

顶管工艺在排水管网建设中的应用与优势

宋屹东

湖南顺天工程项目管理有限公司

摘要：顶管工艺作为先进的地下管道施工方式，在排水管网建设中得到了广泛的应用并展现出显著的优势。通过采用顶管工艺，工程能够实现高效、经济、环保的施工过程。顶管工艺不仅提高了施工效率、降低了成本，而且减少了对周围环境的影响，保障了排水管道的稳定性和耐久性。这一先进的施工方式为排水管网建设提供了可靠而可持续的解决方案。

关键词：顶管工艺；排水管网；建设；应用；优势

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.11.034

引言

随着城市化的不断推进和城市人口的增长，排水管网建设成为城市基础设施建设的重要组成部分。在传统的管道施工方式中，明挖施工一直是主流，但随着科技的不断进步，顶管工艺作为一种先进的地下管道施工方式逐渐崭露头角。顶管工艺通过先进的推进设备和自动化控制技术，为排水管网建设注入了新的活力。本文将深入探讨顶管工艺在排水管网建设中的应用与优势，剖析其在提高施工效率、降低成本、减少环境影响以及提升排水管道稳定性和耐久性等方面的独特优势。通过对顶管工艺的全面分析，旨在为城市排水系统的可持续发展提供有益的启示。

一、顶管工艺的原理与特点

（一）顶管工艺的基本原理

顶管法施工主要利用顶进设备产生的顶力，在工作坑内完成管道的铺设过程。通过克服管道与周围土壤的摩擦力，顶管法能够按照设计的坡度将管道顶入土中，并将挖掘出的土方顺利运走。在此施工过程中，每节管道先完成顶入土层的任务，然后下一节管道接续进行顶进。其原理是利用主顶油缸以及管道间、中继间的推力，使工具管或掘进机穿越工作坑内的土层，直至到达接收坑内并进行吊装。顶管施工法的步骤首先在工作井内设置支座并安装主千斤顶，然后需要铺设的管道会紧随工具管或掘进机后方，主千斤顶的推力作用下，工具管开始向土层内掘进。挖出的泥土可以通过土泵或螺旋输送机排出，或者以泥浆的形式通过泥浆泵沿管道排出。每推进完一节管道后，主千斤顶会缩回，然后吊装上另一节管道，继续进行顶进的操作。这样的往复过程将一直进行，直至整个管道的铺设完成。在管道铺设完成后，工具管会从接收井吊至地面^[1]。顶管工艺中，管道的安装通常采用直径适应地层情况的套筒和推力杆。推力杆通过推进机构将管道推送到目标位置，套筒则在推进过程中起到导向和保护作用。整个安装过程需要根

据地质情况和管道要求进行精确控制，确保管道的准确布置和连接^[2]。

（二）顶管工艺的主要特点

顶管工艺作为现代化的地下管道敷设技术，具有多项显著特点，为城市基础设施建设带来了革命性的变革。首先，非开挖施工是顶管工艺的鲜明标志。与传统的开挖施工方式相比，顶管工艺通过在地下推进管道，无需对地面进行大面积的挖掘。这不仅减少了对城市交通和生态环境的干扰，同时缩短了工程周期，提高了施工效率。顶管工艺的非开挖特点在城市更新和维护中具有重要的应用前景。其次，高效推进系统是顶管工艺的关键特点。顶管机通过液压系统和推进机构，能够实现快速而稳定的管道推进。这使得在复杂地质条件下，如软土、坚硬岩石等，都能够保持顺利推进。高效推进系统的应用使得顶管工艺在大规模基础设施建设中表现出色，为城市交通、供水、排水等系统的更新提供了强有力的技术支持。

土压平衡和泥浆注入是顶管工艺的独特之处。在顶管机推进的过程中，通过注入一定压力的泥浆或注浆材料，形成土压平衡区域，有效减小了对地下土层的扰动。不仅保障了地面的稳定，还降低了地下水位下降的风险，为城市地下水资源的保护提供了有效手段。土压平衡和泥浆注入的特点使得顶管工艺在地下管道施工中更为安全可靠。

