、材料的构造

材料的构造是指材料的宏观组织状况。如岩石的层理，木材的纹理，钢铁材料中的气孔，钢锭中表层与中心部位化学成分的偏析，以及钢材中的裂纹等。胶合板、夹心板等复合材料则具有迭合构造。材料的性质与其构造有密切关系。

构造致密的材料，强度高；疏松多孔的材料密度低，强度也较低；层状或纤维状构造的材料，是各向异性的。

多孔材料的各种性质，除与材料孔隙率的大小有关外，还与孔隙的构造特征有关。材

料中的孔隙，有与外界相连通的开口孔隙和与外界隔绝的闭口孔隙。孔隙本身又按粗细分为：极细孔隙（孔径 $D < 0.01\text{mm}$ ）、细小孔隙（孔径 $D < 1.0\text{mm}$ ）、粗大孔隙（孔径 $D > 1.0\text{mm}$ ）。

对于开口孔隙，粗大者水分易于透过，但不易被水充满；极细孔隙，水分及溶液易被吸入，但不易在其中流动；介于二者之间的毛细孔隙，既易被水充满，水分又易在其中渗透，对材料的抗渗性、抗冻性及抗侵蚀性有不利影响。

闭口孔隙，不易被水分及溶液侵入，对材料的抗渗、抗冻及抗侵蚀性能的影响较小。有时还可起有益的作用。

随着孔隙率的增大，材料表观密度减小，强度下降。含有大量分散不连通孔隙的材料，常有良好的保温隔热性能。含有大量与外界连通的微孔或气泡的材料，能吸收声波能量，可作为隔音吸声材料。

第二节 材料的密度、表观密度和孔隙率

材料的密度、表观密度和孔隙率决定于材料的组成、结构和构造。

一、密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量。材料的密度可按式（1-1）计算，即

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

式中 ρ ——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，或称绝对体积， cm^3 。

二、表观密度

材料在自然状态下（包含孔隙）单位体积的质量，称为材料的表观密度（俗称容重）。材料表观密度可按式（1-2）计算，即

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

式中 γ ——表观密度， g/cm^3 （ kg/m^3 ）；

m ——材料的质量， g （ kg ）；

V_0 ——材料在自然状态下的体积， cm^3 （ m^3 ）。

每种材料的密度是固定不变的。当材料含有水分时，其自然状态下质量、体积的变化会导致表观密度的改变，故对所测定的材料而言，其表观密度必须注明含水状态。通常，材料表观密度是指在气干状态（长期在空气中存放的干燥状态）下的表观密度；材料在烘干状态下测得的表观密度，称为干表观密度；材料在潮湿状态下测得的表观密度，称为湿表观密度。

三、孔隙率

孔隙率是指材料中孔隙体积占总体积的百分比。材料的孔隙率（ P ）按式（1-3）计算，即

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\gamma}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-3)$$

密度、表观密度与孔隙率可反映材料最基本的物理状态。材料孔隙率的大小，反映出材料结构（或构造）的疏密程度。密度和表观密度还可用来估算材料的体积和质量。

几种常用材料的密度、表观密度及孔隙率的约值，见表 1-1。

四、散粒材料的视密度、堆积密度及空隙率

砂、石子及水泥等散粒状材料，在测定其密度时，常采用排液置换法测定颗粒体积，所得体积一般包含颗粒内部的闭口孔隙体积，并非颗粒绝对密实体积。此时按式（1-1）计算所得结果，也不是散粒材料的真实密度，故将此密度称为视密度（ ρ' ）。

由于所测得的颗粒体积大于颗粒的密实体积，小于颗粒的自然体积，故其密度（ ρ ） $>$ 视密度（ ρ' ） $>$ 颗粒的表观密度（ γ ）。

散粒材料的堆积密度（ γ' ），是指它们在自然堆放状态下单位体积的质量（kg）。堆积密度也可按式（1-2）计算。

由于散粒材料堆放的紧密程度不同，堆积密度又可分为疏松堆积密度、振实堆积密度及紧密堆积密度三种。

表 1-1 几种常用材料的密度、表观密度及孔隙率

材 料	密 度 ρ (g/cm ³)	表观密度 γ (kg/m ³)	孔隙率 (%)
建筑钢	7.85	7850	0
铝合金	2.71~2.90	2700~2900	0
花岗岩	2.60~2.90	2500~2800	0.5~1.0
石灰岩	2.45~2.75	2200~2600	0.5~5.0
普通粘土砖	2.50~2.80	1500~1800	20~40
松木	1.55	380~700	55~75
普通玻璃	2.50~2.60	2500~2600	0
普通混凝土	—	2300~2500	3~20
石油沥青	0.95~1.10	—	—
沥青混凝土	—	2200~2400	2~6
天然橡胶	0.91~0.93	910~930	0
聚氯乙烯树脂	1.33~1.45	1330~1450	0

