

智能化管控对水泥厂工艺运行效率的提升研究

刘 尧

天水中材水泥有限责任公司 甘肃 天水 741000

摘 要：针对当前水泥厂工艺运行存在的参数调控滞后、设备运维不足、质量管控低效及协同不畅等瓶颈，本文结合工业互联网、AI等前沿技术，界定核心概念与理论支撑，分析智能化管控的提升机制，探索分阶段落地路径。通过构建“感知-平台-应用-决策”架构，实现工艺参数精准调控、设备预测性维护等目标，结合行业实践验证，智能化管控可有效提升生产效率、降低能耗，为水泥厂智能化转型提供理论与实践参考，助力行业绿色高效发展。

关键词：智能化管控；水泥厂工艺；运行效率提升

引言：水泥行业作为基础工业，其工艺运行效率直接关系到企业效益与绿色发展目标，当前行业呈现“大型领先、中型滞后”格局，传统人工管控模式已难以适配高质量发展需求。随着工业智能化技术的普及，智能化管控成为破解行业效率瓶颈、推动产业转型的关键路径。基于此，本文聚焦智能化管控对水泥厂工艺运行效率的提升作用，梳理现状、识别瓶颈、探索实践路径，为行业智能化升级提供可行方案，助力实现节能降碳与效能提升双赢。

1 相关理论与技术基础

1.1 核心概念界定

(1) 智能化管控：定义为依托工业互联网、AI、物联网等前沿技术，构建“感知-分析-决策-执行”的完整闭环体系，对水泥厂从矿山开采、原料制备、熟料煅烧到成品发运的生产全流程进行精准管控、动态优化的现代化管理模式，核心目标是实现生产高效、能耗降低、质量稳定。(2) 水泥厂工艺运行效率：涵盖生产效率、能耗效率、质量效率、设备效率四个核心维度，以生产效率提升率、吨熟料煤耗、熟料强度合格率、设备非计划停机率等关键指标为核心评价依据，是衡量智能化管控效果的重要标尺。

1.2 相关理论支撑

(1) 工业互联网理论：为水泥厂全流程数据采集、传输、分析提供核心理论支撑，通过构建“云-边-端”协同架构，实现设备、系统、人员的互联互通，为数据驱动的智能决策提供坚实基础。(2) 闭环控制理论：指导智能化管控系统实现“检测-分析-调控-反馈”的闭环运行，实时捕捉工艺参数偏差，及时调整调控策略，确保工艺运行参数动态优化，提升生产过程的稳定性和可靠性。(3) 效率管理理论：为工艺运行效率的科学评价、瓶颈识别及优化提升提供系统理论指导，推动智能

化管控技术与效率管理深度融合，实现资源合理配置和生产效能最大化。

1.3 智能化管控核心技术体系

(1) 物联网(IoT)技术：实现矿山开采、生产加工、物流发运等各环节设备全面联网与数据实时采集，设备联网率达到99%以上，精准捕捉温度、压力、流量等关键数据，为智能化管控提供全面、可靠的数据支撑。(2) 人工智能(AI)技术：涵盖AI预测模型(熟料强度预测、设备故障预测)、智能寻优算法，广泛应用于质量预测、设备故障诊断、工艺参数优化等关键场景，提升管控的精准度和智能化水平^[1]。(3) 大数据与云计算技术：承担海量生产数据的存储、清洗与深度分析任务，挖掘数据背后的关联规律与价值，为AI模型训练、全局生产优化提供算力支撑，保障智慧运营管理平台稳定运行。(4) 数字孪生技术：构建水泥厂全流程数字孪生模型，精准映射实际生产场景，实现生产过程可视化监控、模拟仿真与优化调控，为智能化管控提供直观、高效的场景支撑，助力生产风险预判和流程优化。

2 水泥厂工艺运行现状及效率瓶颈分析

2.1 水泥厂工艺运行基本流程

(1) 核心工艺环节：梳理矿山开采、原料制备、熟料煅烧、水泥粉磨、成品发运五大核心环节，各环节衔接紧密、环环相扣。矿山开采聚焦石灰石等原料的高效开采与筛选，保障原料供应稳定性；原料制备侧重多组分原料的精准配比与粉磨，满足后续煅烧要求；熟料煅烧是核心环节，控制窑炉温度、压力等参数确保熟料质量；水泥粉磨优化细度与配比，提升成品性能；成品发运实现自动化仓储与精准配送，保障交付效率，各环节均有明确的工艺标准与运行特点^[2]。(2) 工艺运行核心指标：明确生产效率、能耗指标、质量指标、设备运行指标四大类核心指标的具体内涵，参考行业基准值规范评

价标准。其中生产效率以台时产量、生产计划完成率为核心；能耗指标重点关注吨熟料煤耗、吨水泥电耗；质量指标聚焦熟料强度、水泥安定性等；设备运行指标要求设备可用率 $\geq 90\%$ 、熟料强度预测准确率 $\geq 85\%$ 、设备非计划停机率 $\leq 5\%$ ，为后续现状分析与瓶颈识别提供依据。

2.2 水泥厂工艺运行现状调研

(1) 调研设计与实施：选取不同规模（大型、中型）水泥厂作为调研对象，兼顾不同区域、不同生产工艺的企业，确保调研样本的代表性。调研结合实地走访、设备数据采集、管理人员访谈等方式，重点梳理当前各企业智能化管控应用程度、工艺运行参数、设备配置水平等核心现状，全面掌握行业整体运行情况。(2) 调研结果分析：总结当前水泥厂工艺运行的整体水平呈现“大型领先、中型滞后”的格局。大型水泥厂已实现全流程智能化管控，依托智慧平台实现各环节数据互通与自动调控；中型水泥厂多聚焦单一关键环节（如熟料煅烧）的智能化改造，其他环节仍依赖传统操作，智能化应用存在明显差异，整体运行效率与大型企业存在一定差距。

2.3 水泥厂工艺运行效率瓶颈识别

(1) 生产环节瓶颈：传统人工操作导致工艺参数调控滞后，原料配比精度不足，生产稳定性差，如入堆石灰石成分波动较大，易造成后续煅烧环节参数失衡，降低生产效率、增加能耗。(2) 设备管理瓶颈：设备维护依赖人工巡检，故障发现不及时、判断不准确，导致非计划停机率偏高，设备利用率偏低，不仅影响生产连续性，还增加设备维修成本与生产成本。(3) 质量管控瓶颈：质量检测流程繁琐、周期长，多采用离线检测方式，难以实时反馈生产过程中的参数偏差，导致产品质量波动较大，不合格产品率偏高，影响企业经济效益与品牌口碑。(4) 管理协同瓶颈：各工艺环节数据不互通，形成信息孤岛，调度指令传递滞后，各环节协同配合度低，无法实现全流程全局优化，制约整体运行效率提升^[3]。

2.4 瓶颈产生的根源分析

(1) 技术层面：传统生产设备智能化改造不足，部分老旧设备无法接入管控系统，技术集成度低，不同厂家的系统间兼容性差，数据采集标准不统一，导致数据无法有效共享与分析。(2) 管理层面：缺乏完善的智能化管控体系，管理模式仍停留在“经验驱动”，未形成数据驱动的决策机制，同时员工智能化操作技能不足，难以充分发挥智能化设备的效能。(3) 投入层面：智能化改造初期投资较大，设备购置、系统搭建、人员培训等成本偏高，部分中型企业资金投入不足，仅进行局部改

造，导致技术落地不彻底，无法形成全流程协同效应，难以从根本上解决效率瓶颈。

3 智能化管控对水泥厂工艺运行效率的提升机制与实践路径

3.1 智能化管控的核心架构设计

(1) 感知层：作为智能化管控的基础，在矿山开采、原料制备、熟料煅烧等全流程关键节点，部署高精度传感器、智能检测设备及数据采集终端，实现设备运行参数、工艺调控数据、质量检测指标等各类数据的实时采集、精准传输，构建覆盖全流程、无死角的数据采集闭环，为后续分析与决策提供真实、全面的数据支撑，确保数据采集的实时性与准确性。(2) 平台层：搭建一体化智慧运营管理平台，整合大数据存储、数据清洗、模型分析、可视化展示等核心功能，部署熟料强度预测、设备故障预警等AI模型，实现生产全流程数据的集中管理与统一调度，通过“一屏掌控”模式，直观呈现各环节运行状态、关键指标变化，为管理人员提供清晰的决策依据，打破传统分散管理的局限。(3) 应用层：针对水泥厂五大核心工艺环节，精准部署专项管控模块，实现“一环一策”精准管控。矿山环节部署无人矿山系统，实现开采、运输自动化；生产环节搭建智能配料、煅烧优化系统，保障参数稳定；设备环节部署故障预警模块，实现隐患提前处置；质控环节推行智能检测系统，实现质量实时把控；物流环节搭建智能发运系统，提升交付效率。(4) 决策层：基于平台层的数据分析与AI模型输出，实现工艺优化、设备维护、生产调度的智能化决策，构建“设备—工序—产线—车间—工厂”五级协同体系，打破各层级、各环节的管理壁垒，实现全局统筹、动态优化，确保生产全流程高效协同运行，最大化提升工艺运行效率。

3.2 智能化管控对工艺效率的提升机制

(1) 参数精准调控机制：依托AI智能寻优算法，实时分析生产过程中风、煤、料等关键工艺参数的关联关系，自动调整参数设置，减少人工经验干预带来的偏差，实现参数动态优化，有效提升生产过程稳定性，降低吨熟料煤耗、吨水泥电耗等能耗指标，同时减少原料浪费，提升生产效率。(2) 设备预测性维护机制：通过感知层实时采集设备运行振动、温度、负荷等数据，结合AI故障预测模型，提前识别设备潜在故障隐患，自动生成检修工单，明确检修时间、内容与标准，实现“事前预警、精准检修”，大幅降低设备非计划停机率，提升设备可用率与利用率，减少维修成本与生产中断损失^[4]。(3) 质量实时管控机制：依托在线智能检测设备与AI质量预测模

型,实现水泥生产全流程质量无人化检测,实时捕捉原料配比、煅烧参数等对产品质量的影响,及时反馈偏差并自动调整工艺参数,减少产品质量波动,提升熟料强度合格率、水泥安定性达标率等质量指标,降低不合格产品率,减少资源浪费。(4) 全流程协同机制:通过智慧运营管理平台,打破各工艺环节的数据壁垒,实现矿山、生产、质控、物流等环节数据实时互通、信息共享,优化生产调度流程,实现原料供应、生产加工、成品发运的无缝衔接,避免工序衔接滞后、资源闲置等问题,提升整体运行效率。

3.3 智能化管控在水泥厂的实践路径

(1) 分阶段智能化改造:结合企业规模、资金实力与工艺现状,制定差异化分阶段改造方案,避免盲目投入。优先改造生产效率低、能耗高的核心瓶颈环节(如熟料煅烧、智能配料),再逐步推进全流程智能化升级,依次完成设备智能化改造、系统集成、平台搭建,确保改造效果与企业实际需求匹配,实现投入产出最大化。(2) 各工艺环节智能化管控落地:矿山环节推行无人驾驶开采、智能分拣系统,提升开采效率与原料品质;生产环节部署智能配料系统,实现原料精准配比,搭建煅烧智能优化系统,稳定窑炉运行参数;质控环节引入在线检测设备,实现质量实时检测与调控;物流环节搭建智能仓储、自动发运系统,提升交付效率,实现各环节智能化全覆盖。(3) 数据标准化与安全管理:建立统一的数据采集、存储、分析标准,规范数据格式与传输流程,确保各系统数据互通兼容;完善数据安全保障体系,部署数据加密、访问控制等措施,防范数据泄露、丢失与篡改,确保数据采集、传输、分析的安全性与准确性,为智能化管控提供可靠的数据保障^[9]。(4) 人才队伍建设:开展分层分类培训,针对一线员工开展智能化设备操作、日常维护培训,提升实操能力;针对管理人员开展智能化管理、数据解读培训,提升决策水平;引进高端智能化技术与管理人才,加强与高校、科研机构的合作,开展技术研发与人才培养,构建专业化、复合型人才队伍,支撑智能化管控落地见效。

3.4 智能化管控的关键实施要点

(1) 贴合企业实际:结合水泥厂的生产规模、工艺特点、资金实力与现有基础,制定差异化的智能化管控方案,避免“一刀切”的改造模式,重点解决企业自身的效率瓶颈,确保方案的可行性与实用性,让智能化改造真正服务于工艺效率提升。(2) 强化技术集成:注重各智能化系统、设备之间的兼容互通,打破不同厂家、不同类型系统的技术壁垒,实现数据共享、协同运行,避免出现“信息孤岛”“系统脱节”等问题,充分发挥各技术的协同效应,实现“1+1>2”的管控效果。(3) 注重长效运营:建立智能化管控系统的长效维护机制,安排专业人员负责系统日常运维、故障排查,及时处理运行过程中的问题;持续迭代AI模型,结合生产工艺优化、技术升级需求,更新模型参数与算法,确保智能化管控系统持续适配生产需求,实现工艺效率的长期稳定提升。

结束语

本文系统研究了智能化管控对水泥厂工艺运行效率的提升作用,明确了核心技术体系、提升机制与实施要点,结合行业实践证实,智能化管控可有效破解生产、设备、质量、协同等环节瓶颈,实现全流程高效管控。此次研究仍有局限,未来可结合数字孪生、AI大模型等新技术深化应用,优化适配不同规模水泥厂的管控方案,持续推动水泥行业从“传统制造”向“智慧智造”转型,助力行业高质量绿色发展。

参考文献

- [1]王松委,张明重.水泥厂供配电智能化管理平台改造应用[J].中国水泥,2024,15(1):82-85.
- [2]刘金磊,刘毅,王清正.智能化变电站在水泥厂的应用[J].水泥技术,2023,8(2):79-82.
- [3]徐桂林.水泥厂电气自动化控制技术智能化探析[J].建筑理论,2023,22(4):146-149.
- [4]陈兴虎.智能化管理在建材水泥厂生产中的实践探讨[J].科技新时代,2025,34(13):201-206.
- [5]梁国泰.水泥厂电气设备的智能化控制技术研究[J].工程建设标准化,2025,20(6):158-162.