

SHUINI SHENGCHAN GONGYI JISHU

水泥生产工艺技术

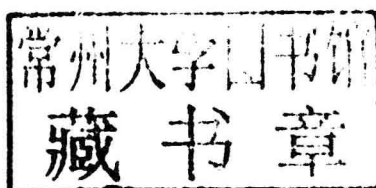
左明扬 刘成 牟思蓉 主编



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

水泥生产工艺技术

主 编 左明扬 刘 成 牟思蓉
主 审 李玉香 陈德玉 王玉平



武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

水泥生产工艺技术/左明扬,刘成,牟思蓉主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2013. 5
ISBN 978-7-5629-4053-1

I. ① 水… II. ① 左… ② 刘… ③ 牟… III. ① 水泥-生产工艺 IV. ① TQ172. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 110900 号

项目负责人:王利永

责任编辑:王利永

责任校对:张莉娟

装帧设计:许伶俐

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:武汉兴和彩色印务有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:28.25

字 数:915 千字

版 次:2013 年 12 月第 1 版

印 次:2013 年 12 月第 1 次印刷

定 价:120.00 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:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

• 版权所有 盗版必究 •

前 言

水泥的历史最早可追溯到 5000 年前的中国秦安大地湾人,他们铺设了类似现代水泥的地面。后来古罗马人在建筑中使用的石灰与火山灰的混合物,这种混合物与现代的石灰火山灰水泥很相似。用它胶结碎石制成的混凝土,硬化后不但强度较高,而且还能抵抗淡水或含盐水的侵蚀。长期以来,它作为一种重要的胶凝材料,广泛应用于土木建筑、水利、国防等工程。

截至 2011 年底,我国新型干法水泥生产线已达 1513 条,水泥总产量达到 20.85 亿吨,新型干法水泥产量约为总产量的 89%,约占世界总产量 58%。在预分解窑节能煅烧、原料均化、“料床”粉磨、自动化控制和环境保护技术、余热发电技术等方面,从设计到装备制造已快速接近世界先进水平。然而当前整个水泥行业仍然处于全局产能过剩、低速发展微利时期。2011 年,国家加快了淘汰落后产能的进程,水泥产业被列为淘汰落后产能的重点对象。毫无疑问,转变发展方式、加快转型升级是水泥行业减负解困的唯一出路。要加快转变发展方式,在控制总量、有序发展的前提下,完成产业结构调整的历史性任务;通过科技创新和技术进步,实现产业升级和又好又快发展;要从根本上改变低品质、高消耗、高污染的现状,集合优秀产能、先进技术集成创新,全面实现水泥行业绿色产业功能。但当前国内较为全面系统地专门论述水泥整个生产工艺技术的教材与书籍较少,紧密联系实际,实用性、操作性较强的水泥专业书籍更是为许多从事水泥技术的工厂技术管理人员和学习无机非金属材料专业的学生所渴望。为此,编者在搜集近年来水泥行业的最新技术专著、论文的基础上,汇集了大量实用的技术信息,整理出有价值的水泥整个生产工艺技术方面的资料,编撰成此书,以满足广大水泥技术人员学习最新专业知识的需要。

全书分为上、中、下 3 篇,共 19 章内容。其中,上篇为水泥生料制备,内容包括:1 绪论,2 硅酸盐水泥原料的选择,3 硅酸盐水泥原料的破碎,4 硅酸盐水泥原料的预均化,5 硅酸盐水泥生料配方设计,6 硅酸盐水泥生料的磨制(立式磨),7 硅酸盐水泥生料的均化;中篇为水泥熟料煅烧,内容包括:8 水泥熟料的形成,9 煤粉制备,10 生料的预热,11 碳酸盐的分解,12 熟料的烧成,13 水泥熟料的冷却,14 预分解窑系统的调节与控制;下篇为水泥制成,内容包括:15 通用硅酸盐水泥组分设计,16 水泥粉磨工艺流程的选择,17 水泥粉磨系统的操作与控制,18 水泥的储存与发运,19 水泥粉磨系统的技术标定。

