



普通高等教育“十二五”住建部规划教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材



普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

本书荣获教育部
2002年全国普通高等
学校优秀教材二等奖

土木工程材料

(第3版)

T M G C C L

陈志源 李启令 主编
沈 威 刘巽伯 主审



WUTP

武汉理工大学出版社



普通高等教育“十二五”住建部规划教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材



普通高等学校土木工程专业新编系列教材

中国土木工程学会教育工作委员会 审订

土木工程材料

(第3版)

主 编 陈志源 李启令

主 审 沈 威 刘巽伯

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

【内 容 提 要】

本书介绍的土木工程材料主要包括:气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、钢材、木材、建筑塑料、烧结砖、沥青材料、石材、建筑陶瓷、玻璃、绝热材料、吸声材料和防水材料等。其中重点论述了这些材料的基本组成、品质特性、质量要求、检测方法及选用原则。

本书适于高等工科院校“土木工程专业”及其他相关专业作为教学用书,也可作为土木工程类科研、设计、管理和施工人员的参考用书。

陈志源 男,同济大学教授,博士生导师,混凝土材料国家重点实验室名誉主任。国际聚合物混凝土大会(ICPIC)理事,美国混凝土学会(ACI)聚合物混凝土(548)和纤维增强混凝土(544)委员会咨询委员。长期从事建筑材料、胶凝材料、混凝土及高强材料的教学和科研,并从1980年开始研究混凝土中的各种界面,在此领域内形成了自己的特色。主持和参加科研课题获得上海市科技进步二等奖2项,国家教委科技进步二等奖1项。曾赴德国克劳斯泰大学做访问学者,赴德国施坦格混凝土公司进行合作研究,赴日本大学进行聚合物混凝土及混凝土耐久性合作研究。

czhiy2010@yahoo.com.cn, zychen@mail.tongji.edu.cn

李启令 男,博士,同济大学副教授,建筑结构与功能材料教研室主任;中国混凝土协会理事。长期从事无机非金属材料的教学和科研,重点研究作为水泥基高性能材料。主持完成了多项部、市级的科研任务,达到国内先进水平。

lqil2003@yahoo.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料(第3版)/陈志源,李启令主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2012.8 重印
ISBN 978-7-5629-3757-9

I. ① 土… II. ① 陈… ② 李… III. ① 土木工程-建筑材料-高等学校-教材 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 133974 号

项目负责人:蔡德民 刘永坚 田道全 责任编辑:汪浪涛

责任校对:戴皓华 装帧设计:杨 涛

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址: <http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:荆州市今印印务有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:12.25

字 数:494 千字

版 次:2012 年 6 月第 3 版

印 次:2012 年 8 月第 2 次印刷 总第 32 次印刷

印 数:252001—260000 册

定 价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027—87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

普通高等学校土木工程专业新编系列教材编审委员会
(第 4 届)

学术顾问:

吕西林 李 杰 罗福午 李少甫 甘绍熺 包世华 毛鹤琴
辛克贵 刘立新 李必瑜 彭少民 何铭新 吴培明 胡敏良

主任委员:

李国强 朱宏亮 田高

副主任委员:

刘伟庆 邹超英 白国良 徐礼华 雷宏刚 贾连光 朱彦鹏
张永兴 张俊平 刘殿忠 缪 昇 王 岚 周学军 赵明华

委员:(以姓氏笔画为序)

王 林 王 燕 王月明 王天稳 王社良 王泽云 袁海庆
邓铁军 王新武 王毅红 吴炎海 卢文胜 白晓红 蒋沧如
叶献国 孙 俊 孙 强 刘长滨 李书进 李启令 曾志兴
李怀建 刘剑飞 孙家齐 过静琚 李碧雄 张立人 窦立军
陈水生 邵旭东 陈伯望 宋固全 张国强 张科强 戴国欣
吴雪茹 吴辉琴 何培玲 周 云 俞 晓 饶云刚 魏瑞演
姜玉松 段兵廷 柳炳康 赵瑞斌 徐 伟 秦建平 袁广林

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德民

前 言

(第 3 版)

