

盾构隧道穿越复杂地层施工技术研究

吴亚楠 李 恒 郭 江

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

摘要：随着城市化进程的加速，地下空间的开发利用日益受到重视。盾构隧道作为一种先进的地下施工方法，以其高效、安全的优势在地铁、水利、交通等领域得到了广泛应用。然而，在穿越复杂地层时，盾构隧道施工面临着诸多挑战，如地质条件多样性、不确定性以及施工过程中的安全风险等。因此，深入研究盾构隧道穿越复杂地层施工技术，提升其在极端地质条件下的适应性和安全性，对于推动地下空间开发具有重要意义。

关键词：盾构隧道；地层施工技术；研究

引言：本文深入探讨了盾构隧道穿越复杂地层施工技术的现状与研究进展。针对地质条件多样性、刀具磨损、地层加固与止水等关键问题，介绍了复合盾构技术、智能化盾构技术、刀具磨损监测技术、管片拼装技术及注浆加固技术等创新解决方案。这些技术不仅提高了盾构施工的效率 and 安全性，也为地下空间的开发利用提供了有力支持。未来，盾构施工技术将继续向自动化、智能化方向发展，为隧道建设带来更加革命性的变革。

1 盾构隧道穿越复杂地层施工技术的概述

盾构隧道穿越复杂地层施工技术，是指在多变且难以预测的地质环境中，利用盾构机进行隧道掘进的一种先进施工方法。复杂地层可能包括软硬不均、高水压、富含卵石或砾石等特性的地层，给盾构施工带来极大挑战。该技术要求盾构机具备高度的适应性和稳定性，能够在不同地层中保持掘进效率和掘进方向的准确性。同时，施工人员需熟练掌握盾构机的操作技巧，能够根据地层变化及时调整掘进参数，确保施工安全。在施工过程中，注浆加固、刀具更换、渣土处理等关键技术环节也不容忽视^[1]。注浆加固能够增强地层的稳定性，减少盾构机掘进过程中的地层扰动；刀具更换策略则直接关系到掘进效率和成本；渣土处理不当则可能导致环境污染或工程事故。总之，盾构隧道穿越复杂地层施工技术是一项综合性极强的工程技术，要求施工人员具备丰富的经验和专业知识，以确保隧道施工的安全、高效和环保。随着科技的进步，未来盾构施工技术将更加智能化、精细化，为地下空间开发提供更有力的支持。

2 盾构隧道穿越复杂地层施工技术的现状

2.1 地质条件适应性有限

盾构隧道施工在面临极端复杂地层条件时，其挑战的核心在于地质条件的多样性和难以预测性。在极软土地层中，盾构施工面临的主要问题是土壤的低承载力和

易泥化特性。这种地层中的土壤往往难以形成稳定的掘进面，盾构机在掘进过程中容易发生泥化现象，导致掘进面失稳，进而使得盾构机的姿态难以有效控制。这不仅影响了盾构机的正常掘进，还可能引发安全事故。而在硬岩地层中，盾构机则需要面对岩石的高强度和强磨蚀性。这种地层中的岩石对盾构机的刀具磨损极大，加快了刀具的更换频率，增加了施工成本和时间。同时，由于岩石破碎的不均匀性，盾构机在掘进过程中可能会产生振动和偏转，进一步加大了施工难度。软硬不均的地层则给盾构机带来了更大的挑战。在这种地层中，盾构机需要不断调整掘进参数和姿态以适应地层的变化。然而，由于软硬地层的交替出现，掘进面的土压往往难以平衡，这使得盾构机的姿态调整变得异常困难。

2.2 刀具磨损严重

在硬岩或含有磨蚀性物质的地层中掘进时，刀具磨损严重的原因主要有两方面。首先，硬岩地层的高硬度和磨蚀性导致刀具在切割岩石过程中承受巨大的压力和摩擦力，从而加速了刀具的磨损。此外，岩石中的石英、长石等硬质矿物成分也会对刀具产生强烈的磨蚀作用，进一步加剧刀具的磨损速度。其次，刀具设计和材料选择也是影响刀具磨损的重要因素。如果刀具设计不合理或材料选择不当，将无法有效抵抗硬岩地层的磨蚀作用，从而导致刀具快速磨损。例如，刀具的刃角、刃宽等参数设计不合理，或者刀具材料硬度、韧性等性能指标不达标，都可能导致刀具在掘进过程中过早失效。刀具磨损严重不仅会影响盾构机的掘进效率，增加刀具更换次数和施工成本，而且在刀具更换过程中还可能存在安全风险。例如，在更换刀具时需要停机并打开盾构机前仓门进行作业，这将使掘进面暴露出来并失去平衡状态，从而增加了坍塌、涌水等安全事故的风险。

