

地铁盾构施工中盾构姿态的控制方法

张伟

中国水利水电第十四工程局有限公司 云南 昆明 650200

摘要: 地铁盾构施工中, 盾构姿态精准控制对保障施工安全与线路精度至关重要。本文围绕盾构姿态控制展开研究, 阐述核心控制参数、影响因素与原则, 分析检测技术与方法及数据处理流程。重点探讨推进速度、千斤顶推力、刀盘转速与扭矩等核心控制方法, 以及偏差调整策略。同时, 针对姿态偏差过大、设备异常、复杂工况失控等常见问题, 提出系统处置方法, 为地铁盾构施工提供技术支撑, 提升施工效率与质量。

关键词: 地铁盾构施工; 盾构姿态控制; 检测技术; 控制方法; 问题处置

引言: 随着城市轨道交通建设快速发展, 地铁盾构施工因其高效、安全等优势被广泛应用。盾构施工中, 盾构机需沿设计轴线精准推进, 然而受地层条件、推进参数、设备状态等多种因素影响, 盾构姿态易出现偏差, 若不及时控制, 将导致线路偏移、周围土体变形等问题, 影响施工安全与工程质量。因此, 深入研究盾构姿态控制方法, 实现精准、及时、有效的姿态调控, 成为地铁盾构施工的关键课题, 对推动城市轨道交通建设具有重要意义。

1 地铁盾构姿态控制的核心基础

1.1 盾构姿态的核心控制参数

盾构姿态的核心控制参数是实现姿态精准调控的核心前提, 直接决定姿态控制的精度与效果, 其选取与设定需依托盾构施工力学理论与地下工程施工技术规范。盾构姿态控制参数主要围绕盾构机空间位置与姿态状态展开, 涵盖水平偏差、垂直偏差、滚动角、俯仰角及方位角等关键参数。水平偏差反映盾构机轴线与设计轴线在水平方向的偏移程度, 垂直偏差聚焦竖向偏移状态, 两者共同决定盾构机轴线与设计线路的契合度。滚动角体现盾构机自身的旋转偏移, 俯仰角反映盾构机前后端的竖向倾斜状态, 方位角则控制盾构机推进方向的准确性^[1]。各参数并非孤立存在, 需通过精准监测实现动态协同, 参数的设定需结合施工地层条件与推进速度, 通过科学校准确保参数阈值符合施工实际需求, 为姿态控制提供明确的量化依据。

1.2 影响盾构姿态的核心因素

影响盾构姿态的核心因素贯穿施工全流程, 各类因素相互作用、相互影响, 需结合盾构施工特性与地质条

件综合分析。地层条件是首要影响因素, 不同地层的物理力学性质差异较大, 软硬不均地层易导致盾构机受力失衡, 松散地层易引发盾构机下沉或偏移, 坚硬地层则可能造成盾构机推进阻力不均, 进而引发姿态偏差。盾构推进参数的设置合理性直接影响姿态稳定性, 推进速度过快或过慢、推力分配不均衡, 都会导致盾构机受力失衡, 诱发姿态偏移。盾构设备自身状态也会对姿态产生影响, 刀盘切削效率、推进油缸伸缩一致性、导向系统精度, 均会直接作用于盾构姿态的稳定性。此外, 盾尾间隙的均匀性、注浆参数的合理性, 也会间接影响盾构机姿态, 需通过全面管控减少各类因素的不利影响。

1.3 盾构姿态控制的核心原则

盾构姿态控制的核心原则是指导姿态调控工作有序开展的根本准则, 需结合地铁盾构施工的特殊性与安全性要求构建, 兼顾精度、安全与效率的统一。精准性原则要求姿态控制需依托精准的监测数据, 通过实时捕捉姿态偏差, 实现精准调控, 确保盾构机轴线始终贴合设计线路, 减少偏差积累。及时性原则强调姿态偏差需及时发现、及时调整, 避免小偏差逐步扩大为重大偏移, 增加纠偏难度与施工风险。均衡性原则要求盾构机推进过程中受力均衡, 通过合理分配推力、调控刀盘转速, 确保盾构机平稳推进, 避免局部受力过大引发姿态偏移。适配性原则要求姿态控制方法需贴合现场施工条件, 结合地层特性、设备状态与推进需求, 灵活调整控制策略, 确保姿态控制与施工实际相契合, 保障施工安全与工程质量。

2 地铁盾构姿态的检测技术与方法

2.1 盾构姿态检测的核心设备

盾构姿态检测的核心设备是实现姿态精准监测的物质基础, 设备选型与性能参数需贴合地铁盾构施工的地下环境特性, 依托地下工程测量技术与盾构施工监测规范确定。核心检测设备主要包括导向系统、惯性测量单