最后，顶管工艺具备精准可控的管道安装能力。通过推力杆和套筒的协同作用，顶管机能够将管道精确地推送到设计位置。这种高精度的管道安装不仅适用于直线段，还能够应对曲线段的需要，确保管道的布置符合设计要求。本施工工艺特点使得顶管工艺在城市中进行复杂布局的管道敷设时表现出色，为城市规划和设计提供了更大的灵活性。

（三）顶管施工的材料选择与要求

顶管工程的材料选择是关键影响施工质量和工程寿命的因素之一。首先，在顶管机的设计和制造中，选择合适的结构材料对于确保机械性能和稳定性至关重要。一般来说，机体主要采用高强度合金钢或特殊工程塑料，以保证顶管机在复杂地质条件下的可靠性和耐磨性。下表1为顶管机主要结构材料的选择及性能要求：

表1 顶管机主要结构材料的选择及性能要求

结构部位	材料选择	性能要求
机体	高强度合金钢或工程塑料	耐磨、抗腐蚀、高强度、轻量化

推进系统	特殊合金钢或优质不锈钢	耐磨、高强度、抗腐蚀
推力杆、套筒	高硬度合金钢	耐磨、高强度
注浆系统	耐腐蚀合金材料	耐腐蚀、耐高压
泥浆管路	耐腐蚀橡胶或合金材料	耐腐蚀、耐磨，保持柔韧性

其次，顶管施工中的管道材料选择直接影响到管道的使用寿命和运行安全。一般来说，推荐使用高密度聚乙烯（HDPE）、玻璃钢或特殊合金钢等具有耐腐蚀、耐压、耐磨等特性的材料。下表2为常用顶管施工管道材料的选择及性能要求：

表2 常用顶管施工管道材料的选择及性能要求

管道材料	特性	适用场景
HDPE	耐腐蚀、耐压、轻质	市政管道、给水管道、天然气管道等
玻璃钢	耐腐蚀、耐压、抗磨损	化工、污水处理等
合金钢	耐高温、耐压、耐腐蚀	高温、高压环境
球墨铸铁管、钢筋混凝土等	耐高温、耐压、耐腐蚀	排水管道

以上表1和表2分析了顶管机主要结构和管道的材料选择及性能要求，确保了顶管施工在各种工程环境下都能够达到预期的技术和经济效益。选择合适的材料不仅能够提高施工效率，延长设备寿命，同时也有利于减少对环境的影响和资源的浪费。以上材料选择与要求的综合考虑为顶管施工的可持续发展提供了重要支持^[3]。

二、顶管工艺在排水管网建设中的应用

（一）顶管的选择

顶管的选择在排水管网建设中扮演着至关重要的角色，需要充分考虑多个因素以确保系统的高效运行。首先，雨水混凝土管和污水混凝土管管道直径一般为1.2m~3.5m。此选择是基于工程要求和排水管网的实际需求，确保了系统能够有效处理大流量的雨水和污水，满足城市排水的需要。其次，顶管的内径一般要求大于等于500mm，并且所选用的直径足够满足排水系统对管道通路的要求，保障排水能力。合理选择为排水系统的正常运行提供了坚实基础。其次，通过合理规划管道长度，确保整个排水系统的连接紧密而顺畅，避免了过长或过短的管道可能带来的问题。有助于提高排水系统的稳定性和运行效率，确保城市排水工程的可持续发展。

（二）顶管位置及开挖面定位

在确定顶管的位置时，需要综合考虑地形地貌、地下管线分布、建筑物布局等多方面因素。通过精确的测量和勘测，确保顶管的位置与排水系统的布局相符。开挖面的定位需要根据地下管线的深度和布局来进行，确保开挖过程中不损坏其他地下设施。在顶管位置分析上，管道埋深应按工程及情况确定，不小于最小覆土厚度，一般是1.5倍管道外径，经过合理设计的开挖方

