

Risk Analysis and Preventive Control Measures for Construction of Super Large Rectangular Pipe Jacking under Pressure Sewage Tank Culvert

Hongxing Wang Qiu Jin Dan Wang Jiahao Zhang

Shanghai Jianke Engineering Consulting Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

Abstract

The super large rectangular pipe jacking project of Songhu road-Sanmen Road Underpass in Shanghai, China has many construction sites, long route, super large pipe jacking pipe diameter, and underpass the pressure sewage box culvert for a long time, which makes the construction difficult and risky. In this paper, combined with the construction practice of the project, through the pre-reinforcement of the sewage tank culvert and the advance analysis of the risk of the jacking condition of the sewage tank culvert underneath, the uneven settlement of the soil during jacking, the leakage of the sewage tank culvert, etc. problem. In the process, the deformation of the sewage tank culvert is less than $\pm 2\text{mm}$, which is far less than the requirement of no more than $\pm 10\text{mm}$ for the property unit. The overall effect is very significant, which can provide a good reference for quality control of similar projects.

Keywords

oversized rectangular top pipe; risk analysis; preventive measures

超大类矩形顶管下穿压力污水箱涵施工的风险分析以及预防控制措施

王红星 金秋 王丹 张家豪

上海建科工程咨询有限公司, 中国·上海 200000

摘要

中国上海市淞沪路-三门路下立交超大类矩形顶管工程工点多、路线长、顶管管径超大,且下穿年久压力污水箱涵,施工难度大、风险高。论文结合该工程施工实践情况,通过对污水箱涵的预加固和下穿污水箱涵顶进工况风险的提前分析,顺利地解决了顶进中土体不均匀沉降、污水箱涵渗漏等问题。过程中污水箱涵变形小于 $\pm 2\text{mm}$,远小于产权单位不大于 $\pm 10\text{mm}$ 的要求。总体效果非常显著,可为类似工程的质量控制提供很好的参考。

关键词

超大类矩形顶管; 风险分析; 预防措施

1 工程概况

1.1 顶管工程概况

顶管工程分东西两线,净间距 3.4m,长度均为 163m。管节为预制钢筋混凝土,管节尺寸为 $9800\text{mm} \times 6300\text{mm}$,管节长 1500mm,壁厚 700mm,管节强度 C50,抗渗等级 P10,单节重约 68T。平面图见图 1。

1.2 压力污水箱涵及支管现状

超大类矩形顶管机在自北向南顶进的过程中,将下穿压力污水箱涵,顶管通道顶部距离压力污水箱涵垂直距离为 4m,顶管始发井距离压力污水箱涵最近距离为 44m,顶管接

收井距离压力污水箱涵最近距离为 91m。

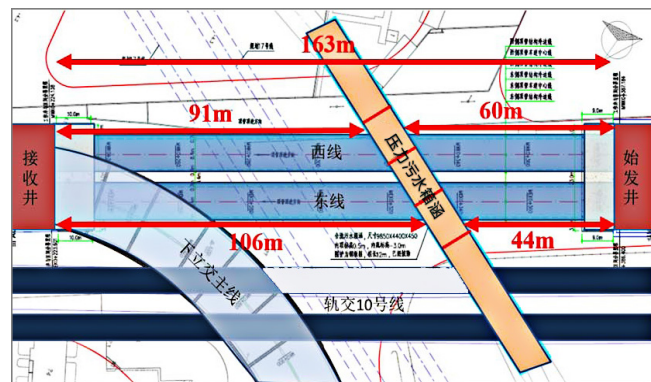


图 1 三门路矩形顶管工程平面图

污水箱涵为两孔混凝土箱涵,竣工已约 26 年。流量为:

旱季 170 万 t/d, 雨季 360 万 t/d, 水头约 11m。

顶管穿越段为倒虹箱涵, 箱涵段长度分别为 16m、15m、16m 有四个变形缝。压力污水箱涵与顶管通道位置关系见图 2。

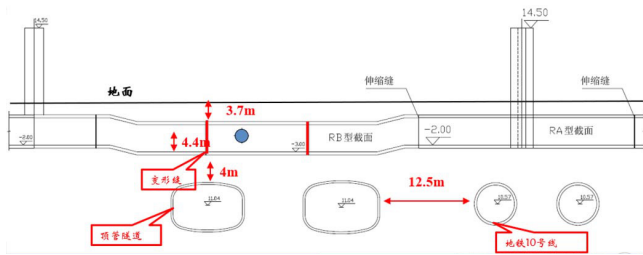


图 2 压力污水箱涵与顶管通道位置关系图

2 施工方法及工序

2.1 工艺选择

根据本工程工艺要求、水文地质报告、结合周边管线情况且下穿已建年久污水箱涵等因素, 本工程两条地下通道采用超大截面矩形顶管法设计。

2.2 施工工序

顶管机从始发井出发, 接通电源后, 依次启动刀盘和油泵, 检查各部位无异样后开始顶进, 将顶管机徐徐推入土中, 观察传感器压力上升到极限时开启送排泥泵, 进行出土。顶进过程中通过预制管节各注浆孔不断压浆, 在管节外侧形成完整的泥浆膜, 起到减小摩擦力的作用, 同时可以及时填充管节与土体之间的空隙, 保持土体稳定^[1]。

管节在下井过程中要严格控制拼装质量。拼装时, 暂停顶进, 在前一节顶管中插入止退销, 断开注浆管等管节内管线, 将后面管节吊装下井, 后顶顶上管节, 与前一节连接就位, 随后连接相关管线, 恢复顶进。在管节下井时要保证管节的姿态与预定轴线一致, 避免管节和顶环轴线差距过大。

2.3 接口处理

根据本工程需要, 采用 9.8×6.3m (内径 8.4m×4.9m) 大刀盘+偏心多轴组合式类矩形顶管机。接口处采用“F”型承插式, 接缝防水装置采用楔形橡胶圈和密封膏, 充分防止管节结合部的渗漏水。

2.4 减摩浆液的拌制

结合本工程地质情况, 以及沿线周边环境的保护要求, 对本工程土体进行取样, 组织专业研究人员多次试验调配出

新型的减摩浆液。减摩泥浆配合比及性能见表 1:

表 1 减摩泥浆配合比及性能表

聚合物	HS-2	膨润土	水	密度	黏度	滤失量
4kg	100kg	100kg	990	1.04g/cm ³	>100s	<20ml

为保证减摩泥浆质量, 施工现场拌浆系统采用自动化搅拌系统。减摩输浆与存储系统应采用螺杆泵、挤压泵等形式。

3 风险分析

根据现场实际情况, 以及采用施工工艺等因素, 对顶管作业施工可能对压力污水箱涵造成的影响, 识别出以下几种风险。

(1) 顶管近距离下穿压力污水箱涵, 穿越施工容易引起基础产生差异沉降, 使污水箱涵产生裂缝, 从而影响其结构安全。

(2) 顶管断面及上部土层物理力学性质较差, 具有较高含水量, 高压缩性, 渗透性弱, 流变性和触变性较强, 对施工扰动反应较为敏感, 容易产生超沉降现象。

(3) 超大大类矩形顶管基座结构形式和定位对顶管始发影响较大。例如, 进入土体后顶管姿态不良, 纠偏过程中易对土体产生较大扰动。易产生顶管偏转, 影响始发。

(4) 超大截面类矩形顶管顶进过程中因自重过大, 易产生机头沉降, 纠偏困难, 一旦发生易造成盾尾偏移, 管节碎裂。

(5) 矩形断面顶管顶进始发过程中, 洞门处易发生流泥、流沙现象, 造成周边管线爆裂。

(6) 顶管线路上方为城市主干道, 过往车流量较大, 下穿压力污水箱涵可能产生上部荷载不一致带来顶管机轴线偏离。

4 预防与控制措施

4.1 减摩注浆控制措施

在顶管顶进过程中, 严格控制减摩泥浆的注浆量、注浆质量及注浆压力。主要是顶管机机头上方的注浆量, 浆液的质量是控制污水箱涵以及周边地面沉降的保证, 注浆压力控制适当, 可减少对比体的扰动, 降低对地面变形的影响。减摩泥浆的压注在顶管机盾尾即将进入加固区土体后开始, 减摩泥浆注入量为建筑间隙的 150%~200%, 每节压注控制在 0.95m³~1.6m³, 并根据减摩注浆压力和通道内漏浆情况调整

