

李海涛 主编 郭献军 吴王伟 副主编

新型干法水泥 生产技术与设备



CHEMICAL INDUSTRY PRESS



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

新型干法水泥生产技术与设备

李海涛 主编

郭献军 吴王伟 副主编

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

新型干法水泥生产技术与设备/李海涛主编. 郭献军,
吴武伟副主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 10
ISBN 7-5025-7735-1

I. 新… II. 李… III. ①水泥-干法-生产工艺②水
泥-干法-生产-化工设备 IV. TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 119393 号

新型干法水泥生产技术与设备

李海涛 主编

郭献军 吴武伟 副主编

责任编辑: 窦 臻

文字编辑: 项 激

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行

材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 23¼ 字数 563 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7735-1

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

以预分解窑为代表的新型干法水泥生产技术是国际公认的代表当代技术发展水平的水泥生产方法。它具有生产能力大、自动化程度高、产品质量高、能耗低、有害物排放量低、工业废弃物利用量大等一系列优点,成为当今世界水泥工业生产的主要技术。

近年来,我国新型干法水泥生产技术得到了飞速发展。尤其是进入 21 世纪,大批 5000t/d 熟料新型干法水泥生产线的建成、投产,标志着我国新型干法水泥生产技术已经成熟。目前全国已建成的新型干法水泥生产线约 400 余条,产能达 3 亿多吨,占我国水泥总产量的 32% 以上。

新型干法水泥生产技术的发展,使得水泥生产新工艺、新技术、新设备及操作控制手段日益更新,造成水泥生产企业工程技术人员、生产控制操作人员及高级技术工人短缺,职工技术、知识结构更新迫在眉睫。为满足水泥生产企业员工技术培训、水泥工艺专业教学需要,我们以近几年的教学讲义为基础,结合水泥工业发展及企业的要求,编写了《新型干法水泥生产技术与设备》,并以为从事水泥工作的同行们提供学习、技术交流和参考的资料。

本书以国内已建成的 1000~5000t/d 熟料新型干法水泥生产线为主,收集了大量在新线建设、日常生产和技术改造过程中的成功经验与存在不足,查阅了业内资深专家、学者近期发表的有关新型干法水泥方面的论文和相关文献,从石灰石破碎、原料预均化堆场、生料制备及均化、预分解烧成与冷却、水泥制成及预分解系统调节与控制等方面,系统地介绍了新型干法水泥生产的工艺过程及设备的结构性能、运行参数和操作维护等。内容系统、新颖、翔实、通俗、实用、可靠。

全书共分九章,重点介绍了立磨生料粉磨系统、预分解系统、多风道燃烧器和第三代篦式冷却机的结构、性能特点、操作控制与维护以及常见故障的预防处理,辊压机及第三代选粉机的结构、运行参数和操作维护等。还介绍了水泥熟料形成过程、回转窑结构及耐火衬料的选用和施工注意事项。

本书由李海涛主编,郭献军、吴武伟副主编,王晓峰、任和平、张伟、陈白生及同力水泥有限公司曹庆霖参加了编写。在编写工程中,得到了系领导和协作单位的大力支持和热情帮助,在此一并表示感谢。

本书可供水泥工业的科研、设计、生产建设、工程技术及管理人员参考,也可作为水泥专业大专院校师生教学使用。

由于时间仓促、水平有限,书中缺点错误在所难免,希望广大读者和水泥行业的专家、同仁提出批评和改进意见。

编 者

2005 年 9 月

目 录

1 绪论	1	3.5 原料预均化	31
1.1 新型干法水泥生产技术的现状及发展 方向	1	3.5.1 原料预均化的原理	31
1.1.1 国外新型干法水泥生产技术现状 及发展趋势	1	3.5.2 预均化堆场的意义	31
1.1.2 国内新型干法水泥生产技术现状	2	3.5.3 原料采用预均化技术的条件	32
1.1.3 我国新型干法水泥生产技术的发 展方向	5	3.5.4 预均化堆场的类型	33
1.2 新型干法水泥生产工艺流程	7	3.6 预均化堆场的布置形式及堆取料 方式	33
2 原燃料及配料	8	3.6.1 堆场的布置形式	33
2.1 水泥生产原料	8	3.6.2 堆料方式	34
2.1.1 石灰质原料	8	3.6.3 取料方式	36
2.1.2 黏土质原料	9	3.7 堆料机和取料机	37
2.1.3 校正原料	10	3.7.1 堆料机	37
2.2 水泥生产燃料	11	3.7.2 取料机	37
2.2.1 燃料的组成及表示方法	11	3.8 堆料机和取料机的操作与维护	43
2.2.2 回转窑对燃料的质量要求	14	3.8.1 取料机的操作与维护	43
2.3 硅酸盐水泥熟料的矿物组成	15	3.8.2 堆料机的操作与维护	46
2.4 硅酸盐水泥熟料的率值	16	3.9 影响均化效果的因素及解决措施	47
2.5 熟料化学成分、矿物组成和各率值 之间的关系	17	3.9.1 原料成分波动	47
2.6 配料计算	18	3.9.2 物料离析作用	47
2.6.1 熟料中煤灰掺入量	18	3.9.3 料堆端部锥体的影响	48
2.6.2 配料计算	18	3.9.4 堆料机布料不均	48
3 破碎及预均化	23	3.9.5 堆料总层数	48
3.1 破碎的意义	23	4 生料制备	49
3.2 石灰石破碎机	23	4.1 概述	49
3.2.1 国外单段锤式破碎机的生产 状况	23	4.2 立磨的结构及工作原理	50
3.2.2 国产单段锤式破碎机	24	4.2.1 结构	50
3.3 主要工作参数	28	4.2.2 工作原理	51
3.3.1 生产能力	28	4.2.3 各种类型立磨的结构及特点	51
3.3.2 功率	28	4.3 工艺参数	67
3.3.3 回转线速度	29	4.3.1 磨盘转速	67
3.4 破碎机的操作与维护	29	4.3.2 生产能力	68
3.4.1 操作	29	4.3.3 辊压	69
3.4.2 维护特殊说明	30	4.3.4 磨辊、磨盘的相对尺寸	70
3.4.3 常见故障及处理	31	4.3.5 辊磨通风	70
		4.3.6 磨机功率	72
		4.3.7 磨损	74
		4.4 立磨的控制与操作	75
		4.4.1 立磨参数的控制	75

