



日照职业技术学院
RIZHAO POLYTECHNIC

土木工程材料

第2讲 材料的基本性质 I

建筑工程学院

辛崇飞 博士

建筑材料技术指标

Building materials technical indicators

建筑材料
的基本性质
Basic properties
of building
materials

物理性质
Physical
properties

与材料质量有关的性质
Properties related to material quality

与水有关的性质 Water-related properties

与热有关的性质 Heat related properties

力学性质：材料的强度、弹性、塑性、脆性、韧性
Mechanical properties: strength, elasticity, ductility, brittleness, toughness of materials

耐久性：是一项综合性指标，要理解材料的耐久性好坏对建筑物的重要性。

Durability: A comprehensive indicator of the importance of the durability of a material to a building.



一、材料的基本物理性质

The basic physical properties of the material

1. 与材料质量有关的性质

Properties related to material quality

- 1) 材料的体积 Volume of material
- 2) 材料的密度 Density of material
- 3) 材料的孔隙率 Porosity of material
- 4) 材料的空隙率 Material void ratio



1) 材料的体积 Volume of material

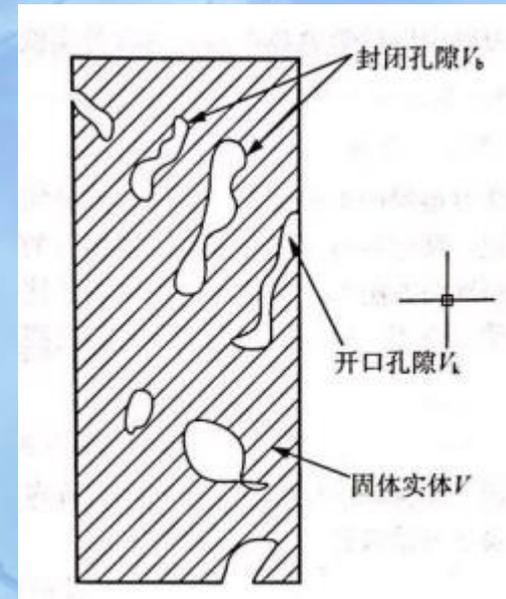
1、体积的定义：材料占有的空间。

1) 材料的**绝对密实体积** (V)：是指不包括孔隙在内的固体物质部分的体积，也称实体积。

自然界中，绝大多数固体材料都存在孔隙，孔隙体积 V_p 。

按孔隙是否与外界联通又分为开口孔隙 (V_k) 和闭口孔隙 (V_b) 两种。开口孔隙与外界连通，浸渍时被液体填充，闭口孔隙与外界不连通。

$$V_p = V_b + V_k$$





1 材料的体积 Volume of material

2) 材料的**表观体积** (V')：材料整体的外观体积，包括矿质实体和闭口孔隙体积。

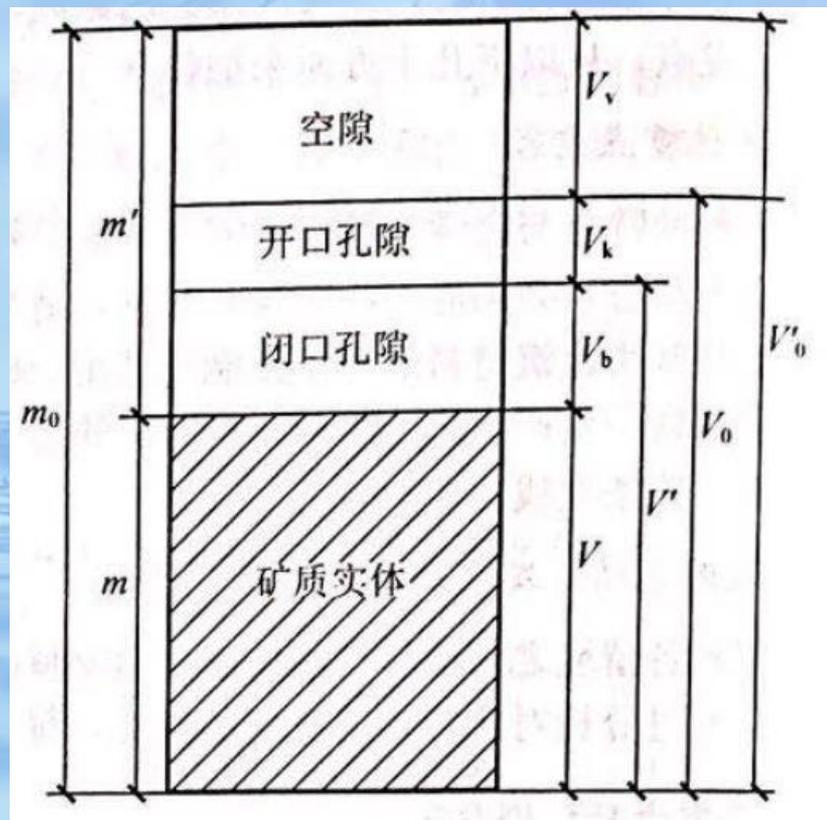
$$V = V + V_b$$

3) 材料的**总体积** (V_0)：包括材料的矿质实体、闭口孔隙和开口孔隙在内的总体积。

$$V_0 = V + V_b + V_k$$

4) 材料的**堆积体积** (V'_0)：粉状或粒状材料，在堆积状态下的总体外观体积，包含物质固体体积 V 及闭口 V_b 、开口孔隙，和颗粒间的孔隙 (V_v) 的体积。

$$V'_0 = V_0 + V_v = V + V_b + V_k + V_v$$





一、材料的基本物理性质

The basic physical properties of the material

1. 与材料质量有关的性质

Properties related to material quality

- 1) 材料的体积 Volume of material
- 2) 材料的密度 Density of material
- 3) 材料的孔隙率 Porosity of material
- 4) 材料的空隙率 Material void ratio



2) 材料的密度 Density of material

1) 密度，又称真实密度，是指材料在规定的条件下（ $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重）下，单位矿质实体（不含孔隙的实体体积）的质量。

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

式中 ρ ——密度， kg/m^3 或 g/cm^3 ；

m ——材料的质量， kg 或 g ；

V ——材料的绝对密实体积， m^3 或 cm^3 。

注意：材料的实体体积是不包括孔隙的固体物质本身的体积！测试时，材料必须是绝对干燥状态。

李氏瓶法，含孔材料磨成细粉测实际体积，质量，求密度。



2) 材料的密度 Density of material

2) 材料的**表观密度**：是指材料在规定的条件下（ $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重）下，单位表观体积物质的质量。

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

式中 ρ' ——材料的表观密度， kg/m^3 或 g/cm^3 ；

m ——材料的质量， kg 或 g ；

V' ——材料的表观体积， m^3 或 cm^3 。

细骨料/粗骨料的表观密度测试方法，有简易法和标准法。



2) 材料的密度 Density of material

3) 体积密度：是指在规定的条件下，单位总体积（包括材料的矿质实体、闭口孔隙和开口孔隙在内的总体积）物质的质量。

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} = \frac{m}{V + V_b + V_k}$$

式中 ρ_0 ——材料的体积密度， kg/m^3 或 g/cm^3 ；

m ——材料的质量， kg 或 g ；

V_0 ——材料在自然状态下的体积， m^3 或 cm^3 。



2) 材料的密度 Density of material

4) 堆积密度：散粒状材料在自然堆积状态下，单位体积（包含物质固体体积及闭口、开口孔隙，和颗粒间的孔隙）物质的质量。

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} = \frac{m}{V + V_b + V_k + V_v}$$

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度， kg/m^3 或 g/cm^3 ；

m ——散粒材料的质量 kg 或 g ；

V'_0 ——散粒材料在自然堆积状态下的体积，又称堆积体积， m^3 或 cm^3 。



计算题

1. 某块材料的全干质量为 100g，自然状态下的体积为 40cm^3 ，绝对密实状态下的体积为 33cm^3 ，计算该材料的实际密度、体积密度、密实度和孔隙率。



2) 材料的密度 Density of material

4) 堆积密度测量

测定堆积密度时，采用一定容积的容器，将散粒状材料按规定方法装入容器中，测定材料质量，容器的容积即为材料的堆积体积，如图 0.12 所示。

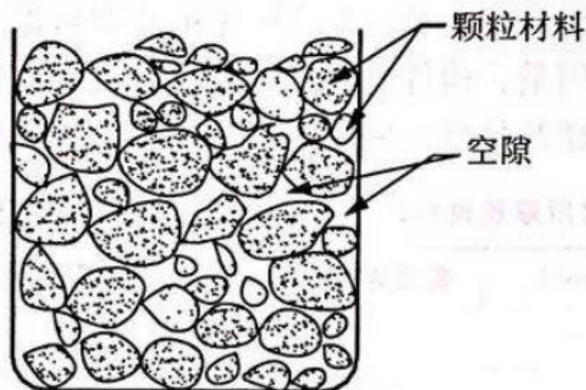


图 0.12 堆积体积示意图



2) 材料的密度 **Density of material**

材料的密实密度，表观密度、体积密度和堆积密度是材料的主要物理性质，用于材料质量与体积之间的换算，如材料的用量、运输量、堆积空间的计算，构件自重的计算等。



一、材料的基本物理性质

The basic physical properties of the material

1. 与材料质量有关的性质

Properties related to material quality

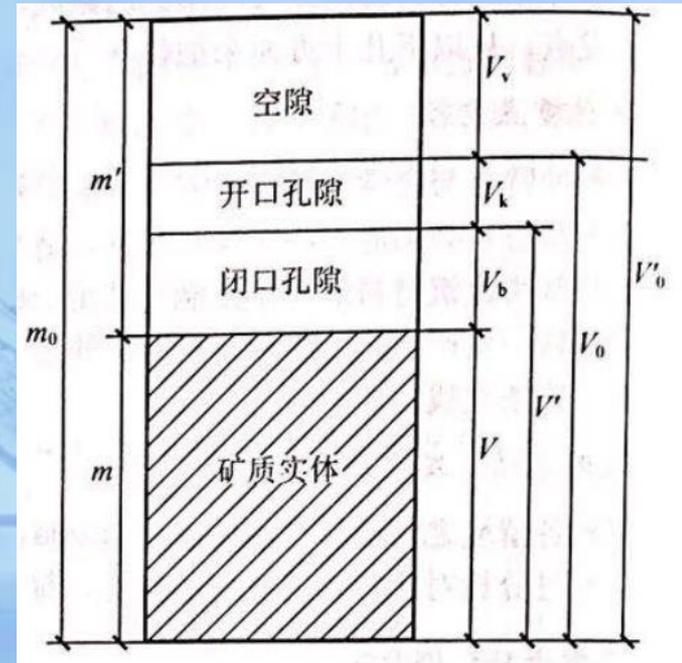
- 1) 材料的体积 Volume of material
- 2) 材料的密度 Density of material
- 3) 材料的密实度与孔隙率 Porosity of material
- 4) 材料的空隙率 Material void ratio



3 材料的密实度与孔隙率

1) 材料的密实度 (D)：是指材料体积被固体物质所充实的程度。用材料中固体物质的体积占总体积的百分数表示，或者采用材料的密实密度和体积密度计算。

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



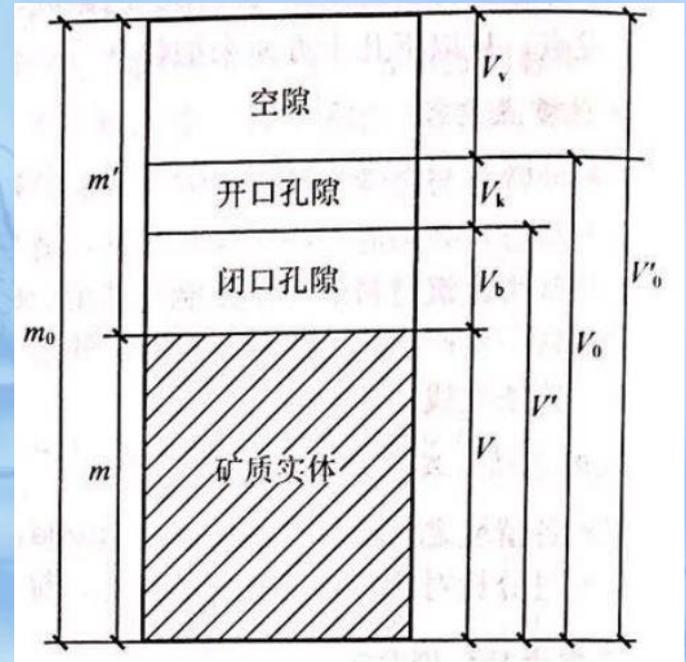
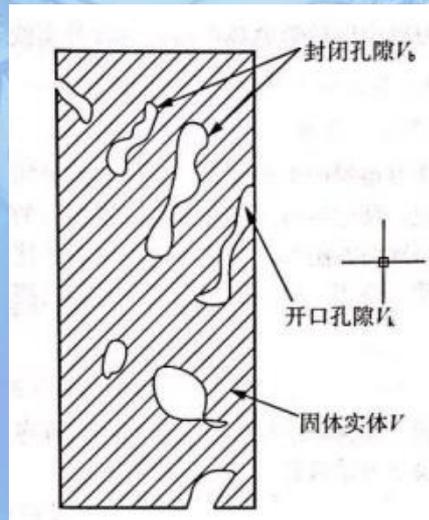


3 材料的密实度与孔隙率

2) 材料的孔隙率 (P)：是指材料体积内，孔隙体积占自然状态下总体积的百分率。

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

孔隙率一般是通过试验确定的材料密度和体积密度求得。





3 材料的密实度与孔隙率

密实度和孔隙率关系：

$$P+D=1$$

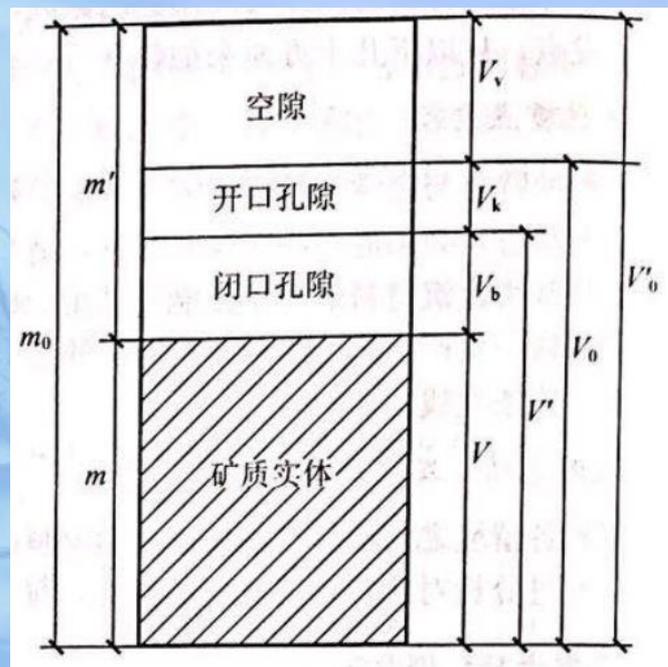
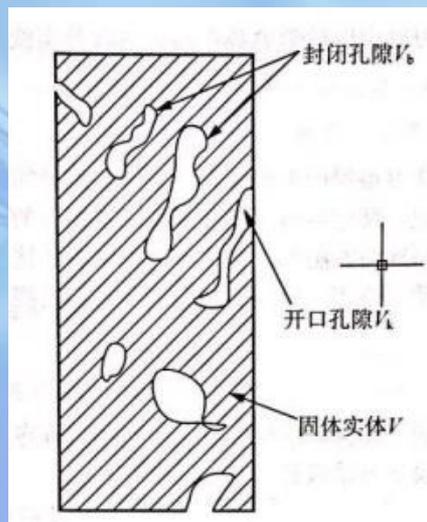
- 材料的孔隙率大小直接反映材料的密实程度，孔隙率越大，则密实度越小。
- 孔隙按照构造可分为开口孔隙和封闭孔隙两种。
- 按尺寸的大小，可分为微孔，细孔，和大孔。
- 材料的孔隙率较大，且连通孔较少，则材料的吸水性较小，抗冻性和抗渗性较好，导热性较差，保温性较好。



4 材料的填充率与空隙率

1) 填充率：是指装在某一容器的散粒材料，其颗粒填充该容器的程度。

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\%$$



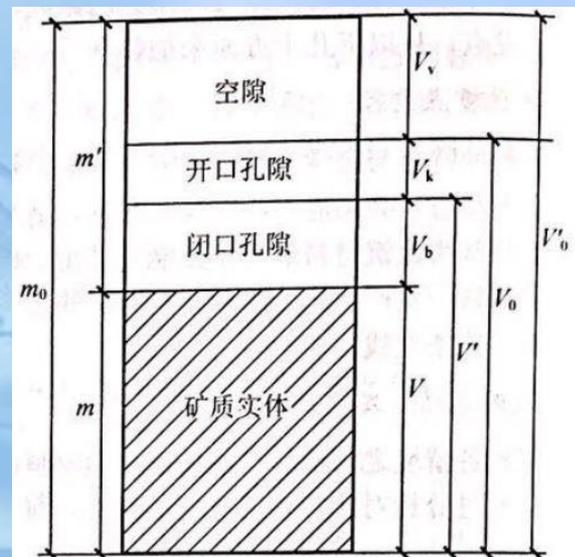
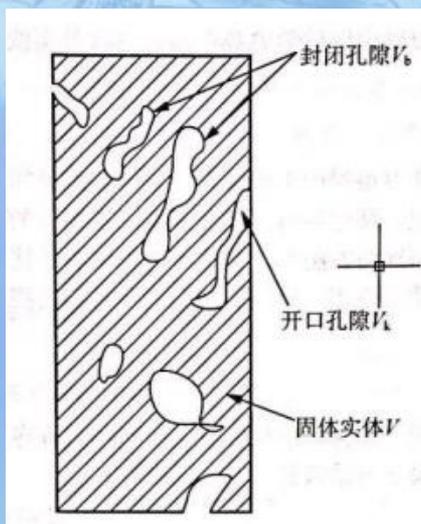


4 材料的填充率与空隙率

2) 空隙率：是指散粒材料（如砂石等）颗粒之间的空隙体积占材料堆积体积的百分率。

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

式中 ρ_0 ——颗粒状材料的体积密度， kg/m^3 或 g/cm^3 ；
 ρ'_0 ——颗粒状材料的堆积密度， kg/m^3 或 g/cm^3 。





计算题

1. 某块材料的全干质量为 100g，自然状态下的体积为 40cm^3 ，绝对密实状态下的体积为 33cm^3 ，计算该材料的实际密度、体积密度、密实度和孔隙率。



4 材料的填充率与空隙率

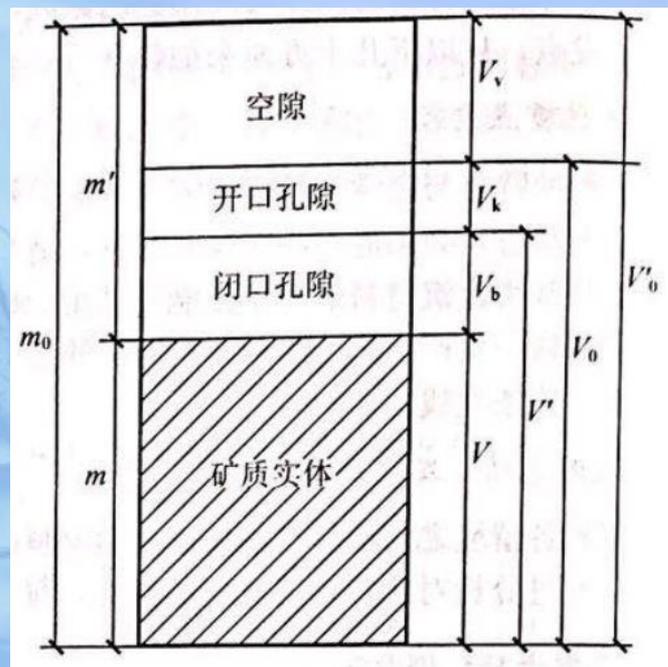
空隙率 P' 与填充率 D' 的关系。是相互关联的

$$P' + D' = 1$$

散粒状材料，空隙率越大，则填充率越小。

在配置混凝土时，砂石的空隙率是作为控制骨料级配与计算混凝土砂率的重要依据。

土木工程中，计算材料用量，构件自重，配料计算，确定堆放空间时，需用如上参数。





4 材料的填充率与空隙率

表 0-3 常用建筑材料的密度、表观密度、堆积密度及空隙率

材料名称	密度/(g/cm ³)	表观密度/(kg/m ³)	堆积密度/(kg/m ³)	空隙率/%
钢材	7.8~7.9	7850	—	0
花岗石	2.7~3.0	2500~2900	—	0.5~3.0
石灰岩	2.4~2.6	1800~2600	1400~1700(碎石)	—
砂	2.5~2.6	—	1500~1700	—
粘土	2.5~2.7	—	1600~1800	—
水泥	2.8~3.1	—	1200~1300	—
烧结普通砖	2.6~2.7	1600~1900	—	20~40
烧结空心砖	2.5~2.7	1000~1480	—	—
红松木	1.55~1.60	400~600	—	55~75



计算题



应用案例 0-1

烧结普通砖的尺寸为 $240\text{mm} \times 115\text{mm} \times 53\text{mm}$ ，已知其孔隙率为 37% ，干燥质量为 2487g ，浸水饱和后质量为 2984g 。试求该砖的体积密度、密度、吸水率、开口孔隙率及闭口孔隙率。



一、材料的基本物理性质

The basic physical properties of the material

2. 与水有关的性质 Water-related properties

- 1) 亲水性与憎水性 Hydrophilic and hydrophobic
- 2) 吸水性 Water absorption
- 3) 吸湿性 Hygroscopicity
- 4) 耐水性 Water resistance
- 5) 抗渗性 Impermeability
- 6) 抗冻性 Frost resistance



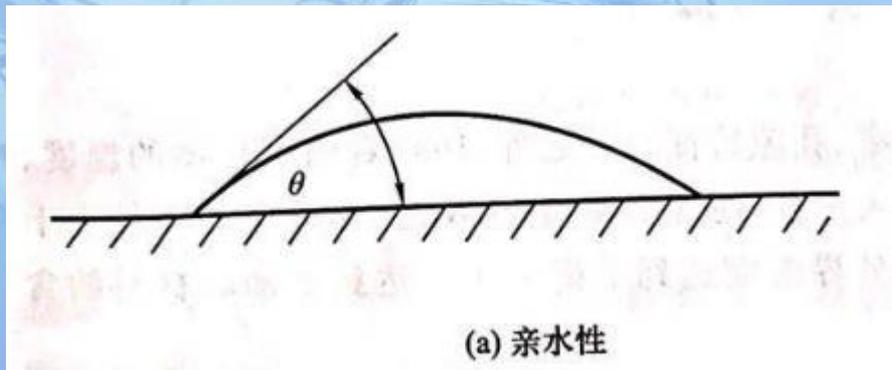
1) 亲水性与憎水性

Hydrophilic and hydrophobic

材料与水接触时，根据材料能否被水润湿，可分为亲水性和憎水性两类。

亲水性，是指材料表面能被水润湿的性质。

润湿角：材料/空气/水三者交界处，沿水滴表面做切线，切线与水和材料接触面所成的夹角。角越小，表明材料越容易被水润湿。



$$\theta \leq 90^\circ$$

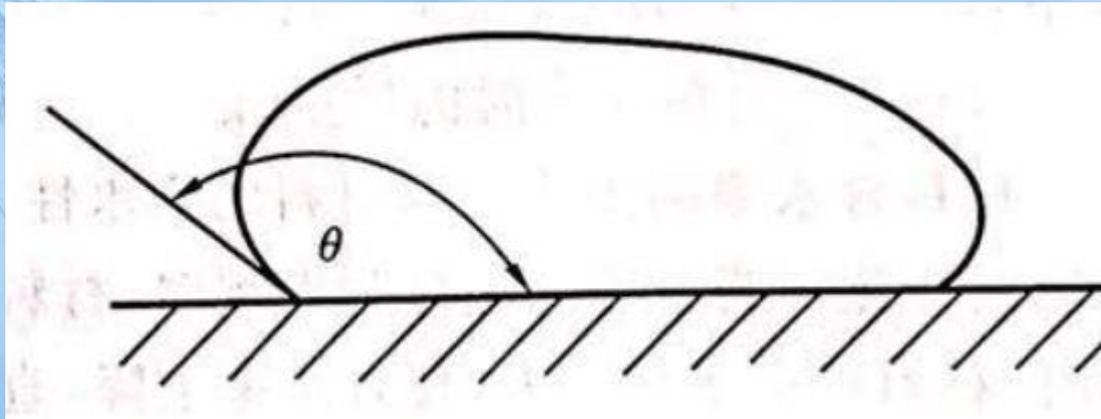


1) 亲水性与憎水性

Hydrophilic and hydrophobic

材料与水接触时，根据材料能否被水润湿，可分为亲水性和憎水性两类。

憎水性，是指材料表面不能被水润湿的性质。



$$90^\circ < \theta \leq 180^\circ$$



1) 亲水性与憎水性

Hydrophilic and hydrophobic

- ◆ 亲水性材料，易被水润湿，水通过毛细管作用进入材料内部。大多数建筑材料具有亲水性，如水泥，混凝土，砂，石，砖，木材。
- ◆ 憎水性材料，阻止水分渗入毛细管内，如沥青，石蜡，某些塑料，可作为防水材料，防水/防潮。



2) 吸水性 Water absorption

吸水性：材料在水中吸收水分的性质。用吸水率表示吸水性的 大小。

1) 质量吸水率：材料吸水饱和时，所吸收水分的质量占材料干质量的百分率。

$$\omega_a = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\%$$

式中 ω_a ——材料的质量吸水率，%；

$m_{\text{湿}}$ ——材料在饱和水状态下的质量，kg 或 g；

$m_{\text{干}}$ ——材料在干燥状态下的质量，kg 或 g。

常用建筑材料一般用质量吸水率表示。



2) 吸水性 Water absorption

吸水性：材料在水中吸收水分的性质。用吸水率表示吸水性的 大小。

2) 体积吸水率：材料吸水饱和时，所吸收水分的体积占材料总体积的百分率。

$$\omega_v = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{水}}} \times 100\%$$

式中 ω_v ——材料的体积吸水率，%；

V_0 ——干燥材料的总体积， m^3 或 cm^3 ；

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度， kg/m^3 或 g/cm^3 。

某些轻质材料，如加气混凝土，木材，由于其质量吸水率超过100%，一般采用体积吸水率表示。



计算题



应用案例 0-1

烧结普通砖的尺寸为 $240\text{mm} \times 115\text{mm} \times 53\text{mm}$ ，已知其孔隙率为 37% ，干燥质量为 2487g ，浸水饱和后质量为 2984g 。试求该砖的体积密度、密度、吸水率、开口孔隙率及闭口孔隙率。



2) 吸水性 Water absorption

吸水性：材料在水中吸收水分的性质。用吸水率表示吸水性的**大小**。

- 材料吸水性的**大小**，不仅与材料的亲水性或憎水性有关，也与孔隙率和孔隙特征有关。
- 一般来说，孔隙率越大，开口孔隙率越大，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，吸水率也较小；
- 封闭孔隙，水分不能进入，吸水率也较小。



3) 吸湿性 Hygroscopicity

吸湿性：材料在潮湿的空气中吸收水分的性质。吸湿性的大小用含水率表示。

$$\omega_{\text{含}} = \frac{m_{\text{含}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\%$$

式中 $\omega_{\text{含}}$ —— 材料的含水率，%；

$m_{\text{含}}$ —— 材料在吸湿状态下的质量，kg 或 g；

$m_{\text{干}}$ —— 材料在干燥状态下的质量，kg 或 g。



3 吸湿性 Hygroscopicity

材料的含水率随着空气的温度，湿度变化而改变，一般是指平衡含水率（材料中的含水率与空气的湿度达到平衡）；

当材料内部孔隙吸水达到饱和时，材料的吸水率等于含水率。

吸水对材料性能的影响：

- 1) 材料吸水后自重增加；
- 2) 保温隔热性降低；
- 3) 强度下降；
- 4) 耐久性可能下降；
- 5) 材料含水率的变化，引起体积的变化，影响使用。



一、材料的基本物理性质

The basic physical properties of the material

2. 与水有关的性质 Water-related properties

- 1) 亲水性与憎水性 Hydrophilic and hydrophobic
- 2) 吸水性 Water absorption
- 3) 吸湿性 Hygroscopicity
- 4) 耐水性 Water resistance
- 5) 抗渗性 Impermeability
- 6) 抗冻性 Frost resistance



日照职业技术学院
RIZHAO POLYTECHNIC

谢谢大家，欢迎提问！