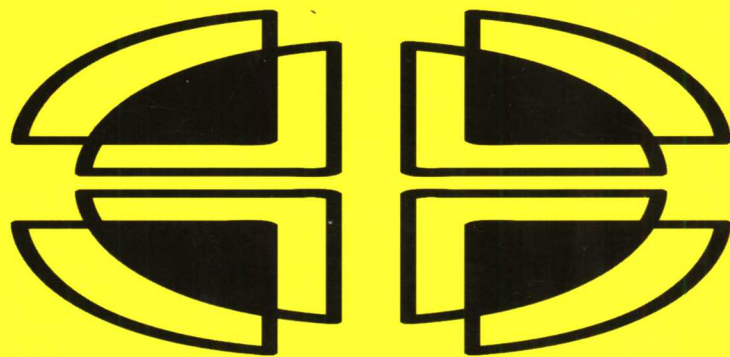


SHUINI GONGYI XUE

水泥工艺学

李坚利 主编

武汉理工大学出版社



中等专业学校试用教材

水 泥 工 艺 学

李坚利 主 编
冯正良 副主编

武汉理工大学出版社
· 武 汉 ·

【内 容 简 介】

本书全面系统地阐述了各类水泥的生产方法、矿物组成、水泥原料、生料制备、熟料煅烧、水泥制成、质量控制与管理的基本知识与技能,同时也简要介绍了水泥水化基本理论、水泥性能和水泥应用知识。本书立足我国水泥工业的特点,反映了国内外水泥工业的最新发展动向,体现了水泥工艺进展、品种开发、新技术应用及水泥标准等方面的最新成就,理论密切联系生产实际,内容丰富,翔实可靠,实用性强。

本书系全国建材中专教学指导委员会审定的硅酸盐工艺专业教材,也可供从事水泥专业的广大工程技术人员、管理人员、技术工人阅读和参考,并可作为有关培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

水泥工艺学/李坚利主编. - 武汉:武汉理工大学出版社,1999.1
ISBN 7-5629-1449-4

I. 水…

II. 李…

III. 水泥-生产工艺

IV. TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 03368 号

武汉理工大学出版社出版发行
(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编:430070)

各地新华书店经销

湖北京山德新印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:24.25 字数:620.8千字

1999年1月第1版 2005年12月第5次印刷

印数:11501—14500 定价:25.00元

前 言

本书系根据1997年7月在秦皇岛召开的全国建材中专第三轮教材修订会议精神及全国建材中专教学指导委员会审定的《水泥工艺学》教材编写大纲编写而成。

本书是在原中等专业学校试用教材《水泥工艺学》(1991年版)的基础上,根据使用情况,结合国内外水泥工业的发展形势,按照新形势下中专的培养目标、要求,在广泛征求、总结教学与生产实践经验的基础上重新编写的。本教材立足于我国水泥工业技术现状及发展趋势,突出中专教材实践性、应用性的职业性特点,尽可能反映水泥最新工艺、技术、标准、典型经验,力求在先进性、科学性、实用性诸方面有所充实和反映,以期对水泥生产和管理有一定的指导作用。全书以水泥生产工艺过程和应用为主线进行编排;在水泥品种方面则按硅酸盐水泥系列产品、铝酸盐水泥系列产品、其他特种水泥系列进行介绍。书中详细介绍了硅酸盐水泥及制备通用水泥的硅酸盐水泥熟料的生产方法、矿物组成、主要原料、生料制备、熟料煅烧、水泥制成、质量控制与管理的基本知识和技能,同时也简要介绍了通用水泥之外的其他多品种水泥及水泥的水化硬化、水泥性能、水泥应用的知识;书后还附有有关水泥标准、技术管理规程、法规等,以便在学习和工作中查阅。

本书由江西省建材工业学校李坚利担任主编。湖南省建材工业学校冯正良担任副主编,山东省建材工业学校吴广芬、湖北省建材工业学校王末英、湖南省建材工业学校赵偶参编。绪论、第一至五章、附录由李坚利编写;第六、八、九章由冯正良编写;第七章由赵偶编写;第十章由李坚利、吴广芬编写;第十一章由吴广芬编写;第十二、十三章由王末英编写。全书由李坚利修改整理后定稿。

该书由全国建材中专教学指导委员会硅酸盐专业组组长、长春建材工业学校殷维君主审。参加审稿的还有山东省建材工业学校陶维忠、聂惠英,四川建材工业学校肖争鸣。在编写过程中,得到了殷维君主审的精心审阅与指导,同时还得到了中国建筑材料科学研究院童三多、南京化工大学吴承楨的大力支持与帮助,特此表示衷心感谢。

