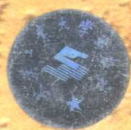
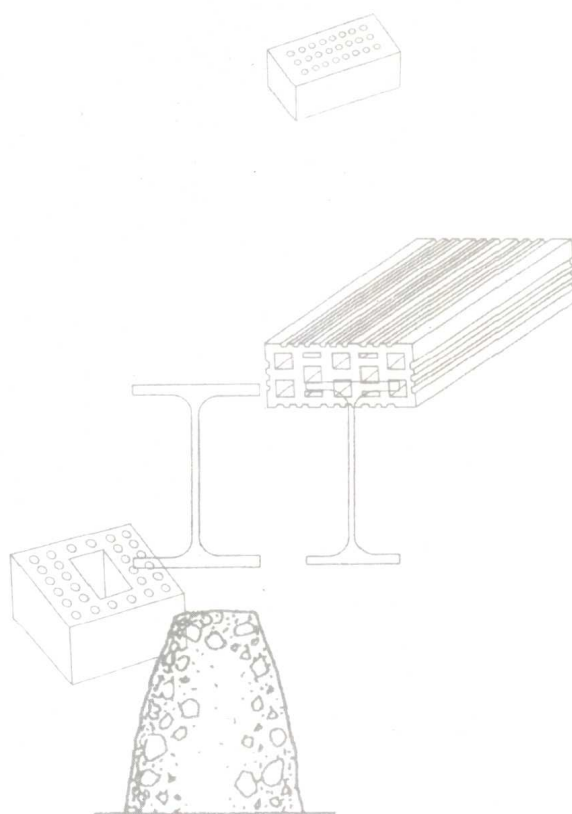


普通高等学校土木工程专业新编系列教材  
中国土木工程学会教育工作委员会 审定

# 土木工程材料

T M G C C L

陈志源 李启令 主 编  
沈 威 刘巽伯 主 审



**WUTP**

武汉工业大学出版社

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 审定

# 土木工程材料

主 编 陈志源 李启令  
主 审 沈 威 刘巽伯

武汉工业大学出版社

## 【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。

### 图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/陈志源,李启令主编. —武汉:武汉工业大学出版社,2000.8  
ISBN 7-5629-1543-1

I. 土… I. ① 陈… ② 李… III. 建筑材料 N. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 11109 号

出版者:武汉工业大学出版社(武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070)

印刷者:武汉工业大学出版社印刷厂

发行者:各地新华书店

开 本:880×1230 1/16

印 张:10.5

字 数:348 千字

版 次:2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5629-1543-1/TU·129

印 数:1~10000 册

定 价:15.50 元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

# 普通高等学校土木工程专业新编系列教材 编 审 委 员 会

顾 问:成文山 滕智明 罗福午 魏明钟 李少甫  
甘绍熿 施楚贤 白绍良 彭少民 范令惠  
主 任:江见鲸 吕西林 高鸣涵  
副主任:朱宏亮 辛克贵 袁海庆 吴培明 李世蓉  
苏三庆 刘立新 赵明华 孙成林

委 员:(按姓氏笔画顺序排列)

于书翰	丰定国	毛鹤琴	甘绍熿	白绍良
白晓红	包世华	田道全	成文山	江见鲸
吕西林	刘立新	刘长滨	刘永坚	刘伟庆
朱宏亮	朱彦鹏	孙家齐	孙成林	过静君
李少甫	李世蓉	李必瑜	吴培明	吴炎海
辛克贵	苏三庆	何铭新	汤康民	陈志源
罗福午	周 云	赵明华	赵均海	尚守平
施楚贤	柳炳康	姚甫昌	胡敏良	俞 晓
桂国庆	顾敏煜	徐茂波	袁海庆	高鸣涵
蒋沧如	谢用九	彭少民	覃仁辉	蔡德明
燕柳斌	魏明钟			

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德明

## 出版说明

1998年7月,教育部颁布了新的普通高等学校本科专业目录,1999年全国高等学校都已按新的专业目录招生。新的土木工程专业专业面大大拓宽,相应的专业业务培养目标、业务培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。原有的教材已经不能适应新专业的培养目标和教学要求,组织一套新的土木工程专业系列教材成为众多院校的翘首之盼。武汉工业大学出版社在中国土木工程学会教育工作委员会的指导和帮助下,经过大量的调研,组织国内29所大学的土木工程学科的教授共同编写了这套系列教材。

