

21世纪普通高等教育规划教材

The background of the cover is a photograph of an industrial facility, likely a cement plant. It features several tall, cylindrical silos, a complex network of pipes and walkways, and a prominent tall chimney with red and white horizontal stripes. In the foreground, there are some lower-level buildings and structures. The sky is a clear, pale blue.

无机胶凝材料

WUJI JIAONINGCAILIAO

杨中正 ● 编著

The logo of Zhengzhou University Press, featuring a stylized 'Z' and 'U' inside a square frame.

郑州大学出版社

21世纪普通高等教育规划教材

无机胶凝材料

WUJI JIAONINGCAILIAO

杨中正 ○ 编著

郑州大学出版社

内容简介

本书主要介绍了无机胶凝材料所用的原料,生产过程,水化、凝结和硬化过程,技术性能和应用等环节。内容包括石灰、石膏、镁质胶凝材料、硅酸盐水泥、火山灰水泥和粉煤灰水泥、高炉矿渣和矿渣水泥、耐热胶凝材料和特种水泥等类型的无机胶凝材料。本书可供从事材料、建筑工程以及相关专业的科研、设计与工程技术人员使用和参考,也可作为高等院校相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

无机胶凝材料/杨中正编著. —郑州:郑州大学出版社,
2008. 11

ISBN 978 - 7 - 81106 - 914 - 3

I. 无… II. 杨… III. 无机材料:胶凝材料 IV. TQ177

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 092254 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:邓世平

全国新华书店经销

新乡市凤泉印务有限公司印制

开本:787 mm × 1 092 mm

印张:13.75

字数:328 千字

版次:2008 年 11 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371 - 66966070

1/16

印次:2008 年 11 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978 - 7 - 81106 - 914 - 3

定价:28.00 元

· 本书如有印装质量问题,请向本社调换

前 言

无机胶凝材料又称矿物胶凝材料,是以无机化合物为基本成分的胶凝材料。它与人类生产、生活密切相关。人类使用无机胶凝材料有着极为悠久的历史,如远在 4000 ~ 10000 年前的新石器时代,人类使用的黏土。伴随着国民经济的发展,无机胶凝材料以具有原料来源广、成品价格低、环境效益好、耐久性好等突出特点,在工程建设领域得到广泛应用,在国民经济和人民生活也是不可缺少的。

无机胶凝材料的制备工艺、水化、凝结和硬化等性能涉及矿物学、物理学、物理化学、无机化学以及机械和无机非金属材料工程等专业学科的内容,是多学科交叉、结合而形成的综合性学科。为了便于理解,本书按照胶凝材料的分类编写,着重介绍了石灰、石膏、镁质胶凝材料、水泥等无机胶凝材料所用的原料,生产过程,水化、凝结和硬化过程,技术性能和应用等环节。目的是使读者系统了解无机胶凝材料对采用的原料到产品的制备过程,以及使用过程所经历的一系列物理、化学变化及其基本原理和影响因素,希望读者能够掌握胶凝材料的胶结原理和规律,从而能针对工程的特点,有效地选择胶凝材料,并希望能够在应用中得到不断充实、发展。

本书可作为从事胶凝材料、建筑材料、建筑工程、无机非金属材料以及相关专业的工程技术人员使用和参考,也可作为高等院校相关专业教材。

本书在编写过程中,由于编者水平有限,错误之处在所难免,谨请同行专家和广大读者批评指正,同时也感谢读者对本书的支持和爱护。

编者

2007 年 9 月

目 录

1	材料的基本性质	1
1.1	材料的物理性质	1
1.2	材料的力学性质	2
1.3	材料与水有关的性质	5
1.4	材料的热工性能	6
1.5	材料的耐久性	7
2	石灰	9
2.1	概述	9
2.2	石灰的原料	10
2.3	石灰的生产	12
2.4	石灰的水化	18
2.5	石灰的硬化	24
2.6	石灰的性能和应用	26
3	石膏	30
3.1	概述	30
3.2	石膏的原料	30
3.3	石膏的生产	37
3.4	石膏的水化和硬化	41
3.5	石膏的性能	44
3.6	石膏的应用	46
4	镁质胶凝材料	48
4.1	概述	48
4.2	镁质胶凝材料的原料	48
4.3	镁质胶凝材料的生产	50
4.4	镁质胶凝材料的性能	57
4.5	镁质胶凝材料的应用	58
5	硅酸盐水泥	60
5.1	概述	60
5.2	硅酸盐水泥的原料	62
5.3	硅酸盐水泥的生产	69