限于编者的水平和条件,书中难免有疏漏、不当甚至是错误之处,恳请广大师生和读者提出宝贵意见,以便订正。

编者

1998年8月

目 录

绪 论	(1)
第一章 水泥生产概述	(6)
第一节 水泥的分类及命名	(6)
第二节 硅酸盐水泥生产基本技术要求	(7)
第三节 硅酸盐水泥的生产方法简介	(12)
第四节 硅酸盐水泥生产工艺流程	(14)
思考题及习题	(17)
第二章 硅酸盐水泥熟料组成	(19)
第一节 熟料的组成	(19)
第二节 熟料矿物特性	(21)
第三节 熟料的率值	(26)
第四节 熟料矿物组成的计算与换算	(28)
思考题及习题	(31)
第三章 硅酸盐水泥的原料及其准备	(33)
第一节 石灰质原料	(33)
第二节 粘土质原料	(36)
第三节 校正原料	(40)
第四节 低品位原料和工业废渣的利用	(41)
第五节 原料的开采与运输	(44)
第六节 原料的破碎与烘干	(46)
第七节 原燃料的预均化	(51)
思考题及习题	(59)
第四章 硅酸盐水泥配料及生料制备	(60)
第一节 生料及配料的基本概念	(60)
第二节 配料方案的选择	(63)
第三节 配料计算	(65)
第四节 配料工艺	(82)
第五节 生料粉磨	(90)
第六节 生料的均化	(97)
思考题及习题	(108)
第五章 硅酸盐水泥熟料的煅烧	(110)
第一节 生料在煅烧过程中的物理化学变化	(110)
第二节 熟料形成的热化学	(120)
第三节 矿化剂、晶种对熟料煅烧和质量的影响	(122)

第四节	挥发性组分及其他微量元素的作用	(129)
第五节	水泥熟料的煅烧方法及设备	(132)
第六节	水泥熟料煅烧技术的发展	(146)
第七节	熟料煅烧工艺技术的改造	(153)
	思考题及习题	(158)
第六章	硅酸盐水泥的制成	(160)
第一节	水泥粉磨	(160)
第二节	水泥储存与发运	(163)
	思考题及习题	(166)
第七章	水泥生产的质量控制与管理	(167)
第一节	概述	(167)
第二节	原燃材料的质量控制与管理	(169)
第三节	生料的质量控制	(173)
第四节	熟料的质量控制	(178)
第五节	水泥制成质量控制	(182)
第六节	出厂水泥质量管理	(183)
第七节	生产过程质量控制图表	(187)
第八节	质量统计与质量事故分析	(194)
第九节	生产控制自动化	(198)
	思考题及习题	(199)
第八章	硅酸盐水泥的水化和硬化	(200)
第一节	熟料矿物的水化	(200)
第二节	硅酸盐水泥的水化	(207)
第三节	硬化的水泥浆体	(214)
	思考题及习题	(221)
第九章	硅酸盐水泥的性能	(222)
第一节	凝结时间	(222)
第二节	强度	(227)
第三节	体积变化与水化热	(230)
第四节	硅酸盐水泥的耐久性	(234)
	思考题及习题	(243)
第十章	其他通用水泥	(244)
第一节	混合材料的种类及质量要求	(244)
第二节	普通硅酸盐水泥	(253)
第三节	矿渣硅酸盐水泥	(256)
第四节	火山灰质硅酸盐水泥	(262)
第五节	粉煤灰硅酸盐水泥	(265)
第六节	复合硅酸盐水泥	(271)
第七节	石灰石硅酸盐水泥	(276)

思考题及习题.....	(278)
第十一章 铝酸盐水泥	(279)
第一节 高铝水泥的组成.....	(279)
第二节 高铝水泥的生产工艺特点.....	(281)
第三节 高铝水泥的水化和硬化.....	(285)
第四节 高铝水泥的性质和应用.....	(287)
第五节 高铝水泥—65	(290)
第六节 快硬高强铝酸盐水泥.....	(291)
第七节 特快硬调凝铝酸盐水泥.....	(292)
第八节 其他铝酸盐水泥.....	(293)
思考题及习题.....	(294)
第十二章 特种水泥	(295)
第一节 概述.....	(295)
第二节 快硬高强水泥.....	(297)
第三节 抗硫酸盐水泥.....	(304)
第四节 中热硅酸盐水泥和低热矿渣硅酸盐水泥.....	(306)
第五节 油井水泥.....	(308)
第六节 装饰水泥.....	(312)
第七节 膨胀和自应力水泥.....	(317)
第八节 道路水泥.....	(324)
第九节 其他特种水泥.....	(327)
思考题及习题.....	(335)
第十三章 水泥的应用	(337)
第一节 混凝土.....	(337)
第二节 新型混凝土.....	(348)
第三节 水泥的其他应用.....	(353)
思考题及习题.....	(354)
附 录	(355)
附录一:水泥企业质量管理规程	(355)
附录二:JC/T452—1997 通用水泥质量等级	(366)
附录三:水泥工业技术经济指标	(368)
参考文献	(379)

绪 论

一、水泥的起源与发明

从广义而言,水泥泛指一切能够硬化的无机胶凝材料;而狭义的水泥则专指现代水泥,即具有水硬性的胶凝材料。水泥起源于胶凝材料,是在胶凝材料的发展过程中逐渐演进和发明的。

(一) 胶凝材料的发展及演变

所谓胶凝材料,即胶结料。它是指在物理、化学作用下,能从浆体变成坚固石状体,并能胶结其他物料而具有一定机械强度的物质。胶凝材料可分为有机和无机胶凝材料两大类,沥青和各种树脂属于有机胶凝材料;无机胶凝材料按硬化条件又分为水硬性和非水硬性两种。非水硬性胶凝材料拌水后只能在空气中硬化而不能在水中硬化,如石灰、石膏等;而水硬性胶凝材料拌水后既能在空气中硬化又能在水中硬化。

