

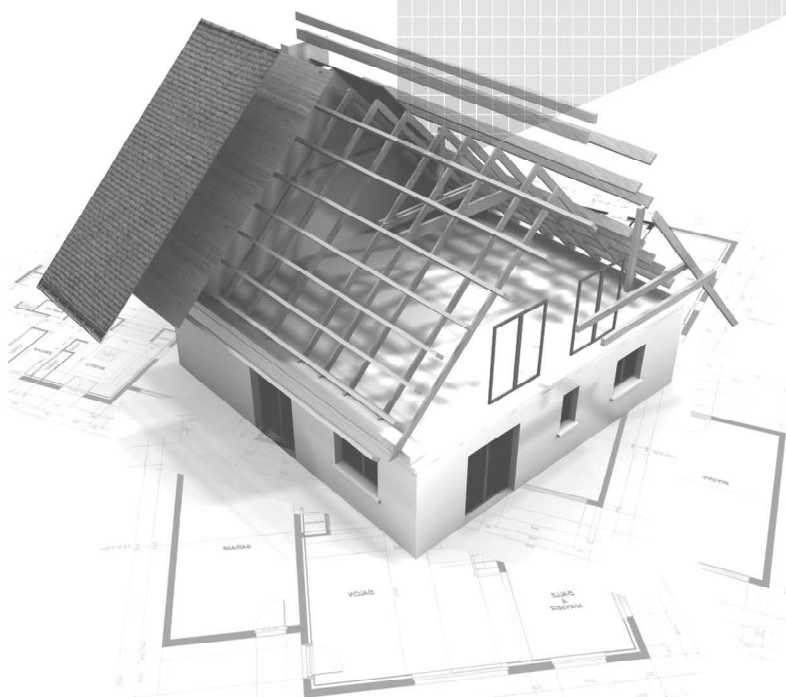


“十三五”职业教育国家规划教材

建筑工程 材料与检测

JIANZHU GONGCHENG 第2版
CAILIAO YU JIANCE

主 编 曹世晖



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的修订版。

全书分九个模块,内容包括:建筑材料的基本性质、气硬性无机胶凝材料、水泥、普通混凝土、建筑砂浆、墙体材料、建筑钢材、建筑功能材料、建筑装饰材料等。各模块均明确了教学目标和技能抽查要求,还附有单选题、多选题、填空题、判断题、简答题、案例分析题等多种题型的技能考核题。通过对本书的学习,读者可以根据工程实际正确选择、合理使用建筑工程材料,并能掌握建筑工程材料的检测方法,具备对进场材料进行取样、送检、质量验收等能力。

本书可作为高职高专建筑工程技术、建筑工程管理、建筑装饰工程、工程造价等专业教材,也可作为相关专业工程技术人员参考书。

本书配有多媒体教学电子课件和技能考核题答案。

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程材料与检测 / 曹世晖主编. —2 版. —长沙:中南大学出版社, 2022.8
ISBN 978-7-5487-4896-0

I. ①建… II. ①曹… III. ①建筑材料—检测—高等职业教育—教材 IV. ①TU502

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 083276 号

建筑工程材料与检测

第 2 版

曹世晖 主编

□出版人	吴湘华	
□策划组稿	周兴武	
□责任编辑	周兴武	
□责任印制	唐 曦	
□出版发行	中南大学出版社	
	社址:长沙市麓山南路	邮编:410083
	发行科电话:0731-88876770	传真:0731-88710482
□印 装	长沙印通印刷有限公司	

□开 本	787 mm × 1092 mm 1/16	□印张 19	□字数 485 千字
□版 次	2022 年 8 月第 2 版	□印次	2022 年 8 月第 1 次印刷
□书 号	ISBN 978-7-5487-4896-0		
□定 价	48.00 元		

图书出现印装问题,请与经销商调换



职业教育土建类专业“十四五”创新教材 编审委员会

主 任

(以姓氏笔画为序)

王运政	玉小冰	刘 霁	刘孟良	李 振	陈翼翔
郑 伟	赵顺林	胡六星	彭 浪	谢建波	颜 昕

副主任

(以姓氏笔画为序)

王义丽	王超洋	艾 冰	卢 滔	朱 健	向 曙
刘可定	孙发礼	杨晓珍	李 娟	李和志	李清奇
欧阳和平	项 林	胡云珍	徐运明	黄金波	黄 涛

委 员

(以姓氏笔画为序)

万小华	王四清	王凌云	邓 慧	邓雪峰	龙卫国
叶 姝	包 蜃	邝佳奇	朱再英	伍扬波	庄 运
刘天林	刘汉章	刘旭灵	许 博	阮晓玲	孙光远
李 云	李 龙	李 冰	李 奇	李 鲤	李为华
李亚贵	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	陈贤清	陈健玲	陈淳慧
陈婷梅	陈蓉芳	易红霞	金红丽	周 伟	周怡安
赵亚敏	贾 亮	徐龙辉	徐猛勇	高建平	郭喜庚
唐 文	唐茂华	黄郎宁	黄桂芳	曹世晖	常爱萍
梁鸿韻	彭 飞	彭子茂	蒋 荣	蒋买勇	曾维湘
曾福林	谢淑花	熊宇璟	樊淳华	魏丽梅	魏秀瑛

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，依据国家高职高专教育土建类专业教学指导委员会《高等职业教育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教材建设经验的基础上，我们组织编写和出版了这套职业教育土建类专业创新教材。

职业教学改革不断深入，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式的变化，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，我们成立了创新教材编审委员会。创新教材编审委员会由全国30多所高职院校的权威教授、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工程技术人员组成编写队伍。

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国优秀传统文化、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，适应职业教学改革的要求，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。

职业教育土建类专业创新教材
编审委员会

修订版前言 PREFACE

本书为“十三五”职业教育国家规划教材的修订版。

建筑工程材料与检测是高等职业教育建筑工程类专业的一门重要的专业基础课。本书以建筑工程技术专业技能抽查考试标准、建筑企业专业技术人员岗位资格考试大纲、各种建筑工程材料的性能标准、各种建筑工程材料的检测标准等为引领,有机地融入“技能抽查标准”“技能抽查题库”、建筑企业岗位资格考试要求掌握的相关内容,并适当融入“1+X”证书的相关内容,突出实用性和可操作性。

本书注重理论与实践相结合,文字表达力求浅显易懂,加大了实践环节的教学力度,重视职业岗位能力的培养。本书由校企“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)、行业颁布的最新规范和标准,力求反映最新的、最先进的技术和知识。本书分为九个模块,每个模块的知识框架都由材料的性能、材料的应用、材料的取样与验收、材料性能的检测等分项构成,符合学生的认知规律,增加了学习的整体性和完整性。每个模块都附有能力目标、知识目标、推荐学习的标准和规范、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。

本书经过多年的使用和多次修订,内容上更具科学性、创新性和实用性;进一步细化了能力目标和知识目标;增加了推荐学习的标准和规范,让读者通过自主学习拓宽知识面;增加了一些材料使用和检测设备的图片,使读者更进一步加深对建筑工程材料的感性认识;重新修订的技能考核题更注重对必备技能、综合能力的考核。利用“互联网+”部分的素材,强化职业素养养成和专业技术积累,将课程思政元素以及精益求精的工匠精神融入教材。

本书主编为湖南城建职业技术学院曹世晖,副主编为湖南软件职业学院谭诗思、湖南水利水电职业技术学院汪文萍和徐英勇、湖南交通职业技术学院彭子茂,湖南城建职业技术学院杨泽宇参与了编写,全书由曹世晖统稿。教材文本部分中的绪论、模块一、模块二由彭子茂编写,模块三、模块四、模块五、模块七由曹世晖编写,模块六、模块九由谭诗思编写,模块八由汪文萍编写;教材“互联网+”内容,绪论、模块三、模块四、模块五、模块七中的部分

由曹世晖搜集整理，模块一、模块二中的部分由杨泽宇搜集整理，模块六、模块九中的部分由谭诗思搜集整理，模块八中的部分由徐猛勇搜集整理。此次修订，针对书中重要知识点制作了微课视频，由曹世晖、杨泽宇录制。

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。

本书的编写得到了湖南省建工集团有限公司的大力支持和关心，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。

本书的修订再版，承蒙有关兄弟院校的老师提出许多宝贵意见，在编写过程中参考了大量文献资料，在此亦表示衷心的感谢。

编 者

2022 年 8 月

目 录 CONTENTS

绪 论	(1)
0.1 建筑材料的定义与分类	(1)
0.2 建筑材料在建筑工程中的地位	(2)
0.3 建筑材料的发展状况和发展方向	(3)
0.4 建筑材料的技术标准	(3)
0.5 本课程的内容、任务和学习方法	(5)
模块小结	(5)
技能考核题	(5)
模块一 建筑材料的基本性质	(6)
1.1 材料的物理性质	(6)
1.2 材料的力学性质	(17)
1.3 材料的耐久性	(20)
1.4 建筑材料基本物理性质的检测	(22)
模块小结	(26)
技能考核题	(26)
模块二 气硬性无机胶凝材料	(28)
2.1 建筑石灰	(28)
2.2 建筑石膏	(32)
2.3 水玻璃	(35)
2.4 气硬胶凝材料性能的检测	(36)
模块小结	(38)
技能考核题	(38)
模块三 水 泥	(40)
3.1 硅酸盐水泥	(40)
3.2 掺混合材料的硅酸盐水泥	(48)
3.3 其他品种水泥	(55)
3.4 水泥的选用、验收、储存及保管	(59)
3.5 水泥性能的检测	(62)

模块小结	(75)
技能考核题	(76)
模块四 普通混凝土	(79)
4.1 概 述	(79)
4.2 普通混凝土的组成材料	(81)
4.3 混凝土拌合物的技术性质	(89)
4.4 硬化混凝土的技术性质	(94)
4.5 混凝土外加剂	(102)
4.6 普通混凝土的配合比设计	(108)
4.7 混凝土质量控制	(115)
4.8 其他品种混凝土	(118)
4.9 混凝土性能的检测	(129)
模块小结	(150)
技能考核题	(150)
模块五 建筑砂浆	(155)
5.1 砌筑砂浆	(155)
5.2 抹面砂浆	(161)
5.3 特种砂浆	(164)
5.4 砂浆性能的检测	(165)
模块小结	(170)
技能考核题	(171)
模块六 墙体材料	(173)
6.1 砌墙砖	(173)
6.2 建筑砌块	(184)
6.3 建筑墙板	(189)
6.4 墙体材料的验收和储运	(191)
6.5 砌墙砖性能的检测	(192)
模块小结	(195)
技能考核题	(196)
模块七 建筑钢材	(197)
7.1 概 述	(197)
7.2 建筑钢材的主要技术性能	(199)
7.3 建筑钢材的标准与选用	(206)
7.4 钢材的选用原则及锈蚀与防止	(218)
7.5 钢材的验收与储运	(219)

7.6 钢筋性能的检测	(220)
模块小结	(225)
技能考核题	(225)
模块八 建筑功能材料	(229)
8.1 建筑防水材料	(229)
8.2 建筑密封材料	(244)
8.3 绝热材料	(247)
8.4 吸声材料	(250)
8.5 隔声材料	(252)
8.6 建筑防水材料性能的检测	(253)
模块小结	(261)
技能考核题	(262)
模块九 建筑装饰材料	(263)
9.1 建筑装饰石材	(263)
9.2 建筑装饰陶瓷	(269)
9.3 建筑装饰木材	(271)
9.4 金属装饰材料	(280)
9.5 建筑塑料装饰制品	(282)
9.6 建筑装饰涂料	(285)
9.7 建筑玻璃	(287)
模块小结	(291)
技能考核题	(291)
参考文献	(292)

绪 论

【能力目标】

1. 能区分建筑材料各种技术标准。
2. 能辨别建筑材料的种类。

【知识目标】

1. 掌握建筑材料的定义与分类。
2. 熟悉建筑材料与建筑、结构、施工、预算的关系。
3. 了解建筑材料的现状和发展方向及其在国民经济中的地位。

0.1 建筑材料的定义与分类



微课1：建筑材料的分类

0.1.1 定义

广义的建筑材料是指建造建筑物和构筑物的所有材料的总称，包括使用的各种原材料、半成品、成品等。如石灰石、黏土、铁矿石等。

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。如石灰、水泥、钢筋、玻璃等。

0.1.2 分类

由于建筑材料种类繁多，为了方便区分和应用，实际工程应用中常从不同角度对其进行分类。最常用的分类方法是按材料的化学成分、使用功能、用途来分。



建筑材料分类

1. 按照化学成分分类

1) 无机材料

无机材料是指由无机物单独或者混合其他物质制成的材料，包括金属材料和非金属材料。

(1) 金属材料：金属材料是指金属元素或者以金属元素为主构成的具有金属特征的材料，包括黑色金属材料(钢、铁、不锈钢等)和有色金属材料(铝、铜及其合金等)。

(2) 非金属材料：非金属材料是指由非金属元素或者化合物构成的材料，包括天然石材、烧土制品、胶凝材料及制品、混凝土及硅酸盐制品等。天然石材包括砂、石及石材制品等；烧土制品包括黏土砖、瓦、陶瓷、玻璃等；混凝土及硅酸盐制品包括混凝土、砂浆、硅酸盐制品等。

2) 有机材料

有机材料包括沥青材料、植物材料、合成高分子材料。

(1) 沥青材料包括煤沥青、石油沥青及沥青制品等。

(2)植物材料包括木材、竹材、植物纤维等。

(3)合成高分子材料包括塑料、涂料、合成橡胶、胶黏剂等。

3) 复合材料

复合材料,包括有机与无机非金属复合材料、金属与无机非金属复合材料、金属与有机复合材料。

(1)有机与无机非金属复合材料,包括聚合物混凝土、沥青混合料、玻璃纤维增强塑料等。

(2)金属与无机非金属复合材料,包括钢筋混凝土、钢纤维混凝土等。

(3)金属与有机复合材料,包括有机涂层铝合金板、PVC 钢板等。

2. 按照使用功能分类

1) 建筑结构材料

建筑结构材料主要指构成建筑物受力构件和结构所用的材料,如板、梁、柱子、基础、框架和其他受力构件和结构等所用的材料。如石头、砖、水泥混凝土、钢筋混凝土和预应力混凝土等。

2) 墙体材料

墙体材料主要指建筑物内、外及分隔墙体所用的材料,有承重和非承重两类。如烧结砖、粉煤灰砌块、混凝土及加气混凝土砌块、混凝土墙板、石板、金属板材等。

3) 建筑功能材料

建筑功能材料主要指负担某些建筑功能的非承重用材料。如防水材料、绝热材料、吸声材料、采光材料、装饰材料等。

3. 按照用途分类

按照用途来分,建筑材料可以分为建筑结构材料、桥梁结构材料、水工结构材料、路面结构材料、墙体材料、装饰材料等。



微课2: 建筑材料的地位与发展



建筑材料在建筑工程中的地位

0.2 建筑材料在建筑工程中的地位

在工程建设中,建筑材料的好坏,直接影响着整个建筑物质量等级、结构安全、外部造型和建成后的使用功能等。由于各种材料组成、结构和构造不同,价格也相差悬殊,在工业建筑、水利工程、港口工程、交通运输工程以及大量民用住宅工程中用量很大,所以,合理使用建筑材料,对建筑物的安全、实用、美观、耐久及造价有着重大意义。

(1)正确合理使用建筑材料直接影响工程的造价和投资。目前,建筑材料市场发展较快,市场活跃,由于材料开采和加工方式不同,价格波动很大。一般建筑物,其材料费用占总投资金额的 50% ~ 60%。材料费用高,相应地建筑工程造价就高。所以对于建筑工程而言,用质量好、功能多、档次高、性能优的材料,材料费用将占工程造价的比例更高。

(2)合理选择与使用材料,决定着建筑物的使用功能。不同的工程项目与使用环境,对材料的自身性能要求也不同。这需要结合建筑物的设计要求与自身的特点,合理选择与使用材料,才能使结构的受力特性、环境条件、功能要求得到满足,才能最大限度地发挥材料的

效能,也才能确保建筑物建成后的质量。

(3)新型材料的发展带来了技术创新与变革。传统的建筑材料虽然在基础工程中广泛应用,但是已越来越不能满足快速发展的项目建设对高标准工程的要求。轻质、高强材料的发展,使高层建筑不断更新。随着绿色建筑材料的开发、利用,就有山水城市、绿色建筑、生态房屋的问世。

建筑技术要发展,建筑材料必须先行。建筑工程中新技术、新工艺、新方法的问世,往往依赖于建筑材料的更新。建筑施工新技术的推广,新材料的出现,也促进了建筑物形式的变化、设计方法的改进、施工技术的革新。大跨度预应力结构、悬索结构、空间网架结构、节能型特色环保建筑的出现无疑都与新材料的产生密切相关。

0.3 建筑材料的发展状况和发展方向

建筑材料是随着人类社会生产力和科学技术水平的提高而逐步发展起来的。人类最早穴居巢处,随着社会生产力的发展,人类社会进入石器、铁器时代,开始挖土凿石为洞,伐木搭竹为栅,能利用天然材料建造非常简陋的房屋等建筑。到人类能够用黏土烧制砖、瓦,用岩石烧制石灰、石膏之后,建筑材料才由天然材料进入人工生产阶段,为较大规模建造建筑物创造了基本条件。18世纪至19世纪,资本主义兴起,促进了工商业及交通运输业的蓬勃发展,原有的建筑材料已不能适应形势的发展,在其他科学技术进步的推动下,建筑材料进入了一个新的发展阶段,钢材、水泥、混凝土及其他材料的相继问世,为现代建筑材料奠定了基础。进入20世纪后,社会生产力突飞猛进,以及材料科学与工程学的形成和发展,建筑材料不仅性能和质量不断改善,而且品种也不断增加,以有机材料为主的化工建材异军突起;一些具有特殊功能的新型建筑材料,如绝热材料、吸声隔声材料、各种装饰材料、耐热防火材料、防水抗渗材料以及耐磨、耐腐蚀、防爆和防辐射材料等应运而生。

随着人类的进步和社会的发展,更有效地利用地球有限的资源,全面改善人类工作与生活环境及迅速扩大生存空间已势在必行,未来的建筑物必将向多功能化、智能化方向发展,以满足人类对建筑物愈来愈高的安全、舒适、美观、耐久的要求。建筑材料在原材料、生产工艺、性能及产品形式诸方面都将面临可持续发展和人类文明进步的挑战。

