

市政给排水施工中顶管技术的应用探讨

张 鹏

中铁三局集团有限公司运输工程分公司 山西晋中 030600

摘 要: 随着城市化进程的加速,市政给排水系统的建设与改造需求日益增长。本文深入探讨了顶管技术在市政给排水施工中的应用。首先对顶管技术进行概述,阐述其基本原理和特点。接着分析了顶管技术在市政给排水施工中的优点,包括对环境影响小、施工周期短和成本低等方面。然后详细论述了顶管技术在市政给排水施工中的应用要点,如泥浆制备和注浆工艺、顶进控制技术以及曲线顶管技术。最后得出结论,强调顶管技术在市政给排水施工中的重要性和应用前景,为相关工程实践提供理论支持和技术参考。

关键词: 顶管技术;市政给排水施工;应用要点

引言

市政给排水工程在城市基础设施建设中占据着举足轻重的地位,它的建设质量与城市居民生活用水及排水需求有着直接的联系。伴随着城市的不断发展与建设,常规开挖施工方式有时候会遇到很多挑战,比如对城市交通造成冲击,对周围环境造成损害等。顶管技术这种非开挖施工技术被越来越多地运用于市政给排水施工。本技术具有受环境影响较小、施工周期短、造价低等优点,可有效解决传统开挖施工方式带来的难题。因此,对市政给排水施工中顶管技术的运用进行深入研究具有非常现实的意义。

一、顶管技术概述

顶管作为常用的非开挖施工技术主要应用于地下管道敷设,被广泛地应用于市政工程、铁路、公路以及水利等行业。它的核心就是利用液压或者机械推力的作用,把管道由起点顶入井下,一直顶到目标部位。在施工时,一般都会在管道的前端安装掘进设备,该设备主要用于切削土层并将渣土排出,而在后方则通过顶进装置逐渐推进管道,从而避免了大规模的开挖工作,特别适用于穿越城市密集区域,如道路、河流或建筑物密集区,以及特殊地质条件下的工程项目。

顶管施工采用垂直工作井结构,利用液压千斤顶配合中继间推进管道,顶进轴线偏差需控制在 $\pm 30\text{mm}$ 以内,管节要满足边长误差 $\leq \pm 2\text{mm}$ 、高度误差等技术标准。它的施工流程涉及管节预制、顶管机组装、始发段顶进、正常段顶进和接收段加工。

顶管技术按其施工方式及设备分为人工顶管与机械顶管两种。人工顶管主要靠人工挖掘与顶进来完成,适

合短距离、小管径工程中使用,造价低廉,但是效率受限;机械顶管是由专业掘进机完成的,自动化程度很高,适合长距离或者复杂地质条件下使用。顶管技术相对于传统开挖施工具有显著优势,其能够降低对地面交通及周围环境的冲击,跨越城市内河过程中能够避免河道出现断流现象,同时能够通过泥浆配比的调节来均衡地下水压力。在某南方城市的一个工程项目中,使用泥水平衡顶管机来铺设DN1200污水管穿越了5条主要道路,这



DN3500 泥水平衡顶管



DN3500 土压平衡顶管

样做使得施工周期相较于明挖工程缩短了60%，地面的沉降量被限制在20mm之内，这为周围的建筑基础提供了有效的保护。作为项目部管理人员曾经参建了山西省阳曲县多项顶管工程，包括采用DN3500泥水平衡顶管机穿越高速公路以及采用DN3500土压平衡顶管机穿越650米山体的超长距离顶管工程，现场积累了丰富的顶管工程施工经验。

二、顶管技术在市政给排水施工中的优点

(一) 对环境的影响小

传统的市政给排水施工方法通常需要进行大面积的开挖，这会对城市环境造成严重的破坏。例如，开挖会导致道路封闭，影响城市交通的正常运行，给居民的出行带来不便。同时，开挖产生的大量土方和建筑垃圾会占用大量的土地资源，并且在运输和处理过程中会产生扬尘和噪声污染，对周边环境造成不良影响。

而顶管技术不需要进行大面积的开挖，只需要在工作坑和接收坑的位置进行小范围的施工。这种施工方式可以避免对城市道路的破坏，减少对城市交通的影响。在城市排水管道的更新和维修中，顶管技术可以在不影响排水系统正常运行的前提下进行施工，不需要挖掘道路，从而节约时间和成本，并避免了城市环境的破坏。此外，顶管技术施工过程中产生的土方和建筑垃圾相对较少，对周边环境的污染也较小，有利于保护城市的生态环境。

(二) 施工周期短

传统的开挖施工方式需要进行大量的土方开挖、基础处理、管道安装等工作，施工过程较为复杂，施工周期较长。而且在施工过程中，还需要考虑天气等因素的影响，如雨天、冬季等恶劣天气会导致施工进度受阻。

