

学习情境一

道路材料的基本性能



情境引入

某道路工程中,施工企业为了使施工所选石子达到一定的质量技术标准,需要测定该石子的表观密度、吸水率、堆积密度及开口孔隙率。通过试验员的测定,质量为 3.4 kg,容积为 10 L 的量筒装满若干石子后的总质量为 18.4 kg,若向量筒内注水,待石子吸水饱和后,为注满此筒共注入水 4.27 kg,将上述吸水饱和后的石子擦干表面后称得总质量为 18.6 kg(含筒重)。



案例导航

在道路工程中,材料要承受各种不同的作用,从而要求材料具有相应的不同性质,例如,本案例中提到的表观密度、吸水率、堆积密度及开口孔隙率等。为了保证道路经久耐用,要求建筑设计人员掌握材料的基本性质,并能合理地选用材料。

如何对材料的基本性质指标进行计算?如何正确选择和合理使用建筑材料?需要掌握以下要点:

- (1)材料的基本物理性质;
- (2)材料的力学性质;
- (3)材料的耐久性。

1

学习单元1 材料的基本物理性质



知识目标

(1)了解材料的密度、表观密度、堆积密度、密实度、孔隙率、填充率及空隙率的概念,熟悉各密度指标的表达式;

(2)熟悉耐水性、抗渗性、导热性、热容量与比热、吸声性的表达式。

技能目标

- (1) 能够掌握建筑材料的基本物理性质,能进行材料的密度、孔隙率、填充率、空隙率、压实度等与质量有关的物性参数计算;
- (2) 能够进行吸水率、含水率、耐水性、抗渗性等与水有关的物性参数计算;
- (3) 能够进行导热性、热容量、比热容、材料的变形值等与热有关的物性参数计算;
- (4) 能够进行吸声系数和隔声量等与声学有关的物性参数计算。

基础知识

一、材料与质量有关的性质

材料与质量有关的性质主要是指材料的各种密度和描述其孔隙与空隙状况的指标,在这些指标的表达式中都有质量这一参数。

(一) 材料的密度、表观密度和堆积密度

1. 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量。密度 ρ 的计算公式为:

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

式中 ρ ——材料的密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积, cm^3 或 m^3 。

材料的质量是指材料所含物质的多少。材料在绝对密实状态下的体积是指不包括内部孔隙的材料体积。由于材料在自然状态下并非绝对密实,所以绝对密实体积一般难以直接测定,只有钢材、玻璃等材料可近似地直接测定。

小提示

在测定有孔隙的材料密度时,可以把材料磨成细粉或采用排液置换法测量其体积。材料磨得越细,测得的体积越接近绝对体积,所得密度值就越准确。

2. 表观密度

表观密度是材料在自然状态下单位体积的质量。测定材料的表观密度时,材料的质量可以是在任意含水状态下的,但需说明含水情况。表观密度 ρ_0 的计算公式为:

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

式中 ρ_0 ——材料的表观密度, kg/m^3 或 g/cm^3 ;

m ——材料在自然状态下的质量, kg 或 g ;

V_0 ——材料在自然状态下的体积, m^3 或 cm^3 。

在自然状态下,材料内部的孔隙可分为两类:有的孔之间相互连通且与外界相通,称为开口孔;有的孔互相独立,不与外界相通,称为闭口孔。大多数材料在使用时,其

体积指包括内部所有孔在内的体积,即自然状态下的体积(V_0),如砖、石材、混凝土等。有的材料(如砂、石)在拌制混凝土时,因其开口孔被水占据,材料体积只包括材料实体积及其闭口孔体积(以 V' 表示)。为了区别这两种情况,常将包括所有孔隙在内的密度称为表观密度;把只包括闭口孔在内的密度称为视密度,用 ρ' 表示,即 $\rho' = \frac{m}{V'}$ 。视密度在计算砂、石在混凝土中的实际体积时有实用意义。

小提示

在自然状态下,材料内部常含有水分,其质量随含水程度而改变,因此视密度应注明其含水程度。材料的视密度除取决于材料的密度及构造状态外,还与其含水程度有关。

3. 堆积密度

堆积密度是指粉块状材料在堆积状态下单位体积的质量。堆积密度 ρ'_0 的计算公式为:

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

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V'_0 ——材料的堆积体积, m^3 。

材料的堆积体积是指散粒状材料在堆积状态下的总体外观体积。散粒状堆积材料的堆积体积既包括材料颗粒内部的孔隙,也包括颗粒间的空隙。除了颗粒内孔隙的多少及其含水多少外,颗粒间空隙的大小也影响堆积体积的大小。因此,材料的堆积密度与散粒状材料在自然堆积时颗粒间空隙、颗粒内部结构、含水状态、颗粒间被压实的程度有关。材料的堆积体积常用材料填充容器的容积大小来测量。

小提示

根据其堆积状态的不同,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。

(二) 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。密实度 D 的计算公式为:

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

式中 D ——材料的密实度, %;

V ——材料在绝对密实状态下的体积, cm^3 或 m^3 ;

V_0 ——材料在自然状态下的体积, cm^3 或 m^3 ;

ρ_0 ——材料的表观密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

ρ ——材料的密度, g/cm^3 或 kg/m^3 。

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07

2. 孔隙率

孔隙率是指材料中的孔隙体积占整个体积的百分率。孔隙率 P 的计算公式为:

