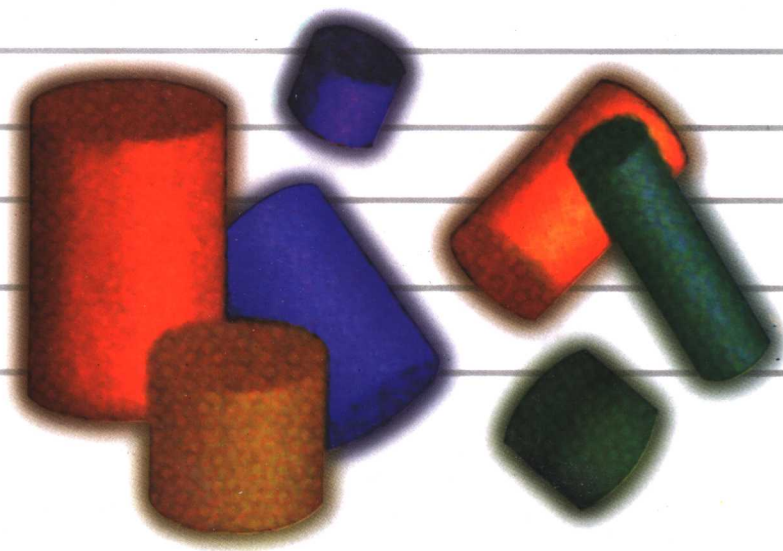


建材技工学校系列教材

Shuīní Shēngchǎn Jīběn Zhīshì

水泥生产基本知识

周国治 主编



武汉理工大学出版社

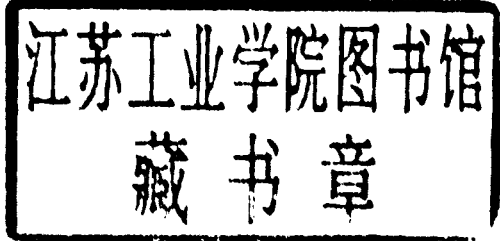
72.6

9

建材技工学校系列教材

水泥生产基本知识

周国治 主编



武汉工业大学出版社

内 容 简 介

本书是为建材技工学校水泥专业编写的教学用书。本书较系统地介绍了胶凝材料的发展、水泥在国民经济中的作用；水泥的生产方法、原料和配料、熟料的组成、煅烧、粉磨、生产控制和检验；硅酸盐水泥的水化、硬化与腐蚀；对其他通用水泥、高铝水泥及特种水泥的组成、性能和用途也作了介绍；为培养学生的动手能力和实验技能，简要介绍了水泥工艺实验的方法。

本书还可供水泥专业技术人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

水泥生产基本知识/周国治著. —武汉: 武汉理工大学出版社, 2002.3. 重印
ISBN 7-5629-0753-6

I. 水… II. 周… III. 水泥-生产工艺-基本知识 IV. TQ172.1

武汉理工大学出版社出版发行
(武昌珞狮路 122 号 邮编 430070)

各地新华书店经销
通山县印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 15.5 字数: 342 千字

1993 年 7 月第 1 版 2004 年 1 月第 11 次印刷

印数: 84001—87000 册

定价: 22.50 元

(如有印装质量问题, 请与承印厂调换)

序

当前,我国国民经济正以高速度向前发展,建材工业在国民经济发展中占有举足轻重的地位。邓小平同志指出:“科学技术是第一生产力”。建材工业要大发展,科技教育工作必须走在前面,培养具有较高科学文化知识和生产技术水平社会主义劳动者,乃是百年大计。

劳动部《关于深化技工学校教育的决定》中指出:“大力发展和办好技工学校是开发劳动者职业技能,提高劳动者素质,发展和完善劳动市场的有效途径”。近年来,国家建材局人才开发司根据劳动部对技工学校深化教育的有关精神,结合本行业的实际情况,深入开展了建材技工学校的教育改革,提出了《关于修改技工学校建材类专业教学计划的意见》;并组织了技工学校建材类各主要专业(工种)的教学计划和教学大纲的修订工作。

