

大孔径顶管施工关键技术研究

梁诏斌

南京市市政设计研究院有限责任公司

摘要：大孔径顶管施工技术作为城市地下工程施工的一项重要施工技术，在解决节点穿越工程中有显著的优势，具有施工安全、交通影响小、工期短及造价低等特点。在城市化进程加速和地下空间需求不断增长的情况下，这项技术的应用前景引起广泛关注。本文结合实际工程案例，对大孔径顶管施工技术的特点、施工流程、材料与设备选择以及关键技术分析等多个方面展开深入研究，为相关领域的研究和实践提供有力的参考支持，以满足城市地下工程的不断发展和需求。

关键词：大孔径顶管；施工技术；地质勘察；土体加固

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.03.045

引言

随着城市化进程的加速和地下空间需求的不断增长，大孔径顶管施工技术在城市地下工程中正逐渐引起广泛关注。这项技术的魅力在于它的地下施工方式有效地减小了施工过程对地表的干扰和交通阻塞，使其成为地下管道和通道等工程项目的理想选择。然而，由于地下环境的复杂性和多变性，大孔径顶管施工技术也面临着众多挑战。例如，地下地质条件的不同会对施工产生影响，需要针对具体情况选择合适的工程方案。同时，施工过程中需要考虑地下管道的稳定性、防水性以及与周围环境的相互影响等因素，以保证工程的安全性和可靠性。因此，在实际施工中，需要根据不同的工程情况选择合适的施工技术和关键技术，以确保工程能够顺利进行。

南京江宁某电力工程中，采用三孔外径4.2m平行顶管以浅覆土方式依次穿越吉印大道及地铁车辆段，顶管上部最小覆土约5.6m，下方与规划地铁区间净距仅4.2m，建设场地的严苛条件，对本工程多孔平行大孔径顶管的施工提出了极高的要求。本文结合该工程的实际情况，分析了大孔径顶管施工的相关控制技术。

一、大孔径顶管施工技术应用的优点分析

大孔径顶管施工技术相对于传统的地下工程施工方法，具有诸多显著的优点，如工期短、造价低、施工质量可控、交通及管线影响小等。

首先，其施工效率高。采用大孔径顶管施工技术，顶管穿越区域一般无需进行支护，即可以大幅度提升工程的施工速度，有效缩短工期，也显著降低了顶管段的工程投资。其次，大孔径顶管施工过程中采用机械化智能控制系统，能够精确控制顶管掘进的方向、速度和深度，确保施工过程中地质变化的可控性，从而保证工程的质量稳定可靠。这一特点对于复杂地质条件下的施工尤为重要，能够有效避免地质灾害和工程质量问题，提升工程的安全性和可靠性。此外，采用顶管穿越城市道路时，既有效避免对市政交通的影响，同时也可以有效避让道路下方现有错综复杂的市政管线。

近年来，大孔径顶管施工技术在城市地下交通、水利工程等领域的应用不断扩大，成为现代地下工程建设的重要技术手段，为城市基础设施建设提供了有力支持，推动了城市的发展和现代化进程。因此，大孔径顶管施工技术的应用具有广泛的前景和重要的意义，它不仅可以在地下工程建设中显著提升施工效率，降低成

