

水泥生产与化学分析技术

主 编 田 耕

副主编 师正纲

中国建材工业出版社

(京)新登字 177 号

图书在版编目(CIP)数据

水泥生产与化学分析技术/田耕主编. —北京:中国建材工业出版社,
1995.11

ISBN 7-80090-475-X

I. 水… I. 田… III. ①水泥—生产工艺 ②水泥—化学分析—方法 N. TQ 172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 22674 号

水泥生产与化学分析技术

主编 田耕 副主编 师正纲

责任编辑 宋 彬

*

中国建材工业出版社出版(北京海淀区三里河路 11 号)

北京市朝阳农校印刷厂

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:12 字数:306 千字

1997 年 6 月第 1 版 1997 年 6 月第一次印刷

印数:1—3000 册 定价:19.50 元

ISBN 7-80090-475-X/TQ·22

前 言

中国建材工业经济研究会是以研究建材技术经济及管理现代化问题为主的群众性学术团体。为了普及水泥生产及检验技术知识,提高我国广大水泥企业化验室主任、工艺员及分析人员的理论知识及技术水平,从1986年起,分别在北京和秦皇岛市陆续举办了二十期水泥工艺及化学分析培训班,聘请有经验的专家、学者前往授课,共培训学员数千人。广大学员如饥似渴地学习生产基础知识和化验分析新技术。他们的进取精神,使我们深受激励和鼓舞。学员们带着在实践中遇到的各种疑难问题参加学习,要求答疑,大都在培训班上得到了满意的解答。通过对学员们所提问题的分析与解答,教学相长,使授课内容不断丰富和更加结合实际。为满足广大学员们的要求,我们将讲课资料进行了系统整理,编成此书。

水泥生料的配制及其化学成分的分析,在水泥生产质量控制中占有重要的地位。做为水泥企业化验室的管理干部和分析人员,牢固地掌握有关生料的配制及其化学成分分析的基本知识,配制出高合格率的水泥生料,对于提高企业水泥产品的质量,无疑具有决定性的作用。

本书共分两篇十五章。第一篇为水泥生产基础知识,由天津市建筑材料工业学校严国瑞高级工程师执笔。主要论述了硅酸盐水泥生产过程中所使用的各种原材料的性质,水泥熟料的组成,水泥原材料及熟料的粉磨,水泥熟料的煅烧及水泥生料配料的计算方法。这些不仅为化验室主任和工艺员所必需,也是化学分析人员所应该掌握的基本知识。

第二篇为水泥化学分析,由中国建筑材料科学研究院张绍周高级工程师执笔。主要论述了从试样分解、溶液配制,到分析实验、结果处理的各种成分化学分析全过程的基本原理、操作要点、误差的来源及消除方法,实用性较强。本篇介绍了目前广大水泥企业经常使用的方法,并且列入了近几年来出现的一些新的分析技术,特别是介绍了新近修订或制订的国家标准中所列入的基准法和代用法。在编写此篇时,对基本原理的叙述力求简明,不做过多的数学推导。对于标准滴定溶液浓度的表示及配制、标定方法这一难点,做了较详细的叙述。至于各种试样的具体分析步骤,请参见中国建筑材料科学研究院水泥所编著的《水泥及其原材料化学分析》(中国建材工业出版社,1995年1月第1版),本书则不再一一列出,仅举几例,以求突出重点。

本书围绕主题,尽量收集有关内容,理论阐述准确简明,通俗易懂,对实践中的重点难点,一一做了剖析,力求联系实际。本书实用性强,适宜于水泥企业技术管理干部和化验操作人员使用,对建材大中专院校、技工学校对口专业教学人员也有重要参考价值。