为落实教育部关于进一步加强高等学校本科教育改革,加强教材建设、确保高质量教材进课堂是其中的一个重要环节。我们贯彻上述精神,竭尽全力做好本次教材的全面修订工作。

本版从内容上继续贯彻“少而精”的原则及能适应土木工程材料发展的原则,同时考虑到使教材的适用面更广,不仅能用于课堂教育,也能用于专业人员的培训。教材增加了建筑材料绿色化、预拌砂浆、新型预制化、多功能铝合金材料等内容,并且加重了对现行标准规范的阐述。本教材内容中核心知识点完全符合国家最新颁布的“高等学校土木工程本科指导性专业规范”的要求。

本教材中凡涉及土木工程材料的标准规范,全部采用国家颁布的最新标准规范。凡正在修订而未颁布的标准规范也尽可能予以介绍。这次修订中,我们把各章涉及的标准规范的名称和发布年份按章汇编,一并列于书后,以便于读者查阅。

本书这次修订工作,主要由同济大学材料科学与工程学院陈志源和李启令全面负责,并重点修订了第 1、3、4 章;同济大学材料科学与工程学院王中平重新编写了第 7、10 章(包括试验部分)及第 11 章第 4 节;杭州应用工程技术学院张云莲修订了第 2、5 章。本书这次修订工作,还得到沈威教授和刘巽伯教授的许多有益建议。

随着时代的前进,土木工程发展突飞猛进,所用材料也会不断更新,殷切希望同行惠赐新的资料,以便再版引入,不胜感激。

编者

2011 年 7 月于上海

目 录

1 绪论 (1)

1.1 概述 (1)

1.1.1 土木工程材料的分类 (1)

1.1.2 土木工程材料的标准化 (1)

1.2 材料的基本状态参数 (2)

1.2.1 材料的密度、表观密度和堆积密度 (2)

1.2.2 材料的孔隙和空隙 (3)

1.3 材料的力学性质 (3)

1.3.1 强度与比强度 (3)

1.3.2 材料的弹性与塑性 (4)

1.3.3 脆性和韧性 (5)

1.3.4 硬度和耐磨性 (5)

1.4 材料与水有关的性质 (5)

1.4.1 材料的亲水性与憎水性 (5)

1.4.2 材料的含水状态 (6)

1.4.3 材料的吸湿性和吸水性 (6)

1.4.4 耐水性 (7)

1.4.5 抗渗性 (7)

1.4.6 抗冻性 (7)

1.5 材料的热性质 (8)

1.5.1 热容性 (8)

1.5.2 导热性 (8)

1.5.3 热变形性 (8)

1.6 材料的耐久性 (9)

1.7 材料的绿色化 (9)

复习思考题 (10)

2 建筑钢材 (11)

2.1 钢材的化学成分和分类 (11)

2.1.1 钢材的化学成分 (11)

2.1.2 钢材的分类 (12)

2.2 钢材的主要技术性能 (12)

2.2.1 力学性能 (12)

2.2.2 工艺性能 (15)

2.3 钢的组成和加工方法对钢材性能的影响 (16)

2.3.1 钢的组成对钢材性能的影响 (16)

2.3.2 加工方法对钢材性能的影响 (17)

2.4 建筑用钢 (19)

2.4.1 土木工程常用钢种 (19)

2.4.2	混凝土结构用钢材	(26)
2.4.3	钢结构用钢材	(32)
2.4.4	钢纤维混凝土用钢材	(34)
2.5	钢材的防护	(34)
2.5.1	防腐	(35)
2.5.2	防火	(36)
	复习思考题	(36)
3	气硬性胶凝材料	(37)
3.1	石灰	(37)
3.1.1	石灰的品种	(37)
3.1.2	石灰的技术要求	(37)
3.1.3	石灰的特性	(38)
3.1.4	石灰的应用	(39)
3.2	石膏	(40)
3.2.1	石膏的品种	(40)
3.2.2	建筑石膏的技术要求	(40)
3.2.3	建筑石膏的特性	(41)
3.2.4	建筑石膏的应用	(42)
3.3	水玻璃	(42)
3.3.1	水玻璃的品种	(42)
3.3.2	水玻璃的特性	(42)
3.3.3	水玻璃的应用	(43)
	复习思考题	(43)
4	水硬性胶凝材料——水泥	(44)
4.1	通用硅酸盐水泥	(44)
4.1.1	通用硅酸盐水泥的生产	(44)
4.1.2	通用硅酸盐水泥的特性	(45)
4.1.3	影响通用硅酸盐水泥性能的因素	(49)
4.1.4	通用硅酸盐水泥的选用	(49)
4.1.5	通用硅酸盐水泥的技术要求	(50)
4.2	其他品种水泥	(53)
4.2.1	砌筑水泥	(53)
4.2.2	中、低热水泥	(54)
4.2.3	道路硅酸盐水泥	(54)
4.2.4	铝酸盐水泥	(55)
4.2.5	膨胀水泥	(55)
4.2.6	白色和彩色硅酸盐水泥	(56)
	复习思考题	(56)
5	混凝土	(57)
5.1	混凝土概述	(57)
5.2	普通混凝土的组成材料	(58)
5.2.1	水泥	(58)

