



技工院校工学一体示范教材

JIANZHU CAILIAO
DE
WULI XINGNENG
YU
JIANYAN

建筑材料的物理 性能与检验

杨宇辉 编著



化学工业出版社

建筑材料的物理性能与检验

杨宇辉 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书以水泥、混凝土、钢材这三种最常用的建筑材料的常规物理性能的试验项目为主导编写而成。在体裁上,把每一个试验项目所需要的基本知识和技能融合成一个工作任务,由以下四个部分构成:基本知识、试验方法、训练与考核、阅读与了解。

为了顾及学生就业的普遍适应性,除引用少量的最新行业标准的规定外,本书涉及的水泥、混凝土和钢材的物理性能试验方法按现行的最新国家标准编写,并标注标准代号,以便学生和教师查阅与核对。

本书将此课程的专业理论基本知识和职业技能融为一体,即所谓一体化教材。本教材区别于其他教材的特点是,通过具体的工作任务即试验项目加深学生对专业理论知识的理解,而这种理解又促进他们实际操作水平的提高。本教材正是为试图实现这一目的而编写的,因而在教材的体裁上有别于通行的建筑材料教材。整个教学活动以试验项目的实操训练和考核为重点,同时又将相关的理论知识融合其中,使学生通过试验项目即工作任务的学习、训练、考核和讨论,掌握理解相关的专业知识,运用和发展职业技能。

本书适用于技工院校或其他职业院校建筑材料物理性能检验岗位的中、高级教学的师生,也可作为相关建材企业物检工的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料的物理性能与检验/杨宇辉编著. —北京:化学工业出版社, 2014. 4

ISBN 978-7-122-19890-7

I. ①建… II. ①杨… III. ①建筑材料-物理性能-性能试验-中等专业学校-教材 IV. ①TU502

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 035889 号

责任编辑:蔡洪伟 陈有华
责任校对:顾淑云 李 爽

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张11½ 字数297千字 2014年6月北京第1版第1次印刷

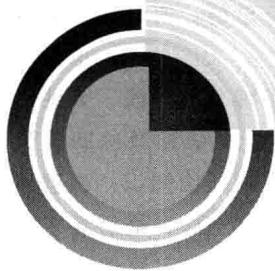
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:28.00 元

版权所有 违者必究



技工教育的发展水平必须与社会经济的发展阶段相适应。在当今社会经济结构转型、产业升级换代的快速变动时期,技校毕业生不但要有即时能用的岗位能力,而且要具备可持续发展的通用职业技能,以提高整个职业生涯的竞争能力,应对就业形势的变化和学生自身职业取向的变化。技工教育的办学理念、教学活动的各个环节应随之转变以配合社会经济发展的需要。本教材就是应对这一变化要求的一个尝试。由于编者的水平和经验有限,教材中难免存在疏漏和不足,衷心希望使用本教材的教师和学生批评指正。

一、教材编排思路

本教材以建筑材料物理性能的试验项目为主导,每一个试验项目作为一个工作任务,将本课程的专业理论基本知识、职业技能训练和考核的内容与要求融入每一个试验项目中。

二、教材内容

尽管传统建筑材料仍在广泛应用,各种新型建筑材料更是层出不穷,但在当代建筑工程中,水泥、混凝土、钢材仍然是不可替代的结构材料。因此,本教材的内容主要围绕着水泥、混凝土和钢材的常规物理性能及其检验方法展开。

三、教材的体裁与构成

教材以水泥、混凝土、钢材这三种最常用的建筑材料的常规物理性能的试验项目为主导编写而成。在体裁上,把每一个试验项目所需要的基本知识和技能融合成一個工作任务。它由四个部分构成:基本知识、试验方法、训练与考核、阅读与了解。

1. 基本知识

该部分主要包括要检验的物理性能的概念、影响因素、国家标准的要求等,为试验原理(或试验目的)、试验步骤的展开做准备。

2. 试验方法

为了顾及学生就业的普遍适应性,除引用少量的最新行业标准的规定外,本书涉及的水泥、混凝土和钢材的物理性能试验方法按现行的最新国家标准编写,并标注标准代号,以便学生和教师查阅与核对。

该部分包括试验原理(或试验目的)、试验仪器设备、试验操作步骤、试验结果的计算与处理。

3. 训练与考核

这是整个教学活动的重心。为了实现本课程的教学目的,该部分由四个环节组成:训练的基

本要求；操作时应注意的事项；训练与考核的技术要求和评分标准；讨论与总结。四个环节的性质、作用和安排分述如下。

(1) 训练的基本要求 这一环节的意图是培养学生注意每一个工作任务细节的习惯，使学生胜任本岗位的物理性能检验工作作准备，并培养学生严守岗位操作程序、严谨细致的职业素养和良好的工作习惯，以使學生拥有具有竞争能力的职业道德。为此将相关的理论知识、试验原理、试验条件的控制、操作方法、仪器设备的参数、试验原始记录表等融合在一起，最后要求学生以试验报告的形式作一个书面的总结。每一个工作任务的试验报告总是包括测定原理（或目的）、试验方法依据的标准、仪器设备、试验步骤、试验结果及其计算过程、试验原始记录表、问答这七个内容。其中“试验原始记录表”是参照企业用的原始记录表格编写的，以便学生上岗就业后能准确、快速地填写工作报表。而“问答”这一块则是以填空的形式让学生自己总结试验过程中的技术要求和仪器设备的参数，加强对工作任务的理解。“问答”是一个开放的主题，指导教师可以根据学生的训练情况增添或删减相关的内容，也可以作为引领任务的问题率先提出。