胶凝材料的发展史,可追溯到人类史前时期。它先后经历了天然产出的粘土、石膏-石灰、石灰-火山灰及人工配料制得水硬性胶凝材料等各个阶段。

远在新石器时代,人类为了生存便开始在地面挖穴建室居住。人们利用粘土和水后具有塑性、干硬后有一定强度的胶凝性来抹砌简易的建筑物,有时还在粘土浆中拌以稻草、壳皮等植物纤维,起到加筋增强的作用,至今在个别落后地区仍然广泛使用着粘土的这一性能。粘土可以看作是最原始的、天然产出的胶凝材料。但未经高温煅烧的粘土不耐水且强度低。

随着火的发现,石膏、石灰石及石灰、火山灰开始为人们所利用。原始人类利用石灰石块或石膏块堆砌炉灶,火将部分石块脱酸或脱水,雨水使之胶结,“火的功能,水的启示”使人们发现了它的胶凝性。大约在公元前 2000~3000 年,人们便开始用经过煅烧所得的石膏或石灰来调制砌筑砂浆,例如我国著名的万里长城、古埃及的金字塔等许多宏伟建筑都是用石灰、石膏作为胶凝材料砌筑而成的。这个时期可称为胶凝材料发展史上的石膏-石灰时期。

到公元初,古希腊和罗马人注意到在石灰砂浆中掺加某些火山灰沉积物,不仅强度高,而且还具有一定的抗水性。古罗马的“庞贝”城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。在我国古代建筑中所大量应用的石灰、黄土、细砂组成的“三合土”实际上也是一种石灰—火山灰材料。随着陶瓷生产的发展,人们开始用废陶器、碎砖等代替天然火山灰磨细后与石灰混合制成具有水硬性的胶凝材料。这个时期可称为胶凝材料发展史上的石灰—火山灰时期。

水硬性石灰和天然水泥的发现为水泥的发明奠定了基础。1756 年,英国人 J. Smeteton 为了建造伦敦港口的灯塔需要找到一种水硬性更好的建筑材料,他通过大量试验研究,发现掺有粘土的石灰石经过煅烧后获得的石灰具有水硬性, J. Smeteton 第一次发现了粘土的作用,制成了“水硬性石灰”,从而打破了过去一直认为只有最纯的石灰石才能烧制最好的石灰的传统观念。在此之后又出现了罗马水泥,随后又发展到用天然水泥岩(粘土含量 20%~25%左右的石灰石)煅烧、磨细制成天然水泥。但是理想的天然水泥岩产出并不多。随着生产技术的进步,人们逐渐认识到把粘土和石灰石按某一配比固定下来,可以获得性能良好的水泥,因而开始进

行人工配料,这是水泥发展史上又一重要进步,实际上可以看成是现代意义上水泥制造的雏型。

(二) 水泥的发明

19世纪初(1810~1824年),用人工配合粘土与石灰石经煅烧、磨细以制造水硬性胶凝材料已经开始组织生产。1824年,英国人阿斯普丁(J. Aspdin)将粘土与石灰石配合烧制成块(熟料),再经磨细而成水硬性胶凝材料,加水拌和后能硬化制成人工石,并具有较高强度,其外观与当时建筑上常用的英国波特兰岛上出产的岩石相似,故称之为“波特兰水泥”(Portland Cement),并于1824年10月21日首先获得该产品的专利权。

波特兰水泥不同于它之前出现的其他水泥,是因为它是一种合成的工业产品,因而有可能为它制定质量标准,使建筑工程师可以大胆地使用这种材料于各种重要工程,从而能大规模生产,形成现代水泥工业。波特兰水泥生产有两大特征:一是人工配料,严格控制化学成分在一定范围内;二是煅烧温度必须达到烧结温度以便在煅烧过程中形成一定量的液相。波特兰水泥中的主要矿物是硅酸盐化合物,因而在我国称这种水泥为硅酸盐水泥,简称水泥。

水泥的发明与发展,才形成了现代水泥工业。通常,以1824年J. Aspdin取得波特兰水泥名称专利作为水泥诞生的标志,至今已有170多年的历史了。

二、世界水泥工业简史及发展趋势

自1824年水泥诞生并实际应用以来,水泥工业历经多次变革,工艺和设备不断改进,品种和产量不断扩大,管理与质量不断提高。人类最早是利用间歇式土窑(后发展成土立窑)煅烧水泥熟料,首批水泥大规模使用的实例是1825~1843年修建的泰晤士河隧道工程。1877年回转窑烧制水泥熟料获得专利权,继而出现了单筒冷却机、立式磨以及单仓钢球磨等,从而有效地提高了水泥产量和质量。1905年湿法回转窑出现;1910年土立窑得到了改进,实现了立窑机械化连续生产;1928年德国的立列波博士和波利休斯公司在对立窑、回转窑的综合分析研究后创造了带回转炉篦子的回转窑,为了纪念发明者与创造公司,取名为“立波尔窑”。1950年悬浮预热器窑的发明与应用使熟料热耗大幅度降低,与此同时,熟料的冷却设备也有了很大的发展,其他的水泥制造设备也不断更新换代。60年代初,日本将德国的悬浮预热器窑技术引进后,于1971年开发了水泥窑外分解技术,从而揭开了现代水泥工业的新篇章,并且很快地在世界范围内出现了各具特点的预分解窑,形成了新型干法水泥生产技术。随着原料预均化、生料均化、高功能破碎与粉磨、环境保护技术和X射线荧光分析等在线检测方法的配套发展、逐步完善,加上电子计算机和自动化控制仪表等技术的广泛应用,使新型干法水泥生产的熟料质量明显提高,能耗明显下降,生产规模不断扩大。新型干法水泥生产工艺正在逐步取代湿法、老式干法和立窑等生产工艺。

