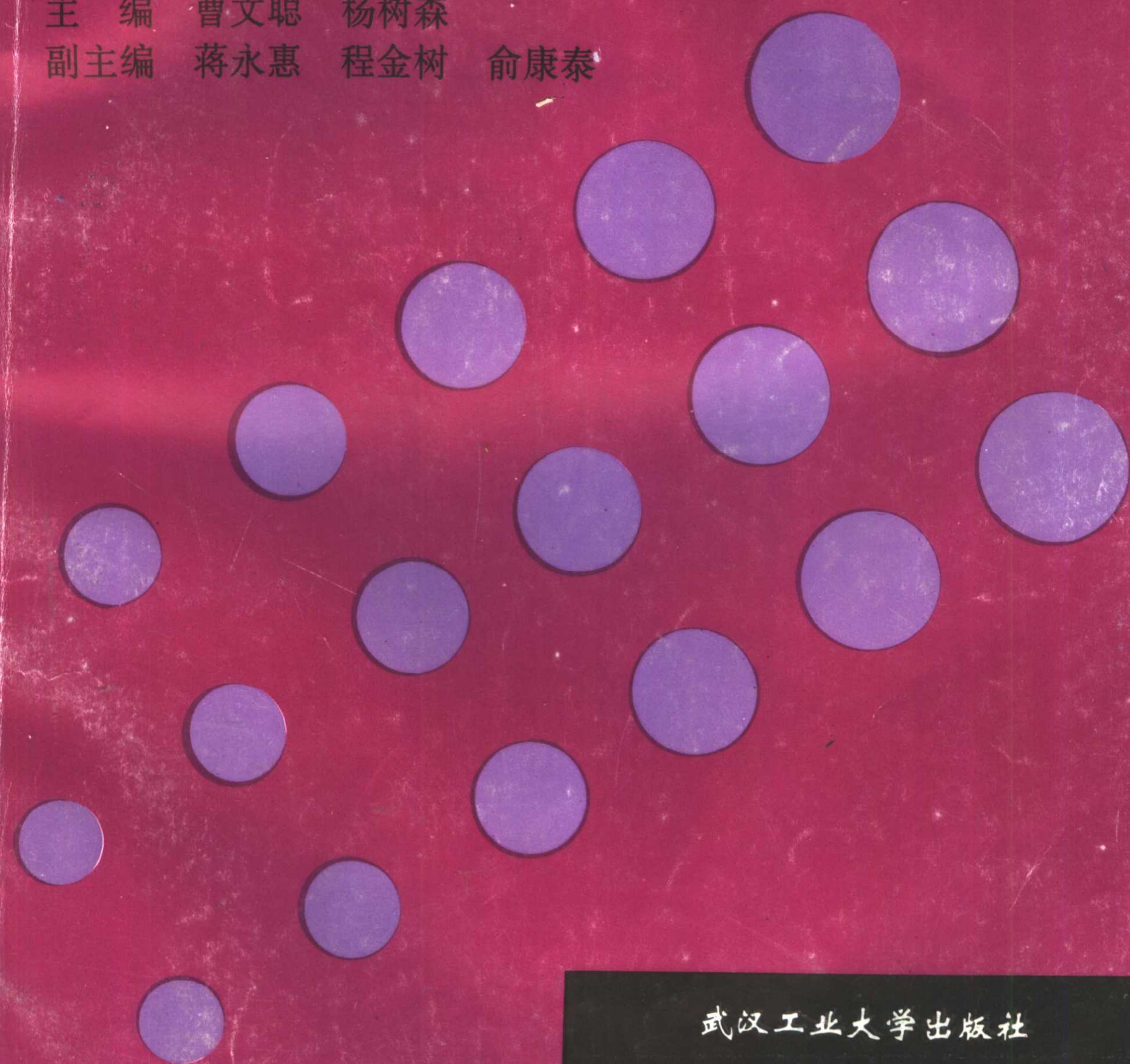


建材院校试用教材

普通硅酸盐工艺学

主编 曹文聪 杨树森

副主编 蒋永惠 程金树 俞康泰



武汉工业大学出版社

建材院校试用教材

普通硅酸盐工艺学

曹文聪
杨树森 主编

蒋永惠
程金树 副主编
余康泰

武汉工业大学出版社
• 武汉 •

图书在版编目(CIP)数据

普通硅酸盐工艺学/曹文聪,杨树森主编.一武汉:武汉工业大学出版社,1996.3

建材院校试用教材

ISBN 7-5629-1128-2

I. 普… II. ①曹… ②杨… III. 硅酸盐-生产工艺-理论 IV. TQ170.1

武汉工业大学出版社出版发行
(武汉市洪山区狮子路7号 邮编:430070 电话:027—7884412)
武汉工业大学出版社核工业三〇九印刷厂印刷
(湖北省安陆市九号信箱 邮编:432600)

开本:787×1092 1/16 印张:20 插页:2 字数:512千字

1996年8月第1版 1996年8月第1次印刷

印数:1—5000册

定价:19.50元

(如有印装质量问题,请与承印厂调换)