1991年,在福州召开的全国建材技工学校教育工作会议上,与会代表们认为,原来使用的水泥技工学校内部油印讲义已经不适应建材工业新技术的发展和技工学校教学工作的实际需要,建议重新编写教材。国家建材局教材办公室在认真研究了代表们的建议后,决定组织人员按照新教学计划、教学大纲的要求,重新编写一套技工学校水泥专业系列教材,具体编审组织及出版工作委托武汉工业大学出版社负责实施。

经过各位编者和武汉工业大学出版社全体同志的共同努力,技工学校水泥专业系列教材(共8本)于1993年秋季正式出版发行了。新版教材正式出版后,受到了广大使用单位的欢迎,不到三个月时间,已大部分售完。为了满足广大使用单位的需求,进一步提高教材的质量,由武汉工业大学出版社组织有关编者、图书审读员、责任编辑对教材进行了审读,并收集了读者意见,对初版教材进行了勘误修订,预计1994年将修订重印后奉献给广大读者。

技工学校水泥专业系列教材(共8本)包括:《水泥生产基本知识》、《粉磨工艺与设备》、《水泥煅烧工艺与设备》(上、下册)、《水泥工业热工基础》、《热工仪表与热工测量》、《水泥生产辅助机械设备》、《化验室基本知识及操作》(上册),它以该专业(工种)新修订的教学计划和教学大纲为依据,按照培养目标的要求设置理论课课程;教学内容以应用知识为主,合理精减、合并、调整了理论课内容,删除了原讲义中冗繁和陈旧的部分章节,增加了反映新技术、新工艺的教学内容;有些课程(如化学分析课),还编写了实习操作教材。总之,该系列教材体现了理论课要适应操作技能培训需要的原则。

为了避免不必要的重复劳动,经研究决定,今后不再另编写水泥高级工培训教材,该系列教材基本上能满足高级工和技师培训的需要,请各使用单位根据高级工和技师培训的实际需要,选择相应的内容进行教学。

该教材的成功问世,得到了编者、审稿人、编辑等同志的大力支持,在此表示衷心的感谢!

各单位在使用该教材的过程中,若有何建议和要求,请及时反馈到国家建材局教材办公室和武汉工业大学出版社,以便再版时修改,使该教材日臻完善。

国家建材局教材办公室

1993年12月

前 言

本书是根据国家建材局人才开发司制定的水泥技工教材《水泥生产基本知识》教学大纲编写的。

本书重点介绍了硅酸盐水泥系列的生产工艺过程与原理。对高铝水泥的生产方法与原理及特种水泥生产工艺的一般知识也作了介绍。

本书由杭州水泥厂周国治主编并编写全书各章；国家建筑材料工业局唐山技工学校彭宝利编写第四章第三节。

由于编者水平所限，谨请批评指正。

编 者

1992年8月

目 录

绪 论.....	1
第一节 胶凝材料的定义和分类.....	1
第二节 胶凝材料发展简史.....	1
第三节 水泥的定义和分类.....	2
第四节 水泥在国民经济中的作用.....	2
第五节 水泥工业发展概况.....	2
第一章 硅酸盐水泥生产概述.....	4
第一节 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的国家标准.....	4
第二节 硅酸盐水泥的生产方法.....	7
第三节 硅酸盐水泥生产工艺流程.....	8
第四节 硅酸盐水泥的性能和使用范围.....	13
第二章 硅酸盐水泥熟料的组成.....	15
第一节 硅酸盐水泥熟料的矿物组成.....	15
第二节 硅酸盐水泥熟料的化学成分.....	19
第三节 硅酸盐水泥熟料的率值.....	20
第四节 硅酸盐水泥熟料矿物组成的计算及换算.....	23
第三章 硅酸盐水泥的原料、燃料及配料.....	28
第一节 石灰质原料.....	28
第二节 粘土质原料.....	30
第三节 校正原料、矿化剂及缓凝剂.....	33
第四节 水泥工业用燃料.....	35
第五节 工业废渣的利用.....	38
第六节 硅酸盐水泥的配料.....	41
第四章 硅酸盐水泥生产工艺过程.....	57
第一节 原料的采掘与运输.....	57
第二节 生料制备.....	58
第三节 原料预均化及生料均化.....	70
第四节 硅酸盐水泥熟料的煅烧.....	85
第五节 水泥制成.....	109
第六节 水泥的包装与贮运.....	114
第五章 硅酸盐水泥生产控制与检验.....	118
第一节 生产控制.....	118
第二节 水泥物理性能.....	134

