

点式 ATP 后备模式在无人驾驶中的必要性研究

赵威阳

卡斯柯信号有限公司，北京，100000

摘要：为提高城市轨道交通运营效率，保证乘客出行安全，轨道交通设计规范要求 CBTC 控制系统需配备必要的后备运行模式。随着轨道交通信号系统技术的发展，新建线路一般采用无人驾驶系统，本文将对点式 ATP 后备模式在无人驾驶系统中的必要性进行论述。

关键词：城市轨道交通；无人驾驶；点式 ATP 后备；

作者简介：赵威阳（1987-），男，汉族，北京，学士，工程师 研究方向：轨道交通信号控制系统。

后备模式应用场景

根据国际公共交通协会（UITP）的自动化等级划分标准，现代轨道交通的自动化运行等级（GoA）划分为 5 个等级 GoA0 至 GoA4，为保证列车运行安全和效率，绝大多数的具备 GoA2 等级以上的轨道交通运行线路，均采用了基于无线通信的信号控制系统——CBTC 系统。根据国家标准《城市轨道交通工程试运营基本条件》（GB 30012-2013）的要求，城市轨道交通线路投入运营时，信号系统应具备列车自动防护功能，CBTC 系统作为主控制系统，在日常的运营生产中起到主导作用。当主控系统故障时，则需要转为后备系统。

后备模式的应用场景：

单一列车的 ATP/ATO 故障（如车地通信单元故障）；
轨旁小区域范围内的车地通信故障（如轨旁无线 AP 故障）；

轨旁区域控制器故障（如相应区域的区域控制器故障）；

工程车在线运营（工程车未装备 ATP/ATO 系统）。

后备模式主要解决信号设备故障下的保障较低运行能力状况下的运营恢复和未装备信号车载设备上线运营需要。

后备模式的解决方案

通用的后备解决方案包含两类：

联锁级别的进路闭塞模式，通过联锁关系实现进

路防护的基础模式。

点式 ATP 模式。点式 ATP 模式下又包含两种：

点式有源应答器解决方案，通过有源应答器将联锁信息上传至车载。

无线通信的点式解决方案，通过通信方式将联锁信息上传至车载。

轨道交通项目信号系统成熟度趋势分析

根据轨道交通线路规划趋势，越来越多的轨道交通线路将采用 GoA3 或 GoA4 作自动化等级来建设。为了匹配高等级的自动化的要求，信号系统解决方案也向强安全性、高稳定性、数据分析性、预防维护性、故障快速解决的目标迈进。

强安全性方面，信号系统遵循铁路信号安全系统要求的“EN-50129”标准进行“架构设计”，复合故障—安全等级 SIL4 级的要求。

高稳定性方面，信号系统在提高硬件处理能力和抗干扰能力的同时，强化软件的冗余纠错能力和自诊断能力，优化系统的交叉冗余能力和在线自愈能力等。

在无线通信方案，采用具有专用频段的 LTE-R 无线解决方案，其具备更强的抗干扰能力，具备无线链路的监听功能，可以在数据链路层实现断路判断等功能。

数据分析和预防维护方面，通过综合维护系统平台对信号系统设备进行数据抓取，实时监控、日志分析、故障诊断。为信号系统的运营维护团体提供了预

防性维护建议与应急故障处置方案，保障了轨道交通线路高效的运营生产和高质量的运营服务。

作规程制定，设备费用的增加投资等方面，存在一定的差异。如下表所示：

上述后备模式在系统复杂程度、运营故障时的操

方案	工程应用复杂度	应用场景	增加 投资 费用
联锁级别	与 CBTC 配套使用，系统结构简单	所有故障降级场景均可	0
点式 ATP 有源应答器方案	需增加轨旁 LEU 及有源应答器设备，需完成相应的系统调试和认证工作，运营人员需熟练使用方法。	CBTC 系统性故障下，车载 ATP\ATO 设备正常	5%
点式 ATP 无线传输方案	无需增加额外设备，需完成相应的系统调试和认证工作，运营人员需熟练使用方法。	CBTC 系统性故障下，车载 ATP\ATO 设备正常、无线设备正常	1%

表 1 后备模式方案对比

方案对比分析

CBTC 运营线路，无论是单列车故障还区域性故障，在运营的秩序恢复的便捷度上，联锁级后备模式具有一定的优势。调度员可直接下达调度命令至司机，由司机根据信号机显示驾驶列车继续运行，而点式 ATP 模式需要司机遵从复位限制和恢复性操作。

从投资成本上分析，除了设备投入成本外，还包括建设过程中的安装、调试和安全审计费用，以及运营过程中的操作演练以及维护成本费用。对于自动化程度较高的 GoA3 和 GoA4 项目，当系统性故障导致全自动运行降级后，点式 ATP 与联锁级的后备模式，对于恢复故障下的正常运营来说无较大区别，故障区域

