

电气自动化技术在TBM隧道施工中的创新与发展

李鑫毅

中铁十八局集团隧道工程有限公司

摘要:在当代城市化和基础设施建设的背景下,地下隧道作为连接城市重要组成部分的工程项目,日益成为提高交通效率、解决城市交通拥堵问题的重要手段之一。传统的隧道施工方式往往面临着诸多挑战,包括施工周期长、成本高、工人安全风险大等问题。因此,本文对电气自动化技术在TBM隧道施工中的创新与发展进行探析,以便于推动隧道施工的技术水平提升,也为城市交通建设注入新的活力,为可持续发展的城市交通体系构建奠定坚实基础。

关键词:电气自动化技术; TBM隧道施工; 创新; 发展

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2022.09.108

引言

随着城市化进程的加速和交通需求的不断增长,隧道工程作为连接城市交通网络的重要组成部分,扮演着至关重要的角色。在隧道施工领域,隧道掘进机(TBM)因其高效、安全的特性而被广泛采用。然而,随着工程复杂性的提高和对施工过程更高要求的追求,电气自动化技术在TBM隧道施工中的应用逐渐引起了研究者的关注。电气自动化技术的不断创新与发展为TBM隧道施工带来了前所未有的机遇。

一、电气自动化技术的原理

电气自动化技术基于控制系统和电子设备的集成,旨在实现自动化过程和任务。其原理主要包括传感器、执行器、控制器和通信网络的协同工作。传感器负责采集环境和系统的数据,将信息传递给控制器;控制器根据预设的算法和逻辑进行数据处理,并通过执行器实施相应的控制动作^[1]。整个过程通过通信网络实现不同组件之间的实时数据交流,使系统能够根据反馈信息实时调整和优化运行状态。电气自动化技术的核心在于通过高度智能化的控制系统,实现对工业过程的精准监控、自主决策和灵活调整,从而提高效率、降低成本,并增强系统的安全性和稳定性。

二、TBM隧道施工中的需求

(一) 高效率和快速施工

随着城市化进程的不断加速,对交通基础设施的需求与日俱增,因此TBM技术的应用必须紧跟这一步伐。高效率和快速施工对于满足城市交通发展的紧迫需求至关重要。

TBM隧道施工中的高效率体现在多个方面。首先,TBM的机械结构和自动化控制系统相互协同,实现了对隧道的快速而准确的开挖。其次,先进的导向和定位技术确保了施工的精准性,避免了可能的偏离轨迹和地质条件不匹配的情况,从而提高了施工的效率。此外,快速施工还减少了施工对交通和周边环境的干扰,最大限度地缩短了工程周期,为城市基础设施的迅速建设提供

了有力支持。

(二) 精准导向和定位

精准导向和定位不仅直接影响到隧道的准确开挖,还关系到与周围地下设施的安全距离和工程的整体质量。TBM隧道施工中,精准导向通过先进的导航系统和定位技术实现,确保掘进过程沿着设计轨迹准确进行。这种准确性对于避免地质条件变化、水文环境波动等因素的影响至关重要。通过实时监测和调整,TBM能够保持在设计的路径上,最大限度地减少施工偏差,提高施工的精度。

精准导向和定位的需求还延伸到隧道与周围环境的相互关系。在城市地下,隧道通常需要穿越各种地下管线、基础设施等,因此必须确保TBM施工不会干扰到这些重要设施。通过精准导向和定位,TBM可以避免与地下管线相撞,从而降低施工风险,保障城市地下基础设施的完整性。

(三) 工人安全和舒适

由于TBM作业环境的相对封闭性,为了最大限度地减少潜在的工作风险,必须采取一系列措施以保障工人的安全。这包括设立紧急撤离通道、实施严格的安全标准和程序,并采用先进的监测系统以实时检测可能的安全隐患。

同时,关注工人的舒适性也是TBM隧道施工中的一项重要需求。在长时间的作业中,工人需要在相对封闭和有限的空间内工作,因此工作环境的人性化设计显得尤为重要。适当的通风系统、舒适的工作座椅以及人性化的工作布局,都有助于提高工人在施工现场的工作体验,减轻其工作压力,从而保障工人的身体健康和心理^[2]健康。

(四) 数据采集和实时监控

通过广泛应用传感器技术,TBM能够实时采集施工过程中的各种关键数据,包括地质条件、隧道变形、机械状态等。这些数据不仅提供了对施工现场实际情况的详细了解,而且为工程管理人员提供了有力的依据,使

其能够及时制定调整策略,降低潜在风险,提高工程的可控性。

实时监控系统的运用更是使数据采集发挥了实际作用。通过实时监测,工程人员可以在第一时间发现潜在问题,采取及时有效的应对措施,从而避免问题进一步扩大化。这种实时性的监控系统对于确保隧道施工的稳健进行和对突发事件的迅速响应具有关键意义。

