



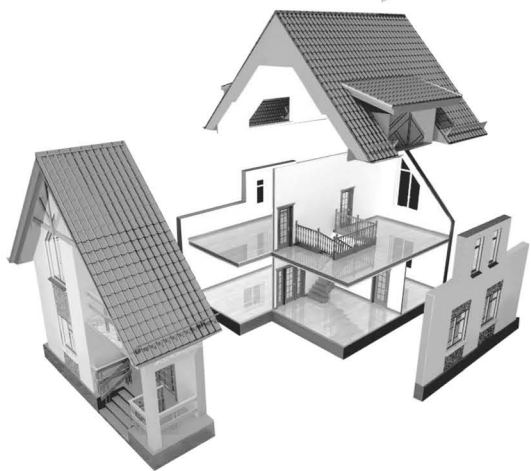
“十三五”职业教育国家规划教材

建筑与 装饰材料

第2版

JIANZHU YU
ZHUANGSHI CAILIAO

主 编 曹世晖 王四清
副主编 彭子茂 谢 飞
刘汉章 彭培勇



中南大学出版社

www.csupress.com.cn

· 长 沙 ·

内容简介

本书为“十三五”职业教育国家规划教材，全书分为14个模块，内容包括：建筑与装饰材料的基本性质，气硬性无机胶凝材料，水泥，普通混凝土和建筑砂浆，墙体材料，建筑钢材，建筑防水材料，建筑石材，建筑玻璃，建筑陶瓷，木材，金属装饰材料，建筑塑料、涂料、胶黏剂，绝热材料与吸声材料等。各模块均明确了能力目标和知识目标，还附有单选题、多选题、判断题、案例分析题等多种题型的技能考核题。主要内容为常用建筑、装饰材料及制品的名称、规格、性能、使用、质量标准、检验方法、储备保管方法等。

本书以“互联网+”的形式出版，读者通过扫描书中的二维码，可以阅读由文字、图片、动画、视频、案例等组成的主题鲜明的电子资料。

本书可作为高等职业教育工程造价、建筑工程管理、建筑经济管理、建筑装饰工程等专业教材，也可供相关专业和工程造价人员学习参考。本书另配有多媒体教学电子课件。



高职高专工程造价专业“十三五”规划“互联网+” 创新系列教材编审委员会

主 任

王运政 胡六星 郑 伟 玉小冰 刘孟良 陈安生
李建华 谢建波 彭 浪 赵 慧 赵顺林 向 曙

副主任

(以姓氏笔画为序)

王超洋 卢 滔 刘文利 刘可定 刘庆潭 孙发礼
杨晓珍 李 娟 李玲萍 李清奇 李精润 欧阳和平
项 林 胡云珍 黄 涛 黄金波 龚建红 颜 昕

委 员

(以姓氏笔画为序)

于华清 万小华 邓 慧 龙卫国 叶 姝 包 蜃
邝佳奇 朱再英 伍扬波 庄 运 刘小聪 刘天林
刘汉章 刘旭灵 许 博 阮晓玲 孙光远 孙湘晖
李为华 李 龙 李 冰 李 奇 李 侃 李 鲤
李亚贵 李进军 李丽田 李丽君 李海霞 李鸿雁
肖飞剑 肖恒升 何 珊 何立志 余 勇 宋士法
宋国芳 张小军 张丽姝 陈 晖 陈 翔 陈贤清
陈淳慧 陈婷梅 易红霞 金红丽 周 伟 赵亚敏
徐龙辉 徐运明 徐猛勇 卿利军 高建平 唐 文
唐茂华 黄郎宁 黄桂芳 曹世晖 常爱萍 梁鸿颀
彭 飞 彭子茂 彭秀兰 蒋 荣 蒋买勇 曾维湘
曾福林 熊宇璟 樊淳华 魏丽梅 魏秀瑛 瞿 峰

出版说明 INSTRUCTIONS

为了深入贯彻党的十九大精神和全国教育大会精神，落实《国家职业教育改革实施方案》（国发〔2019〕4号）和《职业院校教材管理办法》（教材〔2019〕3号）有关要求，深化职业教育“三教”改革，全面推进高等职业院校土建类专业教育教学改革，促进高端技术技能型人才的培养，依据教育部高职高专教育土建类专业教学指导委员会《高职高专土建类专业教学基本要求》和国家教学标准及职业标准要求，通过充分的调研，在总结吸收国内优秀高职高专教材建设经验的基础上，我们组织编写和出版了这套高等职业教育土建类专业“互联网+”创新系列教材。

高职高专教学改革不断深入，土建行业工程技术日新月异，相应国家标准、规范，行业、企业标准、规范不断更新，作为课程内容载体的教材也必然要顺应教学改革和新形势，适应行业的发展变化。教材建设应该按照最新的职业教育教学改革理念构建教材体系，探索新的编写思路，编写出版一套全新的、高等职业院校普遍认同的、能引导土建专业教学改革的系列教材。为此，我们成立了规划教材编审委员会。规划教材编审委员会由全国30多所高职院校的权威教授、专家、院长、教学负责人、专业带头人及企业专家组成。编审委员会通过推荐、遴选，聘请了一批学术水平高、教学经验丰富、工程实践能力强的骨干教师及企业专家组成编写队伍。

本套教材具有以下特色：

1. 教材符合《职业院校教材管理办法》（教材〔2019〕3号）的要求，以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，注重立德树人，在教材中有机融入中华优秀传统文化、“四个自信”、爱国主义、法治意识、工匠精神、职业素养等思政元素。

2. 教材依据教育部高职高专教育土建类专业教学指导委员会《高职高专土建类专业教学基本要求》及国家教学标准和职业标准（规范）编写，体现科学性、综合性、实践性、时效性等特点。

3. 体现“三教”改革精神，适应高职高专教学改革的要求，以职业能力为主线，采用行动导向、任务驱动、项目载体，教、学、做一体化模式编写，按实际岗位所需的知识能力来选取

教材内容，实现教材与工程实际的零距离“无缝对接”。

4. 体现先进性特点，将土建学科发展的新成果、新技术、新工艺、新材料、新知识纳入教材，结合最新国家标准、行业标准、规范编写。

5. 产教融合，校企双元开发，教材内容与工程实际紧密联系。教材案例选择符合或接近真实工程实际，有利于培养学生的工程实践能力。

6. 以社会需求为基本依据，以就业为导向，有机融入“1+X”证书内容，融入建筑企业岗位(八大员)职业资格考试、国家职业技能鉴定标准的相关内容，实现学历教育与职业资格认证的衔接。

7. 教材体系立体化。为了方便教师教学和学生学习，本套教材建立了多媒体教学电子课件、电子图集、教学指导、教学大纲、案例素材等教学资源支持服务平台；部分教材采用了“互联网+”的形式出版，读者扫描书中的二维码，即可阅读丰富的工程图片、演示动画、操作视频、工程案例、拓展知识等。

高等职业教育土建类专业“互联网+”创新系列教材

编 审 委 员 会

再版前言 PREFACE

本书为“十三五”职业教育国家规划教材的修订版，根据教育部高等职业教育土建类专业教学指导委员会工程管理类专业分委员会制定的工程造价专业教学基本要求编写，并将工程造价专业技能抽查标准、建筑企业专业技术管理人员岗位资格考试大纲的核心内容有机地融入教材，融入“1+X”证书相关内容，突出实用性和可操作性。

本书编写中注重理论与工程实践相结合，文字表达力求浅显易懂，注重职业岗位能力的培养，力求体现高等职业技术教育的特色，由校企“双元”合作开发，注重行业的技术发展动态和趋势，引用了国家(部)、行业颁布的最新标准和规范，力求内容新颖。本书各模块由建筑与装饰材料的规格、性能、使用、质量标准、检验方法、储备保管等分项构成，符合学生的认知规律，理论知识简明扼要，重点突出技能培养，使学生能根据工程实际正确选择、合理使用建筑与装饰材料，能根据现行标准规范评定建筑与装饰材料的质量，能根据建筑与装饰材料对工程造价和工程成本的影响，从材料选用、施工现场的使用、储存保管等方面提出保证工程质量、降低工程造价、控制工程成本的方法。每个模块都附有能力目标、知识目标、工程案例和模块小结，指导学生自主学习，还附有多种题型的技能考核题，引导学生带着工作任务学习，并用所学知识解决工程中的实际问题，培养学生分析问题、解决问题的能力。

本书以“互联网+”形式出版，教材的编写注重科学性和创新性，读者通过手机扫描书中的二维码，可以阅读大量的工程实践图片、演示动画、操作视频、工程案例等主题鲜明的电子资料，不仅可以拓宽读者的知识面，还可以使读者更好地理解和掌握建筑与装饰材料的专业知识和技能要点，通过阅读丰富、直观的拓展内容，也增强了学习的趣味性，真正实现快乐学习。将课程思政元素融入教材，强化职业素养和精益求精的工匠精神的养成。

本书由曹世晖、王四清主编，全书由曹世晖统稿。书中的绪论、模块一、模块五、模块六、模块九、模块十由王四清编写，模块二、模块八、模块十一由谢飞编写，模块三、模块四

由曹世晖编写，模块七由刘汉章编写，模块十二、模块十三由彭子茂编写，模块十四由彭培勇编写，“互联网+”内容素材由曹世晖、杨泽宇搜集整理。

由于编者的水平有限，本书存在的不足和疏漏之处在所难免，敬请各位读者批评指正。

本书在编写过程中得到了湖南省建工集团有限公司的大力支持和关心，在此表示感谢。本书编写过程中参阅了大量文献资料及电子资料，吸收了许多同行专家的最新研究成果，选用了国家精品课程资源网、百度图片、优酷网、土豆网、中国建筑工程网、中国建材网等网站的部分图片及视频资料，在此表示衷心感谢。

编 者

2022 年 5 月

目 录 CONTENTS

绪 论	(1)
0.1 建筑与装饰材料的定义和分类	(1)
0.2 建筑与装饰材料在建筑工程中的地位	(1)
0.3 建筑与装饰材料的发展状况和发展方向	(2)
0.4 建筑与装饰材料的技术标准	(3)
0.5 本课程的内容、任务和学习方法	(5)
模块一 建筑与装饰材料的基本性质	(6)
1.1 材料的物理性质	(6)
1.2 材料的力学性质	(15)
1.3 材料的耐久性	(18)
1.4 材料的装饰性与环境协调性	(18)
模块小结	(20)
技能抽查题	(20)
模块二 气硬性无机胶凝材料	(22)
2.1 建筑石灰	(22)
2.2 建筑石膏	(27)
2.3 水玻璃	(30)
模块小结	(31)
技能抽查题	(31)
模块三 水 泥	(33)
3.1 硅酸盐水泥	(33)
3.2 掺混合材料的硅酸盐水泥	(40)
3.3 其他品种水泥	(46)
3.4 水泥的验收及施工现场管理	(50)
3.5 水泥性能的检测	(52)
模块小结	(62)
技能抽查题	(63)
模块四 普通混凝土和建筑砂浆	(65)
4.1 概述	(65)

4.2	普通混凝土的组成材料	(67)
4.3	混凝土拌合物的技术性质	(76)
4.4	硬化混凝土的技术性质	(81)
4.5	普通混凝土的配合比设计	(86)
4.6	其他品种混凝土	(93)
4.7	建筑砂浆	(104)
4.8	混凝土和建筑砂浆性能的检测	(111)
	模块小结	(136)
	技能抽查题	(136)
模块五 墙体材料		(140)
5.1	砌墙砖	(140)
5.2	建筑砌块	(148)
5.3	建筑墙板	(151)
5.4	墙体材料的验收与施工现场管理	(158)
5.5	砌墙砖性能检测	(161)
	模块小结	(165)
	技能抽查题	(166)
模块六 建筑钢材		(169)
6.1	概述	(169)
6.2	建筑钢材的主要技术性能	(171)
6.3	钢材的冷加工与热处理	(176)
6.4	建筑工程用钢及钢材的技术要求	(178)
6.5	钢材的腐蚀与防止	(187)
6.6	钢材的验收与施工现场管理	(188)
6.7	钢筋性能检测	(189)
	模块小结	(193)
	技能抽查题	(193)
模块七 建筑防水材料		(196)
7.1	坡屋面刚性防水材料	(196)
7.2	防水卷材	(198)
7.3	防水涂料	(204)
7.4	防水工程材料的选择	(208)
7.5	建筑密封材料	(210)
	模块小结	(211)
	技能抽查题	(211)

模块八 建筑石材	(213)
8.1 概述	(214)
8.2 砌筑用石材	(216)
8.3 装饰用饰面石材	(217)
模块小结	(222)
技能抽查题	(222)
模块九 建筑玻璃	(224)
9.1 概述	(224)
9.2 平板玻璃	(226)
9.3 安全玻璃	(229)
9.4 节能玻璃	(232)
模块小结	(235)
技能抽查题	(236)
模块十 建筑陶瓷	(237)
10.1 概述	(237)
10.2 陶瓷砖	(239)
10.3 陶瓷马赛克	(245)
10.4 建筑琉璃制品	(246)
模块小结	(247)
技能抽查题	(248)
模块十一 木 材	(249)
11.1 概述	(249)
11.2 木材的综合利用	(253)
11.3 其他木质类装饰制品	(256)
模块小结	(257)
技能抽查题	(257)
模块十二 金属装饰材料	(258)
12.1 建筑装饰用钢材制品	(258)
12.2 建筑装饰用铝合金制品	(261)
12.3 其他金属装饰材料	(264)
模块小结	(265)
技能抽查题	(265)

模块十三 建筑塑料、涂料、胶黏剂	(267)
13.1 建筑塑料及其制品	(267)
13.2 建筑涂料	(271)
13.3 胶黏剂	(275)
模块小结	(278)
技能抽查题	(279)
模块十四 绝热材料与吸声材料	(280)
14.1 绝热材料	(280)
14.2 吸声材料与隔声材料	(284)
模块小结	(287)
技能抽查题	(287)
参考文献	(288)

绪 论



微课1: 建筑材料的分类

0.1 建筑与装饰材料的定义和分类

用于建筑物主体与建筑物内外装饰的各种材料及其制品,统称为建筑与装饰材料。

建筑与装饰材料品种繁多,通常按材料的化学成分及使用功能分类。

1. 按化学成分分

按化学成分可分为无机材料、有机材料和复合材料。

(1)无机材料:指由无机矿物单独或混合制成的材料。通常指由硅酸盐、铝酸盐、硼酸盐、磷酸盐等原料经一定的工艺制备而成的材料。其中又分为无机非金属材料 and 金属材料。

无机非金属材料,如天然石材、砖、瓦、石灰、水泥及制品、玻璃、陶瓷等。

金属材料,如钢、铁、铝、铜及合金制品等。

(2)有机材料:一般是由 C、H、O 等元素组成。一般来说,有机材料具有溶解性、热塑性和热固性、强度特性、电绝缘性;不过有机材料容易老化,如木材、沥青、塑料、涂料、油漆等。

(3)复合材料:指由两种或两种以上不同性质的材料,通过物理或化学的方法组成具有新性能的材料。各种材料在性能上互相取长补短,产生协同效应,使复合材料的综合性能优于原组成材料而满足各种不同的要求。包括无机材料与有机材料的复合、金属与非金属的复合、金属与有机材料的复合等,如钢筋混凝土、沥青混合料、树脂混凝土、铝塑板、塑钢门窗、金属面绝热夹芯板等。

2. 按使用功能分

根据材料在建筑物中的使用功能不同,可分为建筑结构材料和建筑功能材料。

建筑结构材料:指构成建筑物受力构件或结构,用于承受建筑物自重和外部荷载的材料。如建筑物的梁、板、柱、基础、承重墙体等用材料。

建筑功能材料:指担负建筑物使用过程中所必需的某些建筑功能的非承重用材料。如起围护作用的墙体、门窗,以及起防水、保温、装饰作用等材料。



建筑材料分类

0.2 建筑与装饰材料在建筑工程中的地位

1. 建筑与装饰材料是建筑工程中不可缺少的物质基础

任何一项建筑工程都是由不同的建筑与装饰材料合理组建起来的。例如,修建住宅、办公楼等建筑,每 1000 m²需 1000 ~ 1500 t 材料,估计用量举例如表 0-1 所示。



微课2: 建筑材料的地位与发展

表 0-1 每 1000 m²房屋建筑材料参考用量

建筑类型	红砖/千块	砂/m ³	砾石/m ³	水泥/t	钢材/t	木材/m ³	玻璃/m ²	石灰膏/m ³
五层框架办公楼	23	370	40	231	35.0	37	160	5
六层砖混住宅楼	209	370	16	159	15.5	51	140	20

因此,随着工程建设的进展,要及时提供数量充足、质量良好、品种齐全的各种材料,才能保证工程建设的顺利进行。

2. 建筑与装饰材料的质量直接影响建筑工程的质量

材料的质量如何,直接影响着工程的质量。材料的品种、组成、构造、规格及使用方法都会对建筑物的结构安全性、耐久性、适用性产生影响。将劣质材料使用到建筑工程上去,必然危害建筑工程的质量,影响建筑工程的使用效果和耐久性能,甚至会造成严重事故。因此,应根据设计要求,选用质量符合要求的材料,从材料的生产、选择、使用和检验以及材料的贮存、保管等各个环节确保材料的质量。并严格按国家相关标准、规范和法律法规的要求,对所用建筑材料及其制品的质量分批次进行抽样检测,确保材料及其制品的质量符合国家有关标准的要求。

3. 建筑与装饰材料决定着工程造价和经济效益

材料费用在建筑工程总造价中占有较大的比重,一般占 50% ~ 60%。因此,在保证材料质量的前提下,降低材料费用,对降低工程造价、提高经济效益,将起很大的作用。正确选择、就地取材、合理利用、减少浪费、科学管理等,都是降低材料费用的合理途径。

建筑材料的费用

4. 新型材料的研制和发展将促进建筑结构和施工技术的进步

建筑材料与建筑设计、结构设计、施工之间存在着相互促进、相互依存的密切关系。建筑工程中许多技术问题的突破和创新,往往依赖于建筑材料性能的改进与提高。而新的建筑材料的出现,又促进了建筑设计、结构设计和施工技术的发展,也使建筑物的功能、适用性、艺术性、坚固性和耐久性等得到进一步的改善。

古罗马时代使用的主要建筑材料是砖和石料,公元 125 年建造的万神庙,直径为 44 m 的半球形屋顶,采用砖石结构,用了 12000 t 材料。由于水泥的发明、钢筋混凝土的出现,1912 年波兰建造了直径为 65 m 的世纪大厅,采用钢筋混凝土肋形拱顶,重量只有 1500 t; 由于玻璃纤维增强水泥制品的出现,1977 年原西德斯图加特市联邦园艺展览厅,采用玻璃纤维增强水泥的双曲抛物面屋盖,厚 1 cm,直径 31 m,重量只有 25 t。因此,建筑材料的发展是加速建筑结构与施工技术革新的重要因素。

0.3 建筑与装饰材料的发展状况和发展方向

1. 建筑材料的发展状况

建筑材料的发展是随着人类社会生产力和科学技术的提高而逐步发展起来的。人类最早穴居巢处,几乎没有建筑材料的概念。随着社会生产力的发展,人类进入能制造简单的石器、铁器工具时代后,开始掘土凿石为洞,伐木搭竹为棚,

建筑材料的发展

利用最原始的材料建造最简陋的房屋。在人类历史发展过程中,建筑材料有过三次重大的突破,带来了建筑技术的三次大飞跃。

公元前3世纪有了烧制的砖瓦、陶瓷、石灰,使建筑冲破了天然材料的局限,得以营造大量的、较大规模的、坚固耐用的各种建筑,这是建筑技术的第一次飞跃。

19世纪有了钢材、水泥,随后便有了钢结构、混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构,使结构的形式和规模都有了巨大的发展,结构的跨度也从几米、几十米发展到上百米乃至几百米。这是建筑技术的第二次大飞跃。

第三次飞跃是从20世纪30年代人工合成材料问世至今,各种高分子材料和有机、无机、金属、非金属的复合材料迅速发展,这些轻质、高强、多功能的材料,大大地减轻了材料的自重,为建筑物向高层空间发展创造了极好的条件。

因此,建筑与装饰材料的发展,是推动建筑业发展的重要因素。

2. 建筑与装饰材料的发展方向

为适应时代发展的需要,必须不断提高建筑工程质量和降低工程造价,不断研究新材料,开发新型产品。新型材料的发展具有以下趋势。

(1) 高强:研制和发展高强度材料,以减小承重结构构件的截面,降低结构自重。

(2) 轻质:发展轻质材料,减轻建筑物的自重,降低运输费用和工人劳动强度。

(3) 复合高效多功能:发展高性能的复合材料,使材料具有高耐久性、高防火性、高防水性、高保温性、高吸声性、高装饰性等优异性能,并且使一种材料具有多种功能,除了满足坚固、安全、耐久性的要求之外,还具有良好的保温隔热、吸声、防潮、装饰等功能。

(4) 节约能源:研制和生产低能耗(包括材料生产能耗和建筑使用能耗)的节能建筑材料,这对于降低成本、节约能源将起到十分有益的作用。

(5) 综合利用:充分利用各种地方材料和工业废渣来生产建筑材料,降低成本,变废为宝,化害为利,节约能源,改善环境。

(6) 工业化生产:发展适用于由工厂大规模生产、机械化安装施工的材料制品,加快施工进度,提高经济效益。

0.4 建筑与装饰材料的技术标准

建筑材料的技术标准是建筑材料的生产、销售、采购、验收和质量检验的法律依据,它包括材料、试验检测、设计、施工、验收等技术标准。根据标准的属性又分为国家标准、行业标准、地方标准、企业标准等。标准的一般表示方法是由标准名称、代号、编号和颁布年号等组成。

1. 国家标准

国家标准是指在全国范围内统一实施的标准。包括强制性标准和推荐性标准。

(1) 强制性标准:代号为“GB”,是指在一定范围内通过法律、行政法规等强制性手段加以实施的标准,具有法律属性。强制性标准一经颁布,必须贯彻执行,否则对造成恶劣后果和重大损失的单位和个人,要进行经济制裁或追究法律责任。

如:《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)、《钢筋混凝土用钢 第1部分:热轧光圆钢筋》(GB 1499.1—2017)、《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2015)等,均属于强

制性标准。

(2) 推荐性标准：代号为“GB/T”，又称非强制性标准或自愿性标准，是指生产、交换、使用等方面，通过经济手段或市场调节而自愿采用的一类标准。这类标准，不具有强制性，任何单位均有权决定是否采用，违反这类标准，不构成经济或法律方面的责任。但推荐性标准一经接受并采用，或各方商定同意纳入经济合同中，就成为各方必须共同遵守的技术依据，具有法律上的约束性，如：《建设用碎石、卵石》(GB/T 14685—2022)、《混凝土物理力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2019)等。

2. 行业标准

由我国各主管部、委(局)批准发布，并报国务院标准化行政主管部门备案，在该行业范围内统一使用的标准。包括部级标准和专业标准。

建筑工程行业建筑工程技术标准——代号为“JGJ”，如：《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52—2006)。

建筑材料行业技术标准——代号为“JC”，如：《喷射混凝土用速凝剂》(JC 477—2005)。

铁道行业建筑工程技术标准——代号为“TB”，如：《铁路混凝土工程施工质量验收标准》(TB 10424—2010 J 1155—2011)。

交通行业建筑工程技术标准——代号为“JTG”，如：《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)。

