

现代水泥生产基本知识

王复生 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代水泥生产基本知识 /王复生编著. —北京 :中国
建材工业出版社, 2004.9

ISBN 7-80159-738-9

I. 现... II. 王... III. 水泥—生产工艺
IV. TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 097667 号

内 容 简 介

本书主要为水泥企业职工培训和建材技工学校教学而编写。本书系统地介绍了水泥材料和行业技术的发展,现代硅酸盐水泥的生产方法;硅酸盐水泥熟料的组成、原料和配料、生料制备、熟料烧成、水泥制成、生产控制、水泥性能;水泥水化机理、掺加混合材料的通用水泥、特种水泥的组成、性能和用途;对水泥原料和水泥物理性能的检验方法也作了介绍。

本书可作为企业职工培训和技工学校教材,水泥行业技术人员、管理人员的专业参考书,也可作为高等院校有关专业学生的参考教材。

现代水泥生产基本知识

王复生 编著

出版发行 中国建材工业出版社

地 址 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编 100044

经 销 全国各地新华书店

印 刷 北京鑫正大印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 14.5

字 数 354 千字

版 次 2004 年 10 月第 1 版

印 次 2004 年 10 月第 1 次

印 数 1~3000 册

书 号 ISBN 7-80159-738-9/TU·397

定 价 25.00 元

网上书店 :www.ecool100.com

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)88386904

前 言

水泥作为一种重要的建筑材料,由于其使用方便,强度、耐久性等性能优良,生产成本低,又具有同地球环境和大气圈亲和共融的生态产品属性,是人类现代物质文明建设的基础材料之一,而且仍然是21世纪主要的建筑材料之一。

自水泥诞生180年来,性能不断提高,品种不断增加,其生产工艺也经历了多次重大技术创新。20世纪中期后,以悬浮预热和预分解技术为核心,以原料预均化技术、干法生料均化技术、水泥高细粉磨和预粉磨技术、计算机技术的配合应用,使水泥生产设备和工艺得到了很大发展,使水泥生产全过程具有了高效、优质、低耗、符合环保要求和大型化、自动化的特征。同时,自1999年我国水泥胶砂强度检验方法采用ISO方法,取代原来的GB法以来,我国各种水泥的质量标准和有关性能的检测标准陆续进行了重大修改。

近年,随着国民经济的快速发展,水泥工业也迎来了新的发展时期。新型干法水泥生产线大量建设,水泥企业中新职工不断增加,技术培训工作繁重。我在参加水泥企业的职工技术培训中,发现缺少合适的水泥工艺学教材,以前通用的教材多是十多年前编写,由于水泥国家标准的更新和水泥生产技术的进步已显得不适用了,新的适用的教材尚未见到。为此,根据国家新的水泥标准更新、技术进步情况和教学实践,编写了本书,定名为《现代水泥生产基本知识》。本书系统地介绍了水泥材料及水泥生产技术的发展,硅酸盐水泥熟料的组成、原料、燃料、配料,硅酸盐水泥生料的制备、熟料的烧成、水泥的制成、生产过程的质量控制;同时对水泥的水化硬化机理、掺加混合材料的通用水泥、主要的特种水泥品种和水泥材料物理性能的检测技术也作了介绍。本书可作为企业职工培训和技工学校教材,水泥行业技术人员、管理人员的专业参考书,也可作为高等院校有关专业学生的参考教材。

在本书的编写中,收集和采用了已有的新标准。但目前有些特种水泥标准和水泥特性检测标准仍在修改中,已有的标准将来也会进一步修改,所以在学习和工作中应注意有关标准的修改情况,采用最新的标准。

