

铁路职业教育铁道部规划教材

工程材料

GONGCHENGCAILIAO

TIELU ZHIYE JIAOYU TIEDAOBU GUIHUA JIAOCAI

蒋 荣 主编

高职

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



铁路职业教育铁道部规划教材

(高 职)

工 程 材 料

蒋 荣 主 编
姜 波 主 审

中国铁道出版社

2008年·北京

内 容 简 介

本书主要系统介绍了工程材料的性质和应用知识,将工程材料与工程应用紧密地联系在一起。第1章介绍材料的基本知识,第2~9章分别介绍了工程中常用的石材、无机胶凝材料、混凝土、建筑砂浆、钢材、沥青及防水材料、木材及其他材料。本书将工程材料与铁路工务部门的工作实践相结合,依据铁路及相关行业的最新规范进行编写,突出行业特点。

本书为高职高专土木工程专业的教学用书,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料 / 蒋荣主编. —北京:中国铁道出版社,2008.1

铁路职业教育铁道部规划教材. 高职

ISBN 978-7-113-08534-6

I. 工… II. 蒋… III. 工程材料—高等学校:技术学校—教材

IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 005939 号

书 名:工程材料

作 者:蒋 荣 主编

责任编辑:李丽娟 电话:(010)51873135

封面设计:陈东山

责任校对:张玉华

责任印制:金洪泽

出版发行:中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街8号 邮政编码:100054)

印 刷:河北省遵化市胶印厂

版 次:2008年2月第1版 2008年2月第1次印刷

开 本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:12.75 字数:316千

书 号:ISBN 978-7-113-08534-6/TU · 918

定 价:26.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504 路电(021)73187

前 言

本书为铁路职业教育铁道部规划教材,是根据铁路高职教育铁道工程(工务)专业教学计划“工程材料”课程教学大纲编写的。

本书主要系统介绍了工程材料的性质和应用知识,将工程材料与工程应用紧密地联系在一起。书中以石材、水泥、混凝土、砂浆、建筑钢材、沥青及防水材料为重点,并注意反映新材料的特点。本书将工程材料与铁路工务部门的工作实践相结合,依据铁路及相关行业的最新规范进行编写,突出行业特点。

本书第1章介绍材料的基本知识,第2~9章分别介绍了工程中常用的石材、无机胶凝材料、混凝土、建筑砂浆、钢材、沥青及防水材料、木材及其他材料。为了加强实践性教学环节,提高学生的实践动手能力,本书将材料试验内容集中编于书后第10章中。另外,各章后所附习题有助于巩固学生所学知识。

本教材由湖南交通工程职业技术学院蒋荣主编,石家庄铁道职业技术学院姜波主审,包头铁路工程学校闫宏生、天津铁道职业技术学院蔺伯华、华东交通大学职业技术学院曾润忠参与编写。各章编写人员为:第1、4章,第10章第2节由蒋荣编写;第2、5章,第10章第3节由蔺伯华编写;第3、8章,第10章第1节由闫宏生编写;第6、7、9章,第10章第4、5节由曾润忠编写。

本书编写承蒙同行们的大力支持和帮助,谨此致以衷心的感谢。由于材料科学发展很快,工程材料及其产品不断推陈出新,加之编者水平有限,书中有疏漏不妥之处,敬请专家、同仁和广大读者不吝指出。

编 者
2007年9月

目 录

1 工程材料的基本知识	1
1.1 工程材料概论	1
1.2 材料的基本性质	4
思考练习题	11
2 石 材	12
2.1 岩 石	12
2.2 岩石制品	18
思考练习题	20
3 无机胶凝材料	21
3.1 石 灰	21
3.2 通用硅酸盐系水泥	26
3.3 特性水泥与专用水泥	41
思考练习题	46
4 混 凝 土	48
4.1 普通混凝土组成材料	48
4.2 普通混凝土拌和物的性能	56
4.3 硬化后普通混凝土的性能	59
4.4 混凝土外加剂	67
4.5 混凝土的质量控制及配合比设计	74
4.6 混凝土强度的评定	83
4.7 铁路客运专线用混凝土材料的技术要求	84
4.8 其他混凝土	90
思考练习题	95
5 建筑砂浆	97
5.1 建筑砂浆的组成材料	97
5.2 砂浆的技术性质	99
5.3 砌筑砂浆的配合比计算	101