城市建设标准——代号为“CJJ”，如：《城镇道路工程施工与质量验收规范》(CJJ 1—2008)。

中国工程建设标准化协会标准——代号为“CECS”，如：《混凝土结构耐久性评定标准》(CECS220: 2007)。

3. 地方标准

由省、自治区、直辖市标准化行政主管部门制定，并报国务院标准化行政主管部门和国务院有关行政主管部门备案的有关技术指导性文件，适应本地区使用，其技术标准不得低于国家有关标准的要求，其代号为“DB”。

4. 企业标准

企业标准由企业制定，由企业法人代表或法人代表授权的主管领导批准、发布，并报当地政府标准化行政主管部门和有关行政主管部门备案，适应本企业内部生产的有关指导性技术文件。企业标准不得低于国家有关标准的要求。其代号为“QB”。

5. 国际标准

国际标准是指国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)和国际电信联盟(ITU)制定的标准，以及国际标准化组织确认并公布的其他国际组织制定的标准。国际标准在世界范围内统一使用。例如，我国加入WTO以来，我国建筑材料工业与国际建材工业实现了对接，促进了建材工业的科技进步，提高产品质量和标准化水平，扩大建筑材料的对外贸易，采用和参考了国际通用标准和先进标准。常用的国际标准有以下几类：

美国材料与试验协会标准(ASTM)，属于国际团体和公司标准。

联邦德国工业标准(DIN)，欧洲标准(EN)，属于区域性国家标准。

国际标准组织标准(ISO)，属于国际性标准化组织的标准。

6. 标准的选用原则

国家标准属于最低要求。一般来讲,行业标准、企业标准等标准的技术要求通常高于国家标准,因此,在选用标准时,除国家强制性标准外,应根据行业的不同选用该行业的有关标准,无行业标准的选用国家推荐性标准或指定的其他标准。

0.5 本课程的内容、任务和学习方法

1. 本课程的内容

本课程主要介绍常用建筑与装饰材料的品种、规格、技术性能、质量标准、应用与施工管理,以及主要建筑材料的质量检测样品的抽取、检测方法 with 检测结果评定等方面知识。

2. 本课程的任务

“建筑与装饰材料”是工程造价专业一门重要的专业基础课程,同时也为学习后续专业课程奠定了基础。学生通过对本课程的学习能达到如下要求。

(1)了解常用材料的组成及生产加工原理。

(2)掌握常用材料的品种、规格、技术性能、质量标准、特点与应用,能查阅材料的有关技术标准及施工质量验收标准。

(3)具备对主要建筑材料的质量进行检测的能力,并能够正确判断其质量是否合格。

(4)具备正确验收和保管建筑与装饰材料的能力,实现资源的最大化利用,同时对新材料具备认识及鉴别能力。

3. 本课程的学习方法

本课程具有综合性强,系统性差,涉及知识面广;实践性强,逻辑性差,叙述性和规范性内容多,理论计算少等特点。因此,学习本课程应注意如下几点:

(1)材料的组成和结构是决定材料性质的内在因素,只有了解材料的性质与组成结构的关系才能掌握材料的性质。

(2)同类材料存在共性,同类材料的不同品种还存在着特性。学习时应掌握各种材料的共性,再运用对比的方法掌握不同品种材料的特性,便于理解。

(3)材料的性质会受到外界环境条件的影响,学习时要运用已学过的物理、化学等基础知识加深理解,提高分析和解决问题的能力。

(4)深入建筑工地参观,感性认识各类建筑与装饰材料在建筑工程上的应用。

(5)材料检测是本课程学习的一个重要环节。掌握主要建筑材料的质量检测方法、检测报告的处理与检测结果的评定是熟悉材料性质、了解技术标准、鉴定材料质量的重要手段。

(5)借助互联网,了解新型材料的发展趋势,查阅各种材料的相关信息,进一步了解材料的性能与应用。

模块一 建筑与装饰材料的基本性质

能力目标	知识目标
1. 具有鉴别建筑材料好坏的能力 2. 具有分析影响材料基本性质的因素的能力	1. 掌握材料的物理性质、力学性质、耐久性等基本性质的概念、表示方法及有关的影响因素 2. 了解材料基本性质的分类

建筑物是由各种建筑材料建筑而成的，材料是构成建筑物的物质基础，直接关系建筑物的安全性、功能性、耐久性和经济性。材料所处的使用环境不同、所处建筑物的部位不同，对材料的使用功能要求就不同。正确合理地选用材料是以其性质为依据，选用材料就必须掌握其性质。



与质量有关的性质

1.1 材料的物理性质

1.1.1 与质量有关的性质

1. 密度

固体材料的体积构成如图 1-1 所示。密度(ρ)是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量，按下式计算：

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1-1}$$

式中： ρ ——材料的密度， g/cm^3 ；
 m ——材料在干燥状态下的质量， g ；
 V ——材料在绝对密实状态下的体积， cm^3 。

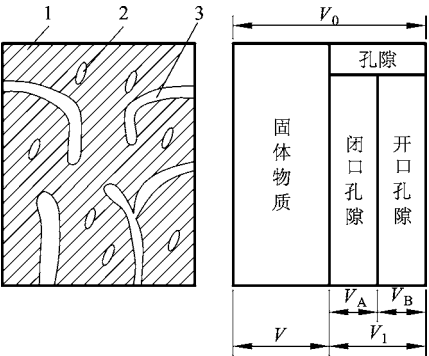
所谓绝对密实状态下的体积，是指不包括任何孔隙的体积，也称实体积。在自然界中，除了钢材、玻璃等少数材料外，绝大多数固体物质都含有一些孔隙，如砖、石材等块状材料。而这些孔隙又根据是否与外界相连通分为开口孔隙（浸渍时能被液体填充）和闭口孔隙（与外界不相连通）。

2. 表观密度

表观密度(ρ_0)指材料在自然状态下单位体积的质量，俗称容重，按下式计算：



微课3：材料与质量有关的性质



1—固体物质；2—闭口孔隙；3—开口孔隙

图 1-1 固体材料的体积构成

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

式中: ρ_0 ——材料的表观密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V_0 ——材料在自然状态下的体积, m^3 。

材料在自然状态下的体积是指包括材料内部孔隙的体积。测定材料在自然状态下的体积时,若材料外观形状规则,可直接度量外形尺寸,按几何公式计算;若外观形状不规则,可用排水法测得,为了防止水分由孔隙渗入材料内部而影响测定值,应在材料表面涂蜡。

当材料含水时,重量增大,体积也会发生变化,所以测定表观密度时须同时测定其含水率,注明含水状态。材料的含水状态有风干(气干)、烘干、饱和面干和湿润四种。通常材料的表观密度为气干状态,而在烘干状态下的表观密度叫干表观密度。

3. 堆积密度

散粒材料堆积的体积示意图如图 1-2 所示。在堆积状态下单位堆积体积的质量,称为材料的堆积密度(ρ'_0)。其计算式如下:

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

式中: ρ'_0 ——堆积密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V'_0 ——材料的堆积体积, m^3 。

堆积体积是指包括材料颗粒间空隙在内的体积,对于配制混凝土用的碎石、卵石及砂等松散颗粒状材料的堆积密度,可通过在规定条件下用所填充容量筒的容积来求得。材料的堆积密度应注明材料的含水状态。根据散粒材料的堆积状态,堆积体积分为自然堆积体积和紧密堆积体积(人工捣实后)。由紧密堆积测得的堆积密度称为紧密堆积密度。

4. 密实度与孔隙率

密实度是指材料体积内被固体物质所充实的程度,即材料的固体物质的体积占总体积的比例,以 D 表示,可用下式计算:

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

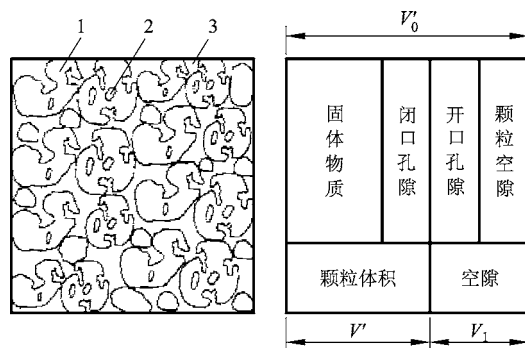
孔隙率是指材料的体积内,孔隙体积占材料总体积的百分率,以 P 表示,可用下式计算:

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

即

$$D + P = 1 \quad \text{或} \quad \text{密实度} + \text{孔隙率} = 1$$

材料的孔隙率与密实度是从两个不同侧面反映材料的密实程度,通常采用孔隙率表示。材料的许多性质,如表观密度、强度、导热性、透水性、抗冻性、抗渗性、耐蚀性等,除与材



1—固体物质; 2—闭口孔隙; 3—空隙

图 1-2 散粒状材料堆积的体积示意图

料的孔隙率有关，还与孔隙构造特征、孔隙大小有关。孔隙构造特征主要是指孔隙的形状，根据孔隙形状分开口孔隙与封闭孔隙两类，开口孔隙与外界相连通，闭口孔隙则与外界隔绝，开口孔隙能提高材料的吸水性、透水性，而降低了抗冻性，减少开口孔隙，增加闭口孔隙，可提高材料的耐久性。根据孔隙的尺寸大小，分为微孔、细孔及大孔三类。一般均匀分布的且封闭的微孔较多、孔隙率较小的材料，其吸水性较小，强度较高，导热系数较小，抗渗性和抗冻性较好。

5. 填充率与空隙率

填充率(D')是指散粒材料的堆积体积中，颗粒体积所占总体积的百分率，它反映了被颗粒所填充的程度，按下式计算：

$$D' = \frac{V_0}{V'_0} \times 100\% \quad \text{或} \quad D' = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

空隙率(P')是指散粒材料的堆积体积中，颗粒之间的空隙体积占总体积的百分率。

$$P' = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} = 1 - \frac{V_0}{V'_0} = 1 - D' \quad (1-7)$$

空隙率和填充率是从两个不同侧面反映散粒材料的颗粒相互填充的疏密程度，空隙率可以作为控制混凝土骨料级配及计算砂率的依据。

常用材料的密度、表观密度及堆积密度见表 1-1。

表 1-1 常用材料的密度、表观密度及堆积密度数据表

材 料	密度 $\rho / (\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$	表观密度 $\rho_0 / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	堆积密度 $\rho'_0 / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
石灰岩	2.60	1800 ~ 2600	—
花岗岩	2.60 ~ 2.90	2500 ~ 2900	—
碎石(石灰岩)	2.60	—	1400 ~ 1700
砂	2.60	—	1450 ~ 1650
普通黏土砖	2.50 ~ 2.80	1600 ~ 1800	—
空心黏土砖	2.50	1000 ~ 1400	—
水泥	3.20	—	1200 ~ 1300
普通混凝土	—	2100 ~ 2600	—
轻集料混凝土	—	800 ~ 1900	—
木材	1.55	400 ~ 800	—
钢材	7.85	7850	—
泡沫塑料	—	20 ~ 50	—
玻璃	2.55	—	—



1.1.2 与水有关的性质

1. 亲水性与憎水性

材料在空气中与水接触时，根据其表面能否被润湿，可分为亲水性材料与憎水性材料两类。这种现象是由于材料与

水和空气三相接触时的表面作用力不同而产生。

材料、水和空气三相接触的交点处,沿水滴表面的切线与水与固体接触面所成的夹角 θ 称为润湿角(图1-3)。当 $\theta \leq 90^\circ$,材料表面吸附水,材料表面能被水润湿而表现出亲水性,这种材料为亲水性材料,如水泥、混凝土、砂、石、砖等。当 $\theta > 90^\circ$ 时,材料表面不吸附水,材料表面不会被水浸润,这种材料为憎水性材料,如沥青、石蜡、有机涂料(油漆或树脂类)、塑料等。憎水性材料常用作防水、防潮、防腐材料,也可用作亲水性材料的表面处理,以提高其耐久性。

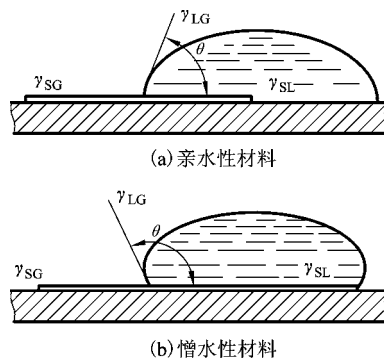


图1-3 材料润湿角示意图

2. 吸水性和吸湿性

(1) 吸水性

吸水性是材料在水中能吸收水分的性质,其大小用吸水率表示。吸水率有质量吸水率($W_{\text{质}}$)和体积吸水率($W_{\text{体}}$)之分。

质量吸水率是指材料所吸收水分的质量占材料干燥质量的百分数,可按下式计算:

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

式中: $W_{\text{质}}$ ——材料的质量吸水率,%;

$m_{\text{湿}}$ ——材料吸水饱和后的质量,g;

$m_{\text{干}}$ ——材料烘干到恒重时的质量,g。

体积吸水率是指材料体积内被水充实的程度,即材料吸收水分的体积占干燥材料自然体积的百分数,可按下式计算:

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

式中: $W_{\text{体}}$ ——材料的体积吸水率,%;

$m_{\text{湿}}$ ——材料吸水饱和后的质量,g;

$m_{\text{干}}$ ——材料烘干到恒重时的质量,g;

V_0 ——干燥材料在自然状态下的体积, cm^3 。

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

质量吸水率与体积吸水率存在如下关系:

$$W_{\text{体}} = W_{\text{质}} \times \rho_0 \quad (1-10)$$

材料的吸水率大小不仅与材料的亲水性、憎水性有关,而且与材料的孔隙率和孔隙特征有关。一般说来,孔隙率越大,吸水率越大。但在材料的孔隙中,不是全部孔隙都能够被水所充满,因为封闭的孔隙,水分不易渗入;而粗大的孔隙,水分又不易存留,故材料的体积吸水率,常小于孔隙率。这类材料常用质量吸水率表示它的吸水性。对于某些轻质材料,如加气混凝土、软木等,由于具有很多开口而微小的孔隙,所以它的质量吸水率往往超过100%,即湿质量为干质量的几倍,在这种情况下,最好用体积吸水率表示其吸水性。

材料吸收水分后,不仅表观密度增大、强度降低,保温隔热性能降低,且更易受冰冻破

坏, 因此材料吸水后对材料质量是不利的。

(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。吸湿性用含水率($W_{\text{含}}$)表示。

含水率是指材料内部所含水质量占材料干燥质量的百分数, 称为材料的含水率。可按下式计算:

$$W_{\text{含}} = \frac{m_{\text{含}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1-11)$$

式中: $W_{\text{含}}$ ——材料的含水率, %;

$m_{\text{含}}$ ——材料含水时的质量, g;

$m_{\text{干}}$ ——材料干燥至恒重时的质量, g。

材料含水率的大小不仅取决于自身的特征(亲水性、孔隙率和孔隙特征), 还受周围环境的影响, 即随温度、湿度变化而改变, 气温越低, 相对湿度越大, 材料的含水率就越大。当材料的含水率达到与环境湿度保持相对平衡状态时, 称为平衡含水率。

木材的吸湿性随着空气湿度的变化特别明显。例如木门窗制作后如长期处于空气湿度小的环境下, 为了与周围湿度平衡, 木材便向外散发水分, 导致门窗体积收缩而干裂。

3. 耐水性

材料抵抗水的破坏作用的能力称为耐水性。材料的耐水性应包括水对材料的力学性质、光学性质、装饰性质等多方面性质的劣化作用。但习惯上将水对材料的力学性质的劣化作用称为耐水性, 即材料长期在饱和水分作用下不破坏, 其强度也不显著降低的性质。材料的耐水性用软化系数($K_{\text{软}}$)表示。如下式所示:

$$K_{\text{软}} = \frac{f_{\text{饱}}}{f_{\text{干}}} \quad (1-12)$$

式中: $K_{\text{软}}$ ——材料的软化系数;

$f_{\text{饱}}$ ——材料在饱和水状态下的抗压强度, MPa;

$f_{\text{干}}$ ——材料在干燥状态下的抗压强度, MPa。

材料的软化系数范围在 0 ~ 1 之间, 其值越小, 说明材料吸水饱和后强度降低越多, 材料耐水性越差。通常将软化系数大于 0.80 的材料称为耐水材料。对于经常位于水中或处于潮湿环境中的重要建筑物, 其所选用的材料要求软化系数不得小于 0.85; 对于受潮较轻或次要结构所用材料, 软化系数稍微降低, 但不宜小于 0.75。

材料的耐水性主要取决于其组成成分在水中的溶解度和材料内部开口孔隙率的大小。软化系数一般随溶解度增大、开口孔隙率增多而变小。溶解度很小的材料、孔隙率低或具有较多封闭孔隙的材料, 软化系数一般较大, 材料的耐水性好。

4. 抗渗性

材料抵抗压力渗透的性质称为抗渗性, 或称不透水性。材料的抗渗性可用以下两种方法表示。

(1) 抗渗系数

根据达西定律, 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, 得到抗渗系数(K)的表达式为:

$$K = \frac{Wd}{Ath} \quad (1-13)$$

式中: K ——抗渗系数, cm/h ;

W ——透过材料试件的水量, cm^3

t ——透水时间, h ;

A ——透水面积, cm^2 ;

h ——静水压力水头, cm ;

d ——试件厚度, cm 。

渗透系数越大, 表明材料渗透的水量越多, 即抗渗性越差。

(2) 抗渗等级

材料的抗渗性可用抗渗等级 (P_n) 表示。抗渗等级 n 是指在标准试验条件下所能承受的最大水压力的 10 倍数。混凝土、砂浆等的抗渗性用抗渗等级表示。例如: P_6 、 P_8 、 P_{10} 分别表示材料能承受 0.6 MPa、0.8 MPa、1.0 MPa 的水压而不透水。

材料的抗渗性不仅取决于其亲水性还是憎水性, 更取决于材料的孔隙率及孔隙特征。孔隙率小, 抗渗性好; 在孔隙率相同条件下, 开口孔隙多、孔径尺寸大且连通的材料, 抗渗性差。

抗渗性是决定材料耐久性的重要因素, 它影响到材料的抗冻性、抗腐蚀性及抗风化等性能。在设计地下建筑、防水工程、压力管道、容器等结构时, 均要求所用材料具有一定的抗渗性能。抗渗性也是检验防水材料质量的重要指标。

5. 抗冻性

材料在吸水饱和状态下, 经多次冻结和融化作用(冻融循环)而不破坏, 同时强度也无显著降低的性质称为抗冻性。通常采用 -15°C 的温度(水在微小毛细管中低于 -15°C 才能冻结)冻结后, 再在 20°C 的水中融化, 这样的过程称为一次冻融循环。

当温度降到摄氏零度以下时, 材料内的水分会由表及里地冻结, 内部水分不能外溢, 水结冰后体积膨胀约 9%, 产生强大的冻胀应力, 当此应力超过材料的抗拉强度时会使材料内毛细管壁胀裂, 造成材料局部破坏, 随着温度交替变化, 冻结与融化循环反复, 冰冻的破坏作用逐渐加剧, 最终导致材料破坏。

材料的抗冻性用抗冻等级表示。将材料吸水饱和后, 按规定方法进行冻融循环试验, 以质量损失不超过 5%, 或强度下降不超过 25%, 所能经受的最大冻融循环次数来确定, 常用“ F_n ”表示, 其中 n 表示材料能承受的最大冻融循环次数, 如 F_{100} 表示材料在一定试验条件下能承受 100 次冻融循环。

材料的抗冻性与材料的孔隙率、孔隙特征、充水程度等因素有关。材料的强度越高, 软化系数越大, 其抗冻性较高。一般认为软化系数小于 0.80 的材料, 其抗冻性较差。抗冻性良好的材料, 对于抵抗大气温度变化、干湿交替等风化作用的能力较强。所以抗冻性常作为考查材料耐久性的一项指标。

1.1.3 材料与热有关的性质

1. 导热性

当材料两侧存在温度差时, 热量将由温度高的一侧通过材料传递到温度低的一侧, 材料的这种传导热量的能力称为导热性。材料的传热示意图如图 1-4 所示。材料导热能力用导热系数(λ)来表示, 其计算式为:



保温材料

$$\lambda = \frac{Qd}{At(T_1 - T_2)} \quad (1-14)$$

式中： λ ——导热系数， $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ；

Q ——传导热量， J ；

d ——材料厚度， m ；

A ——传热面积， m^2 ；

t ——传热时间， s ；

$T_1 - T_2$ ——材料两侧温差， K 。

热导率 λ 的物理意义是：厚度为 1 m 的材料，当其相对两侧表面温度差为 1 K 时，在 1 s 时间内通过 1 m^2 单位面积的热量。导热系数是评定材料保温隔热性能的重要指标，导热系数越小，材料的保温隔热性能越好。通常把导热系数不大于 $0.023\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料称为绝热材料。

材料的导热系数与材料的组成、结构、孔隙率、孔隙特征、含水率等有关。一般来讲，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；当材料中含有较多闭口孔隙时，其导热系数较低，但当材料内部含有较多粗大连通的孔隙时，其导热系数较高；材料受潮后，在材料的孔隙中有水分（包括蒸汽水和液态水），其导热系数会增加，如果孔隙中的水分冻结成冰，材料的导热系数将更大，所以工程中使用保温材料应特别注意防潮防冻。

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。热容量大小用比热容（也称热容量系数， c ）表示。比热容为 1 g 材料温度升高 1 K 时所吸收的热量或降低 1 K 时所放出的热量，用下式表示：

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

式中： Q ——材料吸收或放出的热量， J ；

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

m ——材料的质量， g ；

$T_1 - T_2$ ——材料受热或冷却后的温差， K 。

比热容是反映材料的吸热或放热能力大小的物理量。材料的比热容，对保持建筑物内部温度稳定有很大意义，比热容大的材料，能在热流变动或采暖设备供热不均匀时，缓和室内的温度变动，屋面材料也宜选用热容量大的材料。不同的材料，其比热不同，即使是同种材料，由于物态不同，其比热也不相同。常见建筑材料的热导率和比热容见表1-2。

3. 耐火性

耐火性指材料在高温或遇火的作用下，保持其原有性质而不损坏的性能，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。

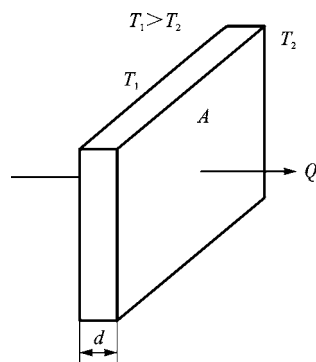


图1-4 材料传热示意图

表 1-2 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) ⁻¹]	比热容 /[J·(g·K) ⁻¹]	材料名称	热导率 /[W·(m·K) ⁻¹]	比热容 /[J·(g·K) ⁻¹]
建筑钢材	58	0.48	黏土空心砖	0.64	0.92
花岗岩	3.49	0.92	松土	0.17~0.35	2.51
普通混凝土	1.28	0.88	泡沫塑料	0.03	1.30
水泥砂浆	0.93	0.84	冰	2.20	2.05
白灰砂浆	0.81	0.84	水	0.60	4.19
普通黏土砖	0.81	0.84	静止空气	0.025	1.00

