

# 基于地下施工作业影响的天津市排水管道安全性研究

郑娜 史春 丁谋谋 刁然治

中国市政工程华北设计研究总院有限公司

**摘要:** 随着城市地下设施、建(构)筑物不断增加,地下空间开发强度愈加增大,可利用的地下空间愈发紧张。在距离地下排水管道较近的位置进行的施工,如土方开挖、顶管施工、盾构施工等,均可能引起排水管道周边的土体环境改变,进而严重威胁到排水管道地安全运行。通过对天津市首例顶管施工过程对现状排水管道的结构微变形监测工程案例,融合岩土、排水、结构等多专业,对地下施工作业影响的天津市排水管道安全性进行研究。

**关键词:** 外部施工; 土体变形; 排水管道; 微变形; 安全运行

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.04.033

## 一、研究背景

我国由于排水管道安全事故引起的路面塌陷等情况不断发生,在对人民生产、生活造成了严重影响的同时,也给国家造成了较大经济损失。

排水管道的事事故致因大致可以分为两类,一类是由于管道老化、腐蚀等自身严重的功能性或结构性缺陷隐患引起的安全事故,另一类是由于管道外部施工,造成地下水土流失引起的安全事故。特别是管道周边的外部施工,对排水管道的健康安全运行影响较大。因此,研究地下施工作业对排水管道的安全运行影响,就显得尤为重要了。

本文通过实际案例,通过在外部施工作业下对管道变形的监测,对排水管道的安全运行进行研究。提出外部作业与管道变形的关系,对类似顶管穿越工程中排水管线的保护提供参考。

## 二、工程研究内容

### (一) 研究技术路线

研究的技术路线为:选取实际工程案例→岩土三维模型分析→外部施工期间排水管道的监测→得到监测数据→分析管道受力情况→得出结论。

### (二) 工程概况

本工程项目为天津市某线路地铁某站南侧出入口



图1 工程位置示意图

顶管穿越道路现状d1800mm雨水管道变形监测项目。d1800mm雨水管道为钢筋混凝土管道,管道埋深约5.2米,顶管始发距管道平面距离约17米。详见图1工程位置示意图,图中红色线为道路现状d1800mm雨水管道,与之垂直的通道为车站出入口顶管通道,顶管始发井位于道路南侧,接收井位于道路北侧。d1800mm雨水管道与顶管竖向距离仅为0.5米,详见图2剖面示意图。

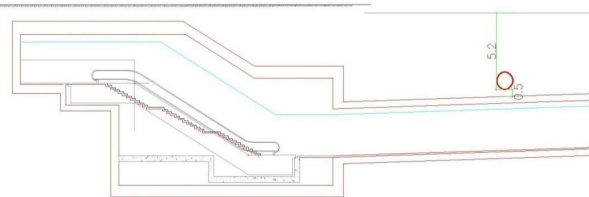


图2 剖面示意图

### (三) 有限元模型分析

根据《城镇地下排水设施保护标准》(T/CECS 1097-2022)<sup>[1]</sup>,表5.0.6地下排水设施的安全风险等级判定以及表5.0.7地下排水设施安全防护措施判定,项目处于强烈影响区,并且需要进行施工监测。

建立整体三维模型,进行施工影响全过程分析。计算结果反映,换乘通道在施工过程中,顶管工程施工对雨水管有一定影响。详见图3 模型计算图

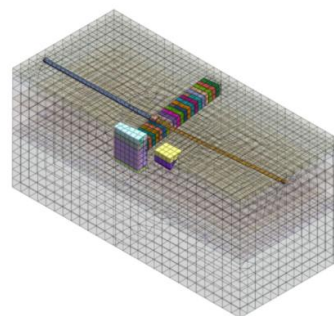


图3 模型计算图

计算管道竖向变形,进而推算推进距离与管道变形的变化趋势,如图4和图5,分别为西段管道和东段管道变形趋势图,横坐标为顶管顶进距离,单位为m,纵坐标为管道竖向变形距离,单位为mm,正向为管道隆起,负向为管道下沉。根据模拟变形趋势,顶管由始发开始顶进至管道处,周边土体受到挤压,使得管道向上隆,顶管穿越管道过程中,管道周边土体应力释放,管道下沉,顶管穿越后,与前工况一致。