本套教材的主、参编人员及编委会顾问遵照1998年1月建设部全国土木建筑工程专业教学指导委员会昆明会议和1998年5月上海的全国土木工程专业系主任会议的精神,经过充分研讨,决定首批编写出版29种主干课程的教材,以尽快满足全国众多院校的教学需要,以后再根据专业方向的需要逐步增补。中国土木工程学会教育工作委员会组织专家审查了本套教材的编写大纲,决定将其作为“中国土木工程学会教育工作委员会审定教材”出版。作为一套全新的系列教材,本套教材的“新”体现在以下几点:

**体系新**——本套教材从“大土木”的专业要求出发,从整体上考虑专业的课程设置和各部门课程的内容安排,按照教学改革方向要求的学时统一协调与整合,组成一套完整的、各门课程有机联系的系列。整套教材的编写除正文外,大多增加了本章提要、本章重点、例题详解、思考题、习题等,以使教材既适合教学需要,又便于学生自学。

**内容新**——本套教材中各门课程教材的主、参编人员特别注意了教材内容的更新和吸收各校教学改革的阶段性成果,以适应21世纪土木工程人才的培育要求。

**规范新**——本套教材中凡涉及土木工程规范的全部采用国家颁布的最新规范。

本套教材是新专业目录颁布实施后的第一套土木工程专业系列教材,是面向新世纪、适应新专业的一套全新的教材。能为新世纪土木工程专业的教材建设贡献微薄之力,自是我们应尽的责任和义务,我们感到十分欣慰。然而,正因其为第一套教材,尽管我们的编审者、编辑出版者夙兴夜寐、尽心竭力,不敢稍有懈怠,它仍然还会存在缺点和不足。嚶其鸣矣,求其友声,我们诚恳地希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提意见和建议,以便我们不断修改、完善全套教材,共同为教育事业的发展作出贡献。

武汉工业大学出版社

2000.2

## 前 言

随着社会主义建设的发展,对高等教育培养的人才提出了更高的要求。为此,原国家教育委员会组织对普通高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订,修订后的专业目录已于1998年7月由教育部颁布实施。在新的专业目录中,土木工程专业与原有专业目录有了较大的变化,专业面较前大为拓宽,涵盖了原来交通、土建、道路工程、桥梁工程等8个专业。为此,必须编写一套新的土木工程专业系列教材,才能适应新专业的需要,本教材即该系列教材之一。同时,考虑到我国高等教育的现状,绝大多数学校在一段时间内仍然会以建筑工程为主要培养方向,因此,为适应大多数学校的教学要求,本教材的主体和中心仍然是建筑工程,以期符合目前实际情况。

根据上述情况,本书重点阐明无机胶凝材料、水泥、混凝土和砂浆、沥青及沥青混合料、合成高分子材料等,同时对常用的土木工程材料如天然石材、钢材等亦作了必要的介绍。此外,还择要介绍了典型工程材料质量的检测试验方法。

本书的教学目的在于使学生掌握主要土木工程材料的性质、用途、制备和使用方法,以及这些材料的质量检测和质量控制方法,并了解工程材料性质和材料结构的关系,以及改善性能的途径。通过本课程的学习,要学会针对不同的工程,合理选用材料,并能与后续课程密切配合,了解材料与设计参数及施工措施的相互关系。

本教材中凡涉及土木工程材料的规范,全部采用国家颁布的最新规范。凡正在修订而未颁布的规范,也尽可能予以介绍。

本书由同济大学材料学院陈志源、李启令任主编,并执笔编写第1、3、4章,杭州应用工程技术学院张云莲执笔编写第2、5章,天津城建学院雅菁执笔编写第6、8章,同济大学王劲执笔编写第7、10章,华南建设学院顾阳东执笔编写第9、11章,广西工学院马铭彬执笔编写第12章。本书由沈威教授审阅第1、2、3章,由刘巽伯教授审阅其余各章。

