

矩形顶管施工技术在城市地下空间开发领域的应用

尹兆卫

中隧方盾（天津）市政工程有限公司 天津 300457

摘要：本文聚焦于矩形顶管施工技术在城市地下空间开发领域的应用。首先阐述城市地下空间开发需求及矩形顶管技术优势，接着分析该技术在城市地下综合管廊、地铁车站出入口及地下通道等工程中的具体应用案例，探讨其施工过程中的关键技术与难点突破，最后对矩形顶管技术的发展前景进行展望，旨在为城市地下空间的高效开发提供理论支持与实践参考。

关键词：矩形顶管施工技术；城市地下空间开发；应用案例；关键技术

引言

随着城市化进程的加速，城市人口急剧增加，土地资源日益紧张，城市地下空间开发成为解决城市发展瓶颈的重要途径。地下综合管廊、地铁、地下停车场等地下设施的建设需求不断增长，对施工技术提出了更高要求。矩形顶管施工技术作为一种先进的非开挖施工技术，具有对地面交通和环境影响小、施工精度高、空间利用率大等显著优势，在城市地下空间开发中展现出巨大的应用潜力。

1 矩形顶管施工技术概述

矩形顶管施工技术是基于传统圆形顶管技术发展而来的一种新型地下空间施工方法，它代表着地下工程建设领域在技术创新与空间利用优化方面的重要突破。该技术采用矩形截面的顶管机，这一独特设计使其在地下空间利用上具有显著优势。通过主顶油缸及中继间等的协同推力作用，将工具管或掘进机从精心设置的工作井内平稳地穿过复杂多变的土层，一直推进到预定的接收井内并吊起。与此同时，紧随工具管或掘进机后的管道被精准地埋设在两井之间，从而实现了非开挖铺设地下管道或构筑物的目标。与传统圆形顶管相比，矩形顶管的优势体现在多个关键方面。在空间利用率上，矩形截面更贴近实际建筑空间的需求，能够更加有效地利用有限的地下空间，大大减少了不必要的土方开挖量。这不仅降低了工程成本，还缩短了施工周期，提高了工程的经济效益^[1]。从环境影响角度来看，矩形顶管施工属于非开挖技术，对周边环境的干扰极小。在城市繁华地段、建筑物密集区域以及地下管线复杂地区，它能最大程度避免对地面交通、商业活动和居民生活的干扰，减少因施工引发的噪音、粉尘污染以及对地下管线的破坏风险，具有良好的环境友好性。因此，矩形顶管技术尤其适用于这些对施工限制条件较多的区域进行地下空间

开发，为城市地下空间的合理利用提供了可靠的技术支持。

2 矩形顶管技术在城市地下空间开发中的典型应用案例

2.1 城市地下综合管廊建设

在城市地下综合管廊建设中，矩形顶管技术凭借其独特优势发挥了至关重要的作用。以某城市核心区地下综合管廊工程为例，该区域地处繁华商业街，地面交通流量极大，车水马龙，任何大规模的施工活动都可能导致交通瘫痪。同时，地下管线错综复杂，犹如一张密集的蜘蛛网，涵盖了电力、通信、给排水、燃气等多种重要管线，采用传统明挖施工方法面临着重重困难。明挖施工不仅需要大面积开挖地面，破坏现有的交通秩序和商业环境，还会对地下管线造成严重的破坏风险，导致施工成本大幅增加，且施工周期漫长，对城市正常运转产生极大的负面影响。而矩形顶管技术的应用为该工程带来了转机。在施工前，工程团队根据详细的地质勘察报告和管廊设计要求，精心选用了合适型号的矩形顶管机。这种顶管机具备强大的适应能力，能够应对复杂的地质条件^[2]。在施工过程中，通过先进的测量和导向系统，精确控制顶进方向和姿态，确保管廊能够按照设计要求准确铺设。施工人员密切关注各项施工参数，根据实际情况及时调整顶进速度、注浆压力等关键指标，保证施工的顺利进行。该工程的成功实施取得了显著的经济和社会效益。从经济层面来看，矩形顶管技术减少了土方开挖和回填量，降低了材料运输和场地租赁等成本，同时缩短了施工周期，减少了工程延期带来的经济损失。从社会层面来看，有效解决了城市“马路拉链”问题，避免了因反复开挖道路对城市形象和居民生活造成的影响。地下综合管廊将各种管线集中管理，提高了地下管线的安全性和可靠性，减少了管线事故的发生频