根据材料耐火度的不同,可分为三大类。耐火材料指耐火度不低于 1580℃ 的材料,如各类耐火砖等。难熔材料指耐火度为 1350~1580℃ 的材料,如难熔黏土砖、耐火混凝土等。易熔材料指耐火度低于 1350℃ 材料,如普通黏土砖、玻璃等。

4. 耐燃性

耐燃性指材料能经受火焰和高温的作用而不破坏,强度也不显著降低的性能,是影响建筑物防火、结构耐火等级的重要因素。根据材料耐燃性的不同,可分为以下四大类:

(1) 不燃材料。遇火或高温作用时,不起火、不燃烧、不碳化的材料,如混凝土、天然石材、砖、玻璃和金属等。需要注意的是玻璃、钢铁和铝等材料,虽然不燃烧,但在火烧或高温下会发生较大的变形或熔融,因而是不耐火的。

(2) 难燃材料。遇火或高温作用时,难起火、难燃烧、难碳化,只有在火源持续存在时才能继续燃烧,火源消除燃烧即停止的材料,如沥青混凝土和经防火处理的木材等。

(3) 可燃材料。指遇火或高温作用时,立即起火或微燃,火源消除后仍能继续燃烧或微燃的材料,如木材、沥青等。用可燃材料制作的构件,一般应作阻燃处理。

(4) 易燃材料。指遇火或高温作用时,立即起火并迅速燃烧,火源消除后仍能继续迅速燃烧的材料,如纤维织物等。

5. 温度变形

温度变形指材料在温度变化时产生的体积变化,多数材料在温度升高时体积膨胀,温度下降时体积收缩。温度变形在单向尺寸上的变化称为线膨胀或线收缩,一般用线膨胀系数来衡量,线膨胀系数用“ α ”表示,其计算式如下

$$\alpha = \frac{\Delta L}{(T_1 - T_2)L} \quad (1-16)$$

式中: α ——材料在常温下的平均线膨胀系数, 1/K;

ΔL ——材料的线膨胀或线收缩量, mm;

$T_1 - T_2$ ——材料的温度差, K;

L ——材料原长, mm。

材料的线膨胀系数一般都较小,但由于建筑工程结构的尺寸较大,温度变形引起的结构体积变化仍是关系其安全与稳定的重要因素。工程上常用预留伸缩缝的办法来解决温度变形问题。

1.1.4 与声学有关的性质

1. 吸声性

当声音传入构件材料表面时,声能一部分被反射,一部分穿透材料,还有一部分由于构件材料的振动或声音在其中传播时与周围介质摩擦,由声能转化成热能,声能被损耗,即常说的声音被材料吸收。被吸收声能(E)(包括部分穿透材料的声能在内)和传递给材料的全部声能(E_0)之比,是评定材料吸声性能好坏的主要指标,用吸声系数(α)表示。

$$\alpha = \frac{E}{E_0} \quad (1-17)$$

式中: α ——材料的吸声系数;

E_0 ——传递给材料的全部入射声能;

E ——被材料吸收(包括穿透)的声能。

材料的吸声性能除与材料本身的厚度、结构及材料的表面特征有关外,还和声波的入射方向及频率有关。对于高、中、低不同频率的吸声系数不同。通常取 125 Hz、250 Hz、500 Hz、1000 Hz、2000 Hz、4000 Hz 6 个频率的吸声系数来表示材料的吸声频率特征。6 个频率平均吸声系数大于 0.2 的材料,称为吸声材料。材料的吸声系数越高,吸声效果越好。

从材料的角度来考虑,吸声性能的好坏主要与材料的孔隙率及孔隙构造有关。材料的孔隙越多越细小,吸声效果越好,如果孔隙过大,则效果就差。如果材料中的孔隙大部分为单独的封闭的气泡(如聚氯乙烯泡沫塑料),则因声波不能进入,从吸声机理上来讲,就不属多孔性吸声材料。当多孔材料表面涂刷油漆或材料吸湿时,则因材料的孔隙被水分或涂料所堵塞,其吸声效果亦将大大降低。

建筑工程中常用的多孔吸声材料有:水泥膨胀珍珠岩板、矿渣棉、玻璃棉、超细玻璃棉、沥青矿渣绵毡、泡沫玻璃、泡沫塑料、软木板、木丝板、穿孔纤维板、工业毛毡、地毯、帷幕等。

除了采用多孔吸声材料吸声外,还可将材料组成不同的吸声结构,达到更好的吸声效果。常用的吸声结构有薄板共振吸声结构和穿孔板吸声结构。薄板共振吸声结构式采用薄板钉牢在靠墙の木龙骨上,薄板与板后的空气层构成了薄板共振吸声结构。穿孔板吸声结构用穿孔的胶合板、纤维板、金属板或石膏板等为结构主体,与板后的空气层(空气层中有时可填充多孔材料)构成吸声结构,该结构吸声的频带较宽,对中频的吸声能力最强。

2. 隔声性

隔声性指材料隔绝声音的能力。声音按其传播途径可分为空气声(由于空气的振动)和固体声(由于固体撞击或振动)两种。材料的隔声能力可以通过材料对声波的透射系数(τ)来衡量。

$$\tau = \frac{E_\tau}{E_0} \quad (1-18)$$

式中: τ ——声波透射系数;

E_τ ——透过材料的声能;

E_0 ——入射总声能。



吸声材料及吸声结构

材料的透射系数越小, 隔声性能越好。常用隔声量 R (单位: dB) 表示构件对空气声音隔绝的能力, 它与透射系数的关系是:

$$R = -10 \lg \tau \quad (1-19)$$

隔绝空气传声, 根据声学中的“质量定律”, 墙或板传声的大小主要取决于其单位面积质量, 质量越大, 越不易振动, 则隔音效果越好, 故对此必须选用密实、沉重的材料(如黏土砖、钢板、钢筋混凝土)作为隔声材料。

隔绝固体声最有效的措施是采用不连续的结构处理, 即在墙壁和承重梁之间、房屋的框架和隔墙及楼板之间加弹性衬垫, 如毛毡、软木、橡皮等材料, 或在楼板上加弹性地毯。

1.2 材料的力学性质

1.2.1 强度与比强度

1. 强度

材料在外力作用下抵抗破坏的能力称为材料的强度, 并以单位面积上所能承受的荷载大小来衡量。当材料受外力作用时, 其内部便产生应力与之相抗衡, 应力随外力的增大而增大。当应力(外力)超过材料内部质点间的结合力所能承受的极限时, 便导致内部质点的断裂或错位, 使材料破坏。此时的应力为极限应力, 通常用来表示材料强度的大小。根据材料的受力状态, 材料的强度可分为抗压强度、抗拉强度、抗弯(折)强度和抗剪强度等。

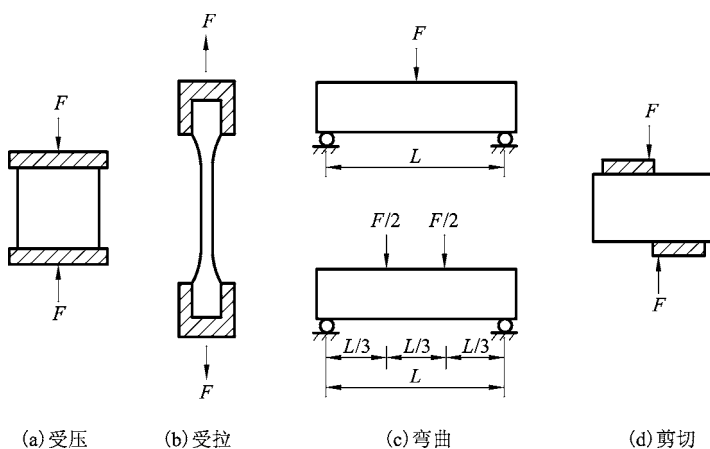


图 1-5 材料受力示意图

材料的受力状态如图 1-5 所示, 其抗拉、抗压、抗剪强度按下式计算:

$$f = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1-20)$$

式中: f ——抗拉、抗压、抗剪强度, MPa;

$F_{\max}$ ——材料受拉、压、剪破坏时的最大荷载, N;

A ——材料的受力面积, mm^2 。

材料的抗弯强度与加荷方式有关, 单点集中加荷和三分点加荷的计算公式如下:

$$f = \frac{3F_{\max}L}{2bh^2} \quad (\text{单点集中加荷}) \quad (1-21)$$

$$f = \frac{F_{\max}L}{bh^2} \quad (\text{三分点加荷}) \quad (1-22)$$

式中: f ——材料的抗弯强度, N/mm^2 或 MPa ;

$F_{\max}$ ——破坏时的最大荷载, N ;

L ——两支点的距离, mm ;

b, h ——试件横截面的宽与高, mm 。

材料的强度与其组成和构造有关。不同种类的材料抵抗外力的能力不同, 同类材料当其内部构造不同时, 其强度也不同。致密度越高的材料, 强度越高。同类材料抵抗不同外力作用的能力也不相同, 尤其是内部构造非匀质的材料, 其不同外力作用下的强度差别很大, 如混凝土、砂浆、砖、石和铸铁等, 其抗压强度较高, 而抗拉、弯(折)强度较低; 钢材的抗拉、抗压强度都较高。

为了掌握材料的力学性能, 便于分类管理, 合理选用材料, 正确进行设计, 控制工程施工质量, 常将材料按其强度的大小划分成不同的等级, 称为强度等级, 它是衡量材料力学性质的主要技术指标。脆性材料如混凝土、砂浆、砖和石等, 主要用于承受压力, 其强度等级用抗压强度来划分; 韧性材料如建筑钢材, 主要用于承受拉力, 其强度等级就用抗拉时的屈服强度来划分。

2. 比强度

比强度指单位体积质量材料所具有的强度, 即材料的强度与其表观密度的比值(f/ρ_0)。比强度是衡量材料轻质高强特性的技术指标。

建筑工程中结构材料主要用于承受结构荷载。多数传统结构材料的自重都较大, 其强度相当一部分要用于抵抗自身和其上部结构材料的自重荷载, 而影响了材料承受外荷载的能力, 使结构的尺度受到很大的限制。随着高层建筑、大跨度结构的发展, 要求材料不仅要有较高的强度, 而且要尽量减轻其自重, 即要求材料具有较高的比强度。轻质高强性能已经成为材料发展的一个重要方向。

钢材、木材和混凝土的强度比较见表 1-3。

表 1-3 钢材、木材和混凝土的强度比较

材料	表观密度 $\rho_0/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	强度 f/MPa	比强度 f/ρ_0
低碳钢	7860	415	0.053
松木	500	34.3(顺纹)	0.069
普通混凝土	2400	29.4	0.012

1.2.2 弹性与塑性

弹性指材料在外力作用下产生变形, 当外力撤销后能完全恢复原来形状的性质, 所产生

的变形称为弹性变形。

弹性变形的大小与所受应力的的大小成正比,所受应力与应变的比值称为弹性模量,用“ E ”表示,它是衡量材料抵抗变形能力的指标。在材料的弹性范围内, E 是一个常数,按下式计算:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1-23)$$

式中: E ——材料的弹性模量,MPa;

σ ——材料所受的应力,MPa;

ε ——材料在应力 σ 作用下产生的应变,量纲为1。

弹性模量越大,材料抵抗变形能力越强,在外力作用下的变形越小。材料的弹性模量是工程结构设计和变形验算的主要依据之一。

塑性指材料在外力作用下产生变形,当外力撤销后不能保持变形后的形状和尺寸的性质,这种不可恢复的变形称为塑性变形。

完全的弹性材料或塑性材料是没有的,大多数材料在受力变形时,既有弹性变形,也有塑性变形,只是在不同的受力阶段,变形的表现形式不同。当外力撤销后,弹性变形可以恢复,塑性变形不能恢复。有的材料如钢材,在受力不大的情况下,表现为弹性变形,而在受力超过一定限度后,就表现为塑性变形;有的材料如混凝土,受力后弹性变形和塑性变形几乎同时产生。

1.2.3 脆性与韧性

脆性指材料在外力作用下,无明显塑性变形而发生突然破坏的性质,具有这种性质的材料称为脆性材料,如普通混凝土、砖、陶瓷、玻璃、石材和铸铁等。一般脆性材料的抗压强度比其抗拉、抗弯强度高很多倍,其抵抗冲击和振动的能力较差,不宜用于承受振动和冲击的场合。

韧性指材料在振动或冲击荷载作用下,能吸收较多的能量,并产生较大的变形而不破坏的性质,具有这种性质的材料称为韧性材料,如低碳钢、低合金钢、铝合金、塑料、橡胶、木材和玻璃钢等。韧性材料在外力作用下,会产生明显的变形,变形随外力的增大而增大,外力所做的功转化为变形能被材料所吸收,以抵抗冲击的影响。用于道路、桥梁、轨道、吊车梁及其他受振动影响的结构,应选用韧性较好的材料。

1.2.4 硬度与耐磨性

硬度指材料表面抵抗其他硬物压入或刻划的能力。为保持较好表面使用性质和外观质量,要求材料必须具有足够的硬度。非金属材料的硬度用莫氏硬度表示,它是用系列标准硬度的矿物(按滑石、石膏、方解石、萤石、磷灰石、正长石、石英、黄玉、刚玉、金刚石依次排列)对材料表面进行刻划,根据划痕确定硬度等级。

金属材料的硬度等级常用压入法测定,主要有布氏硬度法(HB),是以淬火的钢珠压入材料表面产生的球形凹痕单位面积上所受压力来表示;洛氏硬度法(HR),是用金刚石圆锥或淬火的钢球制成的压头压入材料表面,以压痕的深度来表示。硬度大的材料其强度也高,工程上常用材料的硬度来推算其强度,如用回弹法测定混凝土强度,就是用回弹仪测得混凝

土表面硬度,再间接推算出混凝土强度的。

耐磨性指材料表面抵抗磨损的能力。耐磨性常以磨损率衡量,以“ G ”表示,其计算式为:

$$G = \frac{(m_1 - m_2)}{A} \quad (1-24)$$

式中: G ——材料的磨损率, g/cm^2 ;

$m_1 - m_2$ ——材料磨损前后的质量损失, g ;

A ——材料受磨面积, cm^2 。

材料的耐磨性与材料的组成结构、构造、材料强度和硬度等因素有关。材料的硬度越高,越致密,耐磨性越好。路面、地面等受磨损的部位,要求使用耐磨性好的材料。



微课6: 建筑材料的
耐久性



材料的耐久性

1.3 材料的耐久性

耐久性是指材料在长期使用过程中,能抵抗周围各种介质的侵蚀而不破坏,并能保持原有性能的性质。耐久性是一项综合指标,包括强度、抗冻性、抗渗性、抗风化性、抗老化性、耐化学腐蚀性、大气稳定性等。

材料在使用过程中,除受到各种外力作用外,还要受到环境中各种自然因素的破坏作用,这些破坏作用可分为物理作用、化学作用、生物作用和机械作用。物理作用包括湿度、温度的循环变化,材料受到这些作用后将发生体积膨胀或收缩,反复作用下还会使材料性质改变;化学作用包括大气和环境中的酸、碱、盐等溶液,以及光照和紫外线等对材料的破坏作用;生物作用包括各类细菌和虫类对材料的破坏;机械作用包括持续荷载或者交变荷载对材料产生的冲击、磨损等破坏作用。

材料耐久性实际上是衡量材料在上述多种作用下能保持其原有性能,从而保证建筑物安全正常使用的性质。

由于建筑工程所处的环境复杂,其材料受到的破坏因素也千变万化,所以,我们必须合理选择材料,并采取相应的措施,如提高材料密实度等,以增强自身对外界作用的抵抗力,或采取表面保护措施,改善环境条件入手减轻对材料的破坏。提高材料的耐久性,对于节约材料、保障建筑物正常使用、减少维修、延长建筑寿命等都有非常重大的意义。

1.4 材料的装饰性与环境协调性

装饰性是指材料对所覆盖的建筑物外观美化的效果。对建筑物外露的表面进行适当的装饰,既起到了美化建筑物的作用,也对建筑物的主体起到保护作用,有时还兼有防水、保温等功能。材料的装饰性主要包括以下几个方面。

1. 颜色、光泽、透明性

颜色反映了材料的色彩特征。材料表面的颜色与材料对光谱的吸收以及观察者眼睛对光谱的敏感性等因素有关。不同的色彩,或者不同色彩组合时,由于人的心理或视觉作用,能给人以不同的物理感觉,如温度感、距离感、对比感、重量感等;还能引发人的情绪感觉和联想,如庄重、轻快、沉稳、活泼等。比如,鲜艳的红、橙等颜色,会使人感觉温暖、醒目、重量,使人兴奋、焦躁,还能引发喜庆、热烈、愤怒等联想;而青、蓝、紫等颜色,则使人感到寒

冷、后退、沉静,使人联想到绿阴、海水等。

光泽是材料表面方向性反射光线的性质。它对形成于材料表面上的物体形象的清晰程度起着决定性的作用。材料表面愈光滑,则光泽度愈高。当为定向反射时,材料表面具有镜面特性,则称镜面反射。不同的光泽度,可改变材料表面的明暗程度,并可扩大视野或造成不同的虚实对比。

透明性是指光线透过物体时所表现的光学特性。能透视的物体是透明体,如普通平板玻璃;能透光但不能透视的物体为半透明体,如磨砂玻璃;不能透光透视的物体为不透明体,如木材。利用不同的透明度可隔断或调节光线的明暗,造成特殊的光学效果,也可使物像清晰或朦胧。如发光天棚的罩面材料一般用半透明体,可将灯具的外形遮住但又能透过光线,这样既美观又符合室内照明需要;商业橱窗就需要用透明性非常高的玻璃,从而使顾客能看清所陈列的商品。

2. 花纹图案、形状、尺寸

在生产或加工材料时,利用不同的工艺将材料的表面做成各种不同的表面形式,如粗糙、平整、光滑、镜面、凹凸、麻点等;或将材料的表面制作成各种花纹图案,或拼镶成各种图案,如山水风景画、人物画、仿木花纹、仿大理石等。

材料的形状和尺寸能给人带来空间尺寸的大小和使用上是否舒适的感觉。设计人员进行装饰设计时,一般要考虑到人体尺寸的需要,对装饰材料的形状和尺寸做出合理的规定。改变装饰材料的形状和尺寸,并配合花纹、颜色、光泽等可拼镶出各种线形和图案,从而获得不同的装饰效果,以满足不同建筑型体和线型的需要,最大限度地发挥材料的装饰性。

3. 质感

质感是人们对装饰材料外观质地的一种整体感觉,它包括装饰材料的粗细程度、自身纹理及花样、软硬程度、色彩深浅程度、光泽度、光滑度、透明度等。装饰材料的质感主要来源于材料本身的质地、结构特征,还取决于材料的加工方法和加工程度。

不同的材料质感会使人产生不同的联想,产生不同的空间比例感和视觉效果。比如:保持天然纹理及质地的木材给人以亲切淳朴之感,凿毛的花岗岩则表现出厚重、粗犷和力量,而磨光的镜面花岗岩则让人感觉轻巧和富丽堂皇。充分利用这些质感及其联想,可以创造出特定的视觉效果及环境氛围,从而使人们获得建筑艺术格调的良好感受。

另外,在装饰工程中,还可以选用各种质感的装饰材料进行组合搭配,从材料不同质感的协调配合或对比映衬中,又可产生新的富于魅力的装饰效果。

4. 耐沾污性、易洁性

材料表面抵抗污物作用,保持其原有颜色和光泽的性质称为材料的耐沾污性。材料表面易于清洗洁净的性质称为材料的易洁性。它包括在风、雨等作用下的易洁性(又称自洁性)及在人工清洗作用下的易洁性。

近几年来材料的环境协调性问题日益受到重视。所谓环境协调性,是指材料对资源和能源消耗少,对环境污染小,可循环再生利用率高,而且要求从材料制造—适用—废弃直至再生利用的整个寿命周期中,都必须具有与环境的协调共存性。

未来建筑材料必须向着绿色健康环保的方向发展。绿色环保建材又称生态建材,其本质内涵是相通的,即采用清洁生产技术,少用天然资源和能源,大量使用工农业或城市废弃物生产无毒害、无污染,达生命周期后可回收再利用,有利于环境保护和人体健康的建筑材料。

在当前的科学技术和社会生产力条件下,已经可以利用各类工业废渣生产水泥、砌块、装饰砖和装饰混凝土等;利用废弃的泡沫塑料生产保温墙体材料;利用无机抗菌剂生产各种抗菌涂料和建筑陶瓷等各种新型绿色功能建筑材料。

模块小结

在不同建筑物中各种建筑材料应具备的性质不同。物理性质包括与质量有关的性质、与水有关的性质、与热有关的性质和与声学有关的性质等;力学性质包括强度与比强度、弹性与塑性、脆性与韧性、硬度与耐磨性等;耐久性包括强度、抗冻性、抗渗性、抗风化性、抗老化性、耐化学腐蚀性、大气稳定性;装饰材料还有装饰性与环境协调性。

技能抽查题

一、单项选择

1. 在 100 g 含水率为 3% 的天然砂中,其中水的质量为()。
A. 3.0 g B. 2.5 g C. 3.3 g D. 2.9 g
2. 在下列概念中,()表明材料的耐水性。
A. 质量吸水率 B. 体积吸水率 C. 冻融循环次数 D. 软化系数
3. 某材料吸水饱和后的质量为 20 kg,烘干到恒重时的质量为 16 kg,则材料的()。
A. 质量吸水率为 25% B. 质量吸水率为 20%
C. 体积吸水率为 25% D. 体积吸水率为 20%
4. 某种颗粒材料的密度为 ρ ,表观密度为 ρ_0 ,堆积密度为 ρ'_0 ,则存在下列关系()。
A. $\rho > \rho_0 > \rho'_0$ B. $\rho_0 > \rho > \rho'_0$ C. $\rho'_0 > \rho_0 > \rho$ D. $\rho > \rho'_0 > \rho_0$
5. 软化系数表明材料的()。
A. 抗渗性 B. 抗冻性 C. 耐水性 D. 吸湿性
6. 孔隙率增大,材料的()降低。
A. 密度 B. 表观密度 C. 憎水性 D. 抗冻性
7. 材料在水中吸收水分的性质称为()。
A. 吸水性 B. 吸湿性 C. 耐水性 D. 吸湿性
8. 有一块标准砖的重量是 2625 g,其含水率为 5%,则这块砖的含水量是()。
A. 131.25 g B. 129.76 g C. 130.34 g D. 125 g

二、多项选择

1. 材料吸水后将使材料的()降低。
A. 强度 B. 抗冻性 C. 耐久性 D. 导热系数
2. 材料的强度值受到材料()等内在因素的影响。
A. 本身的组成 B. 组成结构 C. 体积 D. 孔隙大小
3. 通常所说的材料的基本性质包括()哪几个方面。
A. 物理性质 B. 化学性质 C. 力学性质 D. 耐久性
4. 材料的吸水性通常用()来表示。

- A. 质量吸水率 B. 含水率 C. 含水量 D. 体积吸水率

三、判断

1. 含水率为 4% 的湿砂重 100 g，其中水的重量为 4 g。 ()
2. 热容量大的材料导热性大，受外界气温影响室内温度变化比较快。 ()
3. 材料的孔隙率相同时，连通粗孔者比封闭微孔者的导热系数大。 ()
4. 吸水率小的材料，其孔隙率最小。 ()
5. 同一种材料，其表观密度越大，则其孔隙率越大。 ()
6. 材料的冻融破坏主要是由于材料的水结冰造成的。 ()

