



第1章

建筑材料的基本性质

教学导航

知 识 目 标	专业能力目标	社会和方法能力目标
1. 了解材料的组成； 2. 了解材料的结构； 3. 掌握材料与质量有关的性质； 4. 掌握材料与水有关的性质； 5. 掌握材料与热有关的性质； 6. 掌握材料的力学性质； 7. 掌握材料耐久性的概念	1. 能计算材料的密度、表观密度、堆积密度； 2. 能计算材料的孔隙率和空隙率； 3. 能计算质量吸水率、体积吸水率、含水率、软化系数、渗透系数； 4. 会选择保温隔热材料； 5. 能计算材料的抗拉、抗压、抗剪和抗弯强度	培养学生规范操作习惯、分析问题和解决问题的能力、语言表达能力、实际操作能力
重难点： 材料与质量有关的性质、材料与水有关的性质、材料与热有关的性质和材料的力学性质		



建筑材料是建筑工程中所应用的各种材料的总称。建筑材料在正常使用状态下，总要承受一定的外力和自重，同时还会受到周围环境介质的作用及各种物理作用（如干湿变化、温度变化、冻融变化等）。为保证建筑物的正常使用和耐久性，要求在工程设计和施工中正确合理地使用材料，因此必须了解材料的组成和结构，掌握材料的基本性质，包括物理性质（与质量、水、热有关的性质）和力学性质及其他一些特殊的性质。

1.1 材料的组成和结构

环境是影响材料性质的外部因素，材料的组成和结构是影响材料性质的内部因素。建筑材料的性能受环境因素的影响固然很重要，但这些外因要通过内因才起作用，所以要掌握材料的基本性质，必须了解材料的组成和结构及其与材料性质之间的关系。

1.1.1 材料的组成

材料的组成是决定材料性质的根本因素。

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。金属材料以化学元素的含量来表示，如碳素钢以碳元素含量来划分。无机非金属材料则以各种氧化物的含量来表示，如石灰、石膏的主要化学组成成分是 CaO 、 CaSO_4 。聚合物是以有机元素链节重复形式来表示，如聚乙烯的链节是 C_2H_4 等。根据化学组成可大致判断出材料的一些性质，如耐火性、耐腐蚀性、化学稳定性等。

2. 矿物组成

无机非金属材料中具有特定的晶体结构、特定的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。如水泥熟料的矿物组成有硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙、铁铝酸四钙等。若其中的硅酸三钙含量高，则水泥硬化速度较快，强度较高；花岗石的主要矿物组成为长石、石英，酸性岩石多，决定了花岗石耐酸性好，属酸性硬石材。大理石的主要矿物组成为方解石、白云石，酸雨会使大理石中的方解石腐蚀成石膏，致使石材表面失去光泽，因此大理石不耐酸腐蚀，属碱性中硬石材。

3. 相组成

材料中具有相同的物理、化学性质的均匀部分称为相。自然界中的物质可分为气相、液相和固相。即使是同种物质，在温度、压力等条件发生变化时常常会转变其存在状态，例如液相变为气相或固相。凡由两相或两相以上物质组成的材料称为复合材料。建筑材料大多数是多相固体。

1.1.2 材料的结构

材料的性质除与材料组成有关外，还与材料的结构和构造有关。结构与构造是指材料各组成部分之间的结合方式及其在空间排列分布规律。一般将材料分为宏观结构、亚微观结构和



微观结构三个层次。

1. 宏观结构

宏观结构是指用肉眼或在 10~100 倍放大镜或显微镜下就可以分辨的粗大级组织，尺寸范围在 1mm 以上。宏观结构直接影响材料的密度、渗透性、强度等性质。相同组成的材料，如果质地均匀、结构紧密，则强度高，反之则强度低。

1) 按内部孔隙尺度分类

(1) 致密结构。致密结构是用肉眼难以直接观察出构成材料质点的材料组织结构，其密度和表观密度极其接近，一般可认为是无孔隙或少孔隙的材料，如钢材、玻璃、塑料等。

(2) 多孔结构。多孔结构是断面可观察到较多分布孔隙的材料组织结构，其内部孔隙的多少、孔尺寸大小及分布均匀程度等结构状态，对其性质具有重要影响，如混凝土、泡沫塑料等。