由于编者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,望读者批评指正,以便在再版时加以修改。

编 者

2004年5月

目 录

第一章 水泥生产概述.....	1
第一节 胶凝材料与水泥生产技术发展概况.....	1
第二节 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的国家标准.....	4
第三节 其他通用硅酸盐水泥及性能.....	7
第四节 硅酸盐水泥的生产方法	10
第五节 硅酸盐水泥的生产工艺流程	11
第二章 硅酸盐水泥熟料的组成	13
第一节 硅酸盐水泥熟料的矿物组成	13
第二节 硅酸盐水泥熟料的化学成分	17
第三节 硅酸盐水泥熟料的率值	18
第四节 硅酸盐水泥熟料矿物组成的计算及换算	21
第三章 硅酸盐水泥的原料、燃料及配料.....	26
第一节 石灰质原料	26
第二节 硅铝质原料	28
第三节 校正原料、矿化剂及缓凝剂.....	30
第四节 工业废渣的利用	33
第五节 水泥工业用燃料	35
第六节 硅酸盐水泥的配料	38
第四章 原料采运、加工及生料制备.....	44
第一节 原料的采掘与运输	44
第二节 物料烘干	45
第三节 生料制备	51
第四节 原料预均化	57
第五节 生料的均化	66
第五章 硅酸盐水泥熟料的煅烧	73
第一节 硅酸盐水泥熟料的煅烧原理	73
第二节 回转窑内熟料的煅烧工艺	82
第三节 预分解窑的操作及工艺管理	91
第四节 机立窑内熟料的煅烧工艺	99
第六章 硅酸盐水泥制成.....	106
第一节 水泥制成的原料及粉磨要求.....	106
第二节 水泥粉磨工艺.....	111
第三节 水泥粉磨设备技术进展.....	113

第四节	工艺条件对粉磨效率的影响.....	116
第五节	水泥的包装与储运.....	119
第七章	硅酸盐水泥生产控制和物化性能.....	122
第一节	生产控制.....	122
第二节	水泥的物理性能.....	134
第八章	硅酸盐水泥的水化、硬化与侵蚀.....	139
第一节	熟料矿物和水泥的水化.....	139
第二节	水泥的水化速度.....	144
第三节	水泥的凝结.....	147
第四节	水泥的硬化.....	150
第五节	水泥的化学侵蚀.....	156
第九章	混合材料和掺加混合材料的通用水泥.....	162
第一节	粒化高炉矿渣.....	162
第二节	矿渣硅酸盐水泥.....	165
第三节	火山灰质混合材料.....	168
第四节	火山灰质硅酸盐水泥.....	170
第五节	粉煤灰和粉煤灰硅酸盐水泥.....	171
第六节	复合硅酸盐水泥.....	173
第十章	特种水泥.....	177
第一节	铝酸盐水泥.....	177
第二节	硫铝酸盐水泥.....	186
第三节	快硬高强硅酸盐水泥.....	188
第四节	膨胀水泥和自应力水泥.....	190
第五节	白色水泥和彩色水泥.....	193
第六节	抗硫酸盐硅酸盐水泥.....	195
第七节	中热水泥与低热水泥.....	196
第八节	油井水泥.....	197
第九节	砌筑水泥.....	201
第十节	道路水泥.....	202
第十一节	氟铝酸盐型快硬水泥.....	203
第十一章	水泥物料物理性能的测定.....	206
第一节	生料细度和水泥细度的测定.....	206
第二节	物料水分、容积密度、熟料升重测定.....	207
第三节	水泥标准稠度用水量、凝结时间测定.....	210
第四节	水泥安定性的检验.....	212
第五节	水泥比表面积测定(勃氏法).....	213
第六节	水泥胶砂强度的测定.....	218
第七节	水泥胶砂流动度的测定.....	221

第一章 水泥生产概述

第一节 胶凝材料与水泥生产技术发展概况

一、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。胶凝材料按材料成分分为无机和有机两大类,无机胶凝材料按性能又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。

二、水泥的定义和分类

水泥是一类具有水硬性的无机胶凝材料。

按国家标准规定: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。按主要的水硬性矿物组成可分为硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥等系列;按其用途及性能又可分为通用水泥、专用水泥及特性水泥。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、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥等;专用水泥则指有专门用途的水泥,如油井水泥、砌筑水泥等;特性水泥是指某种性能比较突出的水泥,如快硬硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、膨胀水泥等。目前水泥品种已达 100 余种。

