

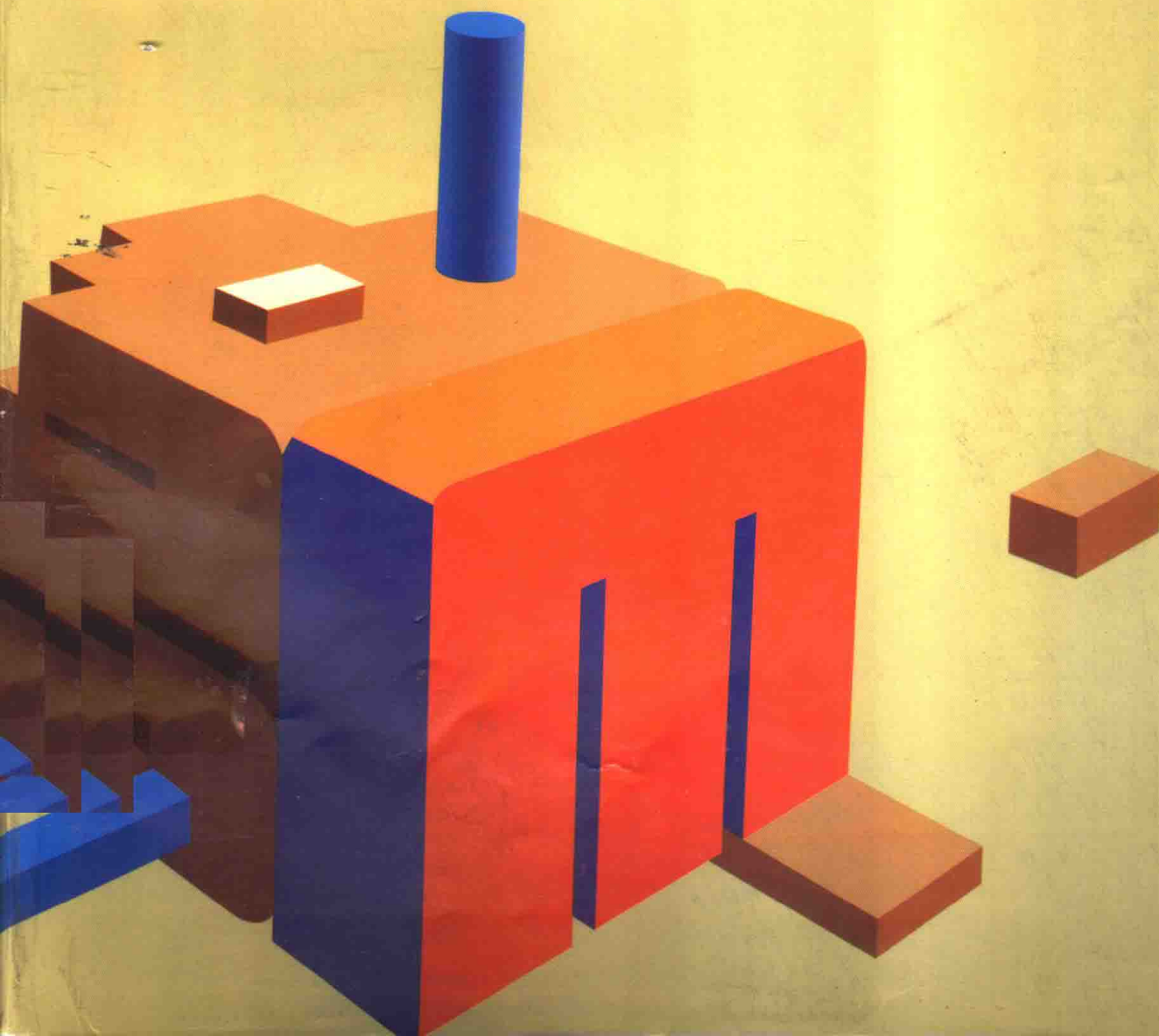
BUILDING MATERIALS

建筑材料

习应祥 肖桂彰 主编

张起森 主审

湖南大学出版社



建 筑 材 料

习应祥 肖桂彰 主编

湖南大学出版社

1997年·长沙

内 容 简 介

本书为高等院校土木类专业基础课教材,内容包括:天然石料、石灰、水泥、砖瓦、混凝土、沥青及其制品、建筑用金属材料、建筑用木材、稳定土材料以及建筑新材料。

本书以建筑材料的基本概念、基本原理为主线,系统介绍了各建筑材料的组成成分、性质、技术性能及其检验测试方法、技术标准和应用要求。

本书既可作大专院校土木工程类专业学生的教材,又可供工程技术人员参考使用。

建 筑 材 料

Jianzhu Cailiao

主编 习应祥 肖桂彰

☐责任编辑 卢 宇

☐出版发行 湖南大学出版社

社址 长沙市岳麓山 邮码 410082

电话 0731-8821691 0731-8821315

☐经 销 湖南省新华书店

☐印 装 长沙交通学院印刷厂

☐开本 787×1092 16开 ☐印张 15.5 ☐字数 396千

☐版次 1997年2月第1版 ☐1997年10月第2次印刷

☐印数 5 001-8 000册

☐书号 ISBN 7-81053-063-1/TU·6

☐定价 20.00元

(湖南大学版图书凡有印装差错,请向承印厂调换)

前 言

人类文明社会的发展进程,总是和土木工程息息相关,土木工程的基础则是建筑材料。因此建筑材料一直是土木类各有关专业的一门技术基础课。随着科学的进步,建筑业的发展,土木类专业逐渐增多。为适应土木类专业教学改革的需要,我们编写了这本教材,其主要特点如下。