今后,国家将不断努力发展绿色建材,以此来改变建材工业长期以来高投入、高污染、低效益的粗放型生产方式,尤其是我国对建材的需求量很大,而对绿色建材的研究较晚,很多绿色建材还未在工程实际中得到很好的推广应用。因而,加快资源节约型、污染最低型、科技先导型的绿色建材的发展是我国21世纪建材工业的战略目标。

0.4 建筑材料的技术标准

目前我国绝大多数建筑材料都制定了产品的技术标准,这些标准一般包括原材料、产品规格、分类、技术要求、检验方法、评定规则、运输和储存等方面的内容。

建筑材料的技术标准是产品质量的技术依据。目前,我国的技术标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四类。



建筑材料的发展

1. 国家标准

国家标准在全国范围内适用，它由国务院标准化行政主管部门编制，由国家技术监督局审批并发布，是最高标准，具有指导性、权威性。如《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)，其中“GB”表示国家标准的代号，“175”为标准编号，“2007”为标准颁布的年号，《通用硅酸盐水泥》为该标准的技术(产品)名称；此标准为强制性国家标准，任何技术(产品)不得低于此标准。

2. 行业标准

行业标准在全国性的行业范围内适用。当没有国家标准，而又需要在全国某行业范围内统一技术要求时制定，由中央部委标准机构指定有关研究机构、院校或企业等起草或联合起草，报主管部门审批，国家技术监督局备案后发布。当国家有相应标准颁布时，该行业标准废止。

3. 地方标准

地方标准在某地区范围内适用。凡没有国家标准和行业标准时，可由相应地区根据生产厂家或企业的技术力量，以能保证产品质量的水平，制定有关标准。

4. 企业标准

企业标准只限于企业内部适用。在没有国家标准和行业标准时，企业为了控制生产质量而制定的技术标准，必须以保证材料质量，满足使用要求为目的。

各级标准都有各自的代号，如表 0-1 所示。由于技术水平不断提高，标准也不断更新，因而各类标准均具有时间性。随着我国加入 WTO，常常还涉及一些与工程材料密切相关的国际或者外国标准，其中主要有：国际标准，代号为 ISO；美国材料试验学会标准，代号为 ASTM；日本工业标准，代号为 JIS；德国工业标准，代号为 DIN；英国标准，代号为 BS；法国标准，代号为 NF 等。我国的各类标准正在实现与国际标准的接轨。

表 0-1 各级标准代号

标准种类		代号	
1	国家标准	GB	国家强制性标准
		GB/T	国家推荐性标准
2	行业标准	JC	建材行业标准
		JGJ	建设部行业标准
		YB	冶金行业标准
		JT	交通行业标准
		SD	水电行业标准
	专业标准	ZB	国家级专业标准
3	地方标准	DB	地方强制性标准
		DB/T	地方推荐性标准
4	企业标准	QB	企业标准指导本企业的生产

0.5 本课程的内容、任务和学习方法

建筑工程材料及检测是建筑工程技术专业的一门专业基础课,它与物理学、化学、理论力学、材料力学以及工程地质等学科有着密切的联系。它的主要内容包括:建筑材料的基本概念;建筑材料的基本性质;常用材料如建筑胶凝材料(气硬性胶凝材料、水硬性胶凝材料等)、建筑结构材料(混凝土、砂浆、砖、建筑钢材等)、建筑功能材料(防水材料、绝热材料、装饰材料等)的品种、规格、技术性能、质量标准、检测方法、选用及保管等。

本课程的任务是论述常用建筑材料和新型材料的组成、结构、技术性质及它们之间的关系,论述材料的检验方法,利用试验评定其技术性质。通过本课程的学习,可以使學生掌握材料的性能及应用的基本理论知识,了解材料有关技术标准,掌握常用材料检测的方法;能正确选择材料,合理使用材料,准确地鉴定材料。

根据认知规律可将学习建筑材料课程的思路归结为“抓住一个中心和两条线索”。“一个中心”为材料的基本性质及检测标准、方法;“两条线索”为影响材料性质的两个方面的因素,一个是内在因素,如材料的组成结构,一个是外在因素,如环境、温度、湿度等外界条件。教学方法上要“三注重”,即注重归纳对比、注重量度关系、注重理论实践结合。

模块小结

建筑工程材料最常用的分类方法是按材料的化学成分、使用功能和用途来分。合理使用建筑材料,对建筑物的安全、实用、美观、耐久及造价有着重大意义。建筑材料是随着人类社会生产力和科学技术水平的提高而逐步发展的。建筑工程材料的标准一般包括原材料、产品规格、分类、技术要求、检验方法、评定规则、运输和储存等方面的内容。学习建筑工程材料与检测课程的思路可归结为“抓住一个中心和两条线索”。

技能考核题

一、填空题

1. 建筑材料按化学成分可分为_____、_____和_____。
2. 按照使用功能分类,建筑材料可以分为_____、_____、_____。
3. 我国的技术标准分为_____、_____、_____、_____等四类。

二、名词解释

1. 无机材料
2. 复合材料
3. 强制性国家标准

模块一 建筑材料的基本性质

【能力目标】

1. 能从多个方面鉴别建筑材料性能。
2. 具有对建筑材料的密度、表观密度、吸水率等性能进行检测的能力。
3. 具有分析影响建筑材料性能因素的能力。

【知识目标】

1. 掌握物理性质、力学性质、耐久性等基本性质的概念、表示方法及衡量指标。
2. 熟悉材料的基本性质的影响因素。
3. 了解材料的基本性质的分类。

建筑物是由各种建筑材料建筑而成的，材料在建筑物的各个部位起着不同的作用。换句话说，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。我们通常所说的材料的基本性质包括以下几个方面。

物理性质：表示材料的物理状态特征及与各种物理过程有关的性质。

力学性质：表示材料在力学作用下，抵抗破坏和变形能力的性质。

耐久性：指材料在使用过程中能长久保持其原有性质的能力。



微课3：材料与质量有关的性质

1.1 材料的物理性质

1.1.1 与质量有关的性质

1. 密度

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量，按下式计算：

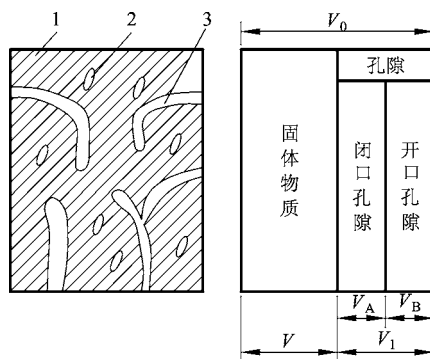
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中： ρ ——材料的密度， g/cm^3 ；

m ——材料的绝对干燥质量， 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），如图 1-1 所示。



1—固体物质；2—闭口孔隙；3—开口孔隙。

图 1-1 材料组成示意图

对于开口孔隙的材料,测定其密度时,须先把材料磨成细粉(粒径小于0.2 mm),经干燥至恒重后,用李氏瓶测定其体积,然后按式(1-1)计算得到密度值。材料磨得越细,测得的密度数值就越准确。对于闭口孔隙的材料,测定其密度时,直接以块状材料为试样,以排液置换法测量其体积,近似作为其绝对密实状态的体积,并按照式(1-1)进行计算,所求得的密度称为近似密度(ρ_a)。

2. 表观密度

表观密度指材料在自然状态下单位体积的质量。在实际工程应用中,通常按散状材料与块状材料来区分表观密度。

1) 散状材料

散状材料的表观密度是单位体积(包括内封闭孔隙)的质量。对于散状材料,如砂、石子、水泥等,可直接以排液法求得的体积 V' 作为自然状态下的体积(因未经磨细,而直接排液测体积,故 V' 也可理解为绝对密实状态体积的近似值,按该体积计算出的表观密度也称为视密度),用下式表示:

$$\rho' = \frac{m}{V'} \quad (1-2)$$

式中: ρ' ——材料的表观密度(或称视密度), g/cm^3 ;

m ——材料的绝对干燥质量, g ;

V' ——直接用排液法测得的材料体积,包括固体物质和闭口孔隙体积, cm^3 。

2) 块状材料

块状材料的表观密度指材料在自然状态下单位体积(包括闭口孔隙和开口孔隙)的质量,按下式计算:

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

式中: ρ_0 ——材料的表观密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;

V_0 ——材料在自然状态下的体积,包括材料的固体物质体积和所含孔隙(开口及闭口)体积, cm^3 或 m^3 。

表观密度的大小与密度、孔隙率及孔隙的含水程度有关。材料孔隙越多,表观密度越小;当材料内部孔隙含有水分时,其质量和体积均有所变化,表观密度一般变大。所以,材料的表观密度有气干状态下测得的值和绝对干燥状态下测得的值(干表观密度)。在进行材料试验时以干表观密度为准。

3. 堆积密度

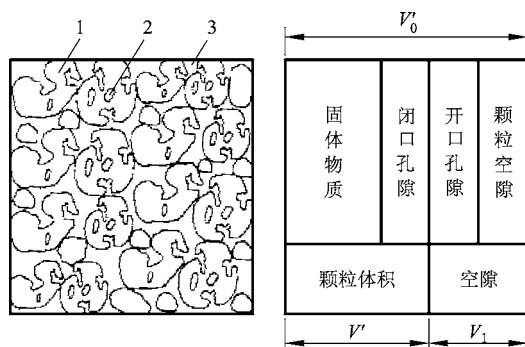
堆积密度是指散粒状或粉状材料,在自然堆积状态下单位体积的质量,用下式表示:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-4)$$

式中: ρ'_0 ——材料的堆积密度, g/cm^3 或 kg/m^3 ;

m ——材料的质量, g 或 kg ;

V'_0 ——材料的自然堆积体积,包括颗粒体积和颗粒之间空隙的体积(图1-2), cm^3 或 m^3 。



1—固体物质；2—闭口孔隙；3—空隙。

图 1-2 散粒材料堆积及体积示意图

材料的堆积密度与材料的表观密度、颗粒形状、级配及测定时材料装填方式和疏密程度有关。疏松堆积方式测得的堆积密度值通常小于紧堆积时的测定值。所以计算材料的用量、构件的自重、配料计算以及确定材料的堆放空间时，常用松散堆积密度来确定。常用的土木工程材料的有关数据见表 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 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	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	3.10	—	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	—	—

4. 密实度和孔隙率

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

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

孔隙率是指材料的孔隙体积占材料总体积的百分率,以 P 表示,可用下式计算:

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-6)$$

即 $D + P = 1$

或 密实度 + 孔隙率 = 1

材料的密实度和孔隙率反映了材料的致密程度。材料的强度、吸水性、抗渗性、抗冻性、导热性、吸声性等都与材料的孔隙率大小有关。在孔隙率相同的条件下,材料内部开口孔隙增多会使材料的吸水性、吸湿性、透水性、吸声性提高,但是抗冻性和抗渗性变差;反之,材料内部闭口孔隙的增多会提高材料的保温隔热性和抗冻性。

5. 填充率和空隙率

填充率是指在某堆积体中,被散粒材料的颗粒所填充的程度,以 D' 表示。按下式计算:

$$D' = \frac{V_0'}{V_0} \times 100\% \quad \text{或} \quad D' = \frac{\rho_0'}{\rho_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

空隙率是指在某堆积体中,散粒或粉状材料颗粒之间的空隙体积占其自然堆积体积的百分率,用 P' 表示,按下式计算:

$$P' = \frac{V_0' - V_0}{V_0'} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0'}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (1-8)$$

即 $D' + P' = 1$

或 填充率 + 空隙率 = 1

空隙率的大小反映了散粒或粉状材料颗粒之间相互填充的紧密程度。空隙率可以作为控制混凝土集料的级配及计算砂率的依据。

1.1.2 与水有关的性质

1. 材料的亲水性和憎水性

根据材料在与水接触时,能被水所润湿的程度,可将材料分为亲水性材料与憎水性材料两大类。

土木工程中的建筑物常与水或大气中的水汽接触,不同材料表面与水分接触都会产生相互作用。如图 1-3 所示,在材料、水、空气三相的交点处,沿水滴表面的切线与水和固体接触面之间所成的夹角 θ 称为润湿角。润湿角 θ 越小,浸润性越好,水分越容易被材料表面吸附。如果润湿角 θ 为零,则表示该材料完全被水浸润。当润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 时,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;当润湿角 $\theta > 90^\circ$ 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



微课4: 建筑材料与水有关的性质

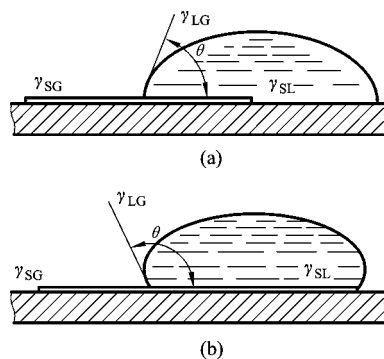


图 1-3 材料的润湿示意图

(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料

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。

材料表现出的亲水性或憎水性,是由材料分子与水分子间的引力以及水分子间的相互引力大小决定的,若前者大于后者,则呈亲水性;若前者小于后者,则呈憎水性。

2. 材料的吸水性和吸湿性

1) 吸水性

材料在浸水状态下,即材料在水中吸收水分的能力称为吸水性。吸水性大小用吸水率表示。吸水率通常用质量吸水率和体积吸水率来表示。

(1) 质量吸水率

材料吸水饱和时,它所吸收水分的质量占材料干燥时质量的百分率,按下式计算

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

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;

$m_{\text{干}}$ ——材料烘干至恒重的质量, g。

(2) 体积吸水率

材料吸水饱和时,吸收水分的体积占干燥材料自然体积的百分率,可按下式计算

$$W_{\text{体}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_0} = \frac{m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}}{\rho_{\text{水}} \cdot V_0} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中: $W_{\text{体}}$ ——材料的体积吸水率, %;

$V_{\text{水}}$ ——吸水饱和后,吸入水的体积, cm^3 ;

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度,在常温下 $\rho_{\text{水}} = 1.0 \text{ g/cm}^3$ 。

质量吸水率与体积吸水率的关系为

$$W_{\text{体}} = W_{\text{质}} \times \frac{\rho_0}{\rho_{\text{水}}} \quad (1-11)$$

在工程材料中,多数情况下是按照质量计算吸水率,也有按照体积计算吸水率的(吸入水的体积占材料表观体积的百分率)。吸水率的大小不仅取决于材料本身是亲水的还是憎水的,而且还与材料的孔隙率的大小及孔隙特征有关。一般孔隙率越大,开口孔隙越多,则材料吸水性越强;孔隙率相同的情况下,具有细小连通孔的材料比具有较多粗大开口孔隙或闭口孔隙的材料吸水性更强。这是由于闭口孔隙水分不能进入,而粗大开口孔隙不易吸满水分。具有很多微小孔隙的材料,吸收率较大,但由于微小孔隙中存在空气,在正常情况下水分不易进入,因而,在测定材料吸水性时一般采用真空法。

由于孔隙结构的不同,各种材料的吸水率也有差别。比如花岗岩等致密岩石,其吸水率仅为 0.5% ~ 0.7%,普通混凝土的吸水率为 2% ~ 3%,黏土砖的吸水率为 8% ~ 20%,而木材或其他轻质材料的吸水率则大于 100%。同时,水分的吸入也给材料带来一系列的不良影响,使材料的许多性质发生改变,如体积膨胀、保温性下降、抗冻性变差等。

2) 吸湿性

材料在潮湿的空气中吸收水分的性质,称为吸湿性。吸湿性的大小用含水率来表示,可按下式计算:

$$W_{\text{含}} = \frac{m_{\text{含}} - m_{\text{干}}}{m_{\text{干}}} \times 100\% \quad (1-12)$$

式中: $W_{\text{含}}$ ——材料的含水率, %;

$m_{\text{含}}$ ——材料含水时的质量, g;

$m_{\text{干}}$ ——材料在干燥状态下的质量, 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, 及随温度、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。

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。

当水分子材料进入后, 由于材料表面力的作用, 会在材料表面定向吸附, 产生破坏作用, 导致材料强度降低或使材料产生膨胀而开裂。因此, 一般材料遇到水后, 强度都会有不同程度的降低。材料的耐水性用软化系数来表示, 可按式计算

$$K_{\text{软}} = \frac{f_{\text{饱}}}{f_{\text{干}}} \quad (1-13)$$

式中: $K_{\text{软}}$ ——材料的软化系数;

$f_{\text{饱}}$ ——材料在饱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。

软化系数一般为 0 ~ 1, 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, 它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

材料抵抗压力水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) 渗透参数

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, 如图 1-4 所示, 用公式表示为:

$$W = K \cdot \frac{h}{d} At \quad (1-14)$$

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

式中: K ——渗透系数, cm/h;

W ——透过材料试件的水量, cm^3 ;

t ——透水时间, h;

A ——渗水面积, 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。一些抗渗防水材料(如油毡)的抗渗性常用渗透系数表示。

2) 抗渗等级

材料的抗渗性也可用抗渗等级表示。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水压力来确定, 以符号“ P_n ”表示, 其中 n 以该材料所能承受的最大水压力(MPa)的 10 倍值来表示, 用下式计算

$$P_n = 10p - 1 \quad (1-16)$$

式中: P_n ——抗渗等级;

p ——开始渗水前最大水压力, MPa。

混凝土和砂浆抗渗性的好坏常用抗渗等级来表示, 如 P_4 、 P_6 、 P_8 分别表示试件能承受 0.4 MPa、0.6 MPa、0.8 MPa 的水压力而不渗水。抗渗等级越大, 材料的抗渗性越好。

材料的抗渗性不仅取决于其是亲水性还是憎水性, 更取决于材料的孔隙率及孔隙特征。孔隙率越小, 抗渗性越好; 在孔隙率相同条件下, 开口孔隙越多、孔径尺寸大且连通的材料, 抗渗性越差。

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受多次冻融循环而不被破坏, 也不严重降低强度的性质, 称为抗冻性。抗冻性的大小用抗冻等级和最大冻融循环次数表示, 符号“ F_n ”, 其中 n 表示最大冻融循环次数, 如 F_{15} 、 F_{25} 、 F_{50} 、 F_{100} 等。

抗冻等级的选择, 是根据结构物的种类、使用条件、气候条件等来决定的。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。材料在冻融循环作用下产生破坏的原因, 是材料内部孔隙中的水结冰时发生体积膨胀, 从而使孔隙中的水压力增大, 对孔壁产生较大应力。当此应力超过材料的抗拉强度极限时, 材料孔壁产生局部开裂, 强度随之降低。随冻融循环次数的增多破坏逐渐加强。