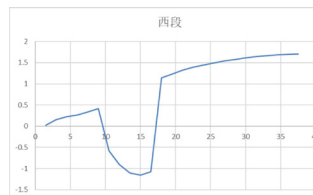


图4 西段管道变化趋势图

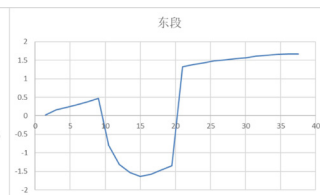


图5 东段管道变化趋势图

### (四) 监测实施

当前针对排水管线的安全监测大多采用间接方式,

即通过监测排水管周围土体的位移来获取排水管位移或变形。由于无法保证土体与排水管位移的一致性，该方式无法得到排水管真实、准确的位移量<sup>[2]</sup>。因此，本次实验拟通过直接监测管道变形来研究顶管施工对排水管道的影响。

本次工程应变监测使用其中的弱光纤光栅。光栅可以再多种不同光纤中进行刻制，形成不同类型的光纤光栅<sup>[3]</sup>。

光纤布设方案为地铁通道正上方为中心的中间检查井为起点，分别向东西方向各延长一个检查井为监测范围，沿雨水管线走向，在雨水管道顶部和侧腰位置布设安装感测光缆至下一个检查井前，西侧55米，东侧45米，中间检查井10米，监测长度110米。将感测光缆安装布设于雨水管线上内壁外表面，可以有效监测管线结构变形情况，考虑到长期监测温度变化带来的影响，在管道顶部同步布设一根温度补偿光缆。分布式光纤测温技术是一种区别于传统点式测温的连续型测温技术<sup>[4]</sup>，用来剔除温度影响带来的测试误差。监测终端根据现场实际情况放置在中间检查井内。详见图6、图7、图8。

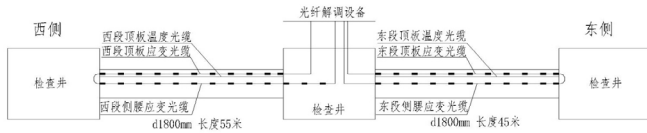


图6 光纤布置平面图

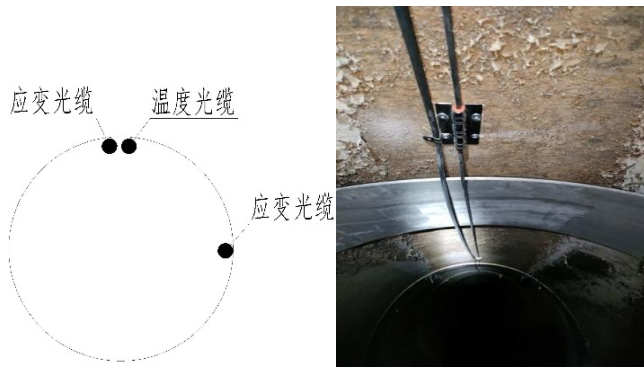


图7 光纤布置剖面图

图8 管道内部光纤布设图

顶管施工自2023年4月30日至2023年5月31日，从南侧顶管机进入南侧出入口顶管加固区起至北侧顶管机出加固区后到达站内接受为止。通过监测收集顶管施工期间实时监测数据以及顶管施工后的部分监测数据。将数据类别分别定义为西段顶板、西段侧腰、东段顶板、东段侧腰。对所有测量数据进行整理分析。

### 三、数据分析

#### (一) 到达现状管道前分析

读取5月1日-6月18日期间的整个变形数据，即整个顶管施工工期内，以及顶管施工后的一段时间，我们进行变形分析，选取每日相同时间点，本次选取零时刻的管道监测变形数据，并对管道进行温度补偿以及无效点消除后，分析顶管顶进距离与管道变形之间的关系。

选取5月1日-5月10日之间监测数据，本段时间内，顶管由南侧始发后，逐渐向北接近雨水管道，并在5月10日到达雨水管道。读取每天监测数据，+为拉伸变形，-为压缩变形，变形单位为mm。横坐标为管道监测长度，单位为m，纵坐标为管道变形量，单位为mm，分别将同一点位、不同日期内同一时点的管道变形监测数据以不同颜色进行比对。如图9-12。