谨以此书献给广大水泥企业化验室的管理干部、工艺员和分析人员。

由于经验与学识水平所限,本书难免有不当之处,敬请读者批评指正。

中国建材工业经济研究会

目 录

第一篇 水泥概论

绪论	(1)
第一章 硅酸盐水泥的生产概论	(5)
1.1 硅酸盐水泥定义及国家标准	(5)
1.1.1 水泥定义	(5)
1.1.2 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥的国家标准	(5)
1.1.3 矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥的国家标准	(7)
1.1.4 复合硅酸盐水泥的技术条件	(8)
1.2 硅酸盐水泥的生产方法	(9)
1.2.1 硅酸盐水泥生产方法的分类及特点	(9)
1.2.2 硅酸盐水泥的生产工艺过程	(10)
第二章 硅酸盐水泥原料	(12)
2.1 主要原料	(12)
2.2 辅助原料	(14)
2.3 工业废渣的利用	(16)
第三章 硅酸盐水泥熟料的组成	(20)
3.1 硅酸盐水泥熟料的化学成分	(20)
3.2 硅酸盐水泥熟料的矿物组成	(21)
3.3 硅酸盐水泥熟料的率值	(22)
第四章 硅酸盐水泥的配料	(27)
4.1 生料配料的重要意义及基本原则	(27)
4.2 熟料率值的选择	(28)
4.3 配料计算方法	(29)
第五章 粉磨工艺	(36)
5.1 磨机的类型及构造	(36)
5.2 研磨体的运动分析	(40)
5.3 磨机主要参数的计算	(47)
5.4 影响磨机粉磨的因素	(50)
5.5 磨机研磨体	(53)
5.6 提高磨机产质量的因素	(57)
第六章 硅酸盐水泥熟料的煅烧	(59)
6.1 生料在煅烧过程中的物理化学变化	(59)
6.2 矿化剂对熟料煅烧和质量的影响	(63)

6.3 煅烧熟料的方法	(67)
-------------	------

第二篇 水泥化学分析技术

第一章 分析化学基础知识	(75)
1.1 分析通则	(75)
1.1.1 计量仪器	(75)
1.1.2 分析用纯水	(79)
1.1.3 化学试剂	(80)
1.1.4 滤纸	(81)
1.1.5 灼烧与恒量	(81)
1.1.6 氯离子的检验	(82)
1.1.7 测定数据的表示	(82)
1.1.8 分析结果的允许差	(83)
1.2 试样的性质与分解	(83)
1.2.1 试样的初始性质	(83)
1.2.2 试样的分解	(83)
1.3 溶液浓度的表示方法	(87)
1.4 容量分析中的计算	(90)
1.4.1 物质基本单元的确定	(90)
1.4.2 直接滴定法结果的计算	(92)
1.4.3 返滴定法结果的计算	(94)
1.5 标准滴定溶液的配制及标定	(95)
1.5.1 所需溶质质量或体积的计算	(95)
1.5.2 标准滴定溶液的配制方法	(95)
1.5.3 标准滴定溶液的标定方法	(96)
第二章 二氧化硅的测定	(100)
2.1 氯化铵凝聚重量法	(100)
2.1.1 基本原理	(100)
2.1.2 实验要点及误差来源	(101)
2.1.3 〔例〕水泥中二氧化硅的测定(基准法)	(103)
2.2 氟硅酸钾容量法	(103)
2.2.1 基本原理	(103)
2.2.2 实验要点	(103)
2.2.3 〔例〕水泥中二氧化硅的测定(代用法)	(106)
2.3 改进的氟硅酸钾容量法	(107)
2.3.1 方法特点	(107)
2.3.2 〔例〕二氧化硅快速测定方法	(107)
第三章 配位滴定法	(109)
3.1 配位滴定法的基本原理	(109)
3.1.1 EDTA 及其配合物的特点	(109)

3.1.2	配合物在水溶液中的稳定性	(110)
3.1.3	提高配位滴定选择性的措施	(113)
3.1.4	配位滴定的方式和应用	(114)
3.1.5	配位滴定法在水泥化学分析中的应用	(114)
3.2	三氧化二铁的配位滴定	(115)
3.2.1	直接滴定法	(116)
3.2.2	铋盐返滴定法	(117)
3.3	三氧化二铝的配位滴定	(118)
3.3.1	返滴定法	(118)
3.3.2	氟化铵置换-EDTA 配位滴定法	(120)
3.3.3	直接滴定法	(122)
3.4	二氧化钛的配位滴定	(123)
3.4.1	苦杏仁酸置换-铜盐溶液返滴定法	(123)
3.4.2	过氧化氢配位-铋盐溶液返滴定法	(123)
3.5	氧化钙的配位滴定	(124)
3.5.1	基本原理	(124)
3.5.2	干扰因素及消除干扰的措施	(125)
3.5.3	〔例〕水泥中氧化钙的配位滴定(代用法)	(127)
3.6	氧化镁的配位滴定	(127)
3.6.1	基本原理	(127)
3.6.2	干扰因素及消除干扰的措施	(128)
3.6.3	〔例〕水泥中氧化镁的配位滴定(代用法)	(128)
3.7	氧化亚锰的配位滴定	(129)
3.7.1	EDTA 配位滴定差减法	(129)
3.7.2	过硫酸铵沉淀分离法	(129)
第四章	三氧化硫的测定	(131)
4.1	硫酸钡重量法	(131)
4.1.1	实验要点	(131)
4.1.2	〔例〕水泥中硫酸盐—三氧化硫的测定(基准法)	(133)
4.2	还原-碘量法	(133)
4.2.1	基本原理	(133)
4.2.2	实验要点	(134)
4.2.3	〔例〕水泥中硫酸盐—三氧化硫的测定(代用法之一)	(135)
4.3	硫酸钡-铬酸钡分光光度法	(135)
4.3.1	基本原理	(135)
4.3.2	实验要点	(136)
4.3.3	〔例〕水泥中硫酸盐—三氧化硫的测定(代用法之二)	(136)
4.4	离子交换-中和法	(136)
4.4.1	基本原理	(136)
4.4.2	静态离子交换法试验条件	(137)