1997年世界水泥产量已突破15亿t。有资料预测到2010年世界水泥总消耗量将突破17亿t。当今世界水泥工业发展的总体趋势是向新型干法水泥生产技术发展,并具有如下特征:

(一) 水泥装备大型化

新型干法水泥生产技术提供了提高水泥设备的单机能力和功能的可能性,而追求高效率、高性能、低成本促进了水泥生产装备大型化的进程。当前国际上已出现了10 000 t/d的水泥熟料烧成系统,用于生料粉磨的600 t/h辊式磨已经问世,水泥企业的规模为年产数百万吨,甚至高达1 000万t。

(二) 生产工艺节能化

现代辊式磨、辊压机和辊筒磨三种新型挤压粉磨装置显示了巨大的节能潜力,显示了比传统的磨机实现概率破碎的粉磨技术更大的优越性。在生料粉磨中采用带磨外循环的辊式磨已成为首选方案,在水泥粉磨工艺中采用料间挤压粉磨设备逐步取代直到完全取代球磨机已经成为一种必然的趋势,而与之配套的各种高效节能的新型选粉机使生产效率提高,系统电耗进一步降低。采用6级旋风预热器系统和改进型分解炉、新型多通道燃烧器及第三代篦式冷却机实现高效冷却并高效热回收,熟料热耗可降至3 000 kJ/(kg 熟料)以下,热效率提高60%左右。

(三) 操作管理自动化

由于计算机控制技术、通讯技术和图形显示技术的飞速发展,DCS这种分散控制、集中管理的集散型控制系统已经在世界水泥工业中得到广泛应用。管理信息系统(MIS)作为全厂的生产、财务、营销、节资、备品备件、预检修计划制订与实施的管理并把DCS作为生产子系统纳入其中,从而形成自下而上的过程控制层、系统监控层、调度协调层、计划管理层和经营决策层。操作管理的自动化使操作控制方便、管理科学化,具有无可比拟的优越性。

(四) 环保措施生态化

当前,世界水泥工业的环保工作已开始从被动治理转向主动治理。各种运行可靠,收尘效率在99.9%以上的电收尘器和袋式收尘器及其辅助设备已普遍采用,工业发达国家对废气粉尘的排放标准已控制到 $50\sim 30\text{ mg/Nm}^3$ 以下,并全面控制高温废气中的 SO_2 、 CO 、 NO_x 等气体含量以保护生态环境免受污染,新建水泥厂的粉尘和有害物的排放均能满足零污染的标准,零污染、无公害、利用水泥工业自身大量处理利用其他工业的废料、废渣的“绿色型”水泥工业已初具雏型。可以展望,水泥工业也将从仅为人类提供低价、高性能的建筑材料发展和过渡到对生态环境友好的工业之一。

三、中国的水泥工业概况

我国水泥工业自1889年创立工厂迄今已有100多年的历史。在这期间,水泥工业先后经历了萌芽与早期发展阶段、衰落时间、大发展时期及结构调整等阶段,谱写了中国水泥工业漫长、曲折和多彩的历史。

第一个水泥厂——唐山细棉土厂(后改组为启新洋灰公司,现为启新水泥厂)1889年建于河北省唐山,并于1892年建成投产。之后,又相继建成了大连、上海、中国、广州等水泥厂,并根据英文Cement的音译将这些工厂的产品称之为“细棉土”,或者称之为“土敏土”、“水门汀”及“洋灰”,20世纪30年代初根据其和水后成泥状物的特性改称为“水泥”并沿用至今。自1889年至1937年的近50年间,我国水泥工业发展极其缓慢,最高水泥年产量仅114.4万t。这是我国水泥工业的萌芽及早期发展阶段。

抗日战争时期,先后建设了哈尔滨、本溪、小屯、抚顺、锦西、牡丹江、工源、琉璃河及重庆、辰溪、嘉华、昆明、贵阳、泰和等水泥厂,解放前夕投产了华新、江南水泥厂。这些厂大多数是外国人一手操办的,设备来自国外,没有完整的建设水泥工业的机制,因连年战乱,许多水泥厂难于持续生产,水泥工业处于衰落期。1949年全国解放时,水泥年总产量仅66万t,占当时总生产能力的16.3%。全国水泥工业处于奄奄一息的境地。