4.4.2 立磨的操作	77	5.5.10 NC 分解炉系列	144
4.5 立磨使用与维护	79	5.5.11 各类分解炉性能比较	145
4.5.1 常见故障	79	5.6 分解炉的工艺性能	146
4.5.2 常见故障及排除	83	5.6.1 生料中碳酸盐分解反应的特性	146
4.6 生料均化	86	5.6.2 碳酸钙分解过程	148
4.6.1 概述	86	5.6.3 料粉分解的化学动力学方程	149
4.6.2 均化原理	87	5.6.4 分解炉中料粉的分解时间	149
4.6.3 连续式均化库	87	5.7 分解炉的热工性能	151
4.6.4 多料流式均化库	88	5.7.1 分解炉内燃料的燃烧	151
5 预分解系统	102	5.7.2 分解炉内的传热	155
5.1 预热器	102	5.7.3 分解炉内的气体运动	156
5.1.1 预热器的发展	102	5.8 预分解系统的结皮堵塞	157
5.1.2 预热器的分类	103	5.8.1 碱、硫、氯等有害成分富集及 危害	157
5.1.3 预热器的作用及特点	104	5.8.2 预热器系统的结皮堵塞及预防	158
5.2 预热器的工作原理	104	5.8.3 旁路放风系统	159
5.2.1 预热器的换热功能	104	5.8.4 防止黏结堵塞的其他措施	159
5.2.2 物料分散	104	6 水泥熟料的烧成	161
5.2.3 锁风	107	6.1 水泥熟料的形成过程	161
5.2.4 气固间换热	108	6.1.1 干燥过程	161
5.2.5 气固分离	109	6.1.2 黏土质原料脱水	161
5.2.6 影响预热器热效率的因素	111	6.1.3 碳酸盐分解	161
5.3 旋风预热器的结构及技术参数	111	6.1.4 固相反应	161
5.3.1 旋风筒的结构	111	6.1.5 硅酸三钙 (C_3S) 的形成和烧结 反应	162
5.3.2 新型旋风筒的结构	115	6.1.6 熟料的冷却过程	163
5.4 分解炉	118	6.2 水泥熟料的形成热	163
5.4.1 预分解技术的特点	118	6.2.1 水泥熟料形成热的计算方法	164
5.4.2 分解炉的作用	119	6.2.2 水泥熟料形成热计算举例	167
5.4.3 分解炉的分类	119	6.3 回转窑的结构	170
5.5 各类分解炉的结构特点	121	6.3.1 筒体	170
5.5.1 SF 分解炉 (Suspension Preheater- Furnace) 系列	121	6.3.2 轮带 (又称滚圈)	172
5.5.2 KSV 分解炉 (Kawasaki spouted bed and woutex chamber) 系列	122	6.3.3 托轮与窑体窜动	173
5.5.3 DD (Dual Combustion Denitrati- on process) 分解炉	124	6.3.4 挡轮组	177
5.5.4 RSP 分解炉系列	126	6.3.5 传动装置	178
5.5.5 MFC (Mitsubishi Fluidized Calciner) 分解炉系列	127	6.3.6 密封装置	180
5.5.6 FLS 分解炉系列	132	6.4 回转窑工作原理	185
5.5.7 派朗克隆 (Pyroclon) 和普列波尔 (Prepol) 分解炉	136	6.4.1 窑内物料的运动	185
5.5.8 交叉料流型分解炉	140	6.4.2 回转窑内的燃料燃烧	188
5.5.9 TC 分解炉系列	142	6.4.3 回转窑内的气体流动	193
		6.4.4 回转窑内的传热	194
		6.5 回转窑系统热平衡	199
		6.5.1 烧成热耗	199
		6.5.2 热平衡计算基准	200