或故障列车均需要进行人工干预完成故障处理。其余受故障干扰的列车，也需要进行人工或远程确认重新投入全自动运营。因此在高自动化级别下的项目，对于点式 ATP 的投资无法匹配其产出。

城市轨道交通对于系统可靠性要求极高，特别是对于高客流量，行车间隔密集的大城市，乘客、运营人员对于信号系统的稳定性、抗故障能力、快速恢复能力有着百尺竿头更进一步的苛刻要求。近些年来，随着 GOA4 项目的大规模实施，行业内领先的集成商针对系统可用性针对性地开发了多项技术，显著提升了系统的可靠性和鲁棒性，其中代表性的技术包括以下几种：

方案	解决的系统痛点	应用场景
远程重启	系统部分故障，健康度下降	通过智能运维系统提供的健康度诊断信息及系统运行状态实施监控，及时发现可用性下降的可替换单元，通过远程对故障单元重启，对在轨列车实施无感维护，消除对运营造成影响的潜在隐患。
车体多重冗余通信通道	使用 WIFI 通信技术项目无线干扰情况严重，车地通信中断频繁造成运营故障	通过设置车地多重冗余通信通道，利用 PRP (Parallel Redundancy Protocol) 协议实现两条通信通道之间的无缝切换

备用列车定位系统	发生主系统丢失定位故障时，主系统需经过重定位过程，依赖降级模式运行较长区段耗费较长时间恢复运行	设置备用列车定位系统，与主系统 ATP 采用相同的定位模块，并实施与轨旁区域控制器连接，主系统正常时备用定位系统利用主系统的定位消息同步自身定位，主系统故障时通过备用定位系统发送的位置报告实现轨旁不降级，同时结合远程重启功能实现故障快速恢复
备用车载系统	车载控制器主系统故障	通过备用系统自主测速定位，依靠自主感知技术提供移动授权，实现与主系统的异构，提升信号系统韧性
数字孪生	系统架构复杂，设备众多，掌握理解困难，出现问题无从下手	通过构建物理实体的虚拟映射，实现全生命周期的动态仿真、实时监控与智能决策。

表 2 提示系统可靠性的技术手段

除了上述内部技术手段之外，对运营操作人员和系统维护人员提供清晰准确的系统运营信息及故障处置指引也成为系统集成商工作的提升重点，借助智能运维平台提供的“数据大脑”与清晰信息流的“感官系统”，构建出逐步完善强大的外部支撑体系，从而持续稳定地保障运营安全与效率。

与之形成鲜明对比的是，点式后备系统正逐渐从以下几个层面显现出劣势：

功能性消退：点式后备系统的核心理念沿袭至上一代准移动闭塞系统，长进路，大间隔的特点不符合当代资源细分，集约绿色的宏观发展趋势。

经济性掣肘：点式后备系统大量依赖线缆，连接器等外围设备，随着系统年限增长，其维护成本曲线与产出价值曲线形成剪刀差，经济型愈发成为弊端

认知性落伍：CBTC 制式的广泛应用已经使广大从业者用户思维模型完成代际迁移，点式后备系统实用性及创新驱动动力已经显著落伍。

综上，对于无人驾驶线路，信号系统可靠性较高，引发大面积故障导致影响多列车运行的概率必须在设计和产品制造阶段进行提高和控制，设备系统保证日常影响列车运营的应该只是偶发的单点故障，对全线行车能力不会造成较大影响，点式 ATP 后备模式主要

在提高大量列车按点式 ATP 后备模式下提高线路运行能力具有优势，同时由于无人驾驶线路常处于无司机值守状态，配置点式 ATP 后备模式难于发挥其技术特点，而部署点式后备模式带来的投入产出比劣势逐渐显现，点式后备模式正逐渐成为低价值载体。

结语

对于高度自动化的 GoA3 级和 GoA4 级的轨道交通项目来说，其信号系统的成熟度、可靠度、功能完整度已经可以满足日常的运营需求。同时系统的多冗余结构也将系统性故障的风险降至最低。在综合运维功能的支持下，预防性维护建议也将大幅降低设备故障的概率。加之辅佐有针对性的应急故障处置方案，使小概率故障的处理可以在最简的后备系统模式下进行，运营条件得以尽快恢复。因此，在高自动化级别的轨道交通项目建设中，信号系统的后备模式采用简配的联锁级别作为后备模式能够满足运营需要，无需再设置点式 ATP 功能的后备模式。

参考文献

[1] 胡荣华. 信号系统后备模式研究. 铁道通信信号, 2018 (1): Vol 54, No 1