作者简介: 张伟(1985), 男, 汉族, 河南开封人, 本科, 高级工程师, 主要从事盾构施工技术及管理工作。

元、激光测距仪及数据采集终端等。导向系统承担姿态数据的实时采集与传输功能,通过接收外部定位信号,精准捕捉盾构机空间位置与姿态参数,是姿态检测的核心中枢^[2]。惯性测量单元聚焦盾构机自身姿态变化,可精准捕捉滚动角、俯仰角的细微波动,弥补导向系统在复杂地层中的监测盲区。激光测距仪用于校准盾构机轴线与设计轴线的偏差,通过精准测距实现偏差数据的补充验证。数据采集终端负责各类检测数据的汇总、存储与初步处理,确保检测数据的完整性与时效性,为后续数据处理与姿态调控提供可靠支撑。

2.2 姿态检测的核心流程与操作要点

姿态检测的核心流程与操作要点需遵循标准化监测规范,结合盾构推进节奏构建闭环监测体系,确保检测工作有序高效、数据精准可靠。检测流程以盾构推进为核心线索,推进前需完成设备调试与校准,检查设备连接状态与信号稳定性,确保设备处于正常工作状态。推进过程中实行实时连续检测,按照设定的检测频次采集姿态参数,同步跟踪盾构机推进状态,避免检测中断导致数据缺失。推进间隙需对检测设备进行二次校准,排查设备运行异常,确保检测精度符合施工要求。操作过程中需注重设备防护,规避地下潮湿、粉尘等环境因素对设备的影响,规范操作流程,避免人为操作失误导致检测数据偏差,确保检测流程与盾构推进节奏精准适配。

2.3 姿态检测数据的处理方法

姿态检测数据的处理方法是挖掘数据价值、支撑姿态调控的关键,需依托数据处理理论与盾构施工监测技术,实现检测数据的去伪存真、精准分析。数据处理首先开展预处理工作,筛选剔除异常数据与无效数据,通过数据平滑处理减少测量误差,确保数据的真实性与完整性。随后进行数据换算与分析,将采集到的原始数据换算为可直接用于姿态判断的参数,对比设计轴线参数,精准计算姿态偏差数值与变化趋势。数据处理需注重偏差规律的分析,结合施工地层条件与推进参数,梳理偏差变化与各类影响因素的关联关系,为姿态调整提供科学依据。处理完成后需形成规范的数据成果,确保数据可追溯、可利用,实现检测数据与姿态调控的精准联动,提升姿态控制的科学性与针对性。

3 地铁盾构姿态的核心控制方法

3.1 盾构推进速度控制方法

盾构推进速度控制是姿态稳定的基础,需依托盾构施工力学特性与地层适配原则,结合检测数据动态调控,避免速度波动引发姿态偏移。推进速度控制需贴合地层物理力学性质,松散地层需控制速度放缓,减少土体扰

动导致的盾构下沉或偏移;坚硬地层可适度调整速度,兼顾施工效率与姿态稳定。速度调控需采用渐进式调整模式,避免速度突变,通过实时采集姿态检测数据,判断速度与姿态的关联关系,动态校准速度参数^[3]。同时需结合千斤顶推力分配情况,使推进速度与推力形成适配,确保盾构机平稳推进,减少速度不当引发的受力失衡,为姿态稳定提供基础保障。

3.2 盾构千斤顶推力控制方法

盾构千斤顶推力控制是姿态调控的核心手段,需遵循受力均衡原则,依托千斤顶分组控制技术,实现推力的精准分配与动态调整。千斤顶需按盾构机圆周均匀分组,根据姿态检测数据,针对不同方位的姿态偏差,调整对应分组千斤顶的推力大小。水平方向偏差可通过调整左右侧千斤顶推力差值实现纠正,竖向偏差则通过调整前后端千斤顶推力配比调控。推力控制需注重梯度调整,避免推力骤增骤减,结合推进速度与地层阻力,校准推力参数,确保盾构机受力均匀,减少局部受力过大引发的姿态偏移,维持盾构轴线与设计线路的契合度。

3.3 盾构刀盘转速与扭矩控制方法

盾构刀盘转速与扭矩控制需结合地层切削特性,兼顾切削效率与姿态稳定,通过动态适配实现对盾构姿态的间接调控。刀盘转速与扭矩需与地层硬度相适配,坚硬地层需降低转速、增大扭矩,避免刀盘受力不均带动盾构机偏移;松散地层可适度提高转速、控制扭矩,减少土体坍塌对姿态的影响。转速与扭矩的调控需联动推进速度,形成协同控制逻辑,通过实时监测刀盘运行状态与姿态参数,动态调整参数数值,避免转速或扭矩不当导致的盾构机振动、偏移,确保刀盘切削与盾构推进协同平稳,为姿态稳定提供支撑。

3.4 盾构姿态偏差的调整方法

盾构姿态偏差的调整方法需依托检测数据,遵循及时性与精准性原则,结合偏差类型与程度,采用针对性调整策略,避免偏差积累扩大。偏差调整需先梳理偏差成因,区分地层影响、设备因素与参数设置问题,再制定适配调整方案。小幅度偏差可通过微调推进速度、千斤顶推力实现纠正,无需大幅调整设备运行状态;较大幅度偏差需采用渐进式纠偏模式,逐步调整相关参数,结合刀盘转速与扭矩调控,逐步将姿态校准至设计范围。纠偏过程中需持续监测姿态数据,跟踪偏差变化趋势,及时优化调整策略,确保纠偏过程平稳,避免纠偏过度引发新的姿态偏差,保障盾构姿态始终处于可控范围。