三、电气自动化技术在TBM隧道施工中的创新与发展

(一) 传感器技术

1. 在TBM中的应用

传感器技术通过在TBM中的广泛应用,为施工过程引入了高度智能化的监测和控制。在TBM中,各类传感器被巧妙地安装,用于实时采集关键数据,如地质结构、岩土性质、机械运行状态等。这些传感器不仅能够提供对施工环境的准确感知,还能通过即时数据反馈实现对施工过程的实时监控。

传感器技术的应用使得TBM具备了更高级的感知能力,使工程团队能够更深入地了解施工现场的实际情况。例如,地质传感器可以提供有关隧道掘进路径的地层信息,帮助TBM动态调整挖掘策略以适应不同的地质条件^[3]。同时,机械传感器则能够实时监测TBM的运行状态,帮助工程人员及时识别潜在故障并进行维护,从而提高设备的可靠性和寿命。

2. 提高施工过程的监测和控制能力

传感器的引入使得TBM能够实时感知施工环境的多个关键参数,包括地层情况、岩土性质、挖掘机械的运行状态等。这种实时数据的采集为工程团队提供了全面而精准的信息,使其能够更加深入地理解隧道挖掘过程中的动态变化。

通过地质传感器,TBM能够对地层的变化进行高频次、高精度的监测,使得对不同地质条件的快速应对成为可能。这不仅有助于减轻TBM在复杂地质环境中的挑战,还能够提前预警潜在的地质风险,确保施工的稳定进行。同时,机械传感器实时监测TBM设备的状态,包括转子转速、刀盘扭矩等,为运维人员提供了关键的性能指标,使其能够及时调整设备运行参数,优化施工效率。

(二) 自动化控制系统

1. 实现TBM的智能化控制

通过先进的自动化控制系统,TBM得以实现对施工过程的全面监测和智能调控,这种智能控制系统以传感器技术为基础,能够实时获取施工现场的各项数据,包括地质情况、机械状态以及环境参数等。

自动化控制系统通过对这些实时数据的高效处理,能够快速做出智能决策,实现TBM的精准导向和优化挖

掘路径。例如,在面对地层变化时,自动化控制系统可以自动调整刀盘的旋转速度和推进力,以适应不同的地质条件,从而最大限度地提高施工效率并减少设备磨损。

智能化控制还使得TBM在施工过程中能够自主感知并应对突发状况,例如地质灾害或机械故障。系统可以根据实时数据采取紧急措施,保障设备和工作人员的安全。此外,自动化控制系统还具备远程监控和操作的能力,使得工程团队能够实时远程管理TBM,降低人工干预的需求,提高整体的工作效率。

2. 提高隧道施工的精准度和效率

自动化控制系统以传感器技术为支撑,能够实时采集并分析施工过程中的多维数据,包括地质结构、机械运行状态以及刀盘的挖掘参数等。

通过精准的数据分析,自动化控制系统实现了对TBM的智能导向,使其能够更加准确地按照设计路径进行挖掘。对地质条件的实时监测使得系统能够自动调整挖掘策略,适应不同的地质环境,从而最大限度地提高施工的精准度。机械运行状态的实时监控则为系统提供了对设备性能的深入了解,使得TBM能够在最佳状态下运行,减少不必要的能耗和损耗,提高了施工的效率^[4]。

(三) 数据采集与分析

1. 采集TBM施工过程中的关键数据

通过先进的传感器技术,系统能够实时、准确地采集TBM施工过程中的关键数据,如地层情况、刀盘转速、挤压力等。这些数据的采集不仅提供了对施工现场实际情况的深入洞察,还为工程管理团队提供了全面的信息基础,使其能够更加科学地制定施工策略。

地质条件的实时采集使得系统能够迅速应对复杂多变的地质情况。刀盘的挖掘参数和机械运行状态的采集则为系统提供了对设备性能的全面了解,使得工程人员能够及时调整工艺参数,确保TBM在最佳状态下运行。同时,通过实时监测挤压力等参数,系统能够识别可能的地质风险,从而预防性地采取措施,提高施工的安全性和可控性。这种数据采集与分析的创新应用不仅提高了对施工环境的实时感知,也为未来的智能决策提供了强大的支持。

2. 数据分析为决策提供支持

通过先进的传感器技术,系统实时采集TBM施工过程中的关键数据,涵盖了地层情况、机械运行状态、挤压力等多方面信息。这些大量的实时数据通过精密的分析工具进行处理,为工程管理团队提供了全面、准确的施工现场信息。

数据分析在决策制定中发挥了关键作用,使得工程团队能够更为科学地应对不断变化的地质条件。通过对

地质情况的深入分析，可以迅速调整挖掘策略，确保TBM在复杂地层中稳健前行。同时，对机械运行状态的分析为预防性维护提供了依据，使工程人员能够及时调整设备参数，最大限度地减少故障发生，提高了施工的可靠性和持续性。挤压力等参数的实时监测和分析，不仅有助于提前发现潜在的地质风险，还使工程团队能够迅速制定应对策略，确保施工的安全性。

