

# 地铁隧道盾构掘进施工关键技术

刘 腾

宁波市轨道交通集团有限公司建设分公司 浙江 宁波 315000

**摘要:** 随着城市交通的快速发展,地铁隧道等地下交通设施的建设需求日益增长。盾构掘进法作为一种高效、安全的隧道施工方法,在铁隧道建设中得到了广泛应用。盾构掘进法不仅能够适应复杂的地质条件,还能有效减少施工对城市地面交通和环境的影响。然而,盾构掘进施工也面临着诸多技术挑战,如盾构机的选型与设计、土压平衡控制、掘进参数设定等。因此,深入研究盾构掘进施工的关键技术,对于提高隧道建设效率、保障施工安全具有重要意义。

**关键词:** 地铁隧道; 盾构掘进; 施工; 技术

引言: 本文探讨了铁隧道盾构掘进施工的关键技术。首先简要介绍了盾构掘进法的基本原理及其在铁隧道建设中的重要性。随后,重点分析了盾构机的选型与设计、土压平衡控制、掘进参数设定、隧道衬砌拼装以及同步注浆等关键施工技术,并强调了这些技术在确保隧道施工安全、提高掘进效率、保障隧道结构稳定性方面的作用。最后,对盾构掘进施工中可能遇到的挑战及其解决方案进行了简要探讨,展望了未来盾构掘进技术的发展方向。

## 1 地铁隧道盾构掘进的基本概念

盾构法是一种先进的隧道施工方法,广泛应用于地铁、铁路、公路、市政等隧道工程。在地铁隧道施工中,盾构掘进是一种常见的施工方法,它是利用盾构机在地下挖掘隧道的一种技术。盾构机是一种集成了开挖、支护、衬砌等多种功能的机械设备,通过盾构机的推进,可以形成一条稳定的隧道。首先,盾构掘进的基本原理是利用盾构机前部的切削刀盘将土体破碎,然后通过盾构机的运输系统将土方运出隧道。在开挖过程中,盾构机的支护系统可以及时支护开挖面,防止土体坍塌。其次,盾构掘进施工具有许多优点。由于盾构机是一种高度自动化的机械设备,它可以大幅提高隧道的施工效率,缩短工期<sup>[1]</sup>。最后,随着技术的发展和环保要求的提高,盾构掘进技术也在不断进步和完善。目前,新型的盾构机已经采用了许多先进的技术和设备,例如智能化的掘进控制、泥浆处理系统等,可以进一步提高盾构施工的效率 and 环保性。未来,盾构掘进技术将继续发挥其优势,为地铁等隧道工程建设提供更加安全、高效、环保的施工方法。

## 2 地铁隧道盾构掘进施工的现状

### 2.1 地质条件的挑战

地质条件的复杂性和不确定性是导致盾构施工困难的主要原因。盾构施工穿越的地层通常是复杂多变的,包括软土、硬岩、砾石、粘土等不同类型,这些地层的物理性质和力学特性各不相同,使得盾构机的推进和掘进变得非常困难。同时,地质勘探的局限性也使得实际施工中的地质情况可能与设计阶段的地质资料存在较大差异,进一步增加了施工难度。其次,地质条件对盾构施工的安全和稳定性产生重要影响。在盾构施工中,地层的稳定性是至关重要的。例如,软土地层可能会导致盾构机下沉或隆起,硬岩地层可能会导致盾构机刀具磨损严重或掘进困难,而富水地层则可能引发涌水、塌方等问题。这些地质问题不仅可能影响施工安全,还可能对施工质量和隧道结构的稳定性造成严重影响。

### 2.2 盾构施工控制难度大

土压平衡是盾构施工中非常关键的控制参数,它直接影响着盾构掘进过程中的稳定性和地表沉降。然而,土压平衡受到多种因素的影响,如地层性质、掘进速度、出土量等,要实现准确的土压控制需要综合考虑这些因素,并实时调整掘进参数。在实际施工中,由于地质条件的复杂性和不确定性,以及施工操作的误差,土压平衡往往难以稳定控制,导致超挖或欠挖的现象时有发生。其次,盾构姿态的控制也是影响施工精度和质量的重要因素。盾构姿态是指盾构机在掘进过程中的空间位置和方向,需要通过盾构机的推进力、刀盘扭矩、注浆压力等参数进行精细调整来实现<sup>[2]</sup>。然而,由于地层的不均匀性和动态变化,以及施工过程中的各种干扰因素,盾构姿态的控制难度很大。姿态的偏差会导致隧道轴线的偏离,影响隧道的贯通精度,甚至需要进行额外的纠偏工作。最后,地表沉降是盾构施工中的另一个重要控制参数。地表沉降与土压平衡、盾构姿态、注浆工

艺等因素密切相关。在实际施工中,由于控制参数的波动和不确定性,以及施工操作的误差,地表沉降往往难以准确预测和控制。

### 2.3 管片拼装的精度影响

管片拼装的精度对隧道的防水效果和稳定性起着至关重要的作用。首先,盾构姿态是影响管片拼装精度的关键因素。盾构姿态是指盾构机在掘进过程中的空间位置和方向,如果盾构姿态不稳定,管片拼装的精度就会受到影响。例如,当盾构机出现抬头或低头现象时,管片拼装的垂直度就会发生变化,导致隧道轴线的偏离。此外,盾构机的推进速度和旋转速度也会对管片拼装的精度产生影响。其次,推进同步性的问题也是影响管片拼装精度的主要因素。推进同步性是指盾构机在推进过程中各部分动作的协调性。如果推进同步性不好,管片拼装的精度就会受到影响。例如,在推进过程中,如果刀盘和盾构机的推进不同步,管片拼装的缝隙就会不均匀,导致隧道的稳定性下降。此外,管片拼装的精度还受到管片本身质量的影响。如果管片质量不好,例如存在裂纹、翘曲等问题,管片拼装的精度就会受到影响。同时,施工人员的操作技能和经验也是影响管片拼装精度的重要因素。如果施工人员的技能和经验不足,管片拼装的精度就难以保证。

## 3 地铁隧道盾构掘进施工的关键技术

### 3.1 盾构机选型与设计

盾构机的选型与设计,无疑是地铁隧道盾构掘进施工中至关重要的环节。首先,选型的准确性直接关系到盾构机是否能够适应特定的施工环境和地质条件。例如,在富含水分的软土地层中,选择具有优良密封性和土压平衡控制能力的盾构机就显得尤为重要。其次,盾构机的设计不仅要满足基本的开挖和支护需求,还要追求更高的施工效率<sup>[3]</sup>。这包括优化刀盘设计以提高开挖速度,改进排土系统以减少停机时间,以及提升衬砌拼装设备的自动化程度等。这些设计上的创新和改进,能够在保证施工安全的前提下,显著提高盾构掘进的速度和效率。此外,盾构机的设计还需要兼顾操作的便捷性和维护的方便性。简洁明了的操作系统能够降低操作人员的培训成本和工作强度,而易于维护的机械结构则能够减少故障发生的概率,缩短维修时间,从而保障盾构机的持续稳定运行。最后,盾构机的设计还应考虑到环保和节能的要求。随着社会对环境保护的日益重视,盾构机作为大型施工机械,其噪声、振动和废气排放等环境问题也受到了广泛关注。因此,在盾构机的设计中,采用低噪声、低振动和低排放的技术方案,不仅有助于改

善施工现场的环境质量,也是盾构机制造技术发展的重要方向。

### 3.2 土压平衡控制技术

土压平衡控制技术在地铁隧道盾构掘进施工中具有不可替代的重要作用。首先,这种控制技术是实现盾构机安全、高效掘进的关键。盾构机在掘进过程中,必须保持开挖面的稳定,防止土体坍塌或涌水等危险情况的发生。而土压平衡控制技术正是通过实时监测和调整土压,确保开挖面的稳定性,从而为盾构机的安全掘进提供有力保障。在实施土压平衡控制时,对不同的地质条件采取针对性的控制措施至关重要。软土地层和硬土地层在物理性质上存在显著差异,对于软土地层,由于其自稳性差,需要更加谨慎地控制土压,以防土体失稳;而对于硬土地层,则可以适当提高掘进速度,但仍需确保土压处于平衡状态。最后,加强施工监测和安全预警是土压平衡控制技术的另一重要方面。通过实时监测土压、盾构机姿态等关键参数,可以及时发现潜在的安全隐患,并采取相应的措施进行预防和控制。同时,建立安全预警系统可以在事故发生前进行预警,从而最大程度地减少事故带来的损失。

### 3.3 泥浆制备与处理技术

泥浆制备与处理技术是盾构隧道施工中至关重要的环节,其主要目标是为了保持土体的稳定,减少坍塌和地表沉降的风险,同时也要保证盾构机的正常掘进。首先,选择合适的泥浆材料是制备泥浆的第一步。这需要根据工程地质条件和施工要求来进行。常见的泥浆材料包括膨润土、羧甲基纤维素等,这些材料具有优秀的悬浮性和稳定性,能够有效地保护土体,防止坍塌。其次,在泥浆制备过程中,需要控制好泥浆的比重、粘度、含砂量等参数。这些参数直接影响到泥浆的性能和效果<sup>[4]</sup>。如果参数控制不当,可能会导致泥浆失去稳定性,甚至对盾构机的正常掘进造成影响。因此,需要定期对泥浆进行检测,确保各项参数在正常范围内。最后,泥浆处理也是一项重要的技术。在盾构掘进过程中,会产生大量的泥浆,需要进行处理以防止环境污染。常见的泥浆处理方法包括沉淀法、固液分离法等,这些方法能够有效地去除泥浆中的杂质和有害物质,使泥浆得到循环利用。

### 3.4 测量与导向控制技术

测量与导向控制技术是地铁隧道盾构掘进施工中的一项关键技术,其目的是确保盾构机按照设计要求进行掘进,并保证隧道施工的精度和质量。首先,测量技术是导向控制的基础。在盾构掘进过程中,需要进行高精

度的测量,以获取盾构机实时位置和姿态的数据。这些数据可以帮助施工人员了解盾构机的运行状态,及时发现掘进过程中的偏差,并采取相应的措施进行纠正。常用的测量仪器包括全站仪、GPS等,这些仪器能够实现高精度、快速的数据采集和处理。其次,导向控制技术是实现盾构机精确掘进的关键。通过使用先进的导向控制系统,可以根据测量数据和设计要求,对盾构机的推进方向和姿态进行实时调整,确保掘进精度和稳定性。导向控制系统通常由控制算法、执行机构和传感器等组成,能够实现自动化或半自动化的掘进控制。最后,加强施工监测也是导向控制的重要环节。在盾构掘进过程中,需要定期对隧道进行监测,了解隧道变形、沉降等情况,及时发现和解决潜在问题。同时,施工监测数据也可以为后续施工提供参考和借鉴,帮助施工人员更好地掌握施工规律和优化施工工艺。

### 3.5 衬砌与防水技术

衬砌与防水技术是地铁隧道盾构掘进施工中的一项重要技术,其目的是为了提高隧道结构的稳定性和耐久性,同时防止水的渗漏和侵蚀。首先,衬砌是隧道结构的重要组成部分,其主要作用是承受隧道内部的荷载,保护隧道结构的安全。衬砌通常采用混凝土或钢筋混凝土材料,其设计需要根据隧道跨度和地质条件等因素进行确定。在盾构掘进施工过程中,需要进行衬砌的预制和运输,确保衬砌的尺寸和强度符合设计要求。其次,防水技术也是衬砌与防水施工中不可忽视的一环。由于地铁隧道处于地下水位以下,因此需要采取有效的防水措施,以防止水的渗漏和侵蚀。常用的防水材料包括防水卷材、防水涂料等,其选择需要根据工程实际情况进行确定。在衬砌施工完成后,需要进行防水层的施工,以确保隧道结构的耐久性和安全性。最后,衬砌与防水技术的施工质量对于隧道的安全性和使用寿命具有重要影响。因此,需要加强施工质量的控制和监督,确保衬砌和防水层的施工质量符合设计要求。同时,还需要定期对隧道进行检测和维护,及时发现和处理潜在的渗漏和侵蚀问题,确保隧道结构的长期安全和稳定。

### 3.6 风险控制技术

风险控制技术是地铁隧道盾构掘进施工中不可或缺

的一环,其目的是预防和应对施工过程中可能出现的各种风险,保障施工安全和质量。首先,风险识别是风险控制的第一步。在盾构掘进施工前,需要对工程进行全面的风险评估,识别出可能出现的风险因素,如地质条件变化、盾构机故障、施工管理问题等。通过对这些风险因素的分析,制定相应的预防措施,以降低风险发生的可能性。其次,加强施工监测是风险控制的重要手段。在盾构掘进施工过程中,需要利用各种监测仪器和设备,对施工环境和盾构机运行状态进行实时监测,及时发现异常情况,并采取相应的应对措施,防止风险扩大<sup>[5]</sup>。同时,监测数据也可以为后续施工提供参考和借鉴,帮助施工人员更好地掌握施工规律和优化施工工艺。最后,应急预案的制定和实施也是风险控制的重要组成部分。在出现紧急情况时,能够迅速启动应急预案,采取有效的应对措施,最大程度地减少人员伤亡和财产损失。

结语:综上所述,铁隧道盾构掘进施工关键技术的研究与应用对于隧道建设的顺利进行至关重要。通过合理的盾构机选型与设计、精确的土压平衡控制、科学的掘进参数设定以及高效的隧道衬砌拼装和同步注浆技术,能够有效确保隧道施工的安全性和掘进效率。未来,随着科技的不断进步和盾构掘进技术的不断创新,相信盾构掘进法将在更多领域发挥更大的作用,为地下空间的开发利用提供更加有力的技术支持。

### 参考文献

- [1]郑新定,王红卫,周健.考虑人为因素的盾构隧道风险分析和控制模型研究[J].隧道建设,2020,33(9):720-725
- [2]徐杏华,李朝,丛敏,等.地铁工程盾构法施工风险分析与规避措施[J].常州工学院学报,2020,25(1):40-43
- [3]张海彦,何平,胡友刚,等.盾构隧道穿越既有桥梁桩基础风险控制值的确定[J].北京交通大学学报,2020,37(6):45-50+54
- [4]张海彦,何平,胡友刚,等.盾构隧道穿越既有混凝土桥梁结构的风险控制指标[J].中国铁道科学,2020,35(3):47-55
- [5]刘泽森.不良地质条件下盾构掘进技术的应用[J].嘉兴学院学报,2021,33(6):101-103.