

信号故障处理效率提升路径：中央联锁工作站设立的必要性分析

蒋 赟

港铁轨道交通（深圳）有限公司 广东 深圳 518110

摘要：随着城市轨道交通信号系统智能化水平的提升，尤其是全自动运行（FAO）线路的推广，运营控制中心管控模式历经深度变革。当前国内多数线路以ATS工作站为主、中央联锁工作站为辅的中央控制架构，在故障场景下因两级系统分立而暴露出操作延迟、权限转换繁琐、人因失误突出等问题。本文从ATS与联锁系统功能差异切入，分析现有架构的故障处理效率瓶颈，结合FAO线路“中心强化管控、故障快速恢复”的核心需求，论证设立中央联锁工作站的必要性。研究表明，该工作站能有效缩短故障处置路径、减少人为操作环节、强化中心直接管控能力，是提升信号故障处理效率的关键路径，对FAO线路可靠运行具有重要支撑作用。

关键词：信号系统；中央联锁工作站；ATS工作站；故障处理效率；全自动运行

1 引言

城市轨道交通信号系统是行车安全与运营效率的核心保障，线网扩张、客流增长背景下，故障快速恢复能力成为运营管理的关键指标。目前国内线路多以ATS（列车自动监控）系统作为中央调度主操作界面，联锁工作站仅设于车站，中央控制中心无法直接开展联锁操作。

该架构可满足日常监控，但故障处置短板突出：ATS与联锁系统功能界定不清，导致权限切换滞后，调度员无法直接控制轨旁设备，人为失误风险上升。尤其GoA3/GoA4级FAO自动化线路，对中央管控和故障快速恢复要求更高。如何在提升自动化水平的同时优化人机交互、减少失误、缩短故障处置时间，是行业亟待解决的难题。本文结合ATS与联锁工作站定位，论证中央控制层增设联锁工作站的必要性，并结合FAO技术趋势，探讨架构优化的实践价值。

2 ATS工作站与联锁工作站的系统定位与功能区别

2.1 ATS工作站的系统定位与核心功能

ATS系统是信号系统内专注于运营调度的核心应用单元，核心职责涵盖列车运行监控、自动调节及行车指挥。ATS工作站作为调度人员与信号系统交互的主要载体，设计上以全局性、自动化、便捷性为核心导向。其关键功能包含列车运行图编制、列车识别追踪、进路自动触发、列车扣车与跳停调节、运行状态监测及异常报警等；日常运营中，系统可根据预设时刻表自主完成绝大部分进路办理，调度人员仅在异常场景下介入干预即可。

从架构属性看，ATS为非安全层，专注列车调度效率，不直接控制轨旁安全设备。它向联锁系统发送进路

请求，由联锁完成安全校验并驱动现场设备，实现“效率由ATS负责、安全由联锁负责”的功能分离。

2.2 联锁工作站的系统定位与核心功能

联锁（Interlocking）系统是信号系统中保障行车安全的核心，核心使命是杜绝敌对进路形成，确保道岔、信号机等轨旁设备处于安全运行状态。作为其核心人机交互终端，联锁工作站为操作人员提供联锁设备的直接操控与状态实时监控服务。

联锁工作站的功能聚焦于安全关键操作，核心包括：道岔单操与锁闭、信号机开放与关闭、进路办理与取消、区段封锁与解封，以及临时限速设置与撤销等。这些操作直接作用于轨旁安全设备，需严格遵循联锁逻辑，操作权限与流程也需严密管控，确保符合安全标准。

传统架构中，联锁工作站多部署于设备集中站，供车站值班员使用（即现地工作站），中央控制中心通常不配备独立联锁工作站。当需执行联锁级操作时，中央调度员需通过ATS系统向车站联锁系统发送请求，或通过电话指导车站值班员完成操作。这种“中央请求、现地执行”模式，目前仍是多数轨道交通线路的标准处置流程。^[1]

2.3 两级系统的功能边界与交互关系

ATS与联锁系统的功能边界，本质是运营调度与安全控制的职责划分。ATS聚焦列车群体运行管控，以列车、时刻表为操作对象，以运营效率最优为决策核心；联锁侧重轨旁设备个体安全管控，以信号机、道岔等为操作对象，以安全优先为核心准则。

正常工况下，两级系统依托标准化接口协同工作，按“ATS下发指令—联锁响应执行—设备状态反馈”流程

联动，兼顾运营效率与运行安全。故障场景下，分立架构的局限性显著：ATS 功能受限或需人工执行安全操作时，调度员无法直接对接联锁设备，必须通过现地工作站或人工沟通完成操作，环节增多易引发操作时延。