4.4.3	误差因素	(137)
4.4.4	二次静态离子交换-中和法测定水泥中三氧化硫	(138)
4.4.5	〔例〕水泥中硫酸盐—三氧化硫的测定(代用法之三)	(139)
4.4.6	离子交换树脂的处理与再生	(139)
4.5	离子交换分离-配位滴定法	(140)
4.5.1	基本原理	(140)
4.5.2	分析步骤	(140)
4.6	燃烧-库仑滴定法	(141)
第五章	氟的测定	(142)
5.1	离子选择性电极法	(142)
5.1.1	基本原理	(142)
5.1.2	实验要点	(143)
5.1.3	〔例〕水泥中氟的测定(代用法)	(144)
5.2	蒸馏分离-容量分析法	(144)
5.2.1	蒸馏分离条件	(144)
5.2.2	测定方法	(144)
5.3	萤石中氟化钙的快速分析方法	(146)
第六章	其它元素的测定	(147)
6.1	不溶物的测定	(147)
6.1.1	测定原理	(147)
6.1.2	〔例〕水泥中不溶物的测定(基准法)	(147)
6.2	烧失量的测定	(147)
6.3	磷的测定(正丁醇-三氯甲烷萃取比色法)	(148)
6.4	氧化钾和氧化钠的测定(火焰光度法)	(149)
6.5	氧化亚铁的测定(氧化还原滴定法)	(150)
6.6	氧化亚锰的测定(分光光度法)	(150)
6.7	硫化物的测定(氧化还原滴定法)	(151)
6.8	二氧化钛的测定(分光光度法)	(151)
6.9	氯的测定	(151)
6.9.1	硫氰酸盐容量法	(151)
6.9.2	蒸馏分离-汞盐滴定法	(152)
第七章	煤的工业分析	(154)
7.1	水分的测定	(154)
7.2	灰分的测定	(154)
7.3	挥发分的测定	(155)
7.4	全硫的测定	(156)
第八章	水泥生产控制分析	(157)
8.1	水泥生料质量控制分析	(157)
8.1.1	碳酸钙滴定值的测定	(157)
8.1.2	氧化钙的快速测定	(158)

8.1.3 三氧化二铁的快速测定	(158)
8.1.4 立窑水泥生料中含煤量的测定	(161)
8.2 水泥熟料的质量控制分析	(161)
8.2.1 游离氧化钙的测定	(161)
8.3 水泥制成的质量控制分析	(163)
8.3.1 水泥中氧化镁的测定	(164)
8.3.2 水泥组分的定量测定	(164)
8.3.3 火山灰质混合材活性试验方法	(168)
第九章 结果的分析及数据处理	(170)
9.1 结果的精密度及准确度	(170)
9.1.1 精密度	(170)
9.1.2 准确度及提高准确度的方法	(170)
9.2 分析结果偏高因素	(172)
9.3 分析结果偏低因素	(173)
9.4 全分析总结果的加和	(173)
9.5 烧失量的作用校正问题	(174)
附录	(176)
1. 常用酸及氨水溶液的密度和浓度	(176)
2. 常用酸碱指示剂溶液的配制	(176)
3. 常用酸碱混合指示剂溶液的配制	(177)
4. 常用缓冲溶液的配制	(178)
5. 水泥及其原材料标准样品一览表	(179)
6. 水泥化学分析仪器设备技术要求	(179)
主要参考资料	(181)

第一篇 水泥概论

绪 论

一、胶凝材料的定义和分类

水泥是胶凝材料里的一种材料，在了解水泥以前首先要弄清楚什么是胶凝材料。

在物理化学作用下，能从浆体变成坚固的石状体，并能胶结其它材料，制成具有一定机械强度的物质，称为胶凝材料或称为胶结材料。

胶凝材料可分为气硬性胶凝材料和水硬性胶凝材料。

气硬性胶凝材料：凡不能在水中硬化，但能在空气中或其它条件下硬化的胶凝材料，称为气硬性胶凝材料，或称为非水硬性胶凝材料。如石灰、石膏、镁质胶凝材料等。

水硬性胶凝材料：不仅能在空气中，而且能在水中（或者开始在空气中，然后再放在水中）硬化，长期保持并增长其强度的材料。如硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥等。