1949年新中国成立后,水泥工业迅速发展。50年代中期,我国就开始试制湿法回转窑和半

干法立波尔窑生产线成套设备,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预热器窑的试验,先后新建、扩建了32个重点大中型的湿法或半干法立波尔窑生产企业,同期立窑小型水泥企业蓬勃发展。在70~80年代,我国自行开发日产700 t、1 000 t、1 200 t、2 000 t熟料的预分解窑生产线分别在新疆、江苏邳县、上海川沙、辽宁本溪和江西水泥厂投产;从1978年起,相继从国外引进了一批2 000~4 000 t熟料的预分解窑生产线成套设备,建成了冀东、宁国、柳州、云浮等大型厂,不仅改善了水泥生产结构,而且在我国工厂设计、管理与设备改造等方面提供了很好的借鉴,迅速提高了我国新型干法技术水平。至1997年,预分解窑生产线达109条,总设计能力6 000万t。这期间,还开发了一批低投资的提高型日产300~600 t熟料的生产线用于湿法厂和立窑厂改造。与此同时,我国的水泥品种已由建国初期的3~4个发展到现在的近80个品种,其中特种水泥就有70多个,经常生产的品种有30个左右。水泥科技工作者结合中国经济建设各方面的需要,在水泥及制品的研究开发中取得许多独具特色的重要成果。在煨烧、粉磨、熟料形成、水泥新矿物系列、水泥硬化、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。值得注意的是,我国立窑小型企业在经过50年代末和70年代两个发展高潮后,进入80年代以来,以投资省、建设快而适应中国的特定条件蓬勃发展起来。从此,中国水泥工业开始走上一条独特的发展道路,其最大特色就是产品的80%是由立窑为主的小型水泥厂生产的。改革开放以来,中国水泥生产年平均增长12.4%,1985年水泥产量跃居世界第一,并连续12年位居首位,水泥产量占世界水泥总产量的三分之一。1997年水泥总产量达5亿t,其中地方水泥占80%。生产厂家多达8 600余家。

我国已经成为名副其实的水泥生产大国,但总体水平不高,不是水泥强国。这主要表现在一是水泥工业的快速发展主要依靠以立窑生产技术为主的小型水泥生产线来实现,地方水泥工业的发展在我国水泥工业的发展中占有绝对重要的地位。但以立窑为主的地方水泥企业由于技术改造投入不足和管理上的问题以及立窑自身固有的特点,仍然存在着能源消耗高、粉尘和废气污染严重,产品质量不稳定、劳动生产率低等问题以及企业规模小形不成规模经济。二是技术进步步伐加快,但总体技术水平与世界先进水平差距较大。新型干法生产技术装备的科研、开发虽然取得了长足的进步和发展,但无论是在设备的大型化方面,还是在技术性能,特别是能耗指标以及机电一体化水平、设备的材质和结构、成套性、可靠性方面都有明显的差距。三是产业结构不合理。大中型企业数量少;高标号水泥产量比例低;生产工艺线数量多而企业规模普遍较小;职工队伍大,而技术队伍力量不足,人才缺乏。

我国水泥工业正面临调整产业结构,实现“由大变强”跨世纪战略目标的艰巨任务。我们要以改造扩建为主,大力发展新型干法水泥生产技术和具有经济规模的大中型水泥项目,对以立窑为主的地方工业实行“限制、淘汰、改造、提高”的方针,逐步减小立窑水泥的比重,增大新型干法水泥窑比重,到2010年使回转窑水泥比重达到50%左右。我们相信,靠科学技术和提高劳动者素质的增长时代已经到来;过去靠人海战术、简单劳动、高能源、高污染的增长方式已不可取;上质量、上规模、上档次、上水平,与国际先进水平接轨,走可持续发展的道路,已越来越取得全行业的共识。一个全新的增长方式、发展模式,面向21世纪的中国水泥工业正在起步。

四、水泥在国民经济中的地位和作用

水泥是重要的建筑和工程材料。水泥无论是在砂浆中或是在混凝土中,都只是质量较少的

一部分,但它起胶结作用,能将砂、石胶结在一起,形成人造石;且能在空气中和水中硬化,长期保持很高的强度,因而它广泛应用于工业建筑、民用建筑、交通、水利、农林、国防、海港、城乡建筑和宇航工业、核工业以及其他新型工业的建设等领域,它应用面广,使用量大,是国家建设和人民生活中不可缺少的重要材料。

水泥代替钢材、木材等的趋势有增无减。生产水泥虽然消耗较多能源,但水泥与砂、石等集料制成的混凝土则是一种低能耗型建筑材料。每吨混凝土消耗的能量仅为红砖的 $1/6$,钢材的 $1/20$,铝材的 $1/170$ 。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。其耐久性好,维修工作量大,在代钢、代木方面,越来越显出技术经济上的优越性。

水泥使各种特殊功能的建筑物和构筑物的出现成为现实。水泥与钢筋、砂、石等材料制成的钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土远远超过钢筋或混凝土各自的性能,它坚固耐久,适应性强。它们的应用,才使高层建筑、超高层建筑、大跨度桥梁及建(构)筑物、巨型水坝、美丽多姿的公路、立交桥等特殊功能的建筑物、构筑物的出现成为可能,它对人们的日常生活和人类的文明产生了积极的影响。

水泥的应用已遍及到工业和民用的各个方面并发挥了重要的作用,水泥工业是国民经济中不可忽视的一个产业。随着现代科学技术的发展,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,应用领域也必将有新的开拓,从而使其在国民经济中起到更为重要的作用。

五、学习《水泥工艺学》的任务及方法

随着水泥应用领域越来越广阔,对水泥质量的要求也越来越高,而水泥生产技术不断进步,世界范围内水泥市场竞争也日趋激烈。因此,因地制宜采用先进技术,提高水泥质量,调整产品结构,改善环境,发展经济规模、降低生产成本,不断提高经济效益和社会效益已成为我国水泥工业的中心任务。作为中等专业技术人员来说,系统地了解水泥生产的基本原理和生产过程,熟练掌握原材料的选择与加工准备、配料工艺、生料制备、熟料煅烧、水泥制成等工艺技术和质量控制、管理,熟悉多品种水泥及水泥的水化硬化、性能、应用的基本知识,从而具备从事水泥生产工艺技术、生产管理、技术改造、生产适销对路产品的基本技能和正确分析问题解决生产中遇到的工艺问题是极为必要的,这也是本教材要讨论的主要内容和我们学习本课程的主要目的和任务。

