

地铁隧道盾构施工智能导向系统优化与精度提升研究

李春旭

中铁隧道股份有限公司 河南 郑州 450000

【摘要】随着城市轨道交通快速发展，地铁隧道盾构施工对导向精度要求愈发严苛。当前智能导向系统受地质扰动、设备误差等因素影响，易出现定位偏差，制约施工效率与工程质量。本文以提升导向精度为核心，多维度展开优化研究，以期构建更稳定的智能导向体系，助力解决复杂地质条件下的施工导向难题。

【关键词】地铁隧道；盾构施工；智能导向系统；优化；精度提升

DOI:10.12417/2811-0528.26.01.079

引言

城镇化进程的推进，使得城市人口逐渐增多，导致了城市交通压力剧增、环境污染、资源浪费等问题。这些问题都不同程度的制约着经济的快速发展，因此地下空间的开发和利用就显得非常重要。而在地下空间开发中，盾构法因其具有安全、快速、经济等优点被广泛应用于地下隧道建设。对地铁隧道盾构施工智能导向系统进行优化与精度提升，可以破解施工精度不足难题，保障工程质量与安全，推动盾构施工技术迭代升级。

1 地铁隧道盾构施工智能导向系统概述

地铁隧道盾构施工智能导向系统作为盾构机精准作业的“中枢神经”，整合GNSS定位、惯性测量单元、激光靶检测及物联网通信等技术，可动态捕捉盾构机“平面位置、高程偏差、旋转角度”三维姿态与隧道设计轴线的实时匹配度。系统通过多类型传感器同步采集地质阻力、设备振动、温度变化等现场数据，经嵌入式处理单元滤除环境干扰与设备误差，再依托智能算法生成掘进调整参数，形成“数据采集-实时分析-偏差预警-动态纠偏”的闭环控制。相较于传统人工测量，其能规避人为操作滞后性，适配软土、砂层等复杂地质场景，通过历史数据建模持续优化导向策略，实现盾构施工从“经验判断”向“数据驱动”升级的核心支撑。

2 地铁隧道盾构施工智能导向系统优化与精度提升的意义

2.1 保障工程建设质量与安全

地铁隧道盾构施工中，导向系统精度直接决定隧道轴线与设计方案的契合度。优化系统并提升精度，可有效减少因定位偏差导致的隧道结构偏移、管片拼装错位等问题，从源头降低工程返工率，保障隧道主体结构的稳定性与安全性。同时，精准的导向能避免盾构机与周边地下管线、既有构筑物发生碰撞，减少施工对地下空间环境的破坏，降低因精度不足引发的安全事故风险与经济损失。

2.2 推动行业技术升级与效率提升

智能导向系统的优化的核心是技术迭代与功能完善，其精度提升过程本质是施工技术从“被动校正”向“主动预判”的转型。通过优化数据采集算法、升级实时校正模块，可缩短导向数据处理周期，提升盾构机掘进速度，打破传统人工测量的效率瓶颈，推动地铁施工向智能化、高效化方向发展。另外，系统优化过程中形成的技术方案与经验，能为行业内同类工程提供技术参考，加速盾构施工领域整体技术水平的提升。

2.3 适配城市发展需求与社会价值实现

随着城市化进程加快，地铁线路不断向复杂地质区域延伸，对盾构施工精度的要求愈发严苛。优化智能导向系统并提升精度，能满足城市地铁网络高密度、长距离建设的需求，确保线路规划更贴合城市空间布局，提升地铁线路的运营效率与覆盖范围。从长远来看，技术优化带来的工程质量提升，能延长地铁隧道的使用寿命，减少后期维护成本，为城市公共交通的长期稳定运行提供保障，进一步凸显地铁工程的社会服务价值。

3 地铁隧道盾构施工智能导向系统优化与精度提升的有效策略

3.1 优化多源数据融合算法，强化干扰抑制能力

数据采集与处理是智能导向系统的核心环节，优化多源数据融合算法可从源头提升导向精度。针对地质扰动、温度变化等环境干扰，可引入自适应加权融合算法，通过实时分析GNSS、惯性测量单元、激光靶等不同传感器的数据可靠性，动态调整各数据源的权重占比。当某一传感器受环境影响数据波动较大时，算法自动降低其权重，减少干扰对融合结果的影响。同时，需结合卡尔曼滤波算法的改进版本，构建多阶滤波模型，对采集到的位置、高程、角度等盾构机姿态数据进行分层处理，先滤除设备振动产生的高频噪声，再修正传感器漂移导致的系统误差，实现数据精度的逐步提升。另外，还可建立

