

市政给排水管网超大直径钢顶管施工技术

文 / 王立博 聊城润达水业有限公司

康宏磊 聊城润达水业有限公司

摘要：随着我国城市化进程的加快，城市给排水管网建设日益受到重视，特别是超大直径钢顶管的应用，已成为解决城市地下空间开发和基础设施建设的重要途径。随着城市规模的扩大和人口密度的增加，传统的管网建设方式已不能满足日益增长的需求，急需采用新技术、新装备提高施工效率与安全。大直径钢顶管施工技术既能有效降低地面交通影响，又能减少施工对周边环境的扰动，符合可持续发展理念。

关键词：市政工程；给排水管网；超大直径钢顶管施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.07.017

引言

城市给排水管网的建设与维护是城市生命线工程中的重要组成部分。但是，传统的挖掘方法不仅效率低，而且造成交通堵塞、环境污染等问题。超大直径钢顶管是一种新型的施工方法，具有环保、快捷等优点。文章针对超大直径钢顶管施工中存在的设备选型、焊接质量控制、防腐蚀处理以及现场监测等关键技术问题展开深入研究，以期提出行之有效的解决方法，为提升大直径钢顶管施工质量，保障工程安全，推动城市可持续发展提供科学依据。

一、市政给排水管网超大直径钢顶管施工设计

（一）市政给排水管网超大直径钢顶管设备的选择

大直径钢顶管多采用水力顶管机，该设备推力大、稳定性好，适用于复杂土质、施工荷载大。同时，在设备布置上要充分考虑场地空间的限制，保证设备进出顺畅，施工期间有较好的作业空间。大直径钢顶管施工要求高精度推进系统，以保证管线轴线控制及水平度符合设计要求。因此，选用高精度传感器及自动化控制的顶管施工设备，可有效提高顶管施工的精度与安全性。另外，设备的动力系统要能满足不同土层及地质条件下的施工要求，保证施工的连续性与稳定性。大直径钢顶管施工周期长，设备服役期间易发生磨损失效。因此，选用易维护、易维护的设备，可减少故障率，提高施工效率。

（二）顶管导轨及千斤顶安装

导轨铺设应按照设计图进行，并保证其水平度、垂直度满足设计要求。在顶管推进过程中，通常需要对导轨底座进行足够的加固，以抵抗巨大的压力。采用高强度材料及合理的支承结构，可有效地提高轨道承载力，防止轨道在施工时产生变形或位移。千斤顶是顶管推进的主要动力源，其数量及布置方式直接影响着顶管推进的效率与稳定性。在安装千斤顶时，要根据顶管直径及土层情况，选用适当型号的千斤顶，合理安排千斤顶间距，保证受力均匀。千斤顶安装位置必须与轨道对齐，以防止由于偏差而造成推进不均。

（三）钢顶管坡口的焊接

坡口形状及角度对焊缝熔透性能及结合强度有很大影响，所以在设计时要根据钢材的厚度及焊接技术，选用适当的坡口形式。常用的坡口形式有V形、U形等，在选用时要考虑焊接的可操作性及后续检测的需要。实际焊接时，应严格控制焊接电流、电压、速度等技术参数，以保证焊缝的均匀性及致密度。另外，焊接前的准备工作也不能忽略，包括坡口清理、预热处理等。为了提高焊缝质量，必须清除坡口表面的氧化层、油垢和锈斑。预热处理能有效地减少焊接时的热应力，避免焊缝产生裂纹和变形。

（四）针对钢顶管注浆

注浆材料必须有良好的流动性，并具有固化性，这样才能保证注浆均匀地填满管线周围的空隙。目前常用的灌浆材料有水泥浆和化学浆液两种，在选择注浆材料时，应充分考虑土质条件、对环境的影响以及成本效益等因素。注浆时，要根据土层变化及施工进度，及时调整注浆压力及注浆速度，以防止对管线及周边建筑物造成破坏。注浆点布置要均匀、合理，保证注浆能覆盖管周，形成有效的支护及防水层。另外，注浆过程的监测与调整也是十分重要的，通过对灌浆压力及地表沉降的实时监测，及时调整灌浆参数，保证灌浆效果。注浆结束后，采用钻孔取样、地质雷达等手段评价灌浆效果，并检测浆液分布及固化状况。通过上述试验，验证灌浆加固效果是否达到预期效果，为后续工程建设提供可靠的数据支撑。