6.5.3	物料平衡与热量平衡	200	7.5.2	国外辊面堆焊技术	284
6.5.4	热平衡计算举例	206	7.5.3	辊压机辊面护层技术发展及特点	285
6.6	水泥熟料冷却机	213	7.6	辊压机的使用与维护	289
6.6.1	冷却机性能评价	213	7.6.1	辊压机的正常操作	289
6.6.2	篅式冷却机的发展	214	7.6.2	设备的维护与检修	291
6.6.3	篅板的改进	217	7.6.3	常见故障及处理	293
6.6.4	各种篅式冷却机简介	220	7.7	选粉机	295
6.6.5	篅冷机常见故障及排除	237	7.7.1	O-sepa 选粉机结构及工作原理	295
6.7	燃烧器	239	7.7.2	O-sepa 选粉机的工作参数	297
6.7.1	煤粉燃烧器的发展	239	7.7.3	O-sepa 高效选粉机的调节	298
6.7.2	几种燃烧器的结构性能	241	8	收尘器	302
6.7.3	环境保护	250	8.1	电除尘器	302
6.8	煤粉制备	252	8.1.1	电除尘器的特点	302
6.8.1	工作原理及结构	253	8.1.2	电收尘器的工作原理	302
6.8.2	磨机操作	254	8.1.3	电收尘器的工作参数	304
6.8.3	磨机(磨煤机)的使用条件	259	8.1.4	大型电除尘的特点	307
6.8.4	磨煤机的选型	260	8.1.5	工艺流程对除尘效率的影响	308
6.9	耐火材料	261	8.1.6	电收尘器常见故障及处理	312
6.9.1	预分解窑的工艺特性及对耐火材料的要求	261	8.2	气箱脉冲袋式收尘器	318
6.9.2	水泥窑用耐火材料的种类及性能特点	263	8.2.1	概述	318
6.9.3	窑系统不同部位对耐火材料的选择	268	8.2.2	结构及工作原理	319
6.9.4	耐火材料的施工	269	8.2.3	气箱脉冲袋式收尘器的选用	321
7	水泥粉磨	273	8.2.4	安装与调试	322
7.1	水泥预粉磨系统	273	8.2.5	日常保养维护和检修	325
7.1.1	水泥预粉磨技术的发展	273	8.2.6	故障及排除	325
7.1.2	辊压机预粉磨系统	273	8.2.7	滤袋的修理和更换	326
7.1.3	立磨预粉磨系统	274	8.3	BFRS(P) 系列大型反吹袋式除尘器	327
7.2	水泥终粉磨系统	275	8.3.1	概述	327
7.2.1	立磨终粉磨	275	8.3.2	结构及原理	327
7.2.2	辊压机水泥终粉磨	276	8.3.3	特点	328
7.2.3	终粉磨的水泥质量问题	277	8.4	LCM 长袋脉冲袋式收尘器	329
7.3	辊压机	277	8.4.1	概述	329
7.3.1	辊压机工作原理	277	8.4.2	工作原理	329
7.3.2	高压料床粉碎的条件	278	8.4.3	特点	329
7.3.3	辊压机的结构	279	8.4.4	系列设计	329
7.4	工艺参数	280	8.4.5	过滤速度	330
7.4.1	压力	280	8.4.6	安装及调试	330
7.4.2	转速	281	8.4.7	维护和检修	331
7.4.3	生产能力	282	8.5	袋式除尘器过滤材料的选择	332
7.5	辊压机辊面堆焊技术	283	8.5.1	水泥工业含尘气体的特性	332
7.5.1	国内辊面堆焊技术	283	8.5.2	选择滤料注意事项	332
			8.5.3	国内几种滤料的技术性能	333

9 预分解窑系统的调节与控制	335	9.4 预分解窑的点火投料操作	349
9.1 预分解窑调节控制的目的及原则	335	9.4.1 试车	349
9.1.1 预分解窑调节控制的目的	335	9.4.2 点火投料	350
9.1.2 预分解窑调节控制的一般原则	335	9.5 停窑操作	354
9.2 预分解窑系统调节控制项目	335	9.5.1 正常停窑	354
9.2.1 检测参数	336	9.5.2 事故停窑	354
9.2.2 调节参数	339	9.6 预分解窑系统的正常操作	355
9.3 预分解窑自动控制系统	340	9.7 非正常条件下的操作及故障处理	356
9.3.1 概述	340	9.7.1 故障停车	357
9.3.2 MASTER 控制系统的应用	341	9.7.2 几种常见工艺故障的判断和	
9.3.3 INFI-90 控制系统的应用	342	处理	357
9.3.4 中央控制室微机操作界面	346	参考文献	360

1 绪 论

1.1 新型干法水泥生产技术的现状及发展方向

以预分解窑为代表的新型干法水泥生产技术是国际公认的代表当代技术发展水平的水泥生产方法。具有生产能力大、自动化程度高、产品质量高、能耗低、有害物排放量低、工业废弃物利用量大等一系列优点,成为当今世界水泥工业生产的主要技术。

新型干法水泥生产技术的内容包括原料矿山计算机控制开采、原料预均化、生料均化、新型节能粉磨、高效低阻预热器和分解炉、新型篦式冷却机、高耐热耐磨及隔热材料、计算机与网络化信息技术等,使水泥生产具有高效、优质、节能、资源利用符合环保和可持续发展的要求。

1.1.1 国外新型干法水泥生产技术现状及发展趋势

1.1.1.1 国外新型干法水泥生产技术现状

20世纪90年代国际上以预分解烧成技术为主,进一步优化系统内各单项装备技术,提高产量和质量,降低热耗和电耗,以提高劳动生产率,降低产品成本,增加经济效益,同时扩大原燃料的使用范围和减少粉尘及有害气体的排放,以保持可持续发展。

