

城市雨污水管道顶管施工中的控制策略研究

李长青

中电建路桥集团有限公司

摘要: 顶管是一种非开挖施工方法,在城市雨污水管道工程中发挥着重要作用。该技术不仅能显著降低材料用量,减少对周围环境的破坏,还能保证城市交通的正常运行,是一种较为稳定、可靠、高效的建造方式,在城市管道工程中被广泛应用。因此在城市雨污水管道施工中需要根据实际情况对施工过程进行严格的控制,保证顶管施工的整体质量。本文根据实际工程案例,对城市雨污水管道顶管施工中的控制策略进行相应的分析。

关键词: 城市; 雨污水管道; 顶管施工; 控制

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.02.115

一、工程概况

某工程因部分雨污水管道受地下管线、过路保通、埋深等影响,原开挖直埋方案更改为机械顶管施工。具体工程量DN800钢筋混凝土管长度39m, DN1000钢筋混凝土管长度487m, DN800焊接钢管长度30m, 工作井7座, 接收井6座, 具体见雨污水管道机械顶管统计表。工作井长8.3m, 宽4.8m, 均高6.5m, 接收井长4.8m, 宽4.8m, 均高6.3m, 顶管井采用逆作法。顶管埋深约5.33-6.01m, 现场实测土质主要为粉土, 部分含有少量细砂。基坑支护及进出洞口采用 ϕ 500单轴搅拌桩加固, 横向及纵向搭接200mm。钢筋混凝土管顶管采用F型钢承口式钢筋混凝土管, 强度等级为C50, 抗渗等级P8, 密封采用楔形橡胶圈, 内口采用聚硫密封胶嵌缝, 顶管钢管为螺旋焊接钢管。

二、城市雨污水管道顶管施工中的控制策略

(一) 测量定位

(1) 本工程顶管施工前必须对洞口标高及轴线位置进行复测。

(2) 对工作井、接收井、管道的轴线和标高进行定位复测工作, 并将测量工作贯穿于顶管施工的全过程。

(二) 顶进施工

1. 进出洞技术措施

顶管进、出洞是整个顶管施工的关键环节, 其顺利通过也标志着整个顶管施工的顺利进行。为保证进洞顺利, 安全, 经济合理, 必须做好超前支护及出洞前准备。本项目通过在井口安装可拆式止水圈, 在井口加设止水圈, 达到了较好的止水效果。为防止地下水对围岩和围岩的渗透破坏, 采取了注浆封堵的措施。在洞口前方, 紧靠顶进方向的支撑桩外侧线, 制作并加固旋喷桩, 旋喷桩直径为 Φ 500mm。

(1) 工作井出洞处理: 准备出洞时, 清理完洞内

杂质后, 立即将工具头推入预先设定好的孔中, 减少停机时间。在这种情况下, 止水橡皮环会紧紧地缠绕在工具头外壳上, 起到止水作用。刀具头与第一节混凝土管采用刚性连接, 避免了刀头“磕头”的现象。

这一步在顶管施工中非常重要。当上管需要通过墙的时候, 一定要注意工具头不要滑倒。在穿透墙体的初期, 因为插入的土很少, 所以钻头的重量只由两部分来支承: 导靴和浅土。如果在这种情况下, 刀具头会受到向下压力的影响而滑移, 会直接影响穿墙机的正常工作。所以, 当钻壁时, 一方面要设定向上的初斜角(5'左右), 另一方面要在穿墙管下方设置支撑结构, 加强管节和工具管、管节与管节的连接。因为要保证穿墙的质量, 必须同时注意这两方面的问题。同时, 推进工具管的速度要快, 以保证穿过墙的泥土不会暴露太长时间。为确保井下作业安全, 顺利下井, 应采取相应的安全措施。顶管穿墙部位应采取良好的止水措施, 防止因泥浆流失而导致孔口坍塌, 避免发生安全事故。

(2) 在初期出洞时, 顶管前端的主动土压力远大于其周围及与导向间的摩擦力之和, 极易发生“回弹”现象, 进而引发顶管前土体不规则坍塌, 进而造成二次推进过程中方向失控、抬升。进入隧道后, 由于上部结构受到较大的推力, 导致上部结构的受力增加, 出现侧翻现象, 造成二次衬砌变形过大, 甚至出现错台等事故。为此, 在洞口两边平行的地上各放一根工字钢。当主顶头千斤顶准备收回顶铁的时候, 先把两根工字钢焊到第一根顶铁头上, 然后收回千斤顶, 防止顶头回弹。