上述水硬性与气硬性胶凝材料的分类，是依据其硬化条件的不同来区分的。也有人提出按水化生成物的类别进行分类。可分为：以生成水化硅酸钙为主的；以生成水化铝酸钙为主的；以生成水化硫铝酸钙为主的；以生成氢氧化钙和碳酸钙为主的；以生成含水硫酸钙为主的等等。另外还有一些别的分类方法，在此不再陈述。

二、胶凝材料的发展概况

胶凝材料的生产、使用是在生产实践中随着人类社会生产力的发展而发展的，有着悠久的历史。最原始也是最简单的胶凝材料是粘土加水，为了减少裂缝加些砂子。后来为了提高强度加些稻草和壳皮植物纤维等物质。这个时期大约至今四千年至一万年的新石器时代。

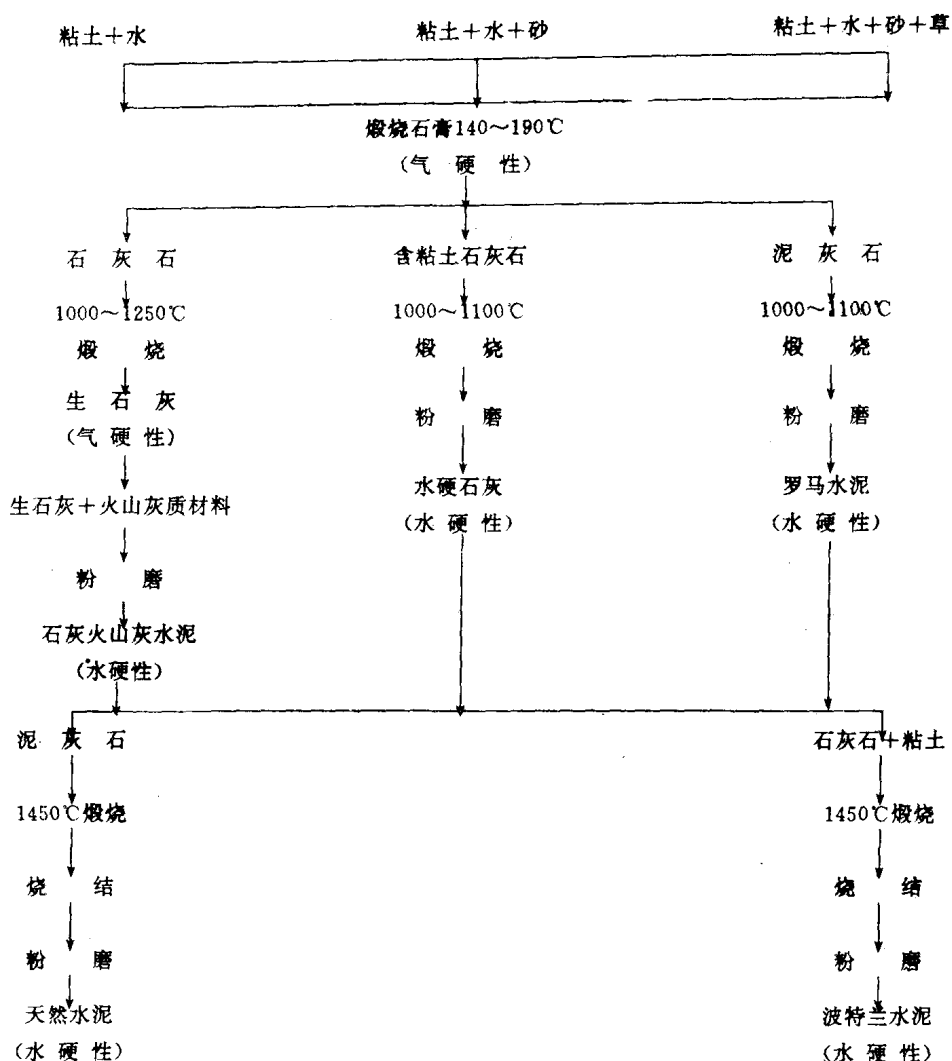
大约在公元前二千年至三千年，随着火的发明，人们的生活和生产产生了一个大的飞跃，人们开始使用煅烧的胶凝材料。古埃及人采用煅烧石膏，古希腊和罗马时代开始使用石灰。随着生产力的发展，逐渐要求有强度较高，并能防止被水浸析和冲毁的胶凝材料。到公元初，古希腊人和罗马人都已经发现，在石灰中掺加某些火山灰沉淀物，不仅强度提高，而且具有抗水性。由此人们得到水硬性胶凝材料。18世纪的后半期，又先后得到水硬性石灰（1756年）和罗马水泥（1796年）。

