

1

第 1 部分

知识讲解

- 绪论
- 单元 1 建筑材料的基本性质
- 单元 2 气硬性胶凝材料
- 单元 3 水泥
- 单元 4 建筑砂浆
- 单元 5 混凝土
- 单元 6 建筑钢材
- 单元 7 墙体材料
- 单元 8 防水材料
- 单元 9 节能环保材料
- 单元 10 工程材料质量控制及验收

绪 论



学习目标

- **知识目标** 掌握建筑材料的定义与分类。
了解建筑材料的发展与作用。
了解建筑材料的技术标准。
- **思政目标** 培养自主学习、团结协作、诚实守信、科学严谨、开拓创新的职业精神。
恪守职业道德,提高职业素养。
传承中华优秀传统文化,树立国家自信、文化自信意识。

0.1 建筑材料的定义与分类

0.1.1 建筑材料的定义

建筑材料是构成建筑工程结构物的各种材料的总称,是建筑工程不可缺少的物质基础。从地基基础、承重构件(如梁、板、桩等),到地面、墙体、屋面等所用的材料都属于建筑材料。常见的建筑材料有水泥、钢筋、木材、混凝土、砌墙砖、石灰、沥青、瓷砖等。实际上,建筑材料远不止这些,其品种达数千种之多。

建筑材料的定义有广义与狭义两种。广义的建筑材料是指建造建筑物和构筑物所有材料,包括使用的各种原材料、半成品、成品等的总称,如黏土、铁矿石、石灰石、生石膏等。狭义的建筑材料是指直接构成建筑物和构筑物实体的材料,如混凝土、水泥、石灰、钢筋、黏土砖、玻璃等。

作为建筑材料必须同时满足以下两个基本要求。

- (1) 满足建筑物和构筑物本身的技术性能要求,保证能正常使用。
- (2) 在使用过程中,能抵御周围环境的影响与有害介质的侵蚀,保证建筑物和构筑物的合理使用寿命,同时不对周围环境产生危害。

0.1.2 建筑材料的分类

1. 按建筑材料的化学组成分类

建筑材料按其化学组成可分为无机材料、有机材料和复合材料。



图片
著名建筑

(1)无机材料。无机材料包括金属材料和非金属材料。金属材料指黑色金属材料(如钢、铁)和有色金属材料(如铝、铜、合金)。非金属材料指天然石材(如大理石、花岗石)、烧土制品(如黏土砖、瓦)、玻璃、无机胶凝材料(如石灰、石膏、水玻璃)和水泥、砂浆、混凝土。

(2)有机材料。有机材料包括植物材料、合成高分子材料和沥青材料。

(3)复合材料。复合材料是由两种或两种以上不同性能的材料,经恰当组合成为一体的材料。复合材料可以克服单一材料的弱点,而发挥其综合的复合特性。通过复合手段,材料的各种性能都可以按照需要进行设计。复合材料包括无机材料基复合材料和有机材料基复合材料。

2. 按建筑材料的使用功能分类

建筑材料按其使用功能可分为结构材料和功能材料。

(1)结构材料。结构材料是指用作承重构件的材料,如建筑物的基础、梁、板、柱等所用的材料。

(2)功能材料。功能材料是指具有某些特殊功能的材料,如起防水作用的材料(防水材料)、起装饰作用的材料(装饰材料)、起保温隔热作用的材料(绝热材料)等。

3. 按建筑物的部位分类

建筑材料按建筑物的部位可分为主体结构材料、屋面材料、地面材料、外墙材料、内墙材料及吊顶材料。

0.2 建筑材料的发展与作用

0.2.1 建筑材料的发展

人类最早穴居巢处,几乎没有建筑材料的概念,后进入石器铁器时代,开始掘土凿石为洞,伐木搭竹为棚,从利用最原始的材料建造最简陋的房屋开始,逐渐使用建筑材料。最早被人类用作建筑材料的有草、木、石、土、冰及兽皮等天然材料。

随着社会生产力的不断发展,人类掌握了烧窑、冶炼技术,便开始生产和使用砖瓦、石灰、三合土、玻璃、青铜、陶瓷等建筑材料,这才有了中国的万里长城、都江堰水利工程以及一些宏伟壮观的塔、寺、楼阁等著名建筑。

18世纪以前,建筑材料发展得非常缓慢,直到19世纪资本主义国家的工业革命兴起之后,建筑材料才得以迅速发展,因此才有了高达300 m的法国巴黎埃菲尔铁塔、主跨长达521 m的英国苏格兰福斯铁路桥、高度达443 m的美国芝加哥西尔斯大厦、高度达420 m的中国上海金茂大厦等著名的高层大跨度建筑。在这些建筑物中,钢材、水泥、钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土是主要的建筑材料。

现代建筑物中常见的建筑材料如图1-0-1所示。

中华人民共和国成立前,我国建筑材料工业的发展十分缓慢,直到1949年,作为主要建筑材料的钢材的全国年产量仅为90多万吨,水泥的全国年产量仅为66万吨。中华人民共和国成立后,建筑材料工业得到了迅速的发展,现在我国的钢材、水泥总产量已跃居世界第一。为了满足现代工程建设的需要,一些具有特殊功能(如保温、防火、隔热、耐火等)的建筑



