

高等学校试用教材

水泥工艺学

(重排本)

SHUINI GONGYIXUE

主编 沈威



武汉理工大学出版社
Wuhan University of Technology Press

高等学校教材

水 泥 工 艺 学

(重排本)

主 编 沈 威
主 审 楼宗汉

武汉理工大学出版社

内 容 提 要

本书经高等学校无机非金属材料类专业教材编审委员会审定无机非金属材料工程、硅酸盐工程专业本科教学用书。

全书系统地阐述了硅酸盐水泥的生产方法、矿物组成、原料配料、熟料烧成、粉磨工艺、质量控制和水化硬化的基本理论,对水泥品种和混凝土也作了较详细的叙述。本书采用最新颁布的国家标准,体现了近年来在工艺进展、水化研究、品种开发等方面的成果。

本书还可供从事水泥生产、科研、设计、厂矿的有关工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

水泥工艺学(重排本)/沈威主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2011.12 重印
ISBN 978-7-5629-0451-9

I. 水… II. 沈… III. 水泥-生产工艺-工艺学 IV. TQ172.1

项目负责人:田道全

责任编辑:王忠林

责任校对:万三宝

装帧设计:陶冶

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路122号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉理工大印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:22.5

字 数:560千字

版 次:1991年7月第1版

印 次:2011年12月第16次印刷

印 数:47501—49500册

定 价:34.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87394412 87383695 87384729 87397097(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

《水泥工艺学》作为高等学校教材于1986年由中国建筑工业出版社第一次出版以来,水泥工艺领域不论在理论研究还是生产实践等方面都有不少新的进展,而且各校教育改革的深入也提供了更多有益的经验。鉴于以上情况,我们对原书进行了较大的修改和补充。主要是对水泥的工艺进展、水化研究、品种开发等有关内容作了必要的更新补充;进一步加强现行技术政策在教材中的体现,及时引用最新颁布的国家标准;并在删繁就简、深入浅出、有利于自学方面作了更多努力。

全书以硅酸盐水泥的组成、煅烧、粉磨和质量控制作为工艺方面的重点,有关水化、硬化的内容则主要为进一步掌握工艺要求、改善性能、研制新品种水泥提供必要的基础。对火山灰质水泥、矿渣水泥和粉煤灰水泥着重于介绍工艺、水化和性能方面的特点;至于其他品种水泥则选具有代表性的典型品种,为生产、应用和开发研究介绍方法、提供思路。

本教材系高等学校无机非金属材料工程、硅酸盐工程等专业的教学用书。在修订编写过程中,更好地注意了与“硅酸盐物理化学”、“水泥热工过程及设备”、“水泥生产过程及设备”以及“水泥工厂工艺设计概论”等课程的衔接与分工,避免不必要的重复,同时还保持必要的系统性。有关的计量单位全部采用国际单位制,必要时则与工程制同时并用;在书后还附有常用单位换算表,以便对照查阅。

本书由同济大学沈威主编。编写分工是,沈威:第一、八、九、十、十五章;西南科技大学黄文熙:第二章至第七章;南京工业大学闵盘荣:第十一章至第十四章。

全书由浙江大学楼宗汉主审。编者对主审人的精心审阅表示衷心的感谢。同时对参加本书初版审稿工作的天津水泥工业设计院余裕嘉、原国家建材局刘公诚、吴兆正、张礼本,南京工业大学王国宾、杨南如、唐明述,中国建材研究院薛君环,济南大学张柏寿以及抚顺水泥厂孙仲英等水泥界专家致以深切的谢意。