5.2.2	矿物掺合料	(58)
5.2.3	骨料	(60)
5.2.4	混凝土用水	(64)
5.2.5	外加剂	(65)
5.3	新拌混凝土的和易性	(66)
5.3.1	和易性的概念	(66)
5.3.2	和易性的测定方法	(67)
5.3.3	影响和易性的主要因素	(68)
5.4	硬化混凝土的强度	(69)
5.4.1	混凝土的抗压强度与强度等级	(69)
5.4.2	影响混凝土抗压强度的主要因素	(70)
5.5	硬化混凝土的耐久性	(71)
5.5.1	混凝土的抗渗性	(72)
5.5.2	混凝土的抗冻性	(72)
5.5.3	混凝土的抗侵蚀性	(72)
5.5.4	混凝土的碳化	(72)
5.5.5	混凝土中的碱-骨料反应	(73)
5.6	硬化混凝土的变形性	(73)
5.6.1	化学减缩	(73)
5.6.2	温度变形	(73)
5.6.3	混凝土的干缩湿胀	(74)
5.6.4	荷载作用下的变形	(74)
5.7	混凝土质量控制与强度评定	(76)
5.7.1	混凝土的质量控制	(76)
5.7.2	混凝土强度质量的评定	(76)
5.8	普通混凝土的配合比设计	(78)
5.8.1	混凝土配合比设计基本要点	(78)
5.8.2	普通混凝土配合比设计的方法和步骤	(78)
5.9	其他种类混凝土	(83)
5.9.1	高强混凝土	(83)
5.9.2	大体积混凝土	(84)
5.9.3	高性能混凝土	(84)
5.9.4	轻混凝土	(85)
5.9.5	纤维混凝土	(86)
5.9.6	聚合物混凝土	(86)
5.9.7	混凝土制品	(86)
复习思考题		(87)
6	建筑砂浆	(88)
6.1	砂浆的组成材料	(88)
6.1.1	水泥	(88)
6.1.2	细骨料	(88)
6.1.3	掺合料	(88)
6.1.4	添加剂	(89)
6.1.5	填料	(89)

6.1.6	水	(90)
6.2	砂浆的技术要求	(90)
6.2.1	新拌砂浆的和易性	(90)
6.2.2	硬化砂浆的强度和强度等级	(90)
6.2.3	砂浆粘结力	(90)
6.2.4	砂浆变形性	(90)
6.2.5	砂浆抗冻性	(91)
6.3	砌筑砂浆配合比设计	(91)
6.3.1	配合比的计算	(92)
6.3.2	砌筑砂浆配合比的试配、调整与确定	(93)
6.4	其他建筑砂浆	(94)
6.4.1	普通砂浆	(94)
6.4.2	特种砂浆	(95)
6.5	预拌砂浆简介	(96)
6.5.1	预拌砂浆的基本概念	(96)
6.5.2	预拌砂浆的品种	(96)
	复习思考题	(98)
7	烧结砖	(99)
7.1	烧结普通砖	(99)
7.1.1	生产工艺简介	(99)
7.1.2	烧结普通砖的技术性能指标	(100)
7.1.3	应用	(101)
7.2	烧结多孔砖和烧结空心砖	(102)
7.2.1	烧结多孔砖	(102)
7.2.2	烧结空心砖	(102)
	复习思考题	(103)
8	合成树脂	(104)
8.1	合成树脂	(104)
8.1.1	合成树脂分子构型	(104)
8.1.2	聚合反应	(104)
8.1.3	合成树脂的物理状态	(105)
8.1.4	合成树脂的熔点和玻璃化温度	(105)
8.2	建筑塑料	(105)
8.2.1	塑料概况	(105)
8.2.2	塑料的组成	(106)
8.2.3	常用建筑塑料	(107)
8.2.4	玻璃纤维增强塑料	(109)
	复习思考题	(109)
9	沥青材料	(110)
9.1	石油沥青	(110)
9.1.1	石油沥青的组分与结构	(110)
9.1.2	石油沥青的技术性质	(111)