2.3 地层加固与止水不达标

在富含水或软弱地层中施工时,地层加固与止水是确保盾构施工安全顺利进行的关键环节。首先,地层条件的复杂性和不确定性使得加固和止水方案的设计变得非常困难。例如,在富含水的地层中施工时,需要准确判断水源的位置、水量和水压等参数,才能制定出有效的止水方案。然而,这些参数往往难以准确获取,导致止水方案的设计存在较大的盲目性和风险性^[2]。其次,现有的加固和止水技术可能存在一定的局限性。例如,注浆加固技术是一种常用的地层加固方法,但在某些特殊地层条件下(如高水压、大流量等),注浆浆液可能难以有效扩散和固结,导致加固效果不理想。最后,施工过程中的质量控制也是影响加固和止水效果的重要因素。如果施工过程中存在注浆压力不足、注浆量不够、止水材料质量不达标等问题,都将直接影响加固和止水的最终效果。这些问题的存在不仅可能导致盾构施工过程中的安全事故(如地面沉降、坍塌等),还可能对周边环境和建筑物造成不良影响(如水土流失、管线破坏等)。

3 盾构隧道穿越复杂地层的施工技术研究

3.1 复合盾构技术

复合盾构技术,作为盾构施工技术的一大创新,其核心理念在于融合与适应。它结合了传统盾构技术与新兴技术的优点,形成了一种能够灵活应对复杂多变地层条件的施工方法。在复合盾构技术的实施过程中,盾构机的前端设计展现出极高的灵活性,能够根据所遇地层的不同特性,快速更换相应的刀具和切削装置。无论是坚硬岩石还是软弱土层,复合盾构机均能以其高效切削能力,确保掘进过程的顺利进行。除了切削装置的多样性,复合盾构技术还特别强调对地层加固和超前钻探等辅助手段的运用。通过注浆加固技术,盾构机在掘进前就能对前方地层进行预加固处理,从而显著提升地层的承载力和稳定性。这种预加固处理不仅为盾构机的掘进提供了更加稳固的工作环境,还有效降低了地层变形和坍塌的风险。而超前钻探技术则扮演着盾构机“眼睛”的角色,它能够提前探明前方地层的详细情况,包括岩性、构造特征以及水文地质条件等。有了这些准确的地质信息作为依据,施工人员就能更加精准地调整盾构机的施工参数,确保其在复杂地层中的稳定推进。复合盾构技术的优势在于其强大的灵活性和适应性。它能够根据地层条件的变化,灵活调整刀具配置和施工策略,从而实现高效掘进。

3.2 智能化盾构技术

智能化盾构技术代表了盾构施工技术与现代信息技术的完美结合。通过引入人工智能、大数据等现代信息

技术,智能化盾构技术实现了对盾构机施工过程的全面监控和智能管理。这种技术革新不仅提高了盾构施工的精度和效率,还显著降低了人工干预和操作失误的风险,为隧道施工的安全性和可靠性提供了有力保障^[3]。在智能化盾构技术的实施过程中,盾构机被赋予了“智慧”的双眼和大脑。通过配备各种先进的传感器和监测系统,盾构机能够实时感知和收集施工过程中的各种关键数据,如地层变化、盾构机姿态、刀具磨损情况等。这些数据经过高精度的处理和分析后,能够为施工人员提供准确的施工参数调整建议,确保盾构机在复杂地层中的稳定推进。同时,智能化盾构技术还能实现对盾构机运行状态的实时监测和预警。通过运用大数据分析技术,系统能够自动识别盾构机的异常状态并提前发出预警信息,从而帮助施工人员及时采取措施进行预防和处理,有效避免了潜在的安全隐患。智能化盾构技术的优势在于其强大的数据处理能力和智能决策能力。它能够实时收集并分析大量施工数据,为施工人员提供科学、准确的决策支持。同时,通过自动化控制和智能预警等功能的实现,智能化盾构技术还能显著降低人工干预和操作失误的风险,提高隧道施工的安全性和可靠性。

3.3 盾构机刀具磨损监测技术

盾构机刀具磨损监测技术是盾构施工技术中的一项重要创新。盾构机在掘进过程中,刀具的磨损情况会直接影响到掘进效率和施工安全。因此,实时监测和评估刀具的磨损情况至关重要。目前,已经发展出了多种盾构机刀具磨损监测技术,这些技术为盾构施工提供了有力的技术支持。其中,声发射监测技术是一种常用的刀具磨损监测方法。通过在盾构机刀具附近安装声发射传感器,可以实时监测刀具切削过程中产生的声发射信号^[4]。这些信号能够反映刀具的磨损情况和切削状态,从而帮助施工人员准确判断刀具的磨损程度。声发射监测技术具有灵敏度高、实时监测等优点,能够及时发现刀具的异常情况,为施工人员提供准确的换刀时机。另一种重要的刀具磨损监测技术是振动监测技术。盾构机在掘进过程中会产生振动信号,这些信号与刀具的磨损情况和地层的岩性变化密切相关。通过监测盾构机的振动信号,可以对刀具的磨损情况进行实时分析和评估。振动监测技术具有非接触式测量、实时监测和准确性高等优点,能够为施工人员提供刀具磨损的定量数据和趋势分析,有助于优化盾构施工过程。这些盾构机刀具磨损监测技术的优势在于它们能够实时监测刀具的磨损情况,为施工人员提供准确的刀具更换时机和更换建议。通过及时更换磨损严重的刀具,可以避免因刀具破损而导致的掘进

