

课书房  
新 / 形 / 态 / 教 / 材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
国家精品课程教材

最新规范 中国大学版协优秀畅销书

# 土木工程材料 (第四版)

主 编 彭小芹  
副主编 吴 芳 刘 芳



重慶大學出版社

## 内容提要

本书根据高等工科院校土木工程专业本科教学大纲进行编写,力求囊括土木工程所涉及的各大类材料,包括石材、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、墙材和屋面材料、钢材、铝合金、木材、建筑塑料、胶黏剂、涂料、防水材料、沥青混合料等。主要介绍材料的基本成分、生产工艺、技术性质、选配应用、材料检验等基本理论和试验技能。本书选出了一些典型材料的工程应用案例及例题制作成音频,以二维码形式列于相应章节,有助于教师教学举例和学生自学。全书引用最近颁布的新标准和新规范编写而成,各章后均附有思考题。封底二维码包括全书 38 个知识点的讲课视频及 7 个动画。

本书可作为土木工程专业及相近专业本科教材,也可供有关科研、施工、生产人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/彭小芹主编.—4 版.—重庆:  
重庆大学出版社,2021.8  
高等学校土木工程专业教材  
ISBN 978-7-5689-2922-6

I. ①土… II. ①彭… 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(2021)第 162376 号

## 土木工程材料

(第四版)

主 编 彭小芹

副主编 吴 芳 刘 芳

责任编辑:范 琪 版式设计:范 琪

责任校对:刘志刚 责任印制:张 策

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:饶帮华

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (营销中心)

全国新华书店经销

重庆市国丰印务有限责任公司印刷

\*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:18.5 字数:476千

2002 年 2 月第 1 版 2021 年 8 月第 4 版 2021 年 8 月第 27 次印刷

印数:139 001—144 000

ISBN 978-7-5689-2922-6 定价:46.00 元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 土木工程专业本科系列教材 编审委员会

主任 朱彦鹏

副主任 周志祥 程赫明 陈兴冲 黄双华

委员 (按姓氏笔画排序)

于江	马铭彬	王旭	王万江	王秀丽
王泽云	王明昌	孔思丽	石元印	田文玉
刘星	刘德华	孙俊	朱建国	米海珍
邢世建	吕道馨	宋彧	肖明葵	沈凡
杜葵	陈朝晖	苏祥茂	杨光臣	张东生
张建平	张科强	张祥东	张维全	周水兴
周亦唐	钟晖	郭荣鑫	黄勇	黄呈伟
黄林青	彭小芹	程光均	董羽蕙	韩建平
樊江	魏金成			

# 前 言

本教材自2002年2月第一版、2010年1月第二版、2013年1月第三版以来,承蒙广大读者厚爱,已印刷26次,共计13万9千册。随着近年来科学技术的快速发展,一方面各种建筑材料标准及规范不断更新迭代,另一方面数字化技术已经影响和改变了课堂教学模式,为了紧跟上时代发展的步伐,在重庆大学出版社的大力支持下,经编写组成员共同努力,本版(第四版)在第三版的基础上进行了认真的修改。编者依据最新颁布的材料标准及规范修订内容,精简教材章节,将例题及工程应用案例用音频二维码形式引入相应章节,并丰富课程资源,制作了全书38个知识点的微课视频及7个动画,希望能对教学模式的改革有所帮助,更有利于教与学。

本版教材由彭小芹主编,吴芳、刘芳担任副主编,参加编写的有彭小芹(绪论、第9章、第10章、第11章,试验8、试验10,综合型试验1),丁虹(第1章、第8章,试验1、试验7),吴建华(第2章、第3章,试验9),吴芳(第4章、第6章、第7章,试验2、试验5、试验6,综合型试验2),刘芳(第5章,试验3、试验4,综合型试验3),例题及工程应用配音由刘芳完成,微课视频由彭小芹、刘芳、吴建华、王冲主讲。

本教材曾得到重庆大学教材建设基金及重庆大学在线课程建设教改项目资助,在此致谢!