二、主要材料及质量检查控制

（一）钢顶管材料质量

钢顶管一般为高强低合金钢，由于其强韧性能好，得到了广泛应用。在选材上，要保证钢结构符合国家或国际标准，其化学组成及力学性能合格，才能确保其在施工及服役过程中的可靠性与耐久性。钢顶管在生产时，必须对其表面进行彻底的清洗与处理，以消除杂质及缺陷，从而不影响其焊接及防腐蚀性能。清除氧化皮、锈斑和油脂，保证表面清洁度符合焊接及涂装要求。另外，

表面处理也应该包括合适的前处理，例如喷砂，酸洗，以提高附着力及防腐蚀效果。产品出厂前要经过严格的质量检查，包括尺寸，外形，物理性能等检验。

（二）钢顶管焊接质量

应根据钢顶管材料特点及施工环境，选用气保护焊、埋弧焊等焊接方式。各种焊接方法均有各自的适用范围及优缺点，所以在制订焊接技术时，必须从焊接速度、焊接质量及施工条件等方面综合考虑，才能保证接头的强度与耐久性。焊接时，应严格按照规范要求设定电流、电压、速度、角度等参数。电流太大会造成焊缝过热，导致焊接变形和开裂，电流太小会造成焊缝不饱满，从而影响接头强度。因此，焊接前应充分试焊，确定最优焊接技术参数，并在实际施工过程中实时监测调整，保证焊接质量达到设计要求。焊接完毕后，应对焊缝进行全面检验，既有外观检验，也有NDT检验。外观检验主要是对焊缝的形貌、尺寸及表面缺陷进行观察；在此基础上，对焊接缺陷进行检测，以保证焊缝完整性及可靠性。同时，对焊接记录进行整理与存档，有利于产品质量的跟踪与管理。

（三）钢顶管防腐质量

由于钢顶管常处于潮湿、腐蚀等环境中，因此必须选择环氧树脂、聚氨酯等具有优良耐腐蚀性能的涂料。这种材料不但可以防水、防氧，而且可以防止土壤中化学物质的腐蚀，从而延长管道的寿命。在涂敷前，必须对钢管顶管表面进行全面的清洗、预处理，使其与钢管表面形成良好的粘结。前处理包括去锈，打磨，去油，去污，去污。施工过程中要注意涂层厚度及均匀度，防止涂层过薄或漏涂，造成涂层过早失效。涂料施工完成后，要对涂料的质量进行检测，包括涂层的厚度、附着力、孔隙率等。通过这些检查，可以评价镀层的完整性及均匀性，从而保证镀层符合设计要求。

三、钢顶管设备安装流程

（一）钢顶管设备选型

大直径钢顶管施工由于地质条件复杂，对设备的适应性与稳定性提出了更高的要求。在选型时，要充分考虑设备的推力、顶力和耐压能力，保证其能适应不同的土层、不同的深度，并能在高压环境下工作。上导管导引器是用型钢制作的，它将底板上的预埋件和钢筋混凝土的底板焊接在一起。另外，在井壁上设置预埋件，待导引设备安装好后，利用型钢将其横向支撑到井壁上。顶管施工时，要确保顶管施工顺利进行，施工过程中要确保施工质量。现代顶管装备通常配备先进的导航与控制系统，可实现精确的轴线控制与纠偏，减少人工干预，提高施工精度与速度。因此，在设备选型上，应优先考虑采用最先进、最先进的设备，使其实现自动化、智能化。在长时间的建设过程中，不可避免地要进行设备的保养与维护。选用维修方便、备件充足的设备，可减少停工期，