图文
中国的万里
长城



材料应运而生。我国建筑材料的技术规范标准也在不断地健全和完善,已实现了材料标准化、测试手段现代化,建筑材料工业呈现出蒸蒸日上的景象。

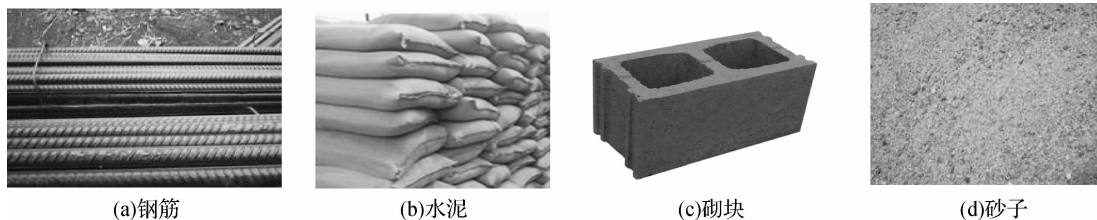


图 1-0-1 常见的建筑材料

随着社会的不断进步和发展,环境保护和节省耗材的需要对建筑材料提出了更多更高的要求。在今后一段时间内,建筑材料将朝以下几个方向发展。

(1)轻质高强。现今钢筋混凝土结构材料的自重大,限制了建筑物向高层、大跨度方向进一步发展。通过减轻材料自重,从而减轻结构物自重,可以提高经济效益。

(2)节约能源。建筑材料的生产能耗和建筑物的使用能耗在国家总能耗中一般占20%~35%,研制和生产低能耗的新型节能建筑材料是构建节约型社会的需要。

(3)智能化。所谓智能化材料,是指材料本身具有自我诊断和预告破坏、自我修复的功能,以及可重复利用性。建筑材料向智能化方向发展,是人类社会向智能化社会转变的需要。

(4)多功能化。利用复合技术生产多功能材料、特殊性能材料及高性能材料,对提高建筑物的使用功能、经济性及加快施工进度等有着十分重要的作用。

(5)绿色化。产品设计以改善生产环境、提高生活质量为宗旨,产品具有多种功能,不仅无损而且有益于人的健康,可循环或回收再利用,或形成不污染环境的废弃物。

总之,应充分利用地方材料,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建筑材料的资源,以保护自然资源和维持生态环境的平衡;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;在健康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。

0.2.2 建筑材料的作用

建筑材料是随着人类社会生产力水平和科学技术水平的提高而逐步发展起来的,是建筑工程的物质基础,它主要有以下几方面的作用。

- (1)保证建筑工程的质量。
- (2)赋予建筑物以时代的特性和风格。
- (3)推动建筑设计理论不断进步和施工技术的革新。
- (4)影响建筑工程的造价和投资。

0.3 建筑材料的技术标准简介

标准是指对重复性事物和概念所做的统一规定,它以科学、技术和实践的综合成果为基础,经有关方面协调一致,由主管部门批准发布,作为共同遵守的准则和依据。建筑材料的

技术标准是针对原材料和产品的质量、规格、检验方法、评定方法、应用技术等做出的技术规定。它是产品生产、工程建设、科学研究以及商品流通领域所需要共同遵守的技术法规。

与建筑材料的生产及选用有关的标准主要有产品标准和工程建设类标准两类。产品标准是为保证建筑材料产品的适用性,对产品必须达到的某些或全部要求所制定的标准,包括品种、规格、技术性能、试验方法、检验规则、包装、运输等内容。工程建设类标准是对工程建设中的勘察、规划、设计、施工、安装、验收等需要协调统一的事项所制定的标准。在结构设计、施工及验收规范中有与建筑材料的选用相关的内容。

标准由标准名称、部门代号、编号和批准年份等组成。例如,《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)中,“通用硅酸盐水泥”为标准名称,“GB”为国家标准的代号,“175”为标准编号,“2007”为标准批准年份。建筑材料的技术标准及其代号见表 1-0-1。

表 1-0-1 建筑材料的技术标准及其代号

标准种类	代 号	表示顺序	示 例
国家标准	GB(国家强制性标准) GB/T(国家推荐性标准) GBJ(建筑工程国家标准)	代号、标准编号、批准年份	《建设用砂》(GB/T 14684—2011)
行业标准 (部分)	JG(建筑行业强制性标准) JC(建材行业强制性标准) YB(黑色冶金行业强制性标准)	代号、标准编号、批准年份	《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52—2006)
地方标准	DB(地方强制性标准) DB/T(地方推荐性标准)	代号、行政区号、标准编号、批准年份	《无线火灾自动报警系统技术规程》(DB21/T 2966—2018)

各个国家均有自己的国家标准,如“ASTM”代表美国国家标准,“JIS”代表日本国家标准,“BS”代表英国国家标准,“DIN”代表德国国家标准等。另外,在世界范围内统一执行的标准称为国际标准,其代号为“ISO”。我国是国际标准化组织成员国,为了便于与世界各国进行科学技术交流,我国各项技术标准都正在向国际标准靠拢。

