

钢结构工程系列丛书

钢结构 材料检测与管理

朱超 曹洪吉 主编

中国建筑工业出版社

钢结构工程系列丛书

钢结构材料检测与管理

朱 超 曹洪吉 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢结构材料检测与管理/朱超,曹洪吉主编. —北京:中国工业出版社, 2011.6

(钢结构工程系列丛书)

ISBN 978-7-112-13145-7

I. ①钢… II. ①朱…②曹… III. ①建筑结构: 钢结构—结构材料—检测②建筑结构: 钢结构—结构材料—管理 IV. ①TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 062115 号

本书按照建筑钢结构工程技术专业的职业要求,根据建筑工程类施工一线技术与管理
人员所必需的应用知识,从实用性、职业性、可塑性及一专多能性相结合的出发点,以施
工现场必需的知识、技能为基础,介绍了常用的建筑材料和常用钢材、连接材料、焊接材
料的基本组成、性质、应用,以及质量标准和检验方法等。内容包括建筑材料质量标准、
基本性质、胶凝材料、混凝土、建筑钢材、钢结构连接材料、钢结构焊接材料、钢结构无
损检测等相关知识、选择与应用、性能检测及质量评定共 7 章。为方便教学及扩大知识面,
提高实际应用能力,各章后均附有实用习题和课业实训。

本书可作为高职高专建筑钢结构工程技术专业教材,同时可供土建类工程技术人员学
习参考。

责任编辑:赵晓菲 张 磊

责任设计:李志立

责任校对:陈晶晶 赵 颖

本书配套素材,下载地址如下:

www.cabp.com.cn/td/cabp20582.rar

钢结构工程系列丛书

钢结构材料检测与管理

朱 超 曹洪吉 主编

*

中国工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京永峥排版公司制版

北京盈盛恒通印刷有限公司印制

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:19¼ 字数:478 千字

2011 年 11 月第一版 2011 年 11 月第一次印刷

定价:42.00 元 (附网络下载)

ISBN 978-7-112-13145-7

(20582)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

由于钢结构具有抗震性能优越、减轻结构自重、降低工程造价、减少结构所占建筑面积和施工周期短的优点,所以钢材在大型的公共建筑、超高层建筑、桥梁及重型厂房建筑中得到了广泛的应用。本书对于专业技术人员了解各种钢材、连接材料及焊接材料的性能,合理选用钢材将会有很好的帮助。

本书按照建筑钢结构工程技术专业的执业要求,根据建筑工程类施工一线技术与管理 人员所必需的应用知识,从实用性、职业性、可塑性及一专多能性相结合的出发点,以施工现场必需的知识、技能为基础,通过工学结合的方式,介绍了常用的建筑材料和常用钢材、连接材料、焊接材料的基本组成、性质、应用,以及质量标准和检验方法等。内容包括建筑材料质量标准、基本性质、胶凝材料、混凝土、建筑钢材、钢结构连接材料、钢结构焊接材料、钢结构无损检测等相关知识,选择与应用,性能检测及质量评定共7章。为方便教学及扩大知识面,提高实际应用能力,本书特别增加了网上增值服务的内容,各章的实用习题和课业实训都放在网上增值服务中。

本书定位于培养高等技术应用型人才,重在突出职业技术教育特点,培养学生从事与建筑材料有关的检测、使用及管理方面的能力,展现新理论、新技术、新方法、新工艺、新仪器和新材料,以体现应用性、推广性和实用性。