新型干法窑向大型化发展,自动化水平不断提高,单机最大能力达12000t/d,吨水泥综合电耗已降低到90kW·h/t以下,熟料热耗低于2827kJ/kg(700kcal/kg),劳动生产率(水泥)提高到15000~20000t/(人·年)。环保日益受到重视,德国、英国、法国等一些环保标准较高的国家对新建水泥厂污染物排放的限值为:粉尘(标准状态下) $<40\text{mg}/\text{m}^3$, SO_2 (标准状态下) $<200\text{mg}/\text{m}^3$, NO_x (标准状态下) $<500\text{mg}/\text{m}^3$ 。在烧废料方面,1999年德国和瑞典已取代了熟料煅烧用燃料的18%~20%,北欧各国为10%~14%,英国为8%,美国为5%。在瑞典和美国的个别水泥企业中,烧废料的比比例已有高达80%的实例,瑞典计划2008年全国达到50%以上,2020年基本实现100%。

回转窑的平均规模不断扩大,尤其是20世纪90年代以来,投产了较多的5500t/d和7500t/d以及少数10000t/d级的回转窑。

1.1.1.2 21世纪水泥工业的发展趋势

(1) 设备大型化 回转窑的单机最大能力达12000t/d,用于生料粉磨辊式磨的最大能力可达800t/h,且运转率与窑匹配,与之相适应的材料及加工方法同步发展,计算机辅助设计、有限元分析、计算流体力学、计算机仿真手段可确保大型化设备的设计更可靠有效。

(2) 操作及维护成本低 大型化烧成熟料热耗可低于2717kJ/kg(650kcal/kg)。吨水泥电耗可低于80kW·h/t(水泥)。余热、替代原燃料的利用、有害有毒废物利用,使产品成本进一步降低,扩大了资源的有效利用。

(3) 自动化程度高 生产过程控制(各种专家系统),产品质量的全方位控制,生产、销售的网络化管理,使工厂资本运作达到最佳化。

(4) 环境效应 水泥工业进一步与环境相容,不但降低粉尘的排放,而且采用新技术使气体中的 CO_2 、 NO_x 、 SO_2 的排放量达到最小。21 世纪水泥企业在环保上的目标做到“三零一负”,即在水泥生产过程中实现对环境零污染;对电能和天然矿物燃料的零消耗;对废渣、废料的零排放,最大限度减轻社会环境负荷。此外,水泥企业还能治理和循环利用部分有毒、有害废弃物和城市垃圾等作为二次原燃料,减轻全社会的环境问题,实现水泥工业可持续发展。

1.1.2 国内新型干法水泥生产技术现状

我国水泥工业发展中存在的突出问题:一是立窑等落后工艺生产的水泥占总量的 70% 以上;二是局部地区新上项目过于集中,产能大于市场需求,出现恶性竞争;三是小水泥企业石灰石资源利用率不足 40%,污染、浪费严重。

20 世纪 90 年代以来,我国水泥产量平均每年增长 17.5%。2003 年达到 8.63 亿吨。其中新型干法水泥产量占总量的 21.4%,立窑水泥占 71.4%。2001~2003 年我国各种窑型水泥产量见表 1-1。

表 1-1 2001~2003 年我国各种窑型水泥产量

年份	总产量/万吨	新型干法窑		其他回转窑		立窑	
		产量/万吨	%	产量	%	产量/万吨	%
2001	64000	7104	11.1	5760	9.0	51136	79.9
2002	72500	10366	14.3	6163	8.5	55970	77.2
2003	86300	18500	21.4	6163	7.2	61637	71.4

20 世纪 80~90 年代中期,我国引进一批 3000t/d、4000t/d 生产线,与此同时,进行国产化 4000t/d 装备的开发。冀东二线国产化 4000t/d 生产线的成功运用,不但降低了工程投资,而且为更大规模的国产大型化装备的开发积累了经验。

20 世纪 90 年代以来,一些大型化生产线相继在国内建成投产。如山东大宇 7200t/d 熟料生产线及华新 5000t/d、京阳 5500t/d 生产线。这些生产线以其生产稳定、产品质量好、运行成本低,在国际、国内的产品市场上占有了一定的份额,并显示出强劲的市场竞争力。这些生产线的投产和稳定运行,标志着我国水泥装备现代化、大型化技术已成熟。

1.1.2.1 原料均化技术

新型干法水泥生产产品质量得以保证的关键是原料均化技术的应用。已投入应用的技术装备如下。

(1) 矿山设计采用矿化模型系统 (CQMS)。以此制定的搭配开采方案保证了所开采的矿石中的主要成分的稳定性,同时也为低品位矿石的有效利用创造了条件。

(2) 设置具有良好均化效果的原燃料预均化堆场。国内已具备提供满足不同生产规模的预均化堆场技术装备的条件(圆形堆场直径可达 110m;矩形堆场跨度达 50m,可满足 2000~10000t/d 级规模生产线的需要)。

(3) 配置计量精确的块状和粉状物料计量装置,并通过质量控制系统及时调整各种原料的喂料比例,确保出磨生料和水泥的合格率。

(4) 采用高均化效果、低耗电和高卸空率的生料均化库 (H 值达 8 以上,电耗约 $0.25\text{kW}\cdot\text{h/t}$,卸空率大于 98%),确保入窑生料的合格率。