(3) 微孔结构。微孔结构是含微细孔隙的材料组织结构，如石膏制品、烧制黏土。

2) 按构成形态分类

(1) 纤维结构。纤维结构由纤维状物质构成的材料结构，纤维之间存在很多孔隙，平行纤维方向的抗拉强度较高，能用作保温隔热和吸声材料，如木材、玻璃棉等。

(2) 层状结构。层状结构是天然形成或人工用黏结等方法将材料叠合成层状的结构，如胶合板、纸面石膏板等。

(3) 散粒结构。散粒结构是材料呈松散颗粒状的结构，如砂子、卵石、碎石等。

(4) 复合聚集结构。复合聚集结构指由集料和胶凝材料结合而成的结构，这种材料的性质除与其中各颗粒本身的性质有关外，还与颗粒间的接触程度、黏结性质有关，如水泥混凝土、砂浆、沥青混凝土等。

2. 亚微观结构

亚微观结构（细观结构）指用光学显微镜所能观察到的结构，其尺寸范围介于宏观结构和微观结构之间，为 $10^{-6} \sim 10^{-3} \text{ m}$ ，在此结构范围内可以充分显示出天然岩石的矿物组织、金属材料的晶粒大小等。

材料的亚微观结构对材料的性质影响很大。一般来讲，材料内部的晶粒越细小、分布越均匀，其受力越均匀、强度越高、耐久性越好、脆性越小。晶粒或不同材料组成之间的界面黏结越好，则其耐久性和强度越好。

3. 微观结构

微观结构又称显微结构，是指用高倍显微镜、电子显微镜或 X 射线衍射仪等手段来研究的原子或分子层次的结构，其尺寸范围为 $10^{-10} \sim 10^{-6} \text{ m}$ 。材料在微观结构层次上可分为晶体、玻璃体、胶体。

1) 晶体

物质中的分子、原子、离子等质点在空间呈周期性规则排列的结构称为晶体。晶体具有特定的几何形状、固定的熔点和化学稳定性。若质点在各方向上排列的规律和数量不同，晶体



具有各向异性的性质，但实际应用的晶体材料，通常是由细小的晶粒杂乱排列而成，其性质常表现为各向同性。

根据晶体的质点及化学键的不同，分为原子晶体、离子晶体、分子晶体、金属晶体。各种晶体的性质见表 1-1。

表 1-1 晶体的性质

晶体类型	质点间作用力	密度	硬度	熔点、沸点	延展度	常见材料
原子晶体	共价键	较小	大	高	差	金刚石、石英
离子晶体	离子键	中等	较大	较高	差	石膏、石灰石
分子晶体	范德华力	小	小	低	差	蜡、有机化合物
金属晶体	金属键	大	较大	较高	良	铜、铁、铝及其合金

2) 玻璃体

当熔融的物质进行迅速冷却，使其内部质点来不及做有规则的排列就凝固了，这时形成的物质结构称为玻璃体，也称无定型体。它与晶体的区别在于质点呈不规则排列，没有特定的几何外形，没有固定的熔点，但具有较大的硬度。玻璃体是快速极冷环境下形成的，故内应力较大，具有明显的脆性，如普通玻璃。另外，玻璃体是化学不稳定的结构，容易与其他物质起化学作用，如火山灰、炉渣等属于玻璃体，能与石灰在有水的条件下发生化学反应，形成具有一定强度的建筑材料。

3) 胶体

粒径为 $10^{-9} \sim 10^{-7} \text{ m}$ 大小的固体颗粒（胶粒）分散在连续介质中（水或油）组成的分散体系称为胶体。其中，胶粒一般带有电荷（正电荷或负电荷），而介质带有相反的电荷，从而使胶体保持稳定。由于胶体小的质点很微小，体系中内表面积很大，表现为很强的吸附力，所以胶体具有较强的黏结力。

胶体结构中胶粒数量较少，介质性质对胶体结构强度及变形性质影响较大，这种胶体结构称为溶胶结构。当胶体数量较多，胶粒在表面能作用下发生凝聚作用，或者由于物理化学作用而使胶粒彼此相连，而形成的空间网络结构称为凝胶结构。凝胶具有触变性，即对凝胶搅拌或振动，又能变成溶胶。水泥浆、新拌混凝土等表现有触变性。当凝胶完全脱水时则成干凝胶体，具有固体性质，即产生强度。硅酸盐水泥主要水化产物的最后形式就是干凝胶体。

1.2 材料的物理性质

1.2.1 材料与质量有关的性质

1. 密度

材料的密度是指材料在特定的体积状态下，单位体积的质量。按照材料体积状态的不同，材料的密度可分为实际密度、表观密度和堆积密度等。

1) 实际密度

实际密度是指材料在绝对密实状态下，单位体积所具有的质量，一般简称为密度，其计



算式为:

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

式中 ρ ——材料的实际密度, 单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, 单位为 g 或 kg ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积, 单位为 cm^3 或 m^3 。

绝对密实状态下的体积是指不包括孔隙在内的体积。建筑材料中除个别材料(如玻璃、金属材料、花岗岩)外, 大多数材料均含有一定的孔隙。

在测定固体材料的密度时, 须将材料磨成细粉(粒径小于 0.2 mm), 干燥后, 采用排开液体法测得其绝对密实体积。材料磨得越细, 孔隙消除得越完全, 测得的密度值越精确。工程所使用的材料绝大部分是固体材料, 但需要测定其密度的并不多。

2) 表观密度

表观密度是指材料在自然状态下(包含孔隙)单位体积的质量, 其计算式为:

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

式中 ρ_0 ——材料的表观密度, 单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, 单位为 g 或 kg ;

V_0 ——材料在自然状态下的体积, 单位为 cm^3 或 m^3 。

材料在自然状态下的体积是指材料的固体物质部分体积与材料内部所含全部孔隙体积之和。对于外形规则的材料, 只需测定其外形尺寸, 从而测出表观密度; 对于外形不规则的材料, 要采用排液法测定, 但在测定前, 材料表面应用薄蜡密封, 以防液体进入材料内部孔隙而影响测定值。一定质量的材料, 孔隙越多, 则表观密度值越小; 材料表观密度大小还与材料含水状态有关。当材料孔隙内含有水分时, 其质量和体积都会发生变化, 因而表观密度亦不相同, 故测定材料表观密度时, 应注明含水情况, 未特别标明时, 是指干燥状态下的表观密度。

3) 堆积密度

散粒状(粉状、粒状、纤维状)材料在自然堆积状态下, 单位体积的质量称为堆积密度, 其计算式为:

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

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度, 单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, 单位为 g 或 kg ;

V'_0 ——材料在堆积状态下的体积, 单位为 cm^3 或 m^3 。

材料堆积状态下的体积是指材料的固体物质部分体积、孔隙部分和空隙等部分体积的和。

在土建工程中, 密度、表观密度和堆积密度常用来计算材料的配料及用量、构件的自重、堆放空间和材料的运输量。常用建筑材料的密度、表观密度和堆积密度见表 1-2。



表 1-2 常用建筑材料的密度、表观密度和堆积密度

材料名称	密度 (g/cm ³)	表观密度 (kg/m ³)	堆积密度 (kg/m ³)
石灰岩	2.6~2.8	1800~2600	—
花岗岩	2.7~3.0	2000~2850	—
砂	2.5~2.6	—	1450~1650
碎石	2.6~2.9	—	1400~1700
烧结普通砖	2.5~2.7	1500~1800	—
黏土	2.5~2.7	—	1600~1800
水泥	2.8~3.1	—	1100~1300
普通混凝土	—	2100~2500	—
红松	1.55~1.60	400~600	—
钢材	7.8~7.9	7850	—

2. 材料的密实度和孔隙率

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。密实度反映了材料的致密程度，用 D 表示，其计算式为：

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

含有孔隙的固体材料的密实度均小于 1。材料的很多性能如强度、耐久性、吸水性、导热性等均与其密实度有关。

2) 孔隙率

孔隙率是指材料内部孔隙体积占自然状态下总体积的百分率。它也是评价材料密实性能的指标，用 P 表示，其计算式为：

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

孔隙率与密实度的关系为：

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

材料的孔隙率与密实度是相互关联的性质，材料孔隙率的大小可直接反映材料的密实程度，孔隙率越大，则密实度越小。

孔隙按构造可分为开口孔隙和封闭孔隙两种；按尺寸的大小又可分为微孔、细孔和大孔三种。材料孔隙率大小、孔隙特征对材料的许多性质会产生一定影响，如材料的孔隙率较大，且连通孔较少，则材料的吸水性较小，强度较高，抗冻性和抗渗性较好，导热性较差，保温隔热性较好。

3. 材料的填充率和空隙率

1) 填充率

填充率是指散粒状材料在特定的堆积状态下，被其颗粒填充的程度，以 D' 表示，其计算



式为:

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

2) 空隙率

空隙率是指散粒材料自然堆积体积中颗粒之间的空隙所占的比例,以 P' 表示,其计算式为:

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = (1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}) \times 100\% \quad (1-8)$$

空隙率与填充率的关系为:

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

空隙率与填充率也是相互关联的两个性质,空隙率的大小可直接反映散粒材料的颗粒之间相互填充的程度。散粒状材料,空隙率越大,则填充率越小。在配制混凝土时,砂、石的空隙率是作为控制混凝土集料级配与计算砂率的重要依据。

1.2.2 材料与水有关的性质

建筑物中的材料在使用过程中经常会直接或间接与水接触,如水坝、桥墩、屋顶等,为防止建筑物受到水的侵蚀而影响使用性能,有必要研究材料与水接触后的有关性质。

1. 亲水性与憎水性

材料与水接触时,根据其是否能被水润湿,可将材料分为亲水性材料与憎水性材料两大类。材料容易被水润湿的性质称为亲水性。具有这种性质的材料称为亲水性材料。大多数建筑材料,如砖、混凝土、木材等都属于亲水性材料,表面均能被水湿润,且能通过毛细管作用将水吸入材料的毛细管内部。材料不容易被水润湿的性质称为憎水性,具有这种性质的材料称为憎水性材料。沥青、油漆、塑料等属于憎水性材料,该类材料一般能阻止水分的渗入。憎水性材料不仅可用于防水材料,而且可用于亲水性材料的面处理,以降低其吸水性。

材料的亲水性与憎水性可用润湿角 θ 来说明,见图 1-1,当材料与水接触时,在材料、水、空气三交的交点处,沿水滴表面作切线,该切线与固体、液体接触面的夹角称为润湿角 θ 。润湿角 θ 越小,表明材料越易被润湿。实验表明,当润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 时,这种材料称为亲水性材料;当润湿角 $\theta > 90^\circ$ 时,称为憎水性材料。

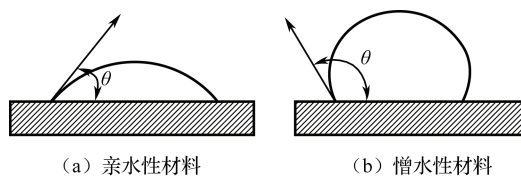


图 1-1 材料的润湿角示意

2. 吸水性

材料在浸水状态下,吸收水分的性能称为吸水性。吸水率又有质量吸水率和体积吸水率之分。



1) 质量吸水率

质量吸水率是指材料吸水饱和时,所吸收水分质量占材料干燥质量的百分率,其计算式为:

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

式中 $W_{\text{质}}$ ——材料的质量吸水率,单位为%;

$m_{\text{饱}}$ ——材料吸水饱和后的质量,单位为 g 或 kg;

$m_{\text{干}}$ ——材料烘干至恒重时的质量,单位为 g 或 kg。

2) 体积吸水率

体积吸水率是指吸水饱和时,所吸收水分的体积占干燥材料自然体积的百分率,其计算式为:

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

式中 $W_{\text{体}}$ ——材料的体积吸水率,单位为%;

V_0 ——干燥材料在自然状态下的体积,单位为 cm^3 或 m^3 ;

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度,单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 ,常温下选取 $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 或 $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

体积吸水率和质量吸水率的关系为:

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

常用的建筑材料,其吸水率一般采用质量吸水率表示。对于某些轻质材料,如加气混凝土、木材等,由于其质量吸水率往往超过 100%,一般采用体积吸水率表示。

材料吸水率的大小,不仅与材料的亲水性或憎水性有关,而且与材料的孔隙率和孔隙特征有关。材料所吸收的水分是通过开口孔隙吸入的。一般而言,孔隙率越大,开口孔隙越多,则材料的吸水率越大;但如果开口孔隙粗大,则不易存留水分,即使孔隙率较大,材料的吸水率也较小;另外,封闭孔隙水分不能进入,吸水率也较小。

3. 吸湿性

材料在空气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。

含水率系指材料内部所含水的质量占材料干燥质量的百分率,其计算式为:

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

式中 $W_{\text{含}}$ ——材料的含水率,单位为%;

$m_{\text{水}}$ ——材料含有水的质量,单位为 g 或 kg;

$m_{\text{干}}$ ——材料干燥至恒重时的质量,单位为 g 或 kg。

材料的含水率随空气的温度、湿度变化而改变。材料既能在空气中吸收水分,又能向外界释放水分,当材料中的水分与空气的湿度达到平衡,此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。当材料内部孔隙吸水达到饱和时,此时材料的含水率等于吸水率。材料吸水后,会导致自重增加,保温隔热性能降低,强度和耐久性产生不同程度的下降。材料含水率的变化会引起体积的变化,影响使用。



4. 耐水性

材料长期在饱和水作用下保持其原有功能,抵抗破坏的能力称为耐久性。材料耐水性用软化系数表示,其计算式为:

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

式中 $K_{\text{软}}$ ——材料的软化系数;

$f_{\text{饱}}$ ——材料在饱和水状态下的抗压强度,单位为 MPa;

$f_{\text{干}}$ ——材料在干燥状态下的抗压强度,单位为 MPa。

软化系数的大小反映材料在浸水饱和后强度降低的程度。软化系数在 0~1 之间。软化系数越小,说明材料吸水饱和后的强度降低越多,其耐水性越差。工程中将 $K_{\text{软}} > 0.85$ 的材料称为耐水性材料。对于经常位于水中或潮湿环境中的重要结构的材料,必须选用 $K_{\text{软}} > 0.85$ 的耐水性材料;对于用于受潮较轻或次要结构的材料,其软化系数不宜小于 0.75。

5. 抗渗性

材料抵抗压力水或其他液体渗透的性质,称为抗渗性。材料的抗渗性通常用渗透系数表示。

渗透系数的物理意义是: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,其计算式为:

$$K_s = \frac{Q \cdot d}{A \cdot t \cdot H} \quad (1-15)$$

式中 K_s ——材料的渗透系数,单位为 cm/h;

Q ——渗透时间 t 内的渗水总量,单位为 cm^3 ;

d ——材料试件的厚度,单位为 cm;

A ——材料垂直于渗水方向的渗水面积,单位为 cm^2 ;

t ——渗水时间,单位为 h;

H ——材料两侧的水头高度,单位为 cm。

地下建筑物及水工建筑物,因常受到压力水的作用,所以要求材料具有一定的抗渗性。对于防水材料,则要求具有更高的抗渗性。 K_s 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,以符号“Pn”表示,其中“n”为该材料所能承受的最大水压力的十倍数,如 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。

材料的抗渗性与材料内部的空隙率特别是开口孔隙率有关,开口空隙率越大,大孔含量越多,则抗渗性越差。材料的抗渗性还与材料的憎水性和亲水性有关,憎水性材料的抗渗性优于亲水性材料。

6. 抗冻性

材料在吸水饱和状态下,能经受多次冻结和融化(冻融循环)而不破坏,同时也不严重



降低强度的性质，称为抗冻性。

材料吸水后，在负温情况下，水在材料毛细孔内冻结成冰，体积膨胀所产生的冻胀压力造成材料的内应力，会使材料遭到局部破坏。随着冻融循环的反复，材料的破坏作用逐步加剧，这种破坏称为冻融破坏。

材料的抗冻性用抗冻等级表示。抗冻等级是以规定的试件，采用标准试验方法，测得其强度降低不超过规定值，并无明显损害和剥落时所能经受的最大冻融循环次数来确定，以“Fn”表示，其中“n”为最大冻融循环次数。抵抗冻融循环次数越多，抗冻等级越高，材料的抗冻性越好。材料的抗冻等级可分为 F15、F25、F50、F100、F200 等，分别表示此材料可承受 15 次、25 次、50 次、100 次、200 次的冻融循环。

1.2.3 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，降低建筑物的使用能耗，必须要求建筑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、热容量等。

1. 导热性

当材料两面存在温度差时，热量从材料的一侧传递至另一侧的性质，称为材料的导热性。材料导热性可用导热系数表示。

导热系数的物理意义是：单位厚度（1 m）的材料，两侧温度差为 1 K（热力学温度单位开尔文，简称开）时，在单位时间（1 s）内通过单位面积（1 m²）的热量，其计算式为：

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{(t_1 - t_2) A \cdot T} \quad (1-16)$$

式中 λ —— 材料的导热系数，单位为 W/(m·K)；

Q —— 传导热量，单位为 J；

d —— 材料厚度，单位为 m；

$t_1 - t_2$ —— 材料两侧温度差，单位为 K；

A —— 材料的传热面积，单位为 m²；

T —— 传热时间，单位为 s。

导热系数是评价材料绝热性能的重要指标。材料的导热系数越小，则材料的绝热性能或保温性能越好。工程中通常把 $\lambda < 0.23 \text{ W/(m·K)}$ 的材料称为绝热材料。

2. 热容量

材料在受热时吸收热量、冷却时放出热量的性质称为材料的热容量。材料的热容量用热容量系数或比热表示。

比热的物理意义是：1 g 材料温度升高或降低 1 K 时所吸收或放出的热量。比热与材料质量的乘积称为材料的热容量，其计算式为：

$$Q = c \cdot m(t_2 - t_1) \quad (1-17)$$

式中 Q —— 材料吸收或放出的热量，单位为 J；

c —— 材料的比热，单位为 J/(g·K)；



m —— 材料的质量, 单位为 g ;

$t_2 - t_1$ —— 材料受热或冷却前后的温度差, 单位为 K 。

比热的大小直接反映出材料吸热或放热能力的大小。比热大的材料, 能在热流变动或采暖设备供热不均匀时, 缓和室内的温度波动。不同的材料其比热不同, 即使是同种材料, 由于物态不同, 其比热也不同。

1.3 材料的力学性质

任何材料受到外力 (荷载) 作用都要产生变形, 当外力超过一定限度后材料将被破坏。材料的力学性质就是指材料在外力作用下产生变形和抵抗破坏能力方面的有关性质。

1.3.1 材料的强度

材料在荷载 (外力) 作用下抵抗破坏的能力称为材料的强度。材料按外力作用的方式不同, 可以将强度分为抗拉强度、抗压强度、抗弯 (折) 强度和抗剪强度等。材料承受多种外力的情况见图 1-2。材料的抗拉、抗压和抗剪强度可按下式计算:

$$f = \frac{F}{A} \quad (1-18)$$

式中 f —— 材料的抗拉、抗压和抗剪强度, 单位为 MPa ;

F —— 材料抗拉、抗压和抗剪破坏时的荷载, 单位为 N ;

A —— 材料的受力面积, 单位为 mm^2 。

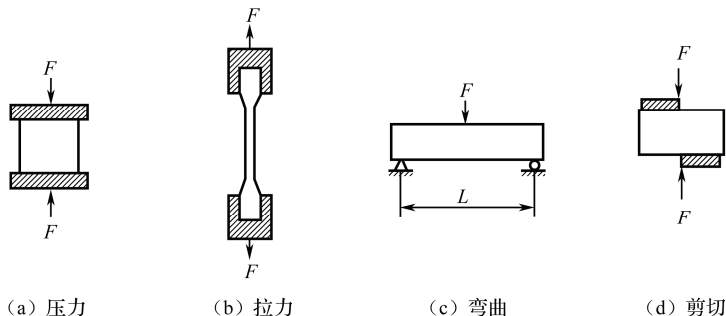


图 1-2 材料承受多种外力示意图

材料的抗弯强度 (也称抗折强度) 与材料的受力情况和截面形状有关。当矩形截面的试件跨中作用于一个集中荷载时, 材料的抗弯强度可按式计算:

$$f = \frac{3F \cdot L}{2b \cdot h^2} \quad (1-19)$$

式中 f —— 材料的抗弯强度, 单位为 MPa ;

F —— 材料抗弯至破坏时的荷载, 单位为 N ;

b 、 h —— 分别为材料的截面宽度、高度, 单位为 mm ;

L —— 两支点的间距, 单位为 mm 。

结构材料的主要作用就是承受结构荷载, 对大部分建筑物来说, 相当大的承载能力用于承受材料的自重。欲提高结构材料承受外荷载的能力, 一方面应提高材料的强度, 另一方面应



减轻材料的自重，这就要求材料应具备轻质高强的特点。比强度是衡量材料轻质高强的一个主要指标。比强度是指材料的强度与其表观密度之比。优质的结构材料，必须具有较高的比强度。几种主要材料的比强度见表 1-3。

表 1-3 几种主要材料的比强度

材 料	表观密度 (kg/m ³)	强度 (MPa)	比强度
低碳钢	7850	420	0.054
普通混凝土 (抗压)	2400	40	0.017
松木 (顺纹抗压)	500	100	0.200
玻璃钢	2000	450	0.225

1.3.2 材料的弹性与塑性

1. 弹性与弹性变形

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。

这种外力取消后瞬间内即可完全消失的变形，称为弹性变形。弹性变形属于可逆变形，其数值大小与外力成正比，其比例系数 E 称为材料的弹性模量。材料在弹性变形范围内，弹性模量 E 为常数，其数值等于应力 σ 与应变 ε 的比值，即：

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1-20)$$

弹性模量是衡量材料抵抗变形能力的一个指标。 E 值越大，材料越不容易变形。

2. 塑性与塑性变形

在外力作用下材料产生变形，当外力取消，仍保持变形后的形状尺寸，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（或永久变形）。塑性变形为不可逆变形。

实际上纯弹性变形的材料是没有的，通常一些材料在受力不大时，仅产生弹性变形；受力超过一定极限后，即可产生塑性变形。

1.3.3 材料的脆性与韧性

1. 脆性和脆性材料

材料在外力作用下，当外力达到一定限度后，材料发生突然破坏，且破坏时无明显的塑性变形，这种性质称为脆性。具有这种性质的材料称脆性材料。脆性材料抗压强度远大于抗拉强度，可高达数倍甚至数十倍，所以脆性材料不能承受振动和冲击荷载，也不宜用作受拉构件，只适于用作承压构件。建筑材料中大部分无机非金属材料均为脆性材料，如普通混凝土、天然岩石、陶瓷、玻璃等。



2. 韧性

材料在冲击荷载或振动荷载作用下,能吸收较大的能量,同时产生较大的变形而不破坏的性质称为韧性。材料的韧性用冲击韧性指标 a_k 表示。

冲击韧性指标系指用带缺口的试件做冲击破坏试验时,断口处单位面积所吸收的功,其计算式为:

$$a_k = \frac{A_k}{A} \quad (1-21)$$

式中 a_k —— 材料的冲击韧性指标,单位为 J/mm^2 ;

A_k —— 试件破坏时所消耗的功,单位为 J ;

A —— 试件受力净截面积,单位为 mm^2 。

在建筑工程中,对于要求承受冲击荷载和有抗震要求的结构,如吊车梁、桥梁、路面等所用的材料,均应具有较高的韧性。

1.3.4 材料的硬度与耐磨性

1. 硬度

硬度是材料表面的坚硬程度,是抵抗其他硬物刻划、压入其表面的能力。通常,测定材料硬度的方法有刻划法、压入法和回弹法,不同材料其硬度测定方法不同。

刻划法常用于测定天然矿物的硬度。矿物硬度分为 10 级,按其递增的顺序进行排列,依次为滑石、石膏、方解石、萤石、磷灰石、正长石、石英、黄玉、刚玉、金刚石。钢材、混凝土及木材等的硬度常用钢球压入法测定。回弹法常用于测定混凝土构件表面的硬度,并以此估算混凝土的抗压强度。

2. 耐磨性

耐磨性是材料表面抵抗磨损的能力。材料的耐磨性用磨损率表示,其计算式为:

$$G = \frac{m_1 - m_2}{A} \quad (1-22)$$

式中 G —— 材料的磨损率,单位为 g/cm^2 ;

$m_1 - m_2$ —— 材料磨损前后的质量损失,单位为 g ;

A —— 试件受磨面积,单位为 cm^2 。

材料的硬度越高、越致密,耐磨性越好。路面、地面等易受损部位,要求使用耐磨性好的材料。

1.4 材料的耐久性

材料的耐久性是泛指材料在使用条件下,受各种内在或外来自然因素及有害介质的作用,能长久地保持其使用性能的性质。耐久性是一项综合性质,一般包括抗渗性、抗冻性、抗腐蚀性、抗碳化性、抗侵蚀性、抗碱骨料反应等。材料的强度、密实性能、耐磨性等与材料的耐久性有着密切的关系。材料在使用过程中,除受各种外力作用外,还长期受到周围环境和各种自



然因素的破坏作用，这些作用一般可分为物理作用、化学作用、生物作用及机械作用。

1) 物理作用

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。材料经受这些作用后，将发生膨胀、收缩或产生应力，长期的反复作用，将使材料逐渐被破坏。

2) 化学作用

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、紫外线等对材料的作用。

3) 生物作用

生物作用包括菌类、昆虫等的侵害作用，导致材料发生腐朽、虫蛀等而破坏。

4) 机械作用

机械作用包括荷载的持续作用，交变荷载对材料引起的疲劳、冲击、磨损等。

砖、石料、混凝土等矿物材料，多是由于物理作用而破坏，也可能同时会受到化学作用的破坏。金属材料主要是由于化学作用引起的腐蚀。木材等有机质材料常因生物作用而破坏。沥青材料、高分子材料在阳光、空气和热的作用下会逐渐老化而使材料变脆或开裂。耐久性是一项长期性质，因此在进行材料耐久性检测时，一般针对不同材料在不同环境中对其耐久性影响最大的一个或几个方面来进行快速模拟试验。提高材料的耐久性，对延长建筑物使用寿命、节约建筑材料、减少维修费用等，均具有十分重要的意义。

复习思考题 1

1. 什么是材料的密度、表观密度和堆积密度？如何利用这三个参数计算块状材料的孔隙率和散粒状材料的孔隙率？

2. 材料的孔隙率和孔隙特征对材料的表观密度、吸水性、吸湿性、抗渗、抗冻、强度及保温性能有何影响？

3. 常用的材料强度有哪几种？分别写出其计算公式。

4. 怎么区分材料的亲水性与憎水性？

5. 材料的吸湿性、吸水性、耐水性、抗渗性、抗冻性的衡量指标分别用什么表示？

6. 什么是材料的耐久性？为什么对材料要有耐久性要求？

7. 某岩石在气干、绝干和水饱和情况下测得的抗压强度分别为 172 MPa、178 MPa、168 MPa，求该岩石的软化系数并指出该岩石可否用于水下工程。

8. 某工地所用卵石材料的密度为 2.65 g/cm^3 ，表观密度为 2.61 g/cm^3 ，堆积密度为 1680 kg/m^3 ，计算此石子的孔隙率与空隙率。

9. 称河砂 500 g，烘干至恒重时质量为 494 g，求此河砂的含水率。

10. 一块烧结普通砖的外形尺寸为 $240 \text{ mm} \times 115 \text{ mm} \times 53 \text{ mm}$ ，吸水饱和后重量为 2950 g，烘干至恒重为 2500 g；将该砖磨细并烘干后取 50 g，用李氏瓶测得其体积为 18.58 cm^3 。试求该砖的密度、表观密度、孔隙率、质量吸水率。

11. 红砖干燥时表观密度为 1900 kg/m^3 ，密度为 2.5 g/cm^3 ，质量吸水率为 10%，试求该砖的孔隙率和体积吸水率。



12. 已知甲材料在绝对密实状态下的体积为 40 cm^3 ，在自然状态下体积为 160 cm^3 ；乙材料的密实度为 80%，求甲、乙两材料的孔隙率，并判断哪种材料较宜做保温材料。

13. 一边长为 200 mm 的立方体试块，进行抗压强度试验时，破坏荷载为 1600 kN，试求该试块抗压强度为多少。

14. 一水泥胶砂抗弯试件，尺寸为 $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$ ， $F=3.84 \text{ kN}$ ， $L=100 \text{ mm}$ ，求抗弯（抗折）强度。