前　　言

本书是根据建材工业的发展和对建材院校人才培养的要求而组织编写的。

随着社会主义市场经济体制的建立和发展,建材工业要实现“由大变强、靠新出强”的跨世纪发展战略,就需要一大批素质高并具有较宽的知识面和较强的适应能力的专业人才。为此,建材院校材料科学与工程专业及机械、电气、计算机、经贸、管理、外语等相关专业的学生,应该了解最普通的建筑材料,包括水泥、玻璃、陶瓷的品种、性能和有关生产工艺技术的最基本的知识。本书分三篇介绍了上述内容:第一篇水泥工艺学、第二篇玻璃工艺学、第三篇陶瓷工艺学,共计 512 千字。

作为一本普及型教材,本书具有以下特点:

1. 简明扼要地介绍了水泥、玻璃、陶瓷的基本概念、生产工艺过程及产品性能,内容全面,涉及面广,系统性强。
2. 本教材图表丰富,文字简练,信息量大,条理清楚,易懂易学。
3. 密切联系当前工厂生产实际和技术发展水平,着重介绍了新工艺、新技术、新产品,实用性强。

本教材除作为建材院校相关专业大、中专学生使用外,也可供建材、轻工、化工等行业的管理干部参考。

本书由武汉工业大学曹文聪、北京建材工业学校杨树森任主编,武汉工业大学蒋永惠、程金树、余康泰任副主编。各篇撰稿人为:第一篇蒋永惠、陈运本(盐城工学院)、黄为秀(湖北建材工业学校);第二篇程金树、袁坚(武汉工业大学)、孙继刚、黄迪宇(洛阳玻璃集团);第三篇余康泰、张长海、何华敏、龚春香(襄樊建材学校)、张旭东(襄樊重型机械厂)、田道全(武汉工业大学)。

本书聘请的各篇主审人分别为:第一篇肖义雄(湖北建材工业学校);第二篇许超(武汉工业大学);第三篇李凝芳(武汉工业大学)。在此,对各位主审人为提高本教材的质量付出的艰辛劳动,致以诚挚的谢意。

本书在编写出版过程中,得到国家建材局人事教育司、无机非金属材料教学指导委员会、建材中专、技工学校教学指导委员会和武汉工业大学出版社的领导和同仁们的大力支持,谨此一并致谢。

本教材沿用了《普通硅酸盐工艺学》的名称。随着市场经济对人才需求的变化和建材院校在培养目标、专业和课程设置及教学内容方面的调整,会对本教材提出新的要求,同时本教材的不完善之处也在所难免,希望同行和读者批评指正。

曹文聪　杨树森

1996. 6.

目 录

第一篇 水泥工艺学	(1)
第一章 引言	(1)
第二章 硅酸盐水泥国家标准及其生产	(4)
第一节 硅酸盐水泥的国家标准	(4)
第二节 硅酸盐水泥的生产	(6)
第三章 硅酸盐水泥熟料矿物组成及其配料计算	(10)
第一节 硅酸盐水泥熟料的矿物组成	(10)
第二节 熟料的率值	(13)
第三节 熟料矿物组成的计算	(16)
第四节 熟料矿物组成的选择	(18)
第五节 配料计算	(20)
第四章 原料的破碎及均化	(24)
第一节 硅酸盐水泥的原料	(24)
第二节 物料的破碎	(26)
第三节 物料的均化技术.....	(29)
第五章 粉磨工艺	(33)
第一节 粉磨的目的和要求	(33)
第二节 粉磨流程	(34)
第三节 影响磨机产质量及能耗的主要因素	(37)
第六章 硅酸盐水泥熟料的煅烧	(42)
第一节 硅酸盐水泥熟料的形成	(42)
第二节 矿化剂与矿化作用	(49)
第三节 微量氧化物对熟料煅烧和质量的影响	(51)
第四节 水泥熟料在回转窑内的煅烧	(52)
第五节 悬浮预热器窑和预分解窑	(56)
第六节 熟料冷却机	(62)
第七节 立窑煅烧工艺	(64)
第七章 硅酸盐水泥的水化和硬化	(68)
第一节 熟料单矿物和水泥的水化	(68)
第二节 硅酸盐水泥的凝结、硬化过程	(73)
第三节 硬化水泥浆体的结构	(75)
第八章 硅酸盐水泥的性能及化学侵蚀	(78)
第一节 硅酸盐水泥的性能	(78)
第二节 硅酸盐水泥的化学侵蚀	(82)
第九章 掺混合材料的水泥	(86)

第一节 水泥混合材料	.....	(86)
第二节 掺混合材的硅酸盐水泥	.....	(90)
第三节 掺混合材硅酸盐水泥的生产及其性能	.....	(91)
第四节 提高掺混合材硅酸盐水泥早期强度的措施	.....	(93)
第十章 特性水泥和专用水泥	.....	(95)
第一节 快硬水泥和特快硬水泥	.....	(95)
第二节 抗硫酸盐水泥、中低热水泥和道路水泥	.....	(98)
第三节 铝酸盐水泥	.....	(100)
第四节 膨胀和自应力水泥	.....	(102)
第五节 油井水泥	.....	(104)
第六节 装饰水泥	.....	(105)
第二篇 玻璃工艺学	.....	(107)
第一章 引言	.....	(107)
第二章 玻璃的性质	.....	(110)
第一节 玻璃态的通性	.....	(110)
第二节 玻璃结构的假说	.....	(111)
第三节 玻璃的粘度	.....	(112)
第四节 玻璃的表面张力	.....	(115)
第五节 玻璃的密度	.....	(116)
第六节 玻璃的力学性能	.....	(118)
第七节 玻璃的热学性能	.....	(121)
第八节 玻璃的化学稳定性	.....	(123)
第九节 玻璃的光学性质	.....	(126)
第三章 玻璃生产工艺	.....	(131)
第一节 概述	.....	(131)
第二节 原料与配合料的制备	.....	(131)
第三节 原料	.....	(132)
第四节 原料的加工	.....	(135)
第五节 玻璃的熔制	.....	(139)
第六节 玻璃的成型	.....	(151)
第七节 玻璃的缺陷	.....	(159)
第八节 玻璃的退火	.....	(162)
第九节 平板玻璃的性能	.....	(166)
第四章 玻璃工业的环境保护	.....	(168)
第一节 对大气的污染	.....	(168)
第二节 废水污染	.....	(170)
第三节 噪声污染	.....	(170)
第五章 建筑玻璃及其深加工	.....	(171)
第一节 玻璃马赛克	.....	(171)
第二节 建筑用微晶玻璃	.....	(175)