0.4 本课程的任务和学习方法

0.4.1 本课程的任务

本课程是土建类专业中一门重要的基础课,主要介绍建筑材料的一些基本性质,讲述建筑工程中常用材料的基本组成、性能特点、技术标准及应用,常用建筑材料的试验方法和材料质量的评定方法。本课程是一门理论性和实践性都很强的专业基础课,涉及的知识面较广。在突出建筑材料的性质与应用这一主线的前提下,学习中要特别关注材料的选用、检验、验收和储存等施工中常见问题的解决方法。

根据建筑材料教学的总体要求及课程的特点,对学习本课程提出以下要求。

(1)了解材料的组成,掌握材料的性质及技术要求。



- (2)了解材料的组成及结构对材料性质的影响。
- (3)了解外界因素对材料性质和应用的影响。
- (4)理解材料各主要性质间的相互关系。
- (5)掌握常用建筑材料的试验方法,理解材料试验结果的影响因素。
- (6)掌握常用建筑材料的选用要点和检验标准。
- (7)理解混凝土配合比设计的基本理论,掌握普通混凝土的配合比设计。
- (8)掌握常用建筑材料的国家标准或行业标准。

0.4.2 本课程的学习方法

本课程是进入专业课学习的重要先修课程,其学习方法不同于数学、物理等基础课,其理论推导和复杂的计算很少,而用物理和化学的概念与方法进行的分析较多。建筑材料课程内容繁杂,因此掌握正确的学习方法是至关重要的。在学习过程中要注意以下几点。

(1)点线面结合,突出重点。围绕如何合理地选择材料、正确地使用材料、准确地鉴定材料这个核心,以材料的组成、结构、性能与应用为主线进行学习,重点掌握各种材料的性能与应用,对材料的生产只作一般性的了解。在本课程的学习过程中,应结合现行的技术标准规范,以建筑材料的性能及合理选用为中心,注意事物的本质和内在联系。通过对常用的、有代表性的建筑材料的学习,为在今后工作中了解和应用其他建筑材料打下基础。

(2)善于运用对比法。不同种类的材料具有不同的性质,同类材料的不同品种既有共性又有各自的特性,要抓住代表性建筑材料的一般性质,运用对比的方法掌握其他品种建筑材料的特性。学习中应善于运用对比法找出材料间的共性和各自的特性,对各种材料应注意比较其异同点,包括两种材料的对比及一种材料与多种材料的对比。

(3)理论联系实际。本课程是一门实践性很强的课程,除学习基本理论、基础知识和基本技能外,还应注意结合工程实际进行学习。在学习过程中要多观察身边建筑工程材料的应用情况,了解常用建筑材料的品种、规格、使用情况,验证和补充书本知识。

(4)做好建筑材料试验。建筑材料试验是本课程的重要教学环节。通过试验可以验证所学的基础理论,熟悉材料的检测方法。掌握一定的试验技能,对培养分析和解决问题的能力、试验能力以及严谨的科学态度十分有益,也为后续专业课程的学习以及今后从事建筑类工作打下良好的基础。



思考与练习

1. 建筑材料的广义定义和狭义定义分别是什么?
2. 建筑材料的作用有哪些?
3. 无机材料包括哪些?请举例说明。
4. 试举出六种以上你所在学校教学楼用到的建筑材料及其使用部位。
5. 结合本人情况,谈谈如何学好这门课程。

单元 1

建筑材料的基本性质



学习目标

- **知识目标** 了解材料的组成和结构。
熟悉材料与水、热有关的性质及材料的力学性质和耐久性。
掌握材料的实际密度、表观密度、堆积密度、密实度和孔隙率的概念及计算方法。
- **思政目标** 培养诚实守信、严谨负责、爱岗敬业、遵纪守法的职业精神。
恪守职业道德,提高职业素养。

建筑材料在建筑物的各个部位起到不同的作用,因而要求建筑材料具有不同的性质。例如,用于建筑结构的材料要受到各种外力的作用,因此应具有所需要的力学性能。又如,根据建筑物不同部位的使用要求,有些部位的材料应具有防水、绝热、吸声等性能;对于某些工业建筑,还要求材料具有耐热、耐腐蚀等特殊性能。此外,对于长期暴露在大气中的材料,要求能经受因风吹、日晒、雨淋、冰冻而引起的温度变化、湿度变化及反复冻融等的破坏作用。为了保证建筑物的耐久性,要求在工程设计与施工中正确选择、合理使用材料。因此,必须熟悉和掌握各种材料的基本性质。



图片
建筑功能材料

1.1 材料的组成和结构

1.1.1 材料的组成

材料的组成是决定材料性质的内在因素之一。材料的组成包括材料的化学组成和矿物组成,它和结构是决定材料性质的本质因素。

1. 化学组成

化学组成即化学成分,是指构成材料的化学元素及化合物的种类和数量。无机非金属材料常用组成它的各种氧化物的含量来表示;金属材料常用组成它的各种化学元素的含量来表示;有机材料则常用组成它的各种化合物的含量来表示。化学组成是决定材料的化学性质、物理性质和力学性质的主要因素。



2. 矿物组成

矿物是地壳中存在的自然化合物和少量自然元素,具有相对固定的化学成分和性质。矿物大部分是固态的,如铁矿石,也有小部分是液态的或气态的。无机非金属材料是由各种矿物组成的。材料的化学组成不同,其矿物组成也不同;相同的化学组成,也可组成多种不同的矿物。由矿物组成的不同材料,其性质也不同。