(2) 操作时应注意的事项 这一环节的主要目的是让学生注意影响试验结果的主要因素，在完成试验工作任务的过程中学会误差分析，提高检验结果的准确度，提升学生做好试验的信心，为提升学生的数理逻辑分析、综合运用能力作好铺垫。这也是一个开放的环节，编者根据自己的教学经验列举若干操作时应注意的事项，但指导教师可以根据自己的教学经验、现场的训练情况以及学生遇到的问题作出适当的增减，以丰富这一环节。

(3) 训练与考核的技术要求和评分标准 训练与考核的技术要求和评分标准是按照建材物理检验工技能等级考核高级工应会的标准编写而成，训练与考核的要求和标准相同，以使學生从训练开始就按照标准规定的条件和步骤完成试验项目。这是培养学生即时能用的岗位能力和具有竞争力的职业道德的重要环节。

(4) 讨论与总结 这一环节主要通过“操作的影响”和“仪器设备的影响”来探讨影响物理性能检验结果的因素以及相应的处理方法，加深理解误差理论在具体的试验项目中的应用。

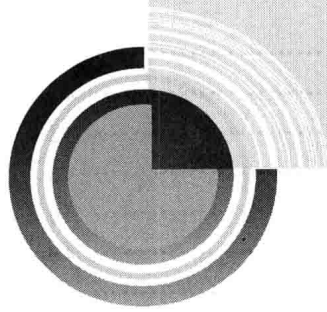
这是一个互动的环节，教师应引导和鼓励學生积极参与讨论。编者根据自己的教学和实践经验列举了若干条的影响因素和处理方法，只希望起到抛砖引玉的作用。这同样是个开放的环节，教师应根据训练和考核中观察到的情况，结合自己的经验增减或修正已有的条款，也要鼓励学生诉说自己的经验和体会，只要是正确的，不管是否具有代表性都应纳入其中，以丰富这一环节的内涵。这是一个重要的环节，是培养学生数理逻辑分析、综合运用能力的一个有效举措。

4. 阅读与了解

在每一个工作任务之后都附有一个“阅读与了解”的部分，其内容并非是介绍最新的科技或应用成果，而是与试验项目有关的专业知识或试验方法。目的是扩大学生的知识面，引发學生对本课程的兴趣和关注。教师可以根据教学的要求、时间的安排以及学生的兴趣爱好作出适当的选择，也可以推荐其他相关的阅读材料。

编著者

2013年12月



CONTENTS 目 录

绪论

1

一、建筑材料的定义和分类	1
二、建筑材料的技术标准	1
三、课程性质	3
四、教材说明	4

第一章 水泥的物理性能与检验

7

引言 水泥的基本知识	7
一、水泥的生产过程	7
二、水泥的组分材料	8
三、通用硅酸盐水泥的品种、代号、组成	10
四、通用硅酸盐水泥的技术要求 (GB 175—2007)	11
五、通用硅酸盐水泥的检验规则 (GB 175—2007)	12
六、包装、标志、运输与储存	13
七、阅读与了解 生态水泥	13
第一节 水泥的密度	15
一、水泥密度的基本知识	15
二、水泥密度的测定方法 (GB/T 208—1994)	16
三、水泥密度测定的训练与考核	17
四、阅读与了解 水泥堆积密度的测定方法	19
第二节 水泥的细度	20
一、水泥细度的基本知识	20
二、水泥细度的检验方法——筛析法 (GB/T 1345—2005)	21
三、筛析法的训练与考核	22
四、水泥比表面积的测定方法——勃氏法 (GB/T 8074—2008)	25
五、勃氏法的训练与考核	27
六、阅读与了解 水泥试验筛的标定·标准物质·试料层体积的测定	30
第三节 水泥标准稠度用水量	32
一、水泥标准稠度用水量的基本知识	32
二、水泥标准稠度用水量的测定方法 (GB/T 1346—2011)	33
三、水泥标准稠度用水量测定的训练与考核	37
四、阅读与了解 硅酸盐水泥的水化	39

第四节 水泥的凝结时间	41
一、水泥凝结时间的基本知识	41
二、水泥凝结时间的测定方法 (GB/T 1346—2011)	42
三、水泥凝结时间测定的训练与考核	43
四、阅读与了解 水泥凝结硬化微观结构的发展过程	46
第五节 水泥体积安定性	48
一、水泥体积安定性的基本知识	48
二、水泥体积安定性的检验方法——沸煮法 (GB/T 1346—2011)	49
三、水泥安定性检验的训练与考核	52
四、阅读与了解 水泥及其制品的体积变化	55
第六节 水泥的强度	56
一、水泥强度的基本知识	56
二、水泥胶砂强度试件成型与养护试验方法 (GB/T 17671—1999)	59
三、水泥胶砂试件成型与养护试验的训练与考核	62
四、水泥胶砂强度试件的破型试验方法 (GB/T 17671—1999)	65
五、水泥胶砂强度试件破型试验的训练与考核	67
六、阅读与了解 液压式压力机和电动抗折机的使用与维护	70
第七节 水泥胶砂流动度	72
一、水泥胶砂流动度的基本知识	72
二、水泥胶砂流动度的测定方法 (GB/T 2419—2005)	72
三、水泥胶砂流动度测定的训练与考核	74
四、阅读与了解 如何提高水泥物理检验的准确性?	76
复习思考题	78

