

*100 instances for energy saving
and production increase for cement grinding*



水泥工业**粉磨**系统 节能增产技术百例

乔彬 主编



化学工业出版社

*100 instances for energy saving
and production increase for cement grinding*



水泥工业粉磨系统 节能增产技术百例

乔彬 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

水泥工业粉磨系统节能增产技术百例/乔彬

主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 4

ISBN 978-7-122-04814-1

I. 水… II. 乔… III. 水泥-粉磨-节能-技术

IV. TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 020092 号

责任编辑: 常 青

装帧设计: 刘丽华

责任校对: 李 林

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 20½ 字数 537 千字 2009 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

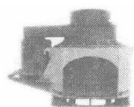
购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究



前言

近年来,随着水泥市场好转,新型干法水泥发展加快,节能减排和淘汰落后的力度加大,水泥作为能源资源消耗大、污染排放多的行业,节能减排责无旁贷。技术革新是实践节能减排的根本,水泥行业需要通过技术调整,采用先进的生产工艺,达到增产节能的目的。

众所周知,在水泥生产过程的总电能消耗中,用于制备生料和水泥的粉磨能耗约占56%~60%。粉磨设备的能量利用率或者说效率是很低的,以前人们认为它不到1%。今天,这种看法虽然有所改变,不再用以界面能为基础的纯理论计算,改为例如以单颗粒破碎能耗为基准的更具工业实际意义的计算,然而,水泥工业粉磨设备的效率一般也还在20%以下,一些老式球磨机的效率只有6%左右。与煅烧设备的热效率相比,粉磨设备效率的差距是很大的,如水泥回转窑的热效率已超过60%。所以,粉磨系统的节能增产任务很重,潜力也很大,一直是世界各国水泥工作者为之奋斗的主要目标之一。

从近百年来水泥工业粉磨技术的发展来看,它是渐近式的,尚没有革命性的突破,每一种工艺和设备上的改革都对整个粉磨技术的发展起一定推动作用。辊压机、立磨和高效选粉机等先进设备的推广应用,使粉磨系统的效率前进了一大步。但是,由于各地工业技术水平参差不齐,配备件供应、耐磨材料质量、控制与管理技术水平与要求的不相适应,球磨机在世界水泥工业粉磨设备中仍占重要地位,我国也是如此。目前,水泥工业粉磨系统电能消耗一般较好水平为:生料粉磨为 $26\sim 28\text{kW}\cdot\text{h/t}$ 生料,水泥粉磨为 $30\sim 33\text{kW}\cdot\text{h/t}$ 水泥,矿渣粉磨约为 $35\text{kW}\cdot\text{h/t}$ 矿渣粉。当然,也有更先进的指标报道,如:用立磨粉磨CEM I型水泥,比表面积 $400\text{m}^2/\text{kg}$,立磨电耗 $22.4\text{kW}\cdot\text{h/t}$ 水泥;用辊压机生产矿渣粉,比表面积 $450\text{m}^2/\text{kg}$,电耗 $19.4\text{kW}\cdot\text{h/t}$ 矿渣粉,这些数据虽然还只是个例,却也显示,水泥工业粉磨系统节能降耗还有很大潜力。不过就一般生产设备而论,还应从实际出发,千里之行始于足下,立足于企业现实,不间断地、积极地进行最佳化和现代化改造,逐步向最先进水平靠近。

水泥杂志在最近一段时期,刊登了不少关于这方面的文章,本书即是由水泥杂志中挑选的一些有关生料、水泥和矿渣粉磨方面节能增产的改造实例汇编而成,这些文章涵盖了工艺流程的选择、生产实践中出现问题与解决措施、生产管理经验以及助磨剂应用等方面。这些实例既现实具体,又简单有效,对广大生产企业会有一定的参考价值。文章的作者均为来自生产企业第一线的专家和技术人员,他们以各自在生产实际中的经验,为广大读者提供粉磨系统增产节能的技术,具有很强的实用性和可操作性。

在此,向本书所有被选录文章的作者和为本书提供帮助的同志致以谢意!