9.1.3	石油沥青的技术标准	(112)
9.1.4	石油沥青的选用	(114)
9.1.5	沥青的掺配和改性	(114)
9.2	煤沥青简介	(116)
9.3	沥青混合料	(116)
9.3.1	概述	(116)
9.3.2	沥青混合料的组成材料	(117)
9.3.3	沥青混合料的组成结构	(118)
9.3.4	沥青混合料的技术性质	(118)
9.3.5	沥青混合料的技术指标	(119)
9.3.6	热拌沥青混合料的配合比设计	(120)
10	木材	(124)
10.1	概述	(124)
10.1.1	木材的种类	(124)
10.1.2	木材的构造	(124)
10.2	木材的特性	(126)
10.2.1	木材和水分	(126)
10.2.2	木材的干湿变形特性	(127)
10.2.3	木材的力学特性	(128)
10.3	木材的应用	(130)
10.3.1	木材的产品	(130)
10.3.2	人造板材	(131)
10.4	木材的防护	(133)
10.4.1	木材的干燥处理	(133)
10.4.2	防腐防蛀	(133)
10.4.3	防火	(133)
	复习思考题	(134)
11	其他工程材料	(135)
11.1	绝热材料	(135)
11.1.1	导热性	(135)
11.1.2	绝热材料的类型	(136)
11.1.3	常用绝热材料	(136)
11.2	吸声材料、隔声材料	(137)
11.2.1	材料的吸声性	(137)
11.2.2	吸声材料及其构造	(137)
11.2.3	隔声材料	(137)
11.3	装饰材料	(138)
11.3.1	天然石材	(138)
11.3.2	建筑陶瓷	(139)
11.3.3	建筑玻璃	(140)
11.3.4	建筑装饰涂料	(141)
11.4	防水材料	(142)
11.4.1	防水卷材	(142)

11.4.2	防水涂料	(145)
11.4.3	建筑密封材料	(145)
11.5	多功能铝合金材料	(146)
11.5.1	铝的性质	(146)
11.5.2	铝合金	(147)
11.5.3	建筑业常用铝合金的结构类型	(147)
	复习思考题	(148)
12	土木工程材料试验	(149)
试验一	材料基本性质试验	(149)
试验二	钢筋拉伸和弯曲性能试验	(150)
试验三	水泥试验	(153)
试验四	混凝土用骨料试验	(158)
试验五	普通混凝土试验	(161)
试验六	砂浆试验	(165)
试验七	砌墙砖试验	(168)
试验八	木材实验	(171)
试验九	石油沥青试验	(176)
	附录 引用标准汇编	(181)
	参考文献	(184)

1 绪 论

本章提要

本章主要介绍了土木工程材料的分类和标准化等基本概念,以及材料的基本物理、力学、化学性质和有关参数。

1.1 概 述

1.1.1 土木工程材料的分类

众所周知,组成建筑结构物的最基本构成元素是材料,能用于土木工程的材料品种繁多,性质各异,用途不同,为了方便应用,工程中常从不同角度对土木工程材料作出分类。

(1) 按材料的化学成分分类,可分为无机和有机两大类。从材料学意义上也可细分为金属材料、无机非金属材料 and 有机材料三大种,如下所示:

土木工程材料	{	无机材料	{	金属材料——钢、铁、铝等
				无机非金属材料——石、玻璃、水泥、陶瓷等
		有机材料	——木材、石油沥青、合成树脂等	

工程中为了满足各种不同的要求,往往将两种或两种以上不同成分的材料,取长补短,通过物理或化学的方法,在宏观上组成具有新性能的复合材料。复合材料可分为:金属-金属复合材料(如:钢铝复合板等)、金属-无机非金属材料(如:钢筋混凝土等)、金属-有机复合材料(如:轻质金属夹芯板等)、无机非金属-无机非金属材料(如:水泥混凝土等)、无机非金属-有机复合材料(如:玻璃纤维增强塑料等)、有机-有机复合材料(如:木塑复合板等)。

(2) 按材料的主要作用分类,可分成两大类:

结构材料——主要用作承重的材料,如梁、板、柱所用材料。

功能材料——主要利用材料的某些特殊性能,如用于防水、装饰、保温等的材料。

1.1.2 土木工程材料的标准化

土木工程材料现代化生产的科学管理,必须对材料产品的各项技术制定统一的执行标准。这些标准一般包括:产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、标志、运输和贮存等方面内容。