4 地铁盾构姿态控制的常见问题处置方法

4.1 姿态偏差过大的处置方法

姿态偏差过大是盾构施工中需重点管控的风险状态,处置工作需立足偏差形成的力学机制,构建系统性的纠正体系,防止偏差进一步扩大引发后续施工难题。偏差处置需以精准的姿态检测数据为依据,明确偏差的方向、幅度及发展趋势,结合所处地层的物理力学特性,制定针对性的调整策略。针对单一方向的持续偏差,需通过微调推进系统参数实现逐步纠偏,避免一次性大幅调整导致姿态剧烈波动。对于偏差幅度超出设计阈值的情况,需采用分级、渐进的纠偏方式,合理分配各分区千斤顶推力,配合刀盘转速与注浆压力的协同调整,使盾构机轴线缓慢向设计轴线靠拢。处置过程中需强化对地层扰动的控制,避免因纠偏动作过激导致周围土体变形,引发新的姿态不稳定^[4]。同时需建立偏差处置的动态反馈机制,持续监测姿态变化,实时优化调整参数,确保纠偏过程平稳可控,最终将盾构姿态恢复至设计允许范围。

4.2 姿态控制过程中设备异常的处置方法

姿态控制过程中设备异常的处置需遵循安全优先、快速恢复的原则,依托设备运行原理与盾构施工技术规范,构建全流程的故障应对体系。设备异常类型涵盖导向系统失灵、传感器漂移、推进油缸故障、刀盘运行异常等,处置工作需先通过系统诊断明确异常根源,区分设备硬件故障、软件程序异常或连接线路问题。针对导向系统数据异常,需立即启动备用检测设备,切换至独立监测模式,保障姿态数据的连续获取,为调整工作提供可靠支撑。对于推进油缸或刀盘驱动系统出现的机械故障,需暂停相关区域运行,排查故障点并开展针对性修复,避免设备异常进一步恶化影响整体姿态控制。处置过程中需注重施工节奏的合理调整,在设备故障排查与修复阶段,可适当降低推进速度,配合优化注浆参数稳定盾构姿态,减少设备异常对施工进度与姿态控制的冲击。故障排除后需对设备进行全面校准与性能测试,确认设备恢复正常运行后,再逐步恢复标准施工参数,确保姿态控制系统的稳定性与可靠性。

4.3 复杂工况下姿态失控的应急处置方法

复杂工况下姿态失控的应急处置需结合特殊地质、受限空间或多因素叠加的环境特点,启动快速响应机制,最

大限度降低姿态失控带来的风险,保障施工安全。应急处置需以现场环境与失控程度为核心依据,快速评估失控原因,区分地层突变、设备联动失效或施工参数不匹配等情况。针对软硬不均地层、曲线段施工等复杂工况引发的姿态失控,需优先调整推力分配与注浆参数,通过分区控制实现受力均衡,遏制姿态偏差的快速发展。对于因外部环境突变导致的姿态失控,需立即优化刀盘运行参数,控制切削效率,减少地层扰动,同时强化姿态监测频率,实时掌握偏差变化趋势。应急处置过程中需建立多部门协同机制,统一指挥调度,确保各项处置措施快速落地,避免因响应迟缓导致偏差进一步扩大^[5]。同时需制定完善的应急恢复方案,待姿态失控风险得到有效控制后,逐步恢复正常施工参数,通过持续监测与调整,确保盾构姿态重新回归可控范围,保障复杂工况下施工的安全稳定推进。

结束语

地铁盾构施工中盾构姿态控制是一项复杂且关键的工作。通过明确核心控制参数、把握影响因素、遵循控制原则,运用先进的检测技术与数据处理方法,可实现对盾构姿态的精准监测。结合推进速度、千斤顶推力、刀盘转速与扭矩等核心控制方法,以及针对性的偏差调整策略,能有效保障盾构姿态稳定。针对常见问题采取合理处置措施,可降低施工风险,确保地铁盾构施工安全、高效、高质量推进,为城市轨道交通建设提供坚实保障。

参考文献

- [1]许良生.盾构机在地铁隧道施工中的掘进姿态控制方法[J].工程机械与维修,2024(5):43-45.
- [2]刘同辉.复杂地质条件下盾构机掘进过程中的姿态控制方法研究[J].现代制造技术与装备,2025,61(3):195-197.
- [3]李坚.基于全站仪的地铁盾构施工导向测量技术应用研究[J].中国高新科技,2025(21):103-105.
- [4]黄胜.地铁盾构测量方法应用研究[J].科技创新导报,2022,19(6):91-93.
- [5]陈琦.超大纵坡地铁隧道盾构始发施工技术研究[J].水利水电施工,2024(6):106-112.