由于水泥生产技术的不断发展,加之编者水平所限,书中不妥之处在所难免,希望广大读者批评指正。

编 者

2013 年 5 月

目 录

上篇:水泥生料制备

1 绪论	(1)
1.1 水泥的起源和发展	(1)
1.2 水泥的基本概念	(2)
1.3 水泥工业的环境污染与治理	(3)
2 硅酸盐水泥原料的选择	(4)
2.1 石灰质原料的选择	(4)
2.1.1 石灰质原料的种类和性质	(4)
2.1.2 石灰质原料的选择	(5)
2.2 黏土质原料的选择	(6)
2.2.1 黏土质原料的种类与特性	(6)
2.2.2 黏土质原料的品质要求及选择	(7)
2.3 校正原料的选择	(7)
2.3.1 铁质校正原料的选择	(7)
2.3.2 硅质校正原料的选择	(8)
2.3.3 铝质校正原料的选择	(8)
2.3.4 校正原料的质量要求	(8)
2.4 燃料的选择	(8)
2.4.1 煤的种类和性质	(9)
2.4.2 水泥工业对煤的质量要求	(9)
2.5 水泥工业资源的综合利用	(9)
2.5.1 低品位石灰质原料的利用	(9)
2.5.2 煤矸石、石煤的利用	(10)
2.5.3 粉煤灰及炉渣的利用	(10)
2.5.4 珍珠岩的利用	(10)
3 硅酸盐水泥原料的破碎	(11)
3.1.1 矿山开采	(11)
3.1.2 物料破碎的基本知识	(12)
3.2 破碎工艺的选择	(16)
3.2.1 颚式破碎机	(16)
3.2.2 锤式破碎机	(19)
3.2.3 反击式破碎机	(23)
3.3 破碎物料的输送	(27)

3.3.1	板式输送机	(27)
3.3.2	带式输送机	(32)
3.4	破碎系统的收尘	(46)
3.4.1	粉尘的过滤原理	(47)
3.4.2	袋式除尘器的类型与构造	(47)
3.4.3	滤袋与清灰方式	(50)
3.4.4	影响袋式除尘器除尘效率的因素	(52)
3.4.5	袋式除尘器的应用、操作及维护	(52)
3.5	破碎系统的操作	(57)
3.5.1	破碎系统	(57)
3.5.2	破碎系统的操作	(57)
4	硅酸盐水泥原料的预均化	(59)
4.1	概述	(59)
4.1.1	原料的储存	(59)
4.1.2	原料预均化的原理及其作用	(60)
4.1.3	原料采用预均化技术的条件	(60)
4.1.4	影响预均化效果的因素及解决措施	(61)
4.2	预均化堆场的布置形式及堆取料方式的选择	(62)
4.2.1	堆场的布置形式	(63)
4.2.2	堆料方式	(64)
4.2.3	取料方式	(65)
4.3	堆料机和取料机的选择	(66)
4.3.1	堆料机	(66)
4.3.2	取料机	(66)
4.4	堆料机和取料机的操作与维护	(71)
4.4.1	堆料机的操作与维护	(71)
4.4.2	取料机的操作与维护	(72)
5	硅酸盐水泥生料配方设计	(75)
5.1	概述	(75)
5.1.1	硅酸盐水泥熟料的组成	(75)
5.1.2	熟料的率值	(79)
5.1.3	硅酸盐水泥熟料矿物组成的计算	(81)
5.2	生料的配料及计算	(83)
5.2.1	配料的目的	(83)
5.2.2	配料计算的依据	(83)
5.2.3	配料方案的选择	(84)
5.2.4	配料计算方法	(84)
5.3	生料配料设备的选择	(88)
5.3.1	斗式提升机	(88)
5.3.2	喂料计量设备	(95)

6 硅酸盐水泥生料的磨制(立式磨)	(102)
6.1 概述	(102)
6.1.1 立磨粉磨系统	(102)
6.1.2 立磨的结构及工作原理	(103)
6.1.3 各种类型立磨的结构及特点	(104)
6.2 立磨工艺参数的选择	(115)
6.2.1 磨盘转速	(115)
6.2.2 生产能力	(116)
6.2.3 辊压	(117)
6.2.4 磨辊、磨盘的相对尺寸	(118)
6.2.5 辊磨通风	(118)
6.2.6 磨机功率	(120)
6.2.7 磨损	(121)
6.3 立式磨粉磨系统的操作	(122)
6.3.1 立磨参数的控制	(122)
6.3.2 立磨的操作控制	(124)
6.4 立磨的使用与维护	(125)
6.4.1 立磨的常见故障	(125)
6.4.2 常见故障排除	(128)
7 硅酸盐水泥生料的均化	(132)
7.1 概述	(132)
7.1.1 生料均化程度对易烧性的影响	(132)
7.1.2 生料均化程度对熟料产量和质量的影响	(132)
7.1.3 生料均化在生料制备过程中的重要地位	(132)
7.1.4 生料均化基本原理及发展	(133)
7.2 生料均化基本参数的确定	(133)
7.2.1 均化度	(133)
7.2.2 均化效率	(133)
7.2.3 均化过程操作参数	(134)
7.3 生料均化设施的选择	(135)
7.3.1 均化库的结构和类型	(135)
7.3.2 生料均化的工艺技术	(141)
7.3.3 提高生料均化效果的途径	(143)

