




建筑材料

——广东工程职业技术学院·建筑工程学院——





2

建筑材料的基本性质



本章内容

2.1 物理性质

2.2 力学性质

2.3 耐久性

2.01 基本性质的概念

建筑材料的基本性质

是指材料处于不同的使用条件和使用环境时，通常必须考虑的**最基本的、共有的性质**。

因为土木建筑材料所处建（构）筑物的部位不同、使用环境不同、人们对材料的使用功能要求不同，所起的作用就不同，要求的性质也就有所不同。

2.02 材料的组成、结构与构造

一、材料的化学组成

1、化学元素组成

构成材料的化学元素及化合物的种类及数量。

2、矿物组成

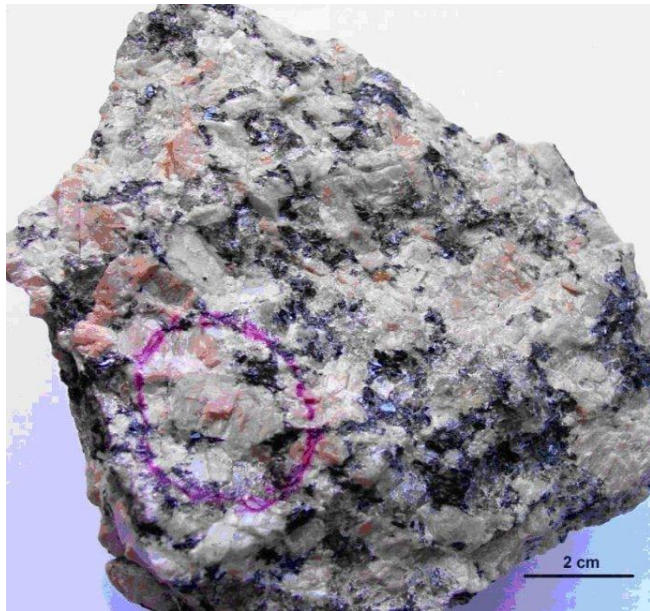
矿物是具有一定化学成分和结构特征的单质或化合物。矿物组成是指构成材料的矿物的种类和数量，它是决定无机非金属材料**化学、物理、力学等性质的重要因素**

2.02 材料的组成、结构与构造

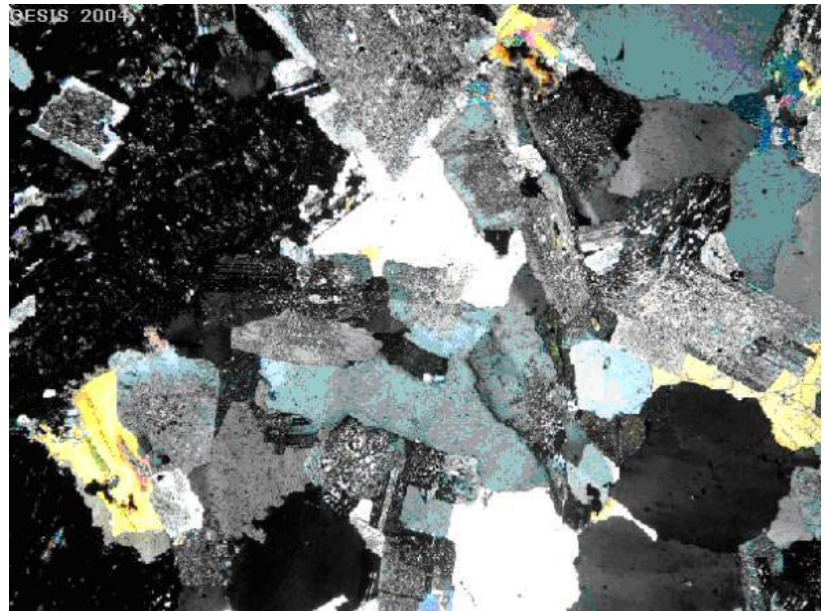
几种常见建筑材料的化学组成

建筑材料	主要元素组成	矿物组成
水泥	Si、Al、Fe、Mg、Ca、S、O	硅酸二钙、硅酸三钙、铁铝酸四钙、铝酸三钙
钢材	Fe、Ca、还有少量的Si、Mn、S、P等	-
陶瓷	Si、Al、O、Fe、Mg、Ca	莫来石晶体、绿泥石、伊利石、高岭石、叶蜡石等
玻璃	Ca、Si、O、Na	Na_2SiO_3 ● CaSiO_3 ● 3SiO_2

2.02 材料的组成、结构与构造



花岗岩



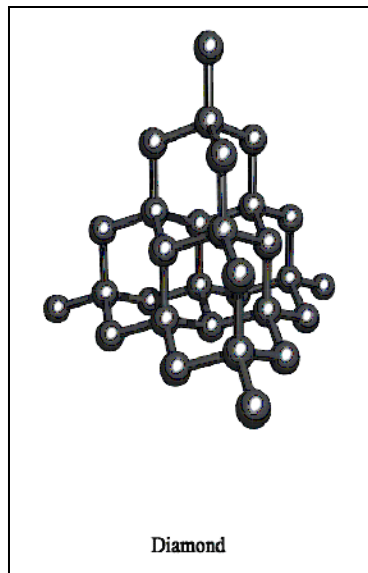
局部放大

晶体堆积，矩形的是长石，不规则的是石英，黄色的是白云母

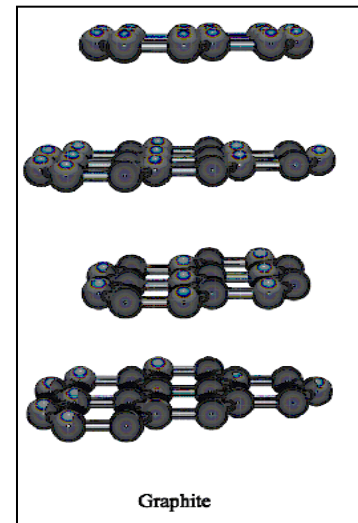
2.02 材料的组成、结构与构造

二、材料的微观结构

指材料在原子、离子、分子层次上的组成形式，影响材料性质。



金刚石晶体，属于立方晶系



平面层形分子堆叠成石墨晶体

2.02 材料的组成、结构与构造

材料的微观结构

晶体：

组成物质的微观离子在空间的排列有确定的几何位置关系。具有强度高、硬度较大、有确定的熔点、力学性质各向异性。

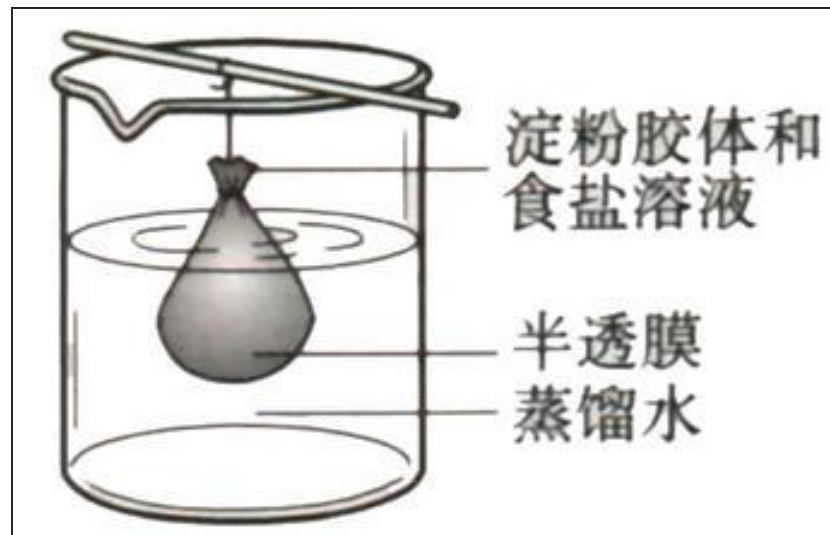
玻璃体：

组成物质的微观离子在空间的排列呈无序状态，具有化学活性高、无确定的熔点、力学性质各向同性

胶体：

极细微的固体颗粒均匀分布在液体中所形成，呈分散相和网状结构两种结构形式称溶胶和凝胶。

2.02 材料的组成、结构与构造



2.02 材料的组成、结构与构造

三、材料的构造（宏观结构）

在宏观**可见层次上**的组成形式称为构造，按照材料宏观组织和孔隙状态的不同可将材料的构造分为以下类型：

2.02 材料的组成、结构与构造

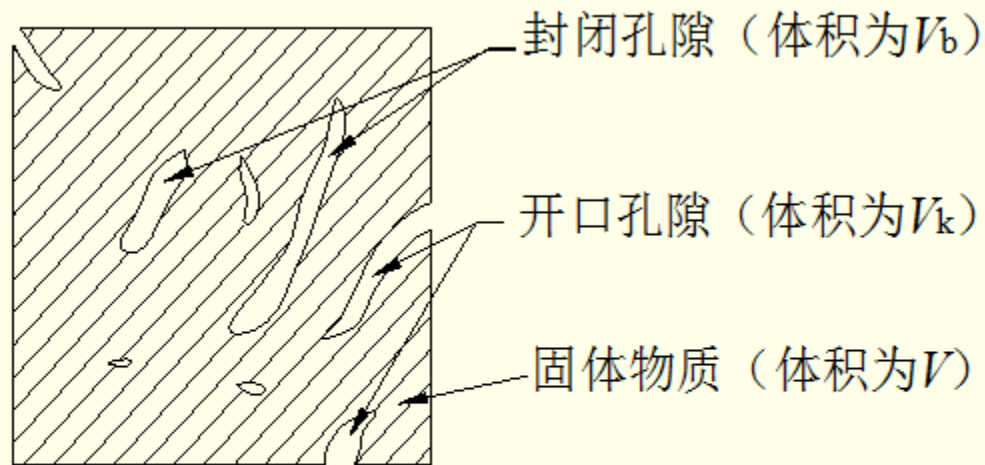
材料构造



2.1 材料的物理性质

一、密度

0、材料的体积



材料在自然状态下总体积: $V_0 = V + V_p$

孔隙体积: $V_p = V_b + V_k$

V_p ——孔隙体积

2.1 材料的物理性质

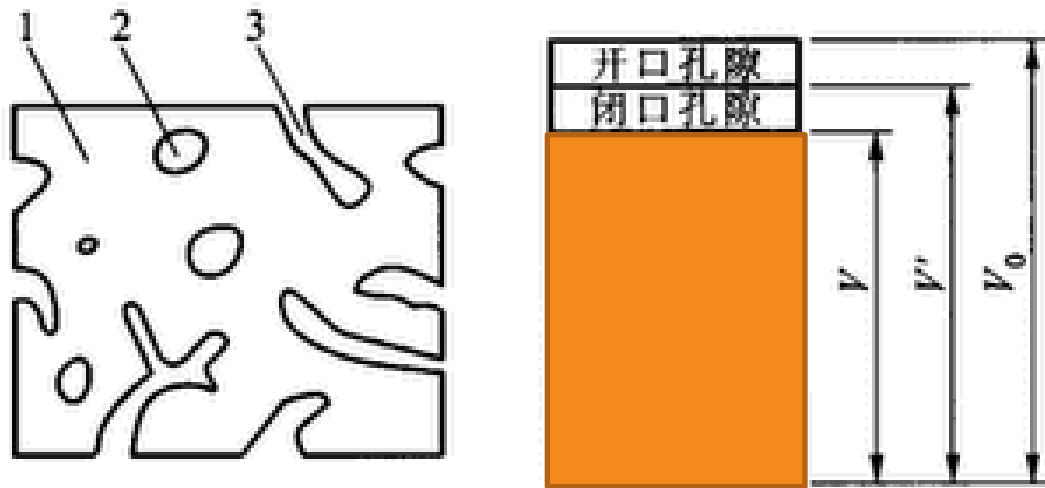


图 1-2 自然状态下体积示意图

1—固体；2—闭口孔隙；3—开口孔隙

绝对密实体积

干燥材料在绝对密实状态下的体积。即材料内部固体物质的体积，或不包括内部孔隙的材料体积。一般以 V 表示。

一般将材料磨成规定细度的粉末，用排开液体的方法得到其体积。

2.1 材料的物理性质

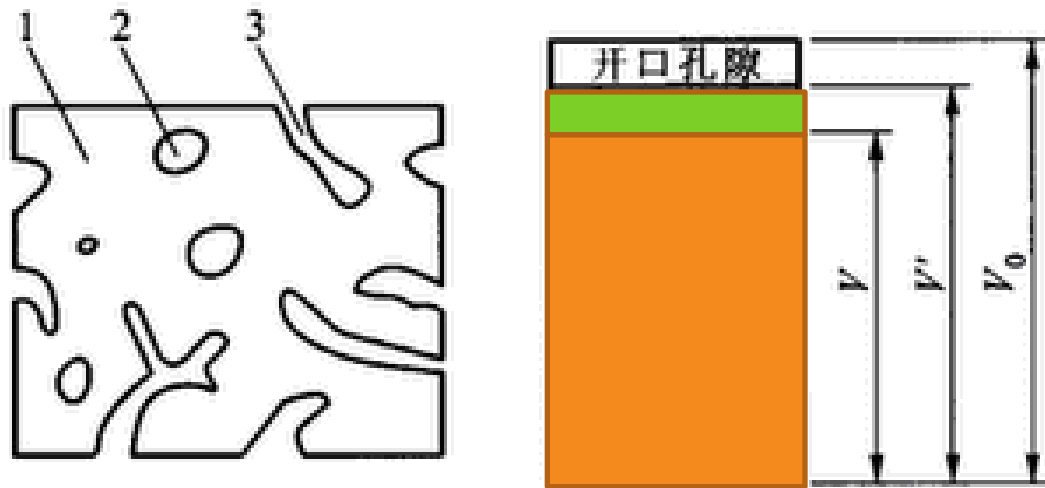


图 1-2 自然状态下体积示意图

1—固体；2—闭口孔隙；3—开口孔隙

表观体积

对于比较密实、孔隙较少的散粒状材料，不必磨细，直接用排开液体的方法测定的体积。一般以 V' 表示。

2.1 材料的物理性质

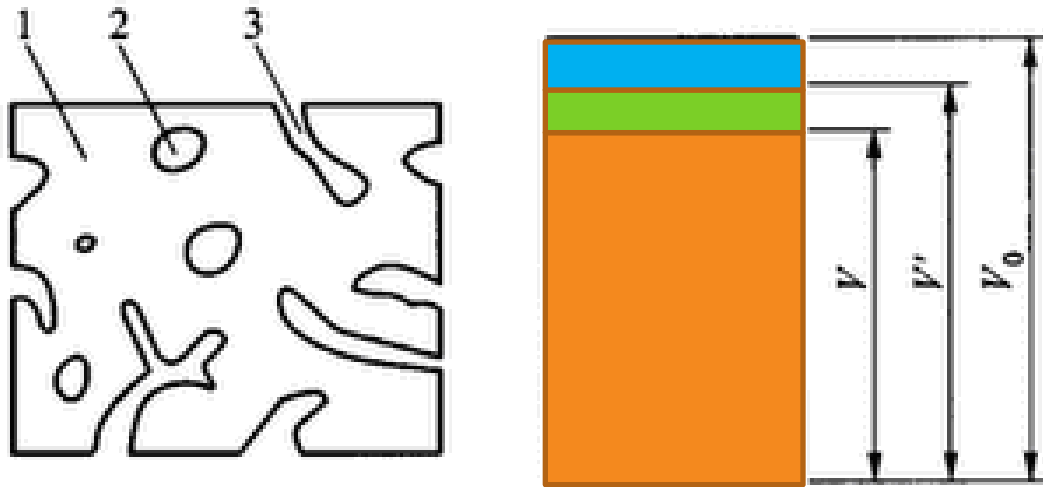


图 1-2 自然状态下体积示意图

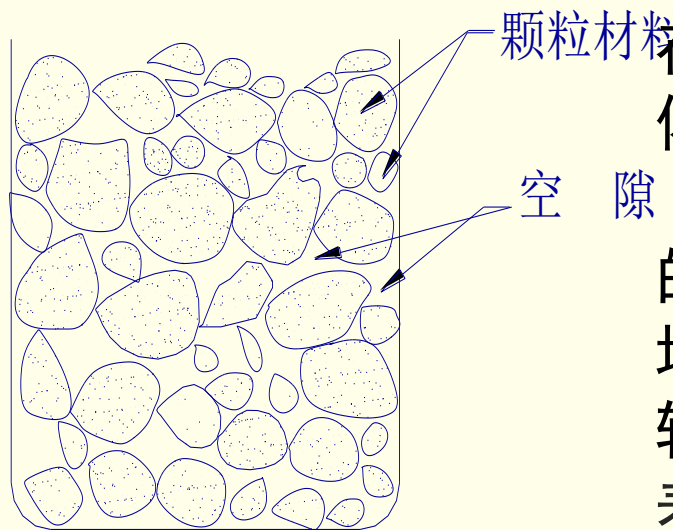
1—固体；2—闭口孔隙；3—开口孔隙

自然体积

材料在自然状态下的体积，即整体材料的外观体积（含内部孔隙和水分）。一般以 V_0 表示。

形状规则的材料可根据其尺寸计算其体积；形状不规则的材料可先在材料**表面涂腊**，然后用排开液体的方法得到其体积。

2.1 材料的物理性质



堆积体积

粉状或粒状材料,

在堆积状态下的总体外观体积。

松散堆积状态下的体积较大，密实堆积状态下的体积较小。一般以 V_0' 表示。

将容量筒内材料刮平，容量筒的容积即为材料堆积体积

2.1 材料的物理性质

一、密度

1、密度

指材料在绝对密实状态下单位体积的质量，按下式计算：

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中： ρ ——实际密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；
 m ——材料的质量， g 或 kg ；
 V ——材料的绝对密实体积， cm^3 或 m^3 。

2.1 材料的物理性质

2、表观密度

材料单位表观体积的质量。按下式计算：

$$\rho' = \frac{m}{V'}$$

式中：
 ρ' ——体积密度， g/cm³ 或 kg/m³；
 m ——材料的质量， g 或 kg；
 V' ——材料的表观体积， cm³ 或 m³。

2.1 材料的物理性质

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。按下式计算：

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}$$

式中： ρ_0 ——材料的体积密度，g/cm³ 或 kg/m³；

m ——材料的质量，g 或 kg；

V_0 ——材料的自然体积，cm³ 或 m³。

2.1 材料的物理性质

4、堆积密度

堆积密度是指粉状或粒状材料，在堆积状态下单位体积的质量。按下式计算：

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}$$

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 。

2.1 材料的物理性质

几种密度的比较

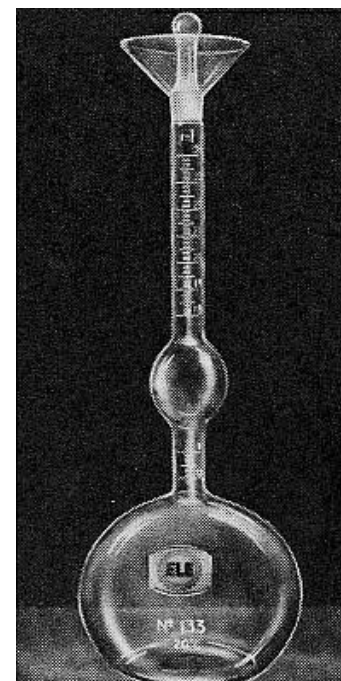
比较项目	实际密度	表观密度	体积密度	堆积密度
材料状态	绝对密实	近似绝对密实状态	自然状态	堆积状态
材料体积	V	V'	V_0	V'_0
计算公式	$\rho = \frac{m}{V}$	$\rho' = \frac{m}{V'}$	$\rho_0 = \frac{m}{V_0}$	$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0}$
应用	判断材料性质		用量计算、体积计算	

2.1 材料的物理性质

表1.1 各种密度的计算与测量

密度名称	体积状态	体积测量	密度计算
密度	自身体积 (不含孔隙)	磨成细粉消除内部孔隙, 材料的排水体积 V	$\rho = \frac{m}{V}$
表观密度	细观外形体积 (含闭口孔)	干燥材料浸入水中, 待吸水饱和后, 测量排开水的体积 V'	$\rho' = \frac{m}{V'}$
体积密度	宏观外形体积 (含所有孔)	①规则形状材料, 测量外形尺寸, 计算体积 ②不规则材料, 腊封后用排水法测量体积 ③不规则微孔材料如砂石, 饱和面干材料的排水体积 V_0	$\rho_0 = \frac{m}{V_0}$
堆积密度	自然堆积体积 (含材料间空隙)	颗粒材料正好装满容器, 测量该容器的容积 V'_0	$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0}$

注: 饱和面干状态指材料表面干燥而内部孔隙含水达饱和时的状态。



同种材料: 密度 > 表观密度 > 体积密度 > 堆积密度

2.1 材料的物理性质

二、密实度与孔隙率

1、密实度

密实度是指材料体积内固体物质填充的程度。密实度的计算式如下：

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\%$$

式中： ρ ——密度；

ρ_0 ——材料的表观密度。

对于绝对密实材料，因 $\rho_0 = \rho$ ，故密实度 $D = 1$ 或 100%。
对于大多数土木工程材料，因 $\rho_0 < \rho$ ，故密实度 $D < 1$ 或 $D < 100\%$ 。

2.1 材料的物理性质

2、孔隙率

材料的孔隙率是指材料内部孔隙的体积占材料总体积的百分率。孔隙率P按下式计算：

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

式中：V——材料的绝对密实体积，cm³ 或 m³；

V₀——材料的自然体积，cm³ 或 m³；

ρ₀——材料的体积密度，g/cm³ 或 kg/m³；

ρ——密度，g/cm³ 或 kg/m³。

2.1 材料的物理性质

密实度与孔隙率的关系为：

$$D+P=1$$

对材料的许多性质都会产生一定影响。

2.1 材料的物理性质

三、填充率与空隙率

1、填充率

指散粒状材料在堆积体积内被颗粒所填充的程度。填充率的计算式如下：

$$D' = \frac{V_0}{V_0'} \times 100\% = \frac{\rho_0'}{\rho} \times 100\%$$

式中： D' ——填充率；
其他如前。

2.1 材料的物理性质

2、空隙率

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。空隙率按下式计算：

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

式中：P' ——空隙率；
其他如前。

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒互相填充的致密程度。空隙率可作为控制混凝土骨料级配与计算砂率的依据。

2.1 材料的物理性质

孔隙率与空隙率的区别

比较项目	孔隙率	空隙率
适用场合	个体材料内部	堆积材料之间
作用	可判断材料性质	可进行材料用量计算
计算公式	$P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\%$	$P' = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0}\right) \times 100\%$

2.1 材料的物理性质

例1: 有一个**1.5升**的容器, 平装满碎石后, 碎石重**2.55Kg**。为测其碎石的表观密度, 将所有碎石倒入一个**7.78升**的量器中, 向量器中加满水后称重为**9.36Kg** (不含容器, 不考虑碎石吸水), 试求碎石的表观密度、堆积密度。若在**1.5L**容器碎石的空隙中又填以砂子, 可填多少升的砂子?

2.1 材料的物理性质

解： 1、水的重量既水的体积为 $(9.36-2.55) = 6.81$

2、表观密度： $\rho' = m/V' = 2.55 \times 10^3 / (7.78 - 6.81) = 2629 \text{kg/m}^3$

3、堆积密度： $\rho_{o'} = m/V_{o'} = 2.55 / 1.5 = 1700 \text{kg/m}^3$

4、空隙率： $P' = (1 - \rho_{o'} / \rho_o) \times 100\% = (1 - 1700 / 2629) \times 100\% = 35.4\%$

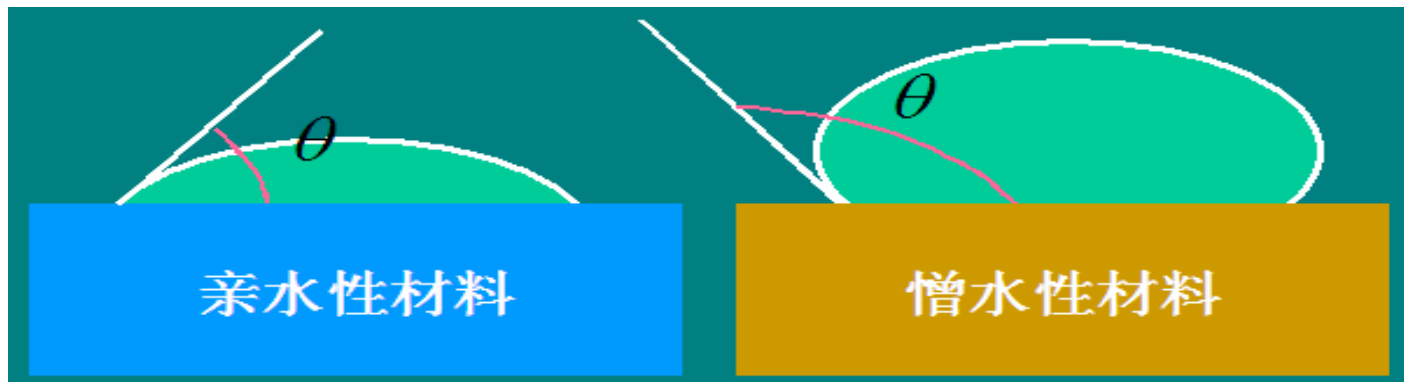
砂的体积： $V_o = 1.5 \times 35.4\% = 0.53 \text{(L)}$

2.1 材料的物理性质

四、与水有关的性质

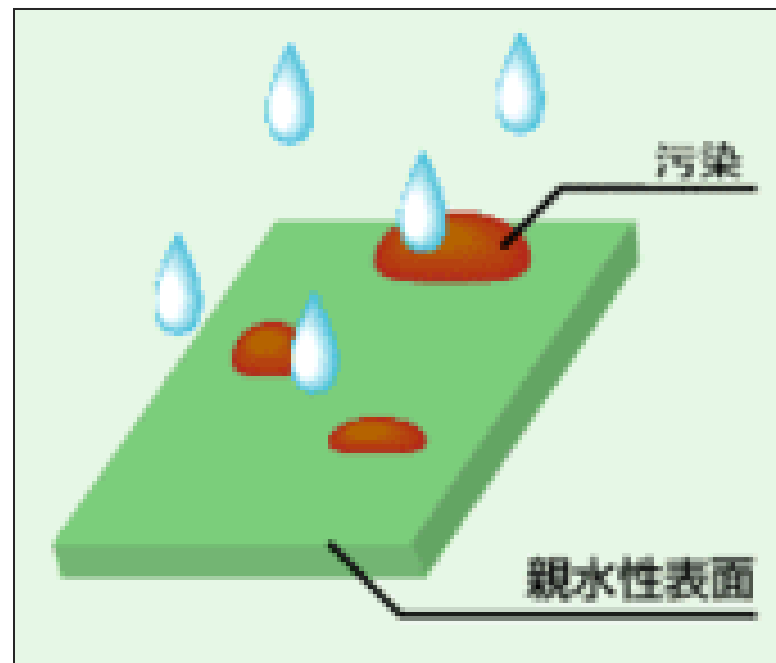
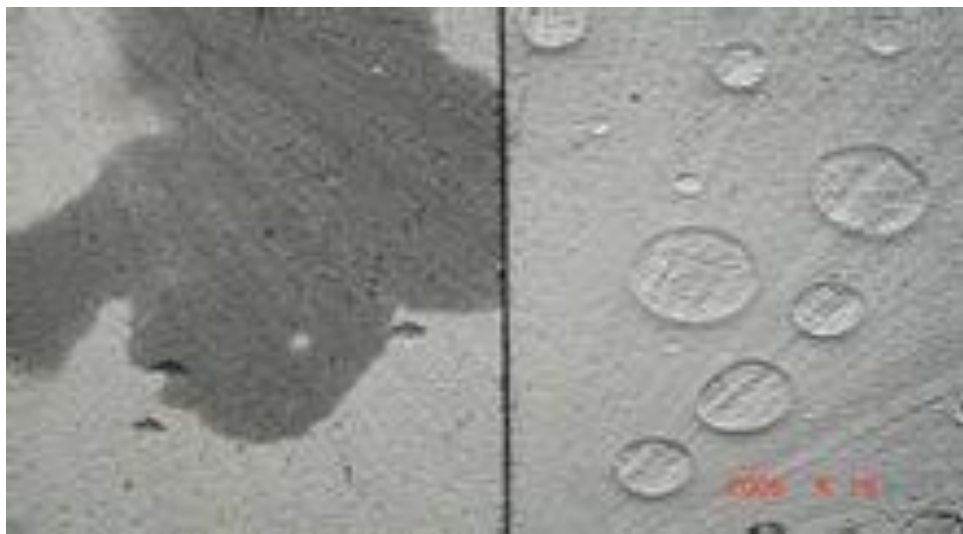
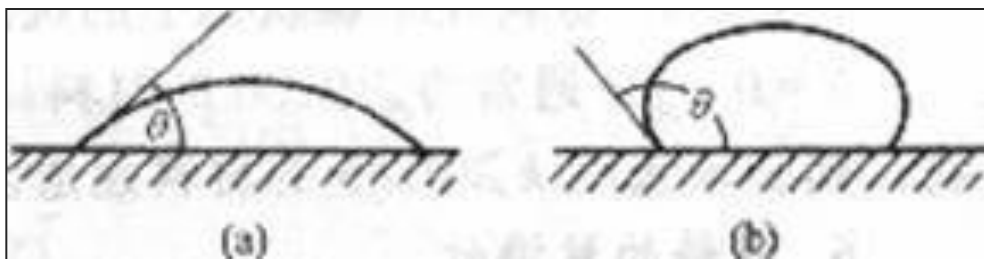
1、亲水性与憎水性

- (1) **亲水性**，材料能被水润湿，润湿边角 $\theta \leq 90^\circ$ ；
- (2) **憎水性**，材料不能被水润湿，润湿边角 $\theta > 90^\circ$ 。



图中在材料、水和空气的三相交叉点处沿**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

2.1 材料的物理性质



常见材料亲水性如何？亲水性、憎水性对材料性能有何影响？

2.1 材料的物理性质

2、吸水性与吸湿性

材料的含水状态

干燥状态

- 材料的孔隙中不含水或含水极微

气干状态

- 材料的孔隙中所含水与大气湿度相平衡

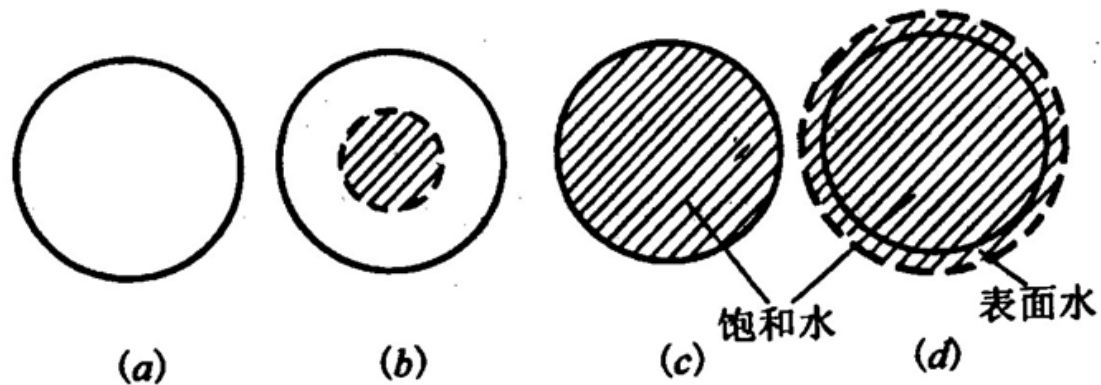
饱和面干状态

- 材料表面干燥，而孔隙中充满水达饱和

湿润状态

- 材料不仅孔隙中含水饱和，而且表面上为水润湿附有一层水膜。

2.1 材料的物理性质



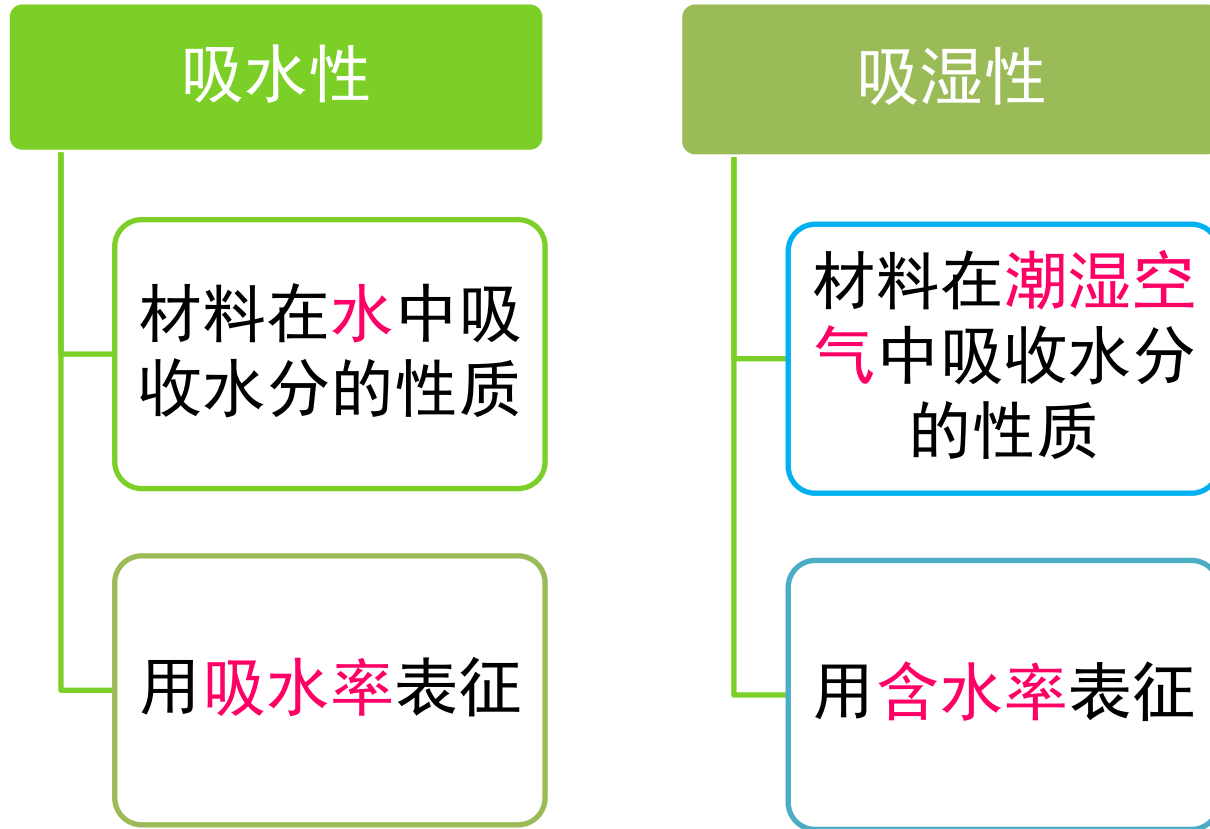
(a) 干燥状态

(b) 气干状态

(c) 饱和面干状态

(d) 湿润状态

2.1 材料的物理性质



2.1 材料的物理性质

(1) 质量吸水率

质量吸水率是指材料在**吸水饱和**时，所吸水量占材料在干燥状态下的质量百分比，计算公式为：

$$W_m = \frac{m_b - m_g}{m_g} \times 100\%$$

式中：
 W_m ——材料的质量吸水率（%）
 m_b ——材料吸水饱和时的质量（g）
 m_g ——材料在干燥状态下的质量（g）

2.1 材料的物理性质

(2) 体积吸水率

体积吸水率为材料在吸水饱和时，所吸水的体积占材料自然体积的百分率，计算公式为：

$$W_v = \frac{m_b - m_g}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100\%$$

影响因素：亲水性、孔隙率、孔特征。

亲水性↑、孔隙率↑、微细连通孔↑ → 吸水性↑

材料	钢铁,玻璃	花岗岩	混凝土	粘土砖	木材
吸水率	0	0.5~0.7	2~3	8~20	>100

2.1 材料的物理性质

(3) 含水率

含水率是指材料在潮湿空气吸收水分达到平衡时，所吸水量占材料在干燥状态下的质量百分比，计算公式为：

$$W_h = \frac{m_s - m_g}{m_g} \times 100\%$$

式中：
 W_h ——材料含水率（%）
 m_s ——材料吸湿状态下的质量；
 m_g ——材料干燥状态下的质量。

2.1 材料的物理性质

吸水性的影响

吸水——材料自重增加，
导热性增大，强度和耐
久性降低，体积膨胀，
对材料造成不利影响。



2.1 材料的物理性质

3、耐水性

材料长期在饱和水的作用下不破坏，强度也不显著降低的性质，用软化系数表征：

$$K_p = \frac{f_w}{f}$$

式中： K_p —— 材料的软化系数；

f_w —— 材料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）。

2.1 材料的物理性质



一般材料吸水后，削弱其内部结合力，强度则有不同程度的降低（**泥岩**）。当材料内含有可溶性物质时（如石膏、石灰等），吸入的水还可能溶解部分物质，造成强度的严重降低。

2.1 材料的物理性质



软化系数的波动范围在0至1之间。通常将 $K_p > 0.85$ 的材料称为耐水性材料。用于水中或潮湿环境中的重要工程 $K_p > 0.85$ 。一般受潮较轻或次要的工程部位，也不得小于0.75。

2.1 材料的物理性质

例2： 某石材在气干、绝干、水饱和情况下测得的抗压强度分别为174、178、165 MPa，求该石材的软化系数，并判断该石材可否用于水下工程。

2.1 材料的物理性质

解：

该石材的软化系数为：

$$K_p = \frac{f_w}{f} = \frac{165}{178} = 0.93$$

由于该石材的软化系数为0.93，大于0.85，故该石材可用于水下工程。

2.1 材料的物理性质

4、抗渗性

材料在压力水作用下抵抗水渗透的性能。用**渗透系数**或**抗渗等级**表示：

2.1 材料的物理性质

(1) 渗透系数

指一定厚度的材料，在单位压力水头的作用下，单位时间内透过单位面积的水量，计算公式：

$$K = \frac{Qd}{AtH}$$

式中：K——渗透系数，（cm / h）；

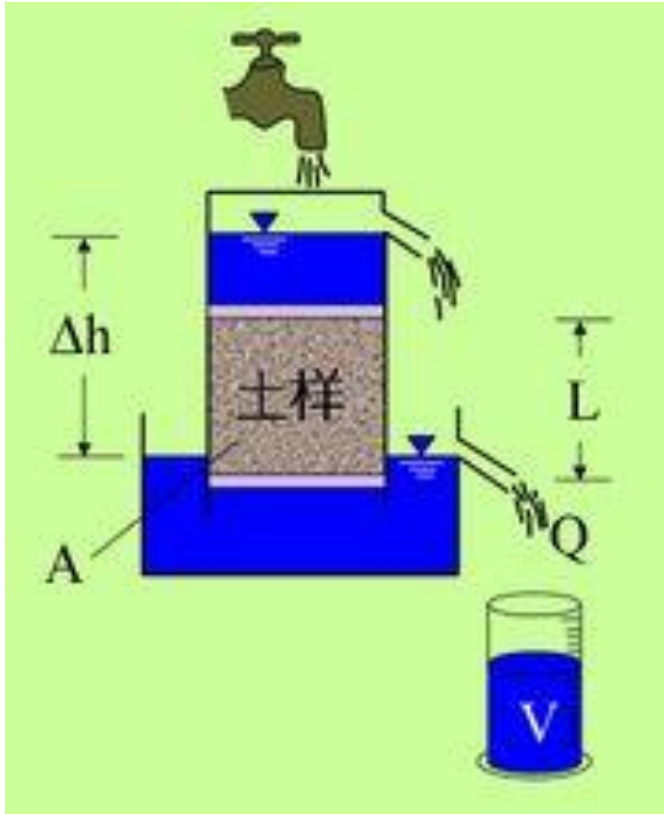
Q——渗水量，（cm³）； A——渗水面积，（cm²）；

H——材料两侧的水压差，（cm）；

d——试件厚度（cm）； t——渗水时间（h）。

材料的渗透系数越小，说明材料的抗渗性越强。

2.1 材料的物理性质



常水头法测定（土层）



沥青混凝土渗透试验仪

2.1 材料的物理性质

(2) 抗渗等级

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，并以字母P及可承受的水压力（以0.1MPa为单位）来表示抗渗等级。如P4、P6、P8、P10…等，表示试件能承受逐步增高至0.4MPa、0.6MPa、0.8MPa、1.0MPa…的水压而不渗透。

2.1 材料的物理性质

影响材料抗渗性的因素

a. 材料亲水性和憎水性

- 通常憎水性材料其抗渗性优于亲水性材料

b. 材料的密实度

- 密实度高的材料其抗渗性也较高

c. 材料的孔隙特征

- 具有开口孔隙的材料其抗渗性较差，还有连通性

2.1 材料的物理性质

5、抗冻性

材料在吸水饱和状态下，能经受反复冻融循环作用而不破坏，强度也不显著降低的性能：



2.1 材料的物理性质

冻融破坏的原因是？



材料吸水后，在负温作用条件下，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**

2.1 材料的物理性质

抗冻等级

抗冻性以抗冻等级来表征，以试件在冻融后的质量损失和强度损失不超过一定限度时所能经受的**冻融循环次数**来表示， F_n 。

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。

影响因素包括：**孔隙率、孔隙特征、饱和程度材料变形能力等。**

2.1 材料的物理性质

五、与热有关的性质

1、导热性

材料的导热性是指材料两侧有温差时，热量由高温侧流向低温侧传递的能力，常用导热系数表示：

$$\lambda = \frac{Qd}{At (T_2 - T_1)}$$

式中 λ —— 导热系数 (W/m.k) ;

δ —— 材料厚度 (m) ;

$T_2 - T_1$ —— 材料两侧温差 (K) ;

Q —— 传导热量 (J) ;

A —— 材料传热面面积 (m²) ;

t —— 传热时间 (S)

材料的导热性与孔隙特征有关，增加封闭孔隙能降低材料的导热能力。

λ 的影响因素：组成、结构，孔隙率、孔隙特征、受潮、受冻

绝热材料定义： $\lambda \leq 0.23 \text{ w/m} \cdot \text{k}$

2.1 材料的物理性质

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。用热容量系数或比热表示：

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

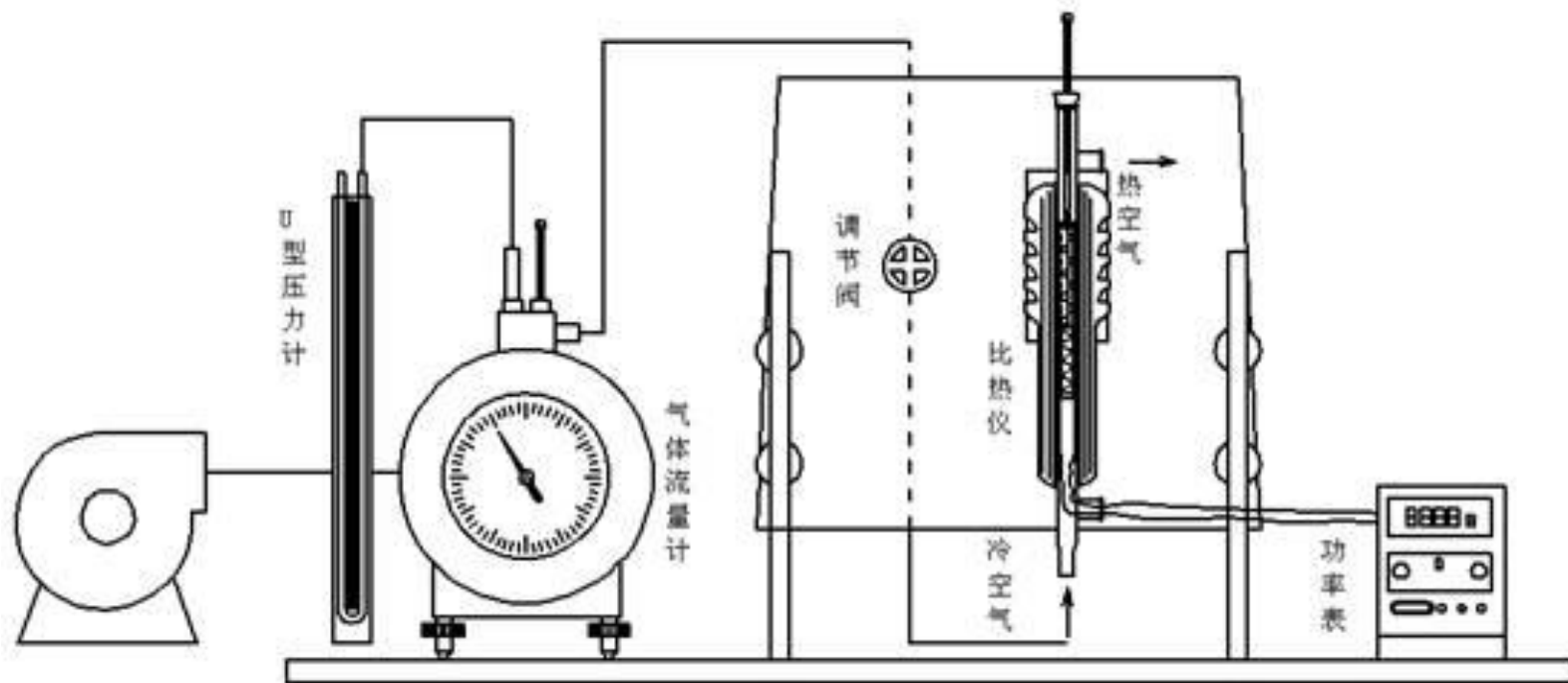
式中： C ——材料的比热， $J/(g \cdot K)$ ；

Q ——材料吸收或放出的热量(热容量)；

m ——材料质量， g ；

$(T_2 - T_1)$ ——材料受热或冷却前后的温差， K 。

2.1 材料的物理性质



气体定压比热测定

Thank you