由于编者水平所限,谨请批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	(1)
一、胶凝材料的定义和分类	(1)
二、胶凝材料发展简史	(1)
三、水泥的定义和分类	(2)
四、水泥在国民经济中的重要性	(2)
五、水泥工业发展概况	(3)
第二章 硅酸盐水泥的生产	(6)
第一节 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的标准	(6)
一、国家标准	(6)
二、世界各国标准概况	(8)
第二节 硅酸盐水泥的生产方法	(10)
一、生产方法	(10)
二、湿法窑的改造	(12)
第三节 硅酸盐水泥生产的主要工艺过程	(12)
第三章 硅酸盐水泥熟料的组成	(16)
第一节 熟料的矿物组成	(16)
一、硅酸三钙	(17)
二、硅酸二钙	(19)
三、中间相	(21)
四、游离氧化钙和方镁石	(23)
第二节 熟料的率值	(24)
第三节 熟料矿物组成的计算	(28)
一、石灰饱和系数法	(29)
二、鲍格(R. H. Bogue)法	(30)
第四章 硅酸盐水泥的原料及配料计算	(32)
第一节 原料	(32)
一、石灰质原料	(32)
二、粘土质原料	(34)
三、校正原料	(37)
第二节 水泥生料的易烧性	(38)
第三节 熟料组成的选择	(40)
一、水泥品种	(40)
二、原料品质	(40)
三、燃料品质	(41)

四、生料成分的均匀性	(41)
五、窑型与规格	(42)
六、生料的易烧性	(43)
第四节 配料计算	(43)
一、尝试误差法	(45)
二、用微机计算	(48)
第五章 硅酸盐水泥熟料的煅烧	(52)
第一节 生料在煅烧过程中的物理与化学变化	(54)
一、干燥与脱水	(54)
二、碳酸盐分解	(55)
三、固相反应	(59)
四、液相和熟料的烧结	(62)
五、熟料的冷却	(68)
六、熟料形成的热化学	(70)
第二节 微量元素和矿化剂对熟料煅烧和质量的影响	(72)
一、氟化钙	(72)
二、硫化物	(74)
三、复合矿化剂	(75)
四、碱	(77)
五、氧化镁	(78)
六、氧化钛和氧化磷	(78)
七、其它微量元素	(79)
第三节 回转窑内的煅烧	(79)
一、回转窑内物料流速和窑的煅烧特点	(79)
二、影响回转窑产量、质量和消耗的主要因素	(82)
三、降低热耗、提高热效率的措施	(85)
第四节 立波尔窑、悬浮预热器窑和窑外分解窑内的煅烧	(89)
一、立波尔窑	(89)
二、悬浮预热器窑	(90)
三、窑外分解窑	(96)
四、低温发电	(109)
第五节 熟料冷却机	(110)
第六节 立窑内的煅烧	(111)
一、机械化立窑的结构	(112)
二、立窑煅烧过程及其特点	(113)
三、立窑规格——高径比(H/D 及其发展)	(114)
四、立窑的煅烧速度和燃烧速度	(115)
五、立窑的送风方式	(116)
六、立窑的煅烧方法	(116)

七、生料成球和配煤	(118)
八、立窑的闭门操作与自动化	(121)
九、提高立窑产质量,降低消耗的途径	(122)
第七节 煨烧新技术的研究	(123)
一、旋风烧成法	(124)
二、沸腾烧成法	(124)
三、其它的物料加热方法	(125)
第八节 窑用耐火材料	(125)
第六章 粉磨工艺	(132)
第一节 粉磨物料的性质	(132)
第二节 粉磨细度和入磨物料粒度	(135)
一、入磨物料粒度	(135)
二、生料粉磨细度	(135)
三、水泥粉磨细度	(136)
四、水泥、生料的颗粒分布	(137)
第三节 粉磨系统和粉磨设备	(138)
一、粉磨系统	(138)
二、生料粉磨系统	(139)
三、水泥粉磨系统	(142)
第四节 提高粉磨系统产量、质量,降低消耗的主要途径	(144)
一、粉磨设备的大型化	(144)
二、喂料的均匀性、入磨物料的温度与水分	(145)
三、助磨剂	(146)
四、粉磨系统有关工艺技术参数的影响	(147)
五、粉磨系统的新技术	(151)
第七章 生产控制与均化	(156)
第一节 石灰石、粘土矿山的控制	(156)
第二节 原、燃料的预均化和控制	(156)
第三节 生料的均化和控制	(158)
第四节 熟料和水泥的质量控制	(159)
第五节 生产控制的自动化	(163)
一、粉磨系统的自动控制	(163)
二、窑系统的控制	(166)
第八章 硅酸盐水泥的水化和硬化	(169)
第一节 熟料矿物的水化	(169)
一、硅酸三钙	(169)
二、硅酸二钙	(172)
三、铝酸三钙	(172)
四、铁相固溶体	(175)