中篇:水泥熟料煨烧

8 水泥熟料的形成	(146)
8.1 水泥熟料的形成过程	(146)
8.1.1 干燥	(146)
8.1.2 脱水	(146)

8.1.3	碳酸盐分解	(146)
8.1.4	固相反应	(148)
8.1.5	熟料烧结	(148)
8.1.6	熟料冷却	(150)
8.2	水泥熟料的形成热	(151)
8.2.1	水泥熟料形成热的概念	(151)
8.2.2	水泥熟料形成热的计算方法	(151)
9	煤粉制备	(153)
9.1	回转窑对煤的要求	(153)
9.2	煤粉制备	(153)
9.2.1	磨煤机的选型	(154)
9.2.2	磨煤机的操作	(155)
10	生料的预热	(157)
10.1	生料预热的工作过程	(157)
10.1.1	生料分散	(157)
10.1.2	锁风阀	(159)
10.1.3	气固间换热	(160)
10.1.4	气固分离	(161)
10.1.5	影响预热器换热效率的因素	(162)
10.2	旋风预热器的结构及技术参数	(162)
10.2.1	旋风筒的结构	(162)
10.2.2	新型旋风筒的结构	(165)
11	碳酸盐的分解	(168)
11.1	分解炉的作用及分类	(168)
11.1.1	分解炉的作用	(168)
11.1.2	分解炉的分类	(168)
11.2	各类分解炉的结构特点	(169)
11.2.1	SF 分解炉系列	(169)
11.2.2	KSV 分解炉系列	(171)
11.2.3	DD 分解炉	(172)
11.2.4	RSP 分解炉系列	(173)
11.2.5	MFC 分解炉系列	(175)
11.2.6	FLS 分解炉系列	(179)
11.2.7	派朗克隆(Pyroclon)和普列波尔(Prepol)分解炉	(182)
11.2.8	交叉料流型分解炉	(185)
11.2.9	TC 分解炉系列	(187)
11.2.10	NC 分解炉系列	(188)
11.3	分解炉的工艺性能	(189)
11.3.1	影响分解炉内分解速度的因素	(189)

11.3.2	料粉分解的化学动力学方程	(189)
11.3.3	分解炉中料粉的分解时间	(189)
11.4	分解炉的热工性能	(191)
11.4.1	分解炉内燃料的燃烧	(191)
11.4.2	分解炉内的传热	(194)
11.4.3	分解炉内的气体运动	(195)
11.5	预分解窑系统的结皮、堵塞	(196)
11.5.1	碱、硫、氯等有害成分的富集及危害	(196)
11.5.2	预热器系统的结皮、堵塞及预防	(196)
11.5.3	旁路放风系统	(197)
11.5.4	防止黏结堵塞的其他措施	(198)
12	熟料的烧成	(199)
12.1	回转窑的结构	(199)
12.1.1	筒体	(199)
12.1.2	轮带(又称滚圈)	(200)
12.1.3	托轮与窑体窜动	(201)
12.1.4	挡轮组	(202)
12.1.5	传动装置	(204)
12.1.6	密封装置	(205)
12.2	回转窑工作原理	(209)
12.2.1	窑内物料的运动	(209)
12.2.2	回转窑内的燃料燃烧	(211)
12.2.3	回转窑内的气体流动	(214)
12.2.4	回转窑内的传热	(215)
12.3	窑用煤粉燃烧器	(219)
12.3.1	回转窑对煤粉燃烧器的要求	(219)
12.3.2	窑内煤粉点燃的模式	(219)
12.3.3	几种燃烧器的结构性能	(220)
12.4	耐火材料	(228)
12.4.1	窑用耐火材料的作用及要求	(228)
12.4.2	耐火砖的种类与选用	(229)
12.4.3	耐火砖的砌筑	(232)
12.4.4	砌砖作业	(232)
13	水泥熟料的冷却	(236)
13.1	篦式冷却机的发展	(236)
13.1.1	第一代篦式冷却机(斜篦床、统一供风、薄料层操作)	(236)
13.1.2	第二代篦式冷却机(平篦床、多室分别供风、厚料层操作)	(237)
13.1.3	第三代篦式冷却机(阻力篦板、单独脉冲供风、厚料层操作)	(237)
13.2	第三代篦式冷却机的改进	(238)
13.3	各种篦式冷却机简介	(241)

