

南水北调配套工程顶管施工技术研究

李雅舒 蔡正乾

中国南水北调集团 河南 南阳 474150

摘要：顶管施工技术通过推力系统将工具管或掘进机从工作坑推进至接收坑，形成连续地下管道系统。该技术具有环境影响小、安全可靠、不影响地面交通及适应性强等特点。南水北调配套工程顶管施工包括施工准备、顶管机掘进、管道顶进和接收等关键环节。关键技术要点涉及顶力控制、方向控制、土体加固与支护以及防水与密封。施工中需严格控制各项参数，选择合适设备和材料，确保管道按照设计要求准确铺设，保障工程质量和可靠性。

关键词：南水北调配套工程；顶管施工技术；施工工艺；关键技术；研究

引言：顶管施工技术作为一种非开挖的地下管道敷设方法，在南水北调配套工程中发挥着重要作用。其核心原理在于利用推力系统将工具管或掘进机从工作坑推进至接收坑，同时逐段顶入管道并连接成连续系统。该技术具有环境影响小、安全可靠、不影响地面交通及适应性强等特点。本文将从施工准备、顶管机掘进、管道顶进、顶管机接收等关键环节，以及顶力控制、方向控制、土体加固与支护、防水与密封等关键技术要点，对南水北调配套工程顶管施工进行深入探讨。

1 顶管施工技术概述

1.1 顶管施工原理

顶管施工的核心在于利用主顶油缸及管道间、中继间等产生的强大推力，将工具管或掘进机从预设的工作坑内逐步推进至接收坑内。这一过程中，工具管或掘进机作为先导，负责开辟土壤通道，并引导后续管道的铺设。紧随其后的管道，在推力的作用下，被逐段埋设在两坑之间，最终形成连续的地下管道系统。在施工过程中，顶进的速度、方向和顶力等参数是控制施工质量和进度的关键。为了确保管道能够按照设计要求准确地铺设到位，施工人员需要实时监测这些参数，并根据实际情况进行调整。例如，通过调整顶进速度，可以确保管道在穿越土层时保持稳定的推进状态；通过控制顶进方向，可以确保管道沿着预设的轨迹前进；而合理控制顶力，则可以避免对周围土壤和建筑物造成过大的压力^[1]。

1.2 顶管施工技术特点

顶管施工技术之所以能够在众多地下管道敷设方法中脱颖而出，主要得益于其独特的优点和特性。（1）顶管施工对环境的影响极小。传统的地下管道敷设方法往往需要进行大面积的地表开挖，这不仅会破坏周围的建筑物、道路和地下管线，还会对施工区域的生态环境造成严重影响。而顶管施工则完全避免了这一问题。由于

不需要进行地表开挖，因此减少了对周围环境的干扰和破坏，特别适用于城市中心区、繁华地段等对环境要求较高的区域。（2）顶管施工具有高度的安全性和可靠性。在地下进行施工，受外界自然条件和人为因素的干扰相对较小。这不仅有利于保障施工人员的安全，还提高了施工的质量和效率。同时，顶管施工技术经过多年的发展和完善，施工工艺和设备已经相对成熟。从掘进机的选型到顶进参数的控制，再到管道的接缝处理，每一个环节都有严格的技术标准和操作规程，确保了施工过程中的风险可控。（3）顶管施工不影响地面交通。在城市中心区或交通繁忙地段进行地下管道敷设时，传统的开挖方法往往会占用大量的地面空间，对地面交通造成严重影响。而顶管施工则在地下进行，不占用地面空间，因此不会对地面交通造成影响。这一特点使得顶管施工在城市交通繁忙区域具有显著的优势。（4）顶管施工具有极强的适应性。无论是砂土、黏土还是岩石等各种复杂的地质条件，还是河流、湖泊、建筑物等各种障碍物，顶管施工都能够穿越并成功敷设管道。这得益于掘进机的强大开挖能力和顶管施工技术的灵活性。在实际施工中，可以根据具体的地质条件和工程环境，选择合适的掘进机和施工工艺，确保管道的顺利敷设。

2 南水北调配套工程顶管施工工艺

2.1 施工准备

（1）施工准备是顶管施工的基础环节，也是确保施工顺利进行的关键。在施工前，必须对施工场地进行详细的勘察。这包括地质条件的调查，如土层的类型、厚度、密度以及稳定性等，以评估土层的承载能力和对顶管施工的影响。同时，还需要测量地下水位，了解地下水的流动情况和水位变化，以便制定相应的防水和排水措施。此外，还需要对周边的建筑物和地下管线进行详细的探查，确保施工不会对它们造成破坏或影响。（2）