案，确保施工的安全性和效率。

（三）顶管工作坑位置与设备安装

工作坑的位置选择直接关系到顶管施工的顺利进行。在工程中，需要根据实际情况确定顶管工作坑的位置，确保施工设备能够顺利进入，并为顶管的安装提供便利。同时，需要精确安装设备，确保设备能够准确地进行顶推施工。顶管长度和管道直径的合理选择，以及设备的精确安装，为工程的顺利进行提供了坚实的基础。

三、顶管工艺在排水管网建设中的优势分析

（一）提高施工效率，缩短工期

提高施工效率，缩短工期是顶管工艺的显著优势之一。首先，顶管工艺采用了先进的推进设备，如顶管推进机，其具有高度的机械化和自动化程度。这种设备能够在地下推进，完成管道的铺设工作，相较于传统的开挖施工方式，无须大面积的挖掘和回填，能够减少地表开挖的频次^[4]。因此，推进设备的连续作业性质大大提高了施工效率。其次，自动化控制技术在顶管工艺中得到了广泛应用。通过先进的控制系统，可以实现对推进设备的精准控制和监测。这样的智能化施工方式使得整个过程更为高效和可控。自动化的控制系统能够及时发现并作出调整，提高了施工的准确性和稳定性。

顶管工艺还避免了传统明挖施工频繁停工和挖掘的情况。在传统方式下，由于需要不断挖掘和回填，工程往往需要中断等待相关工序完成，导致整体工期较长。而顶管工艺的连续施工特性，使得工程进展更为顺畅，减少了因工序间等待而造成的停滞时间，从而有效缩短了工程的施工周期。

（二）降低施工成本，节约资源

降低施工成本，节约资源是顶管工艺的显著优势之一。首先，顶管工艺通过减少开挖和回填的次数，降低了对劳动力的需求。传统的开挖方式需要频繁进行挖土和回填，而顶管工艺中地下推进的方式避免了大规模的地表挖掘，减少了人力投入。推进设备的机械化和自动化特性使得整个施工过程更为高效，大大减轻了人工劳动的负担。其次，顶管工艺采用自动化控制系统，减少了人工操作的需求。自动化控制系统能够实现推进设备的智能控制，监测施工过程中的各项参数，并实时作出调整。这不仅提高了施工的精度和质量，还减少了人为操作可能带来的错误和浪费。通过自动化控制，施工单位能够更有效地利用资源，降低了施工成本。顶管工艺的资源节约不仅表现在减少劳动力需求上，还体现在材料的合理利用。减少开挖和回填的同时，减少了对材料的需求。这对于资源保护和可持续发展具有积极的意义。

（三）减少对周围环境的影响

首先，减少的挖掘量降低了对地质环境的扰动。传统的明挖方式需要大面积地表挖掘，可能导致地质结构

的变化,甚至引起地质灾害。而顶管工艺通过地下推进的方式,减少了对地质层的干扰,保持了地质环境的相对稳定性。其次,减少的挖掘量有助于减轻对地下水位的影响。传统的明挖方式可能导致地下水位下降,对周边生态系统和水资源造成一定的影响。而顶管工艺减少了地表挖掘,降低了对地下水的干扰,有利于维护地下水位的稳定性。以上施工方式更好地保护了周围的生态环境,减少了对周边居民生活的干扰。顶管工艺的环保特性使得在城市建设和管网更新中得到广泛应用,为可持续城市发展做出了积极贡献。因此,减少对周围环境的影响是顶管工艺在排水管网建设中的重要优势之一^[5]。

（四）提高排水管道的稳定性和耐久性

首先,深埋施工使得排水管道位于较深的地下,相对于传统的浅埋施工方式,排水管道受到地表荷载和温度变化的影响较小。这有助于提高排水管道的稳定性,减少沉降和变形的风险。深埋施工方式能够有效避免地表荷载对管道的挤压和变形,确保排水系统在长期运行中保持较好的结构稳定性。其次,顶管工艺采用的材料和工艺确保了管道的密实性和耐久性。例如,采用混凝土管道时,其结构坚固、抗压强度高,能够承受地下环境的各种力和压力。同时,自动化控制技术的应用保证了施工的精度和质量,进一步提高了排水系统的耐久性。