由于时间仓促,本书难免有疏漏和不妥之处,恳请读者指正。

编者
2009年1月



目 录

第一部分 生料磨系统 1

专题一 辊压机与立磨的应用.....	2
★ 辊压机粉磨过程运行机理的探讨及其系统分析 (赵乃仁)	3
★ 生料辊压机终粉磨系统在 2500t/d 生产线上的应用 (王刚)	10
★ 辊压机加中卸磨调试经验 (朱宽堂)	13
★ ATOX37.5 立磨的技术改造 (杨国春)	16
★ ATOX37.5 立磨在异常情况下的操作经验 (许斌)	18
★ 对 ATOX50 立磨系统水作用的认识 (王汝岗)	21
★ 优化 ATOX50 立磨操作降低系统电耗 (张强 史锁奎)	23
★ ATOX52.5 生料磨外排系统的改造 (李涛 李传华 刘洪瑞)	25
★ ATOX 和 MPS 立磨在我公司的应用 (叶承君)	27
★ 提高生料磨出磨成品质量的经验措施 (许斌 匡三浩 张志伟 史德新 曲国龙 田子谦)	30
★ MPS3150 立磨生产中出现的问题及解决办法 (杜秀玲 林存柱)	33
★ MPS5000B 生料磨调试与生产中的问题处理 (宋庆伟)	35
★ RM 辊式磨的生产调试及完善 (魏广辉 江超 陈海涛)	39
★ 余热发电投用对 RMR57/28/555 立式生料磨的影响及措施 (琚瑞喜)	42
★ RM57/28/510 立磨的优化途径 (郑郁郡)	44
★ RM57/28 立磨安装与试生产中的问题处理 (任永刚)	46
★ LM32.40 莱歇生料磨平稳运行的体会 (蒋丽)	48
★ LM43.41+UKS70 生料磨的管理经验 (徐养荣)	52
★ UM46.4N 生料立磨的生产经验 (张立顺)	55
★ 使用钢渣对生料磨系统的影响 (华林)	59
★ 生料立磨开冷磨的尝试 (宋改莉)	64
专题二 球磨机的改造	66
★ $\Phi 4.6\text{m} \times 13.5\text{m}$ 中卸磨的技术改造 (李海生 张秋平)	67
★ 提高 $\Phi 4.6\text{m} \times (10+13.5)\text{m}$ 中卸烘干生料磨产质量的措施 (张建明)	69
★ 关于中卸式烘干磨的几点操作经验 (王昭琳 李红芸)	72
★ 中卸生料磨的操作体会 (朱斌友 万宜勇)	73
★ $\Phi 3.5\text{m} \times 6.0\text{m}$ 风扫生料磨增产的技术改造 (李友芳)	78
★ 提高 $\Phi 3\text{m} \times 9\text{m}$ 生料磨机产量的技术措施 (尚再国 刘成喜)	80
★ $\Phi 5.8\text{m} \times 11.5\text{m}$ 生料磨一仓衬板跟踪分析 (武玉东 赵彦虎 高丰 张颖)	83

专题一 辊压机或立磨的联合粉磨系统	88
★ 关于水泥预粉磨设备生产规格选型的探讨 (蒋泽全)	89
★ 从生产实践探讨挤压联合粉磨系统的设计优化 (刘小海 王剑波 翁福州)	92
★ 提高辊压机联合粉磨系统产质量的有效途径 (陈侠)	96
★ 用智能雾化喷水降低磨内温度提高磨机产量的实践 (宋玉安 罗霄 韩彦峰)	98
★ $\Phi 4.2\text{m} \times 11\text{m}$ 水泥粉磨系统提产的措施 (刘玉峰 孙文武 张文清 周振维)	100
★ $\Phi 3.8\text{m} \times 11\text{m}$ 水泥联合预粉磨系统的调试与体会 (张国锋)	104
★ 提高 $\Phi 3.2\text{m} \times 13\text{m}$ 水泥磨产量的几点措施 (张国锋)	106
★ $\Phi 3.2\text{m} \times 13\text{m}$ 联合粉磨系统的综合工艺调整 (刘冰)	108
★ $\Phi 3.2\text{m} \times 13\text{m}$ 联合挤压磨系统的改进 (洪少东 曾齐友)	110
★ $\Phi 3.2\text{m} \times 13\text{m}$ 联合粉磨系统的提产措施 (徐汉龙 张国锋 杨冰凌 孙胜武 张桂南)	113
★ 用辊压机预粉磨技术改造 $\Phi 3\text{m} \times 11\text{m}$ 水泥磨 (赵亮)	116
★ 水泥粉磨系统增加立磨预粉碎后的改造 (孙春风)	120
★ 水泥联合粉磨系统调试试生产情况 (刘飞)	123
★ 水泥挤压联合粉磨系统增产节能措施 (何耀海 杨永良)	126
★ 水泥挤压联合粉磨系统开路改闭路的实践 (李桂龙)	130
★ 卧式辊磨常见故障分析 (赵汉东)	133
★ GOLDSUN (福建) 水泥粉磨系统技术特点 (柯盛稳)	134
★ 辊压机在水泥粉磨系统的应用 (武宝君 张汉林)	138
★ 辊压机振动原因分析及处理 (贺兰东)	141
★ RPV100/63 辊压机使用中出现的問題及解决措施 (刘红霞 张保玉)	144
★ 提高带辊压机的 $\Phi 3.2\text{m} \times 13\text{m}$ 磨机产量的措施 (葛文)	147
★ 调整辊压机系统参数实现增产降耗的措施 (张俊峰)	150
专题二 一般闭路球磨机的优化经验	153
★ 水泥粉磨质量成本控制与管理 (王麟)	154
★ 大型水泥球磨机节能降耗的经验 (李斌 王再元)	156
★ 水泥闭路粉磨系统的设备结构优化改造 (张仲英 马远生 吴建国 任项存 马为民)	162
★ $\Phi 5\text{m} \times 15\text{m}$ 闭路水泥磨系统工艺设计及生产调试 (王仕群 赵素莉 张华) ...	166
★ $\Phi 5\text{m} \times 15\text{m}$ 水泥粉磨系统生产调试中出现问题的处理方法 (陈琴 詹俊东 武和平)	169
★ $\Phi 4.2\text{m} \times 14\text{m}$ 水泥磨增产的改造 (牛虎)	173
★ 提高 $\Phi 4\text{m} \times 13\text{m}$ 水泥磨产质量的几点措施 (李斌 王再元)	176
★ $\Phi 4\text{m} \times 13\text{m}$ 水泥磨的调试与提产措施 (张强)	179
★ $\Phi 4\text{m} \times 13\text{m}$ 水泥磨综合改造与调试生产 (董长亮)	181
★ $\Phi 3.8\text{m} \times 13\text{m}$ 水泥磨的调试与试生产 (钱怀强)	184
★ $\Phi 3.5\text{m} \times 12\text{m}$ 水泥磨综合技术改造 (陈远槐 罗聪升 李友洪)	186