注浆量和填充率^[2]。

4.2 顶管姿态控制措施

在本工程顶管施工过程中，结合顶力、顶进速度和出土量三者的关系，保持顶进坡度的相对平稳，控制好每次纠偏的量，减少对土体的扰动。同时根据顶进速度、出土量和地层变形监测数据，及时调整注浆量，从而将轴线和地层变形控制在最小范围内。顶进轴线控制分为：“平面”和“高程”控制。顶管掘进时偏离设计轴线高程 $\leq \pm 80\text{mm}$ 、平面 $\leq \pm 100\text{mm}$ ，相邻节错口 $\leq 15\text{mm}$ 。

4.3 顶管防偏转措施

在进入加固区前，顶管机本体安装至机架上，为防止顶管机本体出现偏转，始发前顶管机本体焊接 3 处防偏转牛腿。

在进入加固区过程中，由于盾壳没有整体受到土体的包裹，在刀盘转动时，顶管机很容易发生小幅度翻转，造成后续管节与盾尾相对姿态的变化，为了纠正顶管机的转角，将管节下部的两个三寸注浆孔进行偏移，用于压泥纠正转角。始发及试验段管节三寸孔示意图见图 3：

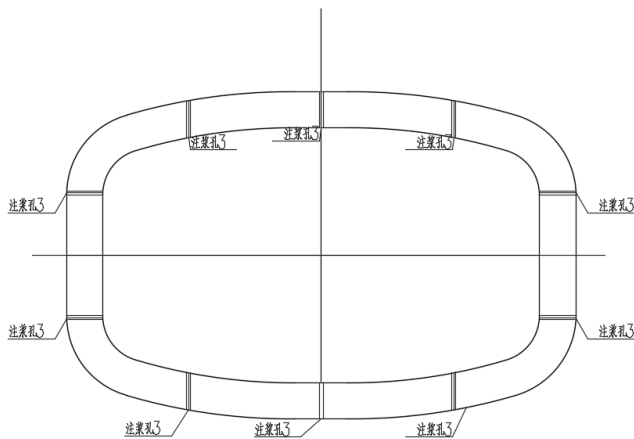


图 3 始发及试验段管节三寸孔示意图

4.4 洞门密封控制措施

始发井洞门尺寸较大，要加强对洞门密封的控制：清理洞圈预埋钢环内残留混凝土和渣土，确保橡胶帘布能与钢环之间贴合密实；按螺栓具体位置拧入 118 只螺栓；安装帘布橡胶板；套上环板并用螺母旋紧固定然后拧紧，按照每个钢丝刷、钢板刷设定位置焊接在止水箱体与洞圈环板上。始发洞门密封装置示意图见图 4，始发洞门密封装置现场效果图见图 5。