(3) 顶管机出洞初期极易发生扭转。盾构掘进至洞顶时, 由于上部土压力和重力的影响, 地面有下沉的趋势, 此时需进行纠偏处理。顶管机刀盘旋转时, 其前方土将受到一定扭矩作用, 而土将根据此相关原理作用于顶管机上。因为顶管机周围及与导轨之间的摩擦力比较小, 所以由摩擦力和顶管机本身的重量所产生的阻力比土壤对顶管机所产生的力矩要小, 所以在此情况下, 可能会出现顶管机的扭转。当遇到复杂的地质条件或断层破碎带等不良条件时, 抗扭力矩变小, 很难沿直线扭转, 造成衬砌开裂。为解决此问题, 同时防止顶管机产生扭绞现象, 在顶管机两侧分别焊有挡板, 以保证导流板底部与导轨对齐。当液压缸将顶板顶升至某一高度时, 起起管顶, 转动一圈, 使顶板完全脱离轨道表面, 压紧轨道表面。当顶管机出现扭绞时, 导流板将压向导向器, 从而防止顶管机出现扭绞。

(4) 穿越旋喷式止水帷幕时, 因其硬度较高, 不宜过快推进, 以免造成较大扭转甚至破坏。如果使用大口径螺旋钻机, 由于钻具直径较小, 扭矩较大, 很容易

出现钻杆卡死的情况。因此，需要减小推进速度，一般保持在20/分钟以内。为防止桩底沉渣堵塞管壁，需提高泥浆流速。

2. 顶管始发

(1) 在开始顶进作业前，必须认真检查下列各项条件，并经证实，才可正式开始顶进：

①所有设备均已检查完毕并投入试运行。这其中涉及了液压系统、电气系统、压浆系统、气压系统、水压系统、照明系统、通讯系统、通风系统等操作系统是否正常运转，各种电表、压力表、换向阀、传感器、流量计等系统的运行状态是否正常，再对其进行联动调试，确定无故障后，才可以开始进行顶管始发的准备；

②顶管掘进机在轨道上的中心线、斜度及标高必须符合规范；

③为防止可流动的土壤或地下水从孔口流入工作坑，制订了一整套措施；

④为开门采取了综合措施。

(2) 在拆门前，应按设计要求，认真检查下列技术措施是否达到预期的效果：

①采用水位观测孔对洞口外侧的降水效果进行了检验，以验证其是否达到了预定的要求；

②孔口止水圈与机罩之间的环形空隙应保持一致，密封适当，泥浆不得混入；

③注浆加固洞外段施工时，为保证洞外土固结能力的提高，地表无明显隆起和沉降，需对3号洞外段进行注浆加固。

(3) 泥水平衡式掘进机停止作业时，应遵守下列作业程序：

①主顶千斤顶不再执行顶升作业；

②刀盘停止转动；

③把“旁通阀”开关在机器内转到“开启”状态；

④调节“泥浆截至阀”至“关闭”状态；

⑤关掉“机内液动力单元”的有关开关；

⑥关闭“进泥泵”和“排泥泵”；

⑦“放泄阀”功能启动；

⑧关掉“工作回路”开关；

⑨关掉电视监视装置，切断主电源。

3. 顶管管节安装

第一节管的顶帽切入土体后应严格控制其水平偏差，不大于5mm，其高程为设定标高加以抛高数。第一节管与第二节钢管连接时，其尾部至少须搁在导轨上20~30cm，并立即进行砼管的钢插口连接。在前一节管顶进后，在管尾位置安放橡胶衬垫，下节管头位置套安滑动橡胶圈，顶进安装完成后，在管头接口内侧涂抹聚氨酯密封膏。全部对位调直后，再开始顶进。

安装程序如下：基坑中心线测量放样—安装顶机架与主顶装置—安装顶铁，吊下一节管节—管节顶进—顶完第一节管，吊下一节管—管节拼装—顶力接近许用力—同上继续再顶—出洞，顶管机与管节分离。

