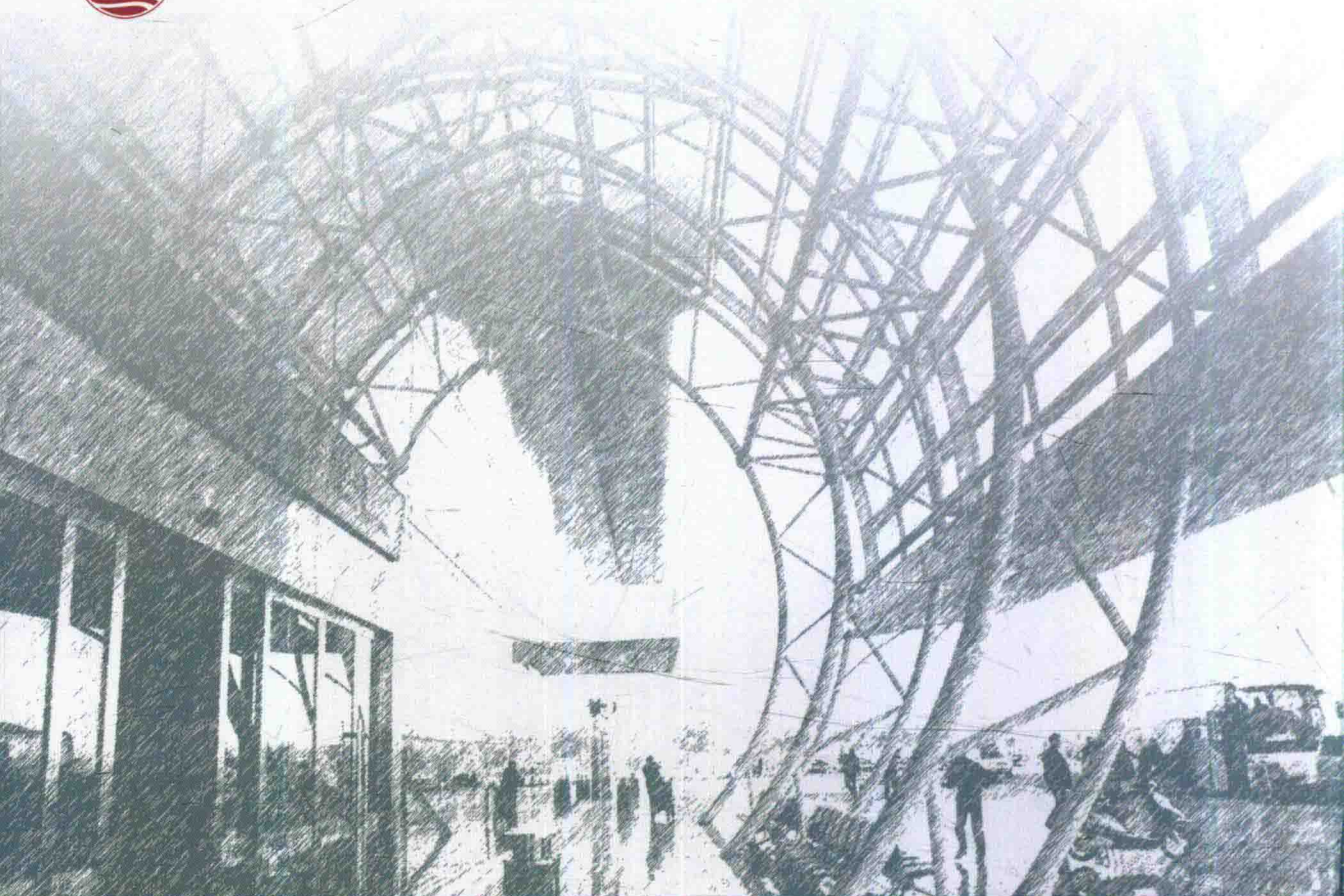




同济大学本科教材出版基金资助



建筑结构材料

主编 张晏清



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



同济大学本科教材出版基金资助

建筑结构材料

主编 张晏清



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书主要内容有材料学基础理论、水泥及其特性与应用、混凝土及其特性评价指标、混凝土工程原材料及施工工艺、建筑钢材特性及施工工艺、钢筋混凝土工程、预应力混凝土、砌体材料、装配式建筑构件与主要生产工艺。其中,混凝土工作性的评价方法、泵送混凝土分别为作者最新创见与科研成果。