第二节 硅酸盐水泥的水化	(176)
第三节 水化速率	(179)
一、熟料矿物的水化速率	(179)
二、细度和水灰比的影响	(181)
三、温度与水化速率的关系	(181)
第四节 硬化水泥浆体	(182)
一、浆体结构的形成和发展	(182)
二、C—S—H 凝胶	(185)
三、氢氧化钙	(188)
四、钙矾石	(189)
五、单硫型水化硫铝酸钙及其固溶体	(190)
六、孔及其结构特征	(191)
七、水及其存在形式	(194)
第九章 硅酸盐水泥的性能	(197)
第一节 凝结时间	(197)
一、凝结速度	(197)
二、石膏的作用及掺量的决定	(199)
三、假凝现象	(200)
四、调凝外加剂	(201)
第二节 强度	(203)
一、浆体组成和强度的关系	(203)
二、熟料矿物组成的作用	(204)
三、水灰比、水化程度对强度的影响	(206)
四、温度和压力的效应	(208)
第三节 体积变化	(210)
一、体积安定性	(210)
二、化学减缩	(211)
三、湿胀干缩	(212)
四、碳化收缩	(214)
第四节 水化热	(215)
第五节 粉磨细度	(217)
第十章 硅酸盐水泥的耐久性	(220)
第一节 抗渗性	(220)
第二节 抗冻性	(222)
第三节 环境介质的侵蚀	(224)
一、浆体组分的溶解和浸析	(225)
二、离子交换反应	(226)
三、形成膨胀性产物	(227)
四、侵蚀作用的复合及其判别	(228)

第四节	碱-集料反应	(230)
第五节	耐久性的改善途径	(232)
一、	提高密实性、改善孔结构	(232)
二、	改变熟料矿物组成	(233)
三、	掺加混合材料	(234)
四、	表层处理或涂覆	(235)
第十一章	火山灰水泥和粉煤灰水泥	(237)
第一节	火山灰质混合材料	(237)
一、	天然的火山灰质混合材料	(237)
二、	人工的火山灰质混合材料	(237)
第二节	火山灰质混合材料的活性检定	(239)
第三节	火山灰质硅酸盐水泥	(240)
一、	火山灰水泥的配制	(240)
二、	火山灰水泥的水化硬化	(240)
三、	火山灰水泥的性质和用途	(241)
四、	石灰火山灰质水泥	(242)
第四节	粉煤灰硅酸盐水泥	(243)
一、	粉煤灰	(243)
二、	粉煤灰硅酸盐水泥	(244)
第五节	沸腾炉渣水泥	(246)
第十二章	高炉矿渣和矿渣水泥	(248)
第一节	粒化高炉矿渣	(248)
一、	高炉矿渣的形成和分类	(248)
二、	高炉矿渣的化学组成和矿物组成	(248)
三、	矿渣质量的评定	(252)
四、	矿渣的粒化	(253)
第二节	矿渣硅酸盐水泥	(253)
一、	矿渣水泥的生产	(254)
二、	矿渣水泥的水化和硬化	(255)
三、	矿渣水泥的性质和用途	(256)
第三节	石膏矿渣水泥	(257)
一、	石膏矿渣水泥的生产	(257)
二、	石膏矿渣水泥的性质和应用	(258)
第四节	用钢铁工业渣配制的其他无熟料水泥	(259)
一、	碱-矿渣水泥	(259)
二、	钢渣水泥	(260)
三、	化铁炉渣水泥	(261)
第十三章	高铝水泥	(262)
第一节	矿物组成和化学组成	(262)