顶管技术由于不需要进行大面积的开挖，施工过程相对简单，能够有效地缩短施工周期。在顶管施工中，工作坑和接收坑的施工可以同时进行，设备安装和顶进施工也可以连续进行，从而提高了施工效率。同时，顶管技术受天气等因素的影响较小，即使在恶劣天气条件下，也可以在工作坑内进行设备调试和管道连接等工作，保证施工的连续性。因此，顶管技术能够在较短的时间内完成市政给排水管道的施工任务，满足城市建设的需求。

(三) 成本低

传统的开挖施工方式需要投入大量的人力、物力和财力。在土方开挖过程中，需要使用大量的挖掘机、装载机机械等，并且需要雇佣大量的施工人员。同时，开挖产生的土方和建筑垃圾的运输和处理也需要一定的费用。此外，由于开挖施工会对城市交通和周边环境造成影响，还需要支付相应的补偿费用。

顶管技术虽然需要引进高端技术和设备，建设方向厂家需要研发先进技术和设备，但从整体成本来看，顶管技术仍然具有明显的优势。顶管技术不需要进行大面积的开挖，减少了土方开挖和基础处理的费用。同时，由于施工周期短，减少了人工费用和设备租赁费用。此外，顶管技术对城市交通和周边环境的影响较小，不需要支付大量的补偿费用。因此，顶管技术能够在保证工程质量的前提下，降低施工成本，提高经济效益。

三、顶管技术在市政给排水施工中的应用要点

(一) 泥浆制备和注浆工艺

泥浆制备及注浆工艺作为顶管施工的关键环节，对施工质量和效率有着直接的影响。泥浆的配制需要仔细配置，原料涉及膨润土、水及添加剂，其中膨润土为核心组分，具有较好的悬浮性和触变性。在配制过程中，首先将膨润土和水按照一定的配比搅拌均匀，然后添加适量的分散剂、增稠剂和其他添加剂来增强其性能。所用机器设备有大尺寸高速搅拌机及小尺寸快速搅拌器等，在搅拌机内加入水、悬浮剂及黏土，注浆成型后废坯及残余泥浆也可以倒出，但其量需要严格控制。泥浆应充分混合至少一小时，其时长由搅拌机的效率及进料量决定。在搅拌接近尾声的时候，仔细检查泥浆的质量、黏稠度以及触变性并作出最后的调整，然后再进一步混合。多数情况下，泥浆搅拌好后最好先过滤一遍，再放入装有大型搅拌器的容器，以缓慢速度搅拌，让泥浆保持悬浮状态，排尽气泡，持续调和并润滑泥浆。

对注浆工艺的要求也比较严格。注浆施工中应合理地控制注浆压力使之大于管道上部的静止土压力，并在此基础上对地表及地下水位的变化情况进行实时观测，以科学地掌握注浆压力与注浆量的关系。注浆方式分为同步注浆及补浆两种，同步注浆是在顶进的同时随着管道的顶进而同步进行的，使泥浆能够及时充填管道及土体空隙；补浆于顶进结束时进行泥浆套的补浆，以确保其完整性及稳定性。注浆管在安装过程中，钻孔后将端部设有注浆孔的钢管插入，并通过橡胶或者水泥浆止浆塞将管外和孔壁之间的缝隙封闭，以避免浆液泄漏。在制备浆液时，需要按照预定的比例进行搅拌，例如，水泥与水的比例是1:1.2，或者水玻璃与水泥的比例是1:3，确保搅拌过程至少持续3分钟以达到均匀状态；化学浆液现配现用，采用孔径为0.8mm的滤网滤除杂质，避免阻塞注浆管。注浆参数控制方面，注浆压力遵循“从低级至高级，分级升压”原则，注浆流量根据地层渗透性调整，注浆顺序采用“跳孔注浆”或“从外向内，自下而上”，避免浆液串孔，确保均匀填充。

（二）顶进控制技术

顶进控制是顶管施工的关键，它关系到管道的施工质量和安全，涵盖了顶力、走向、坡度以及沉降的诸多控制问题。

顶力的控制需要根据管道材质、管径、长度、地质条件等因素来确定允许的最大顶力。顶进时进行实时监控，如果顶力超过允许值则可以增大中继间的距离或者调节泥浆性能以减小。以某市政工程为例， $\Phi 1000\text{mm}$ 钢筋混凝土管在粘土层的顶进为例，其单段顶进力被限制在5000kN范围内，采用注浆减阻技术使顶进力减小到4200kN，从而避免了管材的变形；在砂层中， $\Phi 2000\text{mm}$ 钢管的顶进力被控制在8000-12000kN之间，某个污水处理厂的工程通过调整泥浆的配比，使顶进力稳定在9500kN，从而确保了施工的安全性。

