



高等院校土建类专业十二五（精品）规划教材

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

主编 周杰 赵新 周娜

中国建材工业出版社

高等院校土建类专业十二五（精品）规划教材

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

主 编 周 杰 赵 新 周 娜
副主编 王 波 冯晓莉 李传红 贾延玲

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料/周杰,赵新,周娜主编. —北京:

中国建材工业出版社, 2012. 8

ISBN 978-7-5160-0254-4

I. ①土… II. ①周… ②赵… ③周… III. ①土木工程—建筑材料—高等职业教育—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 179313 号

内容简介

本书共分 10 章,分别为建筑材料的基本性质、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、建筑砂浆、墙体材料、建筑钢材、建筑塑料、沥青和沥青混合料、木材,以及材料学基础知识、各章关键词中英文对照表和土木工程材料试验 3 个附录。通过本教材的学习,可以使学生掌握土木工程材料的基本理论、基本知识和实验技能,为今后从事土木工程专业及相关专业的科技工作。本教材具有以下特色:参考了相关教材和相关标准的新技术、新规范;注重实用性,并紧密联系工程实际;概念准确、条理清晰、层次分明;每章后面附有习题,以检测学生对知识的掌握能力。

土木工程材料

主 编:周杰 赵新 周娜

出版发行:中国建材工业出版社

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京彩虹印刷有限责任公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:17.75

字 数:440 千字

版 次:2012 年 8 月第 1 版

印 次:2012 年 8 月第 1 次印刷

定 价:38.90 元

本社网址:www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)88386906

目 录

第 1 章 建筑材料的基本性质	1
1.1 材料的基本状态参数	1
1.2 材料的力学性质	4
1.3 材料与水有关的性质	6
1.4 材料的热性质	8
1.5 材料的耐久性	8
第 2 章 气硬性胶凝材料	11
2.1 石膏	11
2.2 石灰	14
2.3 水玻璃	19
第 3 章 水 泥	24
3.1 通用硅酸盐水泥	24
3.2 特种水泥	39
第 4 章 混凝土	46
4.1 普通混凝土的组成材料	47
4.2 混凝土拌合物的性能	74
4.3 硬化后混凝土的性能	79
4.4 普通混凝土的配合比设计及质量控制	93
4.5 其他种类混凝土及其新进展	102

第 5 章	建筑砂浆	109
5.1	砂浆概述	109
5.2	砂浆的技术性质	110
5.3	砌筑砂浆	114
5.4	其他建筑砂浆	118
第 6 章	墙体材料	123
6.1	砌墙砖	123
6.2	墙用砌块	130
6.3	墙用板材	134
第 7 章	建筑钢材	137
7.1	钢材的分类	137
7.2	建筑钢材的主要技术性能	138
7.3	钢材的化学成分对钢材性能的影响	143
7.4	钢材的冷加工与热处理	145
7.5	钢材的标准和选用	147
7.6	钢材的腐蚀与防护	160
第 8 章	建筑塑料	164
8.1	建筑塑料的组成和特点	164
8.2	建筑塑料的分类及主要性能	167
8.3	塑料型材及管材	168
8.4	塑料系复合材料	170
第 9 章	沥青和沥青混合料	173
9.1	沥青	173
9.2	沥青混合料	186
第 10 章	木 材	199
10.1	木材的分类和构造	199
10.2	木材的物理和力学性质	201
10.3	木材的防腐与防火	204
10.4	木材的应用	205

附录 1 材料学基础知识	208
附录 2 各章关键词中英文对照表	213
附录 3 土木工程材料试验	231
参考文献	276

1.1 材料的基本状态参数

1.1.1 材料的密度、表观密度和堆积密度

1. 密度

材料在绝对密实状态下单位体积的质量,称为密度,计算式如下:

式中: ρ ——材料的密度, g/cm^3 ;

m ——材料在干燥状态下的质量, g ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积, cm^3 。