5.4	硅酸盐水泥的水化	90
5.5	硅酸盐水泥的凝结硬化	101
5.6	硅酸盐水泥的性能	104
6	火山灰水泥和粉煤灰水泥	127
6.1	混合材料	127
6.2	火山灰质混合材料	128
6.3	火山灰水泥	131
6.4	粉煤灰水泥	135
6.5	沸腾炉渣水泥	144
7	高炉矿渣和矿渣水泥	146
7.1	高炉矿渣	146
7.2	矿渣水泥	154
7.3	无熟料及低熟料矿渣水泥	159
8	耐热胶凝材料	165
8.1	铝酸钙水泥	165
8.2	磷酸及磷酸盐结合剂	176
8.3	水玻璃	185
8.4	ρ - Al_2O_3 结合剂	188
8.5	硫酸铝结合剂	190
9	特性水泥	192
9.1	快硬高强水泥	192
9.2	抗硫酸盐水泥	196
9.3	白色水泥和彩色水泥	197
9.4	中热水泥和低热矿渣水泥	199
9.5	膨胀水泥	201
9.6	低热微膨胀水泥	202
9.7	耐酸水泥	204
9.8	道路水泥	205
9.9	油井水泥	206
附 录		209
附录 1	常用相对原子质量与相对分子质量表	209
附录 2	常用单位及其换算	210
参考文献		212

1 材料的基本性质

熟悉和掌握材料的基本性质,对于正确选择和合理使用材料至关重要。本章主要介绍材料的物理性质、材料的力学性质、材料与水有关的性质、材料的热工性质和材料的耐久性及其有关指标和计算公式。

1.1 材料的物理性质

(1)密度 密度是指材料在规定的条件((105±5)℃烘干恒重,温度20℃)绝对密实状态(绝对密实状态是指不包括任何孔隙在内的体积)下单位体积的质量,又称真实密度。计算式如下:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

式中: ρ ——密度(g/cm³或 kg/m³);

V ——材料在绝对密实状态下的体积,是指不包括孔隙体积在内的固体所占有的实体积(cm³或 m³);

m ——材料的质量(g或 kg)。

除了钢材、玻璃等少数接近绝对密度的材料外,绝大多数材料都有一些孔隙。

(2)表观密度 表观密度是指单位体积(材料在自然状态下的体积)所具有的质量。计算式如下:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1.2)$$

式中: ρ_0 ——表观密度(g/cm³或 kg/m³);

V_0 ——材料在自然状态下的体积,或称表观体积,包括内部孔隙的体积,但不包括能吸水的开口孔隙在内的体积(cm³或 m³)。

表观密度一般是指材料在气干状态下的表观密度。在烘干状态下的表观密度,称为干表观密度。

(3)密实度与孔隙率 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,用 D 表示;孔隙率是指材料体积内,孔隙体积(包括不吸水的闭口孔隙,能吸水的开口孔隙)所占的比例,用 P 表示。计算式如下:

$$D = \frac{V}{V_0} = \frac{\rho_0}{\rho} \quad (1.3)$$

$$P = \frac{(V_0 - V)}{V_0} = 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \quad (1.4)$$

含有孔隙的固体材料的密实度均小于1。材料的很多性能如强度、吸水性、耐久性、导热性等都与密实度有关。

D 和 P 从两个不同侧面来反映材料的密实程度,两者关系为 $P + D = 1$ 。

孔隙率的大小直接反映了材料的密实程度。材料内部的孔隙又可分为连通孔隙和封闭孔隙。孔隙率的大小和孔隙特征与材料的许多性质都有关系,如强度、吸水性、抗渗性、抗冻性和导热性等。一般而言,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。

(4) 堆积密度、填充率和空隙率 堆积密度是指粉状、粒状和纤维状材料在堆积状态下(包括了颗粒内部的孔隙和颗粒之间的空隙),单位体积所具有的质量,采用 ρ'_0 表示。计算式如下:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1.5)$$

式中: ρ'_0 ——材料的堆积密度(g/cm^3 或 kg/m^3);

V'_0 ——材料的堆积体积(cm^3 或 m^3);