第三节	测定水泥主要物理性能的方法	138
第六章	硅酸盐水泥的水化、硬化与腐蚀	160
第一节	熟料矿物的水化	160
第二节	水化速度	162
第三节	水泥的凝结	165
第四节	水泥的硬化	168
第五节	水泥的腐蚀	174
第七章	其他通用水泥	179
第一节	粒化高炉矿渣	179
第二节	矿渣硅酸盐水泥	182
第三节	火山灰质混合材料	185
第四节	火山灰质硅酸盐水泥	187
第五节	粉煤灰硅酸盐水泥	187
第六节	用于水泥中的石膏和硬石膏	190
第八章	高铝水泥	193
第一节	化学成分和矿物组成	193
第二节	高铝水泥的原料	195
第三节	高铝水泥生产方法	195
第四节	高铝水泥生产控制系数	196
第五节	高铝水泥的配料计算	198
第六节	高铝水泥的水化和硬化	199
第七节	高铝水泥的性能与用途	200
第八节	高铝水泥—65(耐火水泥)	202
第九章	特种水泥	204
第一节	快硬高强水泥	204
第二节	膨胀水泥和自应力水泥	209
第三节	白色水泥和彩色水泥	212
第四节	抗硫酸盐硅酸盐水泥	214
第五节	中热硅酸盐水泥与低热矿渣水泥	215
第六节	油井水泥	216
第七节	砌筑水泥	220
第八节	水玻璃型耐酸水泥	221
第九节	道路水泥	223
第十节	复合硅酸盐水泥	224
第十章	水泥工艺实验	228
实验一	生料细度或水泥细度、比表面积测定	228
实验二	入磨物料水分的测定	228
实验三	水泥容积密度、熟料升重的测定	228

实验四	水泥标准稠度用水量、凝结时间测定	229
实验五	水泥胶砂强度测定	229
实验六	水泥安定性测定	229
实验七	水泥中 SO_3 、 Fe_2O_3 、 $f\text{-CaO}$ 测定	229
实验八	混合材掺加量的测定	232
实验九	生料或熟料全分析	234
参考文献		239

绪 论

第一节 胶凝材料的定义和分类

凡在物理、化学作用下，能从浆体变成坚固的石状体，并能胶结其他物料而具有一定机械强度的物质，统称为胶凝材料。胶凝材料分为水硬性和非水硬性两大类。

非水硬性胶凝材料是只能在空气中或其他条件下硬化，而不能在水中硬化的材料。如无机的石灰、石膏及有机的环氧树脂胶结料等。

水硬性胶凝材料是在拌水后不仅能在空气中硬化又能在在水中硬化的材料。如硅酸盐水泥、铝酸盐水泥等无机材料。

第二节 胶凝材料发展简史

胶凝材料是人类在生产实践中，随着社会生产力的发展而发展起来的。粘土以及粘土掺加一些纤维材料作为胶凝材料是人类使用最早的一种胶凝材料，但粘土不耐水且强度低。

大约在公元前2000~3000年，人们开始把石灰、石膏来调制砌筑砂浆用作胶凝材料。我国万里长城，古埃及的金字塔、狮身人首石像建筑，就是由这种胶凝材料建造的。

随着生产的发展，人们注意到在石灰砂浆中掺入火山灰使砂浆具有一定抗水性。我国很早就使用的“三合土”建筑物等都用的是石灰火山灰材料。随着陶瓷生产的发展，人们用废陶器、碎砖磨碎后混合石灰作胶凝材料时，发现它的砂浆可以在水中硬化、具有较高的强度和较好的抗水性；由此，进一步发现可用石灰和煅烧的粘土来制成胶凝材料。

在18世纪到19世纪初期，在历史上是探求真理成为一种潮流的时代，化学和物理学被广泛地用于解释自然现象。在这样一个时期内，许多学者、工程师注意到了水泥的神秘。于1756年和1796年先后制成了水硬性石灰和罗马水泥。在此基础上，又进而用含适量(20%~25%)粘土的石灰石(天然水泥)经煅烧磨细，制得天然水泥。

