

校企合作优秀教材
二十一世纪高等学校精品教材
普通高等教育土木工程类「十三五」规划教材

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

主编 刘志勇



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

校企合作优秀教材
二十一世纪高等学校精品教材
普通高等教育土木工程类「十三五」规划教材

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

主编 刘志勇

副主编 贾福根

陈爱军

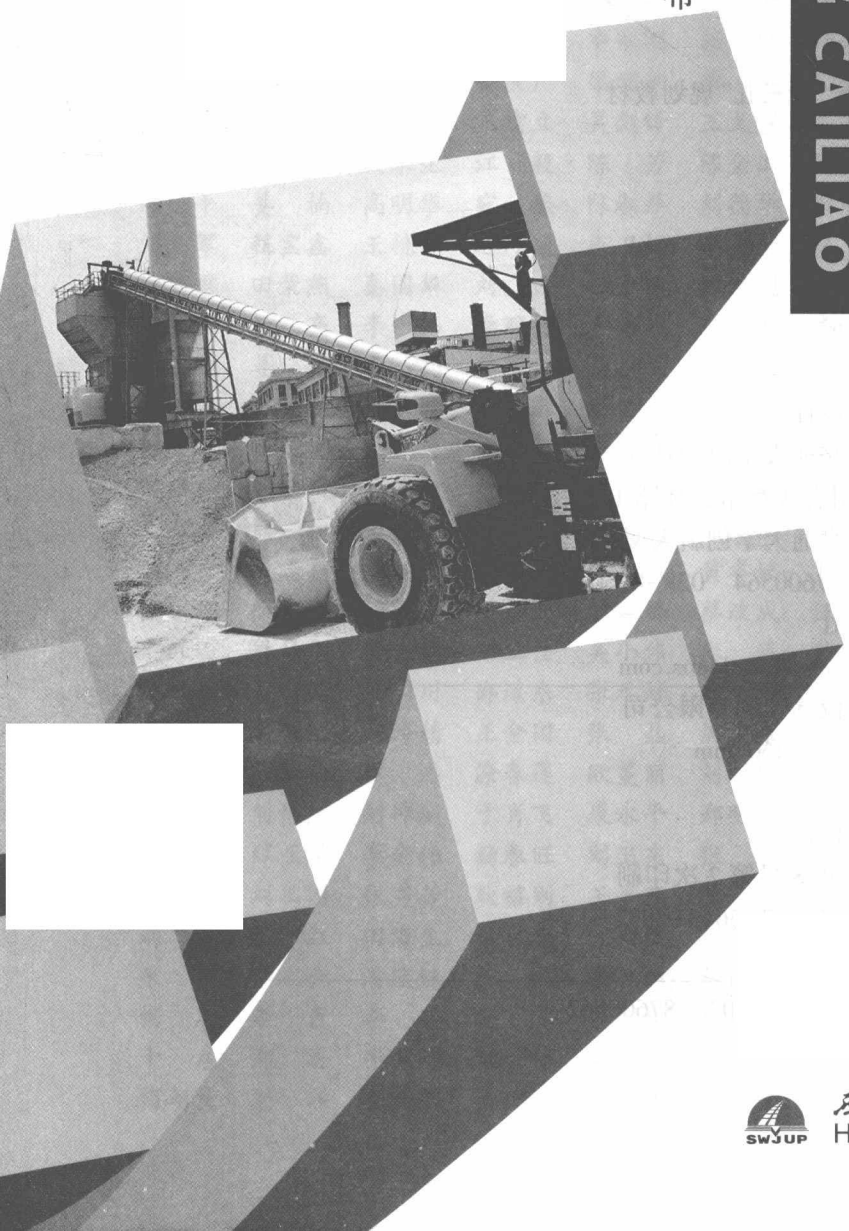
刘恽凡

田尔布

龙雯珍

杜红伟

方玲



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/刘志勇主编. —成都:西南交通大学出版社,2018.8

普通高等教育土木工程类“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5643-2832-0

I. ①土… II. ①刘… 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(2014)第012200号

普通高等教育土木工程类“十三五”规划教材

土木工程材料

刘志勇 主编

责任编辑	孟苏成
助理编辑	胡晗欣
封面设计	唐韵设计
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市二环路111号 西南交通大学创新大厦21楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	北京俊林印刷有限公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	24.75
字 数	596千字
印 次	2018年8月第2次印刷
书 号	ISBN 978-7-5643-2832-0
定 价	45.00元

版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562

精品课程配套教材 “双创”型人才培养优秀教材

编审委员会

主任：王汝志

副主任：张俊竹 鲁春燕 倪元相 黄 电 姜 庆 郝德鸿 徐顺志 黄群瑛 刘仁芬
 杜海玲 黄 芸 崔 芸 刘 晖 胡 建 张敏杰 陈柏明 宋国顺 唐 靖
 孙新国 李奇志 寇朝辉 李 奇 陈 娟 李晓青 田 莉 毕春晖 隋 兵
 杜春雷 田富阳 田 华 魏晓娅 钱晓芳 舒 安 唐克岩 曾华林 何春梅

委员：(名次不分先后顺序)

马超平	胡延华	唐志刚	伍建海	冯光明	曾庆良	吴倍贝	杨 希	曾昭江
兰长明	赵蓓蕾	姜炳春	杨云兰	邱州鹏	谭洪溢	刘平胜	王金良	刘妙玲
周 冲	王德礼	陈 明	朱超才	汪洪斌	钱黎春	陈起凤	张 璐	汪 丽
张治俊	张春来	李璐陈	王国体	夏 松	王 强	张 娜	杨世河	丁 辰
周 宇	杨智良	高立峰	凌烈锋	申永刚	汪作琳	邓光明	阳玉秀	杨勇军
黎利辉	文 竹	曾利明	黄汝广	梁满朝	蒙 敏	温任平	秦 艳	李 杰
庞江峰	孙永震	高启明	王建立	吴剑锋	王久霞	王志新	赵 静	潘 军
林秀芝	王永芳	殷永生	江 毅	陈 芳	陈金山	周金羊	孔 丽	黄爱科
郑小平	姜 楠	高明华	宛 燕	陈淑萍	刘德华	郭明德	萨其尔	方 煜
刘 军	程宝鑫	王艳丽	运乃通	朱卫娟	李占仓	格 桑	苏迅帆	吴丽娜
杨丽君	田荣燕	秦国华	刘 云	王子国	魏洪超	刘兆军	魏玉芝	达娃次仁
李 阳	杨 亮	李 伟	李丽艳	于善波	付广敏	常 虹	吴彦文	徐 军
郑 玲	姜 健	王 钧	毛用春	马 毅	席俊生	陈 微	王志强	蔡玉云
曹其英	林金澜	杨 迪	毛爱云	彭佑元	宁晓青	孙润霞	高文伟	梁双升
苏少虹	张艳英	李建清	林俊卿	陈俊峰	贾 檀	汪 琴	王玉林	马妙娟
何阳英	陈晓川	马春晓	吕镇洋	司丽娟	张惠芳	江 彬	张建春	陈 科
吴章土	熊 林	吉玲峰	王红记	何 伟	谢晓杰	王 军	李元杰	任 丽
魏 宁	熊晓亮	范学谦	毛洪涛	许立强	黄孝斌	罗 勇	胡郑重	高双喜
徐斌华	徐晓晗	周 军	董 惠	刘婷婷	蔡改成	汪 峰	汪中华	徐兰兰
余红珍	梁月飞	李春侠	田正佳	吴小伟	张 薇	仲崇高	包耀东	高国生
王湘蓉	蒋秀莲	徐明川	郑道东	张元越	朱 力	芦书荣	袁 鸿	包佃清
陈存英	赵彩虹	胡海婧	王金国	张 晶	周 蓓	徐 舫	李 宁	顾海华
谢鑫建	陈丽佳	罗 杰	涂春莲	欧蔓丽	刘蔚倩	谭德喜	王继良	唐启涛
邓 杰	刘怡然	刘坤城	于肖飞	康永平	郑明望	彭 杰	李凯贤	石梅兰
刘 慧	薛亚卓	李金伟	杨春旺	刘卫东	张 涛	王艳芹	靖麦玲	岳士凯
王 玲	刘玉国	张秀芳	耿禧则	王永照	王长青	付坤伟	孙宁宁	常 苏
刘 峰	黎维红	田海生	李付忠	宋珊珊	丛 颖	封 岚	安永红	杜 垚
张 华	李 奇	潘宏斌	王 磊	袁 新	陈劲松	林秋实	万 福	蔡昭君
杨 决	李 巨	李 芳	张 曼	姜百瑞	余龙江	郑 峰	韩 勇	卫玉成
千 彦	李 郑	牛荣建	颜 伟	周 洁	刘建国	向洪玲	张红波	田航周
何朝良	刘 洋	卜长明	吴建荣	蒲 冰	成志平	谭 波	谢晓明	黎付兵

前 言

土木工程材料是一切土木工程的物质基础,在工程建设中占有重要地位。由于组成、结构和构造不同,材料性能各异,也由于材料品种门类繁多,用量巨大,价格相差悬殊,因此,正确选择和合理使用土木工程材料,对整个土木工程的安全、耐久、美观、经济和实用意义重大。

本书以高等学校土木工程专业指导委员会 2011 版的“土木工程材料教学大纲”为基本依据,主要介绍了材料的基本性质,常用土木工程材料的组成与构造,制备原料及生产工艺,技术性能、质量要求和工程应用,以及材料性能检测与试验的基本理论和应用技术,并有代表性地介绍了土木工程材料的新技术和发展方向。本书有以下特点:一是采用了最新的国家与行业标准及规范,突出了标准在质量控制、性能检测及试验方法中的地位;二是适应新形势的要求,增加了聚羧酸盐混凝土减水剂、混凝土耐久性及保温节能材料的有关内容;三是理论联系实际,拓宽了适用面,突出材料在土木工程中的应用。本书可作为土木工程专业的教学用书,也可用于水利工程及土建类其他各专业学生,以及从事土木工程设计、施工、科研、管理及监理的技术和管理人员学习参考。

本书由刘志勇主编,贾福根、陈爱军、刘怿凡、田尔布、龙雯珍、杜红伟、方玲任副主编。各章具体分工如下:刘志勇编写第一章、第二章、第三章和第四章;刘怿凡和杜红伟编写第五章和第六章;陈爱军编写第七章和第八章;贾福根编写第九章和第十章;刘秀伟编写第十一章;龙雯珍和方玲编写十二章;马立国编写第十三章。此外烟台大学研究生王子潇、于蕾、杨维斌、王坤荣参与了稿件校对、图表编辑、规范整理及试验录像工作,土木工程学院院长罗玉萍教授给予了关心与指导。西南交通大学出版社各位编辑老师和发行部辛振鹏老师给予了大力帮助与支持,在此表示诚挚的谢意。

在本书编写过程中,参考了国内外很多优秀教材和著作,引用了其中的部分内容和观点,在此谨向原作者表示感谢。由于土木工程材料发展很快,新材料、新技术层出不穷,加上编者水平有限,时间仓促,书中不当或疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2018 年 3 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
思考题与习题	(4)
第二章 土木工程材料的基本性质	(5)
第一节 材料的基本物理性质	(5)
第二节 材料的基本力学性质	(7)
第三节 材料与水有关的性质	(11)
第四节 材料的耐久性	(14)
第五节 材料的组成及结构	(15)
思考题与习题	(16)
第三章 气硬性无机胶凝材料	(17)
第一节 石 灰	(17)
第二节 石 膏	(22)
第三节 水玻璃	(25)
思考题与习题	(27)
第四章 水 泥	(28)
第一节 水泥概述	(28)
第二节 硅酸盐水泥	(30)
第三节 掺混合材料的硅酸盐水泥	(37)
第四节 其他品种水泥	(43)
第五节 常用水泥的选用与贮运	(51)
思考题与习题	(53)
第五章 混 凝 土	(54)
第一节 混凝土概述	(54)
第二节 普通混凝土的组成材料	(55)



第三节 普通混凝土的主要技术性能	(71)
第四节 普通混凝土的质量控制与强度评定	(101)
第五节 普通混凝土配合比设计及实例	(106)
第六节 其他混凝土	(121)
思考题与习题	(128)
第六章 建筑砂浆	(130)
第一节 砂浆的技术要求	(130)
第二节 砌筑砂浆	(133)
第三节 抹面砂浆	(138)
思考题与习题	(141)
第七章 墙体材料	(142)
第一节 砌墙砖	(142)
第二节 砌块	(153)
第三节 墙用板材	(160)
第四节 砌筑石材	(162)
思考题与习题	(171)
第八章 建筑钢材	(172)
第一节 钢材的基本知识	(172)
第二节 钢材的主要技术性质	(173)
第三节 钢材的组织、化学成分及其对钢材性能的影响	(178)
第四节 钢材的冷加工与热处理	(182)
第五节 常用钢材的标准与选用	(184)
第六节 钢材的锈蚀与防止	(198)
思考题与习题	(200)
第九章 建筑高分子材料	(201)
第一节 建筑高分子材料的概述	(201)
第二节 建筑塑料	(205)
第三节 建筑胶黏剂	(214)
第四节 建筑涂料	(216)
思考题与习题	(225)



第十章 沥青材料	(226)
第一节 沥青基本知识	(226)
第二节 沥青混合料	(243)
第三节 沥青混合料配合比设计	(252)
第四节 沥青混合料的选用	(260)
思考题与习题	(263)
第十一章 木 材	(265)
第一节 木材的基本知识	(265)
第二节 常用木材及制品	(271)
第三节 木材及其制品的工程应用	(272)
第四节 木材的腐蚀与防止	(276)
思考题与习题	(278)
第十二章 建筑功能材料	(279)
第一节 保温隔热材料	(279)
第二节 防水材料	(299)
第三节 吸声与隔声材料	(303)
第四节 建筑装饰材料	(308)
第五节 其他功能材料	(314)
思考题与习题	(318)
第十三章 土木工程材料试验	(319)
试验一 材料的基本物理性质试验	(319)
试验二 水泥常规试验	(321)
试验三 混凝土用集料试验	(329)
试验四 普通混凝土配合比试验	(337)
试验五 建筑砂浆试验	(343)
试验六 钢筋混凝土用钢试验	(346)
试验七 沥青试验	(353)
试验八 沥青防水卷材常规试验	(357)
参考答案	(365)
本书引用的标准及规范	(384)
参考文献	(386)

第一章 绪 论

◀ 内容提要

本章重点介绍土木工程材料的分类、土木工程材料的技术标准化、土木工程材料在土木工程中的作用和重要性、土木工程材料的现状及发展趋势。

土木工程材料的定义有广义和狭义之分，广义的土木工程材料是指土木工程中使用的各种材料及制品。主要包括构成建筑物本体的材料，如水泥、钢材、木材等；辅助材料，如模板、围墙、脚手架等；各类建筑器材，如采暖设备、电气设备、消防器材设备等。狭义的土木工程材料是构成土木工程实体的材料，本书中主要介绍狭义的土木工程材料。

一般来说，各类土木工程设施都会对它所采用的材料提出各种要求，如“坚固、耐久”是对所有材料的共同要求；不同的土木工程设施还会对材料提出“耐火、防水、耐磨、隔热、绝缘、抗冲击”等多种要求；甚至是“抗辐射”这样的特殊需要。归纳起来，土木工程材料的基本要求是：必须要有足够的强度，能够安全地承受荷载；材料自身的质量以轻为宜（即表观密度较小），以减少对下部结构的负载；具有与使用环境相适应的耐久性，以提高使用寿命和降低维护费用；用于装饰的材料，应能美化建筑，产生一定的艺术效果；用于特殊部位的材料，应具备相应的特殊功能，如屋面材料能隔热、防水，楼板和内墙材料能隔声。

土木工程材料种类极为繁多，性质各异，用途不同，为了研究、使用和叙述上的方便，通常根据材料的化学组成、使用功能及来源分别加以分类。

一、土木工程材料的分类

1. 根据主要组成成分分类

根据土木工程材料的主要组成成分分类，通常可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类（见表 1-1）。

2. 根据使用功能分类

根据土木工程材料的用途，大体可分为结构材料和功能材料两大类。

(1) 结构材料——主要指梁、板、柱、基础、墙体和其他受力构件所用的土木工程材料。最常用的有钢材、混凝土、砖、砌块、墙板、楼板、屋面板和石材等。

(2) 功能材料——主要有防水材料、防火材料、装饰材料、保温材料、吸声（隔声）材料、采光材料、防腐材料等。



表 1-1 主要组成成分分类

土木工程材料	无机材料	金属材料	黑色金属：生铁、碳素钢、合金钢
			有色金属：铝、锌、铜及其合金
		非金属材料	天然石材：石子、砂、毛石、料石
			烧土制品：粘土砖、瓦、空心砖、建筑陶瓷
			玻璃：窗用玻璃、安全玻璃、特种玻璃
			胶凝材料：石灰、石膏、水玻璃、各种水泥
			硅酸盐制品：粉煤灰砖、灰砂砖、硅酸盐砌块
			混凝土及砂浆：普通混凝土、轻混凝土、特种混凝土、各种砂浆
	绝热材料：石棉、矿棉、玻璃棉、膨胀珍珠岩		
	有机材料	植物质材料	木材、竹材、软木、毛毡
		沥青材料	石油沥青、煤沥青、沥青防水制品
		高分子材料	塑料、橡胶、涂料、胶粘剂
	复合材料	金属和非金属复合	钢筋混凝土、钢纤维混凝土、预应力混凝土
非金属和有机复合		聚合物混凝土、沥青混凝土、水泥刨花板、玻璃钢（玻璃纤维增强塑料）	

3. 按材料来源分类

根据材料来源，可分为天然材料与人造材料。而人造材料又可按冶金、窑业（水泥、玻璃、陶瓷等）、石油化工等材料制造部门来分类。

二、土木工程材料在土木工程中的作用和重要性

土木工程材料在土木工程中有着举足轻重的地位，它是一切土木工程的物质基础，材料与结构、建筑及施工之间存在着相互依存、相互促进的密切关系。土木工程材料的性能在一定程度上决定了建筑物的功能、工程质量和使用寿命。由于组分、结构和构造的不同，土木工程材料价格相差悬殊，同时在土木工程中用量巨大，因此，正确选择和合理使用土木工程材料，对整个土木工程的安全、实用、美观、耐久及造价有着重大意义。

三、土木工程材料的技术标准化

土木工程材料涉及的标准主要包括两类。一是产品标准。其内容主要包括产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、应用技术规程等。二是工程建设标准。其内容包括土木工程材料选用有关的标准、各种结构设计规范、施工及验收规范等。目前，我国常用的标准按适用领域和有效范围，分为三级。

1. 国家标准

国家强制性标准代号 GB、推荐性标准 GB/T。



2. 行业标准

建材行业代号 JC, 交通行业代号 JT, 建工行业代号 JG 等。

3. 地方标准和企业标准

地方标准代号 DB, 企业标准代号 QB。

几种常用标准代号见表 1-2。

表 1-2 几种常用标准代号

行业名称	建工行业	黑色冶金行业	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

有关工程建设方面的技术标准的代号, 应在部门代号后加 J。地方标准或企业标准所制定的技术要求应高于类似 (或相关) 产品的国家标准。

此外, 还常常涉及一些与土木工程材料关系密切的国际或外国标准, 主要有: 国际标准化组织标准, 代号为 ISO; 美国材料与试验学会标准, 代号为 ASTM; 日本工业标准, 代号为 JIS; 德国工业标准, 代号为 DIN; 英国标准, 代号为 BS; 法国标准, 代号为 NF。

每个技术标准都有自己的代号、编号和名称。标准的代号反映标准的等级或发布单位, 用汉语拼音字母表示。标准一般由标准名称、部门代号 (以汉语拼音字母表示)、标准编号和颁发年份等来表示。例如, 《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007), 表示国家强制性标准 175 号, 2007 年颁布执行, 其内容是通用硅酸盐水泥。

四、土木工程材料的发展及趋势

土木工程材料的发展是随着人类社会生产力的不断发展和人民生活水平的不断提高而向前发展的, 随着科技的发展与社会的进步, 人类对建筑材料的使用性能、外观等各方面的要求越来越高。在那些原始材料的基础上, 逐渐开发出新型的土木工程材料。石灰、水泥、沥青、混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土、钢结构等, 已经成为工业建筑和民用建筑的主要材料。而且, 随着超高建筑、高承载工程和高抗渗工程的出现, 一些高性能材料也应运而生。高强度等级水泥、钢纤维和玻璃纤维混凝土、聚合物混凝土、钢化玻璃、多功能涂层玻璃、双层中空玻璃等, 这些新型材料具有质轻、高强、快 (坚) 硬等优点。这些新型材料的广泛应用, 促进了建筑设计理念、土木工程结构形式及建筑施工技术的巨大革新与发展。

随着城市化、工业化进程的加快和生产力水平的大幅度提高, “环保、生态、绿色、健康”, 已成为 21 世纪人类生活的主题。为满足现代各种土木工程需求和生态环境的要求, 土木工程材料应具有健康、安全、环保的基本特征, 满足轻质、高强、耐用、多功能的优良技术性能和美观的美学功能。遵循可持续发展战略, 土木工程材料的发展趋势表现为以下几个方面:

① 高性能化; ② 高耐久性; ③ 多功能化; ④ 绿色环保; ⑤ 智能化。

另外, 主产品和配套产品应同步发展, 并解决好利益平衡关系。同时, 为满足现代土木工程结构性能和施工技术的要求, 材料的应用应向着工业化方向发展。

五、本课程的主要内容和要求

土木工程材料是土木工程、建筑学和工程管理等专业的重要专业基础课, 它既是



学习专业课的基础，也是一门重要的应用技术。本课程的任务和要求是掌握土木工程材料的性质、应用及技术要求，理解土木工程材料的检验方法，具有合理和正确选用土木工程材料的能力，同时培养学生分析问题、解决问题的能力，以及实验操作技能和创新精神，提高学生综合素质。

本课程主要介绍土木工程中常用的土木工程材料的基本组成、材料性能、质量要求、检测方法，内容包括气硬性无机胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、墙体材料、建筑钢材、建筑高分子材料、沥青材料、木材、建筑功能材料等。

土木工程材料是一门实践性和适用性很强的课程。首先要着重学习好主要内容——材料的建筑性能和合理应用。学习某一材料的建筑性能时，重要的是应当知道形成这些性质的内在原因和这些性质之间的相互关系。对同一类不同品种的材料，不但要学习它们的共性，更重要的是掌握它们各自的特性。

思考题与习题

1. 土木工程材料如何分类？
2. 说明我国技术标准的分级情况。

第二章 土木工程材料的基本性质

◀ 内容提要

本章重点介绍材料的物理性质、力学性质、与水有关的性质、材料的耐久性及其材料的组成与结构。通过学习掌握材料的性质，了解材料的组成、结构、性能的关系，从而合理选用材料。

第一节 材料的基本物理性质

一、材料的密度、表观密度和堆积密度

1. 密度

密度是指材料在绝对密实状态下，单位体积的质量。

$$\rho = m/V \quad (2-1)$$

式中 ρ ——密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

m ——材料的质量（干燥至恒重）， g 或 kg ；

V ——材料在绝对密实状态下的体积（即材料体积内固态物质的实体积）， 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的固体物质本身的体积，亦称实体积。土木工程材料中除钢材、玻璃等外，绝大多数材料均含有一定的孔隙。测定有孔隙的材料密度时，须将材料磨成细粉（粒径小于 0.20 mm），经干燥后用李氏瓶测得其实体积。材料磨得越细，测得的密度值越精确。材料密度的大小取决于材料的组成及微观结构，因此相同组成及微观结构的材料其密度为一定值。

2. 表观密度

材料在自然状态下，单位体积的质量称为表观密度。

$$\rho_0 = m/V_0 \quad (2-2)$$

式中 ρ_0 ——表观密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

m ——自然状态下材料的质量， g 或 kg ；

V_0 ——材料在自然状态下的体积， cm^3 或 m^3 。

所谓自然状态下的体积，是指包括材料实体积、开口孔隙和闭口孔隙的体积。



测定方法：对于加气混凝土砌块、砖等外形规则的材料，用量具量测并按几何公式计算所得的体积包含实体体积、闭口孔和开口孔体积，此时表观密度又称体积密度，俗称容重。对于不规则形状的材料，通常采用排液法测量其体积，但表面应预先封蜡。对于混凝土用砂石集料，可直接用排水法测量其体积，其体积是实体体积和闭口孔体积之和，即不包括开口孔体积。由于砂石比较致密，孔隙较少，用排水法测得的体积与其实体体积十分相近，因此砂石的表观密度近似地视作密度，称视密度。

在自然状态下，材料内往往含有水分，其质量将随含水程度而改变，故测定表观密度时应注明其含水程度。一般指的是材料在气干状态下的表观密度，干燥材料的表观密度称为干表观密度。

3. 堆积密度

散粒状材料在堆积状态下，单位体积的质量称为堆积密度。

$$\rho'_0 = m/V'_0 \quad (2-3)$$

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度， kg/m^3 ；

m ——材料的质量， kg ；

V'_0 ——材料的堆积体积， m^3 。

材料在堆积状态下，其堆积体积不但包括所有颗粒内的孔隙，而且还包括颗粒间的空隙。其值大小不但取决于材料颗粒的体积密度，而且还与堆积的疏密程度有关。测定堆积密度时，用规定的容积升测定其体积，称取质量后用式(2-3)计算求得。当材料含有水分时将会影响堆积密度，因此需注明含水情况，未特别标明者，一般指气干状态。

在土木工程中，进行配料计算，确定材料堆放空间及运输量、材料用量及构件自重等，经常用到材料的密度、表观密度和堆积密度的数值。常用材料的基本状态参数见表2-1。

表 2-1 常用材料的基本状态参数

材料名称	密度/ (g/cm^3)	表观密度/ (g/cm^3)	堆积密度/ (kg/m^3)
钢材	7.85	—	—
松木	1.55	0.40~0.80	—
水泥	2.80~3.20	—	900~1 300
砂	2.66	2.65	1 450~1 650
碎石(石灰石)	2.60~2.80	2.60	1 400~1 700
普通混凝土	2.60	1.95~2.90	—
普通粘土砖	2.60	1.60~1.90	—

二、材料的孔隙率和密实度

1. 孔隙率

孔隙率是指材料内部孔隙体积占材料总体积的百分率，以 P 表示。

$$P = (V_0 - V) / V_0 = 1 - \rho_0 / \rho \quad (2-4)$$



2. 密实度

密实度是指材料内部固体物质实体积占材料总体积的百分率，以 D 表示。

$$D = V/V_0 \quad (2-5)$$

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 $D+P=1$ 。

大多数土木工程材料的内部都含有孔隙，这些孔隙会对材料的性能产生不同程度的影响。一般认为，孔隙可从两个方面对材料产生影响：一是孔隙多少，二是孔隙的特征。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。这些性质除了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）、形貌、孔径的大小及分布等。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，即开口孔隙率（ P_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_k ）与材料总体积之比；闭口孔隙率（ P_B ）便是总孔率 P 与开口孔隙率 P_k 之差。一般材料中含有独立封闭的且均匀分布的小孔多其吸水率小、抗渗性和抗冻性好，相反材料中含有开放的连通的孔隙较多其抗渗性、抗冻性及热工性能较差，但吸声性能较好。

三、材料的空隙率和填充率

1. 空隙率

空隙率指粉状或颗粒状等散粒材料颗粒间的空隙体积占堆积体积的百分率，以 P' 表示。

$$P' = (V'_0 - V_0) / V'_0 \quad (2-6)$$

2. 填充率

填充率指粉状或颗粒状等散粒材料在堆积体积中，被固体颗粒的填充程度，以 D' 表示。

$$D' = V_0 / V'_0 \quad (2-7)$$

填充率和空隙率从两个不同侧面反映粉状或颗粒状材料的颗粒相互填充的疏密程度，即 $P'+D'=1$ 。可通过压实或振实的方法获得较小的空隙率。在配制混凝土时，砂石的空隙率是作为控制混凝土中集料级配的重要依据。

第二节 材料的基本力学性质

一、材料的理论强度

材料的理论强度是指材料在理想状态下所应具有的强度。材料的理论强度取决于质点间作用力。以共价键、离子键形成的结构，化学键能高，材料的理论强度和弹性模量值也高。而分子键形成的结构，化学键能较低，材料的理论强度和弹性模量也比较低。材料在理想状态下，受力破坏的原因是由拉力造成的结合键的断裂，或者因剪力造成的质点间的滑移。其他受力形式导致材料破坏，实际上都是由外力在材料内部产生的拉应力和剪应力而造成的。材料的理论抗拉强度，可用式（2-8）表示。

$$f_t = \sqrt{\frac{E\gamma}{d}} \quad (2-8)$$

式中 f_t ——材料理论抗拉强度，Pa；



E ——材料的弹性模量, N/mm^2 ;

γ ——单位面积的表面能, J/m^2 ;

d ——原子间的距离, m 。

实际材料与理想材料的差别在于实际材料中存在许多缺陷, 如微裂纹、微孔隙等。当材料受外力作用时, 在微裂纹的尖端部位会产生应力集中现象, 使得其局部应力大大超过材料的理论强度, 从而引起裂纹不断扩展、延伸, 以至相互连通, 最后导致材料的破坏。故材料的理论强度远远大于其实际强度。

二、材料的强度

材料在外力(荷载)作用下, 抵抗破坏的能力称为强度。当材料受外力作用时, 其内部将产生应力, 外力逐渐增大, 内部应力也相应地加大。直到材料结构不再能够承受时, 材料即破坏。此时材料所承受的极限应力值, 就是材料的强度。

