

普通高等院校土建类专业特色教材

土木工程材料

何廷树 王福川 主编

(第2版)



中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程材料/何廷树, 王福川主编. —2 版. —北京: 中国建材工业出版社, 2013

普通高等院校土建类专业特色教材

ISBN 978-7-5160-0379-4

I. ①土… II. ①何… ②王… 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 011140 号

内 容 简 介

土木工程材料是土建类多个专业的必修基础课, 主要介绍土木工程常用的水泥、混凝土、墙体材料、金属材料、砌体材料等的技术性质、配制原理及相关应用技术等, 其内容与工程实际联系相当紧密。第 2 版更新了所涉及的技术标准规范, 摒弃了陈旧、过时的内容, 更贴近行业发展的现状, 也更贴近教学之需。

土木工程材料 (第 2 版)

何廷树 王福川 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 22.75

字 数: 564 千字

版 次: 2013 年 1 月第 2 版

印 次: 2013 年 1 月第 1 次

定 价: 50.00 元

本社网址: www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010)88386906

第 2 版前言

本教材第一版于 2001 年 3 月正式出版发行，十多年来，历经多次重印。2012 年，应中国建材工业出版社之约，全体参编人员共同努力，在第一版基础上，主要从以下几方面进行了修订：

1. 变更了编写体系，使之更为精炼，更贴近教学之需；
2. 全面更新了所涉及的技术标准、规范（截止 2012 年），使之更贴近现代工程技术的要求；
3. 推陈出新，摒弃了已经陈旧、过时的技术内容，如石油沥青油毡、膨胀水泥、防水混凝土等。

本版教材由何廷树、王福川主编，尚建丽、伍勇华任副主编。参加编写的有何廷树（第 1 章、第 5 章、第 8 章 8.1~8.5 节、第 10 章）、王福川（第 2 章、第 3 章）、尚建丽（第 6 章 6.2~6.5、6.8 节）、伍勇华（第 6 章 6.1、6.6~6.7 节、第 12 章 12.1、12.2 节）、李国新（第 7 章 7.1~7.4 节）、宋学锋（第 4 章 4.3 节、第 11 章 11.1 节）、詹美洲（第 11 章 11.2、11.3 节）、胡延燕（第 9 章）、陈畅（第 8 章 8.6、8.7 节）、陈箴（第 12 章 12.3、12.4 节）、何娟（第 7 章 7.5、7.6 节）、王艳（第 4 章 4.1、4.2 节）。试验部分参编人员为张林绪（试验七、九、十）、杨晓东（试验二、六、八）、南峰（试验三~五）、金瑞灵（试验一）。伍勇华负责全书插图审校并修正。

编 者

2012 年 10 月

第 1 版前言

本教材依据国家土木工程专业指导委员会制定的《土木工程材料教学大纲》编写，适用于土木工程各专业（含函授、夜大、自学考试等）教学之用。

为了增强教材的系统性、实用性，在教材编写体系上作了新的尝试，即按土木工程应用材料的类别归纳为五篇：“混凝土”“砌体材料”“金属材料”“高分子材料”和“功能性材料”。第六篇为常用土木工程材料试验。教材内容一方面力求讲清楚基本理论，另一方面着力于理论与工程实践相结合，为学生独立分析的能力、解决工程实际问题的能力打下良好的基础。文字上注意深入浅出，言简意赅。

为了适应多种形式办学的需要，在编写过程中充分注意到方便自学的特点：在每章标题下面给出了该章学习内容的提要；每章末给出了适量的复习思考题；书末详细给出了 10 个常用土木工程材料试验的内容（所用仪器、试验方法、步骤及试验结果计算等）。

本教材采用国家最新技术标准 and 规范，并在内容上注意推陈出新，力求介绍新材料，淘汰过时的教学内容。本书由西安建筑科技大学王福川主编，韩少华、尚建丽、何廷树为副主编。耿维恕主审。王福川、韩少华负责全书统稿。各章编写人员如下：王福川（绪论、第一篇第一章、第三章）；韩少华（第一篇第二章、第二篇第二章、第三章）；尚建丽（第一篇第四章、第二篇第一章）；何廷树（第四篇第一章、第三章）；詹美州（第一篇第五章、第六章，第五篇第三章）；伍勇华（第四篇第二章、第五篇第一章、第二章）；郭刚（第三篇第一章、第二章）；张林绪（第六篇）。