率,为城市的稳定运行提供了有力保障。此外,施工过程对地面商业活动和交通的影响被控制在最小范围内,保障了城市的正常运转,促进了城市经济的持续发展。

2.2 地铁车站出入口及地下通道建设

在地铁建设中,矩形顶管技术为地铁车站出入口及地下通道的施工提供了全新的解决方案,展现了其独特的优越性。以某地铁车站出入口工程为例,该出入口需穿越城市主干道,而主干道是城市交通的命脉,车流量大、交通繁忙,对施工期间的交通疏导和沉降控制提出了极高的要求。同时,周边建筑物距离较近,施工过程中的任何微小振动都可能对建筑物的结构安全造成威胁。面对这些挑战,工程团队采用了矩形顶管施工方法。在施工准备阶段,对顶管机进行了精心选型,根据地质条件和工程要求选择了性能优良、适应性强的设备。同时,对施工参数进行了优化设计,结合先进的同步注浆技术,确保施工过程中的地层稳定。同步注浆技术能够在顶管机顶进过程中及时向管外壁与土层之间的空隙注入浆液,填充土体空隙,增强地层强度,有效控制地面沉降^[3]。在施工过程中,施工人员严格按照操作规程进行作业,密切监测各项施工数据。通过实时调整顶进速度、注浆压力和流量等参数,确保了顶管机的平稳顶进。同时,利用先进的监测设备对周边建筑物的沉降和变形进行实时监测,一旦发现异常情况立即采取措施进行处理。矩形顶管施工在该工程中取得了显著成效。施工速度快是其一优势,相比传统施工方法,大大缩短了施工周期,减少了对市民出行的影响。同时,通过精确的控制和有效的技术措施,成功确保了周边建筑物的安全,未出现因施工导致的建筑物损坏情况。这为地铁的顺利运营提供了有力保障,使得市民能够更加便捷、安全地使用地铁交通,提升了城市的交通服务水平。

3 矩形顶管施工过程中的关键技术与难点突破

3.1 顶管机选型与刀盘设计

顶管机选型是矩形顶管施工的关键环节,其合理性直接关系到整个工程的成败。在选型过程中,需要综合考虑多种因素,其中工程地质条件是首要考虑因素。不同的地质条件对顶管机的性能要求差异很大。例如,在软土地层中,土体具有较高的含水量和较低的强度,容易出现塌方等问题,因此顶管机的刀盘需具备较强的切削能力,能够快速、有效地切削土体,防止土体堵塞刀盘,确保顶进过程的顺利进行。同时,刀盘的结构设计应合理,能够适应软土地层的变形特性,减少对周围土体的扰动。而在岩层中,土体硬度高、强度大,顶管机需要具备强大的破岩能力。此时,刀盘需采用高强度

材料制造,如合金钢等,以提高刀盘的耐磨性和抗冲击性。并配备合适的破岩工具,如滚刀、盘形滚刀等,通过合理的布置和参数设置,确保能够高效地破碎岩石,提高顶进效率。除了地质条件,地下水位、顶进距离等因素也对顶管机选型有重要影响。地下水位较高时,需要考虑顶管机的防水性能和排水能力,防止地下水涌入顶管机内部影响施工。顶进距离较长时,则需要选择具有较高可靠性和耐久性的顶管机,确保在整个顶进过程中能够稳定运行^[4]。刀盘设计是顶管机选型的重要组成部分。刀盘的开口率、转速等参数的合理设置对提高施工效率和保证施工质量至关重要。开口率过大,虽然能够提高切削效率,但可能会降低刀盘的强度,增加刀盘损坏的风险;开口率过小,则会导致切削阻力增大,影响顶进速度。刀盘转速也需要根据地质条件和切削要求进行优化调整,过高的转速可能会加速刀盘的磨损,过低的转速则无法满足切削需求。因此,在刀盘设计过程中,需要通过大量的试验和模拟分析,结合实际工程经验,确定最佳的参数组合,以实现顶管机的高效、稳定运行。

3.2 顶进方向控制与姿态调整

矩形顶管在顶进过程中,由于受到地层不均匀性、顶进力不均衡等多种因素的影响,极易出现偏移、倾斜等问题,这些问题会严重影响施工精度和工程质量。如果顶进方向偏离设计轴线,可能导致管节无法准确连接,影响地下管道或构筑物的正常使用;姿态倾斜过大则可能使管节承受不均匀的应力,导致管节损坏,甚至引发安全事故。因此,精确控制顶进方向和及时调整顶管姿态是施工中的难点之一。目前,常采用激光导向系统实时监测顶管机的位置和姿态。激光导向系统通过发射激光束,在顶管机内部设置接收器,能够精确测量顶管机的位置、倾斜角度和旋转角度等参数,并将这些数据实时传输到控制中心。施工人员根据监测数据,通过调整主顶油缸的推力分布、纠偏千斤顶的伸缩量等措施,实现顶管机的精确导向和姿态调整。主顶油缸是提供顶进力的主要设备,通过合理分配各个油缸的推力,可以改变顶管机的受力状态,从而调整其顶进方向。例如,当顶管机出现向右偏移的趋势时,可以适当增大左侧主顶油缸的推力,减小右侧主顶油缸的推力,使顶管机向左回调。纠偏千斤顶则专门用于调整顶管机的姿态,通过伸缩纠偏千斤顶,可以改变顶管机的局部受力,实现对其倾斜角度的微调。在实际施工过程中,施工人员需要根据激光导向系统的反馈信息,及时、准确地做出调整决策。同时,要密切关注顶管机的运行状态

