

面向全生命周期的城轨信号工程安全质量协同控制策略

李娟

中铁通信信号勘测设计院有限公司, 北京 100036

DOI:10.61369/ERA.2026060033

摘 要 : 针对传统工程管理模式中存在的阶段割裂、主体协同不足及信息壁垒等问题, 本文提出了一种面向全生命周期的城轨信号工程安全质量协同控制策略。剖析了概念与规划、设计与研发、设备制造与出厂、施工安装与调试、交验与试运行五大阶段的安全质量协同管控要点与实施路径, 实现风险前置与过程精准把控; 构建了涵盖组织协同、数据与信息协同、制度与标准协同的关键支撑机制, 有效打破主体与阶段壁垒; 建立基于安全、质量、协同、高效四个维度的效能评价指标体系, 运用层次分析法与模糊综合评价法构建评价模型, 形成评价—分析—整改—优化的闭环持续改进机制。研究为提升城轨信号工程全生命周期安全质量管理水平、实现各方高效协同与风险可控提供了系统性的理论框架与实践参考。

关 键 词 : 城市轨道交通; 信号工程; 全生命周期; 安全质量

Collaborative Control Strategy for Safety and Quality in Urban Rail Transit Signal Engineering Across the Entire Lifecycle

Li Juan

China Railway Communication & Signaling Survey & Design Institute Co., Ltd., Beijing 100036

Abstract : Addressing issues such as fragmented phases, insufficient collaboration among stakeholders, and information barriers in traditional engineering management models, this paper proposes a collaborative control strategy for safety and quality in urban rail transit signal engineering across the entire lifecycle. It analyzes the key points and implementation paths for collaborative safety and quality management across five phases: concept and planning, design and development, equipment manufacturing and delivery, construction installation and commissioning, and handover inspection and trial operation, enabling proactive risk management and precise process control. The paper establishes key supporting mechanisms encompassing organizational collaboration, data and information collaboration, and institutional and standard collaboration, effectively breaking down barriers between stakeholders and phases. Additionally, it develops a performance evaluation index system based on four dimensions—safety, quality, collaboration, and efficiency—and constructs an evaluation model using the Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Comprehensive Evaluation Method, forming a closed-loop continuous improvement mechanism of evaluation—analysis—rectification—optimization. This research provides a systematic theoretical framework and practical reference for enhancing safety and quality management across the entire lifecycle of urban rail transit signal engineering, achieving efficient collaboration among stakeholders, and ensuring controllable risks.

Keywords : urban rail transit; signal engineering; entire lifecycle; safety and quality

引言

在当前的城轨信号工程建设实践中, 安全质量管理往往呈现出碎片化与阶段性特征。一方面, 规划、设计、制造、施工、验收等各阶段相对割裂, 缺乏全局统筹, 导致前期规划遗留的风险在后期施工或运营中集中爆发, 造成返工与资源浪费; 另一方面, 建设、设计、监理、施工、设备供应商及运营单位等多主体间存在明显的信息孤岛与壁垒, 协同沟通不畅, 极易出现责任交叉或缺位、技术接口冲突等问题。传统的以单一阶段或单一主体为中心的管理模式, 已难以满足现代复杂城轨信号工程对高安全性和高可靠性的迫切需求。基于此, 本文立足城轨信号工程全生命周期, 系统剖析各阶段安全质量协同管控的核心策略, 构建涵盖组织、数据、制度三大维度的关键支撑机制, 并建立科学的协同效能评价与闭环改进体系, 旨在为提升城轨信号工程整体安全质量管控水平提供系统的理论框架与实践参考。

一、各阶段安全质量协同控制策略

（一）概念与规划阶段

城市轨道交通信号系统是控制城市轨道交通列车运行的大脑，也是实现列车安全运营的保障，是整个城市轨道交通建设过程中的关键环节，城市轨道交通信号系统的建设水平直接关系到最终整个轨道交通项目的管理水平和交付质量^[1]。概念与规划阶段是城轨信号工程安全质量管控的源头，核心在于明确项目定位、规避系统性风险，为后续管控筑牢基础^[2]。该阶段应构建多方协同、风险前置 管控模式，推动规划方案与安全质量需求深度融合。由建设单位牵头，联合设计、运营、监理及设备供应商组建协同小组，明确职责、健全沟通机制，围绕项目定位、线路规模、运营需求开展可行性论证，重点研判信号系统与其他专业的兼容性，提前识别信号覆盖、接口冲突等潜在风险，保障规划科学合理安全^[3]。同时依据相关规范制定安全质量风险清单，聚焦客流预测、系统选型、应急方案等关键环节，采用定性定量结合方式开展评估，对高风险项制定防控措施，将风险管控贯穿规划全过程，从源头避免后期安全质量隐患。