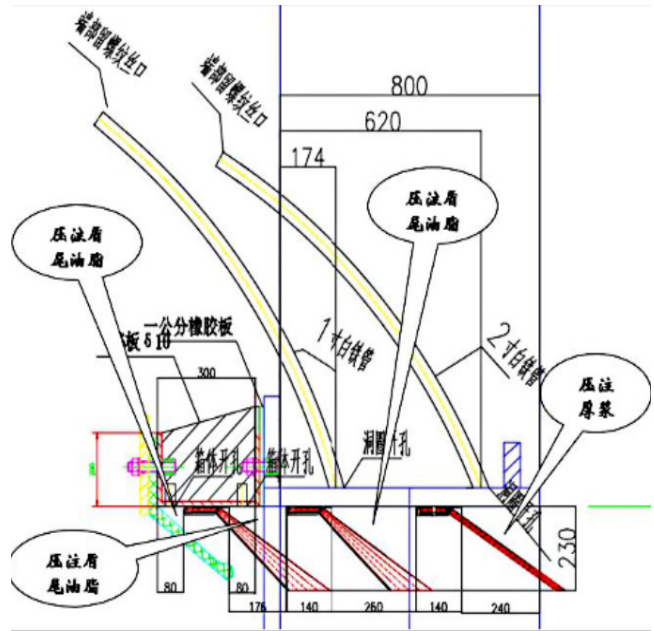


图 4 始发洞门密封装置示意图

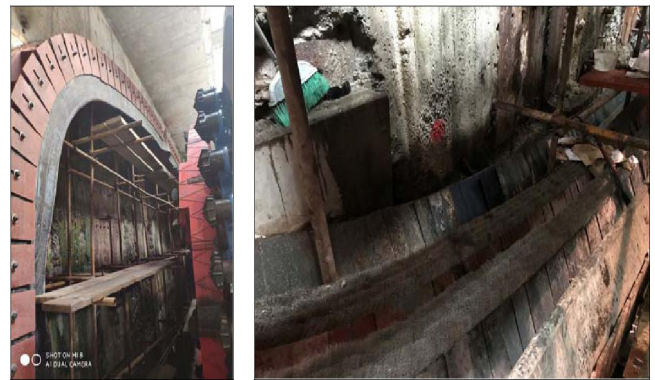


图 5 始发洞门密封装置现场效果图

4.5 压力污水箱涵框式和支管拖底 MJS 加固措施

(1) 在污水箱涵两侧顶管影响范围内，采用 A4200mm@3100mm 全圆与半圆 MJS 工法进行箱涵支撑桩与箱涵底部加固。半圆 MJS 工法加固至顶管通道上部 0.5m 处；全圆 MJS 工法加固至顶管通道底部向下 1.5m 处，形成箱涵框式加固结构体。

(2) 东、西顶管通道之间，采用 A700mm@500mm 双轴搅拌加固的设置隔离桩及封堵墙；且东线通道中间双轴搅拌桩桩中心距通道边线预留 1.5m 安全距离，西线通道中间双轴搅拌桩桩中心距通道边线预留 1.24m 安全距离；

(3) MJS 工法施工时严格按照跳孔施工，相邻桩控制施工间隔时间须大于 24 小时。其中，污水箱涵 + 支管拖底 MJS+ 双轴隔离与封堵墙加固见图 6，MJS 涵框式加固剖面图见图 7，污水箱涵支管拖底 MJS 加固剖面图见图 8。