一、矿物组成	(262)
二、化学组成	(263)
第二节 高铝水泥的生产	(264)
一、原料	(264)
二、配料计算	(265)
三、高铝水泥的生产方法	(267)
第三节 高铝水泥的水化和硬化	(268)
第四节 高铝水泥的水化产物、孔隙率和强度间的关系	(269)
第五节 高铝水泥的性质	(272)
一、密度、容积密度	(272)
二、细度	(272)
三、凝结时间	(272)
四、强度	(272)
五、水化热	(274)
六、耐蚀性	(274)
七、耐热性	(274)
第六节 快硬高强铝酸盐水泥	(275)
第七节 低钙铝酸盐水泥与耐火混凝土	(277)
第十四章 特种水泥	(279)
第一节 快硬高强水泥	(279)
一、快硬水泥	(279)
二、高强水泥	(286)
第二节 抗硫酸盐硅酸盐水泥	(289)
第三节 油井水泥	(291)
第四节 白色和彩色水泥	(297)
一、白色水泥	(297)
二、其他品种的白水泥	(300)
三、彩色水泥	(301)
第五节 道路水泥	(301)
第六节 中热硅酸盐水泥和低热矿渣硅酸盐水泥	(303)
第七节 低热微膨胀水泥	(305)
第八节 膨胀水泥	(306)
一、制造膨胀水泥的基本原理	(307)
二、膨胀水泥的种类、制造方法及性能	(308)
第九节 砌筑水泥	(313)
第十节 防辐射水泥	(314)
第十一节 耐酸水泥	(315)
一、粘结剂	(315)
二、填充料	(316)

三、凝固和硬化促进剂	(316)
第十二节 耐高温水泥	(317)
一、磷酸和磷酸盐耐火胶结料	(318)
二、水玻璃耐火混凝土	(319)
第十五章 混凝土和砂浆	(321)
第一节 混凝土的组成材料	(321)
一、水泥	(321)
二、集料	(322)
三、拌和用水	(325)
第二节 混凝土拌合物的和易性	(325)
一、和易性的测定和选择	(325)
二、影响和易性的因素	(326)
第三节 混凝土的强度	(329)
一、混凝土的强度等级	(329)
二、水泥标号、水灰比与混凝土强度的关系	(330)
三、水泥浆-集料界面对混凝土强度的影响	(330)
第四节 混凝土的耐久性	(332)
第五节 混凝土的配合比设计和工艺控制	(333)
一、选择水泥品种,确定混凝土试配强度(R)	(335)
二、确定水灰比	(335)
三、选取用水量(W),并计算水泥用量(C)	(335)
四、选取砂率(S_p)	(336)
五、计算砂石用量(S, G)	(336)
第六节 混凝土外加剂	(338)
一、减水剂	(338)
二、引气剂	(339)
第七节 特种混凝土	(340)
一、轻集料混凝土	(340)
二、多孔混凝土	(341)
三、纤维混凝土	(342)
四、聚合物混凝土	(343)
第八节 砂浆	(343)
附录	(345)
参考文献	(347)

第一章 绪 论

一、胶凝材料的定义和分类

凡能在物理、化学作用下,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,又称为胶结料,可分为无机和有机两大类。沥青和各种树脂属于有机胶凝材料。无机胶凝材料则按照硬化条件,又可分为水硬性和非水硬性两种。水硬性胶凝材料在拌水后既能在空气中又能在水中硬化,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,故又称为气硬性胶凝材料,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,有着极为悠久的历史。

远在距今约 4000~10 000 年的新石器时代,由于石器工具的进步,劳动生产力的提高,挖穴建室的建筑活动已经兴起。人们就逐渐使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。但未经煨烧的粘土并无抗水能力,而且强度很低。另外,在我国新石器时代的遗址中,还发现用天然姜石夯实而成的柱础以及铺墁的地面和四壁等,甚为光滑坚硬。经测定,姜石是一种二氧化硅含量高的石灰质原料,是黄土中的钙质结核。在当时的建筑活动中,能有意识地将黄土中的姜石挑选出来,捣碎成粉后应用于特定场合,不能不说是当时居室建筑的一大进步。