第三节 钢化玻璃	(178)
第四节 夹层玻璃	(187)
第五节 中空玻璃	(194)
第六节 镀膜玻璃	(196)
第三篇 陶瓷工艺学	(212)
第一章 引言	(212)
第二章 原料	(218)
第一节 粘土类原料	(218)
第二节 石英类原料	(223)
第三节 长石类原料	(225)
第四节 其他原料	(226)
第三章 配料及计算	(228)
第一节 配料的依据	(228)
第二节 坯、釉料表示方法	(229)
第三节 坯料配方计算	(230)
第四章 坯料及制备	(242)
第一节 陶瓷坯料的种类和质量要求	(242)
第二节 可塑料的制备	(242)
第三节 注浆料的制备	(248)
第四节 压制粉料的制备	(250)
第五章 成型	(252)
第一节 可塑成型	(252)
第二节 注浆成型	(257)
第三节 压制定型	(264)
第六章 釉料制备及施釉	(273)
第一节 釉的分类	(273)
第二节 釉层的形成	(274)
第三节 釉层的性质	(274)
第四节 釉料制备和施釉	(277)
第五节 陶瓷的装饰	(282)
第七章 干燥	(285)
第一节 干燥原理	(285)
第二节 干燥方法	(288)
第三节 干燥缺陷及原因分析	(293)
第八章 烧成	(295)
第一节 一次烧成与二次烧成	(295)
第二节 普通陶瓷坯体在烧成过程中的物理化学变化	(296)
第三节 烧成窑炉	(301)
第四节 烧成制度	(308)
第五节 烧成缺陷及原因分析	(311)

第一篇 水泥工艺学

第一章 引言

一、胶凝材料的定义和分类

在物理、化学的作用下,能从浆体变成坚硬的石状体,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。它可以分为无机和有机两大类。沥青和各种树脂属有机胶凝材料。无机胶凝材料按照其硬化条件,又可分为水硬性和非水硬性两类,水硬性胶凝材料在拌水后既能在空气中硬化,又能在水中硬化,通常称为水泥,如硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥等。非水硬性胶凝材料只能在空气中硬化而不能在水中硬化,故又称气硬性胶凝材料,如石灰、石膏、耐酸胶结料等。

二、胶凝材料发展简史

胶凝材料的发展与社会生产力的发展紧密相关。远在古代,人们就用粘土来抹砌简易的建筑物,有时还掺入稻草、壳皮等植物纤维作加筋增强,形成初期的混凝土,但未经煅烧的粘土不耐水且强度很低。随着火的发明,大约在公元前 2000~3000 年,中国、埃及、罗马等国就开始利用煅烧所得的石膏和石灰来调制砌筑砂浆。古埃及的金字塔就是用经过煅烧的石膏胶泥所筑成,而我国的万里长城则是用石灰胶凝材料砌筑而成。

随着生产的发展,人们在实践中发现在石灰中掺加某些火山灰,不仅能提高强度而且能抵御淡水或含盐水的侵蚀,因而用于各类市政建筑。古罗马的“庞贝”城以及罗马圣庙等建筑物所用的都是石灰-火山灰材料。

社会的不断进步,对胶凝材料提出了更高的要求,因而于 18 世纪后半期先后制成了水硬性石灰和罗马水泥。在此基础上又用含适量粘土(20%~25%)的石灰石经煅烧磨细制得早期水泥。

19 世纪初期(1810~1825 年)人们已经将石灰石或白垩加粘土的细粉按一定比例配合,在石灰窑内经高温煅烧成烧结块(熟料)再磨制成水硬性胶凝材料,因与英国波特兰城建筑岩石的颜色相似,故称波特兰水泥(Portland Cement, 我国称硅酸盐水泥)。英国的阿斯普丁(J. Aspdin)是第一个获得生产波特兰水泥专利的人,获得专利的时间为 1824 年。这种水泥含有硅酸钙,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 1825~1843 年修建的泰晤士河隧道。

硅酸盐水泥出现后,应用日益广泛,对于工程建设起了重大的促进作用。但随着现代工业的发展,仅仅硅酸盐水泥、石膏、石灰等几种胶凝材料已满足不了工业建设和军事工程的需要。

因而到 20 世纪初就逐渐发明出各种不同用途的硅酸盐水泥,如快硬水泥、抗硫酸盐水泥、中低热水泥和油井水泥等。在 1907~1909 年又发明了以低碱性铝酸盐为主要成分的具有快硬性的高铝水泥(现称铝酸盐水泥)。近 20 多年,又陆续发明了硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥等品种,从而使水硬性胶凝材料的发展进入多品种多用途的时期。