土木工程材料的标准,是企业生产的产品质量是否合格的技术依据,也是供需双方对产品质量进行验收的依据。通过产品标准化,就能按标准合理地选用材料,从而使设计、施工也相应标准化,同时可加快施工进度、降低造价。

世界各国对土木工程材料的标准化都非常重视,均有自己的国家标准,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,还有在世界范围统一使用的“ISO”国际标准。

目前我国常用的是如下四级标准体系:

(1) 国家标准

国家标准有强制性标准(代号 GB)、推荐性标准(代号 GB/T)。

(2) 行业标准

如建工行业标准(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)等。

(3) 地方标准(代号 DB)和企业标准(代号 QB)。

标准的一般表示方法,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(强制性)《金属拉伸试验方法》(GB 228—2002)。

国家标准(推荐性)《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)。

建工行业标准《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2000)。

对强制性国家标准,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,表示也可执行其他标准的要求;地方标准或企业标准所制定的技术要求不得与国家标准和行业标准相抵触。

1.2 材料的基本状态参数

1.2.1 材料的密度、表观密度和堆积密度

1.2.1.1 密度

材料在绝对密实状态下单位体积的质量,称为密度,公式表示如下:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

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 。

所谓绝对密实状态下的体积,是指不包括材料内部孔隙体积的固体物质的实体积。

常用的土木工程材料中,除钢、玻璃、沥青等可认为不含孔隙外,绝大多数均或多或少含有孔隙。测定含孔材料绝对密实体积的简单方法,是将该材料磨成细粉,干燥后用排液法测得的粉末体积,即为绝对密实体积。由于磨得越细,内部孔隙消除得越完全,测得的体积也就越精确,因此,一般要求细粉的粒径至少小于 0.20mm。

1.2.1.2 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(原称容重),公式表示如下:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1.2)$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V_0 ——材料在自然状态下的体积, 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。

测定材料自然状态体积的方法较简单,若材料外观形状规则,可直接度量外形尺寸,按几何公式计算。若外观形状不规则,可用排液法求得,为了防止液体由孔隙渗入材料内部而影响测值,应在材料表面涂蜡。

另外,材料的表观密度与含水状况有关。材料含水时,重量要增加,体积也会发生不同程度的变化。因此,一般测定表观密度时,以干燥状态为准,而对含水状态下测定的表观密度,须注明含水情况。

1.2.1.3 堆积密度

散粒材料在自然堆积状态下单位体积的质量,称为堆积密度,公式表示如下:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1.3)$$

式中 ρ'_0 ——散粒材料的堆积密度, kg/m^3 ;

m ——散料材料的质量, kg ;

V'_0 ——散粒材料的自然堆积体积, m^3 。

散粒材料堆积状态下的外观体积,既包含了颗粒的自然状态下体积,又包含了颗粒之间的空隙体积。散粒材料的堆积体积,常用其所填充满的容器的标定容积来表示。散粒材料的堆积方式是松散的,谓自然

堆积;也可是捣实的,谓紧密堆积。由紧密堆积测试得到的是紧密堆积密度。

1.2.2 材料的孔隙和空隙

1.2.2.1 材料的孔隙

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。

材料中含有孔隙的多少常用孔隙率表征。孔隙率是指材料内部孔隙体积(V_p)占材料总体积(V_0)的百分率。因为 $V_p = V_0 - V$ (三者单位相同),所以孔隙率可用下式表示:

$$p = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \tag{1.4}$$

与孔隙率相对应的是材料的密实度,即材料内部固体物质的实体积占材料总体积的百分率,可用下式表示:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% = 1 - p \tag{1.5}$$

材料的孔隙特征包括许多内容,以下仅介绍以后章节经常涉及三个特征:

- (1) 按孔隙尺寸大小,可把孔隙分为微孔、细孔和大孔三种。
- (2) 按孔隙之间是否相互贯通,把孔隙分为互相隔开的孤立孔,或互相贯通的连通孔。
- (3) 按孔隙与外界之间是否连通,把孔隙分为与外界相连通的开口孔,或不相连通的封闭孔(见图 1.1)。