随着火的发现,大约在公元前 3000~前 2000 年,中国、古埃及、古希腊以及古罗马等就已开始利用经过煨烧所得的石膏或石灰来调制砌筑砂浆。例如古埃及的金字塔,我国著名的万里长城以及其他许多宏伟的古建筑,都是用石灰、石膏作为胶凝材料砌筑而成的。我国有关石灰的文字记载,最早可以上溯到公元前 7 世纪的周朝。从目前考古发掘的材料分析,最迟在汉朝(公元 2 世纪),人工烧制石灰已经达到相当高的水平。

随着生产的发展,逐渐要求有强度较高并能防止被水浸蚀和冲毁的胶凝材料。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积物,不仅强度提高,而且能抵御淡水或含盐水的浸蚀。例如罗马的“庞贝”城以及罗马圣庙等著名古建筑都是用石灰-火山灰材料砌筑而成的。又由于当时较多应用的是普佐里(Pozzoli)附近所产的火山凝灰岩,因此在意大利文中就将“Pozzolana”作为火山灰的名称,以后又扩大为凡是属于这类的矿物材料都称作“Pozzolana”,并沿用至今。在我国古代建筑中所大量应用的“三合土”,即石灰与黄土的混合,或另加细砂等,实际上也是一种石灰-火山灰材料。随后,人们又进一步发现,将碎砖、废陶器等磨细后,可以代替天然的火山灰,与石灰混合,同样能使其具有水硬性。从而使火山灰质材料由天然的发展到人工制造,煨烧过的粘土和石灰混合可以获得一定抗水性的胶凝材料。

直到 18 世纪后半期,又先后出现了水硬性石灰和罗马水泥,都是将含有适量粘土的粘土

质石灰石经过煅烧而得。并在此基础上,发展到用天然水泥岩(粘土含量为 20%~25%的石灰石)煅烧、磨细而制得天然水泥。然后,逐渐发现可以用石灰石与定量的粘土共同磨细混匀,经过煅烧制成由人工配料的水硬性石灰。这实际上可以看成是近代硅酸盐水泥制造的雏形。

19 世纪初期(1810~1825 年),用人工配合原料,再经煅烧、磨细以制造水硬性胶凝材料的方法,已经开始组织生产,并着手用高温煅烧至烧结程度,以获得烧块(熟料)作为提高质量的措施。因为这种胶凝材料凝结后的外观颜色与当时建筑上常用的英国波特兰岛出产的石灰石相似,故称之为波特兰水泥(Portland Cement,我国称为硅酸盐水泥)。英国阿斯普丁(J. Aspdin)于 1824 年首先取得了该项产品的专利权。由于含有较多的硅酸钙,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 1825~1843 年修建的泰晤士河隧道工程。

硅酸盐水泥出现后,应用日益普遍,对工程建筑起了很大的作用。但随着现代工业的发展,仅仅硅酸盐水泥、石灰、石膏等几种胶凝材料已远远不能满足工业建设和军事工程的需要。到 20 世纪初,就逐渐发展为各种不同用途的硅酸盐水泥,如快硬水泥、抗硫酸盐水泥、低热水泥以及油井水泥,等等。而在 1907~1909 年发明的以低碱性铝酸盐为主要成分的高铝水泥,具有早强快硬的特性。近 20 多年来,又陆续出现了硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥、铁铝酸盐水泥等品种,从而使水硬性胶凝材料发展成更多类别。

由上可见,胶凝材料的发展经历是:天然胶凝材料(如粘土)→石膏、石灰→石灰、火山灰→水硬性石灰、天然水泥→硅酸盐水泥→不同品种水泥的各个阶段。可以相信,随着社会生产力的提高,胶凝材料还将有较快的发展,以满足日益增长的各种工程建设和人民生活的需要。