三、水泥的定义和分类

加入适量水后可成塑性浆体,既能在空气中硬化又能在水中硬化,并能将砂、石等材料牢固地胶结在一起的细粉状水硬性胶凝材料,通称为水泥。

水泥的种类很多,按其用途和性能可分为:通用水泥、专用水泥和特性水泥三大类。通用水泥为大量土木工程一般用途的水泥,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、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥。专用水泥指有专门用途的水泥,如油井水泥、砌筑水泥等。而特性水泥则是某种性能比较突出的一类水泥,如快硬硅酸盐水泥、抗硫酸盐硅酸盐水泥、中热硅酸盐水泥、膨胀硫铝酸盐水泥、自应力铝酸盐水泥等。

按其所含的主要水硬性矿物,水泥又可分为硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥以及以工业废渣和地方材料为主要组分的水泥。目前水泥品种已达一百多种。

四、水泥工业在国民经济中的地位和作用

水泥是建筑工业三大基本材料之一,可广泛用于民用、工业、农业、水利、交通和军事等工程。虽然制造水泥能耗较多,但它与砂、石等集料制成的混凝土却是一种低能耗的建筑材料。例如,在相同荷载的条件下,混凝土柱的能耗仅为钢柱的七分之一,砖柱的四分之一。据预测,到公元 2000 年乃至更长的时期内,水泥仍然是主要的建筑材料。水泥有许多优点:水泥浆有很好的可塑性,可制成各种形状和尺寸的混凝土构件;适应性强,可用于海上、地下或干热、严寒地区以及耐侵蚀、防辐射等特殊要求的工程;耐久性好,水泥混凝土既没有钢材的生锈问题,也没有木材的腐朽等缺点,更没有塑料制品的老化、污染等问题。因此,水泥不但大量应用于工业与民用建筑,还广泛应用于交通、水利、农林以及海港等工程,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,其中最为基本的都是以水泥基为主的新型复合材料,因此,水泥工业具有极其广阔前景。

五、水泥工业发展概况

水泥作为工业性产品的实际应用,至今已有 160 多年,水泥工业的生产规模不断扩大,工艺和设备不断改进,品种和质量也有很大的发展。1826 年出现第一台烧水泥用的自然通风的普通立窑,1910 年实现立窑机械化连续生产。1885 年出现第一台回转窑,有效地提高了产量和质量,使水泥工业进入了回转窑阶段。1923 年立波尔窑的出现,使水泥工业出现较大的变革,窑的产量明显提高,热耗显著降低。50 年代初悬浮预热器的出现,使热耗大幅度降低。60 年代,电子计算机开始应用于水泥工业。1971 年日本人开发了预分解窑技术,从而使水泥工业生产技术有重大突破。立磨、辊压机、原料预均化、生料均化以及 X 射线萤光分析等技术的发展和应用使干法水泥生产的熟料质量明显提高,能耗进一步降低。由于应用了电子计算机和自动控制技术,许多先进的水泥厂都已采用全厂集中控制,巡回检查的方式,在矿山开采、生料和烧成车间、以及包装和发运等工序都实现了自动控制。

另外,水泥科学的研究中,各种精密测试仪器的应用,使水泥有关基础理论和应用技术的研

究有了长足的进展。一些新的烧成和粉磨技术不断研究开发：正在开发利用的挤压机终粉磨系统，可使粉磨电耗降低 40% 左右；流化床煅烧熟料的研究以及回转窑废气中低温发电的研究也已取得一定进展。可望在不久的将来，水泥生产技术将会有更大的突破。

非水硬性胶凝材料的发展在我国已有几千年历史，而水泥工业则始于 1876 年在河北唐山建立的启新洋灰公司，以后又相继在湖北以及广州、上海、南京等地建立水泥厂。但在解放前，水泥工业发展非常缓慢，历史最高水平年产量（1942 年）仅有 229 万吨。按人均消费水泥量计算，约为当时美国、比利时等国的 1/150。且水泥品种只有普通硅酸盐水泥和白色硅酸盐水泥等几个品种。解放后我国水泥工业发展迅速，从 1949 年的 66 万吨提高到 1994 年的 4 亿吨，约占世界水泥总产量的 1/3，连续十年产量居世界第一。水泥品种也从解放初期的 2~3 种增加到目前的 60 多种。除了满足一般建筑工程需要外，还能生产石油、水电、冶金、化工等许多部门需要的专用水泥和特性水泥。利用工业废渣生产水泥，也取得很好的效果。同时，不断引进消化并发展新技术、新工艺和新设备，在 1976 年建立第一条烧油预分解窑生产线之后，已自行研究设计了上海川沙、江苏邳县、新疆等日产 700 吨熟料的预分解窑生产线和江西、鲁南、双阳、耀县的日产 2000 吨熟料的预分解窑生产线，并在冀东、宁国、柳州、珠江等厂引进了国外大型现代化干法生产线。我国在水泥熟料煅烧、粉磨、熟料形成、水泥新矿物系列、水化硬化、混合材、节能技术等有关基础理论以及测试方法的研究和应用等方面，也取得了喜人的进展。但是，也应看到，与世界先进水平相比，我国水泥工业还存在不少问题，主要是生产效率低、能耗高、经济效益差和技术力量不足，人均产量低。另外，机械化和自动化水平较低，设备制造能力差，环境污染严重。

