

# 建筑材料



类目：建筑类

书名：建筑材料

主编：蔡济众 杨红霞 周项锦

出版社：电子科大出版社

开本：大 16 开

书号：978-7-5770-1227-8

使用层次：通用

出版时间：2024 年 12 月

定价：49.80 元

印刷方式：双色

是否有资源：否



建筑类创新融合教材  
“互联网+”教育改革新理念教材

“互联网+”教育改革新理念教材  
建筑类创新融合教材  
建筑材料

# 建筑材料

# 建筑材料

主 编 © 蔡济众 杨红霞 周项锦

主 编 © 蔡济众 杨红霞 周项锦

策划编辑：万晓桐  
责任编辑：陈姝芳  
封面设计：旗语书装



定价：49.80元

电子工业出版社  
University of Electronic Science and Technology of China Press

# 建筑材料

主 编 蔡济众 杨红霞 周项锦

 电子科技大学出版社  
University of Electronic Science and Technology of China Press

· 成都 ·

图书在版编目 ( CIP ) 数据

建筑材料 / 蔡济众, 杨红霞, 周项锦主编. -- 成都:  
成都电子科大出版社, 2024. 12. -- ISBN 978-7-5770  
-1227-8

I. TU5

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024SU0744 号

建筑材料

JIANZHU CAILIAO

蔡济众 杨红霞 周项锦 主编

策划编辑 万晓桐

责任编辑 陈姝芳

责任校对 万晓桐

责任印制 梁 硕

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 涿州汇美亿浓印刷有限公司

成品尺寸 210 mm × 285 mm

印 张 13

字 数 370 千字

版 次 2024 年 12 月第 1 版

印 次 2024 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5770-1227-8

定 价 49.80 元

版权所有, 侵权必究

# 前言

随着人类文明的发展和科技的进步，建筑材料不断创新改进。水泥、混凝土、钢材、钢筋混凝土等建筑材料成为不可或缺的结构材料。新型合金、陶瓷、玻璃等材料的重要性日益凸显。它们具备优异的性能，满足多样化需求。应用这些材料推动土木工程的发展，实现建筑设计、施工质量和功能性的巨大进步。通过不断改进和采用新型材料，我们能够构建更安全、美观、环保的建筑，为社会发展和人民生活提供更好的支持。

党的二十大报告指出，我们要推进美丽中国建设，坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理，统筹产业结构调整、污染治理、生态保护、应对气候变化，协同推进降碳、减污、扩绿、增长，推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展。

本书共分为十二章，其内容涵盖建筑材料的基本性质、气硬性胶凝材料、建筑石材、建筑木材和竹材、水泥、混凝土与土料、建筑钢材、建筑砂浆、墙体材料、防水材料、合成高分子材料和建筑装饰材料。

本书内容翔实，板块多样，图文并茂，针对性强；知识点由易到难，循序渐进，力求达到使学生学以致用、举一反三的目的。本书在每一章前设置了“知识导读”、“学习目标”与“思政园地”。“知识导读”以提要的形式概括了章节的重点内容；“学习目标”则对学生学习本章节内容后应具备的职业技能进行了提示，从而对学生学习和老师教学进行引导；“思政园地”环节则巧妙地将思想政治教育融入专业课程学习之中，从而实现知识传授与价值引领的有机结合。各章节后面设置“知识小结”“实训练习”，更深层次地给学生提供思考和复习的切入点。

本书适用于院校土木工程、建筑工程等相关专业学生，建筑行业的设计师、施工人员、质量管理人员等从业者，从事建筑材料科研工作的人员，参加建筑行业相关职业资格考试的备考人员，以及建筑材料生产、销售领域的工作人员，可帮助他们分别学习专业知识、开展工作、推动科研、备考应试、提升业务水平。

我们在编写的过程中参阅了大量有关建筑方面的著作，同时也引用了许多专家学者的研究成果，在此一并表示衷心的感谢！由于笔者水平有限，书中难免存在疏漏，敬请广大读者批评指正。



# 目 录

<b>第一章 建筑材料的基本性质</b> .....	<b>1</b>
第一节 建筑材料概述 .....	2
第二节 材料的物理性质 .....	5
第三节 材料的力学性质 .....	11
第四节 建筑材料的耐久性及装饰性 .....	14
<b>第二章 气硬性胶凝材料</b> .....	<b>16</b>
第一节 建筑石灰 .....	17
第二节 建筑石膏 .....	22
第三节 水玻璃 .....	25
第四节 菱苦土 .....	28
<b>第三章 建筑石材</b> .....	<b>31</b>
第一节 岩石概述 .....	32
第二节 常用的建筑（装饰）石材 .....	35
<b>第四章 建筑木材和竹材</b> .....	<b>40</b>
第一节 木材概述 .....	41
第二节 木材的防护 .....	44
第三节 木材在建筑工程中的应用 .....	45
第四节 木材的腐朽与防腐 .....	48
第五节 竹材 .....	49
<b>第五章 水泥</b> .....	<b>54</b>
第一节 水泥概述 .....	55
第二节 硅酸盐水泥 .....	56
第三节 掺混合材料的硅酸盐水泥 .....	63
第四节 高铝水泥 .....	67
第五节 特性水泥与专用水泥 .....	69
<b>第六章 混凝土与土料</b> .....	<b>73</b>
第一节 混凝土概述 .....	74

第二节	普通混凝土的构成 .....	76
第三节	混凝土的主要技术性质 .....	90
第四节	混凝土的配合比设计 .....	105
第五节	土料 .....	112
<b>第七章</b>	<b>建筑钢材 .....</b>	<b>121</b>
第一节	建筑钢材概述 .....	122
第二节	建筑钢材的标准与选用 .....	127
第三节	其他金属材料 .....	130
<b>第八章</b>	<b>建筑砂浆 .....</b>	<b>133</b>
第一节	建筑砂浆的组成材料与技术性质 .....	133
第二节	砌筑砂浆 .....	137
第三节	抹面砂浆 .....	140
第四节	抹灰砂浆 .....	142
第五节	其他种类砂浆 .....	143
<b>第九章</b>	<b>墙体材料 .....</b>	<b>145</b>
第一节	砌墙砖 .....	146
第二节	墙用砌块 .....	154
第三节	墙体板材 .....	158
第四节	其他新型墙体材料 .....	163
<b>第十章</b>	<b>防水材料 .....</b>	<b>165</b>
第一节	沥青材料 .....	166
第二节	其他防水材料 .....	172
第三节	防水材料的选用和验收 .....	174
第四节	防水涂料、建筑密封材料 .....	175
<b>第十一章</b>	<b>合成高分子材料 .....</b>	<b>180</b>
第一节	合成高分子材料概述 .....	181
第二节	建筑塑料与建筑涂料 .....	182
第三节	建筑胶黏剂 .....	187
<b>第十二章</b>	<b>建筑装饰材料 .....</b>	<b>192</b>
第一节	建筑陶瓷 .....	193
第二节	建筑装饰玻璃 .....	194
第三节	金属装饰材料 .....	196
<b>参考答案</b> .....	<b>199</b>	
<b>参考文献</b> .....	<b>202</b>	



# 第一章

## 建筑材料的基本性质



### 知识导读

本章的知识导读见表 1-1 所列。

表 1-1 第一章的知识导读

本章要点	掌握层次	相关知识点
建筑材料的组成、结构	(1) 了解材料的组成与结构分类; (2) 了解材料的结构特点	建筑材料
材料与质量、水、热等有关的性质	(1) 理解材料与质量、水、热等有关的性质; (2) 掌握每种性质的含义; (3) 重点掌握材料与水的相关性质的原理	材料的性质
强度和强度等级	理解材料的强度和强度等级	材料强度
弹性与塑形	理解材料的弹性与塑形的含义	材料强度
脆性与韧性	了解材料的脆性与韧性原理	材料的弹性与塑形
硬度与耐磨性	了解材料的硬度与耐磨性的含义及原理	材料的硬度与耐磨性
建筑材料的耐久性 & 装饰性	了解建筑材料的耐久性及装饰性的基本含义	材料的耐久性 & 装饰性



### 学习目标

(1) 知识目标。

- ①了解建筑材料的组成和结构。
- ②了解建筑材料的物理性质、力学性质、耐久性的基本概念等。
- ③了解影响材料基本性质的相关因素，掌握建筑材料各种基本性质指标的计算方法。

(2) 能力目标。

通过本模块的学习，能对材料的基本性质指标进行计算，并充分了解和掌握各种材料的性质和特点，正确选择和合理使用材料。

(3) 素质目标。

- ①培养学生作为专业人员必须具备的一丝不苟的科学态度、坚持不懈的钻研精神和严谨科学的工程素质。
- ②使学生具有发现、分析与解决复杂工程问题的能力。

 思政园地

建筑材料是建筑工程的物质基础，纵观建筑历史的长河，建筑材料的日新月异对建筑科学的发展起到了重要的推动作用。对于中国这样一个发展中国家，对建筑材料基本性质的深入认识、了解，不但会推动我国建筑工程及材料科学的不断创新、发展，同时通过新材料、新工艺的不断发展、推出和应用，更能有力地证明党和国家对人民日益增长的美好生活需要的关注，体现人民的国家爱人民的初衷，具有重要的历史和现实意义。

## 第一节 建筑材料概述

建筑材料是土木工程和建筑工程中使用的材料的统称，可分为结构材料、装饰材料和专用材料，见表 1-2 所列。

表 1-2 各材料的性能及应用

材料名称	材料性能及应用
结构材料	木材、竹材、石材、水泥、混凝土、金属、砖瓦、陶瓷、玻璃、工程塑料、复合材料等
装饰材料	各种涂料、油漆、镀层、贴面、各色瓷砖、具有特殊效果的玻璃等
专用材料	用于防水、防潮、防腐、防火、阻燃、隔音、隔热、保温、密封等方面的材料

建筑材料长期承受风吹、日晒、雨淋、磨损、腐蚀等作用侵蚀，性能会逐渐变化，因此，建筑材料的合理选用至关重要，首先应当安全，其次应当经久耐用。建筑材料用量很大，直接影响到工程的造价，通常建材费用占工程总造价的一半以上，因此在考虑技术性能时，必须兼顾经济性。

### 一、材料的组成

材料的组成是决定材料性质的内在因素之一，主要包括化学组成和矿物组成。材料化学组成的不同是造成其性能各异的主要原因。

材料的化学组成主要是指材料的元素组成。材料的元素组成主要是指其化学元素的组成特点，如不同种类合金钢的性质不同，主要是其所含合金元素，如 C、Si、Mn、V、Ti 的不同所致。硅酸盐水泥之所以不能用于海洋工程，主要是因为硅酸盐水泥中所含的氢氧化钙与海水中的盐类会发生反应，生成体积膨胀或疏松无强度的产物。

材料的矿物组成主要是指元素组成相同，但分子团组成形式各异的现象。矿物也就是我们平时所说的化合物，根据材料的矿物组成，可以进一步判断材料的性质，有时化学组成相同的材料的性质却不相同，这是因为矿物的组成不同。

### 二、材料的结构

材料的性质与材料内部的结构有密切的关系，材料的结构主要分成宏观结构、显微结构和微观结构。

#### 1. 宏观结构

宏观结构是指可以用肉眼或者放大镜看到的 mm 级的构造状况，宏观结构包括基本单元形状、结合

形态、孔隙大小、孔隙数量等。建筑材料的宏观结构有以下几种。

(1) 散粒结构：由单独的颗粒组成，不与其他颗粒相结合，如砂、石子、用于涂料和塑料中的粉状填料等，石子如图 1-1 所示。



图 1-1 石子

(2) 聚集结构：材料中的颗粒通过胶结材料彼此牢固地结合在一起，如各种混凝土、某些天然的岩石等，还有建筑陶瓷和建筑烧结砖。陶瓷其实是由焙烧过程中形成的晶体颗粒通过玻璃结合在一起形成的，这就是普通陶瓷掉在地上会碎的原因。建筑烧结砖是由未熔融的黏土颗粒通过玻璃结合在一起形成的，如图 1-2 所示。



图 1-2 建筑烧结砖

(3) 多孔结构：材料中有大量粗大的，或者微小的、均匀分布的孔隙，这些孔隙可能是连通的，也可能是封闭的。这是加气混凝土、泡沫混凝土、发泡塑料、石膏制品等所特有的结构。加气混凝土如图 1-3 所示。



