



第一章 建筑材料的基本性质

【学习要求】

了解建筑材料的组成和结构,掌握建筑材料的密度、表观密度、体积密度、堆积密度、孔隙率和密实度、空隙率和填充率的概念与计算,理解材料与水有关的性质、与热有关的性质、力学性质及耐久性。

建筑材料在使用条件下要承受一定荷载和经受周围各种介质的物理与化学的作用,如酸类腐蚀和盐类腐蚀等。因此,要求建筑材料必须具备相应的性质。例如,建筑结构材料必须具有良好的力学性能;墙体材料必须具有绝热、隔声的性能;地面材料应具有耐磨损性能;防水材料必须具有防水抗渗性能等。在这些性质中,有些是大多数建筑材料均应具备的性质,即基本性质。建筑材料的基本性质主要包括材料的结构状态参数、化学性质、力学性质和耐久性等。

第一节 材料的组成和结构

一、材料的组成

材料的组成是决定材料性质的最基本因素。材料的组成主要包括材料的化学组成和矿物组成。

(一) 材料的化学组成

材料的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。材料的化学组成的不同是导致其性能各异的主要原因。例如不同种类合金钢的性质不同,主要是由于其所含的化学元素碳 C、硅 Si、锰 Mn、钒 V、钛 Ti 的不同所致。硅酸盐水泥不适用于海洋工程,主要是因为硅酸盐水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与海水中的盐(Na_2SO_4 、 CaCl_2 等)会发生化学反应,生成体积膨胀或结构疏松的产物所致。

(二) 材料的矿物组成

材料的矿物组成是指化学元素组成相同,但分子组成形式各异的现象。材料的矿物组成是在其化学组成确定的条件下决定材料性质的主要因素。如常用水泥的主要化学组成都是 CaO 、 SiO_2 等,但由于形成的矿物熟料有硅酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)与硅酸二钙($2\text{CaO} \cdot$



SiO_2)之分,前者强度增长快、放热量大,后者强度增长慢、放热量小。

二、材料的结构

材料的结构可分为宏观结构、细观结构和微观结构。

(一)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。建筑材料的宏观结构,按照材料的宏观组织和孔隙状态的不同可分为以下类型:

(1)致密状结构:指完全没有或基本没有孔隙的结构。具有该种结构的材料一般密度大,强度和硬度较高,吸水性小,抗渗和抗冻性较好,耐磨性较好。如钢材、致密石材和玻璃等。

(2)多孔状结构:指具有较多粗大孔隙的结构。具有该种结构的材料一般都为轻质材料,具有较好的保温隔热和隔声吸声性能,同时具有较高的吸水性,如加气混凝土、泡沫塑料及人造轻质多孔材料等。

(3)微孔状结构:指具有众多直径微小孔隙的结构。具有该种结构的材料通常密度和导热系数较小,有良好的隔声吸声性能,抗渗性较差,如石膏制品、烧结砖等。

(4)颗粒状结构:指由松散粒状物质所形成的结构,如砂、石、粉煤灰和膨胀珍珠岩等。这种结构的材料可由胶凝材料黏结成整体,也可单独以填充状态使用。

(5)纤维状结构:指由天然或人工合成纤维物质构成的结构。具有该种结构的材料其性能通常呈各向异性,具有较好的保温和吸声性能,如木材、岩棉和玻璃钢等。

(6)层状结构:指由天然形成或人工粘贴等方法将材料叠合而成的双层或多层结构。具有该种结构的材料可以综合各层材料的性能优势,扩大其使用范围,如胶合板、纸面石膏板等。

(二)细观结构

材料的细观结构(也称亚微观结构)是指可用光学显微镜观察到的结构。建筑材料的细观结构,只能针对某种具体材料来进行分类研究。例如,混凝土可分为基相、集料相、界面相;木材可分为木纤维、导管髓线、树脂道。

材料细观结构层次上的各种组织结构、性质和特点各异,它们的特征、数量和分布对建筑材料的性能有重要影响。

(三)微观结构

材料的微观结构主要指材料在原子、分子、离子层次上的组织形式。材料的许多性质与其微观结构都有密切关系。建筑材料的微观结构基本上可分为晶体、玻璃体和胶体三类。

(1)晶体。晶体的微观结构特点是组成物质的微观粒子在空间的排列有确定的几何位置关系。强度极高的金刚石和强度极低的石墨,虽然元素组成都为碳,但由于各自的晶体结构形式不同,而形成了性质上的巨大反差。一般来说,晶体结构的物质具有强度高、硬度较大、有确定的熔点、力学性质各向异性的共性。建筑材料中的金属材料(如钢和铝合金)和非金属材料中的石膏及水泥石中的某些水化产物(氢氧化钙、水化铝酸三钙)等都是典型的晶体结构。

(2)玻璃体。玻璃体的微观结构特点是组成物质的微观粒子在空间的排列呈无序混沌状态。玻璃体结构的材料具有化学活性高、无确定的熔点、力学性质各向同性的特点。粉煤灰、建筑用普通玻璃都是典型的玻璃体结构。

(3)胶体。胶体是建筑材料中常见的一种微观结构形式,通常是由极细的固体颗粒均匀分布在液体中所形成。胶体与晶体、玻璃体最大的不同点是可呈分散相和网状两种结构形式,分别称为溶胶和凝胶。溶胶失水后成为具有一定强度的凝胶结构,可以把材料中的晶体或其他固体颗粒黏结为整体。如气硬性胶凝材料水玻璃和硅酸盐水泥石中的水化硅酸钙和水化铁酸钙都呈胶体结构。