第二章 混凝土的物理性能与检验

81

引言 混凝土的基本知识	81
第一节 普通混凝土的组成材料	82
一、混凝土组成材料的技术要求	82
二、骨料试验取样方法的一般规则 (GB/T 14684—2011, GB/T 14685—2011)	93
三、砂的筛分析试验方法 (GB/T 14684—2011)	95
四、砂的筛分析试验的训练与考核	96
五、骨料表观密度试验方法	99
六、骨料表观密度试验的训练与考核	101
七、水泥砂浆减水率试验方法 (GB/T 8077—2000)	103
八、水泥砂浆减水率试验的训练与考核	104
九、阅读与了解 材料的几种密度	107
第二节 混凝土拌合物的工作性	109
一、混凝土拌合物的工作性的基本知识	109
二、混凝土坍落度试验方法 (GB/T 50080—2002)	113
三、坍落度试验的训练与考核	114
四、混凝土拌合物表观密度测定方法 (GB/T 50080—2002)	117
五、混凝土拌合物表观密度测定的训练与考核	117

六、阅读与了解 混凝土拌合物工作性的含义	120
第三节 硬化混凝土的技术性质	121
一、混凝土的强度	121
二、硬化混凝土的耐久性	125
三、混凝土立方体抗压强度试验方法 (GB/T 50081—2002)	127
四、混凝土立方体强度试件成型与养护试验的训练与考核	129
五、混凝土立方体抗压强度试件破型试验训练与考核	131
六、阅读与了解 混凝土的其他强度	134
复习思考题	138

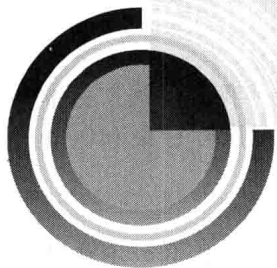
第三章 建筑钢材的物理性能与检验 140

第一节 建筑钢材的基本知识	140
一、钢的冶炼和分类	140
二、钢材的技术性能	141
三、钢材的化学成分及其对性能的影响	143
四、钢筋混凝土结构用钢——热轧带肋钢筋	144
五、阅读与了解 建筑材料的主要力学性质	145
第二节 钢筋试验	146
一、钢筋检验的一般规则	146
二、钢筋的拉伸试验方法 (GB/T 228.1—2010)	147
三、钢筋的冷弯试验方法 (GB/T 232—2010)	150
四、钢筋试验的训练与考核	151
五、阅读与了解 统计学基本知识	154
复习思考题	160

附录 161

附录一 砂的含泥量和云母含量的测定方法 (GB/T 14684—2011) (节选)	161
附录二 粗骨料颗粒级配测定方法 (GB/T 14685—2011) (节选)	162
附录三 粗骨料针、片状含量及压碎指标试验方法 (GB/T 14685—2011) (节选)	163
附录四 粉煤灰需水量比试验方法 (GB/T 1596—2005) (节选)	165
附录五 混凝土拌合物凝结时间测定方法 (GB/T 50080—2002) (节选)	166
附录六 混凝土拌合物泌水与压力泌水试验方法 (GB/T 50080—2002) (节选)	168
附录七 混凝土抗折强度试验方法 (GB/T 50081—2002) (节选)	171
附录八 水泥厂化验室物理检验原始记录表	172

参考文献 173



绪论



一、建筑材料的定义和分类

建筑材料是建筑物或构筑物所用材料及制品的总称。从广义上讲，建筑材料应包括构成建筑本身的材料、施工过程中所用的材料（如脚手架、模板等）以及各种配套器材（如供水、供电、暖气设备等）；但通常情况下，建筑材料一般仅指构成建筑本身的材料，也就是从地基基础、承重构件（梁、板、柱等），直到地面、墙体、屋面等所用的材料。

建筑材料种类繁多，随着材料科学和材料工业的不断发展，新型建筑材料不断涌现。为了研究、使用和叙述的方便，常从不同的角度对建筑材料进行分类。最常用的分类方法是按材料的化学成分和使用功能进行分类。

1. 按材料的化学成分分类

按材料的化学成分，建筑材料可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类，如图 0-1 所示。

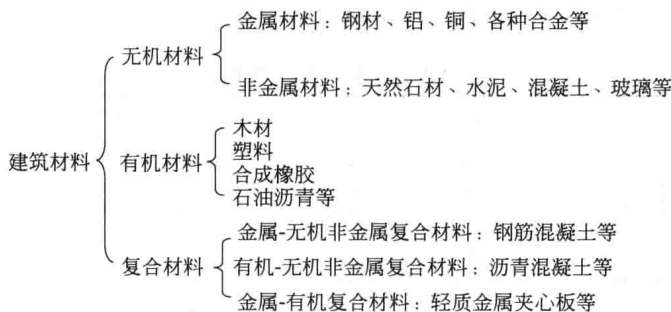


图 0-1 建筑材料的分类

2. 按材料的使用功能分类

按材料的使用功能，建筑材料又可分为结构材料 and 功能材料两大类：

结构材料——用作承重构件的材料，如梁、板、柱等所用材料；

功能材料——所用材料在建筑上具有某些特殊功能，如防水、装饰、保温隔热、吸声隔音等功能。

二、建筑材料的技术标准

标准一词广义上讲是指对重复事物和概念所作的统一规定，它以科学、技术和实践的综合成果为基础，经有关部门协商一致，由主管部门或行业协会颁布，作为共同遵守的准则和依据。