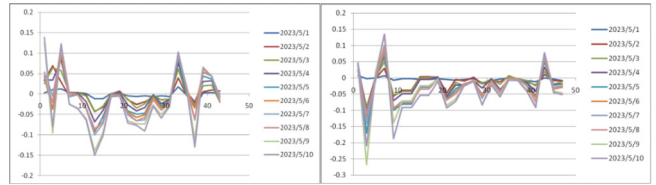


图9、10西段顶板、西段侧腰5月1日-5月10日变形图

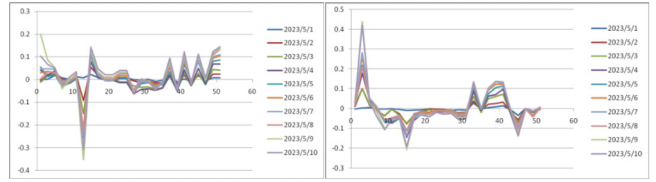


图11、12东段顶板、东段侧腰5月1日-5月10日变形图

通过图表看出在5月1日-5月10日，随着顶管不断向前推进，与排水管道的距离逐渐缩小，越来越接近现状排水管道，对管道接口变形的影响逐渐增大。且随着不断顶进过程中，顶管引起的排水管道周边土体的变化，管道变形的趋势与周边土体变形趋势相同。进而可以继续分析在整个顶管施工过程以及施工后的监测中，排水管道整体的变形情况。

#### (二) 施工期间及施工后分析

选取5月1日-6月18日之间监测数据，读取每天监测数据，对四段监测位置分别进行变形对比、变形速率对比，变形对比中+为拉伸变形，-为压缩变形，变形单位为mm。横坐标为管道监测长度，单位为m，纵坐标为管道变形量，单位为mm。变形速率对比中，以最远点为基值，即假设最远点受影响程度最小，由远及近叠加管道变量，横坐标为管道监测长度，单位为m，纵坐标为管道变形量，单位为mm。分别将同一点位、不同日期内同一时点的管道变形监测数据以不同颜色进行比对，如图13-20。

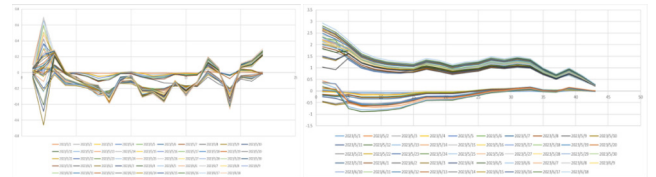


图13、14西段顶板5月1日-6月18日变形图、变形速率图

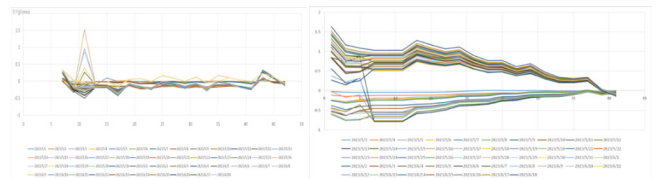


图15、16西段侧腰5月1日-6月18日变形图、变形速率图

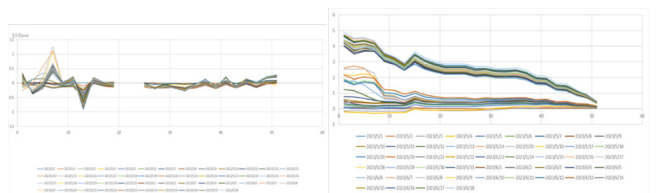


图17、18东段顶板5月1日-6月18日变形图、变形速率图（缺失部分为消除无效点）

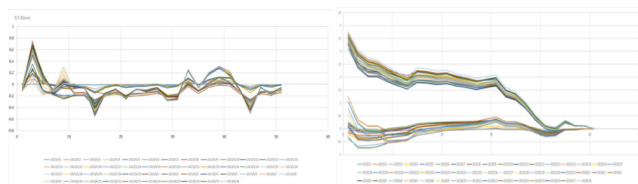


图19、20东段侧腰5月1日-6月18日变形图、变形速率图

通过图表看在5月1日-5月31日，整个顶管施工期间，随着顶管不断推进，与排水管道的距离逐渐缩小，越来越接近现状排水管道，后逐渐远离现状排水管道，对管道接口变形的影响逐渐增大。且随着不断顶进过程中，顶管引起的排水管道周边土体的变化，管道变形的趋势与周边土体变形趋势相同。进而可以继续分析在整个顶管施工过程以及施工后监测中，排水排管整体的变形情况。