三、胶凝材料和水泥发展简史

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。黏土以及黏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,但黏土不耐水且强度低。大约在公元前 3000~公元前 2000 年,人们开始用石灰、石膏来调制砌筑砂浆用作胶凝材料。我国的万里长城,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可以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。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。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黏土来制成胶凝材料。

在 18 世纪到 19 世纪初期,化学和物理学得到发展,被广泛地用于解释自然现象。在这一段时期内,许多学者、工程师对水硬性胶凝材料进行了探索和研究,于 1756 年和 1796 年先后

制成了水硬性石灰和罗马水泥。在此基础上又用含适量黏土(20%~25%)的石灰石经过煅烧磨细制得早期水泥。

19世纪初期(1810~1825年),工程技术人员已经将石灰石和黏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)。英国阿斯普丁(J. Aspdin)于1824年首先取得了这项技术的专利权,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。后来一般将1824年作为现代硅酸盐水泥的发明时间。

硅酸盐水泥出现后,180多年来,水泥生产技术经历多次变革,不断得到发展。硅酸盐水泥工业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、立式磨和单仓球磨机,使水泥产质量有所提高。到19世纪末至20世纪初,水泥工业一直在不断地进行改造与更新,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。

20世纪中期,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。水泥工业也出现重大变革,1950年悬浮预热器的发明与应用,使热耗大幅度降低;1971年研究和开发了水泥窑外预分解技术,使水泥生产技术得到重大突破。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射线化学成分检测方法及计算机自动控制技术在水泥生产过程中的应用,使干法窑的产量和质量明显提高,单机生产能力和企业劳动生产率大幅度提高,在节能、降低水泥厂建设投资、降低生产成本等方面均取得很大进展。预分解回转窑煅烧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。

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,如铝酸盐系列水泥、硫铝酸盐系列水泥、高强快硬硅酸盐水泥、膨胀水泥、抗硫酸盐水泥、油井水泥等。

四、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之一。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。水泥与砂、石等集料制成的混凝土是一种低能耗、低成本的建筑材料,新拌水泥混凝土有很好的可塑性,可制成各种形状的混凝土构件;水泥混凝土材料强度高、耐久性好、适应性强。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、水泥管、水泥船和纤维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。水泥已成为现代建筑主要的材料之一。

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,建造了高层、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,也需以水泥为主的复合材料。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。

五、我国水泥工业发展概况

中国水泥工业起步较晚。1886年前后广东一位商人在澳门青州岛开办一家水泥厂,1889年清政府李鸿章批准由开滦矿务局在唐山创办细棉土厂,因为技术不得法等原因,1889年澳门厂停产,1893年唐山厂停产,1900年唐山重新建立启新洋灰公司(即今唐山启新水泥厂),1906年启新引进丹麦史密斯公司的干法中空窑,有了现代意义上的中国水泥工业,以后相继建立了大连、上海、中国、广州、济南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两个品种。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。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20世纪50年代已经进行过悬浮预热器的研究,60年代初在太原水泥厂开发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的回转窑。1976年在石岭建成第一台悬浮分解炉,从此,窑外分解技术得到快速推广使用。日产700吨熟料的窑外分解窑生产工艺线于1983年分别在江苏邳县水泥厂和新疆水泥厂建成,后来国内自行研究、设计、制造了日产2000吨熟料的窑外分解工艺线在江西万年水泥厂建成并投产。20世纪80年代初我国又在冀东、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,既帮助了我国水泥工业基本建设的发展,而且在提高设计水平、加强工厂管理和进行设备改造等方面,提供借鉴,促进了我国水泥工业技术水平和管理水平的提高。在粉磨技术方面,我国自行研制成功高细磨设备,引进开发立式辊磨的制造技术,国际上20世纪80年代出现的辊压机技术在我国很快得到开发推广应用。在20世纪90年代后,我国大力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。目前,日产4000吨熟料的水泥生产设备我国已能全部配套生产,日产10000吨熟料的生产线也正在建设。大型水泥企业集团也在快速发展中,实力不断增强。其中海螺集团近年来熟料年产量可达到4000万吨以上,水泥年产量可达到5000万吨,可以进入世界水泥十强,亚洲排名第一,世界第六。华新集团、山水集团、渤海集团、三狮集团的年生产能力均迈上了1000万吨台阶。2003年,我国水泥年产量达到8.6亿吨。全国在建预分解窑生产线超过240条,总生产能力2.28亿吨,新型干法生产能力占水泥总产量的25%。