公式中的绝对密实状态下的体积,是指材料中无孔隙的状态,即材料中无孔隙。

在土木工程材料中,绝大多数的材料都是多相物质,如混凝土、砂浆、石材、砖等,只有少数材料,如金属、玻璃、陶瓷等。

对于含孔材料,在测定其密度时,要采用特殊的方法,如用比重瓶法测定其密度,用排水法测定其表观密度,用堆积法测定其堆积密度。当材料的密度小于 $0.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ 时,应进行干燥处理。

另外,测定材料密度时,要采用特殊的方法,如用比重瓶法测定其密度,用排水法测定其表观密度,用堆积法测定其堆积密度。

2. 表观密度

材料在自然状态下单位体积的质量,称为表观密度,计算式如下:

第1章 建筑材料的基本性质

1.1 材料的基本状态参数

1.1.1 材料的密度、表观密度和堆积密度

1. 密度

材料在绝对密实状态下单位体积的质量,称为密度,计算公式如下:

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

式中 ρ ——材料的密度, g/cm^3 ;

m ——材料在干燥状态下的质量, g ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积, cm^3 。

公式中的绝对密实状态下的体积,是指材料中实体物质的体积,不包括材料中的孔隙体积。

在土木工程材料中,绝大多数的材料都或多或少地含有一定数量的孔隙,如砖石、混凝土、砂浆、石材、陶瓷等;只有少数材料可认为不含孔隙,如钢材、沥青、玻璃等。

对于含孔材料,在测定其密度时要将材料磨成细粉,使其内部封闭孔隙暴露出来,干燥后用排液法测其粉末体积,即为绝对密实体积。材料磨得越细,所得体积也越精确,一般认为,当颗粒的粒径小于 0.2mm 时可以满足工程的精度要求。

另外,测试材料密度时要先将材料烘干,故密度的大小与材料的含水率无关。

2. 表观密度

材料在自然状态下单位体积的质量,称为表观密度,计算公式如下:

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

式中 ρ_0 ——材料的表观密度, kg/m^3 ;
 m ——材料在干燥状态下的质量, kg ;
 V_0 ——材料在自然状态下的体积, m^3 。

公式中的自然状态下的体积,是指材料的实体体积与材料内部孔隙体积之和。

对于外形规则的材料,可以度量其外形尺寸,按公式计算其自然状态下的体积;对于外形不规则的材料,可用排液法来求其外观体积,为防止液体渗入材料内部而影响检测值,应在材料表面涂蜡以封闭其开口孔隙。

此外,材料的表观密度与含水状况有关。随着材料含水率增大,其质量也增加,体积也会发生不同程度的变化。因此,一般测定表观密度时,以干燥状态时为准,而对于含水状态下的表观密度,必须注明其含水状况。

3. 堆积密度

散粒材料在自然堆积状态下单位体积的质量,称为堆积密度,计算公式如下:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0}$$

式中 ρ'_0 ——散粒材料的堆积密度, kg/m^3 ;
 m ——材料在干燥状态下的质量, kg ;
 V'_0 ——散粒材料在自然堆积状态下的体积, m^3 。

散粒材料堆积状态下的体积,既包括了颗粒自然状态下的体积,又包括了颗粒间的空隙体积,常用其所填充的容器的标定容积来表示。堆积密度又按材料堆积状态的紧密程度,分为松散堆积密度和紧密堆积密度。

工程上所说的堆积密度一般为松散堆积密度,另外,堆积密度与含水率有关。

1.1.2 材料的孔隙率和空隙率

1. 孔隙率

孔隙率是指材料内部孔隙体积占材料总体积的百分率。其计算公式如下:

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

大多数工程材料的内部或多或少都含有一定的孔隙,这些孔隙会对材料的物理和力学性能产生不同程度的影响。一般来说,材料的孔隙率越大,其表观密度越小,强度越低,吸水率越大,保温性能越好,但其抗冻性和抗渗性也会越差。

