

浅谈窑水泥煅烧中的新技术及应用

杨清平

葛洲坝荆门水泥有限公司 湖北荆门 448000

摘要: 本文聚焦窑水泥煅烧中的新技术及应用, 首先阐述新型水泥煅烧在设备规模、工艺监控、自动化控制方面的优势; 随后深入分析悬架预热器、分解炉外煅烧两大核心新技术的原理与应用价值; 最后从补贴支持、低成本方案研发、技术培训三方面提出优化建议。研究表明, 新技术能显著降低能耗、提升效率, 而针对性优化措施可加速技术普及, 对推动水泥工业绿色转型、实现双碳目标具有重要意义。

关键词: 水泥煅烧; 新技术; 应用

引言

水泥工业是基建领域的核心支撑产业, 但其传统窑煅烧工艺长期面临高能耗、高污染、效率低的问题, 难以适配双碳目标与环保政策要求。随着行业转型加速, 悬架预热器、分解炉外煅烧等新技术逐步应用, 为解决传统工艺痛点提供了方向。然而, 新技术在推广中仍存在企业应用成本高、人员操作能力不足等难题。本文围绕窑水泥煅烧新技术展开探讨, 分析技术优势与应用要点, 提出优化建议, 旨在为推动水泥工业低碳高效发展提供参考。

一、新型水泥煅烧的优势

1. 设备生产规模大

新型水泥煅烧技术促使设备生产规模大幅提升, 显著增强了水泥工业的产能。生料磨、水泥磨等关键主机设备走向大型化, 以适应大规模生产需求。例如, 现代化立磨(辊式磨)处理能力可达每小时数百吨, 远超传统磨机。同时, 挤压磨等新型设备的应用, 革新了粉磨工艺, 进一步提升了生产效率。大型设备的应用不仅增加了单机产能, 还优化了设备间的协同作业。原料、燃料预均化技术及生料、水泥的空气搅拌均化技术, 保障了原料的均匀性, 使得大型设备生产的水泥质量稳定, 可与湿法回转窑产品媲美。此外, 大规模生产降低了单位产品的能耗与人力成本, 提高了企业经济效益, 增强了水泥行业在基础设施建设等领域的供应能力, 推动行业向集约化、规模化方向发展。

2. 工艺监控完善

相较于传统立窑煅烧, 新型水泥煅烧工艺实现了全方位、精细化的过程监控。如今的水泥熟料烧成系统, 由预热器、分解窑、回转窑和冷却机协同构成, 操作模

式从经验主导转变为计算机精准控制, 大幅提升了水泥生产过程的自动化水平。整个工艺流程中, 监控点数量剧增, 涵盖了各类工艺参数与设备运行参数。以预热器为例, 需密切监测气体温度、压力、流量, 以及生料的喂料量、分解率等参数, 确保预热与分解过程高效稳定。通过对回转窑转速、温度分布、物料填充率的实时把控, 能精准调整煅烧条件, 保障熟料质量。冷却机则要监控冷却风量、熟料温度与冷却速率等指标。这些参数的精确监测与控制, 提高了过程控制精度, 使最终产品质量稳定可控, 减少了质量波动, 为水泥在高标准工程中的应用提供了质量保障。

3. 控制自动化

随着自动化技术在水泥煅烧中的深度应用, 从配料、粉磨、烧成, 到水泥制成、包装等主要环节, 均实现了计算机控制系统与工业电视在中央控制室的集中监控与操作。在配料环节, 依据物料成分与预设配方, 自动化系统能精准控制原料配比; 粉磨过程中, 可根据物料粒度、成品细度要求, 自动调节磨机转速、喂料量等参数。烧成阶段, 通过对回转窑、分解炉等设备的自动化控制, 确保煅烧温度、时间等关键参数稳定。车间或工序现场岗位工被巡检工取代, 巡检工仅负责设备巡查, 发现问题及时向中控室报告, 由中控室专业人员依据自动化系统反馈的数据进行工艺参数调整, 杜绝了人为随意性操作, 降低了人为因素对生产的干扰, 保证了生产过程的稳定性与连续性, 极大提升了生产效率与产品质量的一致性, 推动水泥生产向智能化、现代化迈进。