四、案例分析

1. 有一块烧结普通砖，在吸水饱和状态下重 2900 g，其绝干质量为 2550 g。砖的尺寸为 240 mm × 115 mm × 53 mm，经干燥并磨成细粉后取 50 g，用排水法测得绝对密实体积为 18.62 cm³。试计算该砖的吸水率、密度、表观密度、孔隙率。
2. 新建的房屋保暖性差，到冬季更甚，这是为什么？

模块二 气硬性无机胶凝材料

能力目标	知识目标
1. 能正确应用及保管石灰、石膏等气硬胶凝材料 2. 能根据相关标准判定石灰、石膏的质量等级	1. 掌握石灰、石膏的品种、特点和技术性质及应用范围 2. 了解石灰、石膏的生产过程 3. 了解水玻璃的技术性质和应用

本模块推荐学习标准：

《建筑生石灰》(JC/T 479—2013)

《建筑消石灰粉》(JC/T 481—2013)

《建筑石膏》(GB/T 9776—2008)

胶凝材料又称结合料，指经过一系列物理、化学作用，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。

胶凝材料按其化学成分可分为有机胶凝材料 and 无机胶凝材料两类。有机胶凝材料是指以天然或人工合成高分子化合物为基本组分的胶凝材料，最常用的有沥青、树脂、橡胶等。无机胶凝材料是指以无机氧化物或矿物为主要组分的胶凝材料，最常用的有石灰、石膏、水玻璃、菱苦土和各种水泥等。

无机胶凝材料按照其凝结硬化条件和使用特性又分为气硬性和水硬性两类。气硬性胶凝材料只能在空气中凝结硬化、保持并发展强度，如石灰、石膏、水玻璃、菱苦土等，这类材料一般只适用于地上或干燥环境，不宜用于潮湿环境，更不能用于水中。水硬性胶凝材料不仅能在空气中，而且能更好地在水中凝结硬化、保持并发展强度，如各类水泥，这类材料既适用于地上，也适用于地下或水上。本模块主要介绍气硬性胶凝材料。

2.1 建筑石灰

石灰是一种传统的气硬性胶凝材料。原料来源广、生产工艺简单、成本低廉，并具有某些优异性能，至今仍广泛使用于建筑工程中。



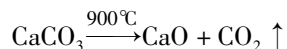
建筑石灰的生产

2.1.1 石灰的生产和品种

1. 生产

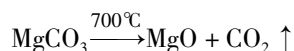
生产石灰的原料有石灰石、白云石、贝壳、白垩等。它们的主要成分是碳酸钙，经高温煅烧(加热至900℃以上)，逸出CO₂气体，得到的白色或灰白色的块

状生石灰，其主要化学成分为氧化钙和氧化镁。石灰石的热分解反应式为



在上述反应过程中，碳酸钙在高温 900℃ 下煅烧并开始分解，但速度较慢。因温度较低、煅烧时间不足、石灰岩原料尺寸过大、装料过多等因素，都会产生“欠火石灰”。欠火石灰中 CaCO_3 尚未分解完全，降低了石灰的有效成分含量；煅烧时间过长或者温度过高时，则产生“过火石灰”。因为随煅烧温度的提高和时间的延长，已分解的 CaO 体积收缩，表观密度增大，熟化速度慢。若原料中含有较多的 SiO_2 和 Al_2O_3 等黏土杂质，则会在表面形成熔融的玻璃物质，从而使石灰与水反应的速度变得更慢。过火石灰容易吸收水分，发生水化反应而体积膨胀，引起局部脱落或产生气泡。

生产石灰的原料中，除主要成分碳酸钙外，常含有碳酸镁。煅烧过程中碳酸镁分解出氧化镁，存在于石灰中。其化学反应为：



2. 品种

(1) 根据石灰成品加工方法不同分类

- ①块状生石灰：由原料煅烧而成的块状产品，主要成分为 CaO ；
- ②生石灰粉：块状石灰直接磨细而得到的细粉，主要成分为 CaO ；
- ③消石灰粉：生石灰用适量的水消化而得到的粉末，也称熟石灰，主要成分为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ；
- ④石灰浆：生石灰加多量的水（为石灰体积的 3 ~ 4 倍）消化而得到的可塑性浆体，称为石灰膏，主要成分为水和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。

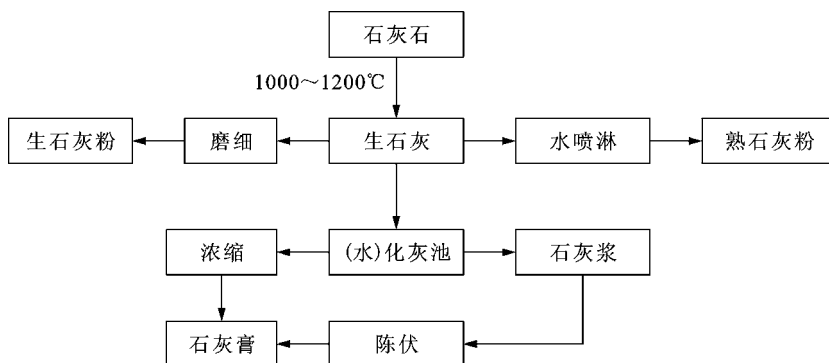


图 2-1 石灰产品加工示意图

(2) 根据石灰中氧化镁的含量及氧化钙和氧化镁的总含量不同分类

根据石灰中氧化镁的含量不同，将石灰分为钙质石灰 [$w(\text{MgO}) \leq 5\%$] 和镁质石灰 [$w(\text{MgO}) > 5\%$]。镁质石灰熟化较慢，但硬化后强度稍高。用于建筑工程中的多为钙质石灰。

根据石灰中氧化钙和氧化镁的总含量分类见表 2-1。

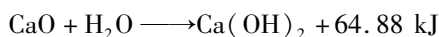
表 2-1 石灰按其氧化钙和氧化镁的总含量分类

类别与代号		名称与代号
生石灰块(Q)	钙质石灰(CL)	钙质石灰 90(CL90)、钙质石灰 85(CL85)、钙质石灰 75(CL75)
生石灰粉(QP)	镁质石灰(ML)	镁质石灰 85(ML85)、镁质石灰 80(ML80)
消石灰(H)	钙质消石灰(HCL)	钙质消石灰 90(HCL90)、钙质消石灰 85(HCL85)、钙质消石灰 75(HCL75)
	镁质消石灰(HML)	镁质消石灰 85(HML85)、镁质消石灰 80(HML80)

2.1.2 石灰的熟化和硬化

1. 石灰的熟化

块状生石灰在使用前都要加水消化，这一过程称为“消解”、“熟化”或“淋灰”。其化学反应为：



生石灰在熟化过程中有两个显著的特点：一是放热量大、放热速度快；二是体积膨胀大，为生石灰体积的 1~2.5 倍。煅烧良好、氧化钙含量高、杂质含量少的生石灰，其熟化速度快，放热量和体积增大也多。

根据加水量的不同，石灰可熟化成熟石灰粉或石灰膏。

石灰熟化的理论需水量为石灰重量的 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，消石灰粉放置一段时间，待进一步熟化后使用，应以能充分消解而不过湿成团为宜。

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，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，常在石灰中加入大量水使其成为石灰浆，通过筛网过滤(除渣)流入储灰池，石灰浆在储灰池中沉淀两周并除去上层水分后称为石灰膏，这一过程称为陈伏。陈伏期间，石灰膏表面应用其他材料覆盖，避免与空气接触而导致碳化。一般情况下，1 kg 的生石灰可化成 1.5~3 L 的石灰膏。



石灰的陈伏

2. 石灰的硬化

石灰浆体的硬化包括干燥结晶和碳化两个同时进行的过程。石灰浆体因水分蒸发或被砌体吸收而干燥，在浆体内的孔隙网中，产生毛细管压力，使石灰颗粒更加紧密而获得强度。这种强度类似于黏土失水而获得的强度，其值不大，遇水会丧失。同时，由于干燥失水，引起浆体中氢氧化钙溶液过饱和，结晶出氢氧化钙晶体，产生强度；但析出的晶体数量少，强度增长也不大。在大气环境中，氢氧化钙在潮湿状态下会与空气中的二氧化碳反应生成碳酸钙，并释放出水分，即发生碳化。

碳化所生成的碳酸钙晶体相互交叉连生或与氢氧化钙共生，形成紧密交织的结晶网，使硬化石灰浆体的强度进一步提高。

石灰依靠干燥结晶以及碳化作用而硬化，由于空气中的二氧化碳含量低，且碳化后形成

的碳酸钙硬壳阻止二氧化碳向内部渗透，也妨碍水分向外蒸发，因而硬化缓慢，硬化后的强度也不高，1:3 的石灰砂浆 28 d 的抗压强度只有 0.2 ~0.5 MPa。处于潮湿环境时，石灰中的水分不蒸发，二氧化碳也无法渗入，硬化将停止，加上氢氧化钙微溶于水，已硬化的石灰遇水还会溶解溃散。因此，石灰不宜在长期潮湿和受水浸泡的环境中使用。

2.1.3 石灰的技术要求

根据现行标准《建筑生石灰》(JC/T 479—2013)和《建筑消石灰粉》(JC/T 481—2013)的规定，建筑生石灰、生石灰粉及消石灰的技术要求见表 2-2。

表 2-2 建筑石灰的技术要求(JC/T 479—2013、JC/T 481—2013)

主控项目		钙质石灰			镁质石灰	
		CL90 – Q	CL85 – Q	CL75 – Q	ML85 – Q	ML80 – Q
		CL90 – QP HCL90	CL85 – QP HCL85	CL75 – QP HCL75	ML85 – QP HML85	ML80 – QP HML80
(氧化钙 + 氧化镁) (CaO + MgO) 含量/% , ≥		90	85	75	85	80
氧化镁 (MgO) 含量/%		≤5			>5	
二氧化碳 (CO ₂) 含量/% , ≤		4	7	12	7	
三氧化硫 (SO ₃) 含量/% , ≤		2			2	
产浆量 (Q) / [dm ³ · (10 kg) ⁻¹] , ≥		26			—	
细度 (QP)	0.2 mm 筛余量/% , ≤	2			2	
	90 μm 筛余量/% , ≤	7			7	
游离水含量/% , ≤		2			2	
安定性		合格				

注：①Q 代表生石灰块，QP 代表生石灰粉；②产浆量只是对生石灰块的要求，细度只是对生石灰粉的要求，游离水和安定性只是对消石灰的要求，二氧化碳含量对消石灰粉不作要求。

2.1.4 石灰的特性

石灰与其他胶凝材料相比具有以下特性。

1. 保水性、可塑性好

生石灰熟化为石灰浆时，表面吸附形成一层厚的水膜，因而保水性能好，且水膜层也大大降低了颗粒间的摩擦力。因此，用石灰膏制成的石灰砂浆具有良好的保水性和可塑性。在水泥砂浆中掺入石灰膏，可配置成水泥石灰混合砂浆，以改善水泥砂浆易泌水的缺点。

2. 硬化慢、强度低

由于空气中的二氧化碳浓度低，二氧化碳较难进入石灰内部，内部的水分也不易蒸发，所以硬化缓慢，硬化后的强度不高。



石灰抹面的网状裂纹

3. 体积收缩大

石灰在凝结硬化中会蒸发大量游离水而引起石灰内部毛细孔失水而收缩,所以石灰除调成石灰乳液做薄层涂刷外,不宜单独使用,常掺入砂、纸筋、麻刀等,以减少收缩,增加抗拉强度,防止开裂。

4. 耐水性差

石灰浆体在硬化过程中,较长时间里主要成分是氢氧化钙(表层是碳酸钙),由于氢氧化钙溶于水,所以石灰的耐水性较差。硬化中的石灰若长期受到水的作用,会导致强度降低,甚至会溃散。

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,所以生石灰若长期存放,应在密闭条件下,做到防潮、防水。

2.1.5 石灰的应用

1. 配制石灰砂浆和石灰乳涂料

用石灰膏和砂或麻刀、纸筋配制成的石灰砂浆、麻刀灰、纸筋灰、石灰浆等广泛用作内墙、顶棚的抹面工程。用石灰膏和水泥、砂配制成的混合砂浆通常作墙体砌筑或抹灰之用。由石灰膏稀释成的石灰乳常用作内墙和顶棚的粉刷涂料。

2. 拌制灰土、三合土



灰土和三合土

利用石灰和黏性土可以拌制成灰土,利用石灰、黏土或砂石或碎砖、炉渣等填料可拌制成三合土或碎砖三合土,利用石灰与粉煤灰、黏性土可拌制成粉煤灰石灰土,利用石灰与粉煤灰、砂、碎石可拌制成粉煤灰碎石土等,大量应用于建筑物基础、地面、道路等的垫层,地基的换土处理等。为方便石灰与黏土等的拌和,宜用磨细的生石灰或消石灰粉,磨细的生石灰还可使灰土和三合土有较高的紧密度,较高的强度和耐水性。

3. 制作碳化石灰板材

碳化石灰板是将磨细的生石灰掺 30% ~ 40% 的短玻璃纤维或轻质骨料加水搅拌,振动成型,然后利用石灰窑的废气碳化 12 ~ 24 h 而成的一种轻质板材。它能锯、能钉,保温隔热性好,导热系数低,适用于做非承重内隔板墙、天花板等。

4. 生产硅酸盐制品

将磨细的生石灰或消石灰粉与天然砂或粒化高炉矿渣、炉渣、粉煤灰等硅质材料配合均匀,加水搅拌,再经陈伏、加压成型和蒸压养护等工序制成的建筑材料即为硅酸盐制品,如粉煤灰砌块、加气混凝土等。如果掺入耐碱颜料,可制成各种颜色。它的尺寸与普通黏土砖相同,也可制成其他形状的砌块,主要用作墙体材料。

5. 加固含水的软土地基

生石灰可直接用来加固含水的软土地基(石灰桩)。它是在桩孔内灌入生石灰块,利用生石灰吸水熟化时体积膨胀的性能产生膨胀压力,从而使地基加固。

建筑生石灰粉、建筑消石灰粉一般采用牛皮纸袋、复合纸袋或塑料编织袋包装,包装上应标明厂名、产品名称、商标、净重、批量编号。保管时应分类、分等级储存在干燥的仓库内,不宜长期储存,运输过程中要采取防水防潮措施,不宜与易燃易爆物品一起存放和运输。

2.2 建筑石膏

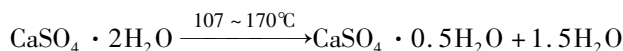
石膏在建筑工程中的应用有较长的历史,由于其具有轻质、隔热、吸声、耐火、色白且质地细腻等一系列优良性能,加之我国石膏矿藏储量居世界首位,所以石膏的应用前景十分广阔。

2.2.1 石膏的生产与品种

将天然二水石膏(或主要成分为二水石膏的化工石膏)加热,不同的加热方式和加热温度,可以生产不同品种和性质的石膏。

1. 建筑石膏

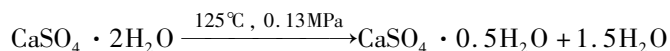
将天然二水石膏(或主要成分为二水石膏的化工石膏)加热至 $107 \sim 170^{\circ}\text{C}$ 时,脱去部分结晶水,形成晶体细小的 β 型半水石膏($\beta\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$),再经磨细制成的白色粉末称为建筑石膏。其化学反应如下:



建筑石膏(β 型半水石膏)呈白色粉末状,密度为 $2.60 \sim 2.75 \text{ g/cm}^3$,堆积密度为 $800 \sim 1000 \text{ g/cm}^3$ 。 β 型半水石膏中杂质少、颜色洁白,可用于制作模型、建筑装饰及陶瓷的制坯工艺。

2. 高强石膏

将二水石膏置于蒸压釜中,在 0.13 MPa 的水蒸气中(125°C)脱水,得到的是晶粒粗大、使用时拌和用水量少的 α 型半水石膏,将此熟石膏磨细得到的白色粉末成为高强石膏。其化学反应如下:



由于高强石膏拌和用水量少(石膏用量的 $35\% \sim 45\%$),硬化后有较高的密实度,所以强度较高,7 d 可达 $15 \sim 40 \text{ MPa}$ 。主要用于室内高级抹灰、装饰制品和石膏板。

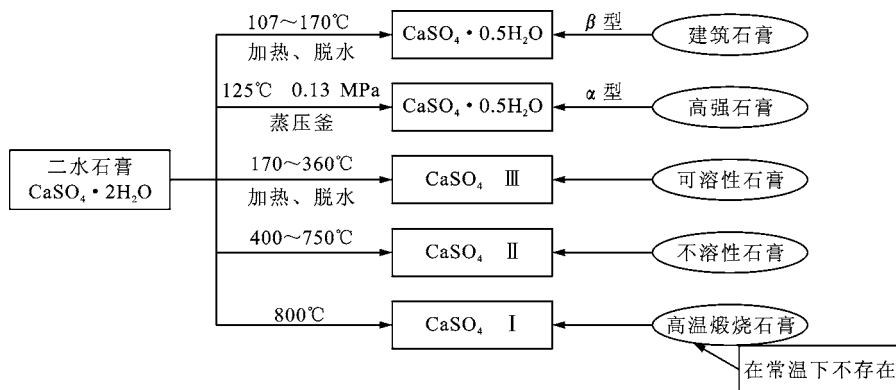
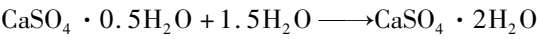


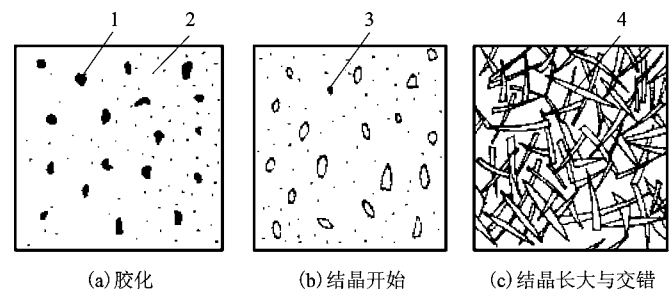
图 2-2 石膏加工条件及其相应产品示意图

2.2.2 建筑石膏的水化和凝结硬化

建筑石膏与适量的水混合成可塑的浆体，但很快就失去塑性、产生强度，并产生坚硬的固体。半水石膏溶于水后将重新水化反应生成二水石膏，反应式为：



分解出二水石膏胶体后，相应溶液中的半水石膏转变为非饱和状态，这样，又有新的半水石膏溶解，接着继续重复水化、胶化的过程，随着析出的二水石膏胶体晶体的不断增多，彼此互相联结，使石膏具有一定的强度。因此，石膏的凝结硬化是一个连续的溶解、水化、胶化、结晶的过程。



1—半水石膏；2—二水石膏胶体微粒；3—二水石膏晶体；4—交错的晶体

图 2-3 建筑石膏凝结硬化示意图

2.2.3 建筑石膏的技术要求

根据《建筑石膏》(GB/T 9776—2008)规定，建筑石膏按其凝结时间、细度、强度指标分为三级，即优等品、一等品、合格品。各项技术指标见表 2-3。

表 2-3 建筑石膏的技术指标 (GB/T 9776—2008)

指 标		3.0 级	2.0 级	1.6 级
细度(0.2 mm 方孔筛筛的筛余量/%)，≤		10	10	10
抗折强度/MPa，≥		3.0	2.0	1.6
抗压强度/MPa，≥		5.0	4.0	3.0
凝结时间/min	初凝不早于	3		
	终凝不迟于	30		

注：指标中有一项不符合者，应予降级或报废。

2.2.4 建筑石膏的特性

1. 孔隙率大

建筑石膏水化反应的理论需水量只占半水石膏重量的 18.6%，在使用中为了使浆体具有足够的流动性，通常加水量可达 60% ~ 80%，因而，石膏浆体硬化后，由于多余自由水的蒸发，在内部形成大量孔隙，孔隙率可达 50% ~ 60%，导致与水泥相比强度降低，表观密度小。

2. 保温性和吸声性好

石膏制品孔隙率大，孔隙多呈微细的毛细孔，所以导热系数小 $[0.12 \sim 0.2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ ，吸声性好，保温、隔热性能好，吸湿性大，可调节室内的温度和湿度。

3. 防火性好

建筑石膏制品在遇火灾时，二水石膏中的结晶水蒸发，吸收热量，并在表面形成蒸汽幕和脱水物隔热层，并且无有害气体产生，所以具有较好的防火性能。但建筑石膏制品不宜长期用于靠近 65℃ 以上高温的部位，以免二水石膏在此温度作用下脱水分解而失去强度。

4. 凝结硬化快

建筑石膏加水拌和后，浆体的初凝和终凝时间都很短，一般初凝时间为几分钟到十几分钟，终凝时间在半小时内，一星期左右完全硬化。初凝时间较短，不便于使用，为延长凝结时间，可加入缓凝剂。常用的缓凝剂有硼砂、酒石酸钾钠、柠檬酸、聚乙烯醇、石灰活化骨胶或皮胶等。缓凝剂的作用是降低半水石膏的溶解度和溶解速度。

5. 耐水性和抗冻性差

建筑石膏硬化后有较强的吸湿性，在潮湿条件下，晶粒间的结合力减弱，导致强度下降。若长期浸泡在水中，水化生成物二水石膏晶体将逐渐溶解，而导致破坏。若石膏制品吸水后受冻，会因孔隙中水分结冰膨胀而破坏。所以，石膏制品的耐水性和抗冻性较差，不宜用于潮湿部位。为提高其耐水性，可加入适量的水泥、矿渣等水硬性材料，也可加入氨基、密胺、聚乙烯醇等水溶性树脂，或沥青、石蜡等有机乳液，以改善石膏制品的孔隙状态和孔壁的憎水性。

2.2.5 石膏的应用

1. 室内抹灰及粉刷

建筑石膏加砂、缓凝剂和水拌和可制成粉刷石膏，用于室内抹灰。粉刷石膏是一种新型室内抹灰材料，其表面光滑、细腻、洁白、美观，既具有建筑石膏快硬早强、尺寸稳定、吸湿、防火、轻质等优点，又不会产生开裂、空鼓和起皮现象。不仅可在水泥砂浆或混合砂浆上罩面，还可粉刷在混凝土墙、板、天棚等光滑的底层上。粉刷成的墙面致密光滑，质地细腻，且施工方便，工效高。

2. 建筑石膏制品

建筑石膏除用于室内粉刷外，主要用于生产各种石膏板和石膏砌块等制品。

石膏板具有质轻、保温、防火、吸声、能调节室内温度、湿度及制作方便等性能，且安装和使用方便，是一种较好的新型建筑材料，广泛用作各种建筑物的内隔墙、顶棚及各种装饰饰面。常见的石膏板主要有普通纸面石膏板、装饰石膏



建筑石膏的性质



建筑石膏制品

板、石膏空心条板、吸声用穿孔石膏板、耐水纸面石膏板、耐火纸面石膏板、石膏蔗渣板等。

石膏砌块是一种自重轻、保温隔热、隔声和防火性能好的新型墙体材料，有实心、空心 and 夹心三种类型。在建筑石膏中掺入耐水外加剂（如有机硅憎水剂等）可生产耐水建筑石膏制品；掺入无机耐火纤维（如玻璃纤维）可生产耐火建筑石膏制品。