对于保温材料和吸声材料,一般要求其孔隙率较高;但对于要求有较高强度的结构性材料,则要求其内部结构致密,孔隙率较小。

含孔材料体积组成示意图如图 1-1 所示。

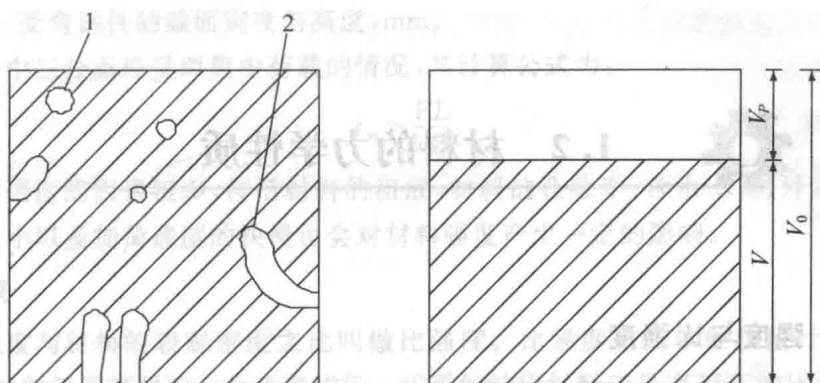


图 1-1 含孔材料体积组成示意图

1—闭口孔隙；2—开口孔隙

2. 空隙率

空隙率是散粒材料颗粒间的空隙体积占堆积体积的百分率。其计算公式如下：

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

对于混凝土、砂率等材料，其空隙率的大小对其力学性能及施工性、经济性影响很大；空隙率小的骨料形成的混凝土结构致密，在材料品种、用量一定的前提下，其和易性较好，并且水泥用量较少。

散粒材料松散体积组成示意图如图 1-2 所示。

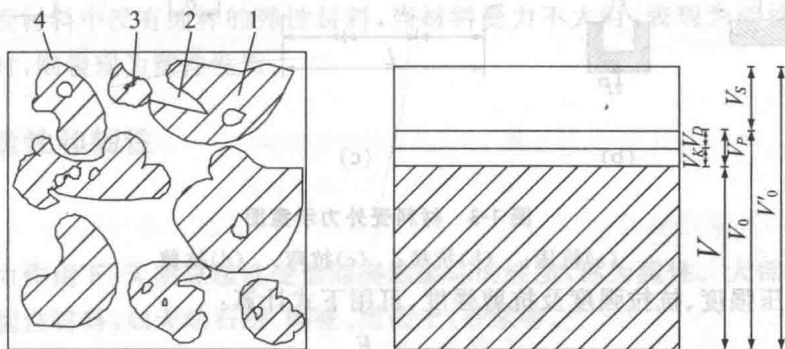


图 1-2 散粒材料松散体积组成示意图

1—颗粒中的实体物质；2—颗粒的开口孔隙；

3—颗粒的闭口孔隙；4—颗粒间的空隙

1.2 材料的力学性质

1.2.1 强度与比强度

1. 强度

材料的强度是指材料在外力作用下破坏时所能承受的最大应力。不同的结构构件所受的外力形式不同,故材料强度又可分为抗压强度、抗拉强度、抗剪强度及抗弯强度等,如图 1-3 所示。

