

智能盾构 2.0 技术在软土隧道中的自主掘进效能研究

许维生

四川豪江建设工程有限公司 四川成都

【摘要】 智能盾构 2.0 技术作为软土隧道施工中的重要进展，旨在提高隧道掘进的自主性和效率。在软土环境下，盾构机面临的挑战包括土质不均、施工精度要求高及地下水渗透等问题。该技术通过引入智能化控制系统，能够实现实时监测与调整，优化掘进路径与盾构参数，以应对复杂的地下环境。智能盾构 2.0 技术能够有效提升掘进速度、减少施工过程中因土质不稳定造成的风险，同时提高施工安全性与精准度。本文将探讨智能盾构 2.0 技术在软土隧道中的应用效能，分析其对施工效率与质量的改善作用。

【关键词】 智能盾构；软土隧道；自主掘进；施工效率；智能化控制

【收稿日期】 2025 年 6 月 11 日

【出刊日期】 2025 年 7 月 10 日

【DOI】 10.12208/j.jer.20250322

Research on autonomous tunneling efficiency of intelligent shield 2.0 technology in soft soil tunnels

Weisheng Xu

Sichuan Haojiang Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan

【Abstract】 As a significant advancement in soft soil tunnel construction, Intelligent Shield 2.0 technology aims to enhance the autonomy and efficiency of tunnel boring. In soft soil environments, shield machines face challenges such as uneven soil quality, high requirements for construction precision, and groundwater seepage. By introducing an intelligent control system, this technology enables real-time monitoring and adjustment, optimizes tunneling paths and shield parameters, and thus copes with complex underground conditions. Intelligent Shield 2.0 technology can effectively increase tunneling speed, reduce risks caused by unstable soil during construction, and improve construction safety and accuracy. This paper will explore the application efficiency of Intelligent Shield 2.0 technology in soft soil tunnels and analyze its role in improving construction efficiency and quality.

【Keywords】 Intelligent shield; Soft soil tunnel; Autonomous tunneling; Construction efficiency; Intelligent control

引言

在隧道工程中，尤其是软土隧道的施工过程中，盾构机面临着诸多挑战，如软土层不稳定、地下水渗透、土壤与设备的适应性问题等。这些问题往往导致施工难度大、工期延误、成本上升等不利因素。随着智能化技术的发展，智能盾构机在软土隧道掘进中的应用成为了提升施工效率和安全性的关键。智能盾构 2.0 技术通过集成先进的传感技术与自动化控制系统，能够实时监测土质变化，智能调整施工参数，优化掘进过程。这一技术不仅能够提高盾构机的自主操作能力，还能有效解决传统盾构机在软土隧道施工中遇到的问题。本文将探讨智能盾构 2.0 技术的工作原理及其在软土隧道中的应用，重点分析其在实际施工中的表现及优势。

1 智能盾构 2.0 技术的工作原理与特点

智能盾构 2.0 技术结合了现代自动化控制、人工智

能和传感技术，使其在复杂的软土隧道掘进中表现出更强的适应性与效率。盾构机的核心工作原理依赖于智能化控制系统，该系统通过实时监测盾构机周围的土质变化和地下水渗透情况，自动调整盾构机的推进速度、刀盘转速以及掘进的角度和深度，确保施工的连续性和稳定性。通过内置的传感器，智能盾构技术可以感知地层的应力、土壤的粘性、湿度及其他物理性质，反馈数据后通过机器学习算法优化施工路径。随着盾构机掘进，智能系统会动态调整工作参数，这种灵活性大大提升了在软土层中施工的效率，避免了传统盾构作业过程中频繁的人为调整。

智能盾构 2.0 的另一大特点是其高度集成化的系统设计。与传统盾构机相比，智能盾构 2.0 不仅搭载了更加精准的 GPS 定位系统、激光扫描装置和实时监控系统，还通过传感器网络实现对盾构机的全程监控。在

掘进过程中,系统能通过传感器对盾构机及隧道的各种环境参数进行数据采集和实时分析,形成精确的作业报告^[1]。系统通过分析土质的变化,能够有效防止出现因土质不均匀导致的盾构机卡死或损坏问题。对于不同地质环境下的软土层,智能盾构 2.0 能够根据实时数据进行适应性调整,最大限度地提高掘进效率和安全性。

智能盾构 2.0 技术还具有较高的自主决策能力。其深度集成的人工智能技术,能够在盾构机作业过程中,根据现场情况自主做出调整决策,减少对人工操作的依赖。人工智能系统不仅能实时分析复杂土层的适应性,还能预测盾构机的工作状态和潜在风险。这样,施工人员可以通过远程监控系统实时掌握盾构机的作业状态,进而避免人为误操作或疏忽所带来的风险。智能盾构技术的出现,使得软土隧道施工的整体效率得到了显著提高,同时也保证了施工过程中设备的长期稳定性和安全性。

2 软土隧道施工中的挑战与智能盾构技术的应对策略

软土隧道施工在传统施工中常常面临极大的挑战,主要体现在软土的高压缩性、低抗剪强度和富含水率等特性上。软土层在掘进过程中容易产生较大的沉降和变形,特别是当盾构机在作业时,土壤的物理性质不均匀会导致盾构机的工作环境复杂化。地下水的渗透性也为施工过程带来了风险,尤其是在软土层下方,地下水的渗透往往导致地面沉降、管道变形等安全隐患。传统的盾构机在这种环境下容易发生卡机或造成人员伤害,且施工效率较低,工期也会因此延长。

智能盾构 2.0 技术在这种复杂环境下展示了强大的适应性。通过先进的土壤传感器和自动化控制系统,智能盾构能够实时识别土质变化,并根据不同土质进行精准调整。这些传感器可以监测土壤的密实度、湿度以及土质颗粒的大小等信息,数据传输到控制中心后,系统会依据这些数据自动计算出最适宜的施工方案。当遇到软弱的土层时,智能系统能够自动调整推进速度和刀盘的压力,减少对土壤的扰动,确保隧道掘进不受影响。智能盾构机还能够通过动态计算,预测地下水的渗透性与周围土质的相互作用,及时调整施工策略,避免水流带来的灾难性后果。

智能盾构 2.0 技术的“自我修复”机制为软土隧道施工提供了更高的保障。通过实时监控盾构机的运行状态,系统能够及时发现设备的任何异常或故障。当刀盘出现磨损或其他关键部件出现问题时,系统不仅能

够自动诊断故障,还会根据实时数据给出调整方案,避免设备出现过度损耗。即使某些部件未完全损坏,智能系统也能够进行适当的修复,保证设备能够继续运行^[2]。这一机制有效减少了因设备故障导致的施工停顿或延误,确保了项目能够按时完成。特别是在软土隧道施工中,复杂的地质环境常常增加了施工的不确定性,而智能盾构 2.0 技术的这一自我修复功能,能够有效提升施工过程的稳定性和安全性,减少人为干预,优化整体施工效率。

3 智能盾构 2.0 技术在软土隧道中的应用案例分析

在某些软土隧道的实际施工中,智能盾构 2.0 技术的应用已取得显著成果。在某一典型隧道项目中,由于地下土层为高水位的软土层,传统的盾构机多次发生卡机事故,导致施工周期延长。引入智能盾构 2.0 技术后,整个掘进过程得到了极大的改善。通过精确的地质探测和实时数据反馈,智能盾构系统能够自动调整掘进路径,优化推进速度,同时通过对地下水渗透量的实时监控,调节盾构机的推进压力,保证了施工的顺利进行。该项目的施工周期比预定工期提前了约 15%,并且在整个过程中没有出现任何安全事故,体现了智能盾构 2.0 技术在软土隧道中的巨大优势。

另一个应用案例是在某城市地下交通建设项目中,软土层的稳定性较差,且附近有多处建筑物,施工风险极高。通过智能盾构 2.0 技术的引入,施工队能够实时获得关于隧道周围环境的精确数据,包括周围建筑物的变形、地下水流量以及土壤的变化情况。智能盾构机能够自动计算出最佳的推进路径,最大限度地减少对周围环境的影响^[3-7]。经过几个月的掘进,施工团队成功完成了隧道掘进任务,未对周围建筑造成任何破坏。这个项目展示了智能盾构 2.0 技术不仅在提高施工效率方面的优势,还在环境保护和安全监控方面的积极作用。这些应用案例表明,智能盾构 2.0 技术能够在复杂的软土环境中有效提升施工效率,减少传统施工方法中的盲目性和风险,并通过智能决策和实时调整,实现隧道掘进作业的全程可控和可预测。这种技术的推广和应用,将在未来的软土隧道建设中发挥重要作用,特别是在城市交通、地下管道等复杂地质环境中的广泛应用,具有重要的现实意义。