在19世纪初期（1810年至1825年），用人工配合原料，再经煅烧、磨细以制造水硬性胶凝材料方法，已经开始组织生产。并着手高温煅烧至烧结程度，以获得烧块，做为提高质量的措施，因为这种胶凝材料凝结以后的外观颜色与当时建筑上常用的英国波特兰出产的石灰石相似，故称为波特兰水泥。英国的泥水工阿斯普廷关于“改造人造石块的生产方法”一文申请获得专利权。由于波特兰水泥含有较多的硅酸钙，不但能在水中硬化，而且能长期抗水，强度甚高。其首批大规模使用的实例是在1825年至1843年修建泰晤士河隧道工程。

在同一时期利用石灰石做原料，经高温煅烧，再粉磨得到天然水泥。

（为了更清楚了解胶凝材料的发展概况，下面以图表形式来表示）。

自此胶凝材料的生产进入了人工配制原料，高温进行煅烧，再粉磨的新阶段。波特兰水泥的出现，由于其优良的性能，应用的广泛性，普遍压倒了其它胶凝材料。对工程建设起了



很大的作用。随着科学技术的发展，煅烧与粉磨技术不断改进，从而使水泥的生产技能、产品质量不断提高。人们运用物理、化学方法，并采用现代的测试工具，研究了水泥及其它胶凝材料的矿物组成和水化机理，对水泥的生产和使用起着重要的指导作用。随着现代工业的发展，不仅在数量上，而且在性能上，对胶凝材料提出了新的要求，因此近百年来水泥的数量和品种，都得到了新的发展。

在设备方面，最初的煅烧设备是间歇式立窑，后来发展为连续卸料、连续上料、强制通风的立窑。在1885年由英国人发明了世界上第一台回转窑，以后相继出现了各种型式与规格的回转窑。磨机开始是用球磨机来粉磨原料与水泥，在1886年由德国人发明了世界上第一台多仓的管磨机，以后由于生产技术的发展，相继出现了各种不同规格和形式的管磨机。

三、我国水泥工业发展概况

我国使用胶凝材料的历史相当悠久，举世闻名的万里长城建筑就是一个例证。说明我国使用的胶凝材料，已经比较先进了。

中国生产水泥的历史可以追溯到19世纪下半叶。据史料记载，1886年，广东余姓商人曾在澳门青洲岛开办一家细绵工厂，但存在时间很短。1889年，开平矿务局总办唐廷枢在唐山创办细绵工厂，于1892年建成投产。因生产条件差，成本高，质量次，亏赔多，于1893年

停工。以后又重新集股，从丹麦购进两台干法回转窑，于1906年建成年产4万吨的水泥厂，改名为启新洋灰公司（启新水泥厂的前身）。1907年，张之洞招商集股在大冶创办湖北水泥厂。随后，两广总督岑春煊在广州创办广州河南士敏土厂。

从第一次世界大战到抗日战争爆发的20多年间，中国又陆续兴建了上海华商水泥股份有限公司、山东致敬洋灰股份有限公司、广州西村士敏土厂、中国水泥厂、西北水泥厂、四川水泥股份有限公司等一批水泥企业。此外，还有日本小野田水泥株式会社开办的大连水泥厂等。到1937年，中国共有16家水泥企业，年生产能力为245.1万吨。这些水泥企业买进了一些当时较为先进的技术装备，如上海、中国 and 广州西村3家水泥厂都采用了当时国际上流行的湿法回转窑生产线。在生产技术上，自1933年起，先后有王涛、陆宗贤、徐宗涑等中国技术专家，担任水泥企业的总工程师，改变了完全依靠外国人掌握技术大权的状况。这个时期，中国水泥工业在国际上已具有一定的竞争能力。启新、上海和中国几家公司几次联合经营，与日本和其他外国水泥向中国倾销相抗衡，夺回了市场。启新马牌水泥、广州五羊牌水泥，都在国际市场上享有声誉。

然而，在半封建半殖民地的旧中国，水泥工业长期受到帝国主义势力的排挤和掠夺。1931年日本帝国主义侵占了东北三省以后，不仅夺走了启新洋灰公司的大片市场，践踏了正在筹建的吉林众志洋灰股份公司，日本水泥财阀还争先恐后地向东北输出资本。小野田水泥株式会社开办了鞍山水泥厂、小屯水泥厂；浅野水泥株式会社和盘城水泥株式会社分别开办了哈尔滨水泥厂、辽阳水泥厂、本溪水泥厂、抚顺水泥厂、吉林水泥厂、牡丹江水泥厂、安东水泥厂、锦西水泥厂和庙岭水泥厂。1937年“七七”事变后，日本帝国主义侵占了中国大片领土，启新、中国、上海、江南、广州西村和太原等水泥企业全部落入日本人手中。1939年日本人又在北京办了琉璃河水泥厂，在台湾建了苏澳水泥厂和竹东水泥厂。在此期间，日本人还将刚刚建成尚未正式投产的江南水泥厂的主要设备拆走，运往山东张店建设铝厂，并将济南致敬水泥厂从德国订购的机立窑全套设备挪到山西大同建厂。这一切使中国民族资本水泥工业遭受了沉重打击。当时抗日后方只有华中、重庆两家水泥厂生产水泥，无论是数量还是品种都满足不了实际需要。在这种情况下，王涛等人在云南海口、江西泰和建起了两座立窑水泥厂，还在1940年、1941年同国民政府资源委员会、重庆水泥厂合作兴建贵阳水泥厂、四川嘉华水泥厂和重庆的建成水泥厂。1943年，王涛将华中、昆明两厂合并改组为华新水泥工业股份有限公司。翌年，他派总工程师张宝华赴美订购当时视为最先进的设备，1947年开始在湖北大冶新建华新水泥厂。

抗日战争胜利后，原以私人资本为主的水泥企业（启新、江南、中国、上海等厂）归还资本家经营。在国民党统治地区，从日伪手中接过来的水泥厂，由资源委员会所属的水泥公司分管；在解放区的水泥厂由当地的人民政府接管。由于国民党统治地区经济恶化，通货膨胀，燃料缺乏，电力不足，一些遭到破坏的工厂无力修复，勉强能够开工的水泥厂（中国、上海、启新、琉璃河等厂）也因官僚资本的压迫和美国水泥的倾销，水泥销售量锐减，工厂陷入困境。启新水泥厂1946年的设备开工率只有15.7%，还积压8万吨水泥在库内销不出去。1949年全国生产水泥66万吨，仅占当时总生产能力的16.3%。解放前水泥产量最高是229万吨，是在1942年生产的。品种也只有两种即普通硅酸盐水泥和矿渣硅酸盐水泥。

旧中国的水泥工业在漫长的岁月里，步履艰难，发展缓慢。中华人民共和国建立以后，水泥工业才走上阔步发展的康庄大道。

在全国解放以后，水泥工业得到迅速发展。我们采用了“两条腿走路”的方针。一条是

老的企业进行技术革新，内部挖潜，扩大生产能力；另一条是根据我国工业布局，合理地建造了一批大型水泥厂。第一个五年计划期间，中国向民主德国购进 21 套水泥生产设备，用于建设大同、永登、昆明、耀县、江油、开远和邯郸水泥厂。以后 70 年代初建成了四川峨眉水泥厂。窑外分解技术于 1976 年在石岭建立了第一台悬浮分解炉。此项技术在多处进行推广、使用，发展较快。日产 700 吨熟料的窑外分解生产工艺线已于 1980 年分别在江苏邳县和新疆水泥厂建成。并且自行研究、设计制造了日产 2000 吨熟料的窑外分解生产工艺线。这使我国水泥生产工艺的改造进入了一个新的阶段。由于国民经济的迅速发展，水泥的产量、品种都有很大的增加，质量有大幅度提高。我们不仅能生产一般工程用水泥，而且能生产石油、水电、冶金、化工、机械等工业部门以及海港和国防工程所需特种水泥。在产量方面，1994 年我国的水泥产量突破 4 亿吨，连续十年占世界第一位。八五期间，我国有一定数量的水泥出口，为国家创取外汇。

虽然我国水泥产量连续十年占世界第一位，但与先进国家相比仍有差距，有近百分之六十至百分之七十的水泥是立窑厂生产的。立窑厂仍存在着设备陈旧、管理落后、成本高、质量不稳定、劳动强度大、环境污染严重等弊端。更为严重的是立窑厂技术力量还很薄弱，人才非常缺乏。提高人员技术素质是提高立窑厂产品质量、产量的关键。

当前，世界水泥工业的中心课题，是能源、资源、环境保护。我们应当在现有技术基础上，吸取国外先进技术，发展我们的水泥工业。千方百计地减少能耗、提高质量、降低成本、改善环境、提高产量。不断提高经济效益。要大力开发智力人材，分期分批地对技术人员及骨干人员进行技术培训。在回转窑上大力发展窑外分解的生产工艺；在立窑发展以机立窑为主的工艺。以节能为中心，改造一些有价值的半机立窑，要淘汰一批普通立窑，形成一个具有中国特色的水泥工业体系。