本书由徐州建筑职业技术学院朱超、曹洪吉主编。第1、2、4、5、7章由朱超编写;第3、6章由曹洪吉编写。

本书可作为高职高专建筑钢结构工程技术专业教材,同时可供土建类工程技术人员学习参考。

由于经验不足,能力有限,加之时间较紧,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

目 录

第1章 建筑材料的性质	1
1.1 材料的物理性质	1
1.1.1 与质量有关的性质	1
1.1.2 与水有关的性质	4
1.1.3 材料与热有关的性质	7
1.2 材料的力学性质	10
1.2.1 材料的强度	10
1.2.2 弹性与塑性	11
1.2.3 脆性与韧性	11
1.3 材料的耐久性	12
 第2章 胶凝材料检测与应用	13
2.1 气硬性胶凝材料	13
2.1.1 石灰	13
2.1.2 石膏	17
2.1.3 水玻璃	20
2.2 水硬性胶凝材料	21
2.2.1 硅酸盐水泥	22
2.2.2 掺混合材料的硅酸盐水泥	30
2.2.3 水泥的应用、验收与保管	34
2.2.4 其他品种的水泥	37
2.3 胶凝材料的技术性能检测	40
2.3.1 水泥检验的一般规定	40
2.3.2 水泥细度试验	41
2.3.3 水泥标准稠度用水量测试	43
2.3.4 水泥净浆凝结时间检验	46
2.3.5 水泥安定性检验	47
2.3.6 水泥胶砂强度检验	49
 第3章 混凝土材料	54
3.1 普通混凝土	54
3.1.1 混凝土的定义与分类	55

3.1.2	混凝土的性能特点与基本要求	56
3.1.3	混凝土的组成材料	56
3.1.4	混凝土的技术性质	75
3.1.5	普通混凝土配合比设计	85
3.2	其他品种混凝土	94
3.2.1	泵送混凝土	94
3.2.2	高性能混凝土	97
3.2.3	现代混凝土的发展方向	98
第4章	建筑钢材的检测与应用	100
4.1	概述	100
4.1.1	钢的冶炼	101
4.1.2	钢材的分类	102
4.2	钢材的主要技术性能	102
4.2.1	钢材的力学性能	103
4.2.2	钢材的工艺性能	107
4.2.3	钢材的化学性能	108
4.2.4	钢材生锈及防护	109
4.2.5	钢材的冷加工强化及时效处理	110
4.3	常用建筑钢材	111
4.3.1	钢筋混凝土用钢材	112
4.3.2	钢结构用钢材	116
4.4	钢结构用钢材品种、规格尺寸	120
4.4.1	型钢	120
4.4.2	压型钢板	131
4.5	建筑钢材的防火	132
4.5.1	建筑钢材的耐火性	132
4.5.2	钢结构防火涂料	134
4.6	钢材的选用	136
4.6.1	钢材选用原则和建议	136
4.6.2	国内外钢材的互换问题	137
4.6.3	钢材的保管	137
4.7	铝和铝合金	139
4.7.1	铝的主要性能	139
4.7.2	铝合金的分类	140
4.7.3	铝合金的牌号	141
4.7.4	铝合金的应用	141
4.8	建筑钢材的检测	143
4.8.1	术语	144

4.8.2	钢材的取样方法及取样位置	148
4.8.3	钢筋拉伸试验	152
4.8.4	钢筋冷弯试验	156
4.8.5	钢筋焊接接头的试验	158
4.8.6	钢筋机械连接接头试验	161
第5章 钢结构连接材料		163
5.1	普通螺栓、螺母及垫圈	163
5.1.1	普通螺栓的材性及规格	164
5.1.2	六角头螺栓—C级	164
5.1.3	六角头螺栓	169
5.1.4	螺母	178
5.1.5	垫圈	179
5.1.6	螺栓直径与长度的选择	182
5.1.7	普通螺栓的紧固与验收	182
5.2	高强度螺栓连接	183
5.2.1	高强度大六角头连接副	184
5.2.2	钢结构用扭剪型高强度连接副	192
5.3	高强度螺栓的工作性能及检测	199
5.3.1	相关试验	199
5.3.2	大六角头高强度螺栓	202
5.3.3	扭剪型高强度连接副	204
第6章 焊接材料		207
6.1	焊接材料的作用及发展	208
6.1.1	焊条、焊丝和焊剂的作用	209
6.1.2	焊缝金属的合金化	210
6.1.3	焊接材料的发展现状	211
6.2	电焊条	216
6.2.1	电焊条的分类	216
6.2.2	电焊条的组成	219
6.2.3	电焊条的型号和牌号	221
6.2.4	电焊条的选用	235
6.3	焊丝	242
6.3.1	焊丝的分类及特点	242
6.3.2	焊丝的型号与牌号	246
6.3.3	焊丝选用的要点	251
6.4	焊剂	256
6.4.1	焊剂的分类及特点	256