综合对比东西两侧的顶板和侧腰的变形图、管道点位变形速率图，分析管道变形的变化情况：

1、分析点位的变形速率图，5月20日至21日，管道整体变形增加，形成突变，并且四段线路整体变化明显。详见图21-24。

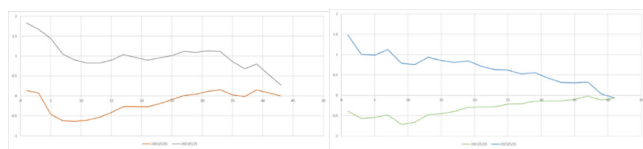


图21、22西段顶板及侧腰5月20日至21日变形速率图

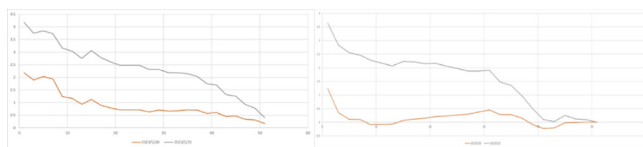


图23、24东段顶板及侧腰5月20日至21日变形速率图

2、西段侧腰，5米之内，即顶管上方在检查井位置，影响范围最大，变形逐渐上升，14日到最大值，15日下降，17日达最小值。

3、分析点位的变形速率，以最后一个点位保持不变，同时点，不同点位做数学累加，得到管道整体变形，利用监测最远点认为不动，得到压缩与拉伸变化趋势，均为由检查井向东西侧两侧，变形逐渐减小，可推断假设成立。

### (三) 与实际工况对比

1、顶管施工前，对管道进行了调水、清淤、加固措施后，顶管于4月30日开始顶进，于5月20日晚进行了拆堵通水，进而引起了管道内温度的变化，管道内温度升高约4℃，通过温度光纤感应，识别出温度变化，再通过变形光纤的感应，识别出管道的变形。因此，施工中管道内部水体及水位变化对管道变形均有影响，如图25-28。

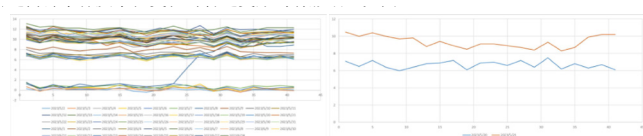


图25、26西段温度变化图

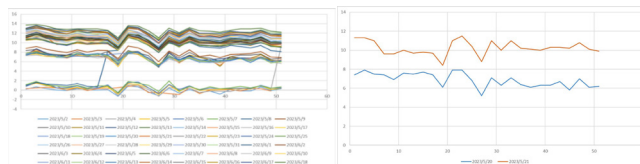


图27、28东段温度变化图

2、5月14日、15日左右，东西两侧在检查井周边的变形值达到峰值，后逐渐回落，对比顶管工况，该时间为顶管机顶过中心检查井位置时间段，并且在该时间区间，施工顶管有补充泥浆、设备检修、提高顶进压力等相关工况，与施工单位沟通降低顶进速度和压力后，应力逐渐增大后减小，最终趋于稳定。

3、分析东西两段管道变形速率图，管道的变形速率，从中间检查井到远端点位，变形由大到小，与工况对比，说明外施工的影响范围由中间向两侧逐渐变小，变形量也是由中间向远端逐渐减少。即随影响区域逐渐变小，变形量也逐渐减小。

4、根据工程影响分区判定，管道处于1.0D（D为顶管截面尺寸）范围内，即顶管周边6.9米范围内，均为强烈影响区内。分析管道的变形情况与之对应，即处于强烈影响区内的管道变形最大。

### 四、结论

1、外部施工影响下的排水管道接口变形情况与变形趋势，与事前有限元模型分析一致，即与施工区域越接近，变形越大，变形速率也越大。开始顶进，管道受周边土体挤压，管道压缩状态，顶进后，管道周边土体变化的应力释放，受拉伸。

2、整个顶管的施工影响区为以中间检查井为中心，两侧各10米范围内，因此，在施工前加固措施范围可控制在两侧10米之内，可有效降低施工过程对管道的运行风险。

3、对于管道受外部施工的影响，监测手段以直接监测为优，即对管道本体进行变形监测，可直观了解施工过程中管道的变形情况，施工期间的监测时长应至施工完成后20天。

### 参考文献

[1] 中国工程建设标准化协会标准. 城镇地下排水设施保护标准: (T/CECE 1097-2022) [S].  
 [2] 李月阳, 张雷, 闫宇蕾, 等. 基于分布式光纤的盾构隧道下穿排水管线监测预警控制指标研究[C]//王新杰. 第八届深基础工程发展论坛论文集. 青岛: 知识产权出版社, 2018: 306-310  
 [3] 张伟刚. 光纤光栅传感技术及其工程化应用[J]. 科学. 2018. 70 (1): 20-23  
 [4] 左婧, 李忠虎, 闫俊红, 等. 分布式光纤测温系统温度检测与处理算法研究[J]. 高技术通讯. 2018, (22): 991-996