若把开口孔的孔体积记为 V_k ,闭口孔的孔体积记为 V_B ,则有 $V_p = V_k + V_B$ 。另外,定义开口孔孔隙率为 $p_k = \frac{V_k}{V_0}$,闭口孔孔隙率为 $p_B = \frac{V_B}{V_0}$,则孔隙率:

$$p = p_k + p_B \tag{1.6}$$

1.2.2.2 材料的空隙

散粒材料颗粒间的空隙多少常用空隙率表示。空隙率定义为:散粒材料颗粒间的空隙体积(V_s)占堆积体积的百分率。因为 $V_s = V_0' - V_0$,所以空隙率可按下式计算:

$$p' = \frac{V_0' - V_0}{V_0'} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0'}{\rho_0}\right) \times 100\% \tag{1.7}$$

与空隙率相对应的是填充率,即颗粒的自然状态体积占堆积体积的百分率,可按下式计算:

$$D' = \frac{V_0}{V_0'} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho_0'} \times 100\% = 1 - p' \tag{1.8}$$

综上所述,含孔材料的体积组成如图 1.1 所示,散粒状材料的体积组成如图 1.2 所示。

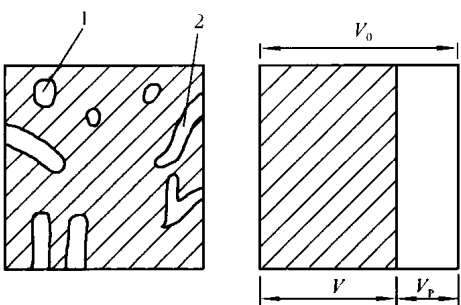


图 1.1 含孔材料体积组成示意图
1—闭孔;2—开孔

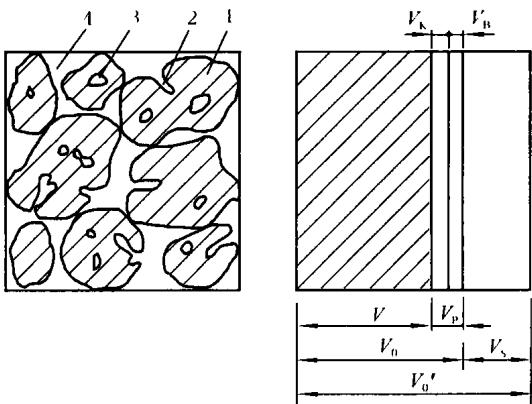


图 1.2 散粒材料松散体组成示意图
1—颗粒中的固体物质;2—颗粒的开口孔隙;
3—颗粒的闭口孔隙;4—颗粒间的空隙

1.3 材料的力学性质

1.3.1 强度与比强度

材料的强度是指材料在外力作用下不破坏时能承受的最大应力。由于外力作用的形式不同,破坏时的应力形式也不同,工程中最基本的外力作用形式如图 1.3 所示,相应的强度就分为抗压强度、抗拉强度、

抗弯强度和抗剪强度。

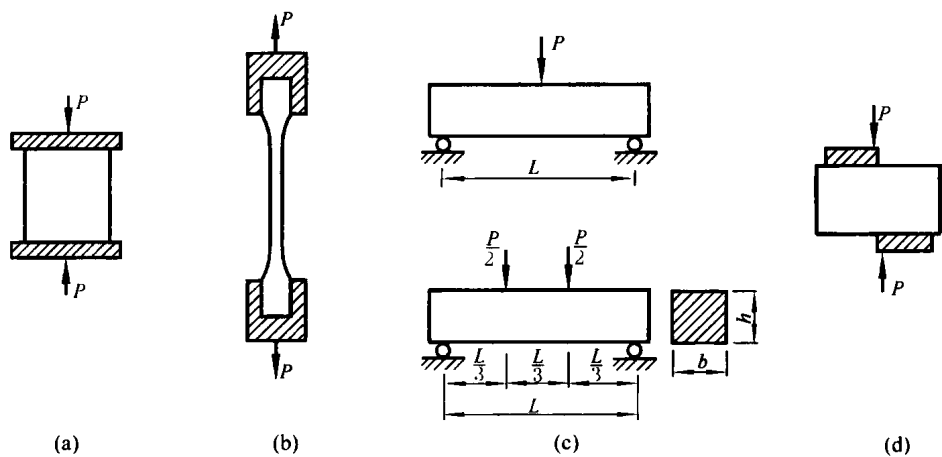


图 1.3 材料所受外力示意图
(a) 压力;(b) 拉力;(c) 弯曲;(d) 剪切

材料的抗拉、抗压、抗剪强度,可用下式计算:

$$f = \frac{P}{A} \tag{1.9}$$

式中 f ——抗拉(或抗压或抗剪)强度,MPa;
 P ——材料破坏时的最大荷载,N;
 A ——受力面面积,mm²。

材料的抗弯试验一般用矩形截面试件,抗弯强度计算有两种情况。一种是试件在二支点的中间受一集中荷载作用,计算公式为:

$$f_t = \frac{3PL}{2bh^2} \tag{1.10}$$

式中 f_t ——抗弯(折)强度,MPa;
 P ——试件破坏时的最大荷载,N;
 L ——二支点之间距离,mm;
 b 、 h ——试件截面的宽度和高度,mm。

另一种是在试件二支点的三分点处作用两个相等的集中荷载,计算公式如下:

$$f_t = \frac{PL}{bh^2} \tag{1.11}$$

影响材料强度的因素很多,除了材料的组成外,材料的孔隙率增加,强度将降低;材料含水率增加,温度升高,一般强度也会降低;另外,试件尺寸大的比小的强度低;加荷速度较慢或表面不平等因素均会使所测强度值偏低。

承重的结构材料除了承受外荷载力,尚需承受自身重力。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。它是衡量材料是否轻质、高强的指标。

1.3.2 材料的弹性与塑性

材料在外力作用下产生变形,当外力去除后,能完全恢复原来形状的性质,称为弹性。这种可恢复的变形称为弹性变形(如图 1.4)。若去除外力,材料仍保持变形后的形状和尺寸,且不产生裂缝的性质,称为塑性。此种不可恢复的变形称为塑性变形(如图 1.5)。

材料在弹性范围内,其应力与应变之间的关系符合如下的虎克定律:

$$\sigma = E\epsilon \tag{1.12}$$

式中 σ ——应力,MPa;
 ϵ ——应变;

E ——弹性模量,MPa。

弹性模量是材料刚度的度量,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。

土木工程中有不少材料称为弹塑性材料,它们在受力时,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(见图 1.6)。

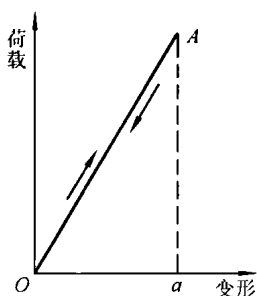


图 1.4 材料的弹性变形曲线

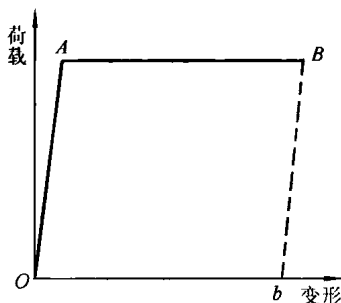


图 1.5 材料的塑性变形曲线

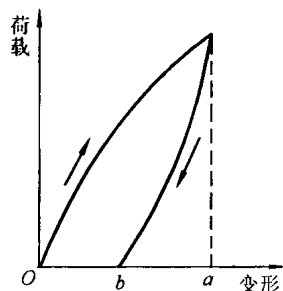


图 1.6 材料的弹塑性变形曲线

1.3.3 脆性和韧性

材料在外力作用下,无明显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,它的变形曲线如图 1.7 所示。

材料在冲击或振动荷载作用下,能吸收较大的能量,产生一定的变形而不破坏的性质,称为韧性或冲击韧性。它可用材料受荷载达到破坏时所吸收的能量来表示,由下式计算:

$$a_K = \frac{A_K}{A} \quad (1.13)$$

式中 a_K ——材料的冲击韧性, J/mm²;
 A_K ——试件破坏时所消耗的功, J;
 A ——试件受力净截面积, mm²。

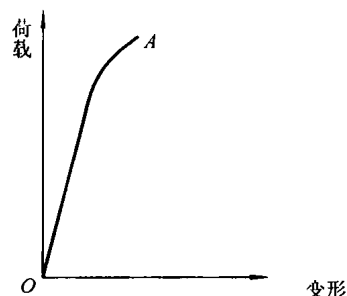


图 1.7 脆性材料的变形曲线

1.3.4 硬度和耐磨性

硬度是材料抵抗较硬物质刻划或压入的能力。测定硬度的方法很多,常用刻划法和压入法。刻划法常用于测定天然矿物的硬度,即按滑石、石膏、方解石、萤石、磷灰石、正长石、石英、黄玉、刚玉、金刚石的硬度递增顺序分为 10 级,通过它们对材料的划痕来确定所测材料的硬度,称为莫氏硬度。压入法是以一定的压力将一定规格的钢球或金刚石制成的尖端压入试样表面,根据压痕的面积或深度来测定其硬度。常用的压入法有布氏法、洛氏法和维氏法,相应的硬度称为布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