由于编者水平有限,疏漏及不当之处敬请读者和老师们不吝指正。

编者  
2021年5月

# 目 录

绪 论 .....	1
0.1 土木工程与材料 .....	1
0.2 土木工程材料的分类 .....	1
0.3 土木工程材料的历史与发展 .....	2
0.4 土木工程材料的技术标准 .....	3
0.5 学习本课程的主要目的和基本要求 .....	4
第 1 章 土木工程材料的基本性质 .....	5
1.1 材料的基本物理性质 .....	5
1.2 材料与水有关的性质 .....	8
1.3 材料的基本力学性质 .....	10
1.4 材料的热工、声学、光学性质及材料的耐久性 .....	12
1.5 材料的组成、结构与构造及其对材料性质的影响 .....	17
思考题 .....	20
第 2 章 石材 .....	21
2.1 岩石的组成与分类 .....	21
2.2 土木工程中常用的岩石及石材 .....	23
2.3 石材的技术性质 .....	26
2.4 天然石材的破坏及防护 .....	30
思考题 .....	30
第 3 章 气硬性胶凝材料 .....	31
3.1 石膏 .....	31
3.2 石灰 .....	37
3.3 水玻璃 .....	43
3.4 镁质胶凝材料 .....	46
思考题 .....	48

<b>第4章 水 泥</b> .....	49
4.1 通用硅酸盐水泥 .....	49
4.2 特性水泥和专用水泥 .....	66
思考题.....	72
<b>第5章 混凝土</b> .....	73
5.1 概述 .....	73
5.2 普通混凝土的基本组成材料及技术要求 .....	75
5.3 混凝土拌合物的和易性 .....	83
5.4 混凝土的强度 .....	88
5.5 混凝土的变形 .....	95
5.6 混凝土的耐久性 .....	99
5.7 混凝土的外加材料.....	102
5.8 混凝土的质量控制.....	110
5.9 普通混凝土配合比设计.....	113
5.10 其他品种混凝土 .....	121
思考题 .....	126
<b>第6章 建筑砂浆</b> .....	129
6.1 建筑砂浆的组成材料.....	129
6.2 砂浆拌合物的性质.....	130
6.3 砌筑砂浆.....	132
6.4 抹面砂浆.....	136
6.5 特种砂浆.....	138
思考题 .....	140
<b>第7章 墙体材料和屋面材料</b> .....	141
7.1 砌墙砖与砌块.....	141
7.2 墙用板材.....	154
7.3 屋面材料.....	157
思考题 .....	159
<b>第8章 金属材料</b> .....	160
8.1 土木工程钢材的基本知识.....	160
8.2 土木工程常用钢材.....	166
8.3 其他金属材料.....	177
思考题 .....	179

第9章 木材 .....	180
9.1 木材的分类及构造 .....	180
9.2 木材的物理力学性质 .....	181
9.3 木材的防腐与防火 .....	185
9.4 木材的综合利用 .....	186
思考题 .....	187
 第10章 有机高分子材料 .....	 188
10.1 合成高分子化合物的基本知识 .....	188
10.2 建筑塑料 .....	190
10.3 胶黏剂 .....	194
10.4 涂料 .....	195
思考题 .....	200
 第11章 沥青与防水材料 .....	 201
11.1 沥青与沥青混合料 .....	202
11.2 防水涂料 .....	212
11.3 防水卷材 .....	215
11.4 密封材料 .....	226
思考题 .....	228
 实 验 .....	 229
实验1 土木工程材料基本物理性质试验 .....	229
实验2 水泥试验 .....	231
实验3 混凝土用砂、石骨料试验 .....	238
实验4 混凝土试验 .....	245
实验5 建筑砂浆试验 .....	250
实验6 砌墙砖试验 .....	254
实验7 钢筋试验 .....	256
实验8 木材试验 .....	261
实验9 沥青试验 .....	264
实验10 沥青混合料试验 .....	269
综合型实验1 混凝土配合比设计试验 .....	278
综合型实验2 高性能混凝土和易性试验 .....	279
综合型实验3 活性矿物掺合料活性激发试验 .....	281
 参考文献 .....	 282

# 绪 论

## 0.1 土木工程与材料

土木工程泛指建筑工程、道路桥梁工程、水利工程等建设性工程。土木工程中所使用的各种材料及制品,都统称为土木工程材料。材料是一切土木工程的物质基础,也是其重要的质量基础。在材料的选择、生产、储运、保管、使用和检验评定等各个环节中,任何环节的失误都有可能造成土木工程的质量缺陷,甚至是重大质量事故。国内外土木工程中的重大质量事故大多与材料的质量不良有关。因此,一个合格的土木工程技术人员必须正确、熟练地掌握土木工程材料的有关知识。

一般来说,土木工程对材料的基本要求是:

- ①必须具备足够的强度,能够安全地承受设计荷载;
- ②材料自身的质量以轻为宜(即表观密度较小),以减轻下部结构和地基的负荷;
- ③具有与使用环境相适应的耐久性,以减少维修费用;
- ④用于装饰的材料,应能美化建筑,产生一定的艺术效果;
- ⑤用于特殊部位的材料,应具有相应的特殊功能,例如屋面材料能隔热、防水,楼板和内墙材料能隔声等。

在土木工程中,材料费用一般要占工程总造价的50%左右,有的可高达70%。因此,按照建筑物(或构筑物)对材料性能的要求及使用时的环境条件,正确合理地选用材料,做到材尽其能,物尽其用,对于保证建筑结构物的安全、实用、美观、耐久及造价适度等方面有着重大的意义。

## 0.2 土木工程材料的分类

土木工程材料种类繁多,性能各异,用途不一,为了便于区分和应用,常从不同角度进行分类。

### 0.2.1 按材料的化学成分分类

按材料的化学成分可分为:无机材料、有机材料和复合材料三大类,各大类中还可进行更细的分类,如图 0.1 所示。

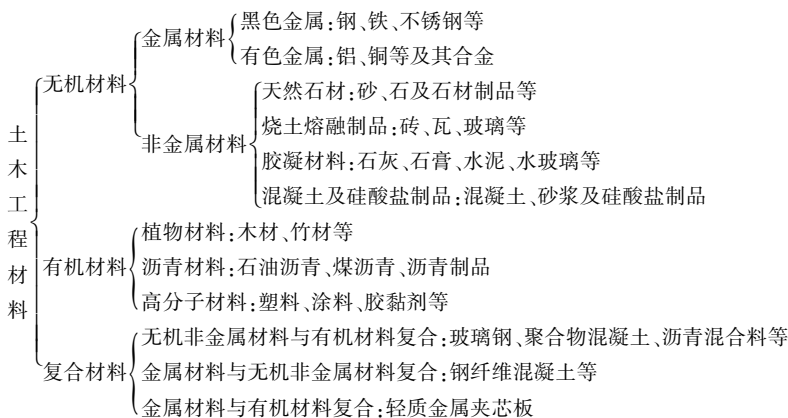


图 0.1 建筑材料的分类

### 0.2.2 按材料在建筑物或构筑物中的功能分类

按材料在建筑物或构筑物中的功能可分为:承重材料和非承重材料、保温隔热材料、吸声隔声材料、防水材料、装饰材料等。

### 0.2.3 按材料的使用部位分类

按材料的使用部位可分为:结构材料、墙体材料、屋面材料、地面材料、饰面材料及其他用途的材料。

## 0.3 土木工程材料的历史与发展

土木工程材料是随着人类社会生产力的发展和科学技术水平的提高而逐步发展起来的。远古时期,人类穴居巢处。当人类进入能够制造简单工具的石器时代后,开始挖土凿石为洞,伐木搭竹为棚,利用天然材料建造非常简陋的房屋。直到人类能够用黏土烧制砖、瓦,用岩石烧制石灰、石膏之后,土木工程材料才由天然材料进入人工生产阶段,为较大规模地建造房屋创造了基本条件。18 世纪以后,资本主义兴起,促进了工商业及交通运输业的蓬勃发展,原有的土木工程材料已不能与之相适应,在其他科学技术进步的推动下,土木工程材料进入了一个新的发展阶段。钢材、水泥、混凝土及其他材料相继问世,为现代土木建筑工程奠定了坚实的基础。进入 20 世纪后,社会生产力的高速发展以及材料科学与工程的形成和发展,使土木工程材料不仅在性能和质量上不断得到改善和提高,而且品种大大增加。以有机材料为主的化学建材异军突起,一些具有特殊功能的新型材料,如绝热材料、吸声隔声材料、耐热防火材料、防水抗渗材料以及耐磨、耐腐蚀、防爆和防辐射材料等不断涌现,为适应现代建筑装饰装修的需要,玻璃、陶瓷、塑料、铝合金等各种新型建筑装饰材料更是层出不穷。

20 世纪下半叶以来,全球性的生存环境恶化问题日益显露:人口爆炸性地增长,资源日益匮乏,森林锐减,河流、湖泊干涸,土地沙化,地球臭氧层遭破坏,气候变暖异常等,人类意识到了资源环境问题的严重性,否定了过去为了发展经济在资源环境问题上杀鸡取卵、急功近利的错误做法,提出了“人类与自然协调发展”的观点。1992 年 6 月,联合国在巴西里约热内卢召开了“环境与发展”大会,会议通过了《里约热内卢宣言》和《21 世纪议程》,确认了“可持续发展”的战略方针,其目标为:依据“循环再生、协调共生、持续自生”的原则,尽量减少自然资源的消耗,尽可能对废弃物再生利用和净化,保护生态环境以确保人类社会的可持续发展。中国根据《21 世纪议程》制定了《中国 21 世纪议程》,该议程又称《中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书》。

土木工程材料行业对资源的利用和对环境的影响都占据着重要位置,在产值、能耗、环保等方面都是国民经济中的大户。为了保证源源不断地为工程建设提供质量可靠的材料,避免新型材料的生产和发展造成对环境的损害,土木工程材料的发展必须遵循与工业循环再生,协调共生,持续自然的原则,因此,“绿色建材”的概念应运而生。“绿色建材”又称为生态建材、环保建材、健康建材等,其含义是指:采用清洁的生产技术,少用天然资源,大量使用工业或城市固体废弃物和农作物秸秆,所生产的无毒、无污染、无放射性、有利于环保和人体健康的土木工程材料。

发展“绿色建材”是一项长期的战略任务,符合可持续发展的战略方针,既满足现代人的安居乐业、健康长寿的需要,又不损害后代人的更大需求能力和利益。因此,进入 21 世纪以后,土木工程材料的发展将具有以下一些趋向:

①研制高性能材料。例如,研制轻质、高强、高耐久性、优异装饰性和多功能的材料,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复合材料。

②充分利用地方材料,尽量少用天然资源,大量使用尾矿、废渣、垃圾等废弃物作为生产土木工程材料的资源,以及保护自然资源和维护生态环境的平衡。

③节约能源。采用低能耗、无环境污染的生产技术,优先开发、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。

④材料生产中不得使用有损人体健康的添加剂和颜料,如甲醛、铅、镉、铬及其化合物等。同时要开发对人体健康有益的材料功能,如抗菌、灭菌、除臭、除霉、防火、调温、消磁、防辐射、抗静电等。

⑤产品可再生循环和回收利用无污染废弃物,以防止二次污染。

## 0.4 土木工程材料的技术标准

技术标准是产品质量的技术依据。对于生产企业,必须按标准生产合格的产品,同时可促进企业改善管理,提高生产率,实现生产过程合理化。对于使用部门,应当按标准选用材料,使设计和施工标准化,从而加快施工进度,降低工程造价。同时,技术标准也是供需双方对产品质量验收的依据。

目前我国绝大多数土木工程材料都制订有产品的技术标准,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、运输和储存等方面的内容。

土木工程材料的技术标准分为国家标准、行业标准和企业标准三大类。各级标准分别由相应的标准化管理部门批准并颁布。我国国家市场监督管理总局是国家标准化管理的最高机构。国家标准和部门行业标准都是全国通用标准,是国家指令性文件,各级生产、设计、施工等部门均必须严格遵照执行。

各级标准都有各自的部门代号,例如:GB——国家标准;GB/T——国家推荐标准,它表示也可以执行其他标准,为非强制性的;GBJ——建筑工程国家标准;JGJ——建工行业、工程建设标准;JC——建材行业标准;QB——企业标准等。各行业的标准代号如表 0.1 所示。

表 0.1 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

标准的表示方法由产品(或技术)名称、部门代号、编号和批准年份组成。例如:

《塑性体改性沥青防水卷材》(GB 18243—2008)。前面为产品名称,部门代号为 GB,编号为 18243,批准年份为 2008 年。

《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2019)。前面为技术名称,部门代号为 JGJ,编号为 55,批准年份为 2019 年。

工程中可能采用的其他技术标准还有:国际标准(ISO)、美国国家标准(ANS)、美国材料与试验学会标准(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。

## 0.5 学习本课程的主要目的和基本要求

土木工程材料是土木建设类专业的专业基础课,它以数学、力学、物理、化学等课程为基础,为学习建筑、结构、施工、建筑经济等后续课程提供材料基本知识,为学生今后从事工程实践和科学研究打下必要的基础。

学习本课程的学生,今后多数是材料的使用者,故学习重点应是掌握各种材料的性质及合理选用材料,同时要注意了解材料为什么具有这样的性质以及各种性质之间的相互关系。对于同一类属不同品种的材料,不但要学习它们的共性,更重要的是要了解它们各自的特性和产生这些特性的原因。一切材料的性质都不是固定不变的,在运输、储存及使用过程中,它们的性质都在或多或少、或快或慢、或隐或显地不断发生改变。为了控制材料在使用前的变质问题和保证工程的耐久性,必须了解引起变化的外界条件和材料的内在原因,从而掌握变化的规律,懂得采取什么样的应对措施。

实验课是本课程的重要教学环节。通过实验,一方面可学会对各种常用材料的检验方法,能对土木工程材料进行合格性判断和验收,同时可培养科学研究能力和严谨缜密的科学态度。作实验时,要求严格按照试验方法,一丝不苟;要了解实验条件对实验结果的影响,并能对实验数据、实验结果进行正确的分析和判别。

# 第 1 章

## 土木工程材料的基本性质

在土木工程中,材料处于建(构)筑物的不同部位和不同使用环境,因而不同的使用功能对材料所要求的性质也很不相同。本章涉及的基本性质为材料的物理、力学性质,以及材料与水、热、声、光等有关的、基本的、共有的性质。

### 1.1 材料的基本物理性质

#### 1.1.1 材料的密度、表观密度、体积密度与堆积密度

##### (1) 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量。按下式计算:

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

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

$m$ ——材料在干燥状态的质量, $\text{g}$ ;

$V$ ——材料的绝对密实体积, $\text{cm}^3$ 。

材料在绝对密实状态下的体积,指不包括材料孔隙在内的体积。钢材、玻璃等少数密实材料可根据外形尺寸求得体积,按式(1.1)求得密度。大多数有孔隙的材料,在测定材料的密度时,应把材料磨成细粉,干燥后用李氏密度瓶测定其体积。材料磨得越细,测得的密度数值就越精确。砖、石等块状材料的密度即用此法测得。

##### (2) 表观密度

表观密度是指材料单位体积(含材料实体及闭口孔隙体积)的质量,也称视密度。按下式计算:

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

式中: $\rho_0$ ——材料的表观密度, $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$ ——材料在干燥状态的质量, $\text{kg}$ ;

$V_0$ ——材料包含闭口孔隙的体积(即只含内部闭口孔隙,不含开口孔隙), $m^3$ 。

多孔材料内部的孔隙包括开口孔隙和闭口孔隙。在测量表观密度时,可以直接采用排水法或水中称重法测出材料不含开口孔隙的体积,再按式(1.2)计算表观密度。

### (3) 体积密度

体积密度是指材料在自然状态下单位体积(含材料实体及开口孔隙、闭口孔隙)的质量,俗称容重。按下式计算:

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

式中: $\rho'$ ——材料的体积密度, $kg/m^3$ ;

$m$ ——材料在自然状态下的质量, $kg$ ;

$V'$ ——材料包含闭口孔隙和开口孔隙的体积, $m^3$ 。

外形规则的材料,可直接按外形尺寸计算出体积,按式(1.3)求得表观密度。外形不规则的材料可加工成规则外形后求得体积。当材料孔隙内含有水分时,其质量和体积均有所变化,故测定体积密度时,须注明其含水情况。

干体积密度指材料在烘干状态下的测定值。

### (4) 堆积密度

堆积密度是指散粒或粉状材料(如砂、石子、水泥等)在堆积状态下单位体积的质量。按下式计算:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1.4)$$

式中: $\rho'_0$ ——材料的堆积密度, $kg/m^3$ ;

$m$ ——材料的质量, $kg$ ;

$V'_0$ ——材料的自然(松散)堆积体积(包括材料颗粒体积和颗粒之间空隙的体积), $m^3$ 。测定散粒材料的堆积密度时,按一定的方法将散粒材料装入一定的容器中,则堆积体积为容器的容积,如图 1.1 所示。

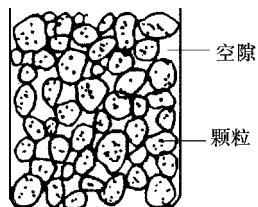


图 1.1 散粒材料堆积示意图

在土木工程中,材料的密度、表观密度与堆积密度,经常用来计算材料的用量,构件的自重、配料、运输、堆放等。

#### 1.1.2 材料的密实度与孔隙率

##### (1) 密实度

材料体积内被固体物质充实的程度。按下式计算:

$$D = \frac{V}{V'} \times 100\% \quad \text{或} \quad D = \frac{\rho'}{\rho} \times 100\% \quad (1.5)$$

##### (2) 孔隙率

材料体积内,孔隙体积所占的比例。按下式计算:

$$P = \frac{V' - V}{V'} = 1 - \frac{V}{V'} = \left(1 - \frac{\rho'}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1.6)$$

即  $D+P=1$ (或密实度+孔隙率=1)。

孔隙率的大小直接反映了材料的致密程度,它对材料的物理、力学性质均有影响。材料内部孔隙的构造,可分为连通的与封闭的两种。连通孔隙不仅彼此贯通且与外界相通,而封闭孔隙则不仅彼此不连通且与外界相隔绝。孔隙按尺寸又分为极微细孔隙、细小孔隙、较粗大孔隙。孔隙的大小及其分布特征对材料的性能影响较大。

### 1.1.3 材料的填充率与空隙率

#### (1) 填充率

散粒材料堆积体积中,颗粒填充的程度。按下式计算:

$$D' = \frac{V'}{V_0} \times 100\% \quad \text{或} \quad D' = \frac{\rho'_0}{\rho'} \times 100\% \quad (1.7)$$

#### (2) 空隙率

散粒材料堆积体积中,颗粒之间的空隙体积所占的比例。用下式计算:

$$P' = \frac{V_0 - V'}{V_0} = 1 - \frac{V'}{V_0} = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho'}\right) \times 100\% \quad (1.8)$$

即  $D' + P' = 1$  (或填充率+空隙率=1)。

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒互相填充的致密程度。空隙率可作为控制混凝土骨料级配与计算含砂率的依据。

常用材料的密度、表观密度、堆积密度及孔隙率见表 1.1。

表 1.1 常用材料的密度、体积密度、堆积密度及孔隙率

材料名称	密度 $\rho$ /( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	体积密度 $\rho'$ /( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	堆积密度 $\rho'_0$ /( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	孔隙率 $P$ /%
钢	7.85	7 850	—	—
花岗岩	2.70 ~ 3.00	2 500 ~ 2 900	—	0.5 ~ 1.0
石灰岩	2.40 ~ 2.60	1 800 ~ 2 600	—	0.6 ~ 3.0
砂	—	2 500 ~ 2 600	1 400 ~ 1 700	35 ~ 40(空隙率)
水泥	2.80 ~ 3.10	—	1 200 ~ 1 300	50 ~ 55(空隙率)
普通黏土砖	2.50 ~ 2.70	1 600 ~ 1 900	—	20 ~ 40
黏土空心砖	2.50 ~ 2.70	1 000 ~ 1 400	—	50 ~ 60
普通混凝土	—	2 200 ~ 2 600	—	5 ~ 20
松木	1.55 ~ 1.60	400 ~ 800	—	55 ~ 75
泡沫塑料	—	20 ~ 50	—	98

## 1.2 材料与水有关的性质

材料在使用过程中,经常与水接触,如雨水、雪水、地下水、生活用水、大气中的水汽等。不同的固体材料表面与水之间作用的情况不同,对材料性质的影响也不同,因此要研究材料与水接触后的有关性质。

### 1.2.1 材料的亲水性与憎水性

#### (1) 亲水性

材料与水接触时能被水润湿的性质称为亲水性。具备这种性质的材料称为亲水性材料。例如,砖、混凝土、木材等。

#### (2) 憎水性

材料与水接触时不能被水润湿的性质称为憎水性。具备这种性质的材料称为憎水性材料。例如石蜡、沥青等。

材料的亲水性与憎水性可用润湿角 $\theta$ 来说明,当材料与水接触时,在材料、水、空气三相的交点处,作沿水滴表面的切线,该切线与固体、液体接触面的夹角称为润湿角 $\theta$ 。 $\theta$ 越小,表明材料易被水润湿。实验证明,当润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ ,这种材料称为亲水性材料,如图1.2(a)所示;当润湿角 $\theta > 90^\circ$ 时,这种材料称为憎水性材料,如图1.2(b)所示。



图 1.2 材料的润湿示意图

这一概念也可应用到其他液体对固体材料的浸润情况,相应地称为亲液性材料或憎液性材料。

大多数土木工程材料(如砖、瓦、砂、石、木材、钢材、玻璃等)都属于亲水性材料,沥青、石蜡、某些油漆、塑料等属于憎水性材料。

### 1.2.2 材料的吸水性与吸湿性

#### (1) 吸水性

材料在水中通过毛细孔隙吸收并保持水分的性质,用吸水率表示,即

$$W = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\% \quad (1.9)$$

式中: $W$ ——材料质量吸水率,%;

$m$ ——材料干燥状态下质量,g;

$m_1$ ——材料吸水饱和状态下质量,g。

吸水性也可以用体积吸水率表示,即材料吸入水的体积占材料自然状态体积的百分率。

材料吸水率的大小,主要决定于材料孔隙的大小和特征。孔隙率越大,吸水性越强。但因封闭孔隙水分不易渗入,粗大孔隙水分不易保留,故有些材料尽管孔隙率大,但吸水率却较小。只有孔隙连通而微小的材料,其吸水率才较大。

## (2) 吸湿性

材料在一定温度和湿度下吸附水分的能力,用含水率表示,即

$$W_{\text{含}} = \frac{m_{\text{含}} - m}{m} \times 100\% \quad (1.10)$$

式中: $W_{\text{含}}$ ——材料含水率,%;

$m_{\text{含}}$ ——材料含水时的质量,g;

$m$ ——材料干燥状态下的质量,g。

材料的吸湿性作用一般是可逆的,也就是说材料既可吸收空气中的水分,又可向空气中释放水分。在一定的温度和湿度条件下,材料与空气湿度达到平衡时的含水率则称为平衡含水率。木材的吸湿性特别明显,它能大量吸收水汽而增加质量,降低强度和改变尺寸。