1. 标准的级别

根据标准的级别，标准分为国际标准、区域标准、国家标准、行业标准、地方标准和企

业标准。

(1) 国际标准 (ISO) 国际标准有一万多项, 已被各国广泛采用。我国以国家标准局的名义参加了国际标准化组织 (ISO)。我国鼓励积极采用国际标准, 把国际标准和国外先进标准的内容不同程度地转化为我国的各类标准。

采用国际标准时, 根据差异大小, 采用程度分为三种。

① 等同采用: 图示符号为≡, 缩写字母代表为 IDT。其技术内容完全相同, 不作或少作编辑性修改。

② 等效采用: 图示符号为=, 缩写字母代表为 EQV。其技术内容只有很小差异, 编写上不完全相同。

③ 参照采用: 缩写字母代表为 REF。技术内容根据我国实际情况作了某些变动, 但性能和质量水平与被采用的国际标准相当, 在通用互换、安全、卫生等方面与国际标准协调一致。

(2) 区域标准 是指世界某一区域标准化团体颁发的标准或采用的技术规范。国际较有影响的、具有一定权威的区域标准, 如欧洲标准化委员会颁布的标准, 代号为 EN; 美国材料与试验协会标准 ASTM 等。

(3) 国家标准 (代号 GB) 国家标准是指对全国经济、技术发展具有重大意义的, 必须在全国范围内统一的标准。在我国, 国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会是主管全国标准化、计量、质量监督、检疫管理的国务院的职能部门, 负责提出标准化的工作方针、政策、组织制定和执行全国标准化工作规划、计划, 管理全国标准化工作。

(4) 行业标准 行业标准是指行业的标准化主管部门批准发布的, 在行业范围内统一的标准。行业标准代号一般以两个汉语拼音字母组成, 如表 0-1 所示。

表 0-1 部分行业标准代号

行业	农业	轻工	医药	教育	黑色冶金	有色金属	化工	建材
代号	NY	QB	YY	JY	YB	YS	HG	JC
行业	电子	核工业	海洋	商检	建筑工程	环境保护	煤炭	商业
代号	SJ	EJ	HY	SN	JGJ	HJ	MT	SY

(5) 地方标准 (代号 DB) 地方标准是指在没有国家标准和行业标准而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的工业产品的安全、卫生要求的标准。地方标准由省、自治区、直辖市标准化行政主管部门制定。

(6) 企业标准 (代号 QB) 企业标准是指企业生产的产品如没有国家标准或行业标准时, 均应制定企业标准。对已有国家标准或行业标准的, 国家鼓励企业制定严于国家或行业标准的企业标准, 由企业组织制定。

2. 标准的分类

标准分为基础标准 (综合标准)、产品标准、方法标准、安全标准、卫生标准、环境保护标准等。

(1) 基础标准 基础标准是指在一定范围内作为其他标准的基础并普遍使用, 具有广泛的指导意义的共同标准, 是各方面共同遵守的准则, 是制定产品标准或其他标准的依据。

(2) 产品标准 产品标准是指为保证产品的适用性, 对产品必须达到的某些或全部要求所制定的标准, 一般包括产品的规格、分类、技术要求、试验方法、验收规则、包装、储藏、运输等; 是设计、生产、制造、质量检验、使用维护和贸易洽谈的技术依据。

(3) 方法标准 方法标准是指以试验、检查、分析、抽样、统计、计算、测定、作业或

操作步骤、注意事项等为对象而制定的标准。标准方法是经过充分试验验证、取得充分可靠的数据的成熟方法,并经广泛认可、逐渐建立,不需额外工作即可获得有关精密度、准确度和干扰等知识整体。标准方法在技术上并不一定是最先进的,准确度也可能不是最高的,而是在一般条件下简便易行、具有一定可靠性、经济实用的成熟方法。化验室对某一样品进行分析,必须依据以条文形式规定下来的分析方法。为了保证分析结果的可靠性和准确性,应当使用标准方法和标准物质。

(4) 安全、卫生和环境保护标准 为保护人和物的安全、保护人的健康、保护环境和维持生态平衡而制定的标准。

3. 标准的强制性

我国国家标准和行业标准分为强制性标准和推荐性标准。我国强制性国家标准代号为 GB,推荐性标准代号为 GB/T。法律、行政法规规定的强制执行的标准为强制性标准;其他标准则是推荐性标准。对强制性标准,任何技术或产品不得低于其中规定的要求,从事科研、生产、经营的单位和个人,必须严格执行强制性标准,不符合强制性标准的产品禁止生产和销售。对于推荐性标准,表示也可以执行其他标准的要求,但是推荐性标准一旦被强制性标准采纳,就认为是强制性标准。