思考练习题	104
6 沥青材料	105
6.1 沥 青	105
6.2 乳化沥青	110
6.3 其他改性沥青及主要沥青制品	112
思考练习题	119
7 钢 材	121
7.1 钢材的冶炼和分类	121
7.2 钢材的技术性能及钢材的冷加工	123
7.3 工程中常用的钢材	129
7.4 钢 轨	136
思考练习题	139
8 木 材	140
8.1 木材的分类与构造	140
8.2 木材的物理力学性质	141
8.3 木材的特性与缺陷	145
8.4 木材的保护处理	146
思考练习题	148
9 其他常用材料	149
9.1 工业废料及其应用	149
9.2 胶黏剂及其他土工合成材料	153
思考练习题	159
10 材料试验	161
10.1 水 泥 试 验	161
10.2 混凝土试验	175
10.3 砂 浆 试 验	186
10.4 钢 材 试 验	190
10.5 沥 青 试 验	193
参考文献	197

工程材料的基本知识

【学习目标】通过本章的学习,要求了解工程材料在铁道工程中的重要地位,掌握工程材料的分类、材料的各项基本性质。

1.1 工程材料概论

1.1.1 工程材料及其分类

土木建筑工程中所使用的各种材料及其制品,统称为工程材料,或称建筑材料。

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1-1。

表1-1 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

1.1.2 工程材料在工程建设中的地位

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1 km,约需要各种材料6 000余吨,在山岳地区则需要15 000余吨。又如住宅、办公楼等建筑,每1 000 m²面积约需1 000~1 500余吨材料,估计用量举例如表1-2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 1-2 1 000 m² 房屋建筑用料参考量

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

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、适用性产生影响。将劣质材料使用到工程中,必然危害工程质量,影响工程的使用效果和耐久性能,甚至会造成严重事故。因此,必须从材料的生产、选择、使用和检验评定以及材料的储存、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。

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。

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,建筑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,得以营造大量的、较大规模的、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,使结构的形式和规模都有了巨大的发展。这是土木工程发生的第二次大飞跃。

第三次飞跃从 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。

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结构和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改善。

1.1.3 新型材料的发展方向

为适应时代发展的需要,必须不断提高工程质量和降低工程造价,不断研究材料技术,开发新型产品,新型材料的发展具有以下趋势:

1. 高强:研制和发展高强度材料,以减小承重结构构件的截面,降低结构自重。

2. 轻质:发展轻质材料,减轻建筑物的自重,降低运输费用和工人劳动强度。

3. 复合高效多功能:发展高性能的复合材料,使材料具有高耐久性、高防火性、高防水性、高保温性、高吸声性、高装饰性等优异性能,并且使一种材料具有多种功能,除了满足坚固、安全、耐久性的要求之外,还具有良好的保温隔热、吸声、防潮、装饰等功能。

4. 节约能源:研制和生产低能耗(包括材料生产能耗和建筑使用能耗)的节能建筑材料,这对于降低成本、节约能源将起到十分有益的作用。

5. 综合利用:充分利用各种地方材料和工业废渣来生产工程材料,降低成本,变废为宝,化害为利,节约能源,改善环境。

6. 工业化生产:发展适用于由工厂大规模生产、机械化安装施工的材料制品,加快施工速度。

1.1.4 材料产品的标准

工程材料、建筑材料的生产、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、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—1999”表示国家标准第 175 号,是在 1999 年颁布的。

1. 国家标准“GB”。在全国范围内统一的标准,如:

GB——全国强制性标准;

GB/T——全国推荐性标准;

GBJ——全国建筑工程技术方面的标准。

2. 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;

ZB——专业标准。

3. 地方标准“DB”。地方性标准。

4. 企业标准“QB”。企业内部的标准。

我国加入 WTO 以来,为了加快我国建筑材料工业与世界步伐的接轨,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:

美国材料与试验协会标准(ASTM),属于国际团体和公司标准。

联邦德国工业标准(DIN),欧洲标准(EN),属于区域性国家标准。

国际标准组织标准(ISO),属于国际性标准化组织的标准。

1.1.5 本课程的任务和学习方法

“工程材料”是土木建筑工程各专业的一门重要课程,是一门应用技术,同时也是后续专业课程的基础。

本课程主要学习材料的基本性质和各种常用材料的生产成分、技术性质、规格标准、质量检验、应用范围、储运保管等知识,以期为工程建筑、结构、施工等专业课程提供材料方面的基本知识,亦为今后从事技术工作时,就材料选用、质量鉴定、验收保管、运输储存等方面打下必要的基础。

