

盾构机电气控制系统故障诊断与快速修复技术研究

曾俊豪

中铁隧道股份有限公司 河南 郑州 450001

【摘要】：本文针对盾构机电气控制系统结构复杂、故障类型多样且现场修复要求高的特点，分析系统常见故障成因与表现形式，研究适配工程现场的故障诊断方法与快速修复技术，提出针对性的故障排查流程和修复方案所研究的技术可有效缩短故障诊断与修复时长，提升盾构机施工的连续性和稳定性，为盾构施工电气系统运维提供技术参考。

【关键词】：盾构机；电气控制系统；故障诊断；快速修复；施工运维

DOI:10.12417/2811-0528.26.07.090

引言

盾构机是隧道工程核心施工装备，电气控制系统作为其“神经中枢”，统筹驱动、液压、监测等各模块协同工作，其运行稳定性直接决定施工效率与安全。当前盾构施工多处于复杂地下环境，电气系统易受温湿度、振动、粉尘及线路老化等因素影响，引发各类故障，且传统诊断方法存在排查效率低、修复针对性弱等问题，易造成施工停工、工期延误。基于此，本文围绕盾构机电气控制系统的故障类型、诊断技术及快速修复方法展开研究，旨在解决现场运维中的实际问题，提升电气系统故障处理的效率与准确性，为盾构工程高效施工提供技术支持。

1 盾构机电气控制系统常见故障类型及成因

1.1 硬件故障（传感器、接触器、线路、变频器等）

盾构机电气控制系统的硬件故障多源于设备老化、工况损耗与安装问题，传感器易因粉尘附着、振动松动出现精度漂移或数据采集失效，接触器频繁吸合会造成触点烧蚀、接触不良引发电路通断异常，线路则因潮湿、机械刮蹭出现绝缘层破损、端子松动，进而引发短路、断路，变频器长期大负荷运行易导致内部功率模块、电容老化，叠加电压不稳、散热不良，常出现过流、过压报警甚至元件烧毁。

1.2 软件故障（程序逻辑、参数配置、通讯协议等）

软件故障多为非物理性问题，排查难度较高，程序逻辑层面因前期开发未适配复杂施工工况，易存在漏洞、逻辑冲突，导致指令执行错误或无法响应；参数配置故障多由操作人员误操作、工况变更后未及时调整参数引发，参数与实际运行需求不匹配会造成设备动力输出、运行状态异常；通讯协议故障则因各子系统通讯模块不兼容、波特率不匹配，或通讯线路受干扰，引发数据传输中断、延迟与失真，导致主控与现场模块交互失效。

1.3 环境诱发故障（温湿度、振动、粉尘干扰等）

盾构机地下施工的恶劣环境是电气系统故障的重要诱因，高湿度易造成设备内部结露、金属部件锈蚀，降低绝缘性能引发漏电、短路；高粉尘会附着在设备散热部件、触点上，造成散热不良、接触不良，影响设备正常运行；长期强振动会导致设备螺丝、端子、元件引脚松动脱落，甚至造成电路板开裂，同时隧道内各类设备运行产生的电磁干扰，还会影响传感器采集与通讯传输，引发数据失真。

1.4 故障典型表现与影响分析

各类故障的典型表现各有特征，硬件故障多直观可见，如数据异常、设备无法启动、跳闸报警、部件打火异响；软件故障无明显硬件损坏，主要表现为运行逻辑异常、指令执行偏差、通讯中断；环境诱发故障多具有间歇性，如设备时好时坏、数据跳变、频繁过热报警，清理或紧固后可暂时缓解。故障影响随故障部位不同差异较大，轻微故障仅造成施工效率小幅下降，核心子系统故障会导致盾构机停运、施工中断，若未及时排查，还可能引发渣土固结、刀盘被卡等二次问题，严重故障会造成设备烧毁、电气火灾等安全事故，同时部分隐性故障会导致掘进姿态偏差，影响隧道成型质量，增加后期修复成本与工期延误风险。

2 盾构机电气控制系统故障诊断技术研究

2.1 传统诊断方法（人工排查、仪器检测）优化

传统的人工排查与仪器检测方法在原有基础上做了流程化与精细化优化，明确人工排查的重点部位与先后顺序，减少盲目排查的时间损耗，同时适配盾构机施工工况升级检测仪器，提升便携性与现场适配性，让万用表、示波器等仪器能快速检测电路通断、信号波形，精准定位基础硬件故障，兼顾排查效率与检测准确性。

2.2 基于信号分析的故障诊断技术（电流、电压、通讯信号监测）

基于信号分析的故障诊断技术以实时监测为核心，通过布设监测点位持续采集设备运行中的电流、电压信号，分析信号幅值、频率的异常变化判断电机、变频器等部件的故障隐患；同时对通讯信号进行实时捕捉与解析，从信号传输的延迟、失真、中断等问题中，定位通讯线路或协议匹配的故障点，实现故障的早期预警与精准识别。

2.3 故障快速定位流程设计（从整体到局部、从核心到辅助）

故障快速定位流程遵循从整体到局部、从核心到辅助的原则，先通过人机界面的故障报警与整体运行状态，判断故障所属的子系统范围，再聚焦刀盘驱动、推进控制等核心机构，排查核心部件与关键线路，排除核心区域故障后，再逐步检查监测、散热等辅助系统，通过层层缩小排查范围，实现故障点的快速精准定位。

2.4 诊断技术现场适用性验证

诊断技术的现场适用性验证围绕施工实际工况开展，将各类诊断方法与技术应用于不同地质、施工环境的盾构机现场，记录故障定位的耗时、准确率，同时验证诊断设备在高粉尘、强振动、高湿度环境下的运行稳定性，根据现场应用的问题优化技术流程与设备参数，确保诊断技术能适配现场复杂工况，满足快速、高效诊断的实际需求。

3 盾构机电气控制系统快速修复技术与方案

3.1 硬件故障快速修复方法（替换、应急接线、部件调试）

硬件故障采用针对性的快速修复方法，针对传感器、接触器等易损标准化部件，直接采用备用件替换的方式快速恢复设备运行；线路出现断路、虚接时，通过应急接线临时连通电路，满足施工应急需求；变频器、驱动器等精密部件出现参数漂移或轻微故障时，通过专业调试恢复部件正常工作参数，无需整体更换。

参考文献：

- [1] 刘玉浩.盾构机电气控制系统设计概要[J].城市建设理论研究（电子版）,2015(17):7452-7453.
- [2] 韦成林.论国产盾构机液压与电气控制系统研究[J].城市建设理论研究（电子版）,2012(35).
- [3] 韩影.盾构机刀盘电气系统的控制及故障诊断研究[D].陕西:西安理工大学,2018.

3.2 软件故障快速修复方法（程序复位、参数校准、协议重构）

软件故障的快速修复以恢复系统正常逻辑与通讯为核心，程序出现逻辑紊乱时，通过 PLC 程序复位恢复初始运行程序，解决指令执行异常问题；参数配置错误或漂移时，对照施工工况与设备标准参数进行精准校准，匹配设备运行需求；通讯协议出现不兼容、传输异常时，重新调试通讯波特率、重构协议匹配关系，恢复主控与现场模块的通讯交互。

3.3 复合故障综合修复策略

面对硬件与软件、单一子系统与多子系统叠加的复合故障，采用综合修复策略，先通过诊断技术明确各故障点的主次与关联关系，优先处理导致设备停运的核心故障，快速恢复盾构机基本运行功能，再逐步排查并修复次要故障与衍生故障；同时结合现场备件情况，灵活搭配替换、调试、重构等修复方法，避免单一修复方式的局限性，提升复合故障的修复效率。

3.4 现场快速修复操作规范

现场快速修复制定了标准化的操作规范，明确修复前的断电、验电等安全操作流程，避免施工人员触电或设备二次损坏；规定各类故障修复的操作步骤、核心要点与质量验收标准，确保修复操作的规范性与有效性；同时要求修复后进行短时间空载与带载试运行，验证设备运行状态，做好修复记录，为后续设备维护与故障排查提供数据参考。

4 结语

盾构机电气控制系统的稳定运行是隧道盾构施工顺利开展的关键，其故障诊断与快速修复技术直接关系到施工效率、成本与安全。本文通过梳理盾构机电气控制系统的组成与工作原理，明确了硬件、软件及环境诱发的三类核心故障类型与成因，优化了传统诊断方法，提出了基于信号分析的故障快速定位流程，并针对不同故障类型制定了适配工程现场的快速修复技术与操作规范，所研究的技术方法可有效缩短故障处理时长，提升修复准确性，显著降低故障对施工的影响。