第一章 硅酸盐水泥的生产概论

1.1 硅酸盐水泥定义及国家标准

1.1.1 水泥定义

凡以适当成分的生料，烧至部分熔融，得到以硅酸钙为主要成分的熟料，加入适量的石膏，磨细，制成具有水硬性胶凝材料，称为水泥。

上述定义，对水泥的整个生产过程，实际上作了一个概括的描述。它的主要技术操作是：

1. 生料制备：包括配料与粉磨，配料的目的在于正确控制水泥熟料的化学成分，以保证获得高质量的水泥。生料的粉磨除磨制出足够产量与合格细度的生料外，还要注意节约电力及材料的消耗，以降低生料成本。

2. 熟料煅烧：在有部分液相产生的条件下，生成以硅酸三钙与硅酸二钙为主要成分的熟料。

3. 水泥粉磨：加入适量石膏、混合材生产出不同品种及标号的水泥。

1.1.2 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥的国家标准

1. 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。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，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。

2. 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）。

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的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%。

3. 技术要求

(1) 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1.5%。

(2) 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%。

(3) 三氧化硫

水泥中三氧化硫的含量不得超过3.5%。

(4) 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%。

(5) 细度

硅酸盐水泥比表面积大于 $300\text{m}^2/\text{kg}$ ，普通水泥 $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余不得超过 10.0%。

(6) 凝结时间

硅酸盐水泥初凝不得早于 45 分钟，终凝不得迟于 6 小时 30 分。普通水泥初凝不得早于 45 分钟，终凝不得迟于 10 小时。

(7) 安定性

用沸煮法检验必须合格。

(8) 强度

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

表 1-1

品 种	标 号	抗压强度 MPa		抗折强度 MPa	
		3 天	28 天	3 天	28 天
硅 酸 盐 水 泥	425R	22.0	42.5	4.0	6.5
	525	22.0	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	21.0	52.5	4.0	7.0
	525R	26.0	52.5	5.0	7.0
	625	26.0	62.5	5.0	8.0
	625R	31.0	62.5	5.5	8.0

(9) 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，水泥中碱含量不大于 0.60% 或由供需双方商定。

4. 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。

5. 废品与不合格品

(1) 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。

(2) 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。

6. 水泥代号

I 型硅酸盐水泥为 P. I

II 型硅酸盐水泥为 P. II

普通硅酸盐水泥为 P. O

1.1.3 矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥的国家标准

1. 矿渣硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料和符合 GB203 的粒化高炉矿渣、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）。水泥中粒化高炉矿渣掺加量按质量百分比计为 20%~70%。允许用石灰石、符合 ZBQ12001 的窑灰、和符合 GB2847 的火山灰质混合材料中的一种材料代替矿渣，代替数量不得超过水泥质量的 8%，替代后水泥中粒化高炉矿渣不得少于 20%。

2. 火山灰质硅酸盐水泥：凡由硅酸盐水泥熟料和符合 GB2847 的火山灰质混合材料、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）。水泥中火山灰质混合材料掺加量按质量百分比计为 20%~50%。

3. 粉煤灰硅酸盐水泥：凡由硅酸盐水泥熟料和符合 GB1596 的粉煤灰、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）。水泥中粉煤灰掺加量按质量百分比计为 20%~40%。

4. 技术要求

(1) 氧化镁

熟料中氧化镁的含量不得超过 5.0%，如水泥经压蒸安定性试验合格，则火山灰水泥和粉煤灰水泥熟料中氧化镁含量允许放宽到 6.0%，矿渣水泥熟料中氧化镁的含量允许放宽到 7.0%。

(2) 三氧化硫

矿渣水泥中三氧化硫含量不得超过 4.0%。

火山灰水泥、粉煤灰水泥中三氧化硫不得超过 3.5%。

(3) 细度

80 μ m 方孔筛筛余不得超过 10.0%。

(4) 凝结时间

初凝不得早于 45 分钟，终凝不得迟于 10 小时。

(5) 安定性

用沸煮法检验性能合格。

(6) 强度

水泥标号按规定龄期的抗折强度和抗压强度不得低于表 1-2 数值。

表 1-2

标 号	抗压强度 MPa			抗折强度 MPa		
	3 天	7 天	28 天	3 天	7 天	28 天
275	—	13.0	27.5	—	2.5	5.0
325	—	15.0	32.5	—	3.0	5.5
425	—	21.0	42.5	—	4.0	6.5

续表 1-2

标 号	抗压强度 MPa			抗折强度 MPa		
	3 天	7 天	28 天	3 天	7 天	28 天
425R	19.0	—	42.5	4.0	—	6.5
525	21.0	—	52.5	4.0	—	7.0
525R	23.0	—	52.5	4.5	—	7.0
625R	28.0	—	62.5	5.0	—	8.0