当前，世界水泥工业的中心课题仍然是能源、资源和环境保护。为此，要发展以预分解窑为中心的新工艺及其他先进技术，在我国的特定条件下，要逐步淘汰普通立窑，改造和提高机立窑。从而形成一个具有中国特色的水泥工业体系，以优质、低耗、多品种的水泥来保证各类建设工程和人民生活的需要。

第二章 硅酸盐水泥国家标准及其生产

第一节 硅酸盐水泥的国家标准

硅酸盐水泥是以硅酸钙为主要成分的熟料所制得的水泥的总称。如掺入一定数量的混合材料，则硅酸盐水泥名称前冠以混合材料名称：如矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥等。

根据国家标准 GB175—92，硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的定义、标号、品质指标以及验收规则如下：

一、定义

(一) 硅酸盐水泥

凡是由硅酸盐水泥熟料、0~5%石灰石或粒化高炉矿渣、适量的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。硅酸盐水泥分为两种类型：不掺混合材料的称为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为Ⅱ型硅酸盐水泥，代号 P·II。

(二) 普通硅酸盐水泥

凡是由硅酸盐水泥熟料、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，最大掺入量不得超过 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超过水泥质量 10%。

(三) 组分材料

1. 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）。

2. 石膏

天然石膏必须符合国家标准 GB5483 的规定。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必须经过试验，证明对水泥性能无害。

3. 活性混合材料

活性混合材料系指符合 GB1596 的粉煤灰，符合 GB2847 的火山质混合材料和符合 GB203 的粒化高炉矿渣。

4. 非活性混合材料

活性指标低于 GB1596、GB2847 和 GB203 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%。

5. 窑灰

窑灰应符合 ZBQ12001 的规定。窑灰是从回转窑窑尾废气中收集下来的粉尘。

另外,水泥粉磨时还允许加入主要起助磨作用而不损害水泥性能的助磨剂,其加入量不得超过水泥质量1%。使用助磨剂、工业副产石膏时,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。

二、标号

硅酸盐水泥分为425R、525、525R、625、625R、725六个标号;普通硅酸盐水泥分为325、425、425R、525、525R、625、625R七个标号。R型水泥属于快硬型,对其3d强度有较高的要求。

三、技术要求

1. 不溶物

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

2. 氧化镁

水泥中氧化镁含量不超过5.0%。如果水泥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SO₃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%,I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300m²/kg,普通水泥80μm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45min,终凝不得迟于390min。普通水泥初凝不得早于45min,终凝不得迟于10h。

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1-2-1中数值。

表1-2-1 GB175-92各龄期、各类型水泥强度

品 种	标 号	抗 压 强 度 (MPa)		抗 折 强 度 (MPa)	
		3d	28d	3d	28d
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

续表 1-2-1

品 种	标 号	抗 压 强 度 (MPa)		抗 折 强 度 (MPa)	
		3d	28d	3d	28d
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

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,水泥中碱含量不得大于 0.60% 或由供需双方商定。

四、废品与不合格品

1. 废品

凡氧化镁、三氧化硫、初凝时间、安定性中的任何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何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。

以上标准中,凝结时间、安定性及强度是硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的三项重要建筑性质指标。凝结时间直接影响到施工。凝结时间过短,使水泥砂浆与混凝土在浇灌之前即已失去流动性而无法使用;凝结时间过长,则降低施工速度和延长模板周转时间。硅酸盐水泥熟料初凝时间只有几分钟,要加入石膏进行调节,才能达到规定的要求。石膏掺入量过多,不仅水泥强度会降低,还会产生水泥安定性不良。因此,标准中除规定了初凝与终凝时间,还规定了三氧化硫的极限含量。石膏适宜的掺入量应通过试验来确定。

强度是水泥的一个重要指标,又是设计混凝土配合比的重要数据。水泥在水化硬化过程中强度是逐渐增长的,一般以 3d、7d 以前的强度称为早期强度,28d 及其后的强度称为后期强度,也有以三个月以后的强度称为长期强度。由于水泥经 28d 后强度已大部分发挥出来,所以用 28d 强度划分水泥的等级,即划分为不同的标号。凡是符合某一标号和某一类型的水泥,必须同时满足表 1-2-1 中规定的各龄期抗压、抗折强度的相应指标。若其中任一龄期的抗压、抗折强度指标达不到所要求标号的规定,则以其中最低的某一龄期的强度指标确定该水泥的标号。

第二节 硅酸盐水泥的生产

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:

1. 生料制备

石灰质原料、粘土质原料及少量的校正材料经破碎后按一定的比例配合、细磨，并经均化调配为成分合适、分布均匀的生料。

2. 熟料煅烧

将生料在水泥工业窑内煅烧至部分熔融，经冷却后得到以硅酸钙为主要成分的熟料的过程。

3. 水泥的制成

将熟料、石膏，有时加入适量混合材共同磨细成水泥的过程。

以上三个阶段可以简称为“两磨一烧”。

水泥的生产方法按生料制备方法的不同可分为干法与湿法两大类。原料经烘干、粉碎制成生料粉，然后喂入窑内煅烧成熟料的方法称为干法。将生料粉加入适量的水分制成生料球，再喂入立窑或立波尔窑内煅烧成熟料的方法一般称为半干法，亦可归入干法。将原料加水粉磨成生料浆，再喂入回转窑内煅烧成熟料的方法称为湿法。将生料浆脱水制成生料块，喂入窑内煅烧，或将生料块经烘干、破碎成生料粉再喂入干法窑内煅烧成熟料的方法一般称为半湿法，亦可归入湿法。