建筑石膏吸水性很强，在运输和贮存中，需要防雨防潮。贮存期为 3 个月，过期或受潮的石膏，强度显著降低，须经检验后才能使用。

2.3 水玻璃

2.3.1 水玻璃的性质

水玻璃俗称泡花碱，是一种水溶性硅酸盐，其水溶液俗称水玻璃，是一种矿物黏合剂。其化学式为 $R_2O \cdot nSiO_2$ ，式中 R_2O 为碱金属氧化物， n 为二氧化硅与碱金属氧化物摩尔数的比值，称为水玻璃的摩数。建筑上常用的水玻璃是硅酸钠（ $Na_2O \cdot nSiO_2$ ）的水溶液。

水玻璃的主要技术性质如下。

1. 黏结力和强度较高

水玻璃有良好的黏结能力，硬化时析出的硅酸凝胶呈空间网络结构，比表面积大，有堵塞毛细孔隙而防止水渗透的作用。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

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的作用，常用于配制水玻璃耐酸混凝土、耐酸砂浆、耐酸胶泥等。

3. 耐热性好

水玻璃不燃烧，在高温下硅酸凝胶干燥得更加强烈，强度并不降低，甚至有所增加。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 1000°C 。故水玻璃常用于配置耐热混凝土、耐热砂浆、耐热胶泥等。

4. 耐碱性和耐水性差

因混合后水玻璃易溶于碱，故水玻璃不能在碱性环境中使用。由于 NaF 、 Na_2CO_3 均溶于水而不耐水，但可用中等浓度的酸对已硬化的水玻璃进行酸洗处理，提高耐水性。

2.3.2 水玻璃的应用

1. 涂刷材料表面

水玻璃溶液涂刷或浸渍含有氢氧化钙的材料，如水泥混凝土和硅酸盐制品等时，水玻璃与氢氧化钙反应生成的硅酸钙凝胶能堵塞毛细孔通道，提高材料的密实度和强度，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硫酸钠（ Na_2SO_4 ），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。

4. 配制耐酸混凝土

用水玻璃做胶结料、氟硅酸钠为促硬剂,与耐酸粉料及耐酸粗骨料按一定比例配制成耐酸混凝土,主要用于有耐酸要求的工程,如硫酸池等。

5. 配制耐热混凝土

用水玻璃做胶结料、氟硅酸钠为促硬剂,与耐热粗、细骨料按一定比例配制成耐热混凝土,主要用于高炉基础和其他有耐热要求的结构部位。

模块小结

在建筑工程中,把经过一系列的物理、化学作用后,由液体或膏状体变成坚硬的固体,并能将散粒材料(如砂、石等)或块、片状材料(如砖、石块等)胶结成整体的物质,称为胶凝材料。胶凝材料按化学成分可分为有机胶凝材料 and 无机胶凝材料两大类,其中无机胶凝材料按硬化条件又可分为水硬性胶凝材料 and 气硬性胶凝材料两类。

石灰的主要成分为 CaO 和 MgO ,其保水性好、硬化慢、可塑性好,但是强度低。生石灰熟化时放出大量的热且体积膨胀,故生石灰必须充分熟化后才能使用,同时要注意防止过火生石灰的危害。石灰常与黏土拌和制作三合土、二灰土等,拌制砂浆,也常用做硅酸盐制品。

石膏主要化学成分为硫酸钙,其孔隙率大、保温性和吸声性好、凝结快、耐水性差,常用作室内粉刷、制造石膏制品。

水玻璃又称“泡花碱”,是一种水溶性硅酸盐。它黏结强度高、耐热性好、耐酸性强、耐碱性差,常用作土壤加固和配置快凝防水剂等。

技能抽查题

一、单项选择题

- 石灰在消解(熟化)过程中()。
 - 体积明显缩小
 - 放出大量热量
 - 体积不变
 - 与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作用形成 CaCO_3
- () 浆体在凝结硬化过程中,其体积发生微小膨胀。
 - 石灰
 - 石膏
 - 菱苦土
 - 水玻璃
- 为了保持石灰的质量,应使石灰储存在()。
 - 潮湿的空气中
 - 干燥的环境中
 - 水中
 - 蒸汽的环境中
- 石膏制品具有较好的()。
 - 耐水性
 - 抗冻性
 - 加工性
 - 导热性
- 石灰硬化过程实际上是()过程。

- A. 结晶 B. 碳化 C. 结晶与碳化 D. 凝结
6. 石灰在硬化过程中, 体积产生()。
- A. 微小收缩 B. 不收缩也不膨胀 C. 膨胀 D. 较大收缩
7. 石灰熟化过程中的“陈伏”是为了()。
- A. 有利于结晶 B. 蒸发多余水分
- C. 消除过火石灰的危害 D. 降低发热量
8. 高强石膏的强度较高, 这是因其调制浆体时的需水量()。
- A. 大 B. 小 C. 中等 D. 可大可小
9. 建筑石灰分为钙质石灰和镁质石灰, 是根据()成分含量划分的。
- A. 氧化钙 B. 氧化镁 C. 氢氧化钙 D. 碳酸钙
10. 罩面用的石灰浆不得单独使用, 应掺入砂子、麻刀和纸筋等以()。
- A. 易于施工 B. 增加美观 C. 减少收缩 D. 增加厚度

二、多项选择

1. 石膏类板材具有()的特点。
- A. 质量轻 B. 隔热、吸声性能好
- C. 防火加工性能好 D. 耐水性好
- E. 强度高
2. 石膏、石膏制品宜用于下列()工程。
- A. 顶棚饰面材料 B. 内、外墙粉刷(遇水溶解)
- C. 冷库内贴墙面 D. 非承重隔墙板材
- E. 剧场穿孔贴面板
3. ()成分含量是评价石灰质量的主要指标。
- A. 氧化钙 B. 碳酸镁 C. 氢氧化钙 D. 碳酸钙
- E. 氧化镁

三、判断

1. 气硬性胶凝材料只能在空气中硬化, 而水硬性胶凝材料只能在水中硬化。 ()
2. 建筑石膏最突出的技术性质是凝结硬化慢, 并且在硬化时体积略有膨胀。 ()
3. 建筑石膏板因为其强度高, 所以在装修时可用于潮湿环境中。 ()
4. 石膏由于其防火性好, 故可用于高温部位。 ()
5. 石灰陈伏是为了降低石灰熟化时的发热量。 ()
6. 石灰的干燥收缩值大, 这是石灰不宜单独生产石灰制品和构件的主要原因。 ()

四、案例分析

1. 某建筑的内墙使用石灰砂浆抹面。数月后, 墙面上出现了许多不规则的网状裂纹, 同时在个别部位还有一部分凸出的呈放射状裂纹。试分析上述现象产生的原因。

2. 某住户喜爱石膏制品, 全宅均用普通石膏浮雕板作装饰。使用一段时间后, 客厅、卧室效果相当好, 但厨房、厕所、浴室的石膏制品出现发霉变形。请分析原因。

模块三 水 泥

能力目标	知识目标
1. 能辨识通用水泥的品种 2. 能根据工程特点及使用环境条件正确选用水泥品种 3. 能根据相关标准检测水泥的性能 4. 能对施工现场的水泥进行验收和管理	1. 掌握通用水泥的种类、性能特点、应用范围 2. 掌握通用水泥主要性能指标的质量标准要求 3. 熟悉通用水泥主要性能的检测方法 4. 熟悉水泥的验收及施工现场管理 5. 了解水泥的生产工艺、熟料矿物组成、凝结硬化过程及机理

本模块推荐学习标准：

《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)

《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB 1346—2011)

《水泥胶砂强度检验方法》(ISO 法)(GB/T 17671—2021)

《白色硅酸盐水泥》(GB/T 2015—2017)

《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》(GB 200—2017)

水泥呈粉末状，不仅能在空气中凝结硬化，而且能更好地在水中凝结硬化，保持并继续提高其强度，属于水硬性胶凝材料。水泥是建筑工程中最重要的建筑材料之一，工程中主要作为胶凝材料来制作混凝土，也可配制各种砂浆用于建筑的砌筑、抹面、装饰等。

水泥的品种繁多，按其矿物组成，水泥可分为硅酸盐系列、铝酸盐系列、硫酸盐系列、铁铝酸盐系列、氟铝酸盐系列等。按其用途和特性又可分为通用水泥、专用水泥和特性水泥。通用水泥是指以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，包括硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥；专用水泥是指有专门用途的水泥，如砌筑水泥、大坝水泥、道路水泥、油井水泥等；而特性水泥是指某种性能比较突出的水泥，多用于有特殊要求的工程，如快硬硅酸盐水泥、抗硫酸盐水泥、低热水泥、膨胀水泥、白色硅酸盐水泥等。

不同系列的水泥，性能有很大的区别，在上述不同系列的水泥中，硅酸盐水泥系列的产量最大、应用范围最广泛。



水泥简史

3.1 硅酸盐水泥

根据现行国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)规定，凡由硅酸盐水泥熟料、0%~5%石灰石或粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为硅酸盐水泥。硅酸

盐水泥分两种类型：不掺混合材料的称Ⅰ型硅酸盐水泥，代号P·I。在硅酸盐水泥熟料粉磨时掺加不超过水泥重量5%石灰石或粒化高炉矿渣混合材料的称Ⅱ型硅酸盐水泥，代号P·II。

3.1.1 硅酸盐水泥的生产工艺简介



水泥生产工艺

硅酸盐水泥的生产工艺可以概括为三个阶段，简称“两磨一烧”，即生料粉磨、熟料煅烧、水泥粉磨。将石灰质原料、黏土质原料、校正原料根据生产硅酸盐水泥熟料的要求进行配料后入生料磨磨细成生料，然后将生料送入水泥熟料烧成窑煅烧成熟料，再把煅烧好的熟料与适量石膏、混合材料在水泥磨中磨成一定细度的粉状物料即为硅酸盐水泥。

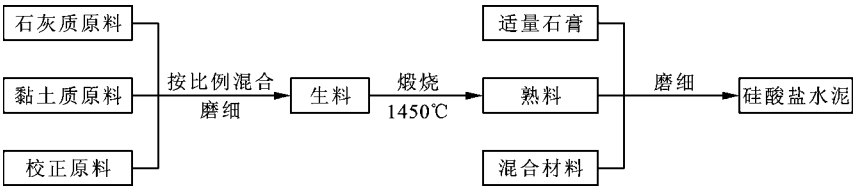


图 3-1 硅酸盐水泥生产工艺流程示意图

3.1.2 硅酸盐水泥熟料矿物组成及特性



水泥熟料矿物

1. 硅酸盐水泥熟料矿物组成

硅酸盐水泥熟料矿物成分及含量如下：

硅酸三钙 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_3$ ，简写 C_3S ，含量 36% ~ 60%；

硅酸二钙 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ，简写 C_2S ，含量 15% ~ 37%；

铝酸三钙 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ，简写 C_3A ，含量 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 C_4AF ，含量 10% ~ 18%。

除此之外，还有少量的游离氧化钙 (CaO) 和游离氧化镁 (MgO) 等。

在以上矿物组成中可以看出， C_3S 和 C_2S 的总含量占 75% 以上，而 C_3A 和 C_4AF 的总含量仅占 25% 左右。

2. 硅酸盐水泥熟料矿物的性能

各种矿物单独与水作用时，表现出不同的性能，见表 3-1。

表 3-1 硅酸盐水泥熟料矿物特性

矿物名称	水化反应速率	水化放热量	强度	耐腐蚀性	干缩性
硅酸三钙	快	大	高	差	中
硅酸二钙	慢	小	早期低，后期高	好	小
铝酸三钙	最快	最大	低	最差	大
铁铝酸四钙	快	中	低	中	小

3.1.3 硅酸盐水泥的水化和凝结硬化

水泥加适量的水拌和后，水泥中的熟料矿物颗粒表面立即与水发生水化反应，形成可塑

性的浆体,随着水化反应的进行,胶体状水化产物逐渐增多,构成疏松的网状结构,使水泥浆体逐渐变稠,开始失去可塑性(称初凝),随着水化反应继续进行,水泥浆体完全失去可塑性(称终凝),并形成一定的初始强度。从水泥与水拌和,经过初凝,到终凝的这一过程称为水泥的“凝结”。此后随着水泥水化的不断进行,水化产物不断增多,它们相互接触连生,到一定程度,建立起较紧密的网状结晶结构,并在网状结构内部不断充实水化产物,使水泥具有初步的强度,再随着水化产物的不断增加,强度不断提高,最后形成具有较高强度的水泥石。强度逐步提高,并最终变成坚硬的石状物体——水泥石,这一过程称为“硬化”。水泥的凝结和硬化过程是人为划分的,实际上是一个连续的复杂的物理化学变化过程,这些变化决定了水泥的一系列技术性能,对水泥的应用有着重要意义。

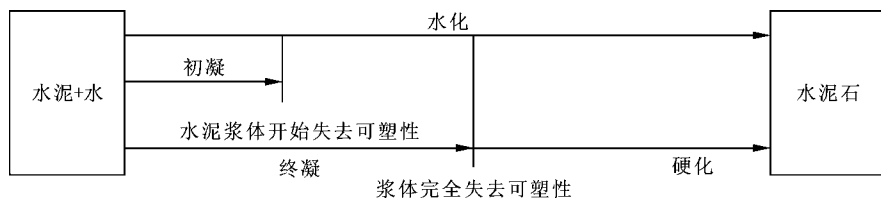


图 3-2 水泥的水化、凝结与硬化示意图

1. 水泥的水化反应

水泥加水后,熟料矿物开始与水发生水化反应,生成水化产物,并放出一定的热量。硅酸盐水泥主要水化产物有:水化硅酸钙凝胶体、水化铁酸钙凝胶体,氢氧化钙晶体、水化铝酸钙晶体和水化硫铝酸钙晶体。在完全水化的水泥石中,水化硅酸钙约占 50%,氢氧化钙约占 25%。

在四种熟料矿物中, C_3A 的水化速度最快,水化放热量大,若不加以抑制,则水泥的凝结过快,影响正常使用。为了调节水泥凝结时间,在水泥制成时需要加入适量石膏共同粉磨,石膏主要起到缓凝的作用。但如果石膏掺入量过多,会引起水泥体积安定性不良,所以石膏的掺入量应适量。

2. 硅酸盐水泥的凝结与硬化

水泥的凝结硬化是一个由表及里、由快到慢连续的过程,较粗颗粒的内部很难完全水化。因此,硬化后的水泥石是由水泥水化产物凝胶体(内含凝胶孔)、结晶体、未完全水化的水泥颗粒、毛细孔(含毛细孔水)等组成。

3. 影响硅酸盐水泥凝结、硬化的因素

水泥的凝结硬化过程,也就是水泥强度发展的过程,受着许多因素的影响,除了熟料矿物本身结构、相对含量及水泥粉磨细度等这些内部因素之外,还与外界条件如温度、湿度、加水量以及掺有不同种类的外加剂等外部因素密切相关。

3.1.4 硅酸盐水泥的技术性质和技术标准

国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)对于硅酸盐水泥的细度、凝结时间、体积安定性、强度等作了如下规定。



水泥的水化与硬化



水泥性能影响因素

1. 细度

细度是指水泥颗粒粗细的程度。水泥颗粒越细，比表面积便越大，与水接触的面积越大，水化速度越快，反应越充分，早期强度较高。但水泥颗粒越细，硬化时收缩较大，在储运过程中易受潮而降低活性，且成本较高。

国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)规定，硅酸盐水泥的比表面积应不小于 $300 \text{ m}^2/\text{kg}$ 。

2. 标准稠度用水量

水泥净浆的标准稠度是指在测定水泥的凝结时间、体积安定性时，为了让所测得的结果有可比性，水泥净浆以标准方法测试所达到的统一规定的可塑性程度。水泥净浆达到标准稠度所需的用水量即为标准稠度用水量，以水占水泥质量的百分数来表示，用标准维卡仪来测定。对于不同的水泥品种，水泥的标准稠度的用水量也各不相同，一般为 $24\% \sim 33\%$ 。

3. 凝结时间

凝结时间分为初凝时间和终凝时间。初凝时间是指水泥加水拌和开始至水泥标准稠度的净浆开始失去可塑性所需时间；终凝时间是指水泥加水拌和开始至标准稠度的净浆完全失去可塑性所需时间。水泥的凝结时间是以标准稠度的水泥净浆在规定的温度及湿度的环境下，试针沉入水泥标准稠度净浆至一定深度所需的时间表示。

凝结时间的规定对工程有着十分重要的意义。为了使混凝土、砂浆在施工过程中有足够的时间进行搅拌、运输、浇筑、成型、砌筑等工序，水泥的初凝不能过快；当浇筑完毕之后，为使混凝土、砂浆尽快凝结、硬化，产生强度，顺利地进入下一道工序，水泥的终凝不能太慢。国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)规定，硅酸盐水泥的初凝时间不得小于 45 min ，终凝时间不得大于 390 min ，凡是凝结时间不符合规定者为不合格品。

4. 体积安定性

水泥的体积安定性是指水泥浆体在凝结硬化的过程中体积变化的均匀性。当水泥浆体硬化的过程发生不均匀变化时，会导致膨胀开裂、翘曲等现象，称为体积安定性不良。安定性不良的水泥会使混凝土构件产生膨胀性裂缝，从而降低建筑物的质量，引起严重事故。因此，国家标准规定水泥体积安定性必须合格，体积安定性不合格的水泥严禁在工程中使用。

引起水泥体积安定性不良的原因主要是：水泥中含有过多的游离氧化钙($f\text{-CaO}$)和游离氧化镁($f\text{-MgO}$)， SO_3 含量过多，或石膏掺量过多。

国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)规定，硅酸盐水泥的体积安定性经沸煮法检验必须合格。沸煮法分雷氏法(标准法)和试饼法(代用法)，在有争议时以雷氏法为准。同时，国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)还规定，硅酸盐水泥 MgO 含量 $\leq 5.0\%$ ，如果经压蒸实验合格，则允许 MgO 含量放宽到 6.0% ， SO_3 含量 $\leq 3.5\%$ 。

5. 强度及强度等级

强度是水泥力学性质的一项重要指标，是确定水泥强度等级的依据。根据《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》(GB 17671—1999)规定，制成标准试块，在标准养护条件下进行养护，测定其 3 d 、 28 d 的抗压强度和抗折强度。按照 3 d 、 28 d 的抗压强度和抗折强度，将硅酸盐水泥分为 42.5 、 42.5R 、 52.5 、 52.5R 、 62.5 、 62.5R 六个强度等级，其中早强型用 R 表示，各等级、各龄期的强度值不得低于表3-2中数值。

由于水泥的强度会随着放置时间的延长而降低，所以为了保证水泥在工程中的使用质量，

生产厂家在控制出厂水泥 28 d 强度时,均留有一定的富余强度。通常富余系数为 1.06 ~ 1.18。

表 3-2 硅酸盐水泥各等级、各龄期的强度值(GB 175—2007)

品 种	强度等级	抗压强度/MPa, ≥		抗折强度/MPa, ≥	
		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	42.5	4.0	6.5
	52.5	23.0	52.5	4.0	7.0
	52.5R	27.0	52.5	5.0	7.0
	62.5	28.0	62.5	5.0	8.0
	62.5R	32.0	62.5	5.5	8.0

6. 水化热

水泥与水发生水化反应所放出的热量称为水化热,通常用 J/kg 表示。水化热的大小主要是与水泥的细度及矿物组成有关。颗粒愈细,水化热愈大;矿物中 C_3A 、 C_3S 含量愈多,水化放热愈高。大部分的水化热会集中在早期放出,3 ~ 7 d 以后逐步减少。

水化热在混凝土工程中,既有有利的因素,也有不利的影响。高水化热的水泥在大体积混凝土工程中是十分不利的(如大坝、大型基础、桥墩等),这是由于水泥在水化时释放的热量积聚在混凝土内部,且散发非常缓慢,使得混凝土表面与内部的温差过大而产生温差应力,致使混凝土受拉而开裂破坏,因此在大体积的混凝土工程中,应选择低热水泥。而混凝土冬季施工时,水化热有利于水泥的凝结、硬化和防止混凝土受冻。

7. 密度与堆积密度

硅酸盐水泥的密度一般为 $3.1 \sim 3.2 \text{ g/cm}^3$ 。水泥在松散状态时的堆积密度一般为 $900 \sim 1300 \text{ kg/m}^3$ 。紧密堆积状态时可达 $1400 \sim 1700 \text{ kg/m}^3$ 。在混凝土配合比设计中,通常取水泥的密度为 3.1 g/cm^3 ,堆积密度为 1300 kg/m^3 。

GB 175—2007 除对上述内容做了规定外,还对不溶物、烧失量、碱含量等提出了要求。Ⅰ型硅酸盐水泥中的不溶物含量 $\leq 0.75\%$,烧失量 $\leq 3.0\%$;Ⅱ型硅酸盐水泥中不溶物的含量 $\leq 1.5\%$,烧失量 $\leq 3.5\%$ 。氯离子含量 $\leq 0.06\%$ 。水泥中的碱含量按 $w(\text{Na}_2\text{O}) + 0.658w(\text{K}_2\text{O})$ 计算值来表示,若使用活性骨料,水泥中的碱含量 $\leq 0.60\%$ 或由买卖双方协商确定。

3.1.5 水泥石的腐蚀与防止

硅酸盐水泥硬化后,在正常使用的条件下,水泥石强度会不断增长,具有较好的耐久性。但水泥石长期处在侵蚀性介质中(如流动的淡水、酸液或盐类溶液、强碱等)时,会逐渐受到侵蚀而变得疏松,强度下降,甚至破坏,这种现象称为水泥石的腐蚀。水泥石的腐蚀主要有以下四种类型。

1. 软水侵蚀(溶出性侵蚀)

当水泥石长期与冷凝水、雪水、蒸馏水等含重碳酸盐很少的软水接触时,水泥石中的氢氧化钙就会被溶出,在静水及无压水的情况下,氢氧化钙很快会处于饱和溶液中,使溶解作



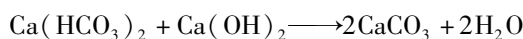
微课7: 水泥的腐蚀



水泥石的腐蚀

用中止,此时溶出仅限于表层,危害不大,但在流动水及压力水的作用下,氢氧化钙会不断溶解、流失,其结果一方面是水泥变得疏松,另一方面也会使水泥石的碱度降低,导致其他水化物的分解溶蚀,最终使水泥石被破坏。

当环境水中含有重碳酸盐 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 时,重碳酸盐与水泥石中的氢氧化钙起反应,生成几乎不溶于水的碳酸钙。生成的碳酸钙会积聚在水泥石的空隙中,形成致密的保护层,阻止外界水的侵入和内部氢氧化钙的扩散析出:

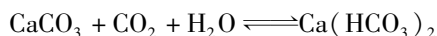
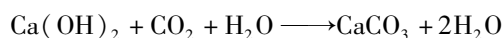


因此,预先将与软水接触的混凝土构件在空气中放置一段时间,使水泥石中的氢氧化钙在空气中的 CO_2 和水作用下形成碳酸钙外壳,则可减轻溶出性侵蚀。

2. 酸性侵蚀

1) 碳酸的侵蚀

地下水及某些工业废水中常溶解有较多的 CO_2 , 这种水对水泥石有侵蚀作用:

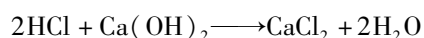


上述第二个反应式是一个可逆反应,若水中含有较多的碳酸,超过平衡浓度时,上式向右进行,水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 经过上述两个反应式转变为 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 而溶解,进一步导致其他水泥水化产物分解和溶解,使水泥石的结构破坏;若水中碳酸含量不高,低于平衡浓度时,则反应进行到第一个反应式为止,对水泥石并不会起破坏作用。

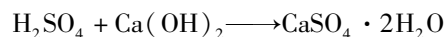
2) 一般酸的侵蚀

在工业污水和地下水中常含有无机酸(HCl 、 H_2SO_4 、 HPO_3 等)和有机酸(醋酸、蚁酸等),各种酸对水泥都有不同程度的腐蚀作用,它们在与水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作用后生成的化合物或溶于水或体积膨胀而导致水泥石破坏。

例如:盐酸与水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作用会生成极易溶于水的氯化钙,导致溶出性化学腐蚀:



硫酸与水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作用,生成的二水石膏会在水泥石孔隙中结晶造成体积膨胀,还可以再与水泥石中的水化铝酸钙作用,生成高硫型水化硫铝酸钙,体积将膨胀约 1.5 倍,破坏作用更大。由于高硫型水化硫铝酸钙呈针状晶体,所以又俗称“水泥杆菌”。



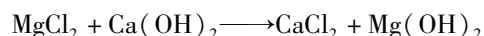
3. 盐类的腐蚀

1) 硫酸盐的腐蚀

在海水、地下水以及工业污水中,常含有硫酸钠、硫酸钾等硫酸盐,对于水泥石的腐蚀与硫酸的腐蚀相同。

2) 镁盐的腐蚀

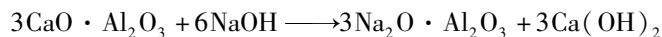
海水及地下水中常常含有氯化镁、硫酸镁等镁盐,它们可以与水泥石中的氢氧化钙起置换反应生成易溶于水的氯化钙和松软无胶结能力的氢氧化镁,而硫酸镁对于水泥石的腐蚀则具有镁盐和硫酸盐的双重腐蚀作用。



4. 强碱腐蚀

碱类溶液若浓度不大时一般无害。但是铝酸盐含量较高的硅酸盐水泥遇到强碱(如氢氧

化钠)作用后会被腐蚀破坏。氢氧化钠与水泥熟料中未水化的铝酸盐作用时,会生成易溶的铝酸钠,出现溶出性腐蚀:



另外,当水泥石被氢氧化钠溶液浸透后,又在空气中干燥,会与空气中的二氧化碳作用生成碳酸钠,碳酸钠会在水泥石毛细孔中结晶沉积,可使水泥石胀裂。

综合上述,水泥石破坏有三种表现形式:一是溶解型侵蚀,主要是使水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶解从而水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 浓度降低,进而引起其他水化产物的溶解;二是离子交换反应型侵蚀,侵蚀性介质与水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生离子交换反应,生成易溶解或没有胶结能力的产物,进而破坏水泥石原有的结构;三是膨胀型侵蚀,水泥石中的水化铝酸钙会与硫酸盐作用形成膨胀性结晶产物,产生有害的内应力,从而引起膨胀性破坏。

水泥石的腐蚀是内外因并存的。内因是水泥石中存在有能引起腐蚀的组分 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和水化铝酸钙,且水泥石本身的结构不密实,有很多毛细管通道;外因是在水泥石周围存在以液相形式存在的侵蚀性介质。

除上述四种腐蚀类型外,对水泥石有着腐蚀作用的还有其他一些物质,如糖、酒精、动物脂肪等。水泥石的腐蚀是一个极其复杂的物理化学过程,很少是单一类型的腐蚀,往往是几种类型的腐蚀作用同时存在,相互影响,共同作用。

5. 水泥石腐蚀的防治措施

(1) 根据侵蚀性介质选择合适的水泥品种

如果采用水化产物中氢氧化钙含量少的水泥,可提高对软水等侵蚀的抵抗能力;选择混合材料掺入量较大的水泥可提高抗各类腐蚀(除抗碳化外)的能力。

(2) 提高水泥的密实度,降低孔隙率

硅酸盐水泥的理论水灰比为 0.22 左右,而实际施工中水灰比常为 0.40~0.70,多余的水分会在水泥石内部形成连通的空隙,侵蚀介质就容易渗入水泥石内部,从而加速水泥石的腐蚀。在实际工程中,可通过降低水灰比、仔细选择骨料、掺外加剂、改善施工方法等措施,来提高水泥石的密实度,降低孔隙率,以提高水泥石的抗腐蚀性能。

(3) 加保护层

用一些耐腐蚀的材料,如石料、陶瓷、塑料、沥青等覆盖于水泥石的表面,防止侵蚀性介质与水泥石的直接接触,以达到抗侵蚀的目的。

3.1.6 硅酸盐水泥的应用

1. 硅酸盐水泥的性质

(1) 快凝快硬高强。与硅酸盐系列其他品种的水泥相比,硅酸盐水泥的凝结硬化快、早期强度(3 d)高。

(2) 抗冻性好。由于硅酸盐水泥未掺或掺入很少量的混合材料,密实度高,抗冻性好。

(3) 抗腐蚀性差。硅酸盐水泥水化产物中有较多的氢氧化钙和水化铝酸钙,所以耐软水及化学腐蚀的能力差。

(4) 抗碳化能力强。硅酸盐水泥密实且碱度高,空气中的二氧化碳难渗入水泥石内部与氢氧化钙发生反应生成碳酸钙,钢筋混凝土中的钢筋在强碱环境下表面会形成一层坚韧致密的钝化膜,保护钢筋免受锈蚀。

(5)水化热大。硅酸盐水泥中含有大量的 C_3A 和 C_3S , 在水泥水化时, 放热速度快而且放热量大。

(6)耐热性差。硅酸盐水泥中的一些水化产物在 250°C 温度时就会发生脱水或分解, 使水泥石的强度下降; 当受热 700°C 以上时, 甚至会完全破坏。

(7)耐磨性好。硅酸盐水泥的强度高, 耐磨性好。

2. 硅酸盐水泥的应用

(1)适用于早期强度要求高的工程以及冬季施工的工程。

(2)适用于重要结构的高强混凝土和预应力混凝土工程。

(3)适用于严寒地区, 遭受反复冻融的工程以及干湿交替的部位。

(4)不能用于大体积混凝土工程。

(5)不能用于高温环境的工程。

(6)不能用于有海水和侵蚀性介质存在的工程。

(7)不适宜需要蒸汽或蒸压养护的混凝土工程。



微课8: 水泥混合材料

3.2 掺混合材料的硅酸盐水泥

凡在硅酸盐水泥熟料和适量石膏的基础上, 掺入一定量的混合材料共同磨细制成的水硬性胶凝材料, 均属于掺混合材料的硅酸盐水泥。掺混合材料的目的是为了要调整水泥强度等级, 改善水泥的某一些性能, 增加水泥品种, 扩大适用范围, 降低水泥的成本和提高产量, 并且充分利用工业废料。

3.2.1 水泥混合材料

水泥混合材料, 根据其是否参与了水化反应分为活性混合材料和非活性混合材料。

1. 活性混合材料

活性混合材料是指具有潜在活性的矿物材料。所谓潜在活性是指单独不具有水硬性, 但在石灰或石膏的激发与参与下, 可以一起和水反应, 生成水硬性化合物的性能。硅酸盐水泥熟料水化后将会产生大量的氢氧化钙, 并且在水泥中需掺入适量的石膏, 因此在硅酸盐水泥中具备了能使活性混合材料发挥潜在活性的条件。通常将氢氧化钙、石膏称为活性混合材料的“激发剂”, 分别称为碱性激发剂和硫酸盐激发剂, 硫酸盐激发剂必须在有碱性激发剂条件下才能发挥作用。

水泥中常用的活性混合材料有: 粒化高炉矿渣、火山灰质混合材料及粉煤灰。

(1) 粒化高炉矿渣

将炼铁高炉中的熔融矿渣经水淬等急冷方式处理而成的松软颗粒称之为粒化高炉矿渣, 又称水淬矿渣, 其中主要的化学成分是 CaO 、 SiO_2 和 Al_2O_3 , 占 90% 以上。急速冷却的矿渣结构为一种不稳定的玻璃体, 具有较高的潜在活性。如果熔融状态的矿渣缓慢冷却, 其中的 SiO_2 等将会形成晶体, 活性极小, 称为慢冷矿渣, 不具有活性。

(2) 火山灰质混合材料

凡是天然或人工的以活性 SiO_2 和活性 Al_2O_3 为主要成分, 且其含量一般可达到 65% ~ 95%, 具有火山灰活性的矿物材料, 都称为火山灰质混合材料。天然火山灰主要是在火山喷



活性混合材料

发时随同熔岩一起喷发的大量碎屑沉积在地面或水中的松软物质,包括浮石、火山灰、凝灰岩,等等。人工火山灰是将一些天然材料或是工业废料经加工处理而成,如硅藻土、沸石、烧黏土、煤矸石、煤渣,等等。

(3) 粉煤灰

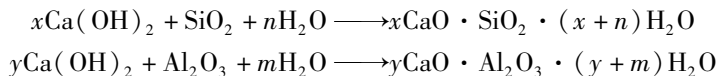
粉煤灰是火力发电厂燃煤锅炉排出的细颗粒废渣,其颗粒的直径一般为 $1 \sim 50 \mu\text{m}$,呈玻璃态实心或者空心的球状颗粒,表面比较致密,粉煤灰的成分主要为活性 SiO_2 、活性 Al_2O_3 和活性 Fe_2O_3 ,以及一定量的 CaO ,根据 CaO 的含量可以分为低钙粉煤灰(CaO 含量低于 10%)和高钙粉煤灰。高钙粉煤灰通常活性较高,因为所含的钙绝大多数是以活性结晶化合物的形式存在的,如 C_3A 、 CS ,此外,其所含的钙离子使得铝硅玻璃体的活性得到增强。

2. 非活性混合材料

在水泥中主要是起填充作用而不参与水泥水化反应或水化反应很微弱的矿物材料,称为非活性混合材料。将它们掺入水泥中的目的,主要是为了提高水泥的产量,调节水泥的强度等级,减小水化热等作用,所以又称为填充性混合材料、惰性混合材料。磨细的石英砂、石灰石、黏土、慢冷矿渣及各种废渣等都属于非活性材料。

3. 掺活性混合材料的硅酸盐水泥的水化特点

掺入活性混合材料的硅酸盐水泥在与水拌和后,首先是水泥熟料的水化,水化反应生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作为活性“激发剂”,并与活性混合材料中的活性 SiO_2 和活性 Al_2O_3 反应,即“二次水化反应”,生成具有水硬性的水化硅酸钙和水化铝酸钙,其反应式如下:



当有石膏存在的时候,石膏可与上述反应生成的水化铝酸钙进一步反应生成水硬性的低钙型水化硫铝酸钙。

与熟料的水化相比,“二次水化反应”具有的特点是:速度慢、水化热小,对温度和湿度较敏感。

3.2.2 普通硅酸盐水泥

1. 定义

凡由硅酸盐水泥熟料、活性混合材料(掺加量 $> 5\%$,且 $\leq 20\%$)(其中允许用不超过水泥质量 8% 的非活性混合材料或不超过水泥质量 5% 的窑灰),适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称之为普通硅酸盐水泥(简称普通水泥),代号 $\text{P} \cdot \text{O}$ 。

2. 技术要求

国家标准 GB 175—2007 对普通硅酸盐水泥的技术要求如下:

- (1) 细度。普通硅酸盐水泥的比表面积应不小于 $300 \text{ m}^2/\text{kg}$ 。
- (2) 凝结时间。初凝时间不得早于 45 min,终凝时间不得迟于 600 min。
- (3) 强度与强度等级。根据 3 d 和 28 d 龄期的抗折抗压强度,将普通硅酸盐水泥划分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R 共四个强度等级。各个强度等级的水泥各龄期强度不得低于国家标准规定的数值(见表 3-3)。

普通水泥的体积安定性、氧化镁含量、三氧化硫含量等技术要求与硅酸盐水泥相同。



微课9: 掺混合材料的硅酸盐水泥

表 3-3 普通硅酸盐水泥各等级、各龄期的强度值 (GB 175—2007)

品 种	强度等级	抗压强度/MPa, $\geq$		抗折强度/MPa, $\geq$	
		3 d	28 d	3 d	28 d
普通硅酸盐水泥	42.5	17.0	42.5	3.5	6.5
	42.5R	22.0	42.5	4.0	6.5
	52.5	23.0	52.5	4.0	7.0
	52.5R	27.0	52.5	5.0	7.0

3. 普通硅酸盐水泥的主要性能及应用

普通硅酸盐水泥中绝大部分仍然为硅酸盐水泥熟料,其性质与硅酸盐水泥相近,但由于掺加少量混合材料,与硅酸盐水泥相比,早期强度略低,水化热略低,耐腐蚀性略有提高,耐热性能稍好,抗冻性、耐磨性、抗碳化性略有降低。

在应用范围方面,与硅酸盐水泥是基本相同的,甚至在一些不能用硅酸盐水泥的地方也可以采用普通水泥,使得普通水泥成为了建筑行业应用面最广、使用量最大的水泥品种。

3.2.3 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

1. 定义

凡是由硅酸盐水泥熟料和粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为矿渣硅酸盐水泥(简称矿渣水泥),代号 P·S。水泥中粒化高炉矿渣掺量(质量百分比) $>20\%$ 且 $\leq 70\%$, 并分为 A 型和 B 型。A 型矿渣掺量 $>20\%$ 且 $\leq 50\%$, 代号为 P·S·A; B 型矿渣掺量 $>50\%$ 且 $\leq 70\%$, 代号为 P·S·B。

凡是由硅酸盐水泥熟料和火山灰质混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为火山灰质硅酸盐水泥(简称火山灰水泥),代号 P·P。水泥中火山灰质混合材料掺量(质量百分比) $>20\%$ 且 $\leq 40\%$ 。

凡是由硅酸盐水泥熟料和粉煤灰、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为粉煤灰硅酸盐水泥(简称粉煤灰水泥),代号 P·F。水泥中粉煤灰掺入量(质量百分比) $>20\%$ 且 $\leq 40\%$ 。

2. 技术要求

(1) 细度、凝结时间、体积安定性

国家标准 GB 175—2007 中规定,这三种水泥细度以筛余表示, $80\ \mu\text{m}$ 方孔筛筛余不大于 10% 或 $45\ \mu\text{m}$ 方孔筛筛余不大于 30% ; 初凝时间不得早于 $45\ \text{min}$, 终凝时间不得迟于 $600\ \text{min}$; 沸煮法安定性必须合格。

(2) 氧化镁、三氧化硫含量

氧化镁含量 $\leq 6.0\%$, 如果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。

矿渣水泥中的 SO_3 含量 $\leq 4.0\%$; 火山灰水泥和粉煤灰水泥中 SO_3 的含量 $\leq 3.5\%$ 。

(3) 强度等级

这三种水泥的强度等级可按 3 d、28 d 的抗压强度和抗折强度来划分为 32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R 六个等级, 各强度等级水泥的各龄期强度不得低于表 3-4 中的数值。

表 3-4 矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥的强度指标

强度等级	抗压强度/MPa, ≥		抗折强度/MPa, ≥		强度等级	抗压强度/MPa, ≥		抗折强度/MPa, ≥	
	3 d	28 d	3 d	28 d		3 d	28 d	3 d	28 d
32.5	10.0	32.5	2.5	5.5	42.5R	19.0	42.5	4.0	6.5
32.5R	15.0	32.5	3.5	5.5	52.5	21.0	52.5	4.0	7.0
42.5	15.0	42.5	3.5	6.5	52.5R	23.0	52.5	4.5	7.0

3. 性质与应用

矿渣水泥、火山灰水泥及粉煤灰水泥都是在硅酸盐水泥熟料的基础上加入了大量活性混合材料再加适量石膏磨细而制成，所加入的活性混合材料在化学组成与化学活性上基本相同，因而存在有很多共性；但每种活性混合材料自身又有性质与特征的差异，使得这三种水泥有各自的特征。

三种水泥的共性如下：

(1) 凝结硬化慢，早期强度低，后期强度发展较快

由于三种水泥中熟料含量少，二次水化反应又较慢，因此早期强度低，但是后期由于二次水化反应的不断进行及熟料的继续水化，水化产物的不断增多，使得水泥强度发展较快，后期强度可赶上甚至于超过同强度等级的硅酸盐水泥及普通硅酸盐水泥。

(2) 抗软水、抗腐蚀能力强

由于水泥中熟料少，因此在水化中生成的氢氧化钙及水化铝酸三钙含量少，加之二次水化反应还要消耗一部分氢氧化钙，因此使得水泥抵抗软水、海水及硫酸盐腐蚀的能力增强，可适用于水工、海港工程及受侵蚀作用的工程。

(3) 水化热低

由于水泥中熟料少，即水化中放热量高的 C_3A 、 C_3S 含量相对减少，而且“二次水化反应”的速度慢、水化热较低，使得水化放热量少且较慢，因此可适用于大体积混凝土工程。

(4) 湿热敏感性强，适宜蒸汽养护

这三种水泥在低温下水化反应明显减慢，强度较低，采用高温养护可以加速熟料的水化，并大大加快活性混合材料的水化反应速度，大幅度地提高早期强度，并且不影响后期强度的发展，所以这三种水泥适合于蒸汽养护。与此相比，普通水泥、硅酸盐水泥在蒸汽下的养护，虽然早期强度可提高，但后期强度的发展却受到影响，比一直在常温下养护的强度低。主要原因就是硅酸盐水泥、普通水泥的熟料含量高，熟料在蒸汽下水化反应速度较快，短时间内生成大量的水化产物，这些水化产物对与未水化的水泥颗粒的后期水化起阻碍作用，因此硅酸盐水泥、普通水泥并不适合于蒸汽养护。

(5) 抗碳化能力低

由于这三种水泥的水化产物中的氢氧化钙含量少，碱度低，使碳化作用进行较快而且碳化深度也较大，抗碳化的能力差，其中更是以矿渣水泥最为明显，当碳化深度达到钢筋表面时，就会导致钢筋锈蚀，最后使混凝土产生裂缝。

(6) 抗冻性差、耐磨性差

由于加入了较多的混合材料，使得水泥的需水量增加，水分蒸发后容易形成毛细管通路

或粗大孔隙，水泥石的孔隙率过大，导致抗冻性差和耐磨性差。

三种水泥各自的特征如下：

(1) 矿渣水泥

①耐热性强。矿渣水泥中的矿渣含量大，硬化后的氢氧化钙含量少，且矿渣本身又是高温形成的耐火材料，故矿渣水泥的耐热性较好，适用于高温车间、高炉基础以及热气体通道等耐热工程。

②保水性差、泌水性大、干缩性大。粒化高炉矿渣难于磨得很细，再加上矿渣玻璃体亲水性差，且在拌制混凝土时泌水性大，容易形成毛细管道和粗大孔隙，在空气中硬化时容易产生干缩。

(2) 火山灰水泥

①保水性好、抗渗性好。火山灰混合材料中含有大量的微细孔隙，使其具有良好的保水性，并且在水化过程中形成大量的水化硅酸钙凝胶，使得火山灰水泥的水泥石结构密实，从而具有较高的抗渗性。

②干燥收缩大、干燥环境中表面易“起毛”。火山灰水泥水化产物含有大量胶体，长期处于干燥环境时，胶体就会脱水产生严重的收缩，表面易“起毛”，导致干缩裂缝。所以不适用于长期处于干燥环境和有耐磨要求的混凝土工程。

(3) 粉煤灰水泥

①干缩性小、抗裂性高。粉煤灰呈球形颗粒，它比表面积小，吸附水的能力小，因此这种水泥的干缩性小，抗裂性高，但是致密的球形颗粒，保水性差，易泌水。

②早期强度低、水化热低。粉煤灰由于其内比表面积小，不易水化，所以活性主要是在后期发挥。因此，粉煤灰水泥的早期强度、水化热比矿渣水泥和火山灰水泥还要低，特别适用于大体积的混凝土工程。

3.2.4 复合硅酸盐水泥

凡是由硅酸盐水泥熟料、两种或两种以上规定的混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为复合硅酸盐水泥(简称复合水泥，代号 P·C)。水泥中混合材料总掺入量按质量百分比计应 $>20\%$ 且 $\leq 50\%$ ，水泥中允许用不超过 8% 的窑灰代替部分混合材料；掺矿渣时混合材料掺入量不得与矿渣硅酸盐水泥重复。

国家标准 GB 1175—2007 的规定，复合水泥有五个强度等级：32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R。对复合硅酸盐水泥的技术要求：氧化镁含量、细度、凝结时间、安定性、强度等级等指标同矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥。其 SO_3 含量 $\leq 3.5\%$ 。

复合水泥与矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥相比，是多种混合材料互掺，可以弥补一种混合材料性能的不足，明显改善水泥的性能，让使用范围更广。复合水泥的特征取决于所掺混合材料的种类、掺量及相对比例，因此，使用复合水泥时，应弄清楚水泥中主要混合材料的品种。国家标准规定，复合水泥包装袋上应标明主要混合材料的名称。

3.2.5 通用水泥的主要特点及适用范围

以上所介绍的硅酸盐系列六大品种水泥的组成、性质及适用范围见表 3-5。

表 3-5 六种常见水泥的组成、性质及应用的异同点

项 目	硅酸盐水泥 P·I、P·II	普通水泥 P·O	矿渣水泥 P·S	火山灰水泥 P·P	粉煤灰水泥 P·F	复合水泥 P·C
组 成	硅酸盐水泥熟料、适量石膏、不加或加入很少(0~5%)的混合材料	硅酸盐水泥熟料、适量石膏、加入少量(>5%且≤20%)的混合材料	硅酸盐水泥熟料、适量石膏、加入>20%且≤70%的粒化高炉矿渣	硅酸盐水泥熟料、适量石膏、加入>20%且≤40%的火山灰质混合材料	硅酸盐水泥熟料、适量石膏、加入>20%且≤40%的粉煤灰	硅酸盐水泥熟料、适量石膏、加入>20%且≤50%的两种或两种以上的混合材料
性 质	强度(早期、后期)高、抗碳化性好、水化热大、耐腐蚀性差、耐热性差、耐磨性好、抗冻性好	早期强度稍低、后期强度高、抗碳化性较好、水化热略小、耐腐蚀性稍差、耐热性稍差、耐磨性较好、抗冻性好	共性: ①早期强度低、后期强度高; ②水化热小; ③耐腐蚀性好; ④抗冻性差; ⑤抗碳化性差; ⑥对温度和湿度敏感, 适合湿热养护			
			泌水性大、抗渗性差、耐热性好、干缩性较大	保水性好、抗渗性好、干缩性大、耐磨性差	泌水性大且快、抗渗性差、干缩性小、抗裂性好、耐磨性差	早期强度较前三种水泥稍高、干缩较大
应 用	优先使用	早期强度要求较高的混凝土、严寒地区有抗冻性要求的混凝土、抗碳化要求较高的混凝土、掺大量混合材料的混凝土、有耐磨性要求的混凝土	水下混凝土、海港混凝土、大体积混凝土、耐腐蚀性要求较高的混凝土、湿热养护混凝土			
		高强度混凝土	普通气候及干燥环境中的混凝土	有耐热性要求的混凝土	有抗渗性要求的混凝土	受荷载较晚的混凝土
	可以使用	一般工程	高强度混凝土、水下混凝土、耐热混凝土、湿热养护混凝土	普通气候环境下的混凝土	有耐磨性要求的混凝土	
		不宜或不得使用	大体积混凝土、耐腐蚀性要求较高的混凝土	早期强度要求较高的混凝土、低温或冬季施工混凝土、抗冻性要求较高的混凝土、抗碳化要求较高的混凝土		
			耐热混凝土、湿热养护混凝土	抗渗性要求高的混凝土	干燥环境中的、有耐磨要求的混凝土	干燥环境中的、有耐磨要求的混凝土、有抗渗要求的混凝土



其他品种水泥应用

3.3 其他品种水泥

3.3.1 快硬硅酸盐水泥

1. 定义

凡是以硅酸盐水泥熟料和适量石膏磨细制成的，以 3 d 抗压强度表示等级的水硬性胶凝材料，称之为快硬硅酸盐水泥，简称快硬水泥。

快硬硅酸盐水泥制造过程与硅酸盐水泥基本相同，只是适当增加了熟料中硬化快的矿物的含量，如硅酸三钙为 50% ~ 60%，铝酸三钙为 8% ~ 14%，铝酸三钙和硅酸三钙的总量应不得少于 60% ~ 65%。

2. 技术要求

- (1) 细度。0.08 mm 方孔筛筛余不得超过 10%。
- (2) 凝结时间。初凝时间不得早于 45 min，终凝时间不得迟于 600 min。
- (3) 体积安定性。用沸水法检验必须合格。
- (4) 强度。分为 32.5、37.5、42.5 三个强度等级，各龄期强度不得低于表 3-6 中的数值。

表 3-6 快硬水泥各龄期强度值

强度等级	抗压强度/MPa, $\geq$			抗折强度/MPa, $\geq$		
	1 d	3 d	28 d	1 d	3 d	28 d
32.5	15.0	32.5	52.5	3.5	5.0	7.2
37.5	17.0	37.5	57.5	4.0	6.0	7.6
42.5	19.0	42.5	62.5	4.5	6.4	8.0

3. 性质

- (1) 凝结硬化快，但是干缩性较大。
- (2) 早期强度以及后期强度均高，抗冻性好。
- (3) 水化热大，且耐腐蚀性差。

4. 应用

主要是用于配制早强、高标号混凝土，适用于紧急抢修工程、冬季施工和高标号混凝土预制构件。但不能用于大体积混凝土工程以及经常与腐蚀介质接触的混凝土工程。此外，由于快硬硅酸盐水泥细度大，容易受潮变质，所以在运输和储存中应注意防潮，一般存储期不宜超过一个月，已风化的水泥必须对其性能进行重新检验，合格后方可使用。

3.3.2 白色硅酸盐水泥及彩色硅酸盐水泥

1. 白色硅酸盐水泥

由氧化铁含量少的硅酸盐水泥熟料、适量石膏及规定的混合材料，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，代号为 P · W。

硅酸盐系列水泥的颜色通常呈灰色，主要是因为其中含有较多的氧化铁及其他杂质所致。白水泥的生产工艺与硅酸盐水泥基本相同，关键是要严格控制水泥原料的铁含量，严防在生产过程中混入铁质(以及锰、铬等氧化物)。

(1) 白色水泥的技术性质

国家标准《白色硅酸盐水泥》(GB/T 2015—2017)的规定，白水泥的细度要求 45 μm 的方孔筛筛余不得大于 30%；初凝时间不得早于 45 min，终凝时间不得迟于 600 min；体积安定性用沸水法检验必须合格；氧化镁的含量不得超过 5.0%；按照白度分为 1 级和 2 级，代号分别为 P · W - 1 和 P · W - 2，1 级白度不小于 89，2 级白度不小于 87。白色水泥按 3 d、28 d 的强度值可划分为 32.5、42.5、和 52.5 三个等级，各等级、各龄期的强度不得低于表 3 - 7 中的数值。

表 3 - 7 白色硅酸盐水泥的强度要求 (GB/T 2015—2017)

强度等级	抗压强度/MPa, ≥		抗折强度/MPa, ≥	
	3 d	28 d	3 d	28 d
32.5	12.0	32.5	3.0	6.0
42.5	17.0	42.5	3.5	6.5
52.5	22.0	52.5	4.0	7.0

(2) 应用

白水泥具备有强度高、色泽洁白等特点，在建筑装饰工程中常常用来配制彩色水泥浆，可用于建筑物内、外墙的粉刷及天棚、柱子的粉刷，还可用于贴面装饰材料的勾缝处理；配制各种色彩砂浆从而用于装饰抹灰，如常用的水刷石、斩假石等，模仿天然石材的色彩、质感，具有较好的装饰效果；配制彩色混凝土，制作彩色水磨石等。

(3) 白水泥在应用中的注意事项

在制备混凝土时粗细骨料宜采用白色或是彩色的大理石、石灰石、石英砂和各种颜色的石屑，不能掺和其他杂质，以免影响其白度及色彩。

白水泥的施工和养护方法与普通硅酸盐水泥相同，但施工时底层以及搅拌工具必须清洗干净，以免影响了白水泥的装饰效果。

2. 彩色硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料及适量石膏(或白色硅酸盐水泥)、混合料及着色剂磨细或混合制成的带有色彩的水硬性胶凝材料称为彩色硅酸盐水泥。基本色有红色、黄色、蓝色、绿色、棕色和黑色等。

(1) 彩色硅酸盐水泥的技术性质

三氧化硫的含量不得超过 4.0%；80 μm 方孔筛筛余不得超过 6.0%；初凝时间不得早于 60 min，终凝时间不得迟于 600 min；安定性用沸煮法检验必须合格；按 3 d、28 d 的强度值将彩色硅酸盐水泥划分为 27.5、32.5 和 42.5 三个等级，各等级、各龄期的强度不得低于表 3 - 8 中的数值。

表 3-8 彩色硅酸盐水泥的强度要求 (JC/T870—2012)

强度等级	抗压强度/MPa, $\geq$		抗折强度/MPa, $\geq$	
	3 d	28 d	3 d	28 d
27.5	7.5	27.5	2.0	5.0
32.5	10.0	32.5	2.5	5.5
42.5	15.0	42.5	3.5	6.5

(2)应用

彩色硅酸盐水泥主要用于建筑装饰面材料,如地面、楼面、顶棚、楼梯、柱子及台阶等,可做成彩色水泥浆、混凝土、水磨石、水刷石和人行、车行铺地砖等饰面块,也可用于雕塑及装饰制品,以及作为瓷砖黏结嵌缝材料等。

3.3.3 膨胀水泥

一般的硅酸盐水泥在空气中凝结硬化时,体积会发生收缩,收缩将会使混凝土内部产生微裂缝,影响混凝土的强度及耐久性。

膨胀水泥在硬化的过程中会产生一定体积的膨胀,由于这一过程发生在浆体完全硬化之前,故能使水泥石结构密实而不致破坏。膨胀水泥根据膨胀率大小和用途不同,可以分为膨胀水泥(自应力 <2.0 MPa)和自应力水泥(自应力 ≥ 2.0 MPa)。膨胀水泥用于补偿一般硅酸盐水泥在硬化过程中所产生的体积收缩,有微小膨胀;自应力水泥实质上是一种依靠于水泥本身膨胀而产生预应力的水泥。配制钢筋混凝土时,钢筋会因混凝土膨胀受到一定拉应力而伸长,同时钢筋约束了水泥膨胀而使得混凝土承受预压应力,这种压应力能使其免于产生内部微裂缝,当其值较大时,还能抵消一部分因外界因素所产生的拉应力,进而有效地改善混凝土抗压强度低的缺陷。

低热微膨胀水泥是以粒化高炉矿渣为主要成分,加入适量硅酸盐水泥熟料和石膏,磨细制成的具有低水化热和微膨胀性能的水硬性胶凝材料。代号为 LHEC。

国家标准《低热微膨胀水泥》(GB 2938—2008)规定:三氧化硫含量为 $4.0\% \sim 7.0\%$;比表面积不得小于 $300 \text{ m}^2/\text{kg}$;初凝时间不得早于 45 min ,终凝时间不得迟于 12 h ;体积安定性用沸煮法检验必须合格;强度等级为 32.5 ,各龄期强度值和水化热应满足表 3-9 中的要求;线膨胀系数, 1 d 不得小于 0.05% , 7 d 不得小于 0.10% , 28 d 不得大于 0.60% ;氯离子含量不得小于 0.06% 。

表 3-9 低热微膨胀水泥强度及水化热要求

标号	抗折强度/MPa, $\geq$		抗压强度/MPa, $\geq$		水化热/($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$), $\leq$	
	7 d	28 d	7 d	28 d	3 d	7 d
32.5	5.0	7.0	18.0	32.5	185	220

膨胀水泥在约束变形条件下所形成的水泥石结构致密，具有良好的抗渗性、抗冻性和抗裂性。主要用于补偿收缩混凝土结构工程（混凝土结构的后浇带、管道的接头等），配制防水砂浆和防水混凝土，结构的加固与修补，浇注机器底座和固结地脚螺栓等。

3.3.4 中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥

中热硅酸盐水泥，简称中热水泥，是以适当成分的硅酸盐水泥熟料，加入适量石膏，经过磨细制成的具有中等水化热的水硬性胶凝材料，代号 P · MH。

低热硅酸盐水泥，简称低热水泥，是以适当成分的硅酸盐水泥熟料，加入适量石膏，经过磨细制成的具有低水化热的水硬性胶凝材料，代号 P · LH。

低热水泥和中热水泥主要是通过限制水化热较高的 C₃A 和 C₃S 含量来得以实现。根据现行规范《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》(GB 200—2017)，其具体要求如下。

中热水泥熟料：C₃S 的含量 ≤ 55%，C₃A 的含量 ≤ 6%，游离 CaO 的含量 ≤ 1.0%。低热水泥熟料：C₂S 的含量 ≥ 40%，C₃A 的含量 ≤ 6%，游离 CaO 的含量 ≤ 1.0%。

中热水泥和低热水泥中 MgO 的含量 ≤ 5.0%；如果水泥经压蒸安定性试验合格，则 MgO 的含量允许放宽到 6.0%。水泥中 SO₃ 含量不得超过 3.5%。

比表面积 ≥ 250 m²/kg，初凝时间不早于 60 min，终凝时间不得迟于 720 min。安定性用沸煮法检验应合格。

中热水泥为 42.5 强度等级；低热水泥为 32.5 和 42.5 强度等级，各龄期强度值详见表 3 - 10。其各龄期水化热不得超过表 3 - 11 的规定。

表 3 - 10 中、低热水泥及低热矿渣水泥各龄期强度值

品种	强度等级	抗压强度/MPa, ≥			抗折强度/MPa, ≥		
		3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
中热水泥	42.5	12.0	22.0	42.5	3.0	4.5	6.5
低热水泥	42.5	—	13.0	42.5	—	3.5	6.5
	32.5	—	10.0	32.5	—	3.0	5.5

低热水泥 90 d 的抗压强度不小于 62.5 MPa。

表 3 - 11 中、低热水泥各龄期水化热值

品种	强度等级	水化热/(kJ · kg ⁻¹), ≤	
		3 d	7 d
中热水泥	42.5	251	293
低热水泥	42.5	230	260
	32.5	197	230

32.5 级低热水泥 28 d 的水化热不大于 290 kJ/kg，42.5 级低热水泥 28 d 的水化热不大于 310 kJ/kg。

中热水泥主要是适用于大坝溢流面或大体积建筑物的面层和水位变化区等部位,以及要求低水化热和较高耐磨性、抗冻性的工程;低热水泥和低热矿渣水泥主要是适用于大坝或大体积混凝土内部及水下等要求低水化热工程。



水泥的取样

3.4 水泥的验收及施工现场管理

水泥作为建筑材料中最重要的材料之一,在工程建设中发挥着巨大的作用。应根据环境条件和工程特点来正确地选择水泥品种,严格对水泥进行验收,加强在施工现场对水泥的管理。

3.4.1 水泥的验收



微课10: 水泥的选用、验收和保管

通用水泥出厂前按品种、同强度等级编号和取样。袋装水泥和散装水泥应分别编号和取样。每一编号为一取样单位。水泥的出厂编号按水泥厂年生产能力规定:200万t以上,不超过4000t为一编号;120万t以上至200万t,不超过2400t为一编号;60万t以上至120万t,不超过1000t为一编号;30万t以上至60万t,不超过600t为一编号;10万t以上至30万t,不超过400t为一编号;10万t以下,不超过200t为一编号。取样应具有代表性,可以连续取,也可从20个以上不同部位取等量样品,总量至少12kg。出厂检验项目为化学指标、凝结时间、安定性和强度。经确认水泥各项技术指标及包装质量符合要求时方可出厂。

1. 品种验收



水泥的品种验收

水泥包装袋上应清楚标明:执行标准、水泥品种、代号、强度等级、生产者名称、生产许可证标志(QS)及编号、出厂编号、包装日期、净含量。包装袋两侧应根据水泥的品种采用不同的颜色印刷水泥名称和强度等级,硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥采用红色,矿渣硅酸盐水泥采用绿色;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采用黑色或蓝色。散装发运时应提交与袋装标志相同内容的卡片。

2. 数量验收

水泥可以袋装或散装,袋装水泥每袋净含量50kg,且不得少于标志质量的99%;随机抽取20袋总质量(含包装袋)不得少于1000kg;散装水泥平均堆积密度为 1450 kg/m^3 ,袋装压实的水泥密度为 1600 kg/m^3 。

3. 交货验收

交货时水泥的质量验收可抽取实物试样以其检验的结果为依据,也可用水泥厂同编号水泥的检验报告为依据。采取何种方法验收由双方商定,并在合同或协议中注明。

以抽取实物试样的检验结果为验收依据时,买卖双方应该在发货前或交货地共同取样和签封,取样数量20kg,缩分为二等份。一份由卖方保存40d,一份由买方按标准规定的项目和方法进行检验。在40d以内,买方检验认为产品质量不符合本标准要求,而卖方又有异议时,则双方应将卖方保存的另一份试样送省级或省级以上国家认可的水泥质量监督检验机构

进行仲裁检验。水泥安定性仲裁检验时,应在取样之日起 10 d 以内完成。

以水泥厂同编号水泥的检验报告为验收依据时,在发货前或交货时买方在同编号水泥中取样,双方共同签封后由卖方保存 90 d,或认可卖方自行取样、签封并保存 90 d 的同编号水泥的封存样。在 90 d 内,买方对水泥质量有疑问时,则买卖双方应将共同认可的试样送省级或省级以上国家认可的水泥质量监督检验机构进行仲裁检验。

根据国家标准规定:凡化学指标、凝结时间、安定性、强度符合标准的为合格品。凡化学指标、凝结时间、安定性、强度中任一项不符合标准的规定为不合格品。

3.4.2 水泥的施工现场管理

水泥在施工现场保管不当时会使水泥因风化而影响水泥正常使用,甚至会导致工程质量事故。

1. 分类储存

水泥在施工现场应按不同生产厂家、不同强度等级、品种和出厂日期分别堆放,并树立标志。水泥库房要经常保持清洁,落地灰应及时清理、收集、灌装,并应另行收存使用。根据使用情况安排好进料和发料衔接,每批之间应留出通道,严格遵守先进先发原则,防止发生长时间不动的死角,并防止混掺使用。水泥应避免与石灰、石膏以及其他易于飞扬的粒状材料同存,以防混杂影响质量。包装如有损坏,应及时更换以避免散失。

2. 防水防潮

水泥运输和储存过程中,容易吸收空气中的水及 CO_2 ,使得水泥受潮而成粒状或块状,受潮后的水泥凝结迟缓、活性降低、强度降低。通常水泥的强度等级越高,细度越细,吸湿受潮也越快。

为了防止水泥受潮,水泥一般应入库存放。水泥仓库应保持干燥,库房地面应高出室外地面 30 cm,离开窗户和墙壁 30 cm 以上。袋装水泥堆垛不宜过高,以免下部水泥受压结块,一般为 10 袋,如存放时间短,库房紧张,也不宜超过 15 袋。袋装水泥露天临时储存时,应选择地势高、排水条件好的场地,并认真做好上盖下垫,用防雨篷盖严,底板垫高,并采取防潮措施,一般可用油毡、油纸或油布铺垫,以防水泥受潮。若使用散装水泥,可用铁皮水泥罐仓,或散装水泥库存放。

3. 储存期不宜过长

在正常的储存条件下,储存 3 个月,强度降低为 10% ~ 25%,储存 6 个月,强度降低为 25% ~ 40%。因此规定,通用水泥储存期为 3 个月,出厂后超过 3 个月未用的水泥,要及时抽样检查,经检验后按重新确定的强度等级使用。

4. 受潮水泥处理

受潮水泥处理参见表 3-12。



水泥的储存与保管

表 3-12 受潮水泥的处理

受潮程度	状况	处理方法	使用方法
轻微	有松块、可以用手捏成粉末，无硬块	将松块、小球等压成粉末，同时加强搅拌	经试验按实际强度使用
较重	部分结成硬块	筛除硬块，并将松块压碎	经试验按实际强度使用，用于不重要的、受力小的部位，或用于砌筑砂浆
严重	呈硬块状	将硬块压成粉末，换取 25% 硬块重量的新鲜水泥作强度试验	同上。严重受潮的水泥只可作掺和料或骨料

3.5 水泥性能的检测



水泥的细度检验

3.5.1 水泥细度的检测

1. 试验目的

通过试验来检验水泥的粗细程度，作为评定水泥质量的依据之一；掌握《水泥细度检验方法》(GB/T 1345—2005)的测试方法，正确使用所用仪器与设备，并熟悉其性能。

2. 方法原理

采用 45 μm 方孔标准筛和 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。细度检验可采用负压筛析法、水筛法和手工筛析法，当测定的结果发生争议时，以负压筛析法为准。

3. 主要仪器设备

(1) 试验筛

试验筛由圆形筛框和筛网组成，筛网采用边长为 80 μm 或 45 μm 的方孔铜丝筛布制成。筛网应紧绷在筛框上，筛网和筛框接触处，应用防水胶密封，防止水泥嵌入。由于物料会对筛网产生磨损，试验筛每使用 100 次后需要重新标定。

(2) 负压筛析仪

负压筛析仪由筛座、负压源及收尘器组成，其中筛座由转速为 (30 ± 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 4000 ~ 6000 Pa。

(3) 水筛架、喷头、天平等

4. 试验步骤

(1) 试验准备

试验前所用试验筛应保持清洁和干燥。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，称取试样精度至 0.01 g。

(2) 负压筛析法

①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 4000 ~ 6000 Pa 范围内。

②把称好的试样置于洁净的负压筛中,盖上筛盖,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,用天平称量筛余物的质量。

③当工作负压小于 4000 Pa 时,应清理吸尘器内水泥,使负压恢复正常。

(3) 水筛法

①筛析试验前,应检查水中有无泥、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距离为 35 ~ 75 mm。

②称取试样的规定同负压筛析法。将试样置于洁净的水筛中,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 ± 0.02) MPa 的喷头连续冲洗 3 min。

③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,烘干并用天平称量筛余物的质量。

(4) 手工筛析法

①称取试样精度至 0.01 g,倒入手工筛内。

②用一只手持筛往复摇动,另一只手轻轻拍打,往复摇动和拍打过程应保持近于水平。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 为止。称量筛余物的质量。

(5)对其他粉状物,当采用 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。

(6) 试验筛的清洗

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。金属框筛、铜丝网筛清洗时应用专门的清洗剂,不可用弱酸浸泡。

5. 试验结果评定

水泥细度按试样筛余百分数(精确至 0.1%)计算。

$$F = \frac{R_s}{W} \times 100\%$$

式中: F ——水泥试样的筛余百分数, %;

R_s ——水泥筛余物的质量, g;

W ——水泥试样的质量, g。

3.5.2 水泥标准稠度用水量的检测

1. 试验目的

通过试验测定水泥净浆达到水泥标准稠度(统一规定的浆体可塑性)时的用水量,作为水泥凝结时间、安定性试验用水量之一;掌握《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB 1346—2011)的测试方法,正确使用仪器设备,并熟悉其性能。

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,来确定水泥标准稠度净浆中所需加入的水量。

3. 主要仪器设备

(1) 水泥净浆搅拌机

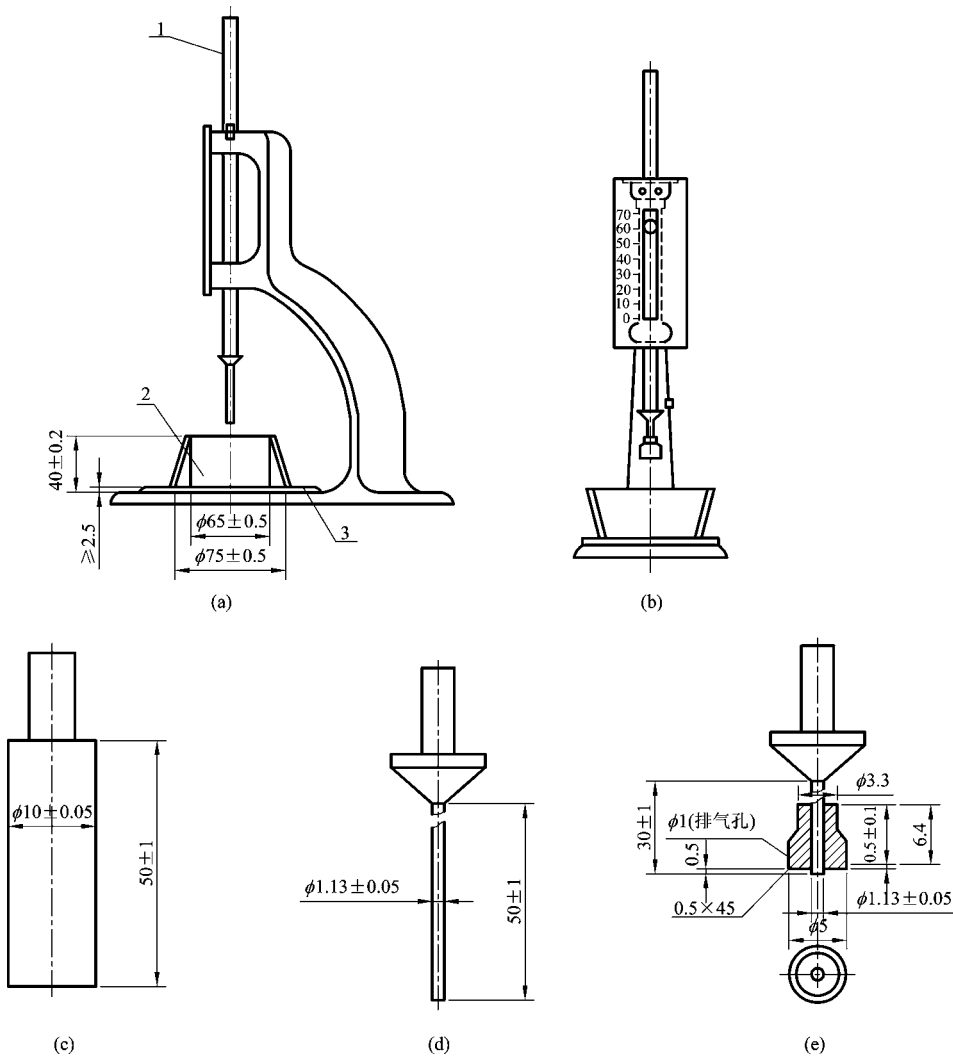
主要由搅拌锅、搅拌叶片、传动机构和控制系统组成，搅拌叶片在搅拌锅内做旋转方向相反的公转和自转。