★ 提高 $\Phi 3.2\text{m} \times 13\text{m}$ 水泥磨产质量的技术措施 (祝少哲 贾京国 祝红芳)	190
★ 对 $\Phi 3\text{m} \times 11\text{m}$ 水泥磨运行出现问题的分析及处理 (叶发年)	193
★ $\Phi 3\text{m} \times 9\text{m}$ 水泥磨的增产节能改造 (姚学武)	198
★ 改进生产工艺降低水泥温度 (徐怀洲 王部荣)	201
★ 磨机生产过程中出现问题的原因分析及处理方法 (王文成)	203
专题三 开流高细高产球磨机	207
★ 低循环负荷在高细圈流水泥磨上的应用 (贺爱国)	208
★ 高细磨的闭路改造方法 (唐安峰)	210
★ $\Phi 3.8\text{m} \times 13\text{m}$ 高产高细磨的综合改造 (姜大志 高成伟 姜铭)	214
★ KM 提升式双层筛分隔仓板在 $\Phi 3.2\text{m} \times 13\text{m}$ 圈流粉磨系统中的应用 (徐怀洲)	217
★ $\Phi 3.0\text{m} \times 14\text{m}$ 开路磨磨内筛分技术的改造 (叶发年 郭永庆)	219
★ 提高开路筛分磨出磨水泥比表面积若干体会 (顾为国)	223
★ $\Phi 2.6\text{m} \times 13\text{m}$ 高产高细水泥磨改造 (姜大志 刘建顺 姜铭)	227
★ $\Phi 2.4\text{m} \times 10\text{m}$ 高细水泥磨改闭路磨提产的体会 (李茂顺)	229

第三部分 矿渣细粉的生产经验 231

★ 大型水泥/矿渣立磨的调试与运行 (傅华)	232
★ $\Phi 3\text{m} \times 11\text{m}$ 水泥磨粉磨矿渣的经验 (金巧平 沈健康)	237
★ 经济型矿渣微粉生产线的工艺设计与设备配套 (杨刚 刘恩睿 陶玲霞)	240
★ $\Phi 2.4\text{m} \times 9\text{m}$ 开路磨生产矿渣细粉的经验 (白云龙)	244
★ $\Phi 2.6\text{m} \times 13\text{m}$ 开流磨生产矿渣粉的应用 (孙宝云 高霞)	248
★ $\Phi 2.4\text{m} \times 12\text{m}$ 矿渣微粉磨的优化调整 (李忠于 王剑波)	252
★ 矿渣微粉立磨的挖潜改造 (夏文保)	254
★ LM56.2+2C/S 立磨分别粉磨熟料和矿渣的应用 (李强平 韩显平 王军)	256
★ 对立磨分别终粉磨熟料和矿渣工艺一些问题的探讨 (李强平)	260
★ 莱歇磨双物料粉磨连续转换的操作经验 (邹波 王军)	265
★ 莱歇立磨系统的几个技改措施 (邹波)	267
★ 济南钢铁厂钢渣微粉生产实践 (赵爱新)	268
★ 水泥成品中添加矿渣粉项目技改论证与实施 (郑峰 叶枝炎)	272
★ 矿渣生产线除铁系统改造 (刘新科)	275
★ 提高矿渣立磨外循环的除铁效果 (刘贵新)	280

第四部分 水泥助磨剂的应用实践 283

★ 三乙醇胺系矿渣复合助磨剂的研究 (杨瑞海 余淑华)	284
★ 助磨剂的使用及问题探讨 (周贵鸿)	288
★ 使用助磨剂的几点体会 (石小芳 徐俊鹏 毛军辉)	292
★ 不同助磨剂在 $\Phi 3.8\text{m} \times 13\text{m}$ 闭路水泥磨的应用效果 (支俊秉 张旭)	294
★ TDA730 助磨剂对水泥性能的影响 (薛俊东 徐全旺)	299
★ TDA730 助磨剂在天山公司的应用 (王东 贾玉红)	301

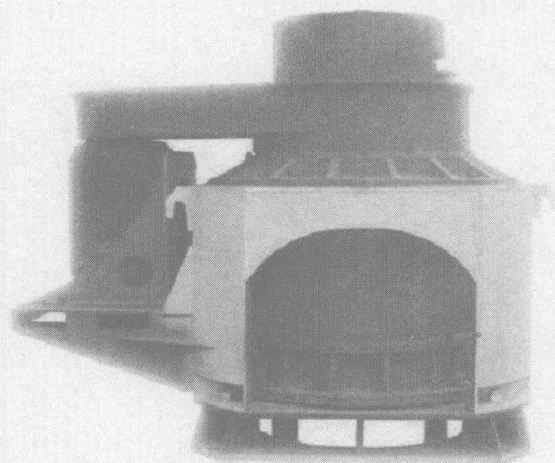
★ 添加助磨剂的复合水泥质量控制优化调整 (陈云 张晓鹏)	304
★ HY 型助磨剂在水泥粉磨站的应用 (赵洪义 韩明 包西祥)	307
★ 通过降低水泥筛余和使用助磨剂来降低水泥生产成本 (金巧平)	310
★ FZ-3 型复合助磨剂在矿渣微细粉生产中的应用 (刘桂芳 贾海东 孟宪东 刘子民 郑爱忠)	313
★ TH-3 型水泥助磨剂在海螺水泥集团中的应用 (顾期斌 张伟 谢峰)	316
★ HGA661 型助磨剂在生产中的应用 (胡东杰 王玥)	319

