轨道交通车辆供应商零部件全生命周期质量管理数智化转型路径研究

朱树勇
国家高速列车青岛技术创新中心，中国·山东 青岛 266111

摘要：轨道交通车辆零部件质量直接决定列车运行安全性与可靠性，而供应商作为零部件供应的源头，其质量管理水平对轨道交通行业发展至关重要。当前，传统质量管理模式在零部件全生命周期（设计、采购、生产、运维、报废）中面临数据割裂、效率低下、风险预警滞后等问题。本文结合轨道交通行业特点，分析供应商零部件全生命周期质量管理的现存痛点，从数智化技术应用、管理体系重构、协同机制搭建、人才队伍建设四个维度，提出针对性转型路径，为轨道交通车辆供应商实现质量管理升级、提升核心竞争力提供实践参考，助力行业高质量发展。

关键词：轨道交通车辆；供应商零部件；全生命周期质量管理；数智化转型；转型路径

Research on the Digital and Intelligent Transformation Path of Full Life Cycle Quality Management for Rail Transit Vehicle Component Suppliers

Zhu Shuyong
National High-Speed Train Qingdao Technology Innovation Center, China Shandong Qingdao 266111

Abstract: The quality of rail transit vehicle components directly determines the safety and reliability of train operations. As the source of component supply, suppliers' quality management levels are crucial to the development of the rail transit industry. Currently, traditional quality management models face issues such as fragmented data, low efficiency, and delayed risk warnings throughout the entire lifecycle of components (design, procurement, production, operation, and disposal). This paper, based on the characteristics of the rail transit industry, analyzes the existing pain points in the lifecycle quality management of supplier components. From four dimensions—application of digital and intelligent technologies, restructuring of management systems, building of collaborative mechanisms, and development of talent teams—it proposes targeted transformation paths, providing practical references for rail transit vehicle suppliers to upgrade quality management, enhance core competitiveness, and support the high-quality development of the industry.

Keywords: Rail transit vehicles; Supplier components; Whole lifecycle quality management; Digital and intelligent transformation; Transformation path

0 引言

轨道交通作为国家综合交通运输体系的骨干，其安全稳定运行关乎民生与经济发展，而车辆零部件质量是保障轨道交通安全的核心基础。随着轨道交通行业向智能化、高速化方向发展，对零部件质量的要求日益严苛，传统依赖人工巡检、纸质记录的质量管理模式，已难以满足零部件全生命周期（从设计研发到报废回收）的动态管控需求。当前，供应商在零部件质量管理中普遍存在数据孤岛、过程追溯困难、风险预判能力弱等问题，制约了整体质量水平提升。在此背景下，借助大数据、人工智能、物联网等数智化技术，推动供应商零部件全生命周期质量管理转型，成为突破行业发展瓶颈、保障轨道交通运营安全的关键举措，具有重要的现实意义与应用价值。

1 轨道交通车辆供应商零部件全生命周期质量管理现存痛点

轨道交通车辆零部件具有种类多（涵盖牵引系统、制动系统、车体结构等数千种）、技术要求高、生命周期长（部分核心零部件寿命达 15-20 年）的特点，其全生命周期质量管理涉及设计、采购、生产、运维、报废多个环节，传统管理模式在各环节均存在明显痛点，难以适配行业数

智化发展需求[1]。

1.1 设计环节：质量标准模糊，数据共享不足

设计是零部件质量形成的源头，但质量管理常存在“重功能、轻标准”问题。部分供应商未建立统一数智化设计标准库，不同设计团队使用的 CAD、CAE 等软件不兼容，导致设计参数与质量要求难以统一，增加后期生产调整成本；同时，设计环节与下游生产、运维数据割裂，设计方案未结合零部件实际使用反馈，易导致量产产品在运维阶段出现质量隐患[2]。此外，设计过程缺乏数智化风险评估工具，难以提前识别材料选型、结构设计中的潜在问题，进一步推高后续质量整改成本。

1.2 采购环节：供应商筛选粗放，溯源能力薄弱

采购是零部件质量管控的关键关口，但管理仍以“人工审核 + 纸质记录”为主，效率低且风险高。供应商筛选缺乏数智化评价体系，多仅依据资质证书、过往合作经验选择上游材料商，未将材料质量历史数据（如抗拉强度、耐腐蚀性检测结果）、生产稳定性（如设备故障率、交货准时率）纳入评价，易导致劣质材料流入生产环节；同时，采购过程溯源能力薄弱，原材料采购批次、检验报告等信息以纸质档案存储，出现质量问题时需人工核对记录，无法快速定位源头，可能延误生产交付。