和各项施工参数的变化,确保调整措施的有效性和安全性。通过不断优化控制策略和调整方法,提高顶进方向控制和姿态调整的精度,保证顶管施工的质量和安

3.3 地层变形控制与环境保护

矩形顶管施工不可避免地会对周围地层产生扰动,引起地面沉降和变形,这对周边建筑物、地下管线等造成潜在威胁。如果地面沉降过大,可能导致建筑物开裂、倾斜甚至倒塌,地下管线破裂、泄漏等严重后果,影响城市的正常运行和居民的生命财产安全。因此,地层变形控制是矩形顶管施工中的重要任务。为了有效控制地层变形,通常采取合理的注浆加固措施。在顶管机周围和管节外壁进行同步注浆和二次注浆是常用的方法。同步注浆是在顶管机顶进过程中,通过注浆管道同时向管外壁与土层之间的空隙注入浆液,填充土体空隙,增强地层强度,减少地层变形。二次注浆则是在顶管机顶进一段距离后,对已经注入的浆液进行补充和加固,进一步提高地层的稳定性。注浆材料的选择和注浆工艺的控制对注浆效果起着关键作用。注浆材料应具有良好的流动性、填充性和早期强度,能够快速填充土体空隙并形成具有一定强度的结石体。常用的注浆材料有水泥浆、水泥-水玻璃双液浆等,根据地质条件和工程要求进行合理选择。注浆工艺包括注浆压力、注浆量和注浆时间等参数的控制。注浆压力应根据地层条件和注浆部位进行确定,过大的压力可能导致地层破裂,过小的压力则无法使浆液充分填充空隙。注浆量和注浆时间应根据顶进速度和地层变形情况进行动态调整,确保注浆效果满足要求。同时,加强对周边环境的监测是保障施工安全和环境稳定的重要手段。通过在周边建筑物、地下管线等位置设置监测点,实时掌握地层变形情况。监测内容包括地面沉降、建筑物倾斜、地下管线位移等参数。一旦监测数据超过预警值,立即停止施工,分析原因并采取相应的措施进行处理,如调整注浆参数、加强支护等,确保施工安全和周边环境的稳定。通过地层变形控制和环境保护措施的有效实施,矩形顶管施工能够

实现与城市环境的和谐共存,为城市地下空间的可持续发展提供保障。

4 矩形顶管技术的发展前景展望

随着城市地下空间开发需求的不断增长和施工技术的不断进步,矩形顶管技术将迎来更广阔的发展空间。未来,矩形顶管技术将朝着大型化、智能化、绿色化方向发展。大型化矩形顶管机将能够满足更大跨度、更深层次的地下空间开发需求;智能化技术的应用将实现顶管施工的自动化控制和远程监控,提高施工效率和安全性;绿色化施工理念将贯穿于矩形顶管技术的全过程,减少施工对环境的影响,实现可持续发展。此外,矩形顶管技术与其他施工技术的结合,如与盾构技术、明挖法等联合应用,将为城市地下空间开发提供更多元化、更高效的解决方案。

结束语

矩形顶管施工技术作为一种先进的城市地下空间开发技术,具有显著的优势和广阔的应用前景。通过在地下综合管廊、地铁车站出入口及地下通道等工程中的成功应用,充分证明了该技术的可行性和有效性。在施工过程中,关键技术的掌握和难点问题的突破是确保工程质量和施工安全的重要保障。未来,随着技术的不断创新和发展,矩形顶管技术将在城市地下空间开发中发挥更加重要的作用,为城市的可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]刘宗钦,李扬,曹德万.超大截面矩形顶管施工技术研究[J].江苏建筑,2021(06):55-58.
- [2]骆发江,刘强,黄松松,等.综合管廊下穿城市排水箱涵大截面双矩形顶管施工技术[J].施工技术(中英文),2021,50(22):48-52.
- [3]武兆玉.谈矩形顶管施工技术在城市管廊中的应用[J].山西建筑,2018,44(04):80-82.
- [4]郝磊.试论矩形顶管工法在地下通道工程中的应用[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2018(12):125-127.