1.1.2 材料的结构

材料的性质与材料内部的结构有着密切的关系。材料的结构是指材料的内部组织情况,可分为宏观结构、显微结构和微观结构。

1. 宏观结构

材料的宏观结构是指用肉眼或放大镜能够分辨的粗大组织,其尺寸在 10^{-3} m(毫米级)以上,如木材的纹理、岩石的层理、混凝土中的裂缝和空隙等。材料的宏观结构可按其特征分为致密结构(如钢材、玻璃等)、多孔结构(如泡沫塑料、加气混凝土等)、纤维结构(如竹材、纤维板等)和层状结构(如胶合板等)。

2. 显微结构

材料的显微结构是指用光学显微镜能够观察到的材料的组成及结构,可分辨的范围为 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ m(微米级),如金属材料的金相组织、混凝土材料的相组成(水泥基相、集料分散相、界面相及孔隙)以及木材的木纤维、导管、髓线等组织。材料的显微特征、数量、分布和界面性质对材料的性能有重要影响。

3. 微观结构

材料的微观结构是原子分子层次的结构,可用电子显微镜或 X 射线衍射仪来分析研究该层次的结构特征,其尺寸范围为 $10^{-6} \sim 10^{-10}$ m。材料的许多物理性质,如强度、硬度、熔点、导热性、导电性等都是由微观结构决定的。材料在微观结构层次上可分为晶体和非晶体。

具有相同组成和微观结构的材料可以被制成宏观结构不同的材料,如玻璃与泡沫玻璃、塑料与泡沫塑料、混凝土与加气混凝土,其性质和用途随宏观结构的不同,差别很大;而宏观构造相似的材料,即便其组成和微观结构不同,也具有某些相同或相似的性能和用途,例如,泡沫塑料、泡沫玻璃、加气混凝土都具有保温隔热的功能。工程上经常采用改变材料的密实度和孔隙结构及应用复合材料等方法改善材料的性能,以满足不同的需要。

1.2 材料的物理性质

1. 材料的三种密度

密度是指物质单位体积的质量,单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 。材料的密度有实际密度、表观密度和堆积密度之分。

1) 实际密度

实际密度(简称密度)是指材料在绝对密实状态下,单位体积所具有的质量,按式(1-1-1)计算。



测试
材料的物理
性质

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

式中, ρ 为实际密度(g/cm^3); m 为材料在干燥状态下的质量(g); V 为材料在绝对密实状态下的体积(cm^3)。

绝对密实状态下的体积是指不包括空隙在内的体积。除了钢材、玻璃等少数接近于绝对密实的材料外,绝大多数材料都存在一些空隙,如砖、石材等块状材料。在测定有空隙的材料密度时,应把材料磨成细粉以排除其内部空隙,经干燥至恒重后,用密度瓶(李氏瓶)测定其实际体积,该体积即可视为材料在绝对密实状态下的体积。材料磨得越细,测定得到的密度值越精确。

2) 表观密度

表观密度是指材料在自然状态下,单位体积所具有的质量,按式(1-1-2)计算。

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-1-2)$$

式中, ρ_0 为表观密度(g/cm^3 或 kg/m^3); m 为材料的质量(g 或 kg); V_0 为材料在自然状态下的体积,或称表观体积(cm^3 或 m^3)。

材料在自然状态下的体积是指材料的实体体积与材料内所含全部空隙的体积之和。对于外形规则的材料,表观体积的测定很简便。对于外形不规则的材料,表观体积要采用排水法测得,但在测定前应先材料表面涂上蜡,以防水分渗入材料内部而影响测定的准确度。

3) 堆积密度

堆积密度是指散粒材料在自然堆积状态下,单位体积所具有的质量,按式(1-1-3)计算。

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-1-3)$$

式中, ρ'_0 为堆积密度(kg/m^3); m 为材料的质量(kg); V'_0 为材料的堆积体积(m^3)。

散粒材料在自然堆积状态下的体积,是指既含颗粒内部的孔隙又含颗粒之间空隙的总体积。测定散粒材料的堆积密度时,材料的质量是指确定容积的容器内的材料质量,其堆积体积是指所用容器的容积。若以捣实体积计算,则称紧密密度。

在土木工程中计算材料用量、构件自重、配料计算以及确定堆放空间时,均需要用到材料的上述状态参数。常用建筑材料的实际密度、表观密度、堆积密度及孔隙率见表 1-1-1。

表 1-1-1 常用建筑材料的实际密度、表观密度、堆积密度及孔隙率

材料名称	实际密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	表观密度/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	堆积密度/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	孔隙率/%
建筑钢材	7.8~7.9	7 850	—	0
普通混凝土	—	2 300~2 500	—	3~20
花岗石	2.7~2.9	2 500~2 800	—	0.5~1.0
石灰岩	2.4~2.6	1 800~2 600	1 400~1 700(碎石)	—
砂	2.5~2.6	—	1 500~1 700	—
黏土	2.5~2.7	—	1 600~1 800	—
水泥	2.8~3.1	—	1 200~1 300	—
烧结普通砖	2.6~2.7	1 600~1 900	—	20~40
烧结空心砖	2.5~2.7	1 000~1 480	—	—
木材	1.55~1.60	400~800	—	55~75