1. 内容丰富,重点突出。书中以建筑材料的基本理论为主线,对各种建筑材料包括:天然石料、石灰、水泥、砖瓦、混凝土、沥青及其制品、建筑用金属材料、木材、稳定土材料以及建筑新材料的组成成分、性质、技术性能、技术标准和应用要求都逐一作了介绍。

2. 注重实践环节,培养学生的动手能力和数据分析能力。为使学生在今后的生产实践中能够根据不同技术要求合理配制现场材料,书后附有多种实验。

3. 紧跟时代步伐,介绍新型建筑材料。随着人类对建筑材料要求的提高,建筑材料正日益向轻质、高强、多功能方向发展,本书对建筑新型材料如高分子材料、绝热、吸声和装饰材料一一作了介绍。

本书由长沙交通学院建材教研室集体编写。习应祥教授、肖桂彰副教授主编,长沙交通学院张起森教授主审。各章内容的编者为:习应祥编写绪论和第六章,肖桂彰编写第一、二章,黄云涌编写第三、四章,朱梦良编写第五章,刘大梁编写第七、八章,姚佳良编写第九章,杨建华编写第十章,试验部分由习应祥、肖桂彰合编。插图由杨惠莊老师描绘。

本书是土木类专业教学改革的一次尝试。限于编者的水平,不足之处在所难免,恳请同行专家和读者批评指正。

编 者

1996.12.

目 次

绪 论	1
第一章 建筑材料的基本性质	
第一节 材料的物理性质	4
第二节 材料的力学性质	9
第三节 材料的其它性质	11
第四节 材料的组成、结构与构造	12
第二章 砂石材料	
第一节 天然石料	14
第二节 矿质集料	17
第三章 砖、建筑砌块及瓦	
第一节 砖	29
第二节 建筑砌块	34
第三节 瓦	35
第四章 石灰、水泥	
第一节 石灰	37
第二节 硅酸盐水泥	40
第三节 掺混合材料的硅酸盐水泥	49
第四节 其它品种水泥	53
第五节 水泥的贮存、运输及应用	57
第五章 水泥混凝土及砂浆	
第一节 普通混凝土的组成材料	59
第二节 普通混凝土的技术性质	65
第三节 混凝土外加剂	82
第四节 混凝土的质量控制	85
第五节 混凝土配合比设计	90
第六节 其它品种混凝土	96
第七节 建筑砂浆	99
第六章 沥青及沥青制品	
第一节 石油沥青	104
第二节 其它沥青	116
第三节 沥青混合料	120
第四节 沥青防水材料	131
第七章 土木建筑用金属材料	
第一节 钢的生产及分类	137
第二节 建筑钢材的力学性能和工艺性能	138
第三节 影响建筑钢材力学性能的主要因素	142
第四节 建筑钢材的标准及选用	145

第五节 建筑钢材的锈蚀及防护	150
第六节 常用有色金属材料	151
第八章 建筑木材	
第一节 木材的内部结构	153
第二节 木材的物理性质和力学性质	154
第三节 木材的处理	158
第四节 人造木板	159
第九章 稳定土材料	
第一节 稳定土材料及其组成	160
第二节 稳定土的性质	167
第三节 稳定类材料组成设计	173
第十章 建筑新材料	
第一节 建筑塑料	178
第二节 橡胶	183
第三节 建筑涂料	185
第四节 绝热材料与吸声材料	188
第五节 建筑装饰材料	193
 附录一 建筑材料试验	
试验一 石料试验	199
试验二 集料试验	203
试验三 水泥试验	212
试验四 烧结普通砖试验	219
试验五 水泥混凝土试验	220
试验六 沥青材料试验	227
试验七 沥青混合料马歇尔稳定度试验	233
 附录二 我国法定计量单位及其与米制单位的换算关系	
 参考文献	240

绪 论

一、建筑材料及其在土木工程建设中的地位

建筑材料是用于土木工程结构物的各种材料之总称。由于建筑材料的种类很多,为了研究和使用的方便,常按照各种材料的化学成分或使用性能进行分类。

按照材料的化学成分可将各种建筑材料分为无机材料、有机材料和复合材料三大类。其中,无机材料又可分为金属材料(如钢、铁、铝、铜等)和非金属材料(如水泥、混凝土、玻璃、砖、瓦等)。有机材料则有木材、沥青、塑料、橡胶等类别。复合材料是把两种以上不同性质的材料经过复配而形成的一种材料,可以克服单一材料的某些弱点,发挥其中各成分材料的优点,提高材料的综合性能,如钢筋混凝土、玻璃纤维增强塑料等。

按照建筑材料的使用性能,可将它们分为具有承受负荷能力的结构材料和墙体材料(如混凝土、钢筋混凝土、砖石砌块等),以及不能或不需要承受较大荷载但具有某些特殊使用性能的材料(一般称之为功能材料),如各种涂料、防水材料、保温材料、装饰材料等。

在人类文明社会发展的进程中,无不以土木工程为先导。即使在当今一些发达国家,土木建筑业仍然保持长盛不衰。然而,土木工程的发展从来就离不开建筑材料,它们之间有着相互依存和不可分割的关系。这种关系可从如下方面来体现:

1. 建筑材料是一切土木工程结构物不可缺少的物质基础。没有材料,便没有土木工程结构物,要建造某种类型的结构物,则必须使用相应要求的建筑材料。例如,公路和铁路路基常用天然的土^①或石材进行填筑;我国古代的木结构建筑物多以木材为主要材料;现代建筑则要求选用高强、轻质的结构材料和美观大方的各式装饰材料。

2. 在各类土木工程建设项目中,材料费用在工程总造价中占有很高的比例。据有关统计资料,我国一般的土木工程项目,材料费用约占总造价的40%~60%;技术标准高的结构物,材料费用所占比例有时可达70%。因此,正确选用材料,对于节省工程造价具有重要的实际意义。