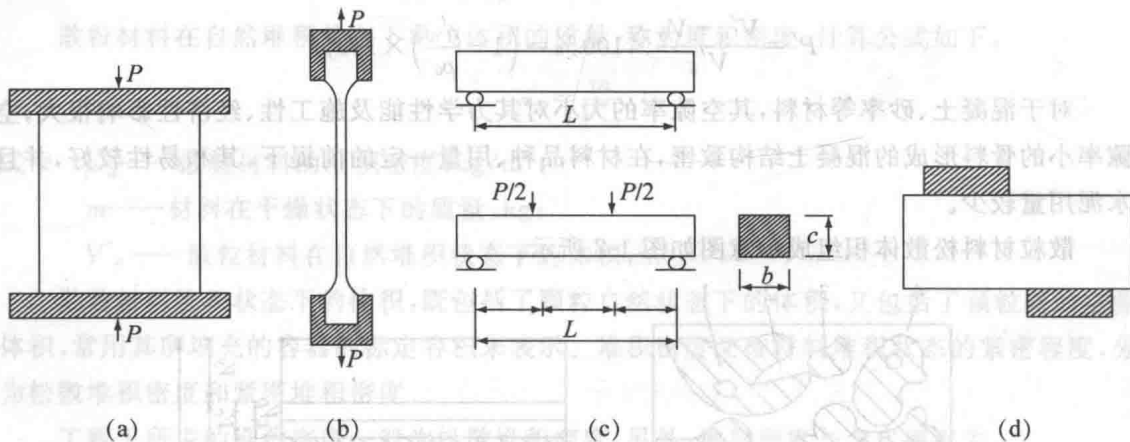


图 1-3 材料受外力示意图

(a) 抗压; (b) 抗拉; (c) 抗弯; (d) 抗剪

材料的抗压强度、抗拉强度及抗剪强度,可用下式计算:

$$f = \frac{F}{A}$$

式中 f ——材料的强度,MPa;

F ——破坏荷载,N;

A ——受荷面积, mm^2 。

抗弯强度根据所受荷载形式的不同,有不同的计算公式。对于在跨中受一集中荷载的情况,其计算公式为:

$$f_m = \frac{3PL}{2bh^2}$$

式中 f_m ——材料的抗弯强度,MPa;

P ——材料受弯时破坏荷载,N;

L ——两支点之间的距离,mm;

b, h ——受弯试件的截面宽度与高度, mm。

对于在跨中三分点外受两集中荷载的情况,其计算公式为:

$$f_m = \frac{PL}{bh^2}$$

影响材料强度的因素很多,包括材料的组成,材料的孔隙率、含水率;另外,试验时所用试件尺寸的大小以及加荷速度的快慢也会对材料强度产生一定的影响。

2. 比强度

材料的强度与材料的表观密度之比叫做比强度。比强度是按单位质量计算的材料强度,它是衡量材料轻质高强的一个主要指标。优质的结构材料应具有较高的比强度,才能尽量以较小的截面满足强度要求,同时可以大幅度减小结构构件本身的质量。