由于编者水平所限，不妥之处在所难免，谨请批评指正。

编 者

2001 年 2 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 土木工程材料的概念和分类	1
1.2 土木工程材料在工程中的地位和发 展梗概	2
1.3 土木工程材料的技术标准	3
1.4 土木工程材料课程的主要内容及学习任 务	4
第 2 章 土木工程材料的基本性质	6
2.1 材料的基本物理性能	6
2.2 材料的力学性质	8
2.3 材料与水有关的性质	12
2.4 材料的热工性质	15
2.5 材料的耐久性	17
2.6 材料的组成、结构及其对材料性能的影响	17
第 3 章 无机胶凝材料	20
3.1 概述	20
3.2 硅酸盐水泥	21
3.3 掺混合材料的硅酸盐水泥	29
3.4 铝酸盐水泥	34
3.5 其他品种水泥	37
3.6 水泥在土木工程中的应用	39
3.7 气硬性胶凝材料	43
第 4 章 骨料与矿物掺合料	59
4.1 细骨料	59
4.2 粗骨料	65
4.3 矿物掺合料	70
第 5 章 化学外加剂	81
5.1 化学外加剂及表面活性剂概念	81

5.2	减水剂	83
5.3	缓凝剂	89
5.4	引气剂	90
5.5	速凝剂与早强剂	93
5.6	膨胀剂	98
5.7	复合外加剂-泵送剂和防冻剂	100
第 6 章	混凝土	105
6.1	概述	105
6.2	混凝土拌合物的性质	106
6.3	混凝土的强度	113
6.4	混凝土的变形性能	123
6.5	混凝土的耐久性	129
6.6	混凝土的质量控制与检验评定	137
6.7	普通混凝土配合比设计	142
6.8	其他品种混凝土	149
第 7 章	砌体材料	162
7.1	建筑砂浆	162
7.2	烧结砖和烧结砌块	168
7.3	蒸压砖和蒸压砌块	173
7.4	混凝土砌块和石膏砌块	175
7.5	天然石材	175
7.6	轻质墙板	179
第 8 章	金属材料	184
8.1	概述	184
8.2	钢材的冶炼及分类	185
8.3	钢材的力学性质	187
8.4	钢的化学成分及晶体组织	193
8.5	钢材的强化及连接	196
8.6	钢材的技术标准及选用	201
8.7	钢材的腐蚀与防腐	208
8.8	铝及铝合金	210
第 9 章	木材	215
9.1	木材的分类与构造	215
9.2	木材的技术性质	217
9.3	木材的应用	224

9.4 木材的腐蚀与防腐	227
第 10 章 合成高分子材料	229
10.1 概述.....	229
10.2 合成树脂.....	232
10.3 合成橡胶.....	234
10.4 建筑塑料.....	235
10.5 建筑涂料.....	240
10.6 建筑胶粘剂.....	245
第 11 章 功能性材料	249
11.1 沥青及防水材料.....	249
11.2 绝热材料及吸声材料.....	270
11.3 装饰材料——陶瓷与玻璃.....	278
第 12 章 沥青混凝土	288
12.1 沥青混凝土的结构与性能.....	288
12.2 沥青混凝土的组成材料及配合比设计.....	293
12.3 沥青混凝土的应用.....	308
第 13 章 土木工程材料试验	314
试验一 土木工程材料基本物理性质试验.....	315
试验二 水泥试验.....	317
试验三 普通混凝土骨料试验.....	324
试验四 普通混凝土试验.....	330
试验五 建筑砂浆试验.....	337
试验六 砌墙砖强度等级测定试验.....	338
试验七 钢筋试验.....	340
试验八 木材试验.....	342
试验九 沥青试验.....	346
试验十 沥青混合料试验.....	350
参考文献.....	356

第1章 绪 论

1.1 土木工程材料的概念和分类

材料是土木建筑工程的物质基础，任何建（构）筑物都是用材料按一定的比例和要求构筑而成的。土木工程材料是指修建房屋、道路、铁路、桥梁、隧道、河道、港口、市政卫生工程所用的一切材料。它包括土、木、砖、瓦、石、石灰、石膏、水泥、砂浆、混凝土、陶瓷、玻璃、钢材、沥青、塑料、橡胶、纤维，以及绝热、吸声、装饰材料等。土木工程材料的品种、质量不仅直接关系到工程的使用功能和耐用年限，而且也制约着工程设计和施工方法。一种新材料的出现，往往可加速结构形式的更新、设计方法的改进，以及施工技术的革新和提高。

土木工程材料种类繁多、性能各异、用途不同，为便于区分和使用，工程中常从不同的角度出发，按不同的原则对其进行分类。

按材料来源分类，可分为天然材料（如土、木、石等）及人工材料（如混凝土、钢材、塑料等）。

按材料的功能分类，可分为结构材料和功能材料。结构材料是具有承重、传力作用的材料，如用于建造建（构）筑物的基础、梁、柱所用材料。功能材料是指具有其他偏重于某一功能材料，如围护材料、防水材料、装饰材料、绝热材料、吸声材料等。

按材料用途分类，可分为建筑结构材料、桥梁结构材料、水工结构材料、路面结构材料、建筑墙体材料、建筑装饰材料、建筑防水材料、建筑保温材料等。

按材料的组成物质及基本化学成分分类，可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类，各大类材料又可进行更细分类，如表 1-1 所示。

表 1-1 常用土木工程材料按组成物质及基本化学成分分类

无机材料	金属材料	黑色金属	钢、铁、不锈钢	
		有色金属	铝、铜及其合金	
	非金属材料	天然石材	花岗岩、石灰岩、砂岩、大理岩等	
		烧土及熔融制品	烧结砖、烧结瓦、陶瓷、玻璃、铸石等	
		无机胶凝材料	气硬性胶凝材料	石灰、石膏、菱苦土、水玻璃
			水硬性胶凝材料	硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥等
		无人造石材	砂浆、混凝土及各种硅酸盐制品	
有机材料	植物材料	木材、竹材、农作物秸秆、天然纤维、天然橡胶等		
	沥青材料	石油沥青、煤沥青及沥青制品		
	合成高分子材料	塑料、合成纤维、合成橡胶、涂料、胶粘剂、化学外加剂等		
复合材料	金属-非金属复合材料、非金属-金属复合材料、有机-无机复合材料、无机-有机复合材料等			

1.2 土木工程材料在工程中的地位及发展梗概

1.2.1 土木工程材料在工程中的地位

材料是土木工程建（构）筑物的物质基础，当然也是其质量基础。正确选择、使用合格的各种材料，是保证土木工程的关键。很多建（构）筑物的病害和工程质量事故都与土木工程材料的质量有关。材料选择不当，质量不符合要求，建筑物的正常使用功能、安全性及耐久性就不可能得到保证。

在土木工程造价中，材料费所占比例很大，一般在 50% 甚至 60% 以上，并且随着建筑级别和档次的提高，材料所占比例也不断增大。因此，在实际工程中，材料的选择、使用及管理对工程造价影响很大。对于量大、体重的建筑材料，应注重就地取材，就地使用，尽量减少运输费用。通过认真学习并熟练掌握有关土木工程材料的知识，可以帮助我们优化选择、正确使用各种材料，充分利用材料的各种功能，在保证建筑工程质量的前提下，降低工程成本，使土木工程行业成为国民经济发展中的绿色产业。

材料的种类及性能特征是决定土木建筑结构形式和施工方法的主要因素。先进的结构形式和施工技术的出现，无不以先进的土木工程材料的使用为物质基础。因此，材料性能的改进、新材料的使用、材料应用技术的进步直接促进了土木工程技术的进步，例如，钢材和水泥的性能改进及大量使用，取代了过去的土、木、砖、石，使得钢筋混凝土结构和钢结构成为了现代土木工程的最主要结构形式；混凝土化学外加剂，特别是高效减水剂的发明与广泛应用，才有了今天大量使用的商品泵送混凝土、流态混凝土及高强高性能混凝土；现代玻璃、陶瓷、塑料、涂料等新型建筑材料的广泛应用，才使得现代建筑物的装修形式多种多样，外表绚丽多彩。

1.2.2 土木工程材料的发展梗概

土木工程材料的发展是一个悠久而又缓慢的过程，它是随着人类的进化而发展起来的。在人类创造文明的历史长河中，材料扮演了重要的角色，从旧石器时代、新石器时代、青铜器时代、铁器时代、钢铁时代等历史时期的划分，可以看到材料对人类发展进步所起到的里程碑式的作用。

原始人混沌未开，栖居洞穴，这种形成天然洞穴的岩石，就是最初的建筑材料。在与自然界长期的斗争中，人类为了生存和发展，走出天然洞穴，学会了制造工具，开始使用土、石、草、木、藤等作建筑材料建造半地穴式的棚屋，遮风避雨。以后，随着人类的进步，对建筑物有了更高的要求，建筑材料就从简单的利用逐渐过渡到发明和创造，到公元前 10 世纪前后，人类学会了用黏土烧制砖瓦，用岩石烧制石灰、石膏，标志着建筑材料进入了初步的生产阶段。砖瓦的出现，带来了建筑的革新，于是地球上有了村庄和城市，人类有了西方的古希腊和古罗马文明，东方的中华文明。我国秦朝和汉朝时期，砖瓦生产已很发达，砖瓦建筑已很先进，故有“秦砖汉瓦”之称。砖结构、砖木结构的建筑持续了漫长的时间，直到 18 世纪欧洲工业革命后，建筑材料才又进入了一个新的发展阶段，波特兰水泥、钢材、混凝土等建筑材料的发明和广泛应用，使建筑业和建筑技术发生了革命性的变化，钢筋混凝土

结构、钢结构的房屋、桥梁等建（构）筑物的大规模修建，使得建筑业和建筑技术进入了新的、更高的现代发展时期。

现代土木工程中，尽管传统的土、石等材料仍在基础工程中广泛使用，砖瓦、木材等传统材料在工程的某些方面的应用也较为普遍，但是，这些传统的材料在现代土木建筑工程中已不再占主导地位，取而代之的是水泥、钢材、混凝土等材料的大量使用。同时，新型合金材料、各种人工合成有机材料、各种复合材料等在土木工程中也占有重要地位。

“环保、生态、绿色、健康”已成为 21 世纪人们生活的主题概念。其中“绿色”成为人们现代生活的主要追求。因此，大力发展应用绿色建筑材料，是现代土木工程材料的重要发展方向。我们应增强环保意识，在建筑材料的生产、选择和使用过程中，要注重节约资源、节约能源，大力提倡使用节能利废的建筑材料，选择使用可循环利用或易于降解，对地球环境负荷小，有利于人类健康，有利于促进循环经济的发展及土木工程领域科技进步的材料。

1.3 土木工程材料的技术标准

标准就是对某项技术实行统一执行的要求。技术标准主要包括：基础标准、产品标准、方法标准、安全标准和卫生标准等。土木工程材料涉及的主要是产品标准和方法标准。生产单位按照标准生产合格产品，使用单位按照标准对材料进行选择、验收及施工安装。

1.3.1 土木工程材料技术标准的分类

按照技术标准的约束性，可将其分为强制性标准和推荐性标准两种类型。凡是涉及工程建设的质量、安全、卫生方面的标准，以及国家需要控制的其他建设工程、产品及产品的生产和储运方面的标准，均为需要强制性执行的强制性标准。强制性标准以外的标准为推荐性标准。

按照使用范围，目前我国现行常用的标准有四大类型。

1. 国家标准

国家标准是由国家标准化主管机构批准、颁布，在全国范围内统一执行的标准。国家标准由专业标准化技术委员会或国务院有关主管部门提出草案，报国家标准化主管部门或由其他委托的部门审批、颁布。

强制性国家标准的代号为 GB，推荐性标准的代号为 GB/T。工程建设方面的国家标准代号为 GBJ。

2. 行业标准

行业标准是由行业标准化主管部门或行业标准化组织批准、颁布，在某行业内统一执行的标准。行业标准也分为强制性标准和推荐性标准（标准号后加“/T”）。我国与土木工程材料相关的几个行业的标准代号如表 1-2 所示。

表 1-2 几个行业的标准代号

行业名称	建工行业	冶金行业	石化行业	交通行业	建材行业	铁路行业
标准代号	JG	YB	SH	JT	JC	TB

3. 地方标准

地方标准是由省、自治区、直辖市标准化主管部门颁布，在当地执行的标准。制定和实施地方标准，主要因为各地具有不同的特色和条件，如自然和生态环境、资源情况、科技与生产水平、地方产品特色及民族和地方习俗等。地方标准代号由“DB”加上省、自治区、直辖市行政区划代码的前两位数字组成（推荐性标准加“/T”）。

4. 企业标准

企业标准是由企业批准颁布的标准，主要用作企业组织生产的依据。当有统一产品的高一级标准时，企业标准技术指标应高于高一级标准（如国家标准）的相应技术指标。企业标准的代号“Q”为分子，分母为企业代号，可用汉语拼音的大写字母或阿拉伯数字或两者兼用所组成。

1.3.2 土木工程材料技术标准的组成

标准的组成，除代号外，还有标准颁布顺序号、颁布年代、标准名称。一个完整的标准如图 1-1 所示。

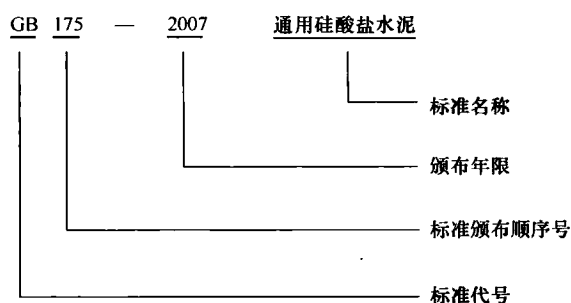


图 1-1 技术标准的表示方法

除了以上四种标准外，工程中使用的其他技术标准还有国际标准（ISO）、美国国家标准（ASTM）、英国标准（BS）、德国工业标准（DIN）、日本工业标准（JIS）、法国标准（NF）等。

1.4 土木工程材料课程的主要内容及学习任务

1.4.1 主要内容

本教材除介绍了土木工程材料的基本性质以外，还重点介绍了当前常用的土木工程材料，如无机胶凝材料，水泥混凝土，金属材料，沥青混凝土，木材，砂浆、砖、石、砌块、墙板等砌体材料，塑料、涂料、胶粘剂等高分子材料，防水、保温、隔声、装饰等功能材料。因此，本课程的学习内容多，所涉及的材料庞杂；既有材料的组成、结构、性能等方面的基础理论，又有材料的生产、工程应用、性能检测和评定方面的应用知识。为使学生更好地掌握所学材料的组成、结构、性能、用途和它们之间的相互关系，以及主要材料的技术性能指标和检验、评定方法，将本课程的学习任务分为理论课学习和试验课学习两部分。

1.4.2 理论课学习任务

本课程的理论课学习，以掌握常用土木工程材料的性能和用途为主，并掌握主要材料的技术指标、相应标准及检测方法。为此，必须了解主要材料的生产，以及它们的组成、结构、性能和用途及其相互关系；特别是水泥混凝土，不但要了解上述知识，还要了解其质量控制与评定的方法。

本课程还要求学生掌握常用土木工程材料的主要品种、规格型号，工程实践中的选择、应用、储运和管理等方面知识。

1.4.3 试验课学习任务

土木工程材料在使用前，必须依据相应标准，经具有相关资质的试验室检验合格后方可使用；现场配制材料，需经相关试验室确定合适配比及操作方法，并经检验性能合格后，方可按此配比及操作方法进行配制和使用。材料在使用过程中，也要按规定抽样检测，以检验材料在使用周期内质量是否稳定，性能是否合格。在工程竣工验收中，还要对工程实体的质量进行检验评定。因此，土木工程材料的性能检测，是一项经常化的技术性很强的工作，它包含在建筑施工的各个环节中。

本课程的试验课学习，主要分为验证性试验和综合性试验两部分。验证性试验主要是学习有关材料的质量检验、评定方法；综合性试验主要是要求学生应用已学的理论知识，根据工程的实际要求，选择、配制相应材料，并检测材料的性能。通过试验课，一方面加深学生对所学理论知识的深入理解，掌握相关材料性能的检测和评定方法；另一方面培养学生的实践技能、动手能力，为今后从事土木工程实践工作打下坚实的基础。

第2章 土木工程材料的基本性质

建造楼房、桥梁、隧道、电站等建筑、构筑物，将用到多种性质各异的土木工程材料。这些材料常按其所起主要作用而命名，并应具备不同的技术性质，如：

结构材料——强度、变形性、表观密度等；

构造材料——强度、表观密度、外观等；

绝热材料——导热性、热容量、吸水率、表观密度等；

防水材料——抗渗性、感温性、变形性等；

地面材料——耐磨性、抗滑性等；

装饰材料——尺寸偏差、光泽、色差、耐候性等；

耐热材料——耐热性、强度等；

耐腐蚀材料——耐腐蚀性、密实度等；

特种材料——使用上的特种要求。

所有土木工程材料均应具有良好的耐久性，即长期处于一定使用条件（环境、荷载等）下，性能无显著劣化现象。

材料性能是材料内在因素（化学成分、矿物成分、结构、构造等）的客观表现，是设计取值的依据，施工质量的基础。材料的基本性质是指处于不同使用条件和使用环境时，通常必须考虑的基本的、共有的性质。作为合格的土木工程技术人员，必须正确掌握土木工程材料的基本性质，以便科学地选择材料，使用材料。

2.1 材料的基本物理性质

2.1.1 密度

密度是材料在绝对密实状态下，单位体积的质量，可按下式计算：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中， ρ ——密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

m ——干燥材料的质量， g 或 kg ；

V ——材料在绝对密实状态下的体积， cm^3 或 m^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在内的体积，在土木工程材料中，除钢材、玻璃等少数材料内部孔隙极少外，大多数材料内部均存在孔隙。

为测定有孔材料的绝对密实体积，应把材料磨成细粉，干燥后用密度瓶测定其体积。材料磨得越细，测得的数值越接近于材料的真实体积。密度是材料物质结构的反映，凡单成分材料往往具有确定的密度值。

密度是材料的基本物理性质之一，与材料的其他性质存在着密切的相关关系。同时，将材料的密度与标准大气压下 4℃ 时纯水的密度之比，称为材料的比重，无单位，但其数值与材料的密度（单位：g/cm³）基本相等。

2.1.2 表观密度

表观密度是材料在自然状态下，单位体积的质量，也称容重。表观密度可按下式计算：

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

(2-2)

式中， ρ_0 ——表观密度，g/cm³ 或 kg/m³；
 m ——材料的质量，g 或 kg；
 V_0 ——材料在自然状态下的体积，cm³ 或 m³。

材料在自然状态下的体积又叫做表观体积，是指包括内部孔隙在内的体积，即密实体积和内部孔隙体积之和，如图 2-1 所示。

规则形状材料的体积可用量具测量、计算而得。
不规则形状材料体积可按阿基米德原理测定，或直接
用体积仪测定。

一般情况下，材料的表观密度是指材料在干燥状态下的干表观密度。当材料含水时，其质量和表观体积都会发生变化，所以湿表观密度不等于干表观密度。依据材料含水状态的不同，如绝干（烘干至恒重）、风干（气干）、含水（未饱和）、吸水饱和等，可分别将表观密度称为干表观密度、气干表观密度、湿表观密度、饱和表观密度等。对于大多数无机非金属材料，气干表观密度和干表观密度的数值比较接近。这些材料吸湿或吸水后，体积变化甚小，一般可忽略不计。对于木材等轻质材料，由于吸湿和吸水性强，体积胀大，不同含水状态（包括气干状态）的表观密度数值差别较大，必须精确测定。

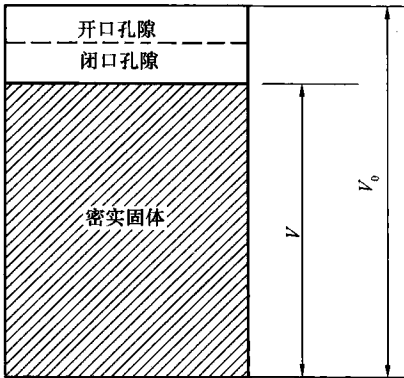


图 2-1 材料体积组成示意图

砂、石子等散粒材料的体积按自然堆积体积（V'）计算，单位堆积体积的质量，称为堆积密度（ ρ' ）。若以振实体积计算，则称紧密堆积密度。

散粒材料的颗粒内部或多或少存在着孔隙，颗粒与颗粒之间又存在空隙，所以对散粒材料而言，有密度、表观密度和堆积密度三个物理量，应加以区别。

在土木工程中，凡计算材料用量和构件自重、进行配料计算、确定堆放空间及组织运输时，必须掌握材料的密度、表观密度及堆积密度等数据。表观密度与材料的其他性质（如强度、吸水性、导热性等）也存在着密切的关系。

几种常用材料的密度、表观密度及其孔隙率的数值见表 2-1。

表 2-1 几种常用材料的密度、表观密度及孔隙率

材 料	密度 (g/cm ³)	表观密度 (kg/m ³)	孔隙率 (%)
花岗岩	2.6~2.9	2500~2800	0.5~3.0

续表

材 料	密度 (g/cm ³)	表观密度 (kg/m ³)	孔隙率 (%)
普通砖	2.5~2.8	1500~1800	30~40
普通混凝土		2300~2500	5~10
松木	1.55	380~700	55~75
建筑钢材	7.85	7850	0

2.1.3 密实度

密实度是材料体积内固体物质所充实的程度。密实度可按式计算：

$$D = \frac{V}{V_0} = \frac{\rho_0}{\rho} \tag{2-3}$$

对于绝对密实材料，因 $\rho_0 = \rho$ ，故密实度 $D=1$ 或 100%；对于大多数土木工程材料，因 $\rho_0 < \rho$ ，故密实度 $D<1$ 或 $D<100\%$ 。

2.1.4 孔隙率

孔隙率是材料体积内孔隙体积与材料总体积（自然状态体积）的比率，可按式计算：

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} = 1 - \frac{V}{V_0} = 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \tag{2-4}$$

可见：

$$P + D = 1 \tag{2-5}$$

所以密实度和孔隙率值不必相提并论，通常以孔隙率表征材料的密实程度。

2.1.5 空隙率

空隙率是指砂、石子等散粒材料的堆积体积（ V' ）中，颗粒间空隙（表观体积与堆积体积之差）所占的比率，它以 P' 表示，可按式计算：

$$P' = \frac{V' - V_0}{V'} = 1 - \frac{V_0}{V'} = 1 - \frac{\rho'}{\rho_0} \tag{2-6}$$

空隙率考虑的是散粒材料颗粒之间的空隙，而颗粒本身的孔隙率，则是颗粒内部的孔隙体积与颗粒外形所包含体积之比。

2.2 材料的力学性质

2.2.1 强度

材料的强度是材料在应力作用下抵抗破坏的能力。通常，材料内部的应力多由外力（荷载）作用而引起，随着外力增加，应力也随之增大，直至应力超过材料内部质点所能抵抗的极限，即强度极限，材料发生破坏。

根据外力作用方式，材料强度有抗拉、抗压、抗剪、抗弯（抗折）强度等，如图 2-2 所示。

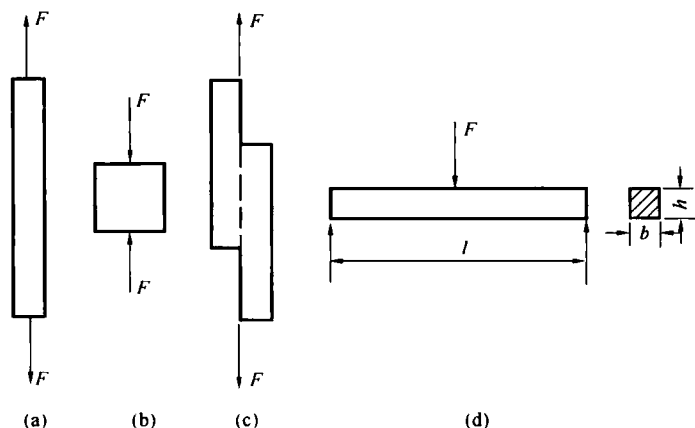


图 2-2 外力作用示意图

(a) 抗拉；(b) 抗压；(c) 抗剪；(d) 抗弯

在工程上，通常采用破坏试验法对材料的强度进行实测。将事先制作的试件安放在材料试验机上，施加外力（荷载），直至破坏，根据试件尺寸和破坏时的荷载值，计算材料的强度。

材料的抗拉、抗压及抗剪强度可按式计算：

$$f = \frac{F_{\max}}{A} \quad (2-7)$$

式中， f —— 材料的极限强度，MPa；

$F_{\max}$ —— 材料破坏时最大荷载，N；

A —— 试件受力面积， mm^2 。

材料的抗弯强度与试件受力情况、截面形状及支承条件有关。一般试验方法是将条形试件（梁）放在两支点上，中间作用一集中荷载。对矩形截面的试件，抗弯强度可按式计算：

$$f_m = \frac{3F_{\max} l}{2bh^2} \quad (2-8)$$

式中， f_m —— 材料的抗弯极限强度，MPa；

$F_{\max}$ —— 弯曲破坏时的最大集中荷载，N；

l —— 两支点的间距，mm；

b, h —— 分别为受弯试件截面的宽和高，mm。

材料的强度主要取决于材料的组成和结构。不同种类的材料，强度差别甚大，即使同类材料，强度也有不少差异。不同的受力形式，不同的受力方向，强度也不相同。强度是结构材料性能研究的主要内容。

