



高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型

# 土木工程材料

● 主编 张志国 曾光廷      主审 高振国



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型

# 土木工程材料

主 编 张志国 曾光廷  
副主编 崔会芝 李 莉 姚 运 李宗梅  
主 审 高振国



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/张志国,曾光廷主编. —武汉:武汉大学出版社,2013.8  
高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型  
ISBN 978-7-307-11197-4

I. 土… II. ①张… ②曾… III. 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(2013)第 199951 号

责任编辑:邓 瑶

责任校对:郭 芳

装帧设计:吴 极

---

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu\_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:湖北睿智印务有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:19.25 字数:530千字

版次:2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷

ISBN 978-7-307-11197-4 定价:35.00元

---

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

# 高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型

## 编审委员会

顾 问 王世庆 刘 华 杨家仕 戴运良

主任委员 康志华 张志国

副主任委员 罗特军 李平诗 张来仪 何志伟 邹 皓 杨乃忠

王君来 周家纪 袁自峰

委 员(按姓氏笔画排名)

王若志 王星捷 王晓明 王涯茜 白立华 刘 琛

李 然 李忠定 李章政 吴浙文 张士彩 尚晓峰

郝献华 胡益平 段 旻 韩俊强 蒲小琼 蔡 巍

魏泳涛

总责任编辑 曲生伟

秘 书 长 王 睿

## 特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

### 课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

### 课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

基本数字教学资源网站链接:<http://www.stmpress.cn>

# 前 言

土木工程材料是从事土木工程设计、施工、监理等有关工作需要掌握的重要基础。近年来,随着生产技术的发展,以及对材料性能的高要求,土木工程材料技术不断进步,与材料有关的技术标准和规范也有了较大修订。为体现土木工程材料技术的新发展,以及更好地适应土木工程应用型本科人才的培养,体现不同层次卓越型人才的培养需求,我们组织编写了本教材。

本书由石家庄铁道大学张志国、四川大学锦江学院曾光廷担任主编,石家庄铁道大学四方学院崔会芝、重庆大学城市科技学院李莉、成都理工大学工程技术学院姚运、四川大学锦城学院李宗梅担任副主编,石家庄铁道大学四方学院姜波、成都理工大学工程技术学院宋帅、中国矿业大学银川学院杨阿利担任参编。全书由张志国统稿。

具体编写分工如下:

石家庄铁道大学,张志国(前言、第1章和第5章);

四川大学锦江学院,曾光廷(第7章);

石家庄铁道大学四方学院,崔会芝(第2章);

重庆大学城市科技学院,李莉(第9章);

成都理工大学工程技术学院,姚运(第11章、第12章和第13章);

四川大学锦城学院,李宗梅(第4章、第6章);

石家庄铁道大学四方学院,姜波(第5章);

成都理工大学工程技术学院,宋帅(第3章、第8章);