1.1.2.2 预分解窑节能煅烧工艺和技术装备

(1) 通过系统试验研究,开发了系统压损在 4000~4800Pa 的高效、低压损的五级旋风预热器系统。目前已投入生产运行的有 2000t/d、2500t/d 的单系列和 2500t/d、3200t/d、5000t/d 的双系列。同时,预热器内筒、锁风阀、耐火材料等的改进确保了熟料煅烧系统的可靠性和热耗的降低。

(2) 通过对各种燃煤(包括无烟煤、低热值煤和含高硫煤等)的燃烧特性及在窑炉工况条件下的燃烧机理研究和工业试验,开发出实用可靠的适合于燃料特性的煅烧技术和装备,为资源的综合利用和降低运行成本创造了条件。该项技术目前已得到推广。

(3) 为满足不同规模生产线建设的需要,开发设计了回转窑系列产品,包括二支承和三支承的回转窑,其中三支承窑的最大规格为 $\phi 5.0\text{m} \times 74\text{m}$,可满足 5000~6000t/d 规模生产线的需要。

(4) 开发并推广了第三代 TC 系列空气梁熟料篦式冷却机。该技术使熟料冷却风量下降至 $1.6 \sim 1.8\text{m}^3/\text{kg}$ 熟料,热回收效率提高到 74% 以上,设备可靠性确保了烧成系统的运转率在 90% 以上。

(5) 开发了可适应不同性能燃料(包括无烟煤)燃烧的燃烧器系列,一次风量降至 10% 以下,具有对燃料适应能力强、调节灵活、有利于保护窑皮及延长衬料使用周期等显著优点。

1.1.2.3 节能粉碎粉磨技术与装备

(1) 粉碎技术与装备 原料的单段破碎工艺具有破碎比大、物料不易堵塞、维修方便、电耗低、工艺流程简单等优点。经过多年的努力,目前已开发出台时产量从 80~1800t/h 的不同形式的石灰石单段破碎机,并已投入运行。适合于黏性物料破碎的齿辊式破碎机的最大产量已达 350~400t/d;破碎高磨蚀性和难破碎性物料的破碎工艺和技术装备也已成熟,可满足工程建设的需要。

(2) 原料烘干粉磨系统 根据原料的易磨性、磨蚀性和烘干的不同要求,分别开发了管磨、辊磨系统。

① 带组合式高效选粉机的钢球磨系统(管磨系统) 管磨系统对原料的易磨性和磨蚀性的适应性较广,运行可靠。新近开发的 TLS 型组合式高效选粉机因其分离效率高、产品细度调节灵活、结构紧凑等优势,使系统产量提高,电耗降低,同时简化了流程,降低了基建投资。新近开发的管磨机采用了双滑履支撑,配用了先进的边缘传动装置。其规格已能满足 3000t/d 和 5000t/d 级生产线的要求。

② 辊式磨系统 在原料适合的前提下,与管磨机相比,辊式磨具有流程简单、节电和烘干能力强等优点。近年来随着材料工业和机械加工工业的发展,科研设计和装备制造单位在消化吸收国际先进技术的基础上开发出国产化的新一代辊式磨(改善磨辊结构,加快磨盘转速,采用先进可靠的液压装置,提高磨辊压力,配置高效选粉机,采用外循环设计),使磨机的可靠性和易损件使用寿命得以保证(在正常原料条件下辊套和衬板的寿命可达一年半以上),节电效果进一步提高。

目前国内已具备提供满足 5000t/d 级以下规模水泥生产线的生料和煤粉制备用的辊式磨系列产品的条件(对于 5000t/d 级的原料磨需引进部分关键部件)。

(3) 水泥粉磨系统

① 管磨闭路系统 由高效笼型选粉机、高效布袋收尘器和管磨机组成的水泥粉磨系统,

被认为是高新技术对传统流程进行改造的最好实例之一。系统按生产 ISO 标准水泥产品的要求进行配置，管磨机采用了双滑履支撑，并配用了先进的边缘传动装置；第三代笼型高效选粉机的选粉效率在 80% 以上；高效布袋收尘器确保在进口含尘达 800g/m³ 的条件下净化气体含尘小于 50mg/m³。系统在运转可靠的前提下，实现了高产低耗。目前已投入运行的系统能力为 40~100t/h（以 PO42.5 计）。

② 辊压机系统 辊压机作为预粉磨或半终粉磨过程的主机装备，其技术可靠性和节电优势已为广大用户所认知和接受。与管磨系统相比其粉磨电耗可降低 25%。

近年来国产辊压机解决了机体振动、辊面磨损大、寿命短、自控不协调、液压系统调节失灵等技术问题，并已形成系列，最大规格能满足半终粉磨系统 160t/h 产量的配套要求。

1.1.2.4 自动控制技术

新型干法水泥生产工艺线整个流程有近 1000 台电动机和阀门，数百台机械设备以及上千个开关量，数百个模拟量测点和数十个调节回路。为保证稳定运行和优良的产品质量，需要通过自动控制来完成。

近年来我国广泛采用国际上先进的计算机控制技术、通信技术和图形显示技术，采用分散控制、集中管理的集散型控制系统（DCS），并开发运用了工厂生产管理信息系统（PMIS），实现了系统的可靠、安全和实用的目标。

1.1.2.5 环境保护

新型干法水泥生产过程作为几乎无污染和生态友好型工业的实践，近年来受到了社会的普遍关注。作为传统水泥生产的主要污染源（粉尘、废水和废气）已得到系统的治理：粉尘排放远低于国家标准允许的排放限度；废水实现了零排放；有害气体（NO_x）的排放也得到了有效的控制。