13.3.1	IKN 悬摆式冷却机	(241)
13.3.2	SF 型交叉棒式篦冷机	(242)
13.3.3	Claudius Peters 冷却机	(243)
13.3.4	洪堡公司的 PYROSTEP 篦式冷却机	(245)
13.3.5	TC 型篦冷机	(245)
13.3.6	NC-III 型推动篦式冷却机	(247)
13.3.7	LBTF 型篦冷机	(250)
13.4	篦冷机常见故障及排除方法	(254)
14	预分解窑系统的调节与控制	(257)
14.1	预分解窑调节控制的目的及原则	(257)
14.1.1	预分解窑调节控制的目的	(257)
14.1.2	预分解窑调节控制的一般原则	(257)
14.2	预分解窑系统调节控制项目	(257)
14.2.1	检测参数	(257)
14.2.2	调节参数	(260)
14.3	预分解窑自动控制系统	(261)
14.3.1	概述	(261)
14.3.2	中央控制室微机操作界面	(262)
14.4	试车	(262)
14.5	新建预分解窑的升温操作	(264)
14.5.1	烘烤的条件及点火方法	(264)
14.5.2	方案	(265)
14.5.3	计划停窑检修内衬的烘烤、升温操作	(266)
14.5.4	故障停窑或临停窑烘窑、升温操作	(266)
14.6	窑系统投料工艺操作管理	(266)
14.6.1	新建窑第一次投料	(266)
14.6.2	计划检修后的投料操作	(268)
14.6.3	临时停窑后的投料操作	(268)
14.6.4	投料及挂窑皮	(268)
14.6.5	投料操作注意事项	(268)
14.7	窑系统正常生产工艺操作管理	(269)
14.7.1	窑系统主要工艺参数的设定和控制	(269)
14.7.2	熟料煅烧过程中的质量控制	(272)
14.8	窑系统停窑工艺操作管理	(273)
14.8.1	计划检修停窑	(274)
14.8.2	窑故障停机的操作	(274)
14.9	窑系统常见故障的处理	(275)
14.9.1	预热器堵塞	(275)
14.9.2	跑生料	(276)
14.9.3	游离氧化钙含量持续偏高	(276)
14.9.4	窑内结大蛋	(277)

14.9.5	篦冷机出现“红河”时的操作处理	(277)
14.9.6	篦冷机“堆雪人”的操作	(277)
14.9.7	“烧流”的操作处理	(278)
14.9.8	窑后结圈	(278)
14.9.9	红窑	(279)

下篇:水泥制成

15	通用硅酸盐水泥组分设计	(280)
15.1	水泥国家标准	(280)
15.1.1	定义	(280)
15.1.2	分类	(280)
15.1.3	组分与材料	(280)
15.1.4	强度等级	(281)
15.1.5	技术要求	(281)
15.1.6	试验方法	(282)
15.1.7	检验规则	(283)
15.1.8	包装、标志、运输与贮存	(284)
15.2	混合材料	(284)
15.2.1	混合材料的作用及分类	(284)
15.2.2	粒化高炉矿渣	(285)
15.2.3	火山灰质混合材料	(288)
15.2.4	粉煤灰质混合材料	(289)
15.2.5	其他混合材料	(290)
15.3	石膏及外加剂	(292)
15.3.1	石膏的种类及要求	(292)
15.3.2	石膏适宜掺量的确定	(292)
15.3.3	调凝外加剂	(294)
15.4	水泥组分材料的准备	(295)
15.4.1	硅酸盐水泥熟料输送与储存	(295)
15.4.2	混合材的烘干	(300)
15.4.3	石膏的破碎与储存	(304)
15.5	水泥组分材料的配比设计	(304)
16	水泥粉磨工艺流程的选择	(305)
16.1	球磨机	(305)
16.1.1	球磨机的工作原理及分类	(305)
16.1.2	球磨机的构造及主要参数	(307)
16.1.3	研磨体	(326)
16.2	辊压机及打散机	(336)
16.2.1	辊压机	(336)
16.2.2	打散机	(341)