工程中材料抗冻性的好坏取决于其孔隙率、孔隙特征及充水程度, 材料的变形能力大、强度高、软化系数大时, 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察材料耐久性的一项指标。

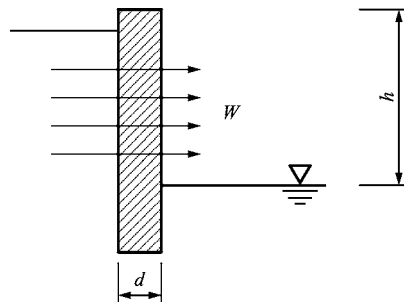


图 1-4 材料透水示意图



1.1.3 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,如图 1-5 所示。材料传导的热量 Q 与导热面积 A 成正比,与时间 t 成正比,与材料的厚度 d 成反比,即

$$Q = \lambda \frac{At(T_1 - T_2)}{d} \quad (1-17)$$

$$\lambda = \frac{Qd}{At(T_1 - T_2)} \quad (1-18)$$

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

Q ——传导的热量, J ;

A ——热传导面积, m^2 ;

d ——材料厚度, m ;

t ——热传导时间, s ;

$T_1 - T_2$ ——材料两侧温差, K 。

材料的导热性用导热系数(亦称热导率 λ)来表示,单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。导热系数 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 时间内通过单位面积的热量。

显然,导热系数 λ 越小,材料的保温隔热性能越好。在多孔材料中,热是通过固体骨架和孔隙中的空气而传递的,空气的导热系数很小, $\lambda_{\text{空气}} \leq 0.023 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,远远小于固体物质的导热系数。孔隙率越大的材料,内部空气较多,导热性较差。但是如果孔隙粗大,空气会形成对流,材料的导热性会增加。

材料的导热系数大小与其组成及结构、孔隙率、孔隙特征、温度、湿度、热流方向等有关。一般来讲,金属材料、无机材料、晶体材料的导热系数分别大于非金属材料、有机材料、非晶体材料。

保温隔热性和导热性都是指材料传递热量的能力,工程中常采用多孔材料作为保温隔热材料,此类材料在使用中要注意防潮、防冻。因为水的导热系数是空气的 25 倍,而冰的导热系数又是水的 4 倍,因此,当材料受潮或受冻结冰时会使导热系数急剧增大,导致材料的保温隔热性能变差。

2. 热容量

材料受热时吸收热量或冷却时放出热量的能力称为热容量。热容量的大小用比热容来表示。比热容在数值上等于 1 g 材料,温度升高或降低 1 K 时所吸收或放出的能量 Q ,用下式表示

$$c = \frac{Q}{m(T_1 - T_2)} \quad (1-19)$$



保温材料

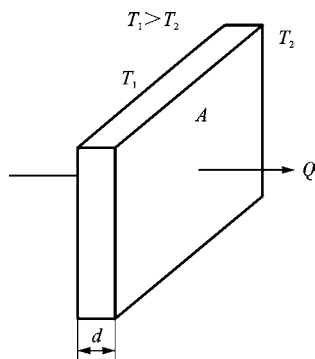


图 1-5 材料传热示意图

式中： c ——材料的比热容， $\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})$ ；
 Q ——材料吸收或放出的热量， J ；
 m ——材料的质量， g ；
 $T_1 - T_2$ ——材料受热或冷却前后的温度差， K 。

比热容的大小直接反映出材料吸热或放热的能力大小。比热容大的材料，能在热流变动或者采暖设备供热不均匀时，缓解室内温度变动。材料的导热系数和比热容是设计建筑物维护结构、进行热工计算时的重要参数。不同的材料，其比热容不同，即使是同种材料，由于物态不同，其比热容也不相同。常见建筑材料的导热系数和比热容见表 1-2。

表 1-2 常用建筑材料的导热系数和比热容指标

材料名称	导热系数 λ / $[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$	比热容 c / $[\text{J} \cdot (\text{g} \cdot \text{K})^{-1}]$	材料名称	导热系数 λ / $[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}]$	比热容 c / $[\text{J} \cdot (\text{g} \cdot \text{K})^{-1}]$
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	0.023	1.00

1.1.4 与声学有关的性质

1. 吸声性

声音来源于物体的振动，产生振动的物体称为声源。声音引起邻近空气的振动而形成声波，并在空气介质中向四周传播。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者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，即通常所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。

$$\alpha = \frac{E}{E_0} \times 100\% \tag{1-20}$$

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(包括透过)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 等 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。

1) 影响材料吸声性能的主要因素

(1) 材料的厚度：增加多孔材料的厚度，可提高对低频的吸声效果，而对高频吸声则没有明显影响。

(2) 材料的表观密度：对同一种多孔材料，当其表观密度增大时，对低频的吸声效果提高，对高频的吸声效果则有所降低。

(3) 孔隙的特征：材料的孔隙愈多愈细小，吸声效果愈好，如果孔隙太大，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。

2) 建筑上常用吸声材料(结构)类型

建筑工程中常用吸声材料有石膏砂浆(掺有水泥、玻璃纤维)、水泥膨胀珍珠岩板、矿渣棉、玻璃棉、超细玻璃棉、沥青矿渣棉毡、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。其种类及使用情况见表1-3。



表 1-3 吸声材料种类及使用情况

主要材料		常用材料举例	使用情况
纤维材料	有机纤维材料	动物纤维：毛毡	价格昂贵，使用较少
		植物纤维：麻绒、海草	防火防潮性能差，原料来源丰富
	无机纤维材料	玻璃纤维：中粗棉、超细棉、玻璃棉毡	吸声性能好，保温、隔热、不燃、防腐防潮，应用广泛
		矿渣棉：散棉、矿棉毡	吸声性能好，松散材料易自重下沉，施工扎手
	纤维材料制品	软质木纤维板、矿棉吸声板、岩棉吸声板、玻璃棉吸声板	装配式施工，多用于室内吸声装饰工程
颗粒材料	砌块	矿渣吸声砖、膨胀珍珠岩吸声砖、陶土吸声砖	多用于砌筑截面较大的消声器
	板材	膨胀珍珠岩吸声装饰板	质轻、不燃、保温、隔热、强度偏低
泡沫材料	泡沫塑料	聚氨酯及脲醛泡沫塑料	吸声性能不稳定，吸声系数使用前需实测
	其他	泡沫玻璃	强度高、防水、不燃、耐腐蚀、价格昂贵，使用较少
		加气混凝土	微孔不贯通，使用较少
		吸声剂	多用于不易施工的墙面等处

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。常用的吸声结构形式有薄板共振吸声结构和穿孔板共振吸声结构(表1-4)。

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。

穿孔板共振吸声结构式用穿孔的胶合板、纤维板、金属板或石膏板等为结构主体，与板

后的墙面之间的空气层(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。

表 1-4 吸声结构类型

结构类型	共振吸声结构	单个共振器
		穿孔板共振吸声结构
		薄板共振吸声结构
		薄膜共振吸声结构
	特殊吸声结构	空间吸声体、吸声尖劈等

3)吸声板的运输和保管注意事项

- (1)用塑料布将每块板包起,再用纸箱或木箱将整批板包装捆好。
- (2)搬运时需轻拿轻放,不得碰撞受压,并须将两块板面对面合在一起搬运。
- (3)搬运车辆应有防雨、防潮措施。
- (4)运输绑绳与吸声板箱接触部位要有保护措施,以防吸声板箱破损。
- (5)吸声板须存放在干燥的仓库内,地面须用木板垫平,离墙距离以大于 40 cm 为宜。
- (6)吸声板立放堆垛,每垛以两层为宜。

2. 隔声性

隔声性指材料隔绝声音的能力。人们要隔绝的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。

$$\tau = \frac{E_{\tau}}{E_0} \tag{1-21}$$

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;

材料的透射系数越小,表明材料的隔声性越好,常用隔声量 R (分贝, dB)表示构件对空气声隔绝的能力,它与透射系数的关系是:

$$R = -10\lg \tau \tag{1-22}$$

式中: R ——隔声量, dB。

隔绝空气声主要是减少声波的透射。对隔绝空气传声,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。

隔绝固体声的方法与隔绝空气声的方法是有区别的,因为建筑构件(材料)本身成为声源而直接向四周传播声能,声波沿固体材料传播时声能衰减极少,所以隔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。

微课5: 建筑材料的
力学性质

1.2 材料的力学性质

1.2.1 强度与比强度

1. 材料的理论强度

材料的理论强度是指材料在理想状态下具有的强度。材料的理论强度取决于其质点间的作用力。以共价键、离子键形成的结构,化学键能高,材料的理论强度和弹性模量值也高。而以分子键形成的结构,化学键能较低,材料的理论强度和弹性模量值均较低。

材料在理想状态下,受拉力破坏造成的结合键的断裂,或因剪力破坏造成的质点间的滑移,其他受力形式导致的材料破坏,实际上都是外力在材料内部产生拉应力和剪应力而造成的。

材料的理论抗拉强度,可用下式表示:

$$f_t = \sqrt{\frac{E\gamma}{d}} \quad (1-23)$$

式中: f_t ——材料的理论抗拉强度, MPa;

E ——材料的弹性模量, N/mm²;

γ ——单位表面能, N/mm²;

d ——原子间的距离, mm。

实际材料与理想材料的差别在于实际材料中存在许多缺陷,例如微裂纹、微孔隙等。当材料受外力作用时,在微裂纹的尖端部位会产生应力集中现象,使得其局部应力大大超过材料的理论强度,而引起裂纹不断扩展、延伸,以致相互连通,最后导致材料的破坏。故材料的理论强度远远大于其实际强度。而消除工程材料内部的缺陷,则会大大提高材料的强度。

2. 材料的强度

材料在外力(荷载)作用下,抵抗破坏的能力称为强度。当材料受外力作用时,其内部将产生应力,外力逐渐增大,内部应力也相应地加大,直到材料结构不再能够承受时,材料即破坏。此时材料所承受的极限应力值,就是材料的强度。

材料的强度通常以材料在外力或其他因素(如限制收缩、不均匀受热等)作用下失去承载能力时的极限应力来表示,常用单位为 MPa(N/mm²)。

试验测定的强度值受材料本身的组成、组织结构、孔隙大小等内在因素的影响。如钢材,其强度随钢材中碳及合金元素含量的变化而变化,也随组织结构的变化而变化,所以钢材可进行冷加工和热处理。同时,也与试验条件有密切关系,如试件的形状、尺寸、含水率、表面状态、温度、试验机的测定范围及试验时的加荷速度等。所以,对于以强度为主要性质的材料,必须严格按照标准试验方法进行静力强度的测试,以使测定结果准确、可靠,具有可比性。

静力强度包括抗压强度、抗拉强度、抗弯强度和抗剪强度,分别表示材料抵抗压力、拉力、弯曲、剪力破坏的能力,如图 1-6 所示。

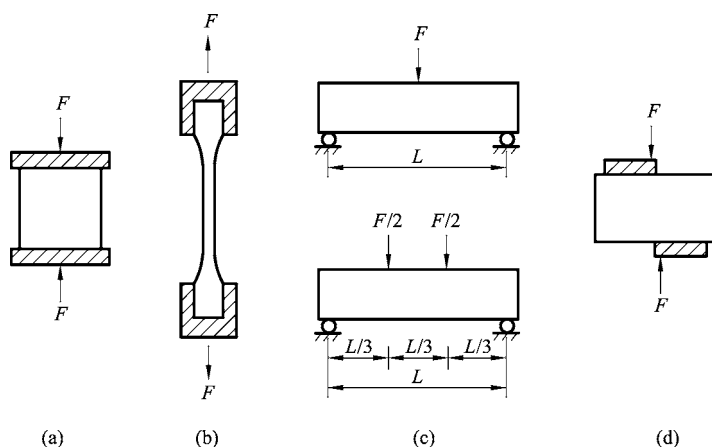


图 1-6 材料受力示意图

(a) 抗压; (b) 抗拉; (c) 抗弯; (d) 抗剪

材料的抗压强度、抗拉强度、抗剪强度的计算公式皆为:

$$f = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1-24)$$

式中: f ——材料的强度, N/mm^2 或 MPa ;

$F_{\max}$ ——材料破坏时的最大荷载, N ;

A ——受力截面的面积, 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

$$f_f = \frac{3F_{\max}L}{2bh^2} \quad (\text{单点集中加荷}) \quad (1-25)$$

$$f_f = \frac{F_{\max}L}{bh^2} \quad (\text{三分点加荷}) \quad (1-26)$$

式中: f_f ——材料的抗弯强度, N/mm^2 或 MPa ;

$F_{\max}$ ——材料破坏时的最大荷载, N ;

L ——两支点的距离, mm ;

b, h ——试件横截面的宽与高, mm 。

相同种类的材料, 随着其孔隙率及构造特征的不同, 各种强度也有差别。一般来说, 孔隙率越大的材料, 强度越低, 其强度与孔隙率有近似直线关系, 如图 1-7 所示。不同种类的材料, 强度差异很大。砖、石材、混凝土和铸铁等材料的抗压强度较高, 而抗拉强度及抗弯强度较低。木材的顺纹抗拉强度高于抗压强度。钢材的抗拉、抗压强度都很高。因此, 砖、石材、混凝土等材料多用于结构的承压部位, 如墙、柱、基础等; 钢材则适用于承受各种外力的结构。常用材料的强度值列于表 1-5。

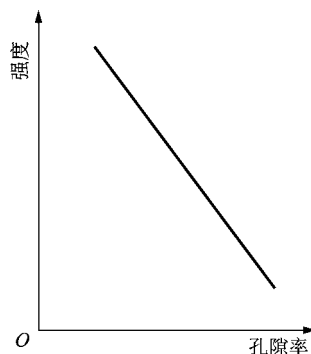


图 1-7 材料的强度与孔隙率的关系

表 1-5 常用材料的强度值 ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 或 MPa)

材料	抗压强度 f_c	抗拉强度 f_t	抗弯强度 f_i
花岗岩	100 ~ 250	5 ~ 8	10 ~ 14
普通黏土砖	10 ~ 30	—	2.6 ~ 10.0
混凝土	10 ~ 100	1 ~ 8	3.0 ~ 10.0
松木(顺纹)	30 ~ 50	80 ~ 120	60 ~ 100
建筑钢材	240 ~ 1500	240 ~ 1500	—

3. 比强度

不同材料强度大小的比较可以采用比强度。比强度是指材料的强度与表观密度之比 f/ρ_0 。它是衡量材料轻质高强的一个重要指标。如 Q235 钢、C30 混凝土, 其比强度分别为 0.53、0.012, 而 MU10 烧结黏土砖的比强度只有 0.006。钢材、木材和混凝土的强度比较见表 1-6。

表 1-6 钢材、木材和混凝土的强度比较

材料	体积密度 $\rho_0/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	抗压强度 f_c/MPa	比强度 f/ρ_0
低碳钢	7850	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

弹性是指材料在应力作用下产生的变形, 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。这种可以恢复的变形, 称为弹性变形。明显具有弹性特征的材料称为弹性材料。

塑性是指材料在应力作用下产生变形, 但不破坏, 当外力消失后, 不能自动恢复到原来形状的性质。这种不可恢复的变形, 称为塑性变形, 或永久变形。明显具有塑性变形特征的材料称为塑性材料。

实际上, 纯弹性与纯塑性的材料是不存在的。不同的材料在力的作用下表现出不同的特征。例如, 有些材料在低应力作用下, 主要发生弹性变形; 而在高于其屈服强度时又产生塑性变形(如建筑钢材)。有些材料在受力时同时产生弹性和塑性变形, 如图 1-8 所示, 这种变形随外力消失而弹性变形消失, 塑性变形存在(如混凝土材料)。

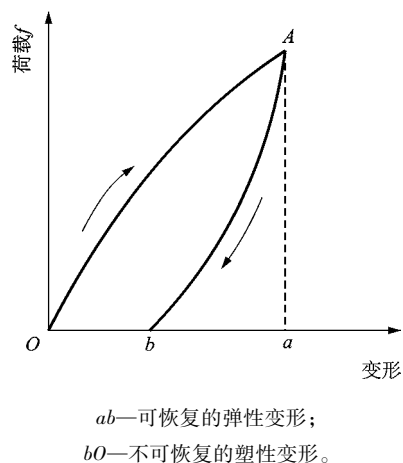


图 1-8 弹塑性材料变形曲线

1.2.3 脆性与韧性

脆性是指材料在外力作用下变形达到一定的限度后,材料突然被破坏且被破坏时无明显的塑性变形的性质。具有这种特性的材料称为脆性材料。脆性材料的变形曲线如图1-9所示。脆性材料的特点是抗压强度远大于其抗拉强度,主要适应于压力静荷载。建筑材料中大部分无机非金属材料均为脆性材料,如天然岩石、陶瓷、砖、玻璃、生铁、普通混凝土等。

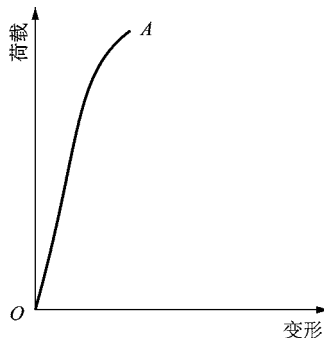


图1-9 脆性材料的变形曲线

韧性是指材料在冲击或振动荷载作用下,能吸收较大能量,产生一定的变形,而不破碎的性能,又叫冲击韧性。具有这种性质的材料叫作韧性材料。

韧性材料的特点是其塑性变形大,受力时产生的抗拉强度接近或高于抗压强度,破坏前有明显征兆,主要适用于承受拉力或动荷载。木材、建筑钢材、沥青混凝土等属于韧性材料。用作路面、桥梁、吊车梁等需要承受冲击荷载和有抗震要求的结构用建筑材料均应具有较高韧性。

1.2.4 材料的硬度与耐磨性

硬度是指材料抵抗其他物体刻划、摩擦、压入其表面的能力。不同的材料要采用不同的硬度测试方法。天然矿物的硬度用抵抗刻划的能力表示,常用莫氏硬度计测定。莫氏硬度计规定了10种不同硬度的矿物作为硬度等级标准,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。采用刻划的方法即可鉴定出被测矿物的硬度。