第一部分

生料磨系统

★专题一 辊压机与立磨的应用

★专题二 球磨机的改造



专题一 辊压机与立磨的应用

辊压机粉磨过程运行机理的探讨及其系统分析

赵乃仁

(中材国际南京水泥工业设计研究院, 江苏南京 210029)

1 降低电耗是当务之急

水泥工业是一个耗能大户, 这些年随着技术的进步, 在热利用的水平上有了大幅度提高, 由过去的有效利用率 25%~30% 提高到了目前的 60% 左右, 但是在电能的利用方面没有明显的突破。粉磨生料、水泥和煤所消耗的电力占了水泥生产总消耗的 60%~75%, 该部分电能的有效利用率没有显著的提高, 每吨水泥的电耗还处在 100kW·h 左右, 按照每 100kW·h 产生的 GDP 来衡量, 水泥工业处于非常低下的水平。同时, 水泥市场上存在的激烈竞争, 也要求生产水泥的成本能够下降, 而电耗正是存在着可以节约的潜力。

当前, 水泥粉磨作业中能量有效利用率最低的是采用球磨机进行粉磨作业, 它的能量有效利用率<10%。国际上发达国家在 20 世纪 30 年代开始即采用立磨粉磨水泥生产中的生料和煤, 在 80 年代开始粉磨水泥, 同时辊压机和球磨的联合粉磨系统也开始使用, 这就使熟料粉磨的电耗降低 50% 左右。

国际上 2000~2002 年建设的新厂^[1], 生料粉磨采用立磨的占 84%, 在粉磨中等硬度原料的情况下减少电耗 10kW·h/t, 但是我国近期建设的 2500t/d 熟料的水泥厂中采用立磨的仅占 60% 左右, 究其原因还是在技术经济方面。采用立磨没有明显的经济优势, 电耗节省的费用被维修费用所抵消, 而且投资费用高、交货期长, 不能满足当前建设速度的需要。因此, 国产立磨必须进一步提高技术性能, 并把应用领域扩展到矿渣和熟料粉磨中去, 还要降低造价, 缩短加工周期, 来适应市场的需要和节约能源的要求, 水泥厂也需要提高对立磨的应用管理水平, 降低维护费用。

由于采用球磨生产, 或者由辊压机(或立磨)和球磨组成的联合粉磨生产出的水泥有比较宽的粒度分布范围和比较好的水泥使用性能, 因此, 在粉磨水泥时, 国际上采用球磨进行粉磨的还占有比较高的比例, 如新厂达到 60% 左右^[1]。在采用球磨和辊压机的联合粉磨系统中, 由于球磨完成的粉磨细度比例仅占 30% 左右, 并采取了相应的优化, 从而获得比较低的电耗。不同磨机比表面积与电耗的关系见图 1 和表 1。

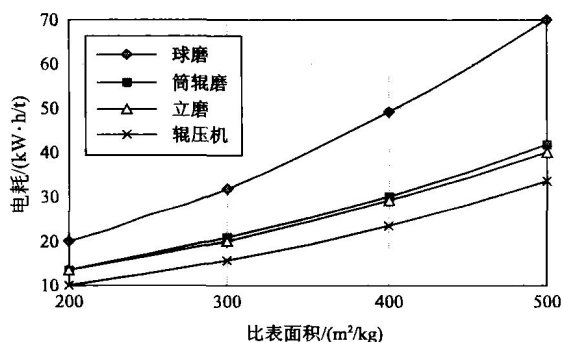


图 1 不同磨机比表面积和电耗的关系

表 1 不同磨机比表面积和电耗的关系

比表面积 (m²/kg)	球磨		筒辊磨		立磨		辊压机	
	粉磨电耗 (kW·h/t)	粉磨每 100m² /kg 电耗 (kW·h/t)	粉磨电耗 (kW·h/t)	粉磨每 100m² /kg 电耗 (kW·h/t)	粉磨电耗 (kW·h/t)	粉磨每 100m² /kg 电耗 (kW·h/t)	粉磨电耗 (kW·h/t)	粉磨每 100m² /kg 电耗 (kW·h/t)
200	20.0	10.0	13.6	6.8	13.6	6.8	10.0	5.0
300	31.8	10.6	21.0	7.0	20.0	6.7	15.5	5.2
400	49.1	12.3	30.0	7.5	29.1	7.3	24.2	6.1
500	70.0	14.0	41.8	8.4	40.0	8.0	33.6	6.7

2 预粉磨装置必须要达到长期稳定和有效运行

采用辊压机和球磨机组合成一体粉磨系统，其有效性能关键在于：①设备运行的可靠性，包括它的故障率和耐磨蚀性；②设备运行的粉磨效率能否达到应该达到的节能效果。目前的情况是系统增加辊压机以后，在增产方面效果明显，但是相当一部分的辊压机在使用中节能效果不明显。造成节能效率低的原因有两个方面：一是辊压机使用中压力低，功耗达不到应该达到的水平，没有充分发挥辊压机的粉磨作用；二是系统配置不当，辊压机和磨机没有很好配合，既没有充分发挥辊压机的节能效果，也没有把球磨机的粉磨电耗充分降下来。

3 辊压机粉磨过程运行的机理分析

辊压机需要物料在粉磨腔内形成料床，通过物料之间的相互挤压起到粉磨作用，不仅减小了粒径，而且颗粒还出现了微裂纹，提高了易磨性。辊压机对物料的作用力较高，最高可达 200MPa。因此和立磨运行情况一样，能否形成一个良好的料床是辊压机能否正常运行的关键。