16.3	选粉机	(342)
16.3.1	旋风式选粉机	(342)
16.3.2	新型高效选粉机	(346)
16.4	水泥粉磨工艺流程	(348)
16.4.1	开流粉磨	(348)
16.4.2	闭路粉磨	(349)
16.4.3	磨外预粉磨	(350)
16.4.4	分别粉磨和串联粉磨	(351)
16.4.5	高细高产磨粉磨工艺	(352)
16.4.6	挤压粉磨	(354)
16.4.7	立式磨粉磨	(357)
16.4.8	筒辊磨粉磨	(359)
16.4.9	水泥粉磨系统主要配置	(362)
16.5	水泥粉磨工艺流程的选择	(364)
16.5.1	选择粉磨流程要考虑的因素	(364)
16.5.2	选择车间粉磨流程的内容	(364)
17	水泥粉磨系统的操作与控制	(367)
17.1	球磨机的操作	(367)
17.1.1	操作要求	(367)
17.1.2	球磨机系统的开车、停车操作	(367)
17.1.3	球磨机的操作控制与维护	(369)
17.1.4	球磨机常见的故障诊断及处理	(375)
17.1.5	磨机的维护保养	(378)
17.1.6	磨机的检修	(380)
17.1.7	球磨机运行中的异常情况分析和处理	(381)
17.2	辊压机的操作	(384)
17.2.1	辊压机的启动	(384)
17.2.2	辊压机的正常停机	(384)
17.2.3	辊压机的润滑	(384)
17.2.4	辊压机的冷却	(384)
17.2.5	辊压机正常工作过程中的检查要求	(385)
17.2.6	设备的维护与检修	(385)
17.2.7	常见故障及处理	(387)
17.3	O-Sepa 型选粉机的操作	(389)
17.3.1	开车前的检查	(389)
17.3.2	选粉机的试运转	(389)
17.3.3	选粉机的正常操作	(390)
17.3.4	设备的维护	(390)
17.3.5	设备的润滑	(390)
17.3.6	设备的检修	(390)
17.4	水泥粉磨质量控制	(391)

18 水泥的储存与发运	(393)
18.1 水泥输送与储存的主要设备.....	(393)
18.1.1 圆库.....	(393)
18.1.2 输送设备.....	(395)
18.1.3 工艺流程和主要设备.....	(396)
18.1.4 检修及维护.....	(398)
18.2 水泥的发运.....	(400)
18.2.1 水泥装运系统的发展趋势.....	(400)
18.2.2 水泥包装.....	(401)
18.2.3 水泥散装.....	(408)
18.2.4 检修和维护.....	(411)
18.3 出厂水泥的质量控制.....	(416)
18.3.1 出厂水泥质量要求.....	(416)
18.3.2 水泥出厂的管理.....	(416)
19 水泥粉磨系统的技术标定	(419)
19.1 水泥粉磨系统技术标定的内容及要求.....	(419)
19.1.1 技术标定的目的.....	(419)
19.1.2 技术标定与计算的主要项目.....	(419)
19.1.3 技术标定的要求.....	(422)
19.1.4 标定结果分析.....	(422)
19.2 粉磨系统筛分析标定.....	(422)
19.2.1 取样和筛析.....	(422)
19.2.2 磨内物料筛析曲线测定绘制.....	(423)
19.2.3 循环负荷率与选粉效率的测定和计算.....	(424)
19.3 磨内存料量和物料流速的标定.....	(428)
19.3.1 磨内存料量的测定计算.....	(428)
19.3.2 磨内球料比的测定计算.....	(428)
19.3.3 磨内物料流速与停留时间的测定和计算.....	(429)
19.4 磨机通风与收尘的标定.....	(430)
19.4.1 理论要求通风量的计算.....	(430)
19.4.2 风压、风量的测定方法.....	(430)
19.4.3 磨机内实际通风量的计算.....	(433)
19.4.4 含尘浓度与除尘效率的测定和计算.....	(434)
参考文献	(438)