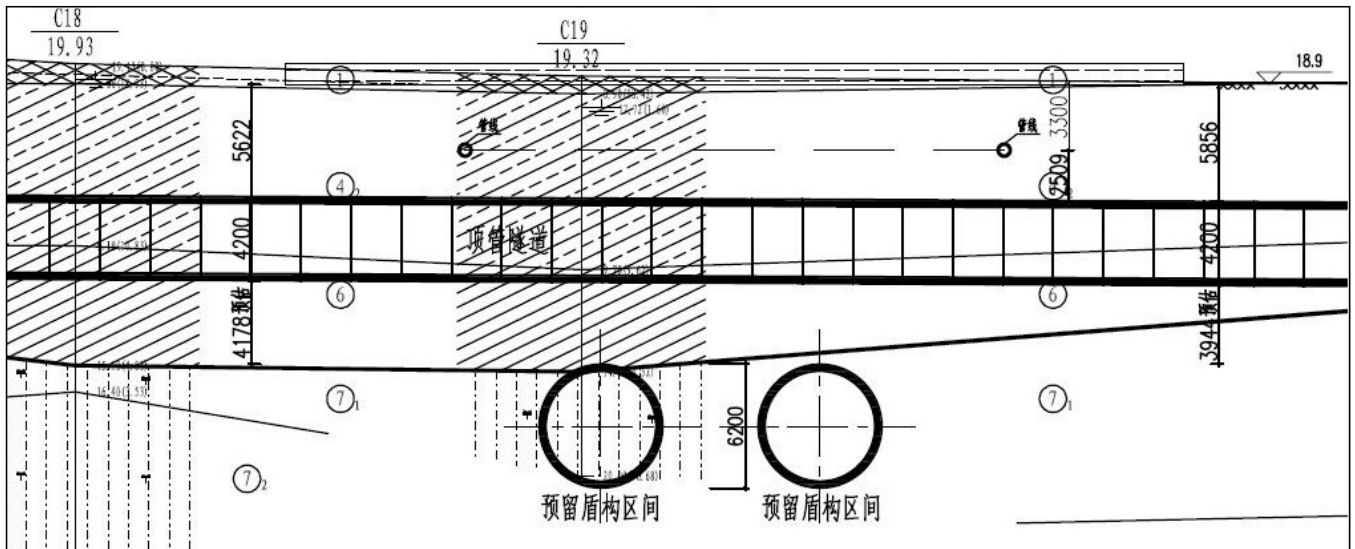


图1 南京某电力工程中三孔平行大孔径顶管

本，确保工程质量，还可以为城市的快速发展和现代化建设提供有力支持，促进了社会经济的可持续发展。

二、大孔径顶管施工流程

大孔径顶管施工流程是一个复杂而系统的工程过程，每个环节依次进行，相互关联，共同保障工程的顺利进行和高质量完成。

首先，在地质勘察与测量阶段，需要进行全面细致的地下勘察工作。通过对地质、水文、地貌等方面的调查与分析，了解地下环境的特点，掌握地层结构、地下水位等重要信息，为后续的施工方案设计提供可靠依据。同时，预测地质灾害的概率，为施工中的风险控制提前做好准备。

其次，合理布置顶管的位置和走向，顶管布局与设计是工程的核心。结合地下建构筑物情况、工程地质和水文地质条件，合理选择顶管在地下的空间布置方式，其布置层位及纵向坡度将直接影响顶管实际顶进过程中的外部因素，故其重要性不言而喻。

最后，根据前期地质勘察揭示的顶管所穿越地层的工程地质和水文地质情况，进行顶管设备的选型，包括顶管刀盘开孔和刚度计算，刀具选择与配置方式，确保刀盘刀具配备与所揭示地层相匹配。顶管管材和结构强度的确定也应根据揭示地层情况，综合考虑顶管覆土、最大推力、地下水情况进行综合分析，选择适宜的结构材料并进行结构强度验算。

最后，施工安全与环保措施是保证工程顺利进行的重要保障。现场必须严格遵守相关的安全操作规定和环保标准，采取必要的安全措施，保障施工过程中的人员和设备安全，同时也要做好现场环境保护工作，减少对周围环境的影响。

三、大孔径顶管材料与设备选择

在大孔径顶管施工中，材料与设备的选择至关重要。必须根据具体工程的要求来选择合适的材料和设备，以确保施工质量和安全。

顶管常用的材料有混凝土管、钢管、玻璃钢管及球墨铸铁管，本工程顶管采用目前最大口径的顶管，其远期作为220kV高压电缆的重要敷设通道，且需满足人员巡视要求，从结构强度、刚度、耐久性等方面考虑，本工程顶管采用C50高强混凝土预制管，防水等级为P10。管节全部采用工厂流水线预制生产，有效地保证了管材质量的可靠性和一致性。选用优质高强的混凝土，具有良好的抗压强度和耐久性，可以保证顶管的结构稳固，具备较高的承载能力，保障工程的安全运行，保证顶管通道的使用寿命，降低维护成本。