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

式中 P ——材料的孔隙率, %。

孔隙率反映了材料内部孔隙的多少, 它会直接影响材料的多种性质。孔隙率越大, 则材料的表观密度、强度越小, 耐磨性、抗冻性、抗渗性、耐腐蚀性、耐水性及耐久性越差, 而保温性、吸声性、吸水性及吸湿性越强。上述性质不仅与材料的孔隙率大小有关, 还与孔隙特征(如开口孔隙、闭口孔隙、球形孔隙等)有关。此外, 孔隙尺寸的大小、孔隙在材料内部分布的均匀程度等, 都是孔隙在材料内部的特征表现。

小提示

材料的密实度与孔隙率是相对应的两个概念, 它们从两个不同的侧面反映了材料的密实程度。

在道路工程中, 计算材料的用量和构件自重, 进行配料计算, 确定材料堆放空间及组织运输时, 经常要用到材料的密度、表观密度和堆积密度。常用道路材料的密度、表观密度、堆积密度及孔隙率如表 1-1 所示。

表 1-1 常用道路材料的密度、表观密度、堆积密度及孔隙率

| 材料名称 | 密度/(g · cm ⁻³) | 表观密度/(kg · m ⁻³) | 堆积密度/(kg · m ⁻³) | 孔隙率/% |
|---------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------|
| 石灰岩 | 2.60 | 1 800 ~ 2 600 | — | 0.6 ~ 1.5 |
| 花岗岩 | 2.60 ~ 2.90 | 2 500 ~ 2 800 | — | 0.5 ~ 1.0 |
| 碎石(石灰岩) | 2.60 | — | 1 400 ~ 1 700 | — |
| 砂 | 2.60 | — | 1 450 ~ 1 650 | — |
| 水 泥 | 2.80 ~ 3.20 | — | 1 200 ~ 1 300 | — |
| 烧结普通砖 | 2.50 ~ 2.70 | 1 600 ~ 1 800 | — | 20 ~ 40 |
| 普通混凝土 | 2.60 | 2 100 ~ 2 600 | — | 5 ~ 20 |
| 轻质混凝土 | 2.60 | 1 000 ~ 1 400 | — | 60 ~ 65 |

(三) 材料的填充率与空隙率

对于松散颗粒状态材料(如砂、石子等), 可用填充率和空隙率表示其填充的疏松致密的程度。

1. 填充率

填充率是指散粒状材料在堆积体积内被颗粒所填充的程度。填充率 D' 的计算公式为:

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

式中 D' ——散粒状材料在堆积状态下的填充率, %。

2. 空隙率

空隙率是指散粒状材料在堆积体积内颗粒之间的空隙体积所占的百分率。空隙率 P' 的计算公式为:

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

式中 P' ——散粒状材料在堆积状态下的空隙率, %。

空隙率考虑的是材料颗粒间的空隙, 这对填充和黏结散粒材料时, 研究散粒状材料的空隙结构和计算胶结材料的需要量十分重要。

(四) 压实度

材料的压实度是指散粒状材料被压实的程度, 即散粒状材料经压实后的实测干堆积密度 ρ'_p 值与该材料经充分压实后的最大干堆积密度 ρ'_m 值的比率百分数。压实度 K_p 的计算公式为:

$$K_p = \frac{\rho'_p}{\rho'_m} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 K_p ——散粒状材料的压实度, %;

ρ'_p ——散粒状材料经压实后的实测干堆积密度, kg/m^3 ;

ρ'_m ——散粒状材料经充分压实后的最大干堆积密度, kg/m^3 。



课堂案例

经测定, 质量为 3.4 kg, 容积为 10.0 L 的量筒装满若干石子后的总质量为 18.4 kg, 若向量筒内注水, 待石子吸水饱和后, 为注满此筒共注入水 4.27 kg, 将上述吸水饱和后的石子擦干表面后称得总质量为 18.6 kg (含筒重), 求该石子的视密度、表观密度、堆积密度及开口孔隙率。

解: 石子的质量: $m = 18.4 - 3.4 = 15.0 (\text{kg})$;

石子的堆积体积: $V'_0 = 10.0 (\text{L})$;

石子的吸水质量: $m_w = 18.6 - 18.4 = 0.2 (\text{kg})$;

石子吸水的体积: $V_{\text{开}} = 0.2 (\text{L})$;

视密度: $\rho' = \frac{m}{V'} = \frac{15.0}{(10.0 - 4.27) \times 10^{-3}} = 2\ 620 (\text{kg}/\text{m}^3)$;

表观密度: $\rho_0 = \frac{m}{V_0} = \frac{15.0}{(10.0 - 4.27 + 0.2) \times 10^{-3}} = 2\ 530 (\text{kg}/\text{m}^3)$;

堆积密度: $\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} = \frac{15.0}{10.0 \times 10^{-3}} = 1\ 500 (\text{kg}/\text{m}^3)$;

开口孔隙率: $\rho = \frac{V_{\text{开}}}{V'_0} \times 100\% = \frac{0.2}{10.0 - 4.27 + 0.2} \times 100\% = 3.37\%$ 。



二、材料与水有关的性质

水对于正常使用阶段的绝大多数道路材料都有不同程度的有害作用。在道路使

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07

用过程中,材料又不可避免地会受到外界雨、雪、地下水、冻融等的影响,因此要特别注意道路材料与水有关的性质,包括材料的亲水性与憎水性、吸湿性与吸水性,以及材料的耐水性、抗渗性、抗冻性等。

(一) 材料的亲水性与憎水性

当水与道路材料在空气中接触时,会出现两种不同的现象。图 1-1a 中水在材料表面易于扩展,这种与水的亲和性称为亲水性。表面与水亲和力较强的材料称为亲水性材料。水在亲水性材料表面上的润湿边角(固、气、液三态交点处,沿水滴表面的切线与水与固体接触面所成的夹角) $\theta \leq 90^\circ$ 。与此相反,材料与水接触时,不与水亲和的性质称为憎水性。水在憎水性材料表面上呈如图 1-1b 所示的状态, $\theta > 90^\circ$ 。

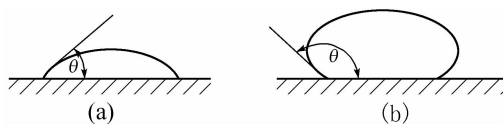


图 1-1 材料润湿边角
(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料

亲水性材料(大多数无机硅酸盐材料和石膏、石灰等)有较多的毛细孔隙,对水有强烈的吸附作用。沥青一类的憎水性材料则对水有排斥作用,因此常用作防水材料。

(二) 材料的吸湿性与吸水性

1. 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。吸湿性常以含水率表示,含水率即吸入水分与干燥材料的质量比。一般来说,开口孔隙率较大的亲水性材料具有较强的吸湿性。材料的含水率还受环境条件的影响,随温度和湿度的变化而改变。最终材料的含水率将与环境湿度达到平衡状态,此时的含水率称为平衡含水率。含水率 W 的计算公式为:

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中 W ——材料的含水率, %;

m_2 ——材料吸湿后的质量, g;

m_1 ——材料在绝对干燥状态下的质量, g。

2. 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。吸水性有质量吸水率和体积吸水率两种表达方式,分别用 W_w 和 W_v 表示:

$$W_w = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-10)$$

$$W_v = \frac{V_w}{V_0} = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中 W_w ——质量吸水率, %;

W_v ——体积吸水率, %;

m_2 ——材料在吸水饱和状态下的质量, g;

m_1 ——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, cm^3 ;

ρ_w ——水的密度, 常温下可取 1 g/cm^3 。

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; 而对于其他大多数材料, 经常采用质量吸水率。两种吸水率之间存在着以下关系:

$$W_v = W_w \rho_0 \quad (1-12)$$

这里的 ρ_0 应是材料的干燥表观密度, 单位采用 g/cm^3 。影响材料的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。

小提示

一般来说, 材料的亲水性越强, 孔隙率越大, 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, 导热性越强, 抗冻性越弱。

(三) 材料的耐水性

材料长期在水的作用下不被损坏, 其强度也不显著降低的性质称为耐水性。材料含水后, 将以不同方式来减弱其内部结合力, 使强度产生不同程度的降低。材料的耐水性用软化系数 K 表示, 其计算公式为:

$$K = \frac{f_1}{f} \quad (1-13)$$

式中 K ——材料的耐水性软化系数;

f_1 ——材料在吸水饱和状态下的抗压强度, MPa;

f ——材料在干燥状态下的抗压强度, MPa。

小提示

软化系数在 0 ~ 1 之间波动, 软化系数越小, 说明材料吸水饱和后强度降低得越多, 耐水性越差。受水浸泡或处于潮湿环境中的重要道路所选用的材料, 其软化系数不得低于 0.85。因此, 软化系数大于 0.85 的材料常被认为是耐水的。干燥环境中使用的材料可不考虑耐水性。

(四) 材料的抗渗性

抗渗性是指材料抵抗压力水或其他液体渗透的性质。地下建筑物、水工建筑物或屋面材料都需要具有足够的抗渗性, 以防出现渗水、漏水现象。

抗渗性可用渗透系数表示。根据水力学的渗透定律, 在一定的时间 t 内, 透过材料试件的水量 Q 与渗水面积 A 及材料两侧的水头差 H 成正比, 与试件厚度 d 成反比, 而其比例系数 k 即定义为渗透系数。

即由 $Q = k \cdot \frac{HA t}{d}$ 可得:

$$k = \frac{Q d}{H A t} \quad (1-14)$$

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07

式中 Q ——透过材料试件的水量, cm^3 ;
 H ——水头差, cm ;
 A ——渗水面积, cm^2 ;
 d ——试件厚度, cm ;
 t ——渗水时间, h ;
 k ——渗透系数, cm/h 。

材料的抗渗性也可用抗渗等级 P 表示, 抗渗等级即在标准试验条件下材料的最大渗水压力 (MPa)。如抗渗等级为 P_6 , 表示该种材料的最大渗水压力为 0.6 MPa。

小提示

材料的抗渗性主要与材料的孔隙状况有关。材料的孔隙率越大, 连通孔隙越多, 其抗渗性越差。绝对密实的材料和仅有闭口孔或极细微孔的材料实际上是不渗水的。

(五) 材料的抗冻性

材料在使用环境中, 经受多次冻融循环而不被破坏, 强度也无显著降低的性质, 称为抗冻性。

材料经多次冻融循环后, 表面将出现裂纹、剥落等现象, 造成质量损失、强度降低。这是由材料内部孔隙中的水分结冰时体积增大 (约 9%) 而对孔壁产生很大的压力 (每平方米可达 100 N), 冰融化时压力又骤然消失所致。无论是冻结还是融化过程, 都会使材料冻融交界层间产生明显的压力差, 并使之作用于孔壁而使孔壁受损。

材料的抗冻能力大小与材料的构造特征、强度、含水程度等因素有关。一般来说, 密实的以及具有闭口孔的材料有较好的抗冻性; 具有一定强度的材料对冰冻有一定的抵抗能力; 材料含水量愈大, 冰冻破坏作用愈大。此外, 经受冻融循环的次数愈多, 材料遭损害程度愈严重。

材料的抗冻性试验是使材料吸水至饱和后, 在 $-15\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下冻结规定时间, 然后在室温的水中融化, 经过规定次数的冻融循环后, 测定其质量及强度损失情况来衡量材料的抗冻性。有的材料, 如烧结普通砖, 以反复冻融 15 次后其质量及强度损失不超过规定值即为抗冻性合格; 有的材料, 如混凝土则用抗冻等级来表示。

小提示

对于冬季室外温度低于 $-10\text{ }^\circ\text{C}$ 的地区, 工程中使用的材料必须进行抗冻性检验。

三、材料的热工性质

在道路中, 道路材料除需要满足强度及其他性能的要求外, 还需要具有良好的热工性质, 使室内维持一定的温度, 为生产、工作及生活创造适宜的条件。

(一) 材料的耐燃性与耐火性

■ 1. 材料的耐燃性

耐燃性是指材料在火焰或高温作用下可否燃烧的性质。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)。在道路的不同部位,根据其使用特点和重要性,可选择不同耐燃性的材料。

2. 材料的耐火性

耐火性是指材料在火焰或高温作用下,保持自身不被破坏、性能不明显下降的能力,用其耐受时间 h 来表示,耐受时间 h 称为耐火极限。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,而耐火的材料一般都耐燃。常用材料的极限耐火温度如表 1-2 所示。

表 1-2 常用材料的极限耐火温度

| 材料 | 温度/℃ | 注解 | 材料 | 温度/℃ | 注解 |
|---------|------|-----------|----------|------|------------|
| 普通黏土砖砌体 | 500 | 最高使用温度 | 预应力混凝土 | 400 | 火灾时最高允许温度 |
| 普通钢筋混凝土 | 200 | 最高使用温度 | 钢材 | 350 | 火灾时最高允许温度 |
| 普通混凝土 | 200 | 最高使用温度 | 木材 | 260 | 火灾危险温度 |
| 页岩陶粒混凝土 | 400 | 最高使用温度 | 花岗石(含石英) | 575 | 相变发生急剧膨胀温度 |
| 普通钢筋混凝土 | 500 | 火灾时最高允许温度 | 石灰岩、大理石 | 750 | 开始分解温度 |

(二) 材料的温度变形性

材料的温度变形性是指温度升高或降低时材料的体积变化程度。多数材料在温度升高时体积膨胀,温度降低时体积收缩。这种变化在单向尺寸上表现为线膨胀或线收缩,对应的技术指标为线膨胀系数(α)。材料的单向线膨胀量或线收缩量的计算公式为:

$$\Delta L = (t_1 - t_2) \cdot \alpha \cdot L \quad (1-15)$$

式中 ΔL ——线膨胀或线收缩量,mm;

$t_1 - t_2$ ——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。



小提示

材料线膨胀系数的大小与建筑温度变形的产生有着直接的关系,在工程中需选择合适的材料来满足工程对温度变形的需求。



四、材料的声学性能

材料的声学性能是通过材料与声波的相互作用而呈现的,其主要有吸声性和隔声性。此处主要介绍吸声性。

吸声性是指声能穿透材料和被材料消耗的性质。材料吸声性能用吸声系数 α 表示。吸声系数是指材料吸收的能量与声波原先传递给材料的全部能量的百分比。吸声系数的计算公式为:

$$\alpha = \frac{E}{E_0} \times 100\% \quad (1-16)$$

式中 α ——材料的吸声系数;

E_0 ——传递给材料的全部入射声能;

E ——被材料吸收(包括透过)的声能。

chapter
01

chapter
02

chapter
03

chapter
04

chapter
05

chapter
06

chapter
07

当声波传播到材料表面时,一部分声波被反射,另一部分穿透材料,而其余部分则在材料内部的孔隙中引起空气分子与孔壁的摩擦和黏滞阻力,这样相当一部分声能转化为热能而被吸收。

材料的吸声特性除与材料的表观密度、孔隙特征、厚度及表面的条件(有无空气层及空气层的厚度)有关外,还与声波的入射角及频率有关。一般而言,材料内部具有开放、连通的细小孔隙越多,吸声性能越好;增加多孔材料的厚度,可提高其对低频声音的吸收效果。同一材料,对于高、中、低不同频率的吸声系数不同。为了全面反映材料的吸声性能,规定取 125 Hz、250 Hz、500 Hz、1 000 Hz、2 000 Hz、4 000 Hz 六个频率的平均吸声系数来表示材料吸声的频率特性。材料的吸声系数在 0~1 之间、平均吸声系数 ≥ 0.2 的材料称为吸声材料。

吸声材料能抑制噪声和减弱声波的反射作用,能改善声波在室内传播的质量,能保持良好的音响效果和减少噪声的危害。



2

学习单元 2 材料的力学性质



知识目标

- (1) 了解材料的强度特征与等级;
- (2) 掌握材料抗拉、抗压、抗剪强度的计算;
- (3) 掌握材料弹性模量的计算;
- (4) 掌握材料磨损率的计算。



技能目标

- (1) 能够进行材料抗拉、抗压、抗剪强度的计算;
- (2) 能够进行材料弹性模量的计算;
- (3) 能够进行材料磨损率的计算。



基础知识

材料的力学性质是指材料在外力作用下,抵抗破坏和变形方面的性质。其对建筑物的正常、安全及有效使用是至关重要的。



一、材料的强度特征

(一) 强度

材料的强度是指材料在外力作用下抵抗破坏的能力。道路材料受外力作用时,内部就产生应力。外力增加,应力相应增大,直至材料内部质点结合力不足以抵抗外力时,材料即发生破坏。此时的应力值就是材料的强度,也称极限强度。

根据外力作用方式的不同,材料强度有抗拉、抗压、抗剪、抗弯(抗折)强度等,如图 1-2 所示。

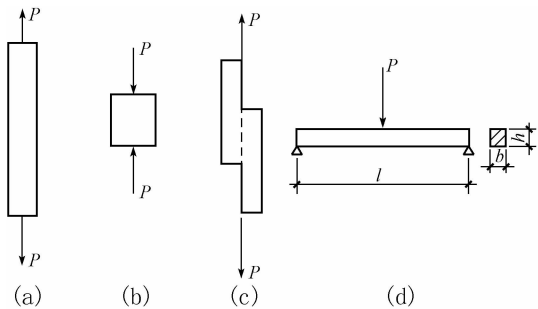


图 1-2 材料承受各种外力示意图
(a) 抗拉; (b) 抗压; (c) 抗剪; (d) 抗弯

小提示

材料的强度常通过破坏性试验测定。将试件放在材料试验机上,施加荷载直至破坏,根据破坏时的荷载即可计算出材料的强度。

1. 抗拉(压、剪)强度

材料承受荷载(拉力、压力、剪力)作用直到破坏时,单位面积上所承受的拉力(压力、剪力)称为抗拉(压、剪)强度。材料的抗拉、抗压、抗剪强度按下式计算:

$$f = \frac{F}{A} \quad (1-17)$$

式中 f ——抗拉、抗压、抗剪强度,MPa;
 F ——材料受拉、压、剪时的破坏荷载,N;
 A ——材料受力面积, mm^2 。

2. 抗弯(折)强度

材料的抗弯(折)强度与材料受力情况有关。对于矩形截面试件,若两端支撑,中间承受荷载作用,则其抗弯(折)强度按下式计算:

$$f_m = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (1-18)$$

式中 f_m ——材料的抗弯(折)强度,MPa;
 F ——受弯时的破坏荷载,N;
 L ——两支点间距,mm;
 $b、h$ ——材料截面宽度、高度,mm。

另外,强度还有断裂强度、剥离强度等。

断裂强度是指承受荷载时材料抵抗断裂的能力。

剥离强度是指在规定的试验条件下,对标准试件施加荷载,使其承受线应力,且加载的方向与试件表面保持规定角度,此时胶黏剂单位宽度上所能承受的平均荷载,常用N/m来表示。

小提示

材料的强度与其组成及结构有关。相同种类的材料,其组成、结构特征、孔隙率、试件形状、尺寸、表面状态、含水率、温度及试验时的加荷速度等,对材料的强度都有影响。

- chapter 01
- chapter 02
- chapter 03
- chapter 04
- chapter 05
- chapter 06
- chapter 07

常见建筑材料的各种强度值如表 1-3 所示。

表 1-3 常用建筑材料的各种强度值(单位:MPa)

| 材 料 | 抗 压 | 抗 拉 | 抗 折 |
|--------|-------------|-------------|----------|
| 花岗石 | 100 ~ 250 | 5 ~ 8 | 10 ~ 14 |
| 普通混凝土 | 5 ~ 60 | 1 ~ 9 | — |
| 轻骨料混凝土 | 5 ~ 50 | 0.4 ~ 2 | — |
| 松木(顺纹) | 30 ~ 50 | 80 ~ 120 | 60 ~ 100 |
| 钢 材 | 240 ~ 1 500 | 240 ~ 1 500 | — |

由表 1-3 可知,不同材料的各种强度是不同的。花岗石、普通混凝土等的抗拉强度比抗压强度小几十倍,因此,这类材料只适于做受压构件(基础、墙体、桩等)。而钢材的抗压强度和抗拉强度相等,所以其作为结构材料性能最为优良。

小提示

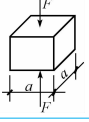
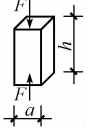
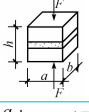
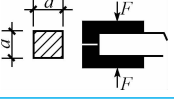
大部分道路材料根据其极限强度的大小,划分为若干不同的强度等级。砖、石、水泥、混凝土等材料主要根据其抗压强度划分强度等级。将道路材料划分为若干强度等级,对掌握材料性能,合理选用材料,正确进行设计和控制工程质量,是十分必要的。

材料的强度主要取决于材料成分、结构及构造。不同种类的材料,其强度不同;即使同类材料,由于组成、结构或构造的不同,其强度也有很大差异。疏松及孔隙率较大的材料,其质点间的联系较弱,有效受力面积较小,孔隙附近产生应力集中,故强度低。某些具有层状或纤维状构造的材料在不同方向受力时强度性能也不同,即所谓各向异性。

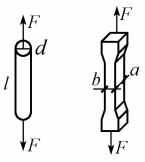
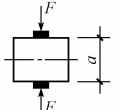

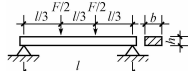
(二)强度等级

对于以强度为主要指标的材料,通常按材料强度值的高低划分成若干等级,称为强度等级。测定强度的标准试件如表 1-4 所示。

表 1-4 测定强度的标准试件

| 受力方式 | 试 件 | 简图 | 计算公式 | 材 料 | 试件尺寸/mm |
|-------------|-------|---|------------------------------|-------------------|---|
| (a)轴向抗压强度极限 | | | | | |
| 轴向受压 | 立方体 |  | $f_{\text{压}} = \frac{F}{A}$ | 混凝土 砂 浆 石 材 | 150 × 150 × 150 70.7 × 70.7 × 70.7 50 × 50 × 50 |
| | 棱柱体 |  | | 混凝土 木 材 | $a = 100, 150, 200$ $h = 2a \sim 3a$ $a = 20, h = 30$ |
| | 复合试件 |  | | 砖 | $s = 115 \times 120$ |
| | 半个棱柱体 |  | | 水 泥 | $s = 40 \times 62.5$ |

续表

| 受力方式 | 试件 | 简图 | 计算公式 | 材料 | 试件尺寸/mm |
|--------------|------------|---|------------------------------------|-----------|---|
| (b) 轴向抗拉强度极限 | | | | | |
| 轴向受拉 | 钢筋 拉伸试件 |  | $f_{\text{拉}} = \frac{F}{A}$ | 钢筋 | $l = 5d$ 或 $l = 10d$ $A = \frac{\pi d^2}{4}$ |
| | 立方体 |  | | 混凝土 | 100 × 100 × 100 150 × 150 × 150 |
| (c) 抗弯强度极限 | | | | | |
| 受弯 | 棱柱体砖 |  | $f_{\text{弯}} = \frac{3Fl}{2bh^2}$ | 水泥 | $b = h = 40$ $l = 100$ |
| | 棱柱体 |  | $f_{\text{弯}} = \frac{Fl}{bh^2}$ | 混凝土 木材 | 20 × 20 × 300 $l = 240$ |

小提示

强度等级是人为划分的,是不连续的。根据强度划分强度等级时,要确定规定的各项指标都合格,才能定为某强度等级,否则就要降低级别。而强度具有客观性和随机性,其试验值往往是连续分布的。强度等级与强度间的关系,可简单表述为“强度等级来源于强度,但不等同于强度”。

(三) 比强度

比强度是指按单位体积质量计算的材料强度,即材料的强度与其表观密度之比 f/ρ_0 。其是反映材料轻质高强的力学参数,是衡量材料轻质高强性能的一项重要指标。比强度越大,材料的轻质高强性能越好。在道路等大跨度结构工程中,常采用比强度较高的材料。使用轻质高强的材料也是未来道路发展的主要方向。几种常用材料的比强度如表 1-5 所示。表中数值表明,松木比强度较大,较为轻质高强,而红砖与烧结普通砖比强度值最小。

表 1-5 几种常用材料的比强度

| 材料名称 | 表观密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) | 强度值/MPa | 比强度 |
|-------|--|---------|---------|
| 低碳钢 | 7 800 | 235 | 0.030 1 |
| 松 木 | 500 | 34 | 0.068 0 |
| 普通混凝土 | 2 400 | 30 | 0.012 5 |
| 红 砖 | 1 700 | 10 | 0.005 9 |
| 烧结普通砖 | 1 700 | 10 | 0.005 9 |
| 铝合金 | 2 800 | 450 | 0.160 0 |
| 玻璃钢 | 2 000 | 450 | 0.225 0 |

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

chapter 07

二、材料的弹性和塑性

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的可恢复特性。

(一)弹性

材料在外力作用下产生变形,当外力取消后能够完全恢复原来形状、尺寸的性质称为弹性。这种能够完全恢复的变形称为弹性变形。材料弹性变形曲线如图 1-3 所示。

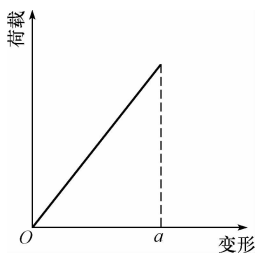


图 1-3 弹性变形曲线

弹性变形大小与其所受外力大小成正比,其比例系数对某理想的弹性材料来说为一常数,这个常数被称为该材料的弹性模量,以符号 E 表示,其公式为:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1-19)$$

式中 σ ——材料所受的应力,MPa;

ε ——材料在应力 σ 作用下的应变。

几种常用道路材料的弹性模量值如表 1-6 所示。

表 1-6 常用道路材料的弹性模量值 E ($\times 10^4$ MPa)

| 材料 | 普通混凝土 | 烧结普通砖 | 花岗石 | 玄武石 | 石灰石 |
|------|-------------|-----------|-------|--------|-------|
| 弹性模量 | 1.45 ~ 3.60 | 0.6 ~ 1.2 | 2 ~ 6 | 6 ~ 10 | 1 ~ 8 |

(二)塑性

在外力作用下材料产生变形,在外力取消后,有一部分变形不能恢复,这种性质称为材料的塑性。这种不能恢复的变形,称为塑性变形。

钢材在弹性极限内接近于完全弹性材料,其他建筑材料多为非完全弹性材料。这种非完全弹性材料在受力时,弹性变形和塑性变形同时产生,如图 1-4 所示。外力取消后,弹性变形 ab 可以消失,而塑性变形 Ob 不能消失。

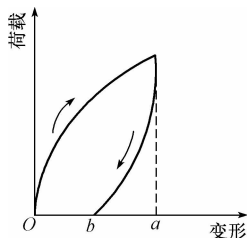


图 1-4 塑性变形曲线

实际上,只有单纯的弹性或塑性的材料是不存在的,各种材料在不同的应力下会表

现出不同的变形性能。

三、材料的韧性和脆性

(一) 韧性

在冲击、振动荷载作用下,材料可吸收较大的能量产生一定的变形而不被破坏的性质称为韧性或冲击韧性。路面、桥梁、起重机梁及有抗震要求的结构都要考虑材料的韧性。

(二) 脆性

材料在外力作用下,直至断裂前只发生弹性变形,不出现明显的塑性变形而突然破坏的性质称为脆性。具有这种性质的材料称为脆性材料,如石材、烧结普通砖、混凝土、铸铁、玻璃及陶瓷等。脆性材料的抗压能力很强,其抗压强度比抗拉强度大得多,可达十几倍甚至更高。脆性材料抗冲击及动荷载能力差,故常用于承受静压力作用的建筑部位,如基础、墙体、柱子、墩座等。

混凝土、玻璃、砖、石材、陶瓷等属于脆性材料,它们的抵抗冲击作用能力差,但是抵抗强度较高。如图 1-5 所示为脆性材料的变形曲线。

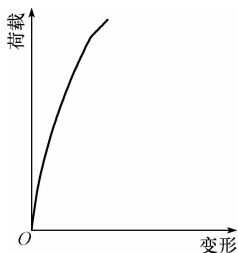


图 1-5 脆性材料的变形曲线

四、材料的硬度和耐磨性

(一) 硬度

硬度指材料表面的坚硬程度,是材料抵抗其他物体刻划、压入其表面的能力。建筑与装饰材料在其使用过程中,为保持建筑物的使用性能或外观,常要求材料具有一定的硬度,以防止其他物体对材料的磕碰、刻划造成材料表面破损或外观缺陷。硬度的测定方法有回弹法、刻划法、压入法等,不同材料其硬度的测定方法不同。

回弹法用于测定混凝土表面硬度,并间接推算混凝土的强度,也用于测定砖、砂浆等的表面硬度;刻划法用于测定天然矿物的硬度;压入法是用硬物压入材料表面,通过压痕的面积和深度测定材料的硬度。钢材、木材的硬度常用钢球压入法测定。

压入法测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密度。而陶瓷、玻璃等脆性材料的硬度往往采用刻划法来测定。刻划法的硬度指标称为莫氏硬度,其根据刻划矿物(滑石、石膏、磷灰石、正长石、硫铁矿、黄玉、金刚石等)的不同分为十级。

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07

小提示

通常,硬度大的材料耐磨性较强,不易加工。在工程中,常利用材料硬度与强度间的关系,间接测定材料强度。

(二) 耐磨性

耐磨性是指材料表面抵抗磨损的能力。耐磨性用磨损率(N)表示,它等于试件在标准试验条件下磨损前后的质量差与试件受磨表面积之商。磨损率(N)可用下式计算:

$$N = \frac{m_1 - m_2}{A} \quad (1-20)$$

式中 N ——材料的磨损率, g/cm^2 ;

m_1, m_2 ——材料磨损前、后的质量, g ;

A ——试件受磨表面积, cm^2 。

试件的磨损率表示一定尺寸的试件,在一定压力作用下,在磨损试验机上磨一定次数后,试件每单位面积上的质量损失。

3

学习单元3 材料的耐久性

知识目标

- (1) 熟悉材料的耐久性的影响因素;
- (2) 掌握材料耐久性的提高措施;
- (3) 掌握材料耐久性的测定。

技能目标

- (1) 能够从材料耐久性的综合性能理解影响材料耐久性的因素;
- (2) 能够根据材料的特点和使用情况对提高材料的耐久性采取相应的措施;
- (3) 能够进行耐久性的实验室测试。

基础知识

道路材料的耐久性是指材料在使用过程中,在内、外部因素的作用下,经久不破坏、不变质,保持原有性能的性质。

一、材料耐久性的影响因素

材料在环境中使用,除受荷载作用外,还会受周围环境各种自然因素的影响,如物理、化学及生物等方面的作用。

物理作用包括干湿变化、温度变化、冻融循环、磨损等,这些都会使材料遭到一定程度的破坏,影响材料的长期使用。

化学作用包括受酸、碱、盐类等物质的水溶液及有害气体作用,发生化学反应及氧化



作用,受紫外线照射等使材料变质或遭损。

生物作用是指昆虫、菌类等对材料的蛀蚀及腐蚀作用。

材料的耐久性是一项综合性能,不同材料的耐久性往往有不同的具体内容:混凝土的耐久性主要通过抗渗性、抗冻性、抗腐蚀性和抗碳化性来体现;钢材的耐久性主要取决于其抗锈蚀性;沥青的耐久性则主要取决于其大气稳定性和温度敏感性。

二、材料耐久性的测定

耐久性是材料的一项长期性质,需对其在使用条件下进行长期的观察和测定。近年来已采用快速检验法,即在试验室模拟实际使用条件,进行有关的快速试验,根据试验结果对耐久性做出判定。如常用软化系数来反映材料的耐水性;用实验室的冻融循环(数小时一次)试验得出的抗冻等级来说明材料的抗冻性;采用较短时间的化学介质浸渍来反映实际环境中的水泥石长期腐蚀现象等,并据此对耐久性做出测定和评价。

学习案例

某道路工程使用的砌筑用砖干燥时表观密度为 $1\ 900\ \text{kg}/\text{m}^3$, 密度为 $2.5\ \text{g}/\text{cm}^3$, 质量吸水率为 10% 。

想一想

1. 该砖的孔隙率是多少?
2. 该砖的体积吸水率为多少?

案例分析

解:已知 $\rho_0 = 1\ 900\ (\text{kg}/\text{m}^3) = 1.9\ (\text{g}/\text{cm}^3)$; $\rho = 2.5\ (\text{g}/\text{cm}^3)$; $W_w = 10\%$ 。

1. 设有 $1\ \text{t}$ 的干燥砖,则:

表观体积 $V_0 = 1 \div 1.9 = 0.53\ (\text{m}^3)$;

实体体积 $V = 1 \div 2.5 = 0.40\ (\text{m}^3)$;

则封闭孔隙体积 $V_0 - V = 0.13\ (\text{m}^3)$;

孔隙率 $P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = 24\%$ 。

2. 设 $1\ \text{t}$ 的干燥砖能吸水 10% , 即 $0.1\ \text{t}$, 则:

$W_v = \frac{0.1}{0.53} \times 100\% = 18.9\%$ 。

知识拓展

道路材料的发展趋势

道路材料是随着社会生产力和科学技术水平的提高而逐步发展起来的。近年来,道路材料有以下发展趋势。

(1) 研制高性能材料。例如研制轻质、高强、高耐久性、优异装饰性和多功能的材

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07

料,以及充分利用和发挥各种材料的特性,采用复合技术制造出具有特殊功能的复合材料。

(2)充分利用地方材料。大力开发利用工业废渣作为道路材料的资源,以保护自然资源和维持生态环境的平衡。

(3)节约能源。优先开发、生产低能耗的建筑材料以及降低建筑使用能耗的节能型道路材料。

(4)提高经济效益。大力发展和使用不仅能给道路带来优良的技术效果,还同时具有良好经济效益的道路材料。



情境小结

1. 材料的基本物理性质主要包括材料与质量有关的性质、与水有关的性质、与热有关的性质和材料的声学性能。

2. 材料的力学性质是指材料在外力作用下,抵抗破坏和变形方面的性质,主要包括材料的强度、强度等级及比强度,材料的弹性和塑性,材料的韧性和脆性,材料的硬度和耐磨性。

3. 材料的耐久性是一项综合属性,在实际工程中应根据材料的种类和道路所处环境条件提出不同的耐久性要求。



学习检测



填空题

- 道路材料与质量有关的性质主要是指材料的_____和_____。
- 道路材料和水有关的性质,包括材料的_____与_____、_____与_____以及材料的_____、_____、_____等。
- 道路材料的热工性质有_____、_____、_____、_____和_____等。
- 材料的声学性能是通过_____与_____相互作用而呈现的,主要有_____和_____。
- 根据外力作用方式的不同,材料强度有_____、_____、_____、_____强度等。
- 道路材料的耐久性是指材料在使用过程中,在内、外部因素的作用下,_____,保持_____的性质。



选择题

- 下列()性质与材料的孔隙构造特征有关。

| | | | |
|--------|--------|-------|--------|
| A. 吸水性 | B. 抗渗性 | C. 塑性 | D. 导热性 |
|--------|--------|-------|--------|
- 下列材料属于亲水材料的有()。

| | | | |
|--------|-------|-------|--------|
| A. 花岗石 | B. 石膏 | C. 石灰 | D. 混凝土 |
|--------|-------|-------|--------|
- 软化系数表示材料的()。

| | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| A. 吸湿性 | B. 耐水性 | C. 抗渗性 | D. 抗冻性 |
|--------|--------|--------|--------|

4. 材料的吸声特征与材料的()有关。
A. 表观密度 B. 孔隙特征 C. 厚度 D. 表面的条件
5. 导致材料导热系数增加的因素有()。
A. 密实度增大 B. 材料孔隙率增大
C. 材料含水率减小 D. 材料含水率增大
6. 选择()材料作为墙体、屋面、内装饰,可使建筑物具有良好的保温隔热性能。
A. 导热系数和比热容均大 B. 导热系数和比热容均小
C. 导热系数大而比热容小 D. 导热系数小而比热容大

简答题

1. 材料的密度、表观密度及堆积密度三者之间有何区别?
2. 何谓材料的亲水性与憎水性? 材料的吸湿性与吸水性有何关系?
3. 材料与热有关的性质包括哪些内容?
4. 材料的吸声性与材料的哪些方面相关?
5. 弹性与塑性的区别是什么?
6. 韧性与脆性的关系是什么? 硬度与耐磨性的区别是什么?

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07