 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i8.7011

Research on Multi-Product Small-Batch Assembly Line Production for Railway Signal Products

Chen Liu

Beijing Railway Signal Co., Ltd., Beijing, 100037, China

Abstract

In the railway signal product sector, rapidly evolving market demands and the need for mass customization pose significant challenges to enterprises' responsiveness and cost control capabilities. To address these issues, this study proposes a tripartite development framework of "process standardization, equipment intelligence, and lean management" from a full value chain optimization perspective. By establishing core principles such as data-driven production line design and modular layout with flexible space reservation, this research explores the construction ideas for track signal board-level assembly line production systems. The aim is to help enterprises effectively respond to market changes, achieve efficient production, ensure consistent product quality, reduce production costs, thereby better meet market demands and enhance competitiveness within the industry.

Keywords

Railway signal products; multi-product small-batch; board-level assembly line; full value chain optimization

轨道信号产品多品种小批量流水化生产研究

刘晨

北京铁路信号有限公司，中国 · 北京 100037

摘　要

在轨道铁路信号产品领域，快速变化的市场需求和大量定制产品对企业的响应能力与成本控制提出了严峻挑战。为解决这一问题，本研究从全价值链优化的视角出发，提出构建“工艺标准化、设备智能化、管理精益化”三位一体的发展框架。通过确立以数据流驱动产线设计、模块化布局预留柔性空间等核心原则，深入探讨轨道信号产品板卡流水化生产线的建设思路，旨在帮助企业有效应对市场变化，实现高效生产，保证产品质量的一致性、降低生产成本，从而更好地满足市场需求，增强自身在行业内的竞争力。

关键词

轨道信号产品；多品种小批量；板卡流水化生产线；全价值链优化

1 引言

轨道铁路信号产品作为保障铁路安全、高效运行的关键设备，其市场需求呈现出节奏快、定制产品多的特点。企业若要在这样的市场环境中立足，必须能够及时响应客户需求，同时降低运营成本。传统的生产模式在面对多品种小批量的生产任务时，往往暴露出生产效率低下、生产成本高、质量控制难度大等诸多问题。因此，建设适应轨道信号产品特点的板卡流水化生产线具有重要的现实意义。通过构建高效的生产线，企业能够提高生产效率，提升综合竞争力。

2 轨道信号产品生产现状分析

2.1 产品特性带来的生产挑战

轨道信号产品种类繁多，涵盖信号控制板卡、通信接口板卡等多种类型，不同产品在功能、性能要求上差异显著。这使得企业在生产过程中需要频繁切换生产工艺和设备参数，导致生产准备时间大幅增加。同时，小批量的生产模式难以实现规模经济，无法有效分摊固定成本，进一步提高了生产成本。例如，生产不同规格的信号控制板卡，其电路设计、元器件选型以及焊接工艺等都可能存在较大差异，企业需要投入更多的人力和时间进行工艺调整和设备调试。

2.2 传统生产模式的局限性

传统的生产模式多采用离散式生产方式，各生产环节相对独立，缺乏有效的协同与衔接。这不仅导致生产效率低下，而且容易出现信息传递不畅、生产计划执行偏差等问题。在生产过程中，由于缺乏实时的信息共享，各工序之间难以准确把握生产进度，容易造成在制品积压或短缺，影响整个生产流程的顺畅进行。此外，传统生产模式对人工经验的依赖程度较高，产品质量的稳定性难以得到有效保障。不同操作人员的技能水平和工作习惯存在差异，可能导致同一产品

【作者简介】刘晨（1991–），男，回族，中国宁夏银川人，本科，工程师，从事铁路信号研究。

在不同批次生产中的质量出现波动。

3 轨道信号产品板卡流水化生产线建设的核心原则

3.1 以数据流驱动产线设计

在轨道信号产品板卡流水化生产线的建设中，数据流是实现高效生产的关键。从产品设计阶段开始，就应确保产品信息能够以数字化的形式准确传递到生产的各个环节。产品的设计图纸、工艺文件、物料清单等都应转化为可被生产设备和管理系统识别和处理的数据。在生产过程中，通过建立完善的信息管理系统，实现生产数据的实时采集、传输和分析。生产设备的运行状态、产品的加工进度、质量检测数据等都应及时反馈到管理系统中，以便管理人员能够根据这些数据及时调整生产计划和工艺参数。以数据流驱动产线设计，能够实现生产过程的精准控制，提高生产效率和产品质量。