(三) 注浆减阻

(1) 在长距离顶管施工中，注浆技术是降低顶管阻力最有效的方法。灌浆材料包括水泥浆、石灰浆以及水或水泥浆，尤以水玻璃为佳。为了减小顶进阻力，在管周外壁形成一层泥浆润滑层，一般应满足如下条件：

①为检验膨润土的品质，选用优质触变钻井液取样。触变剂是由黏土和金属盐反应而成的一类化合物，它具有很强的亲水性，能在水溶液中形成胶体或凝胶，从而使膨润土失去水分子而悬浮。主要评价指标有造浆率、失水量和动塑性比等。

②在管线中预先开好压浆孔，其设计应有助于在管线周围形成均匀的套管。

③膨润土的贮存，配制，搅拌，膨胀时间等均应严格执行，施工前应做必要的测试。

④注浆工艺以同步注浆为主，辅之以补浆。在推进过程中，必须定期检查各推进段的浆液产生情况。

⑤灌浆装置及其管路必须可靠，抗压能力强，密封性能好。为防止土压平衡式盾构施工时由于地层塌陷或土涌而导致注浆失效，宜采用高压旋喷灌浆技术。在孔内设置单向阀，以防止管外土回流造成孔堵塞，影响注浆效果。

⑥灌浆工序由专人负责，质检员定期检查。

⑦注浆泵选择了流量与顶进速度相匹配的脉动小的螺杆泵。

⑧考虑到顶管长度，每400米增加一台浆泵，以保证浆液压力差不至于太大，为保证灌浆全过程压力差不至于太大。

(2) 在疏松无粘或低黏性土层（如砂、砂等）中，在管壁与土层间注入具有触变性的悬浮液（如膨润土浆），可显著减小管土间的摩擦阻力。若地层较弱或含较大孔隙，则需采用高压注浆技术，否则可能造成管土分离，造成严重后果。喷入的润滑油必须均匀地分布在管线的整个表面。对于颗粒较大的颗粒，可采用增加注水量的方法减小摩擦阻力；我们要不断地监控灌浆压力及灌浆数量，以保证不会破坏管线及邻近建筑物。

(3) 对于浆液不易到达的部位，可选择在切割刀盘或顶管机尾部进行灌浆；在需要长期稳定施工条件下，应尽可能采用顶管灌浆法对地层进行注浆。对于浆液较易到达的部位，可在管线中设置注浆孔，灌浆结束后，应对灌浆孔进行封堵。

(4) 顶管施工过程中，需保证润滑泥浆在管周表面形成一层相对完整、连续的润滑膜，才能达到优异的减摩效果。如果没有这种情况，则需要用到水玻璃等其他类型的润滑剂。特别是在长距离顶管施工中，选择合适的注浆材料，优化注浆工艺，是保证顶管施工质量的关键。

1) 触变泥浆系统设置：

为了减小推进过程中的阻力，需要经常对压-触变泥浆进行操作。介绍一种新型顶进式泥浆泵，该泵具有

结构简单、使用方便、可提高钻井效率等优点。钻孔设计与布置：在每个钻孔前各打一孔，共4个钻孔，钻孔大小为90度。通过不断地压浆，最终在钢管外壁形成一套完整的泥浆套。

触变泥管安装在顶管机后面，共4根，每个节上配有触变泥管，这样就形成了一个完整的套管结构。当顶压力达到某一值时，液压缸带动活塞上下运动，使泥浆泵产生负压，将地层内的水抽出来。以后每隔三段就要安装一根导管，用来给套管补浆。

2) 浆液配置：

触变水泥浆体系主要由三部分组成，即搅拌、注浆和管系。其中，搅拌和注浆是两项重要的工作。搅拌工艺为：先将灌浆材料和水混合，然后搅拌成要求的浆液（造浆后放置24小时才能使用）。注浆就是将水泥浆注入到水泥砂浆中，使其成型。灌浆工作采用注浆泵完成，根据压力表、流量表的资料，可以对灌浆过程中的压力进行有效控制（即压力要控制在水深1.1—1.2倍）、注浆量（用计量桶控制）。注浆管为内径和长度可调节的管状结构。这条管道分为两段，一段位于管道内侧，另一段则负责输送浆液至各个孔。