三、材料的结构状态参数

(一)材料的体积

体积是材料占有的空间尺寸。由于材料具有不同的结构状态,如图 1-1 所示,因而表现出不同的体积。材料的体积有绝对密实体积、表观体积、自然体积和堆积体积。

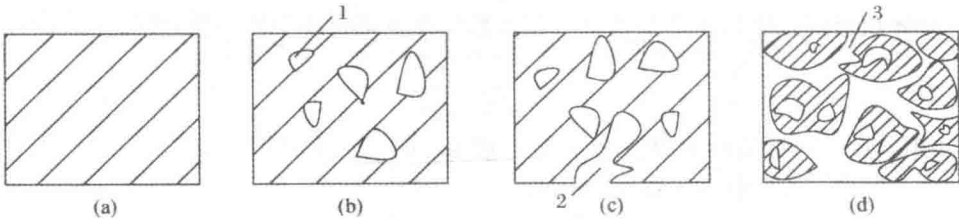


图 1-1 材料的结构状态

(a)密实状态;(b)内部有孔隙;(c)内外有孔隙;(d)堆积状态

1—闭口孔隙;2—开口孔隙;3—空隙

材料的绝对密实体积是指干材料在绝对密实状态下的体积。即材料内部没有孔隙时的体积,或不包括内部闭口孔隙的体积,一般以 V 表示。对于绝对密实而外形规则的材料如钢材、玻璃等, V 可采用直接测量外形尺寸计算的方法求得。对于可研磨的非密实材料如烧结砖、石膏等, V 可采用研磨成细粉,再用密度瓶排水法求得。

材料的表观体积是指材料在自然状态下不含开口孔隙的体积,即包含少量的闭口孔隙的外观体积,一般以 V' 表示。如对于自身较为密实(含有少量的闭口孔隙)的颗粒堆积材料,如配制混凝土所用的砂、石等材料,可不必磨成细粉,而直接用颗粒排开液体的方法测得的体积即为表观体积。

材料的自然体积是指材料在自然状态下(包括所有孔隙)的体积,一般以 V_0 表示。材料自然体积的测量,对于外形规则的材料,如烧结砖、砌块,可采用直接测量外形尺寸计算的方法求得。对于外形不规则的材料,对材料表面经涂蜡处理后采用排开液体的方法求得。

材料的堆积体积是指粉状或粒状材料,在堆积状态下的总体外观体积。根据其堆积状态不同,同一材料表现的体积大小可能不同,松散堆积状态下的体积较大,密实堆积状态下的体积较小。材料的堆积体积一般以 V' 表示。常采用已知容积的容器测量法求得。



(二) 材料的密度、表观密度、体积密度和堆积密度

(1) 密度。材料的密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量,可按下式计算

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

式中 ρ ——材料的密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的干质量, g 或 kg ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积, cm^3 或 m^3 。

(2) 表观密度。表观密度是指材料在自然状态下不含开口孔隙时单位体积的质量,可按下式计算

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

式中 ρ' ——材料的表观密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的干质量, g 或 kg ;

V' ——材料的表观体积, cm^3 或 m^3 。

(3) 体积密度。体积密度是指材料在自然状态下单位体积的质量,可按下式计算

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

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 ——材料的自然体积, 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。

(4) 堆积密度。堆积密度是指粉状、颗粒状或纤维材料在堆积状态下单位体积的质量,可按下式计算

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

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 。

堆积密度是颗粒材料松装状态的密度,如果颗粒材料按规定方法颠实后,其单位体积的质量则称为紧密密度。

在建筑工程中,计算材料用量、构件的自重,配料计算以及确定堆放空间时经常要用到材料的密度、表观密度、体积密度和堆积密度等数据。

(三) 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充实的程度,用 D 表示。密实度的计算式如下



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

亦可用材料的密度和体积密度计算

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

对于绝对密实材料,因 $V=V_0$ 故密实度 $D=1$ 或 100% 。对于大多数建筑材料,因 $V < V_0$,故密实度 $D < 1$ 或 $D < 100\%$ 。

(2)孔隙率。孔隙率是指材料内部孔隙的体积占材料总体积的百分率,用 P 表示。孔隙率的计算式如下

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

由式(1-5)和式(1-7)可导出

$$P + D = 1 \quad (1-8)$$

上式表示材料的自然体积由绝对密实的体积和孔隙体积构成。材料的孔隙率是反映材料孔隙状态的重要指标,与材料的各项物理、力学性能有密切的关系。几种常见材料的孔隙率见表 1-1。

表 1-1 常用建筑材料的密度 ρ 、体积密度 ρ_0 、堆积密度和孔隙率 P

材料名称	$\rho(\text{g/cm}^3)$	$\rho_0(\text{kg/m}^3)$	$\rho'_0(\text{kg/m}^3)$	$P(\%)$
石灰岩	2.60	1 800~2 600		0.2~4
花岗岩	2.60~2.80	2 500~2 800		<1
普通混凝土	2.60	2 200~2 500		2.60~2.80
碎石	2.60~2.70	—	1 400~1 700	
砂	2.60~2.70		1 350~1 650	
粘土空心砖	2.50	1 000~1 400		20~40
水泥	3.10	—	1 000~1 100(疏松)	
木材	1.55	—		55~75
钢材	7.85	—		0
铝合金	2.7			0
泡沫塑料	1.04~1.07	20~50		

注:习惯上 ρ 的单位采用 g/cm^3 , ρ_0 和 ρ'_0 的单位采用 kg/m^3

(四)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其堆积体积中,被颗粒实体填充的程度,用 D' 表示。填充率的计算式如下

$$D' = \frac{V'}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho'} \times 100\% \quad (1-9)$$

(2)空隙率。空隙率是指散粒材料在其堆积体积中,颗粒之间的空隙体积所占的比例,

用 P' 表示。空隙率的计算式如下

$$P' = \left(1 - \frac{V'}{V'_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho'} \times 100\%\right) \quad (1-10)$$

由式(1-9)和式(1-10)可导出

$$P' + D' = 1 \quad (1-11)$$

空隙率反映了散粒材料的颗粒之间的相互填充的致密程度,空隙率可作为控制混凝土骨料级配与计算含砂率的依据。对于混凝土的粗、细骨料,空隙率越小,说明其颗粒大小搭配的越合理,用其配置的混凝土越密实,越节约水泥。

第二节 材料与水有关的性质

建筑物在使用过程中,材料不可避免会受到自然界的雨、雪、地下水和冻融等作用的影响,故要特别注意建筑材料与水有关的性质。材料与水有关的性质包括材料的亲水性与憎水性,以及材料的吸水性与吸湿性、耐水性、抗渗性、抗冻性、霉变性与腐朽性等。

一、材料的亲水性与憎水性

材料与水接触时,首先遇到的问题就是材料能否被水所湿润。湿润是水被材料表面吸附的过程,它与材料本身的性质有关。

当水与材料在空气中接触时,将出现如图 1-2 所示的情况。在材料、水和空气交接处,沿水滴表面作切线,此切线和水与材料接触面所形成的夹角 θ 称为润湿角。若润湿角 $\theta \leq 90^\circ$,如图 1-2 (a) 所示,说明材料与水之间的作用力(吸附力)要大于水分子之间的作用力(内聚力),材料表面吸附水分,即材料被水所润湿,称该材料是亲水的。反之,若润湿角 $\theta \geq 90^\circ$,如图 1-2 (b) 所示,说明材料与水之间的作用力(吸附力)要小于水分子之间的作用力(内聚力),材料表面不吸附水分,即材料不能被水所润湿,称该材料是憎水的。亲水材料易被水所润湿,且水能通过毛细管作用而被吸入材料内部(如木材、烧结砖等)。憎水材料则能阻止水分渗入毛细管中,从而降低材料的吸水性。像沥青一类的憎水材料常用来做防水材料。

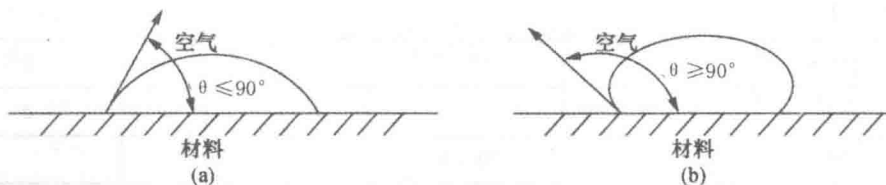


图 1-2 材料的湿润示意图
(a) 材料的亲水性; (b) 材料的憎水性

二、材料的吸水性与吸湿性

(一) 吸水性

材料的吸水性是指材料在水中吸收水分达到饱和的能力,吸水性用吸水率表示。吸水



率有质量吸水率和体积吸水率两种表达方式,分别以 W_m 和 W_v 表示,计算式如下

$$W_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-12)$$

$$W_v = \frac{V_w}{V_0} = \frac{m_b - m_g}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-13)$$

式中 W_m ——质量吸水率, %;

W_v ——体积吸水率, %;

m_b ——材料在吸水饱和状态下的质量, g;

m_g ——材料在绝对干燥状态下的质量, g;

V_w ——材料所吸收水分的体积, cm³。

ρ_w ——水的密度, 常温下可取 1g/cm³。

对于质量吸水率大于 100% 的材料, 如木材等通常采用体积吸水率, 而对于大多数材料, 经常采用质量吸水率。两种吸水率存在着以下关系

$$W_v = W_m \rho_0 \quad (1-14)$$

这里 ρ_0 是材料的干燥体积密度, 单位采用 g/cm³。影响材料吸水性的主要因素有材料本身的化学组成、结构和构造状况, 尤其是孔隙状况, 一般来说, 材料的亲水性越强, 空隙率越大, 连通的毛细孔隙越多, 其吸水率越大。不同的材料吸水率变化范围很大, 花岗岩为 0.5%~0.7%, 外墙面砖为 6%~10%, 内墙釉面砖为 12%~20%, 普通混凝土为 2%~4%, 材料的吸水率越大, 其吸水后强度下降越大, 导热性增大, 抗冻性随之下降。

(二) 吸湿性

材料的吸湿性是指材料在潮湿空气中吸收水分的能力。吸湿性用含水率 W_h 表示, 计算式如下

$$W_h = \frac{m_s - m_g}{m_g} \times 100\% \quad (1-15)$$

式中 W_h ——材料的含水率, %;

m_s ——材料吸湿后的质量, g;

m_g ——材料在绝对干燥状态下的质量, g。

影响材料吸湿性的因素, 除材料本身的化学组成、结构、构造及孔隙外, 还与环境的温、湿度有关。材料堆放在工地现场, 不断向空气中挥发水分, 又同时从空气中吸收水分, 其稳定的含水率是达到挥发与吸收动态平衡的一种状态。例如, 在混凝土的施工配合比设计中要考虑砂、石含水率的影响。

三、材料的耐水性

材料的耐水性是指材料长期在水的作用下不破坏, 强度也不显著降低的性质。衡量材料耐水性的指标是材料的软化系数, 以 K_R 表示

$$K_R = \frac{f_b}{f_g} \quad (1-16)$$



式中 K_R ——材料的软化系数;

f_b ——材料饱水状态下的抗压强度, MPa;

f_g ——材料干燥状态下的抗压强度, MPa。

软化系数反映了材料吸水饱和后强度降低的程度,是材料吸水后性质变化的重要特征之一。其实,许多材料吸水(或吸湿)后,即使未达到饱和状态,其强度及其他性质也会有明显的变化。这是因为材料吸水后,水分会分散在材料内微粒的表面,削弱了微粒间的结合力,其强度则有不同程度的降低。当材料内含有可溶性物质时(如石膏、石灰),吸入的水还可能溶解部分物质,造成强度的严重降低。

材料耐水性这一性质限制了材料的使用环境,软化系数小的材料耐水性差,其使用环境尤其受到限制,工程中通常将 $K_R > 0.85$ 的材料称为耐水性材料,可以用于水中或潮湿环境中的重要结构。用于受潮较轻或次要结构时,材料的 K_R 值也不得小于 0.75。

四、材料的抗渗性

材料的抗渗性是指材料抵抗压力水渗透的性质。建筑工程中许多材料常含有孔隙、孔洞或其他缺陷,当材料两侧的水压差较高时,水可能从高压侧通过内部的孔隙、孔洞或其他缺陷渗透到低压侧。这种压力水的渗透,不仅会影响到工程的使用,而且渗入的水还会带入能腐蚀材料的介质,或将材料内的某些成分带出,造成材料的破坏。因此,长期处于有压力水中时,材料的抗渗性也是决定工程使用寿命的重要因素之一。

材料的抗渗性可用渗透系数和抗渗等级表示。

(一) 渗透系数

根据达西定律,在一定的时间 t 内,透过的水量 Q 与材料垂直于渗水方向的渗水面积 A 和材料两侧的水压差 H 成正比、与渗透距离(材料的厚度) d 成反比,即

$$Q = K_s \frac{A \cdot t \cdot H}{d} \quad (1-17)$$

式中 K_s ——材料的渗透系数, cm/h;

Q ——时间 t 内的渗水总量, cm³

A ——材料垂直于渗水方向的渗水面积, cm²

H ——材料两侧的水压差, cm;

t ——渗水时间, h;

d ——材料的厚度, cm

材料的 K_s 值愈小,则其抗渗能力愈强。工程有部分材料的防水能力就是以渗透系数来表示的,如屋面防水卷材、防水涂料等均采用渗透系数表示。

(二) 抗渗等级

建筑工程中,为直接反应材料适应环境的(防水)能力,对一些常用材料(如混凝土、砂浆等)的抗渗(防水)能力常以抗渗等级表示。



材料的抗渗等级是指材料用标准方法进行透水试验时,规定的试件在透水前所能承受的最大水压力,以符号 P 及可承受的水压力值(以 0.1MPa 为单位)表示。如防水混凝土的抗渗等级为 P_6 、 P_8 、 P_{12} 、 P_{16} 、 P_{20} ,表示其分别能够承受 0.6MPa 、 0.8MPa 、 1.2MPa 、 1.6MPa 、 2.0MPa 的水压力而不渗水。因此,材料的抗渗等级越高,其抗渗性越强。

材料的抗渗性与其亲水性、孔隙率、孔隙特征和裂缝等缺陷有关,在其内部孔隙中,开口孔、连通孔是材料渗水的主要通道。工程中一般采用对材料进行憎水处理、减少孔隙率、改善孔隙特征(减少开口孔和连通孔)、防止产生裂缝及其他缺陷等方法来增强抗渗性。

五、材料的抗冻性

抗冻性是指材料在吸水饱和状态下,能经受多次冻融循环作用而不破坏、强度也不显著降低的性质。

在潮湿环境或水中的建筑物,温暖季节材料吸水饱和,寒冷季节又受冰冻,如此多次反复交替作用,会在材料孔隙内壁因水结冰体积膨胀(约 9%)产生高达 100MPa 的应力,导致材料严重破坏。

材料的抗冻性用抗冻等级表示。抗冻等级是指材料在标准试验条件下,经过多次冻融,强度下降不大于 25% ,质量损失不大于 5% ,所能经受的最多冻融循环次数。以符号 F 及材料可承受的最多冻融循环次数表示。如抗冻等级为 F_{10} 的材料,表示材料所能经受的冻融循环次数最多为 10 次。通常根据工程的使用环境和要求,确定对材料抗冻等级的要求。如陶瓷面砖、普通烧结砖等墙体材料要求抗冻等级分别为 F_{15} 和 F_{25} ,而水工混凝土的抗冻等级要求高达 F_{500} 。

材料的抗冻性主要与其孔隙率、孔隙特征、吸水性及抵抗胀裂的强度有关,工程中常从这些方面改善材料的抗冻性。

六、材料的霉变性和腐朽性

材料在潮湿或温暖的气候条件下受到真菌侵蚀,在材料的表面产生绒毛状的或棉花状的,颜色从白色到暗灰色至黑色,有时也会显出蓝绿色、黄绿色或微红色的物质称为材料霉变。霉变对材料的力学性质影响较小,但影响外观,甚至会引起材料表面变形。材料发生霉变的原因主要有 3 个,即水分、温度及空气,真菌适宜在潮湿的、温度为 $25\sim 35^{\circ}\text{C}$ 的空气中繁殖生存,温度低于 5°C 或高于 60°C 、或完全侵入水中的材料,真菌都会停止繁殖甚至死亡。只要保持材料干燥、通风,就可避免材料发生霉变。

材料在使用过程中受到酸、碱、盐以及真菌等各种腐蚀介质的作用,在材料内部发生一系列的物理、化学变化,使材料逐渐受到损害,性能改变,力学性质降低,严重时会引起整个材料彻底破坏的现象称为材料腐朽。如水泥石在淡水、酸类、盐类和强碱等各种介质作用下水化产物发生分解反应,引起水泥石疏松、开裂。木材受到腐朽菌侵蚀,将木材细胞壁中的纤维素等物质分解,使木材腐朽破坏。引起材料腐朽的原因很多,具体的防腐措施见其他各项目内容。



第三节 材料与热有关的性质

材料与热有关的性质包括热容性、导热性和热变形性。

一、材料的热容性

材料的热容性,是指材料受热时吸收热量或冷却时放出热量的能力,它以材料升温或降温时热量的变化来表示,即热容量,其计算公式为

$$Q = m \cdot C \cdot (t_1 - t_2) \quad (1-18)$$

式中 Q ——材料的热容量, kJ;

m ——材料的质量, kg;

$(t_1 - t_2)$ ——材料受热或冷却前后的温差, K;

C ——材料的比热, kJ/(kg · K)。

其中比热(C)值是真正反映不同材料间热容性差别的参数。可以在实验室条件下检测材料在温度变化时的热量释放量,再由下式求出

$$C = \frac{Q}{m \cdot (t_1 - t_2)} \quad (1-19)$$

C 值的物理意义是质量为 1kg 的材料,在温度每改变 1K 时所吸收或放出热量的大小。材料的比热值大小与其组成和结构有关,比热大的材料对缓和建(构)筑物的温度变化有利,工程中常选用比热大的建筑材料。因为水的比热值最大,当材料含水率高时,比热值则增大。通常所说材料的比热值是指其干燥状态下的比热值。

二、材料的导热性

材料的导热性,是指材料两侧有温差时,材料将热量由温度高的一侧向温度低的一侧传递的能力,也就是导热的能力。

材料的导热性以导热系数 λ 表示, λ 是指当材料两侧的温差为 1K 时,在单位时间(1h)内,通过单位面积(1m²),透过单位厚度(1m)材料所传导的热量,即

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{(T_1 - T_2) \cdot A \cdot t} \quad (1-20)$$

式中 λ ——材料的导热系数, W/(m · K);

Q ——传导的热量, J;

d ——材料的厚度, m;

A ——材料的传热面积, m²;

t ——传热时间, h;

$(T_1 - T_2)$ ——材料两侧的温度差, K。

导热系数大的材料,则导热性强,绝热性差。不同建筑材料的导热性差别很大,通常把 $\lambda < 0.23 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 的材料称为绝热性材料。



材料的导热性与其结构、组成、表观密度、含水率、孔隙率及孔隙特征等有关,材料的表观密度小,孔隙率大,闭口孔多,孔分布均匀、孔尺寸小、含水率小时,则表现出导热性差、绝热性好。通常所说的材料导热系数是指干燥状态下的导热系数。当材料一旦吸水或受潮时,导热系数会显著增大,绝热性明显变差。

三、材料的热变形性

材料的热变形性,是指材料在温度升高或降低时体积变化的性质。

除个别材料(如 277K 以下的水)以外,多数材料在温度升高时体积膨胀,温度下降时体积收缩,这种变化表现在单向尺寸时,为线膨胀或线收缩,材料的单向线膨胀量或线收缩量计算公式为

$$\Delta L = (T_2 - T_1) \cdot \alpha \cdot L \quad (1-21)$$

式中 ΔL ——线膨胀量或线收缩量,mm 或 cm;

$(T_2 - T_1)$ ——材料升(降)温前后的温度差,K;

α ——材料在常温下的平均线膨胀系数,1/K;

L ——材料原来的长度,mm 或 cm。

线膨胀系数 α 是指材料温度上升 1K(或下降 1K)所引起的相对伸长值(或相对缩短值),是一个重要的物理参数,可以用来计算材料在温度变化时的变形,或当温度变形受阻时所产生的温度应力等。

第四节 材料的力学性质

一、材料的强度

材料的强度是指材料在外力(荷载)作用下,抵抗破坏的能力。

材料所受的外力,主要有压力、拉力、剪力和弯曲等多种形式。材料抵抗这些外力破坏的能力,分别称为抗压强度、抗拉强度、抗剪强度和抗弯强度。材料承受各种外力的示意图,如图 1-3 所示。

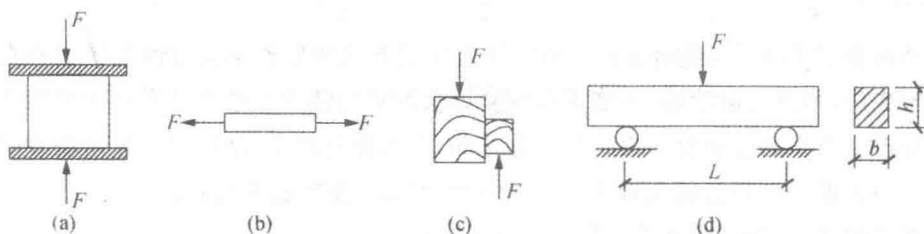


图 1-3 材料的几种受力状态

(a)材料受压;(b)材料受拉;(c)材料受剪;(d)材料受弯

材料的抗压、抗拉、抗剪强度可按下式计算



$$f = \frac{F}{A} \quad (1-22)$$

式中 f ——材料的抗压、抗拉、抗剪强度, MPa;

F ——材料受压、受拉、受剪破坏时的荷载, N;

A ——材料的受拉、受压、受剪面积, mm^2 。

材料的抗弯强度(也称抗折强度)与材料受力情况有关,试验时将试件放在两个支点上,若中间作用一集中荷载,对矩形截面试件,抗弯强度可按下式计算:

$$f_t = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (1-23)$$

式中 f_t ——抗弯强度, MPa;

F ——材料试件受弯时的破坏荷载, N;

L ——材料试件两支点间的距离, mm;

b, h ——材料试件的截面宽度、高度, mm。

材料的强度与它的成分、构造有关。不同种类的材料,有不同的强度;同一种材料随其孔隙率及构造特征不同,强度也会有较大差异。一般情况下,表观密度愈小,孔隙率愈大,质地愈疏松的材料强度也愈低。

强度是材料的主要技术性能之一,不同材料的强度,可按规定的标准试验方法确定。材料可根据强度值大小划分若干等级。对于不同强度的材料进行比较,可采用比强度这个指标,比强度是指材料的强度与其体积密度之比,是衡量材料轻质高强性能的重要指标。这类轻质高强的材料也是未来土木建筑材料发展的主要方向。

二、弹性与塑性

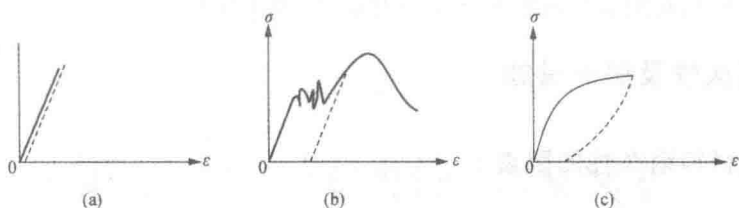
弹性和塑性是材料的变形性能,它们主要描述的是材料变形是否可恢复的特性。弹性是指材料在外力作用下发生变形,当外力解除后,能完全恢复到变形前形状的性质,这种变形称为弹性变形或可恢复变形。如图 1(a)所示为弹性材料的变形曲线,其加荷和卸荷是完全重合的两条直线,表示了其变形的可恢复性。该直线与横轴夹角的正切,称为弹性模量,

以 E 表示, $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ 。

弹性模量 E 值愈大,说明材料在相同外力作用下的变形愈小。塑性是指材料在外力作用下发生变形,当外力解除后,不能完全恢复原来形状的性质。这种变形称为塑性变形或不可恢复变形。完全弹性的材料实际是不存在的,大部分材料是弹性、塑性分阶段发生的。如图 1-4(b)、(c)所示分别为软钢和混凝土的 $\sigma-\epsilon$ 曲线,虚线表示的是卸荷过程,可见都存在有不可恢复的残余变形,故常将其称为弹塑性材料。

三、脆性与韧性

脆性是指材料受力达到一定程度时,突然发生破坏,且破坏时无明显塑性变形的性质。大部分无机非金属材料均属脆性材料,如天然石材、烧结普通砖、陶瓷、玻璃、普通混凝土和

图 1-4 材料的 σ - ϵ 变形曲线

砂浆等。脆性材料的另一特点是抗压强度高,而抗拉、抗折强度低,因此脆性材料常用于承受静压力作用的建筑部位,如基础、墙体、柱子和墩座等。

材料在冲击或动力荷载作用下,能吸收较大的能量产生一定的变形而不破坏的性质,称为韧性或冲击韧性。建筑钢材、木材和塑料等是较典型的韧性材料。路面、桥梁、吊车梁及有抗震要求的结构都要考虑材料的韧性。

四、硬度与耐磨性

硬度是指材料表面耐较硬物体刻划或压入而产生塑性变形的能力。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深度。而陶瓷、玻璃等脆性材料的硬度往往采用刻划法来测定,称为莫氏硬度,根据刻划矿物(滑石、石膏、方解石、萤石、磷灰石、正长石、石英、黄晶、刚玉和金刚石)的不同分为 10 级。

耐磨性是指材料表面抵抗磨损的能力。材料的耐磨性用磨耗率表示,计算公式如下

$$G = \frac{m_1 - m_2}{A} \quad (1-24)$$

式中 G ——材料的磨耗率, g/cm^2 ;

m_1 ——材料磨损前的质量, g ;

m_2 ——材料磨损后的质量, g ;

A ——材料试件的受磨面积, cm^2

材料的磨耗率 G 值越低,表明该材料的耐磨性越好。一般硬度较高的材料,耐磨性也较好。工程实际中也可通过选择硬度合适的材料来满足对耐磨性的要求。

第五节 材料的耐久性

一、材料的耐久性与使用寿命

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。

在设计建筑物选用材料时,必须考虑材料的耐久性问题,因为只有采用耐久性良好的建筑材料,才能保证建筑物的耐久性。提高材料的耐久性,对节约建筑材料、保证建筑物长期

正常使用、减少维修费用和延长建筑物使用寿命等,均具有十分重要的意义。

二、材料的耐久性及保证措施

(一)影响材料耐久性的因素

用于建(构)筑物的材料,除要受到各种外力的作用之外,还经常要受到环境中许多自然因素的破坏作用。这些破坏作用包括物理、化学、机械及生物的作用。

(1)物理作用。它包括干湿变化、温度变化及冻融变化等。这些作用将使材料发生体积的胀缩,或导致内部裂缝的扩展。长期的反复作用会使材料逐渐破坏。

(2)化学作用。它包括大气、环境水以及使用条件下酸、碱、盐等液体或有害气体对材料的侵蚀作用。

(3)机械作用。它包括荷载的持续作用,交变荷载引起材料的疲劳破坏以及冲击、磨损等作用。

(4)生物作用。它包括菌类、昆虫等的作用而使材料腐朽、蛀蚀而破坏。

(二)提高材料耐久性的措施

(1)提高材料本身对外界作用的抵抗能力(如提高密实度、改变孔隙构造和改变成分等)。

(2)选用其他材料对主体材料加以保护(如作保护层、刷涂料和作饰面等)。

(3)设法减轻大气或其他介质对材料的破坏作用(如降低湿度、排除侵蚀性物质等)。

(三)材料耐久性的测定

对材料耐久性性能的判断应在使用条件下进行长期观测,但这需要很长的时间。通常是根据使用条件和要求,在实验室进行快速试验,如干湿循环、冻融循环、碳化和化学介质浸渍等,并据此对材料的耐久性做出评价。

思考题

1. 材料的强度与强度等级有什么关系? 比强度的意义是什么?

2. 评价材料热工性能的常用参数有哪几个? 欲保持建筑物内温度的稳定并减少热损失,应选择什么样的建筑材料?

3. 生产材料时,在其组成一定的情况下,可采取什么措施来提高材料的强度和耐久性?

4. 影响材料耐腐蚀性的内在因素有哪些?

5. 一块烧结普通砖的外形尺寸为 $240\text{mm} \times 115\text{mm} \times 53\text{mm}$ 吸水饱和后质量为 2938g , 烘干至恒重的质量为 2665g ; 切下一小块磨细后取干粉 55g , 用容量瓶测得其密实状态下的体积为 20.7cm^3 求此砖的密度、体积密度、孔隙率、质量吸水率。

6. 配制混凝土用的某种卵石,其表观密度为 2.65g/cm^3 , 堆积密度为 1560kg/m^3 试求其空隙率。若用堆积密度为 1500kg/m^3 的中砂填满 1m^3 上述卵石的空隙,问需多少 kg 的砂?



第二章 气硬性胶凝材料

【学习要求】

1. 掌握气硬性胶凝材料和水硬性胶凝材料的区别；
2. 掌握建筑石膏的生产、凝结硬化、性质、应用及储运；
3. 掌握石灰的生产、熟化硬化、技术标准、性质、应用及储运；
4. 了解水玻璃的性能及应用。

胶凝材料是指在一定条件下通过自身的一系列变化,能把其他材料胶结成具有一定强度的整体的材料,通常分为有机和无机两大类。

有机胶凝材料是指以天然的或人工合成的高分子化合物为基本组分的一类胶凝材料,如沥青、树脂等。

无机胶凝材料是指以无机矿物为主要成分,当其与水或水溶液拌和后形成的浆体,经过一系列物理化学变化,而将其他材料胶结成具有强度的整体,如石灰、水泥、石膏等。

无机胶凝材料根据硬化条件不同又分为气硬性和水硬性两种。

气硬性胶凝材料一般只能在空气中硬化并保持其强度,如石灰、石膏等。

水硬性胶凝材料既能在空气中硬化,又能在水中继续硬化并保持和发展其强度,如水泥等。

第一节 石膏

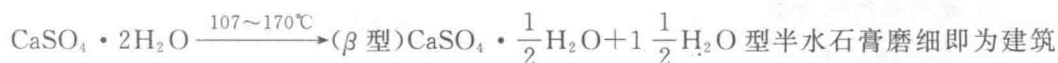
一、石膏胶凝材料的生产

我国的石膏资源极其丰富,分布很广。有自然界存在的天然二水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 又称软石膏或生石膏)、天然无水石膏(CaSO_4 , 又称硬石膏)和各种工业副产品或废料——化学石膏。

石膏胶凝材料的生产,通常是用天然二水石膏经低温煅烧、脱水、磨细而成。

1. 建筑石膏

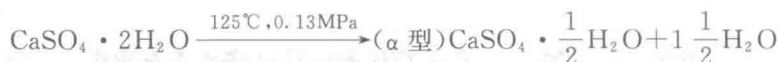
二水石膏在 $107 \sim 170^\circ\text{C}$ 时激烈脱水,水分迅速蒸发,成为 β 型半水石膏:



型半水石膏磨细即为建筑石膏。其中杂质含量少、颜色洁白者称模型石膏。

2. 高强石膏

二水石膏在 0.13MPa 压力的蒸压锅内蒸炼(温度 125℃)脱水,可制得 α 型半水石膏:

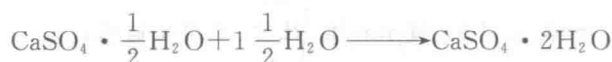


α 型半水石膏浆体硬化后的强度较高,故又称高强石膏。

二、建筑石膏的凝结硬化

建筑石膏与适量水混合后,最初为可塑性的浆体,但很快失去塑性而凝结硬化,继而产生强度而发展成为固体。

半水石膏遇水后将重新水化生成二水石膏,反应式如下:



建筑石膏凝结硬化过程:半水石膏遇水即发生溶解,溶液很快达到饱和,溶液中的半水石膏水化成为二水石膏。由于二水石膏的溶解度远比半水石膏小,所以很快从过饱和溶液中沉淀析出二水石膏的胶体微粒并不断转化为晶体。由于二水石膏的析出破坏了原有半水石膏的平衡,这时半水石膏进一步溶解和水化。如此不断地进行半水石膏的溶解和二水石膏的析晶,直到半水石膏完全水化为止。

随着浆体中的自由水分因水化和蒸发而逐渐减少,浆体逐渐变稠失去塑性,呈现石膏的凝结。此后,二水石膏的晶体继续大量形成、长大,晶体之间相互接触与连生,形成结晶结构网,浆体逐渐硬化成块体,并具有一定的强度。

三、建筑石膏的等级与技术性质

1. 建筑石膏的技术性质

建筑石膏的密度为 2.5~2.8g/cm³,表观密度为 800~1000kg/m³。根据《建筑石膏》的规定,建筑石膏组成中 β 型半水硫酸钙的含量应不小于 60%,按其 2 h 抗折强度分为 3.0、2.0 和 1.6 三个等级。各个等级的建筑石膏物理力学性能应符合表 2-1 要求。

表 2-1 物理力学性能

等级	细度(0.2mm 方孔筛筛余)/(%)	凝结时间/min		2 h 强度/MPa	
		初凝	终凝	抗折	抗压
3.0	≤10	≥3	≤30	≥3.0	≥5.0
2.0				≥2.0	≥4.0
1.6				≥1.6	≥3.0

2. 建筑石膏的特点

(1) 凝结硬化快

建筑石膏加水搅拌后,浆体几分钟后便开始失去可塑性,30 min 内完全失去可塑性而产



生强度,这对成型带来一定困难,因此在使用过程中,常掺入一些缓凝剂,如硼砂、柠檬酸、骨胶等,其中硼砂缓凝剂效果好,用量为石膏质量的 $0.2\%\sim 0.5\%$ 。

(2)凝固时体积微膨胀,装饰性好

多数凝结材料在硬化过程中一般都会产生收缩,而建筑石膏在硬化时体积却膨胀,膨胀率为 $0.5\%\sim 1.0\%$,且不开裂。这种特征可使成型的制品表面光滑,尺寸准确,轮廓清晰,有利于制造复杂图案花型的石膏装饰件。而且石膏质地细腻,颜色洁白,因此其装饰性良好。

(3)孔隙率大,表观密度小,绝热、吸声性能好

为了使石膏浆体具有施工要求的可塑性,建筑石膏在加水拌和时往往加入大量的水(占建筑石膏质量的 $60\%\sim 80\%$),而建筑石膏的理论需水量为 18.6% ,当一定量的自由水蒸发后,在建筑石膏制品内部形成大量的毛细孔隙(硬化体的孔隙率达 $50\%\sim 60\%$)。因此,石膏制品表观密度小、保温隔热性能好、吸声性能好等优点,同时也带来强度低、吸水率大等缺点。

(4)具有一定的调温调湿性

建筑石膏是一种无毒无味、不污染环境,对人体无害的建筑材料。石膏制品的比热较大,因而具有一定的调节温度的作用;石膏内部的大量毛细孔隙能够吸收潮湿空气中的水分,或在干燥的环境中释放出孔隙内的水分,以调节室内空气湿度。故在室内小环境下,能在一定程度上使室内环境更符合人类生理需要,有利于人体健康。

(5)防火性好,但耐火性差

由于硬化的石膏结晶水较多,遇水时这些结晶水吸收热量蒸发,形成蒸汽幕,阻止火势蔓延,同时,表面生成的无水物为良好的绝缘体,起到防火作用。但二水石膏脱水后,强度下降,因此耐火性能差。石膏制品不宜长期在 65°C 以上的高温部位使用。

(6)耐水性、抗冻性差

建筑石膏是气硬性胶凝材料,微溶于水,且制品的孔隙率大。长期处于潮湿条件下的石膏制品,其强度显著降低,制品易变形、翘曲。如吸水后受冻,将因孔隙中水分结冻膨胀而破坏,故其耐水性和抗冻性均较差,软化系数只有 $0.2\sim 0.3$,不宜用于室外及潮湿环境中。

四、建筑石膏的用途

1. 室内抹灰及粉刷

由于建筑石膏的优良特性,常用于室内高级抹灰和粉刷。

建筑石膏加砂、缓凝剂和水拌和成石膏砂浆,用于室内抹灰,其表面光滑、细腻、洁白、美观。石膏砂浆也作为腻子,填平墙面的凹凸不平。建筑石膏加缓凝剂和水拌和成石膏砂浆,可以作为室内粉刷的涂料。

2. 制作各种石膏制品

建筑石膏制品种类较多,我国目前主要生产各类石膏板、石膏砌块和装饰石膏制品。

石膏板主要有纸面石膏板、纤维石膏板及空心石膏板等。装饰石膏制品主要有装饰石膏板、嵌装式装饰石膏板和艺术石膏制品等。

石膏板具有质轻、保温、隔热、吸声、防火、抗震、调湿、尺寸稳定及成本低等优良性能,且可锯、可刨、可钉,加工性能好,施工方便、节能,是一种有着广阔发展前景,并着重发展的新型轻质材料之一。