4. 标准的表示方法

标准的表示方法由产品(或技术)名称、标准发布机构的组织代号、标准号和标准颁布时间四部分组成。如《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007),产品名称为通用硅酸盐水泥,标准发布机构的组织代号为 GB(国家强制性标准),标准号为 175,颁布时间为 2007 年。

与建筑材料的生产和品质检验有关的标准主要有产品标准和方法标准。我国加入世界贸易组织(WTO)后,为了加快我国建材工业与世界接轨,大量采用和参考国际标准以及先进的区域标准,对促进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起了重要的作用。

三、课程性质

本课程是我校“工业分析与质量检验专业”的建材物理检验部分的主体专业课程,承担培养建材物理高级检验工的任务。该课程性质通过以下几个方面来完善。

1. 教学内容

现代建筑工程中,尽管传统的土、石等材料仍在基础工程中广泛应用,砖瓦、木材等传统材料在工程的某些方面应用也很普遍,各种新型合金、有机材料、多功能复合材料更是层出不穷。但在当代建筑工程中,水泥、混凝土、钢材仍然是不可替代的结构材料。因此,本课程的教学内容将围绕着水泥、混凝土和钢材的常规物理性能及其检验方法展开。

2. 教学要求

应达到国家职业标准对建材物理高级检验工的工作要求,包括专业知识和专业技能两个方面的要求。

(1) 知识要求

- ① 了解本专业国内主要产品的特征、生产工艺流程、物理性能的基本理论知识。
- ② 熟悉水泥、混凝土、钢材主要物理性能的种类以及国家标准或行业标准的相关技术要求;掌握常用物理指标的计算方法。
- ③ 掌握并理解影响物理检验准确性的主要因素。
- ④ 熟悉本专业物理检验仪器设备的名称、规格和使用维护方法;了解物理检验仪器的工作原理和故障原因。

⑤ 了解本专业国内外先进的物理检验技术和检验方法及发展新趋势。

(2) 技能要求

① 熟练掌握水泥、混凝土、钢材常规物理性能的检验操作方法，正确控制试验条件，并能解决物理试验中出现的异常现象。

② 正确使用、维护、检查本岗位仪器设备，并及时更换不合格的仪器和模具。

③ 会编制本岗位的材料消耗计划以及仪器设备的自检和检定计划。

④ 能独立完成本岗位的物理检验工作，操作熟练正确，检验数据准确可靠，并能正确处理试验结果。

⑤ 能编写和修改物理检验操作规程，承担物理室的工艺设计工作。传授物理检验理论和操作经验。

3. 教学目的

通过水泥、混凝土和钢材的常规物理性能及其检验方法的教学，使学生在专业知识和专业技能两个方面达到职业技术的工作要求，最终形成就业的岗位能力和具有发展的职业能力。这就是我们要达到的教学目的。

熟练掌握水泥、混凝土、钢材常规物理性能的检验方法，胜任本岗位的物理检验工作，是本课程结束后要达到的最基本的目的，也是学生具有岗位能力的具体体现。同时，为了应对就业形势的变化，也为了适应学生自身职业取向的变化，在本课程的教学过程中应有意识地培养和发展学生的一般职业能力，即具有发展的职业能力，以提高职业竞争能力，还应注重以下几个方面的教学。

① 引导学生分析影响试验的因素，把握误差分析的要领，不断提高检验结果的准确性，并使学生的数理逻辑分析、综合与运用能力得以提升。

② 通过严格的训练和考核，培养学生严守岗位操作程序、严谨细致的职业素养和良好的工作习惯，使学生具备具有竞争力的职业道德。

③ 引导并督促学生经常阅读检验标准方法中的有关条文，通过讲解和示范帮助他们正确理解条文的含义，逐渐习惯标准文件的表述风格并提高对标准条文的理解力，以使他们获得一种将文字表述的检验方法正确转换为实际操作的能力。这种能力将使學生能以最快、最直接的方式掌握最新的标准方法，并对检验过程的规范性作出正确的判断。

四、教材说明

实现本课程的教学目的，教师应具备丰富的教学经验、扎实的理论功底和熟练的操作水平。除此之外，还需要一本作为教学蓝图的教材。该教材应将本课程的专业理论基本知识和职业技能融为一体，即所谓一体化教材。这种教材区别于通常教材的特点是，通过具体的工作任务即试验项目加深学生对专业理论知识的理解，而这种理解又促进他们实际操作水平的提高。本教材正是为试图实现这一目的而编写的，因而在教材的体裁上有别于通行的建筑材料教材。整个教学活动以试验项目的实操训练和考核为重点，同时又将相关的理论知识融合其中，使学生通过试验项目即工作任务的学习、训练、考核和讨论，掌握理解相关的专业知识，运用和发展职业技能。

本教材是在水泥、混凝土、钢材的专业学科的发展逻辑上，以这三种最常用的建筑材料的常规物理性能的试验项目为主线编辑而成。在体裁上，每一个工作任务即试验项目由四个部分组成：基本知识、试验方法、训练与考核、阅读与了解。

