

地铁信号系统改造中既有线路不停运施工的组织难点分析

刘宁宁

北京市地铁运营有限公司通信信号分公司 北京

【摘要】地铁信号系统改造在既有线路不停运条件下推进，施工组织面临空间受限、时段压缩与系统高度耦合等多重挑战。列车密集运行背景下，任何施工扰动均可能放大为运营风险，因此需在确保行车安全的前提下统筹施工窗口、设备切换策略与多专业协同机制。通过对典型改造场景的分析，可归纳出施工边界不清、风险评估难度高及应急链条复杂等关键难点，并提出以精细化计划管理、分阶段割接方案和高可靠临时保障系统为核心的组织思路，以提升不停运条件下施工组织的可控性与安全裕度。

【关键词】地铁信号系统；不停运施工；线路改造；施工组织；风险控制

【收稿日期】2025年11月6日 **【出刊日期】**2025年12月30日 **【DOI】**10.12208/j.jer.20250407

Analysis of organizational difficulties in continuous construction of existing lines in the renovation of subway signal systems

Ningning Liu

Beijing Subway Operation Co., Ltd. Communication Signal Branch, Beijing

【Abstract】The renovation of the subway signal system is being carried out under the condition of uninterrupted operation of existing lines, and the construction organization is facing multiple challenges such as limited space, compressed time periods, and high system coupling. In the context of dense train operation, any construction disturbance may be amplified as operational risk. Therefore, it is necessary to coordinate construction windows, equipment switching strategies, and multi-disciplinary collaboration mechanisms while ensuring train safety. Through the analysis of typical renovation scenarios, key difficulties such as unclear construction boundaries, high difficulty in risk assessment, and complex emergency chains can be summarized. An organizational approach centered on refined planning management, phased cutover plans, and highly reliable temporary support systems is proposed to enhance the controllability and safety margin of construction organization under non-stop conditions.

【Keywords】Subway signal system; Non-stop construction; Line renovation; Construction organization; Risk control

引言

既有地铁线路在长期运营中难以避免面临系统更新需求，其中信号系统改造因牵涉面广、技术链条长而成为影响运行组织的关键环节。在列车高密度运行的背景下，不停运施工既能保持客运连续性，又将施工风险推向更高水平。施工区域受限、割接节点繁多及跨专业协调频密，使得组织策略必须同时兼顾安全、效率与系统稳定性。如何在不影响乘客出行体验的前提下稳妥推进关键工序，已成为行业关注的核心命题。对这些组织难点的深入分析，有助于为后续改造工程构建更具操作性的方案基础。

1 既有线路不停运条件下的信号改造总体问题界定

既有地铁线路在长期运营中形成稳定的运行节奏和设备配置，信号系统是维系行车秩序的核心结构。改造任务在不停运条件下展开，意味着列车持续运行期间需同步实施设备替换、接口调整与功能切换，工程组织将直接面对运营系统的连续性约束。列车间隔短、区间利用率高，使得任何施工操作都必须在极为受限的窗口时间内完成；既有信号系统的软硬件版本、冗余架构及线路资源配置存在差异，导致改造方案必须在兼容性、稳定性和安全边界方面进一步精细化^[1]。为保证运营秩序不被扰动，施工组织需要严格控制施工影响范围，使改造活动在不干扰车载设备、联锁逻辑和轨旁设备正常工作的前提下推进，这对组织计划的完整度、

技术措施的严密性提出了高标准要求。

不停运条件下的信号系统改造还涉及大量跨专业协同，调度、信号、供电、通信以及车辆部门之间的协同程度直接影响组织效率。改造活动往往伴随割接节点、系统切换点和临时过渡方案，需要多部门对现场状态、列车运行图和应急预案保持实时同步。以信号系统为核心的联锁控制、列控信息传输和轨旁设备状态监测必须与运营组织保持一致性，无论是功能验证、系统上线还是临时降级模式，都要求施工组织具备严格的时间管理能力^[2]。施工窗口被压缩、系统耦合度高、现场事件链条复杂，使得不停运条件下的信号改造呈现出高度工程化和精细化趋势，工程组织难点由此更加凸显。