测量放线是施工准备的另一项重要工作。根据设计图纸,施工人员需要使用专业的测量仪器和设备,准确地测量出工作坑和接收坑的位置,以及管道的中心线和高程。这些测量数据将作为后续施工操作的基准,确保管道能够准确地铺设在预定的位置。(3)工作坑和接收坑的施工也是施工准备的重要环节。工作坑是顶管机起始顶进的地方,其尺寸和结构应根据顶管的管径、长度和地质条件等因素来确定。在工作坑内,需要设置主顶设备、导轨、后背墙等设施,为顶管机的顶进提供支撑和引导。接收坑则是顶管机最终到达的地方,其内应设置接收装置,用于接收顶管机和后续的管道。(4)设备选型与安装也是施工准备中不可忽视的一环。根据工程的特点和要求,需要选择合适的顶管设备,如顶管机、主顶油缸、中继间等。这些设备应具有良好的性能和可靠性,能够满足施工的需求。在安装调试过程中,需要对设备的各项性能进行严格的测试,确保设备在施工过程中能够正常运行,为顶管施工的顺利进行提供保障^[2]。

2.2 顶管机掘进

(1)顶管机掘进是顶管施工的核心环节。在掘进开始前,需要将顶管机吊入工作坑内,并安装在导轨上。通过调整顶管机的位置和姿态,确保其与管道的中心线和高程相一致。然后,启动顶管机,使其缓慢入土。

(2)顶管机入土后,需要根据地质条件和顶管机的类型选择合适的开挖方式。对于较软的土层,可以采用机械开挖或水力开挖的方式;对于较硬的土层或岩石,则可能需要采用人工开挖或配合破碎设备的方式。在开挖过程中,需要严格控制开挖速度和开挖量,避免对顶管机造成过大的压力或损坏。同时,还需要密切关注土体的稳定性和安全性,确保施工过程的顺利进行。(3)开挖出的土体需要通过顶管机的出土装置运出工作坑。然后,通过运输设备将土体运至指定地点进行处理,如堆放、回填或运至弃土场等。在处理过程中,需要遵守相关的环保规定和标准,确保土体的处理不会对周边环境造成污染。

2.3 管道顶进

(1)管道顶进是顶管施工的另一个关键环节。在顶管机后面,需要依次连接管道。管道之间可以采用焊接、法兰连接或其他合适的连接方式,确保管道的连接牢固、密封良好。在连接过程中,需要严格遵守相关的施工规范和标准,确保连接的质量和可靠性。(2)顶进操作是管道顶进的核心步骤。通过启动主顶油缸,推动顶管机和管道向前顶进。在顶进过程中,需要密切关注顶进的速度、方向和顶力等参数。通过及时调整顶进参

数,可以确保管道能够按照设计要求准确地铺设到位。同时,还需要密切关注管道的稳定性和安全性,避免在顶进过程中发生偏移、损坏或漏水等情况。(3)当中继间的设置也是管道顶进中不可忽视的一环。当顶管的长度较长时,为了克服顶进过程中的摩擦力,需要设置中继间。中继间是一种能够提供额外推力的装置,通过在管道中间设置中继间,可以将顶管的顶进距离延长。在设置中继间时,需要确保其位置和数量的合理性,以及其与主顶设备的协调配合,确保顶进过程的顺利进行^[3]。

2.4 顶管机接收

(1)当顶管机接近接收坑时,需要做好接收准备工作。这包括清理接收坑内的杂物、安装接收装置以及检查接收坑的尺寸和结构是否符合要求等。通过这些准备工作,可以确保顶管机能够顺利地进入接收坑。(2)当顶管机进入接收坑后,需要停止顶进操作,并将顶管机从接收坑内吊出。然后,对管道进行检查和处理,确保管道的质量和密封性。在检查过程中,需要仔细观察管道的表面和内部情况,及时发现并处理可能存在的问题,如裂缝、漏水或损坏等。通过这些工作,可以确保顶管施工的质量和可靠性,为南水北调配套工程的顺利运行提供有力的保障。同时,也为后续的工程维护和管理打下坚实的基础。

3 南水北调配套工程顶管施工关键技术要点

3.1 顶力控制

顶力是顶管施工中的核心参数之一,它直接决定了顶管机及后续管道能否顺利顶进。顶力的大小受多种因素影响,包括地质条件、管道直径、长度、埋深以及土体与管道的摩擦系数等。因此,在顶管施工前,必须根据工程实际情况,合理计算所需顶力,并制定相应的顶力控制方案。顶力的计算通常基于土力学原理,考虑土体的抗压、抗剪强度以及管道与土体的相互作用。在实际施工中,可以通过优化顶管机的选型来降低顶力。例如,选择具有更大推力、更高效率的顶管机,或者采用中继间技术,在管道中间设置额外推力装置,以分散和减小单一顶点的压力。此外,调整顶进速度也是控制顶力的有效手段。过快的顶进速度可能导致土体来不及适应管道的顶进,从而产生较大的阻力;而过慢的顶进速度则可能增加施工周期,降低施工效率。因此,需要根据土体性质和施工条件,选择合适的顶进速度,以确保顶力的稳定和控制。改善土体的性质也是降低顶力的重要途径。通过注浆加固、排水降水等措施,可以提高土体的承载力和稳定性,减小土体对管道的阻力,从而降低顶力^[4]。

3.2 方向控制

方向控制是顶管施工中的另一个关键技术要点。由于南水北调配套工程的管道需要精确铺设在预定的位置,因此必须严格控制顶管机的方向和姿态。为了实现精确的方向控制,需要采用先进的测量仪器和控制技术。激光导向仪、陀螺仪等测量仪器能够实时监测顶管机的位置和姿态,为施工人员提供准确的调整依据。同时,还需要建立完善的控制系统,根据测量数据及时调整顶管机的顶进方向和速度,确保管道能够按照设计要求准确地铺设到位。在实际施工中,还需要考虑土体的不均匀性和各向异性对方向控制的影响。因此,在顶进过程中需要密切关注土体的变化情况,及时调整顶进参数,以确保方向的准确性和稳定性。

3.3 土体加固与支护

土体加固与支护是顶管施工中的重要环节。由于顶管施工过程中需要对土体进行开挖和顶进,这可能会导致土体的变形和坍塌,进而影响施工的安全和周围环境的稳定。为了防止土体的变形和坍塌,需要在顶管施工前对土体进行加固和支护。注浆加固是一种常用的加固方法,通过向土体中注入水泥浆或其他固化材料,提高土体的承载力和稳定性。钢板桩支护则是一种有效的支护方式,通过打入钢板桩形成支护结构,防止土体的坍塌和侧移。地下连续墙则是一种更为先进的支护技术,通过开挖槽段并浇筑混凝土形成连续的墙体,为顶管施工提供坚实的支护。在选择加固和支护方法时,需要根据工程实际情况和土体性质进行综合考虑。同时,还需要注意加固和支护结构与顶管施工的协调配合,确保施工的安全和顺利进行。

3.4 防水与密封

南水北调配套工程中的管道主要用于输送水,因此对管道的防水和密封性能有着极高的要求。在顶管施工过程中,必须采取有效的措施保证管道的防水和密封性能。为了保证管道的防水性能,需要在管道接口和连接处采用密封胶圈、防水涂料等材料进行密封处理。密封

胶圈具有良好的弹性和密封性能,能够有效地防止水的渗漏。防水涂料则能够在管道表面形成一层防水层,进一步提高管道的防水性能。除了对接口和连接处进行密封处理外,还需要对管道本身进行防水处理。例如,可以采用防水混凝土、防水卷材等材料对管道进行包裹或涂层处理,以提高管道的整体防水性能。在施工中,还需要注意对防水和密封材料的选择和使用。必须选择符合工程要求的优质材料,并严格按照施工规范进行操作和施工。同时,还需要对防水和密封效果进行定期检查和测试,确保管道的防水和密封性能良好^[5]。

结束语

南水北调配套工程顶管施工是一项技术复杂、要求严格的工程。通过合理控制顶力、精确控制方向、有效加固与支护土体以及确保管道的防水与密封性能,可以确保顶管施工的顺利进行和工程质量的可靠。在施工过程中,需要充分考虑地质条件、管道特性以及周围环境等多种因素,采用先进的测量仪器和控制技术,优化施工方案和工艺。同时,还需加强对施工过程的监测和管理,确保各项技术要点的有效实施。只有这样,才能确保南水北调配套工程顶管施工的成功完成,为工程的顺利运行和长期效益提供有力保障。

参考文献

- [1]马建国.南水北调配套供水管道顶管施工事故处理方案[J].水科学与工程技术,2019,(003):P.0032-0032.
- [2]崔洪涛,李伟亭,张龙.南水北调长距离输水管道末端调流调压阀运行问题及对策[J].河南水利与南水北调,2021,50(11):29-30.
- [3]唐顺成.城市道路穿越南水北调配套工程保护方案研究[J].水科学与工程技术,2022(02):52-55.
- [4]张磊.南水北调运行风险管理关键技术问题研究[J].工程管理前沿.2020(17):121-124
- [5]尹敬辉,李涛.浅析南水北调中线工程运行风险和安全