项目1 认知建筑材料

项目描述

建筑物是由各种建筑材料建造而成的。建筑材料在建筑物中承受不同的作用，如梁、板、柱等承重结构材料主要承受各种荷载作用；防水材料经常受到水的作用；隔热与防火材料会受到不同程度的高温作用；处在特殊环境下的工业建筑会受到酸、碱、盐等化学作用；植物类材料会受到昆虫、细菌等生物作用。另外，由于建筑物长期暴露在大气中，还会经常受到风吹、日晒、雨淋、冰冻等引起的热胀冷缩、干湿变化及冻融循环作用等。可见建筑材料在实际工程中所受到的作用是复杂多变的，建筑材料的基本性质就是建筑材料抵抗不同因素作用的表现。

本项目所描述的材料基本性质，是指材料处于不同的使用条件和使用环境时，必须考虑的最基本的、共有的性质。不同种类的材料，由于在建筑中所起的作用不同，应考虑的基本性质也不尽相同。

项目内容

本项目的主要内容包括建筑材料的基本物理性质、基本力学性能及耐久性；建筑材料及检测技术的相关标准；有关数值修约规则。通过本项目的训练，学生可达到如下知识目标、能力目标和素养要求。

知识目标

(1) 掌握材料的密度、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。

(3) 熟悉建筑材料的检测与技术相关标准。

(4) 熟悉建筑材料的试验数据的处理，数值修约的规则。

能力目标

(1) 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理性参数计算。

(2) 能够进行吸水率、含水率、耐水性、抗渗性等与水有关的参数计算。

(3) 能进行相关数值的修约计算。

素养要求

(1) 通过项目实施过程中的咨询、题目的解答培养学生资料查阅能力、自我学习的能力。

（2）通过项目实施过程中的调查、汇报等环节，学生能够关心家乡建筑形式、培养家国情怀，并树立起岗位和责任意识。

任务 1.1　熟悉建筑材料的物理力学性能

1. 任务描述

建筑物在使用过程中，要承受各种不同的作用。这些不同的作用，包括各种形式的外力、恶劣环境的影响等，将直接施加到建筑物的组成材料——建筑材料上；而且，建筑物的某些特殊部位会要求建筑材料具有一些特殊的性能，比如抗渗防水、保温隔热、耐热、耐化学腐蚀等。因此，必须掌握建筑材料一些共性的基本性质及测试方法，以合理选用建筑材料。

2. 学习目标

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

（2）掌握吸水率、含水率、耐水性、抗渗性等与水有关的参数计算。

3. 任务实施（理论测试）

引导问题 1：构成建筑物的建筑材料在使用过程中会受到哪些外部因素的作用？请查阅相关资料并举例说明。

引导问题 2：请简述块状材料的微观体积构成，并以图示表达。

引导问题 3：请简述材料与水有关的性质。在现行的建筑材料中，请作相应举例说明。

综合性调研：请调研目前常用的建筑材料的品种有哪些？它们的强度如何表达？

4. 评价反馈

学生进行自评，评价是否初步了解建筑材料的基本物理性质，是否能正确计算各种密度、吸水率、含水率、抗渗性等与水有关的参数。老师对学生进行的评价内容包括：答题是否工整规范，分析问题是否到位，答题是否全面、准确，是否达到本次任务的要求。

（1）学生进行自我评价，并将结果填入表 1-1 中。

表 1-1　学生自评表

班级		姓名		学号		组别	
学习任务		熟悉建筑材料的物理力学性能					
评价项目		评价标准				分值	得分
遵守纪律		无缺勤、迟到、早退现象				10	
相关资料的查阅		能利用网络查找并下载相关资料				10	
工作态度		能按计划时间完成工作任务				10	
任务完成情况		完成理论测试题及掌握情况				40	
职业素质		能做到调研过程真实可信、调查范围有代表性、调查信息有据可查				20	
创新意识		能根据自己的理解来分析解答问题，并对问题提出自己的设想				10	
合　计						100	

（2）教师对学生工作过程和工作结果进行评价，并将评价结果填入表 1-2 中。

表 1-2　教师综合评价表

班级		姓名		学号		组别	
学习任务		熟悉建筑材料的物理力学性能					
评价项目		评价标准				分值	得分
考勤		无迟到、早退、旷课现象				10	
工作过程		课前预复习情况				10	
		规范意识				10	
		答题是否规范、清晰				10	
		资料是否有据可查				10	
项目成果		答题完整性、准确性				50	
合　计						100	