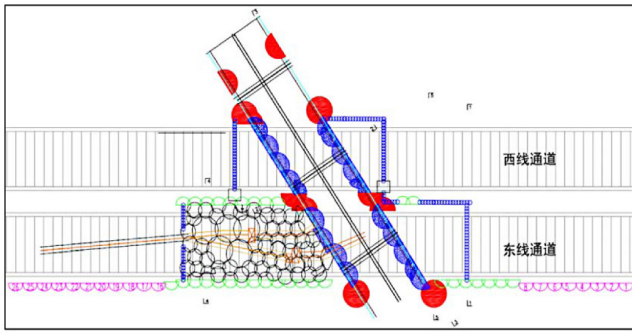


图 6 压力污水箱涵 + 支管拖底 MJS+ 双轴隔离与封堵墙加固平面图

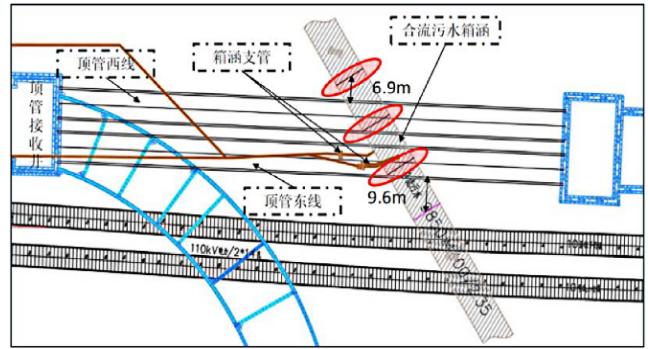


图 9 压力污水箱涵变形缝平面图

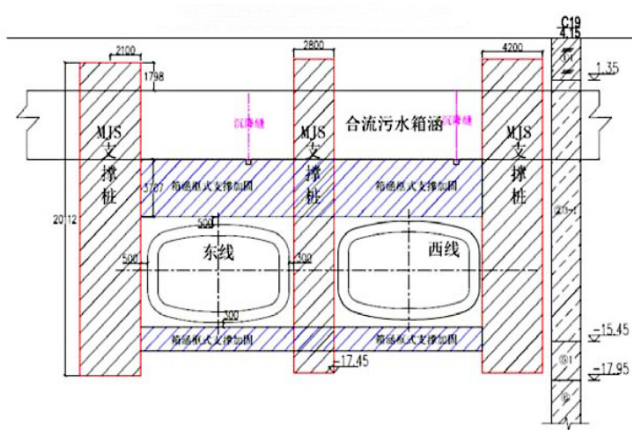


图 7 压力污水箱涵 MJS 涵框式加固剖面图

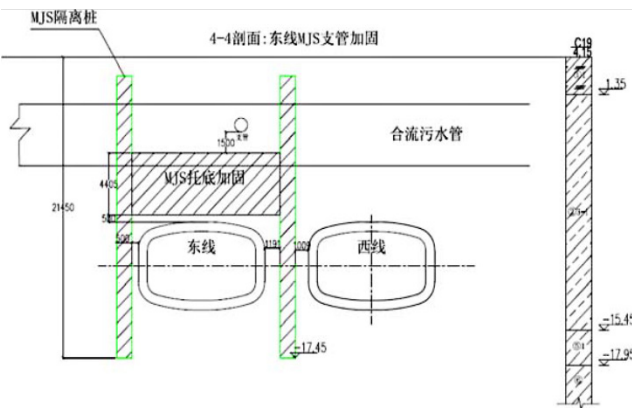


图 8 压力污水箱涵支管拖底 MJS 加固剖面图

4.6 压力污水箱涵变形缝应急基坑预围护措施

压力污水箱涵变形缝在顶管顶进过程中，因土体变形最容易发生渗漏，为了应急时变形缝处开挖检修及时快捷，应先行应急基坑预围护。

压力污水箱涵共有四条变形缝在顶管通道影响范围内，其中两条在东线西线通道上方；一条位于东线东侧，最近距离约为 9.6m；一条位于西线通道西侧，最近距离约为 6.9m。压力污水箱涵变形缝平面图见图 9。

对影响较大的三条变形缝定位后进行基坑维护施工，维护采用 A 700@500SMW 工法桩内插 488×300×11×18H，插一跳一，深度 10.9m，顶管通道上方采用拉伸钢板桩形式进行封闭，拉伸钢板桩底至箱涵顶端，变形缝基坑底部及四角采用 A4200MJS 全圆及半圆组合形式，与部分压力污水箱涵 MJS 框式加固搭接，进行封闭止水。其中，变形缝基坑平面图见图 10，沉降缝基坑围护与箱涵框式加固剖面图见图 11，变形缝基坑围护剖面图见图 12。