学习《水泥工艺学》应建立在《物理化学及硅酸盐物理化学》、《硅酸盐岩相分析》、《硅酸盐热工基础》等课程基础上,同时应注意与《水泥工业热工设备及热工测量》、《水泥工业粉磨工艺及设备》、《水泥厂工艺设计概论》等课程的衔接与分工。对相关课程中已涉及到内容侧重于工艺技术与过程控制方面进行学习,既注意知识点的广度也力求突出工艺特点。

《水泥工艺学》是一门与生产实践密切相关的专业课程。学习中力求教学与生产实践相结合,密切联系本地及国内生产实际;既注重水泥工业生产现状,更要面向水泥工业的技术进步;强化水泥生产与应用,突出基本工艺技能与生产控制能力的培养。勤于思考,善于分析,勇于探索,及时归纳综合所学知识,全面准确掌握水泥工艺技术。

第一章 水泥生产概述

第一节 水泥的分类及命名

一、水泥的定义

所谓水泥,是指加水拌和成塑性浆体后,能胶结砂、石等适当材料并能在空气中硬化的粉状水硬性胶凝材料。它是各种类型水泥的总称。简言之,水泥是一种水硬性胶凝材料。

水泥作为一种水硬性胶凝材料,100多年来广泛地应用在社会生活的各个方面。水泥的共同特征是:它是经过粉磨后具有一定细度的粉末状;加入适量水后可成塑状浆体;它既能在水中硬化,也能在空气中硬化形成人造石;水泥浆牢固地胶结砂、石、钢筋等集料使之成为整体并产生强度。但由于水泥的种类不同,结构组分有别,因而各种水泥又具有自身独特的一些性能。

二、水泥的种类

水泥的种类繁多,至今为止已有100多种水泥问世,而且各种新型水泥仍在不断地开发应用之中。我国通常按以下几种方法对水泥进行分类。

(一) 按水泥的用途及性能分

可将水泥分成三大类:通用水泥、专用水泥、特性水泥。

1. 通用水泥

一般土木建筑工程通常采用的水泥。如硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥、石灰石硅酸盐水泥七大品种。

2. 专用水泥

专门用途的水泥。如油井水泥、道路水泥、砌筑水泥等。

3. 特性水泥

某种性能比较突出的水泥。如快硬硅酸盐水泥、自应力铝酸盐水泥、抗硫酸盐硅酸盐水泥、白色硅酸盐水泥等。

通常情况下,常常把专用水泥、特性水泥合称为特种水泥。

(二) 按水泥的组成分类

1. 硅酸盐水泥系列(通常简称为硅酸盐水泥)

磨制水泥的熟料以硅酸盐矿物为主要成分。如通用水泥及大部分专用水泥、特性水泥都属于硅酸盐水泥系列。

2. 铝酸盐水泥系列

该系列水泥的特征是熟料矿物以铝酸钙为主,主要包括铝酸盐膨胀水泥、铝酸盐自应力水泥和铝酸盐耐火水泥等。

3. 氟铝酸盐水泥系列

如快凝快硬氟铝酸盐水泥、型砂水泥、锚固水泥等。

4. 硫铝酸盐水泥系列

如快硬硫铝酸盐水泥、高强硫铝酸盐水泥、膨胀硫铝酸盐水泥,自应力硫铝酸盐水泥、低碱硫铝酸盐水泥等。

5. 铁铝酸盐水泥系列

如快硬铁铝酸盐水泥、高强铁铝酸盐水泥、膨胀铁铝酸盐水泥、自应力铁铝酸盐水泥等。

6. 其他

如耐酸水泥、氧化镁水泥、生态水泥、少熟料和无熟料水泥等。

二、水泥的命名

水泥命名时,按不同类别分别以水泥的主要水硬性矿物、混合材、用途和主要特性进行命名,当名称过长时,允许有简称。

通用水泥以水泥的主要水硬性矿物名称冠以混合材料名称或其他适当名称来命名。通用水泥的主要水硬性矿物为硅酸盐,由于掺加混合材料的不同而有不同的名称,如不掺或仅掺少许混合材料($<5\%$)的水泥称硅酸盐水泥(相当于国外波特兰水泥);掺有较多矿渣作混合材的水泥称矿渣硅酸盐水泥;对掺有 $10\% \sim 35\%$ 的石灰石作混合材的水泥称石灰石硅酸盐水泥等。

专用水泥按其专门用途命名。所谓专用,是指特定的单一用途,在此特定用途范围内,水泥能充分发挥其特性,取得最佳使用效果。某些情况下,还在其名称前冠以不同型号。如石油开采时用作不同井深条件下的固井水泥分别称A级油井水泥、B级油井水泥等;用于修建道路的水泥称道路硅酸盐水泥,简称道路水泥。

特性水泥以水泥的主要特性命名。它不是专用的,在需要和规定的特性范围内均可使用。如快硬硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、膨胀硫铝酸盐水泥等。