本书适合土木工程及相关专业的高等院校学生作为教材选用,也可作为土木工程技术人员参考图书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构材料/张晏清主编. —上海:同济大学出版社,
2016. 2

ISBN 978-7-5608-6141-8

I. ①建… II. ①张… III. ①建筑材料 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 004021 号

建筑结构材料

主编 张晏清

责任编辑 马继兰 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)
经 销 全国各地新华书店
印 刷 同济大学印刷厂
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 19.5
印 数 1—2 100
字 数 487 000
版 次 2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-6141-8

定 价 45.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

土木建设工程在国民经济建设中占据极为重要的作用。近年来,随着我国科技进步与国力的增强,各种新型建筑结构不断发展,新材料、新技术、新工艺在工程中相继得到应用。根据工程的需求,正确的选择、制备以及应用合适的建筑结构材料,对于保证建筑-构筑物的安全、耐久性使用意义重大。

混凝土-钢筋混凝土是建筑结构中使用的最主要材料之一,且材料质量与工程的施工技术、工艺与管理控制水平关系极为密切。因此本书依次介绍了混凝土、混凝土工程、钢材、钢筋混凝土工程以及预应力混凝土工程内容。通过本书的学习,读者可以掌握建筑结构工程中常用材料水泥、钢材的品种、规格、主要技术性能及选用原则;掌握混凝土生产的原料、材料设计与组成、生产工艺过程及其对材料性能的影响;熟悉混凝土的性能、应用范围;了解钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土的制备、施工工艺过程与质量控制点;了解常用建筑结构材料的技术指标与技术规范,能根据工程性质和环境特点合理选用材料;了解材料在储运、验收中必须注意的有关问题;掌握建筑结构材料的正确应用方法。

本书在编写过程中,参考引用了作者所参与的泵送混凝土、喷射混凝土的科研成果,感谢上海建工集团的支持。本书亦参阅了国内外同行的多部著作,在此一并表示感谢。

本书共分为9章,包括:建筑结构材料基本性质、水泥、混凝土(砂浆)、混凝土工程、建筑钢材、钢筋混凝土工程、预应力混凝土、砌体材料、装配式建筑构件与主要生产工艺。本书的第1—第3章由张国防执笔撰写,第4—第9章由张晏清撰写,全书由张晏清统稿。

由于本书内容涉及广泛,限于编者水平,书中若有不妥或疏漏之处,恳请读者谅解并不吝赐教。

编者

2016.1.30

目 录

前言

第1章 材料学基础	1
1.1 材料的物理性质	1
1.1.1 与质量状态有关的性质	1
1.1.2 与水有关的性质	4
1.1.3 与热有关的性质	7
1.2 材料的力学性质	9
1.2.1 强度与比强度	9
1.2.2 弹性与塑性	11
1.2.3 脆性与韧性	12
1.2.4 硬度与耐磨性	12
1.3 材料的耐久性	13
1.3.1 抗渗性	13
1.3.2 抗冻性	14
1.3.3 抗侵蚀性	14
1.3.4 耐老化性	15
第2章 水泥	16
2.1 硅酸盐水泥	17
2.1.1 硅酸盐水泥的定义	17
2.1.2 硅酸盐水泥的生产工艺	17
2.1.3 硅酸盐水泥的组成	18
2.1.4 硅酸盐水泥的水化及凝结硬化	20
2.1.5 硅酸盐水泥的技术要求	23
2.1.6 硅酸盐水泥的特性与应用	25
2.1.7 水泥石的腐蚀与防止	25
2.1.8 硅酸盐水泥的运输与储存	27
2.2 掺混合材的硅酸盐水泥	27
2.2.1 混合材料	27
2.2.2 掺混合材的硅酸盐水泥	28
2.3 铝酸盐水泥	33