1. 基本知识

该部分主要包括要检验的物理性能的概念、影响因素、国家标准的要求等，为试验原理

(或试验目的)、试验步骤的展开做准备,重点在国家标准对该项物理性能的要求,让学生明确国家标准对该项物理性能的规定。

2. 试验方法

为了顾及学生就业的普遍适应性,除引用少量的最新行业标准的规定外,本教材涉及的水泥、混凝土和钢材的物理性能试验方法按现行的国家标准编写,并标注标准代号,以便学生和教师查阅与核对。编者以为,在教学活动中应将相关试验方法的国家标准的完整版本作为配套教材使用,以培养学生阅读标准文件的习惯,并逐渐提高他们对标准条文的理解力,以达到教学目的③的要求。

该部分包括试验原理(或试验目的)、试验仪器设备、试验操作步骤、试验结果的计算与处理。重点在试验操作步骤,教师应通过清晰、准确、完整的演示让学生了解试验操作的关键和处理方法,以提高他们的兴趣和注意力。

3. 训练与考核

这是整个教学活动的重心。为了实现本课程的教学目的,该部分由四个环节组成:训练的基本要求、操作时应注意的事项、训练与考核的技术要求和评分标准、讨论与总结。四个环节的性质、作用和安排分述如下。

(1) 训练的基本要求 这一环节主要是培养学生注意每一个工作任务细节的习惯,为达到教学最基本的目的作准备,也为达到教学目的②作铺垫。为此将相关的理论知识、试验原理、试验条件的控制、操作方法、仪器设备的参数、试验原始记录表等融合在一起,最后要求学生以试验报告的形式作一个书面的总结。每一个试验项目的试验报告总是包括测定原理(或目的)、试验方法依据的标准、仪器设备、试验步骤、试验结果及其计算过程、试验原始记录表、问答这七个内容。其中“试验原始记录表”是参照企业用的原始记录表格编写的,以便学生上岗就业后能准确快速地填写工作报表。而“问答”这一块则是以填空的形式让学生自己总结试验过程中的技术要求和仪器设备的参数,加强对试验项目的理解。“问答”是一个开放的主题,指导教师可以根据学生的训练情况增添或删减相关的内容。

在工作任务的训练过程中,教师除指导学生完成试验项目的操作外,还应指导他们如何正确填写“试验原始记录表”,并加以核实。

(2) 操作时应注意的事项 这一环节是让学生注意影响试验结果的主要因素,在完成工作任务的过程中学会误差分析,提高检验结果的准确度,提升学生做好试验的信心,也是为达到教学目的①作的铺垫。这也是一个开放的环节,编者根据自己的教学经验列举若干操作时应注意的事项,但指导教师可以根据自己的教学经验、现场的训练情况以及学生遇到的问题作出适当的增减,以丰富这一环节。

(3) 训练与考核的技术要求和评分标准 训练与考核的技术要求和评分标准是按照建材物理检验工技能等级考核高级工应会的标准编写而成,训练与考核的要求和标准相同,使学生从训练开始就按照标准规定的条件和步骤完成试验项目。在项目的训练过程中,指导教师应按照工作任务的技术要求严格要求学生,使其养成严谨的工作习惯,同时帮助有困难的学生掌握操作技巧并完成训练的项目。成熟一个,考核一个,不必安排统一的考核时间。对于在规定的教学时间内不能通过项目考核的学生,指导教师应作出适当的训练和考核时间安排,并发动同学之间互帮互助,鼓励有困难的学生完成训练项目,但不得降低考核标准。这是达到本课程最基本的教学目的和教学目的②的重要环节。在本课程结束之时,应完成本课程规定的所有试验项目的训练和考核,并通过建材物理检验高级工的国家职业技能资格考试。

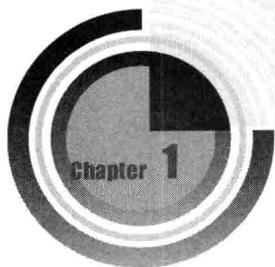
(4) 讨论与总结 这一环节主要通过“操作的影响”和“仪器设备的影响”来探讨影响物理性能检验结果的因素以及相应的处理方法,加深理解误差理论在具体的项目试验中的应

用。这一环节应在该项目考核结束之后进行,以便学生对整个工作任务的重点和难点有一个清晰的认识,找到自己的不足。

在讨论与总结这一环节的进行过程中,不希望变成教师的一言堂,这应该是一个互动的环节,教师应引导和鼓励学生积极参与讨论。编者根据自己的教学 and 实践经验列举了若干条的影响因素和处理方法,只希望起到抛砖引玉的作用。这同样是个开放的环节,教师应根据训练和考核中观察到的情况,结合自己的经验增减或修正已有的条款,也要鼓励学生诉说自己的经验和体会,只要是正确的,不管是否具有代表性都应纳入其中,以丰富这一环节的内涵。这是一个重要的环节,是达到教学目的^①的一个有效的举措。

4. 阅读与了解

在每一个工作任务之后都有一个“阅读与了解”的部分,其内容并非是介绍最新的科技或应用成果,而是与试验项目有关的专业知识或试验方法。目的是扩大学生的知识面,引发学生对本课程的兴趣和关注。教师可以根据教学的要求、时间的安排以及学生的兴趣爱好作出适当的选择。



第一章

水泥的物理性能与检验

引言 水泥的基本知识

水泥是一种水硬性胶凝材料。水硬性胶凝材料系指既能在空气中硬化，其后又能在水中继续硬化，并不断增进其强度的一类材料。粉末状的水泥与水混合成可塑性的浆体，经过一系列的物理化学作用后，变成坚硬的水泥石，并能将散粒状（或块状）的材料如砂、石黏结成为坚固的整体。水泥浆体的硬化不仅能在空气中进行，还能更好地在水中进行并继续增长其强度。