以火山灰性或潜在水硬性材料以及其他活性材料为主要组分的水泥是以主要组分的名称冠以活性材料的名称进行命名,也可以再冠以特性名称。如石膏矿渣水泥、石灰火山灰水泥等。

目前我国经常生产的水泥品种约30个,但最主要的品种仍然是各种硅酸盐水泥,它的产量占全国水泥总产量的 98% 以上,为此,硅酸盐水泥系列产品尤其是硅酸盐水泥将作为本书讨论的主要对象。

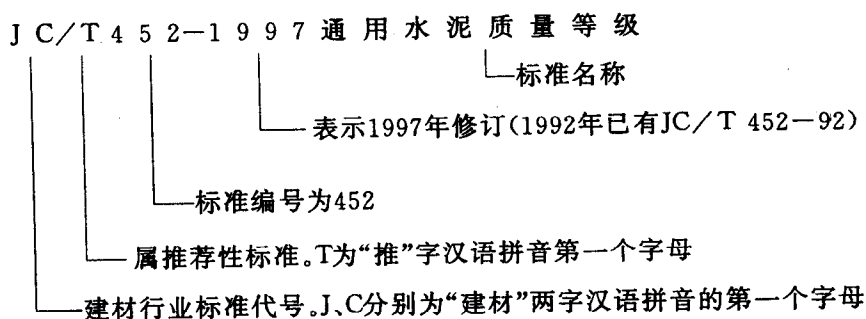
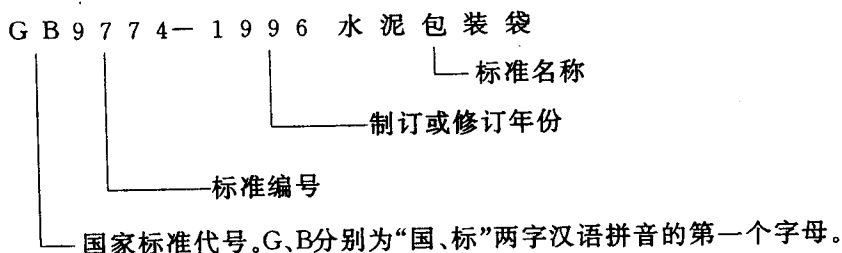
第二节 硅酸盐水泥生产基本技术要求

一、水泥标准

水泥的标准不仅对指导水泥生产、控制质量、加强管理和提高企业经济效益起重要作用,而且是质检机构、科研设计、建设施工等部门监督检查产品质量、保证工程质量的重要技术依据。在我国,1952年采用日本的强度试验方法和前苏联标准的水泥标号,第一次统一了水泥标准;1956年又以前苏联水泥标准为蓝本制订了全国统一的水泥标准和检验方法标准。后几经修订、完善,通过40多年的发展,水泥标准已形成了中国的特点,水泥标准的数量已发展到100多个,标准的质量与水平也明显提高并逐步与国际先进指标接轨。

在我国的100多个水泥专业标准中,既有强制性的国家标准(代号GB)、建材行业标准(代

号 JC,1990 年前也曾用 ZBQ),也有推荐性的国家标准(GB/T)、建材行业标准(JC/T)。国家标准和行业标准标准号表示方法及意义如下:



当生产的水泥新品种没有国家标准和行业标准时,可制订企业标准作为组织生产的依据,并报当地政府标准化行政主管部门和有关行政主管部门备案。已有国家标准或者行业标准的,国家鼓励企业制定严于国家标准或行业标准的企业标准在企业内部实施。

近年来,国际标准化组织(英文名称的缩写 ISO)制订颁布了一系列标准,采用 ISO 标准体系的国家和地区已超过半数,欧洲标准化组织(CEN)制订颁布了欧洲通用水泥标准,ENV197-1-92 并在 18 个成员国中实施。随着世界经济格局的变化,经济走向一体化的发展,世界水泥标准逐步实现统一是必然发展方向。为此,我国水泥标准将逐步与国际标准接轨,因而水泥标准的修订工作还将不断进行着。

目前,我国现行的硅酸盐水泥标准是 1992 年修订的,于 1993 年 6 月 1 日正式在全国实施,标准化代号为 GB175-92。

二、硅酸盐水泥的定义与代号(根据 GB175-92 定义)

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,用代号 P. I 表示;在硅酸盐水泥粉磨时掺入不超过水泥质量 5% 的石灰石或粒化高炉矿渣混合材料的称 II 型硅酸盐水泥,用代号 P. II 表示。其中 P 为波特兰“Portland”的英文字首。