二、水泥窑煅烧中的核心新技术

1. 悬架预热器煅烧技术

悬架预热器煅烧技术是水泥窑煅烧领域实现“节

能提效”的标志性技术，其核心是通过优化气固换热结构，大幅提升生料预热效率，打破传统煅烧“高耗低效”的局限。该技术以串联式预热器塔为核心设备，生料从塔顶通过锁风喂料装置进入，在多层旋风筒与导流管组成的通道内，与从回转窑、分解炉上升的高温烟气形成逆向流动，借助“悬浮换热”模式实现热量快速传递，高温烟气携带的热量通过对流、辐射作用高效传递给悬浮状态的生料颗粒，使生料温度在短时间内从常温升至800-850℃，完成约85%的碳酸钙分解反应，大幅减轻回转窑的煅烧负荷。从结构设计看，悬架预热器采用“模块化旋风筒”设计，每个旋风筒均通过悬架装置固定于钢架上，避免高温对设备基础的损伤，同时便于根据生产线产能灵活调整旋风筒数量；导流管内壁采用耐高温耐磨材料，延长设备使用寿命，减少因物料冲刷导致的故障。在实际应用中，该技术可使水泥熟料煅烧的单位热耗降低20%-30%，预热时间缩短至传统工艺的1/3，且生料分解均匀性提升，熟料游离氧化钙含量控制在1.5%以下，显著提升熟料强度。此外，预热器系统配备的高效锁风阀与负压控制系统，能有效减少冷风漏入，避免热量损失，进一步强化节能效果，成为当前新型干法水泥生产线的核心预热技术。

2. 分解炉外煅烧技术

分解炉外煅烧技术是针对传统回转窑“煅烧负荷集中、热效率低”的痛点开发的创新技术，通过在回转窑前端增设独立的分解炉，构建“预热-预分解-煅烧”三级协同体系，实现生料分解与熟料煅烧的功能分离，大幅提升整体煅烧效率。该技术的核心原理是：经悬架预热器预热后的生料被送入分解炉，与通过专用燃烧器喷入的燃料充分混合，在炉内1000-1100℃的高温环境下，完成剩余15%-20%的碳酸钙深度分解反应，生料分解率可达95%以上，仅保留少量未分解成分进入回转窑进行最终煅烧。从技术创新点看，分解炉采用“喷腾-旋流复合流场”设计，通过合理布置燃料喷嘴与生料进口位置，使气固两相在炉内形成强烈扰动，确保燃料完全燃烧与生料均匀分解，避免局部高温或低温死角；同时，分解炉可灵活适配多种燃料，尤其是在替代燃料应用中，通过调整炉内风速与温度场，能有效解决替代燃料燃烧不稳定的问题，助力行业降碳。在实际应用中，该技术使回转窑的煅烧负担减少30%以上，窑内煅烧温度更易控制，熟料烧成周期缩短15%-20%，且因分解炉内燃料燃烧充分，氮氧化物生成量降低15%-25%，契合环保要求。分解炉与悬架预热器、回转窑等的联动控制，可通

过中控系统动态调整喂料量、燃料供给量与风量，实现全流程精准调控，确保生料分解与熟料煅烧协同高效，成为新型干法水泥生产实现“低碳、高效、稳定”的关键技术支撑。

三、新技术应用的优化建议

1. 严格控制工艺参数

在水泥窑煅烧新技术应用中，工艺参数的精准控制是保障技术效能充分发挥的核心，需建立“动态监测-实时调控-闭环验证”的全流程管控机制。针对悬架预热器系统，需重点控制各级旋风筒的进出口温度、系统负压及生料在预热器内的停留时间。对于分解炉外煅烧技术，需严格把控炉内温度场分布、燃料与生料的混合比例及风速。需借助智能化监测系统实现参数实时采集，通过中控系统内置的PID调节算法，当参数偏离设定阈值时自动触发调控指令。每周需对工艺参数历史数据进行复盘分析，结合熟料质量检测结果优化参数阈值，避免因参数漂移导致技术效能衰减，确保新技术稳定发挥节能提效作用。

2. 控制生料下料量

生料下料量的精准控制是平衡水泥窑煅烧系统负荷、保障新技术稳定运行的关键，需结合生产线产能、设备特性与工艺需求构建“分级调控-协同适配”的管控体系。首先，需根据悬架预热器与分解炉的设计处理能力设定基础下料量区间，避免超量下料导致预热器堵塞、分解炉内物料堆积，或下料量不足造成设备空转浪费能耗。在动态调节层面，需建立“多参数联动”调控逻辑：当分解炉出口温度低于设定值时，适当降低生料下料量，减少物料吸热负荷；当预热器末级旋风筒出口温度过高时，适度提升下料量，利用生料吸热降低烟气温度，避免设备超温损伤。需优化喂料设备控制精度，采用变频调速锁风喂料阀替代传统闸阀，使下料量控制精度提升至±1%，减少瞬时流量波动；在生料均化库出口设置在线粒度分析仪，当生料粒度超标时，自动降低下料量并反馈至粉磨系统调整，避免粗颗粒物料影响预热分解效率。巡检工每小时核查喂料设备运行状态与下料量实际值，中控室每日对比下料量曲线与熟料质量数据，分析下料量波动对分解率、熟料强度的影响，持续优化调控参数，确保生料下料量与煅烧系统需求精准适配，提升新技术应用稳定性。