木门窗在潮湿环境往往不易开关,就是由于吸湿而引起的。保温材料如果吸收水分后将降低或丧失其性能,所以应特别注意采取有效的防护措施。

### 1.2.3 材料的耐水性

材料抵抗水破坏作用的性质称为耐水性,用软化系数表示,即

$$K_p = \frac{f_w}{f} \quad (1.11)$$

式中: $K_p$ ——材料的软化系数;

$f_w$ ——材料在吸水饱和状态下的强度,MPa;

$f$ ——材料在干燥状态下的强度,MPa。

材料软化系数在0~1。用于水中、潮湿环境中的重要结构材料,必须选用软化系数不低于0.85的材料;用于受潮湿较轻或次要结构的材料,则不宜小于0.70~0.85。通常软化系数大于0.85的材料称为耐水性材料。处于干燥环境的材料可以不考虑软化系数。

花岗石长期浸泡在水中,强度下降3%,普通黏土砖和木材所受影响更为显著。根据建筑物所处的环境,软化系数成为选择材料的重要依据。

### 1.2.4 材料的抗冻性与抗渗性

#### (1) 抗冻性

材料在吸水饱和状态下,能经受多次冻融循环作用而不破坏,同时也不严重降低强度的性质称为抗冻性,用“抗冻等级”表示。

冰冻的破坏作用是由材料孔隙内的水分结冰而引起的。水结冰时体积约增大9%,从而对孔隙产生压力而使孔壁开裂。“抗冻等级”表示材料经过的冻融次数,其质量损失、强度下降均不超过规定值。例如,混凝土抗冻等级F15,指混凝土所能承受的最大冻融循环次数是15次(在-15℃的温度下冻结后,再在20℃的水中融化,为1次冻融循环),这时,强度损失率不超过25%,质量损失不超过5%。

冬季室外温度低于-15℃的地区,其重要工程材料必须进行抗冻性实验。对材料抗冻性

的要求,视工程类别、结构部位、所处环境、使用条件以及建筑物等级而定。

### (2) 抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性,用渗透系数表示,即

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1.12)$$

式中: $K$ ——渗透系数,cm/h;

$Q$ ——透水量,cm<sup>3</sup>;

$d$ ——试件厚度,cm;

$A$ ——透水面积,cm<sup>2</sup>;

$t$ ——渗水时间,h;

$H$ ——静水压力水头,cm。

渗透系数越小,则表示材料的抗渗性越好。对于防潮、防水材料(如沥青、油毡、沥青混凝土、瓦等),常用渗透系数表示其抗渗性。对于砂浆、混凝土等材料,常用抗渗等级表示,即

$$P = 10H - 1$$

式中: $P$ ——抗渗等级;

$H$ ——试件开始渗水时的水压力,MPa。

抗渗等级越高,则表示材料的抗渗性能越好。

材料抗渗性的好坏与材料的孔隙率和孔隙特征有密切关系。孔隙率很低而且是封闭孔隙的材料具有较高的抗渗性能。对于地下建筑及水工构筑物,因常受到压力水的作用,所以对材料的抗渗性有较高的要求。对于防水材料,则要求具有更高的抗渗性。材料抵抗其他液体渗透的性质,也属于抗渗性。例如,对于储油罐,则要求材料具有良好的不渗油性。

## 1.3 材料的基本力学性质

### 1.3.1 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。当材料承受外力作用时,内部就产生应力。外力逐渐增加,应力相应地加大。直到质点间作用力不能够再承受时,材料即破坏,此时的极限应力值就是材料的强度。

根据外力作用方式的不同,材料强度有抗压强度、抗拉强度、抗弯强度及抗剪强度等,如图1.3所示。

#### (1) 材料的抗压、抗拉及抗剪强度

材料的抗压、抗拉及抗剪强度按下式计算:

$$f = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1.13)$$

式中: $f$ ——材料的强度,MPa;

$F_{\max}$ ——破坏时最大荷载,N;

$A$ ——受力截面面积,mm<sup>2</sup>。