提高连续施工的经济性。同时，设备的能量消耗与运行费用也是一个重要考量点，选用节能且操作费用低的设备，对于降低工程运行成本具有重要意义。

（二）导轨及千斤顶安装

导轨的准确布置直接关系到顶管的推进方向和施工的稳定。在施工前，必须对导架基础做好充分的加固处理，以保证导架能承受顶管推进时的巨大压力，防止导架变形而造成施工事故。千斤顶是顶管推进的主要动力源，其数量及布置方式直接影响着顶管推进的均匀性与效率。将主千斤顶固定于顶管机上，其合力工作线与管道断面中心线重合。油泵车及千斤顶应保证油路笔直，转角及连接处应尽量减少，接口无漏水现象，安装后应进行检测。在顶进施工过程中，要经常维护、修理，并及时排除故障。后座主千斤顶装置与钢管之间设置顶铁，顶铁采用高强度钢材焊接而成，具有足够的强度和刚度，相邻顶铁应顺直，顶铁安装完成后其轴线应与管道设计轴线重合，如图1所示。



图1 顶铁及顶管标准节

（三）垂直运输

由于钢顶管具有重量大、尺寸大等特点，因此对其竖向运输系统的承载能力及稳定性提出了更高的要求。在选型过程中，为保证管节、设备及物料能安全高效地从地面运至工作井，必须考虑使用塔吊、龙门吊车等重型起重设备。吊装时，要严格按照作业规程进行，保证吊装工作由专人负责。另外，为防止吊装过程中管节打滑、转动，应选用适当的吊具及索具。在施工过程中，必须定期对工人进行安全培训，提高工人的安全意识与技术水平，才能有效地降低施工风险。纵向交通系统设计要以连续、高效的方式进行，以保证各阶段的运输任务能够快速准确地完成。优化运输过程，减少不必要的等待与重复操作，可显著提高施工效率。同时，合理地进行运输计划与调度，能够降低设备的闲置时间，降低建设费用。

四、钢顶管推进过程中质量控制

（一）钢顶管轴线测量复核

传统的测量方法多依靠人工进行，易受人为干扰。为此，采用全站仪、激光测距机等高精度测量设备，实

现了数据的实时采集与自动计算。该仪器不仅可以提高测量精度，而且可以快速出具测量报告，方便施工人员对施工方案进行调整。施工期间，通过对轴线的定期检查，可及时发现偏差并加以纠正。具体来说，各施工阶段结束后，施工小组应对各施工阶段的轴线进行全面复核，并与设计轴线对照。建立标准化复核程序，保证每次复核均能对量测数据进行详细记录，并与历史资料进行比对，对偏差产生的原因进行分析，以便采取纠正措施。这种制度化的检查方法，保证了高精度、高稳定性。通过将测量数据导入专业软件中，由施工小组进行三维建模，直观地显示出轴线与设计位置之间的偏差。这种可视化分析方法，既方便了施工人员对问题的认识，又为后续施工调整提供了科学依据。

（二）工作井现场质量检查

编制一份详细的检查表，列出一些重要的指标，如井壁强度、底部平面度、支撑结构的稳定性，但不仅限于此。这一清单式的管理，可使监理工作更全面、更系统，更有效地避免遗漏可能影响工程质量与安全的因素。运用先进的检测设备与技术，开展现场质量检验；如用混凝土强度测试仪检测井壁强度是否满足设计要求；用激光扫描技术检测井壁的垂直度、平整度等，不仅提高了检测的精度，而且极大地提高了检测效率，为实时监测、快速反应提供了保障。对施工现场进行质量检验时，应及时将发现的问题记录下来，并向施工班组反馈。定期召开质量例会，对检验结果进行分析，提出改善措施。这一机制既能及时发现问题，又能从源头防止质量问题，提高施工全过程的质量管理水平。