石材的硬度用抵抗磨耗的能力表示。试件用石英砂磨料经一定摩擦行程后,以单位摩擦面积上的质量损失表示其硬度。

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表示:

$$B = \frac{m_1 - m_2}{A} \quad (1-27)$$

式中: B ——材料的磨损率, g/cm^2 ;

m_1 ——材料磨损前的质量, g ;

m_2 ——材料磨损后的质量, g ;

A ——材料试件的受磨面积, cm^2 。

材料的磨损率越低,表明材料的耐磨性越好。一般硬度较高的材料,耐磨性也较好。

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。



微课6: 建筑材料的耐久性

1.3.1 影响材料耐久性的因素

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。因此无法用一个统一的指标去衡量所有材料的耐久性。材料在实际使用中,除受到各种外力作用外,还会受周边环境和各种自然因素的作用,这些作用具体包括:

(1)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。

(2)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。

(3)生物作用:包括各类细菌和虫类对材料的破坏。

(4)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。

因而,材料的耐久性实际上是衡量材料在上述多种作用下能保持原有性能,从而保证建筑物安全正常使用的性质。材料品质不同,耐久性的内容和指标也不相同。如:金属材料由化学和电化学反应引起腐蚀、破坏,其耐久性主要指标是耐腐蚀性;无机非金属材料(如石料、砖、混凝土)由溶解、风蚀、温差、湿差、摩擦等引起破坏,其耐久性指标主要包括抗渗透性、抗冻性、抗风化性、耐磨性等方面的要求;有机材料由生物作用、光、热、电作用而引起破坏,其耐久性指标包含抗老化性、耐腐蚀性。

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(如表1-7)。这使得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、改善环境条件来减轻对材料的破坏。

表 1-7 材料耐久性与破坏因素的关系

名称	破坏因素分类	破坏因素	评定指标
抗渗性	物理	压力水、静水	渗透系数、抗渗等级
抗冻性	物理、化学	水、冻融作用	抗冻等级、耐久性系数
冲磨气蚀	物理	流水、泥沙	磨蚀率
碳化	化学	CO_2 、 H_2O	碳化程度
化学侵蚀	化学	酸、碱、盐及其溶液	*
老化	化学	阳光、空气、水、温度交替	*
钢筋锈蚀	物理、化学	H_2O 、 O_2 、氯离子、电流	电位锈蚀率
碱集料反应	物理、化学	R_2O 、 H_2O 、活性集料	膨胀率
腐朽	生物	H_2O 、 O_2 、菌	*
虫蛀	生物	昆虫	*
耐热	物理、化学	冷热交替、晶型转变	*
耐火	物理	高温、火焰	*

注: * 表示可参考强度变化率、开裂情况、变形情况、破坏情况等进行评定。



影响材料耐久性的因素

1.3.2 耐久性的测定

对材料耐久性进行可靠的判断,需要很长的时间。通常采用快速检验法进行测定,该方法是在模拟使用条件下,将材料在实验室进行有关的快速试验,根据试验结果对材料的耐久性做出判定。在实验室进行快速试验的项目主要有冻融循环、干湿循环、碳化等。

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 建筑材料基本物理性质的检测

1.4.1 材料密度的检测

1. 检测目的

检测材料的密度。本试验以石料的密度检测为例。

2. 主要仪器设备

(1) 李氏密度瓶;容积为 220 ~ 250 mL,带有长为 18 ~ 20 cm 的细颈,细颈上刻有度数,精确到 0.1 mL(如图 1-10)。

(2) 恒温水槽:测定密度时,需在相同温度下得到两次读数,容器温度应能保持在 $(T \pm 1)^\circ\text{C}$ 。

(3) 天平:感量为 0.001 g。

(4) 轧石机:供初碎石料试样用。

(5) 球磨机:供磨碎石粉用。

(6) 研钵:供磨细石粉用。

(7) 烘箱:能使温度控制在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。

(8) 煤油:无水,使用前应过滤,抽去煤油中的空气。

(9) 干燥器:内装氯化钙或硅胶等干燥剂。

(10) 其他用品:温度计、0.25 mm 筛、移液管、漏斗、瓷皿、滤纸。

3. 试样准备

先取一份岩石试样在小型轧石机上初碎(或手工锤碎),再放入球磨机中进一步磨碎,然后用研钵研细,通过 0.25 mm 筛,取通过部分石粉备用。

4. 检测步骤

(1) 用瓷皿称取石粉约 100 g,将石粉放入 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 烘烤箱中烘 6 ~ 12 h 至恒重后,取出试样放于干燥器内冷却至室温备用。

(2) 用抽去空气的煤油灌入李氏密度瓶中至零点刻度线以上,读起始读数,以弯液面的下部为准。将密度瓶置于标定温度恒温水槽内,使刻度线部分浸入水中,恒温 0.5 h,记下第一次读数 V_1 ,准确至 0.05 mL。恒温结束后取出李氏密度瓶,用滤纸把李氏密度瓶内起始读数以上部分仔细擦净。

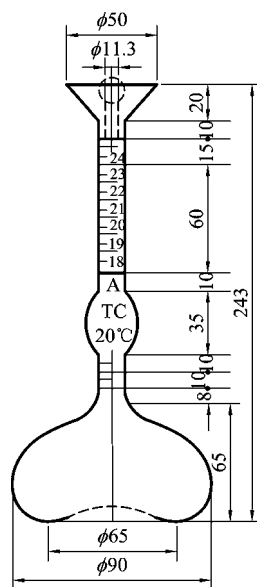


图 1-10 李氏密度瓶

(3) 从干燥器中取出冷却后的试样, 在天平上准确称量瓷皿加石粉的合质量 m_1 , 准确至 0.001 g。

(4) 用小匙小心地把石粉通过漏斗装入瓶中, 注意勿使石粉粘附于液面以上的瓶颈内壁上, 也勿每次加入过多石粉以免漏斗颈堵塞。当液面上升至 20 mL 刻度处, 停止加入石粉, 转动李氏密度瓶排去其中的空气。然后再将密度瓶放入恒温水槽, 在第一次相同的温度下恒温 0.5 h, 记下第二次读数 V_2 , 准确至 0.05 mL。

(5) 准确称量出瓷皿与剩余石粉的合质量 m_2 , 准确至 0.001 g。

5. 结果计算与结论评定

(1) 石料真实密度按下式计算。

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V} \quad (1-28)$$

$$V = V_2 - V_1$$

式中: ρ ——石料真实密度, 精确至 0.01 g/cm³;

m_1 ——试验前石粉加瓷皿的合质量, g;

m_2 ——试验后剩余石粉加瓷皿的合质量, g;

V ——被石粉所排开的液体体积, 即第二次读数 V_2 减去第一次读数 V_1 , cm³。

(2) 以两次试验结果的算术平均值作为测定值, 若两次试验结果之差大于 0.02 g/cm³ 时, 应重新取样试验。

6. 注意事项

(1) 试样烘干至恒重是指相邻两次称量间隔时间不大于 3 h 的情况下, 前后两次称量之差小于该项试验所要求的称量精度。

(2) 用小匙向密度瓶中通过漏斗装入石粉时, 注意石粉损失, 倾注时注意勿使石粉黏附于液面以上的瓶颈内壁, 每次加入少量石粉避免堵塞漏斗颈。倾注完后应当排除空气和保持恒温。

(3) 两次平行试验的精度误差应满足试验规定的要求。

石料的密度试验报告

实验人员:

试验日期:

指导老师:

实验次数	试验前剩余石粉 + 瓷皿的质量 m_1/g	试验后剩余石粉 + 瓷皿的质量 m_2/g	装入李氏密度瓶的石粉质量 $(m_1 - m_2)/g$	李氏密度瓶液面读数		石粉体积 $V = (V_2 - V_1)$ /cm ³	石料密度 /(g · cm ⁻³)	
				装入石粉前 V_1/cm^3	装入石粉后 V_2/cm^3		单个值	平均值

1.4.2 材料的表观密度试验(标准法)

1. 检测目的

测定石子的单位体积物质的干质量, 为空隙率计算和水泥混凝土配合比设计提供数据。

2. 主要仪器设备

- (1)天平：量程 5 kg，感量 1 g。
- (2)吊篮：直径与高度均为 150 mm，由孔径为 1 ~ 2 mm 的筛网或钻有 2 ~ 3 mm 孔洞的耐腐蚀金属板制成。
- (3)烘箱：能使温度控制在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。
- (4)试验筛：孔径为 4.75 mm。
- (5)盛水容器：有溢流孔。
- (6)温度计：0 ~ 100℃。
- (7)带盖容器、浅盘、刷子和毛巾等。

3. 试样准备

试样制备应符合下列规定：试验前，将样品筛去 4.75 mm 以下的颗粒，并缩分至略大于表 1 - 8 所规定的数量，刷洗干净后分成两份备用。

表 1 - 8 表观密度试验所需的试样最少用量

最大粒径/mm	小于 26.5	31.5	37.5	63.0	75.0
试样最少质量/kg	2.0	3.0	4.0	6.0	6.0

4. 检测步骤

- (1)取一份试样装入吊篮，浸入盛水容器中，液面需高出试样表面 50 mm。浸水 24 h 后，移放到称量用的盛水容器中，并用上下升降吊篮的方法排除气泡。吊篮每升降一次约 1 s，升降高度为 30 ~ 50 mm。
- (2)测定水温后(吊篮应全浸在水中)，准确称出吊篮及试样在水中的质量，精确至 5 g。称量时盛水容器中水面的高度由容器的溢流孔控制。
- (3)提起吊篮，将试样倒入浅盘，放在烘箱中于 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下烘干至恒温重，待冷却至室温后，称出其质量，精确至 5 g。
- (4)称出吊篮在同样温度的水中的质量，精确至 5 g。称量时盛水容器的水面高度仍由溢流孔控制。

5. 结果计算与结论评定

石子表观密度 ρ_0 按下式计算(精确至 10 kg/m^3)：

$$\rho_0 = \frac{m_0}{m_0 + m_2 - m_1} \times \rho_{\text{水}} \% \quad (1 - 29)$$

式中： ρ_0 ——表观密度， kg/m^3 ；

m_0 ——烘干后试样的质量，g；

m_1 ——吊篮及试样在水中的质量，g；

m_2 ——吊篮在水中的质量，g；

$\rho_{\text{水}}$ —— 1000 kg/m^3 。

6. 注意事项

- (1)试验时各项称量可以在 15 ~ 25℃ 范围内进行，但从试样加水静止的 2 h 起至试验结

束,其温度变化不应超过 2℃。

(2) 表观密度取两次试验的算术平均值,两次试验结果之差大于 20 kg/m^3 ,须重新试验。对颗粒材质不均的试样,如两次试验结果之差超过 20 kg/m^3 ,可取 4 次试验结果的算术平均值。

石子的表观密度试验报告

实验人员: _____ 试验日期: _____ 指导教师: _____

试验次数	烘干后试样质量 m_0/g	吊篮及试样在水中的质量 m_1/g	吊篮在水中的质量 m_2/g	表观密度 ρ_0 $/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	平均值 $/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
1					
2					
结论					

1.4.3 材料的吸水率试验

1. 检测目的

测定材料在吸水饱和状态下的吸水量与干燥状态下材料的质量或体积的比值。

2. 主要仪器设备

- (1) 烘箱。
- (2) 天平。
- (3) 玻璃(或金属)盆。
- (4) 游标卡尺。

3. 检测步骤

- (1) 从干燥器中取出试样,称取其质量 $m(\text{g})$ 。
- (2) 将试样放在金属或玻璃盆中,并在盆底放置垫条(玻璃管或玻璃棒,使试样底面与盆底不致紧贴,试样之间应留出 1~2 cm 的间隙,使水能够自由进入)。
- (3) 加水至试样高度的三分之一处,24 h 后再加水至试样高度三分之二处,再过 24 h 后加满水,并放置 24 h。逐次加水的目的在于使试样内空气逸出。
- (4) 取出试样,用拧干的湿毛巾轻轻擦去表面水分(不得来回擦拭)后称取其质量 $m_1(\text{g})$ 。
- (5) 为检验试样是否吸水饱和,可将试样再浸入水中至试样高度四分之三处,过 24 h 后重新称量,两次称量的结果之差不得超过 1%。

4. 结果计算与结论评定

材料的吸水率 $W_{\text{质}}$ 及 $W_{\text{体}}$ 按下式计算

$$W_{\text{质}} = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\% \quad (1-30)$$

$$W_{\text{体}} = \frac{m_1 - m}{\rho_{\text{水}} V} \times 100\% \quad (1-31)$$

式中: $W_{\text{质}}$ ——材料的质量吸水率, %;

$W_{\text{体}}$ ——材料的体积吸水率, %;
 m ——试样的干燥质量, g;
 m_1 ——试样的吸水饱和质量, g;
 V ——试样在自然状态下的体积, cm^3 ;
 $\rho_{\text{水}}$ ——水的密度, 常温下 $\rho_{\text{水}} = 1.0 \text{ g/cm}^3$ 。

材料吸水率试验报告

试验人员: _____ 试验日期: _____ 指导教师: _____

试验编号	试样干燥质量 m/g	试样的吸水饱和质量 m_1/g	材料的质量吸水率 $W_{\text{质}}/\%$	材料的体积吸水率 $W_{\text{体}}/\%$
1				
2				
3				
吸水率平均值				
备注	材料的吸水率试验应用三个试样平行进行, 并用三个试样吸水率的算术平均值作为试验结果			

模块小结

在不同建筑物中各种建筑工程材料应具备的性质不同。一般来说, 建筑工程材料的性质分为三个方面: 物理性质、力学性质和耐久性。其中, 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、大气稳定性等。

建筑工程材料各种性质的表示方法、影响因素、检测方法等应重点掌握。

技能考核题

一、填空题

1. 材料的吸水性是指材料在_____吸收水分的性质, 用_____来表示; 吸湿性是指材料在_____吸收水分的性质, 用_____来表示。
2. 材料耐水性的强弱可以用_____来表示; 材料的耐水性越好, 该数值越_____。
3. 材料的抗冻性以材料在_____状态下所能抵抗的_____来表示。
4. 一般来说, 材料的孔隙率越大, 则材料的强度越_____, 保温性越_____, 吸水率越_____。
5. 材料含水率增加, 导热系数随之_____, 当水结冰时, 导热系数_____。

二、单项选择题

1. 将一批混凝土试件, 经标准养护至此 28 天后测得其平均抗压强度为 23 MPa, 干燥状态下的平均抗压强度为 25 MPa, 吸水饱和状态下的平均抗压强度为 22 MPa, 则其软化系数为

- ()。
- A. 0.92 B. 0.88 C. 0.96 D. 0.90
2. 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
3. 某种材料的密度为 ρ , 表观密度为 ρ_0 , 松散密度为 ρ'_0 , 三者的大小关系为()。
- A. $\rho > \rho_0 > \rho'_0$ B. $\rho_0 > \rho > \rho'_0$ C. $\rho'_0 > \rho_0 > \rho$ D. $\rho > \rho'_0 > \rho_0$
4. 材料的抗渗性是指材料抵抗()渗透的性质。
- A. 水 B. 潮气 C. 压力水 D. 饱和水
5. 表观密度是指材料在()下, 单位体积的质量。
- A. 自然状态 B. 绝对体积近似值 C. 绝对密实状态 D. 松散状态
6. 经常位于水中或受潮严重的重要结构物的材料, 其软化系数不宜小于()。
- A. 0.70 B. 0.75 C. 0.85 D. 0.90
7. 当材料的润湿角(), 该材料称为憎水性材料。
- A. $\leq 90^\circ$ B. $\geq 90^\circ$ C. $< 90^\circ$ D. $> 90^\circ$
8. 材料的耐水性是指材料()而不破坏, 其强度也不会显著降低的性质。
- A. 在水作用下 B. 在压力水作用下
- C. 长期在饱和水作用下 D. 长期在湿气作用下

三、多项选择题

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. 组成成分 B. 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

四、判断题

1. 含水率为 4% 的湿砂重 100g, 其中水的重量为 4g。 ()
2. 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。 ()
3. 在进行材料抗压强度试验时, 大试件比小试件的试验结果指标值偏小。 ()
4. 材料的冻融破坏主要是由于材料的水结冰造成的。 ()

五、名词解释

- 堆积密度
- 孔隙率
- 抗冻性
- 抗渗性
- 耐久性

六、案例分析

新建的房屋保暖性差, 到冬季保暖性更差, 请分析原因。

模块二 气硬性无机胶凝材料

【能力目标】

1. 能正确应用及保管石灰、石膏等气硬胶凝材料。
2. 能根据相关标准检测石灰的性能。
3. 能根据相关标准判定石膏的质量等级。
4. 能分析施工中气硬胶凝材料使用不当的原因。

【知识目标】

1. 掌握石灰、石膏等气硬胶凝材料的技术性能及应用。
2. 熟悉气硬胶凝材料的种类、凝结硬化特点及储运。
3. 熟悉气硬胶凝材料的性能检测方法。
4. 了解气硬胶凝材料的生产方法。

【本模块推荐学习的标准和规范】

《建筑生石灰》(JC/T 479—2013)

《建筑消石灰》(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。

根据胶凝材料的化学组成可分为有机胶凝材料 and 无机胶凝材料两类。沥青、树脂、橡胶等属于有机胶凝材料,石灰、水泥、石膏、水玻璃和菱苦土等属于无机胶凝材料。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。所谓气硬性胶凝材料,是指只能在空气中硬化并保持或继续提高其强度的胶凝材料,如石灰、石膏、菱苦土、水玻璃等。气硬性胶凝材料一般只适合于地上或干燥环境,不宜用于潮湿环境,更不可用于水中。水硬性胶凝材料是指不仅能在空气中硬化,而且能更好地在水中硬化并保持或继续提高其强度的胶凝材料(如水泥)。水硬性胶凝材料既适用于地上,也适用于地下或水中。

2.1 建筑石灰

石灰是不同化学组成和物理形态的生石灰、消石灰、水硬性石灰与气硬性石灰的统称。因其原料来源广,生产快,成本低,至今仍广泛应用于建筑工程中。

2.1.1 石灰的品种和生产

1. 品种

石灰是以碳酸盐类岩石经过高温煅烧得到的一种气硬性胶凝材料。其主要成分为氧化钙

(CaO)和氧化镁(MgO)。

1)根据成品加工方法分类

(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:块状生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Ca(OH)₂;