1. 学生学完本课程后,应达到以下要求:

(1)了解各种材料的成分、结构和生产加工原理;

(2)掌握各种材料的技术性质、应用范围、质量检验、储运保管的知识,能查阅有关技术资

料、标准规范,合理选用材料;

(3)掌握常用材料的质量检验方法,具有正确使用试验设备、完成材料试验、鉴别材料质量的能力。

2. 学习本课程应注意的学习方法:

(1)联系和运用物理、化学、数学、力学等基础知识,分析和研究有关材料的问题;

(2)注意要着重理解材料的主要技术性质,理解它的原理,掌握它的应用;

(3)材料试验是熟悉材料性质、鉴定材料质量的重要手段,也是培养试验能力的重要过程,必须认真完成各项试验和掌握试验方法;

(4)充分利用到工厂、工地参观和实习的机会,了解常用材料的品种、规格、应用和储存的情况;

(5)经常阅读有关报纸杂志中介绍的材料新产品、新标准,注意材料的发展动向。

1.2 材料的基本性质

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,这些因素都会使材料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,以便在后续各章中理解和接受。

1.2.1 材料的基本物理性质

1. 密度

密度是指单位体积物质的质量,其单位可用 g/cm^3 、 kg/L 或 kg/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。

(1)密度:材料在密实状态下单位体积的质量称为材料的密度,用式(1-1)计算:

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

式中 ρ ——材料的密实密度, g/cm^3 ;

m ——材料的干质量, g ;

V ——材料在密实状态下的体积, 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。

(2)表观密度:材料在自然状态下不含开口孔隙时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(1-2)计算:

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

式中 ρ' ——颗粒堆积材料的表观密度, g/cm^3 ;

m ——颗粒堆积材料的干质量, g ;

V' ——包含少量封闭孔隙而不含开口孔隙的颗粒体积, cm^3 。

(3) 体积密度:材料(块体或颗粒)在自然状态下单位体积的质量称为体积密度,用式(1-3)计算:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-3)$$

式中 ρ_0 ——材料的体积密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;

V_0 ——材料自然状态下的体积(自然体积), cm^3 或 m^3 。

材料的体积密度,通常是指干燥状态的体积密度(干体积密度)。但在自然状态下的材料,常含有一些水分,会影响体积密度的值,这时应标明其含水状态(湿体积密度)。

(4) 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(1-4)计算:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-4)$$

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;

V'_0 ——材料的堆积体积, cm^3 或 m^3 。

材料的堆积体积是指颗粒(或纤维)自然堆积状态下,包含空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。

2. 密实度和孔隙率

(1) 密实度:密实度是指在材料的自然体积中,被固体物质所充实的程度,用材料中固体物质的体积占总体积的百分数,用式(1-5a)计算:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% \quad (1-5a)$$

亦可采用材料的密度和体积密度计算,用式(1-5b)计算:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{m/\rho}{m/\rho_0} = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% \quad (1-5b)$$

式中 D ——材料的密实度, %。

(2) 孔隙率:孔隙率是指在材料的自然体积中,孔隙体积所占的比例,用式(1-6)计算:

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = 1 - D = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 P ——材料的孔隙率, %。

材料的密实度和孔隙率, 从两个不同方面反映材料的基本性质——密实程度。材料的许多性质, 如材料的体积密度、强度、吸水性、抗冻性、抗渗性、导热性、吸声性、耐蚀性等, 都与材料孔隙率的大小和孔隙特征有直接关系。

材料的孔隙特征包括孔隙构造和孔隙粗细两个方面, 孔隙的构造是指孔隙是封闭的还是开口连通的, 孔隙粗细是指孔隙是粗大的或是细微的。

3. 填充率和空隙率

对于砂、石子、粉粒等颗粒堆积材料(或纤维堆积材料)的密实程度, 可用填充率和空隙率来表示。

(1) 填充率: 填充率是指在颗粒材料(或纤维材料)的堆积体积中, 被颗粒(或纤维)所填充的程度, 用式(1-7)计算:

$$D' = \frac{V'}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho'} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 D' ——材料的填充率, %。