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。水泥品种发展到70多种,成为世界上水泥品种较多的国家之一。

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。大多数水泥企业生产效率仍较低,环境污染较大,技术装备水平较低的立窑工艺仍占总生产能力的较大比例。当前国内外水泥工业发展的中心课题仍是节约能源、节约天然资源和环境保护,我们一定要依靠科

技进步来加速发展我国的水泥工业,争取早日赶上和超过世界先进水平。

第二节 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的国家标准

广义来讲,硅酸盐水泥是以硅酸钙为主要成分的熟料所制得的一系列水泥的总称。从狭义来讲,硅酸盐水泥是一种基本不掺混合材料的以硅酸钙为主要成分的熟料所制得的水泥品种。如掺加一定数量的混合材料,则硅酸盐水泥名称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、粉煤灰硅酸盐水泥等。

根据国家标准 GB 175—1999 的规定,硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的定义、强度等级、品质指标以及验收规则如下:

一、定义与代号

(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% 的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的 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

天然石膏应符合 GB 5483 规定中规定的 G 类或 A 类二级(含)以上的石膏或硬石膏。工业副产品石膏是工业生产中以硫酸钙为主要成分的副产品。采用工业副产品石膏时,应经过试验,证明对水泥性能无害方可使用。

(三)活性混合材料

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

(四)非活性混合材料

活性指标低于 GB/T 1596、GB/T 2847 和 GB/T 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 2.54%。

(五)窑灰:

应符合 JC/T 742 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%。

三、强度等级

硅酸盐水泥强度等级分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5、62.5R。

普通水泥强度等级分为 32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R。

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 1.5%。

(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 $300\text{m}^2/\text{kg}$,普通水泥 $80\mu\text{m}$ 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 45min 终凝不得迟于 6.5h。普通水泥初凝不得早于 45min 终凝不得迟于 10h。

(七)安定性

用沸煮法检验必须合格。

(八)强度

水泥强度等级按规定龄期的抗压强度和抗折强度来划分 ,各等级水泥的各龄期强度不得低于表 1-2-1 所示数值。

表 1-2-1

MPa

品 种	强度等级	抗 压 强 度		抗 折 强 度	
		3d	28d	3d	28d
硅酸盐水泥	42.5	17.0	42.5	3.5	6.5
	42.5R	22.0	42.5	4.0	6.5
	52.5	23.0	52.5	4.0	7.0
	52.5R	27.0	52.5	5.0	7.0
	62.5	28.0	62.5	5.0	8.0
	62.5R	32.0	62.5	5.5	8.0

续表

品 种	强度等级	抗 压 强 度		抗 折 强 度	
		3d	28d	3d	28d
普通硅酸盐水泥	32.5	11.0	32.5	2.5	5.5
	32.5R	16.0	32.5	3.5	5.5
	42.5	16.0	42.5	3.5	6.5
	42.5R	21.0	42.5	4.0	6.5
	52.5	22.0	52.5	4.0	7.0
	52.5R	26.0	52.5	5.0	7.0

(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,若使用活性集料,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强度等级规定的指标时称为不合格品。水泥包装标志中水泥品种、强度等级、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、安定性与强度等级)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,凝结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,凝结时间过长则减慢施工速度与模板周转期。通常硅酸盐水泥熟料的初凝时间过快,需要加入适量石膏以调节凝结时间来达到标准所规定的要求。但如果掺加石膏过多,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,也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小,则对建筑物质量不会有什么影响。如果在硬化后产生较大而不均匀的体积变化(即安定性不良),将使硬化水泥石内部产生裂缝,建筑物质量降低,甚至发生崩溃。引起安定性不良的原因有:高温过烧、游离氧化钙含量过高、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的水化速度很慢,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将含量放宽到 6%。石膏掺加量通过水泥中三氧化硫的含量来控制。