新型干法水泥生产在最大程度利用工业废渣作为原燃料的同时，在利用工业和生活垃圾等方面具有极大的发展前景。相应的工业性试验已取得实质性进展。

1.1.2.6 2500t/d 和 5000t/d 级生产线

2500t/d 和 5000t/d 级生产线技术装备基本配置见表 1-2。

表 1-2 2500t/d 和 5000t/d 级生产线技术装备基本配置

序号	车间名称	主机名称	2500t/d 生产线			5000t/d 生产线		
			性能指标	能力/(t/h)	数量	性能指标	能力/(t/h)	数量
1	石灰石破碎	锤式破碎机	进料量：<1.5m ³ 出料粒度：<10%R70mm	500	1	进料量：<1.5m ³ 出料粒度：<10%R70mm	700	1
2	石灰石预均化	堆料机	悬臂或顶部小车式	500	1	悬臂或顶部小车式	700	1
		取料机	桥式刮板	250	1	桥式刮板	450	1
3	煤破碎	环锤式碎煤机	进料粒度：<300mm 出料粒度：<30mm	100	1	进料粒度：<300mm 出料粒度：<30mm	200	1
4	煤预均化	堆料机	悬臂或顶部小车式	100	1	悬臂或顶部小车式	200	1
		取料机	刮板式	60	1	刮板式	100	1
5	石膏破碎	锤式破碎机	进料粒度：<400mm 出料粒度：<30mm	50	1	进料粒度：<400mm 出料粒度：<30mm	80	1

续表

序号	车间名称	主机名称	2500t/d 生产线			5000t/d 生产线		
			性能指标	能力/(t/h)	数量	性能指标	能力/(t/h)	数量
6	原料粉磨	辊式磨	入磨水分:正常 4%~5% 入磨粒度: <10% R70mm 最大为 250mm 出磨水分: <0.5% 成品细度: <12% R80 μ m	195	1	入磨水分:正常 4%~5% 入磨粒度: <10% R70mm 最大为 250mm 出磨水分: <0.5% 成品细度: <12% R80 μ m	380	1
7	煤粉制备	辊式煤磨	入磨水分: <10% 出磨水分: <1% 入磨粒度: <50mm 成品细度: <12% R80 μ m	20	1	入磨水分: <10% 出磨水分: <1% 入磨粒度: <50mm 成品细度: <12% R80 μ m	38	1
8	熟料烧成	五级旋风预热	单系列 C ₁ : 2- ϕ 4.7m C ₂ : 1- ϕ 6.6m C ₃ : 1- ϕ 6.8m C ₄ : 1- ϕ 6.8m C ₅ : 1- ϕ 7.0m	2500t/d	1	双系列 C ₁ : 4- ϕ 4.5m C ₂ : 2- ϕ 6.4m C ₃ : 2- ϕ 6.6m C ₄ : 2- ϕ 6.6m C ₅ : 2- ϕ 6.8m	5000(t/d)	1
		分解炉	ϕ 5.6m		1	ϕ 7.4m		1
		回转窑	ϕ 4m $\times$ 60m		1	ϕ 4.8m $\times$ 72m		1
		充气梁篦冷机	篦床有效面积: 61m ² 出料温度: 65℃ + 环境温度		1	篦床有效面积: 119m ² 出料温度: 65℃ + 环境温度		1
9	窑尾废气处理	电收尘	380000m ³ /h		1	620000m ³ /h		1
10	水泥粉磨	辊压机	辊压机 TRP140/100		1	辊压机 TRP140/100		2
		水泥磨	管磨: ϕ 4.2m $\times$ 10m 比表面积: 340m ² /kg	120	1	管磨: ϕ 4.2m $\times$ 10m 比表面积: 340m ² /kg	120	2

1.1.3 我国新型干法水泥生产技术的发展方向

我国新型干法水泥生产技术和装备水平已与国际先进水平相接近,但整体水平还存在较大差距。因此,必须继续加强技术开发,在努力提高新型干法生产的水泥所占比例的同时,力争到 2005 年,5000t/d 级及以下规模生产线的技术经济指标达到当时国际先进水平。

为此,必须加强工艺技术、信息化建设和重大装备的开发和创新,加强企业管理和人才培养,不断推行优化设计。今后的主要课题如下。

① 加强原料均化技术的研究,进一步扩大低品位原料和工业废渣的应用。进一步强化从原料矿山开采到原料粉磨前均化的措施和手段,减小磨后生料的均化和贮存的投资。

② 进一步提高预热预分解系统的技术性能,开发高性能回转窑(槽齿新结构轮带、摩擦传动等)和新一代熟料冷却机等关键装备;进一步扩大燃料品种和替代燃料,加强低热值的劣质煤和废轮胎、废塑料等工业废料利用的研究。

③ 加大力度进行生料辊式磨系统以及用于水泥预粉磨、终粉磨的辊压机和辊式磨系统的开发和推广应用,使水泥综合电耗降至 90kW·h/t 以下(以 PO42.5 计)。

④ 在 DCS 和其他专用软件开发的基础上, 研究开发工艺装备过程优化控制软件, 并不断扩大信息技术在企业管理中的应用, 推广企业资源计划 (ERP)、客户关系管理 (CRM) 等现代管理技术。

⑤ 进一步做好个性化设计, 力求以最低的投资、最小的资源消耗和最低的生产成本, 最大程度地满足市场的需要。

⑥ 研究开发效率更高的除尘装备和降低 NO_x 、 SO_2 等排放浓度的技术和装备, 以实现污染零排放。

⑦ 针对劳动生产率不高的现状, 要加大技术装备的开发和应用, 如物料贮存输送、水泥成品包装、袋装及散装发运等。

⑧ 进一步研究生产工艺过程的优化, 以满足各种功能水泥产品的生产要求, 并最大程度地降低生产运行成本。

⑨ 加强功能材料的研究和应用, 以提高装备的性能, 如高性能的耐磨金属材料、金属陶瓷材料、耐火材料和隔热材料等。

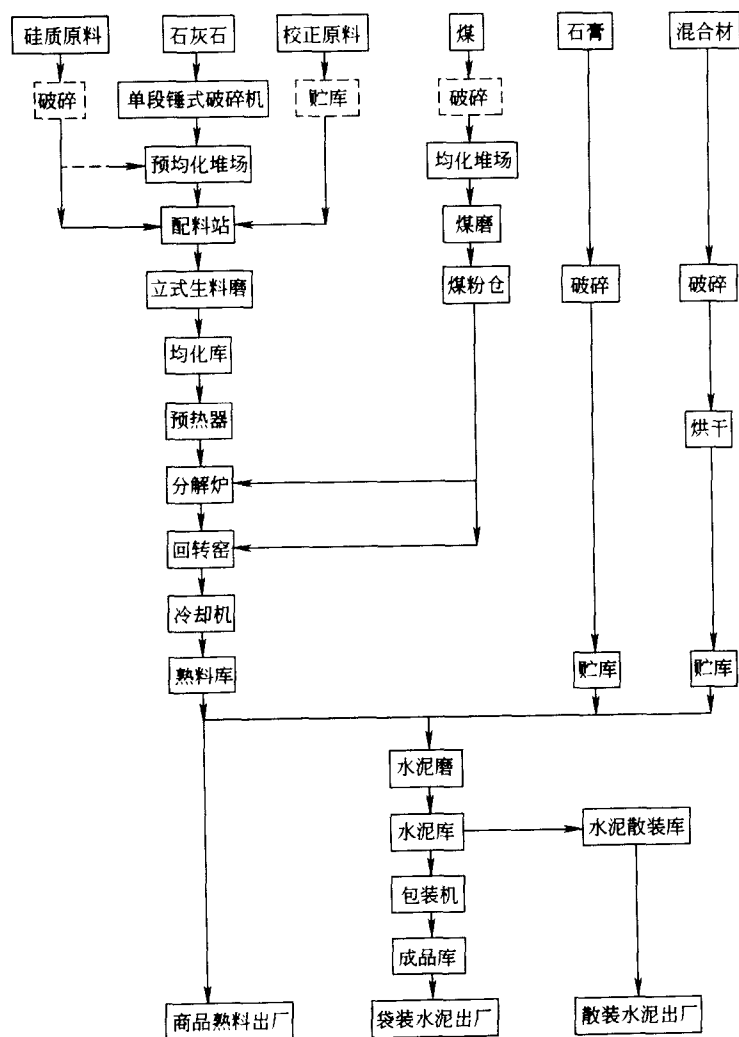


图 1-1 典型的新型干法水泥生产线工艺流程

⑩ 进行生态化工程设计的研究，力求在基建投资相当的前提下实现与环境的融合。

⑪ 在工艺技术与装备完善和提高的基础上，通过工程设计施工、管理的不断优化，进一步降低新型干法水泥生产线的建设投资。

⑫ 加强和水泥生产相关产品、环境保护、替代燃料、新装备、仪器、管理等方面标准的研究。

1.2 新型干法水泥生产工艺流程

新型干法水泥生产工艺过程与其他生产方法相比基本上是相同的。它包括原燃料进厂、原燃料破碎、生料制备、熟料煅烧、水泥制成及发运等。典型的新型干法水泥生产工艺流程如图 1-1 所示。

2 原燃料及配料

2.1 水泥生产原料

生产硅酸盐水泥的主要原料为石灰质原料和黏土质原料，有时还要根据原燃料品质 and 水泥品种，掺加校正原料以补充某些成分的不足，还可以利用工业废渣作为水泥的原料或混合材料进行生产。

2.1.1 石灰质原料

石灰质原料是指以碳酸钙为主要成分的石灰石、泥灰岩、白垩和贝壳等。石灰石是水泥生产的主要原料，每生产 1t 熟料大约需要 1.3t 石灰石，生料中约 80% 以上是石灰石。

石灰岩是由碳酸钙组成的化学生物沉积岩。主要矿物是方解石，并含有白云石、硅石（石英或燧石）、含铁矿物和黏土质杂质，具有微晶或隐晶结构的致密岩石。纯方解石为白色，由于含有各种杂质呈灰白、淡黄、红褐或灰黑等颜色，密度在 $2.6 \sim 2.8 \text{g/cm}^3$ 之间，普氏硬度 8~10，用小刀易刻出伤痕。生料中氧化钙含量一般为 40%~44%。为了达到上述要求，一般要求石灰石中氧化钙含量不应低于 45%，以免配料困难。为了使熟料中的氧化镁不超过 5%，要求石灰石中氧化镁含量不得超过 3%。因此含碳酸镁高的石灰石不宜用作生产水泥的原料，但可以与碳酸镁含量低的石灰石搭配使用。另外，石灰石中含有大量硬度大、呈黑色团块或条形的燧石也不宜采用。燧石为隐晶质二氧化硅，质地坚硬，对生料粉磨及煅烧有不利影响。因此，燧石含量高的石灰石也不宜用于制造水泥，若要采用，应控制燧石和石英含量小于 4%，生料应尽可能磨得细一些。石灰石中碱含量（ R_2O ）应小于 1%，最好小于 0.5%~0.7%。评价石灰石的质量，除了化学成分是否适宜外，其物理状况也很重要，如硬度、矿物结构、杂质含量及杂质的分布是否均匀等。

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，易采掘。它是一种由石灰石向黏土过渡的岩石。泥灰岩中氧化钙含量超过 45%、石灰饱和系数大于 0.95 时，称为高钙泥灰岩，应加黏土配合使用；若氧化钙含量小于 43.5%、石灰饱和系数低于 0.8 时，称为低钙泥灰岩，通常应与石灰石搭配使用；若氧化钙含量为 43.5%~45%，各率值和熟料相近，则称为天然水泥岩，自然界很少。泥灰岩硬度低于石灰岩，黏土物质含量越高，硬度越低，其颜色决定于黏土物质，从黄色到灰黑色，耐压强度通常小于 100MPa。泥灰岩是一种极好的水泥原料，其中石灰岩和黏土混合均匀，易烧性好，有利于提高窑的产量，降低燃料消耗。

白垩是由海生生物外壳与贝壳堆积而成，主要由隐晶或无定形细粒疏松的碳酸钙所组成的石灰岩。其中常夹有黏土，颜色有白、浅黄、浅绿等，以色白发亮为最纯，碳酸钙含量可达 90% 以上。白垩结构疏松，易于粉磨和煅烧，是水泥生产的优质原料。

此外，许多工业废渣，如电石渣、糖滤泥、碱渣、白泥等都可以作为水泥生产的石灰质

原料。通常对水泥生产的石灰石和泥灰岩等石灰石质原料的质量要求见表 2-1。

表 2-1 石灰石质原料的质量要求

单位：%

品 位		CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃	Cl ⁻	石英或燧石
石灰石	一级品	>48	<2.5	<1.0	<1.0	<0.015	<4.0
	二级品	45~48	<3.0	<1.0	<1.0	<0.015	<4.0
泥灰岩		35~45	<3.0	<1.2	<1.0	<0.015	<4.0

新型干法水泥生产过程中，采用了石灰石预均化、生料均化等措施，为低品位石灰石的利用提供了保证，使 CaO 含量在 42% 左右、MgO 含量在 3%~5% 之间的低品位石灰石，也能达到生产要求，延长了矿山服务年限，有效利用了资源。如浙江诸暨、河南七里岗等，所用石灰石 CaO 含量为 40%~46%，SiO₂ 含量为 10%~12%，其石灰质原料的化学成分见表 2-2。

表 2-2 石灰质原料的化学成分

单位：%

名 称	烧失量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O+Na ₂ O	Σ
石灰岩	43.41	0.12	0.21	0.04	55.39	0.59		99.76
	42.78	1.23	0.70	0.2	53.83	1.32		100.06
	39.83	5.82	1.77	0.82	49.74	1.16		99.14
	41.84	3.04	1.02	0.64	49.61	3.19		99.34
泥灰岩	40.24	4.86	2.08	0.80	50.69	0.91		99.58
	38.02	8.64	2.20	0.99	46.98	1.30		98.13
白垩	36.62	10.24	2.16	1.8	46.28	1.95		99.05
	36.37	12.22	3.26	1.4	45.84	0.81		99.90
低品位石灰石	40.81	6.37	0.85	0.39	46.69	4.08	0.76	
	36.17	11.57	2.76	1.35	44.59	1.58		

低品位石灰石具有易烧、易磨、共熔温度低、晶格有缺陷和碳酸钙分解温度低等优点，但低品位石灰石成分波动大，R₂O 等有害成分含量高，对配料煅烧有一定影响。

2.1.2 黏土质原料

黏土质原料主要提供水泥熟料中的 SiO₂、Al₂O₃ 及少量 Fe₂O₃。天然黏土质原料有黄土、黏土、页岩、粉砂岩及河泥等。其中黄土和黏土用得最多。此外，还有粉煤灰、煤矸石等工业废渣。黏土为细分散的沉积岩，由不同矿物组成，如高岭土、蒙脱石、水云母及其他水化铝硅酸盐。

黏土的质量主要取决于化学成分、含砂量、含碱量以及黏土的塑性、热稳定性、正常流动度的需水量等工艺性能。这些随黏土中所含的主导矿物、黏粒多少及其杂质不同而异。根据主导矿物的不同可将黏土分成高岭石类、蒙脱石类和水云母类等。南方的红壤土属于高岭石类，华北与西北的黄土属于水云母类。

黏土质原料是碱和碱土的铝硅酸盐。主要化学成分是 SiO₂，其次是 Al₂O₃ 和少量 Fe₂O₃。一般生产 1t 熟料需 0.3~0.4t 黏土质原料。

为了便于配料又不掺加硅质校正原料，要求黏土质原料硅率为 2.5~3.5（最好 2.7~