

绪 论

建筑材料是在地下工程、基础工程、水利工程、交通工程、工业与民用建筑工程等各种土木工程中所使用的各种材料及制品的总称。从广义上讲,建筑材料包括构成建筑物本体的各种材料(如钢材、木材、水泥、砂石、混凝土、地铁管片、防水材料等)、施工过程中所用的各种材料(如模板、脚手架等)及各种建筑器材(如水、暖设备和电器等)。

1. 建筑材料的分类

建筑材料种类繁多,为了研究、使用 and 叙述的方便,常从不同角度进行分类,最常见的是按化学成分和使用功能进行的分类。

1)按化学成分分类

建筑材料按化学成分的不同可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类,见表 0-1。



图片
建筑

表 0-1 建筑材料按化学成分不同的分类

无机材料	金属材料	建筑钢材、铜材、铝合金、铸铁等
	非金属材料	水泥、混凝土、建筑砂浆、天然石材、玻璃等
有机材料	合成有机材料	塑料、涂料、胶黏剂、密封材料
	天然有机材料	天然沥青、木材、竹材、植物纤维等
复合材料	金属-非金属复合材料	钢筋混凝土、钢纤维混凝土等
	无机非金属-有机复合材料	沥青混合料、聚合物混凝土
	有机-有机复合材料	树脂改性沥青、橡胶改性沥青

2)按使用功能分类

建筑材料按使用功能的不同可分为建筑结构材料、建筑功能材料和建筑装饰材料。建筑结构材料是指用作建筑结构的承重材料,如水泥、石材、混凝土、钢筋混凝土和各种钢材;建筑功能材料是指提供建筑物使用、耐久、安全、美观等性能的材料,如防水材料、吸声材料、防火材料、保温隔热材料等;建筑装饰材料又称建筑饰面材料,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,如瓷砖、玻璃、地板、涂料等。



图片
建筑功能材料

2. 建筑材料与土木工程的关系

建筑业是我国国民经济的支柱产业,建筑材料是一切土木建筑工程的物质基础。材料质量的好坏、选用的是否适当、配备的是否合理,决定了施工水平的高低、结构形式和建筑物性能的好坏,影响结构物的质量、使用寿命和人们生活生产的环境质量。建筑材料又是工程预算的物资基础。建筑材料的组成、结构和构造不同,其性能也就各不相同,价格相差悬殊。

大量的工程实际统计分析表明,一般工程的材料费用均占总造价的50%~60%,重要工程可达70%~80%。因此合理地选择和使用材料,对节约工程投资、降低工程造价有着十分重要的经济意义。此外,材料还影响设计水平的提高和工艺的更新换代。设计水平的提高和工艺的更新换代往往要依赖于新材料的使用;同时,新材料的出现和使用必然导致工程建筑设计、工艺的革新。

3. 建筑材料的性能要求

经济的快速发展带动了人们物质和生活水平的不断提升。当今社会,人们在生产、生活、学习、工作、休闲娱乐等方面,关注的核心是建筑物、构筑物 and 基础设施的美观、舒适、经济、环保、耐久、安全、高效能等综合性能,为此,建筑材料的性能必须满足相关性能的综合要求。

实际使用中,对不同种类、不同用途的材料所重点考虑的性能有所不同或者是各有侧重。例如,对于结构材料要重点考虑其力学性能、耐久性能、化学性能及生产性能等;对于装饰材料重点考虑的是其物理性能、美观性能、环保性能、安全性能等;对于地下工程和隧道工程则重点关注的是其力学性能、防水抗渗性能、耐火性、环保性和耐久性等。

4. 建筑材料检测的技术标准

1) 技术标准的含义

技术标准是从事产品生产、工程建设、科学研究及商品流通领域中需要共同遵循的技术依据。建筑材料的技术标准又称技术规范,包括原料、材料及产品的质量、规格、等级、性质要求,以及检验方法、生产及设计的技术规定等内容。

2) 技术标准的分类

根据发布单位与适用范围不同,技术标准可分为国家标准、行业标准、企业标准和地方标准四个等级。

(1) 国家标准是指对全国经济技术发展有重大意义,根据全国范围内统一的技术要求所制定的标准。国家标准是国内上述四级标准体系中的主体。

(2) 行业标准是指对没有国家标准而又需要在全国某个行业范围内根据统一的技术要求所制定的标准。行业标准是对国家标准的补充,是专业性、技术性较强的标准。

(3) 地方标准是指对没有国家标准和行业标准,又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的技术标准。地方标准在本行政区域内适用,不得与国家和行业标准相抵触。

(4) 企业标准是指在上述三种标准均没有的情况下,企业自行制定的产品标准和在企业内部需要协调、统一的技术要求和管理、工作要求所制定的标准或规范(代号 QB),作为企业组织生产和经营活动的依据。

3) 技术标准的表示

表示形式:名称+代号+编号。

名称——标准的名称。

代号——标准的等级或发布单位。代号用汉语拼音首字母表示,如 GB(国标)、JT(交通)、JC(建材)等。

编号——标准的顺序号和批准/修订年代号,用阿拉伯数字表示。

例如,《混凝土质量控制标准》(GB 50164—2011)的各部分组成如图 0-1 所示。

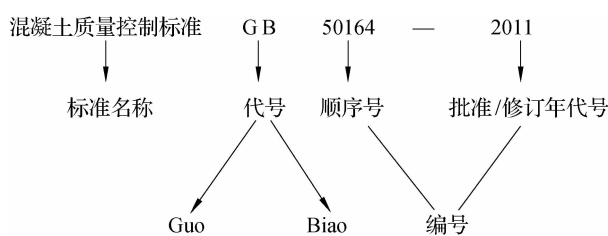


图 0-1 标准各部分组成示例

《中华人民共和国标准化法》按法律属性将标准分为强制性和推荐性两种。

(1) 强制性标准是国家要求对其规定的各项内容必须无条件遵照执行的标准。否则，国家将依法追究当事人的法律责任。

(2) 推荐性标准是国家鼓励自愿采纳、具有指导作用而又不宜强制执行的标准。但是，推荐性标准一旦经法律、法规或经济合同采纳，被引用的推荐性标准则在规定的相应范围内强制执行。表示推荐性的技术标准时，在标准代号后加“/T”。

我国国家标准及某些行业标准代号示例见表 0-2。

表 0-2 我国国家标准及某些行业标准代号示例

标准类型	标准代号	代号含义	示 例
国家标准	GB	强制性国家标准	《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)
	GB/T	推荐性国家标准	《混凝土外加剂定义、分类、命名与术语》(GB/T 8075—2005)
行业标准 (交通运输部)	JT	交通行业标准	《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)
地方标准	DB	地方标准	《沈阳地铁混凝土技术规范》(DB2 01/T J05—2008)

由于技术标准是根据某一时期的技术水平制定的，只反映该时期内的技术水平和技术要求，因此技术标准具有时效性和相对稳定性的特点。随着新材料、新工艺和新结构不断地涌现，技术标准是要不断进行修订的，我国每五年左右修订一次。

5. 建筑材料的发展趋势

建筑材料是随着人类社会生产力的不断发展和人民生活水平的不断提高而向前发展的。随着社会生产力的发展，人们对建筑物的规模、质量等方面的要求越来越高，其与工程材料的数量、品种、质量等都有着相互依赖和相互矛盾的关系。

近些年来，科学技术的快速发展带动和促进了材料科学的发展，尤其在墙体材料、装饰材料、防水材料领域得到了长足的发展。为了推进我国经济社会的全面协调与可持续发展，切实提高人们的生活水平和生活质量，未来的建筑材料将向着资源节约型、能源节约型、环境友好型、功能多样化及可循环再生利用的方向发展，具体体现在以下几个方面。

(1) 在材料性能方面，向轻质、高强、耐久的方向发展。研究高强度钢材、高强度混凝土、纤维复合混凝土等轻质高强材料，提高材料的比强度，减小承重结构的截面尺寸，降低构件

或建筑物自重,实现现代建筑的高层化、大跨化和轻量化。



图片
预制构件

(2)在制品形式方面,向预制化、构件化的方向发展。不断增大构件尺寸,逐步实现设计标准化、结构装配化、预制工厂化、施工机械化,大大提高生产效率。

(3)发展“绿色建筑材料”或“生态建筑材料”。在资源利用方面,充分利用工业废料、废渣、废液,降低产品生产过程中的能耗,增加资源的可循环再利用率,有效地保护生态环境和天然资源。

总之,科学技术的快速发展和人们生活水平的不断提高,对建筑材料的性能提出了更高的要求,可持续发展的理念已逐渐深入到建筑材料行业中,具有节能、环保、绿色和健康等特点的建筑材料应运而生。建筑材料正向着追求功能多样性、全寿命周期经济性及可循环再生利用性等方向发展。

6. 本课程的学习要求

建筑材料是高等职业院校土木工程相关专业开设的一门专业核心课,也是一门实践性非常强的专业核心课。通过本课程的学习,要求掌握材料的基本理论和基本知识,具备质量员、施工员、安全员、试验员等岗位所需的基础知识和职业技能,具体目标如下。

(1)知识目标。熟悉土木建筑工程中常用建筑材料的品种、规格;掌握常用材料技术性能的检测原理、检测方法和质量评价方法;掌握混凝土配合比的设计原理及方法;掌握建筑材料应用和保管等方面的知识。

(2)能力目标。会根据工程需要合理选择建筑材料,会进行常用建筑材料的取样、检测,能正确填写检测报告并进行试验结果的客观评价,能自主学习新标准、新规范,自主跟踪新材料和新技术的发展和应用。

(3)素质目标。通过理论与实践过程的学习训练,端正学生的学习态度,具有团队协作、吃苦耐劳的学习和工作精神;具有较好的口头与书面表达能力;具有理论联系实际、严谨务实、实事求是的工作作风和科学的思维方式。



理论知识篇

-  模块 1 建筑材料的基本性质
-  模块 2 建筑石材
-  模块 3 无机胶凝材料
-  模块 4 水泥混凝土
-  模块 5 建筑砂浆
-  模块 6 建筑钢材
-  模块 7 防水材料



● 建筑材料的基本性质

● 知识目标

掌握描述材料物理性质的相关参数的含义、影响因素及其工程意义。

会根据材料的物理参数值推断或评价材料的力学性质和耐久性能。

掌握强度、比强度的含义和工程意义。

了解耐久性的含义,掌握评价耐久性的指标。

建筑材料在不同的建筑结构或建筑结构的部位所起的作用有所不同,因而要求的技术性质和技术指标也不相同。例如,用作梁、板、柱等结构的材料要承受拉力、压力等荷载的作用,要求其具有足够的强度;房屋屋面和其他防水部位的材料应具有良好的防水作用及抗渗性能;房屋外墙材料要求具有良好的保温、隔热性能等。此外,建筑物还会长期承受风吹、雨淋、日晒及化学腐蚀等作用,要求材料具有良好的耐久性能;用于室内外装饰的材料还应该具有良好的装饰美观性能等。

将建筑材料应具备的各种技术性能归纳起来可概括为物理性质、力学性质、化学性质和耐久性四个基本技术性质。本模块重点介绍材料的物理性质、力学性质和耐久性。

1.1 材料的物理性质



测试
材料的物理
性质

材料的物理性质主要包括与质量和体积有关的性质、与水有关的性质和与热有关的性质。

1.1.1 材料与质量和体积有关的性质

1. 材料的微观体积构成

1) 块状材料

如图 1-1(a)所示,从微观角度分析,块状材料的体积包括矿质实体体积、闭口孔隙(不与外界连通)体积和开口孔隙(与外界连通)体积三个部分,各部分的体积与质量关系如图 1-1(b)所示。

2) 散粒状或粉状材料

如图 1-2 所示,堆积起来的散粒状或粉状材料的微观体积包括颗粒的实体体积、颗粒的开口孔隙体积、颗粒的闭口孔隙体积和颗粒间间隙体积四个部分。由于颗粒的开口孔隙与颗粒间间隙通常是贯通的,因此,散粒状或粉状材料的堆积体积可以理解为由颗粒的总表观体积与颗粒间总空隙构成。

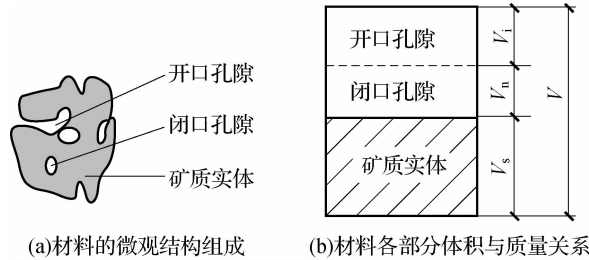


图 1-1 材料微观结构示意图

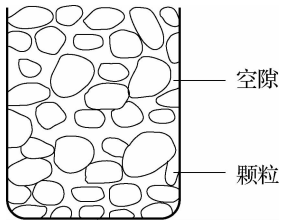


图 1-2 散粒状或粉状材料的堆积体积
(堆积体积=颗粒体积+空隙体积)

物理学中,通常用密度反映材料质量和体积的关系。实际工程中,根据材料所处的状态的不同,分别用密度、表观密度、毛体积密度和堆积密度来描述材料质量和体积间的关系,间接地预测或推断材料的物理性质和力学性质等性能,为合理选择和使用材料提供理论参考

或依据。

2. 反映材料质量与体积关系的参数

1) 密度

密度是材料在绝对密实状态下(不含任何孔隙),单位体积的矿质实体所具有的质量。密度用 ρ 表示,按式(1-1)计算。

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

式中, ρ 为密度(g/cm^3); m 为材料在干燥状态下的质量(g); V_s 为绝对体积或矿质实体体积(cm^3)。

建筑材料中除钢材、玻璃等少数材料接近绝对密实外,绝大多数材料内部都包含有一些孔隙。在测定有孔隙的材料密度时,应把材料磨成细粉(规定粒径小于 0.2 mm),除去内部孔隙,经干燥后用李氏密度瓶测定其绝对体积。待测材料磨得越细,测得的体积越接近绝对体积,所得密度值越准确。

2) 表观密度

表观密度是材料单位表观体积(实体体积+闭口孔隙体积)所具有的质量,用 ρ_a 表示,按式(1-2)计算。

$$\rho_a = \frac{m}{V_s + V_n} \quad (1-2)$$

式中, ρ_a 为材料的表观密度(g/cm^3); V_n 为材料闭口孔隙的体积(cm^3)。

表观密度与材料结构组成中孔隙的多少和孔隙的含水程度密切相关。材料的孔隙越多,表观密度越小;当孔隙中含有水分时,其质量和体积均发生变化。因此测定材料的表观密度时须注明含水情况。标准状态下测定的表观密度为材料在烘干状态下的表观密度。表观密度通常用于水泥混凝土或沥青混合料的配合比设计。

3) 毛体积密度

材料在自然状态下,单位体积(矿质实体体积+闭口孔隙体积+开口孔隙体积)所具有的质量为毛体积密度,以 ρ_b 表示,按式(1-3)计算。

$$\rho_b = \frac{m}{V_s + V_i + V_n} \quad (1-3)$$

式中, ρ_b 为材料的毛体积密度(g/cm^3); V_i 为材料开口孔隙的体积(cm^3)。

因为 $V_s + V_i + V_n = V$,故式(1-3)可以改写为

$$\rho_b = \frac{m}{V} \quad (1-4)$$

式中, V 为材料总体积(cm^3)。

测定材料的毛体积密度时,对于遇水不崩解、不溃散的体积稳定的材料,可将其加工为规则形状的试件,采用精密量具测量其几何形状的方法计算其体积;而对遇水溶解或体积不稳定的松软材料,应采用“封蜡法”测定。

4) 堆积密度

堆积密度是指散粒状或粉末状材料在自然堆积状态下单位体积(矿质实体、闭口孔隙、开口孔隙、颗粒间间隙的体积之和)具有的质量,用 ρ'_0 表示,按式(1-5)进行计算。

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-5)$$

式中, ρ'_0 为材料的堆积密度 (kg/m^3); m 为材料的质量 (kg); V'_0 为材料的自然堆积体积 (矿质实体、闭口孔隙、开口孔隙、颗粒间间隙的体积之和), 如图 1-2 所示, 也即盛装材料的容器的容积 (m^3)。

堆积密度的大小取决于材料的表观密度和材料堆积的紧密程度, 由此又将堆积密度分为松装堆积密度和紧装堆积密度。松散堆积时测得的堆积密度值要明显小于紧密堆积时的测定值。工程中通常采用松装堆积密度确定颗粒状材料的堆积空间。

在建筑工程中, 计算构件的自重、混凝土配合比以及确定材料堆放空间时经常要用到材料的密度、表观密度和堆积密度等物理参数。

常用建筑材料的密度、表观密度、堆积密度见表 1-1。

表 1-1 常用建筑材料的密度、表观密度、堆积密度

材 料	密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	表观密度 $\rho_s/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	堆积密度 $\rho'_0/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
花岗岩	2.60~2.90	2.5~2.8	—
碎石(石灰岩)	2.60~2.80	2.6	1 400~1 700
砂	2.60~2.70	2.65	1 450~1 650
水泥	2.8~3.10	—	1 000~1 600
普通混凝土	—	2.0~2.8	—
轻集料混凝土	—	0.8~1.9	—
钢材	7.85	7.85	—
普通黏土砖	—	2.5~2.7	1 600~1 800

3. 表征材料结构密实性的参数

1) 孔隙率

孔隙率是指材料中孔隙(闭合孔+开口孔)体积占材料总体积(矿质实体、闭口孔隙、开口孔隙的体积之和)的百分率, 以 P 表示, 按式(1-6)进行计算。

$$P = \frac{V - V_s}{V} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-6)$$

式中, P 为孔隙率; V_s 为材料的绝对密实体积 (cm^3 或 m^3); V 为材料的自然体积 (cm^3 或 m^3)。

孔隙率反映了材料内部构造的致密程度。孔隙率越大, 材料结构密实性越差, 质地越疏松。材料的强度、吸水性、抗渗性、抗冻性、导热性、吸声性等工程性质都与材料的孔隙率有关, 不仅取决于孔隙率的大小, 还与孔隙的形状、分布、连通与否等构造特征密切相关。

2) 密实度

密实度是指材料固体部分的体积(矿质实体体积)占材料总体积(矿质实体、闭合孔隙、开口孔隙的体积之和)的百分率, 以 D 表示, 按式(1-7)进行计算。

$$D = \frac{V_s}{V} \times 100\% = \frac{\rho_b}{\rho} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中, D 为材料的密实度。

含有孔隙的材料密实度均小于 1。材料的 ρ_b 与 ρ 越接近, D 越趋近于 1, 材料结构就越密实。

一般来说, 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。

4. 表征材料堆积紧密程度的参数

1) 空隙率

空隙率是指散粒状或粉状材料颗粒之间的空隙体积占总体积的百分率, 用 P' 表示, 按式(1-8)计算。

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho_a}\right) \times 100\% \quad (1-8)$$

式中, P' 为材料的空隙率; V'_0 为材料的自然堆积体积 (cm^3 或 m^3); V_0 为材料的表观体积 (cm^3 或 m^3)。

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒间互相填充的紧密程度。空隙率可作为控制混凝土集料级配与计算含砂率的依据。

2) 填充率

填充率是指散粒状或粉状材料颗粒体积占其自然堆积体积的百分率, 用 D' 表示, 即

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_a} \times 100\% = 1 - P' \quad (1-9)$$

1.1.2 材料与水有关的性质

1. 亲水性与憎水性

当水与建筑材料在空气中接触时, 会出现两种不同的现象。如图 1-3 所示, 表面能被水润湿, 即水能在其表面铺展开的材料为亲水性材料; 表面不能被水润湿, 即水不能在其表面铺展开的材料称为憎水性材料。

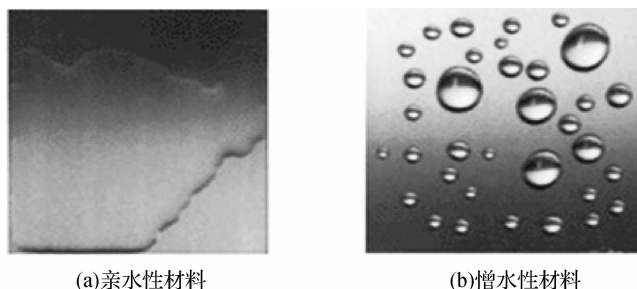


图 1-3 水在不同材料表面作用的情形

材料的亲水性或憎水性通常以润湿角的大小划分。润湿角是在材料、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。

如图 1-4 所示, 润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 的材料为亲水性材料; 润湿角 $\theta > 90^\circ$ 的材料为憎水性材料。润湿角 θ 越小, 材料越易被水润湿。

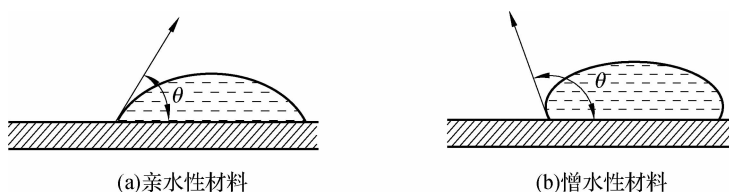


图 1-4 材料的润湿角

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,这些材料的表面都能被水润湿,并且能通过毛细管作用自动将水吸入材料内部。而沥青、油漆、石蜡、塑料等有机高分子材料都属于憎水性材料,这些材料的表面不仅不能被水润湿,而且能阻止水分渗入毛细管中。

建筑工程中,憎水性材料常用作防潮、防水及防腐材料,也可用于亲水性材料的表面处理,以降低亲水材料的吸水量,提高材料的耐水性。

2. 吸水性与吸湿性

1) 吸水性

材料在浸水状态下吸收水分的性质称为吸水性。材料的吸水性通常用质量吸水率表示,即材料在吸水饱和时,所吸收水分的质量占材料干燥质量的百分率,按式(1-10)进行计算。

$$W_{\text{质}} = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中, $W_{\text{质}}$ 为质量吸水率; $m_{\text{湿}}$ 为材料在吸水饱和状态下的质量(g); $m_{\text{干}}$ 为材料在绝对干燥状态下的质量(g)。

实际工程中,对于加气混凝土、软木等轻质多孔的材料,由于吸入水分的质量往往超过材料干燥时的自重,这时 $W_{\text{质}}$ 大于100%,为了方便表示,则采用体积吸水率表示其吸水性,即材料在吸水饱和时,吸入水分的体积占干燥材料自然体积的百分率,按式(1-11)计算。

$$W_{\text{体}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_0} \times 100\% = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{V_0} \times \frac{1}{\rho_{\text{水}}} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中, $W_{\text{体}}$ 为体积吸水率; $V_{\text{水}}$ 为材料吸入水分的体积(cm^3); V_0 为干燥材料在自然状态下的体积(cm^3); $\rho_{\text{水}}$ 为水的密度(g/cm^3),常温下取 $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

体积吸水率与质量吸水率的关系为

$$W_{\text{体}} = W_{\text{质}} \rho_0 \quad (1-12)$$

式中, ρ_0 为材料在干燥状态下的毛体积密度(g/cm^3)。

材料吸水率的大小不仅取决于材料本身是亲水的还是憎水的,而且与材料的孔隙率的大小及孔隙特征密切相关。一般材料的孔隙率越大,吸水率也越大;孔隙率相同的情况下,具有细小连通孔的材料比具有较多粗大开口孔隙或闭口孔隙的材料吸水性更强。

2) 吸湿性

材料在潮湿的空气中吸收空气中水分的性质称为吸湿性。材料的吸湿性用含水率表示,即材料所含水的质量占材料干燥质量的百分数,按式(1-13)计算。

$$W_{\text{含}} = \frac{m_{\text{含}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1-13)$$

式中, $W_{\text{含}}$ 为材料的含水率; $m_{\text{含}}$ 为材料含水时的质量(g); $m_{\text{干}}$ 为材料干燥至恒重时的质量(g)。

一般开口孔隙率较大的亲水性材料具有较强的吸湿性。材料含水率的大小,除与其本身的成分、组织构造等有关外,还与周围的温度、湿度有关。气温越低,相对湿度越大,材料的含水率也就越大。材料的吸水率是一个定值,是材料在规定条件下的最大含水率。

知识拓展

平衡含水率

材料的含水率随空气湿度的不同而改变。在不同湿度的空气中,材料既能在空气中吸收水分,又可向空气中扩散水分,最后与空气湿度达到平衡,此时的含水率称为平衡含水率。木材的吸湿性随空气湿度的变化特别明显。例如,木门窗制作后如长期处在空气湿度小的环境中,为了与周围湿度平衡,木材便向外散发水分,于是门窗体积收缩而致干裂。

3. 耐水性

耐水性是指材料长期处于水饱和状态下而不被破坏,强度也不显著降低的性质,用软化系数表示。软化系数是指材料在吸水饱和状态下的抗压强度与其在干燥状态下的强度的比值,按式(1-14)计算。

$$K_{\text{软}} = \frac{f_{\text{饱}}}{f_{\text{干}}} \quad (1-14)$$

式中, $K_{\text{软}}$ 为材料的软化系数; $f_{\text{饱}}$ 为材料在吸水饱和状态下的抗压强度(MPa); $f_{\text{干}}$ 为材料在干燥状态下的抗压强度(MPa)。

软化系数的取值为 0~1。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。软化系数大于 0.80 的材料通常可认为是耐水材料。对于经常位于水中或处于潮湿环境中的重要建筑物所选用的材料,其软化系数不得低于 0.85;对于受潮较轻或次要结构所用的材料,其软化系数允许稍有降低,但不宜小于 0.75。

跟踪自测

1. 某材料在干燥状态下的抗压强度是 258 MPa;吸水饱和后的抗压强度是 246 MPa。此材料可否用于潮湿环境的重要结构?

2. 软化系数是评价材料()水性的指标,软化系数的取值范围是()。软化系数为 0.80 的材料,表明其在水饱和状态下的抗压强度为干燥状态下的()%,即在吸水饱和状态下强度降低了()%。

4. 抗冻性

抗冻性是指材料在含水状态下抵抗多次冻融循环而不被破坏,强度也无显著降低的性质。按照国家标准规定,材料的抗冻性可采取快冻和慢冻两种试验方法测定,分别用抗冻等

级或抗冻标号表示其抗冻性能的大小。

慢冻试验法是指材料在室内常温(20 ± 2)℃和1个大气压条件下吸水至饱和后,置于 -15 ℃以下冻结4 h,然后取出放入(20 ± 5)℃的水中融解4 h,如此为一次冻融循环。材料的抗冻性能以材料的质量损失不超过5%、压力损失不超过25%,且试件表面无剥落、裂缝、分层及掉边等现象时所承受的最大冻融循环次数表示,如D50、D100、D150等。

快冻试验法是采用 $100\text{ mm}\times 100\text{ mm}\times 400\text{ mm}$ 的棱柱体试件,以28 d龄期后进行试验,试件吸水饱和后承受反复冻融循环,一个循环在2~4 h内完成。材料的抗冻性能以相对动弹性模量值不小于60%,而且质量损失率不超过5%时所承受的最大冻融循环次数表示,如F50、F100、F150等。

材料的结构越密实、闭口孔隙越多、孔隙的充水程度越小,则抗冻等级越高或抗冻标号越大,抗冻性越好。

实际工程中选择材料抗冻等级时要综合考虑工程种类、结构部位、使用条件和气候条件等诸多因素。在冬季室外温度低于 -10 ℃的寒冷地区,建筑物的外墙及露天工程中使用的材料必须进行抗冻性检验。如在一月份平均气温低于 -10 ℃的地区,除气候干旱地区的不受冻部分外,桥梁工程用石料应符合表1-2的抗冻指标要求。

表 1-2 桥梁工程用石料抗冻性指标

结构部位	冻融循环次数	
	大中桥	小桥及涵洞
镶面或表层的石料	50	25

5. 抗渗性

抗渗性是指材料在水、油、酒精等液体的压力作用下抵抗渗透的性能。描述材料的抗渗性能的方式通常有渗透系数和抗渗等级两种。

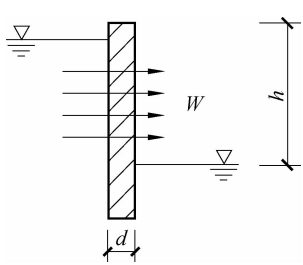


图 1-5 材料透水

1) 渗透系数

如图1-5所示,材料在压力水作用下透过水量的多少遵守达西定律。即在一定时间 t 内,透过材料试件的水量 W 与试件的渗水面积 A 及水头差 h 成正比,与试件厚度 d 成反比。达西定律可用式(1-15)表示。

$$K = \frac{Wd}{Ath} \quad (1-15)$$

式中, K 为渗透系数(cm/h); W 为透过材料试件的水量(cm^3); A 为透水面积(cm^2); h 为材料两侧的水压差(cm); d 为试件厚度(cm); t 为透水时间(h)。

材料的渗透系数越小,说明材料的抗渗性越强。

2) 抗渗等级

抗渗等级是以28 d龄期的标准试件,按标准试验方法进行试验时所能承受的最大水压力来确定的。《混凝土质量控制标准》(GB 50164—2011)中根据一组混凝土6个试件中4个试件未出现渗水时所能承受的最大水压力,将混凝土划分为P4、P6、P8、P10、P12五个抗渗

等级,相应表示混凝土能抵抗 0.4 MPa、0.6 MPa、0.8 MPa、1.0 MPa 及 1.2 MPa 的静水压力而不渗水。材料的抗渗等级越高,抗渗性越好。抗渗等级不小于 P6 的混凝土为抗渗混凝土。

材料抗渗性与材料的亲水程度、孔隙率及孔隙特征有关。憎水性材料、孔隙率小而孔隙封闭的材料具有较高的抗渗性;亲水性材料、具有连通孔隙和孔隙率较大的材料的抗渗性较差。

地下建筑防水工程通常使用防水混凝土,要求其应具有较高的密实性、憎水性和抗渗性,抗渗等级大于或等于 P6,即最小抗渗压力为 0.6 MPa。

《地下工程防水技术规范》(GB 50108—2008)规定:对于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级围岩(土层及软弱围岩)防水混凝土,设计抗渗等级应符合表 1-3 的规定。

表 1-3 防水混凝土设计抗渗等级

工程埋置深度/m	设计抗渗等级
<10	P6
10~20	P8
20~30	P10
>30	P12

1.1.3 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质,用热导率(导热系数) λ 表示,按式(1-16)计算。

$$\lambda=\frac{Qa}{At(T_2-T_1)} \tag{1-16}$$

式中, λ 为热导率[W/(m·K)]; Q 为传导的热量(J); a 为材料厚度(m); A 为热传导面积(m²); t 为热传导时间(h); T_2-T_1 为材料两侧温度差(K)。

热导率的取值通常为 0.023~400 W/(m·K)。热导率值越小,材料的导热性能越差,保温隔热性能越好。材料的热导率受以下因素影响。

(1)材料的化学组成和物理结构。一般地,金属材料、无机材料、晶体材料的热导率分别大于非金属材料、有机材料、非晶体材料的热导率,即 $\lambda_{\text{金属}} > \lambda_{\text{非金属}}, \lambda_{\text{无机}} > \lambda_{\text{有机}}, \lambda_{\text{晶体}} > \lambda_{\text{非晶体}}$ 。

(2)孔隙率与孔隙特征。材料的孔隙越多,热导率越小。空气的热导率 [$\lambda_{\text{空气}} \leq 0.023$ W/(m·K)] 远远小于固体物质的热导率。

当孔隙率相同时,由微小而封闭孔隙组成的材料可以减少或避免材料孔隙内的热的对流传导,其热导率低于由粗大而连通孔隙组成的材料。

(3)含水状况及导热时的温度。材料受潮后其导热能力将明显增加,因为水的热导率为 0.58 W/(m·K),比空气的热导率约大 25 倍;当材料受冻后导热能力更强,因为冰的导热系数 [$\lambda=2.33$ W/(m·K)] 比空气约大 100 倍。对于除金属外的大多数建筑材料,热导率会随导热时温度的升高而增大。

人们常把防止材料内部热量的散失称为保温,把防止材料外部热量的进入称为隔热,将保温隔热统称为绝热,并将 $\lambda \leq 0.15$ W/(m·K) 的材料称为绝热材料。

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。热容量的大小用比热容 c 表示。比热容为单位质量(1 g)材料温度升高或降低(1 K)所吸收或放出的热量,按式(1-17)计算。

$$c=\frac{Q}{m(T_2-T_1)} \tag{1-17}$$

式中, c 为材料的比热容[J/(g·K)]; Q 为材料吸收或放出的热量(J); m 为材料的质量(g); T_2-T_1 为材料受热或冷却前后的温差(K)。

材料的热导率和比热容是设计建筑物维护结构、进行热工计算时的重要参数,选用热导率小、比热容大的材料可以节约能耗并长时间地保持室内温度的稳定。常见建筑材料的热导率和比热容见表 1-4。

表 1-4 常用建筑材料的热导率和比热容指标

材料名称	热导率/ [W/(m·K)]	比热容/ [J/(g·K)]	材料名称	热导率/ [W/(m·K)]	比热容/ [J/(g·K)]
建筑钢材	58	0.48	普通黏土砖	0.80	0.88
花岗岩	3.49	0.92	泡沫塑料	0.035	1.30
普通混凝土	1.51	0.84	冰	2.33	2.05
水泥砂浆	0.93	0.84	水	0.58	4.19
黏土空心砖	0.64	0.92	密闭空气	0.023	1.00

3. 耐火性与耐燃性

1) 耐火性

耐火性又称耐热性,是指材料在火焰和高温的长时间作用下,保持其结构或形状不破坏、性能不明显下降的性质。通常材料在高温作用下会发生以下两种变化。

(1)受热变形。材料受热后要发生热膨胀导致形状或体积的改变,严重时会引起结构的破坏。例如,钢材受热达 350 ℃ 以上时,其抗拉强度显著降低,钢结构会因产生过大的变形而失去稳定;水泥混凝土在 300 ℃ 以上时,水泥石将脱水收缩,集料受热膨胀,因此混凝土长期在 300 ℃ 以上环境中工作会导致结构破坏。

(2)受热变质。一些材料长期在高温作用下会发生性质的改变。例如,石灰石、大理石等碳酸盐类矿物在 900 ℃ 以上时分解生成氧化物并放出二氧化碳气体;氢氧化钙在 600 ℃ 以上时失水并生成氧化钙;木材长期受热将发生碳化甚至燃烧等。

材料的耐火性用耐火极限表示,即材料从受到火的作用时起,到失去支持能力或完整性被破坏或失去隔火作用时止的这段时间,单位是小时(h)。常见材料的极限耐火温度见表 1-5。

表 1-5 常见材料的极限耐火温度

材 料	温度/℃	备 注
石灰岩、大理石	750	开始分解温度
花岗岩	575	相变发生急剧膨胀温度
普通黏土砖砌体	500	最高使用温度
普通混凝土	200	
普通钢筋混凝土	200	
	500	火灾时最高允许温度
预应力混凝土	400	
钢材	350	
木材	260	火灾危险温度

2)耐燃性

耐燃性是指在发生火灾时,材料可否燃烧及燃烧的难易程度的性质。按耐燃性的不同将材料分为非燃烧材料、难燃烧材料和燃烧材料三类。

(1)非燃烧材料,即在空气中受高温作用不起火、不微燃、不炭化的材料。无机材料均为非燃烧材料,如玻璃、陶瓷、混凝土、钢材、铝合金材料等。但是,玻璃、混凝土、钢材、铝材等受火焰作用会发生明显的变形而失去使用功能,因此它们具有良好的耐燃性但却是不耐火的。

(2)难燃烧材料,即在空气中受高温作用难起火、难微燃、难炭化,当火源移走后燃烧会立即停止的材料。难燃烧材料多为以可燃材料为基体的复合材料,如沥青混凝土、水泥刨花板等材料,它们可以推迟起火时间或缩小火灾蔓延的范围。

(3)燃烧材料,即在空气中受高温作用会自行起火或微燃,当火源移走后仍能继续燃烧或微燃的材料,如木材及大部分有机材料。

耐燃性与耐火性是两个不同的概念,耐燃性的材料不一定耐火,耐火的材料一般都耐燃。如钢材是耐燃材料(不燃烧性材料),但为非耐火材料,其耐火极限仅为 0.25 h,即在高温作用下,在短时间内就会变形、熔融。

根据我国《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)的规定,民用建筑的耐火等级建筑物构件的燃烧性能和耐火极限不应低于表 1-6 的规定。

表 1-6 建筑物构件(部分)的燃烧性能和耐火极限

构件名称		耐火等级			
		一级	二级	三级	四级
墙	防火墙	非燃烧体 3.00	非燃烧体 3.00	非燃烧体 3.00	非燃烧体 3.00
	承重墙	非燃烧体 3.00	非燃烧体 2.50	非燃烧体 2.00	难燃烧体 0.50
	非承重外墙	非燃烧体 1.00	非燃烧体 1.00	非燃烧体 0.50	燃烧体
	房间隔墙	非燃烧体 0.75	非燃烧体 0.50	难燃烧体 0.50	难燃烧体 0.25
	楼梯间和前室的墙、电梯井的墙、住宅单元之间的墙和分户墙	非燃烧体 2.00	非燃烧体 2.00	非燃烧体 1.50	难燃烧体 0.50
	疏散走道两侧的隔墙	非燃烧体 1.00	非燃烧体 1.00	非燃烧体 1.00	难燃烧体 0.25

续表

构件名称	耐火等级			
	一级	二级	三级	四级
柱	非燃烧体 3.00	非燃烧体 2.50	非燃烧体 2.00	难燃烧体 0.50
梁	非燃烧体 2.00	非燃烧体 1.50	非燃烧体 1.00	难燃烧体 0.50
楼板	非燃烧体 1.50	非燃烧体 1.00	非燃烧体 0.50	燃烧体
屋顶承重构件	非燃烧体 1.50	非燃烧体 0.50	燃烧体 0.50	燃烧体
疏散楼梯	非燃烧体 1.50	非燃烧体 1.00	非燃烧体 0.50	燃烧体
吊顶(包括吊顶格栅)	非燃烧体 0.25	难燃烧体 0.25	难燃烧体 0.15	燃烧体

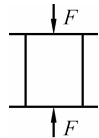
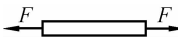
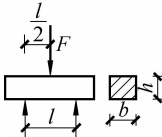
1.2 材料的力学性质

1.2.1 强度、强度等级、比强度

1. 强度

强度是材料在应力(荷载)作用下抵抗破坏的最大能力。根据外力作用方式的不同,材料强度有抗压、抗拉、抗剪、抗弯或抗折强度等。工程上,材料的强度值大多在特定条件下,采用标准试件静力破坏试验法来测定。即将预先制作的标准试件放置在材料试验机上,施加外力(荷载)直至试件破坏,根据试件尺寸和破坏时的荷载值计算出材料的强度。材料在各种状态下的受力特点和计算方法见表 1-7。

表 1-7 材料静力强度示意图及计算公式

强度/MPa	受力示意图	计算公式	备 注
抗压强度 f_c		$f_c = \frac{F}{A}$	F ——破坏荷载(N) A ——受荷面积(mm^2) l ——跨度(mm) b ——断面宽度(mm) h ——断面高度(mm)
抗拉强度 f_t		$f_t = \frac{F}{A}$	
抗剪强度 f_v		$f_v = \frac{F}{A}$	
抗弯强度 f_m		$f_m = \frac{3Fl}{2bh^2}$	

材料的矿物组成成分、组成构造或构造中的裂隙分布等不同,材料将具有不同的强度特性,如混凝土、石材、砖等的抗压强度高而抗拉强度相对较小,这类材料不适于做受弯构件;而钢材的抗压和抗拉强度则近乎相等,工程中主要用作结构材料和钢筋混凝土的配筋,有着良好的工程适用性。

此外,材料的强度还受试验条件的影响。例如,进行岩石抗压强度试验时,同一种岩石,试件的形状相同时,尺寸越大(高宽比越大),强度值越小;试验时的加荷速度越快,强度值越大;含水状态不同,强度测定值不同,通常干燥状态下的强度要大于水饱和状态下的强度,水饱和状态下的强度又要大于冻融循环状态下的强度;同样的材料,表面粗糙时的强度测定值大于表面光滑时的强度测定值。

常用建筑材料的强度值见表 1-8。

表 1-8 常用建筑材料的强度值

材 料	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa	抗折强度/MPa
花岗岩	100~250	5~8	10~14
普通混凝土	5~60	1~9	—
建筑石膏	2.9~4.9	—	1.8~2.5
玻璃	600~1 200	40~800	—
松木(顺纹)	30~50	80~120	60~100
钢材	240~1 500	240~150	—

2. 强度等级

强度等级是人为地将材料按强度特性所进行的分级。在结构中主要承受压力的材料通常以抗压强度来划分强度等级,如水泥混凝土、建筑砂浆;在建筑物中主要承受拉力的材料通常以屈服强度来划分强度等级。

3. 比强度

比强度是指按单位质量计算的材料强度,其值等于材料的强度与其表观密度之比。比强度是衡量材料轻质高强的主要指标,比强度大则表明材料轻质高强,优质的材料必须具有较高的比强度。

通常在高层建筑结构、大跨度结构、软土地基结构中,宜选用比强度大的建筑材料。工程上几种常用材料的比强度见表 1-9。

表 1-9 常用材料的比强度

材料名称	表观密度/(kg·m ⁻³)	强度值/MPa	比强度
低碳钢	7 800	235	0.030 1
普通混凝土	2 400	30	0.012 5
烧结普通砖	1 700	10	0.005 9
松木	500	34	0.068 0

1.2.2 弹性和塑性

1. 弹性

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称为弹性,在弹性变形范围内产生的变形称为弹性变形或瞬时变形,变形值的大小 ϵ 与外力 σ 成正比,即

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (1-18)$$

式中, ϵ 为材料的应变; σ 为材料的应力(MPa); E 为材料的弹性模量(MPa)。

弹性模量是衡量材料抵抗变形能力的一个指标, E 值越大,材料越不易变形。

2. 塑性

材料在外力作用下产生变形,外力取消后仍能保持变形后的形状和尺寸,并且不产生裂缝的性质称为塑性,这种不能恢复的变形称为塑性变形或永久变形。

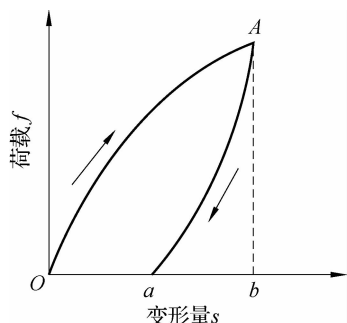


图 1-6 弹塑性材料变形曲线

不同的材料在外力作用下表现出不同的变形特征,单纯的弹性或塑性变形的材料都是不存在的。例如,低碳钢在较小的受力范围内仅产生弹性变形,随着外力增大直至超过弹性极限时,则不但出现弹性变形,而且出现塑性变形。对于沥青混凝土,在它受力开始,弹性变形和塑性变形便同时发生,除去外力后,弹性变形可以恢复,而塑性变形不能恢复。具有上述变形特征的材料称为弹塑性材料,其变形曲线如图 1-6 所示,图中 ab 表示可恢复的弹性变形, aO 表示不可恢复的塑性变形。

1.2.3 脆性和韧性

1. 脆性

材料在外力作用下达到一定值时,突然发生破坏并且无明显的塑性变形的性质称为脆性,具有这种性质的材料称为脆性材料。脆性材料的抗压强度通常要高于其抗拉和抗折强度数倍甚至数十倍,抵抗冲击或振动荷载的能力很差。大部分无机非金属材料如天然石材,陶瓷、玻璃、普通混凝土、砂浆等均属于脆性材料,其只适用于承受静压力作用的工程部位,如基础、墙体、墩座等。

2. 韧性

材料在冲击或动力荷载作用下,能吸收较多能量而产生较大塑性变形而不破坏的性质称为韧性或冲击韧性,以试件破坏时单位面积所消耗的功表示。

韧性材料的抗拉强度接近或高于其抗压强度,如建筑钢材、沥青混合料等属于韧性材料。建筑工程中,对于有承受冲击荷载和抗震要求的结构,如路面、桥梁、吊车梁等使用的材料,均应具有较高的韧性。

1.2.4 硬度和耐磨性

1. 硬度

硬度是材料抵抗其他硬物刻划或压入其表面的能力。不同材料的硬度测定方法不同。

天然矿物的硬度用刻划法确定,并按滑石、石膏、方解石、萤石、磷灰石、正长石、石英、黄玉、刚玉、金刚石的顺序,划分为 10 个硬度等级;木材、钢材等材料的硬度是用硬球或硬尖物体如圆锥或角锥压入测定的;混凝土、砖、建筑砂浆、金属等材料的硬度使用回弹法测定。

一般硬度大的材料耐磨性较强,不易进行再加工。

2. 耐磨性

耐磨性是材料表面抵抗磨损的能力,用磨耗率表示,按式(1-19)计算。

$$G=\frac{m_1-m_2}{A}$$

(1-19)

式中,G 为材料的磨耗率(g/cm²);m₁ 为材料磨损前的质量(g);m₂ 为材料磨损后的质量(g);A 为材料试件的受磨面积(cm²)。

强度较高且密实的材料,其硬度较大,耐磨性较好。在建筑工程中用于道路路面、广场道面、楼梯踏步等工程部位的材料均应考虑其硬度和耐磨性。

1.3 材料的耐久性

1. 耐久性的含义

耐久性是指材料在使用过程中,抵抗自身及外界环境各种因素及有害介质的作用,保持工作性能直到极限状态的性质。

耐久性是一项综合指标,包括抗冻性、抗渗性、抗化学侵蚀性、抗碳化性、大气稳定性、抗老化、耐磨性等多种性质。

2. 耐久性的影响因素

不同建筑材料的耐久性包含着不同的具体内容,如混凝土的耐久性主要是混凝土的抗渗性、抗冻性、抗腐蚀性和抗碳化性;建筑钢材的耐久性主要是指钢材的抗锈蚀性;沥青材料的耐久性主要取决于大气的稳定性和对温度的敏感性等。几种常用建筑材料的耐久性影响因素和评价指标见表 1-10。



图文
混凝土耐久性
实例分析

表 1-10 常用建筑材料的耐久性影响因素和评价指标

建筑材料	耐久性破坏因素	破坏原因	评价指标
水泥混凝土	压力水	渗透	抗渗等级
	水	冻融	抗冻等级
	酸、碱、盐	水泥石化学腐蚀	—
	CO ₂ 、H ₂ O	碳化	碳化深度
	碱-集料反应	水、过量碱、活性 SiO ₂	膨胀率

续表

建筑材料	耐久性破坏因素	破坏原因	评价指标
建筑钢材	H_2O 、 O_2 、 Cl^-	电化学腐蚀	电位锈蚀率
建筑石材	机械力、流水、泥沙	磨损	磨损值、磨光值
防水卷材	压力水	渗透	渗透系数

耐久性是在工程结构设计和选择建筑材料时必须重视和慎重考虑的问题。采用耐久性良好的材料,利于节省材料、降低工程造价、减少维修费用、延长结构物的使用寿命。



思考与练习

一、名词和符号解释

表观密度 软化系数 堆积密度 P_{10} 含水率

二、填空题

1. 材料的吸湿性是指材料在()中吸收水分的性质。
2. 水可以在亲水性材料表面铺展开,铺展开后的润湿角() 90° 。
3. 某岩石在气干状态、干燥状态、水饱和状态下测得的抗压强度分别为 174 MPa、178 MPa、168 MPa,该岩石()用于水下工程。
4. 如材料的质量已知,求密度、体积密度、表观密度时,应测定的体积分别为()体积、()体积、()体积。
5. 含水率为 7% 的砂 600 g,其含水质量为()g。

三、选择题

1. 材料在绝对密度状态下的体积为 V ,开口孔隙体积为 V_k ,闭口孔隙体积为 V_b ,材料干燥质量为 m ,则材料的密度为(),表观密度为(),毛体积密度为()。

A. m/V B. $m/(V+V_k)$ C. $m/(V+V_k+V_b)$ D. $m/(V+V_b)$
2. 密度是指材料在()下单位体积的质量。

A. 自然状态 B. 绝对体积近似值 C. 绝对密实状态 D. 松散状态
3. 材料抗渗性能高低主要取决于()。

A. 导热性 B. 闭口孔隙率 C. 抗压强度 D. 孔隙率
4. 衡量材料轻质高强性能的一个主要指标是()。

A. 抗压强度 B. 抗拉强度 C. 比强度 D. 抗剪强度
5. 通常材料的软化系数()时,可以认为是耐水的材料。

A. >0.95 B. >0.80 C. >0.75 D. >0.65

四、计算题

1. 某一块状材料的烘干质量为 102 g,自然状态下的体积为 40 cm^3 ,绝对密实状态下的体积为 39 cm^3 ,试计算该材料的密度、毛体积密度、密实度和孔隙率。
2. 称取松散密度为 1400 kg/m^3 的干砂 300 g,装入广口瓶中,再把瓶中装满水,称重为 835 g。已知空瓶加满水时的重量为 649 g,求该砂的表观密度和空隙率。

● 建筑石材

● 知识目标

了解石材的分类、特点及常用石材的工程应用。

掌握石材的技术性能及选用原则。

了解工程中常用的建筑石材的种类，掌握其应具备的基本技术性质。

掌握地铁车站用装饰石材应满足的技术要求，会正确选材。

2.1 建筑石材的分类及特点



图文
著名石结构
建筑

建筑石材是指具有一定的物理、化学性能,可用作建筑材料的岩石。石材作为一种建筑材料,在建筑工程中不仅作为基石用材、墙体用材、混凝土集料用材,还被用作建筑装饰材料,在工业与民用建筑、道路、桥涵、隧道、堤坝等各类土木建筑工程中都得到了广泛的应用。

按来源的不同,建筑石材可分为天然石材和人造石材两大类。

2.1.1 天然石材的分类及特点

1. 天然石材的分类

天然岩石是由各种不同地质作用形成的天然固态矿物集合体。天然石材是将开采到的天然岩石,不经过加工或只经过形状、尺寸和表面简单的物理加工而制得的块状材料。天然石材是人类历史上使用最久的建筑材料。

按地质形成条件的不同,天然石材可分为岩浆岩石材、沉积岩石材和变质岩石材三大类。

1) 岩浆岩

岩浆岩又称火成岩,是地壳内的熔融岩浆喷出地面后冷凝固结后形成的岩石。根据岩浆冷却程度的不同,岩浆岩可分为深成岩、浅成岩和火山岩三种。三种岩浆岩的成因、特性及常见岩浆岩见表 2-1。

表 2-1 三种岩浆岩的成因、特性及常见岩浆岩

分 类	成 因	特 性	常见岩浆岩
深成岩	地壳深处的岩浆在上部覆盖层压力的作用下经缓慢冷凝形成的岩石	结晶完整,块状构造。抗压强度高,吸水率小,表观密度大,抗冻性好	花岗岩、正长岩、橄榄岩、闪长岩、辉长岩等
浅成岩	浅成岩又称半深成岩。它介于深成岩与火山岩之间,具深成岩与熔岩中间结构的火成岩	不完整的结晶或玻璃质状。当岩浆形成较厚的岩层时,其性质与深成岩相似;形成较薄的岩层时,其性质与火山岩相似	安山岩、辉绿岩等
火山岩	火山爆发时,岩浆被喷到空中经急速冷却后形成的岩石	多孔玻璃质结构,表观密度小	玄武岩、火山灰、火山渣、浮石、火山凝灰岩等

2) 沉积岩

沉积岩又称水成岩,是由地表各类岩石经自然风化、风力搬运、流水冲刷等外力作用后,再经逐层沉积、重结晶而在地表及地表下不太深的地下形成的岩石。沉积岩是地壳表面分布最广的一种岩石。

沉积岩根据其生成条件的不同可分为化学沉积岩、机械沉积岩和有机沉积岩三种。三

种沉积岩的成因、特性及常见沉积岩见表 2-2。

表 2-2 三种沉积岩的成因、特性及常见沉积岩

分 类	成 因	特 性	常用沉积岩名称
化学沉积岩	岩石风化后溶解于水形成的溶液和胶体，经聚积、反应、重结晶、沉淀而形成	沉积岩的结构特征是呈层状构造，外观多层理，表观密度小，孔隙率和吸水率较大，强度较低，耐久性较差	石膏、白云岩
机械沉积岩	由自然风化后的岩石、碎屑在流水、风、雨、冰川、沉积等机械力的作用下重新压实或黏结而成的岩石		砂岩、页岩、砂、卵石
有机沉积岩	海水或淡水中的各种有机体死亡后的残骸沉积而成的岩石		生物碎屑灰岩、硅藻土

3)变质岩

变质岩是由原有岩石经变质后形成的岩石。即地壳中原有的各类岩石，在地层的压力或温度作用下，在固体状态下发生再结晶作用，而使其矿物成分、结构构造以至化学成分发生部分或全部改变而形成的新岩石，如大理岩、石英岩、片麻岩等。

变质岩的性能取决于变质的原岩。一般地，沉积岩变质后结构较原岩石致密，性能变好；而岩浆岩变质后，有时其构造不如原岩石坚实，性能变差。例如，石英岩十分耐久，用于主要建筑的饰面、地面、踏步等；片麻岩易风化，只能用于不重要的结构。

2. 天然石材的特点

- (1)资源丰富，便于就地取材。
- (2)结构密实，抗压强度高，耐久性、耐磨性好。
- (3)加工困难，自重大，开采和运输不够方便。

2.1.2 人造石材的分类及特点

人造石材是用无机或有机黏结料、矿物质原料及各种外加剂人工配制而成的仿天然石材制品。工程中常用的人造石材是以大理石碎料、石英砂、石粉等为集料，以树脂、聚酯等聚合物或水泥为黏结剂，在真空条件下经强力拌和振动、加压成形、打磨抛光及切割等工序制成的板材。

人造石材是近几年新出现的一种新型建材，它是代替天然大理石和木材的首选产品。人造石材因具有性能、形状、花色图案的可设计性，受到众多消费者的青睐，得到广泛的应用。

1. 人造石材的分类

按照生产所用的原料不同，人造石材可分为以下四类。

- (1)水泥型人造石材。水泥型人造石材是以白水泥、普通水泥为黏结材料，与破碎的大理石和大理石粉、颜料等配制拌和成混合物料，经浇捣成形、养护等工序制成。
- (2)树脂型人造石材。树脂型人造石材是以不饱和聚酯树脂为黏结剂，配以天然大理石

或方解石、白云石、硅砂、玻璃粉等无机粉料,以及适量的阻燃剂、颜料等,经浇捣成形、固化、脱模、烘干、抛光等加工工序制成。

(3)复合型人造石材。复合型人造石材是以水泥等无机胶凝材料将碎石、石粉等集料黏结成形并硬化,再将硬化体浸渍于有机高分子树脂材料中,使其在一定条件下集合而成的人造材料。复合型人造石板是目前普遍使用的人造石材。

(4)烧结型人造石材。烧结型人造石材是将长石、石英、辉绿石、方解石等粉料和赤铁矿粉,以及一定量的高岭土共同混合,一般配比为石粉 60%、黏土 40%,采用混浆法制备坯料,用半干压法成形,再在窑炉中以 1 000 ℃左右的高温焙烧而成。烧结型人造石材的装饰性好,性能稳定,但需经高温焙烧,因而能耗大、造价高。

目前使用最广泛的是以不饱和聚酯树脂为黏结剂而生产的树脂型人造石材,其又称聚酯合成石。不饱和聚酯树脂具有黏度小、易于成形、光泽好、颜色浅、固化快、常温下可操作性强等优点,具有稳定的物理和化学性能,工程适用范围很广。

2. 人造石材的特点

(1)花色纹理仿真性强,品种多,质感好,可以配合不同的家居色彩和装修档次使用。

(2)不存在色差,重量轻,耐污染、耐腐蚀,耐久性好。

(3)施工便捷,无缝拼接,整体性好。在装饰较长的台面或转角处,人造石材可按设计的形状和尺寸切割、拼接,经过打磨抛光处理,可实现无缝对接,整体效果好。

(4)利于环保。构成人造石材的各种成分都具有环保性,可直接与食物接触。

(5)易老化,不宜用于工程的外部结构。在大气中的自然因素条件下,人造石材中的有机高分子材料抗老化能力差,不宜用于室外装修工程。

跟踪自测

1. 天然石材质量大,抗压强度(),开采和运输难度大。

2. 人造石材的花色纹理仿真性(),不存在色差,但在大气中的抗老化能力()。它不宜用作工程的()部结构材料,也不宜用于()装修工程。

2.2 天然石材的技术性质及工程应用

石材在使用前必须进行技术性质的检验和鉴定,只有符合设计和施工要求的石材方可用于工程。本节重点介绍天然石材的相关知识。

2.2.1 天然石材的技术性质

天然石材的技术性质取决于岩石的地质成因、矿物成分等因素,其中所含有的杂质对其技术性能也有不同程度的影响。因此,同一种岩石,其技术性质可能会有不同程度的差异。天然石材的技术性质主要包括物理性质、力学性质、耐久性和工艺性等。

1. 物理性能

1) 表观密度

石材的表观密度取决于其矿物组成和结构孔隙率。表观密度影响石材的抗压强度和耐久性。通常情况下,同种石材表观密度越大,抗压强度越高,吸水率越小,耐久性越好,导热性越好。

2) 吸水性

石材的吸水性主要取决于石料造岩矿物的性质及其组成的结构状态,即孔隙大小、孔隙的形态和分布情况等。

深成岩及许多的变质岩的孔隙率都很小,因而其吸水率也小。例如,花岗岩的吸水率通常小于0.5%;致密的石灰岩的吸水率小于1%。

3) 耐水性

用于任何工程或工程任何部位的石材都必须具有较高的耐水性、较小的吸水率。

石材的耐水性以软化系数表示,并按软化系数值的大小分为高、中、低三等。软化系数大于0.9的为高耐水性石材;软化系数0.7~0.9的为中耐水性石材;软化系数小于0.7的为低耐水性石材。一般地,软化系数低于0.8的石材不允许用于主要建筑中。

4) 耐热性

石材的耐热性与其化学成分和矿物组成有关。例如,含石膏的石材在100℃时开始分解;含碳酸钙的石材在827℃时开始分解破坏。石英与其他矿物所组成的结晶石材如花岗岩等在700℃以上发生晶型转变而使体积膨胀,强度下降。

5) 导热性

石材的导热性用热导率(导热系数)表示,热导率越大则导热性能越强。石材的开口孔隙越多,热导率越小。相同成分的石材,玻璃态的热导率比结晶态的小。

2. 力学性质

1) 抗压强度

石材的抗压强度与矿物组成、结构及构造特征有关。作为结构材料或圬工砌体材料,石材必须具有较高的结构密实性、抗压强度和较强的抗风化性能。

2) 耐磨耗性

石材的磨耗率是指石料抵抗冲击、边缘剪切和摩擦等综合作用的性能,也是评定石料等级的依据之一。在车辆等各种荷载或水流、泥沙等的碾压和冲刷作用下,石材必须具有较高的耐磨耗性,以确保整体结构的耐久性。石材的磨耗率越小,耐磨耗性越强。一般地,抗压强度高的石材,其耐磨耗性较好。

3) 坚固性

坚固性是指石材在自然风化和其他外界物理、化学因素作用下抵抗破裂的能力,是对石材耐候性的一种快速、简易的检验。

3. 工艺性

石材的工艺性是指其开采和加工过程的难易程度及可能性,包括加工性、磨光性、抗钻性。

1) 加工性

加工性是指对岩石劈裂、破碎、磨光和抛光等加工工艺的难易程度。凡是强度、硬度、韧性高的石材,其加工性能较差;质脆粗糙,有颗粒交错结构或含有层片状构造及风化的岩石,可加工性能都差。

2) 磨光性

磨光性是指石材能否磨成平整光滑表面的性质。一般具有致密、均匀、细粒结构的岩石,磨光性都较好;而结构疏松多孔的有鳞片状构造的岩石,磨光性都较差。

当岩石用作水泥混凝土或沥青混合料的集料,或用作地面等的装饰材料时,必须具有较高的耐磨光性能,以保证交通的安全性和装饰的美观性。

3) 抗钻性

抗钻性是指对石材进行钻孔加工的难易程度。岩石的结构越密实、强度越高,抗钻性越好。

4. 耐久性

石材的耐久性包括抗冻性、抗蚀性、抗风化性和使用年限。在水、大气、酸碱性的环境介质等的作用下,石材的性能不破坏、使用年限越长,其耐久性越好。

一般地,结构致密、吸水率小的石材,其抗冻性、抗渗性和抗腐蚀性相对较强。对于吸水率小于 0.5% 的石材,可不进行抗冻性试验。

2.2.2 天然石材的工程应用及选用原则

1. 天然石材的工程应用

天然石材在土木建筑工程中主要有以下几个方面的用途。

(1) 石砌体材料。各类片石、料石等块石材料用作石砌体材料,主要用于砌筑基础、桥涵、堤坝河岸和隧道衬砌等辅助工程。

(2) 集料。石材经破碎筛分后得到的不同规格的碎石、卵石等散粒状材料,可用作水泥混凝土、沥青混合料、碎石稳定土等各类混凝土和稳定材料的集料,从中起着骨架、支撑和填充的作用。

(3) 装饰材料。在各类建筑工程和带有美化及艺术效果的场合,装饰材料作为饰面材料。

2. 天然石材的选用原则

(1) 适用性。适用性是指选用石材时,要考虑石材在具体工程中的结构部位和主要作用。例如,在基础、勒脚、柱、墙等部位起承重作用的石材,要考虑其强度等级、耐久性、抗冻性等技术性能;维护结构用的石材应考虑是否具有良好的绝热性能;用作地面、台阶等部位的石材要求坚韧耐磨;用作饰面板、栏杆、扶手等起装饰作用的构件,要考虑石材的色泽与环境的协调性和石材本身的可加工性;而对处于高温、高湿、严寒等特殊条件下的构件,则要考虑石材的耐水性、抗冻性和耐化学腐蚀等耐久性能。

(2) 经济性。选择和使用石材尽量综合考虑利用地方资源,尽可能做到就地就近取材,以降低工程成本。对于天然石材而言,因其密度大、硬脆,则不适宜长途运输。

(3) 安全性。考虑到天然岩石内含有的放射性元素对人体所造成的危害,选用天然石材时,应有放射性检验合格证明或检测鉴定。作为装饰材料用的天然石材按放射性水平可分



图文
石材装饰工程
中的通病

为 A、B、C 三类,A 类产品最安全,可用于任何场合;B 类产品不可用于建筑物(如住宅、公共生活用房),但可用于构筑物;C 类产品需限制其销售,只能用于居民点以外的路基、涵洞、水坝等构筑物。

跟踪自测

1. 天然石材经破碎筛分后,可用作水泥混凝土、沥青混合料等混合料的()料,从中起着()、支撑和填充的作用。
2. 装饰材料用的天然石材按放射性水平可分为 A、B、C 三类,()类最安全,可用于任何场合;放射性超过 C 类的岩石,只能用于海堤、桥墩等()的地方。

2.3 常用的天然石材

2.3.1 建筑工程中常用的天然石材

建筑工程中常用的天然石材应具备的技术性质和在工程中的应用详见表 2-3。

表 2-3 建筑工程中常用的天然石材

岩石类别	岩石名称	性 质	应 用
岩浆岩类	花岗岩	孔隙率小,结构致密(体积密度为 2 600~2 800 kg/m ³),抗压强度为 120~250 MPa;吸水率小于 1%;化学稳定性好,不易风化变质;耐酸性很强;耐久性好。其中的细粒花岗石可使用 500~1 000 年,粗粒花岗石可使用 100~200 年	基础、挡土墙、勒脚;室内外墙面、地面、柱面装饰;纪念碑、纪念馆等高级建筑的外饰面材料;公共交通建筑的饰面装饰工程
	玄武岩	孔隙率较低,结构致密,抗压强度较高;脆性大,抗冲击性差;抗风化性较强	可用于基础、桥梁等石砌体
	火山灰、浮石	轻质多孔结构	火山灰可用作水泥的混合材;浮石可用作轻集料混凝土的轻质集料
沉积岩类	普通石灰岩	结构密实,孔隙率低,抗压强度较高;硬度小,开采加工容易	可用于基础、墙体、挡土墙等石砌体,不得用于酸性水中
变质岩类	大理岩	结构致密,其体积密度可达 2 700 kg/m ³ ;吸水率不超过 1%;抗压强度为 100~150 MPa;耐久性较好	公共建筑室内墙面、柱面、地面;楼梯栏杆、窗台板、卫生间的洗漱台面等;用于制作大理石壁画、工艺品
	石英岩	结构致密均匀,抗压强度高;质地坚硬,耐久性很强,使用寿命可达千年以上	建筑砌筑或用于饰面

2.3.2 装饰工程中常用的天然石材

1. 天然花岗岩

用于建筑装饰工程中的花岗岩是由天然花岗石加工成的板材或块材。

花岗岩是典型的火成岩,是全晶质岩石,其主要成分是石英、长石和少量的暗色矿物和云母。按结晶颗粒大小的不同,其分为细粒、中粒和粗粒等。颜色呈灰色、黄色、蔷薇色、红色等。

优质花岗岩的石英含量多达 20%~40%,云母含量少,晶粒细而匀,结构紧密,不含其他杂质,抛光后光泽明亮,不易风化,色调鲜明,花色丰富,庄重大方。

花岗岩比大理石密度大,抗压强度高,孔隙率、吸水率极低,材质硬度高,其耐磨、耐久、耐腐蚀性能均优于其他石材。花岗岩经抛光后,是室内外地面、墙面、踏步、柱石、勒脚等处首选的装饰材料。

2. 天然大理石



图片
大理石装饰

天然大理石是石灰岩或白云岩在地壳内经过高温高压作用形成的变质岩,多为层状结构,有明显的结晶,纹理有斑纹、条纹之分,是一种富有装饰性的天然石材。

天然大理石化学成分为碳酸钙或碳酸镁等碳酸盐,矿物成分为方解石或白云石,纯大理石为白色,当含有部分其他深色矿物时,便产生多种色彩与优美的花纹。从色彩上来说,天然大理石有纯黑、纯白、纯灰、墨绿等数种;从纹理上说,天然大理石有晚霞、云雾、山水、海浪等山水图案、自然景观。

天然大理石的抗压强度较高,但硬度并不太高,易于加工雕刻与抛光。

应该特别注意的是,当大理石长期受雨水冲刷,特别是受酸性雨水冲刷时,可能使其表面的某些物质被侵蚀,从而失去原貌和光泽,影响装饰效果,因此大理石多用于室内装饰装修工程。

2.4 地铁车站地面装饰用石材

2.4.1 地铁车站地面对装饰材料的要求

(1)防滑性能。由于地铁车站具有较高的交通客流量,因此,地面装饰石材必须具有较强的防滑性,以保证乘客的安全。

(2)工艺性。用于地铁站台内的装饰石材应具有良好的可加工性,满足饰材角度偏差、平度偏差、棱角缺陷等技术指标要求;满足表面色彩和光泽度、色差、色斑等指标要求,纹理自然美观,工程设计的表现效果好,观赏性强。

实际工程中,应严格控制色差和水渍现象。在满足防滑系数要求时,尽量提高光泽度,以满足观感效果。

(3)安全性。岩石用于地铁车站做装饰材料,除了应满足放射性要求外,对用于地铁或隧道内部的装饰石材还必须满足安全性要求,即必须具有较高的防火性能。规范规定所有用于地铁内部装饰的材料防火等级必须达 A 级。

(4)经济性。天然石材的结构密实,密度大,开采、加工和运输都很不方便,且运费较高。

在选材和开采加工中,应综合考虑地方资源,尽量就地选材,降低工程成本。

2.4.2 用于地铁车站地面装饰的石材

1. 花岗岩

花岗岩用于工程具有以下特点。

- (1) 石材花色多样,天然花纹美丽,质感细腻,可选择性强。
- (2) 硬度高,耐磨性好,磨损后观感不变。
- (3) 可加工性强。花岗岩适合现场加工,可进行切割、磨边、倒角、开口打眼等加工;可加工成弧形板等异型材。
- (4) 孔隙率和吸水率小,且不易风化,能用于户外装饰。
- (5) 相对密度大,施工中搬运和加工难度都较大。

2. 人造石材

与天然石材相比,人造石材具有以下特点。

- (1) 色泽一致,不易出现色差。
- (2) 可大批量供货,保证工期。
- (3) 耐磨性满足不了地铁客流的要求。
- (4) 部分满足不了消防防火要求,价格较高。

知识拓展

(1) 花岗石、大理石、水磨石饰面板须成捆运输,每捆最多 10 块(400 mm×400 mm),且须用草绳或其他绳索捆紧扎牢。捆内板块要光面相对且须用质细、坚韧的整纸垫隔,以免损坏表面光泽;每捆的规格、花色必须相同,并须注明编号。

(2) 运输及搬运过程中严禁摔掷、碰撞,尤其要注意保护板的棱角。装车时要紧密稳固,空隙处用纸垫实、塞实,严禁松动、冲撞。木箱包装的饰面板如使用机械装卸,一次起吊以不超过两箱为宜,并须轻起轻落,以防损坏包装。

(3) 散装的大型饰面板须直立搬运,下放时须使背面棱先着地。吊运或抬运时,受力处应加衬垫。

(4) 饰面板不宜露天存放,宜存于库内。成捆成箱者须将同种规格、品种、花色、编号者存于一处,以免混乱。堆码高度不宜超过 1.6 m。

(5) 散置饰面板应直立堆垛,并使光面相对,按顺序倾斜放置,倾斜度不应大于 15°,底层与每层间须用弹性材料支垫。花岗石饰面板垛高不得超过 1.7 m,大理石、水磨石不宜超过 1.6 m。

思考与练习

一、名词解释

天然石材 人造石材 磨耗率 磨光性

二、填空题

1. 建筑石材可分为()石材和()石材两大类。
2. 石材的耐水性按()系数值的大小分为高、中、低三等。
3. 石材的吸水性主要取决于石料造岩矿物及其组成的()状态,即孔隙大小、孔隙形态和分布情况等。
4. 石材的表观密度越大,抗压强度越(),吸水率越(),耐久性越好。
5. 用于道路工程路面的石材应该具有()的磨光值。

三、选择题

1. 大理石不适于用作()装饰装修工程。
A. 墙面
B. 柱面及磨损较小的地面
C. 踏步
D. 外墙面
2. 花岗岩主要用于()、勒脚、踏步地面。
A. 基础
B. 挡土墙
C. 外墙饰面雕塑
3. 下列天然石材中,使用年限最长的是()。
A. 花岗岩
B. 大理石
C. 石灰岩
D. 砂岩
4. 规范规定所有用于地铁内部装饰的材料防()等级必须达 A 级。
A. 水
B. 火
C. 冻
D. 滑
5. 用于地铁站地面装饰的石材,不需考虑()。
A. 抗滑性能
B. 工艺性
C. 安全性
D. 经济性
E. 抗冻性
6. 与天然石材相比,人造石材若用作地铁站地面的装饰,具有()缺点。
A. 不易出现色差
B. 货源不足,影响工期
C. 耐磨性满足不了地铁客流的要求
D. 可加工性差
7. 下列选项中,用于建造永久性工程、纪念性建筑的良好材料是()。
A. 大理石
B. 石灰岩
C. 花岗岩
D. 砂岩

四、简答题

1. 天然石材的特点有哪些?
2. 人造石材的特点有哪些?
3. 石材的选用原则是什么?
4. 地铁站地面对装饰石材有哪些要求?

• 无机胶凝材料

● 知识目标

了解各类水泥的定义、分类及组成材料。

理解水泥的凝结、硬化机理及影响凝结硬化的因素。

掌握硅酸盐水泥的技术性质要求、技术指标检测方法和检测结果的评价。

掌握水泥运输和保管方法。

理解石灰水化、凝结、硬化机理,石灰技术指标的含义及其工程意义。

掌握水玻璃模数与其黏结性能的关系,了解水玻璃在建筑工程中的应用。

在建筑工程中,通常使用水泥、石灰或沥青等材料,将块状材料(砖、石、砌块)和散粒状材料(砂、石子)黏结起来,形成具有强度的整体。这些起黏结作用的材料统称为胶凝材料。

按化学成分的不同,胶凝材料可分为有机胶凝材料(如沥青)和无机胶凝材料(如石灰、硅酸盐水泥)两大类。无机胶凝材料按凝结和硬化的条件不同,又可分为气硬性胶凝材料(如石灰、石膏、水玻璃等)和水硬性胶凝材料(如各种水泥)两大类。其中,气硬性胶凝材料只能在空气中凝结硬化、保持并继续发展其强度,适用于地上或相对干燥的环境中;而水硬性胶凝材料既能在空气中,又能更好地在水中凝结硬化、保持并继续发展其强度,可广泛用于地上、地下潮湿的环境或水中。

3.1 水硬性胶凝材料

工程上所用的水硬性胶凝材料通常是指各种水泥。水泥是粉末状的建筑材料,水泥加水拌和后所得到的浆体能将石材、砌块、砖等各种块材及砂、石等散粒材料黏结成有强度的整体,适用于地上、地下或有水的各种环境,广泛应用于工业与民用建筑、轨道交通、地下工程和隧道工程、水利水电和国防等各类工程建设中。

水泥的种类很多,按照矿物组成不同可分为硅酸盐类水泥、铝酸盐类水泥、硫铝酸盐类水泥等;按性能和用途不同可分为通用水泥、专用水泥和特性水泥等。其中,建筑工程中使用最多的是通用硅酸盐水泥。在《〈通用硅酸盐水泥〉国家标准第 1 号修改单》(GB 175—2007/XG1—2009)中规定,通用硅酸盐水泥是以硅酸盐水泥熟料和适量石膏及规定的混合材料制成的水硬性胶凝材料,简称通用水泥。

3.1.1 通用水泥

按混合材料的品种和掺量不同,通用水泥可分为硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥六种。

1. 通用水泥的生产

1) 生产原料

生产通用水泥的原料又称生料,主要包括石灰质和黏土质两大类。常用的石灰质原料包括石灰石、白垩等,主要提供 CaO ;常用的黏土质原料包括黏土、黄土等,主要提供 SiO_2 、 Al_2O_3 及 Fe_2O_3 。为了补充两种原料化学组成的不足,有时还要加入少量校正原料,如黄铁矿渣等。生产水泥的生料中四种氧化物 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 及 Fe_2O_3 的含量要求见表 3-1。

表 3-1 生产水泥的生料中各化学成分的含量范围要求

化学成分	含量范围/%	化学成分	含量范围/%
CaO	62~67	Al_2O_3	4~7
SiO_2	20~24	Fe_2O_3	2.5~6.0

2) 生产工艺

通用水泥的生产工艺可概括为“两磨一烧”,即生料的磨细、生料的煅烧和熟料的磨细三个步骤,工艺流程如图 3-1 所示。

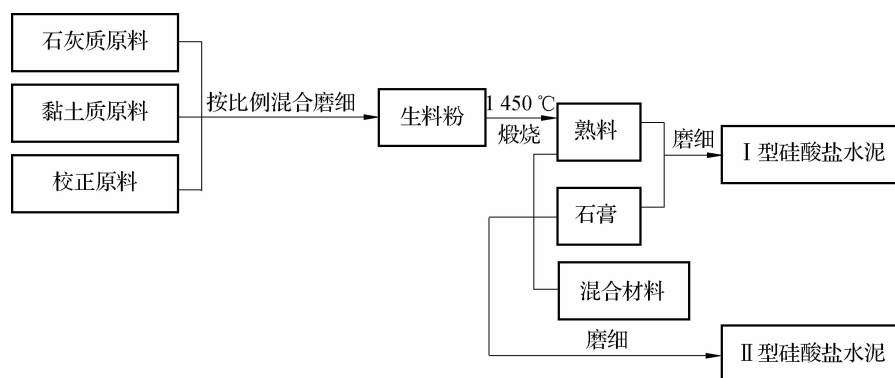


图 3-1 通用水泥的生产工艺流程

2. 通用水泥的组分与材料

1) 组分

通用水泥的组分详见表 3-2。

表 3-2 通用水泥各组分的百分

品 种	代 号	组 分				
		熟料+石膏	粒化高炉矿渣	火山灰质混合材料	粉煤灰	石灰石
硅酸盐水泥	P·I	100	—	—	—	—
	P·II	≥95	≤5	—	—	—
		≥95	—	—	—	≤5
普通硅酸盐水泥	P·O	≥80 且 <95	>5 且 ≤20			—
矿渣硅酸盐水泥	P·S·A	≥50 且 <80	>20 且 ≤50	—	—	—
	P·S·B	≥30 且 <50	>50 且 ≤70	—	—	—
火山灰质硅酸盐水泥	P·P	≥60 且 <80	—	>20 且 ≤40	—	—
粉煤灰硅酸盐水泥	P·F	≥60 且 <80	—	—	>20 且 ≤40	—
复合硅酸盐水泥	P·C	≥50 且 <80	>20 且 ≤50			—

2) 材料

(1) 硅酸盐水泥熟料。硅酸盐水泥熟料是指由生产通用水泥的原料(生料)于窑体中在高温下煅烧所得到的煅烧产物。这种煅烧产物是由主要含 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 的石灰质和黏土质原料磨成细粉后,在高温下发生化学反应所生成的一系列盐的混合物。熟料的主要矿物名称、简式和含量等见表 3-3。

表 3-3 硅酸盐水泥熟料的主要矿物名称、简式和含量

矿物名称	化 学 式	简 式	含 量
硅酸三钙	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	36%~60%
硅酸二钙	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	15%~38%
铝酸三钙	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	7%~15%
铁铝酸四钙	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	10%~18%



图片
建筑石膏的
应用

(2)石膏。石膏在水泥生产中起着缓凝剂的作用,主要用于延缓由铝酸三钙导致的水泥闪凝或假凝现象。

(3)活性混合材料。活性混合材料是一种或一类矿物材料的总称,其特点是将其磨成细粉后加水本身并不硬化,但与水泥或石灰等加水拌和后,既能在水中又能在空气中发生水化、凝结和硬化反应。

生产水泥时常用的活性混合材料主要有粒化高炉矿渣、火山灰质混合材料和粉煤灰。

①粒化高炉矿渣。粒化高炉矿渣是高炉冶炼生铁时浮在铁水表面的熔融物,经急冷处理后得到的质地疏松、多孔状的颗粒物质。其中,90%以上的化学成分是 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 ,少量的 MgO 、 FeO 和一些硫化物。粒化高炉矿渣磨成细粉后,其中的活性 SiO_2 和活性 Al_2O_3 可以与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 化合,生成具有胶凝性质的水化产物。

②火山灰质混合材料。火山灰质混合材料是天然的或人工的以 SiO_2 和 Al_2O_3 为主要成分的矿物质原料,如火山灰、凝灰岩、硅藻土、煤渣、煤矸石渣等。

③粉煤灰。粉煤灰是燃煤发电厂通过静电吸尘的方式,从煤粉炉烟道气体中收集到的灰色或浅灰色粉末状工业废渣。

粉煤灰的化学活性取决于所含的活性 SiO_2 、 Al_2O_3 和 CaO ,其中 CaO 是粉煤灰的主要活性成分。按 CaO 的含量不同又将粉煤灰划分为低钙粉煤灰(CaO 含量小于 10%)和高钙粉煤灰(CaO 含量高于 15%)。

与天然火山灰相比,粉煤灰具有结构致密、比表面积小的特点。

跟踪自测

1. 石膏在水泥生产中起着()剂的作用,但必须严格控制石膏的加入量,即一定要控制加入()量的石膏,否则过量的石膏会导致硬化水泥石的体积()性不良。

2. 生产水泥时掺加的活性混合材料主要有()、()、()三种。它们单独不能与水作用,但与水泥或()等拌和在一起加水拌和后既能在()中又能在空气中水化、凝结和硬化。

(4)非活性混合材料。非活性混合材料是指不具有活性或活性很低的人工或天然的矿物质材料,它们与水泥不起或仅起微弱的化学作用。常用的非活性混合材料主要有磨细的石英砂、石灰石、干黏土等,它们在水泥中起着调节水泥的强度等级范围、增加水泥产量、降低水泥水化热等作用。

此外,根据水泥生产的具体情况,有时还需加入适量的窑灰;粉磨水泥时还需加入不大

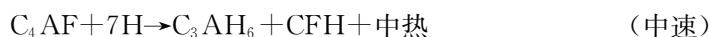
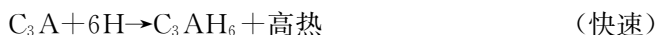
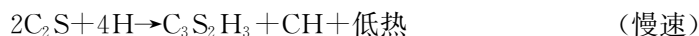
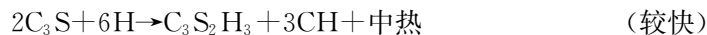
于水泥质量 0.5% 的助磨剂等。

3. 水化、凝结与硬化

1) 水化

水泥熟料与水的反应称为水化,水化反应过程如下。

(1) 水泥熟料的水化。水泥熟料的四种矿物成分分别与水发生反应,反应式如下。



在上述反应中, H 、 $C_3S_2H_3$ 、 CH 、 C_3AH_6 、 CFH 依次为 H_2O 、 $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ (水化硅酸三钙)、 $Ca(OH)_2$ (氢氧化钙)、 $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ (水化铝酸三钙)、 $CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot H_2O$ (水化铁酸钙) 的化学简式。

在四种水化产物中, C_3A 水化速度最快、放热量最多,但其水化产物 C_3AH_6 强度较低,这个反应常常会使水泥浆体出现假凝现象。为了控制 C_3A 的水化速度,避免出现假凝现象,生产水泥时通常要加入石膏,石膏起着延缓 C_3A 水化的“缓凝剂”的作用。

硅酸盐水泥熟料的四种矿物成分单独与水作用时所表现出的特性见表 3-4。

表 3-4 硅酸盐水泥熟料的四种矿物成分单独与水作用的特性

矿物组成		硅酸三钙 (C_3S)	硅酸二钙 (C_2S)	铝酸三钙 (C_3A)	铁铝酸四钙 (C_4AF)
与水的反应速度		较快	慢	快	中
水化热		中	低	高	中
强 度	早 期	优	差	良	良
	后 期	优	优	中	中
耐化学腐蚀性		中	良	差	优
干 缩 性		中	小	大	小

由表 3-4 可知,各种熟料矿物成分单独与水作用时所表现出的性质有所不同。实际生产中可通过改变生料的配料比例及各种矿物组分在熟料中的含量生产出不同性能的水泥。例如,提高 C_3S 含量,可生产出凝结硬化快、早期强度高的硅酸盐水泥;提高 C_3S 和 C_3A 的含量,可制得快硬硅酸盐水泥;提高 C_2S 含量并同时降低 C_3S 和 C_3A 的含量,可制得低热或中热硅酸盐水泥,其主要用于大型块状基础、水坝、桥墩等大体积混凝土构筑物的施工。

(2) 石膏的水化。试验表明,纯水泥熟料磨细与水拌和后,在很短的时间内即可凝结,不方便工程使用。为调节水泥的凝结时间,掺入适量的石膏,使其与凝结速度最快的铝酸三钙的水化产物作用,生成难溶的水化硫酸铝钙,覆盖在铝酸三钙的周围,阻止或减慢其水化速度,起到延缓水泥凝结的作用。石膏的水化反应为



石膏耗尽后进行以下反应。



上述水化产物钙矾石是体积较大的针状晶体,其少量生成可以填充水泥石结构中的空隙,提高水泥石的密实度;但当有较多量钙矾石生成时,会导致水泥石体积的不均匀膨胀,引起安定性不良。

综上所述,如果忽略一些次要和少量的成分,硅酸盐水泥水化后的主要五种水化产物见表 3-5。

表 3-5 硅酸盐水泥熟料的水化产物

水化产物	结构形态	性 能
水化硅酸钙(CSH),70%	凝胶体	胶凝性强,强度高,不溶于水
水化铁酸钙(CFH)	凝胶体	呈絮凝状,胶凝性差,强度低,难溶于水
氢氧化钙(CH),20%	板状晶体	强度较高,溶于水
水化铝酸钙(C_3AH_6)	立方晶体	强度低,溶于水
水化硫铝酸钙,7%	针状晶体	强度高,不溶于水,能提高水泥石早期强度

综合分析硅酸盐水泥的水化过程,可以得出以下结论。

①水化反应过程是一个放热过程。

②水泥反应体系是一个碱性体系。

③主要的水化产物是水化硅酸钙(CSH)(占 70%)和氢氧化钙(CH)晶体(占 20%),其中水化硅酸钙凝胶体(CSH)是提供水泥黏结强度的主要成分。

④石膏在水泥中起着缓凝剂的作用,但要控制加入适量的石膏,避免因石膏过量而引起水泥石的安定性不良。

(3)活性混合材料的二次水化。掺粉煤灰、火山灰质混合材料、粒化高炉矿渣等活性混合材料的水泥,其水化反应的特点是“二次水化”。当把上述三种水泥加水拌和后,首先是水泥中的熟料发生水化反应,即所谓的“一次水化”,其水化产物与硅酸盐水泥的水化基本相同;在有 $Ca(OH)_2$ 的条件下,活性混合材料发生水化反应,即所谓的“二次水化”,其水化产物为具有胶凝性质的水化硅酸钙和水化铝酸钙等。

掺活性混合材料的水泥的水化反应,是一次水化和二次水化交替进行、相互促进的化学反应过程,而凝结硬化过程与硅酸盐水泥基本相同。

2)凝结与硬化

水泥加水拌和后最初形成具有可塑性的浆体,随着水化产物的不断生成,浆体逐渐变稠至开始失去可塑性,这一过程称为初凝;当浆体稠度增大至完全失去可塑性并开始产生强度时,这一过程称为终凝。由初凝到终凝的过程称为凝结,终凝以后强度逐渐提高并变成坚硬的石状体(水泥石)的过程称为硬化。水泥的凝结硬化是一个连续而复杂的交错进行的物理化学变化过程。

硬化后的水泥石是由水化产物(凝胶体、结晶体)、未水化的水泥颗粒和水分蒸发形成的毛细孔、凝胶体中的凝胶孔组成。水泥石的强度主要取决于各水化产物的相对含量和孔隙的数量、大小、形状和分布情况,如图 3-2 所示。

3)影响水泥凝结硬化的主要因素

(1)水泥熟料的矿物组成。由图 3-3 可以看出,水泥各种熟料矿物成分单独与水作用时强度增长的速度是不相同的,因此,不同比例的矿物组成的熟料,在相同龄期条件下其强度发展速度也有所不同。

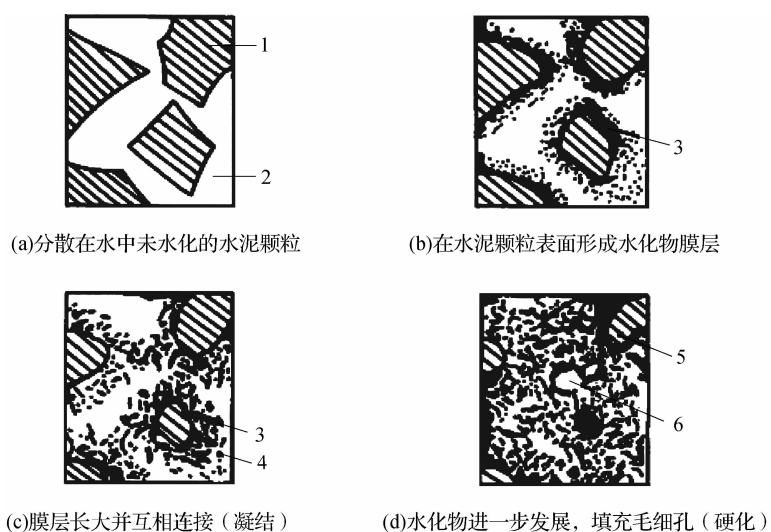


图 3-2 水泥凝结硬化过程

1—水泥颗粒；2—水分；3—凝胶；4—晶体；5—水泥颗粒的未水化的内核；6—毛细孔

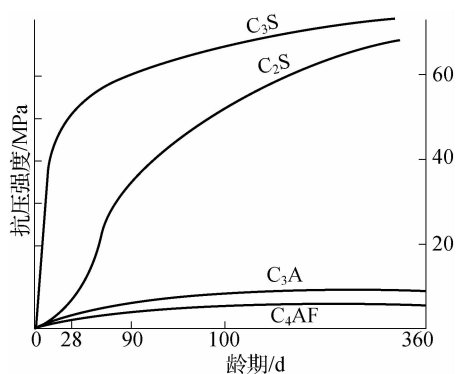


图 3-3 水泥熟料中不同矿物成分的抗压强度与龄期的关系

(2)水泥细度。细度即水泥颗粒的粗细程度。当熟料矿物成分相同时，水泥越细，比表面积越大，水化时与水的接触面积越大，水化越迅速、越充分，凝结硬化的速度越快，早期强度越高。

水泥颗粒小于 $40\ \mu\text{m}$ 时具有较高的水化反应活性，而大于 $100\ \mu\text{m}$ 时水化反应活性较低。

(3)拌和用水量。通常情况下，水泥水化的理论需水量占水泥质量的 $15\%\sim 25\%$ ，但为了满足拌合物流动性的要求，实际加水量通常高达水泥质量的 $40\%\sim 70\%$ 。加水量增多会使水泥浆变稀，利于水泥的水化反应；但多余的水分会增大水泥石结构的孔隙率，降低水泥石的强度。水胶比对水泥石强度的影响见表 3-6。

表 3-6 水胶比对水泥石强度的影响

水胶比 (W/B)	水泥石的孔隙率	强度变化
0.40	29.6%	渐低
0.70	50.3%	

实际施工中,在满足施工设计要求的条件下,应尽量采用较小的用水量或水胶比;若需增大混凝土的流动性,则应在不改变水胶比的前提下,增加水泥浆用量,切不可采取单独增加用水量的措施来提高拌合物的流动性,否则会使水泥石的强度、抗渗性和耐久性同时降低。

(4)石膏的掺量。生产硅酸盐水泥时,应根据试验掺入适量的石膏。石膏掺量过少,缓凝效果不明显;掺量过大,将会生成大量的体积膨胀的钙矾石晶体,导致水泥安定性不良。石膏的掺量主要取决于水泥中 C_3A 的含量和石膏的品种及质量,同时也与水泥细度和熟料中的 SO_3 含量有关。

(5)混合材料掺量。混合材料的掺量越多,水泥熟料的相对含量越少,水泥水化反应速度越慢,早期强度越低。

(6)养护条件。养护条件通常是指养护环境的温度和湿度。环境湿度越大,水泥水化凝结硬化速度越快,强度增长越快;在干燥的环境中,水泥不能充分水化和硬化,严重时会导致水分的蒸发导致硬化的水泥石结构表面产生裂缝。较高的环境温度利于水泥的水化、凝结和硬化。当温度低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,水泥的凝结硬化速度将大大减慢,当环境温度低于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,水化、凝结和硬化作用基本停止,强度也将停止增长,并且已形成的强度也会由于水结冰而遭到破坏。

(7)养护龄期。龄期是指从水泥加水拌和时起至实测水泥性能时止所经历的养护时间。龄期越长,水泥颗粒水化越完全,生成的水化产物越多,毛细孔隙越少,水泥石的强度也就越高,但通常是早期强度发展快而后期强度发展较慢。

《〈通用硅酸盐水泥〉国家标准第1号修改单》(GB 175—2007/XG1—2009)中规定,通用硅酸盐水泥的强度以龄期为 3 d、28 d 的抗压和抗折强度为衡量指标,并以 28 d 的抗压强度表示水泥的强度等级。

跟踪自测

1. 水泥颗粒越细,水化速度越();其他条件一定时,水胶比越大,水泥石强度越()。
2. 在良好的养护条件下,龄期越长,水泥石强度越();养护环境湿度越大,混凝土强度增长越()。
3. 掺活性混合材料的水泥水化时要进行()次水化,但抗酸性腐蚀能力较硅酸盐水泥()。

4. 通用水泥的技术要求和技术标准

1) 技术要求

(1) 化学性质。

① MgO 含量。 MgO 来源于生产水泥的原料。在生产水泥过程中, MgO 被高温煅烧成过火颗粒,水化速度很慢,过量的 MgO 会在水泥硬化后生成体积膨胀的氢氧化镁,导致水泥石结构出现裂缝甚至破坏。

② SO_3 含量。 SO_3 来源于生产水泥时掺入的石膏,或者煅烧水泥熟料时加入的石膏矿化剂。通常生产水泥时石膏掺量占水泥重量的 $3\%\sim 5\%$,以保证 SO_3 含量不超过 3.5% 。过量的石膏会产生大量的体积膨胀的钙矾石晶体,导致水泥石或混凝土结构出现裂缝甚至破坏。

③烧失量。烧失量是成品水泥再次煅烧时质量损失的百分率。水泥煅烧不完全或水泥受潮后,都会导致烧失量的增加。烧失量越大,水泥的黏结性能越差。

④不溶物。不溶物是指水泥中不发生水化反应的残渣。不溶物含量越高,水泥的黏结质量越差。

通用水泥的化学指标应符合表 3-7 的规定。

表 3-7 通用水泥的化学指标要求

品 种	代 号	不溶物 /%	烧失量 /%	三氧化硫 /%	氧化镁 (质量分数)/%	氯离子 (质量分数)/%
硅酸盐水泥	P·I	≤0.75	≤3.0	≤3.5	≤5.0 ^①	≤0.06 ^④
	P·II	≤1.50	≤3.5			
普通硅酸盐水泥	P·O	—	≤5.0			
矿渣硅酸盐水泥	P·S·A	—	—	≤4.0	≤6.0 ^②	
	P·S·B	—	—		—	
火山灰质 硅酸盐水泥	P·P	—	—	≤3.5	≤6.0 ^③	
粉煤灰硅酸盐水泥	P·F	—	—			
复合硅酸盐水泥	P·C	—	—			

①如果水泥压蒸试验合格,则水泥中氧化镁的含量允许放宽至 6.0%。

②水泥中氧化镁的含量大于 6.0%时,需进行水泥压蒸安定性试验并合格。

③当有更低要求时,该指标由买卖双方协商确定。

④水泥中碱含量按 $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值表示。若使用活性集料,用户要求提供低碱水泥时,水泥中的碱含量应不大于 0.06%或由买卖双方协商确定。

(2)物理性质。

①细度。细度是指水泥颗粒的粗细程度。细度直接影响水泥的需水量、凝结时间、强度、体积安定性。水泥颗粒越细,水化反应越快、越完全,早期强度越高。但水泥磨得越细、生产成本越高,且标准稠度用水量越大,在空气中的硬化收缩越大,越不易储存。

《〈通用硅酸盐水泥〉国家标准第 1 号修改单》(GB 175—2007/XG1—2009)规定:硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的细度以比表面积法表示,不小于 $300 \text{ m}^2/\text{kg}$;矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥的细度以筛余量表示,0.08 mm 方孔筛筛余量不大于 10%或 0.045 mm 方孔筛筛余量不大于 30%。细度不合格的水泥为不合格品。



视频
水泥的细度
试验

知 识 拓 展

(1)比表面积在 $400 \text{ m}^2/\text{kg}$ 以上的高强度等级的水泥,由于其颗粒比较细,凝结较快,水化热集中,对混凝土的体积稳定性有不利影响,使混凝土产生裂缝的可能性增加,所以使用时应慎重考虑。

(2)高速铁路高性能混凝土要求水泥细度不大于 $350 \text{ m}^2/\text{kg}$ 。

②标准稠度用水量。标准稠度是指标准维卡仪的试杆在水泥净浆中下落,距离玻璃底板(6 ± 1) mm时的净浆稠度。达到标准稠度时,所需的拌和水的质量占水泥质量的百分率为标准稠度用水量。

测定水泥的标准稠度用水量,可为测定水泥凝结时间和安定性两个指标提供标准稠度的水泥净浆。



视频
水泥凝结时间的测定

③凝结时间。水泥凝结时间分为初凝时间和终凝时间。初凝时间是由水泥全部加入水中至水泥浆呈现初凝状态所经历的时间,即标准初凝试针沉入水泥净浆至距玻璃底板3~5 mm时所经历的时间;终凝时间是由水泥全部加入水中至终凝状态所经历的时间,即标准终凝试针沉入试体不大于0.5 mm,且终凝试针上的环形附件不能在试体上留下痕迹时所经历的时间。凝结时间的单位为分钟(min)。

凝结时间受水泥熟料的矿物组成、水泥细度、加水量、环境的温湿度影响。铝酸三钙含量越高、水泥颗粒越细、水化作用越快,凝结时间越短;加水量越少、水胶比越小、凝结时的温度越高,凝结时间越短;混合材料的掺量越大则凝结时间越长。

测定水泥的凝结时间,一方面可用于检验水泥的技术品质,《〈通用硅酸盐水泥〉国家标准第1号修改单》(GB 175—2007/XG1—2009)规定:硅酸盐水泥初凝不小于45 min,终凝时间不大于390 min;其他五种通用水泥初凝时间不小于45 min,终凝时间不大于600 min;另一方面可用于指导水泥混凝土的施工。混凝土施工要求水泥初凝时间不能过短,确保有足够的时间在水泥初凝之前完成混凝土的搅拌、运输、浇捣和砌筑等各施工工序;终凝时间又不宜过长,以便混凝土在浇捣完毕后,尽快硬化,产生强度,以利于下一道施工工序的进行。实际上,国产硅酸盐水泥初凝时间多为1~3 h,终凝时间多为5~8 h。

④体积安定性。水泥的体积安定性是指水泥在凝结硬化过程中体积变化的均匀性。

引起安定性不良的因素包括过量的游离CaO、游离MgO和SO₃。其中,游离CaO引起的水泥安定性不良用沸煮法检验;游离MgO引起的安定性不良用压蒸法检验;而SO₃的危害则需长时间在温水中浸泡才能发现。水泥生产厂通过定量化学分析法来控制游离MgO和游离SO₃的含量,以保证长期安定性合格。

GB 175—2007/XG1—2009中规定:通用水泥中游离的MgO含量不得超过5%(若水泥经压蒸法快速检验合格,游离MgO的含量可放宽到6%),SO₃含量不超过3.5%。水泥的安定性用沸煮法检验必须合格(详见试验篇)。

安定性不良的水泥为不合格品,禁止用于工程。因为水泥安定性不良时,凝结硬化后会产生不均匀的体积膨胀,导致水泥制品、混凝土构件出现变形、膨胀裂缝甚至崩塌等质量事故。

(3)力学性质。力学性质主要包括强度和强度等级。硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥的强度按《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》(GB/T 17671—1999)进行试验,即以1:3的水泥和标准砂,按0.5的水胶比,用标准方法制成40 mm×40 mm×160 mm的标准试件。在标准养护条件下[(20±1)℃的水中养护或(20±1)℃、大于90%的相对湿度)]达规定的龄期(3 d和28 d),分别测定其3 d和28 d的抗压和抗折强度。按GB 175—2007/XG1—2009规定的各龄期的抗压强度和抗折强度划分水泥强度等级。硅酸盐水泥各龄期强度见表3-8,其他通用水泥则按《水泥胶砂流动度测定方法》(GB/T 2419—2005)进行。

现行国家标准又将水泥按3 d强度分为早强型(R型)和普通型。早强型水泥3 d的抗压强度可以达到28 d抗压强度的50%,同强度等级的早强型水泥的3 d抗压强度较普通型

可以提高 10%~24%。

不同品种不同强度等级的通用水泥在不同龄期的强度应符合表 3-8 的规定。

表 3-8 通用水泥各龄期强度

品 种	强度等级	抗压强度		抗折强度	
		3 d	28 d	3 d	28 d
硅酸盐水泥	42.5	≥17.0	≥42.5	≥3.5	≥6.5
	42.5R	≥22.0		≥4.0	
	52.5	≥23.0	≥52.5	≥4.0	≥7.0
	52.5R	≥27.0		≥5.0	
	62.5	≥28.0	≥62.5	≥5.0	≥8.0
	62.5R	≥32.0		≥5.5	
普通硅酸盐水泥	42.5	≥17.0	≥42.5	≥3.5	≥6.5
	42.5R	≥22.0		≥4.0	
	52.5	≥23.0	≥52.5	≥4.0	≥7.0
	52.5R	≥27.0		≥5.0	
矿渣硅酸盐水泥 火山灰质硅酸盐水泥 粉煤灰硅酸盐水泥 复合硅酸盐水泥	32.5	≥10.0	≥32.5	≥2.5	≥5.5
	32.5R	≥15.0		≥3.5	
	42.5	≥15.0	≥42.5	≥3.5	≥6.5
	42.5R	≥19.0		≥4.0	
	52.5	≥21.0	≥52.5	≥4.0	≥7.0
	52.5R	≥23.0		≥4.5	

知 识 拓 展

由于 R 型水泥的 3 d 强度较普通型高,其水化热放出比较集中,可能会导致混凝土的早期裂缝。所以,如果工程中对混凝土早强没有特别要求时,尽量不要选用 R 型水泥。

2) 技术标准

按现行国家标准的有关规定,通用水泥的技术标准见表 3-9。

表 3-9 通用水泥的技术标准

水泥品种	细 度	凝结时间	安 定 性	强 度	化学指标
硅酸盐水泥	比表面积 ≥300 m ² /kg	初凝≥45 min; 终凝≤390 min	沸煮法 必须合格	见表 3-8	见表 3-7
普通硅酸盐水泥		初凝≥45 min; 终凝≤600 min			
矿渣硅酸盐水泥					
火山灰质硅酸盐水泥					
粉煤灰硅酸盐水泥					
复合硅酸盐水泥					
	0.08 mm 方孔筛 筛余≤10% 或 0.045 mm 方孔筛筛余≤30%				

其中,烧失量、三氧化硫、氧化镁、氯离子、凝结时间、安定性、强度中任一项不符合现行标准规定的水泥均为不合格品。

跟踪自测

1. 某矿渣硅酸盐水泥 500 g,加入 132 g 水拌制成水泥净浆,用标准维卡仪测其稠度时,标准试杆在浆体中下落距离为 33.5 mm,则该状态的水泥浆体为()稠度的浆体,此稠度状态的用水量称为()用水量,其值为()%。

2. 引起水泥体积安定性不良的因素包括()、()、()。国家标准规定水泥安定性用()法检验且必须合格。

3. 测定水泥的()和()两个技术指标时必须使用标准稠度的水泥净浆。

5. 硅酸盐水泥石的腐蚀和防护

水泥石的腐蚀是指在某些腐蚀性介质的长期作用下,水泥石中某些水化产物与介质发生各种物理化学作用,导致水泥石强度降低甚至破坏的现象。

1) 腐蚀的类型

(1)溶析性侵蚀。研究表明,水泥的各种水化产物必须在一定浓度的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液中才能稳定存在,当 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 浓度小于某一极限浓度时,水泥的其他水化产物将被溶解或分解,导致水泥石结构破坏,即水泥石被腐蚀。在江、河、湖水及地下水等作用下,尤其是在不流动的水中,水泥石不会受到明显侵蚀。但是,当水泥石接触到雨水、雪水、蒸馏水、工厂冷凝水及含少量重碳酸盐的河水,尤其是在有水压存在的情况下,其中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 首先被溶解[$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在 25 °C 时的溶解度约为 1.2 g/L],并被流水带走。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶失到一定程度后,会引起水化硅酸盐、水化铝酸盐的分解,水泥石结构遭到破坏,强度不断降低,直至整个建筑物被毁坏。

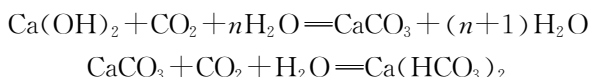
当 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶出 5% 时,水泥石强度下降 7%;当溶出 24% 时,水泥石强度下降 29%。硅酸盐水泥石中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量高达 20%,所以受溶析性侵蚀尤为严重;而掺混合材料的水泥由于硬化后水泥石中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量较少,耐溶析性侵蚀能力有一定程度的提高。

当环境水中含有重碳酸盐时,它将与水泥石中的氢氧化钙作用而生成几乎不溶于水的碳酸钙,积聚在已硬化的水泥石孔隙内,形成致密的保护层,阻止外界水的浸入和内部氢氧化钙的扩散析出,这种“自动填实”作用可以阻止溶出性侵蚀的继续进行。

工程实际应用中,可采取将混凝土构件事先在空气中硬化形成碳酸钙外壳的措施抑制混凝土的溶析性侵蚀。

(2)酸类腐蚀。

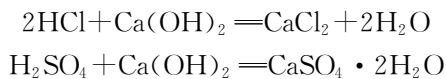
①碳酸腐蚀。在雨水、工业污水及地下水中,常含有较多的 CO_2 ,当其含量超过一定量时,将使水泥石结构遭到破坏。其反应机理如下。



当水中含有较多的 CO_2 并超过平衡浓度时,则上式反应向右进行,使 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 转变为易溶于水的碳酸氢钙而流失。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 浓度降低,还会导致水泥石中其他水化物的分解,使腐蚀作用进一步加剧。

②其他酸的腐蚀。在工业废水、地下水、沼泽水中常含有盐酸、硝酸、氢氟酸等无机酸和醋酸、蚁酸等有机酸;工业窑炉中的废气常含有二氧化硫,遇水后即生成亚硫酸。它们与水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作用后生成的化合物,或易溶于水,或使水泥石体积膨胀,在水泥石内产生内应力而导致破坏。

以盐酸、硫酸与水泥石中的氢氧化钙作用为例,其反应式如下。

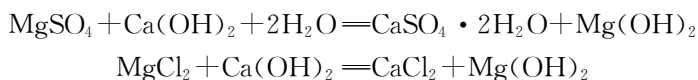


反应生成的氯化钙易溶于水,生成的二水石膏不但在水泥石中结晶产生膨胀,还可以和水泥石中的水化铝酸钙反应生成含有大量结晶水的水化硫铝酸钙(体积可膨胀 1.5 倍左右),对水泥石有严重的破坏作用。

(3)盐类的腐蚀。

①硫酸盐的腐蚀。在海水、湖水、地下水、某些工业污水中常含有钾、钠、铵等的硫酸盐,它们与水泥石中的氢氧化钙发生反应生成硫酸钙。当水中硫酸盐浓度较高时,将会生成体积膨胀的硫酸钙晶体,导致水泥石破坏。同时硫酸钙与水泥石中的固态水化硫铝酸钙作用生成高硫型水化硫铝酸钙(水泥杆菌),对已经硬化的水泥石有极大的破坏作用。

②镁盐的腐蚀。在海水及地下水中,常含有大量的镁盐,如硫酸镁、氯化镁等。它们与水泥石中的氢氧化钙发生下面的复分解反应。



生成的氢氧化镁松软且无胶凝能力,氯化钙易溶于水,二水石膏则引起硫酸盐的破坏作用。因此,硫酸镁对水泥石起到了镁盐和硫酸盐的双重腐蚀作用。

(4)强碱的腐蚀。水泥石在一般情况下能够抵抗碱类的腐蚀,但是在长期处于较高浓度的强碱溶液中时,也会受到腐蚀,而且随着温度的升高,腐蚀作用会加快。

2)腐蚀的原因

水泥石的腐蚀过程是一个十分复杂的物理化学作用过程,产生腐蚀的原因有以下几点。

- (1)水泥石中存在能引起腐蚀的组成成分,即氢氧化钙和水化铝酸钙等。
- (2)水泥石本身结构不密实,内部有很多毛细孔通道。
- (3)环境中存在有腐蚀性介质的存在。

当腐蚀性物质处于溶液状态且浓度较高时容易发生腐蚀。环境温度较高,水流速度较快,结构物经常处于干湿交替状态时,腐蚀程度往往加重。

3)防腐措施

(1)根据建筑物所处的环境特点,合理选择水泥品种。选用硅酸三钙含量低的水泥能减少水化产物中氢氧化钙的含量,提高耐溶析侵蚀的能力;在有硫酸盐侵蚀的环境选用铝酸三钙含量低的抗硫酸盐水泥;通用水泥中的硅酸盐水泥是耐腐蚀性最差的一种,在有腐蚀的情况下,如无可靠防护措施则不宜使用。

(2)提高水泥石的密实度。

①降低水胶比,提高水泥石自身结构的密实度。降低水胶比,减少水泥硬化后水泥石内部的毛细孔隙,提高水泥石的密实度。水泥石越密实,抗渗能力越强,环境中的侵蚀介质就越难进入。

②提高混凝土结构物的密实度。通过改善集料的级配,掺外加剂以及改善振捣过程中

的施工工艺等,提高混凝土结构物的密实度;也可对混凝土的表面进行碳化处理,使表面进一步密实,减少侵蚀介质的渗入。

③敷设耐蚀保护层。当混凝土结构物处于侵蚀性较强的环境中时,可在混凝土表面敷设耐腐蚀性能强且不透水的保护层,如沥青层、沥青毡、不透水的水泥砂浆、沥青砂浆等。

跟踪自测

矿渣硅酸盐水泥的耐腐蚀性较普通硅酸盐水泥()。混凝土的密实性越差,其耐腐蚀性越()。其他条件相同时,水泥石中的氢氧化钙和水化铝酸钙含量越多,耐腐蚀性越()。

6. 通用水泥的特性及工程应用



图文
通用水泥特性
记忆口诀

1) 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的特性

(1)强度等级高,强度发展快。因为硅酸盐水泥强度等级比较高(42.5~62.5级),尤其是早期强度增长率大,适合地上、地下和水中重要结构的高强度混凝土、钢筋混凝土和预应力混凝土工程。

(2)水化热大,抗冻性好。硅酸盐水泥中 C_3S 的含量较多,凝结硬化较快,水化热大,抗冻性好。其适于早期强度要求高或拆模快的工程及冬季施工或严寒地区遭受反复冻融的混凝土工程,但不宜用于大体积混凝土工程。

(3)碱度高,抗碳化能力强。硅酸盐水泥熟料含量多,水化后碱性强,埋于其中的钢筋表面能生成一层钝化膜,可保持几十年不生锈,抗碳化能力强,特别适用于重要的钢筋混凝土结构和预应力混凝土工程。

(4)耐腐蚀性差。硅酸盐水泥石中含有较多的氢氧化钙和水化铝酸钙,所以不宜用于长期流动的淡水工程,也不宜用于海水、矿物水等有腐蚀性介质的工程。

(5)耐热性较差。硅酸盐水泥石的主要成分在高温下会发生脱水和分解,结构遭受破坏,故不宜用于配制耐热混凝土,也不宜用于耐热要求高的混凝土工程。

(6)湿热养护效果差。硅酸盐水泥在常规养护条件下硬化快、强度高。但经过蒸汽养护后,再经自然养护,测得的28d抗压强度往往低于未经蒸汽养护的28d抗压强度。

2) 粉煤灰、火山灰质、矿渣、复合硅酸盐水泥的特性

(1)早期强度低,后期强度高。由于熟料矿物含量少,且二次水化速度慢,故凝结硬化稍慢,早期强度较低,适用于无早强要求的工程。粒化高炉矿渣、矿渣硅酸盐水泥与硅酸盐水泥强度增长情况比较如图3-4所示。

(2)水化热低,抗冻性差。掺合料水泥中,熟料较少,二次水化反应慢,所以水化热低,宜用于大体积的混凝土工程。

(3)抵抗软水、海水和硫酸盐腐蚀的能力较强,抗碳化能力较差。由于熟料含量低, C_3S 的含量较少,水化生成的氢氧化钙较少,并且在与活性混合材料进行二次水化反应时又消耗掉大量的氢氧化钙,硬化的水泥石中氢氧化钙就更少了。因此这种水泥抵抗软水、海水和硫酸盐的腐蚀能力较强,宜用于有腐蚀性要求的基础、水工和海港工程中。但由于水泥硬化后的碱度较低,故抗碳化能力较差,对钢筋的保护能力不如硅酸盐水泥。

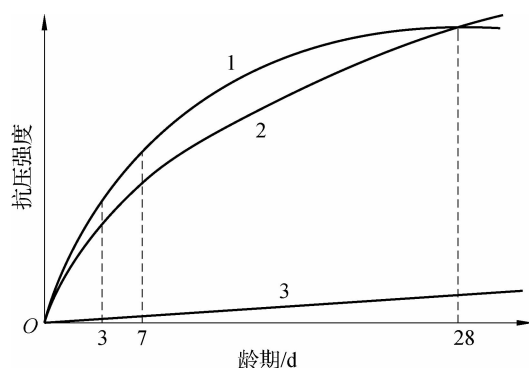


图 3-4 粒化高炉矿渣、矿渣硅酸盐水泥与硅酸盐水泥强度增长情况比较

1—硅酸盐水泥；2—矿渣硅酸盐水泥；3—粒化高炉矿渣

3) 粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥的特性

(1) 矿渣硅酸盐水泥。

①耐热性较强。矿渣出自炼铁高炉，常作为水泥的耐热掺料使用，可用于耐热混凝土工程。

②泌水性和干缩性大，抗渗性差。由于矿渣硅酸盐水泥中矿渣掺量较大，且矿渣颗粒本身为玻璃体结构，亲水性差，因此拌制混凝土时易泌水形成毛细管通道或粗大孔隙，硬化时产生干缩裂缝，其抗冻性、抗渗性和抵抗干湿交替的性能均不及普通硅酸盐水泥。

(2) 火山灰质硅酸盐水泥。

①抗渗性好，耐水性强。火山灰质混合材料颗粒较细、泌水性小，对湿热反应敏感，当处在潮湿环境或水中养护时，火山灰质混合材料和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作用生成较多的水化硅酸钙凝胶，使水泥石结构致密，因此具有较高的抗渗性和耐水性。

②干燥环境中收缩大，易产生裂缝。磨细的火山灰质混合材料的表面粗糙多孔，标准稠度用水量较大，且水化产物中胶体含量大。在干燥环境中，火山灰质硅酸盐水泥不但水化反应会停止，而且已形成的水化硅酸钙凝胶会逐渐失水，产生干缩裂缝，故不宜用于干燥地区和高温结构中的混凝土工程，宜用于水中及地下混凝土工程。同时在水泥石的表面，由于空气中的二氧化碳能使水化硅酸钙凝胶分解成碳酸钙和氧化硅的粉状混合物，使已经硬化的水泥石表面产生“起粉”现象。因此，在施工时应注意加强养护，保持较长时间的潮湿状态，以免产生干缩裂缝和“起粉”。

(3) 粉煤灰硅酸盐水泥。

①干缩性小，抗裂性好。粉煤灰硅酸盐水泥内含很多球状玻璃体颗粒，内比表面积小，结构致密，吸附能力小，标准稠度用水量小。凝结硬化时干缩性小，抗裂性好。用粉煤灰硅酸盐水泥制成的砂浆或混凝土和易性好，体积稳定性好，混凝土的抗拉强度高，不易产生裂缝。

②泌水快，易失水产生裂缝。粉煤灰颗粒保水能力差，泌水快，失水后收缩，在制品表面产生裂缝。混凝土施工中，需增加抹面的次数，加强早期养护。

(4) 复合硅酸盐水泥。复合硅酸盐水泥中复掺有两种或两种以上的混合材料，如同时掺加矿渣、火山灰质材料、惰性石灰石等，可以综合利用各种混合材料的优点，改善水泥的泌水性，利用石灰石的微集料作用，促进 C_3S 的水化，提高水泥的早期强度。

复合硅酸盐水泥 3 d 龄期强度高于矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥；使用范围一般与掺大量混合材料的其他水泥相同，主要用于高湿度环境中或永远处于水下的混凝土、大体积混凝土及受侵蚀性介质作用的混凝土工程；不得用于对早期强度要求高的工程及受冻工程。

六种通用水泥的特征及应用见表 3-10。

表 3-10 通用水泥的特征及应用

项目	硅酸盐水泥 (P·I 和 P·II)	普通硅酸盐水泥 (P·O)	矿渣硅酸盐水泥 (P·S·A 和 P·S·B)	火山灰质硅酸盐水泥 (P·P)	粉煤灰硅酸盐水泥 (P·F)	复合硅酸盐水泥 (P·C)
主要特征	(1)早期强度高 (2)水化热高 (3)抗冻性好 (4)耐热性差 (5)耐腐蚀性差 (6)干缩性小	(1)早期强度高 (2)水化热较高 (3)抗冻性较好 (4)耐热性较差 (5)耐腐蚀性较差 (6)干缩性较小	(1)早期强度高,后期强度增高 (2)水化热较低 (3)耐热性较好 (4)耐腐蚀性好 (5)抗冻性较差 (6)干缩性较大 (7)抗渗性差 (8)抗碳化能力差	(1)早期强度低,后期强度增长较快 (2)水化热较低 (3)耐热性较差 (4)耐腐蚀性好 (5)抗冻性较差 (6)干缩性大 (7)抗渗性较好 (8)抗碳化能力差	(1)早期强度低,后期强度增长较快 (2)水化热较低 (3)耐热性较差 (4)耐腐蚀性好 (5)抗冻性较差 (6)干缩性小,抗裂性好 (7)抗渗性较好 (8)抗碳化能力差	(1)早期强度较高 (2)其他性能同矿渣硅酸盐水泥
适用范围	(1)地上、地下及水中的混凝土结构 (2)钢筋混凝土及预应力混凝土结构 (3)遭受冻融循环的结构和要求早强的混凝土结构	与硅酸盐水泥基本相同,可用于各种混凝土及钢筋混凝土结构	(1)大体积混凝土工程,高温车间和要求耐热的混凝土结构 (2)地下和水中的混凝土及钢筋混凝土 (3)有腐蚀性要求的结构和构件 (4)蒸汽养护的结构和构件	(1)地下、水中及大体积混凝土工程 (2)有抗渗要求的工程 (3)蒸汽养护的混凝土构件 (4)耐腐蚀要求高的工程 (5)养护较好的一般混凝土及钢筋混凝土	(1)各种大体积混凝土 (2)蒸汽养护的混凝土 (3)抗裂性要求较高的结构 (4)腐蚀性要求较高的工程 (5)养护较好的一般混凝土和钢筋混凝土	可参照矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥,但其性能能收缩受混合材料性能的影响,所以使用时应针对工程性质加以选择
不适用范围	(1)大体积混凝土工程 (2)受化学及海水侵蚀的工程 (3)耐热混凝土工程	同硅酸盐水泥	(1)早期强度要求较高的混凝土工程 (2)有抗冻要求的混凝土工程	(1)早期强度要求较高的混凝土工程 (2)有抗冻要求的混凝土工程 (3)干燥环境的混凝土工程 (4)有耐磨性要求的工程	(1)早期强度要求较高的混凝土工程 (2)有抗冻要求的混凝土工程 (3)有耐磨性要求的工程	

3.1.2 专用水泥

专用水泥是指专门用于某种工程的水泥。专用水泥通常是用其所适用的工程来命名的,如道路水泥、砌筑水泥、油井水泥等。

1. 道路硅酸盐水泥

1) 定义

以道路硅酸盐水泥熟料(以硅酸钙为主要成分且含有较多量的铁铝酸盐的硅酸盐水泥熟料)、0~10% 活性混合材料和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为道路硅酸盐水泥,简称道路水泥。

2) 技术性质及工程应用

(1) 耐磨性好。与同强度等级的硅酸盐水泥相比,道路水泥的磨耗率降低 20%~40%。

(2) 强度高,特别是抗折强度高。道路水泥的早期强度增长率相当于或高于同强度等级硅酸盐水泥 R 型的增长率,且抗折强度的增长率高于抗压强度的增长率,28 d 抗折强度高于同强度等级的 R 型硅酸盐水泥。

(3) 干缩率低。道路水泥的干缩率比硅酸盐水泥低 10% 以上。其干缩稳定期短,施工时可减少路面预留缝的数量,从而提高了路面平整度和行车舒适度。

(4) 水化热低,耐久性好。道路水泥的水化热可以达到中热硅酸盐水泥的要求,在冻融交替环境下,具有良好的耐久性。

(5) 抗硫酸盐腐蚀能力较强。道路水泥的熟料中 C_3A 含量少,水化生成的硫铝酸钙少,耐抗硫酸盐腐蚀能力增强。

3) 技术标准

《道路硅酸盐水泥》(GB 13693—2005)规定:道路水泥中道路硅酸盐水泥熟料应占 90% 以上,活性混合材料的掺量为 0~10%;水泥熟料中铁铝酸钙含量不得小于 16.0%,铝酸三钙含量不得大于 5.0%,其他技术指标和强度要求见表 3-11 和表 3-12。

表 3-11 道路硅酸盐水泥的技术指标

要求 项目	MgO /%	SO ₃ /%	烧失量 /%	比表面积 /(m ² ·kg ⁻¹)	安定性 (沸煮法)	28 d 干 缩率/%	耐磨性(28 d 磨耗 量)/(kg·m ⁻²)	凝结时间/min	
								初凝	终凝
指标	<5.0	<3.5	≤3.0	300~450	必须合格	≤0.10	≤3.00	≥90	≤600

表 3-12 道路硅酸盐水泥的强度要求

强度等级/MPa	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
	3 d	28 d	3 d	28 d
32.5	16.0	32.5	3.5	6.5
42.5	21.0	42.5	4.0	7.0
52.5	26.0	52.5	5.0	7.5

4) 工程应用

道路水泥特别适用于公路路面、机场道面、车站及城市广场等工程的面层,可减少混凝

土路面的裂缝和磨耗等病害,减少维修费用,延长路面的使用年限。

2. 大坝水泥

1) 定义

由硅酸盐大坝水泥熟料、粒化高炉矿渣或火山灰质混合材料、适量石膏等磨细制成的水硬性胶凝材料称为大坝水泥。

大坝水泥分中热硅酸盐水泥和低热矿渣硅酸盐水泥。中热硅酸盐水泥中的 C_3A 含量不得超过 6%, C_3S 含量不得超过 55%;低热矿渣硅酸盐水泥中矿渣的掺入量按质量百分比计为 20%~60%,容许用不超过混合材料总量 50%的磷渣或粉煤灰代替部分矿渣。

2) 性能及应用

大坝水泥的主要特性是水化放热较低。其主要适用于要求水化放热较低的大坝和大体积混凝土工程。其中,硅酸盐大坝水泥具有强度高、耐磨、抗冻、耐水流和泥沙等冲刷的性能,适用于大坝溢流面、水位变动区等覆盖层;而矿渣大坝水泥具有水化热低的特点,主要适用于大坝或大体积建筑物内部及水下等工程中。

3.1.3 特性水泥

特性水泥是指具有某些或某种特殊性能,满足特殊工程或工程特殊要求的水泥。特性水泥有以下几种。

1. 膨胀水泥

膨胀水泥是硬化过程中能产生一定程度体积膨胀的水泥,其有以下几种分类方法。

1) 按胶凝材料分

(1) 硅酸盐膨胀水泥。硅酸盐膨胀水泥是由适当比例的硅酸盐水泥熟料、高铝水泥和二水石膏共同磨细而成的膨胀水泥。硅酸盐膨胀水泥的膨胀作用源于铝酸盐、石膏和水化合生成具有膨胀性的钙矾石晶体及氢氧化钙晶体,使硬化后的水泥浆体体积膨胀。

(2) 铝酸盐膨胀水泥。铝酸盐膨胀水泥由高铝水泥熟料和二水石膏按适当比例混合,再加助磨剂共同磨细而成的膨胀水泥。铝酸盐膨胀水泥的膨胀作用源于铝酸盐和硫酸钙在水的作用下生成体积膨胀的钙矾石晶体。

2) 按膨胀值分

(1) 收缩补偿水泥。收缩补偿水泥的膨胀性能较弱,即水泥硬化时产生的膨胀值较小,膨胀时所产生的压应力大致能抵消干缩时产生的拉应力,可防止混凝土产生干缩裂缝。

(2) 自应力水泥。与收缩补偿水泥相比,自应力水泥硬化时的膨胀值较大,所配制的混凝土膨胀变形稳定后的自应力不小于 2 MPa,用于产生混凝土中的预应力。

在钢筋混凝土中,自应力水泥膨胀过程中,由于混凝土对钢筋有一定的握裹力,钢筋必然随混凝土膨胀而被拉长,混凝土则因受到钢筋的限制而产生压应力。当混凝土因受外界负荷而产生拉应力时,就可被预先具有的压应力抵消或降低,有效地改善混凝土抗拉强度差的缺点。

膨胀水泥的自身体积膨胀是在硬化过程中进行的,因此能形成较密实的水泥石结构,具有良好的抗渗性能。膨胀水泥常用于水泥混凝土路面、机场道面或桥梁修补工程;还可在越江隧道或山区隧道工程中用于配制防水混凝土、自应力混凝土;也用于浇筑装配式构件的接头或建筑物之间的连接处及填塞孔洞、修补缝隙等工程中。

2. 抗硫酸盐硅酸盐水泥

1) 定义及分类

《抗硫酸盐硅酸盐水泥》(GB 748—2005)规定:按抵抗硫酸盐侵蚀程度将抗硫酸盐硅酸盐水泥分为中抗硫酸盐硅酸盐水泥和高抗硫酸盐硅酸盐水泥两类。

中抗硫酸盐硅酸盐水泥是以适当成分的硅酸盐水泥熟料,加入适量石膏磨细制成的具有抵抗中等浓度硫酸根离子侵蚀的水硬性胶凝材料,简称中抗硫水泥,代号为 P·MSR。高抗硫酸盐硅酸盐水泥是具有抵抗较高浓度硫酸根离子侵蚀的水泥,简称高抗硫水泥,代号为 P·HSR。

2) 组成及技术要求

(1)抗硫酸盐水泥成分、耐蚀程度、强度等级要求见表 3-13。

表 3-13 抗硫酸盐水泥成分、耐蚀程度、强度等级要求

名 称	C ₃ S	C ₃ A	耐蚀 SO ₄ ²⁻ 浓度/(mg·L ⁻¹)	强度等级 /MPa	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
					3 d	28 d	3 d	28 d
中抗硫水泥	≤55.0	≤5.0	≤2 500	32.5	10.0	32.5	2.5	6.0
高抗硫水泥	≤50.0	≤3.0	≤8 000	42.5	15.0	42.5	3.0	6.5

由上表可见,与硅酸盐水泥相比,抗硫酸盐硅酸盐水泥在组成成分中降低了熟料中 C₃S 和 C₃A 的含量,分别增加了耐蚀性较好的 C₂S 和 C₄AF 的含量,使得硬化的水泥石中 Ca(OH)₂ 和水化铝酸钙的含量减少,提高了水泥的耐腐蚀性能。

(2)其他指标要求。抗硫酸盐水泥的氧化镁含量、碱含量、安定性、凝结时间等指标的要求等同普通水泥;同时,三氧化硫含量不大于 2.5%,比表面积不小于 280 m²/kg,烧失量不大于 3.0%,不溶物含量不大于 1.50%。

(3)抗硫酸盐腐蚀系数。抗硫酸盐腐蚀系数是抗硫酸盐水泥的抗蚀能力的评价指标,是指水泥试件在人工配制的硫酸根离子浓度分别为 2 500 mg/L 和 8 000 mg/L 的硫酸钠溶液中,浸泡 6 个月后的强度与同时浸泡在饮用水中的试件强度之比。抗硫酸盐水泥的抗硫酸盐腐蚀系数不得小于 0.8。

3) 工程应用

抗硫酸盐硅酸盐水泥主要用于受硫酸盐侵蚀的海港工程、水利工程、地下工程与隧道工程、道路和桥梁基础等工程中。

3.1.4 水泥的储运及使用注意事项

1. 运输及储存

(1)水泥在运输期间,应注意防雨防潮,避免受潮风化而结块失效。

(2)水泥应按品种、强度、出厂日期、生产厂家等分别存放,先到先用。

(3)储存袋装水泥的仓库或散装水泥的储罐应密闭、干燥、隔潮。袋装水泥码垛时下面应垫高 30 cm 左右,离墙 30 cm 以上,堆放高度不宜超过 10 袋。

(4)一般情况下,袋装水泥不宜露天堆放,但受库房限制必须库外堆放时,下面应有防潮垫板,上面遮盖防雨篷布。

(5)水泥自出厂日期算起的有效储存期为 3 个月。试验表明,3 个月后水泥强度将降低 10%~20%,6 个月后降低 15%~30%,一年后降低 25%~40%。过期水泥及虽未过期但有受潮结块现象的水泥必须重新试验,确定其实际强度后才可继续使用。

2. 使用注意事项

(1)安定性不合格的水泥放置一段时间后可能变为合格。有些水泥的安定性不合格是因为其磨制后的存储时间太短,残存的游离 CaO 未完全水化消解所致;如果磨制后在空气中存放一段时间,其中的游离 CaO 会吸收空气中的水分消解,使其含量减少,其安定性有可能变为合格了。

由于这一原因,试验室收到水泥试样后通常放入标准间存放一周方检测水泥安定性指标,以免发生误判,给水泥生产厂和施工单位造成重大损失。

但需特别说明的是,并非安定性不合格的水泥存放一定时间后都会变为合格,工程应用中要特别注意。

(2)新出厂的水泥不能立即使用。新出厂的水泥温度一般在 50~100 ℃甚至更高,其中残存的游离 CaO 还未消解,会引起水泥安定性不良;因此通常规定水泥出厂后存放 10 天左右再行使用,存放的这段时间称为水泥安定期。

(3)不合格水泥的处理。不合格的水泥需具体分析不合格的项目,若因安定性不良导致的不合格,应该禁止使用;若因其他原因导致的不合格,可以按复试结果使用或降级使用。

(4)水泥受潮的鉴别和处理。受潮水泥的鉴别与处理见表 3-14。

表 3-14 受潮水泥的鉴别与处理

受潮情况	处理方法	工程应用
有粉块,用手可捏成粉末	将粉块压碎	经试验后,根据实际强度使用
部分结成硬块	将硬块筛除,粉块压碎	经试验后,根据实际强度使用于受力小的部位,或强度要求不高的工程;也可用于配制砂浆
大部分结成硬块	将硬块粉碎磨细	可掺入新水泥中作为混合材料使用,但掺量应小于 25%,并要延长其搅拌时间

(5)不同品种水泥的混凝土不能混合使用;同一品种但强度等级不同,出厂日期相差较久的水泥制成的混凝土,也不能混合使用。

3.2 气硬性胶凝材料

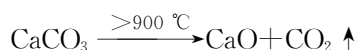
3.2.1 石灰

石灰通常是生石灰和熟石灰的统称。石灰是建筑工程中使用的传统的胶凝材料,主要用于粉刷和砌筑砂浆。石灰由于原料来源广泛、生产工艺简单、生产成本低,而被广泛应用于现代土木建筑工程和建筑材料工业中。

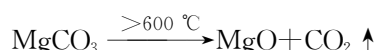
1. 建筑生石灰的生产及分类

1) 生石灰的生产

按照《建筑生石灰》(JC/T 479—2013)的规定,生石灰由石灰石(包括钙质石灰石、镁质石灰石)焙烧而成的以氧化钙为主要成分的块状、粒状或粉状产物。焙烧过程的主要化学反应为



在原料石灰岩中含有少量的菱镁矿等杂质,故在煅烧中伴随着的副反应为



考虑到环境热损失等因素的影响,煅烧温度通常控制在 1 000 ℃左右。由于 MgCO_3 的分解温度远低于 CaCO_3 的分解温度,因此长时间的高温煅烧很容易形成水化速度很慢的过烧氧化镁。

在原料尺寸大小适中、粒径搭配比较合理,并控制在正常的煅烧温度和煅烧时间的情况下,可制得优质的生石灰,其又称“正火灰”。但实际生产过程中,当上述影响煅烧质量的某种因素控制不当时,会导致生产的石灰中含有“欠火灰”和“过火灰”成分。正火灰、欠火灰和过火灰的性能比较见表 3-15。

表 3-15 正火灰、欠火灰、过火灰的性能比较

特 征	正 火 灰	欠 火 灰	过 火 灰
颜色	洁白或略带灰色	发青	呈黑色
密度	较小	密度较大	密度大
硬度	颗粒硬度较小,内有孔隙	颗粒硬度较大,内部有未烧透的硬核	颗粒硬度较大,表面有裂缝或呈玻璃体状
化学成分	CaO	CaO 和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$	CaO
水化特性	水化速度快,较完全	水化速度较快,未水化残渣较多	水化速度很慢

欠火灰由于原料未完全煅烧而降低了石灰的有效利用率;过火灰由于水化速度非常慢、水化产物产生较大的体积膨胀,而导致已经硬化的结构体表面产生局部的隆起、开裂或脱落等现象,这种现象称为“安定性不良”,导致工程质量不合格。

2) 生石灰的分类

按照《建筑生石灰》(JC/T 479—2013) 的规定,建筑生石灰的分类见表 3-16。

表 3-16 建筑生石灰的分类

类 别	定 义	名 称	代 号	备 注
钙质石灰	主要由氧化钙或氢氧化钙组成,而不添加任何水硬性或火山灰质的材料	钙质石灰 90	CL90	CL-钙质生石灰; 90(或 85、75)-(CaO+MgO) 百分含量
		钙质石灰 85	CL85	
		钙质石灰 75	CL75	

续表

类 别	定 义	名 称	代 号	备 注
镁质石灰	主要由氧化钙和氢氧化镁($\text{MgO}>5\%$)或氢氧化钙和氢氧化镁组成,而不添加任何水硬性或火山灰质的材料	镁质石灰 85	ML85	ML-镁质生石灰; 85(或 75)-($\text{CaO}+\text{MgO}$) 百分含量
		镁质石灰 80	ML80	

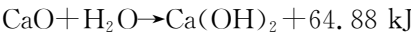
2. 石灰的消化和硬化

1) 石灰的消化



视频
生石灰的熟化

建筑施工中使用块状生石灰时,通常将生石灰加水使之生成氢氧化钙,这个过程称为石灰的“消化”或“熟化”,其化学反应式为



消化过程有两大特点:一是放出大量的热;二是产生较大的体积膨胀,煅烧良好的生石灰体积增大 1.5~3.5 倍,含有杂质或煅烧不良的生石灰体积增大 1.5 倍左右。根据不同的工程需要,石灰的消化有以下两种方式。

(1)消化成石灰膏——用于拌制砌筑砂浆或抹灰砂浆。把生石灰放在化灰池中,加入相当于生石灰体积 3~4 倍的水得到石灰水溶液,即石灰乳。将石灰乳过筛引入储灰池内,进一步沉淀除去上层的水分即得石灰膏。一般地,1 kg 生石灰约可熟化成 1.5~3 L 的石灰膏。

(2)消化成熟石灰粉——用于拌制石灰土(石灰、黏土)、三合土(石灰、黏土、砂石或炉渣)。将生石灰加入适量的水后充分消化成氢氧化钙,再经磨细、筛分制得熟石灰粉,也称消石灰粉。

消化的目的一是除掉没有胶凝能力的杂质,二是消除过火石灰的危害。为了确保过火石灰的危害已经消除,通常石灰膏要在储灰池内保存两周以上,以使生石灰充分消化,这个过程称为陈伏。陈伏期间石灰浆表面应保持一定厚度的水层,使之与空气隔绝,防止碳化。

知 识 拓 展

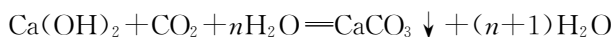
施工中当采用磨细的生石灰粉时,可省去化灰的工序。因为石灰中的过火颗粒磨得很细,水化反应速度相应可提高 30~50 倍,且水化时体积膨胀均匀,避免了局部膨胀等危害的出现;同时可以提高工作效率,改善施工环境。但生石灰粉的成本较高。

2) 石灰浆体的硬化

石灰浆体在空气中的硬化过程包括以下两个同时进行的物理过程和化学过程。

(1)干燥、结晶硬化。干燥、结晶硬化是物理硬化过程。石灰浆中的水一部分蒸发到空气中,一部分被周围砌体吸收,使石灰水溶液逐渐达到饱和至过饱和状态, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 结晶逐渐析出。析出后的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 结晶互相靠拢、密集,形成结晶结构网,结构强度逐渐提高。

(2)碳化硬化。碳化硬化过程是化学硬化过程,发生的化学反应为



空气中的 CO_2 与 H_2O 反应生成 H_2CO_3 , H_2CO_3 再与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应生成 CaCO_3 和 H_2O 。 CaCO_3 由于溶解度非常小而逐渐结晶、硬化,使浆体产生强度。

碳化反应首先从与空气接触的石灰浆体表面层进行,进而逐渐深入到浆体的内部。由于空气中 CO_2 含量较低(体积约占 0.03%),所以反应速度较慢;同时当浆体表面形成的 CaCO_3 层达到一定厚度时,又将阻碍内部水分的进一步蒸发和 CO_2 继续向内渗透,导致 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 结晶速度变慢、碳化进程进一步减缓。

由以上石灰的硬化反应过程可以看出,石灰的硬化只能在空气中进行,也只能在空气中才能保持并继续发展和提高其强度,所以石灰只能用于干燥环境中的建筑物和构筑物,而不能用于水中或潮湿的环境中。

3. 石灰的特性

(1)可塑性、保水性好。生石灰熟化为石灰浆时,能自动形成颗粒极细的呈胶体分散状态的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 表面的吸附水形成一层较厚的水膜;同时,水膜又可降低颗粒之间的摩擦力,使石灰浆体具有良好的塑性,易摊铺成均匀的薄层。因此,用石灰制成的石灰砂浆具有良好的保水性和可塑性;把石灰膏加入到水泥砂浆中,能显著提高砂浆的可塑性。

(2)硬化缓慢,强度低。通常石灰和砂以 1:3 的比例配成的石灰砂浆,其 28 d 的抗压强度仅有 0.2~0.5 MPa。原因是空气中的 CO_2 含量低,并且较难进入石灰浆体内部,所以石灰硬化速度很慢。

(3)硬化时体积收缩大。石灰不能单独使用,因为石灰在硬化过程中蒸发掉大量的水分后会产生较大体积的收缩而开裂。为了减少收缩,通常在石灰浆中掺入一定量的砂、麻刀、无机纤维、纸筋等集料,一方面提高其抗拉强度,抵抗收缩引起的开裂;另一方面还可促进水分的蒸发,提高碳化和硬化的速度,并能节约石灰用量。

(4)耐水性差。石灰作为气硬性胶凝材料使用,主要是因为其耐水性很差。当尚未硬化的石灰浆体处于潮湿环境中时,由于水分无法蒸发而不能硬化;而已硬化的石灰长期受潮后,由于 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 易溶解于水而使强度降低,在水中还会溃散,故石灰不宜用于潮湿环境中。

(5)吸湿性强。生石灰极易吸收空气中的水分熟化成熟石灰粉,所以生石灰必须在防潮防水的密闭条件下储存。

4. 建筑生石灰的技术要求

1) 化学成分

按照《建筑生石灰》(JC/T 479—2013) 的规定,建筑生石灰的化学成分见表 3-17。

表 3-17 建筑生石灰的化学成分

名 称	(氧化钙+氧化镁) (CaO+MgO)	氧化镁(MgO)	二氧化碳(CO ₂)	三氧化硫(SO ₃)	备 注
CL-90Q CL-90QP	≥90	≤5	≤4	≤2	Q-生石灰块; QP-生石灰粉
CL-85Q CL-85QP	≥85	≤5	≤7	≤2	

续表

名 称	(氧化钙+氧化镁) (CaO+MgO)	氧化镁 (MgO)	二氧化碳 (CO ₂)	三氧化硫 (SO ₃)	备 注
CL-75Q CL-75QP	≥75	≤5	≤12	≤2	Q-生石灰块; QP-生石灰粉
ML-85Q ML-85QP	≥85	>5	≤7	≤2	
ML-80Q ML-80QP	≥80	>5	≤7	≤2	

(1)(CaO+MgO)的含量。(CaO+MgO)的含量是指有化学反应活性的(CaO+MgO)的含量,是石灰产生黏结性的成分,也是评价石灰质量的重要指标;其含量越多,石灰的活性越高,灰质越好。

(2)二氧化碳含量。CO₂含量是石灰试样在规定条件下被高温煅烧至质量恒定时所产生的质量损失百分率。

产生质量损失的一个原因是石灰中含有一定量的欠火灰,另一个原因是石灰储存期间受潮。质量损失越多,证明石灰中有效(CaO+MgO)的含量越低,石灰的黏结性能越差。

(3)三氧化硫(SO₃)含量。三氧化硫(SO₃)含量影响石灰的体积安定性。安定性不良的石灰在消化硬化过程中会出现溃散、裂纹、鼓包等现象,导致工程质量不良。

2)物理性质

按照《建筑生石灰》(JC/T 479—2013)的规定,建筑生石灰的物理性质见表 3-18。

表 3-18 建筑生石灰的物理性质

名 称	产浆量/(dm ³ ·10 kg ⁻¹)	细 度	
		0.2 mm 筛余量/%	90 μm 筛余量/%
CL-90Q CL-90QP	≥26 —	— ≤2	— ≤7
CL-85Q CL-85QP	≥26 —	— ≤2	— ≤7
CL-75Q CL-75QP	≥26 —	— ≤2	— ≤7
ML-85Q ML-85QP	— —	— ≤2	— ≤7
ML-80Q ML-80QP	— —	— ≤7	— ≤2

(1)石灰的产浆量。产浆量是单位质量(10 kg)的生石灰消化后所产石灰浆体的体积。产浆量越高,石灰的质量越好。

(2)细度。细度是指石灰颗粒的粗细程度。细度将影响石灰的黏结性能。

5. 建筑生石灰的运输、储存及应用

1) 运输和储存

(1)建筑生石灰是自热材料,不应与易燃、易爆和液体物品混装。在运输和储存时不应受潮和混入杂物,不宜长期存储。

(2)不同类生石灰应分别储存或运输,不得混杂。

2) 应用

(1)用于圬工砌体。石灰拌制成的石灰砂浆、石灰水泥砂浆、石灰粉煤灰砂浆等广泛用于桥梁工程的圬工砌体和建筑墙体砌筑及抹灰等工程中。

(2)用于加固软土地基。在软土地基中打入生石灰桩,一方面生石灰吸水产生膨胀对桩周围的土壤起挤密作用;另一方面生石灰和黏土矿物间产生的胶凝反应使周围的土固结,从而达到提高地基承载力的目的。

(3)用作半刚性材料的结合料。石灰与黏土拌制成的石灰稳定土,石灰与黏土、粉煤灰拌制成的石灰粉煤灰稳定土,石灰与粉煤灰、砂、碎石拌制成的粉煤灰碎石土(石灰稳定工业废渣)等广泛应用于建筑物基础、地面、路面基层或底基层及地基的换土处理等。这些稳定土强度高、水稳定性好、板体性好、造价低,目前我国主要的干线公路几乎全部采用了这种半刚性的基层材料。

3.2.2 水玻璃

水玻璃俗称泡花碱,是一种能溶于水的碱金属硅酸盐,其化学通式为 $R_2O \cdot nSiO_2$,式中的 R_2O 代表碱金属氧化物,通常指 K_2O 或 Na_2O 。建筑中多用硅酸钠水玻璃($Na_2O \cdot SiO_2$)的水溶液;式中的 n 称为水玻璃模数, n 值越大,水玻璃的黏性越大,越难溶解,硬化越快,我国生产的水玻璃模数一般在 2.4~3.3。

1. 水玻璃的硬化

水玻璃是气硬性胶凝材料,其硬化过程是在空气中吸收 CO_2 形成无定形的硅胶后,逐渐干燥硬化产生强度。其化学反应式为



上述硬化过程表明,以水玻璃为胶凝材料配制的材料硬化后会变成以 SiO_2 为主的人造石材。但由于空气中的二氧化碳含量极少,导致上述硬化过程很慢。若在水玻璃中掺入适量氟硅酸钠硬化剂,则硅酸凝胶析出速度加快,从而加快水玻璃的凝结与硬化。

2. 水玻璃的技术特性

(1)黏结力大、强度高。水玻璃硬化后有很大的黏结力,硬化的水玻璃具有较高的强度,配制的水玻璃混凝土的抗压强度可达到 15~40 MPa。

(2)耐酸性好。水玻璃的耐酸性良好,常用于配制水玻璃耐酸混凝土、耐酸砂浆等耐酸材料。硬化后的水玻璃的主要成分是硅酸凝胶可以抵抗除氢氟酸、过热磷酸以外的几乎所有无机酸和有机酸的侵蚀。

(3)耐热性好。水玻璃不燃烧,在高温下硅酸凝胶干燥得更加彻底,强度并不降低,甚至有所增加。因此水玻璃常用于耐热工程,配制耐热混凝土、耐热砂浆等。

(4)耐碱性、耐水性差。水玻璃可溶于碱,且溶于水。

3. 水玻璃的主要技术指标

水玻璃的主要技术指标应符合表 3-19 的要求。

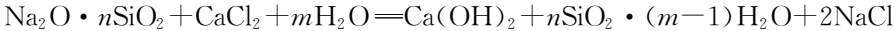
表 3-19 水玻璃的主要技术指标

项 目	指 标	项 目	指 标
密度(20℃)/(g·cm ⁻³)	1.44~1.47	二氧化硅/%	≥25.7
氧化钠/%	≥10.2	模数 <i>n</i>	2.6~2.9

4. 水玻璃在建筑工程中的应用

(1)涂刷材料表面,提高其抗风化能力。将液体水玻璃加水稀释至比重为 1.35 左右的水玻璃溶液,浸渍或涂刷在黏土砖、水泥混凝土等多孔材料表面,可使其密实度和强度提高,增加材料的不透水性、抗风化能力和耐久性。

(2)加固土壤。将水玻璃和氯化钙溶液交替压注到土壤中,则发生如下反应。



生成的硅酸凝胶体,能包裹土壤颗粒并填充其孔隙,使土壤固结,提高地基的承载力;反应生成的氧氯化钙也起到黏结和填充孔隙的作用;同时,硅酸凝胶体因吸收地下水而经常处于膨胀状态,增加了土壤的密实度和强度,提高了土壤的抗渗性,阻止了地上水分的渗透。

(3)配制防水堵漏材料。将水玻璃溶液掺入砂浆或混凝土中,可使其急速凝结硬化,用于结构物的修补堵漏;还可加入各种钒的水溶液,配制成水泥砂浆或混凝土防水剂。

(4)配制水玻璃矿渣砂浆。液体水玻璃与粒化高炉矿渣粉、砂和氟硅酸钠按一定的质量比配合,压入砖墙裂缝可进行裂缝的修补。

(5)其他用途。用水玻璃可配制耐酸砂浆和耐酸混凝土、耐热砂浆和耐热混凝土;将液体水玻璃与耐火填料等调成糊状的防火漆涂于木材表面可抵抗瞬间火焰。

知 识 拓 展

实际工程应用中,不同的应用条件需要具有不同 *n* 值的水玻璃。水玻璃用于地基灌浆时,*n*=(2.7~3.0)较好;涂刷混凝土表面时,*n*=(3.3~3.5)为宜;作为水泥的促凝剂时,*n*=(2.7~2.8)为宜。

思考与练习

一、名词解释

水硬性胶凝材料 标准稠度用水量 初凝

二、填空题

1. 引起硅酸盐水泥腐蚀的基本内因是水泥石中存在()成分和水泥石结构不()。
2. 石灰中的过火颗粒易引起结构()不良,应该用()方法消除过火灰的危害。
3. 掺混合材料的硅酸盐水泥早期强度();矿渣硅酸盐水泥的抗渗能力()。
4. 硅酸盐水泥按照3 d和()d的()强度和()强度划分等级。
5. 硅酸盐水泥由于熟料含量高,()用于大体积混凝土工程。

三、选择题

1. 水泥强度是指()的强度。
A. 水泥净浆 B. 胶砂试体 C. 混凝土试块 D. 砂浆试块
2. 当水泥的细度不能达标时,该水泥应()。
A. 可以使用 B. 以废品论 C. 以不合格品论 D. 降级使用
3. 水泥的体积安定性经沸煮法检验不合格,该水泥应()。
A. 可以使用 B. 禁止使用
C. 经处理后用于次要工程 D. 经处理后可用于同等级工程
4. 大体积混凝土施工应考虑水泥的()性质。
A. 强度 B. 变形 C. 水化热 D. 体积安定性
5. 屋面抗渗混凝土工程不宜选用()。
A. 硅酸盐水泥 B. 普通硅酸盐水泥
C. 矿渣硅酸盐水泥 D. 火山灰质硅酸盐水泥
E. 粉煤灰硅酸盐水泥

四、问答题

1. 试简述测定水泥凝结时间的工程意义。
2. 试简述提高水泥石抗腐蚀能力的措施。
3. 掺混合材料硅酸盐水泥的强度发展有何特点? 试说明原因。
4. 试简述水泥胶砂强度的确定方法。
5. 存放期已超过三个月的水泥,可否凭进场时的检测强度用于混凝土工程? 为什么?