2.3.1	铝酸盐水泥的定义	33
2.3.2	铝酸盐水泥的生产工艺	33
2.3.3	铝酸盐水泥的组成	34
2.3.4	铝酸盐水泥的水化和凝结硬化	35
2.3.5	铝酸盐水泥的技术要求	35
2.3.6	铝酸盐水泥的特性	36
2.3.7	铝酸盐水泥的应用及注意事项	36
2.4	硫铝酸盐水泥	37
2.4.1	硫铝酸盐水泥的定义及分类	37
2.4.2	硫铝酸盐水泥的组成材料	38
2.4.3	硫铝酸盐水泥的水化	38
2.4.4	硫铝酸盐水泥的技术要求	38
2.4.5	硫铝酸盐水泥的特性及注意事项	40
2.5	其他水泥	41
2.5.1	白色硅酸盐水泥	41
2.5.2	彩色硅酸盐水泥	43
2.5.3	低热硅酸盐水泥	44
2.5.4	低热微膨胀硅酸盐水泥	46
2.5.5	膨胀型硅酸盐水泥	47
2.5.6	抗硫酸盐硅酸盐水泥	48
2.5.7	快硬硅酸盐水泥	50
2.5.8	道路硅酸盐水泥	51
第3章	混凝土	53
3.1	概述	53
3.1.1	混凝土的分类	53
3.1.2	混凝土的特点	54
3.2	普通混凝土原材料	55
3.2.1	普通混凝土原材料的组成与作用	55
3.2.2	水泥的选择	55
3.2.3	混凝土用水	55
3.3	硬化混凝土结构	56
3.3.1	硬化混凝土宏观结构	56
3.3.2	硬化混凝土细观结构	56
3.3.3	水泥浆体-骨料的界面区与特点	56
3.4	骨料	58
3.4.1	细骨料	58
3.4.2	粗骨料	64
3.5	混凝土拌合物	67

3.5.1	混凝土工作性定义	68
3.5.2	混凝土拌合物流变学	68
3.5.3	混凝土工作性的实际评价方法与指标	70
3.5.4	影响混凝土拌合物工作性的主要因素	77
3.6	混凝土的力学性能	79
3.6.1	混凝土的强度	79
3.6.2	混凝土的强度等级	80
3.6.3	单轴压应力作用下混凝土的破坏模型	80
3.6.4	混凝土强度理论	82
3.6.5	影响混凝土抗压强度的主要因素	83
3.6.6	试验条件对混凝土强度的影响	85
3.6.7	提高混凝土强度的措施	86
3.7	混凝土的耐久性	86
3.7.1	抗渗性	86
3.7.2	抗冻性	87
3.7.3	混凝土的抗冻性指标	88
3.7.4	混凝土碳化	89
3.7.5	混凝土的碱骨料反应	90
3.7.6	混凝土耐腐蚀性能	91
3.7.7	钢筋混凝土耐锈蚀性能	92
3.8	混凝土的变形性能与裂缝控制	93
3.8.1	混凝土的变形性能	93
3.8.2	混凝土裂缝的防治	102
3.9	混凝土外加剂	105
3.9.1	外加剂分类	105
3.9.2	减水剂	105
3.9.3	早强剂	112
3.9.4	缓凝剂	113
3.9.5	引气剂	114
3.9.6	防冻剂与速凝剂	116
3.9.7	减缩剂	116
3.9.8	外加剂的选择使用及掺加方法	117
3.10	普通混凝土的配合比设计	118
3.10.1	混凝土强度的波动规律	118
3.10.2	混凝土强度保证率	119
3.10.3	混凝土配制强度	120
3.10.4	混凝土配合比设计	120
3.10.5	配合比设计计算步骤	122
3.10.6	配合比的试配、调整与确定	127