1.3 生产环节：过程管控滞后，质量检测低效

生产是零部件质量落地的核心，但传统“事后检测”模式难以实现实时管控。生产过程数据采集依赖人工记录（如焊接温度、加工精度），数据录入存在延迟与误差，无法实时监控质量波动；质量检测以人工抽样为主，难以覆盖全部零部件，且检测标准依赖人员经验，主观性强，易导致不合格品流入装配环节[3]。此外，生产设备缺乏数智化预警功能，设备故障引发的质量问题（如数控机床精度下降导致的尺寸偏差）难以提前预判，增加不合格品率。

1.4 运维环节：数据反馈不畅，预测性维护缺失

运维是零部件质量优化的重要依据，但质量管理存在“重维修、轻反馈”问题。零部件运维数据（如故障类型、维修次数、使用寿命）分散在运营企业、维修企业等多方主体，供应商难以获取完整数据，无法针对性优化质量；运维阶段仍采用“定期检修”模式，缺乏预测性维护能力，既可能因过度检修增加成本，也可能因检修不及时引发故障。同时，运维中零部件更换记录未与生产数据关联，无法形成“生产 – 运维”闭环，难以追溯批次性质量问题。

1.5 报废环节：环保合规风险高，资源回收效率低

报废是零部件全生命周期的终点，但其质量管理常被忽视，面临环保与资源浪费双重问题。含重金属、有毒有害物质的零部件（如蓄电池、电机绕组）报废时，部分供应商未建立数智化环保处理流程，缺乏过程实时监控，存在环保合规风险；报废阶段缺乏数智化资源评估工具，无法精准判断零部件可回收价值，易导致可修复利用部件被直接报废，造成资源浪费。此外，报废数据未与设计、生产环节联动，无法为新零部件绿色设计提供参考，制约绿色质量管理发展。

2 轨道交通车辆供应商零部件全生命周期质量管理数智化转型路径

针对轨道交通车辆供应商零部件全生命周期质量管理的现存痛点，需以数智化技术为核心，从设计、采购、生产、运维、报废全环节入手，构建“数据驱动、协同联动、风险预判”的质量管理体系，通过技术、制度、协同、人才四方面协同发力，推动数智化转型落地[4]。

2.1 技术赋能：用数智化工具贯通全环节质量数据

数智化技术是质量管理转型的核心支撑，需围绕零部件全生命周期各环节痛点，精准应用物联网（IoT）、大数据、人工智能（AI）、区块链等技术以打破质量数据壁垒，实现数据实时采集、高效共享与深度分析。设计环节搭建“数智化设计与仿真平台”，整合设计标准库、材料数据库与运维反馈数据，统一设计软件接口消除数据孤岛，建立含强度、耐久性、安全性等指标的质量参数模型，借历史运维故障数据预警设计风险，同时引入 AI 仿真工具模拟零部件在复杂工况下的质量表现，减少物理样机测试以降低设计成本与周期；采购环节构建“区块链 + 供应商管理平台”，用区块链记录原材料采购全流程信息支撑质量溯源，基于大数据建立供应商评价体系并纳入质量历史与生产稳定性数据，实现供应商动态分级；生产环节部署“IoT+AI 质量管控系统”，设备加装 IoT 传感器实时采集生产参数并通过云端平台监控报警，以 AI 视觉检测替代人工抽样提升缺陷识别效率，为设备加装 AI 预测性维护模块预判故障；运维环节建立“车联网 + 运维大数据平台”，采集零部件状态数据并对接维修记录形成数据库，基于数据训练 AI 预测模型优化检修模式，构建“运维 – 生产”数据闭环整改质量问题；报废环节开发“数智化环保与资源回收平台”，用 IoT 跟踪处理全流程并记录环保指标，引入 AI 评估工具判断零部件可回收价值，将报废数据反馈至设计环节为绿色设计提供参考[5]。

2.2 体系重构：建数据驱动的全周期质量管理制度

数智化转型需配套管理制度改革，打破传统部门间

的管理壁垒，建立以“数据为核心”的全生命周期质量管理制度，确保数智化技术有效落地并发挥作用。首先制定“全环节数据标准规范”，明确设计、采购、生产、运维、报废各环节的核心质量数据指标，界定数据采集频率与存储格式，统一数据口径以避免数据孤岛，实现各环节数据无缝对接与高效流转，为后续数据应用奠定基础。其次建立“数据驱动的质量决策机制”，成立涵盖设计、采购、生产、运维等部门的跨部门质量决策小组，定期通过数智化平台分析全生命周期质量数据，从数据中识别潜在质量风险，结合数据结论优化管理策略，替代传统依赖经验的决策模式，提升决策科学性与精准性。再次完善“质量责任追溯制度”，利用数智化平台记录各环节责任人、操作时间、数据变更记录等信息，形成可追溯的质量责任链条，当出现质量问题时，能够快速定位责任主体，避免责任推诿，同时为问题整改与管理优化提供依据。最后制定“数智化质量考核制度”，在传统质量考核指标基础上，新增数据采集完整性、AI 预警响应速度、数智化工具使用率等数智化指标，将考核结果与部门、岗位绩效挂钩，通过考核倒逼员工主动参与数智化转型，推动数智化技术在质量管理中深度应用。

