

地铁隧道盾构施工掘进技术要点

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: 本文聚焦于地铁隧道盾构施工掘进技术的核心要点,从盾构施工的基本原理出发,逐步深入到具体技术细节。文章详细论述了盾构机选型、施工准备、掘进参数控制等关键环节,同时强调了管片拼装和同步注浆对地层稳定的重要性。通过结合工程实例,本文旨在为地铁隧道盾构施工提供全面的技术指导和实用的操作建议,助力相关从业人员提升施工质量和安全水平。

关键词: 地铁隧道; 盾构施工; 掘进技术要点

引言

随着城市化的加速和交通拥堵问题的日益严重,地铁建设成为了解决城市交通问题的重要途径。盾构施工技术,凭借其高效、安全且环保的特点,在地铁隧道建设中扮演着举足轻重的角色。本文旨在深入探讨地铁隧道盾构施工掘进技术的核心要点,通过系统分析和总结,为相关领域的工程实践提供有价值的参考和指导。

1 地铁隧道盾构施工基本原理和流程

1.1 基本原理

盾构施工,作为一种高效、安全的地下隧道施工方法,其基本原理是通过专门的盾构机械设备在土层中推进,并利用盾构机前端的刀盘切削土层,同时借助盾构机内部的运输系统将切削下来的土体运出隧道。在盾构施工过程中,盾构机扮演着至关重要的角色。盾构机通常由前盾、中盾和尾盾三大部分组成,其中前盾装有刀盘和切削刀具,负责切削土层;中盾设有推进油缸和支撑系统,用于控制盾构机的推进方向和速度;尾盾则负责安装管片和注浆设备。当盾构机开始工作时,其前端的刀盘开始旋转并切削土层。被切削下来的土体通过刀盘上的开口进入盾构机内部的土仓。在土仓内,土体经过搅拌和压缩后,通过螺旋输送机等运输设备被运送到盾构机的后方,并最终被运出隧道^[1]。为了保持开挖面的稳定,盾构机在推进过程中需要精确控制土仓压力。土仓压力的大小应根据地层的性质和水文条件进行调整,以确保开挖面的稳定和安全。

1.2 流程

盾构施工流程是一个复杂而有序的过程。首先,需要根据工程地质条件、隧道设计参数和施工要求等因素进行盾构机选型。选型过程中需要考虑盾构机的类型、刀盘型式、驱动方式以及主要技术参数等因素,以确保盾构机能够满足实际施工需求。接下来是施工准备阶

段。在这一阶段,需要进行现场勘查、施工方案设计、设备调试以及人员培训等工作。现场勘查需要对工程地质条件进行详细了解,为施工方案设计提供依据;施工方案设计则需要综合考虑各种因素,制定合理的掘进方案 and 支护措施;设备调试则是对盾构机及其配套设备进行全面的检查和调试,确保设备在施工过程中能够正常运行;人员培训则是对施工人员进行专业技能和安全知识的培训,提高施工人员的素质和技能水平。然后是掘进参数控制阶段。在这一阶段,需要根据地层性质、刀具磨损情况等因素动态调整掘进参数,包括推进速度、刀盘转速、扭矩等参数的控制。合理的掘进参数能够保证盾构机稳定、高效掘进,降低设备故障率。紧接着是管片拼装阶段。管片是隧道的永久支护结构,其拼装质量直接影响到隧道的结构安全和防水性能。在管片拼装过程中,需要遵循一定的顺序和方法进行拼装,确保管片之间的连接紧密、稳定。同时还需要注意管片的定位、调整以及注浆孔的预留等工作。最后是同步注浆与地层稳定阶段。在盾构掘进过程中,为了填充盾尾空隙并稳定地层,需要进行同步注浆作业。注浆材料、注浆压力、注浆量等参数的选择和控制直接关系到注浆效果和地层稳定。通过合理的注浆作业,可以有效地控制地层的变形和沉降,保证隧道的结构安全和稳定性。

2 地铁隧道盾构施工掘进技术要点

2.1 盾构机选型

盾构机作为盾构施工的核心设备,其选型直接关系到施工的效率、安全以及成本。首先,工程地质条件是盾构机选型的基础。不同的地质条件对盾构机的性能有着不同的要求。例如,在软土地层中,需要选择具有较大推力和扭矩的盾构机,以确保能够顺利切削土体并保持稳定;而在硬岩地层中,则需要选择具有高强度刀具和耐磨性能的盾构机,以应对硬岩的切削挑战。其次,