三、水泥的定义和分类

凡细磨成粉末状,加入适量水后成为塑性浆体,既能在空气中硬化,又能在水中硬化,并能将砂、石等散粒或纤维材料牢固地胶结在一起的水硬性胶凝材料,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、专用水泥以及特性水泥三大类。通用水泥为用于大量土木建筑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和粉煤灰硅酸盐水泥等。专用水泥则指有专门用途的水泥,如油井水泥、砌筑水泥等。而特性水泥是某种性能比较突出的一类水泥,如快硬硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、抗硫酸盐硅酸盐水泥、膨胀硫铝酸盐水泥、自应力铝酸盐水泥等。也可按其组成为硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥、铁铝酸盐水泥以及少熟料或无熟料水泥等几种。目前水泥品种已达 100 余种。

四、水泥在国民经济中的重要性

水泥是建筑业三大基本材料之一,使用广,用量大,素有“建筑业的粮食”之称。生产水泥虽需较多能源,但是水泥与砂、石等集料所制成的混凝土则是一种低能耗型建筑材料,其单位质量的能耗只有钢材的 1/6~1/5,铝合金的 1/25,比红砖的能耗还低 35%。根据预测,21 世纪的主要建筑材料,还将是水泥和混凝土,水泥的生产和研究仍然极为重要。

水泥粉末与水拌和后,表面的熟料矿物立即与水发生水化反应,放出热量,形成一定的水化产物。由于各种水化产物的溶解度很小,就在水泥颗粒周围析出。随着水化作用的进行,析出的水化产物不断增多,以至相互结合。这个过程进行,使水泥浆体稠化而凝结。随后变

硬,并能将拌在一起的砂、石等散粒胶结成整体,逐渐产生强度。因此,水泥或水泥混凝土的强度是随龄期延长而逐渐增长的。早期增长甚快,往后逐渐减缓。但是,只要维持适当的温度和湿度,其强度在几个月、几年后,还会进一步有所增长。另一方面,也可能在几十年后尚有未水化的部分残留,仍具有继续进行水化作用的潜在能力。

作为胶凝材料,除水硬性外,水泥还有许多优点:水泥浆有很好的可塑性,与砂、石拌和后仍能使混合物具有必要的和易性,可浇筑成各种形状尺寸的构件,以满足设计上的不同要求;适应性强,还可用于海上、地下、深水或者严寒、干热的地区,以及耐侵蚀、防辐射、核电站等特殊要求的工程;硬化后可以获得较高强度,并且改变水泥的组成,可以适当调节其性能,满足某些工程的不同需要;尚可与纤维或者聚合物等多种无机、有机材料匹配,制成各种水泥基复合材料,有效发挥材料潜力;与普通钢铁相比,水泥制品不会生锈,也没有木材这类材料易于腐朽的缺点,更不会有塑料年久老化的问题,耐久性好,维修工作量小,等等。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、城市建设、农林、水利以及海港等工程,制成各种形式的混凝土、钢筋混凝土的构件和构筑物。而水泥管、水泥船等各种水泥制品在代钢、代木方面,也越来越显示出技术经济上的优越性。同时,也正是由于钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土和钢结构材料的混合使用,才使高层、超高层、大跨度以及各种特殊功能的建筑物、构筑物的出现有了可能。此外,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,其中最为基本的则都是以水泥基为主的新型复合材料。因此,水泥工业的发展对保证国家建设计划的顺利进行、人民生活水平的提高,具有十分重要的意义。而且,其他领域的新技术,也必然会渗透到水泥工业中来,传统的水泥工业势必随着科学技术的迅猛发展而带来新的工艺变革和品种演变,应用领域必将有新的开拓,从而使其在国民经济中起到更为重要的作用。

五、水泥工业发展概况

自从水泥工业性产品的实际应用,至今一个半世纪以来,生产持续扩大,工艺和设备不断改进,品种和质量也有极大的发展。硅酸盐水泥是在第一次产业革命中问世的。当时,用间歇式的土窑烧成水泥熟料。随着以冶炼技术为突破口的第二次产业革命的兴起,推动了水泥生产设备的更新。1877年用回转窑烧制水泥熟料获得专利权,继而出现单筒冷却机、立式磨以及单仓钢球磨等,有效地提高了产量和质量。到19世纪末与20世纪初,由于其他工业所提供的燃料、工艺技术和生产设备,使水泥工业一直进行着频繁的改造与更新。1910年立窑实现了机械化连续生产;1928年立波尔窑的出现,使窑的产量明显提高,热耗降低较多。特别是在第二次世界大战后,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,水泥工业又相应发生了深刻的变化。20世纪50年代初悬浮预热器窑的应用,更使热耗大幅度降低;其他的水泥制造设备也不断更新换代。到1950年全世界水泥产量为1.33亿t。