中国矿业大学银川学院,杨阿利(第10章)。

石家庄铁道大学高振国担任本书主审,提出了很多宝贵意见,在此表示感谢。另外,对本书参考文献的作者,致以最衷心的感谢。

由于时间仓促及编者学术水平和教学经验有限,书中难免存在错误和疏漏之处,敬请读者批评指正,也恳请读者将使用意见反馈给出版社,为日后修订提供参考。

编 者

2013年5月

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	(1)
1.1 土木工程材料的发展历程 .....	(1)
1.2 土木工程材料的地位 .....	(1)
1.3 土木工程材料的分类 .....	(2)
1.4 土木工程材料的技术标准 .....	(3)
本章小结 .....	(4)
<b>2 土木工程材料的基本性质</b> .....	(5)
2.1 材料科学的基本理论 .....	(5)
2.2 材料的基本物理性质 .....	(7)
2.3 材料的基本力学性质 .....	(12)
2.4 材料的耐久性 .....	(14)
本章小结 .....	(14)
习题与思考题 .....	(14)
<b>3 建筑石材</b> .....	(16)
3.1 岩石的组成与分类 .....	(16)
3.2 工程中常用的岩石 .....	(18)
3.3 石材的主要技术性质 .....	(21)
3.4 石材的品种及应用 .....	(26)
本章小结 .....	(28)
习题与思考题 .....	(28)
<b>4 气硬性胶凝材料</b> .....	(29)
4.1 石灰 .....	(29)
4.2 石膏 .....	(33)
4.3 水玻璃 .....	(35)
本章小结 .....	(37)
习题与思考题 .....	(37)
<b>5 水泥</b> .....	(38)
5.1 通用硅酸盐水泥 .....	(38)
5.2 特性水泥与专用水泥 .....	(52)
本章小结 .....	(59)
习题与思考题 .....	(59)
<b>6 混凝土</b> .....	(61)
6.1 普通混凝土的组成材料 .....	(62)
6.2 普通混凝土的性能 .....	(71)
6.3 混凝土矿物掺和料 .....	(91)

6.4	混凝土外加剂	(99)
6.5	混凝土的质量控制	(108)
6.6	混凝土配合比设计	(116)
6.7	高性能混凝土	(131)
6.8	其他混凝土	(144)
	本章小结	(153)
	习题与思考题	(153)
<b>7</b>	<b>砂浆</b>	(155)
7.1	建筑砂浆的组成材料	(155)
7.2	砂浆的技术性质	(156)
7.3	砌筑砂浆的配合比设计	(159)
7.4	其他用途砂浆	(163)
	本章小结	(164)
	习题与思考题	(165)
<b>8</b>	<b>建筑钢材</b>	(166)
8.1	钢材的基本知识	(166)
8.2	建筑钢材的力学与工艺性能	(172)
8.3	钢材的化学成分组成及热处理	(177)
8.4	钢的冷加工与硬化	(185)
8.5	工程中常用的钢材	(187)
8.6	钢轨	(196)
8.7	钢材的腐蚀与防护	(197)
	本章小结	(199)
	习题与思考题	(200)
<b>9</b>	<b>沥青</b>	(201)
9.1	沥青	(201)
9.2	改性沥青及主要沥青制品	(208)
9.3	沥青混合料简介	(210)
	本章小结	(213)
	习题与思考题	(214)
<b>10</b>	<b>木材</b>	(215)
10.1	木材的分类与构造	(215)
10.2	木材的物理力学性质	(217)
10.3	木材在工程中的应用	(219)
10.4	木材的防护处理	(222)
	本章小结	(223)
	习题与思考题	(223)
<b>11</b>	<b>墙体材料</b>	(224)
11.1	砌墙砖	(224)
11.2	砌块	(226)



---

11.3 墙板	(228)
本章小结	(230)
习题与思考题	(230)
<b>12 功能材料</b>	<b>(231)</b>
12.1 吸声材料	(231)
12.2 绝热材料	(234)
12.3 防水材料	(237)
12.4 装饰材料	(246)
本章小结	(256)
习题与思考题	(257)
<b>13 常用土木工程材料试验</b>	<b>(258)</b>
13.1 材料的基本物理性质试验	(258)
13.2 水泥试验	(260)
13.3 骨料试验	(265)
13.4 普通混凝土试验	(269)
13.5 建筑砂浆试验	(274)
13.6 墙体材料试验	(276)
13.7 钢筋试验	(277)
13.8 沥青材料试验	(279)
13.9 沥青混合料试验	(283)
13.10 综合设计试验	(286)
本章小结	(288)
附录	(289)
参考文献	(295)

# 1 绪 论

## 【内容提要】

本章主要内容为土木工程材料的发展以及在工程中的重要性,土木工程材料的分类和有关技术标准等。

## 【能力要求】

通过本章的学习,学生应了解土木工程材料的发展、分类及技术标准。

## 1.1 土木工程材料的发展历程

土木工程材料是随着人类社会生产力和科学技术的提高而逐渐发展起来的。

人类最早穴居巢处。随着社会生产力的发展,人类进入能制造简单工具的石器、铁器时代,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土木工程。

到了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石材进入到人工生产阶段,为较大规模建造土木工程创造了基本条件。