(2) 标准法维卡仪

如图 3-4 所示：标准稠度测定用试杆〔见图 3-4(c)〕有效长度为 (50 ± 1) mm、由直径为 (10 ± 0.05) mm 的圆柱形耐腐蚀金属制成。初凝用试针〔见图 3-4(d)〕由钢制成，其有效



图 3-3 水泥净浆搅拌机



1—滑动杆；2—试模；3—玻璃板

图 3-4 测定水泥标准稠度和凝结时间用维卡仪及配件示意图(单位: mm)

长度初凝针为 (50 ± 1) mm、终凝针[见图 3-4(e)]为 (30 ± 1) mm、直径为 (1.13 ± 0.05) mm 的圆柱体。滑动部分的总质量为 (300 ± 1) g。与试杆、试针联结的滑动杆表面应光滑, 能靠重力自由下落, 不得有紧涩和松动现象。

盛装水泥净浆的试模由耐腐蚀的、有足够硬度的金属制成。试模为深 (40 ± 0.2) mm、顶内径 (65 ± 0.5) mm、底内径 (75 ± 0.5) mm 的截顶圆锥体。每只试模应配备一个边长或直径 100 mm、厚度 4~5 mm 的平板玻璃底板或金属底板。

(3) 天平

最大称量不小于 1000 g, 分度值不大于 1 g。

(4) 量筒和滴定管

精度 ± 0.5 mL。

4. 材料

试验用水必须是洁净的饮用水, 如有争议时应以蒸馏水为准。

5. 试验条件

(1) 试验室温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 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 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 相对湿度不低于 90%。

6. 试验方法(标准法)及步骤

(1) 试验前检查: 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。搅拌机运转正常。

(2) 水泥净浆制备: 用湿布将搅拌锅和搅拌叶片擦一遍, 将拌合用水倒入搅拌锅内, 然后在 5~10 s 内小心将称量好的 500 g 水泥试样加入水中(按经验找水), 防止水和水泥溅出; 拌和时, 先将锅放到搅拌机锅座上, 升至搅拌位置, 启动搅拌机, 慢速搅拌 120 s, 停拌 15 s, 同时将叶片和锅壁上的水泥浆刮入锅中, 接着快速搅拌 120 s 后停机。

(3) 标准稠度用水量的测定: 拌和完毕, 立即将水泥净浆一次装入已置于玻璃板上的试模内, 用宽约 25 mm 的直边刀轻轻拍打超出试模部分的浆体 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, 再从试模边缘轻抹顶面一次, 使净浆表面光滑。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, 让试杆垂直自由沉入净浆中。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, 升起试杆后应立即擦净, 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。其拌和用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。

3.5.3 水泥凝结时间的检测

1. 试验目的

测定水泥达到初凝和终凝所需的时间, 用以评定水泥的质量。掌握《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB 1346—2011) 的测试方法, 正确使用仪器设备。

2. 方法原理

凝结时间以试针沉入水泥标准稠度净浆至一定深度所需的时间表示。



水泥凝结时间检测

3. 主要仪器设备

- (1) 标准法维卡仪。
- (2) 水泥净浆搅拌机。
- (3) 湿气养护箱。

4. 材料

试验用水必须是洁净的饮用水,如有争议时应以蒸馏水为准。

5. 试验条件

与水泥标准稠度用水量检测相同。

6. 试验步骤

(1) 试验前准备:调整凝结时间测定仪的试针接触玻璃板时指针对准零点。

(2) 用标准稠度用水量的水,按测标准稠度用水量的方法制成标准稠度水泥净浆和装模刮平,立即放入湿气养护箱内,记录水泥全部加入水中的时间作为凝结时间的起始时间。

(3) 试件在湿气养护箱内养护至加水后 30 min 时进行第一次测定。测定时,从养护箱中取出试模放到试针下,使试针与净浆面接触,拧紧螺丝 1~2 s 后突然放松,试针垂直自由沉入净浆,观察试针停止下沉或释放试杆 30 s 时指针的读数。临近初凝时每隔 5 min 测定一次,当试针沉至距底板 (4 ± 1) mm 即为水泥达到初凝状态。从水泥全部加入水中至初凝状态的时间即为水泥的初凝时间,单位为“min”。

(4) 初凝测出后,立即将试模连同浆体以平移的方式从玻璃板上取下,翻转 180°,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养护。

(5) 取下测初凝时间的试针,换上测终凝时间的试针。

(6) 临近终凝时间每隔 15 min 测一次,当试针沉入净浆 0.5 mm 时,即环形附件开始不能在净浆表面留下痕迹时,即为水泥的终凝时间。从水泥全部加入水中至终凝状态的时间即为水泥的终凝时间,单位为“min”。

(7) 在测定时应注意,最初测定操作时应轻轻扶持金属棒,使其徐徐下降,防止撞弯试针,但结果以自由下沉为准;在整个测试过程中试针沉入净浆的位置距试模内壁 10 mm;每次测定完毕需将试针擦净并将试模放入养护箱内,测定过程中要防止试模受振;每次测量时不能让试针落入原孔,测得结果应以两次都合格为准。

7. 试验结果评定

(1) 从水泥全部加入水中起至初凝试针沉入净浆中距底板 (4 ± 1) mm 时,所需的时间为初凝时间;至终凝试针沉入净浆中不超过 0.5 mm(环形附件开始不能在净浆表面留下痕迹)时所需的时间为终凝时间,单位为“min”。

(2) 达到初凝应立即重复测一次,当两次结论相同时才能定为达到初凝状态。达到终凝时需在试体另外两个不同点测试,确认结论相同时才能确定达到终凝状态。

3.5.4 水泥安定性的检测

1. 试验目的

安定性是指水泥硬化后体积变化的均匀性情况。通过试验可掌握《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB 1346—2011)的测试方法,正确评定水泥的体积安定性。



水泥安定性检测

安定性的测定方法有雷氏法和试饼法,有争议时以雷氏法为准。

2. 方法原理

(1) 雷氏法是通过测定水泥标准稠度净浆在雷氏夹中沸煮后试针的相对位移表征其体积膨胀的程度。

(2) 试饼法是通过观测水泥标准稠度净浆试饼沸煮后的外形变化情况表征其体积安定性。

3. 主要仪器设备

(1) 沸煮箱。

(2) 雷氏夹。由铜质材料制成,如图 3-5 所示。当一根指针的根部先悬挂在一根金属丝或尼龙丝上,另一根指针的根部再挂上 300 g 质量的砝码时,两根指针针尖的距离增加应在 (17.5 ± 2.5) mm 范围内,即 $2x = (17.5 \pm 2.5)$ mm (见图 3-6),当去掉砝码后针尖的距离能恢复至挂砝码前的状态。

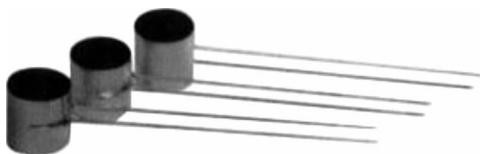


图 3-5 雷氏夹

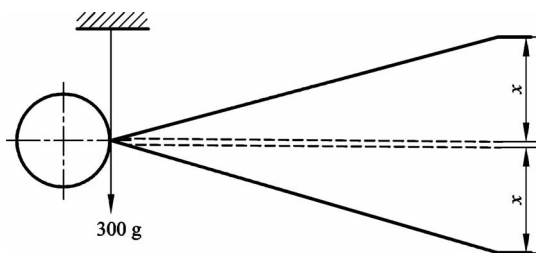


图 3-6 雷氏夹受力示意图

(3) 雷氏夹膨胀测定仪。

标尺最小刻度为 0.5 mm,如图 3-7 所示。

(4) 其他仪器同标准稠度用水量试验。

4. 材料

试验用水必须是洁净的饮用水,如有争议时应以蒸馏水为准。

5. 试验条件

与水泥标准稠度用水量检测相同。

6. 试验方法及步骤

(1) 雷氏法

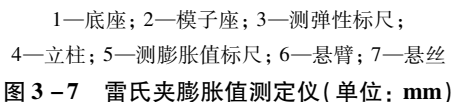
① 试验前准备工作: 每个试样需成型两个试件,每个雷氏夹需配备两个边长或直径约 80 mm、厚度 4~5 mm 的玻璃板,凡与水泥净浆接触的玻璃板和雷氏夹表面都要稍稍涂上一层机油。

② 雷氏夹试件成型: 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,装浆时一只手轻轻扶持雷氏夹,另一只手用宽约 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汽养护箱内养护 (24 ± 2) h。

③ 沸煮: 调整沸煮箱内的水位,使试件能在整个沸煮过程中浸没在水里,不需中途添补试验用水,同时又保证能在 (30 ± 5) min 内升至沸腾。脱去玻璃板取下试件,先测量雷氏夹



微课11: 水泥体积安定性检测步骤



58

③沸煮：方法同雷氏法。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的篦板上，在 (30 ± 5) min 内加热至沸，并恒沸 (180 ± 5) min。

④结果判别：沸煮结束，即放掉箱中的热水，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，用直尺检查也没有弯曲的试饼，为安定性合格，反之为不合格。若两个判别结果有矛盾时，该水泥的安定性为不合格。

3.5.5 水泥胶砂强度的检测

1. 试验目的

检验水泥各龄期强度，以确定强度等级；或已知强度等级，检验强度是否满足规范要求。掌握国家标准《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》(GB/T 17671—2021)，正确使用仪器设备并熟悉其性能。

2. 方法原理

本方法为 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 160\text{ mm}$ 棱柱试体的水泥抗压强度和抗折强度测定。

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。

胶砂用行星搅拌机搅拌，在振实台上成型。也可使用频率 2800 ~ 3000 次/min，振幅 0.75 mm 的振动台成型。

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. 主要仪器设备

- (1) 胶砂搅拌机。
- (2) 试模。



图 3-8 胶砂搅拌机



图 3-9 试模

- (3) 胶砂振实台。
- (4) 抗折强度试验机。
- (5) 抗压强度试验机。
- (6) 抗压夹具。
- (7) 刮平尺、养护室等。



水泥胶砂强度检测



图 3-10 胶砂振实台



图 3-11 抗折强度试验机



图 3-12 抗压强度试验机

4. 材料

(1) 中国 ISO 标准砂：中国 ISO 标准砂完全符合 ISO 基准砂颗粒分布的规定，湿含量小于 0.2%。中国 ISO 标准砂以 (1350 ± 5) g 量的塑料袋混合包装，但所用塑料袋材料不得影响强度试验结果。

(2) 水泥：当试验水泥从取样至试验要保持 24 h 以上时，应把它贮存在基本装满和气密的容器里，这个容器应不与水泥起反应。试验前混合均匀。

(3) 水：验收试验或有争议时应使用符号 GB/T 6682 规定的三级水，其他试验可用饮用水。

5. 试验条件

(1) 试体成型试验室温度为 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度应不低于 50%；

(2) 试体带模养护的养护箱或雾室温度保持在 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度应不低于 90%；

(3) 试体养护池水温度应在 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 范围内。

6. 试验步骤

(1) 试验前准备

成型前将试模擦净，四周的模板与底板接触面上应涂黄油，紧密装配，防止漏浆，内壁均匀刷一薄层机油。

(2) 胶砂制备

① 胶砂配合比：胶砂的质量配合比为一份水泥、三份标准砂和半份水。一锅胶砂成三条试体，每锅材料需要量为：水泥 (450 ± 2) g；标准砂 (1350 ± 5) g；水 (225 ± 1) mL。

②搅拌：每锅胶砂用搅拌机进行搅拌。按下列程序操作：①把水加入锅里，再加水泥，把锅放在固定架上，上升至固定位置。②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；把机器转至高速再拌 30 s。③停拌 90 s，在第一个 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，各个搅拌阶段的时间误差应在 ± 1 s 以内。

(3) 试体成型

试件是 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 160\text{ mm}$ 的棱柱体。胶砂制备后应立即进行成型。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，用大播料器垂直架在模套顶部沿每一个模槽来回一次将料层播平，接着振实 60 次。再装第二层胶砂，用小播料器播平，再振实 60 次。每次振实时可将一块用水湿过拧干、比模套尺寸稍大的棉纱布盖在模套上以防止振实时胶砂飞溅。移走模套，从振实台上取下试模，用一金属直尺以近似 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割动作慢慢向另一端移动，将超过试模部分的胶砂刮去，用拧干的湿毛巾将试模端板顶部的胶砂擦拭干净，再用同一直尺以近乎水平的角度将试体表面抹平。抹平的次数要尽量少，总数不应超过 3 次，最后将试模周边的胶砂擦除干净。

(4) 试体的养护

①脱模前的处理及养护：在试模上盖一块玻璃板，也可以用相似尺寸的钢板或不渗水的、和水泥没有反应的材料制成的板，板不应与水泥胶砂接触，盖板与试模直接的距离应控制在 $2 \sim 3\text{ mm}$ 之间，为了安全，玻璃板应磨边，立即将做好标记的试模放入养护室或湿箱的水平架子上养护，湿空气即能与试模周边接触。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。用毛笔或其他方法对试体进行编号。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的龄期内。

②脱模：脱模应非常小心。对于 24 h 龄期的，应在破型试验前 20 min 内脱模；对于 24 h 以上龄期的，应在 $20 \sim 24\text{ h}$ 之间脱模。

③水中养护：将做好标记的试体水平或垂直放在 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 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，以让水与试件的六个面接触。养护期间试件之间间隔或试件上表面的水深不得小于 5 mm 。每个养护池只能养护同类型的水泥试件。最初用自来水装满养护池，随后随时加水保持适当的恒定水位，在养护期间，可以更换不超过 50% 的水。除 24 h 龄期或延迟至 48 h 脱模的试件外，任何到龄期的试件应在试验（破型）前 15 min 从水中取出，擦去试件表面沉积物，并用湿布覆盖至试验结束。

(5) 强度试验。

①强度试验试体的龄期：试体龄期是从水泥加水开始搅拌时算起的。各龄期的试体必须在表 3-13 规定的时间内进行强度试验。试体从水中取出后，在强度试验前应用湿布覆盖。

②抗折强度试验

a. 仪器调平：采用杠杆式抗折试验机试验时，试体放入前，应使杠杆成平衡状态。具体操作如下：按住加荷圆柱上的按钮，将加荷圆柱移至“0”刻度处，旋转平衡圆柱调节抗折仪的标尺处于水平状态。

b. 试体安装：每龄期取出 3 条试体先做抗折强度试验。试验前须擦去试体表面的附着水分和砂粒，清除夹具上圆柱表面黏着的杂物，将试体的一个侧面（成型面朝向检测人员）放入

抗折夹具内，应使侧面与圆柱完全接触，试体长轴垂直于支撑圆柱，然后调整夹具，一只手轻压标尺，另一只手调节手轮，使标尺仰起一定角度，仰角大小应根据试件抗折强度的高低确定，合适的仰角是试件被折断时，标尺尽可能地接近水平状态(即标尺指针在“0”附近)。

表 3-13 各龄期试体强度试验时间规定

龄期	时间
24 h	24 h ± 15 min
48 h	48 h ± 30 min
72 h	72 h ± 45 min
7 d	7 d ± 2 h
> 28 d	28 d ± 8 h

c. 加载破型：接通电源，按“启动”按钮，通过加荷圆柱以 (50 ± 10) N/s 的速率均匀地将荷载垂直地加在棱柱体相对侧面上，直至棱柱体被折断。保持折断后的两个半截棱柱体处于潮湿状态直至抗压试验。折断后读取破坏荷载 F_f (N)、抗折强度 R_f 值。

d. 数据处理：抗折强度 R_f 可直接从抗折仪上读取，也可按下式计算，精确至 0.1 MPa。

$$R_f = \frac{3F_f \cdot L}{2b^3}$$

式中： L ——支撑圆柱之间的距离，100 mm；

b ——试体正方形截面的边长，40 mm。

以一组 3 个棱柱体抗折强度测定值的平均值作为试验结果。当 3 个强度值中有一个超出平均值 $\pm 10\%$ 时，应剔除后再取平均值作为抗折强度试验结果。当 3 个强度值中有两个超过平均值 $\pm 10\%$ 时，则以剩余 1 个作为抗折强度结果。

③抗压强度试验

a. 试体安装：抗折强度试验后的断块应立即进行抗压试验。抗压试验须用抗压夹具进行，试体受压面为 40 mm × 40 mm。试验前应清除试体受压面与压板间的砂粒或杂物。将夹具置于压力试验机承压板的中心位置，然后将折断后的半截棱柱体置于抗压夹具内，试体的侧面作为受压面，棱柱体露在压板外的部分约有 10 mm。

b. 加载破型：接通电源，按“启动”按钮，以 (2400 ± 200) N/s 的速率均匀地加荷，直至半截棱柱体被破坏，读取破坏荷载 F_c (N)。

c. 数据处理：抗压强度 R_c 按下式计算，精确至 0.1 MPa。

$$R_c = \frac{F_c}{A} = \frac{F_c}{40 \times 40_c}$$

以一组 3 个棱柱体上得到的 6 个抗压强度测定值的算术平均值作为试验结果。如果 6 个测定值中有一个超出其平均值的 $\pm 10\%$ 时，就应剔除该值，而以剩下的 5 个测定值的平均值作为试验结果；如果剩下的 5 个测定值中仍有超过其平均值 $\pm 10\%$ 的，则此组结果作废。当 6 个测定值中同时有两个或两个以上超过平均值 $\pm 10\%$ 时，则此组结果作废。

模块小结

硅酸盐水泥是一种水硬性胶凝材料,其基本成分为硅酸盐熟料,熟料的主要矿物组成为硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙、铁铝酸四钙。其中硅酸三钙和硅酸二钙对水泥的强度起主要作用;硅酸三钙和铝酸三钙对水泥的水化热贡献较大;铁铝酸四钙有助于提高水泥的抗折强度。改变熟料的矿物组成可显著改变水泥的技术性质,以满足不同的使用要求。

为改善水泥的某些性能,增加水泥产量和降低成本,在硅酸盐水泥熟料中掺加适量的各种混合材料,可制成各种掺混合材料的水泥,如普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥等。它们与硅酸盐水泥统称为通用硅酸盐水泥。

水泥的主要技术性质指标是细度、凝结时间、安定性和强度。细度常用负压筛析法检测;凝结时间分初凝时间和终凝时间,常用标准法维卡仪检测;安定性常用雷氏夹沸煮法检测;强度按《水泥胶砂强度的测定方法(ISO法)》,检测水泥胶砂试块3 d和28 d龄期的抗折、抗压强度。

在建筑工程中经常使用的其他品种的水泥有:快硬硅酸盐水泥、白色硅酸盐水泥、彩色硅酸盐水泥、膨胀水泥、中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥等。

技能抽查题

一、单项选择题

1. 为了延缓水泥的凝结时间,在生产水泥时必须掺入适量()。
A. 石灰 B. 石膏 C. 助磨剂 D. 水玻璃
2. 储存期超过()个月的通用水泥在使用前须重新鉴定其技术性能。
A. 3 B. 6 C. 9 D. 12
3. 硅酸盐水泥中三氧化硫的含量不得超过()。
A. 5% B. 4.5% C. 3.5% D. 5.5%
4. 硬化过程中干缩性小,抗裂性好的水泥是()。
A. 普通水泥 B. 火山灰水泥 C. 矿渣水泥 D. 粉煤灰水泥
5. 硅酸盐水泥分为()个强度等级。
A. 三 B. 四 C. 五 D. 六
6. 配制有抗渗要求的混凝土时,不宜使用()。
A. 硅酸盐水泥 B. 普通硅酸盐水泥
C. 矿渣硅酸盐水泥 D. 火山灰水泥
7. 普通硅酸盐水泥终凝时间不得迟于()。
A. 4.5 h B. 6.5 h C. 10 h D. 1 d
8. 火山灰水泥与硅酸盐水泥相比不具有()的特征。
A. 水化热低 B. 耐蚀性好 C. 抗碳化能力强 D. 抗冻性差
9. 水泥安定性是指()。

- A. 温度变化时, 胀缩能力的大小 B. 冰冻时, 抗冻能力的大小
C. 硬化过程中, 体积变化是否均匀 D. 拌合物中保水能力的大小

10. 有硫酸盐腐蚀的混凝土工程不能选择()水泥。

- A. 硅酸盐 B. 火山灰 C. 矿渣 D. 粉煤灰

二、多项选择题

1. 水泥强度等级是由规定龄期的水泥胶砂()等指标确定的。

- A. 抗弯强度 B. 抗压强度 C. 抗剪强度 D. 抗折强度

2. 掺大量活性混合材料的硅酸盐水泥的共有()。

- A. 水化热较大 B. 耐腐蚀性较好 C. 抗冻性较好 D. 湿热敏感性强

3. 硅酸盐水泥适宜用于()。

- A. 高强混凝土 B. 大体积混凝土
C. 受腐蚀的混凝土 D. 预应力混凝土

4. 下列关于现场水泥保管的说法, 合理的是()。

- A. 水泥仓库地坪四周墙地面要有防潮措施
B. 袋装水泥入库保管时, 码垛时最高不得超过 18 袋
C. 袋装水泥入库保管时, 码垛时一般码放 10 袋
D. 水泥入库存储时间不能太长

5. 水泥中掺加的活性混合材料包括()

- A. 粒化高炉矿渣 B. 火山灰质混合材料
C. 粉煤灰 D. 窑灰

三、判断题

1. 水泥的强度等级按规定龄期的抗压强度来划分。 ()
2. 水泥胶砂强度试验试体的龄期是从水泥加水开始搅拌试验时算起的。 ()
3. 水泥储存期是从入库日期开始计算。 ()
4. 水泥属于水硬性胶凝材料, 运输和贮存时不怕受潮。 ()
5. 凡化学指标、凝结时间、强度、安定性中任一项不符合 GB 175—2007 标准规定时, 均为废品。 ()

四、案例分析题

1. 某施工现场一批 P·O 42.5 水泥, 取水泥试样制成一组水泥试件 28 d 抗折强度分别为 7.2 MPa、7.5 MPa、7.6 MPa, 抗压破坏载荷分别为 78.9 kN、78.8 kN、79.2 kN、79.1 kN、79.5 kN、79.4 kN, 问该批水泥强度是否合格?

2. 某工地从水泥厂新购一批袋装水泥, 双方商定以抽取实物试样的检验结果为验收依据。水泥到场后, 双方人员从 10 袋水泥中取样 20 kg, 缩分为二等份。一份由水泥厂保存, 另一份则送到某市级工程质量检测站进行检验。等到第 30 天, 工地人员取报告时发现水泥安定性和 28 天强度不合格。于是工地一方将检测结果通知水泥厂, 并要求水泥厂进行赔偿。水泥厂不服, 双方经协商后同意进行仲裁检验。于是双方将水泥厂保存的另一份样品送到同一检测站重新对不合格项进行检测。问: 在这批水泥的验收过程中, 哪些过程是错误的?