

地铁道岔故障诊断维护与委外决策的协同降本增效研究探讨

赵肖

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 400000

摘要: 本文探讨了地铁道岔故障诊断维护与委外决策的协同降本增效机制,介绍了地铁道岔的基本结构与工作原理,分析了地铁道岔常见的机械结构故障、电气系统故障和几何尺寸偏差等故障类型。阐述委外决策在地铁道岔故障诊断与维护中的应用,包括委外决策的背景与必要性、委外供应商的选择与评估以及委外项目的实施与管理。因此,文章构建了地铁道岔故障诊断维护与委外决策的协同机制,通过数据驱动、动态适配、成本-效率平衡和责任闭环等原则,实现降本增效的目标,并通过科学的绩效评估量化协同机制的效果。

关键词: 地铁道岔; 故障诊断; 维护策略; 委外决策

1 地铁道岔的基本结构与工作原理

地铁道岔是连接两条或多条轨道的特殊设备,通过尖轨、基本轨的相对运动实现列车轨道转换,其结构复杂度高、关联部件多,是轨道系统中故障高发的核心环节。从结构组成来看,地铁道岔主要包括转换设备、锁闭设备、监测设备及轨道基础部件四大类:转换设备以转辙机为核心(常见类型有S700K、ZD6型),负责驱动尖轨或心轨移动;锁闭设备(如钩锁器、内锁闭装置)确保道岔转换到位后保持固定位置,防止列车通过时位移;监测设备(位移传感器、电流传感器、视频监控)实时采集道岔运行数据,为故障诊断提供支撑;轨道基础部件包括尖轨、基本轨、滑床板、辙叉等,直接承受列车荷载,是道岔几何尺寸稳定的基础。

从工作原理来看,道岔的轨道转换过程可分为“指令触发-机械动作-状态反馈”三个阶段:首先,地铁运营控制中心发送轨道转换指令,指令通过控制电路传输至道岔转辙机;其次,转辙机电机启动,通过齿轮传动机构带动尖轨(或心轨)沿滑床板移动,直至尖轨与基本轨紧密贴合(贴合间隙需 $\leq 0.2\text{mm}$),此时锁闭设备自动锁闭道岔,防止位移;最后,监测设备采集道岔转换后的位置、电流、振动等数据,反馈至控制中心,确认道岔处于“定位”或“反位”的正确状态,方可允许列车通过^[1]。在日常运营中,道岔需承受日均数十次列车的冲击振动,且受环境温湿度、粉尘异物等因素影响,易出现部件磨损、电气故障等问题,需通过科学的故障诊断与维护保障其可靠运行。

2 地铁道岔常见故障类型

2.1 机械结构故障

机械故障是道岔最常见的故障类型,占道岔总故障量的60%以上,主要集中在转辙机、尖轨、滑床板等核心部件。转辙机故障表现为“卡阻”或“无法启动”,成因包括电机老化(服役超8年的转辙机电机故障率上升40%)、齿轮磨损(长期荷载导致齿面精度下降)、内部异物卡滞(粉尘、金属碎屑堆积);尖轨故障多为“变形”或“磨耗”,低温环境下尖轨易因热胀冷缩出现弯曲变形,列车高频通过则导致尖轨与基本轨接触部位磨耗超标(磨耗量超1mm时需更换);滑床板故障主要是“润滑不足”或“磨耗”,润滑油脂凝固(低温)或流失(高温)会导致尖轨滑动阻力增大,长期摩擦则使滑床板表面出现沟槽,进一步加剧故障风险。此类故障的典型影响是道岔无法正常转换,导致列车临时停运,单次故障平均影响时长超1小时。

2.2 电气系统故障

电气故障具有“突发性、难定位”特点,占比约25%,主要涉及传感器、电缆、控制电路三大模块。传感器故障表现为“数据失真”或“无输出”,位移传感器因振动导致安装偏移时,会误报道岔位置信号,电流传感器老化则无法准确监测转辙机电机电流;电缆故障多为“破损”或“短路”,地下隧道内潮湿环境导致电缆绝缘层老化,鼠咬、施工误伤也会造成电缆断裂,进而引发控制电路断路;控制电路故障表现为“指令传输中断”,继电器触点氧化、端子松动等问题会导致转换指令无法传递至转辙机。电气故障虽不直接破坏道岔机械结构,但会导致道岔失去远程控制能力,需运维人员现场排查,定位时间平均超1.5小时。

2.3 几何尺寸偏差

几何尺寸偏差属于“渐进性故障”，占比约15%，是道岔长期服役后常见问题，主要包括轨距超标、高低不平顺、方向偏差三类。轨距超标（标准轨距1435mm，偏差需 $\leq \pm 2\text{mm}$ ）多由长期列车荷载导致轨枕位移；高低不平顺表现为道岔区域轨道竖向起伏，成因包括滑床板磨损不均、路基沉降；方向偏差则是道岔轨道横向偏移，与列车通过时的侧向力冲击相关。此类故障虽不会直接导致道岔停运，但会加剧列车颠簸，增加轮轨磨损速度，长期忽视会引发尖轨贴合不良、辙叉损伤等次生故障，同时降低乘客乘坐舒适度^[2]。

3 外决策在地铁道岔故障诊断与维护中的应用

3.1 委外决策的背景与必要性

委外决策的产生，本质是地铁运营企业应对“运维需求扩张”与“自主能力不足”矛盾的必然选择，其必要性主要体现在三个方面：一是自主维护成本高企，道岔维护需专业人员（年均薪资超15万元）与专用设备（一套道岔检测系统成本超500万元），中小城市地铁运营企业难以承担全套投入，且自主团队人力有限（人均负责6-8组道岔），面对突发故障时响应效率不足；二是技术复杂度提升，新型道岔（如时速120km地铁用高速道岔）集成数字孪生、物联网等技术，故障诊断需掌握AI算法、数据分析等技能，自主团队短期内难以形成技术储备；三是运维效率优化需求，传统自主维护模式下，备件库存积压（周转率不足0.5次/年）、巡检漏检率高（人工巡检漏检率超25%）等问题突出，而专业委外单位具有“规模化采购降低备件成本”“标准化流程减少漏检”的优势，可填补自主运维的短板。

3.2 委外供应商的选择与评估

委外供应商的质量直接决定道岔运维效果，需建立“多维度、动态化”的选择与评估体系，避免“低价低质”陷阱。在供应商选择阶段，需重点考察资质、技术能力、服务经验三大核心指标：资质方面，要求供应商具备“城市轨道交通设备维护乙级以上资质”“ISO9001质量管理体系认证”，且近3年无重大安全事故记录；技术能力方面，核查供应商是否配备道岔专用检测设备（如轨距尺、振动分析仪）、是否拥有5名以上持证专业人员（如道岔维护技师证）；服务经验方面，优先选择有3年以上地铁道岔维护经验的供应商，且需提供类似项目案例（如相同类型道岔的维护合同、客户评价）。

在供应商评估阶段，需构建“日常考核+年度评级”机制：日常考核以“故障修复率”“响应时间”“维护质量”为核心，例如要求Ⅰ级故障（列车停运类）响应时间 ≤ 1 小时、修复率 $\geq 98\%$ ，维护后30天内故障复发

率 $\leq 5\%$ ，考核结果与月度服务费挂钩（达标可获5%奖金，不达标扣减10%费用）；年度评级则综合全年考核得分、成本控制能力、技术创新贡献，将供应商分为A（优秀）、B（合格）、C（不合格）三级，A级供应商可获得下年度优先合作权，C级供应商则终止合作。某省会城市地铁通过该评估体系，将委外供应商故障复发率从25%降至8%，服务质量显著提升。

3.3 委外项目的实施与管理

委外项目的实施需遵循“权责清晰、过程管控、闭环管理”原则，避免因管理漏洞导致运维质量下降或成本失控。第一，明确委外范围与责任边界，根据道岔故障类型与自主能力划分委外内容：将技术简单、重复性高的工作（如滑床板润滑、传感器更换）纳入委外范围，将核心技术环节（如转辙机大修、几何尺寸精调）保留自主维护；同时在合同中明确故障责任界定，例如因委外维护操作不当导致的故障复发，由委外单位承担二次维护费用，因设备自身老化导致的故障则与委外单位无关^[3]。第二，强化过程协同管控，建立“自主团队-委外单位”协同工作机制：共享道岔故障诊断数据（如传感器实时数据、历史故障记录），确保委外单位精准定位问题；自主团队派驻旁站监督员，对维护过程进行全程监督（如核查润滑油型号、确认尖轨贴合同隙），维护完成后需双方共同签字验收；针对突发故障，建立“联合响应”机制，委外单位需在接到通知后1小时内到场，与自主团队协同处置。第三，完善项目结算与复盘，采用“绩效导向型”结算模式，将服务费与维护效果绑定（如年度故障修复率达98%以上可获10%尾款奖励）；每月召开委外项目复盘会，分析维护过程中存在的问题（如备件供应延迟、技术沟通不畅），制定改进措施（如建立备件共享库、开通技术对接专线），形成“实施-复盘-改进”的闭环管理。

4 地铁道岔故障诊断维护与委外决策的协同降本增效机制

4.1 协同机制的构建原则

协同机制的构建需遵循四大原则，确保协同方向不偏离运维核心需求：一是数据驱动原则，以故障诊断数据（如故障类型、紧急程度、技术复杂度）作为委外决策的核心依据，避免“经验主义”导致的决策偏差；二是动态适配原则，根据道岔健康状态（如服役年限、故障频次）、运营负荷（如列车通过次数）调整委外范围与维护频率，例如高峰时段（早7-9点、晚5-7点）优先自主维护，平峰时段增加委外比例；三是成本-效率平衡原则，在保障故障修复率（ $\geq 98\%$ ）的前提下，通过委外

优化资源配置,避免“过度维护”或“维护不足”;四是责任闭环原则,明确故障诊断、自主维护、委外服务各环节的责任主体,避免故障后推诿扯皮。

4.2 协同机制在实现降本增效中的关键作用

协同机制通过三大关键作用,将故障诊断维护与委外决策的“1+1”效应放大,实现降本与增效的双重目标。第一,故障诊断数据优化委外资源配置,减少“盲目委外”导致的成本浪费。故障诊断系统通过多传感器数据融合,可精准判断故障类型与技术复杂度:对于Ⅰ级故障(列车停运类),诊断数据显示其需快速响应(1小时内修复),此时优先调用自主团队(到场时间 ≤ 30 分钟),仅在自主设备故障时启动应急委外,避免常规委外的响应延迟;对于Ⅲ级故障(正常运行类,如滑床板轻微磨耗),诊断数据显示技术复杂度低,此时选择委外单位(服务单价仅为自主维护成本的60%),可显著降低人工成本。某地铁线路通过该配置逻辑,委外费用占比从50%降至35%,同时故障响应效率提升35%。第二,委外资源反哺维护效率提升,缓解自主团队人力压力。委外单位可承担重复性高、技术门槛低的维护工作(如日常巡检、润滑保养),使自主团队聚焦核心技术环节(如故障诊断算法优化、转辙机大修),提升人力资源利用率。例如某市地铁将40%的道岔巡检工作委外后,自主维护人员利用率从60%提升至85%,有更多精力投入故障诊断模型优化,使故障预警准确率从80%提升至92%,提前发现潜在故障32起,避免停运损失超300万元^[4]。第三,协同共享降低备件与管理成本。通过构建“自主-委外”备件共享库,基于故障诊断数据预测备件需求(如诊断显示某批次转辙机齿轮将在3个月内磨损超标,提前储备备件),实现备件联合采购与调拨:委外单位因订单规模小(单次采购量少)导致备件单价高,可通过自主团队的规模化采购(年度采购量超1000件)获取低价备件,降低采购成本;自主团队备件缺货时,也可临时调用委外库存,避免故障延时修复。某地铁集团通过备件共享,备件库存成本下降25%,备件缺货导致的故障延时修复率从15%降至3%。同时,协同机制下的“联合复盘”“统一考核”减少了管理协调成本,使委外管理费

用占比从8%降至4%。

4.3 协同机制的绩效评估

协同机制的效果需通过科学的绩效评估量化,同时建立持续改进机制,确保协同模式适应地铁运维需求的变化。需构建“成本-效率-安全”三维评估体系,避免单一指标导致的偏差。成本维度设置“单位故障修复成本”(总运维成本/故障修复总数)、“委外费用占比”(年度委外费用/年度总运维成本)、“备件库存周转率”三大指标,例如要求单位故障修复成本 ≤ 5000 元/次、委外费用占比控制在30%-40%、备件周转率 ≥ 1.2 次/年;效率维度设置“故障响应时间”“故障修复时间”“故障复发率”指标,要求Ⅰ级故障响应时间 ≤ 30 分钟、修复时间 ≤ 1 小时、30天内故障复发率 $\leq 5\%$;安全维度则以“道岔故障导致的列车停运次数”“维护过程安全事故数”为核心,要求年度停运次数 ≤ 3 次、安全事故数为0。评估周期采用“月度抽查+季度评估+年度总评”,季度评估得分低于80分(满分100分)时,需启动专项整改。

结束语

铁道岔作为轨道交通系统的重要组成部分,其故障诊断维护与委外决策的协同降本增效研究具有重要意义。本文提出的协同机制不仅优化了资源配置,降低了运维成本,还提高了故障响应与修复效率。然而,随着技术的不断发展和运营需求的变化,协同机制仍需持续优化和改进。未来,将进一步探索智能化、数字化的运维模式,为铁道岔的安全、高效运行提供更有力的支持。

参考文献

- [1]冶玉清.电液伺服系统故障诊断技术研究[J].化工设计通讯,2021,47(08):147-148.
- [2]周杰,王伟.铁道信号维护与故障诊断技术研究综述[J].铁道科学与工程学报,2020,17(1):80-89.
- [3]张明,陈亮.铁道信号设备现代化维护策略研究[J].大连交通大学学报,2020,32(3):35-41.
- [4]杨华,赵军.铁道信号系统故障维修经验总结与启示[J].电子工程师,2020(8):47-50.