触变泥浆由膨润土、水和掺合剂按一定比例混合而成。施工现场按重量计的触变泥浆配合比为：水：膨润土=8：1，膨润土：CMC=30：1。本工程拟购置膨润土袋装复合材料，在现场施工加水拌和。

3) 注浆流程：

造浆静置——注浆——顶管推进（注浆）——顶管停顶——停止注浆。

4) 数量和压力

压浆量为管道外围环形空隙的1.5倍，压注压力根据管顶水压力而定。

（四）顶管施工测量和导向

在顶管施工过程中，地面及地下的测量控制系统应严格按照预先确定的管线中心线及工作坑位置建立，控制点应设在不易受干扰、视野清楚、便于检查的地方，并要有相应的防护措施。

在安装测量装置时，必须保证测量仪器与工作坑底及壁面分离，避免因顶进力作用而引起的位置偏差，造成测量误差。

顶管始发前必须认真测定掘进机头的轴线和标高，并将测量数据及时反馈进行调整。

顶进施工期间，所有原始资料必须连续，真实，完整，且记录表要写得很清楚。

在交接班时，一定要认真地记录好交接的数据，并且要清楚地指出管路的路径和校正的方向。

每次顶进施工结束后，均需重新测量，绘制出管线标高、走向及顶进力曲线图，并由工程主管或监理检查复核。

为了保证施工过程中不影响其他地面和地下建筑物的正常运行，必须实时监测地表变形和建筑物的沉降。

根据施工单位的要求，在指定区域布置施工监控，监测顶进过程中地表变形及土体位移，及时采取必要措施，保证地上、地下建筑物或构筑物的安全正常使用。顶进工作结束后，应绘制施工进度图，并绘制完成后的地面变形图。

（五）顶管接收措施

为了保证顶管施工的顺利进行，在施工过程中必须对洞口土体进行加固处理。若土壤质地较软，可采用门式加筋方式，即沿管道两侧及顶部一定宽度及长度范围内加筋，以加强该部位土体的强度，保证工具管或掘进机开挖时不发生塌方。该方法适用于各种地质条件，如软黏土，粉质黏土等。如土壤质地较软，则应在管线推进的某一段区域内，对其进行整体补强。介绍了目前常用的地基处理方法和它们的应用范围。采用三轴搅拌桩加固土体。

当管管机再次前进时，必须保证管管机前面的土壤不会出现不规则的崩落，以便管管机再次前进时，方向不会失控，也不会上升。从安全角度考虑，通常采用直径较小的螺旋输送机，并与地面保持一定的距离，才能保证正常作业。对于重型顶管机或掘进机，为防止到达接收坑时发生打头现象，可在接收坑底部填入硬黏土，或在洞底浇入低等级混凝土托盘，这样就可将掘进机抬起。另一种方法是在接收坑底部铺一层松软的水泥垫层。您也可以预先在接收坑中设置一个更短的延伸轨道，以支持掘进机。另一种方法是将一块小铁块安装在隧道洞口，以阻止掘进机钻入地下。另外，应该把掘进机和第一节混凝土管连在一起。

三、结语

经过实际施工，雨污管道顶管顺利施工完成，各项受力满足要求，达到了预期目的。在具体施工中，通过对顶管施工的测量定位、顶进施工、注浆减阻、顶管施工测量和导向、顶管接收等环节进行合理的控制，有效的保证了顶管施工的整体质量，使工程符合设计要求，取得了良好的经济效益及社会效益，希望具体的施工控制策略能够为同类工程提供一定的借鉴。

参考文献

- [1] 苏玲. 市政雨污分流工程中的顶管施工技术分析[J]. 居业, 2021(08): 73-74.
- [2] 宣卓. 市政雨污管道顶管施工工艺分析[J]. 安徽建筑, 2021, 28(02): 59-60.
- [3] 孙虹波. 市政雨污分流工程中顶管施工技术应用[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(16): 91-92.
- [4] 王强. 市政管道工程中雨污管道顶管施工方法与工艺[J]. 陕西水利, 2020(08): 206-208.
- [5] 徐华磊. 市政雨污分流工程中的顶管施工技术分析[J]. 科技创新与应用, 2015(24): 176.
- [6] 朱俊学. 顶管施工技术在市政雨污分流工程中的运用[J]. 山东工业技术, 2015(15): 64.