(2) 空隙率: 空隙率是指颗粒材料(或纤维材料)的堆积体积中, 颗粒(或纤维)间的空隙体积所占的百分率, 用式(1-8)计算:

$$P' = \frac{V'_0 - V'}{V'_0} \times 100\% = 1 - D' = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho'}\right) \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 P' ——材料的空隙率, %。

常用材料的密度和孔(空)隙率见表 1-3。

表 1-3 几种常用材料的基本物理参数

材料名称	密度 (g/cm ³)	表观密度 (g/cm ³)	体积密度 (kg/m ³)	堆积密度 (kg/m ³)	孔隙率 (%)	空隙率 (%)
钢材	7.85	—	7 850	—	0	—
花岗岩	2.6~2.9	2.6~2.8	2 500~2 800	—	0.5~1.0	—
普通混凝土	2.6~2.8	—	2 300~2 500	—	5~20	—
烧结黏土砖	2.5~2.7	—	1 700~1 900	—	20~40	—
多孔混凝土	3.0	—	600~800	—	70~80	—
松木	1.55	—	400~800	—	55~75	—
碎石或卵石	2.6~2.9	2.5~2.8	—	1 500~1 700	—	35~45
普通砂	2.6~2.7	2.5~2.7	—	1 400~1 600	—	35~45
水泥	2.9~3.1	—	—	1 200~1 300	—	55~60

1.2.2 材料的力学性质

材料的力学性质又称机械性质, 是指材料在外力作用下的变形性能和抵抗破坏的能力。

1. 强度

材料抵抗外力(荷载)破坏的能力称为材料的强度。

材料所受的外力有压缩、拉伸、剪切和弯曲等多种形式,根据材料所受外力的形式不同,材料的强度分为抗压强度、抗拉强度、抗剪强度和抗弯(抗折)强度四种,如图 1-1 所示。

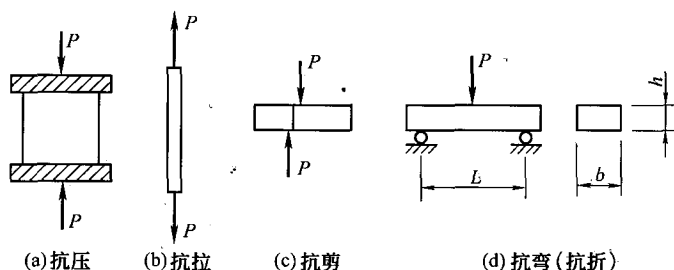


图 1-1 材料的几种受力状态

材料的抗压强度、抗拉强度和抗剪强度,均可按式(1-9)计算:

$$f = \frac{P}{A} \quad (1-9)$$

式中 f ——材料的强度,包括抗压强度 f_c 、抗拉强度 f_t 和抗剪强度 f_v , N/mm^2 即 MPa;

P ——材料受压、受拉、受剪破坏时的荷载,N;

A ——材料的受力面积, mm^2 。

材料的抗弯强度(又称抗折强度)与材料的截面和受力情况有关,不同形状大小的试件,不同的受力情况,其计算公式是不同的。材料试验中,常采用矩形截面试件,在两支点的正中作用一个集中荷载,如图 1-1(d)所示,其抗折强度按式(1-10)计算:

$$f_t = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1-10)$$

式中 f_t ——材料的抗折强度, N/mm^2 即 MPa;

P ——受弯破坏时的荷载,N;

L ——跨距,即两支点间的距离,mm;

b ——材料截面的宽度,mm;

h ——材料截面的高度,mm。

强度是材料的主要技术性质之一。凡是用于承重的各种材料,都规定了有关强度的测定方法和计算方法,都以其主要强度的大小划分为若干个强度等级,以供结构设计和施工时合理选用。这将在以后各章中分别论述。

几种常用材料的强度见表 1-4。

表 1-4 几种常用材料的强度

材料名称	抗压强度(MPa)	抗拉强度(MPa)	抗折强度(MPa)
钢 材		300 ~ 1 500	
松木(顺纹)	30 ~ 60	80 ~ 120	60 ~ 110
花岗岩	100 ~ 250	5 ~ 8	10 ~ 14
普通黏土砖	7.5 ~ 30		2 ~ 5
普通混凝土	7.5 ~ 60	0.7 ~ 4	0.7 ~ 4
水 泥	30 ~ 80		5 ~ 9

