

免费提供

★★★ 精品教学资料包

服务热线: 400-615-1233
www.huatengzy.com



建筑材料与检测

高等职业教育土建系列教材
『互联网+』新形态教材

建筑材料与检测

主 编 曹凤霞 郭秀一

哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press



定价: 59.90元

高等职业教育土建系列教材
“互联网+”新形态教材



建筑材料与检测

主 编 曹凤霞 郭秀一
主 审 徐锡权

哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

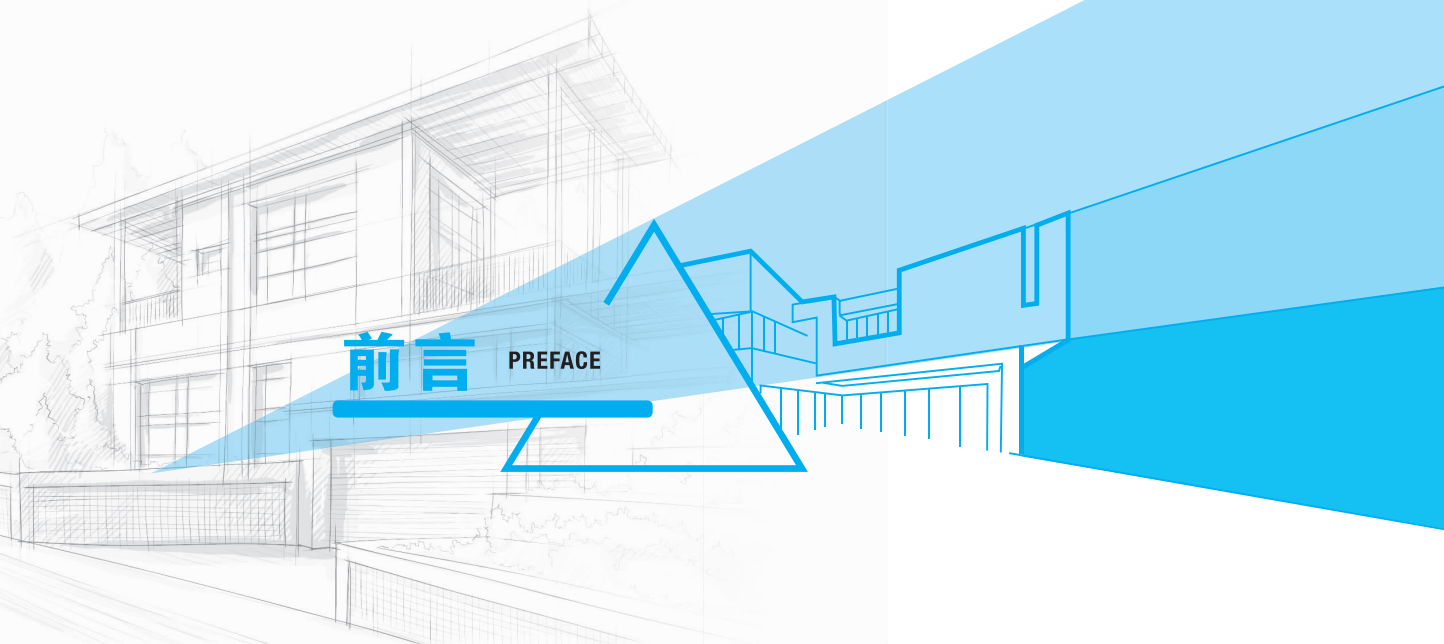
选题策划 苏 莉
责任编辑 苏 莉
封面设计 黄燕美

建筑材料与检测

主 编 曹凤霞 郭秀一
副主编 时俊峰 李逢宝 张 超
谢 辉 刘宗川
主 审 徐锡权



哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press



前言 PREFACE

为了深入贯彻党的二十大精神,落实《关于深化现代职业教育体系建设改革的意见》和《职业院校教材管理办法》的有关要求,深化职业教育“三教改革”,促进高端技术技能型人才的培养,我们编写了本教材。

“建筑材料与检测”是建筑工程类专业的一门重要的专业基础课,主要研究建筑材料的种类、性能及应用。该课程紧密结合施工现场建筑材料见证取样检测和选材用材,具有技术性强、实践性强和综合性强的特点。本教材对接建筑企业施工员、质量员、材料员等职业资格标准,注重行业最新技术发展动态和趋势,引入国家(部)、行业颁布的最新规范和标准,力求反映最新、最先进的技术和知识。

本教材在编写过程中融入了建筑工程技术专业技能考核标准和试题等相关内容,内容体系完整,引导学生进行项目化学习,培养学生分析问题、解决问题的能力。

本教材推荐学时安排如下表所示。

序 号	内 容	学 时	
		理论学时	试验学时
0	绪论	1	0
1	建筑材料的基本性质	2	1
2	气硬性胶凝材料	2	0
3	水泥	8	6
4	混凝土	10	6
5	建筑砂浆	2	2
6	砌体材料	2	2
7	建筑钢材	4	4
8	木材	2	0

续表

序 号	内 容	学 时	
		理论学时	试验学时
9	防水材料	4	2
10	建筑功能材料	2	0
11	建筑装饰材料	2	0
总计(64)		41	23

本教材具有以下特点。

(1)本教材以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,注重立德树人,培养学生吃苦耐劳、精益求精的大国工匠精神,以及诚实守信、质量为本、科学创新的职业道德,激发学生科技报国的家国情怀和使命担当,形成中国特色社会主义绿色发展观。

(2)本教材及时跟进国家、行业新推出的材料检验评定标准,保持教材内容的新颖性和应用时效性。

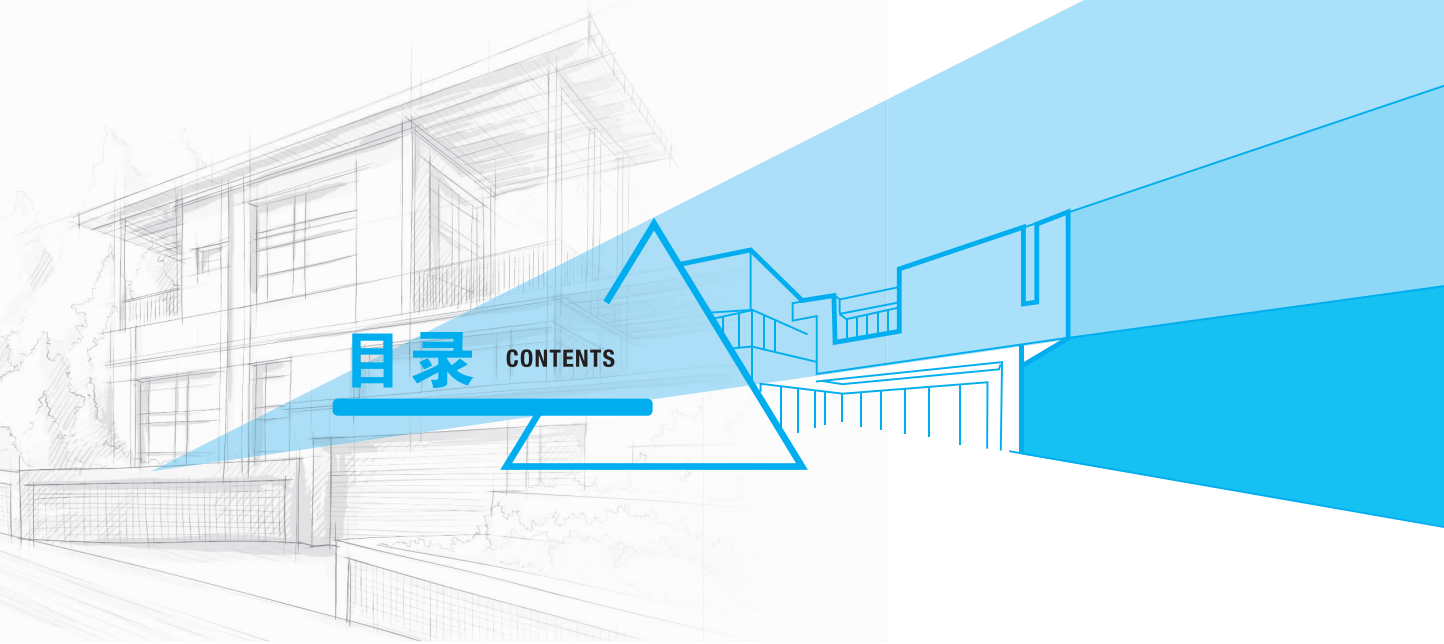
(3)注重学生的能力提升,融入职业资格标准,实现“双证融通”。本教材融入建筑施工企业典型工作岗位——施工员、质量员、材料员的岗位工作标准,提炼知识目标,整合教学内容,有效实现“学历教育”与“岗位资格认证”的“双证融通”。