三、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烧结物,称为硅酸盐水泥

熟料,简称熟料。熟料是各种硅酸盐水泥的主要组分材料,其质量的好坏直接影响到水泥产品的性能与质量优劣。在硅酸盐水泥生产中熟料属于半成品。

(二) 混合材料

混合材料是指在粉磨水泥时与熟料、石膏一起加入磨内用以改善水泥性能、调节水泥标号、提高水泥产量的矿物质材料,如粒化高炉矿渣、石灰石等。

粒化高炉矿渣是高炉冶炼生铁所得以硅酸钙和铝酸钙为主要成分的熔融物经淬冷成粒后的产品。石灰石为水泥工业原料,在水泥中掺入少量石灰石可以起到混合材料的作用。

(三) 石膏

石膏是用作调节水泥的凝结时间的组分。可用天然的石膏也可以用工业副产石膏。

1. 天然石膏

(1) 石膏

以二水硫酸钙($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)为主要成分的天然矿石。

(2) 硬石膏

以无水硫酸钙(CaSO_4)为主要成分的天然矿石。采用天然石膏应符合 GB/T5483—1996《石膏与硬石膏》国家标准规定的技术要求。

2. 工业副产石膏

工业生产中以硅酸钙为主要成分的副产品,称工业副产石膏。采用工业副产石膏时,应经过试验证明对水泥性能无害。

四、硅酸盐水泥技术要求

技术要求即品质指标,是衡量水泥品质及保证水泥质量的重要依据。水泥质量可以通过化学指标和物理指标加以控制和评定。化学指标主要是控制水泥中有害物质的化学成分不超过一定限量,若超过了最大允许限量,即意味着对水泥性能和质量可能产生有害的或潜在有害影响;水泥的物理指标主要是保证水泥具有一定的物理力学性能,满足水泥使用要求,保证工程质量;水泥标号是根据水泥强度的高低来划分水泥产品质量的等级。

硅酸盐水泥技术指标主要有不溶物、烧失量、细度、凝结时间、安定性、氧化镁、三氧化硫、碱及强度指标 9 项。

(一) 水泥的化学和物理指标

硅酸盐水泥的化学物理指标及评定方法见表 1.1。

1. 不溶物与烧失量

不溶物是指水泥经酸和碱处理,不能被溶解的残留物。其主要成分是结晶 SiO_2 ,其次是 R_2O_3 ,它属于水泥中非活性组分之一。

水泥烧失量是指水泥在 $950\sim 1000\text{ }^\circ\text{C}$ 高温下燃烧失去的质量百分数。水泥中不溶物和烧失量指标主要是为了控制水泥制造过程中熟料煅烧质量以及限制某些组分材料的掺量。

2. 细度

细度即水泥的粗细程度。通常以比表面积或筛余数表示。水泥须有足够的细度,使用中才能具有良好的和易性、不泌水等施工性能、并具有一定的早期强度,满足施工进度要求。从水泥生产来说,水泥的粉磨细度直接影响水泥的能耗、质量、产量和成本,故实际生产中必须权衡利弊作出适当的控制。

表 1.1 硅酸盐水泥化学物理指标(依据 GB175-92)

序号	项 目	指 标		检验方法与依据
		P. I	P. II	
1	不溶物(%)	≤0.75	≤1.5	GB/T176-1996
2	烧失量(%)	≤3.0	≤3.5	GB/T176-1996
3	细度(比表面积)(m ² /kg)	≥300		GB8074
4	凝结时间(min)	初凝≥45 终凝≤390		GB1346
5	安定性	沸煮法检验	合 格	GB1346
		雷氏夹膨胀(mm)	≤5	GB1346
6	氧化镁(%)	≤5.0; 水泥压蒸安定性 检验合格可放宽到 6.0		GB176 或 GB750
7	三氧化硫(%)	≤3.5		GB176
8	碱(Na ₂ O+0.658Na ₂ O)(%)	≤0.6 或协商指标		GB176

3. 凝结时间

水泥凝结时间是水泥从和水开始到失去流动性,即从可塑性状态发展到固体状态所需要的时间,分初凝时间和终凝时间两种。初凝时间是指水泥加水拌和到标准稠度净浆开始失去塑性的时间;终凝时间是指水泥加水拌和起到标准稠度净浆完全失去塑性的时间。为保证水泥使用时砂浆或混凝土有充分时间进行搅拌、运输和砌筑,必须要求水泥有一定的初凝时间;当施工完毕又希望混凝土能较快硬化,较快脱模,因此,又要求水泥有不太长的终凝时间。加入适量的石膏可以调节水泥凝结时间并使其达到标准要求。

4. 安定性

水泥硬化后体积变化的均匀性称为水泥体积安定性,简称安定性。安定性是水泥质量指标中最重要的指标之一,它直接反应水泥质量的好坏。如果水泥中某些成分的化学反应发生在水泥硬化过程中甚至硬化后,致使剧烈而不均匀的体积变化(体积膨胀)足以使建筑物强度明显降低,甚至溃裂,即是水泥安定性不良。引起水泥安定性不良的原因有:熟料中游离氧化钙、方镁石过高及水泥中石膏掺加量过多。

(1) 游离氧化钙(*f*-CaO)

如果水泥中游离 CaO 含量达到一定程度时,将造成水泥混凝土体积膨胀而使结构破坏。因此,水泥标准对安定性有严格要求,一般均采用雷氏夹或试饼法、沸煮法检验,而不规定游离 CaO 含量指标。

(2) 氧化镁(MgO)

水泥中氧化镁含量过高时,由于其缓慢的水化和体积膨胀效应可使水泥硬化体结构破坏。但总结国内水泥生产使用实践,并经大量科研和调查证明水泥中 MgO 含量≤5.0%对水泥混凝土工程质量有保证,故标准中规定水泥中 MgO 的含量不得超过 5.0%。如果水泥中 MgO 含量超过 5.0%,有可能出现游离 MgO 含量过高和方镁石(结晶 MgO)晶体颗粒过大,将造成后期膨胀的潜在危害性,且游离 MgO 比游离 CaO 更难水化,沸煮法不能检定,因此,必须采用压蒸安定性试验进行检验。

(3) 三氧化硫(SO₃)