1.2.2 材料的弹性与塑性

1. 弹性

弹性是指材料在外力作用下产生变形,当外力去除后,能完全恢复原来形状的性质,这种可恢复的变形称为弹性变形。

2. 塑性

塑性是指材料在外力作用下产生变形,当外力去除后,材料仍保持变形后的形状和尺寸,且不产裂缝的性质,这种不可恢复的变形称为塑性变形。

在土木工程材料中没有纯粹的弹性材料,当材料受力不大时,表现为弹性性质;当受力超过某一限度时,则表现为塑性性质。



1.2.3 脆性和韧性

1. 脆性

材料在外力作用下,无明显塑性变形而突然破坏的性质,称为脆性。大部分的无机非金属材料均属于脆性材料,如天然石材、陶瓷、混凝土、砂浆等。

脆性材料的特点是抗压强度高而抗拉、抗折强度低,抵抗冲击、振动荷载的能力差。

2. 韧性

材料在冲击或振动荷载作用下,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。

钢材、木材等属于韧性材料,其抗拉强度高于抗压强度,且抵抗冲击或振动荷载的能力较强。



1.2.4 硬度和耐磨性

1. 硬度

硬度是材料表面能抵抗其他较硬物体压入或刻画的能力。

不同材料的硬度测定方法不同,钢材、木材和混凝土的硬度用压入法测定,而石材等矿物用刻画法测定。

2. 耐磨性

耐磨性是材料抵抗磨损的能力,用磨损率表示,材料的耐磨性与硬度、强度及内部构造有关。



1.3 材料与水有关的性质



1.3.1 材料的亲水性与憎水性

材料与水接触时,其表面可被水润湿或不被水所润湿,被水润湿的材料称为亲水性材料,不能被水所润湿的材料称为憎水性材料。其示意图如图 1-4 所示。

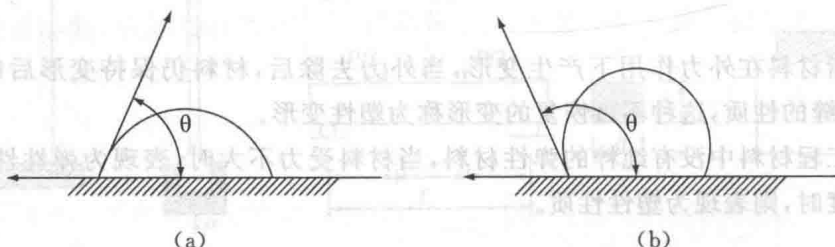


图 1-4 材料润湿示意图

(a)亲水材料; (b)憎水材料

当固体材料与水接触时,会产生如图 1-4 所示的两种情况。在材料、水与空气的三相交汇点处沿水滴表面作切线,此切线与材料和水接触面的夹角,称为润湿角 θ 。当 $\theta \leq 90^\circ$ 时,材料能被水所润湿而表现出亲水性,如砖瓦、混凝土、砂浆等属于亲水性材料;当 $\theta > 90^\circ$ 时,材料不能被水所润湿而表现出憎水性,如沥青、石蜡等属于憎水性材料。

在土木工程中,常利用憎水性材料作防水材料,或用来对亲水性材料作表面处理,以降低材料的吸水性,提高材料的防水、防潮能力。



1.3.2 材料的吸湿性和吸水性

大多数土木工程材料都属于亲水性材料,如砖瓦、混凝土、石材等,都能在水中或潮湿空气中吸收水分或水蒸气。

吸湿性是指材料在潮湿空气中吸收水蒸气的性质,用含水率表示,按下式计算:

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

式中 $W_{\text{含}}$ ——材料的含水率, %;

$m_{\text{含}}$ ——材料含水时的质量, g;

$m_{\text{干}}$ ——材料干燥时的质量, g。

材料的吸湿性,除与材料本身性质、孔隙率及构造等因素有关外,也与空气湿度有关。当材料中的水分子与周围空气湿度相平衡时,其含水率称为平衡含水率。

吸水性是材料在水中吸水的性质,用吸水率表示,按下式计算:

$$W_{\text{吸}} = \frac{m_{\text{吸}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\%$$

式中 $W_{\text{吸}}$ ——材料的吸水率, %;

$m_{\text{吸}}$ ——材料吸水饱和时的质量, g;

$m_{\text{干}}$ ——材料干燥时的质量, g。

材料的吸水性,一方面取决于材料本身是亲水性还是憎水性;另一方面也与材料孔隙率及孔隙特征有关。

材料吸水后其物理性质及力学性质会发生相应的变化,主要表现为表观密度增大、体积膨胀、强度下降、导热性增大及抗冻性下降等。

1.3.3 材料的耐水性

材料的耐水性是指材料在吸水饱和状态下,不发生破坏,强度也不显著降低的性能,耐水性的优劣用软化系数(K)表示:一般材料吸水后,强度均会有所降低,强度降低越多,软化系数越小,说明材料耐水性越差。

不同材料的软化系数相差甚大,波动于0~1之间。将 $K > 0.85$ 的材料,称为耐水性材料,长期处于水中或潮湿环境中的重要结构,所用材料必须保证 $K > 0.85$,用于受潮较轻或次要结构的材料,其值也不宜小于0.75。

1.3.4 材料的抗渗性

抗渗性是材料抵抗压力水渗透的性质。对于混凝土和砂浆,抗渗性的好坏用抗渗等级表示,它是以试件可以承受的最大水压而不渗透时的水压力表示的,如P6、P8等,分别表示试件可承受0.6MPa、0.8MPa的压力水而不渗透。

材料抗渗性与孔隙率及孔隙特征有关,开口的连通大孔越多,抗渗性越差;闭口孔隙率大的材料,抗渗性良好。

1.3.5 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。

在负温下,材料毛细管内的水分可冻结成冰,体积膨胀9%~10%。冰的膨胀压力达到一定程度时,将使材料遭到局部破坏;当冻结融解时其膨胀压力将消失。材料在冻结和融解

的循环作用下而遭受破坏的现象称为冻融破坏。

材料的抗冻性用抗冻等级表示,它是以前冻试件经受冻融后的强度降低率、质量损失率均不超过一定限度时所受的冻融循环次数来表示的,抗冻等级可分为 F15、F25、F50、F100 等。