ρ'_0 的大小,不仅取决于材料的 ρ_0 ,还与材料堆积的疏密度有关,而且还受材料含水程度的影响。

填充率 D' 是指散粒材料在堆积体积中,被颗粒填充的程度。空隙率 P' 是指散粒材料在某种堆积体积内,颗粒之间的空隙体积所占的比例。即

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \quad (1.6)$$

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} = 1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0} \quad (1.7)$$

P' 和 D' 从两个侧面反映材料颗粒互相填充的疏密程度,两者关系为 $D' + P' = 1$ 。

1.2 材料的力学性质

材料力学性质指材料在外力(荷载)作用下有关变形的性质和抵抗外力作用破坏的能力。

(1) 材料的强度 材料强度是材料在外力作用下抵抗破坏的能力,用材料承受外力破坏时单位面积上所承受的力表示,包括理论强度和实际强度。理论强度指按材料结构质点(原子、分子和离子)作用力计算的强度,一般都很高。实际强度指材料在荷载下实际具有的强度,一般远远低于理论强度。如 C30 理论抗拉强度为 $3 \times 10^3 \text{ MPa}$,实际抗拉强度为 3 MPa,原因是材料内部都存在很多缺陷。因此,通常意义上的强度是指材料的实际强度。材料承受的外力主要有拉力、压力、弯矩和剪力等,常用强度有抗压、抗拉、抗弯和抗剪强度等,见图 1.1。

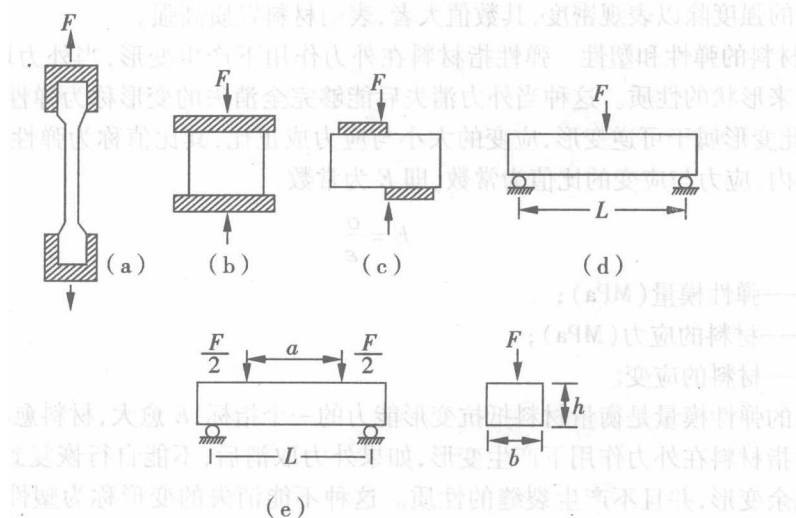


图 1.1 材料受力示意图

(a)拉力;(b)压力;(c)剪切;(d)、(e)弯曲

材料强度计算式如下:

$$f = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1.8)$$

式中: f ——材料强度, MPa;

$F_{\max}$ ——材料破坏时的最大荷载, N;

A ——试件受力面积, mm^2 。

材料的抗弯强度与受力情况有关,一般试验方法是將条形试件放在两支点上(如图 1.1(d)),中间作用一集中荷载,对矩形截面试件,则其抗弯强度用下式计算:

$$f_w = \frac{3F_{\max} \cdot L}{2bh^2} \quad (1.9)$$

式中: f_w ——材料的抗弯强度, MPa;

$F_{\max}$ ——材料受弯破坏时的最大荷载, N;

L ——两支点的间距, mm;

b 、 h ——试件横截面的宽及高, mm。

但是,也有对称加压如图 1.1(e)所示,则其抗弯强度用下式计算:

$$f_w = \frac{3F_{\max}(L-a)}{2bh^2} \quad (1.10)$$

式中: a ——对称加压点之间的距离, mm;其余同式(1.9)。

为了掌握材料的力学性质,合理选择材料,将材料按极限强度(或屈服点)划分成不同的等级即强度等级。如石材、混凝土、红砖等脆性材料主要用于抗压,因此以抗压极限强度来划分等级,而钢材主要用于抗拉,故以屈服点作为划分等级的依据。

“比强度”是评价材料是否轻质高强的指标,指单位质量的材料所具有的强度。其值

等于材料的强度除以表观密度,其数值大者,表明材料轻质高强。

(2) 材料的弹性和塑性 弹性指材料在外力作用下产生变形,当外力取消后能够完全恢复原来形状的性质。这种当外力消失后能够完全消失的变形称为弹性变形(或瞬时变形)。此变形属于可逆变形,应变的大小与应力成正比,其比值称为弹性模量(E)。在弹性范围内,应力与应变的比值为常数,即 E 为常数。