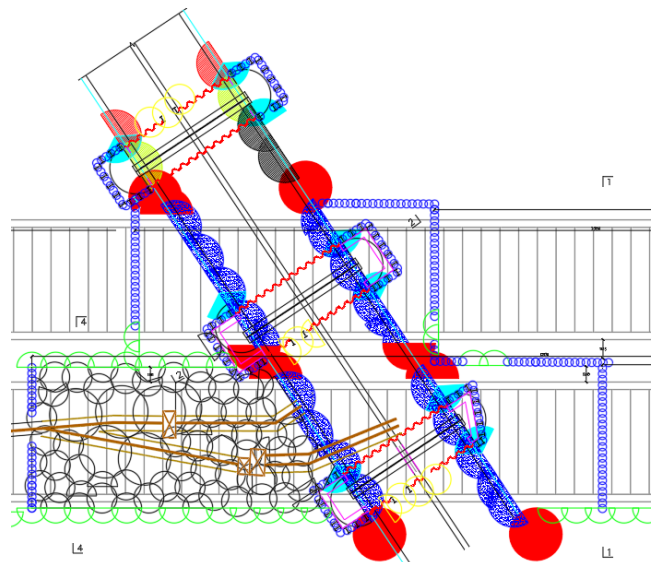


图 10 变形缝基坑平面图

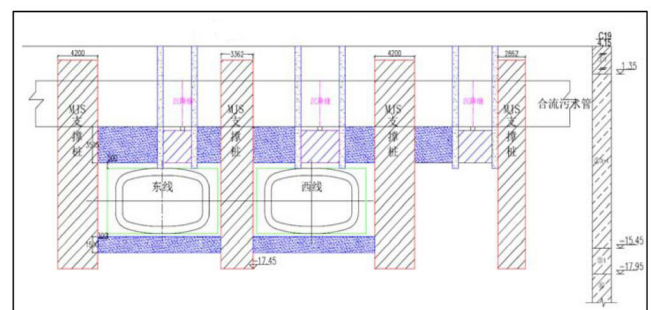


图 11 变形缝基坑围护与箱涵框式加固剖面图

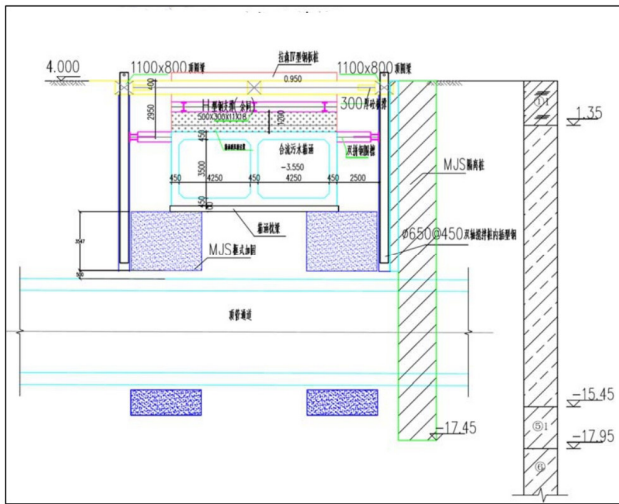


图 12 变形缝基坑围护剖面图

4.7 顶管通道上浮下沉控制措施

为避免通道上浮或下沉对周围土体扰动从而对合流污水箱涵造成影响，在顶进中采用如下措施：

- (1) 顶进前针对性的对顶管机选型，对管节注浆孔孔位及预埋钢板进行调整，增加管节注浆孔。
- (2) 顶进中严格控制施工数据，严控顶进速度，在穿越压力污水箱涵前于试验段摸索顶进速度与注浆量之间的关系。
- (3) 如发生通道少量上浮，及时在前部管节处放置压铁，视上浮量逐步增加压铁重量，不可一次放置过多压铁导致通道轴线突变。

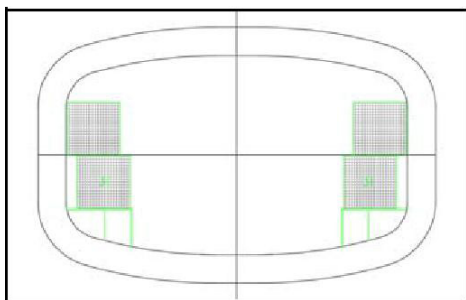


图 13 通道内压铁示意图



图 14 通道内压重抗浮示意图

(4) 顶管通道管节拼装中，安装剪力销，提高通道整体稳定性、抗变形能力。

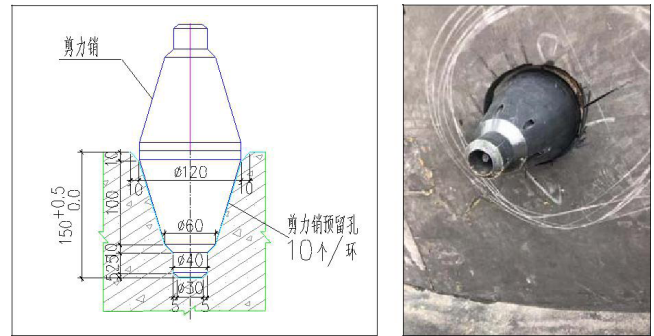


图 15 剪力销示意图

4.8 不利地层中穿越防止土体液化措施

根据勘查报告，顶管在顶进过程中，穿越的土层主要以砂质粉土为主，并夹杂少量的粘性土。砂质粉土在顶进过程中极易发生液化，饱和沙土在循环剪应力条件下，由“固态”转化为“液态”的行为，液化之后的土体强度大幅下降或丧失。针对此种情况做出以下措施：

- (1) 适当增加减摩泥浆压注量，通过浆液的劈裂行为改良液化土层，减少顶管顶进期间的沉降和工后沉降。
- (2) 提高通道整体性与稳定性，在前二十节管节上增设预埋钢板，顶进时将其整体焊接，增加通道的整体性与稳定性。
- (3) 连续均衡化施工技术，均衡化是指通过合理设置顶管施工参数、制定施工策略，将顶管施工对周围环境的影响控制到最小。

5 结论

通过对顶管施工的前期测量定位、施工工艺、过程控制以及后期处理等手段，有效避免顶管下穿年久压力污水箱涵施工的风险，目前东线通道顺利贯通，本次对污水箱涵的影响极小，累计变化值精确控制在 $\pm 2\text{mm}$ 范围内，远低于专家提出的 $\pm 10\text{mm}$ 的控制指标，表明风险控制与预防措施正确，确保顶管施工及污水箱涵的安全。

参考文献

- [1] 刘乃银, 杨光发, 张照玉. 顶管穿越施工技术 [J]. 石油工程建设, 2006(05):33-36.
- [2] 张焯. 矩形顶管近距离下穿大断面排水箱涵施工技术 [J]. 山西建筑, 2017(30):84.