水泥是最主要的建筑材料之一，广泛应用于工业与民用建筑、道路、水利和国防工程。在实际应用中，水泥单独使用的情况很少，常与砂、石等骨料或钢筋、玻璃纤维等增强材料配制成各种混凝土，作为工程的结构材料使用；也可配制成各种砂浆，用于建筑物的砌筑、抹面、装饰等。我国是水泥生产大国，产量已超过世界水泥产量的一半。

水泥品种繁多，一般按主要的水硬性物质分类和命名，可分为硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥等，其中硅酸盐系列水泥应用最为广泛。也可按水泥的性能和用途划分，有通用水泥、专用水泥如油井水泥和道路水泥等、特性水泥如快硬水泥和低热水泥等。在所有水泥中应用最多、最广泛的是通用硅酸盐水泥。

通用硅酸盐水泥是以硅酸盐水泥熟料和适量石膏以及规定的混合材料共同磨细制成的水硬性胶凝材料。按混合材料的品种和掺入量的不同，通用硅酸盐水泥又分为硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥六种水泥。

下面有关水泥基本知识的介绍都是围绕通用硅酸盐水泥展开。

一、水泥的生产过程

生产水泥的主要原材料是石灰质原料、黏土质原料和铁质原料。石灰质原料有石灰石、白垩等，以石灰石为主，主要提供氧化钙；黏土质原料有黏土、页岩等，以黏土为主，主要提供氧化硅和氧化铝；铁质原料以铁矿石为主，提供三氧化铁。

为调整水泥的凝结时间，在生产的最末阶段还要加入石膏；同时为了扩大水泥的应用范围和增加产量以及环保的原因，在水泥制成环节掺入各种工业废渣即混合材。

水泥的生产过程可以归结为生料制备、熟料烧成和水泥制成三个阶段，现简述如下（图 1-0-1）。

1. 生料制备

将石灰石、黏土、铁矿石三种原材料按比例在生料磨机内混合磨细，制备成生料。

2. 熟料烧成

将制备好的生料送入水泥窑内在 1450°C 的高温下煅烧为熟料并急冷。

3. 水泥制成

将熟料、石膏、混合材按比例在水泥磨机内混合磨细，制成水泥。

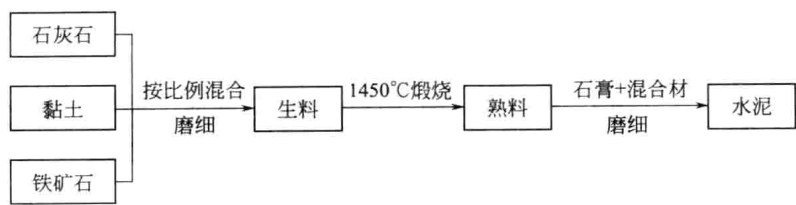


图 1-0-1 水泥生产工艺过程

概括地讲，水泥的生产工艺过程就是“两磨（生料粉磨和水泥粉磨）、一烧（熟料煅烧）”。

二、水泥的组分材料

（一）熟料

由上述水泥的生产过程可知，水泥熟料是由石灰石、黏土、铁矿石在 1450℃ 的高温下煅烧而成。经过高温化学反应，这些原材料转化成以硅酸钙（ C_3S+C_2S ）为主要成分的水泥熟料，因而称为硅酸盐水泥熟料。《通用硅酸盐水泥》（GB 175—2007）给它的定义如下。

由主要含 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 的原料，按适当比例磨成细粉烧至部分熔融所得以硅酸钙为主要矿物成分的水硬性胶凝物质。其中，硅酸钙矿物不小于 66%，氧化钙和氧化硅质量比不小于 2.0。

1. 熟料的主要化学成分

水泥的质量主要决定于熟料的质量。优质熟料应该具有合适的矿物组成和岩相结构。因此，控制熟料的化学成分，是水泥生产的中心环节之一。

硅酸盐水泥熟料的主要化学成分是氧化钙（ CaO ）、二氧化硅（ SiO_2 ）、三氧化二铝（ Al_2O_3 ）、三氧化二铁（ Fe_2O_3 ）四种氧化物，它们在熟料中的总量在 95% 以上。另外还有其它少量氧化物，如 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 、 SO_3 等。

据统计，在硅酸盐水泥熟料中，四种主要氧化物含量的大致范围如下。

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
62%~67%	20%~24%	4%~7%	3%~5%

2. 熟料的矿物组成

在硅酸盐水泥熟料中， CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 等并不是以单独的氧化物形式存在。这些氧化物在熟料煅烧过程中，在不同的高温阶段，发生多种高温化学反应，分别形成具有不同性能的熟料矿物。硅酸盐水泥熟料中的主要矿物有以下四种：

- ① 硅酸三钙，化学组成式为 $3CaO \cdot SiO_2$ ，简写为 C_3S ；
- ② 硅酸二钙，化学组成式为 $2CaO \cdot SiO_2$ ，简写为 C_2S ；
- ③ 铝酸三钙，化学组成式为 $3CaO \cdot Al_2O_3$ ，简写为 C_3A ；
- ④ 铁铝酸四钙，化学组成式为 $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ ，简写为 C_4AF 。