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

式中: E ——弹性模量(MPa);

σ ——材料的应力(MPa);

ε ——材料的应变。

材料的弹性模量是衡量材料抵抗变形能力的一个指标, E 愈大,材料愈不易变形。

塑性指材料在外力作用下产生变形,如果外力取消后,不能自行恢复到原有形状,保留部分残余变形,并且不产生裂缝的性质。这种不能消失的变形称为塑性变形(或永久变形)。据此可将材料分为脆性材料(材料在破坏前无明显的塑性变形者)和塑性材料(材料在破坏前有明显的塑性变形者)。

材料的弹性和塑性变形曲线见图 1.2。有的材料在受力时弹性变形和塑性变形同时产生,如图 1.3 所示。

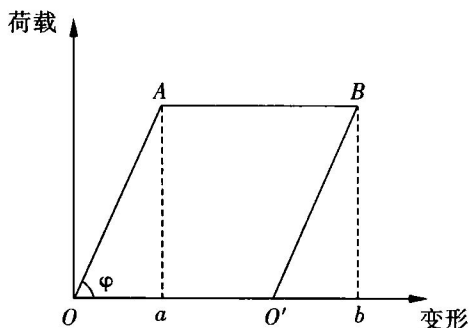


图 1.2 材料的弹性和塑性变形曲线

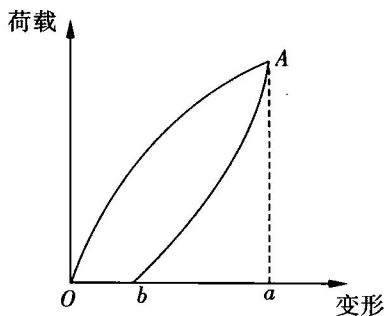


图 1.3 材料的弹塑性变形曲线

(3) 材料的其他性质 硬度是材料表面的坚硬程度,是抵抗其他硬物刻划、压入其表面的能力。硬度大的材料耐磨性较强,但不易加工。1821 年,莫氏把矿物质硬度相对地分为 10 个等级组,其中每一等级组的矿物被后一等级组矿物刻划时,将得到一条不会被手指轻轻擦去的划痕,莫氏硬度从 1~10 等级越大者则硬度越大。莫氏硬度等级是:①滑石,②石膏,③方解石,④萤石,⑤磷灰石,⑥正长石,⑦石英,⑧黄玉,⑨刚玉,⑩金刚石。

脆性是指外力作用下,直到断裂前都不出现明显塑性变形性质。

韧性是指在冲击、振动荷载下,材料能承受很大变形而不致破坏的性质。

疲劳极限是指交替荷载作用下,应力也随时间作交替变化,这种应力超过某一限度而长期反复会造成材料的破坏,这个限度叫做疲劳极限。

磨损是指材料受外界物质的摩擦作用而减小质量和体积的现象。

磨耗是指材料同时受到摩擦和冲击而减小质量和体积的现象。

1.3 材料与水有关的性质

(1) 亲水性与憎水性 材料在空气中与水接触时,根据材料表面被水润湿的情况,分亲水性材料和憎水性材料两类。

当材料分子与水分子间的相互作用力大于水分子间的作用力时,材料表面就会被水所润湿。材料被水润湿的程度可用润湿角 θ 表示。润湿角是气、固、液三相的交点沿水滴表面切线(γ_L)与水和固相体接触面(γ_{SL})之间的夹角(θ)。 θ 愈小,则该材料能被水润湿的程度愈高。产生的原因是由水分子和固体材料表面之间的相互作用不同引起的。

当水与材料接触时,材料很快将水吸入内部或使水在材料表面散开来,这种与水的亲和性称为亲水性。此时水分子的内聚力 < 水分子与固体分子间的吸引力,材料表现为亲水性,即 $\theta \leq 90^\circ$,见图 1.4(a),这种材料属于亲水性材料。

当水与材料接触时,材料不吸水或使水呈珠状存在于材料表面,这种不易被润湿的性质称为憎水性。此时,水分子的内聚力 > 水分子与固体分子间的吸引力,材料表现为憎水性,即 $\theta > 90^\circ$,见图 1.4(b),这种材料称为憎水性材料。