3.10.7 混凝土配合比设计实例	128
3.11 建筑砂浆	132
3.11.1 砂浆组成材料	133
3.11.2 新拌砂浆的和易性	134
3.11.3 硬化砂浆的性质	135
3.11.4 建筑砂浆的配合比设计	136
3.11.5 水泥砂浆配合比设计实例	137
3.11.6 水泥混合砂浆配合比设计	138
3.11.7 建筑干粉砂浆	139
第4章 混凝土工程	142
4.1 原材料加工工艺	142
4.1.1 骨料破碎工艺	142
4.1.2 骨料筛分工艺与机械	145
4.1.3 再生集料的生产工艺流程与设备布置	146
4.2 原材料上料工艺	147
4.3 混凝土搅拌工艺	147
4.3.1 混凝土搅拌机	148
4.3.2 混凝土搅拌机理	151
4.3.3 搅拌制度	151
4.3.4 混凝土搅拌站	153
4.4 混凝土运输工艺	154
4.4.1 混凝土垂直运输	154
4.4.2 混凝土水平运输	155
4.5 泵送混凝土	156
4.5.1 混凝土泵发展历史	156
4.5.2 混凝土泵的分类与组成	158
4.5.3 混凝土的可泵性	161
4.5.4 泵送混凝土的原材料及配合比的选择	163
4.5.5 泵送混凝土施工技术	164
4.6 混凝土浇筑成型工艺	165
4.6.1 混凝土浇筑前的准备工作	165
4.6.2 混凝土浇筑的一般规定	165
4.6.3 混凝土的施工缝留置与处理	167
4.6.4 混凝土结构的浇筑方案	168
4.7 混凝土的密实工艺	172
4.7.1 振动密实机械	173
4.7.2 混凝土振动密实原理	176
4.7.3 真空脱水密实法	177

4.7.4 离心成型法	177
4.7.5 自密实混凝土	178
4.8 混凝土的养护	179
4.8.1 混凝土的自然养护	180
4.8.2 混凝土热养护	181
4.9 混凝土生产-施工的质量管理与控制	182
4.9.1 混凝土生产前的初步控制	183
4.9.2 混凝土生产过程的控制	184
4.9.3 混凝土产品的合格性控制	185
4.9.4 混凝土局部缺陷的处理	187
第5章 建筑钢材	189
5.1 钢的冶炼加工与分类	189
5.2 钢的分类	190
5.3 钢材的主要技术性能	191
5.3.1 钢材的强度性能	191
5.3.2 钢材的变形性能	193
5.3.3 钢材的工艺性能	195
5.4 钢材的晶体组织与化学成分	196
5.4.1 金属的晶体结构	196
5.4.2 钢的基本组织	198
5.4.3 主要元素对钢性能的影响	200
5.5 钢材的冷加工	200
5.5.1 冷拉	201
5.5.2 冷拔	201
5.5.3 冷轧	202
5.6 钢材的热处理	202
5.7 提高钢材强度的主要技术措施	203
5.8 建筑钢材	203
5.8.1 碳素结构钢	203
5.8.2 低合金结构钢	205
5.8.3 钢的选用原则	206
5.8.4 钢结构用钢材	206
5.8.5 钢筋混凝土结构用钢	209
5.9 钢材的腐蚀与防护	211
5.9.1 钢材的锈蚀	211
5.9.2 防止钢材锈蚀的措施	212
5.9.3 钢在火灾中的表现	213

第6章 钢筋混凝土工程	214
6.1 模板工程	214
6.1.1 模板系统的组成、作用与要求	214
6.1.2 模板的分类	215
6.1.3 模板结构的设计	219
6.1.4 现浇结构模板的拆除	220
6.2 钢筋工程	221
6.2.1 钢筋混凝土结构常用的钢材	221
6.2.2 钢筋产品的一般加工工艺	221
6.2.3 钢筋的冷加工工艺	222
6.2.4 钢筋连接	225
6.2.5 建筑钢筋的牌号与标识	230
6.3 建筑钢筋的质量检验	231
6.3.1 钢筋的加工	231
6.3.2 原料钢筋的质量检验	232
6.3.3 钢筋的质量检验项目	233
6.3.4 加工钢筋产品的吊牌内容	235
6.3.5 建筑钢筋的收货、交货台账	235
第7章 预应力混凝土	237
7.1 钢筋混凝土梁的构造与破坏过程	237
7.1.1 钢筋混凝土梁的构造与材料	237
7.1.2 钢筋混凝土梁的受弯破坏过程	239
7.1.3 其他主要类型构件的受力破坏方式	241
7.2 预应力混凝土基本概念	241
7.2.1 预应力混凝土构件的特点与应用	243
7.2.2 预应力混凝土的原材料	244
7.2.3 预应力混凝土分类	244
7.3 预应力工艺	245
7.3.1 预应力混凝土生产工艺设备	245
7.3.2 预应力混凝土生产工艺参数	252
7.4 先张法生产工艺	253
7.4.1 先张法生产工艺流程	253
7.4.2 先张法生产步骤	253
7.5 后张法生产工艺	257
7.5.1 后张法生产工艺流程	257
7.5.2 后张法生产步骤	257
7.6 预应力损失	259
7.6.1 预应力损失的分类	259