19世纪初期(1810~1825年)已经将石灰石和粘土细粉按一定比例配合，在类似石灰窑的炉内，经高温烧结成块(熟料)，再进行粉磨制成水硬性胶凝材料。因为这种水硬性胶凝材料，具有与英国波特兰城建筑岩石相似的颜色，故称之为波特兰水泥(我国称为硅酸盐水泥)。

硅酸盐水泥出现后，应用日益普遍。100多年来，由于各国的科学家和水泥工作者的不断研究、探索及生产工艺的改进，使硅酸盐水泥生产不断提高和完善。同时水泥制品也相应得到发展。

由于工业不断发展，以及军事工程和特殊工程的需要，先后制成了各种特殊用途的水泥，如高强快硬水泥、矾土水泥、膨胀水泥、抗硫酸盐水泥、油井水泥等。

第三节 水泥的定义和分类

凡细磨材料，加入适量水后，成为塑性浆状，既能在空气中硬化，又能在水中硬化，并能把砂、石等材料牢固地胶结在一起的水硬性胶凝材料，通称水泥。水泥种类很多。按其用途及性能可分为通用水泥、专用水泥及特性水泥。通用水泥如硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥等；专用水泥如75℃油井水泥、砌筑水泥等；特性水泥如快硬硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、膨胀硫铝酸盐等。目前水泥品种已达100余种。

第四节 水泥在国民经济中的作用

水泥是基本建设中最重要建筑材料。随着现代化工业的发展，它在国民经济中的地位日益提高，应用也日益广泛。

现在水泥已广泛应用于工业建筑、民用建筑、水工建筑、道路建筑、农田水利建设和军事工程等方面。由水泥制成的各种水泥制品，如坑木、轨枕、水泥船和石棉水泥制品等广泛应用于工业、交通等部门，在代钢、代木方面，也越来越显示出技术经济上的优越性。

由于钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土和钢结构材料的混合使用，才有高层、超高层、大跨度以及各种特殊功能的建筑物。新的产业革命，又为水泥行业提出了扩大水泥品种和扩大应用范围的新课题。开发占地球表面71%的海洋是人类进步的标志，而海洋工程的建造，如海洋平台、海洋工厂，其主要建筑材料就是水泥。此外，如宇航工业、核工业以及其他新型工业的建设，也需要各种无机非金属材料，其中最为基本的是以水泥为主的复合材料。因此水泥工业的发展对保证国家建设计划的顺利进行起着十分重要的作用。

第五节 水泥工业发展概况

硅酸盐水泥出现后，100多年来，水泥生产技术经历多次变革。

硅酸盐水泥是在第一次产业革命中问世的，开始是间歇作业的土立窑。随着冶炼技术为突破口的第二次产业革命，推动了水泥生产设备的更新，1877年出现了回转窑，继而出现了单筒冷却机、立式磨和单仓球磨，使水泥产质量有所提高。到19世纪末至20世纪初，水泥工业一直进行不断改造与更新，1910年立窑实现机械化连续生产，1928年出现立波尔窑，使回转窑产量有明显提高，热耗降低。

以原子能、合成化工为标志的第三次产业革命达到了高度工业化阶段。水泥工业也出现变革，1950年悬浮预热器的应用，使热耗大幅度降低；60年代初，以电子计算机为代表的新技术在水泥工业中开始得到应用；在1971年开发了水泥窑外分解技术，是水泥生产技术的重大突破。同时随着原料预均化及生料均化等多种生产技术的不断完善，以及X射线检测方法 & 计算机自动控制技术在水泥生产过程的应用，使干法窑的产量和质量明显提高，在节能方面取得极大进展，使干法工艺正在逐步取代湿法、老式干法及半干法生产，将水泥工业推向

一个新的阶段。

1876年我国在河北唐山首先建立启新洋灰公司(即今唐山启新水泥厂)。以后又相继建立大连、上海、中国、广州以及其他一些水泥厂。但在解放前水泥工业也和其他工业一样,发展一直非常缓慢。旧中国水泥工业不仅产量低而且品种少,历史上水泥最高年产量仅229万吨(1942年),解放前只能生产普通硅酸盐水泥和矿渣硅酸盐水泥二个品种。1949年前我国水泥年产量只有66万吨。

