

盾构机掘进参数监测与电气故障诊断系统研究

宋超超

中铁隧道局 广东 广州 510080

【摘要】：盾构机是地下工程建设的核心装备，其掘进参数稳定与电气系统可靠直接决定施工安全与效率。复杂地质与重载工况下，传统人工监测与事后排查难以满足实时性、精准性要求，易引发参数失控、电气故障停机等问题。基于此，本文围绕盾构机掘进参数的基本内容进行分析，并针对盾构机掘进参数监测的有效策略进行深入探究，提出电气故障智能诊断系统的优化路径，构建一体化监测诊断系统，以期对盾构安全高效掘进提供技术支撑，推动地下工程装备向智能化、可靠化升级。

【关键词】：盾构机；掘进参数；监测；电气故障；诊断系统

DOI:10.12417/2811-0528.26.08.096

近年来，盾构法隧道施工技术在我国得到了广泛应用，但相比于地上结构的施工，盾构法隧道施工的不确定程度高。盾构法施工通过不同地质条件的土层时采用不同的施工工艺和施工精度控制，其顶推力、土仓压力、刀盘扭矩、盾尾注浆参数等不断变化，导致地层扰动和土体性质产生较大的离散性，盲目调整掘进参数会使得盾构机掘进与周围环境安全受到威胁。可见，盾构掘进参数的变化监测与电气故障诊断系统对盾构自身及周围环境的影响是十分关键的。

1 盾构机掘进参数概述

盾构机掘进参数是反映设备运行状态与地质适应能力的关键指标，主要包含推进压力、掘进速度、刀盘转速、扭矩、螺旋输送机转速及注浆压力等。这些参数相互耦合、动态变化，直接影响隧道成型质量与施工安全。在复杂地质条件下，参数波动往往预示着地层扰动、刀具磨损或负载异常等潜在风险。对掘进参数进行实时采集、规律分析与趋势预判，可为施工调控提供数据依据，同时为电气系统、液压系统及控制系统的故障诊断提供基础支撑，是实现盾构机智能化、安全化作业的重要前提。

2 盾构机掘进参数监测的有效策略

2.1 优化多源参数感知布局

结合盾构机掘进的工艺特性，合理规划感知设备的布设方案，可实现核心掘进参数的全面覆盖、无盲区监测，有效杜绝因监测点位不合理造成的参数漏采、误采问题。同时，依据各类掘进参数的监测标准与需求，挑选适配性强的传感器设备，保障参数采集的精准度与运行稳定性，并优化传感器的安装点位，避开设备振动强烈、粉尘浓度过高的区域，减少外界环境对监测效果的干扰。另外，还需定期开展传感器的校准与维护工作，及时排查并处理感知设备的运行异常，确保采集数据的真实性与有效性，为后续的监测分析工作筑牢数据基础，实现

对掘进过程中各参数动态变化的实时捕捉。

2.2 构建动态阈值预警

相关部门需结合盾构机实际施工工况、地层条件及设备自身性能，搭建各掘进参数的动态阈值管理体系，打破传统固定阈值模式的局限，根据施工推进进度、地层岩性变化等实际情况，实时调整阈值区间。通过系统梳理过往监测数据，总结不同施工工况下参数的合理波动范围，制定分级预警规范，当监测参数超出对应阈值标准时，监测系统自动触发预警提示，同时联动相关监测单元，快速锁定参数异常的大致范围，为现场作业人员提供清晰的处置方向，提前防范参数失控引发的施工安全隐患，保障掘进作业的连续推进。

2.3 推行数据融合分析

盾构机掘进参数监测过程中，需整合各个监测模块所采集的掘进参数数据，打破不同模块间的数据壁垒，采用适配盾构机掘进场景的融合算法，对多维度参数进行综合研判，挖掘各类参数之间的内在关联及动态变化规律。通过数据去重、降噪等处理手段，剔除无效数据与干扰数据，提升监测数据的整体质量，同时结合盾构机掘进工艺要求，对融合后的数据分析结果进行专业解读，判断参数变化的合理性，精准识别参数异常的核心原因，避免因单一参数监测的局限性导致的判断偏差，为施工调控与故障预判提供全面、科学的数据支撑。

2.4 建立全流程闭环管理

盾构机掘进参数的监测，需将掘进参数监测工作贯穿于盾构机掘进的全过程，从施工前期的监测设备调试、阈值标准设定，到施工过程中的实时监测、预警信息处置，再到施工结束后的数据分析、经验提炼，构建完整的闭环管理机制。施工期间，安排专人负责监测数据的实时值守，及时响应并处置预警信息，详细记录参数变化情况及对应处置措施。施工结束后，对监测数据进行全面复盘，分析参数波动的内在规律，梳理监

测工作中的薄弱环节,优化监测策略及阈值设定方案,将总结的经验应用于后续掘进作业,持续提升参数监测的有效性与针对性,推动盾构机掘进监测工作向规范化、精细化方向发展。

3 电气故障智能诊断系统的优化路径

3.1 优化故障数据采集模块

针对当前盾构机电气故障诊断系统数据采集偏差突出的问题,重点需优化传感器的选型与布设方案,选用误差控制在 $\pm 1.2\%$ 以内的高精度电流、电压传感设备,全面覆盖牵引电机、液压泵电机等核心电气组件,同步增设温度传感与绝缘监测传感装置,实现电气运行参数与设备状态的全方位、无死角采集。同时,建立科学的数据预处理流程,对采集到的电流、电压、绝缘电阻等各类数据进行去噪、去重及异常筛选处理,将数据采样频率稳定在12Hz-18Hz,切实保障故障数据的完整性与真实性,为后续故障诊断工作筑牢数据根基,有效降低因数据失真引发的故障误判问题。

3.2 改进故障诊断算法

电气故障智能诊断系统的优化,需打破传统单一诊断算法的应用局限,融合BP神经网络与支持向量机两种算法的优势,构建复合型智能诊断模型,力争将故障识别准确率提升至96%以上,将故障响应时间缩短至450ms以内。通过对历史故障数据的系统训练与深度学习,优化算法阈值参数设置,针对短路、过载、绝缘破损等常见电气故障类型,搭建专属诊断逻辑框架,减少不同故障类型间的混淆误判现象。同时,引入自适应学习机制,使诊断算法能够依据设备运行时长、施工工况变化自动调整相关参数,确保在不同掘进负荷(推进速度0.6m/h-2.8m/h)条件下,始终保持稳定、可靠的诊断性能。

参考文献:

- [1] 沈辉.基于电能监测的盾构机故障诊断系统[J].建设机械技术与管理,2025,38(03):39-41.
- [2] 刘鑫峰.基于数据挖掘的土压盾构机故障诊断与预测方法研究[D].华中科技大学,2024.
- [3] 路平,郑刚,雷华阳,等.盾构掘进参数的统计试验与优化控制[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2023,49(10):1062-1070.

3.3 完善故障预警与分级处置机制

结合盾构机电气系统正常运行参数阈值范围,需构建多级故障预警体系,将电气故障划分为轻微、一般、严重三个等级,对应预警阈值分别设定为电气参数额定值的104%、116%、128%。当系统监测到电气参数超出对应预警阈值时,自动触发声光预警信号,同步推送故障初步判断结果及针对性处置建议,其中轻微故障可通过系统自动调整参数予以化解,一般及以上故障则联动设备停机保护功能,防止故障进一步扩大蔓延。并在建立预警数据统计分析机制的基础上,每月汇总各类预警信息,精准计算故障预警准确率,力争将预警漏报率控制在2.5%以下,切实提升故障防控的主动性与针对性。

3.4 构建全生命周期运维与升级体系

电气故障智能诊断系统的优化,需建立诊断系统常态化运维机制,每季度对系统硬件开展全面检测维护,确保传感器、数据传输模块等核心硬件的运行故障率控制在1.8%以下,每半年对软件系统进行版本迭代升级,持续优化诊断算法与功能模块。另外,还需整合故障诊断数据与设备运维记录,搭建电气部件故障数据库,精准统计变频器、接触器等核心部件的平均无故障工作时间,据此制定个性化维护计划,力争将电气系统故障停机率降低16%以上。同时预留系统扩展接口,支持后续接入新的监测参数与诊断功能,适配不同型号盾构机的电气系统需求,进一步提升系统的通用性与可扩展性。

总而言之,围绕盾构机掘进参数监测与电气故障诊断系统展开研究,梳理优化策略与实施路径,可为设备安全高效运行提供技术参考,有效提升参数监测精准度与故障诊断效能,降低施工风险与停机损耗。未来,后续还需结合工程实际持续优化完善,推动盾构装备智能化升级,进而为地下工程高质量发展注入技术动力。