同时，设备的选择也是至关重要的。目前顶管设备主要分为泥水平衡顶管机、土压平衡顶管机和气压平衡顶管机三类，本工程综合考虑顶管的场地条件、覆土厚度、工程地质和水文地质条件，采用泥水平衡顶管机，通过顶管机头前方的泥水舱内泥水压力的控制来平衡前方土体，并同时通过泥浆对暴露土层进行护壁作用，可以有有效的保证开挖面的整体稳定，从而保证顶管穿越区

域道路及管线的安全。顶管机刀盘充分考虑穿越地层土质情况，合理确定刀盘的开孔大小和开孔率，并结合刀盘对刀具进行合理配置，确保顶管穿越地层时对前方土体既能“咬”的动，也能及时排出，同时还能保证开挖面的稳定。



图2 本工程采用的泥水平衡顶管机

四、大孔径顶管施工关键技术分析

(一) 地质勘察与预测

1. 岩土层特性分析

岩土层特性分析是地质勘察中至关重要的一环，对于采用非开挖方式的大孔径顶管施工来说尤其不可忽视。在进行岩土层特性分析时，需要深入研究地下岩石的组成及性质。这包括岩石的种类、密度、强度、变形特性，以及土壤的类型、含水量、压缩性等一系列关键参数。通过对这些特性的深入剖析，可以预判在顶管掘进过程中可能会遇到的地质障碍和挑战。

在面对不同类型的岩土地层时，需要根据特定情况选择合适的掘进方法和相应的工程机械。例如，在面对坚硬的岩层时，须加强顶管刀盘的刚度，合理配置刀盘上的滚刀及钎形刀，还须在舱内设置二次破岩设备，以保证顶管有效地向前掘进施工；而在软土层中，则需要在刀盘前方配置足够的刮刀，并设置泥浆高压冲洗系统，避免软土在刀盘形成“泥饼”造成刀盘出渣口堵死，进而导致顶管设备滞顶；此外，充分了解岩土层的物理特性，可以很好地指导顶管掘进过程中的推进速度、压力控制及泥水循环要求保证顶管在掘进过程中的稳定性和安全性，有效地防止因地质条件不利而引发的各类安全隐患。

2. 地下水情况调查

地下水情况调查在地质勘察中扮演着至关重要的角色，这一环节包括对地下水位、承压水头以及补给情况的全面调查和监测，地下水情况对采用非开挖方式的大口径顶管工程有重大的影响。

首先，应准确测量顶管穿越区域的地下水位，包括测量期水位及季节变化情况。如果地下水位偏高，顶管进出洞口阶段可能需要采取针对性降水措施，避免顶管进出洞出现涌土、涌泥或流砂情况，确保顶管顺利进行始发工作和接收工作，保障施工顺利进行。

其次，应对地下水的赋存情况及补给情况进行分析，地下水的存在直接影响顶管顶进过程中顶管外壁与

岩土层间的减阻泥浆效果，如预估不足可能因泥浆过度稀释导致顶管顶进阻力骤增，出现顶进困难甚至导致顶管管节破损。地下水的赋存和补给情况同样也会影响顶管最前方泥水舱泥水的浓度，丰富的地下水可能降低泥浆对开挖面土体的护壁效果，从而引起上方地面和管线的沉降。

再者，对地下水的水质情况进行了解对于工程材料的选择和环境保护至关重要。高盐度或者受到污染的地下水可能需要对顶管材料进行特殊处理，以保证其耐久性。在选择顶管管节的工程材料时，需要充分考虑地下水的特性，避免管材与其发生不良反应，从而保证工程的可持续性和安全性。

充分考虑地下水情况，并对其进行分析，可以制定合理的水文地质处置措施，以减小工程风险，确保施工的顺利完成和工程使用寿命。

（二）地下空间管道布局与设计

地下空间管道的布局与设计是地下工程中至关重要的环节。它直接关系到管道系统的安全性、高效性、可维护性和可持续性。

在布局与设计阶段，需要综合考虑多个因素，以确保工程的成功实施。首先，地质条件是决定管道布局的关键因素之一，必须深入了解地下岩土和土壤的性质，以确定管道的埋设深度和位置。不同地质条件需要采取不同的管道埋设深度和加固措施。其次，工程需求包括管道的使用空间需求、直径及材质等，也必须与地质条件相互协调。管道的直径和材质将影响空间尺寸和耐久性，而空间尺寸则会影响管道的设计和布局。这些参数必须在设计过程中进行仔细权衡，以确保管道系统能够满足工程需求。最后，周边环境因素也是重要考虑因素，城市规划、交通、地下管线、环境影响和土地利用等因素必须综合考虑，以确保顶管管道布局与设计同综合规划和可持续发展原则相一致，促进工程的可持续性。

本工程中电力输送规模需求决定了本工程必须采用目前最大外径4.2m的大口径顶管，而且为了解决输送规模需求，需同时采用三孔大口径顶管才能满足要求。另外，顶管穿越位置存在规划地铁区间隧道，其上部可用覆土厚度仅14.0m，大口径顶管施工在保证远期规划地铁施工安全的前提下，还须确保在该狭小空间内穿越时自身施工安全和上方道路安全。以上因素决定了顶管必须以浅覆土的方式穿越上部相对松软的地层。

（三）土体加固技术

大口径顶管施工是一项复杂的工程，其中加固技术是保障工程安全和顺利进行的关键环节之一，在浅覆土松软地层中尤其如此。土体加固技术能有效减小顶管掘进过程中的扰动，从而避免其扰动对上方道路的影响，确保交通安全。

本工程采用三孔外径4.2m的大口径平行顶管以浅覆土的方式穿越现状道路及地铁车辆段场地，面顶管掘进过程中如出现超挖或压力控制不到位等情况，极易造成

上方地面沉降，甚至出现塌陷事故。本工程中结合大口径平行顶管穿越区域，对该区域进行针对性的土体加固，加固采用高压旋喷桩方式，在顶管上方形成有效的防护层，从而有效降低顶管掘进施工对道路的影响，同时也保障了本工程顶管的顺利实施。

值得注意的是高压旋喷桩实施过程中应严格控制其加固深度及注浆压力，避免加固深度过大或浆液出现串孔，导致顶管预掘进区域土体局部出现加固的情况，该情况极易导致顶管掘进面土体强度差异大，进而引起顶管掘进出现较大的偏磨和振动。

（四）施工安全与环保措施

施工安全与环保在地下工程中扮演着至关重要的角色。在整个施工过程中，必须采取严格的安全预防措施，以降低潜在事故和风险的发生。为现场工程人员提供技术培训，确保他们了解和遵守施工安全标准；提供适当的防护装备，如头盔、护目镜、手套等，以保护他们的生命和身体健康。此外，监测和报警系统的设置也是至关重要的，可以帮助及时发现和应对潜在的安全问题，确保施工现场的安全性。

工程实施中需要践行环保措施，以减少施工对周围环境的不良影响。顶管施工中需要用到大量的泥浆，泥浆处理是一个重要环节，泥浆通过循环利用可以有效减少泥浆排放对水体的污染。施工中采用泥浆循环处理设备，以确保泥浆处理符合环保标准。另外，噪音控制也十分重要，通过采用各种隔音和减音措施，可以有效降低施工对周围居民的噪音干扰。最后，工程完成后必须对场地进行恢复，维护生态环境的稳定性是一项长期任务，需要采用综合的措施，以确保施工不会对生态系统造成永久性的损害。

施工安全与环保必须成为地下工程的核心价值，以确保工程能够顺利完成，并最大限度地降低负面影响，促进可持续发展并为社会作出贡献。

五、结束语

大口径顶管施工技术在城市地下工程领域实现节点穿越中扮演着至关重要的角色。其施工周期短、环境影响小、造价经济等。施工过程主要包括土体预处理、孔洞开挖、管道安装、回填等步骤，需要精心选择材料和设备以确保工程顺利进行。为了促进地下工程建设的进步，需要不断积累经验，推动技术创新，提升施工水平，以确保工程质量和安全，为行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]朱国林. 毗邻既有管道大口径顶管施工技术研究[J]. 四川水力发电, 2023, 42(04): 35-39.
- [2]王存汉. 顶管技术在大口径给水管施工中的应用[J]. 中国新技术新产品, 2022, (09): 106-109.
- [3]杨胜利. 大口径顶管施工技术难点及解决措施[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(15): 36-37.
- [4]吴金锋. 浅谈大口径长距离顶管施工关键技术[J]. 陕西水利, 2021, (05): 212-213.