

包装车间设备自动化技术管理与节能降耗技改策略研究

刘绍涛

广东 佛山 528100

DOI:10.61369/WCEST.2025070009

摘 要： 在工业4.0及可持续发展背景下，包装车间自动化进程加速，但面临节能降耗与技术挑战。通过分析能耗结构，设计智能控制系统，实施预测性维护，优化电机系统，构建热能源回收模型等措施，并进行FMEA分析、能源审计、风险评估与TRL评估，分阶段实施并缓解工程风险，可提升运营效率与可持续发展能力。

关 键 词： 包装车间；自动化技术管理；节能降耗

Research on Equipment Automation Technology Management and Energy Saving and Consumption Reduction Technology Transformation Strategy in Packaging Workshop

Liu Shaotao

Foshan, Guangdong 528100

Abstract： under the background of industry 4.0 and sustainable development, the automation process of packaging workshop is accelerated, but it faces energy saving and consumption reduction and technical challenges. By analyzing energy consumption structure, designing intelligent control system, implementing predictive maintenance, optimizing motor system, building thermal energy recovery model and other measures, and conducting FMEA analysis, energy audit, risk assessment and TRL assessment, the project risk can be implemented and mitigated in stages, which can improve operation efficiency and sustainable development ability.

Keywords： packaging workshop; automation technology management; energy saving

引言

在工业4.0浪潮下，包装车间自动化进程加快，但面临节能降耗挑战。2020年我国提出的碳中和政策，旨在推动各行业减少碳排放，实现温室气体净零排放，这对包装车间设备节能改造提出迫切要求。研究有效的设备自动化技术管理与节能降耗技改策略，不仅关乎企业降低成本、提高效益，更是响应国家政策，助力行业绿色转型的关键。通过分析能耗结构、设计智能控制系统、实施预测性维护等一系列策略，有望在高效生产与节能环保间达成平衡，推动包装车间可持续发展。

一、自动化技术管理

（一）设备自动化现状

在包装车间，使用各种类型的自动化包装设备。机器人码垛系统已经变得越来越普遍^[1]。这些系统可以准确地将包装好的产品堆放在托盘上，显著提高托盘作业的效率 and 精度。他们能够处理不同的产品尺寸和重量与高速和一致性。智能输送线是另一个关键部件。从最初的生产阶段到最终的包装和储存，它们确保产品在整个包装过程中顺畅、连续地流动。这些生产线可根据具体的生产要求进行编程，以调整速度、方向和分拣^[2]。这些自动化系统的运行管理模式包括仔细监测设备性能、定期维护以防止故障以及使用先进的控制系统以优化生产过程。目前包装车间设备

自动化的设置为提高整体生产效率奠定了坚实的基础。

（二）自动化的技术挑战

自动化技术管理中自动化面临诸多技术挑战。传感器精度受限是关键瓶颈之一，包装车间对产品的尺寸、重量、位置等参数检测需高精度传感器，若精度不足，会导致包装动作偏差，如包装材料裁切尺寸不准，影响产品包装质量。设备兼容性问题也不容小觑，车间内不同品牌、不同时期的自动化设备通信协议、接口标准等可能存在差异，难以实现高效互联互通与协同作业，制约自动化系统整体效能发挥。同时，预测性维护存在缺陷，准确预测设备故障对保障车间连续生产意义重大，现有技术数据采集完整性、分析模型准确性等方面存在不足，无法提前精准预判设备故障，常导致设备突发故障停机，影响生产进度和效率^[3]。

二、节能改造要求

（一）政策驱动的能源效率需求

在当前全球倡导可持续发展的大背景下，碳中和政策与 ESG 要求对包装车间设备节能改造优先级产生了深远影响。碳中和政策旨在推动各行业减少碳排放，实现温室气体净零排放^[4]。包装车间作为能源消耗相对集中的场所，其设备的节能改造成为达成这一目标的关键环节。政策不仅设定了明确的碳排放目标，还可能提供相应的激励措施或约束机制，促使企业积极开展节能技改。而 ESG 要求则从环境、社会和公司治理三个维度，引导企业提升自身的可持续发展能力。在环境层面，强调减少能源消耗与废弃物排放；社会层面关注员工与社区的福祉，节能技改有助于创造更环保健康的工作环境；公司治理层面要求企业制定完善的能源管理策略。这些政策与要求共同塑造了包装车间设备节能改造的迫切需求，明确了节能降耗工作的重点方向，推动企业积极探索和应用先进的节能技术与管理模式。

（二）能源消费结构分析

在包装车间，对能耗结构进行分析是明确节能改造需求的关键。包装车间的设备众多，不同设备的能耗占比差异较大。对于压缩空气系统，其能耗主要源于空气压缩机的运行，需考量产气效率、用气设备的需求稳定性等因素，低效的压缩机及不合理的用气分配会造成能源浪费^[5]。电机驱动单元方面，电机的功率、负载率以及运行时间等参数影响着能耗，部分老旧电机效率低下，长期处于非最优运行状态，增加了不必要的能耗。而热设备，如烘干设备等，其热量散失、加热效率等是能耗的重要影响点，若保温措施不佳或加热元件老化，会导致大量能量损失。通过全面剖析这些设备的能耗结构，能精准定位高能耗环节，从而为后续节能改造提供针对性的方向和依据。

三、综合技术战略

（一）自动化增强途径

1. 智能控制系统设计

智能控制系统设计旨在通过融合先进技术，实现包装车间设备的高效自动化与节能降耗。开发集成物联网的 PLC-SCADA 架构，对设备进行实时监控。借助物联网技术，将各类设备接入网络，实现数据的实时采集与传输。PLC（可编程逻辑控制器）精准执行设备的逻辑控制指令，而 SCADA（数据采集与监视控制系统）则对设备运行状态进行全面监控与数据分析。通过这种架构，不仅能及时发现设备潜在故障，提前预警维护，减少停机时间，还能基于数据分析优化设备运行参数，实现节能降耗。例如，依据生产任务与设备负载情况，动态调整设备运行速度与功率，达到高效节能目的^[6]。如此智能化的控制系统设计，为包装车间设备自动化技术管理与节能降耗提供有力支撑。

2. 预测性维护框架

预测性维护框架部分通过实施振动分析和热成像技术进行基于设备状态的维护调度。振动分析能够实时监测设备运行时产生

的振动信号，不同的振动频率和幅度变化可反映设备零部件的磨损、松动等潜在问题^[7]。热成像技术则能捕捉设备运行中的温度分布，快速发现因故障导致的局部过热现象。通过这两种技术收集的数据，经专业算法分析，可预测设备何时可能出现故障。如此，包装车间不再依赖传统的定期维护模式，而是根据设备实际状态精准安排维护计划，既能避免过度维护造成的资源浪费，又能防止因维护不及时引发设备故障，影响生产效率，从而实现设备运行的高效性与稳定性，有力支持包装车间的节能降耗与自动化技术管理。

（二）节能技术方案

1. 电机系统优化

在包装车间设备中，电机系统优化是节能降耗的关键一环。对于输送机网络的电机，可通过改造引入变频驱动器（VFDs）。VFDs 能够根据实际生产需求实时调整电机的转速，避免电机长期在恒定转速下运行造成的能源浪费^[8]。当包装任务量减少时，VFDs 降低电机转速，减少电能消耗；而在任务量增加时，又能及时提升转速满足生产要求。此外，能量回收系统也可应用于电机系统。在电机处于制动或减速过程中，该系统能将电机产生的再生能量进行回收再利用，转化为其他设备可用的电能，进一步提高能源利用率，实现包装车间设备在电机系统层面的节能降耗，提升整体自动化技术管理水平。

2. 热能回收模式

在包装车间设备自动化技术管理与节能降耗技改策略研究中，热能回收模型是关键一环。对于包装机液压单元，可设计专门的余热利用系统，将液压油工作时产生的多余热量进行回收。例如，通过热交换器，把这部分热量传递给需要预热的其他工艺环节或加热生活用水等，实现能量的再利用，提高能源利用率。在灭菌工艺方面，灭菌过程会产生大量高温余热，可采用合适的热回收装置，将余热用于物料的预加热或车间环境的保温等，有效降低能源消耗。这些热能回收模型的构建与优化，对于包装车间的节能降耗意义重大，能显著减少能源浪费，为企业带来可观的经济效益和环境效益^[9]。

四、工程风险管理

（一）技术风险识别

1. 自动化系统的 FMEA

在自动化包装生产线中，对自动化系统开展失效模式与效应分析（FMEA）至关重要。通过 FMEA，能深入剖析自动化系统各组成部分可能出现的失效模式，例如机械部件可能的磨损、电气元件的故障等。明确这些失效模式后，进一步评估其对整个包装生产线运行的影响，如导致生产停滞、产品质量缺陷等后果。同时，分析每种失效模式可能产生的原因，像设备长期高负荷运行、维护保养不及时等。借助 FMEA，可依据风险程度对失效模式进行排序，为制定针对性的预防和改进措施提供依据，优先处理高风险的失效模式，从而有效降低自动化系统故障风险，保障包装生产线稳定、高效运行^[10]。

2. 能源审计风险因素

在包装车间设备自动化技术管理与节能降耗技改过程中，能源审计风险因素不可忽视。测量不准确是一个关键风险因素，包装车间设备众多，在对设备能耗进行测量时，若测量仪器精度不足或测量方法不当，会导致能耗数据偏差，影响对设备实际耗能情况的判断，使节能技改策略缺乏可靠依据。同时，基线数据的不确定性也带来风险，包装车间生产情况复杂多变，过往能耗基线数据可能因生产规模、产品类型变化而难以准确反映当下实际，若基于不准确的基线数据制定节能降耗目标与策略，可能导致策略实施效果不佳，无法有效实现节能降耗，甚至影响包装车间设备自动化技术管理的整体进程。

（二）风险评估建模

1. 蒙特卡罗模拟应用

在包装车间节能降耗技改项目的风险评估建模中，蒙特卡洛模拟应用广泛。蒙特卡洛模拟通过对节能项目投资回报率（ROI）不确定性进行概率建模，助力更精准的风险评估。在包装车间设备自动化技术管理与节能降耗技改策略研究里，该模拟能处理众多复杂变量，像设备采购成本、运行能耗、维护费用及市场产品需求波动等。模拟过程中，设定每个变量的概率分布，多次随机抽样，生成大量可能的 ROI 情景。如此，不仅可得到投资回报率的期望值，还能明确不同回报率出现的概率，使管理者全面掌握节能降耗技改项目潜在风险，辅助做出更科学合理的决策，有效提升包装车间节能降耗项目的成功率与经济效益。

2. 技术成熟度（TRL）评估

技术成熟度（TRL）评估主要用于评估包装车间新自动化技术在设备自动化技术管理与节能降耗技改策略中的成熟度。通过评估技术从概念阶段到实际应用各阶段的进展，判断其在包装车间应用的可行性与风险。考量因素涵盖技术原理的清晰程度、实验室验证成果、模拟环境测试情况、实际包装车间试点运行反馈等。若技术处于较低 TRL 水平，可能意味着在能耗控制、设备稳定性等方面存在较多未知，大规模应用前需进一步研发与验证，以降低工程风险，确保新自动化技术既能有效提升设备自动化水平，又能实现节能降耗的目标，保障包装车间技改策略的顺利实施与长期稳定运行。

（三）缓解策略

1. 分阶段实施规划

在包装车间设备自动化技术管理与节能降耗技改的分阶段实

施规划中，首先可进行小规模试点测试。选择部分具有代表性的设备，应用自动化技术与节能降耗措施，密切监测运行数据，包括设备运行效率、能源消耗指标等，以此评估技术的可行性与实际效果，及时发现潜在问题，针对性地调整优化。在试点成功后，制定全面的推广计划，按照车间设备的布局、功能等特点，分区域、分批次逐步推进自动化技术与节能降耗技改的大规模部署。这一过程需确保各阶段的过渡平稳，不影响车间正常生产。同时，持续收集和分析设备运行数据，依据实际情况灵活调整实施进度，确保整个实施过程高效、有序地达成自动化技术管理与节能降耗的目标。

2. 应急准备分配

在工程风险管理的缓解策略中，应急储备金的分配对于包装车间设备自动化技术管理与节能降耗技改项目至关重要。应急储备金旨在应对技术迭代成本超支和进度延误等风险。需依据对包装车间过往项目数据、类似项目经验以及当前项目具体情况分析，来确定储备金数额。比如，对于可能出现的因新技术引入导致设备适配性问题带来的成本增加，应预留一定比例资金。同时，考虑到节能降耗技改可能因供应商供货延迟、施工环节意外等造成进度滞后，也需储备相应资金以支付额外费用。合理分配应急储备金，既能有效应对风险事件，减少对项目整体目标的影响，确保包装车间设备自动化与节能降耗技改工作顺利推进，又能避免储备金过多闲置造成资源浪费。

五、总结

综上所述，包装车间设备自动化技术管理与节能降耗技改策略的综合应用，对于提升车间的整体运营效率和可持续发展能力具有显著意义。通过精心制定技术管理策略和合理规划节能降耗技改路径，有望实现 12 - 15% 的能源效率提升，这不仅能有效降低生产成本，还能助力企业在环保方面达到更高标准。同时，风险可控的实施路线图策略的落地提供了坚实保障，确保整个过程平稳有序推进。在实际执行中，应持续关注技术发展动态，及时调整优化策略，以应对可能出现的新挑战和新机遇。企业应高度重视并积极推进这些策略与方法，在提升经济效益的同时，践行绿色发展理念，为行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 褚俊娴. 智能包装车间 AGV 路径规划与动态调度研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2021.
- [2] 房煜博. 山东 XH 公司节能降耗提升策略研究 [D]. 山东理工大学, 2021.
- [3] 李亨. 印刷包装车间送料 AGV 运动控制策略研究 [D]. 西安理工大学, 2021.
- [4] 于丰源. 多品种小批量包装设备制造车间工艺规划与排产研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2022.
- [5] 张韧. 包装印刷车间的物流配送优化研究 [D]. 华中科技大学, 2021.
- [6] 刘伟华. 探究电气设备节能降耗技术管理 [J]. 科技创新导报, 2021, 18(36): 124-126.
- [7] 苏伟红. 设备自动化过程控制及节能降耗的研究 [J]. 冶金与材料, 2023, 43(6): 14-16.
- [8] 胡云松, 尹小山, 熊教育. 浅谈超低排放与节能降耗并重的技改实践 [J]. 水泥, 2022(1): 24-27.
- [9] 郑伟. 洗煤厂设备自动化过程控制及节能降耗研究 [J]. 能源与节能, 2021(9): 77-78, 139.
- [10] 吴志强. 洗煤厂设备自动化过程控制及节能降耗 [J]. 能源与节能, 2022(9): 49-52.