材料抗冻能力的好坏,与材料吸水程度、材料强度及孔隙特征有关。材料含水率越大,强度越低及材料中含有的毛细孔越多,受到冻融循环的就越越大。

1.4 材料的热性质

1.4.1 导热性

当材料两侧存在温差,热量从材料一侧传导到另一侧的性质,称为材料的导热性,导热性用导热系数表示。

材料的导热系数与材料的成分、孔隙构造和含水率等因素有关,由于密闭空气的导热系数很小,所以材料的孔隙率增大,其导热系数减小;具有密闭空隙的材料比具有连通空隙材料的导热系数小,当材料吸水、受潮或冰冻后,导热系数将大大提高。

1.4.2 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。

单位质量材料温度升高或降低 1K 所吸收或放出的热量为热容量系数或比热。

材料的热容量值对保持建筑物内部温度稳定有很大的意义,热容量值较大的材料或部件,能在热流变动或采暖、空调工作不均衡时,缓和室内的温度波动。

1.5 材料的耐久性

材料的耐久性,是指用于构筑物的材料在环境的各种因素影响下,能长久地保持其性能的性质。

材料在建筑物的使用过程中,除受到各种外力作用外,还长期受到各种使用因素和自然因素的破坏作用,这些破坏作用有物理作用、机械作用、化学作用和生物作用。

物理作用包括温度、干湿交替变化、循环冻融等。



机械作用包括荷载的持续作用、反复荷载引起材料的疲劳、冲击疲劳、磨损等。

化学作用包括酸、碱、盐等液体或气体对材料的侵蚀作用。

生物作用包括昆虫、菌类等的作用而使材料蛀蚀或腐朽。

耐久性是材料的一种综合性质,诸如抗冻性、抗风化性、抗老化性、耐化学侵蚀性等均属于耐久性的范围,此外,材料的强度、抗渗性、耐磨性等性能也与材料的耐久性有密切关系。

在土木工程的设计及材料的选用中,必须慎重考虑材料的耐久性问题,以节约材料,减少维修费用,延长构筑物的使用寿命。

练习题

一、判断题

1. 含水率为4%的湿砂重100g,其中水的质量为4g。()
2. 热容量大的材料导热性大,受外界气温影响室内温度变化比较快。()
3. 材料的孔隙率相同时,连通粗孔者比封闭微孔者的导热系数大。()
4. 从室外取重为 G_1 的砖一块,浸水饱和后重为 G_2 ,烘干后重为 G_3 ,则砖的质量吸水率为 $W=(G_2-G_3)/G_1$ 。()
5. 同一种材料,其表观密度越大,则其孔隙率越大。()
6. 将某种含水的材料,置于不同的环境中,分别测得其密度,其中以干燥条件下的密度为最小。()
7. 吸水率小的材料,其孔隙率最小。()
8. 材料的抗冻性与材料的孔隙率有关,与孔隙中的水饱和程度无关。()
9. 在进行材料抗压强度试验时,大试件较小试件的试验结果值偏小。()
10. 材料在进行强度试验时,加荷速度快者较加荷速度慢者的试验结果值偏小。()

二、单选题

1. 普通混凝土标准试件经28d标准养护后测得抗压强度为22.6MPa,同时又测得同批混凝土水饱后的抗压强度为21.5MPa,干燥状态测得抗压强度为24.5MPa,该混凝土的软化系数为()。
A. 0.96 B. 0.92 C. 0.13 D. 0.88
2. 有一块砖重2525g,其含水率为5%,该砖所含水量为()。
A. 131.25g B. 129.76g C. 130.34g D. 125g
3. 下列概念中,()表明材料的耐水性。
A. 质量吸水率 B. 体积吸水率 C. 孔隙水饱和系数 D. 软化系数
4. 材料吸水后将使材料的()提高(或增大)。
A. 耐久性 B. 导热系数 C. 密度 D. 强度
5. 如材料的质量已知,求其体积密度时,测定的体积应为()。
A. 材料的密实体积 B. 材料的密实体积与开口孔隙体积