为便于材料的生产和使用，结构材料均按强度值划分不同强度等级，并且强度等级一般作为结构材料产品质量等级标准，如烧结普通砖按抗压强度分为 MU30、MU25、MU20、MU15 等五个强度等级；普通水泥按抗压强度和抗折强度分为 42.5、52.5 等四个强度等级；普通混凝土有 C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55…C100 等 19 个强

度等级；建筑钢材按机械性能（屈服点、抗拉强度、伸长率、冷弯性能等）划分牌号；结构用木材按弦向静曲强度划分强度等级。结构材料按强度性能划分等级，对于生产者控制生产工艺，保证产品质量，使用者掌握材料性能，合理选用材料，正确进行设计，精心组织施工，都是十分重要的。

在生产和使用材料时，为确保产品和工程质量，必须对材料的强度性能进行测试，作为出厂或验收的依据。试验条件对材料强度的测试数据影响很大，如试样的取样方法、试件的形状和尺寸、试件的表面状况、试验机的类型、试验时加荷速度、环境的温度和湿度，以及试验数据的取舍等，均在不同程度上影响所得数据的代表性和精确性。因此，对于各种土木工程材料必须严格遵照有关标准规定的试验方法进行试验。

2.2.2 弹性和塑性

材料在外力作用下产生变形，外力去除后，变形消失，材料恢复原有形状的性能称为弹性。如图 2-3 所示，当施加荷载至 A，产生的弹性变形为 Oa ，荷载卸除，变形恢复至 O 点。这种性能称为完全弹性。弹性变形与荷载成正比关系，即 OA 为一直线。荷载与变形之比，或应力与应变之比，即 $\tan\varphi$ ，称为材料的弹性模量。

如材料在外力作用下产生变形，外力去除，有一部分变形不能恢复，这种性质称为塑性，不能恢复的变形，称为塑性变形。如图 2-3，当施加荷载超过 A 点，材料产生明显的塑性变形，至 B 点， ab 即为塑性变形，荷载卸除，变形恢复至 O' 点， OO' 为永久变形。对理想的弹塑性材料， $OA \parallel O'B$ ， $OO' = ab$ ，建筑用低碳钢接近于理想的弹塑性材料，如荷载在 A 点以下，则接近于理想的弹性材料。许多建筑材料的荷载变形图如图 2-4 所示，材料受力后并不产生明显的塑性变形，但荷载变形关系呈曲线形，当荷载卸除，变形恢复至 O' ， OO' 为不可恢复的塑性变形或永久变形。混凝土的受力变形具有这种性质。

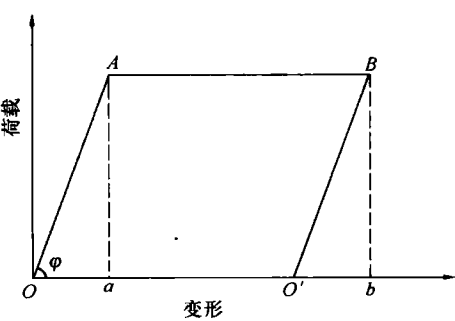


图 2-3 材料的弹性和塑性变形曲线

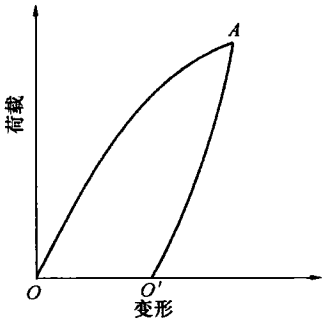


图 2-4 材料的弹塑性变形曲线

弹性和塑性有时作为描述材料变形性质的形容词，如弹性材料、塑性材料、弹塑性材料。材料受力变形的机理也比较复杂，实际材料的受力变形过程和性质与理想模型有一定差距。

2.2.3 脆性和韧性

材料受力达到一定程度时，并无明显的变形即发生突然破坏，材料的这种性质称为脆性。脆性材料的变形曲线如图 2-5 所示。大部分无机非金属材料均属脆性材料，如天然石