3.2 模块化布局预留柔性空间

考虑到轨道信号产品多品种小批量的特点，生产线应采用模块化布局。将生产线划分为多个功能相对独立的模块，如元器件贴装模块、焊接模块、检测模块等。每个模块可以根据产品的不同需求进行灵活配置和组合。当生产不同类型的板卡时，只需对相应的模块进行调整或更换，而无需对整个生产线进行大规模改造。这种模块化布局方式不仅能够提高生产线的灵活性和适应性，还便于设备的维护和升级。为了应对未来市场需求的变化，生产线在布局时应预留一定的柔性空间。可以预留一些备用的设备安装位置和物流通道，以便在需要时能够快速增加新的生产模块或调整生产布局。

3.3 工艺标准化与持续优化相结合

工艺标准化是保证产品质量一致性和提高生产效率的基础。在生产线建设过程中，应制定统一的工艺标准和操作规范，对每个生产环节的工艺参数、操作流程等进行明确规定。在元器件贴装环节，规定贴装的位置精度、压力等参数；在焊接环节，明确焊接温度、时间等工艺要求。通过严格执行工艺标准，能够减少因人为因素导致的质量问题，提高产品的合格率。同时，企业应建立工艺持续优化的机制。随着技术的不断进步和生产经验的积累，及时对工艺标准进行修订和完善。通过对生产过程中的数据进行分析，找出工艺中存在的不足之处，采取针对性的改进措施，不断提高生产工艺的水平。

4 “三位一体” 发展框架构建

4.1 工艺标准化

4.1.1 工艺流程梳理与优化

对轨道信号产品板卡的生产工艺流程进行全面梳理，从原材料采购、元器件检验、板卡组装、焊接、检测到成品包装，逐一分析每个环节的操作流程和工艺要求。通过流程梳理，找出其中存在的冗余环节和不合理的操作步骤，并进行优化。在传统的生产流程中，元器件检验环节可能存在重复检验的情况，通过优化可以将检验流程进行整合，减少不必要的时间和资源浪费。对工艺流程进行优化还可以提高生产的连续性和流畅性，减少在制品的积压。

4.1.2 工艺参数确定与固化

在工艺流程优化的基础上，确定每个生产环节的最佳工艺参数。这些参数包括但不限于温度、压力、时间、速度等。通过大量的实验和生产实践，结合产品的质量要求和设备的性能特点，确定出最适合的工艺参数值。在焊接环节，通过实验确定不同类型元器件的最佳焊接温度和时间，以保证焊接质量。一旦确定了工艺参数，就应将其固化下来，形成标准化的工艺文件。生产人员必须严格按照工艺文件中的参数要求进行操作，确保产品质量的一致性。

4.1.3 工艺文件编制与管理

编制详细、规范的工艺文件是工艺标准化的重要环节。工艺文件应包括产品的工艺流程图、操作指导书、质量控制标准等内容。工艺流程图应清晰地展示生产过程的各个环节及其先后顺序；操作指导书应详细描述每个操作步骤的具体要求和注意事项；质量控制标准应明确规定产品在各个生产环节的质量检验指标和方法。对工艺文件进行有效的管理，建立完善的文件管理制度。工艺文件应进行编号、归档，便于查询和更新。当工艺参数或生产流程发生变化时，应及时对工艺文件进行修订，并确保生产人员能够及时获取最新的工艺文件。

4.2 设备智能化

4.2.1 智能化设备选型与配置

根据轨道信号产品板卡的生产工艺需求，选择合适的智能化设备。在元器件贴装环节，应选择具有高精度、高速度和自动识别功能的贴装机；在焊接环节，可选用智能化的回流焊炉和波峰焊设备，具备温度精确控制和实时监测功能。在设备选型过程中，要综合考虑设备的性能、价格、可靠性、维护便利性等因素。除了选择单个的智能化设备外，还应注重设备之间的配置和协同工作能力。确保贴装机、焊接设备、检测设备等能够在生产流程中无缝衔接，实现高效的生产作业。

4.2.2 设备自动化升级改造

对于企业现有的生产设备，应根据智能化生产的要求进行自动化升级改造。对于一些传统的手动操作设备，可以通过加装传感器、控制器等装置，实现设备的自动化控制。对一些简单的手动焊接设备，可以进行改造，使其能够实现自动送锡、自动调节焊接温度等功能。通过设备自动化升级改造，不仅可以提高设备的生产效率和精度，还能够减少人工操作带来的误差和劳动强度。同时，升级改造后的设备能够更好地与新购置的智能化设备进行集成，实现整个生产线的智能化运行。

4.2.3 设备智能监控与维护系统建设

建立设备智能监控与维护系统是实现设备智能化管理的重要手段。该系统通过在设备上安装各种传感器，实时采集设备的运行状态数据，如温度、压力、振动、电流等。通过对这些数据的分析和处理，能够及时发现设备的潜在故障和异常情况，并进行预警。系统还应具备设备维护管理功能，能够根据设备的运行时间、维护周期等信息，自动生成维护计划，并提醒维护人员进行设备维护。通过设备智能监控与维护系统的建设，能够提高设备的可靠性和使用寿命，减少设备停机时间，保障生产线的正常运行。