2.3 协同搭建：构多方联动的数智化质量协同体系

轨道交通车辆零部件质量管理涉及供应商、上游材料商、下游整车厂、运营企业等多个主体，需搭建数智化协同体系，打破主体间的信息壁垒，实现质量数据共享、风险共防、问题共治。建立“供应商 – 材料商”协同平台，供应商通过平台向材料商开放零部件质量要求与标准，材料商实时上传原材料生产过程数据与检测报告，供应商可远程监控原材料生产状态，提前识别质量风险；同时供应商与材料商共享零部件运维反馈数据，材料商根据数据优化材料配方与生产工艺，提升原材料质量稳定性。搭建“供应商 – 整车厂”协同平台，供应商通过平台向整车厂实时传输零部件生产进度与质量检测数据，整车厂及时反馈零部件装配过程中发现的尺寸不匹配、性能不达标等问题，双方协同制定整改方案，缩短问题解决周期；此外双方共享整车运行中的零部件运维数据，联合分析数据以优化零部件设计与生产工艺，确保零部件与整车质量匹配。建立“供应商 – 运营企业”协同平台，供应商通过平台获取运营企业反馈的零部件故障记录与维修数据，及时提供远程技术支持，协助解决运维问题；同时供应商根据运营数据深入分析零部件在实际工况下的质量表现，优化产品设计与生产，提升零部件适配性与可靠性。

2.4 人才支撑：育数智化质量管理专业队伍

数智化转型离不开专业人才支撑，供应商需构建“技术 + 质量 + 数智化”复合型人才队伍，解决数智化技术应用中的人才短板，为质量管理数智化转型提供人力保障。开展“数智化技能培训”，针对不同岗位制定差异化培训计划：为设计人员培训数智化设计平台、AI 仿真工具的操作与应用；为生产人员培训 IoT 设备操作、AI 视觉检测系统调试方法；为运维人员培训运维大数据平台分析、AI 预测模型应用技能，通过系统培训提升现有员工的数智化素养与操作能力，使其能够适应数智化质量管理需求。引进“数智化 + 质量管理”复合型人才，面向高校、科技企业等渠道，招聘具备轨道交通行业背景的大数据分析师、AI 算法工程师，以及拥有数智化实践经验的质量管理人才，组建专业数智化团队，负责数智化平台搭建、模型开发、数据分析等核心工作，填补数智化专业人才缺口[6]。建立“人才激励机制”，设立数智化项目专项奖励基金，对在数智化质量管理项目中表现突出的团队或个人给予奖励；提供清晰的数智化人才职业发展通道，将数智化技能水平与晋升、薪酬挂钩，增强数智化人才的归属感与成就感，减少核心人才流失，保障数智化转型持续推进。

3 结语

轨道交通车辆供应商零部件全生命周期质量管理数智化转型，是解决传统质量管理痛点、提升零部件质量水平、保障轨道交通运营安全的必然选择。当前，供应商在零部件设计、采购、生产、运维、报废环节存在数据割裂、管控滞后、协同不足等问题，需通过“技术赋能、体系重构、协同搭建、人才支撑”四大路径，实现全环节质量数据贯通、管理模式升级、多方协同联动、人才队伍适配。

未来，随着 5G、数字孪生等技术的发展，轨道交通车辆供应商零部件质量管理数智化将向“全流程数字孪生”“全场景 AI 预警”方向升级，例如通过数字孪生技术构建零部件从设计到报废的虚拟模型，实时映射物理实体质量状态；通过 AI 技术实现全环节质量风险自动预警与智能决策。供应商需持续深化数智化技术应用，强化“数据驱动”理念，推动零部件全生命周期质量管理从“被动管控”向“主动预判”转变，为轨道交通行业高质量发展提供坚实保障。

参考文献：

[1] 李刚，王瑞 . 轨道交通车辆制造企业质量管理创新与供应链协同研究[J]. 中国铁路，2024,(08):45-52.

[2] 张敏，刘杰 . 轨道交通车辆关键零部件供应商质量

管理改进策略[J]. 机械设计与制造工程，2023,52(11):89-94.

[3] 陈亮，赵娜 . 数字化技术在轨道交通车辆全生命周期质量管控中的应用[J]. 制造业自动化，2025,47(02):135-140.

[4] 周伟 . 轨道交通车辆供应链质量风险预警与协同应对机制[J]. 中国物流与采购，2024,(15):68-73.

[5] 郑凯，吴芳 . 轨道交通车辆全生命周期技术状态管理优化研究[J]. 铁道标准设计，2023,67(09):121-126.

[6] 刘敏 . 轨道交通车辆制造企业质量管理体系升级路径——基于 IRIS 标准与精益生产融合[J]. 工业工程与管理，2025,30(01):98-104.