18—19世纪,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此相适应,在其他科学技术飞速发展的推动下,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,为现代土木工程建筑奠定了基础。

进入20世纪后,由于社会生产力突飞猛进,以及材料科学与工程的形成和发展,土木工程材料不仅性能和质量不断改善,而且品种不断增加,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土木工程材料,如绝热材料、吸声隔声材料、各种装饰材料、耐热防火材料、防水抗渗材料以及耐磨、耐腐蚀、防爆、防辐射材料和其他环保材料等应运而生。

## 1.2 土木工程材料的地位

土木工程材料是建筑工程的物质基础,土木工程材料的性能、质量和价格,直接关系到建筑产品的适用、安全、经济和美观性。

### 1.2.1 工程材料是工程建设中不可缺少的物质基础

任何一项工程建设都需要使用工程材料。例如,修建一条Ⅰ级铁路干线,在平原地区每延长1km,约需要各种材料6000余吨,在山岳地区则需要15000余吨。又如住宅、办公楼等建筑,每1000m<sup>2</sup>面积需1000~1500余吨材料,如表1-1所示。因此,随着工程建设的进展,要及时地提供数量充足、质量良好、品种齐全的各种材料,才能保证工程建设的顺利进行。

表 1-1

每 1000m<sup>2</sup> 房屋建筑用料参考量

建筑类型	红砖/千块	砂/m <sup>3</sup>	砾石/m <sup>3</sup>	水泥/t	钢材/t	木材/m <sup>3</sup>	玻璃/m <sup>2</sup>	石灰膏/m <sup>3</sup>
五层框架办公楼	23	370	40	231	35.0	37	160	5
六层砖混住宅楼	209	370	16	159	15.5	51	140	20

### 1.2.2 工程材料直接影响工程质量

工程材料的质量如何,直接影响着工程的质量,具体表现为材料的品种、组成、构造、规格及使用方法都会对工程的结构安全性、耐久性、适用性等产生影响。将劣质材料用到工程上,必然危害工程质量,影响工程的使用效果和耐久性,甚至可能会造成严重的事故。因此,必须从材料的生产、选择、使用和检验评定以及材料的贮存、保管等各个环节确保材料的质量。对于新材料和代用材料的应用,要采取积极而又慎重的态度,使用前必须经过严格检验和技术鉴定。

### 1.2.3 工程材料决定着工程造价和经济效益

材料费用在工程总造价中占有较大的比重,一般约占 50%~60%。因此,在保证材料质量的前提下,降低材料费用,对降低工程造价、提高经济效益将起到很大的作用。正确选择、就地取材、合理利用、减少浪费、科学管理等,都是降低材料费用的合理途径。

### 1.2.4 新型材料的研制和发展将促进工程结构和施工技术的进步

在人类历史发展过程中,土木工程材料有过三次重大的突破,带来了建筑技术的三次大飞跃。

公元前 3 世纪有了烧制的砖瓦、陶瓷、石灰,使建筑冲破了天然材料的局限,得以建造大量规模较大且坚固耐用的各种建筑。这是建筑技术的第一次飞跃。

19 世纪中叶炼出了钢铁,钢结构的发展使工程结构的跨度从几米、几十米发展到上百米乃至几百米。19 世纪 20 年代有了水泥,随后又有了混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土,使工程结构的形式和规模都有了巨大的发展。这是建筑技术发生的第二次大飞跃。

20 世纪 30 年代人工合成材料问世至今,各种高分子材料和有机、无机、金属、非金属的复合材料迅速发展,这些轻质、高强、多功能的材料,大大地减轻了材料的自重,为建筑物向高层空间发展创造了极好的条件。这是建筑技术的第三次大飞跃。

随着我国国民经济的发展,对建筑功能、工程结构的要求越来越高,从而对材料也提出了更高的要求。例如,大跨度的桥梁、超高层的建筑等,都需要有新型的工程结构,也需要更高强度的钢材、混凝土;对于高层、高等级的建筑,还需要大量具有多种功能的轻质复合墙体材料和各种高档次的装饰材料。对工程的高、新要求促进了材料的发展,反过来,新材料的发展也促进了土木工程施工技术的不断进步,使工程建筑的功能、适用性、艺术性、坚固性和耐久性都得到了改善。