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 3d、28d 两个龄期的强度。由于水泥 28d 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 28d 的抗压强度作为质量分级,来划分不同的强度等级。而符合某一强度等级的水泥必须同时满足表 1-2-1 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强度等级的规定,则以其中最低的一个强度指标作为计算该水泥的强度等级。国家标准还规定了按早期强度分两种类型,其中 R 型(即 32.5R、42.5R、52.5R、62.5R)为早强型。早强型水泥具有比原型强度 3d 强度高的特点。设置早强型水泥强度等级,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 与集料中的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 Na_2O 当量($\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$)含量应不大于 0.6%。

第三节 其他通用硅酸盐水泥及性能

通用硅酸盐水泥除硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥以外,还有矿渣硅酸盐水泥、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。这几种水泥都是掺加有较大比例混合材料的硅酸盐水泥,国家标准对各种水泥的混合材料的品种和掺加量作了严格的规定。为了确保工程混凝土的质量,凡国家标准中没有规定的混合材料品种,水泥厂严格禁止使用。

一、定义和混合材料掺加量

(一)矿渣硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料和粒化高炉矿渣、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),代号 P.S。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、窑灰、粉煤灰和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%。

(二)火山灰质硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料和火山灰质混合材料、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),代号 P.P。水泥中火山灰质混合材料掺量按质量百分比计为 20%~50%。

(三)粉煤灰硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料和粉煤灰、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),代号 P.F。水泥中粉煤灰掺加量按质量百分比计为 20%~40%。

(四)复合硅酸盐水泥

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),代号 P.C。水泥中混合材料总掺加量按质量百分比计应大于 15%,但不超过 50%。

掺加混合材料通用水泥的分类和组成材料也可见表 1-3-1。

表 1-3-1 掺混合材料水泥的分类和组成材料 %

代 号	水 泥 名 称	水 泥 组 成						
		熟 料	矿 渣	石 灰 石	火 山 灰	粉 煤 灰	窑 灰	
P.S	矿渣水泥	30~80	20~70		(0~8)			
P.P	火山灰水泥	50~80	-		20~50	-	-	
P.F	粉煤灰水泥	60~80	-			20~40	-	
P.C	复合水泥	50~85	15~50					<8

二、掺混合材料水泥的强度等级和技术指标

掺混合材料水泥的强度等级和强度指标见表 1-3-2 ,技术要求见表 1-3-3。

表 1-3-2 掺混合材料水泥强度等级和强度指标 MPa

强 度 等 级	矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥		复 合 水 泥		各 品 种 水 泥	
	3d	3d	3d	3d	28d	28d
	抗 压	抗 折	抗 压	抗 折	抗 压	抗 折
32.5	10.0	2.5	11.0	2.5	32.5	5.5
32.5R	15.0	3.5	16.0	3.5	32.5	5.5
42.5	15.0	3.5	16.0	3.5	42.5	6.5
42.5R	19.0	4.0	21.0	4.0	42.5	6.5
52.5	21.0	4.0	22.0	4.0	52.5	7.0
52.5R	23.0	4.5	26.0	5.0	52.5	7.0

表 1-3-3 掺混合材料水泥技术要求

项 目	水 泥 品 种			
	P.S	P.P	P.F	P.C
初凝时间(min)	≥45			
终凝时间(h)	≤10			
细度 0.080mm 筛余(%)	≤10			
氧化镁(%)	熟料中≤5.0, 压蒸合格≤6.0			
三氧化硫(%)	≤4.0	≤3.5		
碱含量(%)	协商			

三、通用水泥性能比较和使用范围

水泥在建筑上主要用以配制砂浆和混凝土。水泥作为建筑材料,其主要的性能是强度、体积变化以及与环境相互作用的耐久性。为方便施工,水泥拌水后的凝结时间也是一项相当重要的指标。对于大体积工程或者特殊条件下施工时,水化热也是水泥的一个重要性能。

硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥及其他几种通用水泥都是用于一般土木建筑工程,但它们的性能和使用范围也有所差别,现比较如下:

(一)硅酸盐水泥的性能和使用范围

1. 性能

凝结硬化快,早期强度高,水泥强度等级高;抗冻性、耐磨性好;水化热较高;耐酸、碱、硫酸盐类化学侵蚀性较差。

2. 使用范围

主要用于配制高强度等级混凝土、早期强度要求较高的工程、在低温条件下需要强度发展较快的工程;也可用于一般地上工程和不受侵蚀的地下工程、无腐蚀性水中的受冻工程。

(二)普通硅酸盐水泥的性能和使用范围

1. 性能

凝结硬化较快,早期强度较高,抗冻性较好;水化热偏高;耐酸、碱、硫酸盐类化学侵蚀性较差。

2. 使用范围

主要用于配制较一般强度等级混凝土、在低温条件下需要强度发展较快的工程;也可用于一般地上工程和不受侵蚀的地下工程、无腐蚀性水中的受冻工程。

(三)矿渣硅酸盐水泥的性能和使用范围

1. 性能

对硫酸盐类侵蚀的抵抗能力及抗水性较好;耐热性较好;水化热较低;在蒸汽养护中强度发展较快;在潮湿环境中后期强度增进率较大;但早期强度较低,凝结较慢,在低温环境下尤其甚;干缩性较大,有泌水现象。

2. 使用范围

用于地下、水中和海水中工程,以及经常受高水压的工程,其对硫酸盐类侵蚀的抵抗能力及抗水性较硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥更好;也可用于大体积混凝土工程、蒸汽养护的工程和一般地上工程。

(四)火山灰质硅酸盐水泥

1. 性能

对硫酸盐类侵蚀的抵抗能力较强;抗水性较好;水化热较低;在湿润环境中后期强度增进率较大;在蒸汽养护中强度发展较快;早期强度较低,凝结较慢,在低温环境中尤其甚;抗冻性较差;吸水性大;干缩性较大。

2. 使用范围

主要用于大体积混凝土工程、地下、水中工程及经常受较高水压的工程和低强度等级混凝土;也可用于受海水及含硫酸盐类溶液侵蚀的工程、蒸汽养护的工程和远距离运输的砂浆和混凝土。

(五)粉煤灰硅酸盐水泥的性能和使用范围

1. 性能

对硫酸盐类侵蚀的抵抗能力及抗水性较好;水化热较低;耐热性较好;后期强度增进率较大;干缩性较小;抗拉强度较高;抗裂性好;早期强度较低;抗冻性较差;抗碳化性能较差。

2. 使用范围

主要用于水工大体积混凝土工程和一般民用和工业建筑工程配置低强度等级混凝土;也可用于混凝土和钢筋混凝土的地下及水中结构、用蒸汽养护的构件。

第四节 硅酸盐水泥的生产方法

一、硅酸盐水泥的生产方法分类

硅酸盐水泥的生产分为三个阶段:即石灰质原料、黏土质(硅铝质)原料与少量铁质、铝质、硅质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,称为第三阶段:水泥的粉磨。

由于各地条件、原料资源和建设时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)按煅烧窑的结构分类

一般分为立窑和回转窑两大类

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,窑内有链条等热交换装置;湿法短回转窑,与热交换设备连接工作(如料浆蒸发机等)。

(2)半干法回转窑 即立波尔窑。

(3)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。

(二)按生料制备方法分类

一般分为湿法、干法、半干法三类。

1. 湿法 采用湿法生产时,黏土质原料先经淘制成黏土浆,然后与破碎后的石灰石、铁质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,再与烘干过的黏土、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,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,立窑厂曾经蓬勃发展,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 , 对环境污染较大 , 劳动强度较大等。

(二) 预分解干法回转窑与其他回转窑比较

目前 , 我国新建大中型厂主要是带预分解炉的干法回转窑 , 与湿法回转窑和普通干法回转窑比 , 主要优点有 :