辊压机运行有 3 个阶段^[2,3]：压紧阶段、挤压阶段和膨胀阶段。

压紧阶段，物料由松散状态逐渐压紧密实，如果全部为固相时作为 1，则开始进入辊压机的散状物料中固相量仅为 0.6，混在物料中的空气量达到 0.4；经过该阶段后物料大约压紧到固相量为 0.8，混在物料中的空气量下降到 0.2，期间空气的排出量将达到其原有空气量的 40% 左右。在该阶段，由于通过的截面大幅度缩小，而通过的物料量保持不变，物料的运动速度呈加速度状态，因此也称该阶段为加速阶段，在该阶段的功率消耗只占总消耗量的 2%。

挤压粉磨阶段的物料经过挤压后发生了 3 个变化，即减小粒径增加比表面积；颗粒上出现微裂纹；出现料饼。其中前两项是我们希望的，第 3 项则不希望出现，因为还需要对料饼做功来把它打碎。经过一次辊压后的产品，它的粒度分布非常宽，其中有一部分相当细的颗粒 32 μm 达到了 18%，但是也有一部分相当粗，见表 2。

表 2 经过一次辊压后的粒度变化

规格/mm	30	22	15	11	5.1	2.7	1.0	0.5	0.2	0.12	0.052	0.032
喂料/%	3	6	8	10	18	23	51	84	95.5	96.5		
打散后的出料/%			0.1	0.8	4.5	9	21	35	47	57	62	82

物料除了经辊压粉碎外，很多颗粒还出现微裂纹，并因此提高了它们的易磨性。

在膨胀阶段，随着压力逐渐降低，被压紧的物料会出现一些膨胀。料饼的厚度和辊压机的辊隙有轻微的差别，因此，在计算辊压机产量时，不能简单地以辊隙作为料饼的厚度，必须实际测量它的厚度和密度。

在挤压阶段和膨胀阶段过程，计算出的剪力非常小，一般情况下，可以认为物料和辊面没有相对运动。

这 3 个阶段中，以压紧阶段最为重要，为了完成料床粉磨，必须要有足够数量的物料在这个阶段稳定地、连续地被拉动并压紧进入辊隙（最窄处）来进行料床粉磨（即挤压阶段）。挤压区最高压力可以达到 200MPa，要把物料从常压拉进该区需要很大的摩擦力和相当的重力，而且如果被喂物料在数量或性能上出现一点波动都会使拉进过程停止，或减少拉进量，从而造成生产上的波动。

物料的喂料特性由它的内摩擦力以及物料和辊面之间的摩擦力决定，它由物料的品质、颗粒分布以及表面水分决定。这些性能可以通过测定物料的休止角（表示内摩擦力）和滑动

角（表示外摩擦力）来取得。对于非常干、细的散料，它具有很好的流动性能，但却有很差的喂料性能，因此，可以适当喷一点水来改善物料的内摩擦力，以便形成料床。并可以把辊压机边缘处挤压效果较差的物料作为返回料加入到新鲜喂料中，这些物料由于含有较少的空气（因为经过了挤压），加入到喂料中能达到较低的空气总含量，并有比较好的颗粒级配。

在压紧阶段，如果不能很好地把物料压紧，最常见的现象就是在挤压阶段的挤压粉磨作业过程中，压力上不去，实用功率低，粉磨效果差。

必须把应该排出的空气在压紧阶段排出，不然进入挤压阶段以后，在极高的压力下，会发生顶住下料现象，从而破坏了喂料的稳定性和连续性，易使设备出现强烈的振动。

在挤压阶段通过的时间只要 10s 左右，而被喂入物料的性能又对挤压过程有明显的影响，因此，如果来料不均匀，在性能和数量上的波动都会对粉磨作业过程造成波动。同时在辊压机工作的整个过程中，物料之间没有相对运动，完全不能有任何的混合均化作用，所以，要求喂入物料不论品种、颗粒级配还是喂料量，都必须尽可能的均匀。

高压料床粉磨比较适应脆性物料，对于黏性物料如黏土等不适应，但是少量的、混合均匀的并被充填于脆性物料中间空隙的黏性物料可以接受。

一般情况下，辊压机的能力与辊子的圆周速度成正比，而其它的参数被看成是常数。在一定的范围内，随着圆周速度的提高，料饼厚度只有轻微的变化，但是在圆周速度达到一个极限以后，料饼厚度出现快速下降，粉磨过程发生崩溃，这是因为没有足够的物料能够被拉进挤压区，形不成料床的结果。分析原因，是工艺设计不足造成的，不重视供料的稳定性和均匀性，包括在辊两侧粒度的一致；不重视需要足够的给料仓压；不明白控制粒度的均匀性和控制物料的摩擦性能的重要性，错误地以为辊压机可以允许进入比较大的颗粒，把部分辅助原料的颗粒放得较大。最终完成不好压紧阶段把物料压紧、挤出大部分空气的任务，影响了挤压效果。

在通常的范围，压力对于产量只有轻微的影响。

根据 G. Unland 在实验室对辊压机参数之间关系的研究，得到如下的意见：

① 随着辊隙的减少，压缩区和膨胀区的压力变化见图 2。

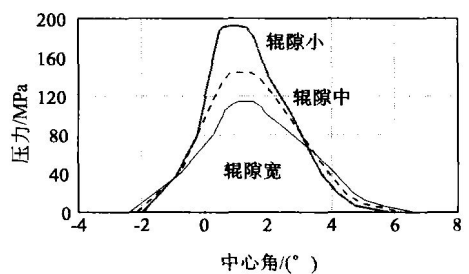


图 2 辊隙变化下压力的分布

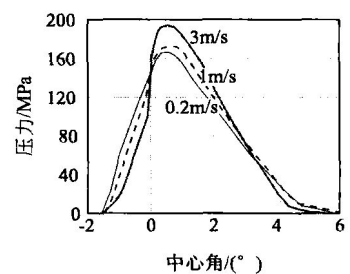


图 3 圆周速度变化下的压力分布

② 随着圆周速度的提高，在同样作用力的情况下，中心部分压力会升高，见图 3。而且生产能力并非呈线性上升，因为，随着速度的提高料饼的密度会下降；单位能耗要上升，这是由于空气排出的速度增加需要更多的能量；当速度超过一个极限以后，继续提高力矩反而会下降；随着圆周速度的变化，产量、单位能耗和驱动力矩相应的变化见图 4。

③ 随着摩擦系数的提高，辊压机的辊隙会加宽，生产能力会上升，在作用力不变的情况下，料饼的密度会下降。

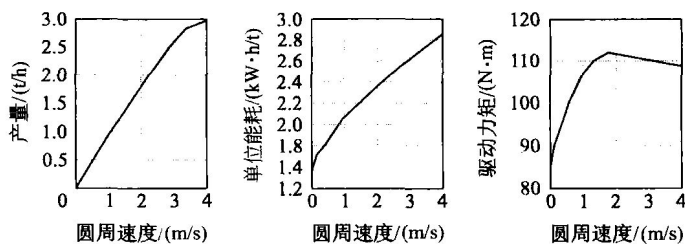


图4 圆周速度与产量、单位能耗和驱动力矩的关系

综上所述，为保证系统的正常运行，要求做到：

- 重视辊压机对喂料的要求是保证辊压机正常运行的必要条件，喂料粒度必须小于辊隙的1.5~2倍。入辊压机前的输送过程中，要避免出现不同颗粒之间的离析现象，要求在整个辊压机沿辊宽范围内，所喂入的物料颗粒要大小均匀。
- 必须从系统中排除金属，避免金属进入辊隙，伤害辊面。
- 保持喂料仓料面的稳定，稳定给料量和给料压力，是保持辊压机正常和高效运行的必要条件。
- 选择辊压机的操作压力必须适宜，过低的压力造成辊压机不能发挥正常的粉磨作用，效果降低。但是，为了追求好的粉磨效果，过于提高作业压力，就会造成辊面严重磨损，降低运转率。

4 采用辊压机粉磨过程的系统选择

文献[4]介绍，较早的时候，辊压机作为预粉磨仅起到辅助球磨机的作用，在完成的总粉磨量中大约占了35%~40%。随着辊压机制造水平的提高和规格的扩大，以及对辊压机性能的掌握，辊压机和球磨机转变为以联合粉磨的方式运行，辊压机占主要，而球磨机仅承担大约35%~40%的粉磨任务。下面分别介绍各个系统。

4.1 辊压机的预粉磨系统

在此系统中，辊压机沿辊子轴线形成的作用压力是中部高两侧低，因此辊压后的产品其颗粒分布情况就有差异，中部细而两侧比较粗。从研究部门在辊压机试验中得到的数据（见表3）可以清楚看到，中部和两侧物料细度的差别还是比较大的，侧边的料>5mm粒径的在20%以上，而中心料中100%的料<2mm（见表3中混合料和各分料的颗粒平衡计算，中心料大约占40%，其余料占60%）。因此，考虑把那部分粗料返回辊压机和新鲜料一起再辊压，当然在边料循环的情况下，比较细的料占有的比例还要提高，所以一般情况下循环料在30%~50%比较适宜。从已经运行的生产线来看，在预粉磨系统中配置过大的辊压机达不到预期的目的，而按照循环返回的料在30%~50%来配置辊压机却得到比较好的经济效果。

表3 辊压前后的粒度组成

粒径/mm	>30	>5	<2	<0.09	F ₈₀
辊压前/%	21.0	70.0	15.0	1.1	25.0
辊压后/%	左侧料	23.0	61.5	12.0	4.0
	中左	3.6	61.0	19.0	1.54
	中		100.0	25.0	0.8
	中右	5.5	2.0	22.5	1.6
	右侧料	25.0	56.0	12.7	4.0
混合料/%		12.6	73.0	17.5	2.7

由于物料仅一次通过辊压机，因此，提高产量的幅度和磨机降低能耗的量都不大，但是

由于系统简单,辅机电耗低,有一些工厂的使用效果不错。大部分工厂采用把辊压机出口两侧的料饼返回辊压机来提高挤压效果。该系统由于出辊压机的料饼没有经过打散、选粉,所以仍然有颗粒较大的物料进入球磨,影响磨机的进一步优化。

辊压机的预粉磨系统工艺流程见图 5。

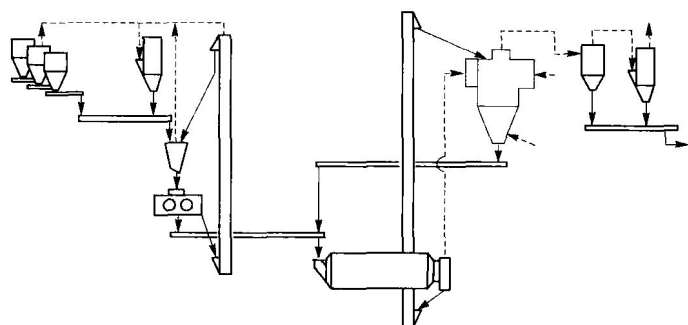


图 5 辊压机的预粉磨系统

图 5 中,出辊压机的料饼一部分经过提升后返回辊压机,另一部分会同选粉机出来的粗料进磨,选粉机气流带出的成品经过旋风除尘器和袋除尘器收集。

4.2 辊压机的联合粉磨系统

联合粉磨系统工艺流程见图 6。

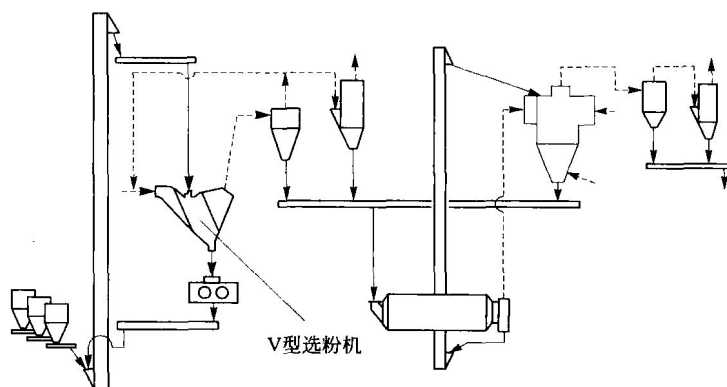


图 6 联合粉磨系统

由于辊压机比球磨机节能,一般的情况增效系数在 2 左右,也就是辊压机使用 $1\text{kW} \cdot \text{h/t}$ 的粉磨功,其效果可以相当球磨机的 $2\text{kW} \cdot \text{h/t}$ 的粉磨功,因此,在联合粉磨系统中,要尽可能加大辊压机的作用比例,而球磨机主要作用在于保证水泥成品的性能不因为采用辊压机而变差。于是就形成了大规格的辊压机和小功率的球磨机的配套。物料以 4~5 倍于成品的产量通过辊压机,然后经过 1 台选粉机,将细度达到 $200 \sim 250\text{m}^2/\text{kg}$ 的中间料选入球磨机,磨机再完成余下的粉磨任务,将水泥成品粉磨到 $300 \sim 350\text{m}^2/\text{kg}$ 。

联合粉磨系统的优点是入磨粒度很细,没有粗颗粒,有利于对球磨机结构的改造,同时可以提高产量,降低电耗。

在相同球磨机规格的条件下,不同粉磨系统的产量和电耗的比较^[4]见图 7。

但是,由于辊压机有大量的物料在循环,因此系统中必须配置有很大的选粉机和提升机,以及消耗大量动力的收尘系统,从而增加了辅机的电耗,如果配套不恰当的话,就会抵

消相当一部分因采用辊压机所能节省的能耗，而使整个系统的电耗和预粉磨系统相差无几。造成这种情况的另一个重要原因是：在联合粉磨系统中，虽然辊压机创造了磨机优化的条件，进磨细度达到 $200\text{m}^2/\text{kg}$ 左右，但是磨机没有相应采用适宜的优化措施，因此没有能够把粉磨能耗节约下来，达到辊压机和磨机的合理匹配。

4.3 辊压机的混合粉磨系统

混合粉磨系统工艺流程见图 8。

根据上述两个系统各自的特点，CLE 和 Lafarge 公司的水泥厂提出了混合粉磨系统^[5]。即除了出辊压机后的部分料饼直接回到辊压机，一部分选粉机回料也回到了辊压机的喂料仓，磨机则采用了中卸磨，出辊压机的另一部分料饼送进入磨机的前仓，选粉机的另一部分回料则回到了磨机的后仓。该系统提高了辊压机的物料通过量，提高了辊压机在粉磨系统中的比例，又减少了辅机的数量，节省了辊压机上的 V 型选粉机，降低了辅机部分的电耗。系统产量 75t/h ，其中熟料 69.5t/h 、石膏 3.5t/h 、矿渣 2t/h ，辊

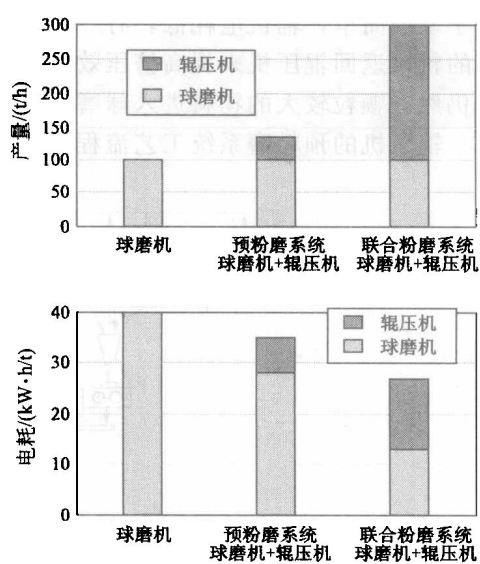


图 7 不同粉磨系统的产量和功耗对比

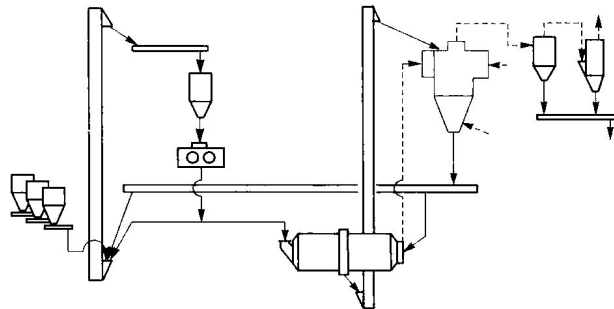


图 8 辊压机的混合粉磨系统

压机回料 120t/h ，选粉机回料进入辊压机 85t/h ，辊压机出料进入磨机前仓 160t/h ，选粉机回料进入磨机后仓 120t/h ，产品比表面积 $335\text{m}^2/\text{kg}$ 。运行效果见表 4。