（三）钢顶管进出洞条件验收

对产品进行优化，制定严格的验收标准和流程。这些标准应包括洞口尺寸精度、洞口稳定性和洞口周围土的密实度。明确了这些验收条件后，施工队伍才能有的放矢地做好施工准备，以保证进、出洞过程中管线的稳定与安全。采用全站仪和激光测距机等设备，准确地测量洞口的尺寸，以满足设计要求。在此基础上，结合地质雷达等非破坏性探测手段，开展洞周土体稳定性评价，预防洞周可能出现的塌方、变形等风险。通过这些技术的应用，使工程验收工作更加准确、高效。在管线进洞之前，施工期间，以及管线出洞以后，都要做详细的条件验收。其中包括管道连接处的密封性，管道的平直度，水平度，洞口支撑结构的稳定性等。分阶段验收能够及时发现和解决隐患，避免影响后续建设。

（四）钢顶管顶进过程中控制

顶进采用位移传感器、压力传感器等高精度传感器对顶进过程进行实时监测。现场采集到的数据经无线传输系统实时反馈给控制中心，便于施工人员及时调整施工参数，保证管线按预定轴线准确推进。施工人员可对顶进路径进行模拟，对可能出现的地质变化进行预测，

从而对顶进方案进行优化。在顶进过程中，地理信息系统可以为施工人员提供准确的地理信息，提高顶进精度和效率。通过严格的质量控制手段，保证顶进技术各环节的质量控制，包括对顶管的材质，焊接质量，保护层等的定期检测，顶进设备的维护与校准。编制了详细的施工程序及质量检查清单，使施工队伍能够对施工质量进行系统的监控，及时发现和解决施工中出现的问题，保证了顶进施工的顺利进行。

（五）现场工程监测

利用传感网络、物联网等技术，对施工现场土体位移、地下水水位、管线应力等进行实时监测。这些传感器可以实时采集施工过程中的数据，并通过无线网络传输到监测中心，保证施工队伍能够及时掌握施工现场的动态信息，对可能出现的危险及时做出反应。将监测数据导入专业的分析软件中，使施工队伍能够更深层次地分析数据，及时发现施工过程中存在的安全隐患及质量问题。同时，通过可视化工具，将监测结果以图形或三维模型的形式显示出来，使施工人员对现场情况有更直观的了解。这种基于数据驱动的决策方法，在提高监测精度的同时，也使施工队伍能够更好地掌握现场情况。施工期间，应定期召开监测评估会，对监测数据及现场实际情况进行分析，及时调整施工方案及对策。该机制不仅可以帮助发现并解决建设过程中出现的问题，而且可以为后续项目提供有价值的经验与数据支撑，使施工过程持续优化。

结语

随着我国城镇化进程的加快，城市给排水管网建设需求不断增加，大直径钢顶管施工技术在此背景下具有重要意义，深入研究并优化施工关键环节，可有效提高施工效率与安全，降低城市环境影响。随着新材料、新技术的不断出现，大直径钢顶管施工将向智能化、自动化方向发展，进一步提高施工精度与可靠性，促进城市可持续发展，推进智慧城市建设进程。

参考文献

- [1] 曹贝，关笑．市政给排水管网超大直径钢顶管施工技术[J]．北方建筑，2024，9(06):106-110.
- [2] 梁斌，房鹏帅，李文杰，等．基于楔形体理论的市政管网超大直径钢顶管施工开挖面极限支护压力研究[J]．河南科技大学学报(自然科学版)，2023，44(04):75-84+8-9.
- [3] 房鹏帅．高水位软弱地层大直径泥水平衡钢顶管力学特性及施工技术研究[D]．河南科技大学，2023.
- [4] 闫子舰．超大直径钢顶管施工质量控制要点分析[J]．上海建设科技，2020，(02):66-68.
- [5] 韩会山．超大直径钢顶管近距离侧穿高架桩基施工关键技术[J]．中国市政工程，2019，(02):108-110+114+144.