3 现有架构下信号故障处理面临的问题

3.1 故障处置流程的层级冗余

道岔表示异常故障的标准处置流程为：调度员通过ATS系统发现故障后，判断需单操道岔时，由ATS向联锁系统发送操作指令，联锁系统执行操作后反馈运行状态；若ATS与联锁通信异常，需额外增加调度员电话联系车站值班员、值班员现地操作道岔及电话反馈操作结果的环节。

该流程需跨越中央ATS、中央-车站通信链路、车站联锁三个层级，涉及调度员、车站值班员两个角色。层级转换会产生时间损耗，角色介入则会增加沟通成本与出错概率。据运营统计，需车站配合的联锁操作，从故障发现到操作完成平均耗时3-5分钟，高峰时段每一分钟的延迟，都会加剧客流积压并提升行车安全风险。

3.2 人为操作失误的诱发因素

人为操作失误是故障处置的主要风险源，在现有系统架构从三方面体现失误概率：

第一，操作界面不统一：ATS与联锁工作站界面、逻辑、展示差异大，值班人员熟练度不均，故障时快速切换易增加认知负荷与误操作风险。

第二，信息传递失真：中央调度与车站电话沟通可靠性低，人工交互易出现信息遗漏、理解偏差、表述不清，导致指令与状态传递失真。

第三，应急心理压力：故障处置受时间与舆论压力影响，站员在高压状态下易出现选错道岔、误办进路、遗漏确认等失误，传统人工操作人因风险远高于高自动化系统。

3.3 中央管控能力的结构性局限

当前运营管控架构存在权责不匹配问题：中央调度员作为全线运营首要责任人，负责故障处置的决策与指挥，但不具备联锁级直接操作权限，必须依靠车站人员执行，形成决策与执行分离的模式。一旦车站人员响应不及时、业务不熟或沟通不畅，就容易造成故障处置延误。

随着线路自动化水平提升，车站人员配置不断精简，未来FAO线路将实现部分车站无人值守，传统依赖车站值班员的联锁操作模式将无法持续。在现场人员减少、无人化趋势下，如何在降低现场人力配置的同时，保障故障处置效率与运营安全，已成为中央管控层面亟待解决的关键问题。

4 中央联锁工作站设立的必要性论证

4.1 缩短故障处置路径的核心手段

设立中央联锁工作站，本质是将联锁级操作能力从车站前置至中央控制层，使调度员可在控制中心直接完成道岔单操、进路办理等所有安全关键操作，从根本上重构故障处置流程。以道岔故障为例，优化后流程为：调度员通过ATS发现故障→切换至中央联锁工作站直接操作→确认设备状态→决策后续处置，操作环节从3-4个压缩至2个，信息传递从“人-机-人”或“人-人-机”简化为“人-机”直接交互，大幅提升处置效率。

同时，中央联锁工作站为ATS系统故障提供了冗余备用手段。当ATS出现功能异常或通信中断时，调度员可通过该工作站维持对轨旁设备的基本控制，避免全线管控失控，“ATS+中央联锁工作站”的双通道模式，显著提升了中央控制层的系统韧性。

4.2 降低人为操作失误的有效措施

从人机工效角度，中央联锁工作站从三方面降低操作失误风险：一是实现操作主体统一，中央调度员作为故障处置唯一操作人，消除了双主体模式下的信息传递误解风险，在同一空间完成故障感知与设备操作，形成“感知-决策-执行”闭环，减少认知割裂；二是支持操作界面整合，可根据中央调度员使用习惯，将中央联锁工作站与ATS界面进行风格统一和布局整合，工程实践表明，界面合设能降低操作人员学习成本，提升操作效率和准确性，保证操作逻辑连贯性；三是便于嵌入防误操作机制，可配置多重确认、权限分级、操作指引等功能，针对道岔单操等高风险操作，系统自动提示区段占用、敌对进路等信息并要求二次确认，弥补紧急状态下的注意力疏漏。

4.3 FAO线路智能化发展的必然要求

FAO线路对信号系统的要求不仅是列车运行自动化，更是故障处置的智能化与高效化，“中心强化管控”是其核心运营特征，要求控制中心在正常运营和故障场景下均承担更直接的管控职责。在GoA3/GoA4等级下，列车实现无人驾驶，车站逐步向无人/少人值守发展，传统现地联锁操作模式将失效，所有安全关键联锁操作必须在中央完成，中央联锁工作站的设立是应对这一趋势的直接回应。

现代FAO系统的跨专业深度集成特征，也要求强化中央联锁操作能力：信号、综合监控、通信、环控系统 etc 系统走向一体化管控平台，联锁系统作为安全核心需与上层平台紧密集成，中央联锁工作站不仅是操作终端，更是FAO场景下应急处置的枢纽节点。此外，FAO线