7.6.2 预应力损失组合	261
7.6.3 降低预应力损失的技术措施	261
7.7 其他类型的预应力混凝土工艺	261
7.7.1 无黏结后张预应力混凝土	261
7.7.2 电热张拉预应力混凝土	262
7.7.3 后张自锚法	263
第8章 砌体材料	264
8.1 石材	264
8.1.1 岩石分类	264
8.1.2 岩石的组成、结构与构造	265
8.1.3 岩石的技术性质	267
8.1.4 常用石材的选用	268
8.2 砖	270
8.2.1 烧结普通砖	270
8.2.2 烧结多孔砖	274
8.2.3 烧结空心砖	278
8.3 新型砌体材料	281
8.4 混凝土小型空心砌块	287
第9章 装配式建筑构件与主要生产工艺	293
9.1 装配式建筑构件	293
9.2 钢筋混凝土预制构件生产组织方法	295
参考文献	297

第 1 章 材料学基础

材料是建筑工程结构的基石,是影响结构的使用功能、耐久性及造价的最主要因素之一。建筑结构材料的性质取决于其组成和结构。而材料的组成和结构除了与其本构特性有关外,还受到所处环境和生产工艺的影响。为了能合理地选择和正确地使用材料,确保建筑工程的使用功能、安全性和耐久性,必须了解材料的各种性质以及性质与组成、结构的关系。

1.1 材料的物理性质

1.1.1 与质量状态有关的性质

1. 材料的密度

密度是物质的一种属性,表示单位体积内物质的质量大小。材料的质量与体积之比值即为材料的密度。根据材料所处状态不同,可分为密度、表观密度、体积密度和堆积密度。

1) 密度(ρ)

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量。其计算公式为

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

式中 ρ ——材料的密度(g/cm^3 或 kg/m^3);

m ——材料在干燥状态下的质量(g 或 kg);

V ——材料在绝对密实状态下的体积(cm^3 或 m^3)。

所谓绝对密实状态下的体积,是指不含有任何孔隙的体积。常用的建筑结构材料中,除钢、玻璃等少数材料可认为不含孔隙外,绝大多数材料都或多或少含有一定的孔隙,如水泥混凝土、砖、石材等。测定这些含孔材料的绝对密实体积,一般是将该材料磨成细粉,干燥至恒重后,用排液法测试(如李氏比重瓶法),测得的粉末体积即为绝对密实体积。材料磨得越细,其内部孔隙消除得越完全,测得的体积也越精确。针对建筑结构材料,一般要求细粉的粒径在 $80\ \mu\text{m}$ 以下。

2) 表观密度(ρ')

表观密度(又称视密度、近似密度),是指材料在自然状态下不含开口孔时单位体积的质量。其计算公式为

$$\rho' = \frac{m}{V'} = \frac{m}{V + V_b} \quad (1-2)$$

式中 ρ' ——材料的表观密度(g/cm^3 或 kg/m^3)；
 m ——材料在干燥状态下的质量(g 或 kg)；
 V' ——材料在自然状态下不含开口孔时的体积(cm^3 或 m^3)；
 V_b ——材料内部闭口孔隙的体积(cm^3 或 m^3)。

所谓自然状态下的体积,是指包括材料绝对密实体积和内部孔隙体积的外观几何形态的体积。材料的表观密度与含水量有关。材料含水时,质量要增加,体积也会发生不同程度的变化,表观密度也不相同。因此,一般测定表观密度时,材料必须绝对干燥;而对含水状态下测定的表观密度,须注明含水情况。

测定材料自然状态体积的方法较简单,若材料外观形状规则可直接度量其外形尺寸,按几何公式计算。若外观形态不规则可用排液法求得,此时为了防止液体由孔隙渗入材料内部而影响测试结果,应在材料表面涂蜡密封。