6.4.2 焊剂的型号与牌号	260
6.4.3 焊剂与焊丝的选配	263
6.5 焊接用气体	274
6.5.1 焊接用气体的特性	274
6.5.2 焊接用气体的选用	274
6.6 焊接材料的使用及保管	278
6.6.1 电焊条的使用与保管	279
6.6.2 焊丝的使用及保管	280
6.6.3 焊接用气体的使用及保管	282
第7章 钢结构无损检测	286
7.1 无损检测	286
7.2 钢结构焊缝无损检测	289
7.2.1 超声波探伤检测 (UT)	290
7.2.2 渗透检测 (PT)	292
7.2.3 磁粉检测 (MT)	296

第 1 章 建筑材料的性质

◆ 引言

建筑材料的性质是多方面的，某种建筑材料应具备何种性质，这要根据它在建筑物中的作用和所处的环境来决定。一般来说，建筑材料的性质包括物理性质、力学性能及耐久性。通过本章的学习达到熟知建筑材料的各种基本性质，从而能够正确选择、运用、分析和评价建筑材料。

◆ 本章要点

通过本章的学习你将能够：

掌握材料的基本物理性质

理解物性参数对材料的物理性质、力学性能、耐久性的影响

1.1 材料的物理性质

[本节要点]

材料与质量有关的性质；

材料与水有关的性质；

材料与热有关的性质。

[关键概念]

表观密度；

含水率；

耐水性。

1.1.1 与质量有关的性质

1.1.1.1 密度

指材料在绝对密实状态下，单位体积的质量。用下式表示。

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

式中 ρ ——材料的密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

m ——材料的绝干质量， g 或 kg ；

V ——材料在绝对密实状态下的体积，简称绝对体积或实体积， cm^3 或 m^3 。

材料的密度大小取决于组成物质的原子量大小和分子结构，原子量越大，分子结构越紧密，材料的密度则越大。

绝对密实状态下的体积是指不包括材料内部孔隙在内的体积。建筑材料中除少数材料（钢材、玻璃等）接近绝对密实外，绝大多数材料内部都包含有一些孔隙。在自然状态下，含孔块体的体积 V_0 是由固体物质的体积（即绝对密实状态下材料的体积） V 和孔隙体积 V_k 两部分组成的。在密度测定中，应把含有孔隙的材料破碎并磨成细粉，烘干后用李氏比重瓶测定其密实体积。材料粉磨得越细，测得的密度值越精确。对砖、石等材料常采用此种方法测定其密度。

1.1.1.2 表观密度

材料单位表观体积所具有的质量称为表观密度或视密度。表观体积包括两个部分：一部分是绝对密实的固体体积；另一部分则是指封闭孔隙体积。用下式表示：

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

式中 ρ' ——材料的表观密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

m ——材料的质量， g 或 kg ；

V' ——材料的表观体积， cm^3 或 m^3 。

1.1.1.3 体积密度

材料的体积密度是材料在自然状态下，单位体积的质量，用下式表示：

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-3)$$

式中 ρ_0 ——材料的表观密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

m ——材料的质量， g 或 kg ；

V_0 ——材料在自然状态下的体积，简称自然体积， cm^3 或 m^3 。

1.1.1.4 堆积密度

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。用下式表示：

$$\rho_0' = \frac{m}{V_0'} \quad (1-4)$$

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' ——材料的自然（松散）堆积体积，包括颗粒体积及颗粒之间空隙的体积，（见图 1-1）， cm^3 或 m^3 。

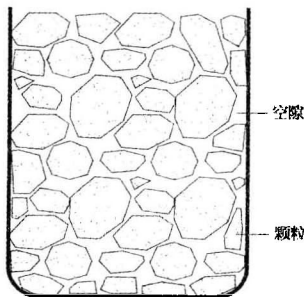


图 1-1 堆积体积示意图
(堆积体积 = 颗粒体积 + 空隙体积)

测定材料的堆积密度时，材料的质量是指填充在一定容器内的材料质量，而堆积体积则是指堆积容器的容积而言。所以，材料的堆积体积既包含颗粒的体积，又包含颗粒之间的空隙体积。

1.1.1.5 孔隙率和密实度

1. 孔隙率

孔隙率是指材料内部孔隙体积占材料在自然状态下总体积的百分率。用下式表示：

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

式中 P ——材料的孔隙率, %;

V_0 ——材料的自然体积, cm^3 或 m^3 ;

V ——材料的绝对密实体积, cm^3 或 m^3 。

孔隙率的大小反映了材料的致密程度。材料的许多工程性质如强度、吸水性、抗渗性、抗冻性、导热性、吸声性等都与材料的孔隙有关。这些性质不仅取决于孔隙率的大小, 还与孔隙的大小、形状、分布、连通与否等构造特征密切相关。

孔隙的构造特征, 主要是指孔隙的形状和大小, 根据孔隙形状将孔隙分为开口孔隙和闭口孔隙, 开口孔隙与外界相连通, 闭口孔隙则与外界隔绝。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。根据孔隙的大小, 分为粗孔和微孔。一般均匀分布的小孔, 要比开口或相连通的孔隙好。不均匀分布的孔隙, 对材料性质影响较大。

2. 密实度

密实度是指材料体积内被固体物质所充实的程度, 也就是固体物质的体积占总体积的比例, 以 D 表示, 密实度的计算式如下:

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

式中 D ——材料的密实度, %。

材料的 ρ_0 与 ρ 愈接近, 即 $\frac{\rho_0}{\rho}$ 愈接近于 1, 材料就愈密实。密实度、孔隙率是从不同角度反映材料的致密程度, 一般工程上常用孔隙率。密实度和孔隙率的关系为: $P + D = 1$ 。

1.1.1.6 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其自然堆积体积的百分率。用下式表示:

$$P' = \frac{V_0' - V_0}{V_0'} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0'}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (1-7)$$

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 ——材料的颗粒体积, cm^3 或 m^3 。

空隙率的大小表征着散粒材料颗粒间相互填充的致密程度。

常用建筑材料的密度、表观密度、堆积密度和孔隙率如表 1-1 所示。

常用建筑材料的密度、表观密度、堆积密度和孔隙率

表 1-1

项 目 材料名称	密度 ρ g / cm^3	表观密度 ρ_0 kg / m^3	堆积密度 ρ_0' kg / m^3	孔隙率 P 或空隙率 $P' / \%$
钢	7.85	7850	—	0
花岗岩	2.70 ~ 3.00	2500 ~ 2900	—	0.5 ~ 1.0
石灰岩	2.40 ~ 2.60	1800 ~ 2600	—	0.6 ~ 3.0
砂	2.60 ~ 2.80	2500 ~ 2600	1400 ~ 1700	35 ~ 40

续表

项 目 材料名称	密度 ρ g/cm ³	表观密度 ρ_0 kg/m ³	堆积密度 ρ_0' kg/m ³	孔隙率 P 或空隙率 $P'/\%$
水 泥	2.80 ~ 3.10	—	1200 ~ 1300	50 ~ 55
普通黏土砖	2.50 ~ 2.70	1600 ~ 1900	—	20 ~ 40
黏土空心砖	2.50 ~ 2.70	1000 ~ 1400	—	50 ~ 60
普通混凝土	2.60 ~ 2.80	2200 ~ 2600	—	5 ~ 20
松 木	1.55 ~ 1.60	400 ~ 800	—	55 ~ 75
泡沫塑料	0.95 ~ 2.60	20 ~ 50	—	98

1.1.2 与水有关的性质

1.1.2.1 亲水性与憎水性

与水接触时,有些材料能被水润湿,而有些材料则不能被水润湿,对这两种现象来说,前者为亲水性,后者为憎水性。材料具有亲水性或憎水性的根本原因在于材料的分子结构。亲水性材料与水分之间的分子亲和力,大于水分子本身之间的内聚力;反之,憎水性材料与水分之间的亲和力,小于水分子本身之间的内聚力。

工程实际中,材料是亲水性或憎水性,通常以润湿角的大小划分。润湿角为在材料、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。其中润湿角 θ 越小,表明材料越易被水润湿。当材料的润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 时,为亲水性材料;当材料的润湿角 $\theta > 90^\circ$ 时,为憎水性材料。水在亲水性材料表面可以铺展开,且能通过毛细管作用自动将水吸入材料内部;水在憎水性材料表面不仅不能铺展开,而且水分不能渗入材料的毛细管中,见图 1-2。

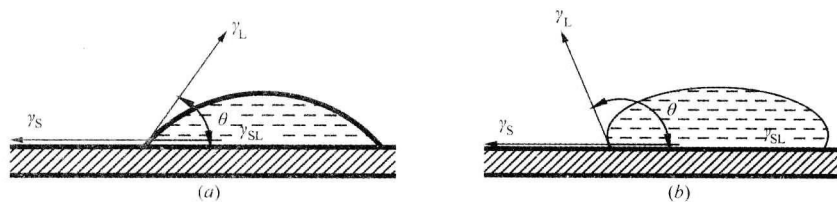


图 1-2 材料润湿示意图
(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料

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,表面都能被水润湿。沥青、石蜡等属于憎水性材料,表面不能被水润湿。该类材料一般能阻止水分渗入毛细管中,因而能降低材料的吸水性。憎水性材料不仅可用作防水材料,而且还可用于亲水性材料的表面处理,以降低其吸水性。

1.1.2.2 吸水性

材料在水中吸收水分的能力称为吸水性。吸水性的的大小常以吸水率表示,有以下两种表示方法:

1. 质量吸水率

指材料吸水饱和时,吸水量占材料绝干质量的百分率。用公式表示如下:

$$W_m = \frac{m_{sw}}{m} \times 100\% = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 W_m ——材料的质量吸水率, %;

m_{sw} ——材料吸饱水时所吸入的水量, g 或 kg;

m_1 ——材料吸饱水时的质量, g 或 kg;

m ——材料的绝干质量, g 或 kg。

2. 体积吸水率

指材料吸水饱和时, 吸收水分的体积占绝干材料自然体积的百分率。用公式表示为:

$$W_v = \frac{V_{sw}}{V_0} \times 100\% = \frac{m_1 - m}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中 W_v ——材料的体积吸水率, %;

V_{sw} ——材料吸饱水时所吸入的水的体积, cm^3 或 m^3 ;

V_0 ——绝干材料在自然状态下的体积, cm^3 或 m^3 ;

ρ_w ——水的密度, g/cm^3 , 常温下取 $\rho_w = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

质量吸水率与体积吸水率的关系为:

$$W_v = W_m \times \rho_0 \quad (1-10)$$

式中 ρ_0 ——材料的干表观密度, g/cm^3 。

由于材料的亲水性以及开口孔隙的存在, 大多数材料都具有吸水性, 所以材料中通常均含有水分。

材料的吸水性不仅与其亲水性及憎水性有关, 也与其孔隙率的大小及孔隙特征有关。一般孔隙率越高, 其吸水性越强。封闭孔隙水分不易进入; 粗大开口孔隙, 不易吸满水分; 具有细微开口孔隙的材料, 其吸水能力特别强。各种材料因其化学成分和结构构造不同, 其吸水能力差异极大, 如致密岩石的吸水率只有 0.50% ~ 0.70%; 普通混凝土为 2.00% ~ 3.00%; 普通黏土砖为 8.00% ~ 20.00%; 木材及其他多孔轻质材料的吸水率则常超过 100%。

材料吸水后, 对材料性质将产生一系列不良影响, 它会使材料的表观密度增大、体积膨胀、强度下降、保温性下降、抗冻性变差等, 所以吸水率大对材料性质是不利的。

1.1.2.3 吸湿性

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。材料的吸湿性常以含水率表示。可用以下公式表示:

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

式中 W ——材料的含水率, %;

m_k ——材料含水时的质量, g 或 kg;

m ——材料的绝干质量, g 或 kg。

材料的吸湿性随空气湿度大小而变化。干燥材料在潮湿环境中能吸收水分, 而潮湿材料在干燥的环境中也能放出 (又称蒸发) 水分, 这种性质称为还水性, 最终与一定温度下的空气湿度达到平衡。多数材料在常温常压下均含有一部分水分, 这部分水的质量占材料干燥质量的百分率称为材料的含水率。与空气湿度达到平衡时的含水率称为平衡含水率。

木材具有较大的吸湿性,吸湿后木材制品的尺寸将发生变化,强度也将降低;保温隔热材料吸湿后,其保温隔热性能将大大降低;承重材料吸湿后,其强度和变形也将发生变化。因此,在选用材料时,必须考虑吸湿性对其性能的影响,并采取相应的防护措施。

1.1.2.4 耐水性

材料长期在饱和水作用下不破坏,其强度也不显著降低的性质称为耐水性。材料的耐水性用软化系数表示。可按下式计算:

$$K_p = \frac{f_w}{f} \quad (1-12)$$

式中 K_p ——材料的软化系数;

f_w ——材料在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。

软化系数 K_p 的大小表明材料在浸水饱和后强度降低的程度。一般材料在水的作用下,其强度均有所下降。这是由于水分进入材料内部后,削弱了材料微粒间的结合力所致。如果材料中含有某些易于被软化的物质如黏土等,这将更为严重。软化系数值一般在 0~1 之间。软化系数越小,表明材料的耐水性越差。根据 K_p 大小可以判断各种材料的使用场合,所以 K_p 值常成为处于水中或潮湿环境中选择材料的依据。

工程上,通常将 $K_p \geq 0.85$ 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,必须选用 $K_p \geq 0.85$ 的材料。对于处于受潮较轻或次要结构的材料,其 K_p 不应小于 0.75。

1.1.2.5 抗渗性

材料抵抗压力水或其他液体渗透的性质称为抗渗性(不透水性)。

由于材料具有不同程度的渗透性,当材料两侧存在不同水压时,一切破坏因素(如腐蚀性介质等)都可通过水或气体进入材料内部,然后把所分解的产物带出材料,使材料逐渐破坏,如地下建筑、基础、压力管道、容器、水工建筑等经常受到压力水或水头差的作用,故所用材料应具有一定的抗渗性。对于各种防水材料,则要求具有更高的抗渗性。

材料的抗渗性可用以下两种指标表示:

1. 渗透系数

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-13)$$

式中 K ——渗透系数, cm/h;

Q ——渗水总量, cm^3 ;

d ——试件厚度, cm;

A ——渗水面积, cm^2 ;

t ——渗水时间, h;

H ——静水压力水头, cm。

渗透系数越小的材料其抗渗性越好。材料抗渗性的高低与材料的孔隙率和孔隙特征有关。绝对密实的材料或具有封闭孔隙的材料,水分难以透过。对于地下建筑及桥涵等结构物,由于经常受到压力水的作用,要求材料应具有一定的抗渗性。对用于防水的材料,其抗渗性的要求更高。

2. 抗渗等级

建筑工程中大量使用的砂浆、混凝土等材料，其抗渗性能常用抗渗等级来表示。

抗渗等级是指材料在标准试验方法下进行透水试验，以规定的试件在透水前所能承受的最大水压力来确定的，用符号“P”和材料透水前所能承受的最大水压力的兆帕（MPa）数值表示。如 P4、P6、P8 等分别表示材料能承受 0.4MPa、0.6MPa、0.8 MPa 的水压而不渗水。所以，抗渗等级愈高，材料的抗渗性能愈好。

实际上，材料抗渗性不仅与其亲水性有关，更取决于材料的孔隙率及孔隙特征。孔隙率小而且孔隙封闭的材料具有较高的抗渗性。

1.1.2.6 抗冻性

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。随着冻融循环的反复，材料的破坏作用逐步加剧，这种破坏称为冻融破坏。

抗冻性是指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。

抗冻性以试件按规定方法进行冻融循环试验，以质量损失不超过 5%，强度下降不超过 25%，所能经受的最大冻融循环次数来表示，或称为抗冻等级。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。

材料在冻融循环作用下产生破坏，一方面是由于材料内部孔隙中的水在受冻结冰时产生的体积膨胀（约 9%）对材料孔壁造成巨大的冰晶压力，当由此产生的拉应力超过材料的抗拉极限强度时，材料内部即产生微裂纹，引起强度下降；另一方面是在冻结和融化过程中，材料内外的温差引起的温度应力会导致内部微裂纹的产生或加速原来微裂纹的扩展，而最终使材料破坏。显然，这种破坏作用随冻融作用的增多而加强。材料的抗冻等级越高，其抗冻性越好，材料可以经受的冻融循环越多。

实际应用中，抗冻性的好坏不但取决于材料的孔隙率及孔隙特征，并且还与材料受冻前的吸水饱和程度、材料本身的强度以及冻结条件（如冻结温度、速度、冻融循环作用的频繁程度）等有关。

1.1.3 材料与热有关的性质

建筑物的功能除了实用、安全、经济外，还要为人们创造舒适的生产、工作、学习和生活环境。因此，在选用材料时，需要考虑材料的热工性质。

1.1.3.1 导热性

当材料两侧存在温度差时，热量从温度高的一侧向温度低的一侧传导的性质称为导热性，材料的导热性常用导热系数“ λ ”表示，计算公式为：

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{(T_1 - T_2) \cdot A \cdot t} \quad (1-14)$$

式中 λ ——材料的导热系数，W/（m·K）；

Q ——总传热量，J；

d ——材料厚度，m；

$T_1 - T_2$ ——材料两侧绝对温度之差, K;

A ——传热面积, m^2 ;

t ——传热时间, s。

导热系数的物理意义是:单位厚度的材料,当两侧温度差为 1K 时,在单位时间内通过单位面积的热量。

显然,热导率越小,材料的隔热性能越好。各种建筑材料的热导率差别很大,大致在 $0.035\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ (泡沫塑料) 至 $3.500\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ (大理石) 之间。通常将 $\lambda \leq 0.15\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料称为绝热材料。

影响建筑材料导热系数的主要因素有:

(1) 材料的组成与结构。一般地说,金属材料、无机材料、晶体材料的导热系数分别大于非金属材料、有机材料、非晶体材料。

(2) 孔隙率大,含空气多,则材料表观密度小,其导热系数也就小。因为,空气的导热系数只有 $0.025\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,所以,表观密度小的材料,主要是空气的导热系数起着重要的作用。

(3) 细小孔隙、闭口孔隙组成的材料比粗大孔隙、开口孔隙的材料导热系数小,因为避免了对流传热。

(4) 材料含水或含冰时,会使导热系数急剧增加。

(5) 导热时的温度越高,导热系数越大(金属材料除外)。

1.1.3.2 热容量

材料在加热时吸收热量、冷却时放出热量的性质称为热容量。墙体、屋面或其他部位采用高热容量材料时,可以长时间保持室内温度的稳定。热容量大小用比热容(也称热容量系数)表示。

比热容表示单位质量的材料温度升高 1K 时所吸收的热量(J)或降低 1K 时所放出的热量(J)。

材料在加热(或冷却)时,吸收(或放出)的热量与质量、温度差成正比,可用下式表示:

$$Q = c \cdot m (T_1 - T_2) \quad (1-15)$$

式中 Q ——材料的热量, J;

c ——材料的比热容, $\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})$;

m ——材料的质量, g;

$T_1 - T_2$ ——材料受热或冷却前后的绝对温度差, K。

由上式可得比热容为:

$$c = \frac{Q}{m (T_1 - T_2)} \quad (1-16)$$

比热容是反映材料吸热或放热能力大小的物理量。不同材料的比热容不同,即使是同一材料,由于所处物态不同,比热容也不同。例如水的比热容是 $4.19\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})$,而结冰后的比热容是 $2.05\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})$ 。

材料的导热系数和比热容是设计建筑物围护结构(墙体、屋盖)、进行热工计算时的重要参数,设计时应选用导热系数较小而热容量较大的建筑材料,以使建筑物保持室内温

度的稳定性。同时，导热系数也是工业窑炉热工计算和确定冷藏库绝热层厚度时的重要数据。常用建筑材料的导热系数和比热容指标见表 1-2。

常用建筑材料的导热系数和比热容指标 表 1-2

项 目 材料名称	导热系数 [W/ (m · K)]	比 热 容 [J/ (g · K)]
建筑钢材	58	0.48
花 岗 岩	3.49	0.92
普通混凝土	1.51	0.84
水泥砂浆	0.93	0.84
白灰砂浆	0.81	0.84
普通黏土砖	0.80	0.88
黏土空心砖	0.64	0.92
松 木	0.17 ~ 0.35	2.51
泡沫塑料	0.035	1.30
冰	2.33	2.05
水	0.58	4.19
密闭空气	0.023	1.00

1.1.3.3 耐燃性

在发生火灾时，材料抵抗或延缓燃烧的性质称为耐燃性（或称防火性）。材料的耐燃性是影响建筑物防火和耐火等级的重要因素。建筑材料按其燃烧性质分为四级：

- (1) 不燃性材料（A）。即在空气中受高温作用不起火、不微燃烧、不炭化的材料。
- (2) 难燃性材料（B₁）。即在空气中受高温作用难起火、难微燃、难碳化，当火源移开后燃烧会立即停止的材料。
- (3) 可燃性材料（B₂）。在空气中受高温作用会自行起火或微燃，当火源移开后仍能继续燃烧或微燃的材料。
- (4) 易燃性材料（B₃）。在空气中容易起火燃烧的材料。

在建筑物不同部位，根据其使用特点和重要性可选择不同耐燃性的材料。

常用材料的极限耐火温度见表 1-3。

常用材料的热性能 表 1-3

材 料	温 度 /℃	注 解	材 料	温 度 /℃	注 解
普通黏土砖砌体	500	最高使用温度	预应力混凝土	400	火灾时最高允许温度
普通钢筋混凝土	200	最高使用温度	钢 材	350	火灾时最高允许温度
普通混凝土	200	最高使用温度	木 材	260	火灾危险温度
页岩陶粒混凝土	400	最高使用温度	花岗石（含石英）	575	相变发生急剧膨胀温度
普通钢筋混凝土	500	火灾时最高允许温度	石灰岩、大理石	750	开始分解温度