路要求系统具备故障自复位和远程干预能力，中央联锁工作站为调度员提供了高效的远程干预手段，系统自动恢复失败时，人工可第一时间介入，避免因等待站员导致恢复延误。^[2]

4.4 兼顾效率与安全的可行路径

针对“中央集中联锁操作是否增加安全风险”的质疑，从技术和管理层面可充分回应：技术上，联锁系统的安全逻辑由联锁计算机独立完成，中央联锁工作站仅为纯人机接口，不参与任何安全校验，无论指令来自中央还是现地，联锁计算机均执行相同的安全逻辑检查，且中央工作站与联锁计算机采用安全通信协议，确保指令传输的完整、真实与及时；管理上，中央联锁工作站可配置严格的权限管理和操作审计功能，根据调度员资质、故障场景设置差异化操作权限，所有操作全程留痕可追溯，相比分散的车站现地工作站，中央集中管理更利于权限控制和操作行为监督。

综上，设立中央联锁工作站并非以牺牲安全换取效率，而是在严格遵循“故障-安全”原则的前提下，通过优化控制路径和人机接口提升处置效率，契合FAO系统对中心管控能力的要求。

5 实施建议与展望

5.1 系统架构设计建议

中央联锁工作站的实施需统筹系统架构设计，建议将其作为新线建设中信号系统的标准配置纳入招标范围；既有线改造可结合FAO升级工程同步实施，减少单独改造的运营中断和成本。架构设计遵循“功能解耦、接口标准化”原则，中央联锁工作站作为联锁系统独立人机接口，直接与联锁计算机点对点通信，不依赖ATS系统转发指令，同时与ATS保持高效数据交互，确保调度员在同一工位访问双系统信息。硬件选用工业级设备，支持双机热备、冗余电源等配置，满足中央控制中心7×24小时高可用性需求。^[3]

5.2 人机界面优化方向

人机界面设计以“操作便捷、逻辑连贯、信息精准、防误优先”为核心，兼顾ATS与联锁系统操作特点，统一操作风格和交互逻辑。可借鉴成熟工程实践，将联锁操作界面嵌入ATS显示终端，或通过双显示器实现双界面无缝切换；关键操作区域设置防误触设计，高风险操作增加强制确认层级。同时，界面需适配故障场景的认

知需求，系统检测到异常时自动弹出故障信息和建议操作项，辅助调度员快速决策；操作过程中动态显示联锁逻辑约束，避免因信息不全导致误操作。

5.3 对FAO线路发展的支撑作用

随着FAO线路占比提升和跨线互联互通需求增加，中央管控能力成为轨道交通运营的核心要素，中央联锁工作站的支撑作用将愈发凸显。其不仅是单线路故障处置的高效工具，更是实现多线路集中管控、网络化应急指挥的重要基础设施，可作为统一的联锁操作平台，对接不同厂商、不同标准的信号系统，支撑调度员跨线联锁操作，提升互联互通场景下的故障处置效率。

从行业长远发展来看，人工智能、自动驾驶技术的深度应用，推动信号故障处置从“人工全程处置”向“系统辅助-人工决策”演进，中央联锁工作站将成为人机协同处置的核心接口：智能系统通过大数据分析完成故障自动诊断、预警和处置建议生成，调度员通过该工作站完成结果确认和复杂操作，这种模式兼顾自动化效率与人工判断的灵活性，是未来城市轨道交通信号系统的重要发展方向。

6 结论

信号故障处理效率直接关系城市轨道交通运营质量与行车安全。系统分析表明，设立中央联锁工作站是提升故障处理效率的关键：可将联锁操作前置中央，简化处置流程；统一操作主体、整合界面并嵌入防误机制，降低操作风险；摆脱车站现场人员依赖，满足FAO线路无人值守需求；同时构建安全保障体系，坚守“故障-安全”原则，兼顾效率与安全。

建议新线建设及既有线升级时将其纳入信号标准配置，遵循功能解耦、接口标准化原则，优化人机交互。未来应持续完善功能，推动与智能诊断、线网管控平台融合，使其成为线网集中管控与智能故障处置的核心设施，支撑轨道交通高效可靠安全运行。

参考文献

- [1]王萌萌.浅铁路信号联锁故障诊断方法[J].技术与市场,2021,28(8):106-08.
- [2]陈绍文,郑生全.全自动运行信号系统设计的工程优化方案研究[J].都市轨道交通,2021,34(2):137-141
- [3]王民安,程欢庆,张艳秋.CBTC系统中现地工作站合设方案研究[J].控制与信息技术,2021(1):78-82