耐磨性是材料抵抗磨损的能力,用耐磨率表示,可按下式计算:

$$M = \frac{m_0 - m_1}{A} \quad (1.14)$$

式中 M ——耐磨率, g/cm²;
 m_0 ——磨前质量, g;
 m_1 ——磨后质量, g;
 A ——试样受磨面积, cm²。

1.4 材料与水有关的性质

1.4.1 材料的亲水性与憎水性

当固体材料与水接触时,由于水分与材料表面之间的相互作用不同,会产生如图 1.8(a)和(b)所示的

两种情况。图中在材料、水和空气的三相交叉点处沿水滴表面作切线,此切线与材料和水接触面的夹角 θ ,称为润湿边角。一般认为,当 $\theta \leq 90^\circ$ 时,材料能被水润湿而表现出亲水性,这种材料称为亲水性材料;当 $\theta > 90^\circ$ 时,材料不能被水润湿而表现出憎水性,这种材料称为憎水性材料。由此可见,润湿边角越小,材料亲水性越强,越易被水润湿,当 $\theta = 0$ 时,表示该材料完全被水润湿。

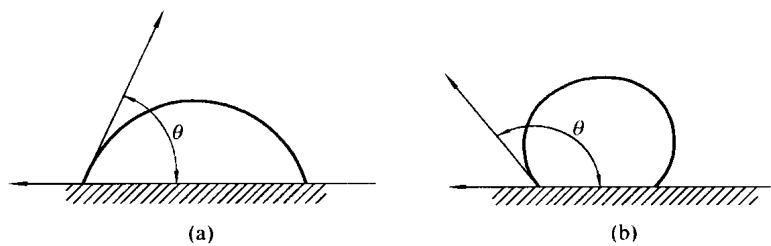


图 1.8 材料润湿示意图
(a) 亲水材料;(b) 憎水材料

大多数土木工程材料,如砖、木、混凝土等均属于亲水性材料;沥青、石蜡等则属于憎水性材料。

1.4.2 材料的含水状态

亲水性材料的含水状态可分为四种基本状态(如图 1.9)所示:

干燥状态——材料的孔隙中不含水或含水极微;

气干状态——材料的孔隙中所含水与大气湿度相平衡;

饱和面干状态——材料表面干燥,而孔隙中充满水达到饱和;

湿润状态——材料不仅孔隙中含水饱和,而且表面上为水润湿附有一层水膜。

除上述四种基本含水状态外,材料还可以处于两种基本状态之间的过渡状态中。

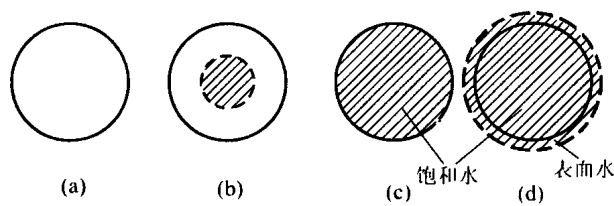


图 1.9 材料的含水状态
(a) 干燥状态;(b) 气干状态;(c) 饱和面干状态;(d) 湿润状态

1.4.3 材料的吸湿性和吸水性

(1) 吸湿性

亲水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,按下式计算:

$$W_h = \frac{m_s - m_g}{m_g} \times 100\% \tag{1.15}$$

式中 W_h ——材料含水率,%;

m_s ——材料吸湿状态下的质量,g;

m_g ——材料干燥状态下的质量,g。

材料的含水率随环境的温度和湿度变化发生相应的变化,在环境湿度增大、温度降低时,材料含水率变大;反之变小。材料中所含水分与环境湿度所对应的湿度相平衡时的含水率,称为平衡含水率。材料的开口微孔越多,吸湿性越强。

(2) 吸水性

吸水性是指材料在水中吸水的性质。材料的吸水性用吸水率表示,它有以下两个定义:

质量吸水率——材料吸水饱和时,吸收的水分质量占材料干燥时质量的百分率,计算式如下: