

绪 论

学习目标

- 掌握建筑材料的定义及分类。
- 了解建筑材料在建筑工程中的地位及作用。

0.1 建筑材料的定义与分类

0.1.1 建筑材料的定义

建筑材料是构成建筑工程结构物的各种材料的总称,是建筑工程不可缺少的物质基础。从地基基础、承重构件(如梁、板、桩等),直到地面、墙体、屋面等所用的材料都属于建筑材料。常见的建筑材料有水泥、钢筋、木材、混凝土、砌墙砖、石灰、沥青、瓷砖等,实际上建筑材料远不止这些,其品种达数千种之多。

建筑材料的定义有广义与狭义两种。广义的建筑材料是指建造建筑物和构筑物的所有材料,包括使用的各种原材料、半成品、成品等的总称,如黏土、铁矿石、石灰石、生石膏等。狭义的建筑材料是指直接构成建筑物和构筑物实体的材料,如混凝土、水泥、石灰、钢筋、黏土砖、玻璃等。

建筑材料必须满足以下两个基本要求。

- (1)满足建筑物和构筑物本身的技术性能要求,保证能正常使用。
- (2)在其使用过程中,能抵御周围环境的影响与有害介质的侵蚀,保证建筑物和构筑物的合理使用寿命,同时对周围环境不能产生危害。

0.1.2 建筑材料的分类

1. 按建筑材料的化学组成分类

建筑材料按其化学组成可分为无机材料、有机材料和复合材料。

(1)无机材料。无机材料包括金属材料和非金属材料。金属材料指黑色金属材料(如钢、铁)和有色金属材料(如铝、铜、合金)。非金属材料指天然石材(如大理石、花岗石)、陶瓷和玻璃(如砖、瓦、卫生陶瓷、玻璃)、无机胶凝材料(如石灰、石膏、水玻璃)和水泥、砂浆、混凝土。

(2)有机材料。有机材料包括植物材料、合成高分子材料和沥青材料。

(3)复合材料。复合材料是由两种或两种以上不同性能的材料,经恰当组合成为一体的



图片
著名建筑

材料。复合材料可以克服单一材料的弱点,而发挥其综合的复合特性。通过复合手段,材料的各种性能都可以按照需要进行设计。复合材料已成为当今材料科学发展的趋势,包括无机材料基复合材料和有机材料基复合材料。

2. 按建筑材料的使用功能分类

建筑材料按其使用功能可分为结构材料和功能材料。

(1)结构材料。结构材料是指用作承重构件的材料,如建筑物的基础、梁、板、柱等所用的材料。

(2)功能材料。功能材料是指具有某些特殊功能的材料,如起防水作用的材料(防水材料)、起装饰作用的材料(装饰材料)、起保温隔热作用的材料(绝热材料)等。

3. 按建筑物的部位分类

建筑材料按建筑物的部位可分为主体结构材料、屋面材料、地面材料、外面材料、内墙材料及吊顶材料。

0.2 建筑材料的发展与作用

0.2.1 建筑材料的发展



图文
中国的万里
长城

人类最早穴居巢处,几乎没有建筑材料的概念,后进入到石器铁器时代,开始掘土凿石为洞,伐木搭竹为棚,从利用最原始的材料建造最简陋的房屋开始,逐渐使用建筑材料。最早被人类用作建筑材料的有草、木、石、土、冰及兽皮等天然材料。

随着社会生产力的不断发展,人类掌握了烧窑、冶炼技术,便开始生产和使用砖瓦、石灰、三合土、玻璃、青铜、陶瓷等建筑材料,这才有了埃及的金字塔、中国的万里长城、都江堰水利工程以及一些宏伟壮观的塔、寺、楼阁等著名建筑。

18世纪以前,建筑材料发展得非常缓慢,直到19世纪资本主义国家的工业革命兴起之后,建筑材料才得以迅速发展,这也才有了高达300 m的法国巴黎埃菲尔(Eiffel)铁塔、主跨长达521 m的英国苏格兰福斯铁路桥(Forth Railway Bridge)、高度达443 m的美国芝加哥西尔斯大厦、高度达420 m的中国上海金茂大厦等著名的高层大跨度的建筑。在这些建筑物中,钢材、水泥、钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土已经成为现代建筑的主要结构材料。

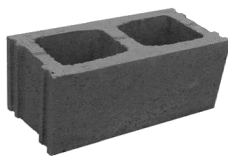
现代建筑物中常见的建筑材料如图0-1所示。



(a)钢筋



(b)水泥



(c)砌块



(d)砂子

图 0-1 常见的建筑材料

我国在建筑材料的应用和生产方面有着悠久的历史 and 重大的成就,像秦砖汉瓦早已具

有盛名。但是由于我国长期处于封建社会,鸦片战争之后更是沦为了半封建半殖民地的国家,社会生产力发展极为缓慢,因此建筑材料的生产和科研一直处于落后状态,直到 19 世纪 60 年代,上海、汉阳等地才开始相继建成炼铁厂。新中国成立前我国建筑材料工业的发展十分缓慢,到 1949 年新中国成立时,作为主要建筑材料的钢材的全国年产量仅为 90 多万吨,水泥的全国年产量仅为 66 万吨。新中国成立以后,建筑材料工业才得到了迅速的发展,现在我国的钢材、水泥总产量已跃居世界第一。为了满足现代工程建设的需要,一些具有特殊功能(如保温、防火、隔热、耐火等)的建筑材料也应运而生。我国建筑材料的技术规范标准也在不断地健全和完善,已实现了材料标准化、测试手段现代化,建筑材料工业呈现出蒸蒸日上的景象。

随着社会的不断进步和发展,环境保护和节省耗材的需要对建筑材料提出了更高、更多的要求,当然也生产出了许多新型的建筑材料,如图 0-2 所示。在今后一段时间内,建筑材料将向以下几个方向发展。

(1)轻质高强。现今钢筋混凝土结构材料的自重大,限制了建筑物向高层、大跨度方向进一步发展。通过减轻材料自重,以尽量减轻结构物自重,可提高经济效益。

(2)节约能源。建筑材料的生产能耗和建筑物的使用能耗,在国家总能耗中一般占 20%~35%,研制和生产低能耗的新型节能建筑材料是构建节约型社会的需要。

(3)智能化。所谓智能化材料,是指材料本身具有自我诊断和预告破坏、自我修复的功能,以及可重复利用性。建筑材料向智能化方向发展,是人类社会向智能化社会转变的需要。

(4)多功能化。利用复合技术生产多功能材料、特殊性能材料及高性能材料,这对提高建筑物的使用功能、经济性及加快施工速度等有着十分重要的作用。

(5)绿色化。产品的设计以改善生产环境、提高生活质量为宗旨,产品具有多种功能,不仅无损而且有益于人的健康,可循环或回收再利用,或形成不污染环境的废弃物。

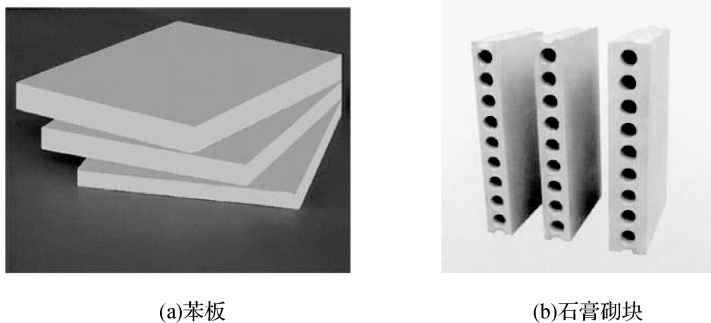


图 0-2 常见的新型建筑材料

总之,应充分利用地方材料,尽量少用天然资源,大量使用尾矿、废渣、垃圾等废弃物作为生产建筑材料的资源,以保护自然资源和维持生态环境的平衡;采用低能耗、无环境污染的生产技术,优先开发、生产低能耗的材料以及能降低建筑物使用能耗的节能型材料;在健康材料生产中不得使用有损人体健康的添加剂和颜料,如甲醛、铅、镉、铬及其化合物等,同时要开发对人体健康有益的材料功能,如抗菌、灭菌、除臭、除霉、防火、调温、消磁、防辐射、抗静电等。

0.2.2 建筑材料的作用

建筑材料是随着人类社会生产力水平和科学技术水平的提高而逐步发展起来的,是建筑工程的物质基础,它主要有以下几方面的作用。

- (1) 保证建筑工程的质量。
- (2) 建筑材料的发展赋予了建筑物时代的特性和风格。
- (3) 建筑设计理论的进步和施工技术的革新不但受到建筑材料发展的制约,同时也受到其发展的推动。
- (4) 正确、节约、合理地使用建材会直接影响到建筑工程的造价和投资。

0.3 建筑材料的技术标准简介

标准是指对重复性事物和概念所做的统一规定,它以科学、技术和实践的综合成果为基础,经有关方面协调一致,由主管部门批准发布,作为共同遵守的准则和依据。建筑材料的技术标准是针对原材料和产品的质量、规格、检验方法、评定方法、应用技术等作出的技术规定。它是产品生产、工程建设、科学研究以及商品流通领域所需要共同遵守的技术法规。

与建筑材料的生产和选用有关的标准主要有产品标准和工程建设类标准两类。产品标准是为保证建筑材料产品的适用性,对产品必须达到的某些或全部要求所制定的标准,包括品种、规格、技术性能、试验方法、检验规则、包装、运输等内容。工程建设类标准是对工程建设中的勘察、规划、设计、施工、安装、验收等需要协调统一的事项所制定的标准。在结构设计、施工及验收规范中有与建筑材料的选用相关的内容。

标准由标准名称、部门代号、编号和批准年份等表示。例如,《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)中,“通用硅酸盐水泥”为标准名称,“GB”为国家标准的代号,“175”为标准编号,“2007”为标准批准年份。各种标准规范的代号见表 0-1。

表 0-1 各种标准规范的代号

标准种类	代 号	表示顺序	示 例
国家标准	GB 国家强制性标准 GB/T 国家推荐性标准 GBJ 建筑工程国家标准	代号、标准编号、批准年份	《通用硅酸盐水泥》 GB 175—2007
行业标准 (部分)	JG 建筑行业强制性标准 JT 交通行业强制性标准 YB 黑色冶金行业强制性标准	代号、标准编号、批准年份	《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ 52—2006
地方标准	DB 地方强制性标准 DB/T 地方推荐性标准	代号、行政区号、标准编号、批准年份	《火灾自动报警系统检验规程》 DB21/T 1204—2003
企业标准	QB 企业标准	代号、顺序号、批准年份	《预应力钢丝和钢绞线用优质钢热轧盘条》 Q/ASB 136—2004

各个国家均有自己的国家标准,如“ASTM”代表美国国家标准,“JIS”代表日本国家标准,“BS”代表英国国家标准,“DIN”代表德国国家标准等。另外,在世界范围内统一执行的标准称为国际标准,其代号为“ISO”。我国是国际标准化协会会员国,为了便于与世界各国进行科学技术交流,我国各项技术标准都正在向国际标准靠拢。

0.4 本课程的任务和学习方法

0.4.1 本课程的任务

本课程是土建类专业中一门重要的基础课,主要介绍了建筑材料的一些基本性质,讲述了建筑工程中常用材料的基本组成、性能特点、技术标准及应用,常用建筑材料的试验方法和材料质量的评定方法。本课程是一门理论性和实践性都较强的专业基础课,涉及的知识面较广。学习中在突出建筑材料的性质与应用这一主线的前提下,特别要注意对材料的标准、选用、检验、验收和储存等施工现场常遇问题的解决。

根据建筑材料教学的总体要求及课程的特点,对学习本课程提出以下要求。

- (1)了解材料的组成,掌握材料的性质及技术要求。
- (2)了解材料的组成及结构对材料性质的影响。
- (3)了解外界因素对材料性质和应用的影响。
- (4)理解材料各主要性质间的相互关系。
- (5)掌握常用建筑材料的试验方法,理解材料试验结果的影响因素。
- (6)掌握常用建筑材料的选用要点和检验标准。
- (7)理解混凝土的配合比设计的基本理论,掌握普通混凝土的配合比设计。
- (8)掌握常用建筑材料的国家标准或行业标准。

0.4.2 本课程的学习方法

本课程是进入专业课学习的重要先修课程,其学习方法也不同于数学、物理等基础课,其理论推导和复杂的计算很少,而用物理和化学的概念与方法进行分析较多。建筑材料课程内容繁杂,因此掌握正确的学习方法是至关重要的。在学习过程中要注意以下几点。

(1)点线面结合,突出重点。围绕如何合理地选择材料、正确地使用材料、准确地鉴定材料这个核心,以材料的组成、结构、性能与应用为主线进行学习,重点掌握各种材料的性能与应用,对材料的生产只作一般性的了解。在本课程的学习过程中,应结合现行的技术标准规范,以建筑材料的性能及合理选用为中心,注意事物的本质和内在联系。通过对常用的、有代表性的建筑材料的学习,为在今后工作中了解和应用其他建筑材料打下基础。

(2)对比法。不同种类的材料具有不同的性质,同类材料的不同品种既存在共性又存在各自的特性,要抓住代表性材料的一般性质,运用对比的方法掌握其他品种建筑材料的特性。学习中应善于运用对比法找出材料间的共性和各自的特性,对各材料应注意比较其异同点,包括两种材料的对比及一种材料与多种材料的对比。

(3)理论联系实际。本课程是一门实践性很强的课程,除学习基本理论、基本知识和基

建筑材料与检测

本技能外,应注意结合工程实际进行学习。在学习过程中要多观察身边建筑工程材料的应用情况,了解常用材料的品种、规格、使用情况,验证和补充书本知识。

(4)建筑材料试验是本课程的重要教学环节。通过试验可以验证所学的基础理论,熟悉材料的检测方法,掌握一定的试验技能,对培养分析和判断问题的能力、试验工作的能力以及严谨的科学态度十分有益,也为后续专业课程的学习以及今后从事建筑类工作打下良好的基础。

思考与练习

1. 建筑材料的广义定义和狭义定义分别是什么?
2. 建筑材料的作用有哪些?
3. 无机材料包括哪些? 请举例说明。
4. 试举出六种以上所在教学楼用到的建筑材料及其使用部位。
5. 结合本人情况,谈谈如何学好这门课程。

单元 1 建筑材料的基本性质

学习目标

- 了解建筑材料的组成和结构。
- 熟悉建筑材料与水、热有关的性质及材料的力学性质和耐久性。
- 掌握建筑材料的密度、表观密度、堆积密度、孔隙率和密实度的概念及计算。

建筑材料在建筑物的各个部位要起到不同的作用,因而要求建筑材料具有相应的不同性质。例如,用于建筑结构的材料要受到各种外力的作用,因此,选用的材料应有所需要的力学性能。又如,根据建筑物各种不同部位的使用要求,有些材料应具有防水、绝热、吸声等性能;在某些工业建筑中,还要求材料具有耐热、耐腐蚀等特殊性能。此外,对于长期暴露在大气中的材料,要求能经受风吹、日晒、雨淋、冰冻而引起的温度变化、湿度变化及反复冻融等的破坏作用。为了保证建筑物的耐久性,要求在工程设计与施工中正确地选择和合理地使用材料,因此,必须熟悉和掌握各种材料的基本性质。



图片
建筑功能材料

1.1 材料的组成和结构

1.1.1 材料的组成

材料的组成是决定材料性质的内在因素之一。材料的组成包括材料的化学组成、矿物组成和相组成,它和结构、构造是决定材料性质的本质因素。

1. 化学组成

化学组成即化学成分,是指构成材料的化学元素及化合物的种类和数量。无机非金属材料常用组成它的各氧化物的含量来表示;金属材料常用组成它的各化学元素的含量来表示;有机材料则常用组成它的各化合物含量来表示。化学组成是决定材料化学性质、物理性质、力学性质的主要因素。

2. 矿物组成

矿物是地壳中存在的自然化合物和少量自然元素,具有相对固定的化学成分和性质。矿物大部分是固态的,如铁矿石,也有液态的或气态的。无机非金属材料是由各种矿物组成的。材料的化学组成不同,其矿物组成不同;相同的化学组成,也可组成多种不同的矿物。矿物组成不同的材料,其性质也不同。

3. 相组成

人们把一种或一组从周围环境中被想象地孤立起来的物质称为系统或物系。而把系统

中一切具有相同组成、相同物理性质和化学性质的均匀部分的总和称为相。相与相之间恒有一定的界面。材料内部,特别是固体相(即组成材料的矿物)和结构特征(即组成矿物的颗粒大小、形状、排列及颗粒间的联结等)直接关系到材料的工程性质,决定材料的物理力学性能。因此,仅仅研究材料的化学成分是不够的,必须把化学组成、矿物组成、相组成结合起来,才能理解有些材料化学成分相同,但是性能差异很大的原因。

1.1.2 材料的结构

材料的性质与材料内部的结构有着密切的关系。材料的结构是指材料的内部组织情况,可分为宏观结构、显微结构和微观结构。

1. 宏观结构

材料的宏观结构是指用肉眼或放大镜能够分辨的粗大组织,其尺寸在 10^{-3} m(毫米级)以上,如木材的纹理、岩石的层理、混凝土中的裂缝和孔空隙等。材料的宏观结构可按其特征分为致密结构(钢材、玻璃等)、多孔结构(泡沫塑料、加气混凝土等)、纤维结构(竹材、纤维板等)和层状结构(胶合板等)。

2. 显微结构

材料的显微结构是指用光学显微镜所能观察到的材料的组成及结构,可分辨的范围在 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ m(微米级)。如金属材料的金相组织、混凝土材料的相组成(水泥基相、集料相、界面相及孔隙)以及木材的木纤维、导管、髓线等组织。材料显微特征、数量、分布和界面性质对材料性能有重要影响。

3. 微观结构

材料的微观结构是原子分子层次的结构,可用电子显微镜或 X 射线衍射仪来分析研究该层次的结构特征,其尺寸范围在 $10^{-6} \sim 10^{-10}$ m。材料的许多物理性质,如强度、硬度、熔点、导热、导电性等都是由微观结构决定的。材料在微观结构层次上可分为晶体和非晶体。

具有相同组成和微观结构的材料,可以制成宏观结构不同的材料,其性质和用途随宏观结构的不同差别很大,如玻璃与泡沫玻璃、塑料与泡沫塑料、混凝土与加气混凝土;而宏观构造相似的材料,即便其组成和微观结构不同,也具有某些相同或相似的性能和用途,例如,泡沫塑料、泡沫玻璃、加气混凝土都具有保温隔热的功能。工程上经常采用改变材料的密实度和孔隙结构及应用复合材料等方法改善材料的性能,以满足不同的需要。

1.2 材料的物理性质



测试
材料的物理
性质

1. 材料的三种密度

密度是指物质单位体积的质量,单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 。由于材料所处的体积状况不同,故有实际密度(密度)、表观密度和堆积密度之分。

1) 实际密度

实际密度以前称比重、真实密度,简称密度(density),是指材料在绝对密实状态下,单位体积所具有的质量,按下式计算:

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

式中, ρ 为实际密度(g/cm^3); m 为材料在干燥状态下的质量(g); V 为材料在绝对密实状态

下的体积(cm^3)。

绝对密实状态下的体积是指不包括孔隙在内的体积。除了钢材、玻璃等少数接近于绝对密实的材料外,绝大多数材料都存在一些孔隙,如砖、石材等块状材料。在测定有孔隙的材料密度时,应把材料磨成细粉以排除其内部孔隙,经干燥至恒重后,用密度瓶(李氏瓶)测定其实际体积,该体积即可视为材料绝对密实状态下的体积。材料磨得愈细,测定的密度值愈精确。

2) 表观密度

表观密度以前称容重,有的也称毛体积密度,是指材料在自然状态下,单位体积所具有的质量,按下式计算:

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

式中, ρ_0 为表观密度(g/cm^3 或 kg/m^3); m 为材料的质量(g 或 kg); V_0 为材料在自然状态下的体积,或称表观体积(cm^3 或 m^3)。

材料在自然状态下的体积是指材料的实体积与材料内所含全部孔隙体积之和。对于外形规则的材料,其测定很简便,只要测得材料的质量和体积,即可算得表观密度。对于不规则材料的体积要采用排水法求得,但应先在材料表面涂上蜡,以防因水分渗入材料内部而影响测定的准确度。

3) 堆积密度

堆积密度是指散粒材料在自然堆积状态下单位体积的质量,按下式计算:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-3)$$

式中, ρ'_0 为堆积密度(kg/m^3); m 为材料的质量(kg); V'_0 为材料的堆积体积(m^3)。

散粒材料在自然状态下的体积,是指既含颗粒内部的孔隙又含颗粒之间空隙的总体积。测定散粒材料的堆积密度时,材料的质量是指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。若以捣实体积计算时,则称紧密堆积密度。

在土木工程中计算材料用量、构件自重、配料计算以及确定堆放空间时,均需要用到材料的上述状态参数。常用建筑材料的密度、表观密度、堆积密度及孔隙率见表 1-1。

表 1-1 常用建筑材料的密度、表观密度、堆积密度及孔隙率

材料名称	密度/ (g/cm^3)	表观密度/ (kg/m^3)	堆积密度/ (kg/m^3)	孔隙率/%
建筑钢材	7.8~7.9	7 850	—	0
普通混凝土	—	2 300~2 500	—	3~20
花岗石	2.7~2.9	2 500~2 800	—	0.5~1.0
石灰岩	2.4~2.6	1 800~2 600	1 400~1 700(碎石)	—
砂	2.5~2.6	—	1 500~1 700	—
黏土	2.5~2.7	—	1 600~1 800	—
水泥	2.8~3.1	—	1 200~1 300	—
烧结普通砖	2.6~2.7	1 600~1 900	—	20~40
烧结空心砖	2.5~2.7	1 000~1 480	—	—
木材	1.55~1.60	400~800	—	55~75

2. 材料的密实度、孔隙率与空隙率

1) 材料的密实度

密实度是指材料的固体物质部分的体积占总体积的比例,以 D 表示,说明材料体积内被固体物质所充填的程度,即反映了材料的致密程度,按下式计算:

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

式中, D 为材料的密实度(%); V 为材料在绝对密实状态下的体积(cm^3); V_0 为材料在自然状态下的体积(cm^3); ρ 为材料的密度(g/cm^3); ρ_0 为材料的表观密度(g/cm^3)。

2) 材料的孔隙率

孔隙率是指材料体积内孔隙体积(V_P)占材料总体积(V_0)的百分率。因 $V_P = V_0 - V$, 则 P 值可用下式计算:

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

式中, P 为材料的孔隙率(%).

孔隙率与密实度的关系为:

$$P + D = 1 \quad (1-6)$$

式(1-6)表明,材料的总体积是由该材料的固体物质与其包含的孔隙组成的。

材料的孔隙按特征可分为开口孔隙和闭口孔隙两种,二者的孔隙率之和等于材料的总孔隙率;按孔隙的尺寸大小又可分为微孔、细孔及大孔三种。不同的孔隙对材料的性能影响各不相同。一般而言,孔隙率较小,且连通孔较少的材料,其吸水性较小、强度较高、抗冻性和抗渗性较好。对于工程中需要保温隔热的建筑物或部位,要求其所用材料的孔隙率要较大。相反,对要求高强或不透水的建筑物或部位,则其所用材料的孔隙率应很小。

3) 材料的空隙率

空隙率是指散粒材料在某容器的堆积体积中,颗粒之间的空隙体积(V_S)占堆积体积的百分率,以 P' 表示。因 $V_S = V'_0 - V$, 则 P' 值可用下式计算:

$$P' = \frac{V'_0 - V}{V'_0} \times 100\% = (1 - \frac{\rho'_0}{\rho}) \times 100\% \quad (1-7)$$

3. 材料与水有关的性质

在建筑物的使用过程中,不同部位的材料会与水或空气中的水汽接触,水介质会对材料形成侵蚀,严重时还会降低建筑物的使用功能。因此,了解建筑材料与水有关的性质是十分必要的。

1) 亲水性与憎水性

亲水性是材料能被水润湿的性质。亲水性材料有砖、混凝土等。材料产生亲水性的原因是因其与水接触时,材料与水分子之间的亲和力大于水分子之间的内聚力。当材料与水接触,材料与水分子之间的亲和力小于水分子之间的内聚力时,材料则表现为憎水性。憎水性材料有沥青、石油等。

材料被水润湿的情况可用润湿边角 θ 来表示。当材料与水接触时,在材料、水、空气三相的交界点处沿水滴表面作切线,此切线与材料和水接触面的夹角 θ , 称为润湿边角,如图 1-1 所示。

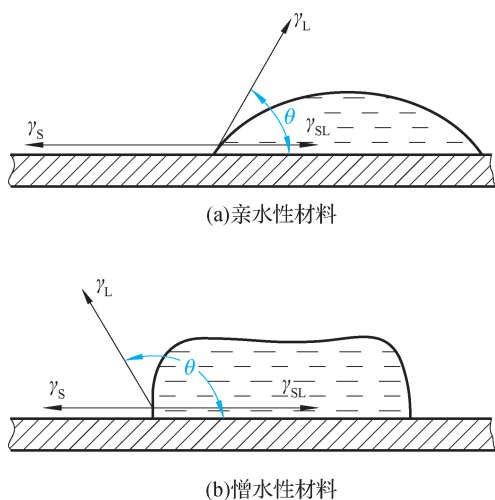


图 1-1 材料的润湿示意图

θ 角愈小,表明材料愈易被水润湿。当 $\theta < 90^\circ$ 时,材料表面吸附水,材料能被水润湿而表现出亲水性,这种材料称为亲水性材料。当 $\theta > 90^\circ$ 时,材料表面不吸附水,称为憎水性材料。当 $\theta = 0^\circ$ 时,表明材料完全被水润湿。

上述概念也适用于其他液体对固体的润湿情况,相应称为亲液材料和憎液材料。

2) 材料的吸水性与吸湿性

(1)吸水性。材料在水中能吸收水分的性质称为吸水性。材料的吸水性用吸水率表示,有质量吸水率与体积吸水率两种表示方法。

质量吸水率是指材料在吸水饱和时,内部所吸水分的质量占材料干燥质量的百分率,按下式计算:

$$W_{\text{质}} = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1-8)$$

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

体积吸水率是指材料在吸水饱和时,其内部所吸水分的体积占干燥材料自然体积的百分率,按下式计算:

$$W_{\text{体}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_0} \times 100\% = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中, $W_{\text{体}}$ 为材料的体积吸水率(%); V_0 为干燥材料在自然状态下的体积(cm^3); ρ_w 为水的密度(g/cm^3)。

(2)吸湿性。材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性。潮湿材料在干燥的空气中也会放出水分,称为还湿性。材料的吸湿性用含水率表示。含水率是指材料内部所含水的质量占材料干燥质量的百分率,按下式计算:

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

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)。

3) 材料的耐水性

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

$$K_s = \frac{f_w}{f} \quad (1-11)$$

式中, K_s 为材料的软化系数; f_w 为材料在饱水状态下的抗压强度(MPa); f 为材料在干燥状态下的抗压强度(MPa)。

软化系数的范围为 0~1。软化系数的大小反映材料浸水后强度降低的程度。 $K_s > 0.80$ 的材料,通常可认为是耐水材料。

4) 材料的抗渗性

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性,或称不透水性。材料的抗渗性通常用渗透系数 K 表示。渗透系数的物理意义是:一定厚度的材料,在一定水压力下,在单位时间内透过单位面积的水量。用公式表示为:

$$K = \frac{Wd}{Ath} \quad (1-12)$$

式中, K 为材料的渗透系数(cm/s); W 为透过材料试件的水量(cm^3); d 为试件厚度(cm); t 为透水时间(s); A 为透水面积(cm^2); h 为静水压力水头(cm)。

K 值愈大,表示材料渗透的水量愈多,即抗渗性愈差。

混凝土的抗渗性用抗渗等级表示。抗渗等级是以规定的试件,在标准试验方法下所能承受的最大静水压力来确定,以符号 P 加上该材料所能承受的最大水压力的 10 倍的 MPa 数表示,如 P4、P6、P8、P10、P12 等,分别表示材料能承受 0.4 MPa、0.6 MPa、0.8 MPa、1.0 MPa、1.2 MPa 的水压而不渗水。材料的抗渗性与其孔隙率和孔隙特征有关。

5) 材料的抗冻性

材料在水饱和状态下,能经受多次冻融循环作用而不被破坏,也不严重降低强度的性质,称为材料的抗冻性。

材料的抗冻性用抗冻等级表示。抗冻等级是以规定的试件,在规定试验条件下,测得其强度降低不超过 25%,且质量损失不超过 5% 时所能承受的最多的循环次数来表示。

抗冻等级用符号 F 加上最大冻融循环次数表示,如 F25、F50 等。材料抗冻标号的选择是根据结构物的种类、使用条件、气候条件等来决定的。

4. 材料与热有关的性质

为了保证建筑物具有良好的室内环境,同时降低建筑物的使用能耗,必须要求建筑物的围护结构材料具有一定的热工性质。建筑材料常用的热工性质有导热性、热容量、耐火性等。

1) 导热性

热量由材料的一面传至另一面的性质,称为导热性。导热性是材料的一个非常重要的热物理指标,它是材料传递热量的一种能力。材料导热能力用导热系数 λ 来表示。导热系数的物理意义是:单位厚度(1 m)的材料,当两面温差为 1 K 时,在单位时间(1 s)内,通过单位面积(1 m^2)的热量。导热系数用下式计算:

$$\lambda = \frac{Q \cdot a}{A \cdot Z(t_2 - t_1)} \quad (1-13)$$

式中, λ 为导热系数 [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]; Q 为传导的热量 (J); a 为材料厚度 (m); A 为传热面积 (m^2); Z 为传热时间 (s); $t_2 - t_1$ 为材料传热时两面的温度差 (K)。

导热系数与热阻都是评定材料保温隔热性能的重要指标。材料的导热系数越小, 热阻值越大, 材料的导热性能越差, 保温隔热性能越好。

由于气候、施工水分和使用的影响, 都会使建筑材料具有一定的湿度, 湿度对导热系数有着极其重要的影响。材料受潮后, 在材料的空隙中有水分(包括水蒸气和液态水), 而水的导热系数比静态空气的导热系数大 20 倍, 所以使材料导热系数增大。如果孔隙中的水分冻结成冰, 而冰的导热系数约是水的 4 倍, 则材料的导热系数将更大, 因而材料受潮或受冻都将严重影响其保温效果。所以在工程中使用保温材料时应特别注意防潮。

2) 热容量

材料加热时吸收热量, 冷却时放出热量的性质, 称为热容量。热容量大小用比热表示。用公式表示如下:

$$C = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)} \quad (1-14)$$

式中, C 为比热 ($\text{J}/\text{g} \cdot \text{K}$); Q 为材料吸收或放出的热量 (J); m 为材料的质量 (g); $t_2 - t_1$ 为材料受热或冷却后的温差 (K)。

比热是反映材料的吸热或放热能力大小的物理量。不同材料的比热不同, 它对保持建筑物内部温度稳定有很大的意义, 比热大的材料, 能在热流变动或采暖设备供热不均匀时, 缓和室内的温度波动, 屋面材料也宜选用热容量值大的材料。

3) 耐火性

耐火性指材料在高温或火的作用下, 保持其原来性质而不损伤的性能, 用耐火度表示。工程上用于高温环境的材料和热工设备等都要使用耐火材料。根据材料耐火度的不同, 可分为三大类。

- (1) 耐火材料。耐火度不低于 $1\ 580\ ^\circ\text{C}$ 的材料, 如各类耐火砖等。
- (2) 难熔材料。耐火度为 $1\ 350\ ^\circ\text{C} \sim 1\ 580\ ^\circ\text{C}$ 的材料, 如难熔黏土砖、耐火混凝土等。
- (3) 易熔材料。耐火度低于 $1\ 350\ ^\circ\text{C}$ 的材料, 如普通黏土砖、玻璃等。

1.3 材料的化学性能

材料的化学性能是指材料在受到外界条件(温度、压力等)变化的影响, 或与某些侵蚀性介质接触时产生化学反应而引起的材料内部成分、结构和性能改变的现象, 以及材料的化学特征形成的有用功能。

材料的化学性能包括三方面的内容。

1. 化学稳定性

1) 化学稳定性的概念

化学稳定性是指材料在外界温度、压力等条件改变时, 性能和内部结构等发生变化的现象。这种稳定性与材料自身的成分、结构及特性关系密切。

某些材料即使在封闭条件下,也会随环境温度、压力等条件的变化产生一些相变或内部化学反应,影响材料的使用性能。这些材料多数是由于合成时,含有的较活泼的元素(Fe、S)发生了化学反应,或结构处于不稳定(如缺陷)状态,从而导致化学性能不稳定,如含 Fe 时陶瓷发黄。

2)引起化学稳定性变化的原因

材料在使用过程中,在一定的力学条件下非均质材料内部物质间主要是固态物质的反应(如固—固、固—气、固—液),反应共同点是从界面开始进行的。物质首先扩散到界面,在界面进行化学反应,生成反应产物层,产物层逐渐扩大,然后部分产物由界面转移。

反应过程一般包括:①扩散(分解反应);②生成新化合物(化合反应);③化合物晶体长大(新物相);④缺陷消除等。该过程是连续的,而且同时伴随有物理化学性质的变化。

3)材料化学稳定性的检测

化学稳定性的检测包括材料微区分析、材料的谱学研究分析和采用一些现代测试技术。如透射电镜用于结构分析(是否存在缺陷、不稳定结构);X-粉晶衍射用于成分分析(是否含有易氧化、易分解的元素);红外光谱用于成分分析(是否含有易氧化、易分解的元素);电子探针用于成分分析(是否含有易氧化、易分解的元素)。

2. 抗腐蚀性和活性

材料在与侵蚀性介质(固、液、气相)接触时,引起内部成分、结构、使用性能变化的反应性能,即抗腐蚀性和活性。

1.4 材料的力学性质

材料的力学性质是指材料在外力作用下的变形和抵抗破坏的性质,它是材料最为重要的基本性质。

1. 强度

材料在外力作用下抵抗破坏的能力称为强度。当材料承受外力作用时,在材料内部相应地产生应力,且应力随着外力的增大而相应增大,直至材料内部质点间的结合力不足以抵抗所作用的外力时,材料即发生破坏。材料破坏时,应力达到极限值,这个极限应力值就是材料的强度,也称极限强度。强度的大小是通过试件的破坏试验而测得的,根据外力作用方式的不同,材料强度有抗压强度、抗拉强度、抗弯强度等。

材料抗拉、抗压、抗剪强度按下式计算:

$$f = \frac{F}{A} \quad (1-15)$$

式中, f 为抗拉、抗压、抗剪强度(MPa); F 为材料受拉、压、剪破坏时的荷载(N); A 为材料的受力面积(mm^2)。

抗弯(折)强度与试件的几何外形及荷载方式有关,对于矩形截面的条形试件,当其两点间的跨中作用于一集中荷载时,其抗弯强度按下式计算:

$$f_m = \frac{3F_{\max}L}{2bh^2} \quad (1-16)$$

式中, f_m 为材料的抗弯强度(MPa); F_{\max} 为弯曲破坏时的最大荷载(N); L 为两支点间的距离(mm); b 、 h 分别为试件横截面的宽度和高度(mm)。

在检测材料的强度时,试件的尺寸、施力速度、受力面状态、含水状态和环境温度等因素的影响,都会使检测值产生偏差。为了使试验结果比较准确,且具有可比性,国家标准规定了各种材料强度的标准检验方法,在测定材料强度时必须严格按照规定进行。

2. 弹性和塑性

材料在外力作用下产生变形,当外力取消后,材料变形即可消失并能完全恢复原来形状的性质称为弹性,这种可恢复的变形称为弹性变形。

材料在外力作用下产生变形,但不破坏,当外力取消后材料不能自动恢复到原来形状的性质称为塑性,这种不可恢复的变形称为塑性变形。塑性变形属于永久性变形。

工程实际中,完全的弹性材料或完全的塑性材料是不存在的,大多数材料的变形既有弹性变形,也有塑性变形。例如,建筑钢材在受力不大的情况下仅产生弹性变形,当受力超过一定限度后会产生塑性变形。

3. 硬度与耐磨性

硬度是指材料表面抵抗其他物体压入或刻划的能力。金属材料的硬度常用压入法测定,如布氏硬度法,是以单位压痕面积上所受的压力来表示。陶瓷等材料常用刻划法测定。一般情况下,硬度大的材料强度高、耐磨性较强,但不宜加工。

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来表示。材料的磨损率越低,表明材料的耐磨性越好。耐磨性与材料的组成结构及强度、硬度有关,一般硬度较高的材料,耐磨性也较好。对于楼地面、楼梯、路面等经常受到磨损作用的部位,在选择材料时应该考虑其耐磨性。

1.5 材料的耐久性

1. 耐久性的定义

材料的耐久性是指用于建筑物的材料,在环境的多种因素作用下不变质、不破坏,长久地保持其使用性能的能力。耐久性是材料的一种综合性质,诸如抗冻性、抗风化性、抗老化性、耐化学腐蚀性等均属耐久性的范围。工程上通常用材料抵抗使用环境中主要影响因素的能力来评价其耐久性。

影响材料耐久性的内在因素很多,除了材料本身的组成结构、强度等因素外,材料的致密程度、表面状态和孔隙特征对耐久性也有很大影响。一般来说,材料的内在结构密实、强度高、孔隙率小、连通孔隙小、表面密致,则其抵抗环境的能力强,耐久性好。工程上常用提高密实度、改善表面状态和孔隙结构的方法来提高材料的耐久性。此外,材料的强度、抗渗性、耐磨性等也与材料的耐久性有密切关系。

2. 环境影响因素

材料在建筑物使用过程中长期受到周围环境和各种自然因素的破坏作用,一般可分为物理作用、化学作用、机械作用、生物作用等。不同材料受到的环境作用及程度也不相同。

(1)物理作用包括环境温度、湿度的交替变化,即冷热、干湿、冻融等循环作用。材料在经受这些作用后,将出现膨胀、收缩现象,产生内应力。长期的反复作用,将使材料渐遭破坏。

(2)化学作用包括大气和环境水中的酸、碱、盐等溶液或其他有害物质对材料的侵蚀作用,以及日光等对材料的作用,使材料产生本质的变化而破坏。

(3)机械作用包括荷载的持续作用或交变荷载引起材料的疲劳、冲击、磨损等。

(4)生物作用包括菌类、昆虫等的侵害作用,导致材料发生腐朽、蛀蚀等破坏。

各种材料耐久性的具体内容,因其组成和结构不同而不同。例如,钢材易氧化而锈蚀,无机非金属材料常因氧化、风化、碳化、溶蚀、冻融、热应力、干湿交替作用等而破坏,有机材料多因腐烂、虫蛀、老化而变质等。

3. 材料耐久性的测定

对材料耐久性最可靠的判断,是对其在使用条件下进行长期的观察和测定,但这需要很长时间。近年来多采用快速检验法。快速检验法是模拟实际使用条件,在实验室对材料进行有关的快速试验,根据试验结果对材料的耐久性作出判定,主要项目有干湿循环、冻融循环、碳化、加湿与紫外线干燥循环、盐溶液浸渍与干燥循环、化学介质浸渍等。

4. 提高耐久性的措施

提高材料的耐久性,对保证建筑物的正常使用,减少使用期间的维修费用,延长建筑物的使用寿命,起着非常重要的作用。对于不同类型的建筑材料,考虑其耐久性的方面应有所侧重。结构材料主要要求材料强度不能显著降低,而装饰材料则主要要求颜色、光泽等不发生显著的变化。金属材料主要易受电化学腐蚀。硅酸盐类材料主要由于氧化、热应力、干湿交替作用等破坏。所以要根据材料自身的特点和所处环境的具体条件,采取相应的措施,确保达到工程所需要的耐久性。常用的提高材料耐久性的措施有:减轻介质对材料的破坏作用;提高材料密实度;对材料进行憎水或防腐处理;在材料表面设置保护层。

在设计选用土木工程材料时,必须考虑材料的耐久性问题。采用耐久性良好的土木工程材料,对节约材料、保证建筑物长期正常使用、减少维修费用、延长建筑物使用寿命等,均具有十分重要的意义。



思考与练习

1. 什么是材料的实际密度、表观密度和堆积密度? 如何进行计算?
2. 什么是材料的密实度和孔隙率? 两者有什么关系?
3. 某一块状材料的全干质量为 100 g, 自然状态体积为 40 cm^3 , 绝对密实状态下的体积为 33 cm^3 , 试计算其密度、表观密度、密实度和孔隙率。
4. 建筑材料的亲水性和憎水性在建筑工程中有什么实际意义?
5. 材料的质量吸水率和体积吸水率有何不同? 两者存在什么关系? 什么情况下采用体积吸水率或质量吸水率来反映材料的吸水性?
6. 什么是材料的吸水性、吸湿性、耐水性、抗渗性和抗冻性? 各用什么指标表示?
7. 材料的孔隙率与孔隙特征对材料的表观密度、吸水性、吸湿性、抗渗性、抗冻性、强度及保温隔热等性能有何影响?
8. 什么是材料的耐久性? 为什么对材料要有耐久性要求?

单元 2 气硬性胶凝材料

学习目标

- 了解各种气硬性胶凝材料的定义和分类。
- 掌握各种气硬性胶凝材料的技术性质及其变化规律。
- 了解各种气硬性胶凝材料的应用范围与检测标准。

2.1 胶凝材料的概述

胶凝材料,又称胶结料,是指自身经过一系列物理、化学作用,或与其他物质(如水等)混合后经过一系列物理、化学作用,能由浆体变成坚硬固体,并能将散粒材料(如砂、石等)或块、片状材料(如砖、石块等)胶结成整体的材料。

胶凝材料分有机胶凝材料和无机胶凝材料两大类。有机胶凝材料主要包括沥青、树脂、橡胶,无机胶凝材料又分气硬性胶凝材料(如石膏、石灰、水玻璃)和水硬性胶凝材料(如水泥)。

2.2 石 灰

石灰(如图 2-1 所示)是一种以氧化钙为主要成分的气硬性胶凝材料,是由石灰石、白云石、白垩、贝壳等碳酸钙含量高的原料,经 $900\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 1\ 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 煅烧而成。石灰是人类最早应用的胶凝材料。

石灰主要用于砌筑砂浆、装修抹灰砂浆、三合土地基、公路基层和底基层的石灰稳定土、石灰粉煤灰稳定土。

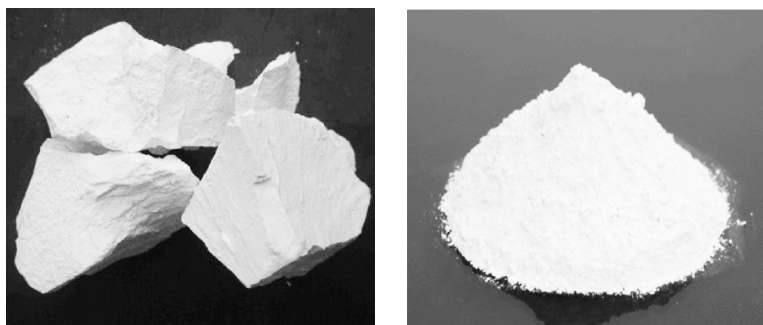


图 2-1 石灰

2.2.1 石灰的生产与分类

1. 石灰的生产

原始的石灰生产工艺是将石灰石与燃料(木材)分层铺放,引火煅烧一周即得。现代则采用机械化、半机械化立窑以及回转窑、沸腾炉等设备进行生产。煅烧时间也相应缩短,用回转窑生产石灰仅需 2~4 h,比用立窑生产可提高生产效率 5 倍以上。近年来,又出现了横流式、双斜坡式及烧油环形立窑和带预热器的短回转窑等节能效果显著的工艺和设备,燃料也扩大为煤、焦炭、重油或液化气等。

凡是以碳酸钙(CaCO_3)为主要成分的天然岩石,如石灰岩、白垩、白云质石灰岩等,都可用来生产石灰。将主要成分为 CaCO_3 的天然岩石,在适当温度下煅烧,排除分解出的二氧化碳(CO_2)后,所得到的以氧化钙(CaO)为主要成分的产品即为石灰,又称生石灰。在实际生产中,为加快分解,煅烧温度常提高到 $1\ 000\ ^\circ\text{C}\sim 1\ 100\ ^\circ\text{C}$ 。由于石灰石原料的尺寸较大或煅烧时窑中温度分布不均等原因,石灰中常含有欠火石灰和过火石灰。欠火石灰中的 CaCO_3 未完全分解,使用时缺乏粘结力。过火石灰结构密实,表面常包覆一层熔融物,熟化很慢。

2. 石灰的分类

1) 按石灰的加工方法分类

生石灰呈白色或灰色块状,为便于使用,块状生石灰常需加工成生石灰粉、消石灰粉或石灰膏。块状生石灰是由原料煅烧而成的原产品,主要成分是 CaO ;生石灰粉是由块状生石灰磨细而得到的细粉,其主要成分是 CaO ;消石灰粉是块状生石灰用适量水熟化而得到的粉末,又称熟石灰,其主要成分是 $\text{Ca}(\text{OH})_2$;石灰膏是块状生石灰用较多的水(为生石灰体积的 3~4 倍)熟化而得到的膏状物,也称石灰浆,其主要成分是 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 H_2O 。

2) 按石灰中氧化镁的含量多少分类

由于生产原料中常含有碳酸镁(MgCO_3),因此生石灰中还含有次要成分氧化镁(MgO),根据 MgO 含量的多少,生石灰分为钙质石灰和镁质石灰,具体参数值见表 2-1。

表 2-1 钙质石灰、镁质石灰成分参数值

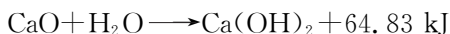
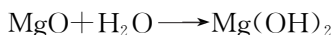
石灰种类	生石灰	生石灰粉	消石灰粉
钙质石灰	$\leq 5\%$	$\leq 5\%$	$< 4\%$
镁质石灰	$> 5\%$	$> 5\%$	$\geq 4\%$

2.2.2 石灰的熟化与硬化

1. 石灰的熟化

石灰中含有 MgO 和 CaO 两种化学物质,在与水作用下发生石灰的熟化,反应过程中会放出大量的热,反应物的体积会发生膨胀,变为原体积的 1.5~3.5 倍。

熟化的过程: 生石灰+水→熟石灰



根据加水量的不同,石灰可熟化成消石灰粉或石灰膏。石灰熟化的理论需水量为石灰



视频
生石灰的熟化

质量的32%。在生石灰中均匀加入60%~80%的水,可得到颗粒细小、分散均匀的消石灰粉。若用过量的水熟化,将得到具有一定稠度的石灰膏。

石灰中一般都含有过火石灰,过火石灰熟化慢,若在石灰浆体硬化后再发生熟化,则会因熟化产生的膨胀而引起隆起和开裂。为了消除过火石灰的这种危害,石灰在熟化后,还应“陈伏”15 d以上。在“陈伏”期间,石灰浆表面应覆盖一层水膜,以免石灰碳化。

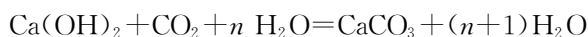
2. 石灰的硬化

1) 结晶过程

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 从饱和溶液中析出,晶体互相交叉连生,从而提高强度,并具有胶结特性。

2) 碳化过程

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与空气中的 CO_2 发生化学反应,形成 CaCO_3 并放出水的过程即碳化过程,其反应如下:



碳化过程使石灰的强度逐渐提高,表面生成的 CaCO_3 膜层会阻碍 CO_2 的进一步渗入,同时也阻碍内部水分的蒸发,使 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的结晶作用也进行得比较缓慢。

2.2.3 石灰的技术指标

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 2-2。

表 2-2 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	
CL-75Q CL-75QP	≥75	≤5	≤12	≤2	
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。 CO_2 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 2-3。

表 2-3 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	≥26	—	—
CL-90QP	—	≤2	≤7
CL-85Q	≥26	—	—
CL-85QP	—	≤2	≤7
CL-75Q	≥26	—	—
CL-75QP	—	≤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。

2.2.4 石灰的技术特性

1. 良好的保水性

熟化生成的 Ca(OH)₂ 颗粒极其细小,比表面积(材料的总表面积与其质量的比值)很大,使得呈胶体分散状态的 Ca(OH)₂ 表面吸附一层较厚的水膜,即石灰的保水性。

2. 凝结硬化慢、强度低

由于碳化作用主要发生在与空气接触的表面,且生成的 CaCO₃ 膜层较致密,阻碍了空气中 CO₂ 的渗入,也阻碍了内部水分向外蒸发,因此硬化缓慢。凝结时会形成 CaCO₃ 和 Ca(OH)₂ 结晶体。因为石灰消化时实际用水量比理论用水量大得多,多余的水在硬化后蒸发,留下空隙,所以硬化后强度变低。

3. 耐水性差

石灰遇水后形成 Ca(OH)₂ 结晶体,而 Ca(OH)₂ 结晶体易溶于水,故其耐水性较差。水

化时放热大,体积增大。

4. 硬化时体积收缩大

硬化时大量水蒸发,导致毛细管失水收缩,石灰浆体出现干缩裂纹。除调成石灰乳作薄层粉刷外,纯的石灰浆不能单独使用。

5. 吸湿性强

由于石灰具有很强的吸湿性,因此被用来作传统的干燥剂。

2.2.5 石灰的技术应用

1. 制作石灰乳涂料

将熟化好的消石灰加入水稀释后,直接用作室内墙壁和天棚的涂料。加入各种耐碱颜料,可使色彩丰富。加入聚乙烯醇、干酪素、明矾或氯化钙等可减少涂层粉化现象。

2. 配制石灰砂浆

石灰膏与砂和水拌制成的砂浆既可用作砌筑砂浆又可用作抹面。而石灰膏与纤维和水拌制成的砂浆多用于抹面。

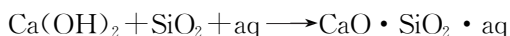
3. 拌制灰土和三合土

将石灰与黏土拌和可生成灰土,石灰与黏土和砂等拌和可生成三合土。灰土和三合土硬化时,除 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生结晶和碳化作用外, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 还能与黏土中少量活性 SiO_2 及 Al_2O_3 作用而生成具有水硬性的水化硅酸钙及水化铝酸钙。石灰土和三合土多用于加固、密实地面,稳定地基。

4. 制作硅酸盐制品

磨细的生石灰或消石灰与砂、粉煤灰、炉渣等硅质材料加水拌和,经成型蒸养或蒸压处理等工序制得的建筑材料,通称为硅酸盐制品。如灰砂砖、粉煤灰砖、粉煤灰砌块等。

反应式如下:



硅酸盐混凝土制品有灰砂砖、灰砂构件、加气混凝土等。

2.2.6 石灰的储运

生石灰在运输和储存时,应避免受潮,以防止生石灰吸收空气中的水分而自行熟化。生石灰不能与易燃易爆物及液体物质混运混存,以免引起火灾。生石灰的储存时间不宜超过1个月,熟石灰在使用前必须陈伏15 d以上,以防止过火石灰对建筑物产生危害。

2.3 建筑石膏

2.3.1 建筑石膏的品种与生产

1. 石膏的品种

石膏有5种形态、7个变种:①二水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);② α 型与 β 型半水石膏

(α - $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ 、 β - $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$)；③ α 与 β III 型硬石膏 (CaSO_4 III)；④ II 型硬石膏 (CaSO_4 II)；⑤ I 型硬石膏 (CaSO_4 I)，只在 1 180 °C 以上才存在。其中，又可将石膏概括为建筑石膏和高强石膏两种类型。

1) 建筑石膏

建筑石膏(如图 2-2 所示)的化学式为 β - $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ，又称熟石膏。 β 型半水石膏的晶体较细，所以调制成一定稠度的浆体时，需水量也比 α 型半水石膏的需水量大，导致建筑石膏的孔隙率也较大，因而强度较低。在实际生产与工程中，建筑石膏的应用更广泛一些。



图 2-2 建筑石膏

2) 高强石膏

高强石膏的化学式为 α - $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ，其晶体组织大，比表面积小，调成可塑性浆体时的需水量只是建筑石膏的 1/2，因此硬化后具有较高的密实度和强度。高强石膏可以用于室内抹灰，制作装饰制品和石膏板；若掺入防水剂可制成高强度防水石膏，在潮湿环境中使用。

2. 建筑石膏的生产

1) 主要原料

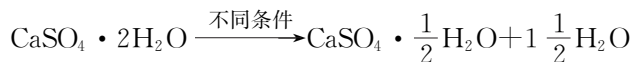
$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ 石膏的品种虽多，且各种石膏在建筑工业中均有应用，但由于建筑石膏的性能最优、生产方便、成本低廉，因此用量最多、用途最广。生产建筑石膏的主要原料有天然二水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，又名软石膏) 和天然无水石膏 (CaSO_4 ，又名硬石膏)。生产过程如图 2-3 所示。



图 2-3 建筑石膏的生产

2) 化学反应式

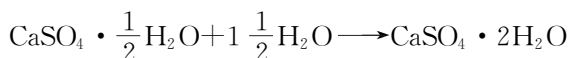
天然二水石膏在加热过程中,随着加热温度和加热方式的不同,可以得到不同性质的石膏产品。反应式如下:



2.3.2 建筑石膏的凝结硬化

1. 建筑石膏凝结硬化的化学反应式

建筑石膏凝结硬化的化学反应式如下:



其硬化过程如图 2-4 所示。

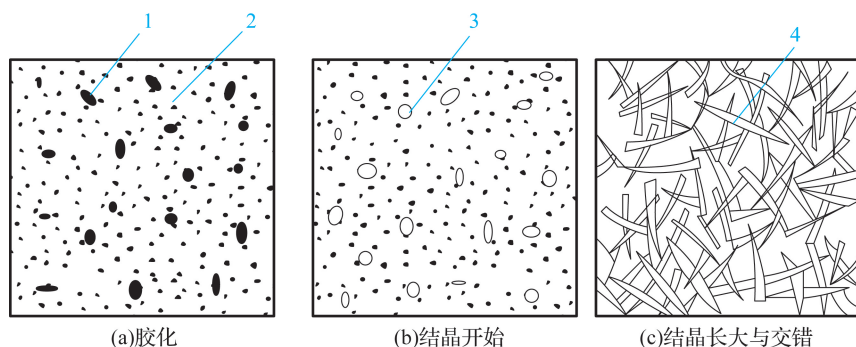


图 2-4 石膏硬化过程

1—半水石膏;2—二水石膏胶粒;3—二水石膏晶体;4—交错的晶体

2. 建筑石膏凝结硬化后具有的性质

(1) 石膏表面光滑饱满,颜色洁白,质地细腻,具有良好的装饰性。加入颜料后,可具有各种色彩。建筑石膏在凝结硬化时产生微膨胀,故其制品的表面较为光滑饱满,棱角清晰完整,形状、尺寸准确、细致,装饰性好。

(2) 硬化后的建筑石膏中存在大量的微孔,故其保温性、吸声性好。

(3) 硬化后石膏的主要成分是二水石膏,当受到高温作用时或遇火后会脱出 21% 左右的结晶水,并能在表面蒸发形成水蒸气幕,可有效阻止火势的蔓延,具有一定的防火性。

(4) 建筑石膏制品还具有较高的热容量和一定的吸湿性,故可调节室内的温度和湿度,改变室内的“小气候”。

(5) 若在室外使用建筑石膏制品,必然要受到雨水冰冻等的作用,而建筑石膏制品的耐水性差、吸水率高、抗渗性差、抗冻性差,所以不适用于室外使用。

2.3.3 建筑石膏的技术性质及技术指标

1. 技术性质

建筑石膏颜色为白色,密度为 $2.6 \sim 2.75 \text{ g/cm}^3$,孔隙率一般为 $50\% \sim 60\%$ 。

建筑石膏的凝结时间一般为数分钟至二三十分钟。在室内自然干燥的条件下,约需一星期。与水泥比较,建筑石膏硬化后的强度比较低(一级石膏 7 d 抗压强度约为 10 MPa)、表观密度较小。

2. 技术指标

建筑石膏组成中 β 半水硫酸钙(β -CaSO₄ · 1/2H₂O)的含量(质量分数)应不小于 60.0%。建筑石膏的物理力学性能应符合表 2-4 的要求。

表 2-4 建筑石膏的物理力学性能

等 级	细度(0.2 mm 方孔筛筛余)/%	凝结时间/min		2 h 强度/MPa	
		初 凝	终 凝	抗 折	抗 压
3.0	≤10	≥3	≤30	≥3.0	≥5.0
2.0				≥2.0	≥4.0
1.6				≥1.5	≥3.0

2.3.4 建筑石膏的特性

1. 凝结硬化快

在常温下,建筑石膏加水拌和后一般 3~5 min 即可初凝,30 min 内终凝。为了给施工操作留有足够的时间,可以考虑加入适量的缓凝剂(如硼砂、纸浆废液)以延缓石膏的凝结。

2. 微膨胀性

石膏在硬化过程中体积略有膨胀,因此,浇注成型时可以得到尺寸精确、表面光滑致密的构件或装饰图案。

3. 孔隙率大

水化反应理论需水量为 18.6%,但为了使石膏浆体具有可塑性和流动性,通常实际加水为 60%~80%。由于多余的水在石膏浆体凝结、硬化时发生蒸发,从而在硬化后的浆体内部形成大量细微孔隙。因此,建筑石膏制品具有质轻、隔热、吸声性好等优点。

4. 耐水性、抗冻性差

石膏属于气硬性胶凝材料,软化系数为 0.3~0.5,若长期处于潮湿环境或浸泡于水中,则其晶体微粒间的结合力会削弱,甚至溶解。因此,硬化石膏不耐水、抗冻性差,不宜用于室外。

5. 抗火性好

建筑石膏硬化后的主要成分为 CaSO₄ · 2H₂O,遇火时,其中的结晶水脱出能吸收热量,而且生成的无水石膏是良好的热绝缘体。

6. 装饰性和加工性好

石膏制品表面光滑、质地细腻、颜色洁白、装饰性好。此外,硬化石膏可锯、可刨,具有良好的可加工性。

2.3.5 建筑石膏的应用

1. 室内抹灰及粉刷

建筑石膏特别适用于混凝土顶板、加气混凝土墙面等各种保温材料的表面抹灰,可分为面层粉刷石膏、底层粉刷石膏和保温层粉刷石膏。与普通水泥砂浆比较,粉刷石膏具有以下特点。

- (1) 粘结力强、不易脱落,克服了传统的水泥砂浆经常出现的空鼓、开裂现象。
- (2) 具有呼吸功能,可调节室内空气湿度。
- (3) 无毒无味,其配料注重健康环保。
- (4) 凝结速度快,体质轻,减轻了楼层质量。
- (5) 为新型的绿色生态建材,防火性能良好。
- (6) 施工工序简便,落地灰少,操作快捷。

2. 制作装饰用品

将调配好的石膏浆体注入专用模器中,待石膏硬化后可以制得色彩、花样、形状各异的石膏装饰制品,如平板、多孔板、花纹板、浮雕板等。

3. 制作建筑石膏制品

常见的建筑石膏制品有石膏板、纸面石膏板、纤维石膏板、空心石膏条板和装饰石膏板等。

(1) 石膏板。石膏板具有质轻、绝热、吸声、不燃和可钉可锯等性能,原料来源广泛,加工设备简单,燃料消耗低,生产周期短。

我国石膏资源丰富,化工副产品日益增多,石膏板在我国有着广阔的发展前途,是当前着重发展的新型轻质板材之一,多作平顶和内墙面装饰,可直接粘贴在墙上,或钉在木龙骨两边作成隔墙。

(2) 纸面石膏板。加入适量的轻质填料、纤维、发泡剂、缓凝剂等,加水拌成料浆,浇注在重磅纸上,成形后覆以上层面纸,经过凝固、切断、烘干而成。其尺寸为宽 600~1 220 mm,厚 6.4~25.4 mm,长 1 800~4 900 mm。

纸面石膏板不宜用于高湿度环境下,因为纸的纤维受潮会膨胀,使得纸与芯板之间的粘结力削弱,导致纸的隆起和剥离。用于厨房、浴室等处时,必须进行可靠的防潮处理。

(3) 纤维石膏板。纤维石膏板是将玻璃纤维、纸浆或矿棉等纤维在水中“松解”,在离心机中与石膏混合制成料浆后,在长网型机上经铺浆、脱水制得的无纸面石膏板。它的抗弯强度和弹性模量都高于纸面石膏板,除用于建筑外,还可代替木材作家具。

(4) 空心石膏条板。空心石膏条板的生产方法与普通混凝土空心板类似,尺寸范围为宽 450~600 mm,厚 60~100 mm,长 2 500~3 000 mm,孔数 0~9。孔洞率为 30%~40%。空心石膏条板常加入纤维材料和轻质填料,以提高板的抗折强度和减轻质量。

这种板不用纸和粘结剂,也不用龙骨,施工方便,是发展较快的一种轻板。

(5) 装饰石膏板。装饰石膏板是在建筑石膏中加入占石膏质量 0.5%~2%的纤维材料和少量胶料,加水搅拌、成形、修边制得的各种形状的板,边长可为 300~900 mm,有平板、多孔板、花纹板、浮雕板等。



图片
建筑石膏的
应用

2.3.6 建筑石膏的储运

建筑石膏的包装、标志、运输、储存要满足以下要求。

(1)建筑石膏一般采用袋装,可用具有防潮的及不易破损的纸袋或其他复合袋包装。

(2)包装袋上应清楚标明产品标记、制造厂名、生产批号和出厂日期、质量等级、商标和防潮标志。

(3)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运,不得混杂。

(4)建筑石膏自生产之日算起,储存期为三个月。三个月后应重新进行质量检验,以确定其等级。

2.4 水玻璃

2.4.1 水玻璃的生产与组成

水玻璃俗称泡花碱,是一种能溶于水的硅酸盐,由不同比的碱金属氧化物和二氧化硅所组成,其化学式为 $R_2O \cdot nSiO_2$,二氧化硅和碱金属氧化物的摩尔比 n 称为水玻璃的模数,一般为 2.6~3.0,密度为 1.3~1.5 g/cm³。 n 为 1 时能溶解于常温的水中; n 加大,则只能在热水中溶解;当 n 大于 3 时,要在 0.4 MPa 以上的蒸汽中才能溶解。低模数水玻璃粘结能力较差,模数提高时,胶组分相对增多,粘结能力随之增大。

硅酸钠的生产方法分干法(固相法)和湿法(液相法)两种。

干法生产是将石英砂和纯碱按一定比例混合后在反射炉中加热到 1 400 °C 左右,生成熔融状硅酸钠;湿法生产是将烧碱水溶液和石英粉在高压釜内共热直接生成水玻璃,经过滤浓缩得成品水玻璃,如图 2-5 所示。

其化学反应式为:

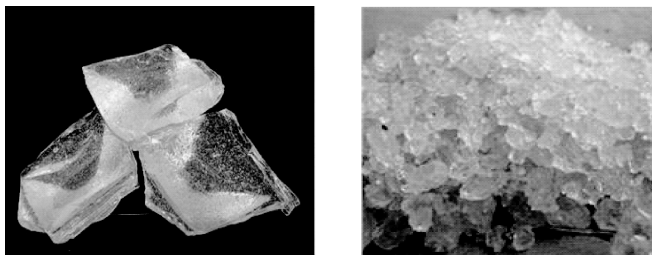


图 2-5 水玻璃

2.4.2 水玻璃的性质

1. 胶结性好

水玻璃硬化后的主要成分为硅凝胶和固体,比表面积大,因而具有较高的粘结力。但水

玻璃自身质量、配合料性能及施工养护对强度有显著影响。

2. 耐酸性好

水玻璃可以抵抗除氢氟酸(HF)、热磷酸和高级脂肪酸以外的几乎所有无机酸和有机酸。

3. 耐热性好

水玻璃硬化后形成的二氧化硅网状骨架,在高温下强度下降得很小,当采用耐热耐火骨料配制水玻璃砂浆和混凝土时,耐热度可达 1 000 ℃。因此,也可以理解为水玻璃混凝土的耐热度主要取决于骨料的耐热度。

4. 耐碱性和耐水性差

因混合后均易溶于碱,故水玻璃不能在碱性环境中使用。同样由于 NaF、Na₂CO₃ 均溶于水而不耐水,故可采用中等浓度的酸对已硬化水玻璃进行酸洗处理,提高其耐水性。

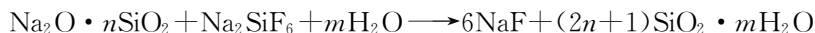
2.4.3 水玻璃的凝结硬化

水玻璃在空气中的凝结硬化与石灰的凝结硬化非常相似,主要通过碳化和脱水结晶固结两个过程来实现。

随着碳化反应的进行,硅胶含量增加,接着自由水分蒸发和硅胶脱水成固体而凝结硬化,其特点如下。

- (1)速度慢。由于空气中 CO₂ 浓度低,故碳化反应及整个凝结硬化过程十分缓慢。
- (2)体积收缩。
- (3)强度低。

为加速水玻璃的凝结硬化速度和提高强度,水玻璃使用时一般要求加入固化剂氟硅酸钠(Na₂SiF₆)。其反应式如下:



氟硅酸钠的掺量一般为 12%~15%。掺量少,凝结硬化慢,且强度低;掺量太多,则凝结硬化过快,不便施工操作,而且硬化后的早期强度虽高,但后期强度明显降低。因此,使用时应严格控制固化剂掺量,并根据气温、湿度、水玻璃的模数、密度在上述范围内适当调整。即气温高、模数大、密度小时选下限,反之亦然。

2.4.4 水玻璃的应用

水玻璃的用途非常广泛,几乎遍及国民经济的各个部门。在化工系统被用来制造硅胶、白炭黑、沸石分子筛、五水偏硅酸钠、硅溶胶、层硅及速溶粉状硅酸钠、硅酸钾钠等各种硅酸盐类产品,是硅化合物的基本原料。在经济发达的国家,以硅酸钠为原料的深加工系列产品已发展到 50 余种,有些已应用于高、精、尖科技领域;在轻工业中是洗衣粉、肥皂等洗涤剂中不可缺少的原料,也是水质软化剂、助沉剂;在纺织工业中用于助染、漂白和浆纱;在机械行业中广泛用于铸造、砂轮制造和金属防腐等;在建筑行业中用于制造快干水泥、耐酸水泥防水油、土壤固化剂、耐火材料等;在农业方面可制造硅素肥料。另外,用作石油催化裂化的硅铝催化剂、肥皂的填料、瓦楞纸的胶粘剂、金属防腐剂、水软化剂、洗涤剂助剂、耐火材料和陶瓷原料、纺织品的漂染和浆料、矿山选矿、防水、堵漏、木材防火、食品防腐以及制胶粘剂等。

1. 涂刷在材料表面,提高抗风化能力

水玻璃溶液涂刷或浸渍材料后,能渗入缝隙和孔隙中,固化的硅凝胶能堵塞毛细孔通道,提高材料的密度和强度,从而提高材料的抗风化能力。但水玻璃不得用来涂刷或浸渍石膏制品。因为水玻璃与石膏反应生成的硫酸钠(Na_2SiO_4)会在制品孔隙内结晶膨胀,导致石膏制品开裂破坏。

2. 加固土壤

将水玻璃与氯化钙溶液交替注入土壤中,两种溶液迅速反应生成硅胶和硅酸钙凝胶,起到胶结和填充孔隙的作用,使土壤的强度和承载能力提高。常用于粉土、砂土和填土的地基加固,称为双液注浆。

3. 配制速凝防水剂

水玻璃可与多种矾配制成速凝防水剂,用于堵漏、填缝等局部抢修。这种多矾防水剂的凝结速度很快,一般为几分钟,其中四矾防水剂不超过 1 min,故工地上使用时必须做到即配即用。

多矾防水剂常用胆矾(硫酸铜)、红矾(重铬酸钾)、明矾(也称白矾,硫酸铝钾)、紫矾四种矾。

4. 配制耐酸胶凝、耐酸砂浆和耐酸混凝土

耐酸胶凝是用水玻璃和耐酸粉料(常用石英粉)配制而成的,与耐酸砂浆和混凝土一样,主要用于有耐酸要求的工程,如硫酸池等。

5. 配制耐热胶凝、耐热砂浆和耐热混凝土

水玻璃胶凝主要用于耐火材料的砌筑和修补。水玻璃耐热砂浆和混凝土主要用于高炉基础和其他有耐热要求的结构部位。

6. 应用于防腐工程

改性水玻璃耐酸泥是耐酸腐蚀的材料,主要特性是耐酸、耐高温、密实抗渗、价格低廉、使用方便,可拌和成耐酸胶泥、耐酸砂浆和耐酸混凝土,适用于化工、冶金、电力、煤炭、纺织等行业各种结构的防腐蚀工程,是贮酸池、耐酸地坪,以及耐酸表面砌筑的理想材料。

2.5 气硬性胶凝材料性能检测

进行气硬性胶凝材料性能检测时,主要引用《建筑石灰试验方法 第 1 部分:物理试验方法》(JC/T 478.1—2013)和《建筑石膏 一般试验条件》(GB/T 17669.1—1999)。

2.5.1 石灰性能检测

1. 细度

1) 仪器设备

符合《试验筛 技术要求和检验 第 1 部分:金属丝编织网试验筛》(GB/T 6003.1—2012)的规定的筛孔为 0.2 mm 和 90 μm 试验筛各一套;羊毛刷(4 号);天平(量程为 200 g,分度值

为 0.1 g)。

2) 试样制备

生石灰粉或消石灰粉。

3) 试验步骤

称取试样 100 g, 倒入方孔套筛进行筛分。筛分时一只手捂住试验筛, 并用手轻轻敲打, 在有规律的间隔中水平旋转试验筛, 并在固定的基座上轻敲试验筛, 用羊毛刷轻轻地在筛面上刷, 直至 1 min 内通过的试样量小于 0.1 g 时为止。分别称量筛余物的质量 m_1, m_2 。

4) 结果计算

筛余质量分数 X_1, X_2 的计算公式分别为

$$X_1 = \frac{m_1}{m} \times 100\% \quad (2-1)$$

$$X_2 = \frac{m_1 + m_2}{m} \times 100\% \quad (2-2)$$

式中, X_1 为 0.2 mm 方孔筛筛余质量分数(%); X_2 为 90 μm 方孔筛和 0.2 mm 方孔筛的总筛余质量分数(%); m_1 为 0.2 mm 方孔筛筛余物的质量(g); m_2 为 90 μm 方孔筛筛余物的质量(g); m 为样品的质量(g)。

2. 生石灰产浆量, 未消化残渣含量

1) 仪器设备

生石灰消化器(由耐石灰腐蚀的金属制成的带盖双层容器, 两层容器壁之间的空隙有保温材料矿渣棉填充。生石灰消化器每 2 mm 高度产浆量为 1 L/10 kg)、天平(量程为 1 000 g, 分度值为 1 g)、搪瓷盘(200 mm×300 mm)、钢板尺(300 mm)、烘箱(最高温度为 200 $^{\circ}\text{C}$)、保温套。

2) 试样步骤

在消化器中加入(320±1) mL 温度为(20±2) $^{\circ}\text{C}$ 的水, 然后加入(200±1) g 生石灰(块状石灰则碾碎成小于 5 mm 的粒子)(M)。慢慢搅拌混合物, 然后根据生石灰的消化需要立刻加入适量的水。继续搅拌片刻后, 盖上生石灰消化器的盖子。静置 24 h 后, 取下盖子, 若此时消化器内, 石灰膏顶面之上有不超过 40 mL 的水, 说明消化过程中加入的水量是合适的, 否则调整加水量。测定石灰膏的高度, 结果取 4 次测定的平均值(H), 计算产浆量(X_3)。

提起消化器内筒用清水冲洗筒内残渣, 至水流不浑浊(冲洗用清水仍倒入筛筒内, 水总体积控制在 3 000 mL), 将渣移入搪瓷盘内, 在 100 $^{\circ}\text{C}$ ~105 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱中, 烘干至恒重, 冷却至室温后用 5 mm 圆孔筛筛分, 称量筛余物(m_3), 计算未消化残渣含量(X_4)。

3) 结果计算

以每 2 mm 的浆体高度标识产浆量, 其计算公式为

$$X_3 = \frac{H}{2} \quad (2-3)$$

式中, X_3 为产浆量(L/10 kg); H 为四次测定的浆体高度平均值(mm)。

未消化残渣含量的计算公式为

$$X_4 = \frac{m_3}{m} \times 100\% \quad (2-4)$$

式中, X_4 为未消化残渣百分含量(%); m_3 为未消化残渣质量(g); m 为样品质量(g)。

3. 消石灰粉体积安定性

1) 仪器设备

天平(量程为 200 g,分度值为 0.2 g)、量筒(250 mL)、牛角勺、蒸发皿(300 mL)、耐热板(外径为 125 mm,耐热温度大于 150 ℃)、烘箱(最高温度为 200 ℃)、试验用水(常温清水)。

2) 试验步骤

称取试样 100 g,倒入 300 mL 蒸发皿内,加入常温清水约 120 mL,在 3 min 内搅和成稠浆,一次性浇注于两块耐热板上,其饼块直径为 50~70 mm,中心高为 8~10 mm。成饼后在室温下放置 5 min,然后放入烘箱中加热到 100 ℃~105 ℃,烘干 4 h 取出。

3) 结果评定

烘干后饼块用肉眼观察无溃散、暴突、裂缝等现象,评定为体积安定性合格;若出现三种现象之一,则评定为体积安定性不合格。

4. 消石灰粉游离水

1) 仪器设备

电子分析天平(量程为 200 g,分度值为 0.1 mg)、称量瓶(30 mm×60 mm)、烘箱(最高温度为 200 ℃)。

2) 试验步骤

称取试样 5 g(精确到 0.000 1 g),放入称量瓶中,在(105±5) ℃烘箱中烘干至恒重后,立即放入干燥器中,冷却到室温(约需 20 min),称量。

3) 结果计算

消石灰粉游离水质量分数计算公式为

$$\omega_5 = \frac{m - m_4}{m} \times 100\% \quad (2-5)$$

式中, ω_5 为消石灰游离水质量分数(%); m 为样品质量(g); m_4 为烘干后样品质量(g)。

2.5.2 石膏性能检测

1. 抗压强度的测定

1) 试验仪器

(1) 抗压夹具。抗压夹具应符合相关规范的要求。试验期间,上、下夹板应能无摩擦地相对滑动。

(2) 压力试验机。示值相对误差不大于 1%。

2) 操作程序

将试件成型面侧立,置于抗压夹具内,并使抗压夹具的中心处于上、下夹板的轴心上,保证上夹板球轴通过试件受压面中心。开动压力试验机,使试件在开始加荷后 20~40 s 内破坏。

3) 结果计算

抗压强度 R_c 计算公式为

$$R_c = \frac{P}{S} = \frac{P}{2 \ 500} \quad (2-6)$$

式中, R_c 为抗压强度(MPa); P 为破坏荷载(N); S 为试件受压面积($2\ 500\ \text{mm}^2$)。

2. 石膏硬度测定

1) 试验仪器

石膏硬度计(具有一个直径为 10 mm 的硬质钢球, 当把钢球置于试件表面的一个固定点上时, 能将一个固定荷载垂直加到该钢球上, 使钢球压入被测试件。荷载精度为 2%, 感量为 0.001 mm)。

2) 操作程序

将试件置于石膏硬度计上, 并使钢球的加载方向与待测面垂直。在每个试件的侧面布置三个点, 各点之间的距离为试件长度的 1/4, 但最外点应至少距试件边缘 20 mm。先施加 10 N 荷载, 然后在 2 s 内把荷载加到 200 N, 静置 15 s。移去荷载 15 s 后, 测量球痕深度。

3) 结果计算

石膏硬度计算公式为

$$H = \frac{F}{\pi Dt} = \frac{200}{\pi \times 10t} = \frac{6.37}{t} \quad (2-7)$$

式中, H 为石膏硬度(N/mm²); F 为荷载(200 N); D 为钢球直径(10 mm); t 为球痕的平均深度(mm)。

2.5.3 水玻璃性能检测

水玻璃是含水的多硅酸钠, 为黏稠状液体。除水分外, 其主要成分为氧化钠和二氧化硅($\text{Na}_2\text{O} : \text{SiO}_2$ 一般为 1 : 3.3)。市场上销售的水玻璃因含有铁的杂质常呈灰色或绿色。水玻璃的化学分析, 一般只测水分、氧化钠和二氧化硅。

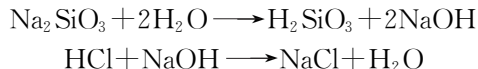
1. 水分

称取 2~3 g 二水石膏, 置于瓷坩埚内, 在 800 °C~850 °C 的高温炉内灼烧 2~2.5 h, 取出, 放在干燥器中冷却至室温, 称量。再按如上温度灼烧 0.5 h, 取出, 冷却, 称量。如此反复灼烧, 直至恒量。

在瓷坩埚中称入 1~2 g 水玻璃试样, 于电炉上用低温小心地蒸发至干。再将瓷坩埚放入 800 °C~850 °C 的高温炉内灼烧 2~2.5 h, 取出, 放在干燥器中冷却至室温, 称量。再按如上温度灼烧 0.5 h, 取出, 冷却, 称量。如此反复灼烧, 直至恒量。

2. 氧化钠(中和法)

由于硅酸为弱酸, 水玻璃中的硅酸钠水解后生成氢氧化钠而使溶液显碱性, 因此可用盐酸标准滴定溶液滴定, 借以求得试样中氧化钠的质量百分数。其化学反应式为



在一已知质量的干燥的称量瓶中, 准确称入 1 g 试样, 然后用煮沸后除去 CO_2 的热水冲洗, 移入 250 mL 的锥形瓶中, 再加入 100 mL 已冷却的煮沸后除去 CO_2 的水, 并充分摇荡。待试样完全溶解后, 加数滴溴甲酚绿-甲基红混合指示剂溶液, 用 0.5 mol/L 盐酸标准滴定溶液滴定, 使溶液由绿色变成微红色。

3. 二氧化硅(氟硅酸钾滴定法)

在一已知质量的干燥的称量瓶中, 准确称入 0.3 g 试样, 然后用 20~30 mL 热水将其冲

建筑材料与检测

至 300 mL 的塑料杯中。加入 10 mL 的 150 g/L 的氟化钾溶液及 10 mL 硝酸,称量瓶再用盐酸(1:1)洗涤 3~5 次。冷却后,加入固体氯化钾,搅拌并压碎未溶颗粒,直至饱和。冷却,并放置 10 min。用快速滤纸过滤,塑料杯与沉淀用 50 g/L 氯化钾溶液洗涤 2~3 次。

将沉淀连同滤纸一起置于原塑料杯中,沿杯壁加入 10 mL、50 g/L 氯化钾-乙醇溶液及 1 mL、10 g/L 酚酞指示剂溶液,用 0.15 mol/L 氢氧化钠标准滴定溶液中和未洗净的酸,仔细搅动滤纸并随之擦洗杯壁,直至溶液呈红色。然后加入 200 mL 沸水(此沸水预先用氢氧化钠溶液中和至酚酞呈微红色),以 0.15 mol/L 氢氧化钠标准滴定溶液滴定至微红色。

思考与练习

1. 为什么在工程中一般不单独使用石灰?
2. 生石灰凝结硬化的特点是什么?
3. 建筑石膏凝结硬化有什么特点?
4. 为什么在储存和运输建筑石膏期间要注意防水和防潮?
5. 水玻璃的模数和密度对水玻璃的性能有什么影响?
6. 为什么水玻璃能够用于加固地基和涂刷材料表面?

单元 3 水 泥

学习目标

- 了解建筑中常见各种水泥的性能、应用范围与检测标准。
- 了解水泥制品及水泥石的腐蚀原因、类型及防护。
- 掌握水泥的物理性能检测方法。

3.1 水泥的概述

水泥是一种粉状水硬性无机胶凝材料。加水搅拌后成浆体,能在空气中硬化或者在水中更好地硬化,并能把砂、石等材料牢固地胶结在一起形成水泥混凝土,是一种应用非常广泛的建筑材料。

水泥最早是在 1824 年由英国人发明的,他们用石灰石和黏土为原料,按一定比例配合后,在类似于烧石灰的立窑内煅烧成熟料,再经磨细制成水泥。因为水泥硬化后的颜色与英格兰岛上波特兰地方用于建筑的石头相似,因此被命名为波特兰水泥。它具有优良的建筑性能,在水泥史上具有划时代意义。

3.1.1 水泥的分类

随着基本建设发展的需要,水泥的品种越来越多,按用途及性能可分为通用水泥、专用水泥和特性水泥。

(1)通用水泥。一般土木建筑工程通常采用的水泥。通用水泥主要是指《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)规定的六大类水泥,即硅酸盐水泥、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。

(2)专用水泥。专门用途的水泥,如 G 级油井水泥、道路硅酸盐水泥等。

(3)特性水泥。某种性能比较突出的水泥,如快硬硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、膨胀硫铝酸盐水泥。

按水泥的主要水硬性物质划分,水泥可分为硅酸盐类水泥(以硅酸盐为其基本组分)、铝酸盐类水泥(以铝酸盐为其基本组分)及硫铝酸盐类水泥(以硫铝酸盐为其基本组分)等。

3.1.2 水泥的命名原则

水泥的命名按不同类别分别以水泥的主要水硬性矿物、混合材料、用途和主要特性进行,并力求简明准确,名称过长时允许有简称。

(1) 通用水泥以水泥的主要水硬性矿物名称冠以混合材料名称或以其他适当名称命名。

(2) 专用水泥以其专门用途命名,并可冠以不同型号。

(3) 特性水泥以水泥的主要水硬性矿物名称冠以水泥的主要特性命名,并可冠以不同型号或混合材料名称。以火山灰性或潜在水硬性材料以及其他活性材料为主要组分的水泥是以主要组成成分的名称冠以活性材料的名称进行命名的,也可再冠以特性名称,如石膏矿渣水泥、石灰火山灰水泥等。

建筑工程中使用最多的水泥为硅酸盐类水泥,硅酸盐水泥是通用水泥中的一个基本品种,本单元主要研究硅酸盐水泥的性质及应用。

3.2 通用硅酸盐水泥

3.2.1 通用硅酸盐水泥的概述

通用硅酸盐水泥是由硅酸盐水泥熟料和适量的石膏及规定的混合材料制成的水硬性胶凝材料。

通用硅酸盐水泥按混合材料的品种和掺量分为硅酸盐水泥(代号 P·I、P·II)、普通硅酸盐水泥(代号 P·O)、矿渣硅酸盐水泥(代号 P·S)、火山灰质硅酸盐水泥(代号 P·P)、粉煤灰硅酸盐水泥(代号 P·F)和复合硅酸盐水泥(代号 P·C)。

3.2.2 通用硅酸盐水泥的生产及矿物组成

生产硅酸盐水泥的原料主要是石灰质原料和黏土质原料。石灰质原料,如石灰石等,主要提供氧化钙;黏土质原料(又称硅质原料),如黏土、黄土、页岩、泥岩等,主要提供氧化硅、氧化铝与氧化铁。有时为了调整化学成分还需加入少量辅助原料(又称校正原料)。例如,用铁矿粉等铁质原料补充氧化铁的含量;以砂岩等硅质原料增加氧化硅的成分等。此外,为了改善煅烧条件,提高熟料质量,还常加入少量矿化剂,如氟石、石膏等。

硅酸盐水泥的生产过程分为破碎及预均化、制备生料、煅烧生料、粉磨熟料等几个阶段。硅酸盐水泥生产的简要过程如图 3-1 所示。

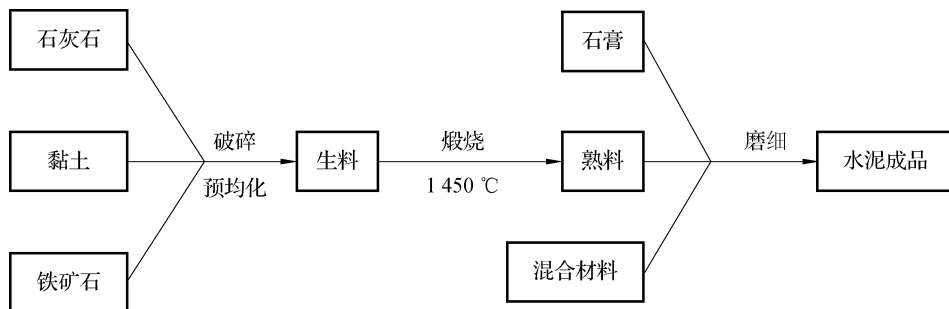


图 3-1 硅酸盐水泥生产的简要过程

1. 破碎及预均化

水泥在生产过程中,大部分原料要进行破碎,如石灰石、黏土、铁矿石及煤等。石灰石是

生产水泥时用量最大的原料,其开采后的粒度较大、硬度较高,因此石灰石的破碎在水泥机械的物料破碎中占有比较重要的地位。原料预均化技术就是在原料的存、取过程中,运用科学的堆取料技术,实现原料的初步均化,使原料堆场同时具备贮存与均化的功能。

2. 制备生料

在水泥的生产过程中,每生产 1 t 硅酸盐水泥,设备至少要粉磨 3 t 的物料(包括各种原料、燃料、熟料、混合料、石膏)。据统计,干法水泥生产线粉磨作业需要消耗的动力约占全厂动力的 60%以上,其中生料粉磨占 30%以上,煤磨约占 3%,水泥粉磨约占 40%。因此,合理地选择粉磨设备和工艺流程,正确操作,控制作业制度,对保证产品质量、降低能耗具有重大意义。在新型干法水泥生产过程中,稳定入窑生料成分是稳定熟料烧成的前提,生料均化系统起着稳定入窑生料成分的最后一道把关作用。

3. 煅烧生料

生料在旋风预热器中完成预热和预分解后,下一道工序是进入回转窑中进行熟料的烧成。在回转窑中碳酸盐进一步迅速分解并发生一系列的固相反应,生成水泥熟料(如图 3-2 所示)中的矿物。熟料烧成后,温度开始降低,最后由水泥熟料冷却机将回转窑卸出的高温熟料冷却到下游输送、贮存库和水泥机械所能承受的温度。

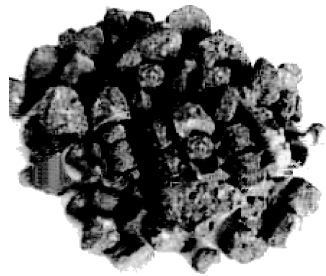


图 3-2 水泥熟料

4. 粉磨熟料

水泥粉磨是水泥制造的最后工序,也是耗电最多的工序。其主要功能在于将水泥熟料及胶凝剂、性能调节材料等粉磨至适宜的粒度(以细度、比表面积等表示),形成一定的颗粒级配,增大其水化面积,加速水化速度,以满足水泥浆体凝结、硬化的要求。概括地讲,水泥生产主要工艺就是“两磨”(磨细生料,磨细熟料)、“一烧”(生料煅烧成熟料)。

硅酸盐水泥熟料主要由四种矿物组成,其名称、分子式和含量范围见表 3-1。

表 3-1 硅酸盐水泥熟料的主要矿物组成

矿物名称	分子式	含量范围
硅酸三钙	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 简写为 C_3S	37%~60%
硅酸二钙	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 简写为 C_2S	15%~37%
铝酸三钙	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 简写为 C_3A	7%~15%
铁铝酸四钙	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, 简写为 C_4AF	10%~18%

前两种矿物称为硅酸盐矿物,一般占总量的 75%~82%;后两种矿物称为熔剂矿物,一般占总量的 18%~25%。硅酸盐水泥熟料除上述主要成分外,尚含有少量的游离氧化钙、游离氧化镁和含碱矿物。但总量不超过 10%,其含量过高将造成水泥安定性不良,危害很大,不能应用到工程当中。含碱量高的水泥,当其遇到活性集料时,易发生碱集料膨胀反应,导致水泥石开裂。

各种矿物单独与水作用时所表现出的特性见表 3-2。

表 3-2 各种熟料矿物单独与水作用时所表现出的特性

名 称	凝结硬化速度	水化放热量	强 度
C ₃ S	快	大	高
C ₂ S	慢	小	早期低、后期高
C ₃ A	最快	最大	低
C ₄ AF	中	中	低

表 3-2 中所列各种矿物的强度是指最终强度,表中的水化放热量是指单位质量矿物水化放出的热量。C₃S 在最初 4 周内强度发展迅速,硅酸盐水泥 4 周内的强度实际上就是由它决定的。C₂S 大约从第 4 周起才发挥其强度作用,约半年才能达到 C₃S 4 周的强度。C₃A 强度发展很快,但强度低,它对硅酸盐水泥 1~3 d 的强度起一定的作用。C₄AF 的强度发展也较快,但强度较低,对硅酸盐水泥的强度贡献小。

水泥熟料是由几种不同特性的矿物混合组成。因此,改变各熟料矿物的含量,水泥的性质即会发生相应的变化。例如,要使水泥具有硬化快、强度高的性能,就必须适当提高熟料中 C₃S 和 C₃A 的含量;要使水泥具有较低的水化热,就应降低 C₃A 和 C₃S 的含量。

3.2.3 通用硅酸盐水泥的水化与凝结硬化

水泥加水拌和后,最初是具有可塑性的浆体,经过一定时间,水泥浆逐渐变稠失去可塑性,这一过程称为凝结。随着时间的增长产生强度,强度逐渐提高,形成坚硬的水泥石,这一过程称为硬化。水泥的凝结硬化是一个连续的、复杂的物理化学过程,此过程决定了水泥石具有一系列性能。

硅酸盐水泥熟料矿物的结构不稳定,可以通过与水反应,形成水化产物而达到稳定。由于熟料矿物中钙离子的氧离子配位不规则,晶体结构有“空洞”,因而易发生水化反应。当水泥颗粒与水接触后,水泥颗粒表面的各种矿物立即与水发生水化反应,生成新的水化物,并放出一定的热量。水泥是多矿物的集合体,各矿物的水化作用会互相影响。水泥熟料中主要矿物的水化过程及其产物如下。

(1) 硅酸三钙的水化。在水泥矿物中,硅酸三钙含量最高,它与水作用时,反应较快,水化放热量大,生成水化硅酸钙及氢氧化钙。



(2) 硅酸二钙的水化。硅酸二钙的水化产物与硅酸三钙相同,但数量不同。其水化反应较慢,水化放热量小。



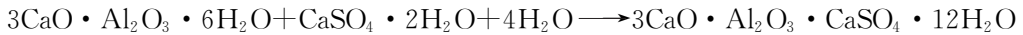
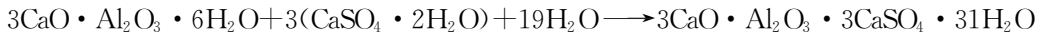
(3) 铝酸三钙的水化。铝酸三钙与水作用时,反应极快,水化放热量很大,生成水化铝酸三钙。水化铝酸三钙为晶体,易溶于水,它在石灰饱和溶液中能与氢氧化钙进一步反应,生成水化铝酸四钙。



(4) 铁铝酸四钙的水化。铁铝酸四钙与水作用时反应也较快,水化热中等,生成水化铝酸三钙及水化铁酸钙凝胶。



为调节凝结时间而掺入的适量石膏,与水化铝酸三钙反应生成高硫型水化硫铝酸钙(钙矾石)和单硫水化硫铝酸钙。



水化硫铝酸钙是难溶于水的针状晶体,它生成后即沉淀在熟料颗粒的周围,阻碍水化的进行,起到缓凝的作用。

综上所述,如果忽略一些次要的和少量的成分,则硅酸盐水泥与水作用后,生成的主要产物有:水化硅酸钙和水化铁酸钙凝胶,氢氧化钙、水化铝酸钙和水化硫铝酸钙晶体。水泥完全水化后,水化硅酸钙约占50%,氢氧化钙约占25%,水化硫铝酸钙约占7%。

硅酸盐水泥的凝结硬化过程,按水化反应速度和水泥浆体结构的变化特征可分为四个阶段,如图3-3所示。

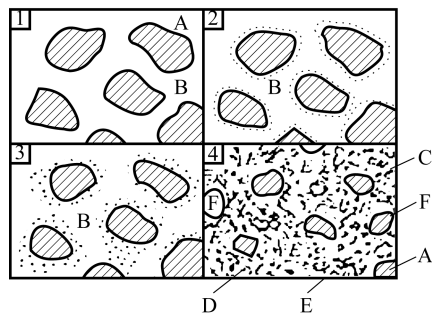


图3-3 水泥浆体结构

A—水泥颗粒;B—自由水;C—凝胶 C—S—H;
D—晶体[Ca(OH)₂等];E—毛细孔;F—气孔

1. 初始反应期

水泥加水拌和成水泥浆的同时,水泥颗粒表面上的熟料矿物立即溶于水,并与水发生水化反应,或者固态的熟料矿物直接与水发生水化反应。这时伴有放热反应,此即初始反应期。该阶段时间很短,仅5~10 min。这时由于水化物生成的速度很快,来不及扩散,因此便附着在水泥颗粒表面,形成膜层。膜层是以水化硅酸钙凝胶为主体,其中分布着氢氧化钙等晶体,所以,通常称之为凝胶体膜层。凝胶体膜层的形成,会妨碍水泥的水化。

2. 潜伏期

初始反应以后,由于凝胶体膜层的形成,水化反应和放热速度变慢。在一段时间(30~60 min)内,水泥颗粒仍是分散的,水泥浆的流动性基本保持不变。

3. 凝结期

经过1~6 h,放热速度加快,并达到最大值,说明水泥继续加速水化。原因是凝胶体膜层虽然妨碍水分的渗入,使水化速度减慢,但因为它是半透膜,水分向膜层内渗透的速度大于膜层内水化物向外扩散的速度,所以产生渗透压,导致膜层破裂,使水泥颗粒得以继续水化。

由于水化物的增多和凝胶体膜层的增厚,被膜层包裹的水泥颗粒逐渐接近,以致在接触点互相粘结,形成网状结构,水泥浆体变稠,失去可塑性,这就是凝结过程。

4. 硬化期

由于水泥颗粒之间的空隙逐渐缩小为毛细孔,水化生成物进一步填充毛细孔,毛细孔越来越少,使水泥浆体结构更加紧密,逐渐产生强度。在适宜的温度和湿度条件下,水泥强度可继续增长,此即硬化阶段。

水泥浆体硬化后的石状物称为水泥石。水泥石是由胶凝体、未水化的水泥颗粒内核和毛细孔等组成的非均质体。

影响硅酸盐水泥凝结硬化的主要因素如下。

(1)熟料矿物组成。硅酸盐水泥的熟料矿物组成是影响水泥的水化速度、凝结硬化过程及强度等的主要因素。在硅酸盐水泥的四种熟料矿物中,由于 C_3A 的水化和凝结硬化速度最快,因此它是影响水泥凝结时间的决定性因素。

(2)水泥细度。细度是指水泥颗粒的粗细程度。水泥颗粒的粗细直接影响水泥的水化、凝结硬化、强度、干缩及水化热等,这是因为水泥加水后,开始仅在水泥颗粒的表面进行水化,而后逐步向颗粒内部发展,而且是一个时间较长的过程。显然,水泥颗粒越细,水化作用的发展就越迅速而充分,凝结硬化的速度就越快,早期强度也就越高。一般认为,水泥颗粒粒径小于 $4\ \mu\text{m}$ 时就具有较高的活性,大于 $100\ \mu\text{m}$ 时活性较小。通常,水泥颗粒的粒径在 $7\sim 200\ \mu\text{m}$ ($0.007\sim 0.2\ \text{mm}$) 范围内。

(3)石膏掺量。水泥中掺入石膏是为了延缓初凝时间。若没有石膏,则水泥熟料中的 C_3A 水化极快,水化热极大,会导致水泥凝结异常迅速,这种现象称之为瞬凝。在有石膏存在时, C_3A 水化后易与石膏反应而生成难溶于水的钙矾石,它立刻沉淀在水泥熟料颗粒的周围,阻碍了与水的接触,延缓了水化,从而起到延缓水泥凝结的作用。但石膏掺量不能过多,因为过多时不仅缓凝作用不大,还会造成水泥安定性不良。合理的石膏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。一般生产水泥时石膏掺量应占水泥质量的 $3\%\sim 5\%$,具体掺量应通过试验确定。

(4)拌和加水量(水灰比)。水与水泥的质量比,称为水灰比。拌和水泥浆体时,为使浆体具有一定的塑性和流动性,所加入的水量通常要大大超过水泥充分水化时所需的水量。水灰比越大,水泥浆越稀,凝结硬化和强度发展越慢,且硬化后的水泥石中毛细孔含量越多。当水灰比为 0.40 时,完全水化后水泥石的总孔隙率为 29.6%;而当水灰比为 0.70 时,水泥石的孔隙率将高达 50.3%。水泥石的强度随其毛细孔孔隙率的增加呈线性关系下降。因此,在保证成型质量的前提下,应降低水灰比,以提高水泥石的硬化速度和强度。

(5)调凝外加剂。由于硅酸盐水泥的水化、凝结硬化在很大程度上受到 C_3S 和 C_3A 的制约,因此凡对 C_3S 和 C_3A 的水化能产生影响的外加剂,都能改变硅酸盐水泥的水化、凝结硬化性能。例如,加入促凝剂(CaCl_2 、 Na_2SO_4 等)就能促进水泥的水化、硬化,提高早期强度。相反,掺加缓凝剂(木钙、糖类等)就会延缓水泥的水化和硬化,影响水泥早期强度的发展。

(6)养护湿度和温度。水是参与水泥水化反应的物质,是水泥水化、硬化的必要条件。环境湿度大、水分蒸发慢,水泥浆体可保持水泥水化所需的水分。如果环境干燥,水分将很快蒸发,水泥浆体中由于缺乏水泥水化所需的水分,使得水化不能正常进行,强度也不再增长;还可能使水泥石或水泥制品表面产生干缩裂纹。因此,用水泥拌制的砂浆和混凝土,在浇筑后应注意保持潮湿状态,以利获得和增加强度。

通常提高温度可加速硅酸盐水泥的早期水化,使早期强度得到较快发展,但后期强度反而

可能有所降低。相反,在较低温度下硬化时,虽然硬化速率慢,但水化产物较致密,所以可以获得较高的最终强度。不过在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,当水结成冰时,水泥的水化、凝结硬化作用将停止。

(7)养护龄期。水泥的水化硬化是一个在较长时期内不断进行的过程,随着水泥颗粒内各熟料矿物水化程度的提高,凝胶体不断增加,毛细孔隙相应减少,从而随着龄期的增长使水泥的强度逐渐提高。因为熟料矿物中对强度起决定性作用的 C_3S 在早期的强度发展较快,所以水泥在3~14 d内强度增长较快,28 d后增长缓慢,如图3-4所示。

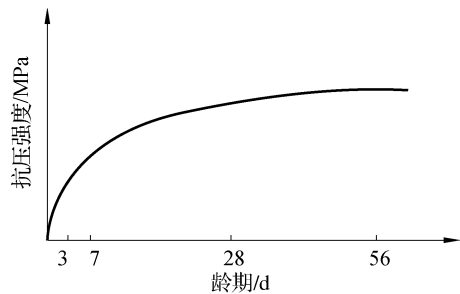


图 3-4 水泥强度发展与龄期关系

(8)水泥受潮与久存。水泥受潮后因表面水化而结块,从而丧失胶凝能力,严重降低其强度。

即使在良好的储存条件下,水泥也不可储存过久,因为水泥会吸收空气中的水分和二氧化碳,缓慢水化和碳化反应,经3个月后水泥强度会降低 $10\%\sim 20\%$,6个月后会降低 $15\%\sim 30\%$,一年后会降低 $25\%\sim 40\%$ 。

由于水泥水化是从颗粒表面开始的,水化过程中水泥颗粒被水化产物所包裹,随着包裹层厚度的增加,反应速率会减缓。据研究测试,当包裹层厚达 $25\ \mu\text{m}$ 时,水化将终止。因此,受潮水泥颗粒只会在表面水化,若将其重磨,可使其暴露出新表面而恢复部分活性。对于轻微结块(能用手捏碎)的水泥,其强度降低 $10\%\sim 20\%$,这种水泥可以采取适当方式压碎后用于次要工程。

3.2.4 通用硅酸盐水泥的指标要求

《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)对通用硅酸盐水泥提出如下技术要求。

(1)通用硅酸盐水泥的化学指标应符合表3-3的规定,否则为不合格。

表 3-3 通用硅酸盐水泥的化学指标

单位: %

品 种	代 号	不溶物 (质量分数)	烧失量 (质量分数)	三氧化硫 (质量分数)	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	$\leq 5.0^{\text{①}}$	$\leq 0.06^{\text{③}}$
	P·II	≤ 1.50	≤ 3.5			
普通硅酸盐水泥	P·O	—	≤ 5.0	≤ 4.0	$\leq 6.0^{\text{②}}$	
矿渣硅酸盐水泥	P·S·A	—	—		—	
	P·S·B	—	—	—		
火山灰质硅酸盐水泥	P·P	—	—	≤ 3.5	$\leq 6.0^{\text{②}}$	
粉煤灰硅酸盐水泥	P·F	—	—			
复合硅酸盐水泥	P·C	—	—			

注:①如果水泥压蒸试验合格,则水泥中氧化镁的含量(质量分数)允许放宽至 6.0% 。

②如果水泥中氧化镁的含量(质量分数)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,该指标由买卖双方确定。

(2)通用硅酸盐水泥物理指标。

①细度(选择性指标)。细度对水泥的水化、凝结硬化以及强度发展均有很大影响。水泥颗粒愈细,其比表面积(单位质量的表面积)愈大,因而水化较快也较充分,水泥的早期强度和后期强度均较高。但水泥颗粒过细,易与空气中的水分及二氧化碳反应,致使水泥不宜久存,过细的水泥硬化时产生的收缩亦较大,而且磨制过细的水泥耗能多、成本高。水泥细度通常采用筛析法或比表面法(勃氏法)测定。硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥以比表面积表示,其比表面积不小于 $300 \text{ m}^2/\text{kg}$;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表示,其 $80 \mu\text{m}$ 方孔筛筛余不大于 10% 或 $45 \mu\text{m}$ 方孔筛筛余不大于 30% 。



视频
水泥凝结时间的测定

②凝结时间。水泥的凝结时间分初凝和终凝。自水泥加水拌和算起到水泥浆开始失去可塑性所需的时间称为初凝时间;自水泥加水拌和算起到水泥浆完全失去可塑性,并开始有一定结构强度所需的时间称为终凝时间。

水泥的凝结时间在施工中具有重要作用。初凝时间不宜过短,以便有足够的时间在初凝之前对混凝土进行搅拌、运输和浇筑。当浇筑完毕,则要求混凝土尽快凝结硬化,产生强度,以利于下道工序的进行,为此终凝时间不宜过迟。

水泥凝结时间的测定,是在规定温度和湿度条件下用凝结时间测定仪对标准稠度的水泥浆进行测定。所谓标准稠度用水量是指水泥净浆达到规定稠度时所需的拌和水量,以占水泥质量的百分率表示,一般在 $24\% \sim 30\%$ 之间。水泥熟料矿物成分不同时,其标准稠度用水量亦有所差别,磨得越细的水泥,标准稠度用水量越大。

标准规定硅酸盐水泥的初凝时间不小于 45 min ,终凝时间不大于 390 min ;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的初凝时间不小于 45 min ,终凝时间不大于 600 min 。凡初凝时间及终凝时间不符合规定者为不合格品。

③体积安定性。水泥体积安定性是指水泥浆在凝结硬化过程中,体积变化的均匀性。如水泥硬化后产生不均匀的体积变化,即为体积安定性不良。使用体积安定性不良的水泥,会使水泥制品、混凝土构件产生膨胀性裂缝,降低建筑物质量,甚至引发严重的工程事故。

水泥安定性不良的原因是由于其熟料矿物组成中含有过多的游离氧化钙或游离氧化镁,以及水泥粉磨时所掺石膏超量等所致。熟料中所含的游离氧化钙或游离氧化镁都是在高温下生成的,属过烧氧化物,水化很慢,它要在水泥凝结硬化后才慢慢开始水化,水化的化学反应式如下:



水化时产生体积膨胀,从而引起不均匀的体积变化,破坏已经硬化的水泥石结构,引起龟裂、弯曲、崩溃等。当水泥中石膏掺量过多时,在水泥硬化后,硫酸根离子还会继续与固态的水化铝酸钙反应生成高硫型水化硫铝酸钙,造成体积膨胀,引起水泥石开裂。

国家标准规定,由游离氧化钙引起的水泥安定性不良可采用煮沸法(试饼法和雷氏法)检验。试饼法是将标准稠度的水泥净浆做成试饼经恒沸 3 h 后,观察其外形变化,目测试饼未出现裂缝,用直尺检查没有弯曲现象,即认为体积安定性合格;反之,为不合格。雷氏法是测定水泥浆在雷氏夹中硬化沸煮后的膨胀值,当两个试件沸煮后的膨胀值的平均值不大于规定值(5.0 mm)时,即判定该水泥安定性合格,反之为不合格。当采用试饼法与雷氏法所测得的结果不同时,以雷氏法为准。游离氧化镁的水化比游离氧化钙更缓慢,由游离氧化镁引起的安定性不良,必须采用压蒸法才能检验出来。由石膏造成的体积安定性不良,则需通

过将其长期浸泡在常温水中才能发现。由于游离氧化镁和石膏引起的体积安定性不良不易被快速检验出来,故常在水泥生产中对其严格加以控制。国家标准规定,硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥中游离氧化镁的含量不得超过 5.0%,矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥中氧化镁的含量不得超过 6.0%,三氧化硫的含量不得超过 3.5%。其中矿渣硅酸盐水泥中三氧化硫的含量不得超过 4.0%。

水泥的体积安定性检验必须合格,体积安定性不合格的水泥为不合格品,但某些体积安定性不合格的水泥在放置一段时间后,由于水泥中的游离氧化钙吸收空气中的水蒸气而水化,而变为合格。

④通用硅酸盐水泥强度与强度等级。水泥的强度是评定其质量的重要指标。《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》(GB/T 17671—1999)规定,水泥的强度是由水泥胶砂试件测定的。将水泥、标准砂按质量计以 1:3 混合,用 0.5 的水灰比按规定的方法拌制成塑性水泥胶砂,并按规定方法制成 40 mm×40 mm×160 mm 的试件,在标准养护条件下[(20±1)℃的水中],养护至 3 d 和 28 d,测定各龄期的抗折强度和抗压强度。据此将硅酸盐水泥的强度等级分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5、62.5R 六个等级;普通硅酸盐水泥的强度等级分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R 四个等级;矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥的强度等级分为 32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R 六个等级。

不同品种不同强度等级的通用硅酸盐水泥,其不同龄期的强度值应符合表 3-4 的规定,否则视为不合格品。

表 3-4 不同品种各强度等级水泥各龄期的强度值

单位:MPa

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	

⑤碱含量(选择性指标)。水泥中碱含量按 $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值表示,若使用活性骨料,用户要求提供低碱水泥时,水泥中的碱含量应不大于 0.60%,或由供需双方协商确定。

3.2.5 通用硅酸盐水泥的性能及应用



测试
通用硅酸盐
水泥

1. 硅酸盐水泥的性能与应用

(1)强度等级高,强度发展快。硅酸盐水泥因其 C_3S 含量高,强度等级较高,适用于地上、地下和水中重要结构的高强度混凝土和预应力混凝土工程。这种水泥凝结硬化较快,还适用于要求早期强度高和冬期施工的混凝土工程。

(2)水化热高。硅酸盐水泥中含有大量的 C_3S 和较多的 C_3A ,其水化放热速度快、放热量高。对大型基础、水坝、桥墩等大体积混凝土,由于水化热聚集在内部不易散发,而形成温度应力,可导致混凝土产生裂纹。因此,硅酸盐水泥不得用于大体积混凝土。

(3)耐腐蚀性差。硅酸盐水泥石中含有较多的易受腐蚀的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和水化铝酸钙,不宜用于受流动的和有压力的软水作用的混凝土工程,也不宜用于受海水及其他腐蚀性介质作用的混凝土工程。

(4)抗冻性好。水泥石的抗冻性主要取决于孔隙率和孔隙特征。硅酸盐水泥如采用较小的水灰比,并经充分养护,可获得密实的水泥石。因此,这种水泥适用于严寒地区遭受反复冻融的混凝土工程。

(5)抗碳化性好。水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与空气中 CO_2 发生作用称为碳化。碳化使水泥石的碱度(即 pH 值)降低,引起水泥石收缩和钢筋锈蚀。硅酸盐水泥石中含有较多的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,碳化时碱度不易降低。用这种水泥制成的混凝土抗碳化性好,适用于空气中 CO_2 浓度较高的环境,如翻砂、铸造车间。

(6)耐热性差。水泥石受热到 $300\text{ }^\circ\text{C}$ 时,水泥的水化产物开始脱水、分解,体积收缩,强度下降。温度达到 $700\text{ }^\circ\text{C}\sim 1\ 000\text{ }^\circ\text{C}$ 时,强度降低很多,甚至完全破坏。其中, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在高温下分解成 CaO ,若再吸湿或长期放置, CaO 又会重新熟化,体积膨胀使水泥石再次受到破坏。可见,硅酸盐水泥是不耐热的,不得用于耐热混凝土工程。但应指出,硅酸盐水泥石在受热温度不高($100\text{ }^\circ\text{C}\sim 250\text{ }^\circ\text{C}$)时,由于内部存在游离水可使水化继续进行,且凝胶脱水使得水泥石进一步密实,水泥石强度反而有所提高。当受到短时间火灾时,因混凝土的热导率相对较小,仅表面受到高温作用,内部温度仍很低,故不致发生破坏。

(7)干缩小。硅酸盐水泥硬化时干缩小,不易产生干缩裂纹,可用于干燥环境下的混凝土工程。

(8)耐磨性好。硅酸盐水泥的耐磨性好,且干缩小,表面不易起粉,可用于地面和道路工程。

2. 普通硅酸盐水泥的性能与应用

普通硅酸盐水泥中掺入少量混合材料的主要作用是扩大强度等级范围,以利于合理选用。由于混合材料掺量较少,其矿物组成的比例仍在硅酸盐水泥的范围内,因此其性能、应用范围与同强度等级的硅酸盐水泥相近。

与硅酸盐水泥比较,普通硅酸盐水泥早期硬化速度稍慢、强度略低,抗冻性、耐磨性及抗碳化性稍差,耐腐蚀性稍好,水化热略有降低。

3. 矿渣水泥、火山灰水泥和粉煤灰水泥的性能与应用

这三种水泥的组成及所用混合材料的活性来源基本相同,所以这三种水泥在性质和应用上有许多相同点,在许多情况下可以替代使用。但由于混合材料的活性来源和物理性质(如致密程度、需水量大小等)存在着某些差别,故这三种水泥又各有其特性。

1) 三种水泥的性能与应用相同点

(1) 早期强度低,后期强度增进率大。与硅酸盐水泥及普通水泥比较,其熟料含量较少(即快硬的矿物 C_3S 和 C_3A 较少),而且二次反应很慢,所以早期强度低。后期,由于二次反应不断进行和水泥熟料的水化产物不断增多,使得水泥强度的增进率加大,后期强度可赶上甚至超过同强度等级的硅酸盐水泥。因此,这三种水泥不宜用于早期强度要求高的混凝土,如现浇混凝土、冬期施工混凝土等。

(2) 硬化时对湿热敏感性强,强度发展受温度影响较大。这三种水泥强度的发展受温度的影响较硅酸盐水泥或普通水泥更为敏感。这三种水泥在低温下的水化明显减慢,强度较低。采用高温养护时,加大二次反应的速度,可提高早期强度,且不影响常温下后期强度的发展。硅酸盐水泥或普通水泥采用高温养护也可提高早期强度,但其后期强度较一直在常温下养护的强度低。因此,这三种水泥不宜用于有早期强度要求的现浇混凝土,适用于蒸汽养护的构件。

(3) 水化热少。由于熟料含量少,水化时发热量高的 C_3S 、 C_3A 含量相对减少,因而水化放热量少,适用于大体积混凝土工程。

(4) 耐腐蚀性好,具有较强的抗溶出性侵蚀及抗硫酸盐侵蚀的能力。这三种水泥中熟料数量相对较少,水化生成的 $Ca(OH)_2$ 数量也较少,而且还要与活性混合材料进行二次反应,使水泥石中易受腐蚀的 $Ca(OH)_2$ 含量大为降低。同时,由于熟料数量较少,使水泥石中易受硫酸盐腐蚀的水化铝酸三钙含量也相对降低,因而它们的耐腐蚀性较好。但当采用含活性 Al_2O_3 含量较多的混合材料(如烧新土)时,水化生成较多的水化铝酸钙,因而耐硫酸盐腐蚀性较差。因此,这三种水泥适用于受溶出性侵蚀以及硫酸盐、镁盐腐蚀的水工建筑工程、海港工程、地下工程。

(5) 抗冻性及耐磨性较差。因为水泥石的密实性不及硅酸盐水泥和普通水泥,所以抗冻性和抗磨性较差,不宜用于严寒地区水位升降范围内的混凝土工程,也不宜用于受高速夹砂水流冲刷或其他具有耐磨要求的混凝土工程。

(6) 抗碳化能力较差。由于水泥石中 $Ca(OH)_2$ 含量少,因此抵抗碳化的能力差,表层的碳化作用进行得较快,碳化深度也较大,这对钢筋混凝土极为不利,故不适用于 CO_2 浓度高的环境(如铸造、翻砂车间)中的混凝土工程。

2) 矿渣水泥的性能与应用

(1) 泌水性和干缩性较大。由于粒化高炉矿渣是玻璃体,对水的吸附能力差(即保水性差),成型时易泌水而形成毛细通路及粗大的水隙,降低混凝土的密实性及均匀性,同时,增加水分的蒸发,因此其干缩较大,易使混凝土表面产生很多微细裂缝,从而降低混凝土的力学性能和耐久性。矿渣混凝土不宜用于要求抗渗的混凝土工程和受冻融干湿交替作用的混凝土工程。

(2) 耐热性好。由于矿渣水泥硬化后 $Ca(OH)_2$ 的含量低,矿渣本身又是耐火掺料,当受高温(不高于 $200\text{ }^\circ\text{C}$)作用时,强度不致显著降低,因此矿渣水泥适用于受热的混凝土工程,

若掺入耐火砖粉等材料可制成耐更高温度的混凝土。在这三种水泥中矿渣水泥的活性混合材料的含量最多,耐腐蚀性最好、最稳定。

3) 火山灰水泥的性能与应用

(1) 抗渗性高。由于水泥中含有大量较细的火山灰,泌水性小,当在潮湿环境下或水中养护时,会生成较多的水化硅酸钙凝胶,使水泥石结构致密,因而具有较高的抗渗性,适用于要求抗渗的水中混凝土工程。

(2) 干缩大,易起粉。火山灰水泥在硬化过程中的干缩现象较矿渣水泥更显著。若处在干燥的空气中,水泥石中的水化硅酸钙会逐渐干燥,产生干缩裂缝。在水泥石表面,由于空气中 CO_2 的作用,可使水化硅酸钙分解成 CaCO_3 和 SiO_2 的粉状混合物,使已硬化的水泥石表面产生“起粉”现象。为此,施工时应加强养护,较长时间保持潮湿,以免产生干缩裂缝和起粉。所以,火山灰水泥不宜用于干燥或干湿交替环境下的混凝土工程,以及有耐磨要求的混凝土工程。

4) 粉煤灰水泥的性能与应用

(1) 早期强度低。由于粉煤灰呈球形颗粒,表面致密,不易水化,因此粉煤灰活性的发挥主要在后期,这种水泥早期强度的增进率比矿渣水泥和火山灰水泥更低,但后期可以赶上。

(2) 干缩小,抗裂性高。由于粉煤灰的吸水能力弱,拌和时需水量较小,因而干缩小、抗裂性高。但球形颗粒保水性差、泌水较快,若养护不当易引起混凝土产生失水裂缝。

另外,复合水泥由于掺入了两种以上的混合材料,改善了上述矿渣水泥等三种水泥的性质。其性质接近于普通水泥,并且水化热低,耐腐蚀性、抗渗性及抗冻性较好。

3.3 其他品种水泥

3.3.1 铝酸盐水泥

铝酸盐水泥是以铝矾土和石灰石为原料,经煅烧制得的以铝酸钙为主要成分、氧化铝含量约 50% 的熟料,再磨制成的水硬性胶凝材料。铝酸盐水泥常为黄或褐色,也有呈灰色的,是一种快硬、早强、耐腐蚀、耐热的水泥。铝酸盐水泥按照生产用原料、水泥的纯度分为高铝水泥和纯铝酸钙水泥。纯铝酸钙水泥和高铝水泥由于原料的不同导致了杂质含量的差异,这也是纯铝酸钙水泥耐高温性能和抗腐蚀性能更好的原因。按照生产工艺来区分,则可以分为烧结法和熔融法。中国的铝酸盐水泥产品以烧结法为主。

1. 铝酸盐水泥的矿物组成

铝酸盐水泥的主要矿物组成是铝酸一钙($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 简称为 CA) 和其他铝酸盐矿物以及少量的硅酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)。CA 具有很高的水化活性,其凝结正常,但硬化迅速,是铝酸盐水泥的强度来源。

CA 的水化反应因温度不同而异,温度低于 20°C 时,水化产物为水化铝酸一钙($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$); 温度在 $20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 时,水化产物为水化铝酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$); 温度高于 30°C 时,水化产物为水化铝酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)。在上述后两种水化物生成的同时有氢氧化铝凝胶($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 生成。

水化铝酸一钙和水化铝酸二钙为强度高的片状或针状的结晶连生体,而氢氧化铝凝胶填充于结晶连生体骨架中,形成致密的结构。经3~5 d后水化产物的数量就很少增加,强度趋于稳定。

水化铝酸一钙和水化铝酸二钙属亚稳定的晶体,随着时间的推移将逐渐转化为稳定的铝酸三钙,其转化过程随温度增高而加剧。晶型转化的结果是使水泥石的孔隙率增大,耐腐蚀性变差,强度大为降低。一般浇筑5年以上的铝酸盐水泥混凝土,其强度仅为早期的1/2,甚至更低。因此,在配制混凝土时,必须充分考虑这一因素。

2. 铝酸盐水泥的技术要求

根据《铝酸盐水泥》(GB 201—2000)的规定,铝酸盐水泥按 Al_2O_3 的含量百分数分为4类:CA-50($50\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 60\%$)、CA-60($60\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 68\%$)、CA-70($68\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 77\%$)、CA-80($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 77\%$)。其细度要求为比表面积不小于 $300 \text{ m}^2/\text{kg}$ 或 0.045 mm 孔筛筛余不大于20%,水泥胶砂强度和凝结时间见表3-5和表3-6。

表 3-5 铝酸盐水泥胶砂强度

水泥类型	抗压强度/MPa				抗折强度/MPa			
	6 h	1 d	2 d	28 d	6 h	1 d	2 d	28 d
CA-50	20 ^①	40	50	—	3.0 ^①	5.5	6.5	—
CA-60	—	20	45	85	—	2.5	5.0	10.0
CA-70	—	30	40	—	—	5.0	6.0	—
CA-80	—	25	30	—	—	4.0	5.0	—

注:①当用户需要时,生产厂应提供结果。

表 3-6 铝酸盐水泥凝结时间

水泥类型	初凝时间不得早于/min	终凝时间不得迟于/h
CA-50、CA-70、CA-80	30	6
CA-60	60	18

3. 铝酸盐水泥的性质及应用

铝酸盐水泥与硅酸盐水泥比较有如下特点。

(1)早期强度增长快,属快硬型水泥。铝酸盐水泥适用于紧急抢修工程和早期强度要求高的特殊工程,但必须考虑其后期强度的降低。使用铝酸盐水泥应严格控制其养护温度,一般不得超过 $25 \text{ }^\circ\text{C}$,宜为 $15 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右。

(2)水化热大。水化热放热量大而且集中,因此不宜用于大体积混凝土工程。

(3)抗硫酸盐腐蚀性强。由于水化时不生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,且水泥石结构致密,因此具有较好的抗硫酸盐及镁盐腐蚀的作用。铝酸盐水泥对碱的腐蚀无抵抗能力。

(4)耐热性高。铝酸盐水泥在高温下仍能保持较高的强度,甚至在高达 $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ 时尚有50%的强度,因此可作为耐热混凝土的胶结材料。铝酸盐水泥在使用时应避免与硅酸盐类

水泥混杂使用,以免降低强度和缩短凝结时间。

3.3.2 快硬高强水泥

快硬水泥是初期强度增加速率较快的水硬性胶凝材料,其 C_3S 和 C_3A 的含量高于普通水泥,具有硬化快、初期强度高特性。快硬水泥初凝不得早于 45 min,终凝不得迟于 10 h,主要用于紧急抢修工程、军事工程、预应力钢筋混凝土构件、配制干硬性混凝土等。高强、早强混凝土在土木工程中的应用日益增加,高早强水泥的品种与产量也随之增多。目前,我国快硬、高强水泥已有很多个品种,是世界上少有的品种齐全的国家之一。

1. 快硬硅酸盐水泥

凡以 $CaSiO_3$ 为主要成分的水泥熟料,加入适量石膏,经磨细制成的具有早期强度增进速率较快的水硬性胶凝材料,称为快硬硅酸盐水泥,简称为快硬水泥。

快硬硅酸盐水泥的原料和生产过程与硅酸盐水泥基本相同,只是为了快硬和早强,生产时适当提高了熟料中 C_3S 和 C_3A 的含量,其中 C_3S 的含量达 50%~60%, C_3A 为 8%~14%,两者总量应不少于 60%~65%,同时适当增加石膏的掺量,并提高水泥的粉磨细度(通常比表面积达 $450\text{ m}^2/\text{kg}$)。

快硬硅酸盐水泥的早期、后期强度均较高,抗渗性和抗冻性也较好,水化热大,耐腐蚀性差,适用于早强、高强混凝土工程,以及紧急抢修工程和冬期施工等工程。快硬硅酸盐水泥不得用于大体积混凝土工程和与腐蚀介质接触的混凝土工程。由于快硬硅酸盐水泥易吸收空气中的水蒸气,因此存放时应特别注意防潮,且存放期一般不得超过一个月。

2. 快硬硫铝酸盐水泥

以适当成分的生料,烧成以无水硫铝酸钙 $[3(\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) \cdot \text{CaSO}_4]$ 和 β 型 C_2S 为主要矿物成分的熟料,加入适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为快硬硫铝酸盐水泥。

快硬硫铝酸盐水泥按 3 d 的强度划分为 425、525、625、725 四个标号。这是一种早期强度很高的水泥,其 12 h 强度即可达 3 d 强度的 60%~70%。

快硬硫铝酸盐水泥具有快凝、早强、不收缩的特点,可用于配制早强、抗渗和抗硫酸盐侵蚀的混凝土,适用于负温施工(冬期施工),浆锚、喷锚支护,抢修、堵漏,水泥制品及一般建筑工程。

由于这种水泥的碱度较低,因此用于玻璃纤维增强水泥制品可防止玻璃纤维腐蚀。

提示 (1) 硫铝酸盐系列水泥不能与其他品种水泥混合使用。

(2) 硫铝酸盐系列水泥泌水性大,黏聚性差,应避免用水量大。

(3) 硫铝酸盐水泥的水化产物钙矾石在 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 以上时会脱水,强度会大幅度下降,故其耐热性较差,一般应在常温下使用。

(4) 硫铝酸盐水泥制品的碱度较低,对钢筋的保护作用较弱,混凝土保护层薄时则钢筋锈蚀加重,因此在潮湿环境中使用时,必须采取相应措施。

3.3.3 膨胀水泥

一般硅酸盐类水泥在空气中硬化时,通常都表现为收缩,常导致混凝土内部产生微裂缝,降低了混凝土的耐久性。在浇筑构件的节点、堵塞孔洞、修补缝隙时,由于水泥石存在干缩,也不能达到预期的效果。膨胀水泥在硬化过程中能产生一定体积的膨胀,因此采用膨胀水泥配制混凝土,能克服或改善一般水泥的上述缺点,解决由于收缩带来的不利后果。

膨胀水泥按膨胀值的不同,分为膨胀水泥和自应力水泥。膨胀水泥的线膨胀系数一般在1%以下,相当或稍大于一般水泥的收缩率,可以补偿收缩,所以又称为补偿收缩水泥或无收缩水泥。自应力水泥的线膨胀系数一般为1%~3%,膨胀值较大,在限制的条件(如配有钢筋)下,使混凝土受到压应力,这种压应力能避免混凝土内部产生微裂缝,还能抵消一部分因外界因素(如水泥混凝土管道中输送的压力水或压力气体)所产生的拉应力,从而有效地改善混凝土抗拉强度低的缺陷。

1. 膨胀水泥的分类

膨胀水泥按其强度组分的类型可分为如下几种。

(1)硅酸盐膨胀水泥。硅酸盐膨胀水泥是以硅酸盐水泥为主要组分,外加高铝水泥和石膏配制而成的。其膨胀作用是由于高铝水泥中的铝酸盐矿物和石膏遇水后生成具有膨胀性的钙矾石晶体,膨胀值的大小可通过改变高铝水泥和石膏的含量来调节。

(2)铝酸盐膨胀水泥。由高铝水泥和二水石膏混合后磨细或分别磨细后混合而成。

(3)硫铝酸盐膨胀水泥。以含有适量无水硫铝酸钙的熟料,加入较多石膏磨细而成。

2. 在工程中的应用

膨胀水泥适用于补偿混凝土收缩的结构工程,作防渗层或防渗混凝土,填灌构件的接缝及管道接头,加固与修补结构,固结机器底座及地脚螺丝等。自应力水泥适用于制作自应力钢筋混凝土压力管及其配件。

3.3.4 低热硅酸盐水泥

低热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,经磨细制成的具有低水化热的水硬性胶凝材料,简称低热水泥,又称高贝利特水泥,代号为P·LH。

低热硅酸盐水泥是一种以 C_2S 为主导矿物, C_3A 含量较低的水泥。其 C_2S 的含量应不小于40%, C_3A 的含量应不超过6%,游离氧化钙的含量应不超过1.0%。生产该品种水泥具有耗能低、有害气体排放少、生产成本低的特点。经大量研究和实验证实,该品种水泥具有良好的工作性、水化热低、后期强度高、耐久性强、耐侵蚀性强等通用硅酸盐水泥无可比拟的优点。

低热硅酸盐水泥3d、7d水化热比中热水泥低15%~20%,而且水化放热平缓,峰值温度低。其早期强度较低,但后期强度增进率大,28d强度与硅酸盐水泥相当,3~6个月龄期强度高于硅酸盐水泥10~20MPa,特别适用于水工大体积混凝土、高强高性能混凝土工程。

3.3.5 白色硅酸盐水泥

凡以适当成分的生料烧至部分熔融,所得以 $CaSiO_3$ 为主要成分、 Fe_2O_3 含量很少的白

色硅酸盐水泥熟料,再加入适量石膏,共同磨细制成的水硬性胶凝材料,称为白色硅酸盐水泥,简称白水泥。

白水泥与硅酸盐水泥的区别在于水泥熟料中 Fe_2O_3 的含量限制在 0.5% 以下,其他着色氧化物(MnO 、 TiO_2 等)含量降至极微。为此,应精选原料,生产应在无着色物污染的条件下进行,严格控制水泥中的含铁量。白水泥比普通的硅酸盐水泥凝固得快。其主要特点是矿渣微粉的用量为 85%~90%,碱性添加物的用量不超过 5%。混制出的白水泥的白度和强度不低于原料白水泥,而且早期强度还有明显的提高。

白水泥多为装饰性用,而且它的制造工艺比普通水泥要好很多,主要用来勾白瓷片的缝隙,但由于其强度不高,故一般不用于墙面。

3.3.6 低碱度水泥

低碱水泥是指碱金属氧化物(K_2O 和 Na_2O)含量低的水泥。总碱含量以当量氧化钠($\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$)计算,低碱水泥要求总碱含量(当量氧化钠)低于 0.6%。

低碱水泥可以是硅酸盐系列水泥的任何品种。只要含碱量低于 0.6% 就是低碱水泥。生产低碱水泥,需要使用低碱熟料、低碱石膏和低碱矿物掺和料。低碱熟料又必须是用低碱石灰石和其他低碱原材料生产。

低碱水泥主要用来防止混凝土发生碱集料反应,以影响混凝土的耐久性。由于碱集料反应一般是在混凝土成型若干年后逐渐发生的,其结果造成混凝土的耐久性下降,严重时还会使混凝土丧失使用价值,且由于反应是发生在整个混凝土中的,因此,这种反应造成的破坏既难以预防又难以阻止,更不易修补和挽救,故被称为混凝土的“癌症”。目前,许多工程为了保证混凝土的质量及耐久性,都要求采用低碱水泥。

3.3.7 砌筑水泥

砌筑水泥是由一种或一种以上活性混合材料或具有水硬性的工业废料为主要原料,加入适量硅酸盐水泥熟料和石膏,经磨细制成的水硬性胶凝材料,代号为 M。这种水泥的强度较低,不能用于钢筋混凝土或结构混凝土,主要用于工业与民用建筑的砌筑和抹面砂浆、垫层混凝土等,作其他用途时必须通过试验。

3.4 水泥石的腐蚀与防护

3.4.1 水泥石腐蚀的类型

硅酸盐水泥硬化后(指混凝土中的水泥石),在通常情况下具有较高的耐久性,其强度在几年,甚至几十年后仍在继续增长。但水泥石在腐蚀性液体或气体的作用下,结构却会受到破坏,甚至完全破坏,此即水泥石的腐蚀。

常见的水泥石腐蚀有软水侵蚀(溶出性侵蚀)、酸类侵蚀(溶解性侵蚀)、盐类腐蚀和强碱腐蚀等。除上述四种侵蚀类型外,对水泥石有腐蚀作用的还有糖类、酒精、脂肪、氨盐和含环烷酸的石油产品等。

3.4.2 水泥石腐蚀的原因

1. 软水侵蚀(溶出性侵蚀)

软水是不含或仅含少量钙、镁等可溶性盐的水。雨水、雪水、蒸馏水、工厂冷凝水以及含重碳酸盐甚少的河水与湖水均属软水。软水能使水泥石水化产物中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶解,并促使水泥石中其他水化产物发生分解,导致强度下降,故软水侵蚀称为“溶出性侵蚀”。各种水化产物与水作用时,因为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的溶解度最大,所以首先被溶出。在水量不多或无水压的情况下,由于周围的水迅速被溶出的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 所饱和,溶出作用很快中止,因此破坏仅发生于水泥石的表面部位,危害不大。但在大量水或流动水中, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 会不断溶出,特别是当水泥石渗透性较大而又受压力水作用时,水不仅能渗入内部,而且还能产生渗透作用,将 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶解并渗滤出来,这样不仅减小了水泥石的密实度,还会影响其强度。而且由于液相中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的浓度降低,还会破坏原来水化物间的平衡碱度,而引起其他水化产物(如水化硅酸钙、水化铝酸钙)的溶解或分解,最后变成一些无胶凝能力的硅酸凝胶、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 等,水泥石结构彻底遭受破坏。

软水腐蚀的轻重程度与水泥石所承受的水压及与水中有无其他离子存在等因素有关。当水泥石结构承受水压时,受穿流水作用,水压越大,水泥石透水性越大,腐蚀越严重;水泥石中含有少量的 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 等离子时,能提高 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的溶解度,使溶出性侵蚀腐蚀加重。溶出性侵蚀的速度还与环境水中重碳酸盐的含量有很大关系。

2. 酸类侵蚀(溶解性侵蚀)

硅酸盐水泥石水化产物呈碱性,其中含有较多的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,当遇到酸类或酸性水时则会发生中和反应,生成比 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶解度大的盐类,导致水泥石受损破坏。

(1)碳酸的侵蚀。这种反应的长期进行会导致水泥石结构疏松,密度下降,强度降低。另外水泥石中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 浓度的降低又会导致其他水化产物的分解,进一步加剧了水泥石的腐蚀。

(2)一般酸的腐蚀。各种酸类都会对水泥石造成不同程度的损害。其损害机理是酸类与水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生化学反应,生成物或者易溶于水,或者体积膨胀导致水泥石中产生内应力而引起水泥石破坏。无机酸中的盐酸、硝酸、硫酸、氢氟酸和有机酸中的醋酸、蚁酸、乳酸的腐蚀作用尤为严重。

3. 盐类腐蚀

1) 硫酸盐及氯盐腐蚀(膨胀型腐蚀)

在一些湖水、海水、沼泽水、地下水以及某些工业污水中常含有钠、钾、铵等的硫酸盐,它们会先与硬化的水泥石结构中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 起置换反应,生成 CaSO_4 。 CaSO_4 再与水泥石中的水化硫铝酸钙起反应,生成高硫型水化硫铝酸钙。由于高硫型水化硫铝酸钙含有大量结晶水,其体积较原体积膨胀 2.22 倍,会产生巨大的膨胀应力,因此对水泥石的破坏很大。

当水中硫酸盐的浓度较高时, CaSO_4 会在孔隙中直接结晶成二水石膏,造成膨胀压力,引起水泥石的破坏。

2) 镁盐的腐蚀(双重腐蚀)

在海水及地下水中常含有大量的镁盐,主要是 MgSO_4 和 MgCl_2 。它们与水泥石中的

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 起置换作用,生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 松软无胶凝能力, CaCl_2 易溶于水,二水石膏则引起硫酸盐的破坏。由此可见,镁盐腐蚀属于双重腐蚀,镁盐对水泥石的破坏特别严重。

4. 强碱腐蚀

硅酸盐水泥的水化产物呈碱性,一般碱类溶液浓度不大时不会对水泥石造成明显的损害。但铝酸盐(C_3A)含量较高的硅酸盐水泥遇到强碱(如 NaOH)时会发生反应,生成的铝酸钠溶于水。当水泥石被 NaOH 浸透后又在空气中干燥,则溶于水的铝酸钠会与空气中的 CO_2 反应生成 Na_2CO_3 。由于水分失去, Na_2CO_3 在水泥石毛细管中结晶膨胀,引起水泥石疏松、开裂。

3.4.3 水泥石腐蚀的防护

(1)根据环境侵蚀特点,合理选用水泥品种。水泥石中引起腐蚀的组分主要是 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和水化铝酸钙。当水泥石遭受软水侵蚀时,可选用水化产物中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量少的水泥。水泥石如处在硫酸盐的腐蚀环境中,可采用 C_3A 含量较低的抗硫酸盐水泥。在硅酸水泥熟料中掺入某些人工或天然矿物材料(混合材料)可提高水泥的抗腐蚀能力。

(2)提高水泥石的密实度。水泥石中的毛细管、孔隙是引起水泥石腐蚀加剧的内在原因之一。因此,采取适当技术措施,如强制搅拌、振动成型、真空吸水、掺外加剂等,在满足施工操作的前提下,努力降低水灰比,提高水泥石的密实度,都将使水泥石的耐侵蚀性得到改善。

(3)表面加做保护层。当侵蚀作用比较强烈时,需在水泥制品表面加做保护层。保护层的材料常采用耐酸石料(石英岩、辉绿岩)、耐酸陶瓷、玻璃、塑料、沥青等。

3.5 水泥性能检测

3.5.1 一般规定

1. 编号及取样

水泥出厂前按同品种、同强度等级编号和取样。袋装水泥和散装水泥应分别进行编号和取样。每一编号为一取样单位。水泥出厂编号按年生产能力规定为:① 200×10^4 t 以上,不超过 4 000 t 为一编号;② $120 \times 10^4 \sim 200 \times 10^4$ t,不超过 2 400 t 为一编号;③ $60 \times 10^4 \sim 120 \times 10^4$ t,不超过 1 000 t 为一编号;④ $30 \times 10^4 \sim 60 \times 10^4$ t,不超过 600 t 为一编号;⑤ $10 \times 10^4 \sim 30 \times 10^4$ t,不超过 400 t 为一编号;⑥ 10×10^4 t 以下,不超过 200 t 为一编号。

取样方法按《水泥取样方法》(GB/T 12573—2008)进行,可连续取,亦可从 20 个以上不同部位取等量样品,总量至少 12 kg。当散装水泥运输工具的容量超过该厂规定的出厂编号吨数时,允许该编号的数量超过取样规定吨数。

2. 试验条件

(1)试验室温度为 $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度应不低于 50%;水泥试样、拌和水、仪器和用具的温度应与试验室一致。

(2)湿气养护箱的温度为 $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度不低于 90%。试体养护池水温应在 $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围内。

(3) 试验室温度和相对湿度及养护池水温在工作期间每天至少记录一次。养护箱或雾室的温度与相对湿度至少每 4 h 记录一次,在自动控制的情况下记录次数可以酌减至 1 d 记录两次。

(4) 在温度给定范围内,控制所设定的温度应在此范围中。

3.5.2 水泥细度测定

1. 试验目的

检测水泥颗粒的粗细程度,以此作为评定水泥质量的依据之一。

2. 方法原理

本标准是采用 45 μm 和 80 μm 方孔标准筛对水泥试样进行筛析试验,用筛网上所得筛余物的质量百分数来表示水泥样品的细度。

3. 仪器设备

(1) 试验筛。由圆形筛框和筛网组成,筛网符合《试验筛 金属丝编织网、穿孔板和电成型薄板 筛孔的基本尺寸》(GB/T 6005—2008)中 R20/3、45 μm 的要求,分负压筛、水筛和手筛三种。负压筛应附有透明筛盖,筛盖与筛上口应有良好的密封性。手工筛结构应符合《试验筛 技术要求和检验 第 1 部分:金属丝编织网试验筛》(GB/T 6003.1—2012)的规定,其中筛框高度为 50 mm,筛子的直径为 150 mm。

(2) 负压筛析仪。负压筛析仪由筛座、负压筛、负压源及收尘器组成,其中筛座由转速为 (30 \pm 2) r/min 的喷气嘴、负压表、控制板、微电机及壳体等构成,筛析仪负压可调范围为 4 000~6 000 Pa。喷气嘴上口平面与筛网之间的距离为 2~8 mm。

(3) 水筛架和喷头的结构尺寸应符合《水泥标准筛和筛析仪》(JC/T 728—2005)的规定,其中水筛架筛座的内径为 140 \pm ₃ mm。

(4) 天平。最小分度值不大于 0.01 g。

4. 试验步骤

试验前所用试验筛应保持清洁,负压筛和手工筛应保持干燥。试验时,80 μm 筛析试验称取试样 25 g,45 μm 筛析试验称取试样 10 g。

(1) 负压筛析法。筛析试验前,应把负压筛放在筛座上,盖上筛盖,接通电源,检查控制系统,调节负压至 4 000~6 000 Pa 范围内。称取试样精度至 0.01 g,置于洁净的负压筛中,放在筛座上,接通电源,开动筛析仪连续筛析 2 min,在此期间如有试样附着在筛盖上,可轻轻地敲击筛盖使试样落下。筛毕,用天平称量全部筛余物。

(2) 水筛法。筛析试验前,应检查水中无泥砂,调整好水压及水筛的位置,使其能正常运转,并控制喷头底面和筛网之间的距离为 35~75 mm。称取试样精度至 0.01 g,置于洁净的水筛中,立即用淡水冲洗至大部分细粉通过后,放在水筛架上,用水压为 (0.05 \pm 0.02) MPa 的喷头连续冲洗 3 min。筛毕,用少量水把筛余物冲至蒸发皿中,等水泥颗粒全部沉淀后,小心倒出清水,烘干并用天平称量全部筛余物。

(3) 手工筛析法。称取试样精度至 0.01 g,倒入手工筛内。用一只手持筛往复摇动,另一只手轻轻拍打,往复摇动和拍打筛时应保持近于水平。拍打速度每分钟约 120 次,每 40 次向同一方向转动 60°,使试样均匀分布在筛网上,直至每分钟通过的试样量不超过 0.03 g



视频
水泥的细度
试验

为止,称量全部筛余物。对其他粉状物采用 45~80 μm 以外规格方孔筛进行筛析试验时,应指明筛子的规格、称样量、筛析时间等相关参数。

试验筛必须经常保持洁净,筛孔通畅,使用 10 次后要进行清洗。清洗金属框筛、铜丝网筛时应用专门的清洗剂,不可用弱酸浸泡。

5. 结果计算及处理

水泥试样筛余百分数按下式计算:

$$F = \frac{R_s}{W} \times 100\% \quad (3-1)$$

式中, F 为水泥试样的筛余百分率(%); R_s 为水泥筛余物的质量(g); W 为水泥试样的质量(g)。

进行合格评定时,每个样品应称取两个试样分别筛析,取筛余平均值为筛析结果。若两次筛余结果的绝对误差大于 0.5% 时(筛余值大于 5.0% 时可放宽至 1.0%)应再做一次试样,取两次相近结果的算术平均值作为最终结果。负压筛析法、水筛法和手工筛析法测定的结果发生争议时,以负压筛析法为准。

3.5.3 水泥标准稠度用水量测定

1. 试验目的

测定水泥净浆达到标准稠度时的用水量。

2. 方法原理

水泥标准稠度净浆对标准试杆(或试锥)的沉入具有一定阻力。通过试验不同含水量水泥净浆的穿透性,以确定水泥标准稠度净浆中所需加入的水量。

3. 仪器设备

标准法维卡仪(如图 3-5 所示)、水泥净浆搅拌机(如图 3-6 所示)、量筒或滴定管(精度为 $\pm 0.5 \text{ mL}$)、天平(最大称量不小于 1 000 g,分度值不大于 1 g)。



图 3-5 标准法维卡仪



图 3-6 水泥净浆搅拌机

4. 试验步骤

1) 标准法

(1) 试验前的准备工作。维卡仪的滑动杆能自由滑动,试模和玻璃底板用湿布擦拭,将试模放在底板上,调整至试杆接触玻璃板时指针对准零点。搅拌机运行正常。

(2) 水泥净浆的拌制。用水泥净浆搅拌机搅拌,搅拌锅和搅拌叶片先用湿布擦过,将拌和水倒入搅拌锅内,然后在5~10 s内小心将称好的500 g水泥加入水中,防止水和水泥溅出;拌和时先将锅放在搅拌机的锅座上升至搅拌位置,启动搅拌机,低速搅拌120 s,停15 s,同时将叶片和锅壁上的水泥浆刮入锅中间,接着高速搅拌120 s,停机。

(3) 标准稠度用水量的测定步骤。拌和结束后立即取适量水泥净浆一次性装入已置于玻璃底板上的试模中,浆体超出试模上端时,用宽约25 mm的直边刀轻轻拍打出试模部分的浆体5次以排除浆体中的孔隙,然后在试模上表面约1/3处略倾斜于试模分别向外轻轻锯掉多余净浆,再从试模边沿轻抹顶部一次,使净浆表面光滑。在锯掉多余净浆和抹平的操作过程中,注意不要压实净浆。抹平后迅速将试模和底板移到维卡仪上,并将其中心定在试杆下,降低试杆直至与水泥净浆表面接触,拧紧螺丝1~2 s后突然放松,使试杆垂直自由地沉入水泥净浆中。在试杆停止沉入或释放试杆30 s时记录试杆距底板之间的距离,升起试杆后立即擦净;整个操作应在搅拌后1.5 min内完成。以试杆沉入净浆并距底板(6±1) mm的水泥净浆为标准稠度净浆,其拌和水量为该水泥的标准稠度用水量(P),按水泥质量的百分比计。

2) 代用法

(1) 试验前的准备工作。维卡仪的滑动杆能自由滑动。试锥调整至接触锥模顶面时指针对准零点。搅拌机运行正常。

(2) 水泥净浆的拌制。同标准法。

(3) 标准稠度的测定。采用代用法测定水泥标准稠度用水量时可用调整水量和不变水量两种方法中的任一种。

采用调整水量方法时拌和水量按经验找水,采用不变水量方法时拌和水量用142.5 mL。拌和结束后,立即将拌制好的水泥净浆装入锥模中,用宽约25 mm的直边刀在浆体表面轻轻插捣5次,再轻振5次刮去多余的净浆;抹平后迅速放到试锥下面固定的位置上,将试锥降至净浆表面。拧紧螺丝1~2 s后突然放松,让试锥垂直自由地沉入水泥净浆中。到试锥停止下沉或释放试锥30 s时,记录试锥的下沉深度。整个操作应在搅拌后1.5 min内完成。

采用调整水量方法测定时,以试锥下沉深度(30±1) mm时的净浆为标准稠度净浆。其拌和水量为该水泥的标准稠度用水量(P),按水泥质量的百分比计。如下沉深度超出范围时需另称试样,调整水量,重新试验,直至达到(30±1) mm为止。采用不变水量方法测定时,根据下式(或仪器上对应标尺)计算得到标准稠度用水量 P 。当试锥下沉深度小于13 mm时,应改用调整水量法测定。

$$P = (33.4 - 0.185S) \times 100\% \quad (3-2)$$

式中, P 为标准稠度用水量(%); S 为试锥下沉深度(mm)。

3.5.4 水泥凝结时间测定

1. 试验目的

测定水泥的凝结时间,作为评定水泥质量的依据之一。

2. 方法原理

试针沉入水泥标准稠度净浆至一定深度所需的时间。

3. 仪器设备

水泥净浆搅拌机、标准法维卡仪、量筒或滴定管(精度为 $\pm 0.5\text{ mL}$)、天平(最大称量不小于 $1\ 000\text{ g}$,分度值不大于 1 g)。

4. 试验步骤

(1)试件的制备。以标准稠度用水量制成标准稠度净浆,装模刮平后,立即放入湿气养护箱中。记录水泥全部加入水中的时间作为凝结时间的起始时间。

(2)初凝时间的测定。试件在湿气养护箱中养护至加水后 30 min 时进行第一次测定。测定时,从湿气养护箱中取出试模放到试针下,降低试针与水泥净浆表面接触。拧紧螺丝 $1\sim 2\text{ s}$ 后突然放松,试针垂直自由地沉入水泥净浆。观察试针停止下沉或释放试针 30 s 时指针的读数。临近初凝时间时每隔 5 min (或更短时间)测定一次,当试针沉至距底板 $(4\pm 1)\text{ mm}$ 时,水泥达到初凝状态,由水泥全部加入水中至初凝状态的时间称为水泥的初凝时间,用分钟来表示。

(3)终凝时间的测定。为了准确观测试针沉入的状况,在终凝针上安装了一个环形附件(如图3-7所示)。在完成初凝时间测定后,立即将试模连同浆体以平移的方式从玻璃板取下,翻转 180° 使直径大端向上、小端向下放在玻璃板上,再放入湿气养护箱中继续养护。临近终凝时间时每隔 15 min (或更短时间)测定一次,当试针沉入试体 0.5 mm 时(即环形附件开始不能在试体上留下痕迹时),水泥达到终凝状态。由水泥全部加入水中至终凝状态的时间称为水泥的终凝时间,用分钟来表示。

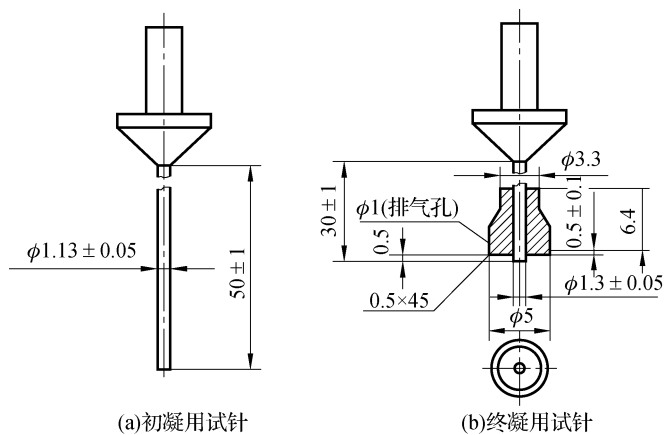


图 3-7 测水泥凝结时间用试针

3.5.5 水泥体积安定性测定

1. 试验目的

测定水泥安定性,作为评定水泥质量的依据之一。

2. 方法原理

雷氏法是通过测定水泥标准稠度净浆在雷氏夹中煮沸后试针的相对位移来表征其体积膨胀的程度。

试饼法是通过观测水泥标准稠度净浆试饼煮沸后的外形变化情况表征其体积安定性。

3. 仪器设备

水泥净浆搅拌机、标准法维卡仪、量筒或滴定管(精度为 ± 0.5 mL)、天平(最大称量不小于1 000 g,分度值不大于1 g)、雷氏夹、沸煮箱、雷氏夹膨胀测定仪(如图3-8所示)。

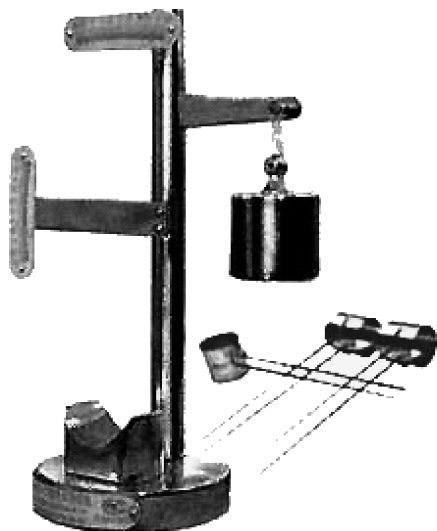


图 3-8 雷氏夹膨胀测定仪

4. 试验步骤

1) 安定性测定方法——标准法

(1) 试验前的准备工作。每个试样需成型两个试件,每个雷氏夹需配备两个边长或直径约为80 mm、厚度为4~5 mm的玻璃板,凡与水泥净浆接触的玻璃板和雷氏夹内表面都要稍稍涂上一层油。

提示 有些油会影响凝结时间,矿物油比较合适。

(2) 雷氏夹试件的成型。将预先准备好的雷氏夹放在已稍擦油的玻璃板上,并立即将已制好的标准稠度净浆一次装满雷氏夹,装浆时一只手轻轻挟持雷氏夹,另一只手用宽约为25 mm的直边刀在浆体表面轻轻插捣3次,然后抹平,盖上稍涂油的玻璃板,接着立即将试件移至湿气养护箱内养护(24 ± 2) h。

(3) 煮沸。调整好沸煮箱内的水位,以保证在整个煮沸过程中不需中途添补试验用水,

同时又能保证在 (30 ± 5) min 内升至沸腾。

脱去玻璃板取下试件,先测量雷氏夹指针尖端间的距离(A,精确到 0.5 mm),接着将试件放在沸煮箱水中的试件架上,指针朝上,然后在 (30 ± 5) min 内加热至沸腾并恒沸 (180 ± 5) min。

(4)结果判别。沸煮结束后,立即放掉沸煮箱中的热水,打开箱盖待箱体冷却至室温,取出试件进行判别。测量雷氏夹指针尖端的距离(C,精确到 0.5 mm),当两个试件煮后增加的距离 $(C-A)$ 的平均值不大于 5.0 mm 时,即认为该水泥安定性合格,当两个试件煮后增加的距离 $(C-A)$ 的平均值大于 5.0 mm 时,应用同一样品重做一次试验,以复检结果为准。

2) 安定性测定方法——代用法

(1)试验前的准备工作。每个样品需准备两块边长约为 100 mm 的玻璃板,凡与水泥净浆接触的玻璃板都要稍稍涂上一层油。

(2)试饼的成型方法。将制好的标准稠度净浆取出一部分分成两等份,使之成球形,放在预先准备好的玻璃板上,轻轻振动玻璃板并用湿布擦过的小刀由边缘向中央抹,做成直径为 70~80 mm,中心厚约为 10 mm,边缘渐薄、表面光滑的试饼,接着将试饼放入湿气养护箱内养护 (24 ± 2) h。

(3)沸煮。调整好沸煮箱内的水位,以保证在整个煮沸过程中不需中途添补试验用水,同时又能保证在 (30 ± 5) min 内升至沸腾。

脱去玻璃板取下试饼,在试饼无缺陷的情况下将试饼放在沸煮箱水中的篦板上,在 (30 ± 5) min 内加热至沸腾并恒沸 (180 ± 5) min。

(4)结果判别。沸煮结束后,立即放掉沸煮箱中的热水,打开箱盖待箱体冷却至室温,取出试件进行判别。目测试饼未发现裂缝,用钢直尺检查也没有弯曲(使钢直尺和试饼底部紧靠,以两者间不透光为不弯曲)的试饼为安定性合格,反之为不合格。当两个试饼判别结果有矛盾时,该水泥的安定性为不合格。

3.5.6 水泥胶砂强度测定

1. 试验目的

测定水泥的抗折强度及抗压强度,作为评定水泥质量的依据之一。

2. 方法原理

本方法是用来测定 40 mm×40 mm×160 mm 棱柱试体的水泥抗压强度和抗折强度。

试体是由按质量计的一份水泥、三份中国 ISO 标准砂,用 0.5 的水灰比拌制的一组塑性胶砂制成。胶砂用搅拌机搅拌,在振实台上成型。试体连模一起在湿气中养护 24 h,然后脱模在水中养护至强度试验。到试验龄期时将试体从水中取出,先进行抗折强度试验,折断后每截再进行抗压强度试验。

3. 仪器设备

(1)水泥胶砂搅拌机。属行星式,应符合《行星式水泥胶砂搅拌机》(JC/T 681—2005)的要求。

(2)试模。试模由三个水平的模槽组成,可同时成型三条 40 mm×40 mm×160 mm 的棱形试体。为了控制料层厚度和刮平胶砂,应具备有二个播料器和一把金属刮平直尺,如图 3-9 所示。

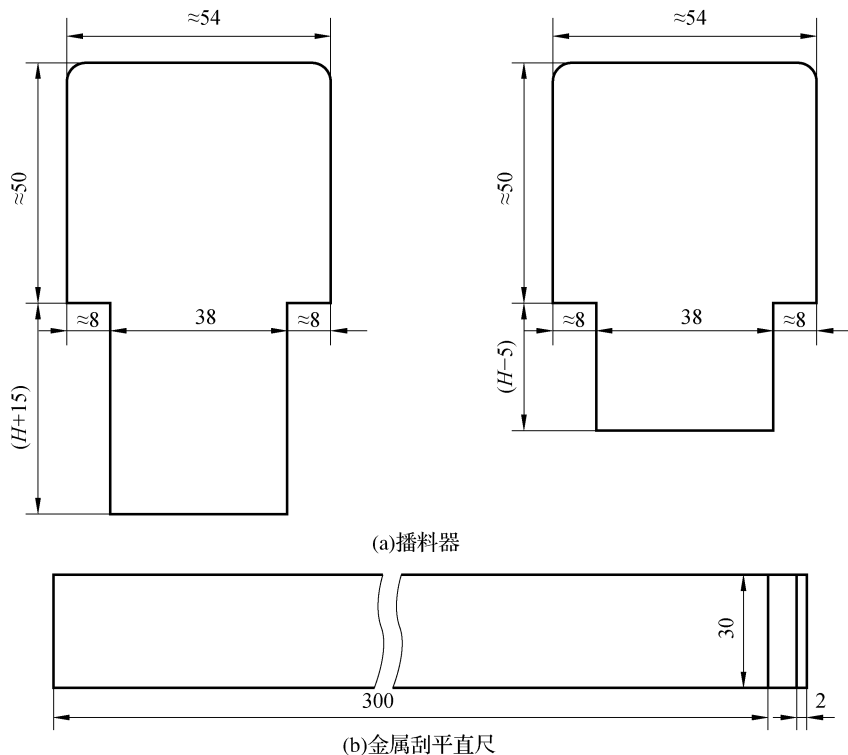


图 3-9 播料器和金属刮平直尺

H —模套高度

(3) 振实台。

(4) 抗折强度试验机。

(5) 抗压强度试验机。具有按 $(2\ 400 \pm 200)$ N/s 速率的加荷能力, 应有一个能指示试件破坏时的荷载并把它保持到试验机卸荷以后的指示器, 可以用表盘里的峰值指针或显示器来实现。人工操纵的试验机应配有一个速度动态装置, 以便于控制荷载增加。

(6) 抗压强度试验机用夹具。当需要使用夹具时, 应把它放在压力机的上下压板之间并与压力机处于同一轴线, 以便将压力机的荷载传递至胶砂试件表面。夹具受压面积为 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 。夹具在压力机上要保持清洁, 球座应能转动以使其上压板能从一开始就适应试体的形状并在试验中保持不变。

提示 (1) 试验机的最大荷载以 $200 \sim 300\text{ kN}$ 为佳, 可以有两个以上的荷载范围, 其中最低荷载范围的最高值大致为最高范围里的最大值的 $1/5$ 。

(2) 宜采用具有加荷速度自动调节方法和具有记录结果装置的压力机。

(3) 可以润滑球座以便使其与试件接触更好, 但在加荷期间不致因此而发生压板的位移。在高压下有效的润滑剂不适宜使用, 以免导致压板的移动。

4. 试验步骤

1) 胶砂的制备

(1) 配合比。胶砂的质量配合比应是一份水泥、三份标准砂和半份水(水灰比为 0.5)。一锅胶砂制成三条试体, 每锅材料需要量见表 3-7。

表 3-7 每锅胶砂的材料数量

水泥品种	水泥/g	标准砂/g	水/mL
硅酸盐水泥	450±2	1 350±5	225±1
普通硅酸盐水泥			
矿渣硅酸盐水泥			
粉煤灰硅酸盐水泥			
复合硅酸盐水泥			
石灰石硅酸盐水泥			

(2)配料。水泥、砂、水和试验用具的温度与试验室相同,称量用的天平精度应为±1 g。当用自动滴管加 225 mL 水时,滴管精度应达到±1 mL。

(3)搅拌。每锅胶砂用搅拌机进行机械搅拌。先使搅拌机处于待工作状态,然后按以下的程序进行操作:把水加入锅里,再加入水泥,把锅放在固定架上,上升至固定位置。然后立即开动机器,低速搅拌 30 s 后,在第二个 30 s 开始的同时均匀地将砂子加入。当各级砂是分装时,从最粗粒级开始,依次将所需的每级砂量加完。把机器转至高速再拌 30 s,停拌 90 s (在第 1 个 15 s 内用一胶皮刮具将叶片和锅壁上的胶砂刮入锅中间),在高速下继续搅拌 60 s,各个搅拌阶段,时间误差应在±1 s 以内。

2) 试件的制备

(1)成型。胶砂制备后立即进行成型。将空试模和模套固定在振实台上,用一个适当的勺子直接从搅拌锅里将胶砂分两层装入试模,装第一层时,每个槽里约放 300 g 胶砂,用大播料器(如图 3-9 所示)垂直架在模套顶部沿每个模槽来回一次将料层播平,接着振实 60 次。再装入第二层胶砂,用小播料器播平,再振实 60 次。移走模套,从振实台上取下试模,用金属刮平直尺(如图 3-9 所示)以近似 90°的角度架在试模模顶的一端,然后沿试模长度方向以横向锯齿动作慢慢向另一端移动,一次将超过试模部分的胶砂刮去,并用同一直尺以近乎水平的状态将试体表面抹平。

(2)试件的养护。去掉留在试模四周的胶砂,立即将作好标记的试模放入雾室或湿箱的水平架子上养护,湿空气应能与试模各边接触。养护时不应将试模放在其他试模上。一直养护到规定的脱模时间时取出脱模。脱模前,用防水墨汁或颜料笔对试体进行编号和作其他标记。两个龄期以上的试体,在编号时应将同一试模中的三条试体分在两个以上龄期内。脱模应非常小心,应在成型后 20~24 h 之间脱模。

将做好标记的试件立即水平或竖直放在 20 °C±1 °C 的水中养护,水平放置时刮平面应朝上。试件应放在不易腐烂的篦子上,并彼此间保持一定间距,以保证试件的六个面都能与水接触。养护期间试件之间间隔或试体上表面的水深不得小于 5 mm。

除 24 h 龄期或延迟至 48 h 脱模的试体外,任何到龄期的试体均应在试验(破型)前 15 min 从水中取出。擦去试体表面沉积物,并用湿布覆盖至试验为止。

3) 强度试验

试体龄期是从水泥加水搅拌开始试验时算起。不同龄期强度试验在下列时间里进行: 24 h±15 min、48 h±30 min、72 h±45 min、7 d±2 h、>28 d±8 h。

用抗折试验机(如图 3-10 所示)以中心加荷法测定抗折强度。在折断后的棱柱体上进

行抗压试验,受压面是试体成型时的两个侧面,面积为 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 。当不需要抗折强度数值时,抗折强度试验可以省去。但抗压强度试验应在不使试件受有害应力情况下折断的两截棱柱体上进行。

(1)抗折强度测定。将试体的一个侧面放在试验机支撑圆柱上,试体长轴垂直于支撑圆柱,通过加荷圆柱以 $(50 \pm 10)\text{ N/s}$ 的速率均匀地将荷载垂直地加在棱柱体相对侧面上,直至折断。保持两个半截棱柱体处于潮湿状态直至抗压试验。

抗折强度 R_f 以牛顿每平方米(MPa)表示,按下式进行计算:

$$R_f = \frac{1.5F_f L}{b^3} \quad (3-3)$$

式中, F_f 为折断时施加于棱柱体中部的荷载(N); L 为支撑圆柱之间的距离(mm); b 为棱柱体正方形截面的边长(mm)。

(2)抗压强度测定。抗压强度试验通过抗压试验机(如图3-11所示),在半截棱柱体的侧面上进行。半截棱柱体中心与压力机压板受压中心盖应在 $\pm 0.5\text{ mm}$ 内,棱柱体露在压板外的部分约有 10 mm 。在整个加荷过程中以 $(2\ 400 \pm 200)\text{ N/s}$ 的速率均匀地加荷直至破坏。

抗压强度 R_c 以牛顿每平方米(MPa)为单位,按下式进行计算:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (3-4)$$

式中, F_c 为破坏时的最大荷载(N); A 为受压部分面积(mm^2 , $40\text{ mm} \times 40\text{ mm} = 1\ 600\text{ mm}^2$)。

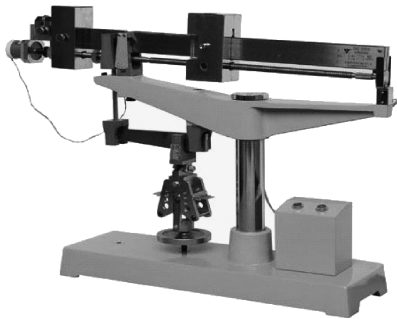


图 3-10 水泥抗折试验机



图 3-11 水泥抗压试验机

4) 试验结果的确定

(1)抗折强度。以一组三个棱柱体抗折结果的平均值作为试验结果。当三个强度值中有超出平均值 $\pm 10\%$ 时,应剔除后再取平均值作为抗折强度的试验结果。

(2)抗压强度。以一组三个棱柱体上得到的六个抗压强度测定值的算术平均值为试验结果。如六个测定值中有一个超出六个平均值的 $\pm 10\%$,就应剔除这个结果,而以剩下五个的平均数为结果。如果五个测定值中再有超过它们平均数 $\pm 10\%$ 的,则此组结果作废。

(3)试验结果的计算。各试体的抗折强度记录至 0.1 MPa ,按规定计算平均值,精确至 0.1 MPa 。各个半棱柱体得到的单个抗压强度结果计算至 0.1 MPa ,按规定计算平均值,精

确至 0.1 MPa。

5) 水泥试验结果判定

检验结果中的化学指标符合标准规定,安定性、凝结时间、强度合格则判定为合格品。上述检验结果中的任何一项技术要求不符合标准规定者则判定为不合格品。

思考与练习

1. 通常所说的六大水泥是什么? 其代码分别是什么?
2. 制造硅酸盐水泥时为什么必须掺入适量的石膏? 石膏掺得过多或过少时,将产生什么情况?
3. 硅酸盐水泥产生体积安定性不良的原因是什么? 为什么? 如何检验水泥的安定性?
4. 影响硅酸盐水泥凝结硬化的主要因素有哪些? 这些因素是怎样影响的?
5. 规定水泥的初凝时间和终凝时间各有什么作用?
6. 硅酸盐水泥腐蚀的类型有哪些? 腐蚀后水泥石破坏的形式有哪几种?

单元4 建筑砂浆

学习目标

- 了解各种建筑砂浆的材料组成和技术性能特点。
- 熟悉砌筑砂浆的配合比设计过程。
- 掌握砂浆的性能检测方法、步骤及结果计算与评定。

4.1 建筑砂浆的概述

建筑砂浆是建筑工程中应用比较广泛、消耗量比较大的一种基本建筑材料。它是由胶凝材料、细集料、掺和料和水配制而成的建筑工程材料,在建筑工程中起粘结、衬垫和传递应力的作用。由于砂浆中没有粗集料,因此可认为砂浆是一种细集料混凝土。建筑砂浆主要用于以下几个方面。

- (1) 砌筑砖、石、砌块等构成砌体。
- (2) 作为墙面、柱面、地面等的砂浆抹面。
- (3) 内、外墙面的装饰抹面。
- (4) 作为砖、石、大型墙板的勾缝。
- (5) 用来镶贴大理石、水磨石、面砖、马赛克等贴面材料。

按用途不同,分为砌筑砂浆、抹面砂浆及特殊用途砂浆;按所用胶结材料不同分为水泥砂浆、石灰砂浆、混合砂浆等。

4.2 砌筑砂浆

将砖、石、砌块等粘结成砌体的砂浆称为砌筑砂浆。砌筑砂浆起着胶结块材和传递荷载的作用,是砌体的重要组成部分,如图 4-1 所示。



图 4-1 墙体砌筑



测试
砌筑砂浆

4.2.1 砂浆的组成材料

1. 胶结材料

建筑砂浆常用的胶结材料有水泥、石灰、石膏等。在选用时应根据胶结材料的使用环境、用途等进行。在干燥的环境中既可选用气硬性胶凝材料,也可以选用水硬性胶凝材料;在潮湿的环境或水中必须选用水泥作为胶结材料。

配制砂浆常选用普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥、火山灰水泥和粉煤灰硅酸盐水泥等。水泥的强度等级要求应根据设计要求进行选择。通常水泥强度应为砂浆强度的4~5倍,选用时尽量选择中、低强度的水泥,如配制水泥砂浆应选择强度等级不大于32.5的水泥,水泥用量不小于 200 kg/m^3 ;配制混合砂浆应选择强度等级不大于42.5的水泥,水泥和掺和料的总量应为 $300\sim 350\text{ kg/m}^3$ 。对于特殊用途的砂浆,如修补裂缝、预制构件嵌缝、结构加固等可采用膨胀水泥。

2. 砂

砂是砂浆中的细集料,在砂浆中起着骨架和填充作用,是对砂浆的和易性和强度等技术性能影响较大的建筑材料。性能良好的细集料可提高砂浆的和易性和强度,尤其对砂浆的收缩开裂等起到较好的抑制作用。

砂浆用砂应符合混凝土用砂的技术要求。但砂浆用砂与混凝土用砂还存在不同之处,由于砂浆层一般较薄,因此对砂的最大粒径有所限制。用于毛石砌体的砂浆,砂的最大粒径应小于砂浆层厚度的 $1/5\sim 1/4$;用于砖砌体的砂浆,砂的最大粒径应不大于 2.36 mm ;用于光滑的抹面及勾缝的砂浆,应采用细砂,砂的最大粒径应小于 1.2 mm ;用于装饰的砂浆,可采用彩砂、石渣等。

砂中不得含有害杂质。砂浆的和易性、强度、变形性和耐久性均会受到砂中含泥量的影响。由于砂中含有少量泥,可改善砂浆的流动性和保水性,因此砂浆用砂的含泥量可比混凝土用砂的含泥量略高。对强度等级为M2.5以上的砌筑砂浆,砂的含泥量应小于5%;对强度等级为M2.5的砂浆,砂的含泥量应小于10%。

3. 掺和料

掺和料是为改善砂浆和易性而加入的无机材料。常用的掺和料有石灰膏、电石膏(电石消解后经过滤的产物)、粉煤灰、黏土膏等。掺和料应符合以下规定。

(1)熟化后的石灰膏应用孔径不大于 $3\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 的网过滤,熟化时间不得少于7d;磨细生石灰粉的熟化时间不得少于2d。沉淀池中储存的石灰膏,应保持膏体上面有一水层,以防石灰膏的碳化变质。严禁使用脱水硬化的石灰膏。

(2)采用黏土或亚黏土制备黏土膏时,应用搅拌机加水搅拌,通过孔径不大于 $3\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 的网过滤,用比色法检验黏土中的有机物含量应浅于标准色。

(3)制作电石膏的电石渣应用孔径不大于 $3\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 的网过滤。为了使乙炔气体全部放完,要加热至 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 并保持20min,没有乙炔气味后,方可使用。

(4)消石灰粉不得直接用于砌筑砂浆中。

(5)石灰膏、黏土膏、电石膏适配时的稠度应为 $(120\pm 5)\text{ mm}$ 。

(6)粉煤灰、磨细生石灰的品质指标,应符合国家标准要求。

4. 水

配制砂浆用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》(JGJ 63—2006)的规定。

4.2.2 新拌砂浆的和易性

新拌砂浆的和易性包括流动性和保水性两方面。和易性好的砂浆在运输和操作时不会产生离析、泌水现象,且易在砌块表面铺成均匀的薄层,保证灰缝饱满密实,易将砌块粘结成整体,便于施工操作。

1. 流动性

流动性也称稠度,是指新拌砂浆在自重或机械振动的情况下具有流动的性质,用“沉入度”表示,沉入度越大,表示砂浆的流动性越好。沉入度可用砂浆稠度测定仪(如图4-2所示)来测定。

砂浆的流动性适宜时,可提高施工效率,有利于保证施工质量。砂浆流动性的选择与砌体种类、环境温度及湿度、施工方法等因素有关。若砂浆流动性过大(太稀),则会增加铺砌难度,且强度下降;若砂浆流动性过小(过稠),则施工困难,不易铺平。

2. 保水性

保水性是指新拌砂浆保存水分的能力,也指砂浆中各组成材料不易分离的性质。保水性常用分层度表示。先测定搅拌均匀的砂浆的沉入度,然后将其装入分层度筒(如图4-3所示)中,静置30 min后,取底部1/3的砂浆再测沉入度,先后两次沉入度的差值称为分层度。



图 4-2 砂浆稠度测定仪



图 4-3 砂浆分层度筒

砂浆的分层度一般控制在10~30 mm,分层度大于30 mm的砂浆容易离析、泌水、分层或者水流失快,不易施工;分层度小于10 mm的砂浆硬化后宜产生干缩裂缝。

影响砂浆保水性的主要因素是胶凝材料的种类和用量,砂的品种、细度和用水量。在砂浆中掺入石灰膏、粉煤灰等粉状混合材料可提高砂浆的保水性。

4.2.3 砂浆配合比设计

砌筑砂浆由水泥、细集料、掺和料和水配制而成,必要时还需加入适量的外加剂。砂浆的配合比设计就是确定砂浆中各组成成分的用量,既要满足砂浆的强度要求,又要满足和易性要求,还应满足经济合理的要求。

常用的砌筑砂浆分为水泥砂浆和水泥混合砂浆,依据《砌筑砂浆配合比设计规程》(JGJ 98—2010)的规定,砌筑砂浆的配合比按如下方法设计。

1. 水泥混合砂浆

(1) 确定砂浆的试配强度。

砂浆的试配强度应按下式计算:

$$f_{m,0} = kf_2 \quad (4-1)$$

式中, $f_{m,0}$ 为砂浆的试配强度(MPa),精确至 0.1 MPa; f_2 为砂浆的强度等级值(MPa),精确至 0.1 MPa; k 为系数,按表 4-1 取值。

表 4-1 砂浆强度标准差及 k 值

强度等级 施工水平	强度标准差 σ /MPa							k
	M5	M7.5	M10	M15	M20	M25	M30	
优良	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.15
一般	1.25	1.88	2.50	3.75	5.00	6.25	7.50	1.20
较差	1.50	2.25	3.00	4.50	6.00	7.50	9.00	1.25

砌筑砂浆强度标准差的确定应符合下列规定。

① 当有统计资料时,砂浆强度标准差应按下式计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{m,i}^2 - n\mu_{fm}^2}{n-1}} \quad (4-2)$$

式中, $f_{m,i}$ 为统计周期内同一品种砂浆第 i 组试件的强度(MPa); μ_{fm} 为统计周期内同一品种砂浆 n 组试件强度的平均值(MPa); n 为统计周期内同一品种砂浆试件的总组数, $n \geq 25$ 。

② 当无统计资料时,砂浆强度标准差 σ 可按表 4-1 取值。

(2) 计算水泥用量。

① 每立方米砂浆中的水泥用量(Q_c)应按下式计算:

$$Q_c = \frac{1\ 000(f_{m,0} - \beta)}{\alpha \cdot f_{ce}} \quad (4-3)$$

式中, Q_c 为每立方米砂浆的水泥用量(kg),精确至 1 kg; $f_{m,0}$ 为砂浆的试配强度(MPa),精确至 0.1 MPa; f_{ce} 为水泥的实测强度(MPa),精确至 0.1 MPa; α 、 β 为砂浆的特征系数,其中 α 取 3.03, β 取 -15.09。

注:各地也可由本地区的试验资料确定 α 、 β 值,统计用的试验组数不得少于 30 组。

② 在无法取得水泥的实测强度值时,可按下式计算:

$$f_{ce} = \gamma_c \cdot f_{ce,k} \quad (4-4)$$

式中, $f_{ce,k}$ 为水泥强度等级值(MPa); γ_c 为水泥强度等级值的富余系数,宜按实际统计资料

确定;无统计资料时可取 1.0。

(3)计算石灰膏用量。石灰膏用量应按下式计算:

$$Q_D = Q_A - Q_C \quad (4-5)$$

式中, Q_D 为每立方米砂浆的石灰膏用量(kg),精确至 1 kg,石灰膏使用时的稠度宜为(120±5) mm; Q_C 为每立方米砂浆的水泥用量(kg),精确到 1 kg; Q_A 为每立方米砂浆水泥和石灰膏的总量(kg),精确到 1 kg,可为 350 kg。

(4)每立方米砂浆中的砂子用量,应按干燥状态(含水率小于 0.5%)的堆积密度值作为计算值(kg)。

(5)每立方米砂浆中的用水量,根据砂浆稠度等要求可选用 210~310 kg。但应注意以下几点。

- ①混合砂浆中的用水量,不包括石灰膏中的水。
- ②当采用细砂或粗砂时,用水量分别取上限和下限。
- ③稠度小于 70 mm 时,用水量可小于下限。
- ④施工现场气候炎热或干燥季节,可酌量增加用水量。

(6)试配、调整与确定。

①试配检验、调整和易性,确定基准配合比。按计算配合比试配,测定其稠度和分层度,不满足要求则调整用水量或掺和料用量,直到符合要求为止,由此得到基准配合比。

②砂浆强度调整与确定。检验强度时至少应采用三个不同的配合比,其中一个为基准配合比,另两个配合比的水泥用量按基准配合比分别增加和减少 10%,在保证稠度、分层度合格的条件下,可将用水量或掺和料用量作相应调整。三组配合比分别成型、养护、测定 28 d 强度,选定符合试配强度要求的且水泥用量最低的配合比作为砂浆配合比。

水泥混合砂浆的密度不宜小于 1 800 kg/m³。

2. 水泥砂浆配合比的选用

依据《砌筑砂浆配合比设计规程》(JGJ 98—2010)的规定,水泥砂浆的材料用量可按表 4-2 选用。

表 4-2 每立方米水泥砂浆材料用量

单位:kg/m³

强度等级	水 泥	砂	用 水 量
M5	200~230	砂的堆积密度值	270~330
M7.5	230~260		
M10	260~290		
M15	290~330		
M20	340~400		
M25	360~410		
M30	430~480		

注:1. M15 及 M15 以下强度等级水泥砂浆,水泥强度等级为 32.5 级;M15 以上强度等级水泥砂浆,水泥强度等级为 42.5 级。

2. 当采用细砂或粗砂时,用水量分别取上限或下限。
3. 当稠度小于 70 mm 时,用水量可小于下限。
4. 施工现场气候炎热或干燥季节,可酌量增加用水量。
5. 试配强度应按式(4-1)计算。

4.2.4 砂浆强度和强度等级

1. 抗压强度

砂浆的抗压强度是以边长为 $70.7\text{ mm} \times 70.7\text{ mm} \times 70.7\text{ mm}$ 的立方体试块,在温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不小于 90% 的条件下养护 28 d,根据《建筑砂浆基本性能试验方法标准》(JGJ/T 70—2009) 的规定,通过试验测定砂浆的抗压强度。根据抗压强度划分为 M2.5、M5.0、M7.5、M10、M15、M20 六个强度等级。工程中常用的强度等级有 M2.5、M5.0、M7.5 和 M10。

抗压强度的计算公式为:

$$f_{m,cu} = k \frac{N_u}{A} \quad (4-6)$$

式中, $f_{m,cu}$ 为砂浆立方体试块抗压强度(MPa),精确至 0.1 MPa; N_u 为试块破坏荷载(N); A 为试块承压面积(mm^2); k 为换算系数,取 1.35。

2. 粘结强度

砂浆必须有足够的粘结力,才能使块体材料粘结成坚固的整体,粘结力的大小与砂浆的强度、块体材料表面的洁净程度、湿润情况以及养护情况等因素有关。其粘结力的大小会影响砌体的强度、耐久性、稳定性、抗震性等。

4.3 抹面砂浆

凡涂抹在建筑物或建筑构件表面的砂浆,统称为抹面砂浆(如图 4-4 所示),抹面砂浆主要起到保护墙体、装饰墙面的作用。对抹面砂浆的要求是:具有良好的和易性,易于抹成均匀平整的薄层,便于施工,有较好的粘结力,能与基层粘接牢固,长期使用不会开裂或脱落。



视频
墙面抹灰



图 4-4 抹面砂浆

4.3.1 抹面砂浆的组成材料

1. 胶凝材料

硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥等均可作为抹面砂浆的胶凝材料。底层用石灰膏需陈伏两周以上，面层用石灰膏需陈伏一个月以上。

2. 砂子

宜用中砂或将中砂与粗砂混合使用。在缺乏中砂、粗砂的地区，可使用细砂，但不能单独使用粉砂。

3. 加筋材料

加筋材料(如纸筋、麻刀、玻璃纤维等)有时也可加入一些特殊骨料或掺和料，如陶砂、膨胀珍珠岩等以强化其功能。

4.3.2 抹面砂浆的施工及要求

抹面砂浆通常分为两层或三层进行施工。由于各层砂浆要求不同，因此每层所选用的砂浆也不一样。一般底层砂浆起粘结基层的作用，要求砂浆应具有良好的和易性和较高的粘结力，因此底面应粗糙些，有利于与砂浆的粘结。中层抹灰主要是为了找平，有时可省略不用。面层抹灰主要为了平整美观，因此应选用细砂。

4.3.3 抹面砂浆的种类及选用

用于砖墙的底层抹灰多用石灰砂浆；用于板条墙或板条顶棚的底层抹灰多用混合砂浆或石灰砂浆；混凝土墙、梁、柱、顶板等底层抹灰多用混合砂浆、麻刀石灰浆或纸筋石灰浆。在容易碰撞或潮湿的地方，应采用水泥砂浆，如墙裙、踢脚板、地面、雨棚、窗台以及水池、水井等处，一般多用1:2.5的水泥砂浆。

抹面砂浆的流动性及骨料的粒径参见表4-3。

表4-3 抹面砂浆的流动性及骨料的粒径

抹面层	沉入度/mm	砂子最大粒径/mm
底层	100~120	2.5
中层	70~90	2.5
面层	70~80	1.2

抹面砂浆的配合比及其应用范围参见表4-4。

表4-4 常用抹面砂浆的配合比及应用范围

抹面砂浆组成材料	配合比(体积比)	应用范围
石灰:砂	1:2~1:4	用于砖石墙表面
石灰:黏土:砂	1:1:4~1:1:8	用于干燥环境表面
石灰:石膏:砂	1:0.4:2~1:1:3	用于干燥环境屋面木质表面

续表

抹面砂浆组成材料	配合比(体积比)	应用范围
石灰:石膏:砂	1:2:2~1:2:4	用于干燥环境房间脚线及修饰工程
石灰:石膏:砂	1:0.6:2~1:1.5:3	用于干燥环境房间的墙及天花板
石灰:水泥:砂	1:0.5:4.5~1:1:1.5	用于檐口、勒脚、女儿墙及潮湿部位
水泥:砂	1:3~1:2.5	用于浴室、潮湿车间等墙裙、勒脚或地面基层
水泥:砂	1:2~1:1.5	用于地面、天棚或墙面面层
水泥:砂	1:0.5~1:1	用于混凝土地面随时压光
石灰:石膏:水泥:锯末	1:1:3:5	用于吸音粉刷
水泥:白石子	1:2~1:1	用于水磨面
水泥:白石子	1:1.5	用于剁石
白灰:麻刀	100:2.5(质量比)	用于板条天棚底层
石灰膏:麻刀	100:1.3(质量比)	用于板条天棚面层
纸筋:白灰浆	灰膏 0.1 m ³ , 纸筋 0.36 kg	用于较高级墙板、天棚

4.4 其他种类建筑砂浆

4.4.1 装饰砂浆

装饰砂浆是指直接用于建筑物内外表面,以提高建筑物装饰艺术性为主要目的抹面砂浆。它是常用的装饰手段之一。装饰砂浆的底层和中层抹灰与普通抹面砂浆基本相同,主要是装饰砂浆的面层,要选用具有一定颜色的胶凝材料和骨料以及采用某种特殊的操作工艺,使表面呈现出各种不同的色彩、线条与花纹等装饰效果。

装饰砂浆所采用的胶凝材料有普通水泥、矿渣水泥、火山灰水泥和白水泥、彩色水泥,或在常用的水泥中掺加耐碱矿物颜料配成彩色水泥以及石灰、石膏等。骨料常采用大理石、花岗岩等带颜色的细石渣或玻璃、陶瓷碎粒。

4.4.2 绝热砂浆

绝热砂浆又称保温砂浆,是采用水泥、石灰和石膏等胶凝材料与膨胀珍珠岩、膨胀蛭石或陶砂等轻质多孔骨料,按一定比例配合制成的砂浆。保温砂浆具有轻质和保温隔热性能好等优点,其导热系数为 0.07~0.10 W/(m·K),可用于屋面保温层、保温墙壁以及供热管道保温层等处。

常用的保温砂浆有水泥膨胀珍珠岩砂浆、水泥膨胀蛭石砂浆和水泥石灰膨胀蛭石砂浆等。随着国内节能减排工作的推进,涌现出众多新型墙体保温材料,其中 EPS(聚苯乙烯)颗粒保温砂浆就是一种得到广泛应用的新型外保温砂浆,其采用分层抹灰的工艺,最大厚度可达 100 mm,此砂浆具有保温、隔热、阻燃、耐久等优点。

4.4.3 吸声砂浆

一般绝热砂浆是由轻质多孔骨料制成的,都具有吸声性能。另外,也可以用水泥、石膏、砂、锯末按体积比为1:1:3:5配制成吸声砂浆,或在石灰、石膏砂浆中掺入玻璃纤维和矿棉等松软纤维材料制成。吸声砂浆主要用于室内墙壁和平顶。

4.4.4 防水砂浆

防水砂浆是一种抗渗性高的砂浆。防水砂浆层又称刚性防水层,适用于不受震动和具有一定刚度的混凝土或砖石砌体的表面,对于变形较大或可能发生不均匀沉降的建筑物,都不宜采用刚性防水层。防水砂浆按其组成可分为多层抹面水泥砂浆、掺防水剂防水砂浆、膨胀水泥防水砂浆和掺聚合物防水砂浆四类。常用的防水剂有氯化物金属盐类防水剂、水玻璃类防水剂和金属皂类防水剂等。

防水砂浆的防渗效果在很大程度上取决于施工质量,因此施工时要严格控制原材料的质量和配合比。防水砂浆层一般分四层或五层施工,每层厚约5mm,每层在初凝前压实一遍,最后一层要进行压光。抹完后要加强养护,防止脱水过快造成干裂。总之,刚性防水层必须保证砂浆的密实性,对施工操作要求高,否则难以获得理想的防水效果。

4.4.5 防辐射砂浆

防辐射砂浆有重晶石砂浆和加硼水泥砂浆两种。

(1)重晶石砂浆。用水泥、重晶石粉、重晶石砂加水制成。其容重大(2.5 t/m^3),对X射线、 γ 射线起阻隔作用。

(2)加硼水泥砂浆。往砂浆中掺加一定数量的硼化物(如硼砂、硼酸、碳化硼等)制成,具有抗中子辐射性能。常用配比为石灰:水泥:重晶石粉:硬硼酸钙粉=1:9:31:4(质量比),并加适量塑化剂。

4.5 砂浆拌和物性能检测

4.5.1 一般规定

建筑砂浆的常规项目包括稠度、分层度、表观密度、抗压强度,依据标准是《砌筑砂浆配合比设计规程》(JGJ 98—2010)。

4.5.2 现场取样及试样制备

1. 砂浆拌和物取样

(1)建筑砂浆试验用料应从同一盘砂浆或同一车砂浆中取样。取样量不应少于试验所需量的4倍。

(2)当施工过程中进行砂浆试验时,砂浆取样方法应按相应的施工验收规范执行,并宜在现场搅拌点或预拌砂浆卸料点的至少3个不同部位及时取样。对于现场取样的试样,试

验前应人工搅拌均匀。

(3)从取样完毕到开始进行各项性能试验,不宜超过 15 min。

2. 试样的制备

(1)在实验室制备砂浆试样时,所用原材料应提前 24 h 运入室内。拌和时,实验室的温度应保持在 (20 ± 5) °C。当需要模拟施工条件下所用的砂浆时,所用原材料的温度宜与施工现场保持一致。

(2)试验所用原材料应与现场使用材料一致。砂应通过 4.75 mm 筛。

(3)在实验室拌制砂浆时,材料用量应以质量计。水泥、外加剂、掺和料等的称量精度应为 $\pm 0.5\%$,细骨料的称量精度应为 $\pm 1\%$ 。

(4)在试验室搅拌砂浆时应采用机械搅拌,搅拌机应符合现行行业标准《试验用砂浆搅拌机》(JG/T 3033—1996)的规定,搅拌的用量宜为搅拌机容量的 30%~70%,搅拌时间不应少于 120 s。掺有掺和料和外加剂的砂浆,其搅拌时间不应少于 180 s。

4.5.3 砂浆稠度测定

1. 试验目的

测定砂浆稠度,以确定配合比。施工过程中控制砂浆稠度,是为了控制用水量,达到保证砂浆质量的目的。

2. 实验设备

(1)砂浆稠度测定仪由试锥、容器和支座三部分组成。试锥由钢材或铜材制成,锥高为 145 mm,锥底直径为 75 mm,试锥连同滑杆的质量为 (300 ± 2) g;盛砂浆的容器由钢板制成,筒高为 180 mm,锥底内径为 150 mm;支座分底座、支架及稠度显示三个部分,由铸铁、钢及其他金属制成。

(2)钢制捣棒,直径为 10 mm,长为 350 mm,端部磨圆。

(3)砂浆拌和锅、铁铲和秒表等。

3. 试验步骤

(1)将试锥、容器表面用湿布擦净,用少量润滑油轻擦滑杆,保证滑杆能自由滑动。

(2)将砂浆拌和物一次装入盛浆容器,使砂浆表面约低于容器口 10 mm,用捣棒自容器中心向边缘插捣 25 次(前 12 次需插到筒底,)然后轻击容器 5~6 下,使砂浆表面平整,随后将容器置于稠度测定仪的底座上。

(3)把试锥调至尖端与砂浆表面接触,拧紧制动螺丝,使齿条测杆下端接触滑杆上端,并将指针对准零点。

(4)拧开制动螺丝,使锥体自由落入砂浆中,同时按动秒表计时,待 10 s 立即拧紧固定螺丝,使齿条测杆下端接触滑杆上端,从刻度盘上读出下层深度(精确至 1 mm)即为砂浆的稠度值。

(5)砂浆试样不得重复使用,重新测定时应重取新的试样。

4. 结果评定

稠度试验结果应以两次测定值的算术平均值为测定值,计算精确至 1 mm。两次测定值

之差如大于 20 mm,则应另取样搅拌后重新测定。

5. 试验要点及注意事项

- (1)往盛浆容器中装入砂浆试样前,一定要将砂浆翻拌均匀、干稀一致。
- (2)试验时应将刻度盘牢牢固定在相应位置,不得有松动,以免影响检测精度。
- (3)到工地检查砂浆稠度时,如砂浆稠度仪不便携带,可携带试锥,在工地找其他容器装置砂浆做简易测定,用钢尺量测砂浆稠度(注意:应垂直量测)。

4.5.4 砂浆分层度测定

1. 试验目的

分层度试验是为了测定砂浆拌和物在运输、停放、使用过程中的保水能力,即离析、泌水等内部组分的稳定性,分层度是评定砂浆质量的重要指标。

2. 试验设备

(1)砂浆分层度测定仪,用金属板制成,内径为 150 mm,上节无底,高度为 200 mm,下节带底净高为 100 mm,由连接螺柱在两侧连接,上、下层连接处需加宽到 3~5 mm,并设有橡胶垫圈。

- (2)砂浆稠度仪、木锤。
- (3)拌和锅等。

3. 试验步骤

- (1)将砂浆拌和物按砂浆稠度试验方法测定稠度。
- (2)将砂浆认真翻拌后一次装入分层度筒内,用木锤在分层度试验筒四周距离大致相等的四个不同地方轻击 1~2 下,如砂浆沉落到分层度筒口以下,则应随时添加砂浆,然后刮去多余的砂浆,并用抹刀抹平表面。
- (3)静置 30 min 后,去掉上节 200 mm 砂浆,剩余的 100 mm 砂浆倒出来放在拌和锅内拌 2 min,再按稠度试验方法测定其稠度。前后两次测得的稠度之差即为该砂浆的分层度值(cm)。

4. 结果评定

取两次试验结果的算术平均值作为砂浆的分层度值。

4.5.5 砂浆立方体抗压强度测定

1. 试验目的

测定砂浆立方体的抗压强度,评定砂浆的强度等级。

2. 试验设备

- (1)试模。尺寸为 70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm 的带底试模,试模的内表面应机械加工,其不平度应为每 100 mm 不超过 0.05 mm。组装后各相邻面的不垂直度不应超过±0.5°。
- (2)钢制捣棒。直径为 10 mm,长度为 350 mm,端部磨圆。
- (3)压力试验机。精度应为 1%,试件破坏荷载值应不小于压力机全量程的 20%,且不应大于全量程的 80%。

(4)垫板。试验机上、下压板及试件之间可垫以钢垫板,其尺寸应大于试件的承压面,其不平度应为每 100 mm 不超过 0.02 mm。

(5)振动台。空载中台面的垂直振幅应为 (0.5 ± 0.05) mm,空载频率应为 (50 ± 3) Hz,空载台面振幅均匀度不应大于 10%,一次试验应至少能固定 3 个试模。如其技术参数与混凝土试验振动台的技术参数基本一致,则混凝土振动台即可使用。

3. 试件制作

(1)试块数量。立方体抗压强度试验中,每组试块数量由 6 块变为 3 块。

(2)试模的准备工作。应采用黄油等密封材料涂抹试模的外接缝,试模内应涂刷薄层机油或隔离剂,应将拌制好的砂浆一次性装满砂浆试模。

(3)成型方法根据稠度确定,当稠度大于 50 mm 时,宜采用人工插捣成型;当稠度小于等于 50 mm 时,宜采用振动台振实成型,这是由于当稠度小于等于 50 mm 时人工插捣较难密实且人工插捣宜留下插孔,影响强度结果。成型方式的选择以充分密实、避免离析为原则。

①人工插捣。应采用捣棒均匀地由边缘向中心按螺旋方式插捣 25 次,在插捣过程中当砂浆沉落低于试模口时,应随时添加砂浆,可用油灰刀插捣数次,并用手将试模一边抬高 5~10 mm 各振动 5 次,砂浆应高出试模顶面 6~8 mm。

②机械振动。将砂浆一次装满试模,放置到振动台上,振动时试模不得跳动,振动 5~10 s 或持续到表面泛浆为止,不得过振。

(4)待表面水分稍干后,再将高出试模部分的砂浆沿试模顶面刮去并抹平。采用钢底模后因底模材料不吸水,表面出现麻斑状态的时间会较长,为避免砂浆沉缩、试件表面高于试模,一定要在出现麻斑状态时再将高出试模部分的砂浆沿试模顶面刮去并抹平。

4. 养护

试件制作后应在温度为 (20 ± 5) °C 的环境下静置 (24 ± 2) h,对试件进行编号、拆模。当气温较低或者砂浆凝结时间大于 24 h 时,可适当延长,但不应超过 2 d。水泥砂浆、混合砂浆试件拆模后应统一立即放入温度为 (20 ± 3) °C、相对湿度为 90% 以上的标准养护室中养护。养护期间,试件彼此间隔不得小于 10 mm,而混合砂浆、湿拌砂浆试件上面应覆盖塑料布,防止有水滴在试件上。标准养护时间应从加水搅拌开始,标准养护龄期为 28 d,非标准养护龄期一般为 7 d 或 14 d。

5. 试验过程

(1)试件从养护地点取出后应及时进行试验,试验前应将试件擦拭干净,测量尺寸,并检查外观。计算试件的承压面积,当实测尺寸与公称尺寸之差不超过 1 mm 时,可按照公称尺寸进行计算。

(2)将试件安放在试验机的下压板上,试件的承压面应与成型时的顶面垂直,试件中心应与试验机下压板中心对准。开动试验机,当上压板与试件接近时,调整球座,使接触面均衡受压。承压试验应连续而均匀地加荷,加荷速度应为 0.5~1.5 kN/S;砂浆强度不大于 5 MPa 时,宜取下限,当试件接近破坏而开始迅速变形时,停止调整试验机油门,直至试件破坏,然后记录破坏荷载。

6. 评定

(1)应以三个试件测值的算术平均值作为该组试件的砂浆立方体抗压强度平均值,精确

到 0.1 MPa。

(2)三个测定值中的最大值或最小值中如有一个与中间值的差值超过中间值的 15%时,则把最大值及最小值一并舍去,取中间值作为该组试件的抗压强度值。

(3)如最大值和最小值与中间值的差值均超过中间值的 15%,则该组试件的试验结果无效。

思考与练习

1. 砌筑砂浆的组成材料有哪些?
2. 砌筑砂浆有哪些技术性质? 用什么方法测定?
3. 怎样改善砂浆的和易性?
4. 砂浆的保水性主要取决于什么? 采取什么措施提高砂浆的保水性?
5. 抹面砂浆的技术要求有哪些? 与砌筑砂浆的技术要求有何异同点?
6. 某建筑工地要求配制用以砌筑砖墙的水泥混合砂浆,设计强度为 M5,稠度为 70~90 mm,施工水平优良。材料的主要参数如下:水泥为 32.5 等级矿渣硅酸盐水泥;中砂的堆积密度为 1450 kg/m^3 ,含水率为 1.5%;石灰膏的稠度为 100 mm。试计算配合比。