(4)推动教材配套资源和数字教材的建设,在“智慧职教”平台上建立了在线开放课程,开发了教学视频、微课、动画、教学 PPT 课件、案例库、习题库等多媒体资源,形成了“纸质教材+多媒体平台”的新形态一体化教材,开启了线上线下相结合的教学模式。

本书由莱芜职业技术学院曹凤霞、郭秀一任主编,由莱芜职业技术学院时俊峰、李逢宝、张超,山东公平工程咨询有限责任公司谢辉,达州职业技术学院刘宗川任副主编。具体编写分工如下:绪论和项目 1 由郭秀一编写,项目 2 由刘宗川编写,项目 3~项目 5 由曹凤霞编写,项目 6 和项目 7 由李逢宝编写,项目 8 和项目 9 由时俊峰编写,项目 10 由张超编写,项目 11 由谢辉编写。全书由曹凤霞负责规划与统稿,由日照职业技术学院徐锡权主审。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者



目录 CONTENTS

绪论

1

- 0.1 建筑材料的定义与分类 2
- 0.2 建筑材料在建设工程中的地位 4
- 0.3 建筑材料的发展 5
- 0.4 建筑材料的技术标准 7
- 0.5 “建筑材料与检测”课程的内容、任务和学习方法 9

项目 1

建筑材料的基本性质

11

- 1.1 材料的物理性质 12
- 1.2 材料的力学性质 22
- 1.3 材料的耐久性 24

项目 2

气硬性胶凝材料

28

- 2.1 石灰 29
- 2.2 石膏 34
- 2.3 水玻璃 37
- 2.4 气硬性胶凝材料的性能检测 39

项目 3

水泥

43

- 3.1 硅酸盐水泥 45

3.2	掺混合材料的硅酸盐水泥	51
3.3	其他品种水泥	56
3.4	水泥抽样测试	60

项目 4 混凝土 71

4.1	混凝土概述	73
4.2	普通混凝土的组成材料	74
4.3	混凝土拌合物的技术性质	84
4.4	硬化混凝土的技术性质	89
4.5	混凝土外加剂	96
4.6	普通混凝土的配合比设计	101
4.7	混凝土的质量控制	110
4.8	其他品种混凝土	114
4.9	混凝土性能检测	119

项目 5 建筑砂浆 135

5.1	砌筑砂浆	136
5.2	抹面砂浆	142
5.3	建筑砂浆性能检测	146

项目 6 砌体材料 153

6.1	砌筑石材	155
6.2	砌墙砖	161
6.3	砌块	172
6.4	新型墙体材料	178
6.5	砌墙砖和砌块性质检测	181

项目 7 建筑钢材 191

7.1	钢的冶炼和分类	192
7.2	建筑钢材的主要技术性能	194
7.3	常用建筑钢材及其选用	202
7.4	建筑钢材的锈蚀与防护	211
7.5	钢筋性能检测	213

项目 8	木材	220
8.1	木材的类型及构造	221
8.2	木材的主要性质	224
8.3	木材制品及其防护	226
项目 9	防水材料	231
9.1	沥青	233
9.2	防水卷材	241
9.3	防水涂料	248
9.4	密封材料	250
9.5	沥青性能检测	253
项目 10	建筑功能材料	263
10.1	绝热材料	264
10.2	吸声材料	268
10.3	建筑功能材料的新发展	271
项目 11	建筑装饰材料	274
11.1	建筑装饰材料概述	276
11.2	建筑装饰石材	277
11.3	建筑陶瓷	282
11.4	建筑玻璃	286
11.5	建筑金属装饰材料	292
11.6	建筑涂料	296
11.7	壁纸与墙布	301
11.8	建筑塑料	304
11.9	建筑装饰材料的发展	311
参考文献		315



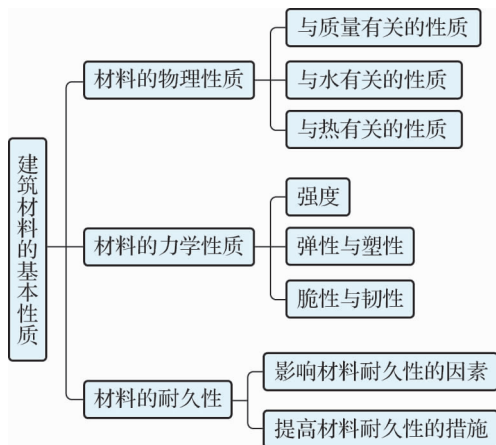
项目 1

建筑材料的基本性质



学习目标

知识目标	(1) 掌握材料的各种物理性能指标的概念、公式及表示方法。 (2) 理解材料的体积组成、材料的孔隙率、孔隙特征对材料性质的影响。 (3) 掌握材料强度的概念、计算公式及影响因素。 (4) 掌握材料的弹性、塑性、脆性和韧性的概念。 (5) 了解材料耐久性的影响因素。
能力目标	(1) 具有对建筑材料的密度、表观密度、吸水率等性能进行检测的能力。 (2) 能够根据材料的特点、技术要求与工程实践需要,合理地选择材料。
素质目标	(1) 培养学生认真负责的工作态度,增强责任担当。 (2) 培养学生诚实守信的个人品质、团结协作的团队意识、精益求精的科学探索精神。



党的二十大报告指出:“必须坚持系统观念。万事万物是相互联系、相互依存的。只有用普遍联系的、全面系统的、发展变化的观点观察事物,才能把握事物发展规律。”各种建筑物都是由不同的材料设计、施工、建造而成的,只有把握好建筑物各部位材料的具体性能,才能真正发挥其功能。不同材料所处的环境、部位、使用功能的要求不同,作用不同,对材料性质的要求也不同,因此,材料必须具备相应的基本性质,如结构材料必须具备良好的力学性能,墙体材料必须具备良好的保温隔热、隔声吸声性能,屋面材料应具备良好的防水抗渗性能,地面材料应具备良好的耐磨性能,等等。