3. 改变传统看火方法

传统依赖人工观察火焰颜色、形态判断煅烧状态的看火方法，已难以适配新技术对煅烧精度的要求，需

构建“智能监测-数据驱动”的新型看火体系，实现从“经验判断”向“精准量化”的转变。首先，需在回转窑筒体关键位置安装多组红外热成像仪与高温工业电视，实时采集窑内温度分布图像与火焰光谱数据，替代人工通过看火孔观察的方式，避免因人工主观判断偏差导致的调控失误。通过图像识别算法，可自动提取火焰温度、火焰长度、物料翻动状态等关键参数，生成量化分析报告。需建立“数据关联分析”模型，将窑内看火数据与分解炉出口温度、生料下料量、燃料供给量等参数联动，当识别到火焰温度偏低时，自动提示中控室增加燃料供给或降低生料下料量；当发现物料结圈迹象时，及时触发预警并推送调整方案。需加强中控人员对新型看火系统的操作培训，使其掌握数据解读与异常判断技能，而非依赖传统经验；每月组织技术人员对看火数据与熟料质量的关联性进行分析，优化算法参数，提升系统判断精度，让新型看火方法切实成为新技术稳定运行的“眼睛”，保障煅烧过程精准可控。

四、新技术应用的优化建议

1. 加大对新技术应用的补贴

加大对水泥窑煅烧新技术应用的补贴力度，是降低企业应用门槛、推动技术普及的重要保障。相关部门可构建分级分类的补贴体系，针对不同规模企业与技术类型制定差异化补贴标准。对于中小企业引入悬架预热器、分解炉外煅烧等核心新技术，可按设备投资总额的20%~30%给予一次性补贴，缓解其初始资金压力；对开展新技术改造后实现节能降碳目标的企业，如单位熟料热耗降低15%以上或氮氧化物排放量减少25%以上，可按年度节能效益的15%~20%发放持续运营补贴，鼓励企业长期坚持技术应用。可将补贴与环保绩效挂钩，对新技术应用后环保指标达到行业领先水平企业，额外给予专项奖励资金。

2. 研发低成本适配方案

研发低成本适配方案是解决新技术与现有生产线兼容性问题、降低应用成本的关键。科研机构与设备企业需深入调研不同规模水泥生产线的设备现状与工艺需求，针对性开发模块化、可拆解的新技术组件。例如针对老旧生产线改造需求，研发小型化分解炉装置，无需对原有回转窑系统进行大规模改造，直接通过法兰连接实现快

速安装，大幅降低改造成本；对于悬架预热器技术，研发新型低成本耐磨材料，替代传统高价位耐火浇注料，在保证设备使用寿命的同时，将材料成本降低30%~40%。

3. 加强技术培训

加强技术培训是确保新技术稳定运行、充分发挥效能的基础。水泥企业需构建分层分类的培训体系，针对不同岗位人员制定专属培训内容。对于中控操作人员，重点开展智能化监测系统与调控算法的实操培训，包括参数采集设备的校准、中控系统的操作流程、异常参数的判断与处理等，确保其能熟练运用新技术相关设备，精准把控煅烧过程；对于设备维护人员，培训内容应聚焦新技术设备的结构原理、日常检修要点与故障排查方法，如悬架预热器旋风筒的密封维护、分解炉燃烧器的调试技巧等，提升其设备运维能力。可采用“理论授课+现场实操+案例教学”的培训模式，邀请行业专家讲解技术原理，组织学员在生产现场进行设备操作与故障处理演练，结合实际案例分析新技术应用中的常见问题与解决思路。

结束语

本文系统探讨窑水泥煅烧新技术的优势、核心类型及应用优化路径。新技术为水泥工业提质降碳提供关键支撑，后续需通过政策引导、技术创新与人才培养协同发力，推动技术深度落地。这不仅能提升企业效益，更能助力行业实现可持续发展。

参考文献

- [1] 段怡彤, 彭冉, 袁松. 利用水泥窑处置生活垃圾技术研究及工程应用[J]. 节能, 2018, 37(12): 74-76.
- [2] 李瑞林. 水泥窑协同处置生活垃圾对水泥生产的影响[J]. 四川水泥, 2018(12): 1+61.
- [3] 刘海兵, 顾军, 韩力. 热解气化技术在水泥窑协同处置中的应用[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(S2): 175-179.
- [4] 冯金生. 关于水泥窑纯低温余热发电技术的探究[J]. 居舍, 2018(35): 165.
- [5] 李高松, 张志奇. 水泥窑余热发电锅炉振打装置技改应用实例[J]. 水泥, 2018(12): 64-65.