四、电气自动化技术对TBM隧道施工的影响

（一）提高施工效率

通过先进的自动化控制系统和智能化的数据处理，TBM能够在施工过程中实现更加精准和高效的操作。一方面，电气自动化技术通过自动化控制系统实现了TBM的智能导向。传感器技术实时感知地层情况和机械运行状态，使得TBM能够自主调整挖掘策略，适应不同的地质条件。这不仅减少了人工对施工过程的干预，还大幅提高了施工的准确性和稳定性。

另一方面，数据的实时采集和分析为工程团队提供了全面的施工现场信息。通过对数据的深入挖掘，可以发现施工过程中的优化空间，从而进一步提高施工效率。例如，机械运行状态的实时监测有助于预防性维护，减少设备故障带来的停工时间，提高了施工的连续性和生产效率。

（二）降低施工成本

电气自动化技术在TBM（隧道掘进机）隧道施工中的广泛应用对降低施工成本产生了显著的影响。通过自动化控制系统的智能导向和先进的数据处理，TBM能够更加精准地执行施工任务，从而有效地减少了不必要的资源浪费。

一方面，电气自动化技术通过实时监测和调整机械运行状态，提高了设备的使用寿命和可靠性。这降低了维护成本和频繁的维修需求，使施工单位能够更好地控制运营成本。自动化控制系统的智能导向还减少了对人工干预的需求，降低了人工成本，从而在整体上降低了施工的成本。另一方面，通过对大量实时数据的采集和分析，电气自动化技术为施工过程的优化提供了有效的手段。通过发现并利用施工过程中的潜在优化空间，工程团队能够更加精细地规划资源的利用，减少了不必要的浪费，从而达到降低整体施工成本的目的^[5]。综合而言，电气自动化技术的应用使得TBM隧道施工更加智能、高效，从而在降低施工成本方面发挥了重要的作用。

（三）提升工程质量

通过先进的自动化控制系统和智能化的数据处理，TBM能够在施工过程中实现更为精准和可控的操作，从而显著提高了工程的整体质量。

首先，电气自动化技术通过传感器技术实时监测地

质条件和机械运行状态，实现了对施工环境的全面感知。这使得TBM能够根据实际地质情况调整挖掘策略，避免潜在的地质风险，确保了隧道的稳定施工。机械运行状态的实时监测也有助于提前识别设备问题，减少故障对工程的影响，保障了设备运行的可靠性，进而提升了工程整体的质量。

其次，数据采集与分析为工程管理团队提供了全面的施工现场信息。通过对数据的深入分析，可以识别潜在的问题和优化空间，从而及时调整施工策略，提高了施工的效率和质量。例如，对地质数据的精确分析有助于更好地规划隧道路径，确保工程符合设计标准，提高了隧道的结构稳定性和安全性。

（四）环境友好型施工

通过先进的自动化控制系统和传感器技术，TBM能够更精准地应对地质条件，减少了不必要的挖掘和材料消耗。这种精准性的施工不仅有助于节约资源，还减少了施工对周围环境的不良影响。

自动化控制系统的智能导向使得TBM能够更加精细地控制挖掘参数，降低了噪音和振动的产生。这对于在城市环境中进行施工尤为重要，有助于减少对周边社区的干扰。减少噪音和振动的同时，由于更精准的施工，也降低了粉尘和废弃物的生成，减轻了施工对空气和土壤的污染。

五、结语

在TBM隧道施工中，电气自动化技术的创新与发展取得了显著成果。通过自动化控制系统和传感器技术的广泛应用，实现了TBM的智能导向、精准控制和实时监测。这不仅提高了施工效率和质量，也降低了成本，推动了隧道工程向更智能、高效和可持续发展的方向发展。电气自动化技术的不断创新为城市基础设施建设提供了先进的施工手段，为未来隧道工程的成功实施奠定了坚实基础。

参考文献

- [1]唐健. 电气安全保护装置在T880E掘进机上的应用[J]. 隧道建设, 2006, 26(6): 82-83, 86.
- [2]王晨光. TBM隧道掘进机推进系统的研究[D]. 陕西: 西安理工大学, 2010.
- [3]蒙先君, 彭正阳. 铁路长大隧道TBM施工关键要素[J]. 工程机械与维修, 2013(1): 144-147.
- [4]杨馨茹; 段灿; 薛子斌; 邱琼; 李冉; 于广明. 不同坡度TBM隧道施工对开挖面稳定性的影响[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2022, 36(01): 33-40.
- [5]张保林. 电气自动化技术在隧道供电系统中的应用[J]. 电子测试, 2021, (18): 122-123+53.