表 4 CLE 和 Lafarge 公司的水泥厂增加辊压机前后的比较

性 能		只有球磨机	球磨机+辊压机	比较/%
产量/(t/h)		35	83	+137
电耗 (kW·h/t)	球磨机	35	15	
	辊压机		9	
	主机合计	35	24	-11
	选粉机	2.8	1.1	
	提升机	0.7	0.5	
	风机	1.5	3.4	
	辅机合计	5.0	4.0	
总计		40	28	-12

4.4 应用情况

目前，国际上比较普遍采用的是联合粉磨系统，国内预粉磨和联合粉磨两种系统都有应用。当前工厂规模日益庞大，采用联合粉磨系统的企业大量增加，但是辊压机规格的发展还

不能适应大规模联合粉磨系统的需要,迫切需要加大对于大规格辊压机的开发。

5 联合粉磨系统中球磨机的优化

球磨机是早期的传统粉磨工艺,电耗比较高,效率很低,但是由于它的适应性好,设备安全可靠,所以一直使用至今。球磨机的粉磨工艺实际是一个复合工艺,它集细碎、粗磨和细磨于一体,采用隔仓板来分割,并依靠不同的衬板、不同规格的研磨体和填充率来适应不同的工艺需要,但是仍然处在同一个速度、同一个筒体直径下面,不可能得到最佳的配置。前后仓粉磨工艺串在一起,互相影响降低了粉磨效率,而且它适应于粉磨进料颗粒为 25mm,并粉磨达到 $80\mu\text{m}$ 的细度这样的粉磨范围,因此当球磨机碰到进入的物料比表面积已达 $200\text{m}^2/\text{kg}$ 左右时,就完全不能适应这样的情况。在我国使用联合粉磨系统的工厂中往往出现球磨机电耗过高和过粉磨的现象。所以,如何优化球磨机各项性能参数来适应联合粉磨系统,以达到降低系统电耗的目的,成为国际上的研究课题。综合来说,包括下面几个方面:

① 减小研磨体规格。将钢球直径减小到 $13\sim 25\text{mm}$ ^[6],由于球磨机功能已经从细碎、粗磨和细磨简化成单纯的粉磨,辊压机供应给磨机的料饼经过选粉机分选后已经没有了大颗粒,因此可以大幅度减小研磨体规格,在同样装载量的情况下,大大增加了研磨体的研磨表面积。但是研究结果证明,如果研磨体直径 $< 13\text{mm}$,产品的颗粒分布甚至比采用全辊压机粉磨的还要窄,降低了水泥的可加工性能。

② 减少研磨体在磨内的填充率来提高粉磨效率。国内也有人研究认为,过高的填充率,其中心部分研磨体的粉磨作用随着离中心越近,粉磨效率越低。国内也有工厂通过减少研磨体在磨机内的填充率提高了粉磨效益。

③ 磨机的 L/D 。Polysius 公司 J. E. Reimers 的研究表明^[7],在辊压机联合粉磨系统中,当入磨物料的比表面积为 $220\text{m}^2/\text{kg}$ 时,圈流粉磨系统其 L/D 和填充率对于产量和电耗的关系如图 9 表示。

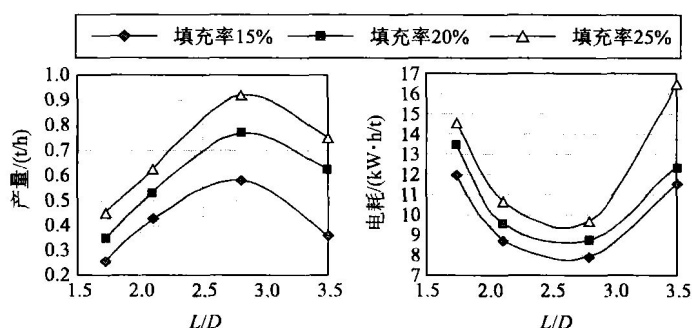


图 9 不同填充率时磨机 L/D 和产量以及电耗的关系

他认为在圈流磨系统,最小的电耗和最大的产量情况是 L/D 在 $2.0\sim 2.9$ 之间,开流磨系统则 L/D 在 $4\sim 5$ 之间比较好。开流粉磨所以要求有更高的 L/D ,是由于比表面积达到 $200\text{m}^2/\text{kg}$ 左右的粉料在磨内有很高的流速,如果磨机比较短,就会出现在磨内停留时间过短,造成在磨内来不及粉磨到要求的细度。在国内,有些厂的经验也证明了这一点。

④ 采用带选粉机的双仓圈流磨,物料进入二仓时的比表面积为 $80\text{m}^2/\text{kg}$,而辊压机和磨机的联合粉磨系统,进入磨机物料的比表面积却达到了 $200\text{m}^2/\text{kg}$ 左右,并且没有大颗粒,粉磨任务单一,仅需要进行细磨,所以磨机仅需要一仓就可以满足粉磨要求。

⑤ 磨机的圆周速度也是根据过去以 25mm 为进料粒度的情况下设计的,并且在制造时固定下来,但是否适合在联合粉磨系统中粉磨功能的需要,就值得怀疑。传统磨机的圆周速度兼