另外，还有少量的游离氧化钙（f- CaO ）、方镁石（ MgO ）、含碱矿物、玻璃体等。

通常，熟料中硅酸三钙和硅酸二钙的含量占 75% 左右，称为硅酸盐矿物；铝酸三钙和铁铝酸四钙占 22% 左右。在煅烧过程中，后两种矿物与氧化镁、碱等在 1250~1280℃ 开始，会逐渐熔融成液相以促进硅酸三钙的顺利形成，故称为熔剂矿物。

同样都属硅酸盐水泥熟料，但主要矿物的含量却会有较大的差别。这是因为生产熟料的工艺条件不同或对熟料性能要求的不同所选用配料方案的不同。硅酸盐水泥熟料四种主要矿物含量的一般波动范围见表 1-0-1。

表 1-0-1 不同窑型熟料的矿物组成

单位: %

窑型 \ 矿物	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	C_3S+C_2S	C_3A+C_4AF
旋窑	42~60	15~32	4~11	10~18	72~78	20~24
立窑	38~55	20~33	4~7	13~20	70~75	19~24

3. 熟料矿物性质简介

(1) 硅酸三钙 (C_3S) 硅酸三钙主要由硅酸二钙和氧化钙反应生成, 是硅酸盐水泥熟料的主要矿物, 其含量通常占熟料的 50% 以上。在硅酸盐水泥熟料中, 硅酸三钙并不以纯的形式存在, 晶体中常含有少量 MgO 和 Al_2O_3 等氧化物, 形成固溶体, 称为阿利特 (Alite), 简称 A 矿。

C_3S 加水调和后, 凝结时间正常, 水化较快, 早期强度高, 强度增进率较大。其 28d 强度、一年强度是四种矿物中最高的。它的体积干缩性也较小, 抗冻性较好。因此, 一般希望熟料中有较多的 C_3S 。但它的水化热较高, 抗水性较差, 抗硫酸盐侵蚀能力也较差。另外, 由于在煅烧过程中, C_3S 形成需要较高的烧成温度和较长的烧成时间, 这给熟料的煅烧操作带来了困难。因此, 在实际生产中不能不切实际地追求 C_3S 的含量, 否则将导致有害成分 $f-CaO$ 增多, 反而降低熟料质量。

(2) 硅酸二钙 (C_2S) 硅酸二钙由氧化钙和氧化硅反应生成。在熟料中的含量一般为 20% 左右, 是硅酸盐水泥熟料的主要矿物之一。

C_2S 水化速度较慢, 凝结硬化缓慢, 早期强度较低, 但 28d 以后, 强度仍能较快增长, 在一年后可接近 C_3S 。

增加粉磨比表面积, 可以明显增加 C_2S 的早期强度。

纯 C_2S 在 1456℃ 以下易发生多种晶型转变, 尤其在低于 500℃ 时, 由于 $\beta-C_2S$ 转变为密度更小、活性很低的 $\gamma-C_2S$ 时, 体积膨胀 10%, 导致熟料粉化, 且使熟料强度大大降低。这种现象在通风不良、液相量较少、还原气氛较浓、冷却较慢的立窑生产中较为多见。在烧成温度较高、冷却较快的熟料中, 由于 C_2S 中固溶进少量 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 等, 通常都可保留 β 型。这种 $\beta-C_2S$ 被称贝利特 (Belite), 简称 B 矿。

(3) 铝酸三钙 (C_3A) 铝酸三钙水化速度及凝结硬化很快、放热多, 如不加石膏等缓凝剂, 易使水泥急凝。铝酸三钙硬化也很快, 它的强度 3d 内就大部分发挥出来, 故早期强度较高, 但绝对值不高, 以后几乎不再增长, 甚至倒缩。铝酸三钙的干缩变形大, 抗硫酸盐性能差, 脆性大, 耐磨性差。

(4) 铁铝酸四钙 (C_4AF) 铁铝酸四钙的水化速度在早期介于铝酸三钙与硅酸三钙之间, 但随后的发展不如硅酸三钙。它的强度早期类似于铝酸三钙, 而后期还能不断增长, 类似于硅酸二钙。它的水化热低, 干缩变形小, 耐磨, 抗冲击, 抗硫酸盐侵蚀能力强。含有少量其他氧化物的铁铝酸四钙称为才利特 (Celite), 简称 C 矿。

铁铝酸四钙和铝酸三钙在煅烧过程中熔融成液相, 可以促进硅酸三钙的形成, 这是它们的一个重要作用。如果物料中熔剂矿物过少, 易生烧, 氧化钙不易被吸收完全, 导致熟料中游离氧化钙增加, 影响熟料质量, 降低窑的产量, 增加燃料消耗。如果熔剂矿物过多, 在立窑内易结大块, 结炉瘤; 在回转窑内易结大块, 结圈等。液相的黏度, 随 C_3A/C_4AF 的比值而增减, 铁铝酸四钙多, 液相黏度低, 有利于液相中离子的扩散, 促进硅酸三钙的形成, 但铁铝酸四钙过多, 易使烧结范围变窄, 不利于窑的操作。对于一般工艺条件的水泥熟料窑而言, 熟料中含有一定量的 C_3A 对于旋窑窑皮和立窑底火是必要的。