(4)石灰膏: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Ca(OH)₂。

2)根据石灰的化学成分分类

分为钙质石灰(MgO≤5%)和镁质石灰(MgO>5%)。

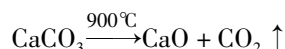
建筑石灰的分类及代号见表2-1。

表2-1 建筑石灰的分类及代号

类别与代号		名称与代号
生石灰块(Q) 生石灰粉(QP)	钙质石灰(CL)	钙质石灰 90(CL90)、钙质石灰 85(CL85)、钙质石灰 75(CL75)
	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)

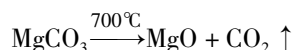
2. 生产

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。



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。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CaCO₃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SiO₂和Al₂O₃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。

在石灰的原料中,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:



根据石灰中氧化镁含量多少,将石灰分为钙质石灰(MgO含量≤5%)、镁质石灰(MgO含量>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。

3. 石灰的熟化

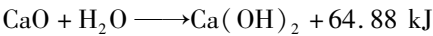
1)熟化过程

块状生石灰在使用前都要加水消化,这一过程称为“消解”或“熟化”,也可称之为“淋



建筑石灰的生产

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。煅烧良好、氧化钙含量高、杂质含量小的生石灰，其熟化速度快，放热量和体积增大也多。二是体积膨胀大（为1~2.5倍）。

2) 熟化方法

(1) 经过筛与陈伏后制成石灰膏



石灰中含有过火石灰和欠火石灰。欠火石灰降低石灰的利用率，而过火石灰则水化反应非常缓慢。为避免使用中过火石灰由于水化反应而产生体积膨胀和开裂，常将石灰中加入大量水使其成为石灰浆，通过筛网过滤（除渣）流入储灰池两周，石灰浆在储灰池中沉淀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。

(2) 制成消石灰粉

用于拌制三合土、石灰土时，将生石灰中加入水（理论需水量为 32%），消解成氢氧化钙，再经磨细、筛分而得干粉，称为消石灰粉或熟石灰粉。

消石灰粉放置一段时间，待进一步熟化后使用。由于其熟化中一部分水分被蒸发，而实际的加水量为生石灰重量的 60% ~ 80%，所以应以能充分消解而不过湿成团为宜。

2.1.2 石灰的技术标准

1. 建筑生石灰的技术要求

现行标准《建筑生石灰》(JC/T 479—2013)规定，建筑生石灰的技术要求包括化学成分和物理性能两个方面，其要求见表 2-2。

表 2-2 建筑生石灰的技术指标 (JC/T 479—2013)

名称	CaO + MgO /%	MgO /%	CO ₂ /%	SO ₃ /%	产浆量 /(L/10 kg)	细度	
						0.2 mm 筛 筛余/%	90 μm 筛 筛余/%
CL90 - Q CL90 - QP	≥90	≤5	≤4	≤2	≥26 —	— ≤2	— ≤7
CL85 - Q CL85 - QP	≥85	≤5	≤7	≤2	≥26 —	— ≤2	— ≤7
CL75 - Q CL75 - QP	≥75	≤5	≤12	≤2	≥26 —	— ≤2	— ≤7
ML85 - Q ML85 - QP	≥85	>5	≤7	≤2	—	— ≤2	— ≤7
ML80 - Q ML80 - QP	≥80	>5	≤7	≤2	—	— ≤7	— ≤2

2. 建筑消石灰的技术要求

现行标准《建筑消石灰》(JC/T 481—2013)规定,建筑消石灰的技术要求包括化学成分和物理性能两个方面,其要求见表2-3。

表2-3 建筑消石灰的技术指标(JC/T 481—2013)

名称	CaO + MgO /%	MgO /%	SO ₃ /%	游离水 /%	细度		安定性
					0.2 mm 筛筛余/%	90 μm 筛筛余/%	
HCL90	≥90	≤5	≤2	≤2	≤2	≤7	合格
HCL85	≥85						
HCL75	≥75						
HML85	≥85	> 5					
HML80	≥80						

2.1.3 石灰的技术性质

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。

3) 体积收缩大

石灰在凝结硬化中会蒸发大量的游离水而引起石灰内毛细孔失水而收缩,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的较长时间内,主要成分仍是氢氧化钙(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,所以生石灰长期存放应在密闭条件下,应做到防潮、防水。



2.1.4 石灰的应用

1. 石灰的用途

1) 拌制砂浆和粉刷墙体

将石灰膏或消石灰粉加入多量的水搅拌稀释,成为石灰乳,主要用于内墙和顶棚抹灰,

我国农村房屋建设也用于外墙。还可以掺入各种色彩的耐碱颜料,作为很好的装饰材料。

2) 拌制灰土、三合土

利用石灰与黏性土可拌制成灰土;利用石灰、黏土与砂石或碎砖、炉渣等填料可拌制成三合土;利用石灰与粉煤灰、黏性土按照比例可拌制成二灰土,大量应用于建筑物基础、地面、道路等垫层,地基的换土处理等。二灰土稳定性好、强度高、抗低温,施工方便。

3) 制作碳化石灰板材

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,可以制成轻质碳化石灰板。它能锯、能钉,适宜用作非承重内隔墙板、顶棚等。碳化石灰板保温隔热性好、导热系数低、易加工。

4) 生成硅酸盐制品

将磨细的生石灰或消石灰粉与硅质材料(粒化高炉矿渣、炉渣、粉煤灰等)配合均匀,加水搅拌,再经陈伏、加压成形和压蒸处理等工序而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。

2. 石灰的储运及保管

建筑石灰产品可以散装或包装,包装上应标明产品名称、标记、净重、批号、厂名、地址和生产日期,散装产品需要提供相应的标签。

建筑生石灰是自燃材料,不应与易燃、易爆和液体物品混装。建筑石灰产品在运输和储存时不应受潮和混入杂物,不宜长期储存,不同类石灰应分别储存或运输,不得混杂。

2.2 建筑石膏

石膏及石膏制品具有高强、轻质、隔热、耐火、吸声及易加工等特点,常用于框架轻质板结构工程。

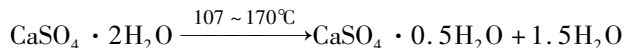
2.2.1 石膏的生产与品种

1. 品种

石膏主要化学成分为硫酸钙,建筑石膏按原材料种类分为天然建筑石膏(N)、脱硫建筑石膏(S)和磷建筑石膏(P)三类,按2h强度(抗折)分为3.0、2.0和1.6三个等级。

2. 生产

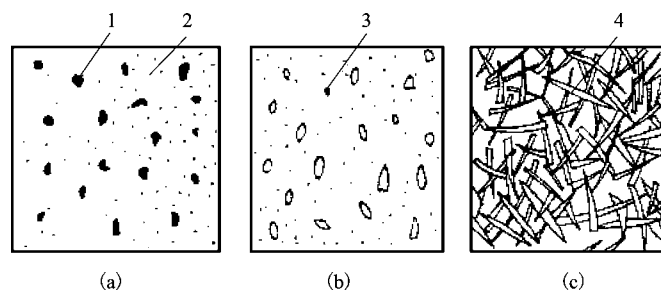
将天然二水石膏或工业副产品石膏经脱水处理,以 β 半水石膏($\beta - \text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)为主要成分,不预加任何外加剂或添加物的粉状胶凝材料,称为建筑石膏。其化学反应如下:



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,并发产生坚硬的固体。半水石膏易溶于水后将重新水化反应生成二水石膏,反应式为





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 2-1 建筑石膏凝结硬化示意

(a) 胶化；(b) 结晶开始；(c) 结晶长大与交错

分解出的二水石膏胶体，相应溶液中的半水石膏也转变为非饱和状态，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，使石膏具有了强度。所以说，石膏的凝结硬化是一个连续的溶解、水化、胶化、结晶的过程。

2.2.3 建筑石膏的技术标准与要求

根据《建筑石膏》(GB/T 9776—2008)规定，建筑石膏组成中 β - $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 的含量(质量分数)不应小于60%，其物理力学性能指标应符合表2-4的要求，工业副产品建筑石膏的放射性核素限量应符合GB 6566的要求。

表 2-4 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 方孔筛的筛余量/%), ≤		10	10	10
2 h 抗折强度/MPa, ≥		3.0	2.0	1.6
2 h 抗压强度/MPa, ≥		6.0	4.0	3.0
凝结时间/min	初凝不早于	3		
	终凝不迟于	30		

2.2.4 建筑石膏的技术性质

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 $800 \sim 1000 \text{ kg/m}^3$ 。建筑石膏中杂质少、色白的，可制作模型用于建筑装饰工艺。

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较低，表观密度小。



建筑石膏的性质

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 $[0.12 \sim 0.20 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$,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°C 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至十几分钟,终凝时间在半小时内,大约一星期完全硬化。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。缓凝剂的作用在于降低半水石膏的溶解度和溶解速度。

5. 耐水性和抗冻性差

建筑石膏硬化后有很强的吸湿性,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。

6. 装饰效果好

石膏颜色洁白,凝结硬化过程中体积具有微膨胀性,所做制品图案饱满,立体感强,因而其装饰效果好。

2.2.5 石膏的应用

建筑石膏在建筑工程中可用作室内粉刷、制造建筑石膏制品等。

1. 室内粉刷

由建筑石膏或由建筑石膏与无水石膏混合后再掺入外加剂、细集料等可制成粉刷石膏。按用途分为面层粉刷石膏(M)、底层粉刷石膏(D)和保温层粉刷石膏(W)三类。粉刷石膏是一种新型室内抹灰材料,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。

石膏板具有轻质、高强、隔热保温、吸音和不燃等性能,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。我国目前生产的石膏板主要有纸面石膏板、石膏空心条板、石膏装饰板、纤维石膏板及石膏吸音板等。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。



建筑石膏制品

2.2.6 石膏的储存、运输

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,需经检验后才能使用。

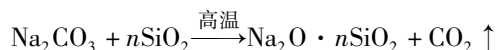
2.3 水玻璃

水玻璃又称“泡花碱”,是一种水溶性硅酸盐,其水溶液俗称水玻璃,是一种矿黏合剂。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物质的量的比值,称为水玻璃的模数。建筑上常用的水玻璃是硅酸钠($Na_2O \cdot nSiO_2$)的水溶液。

水玻璃是气硬性胶凝材料,无色或淡黄、青灰色透明或半透明的黏稠状液体。密度一般为 $1.36 \sim 1.5 \text{ g/cm}^3$, 建筑中常用模数为 $2.6 \sim 2.8$ 的硅酸钠水玻璃,模数越大,黏结力越强,但越难溶于水,当模数大于3.0时,只能溶于热水中。

2.3.1 水玻璃的生产

生产水玻璃的方法有湿法和干法两种。湿法生产硅酸钠水玻璃时,将石英砂和烧碱溶液($2 \sim 3 \text{ atm}$)内用蒸汽加热,并加搅拌,使直接反应而成液体水玻璃。干法(碳酸盐法)是将石英砂和碳酸钠磨细搅匀,在熔炉内于 $1300 \sim 1400^\circ\text{C}$ 温度下熔化,按下式反应生成固体水玻璃,然后在水中加热溶解而成液态水玻璃:



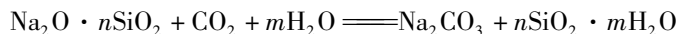
氧化硅和氧化钠的分子比 n 称为水玻璃的模数,一般在 $1.5 \sim 3.5$ 之间。固体水玻璃在水中溶解的难易随模数而定。 $n=1$ 时能溶解于常温的水中, n 加大,则只能在热水中溶解;当 $n>3$ 时,要在 $4 \times 10^5 \text{ Pa}$ 以上的蒸汽中才能溶解。低模数水玻璃的晶体组分较多,模数提高时,液体组分相对增多,黏结力随之增大。

除了液体水玻璃外,尚有不同形状的固态水玻璃,如未经溶解的块状或粒状水玻璃、溶液除去水分后呈粉状的水玻璃等。

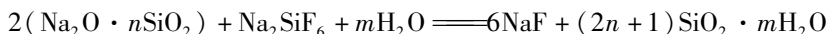
液体水玻璃因所含杂质不同,而呈青灰色、绿色或微黄色,以无色透明的水玻璃最好。液态水玻璃可以与水按任意比例混合成不同浓度(或比重)的溶液。同一模数的液态水玻璃,其浓度越稠,则比重越大,黏结力越强。在液态水玻璃中加入尿素,在不改变其黏度的情况下可提高黏结力25%左右。

2.3.2 水玻璃的硬化

液态水玻璃在空气中吸收二氧化碳,形成无定形硅胶,并逐渐干燥硬化。



这个过程进行很慢,为了加速硬化,可将水玻璃加热或加入氟硅酸钠(Na_2SiF_6)作为加速剂。水玻璃中加入氟硅酸钠后发生如下反应,促使硅酸凝胶析出:



氟硅酸钠的适宜用量为水玻璃的12%~15%,如果用量太少,不但硬化速度缓慢,强度

降低，而且未经反应的水玻璃易溶于水，因而耐水性差，但如用量过多，又会引起凝结过速，使施工困难，而且渗透性差，强度也低。

2.3.3 水玻璃的性质

1. 黏结强度高

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。

3. 耐酸性强

水玻璃能经受除氢氟酸、过热 (300°C 以上) 磷酸、高级脂肪酸或油酸以外的几乎所有的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。

4. 耐碱性和耐水性差

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

2.3.4 水玻璃的应用

1. 土壤加固，提高地基的承载力和不透水性

将模数为 2.5 ~ 3 的液体水玻璃和氯化钙溶液轮流交替压入地基，反应生成的硅酸凝胶将土壤颗粒包裹并填实其空隙。硅酸凝胶吸收地下水而经常处于膨胀状态，可阻止水分的渗透而使土壤固结。常用于粉土、砂土和填土的地基加固，称为双液注浆。

2. 配制快凝防水剂

水玻璃可以两种、三种或四种矾配制成二矾、三矾或四矾快凝防水剂。这种防水剂凝结迅速，一般不超过 1 min，工程上利用它的速凝作用和黏附性，掺入水泥浆、砂浆或混凝土中，用作缝隙修补、堵漏、表面处理等。

3. 涂刷建筑材料表面，可提高材料的抗渗和抗风化能力

用浸渍法处理多孔材料时，可使其密实度和强度提高。对黏土砖、硅酸盐制品、水泥混凝土等均有良好的效果。但不能用以涂刷或浸渍石膏制品，因为硅酸钠与硫酸钙会发生化学反应生成硫酸钠，在制品孔隙中结晶，体积显著膨胀，从而导致制品的破坏。用液体水玻璃涂刷或浸渍含有石灰的材料，如水泥混凝土和硅酸盐制品等时，水玻璃与石灰之间起反应生成的硅酸钙胶体填实制品孔隙，使制品的密实度有所提高。

2.4 气硬胶凝材料性能的检测

2.4.1 气硬胶凝材料的取样与验收

1. 取样

建筑石灰取样时以班产量或日产量为一个批量。生石灰取样时每个批量随机选取 12 个

取样点,每个取样点的取样量不少于 2000 g,其取样总量不少于 24 kg;生石灰粉或消石灰粉取样时每个批量随机选取 10 个取样点,每个取样点的取样量不少于 500 g,其取样总量不少于 5 kg。将所取份样均匀混合好后,采用四分法将其缩分到生石灰不少于 9 kg,生石灰粉或消石灰粉不少于 1 kg。

建筑石膏取样时对于年产量小于 15 万 t 的以不超过 60 t 为一批,对于年产量等于或大于 15 万 t 的以不超过 120 t 为一批,不足一批时按一批计。从一批产品中随机取样不少于 20 kg。

2. 验收

建筑石灰的化学成分和物理性能检验结果均达到标准要求时,则判定为合格产品。

建筑石膏的组成、物理力学性能和放射性核素限量检验结果均达到标准要求时,则判定为合格产品。若有一项以上指标不达标,则判该批产品不合格。若只有一项指标不合格,则取两份样品对不合格项重新检验,若两份样品指标全部合格则判该批产品合格,若仍有一份样品不合格则判该批产品不合格。

2.4.2 建筑石灰细度性能检测

1. 检测目的

检测石灰的细度,用以检验石灰的质量。

2. 主要仪器设备

- (1)筛子:筛孔为 0.2 mm 和 90 μm 套筛。
- (2)天平:量程为 200 g,称量精确到 0.1 g。
- (3)羊毛刷。

3. 检测步骤

称取试样 100 g,放在顶筛上,手持筛子往复摇动,不时轻轻拍打,并保持水平,保持样品在筛子表面连续运动,用羊毛刷轻轻在筛面上刷,直至 1 min 内通过量不大于 0.1 g,分别称量筛余物质量 m_1 、 m_2 ,精确到 0.1 g。

4. 结果计算与结论评定

筛余百分含量(x_1)、(x_2)按下式计算:

$$x_1 = \frac{m_1}{m} \times 100\%$$

$$x_2 = \frac{m_1 + m_2}{m} \times 100\%$$

式中: x_1 ——0.2 mm 方孔筛筛余百分含量,%;

x_2 ——90 μm 方孔筛、0.2 mm 方孔筛两筛上的总筛余百分含量,%;

m_1 ——0.2 mm 方孔筛筛余物质量,g;

m_2 ——90 μm 方孔筛筛余物质量,g;

m ——样品质量,g。

计算结果保留小数点后两位。

石灰细度试验记录

试样方法	试验次数	筛析用试样质量/g	筛上筛余质量/g	筛余百分率/%

模块小结

气硬性胶凝材料是建筑物必不可少的组成材料，石灰、石膏、水玻璃等都是常见的气硬性胶凝材料。

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。石灰常与黏土拌合制作三合土、二灰土等，拌制砂浆，也常用作硅酸盐制品。

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。

技能考核题

一、填空题

1. 无机胶凝材料按硬化条件分_____和_____，石灰属于_____。
2. 工程中使用生石灰一般会将其放入储灰坑里加水封存_____天以上，称为_____，其目的是消除_____的危害。
3. 硬化后石膏的颜色_____，表观密度_____，硬化后体积具有_____，所以常用于装饰工程中。
4. 石灰硬化时开裂，不能单独作制品，常加入_____、_____等提高其抗裂性。
5. 因为石灰具有_____和_____的优点，所以石灰膏掺入水泥砂浆中能改善水泥砂浆_____的缺点。
6. 利用石灰与黏土可拌制成_____，用石灰与砂石、黏土可拌制成_____，用于_____工程中。

二、单项选择题

1. 下列关于灰土和三合土的描述错误的是()。
A. 消石灰粉与黏土、水泥等搅拌夯实成三合土
B. 石灰改善了黏土的可塑性
C. 灰土和三合土的强度得到改善
D. 灰土和三合土可应用于建筑基础
2. 石灰粉刷的墙面出现网状裂缝,是由()引起的。
A. 欠火石灰 B. 过火石灰 C. 干燥收缩 D. 碳化
3. 石灰不能单独使用的原因是硬化时()。
A. 体积膨化大 B. 体积收缩大 C. 放热量大 D. 耐水性差
4. 建筑石膏的存放期不能超过()个月。
A. 1 B. 2 C. 3 D. 4
5. 以下不属于建筑石膏的性能是()。
A. 凝结硬化快 B. 强度高 C. 体积微膨胀 D. 保温隔热

三、多项选择题

1. ()成分含量是评价石灰化学成分指标。
A. 氧化钙 B. 氢氧化钙 C. 碳酸钙 D. 氧化镁
2. 石灰在消化过程中()。
A. 容易形成干缩裂缝 B. 放出大量热量
C. 体积膨胀 D. 与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作用形成 CaCO_3

四、判断题

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. 石膏即耐热又耐火。 ()
3. 石灰陈伏是为了降低石灰熟化时的发热量。 ()
4. 石灰使用时常掺入砂、纤维等材料,以增强其抗压强度。 ()
5. 石灰浆体的硬化按其作用分为干燥作用和碳化作用,碳化作用仅限于表面。 ()

五、名词解释

1. 胶凝材料
2. 气硬性胶凝材料
3. 水硬性胶凝材料
4. 石膏的初凝
5. 石膏的终凝

六、案例分析

某建筑物使用石灰砂浆作为内墙粉刷材料,使用了一段时间后,出现了凸出的呈放射状的裂缝,在墙面个别部位发现了鼓包,试分析上述现象产生的原因,如何防治?