1 绪 论

1.1 水泥的起源和发展

水泥起源于胶凝材料,是胶凝材料在发展过程中逐渐演变的。胶凝材料的发展历史极为悠久,可追溯到人类史前时期。它先后经历了天然黏土、石膏-石灰、石灰-火山灰、天然水泥、硅酸盐水泥和多品种水泥等阶段。

在 19 世纪初期(1810—1825),人们将石灰石和黏土作为原料进行人工配制,再经煅烧、磨细制造水硬性胶凝材料,并组织生产。这个阶段称为硅酸盐水泥时期,也可称为水泥的发明期。英国人阿斯普丁于 1824 年 10 月首先取得了硅酸盐水泥产品的专利权。20 世纪初,随着现代工业的发展,仅有硅酸盐水泥、石灰、石膏等几种胶凝材料已远远不能满足重要工程建设的需要。因此,陆续生产和发展了多品种、多用途的水泥,如铝酸盐水泥、快硬水泥、抗硫酸盐水泥、低热水泥、油井水泥、硫铝酸盐水泥、氟铝酸盐水泥、铁铝酸盐水泥等,从而使水泥的发展进入了多品种阶段。

我国自 1889 年开始建立水泥厂,迄今已有 100 多年的历史。中国水泥工业先后经历了初期创建、早期发展、衰落停滞、快速发展及结构调整等阶段,展现了我国水泥工业漫长、曲折和辉煌的发展历史。

我国已是水泥生产第一大国,2002 年全国水泥产量达 7 亿吨,但新型干法生产能力不足 15%,离世界先进水平还有很大的差距。2007 年新建成投产的大型新型干法水泥生产线 79 条,新增水泥生产能力达 8000 多万吨,全国水泥总产量达 13.5 亿吨,大型新型干法水泥所占比例提高到了 55%,排列前十位的大型水泥企业集团产量已占全国水泥产量比重的 23%。

2008 年全国水泥产量达 13.9 亿吨,2009 年达到 16 亿吨。根据 2006 年 4 月国家发改委发布的《关于加快水泥工业结构调整的若干意见的通知》,至 2010 年企业平均生产规模由 2005 年的 20 万吨提高到 40 万吨左右,企业户数减少到 3500 家左右。

要保持稳定、快速、健康地发展,我国水泥工业发展的主要途径如下:

- (1) 大力发展新型干法水泥生产工艺
- (2) 充分利用水泥窑焚烧垃圾技术

目前,我国水泥工业已采用的主要环保和清洁生产技术如下:

- ① 水泥厂中低温余热发电技术。
- ② 高温、高浓度大型袋收尘器和电收尘器技术。
- ③ 使用低品位石灰石(CaO 质量百分数小于 45%)和用页岩、砂岩、铝矾土、粉煤灰、煤矸石等替代黏土的配料技术。
- ④ 无烟煤和低挥发分煤在新型干法水泥烧成系统中的应用技术。
- ⑤ 使用细掺合物(如矿渣、钢渣、粉煤灰等)生产环境共存型水泥的开发技术。

- (3) 研究、开发与生产高性能水泥

高性能水泥研究开发的主要内容是水泥熟料矿物体系与水泥颗粒形状、颗粒级配等问题。高性能水泥与普通水泥相比,水泥生产的能耗可以降低 20% 以上,CO₂ 排放量可以减少 20% 以上,强度可以达到 10 MPa 以上,综合性能可以提高 30%~50%,因此,水泥用量可以减少 20%~30%。研究、开发高性能水泥有利于我国环境保护和水泥工业的可持续发展。

(4) 沿着绿色水泥工业的道路发展

人类进入 21 世纪以后,发展绿色工业是人类在创造物质文明的同时所希望实现的目标。当水泥企业对人类社会和环境造成负面影响而又作出贡献时,水泥工业就成了绿色工业。目前,我国还存在上千家工艺技术落后、严重浪费资源、过度消耗能源和严重污染环境的小型水泥企业,这使水泥工业要实现绿色工业的目标遇到了严重的挑战。我国水泥工业要实现可持续发展,必须向绿色水泥工业的道路发展。其主要途径如下:

① 大力发展大型新型干法水泥生产技术和设备,加快我国水泥工业结构调整步伐。

② 坚决淘汰落后的水泥生产工艺技术和设备,关闭大量浪费资源、过度消耗能源和严重污染环境的小型水泥企业。

③ 从国家“十一五”规划开始,使我国水泥企业全部纳入节能型、环保型和资源型的运行轨道。

④ 坚持发展绿色水泥工业,水泥生产要进入生态化阶段,并积极参与国际交流、合作和竞争。

1.2 水泥的基本概念

(1) 胶凝材料

胶凝材料是指在物理、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,又称胶结料。

胶凝材料可分为无机胶凝材料和有机胶凝材料两大类,无机胶凝材料按照硬化条件又可分为水硬性胶凝材料和非水硬性胶凝材料两种。

水硬性胶凝材料在拌水后既能在空气中又能在水中硬化,如硅酸盐水泥、铝酸盐水泥等。非水硬性胶凝材料只能在空气中硬化,故又称气硬性胶凝材料,如石灰、石膏等。

(2) 水泥

水泥是指细磨成粉末状,加入一定量水后成为塑性浆体,既能在水中硬化,又能在空气中硬化,能将砂、石等颗粒或纤维材料牢固地胶结在一起,具有一定强度的水硬性无机胶凝材料。

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。

① 通用水泥:是指具有一般用途的水泥,主要用于一般民用建筑工程,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。

② 专用水泥:是指具有专门用途的水泥,主要用于专门建筑工程,如油井水泥、砌筑水泥等。

③ 特性水泥:是指具有某种特殊性能的水泥,主要用于特殊建筑工程,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。

水泥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、铁铝酸盐水泥等类型。

(3) 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(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”的英文首字母。

硅酸盐水泥熟料,即国际上的波特兰水泥熟料,简称水泥熟料,它是一种由主要含 CaO、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃的原料按适当比例配合,磨成细粉(生料)烧至部分熔融所得的以硅酸钙为主要成分的水硬性胶凝物质。

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。

石膏是用作调节水泥凝结时间的组分,称为缓凝剂。适量的石膏可以延缓水泥的凝结时间,使建筑施工中的搅拌、运输、振捣、砌筑等工序得以顺利进行;同时适量的石膏也可以提高水泥的强度。可供使用的

是天然石膏,也可以用工业副产石膏。

(4) 硅酸盐水泥的生产过程

硅酸盐水泥的生产过程通常可分为三个阶段:生料制备、熟料煅烧、水泥制成。

① 生料制备

经破碎后的石灰质原料、黏土质原料与少量校正原料按一定比例配合、磨细并调配为成分合适、质量均匀的生料的过程称为生料的制备。

② 熟料煅烧

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的过程称为熟料煅烧。

③ 水泥制成

水泥熟料、石膏、混合材料(I型硅酸盐水泥不加混合材料)按一定比例混合,共同磨细并包装成袋(出厂散装水泥不需包装)的过程称为水泥制成。

1.3 水泥工业的环境污染与治理

人类自诞生以来,就开始从周围环境中获得生活资料和生产资料,并不断改造环境;同时,也不断受各种环境因素的影响。随着生产力的迅速发展,人类所受环境的影响也随着对环境的改造程度而越来越大,人类如不注意对环境的保护,大自然必然会报复人类(实际上已经发生)。

水泥工业在国民经济中占有非常重要的位置,其发展速度较快,对环境的影响也越来越大。其影响因素如下:在水泥生产过程中,原料的开采和破碎、生料的粉磨和均化、熟料的破碎和输送、水泥的粉磨和包装都产生大量的粉尘和噪音;这些粉尘大多属于活性二氧化硅含量大于10%的矿物性粉尘,人若长期接触会对人体有一定影响,还会使土壤板结、植物枯萎。而熟料在煅烧过程中,采用煤、天然气、重油等燃料,在燃烧过程中释放大量的烟气和废热,这些烟气中含有二氧化碳、二氧化硫、一氧化碳等有害物质,会造成对动物、植物的危害和对建筑物、文物古迹的侵蚀。