- C. 材料的密实体积与闭口孔隙体积 D. 材料的密实体积与开口及闭口体积
6. 对于某一种材料来说,无论环境怎样变化,其()都是一定值。
A. 体积密度 B. 密度 C. 导热系数 D. 平衡含水率
7. 封闭孔隙多孔轻质材料最适用作()。
A. 吸声 B. 隔声 C. 保温 D. 防火
8. 当材料的润湿边角()时,称为憎水性材料。
A. $\theta > 90^\circ$ B. $\theta < 90^\circ$ C. $\theta = 0^\circ$ D. $\theta \geq 90^\circ$
9. 材料的抗渗性与()有关。
A. 孔隙率 B. 孔隙特征
C. 耐水性和憎水性 D. 孔隙率和孔隙特征
10. 脆性材料具有以下何项性质()。
A. 抗压强度高 B. 抗拉强度高 C. 抗弯强度高 D. 抗冲击韧性好

三、填空题

1. 材料的吸水性_____表示,吸湿性用_____表示。
2. 材料耐水性的强弱可以用_____来表示,材料耐水性愈好,该值愈_____。
3. 称取松散堆积密度为 1400kg/m^3 的干砂 200g,装入广口瓶中,再把瓶中注满水,这时称重为 500g。已知空瓶加满水时的质量为 377g,则该砂的表观密度为_____,空隙率为_____。
4. 同种材料的孔隙率愈_____,材料的强度愈高;当材料的孔隙率一定时,_____孔隙率愈多,材料的绝热性愈好。
5. 当材料的孔隙率增大时,则其密度_____,松散密度_____,强度_____,吸水率_____,抗渗性_____,抗冻性_____。
6. 材料作抗压强度试验时,大试件测得的强度值偏低,而小试件相反,其原因是_____和_____。
7. 体积吸水率是指材料体积内被水充实的_____,又约等于_____空隙率。
8. 同种材料,如孔隙率越大,则材料的强度越_____,保温性越_____,吸水率越_____。
9. 材料的吸水性是指_____,其大小用_____表示,材料的吸湿性是指_____,其大小用_____表示,一般情况下,同种材料的_____大于_____,但是,当材料在空气中吸水达到饱和时其_____等于_____。
10. 一般说来,憎水性材料的抗渗性_____亲水性材料。

第2章 气硬性胶凝材料



2.1 石 膏

石膏是一种以硫酸钙为主要成分的气硬性胶凝材料。它具有许多优良的建筑性能,在土木工程材料领域中得到了广泛的应用。石膏胶凝材料品种很多,建筑上使用较多的是建筑石膏,其次是高强石膏。此外,还有无水石膏水泥。

2.1.1 石膏的原料、生产及品种

1. 石膏的原料

生产石膏胶凝材料的原料主要是天然二水石膏、天然无水石膏,也可采用化工石膏。

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,是生产建筑石膏和高强石膏的主要原料。

天然无水石膏(CaSO_4)又称硬石膏,其结晶致密、质地坚硬,不能用来生产建筑石膏和高强石膏,仅用于生产硬石膏水泥及水泥调凝剂等。

化工石膏是指含有 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 成分的化学工业副产品。化工石膏经适当处理后可代替天然二水石膏。

2. 石膏的生产与品种

将天然二水石膏或化工石膏经加热煅烧、脱水、磨细即得石膏胶凝材料。由于加热温度和方式的不同,可以得到不同性质的石膏产品。现简述如下:

(1) 建筑石膏

当常压下加热温度达到 $107 \sim 170^\circ\text{C}$ 时,二水石膏脱水变成 β 型半水石膏(即建筑石膏,又称熟石膏),反应式为: