

精益生产和智能制造在电梯制造工艺技术开发及管理中的应用

刘钦亮

日立电梯（中国）有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025120047

摘 要： 本文探讨电梯制造工艺技术，阐述传统工艺瓶颈，如焊接和螺栓连接的问题。介绍数字化转型关键要素，包括设备互联、工艺参数优化等。还涉及抽铆、无铆连接等工艺开发，以及智能生产系统构建、参数自适应系统等内容，强调精益生产与智能制造融合的重要性及成果，并提及投资回报模型构建

关 键 词： 电梯制造；精益生产；智能制造

Application of Lean Production and Intelligent Manufacturing in the Development and Management of Elevator Manufacturing Technology

Liu Qinliang

Hitachi Elevator (China) Co., LTD., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This article explores the manufacturing technology of elevators, highlighting the challenges faced by traditional methods, such as welding and bolted connections. It introduces key elements of digital transformation, including equipment interconnection and process parameter optimization. The article also discusses the development of processes like riveting and rivetless connections, as well as the construction of intelligent production systems and parameter adaptive systems. It emphasizes the importance and achievements of integrating lean production with intelligent manufacturing, and mentions the construction of return on investment models

Keywords： elevator manufacturing; lean production; intelligent manufacturing

引言

随着制造业的发展，电梯制造工艺技术面临着不断升级的需求。2023年发布的《制造业高质量发展行动纲要》强调了推动制造业智能化转型的重要性。在电梯制造中，传统的焊接和螺栓连接工艺存在诸多问题，如焊接的热变形风险及螺栓连接的装配繁琐等，影响产品质量和生产效率。而数字化转型成为关键驱动要素，包括设备互联、工艺参数优化和质量追溯等方面。同时，构建数学模型研究连接工艺力学性能、开发数字化工艺系统以及智能生产系统构建等也至关重要，这些都为电梯制造工艺技术的发展提供了新的方向和方法。

一、电梯钣金工艺技术现状分析

（一）传统连接工艺瓶颈分析

传统的焊接和螺栓连接工艺在电梯门板/轿厢加工中存在诸多瓶颈。焊接工艺往往会导致热变形风险，影响产品的尺寸精度和外观质量^[1]。同时，焊接过程耗时较长，降低了生产效率。在质量方面，焊接可能产生气孔、裂纹等缺陷，增加了废品率。螺栓连接虽然避免了热变形问题，但装配过程繁琐，需要大量的人工操作，导致工时消耗过多。而且螺栓连接的紧固力不易控制，可能出现松动等质量问题，同样影响产品质量和生产效率。通过建立工时消耗与废品率的数据模型，可以更直观地分析这些传统连接工艺的瓶颈，为改进工艺提供依据。

（二）数字化转型驱动要素

随着信息技术的飞速发展，数字化转型已成为电梯钣金工艺技术发展的关键驱动要素。设备互联是重要方面，通过MES系统与ERP集成，实现生产设备之间的信息交互与协同工作，为新型连接工艺开发提供数据支持，提高生产效率和稳定性^[2]。工艺参数优化也是核心要点，借助数字化技术可以精确控制和调整钣金加工过程中的各种参数，如切割速度、折弯角度等，确保工艺的精准性和一致性。质量追溯同样不可或缺，数字化系统能够记录生产过程中的每一个环节和相关数据，一旦出现质量问题，可以快速准确地追溯原因，采取有效的改进措施，保障产品质量。

二、新型连接工艺技术特性研究

（一）抽铆工艺力学性能研究

构建不同材料组合（镀锌板/不锈钢）的径向力数学模型对于研究抽铆工艺力学性能至关重要。该模型能够量化不同材料组合在抽铆过程中所受径向力的大小及变化规律。通过 DOE 实验设计，可以系统地研究多个工艺参数对抽铆接头剪切强度的影响。例如，铆钉直径、板材厚度、抽铆枪压力等参数都可能对接头剪切强度产生作用。实验结果可以验证工艺参数与接头剪切强度之间的作用规律，为优化抽铆工艺提供理论依据和数据支持，有助于提高电梯制造中抽铆连接的质量和可靠性^[3]。

（二）无铆连接数字化工艺开发

在无铆连接数字化工艺开发中，基于机器视觉的定位补偿系统的设计至关重要。该系统可通过精确的图像识别与处理技术，对连接部位进行精准定位，有效补偿因加工或装配误差导致的位置偏差^[4]。同时，开发板厚公差自适应算法，使其能够根据不同的板材厚度自动调整连接参数，确保连接质量的稳定性。另外，建立工艺参数知识库与质量预测模型，通过大量的实验数据和实际生产数据积累，将工艺参数进行分类整理并存储于知识库中。利用数据分析和机器学习算法，建立质量预测模型，从而提前预测连接质量，为生产过程的质量控制提供有力支持^[4]。

三、智能生产系统构建

（一）智能制造单元架构设计

1. 设备物联与数据采集

在智能生产系统构建中，智能制造单元架构设计的设备物联与数据采集至关重要。以电梯制造为例，通过 OPC UA 协议可实现压装设备与测量仪器的实时数据交互^[5]。这种交互能够构建冲击力 - 位移曲线的在线监测系统。利用该系统，可实时获取并分析生产过程中的关键数据，从而实现对生产过程的精准监控和优化。设备物联使得各个生产设备之间能够互联互通，打破信息孤岛，数据采集则为后续的数据分析和决策提供了基础，有助于提高生产效率和产品质量，推动电梯制造工艺技术的发展和管理水平的提升。

2. 工艺参数闭环优化

开发基于深度强化学习的参数自适应系统是工艺参数闭环优化的关键。该系统能够实时监测生产过程中的各种参数，并根据预先设定的目标进行自适应调整。通过深度强化学习算法，系统可以学习到不同参数组合对生产结果的影响，从而找到最优的参数设置。同时，建立连接质量与能耗的多目标优化模型也是重要环节。在电梯制造中，质量和能耗是两个关键指标，通过该模型可以综合考虑这两个因素，找到既能保证产品质量又能降低能耗的工艺参数。这不仅有助于提高生产效率和产品质量，还能降低生产成本，实现智能制造的目标^[6]。

（二）数字化质量管控体系

1. 在线检测技术应用

激光轮廓仪可用于实现接头几何特征的三维重构。通过精确测量接头的轮廓数据，能够获取其详细的几何信息，为后续的质量评估和分析提供基础^[7]。同时，构建基于卷积神经网络的缺陷

陷分类模型也是关键。该模型能够对采集到的数据进行学习和分析，准确识别各种缺陷类型。利用大量的样本数据对模型进行训练，使其不断优化和提高准确性。通过这种方式，可以实现对生产过程中的缺陷进行高效、准确的检测和分类，从而及时采取措施进行改进，提高产品质量，保障生产过程的稳定性和可靠性。

2. 追溯系统集成开发

设计基于区块链技术的工艺参数存证系统是实现产品全生命周期质量数据可信追溯的关键。该系统利用区块链的分布式账本、不可篡改和加密算法等特性，确保工艺参数的真实性和完整性。在电梯制造过程中，各个环节的工艺参数都能被准确记录并存储在区块链上。从原材料采购到零部件加工，再到整机装配，每一个步骤的质量数据都能被追溯。这不仅有助于在出现质量问题时快速定位根源，采取有效的改进措施，还能对产品质量的持续提升提供有力的数据支持，增强企业在市场中的竞争力^[8]。

四、精益智能融合实践

（一）价值流分析与改善

1. 工艺过程时间研究

运用价值流图析（VSM）工具对电梯制造工艺进行分析是精益生产中的重要方法。通过 VSM，可以详细量化传统工艺与新型工艺在周期时间上的差异。这种量化分析有助于企业精准识别生产过程中存在的问题，尤其是七大浪费中的最大改善点。例如，在电梯零部件加工环节，传统工艺可能因设备布局不合理导致物料搬运时间过长，这就是一种典型的浪费。通过 VSM 工具对比新型工艺，能够直观地看到时间差异，从而为改善提供明确的方向，以实现生产周期的缩短和生产效率的提升^[9]。

2. SMED 快速换型方案

设计模块化模具系统与参数预置方案是实现 SMED 快速换型的关键。通过对模具系统进行模块化设计，可提高模具的通用性和互换性，减少换模过程中的调整时间。同时，参数预置方案能够确保在换模后快速准确地设置生产参数，避免因参数调整不当而导致的生产延误。这种将产品切换时间压缩至 Takt Time 以下的方法，不仅提高了生产效率，还能更好地满足市场对产品多样化的需求。在电梯制造工艺技术开发及管理应用中应用此方案，可有效提升企业的竞争力，实现精益生产和智能制造的融合^[10]。

（二）智能排产系统开发

1. 动态排程算法设计

构建考虑设备健康状态的混合整数规划模型是动态排程算法设计的关键。该模型需综合考虑设备的多种状态因素，如故障概率、维护周期等，以实现更精准的排产。通过对设备运行数据的实时监测和分析，获取设备健康状态信息，并将其融入规划模型中。同时，开发基于数字孪生的可视化排程系统，利用数字孪生技术对生产过程进行实时模拟和映射。这不仅直观展示排产结果，还能根据实际生产情况进行动态调整。在算法设计中，要注重模型的优化求解，采用合适的算法和工具，提高计算效率和排产的合理性，从而实现精益生产和智能制造在电梯制造工艺技术的

开发及管理中的有效应用。

2.应急响应机制建设

在精益智能融合实践中，应急响应机制建设至关重要。对于订单变更和异常停机，需建立分级响应策略。依据变更和停机的影响程度、紧急性等因素进行分级。对于影响较小、可短期调整的情况，制定快速局部调整方案；对于重大变更和停机，启动全面协调机制，涉及生产、采购、销售等多部门协同。同时，制定物料缓存方案，根据生产节拍和订单情况，合理设置物料缓存量和缓存位置，确保在异常情况下物料供应的及时性。针对设备重路由，建立动态设备路径规划系统，当出现异常停机时，能迅速调整设备使用路径，将生产任务合理分配到其他可用设备上，保障生产流程的连续性。

（三）综合效益评估体系

1.关键绩效指标设计

构建涵盖设备综合效率（OEE）、一次合格率（FTQ）、能耗强度等多维度的评估矩阵。OEE用于衡量设备的实际生产能力与理论生产能力的比率，综合考虑设备的可用性、性能效率和质量合格率，通过提高OEE可提升整体生产效率。FTQ则聚焦于产品质量，直接反映生产过程中产品首次合格的比例，有助于发现质量控制的薄弱环节。能耗强度指标关注生产过程中的能源消耗情况，推动企业实现节能减排目标。同时，针对精益生产和智能制造融合实践的不同实施阶段，设定合理的基准目标值，以便对各阶段的实施效果进行准确评估和持续改进。

2.投资回报模型构建

在投资回报模型构建中，采用净现值法具有重要意义。净现值法可量化工艺改进的长期收益，通过考虑资金的时间价值，对未来的收益和成本进行折现，从而准确评估投资项目的经济效益。同时，建立设备投资与质量成本节约的关联函数也是关键。设备投资可能带来生产效率的提高、产品质量的提升等，这些因素又会直接影响质量成本的节约。通过合理的数据分析和建模，确定这种关联关系，能够更全面地评估投资回报。这不仅有助于企业在电梯制造工艺技术开发及管理中做出更明智的投资决策，还能为精益生产和智能制造的融合实践提供有效的经济分析依据。

五、总结

精益生产和智能制造在电梯制造工艺技术开发及管理中的重要应用。电梯钣金工艺的智能化改造实践成果显著，新型连接工艺大幅降低单件作业时间并提高材料利用率，基于数字孪生的工艺优化系统有效降低质量缺陷率。这些成果为装备制造业的数字化转型提供了宝贵经验，包括可复用的方法论和切实可行的落地路径。这表明精益生产和智能制造理念能够推动电梯制造工艺技术的进步，提高生产效率和产品质量，对整个行业的发展具有积极的促进作用，未来应进一步推广和深化这些理念在电梯制造及其他相关领域的应用。

参考文献

- [1] 楼泽坤. 中小制造企业精益生产改进方案评估模型及应用 [D]. 重庆交通大学, 2021.
- [2] 陈良军. 精益生产在 S 公司制造维修管理中的应用研究 [D]. 广东工业大学, 2021.
- [3] 侯向英. 精益生产理论在 L 制造公司的应用研究 [D]. 中北大学, 2022.
- [4] 范剑波. DAC 公司中精益生产管理的应用研究 [D]. 石河子大学, 2023.
- [5] 陈太洲. 基于精益生产的 A 公司仪器制造车间现场管理改善研究 [D]. 吉林大学, 2022.
- [6] 林伟华. 精益生产在电梯制造企业中的应用研究 [J]. 冶金与材料, 2021, 41(05): 51-52+54.
- [7] 岳志春, 李玉茜. 智能制造背景下精益生产管理模式变革 [J]. 合作经济与科技, 2023, (18): 126-127.
- [8] 余庆泽, 毛为慧, 饶志平, 等. 智能制造企业精益管理与精益文化体系探析 [J]. 合作经济与科技, 2021, (14): 111-113.
- [9] 王丽青. 精益生产在制造企业成本管理中的应用探索 [J]. 商讯, 2021, (10): 105-106.
- [10] 关迪, 尤凤翔. 精益生产在电梯制造企业的应用研究 [J]. 中国管理信息化, 2019, 22(01): 103-106.