2 不停运施工中空间时段与系统耦合的组织难点解析

不停运状态下推进信号系统改造，施工空间的紧迫性成为组织管理中的突出困境。轨旁设备长期处于高密度布设状态，信号机、轨道电路箱、应答器、通信基站等与既有土建结构、综合管线高度耦合，可操作区域被进一步压缩。作业团队在列车持续运行环境下进入区间，受轨道限界限制，人员布置、机械设备摆放与材料临时堆放均需满足动态安全距离要求，导致施工流程必须进行严格的空间排布设计^[3]。空间资源不足还使拆装、布线、测试工序难以同步展开，组织策略往往需要依赖分解化、微单元化的作业模式，以减少对列车运行侧向与纵向的动态干扰。

不停运条件下的时段安排同样呈现严苛特征。多数改造工序只能安排在夜间“点外”时段或列车间隔略微拉长的特定窗口，时间配置既受运营图约束，又受现场工序逻辑制约。正常行车对系统的持续占用，使割接、校时、联调等关键环节的可操作时间被压缩为短时、连续性弱的离散区间。更复杂的是，不同专业之间的时间需求并不完全匹配，一旦某一工序因故延误，后续系统上线与临时过渡方案可能被迫调整，使组织链条面临连锁性影响。时间资源的不稳定性，促使施工组织必须建立高精度的节拍控制机制与实时动态调整能力。

系统耦合度的提升进一步加剧了组织难点。现代信号系统涉及联锁、CBTC、通信、供电、车辆接口等多个子系统，任何局部改造都会牵动整条运行链路。割接节点既要维持行车指令的连续性，又要保证数据流、控制流和状态量在旧系统与新系统之间无缝衔接^[4]。一旦耦合处理不当，可能出现指令滞后、轨旁状态误判或列控区段失效等风险。为避免系统间产生逻辑冲突，施

工组织需对功能切换路径、设备替代策略和冗余机制进行深入校核，使运行控制链在不停运条件下保持稳定性与一致性。

3 面向关键割接与多专业协同的施工组织策略

关键割接作为信号系统改造中最具风险的环节，其组织策略必须围绕系统连续性和行车安全构建。割接操作涉及功能切换、逻辑替换和数据映射，新的联锁逻辑、车地通信链路或轨旁接口一旦接入，原系统的运行模式将同步发生变化。为降低风险，割接方案需进行精细化拆解，将关键节点按逻辑链路和设备功能划分为可控的技术单元，通过预先设置临时过渡模式、双系统并行验证或部分功能仿真，实现割接期间的控制链不间断运行^[5]。同时，应根据线路实际情况制定现场割接流程卡，涵盖设备断电、接线确认、逻辑校核、联调顺序等细节，使现场步骤具备可追溯性与强执行性。

在多专业协同方面，施工组织必须建立跨部门的实时协调与信息共享机制。信号专业在进行割接、上线或功能验证时，需与运营调度中心、通信专业、车辆专业和供电专业保持同步状态，任何工序变更都要确保各系统的运行边界一致。施工组织可通过建立“多专业统一指挥链”来强化协调效率，将列控区段状态、临时封锁计划、车载设备兼容性、通信链路负载情况等关键信息实时汇聚，由指挥链进行统一调配。跨专业的联调方案还应明确各部门的干预阈值、响应时限和处置步骤，使施工过程在复杂系统耦合环境下维持稳定节奏。多专业之间需要通过联合踏勘、接口复核和同步仿真计算来提前识别潜在耦合冲突，提高组织策略的前瞻性与准确性。

面向不停运施工的特殊限制，组织策略还需形成精细化的时空资源管理体系。施工窗口有限，关键割接往往只能依托夜间短时段展开，因此需通过时间切片管理方式对施工节奏进行严格控制。将各工序的时间消耗、接口状态转换和系统验证需求进行量化，并结合运营图动态调整时段分配，使割接、联调和确认流程在分散时间内仍保持技术连续性^[6]。在空间布置方面，通过设置专用作业隔离区、实行限界红线管理、配置便携化测试装备等方式，提高现场组织效率并减少对列车运行的侧向干扰。通过时间与空间的统筹调度，使多专业能够在有限资源条件下实现交叉作业、平行推进，为关键割接创造稳定、可控的施工环境。