1949年新中国成立以后,水泥工业也和其他工业一样得到迅速发展。老企业开展技术革新和技术革命,并进行改造和扩建;新厂逐步根据合理布局发展起来;在发展各类回转窑水泥厂的同时,立窑水泥厂也迅速建设起来。1991年,我国水泥产量已达2.4亿吨(不包括台湾省),跃居世界首位。水泥品种发展到60多种,成为世界上水泥品种较多的国家之一。

我国也非常重视发展新技术、新工艺,促使水泥工业的技术不断进步。我国在50年代已经进行过悬浮预热器的研究;60年代初太原水泥厂的四级旋风预热器回转窑通过了国家鉴定。1969年又在杭州水泥厂建成了第一台带立筒预热器回转窑。至于窑外分解技术,自从1976年在石岭建成第一台悬浮分解炉以来,已经较快地在多处推广使用。日产700吨熟料的窑外分解窑生产工艺线已于1983年分别在江苏邳县水泥厂和新疆水泥厂建成,国内自行研究、设计、制造了日产2000吨熟料的窑外分解工艺线已在江西万年水泥厂建成并投产。我国发展以预分解为中心的新型干法工艺线,使我国水泥生产工艺的改造进入了一个新的阶段。我国又在冀东、淮海、宁国、柳州等水泥厂先后引进了若干套国外的窑外分解技术和成套、半成套设备,也有助于我国水泥工业基本建设的发展,而且在提高设计水平、加强工厂管理或进行设备改造等方面,都可作为借鉴。在粉磨技术方面,我国自行研制成功高细磨设备,近几年引进开发立式辊磨的制造技术,国际上80年代出现的辊压机技术我国也正在开发应用。

我国在煅烧、粉磨、熟料形成、水泥的新矿物系列、水泥的水化与硬化、混合材、外加剂、节能技术等有关基础理论以及测试方法的研究和应用方面,也取得较好成绩。国家非常重视开发智力人才,全国相继成立几十所大、中专院校和一些技工学校。每年为水泥行业输送大批合格人才,使水泥工业技术队伍不断壮大。

也应该看到,与世界先进水平相比,我国水泥工业还存在不少问题。能耗高的湿法工艺仍占总生产能力较大比例,有不少大中型厂的生产设备陈旧落后,劳动生产率低,环境污染还比较严重。水泥工业技术队伍力量不足,人才相当缺乏。当前国内外水泥工业的中心课题仍是能源、资源和环境保护,我们一定要依靠科技进步来加速发展我国水泥工业,赶上和超过世界先进水平。

当前,必须在现有技术基础上,因地制宜地采用先进技术和综合治理技术,以节能为中心对老厂进行技术改造。发展以窑外分解为中心的新工艺以及其他煅烧技术,使我国大型水泥生产设备基本实现国产化。对水泥机立窑升级、节能技术改造,使改造后的机立窑生产线向具有一定规模的现代化生产线方向发展。以优质、高产、低耗满足国民经济发展的需要。因此,水泥科技工作者重任在肩,应立足本职,奋发学习,为实现水泥工业现代化和水泥科学技术的现代化而努力奋斗,作出贡献。

第一章 硅酸盐水泥生产概述

第一节 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的国家标准

一、定义与代号

根据国家标准 GB175—92《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》的规定：

(一) 硅酸盐水泥

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（即国外通称的波特兰水泥）。硅酸盐水泥分两种类型：不掺加混合材料的称 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质量 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。

(二) 普通硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料、6%~15% 混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料，称为普通硅酸盐水泥（简称普通水泥），代号 P·O。