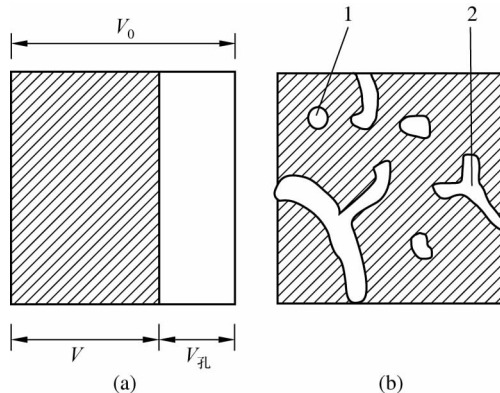
此外,材料的性质是多方面的,建筑材料除应具有相应的力学性质外,还应具备抵抗周围环境介质的物理、化学和生物作用,以及经久耐用的性质。例如,对于长期暴露在大气中的材料,要求能经受风吹、日晒、雨淋、冰冻等温度变化,湿度变化及反复冻融循环所引起的破坏等。因此,应该掌握建筑材料的各种技术性质及其影响因素,根据工程特点及所处环境条件合理选用建筑材料,充分发挥所选建筑材料在建筑物中的作用。

1.1 材料的物理性质

► 1.1.1 与质量有关的性质

1. 材料的体积组成

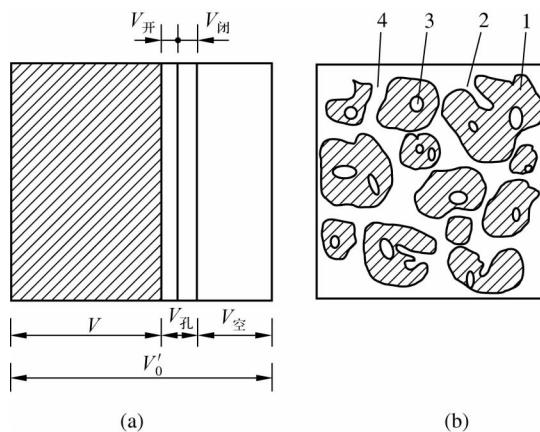
块状材料在自然状态下的总体积(V_0)包括固体物质的体积(V)及其内部孔隙的体积($V_{孔}$),如图 1-1(a)所示。材料内部的孔隙按孔隙特征分为闭口孔隙(不与外界连通)和开口孔隙(与外界连通),如图 1-1(b)所示。



1—闭口孔隙；2—开口孔隙。

图 1-1 块状材料体积构成

散粒材料是指具有一定粒径材料的堆积体,如建筑工程中常用的砂、碎石等。散粒材料的堆积体积(V'_0)包括固体颗粒体积(V)、颗粒的开口孔隙体积($V_{开}$)、颗粒的闭口孔隙体积($V_{闭}$)和固体颗粒之间的空隙体积($V_{空}$),如图 1-2 所示。



1—固体颗粒；2—颗粒的开口孔隙；3—颗粒的闭口孔隙；4—固体颗粒之间的空隙。

图 1-2 散粒材料体积构成

2. 材料的密度、表观密度与堆积密度

(1) 密度。密度是指材料在绝对密实状态下,单位体积的质量,按式(1-1)计算。

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

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

材料在绝对密实状态下的体积是指材料自身内在固体物质所占的不包括孔隙在内的体积,又称密实体积。实际上,完全致密的材料很少,在土木工程材料中,除钢材、玻璃等材料可以近似地直接量取其密实体积外,其他的绝大多数材料或多或少都含有一定的孔隙。在测定有孔隙的材料密度时,应把材料磨成细粉,经干燥至恒重,用排液法测定其密实体积。

(2)表观密度。表观密度是指材料在自然状态下单位体积的质量。按式(1-2)计算。

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

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

材料在自然状态下的体积是指材料的固体物质体积与材料内所含全部孔隙(包括开口孔隙和闭口孔隙)体积之和。对于外观规则的材料,按材料的外形计算其表观体积。对外观形状不规则的材料,要采用排水法求得其表观体积;如果被测材料溶于水或材料的吸水率大于 0.5%,材料表面应预先涂蜡。

在自然状态下,当材料孔隙内含有水分时,其质量和体积均将发生变化,这会影响材料的表观密度,故所测材料的表观密度必须注明其含水状态,如吸水状态(湿表观密度)、烘至恒重(干表观密度)。通常所说的表观密度是指材料在气干状态(长期在空气中的干燥状态)下的表观密度。

(3)堆积密度。堆积密度是指疏松状(小块、颗粒、纤维)材料单位堆积体积的质量。按式(1-3)计算。

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

式中, ρ'_0 为堆积密度(g/cm^3 或 kg/m^3); m 为材料在干燥状态下的质量(g 或 kg); V'_0 为材料在堆积状态下的体积(cm^3 或 m^3)。

材料的堆积体积包括固体颗粒体积、颗粒内部孔隙体积和颗粒之间的空隙体积,用既定容积的容器(容量筒)测量。

在自然状态下堆积的密度为松散堆积密度,在振实、压实状态下堆积的密度为紧密堆积密度。堆积密度的大小与材料的表观密度大小、堆积的紧密程度和材料的含水状态有关。表观密度越大、堆积得越紧密、含水量越大,材料的堆积密度越大。

密度、表观密度、堆积密度是材料的主要物理性质,常用来计算材料的密实度、孔隙率、用量、自重、运输量及堆积空间等。另外,材料的表观密度会影响材料的其他性质,如强度、隔声、导热性等。一般情况下,材料的表观密度越大,则材料的强度越高,隔声效果越好,热导率越高。几种常用材料的密度、表观密度和堆积密度如表 1-1 所示。

表 1-1 几种常用材料的密度、表观密度和堆积密度

材料名称	密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	表观密度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	堆积密度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
砂子	2.50~2.60	—	1 500~1 700
水泥	2.80~3.10	—	1 600~1 800
花岗岩	2.70~3.00	2 500~2 900	—
石灰石	2.48~2.76	2 300~2 700	1 400~1 700
钢材	7.85	7 800~7 850	—
普通玻璃	2.45~2.55	2 450~2 550	—
普通混凝土	—	1 950~2 500	—
红松木	1.55~1.60	400~600	—

续表

材料名称	密度/(g·cm ⁻³)	表观密度/(kg·m ⁻³)	堆积密度/(kg·m ⁻³)
铝合金	2.70~2.90	2 700~2 900	—
粉煤灰(气干)	1.95~2.40	1 600~1 900	550~800
烧结普通砖	2.60~2.70	2 000~2 500	—
烧结多孔砖	2.60~2.70	900~1 450	—
泡沫塑料	—	20~50	—

3. 材料的密实度与孔隙率

(1)密实度。密实度是指材料体积内被固体物质所充实的程度,即材料的固体物质的体积与总体积之比,也可由材料的密度与表观密度计算。

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

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(cm³); V_0 为材料在自然状态下的体积(cm³); ρ_0 为材料的表观密度(g/cm³); ρ 为材料的密度(g/cm³)。

含有孔隙的固体材料的密实度均小于 1。材料的 ρ_0 与 ρ 越接近,即 ρ_0/ρ 越接近 1,材料就越密实。材料的很多性能(如强度、吸水性、耐久性、导热性等)均与密实度有关。

【例 1-1】 普通黏土砖 $\rho_0=1\ 850\text{ kg/m}^3$, $\rho=2\ 500\text{ kg/m}^3$ 。求其密实度。

【解】 $D = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% = \frac{1\ 850}{2\ 500} \times 100\% = 74\%$ 。

(2)孔隙率。孔隙率是指材料体积内孔隙(开口孔隙和闭口孔隙)体积占材料在自然状态下总体积的百分比,按式(1-5)计算。

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

式中, P 为材料的孔隙率(%); $V_{\text{孔}}$ 为材料中孔隙的体积(cm³); ρ_0 为材料的表观密度(g/cm³)。

密实度与孔隙率的关系可用式(1-6)表示。

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

【例 1-2】 求上例中普通黏土砖的孔隙率。

【解】 $P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{1\ 850}{2\ 500}\right) \times 100\% = 26\%$ 。

材料的孔隙率与密实度从两个不同的方面反映了材料的同一性质。通常采用孔隙率这一指标,材料孔隙率的大小表明了材料的密实程度。

材料的许多性质,如吸水性、吸湿性、透水性、吸声性、抗冻性、抗渗性、保温隔热性能等,除与孔隙率的大小有关外,还与孔隙的构造特征有关。材料内部的开口孔隙增多,会使材料的吸水性、吸湿性、透水性、吸声性提高,抗冻性和抗渗性变差;材料内部的闭口孔隙增多,会提高材料的保温隔热性能。

4. 材料的填充率与空隙率

对于松散颗粒状材料,如砂、石等互相填充的疏松致密程度,可用填充率和空隙率表示。

(1)填充率。填充率是指散粒状材料的堆积体积内被颗粒所填充的程度,按式(1-7)计算。



动画
孔隙率

$$D' = \frac{V_0}{V_0'} \times 100\% = \frac{\rho_0'}{\rho_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中, D' 为颗粒状材料在堆积状态下的填充率(%)。

(2) 空隙率。空隙率是指散粒材料的堆积体积内颗粒之间的空隙体积所占的百分数, 以 P' 表示, 按式(1-8)计算。

$$P' = \frac{V_0' - V_0}{V_0'} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0'}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (1-8)$$

散粒状材料的空隙率与填充率的关系为

$$D' + P' = 1 \quad (1-9)$$

空隙率的大小反映了散粒状材料的颗粒之间相互填充的紧密程度。散粒状材料的空隙率越大, 则填充率越小。在配置混凝土时, 砂、石的空隙率是控制集料级配与计算混凝土砂率的重要依据。

► 1.1.2 与水有关的性质

1. 亲水性与憎水性

材料在空气中时, 根据其能否被润湿, 可分为亲水性材料和憎水性材料。

材料的亲水性或憎水性通常用润湿角来划分。在材料、水与空气三相的交点处, 沿水滴表面所引切线与水与材料表面所成的夹角称为润湿角, 常用符号 θ 表示。

当材料在空气中与水接触时, 如果材料分子与水分子间的相互作用力大于水分子间的作用力, 则材料的表面会被水润湿, 此时 $\theta \leq 90^\circ$ [图 1-3(a)], 这种材料称为亲水性材料; 如果材料分子与水分子间的相互作用力小于水分子间的作用力, 则材料不会被水润湿, 此时 $\theta > 90^\circ$ [图 1-3(b)], 这种材料称为憎水性材料。

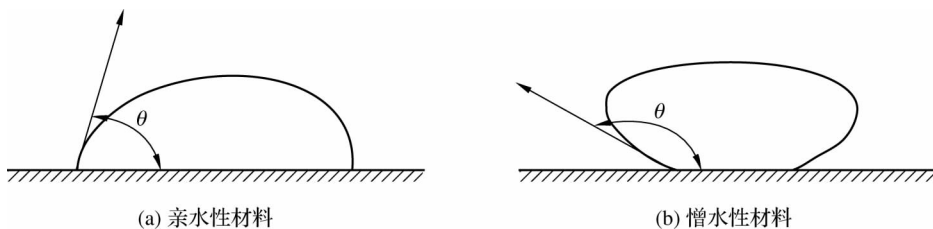


图 1-3 材料的润湿角

亲水性材料易被水润湿, 且水能通过毛细管作用而被吸入材料内部。憎水性材料则能阻止水分深入毛细管中, 从而降低材料的吸水性。大多数建筑材料, 如砖、石、混凝土、木材等都属于亲水性材料, 表面均能被润湿。沥青、石蜡等属于憎水性材料, 表面不能被水润湿。因此, 憎水性材料经常作为防水材料或者作亲水性材料表面的憎水处理用。

2. 吸水性

吸水性是材料在水中能吸收水分的性质。吸水性的可用吸水率表示。吸水率有质量吸水率和体积吸水率两种。

质量吸水率是指材料吸水饱和时, 所吸收水分的质量占材料干燥质量的百分数, 可按式(1-10)计算。



动画
亲水性

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

式中, $W_{\text{质}}$ 为材料的质量吸水率(%); $m_{\text{湿}}$ 为材料吸水饱和状态下的质量(g); $m_{\text{干}}$ 为材料在绝对干燥状态下的质量(g)。

体积吸水率是指材料吸水饱和时,材料体积内被水充实的程度,即材料吸收水分的体积占干燥材料自然体积的百分数,可按式(1-11)计算。

$$W_{\text{体}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_0} \times 100\% = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{V_0} \times \frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中, $W_{\text{体}}$ 为材料的体积吸水率(%); V_0 为干燥材料在自然状态下的体积(cm^3); $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ 为水的密度,常温下取 1 g/cm^3 ; 其他符号含义同前。

质量吸水率与体积吸水率存在如下关系:

$$W_{\text{体}} = W_{\text{质}} \cdot \rho_0 \quad (1-12)$$

材料的吸水率不仅取决于材料的亲水性与憎水性,也与材料的孔隙率和孔隙特征有关。一般来说,孔隙率越大,吸水率越大,但不是全部孔隙都能被水所充满。因为对于封闭的孔隙,水分不易渗入;而对于粗大的孔隙,水分又不易存留,故材料的体积吸水率常小于孔隙率。这类材料常用质量吸水率表示它的吸水性。

对于某些轻质材料,如加气混凝土、软木等,由于具有很多开口而微小的孔隙,所以它们的质量吸水率往往大于 100% ,即湿质量为干质量的几倍。在这种情况下,最好用体积吸水率表示其吸水性。

3. 吸湿性

材料在潮湿的空气中吸收空气中水分的性质称为吸湿性。吸湿性的大小用含水率表示。

含水率是指材料所含水的质量占材料干燥质量的百分数,可按式(1-13)计算。

$$W_{\text{含}} = \frac{m_{\text{含}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1-13)$$

式中, $W_{\text{含}}$ 为材料的含水率(%); $m_{\text{含}}$ 为材料含水时的质量(g); $m_{\text{干}}$ 为材料干燥到恒重时的质量(g)。

材料的含水率的大小除与材料本身的成分、组织构造等因素有关外,还与周围环境的温度、湿度有关。气温越低、相对湿度越大,材料的含水率也就越大。

随着空气湿度大小的变化,材料既能从空气中吸收水分,又能向外界释放水分,当材料中的水分与空气湿度达到平衡时的含水率,就称为平衡含水率。一般情况下,材料的含水率多指平衡含水率。

在空气中,材料中的水分向外散发的性质称为材料的还水性。例如,木门窗制作后如长期处于空气湿度小的环境中,为了与周围湿度平衡,木材便向外散发水分,于是门窗会因其体积收缩而干裂。

建筑材料含水后,其质量增加,导热性增大,强度降低,抗冻性变差,对工程不利,所以对工程中某些部位的材料应该采取有效的防护措施,避免其吸水。

4. 耐水性

材料长期在饱和水作用下不被破坏,其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,软化系数是指材料在吸水饱和状态下的抗压强度与其在干燥状态下的强度的比值,可按式(1-14)计算。

$$K_{\text{软}} = \frac{f_{\text{饱}}}{f_{\text{干}}} \quad (1-14)$$

式中, $K_{\text{软}}$ 为材料的软化系数; $f_{\text{饱}}$ 为材料在吸水饱和状态下的抗压强度(MPa); $f_{\text{干}}$ 为材料在干燥状态下的抗压强度(MPa)。

材料的软化系数为 0~1。一般材料随着含水率的增加,水分会渗入材料颗粒之间的缝隙中,降低颗粒之间的结合力,使材料的强度降低。因此,对于长期处于水中或潮湿环境中的建筑材料,必须考虑其耐水性,其软化系数不宜小于 0.85~0.90;用于受潮较轻或次要结构物的材料,其软化系数不宜小于 0.70~0.85。软化系数值越大,材料的耐水性越好。软化系数大于 0.85 的材料,通常可以认为是耐水的材料。

5. 抗渗性

材料抵抗水、油等液体压力作用渗透的性质称为抗渗性(不透水性)。材料的抗渗性以渗透系数(K)和抗渗等级(P)表示。

渗透系数是指单位厚度的材料在单位水压作用下,单位时间内透过单位面积的水量,按式(1-15)计算。

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-15)$$

式中, K 为渗透系数(cm/h); Q 为渗透水量(cm^3); d 为材料的厚度(cm); A 为透水面积(cm^2); t 为透水时间(h); H 为材料两侧的水压差(cm)。

材料的渗透系数越小,说明材料的抗渗性越强。一些防水材料的防水性常用渗透系数来表示。材料的抗渗性主要与材料的孔隙率及孔隙特征有关。

抗渗等级是指用标准方法进行透水试验时,材料标准试件在透水前所能承受的最大水压力。用字母 P 及可承受的水压力(以 0.1 MPa 为单位)来表示抗渗等级。

$$P = 10p - 1 \quad (1-16)$$

式中, P 为抗渗等级; p 为开始渗水前的最大水压力(MPa)。

例如, $P_4, P_6, P_8, P_{10}, \dots$ 表示试件能承受 0.4 MPa, 0.6 MPa, 0.8 MPa, 1.0 MPa, $\dots$ 的水压而不渗透。可见抗渗等级越高,抗渗性越好。

材料的抗渗性与材料的亲水性、孔隙率及孔隙特征有关。绝对密实材料或具有封闭孔隙的材料,具有较高的抗渗性。通常,混凝土的抗渗性用抗渗等级来表示。材料的抗渗性对地下建筑物、水工构筑物的影响较大。

6. 抗冻性

材料在吸水饱和状态下,经多次冻结和融化作用(冻融循环)而不被破坏,同时也不严重降低强度的性质称为抗冻性。

材料的抗冻性以抗冻等级(F)表示。抗冻等级是将规定的标准试件在标准试验条件下浸水饱和,在 -15°C 温度条件下冻结后,在室温的水中融化,质量损失不大于 5%,强度降低不超过 25% 所能承受的最大的冻融循环次数。例如, F_{10} 表示在标准试验条件下,材料质量损失不大于 5%,强度降低不超过 25%,所能承受的冻融循环次数最多为 10 次。抗冻等级越高,表示材料可以经受的冻融循环次数越多,抗冻性越好,耐久性越好。

材料经多次冻融交替作用后,表面出现剥落、裂纹,产生质量损失,强度也会降低。冰冻的破坏作用是由材料孔隙内的水分结冰引起的。水在结冰时体积约增大9%,对孔壁产生很大的压力,在压力的反复作用下,孔壁开裂。材料的冻融过程是由表及里逐层进行的,因此在材料内外产生明显的温度差。冻融温差所引起的温度应力加速了孔壁的破坏。此外,材料冻融循环的破坏作用还与连通孔隙被水充满的程度有关,因而冻融循环次数越多,对材料的破坏也越严重,材料表面产生脱屑剥落和裂纹,会使强度逐步降低。

水工建筑或经常处于变化水位的结构会交替受到水的饱和冻融作用,尤其是在冬季气温达 -15°C 的地区,因此一定要对所使用的材料进行抗冻性检验。材料的抗冻性与材料本身的组织构造、强度、吸水性、耐水性等因素有关。

► 1.1.3 与热有关的性质

1. 导热性

热量由材料的一面传到另一面的性质,称为导热性。导热性是材料的一个非常重要的热物理指标,它说明材料传递热量的一种能力。材料的导热能力用导热系数(λ)来表示。在物理意义上,导热系数为单位厚度(1 m)的材料,当两侧温度差为1 K时,在单位时间(1 s)内通过单位面积(1 m^2)的热量。

导热系数按式(1-17)计算。

$$\lambda = \frac{Q\delta}{At(T_2 - T_1)} \quad (1-17)$$

式中, λ 为导热系数 $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$; Q 为传导热量(J); δ 为材料厚度(m); A 为传热面积(m^2); t 为传热时间(h); $T_2 - T_1$ 为材料传热时两面的温度差(K)。

λ 值越小,材料的绝热性能越好。

各种建筑材料的导热系数差别较大,如泡沫塑料的 $\lambda = 0.035\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,而大理石的 $\lambda = 3.5\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

材料的导热系数主要与材料结构及其化学成分、表观密度(包括材料的孔隙率、孔洞的性质和大小等),以及材料的温度、湿度有关。

大多数的材料是由固体物质和其间的气孔组成的。例如,轻集料混凝土的总孔隙率为30%~60%,而40%~70%由固体物质组成。所以,材料的表观密度取决于孔隙率。当材料的密度一定时,孔隙率越大,则表观密度越小,导热系数也就越小。反之,材料的导热系数随着表观密度的增大而增大。这是因为材料的导热系数是由材料固体物质的导热系数和材料气孔中空气的导热系数决定的。空气在静态状况下, 0°C 时的导热系数为 $0.023\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,与材料的固体物质的导热系数相差悬殊。由于空气的导热系数很小,因此表观密度小的材料的导热系数也小。

由于材料中存在着气孔,因此材料中的传热方式不单纯是导热,同时还存在着孔隙中气体的对流传热和孔壁之间的辐射传热。随着材料气孔尺寸的增大,孔内气体对流和孔壁之间的辐射换热量会增加,材料的导热系数也会明显增大。因此,在生产表观密度小、孔隙多的材料(如加气混凝土、泡沫玻璃等)时,应从工艺上保证孔隙率大、气孔尺寸小,这是改善材料热物理性能的重要途径。

材料的导热系数还与湿度、温度有关。由于受气候、施工水分和使用的影响,建筑材料

都含有一定的湿度。湿度对导热系数有着极其重要的影响。材料受潮后,在材料的孔隙中有水分(包括蒸汽水和液态水)。而水的导热系数为 $\lambda=0.58\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,比静态空气的导热系数 $\lambda=0.023\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 大 20 多倍,所以使材料导热系数增大。如果孔隙中的水分冻结成冰,而冰的导热系数 $\lambda=2.33\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 约是水的 4 倍,则材料的导热系数将更大。

材料受潮或受冻将严重影响其保温效果,所以工程中对保温材料应特别注意防潮。

2. 热容量

材料被加热时吸收热量,冷却时放出热量的性质,称为热容。热容的大小用比热容(简称比热)表示。比热是指单位质量材料温度升高 1 K 时所吸收的热量或降低 1 K 时所放出的热量,用 C 表示,按式(1-18)计算。

$$C=\frac{Q}{m(T_2-T_1)} \quad (1-18)$$

式中, C 为材料的比热 $[\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})]$; 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 为材料受热或冷却前后的温差(K)。

比热容是反映材料的吸热或放热能力大小的物理量。不同材料的比热容不同,即使是同一种材料,由于所处状态不同,比热容也不同。例如,水的比热容为 $4.186\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$,而结冰后的比热容为 $2.093\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ 。

材料的比热容对保持建筑物内部温度的稳定有很大意义。比热容大的材料能在热流变动或采暖设备供热不均匀的情况下,缓和室内温度的变动。常用建筑材料的导热系数与比热容如表 1-2 所示。



动画
比热容

表 1-2 常用建筑材料的导热系数与比热容

材料名称	导热系数 $[\text{W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}]$	比热容 $[\text{J}\cdot(\text{g}\cdot\text{K})^{-1}]$	材料名称	导热系数 $[\text{W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}]$	比热容 $[\text{J}\cdot(\text{g}\cdot\text{K})^{-1}]$
建筑钢材	58	0.48	黏土空心砖	0.64	0.92
花岗岩	3.49	0.92	松木	0.17~0.35	2.51
普通混凝土	1.28	0.88	泡沫塑料	0.03	1.30
水泥砂浆	0.93	0.84	冰	2.20	2.09
白灰砂浆	0.81	0.84	水	0.60	4.19
普通黏土砖	0.81	0.84	静止空气	0.025	1.00

3. 耐燃性与耐火性

(1)耐燃性。耐燃性是指材料在火焰或高温作用下可否燃烧以及燃烧的难易程度的性质。耐燃性是影响建筑物防火、结构耐火等级的重要因素。我国相关规范把材料按耐燃性分为非燃烧材料(如钢铁、砖、石等)、难燃材料(如纸面石膏板、水泥刨花板等)和可燃材料(如木材、竹材等)。在建筑物的不同部位,根据其使用特点和重要性可选择不同耐燃性的材料。

(2)耐火性。耐火性是材料在火焰和高温作用下,保持其不破坏、性能不明显下降的能力。材料的耐火性用耐火极限表示。耐火极限是在标准耐火试验条件下,材料从受到火的作用时起,至失去承载能力、完整性被破坏或失去隔火作用时所用时间(用 h 表示)。

要注意耐燃性和耐火性概念的区别,耐燃的材料不一定耐火,耐火的一般都耐燃。例如,钢材是非燃烧材料,但其耐火极限仅有 0.25 h,故钢材虽为重要的建筑结构材料,但其耐火性却较差,使用时须进行特殊的耐火处理。

思政课堂

思政目标:加强学生从内容与形式相统一、质与量相统一的辩证思维角度理解事物的内在结构及其体现的相应特征,引导学生理解创新精神和探索科学的精神,提升学生产生新思想、发现和创造新事物的创造力。

请阅读下面一段材料:提起钻石,你可能会想到光彩夺目、闪烁耀眼的精美饰品,以及它高昂的价格;提起石墨,你可能会想到黑乎乎、滑腻腻的碳棒。纯净的金刚石是无色透明、正八面体形状的固体;石墨是一种深灰色有金属光泽而不透明的细鳞片状固体。石墨很软,在纸上画过可留下痕迹,有滑腻感。金刚石和石墨的“形”或“性”有着天壤之别,但它们具有相同的“质”,它们是一对“孪生”兄弟,都由碳元素组成,被称为同素异形体。图 1-4 和图 1-5 分别为金刚石的结构模型和石墨的结构模型。

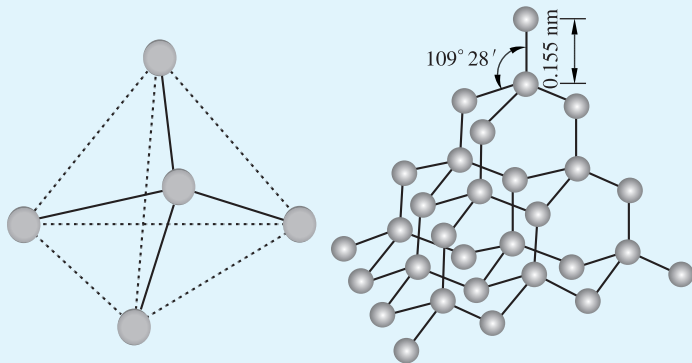


图 1-4 金刚石的结构模型

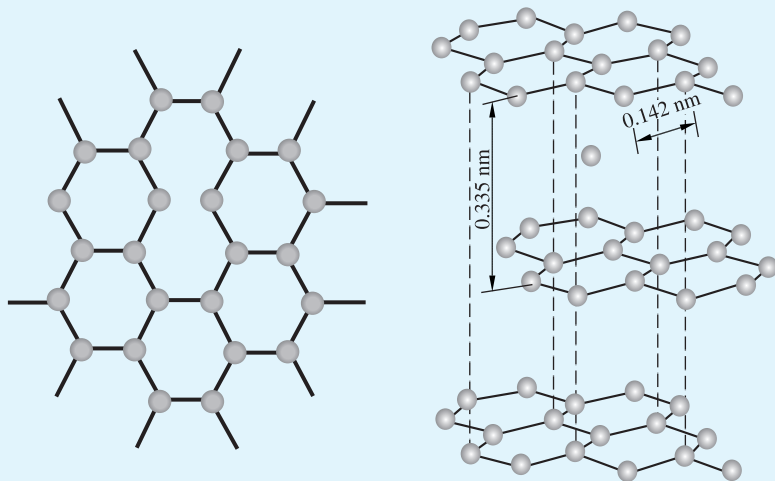


图 1-5 石墨的结构模型

同学们可以说一说金刚石和石墨各有什么特性吗?通过金刚石和石墨的结构模型,同学们可以说出为什么这两者都由碳元素组成,但性能却有天壤之别吗?这告诉我们一个什么道理?

1.2 材料的力学性质

材料的力学性质是指材料在外力(荷载)作用下抵抗破坏的能力和变形的有关性质。

► 1.2.1 强度

材料在外力(荷载)作用下抵抗破坏的能力,称为强度。建筑物材料所受的外力,主要有拉力、压力、弯曲及剪力等。材料抵抗这些外力破坏的能力,分别称为抗拉、抗压、抗弯和抗剪等强度。材料承受各种外力如图 1-6 所示。

材料抗拉、抗压、抗剪强度可按式(1-19)计算。

$$f = \frac{F}{A} \quad (1-19)$$

式中, f 为抗拉、抗压、抗剪强度(MPa); F 为材料受拉、压、剪破坏时的荷载



动画
强度

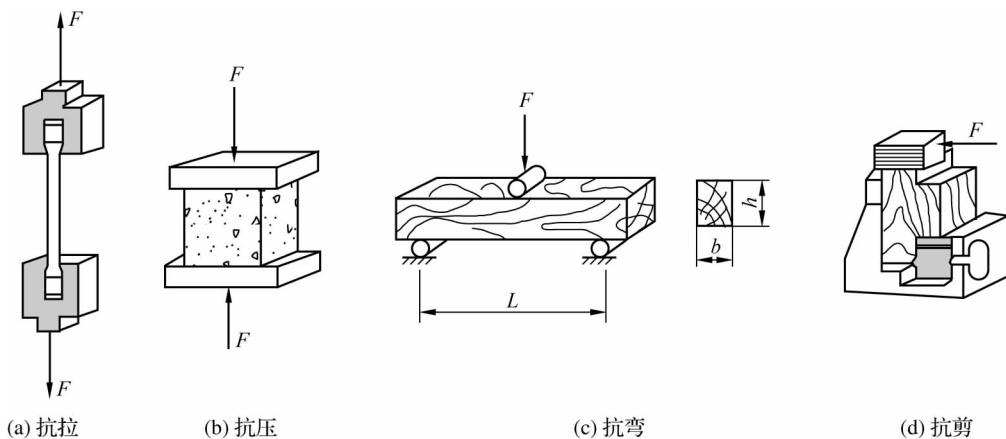


图 1-6 材料承受各种外力

(N); A 为材料的受力面积(mm^2)。

材料的抗弯强度与材料的受力情况有关。试验时将试件放在两支点上,中间作用一集中荷载,对矩形截面试件,抗弯强度可按式(1-20)计算。

$$f_m = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (1-20)$$

式中, f_m 为抗弯强度(MPa); F 为材料受弯破坏时的荷载(N); L 为两支点间的距离(mm); b 、 h 为材料截面宽度、高度(mm)。

材料的强度与它的成分、构造有关。不同种类的材料,有不同抵抗外力的能力。同一种材料的孔隙率及构造特征不同,强度也有较大差异。一般情况下,表观密度越小,孔隙率越大;越疏松的材料,强度越低。

强度是材料的主要技术性能之一。不同材料或同种材料的强度,可按规定的标准试验

方法通过试验确定。材料可根据强度值的大小划分为若干标号或等级。

► 1.2.2 弹性与塑性

材料在外力作用下产生变形,当取消外力后,能够完全恢复原来形状的性质称为弹性。能够完全恢复的变形,称为弹性变形(又称瞬时变形)。材料在外力作用下产生变形,当取消外力后,仍保持变形后的形状和尺寸,并且不产生裂缝的性质称为塑性。这种不能恢复的变形,称为塑性变形(又称永久变形)。

材料的弹性变形与塑性变形曲线如图 1-7 所示, OA 段为弹性变形, AB 段为塑性变形。应该指出,单纯的弹性材料是没有的。有的材料在荷载不太大的情况下,外力与变形成正比,产生弹性变形;当荷载超过一定限度后出现塑性变形,常用建筑钢材(软钢)就属于这种情况。也有的材料在受力后,弹性变形与塑性变形同时产生,如图 1-8 所示,去掉荷载后,弹性变形(ab 段)可以恢复,而其塑性变形(Ob 段)则不能恢复,混凝土材料受力后的变形就属于这种情况。



动画
塑性变形

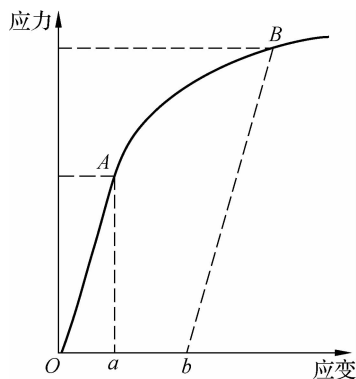


图 1-7 材料的弹性与塑性变形曲线

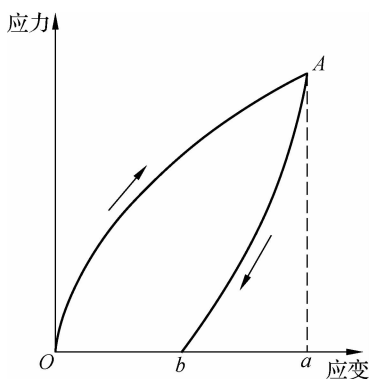


图 1-8 材料的弹塑性变形曲线

材料的弹性与塑性除与材料本身的成分有关外,还与外界条件有关。例如,材料在一定温度和一定外力条件下发生弹性变形,但当条件改变时,也可能发生塑性变形。

► 1.2.3 脆性与韧性

当外力达到一定限度后,材料突然被破坏,而破坏时并无明显的塑性变形,材料的这种性质称为脆性。其特点是材料在外力作用下,达到破坏荷载时的变形值是很小的。脆性材料的抗压强度比其抗拉强度往往要高很多倍。它对承受震动作用和抵抗冲击荷载是不利的。砖、石材、陶瓷、玻璃、混凝土、铸铁等都属于脆性材料。

在冲击、震动荷载作用下,材料能够吸收较大的能量,同时也能产生一定的变形而不致破坏的性质称为韧性。材料的韧性是用冲击试验来检验的。建筑钢材(软钢)、木材等属于韧性材料。路面、桥梁、吊车梁以及有抗震要求的结构都要考虑材料的韧性。

思政目标:培养学生马克思主义的辩证思维,明白“鱼和熊掌不可兼得”的价值理念,培养学生科学创新的职业素养。

请阅读下面一段材料:屈强比是指材料的屈服点(屈服强度)与抗拉强度的比值,屈强比太高,则结构为脆性破坏。脆性破坏在土木工程中是严禁的,因为破坏时结构没有明显的变形产生,难以预防。受到地震力时,钢材首先达到屈服强度且强度不断发展,结构产生变形,这个变形肉眼可见,结构破坏的先兆出现,人们得以提前发现并预防。屈强比越大,机械零件可靠性越高(考虑节约材料,减轻质量)。屈强比可以看作衡量钢材强度储备的一个系数。屈强比取值越小,其结构的安全可靠程度越高;但屈强比过小,又说明钢材强度的利用率偏低,造成钢材浪费。

同学们知道国家体育场(鸟巢)采用的钢材是什么钢吗?是什么样的性能使得它可以成为支撑最大跨度达 343 m 的鸟巢的骨架?

1.3 材料的耐久性

耐久性是指材料在长期使用过程中,能抵抗周围各种介质的侵蚀而不被破坏,并能保持原有性能的性质。

► 1.3.1 影响材料耐久性的因素

耐久性是一项综合指标,包括强度、抗冻性、抗渗性、抗风化性、抗老化性、耐化学腐蚀性、大气稳定性等,因此无法用一个统一的指标去衡量所有材料的耐久性。材料在实际使用中,除受到各种外力的作用外,还会受到周边环境和各种自然因素的作用,这些作用具体包括以下几个方面。

(1)物理作用:包括湿度、温度的循环变化作用。材料受到这些作用后将发生体积膨胀或收缩,反复作用下还会使材料的性质发生改变。

(2)化学作用:包括大气和环境中的酸、碱、盐等溶液,以及光照和紫外线等对材料的破坏作用。

(3)生物作用:包括各类细菌和虫类对材料的破坏作用。

(4)机械作用:包括持续荷载或者交变荷载对材料产生的冲击、磨损等破坏作用。

因而,材料的耐久性实际上是衡量材料在上述多种作用下能保持原有性能,从而保证建筑物安全正常使用的性质。材料的品质不同,耐久性的内容和指标也不同。

一般矿物质材料(如石材、砖、瓦、陶瓷、混凝土等)暴露在大气中时,主要受到大气的物理作用;当材料处于水位变化区域的水中时,会受到环境水的化学侵蚀作用。金属材料在大气中易锈蚀。沥青及高分子材料在阳光、空气及辐射的作用下会逐渐老化、变质而被破坏。



动画
耐久性

► 1.3.2 提高材料耐久性的措施

为提高材料的耐久性,根据结构特点、使用环境和材料特点,综合分析影响材料耐久性的原因,通常可采取以下措施。

- (1) 根据使用环境选择耐久性较好的材料。
- (2) 采取各种方法尽可能降低材料的孔隙率。
- (3) 改善材料的孔隙结构。
- (4) 对材料表面进行处理以增强材料抵抗环境作用的能力。



思政课堂

思政目标:紧紧围绕坚持和发展中国特色社会主义,围绕实现中华民族伟大复兴梦想,弘扬爱国主义。培养学生乐于奉献、踏实勤奋、吃苦耐劳、精益求精、实践创新的工匠精神。帮助学生树立自信,学会悦纳自我,形成新的责任担当。

请阅读下面一段材料:2022年6月5日10时44分,在酒泉卫星发射中心,一道白光刺破蓝天,神舟十四号载人飞船惊艳出征。从神舟一号到神舟十四号,短短二十余年,凭借航天人的不懈拼搏,我国航天事业从无到有,不断剑指星河,向着星辰大海进发,创造着一个又一个中国奇迹。

神舟系宇宙飞船是完全由我国自行研制,具有自主知识产权的载人天地往返运输器。

飞船的轨道舱壳体结构、蒙皮、返回舱侧壁金属壳体、座椅金属结构、轻便贮水器支架、上行载荷物品柜板等关键部位均采用了大量的“高精尖”铝合金板材、锻件、型材、管材。这种铝合金具有质量轻、超塑性、超韧性和超强耐腐蚀的特点。

而飞船所披的舱体表层“铠甲”——低密度烧蚀涂层材料,就是历代材料人不断攻坚克难取得突破的材料典范。是以蜂窝增强、低密度树脂基材料体系为代表的烧蚀涂层材料。其中,H88和H96材料是以玻璃钢蜂窝格子作为支撑,苯基硅橡胶为树脂基体,物理共混的方式掺杂石英短纤维、酚醛微球等轻质功能填料,通过整体成型工艺快速填充到玻璃钢蜂窝格子中的,整个成型过程不会超过8h。在解决太空轨道环境中频繁交替的极端温差问题上,以热辐射为核心,研制出低吸收-低发射型热控涂层关键技术。

低吸收是指涂层材料自身具有较低的太阳光吸收特性,可有效减弱太阳辐照导致的温度升高;低发射是指涂层具有较低的红外发射率,可有效阻隔飞船内部向外部深冷环境的辐射漏热,避免舱内温度不断降低。

当返回舱以23倍音速穿越大气层时,剧烈摩擦产生的高温将舷窗外烧得一片通红。

随着红白碎片不停地滑过,低密度烧蚀涂层通过不断分解、抗化、升华等一系列的吸热反应,带走舱体表面的大量热量,使舱内温度始终控制在30℃以内,为航天员顺利返回地球提供最大程度的保障。

(1) 请同学们表述一下新时代历史方位中神舟系宇宙飞船成功发射的意义。

(2) 神舟系宇宙飞船的成功发射与无数科学家背后默默的无私奉献是分不开的,这与飞船低密度烧蚀涂层的烧蚀过程有什么相似之处吗?

(3) 同学们可以看到不同部位不同环境使用材料的特性是有所区别的,那么每位同学可以说一下自己个人有什么特点吗?



复习思考题

1. 名词解释

- (1) 材料的空隙率。
- (2) 堆积密度。
- (3) 材料的强度。
- (4) 材料的耐久性。
- (5) 抗冻性。
- (6) 抗渗性。

2. 填空题

- (1) 材料的吸湿性是指材料在_____的性质。
- (2) 材料的抗冻性以材料在吸水饱和状态下所能抵抗的_____来表示。
- (3) 水可以在材料表面展开,即材料表面可以被水润湿,这种性质称为_____。
- (4) 材料的表观密度是指材料在_____状态下单位体积的质量。
- (5) 一般来说,材料的孔隙率越大,则材料的强度越_____,保温性越_____,吸水率越_____。
- (6) 材料的含水率增加,导热系数随之_____;当水结冰时,导热系数_____。

3. 单项选择题

- (1) 孔隙率增大,材料的()降低。

A. 密度	B. 表观密度
C. 憎水性	D. 抗冻性
- (2) 材料在水中吸收水分的性质称为()。

A. 吸水性	B. 吸湿性	C. 耐水性	D. 渗透性
--------	--------	--------	--------
- (3) 含水率为 10% 的湿砂 220 g,其中水的质量为()g。

A. 19.8	B. 22
C. 20	D. 20.2
- (4) 当材料的孔隙率增大时,其性质保持不变的是()。

A. 表观密度	B. 堆积密度
C. 密度	D. 强度
- (5) 当材料的润湿角(),该材料称为憎水性材料。

A. $\leq 90^\circ$	B. $\geq 90^\circ$
C. $< 90^\circ$	D. $> 90^\circ$
- (6) 材料的抗渗性是指材料抵抗()渗透的性质。

A. 水	B. 潮气
C. 压力水	D. 饱和水
- (7) 材料的耐水性是指材料()而不被破坏,其强度也不会显著降低的性质。

A. 在水作用下	B. 在压力水作用下
C. 长期在饱和水作用下	D. 长期在湿气作用下



4. 思考题

- (1) 生产材料时,在组成一定的情况下,可采取什么措施来提高材料的强度和耐久性?
- (2) 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来表示?
- (3) 影响材料耐久性的因素是什么?
- (4) 提高材料耐久性的措施有哪些?
- (5) 什么是材料的弹性变形和塑性变形? 什么是塑性材料和脆性材料?

5. 计算题

- (1) 某岩石在气干、绝对干燥、水饱和状态下测得的抗压强度分别为 172 MPa、178 MPa、168 MPa,求该石材的软化系数,并判断该岩石可否用于水下工程。
- (2) 收到含水率为 5% 的砂子 500 t,实为干砂多少吨? 若需干砂 500 t,则应进含水率为 5% 的砂子多少吨?
- (3) 某墙体材料的密度为 2.7 g/cm^3 ,干燥状态下的表观密度为 1650 kg/m^3 ,其质量吸水率为 21%,试求其孔隙率并估计该材料的抗冻性。