2. 材料的密实度、孔隙率与空隙率

1) 材料的密实度

密实度是指材料的固体物质部分的体积占总体积的比例,按式(1-1-4)计算。密实度用来说明材料体积内被固体物质所充填的程度,即反映了材料的致密程度。

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% \quad (1-1-4)$$

式中, D 为材料的密实度(%); V 为材料在绝对密实状态下的体积(cm^3); V_0 为材料在自然状态下的体积(cm^3); ρ_0 为材料的表观密度(g/cm^3); ρ 为材料的密度(g/cm^3)。

2) 材料的孔隙率

孔隙率是指材料体积内孔隙体积(V_P)占材料总体积(V_0)的百分率,用 P 表示。因 $V_P = V_0 - V$,故 P 值可按式(1-1-5)计算。

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-1-5)$$

式中, P 为材料的孔隙率(%).

孔隙率与密实度的关系如下。

$$P + D = 1 \quad (1-1-6)$$

式(1-1-6)表明,材料的总体积是由该材料的固体物质与其所包含的孔隙组成的。

材料的孔隙按特征可分为开口孔隙和闭口孔隙两种,两者的孔隙率之和等于材料的总孔隙率;按孔隙的尺寸大小又可分为微孔、细孔和大孔三种。不同的孔隙对材料的性能影响各不相同。一般而言,孔隙率较小且连通孔较少的材料,其吸水性较小、强度较高、抗冻性和抗渗性较好。对于工程中需要保温隔热的建筑物或部位,其所用材料的孔隙率要较大;对于要求高强或不透水的建筑物或部位,其所用材料的孔隙率要很小。

3) 材料的空隙率

空隙率是指散粒材料在某容器的堆积体积中,颗粒之间的空隙体积(V_S)占堆积体积的百分率,用 P' 表示。因 $V_S = V'_0 - V$,故 P' 值可按式(1-1-7)计算。

$$P' = \frac{V'_0 - V}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-1-7)$$

3. 材料与水有关的性质

在建筑物的使用过程中,不同部位的材料会与水或空气中的水汽接触,水介质会对材料形成侵蚀,严重时还会降低建筑物的使用功能。因此,了解材料与水有关的性质是十分必要的。

1) 亲水性与憎水性

亲水性是材料能被水润湿的性质。亲水性材料有砖、混凝土等。材料产生亲水性的原因是当其与水接触时,材料与水分子之间的亲和力大于水分子之间的内聚力。当材料与水接触,材料与水分子之间的亲和力小于水分子之间的内聚力时,材料表现为憎水性。憎水性材料有沥青、石油等。

材料被水润湿的情况可用润湿边角来表示。当材料与水接触时,在材料、水、空气三相的交界点处沿水滴表面作切线,此切线与材料和水接触面的夹角 θ ,称为润湿边角,如图1-1-1所示。

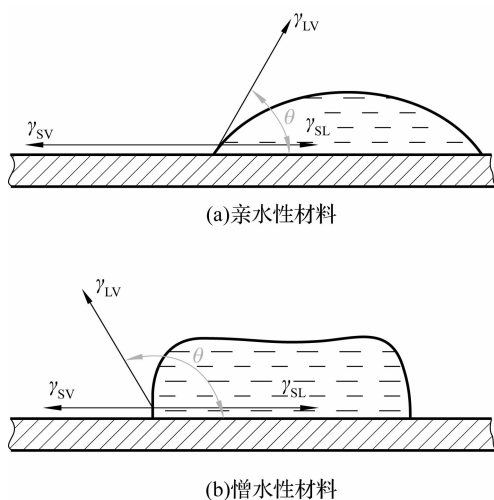


图 1-1-1 材料的润湿示意图

γ_{SV} —固气界面张力； γ_{SL} —固液界面张力； γ_{LV} —液气界面张力

θ 角越小,表明材料越易被水润湿。当 $\theta < 90^\circ$ 时,材料表面吸附水,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,材料表面不吸附水,这种材料称为憎水性材料。当 $\theta = 0^\circ$ 时,表明材料完全被水润湿。

上述概念也适用于其他液体对固体的润湿情况,相应称为亲液材料和憎液材料。

2) 吸水性与吸湿性

(1) 吸水性。材料在水中能吸收水分的性质称为吸水性。材料的吸水性用吸水率来表示,有质量吸水率和体积吸水率两种表示方法。

质量吸水率是指材料在吸水饱和时,其内部所吸水分的质量占材料干燥质量的百分率,按式(1-1-8)计算。

$$W_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-1-8)$$

式中, W_m 为材料的质量吸水率(%)； m_2 为材料在吸水饱和状态下的质量(g)； m_1 为材料在干燥状态下的质量(g)。

体积吸水率是指材料在吸水饱和时,其内部所吸水分的体积占干燥材料自然体积的百分率,按式(1-1-9)计算。

$$W_v = \frac{V_w}{V_0} \times 100\% = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-1-9)$$

式中, W_v 为材料的体积吸水率(%)； V_w 为材料吸入水的体积(cm^3)； V_0 为干燥材料在自然状态下的体积(cm^3)； ρ_w 为水的密度(g/cm^3)。

(2) 吸湿性。材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。潮湿材料在干燥的空气中也会放出水分,称为还湿性。材料的吸湿性用含水率表示。含水率是指材料内部所含水的质量占材料干燥质量的百分率,按式(1-1-10)计算。

$$W_c = \frac{m_c - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-1-10)$$



式中, W_c 为材料的含水率(%); m_c 为材料含水时的质量(g); m_1 为材料干燥至恒重时的质量(g)。

3) 耐水性

材料长期在水作用下不破坏, 强度也不显著降低的性质称为耐水性。材料的耐水性用软化系数表示, 按式(1-1-11)计算。

$$K_s = \frac{f_w}{f} \quad (1-1-11)$$

式中, K_s 为材料的软化系数; f_w 为材料在饱水状态下的抗压强度(MPa); f 为材料在干燥状态下的抗压强度(MPa)。

软化系数的范围为 0~1。软化系数的大小反映了材料浸水后强度降低的程度。 $K_s > 0.80$ 的材料, 通常可认为是耐水材料。

4) 抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性, 或称不透水性。材料的抗渗性通常用渗透系数表示, 按式(1-1-12)计算。渗透系数的物理意义: 一定厚度的材料在一定水压力下, 在单位时间内透过单位面积的水量。

$$K = \frac{Wd}{Ath} \quad (1-1-12)$$

式中, K 为材料的渗透系数(cm/s); W 为透过材料试件的水量(cm^3); d 为试件厚度(cm); A 为透水面积(cm^2); t 为透水时间(s); h 为静水压力水头(cm)。

K 值越大, 表示材料渗透的水量越多, 即抗渗性越差。

混凝土的抗渗性用抗渗等级来表示。抗渗等级是以规定的试件在标准试验方法下所能承受的最大静水压力来确定的, 以符号 P 及其后面的材料所能承受的最大水压力的 10 倍兆帕值划分为 P4、P6、P8、P10、P12 等, 分别表示材料能承受 0.4 MPa、0.6 MPa、0.8 MPa、1.0 MPa、1.2 MPa 的水压而不渗水。材料的抗渗性与其孔隙率和孔隙特征有关。

5) 抗冻性

材料在水饱和状态下能经受多次冻融循环作用而不被破坏, 也不严重降低强度的性质, 称为材料的抗冻性。

材料的抗冻性用抗冻等级来表示。抗冻等级是以规定的试件在规定的试验条件下, 测得其强度降低不超过 25%, 且质量损失不超过 5% 时所能承受的最多的循环次数来表示的。

抗冻等级以符号 F 及其后面的最大冻融循环次数划分为 F25、F50 等。材料抗冻等级的选择要考虑结构物的种类、使用条件、气候条件等因素。

4. 材料与热有关的性质

为了保证建筑物具有良好的室内环境, 同时降低建筑物的使用能耗, 要求建筑物的围护结构材料具有一定的热工性质。建筑材料常用的热工性质有导热性、热容量、耐火性等。

1) 导热性

热量由材料的一面传至另一面的性质, 称为导热性。导热性是材料的一个非常重要的热物理指标, 它是材料传递热量的一种能力。材料的导热能力用导热系数来表示, 按式(1-1-13)计算。导热系数的物理意义: 单位厚度(1 m)的材料, 当两面温差为 1 K 时, 在单位时间(1 s)内通过单位面积(1 m^2)的热量。

$$\lambda = \frac{Qa}{AZ(t_2 - t_1)} \quad (1-1-13)$$

式中, λ 为导热系数 [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]; Q 为传导的热量 (J); a 为材料厚度 (m); A 为传热面积 (m^2); Z 为传热时间 (s); $t_2 - t_1$ 为材料传热时两面的温度差 (K)。

导热系数与热阻都是评定材料保温隔热性能的重要指标。材料的导热系数越小, 热阻值越大, 材料的导热性能就越差, 保温隔热性能就越好。

气候变化的影响会使建筑材料具有一定的湿度。湿度对导热系数有着极其重要的影响。材料受潮后, 其空隙中会产生水分(包括水蒸气和液态水), 而水的导热系数比静态空气的导热系数大 20 倍, 所以材料的导热系数会增大。如果孔隙中的水分冻结成冰, 而冰的导热系数是水的 4 倍, 则材料的导热系数将更大。由于材料受潮或受冻都将严重影响其保温效果, 所以在工程中使用保温材料时应特别注意防潮。

2) 热容量

材料加热时吸收热量, 冷却时放出热量的性质, 称为热容量。热容量的大小用比热表示, 按式(1-1-14)计算。

$$C = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)} \quad (1-1-14)$$

式中, C 为比热 ($\text{J}/\text{g} \cdot \text{K}$); Q 为材料吸收或放出的热量 (J); m 为材料的质量 (g); $t_2 - t_1$ 为材料受热或冷却后的温差 (K)。

比热是反映材料吸热或放热能力大小的物理量。不同材料的比热对保持建筑物内部的温度稳定有很大的意义。比热大的材料能在热流变动或采暖设备供热不均匀的情况下, 缓和室内的温度波动。屋面材料宜选用热容量较大的材料。

3) 耐火性

耐火性指材料在高温或火的作用下, 保持其原来性质而不损伤的性能, 用耐火度表示。工程上用于高温环境的材料和热工设备等都要使用耐火材料。根据耐火度的不同, 材料可分为三大类。

(1) 耐火材料: 耐火度不低于 $1\ 580\ ^\circ\text{C}$ 的材料, 如各类耐火砖等。

(2) 难熔材料: 耐火度为 $1\ 350\ ^\circ\text{C} \sim 1\ 580\ ^\circ\text{C}$ 的材料, 如难熔黏土砖、耐火混凝土等。

(3) 易熔材料: 耐火度低于 $1\ 350\ ^\circ\text{C}$ 的材料, 如普通黏土砖、玻璃等。

1.3 材料的化学性能

材料的化学性能是指材料受到外界条件(温度、压力等)变化的影响, 或与某些侵蚀性介质接触时产生化学反应而引起的材料内部成分、结构和性能改变的现象, 以及材料的化学特征形成的有用功能。

材料的化学性能包括化学稳定性、抗腐蚀性和活性。

1. 化学稳定性

1) 化学稳定性的概念

化学稳定性是指材料在外界温度、压力等条件改变时, 其性能和内部结构等发生变化的现象。这种稳定性与材料自身的成分、结构及特性关系密切。



某些材料即使在封闭条件下也会随环境温度、压力等条件的变化而产生一些相变或内部化学反应,影响其使用性能。这些材料多数是由于合成时所含的较活泼的元素(Fe、S)发生了化学反应,或结构处于不稳定(如缺陷)状态而导致化学性能不稳定,如陶瓷含 Fe 时发黄。

2) 引起化学稳定性变化的原因

材料在使用过程中,在一定的力学条件下,非均质材料内部物质间主要发生固态物质的反应(如固-固、固-气、固-液),反应的共同点是都从界面开始。物质首先扩散到界面,在界面处进行化学反应,生成反应产物层,随着产物层的逐渐扩大,部分产物由界面转移。

反应过程一般包括:扩散(分解反应),生成新化合物(化合反应),化合物晶体长大(新物相),缺陷消除等。该过程是连续的,而且伴随有物理化学性质的变化。

3) 化学稳定性的检测

化学稳定性的检测包括材料的微区分析、材料的谱学研究分析等。例如,用透射电镜进行结构分析(是否存在缺陷、不稳定结构),用 X 射线衍射法进行成分分析(是否含有易氧化、易分解的元素),用红外光谱进行成分分析(是否含有易氧化、易分解的元素),用电子探针进行成分分析(是否含有易氧化、易分解的元素)。

2. 抗腐蚀性和活性

材料在与侵蚀性介质(固、液、气相)接触时,引起内部成分、结构、使用性能变化的反应性能,即抗腐蚀性和活性。

1.4 材料的力学性质

材料的力学性质是指材料在外力作用下变形和抵抗破坏的性质,它是材料最为重要的基本性质。

1. 强度

材料在外力作用下抵抗破坏的能力称为强度。当材料承受外力作用时,在材料内部会相应地产生应力,并且应力随着外力的增大而相应增大,直至材料内部质点间的结合力不足以抵抗所作用的外力时,材料即发生破坏。材料被破坏时,应力达到极限值,这个极限应力值就是材料的强度,也称极限强度。强度的大小是通过试件的破坏试验而测得的。根据外力作用方式的不同,强度分为抗拉强度、抗压强度、抗剪强度、抗弯强度等。

材料的抗拉、抗压、抗剪强度按式(1-1-15)计算。

$$f = \frac{F}{A} \quad (1-1-15)$$

式中, f 为抗拉、抗压、抗剪强度(MPa); F 为材料受拉、受压、受剪破坏时的荷载(N); A 为材料的受力面积(mm^2)。

抗弯强度与试件的几何外形及荷载方式有关。对于矩形截面的条形试件,当其两支点间的跨中作用一集中荷载时,其抗弯强度按式(1-1-16)计算。

$$f_m = \frac{3F_{\max}L}{2bh^2} \quad (1-1-16)$$

式中, f_m 为材料的抗弯强度(MPa); F_{\max} 为弯曲破坏时的最大荷载(N); L 为两支点间的距离(mm); b 、 h 分别为试件横截面的宽度和高度(mm)。

在检测材料的强度时,试件尺寸、施力速度、受力面状态、含水状态和环境温度等因素的影响,都会使检测值产生偏差。为了使试验结果比较准确且具有可比性,国家标准规定了各种材料强度的标准检验方法,在测定材料强度时必须严格按照规定进行。

2. 弹性和塑性

材料在外力作用下产生变形,当外力取消后,材料变形即可消失并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为弹性变形。

材料在外力作用下产生变形,但不被破坏,当外力取消后,材料不能自动恢复到原来形状的性质称为塑性。这种不可恢复的变形称为塑性变形。塑性变形属于永久变形。

工程实际中,完全的弹性材料或完全的塑性材料是不存在的,大多数材料的变形既有弹性变形,也有塑性变形。例如,建筑钢材在受力不大的情况下仅产生弹性变形,但当受力超过一定限度时产生塑性变形。

3. 硬度与耐磨性

硬度是指材料表面抵抗其他物体压入或刻划的能力。金属材料的硬度常用压入法测定,如布氏硬度用压痕单位表面积承受的试验力来表示。陶瓷等材料常用刻划法测定。一般情况下,硬度大的材料,强度高、耐磨性强,但不宜加工。

耐磨性是指材料表面抵抗磨损的能力。材料的耐磨性用磨损率来表示。材料的磨损率越低,表明材料的耐磨性越好。耐磨性与材料的组成结构及强度、硬度有关,一般硬度较高的材料,耐磨性也较好。对于楼地面、楼梯、路面等经常受到磨损作用的部位,在选择材料时应考虑其耐磨性。

1.5 材料的耐久性

1. 耐久性的定义

材料的耐久性是指用于建筑物的材料在环境等多种因素作用下不变质、不破坏,长久保持其使用性能的能力。耐久性是材料的一种综合性质,诸如抗冻性、抗风化性、抗老化性、耐化学腐蚀性等均属耐久性的范围。工程上常用材料抵抗使用环境中主要影响因素的能力来评价材料的耐久性。

2. 影响材料耐久性的因素

影响材料耐久性的内在因素很多,除了材料本身的组成结构、强度等因素外,材料的致密程度、表面状态和孔隙特征对耐久性也有很大影响。一般来说,材料的内在结构密实、强度高、孔隙率小、连通孔隙小、表面致密,则其抵抗环境的能力强,耐久性好。工程上常用提高密实度、改善表面状态和孔隙结构的方法来提高材料的耐久性。此外,材料的强度、抗渗性、耐磨性等也与材料的耐久性有密切关系。

3. 材料受到的破坏作用

材料在建筑物使用过程中长期受到周围环境和各种自然因素的破坏作用,一般可分为物理作用、化学作用、机械作用、生物作用等。不同材料受到的破坏作用及程度不同。例如,钢材因氧化而锈蚀,无机非金属材料常因氧化、风化、碳化、溶蚀、冻融、热应力、干湿交替作



用等而破坏,有机材料多因腐烂、虫蛀、老化而变质。

(1)物理作用包括环境温度、湿度的交替变化,即冷热、干湿、冻融等循环作用。材料在经受这些作用后会出现膨胀、收缩现象,产生内应力。长期的反复作用,会使材料渐遭破坏。

(2)化学作用包括大气和环境水中的酸、碱、盐等溶液或其他有害物质对材料的侵蚀作用,以及日光对材料的作用,使材料产生本质的变化而破坏。

(3)机械作用包括荷载的持续作用或交变荷载所引起的材料的疲劳、冲击、磨损等。

(4)生物作用包括菌类、昆虫等的侵害作用,导致材料发生腐朽、蛀蚀等破坏。

4. 材料耐久性的测定

对材料耐久性最可靠的判断是在使用条件下对其进行长期的观察和测定,但这需要很长时间。近年来多采用快速检验法测定材料耐久性。快速检验法是模拟实际使用条件,在实验室中对材料进行有关的快速试验(主要项目有干湿循环、冻融循环、碳化、加湿与紫外线干燥循环、盐溶液浸渍与干燥循环、化学介质浸渍等),根据试验结果对材料的耐久性做出判定。

5. 提高耐久性的措施

提高材料的耐久性,对保证建筑物的正常使用,减少建筑物使用期间的维修费用,延长建筑物的使用寿命,起着非常重要的作用。对于不同种类的建筑材料,考虑其耐久性应有所侧重。例如,结构材料主要要求材料强度不能显著降低,装饰材料主要要求颜色、光泽等不发生显著的变化,金属材料主要易受电化学腐蚀,硅酸盐类材料常因氧化、热应力、干湿交替作用等而破坏。所以要根据材料自身的特点和所处环境的具体条件,采取相应的措施,确保达到工程要求的耐久性。常用的提高材料耐久性的措施有:减轻介质对材料的破坏作用;提高材料的密实度;对材料进行憎水或防腐处理;在材料表面设置保护层。

在设计选用土木工程材料时,必须考虑材料的耐久性问题。采用耐久性良好的土木工程材料,对节约材料、保证建筑物长期正常使用、减少维修费用、延长建筑物的使用寿命等,均具有十分重要的意义。



思考与练习

1. 什么是材料的实际密度、表观密度和堆积密度? 如何进行计算?
2. 什么是材料的密实度和孔隙率? 两者有什么关系?
3. 某一块状材料的全干质量为 100 g,自然状态下的体积为 40 cm^3 ,绝对密实状态下的体积为 33 cm^3 ,试计算其实际密度、表观密度、密实度和孔隙率。
4. 建筑材料的亲水性和憎水性在建筑工程中有什么实际意义?
5. 材料的质量吸水率和体积吸水率有何不同? 两者存在什么关系? 什么情况下采用体积吸水率或质量吸水率来反映材料的吸水性?
6. 什么是材料的吸水性、吸湿性、耐水性、抗渗性和抗冻性? 各用什么指标表示?
7. 材料的孔隙率与孔隙特征对材料的表观密度、吸水性、吸湿性、抗渗性、抗冻性、强度及保温隔热等性能有何影响?
8. 什么是材料的耐久性? 为什么对材料要有耐久性要求?