## 1.3 土木工程材料的分类

土木工程材料是指所有土木工程中所使用的各种材料和制品的总称,是构成建筑物或构筑物实体的材料。如水泥、砂子、石灰、砖石、钢材、塑料等。

土木工程材料品种繁多,通常分为无机材料、有机材料和复合材料,其中无机材料又可分为金

属材料和非金属材料。各种工程材料的分类详见表 1-2。

表 1-2 土木工程材料的分类

无机材料	金属材料	黑色金属:铁、碳素钢、合金钢等 有色金属:铝、铜、锌及其合金等
	非金属材料	天然石材:砂、石子、各种岩石加工的石材等 烧土制品:砖、瓦、陶瓷等 胶凝材料:石灰、石膏、水玻璃、菱苦土、水泥等 混凝土、砂浆:普通混凝土、轻骨料混凝土、特种混凝土、各种砂浆等 硅酸盐制品:多孔混凝土、粉煤灰砖和砌块等 碳化制品:碳化砖、碳化板等 保温材料:石棉、矿物棉、玻璃棉、膨胀蛭石、膨胀珍珠岩及其制品等 玻璃:彩色玻璃、镀膜玻璃、钢化玻璃、吸热玻璃、玻璃制品等
有机材料	动植物材料	木材、竹材、苇材、毛毡及其制品等
	高分子材料	石油沥青、煤沥青及其制品、塑料、涂料、胶黏剂、橡胶等
复合材料	无机与有机复合	玻璃纤维增强塑料、聚合物混凝土、沥青混凝土等
	金属与非金属复合	钢筋混凝土、钢丝网水泥、塑铝复合板、铝箔面油毡等
	其他复合材料	水泥石棉制品、不锈钢包覆钢板等

## 1.4 土木工程材料的技术标准

土木工程材料的生产、销售、采购、验收和质量检验,均应以产品质量标准为依据。我国材料的产品标准分为国家标准、行业标准、地方标准以及企业标准四类。这些标准均以标准代号、标准号、颁布年份的次序表达,如“GB 175—2007”表示国家标准第 175 号,是在 2007 年颁布的。标准更新时,颁布年随之被更替,一般应参考使用最新版本的标准、规范。

### 1.4.1 国家标准

在全国范围内统一的标准,如:

GB——国家强制性标准;

GB/T——国家推荐性标准;

GBJ——国家建筑工程技术方面的标准。

### 1.4.2 行业标准

行业标准包括部级标准和专业标准,如:

JGJ——建工部(建设部)建筑工程技术标准;

JCJ——建材工业部建筑工程技术标准;

TBJ——铁道部建筑工程技术标准;

JTG——交通行业标准;

ZB——专业标准。

### 1.4.3 地方标准

地方性标准编号由五部分组成：“DB(地方标准代号)”+“省、自治区、直辖市行政区划代码前两位”+“/”+“顺序号”+“年号”。如：

北京市地方性标准——干拌砂浆应用技术规程(试行)DBJ/T01—73—2003；

浙江省地方性标准——大体积混凝土工程施工技术规程 DB33/T 1024—2005。

### 1.4.4 企业标准

企业内部的标准常用“QB”表示。

企业标准也可以“Q”作为企业标准的开头。如：Q/×××J2.1—2007，其中×××为企业代号，可以是企业简称的汉语拼音大写字母；J为技术标准代号，G为管理标准，Z为工作标准(或以1, 2, 3数字表示)。如：2.1为某个标准在企业标准体系中的位置号(2为技术标准体系中的第二序列产品标准，1为其中的第一个产品标准)。

### 1.4.5 国际标准

我国加入WTO以来，为了使我国建筑材料工业的发展赶上世界步伐，促进建材工业的科技进步，提高产品质量和标准化水平，扩大建筑材料的对外贸易，采用和参考了国际通用标准和先进标准。常用的国际标准有以下几类：

①美国材料与试验协会标准(ASTM)，属于国际团体和公司标准；

②联邦德国工业标准(DIN)，欧洲标准(EN)，属于区域性国家标准；

③国际标准组织标准(ISO)，属于国际性标准化组织的标准。

目前，土木工程材料标准内容主要包括材料质量要求和检验两大方面。有的标准将两者合在一起，有的则分开订立。在现场配置的一些材料，如混凝土，其原材料钢筋、水泥、石子、砂应符合相应的材料标准要求，而其制成品的检验及使用方法，常包含于施工验收规范及有关的规程中。土木工程材料检验常涉及多个标准、规范，在之后的章节中会提及。

## 本章小结

本章主要介绍土木工程材料的发展、在工程中所占地位、分类和技术标准等。材料是工程建设的基础，材料的进步不断促进土木工程结构的发展，材料决定着工程结构的质量、造价、安全性、适用性和美观。从大类上，土木工程材料可分为无机材料、有机材料和复合材料，每种材料都有其自身特点和适用范围，后续章节将逐一重点介绍。为保证工程质量，满足使用要求，充分发挥材料的作用，工程材料需要满足一定的技术要求。这些要求一般由相应的技术标准规定。我国材料的产品标准可分为国家标准、行业标准、地方标准以及企业标准四类。

## 2 土木工程材料的基本性质

### 【内容提要】

本章主要内容为材料的基本构成及构造、基本物理性质、基本力学性质和有关参数及计算公式。

### 【能力要求】

通过本章的学习,学生应了解材料的组成及构造形式,掌握材料的物理性质、力学性质和耐久性等。

在土木工程各类建筑物中,材料要受到各种物理、化学、力学因素单独及综合作用。例如,用于各种受力结构中的材料,要受到各种外力的作用;而用于其他不同部位的材料,又会受到风霜雨雪的作用;工业或基础设施的建筑物之中的材料,由于长期暴露于大气环境或与酸性、碱性等侵蚀性介质相连接,除受到冲刷磨损、机械振动之外,还会受到化学侵蚀、干湿循环、冻融循环等破坏作用。可见土木工程材料在实际工程中所受的作用是复杂的。因此,对土木工程材料性质的要求是严格和多方面的。

### 2.1 材料科学的基本理论

#### 2.1.1 材料的组成

材料的组成是决定材料性质最基本的因素。材料的组成包括材料的化学组成、矿物组成和相组成。

##### 2.1.1.1 化学组成

化学组成是指构成材料的化学元素及化合物的种类和数量。当材料与环境及各类物质相接触时,它们之间必然要按化学规律发生相互作用。例如,材料受到酸、碱、盐类物质的侵蚀作用,钢材及其他金属材料的锈蚀与腐蚀等,都是由其化学组成所决定的。

##### 2.1.1.2 矿物组成

材料科学中常将具有特定的晶体结构及物理力学性能的组织结构称为矿物。矿物组成是指构成材料的矿物种类和数量。如天然石材、无机胶凝材料等,其矿物组成是在其化学组成确定的条件下决定材料性质的主要因素。

##### 2.1.1.3 相组成

材料中结构相近、性质相同的均匀部分称为相。自然界中的物质可分为气相、液相、固相三种形态。材料中,同种化学物质由于加工工艺的不同,温度、压力等环境条件的不同,可形成不同的相。例如,在铁碳合金中就有铁素体、渗碳体、珠光体。各种物质在不同的温度、压力等环境条件

下,也常常会转变其存在的状态,如由气相转变为液相或固相。土木工程材料大多是多相固体材料,这种由两相或两相以上的物质组成的材料,称为复合材料。例如,混凝土可认为是由集料颗粒(集料相)分散在水泥浆体(基相)中所组成的两相复合材料。

复合材料的性质与其构成材料的组成和界面特性有密切关系。所谓界面是指多相材料中相与相之间的分界面。在实际材料中,界面是一个较薄区域,它的成分和结构与相内的部分是不一样的,可作为界面来处理。因此,对于土木工程材料,可通过改变和控制其相组成和界面特性,来改善和提高材料的技术性能。

## 2.1.2 材料的结构与构造

材料的结构与构造是决定材料性能的另一个极其重要的因素。

### 2.1.2.1 材料的结构

材料的结构是指组成材料的原子(或离子、分子)相互结合的方式或构成的形式(这些形式称为结构要素)以及结构要素按照一定次序的组合、排列及相互间的各种联系。材料的结构按照研究层次可分为宏观结构、细观结构和微观结构。

#### (1)宏观结构

宏观结构是指用肉眼或放大镜能够分辨的粗大组织。

按孔隙特征可将宏观结构分为致密结构、多孔结构和微孔结构。

①致密结构:指具有无可吸水、透气的孔隙的结构。例如:金属材料、致密石材、玻璃、塑料等。

②多孔结构:是指有粗大孔隙的结构。如加气混凝土、泡沫混凝土及人造轻质多孔材料。

③微孔结构:指具有细微孔隙的结构。如石膏制品、低温烧结黏土制品。

按组织构造特征可将宏观结构分为堆聚结构、纤维结构、层状结构和散粒结构。

①堆聚结构:指由集料与具有胶凝性或黏结性物质胶结而成的结构。例如:水泥混凝土、砂浆、沥青混合料等。

②纤维结构:指由天然或人工合成纤维物质构成的结构。例如:木材、玻璃钢、岩棉等制品。

③层状结构:指天然形成或由人工黏结等方法将材料叠合而成的双层或多层结构。例如:胶合板、纸面石膏板、各种新型节能复合板墙等。

④散粒结构:指由松散颗粒状物质所形成的结构。例如:混凝土集料、粉煤灰、细砂、膨胀珍珠岩等。

#### (2)细观结构

细观结构,也称亚微观结构,是指可用光学显微镜观察到的结构。土木工程材料的细观结构,只能针对某种具体材料来进行分类研究。例如:混凝土可分为基相、集料相、界面相;天然岩石可分为矿物、晶体颗粒、非晶体组织;钢铁可分为铁素体、渗碳体、珠光体;木材可分为木纤维、导管髓线、树脂道。

材料在细观结构层次上的各种组织结构、性质和特点各异,它们的特征、数量和分布对土木工程材料的性能有重要影响。

#### (3)微观结构

微观结构是指原子、分子层次的结构。人们可用电子显微镜或 X 射线来进行分析研究。微观结构材料可分为晶体、玻璃体、胶体。

##### ①晶体。

质点(离子、原子、分子)在空间上按特定的规则,呈周期性排列时所形成的结构称晶体结构。晶体按质点和化学键的不同可分为原子晶体、离子晶体、分子晶体和金属晶体。

- a. 原子晶体:中性原子以共价键结合而成的晶体,例如石英。
- b. 离子晶体:正、负离子以离子键结合而成的晶体,例如  $\text{CaCl}_2$ 。
- c. 分子晶体:以分子间的范德华力,即分子键结合而成的晶体,如有机化合物。
- d. 金属晶体:以金属阳离子为晶格,通过自由电子与金属阳离子间的金属键结合而成的晶体,如钢铁材料。

### ②玻璃体。

玻璃体亦称为无定形体或非晶体。其结合键为共价键及离子键。玻璃体的结构特征为质点在空间上呈非周期性排列。

### ③胶体。

以胶体粒子作为分散相,分散在连续相介质(如水、气、溶剂)中,形成的分散体系,称为胶体。

在胶体结构中,若胶粒较少,则胶粒悬浮、分散在液体连续相中,此时液体性质对胶体性质影响较大,这种结构称为溶胶结构。若胶粒较多,则胶粒在表面能作用下发生凝聚,彼此相连形成空间网络结构,而使胶体强度增大,变形减小,形成固体或半固体状态,此胶体结构称为凝胶结构。在特定的条件下,胶体亦可形成溶胶-凝胶结构。与晶体及玻璃体结构相比,胶体结构的强度较低,变形较大。

#### 2.1.2.2 材料的构造

材料的构造是指特定性质的材料结构单元的相互搭配情况。

与结构相比,构造进一步强调了相同材料或不同材料间的搭配与组合关系。如木材的宏观构造、微观构造就是指具有相同的结构单元——木纤维管胞,按不同的形态和方式在宏观和微观层次上的搭配和组合情况。它决定了木材各向异性等一系列物理力学性质。

随着材料科学与工程的理论不断与技术不断发展,深入研究材料的组成、结构、构造和材料性能之间的关系,不仅有利于为包括土木工程在内的各种工程正确选用材料,还会加速人类自由设计生产工程所需的特殊性能新材料的进程。

## 2.2 材料的基本物理性质

工程材料(建筑材料)在各种土建工程中起着不同的作用,有的主要承受荷载,有的起围护作用,有的则起保温隔热或表面装饰、防水防潮、防腐、防火等作用。材料在这些外力、阳光、大气、水分及各种介质作用下,会发生受力变形、热胀冷缩、干湿变形、冻融交替、化学侵蚀等现象,产生不同程度的破坏。为了使建筑物和构筑物能够安全、耐久、适用而又经济,必须在工程设计和施工中充分了解和掌握各种材料的性质和特点,以便正确、合理地选择和使用材料,使其性能满足使用者的要求。

工程材料品种繁多,性质各异,有其共性,也有其特性。本节将对工程材料在物理、力学等方面的各种共同性质作专题介绍,建立起主要概念,论述其内涵和相互关联,以便理解后续各章内容。

### 2.2.1 材料密度、表观密度与堆积密度

密度是指单位体积物质的质量,其单位可用  $\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $\text{kg}/\text{L}$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$  表示。但是,由于材料有密



实的、多孔的和颗粒堆积等不同状态,材料的密度也就有密实密度、表观密度、体积密度和堆积密度之分。

### 2.2.1.1 密实密度

材料在密实状态下单位体积的质量称为材料的密实密度。用式(2-1)表示和计算:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

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

$m$  ——材料的干质量,  $\text{g}$ ;

$V$  ——材料在密实状态下的体积,  $\text{cm}^3$ 。

材料在密实状态下的体积是材料体积内固体物质所占的体积,不包括孔隙在内的体积。对于绝对密实而外形规则的材料,体积可采用测量计算的方法求得。对于可研磨的非密实材料,体积可采用研磨成细粉,再用密度瓶测定的方法求得。

### 2.2.1.2 表观密度

材料在自然状态下单位体积的质量称为材料的表观密度。

对于自身较为密实的颗粒堆积材料,如配制混凝土所用的砂、石等材料,可不必磨成细粉,而直接用颗粒排水测得体积(包含少量的封闭孔隙而不含开口孔隙的体积),这样计算得的密度即是表观密度。用式(2-2)表示和计算:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (2-2)$$

式中  $\rho_0$  ——材料的体积密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$  ——材料的质量,  $\text{g}$  或  $\text{kg}$ ;

$V_0$  ——材料在自然状态下的体积(自然体积),  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ 。

### 2.2.1.3 堆积密度

颗粒材料(或纤维材料)在自然堆积状态下单位体积的质量称为堆积密度。用式(2-3)表示和计算:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (2-3)$$

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

$m$  ——材料的质量,  $\text{g}$  或  $\text{kg}$ ;

$V'_0$  ——材料的堆积体积,  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ 。

材料的堆积体积是指颗粒(或纤维)在自然堆积状态下,包含孔隙体积在内的自然体积。颗粒堆积材料的堆积体积要用已知容积的容器量得。

堆积密度是颗粒材料松散(松装)状态的密度。如果颗粒材料按规定方法颠实后,其单位体积质量则称为紧密密度。

材料的密实密度、表观密度、体积密度和堆积密度,是材料的主要物理性质,用于材料的质量与体积之间的换算,如材料的用量、运输量和堆积空间的计算,材料配合比的计算,构件自重的计算等。