20世纪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。同时,日本将联邦德国的悬浮预热器技术引进以后,于1971年开发了水泥窑外分解技术,从而带来了水泥生产技术的重大突破。又随着原料、生料预均化等多种生产技术以及X射线荧光分析等在线检测方法的发展和逐步完善,使干法生产的熟料质量明显提高,在节能方面取得了突破性的进展,干法工艺已具有压倒的优越性。到20世纪70年代中期,先进的水泥厂通过电子计算机和自动化的控制仪表等设备,已经采用全厂集中控制、巡回检查的方式,在生料、烧成车间以及包装发运、矿山开采等环节分别实现了自动控制。另外,在水泥的科学研究中,各种高效测

测试仪器的应用,使水泥有关的基础理论和应用研究也取得了长足的进展。1980年世界水泥总产量达8.7亿t。据预测,到20世纪末水泥总产量将为16~60亿t。

我国的水泥工业不但总产量已连续5年居世界首位,1989年达2.1亿t多,而且在工艺技术方面也有很大进展。我国早在1889年就于河北唐山首先建立了启新洋灰公司(今启新水泥厂)正式生产水泥,以后又相继建立了大连、上海、中国、广州等水泥厂。但是由于帝国主义、封建主义和官僚资本主义三座大山的压迫和剥削,水泥工业在解放前的发展非常缓慢。一直到新中国成立以后,我国的水泥工业才得到了新生。解放后水泥产量快速上升,从1952年到1987年的35年间,水泥年产量从286万t提高到1.86亿t,增长了65倍之多,而且水泥工业布局基本展开,技术上有很大进步。在20世纪50年代中期,我国就开始试制湿法回转窑和半干法立波尔窑成套设备,迈出了我国水泥生产技术发展的重要一步。从50年代到60年代,我国依靠自己的科研设计力量进行了预热器窑的试验。70年代初,又先后组织了预分解窑的开发工作,并陆续建成了几条立筒预热器和旋风预热器窑生产线及预分解窑试生产线。到70年代末以后,我国水泥生产技术的发展更为加快,水泥工业面貌有了很大改观。从1978年起,相继从国外引进了一批日产2000~4000t熟料的预分解窑干法生产成套设备,不仅增加了水泥产量,而且迅速提高了我国的新型干法技术水平。同时,我国自行设计制造了日产700t和2000t熟料的水泥生产设备,并在江西水泥厂建成了第一条主要设备都是国产的生产线,它的建成投产标志着我国新型干法技术达到了一个新水平。到80年代末,我国新型干法生产能力占大中型水泥厂生产能力的1/4。值得注意的是,我国的小水泥厂在经过50年代末和70年代两个发展高潮后,已成为我国水泥工业的一个重要方面,其产量占整个水泥工业总产量的80%以上。1980年以后,以提高质量、降低成本为目标进行了一系列技术改造,将普通立窑改造为机械化立窑,并将电子计算机配料、控制等多种新技术逐步引入立窑生产,对提高熟料产量和质量、生产新品种、改善劳动条件以及解决粉尘污染问题等都有显著作用,使我国机械立窑生产技术水平又迈进了一大步。新中国成立以来,水泥工业的科学研究工作也得到了很快的发展。我国的水泥品种,在多品种、多标号的方针指导下,已经由建国初期仅有硅酸盐水泥和白水泥等3~4种,发展到5个通用水泥系列以及硅酸盐和铝酸盐两大类、各个系列的特种水泥,以满足石油、水电、冶金、化工、机械等工业部门以及海港和国防等特种工程的需要。另外,我国在煅烧、粉磨、熟料形成、水泥的新矿物系列、水硬化、混合材、外加剂、节能技术等有关的基础理论以及测试方法的研究和应用方面,也取得了较好的成绩。特别是根据材料科学的发展,加强了组成、结构及其与性能的关系以及生产、应用过程中的变化和行为等方面的研究,获得了可喜的进展。我国的水泥工业虽然在若干方面已处于世界前沿,但是也应该看到,与国际先进水平相比,还存在不少差距。我国水泥总产量虽已居世界首位,但人均产量仍较低。大中型水泥厂的生产设备,陈旧落后的占相当数量,能耗高的湿法工艺仍占总生产能力的较大比例。小水泥厂成本较高,劳动生产率低。有些厂质量不够稳定,环境污染比较严重。水泥工业技术队伍力量不足,人才相当缺乏。