掺活性混合材料时，最大掺量不得超过 15%，其中允许用不超过水泥质量 5% 的窑灰或不超过水泥质量 10% 的非活性混合材料来代替。

掺非活性混合材料时最大掺量不得超过水泥质量 10%。

二、组分材料

(一) 硅酸盐水泥熟料

凡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的产物称为硅酸盐水泥熟料（简称熟料）。

(二) 石膏

工业副产石膏是工业生产中以硫酸钙为主要成分的副产品。采用工业副产石膏时，应经过试验，证明对水泥性能无害。天然石膏应符合 GB 5483 规定。

(三) 活性混合材料

符合 GB 1596 的粉煤灰，符合 GB 2847 的火山灰质混合材料和符合 GB 203 的粒化高炉矿渣。

(四) 非活性混合材料

活性指标低于 GB 1596、GB 2847 和 GB 203 标准要求的粉煤灰，火山灰质混合材料和粒化高炉矿渣以及石灰石和砂岩。石灰石中的三氧化二铝含量不得超过 2.5%。

(五) 窑灰：应符合 ZBQ12001 的规定。

(六) 助磨剂

水泥粉磨时允许加入不损害水泥性能的助磨剂，其加入量不得超过水泥质量的 1%。水泥厂启用副产石膏和助磨剂时，须经省、市自治区以上建材行业主管部门批准，投产后定期进行质量检验。

三、标号

硅酸盐水泥分425R、525、525R、625、625R、725R六个标号。

普通水泥分325、425、425R、525、525R、625、625R七个标号。

四、技术要求

(一) 不溶物

I型硅酸盐水泥中不溶物不得超过0.75%。II型硅酸盐水泥中不溶物不得超过1.50%。

(二) 氧化镁

水泥中氧化镁的含量不得超过5.0%，如果水泥经压蒸安定性试验合格，则水泥中氧化镁含量允许放宽到6.0%。

(三) 三氧化硫

水泥中三氧化硫的含量不得超过3.5%。

(四) 烧失量

I型硅酸盐水泥中烧失量不得大于3.0%，II型硅酸盐水泥中烧失量不得大于3.5%，普通水泥中烧失量不得大于5.0%。

(五) 细度

硅酸盐水泥比表面积大于300 m²/kg，普通水泥80μm方孔筛筛余不得超过10.0%。

(六) 凝结时间

硅酸盐水泥初凝不得早于45 min，终凝不得迟于6.5 h。普通水泥初凝不得早于45 min，终凝不得迟于10 h。

(七) 安定性

用沸煮法检验必须合格。

(八) 强度

水泥标号按规定龄期的抗压强度和抗折强度来划分，各标号水泥的各龄期强度不得低于表1-1-1数值。

表 1-1-1 各龄期、各类型水泥强度

品种	标号	抗压强度 (MPa)		抗折强度 (MPa)	
		3 d	28 d	3 d	28 d
硅 酸 盐 水 泥	425R	22.0	42.5	4.0	6.5
	525	23.0	52.5	4.0	7.0
	525R	27.0	52.5	5.0	7.0
	625	28.0	62.5	5.0	8.0
	625R	32.0	62.5	5.5	8.0
	725R	37.0	72.5	6.0	8.5
普 通 水 泥	325	12.0	32.5	2.5	5.5
	425	16.0	42.5	3.5	6.5
	425R	21.0	42.5	4.0	6.5
	525	22.0	52.5	4.0	7.0
	525R	26.0	52.5	5.0	7.0
	625	27.0	62.5	5.0	8.0
	625R	31.0	62.5	5.5	8.0

(九) 碱

水泥中碱含量按 $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值来表示, 若使用活性骨料, 用户要求提供低碱水泥时, 水泥中碱含量不得大于 0.60% 或由供需双方商定。

五、废品与不合格品

(一) 废品

凡氧化镁、三氧化硫、初凝时间、安定性中的任一项不符合本标准规定时, 均为废品。

(二) 不合格品

凡细度、终凝时间、不溶物和烧失量中的任一项不符合本标准规定或混合材料掺加量超过最大限量和强度低于商品标号规定的指标时称为不合格品。水泥包装标志中水泥品种、标号、工厂名称和出厂编号不全的也属于不合格品。

以上标准直接规定了硅酸盐水泥的三种重要建筑性能指标(凝结时间、安定性与强度等), 并规定了化学成分(特别限制了氧化镁、三氧化硫、烧失量与不溶物的含量)与细度, 以保证水泥的品质指标。