50年代出现的悬浮预热器窑，在60年代取得了较大发展，大大降低了熟料热耗；70年代出现了窑外分解技术，使产量成倍地提高，热耗也有较大幅度地下降。同时，生料的均化和原料预均化技术的发展、烘干兼粉磨设备的不断改进，使熟料质量进一步提高；冷却机热风用于窑外分解炉和窑废气用于原料、煤粉的烘干，以及成功地利用窑尾废气进行发电，使余热得到了比较充分地利用。这样，水泥的生产方法就开始逐步发生变化，出现了向干法发展以及湿法改干法的趋向。悬浮预热器窑和窑外分解窑就成为当前世界各国竞相发展的窑型。从世界各国的情况统计，即使原料平均水分高达10%，干法生产（窑外分解）比湿法长窑仍可以降低能耗，而且经济上也是合理的。原料水分越低，干法生产节能效果越显著，技术经济效果愈好。

如果原料水分较高，且易于制成生料浆时，则湿磨干烧或采用湿法长窑是合理的。

二、硅酸盐水泥生产的主要工艺过程

在我国特定的条件下，机械化立窑水泥厂得到了蓬勃发展，在整个水泥工业中，机械化立窑的生产能力占绝对优势。机械化立窑水泥厂的生产流程如图1-2-1所示。石灰石经破碎后进

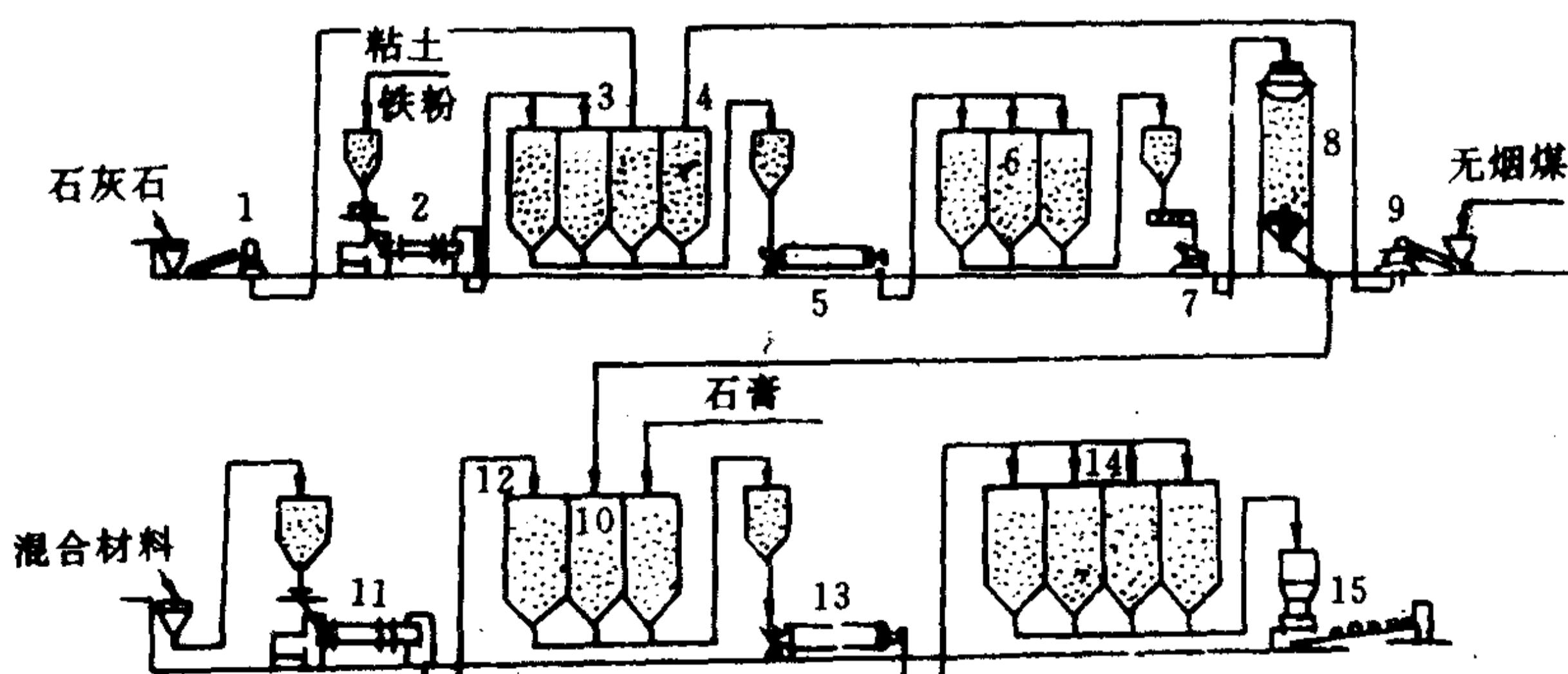


图1-2-1 机械化立窑水泥厂生产流程示意图

1—破碎机；2—烘干机；3—原料库；4—原煤库；5—生料磨；6—生料库；7—成球盘；8—立窑；
9—碎煤机；10—熟料库；11—烘干机；12—混合材库；13—水泥磨；14—水泥库；15—包装机

入碎石库。粘土、铁粉、无烟煤经烘干分别进入干燥的粘土、铁粉、无烟煤库，在库底用计量秤按比例准确配料喂入生料磨粉磨。出磨生料入生料库调配和均化，然后加水成球用布料器撒入机械化立窑中煅烧成熟料（成球时有的工厂还按要求配入部分粒状煤）。出窑熟料经破碎后送至熟料库储存。混合材料经烘干送入混合材料库，石膏经破碎送入石膏库，熟料、混合材料、石膏按要求比例配合喂入水泥磨粉磨。出磨水泥送至水泥库储存，经检验后包装出厂或散装出厂。

用窑外分解窑干法生产的流程如图 1-2-2 所示。图中：来自矿山的石灰石 1，经过一级破碎 6 和二级破碎 7 成为碎石，进入碎石库 8；矿山开采的粘土 2，汽车运输进厂，经粘土破碎机 10 破碎后与碎石经计量按一定配比进入预均化堆场 9，经过均化和粗配的碎石和粘土，再经计量秤和铁质校正原料 3 按规定比例配合进入烘干兼粉磨的生料磨 11 加工成生料粉，24 为选粉机。生料用气力提升泵 12 送至连续性空气搅拌库 13，经均匀化的生料粉再用气力提升泵送至窑尾悬浮预热器 14 和窑外分解炉 15，经预热和分解的物料进入回转窑 16 煅烧成熟料，熟料经篦式冷却机 17 冷却，用斗式提升机输送至熟料库 22。回转窑和分解炉用的燃料（煤粉），是原煤 4 经烘干兼粉磨的风扫式煤磨 20 制备成煤粉，21 是经粗细分离器选出的细度合格的煤粉，贮存在煤粉仓。生料和煤的烘干所需热气体来自窑尾，冷却熟料的部分热风送至分解炉帮助煤的燃烧。窑尾的多余气体经排气除尘系统排出，18 为电收尘器，19 为增湿塔。熟料经计量秤配入一定数量石膏 5 在圈流球磨机 23 中粉磨成一定细度的水泥，24 为水泥选粉机。水泥经仓式空气输送泵 25 送至水泥库 26 储存。一部分水泥经包装机 27 包装为袋装水泥，经火车或汽车 28 运输出厂；另外，也可用专用的散装车 29 散装出厂。

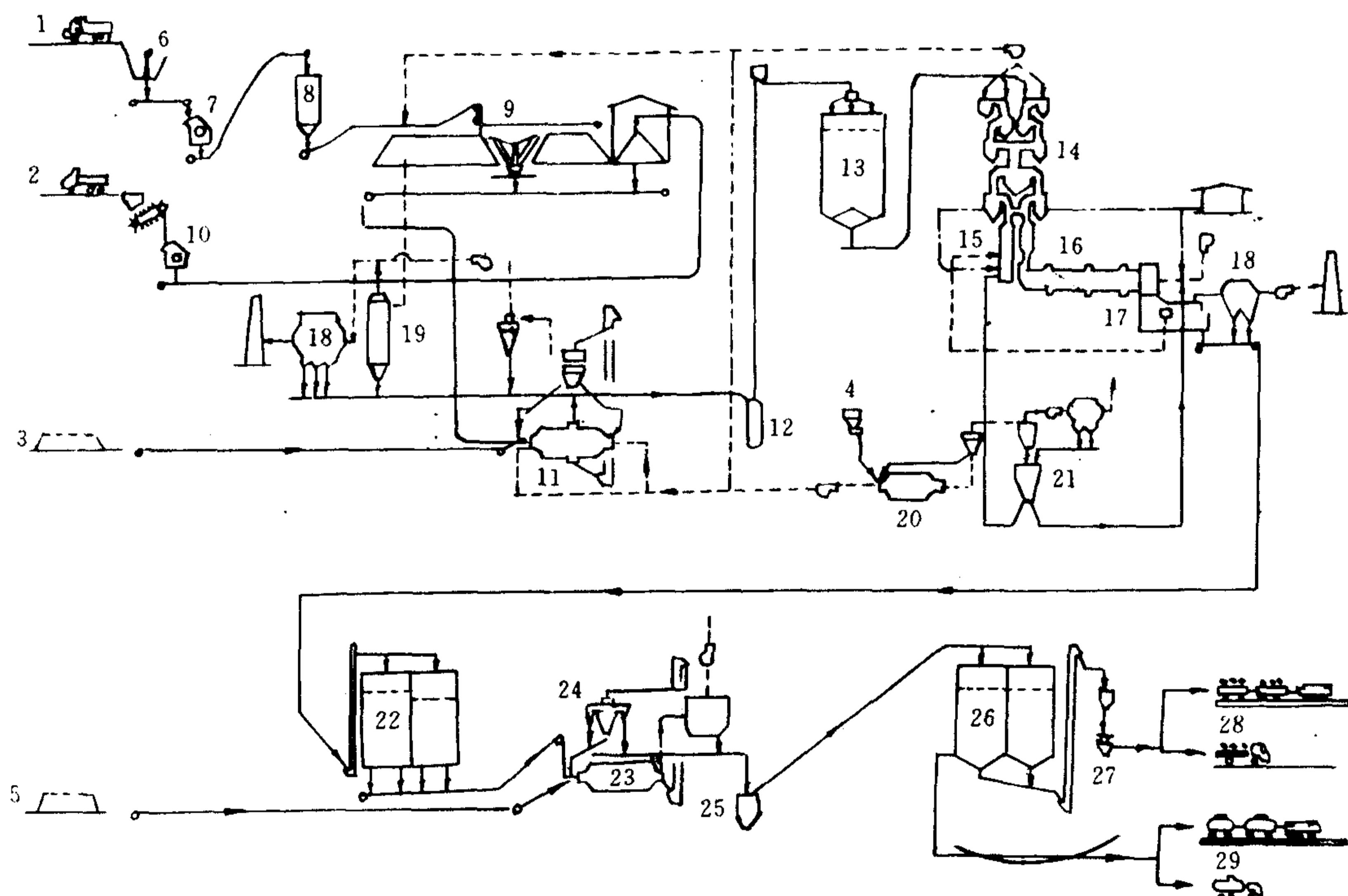


图 1-2-2 窑外分解窑干法水泥厂生产流程示意图

干法生产生料粉磨可以采用开路管磨、闭路球磨或烘干兼粉磨的系统。烘干兼粉磨系统可以在立式磨（辊式磨），也可以在球磨机中进行。按原料性质和含水量的不同，可采用预先干燥、破碎兼烘干或烘干兼粉磨等各种方法和系统。湿法生产时，则多采用开路管磨或棒球磨系统。

也可以采用弧形筛等组成闭路系统。

为保证入窑生料质量均匀、具有适当的化学组成，除应严格控制原、燃料的化学成分进行精确的配料外，通常出磨生料均应在生料库内进行调配均化。当干法生产的原料较复杂时，原料在入磨前，也应在预均化堆场预先进行预均化。

熟料的煅烧可以采用立窑和回转窑。立窑适用于规模较小的工厂，而大、中型厂则宜采用回转窑。回转窑又分为干法窑、立波尔窑、湿法窑。根据热交换器设置在窑内或窑外，湿法窑又可分为湿法长窑与带料浆蒸发机、料浆过滤机、料浆喷雾装置的短窑，湿法长窑使用较为广泛。

第三章 硅酸盐水泥熟料矿物组成及其配料计算

水泥的质量主要取决于熟料的矿物组成和结构,而后者又取决于化学组成。因此,控制合适的熟料化学组成是获得优质水泥熟料的中心环节。

硅酸盐水泥熟料主要由 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 四种氧化物组成,其含量总和通常都在 95% 以上。据统计,这四种氧化物含量的波动范围为:

CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
62%~67%	20%~24%	4%~7%	2.5%~15%

在某些情况下,由于水泥品种、原料成分以及工艺过程的不同,其氧化物含量也可能不在上述范围。例如,白色硅酸盐水泥熟料中 Fe_2O_3 必须小于 0.5%,而 SiO_2 可高于 24% 甚至可达 27%。

除了上述四种主要氧化物外,通常还含有 MgO 、 SO_3 、 K_2O 、 Na_2O 、 TiO_2 、 P_2O_5 等。

第一节 硅酸盐水泥熟料的矿物组成

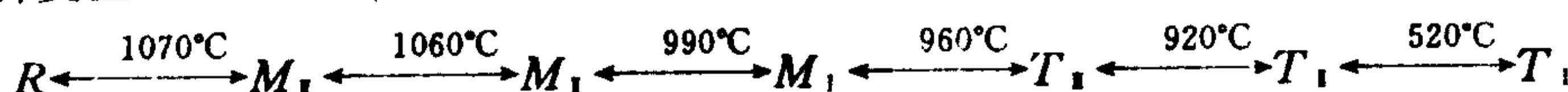
如前所述,硅酸盐水泥熟料是以适当成分的生料烧到部分熔融,所得以硅酸钙为主要成分的烧结块。因此,在硅酸盐水泥熟料中 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 不是以单独的氧化物存在,而是以两种或两种以上的氧化物经高温化学反应而生成的多种矿物的集合体。其结晶细小,一般为 30~60 μm 。因此可见,水泥熟料是一种多矿物组成的结晶细小的人工岩石。它主要有以下四种矿物:

硅酸三钙	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 可简写为 C_3S ;
硅酸二钙	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 可简写为 C_2S ;
铝酸三钙	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 可简写为 C_3A ;
铁相固溶体	通常以铁铝酸四钙 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 作为代表式,可简写成 C_4AF 。

此外,还有少量游离氧化钙($f\text{-CaO}$)、方镁石(结晶氧化镁)、含碱矿物及玻璃体。通常熟料中 C_3S 和 C_2S 含量约占 75% 左右,称为硅酸盐矿物。 C_3A 和 C_4AF 的理论含量约占 22% 左右。在水泥熟料煅烧过程中, C_3A 和 C_4AF 以及氧化镁、碱等在 1250~1280°C 会逐渐熔融形成液相,促进硅酸三钙的形成,故称熔剂矿物。

一、硅酸三钙

C_3S 是硅酸盐水泥熟料的主要矿物。其含量通常为 50% 左右,有时甚至高达 60% 以上。纯 C_3S 只有在 2065~1250°C 温度范围内才稳定。在 2065°C 以上不一致熔融为 CaO 和液相;在 1250°C 以下分解为 C_2S 和 CaO ,但反应很慢,故纯 C_3S 在室温可呈介稳状态存在。 C_3S 有三种晶系七种变型:



R 型为三方晶系, M 型为单斜晶系, T 型为三斜晶系,这些变型的晶体结构相近。但有人