3. 材料的品质和性能在很大程度上决定了结构物的性能。如采用普通混凝土作为梁跨结构,由于其抗拉强度很低,跨度一般只能几米;采用钢筋混凝土,可使梁的跨度增大到10m以上;若采用预应力混凝土梁,其跨度则可超过100m。材料的质量和规格还直接影响结构物的其它使用性能,如坚固性、美观性和耐久性等。

4. 新型建筑材料的出现与土木建筑技术的发展相互促进。土木建筑技术的发展,不断对建筑材料提出新的更高要求;而新型的结构材料和功能材料的出现,又可促使结构物形式的变化、结构设计方法的改进和施工技术的革新,从而促进现代土木工程技术的迅速发展。

基于以上情况,从根本上说,建筑材料是土木工程的基础。因此,作为一名优秀的土木工程技术人员,除了能熟练进行结构设计或管理施工之外,还必须掌握建筑材料的主要品种、性能及其内在联系,能够根据结构物的技术要求和现场条件正确选用材料,才能使结构物设计合

^① 土是最常用的建筑材料之一,除用于各种地基的填筑之外,在土坯建筑和土坝等结构物中均有应用。有关土的性质已列入“土质学和土力学”课程,本教材不另赘述。

理、施工质量有保证。

二、建筑材料的发展概况

在人类社会漫长的历史中,由于人们建筑活动的需要,建筑材料在种类、用量、功能和技术标准等方面都获得了巨大的发展。

原始人类以伐木为棚和凿石为洞来“建造住房”,所用材料极为简单和粗糙。等级制度的出现,使人们的经济地位发生了分化,不同社会阶层的人对衣、食、住、行条件需求的差异,促进了建筑活动范围的扩展。人类祖先在世界各地的建筑业绩,如中国的长城、故宫,埃及的金字塔,以及在欧、亚大陆建造的古教堂、古寺庙、古桥梁,均显示了古代建筑的辉煌成就。然而,这些建筑物所使用的材料仍多为木、石、砖、瓦,只是其精湛的加工和建造艺术仍令现代人赞叹不已。

直到十九世纪资本主义国家的工业革命兴起之后,建筑材料才逐渐迅速发展。钢材和水泥的问世,才使人类的建筑活动超越出几千年来所受土、木、砖、石的限制。近百年里,由于冶金、化工、机械、电子等方面科学技术的进步,主要建筑材料的生产逐一实现了工业化。与此同时,也逐渐形成了一门独立的学科——材料科学。材料科学是建立在化学、物理学和力学等基础学科的基础上,它不断探求材料内部组织结构及其与材料使用性能的关系,并通过工艺研究,实现建筑材料大规模的工业生产,以适应现代土木建筑向新的高度发展的需要。

在我国古代建筑史上,建筑材料的应用发展也曾有过光辉的历史,“秦砖汉瓦”,大型木结构建筑及鎏金、漆绘等装饰艺术,造型优美的石塔和石拱桥,在材料应用方面也为世界文明作出过贡献。在以后的千百年里,由于历史的原因,我国的建筑业和建筑材料事业长期发展缓慢。到1949年全国解放时,作为主要建筑材料的钢材年产量仅90多万吨,水泥不过300万吨。解放以后,我国才逐步建立起一个初具规模的建筑材料工业体系。新中国成立40多年来,特别是近10年里贯彻党中央的改革开放政策,建筑材料的发展取得了惊人的成就。1987年,我国水泥年产量首次跃于世界首位,达1.8亿吨,1990年更上一层楼,年产水泥超过2亿吨,品种已有60多种;1986年,钢的年产量突破5000万吨,排名世界第4位;其它主要种类的建筑材料,如混凝土、平板玻璃、卫生陶瓷、防水材料等,无论品种、规格和产量都有了很大的发展。在1987年全国第二届新型建筑材料展览会上,就有300多个参展厂家,提供了5000余种新产品,其中有墙体、屋面、防水、装饰装修、隔热保温等各式产品,种类繁多,琳琅满目,标志着我国建筑材料的发展进入了一个新的时期。

根据有关资料分析,建筑材料在今后一个时期发展的趋势是,除了改进生产技术、扩大生产规模和加快发展速度之外,在材料品种及性能方面还具有如下特点:

1. 结构类材料轻质、高强,以尽量减轻结构物自重,提高经济效益。目前,世界各国都在大力发展高强混凝土、加气混凝土、轻骨料混凝土、空心砖、石膏板等材料,以适应高层建筑和大跨度结构物的需要。

2. 装饰材料日新月异。随着各种建筑物标准规格的提高,装饰材料的应用日益广泛,地位也日趋重要。内外墙装饰、天花板及地面的装饰已处于普及阶段。据有关资料报导,一般在豪华的建筑物中,装饰材料的费用要占其所用建筑材料总成本的70%左右,在普通建筑物中,装饰材料的费用也占有一定的比例。

3. 有色金属进入建筑领域。有色金属材料具有成型安装容易和美观防锈的优点,它将随着建筑艺术化的深入人心而大量用作建筑材料。目前在一些发达国家,建筑铝材和铜材已占铝、铜总耗量的14%~21%,预计今后的用量还将继续增加。

4. 大力发展防水保温材料。建筑物的隔热保温,对于节省能耗关系重大。应用防水材料,可保护结构物免受渗漏水的危害,提高使用性能和耐久性。现代建筑对于防水、保温效果提出了更高的要求。

5. 广泛利用固体废料。随着人口的增加、经济规模的扩大,城市生活废料及工农业生产废料逐年增多,世界发达国家从 60 年代起就重视废料的再利用,其中包括矿业废石、冶金矿渣、工业炉渣和粉煤灰、城市垃圾、土木工程废旧材料,以及干果壳、稻草、麦秸等农业有机废料。这些废料大多用于水泥或沥青混合材料、路基和坝体填料、或者加工成墙体砌块和各种板材。固体废料的再利用,对于保护环境和开发资源均有重要的意义,现已成为世界关注的重要课题。

三、本课程的目的、任务和基本要求

本课程是土木类各有关专业的一门技术基础课,主要教学内容为建筑材料的基本理论及几类常用建筑材料的组成成分、技术性质及其检验测试方法、技术标准和应用要求。为了有助于学生掌握各类常用材料的特性,教学内容中简要论述了常用材料的生产原料、生产工艺和材料在使用过程中发生的物理、化学和物理化学性质变化情况,可使学生加深认识材料内部组成及其变化与材料性质的相互联系。通过本门课程的教学,为学生学习专业课程准备必要的有关建筑材料的基本知识,并可为学生今后在生产实践中正确选择和使用建筑材料开拓思路。

根据以上教学目的和任务,对学生学习本门课程应提出如下基本要求:

1. 学习掌握有关建筑材料的一些基本理论,如建筑材料的基本性质、各类胶凝材料的凝结硬化原理、常用建筑材料的组成成分及其对材料技术性质的影响等。理论学习是指导实践的基础,各类材料的性质均由其内部组成状态所决定,材料在使用过程中发生的性质变化,也是由于材料的内部组成受外界因素影响发生变化所致。学好建筑材料的一些基本理论,可以帮助我们深刻认识材料世界,同时也将能指导我们在广阔的生产应用中选用性能优良且经济实惠的建筑材料。

2. 着重掌握常用代表性材料的技术性质及应用要求,同时还应了解不同专业部门颁发的有关技术标准、规范和规程。本教材中主要引用国家标准(GB)和建设部标准(CJ)。对于其它标准,如交通部标准(JT)、冶金部标准(YS)、石油化工部标准(SH)、水利电力部标准(SD)及林业部标准(LB)等仅在必要的场合引用。在不同专业部门的设计、施工技术规范中,对所用建筑材料的技术指标和技术要求可能不同,学生今后在工作中应根据本职工作需要执行和应用所属专业部门的技术标准,以便切实掌握材料的选用、检验、贮运等方面的原则问题。

3. 加强实践环节。《建筑材料》是一门实践性很强的课程,本课程的实践教学环节可以通过以下三个方面的教学工作来实现:

一是上好实验课。要求学生以严谨的科学态度和认真负责的精神进行每一项实验。通过主要项目的实验操作,要求学生掌握材料有关的基本物理量(质量、体积、温度、破坏力等)和基本性质(密度、孔隙率、含水率、强度等)的不同测量方法,培养学生的动手操作能力和数据分析能力。

二是要求学生掌握现场配制材料——水泥混凝土、建筑砂浆、沥青混合料等的配合比设计方法和质量控制方法,以便今后在生产实践中能够根据不同技术要求和现场材料的变化合理配制,生产符合质量要求的产品。

三是创造条件,结合现场或实物参观,或者使用音像教材等方式,使学生对建筑材料的实际使用情况有一些直观的认识,加深对理论知识的理解。

第一章 建筑材料的基本性质

在土木工程的各类结构物中,建筑材料除承受一定荷载的作用外,还受到环境、条件等诸方面的影响。因而,要求建筑材料应具有相应的各项性质,如承重材料要求具有一定的力学性质;经受大气、水、温度、阳光等作用的材料应具备一定的物理性质;装饰材料要求美观大方并具有装饰性;为保证土木工程经久耐用还要求材料具备耐久性。总而言之,必须根据材料在土木工程结构物中的作用、所处的不同部位和环境,使其在性能上满足各项技术要求。本章介绍的是建筑材料通常应具备的基本性质。

第一节 材料的物理性质

一、与质量有关的性质

(一)密度

材料在绝对密实状态下单位体积的干质量称为材料的密度,可按下式计算:

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{实}}} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——密度(g/cm^3);

m ——材料在干燥状态下的质量(g);

$V_{\text{实}}$ ——材料在绝对密实状态下的体积(cm^3)。

通常,除少数材料如金属、玻璃、单体矿物外,大多数建筑材料在自然状态下都是多孔的。如图 1-1 所示。在自然状态下,材料的体积是由材料实体体积、闭口孔隙体积、开口孔隙体积及空隙体积构成。在测定块体有孔材料的密度时,如:砖、石材等,应把材料磨成细粉,干燥后,用李氏比重瓶测定其实体积。材料磨得越细,测得的密度数值就越精确。

(二)表观密度

材料单位表观体积(包括材料实体体积和闭口孔隙体积)的干质量,称为材料的表观密度。如图 1-1,可表示为:

$$\rho_{\text{表}} = \frac{m}{V_{\text{表}}} \quad (1-2)$$

式中 $\rho_{\text{表}}$ ——表观密度(g/cm^3 或 kg/m^3);

m ——材料在干燥状态下的质量(g 或 kg);

$V_{\text{表}}$ ——材料的表观体积,亦即材料实体体积与闭口孔隙体积之和(cm^3 或 m^3)。

在生产上为简便起见,对于散粒材料(如砂、石)往往不采用磨细的方法来求其实体积,而是用排水法计算其体积。此时,开口孔隙全部被水充满,故测得的体积包含了实体体积与闭口孔隙体积在内,过去也曾称表观密度为“视比重”。

(三)体积密度

指块体材料在自然状态下(包括材料实体、闭口孔隙和开口孔隙体积),单位体积的质量,由图 1-1 可知:

$$\rho_{\text{体}} = \frac{m}{V_{\text{实} + \text{闭} + \text{开}}} \quad (1-3)$$

式中 $\rho_{\text{体}}$ ——体积密度(kg/m^3);
 m ——自然状态下的质量(kg);

$V_{\text{实} + \text{闭} + \text{开}}$ ——块体材料实体、闭口孔隙、开口孔隙体积之和(m^3)。

测定体积密度时,如前所述其质量可用天平称量,体积可根据其外形测得材料的外围体积,规则形状可用卡尺直接量测,不规则形状可用蜡封法,采用阿基米德原理求得。体积密度过去也称“容重”。由于材料在自然状态下其孔隙内可能含有水分,故测得的体积密度结果应注明材料的含水情况。未注明材料含水情况的,一般是指气干状态材料的体积密度。对于开口孔隙率很小的材料,体积密度值接近于表观密度。

(四)装填密度

对于散粒材料,如砂、石等,在自然状态下,材料单位体积的质量称为装填密度。这时,体积包括材料实体、颗粒内部孔隙体积、以及空隙体积在内。如图 1-1,装填密度可按下式计算:

$$\rho_{\text{装}} = \frac{m}{V_{\text{总}}} \quad (1-4)$$

式中 $\rho_{\text{装}}$ ——装填密度(kg/m^3);
 m ——材料自然状态下的质量(kg);
 $V_{\text{总}}$ ——材料实体、孔隙体积以及空隙体积之和(m^3)。

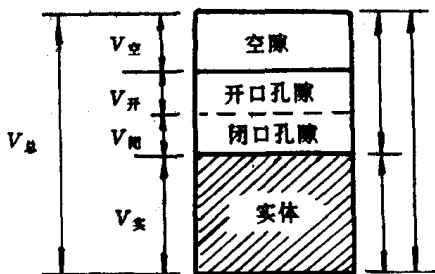


图1-1 材料体积示意图

测定装填密度时,用规定的容积升测定其体积,并在称取质量后,即可求得。当材料含有水分时,将会影响到装填密度值,故测定时,必须注明其含水情况,说明材料是在哪一种状态下的装填密度值。如不进行注明,则是指气干状态下的值。装填密度有时也称“松散容重”、“堆密度”等。由于松散材料在装填进容器时,堆积的紧密程度不同,故有时也根据其装填松紧程度分为“松装密度”和“紧装密度”。

(五)孔隙率与密实度

孔隙率是指在多孔材料内,孔隙体积占实体、孔隙体积的百分率,如图 1-1,对于块体材料而言,可表示为:

$$P = \frac{V_{\text{闭} + \text{开}}}{V_{\text{实} + \text{闭} + \text{开}}} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_{\text{体}}}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-5)$$

孔隙率的大小可直接反映材料的密实程度。材料的孔隙分开口与闭口两种。孔隙率的大小及孔隙特征与材料的强度、吸水性、抗渗性、抗冻性、导热性、吸音性等性能有密切关系。通常,孔隙率较小,其吸水性小,强度较高。增加闭口孔隙,减少开口孔隙,可提高材料的耐久性。具有开放的,互相连通的孔隙越多,材料的吸声性能越好。封闭的,不相连通的孔隙越多,则材料的绝热性能越好。

材料的密实程度也可用密实度来反映。密实度是指固体材料中,固体体积占总体积的百分率。可表示为:

$$D = \frac{V_{\text{实}}}{V_{\text{总}}} \times 100\% = \frac{\rho_{\text{体}}}{\rho} \times 100\% \quad (1-6)$$

密实度与孔隙率的关系为 $D + P = 1$ 。

(六) 空隙率与填充率

对于散粒材料而言,颗粒与颗粒之间的空隙大小可表示为空隙率,按下式求得:

$$P_{\text{空}} = \frac{V_{\text{开+空}}}{V_{\text{总}}} \times 100\% = (1 - \frac{\rho_{\text{装}}}{\rho_{\text{表}}}) \times 100\% \quad (1-7)$$

散粒材料中,固体颗粒体积占总体积的百分率称为填充率,可表示为:

$$D' = \frac{V_{\text{实+固}}}{V_{\text{总}}} \times 100\% = \frac{\rho_{\text{装}}}{\rho_{\text{表}}} \times 100\% \quad (1-8)$$

填充率与空隙率的关系为 $D' + P_{\text{空}} = 1$ 。

表 1-1 与表 1-2 列有几种密度的关系及几种常用材料的密度数据。

二、与水有关的性质

(一) 亲水性与憎水性

材料在与水或空气中的水汽接触后,不同的材料和水的相互作用是不一样的。根据材料与水相互作用的不同可将材料分为亲水性材料与憎水性材料。材料与水接触后,在材料、水和空气三相物质的交界处,沿水滴表面的切线与水与材料接触面所成的夹角 θ 称为润湿角,当润湿角 $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 时,由于水分子之间的相互作用力小于水分子与材料分子之间的吸引力,此时水被材料吸附,这个过程称为润湿,此种材料称为亲水性材料。当润湿角为 $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ 时,由于水分子之间的相互作用力大于水分子与材料分子之间的吸引力,此时材料表面不会被水润湿,此种材料

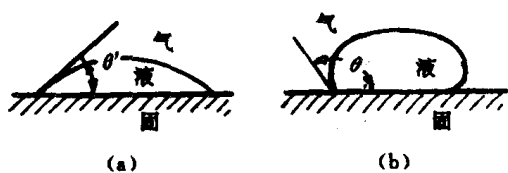


图 1-2 材料的湿润示意图

(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料

则为憎水性材料,如图 1-2。常用建筑材料中的砖、瓦、砂、石、混凝土、木材、玻璃等都是亲水性材料。如果亲水性材料有孔隙,将吸收水分到材料内部。而沥青、石蜡等则为憎水性材料,即使有孔隙,也将阻止水分进入毛细管中,减轻材料的吸水作用。因此,憎水性材料常用作亲水性材料的表面憎水处理。

表 1-1 常用建筑材料密度、表观密度、体积密度和装填密度

材 料	密 度 ρ (g/cm^3)	表观密度 ρ_R (g/cm^3)	体积密度 ρ_H (kg/m^3)	装填密度 ρ_K (kg/m^3)
石 灰 岩	2.60		1800~2600	
花 岗 岩	2.80		2500~2900	
普 通 粘 土 砖	2.50		1600~1800	
粘 土 空 心 砖	2.50		1000~1400	
碎石(石灰岩)		2.60~2.75		1400~1700
砂		2.60~2.65		1450~1650
水 泥	3.10~3.15			1200~1300
普 通 混 凝 土			2100~2600	
轻 骨 料 混 凝 土			800~1900	
木 材	1.55		400~800	
钢 材	7.85		7850	
泡 沫 塑 料			20~50	
水	1.0			
生 石 灰 块			1100	
生 石 灰 粉			1200	

表 1-2 与质量有关的几种密度

名 称	代用名称	代 号	含 意	计 算 式	单 位
密 度	真密度	ρ	材料在绝对密实状态下单位体积的质量	$\rho = \frac{m}{V_{\text{实}}}$	kg/m ³ 或 g/cm ³
表 观 密 度	视比重	ρ_k	包括材料实体体积及闭口孔隙体积在内的单位体积的质量	$\rho_k = \frac{m}{V_{\text{实}} + V_{\text{闭}}}$	g/cm ³ 或 kg/m ³
体 积 密 度	容重、堆密度	$\rho_{\text{体}}$	包括材料实体体积及闭口和开口孔隙在内的单位体积的质量	$\rho_{\text{体}} = \frac{m}{V_{\text{实}} + V_{\text{闭}} + V_{\text{开}}}$	kg/m ³
装 填 密 度	松堆密度、松散容重	$\rho_{\text{装}}$	包括材料实体体积及空隙和孔隙体积在内的单位体积的质量	$\rho_{\text{装}} = \frac{m}{V_{\text{实}} + V_{\text{孔}} + V_{\text{空}}}$	kg/m ³

(二)吸湿性

材料从空气中吸收水分的性质称为吸湿性。吸湿性的大小用含水率表示。

含水率:材料中所含水的质量占干燥材料质量的百分率。可按下式计算:

$$W_{\text{含}} = \frac{m_{\text{含}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中 $W_{\text{含}}$ ——材料的含水率(%);

$m_{\text{含}}$ ——材料含水时的质量(g);

$m_{\text{干}}$ ——材料干燥至恒重时的质量(g)。

材料的含水率随空气中湿度的大小而变化。当材料的含水率与周围空气的湿度达到平衡时,这时的含水率称为平衡含水率。木材的吸湿性特别明显,当它吸收空气中的水分后,将增加容重,降低强度,产生变形。保温材料吸收水分后,将会降低其隔热性能。

(三)吸水性

材料在水中吸收水分的性质称为吸水性。吸水性的大小用吸水率来表示,可按下式计算:

$$W_{\text{吸}} = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中 $W_{\text{吸}}$ ——材料的吸水率(质量吸水率)(%);

$m_{\text{湿}}$ ——材料吸水饱和状态下的质量(g);

$m_{\text{干}}$ ——材料干燥至恒重时的质量(g)。

从式(1-10)可看出,吸水率是材料中所含水的质量与干燥材料质量之比的百分率。所以也称之为质量吸水率。高度多孔材料的吸水率往往较大,甚至超过 100%。吸水率也可用体积吸水率表示,即吸入水的体积占材料自然状态下体积的百分率。

$$W_{\text{体}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{总}}} \quad (1-11)$$

式中 $W_{\text{体}}$ ——体积吸水率(%);

$V_{\text{水}}$ ——材料吸入水的体积(cm³);

$V_{\text{总}}$ ——材料自然状态下的体积(cm³)。

质量吸水率与体积吸水率存在如下关系:

$$W_{\text{体}} = W_{\text{吸}} \cdot \rho_{\text{体}} \quad (1-12)$$

式中 $\rho_{\text{体}}$ ——材料的体积密度(g/cm³ 或 kg/m³); $W_{\text{体}}$, $W_{\text{吸}}$ 的意义同前。

材料的吸水率的大小,首先取决于材料本身的性质,视其是亲水性材料还是憎水性材料;其

次与材料的结构特征有关。对于闭口孔隙,水分很难进入;粗大连通的孔隙,水分虽然容易进入,但不易在孔内存留,吸水率也较低。只有含细微而连通孔隙的材料,吸水率才较大。吸水率增大对材料的基本性质有不良影响,如强度下降、体积膨胀、保温性能降低、抗冻性变差等。

(四)耐水性

材料长期在饱和水的作用下不破坏,强度也不显著降低的性质称为耐水性。一般来说,材料随着含水量的增加,由于材料内部分子间的结合力的减弱,强度都会有不同程度的降低。即使致密的石料也不能完全避免这种影响。如花岗岩长期浸泡在水中,强度将降低 3% 左右,普通粘土砖和木材所受的影响更为明显。材料的耐水性用软化系数 $K_{\text{软}}$ 表示,可按式计算:

$$K_{\text{软}} = \frac{R_{\text{饱}}}{R_{\text{干}}} \quad (1-13)$$

式中 $K_{\text{软}}$ ——材料的软化系数;

$R_{\text{饱}}$ ——材料在浸水饱和状态下的抗压强度(MPa);

$R_{\text{干}}$ ——材料在干燥状态下的抗压强度(MPa)。

$K_{\text{软}}$ 的范围波动在 0(泡软的粘土等)与 1(金属等)之间。 $K_{\text{软}}$ 愈小,表示材料浸水后强度下降得愈多,即耐水性愈差。软化系数的大小,有时成为选择材料的重要依据。通常规定软化系数大于 0.85 的材料,可视为是耐水的。

(五)抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性。材料的抗渗性用渗透系数或抗渗标号来表示。

1. 渗透系数

$$K_{\text{渗}} = \frac{Q \cdot d}{A \cdot t \cdot H} \quad (1-14)$$

式中 $K_{\text{渗}}$ ——渗透系数(cm/h);

Q ——透水量(cm^3);

d ——试件厚度(cm);

A ——透水面积(cm^2);

t ——透水时间(h);

H ——水头差(cm)。

渗透系数反映了材料在单位时间内,在单位水头作用下,通过单位面积及厚度的渗透水量。因此,渗透系数愈大则其抗渗性愈差。

2. 抗渗标号

材料的抗渗性也可用抗渗标号来表示。如混凝土的抗渗性,按标准试件在规定龄期所能承受的最大水压确定(见第五章混凝土部分)。

材料的抗渗性与材料的孔隙率和孔隙特征有关。孔隙很小的、或含闭口孔隙的材料抗渗性较高。对于地下建筑、水中构筑物及防水材料要考虑其抗渗性。

(六)抗冻性

材料在吸水饱和状态下,经多次冻融循环而不破坏,或强度不显著降低的性质称为抗冻性。

材料的抗冻性用抗冻标号 D 表示。如 D_{25} 表示材料能抵抗冻融循环 25 次。

冻融破坏作用主要是由于材料毛细管孔隙内的水结冰而引起的。水在结冰时体积增大 9%,对毛细管孔壁产生可达 100MPa 的压力。在压力反复作用下,使孔壁开裂。材料的冻融过程是由表及里逐层进行的。这样,在材料内外产生明显温度差,由于温度差而引起的温度应力加

速了孔壁的破坏。材料经多次反复冻融,表面将出现剥落、裂纹,产生质量损失,强度也会降低。如果经过规定次数的反复冻融循环后,质量损失不大于 5%,强度降低不超过 25%时,通常认为材料是抗冻的。对于水工建筑,或经常处于水位变化的结构及冬季温度达 -15°C 的地区所用材料,应符合抗冻性要求。测定石料抗冻性的方法,可以采用直接冻融法和硫酸钠坚固性法。

三、与热有关的性质

(一)导热性

材料传导热量的性质称为导热性。材料导热性的大小以导热系数 λ 来表示。

(二)热容量

材料在受热时吸收蓄存热量,冷却时放出热量的性质称为热容量。热容量的大小以比热 C 来表示。几种常用材料的导热系数和热容量如表 1-3 所示。材料的导热系数和热容量对建筑物的隔热和保温具有重要意义。当对结构进行热工计算时,需知道材料的导热系数和比热。

表 1-3 几种材料的导热系数和热容量

材 料 名 称	导 热 系 数 $\lambda(\text{W/m}\cdot\text{k})$	热 容 量 $C(\text{J/kg}\cdot\text{k})$
钢	58	0.48×10^3
花岗岩	2.9	$(0.75 \sim 0.92) \times 10^3$
普通混凝土	1.28~1.51	0.88×10^3
普通粘土砖	0.55~0.81	0.84×10^3
松木(横纹)	0.15~0.17	1.63×10^3
泡沫塑料	0.035	1.30×10^3
冰	2.3	2.05×10^3
水	0.58	4.18×10^3
密闭空气	0.023	1×10^3
沥 青		$(1.465 \sim 1.674) \times 10^3$

第二节 材料的力学性质

一、强度

材料在外力作用下抵抗破坏的能力称为强度。

(一)理论强度

所谓理论强度,即从理论上分析材料所能承受的最大应力。材料理论强度的大小取决于材料内部质点(原子、离子、分子)之间的结合力,理论强度就是材料内部质点间的结合键受外力作用而破断时的最大拉应力或最大剪应力。材料内部质点间的键合力较强时,材料弹性模量值也较大。材料的理论强度可用下式表示:

$$R_m = \sqrt{\frac{E \cdot r}{d}} \quad (1-15)$$

式中 R_m ——理论强度(MPa);

E ——弹性模量(N/m^2);

r ——单位表面能(J/m^2);

d ——原子间的距离(m)。

各种建筑材料的理论强度都是很高的,而实际强度远比理论强度小得多。这是由于材料实际结构存在着许多缺陷和裂纹,理论强度受到限制而不能完全发挥,使得实际强度较小。

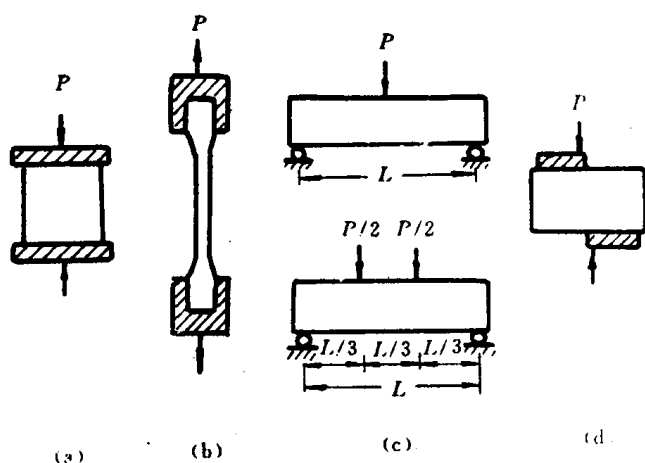


图1-3 材料受力示意图

(a)压力; (b)拉力; (c)弯曲; (d)剪切

(二)强度与强度等级

1. 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,应力也相应加大,直到质点间作用力不再能承受时,材料发生破坏。此时的极限应力值就是材料的强度,通常以 R 表示。根据外力作用方式的不同,材料的强度可分为抗压强度、抗拉强度、抗弯强度及抗剪强度等。如图 1-3。

材料的抗压、抗拉、抗剪强度可按式计算

$$R = \frac{P}{F} \quad (1-16)$$

式中 R ——材料的强度(MPa);

P ——破坏时最大荷载(N);

F ——受力截面面积(mm²)。

材料的抗弯(折)强度,当采用跨中单点加荷时(见图 1-3),按下式计算:

$$R_{\text{弯}} = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (1-17)$$

当采用三分点加荷法时(见图 1-3),按下式计算:

$$R_{\text{弯}} = \frac{Pl}{bh^2} \quad (1-18)$$

式中 $R_{\text{弯}}$ ——抗弯强度(MPa);

P ——弯曲破坏时最大荷载(N);

l ——两支点的间距(mm);

b ——试件横截面的宽(mm);

h ——试件横截面的高(mm)。

2. 强度等级

大部分建筑材料根据其极限强度的大小划分为若干强度等级(或标号)。例如脆性材料(石、混凝土等)以抗压强度来划分强度等级,钢材等韧性材料根据其抗拉极限划分标号。将材料划分为不同等级,对于掌握材料性质,合理选用材料,以及正确进行设计和控制工程质量都是非常必要的。

3. 影响强度的因素

材料的强度主要取决于材料的成分、结构和构造等内在因素。不同化学成分、矿物成分的材料、强度之间相差很多。如水泥,由于其矿物成份的含量不同而强度有很大变化,相同材料,结构、构造不同,其强度也有较大差异。一般孔隙率越大,或体积密度小的材料,强度越低。其次,试验条件对材料的强度试验结果也有很大影响,例如与试件的尺寸及形状、加荷速度、层理方向、试件处理情况等有关。一般情况下,大尺寸的试件比小尺寸试件的实测强度稍低;高试件由于受压面端部嵌固效应的减弱,其强度测定值较矮试件为小;加荷速度较快的比加荷速度慢的强度值偏大;顺层理方向压力的强度值比垂直层理方向压力的强度值偏小。试验时的温度对强度值也有影响;如沥青混合料 20℃ 时强度比 50℃ 时强度要高。因此,材料的强度值是在一定条件下测

定的,必须遵照有关规定进行。

二、变形

材料在外力作用下,改变或破坏了各质点之间原有平衡状态而使质点间产生相对位移,宏观上表现为材料外形的变化,称之为变形。有以下几种变形:

(一)弹性变形

材料在外力作用下产生变形,当去掉外力时,可完全恢复原来的形状,这种性质称为弹性。这种能完全恢复的变形称为弹性变形。产生弹性变形的原因,是因为作用于材料的外力改变了质点间的平衡位置,但此时的外力并未超过质点间的相互作用力。外力所做的功,转变成了材料的内能(弹性能),当外力去掉时,内能做功,恢复了质点间原来的平衡位置,变形消失。

(二)塑性变形

材料在外力作用下产生变形,如果除去外力,仍然保持其变形后的形状和尺寸,并且不产生裂缝,这种性质称为塑性。这种不能恢复的变形称为塑性变形。产生塑性变形的原因,是作用于材料的外力超过了材料质点间的作用力,使材料的部分结构遭到破坏,因而变形不能再恢复。

实际上,单纯的弹性材料是没有的。有的材料在受力不大时表现为弹性变形,当受力超过限度后则表现为塑性变形。建筑钢材就是这种情况。而混凝土在受力后,则弹性变形和塑性变形同时产生。

(三)徐变

固体材料在长期不变的外力作用下,随着时间的延长而逐渐增长的变形,称之为徐变,亦称蠕变。它是不同于塑性变形的一种非弹性变形。产生徐变的原因,是由于材料中某些非晶体物质,在材料内部产生了类似于液体粘性流动。晶体材料的徐变则是由于在剪应力作用下,材料出现晶格的错动或滑移而造成的。

第三节 材料的其它性质

一、化学性质

材料的化学性质包括材料的化学成分、矿物组成及与周围物质进行化学反应或在外界物质影响下保持其组成结构稳定的能力。不同材料对其化学性能的要求是不一样的,所包含的内容也不相同。例如对路面工程中拌制沥青混合料所用的沥青和石料,要求沥青有很好的活性,石料有较大的碱性,使沥青与石料能很好地粘附在一起,形成较大的粘附力而增加其混合料的强度。而对于已硬化的水泥混凝土来说,则要求其能抵抗周围介质的影响,尽量保持其本身的稳定性不被破坏。因而,本书对材料的化学性质将根据具体材料分别在其它有关章节中加以叙述。

二、耐久性

耐久性是指材料在各种自然因素(物理的、化学的及生物的)作用下经久不易破坏,也不失去其原有性能的性质。材料耐久性的好坏说明材料在具体的气候和使用条件下能够保持工作性能的期限。因此,耐久性是一种综合性质。材料的耐久性可根据具体材料的需要做专门试验来检查。对于含孔隙的固体材料,通常情况是以抗冻性来代表,因为含孔隙材料的抗冻性与在其它多种破坏作用下的耐久性(化学浸蚀,浸水软化等)有较为密切的关系。

三、工艺性质

指材料适于按照一定工艺流程加工的性能。例如水泥混凝土在成型前要求有一定的流动性,以便根据工程的需要制作成各种尺寸和不同形状的制品。