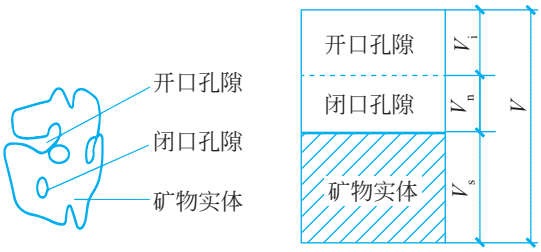
5. 学习任务相关知识点

材料的物理性质主要包括与质量和体积有关的性质、与水有关的性质和与热有关的性质。

1）材料与质量和体积有关的性质

（1）块状材料

如图 1-1(a)所示，从微观角度分析，块状材料的体积包括矿质实体体积、闭口孔隙(不与外界连通)体积和开口孔隙(与外界连通)体积三个部分，各部分的体积与质量关系如图 1-1(b)所示。



(a) 材料微观结构组成　　(b) 材料质量与结构体积关系

图 1-1　材料微观结构

（2）散粒状或粉状材料

如图 1-2 所示，堆积起来的散粒状或粉状材料的微观体积包括颗粒的实体体积、颗粒的开口孔隙体积、颗粒的闭口孔隙体积和颗粒间隙体积四个部分。其中：堆积体积＝颗粒体积＋空隙体积。由于颗粒的开口孔隙与颗粒间缝隙通常是贯通的，因此，散粒状或粉状材料的堆积体积可以理解为由颗粒的总表观体积与颗粒间总空隙构成。

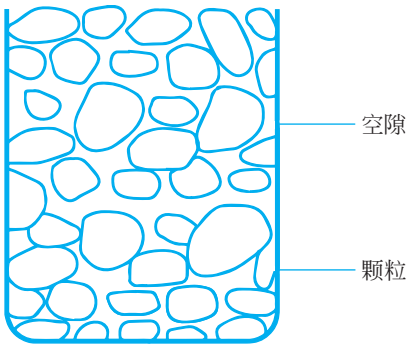


图 1-2　堆积体积

2）反映材料质量与体积关系的参数

（1）密度

密度是材料在绝对密实状态下(不含任何孔隙)，单位体积的矿质实体所具有的质量。密度用 ρ 表示，按式(1-1)计算。

$$\rho = \frac{m}{V_s} \tag{1-1}$$

式中：ρ——密度，g/cm^3；

m——材料在干燥状态下的质量，g；

V_s——绝对体积或矿质实体体积，cm^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。

(2) 表观密度

表观密度是材料单位表观体积(矿质实体体积＋闭口孔隙)所具有的质量，用 ρ_a 表示，按式(1-2)计算。

$$\rho_a = \frac{m}{V_s + V_n} \tag{1-2}$$

式中：ρ_a——材料的表观密度，g/cm^3；

V_n——材料闭口孔隙的体积，cm^3。

表观密度与材料结构组成中孔隙的多少和孔隙的含水程度密切相关。孔隙越多，表观密度越小；当孔隙中含有水分时，其质量和体积均发生变化。因此，测定材料的表观密度时须注明含水情况。标准状态下测定的表观密度为材料在烘干状态下的表观密度。表观密度通常用于水泥混凝土或沥青混合料的配合比设计。

注意

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，因此表观密度应注明其含水程度。

(3) 毛体积密度

材料在自然状态下，单位体积(矿质实体体积＋闭口孔隙＋开口孔隙)所具有的质量为毛体积密度，以 ρ_b 表示，按式(1-3)计算。

$$\rho_b = \frac{m}{V_s + V_i + V_n} \tag{1-3}$$

式中：ρ_b——材料的毛体积密度，g/cm^3；

V_i——材料开口孔隙的体积，cm^3。

因为 $V_s + V_i + V_n = V$，故式(1-3)可以改写为

$$\rho_b = \frac{m}{V} \tag{1-4}$$

式中：V——材料总体积，cm^3。

测定材料的毛体积密度时，对于遇水不崩解、不溃散的体积稳定的材料，可将其加工为规则形状的试件，采用精密量具测量其几何形状的方法计算其体积；而对遇水溶解或体积不稳定的松软材料，应采用“封蜡法”测定。

(4) 堆积密度

堆积密度是指散粒状或粉末状材料在自然堆积状态下单位体积(矿质实体＋闭口孔

隙＋开口孔隙＋颗粒间间隙的体积）具有的质量，用 ρ_0' 表示，按式(1-5)计算。

$$\rho_0' = \frac{m}{V_0'} \tag{1-5}$$

式中：ρ_0'——材料的堆积密度，kg/m³；

m——材料的质量，kg；

V_0'——材料的自然堆积体积（矿质实体体积＋闭口孔隙＋开口孔隙＋颗粒间隙的体积），如图 1-2 所示，也即盛装材料的容器的容积，m³。

堆积密度的大小取决于材料的表观密度和材料堆积的紧密程度，由此又将堆积密度分为松装堆积密度和紧装堆积密度；松散堆积时测得的堆积密度值要明显小于紧密堆积时的测定值，工程中通常采用松装堆积密度确定颗粒状材料的堆积空间。

3）表征材料结构密实性的参数

（1）孔隙率

孔隙率是指材料中孔隙体积（闭口孔隙＋开口孔隙）占材料总体积（矿质实体体积＋闭口孔隙＋开口孔隙）的百分率，以 P 表示，按式(1-6)进行计算。

$$P = \frac{V - V_s}{V} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho}\right) \times 100\% \tag{1-6}$$

式中：P——孔隙率；

V_s——材料的绝对密实体积，cm³ 或 m³；

V——材料的自然体积，cm³ 或 m³。

孔隙率反映了材料内部构造的致密程度。孔隙率越大，材料结构密实性越差，质地越疏松。材料的强度、吸水性、抗渗性、抗冻性、导热性、吸声性等工程性质都与材料的孔隙率有关，不仅取决于孔隙率的大小，还与孔隙的形状、分布、连通与否等构造特征密切相关。

（2）密实度

密实度是材料固体部分的体积（矿质实体体积）占材料总体积（矿质实体体积＋闭口孔隙＋开口孔隙）的百分率，以 D 表示，按式(1-7)进行计算。

$$D = \frac{V_s}{V} \times 100\% = \frac{\rho_b}{\rho} \times 100\% \tag{1-7}$$

式中：D——材料的密实度；

ρ_b——材料的毛体积密度，g/cm³；

ρ——密度，g/cm³。

含有孔隙的材料的密实度均小于 1。材料的 ρ_b 与 ρ 越接近，D 越趋近于 1，材料结构就越密实。

一般来说，材料内部开口孔隙增多会使材料的吸水性、吸湿性、透水性、吸声性提高，抗冻性和抗渗性变差；材料内部闭口孔隙的增多会提高材料的保温隔热性能。

4）表征材料堆积紧密程度的参数

（1）空隙率

空隙率是指散粒或粉状材料颗粒之间的空隙体积占总体积的百分率，用 P' 表示，按式(1-8)计算。

$$P' = \frac{V_0' - V_0}{V_0'} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0'}{\rho_a}\right) \times 100\% \tag{1-8}$$

式中：P'——材料的空隙率；

V_0'——材料的自然堆积体积，cm^3 或 m^3；

V_0——材料的表观体积，cm^3 或 m^3。

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒间互相填充的紧密程度。空隙率可作为控制混凝土集料级配与计算含砂率的依据。

（2）填充率

填充率是指散粒或粉状材料颗粒体积占其自然堆积体积的百分率，用 D' 表示，即

$$D' = \frac{V_0}{V_0'} \times 100\% = \frac{\rho_0'}{\rho_a} \times 100\% = 1 - P' \tag{1-9}$$

式中：D'——材料的填充率；

V_0'——材料的自然堆积体积，cm^3 或 m^3；

V_0——材料的表观体积，cm^3 或 m^3；

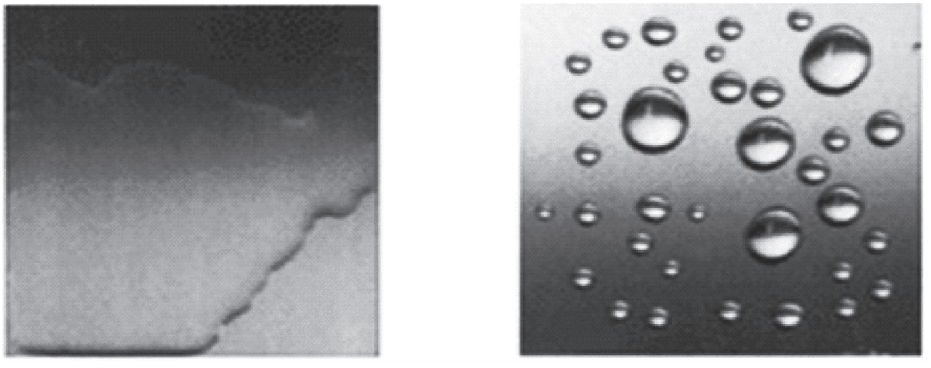
ρ_0'——材料的堆积密度，kg/m^3；

ρ_a——材料的表观密度，g/cm^3。

5）材料与水有关的性质

（1）亲水性与憎水性

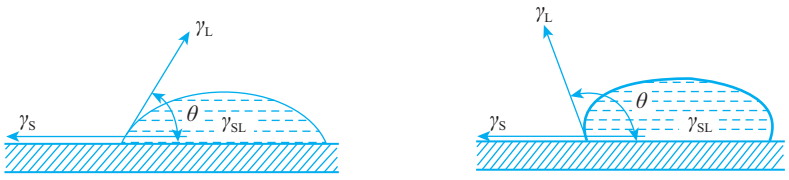
当水与建筑材料在空气中接触时，会出现两种不同的现象。如图 1-3 所示，表面能被水润湿，即水能在其表面铺展开的材料为亲水性材料；表面不能被水润湿，即水不能在其表面铺展开的材料称为憎水性材料。



(a) 亲水性材料　　(b) 憎水性材料

图 1-3　水在不同材料表面作用的情形

材料的亲水性或憎水性通常以润湿角大小划分。润湿角是在材料、水和空气的交点处，沿水滴表面的切线与水和固体接触面所成的夹角。如图 1-4 所示，润湿角 $\theta \leqslant 90^\circ$ 的材料为亲水性材料；润湿角 $\theta > 90^\circ$ 的材料为憎水性材料。润湿角 θ 越小，材料越易被水润湿。



(a) 亲水性材料　　(b) 憎水性材料

图 1-4　材料的润湿角

大多数建筑材料，如石料、砖、混凝土、木材等都属于亲水性材料，这些材料的表面都能被水润湿，并且能通过毛细管作用自动将水吸入材料内部，而沥青、油漆、石蜡、塑料等有机高分子材料都属于憎水性材料，这些材料的表面不仅不能被水润湿，而且能阻止水分渗入毛细管中。

建筑工程中，憎水性材料常用作防潮、防水及防腐材料，也可用于亲水性材料的表面处理，以降低亲水性材料的吸水量，提高材料的耐水性。

（2）吸水性与吸湿性

① 吸水性

材料在浸水状态下吸收水分的能力称为吸水性。材料的吸水性通常用质量吸水率表示，即材料在吸水饱和时，所吸收水分的质量占材料干燥质量的百分率，按式(1-10)计算。

$$W_{质} = \frac{m_{湿} - m_{干}}{m_{干}} \times 100\% \tag{1-10}$$

式中：$W_{质}$——质量吸水率；

$m_{湿}$——材料在吸水饱和状态下的质量，g；

$m_{干}$——材料在绝对干燥状态下的质量，g。

实际工程中，对于加气混凝土、软木等轻质多孔的材料，由于吸入水分的质量往往超过材料干燥时的自重，这时 $W_{质}$ 大于 100%，为了方便表示，可采用体积吸水率表示其吸水性，即材料在吸水饱和时，吸入水分的体积占干燥材料自然体积的百分率，按式(1-11)计算。

$$W_{体} = \frac{V_{水}}{V_0} \times 100\% = \frac{m_{湿} - m_{干}}{V_0} \times \frac{1}{\rho_{水}} \times 100\% \tag{1-11}$$

式中：$W_{体}$——体积吸水率；

$V_{水}$——材料吸入水分的体积，cm^3；

V_0——干燥材料在自然状态下的体积，cm^3；

$\rho_{水}$——水的密度，g/cm^3，常温下取 $1g/cm^3$。

体积吸水率与质量吸水率的关系为

$$W_{体}=W_{质}\rho_{b} \tag{1-12}$$

式中：ρ_{b}——材料在干燥状态下的毛体积密度，g/cm^3。

材料吸水率的大小不仅取决于材料本身是亲水的还是憎水的，而且与材料的孔隙率的大小及孔隙特征密切相关。一般材料的孔隙率越大，吸水率也越大；孔隙率相同的情况下，具有细小连通孔的材料比具有较多粗大开口孔隙或闭口孔隙的材料吸水性更强。

② 吸湿性

材料在潮湿的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，即材料所含水的质量占材料干燥质量的百分数，按式(1-13)计算。

$$W_{含}=\frac{m_{含}-m_{干}}{m_{干}}\times 100\% \tag{1-13}$$

式中：$W_{含}$——材料的含水率；

$m_{含}$——材料含水时的质量，g；

$m_{干}$——材料干燥至恒重时的质量，g。

一般开口孔隙率较大的亲水性材料具有较强的吸湿性。材料含水率的大小，除与其本身的成分、组织构造等有关外，还与周围的温度、湿度有关。气温越低，相对湿度越大，材料的含水率也就越大。材料的吸水率是一个定值，是材料在规定条件下的最大含水率。

③ 耐水性

耐水性是材料长期处于水饱和状态下而不被破坏，强度也不显著降低的性质，用软化系数表示。软化系数是指材料在吸水饱和状态下的抗压强度与其在干燥状态下的强度的比值，按式(1-14)计算。

$$K_{软}=\frac{f_{饱}}{f_{干}} \tag{1-14}$$

式中：$K_{软}$——材料的软化系数；

$f_{饱}$——材料在吸水饱和状态下的抗压强度，MPa；

$f_{干}$——材料在干燥状态下的抗压强度，MPa。

软化系数的取值介于0～1。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。软化系数大于0.80的材料通常可认为是耐水材料。经常位于水中或处于潮湿环境中的重要建筑物所选用的材料，其软化系数不得低于0.85；受潮较轻或次要结构所用的材料，其软化系数允许稍有降低，但不宜小于0.75。

④ 抗冻性

抗冻性是指材料在含水状态下抵抗多次冻融循环而不被破坏，强度也无显著降低的性质。按照国家标准规定，材料的抗冻性可采取快冻和慢冻两种试验方法测定，分别用抗冻等级或抗冻标号表示其抗冻性能的大小。

慢冻试验法是指材料在室内常温(20±2)℃和1个大气压条件下吸水饱和后，置于－15℃以下冻结4h，然后取出放入(20±5)℃的水中溶解4h，如此为一个冻融循环。材料的抗冻性能以材料的质量损失不超过5%、压力损失不超过25%，且试件表面无剥落、裂

缝、分层及掉边等现象时所承受的最大冻融循环次数表示，如 D50、D100、D150 等。

快冻试验法是采用 100mm×100mm×400mm 的棱柱体试件，以 28d 龄期进行试验，试件吸水饱和后承受反复冻融循环，一个循环在 2～4h 内完成。材料的抗冻性能以相对动弹模量值不小于 60%，而且质量损失率不超过 5%时所承受的最大冻融循环次数表示，如 F50、F100、F150 等。

材料的结构越密实、闭口孔隙越多、孔隙的充水程度越小，则抗冻等级越高或抗冻标号越大，抗冻性越好。

实际工程中选择材料抗冻等级时要综合考虑工程种类、结构部位、使用条件和气候条件等诸多因素。对处于冬季室外温度低于－10℃的寒冷地区，建筑物的外墙及露天工程中使用的材料必须进行抗冻性检验。如桥梁工程用的石料在一月份平均气温低于－10℃的地区，除气候干旱地区的不受冻部分外，应符合表 1-3 的抗冻指标要求。

表 1-3　桥涵用石料抗冻性指标

结构部位	冻融循环次数	
	大中桥	小桥及涵洞
镶面或表层的石料	50	25

⑤ 抗渗性

抗渗性是指材料在水、油、酒精等液体的压力作用下抵抗渗透的性能。描述材料抗渗性能的方式通常有渗透系数和抗渗等级两种。

a. 渗透系数

如图 1-5 所示，材料在压力水作用下透过水量的多少遵守达西定律。即在一定时间 t 内，透过材料试件的水量 W 与试件的渗水面积 A 及水头差 h 成正比，与试件厚度 d 成反比。达西定律可用式(1-15)表示。

$$K=\frac{Wd}{Ath} \tag{1-15}$$

式中：K——渗透系数，cm/h；

W——透过材料试件的水量，cm^3；

d——试件厚度，cm；

A——透水面积，cm^2；

t——透水时间，h；

h——材料两侧的水压差，cm。

材料的渗透系数越小，说明材料的抗渗性越强。

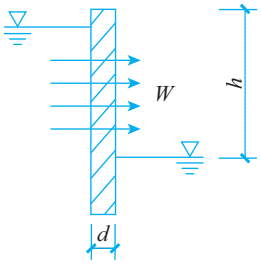


图 1-5　材料透水

b. 抗渗等级

抗渗等级是以 28d 龄期的标准试件，按标准试验方法进行试验时所能承受的最大水压力来确定的。材料抗渗性与材料的亲水性、孔隙率及孔隙特征有关。憎水性材料、孔隙率小而孔隙封闭的材料具有较高的抗渗性；亲水性材料、具有连通孔隙和孔隙率较大的材