3) 体积密度(ρ_0)

体积密度(又称容积密度,俗称容重),是指材料在自然状态下,单位宏观外形体积的质量。其计算公式为:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} = \frac{m}{V + V_b + V_k} \quad (1-3)$$

式中 ρ_0 ——材料的体积密度(g/cm^3 或 kg/m^3)；
 m ——材料在干燥状态下的质量(g 或 kg)；
 V_0 ——材料在自然状态下的宏观外形体积(cm^3 或 m^3)；
 V_b ——材料内部闭口孔隙的体积(cm^3 或 m^3)；
 V_k ——材料内部开口孔隙的体积(cm^3 或 m^3)。

所谓自然状态下的宏观外形体积,是指包括材料绝对密实体积和内部所有孔隙(开口孔隙和闭口孔隙)体积的外观几何形态体积。进行体积密度试验时,材料的质量可以是其在任意含水状态时的质量,但应注明含水情况,未特别说明时,常指气干状态。在材料进行体积密度对比试验时,则是在绝对干燥状态下进行。

4) 堆积密度(ρ'_0)

堆积密度是指散粒材料或粉状材料在自然堆积状态下单位体积的质量。其计算公式为:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} = \frac{m}{V_0 + V_v} \quad (1-4)$$

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度(g/cm^3 或 kg/m^3)；
 m ——材料在干燥状态下的质量(g 或 kg)；
 V'_0 ——材料在自然堆积状态下的体积(cm^3 或 m^3)；
 V_0 ——材料在自然状态下的宏观外形体积(cm^3 或 m^3)；
 V_v ——散粒材料或粉状材料之间空隙的体积(cm^3 或 m^3)。

散粒材料堆积状态下的外观体积,既包含了颗粒在自然状态下的体积,又包含了颗粒之间的空隙体积。散粒材料的堆积体积,常用其所填满的容器的体积来表示。散粒材料的堆积方式或是松散的,为自然堆积;也可是捣实的,为紧密堆积。由紧密堆积测试得到的堆

积密度是紧密堆积密度。

在建筑工程中,计算材料用量、构件自重、配料计算机确定堆放空间时,经常要用到材料的密度、表观密度、体积密度和堆积密度。常用的建筑结构材料的密度值如表 1-1 所示。

表 1-1 常用的建筑结构材料的几个密度值 单位: kg/m³

材料名称	密度	表观密度	堆积密度
石灰岩	2 600	1 800~2 600	—
花岗岩	2 800	2 500~2 700	—
碎石	2 600	—	1 400~1 700
砂	2 600	—	1 450~1 650
黏土	2 600	—	1 600~1 800
普通黏土砖	2 600	1 600~1 800	—
黏土空心砖	2 600	1 000~1 400	—
水泥	3 100	—	1 200~1 300
普通混凝土	3 100	1 950~2 550	—
轻骨料混凝土	—	800~1 900	—
木材	1 550	400~800	—
钢材	7 850	7 850	—
泡沫塑料	—	15~50	—
沥青(石油)	~1 000	~1 000	—

2. 材料的孔隙率和空隙率

1) 孔隙率与密实度

大多数建筑结构材料的内部都含有孔隙,这些孔隙会对材料的性能产生不同程度的影响,一般认为孔隙可从两个方面对材料性能产生影响,一是孔隙的多少,二是孔隙的特征。

材料中含有孔隙的多少常用孔隙率表征,孔隙率是指材料内部孔隙体积占总体积的百分率(%),以 P 表示,按下式计算:

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

与孔隙率相对应的是密实度,即材料体积内被固体物质充实的程度,以 D 表示,按下式计算:

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

孔隙率和密实度从两个不同侧面反映了材料的致密程度,即有 $P + D = 1$ 。孔隙率越小,则密实程度越高,反之亦然。

材料的孔隙特征主要包括孔隙的种类(开口孔和闭口孔)、孔径的大小及孔隙分布,等等。孔隙按其尺寸大小,可分为微孔、细孔和大孔 3 种;按孔隙之间是否相互贯通,孔隙可分

为互相隔开的孤立孔或互相贯通的连通孔;按孔隙与外界之间是否连通,孔隙可分为与外界相连通的开口孔,或不相连通的闭口孔。实际上,绝对的闭口孔是不存在的,在建筑材料中,常以在常温、常压下水能否进入孔隙中来区分为开口孔和闭口孔。

开口孔隙率 P_k 是指在常温、常压下能被水所饱和的孔体积(即开口孔体积 V_k)与材料自然状态下体积之比值,也即是:

$$P_k = \frac{V_k}{V_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

闭口孔隙(P_b)是指总孔隙率与开口孔隙率 P_k 之差值,也即是:

$$P_b = P - P_k \quad (1-8)$$

孔隙率以及孔隙特征与材料的许多重要的性质,如强度、吸水性、抗渗性、抗冻性和导热性等都有密切关系。孔隙率小,且连通孔较少的材料,其吸水性较小,强度较高,抗渗性和抗冻性较好;开口孔隙率增加,材料吸水量增大,则材料易受冻破坏。因此,常可通过改变材料孔隙率及孔隙特征的方法来改善材料的性能。

2) 空隙率与填充率

散粒材料或粉状材料颗粒间的空隙多少常用空隙率表示。空隙率是指散粒材料或粉状材料颗粒间的空隙体积占堆积体积的百分率,以 P' 表示,空隙率可按下式计算:

$$P' = \frac{V'_0 - V}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho} \times 100\%\right) \quad (1-9)$$

与空隙率相对应的是填充率,即指材料颗粒的自然状态下体积占堆积体积的百分率,以 D' 表示,可按下式计算:

$$D' = \frac{V}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho} \times 100\% \quad (1-10)$$

填充率和空隙率是从两个不同侧面反映了散粒材料或粉状材料的颗粒相互填充的疏密程度,即有 $P' + D' = 1$ 。

1.1.2 与水有关的性质

1. 亲水性与憎水性

材料在使用过程中会经常与水分接触,然而水分与材料表面的亲和情况是不同的。

材料与水接触时能被水润湿的性质称为亲水性。具备这种性质的材料称为亲水性材料。大多数的建筑结构材料,例如钢材、水泥混凝土、木材、砖、砌块等都属于亲水性材料。

材料与水接触时不能被水润湿的性质称为憎水性。具备这种性质的材料称为憎水性材料。例如石蜡、聚苯乙烯管材、沥青基材料等。

当材料与水接触时,由于水分子与材料表面之间的相互作用不同,会产生如图 1-1 所示的两种情况。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称为润湿角,以 θ 表示。一般认为,当润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 时,材料能被水润湿而表现出亲水性,这种材料称为亲水性材料;当润湿角 $\theta > 90^\circ$ 时,材料不能被水润湿而表现出憎水性,这种材料称为憎水性材料。润湿角越小,材料亲水性越强,越易被水润湿,当润湿角

$\theta=0^\circ$ 时,表示该材料能完全被水润湿。

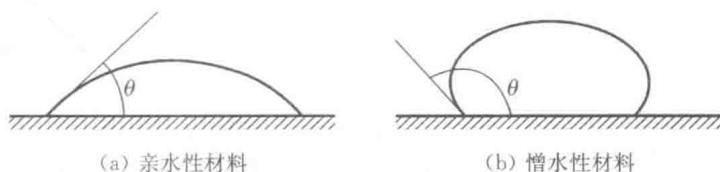


图 1-1 材料的润湿角

2. 含水状态

亲水性材料或多或少会含有一定量的水分,根据其含水量和含水状态,亲水性材料的含水状态可分为干燥状态、气干状态、饱和面干状态和湿润状态等 4 种基本含水状态,如图 1-2 所示。此外,材料还可以处于上述两种基本状态之间的过渡状态。

所谓干燥状态,是指材料的孔隙中不含水或含水极少。气干状态是指材料的孔隙中所含水量与大气湿度相平衡时的含水状态。饱和面干状态是指材料的孔隙中含水饱和,而其表面干燥。湿润状态是指材料不仅孔隙中含水饱和,而且其表面也被水润湿附有一层水膜。