2. 弹性与塑性

材料在外力作用下产生变形,当外力撤销时,变形随之消失,这种性质称为弹性。这种变形称为弹性变形。

材料在外力作用下产生变形,当外力撤销后,仍保持已发生的变形,这种性质称为塑性。这种变形称为塑性变形。

单纯弹性的材料是没有的。有的材料(如钢材)在受力不太大时表现为弹性,超过弹性限度之后便出现塑性变形。许多材料(如混凝土等)在受力后,弹性变形和塑性变形同时发生,若撤销外力,其弹性变形将消失,但塑性变形仍残留着(称为残余变形)。这种既有弹性又有塑性的变形称为弹塑性变形。

3. 韧性与脆性

材料受力时,发生较大变形尚不破坏的性质称为韧性。具有这种性质的材料称为韧性材料。如钢材、木材、塑料、橡胶等属于韧性材料。

材料受力时,在没有明显变形的情况下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。如生铁、混凝土、砖、石、玻璃、陶瓷等均属于脆性材料。一般来说,脆性材料的抗压强度较高,而抗拉强度却很低,比其抗压强度低得多,这从表 1-4 中可以看出。

4. 硬度与耐磨性

材料抵抗外物压入或刻画性质称为硬度。木材、金属等韧性材料的硬度,往往采用压入法来测定。压入法硬度的指标有布氏硬度和洛氏硬度,它等于压入荷载值除以压痕的面积或密度。而陶瓷、玻璃等脆性材料的硬度往往采用刻画法来测定,称为莫氏硬度,根据刻画矿物(滑石、石膏、磷灰石、正长石、硫铁矿、黄玉、金刚石等)不同分为 10 级。

材料抵抗外物磨损的性质称为耐磨性。硬度大、强度高的材料,其耐磨性好。铁路的钢轨和用于路面、地面、桥面、阶梯等部位的材料,都要求使用耐磨性好的材料。

1.2.3 材料与水有关的性质

1. 亲水性与憎水性

材料与水接触时,根据材料表面对水的吸附程度,有亲水与憎水两种不同情况。

大多数材料的表面对水的吸附力较大,水在材料表面呈摊开状[润湿角 $\theta < 90^\circ$, 如图 1-2(a)所示],材料表面能被水润湿,材料中的开口微孔能将水吸入,材料的这种性质称为亲水性,具有这种性质的材料称为亲水性材料。工程上常见的有木材、砖、石、混凝土等。

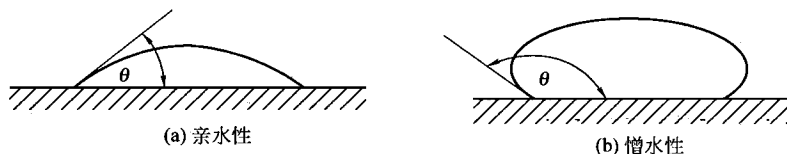


图 1-2 材料的亲水性和憎水性

少数材料的表面对水的吸附力较小,由于水的内聚力作用,水在材料表面收拢成珠状[润湿角 $\theta \geq 90^\circ$, 如图 1-2(b)所示],材料表面不易被润湿,材料中的微细孔隙不会将水吸入,材料的这种性质称为憎水性,具有这种性质的材料称为憎水性材料。沥青、石蜡等材料属于憎水性材料。憎水性材料常用作防水材料,或对亲水性材料表面作防水处理。

2. 吸水性

材料在水中吸水的性质称为吸水性。材料的吸水性用质量吸水率或体积吸水率表示。

材料在吸水饱和状态下,所吸收水分的质量与材料干质量比值的百分率称为材料的质量吸水率(简称为吸水率),用式(1-11a)表示:

$$w_m = \frac{m_b - m}{m} \times 100\% \quad (1-11a)$$

式中 w_m ——材料的质量吸水率,%;

m_b ——材料吸水饱和时的质量,g;

m ——材料烘干至恒重时的质量,g。

对于轻质多孔材料的吸水性,可用体积吸水率表示。材料在吸水饱和状态下,所吸水分的体积与材料自然状态体积比值的百分率称为材料的体积吸水率,用式(1-11b)表示:

$$w_v = \frac{m_b - m}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-11b)$$