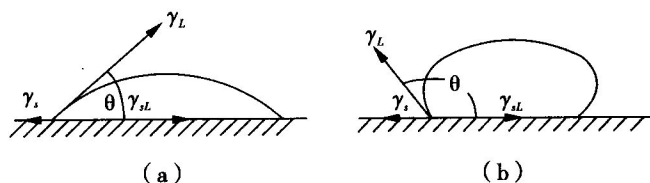


图 1.4 材料润湿角

(2) 吸水性与吸湿性 吸水性是指材料在水中能吸收水分的性质。吸水性的大小用吸水率表示。

吸水率为材料浸水后在规定时间内吸入水的质量(或体积)占材料干燥质量(或干燥时体积)的百分比,即

$$\text{质量吸水率 } w_{\text{质}} = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1.11)$$

$$\text{体积吸水率 } w_{\text{体}} = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{\rho_w V_0} \times 100\% \quad (1.12)$$

式中: $w_{\text{质}}$ 、 $w_{\text{体}}$ ——分别为材料质量吸水率和体积吸水率(%) ;

$m_{\text{湿}}$ ——材料饱和水后的饱和面干质量(g 或 kg) ;

$m_{\text{干}}$ ——材料烘干至恒重时的质量(g 或 kg) ;

ρ_w ——水的密度(g/cm³ 或 kg/m³)。

材料在潮湿的空气中吸收空气中水分的性质称为吸湿性。吸湿性的大小用含水率 $w_{\text{含}}$ 表示。含水率为材料所含水的质量占材料干燥质量的百分比,计算式为:

$$w_{\text{含}} = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1.13)$$

材料在气干状态下的含水率,称为平衡含水率;在饱和面干状态下的含水率即为吸水率。

(3)耐水性 是指材料长期处于水的作用下不被破坏,其强度也不严重降低的性质。用软化系数 $K_{\text{软}}$ 表示:

$$K_{\text{软}} = \frac{f_{\text{饱}}}{f_{\text{干}}} \quad (1.14)$$

式中: $f_{\text{饱}}$ ——材料在饱和水状态下的抗压强度(MPa);

$f_{\text{干}}$ ——材料在干燥状态下的抗压强度(MPa)。

一般认为, $K_{\text{软}} > 0.85$ 的是耐水性材料。

(4)抗渗性与抗冻性 抗渗性是指材料在压力水作用下抵抗水渗透的性质。材料的抗渗性可用渗透系数表示,即

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1.15)$$

式中: K ——渗透系数($\text{ml}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$);

Q ——渗透材料试件的水量(ml);

t ——透水时间(s);

A ——透水面积(cm^2);

H ——静水压力水头(cm);

d ——试件厚度(cm)。

抗渗等级是指材料用标准方法进行透水试验时,材料标准试件在透水前所能承受的最大水压力,用 P_n 表示。 n 表示透水前所能承受的最大水压力(以 0.1 MPa 为单位)。如 P_4 、 P_6 、 P_8 、 P_{10} ..., 表示试件能承受逐步增高至 0.4 MPa、0.6 MPa、0.8 MPa、1.0 MPa... 的水压而不渗透。影响抗渗等级的因素主要为材料的孔隙率和孔隙特征。孔隙率很小而且是封闭孔隙的材料具有较高的抗渗性。

抗冻性是指材料在吸水饱和状态下,能经受多次冻结和融化作用(冻融循环)而不被破坏,强度也无显著降低的性能。抗冻性以试件在冻融后的质量损失或相对动弹模量损失、强度降低不超过一定限度时所能经受的冻融循环次数来表示,或称为抗冻等级,用 F_n 表示。 n 表示材料试件经 n 次冻融循环试验后,质量损失不超过 5%,抗压强度降低不超过 25%。如 F_{15} 、 F_{25} 、 F_{50} 、 F_{100} 、 F_{200} 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。

影响抗冻性因素主要与材料的强度、孔结构、耐水性和吸水饱和程度有关。此外,材料受冻条件(如温度、降温速度、湿度、孔隙等)对抗冻性也有影响。材料孔隙越大,水饱和程度越高,降温愈快,温度愈低,愈容易冻坏。

1.4 材料的热工性能

(1)导热性 材料传导热量的性能称为导热性。材料的导热性用导热系数 λ 表示。导热系数的物理意义是指,单位厚度的材料,当两个相对侧面温差为 1 K 时,在单位时间

内通过单位面积的热量。计算式为:

$$\lambda = \frac{Qd}{(T_2 - T_1)At} \quad (1.16)$$

式中: λ ——导热系数(W/(m·K));

Q ——传导的热量(J);

d ——材料的厚度(m);

A ——热传导面积(m²);

t ——热传导时间(s);

$(T_2 - T_1)$ ——材料两侧的温差(K)。

材料的导热系数愈小,绝热性能愈好。材料的导热系数与材料的成分、构造等因素有关。一般材料孔隙率较大,其导热系数较小;但如果孔隙粗大或贯通,其导热系数反而增高。材料受潮或受冻后,其导热系数会大大提高。这是由于水(0.58 W/(m·K))和冰(2.20 W/(m·K))的导热系数比空气的导热系数(0.029 W/(m·K))高很多。

一般常将 $\lambda \leq 0.175$ W/(m·K) 的材料称为绝热材料。

(2) 热容量 材料加热时吸收热量、冷却时放出热量的性质,称为热容量。热容量用比热 C 表示,比热表示 1 g 材料温度升高(或降低)1 K 时所吸收(或放出)的热量。比热的计算式为:

$$C = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)}$$

式中: C ——材料的比热(J/(g·K));

Q ——材料吸收或放出的热量(J);

m ——材料的质量(g);

$(T_2 - T_1)$ ——材料受热或冷却前后的温差(K)。

比热与材料质量之积称为材料的热容量。它表示整个材料温度升高 1 K 所吸收或降低 1 K 所放出的热量,即 $Q = C \cdot m$ 。热容量大的材料便于调节室温,缓和室内温度波动。

1.5 材料的耐久性

材料的耐久性是指材料在使用过程中,能长期抵抗各种环境因素而不被破坏,且能保持原有性质的性能。它是一项综合性质,如抗冻性、抗风化性、抗老化性、耐蚀性等均属于耐久性的范围。此外,材料的强度、抗渗性、耐磨性等也与材料的耐久性有密切关系。

材料在使用过程中,除受到各种外力的作用外,还受到周围环境等各种因素的破坏作用。这些因素一般包括物理、化学和生物作用等。

物理作用包括材料的干湿变化、温度变化及冻融变化等。这些变化可以引起材料的收缩和膨胀,长时间或反复作用会使材料逐渐损坏。如水泥混凝土的热胀冷缩。

化学作用包括酸、碱、盐等物质的水溶液及其气体对材料产生的侵蚀作用,使材料产生质的变化而被破坏。例如,钢筋的锈蚀、沥青与沥青混合材料的老化等。

生物作用包括昆虫、菌类等对材料所产生的蛀蚀、腐朽等破坏作用。如木材及植物纤维

维材料的腐烂等。

各种材料的耐久性的内容,因其组成和结构的不同而有所不同。无机非金属材料,如石材、砖瓦、陶瓷、水泥混凝土、沥青混凝土等,暴露在大气中时,主要受到大气的物理作用;当材料处于水位变化区域的水中时,还受到环境的化学侵蚀作用;金属材料在大气中容易锈蚀;木材及植物纤维材料多因生物作用而被破坏;沥青材料、高分子材料在阳光、热空气及辐射的作用下,会逐渐老化、变质而被破坏。

为了提高材料的高耐久性,延长构筑物的使用寿命和减少维修费用,可根据使用情况和材料的特性采取相应的措施。如设法减轻大气或周围介质对材料的破坏作用(降低湿度,排除侵蚀性物质等);提高材料本身对外界作用的抵抗性(提高材料的密实度,采取防腐措施等);也可用其他材料保护主体材料免收破坏(如覆面、抹灰、刷涂料等表面覆盖措施)。

2 石灰

石灰是建筑工程中使用最早的无机胶凝材料。公元前 8 世纪古希腊人已把石灰用于建筑,中国也在公元前 7 世纪开始使用石灰。至今石灰仍然是用途广泛的建筑胶凝材料。由于其具有原材料来源广、生产工艺简单、成本低等特点,广泛用于工程中,如配制砌筑砂浆、抹面砂浆以及灰砂硅酸盐制品、三合土等。

2.1 概述

将主要成分为碳酸钙(CaCO_3)的天然岩石(如石灰石),在适当温度下煅烧,尽可能分解和排出二氧化碳后,所得的以氧化钙(CaO)为主要成分的产品即为石灰,广义的石灰是指不同化学组成和物理形态的生石灰、消石灰、水硬性石灰与气硬性石灰的通称。狭义的石灰指生石灰。通常所讲的石灰指狭义的石灰即消石灰。

按照原料成分和煅烧性质不同,可以制成气硬性石灰和水硬性石灰。气硬性石灰是由煅烧含有少量黏土杂质(含量小于 8%)的纯净石灰石制备得到。它仅适用于不受水作用的地上建筑物,不能用在潮湿的砌筑基础,更完全不适用于砌筑大体积基础。气硬性石灰分为块灰、熟石灰、石灰膏、石灰乳、磨细生石灰。我国目前使用的石灰大多数属于此类。水硬性石灰是由适当地煅烧黏土物质较多(含量大于 8%)的石灰石(如泥灰岩石灰石)制备得到。成品中除含有 CaO 外,还含有相当多的硅酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)、七铝酸十二钙($12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$)和铁铝酸钙($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)等化合物,这些化合物可使石灰呈现较强的水硬性,但是水化速度很慢。水硬性石灰主要包括弱水硬石灰(指含有少量的氧化硅及氧化铝)和强水硬石灰(指含有较多量的氧化钙、氧化硅)。其中,强水硬石灰可用于地上、地下和水利工程中,有时也可用于大体积水泥砂浆砌筑基础。

按照国家标准 GB 1594 规定,建筑石灰分为生石灰和消石灰两个品种,以及钙质和镁质两个类别。 MgO 含量 $\leq 5\%$ 的为钙质生石灰, MgO 含量 $> 5\%$ 的为镁质生石灰。对于消石灰粉, MgO 含量 $\leq 4\%$ 的为钙质, MgO 含量 $> 4\%$ 的为镁质。

MgO 含量为 20% ~ 40% 的石灰一般称为白云质石灰,亦称高镁石灰。

2.2 石灰的原料

2.2.1 石灰的原料

石灰是由碳酸钙(CaCO_3)为主要成分的天然岩石煅烧制得。而在自然界中,碳酸钙矿物有两种,即方解石和文石。

方解石属三方晶系,晶体呈菱面体,有时呈粒状或板状。色泽一般为乳白色、无色、暗灰色、黄色、白色、红色、褐色等,色泽依杂质而异。有玻璃光泽,性脆,莫氏硬度为3,密度为 $2.6 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ 。方解石加热至约 850°C 开始分解,约 950°C 反应剧烈。方解石常混入镁、铁、锰、锌等,形成冰洲石、石灰石、石笋、钟乳石、大理石、霞石等。

文石属斜方晶系,由较纯的 CaCO_3 构成,晶体呈柱状、针状,有时含有镧、铁和锰的碳酸化合物的同晶杂质。色泽一般为无色、白色或琥珀黄色(半透明至透明),色泽依杂质而异。其莫氏硬度为 $3.5 \sim 4.0$,密度为 $2.82 \sim 2.99 \text{ g/cm}^3$ 。

常用的石灰原料一般有致密石灰石、大理石、鲕状石灰石、贝壳石灰石和白垩。具体如下:

(1)致密石灰石即普通石灰石,是煅烧石灰最常用的一种原料。它的氧化钙含量一般不少于90%,由于其结构比较致密坚硬,因而煅烧温度较高。

(2)大理石是含 CaCO_3 最多的一种岩石,它一般直接用于装饰工程,某些不适宜作装饰材料的大理石及大理石碎块,用来烧制石灰,所得产品几乎是化学纯的 CaO 。

(3)鲕状石灰石又称鱼卵石,见图2.1。鲕状石灰石是由一些球形石灰石黏结而成,机械强度较低,比较少见,可用来生产石灰。它与白云石很类似,而且共生在一起。不过白云石要在热的盐酸中才有显著的气泡反应,而鲕状石灰石遇到冷稀盐酸立即起泡。

(4)石灰华是一种多孔石灰石,由碳酸氢钙遇水分解放出 CO_2 生成。

(5)贝壳石灰石是由大小不同的贝壳黏结而成的松软石灰岩,其机械强度和硬度均低。产自海水中的石灰石由动物的骨骼碎片、石灰质泥的物理变化后产物以及海水中的有机物等多种成分构成。这些有机物死后,碳酸盐在海水中被溶解,堆积在海底,逐渐形成碳酸钙及贝壳质组织。通常石灰石被切割后,会发现在石材内部存在完整无缺或被破坏了的生物化石。除非石灰石形成暗礁,一般来说,产自海中的石灰石都有层状结构。其组织结构致密,或许有颗粒状的孔隙。

(6)白垩是一种松软的石灰岩,由小动物的外壳、贝壳堆积而成,富含生物遗骸,见图2.2。它主要由隐晶质或无定形细粒疏松的碳酸钙所组成的石灰岩,主要成分是碳酸钙,含量80%~90%,有的碳酸钙含量可达90%以上。白垩多藏于石灰石地带,一般在黄土层下,土层较薄,有些产地离石灰岩很近,我国河南省(如新乡地区)盛产白垩。白垩一般呈黄白色、乳白色,有的因风化及含不同杂质而呈淡灰、浅黄、浅褐色等。白垩质松而软,结构单一,易于采掘。白垩以色白、发亮为最纯。

另外,白垩 CaCO_3 含量高,结构松软,易于粉磨和煅烧,因此,不宜在立窑中煅烧。一般选用回转窑煅烧,但对湿法回转窑用白垩制备料浆时,其需水量较高,料浆水分高达

40% 以上,影响窑的产量与能耗。

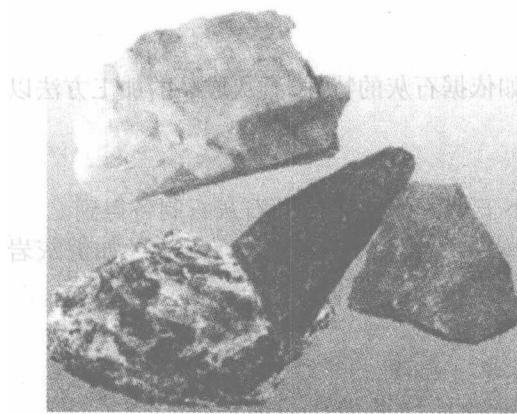


图 2.1 鲕状石灰石

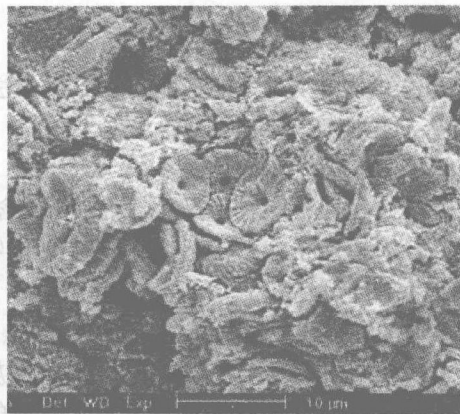


图 2.2 白垩

除上述天然原料外,还可以利用化工副产品制取石灰。如用碳化钙(CaC_2)制造乙炔时产生的电石渣(主要成分为氢氧化钙);或利用氨碱法制碱所得的残渣(主要成分为碳酸钙)。

生产石灰的原料及其化学成分大致范围列于表 2.1。

表 2.1 生产石灰用原料的大致化学成分/%

原料名称	CaCO_3	MgCO_3	$\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$
纯石灰石	≥ 96	0 ~ 2	0 ~ 2
弱白云化石灰石	91 ~ 96	3 ~ 6	0 ~ 2
白云化石灰石	75 ~ 92	7 ~ 24	0 ~ 2
弱泥质石灰石	92 ~ 96	0 ~ 2	3 ~ 6
弱泥质白云化石灰石	70 ~ 90	7 ~ 24	3 ~ 6
贝壳	75 ~ 96	1 ~ 4	3 ~ 12
白垩	~ 88	~ 3	~ 9

生产石灰最常用的原料为石灰石,石灰石来源于石灰岩,而我国石灰岩矿资源丰富。据原国家建材局地质中心统计,全国石灰岩分布面积达 43.8 万平方公里(未包括西藏和台湾),约占国土面积的 1/20。已发现水泥石灰岩矿点七八千处,其中已有探明储量的有 1286 处,共计保有矿石储量 542 亿吨,其中石灰岩储量 504 亿吨,占 93%;大理岩储量 38 亿吨,占 7%。

石灰岩主要矿物为方解石和霞石,另外含有黏土、铁碳酸盐、长石、黄铁矿和石英等。色泽依杂质而异,一般为白色、灰色、黄色、褐色、黑色以及带有各种色彩和着色间层。石灰岩经过热变质的重结晶,可形成粗粒的大理石。由于石灰岩的形成过程和条件差异很大,而其主要成份为石灰石,从而造成石灰石的化学成分、矿物组成以及物理性质变化很