1. 热耗低 , 湿法回转窑熟料热耗一般约为 $5\ 652\text{kJ}/\text{kg}$ 熟料 , 悬浮预热器窑的热耗约为 $3\ 350\text{kJ}/\text{kg}$ 熟料 , 而现代预分解窑热耗比悬浮预热器窑更低 ;

2. 单机产量高 , 可比同规格悬浮预热器窑高 100% ~ 150% , 单机日产量可达到 10 000t 熟料 ;

3. 熟料质量高 ;

4. 排放废气中 NO_x 含量低 , 对环境污染小 ;

5. 大型生产线吨水泥投资少 , 生产成本低 , 经济效益好。

近年来 , 国家引导和支持发展大型预分解回转窑生产线。对机立窑生产线进行限制发展 , 要求普通立窑和小型立窑生产线淘汰。大中型立窑生产企业要求环境保护达到要求指标 , 提高质量和经济效益 , 并提倡向预分解回转窑方向发展。

第五节 硅酸盐水泥的生产工艺流程

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 , 应特别采用先进的、成熟的和适用的技术和设备 , 注意生产技术管理方便、降低基建投资和降低水泥生产成本等问题 , 同时还要考虑到生产工艺上的几个重要条件 , 即高效的粉磨设备 , 均匀的生料质量 , 优良的熟料烧成 , 合理的余热利用和动力使用 , 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 , 工艺流程应通过不同方案的分析比较加以确定。

典型的预分解干法回转窑生产工艺流程见图 1-5-1 , 典型的机立窑生产工艺流程见图 1-5-2。

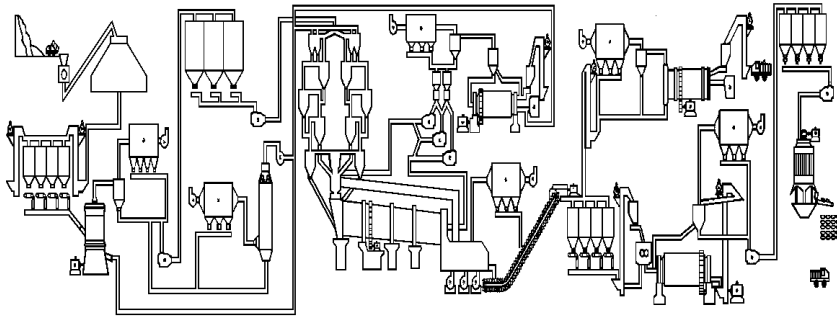


图 1-5-1 预分解干法四转窑生产工艺流程

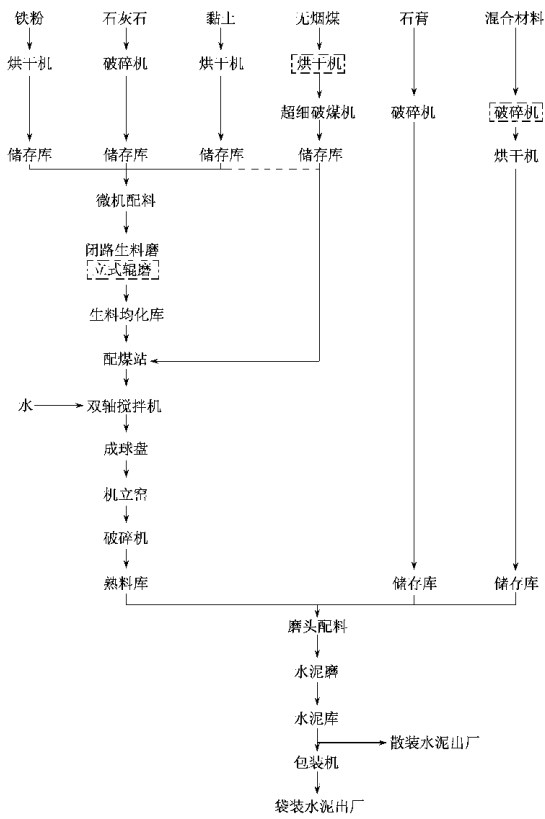


图 1-5-2 机立窑生产工艺流程