图 1-3 加气混凝土

(4) 致密结构：建筑材料在外观和内部结构上都是致密的，如金属、玻璃等材料。这种材料的体积密度大，导热性和强度都高。玻璃如图 1-4 所示。

(5) 纤维结构：在平行纤维和垂直纤维方向上的强度、导热性，以及其他一些性质都明显不同，表现各向异性，如木材、纤维制品。木材如图 1-5 所示。

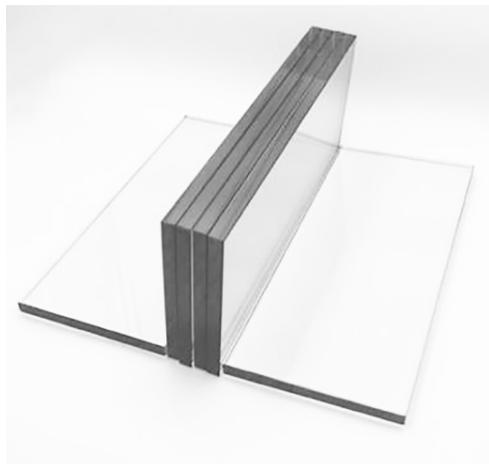


图 1-4 玻璃



图 1-5 木材

(6) 层状结构：又称“叠合结构”，是各种建筑装修板材常见的结构。它是把材料叠合成层状，使用胶结材料或其他方法整合成整体，如木胶合板、纸面石膏板、层状填料的塑料等。层状结构可以改善单层材料的性质。木胶合板由于每层木片的纤维方向都是相互正交的，可以减少收缩率、强度等性质在不同方向上的差别；纸面石膏板由于表层纸的护面和增强作用，提高了石膏板的抗折强度，如图 1-6 所示。

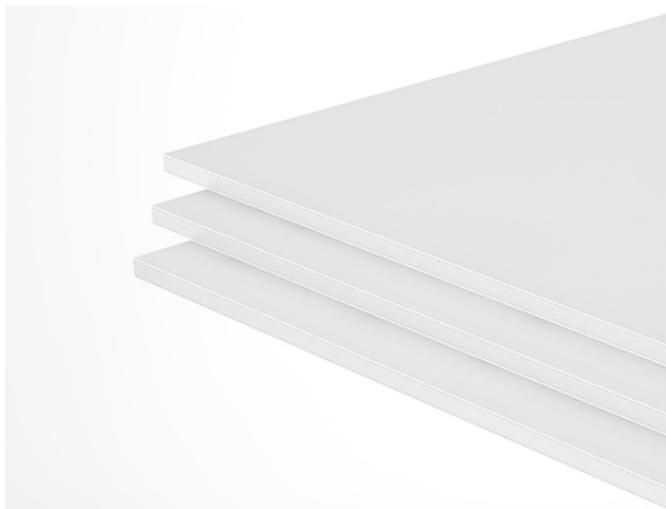


图 1-6 纸面石膏板

## 2. 显微结构

建筑材料的显微结构是指使用光学显微镜和电子显微镜观察到的建筑材料的构造状况。研究金属材料显微结构的方法称为金相分析，通过显微镜可以观察到金属的显微形貌图像，如珠光体、铁素体等。研究岩石、水泥、陶瓷等无机非金属材料显微结构的方法称为岩相分析，可以分析出晶相种类、形状、颗粒大小以及分布情况，可以分析出玻璃相的含量和分布，可以分析出气孔数量、形状和分布等。这些都决定了建筑材料的显微结构。

### 3. 微观结构

建筑材料的微观结构主要有晶体、玻璃体、胶体等形式。

(1) 晶体的微观结构特点是组成物质的微观粒子在空间的排列有确定的几何位置关系。一般来说, 晶体结构的物质具有强度高、硬度较大、有确定的熔点、力学性质各向异性的共性。建筑材料中的金属材料(钢和铝合金)和非金属材料中的石膏及水泥石中的某些矿物等都是典型的晶体结构。

(2) 玻璃体微观结构的特点是组成物质的微观粒子在空间的排列呈无序混沌状态。玻璃体结构的材料具有化学活性高、无确定的熔点、力学性质各向同性的特点。粉煤灰、建筑用普通玻璃都是典型的玻璃体结构。

(3) 胶体是建筑材料中常见的一种微观结构形式, 通常由极细微的固体颗粒均匀分布在液体中形成。胶体与晶体和玻璃体最大的不同点是可呈分散相和网状结构两种结构形式, 分别称为溶胶和凝胶。溶胶失水后成为具有一定强度的凝胶结构, 可以把材料中的晶体或其他固体颗粒黏结为整体, 如气硬性胶凝材料水玻璃和硅酸盐水泥石中的水化硅酸钙和水化铁酸钙都呈胶体结构。

## 第二节 材料的物理性质

### 一、材料与质量有关的性质

#### 1. 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积所具有的质量, 按式(1-1)计算。

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

式中,  $\rho$ ——材料的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m$ ——材料在干燥状态下的质量 ( $\text{g}$ );

$V$ ——干燥材料在绝对密实状态下的体积 ( $\text{cm}^3$ ), 简称“绝对密实体积”或“实体积”。

材料的绝对密实体积是指不包括材料孔隙在内的体积。钢材、玻璃等少数密实材料可根据外形尺寸求得体积。除了钢材、玻璃、沥青等少数材料外, 绝大多数材料在自然状态下含有一些孔隙。在测定有孔隙材料的密度时, 先把材料磨成细粉, 烘干至恒质量, 然后用李氏瓶测得其实体积, 用式(1-1)计算得到密度值。材料磨得越细, 测得的体积越真实, 得到的密度值也越精确。

#### 2. 表观密度

表观密度是指材料在自然状态下单位体积的质量, 用式(1-2)计算。

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-2)$$

式中,  $\rho_0$ ——材料的表观密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$m$ ——材料的质量 ( $\text{g}$  或  $\text{kg}$ );

$V_0$ ——材料在自然状态下的体积 ( $\text{m}^3$  或  $\text{cm}^3$ ), 简称“自然体积”或“表观体积”, 包括材料本身的体积和材料所含孔隙的体积。材料孔越多, 表观密度越小。

对于形状规则的材料，可直接测量其外观尺寸，通过相关计算即可得到该材料的自然状态体积；对于形状不规则的材料，则需在材料表面涂蜡后（封闭开口孔），再用排水法测定其自然状态体积。

工程上可以利用表观密度推算材料用量，计算构件自重，确定材料的堆放空间。

### 3. 堆积密度

堆积密度是指散粒状材料（如砂、石）或粉状材料（如水泥）在自然堆积状态下单位体积的质量，用式（1-3）计算。

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

式中， $\rho_0'$ ——材料的堆积密度（ $\text{kg}/\text{m}^3$ ）；

$m$ ——材料的质量（ $\text{kg}$ ）；

$V_0'$ ——材料的自然堆积体积，包括颗粒体积。

测定散粒状材料的堆积密度时，材料的质量是指填充在一定容积的容器内的材料质量，其堆积体积是指所用容器的容积。

材料的堆积密度取决于材料的表观密度，以及测定材料时的装运方式和疏密程度。由松堆积方式测得的堆积密度值要明显小于紧堆积时的测定值。工程中通常采用松散堆积密度来确定颗粒状材料的堆放空间。

### 4. 材料的密实度与孔隙率

#### （1）密实度。

密实度是指材料体积内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百分率。密实度用式（1-4）计算。

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho}{\rho_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中， $D$ ——材料的密实度（%）。

#### （2）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，用式（1-5）计算：

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

式中， $P$ ——材料的孔隙率（%）。

密实度  $D$  和孔隙率  $P$  是从不同角度反映材料的致密程度，它们的大小取决于材料的成分、结构以及制造工艺，密实度与孔隙率的关系为  $P+D=1$ 。工程上一般常用孔隙率表示材料的致密程度。

### 5. 材料的填充率与空隙率

#### （1）填充率。

填充率是指颗粒或粉状材料在堆积状态下颗粒体积占堆积总体积的百分率，用式（1-6）计算。

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

式中， $D'$ ——材料的填充率。

## (2) 空隙率。

空隙率是指颗粒或粉状材料在堆积状态下颗粒之间的空隙体积占堆积总体积的百分率,可用式(1-7)计算。

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

式中,  $P'$ ——散粒状材料在堆积状态下的空隙率(%)。

填充率和空隙率是从不同的角度反映颗粒或粉状材料堆积的紧密程度,其关系为  $P' + D' = 1$ , 一般工程上常用空隙率。空隙率在配制混凝土时,可作为控制混凝土粗、细骨料的配料比例,以及计算混凝土含砂率的依据。

## 二、材料与水有关的性质

### 1. 亲水性与憎水性

材料在使用过程中经常会与水接触,那么首先遇到的问题就是材料能否被水润湿。所谓润湿,是指水被材料表面吸附的情况,它和材料本身的性质有关。根据材料被水润湿的程度,可将材料分为亲水性与憎水性两大类。

亲水性与憎水性可用润湿角来表示,材料的润湿示意图如图1-7所示。润湿角是指在材料、水、空气三者的交点处,沿水滴表面的切线与水和材料接触面之间的夹角。润湿角越小,水分越容易被材料表面吸附,说明材料被水润湿的程度越高,即材料亲水性越好。

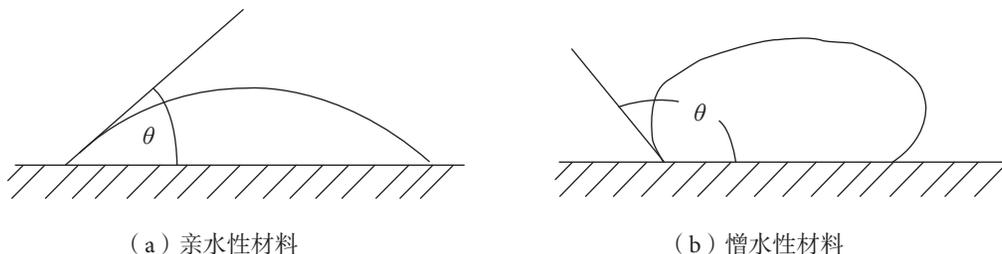


图 1-7 材料的润湿示意图

通常认为,润湿角  $\leq 90^\circ$  的材料为亲水性材料,如砖、石料、混凝土、木材等;润湿角  $> 90^\circ$  的材料为憎水性材料,如沥青、石蜡、塑料等。憎水性材料不仅可以作防水材料,而且还可用于处理亲水性材料的表面,以降低其吸水性,提高材料的防水和防潮性。

### 2. 吸水性

材料在浸水状态下吸收水分的能力称为吸水性,其大小用吸水率表示。吸水率可用质量吸水率和体积吸水率来表示。

#### (1) 质量吸水率。

质量吸水率即材料在吸水饱和时,所吸水量占材料干质量的百分率。质量吸水率的计算见式(1-8)。

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

式中,  $W_m$ ——材料的质量吸水率(%) ;

$m_b$ ——材料吸水饱和状态下的质量(g) ;

$m$ ——材料在干燥状态下的质量 (g)。

(2) 体积吸水率。

体积吸水率是指材料吸水饱和时,其所吸收的水分的体积占材料干燥时体积的百分率,并以  $W_v$  表示。体积吸水率  $W_v$  的计算见式 (1-9)。

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

式中,  $W_v$ ——材料的体积吸水率 (%) ;

$m_b$ ——材料吸水饱和状态下的质量 (g) ;

$m$ ——材料在干燥状态下的质量 (g) ;

$V_0$ ——干燥材料在自然状态下的体积 ( $\text{cm}^3$ ) ;

$\rho_w$ ——水的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), 常温下取  $\rho_w=1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

材料的吸水率反映了材料在标准测试方法下吸收水分的能力,是一个固定值。常用的建筑材料的吸水率一般用质量吸水率表示。对于某些轻质材料,如加气混凝土、木材等,由于其质量吸水率往往超过 100%,一般采用体积吸水率表示材料吸收水分的能力。

### 3. 吸湿性

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。吸湿性的大小用含水率表示,按式 (1-10) 计算。

$$W = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中,  $W$ ——材料的含水率;

$m_1$ ——材料在含水状态下的质量 (g) ;

$m$ ——材料在干燥状态下的质量 (g)。

材料的含水率随空气的温度、湿度变化而改变。材料既能在空气中吸收水分,又能向外界释放水分,当材料中的水分与空气的湿度达到平衡的含水率时就称为平衡含水率。材料吸水后,会导致自重增加、保温隔热性能降低、强度和耐久性产生不同程度的下降。材料含水率的变化会引起体积的变化,影响使用。

### 4. 耐水性

耐水性是指材料长期在饱和水作用下不被破坏,强度也不显著降低的性质。材料的耐水性用软化系数表示,按式 (1-11) 计算。

$$K_p = \frac{f_{sw}}{f_d} \quad (1-11)$$

式中,  $K_p$ ——材料的软化系数;

$f_{sw}$ ——材料吸水饱和状态下的抗压强度 (MPa) ;

$f_d$ ——材料在干燥状态下的抗压强度 (MPa)。

软化系数的大小,表明材料浸水饱和后强度降低的程度,一般为 0 ~ 1。软化系数越小,说明材料吸水饱和后的强度降低得越多,其耐水性越差。通常认为,软化系数大于或等于 0.85 的材料是耐水性材料。

### 案例解读

【例】石材在气干、绝干、水饱和情况下测得的抗压强度分别为 174 MPa、178 MPa、165 MPa,试计算该石材的软化系数,并判断该石材可否用于水下工程。

【解】该石材的软化系数  $K_p=165\text{ MPa}/178\text{ MPa}=0.93 > 0.85$ ，故该石材可用于水下工程。

### 5. 抗渗性

抗渗性是指材料在压力水作用下抵抗水渗透的性质。材料的抗渗性以渗透系数或抗渗等级表示，按式(1-12)计算。

$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-12)$$

式中， $K$ ——材料的渗透系数 (cm/h)；

$Q$ ——透过材料试件的水量 ( $\text{cm}^3$ )；

$d$ ——材料试件的厚度 (cm)；

$A$ ——透水面积 ( $\text{cm}^2$ )；

$t$ ——透水时间 (h)；

$H$ ——静水压力水头 (cm)。

对于沥青、沥青混凝土、瓦等防水防潮材料，常用渗透系数  $K$  表示其抗渗性。渗透系数反映了材料抵抗压力水渗透的能力，渗透系数越大，材料的抗渗性越差。对于混凝土和砂浆等材料，常用抗渗等级  $P$  表示其抗渗性， $P$  值越大，表示抗渗等级越高，抗渗性就越好。

### 6. 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被破坏，强度不严重降低且质量也不显著减小的性质。材料的抗冻性用抗冻等级表示。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 次等的冻融循环。

材料的抗冻性与材料的强度、孔结构、耐水性和吸水饱和程度有关。一般情况下，密实的材料、具有闭口孔隙且强度较高的材料，有较强的抗冻能力。材料抗冻等级的选择，是由结构物的种类、使用条件以及气候条件等来决定的。

## 三、材料与热有关的性质

### 1. 导热性

导热性是指材料传导热量的性能，用导热系数（热导率）表示。导热系数  $\lambda$  是指厚度为 1 m 的材料，当两侧温差为 1 K 时，在 1 s 时间内通过面积为 1 m 的热量，按式(1-13)计算。

$$\lambda = \frac{Qd}{(T_2 - T_1)At} \quad (1-13)$$

式中， $\lambda$ ——导热系数 [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ]；

$Q$ ——传导的热量 (J)；

$d$ ——材料的厚度 (m)；

$T_2 - T_1$ ——材料两侧的温度差 (K)；

$A$ ——材料的传热面积 ( $\text{m}^2$ )；

$t$ ——传热时间 (h)。

材料的导热系数越大，表示传热越快，保温性越差。各种材料的导热系数差别很大，一般来说，无机材料的导热系数大于有机材料；材料的孔隙率越大，即空气越多，导热系数越小，同类材料的孔隙率随表观密度的减小而增大，导热系数随表观密度的减小而减小；导热系数与孔隙形态特征也有关系，由

细微且封闭孔隙组成的材料，导热系数小，反之则大；材料的含水率增加，导热系数也增加。常见建筑材料的导热系数为  $0.035 \sim 3.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，工程中通常把  $\lambda < 0.23 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  的材料称为绝热材料（保温和隔热材料）。

### 2. 热容量和比热容

热容量是指材料加热时吸收热量、冷却时放出热量的性质，其计算公式见式（1-14）。比热容的计算见式（1-15）。

$$Q = m \times C(T_2 - T_1) \quad (1-14)$$

$$C = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} \quad (1-15)$$

式中， $Q$ ——材料吸收或放出的热量（J）；

$m$ ——材料的质量（g）；

$C$ ——材料的比热容 [ $\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})$ ]；

$T_1, T_2$ ——材料受热或冷却前后的温度（K）。

建筑设计时，应选用导热系数小而热容量较大的材料。

热容量大小用比热容表示，1 g 材料温度升高或降低 1 K 时，所吸收或放出的热量称为比热容。材料的比热容反映材料吸热和放热能力的大小。选择高热容材料作为墙体、屋面、内装饰，在热流变化较大时，对稳定建筑物内部温度变化有重要意义，能保持建筑内部温度的稳定性。

### 3. 热变形性

材料随温度的升降而产生热胀冷缩变形的性质。

材料的热变形性对土木工程是不利的。例如，在大面积或大体积的混凝土工程中，当热变形产生的膨胀拉应力超过混凝土的抗拉强度时，可引起温度裂缝，对于大体积的土木工程，为防止热变形引起裂缝，应设置伸缩缝；对于石油沥青，当温度降低到一定程度，易产生脆裂等。

### 4. 可燃性

材料在空气中遇火不燃烧的性能，称为材料的可燃性。按照遇火时的反应，将材料分为非燃烧材料（A）、难燃烧材料（B1）、可燃材料（B2）和易燃烧材料（B3）四级。

#### （1）非燃烧材料。

在空气中受到火烧或高温作用时，不起火、不碳化、不微烧的材料，称为非燃烧材料，如砖、天然石材、混凝土、砂浆、金属材料等。

#### （2）难燃烧材料。

在空气中受到火烧或高温作用时，难燃烧、难碳化，离开火源后燃烧或微烧立即停止的材料，称为难燃烧材料，如石膏板、水泥石棉板、板条抹灰等。

#### （3）可燃材料。

在空气中受到火烧或高温作用时，立即起火或微烧，且离开火源后仍继续燃烧或微烧的材料，称为可燃材料，如胶合板、纤维板、木材、苇箔等。

#### （4）易燃烧材料。

在空气中受到火烧或高温作用时，立即起火，并迅速燃烧，且离开火源后仍继续迅速燃烧的材料，称为易燃烧材料，如纤维织物等。

### 第三节 材料的力学性质

#### 一、材料的强度、强度等级和比强度

##### (一) 强度

材料在外力作用下抵抗破坏的能力，称为材料的强度。材料被破坏时，建筑材料受外力作用时，内部就产生应力。外力增加，应力相应增大，应力达到的极限值称为材料的极限强度。

根据外力作用方式的不同，材料强度有抗压、抗拉、抗剪、抗弯（折）强度等，材料的几种受力状态如图 1-8 所示。

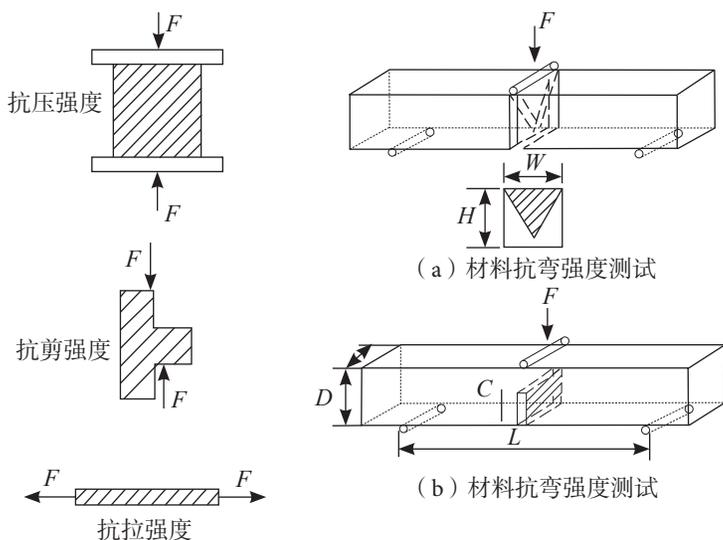


图 1-8 材料的几种受力状态

(1) 抗压强度、抗拉强度、抗剪强度的计算见式 (1-16)。

$$f = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1-16)$$

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 ( $\text{mm}^2$ )。

(2) 抗弯强度的计算见式 (1-17)。

$$f_w = \frac{3F_{\max}L}{2bh^2} \quad (1-17)$$

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)；

$L, b, h$ ——两支点的间距，试件横截面的宽、高 (mm)。

强度是材料的主要技术性质之一。材料的强度与其组成及结构有关。相同种类的材料，其组成、结

构特征、孔隙率、试件形状、尺寸、表面状态、含水率、温度及试验时的加荷速度等因素，都对材料的强度有影响。不同材料的强度是不同的。

### 知识之窗

常用材料的强度值见表 1-3 所列。

表 1-3 常用建筑材料的强度值

单位：MPa

材料	抗压	抗拉	抗折
花岗岩	100 ~ 250	5 ~ 8	10 ~ 14
普通混凝土	5 ~ 6	1 ~ 9	—
轻骨料混凝土	5 ~ 50	0.4 ~ 2	—
松木（顺纹）	30 ~ 50	80 ~ 120	60 ~ 100
钢材	240 ~ 1 500	240 ~ 1 500	—

## （二）强度等级

大多数建筑材料根据其极限强度的大小，划分成若干不同的等级，称为材料的强度等级或标号。脆性材料主要根据其抗压强度来划分，如烧结普通黏土砖、石、水泥、混凝土等；塑性材料和韧性材料主要根据其抗拉强度来划分，如钢材等。划分材料强度等级，对掌握材料性能和正确选用材料都具有重要意义。

## （三）比强度

材料的强度与其表观密度的比值，称为比强度。它是衡量材料轻质高强性能的一项重要指标。比强度越大，则材料的轻质高强性能越好。选用比强度大的材料或者提高材料的比强度，对增加建筑物高度、减轻结构自重、降低工程造价等具有重大意义。

## 二、材料的弹性和塑性

### （一）弹性

材料在外力作用下产生变形，当去掉外力后，能完全恢复到原形状的性质，称为弹性。这种完全能恢复的变形，称为弹性变形。材料在弹性变形范围内，其应力（ $a$ ）与应变（ $e$ ）的比值（ $E$ ）是一个常数，这个比值称为材料的弹性模量，即  $E=a/e$ 。弹性模量  $E$  是衡量材料抵抗变形能力的一个指标， $E$  越大，则材料越不易变形。低碳钢的弹性模量  $E=2.1 \times 10^5$  MPa；混凝土的弹性模量是个变值，其强度等级由 C7.5 增加到 C60，弹性模量  $E$  由  $1.55 \times 10^4$  MPa 增加到  $3.65 \times 10^4$  MPa。

### （二）塑性

材料在外力作用下产生变形，当去掉外力后，仍保持变形后的形状和尺寸的性质，称为塑性。这种不能恢复的永久变形，称为塑性变形。在建筑材料中，没有纯弹性材料，一部分材料在受力不大的情况下，只产生弹性变形，当外力超过一定限度后，便产生塑性变形，如低碳钢。有的材料在受力时，弹性变形和塑性变形同时产生，当去掉外力后，弹性变形消失，而塑性变形不能消失，如混凝土。材料应力应变曲线图如图 1-9 所示。

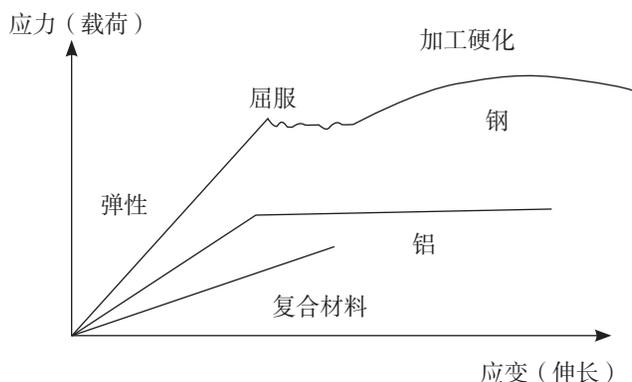


图 1-9 材料应力应变曲线图

### 三、材料的脆性和韧性

#### (一) 脆性

材料在外力作用下，直到被破坏前并无明显的塑性变形而发生突然破坏的性质，称为脆性。脆性材料的特点是塑性变形很小，抵抗冲击、振动荷载的能力差，抗压强度较高，抗拉强度较低。大部分无机非金属材料属于脆性材料。

#### (二) 韧性

材料在冲击或振动荷载的作用下，能吸收较大能量，并产生较大变形而不发生破坏的性质，称为韧性，又称为“冲击韧性”。韧性材料的特点是塑性变形大，抗拉、抗压强度都较高。建筑钢材、木材、橡胶等属于韧性材料。对于承受冲击振动荷载的路面、桥梁、吊车梁等结构，应选用具有较高韧性的材料。

### 四、材料的硬度和耐磨性

#### (一) 硬度

硬度是指材料表面抵抗较硬物体压入或刻划的能力。不同材料的硬度采用不同的测定方法。钢材、木材和混凝土等材料的硬度常采用压入法测定，如布氏硬度（HB）是以单位面积压痕上所受到的压力来表示。天然矿物的硬度常采用刻划法测定，矿物硬度分为 10 级，其硬度递增的顺序为滑石、石膏、方解石、萤石、磷灰石、正长石、石英、黄玉、刚玉、金刚石。材料的硬度越大，则其耐磨性越好，加工越困难。

#### (二) 耐磨性

耐磨性是指材料表面抵抗磨损的能力。材料的耐磨性用磨损率计算，见式（1-18）。

$$G = \frac{m_1 - m_2}{A} \quad (1-18)$$

式中， $G$ ——材料的磨损率（ $\text{g}/\text{cm}^2$ ）；  
 $m_1$ ——材料磨损前的质量（ $\text{g}$ ）；  
 $m_2$ ——材料磨损后的质量（ $\text{g}$ ）；  
 $A$ ——材料试件的受磨面积（ $\text{cm}^2$ ）。

## 五、材料的耐久性

材料在使用过程中，能抵抗周围各种介质的侵蚀而不被破坏，也不失去其原有性能的性质，称为耐久性。材料在使用过程中，除受到各种外力作用外，还受到物理、化学和生物等自然因素的破坏作用。

(1) 物理作用包括材料的干湿变化、温度变化及冻融变化等。这些变化可引起材料的收缩和膨胀，长期而反复作用会使材料逐渐被破坏。

(2) 化学作用包括酸、碱、盐等物质的水溶液及气体对材料的侵蚀作用，使材料的组成成分发生质的变化，而引起材料的破坏，如水泥石的化学侵蚀、钢材的锈蚀等。

(3) 生物作用包括菌类、昆虫等的侵害作用，导致材料发生腐朽、虫蛀等而被破坏，如木材及植物纤维材料的腐烂等。

耐久性是材料的一项综合性质，因材料的组成和构造不同，其耐久性的内容也不相同，如钢材的锈蚀破坏；石材、混凝土、砂浆、烧结普通黏土砖等无机非金属材料，主要是抗冻、抗风化、碳化、干湿变化等物理作用的破坏；当与水接触时，材料有可能因化学作用而被破坏；沥青、塑料、橡胶等有机材料因老化现象而被破坏。

## 第四节 建筑材料的耐久性及装饰性

### 一、建筑材料的耐久性

材料的耐久性是指材料在使用过程中，在内、外部因素的作用下，经久不被破坏、不变质，保持原有性能的性质。影响材料耐久性的外部作用因素包括环境的干湿、温度及冻融变化等物理作用，会引起材料发生周而复始的体积胀缩，使材料变形、开裂甚至破坏；与材料耐久性有关的内部因素，主要是材料的化学组成、结构和构造的特点。影响材料耐久性的外部因素，往往是通过其内部因素而发生作用的。

### 二、建筑材料的装饰性

建筑装饰材料又称“建筑装饰面材料”，是指铺设或涂装在建筑物表面起装饰和美化环境作用的材料。建筑装饰材料是集材料、工艺、造型设计、美学于一身的材料，它是建筑装饰工程的重要物质基础。建筑装饰的整体效果和建筑装饰功能的实现，在一定程度上受到建筑装饰材料的制约，尤其受到装饰材料的光泽、质地、质感、图案、花纹等装饰特性的影响。因此，熟悉各种装饰材料的性能、特点，按照建筑物及使用环境条件，合理选用装饰材料，才能材尽其能、物尽其用，更好地表达设计意图，并与室内其他配套产品来体现建筑装饰性。

#### 知识小结

本章所讨论的建筑材料的各种基本性质是全书的重点，了解和掌握这些性质对于认识、研究和应用建筑材料具有重要的意义。

本章讲解了材料的组成、结构，以及材料的物理性质，如材料的密度、表观密度、体积密度、

堆积密度、孔隙率和密实度；材料与水有关的性质、与热有关的性质，以及材料的力学性质，如材料的强度和强度等级、弹性和塑性、脆性和韧性的概念；材料的各种基本性质的有关计算；材料的耐久性和装饰性等内容。这些内容为学生日后更加深入地学习相关知识打下了坚实的基础。

## 实 训 练 习

### 一、选择题

1. 孔隙率增大，材料的（ ）降低。  
A. 密度                      B. 表观密度                      C. 憎水性                      D. 抗冻性
2. 材料在水中吸收水分的性质称为（ ）。  
A. 吸水性                      B. 吸湿性                      C. 耐水性                      D. 渗透性
3. 在冲击荷载作用下，材料能够承受较大的变形也不致被破坏的性能称为（ ）。  
A. 弹性                      B. 塑性                      C. 脆性                      D. 韧性
4. 混凝土中水泥的品种是根据（ ）来选择的。  
A. 施工要求                      B. 粗集料的种类                      C. 工程的特点                      D. 工程所处的环境  
E. 建设方的要求
5. 以下（ ）属于难燃烧材料。  
A. 石膏板                      B. 水泥石棉板                      C. 板条抹灰                      D. 胶合板  
E. 纤维板

### 二、填空题

1. 根据材料被水润湿的程度，可将材料分为\_\_\_\_\_与\_\_\_\_\_两大类。
2. 建筑材料的微观结构主要有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_形式。
3. 材料的抗冻性与材料的\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_有关。



## 第二章

# 气硬性胶凝材料



### 知识导读

本章的知识导读见表 2-1 所列。

表 2-1 第二章的知识导读

本章要点	掌握层次	相关知识点
石灰的熟化和硬化	(1) 掌握石灰的熟化; (2) 掌握石灰的硬化	石灰熟化和石灰硬化
石灰的技术性质	(1) 理解石灰特性; (2) 理解石灰的技术要求	石灰技术性质
石灰的应用和保存	(1) 理解石灰的应用; (2) 掌握石灰的保存	石灰储存
石膏的水化和硬化	(1) 掌握石膏的水化; (2) 掌握石膏的硬化	石膏水化和硬化
石膏的应用和保存	(1) 理解石膏的应用; (2) 掌握石膏的保存	石膏储存
水玻璃的硬化	掌握水玻璃的硬化	水玻璃性质



### 学习目标

(1) 知识目标。

- ①了解气硬性胶凝材料的概念。
- ②熟悉气硬性胶凝材料的生产及分类。
- ③掌握气硬性胶凝材料的特性。
- ④熟悉气硬性胶凝材料的应用。

(2) 能力目标。

能在工程中正确控制灰土的制备和使用,能正确提出相关绿色建筑材料的选用方案。

(3) 素质目标。

- ①培养艰苦奋斗的精神,树立科学严谨的优秀品质。
- ②培养学生一丝不苟的科学态度、坚持不懈的钻研精神和严谨科学的工程素质。



### 思政园地

学生需不断地扩充自己的知识库,培养艰苦奋斗的精神。与此同时,在教学中,教师需将思政教育和专业知识高质量融合,培养出职业道德好、职业素养高、职业态度正和团队精神强的具有工匠精神的优秀技术人才,为国家建设添砖加瓦。

## 第一节 建筑石灰

石灰是建筑上最早使用的气硬性胶凝材料之一。由于生产石灰的原料广泛、工艺简单、成本低廉，所以至今仍被广泛地应用于建筑中。

### 一、石灰的品种和生产

#### (一) 石灰的品种

石灰是将以碳酸钙 ( $\text{CaCO}_3$ ) 为主要成分的岩石，如石灰岩、贝壳石灰岩等，经适当煅烧、分解、排出二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ ) 而制得的块状材料，其主要成分为氧化钙 ( $\text{CaO}$ )，其次要成分为氧化镁 ( $\text{MgO}$ )。通常把这种白色轻质的块状物质称为块灰。以块灰为原料，经粉碎、磨细制成的生石灰称为磨细生石灰粉或建筑生石灰粉。

根据生石灰中氧化镁含量的不同，生石灰分为钙质生石灰和镁质生石灰。钙质生石灰中的氧化镁含量小于 5%；镁质生石灰的氧化镁含量为 5% ~ 24%。

建筑用石灰有生石灰 (块灰)、生石灰粉、熟石灰粉 (又称“建筑消石灰粉、消解石灰粉、水化石灰”) 和石灰膏等几种形态。

#### (二) 石灰的生产

生产石灰的过程就是煅烧石灰石，使其分解为生石灰和二氧化碳的过程，其反应为



碳酸钙煅烧温度达到 900  $^\circ\text{C}$  时，分解速度开始加快。但在实际生产中，由于石灰石致密程度、杂质含量及块度大小的不同，并考虑到煅烧中的热损失，所以实际的煅烧温度为 1 000 ~ 1 200  $^\circ\text{C}$ ，或者更高。当煅烧温度达到 700  $^\circ\text{C}$  时，石灰岩中的次要成分碳酸镁开始分解为氧化镁，反应为



一般而言，入窑石灰石的块度不宜过大，并力求均匀，以保证煅烧质量的均匀。石灰石越致密，要求的煅烧温度越高。当入窑石灰石的块度较大、煅烧温度较高时，石灰石块的中心部位达到分解温度时，其表面已超过分解温度，得到的石灰石晶粒粗大，遇水后的熟化反应缓慢，称其为过火石灰。过火石灰熟化十分缓慢，其细小颗粒可能在石灰使用之后熟化，体积膨胀，致使硬化的砂浆产生“崩裂”或“鼓泡”现象，会严重影响工程质量。若煅烧温度较低，不仅使煅烧周期延长，而且大块石灰石的中心部位还没完全分解，此时称其为欠火石灰。欠火石灰既降低了生石灰的质量，也影响了石灰石的产灰量。

### 二、石灰的熟化和硬化

#### 1. 石灰的熟化

石灰的熟化是指生石灰 ( $\text{CaO}$ ) 加水之后水化生成熟石灰 [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] 的过程，其反应方程式为



生石灰的一个特点是具有强烈的消化能力，水化时放出大量的热（约 64.8 kJ/mol），其放热量和放热速度比其他胶凝材料大得多；生石灰熟化的另一个特点为质量为一份的生石灰可生成 1.31 份质量的熟石灰，其体积增大 1 ~ 2.5 倍。煅烧良好、氧化钙含量高、杂质含量低的生石灰（块灰），其熟化速度快、放热量大、体积膨胀也大。

生石灰熟化的方法有淋灰法和化灰法。淋灰法就是在生石灰中均匀加入生石灰质量 70% 左右的水（理论值为 31.2%），便可得到颗粒细小、分散的熟石灰粉。工地上调制熟石灰粉时，每堆放半米高的生石灰块，淋 60% ~ 80% 的水，再堆放再淋，使之成粉且不结块为止。目前，多用机械方法将生石灰熟化为熟石灰粉。化灰法是在生石灰中加入为块灰质量 2.5 ~ 3 倍的水，得到的浆体流入灰池或储灰坑中充分熟化。为了消除过火石灰后期熟化造成的危害，石灰浆体应在储灰坑中存放半个月以上，然后方可使用。这一过程叫作“陈伏”。陈伏期间，石灰浆表面应敷盖一层水，以隔绝空气，防止石灰浆表面碳化。

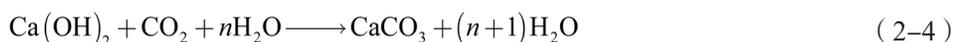
## 2. 石灰的硬化

石灰的硬化过程包括下述内容。

(1) 干燥硬化：浆体中的大量水分向外蒸发，或为附着基面吸收，使浆体中形成大量彼此相通的孔隙网，尚留于孔隙内的自由水，由于水的表面张力，产生毛细管压力，使石灰粒子更加紧密，因而获得强度。浆体进一步干燥时，这种作用也随之加强。但这种由干燥获得的强度类似于黏土干燥后的强度，其强度值不高，当再遇到水时，其强度又会丧失。

(2) 结晶硬化：浆体中高度分散的胶体粒子，为粒子间的扩散水层所隔开，当水分逐渐减少，扩散水层逐渐减薄，因而胶体粒子在分子力的作用下互相黏结，形成凝聚结构的网，从而获得强度。在存在水分的情况下，由于氢氧化钙能溶解于水，故胶体凝聚结构逐渐通过由胶体逐渐变为晶体的过程，转变为较粗晶粒的结晶结构网，从而使其强度提高。由于这种结晶结构网的接触点溶解度较高，故当再遇到水时，会引起强度降低。

(3) 碳酸化硬化：浆体从空气中吸收 CO<sub>2</sub> 气体，形成实际上不溶解于水的碳酸钙。这个过程称为浆体的碳酸化（简称“碳化”），其反应式为



生成的碳酸钙晶体互相共生或与氢氧化钙颗粒共生，构成紧密交织的结晶网，从而使浆体强度提高。另外，由于碳酸钙的固相体积比氢氧化钙的固相体积稍有增大，故使硬化的浆体更趋坚固。显然，碳化对石灰强度的提高和稳定都是有利的。但由于空气中二氧化碳的浓度很低，而且表面形成碳化薄层以后，二氧化碳不易进入内部，故在自然条件下，石灰浆体的碳化过程十分缓慢。碳化层还能阻碍水分蒸发，反而会延缓浆体的硬化。

上述石灰硬化过程中的各种变化是同时进行的，在内部，对强度增长起主导作用的是结晶硬化。干燥硬化也起一定的附加作用。通过表层的碳化作用，固然可以获得较高的强度，但进行得非常慢；而且从反应式看，这个过程进行，一方面必须有水分存在，另一方面又放出较多的水，这不利于干燥和结晶硬化。由于石灰浆的这种硬化机理，故它不宜用于长期处于潮湿或反复受潮的地方。具体使用时，往往在石灰浆中掺入填充材料，如掺入砂子配成石灰砂浆使用，掺入砂可减少收缩，更主要的是砂的掺入能在石灰浆内形成连通的毛细孔道，使内部水分蒸发并进一步碳化，以加速硬化。为了避免收缩裂缝，常在石灰浆中加纤维材料，制成石灰麻刀灰、石灰纸筋灰等。

### 三、石灰的技术要求

生石灰的质量是以石灰中活性氧化钙和氧化镁含量的高低,以及过火石灰和欠火石灰及其他杂质含量的多少作为主要指标来评价其质量优劣的。根据建材行业标准《建筑生石灰》(JC/T 479—2013),按照生石灰的加工情况,分为建筑生石灰和建筑生石灰粉;按生石灰的化学成分,分为钙质石灰和镁质石灰,根据化学成分的含量,每类又分成各个级别,具体见表 2-2 和表 2-3 所列。

表 2-2 建筑生石灰的分类 (JC/T 479—2013)

类别	名称	代号
钙质石灰	钙质石灰 90	CL 90
	钙质石灰 85	CL 85
	钙质石灰 75	CL 75
镁质石灰	镁质石灰 85	ML 85
	镁质石灰 80	ML 80

表 2-3 建筑生石灰的性能指标 (JC/T 479—2013)

名称	氧化钙+氧化镁	氧化镁	二氧化碳	三氧化硫	产浆量/(dm <sup>3</sup> /10kg)	细度	
						0.20 mm 筛余量/%	90 μm 筛余量/%
CL 90-Q CL 90-QP	≥ 90	≤ 5	≤ 4	≤ 2	≥ 26 —	— ≤ 2	— ≤ 7
CL 85-Q CL 85-QP	≥ 85	≤ 5	≤ 7	≤ 2	≥ 26 —	— ≤ 2	— ≤ 7
CL 75-Q CL 74-QP	≥ 75	≤ 5	≤ 12	≤ 2	≥ 26 —	— ≤ 2	— ≤ 7
ML 85-Q ML 85-QP	≥ 85	> 5	≤ 7	≤ 2	—	— ≤ 2	— ≤ 7
ML 80-Q ML 80-QP	≥ 80	> 5	≤ 7	≤ 2	—	— ≤ 7	— ≤ 2

注:表中“-Q”“-QP”分别表示生石灰和生石灰粉。

根据建材行业标准《建筑消石灰》(JC/T 481—2013)的规定,建筑消石灰(熟石灰)按扣除游离水和结合水后(CaO + MgO)的百分含量加以分类,具体见表 2-4 所列。建筑消石灰的技术指标见表 2-5 所列。

表 2-4 建筑消石灰的分类 (JC/T 481—2013)

类别	名称	代号
钙质消石灰	钙质消石灰 90	HCL 90
	钙质消石灰 85	HCL 85
	钙质消石灰 75	HCL 75
镁质消石灰	镁质消石灰 85	HML 85
	镁质消石灰 80	HML 80

表 2-5 建筑消石灰的技术指标 (JC/T 481—2013)

名称	HCL 90	HCL 85	HCL 75	HML 85	HML 80
氧化钙+氧化镁	≥ 90	≥ 85	≥ 75	≥ 85	≥ 80
氧化镁	≤ 5			> 5	

续表

名称		HCL 90	HCL 85	HCL 75	HML 85	HML 80
三氧化硫		≤ 2				
细度	0.20 mm 筛余量 /%	≤ 2				
	90 μm 筛余量 /%	≤ 7				
游离水 /%		≤ 2				
体积安定性		合格				

## 四、石灰的技术性质和应用

### (一) 石灰的主要技术性质

#### 1. 保水性良好

石灰和水后，具有较强的保水性（材料保持水分不泌出的能力）。这是因为生石灰熟化为石灰浆时，氢氧化钙粒子呈胶体分散状态，其颗粒极细，直径约为  $1\ \mu\text{m}$ ，颗粒表面吸附一层较厚的水膜。由于粒子数量很多，其总表面积很大，这是它保水性良好的主要原因，利用这一性质，将其掺入水泥砂浆中，配成混合砂浆，克服了水泥砂浆容易泌水的缺点。

#### 2. 凝结硬化慢、强度低

由于空气中的  $\text{CO}_2$  含量低，而且碳化后形成的碳酸钙硬壳阻止  $\text{CO}_2$  向内部渗透，也阻止水分向外蒸发，结果使  $\text{CaCO}_3$  和  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  结晶体生成量少且速度缓慢。已硬化的石灰强度很低，如 1:3 的石灰砂浆 28 天的强度只有  $0.2 \sim 0.5\ \text{MPa}$ 。

#### 3. 吸湿性强

生石灰的吸湿性强、保水性好，是传统的干燥剂。

#### 4. 体积收缩大

石灰浆体在凝结硬化过程中，蒸发大量水分，由于硬化石灰中的毛细管失水收缩，引起体积收缩，使制品开裂。因此，石灰不宜单独用来制作建筑构件及制品。

#### 5. 耐水性差

若石灰浆体尚未硬化之前就处于潮湿环境中，由于石灰中的水分不能蒸发出去，则其硬化停止；若是已硬化的石灰，其长期受潮或受水浸泡，则由于  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  易溶于水，会使已硬化的石灰溃散。因此，石灰不宜用于潮湿环境及易受水浸泡的部位。

#### 6. 化学稳定性差

石灰是碱性材料，其与酸性物质接触时，容易发生化学反应，生成新物质。因此，石灰及含石灰的材料长期处在潮湿空气中，容易与二氧化碳作用生成碳酸钙，即碳化。石灰材料还容易遭受酸性介质的腐蚀。

### (二) 石灰的应用

#### 1. 粉刷墙体和配制砂浆

用熟化并陈伏好的石灰膏，稀释成石灰乳，可用作内、外墙及顶棚的涂料，一般多用于内墙涂刷。由于石灰乳为白色或浅灰色，具有一定的装饰效果，还可掺入碱性矿质颜料，使粉刷的墙面具有需要的颜色。以石灰膏为胶凝材料，掺入砂和水后，拌和成砂浆，称为石灰砂浆。它作为抹灰砂浆，可用于墙面、

顶棚等大面积暴露在空气中的抹灰层，也可以用作要求不高的砌筑砂浆。在水泥砂浆中掺入石灰膏后，可以提高水泥砂浆的保水性和砌筑、抹灰质量，节省水泥，这种砂浆叫作水泥混合砂浆，在建筑工程中的用量很大。

## 2. 配制灰土和三合土

熟石灰粉可用来配制灰土（熟石灰 + 黏土）和三合土（熟石灰 + 黏土 + 砂、石或炉渣等填料），用以进行人工地基的加固。常用的三七灰土和四六灰土，分别表示熟石灰和黏土体积的比例为 3 : 7 和 4 : 6。

（1）灰土的特性：灰土的抗压强度一般随土的塑性指数的增加而提高，不随含灰率的增加而一直提高，并且灰土的最佳含灰率与土壤的塑性指数成反比。一般最佳含灰率的质量百分比为 10% ~ 15%；灰土的抗压强度随龄期（灰土制备后的天数）的增加而提高，当天的抗压强度与素土夯实相同，但在 28 天以后，则可提高 2.5 倍以上；灰土的抗压强度随密实度的增加而提高。对于常用的 3 : 7 灰土（其质量比为 1 : 2.5），多打一遍夯后，其 90 天的抗压强度可提高 44%。

灰土的抗渗性随土的塑性指数及密实度的增高而提高，且随龄期的延长，其抗渗性也有提高。灰土的抗冻性与其是否浸水有很大关系。不经浸水的试件在空气中养护 28 天，历经三个冰冻循环，情况良好，其抗压强度不变，无崩裂破坏现象；但养护 14 天并接着浸水 14 天后的试件，经同上试验后，则出现崩裂破坏现象。分析此现象的原因，是灰土龄期太短，灰土与土作用不完全，致使强度太差。

灰土的主要优点是充分利用当地材料和工业废料（如炉渣灰土），节省水泥，降低工程造价，灰土基础比混凝土基础造价可降低 60% ~ 75%；在冰冻线以上代替砖或毛石基础，造价可降低 30%；用于公路建设时，造价比泥结碎石降低 40% ~ 60%。

（2）注意事项：配制灰土或三合土时，一般熟石灰必须充分熟化，石灰不能消解过早，否则熟石灰的碱性降低，减缓与土的反应速度，从而降低灰土的强度；所选土种以黏土、亚黏土及轻亚黏土为宜；准确掌握灰土的配合比；施工时，将灰土或三合土混合均匀并夯实，使彼此黏结为一体。黏土等土中含有  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  等酸性氧化物，能与石灰在长期作用下反应，生成不溶性的水化硅酸钙和水化铝酸钙，使颗粒间的黏结力不断增强，灰土或三合土的强度及耐水性能也不断提高。

（3）生产无熟料水泥、硅酸盐制品和碳化石灰板将在更多领域发挥重要价值，更好地服务于建筑、工业、农业以及环保等多个行业的发展需求，同时也契合资源循环利用和可持续发展的时代主题。

## 五、石灰的验收与复验

（1）建筑生石灰的验收以同一厂家、同一类别、同一等级不超过 100 t 为一验收批。取样应从不同部位选取，取样点不少于 25 个、每个点不少于 2 kg，缩分至 4 kg。复验的项目有  $\text{CaO}+\text{MgO}$  含量、未消化残渣含量、 $\text{CO}_2$  含量和产浆量。

（2）建筑生石灰粉的验收以同一厂家、同一类别、同一等级不超过 100 t 为一验收批。取样应从本批中随机抽取 10 袋，总量不少于 3 kg，缩分至 300 g。复验的项目有  $\text{CaO}+\text{MgO}$  含量、细度、游离水、体积安定性。

## 六、石灰的储存和运输

生石灰要在干燥环境中储存和保管，若储存期过长，必须在密闭容器内存放。石灰的运输过程要有防雨措施。要防止石灰受潮或遇水后水化，避免由于熟化热量集中放出而发生火。磨细生石灰粉在干燥条件下的储存期一般不超过 1 个月，最好是随生产随用，石灰料仓如图 2-1 所示。



图 2-1 石灰料仓

## 第二节 建筑石膏

### 一、石膏的生产及分类

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，并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。

#### 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。

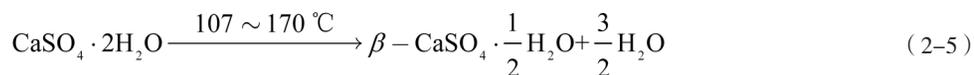
天然无水石膏（ $\text{CaSO}_4$ ）又称“硬石膏”，其结晶致密、质地坚硬，不能用来生产建筑石膏和高强石膏，仅用于生产硬石膏水泥及水泥调凝剂等。化工石膏是指含有  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  成分的化学工业副产品。化工石膏经适当处理后可代替天然二水石膏。

#### 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。

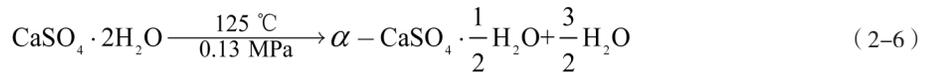
（1）建筑石膏（图 2-2）。

当常压下的加热温度达到  $107 \sim 170 \text{ }^\circ\text{C}$  时，二水石膏脱水变成  $\beta$  型半水石膏（建筑石膏，又称“熟石膏”），反应式为



（2）高强石膏。

若在压蒸条件下（ $0.13 \text{ MPa}$ 、 $125 \text{ }^\circ\text{C}$  时）加热，可产生  $\alpha$  型半水石膏（高强石膏），其反应式为



(3) 可溶性硬石膏。

当加热温度升高到 170 ~ 200 °C 时，半水石膏继续脱水，生成可溶性硬石膏 (CaSO<sub>4</sub> III)，与水调和后仍能很快硬化。当温度升高到 200 ~ 250 °C 时，石膏中仅残留很少的水，凝结硬化速度非常缓慢，但遇水后还能逐渐生成半水石膏，直至二水石膏。



图 2-2 建筑石膏

(4) 死烧石膏。

当温度高于 400 °C 时，石膏完全失去水分，成为不溶性硬石膏 (CaSO<sub>4</sub> II)，失去凝结硬化能力，成为死烧石膏。但加入某些激发剂 (如各种硫酸盐、石灰、煅烧白云石、粒化高炉矿渣等) 混合磨细后，则重新具有水化硬化能力，成为无水石膏水泥 (或称“硬石膏水泥”)。无水石膏水泥可制作石膏灰浆、石膏板和其他石膏制品等。

(5) 高温煅烧石膏。

当温度高于 800 °C 时，部分硬石膏分解出 CaO，磨细后的产品成为高温煅烧石膏，此时 CaO 起碱性激发性的作用，硬化后有较高的强度和耐水性，抗水性也较好，又称“地板石膏”。

## 二、石膏的水化和硬化

石膏与适量的水混合，最初成为可塑的浆体，但很快失去塑性并产生强度，发展成为坚硬的固体。这一过程可从水化和硬化两方面分别加以说明，如图 2-3 所示。

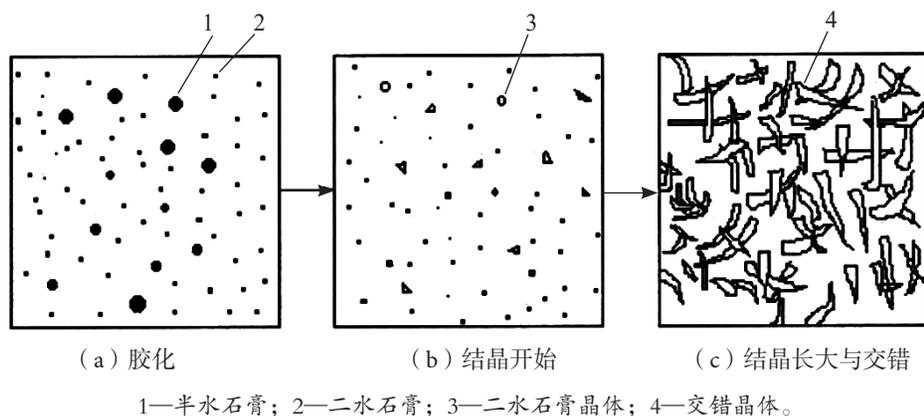
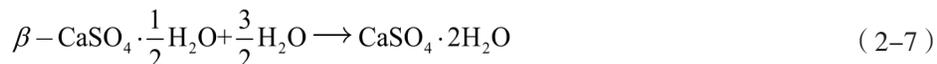


图 2-3 建筑石膏的水化、硬化示意图

### 1. 石膏的水化

石膏加水后,与水发生化学反应,生成二水石膏并放出热量,反应式为



石膏加水后,首先溶解于水,由于二水石膏在常温(20℃)下的溶解度仅为半水石膏的溶解度的五分之一,半水石膏的饱和溶液对于二水石膏来说就成了过饱和溶液。因此,二水石膏胶体颗粒不断从过饱和溶液中析出。二水石膏的析出使溶液中的二水石膏含量减少,浓度下降,破坏了半水石膏原有的平衡浓度,促使一批新的半水石膏继续溶解和水化,直至半水石膏全部转化为二水石膏为止。这一过程进行得很快,需7~12 min。

### 2. 石膏的凝结硬化

随着水化的进行,首先,二水石膏的胶体颗粒不断增多,它比原来的半水石膏颗粒细小,即总表面积增大,可吸附更多的水分;同时,石膏浆体中的水分因水化和蒸发逐渐减少,浆体逐渐变稠,颗粒间的摩擦力逐渐增大,从而使浆体失去流动性,可塑性也开始减小,此时称为石膏的初凝。随着水分的进一步蒸发和水化的继续进行,浆体完全失去可塑性,开始产生结构强度,则称为终凝。然后,随着水分的减少,石膏胶体凝集并逐步转变为晶体,且晶体间相互搭接、交错、连生,使浆体逐渐变硬且产生强度,即为石膏的硬化。

## 三、石膏的技术性质

### 1. 石膏的特性

(1) 凝结硬化快。

石膏一般在加水后30 min左右即可完全凝结,在室内自然干燥条件下,一周左右能完全硬化。为满足施工操作的要求,往往需在石膏中掺加适量的缓凝剂。

(2) 硬化时体积微膨胀。

石灰和水泥等胶凝材料硬化时往往产生收缩,而建筑石膏却略有膨胀(膨胀率为0.05%~0.15%),这能使石膏制品表面光滑饱满、棱角清晰、干燥时不开裂,有利于制造复杂图案花形的石膏装饰制品。

(3) 硬化后的孔隙率较大,表观密度和强度较低。

建筑石膏在使用时,为获得良好的流动性,加入的水量往往比水化所需的水分多。石膏凝结后,多余水分蒸发,在石膏硬化体内留下大量空隙,故其表观密度小,强度较低。

(4) 隔热、吸声性良好。

石膏硬化体的孔隙率高,且均为微细的毛细孔,故导热系数小,具有良好的绝热能力。石膏的大量微孔,尤其是表面微孔使声音传导或反射的能力也显著下降,从而具有较强的吸声能力。

(5) 防火性能良好。

遇火时,石膏硬化后的主要成分二水石膏中的结晶水蒸发并吸收热量,制品表面形成蒸汽幕,能有效阻止火的蔓延。

(6) 具有一定的调温调湿性。

由于石膏制品的孔隙率大,当空气湿度过大时,能通过毛细孔很快地吸水,在空气干燥时,又很快地向周围扩散水分,直到空气湿度达到相对平衡,起到调节室内湿度的作用。同时由于石膏的导热系数小,热容量大,可改善室内空气,形成舒适的表面温度,这一性质和木材相近。

(7) 防水性和抗冻性差。

石膏硬化体的孔隙率大,吸水性强,并且二水石膏微溶于水,长期浸水会使其强度显著下降,所以防水性差。若石膏吸水后再受冻,会因结冰而产生崩裂,故抗冻性差。

## 2. 石膏的技术要求

建筑石膏为白色粉状材料,密度为 $2.60 \sim 2.75 \text{ g/cm}^3$ ,堆积密度为 $800 \sim 1\,000 \text{ g/cm}^3$ 。根据《建筑石膏》(GB/T 9776—2022)的规定,建筑石膏按强度、细度、凝结时间指标分为优等品、一等品和合格品三个等级(表2-6)。

表 2-6 建筑石膏等级表

等级	凝结时间 /min		强度 /MPa			
			2 h 湿强度		干强度	
	初凝	终凝	抗折	抗压	抗折	抗压
4.0	$\geq 3$	$\leq 30$	$\geq 4.0$	$\geq 8.0$	$\geq 7.0$	$\geq 15.0$
3.0			$\geq 3.0$	$\geq 6.0$	$\geq 5.0$	$\geq 12.0$
2.0			$\geq 2.0$	$\geq 4.0$	$\geq 4.0$	$\geq 8.0$

由于建筑石膏粉易吸潮,会影响其以后使用时的凝结硬化性能和强度,长期储存也会降低其强度,因此建筑石膏粉储存时必须防潮,储存时间不得过长,一般不得超过3个月。

建筑石膏产品的标记顺序为:产品名称、抗折强度值、标准号。例如,抗折强度为2.5 MPa的建筑石膏标记为:建筑石膏 2.5 GB/T 9776。

## 四、石膏的应用和保存

### 1. 制备石膏砂浆和粉刷石膏

由于石膏具有优良特性,其常被用于室内高级抹灰和粉刷。建筑石膏加水、砂及缓凝剂拌和成石膏砂浆,可用于室内抹灰。石膏粉刷层表面坚硬、光滑细腻、不起灰,便于进行再装饰,如粘墙纸、刷涂料等。

### 2. 石膏板及装饰制品

建筑石膏可与石棉、玻璃纤维、轻质填料等配制成各种石膏板材,它具有轻质、保温隔热、吸声、防火、尺寸稳定及施工方便等性能,广泛应用于高层建筑及大跨度建筑的隔墙。建筑石膏还广泛应用于石膏角线等装饰制品。

### 3. 石膏的保存

建筑石膏及其制品在运输和储存时,要注意防雨防潮。建筑石膏的储存期为3个月,过期或受潮后,强度会有一定程度的降低。建筑石膏在运输与储存时不得受潮和混入杂物,不同等级的建筑石膏应分别储存,不得混杂储存。

## 第三节 水 玻 璃

水玻璃是一种气硬性胶凝材料,在建筑工程中,常用来配制水玻璃胶泥、水玻璃砂浆、水玻璃混凝土,以及单独以水玻璃为主要原料配制涂料。水玻璃在防酸工程和耐热工程中的应用甚为广泛。

## 一、水玻璃的组成与生产

### (一) 水玻璃的组成

水玻璃俗称“泡花碱”，是一种无色或淡黄、青灰色的透明或半透明的黏稠液体，是一种能溶于水的碱金属硅酸盐，其化学通式为 $R_2O \cdot nSiO_2$ 。其中， $R_2O$ 表示碱金属氧化物，多为 $Na_2O$ ，其次是 $K_2O$ ； $n$ 表示一个碱金属氧化物分子与 $n$ 个 $SiO_2$ 分子化合。通常把 $n$ 称为水玻璃的模数。我国生产的水玻璃模数一般都为2.4~3.3，建筑中常用模数为2.6~2.8的硅酸钠水玻璃。水玻璃常以水溶液状态存在，表示为： $R_2O \cdot nSiO_2 + mH_2O$ 。

水玻璃在其水溶液中的含量（或称“浓度”）用相对密度或（波美度°Bé）来表示。建筑中常用的液体水玻璃的相对密度为1.36~1.5（波美度为38.4~48.3°Bé）。一般来说，密度大时，表示溶液中水玻璃的含量高，其黏度也大。

### (二) 水玻璃的生产

制造水玻璃的方法有很多，大体分为湿制法和干制法两种。它的主要原料是以 $SiO_2$ 为主的石英岩、石英砂、砂岩、无定形硅石及硅藻土等，以及以 $Na_2O$ 为主的纯碱（ $Na_2CO_3$ ）、小苏打、硫酸钠（ $Na_2SO_4$ ）及苛性钠（ $NaOH$ ）等。

#### 1. 湿制法

湿制法生产硅酸钠水玻璃是根据石英砂能在高温烧碱中溶解生成硅酸钠的原理进行的，其反应式为



#### 2. 干制法

根据原料的不同，干制法可分为碳酸钠法、硫酸法等。最常用的碳酸钠法生产是根据纯碱（ $Na_2CO_3$ ）与石英砂（ $SiO_2$ ）在高温（1350℃）熔融状态下反应后生成硅酸钠的原理进行的。生产工艺主要包括配料、煅烧、浸溶、浓缩几个过程，其反应式为



上述反应所得产物为固体块状的硅酸钠，然后用非蒸压法或蒸压法溶解，即可得到常用的水玻璃。

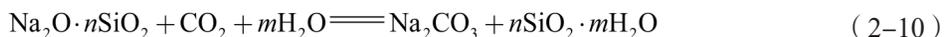
如果采用碳酸钾代替碳酸钠，则可得到相应的硅酸钾水玻璃。由于钾、锂等碱金属盐类的价格较贵，相应的水玻璃生产较少。然而，近年来，水溶性硅酸锂的生产也有所发展，多用于要求较高的涂料和胶黏剂。

通常情况下，水玻璃成品分为以下三类。

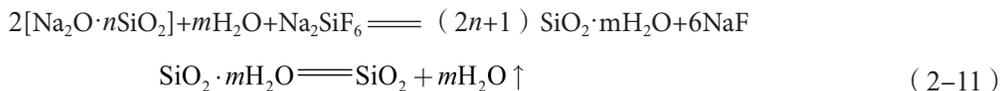
- (1) 块状、粉状的固体水玻璃：由熔炉中排出的硅酸盐冷却而得，不含水分。
- (2) 液体水玻璃：由块状水玻璃溶解于水而得，产品的模数、浓度、相对密度各不相同。
- (3) 含有化合水的水玻璃：也称为“水化玻璃”，它在水中的溶解度比无水水玻璃大。

## 二、水玻璃的硬化

水玻璃溶液是气硬性胶凝材料，在空气中，它能与 $CO_2$ 发生反应，生成硅胶，其反应方程式为



硅胶（ $nSiO_2 \cdot mH_2O$ ）脱水析出固态的 $SiO_2$ ，但这种反应速度很缓慢，所以水玻璃在自然条件下的凝结与硬化速度也缓慢。若在水玻璃中加入硬化剂，则硅胶的析出速度大大加快，从而加速了水玻璃的凝结硬化。常用固化剂为氟硅酸钠（ $Na_2SiF_6$ ），其反应方程式为



生成物硅胶脱水后,由凝胶转变成固体  $\text{SiO}_2$ ,具有强度及  $\text{SiO}_2$  的其他一些性质。

氟硅酸钠的掺量适宜,一般情况下,占水玻璃质量的 12% ~ 15%。若氟硅酸钠的掺量少于 12%,则其凝结硬化速度慢、强度低,并且存在没参加反应的水玻璃,当遇水时,残余水玻璃易溶于水;若氟硅酸钠掺量超过 15%,则凝结硬化速度快,造成施工困难,水玻璃硬化后的早期强度高,而后期强度降低。

水玻璃的模数和密度对凝结、硬化速度的影响较大。当模数高时( $\text{SiO}_2$  相对含量高),硅胶容易析出,水玻璃凝结、硬化速度快;当水玻璃的相对密度小时,溶液黏度小,使反应和扩散速度快,凝结、硬化速度也快,当模数低或者相对密度大时,则凝结、硬化速度都较慢。

此外,温度和湿度对水玻璃的凝结、硬化速度也有明显影响。温度高、湿度小时,水玻璃反应速度加快,生成的硅酸凝胶脱水速度亦快;反之,水玻璃凝结、硬化速度也慢。

### 三、水玻璃的性质

以水玻璃为胶凝材料配制的材料,硬化后,变成以  $\text{SiO}_2$  为主的人造石材。它具有  $\text{SiO}_2$  的许多性质,如强度高、耐酸和耐热性能优良等。

#### 1. 强度

水玻璃硬化后,具有较高的黏结强度、抗拉强度和抗压强度。水玻璃砂浆的抗压强度以边长 70.7 mm 的立方体试块为准。水玻璃混凝土则以边长为 150 mm 的立方体为准。按规范规定的方法成型,然后在温度为 20 ~ 25 °C、相对湿度小于 80% 的空气中养护(硬化) 2 天拆模,再养护至龄期达 14 天时,将测得的强度值作为标准抗压强度。

水玻璃硬化后的强度与水玻璃模数、相对密度、固化剂用量及细度,以及填料、砂、石和水的用量及配合比等因素有关,同时还与配制、养护、酸化处理等施工质量有关。

#### 2. 耐酸性

硬化后的水玻璃的主要成分为  $\text{SiO}_2$ ,所以它的耐酸性能优良,尤其是在强氧化性酸中具有较高的化学稳定性。除氢氟酸、20% 以下的氟硅酸、热磷酸和高级脂肪酸以外,硬化后的水玻璃几乎在所有酸性介质中都有较高的耐腐蚀性。如果水玻璃硬化得完全,水玻璃类材料耐稀酸,甚至耐酸性水腐蚀的能力也是很好的。水玻璃类材料不耐碱性介质的侵蚀。

#### 3. 耐热性

水玻璃硬化形成  $\text{SiO}_2$  空间网状骨架,因此具有良好的耐热性能。若以铸石粉为填料,调成的水玻璃胶泥的耐热度可达 900 ~ 1 100 °C。对于水玻璃混凝土,其耐热度还受骨料品种的影响。若用花岗岩为骨料,其耐热度仅在 200 °C 以下;若用石英岩、玄武岩、辉绿岩、安山岩,其使用温度在 500 °C 以下;若用耐火黏土砖类耐热骨料配制水玻璃混凝土,其使用温度一般在 800 °C 以下;若以镁质耐火材料为骨料时,其耐热度可达 1 100 °C。

### 四、水玻璃的应用

水玻璃具有黏结和成膜性好、不燃烧、不易腐蚀、价格便宜、原料易得等优点。它多用于建筑涂料、胶结材料及防腐、耐酸材料。

#### 1. 涂刷材料表面,浸渍多孔性材料,加固土壤

以水玻璃涂刷石材表面,可提高其抗风化能力,提高建筑物的耐久性。以密度为  $1.35 \text{ g/cm}^3$  的水玻

璃浸渍或多次涂刷黏土砖、水泥混凝土等多孔材料，可以提高材料的密实度和强度，其抗渗性和耐水性均有提高。这是因为水玻璃生成硅胶，与材料中的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  作用生成硅酸钙凝胶体，填充在孔隙中，从而使材料致密。但需要注意的是，切不可用水玻璃处理石膏制品。因为含  $\text{CaSO}_4$  的材料与水玻璃会生成  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ，具有结晶膨胀性，会使材料因受结晶膨胀作用而被破坏。若将模数为 2.5 ~ 3 的水玻璃和氯化钙溶液一起灌入土壤中，生成的冻状硅酸凝胶在潮湿环境下，因吸收土壤中的水分而处于膨胀状态，使土壤固结，其抗渗性得到提高。

### 2. 配制防水剂

以水玻璃为基料，加入两种或四种矾的水溶液，称为二矾或四矾防水剂。这种防水剂可以掺入硅酸盐水泥砂浆或混凝土中，以提高砂浆或混凝土的密实性和凝结硬化速度。

二矾防水剂是以 1 份胆矾 ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 和 1 份红矾 ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )，加入 60 份的沸水中，将冷却至 30 ~ 40 °C 的水溶液加入 400 份的水玻璃溶液中，静置半小时即成。

四矾防水剂与二矾防水剂的区别是除加入胆矾和红矾外，还加入明矾 [ $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ] 和紫矾 [ $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ]，并控制四矾水溶液加入水玻璃时的温度为 50 °C。这种四矾防水剂的凝结速度快，一般不超过 1 min，适用于堵塞漏洞、缝隙等抢修工程。

### 3. 水玻璃混凝土

以水玻璃为胶结材料，以氟硅酸钠为固化剂，掺入铸石粉等粉状填料和砂、石骨料，经混合搅拌、振捣成型、干燥养护及酸化处理等加工而成的复合材料叫水玻璃混凝土。若采用的填料和骨料为耐酸材料，则称为水玻璃耐酸混凝土；若选用耐热的砂、石骨料，则称为水玻璃耐热混凝土。

水玻璃混凝土具有机械强度高、耐酸和耐热性能好、整体性强、材料来源广泛、施工方便、成本低及使用效果好等特点。水玻璃混凝土适用于耐酸地坪、墙裙、踢脚板、设备基础和支架、烟囱内衬，以及耐酸池、槽、罐等设备外壳或内衬，还可以配筋后制成预制件。

## 第四节 菱 苦 土

### 一、菱苦土的生产、分类及硬化

菱苦土又名“苛性苦土、苦土粉”，它的主要成分是氧化镁。菱苦土是以天然菱镁矿为原料，在 800 ~ 850 °C 下煅烧而成的，是一种细粉状的气硬性胶结材料。菱苦土的颜色有纯白、灰白、淡黄色等，新鲜材料有闪烁玻璃光泽，如图 2-4 所示。



图 2-4 菱苦土

### 1. 氧化镁的矿源

(1) 菱镁矿石是氧化镁的主要来源之一, 菱镁矿石中的  $\text{MgO}$  含量占 47% 左右,  $\text{MgCO}_3$  经过轻煅烧 (400 ~ 600  $^{\circ}\text{C}$ ) 后, 再研磨成固态粉末, 就得到了  $\text{MgO}$ 。菱镁矿源广布于新疆、四川、山东、西藏等自治区和省, 储量为  $28 \times 10^8 \text{t}$ , 占世界矿源的 30%。

(2) 白云石矿 [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] 也是氧化镁的主要矿源, 而且储量更大、分布更广。白云石矿中的  $\text{MgO}$  含量占 22% 左右,  $\text{CaO}$  含量占 30% 左右, 其余占 48% 左右。对于  $\text{MgCO}_3$  与  $\text{CaO}$  的理论结构, 两者是 1:1。白云石的划定界线是以  $\text{MgCO}_3$  的含量在 25% 以上为基准, 否则不能作为生产氧化镁的矿石, 也不能称为白云石。

(3) 蛇纹石 [ $\text{Mg}_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ ] 也是生产氧化镁的原材料, 主要是水硅酸镁石 ( $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )。

(4) 冶炼轻质镁合金的熔渣同样是生产氧化镁的原材料。

### 2. 菱苦土的分类

按化学成分, 菱苦土分为三级: 一级菱苦土的氧化镁含量大于 90%, 主要作为强度要求较高的预制构件; 二级菱苦土含氧化镁 87% 以上; 三级菱苦土含氧化镁 80% 以上。二级、三级菱苦土主要用于建筑业。

### 3. 菱苦土的硬化

菱苦土硬化的公式为



用水调和, 凝结、硬化速度很慢, 硬化后的强度低, 加入调和剂调配菱苦土的浆体。常用的调和剂为氯化镁溶液, 氯化镁溶液又称“卤水”。

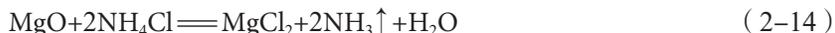
## 二、菱苦土的特性与应用

### 1. 菱苦土的物理性质

菱苦土为白色或浅黄色粉末, 无臭、无味, 不溶于水和乙醇, 熔点为 2 852  $^{\circ}\text{C}$ , 沸点为 3 600  $^{\circ}\text{C}$ , 有高度耐火绝缘性能。菱苦土经 1 000  $^{\circ}\text{C}$  以上高温灼烧, 可转变为晶体, 升至 1 500  $^{\circ}\text{C}$  以上, 则成死烧氧化镁或烧结氧化镁。菱苦土的表面积研究是非常重要的, 表面积检测数据只有采用 BET (比表面积检测) 方法检测出来的结果才是真实可靠的, 国内目前有很多仪器只能做直接对比法的检测。

### 2. 菱苦土的化学性质

菱苦土的主要成分是氧化镁, 氧化镁是碱性氧化物, 具有碱性氧化物的通性, 即暴露在空气中, 容易吸收水分和二氧化碳, 而逐渐成为碱式碳酸镁, 其中, 轻质品较重质品更快与水结合生成氢氧化镁, 呈微碱性反应, 饱和水溶液的 pH 为 10.3。菱苦土易溶于酸和铵盐, 难溶于水, 其溶液呈碱性, 不溶于乙醇, 溶于酸和铵盐的化学反应式为



菱苦土与水缓慢作用生成氢氧化镁, 在可见光和近紫外光范围内有强折射性。

### 3. 菱苦土的应用

菱苦土与水拌和后, 迅速水化并放出大量的热, 硬化后的主要产物为  $x\text{MgO} \cdot y\text{MgCl}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ , 其凝结、硬化速度很慢, 强度很低。通常, 菱苦土粉不用水, 而用卤水 [氯化镁 ( $\text{MgCl}_2$ ) 水溶液] 拌和, 强度高, 硬化快。氯化镁的用量为 55% ~ 60% (以  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  计)。氯化镁可大大加速菱苦土的硬化, 且硬化后的强度很高。加氯化镁后, 初凝时间为 30 ~ 60 min, 1 天时的强度可达最高强度的 60% ~ 80%, 7 天左右可达最高强度 (抗压强度达 40 ~ 70 MPa)。硬化后的体积密度为 1 000 ~ 1 100  $\text{kg/m}^3$ , 属于轻

质高强材料，主要用来铺设地面，制作人造大理石和水磨石板，广泛用于装饰工程。

菱苦土与各种纤维的黏结良好，且碱性较低，对各种纤维和植物的腐蚀较弱。建筑上常用菱苦土与木屑（1:1.5~3）及氯化镁溶液（密度为1.2~1.25 g/cm<sup>3</sup>）制作菱苦土木屑地面。它具有保温、防火、防爆（碰撞时不产生火星）及一定的弹性。表面刷漆后，使用于纺织车间、教室、办公室、影剧院等，但不宜用于长期潮湿的环境。

使用玻璃纤维增强的菱苦土制品具有很高的抗折强度和抗冲击能力，其主要产品为玻璃纤维增强菱苦土波瓦，可用于非受冻地区，一般用于仓库及临时建筑的屋面防水。

### 知识小结

通过本章的学习，学生可了解各种气硬性胶凝材料的分类和生产，掌握各种气硬性胶凝材料的技术性质及其变化规律，以及各种材料在工程中的应用，为以后从事建筑行业打下一个坚实的基础。

## 实 训 练 习

### 一、选择题

- 生石灰的化学成分是（ ）。  
A. Ca(OH)<sub>2</sub>      B. CaO      C. CaO+MgO      D. MgO
- 生石灰熟化的特点是（ ）。  
A. 体积收缩      B. 吸水      C. 体积膨胀      D. 吸热
- 建筑石膏的性质特点是（ ）。  
A. 略有收缩      B. 凝结硬化快      C. 强度高      D. 耐水性好
- 气硬性胶凝材料有（ ）。  
A. 膨胀水泥      B. 粉煤灰      C. 石灰      D. 石膏  
E. 水玻璃
- 水玻璃的应用范围包括（ ）。  
A. 配制特种混凝土和砂浆      B. 涂刷材料表面  
C. 加固地基基础      D. 配制速凝防水剂  
E. 生产硅酸盐制品

### 二、填空题

- 石灰的熟化是指\_\_\_\_\_加水之后水化生成\_\_\_\_\_的过程。
- 建筑石膏为白色粉状材料，密度为\_\_\_\_\_，堆积密度为\_\_\_\_\_。
- 菱苦土又名“苛性苦土、苦土粉”，它的主要成分是\_\_\_\_\_。



## 第三章

# 建筑石材



### 知识导读

本章的知识导读见表 3-1 所列。

表 3-1 第三章的知识导读

本章要点	掌握层次	相关知识点
造岩矿物的常见种类	熟悉几种常见的造岩矿物	常见造岩矿物
岩石的种类与性质	(1) 熟悉岩石的种类; (2) 掌握岩石的性质	岩石类别和性质
毛石的种类及特点	(1) 理解毛石的种类; (2) 掌握毛石的特点	毛石的类别和特点
料石的种类及特点	(1) 掌握料石的种类; (2) 掌握料石的特点	料石的种类和特点
饰面材料的性质及应用	(1) 掌握饰面材料的性质; (2) 理解饰面材料的应用	饰面材料性质与应用



### 学习目标

(1) 知识目标。

- ①掌握岩石的种类和性质，明确造岩矿物的性质和组成方式对岩石的使用性质的意义。
- ②理解正确选用建筑石材的规则及其使用特性。
- ③掌握正确选择和使用天然石材的方法。
- ④掌握建筑石材的种类及质量等级。
- ⑤理解并掌握造岩矿物的种类，以及造岩矿物对石材结构和性能的决定作用。

(2) 能力目标。

能够正确辨别天然石材。

(3) 素质目标。

- ①在学习过程中，同学和教师进行合作，参与石材项目或实践活动。培养学生良好的沟通技巧，使学生学会与他人合作，分享和交流石材相关的知识和经验。
- ②培养学生的环境意识和责任感，提倡绿色、可持续的发展观。



### 思政园地

石材经漫长的地质作用，具有了坚硬、耐久、纹理丰富的巨大应用价值。同样，做一个有利于社会、有利于人民的人也应如石材的形成过程，要长时间积累，经受各种环境历练，才能使自己成为一名经得起风雨考验，对社会、对人民有担当、有作为的当代青年。

## 第一节 岩石概述

人类对石材的使用可追溯到战国时期，那时候石材主要用来作为工具、饰物和建筑材料，如石斧、纺轮、蓝田玉（图 3-1）、灵璧玉，以及宫殿的栏杆、华表；另外，古代的桥梁、城垣、水利工程上也大量使用了石材。石材具有不燃、耐水、耐压、耐久和美观等优点，因此现代在工业和民用建筑上仍普遍使用石材作基础、墙体、梁柱等；更由于石材具有美观、高雅的特点，石材的使用经久不衰。人民英雄纪念碑、人民大会堂、中国历史博物馆等都采用优质石材经凿毛、剁斧、琢磨、抛光、火焰烧毛等不同工艺处理，取得了很好的艺术效果。然而，石材本身存在着重量大、抗拉和抗弯强度小、连接困难等缺点，故自从钢筋混凝土应用以来，石材大体上不作为结构材料使用，但以之用作装饰材料和混凝土骨料还是较多的。另外，某些石材可作为胶凝材料的原料或水泥混合料。



图 3-1 蓝田玉吊坠

岩石是矿物的集合体，具有一定的地质意义，是构成地壳的一部分。没有地质意义的矿物集合体不能算是岩石，如由水泥熟料凝结起来的砂砾，也是矿物集合体，但不能称作岩石。严格地讲，岩石是由各种不同地质作用所形成的天然固态矿物集合体。这种矿物是在地壳中受不同的地质作用，所形成的具有一定化学组成和物理性质的单质或化合物。由单一矿物组成的岩石叫单矿岩，由两种或两种以上矿物组成的岩石叫多矿岩。主要的造岩矿物是硅酸盐矿物，其次还有非硅酸盐类的造岩矿物。

### 一、造岩矿物

造岩矿物主要是指组成岩石的矿物，造岩矿物大部分是硅酸盐、碳酸盐矿物，根据其在岩石中的含量，造岩矿物又可分为主要矿物、次要矿物和副矿物。一般造岩矿物按其组成可分为两大类：一类是深色（或暗色）矿物，其内部富含 Fe、Mg 等元素，如硫铁矿、黑云母等；另一类称为浅色矿物，其内部富含 Si、Al 等元素，又称“硅铝矿物”，它们的颜色较浅，如石英、长石等。建筑上常用的岩石有花岗岩、正长岩、闪长岩、石灰岩、砂岩、大理岩和石英岩等。这些岩石中存在的主要矿物有长石、石英、云母、方解石、白云石、硫铁矿等。常见造岩矿物的性质表见表 3-2 所例。

表 3-2 常见造岩矿物的性质表

序号	名称	矿物颜色	莫氏硬度	密度 / (g/cm <sup>3</sup> )	化学成分	备注
1	长石	灰、白色	6	约 2.6	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	多见于花岗岩中
2	石英	无色、白色等	7	约 2.6	SiO <sub>2</sub>	多见于花岗岩、石英岩中
3	白云母	黄、灰、浅绿	2~3	约 2.9	KA1 <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> [A1Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ]	有弹性, 多以杂质状存在
4	方解石	白色或灰色等	3	2.7	CaCO <sub>3</sub>	多见于石灰岩、大理岩中
5	白云石	白、浅绿、棕色	3.5	2.83	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	多见于白云岩中
6	硫铁矿	亮黄色	6	5.2	FeS <sub>2</sub>	为岩石中的杂质

## 二、岩石的种类及性质

### (一) 岩石的种类

#### 1. 按岩石成因分类

自然界的岩石以其成因可分为三类：由地球内部的岩浆上升到地表附近或喷出地表，冷却凝结而成的岩石称为岩浆岩；由岩石风化后再沉积，胶结而成的岩石称为沉积岩；岩石在温度、压力作用或化学作用下变质而成的新岩石称为变质岩。岩浆、岩浆岩、沉积岩及变质岩循环图如图 3-2 所示。

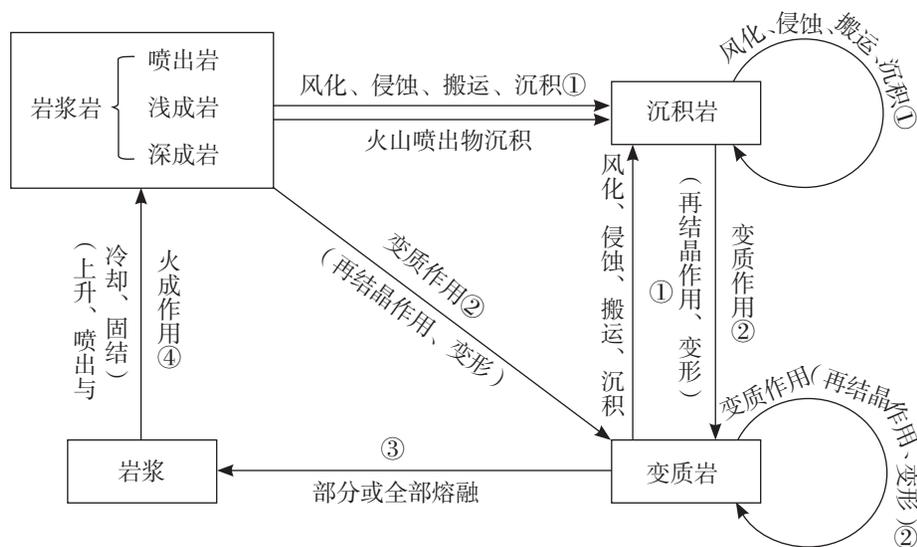


图 3-2 岩浆、岩浆岩、沉积岩及变质岩循环图

#### 2. 按岩石强度分类

根据日本工业标准 (JIS)，岩石可按抗压强度来分为硬石、次硬石和软石三类 (表 3-3)：硬石为花岗岩、安山岩、大理岩等；次硬石为软质安山岩、硬质砂岩等；软石为凝灰岩。

表 3-3 岩石按抗压强度分类 (JIS)

种类	抗压强度 /MPa	参考值	
		吸水率 /%	表观密度 /g/cm <sup>3</sup>
硬石	> 50	< 5	2.7 ~ 2.5
次硬石	30 ~ 50	5 ~ 15	2.5 ~ 2
软石	< 10	> 15	< 2

### 3. 按岩石形状分类

石材用于建筑工程，分为砌筑和装饰两类：砌筑用石材分为毛石和料石；装饰用石材主要为板材。

## (二) 岩石的性质

岩石的性质主要包括物理性质、力学性质、化学性质。表 3-4 列出了岩石的主要性质。

表 3-4 岩石的主要性质

岩石名	表观密度 / ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	孔隙度 /%	莫氏硬度	抗压强度 /MPa	抗弯强度 / MPa	冲击韧性 / ( $\text{kg} \cdot \text{cm}$ )	热胀系数 / ( $10^{-7}/^\circ\text{C}$ )
花岗岩	2.54 ~ 2.61	0.4 ~ 2.36	5.8 ~ 6.6	100 ~ 321	9.3 ~ 39.3	2.8 ~ 11.0	37 ~ 60
斑岩、闪长岩、辉岩	2.81 ~ 3.03	0.3 ~ 2.7	4.76 ~ 6.21	128 ~ 314	14.3 ~ 57.1	2.2 ~ 14.1	20 ~ 30
玄武岩	2.8 ~ 2.9	0.1 ~ 1.0	4 ~ 6	114 ~ 350	14.3 ~ 57.1	2.0 ~ 15.8	22 ~ 35
砂岩	2.0 ~ 2.6	5.0 ~ 25	2.4 ~ 6.1	35.7 ~ 257.1	5 ~ 16.4	0.8 ~ 13.8	37 ~ 63
片麻岩	2.64 ~ 3.36	0.5 ~ 0.8	5.26 ~ 6.47	157.1 ~ 257.1	8.6 ~ 22.1	1.5 ~ 3.3	13 ~ 44
石英岩	2.75	0.3	4.2 ~ 6.6	214.3 ~ 650	8.6 ~ 32.1	2.0 ~ 11.8	60
板岩	2.71 ~ 2.9	0.1 ~ 4.3	2.8 ~ 5.2	143 ~ 214.3	35.7 ~ 128	—	45 ~ 49
大理岩	2.37 ~ 3.2	0.67 ~ 2.3	3.7 ~ 4.3	71.4 ~ 250	4.3 ~ 28.5	0.8 ~ 9.1	27 ~ 51
石灰岩	1.79 ~ 2.92	0.26 ~ 3.6	2.79 ~ 4.84	14.3 ~ 264.3	3.6 ~ 37.1	2.0 ~ 3.4	17 ~ 68

### 1. 岩石的物理性质

#### (1) 表观密度。

造岩矿物的密度为  $2.6 \sim 3.3 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。由于岩石中存在孔隙，因此除软石凝灰岩外，其余岩石的表观密度为  $2 \sim 3 \text{ g}/\text{cm}^3$ ，岩石的表观密度小于矿物的表观密度。表观密度与孔隙率密切相关，表观密度大的岩石因其结构致密，所以强度也高。

#### (2) 吸水率。

它既反映了岩石吸水能力的大小，也反映了岩石耐水性的好坏。岩石的表观密度越大，说明其内部孔隙数量越少，水进入岩石内部的可能性随之减少，岩石的吸水率跟着减小；反之，岩石的吸水率跟着增大。另外，岩石的吸水率也与岩石内部的孔隙结构和岩石是否憎水有关。例如，岩石内部连通孔多，岩石破碎后的开口孔相应增多，如果该岩石又是亲水性的，那么该岩石的吸水率必然增大。岩石的吸水性直接影响了其抗冻性、抗风化性等耐久性指标。吸水率大往往说明岩石的耐久性差。

#### (3) 硬度。

分析表 3-4 中岩石硬度和强度的关系，可以看出，两者间有很好的相关性。首先，岩石的硬度高，它的强度也高；其次，岩石的硬度高，其耐磨性和抗刻划性也好，其磨光后也有良好的镜面效果，但是，硬度高的岩石开采困难，加工成本高。

#### (4) 岩石的物理风化。

石的风化分为物理风化和化学风化。物理风化在以下两种情况下发生。

①对于岩石中的多种矿物，当岩石温度发生明显变化时，体积变化率各不相同，导致岩石内产生应力，使岩石内形成了细微裂缝。

②岩石由于受干、湿循环的影响，使其发生反复胀缩而产生微细裂纹。在寒冷地区，渗入岩石缝隙中的水会因结冰而使体积增大，加剧了岩石的开裂。岩石的开裂导致其风化剥落，最后造成岩石损坏，损坏后所形成的新岩石表面又受到同样的物理风化作用。因此周而复始，岩石的风化程度不断加深。