随着时间的推移,土建工程会不断发展,土木工程材料也会不断更新,殷切希望同行惠赐新的资料,以期再版引入,不胜感激。

由于编者水平有限,书中不当之处及错漏在所难免,敬请批评指正,以便今后改正,幸甚。

编 者

2000年7月

# 目 录

<b>1 绪言</b> .....	(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 .....	(4)
1.3.1 强度与比强度 .....	(4)
1.3.2 材料的弹性与塑性 .....	(5)
1.3.3 脆性和韧性 .....	(5)
1.3.4 硬度和耐磨性 .....	(6)
1.4 材料与水有关的性质 .....	(6)
1.4.1 材料的亲水性与憎水性 .....	(6)
1.4.2 材料的含水状态 .....	(6)
1.4.3 材料的吸湿性和吸水性 .....	(7)
1.4.4 耐水性 .....	(7)
1.4.5 抗渗性 .....	(8)
1.4.6 抗冻性 .....	(8)
1.5 材料的热性质 .....	(8)
1.5.1 热容性 .....	(8)
1.5.2 导热性 .....	(9)
1.5.3 热变形性 .....	(9)
1.6 材料的耐久性 .....	(9)
复习思考题 .....	(10)
<b>2 气硬性胶凝材料</b> .....	(11)
2.1 石灰 .....	(11)
2.1.1 石灰生产简介 .....	(11)
2.1.2 石灰的技术要求 .....	(11)
2.1.3 石灰的特性 .....	(12)
2.1.4 石灰的应用 .....	(13)
2.2 石膏 .....	(14)
2.2.1 建筑石膏生产简介 .....	(14)
2.2.2 石膏的技术要求 .....	(14)
2.2.3 建筑石膏的特性 .....	(14)
2.2.4 建筑石膏的应用 .....	(15)
2.3 水玻璃 .....	(16)
2.3.1 水玻璃的特性 .....	(16)
2.3.2 水玻璃的应用 .....	(16)
复习思考题 .....	(17)
<b>3 水泥</b> .....	(18)
3.1 常用水泥 .....	(18)

3.1.1	常用水泥的生产	(18)
3.1.2	常用水泥的特性	(19)
3.1.3	影响常用水泥性能的因素	(23)
3.1.4	常用水泥的选用	(23)
3.1.5	常用水泥的技术要求	(23)
3.2	其它品种水泥	(25)
3.2.1	高铝水泥	(25)
3.2.2	膨胀水泥	(26)
3.2.3	白色和彩色硅酸盐水泥	(26)
	复习思考题	(27)
4	混凝土	(28)
4.1	混凝土概述	(28)
4.2	普通混凝土的组成材料	(29)
4.2.1	水泥	(29)
4.2.2	骨料	(29)
4.2.3	混凝土用水	(33)
4.2.4	外加剂	(33)
4.3	新拌混凝土的和易性	(35)
4.3.1	和易性的概念	(35)
4.3.2	和易性的测定方法	(35)
4.3.3	影响和易性的主要因素	(36)
4.4	硬化混凝土的强度	(37)
4.4.1	混凝土的抗压强度与强度等级	(37)
4.4.2	影响混凝土抗压强度的主要因素	(38)
4.5	硬化混凝土的耐久性	(39)
4.5.1	混凝土的抗渗性	(39)
4.5.2	混凝土的抗冻性	(40)
4.5.3	混凝土的抗侵蚀性	(40)
4.5.4	混凝土的碳化	(40)
4.5.5	混凝土的碱-骨料反应	(40)
4.6	硬化混凝土的变形性	(40)
4.6.1	化学减缩	(41)
4.6.2	温度变形	(41)
4.6.3	混凝土的干缩湿胀	(42)
4.6.4	荷载作用下的变形	(42)
4.7	混凝土质量控制与强度评定	(44)
4.7.1	混凝土的质量控制	(44)
4.7.2	混凝土强度质量的评定	(44)
4.8	普通混凝土的配合比设计	(46)
4.8.1	混凝土配合比设计基本要点	(46)
4.8.2	普通混凝土配合比设计的方法和步骤	(46)
4.8.3	普通混凝土配合比设计实例	(49)
4.9	其它种类混凝土	(51)
4.9.1	轻混凝土	(51)
4.9.2	纤维混凝土	(52)



4.9.3	聚合物混凝土	(52)
4.9.4	高强混凝土	(53)
	复习思考题	(53)
<b>5</b>	<b>建筑砂浆</b>	(54)
5.1	砂浆的技术要求	(54)
5.1.1	新拌砂浆的和易性	(54)
5.1.2	硬化砂浆的强度和强度等级	(55)
5.1.3	砂浆的粘结力	(55)
5.1.4	砂浆变形性	(55)
5.1.5	砂浆抗冻性	(55)
5.2	砌筑砂浆	(56)
5.2.1	砌筑砂浆的组成材料	(56)
5.2.2	砌筑砂浆配合比设计	(56)
5.3	其它建筑砂浆	(58)
5.3.1	抹面砂浆	(58)
5.3.2	特种砂浆	(59)
	复习思考题	(60)
<b>6</b>	<b>烧结砖</b>	(61)
6.1	烧结普通砖	(61)
6.1.1	生产工艺简介	(61)
6.1.2	烧结普通砖的技术性能指标	(62)
6.1.3	应用	(63)
6.2	烧结多孔砖和烧结空心砖	(64)
6.2.1	烧结多孔砖	(64)
6.2.2	烧结空心砖	(65)
	复习思考题	(65)
<b>7</b>	<b>建筑钢材</b>	(66)
7.1	钢的冶炼和分类	(66)
7.1.1	钢的冶炼	(66)
7.1.2	钢的分类	(66)
7.2	建筑钢材的主要技术性能	(67)
7.2.1	力学性能	(67)
7.2.2	工艺性能	(69)
7.3	钢的组织与化学成分对钢性能的影响	(70)
7.3.1	钢的组织及其对钢性能的影响	(70)
7.3.2	钢的化学成分对钢性能的影响	(70)
7.4	钢材的冷加工与热处理	(72)
7.4.1	冷加工	(72)
7.4.2	热处理	(72)
7.5	建筑用钢	(73)
7.5.1	碳素结构钢(GB700—88)	(73)
7.5.2	优质碳素钢(GB699—88)	(74)
7.5.3	低合金高强度结构钢(GB1591—94)	(74)
7.5.4	钢的选用	(75)
7.6	钢结构用钢材	(76)

7.6.1	热轧型钢	(76)
7.6.2	冷弯薄壁型钢	(78)
7.6.3	棒材	(78)
7.6.4	钢管	(78)
7.6.5	板材	(79)
7.7	钢筋混凝土用钢材	(80)
7.7.1	热轧钢筋	(80)
7.7.2	冷拔钢丝和冷轧带肋钢筋	(81)
7.7.3	预应力混凝土用热处理钢筋	(81)
7.7.4	预应力混凝土用钢丝和钢绞线	(81)
7.7.5	钢筋的选用	(82)
7.8	钢材的防护	(83)
7.8.1	腐蚀	(83)
7.8.2	防腐	(83)
7.8.3	钢在火灾中的表现	(84)
7.8.4	防火	(84)
	复习思考题	(84)
<b>8</b>	<b>建筑塑料</b>	(85)
8.1	塑料的组成	(85)
8.1.1	聚合物	(86)
8.1.2	添加剂	(87)
8.2	常用建筑塑料	(88)
8.2.1	热塑性塑料	(88)
8.2.2	热固性塑料	(89)
8.2.3	玻璃纤维增强塑料	(90)
	复习思考题	(90)
<b>9</b>	<b>沥青材料</b>	(91)
9.1	石油沥青	(91)
9.1.1	石油沥青的组分与结构	(91)
9.1.2	石油沥青的技术性质	(92)
9.1.3	石油沥青的技术标准	(94)
9.1.4	石油沥青的选用	(94)
9.1.5	沥青的掺配和改性	(94)
9.2	煤沥青简介	(96)
9.3	沥青基制品	(96)
9.3.1	冷底子油与沥青胶	(96)
9.3.2	沥青防水卷材	(98)
9.3.3	沥青防水涂料	(99)
9.3.4	建筑防水沥青嵌缝油膏	(100)
	复习思考题	(101)
<b>10</b>	<b>木材</b>	(102)
10.1	木材的分类和构造	(102)
10.1.1	分类	(102)
10.1.2	宏观构造	(103)
10.1.3	微观结构	(104)

10.1.4	木材的缺陷	(104)
10.2	木材的物理和力学性质	(104)
10.2.1	含水量	(104)
10.2.2	湿胀与干缩	(105)
10.2.3	木材的强度	(105)
10.3	木材的防护	(108)
10.3.1	干燥	(108)
10.3.2	防腐防虫	(108)
10.3.3	防火	(108)
10.4	木材的应用	(109)
10.4.1	木材初级产品	(109)
10.4.2	人造板材	(109)
	复习思考题	(110)
<b>11</b>	<b>其它工程材料</b>	(111)
11.1	绝热材料和吸声材料	(111)
11.1.1	绝热材料	(111)
11.1.2	吸声材料	(113)
11.2	装饰材料	(114)
11.2.1	天然石材	(114)
11.2.2	建筑陶瓷	(115)
11.2.3	建筑玻璃	(117)
11.2.4	建筑装饰涂料	(120)
11.3	新型防水材料	(120)
11.3.1	新型防水卷材	(121)
11.3.2	新型防水涂料	(125)
11.3.3	新型建筑密封材料	(126)
	复习思考题	(127)
<b>12</b>	<b>土木工程材料试验</b>	(128)
试验一	材料基本性质试验	(128)
试验二	水泥试验	(129)
试验三	混凝土用骨料试验	(134)
试验四	普通混凝土试验	(137)
试验五	砂浆试验	(141)
试验六	烧结普通砖试验	(144)
试验七	钢筋试验	(145)
试验八	木材试验	(148)
试验九	石油沥青试验	(151)
	主要参考书目	(155)

# 1 绪 言

## 本章提要

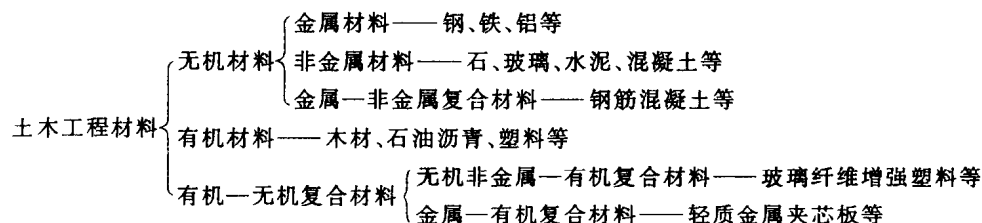
本章主要介绍了土木工程材料的分类等基本概念,及材料的基本物理、力学、化学性质和有关参数。

## 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,可分为有机材料、无机材料、有机—无机复合材料三大类,如下所示:



(2) 按功能分类,可分为两大类:

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功能,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。

目前我国常用的标准有如下三大类:

(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》GB228—88。

建工行业标准(推荐性)《普通混凝土配合比设计规程》JGJ/T55—96。

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,表示也可执行其它标准的要求;地方标准或企业标准所制定的技术要求应高于国家标准。

## 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重量(法定量应为“质量”,在工程中仍习惯称为“重量”,以下同样情况不另注明),称为密度,公式表示如下:

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

式中  $\rho$ ——材料的密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$m$ ——材料在干燥状态下的重量,  $\text{g}$ ;

$V$ ——材料在绝对密实状态下的体积,  $\text{cm}^3$ 。

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  $0.20\text{mm}$ 。

#### 1.2.1.2 表观密度

材料在自然状态下单位体积的重量,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  $\rho_0$ ——材料的表观密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$ ——材料的重量,  $\text{kg}$ ;

$V_0$ ——材料在自然状态下的体积,  $\text{m}^3$ 。

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重量,称为堆积密度,公式表示如下:

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

式中  $\rho'_0$ ——散粒材料的堆积密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$ ——散粒材料的重量,  $\text{kg}$ ;

$V'_0$ ——散粒材料的自然堆积体积,  $\text{m}^3$ 。

散粒材料堆积状态下的外观体积,既包含了颗粒自然状态下的体积,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;也可以是捣实的,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:

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

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:

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

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:

$$p = p_K + p_B \quad (1.6)$$

### 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:

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

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:

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

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。

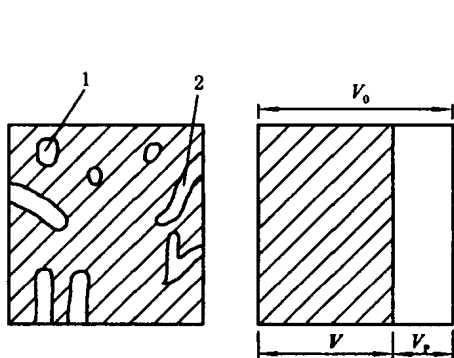


图 1.1 含孔材料体积组成示意图

1—闭孔;2—开孔

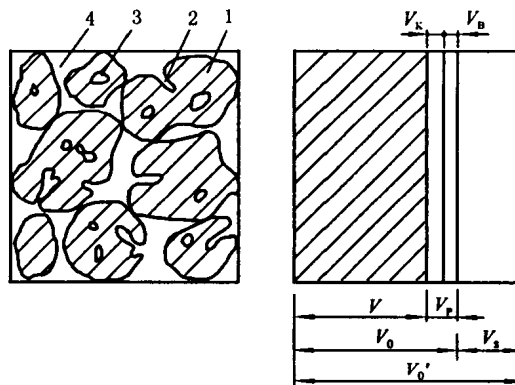


图 1.2 散粒材料松散体积组成示意图

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如图 1.3 所示,相应的强度就分为抗压强度(a);抗拉强度(b);抗弯强度(c);抗剪强度(d)。

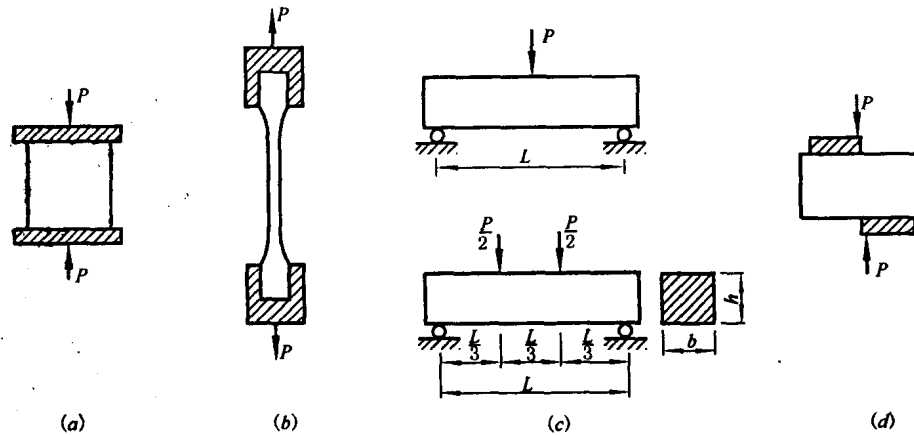


图 1.3 材料所受外力示意图

(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:

$$f = \frac{P}{A} \quad (1.9)$$

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;

$A$ ——受力面积, $\text{mm}^2$ 。

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:

$$f_t = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1.10)$$

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:

$$f_t = \frac{PL}{bh^2} \quad (1.11)$$

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;加荷速度偏高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,尚需承受自身重量。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重量的材料强度,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)。

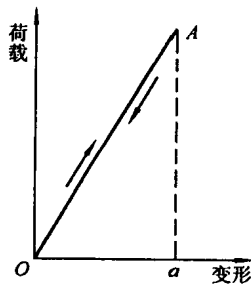


图 1.4 材料的弹性变形曲线

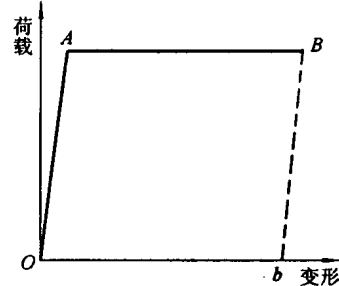


图 1.5 材料的塑性变形曲线

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:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1.12)$$

式中  $\sigma$ ——应力,MPa;

$\varepsilon$ ——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)。

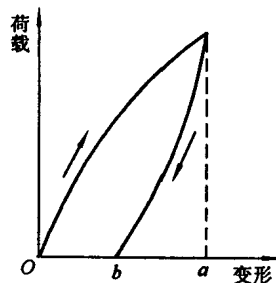


图 1.6 材料的弹塑性变形曲线

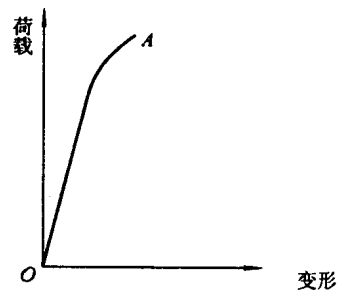


图 1.7 脆性材料的变形曲线

### 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。

材料在冲击或震动荷载作用下,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, $J/mm^2$ ;

$A_k$ ——试件破坏时所消耗的功, $J$ ;

$A$ ——试件受力净截面积, $mm^2$ 。



### 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,  $\text{g}/\text{cm}^2$ ;  
 $m_0$ ——磨前重量,  $\text{g}$ ;  
 $m_1$ ——磨后重量,  $\text{g}$ ;  
 $A$ ——试样受磨面积,  $\text{cm}^2$ 。

## 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 $\theta$ ,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。

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。

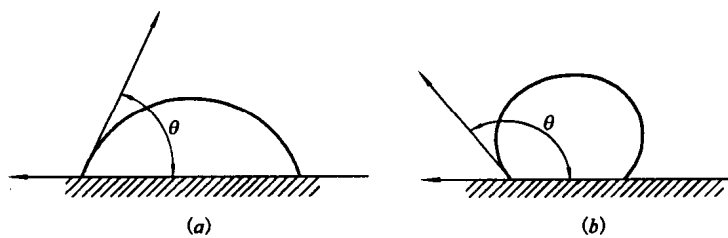


图1.8 材料润湿示意图  
(a) 亲水材料; (b) 憎水材料

### 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。