（二）设计与研发阶段

设计与研发是城轨信号工程安全质量的核心，直接决定系统性能、可靠性与安全性，需采用协同设计、精准管控、全程验证策略，保障设计成果合规，并与制造、施工、运营有效衔接^[4]。协同设计上，搭建多方平台实现数据共享与联合作业，设计单位依规完成总体、详细及接口设计，供应商提前介入提供技术参数，运营单位结合实际提出优化建议^[5]。质量管控方面，建立分级管控与评审机制，对关键方案开展多轮专家评审，排查安全质量隐患；强化技术交底，确保各单位准确理解设计要求。同时通过仿真、试验等开展全面设计验证，及时优化方案，为后续制造施工提供可靠支撑。

（三）设备制造与出厂阶段

设备制造与出厂阶段是城轨信号工程硬件质量的关键，核心是确保设备达标、杜绝不合格产品进场，需落实协同监造、全程追溯、严格检验的控制策略^[6]。由建设单位牵头，联合监理、设计、运营等单位组建监造小组，驻厂对原材料、加工、组装、测试等全流程进行监督，严控制造质量。为每台设备建立唯一标识，记录关键信息，实现全流程可追溯。出厂前厂家先自检，合格后由监造小组联合开展性能、质量、安全等全面检验，合格方可出厂，并留存验收及检测资料，为后续安装调试提供依据。

（四）施工安装与现场调试阶段

施工安装与现场调试是工程关键且风险高发环节，需秉持协同施工、规范操作、精准调试、全程管控策略，规避安全质量风险^[7]。施工阶段由施工单位牵头，联合监理、建设、设计、设备供应商组建协同小组，明确职责、畅通沟通，各单位各司其职，严控施工精度与规范；调试阶段由多方组建调试小组，制定方案，重点调试信号系统各项性能，及时整改问题并强化安全管控^[8]。同时，做好全程资料整理，确保完整可追溯，为后续交验运维提供依据。

（五）交验与试运行阶段

交验与试运行是城轨信号工程安全质量检验的关键环节，核心是核查工程质量与系统性能，保障满足运营条件，需落实协同验收、全程监测、风险管控策略，实现两阶段无缝衔接。协同交验由建设单位牵头，联合监理、施工、设计、供应商及运营单位组建验收小组，制定方案并明确标准、流程与分工，对工程实体、设备性能、资料完整性等按规范验收，隐患限期整改复验，做好记录并出具报告，为试运行提供依据。试运行由运营单位牵头，多方组建管控小组，编制方案明确周期、范围、监测重点及应急措施，全程监测信号系统状态与指标，及时处置问题；供应商与施工单位现场驻场保障，强化安全管控与预案防范。试运行结束后协同总结评估，针对问题优化完善，达标后方可转入正式运营。

二、协同控制的关键支撑机制

（一）组织协同机制

组织协同机制是城轨信号工程全生命周期安全质量协同控制的核心保障，关键在于打破主体与阶段壁垒，构建统一协调、分工明确、权责对等、高效协同的组织体系^[9]。成立由建设单位牵头的全生命周期协同管理领导小组，统筹设计、制造、施工、运营、监理及设备供应商等各方，负责制定总体方案、协调重大问题、监督履职，并下设办公室负责日常沟通与推进。明晰各参与主体权责，制定责任清单，细化全生命周期各阶段安全质量职责，避免权责交叉或缺位，确保各单位各司其职、协同发力。建立常态化沟通机制，通过定期会议、现场协调、线上平台等方式实现信息共享与问题闭环，提升协同管控效率。

（二）数据与信息协同机制

数据与信息协同机制是全生命周期安全质量协同控制的重要支撑，核心在于破除信息壁垒、实现数据共享与可追溯^[10]。搭建全生命周期数据共享平台，整合各阶段安全质量相关数据，实现集中管理、统一共享与查询分析；建立统一的数据标准规范与质量管控体系，保障数据一致、准确、完整；完善数据追溯与智能应用机制，实现问题溯源追责，并通过大数据、AI 分析挖掘风险规律，为风险防控与协同决策提供支撑。

（三）制度与标准协同机制

制度与标准协同机制是全生命周期安全质量协同控制的基础，核心在于构建统一完善、衔接顺畅的制度标准体系，规范各参与主体与各阶段管控行为。完善全生命周期协同管控制度，结合城轨信号工程特点及法规规范，制定涵盖协同工作、责任追究、沟通协调、数据共享、质量验收等管理制度，明确各方要求与行为规范。建立统一安全质量标准体系，整合规划、设计、制造、施工、调试、验收、运维等全流程技术、质量及安全标准，强化各阶段标准衔接，避免冲突与脱节。健全制度标准执行与监督机制，压实主体责任，加强监督检查与追责问责，保障落地实施；同时结合技术进步与工程实践，定期修订完善，确保制度标准科学适用、具有前瞻性，为协同管控提供持续制度保障。