利用式（1-3）可计算散粒材料的空隙率。式中的表观密度以堆积密度代入，密度以视密度代入。所得结果是颗粒之间的空隙和开口孔隙占总体积的百分率。

第三节 材料的力学性质

材料的力学性质，是指材料在外力作用下的有关变形性质和抵抗破坏的能力。

一、材料的变形性质

材料的变形性质，是指材料在荷载作用下发生形状及体积变化的有关性质。主要有弹性变形、塑性变形、徐变及松弛等。

（一）弹性变形与塑性变形

弹性变形是指在外荷作用下产生、卸荷后可以自行消失的变形。弹性变形产生的原因是因为材料在外力作用下，改变了质点间的平衡位置，产生了变形，但此时外力尚未超过质点间最大结合力，外力所做功转变为内能（弹性能）蓄积在材料中；外力去除后，内能释放，质点恢复到原位置，变形消失。

塑性变形是指在外力去除后，材料不能自行恢复到原来的形状，而保留的变形，也称为残余变形。

在规定的温度、湿度及加荷速度条件下施加外力，根据材料在破坏前产生塑性变形显著与否，可将材料分为塑性材料和脆性材料。有显著塑性变形的材料，称为塑性材料，如低碳钢、铜、铝、沥青等。无显著塑性变形者，称为脆性材料，如石料、砖、混凝土等。材料呈塑性破坏或脆性破坏，不是固定不变的，可随温度、湿度、加荷速度及受力状况的不同而改变。如沥青材料，在常温及缓慢加荷时呈塑性破坏，在低温及快速加荷时，则是脆性破坏。

(二) 横向变形与体积变化

材料受拉伸（或压缩）时，除了产生轴向变形外，还产生横向变形。受压时轴向缩短而横向膨胀；受拉时，则与之相反。横向变形的大小，用横向应变（ ϵ_1 ）与轴向应变（ ϵ ）比值的绝对值来表示，称为泊松系数（或泊松比） μ 。计算式为

$$\mu = \left| \frac{\epsilon_1}{\epsilon} \right| \quad (1-4)$$

材料受拉伸（或压缩）时，会发生体积变化。体积应变（ θ ），可用式（1-5）计算，即

$$\theta = \frac{V_B - V_0}{V_0} = \epsilon(1 - 2\mu) \quad (1-5)$$

式中 V_B ——材料变形后的体积；

V_0 ——材料变形前的体积。

在弹性变形条件下，材料泊松比为常数。对于疏松多孔的材料，泊松比很小，如软木、泡沫塑料等。钢铁材料泊松比约为 0.3。混凝土材料泊松比为 0.25~0.15。当材料为塑性变形或接近断裂时，泊松比接近于 0.5，体积变形接近于 0。

(三) 徐变与应力松弛

固体材料在外力作用下，变形随时间的延长而逐渐增长的现象，称为徐变。产生徐变的原因：对于非晶体材料，是由于在外力作用下发生了粘性流动；对于晶体材料，是由于晶格位错运动及晶体的滑移。

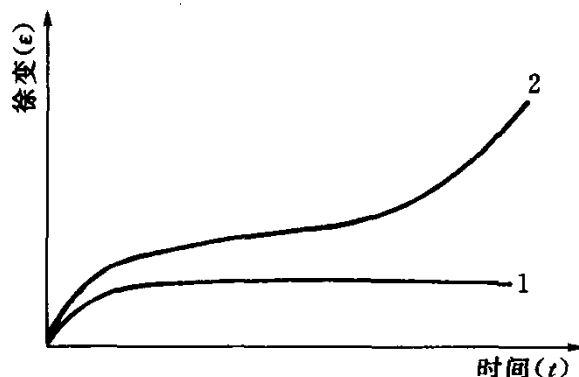


图 1-2 材料的徐变曲线

徐变的发展与材料所受应力大小有关。当应力未超过某一极限值时，徐变的发展随时间延长而减小，最后材料的变形停止增长，如图 1-2 的曲线 1。当应力达到或超过某一极限值，徐变的发展随时间延长而增加，最后导致材料破坏，如图 1-2 的曲线 2。

材料的徐变还与环境温度和湿度有关。混凝土、岩石等材料，当环境温度越高、湿度越大时，其徐变量越大；木材的湿度越大，徐变量越大；钢铁材料在高温下徐变特别显著。

材料在荷载作用下，若所产生的变形因受约束而不能发展时，则其应力将随时间延长而逐渐减小，这一现象称为应力松弛。应力松弛产生的原因，是由于随着荷载作用时间延长，材料内部塑性变形逐渐增大、弹性变形逐渐减小（总变形不变）而造成的。材料所受应力水平越高，应力松弛越大，温度、湿度越大时，应力松弛也越大。

二、材料的强度

材料的强度，是指材料抵抗外力（荷载）作用引起的破坏的能力。