随着经济和社会的发展,水泥工业越来越兴旺,但在发展水泥工业的同时,必须加强对环境的保护工作。目前,我国的大型水泥企业对环境的保护工作比较重视,采用新型干法水泥生产工艺技术,加强粉尘治理和余热利用,对环境保护起到较好效果。但是,一些中、小型水泥企业和一些老企业对环境的保护工作还存在不少问题,如工艺落后、设备陈旧、资金困难、人才缺乏、劳动力素质不高和对环境保护的认识不够等因素,对环境保护造成不利影响。

2 硅酸盐水泥原料的选择

2.1 石灰质原料的选择

制造水泥主要用石灰质原料和黏土质原料,二者总量占 95%左右,另外,根据前两种原料中成分的含量情况加入校正原料,一般加入的校正原料为铁质校正原料、硅质校正原料或铝质校正原料。同时,制造水泥还需要燃料。

凡是以碳酸钙为主要成分的原料都属于石灰质原料。它可分为天然石灰质原料和人工石灰质原料两类。水泥生产中常用的石灰质原料是天然石灰质原料。

2.1.1 石灰质原料的种类和性质

常用的天然石灰质原料有:石灰岩、泥灰岩、白垩、大理石、海生贝壳等。我国水泥工业生产中应用最普遍的是石灰岩(俗称石灰石),泥灰岩次之,个别小厂采用白垩和贝壳。

2.1.1.1 石灰石

石灰石是由碳酸钙组成的化学与生物化学沉积岩。其主要矿物为方解石(CaCO_3)微粒,并常含有白云石($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)、石英(结晶 SiO_2)、燧石(又称玻璃质石英、火石,主要成分为 SiO_2 ,属结晶 SiO_2)、黏土质及铁质等杂质,由于所含杂质的不同,按矿物组成又可分为白云质石灰岩、硅质石灰岩、黏土质石灰岩等。它是一种具有微晶或潜晶结构的致密岩石,其矿床的结构多为层状、块状及条带状。

纯净的石灰石在理论上含有 56%CaO 和 44% CO_2 ,呈白色。但实际上,自然界中的石灰石常因杂质含量的不同而呈青灰、灰白、灰黑、淡黄及红褐色等不同颜色。石灰石一般呈块状,其结构致密,性脆,莫氏硬度为 3~4(普氏硬度为 8~10),密度为 2.6~2.8 g/cm^3 ;耐压强度随结构和孔隙率而异,单向抗压强度在 30~170 MPa 之间,一般为 80~140 MPa;石灰石含水率一般不大于 1.0%,水分大小随气候而异,但夹杂较多黏土杂质的石灰石水分含量往往较高。

硬度是矿物抵抗外力机械作用(如压入、刻划、研磨等)的能力。1821 年,莫氏把矿物质硬度相对地分为 10 个等级组,其中每一等级组的矿物被后一等级组矿物刻划时,将得到一条不会被手指轻轻擦去的划痕,莫氏硬度为 1~10,等级越大者则硬度越大。莫氏硬度等级是:滑石,1;石膏,2;方解石,3;萤石,4;磷灰石,5;正长石,6;石英,7;黄玉,8;刚玉,9;金刚石,10。

2.1.1.2 泥灰岩

泥灰岩是由碳酸钙和黏土物质同时沉积所形成的均匀混合的沉积岩,属石灰岩向黏土过渡的中间类型岩石。

泥灰岩因所含黏土量的不同,其化学成分和性质也随之变化,如果泥灰岩中 CaO 含量超过 45%,称为高钙泥灰岩;若其 CaO 含量小于 43.5%,称为低钙泥灰岩。泥灰岩的主要矿物也是方解石,常见的为粗晶粒状结构、块状构造。

泥灰岩颜色取决于黏土物质,从青灰色、土黄色到灰黑色,颜色多样。其质软,易采掘和粉碎,常呈夹层状或厚层状。其硬度低于石灰岩,黏土矿物含量越高,硬度越低。耐压强度小于 100 MPa,含水率随黏土含量和气候而变化。

有些地方产的泥灰岩其成分接近制造水泥的原料,其氧化钙含量为 43.5%~45%,可直接用来烧制水泥熟料,这种泥灰岩称为天然水泥岩,但这种水泥岩的矿床是不常见的。泥灰岩是一种极好的水泥原料,它含有的石灰岩和黏土混合均匀,易于煅烧,有利于提高窑的产量,降低燃料消耗。

另外还有白垩、贝壳和珊瑚类石灰质原料,但在水泥行业中应用极少,在此不再赘述。