效率低下和施工安全事故。

3.4 盾构隧道管片拼装技术

盾构隧道管片拼装技术,作为盾构隧道施工中的核心技术,其进步与革新对整个施工过程起到了举足轻重的作用。传统的管片拼装方法,依赖大量的人工操作,不仅效率低下,而且由于人为因素的介入,误差难以避免。这些误差在隧道施工中可能会被放大,进而影响到整个隧道的稳定性和安全性。然而,随着科技的飞速发展,自动化和机器人技术为盾构隧道管片拼装技术带来了革命性的变革。自动化管片拼装系统的出现,彻底改变了传统的人工拼装方式。这一系统通过高度集成的机器人技术和自动化控制技术,实现了管片从抓取、定位到拼装的全程自动化。在这一系统中,高精度的定位系统和传感器如同“眼睛”和“大脑”,它们能够实时、准确地捕捉管片的位置和姿态信息,并通过自动化控制系统进行实时调整,确保每一块管片都能严丝合缝地拼接到预定位置。这种高度自动化的拼装方式不仅大大提高了拼装精度,更重要的是,它消除了人为因素带来的误差,从而显著提升了隧道施工的质量和安全性。此外,自动化管片拼装技术还极大地提高了施工效率。在传统的拼装方式下,施工人员需要耗费大量的时间和精力进行定位和调整。而现在,这一切都由自动化系统来完成,施工人员只需进行简单的监控和操作即可。

3.5 盾构隧道注浆加固技术

盾构隧道注浆加固技术是盾构隧道施工中的一项重要辅助技术。在复杂地层中进行盾构隧道施工时,地层承载力和稳定性往往难以满足盾构机的掘进需求。为了提高地层的承载力和稳定性,确保盾构机的安全掘进,注浆加固技术被广泛应用于盾构隧道施工中。注浆加固技术是一种通过向地层中注入固化材料(如水泥浆等)以改善地层物理力学性质的方法。在盾构隧道施工中,注浆加固技术通常用于加固隧道周围的土体,防止地层变形和坍塌。通过向地层中注入固化材料并使其在地层

中扩散、固结形成结石体或固结的土体,注浆加固技术能够显著提高地层的整体强度和稳定性。同时,注浆加固技术还能够起到止水作用,减少地下水对隧道施工的影响。在实际应用中,盾构隧道注浆加固技术需要根据不同的地层条件和施工需求选择合适的注浆材料和注浆方式^[5]。常用的注浆材料包括水泥浆、水泥砂浆、化学浆液等;注浆方式则包括压力注浆、渗透注浆、劈裂注浆等。施工人员需要根据地层条件、隧道设计要求以及施工环境等因素进行综合考虑,选择最合适的注浆加固方案。盾构隧道注浆加固技术的优势在于其能够显著改善地层条件,提高地层的承载力和稳定性;同时还能够减少地下水对隧道施工的影响。

结语:综上所述,盾构隧道穿越复杂地层施工技术的研究是一个系统而深入的过程,它涉及到地质条件的评估、盾构机的设计与制造、施工工艺的优化以及安全风险的控制等多个方面。通过本文的研究,我们可以看到,虽然盾构技术已经相当成熟,但在面对极端复杂地层时,仍需要不断创新和完善。未来的盾构隧道施工将更加注重信息化、智能化技术的应用,以提高施工效率和安全性。同时,随着新材料、新工艺的不断涌现,盾构隧道施工技术将迎来更加广阔的发展前景。

参考文献

- [1]张健.地铁盾构隧道穿越桩基的凿除技术[J].中国市政工程,2020(4):87-88.
- [2]丁红军,王琪,蒋盼平.地铁盾构隧道桩基托换施工技术研究[J].隧道建设,2020(2):209-212.
- [3]黄辉,张伟荣.广州地区软弱地层盾构掘进沉降控制技术研究[J].施工技术,2020(12):430~432
- [4]陈馈,冯欢欢.极软弱地层盾构施工关键技术探析[J].建筑机械化,2020(11):66~70
- [5]唐生朝,刘波.盾构过全断面浅埋淤泥地层施工技术[J].铁道建筑技术,2020(9):11~14