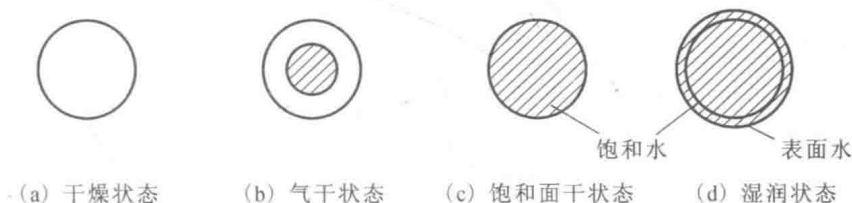


图 1-2 亲水性材料的含水状态

3. 吸湿性和吸水性

1) 吸湿性

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性,反之在干燥空气中会放出所含水分,为还湿性。材料的吸湿性常用含水率表示,按下式计算:

$$W_h = \frac{m_h - m}{m} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中 W_h ——材料含水率(%);

m_h ——材料吸湿状态下的质量(g 或 kg);

m ——材料干燥状态下的质量(g 或 kg)。

材料的吸湿性取决于材料的组成及结构状态。材料的含水率随环境的温度和湿度变化而发生相应的变化,在湿度较大,温度较低时,材料含水率变大,反之变小。材料中所含水分与环境空气湿度相平衡时的含水率称为平衡含水率。此时的含水状态称为气干状态。材料开口的微孔越多,吸湿性越强。

2) 吸水性

材料在水中能吸收水分的性质称为吸水性。材料的吸水性大小用吸水率表示,有以下两种表示方法。

(1) 质量吸水率。是指材料吸水饱和时,吸收的水分质量与材料干燥状态时质量之比

值,按下式计算:

$$W_m = \frac{m_w}{m} \times 100\% = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\% \quad (1-12)$$

式中 W_m ——材料的质量吸水率(%);

m_w ——材料吸水饱和时,吸收水分的质量(g或kg);

m_1 ——材料吸水饱和时的质量(g或kg);

m ——材料干燥状态下的质量(g或kg)。

(2) 体积吸水率。是指材料吸水饱和时,所吸收水分的体积与材料干燥状态时体积之比,按下式计算:

$$W_v = \frac{V_w}{V_0} \times 100\% = \frac{m_1 - m}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-13)$$

式中 W_v ——材料的体积吸水率(%);

V_w ——材料吸水饱和时,吸收水分的体积(cm^3);

V_0 ——材料在干燥状态下的体积(cm^3);

ρ_w ——水分的密度(g/cm^3),在常温下为 $1(\text{g}/\text{cm}^3)$ 。

材料的质量吸水率和体积吸水率存在以下关系:

$$W_v = W_m \times \rho_0 \times \frac{1}{\rho_w} \quad (1-14)$$

式中, ρ_0 为材料干燥状态下的体积密度(g/cm^3)。

材料的吸水率,不仅与材料的亲水或憎水性有关,也与孔隙率大小及孔隙特征有关。

材料吸收的水分是通过开口孔和连通孔吸入的,材料的开口孔越多,开口孔隙率越大,材料的吸水量越多。封闭孔隙水分难以进入,粗大开口孔隙,不易吸满水分和存储水分,而开口细微连通孔越多,吸水量则越大。材料吸水饱和时的体积吸水率,即为材料的开口孔隙率。

材料的吸水性和吸湿性均会对其性能产生一定的影响。材料吸水后,会导致表观密度增加、导热性增加、强度及抗冻性下降等,有时还会发生明显的体积膨胀。

4. 耐水性

材料的耐水性是指材料长期在水作用下抵抗破坏,保持原有功能的性质。材料的耐水性常用软化系数 K 表示,可按下式计算:

$$K = \frac{f_1}{f} \quad (1-15)$$

式中 K ——材料的软化系数;

f_1 ——材料在饱和吸水状态下的抗压强度(MPa);

f ——材料在干燥状态下的抗压强度(MPa)。

一般材料吸水后,强度均会有所降低,材料的软化系数 K 值大小反映材料在浸水饱和后强度降低的程度。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。工程中将 $K \geq 0.85$ 的材料,称为耐水材料。长期处于水中或潮湿环境中的重要结构,必须选