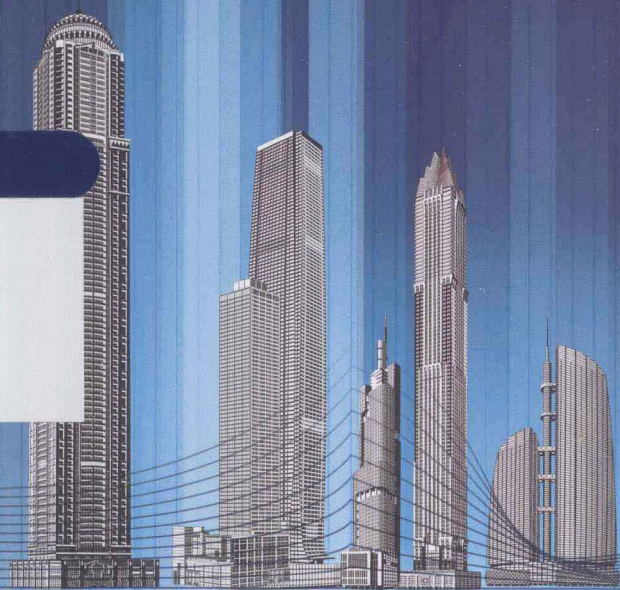


普通高等教育“十二五”规划教材

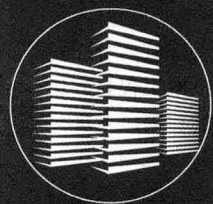
土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

肖力光 张学建 主编



化学工业出版社



普通高等教育“十二五”规划教材

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

肖力光 张学建 主 编
赵洪凯 荣 华 朱会荣 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是普通高等教育“十二五”规划教材,依据最新教学大纲、技术标准及规范编写,突出现代土木工程材料的新特点,共分为十三章。内容包括:绪论、土木工程材料的基本性质、气硬性无机胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、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、土木工程材料试验。为适应新时期对土木工程材料的要求,书中介绍了节约能源、低能耗、无环境污染的生产技术和生产低能耗的材料以及能降低建筑物使用能耗的节能型材料。本书可作为高等学校土木工程、建筑学、城市规划、工程管理、房地产管理、测绘工程、城市地下空间工程、交通工程、道路桥梁工程、勘察技术与工程、工程造价、艺术设计、景观学、材料科学与工程等各专业的教材使用,也可供相关专业技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/肖力光,张学建主编. —北京:化学工业出版社, 2013. 6

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-17017-0

I. ①土… II. ①肖…②张… 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074865号

责任编辑:满悦芝

装帧设计:尹琳琳

责任校对:宋 夏

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张20½ 字数508千字 2013年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:40.00元

版权所有 违者必究

前 言

进入 21 世纪以来,我国城乡建设领域的快速发展对土木工程材料的研究、生产、使用提出了新的要求和挑战。为此,了解土木工程材料的基本理论、基本知识和新型土木工程材料的基本组成、生产与配制原理、性质与应用,把握土木工程材料的发展趋势显得尤为重要。

土木工程材料课程是土木建筑类高校土木工程、建筑学、城市规划、工程管理、房地产管理、测绘工程、城市地下空间工程、交通工程、道路桥梁工程、勘察技术与工程、工程造价、艺术设计、景观学、材料科学与工程等各专业必修的一门专业基础课。通过本课程的学习,使学生掌握土木工程材料的基本知识和基本理论,为学习后续专业课程及课程设计、毕业设计等实践环节课程提供材料方面的专业知识,并为今后能够合理选用土木工程材料、正确使用土木工程材料、研究与开发土木工程材料打下理论基础。

本书以全国高等院校土木工程专业指导委员会、建筑学专业指导委员会和工程管理专业指导委员会制订的课程教学大纲以及最新颁布的各种土木工程材料的技术标准和规范为主要依据进行编写。

本书突出现代土木工程材料的新特点,如轻质、高强、高耐久性、优异装饰性和多功能性,以及充分利用和发挥各种材料的特性,采用复合技术,制造出具有特殊功能的材料;突出节约能源、低能耗、无环境污染的生产技术和生产低能耗的材料以及能降低建筑物使用能耗的节能型材料,如利用尾矿、废渣、垃圾等废弃物作为生产土木工程材料的资源。根据土木工程新材料、新技术和新规范的发展,结合土木建筑类高校学科专业的特点,教材中全部采用了新规范、新标准。例如,土木工程当中的主体材料如水泥及其助剂、混凝土及其配合比、钢材等均在最近几年颁布了国家最新技术规范、标准。教学内容充分展现了先进性,使该课程能够反映本学科领域的最新科技成果,并能和本领域的社会经济发展需要相结合。本书力求让学生在知识学习的同时培养创新精神,提高能力,增强素质,为进一步学习打下必要的基础。

本书是结合编者多年从事教学、科研和校企合作的实践经验而编写的,共分为十三章。内容包括:绪论、土木工程材料的基本性质、气硬性无机胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、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、土木工程材料试验。

本书由吉林建筑大学肖力光教授、张学建副教授为主编,并由肖力光教授主审。其中肖力光编写第十二章;张学建编写第一、二、十章;赵洪凯编写第四、五、九章;荣华编写第三、六、七、十一章;朱会荣编写第八、十三章。

本书在编写过程中得到了同行以及多位老师的大力帮助,在此表示衷心的感谢。

由于本教材内容广泛,编者水平所限,书中不完善之处在所难免,敬请同行和读者批评指正。

编 者
2013 年 6 月

目 录

第一章 绪论	1
一、土木工程材料的分类	1
二、土木工程材料在土木建筑工程中的 作用和重要性	2
三、土木工程材料的技术标准化	2
四、土木工程材料的发展现状及未来发展 趋势	3
五、本课程的主要内容	3
思考题与习题	3
第二章 土木工程材料的基本性质	4
第一节 材料的基本物理性质	4
一、材料的密度、表观密度和堆积密度	4
二、材料的孔隙率和密实度	5
三、材料的空隙率和填充率	5
第二节 材料的基本力学性质	6
一、材料的理论强度	6
二、材料的强度	6
三、弹性与塑性	7
四、脆性与韧性	8
五、硬度和耐磨性	8
第三节 材料与水有关的性质	9
一、材料的亲水性与憎水性	9
二、材料的吸湿性和吸水性	9
三、材料的耐水性	10
四、材料的抗渗性	10
五、材料的抗冻性	11
第四节 材料的耐久性	11
第五节 材料的组成及结构	12
一、材料的组成	12
二、材料的结构	12
思考题与习题	13
第三章 气硬性无机胶凝材料	14
第一节 石灰	14
一、石灰的生产	14
二、石灰的熟化	15
三、石灰的硬化	15
四、石灰及其制品的技术性质	15
五、石灰在建筑中的应用	17
第二节 石膏	17
一、石膏胶凝材料的生产简介	17
二、建筑石膏的水化与凝结硬化	18
三、建筑石膏及其制品的技术 性质	19
四、建筑石膏的应用	20
第三节 水玻璃	20
一、水玻璃的生产	20
二、水玻璃的硬化	21
三、水玻璃的特性与应用	21
思考题与习题	22
第四章 水泥	23
第一节 水泥概述	23
一、水泥的历史	23
二、水泥的分类	23
三、水泥的定义	24
四、通用硅酸盐水泥组分	24
第二节 硅酸盐水泥	25
一、硅酸盐水泥的定义	25
二、硅酸盐水泥的生产工艺	25
三、硅酸盐水泥熟料矿物组成及其 特性	25
四、水泥的质量标准	27
五、硅酸盐水泥的水化反应与凝结	

硬化	29	二、硫铝酸盐水泥	38
第三节 掺混合材料的硅酸盐水泥	32	三、快硬系列水泥	41
一、混合材料	32	四、水工系列水泥	42
二、普通硅酸盐水泥	34	五、其他专用水泥	43
三、矿渣硅酸盐水泥	34	第五节 常用水泥的选用与贮运	44
四、火山灰质硅酸盐水泥	35	一、水泥的选用	44
五、粉煤灰硅酸盐水泥	35	二、水泥的验收	45
第四节 其他品种水泥	36	三、水泥的运输及贮存	45
一、铝酸盐水泥	36	思考题与习题	45
第五章 混凝土	47		
第一节 混凝土概述	47	第四节 普通混凝土的质量控制与强度	
一、混凝土定义	47	评定	85
二、混凝土的分类	47	一、普通混凝土质量控制	85
三、混凝土的特点	48	二、强度的评定方法	88
第二节 普通混凝土的组成材料	48	第五节 普通混凝土配合比设计及实例	89
一、水泥	49	一、普通混凝土的配合比设计	89
二、集料	49	二、混凝土配合比设计实例	100
三、混凝土用水	53	第六节 其他混凝土	103
四、外加剂	53	一、高性能混凝土	103
五、掺合料	56	二、纤维增强混凝土	106
第三节 普通混凝土的主要技术性能	57	三、聚合物混凝土	107
一、新拌混凝土的性能	57	四、轻集料混凝土	109
二、混凝土的力学性能	64	思考题与习题	110
三、混凝土的耐久性	74		
第六章 建筑砂浆	112		
第一节 砂浆的技术要求	112	第三节 抹面砂浆	118
一、新拌砂浆的和易性	112	一、普通抹面砂浆	119
二、硬化砂浆的强度	113	二、装饰砂浆	120
三、砂浆的黏结力	114	三、防水砂浆	121
四、砂浆的变形性	114	四、保温砂浆(绝热砂浆)	121
五、砂浆的抗冻性	114	五、耐酸砂浆	121
第二节 砌筑砂浆	114	六、防辐射砂浆	121
一、砌筑砂浆的材料要求	114	七、吸声砂浆	121
二、砌筑砂浆的技术要求	115	思考题与习题	122
三、砌筑砂浆配合比设计	116		
第七章 墙体材料	123		
第一节 砌墙砖	123	二、烧结空心黏土砌块	132
一、烧结砖	123	三、蒸压加气混凝土砌块	132
二、非烧结砖	130	四、普通混凝土小型空心砌块	134
第二节 砌块	131	五、轻集料混凝土小型空心砌块	135
一、概述	131	六、石膏砌块	137

第三节 墙用板材	137	二、轻型复合板类墙用板材	138
一、薄板类墙用板材	138	思考题与习题	139
第八章 建筑钢材	140		
第一节 钢材的基本知识	140	影响	147
一、钢材的冶炼	140	第四节 钢材的冷加工与热处理	148
二、钢材的分类	140	一、钢材的冷加工与时效处理	148
第二节 钢材的主要技术性质	141	二、热处理	149
一、力学性能	141	第五节 常用钢材的标准与选用	149
二、工艺性能	144	一、钢结构用钢材	150
第三节 钢材的组织、化学成分及其对钢材性能的影响	145	二、钢筋混凝土结构用钢材	154
一、钢材的组织及其对钢材性能的影响	145	第六节 钢材的锈蚀与防止	161
二、钢材的化学成分及其对钢材性能的影响	145	一、钢材的锈蚀	161
		二、防止钢材锈蚀的措施	161
		思考题与习题	162
第九章 建筑高分子材料	163		
第一节 建筑高分子材料的概述	163	第三节 建筑胶黏剂	175
一、高分子的相对分子质量	163	一、胶黏剂的组成和分类	176
二、高分子的合成	163	二、胶黏剂的胶结机理	176
三、高分子化合物的特点	164	三、选用胶黏剂的基本原则	176
四、高分子的结构和性能的关系	164	四、常用的建筑胶黏剂	177
五、高分子化合物的分类和命名	166	第四节 建筑涂料	177
第二节 建筑塑料	167	一、建筑涂料的组成及功能	177
一、建筑塑料的特点	167	二、建筑涂料的分类、品种和用途	178
二、建筑塑料的种类	168	三、建筑涂料技术性能指标	180
三、塑料常用助剂	169	四、建筑乳胶涂料	181
四、常用建筑塑料制品	172	思考题与习题	184
第十章 沥青材料	186		
第一节 沥青基本知识	186	标准	206
一、石油沥青的组成及结构	187	第三节 沥青混合料配合比设计	209
二、石油沥青的技术性质	189	一、矿质混合料的配合比组成设计	209
三、石油沥青的技术标准与选用	193	二、通过马歇尔试验确定沥青混合料的最佳沥青用量	212
四、改性沥青	195	三、沥青混合料的性能检验	215
五、其他沥青	198	第四节 沥青混合料的选用	215
六、沥青防水材料	199	一、沥青材料	215
第二节 沥青混合料	202	二、粗集料	216
一、沥青混合料的定义	202	三、细集料	217
二、沥青混合料的分类	203	四、填料	218
三、沥青混合料的强度理论和组成结构	204	思考题与习题答案	218
四、沥青混合料的技术性质和技术			

第十一章 木材	219
第一节 木材的基本知识	219
一、木材的分类	219
二、木材的构造	220
三、木材的物理性质	221
第二节 常用木材及制品	224
一、常用木材	224
二、木质材料制品	224
第三节 木材在工程中的应用	225
一、木地板	225
二、木饰面板	226
三、木材发展方向	227
第四节 木材的腐蚀与防止	229
一、木材腐蚀的原因	229
二、防腐措施	229
思考题与习题	231
第十二章 建筑功能材料	232
第一节 保温隔热材料	232
一、保温隔热材料的性质和特点	232
二、常见保温隔热材料	235
第二节 防水材料	250
一、防水卷材	250
二、防水涂料	251
三、建筑密封材料	252
第三节 吸声与隔声材料	253
一、建筑吸声材料	253
二、建筑隔声材料	255
第四节 建筑装饰材料	256
一、概述	257
二、石材	257
三、建筑陶瓷	258
四、金属板材	259
五、建筑塑料装饰制品	260
六、建筑装饰木材	260
七、卷材类装饰材料	261
第五节 其他功能材料	262
一、建筑防火材料	262
二、建筑光学材料	263
思考题与习题	265
第十三章 土木工程材料试验	266
试验一 水泥常规试验	266
试验二 砂常规试验	273
试验三 普通混凝土配合比试验	278
试验四 沥青防水卷材常规试验	283
试验五 建筑砂浆试验	288
试验六 钢筋混凝土用钢试验	291
试验七 沥青试验	297
参考答案	301
参考文献	318

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建筑工程中的作用和重要性、土木工程材料的发展现状及未来发展趋势。

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；辅助器材，即周转材料，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。狭义的建筑材料是构成建筑本体的材料，本书中主要介绍狭义的建筑材料。

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），以减少下部结构和低级的负载；具有与使用环境相适应的耐久性，以减少维修费用；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）。

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:黏土砖、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、胶黏剂
		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)

2. 根据使用功能分类

根据土木工程材料在建筑物中的用途,大体可分为建筑结构材料、建筑功能材料两大类。

建筑结构材料——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。

建筑功能材料——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。

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建筑工程中的作用和重要性

土木工程材料在土木建筑工程中有着举足轻重的地位,它是一切土木工程的基础,与建筑、结构和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,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,代号为 ISO;美国材料实验学会标准,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现状及未来发展趋势

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

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。课程的任务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。

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. 土木工程材料的基本概念是什么?
2. 土木工程材料如何分类?
3. 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、材料的耐久性及材料的结构与组成。通过学习掌握材料的性质，了解材料的组成、结构、构造关系，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，单位体积内的质量。

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

式中， ρ 为密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ； m 为材料的质量， g 或 kg ； v 为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 0.20mm ），经干燥后用李氏瓶测得其实体积。材料磨得愈细，测得的密度值愈精确。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 为表观密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ； m 为自然状态下材料的质量， g 或 kg ； v_0 为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和内部孔隙的外观几何形状的体积。

测定方法：外观形状规则，按几何公式计算；外观形状不规则，用排液法。

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，故测定体积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体积密度，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 为材料的堆积密度， kg/m^3 ； m 为材料的质量， kg ； v'_0 为材料的堆积体积， 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。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/(g/cm ³)
钢材	7.85	—	—
松木	1.55	0.40~0.80	—
水泥	2.80~3.20	—	900~1300
砂	2.66	2.65	1450~1650
碎石(石灰石)	2.60~2.80	2.60	1400~1700
普通混凝土	2.60	1.95~2.50	—
普通黏土砖	2.60	16.0~1.90	—

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。

$$P = (v_0 - v) / v_0 = 1 - \rho / \rho_0 \quad (2-4)$$

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：一是孔隙的多少，二是孔隙的特征。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）、孔径的大小及孔的分布等。实际上绝对的闭口孔是不存在的。在建筑材料中，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（ 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。

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。

$$P' = (v'_0 - v_0) / v'_0 = 1 - \rho'_0 / \rho_0 \quad (2-6)$$

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 $P' + D' = 1$ 。

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 为材料的理论抗拉强度; E 为材料的弹性模量; γ 为单位表面能; d 为原子间的距离。

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。

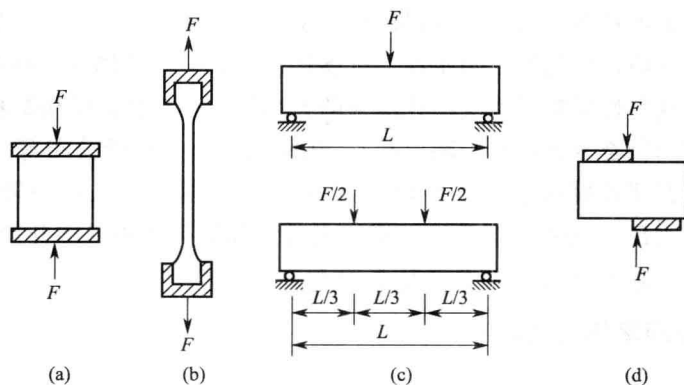


图 2-1 材料受力示意图

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 为材料的强度, N/mm^2 或 MPa ; $F_{\max}$ 为材料破坏时的最大荷载, N ; A 为受力截面的面积, 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：

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

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

式中， f 为材料的抗弯强度，N/mm² 或 MPa； $F_{\max}$ 为破坏时的最大荷载，N； L 为两支点的间距，mm； b 、 h 为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关系，如图 2-2 所示。

不同结构各个方向的性质不同，材料的强度差异很大。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。常用材料的强度如表 2-2 所示。

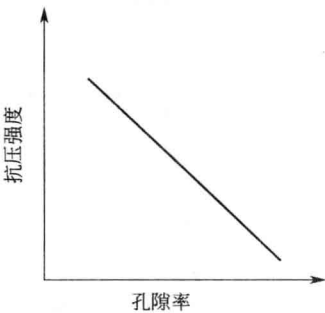


图 2-2 材料的强度与孔隙率的关系

表 2-2 常用材料的强度 N/mm² 或 MPa

材 料	抗压强度	抗拉强度	抗弯强度
花岗岩	100~250	5~8	10~14
普通黏土砖	10~30	—	2.6~5.0
混凝土	10~100	1~8	3.0~10.0
松木(顺纹)	30~50	80~120	60~100
建筑钢材	240~1500	240~1500	—

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。它是评价材料是否轻质高强的指标。

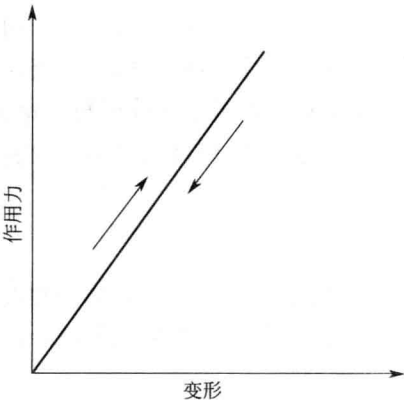


图 2-3 材料弹性变形曲线

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。

弹性模量：

$$E=\sigma/\epsilon$$
 (2-12)

式中， σ 为材料的应力，MPa； ϵ 为材料的应变；

E 为材料的弹性模量。

弹性模量反映了材料抵抗变形的能力，是结构设计中的主要参数之一。土木工程材料中有不少材料在受力时，弹性变形和塑性变形会同时发生，外力去除后，弹性变形恢复，塑性变形保留。

2. 塑性和塑性变形

材料在外力作用下产生变形, 当去掉外力时, 仍保持其变形后的形状和尺寸, 并且不产生裂缝的性质称为塑性。这种不能消失的变形称为塑性变形 (或永久变形), 属于不可逆变形, 如图 2-4 表示。

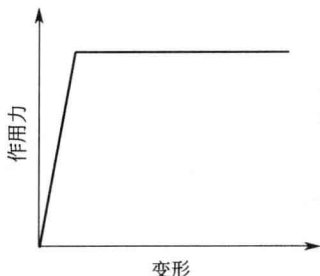


图 2-4 材料的塑性变形曲线

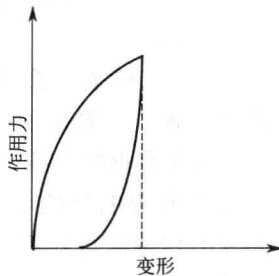


图 2-5 材料的弹塑性变形曲线

材料的弹塑性变形曲线如图 2-5 所示。

四、脆性与韧性

1. 脆性

材料在外力作用下, 直至断裂前, 只发生很小的弹性变形, 不出现塑性变形, 而突然破坏的性质称为脆性。具有这种性质的材料称为脆性材料。脆性材料的抗压强度比抗拉强度大得多, 可达几倍到几十倍。脆性材料抵抗冲击或振动荷载的能力差, 故常用于承受静压力作用的工程部位, 如基础、墙体、柱子、墩座等。属于此类的材料如石材、砖、混凝土、玻璃、陶瓷等。材料的脆性变形曲线如图 2-6 所示。

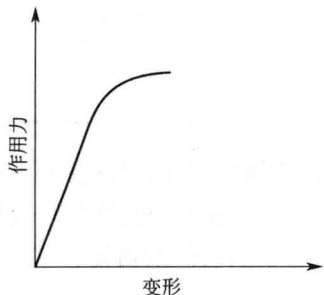


图 2-6 材料的脆性变形曲线

2. 韧性

材料在冲击、振动荷载作用下, 能吸收较大的能量, 同时也能产生一定的塑性变形而不致破坏的性质称为韧性 (或冲击韧性)。建筑钢材、木材、沥青混凝土等属于韧性材料。路面、桥梁、吊车梁以及有抗震要求的结构都要考虑材料的韧性。材料的韧性用冲击试验来检验。

五、硬度和耐磨性

1. 硬度

硬度是材料抵抗其他物体刻画或压入其表面出现塑性变形的能力。通常, 矿物的硬度采用刻画法测定其硬度, 即相对硬度, 也称莫氏硬度。钢材、木材、混凝土则采用钢球压入法测定其布氏硬度 (HB)。

1822 年, 德国矿物学家 Friedrich Mohs 提出用 10 种矿物来衡量物体相对硬度, 即莫氏硬度, 由软至硬分为十级: ①滑石; ②石膏; ③方解石; ④萤石; ⑤磷灰石; ⑥正长石; ⑦石英; ⑧黄玉; ⑨刚玉; ⑩金刚石。

各级之间硬度的差异不是均等的, 等级之间只表示硬度的相对大小。利用莫氏硬度计测定矿物硬度的方法很简单。将预测矿物和硬度计中某一矿物相互刻画, 如某一矿物能划动方解石, 说明其硬度大于方解石, 但又能被萤石所划动, 说明其硬度小于萤石, 则该矿物的硬

度为 3 到 4 之间，可写成 3~4。

2. 耐磨性

耐磨性是材料表面抵抗磨损的能力，通常用磨损率 K 表示。

$$K=(m_0 - m_1)/A \tag{2-13}$$

式中， m_0 ， m_1 为表示磨损前后的质量，g； A 为受损面积， cm^2 。

表 2-3 所示为莫式硬度表。

表 2-3 莫式硬度表

矿物名称	硬度值	矿物名称	硬度值
滑石	1	正长石	6
石膏	2	石英	7
方解石	3	黄玉	8
萤石	4	刚玉	9
磷灰石	5	金刚石	10

第三节 材料与水有关的性质

一、材料的亲水性与憎水性

材料与水接触时出现两种不同的现象，如图 2-7 所示，这是由于水与固体表面之间的作用情况不同。若材料遇水后其表面能降低，则水在材料表面易于扩展。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。亲水性材料遇水后呈图 2-7(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。憎水性材料遇水呈图 2-7(b) 的现象， $\theta > 90^\circ$ 。

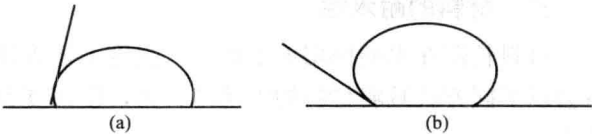


图 2-7 水与材料的接触角

土木工程材料中，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，与极性分子水之间有良好的亲和性。沥青、涂料、塑料等为憎水性材料，这是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。憎水性材料常用作防潮、防水及防腐材料，也可以对亲水性材料进行表面处理，用以降低吸水性。

二、材料的吸湿性和吸水性

1. 吸湿性

亲水性材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性；反之，在干燥空气中会放出所含水分，为还湿性。材料的吸湿性用含水率表示，即吸入水与干燥材料的质量之比。

$$W_b=(m_s - m_g)/m_g \tag{2-14}$$

式中， W_b 为材料的含水率，%； m_s 为材料吸湿状态下的质量，g 或 kg； m_g 为材料在干燥状态下的质量，g 或 kg。

2. 吸水性

材料在水中能吸收水分的性质称为吸水性。吸水性大小用吸水率表示，吸水率常用质量吸水率，即材料吸入水的质量与材料干质量之比表示。对于高度多孔的材料吸水率常用体