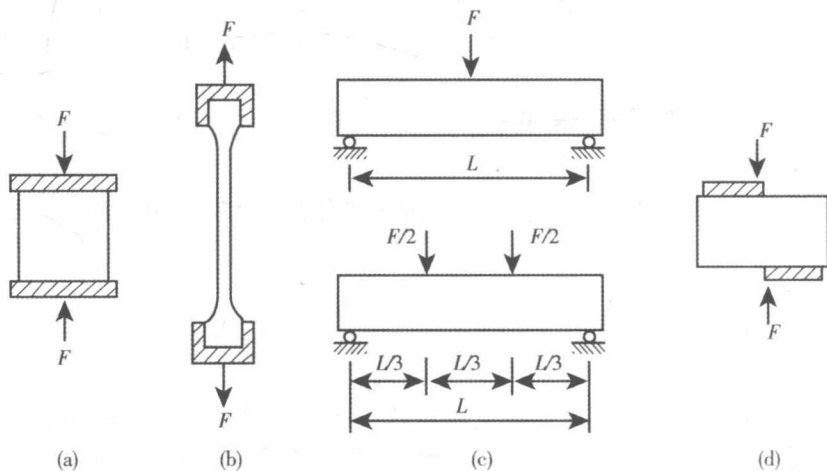


图 2-1 材料受力示意图

根据外力作用方式的不同, 材料的强度分为抗压强度 [图 2-1 (a)]、抗拉强度 [图 2-1 (b)]、抗弯强度 [图 2-1 (c)] 及抗剪强度 [图 2-1 (d)] 等。

材料的抗压强度、抗拉强度、抗剪强度的计算式如下:

$$f = F_{\max} / A \quad (2-9)$$

式中 f ——材料的强度, N/mm^2 或 MPa ;

F_{\max} ——材料破坏时的最大荷载, N ;

A ——受力截面的面积, mm^2 。

材料的抗弯强度与加荷方式有关, 单点集中加荷和三分点加荷的计算式如下:

$$f = 3F_{\max} L / 2bh^2 \quad (2-10)$$

$$f = F_{\max} L / bh^2 \quad (2-11)$$

式中 f ——材料的抗弯强度, N/mm^2 或 MPa ;

F_{\max} ——破坏时的最大荷载, N ;

L ——两支点的间距, mm ;

b, h ——试件横截面的宽与高, mm 。



相同种类的材料,随着其孔隙率及构造特征的不同,各种强度也有显著差异。一般来说孔隙率越大的材料,强度越低,其强度与孔隙率有近似直线的关系,如图 2-2 所示。

不同种类的材料,材料的强度差异很大,各个方向的性质也不同。砖、石材、混凝土和铸铁等材料的抗压强度较高,而抗拉强度及抗弯强度较低。木材的顺纹抗拉强度高于抗压强度。钢材的抗拉、抗压强度都很高。砖、石材、混凝土等材料多用于结构的承压部位,如墙、柱、基础等;钢材则适用于承受各种外力的结构。

承重的结构材料除了要承受外荷载力,还需要承受自身重力。因此,不同强度材料的比较,可采用比强度指标。比强度是指单位体积质量的材料强度,它等于材料的强度与其表观密度之比。它是评价材料轻质高强性能的指标。轻质高强是材料发展的一个重要方向。常用材料的强度与比强度见表 2-2。

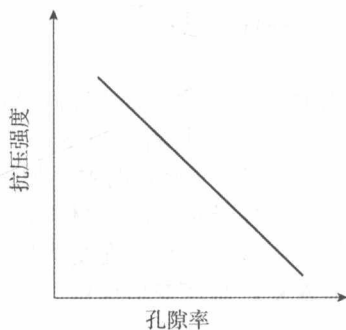


图 2-2 材料的强度与孔隙率的关系

表 2-2 常用材料的强度与比强度

材料	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa	抗弯强度/MPa	比强度
花岗岩	100~250	5~8	10~14	0.069 (抗压)
普通粘土砖	10~30	—	2.6~5.0	0.006 (抗压)
混凝土	10~100	1~8	3.0~10.0	0.017 (抗压)
松木(顺纹)	30~50	80~120	60~100	0.200 (抗拉)
建筑钢材	240~1 500	240~1 500	—	0.054

三、弹性与塑性

1. 弹性和弹性变形

材料在外力作用下产生变形,当外力取消后,材料变形即可消失并能完全恢复原来状态的性质称为弹性。这种当外力取消后瞬间即可完全消失的变形称为弹性变形,属于可逆变形。

对于弹性变形,作用力与所引起的变形之间有简单的线性关系,如图 2-3 表示。

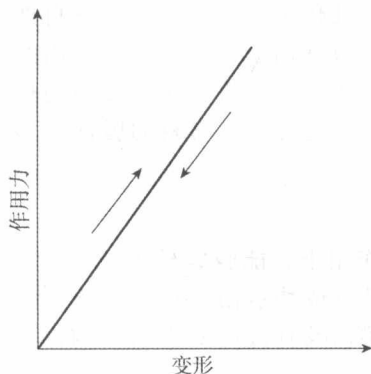


图 2-3 材料弹性变形曲线