4 提升不停运施工安全与效率的综合组织优化路径

不停运施工对安全控制体系的要求远高于常规作

业场景，组织优化的关键在于构建可持续、可量化、可实时干预的安全管理链条。为了保证行车指挥权不受施工行为影响，可将安全控制分层式嵌入施工流程，通过“运营调度主控—专业监控辅助—现场监护前置”的立体结构提升安全冗余度^[7]。行车组织层面需强化进路保护、区段占用监测与道岔状态追踪，使施工团队在任何环节都处于运营监控的动态视域内。现场管理层通过设置施工隔离区、动态限界提示和轨旁临时监测装置，将施工行为限制在明确的安全框架中。技术层则可利用实时轨旁状态监测、工序自动校验、临时编码比对等手段，提高安全数据的可验证性，使关键行为始终受到技术约束。

在效率提升方面，组织优化重点在于提高施工流程的可预控性与可并行性。针对不停运条件下时间资源高度碎片化的特征，可将工序拆解为标准化作业包，通过精细化节拍管理手段，使拆旧、安装、校核、测试等环节能够在短时间内快速切换。通过工序模块化与作业单元化，施工人员可在限定时间内精准执行对应任务而无需大量临时调整，从而减少因时段不足产生的反复返工。对于关键割接、设备切换等需要多部门参与的任务，可依据系统依赖关系构建“耦合程度矩阵”，通过矩阵判断哪些工序可以并行、哪些必须串行，从组织层面提高时间利用率。同时，优化材料供应链与设备预配置方式，使测试装置、通信模块、临时接口板等在施工窗口内实现即插即用，提高边界条件变化时的快速应对能力。

为了使安全与效率在复杂环境中保持平衡，组织优化还需建立动态调整机制，使施工状态能够与运营节奏保持同步。通过设置施工状态实时上报系统，将割接进度、设备通断状态、轨旁测试结果、人员定位等关键信息实时回传至指挥中心，使组织层能够在环境变化、突发情况或系统响应异常时及时调整工序顺序、缩短验证流程或启动临时降级模式^[8]。对于多专业联动场景，可利用联合决策平台共享接口参数、列控负载趋势和通信链路状态，使指挥链能够依据实际环境做出快速、合理的组织调整。通过构建稳定的实时调度能力，使施工安全边界始终处于监测范围内，施工效率也能

在变动环境下保持连续和可控，为不停运条件下的施工组织形成更具韧性的技术基础。

5 结语

不停运条件下推进地铁信号系统改造，需要在安全、效率与系统稳定性之间建立高度协调的组织体系。空间受限、时段压缩与系统耦合等因素，使施工管理呈现精细化与工程化特征。通过对关键割接、多专业协同及实时调度机制的系统化梳理，可进一步强化施工过程的可控性，使既有线路在持续运营的前提下稳步完成信号系统更新，为城市轨道交通运行保障奠定坚实工程基础。

参考文献

- [1] 赵文天,崔凯,尉安宇. 地铁信号系统更新改造方案研究[J].铁路通信信号工程技术,2025,22(10):94-100.
- [2] 王振兴,孟龙,李腾飞. 污水处理厂不停运条件下快速改造施工技术[J].安装,2025,(10):44-47.
- [3] 梁慧明. 老旧建筑电气线路改造中的火灾风险评估与改造策略[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(26):95-97.
- [4] 陈敏,茅青琦. 老旧小区照明线路改造中的防火安全问题研究[J].中国照明电器,2025,(08):82-84.
- [5] 庄桐创. 地铁信号系统整体网络架构及安全防御技术[J].电子产品世界,2025,32(08):80-84.
- [6] 王阳,王鹏超,白杨. 耐热导线在架空输电线路增容改造中的应用[J].陕西水利,2025,(06):163-165.
- [7] 陈凯. 城际地铁信号系统打滑现象及优化策略研究[J].运输经理世界,2024,(34):16-18.
- [8] 钱文魁,秋凯,李志福,等. 旧有建筑机电工程不停运提升改造施工综合技术[J].安装,2023,(08):12-14.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