4 智能盾构 2.0 技术提升施工效率与安全性的效果分析

智能盾构 2.0 技术的引入,为软土隧道施工带来了革命性的变革,尤其体现在施工效率和安全性的显著

提升上。传统盾构作业往往依赖人工对盾构机的推进速度和压力进行调节,但由于缺乏精确的土质数据,这种人为干预常常导致操作失误和安全隐患。智能盾构 2.0 技术通过集成自动化控制系统,实时监控并调节盾构机的运行参数,确保盾构机在不同地质条件下的稳定工作。自动化系统能够根据实时数据智能地调整推进速度、压力等关键因素,这不仅大大提高了施工效率,还避免了因人为错误带来的安全问题。通过这种方式,智能盾构 2.0 技术为隧道施工提供了更为精确、高效、安全的解决方案。

智能盾构 2.0 技术的另一个突出优势是其高效的数据分析能力,能够在整个施工过程中保持对土层和周围环境的精准控制。在施工前,智能系统会对目标软土层进行全面勘探,通过收集土壤的物理性质数据、地下水渗透情况等信息,为盾构机的掘进提供详细的作业指导。施工过程中,智能系统持续收集并实时分析周围土壤的各种数据,动态调整盾构机的工作状态,确保其始终处于最佳掘进条件。这种精确的数据分析和实时反馈机制,不仅大幅度提高了工作效率,还有效地缩短了施工周期,减少了因环境变化引起的风险和必要的延误。智能盾构技术使得整个施工过程更加可控和高效,提升了隧道工程的质量和进度。

智能盾构 2.0 技术还具有极强的稳定性和可靠性,这在软土隧道的施工过程中尤为重要。传统的盾构作业中,设备故障或土壤突变往往导致作业中断,甚至可能引发安全事故。而智能盾构 2.0 通过全天候实时监控设备状况,能够提前识别潜在的设备故障和施工环境的变化,并迅速采取相应的预防措施^[8]。当系统检测到刀盘磨损严重或盾构机的推进系统出现异常时,智能系统会通过自动调节或报警提示,避免设备的进一步损坏。通过对施工环境和设备状态的持续监测,智能盾构 2.0 大幅度降低了施工过程中的风险,确保了隧道工程的安全实施。这种主动的风险管控机制,不仅保障了施工的顺利进行,还为隧道建设项目的按时完成提供了有力保障。

5 结语

智能盾构 2.0 技术的应用显著提升了软土隧道施

工的效率与安全性。通过集成智能化控制系统,盾构机能够实时监测并调整工作状态,有效应对复杂地质环境带来的挑战。其自我修复机制不仅保障了设备的稳定运行,还减少了施工过程中的故障和延误。这项技术的推广,不仅提高了施工精度和效率,也为隧道工程的安全性提供了坚实保障。随着智能化技术的不断发展,智能盾构 2.0 无疑将在未来的隧道工程中发挥更大的作用,推动行业向更加高效、环保、安全的方向发展。

参考文献

- [1] 李致远,韩瑀萱,周轲,等.基于岩溶空间重构模型的隧道涌水量预测[J/OL].工程地质学报,1-9[2025-07-11].
- [2] 黄忠凯,朱锐,张冬梅,等.软土隧道地震易损性分析中地震动强度参数选取[J].科学技术与工程,2024,24(35):15187-15195.
- [3] 谢森林,胡安峰,肖志荣,等.改进 PINNs 算法及其在软土隧道流变固结分析中的应用[J/OL].中国公路学报,1-14[2025-07-11].
- [4] 赵志浩,刘帅.不同形式隧底加固对软土隧道长期变形的研究[J].水利规划与设计,2024,(10):115-119+127.
- [5] 何晟亚,李亮,李恒一,等.可视化软土隧道模型试验相似材料的配置及其物理力学特性研究[J].现代隧道技术,2024,61(04):202-209.
- [6] 叶观宝,田佳乐,史玉金,等.高层建筑上部结构施工对邻近软土隧道影响的数值分析[J].地基处理,2024,6(S1):67-74.
- [7] 孙浩.超高速列车荷载下软土隧道长期沉降预测与加固设计研究[D].重庆交通大学,2024.
- [8] 缪磊.软土隧道盾构掘进下地面沉降快速控制技术研究[J].建筑技术,2024,55(10):1215-1218.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