隧道断面尺寸也是盾构机选型的重要考虑因素。盾构机的开挖直径和断面形状需与隧道设计相匹配。对于大断面隧道,需要选择具有较大开挖直径和足够刚度的盾构机,以确保施工过程中的稳定性和安全性。此外,施工工期也会对盾构机选型产生影响。如果工期紧张,需要选择掘进速度快、效率高的盾构机,以加快施工进度。但同时也要考虑盾构机的可靠性和维护性,避免因设备故障而影响施工进度。在盾构机选型过程中,还需要关注盾构机的类型、刀盘型式以及驱动方式等具体技术参数。盾构机的类型主要有土压平衡盾构、泥水平衡盾构等,需根据具体地质条件和施工要求选择合适的类型。刀盘型式则直接影响土体的切削效果和掘进速度,需根据地层性质选择合适的刀盘型式。驱动方式则关系到盾构机的推进力和稳定性,需选择可靠的驱动系统^[2]。

2.2 施工准备

施工准备涵盖了从项目启动到盾构机实际掘进前的所有准备工作。首先,现场勘查是施工准备的基础。勘查团队需要对施工现场的地质、水文地质条件进行详细勘探,收集地层分布、土壤类型、地下水位、岩石硬度等关键数据。这些数据将为后续的施工方案设计提供重要依据,确保掘进方案能够充分适应实际地质条件。其次,施工方案设计是施工准备的核心。设计团队需根据现场勘查结果,综合考虑工程地质、水文地质、环境条件以及隧道的设计要求,制定出一套科学合理的掘进方案。这包括确定盾构机的掘进路线、掘进速度、土仓压力等关键参数,以及选择合适的支护措施来确保隧道结构的稳定性。在施工方案设计中,还需要特别注意对可能出现的风险进行预测和评估,并制定相应的应对措施。例如,针对可能遇到的不良地质条件或地下水涌入等风险,应提前制定好相应的处理方案,确保在遇到问题时能够迅速有效地进行应对。最后,设备调试是施工准备中不可或缺的一环。在盾构机进场前,需要对盾构机及其配套设备进行全面的检查和调试,确保设备性能良好、运行稳定。这包括对盾构机的刀盘、推进系统、土仓压力控制系统等关键部件进行检查和测试,以及对配套设备的运行情况进行确认。此外,还需要对施工人员进行全面的技术培训和安全交底,确保他们熟悉盾构机的操作方法和安全规程,能够在实际施工中正确、安全地操作设备。

2.3 掘进参数控制

掘进参数控制直接关系到盾构机的掘进效率、施工安全以及隧道结构的稳定性。首先,推进速度是掘进参数中最为关键的一项。推进速度的选择应根据地层的性

质、土体的稳定性以及盾构机的性能来确定。在软土地层中,推进速度应适当降低,以避免因土体扰动过大而导致开挖面失稳;而在硬岩地层中,则可以适当提高推进速度,以提高掘进效率。此外,推进速度还应与刀盘转速、扭矩等参数相匹配,以确保盾构机的平稳运行。其次,刀盘转速和扭矩的控制也至关重要。刀盘转速的选择应根据地层的硬度和刀具的耐磨性来确定。在硬度较高的地层中,应适当降低刀盘转速,以减少刀具的磨损;而在较软的地层中,则可以适当提高刀盘转速,以提高切削效率。扭矩的控制则需要根据推进阻力和土仓压力来调整,以确保盾构机在掘进过程中不会因扭矩过大而发生故障。此外,掘进参数控制还需要根据地层变化和刀具磨损情况进行动态调整。在掘进过程中,应密切关注地层的变化情况,及时调整掘进参数以适应新的地层条件。同时,还应定期检查刀具的磨损情况,及时更换磨损严重的刀具,以确保盾构机的正常掘进。掘进参数控制的另一个重要方面是保持开挖面的稳定。在盾构掘进过程中,开挖面的稳定性对于隧道结构的安全至关重要。因此,在掘进参数控制中,应特别注意保持土仓压力的稳定,避免土仓压力过高或过低导致开挖面失稳。同时,还应根据实际情况采取适当的支护措施,以确保隧道结构的稳定性。

2.4 管片拼装

在地铁隧道盾构施工中,管片拼装无疑是一个至关重要的环节。管片作为隧道的永久支护结构,其拼装质量不仅影响隧道的整体稳定性,还关系到隧道使用期间的安全性能。管片拼装的首要原则是遵循一定的顺序和方法。通常,管片会按照设计好的顺序,从下到上、从两侧到中间进行拼装。这种拼装顺序有助于确保管片之间的连接紧密、稳定,从而形成一个整体的支护结构。在拼装过程中,还需要使用专业的拼装设备,如拼装机械手,以确保管片能够准确、快速地安装到位。管片定位和调整是拼装过程中的关键环节。在定位时,需要确保管片与隧道轴线保持一致,避免出现偏移或扭转。调整则主要是针对管片的高程、平面位置以及相邻管片之间的间隙进行微调,以确保所有管片都能够紧密贴合,形成一个连续的支护环。注浆孔的预留也是管片拼装中需要注意的事项。注浆孔主要用于在管片背后进行注浆作业,以填充管片与土层之间的空隙,增强隧道的稳定性。因此,在拼装过程中,需要按照设计要求在管片上预留出注浆孔的位置,并确保孔洞的畅通。此外,管片拼装还需特别关注管片的质量。在拼装前,应对管片进行全面的检查,包括外观质量、尺寸精度、混凝土强度

等方面。只有符合要求的管片才能用于拼装，以确保隧道结构的安全性和耐久性。

2.5 同步注浆与地层稳定

在地铁隧道盾构施工中，同步注浆技术与地层稳定性紧密相连，是确保盾构机顺利掘进和隧道结构安全的关键措施。同步注浆，顾名思义，就是在盾构掘进的同时，通过注浆系统向盾尾空隙中注入特定的浆液材料。注浆材料的选择至关重要，它直接决定了注浆后地层的稳定性和隧道的长期安全性。常用的注浆材料包括水泥浆、膨润土浆等，这些材料具有良好的流动性、可塑性和自硬性，能够有效填充盾尾空隙并固结周围土体。在选择注浆材料时，需充分考虑工程地质条件，如土体的渗透性、压缩性、强度等，以确保注浆材料能够与周围土体形成良好的结合^[3]。注浆压力和注浆量是两个相互关联的参数，它们的合理控制是实现有效注浆和地层稳定的关键。注浆压力过小可能导致浆液无法充分填充盾尾空隙，而注浆压力过大则可能破坏周围土体的结构，造成地层失稳。因此，在实际施工中，需根据工程地质条件、盾构机掘进速度等因素，动态调整注浆压力和注浆量，确保浆液能够均匀、连续地注入盾尾空隙。除了注浆材料和注浆参数的控制外，同步注浆的实施还需注意以下几点：一是确保注浆系统的可靠性，避免出现堵塞、泄漏等问题；二是加强注浆过程的监测和记录，及时掌握注浆情况和地层变化；三是根据注浆效果及时调整注浆方案，确保注浆质量和地层稳定。

3 实际工程案例

近年来，在某大型城市的地铁X号线建设项目中，盾构施工技术发挥了巨大作用。该项目全长约20公里，其中约15公里采用盾构法施工。地质条件复杂，包括粘土、砂土、砾石以及局部硬岩，同时线路穿越多个居民区和重要基础设施，对施工安全和环境保护提出了极高要求。

3.1 盾构机选型与配置

针对复杂地质条件，项目选用了土压平衡盾构机，其刀盘直径达到6.5米，推力可达80,000千牛。盾构机配备有先进的土压控制系统、泥浆处理系统和自动导向系统，确保掘进精度和效率。

3.2 施工准备与掘进参数

施工前，进行了详细的地质勘探和土壤力学试验，确定了各土层的物理力学参数。根据这些数据，制定了掘进参数表，包括推进速度（平均8cm/min）、刀盘转速（1.5rpm）和扭矩范围（40,000-60,000Nm）。在掘进过程中，实时监测土层变化，并调整参数以适应不同地质条件。

3.3 管片拼装与质量控制

管片拼装采用了自动化拼装系统，每环由6块管片组成，拼装时间约为45分钟/环。通过严格控制管片的生产质量（尺寸偏差 $< \pm 1\text{mm}$ ，混凝土强度 $\geq \text{C50}$ ）和拼装精度（环间错台 $< 2\text{mm}$ ，纵向缝隙 $< 4\text{mm}$ ），确保了隧道的整体稳定性和防水性能。

3.4 同步注浆与地层稳定

同步注浆采用了水泥-水玻璃双液浆，注浆压力控制在0.3-0.5MPa，注浆量约为理论空隙的150%-200%。通过实时监测地表沉降和隧道变形，注浆效果良好，地表最大沉降量控制在30mm以内，隧道收敛变形小于10mm。

3.5 施工效果与总结

经过近两年的施工，项目成功完成了所有盾构掘进任务。掘进过程中，盾构机性能稳定，故障率低，月均掘进速度达到240米以上。隧道结构安全可靠，防水性能优良，满足了设计要求。

结语

地铁隧道盾构施工掘进技术作为现代城市地铁建设的重要手段，其技术要点涉及盾构机选型、施工准备、掘进参数控制、管片拼装以及同步注浆与地层稳定等多个方面。通过深入理解和掌握这些技术要点，可以为地铁隧道的顺利建设提供有力保障，推动城市交通的持续发展。未来，随着盾构施工技术的不断创新和优化，其在地铁隧道建设中的应用将更加广泛和深入。

参考文献

- [1]曾雪松.地铁隧道盾构施工掘进技术要点[J].建材与装饰,2021,17(21):285-286.
- [2]吴沛.地铁隧道盾构施工掘进技术要点解析[J].建筑工程技术与设计,2019(10):288.
- [3]宋超洋.地铁隧道盾构施工掘进技术要点分析[J].魅力中国,2019(27):357-358.