4.3 管理精益化

4.3.1 生产计划与排程优化

采用先进的生产计划与排程方法，提高生产计划的准确性和合理性。根据市场需求预测、订单情况、设备产能等因素，运用优化算法制定科学的生产计划。采用线性规划、启发式算法等方法，合理安排产品的生产顺序和生产时间，充分利用设备的产能，减少设备的闲置时间。在生产排程过程中，要考虑到产品的生产周期、工艺特点以及物料供应情况等因素，确保生产计划的可行性和可执行性。同时，要建立生产计划的动态调整机制，当市场需求发生变化或生产过程中出现意外情况时，能够及时对生产计划进行调整，保证生产的连续性和稳定性。

4.3.2 质量管理体系完善

建立完善的质量管理体系是保证产品质量的关键。企业应遵循相关的质量管理标准，如 ISO 9001 等，建立从原材料采购到成品交付的全过程质量管理体系。在原材料采购环节，加强对供应商的管理和原材料的检验，确保原材料的质量符合要求；在生产过程中，加强对各生产环节的质量控制，严格执行工艺标准和操作规范，通过首件检验、巡检、成品检验等方式，及时发现和解决质量问题；在成品交付环节，对产品进行严格的最终检验和测试，确保产品质量符合客户的要求。要建立质量追溯体系，能够对产品质量问题进行追溯和分析，找出问题的根源，采取有效的改进措施，不断提高产品质量。

5 轨道信号产品板卡流水化生产线建设实施步骤

5.1 前期规划与设计

在生产线建设的前期规划阶段，企业应成立专门的项目团队，由生产、技术、设备、管理等多方面的专业人员组成。项目团队首先要对企业的生产现状进行全面调研，包括现有设备状况、生产工艺水平、人员技能情况等。同时，要深入了解市场需求和行业发展趋势，明确生产线建设的目标和定位。根据调研结果和目标定位，进行生产线的初步设计。确定生产线的布局方案、工艺流程、设备选型等关键要素。在设计过程中，要充分考虑到轨道信号产品多品种小批量的特点，确保生产线具有足够的灵活性和适应性。

5.2 设备采购与安装调试

根据生产线设计方案，进行设备的采购工作。在采购过程中，要严格按照设备选型的要求，选择质量可靠、性能优良的设备。与设备供应商签订详细的采购合同，明确设备的技术参数、交货时间、售后服务等条款。设备到货后，组织专业人员进行设备的安装调试工作。按照设备的安装说明书和相关标准，进行设备的安装和连接。在安装过程中，要确保设备的安装位置准确、牢固，各种管道、线路连接正确。安装完成后，进行设备的调试工作。通过调试，使设备的各项性能指标达到设计要求，确保设备能够正常运行。

5.3 人员培训与工艺验证

在生产线投入正式生产之前，要对生产人员进行全面的培训。培训内容包括设备操作技能、工艺标准、质量控制要求等方面。通过理论培训和实际操作培训相结合的方式，使生产人员熟练掌握设备的操作方法和生产工艺要求。培训结束后，要对生产人员进行考核，考核合格后方可上岗操作。进行工艺验证工作。按照制定的工艺标准和操作规范，进行试生产。通过试生产，验证工艺的可行性和稳定性，检查产品质量是否符合要求。在工艺验证过程中，要对生产过程中的各项数据进行记录和分析，及时发现工艺中存在的问题，并进行调整和优化。

6 结论

通过确立以数据流驱动产线设计、模块化布局预留柔性空间等核心原则，构建 “工艺标准化、设备智能化、管理精益化” 三位一体的发展框架，并按照前期规划与设计、设备采购与安装调试、人员培训与工艺验证、生产线试运行与优化等实施步骤进行建设，企业能够有效提高生产效率、保证产品质量、降低生产成本。在未来的发展中，随着技术的不断进步和市场需求的持续变化，轨道信号产品板卡流水化生产线还需要不断进行创新和完善，以适应新的挑战和机遇，为轨道铁路事业的发展提供坚实的保障。

参考文献

[1] 轨道交通运行仿真的应用与发展. 方惠惠;王春.价值工程,2018(31)

[2] 创建轨道交通运行与安全实验教学示范中心. 华容;安子良;沙泉;陆斌.实验技术与管理,2016(12)

[3] 南京地面轨道交通运行引起的大地环境振动预测研究. 郑军;王明洋;肖军华;施烨辉;杨旭.岩土力学,2022(S2)