四、顶管工艺在排水管网建设中的挑战与对策

（一）顶管施工中遇到的主要问题

在排水管网建设中,顶管工艺作为一项先进而高效的施工方式,虽然带来了许多优势,但也伴随着一系列挑战和问题。首要问题之一是顶管施工中可能遇到的地质复杂性,如软土、岩层、地下水位等因素的影响。这些地质条件的多样性给施工带来了不确定性,容易导致工程延期和额外成本的发生。另外,管道设计和顶管施工之间的不匹配也是一个常见问题,可能导致管道连接不牢固,甚至出现泄漏等安全隐患。此外,顶管施工过程中,受到地下管线、建筑物等既有设施的影响,可能引发施工事故,增加了工程的复杂性。

（二）解决顶管施工问题的有效对策

为应对顶管施工中的挑战,必须采取一系列有效的对策。首先,应进行精细的地质勘察和分析,充分了解工程地质条件,合理评估地下水位、土层稳定性等要素,以提前应对可能的地质风险。在管道设计与顶管施工之间加强协同,确保设计与施工的无缝衔接,减少设计和实际工程之间的差异。对于可能影响施工的既有管线和建筑物,采用先进的探测技术,提前发现并合理规划避让方案,以防止施工事故的发生。此外,建立健全的应急预案和安全管理体系统,提高工程应对突发事件和施工风险的能力。

（三）提高顶管施工质量的措施和建议

为了提高顶管施工的质量,关键在于加强施工管理和技术创新。首先,引入先进的监测技术,实时监控施工过程中的地质变化和管道连接情况,及时发现问题并进行调整。其次,加强对施工人员的培训,确保施工人员熟练掌握顶管工艺,提高工作效率的同时降低错误率。在施工现场,建立科学的施工管理流程,实行精细化管理,确保每个环节都按照规范进行。同时,加强与相关监管部门的合作,实现信息共享,加强对顶管工程的监督和管理。技术上,推动顶管工艺的不断创新发展,采用更先进、更适应多样地质条件的设备和工法,提高工程的灵活性和适应性。在面对顶管工艺在排水管网建设中的挑战时,通过综合考虑地质条件、施工管理和技术创新等方面的因素,采取科学有效的对策和措施,可以有效提高顶管施工的质量,确保工程的顺利进行。这对于保障城市排水系统的可靠性和安全性具有重要意义^[6]。

五、结论

综上所述,顶管工艺作为先进的地下管道施工方式,在排水管网建设中展现出显著的应用优势。首先,其采用先进的推进设备和自动化控制技术,显著提高了施工效率,缩短了工程周期,使得排水管道更快地投入使用。其次,相对于传统的明挖施工方式,顶管工艺减少了开挖和回填的次数,有效降低了施工成本,节约了劳动力和材料资源。此外,顶管工艺在施工过程中减少了对周围环境的影响,更好地保护了生态环境,符合可持续发展的理念。最重要的是,深埋施工方式提高了排水管道的稳定性,采用的材料和工艺保证了管道的密实性和耐久性,降低了运营成本,延长了排水系统的使用寿命。因此,顶管工艺在排水管网建设中展现出明显的优势,为城市排水系统的可持续发展提供了可行而高效的解决方案。

参考文献

- [1]徐伟.微型顶管工艺在市政排水管道工程中的应用分析[J].工程设计与设计,2022,(14):198-200.
- [2]肖志雄.顶管工艺在市政排水工程中的设计应用[J].福建建材,2016,(02):43-45+51.
- [3]纪元.市政排水管道顶管工艺的设计和应用[J].建材与装饰,2017,(39):133-134.
- [4]朱国才.市政排水管道顶管工艺的设计研究[J].工程技术研究,2019,4(12):165-166.
- [5]杨乐.市政排水管道顶管工艺的设计和应用研究[J].智能城市,2016,2(08):89.
- [6]陈江.市政排水管道顶管工艺的设计和应用[J].建材与装饰,2016,(27):86-87.

作者简介:宋屹东(1991.08.02),男,汉,湖南省岳阳人,中级工程师,研究方向:给水排水。