(7) 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。若使用活性骨料需要限制水泥中碱含量时由供需双方商订。

5. 标号

矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥分为 275、325、425、425R、525、525R、625R 七个标号。

6. 废品与不合格品

(1) 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均为废品。

(2) 不合格品

凡细度、终凝时间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。

7. 水泥代号

矿渣硅酸盐水泥代号为 P. S

火山灰质硅酸盐水泥代号为 P. P

粉煤灰硅酸盐水泥代号为 P. F

1.1.4 复合硅酸盐水泥的技术条件

1. 定义：凡由硅酸盐水泥熟料、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）。水泥中混合材料总掺加量按重量百分比应大于 15%，不超过 50%，且不应与 GB1344 重复。

水泥中允许用不超过 8% 的窑灰代替部分混合材料。

2. 技术要求

(1) 氧化镁：熟料中氧化镁的含量不得超过 5.0%。如水泥经压蒸安定性试验合格，则熟料中氧化镁的含量允许放宽到 6.0%。

(2) 三氧化硫：水泥中三氧化硫的含量不得超过 3.5%。

(3) 细度：0.080mm 方孔筛筛余不得超过 10%。

(4) 凝结时间：初凝不得早于 45 分钟，终凝不得迟于 12 小时。

(5) 安定性：用沸煮法检验必须合格。

(6) 强度：425 和 525 号水泥按早期强度分两种类型。各标号、各类型水泥的各龄期强度不得低于表 1-3 数值。

3. 标号

分 325、425、525 三个标号。

4. 判定规则

(1) 凡氧化镁、三氧化硫、初凝时间、安定性的任一项不符合本标准规定或强度低于该品种水泥最低标号规定的指标时，均为废品。

(2) 凡细度、终凝时间和混合材料掺量中的任一项不符合本标准规定或强度低于商品标号规定的指标时，称为不合格品。

表 1-3

标 号	抗压强度 MPa			抗折强度 MPa		
	3 天	7 天	28 天	3 天	7 天	28 天
325	—	18.6	32.5	—	3.6	5.4
425	—	24.5	42.5	—	4.5	6.3
425R	21.0	—	42.5	4.1	—	6.3
525	—	31.4	52.5	—	5.3	7.1
525R	26.0	—	52.5	4.9	—	7.1

1.2 硅酸盐水泥的生产方法

水泥的生产大致分为这样几个步骤：首先找到合适的原料，经过破碎，混合均匀，配料，粉磨制得符合成分质量要求的生料，此阶段称生料制备；然后将符合要求的生料送入窑内进行煅烧，烧至部分熔融，制得以硅酸钙为主要成分的熟料，为烧成阶段；最后将烧好的熟料加入适量石膏再进行粉磨，制得水泥，称为水泥粉磨阶段。

1.2.1 硅酸盐水泥生产方法的分类及特点

1. 按照生料制备分

水泥的生产方法可分为干法、湿法和半干法。

所谓干法即是将原料进行烘干，均化，按照配比进行粉磨，制得生料粉。一般含水量小于 1%。将生料粉送入窑内进行煅烧。

干法生产的优点是：窑短产量高，节约电能，可以充分利用窑尾排出的热量。目前比较先进的窑外分解炉就是充分利用这部分热量来完成碳酸盐的分解反应。当前回转窑发展趋势是发展窑外分解的生产工艺；干法生产的不足之处是需要有复杂的搅拌系统。为了稳定窑内的热工制度，提高熟料质量，必须要有成分稳定的生料。原料和生料必须均化，这样生料成分才不致于有大的波动，为窑内煅烧创造一个好的基础。其次在原料烘干、生料粉磨及生料输送上粉尘较大。

湿法生产是原料无需烘干，加水进行粉磨和混合，得到粘稠浆液，称之为生料浆（一般料浆含水分为 33%~40%）。料浆再送入回转窑内进行煅烧。

湿法生产的优点是：原料无需烘干，省去原料的烘干设备。由于制成的是生料浆，易搅拌均匀，成分波动小，入窑生料浆的各项指标均能达到 100% 合格，这对煅烧操作极为有利，因此湿法生产的熟料质量是很好的，其次由于省去原料的烘干设备，原料粉磨出的又是料浆，料浆输送方便、扬尘少，卫生较好；湿法生产的缺点是热耗高，每公斤熟料热耗可达 5200~6300kJ/kg。尤其当前世界范围内能源紧缺的情况下，用湿法生产水泥，其经济效益很不合算。目前我国新上的回转窑生产工艺线，绝大部分都是带窑外分解技术的，很少再上湿法生产工