凝结时间直接影响施工, 时间过短使砂浆与混凝土在浇灌前即已失去流动性而无法使用, 时间过长则减慢施工进度与模板周转期。通常硅酸盐水泥熟料, 初凝时间很快, 要加入适量石膏以调节凝结时间达到标准所规定的要求。如果掺加石膏过多, 则不仅使水泥强度降低, 而且还会导致安定性不良。因此标准规定了水泥初凝时间与终凝时间, 从而亦限制了水泥中三氧化硫的允许含量。

在水泥凝结硬化过程中, 或多或少会发生一些体积变化。如果这些变化发生在水泥硬化之前, 或者即使发生在水泥硬化以后但很不显著, 则对建筑物质量不会有什么影响。如果在硬化后产生剧烈而不均匀的体积变化(即安定性不良), 则建筑物质量降低, 甚至发生崩溃。引起安定性不良的原因有游离氧化钙、氧化镁含量过高以及石膏掺加量过多。熟料中游离氧化钙含量由工厂自行控制, 但标准规定了水泥试饼用沸煮法检验时必须合格。氧化镁在烧成温度下形成的方镁石晶体其水化速度很慢, 其危害程度要用压蒸法才能检验出来。因此标准规定熟料中氧化镁的含量不得超过 5%, 只有经压蒸安定性试验合格才允许含量放宽到 6%。

强度是水泥的重要建筑性能, 它是硬化的水泥石能够承受外力破坏的能力, 以兆帕 (MPa) 表示。对于水泥的使用来说, 不仅要考虑强度的大小, 还要考虑强度发展快慢, 因此标准规定了 3 天、28 天二个龄期的强度。由于水泥 28 天的强度大部分已发挥出来, 以后强度增长已很缓慢, 所以一般用 28 天的抗压强度作为质量分级, 来划分不同的标号。而符合某一标号的水泥必须同时满足上表所规定的各龄期的抗压或抗折强度的相应指标。若其中任一龄期的抗压或抗折强度等指标达不到所要求标号的规定, 则以其中最低的一个强度指标作为计算该水泥的标号。以上标准还规定了标号在 425 号以上的按早期强度分两种类型, 其中 R 型(即早强型)有 425R、525R、625R、725R。早强型水泥具有比原型强度三天强度高特点。设置早强型水泥标号, 将表明我国水泥已向早强快硬方面发展, 使我国水泥较快地达到世界水泥早期强度增进率的水平。同时对于加快施工进度, 促进施工工艺和水泥生产工艺改革都有推动作用。

某些混凝土工程破坏, 是由于水泥水化所析出的 KOH 和 NaOH 与集料中活性二氧化硅相互作用, 形成碱的硅酸盐凝胶, 致使混凝土开裂, 即产生碱集料反应。碱集料反应与混凝

土中的总碱量、集料的活性强度及混凝土使用环境有关，即使在使用相同活性集料的情况下，为防止碱集料反应，不同混凝土配比和不同的使用环境对水泥中碱含量的要求也不会一样，因此标准中将碱含量定为任选要求。当用户要求时，由双方协商，但规定是低碱水泥时，硅酸盐水泥和普通水泥中的 $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$ 含量应不大于0.6%。

第二节 硅酸盐水泥的生产方法

一、硅酸盐水泥的生产方法

硅酸盐水泥的生产分为三个阶段：即石灰质原料、粘土质原料与少量校正原料经破碎或烘干后，按一定比例配合、磨细，并调配为成分合适、质量均匀的生料，称为第一阶段：生料的制备；然后生料在水泥窑内煅烧至部分熔融，所得以硅酸钙为主要成分的硅酸盐水泥熟料，称为第二阶段：熟料煅烧；熟料加适量石膏，有时还加一些混合材料共同磨细为水泥，就称为第三阶段：水泥的粉磨。

由于各地条件、原料资源和采用的主机设备等情况不同，水泥生产方法也有所不同，根据我国目前生产水泥的情况，采用下列两种分类方法。

（一）按煅烧窑的结构分

1. 立窑 有普通立窑和机械化立窑。

2. 回转窑 有湿法回转窑、干法回转窑和半干法回转窑。

（1）湿法回转窑 有湿法长回转窑，窑内有热交换装置（如链条等）；湿法短回转窑，与热交换设备连接工作（如料浆蒸发器）。

（2）干法回转窑 有中空式窑、带余热锅炉的窑、带旋风预热器的窑、带立筒预热器的窑、带旋风预热器及分解炉的窑。

（3）半干法回转窑 有立波尔窑等。

（二）按生料制备方法分

1. 湿法 采用湿法生产时，粘土质原料先经淘制成粘土浆，然后与石灰石、铁粉等原料按一定比例配合，喂入磨机中，加水一起粉磨成生料浆，生料浆经调配均匀并符合要求后喂入湿法回转窑煅烧成熟料。