干扰因素数据库，通过机器学习算法分析历史施工中不同干扰因素对数据的影响规律，形成干扰预测模型，提前对可能出现的偏差进行预判与补偿，为导向决策提供精准依据。

3.2 升级硬件设备性能，保障数据采集稳定性

硬件设备是系统运行的基础支撑，升级设备性能可直接提升数据采集的精度与稳定性。对于核心测量设备，如惯性测量单元，可选用高精度 MEMS 传感器，通过优化传感器的采样频率与分辨率，提高对盾构机微小姿态变化的捕捉能力，避免因设备灵敏度不足导致的姿态数据滞后或偏差。针对激光导向系统，可升级激光发射器与接收靶的光学性能，增强激光信号的抗干扰能力，如采用窄带滤波技术减少环境光对激光信号的影响，确保在复杂施工环境下激光信号传输的稳定性，降低因信号衰减导致的定位误差。另外，对数据传输设备进行升级，引入 5G 或工业以太网技术，提升数据传输速率与实时性，避免因数据传输延迟导致的导向指令滞后。同时，为关键设备配备冗余备份系统，如双 GNSS 接收机、备用电源模块，主设备出现故障时，备份设备可快速切换，保障系统持续运行，避免因设备停机造成的施工中断与精度偏差。

3.3 构建动态校正与反馈机制，实现实时精度调控

动态校正与反馈机制是保障导向精度持续达标的关键，通过构建闭环调控体系可及时修正施工中的偏差。在施工过程中，可设置多组校验基准点，基于高精度全站仪定期对导向系统的定位结果进行校验，将校验数据与系统输出数据进行对比分析，计算偏差值并生成校正参数，通过反馈模块实时输入系统，调整导向算法与控制指令，实现系统精度的动态修正。同时，结合推进速度、推力大小等盾构机掘进参数与导向精度的关联分析，建立掘进参数-精度影响模型，当系统检测到导向

精度出现微小偏差时，自动分析是否由掘进参数不合理导致，若存在关联则向掘进控制系统发送参数调整建议，如适当降低推进速度以减少设备振动对导向的影响，通过多系统协同实现精度调控。此外，可开发实时监测平台，将导向精度数据、设备运行状态、校正记录等信息可视化呈现，方便技术人员实时掌握系统精度变化趋势，精度接近阈值时及时介入干预，确保导向精度始终控制在设计范围内。

3.4 完善技术管理体系，提升人员操作与维护水平

技术管理与人员能力是系统优化落地的重要保障，完善管理体系可确保系统在全生命周期内稳定发挥效能。一方面，建立系统化的人员培训机制，针对导向系统的原理、操作流程、故障排查等内容开展定期培训，通过理论教学与模拟操作结合的方式，提升技术人员对系统的认知与操作能力，避免因操作不当导致的精度误差。同时，邀请行业专家开展技术讲座，分享系统优化与精度提升的先进经验，帮助技术人员更新知识体系，掌握最新的技术方法。另一方面，制定严格的设备维护管理制度，明确设备维护周期、维护内容与质量标准，如定期对传感器进行校准、对数据传输线路进行检查，及时发现并修复设备隐患，防止因设备老化或故障影响导向精度。此外，建立系统运行档案，详细记录系统优化方案、精度检测数据、设备维护情况等信息，为后续系统升级与技术改进提供数据支撑，形成“管理-维护-优化”的良性循环，确保智能导向系统始终处于最佳运行状态。

总而言之，地铁隧道盾构施工智能导向系统的优化与精度提升，需从算法、硬件、机制、管理多维度协同发力。未来，还需持续探索新技术融合应用，进一步完善系统性能，实现城市地铁建设的高质量、智能化发展，助力构建更高效的地下工程施工体系。

参考文献：

- [1] 晁会鹏.地铁隧道地裂缝段盾构整体空推施工技术[J].长江工程职业技术学院学报,2022,38(04):1-5.
- [2] 李洋.地铁隧道盾构智能纠偏优化控制研究[D].长安大学,2021.
- [3] 董伟东,任干,马龙.盾构机激光导向系统原理[J].测绘工程,2021,(04):61-64.