方向控制是借助于先进的测量仪器与技术进行实时监控的，通常采用全站仪与激光导向测量相结合的方法。管道发生偏差时，千斤顶的推力及工具管的姿态都需要进行及时的调整。保证顶管沿着设定的轴线前进，避免发生偏离和弯曲，可以采用激光导向系统、陀螺仪或者全站仪对顶管进行实时的监控和控制。坡度控制应严格按照设计要求执行，并对坡度的变化情况实时监控，不符合要求的情况下对千斤顶推力及工具管姿态进行调整。

沉降控制有纵向、横向沉降控制两种。纵向沉降可以通过分段顶进、超前注浆、合理选择管节长度、控制顶进速度的方法来降低；横向沉降由导向系统、纠偏装置及顶进控制系统进行控制。同时利用地表沉降监测系统对存在的问题进行及时的发现与治理，可以通过加固地表、喷洒混凝土以及回填土方的方法来对地表沉降进行控制。

另外，要加强对管节安装质量的检验与验收，以保证安装的坚固与可靠；选用适当的管节材料及规格并采取适当的安装方式；设置泥浆循环系统对泥浆进行循环利用与治理，强化对泥浆质量的监控与管控，避免对环境造成污染；加强对测量人员的培训，增强测量的准确性与可靠性；科学地选用施工方法及设备以减少对地表环境的影响等。

（三）曲线顶管技术

曲线顶管是顶管设计和施工过程中由于地质条件的不同、地面建筑物的环保要求以及原地下构筑物拥挤而需要将工程路线确定为曲线时所采取的一种施工工艺，即在顶管或者盾构机械设施的辅助下，使管节中心线沿着设计弧线向前移动^[1]。

曲线顶管最小弯曲半径会受到很多因素的影响。当土体承载力较高时弯曲半径可较小；承载力较小时弯曲半径应较大。管道口径较大，弯曲半径要求也较大；口

径和半径都可以很小。管段长度较长且弯曲半径应较大；管段短小，半径可较小。施工顶力较大时弯曲半径应较大；顶力较小时半径可以很小。混凝土管最小弯曲半径分析中，可以忽略土体承载力及施工顶力的作用，只考虑管道口径尺寸、管段长度、木垫片厚度这三个因素对最小弯曲半径之间的关系。在假设管道的内径为 d 、壁厚为 t 、管段长度为 l 、木垫片厚度为 b ，并且壁厚是内径的1/10的条件下，木垫片允许的最大压缩率为50%，即 $t=d/10$ ， $S=b \cdot 50\%$ 的情况下，曲线的最小弯曲半径可以按照 $R_{\min}=l(d+2t)/(b-s)$ 或 $R_{\min}=12ld/5b$ 来计算。

就顶管施工种类而言，常用的分类是以顶进管之前的工具管或者顶管掘进机工作形式来划分手掘式顶管、挤压式顶管和半机械式或者机械式顶管等。当前比较盛行的平衡理论主要是气压平衡、泥水平衡、土压平衡等。气压平衡顶管在施工过程中利用具有一定气压的压缩空气来均衡地下水压力，疏干其水分，维持挖掘面的稳定性；泥水平衡顶管是在施工过程中使用泥水平衡顶管机进行顶管，通过泥水仓中的泥水压力来平衡土压与地下水压力之间的关系，并将废弃的土壤通过排出泥水进行运输；土压平衡顶管工法采用土压平衡式顶管掘进机来进行地下管道的顶进施工。

结论

顶管技术在市政给排水施工中优势显著。它能极大提高施工效率，降低地下管网建设难度，保护地下既有管线，实现环保目的，还可有效节约土地利用，为城市基础设施建设提供有力支持。在不同地层如粉砂地层、硬岩地层等的顶管施工中，积累了诸多经验，推动了顶管施工技术不断发展和创新。同时，对于曲线顶管，形成了钢顶管结构优化设计方法等。未来，应不断总结经验，进一步完善技术，为更多类似工程提供借鉴和参考。

参考文献

- [1] 孙贤东, 王晓宁, 狄明轩. 长距离顶管施工技术在水市政给排水工程中的应用研究[J]. 工程技术研究, 2024, 9(15): 87-89.
- [2] 陈达明. 市政给排水施工中顶管技术的应用探析[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2023(3): 4.
- [3] 郭敏. 浅析顶管技术在市政给排水施工中的有效应用[J]. 智能城市应用, 2024, 7(7): 17-19.
- [4] 张挽欣. 市政给排水施工中长距离顶管施工技术的运用探讨[J]. 中国地名, 2024(7): 0040-0042.
- [5] 林起平. 市政给排水施工中顶管施工技术应用研究[J]. 工程管理与技术探讨, 2024(1).