式中 w_v ——材料的体积吸水率,%;

V_0 ——材料在干燥状态时的自然体积,cm³;

ρ_w ——水的密度,取1 g/cm³。

材料吸水性的强弱,取决于材料的亲水性、孔隙率和孔隙特征。一般说来,孔隙率较大的亲水性材料,其吸水率大,吸水性强。但如果是封闭的孔隙,则不能进水;粗大孔隙虽易进水,却不易存留。因而一般具有大量开口连通细微孔隙的亲水性材料(如木材、砖、多孔混凝土等),其吸水性是很强的。

3. 吸湿性

材料在潮湿环境中吸收空气中水分的性质称为吸湿性。材料的吸湿性用含水率表示。

材料在自然状态下,所含水分的质量与材料干质量比值的百分率称为材料的含水率,用式(1-12)表示:

$$w_h = \frac{m_h - m}{m} \times 100\% \quad (1-12)$$

式中 w_h ——材料的含水率,%;

m_h ——材料含水时的质量,g。

材料含水率的大小,除与材料的亲水性、孔隙率、孔隙特征有关之外,还随着周围环境的温度、湿度而变化。当周围环境较为潮湿时,材料将吸入水分,使含水率增大;反之,当周围环境较为干燥时,材料中的水分蒸发,使含水率下降,直至与外界湿度达到平衡为止。达到平衡时材料的含水率称为平衡含水率。

4. 耐水性

材料在长期饱和水作用下保持其原有性质的能力称为耐水性。

材料在吸水后,由于水分子的侵入,削弱了材料微粒间的结合力,还会将其中易溶于水的成分溶解,而使材料的强度有不同程度的下降(软化);严重者会完全丧失其强度(如黏土)。结构材料的耐水性主要指材料吸水饱和后强度的变化,用软化系数 K_R 表示,按式(1-13)计算:

$$K_R = \frac{f_s}{f_g} \quad (1-13)$$

式中 f_s ——材料吸水饱和状态下的抗压强度, MPa;

f_g ——材料在干燥状态下的抗压强度, MPa。

材料的软化系数 K_R 在 0~1 之间。 K_R 越接近于 1, 材料的耐水性越好。凡用于受水浸泡或潮湿环境的重要材料, 要求 $K_R \geq 0.85$; 用于受潮湿较轻或次要部位的材料, 要求 $K_R \geq 0.70$ 。通常 $K_R > 0.85$ 的材料, 可认为是耐水材料。

5. 抗渗性

材料抵抗压力水(或其他液体)渗透的能力称为抗渗性。材料抗渗性能的好与差, 主要由材料的孔隙率和孔隙特征决定, 增大材料的密实性或使材料内部形成一定量的封闭孔隙, 能提高材料的抗渗性能。

抗渗性可用渗透系统表示, 根据水力学的渗透定律, 渗透系数可按式(1-14)计算。

$$k = \frac{Qd}{HA t} \quad (1-14)$$

式中 Q ——透过材料试件的水量, cm^3 ;

H ——水头差, cm ;

A ——渗水面积, cm^2 ;

d ——试件厚度, cm ;

t ——渗水时间, h ;

k ——渗透系数, cm/h 。

材料的抗渗性, 可用抗渗等级 P_n 表示。其中的“P”是抗渗等级的代号, 其后的数字代表材料在不发生渗透的前提下所能承受的最大水压。“P6”代表材料按标准方法作抗渗试验时, 在 0.6 MPa 的水压作用下不发生渗透。

6. 抗冻性

材料在吸水饱和状态下, 抵抗冻融循环破坏的能力称为材料的抗冻性。

由于水结冰时体积膨胀大约 9%, 所以材料孔隙内的水结冰膨胀, 将对材料的孔壁产生很大的压力, 而使材料产生内外裂纹、表面剥落、强度下降, 引起冻融破坏, 冻融循环次数越多, 冻融破坏就越严重。

材料的抗冻性, 用抗冻等级 F_n 表示, 其中的“F”是抗冻等级的代号, 其后的数值代表冻融循环次数。如“F25”代表材料在标准试验条件下, 质量损失不大于 5%、强度损失不大于 25%, 所能经受的冻融循环次数最多为 25 次。

材料抗冻性的好与差取决于材料的强度、孔隙率和孔隙特征。增大材料的密实性或使材料内部形成一定数量的封闭孔隙, 均能提高材料的抗冻性能。

1.2.4 材料的耐久性

材料在使用过程中, 除受各种外力作用外, 还要长期地受到各种自然环境因素的破坏作用。这些破坏作用可以概括为物理、化学和生物的作用。

1. 物理作用: 材料在长期的阳光、大气、雨水、冰雪等作用下, 不断发生干湿变化、热胀冷缩、冻融循环, 从而发生内外裂缝、表面剥落, 造成材料的破坏。

2. 化学作用: 材料在各种化学介质、酸碱盐物质的水溶液和有害气体的侵蚀作用下, 会发生变质, 引起破坏。如钢材生锈、水泥腐蚀、钢筋混凝土的碳化破坏、碱—骨料反应等。

3. 生物作用: 材料受菌类、昆虫的侵蚀造成的破坏。如木材腐朽、虫蛀等。

对于使用中的工程材料来说,它们所受到的破坏作用往往不是一种,而是上述几种因素共同作用,如果不采取相应的防护措施,材料就会逐渐发生破坏。

综上所述,我们将材料在各种自然环境因素作用下能否经久耐用的性质称为耐久性。一般把材料的抗蚀性、抗冻性、抗渗性、抗老化性等作为材料耐久性的主要内容。

思考练习题

1. 工程材料如何分类? 每类包括哪些主要材料?
2. 工程材料在工程建设中的重要性表现在哪些方面? 其发展方向如何?
3. 为什么要制订材料产品的质量标准? 材料产品标准分哪几类,各用什么代号表示?
4. 什么是材料的密度? 按材料状态不同分为哪几种? 分别如何表示和计算?
5. 什么是材料的密实度、孔隙率和空隙率? 如何计算? 材料的孔隙特征指什么?
6. 一块标准红砖,尺寸为 $240\text{ mm} \times 115\text{ mm} \times 53\text{ mm}$,烘干后质量为 2.665 kg ,将其一部分磨细后取干粉 55 g ,用密度瓶测得其密实体积为 20.7 cm^3 ,求此砖的密度、体积密度、孔隙率。
7. 某地的卵石,堆积密度为 1750 kg/m^3 ,表观密度为 2.69 g/cm^3 ,求此卵石的空隙率。用堆积密度为 1500 kg/m^3 的砂子填满 1 m^3 上述卵石的空隙,问需砂子多少?
8. 取一些卵石经洗净烘干后,称取 1000 g ,将其浸水饱和(其开口连通孔隙吸饱水,可使测试结果更为准确,但封闭孔隙未进水),广口瓶盛满水连盖称得质量为 1840 g ,装入卵石后再加满水加盖称得质量为 2470 g ,求卵石的表观密度。
9. 什么是材料的强度? 按受力形式不同分为哪几种? 分别如何计算?
10. 用直径 18 mm 的钢筋做拉伸试验,测得最大拉力为 102.85 kN ,问该钢筋的抗拉强度为多少。
11. 对蒸压灰砂砖试样进行抗压和抗折试验,试件的尺寸如图 1-3 所示,测得最大抗压荷载为 162.53 kN ,最大抗折荷载为 3040 N ,求此砖的抗压强度和抗折强度分别为多少。

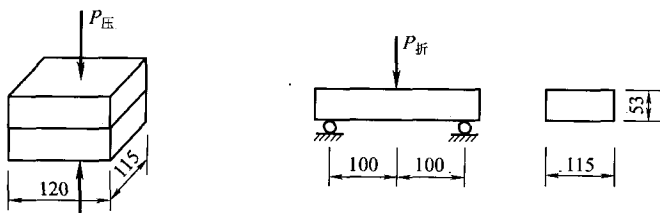


图 1-3 第 11 题图(单位:mm)

12. 什么是弹性变形? 什么是塑性变形? 什么是材料的韧性? 什么是材料的脆性?
13. 拌制混凝土时,每次需要干砂 200 kg ,若现场砂子的含水率为 8% ,问每次需要称取湿砂多少,其带入的水为多少?
14. 材料孔隙率的大小对材料的体积密度、强度、吸水性、抗冻性、抗渗性有何影响? 为什么?