当前,世界水泥工业的中心课题仍是能源、资源和环境保护等。我们一定要依靠技术进步来加速发展水泥工业,要在现有的技术基础上,因地制宜地采用先进技术,减少能耗,提高质量,降低成本,改善环境,增加产量,不断提高经济效益。今后要进一步优化工厂布局,加速发展采用预分解窑的骨干企业,合理配置以机械立窑为中心的小型生产线,大力推进水泥工业的现代化。要以节能、提高效益为目的,有选择地对老厂进行技术改造;利用资源优势,扩大品种

生产,进一步提高社会效益;同时要更好地重视理论建设,加强基础研究和应用基础研究,有效开发人才。从而形成一个具有中国特色的现代化水泥工业体系,以低能耗、高质量的水泥,通过经济合理的流通渠道,保证工农业建设、国防建设和人民生活的需要。对此,我们这一代人负有重大的历史责任,我们必须奋发学习,努力工作,积极推动技术进步,才能为加速实现水泥工业和水泥科学技术的现代化作出更大贡献。

第二章 硅酸盐水泥的生产

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。在国外,硅酸盐水泥常统称为波特兰水泥。根据我国国家标准 GB 175—85 的规定,硅酸盐水泥则专指一种不掺任何混合材料的水泥品种。如掺有少量混合材料,即称为普通硅酸盐水泥;如掺加混合材料达一定数量时,则在前面冠以混合材料的名称,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。上述五个品种,即是我国当前最为常用的所谓“五大品种”水泥。当熟料成分虽仍以硅酸钙为主,但适当调整熟料矿物组成、石膏掺入量、水泥粉磨细度或掺入少量某些外加剂,使水泥具有某种特殊性质或特种用途时,则在名称前冠以特殊性质或用途,如低热硅酸盐水泥、抗硫酸盐硅酸盐水泥、白色硅酸盐水泥等等。本章主要介绍硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的技术标准以及生产硅酸盐水泥的基本方法。

第一节 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的标准

一、国家标准

(一) 定义(根据国家标准 GB 175—85 的定义)

1. 硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为硅酸盐水泥。

2. 普通硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料、少量混合材料、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)。水泥中混合材料掺量按质量百分比计:

掺活性混合材料时,不得超过 15%,其中允许用不超过 5%的窑灰或不超过 10%的非活性混合材料来代替。

掺非活性混合材料时,不得超过 10%。

3. 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《用于水泥中的石膏和硬石膏》的规定。工业副产品石膏,即工业生产中以硫酸钙为主要成分的副产品。采用工业副产品石膏时,必须经过试验,证明对水泥性能无害。

(3) 活性混合材料:系指具有火山灰性或潜在水硬性的混合材料。如粒化高炉矿渣、火山灰质混合材料以及粉煤灰等,其品质要求必须分别符合 GB 203—78、GB 2847—81 和 GB 1596—79 的要求。

(4) 非活性混合材料:系指活性指标不符合标准要求的潜在水硬性或火山灰性的混合材料以及砂岩和石灰石。采用石灰石时,其中的 Al_2O_3 含量不得超过 2.5%,以限制石灰石中的