三、协同控制效果评估与持续改进

（一）协同效能评价指标体系构建

为全面衡量城轨信号工程全生命周期安全质量协同控制效能，需构建科学、全面、可操作的评价指标体系。该体系覆盖全生命周期各阶段与协同维度，遵循系统性、科学性、可操作性、动态性原则，结合工程特点从安全效能、质量效能、协同效能、高效效能四个维度构建。安全效能侧重安全风险管控，含安全隐患整改率、安全事故发生率、应急处置成功率等；质量效能反映工程及设备质量，含设计合格率、设备出厂合格率、施工验收合格率、设备完好率等；协同效能体现多方及各阶段配合水平，含协同沟通效率、数据共享率、责任落实率、问题协同解决率等；高效效能关注管控效率效益，含管控成本控制率、工期履约率、运维效率等。同时对各指标分级量化，明确评价标准、计算方法及权重，采用层次分析法结合专家意见与工程实际合理赋权，保障评价结果科学合理。

（二）评价方法与模型

结合城轨信号工程全生命周期安全质量协同控制特点，采用定性定量结合的方式构建协同效能评价模型。定量指标通过数据统计与计算分析得出结果，定性指标采用专家打分、问卷调查等方式综合评定。模型基于层次分析法确定指标权重，运用模糊综合评价法进行模糊处理并计算综合得分，据此将协同管控效能划分为优秀、良好、合格、不合格等级，精准识别优势与不足。同时建立评价数据收集更新机制，定期开展评价，为协同管控持续改进提供支撑。

（三）闭环持续改进机制

协同控制效果的持续改进，是提升城轨信号工程全生命周期安全质量的核心。需构建评价—分析—整改—验证—优化的闭环机制，持续提升协同管控效能。先依据协同效能评价结果，系统分析组织、数据、制度、措施等方面的问题与成因，建立问题清单，明确责任、措施及时限；再由各责任主体落实整改，完成后提交报告，经领导小组验证闭环；最后结合整改与实践，优化协同策略、支撑机制及评价指标体系，补齐薄弱环节，并将成熟经验固化为制度规范，实现协同管控长效优化，保障工程全生命周期安全质量可控。

四、结束语

城轨信号工程的安全质量直接关系到人民群众的生命财产安全与城市公共交通的运行效率。面对信号系统技术密集、接口复杂、安全苛求度高的特点，传统阶段割裂、主体分散的粗放式管理模式已难以适应现代城轨建设的高质量发展要求。本文系统提出的面向全生命周期的城轨信号工程安全质量协同控制策略，通过精准把脉概念规划—设计研发—设备制造—施工调试—交验试运行五大阶段的核心风险点，构建了组织、数据与信息、制度与标准三大协同支撑机制，并辅以科学的效能评价与闭环持续改进体系，形成了一套完整、系统、可操作的管理理论框架。

参考文献

- [1] 尉安宇. 城市轨道交通信号系统工程项目风险管理研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2024.
- [2] 王坚. 城市轨道交通线路级信号系统大修改造工程筹划研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(11): 88-92. DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.11.020.
- [3] 蔡婷, 熊秋梅, 牛克甲. 城市轨道交通通信信号安装工程质量监督模式的探索 [J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(5): 15-18. DOI: 10.16037/j.1007-869x.2016.05.004.
- [4] 樊军艳. 城市轨道交通信号系统工程项目的目标成本管控研究 [J]. 人民公交, 2024(24): 188-190. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8050.2024.24.059.
- [5] 张惶. 城市轨道交通信号系统大修改造工程设计重点分析 [J]. 铁道通信信号, 2022, 58(8): 79-83. DOI: 10.13879/j.issn.1000-7458.2022-08.22137.
- [6] 王俊锋, 宾海丰, 王明霞, 等. 城市轨道交通建设信号系统工程进度管理 [J]. 现代城市轨道交通, 2013(1): 38-41. DOI: 10.3969/j.issn.1672-7533.2013.01.011.
- [7] 邹强. 城市轨道交通延伸线工程信号系统过渡改造方案分析 [J]. 现代城市轨道交通, 2019(9): 53-56.
- [8] 李鹏. 浅谈城市轨道交通信号系统工程设计 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2011(16).
- [9] 黄奕. 项目管理在城市轨道交通信号工程中的应用 [J]. 科技风, 2021(15): 121-122, 129. DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.202115052.
- [10] 杨安安. 城市轨道交通信号系统互联互通工程关键技术应用 [J]. 运输经理世界, 2022(13): 64-66. DOI: 10.3969/j.issn.1673-3681.2022.13.022.