2. 干法 采用干法生产时，石灰石先经破碎，再与烘干过的粘土、铁粉等物料，按适当成分的比例配合，送入生料磨磨细，所得生料粉经调配均化符合要求后喂入干法回转窑煅烧成熟料。

3. 半干法 介于湿法与干法之间的生产方法（也有的划为干法之中），将干法制得的已调配均匀的生料粉，加适当水分（一般为12%~14%）制成料球，喂入半干法窑煅烧成熟料。

一般回转窑生产可采用湿法、干法和半干法，立窑生产采用半干法。

二、各种生产方法特点

（一）立窑生产特点

在我国水泥工业发展中，立窑厂蓬勃发展，遍布全国，在社会主义建设中发挥了重大作用，立窑生产具有以下优点：

1. 基本建设投资小，投入生产快；

2. 可就地取材, 就地生产, 就地使用;
3. 可充分利用零星矿山资源, 对劣质煤有较大适应性;
4. 窑内传热效率高, 散热损失小, 单位热耗较低;
5. 需要设备和动力容量少, 单位产量需要设备和动力容量比回转窑水泥厂约少50%, 故可节省钢材和动力。

立窑生产的缺点是: 生产规模小, 熟料质量较差, 劳动生产率低, 劳动强度较大等。

目前, 我国对机立窑进行节能技术改造, 普通立窑不允许生产。改造后机立窑厂的熟料标号可在51.5MPa以上, 熟料烧成煤耗可低于130 kg标煤/t熟料, 水泥综合电耗低于90 kW·h/t水泥, 厂区主要扬尘点可达到国家排放标准。

(二) 干法回转窑与湿法回转窑比较

目前, 我国新建大型厂主要是带悬浮预热器及分解炉的干法回转窑, 与湿法回转窑比, 主要优点是热耗低, 湿法回转窑熟料热耗一般为5652 kJ/kg熟料, 而悬浮预热器窑的热耗约为3350 kJ/kg熟料。

通常认为湿法生产熟料质量较好而且均匀, 因为浆状的生料组分具有更好的均匀性。现在, 由于干法原料预均化及生料均化设备和方法的完善, 可使干法制备的生料的均匀程度与湿法料浆相同, 因此干法回转窑的熟料质量也可达到湿法窑的水平。

悬浮预热器和分解炉窑的总能耗比湿法窑低。经济上是合理的。因此, 大型悬浮预热器和窑外分解窑是目前较经济的生产方法。只有原料水分高, 且易于制成生料浆时, 则选用湿法长回转窑或湿磨干烧是合理的。立波尔窑的热利用较好, 但篦式加热机管理复杂, 运转率低, 而且生料需要成球, 要求有良好的可塑性。在缺电的地区, 带余热锅炉的回转窑也被采用。

第三节 硅酸盐水泥生产工艺流程

水泥生产工艺流程是根据资源情况、原料的种类和性质, 以及采用的生产主要设备和工厂规模来确定的。

在确定某一种工艺流程时, 应特别注意生产技术管理方便和降低水泥成本等问题, 同时还要考虑到生产工艺上的几个重要条件, 即有效的粉磨设备, 均匀地调配控制, 优良的熟料烧成, 合理地热利用和动力使用, 经济的运输流程, 较高的劳动生产率, 有效的防尘、收尘措施, 最少的占地面积, 以及最低的生产流动资金等。因此, 工艺流程也应通过不同方案的分析比较加以确定。

现介绍几种典型水泥生产工艺流程: 干法回转窑生产工艺流程、湿法回转窑生产工艺流程、半干法回转窑生产工艺流程、机立窑生产工艺流程。

一、干法回转窑生产的工艺流程