模块三 水 泥

【能力目标】

1. 能根据工程特点及使用环境条件正确选用水泥品种。
2. 能根据相关标准检测水泥的性能。
3. 能对施工现场的水泥进行验收和管理。
4. 能分析并解决施工中因水泥的质量等原因导致的工程技术问题。

【知识目标】

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。

【本模块推荐学习的标准和规范】

《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)



水泥属于水硬性胶凝材料，是建筑工程中最为重要的建筑材料之一，工程中主要用于配制混凝土、砂浆和灌浆材料。

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。

通用水泥是指目前建筑工程中通用的六大水泥，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；而特性水泥是指具有与常用水泥不同的特性，多用于有特殊要求的工程，主要品种有快硬硅酸盐水泥、快凝硅酸盐水泥、抗硫酸盐水泥、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。

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

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。其生产流程可用图3-1表示。



水泥生产工艺

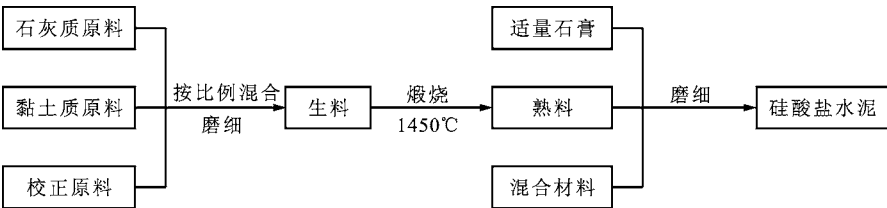


图3-1 硅酸盐水泥生产工艺流程图示意图

3.1.2 硅酸盐水泥熟料矿物组成及特性

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 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ，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，硅酸三钙和硅酸二钙的总含量占75%以上，而铝酸三钙和铁铝酸四钙的总含量仅占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。



水泥熟料矿物

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

各熟料矿物的强度增长情况如图 3-2 所示,水化热的释放情况如图 3-3 所示。

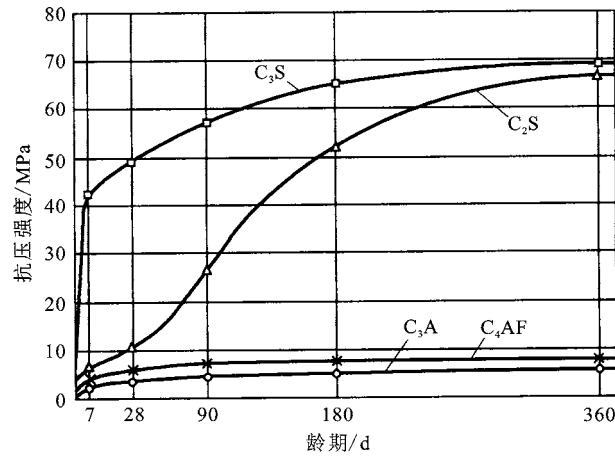


图 3-2 不同熟料矿物的强度增长曲线图

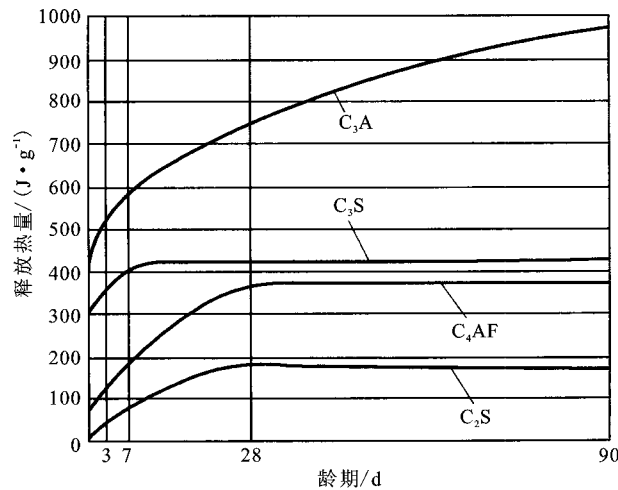


图 3-3 不同熟料矿物的水化热释放曲线图

水泥由多种熟料矿物组成,改变矿物成分间的比例时,水泥性质即发生相应的变化,由此可制成不同性能的水泥。如增加 C₃S 含量,可制成高强水泥和早强水泥(我国水泥标准规定的 R 型水泥)。若增加 C₂S 含量而减少 C₃S 含量,水泥的强度发展慢,早期强度低,但后期强度较高,可制得低水化热水泥。若提高 C₄AF 和 C₃S 的含量,则可制得抗折强度较高的道路硅酸盐水泥。

3.1.3 硅酸盐水泥的水化和凝结硬化

当水泥与适量的水拌和后,最初是形成具有可塑性的浆体,随着水化反应的进行,水化产物逐渐增多(浆体中的水也逐渐减少),水泥浆体逐渐变稠,继而开始失去可塑性(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”。随后凝结了的水泥浆体随着水泥水化的不断进行,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。水泥的水化、凝结、硬化过程如图3-4所示。



图3-4 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,硅酸盐水泥主要的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,所以石膏的掺入量需适量。

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。由于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、它们的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

根据国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)对与硅酸盐水泥的细度、凝结时间、体积安定性、强度等做了如下规定。

1. 细度

细度是指水泥颗粒粗细的程度。水泥细度的评定可以采用筛分析法和比表面积法。筛分析法是用 $80\mu\text{m}$ 或 $45\mu\text{m}$ 的方孔筛对水泥的试样进行筛分析试验,用筛余百分数表示;比表面积法是指单位质量的水泥粉末所具有的总面积,以 m^2/kg 来表示,水泥颗粒越细,比表面



水泥的水化与硬化

积便越大,用勃氏比表面积仪来测定。据国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)的规定,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



水泥性能影响因素

在进行水泥的凝结时间、体积安定性等的测定时,为了让所测得的结果有可比性,要求必须采用标准稠度的水泥净浆来测定。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,一般在 $24\% \sim 33\%$ 之间。

3. 凝结时间

凝结时间分为初凝和终凝。初凝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。

水泥的凝结时间是采用试针沉入水泥标准稠度净浆至一定深度所需的时间表示。凝结时间的测定是以标准稠度的水泥净浆在规定的温度及湿度的环境下,用凝结时间测定仪来测定的。

凝结时间的规定对工程有着十分重要的意义。水泥制品(如混凝土构件)在施工过程中的搅拌、运输、浇筑、成型等工序均应在水泥初凝前完成,所以,水泥的初凝不能过快;当浇筑完毕之后,为使混凝土尽快凝结、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。据《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,否则水泥将作为不合格品处理,严禁用于工程中。

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和游离氧化镁, SO_3 含量过多,或石膏掺量过多。

国标规定,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),在有争议时以雷氏夹法为准。熟料中 MgO 含量不宜超过 5.0% ,经压蒸试验合格后,允许放宽到 6.0% , SO_3 含量不得超过 3.5% 。

5. 强度及等级

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,将水泥、标准砂和水按规定比例(水泥:标准砂:水 = $1:3.0:0.5$),用规定方法制成的规格为 $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$ 的标准试件,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。为了提高水泥的早期强度,现行标准将水泥分为普通型和早强型(用 R 表示)。各等级、各龄期的强度值不得低于表 3-2 中数值。

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, $\geq$		抗折强度/MPa, $\geq$	
		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

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。

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,既有有利的影响,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,使混凝土内部温度升高,而温度升高又会加速了水泥的水化,使得混凝土表面与内部形成过大的温差而产生温差应力,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。但是在混凝土冬季施工时,水化热却又有利于水泥的凝结、硬化和防止混凝土受冻。

7. 密度与堆积密度

硅酸盐水泥的视密度一般在 $3.1 \sim 3.2 \text{ g/cm}^3$ 之间。水泥在松散状态时的堆积密度一般在 $900 \sim 1300 \text{ kg/m}^3$ 。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 。

《通用硅酸盐水泥》(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不得超过 0.75%,Ⅱ型硅酸盐水泥中不溶物的含量不得超过 1.5%。Ⅰ型硅酸盐水泥中的烧失量不得大于 3.0%,Ⅱ型硅酸盐水泥中的烧失量不得大于 3.5%。水泥中的碱含量按 $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值来表示,若使用活性骨料,要限制水泥中的碱含量,由供需双方商定。氯离子含量不得大于 0.06%。

根据国家标准规定:凡化学指标、凝结时间、安定性、强度中有一项不符合标准规定时,均为不合格品。



微课7：水泥的腐蚀



水泥石腐蚀

3.1.5 水泥石的腐蚀与防止

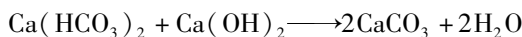
硅酸盐水泥硬化后，在正常使用的条件下，水泥石强度会不断增长，具有较好的耐久性。但水泥石长期处在侵蚀性介质中（如流动的淡水、酸性或盐类溶液、强碱等）时，会逐渐受到侵蚀而变得疏松，强度下降，甚至破坏，这种现象称为水泥石的腐蚀。

1. 水泥石的腐蚀类型

1) 软水的侵蚀（溶出性侵蚀）

当水泥石长期与软水接触时，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，溶解的氢氧化钙便会不断流失，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：

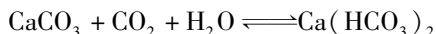
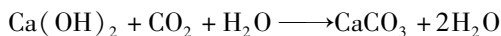


因此，对需要与软水接触的混凝土构件，预先在空气中放置一段时间，使水泥石中的氢氧化钙在空气中的 CO_2 作用下形成碳酸钙外壳，则可对溶出性侵蚀起到一定的保护作用。

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，其反应式如下：

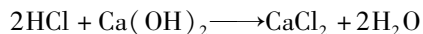


上述第二个反应式是一个可逆反应，若水中含有较多的碳酸，超过了平衡浓度时，上式向右进行，水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 经过上述两个反应式转变为 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 而溶解，进一步导致其他水泥水化产物分解和溶解，使水泥石的结构破坏；若水中碳酸含量不高，低于平衡浓度时，则反应进行到第一个反应式为止，对水泥石并不会起破坏作用。

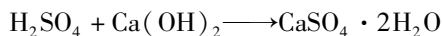
(2) 一般酸的侵蚀

在工业污水和地下水中常含有无机酸（ HCl 、 H_2SO_4 、 H_3PO_4 等）和有机酸（醋酸、蚁酸等），一般来说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破坏。腐蚀作用中 fastest 的是无机酸中的盐酸、氢氟酸、硝酸、硫酸和有机酸中的醋酸、蚁酸和乳酸等。

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：

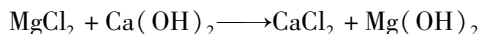


生成的二水石膏会在水泥石孔隙中结晶产生体积膨胀。二水石膏也可以再与水泥石中的水化铝酸钙作用,生成高硫型水化硫铝酸钙,高硫型水化硫铝酸钙含有大量的结晶水,体积将膨胀 1.5 倍,破坏作用更加大。由于高硫型水化硫铝酸钙呈针状晶体,所以又俗称“水泥杆菌”。

3) 盐类的腐蚀

(1) 镁盐的腐蚀

海水及地下水中常常含有氧化镁、硫酸镁等镁盐,它们可以与水泥石中的氢氧化钙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:

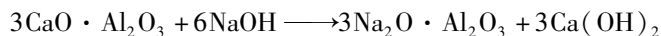


(2) 硫酸盐的腐蚀

硫酸钠、硫酸钾等对与水泥石的腐蚀同硫酸的腐蚀,而硫酸镁对与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。氢氧化钠与水泥石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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶解致 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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氢氧化钙和水化铝酸钙,且水泥石本身的结构不密实,有浸水的毛细管浸水通道;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。

2. 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,可提高对淡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,合理选择骨料、掺外加剂、改善施工方法等措施,来提高水泥石的密实度,从而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,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(终凝)快、早期(3 d)强度等级高。

(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,故其抗冻性好。

(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) 碱度高,抗碳化能力强。碳化是指水泥石中的氢氧化钙与空气中的二氧化碳发生反应生成碳酸钙的过程。碳化对水泥石(或混凝土)本身其实是有利的,但是碳化会使水泥石(或混凝土)内部碱浓度降低,从而失去对钢筋的保护作用。

(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重要成分在 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,将会遭受破坏。

(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。

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

用于水泥中的混合材料,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。



微课8: 水泥混合材料

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。所谓潜在活性是指在单独时不具有水硬性,但在石灰或石膏的激发与参与下,可以一起和水反应,从而形成具有水硬化合物的性能。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或硫酸盐激发剂,但是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,将不具有活性。

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。按其成因可分为天然和人工的两类。天然火山灰主要是在火山喷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

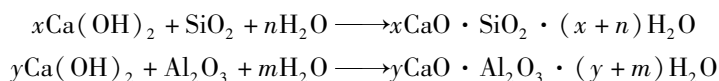
粉煤灰是发电厂燃煤锅炉排出的细颗粒废渣,其颗粒的直径一般为 0.001 ~ 0.050 mm,呈玻璃态实心或者空心的球状颗粒,表面比较致密,粉煤灰的成分主要为活性 SiO_2 、活性 Al_2O_3 和活性 Fe_2O_3 ,以及一定量的 CaO ,根据 CaO 的含量可以分为低钙粉煤灰(CaO 含量低于 10%)和高钙粉煤灰。高钙粉煤灰通常活性较高,因为所含钙绝大多数是以活性结晶化合物的形式存在的,如 C_3A 、 CS ,此外,其所含的钙离子使得铝硅玻璃体的活性得到增强。

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。实际上非活性混合材料在水泥中仅起填充和分散的作用,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。另外,凡不符合技术要求的粒化高炉矿渣、火山灰质混合材料及粉煤灰均可以作为非活性混合材料使用。

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合后,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。



微课9：掺混合材料的
硅酸盐水泥

3.2.2 普通硅酸盐水泥

1. 定义

凡由硅酸盐水泥熟料、活性混合材料掺入量 $>5\%$ 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

《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)对普通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。初凝不得早于 45 min ，终凝不得迟于 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（如表 3-3）。

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

普通水泥的体积安定性、氧化镁含量、三氧化硫含量等其他技术要求与硅酸盐水泥相同。

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入量按质量百分比计为 >20% 且 ≤70%，并分为 A 型和 B 型。A 型矿渣掺入量为 >20% 且 ≤50%，代号为 P·S·A；B 型矿渣掺入量为 >50% 且 ≤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入量按质量百分比计为 >20% 且 ≤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按质量百分比计为 >20% 且 ≤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 μm 方孔筛筛余不大于 10% 或 45 μm 方孔筛筛余不大于 30%；初凝不得早于 45 min，终凝不得迟于 600 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 ≤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。

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 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；但这三种活性混合材料自身又有性质与特征的差异，又使得这三种水泥有各自的特征。

1) 三种水泥的共性

(1) 凝结硬化慢，早期强度低，后期强度发展较快

这三种水泥的水化反应可分为两步进行。首先是熟料矿物的水化，并生成水化硅酸钙、氢氧化钙等水化产物；其次是生成的氢氧化钙和掺入的石膏分别作为“激发剂”与活性混合材料中的活性 SiO_2 和活性 Al_2O_3 发生二次水化反应，生成的水化硅酸钙、水化铝酸钙等新的水化产物。

由于三种水泥中熟料含量少，二次水化反应又较慢，因此使早期强度低，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，因此水泥中能造成腐蚀的因素大大削弱，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 含量相对减小，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，适宜高温养护

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。与此相比，普通水泥、硅酸盐水泥在高温下的养护，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，熟料在高温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高温养护。

(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，抗碳化的缓冲能力差，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。

2) 三种水泥的特性

(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干缩性大,在干燥环境中表面易“起毛”。火山灰水泥水化产物中会含有大量胶体,长期处于干燥环境时,胶体就会脱水产生严重的收缩,导致干缩裂缝。所以对于在干热环境中施工的工程,不宜使用火山灰水泥。

(3) 粉煤灰水泥

①干缩性小、抗裂性高。粉煤灰呈球形颗粒,其比表面积小,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早期强度和水化热低。粉煤灰由于其比表面积小,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,因此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 $\leq 50\%$ 。

水泥中可允许用不超过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。复合水泥的水化、凝结硬化过程基本上与掺混合材料的硅酸盐水泥相同。

国家标准GB 175—2007的规定,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 $\leq 3.5\%$ 。国标中规定复合水泥有四个强度等级:42.5、42.5R、52.5、52.5R,各等级、各龄期的强度值要求与矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥相同。

复合水泥与矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥相比,掺入混合材料种类不是一种而是两种或两种以上,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。复合硅酸盐水泥的特征取决于所掺混合材料的种类、掺入量及相对比例,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。为此,国家标准规定,在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其组成、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>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、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 耐热混凝土、湿热养护混凝土	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			
			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	

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。快硬硅酸盐水泥以 3 d 强度定等级，分为 32.5、37.5、42.5 三种，各龄期强度不得低于表 3-6 中的数值。



表 3-6 快硬水泥备龄期强度值

强度等级	抗压强度/MPa, ≥			抗折强度/MPa, ≥		
	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

主要是用于紧急抢修工程、军事工程、冬季施工和混凝土预制构件。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

凡是以适当成分的生料烧至部分熔融，所得以硅酸钙为主要成分、氧化铁含量很少的白

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

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。白色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

按照我国现行标准《白色硅酸盐水泥》(GB/T 2015—2017)的规定，白色水泥的细度要求 $45\text{ }\mu\text{m}$ 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 的强度值将白水水泥划分为 32.5、42.5、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, $\geq$		抗折强度/MPa, $\geq$	
	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

白色水泥具备有强度高、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) 白水水泥在应用中注意的事项

在制备混凝土时粗细骨料宜采用白色或彩色的大理石、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。

白色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，以免影响了白色水泥的装饰效果。

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)、混合材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%； $80\text{ }\mu\text{m}$ 方孔筛筛余不得超过 6.0%；初凝不得早于 60 min，终凝不得迟于 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

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,通常的表现收缩,收缩值的大小与水泥的品种、矿物组成、细度、石膏掺入量及水灰比大小等因素有关。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或有微小膨胀;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。在钢筋混凝土中,钢筋约束了水泥膨胀而使得水泥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。

1. 明矾石膨胀水泥定义

明矾石膨胀水泥是以硅酸盐水泥熟料(58% ~ 63%)、天然明矾石(12% ~ 15%)、无水石膏(9% ~ 12%)和粒化高炉矿渣(15% ~ 20%)共同磨细制成的具有膨胀性能的水硬性胶凝材料。

明矾石膨胀水泥加水后,其硅酸盐水泥熟料中的矿物水化生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 分别同明矾石 $[\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al}(\text{OH})_3]$ 、石膏作用并生成大量体积膨胀的钙矾石 $(\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O})$, 填充于水泥石的毛细孔中,并与水化硅酸钙互相交织在一起,使水泥石结构密实,这就是明矾石水泥具有强度高和抗渗性好的主要原因。明矾石膨胀水泥的膨胀源均来自于生成钙矾石的多少。通过调整各种组成的配合比,控制生成钙矾石数量,可制得不同膨胀值的膨胀水泥。

2. 技术要求

- (1) 细度。比表面积不低于 $450 \text{ m}^2/\text{kg}$ 。
- (2) 凝结时间。初凝时间不早于 45 min, 终凝时间不迟于 360 min。
- (3) 膨胀率。对于明矾石膨胀水泥要求 1 d 不小于 0.15%、28 d 不小于 0.35% 和不大于 1.00%。

(4)强度。按 3 d、7 d、28 d 的强度值将明矾石膨胀水泥划分为 52.5 和 62.5 两个等级,各等级、各龄期强度值不得低于表 3-9 中的数值。

表 3-9 明矾石膨胀水泥强度要求

标号	抗压强度/MPa, ≥			抗压强度/MPa, ≥		
	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
52.5	24.5	34.3	51.5	4.1	5.3	7.8
62.5	29.4	43.1	61.3	4.9	6.1	8.8

3. 性质

(1)明矾石膨胀水泥在约束膨胀下(如内部配筋或外部限制)能产生一定的预应力,从而提高混凝土和砂浆的抗裂能力,以满足补偿收缩的要求,可以减少或防止混凝土和砂浆的开裂。

(2)明矾石膨胀水泥强度高,后期强度持续增长,空气稳定性良好。

(3)明矾石膨胀水泥与钢筋有良好的黏结力,其原因主要是产生的膨胀力转化为压力,从而提高黏结力。

4. 应用

明矾石膨胀水泥主要应用于可补偿收缩混凝土工程、防渗抹面及防渗混凝土(如各种地下建筑物、地下铁道、储水池、道路路面等),构件的接缝,梁、柱和管道接头,固定机器底座和地脚螺栓等等。

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。

低热矿渣硅酸盐水泥,简称低热矿渣水泥,是以适当成分的硅酸盐水泥熟料,加入矿渣、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。

低热矿渣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。

1. 熟料中 C₃A、C₃S、C₂S 的含量

(1)熟料中的 C₃A 含量。中热水泥和低热水泥不得超过 6%。

(2)熟料中的 C₃S、C₂S 含量。中热水泥熟料中 C₃S 不得超过 55%,低热水泥熟料中 C₂S 不得小于 40%。

2. 游离 CaO、MgO 及 SO₃ 含量

(1)游离 CaO 对于中热水泥和低热水泥不得超过 1.0%。

(2)MgO 含量不宜超过 5%,若水泥经压蒸安定性试验合格,允许放宽到 6%。

(3)SO₃ 含量不得超过 3.5%。

3. 细度、凝结时间

细度要求，比表面积 $\geq 250 \text{ m}^2/\text{kg}$ ；初凝时间不早于 60 min，终凝时间不得迟于 720 min。

4. 强度

中热水泥为 42.5 强度等级，低热水泥为 42.5 和 32.5 强度等级。各龄期强度值详见表 3-10。

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, $\geq$			抗折强度/MPa, $\geq$		
		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
低热水泥	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。

5. 水化热

低热水泥、低热矿渣水泥和中热水泥要求水化热不得超过表 3-11 规定。

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), $\leq$	
		3 d	7 d
中热水泥	42.5	251	293
低热水泥	42.5	230	260
低热水泥	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 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的工程。

3.4 水泥的选用、验收、储存及保管

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。正确的选择、合理的使用水泥，严格质量验收并妥善保管就显得尤为重要，它是确保工程质量的重要措施。



微课10：水泥的选用、验收和保管

3.4.1 水泥的选用

水泥的选用包括水泥品种和强度等级的选择两方面。强度等级应与所配制的混凝土或砂浆的强度等级相适应。在此重点考虑水泥品种的选择。

1. 按环境条件选择水泥品种

环境条件主要指工程所处的外部条件,包括环境的温、湿度以及周围所存在的侵蚀性介质的种类及浓度等。如在严寒地区的露天混凝土应优先选用抗冻性较好的硅酸盐水泥、普通水泥,而不得选用矿渣水泥、粉煤灰水泥、火山灰水泥;若环境具有较强的侵蚀性介质时,就应选用掺混合材料的水泥,而不宜选用硅酸盐水泥。

2. 按工程特点选择水泥品种

冬季施工以及有早强要求的工程应优先选用硅酸盐水泥,而不得使用掺混合材料的水泥;对大体积混凝土工程(如大坝、大型基础、桥墩等工程)应优先选用水化热较小的低热矿渣水泥和中热水泥,而不得使用硅酸盐水泥;有耐热要求的工程(如工业窑炉、冶炼车间等)应优先选用耐热性较高的矿渣水泥、铝酸盐水泥;军事工程、紧急抢修工程应优先选用快硬水泥、双快水泥;修筑道路路面、飞机跑道等应优先选用道路水泥。

3.4.2 水泥的编号与取样



对于通用水泥的出厂前按品种、同强度等级编号和取样。袋装水泥的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。所取样品按相应标准规定的方法进行出厂检验,检验项目包括了需要对产品进行考核的全部技术要求。

3.4.3 水泥的验收

1. 品种的验收



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. 数量的验收

水泥可以袋装,也可以散装。袋装水泥每袋净含量50kg,且不得少于标记质量的99%;随机抽取20袋总质量不得少于1000kg,其他包装形式由双方协商确定,但有关袋装质量要求,必须符合上述原则规定;散装水泥平均堆积密度为 1450 kg/m^3 ,袋装压实的水泥为 1600 kg/m^3 。

3. 质量验收

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 20 kg,缩分为二等分。一份由卖方保存 40 d,另一份由买方按标准规定的项目和方法进行检验。在 40 d 内买方检验认为水泥质量不符合标准要求时,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抽取试样,双方共同签封后保存 90 d;或委托卖方在同编号水泥中抽取试样,签封后保存 90 d。在 90 d 后,买方对水泥质量有疑问时,买卖双方则可将签封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。

4. 结论

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规定为不合格品。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。

3.4.4 水泥的储存与保管

水泥在保管时,应按不同生产厂,不同强度等级、品种和出厂日期分别堆放,严禁混杂。在运输及保管时应注意防潮,先存先用,不可储存过久。如果水泥保管不当,则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. 水泥的风化

水泥中各种矿物都具有强烈与水作用的能力,这种趋于水化和水解的能力称为水泥的活性。具有活性的水泥在储存和运输的过程中,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,过程如下。

水泥中的游离氧化钙、硅酸三钙吸收空气中的水分发生水化反应,生成氢氧化钙,氢氧化钙又与空气中的二氧化碳发生反应,生成碳酸钙并释放出水。这样的连锁反应使水泥受潮加快,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。在正常的储存条件下,储存 3 个月,强度降低 10% ~ 25%,储存 6 个月,强度降低 25% ~ 40%。因此规定,常用水泥储存期为 3 个月,铝酸盐水泥为 2 个月,双快水泥不宜超过 1 个月,过期水泥在使用时应重新检测,按实际强度使用。

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,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。

2. 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做强度试验	同上。严重受潮的水泥只可做掺和料或骨料

3.5 水泥性能的检测

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(80 μm 筛筛析法)》(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。

3. 主要仪器设备

1) 试验筛

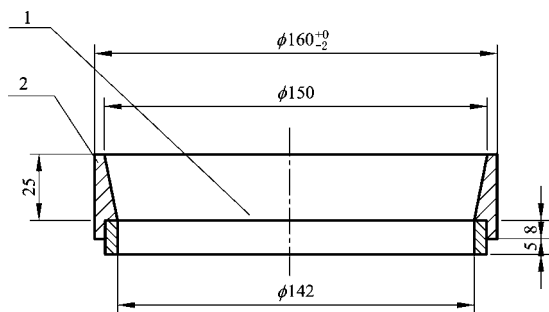
试验筛由圆形筛框和筛网组成，筛网符合 GB/T 6005—2008 规定的 R20/3 80 μm ，R20/3 45 μm 的要求，分负压筛、水筛和手筛三种，负压筛和水筛的结构尺寸见图 3-6 和图 3-7，负压筛应附有透明筛盖，筛盖与筛上口应有良好的密封性。手工筛结构符合 GB/T 6003.1—2012 的规定，其中筛框高度为 50 mm，筛子的直径为 150 mm。

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。

筛孔尺寸的检验方法按 GB/T 6003.1—2012 进行。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。

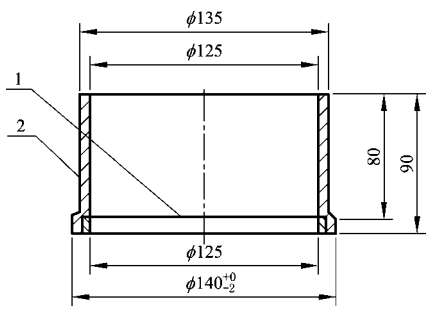
2) 负压筛析仪

负压筛析仪由筛座、负压筛、负压源及收尘器组成，其中筛座由转速为 $30 \pm 2 \text{ r/min}$ 的喷气嘴、负压表、控制板、微电机及壳体等构成，见图 3-8。



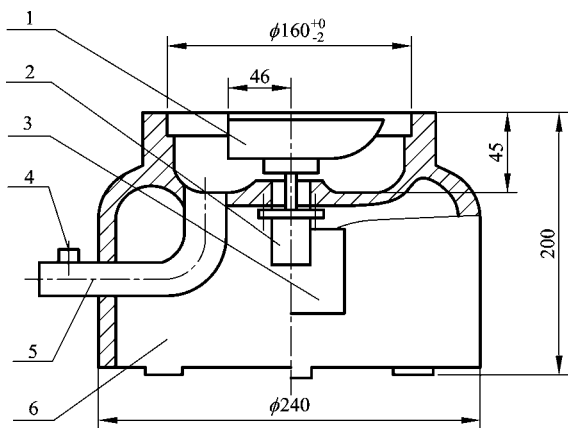
1—筛网, 2—筛框。

图 3-6 负压筛 (单位: mm)



1—筛网, 2—筛框。

图 3-7 水筛 (单位: mm)



1—喷气嘴; 2—微电机; 3—控制板开口; 4—负压表接口; 5—负压源及收尘器接口; 6—壳体。

图 3-8 负压筛析仪筛座示意图 (单位: mm)

筛析仪负压可调范围为 4000 ~ 6000 Pa。
喷气嘴上口平面与筛网之间距离为 2 ~ 8 mm。
喷气嘴的上口尺寸见图 3-9。
负压源和收尘器, 由功率 ≥ 600 W 的工业吸尘器和小型旋风收尘筒组成或用其他具有相当功能的设备。

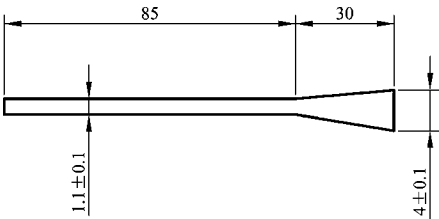


图 3-9 喷气嘴上开口 (单位: mm)

- 3) 水筛架和喷头
水筛架和喷头的结构尺寸应符合 JC/T 728—2005 规定, 但其中水筛架上筛座内径为 140_0^{-3} mm。
- 4) 天平
分度值不大于 0.01 g。
- 4. 样品要求
水泥样品应有代表性, 样品处理方法按 GB 12573 第 3.5 条进行。

5. 试验步骤

1) 试验准备

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。

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) 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。

(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。

(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, 烘干并用天平称量全部筛余物。

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。称量全部筛余物。

5) 对于其他粉状物, 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。

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。

6. 试验结果评定

1) 计算

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。

2) 筛余结果的修正

试验筛的筛网会在试样中磨损, 因此筛析结果应进行修正。修正的方法是将计算结果乘以该试验筛的有效修正系数, 即为最终结果。

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。

3) 试样结果

负压筛法、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。

3.5.2 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,以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。如图3-10所示。



图3-10 水泥净浆搅拌机

2) 标准法维卡仪

如图3-11所示,标准稠度测定用试杆有效长度为 (50 ± 1) mm,由直径为 (10 ± 0.05) mm的圆柱形耐腐蚀金属制成。测定凝结时间时取下试杆,用试针代替试杆。试针由钢制成,其有效长度初凝针为 $50 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ 、终凝针为 (30 ± 1) mm,是直径为 (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,不得有紧涩和旷动现象。

盛装水泥净浆的试模应由耐腐蚀的、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为100 mm、厚度为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 $\pm 0.5 \text{ mL}$ 。

4. 材料

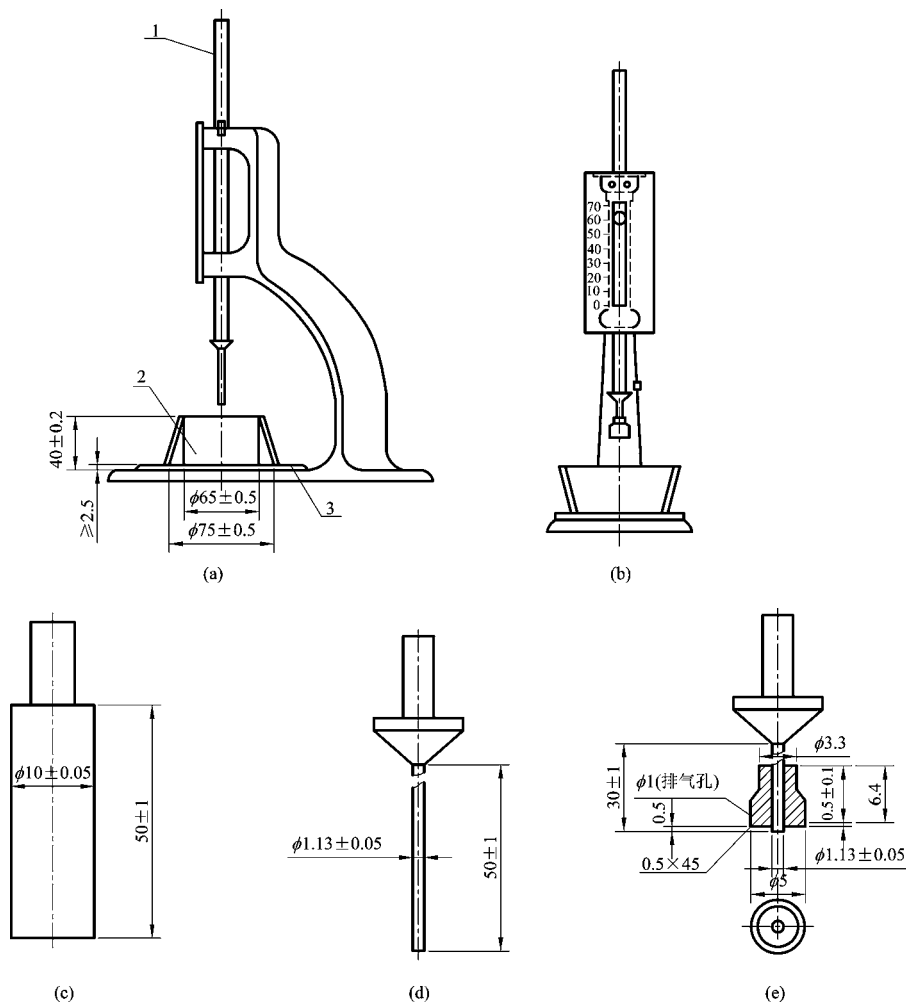
试验用水必须是洁净的饮用水,如有争议时应以蒸馏水为准。

5. 试验条件

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



水泥凝结时间检测



1—滑动杆；2—试模；3—玻璃板。

图 3-11 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)

(a) 初凝时间测定用立式试模的侧视图；(b) 终凝时间测定用反转试模的前视图；

(c) 标准稠度试杆；(d) 初凝用试针；(e) 终凝用试针

温度应与实验室一致。

(2) 湿气养护箱的温度为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不低于 90%。

6. 试验方法及步骤

1) 标准法

(1) 试验前检查：仪器金属棒应能自由滑动，搅拌机运转正常等。

(2) 调零点：将标准稠度试杆装在金属棒下，调整至试杆接触玻璃板时指针对准零点。

(3) 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 $5 \sim 10$ s 内小心将称量好的 500 g 水泥试样加入水中(按经验找水)；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。

(4)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,浆体超过试模上端,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;抹平后迅速放到维卡仪上,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,然后突然放松,让试杆自由沉入净浆中。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。

2)代用法

(1)仪器设备检查:稠度仪金属滑杆能自由滑动,搅拌机能正常运转等。

(2)调零点:将试锥降至锥模顶面位置时,指针应对准标尺零点。

(3)水泥净浆制备:同标准法。

(4)标准稠度的测定:有调整水量法和固定水量法两种,可选用任一种测定,如有争议时以调整水量法为准。

①固定水量法:拌和用水量为 142.5 mL。拌和结束后,立即将拌和好的净浆装入锥模,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,刮去多余净浆;抹平后放到试锥下面的固定位置上,调整金属棒使锥尖接触净浆并固定松紧螺丝 1~2 s,然后突然放松,让试锥垂直自由地沉入水泥净浆中。在试锥停止下沉或释放试锥 30 s 时记录试锥下沉深度 s 。整个操作应在搅拌后 1.5 min 内完成。

②调整水量法:拌和用水量按经验找水。拌和结束后,立即将拌和好的净浆装入锥模,用小刀插捣、振动数次,刮去多余净浆;抹平后放到试锥下面的固定位置上,调整金属棒使锥尖接触净浆并固定松紧螺丝 $(1 \sim 2)$ s,然后突然放松,让试锥垂直自由地沉入水泥净浆中。当试锥下沉深度为 (30 ± 1) mm 时的净浆为标准稠度净浆,其拌和用水量即为标准稠度用水量 P ,按水泥质量的百分比计。

4. 试验结果评定

1)标准法

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 ,以水泥质量的百分比计,按下式计算:

$$P = \frac{\text{拌和用水量}}{\text{水泥用量}} \times 100\%$$

2)代用法

(1)用固定水量方法测定时,根据测得的试锥下沉深度 s (mm),可从仪器上对应标尺读出标准稠度用水量或按下面的经验公式计算其标准稠度用水量。

$$P = 33.4 - 0.185s$$

当试锥下沉深度小于 13 mm 时,应改用调整水量方法测定。

(2)用调整水量方法测定时,以试锥下沉深度为 (30 ± 1) mm 时的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,以水泥质量百分数计,计算公式同标准法。

如下沉深度超出范围,须另称试样,调整水量,重新试验,直至达到 (30 ± 1) mm 为止。

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。

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

(1) 实验室温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，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实验室一致。

(2) 湿气养护箱的温度为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不低于 90%。

6. 试验步骤

(1) 试验前准备将试模内侧稍涂上一层机油，放在玻璃板上，调整凝结时间测定仪的试针接触玻璃板时，指针应对准标准尺零点。

(2) 以标准稠度用水量，按测标准稠度用水量的方法制成标准稠度水泥净浆后，立即一次装入试模振动数次刮平，然后放入湿气养护箱内，记录开始加水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，用 min 表示。

(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。

(7) 由开始加水至初凝、终凝状态的时间分别为该水泥的初凝时间和终凝时间，用 min 表示。

(8) 在测定时应注意，最初测定的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至少大于 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。

4. 试验结果评定

(1) 自加水起至试针沉入净浆中距底板 $4 \pm 1 \text{ mm}$ 时, 所需的时间为初凝时间; 至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。

(2) 达到初凝状态时, 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, 需要在试体另外两个不同点测试, 结论相同时才能确定达到终凝状态。

评定方法: 将测定的初凝时间、终凝时间结果, 与国家规范中的凝结时间相比较, 可判断其合格性与否。

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。

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) 雷氏法是观测由两个试针的相对位移所指示的水泥标准稠度净浆体积膨胀的程度。

(2) 试饼法是观测水泥标准稠度净浆试饼的外形变化程度。

3. 主要仪器设备

1) 沸煮箱

符合 JC/T 955—2005 的要求。

2) 雷氏夹

由铜质材料制成, 其结构如图 3-12 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 $(17.5 \pm 2.5) \text{ mm}$ 范围内, 即 $2x = (17.5 \pm 2.5) \text{ mm}$ (见图 3-13), 当去掉砝码后针尖的距离能恢复至挂砝码前的状态。

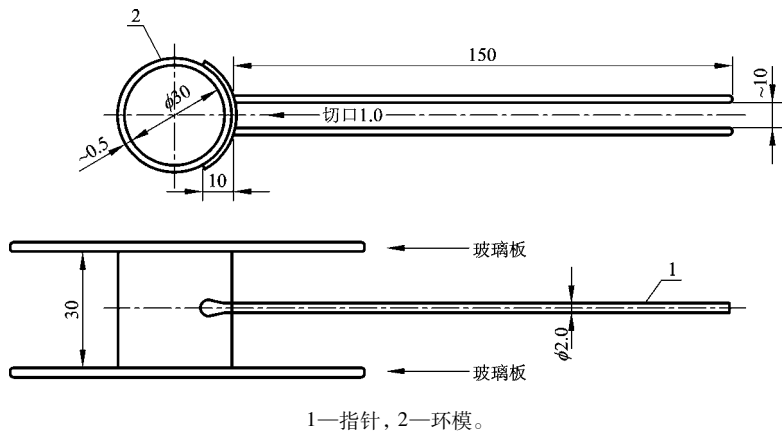


图 3-12 雷氏夹 (单位: mm)



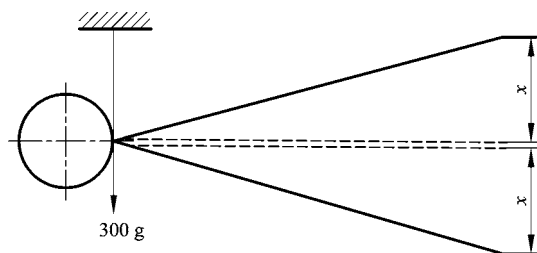
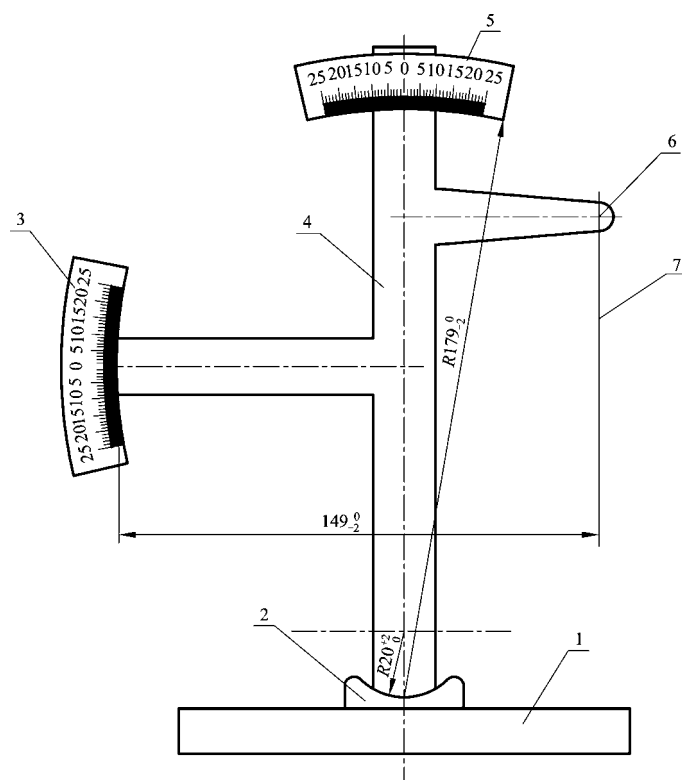


图 3-13 雷氏夹受力示意图

3) 雷氏夹膨胀测定仪

标尺分度值为 0.5 mm。如图 3-14。



1—底座, 2—模子座, 3—测弹性标尺, 4—立柱, 5—测膨胀值标尺, 6—悬臂, 7—悬丝。

图 3-14 雷氏夹膨胀值测定仪(单位: mm)

4) 其他, 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

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

的温度应与实验室一致。

(2) 湿气养护箱的温度为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不低于 90%。

6. 试验方法及步骤

1) 测定前的准备工作

若采用试饼法时，一个样品需要准备两块约 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 的玻璃板；若采用雷氏法，每个雷氏夹需配备边长或直径约 80 mm 、厚度 $4 \sim 5\text{ mm}$ 的玻璃板两块。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薄层机油。

2) 水泥标准稠度净浆的制备

以标准稠度用水量加水，按前述方法制成标准稠度水泥净浆。

3) 成型方法

(1) 试饼成型。将制好的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间抹动，做成直径为 $70 \sim 80\text{ mm}$ 、中心厚约 10 mm 、边缘渐薄、表面光滑的试饼，然后将试饼放入湿气养护箱内养护 $(24 \pm 2)\text{ h}$ 。

(2) 雷氏夹试件的制备。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装满试模，装模时一只手轻轻扶持试模，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，接着立即将试模移至湿气养护箱内养护 $24 \pm 2\text{ h}$ 。

4) 煮沸

(1) 调整煮沸箱内的水位，使试件能在整个煮沸过程中浸没在水里，并在煮沸的中途不需添补试验用水，同时又保证能在 $(30 \pm 5)\text{ min}$ 内升至沸腾。

(2) 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 ，接着将试件放入煮沸箱水中的试件架上，指针朝上，试件之间互不交叉，然后在 $(30 \pm 5)\text{ min}$ 内加热至沸，并恒沸 $(180 \pm 5)\text{ min}$ 。

煮沸结束，立即放掉箱中的热水，打开箱盖，待箱体冷却至室温，取出试件进行判别。

5) 试验结果评定

(1) 试饼法判别。目测试饼未发现裂缝，用直尺检查也没有弯曲时，则水泥的安定性合格，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。

(2) 雷氏夹法判别。测量试件指针尖端间的距离 C ，精确至 0.5 mm ，当两个试件煮沸后增加距离 $(C - A)$ 的平均值不大于 5.0 mm 时，即认为该水泥安定性合格。当两个试件煮沸后增加距离 $(C - A)$ 的平均值大于 5.0 mm 时，应用同一样品立即重做一次试验，以复验结果为准。

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。



微课11：水泥体积安定性检测步骤



水泥胶砂强度检测

试体是由按质量计的 1 份水泥、3 份中国 ISO 标准砂，用 0.5 份的水灰比拌制的一组塑性胶砂制成。

中国 ISO 标准砂的水泥抗压强度结果必须与 ISO 基准砂的相一致。

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



图 3-15 胶砂搅拌机



图 3-16 试模



图 3-17 胶砂振实台



图 3-18 抗折强度试验机



图 3-19 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%。生产期间这种测定每天应至少进行一次。这些要求不足以保证标准砂与基准砂等同。这种等效性是通过标准砂和基准砂比对检验程序来保持的。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合 GB/T 6682 规定的三级水，其他试验可用洁净的饮用水。

5. 试验条件

(1) 实验室温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，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实验室一致。

(2) 湿气养护箱的温度为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不低于 90%。

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

试验用砂采用中国 ISO 标准砂，其颗粒分布和湿含量应符合 GB/T 17671—2021 的要求。

(1) 胶砂配合比。试体是按胶砂的质量配合比为水泥:标准砂:水 = 1:3:0.5 进行拌制的。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。可按下列程序操作：①胶砂搅拌时先把水加入锅里，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砂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试干净，再用同一直尺以近乎水平的情况下将试体表面抹平。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，盖板与试模之间的距离应控制在 2~3 mm 之间。为了安全，玻璃板应磨边，立即将做标记的试模放入养护室或湿箱的水平架子上养护，湿空气应能与试模周边接触。另外，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龄期内。

(2)脱模。脱模应非常小心，可用橡皮榔头或专门的脱模器。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 20~24 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。试体龄期是从水加入开始搅拌时算起的。各龄期的试体必须在表 3-14 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。

表 3-14 各龄期强度试验时间规定

龄期	时间
24 h	$24\text{ h} \pm 15\text{ min}$
48 h	$48\text{ h} \pm 30\text{ min}$
72 h	$72\text{ h} \pm 45\text{ min}$
7 d	$7\text{ d} \pm 2\text{ h}$
>28 d	$28\text{ d} \pm 8\text{ h}$

(2)抗折强度试验。

①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。

②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粘着的杂物，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)。

③加载破型：接通电源，按“启动”按钮，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 $F_f(\text{N})$ 、抗折强度 R_f 值。

(3) 抗压强度试验。

①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 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 。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 。

②加载破型：接通电源，按“启动”按钮，以 $(2400 \pm 200)\text{ N/s}$ 的速率均匀地加荷，直至半截棱柱体破坏，读取破坏荷载 $F_c(\text{N})$ 。

7. 试验结果评定

1) 抗折试验结果

抗折强度按下式计算，精确到 0.1 MPa 。

$$R_f = \frac{1.5F_f L}{b^3}$$

式中： R_f ——水泥抗折强度， MPa ；

F_f ——折断时施加于棱柱体中部的荷载， N ；

L ——支撑圆柱之间的距离， 100 mm ；

b ——棱柱体正方形截面的边长， 40 mm 。

以一组 3 个棱柱体抗折结果的平均值作为试验结果。当 3 个强度值中有 1 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出平均值 $\pm 10\%$ 时，则以剩余 1 个作为抗折强度的结果。

2) 抗压试验结果

抗压强度按下式计算，精确至 0.1 MPa 。

$$R_c = \frac{F_c}{A}$$

式中： R_c ——水泥抗压强度， MPa ；

F_c ——破坏时的最大荷载， N ；

A ——受压部分面积， mm^2 ($40\text{ mm} \times 40\text{ mm} = 1600\text{ mm}^2$)。

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为试验结果。如 6 个测定值中有一个超出 6 个平均值的 $\pm 10\%$ ，就应剔除这个结果，而以剩下 5 个的平均数为结果；如果 5 个测定值中再有超过它们平均数 $\pm 10\%$ ，则该组结果作废。当 6 个测定值中同时有两个或两个以上超出平均值的 $\pm 10\%$ 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，拓宽水泥的应用范围，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3d和28d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。

技能考核题

一、填空题

1. 水泥的安定性检验方法有_____和_____，有争议时以_____为准。
2. 水泥中掺入的活性混合材料的种类有_____、_____和_____。
3. 水泥的初凝时间不宜_____，不得小于_____，终凝时间不宜_____。
4. 通用水泥的种类有硅酸盐水泥、_____、_____、_____、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥等六大类。
5. 国家标准中规定了各强度等级水泥的_____龄期的_____强度和_____强度不得低于标准规定值。
6. 引起水泥安定性不良的原因主要是水泥中有过多的_____、_____和_____。
7. 根据国家标准对水泥的规定：凡化学指标、_____、_____和_____均符合标准的为合格品。
8. 水泥的水化热使混凝土表面与内部形成_____，造成混凝土_____，所以大体积工程应选择水化热_____的水泥。
9. 水泥胶砂强度检验方法(ISO法)中水泥胶砂标准试件的尺寸为_____mm×_____mm×_____mm。
10. 掺大量活性混合材的硅酸盐水泥凝结硬化_____，早期强度_____，后期强度发展_____。
11. 水泥的_____和_____的检测都必须采用标准稠度的水泥净浆，这样才能使试验数据具有_____性。
12. 水泥石在使用过程中往往会受到环境中的_____、_____和_____等的侵蚀。

二、单项选择题

1. 地下工程有抗渗要求，拌制混凝土时应优先选择()水泥。
A. 硅酸盐 B. 矿渣 C. 火山灰 D. 粉煤灰
2. 热工设备基础的混凝土工程，应优先选择()水泥。
A. 硅酸盐 B. 普通 C. 矿渣 D. 火山灰
3. 国家标准规定，硅酸盐水泥储存超过()时，必须重新试验。

- A. 一个月 B. 三个月 C. 六个月 D. 一年
4. 大体积混凝土工程中,不能选择()水泥。
- A. 硅酸盐 B. 火山灰 C. 矿渣 D. 复合
5. 水泥初凝时间检测时试针距玻璃底板()mm 即为水泥达到初凝状态。
- A. 3 ± 1 B. 4 ± 1 C. 5 ± 1 D. 6 ± 1
6. 抗硫酸盐侵蚀的混凝土工程应优先选择()水泥。
- A. 硅酸盐 B. 普通 C. 矿渣 D. 中热
7. 严寒地区有抗冻要求的混凝土时应优先选择()水泥。
- A. 硅酸盐 B. 矿渣 C. 火山灰 D. 粉煤灰
8. 高强混凝土工程中,应选择()水泥。
- A. 硅酸盐 B. 火山灰 C. 矿渣 D. 复合
9. 国家标准规定,普通硅酸盐水泥的终凝时间不得迟于()min。
- A. 600 B. 390 C. 300 D. 45
10. 安定性不良的水泥,()。
- A. 严禁在工程中使用 B. 可以降低质量等级使用
- C. 视安定性不良程度而定 D. 视结构重要程度而定

三、多项选择题

1. 水泥品种选择的依据主要是()。
- A. 工程所处环境 B. 骨料的种类 C. 工程特点 D. 工程要求的和易性
2. 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
3. 掺大量活性混合材料的硅酸盐水泥的共性有()。
- 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
4. 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
5. 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. 袋装水泥库内码垛时最高不得超过 18 袋
- C. 袋装水泥库内码垛时一般码放 10 袋
- D. 水泥入库存储时间不能太长

四、判断题

1. 国标规定:普通硅酸盐水泥的初凝时间应不早于 45 min,终凝时间不迟于 600 min。 ()
2. 安定性不良的水泥可以在不重要的工程中使用。 ()
3. 水泥属于水硬性胶凝材料,所以在运输和储存中不怕受潮。 ()
4. 硅酸盐水泥碱度较高,更适宜配制钢筋混凝土。 ()
5. 硅酸盐水泥湿热敏感性强,适宜采用高温养护。 ()
6. 水泥安定性检测时应采用标准稠度的水泥净浆,以保证检测结果的可比性。 ()
7. 硅酸盐水泥因为碱度较高,其抗碳化的能力也较高。 ()

8. 初凝时间不合格的水泥不能在工程中使用。

()

五、名词解释

1. 水泥的初凝时间
2. 水泥的终凝时间
3. 水泥净浆标准稠度需水量
4. 活性混合材
5. 水泥的水化热
6. 水泥安定性不良

六、案例分析

1. 某工地一批 P·O 42.5 水泥进场, 根据标准实验方法测试其 28 d 龄期胶砂强度, 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, 求该组试件 28 天龄期的抗折强度和抗压强度。该批水泥 28 天龄期强度合格吗?

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?