

机械掘进式沉井（VSM）工法对周边环境影响监测数据分析

王友立

上海京海工程技术有限公司，上海 200120

[摘要] 本论文题材，主要介绍了机械掘进式沉井对周边建（构）筑物的影响情况，通过盾构井施工过程中对周边建（构）筑物、市政地下管线、周边地表的数据分析为之后此类施工作为参考。

[关键词] 合流污水；机械掘进式沉井（VSM）；施工监测；建（构）筑物沉降；地表沉降；监测数据分析

DOI: 10.33142/ect.v4i5.19774

中图分类号: TD265.5

文献标识码: A

Analysis of Monitoring Data on the Impact of Mechanical Excavated Sinking Well (VSM) Construction Method on the Surrounding Environment

WANG Youli

Shanghai Jing Hai Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

Abstract: This paper mainly introduces the impact of mechanical excavation type caisson on surrounding buildings (structures), and analyzes the data of surrounding buildings (structures), municipal underground pipelines, and surrounding surfaces through shield tunneling construction process as a reference for future construction of this type.

Keywords: confluent sewage; mechanical excavation type caisson (VSM); construction monitoring; settlement of buildings (structures); surface subsidence; monitoring data analysis.

引言

近年来随着城市发展，对水环境治理的标准亦不断提高，原城市排水系统大多过于老化，初期雨水截流能力不足，隐患增多存在运行风险，急需改造。

上海市原竹园区域设施在初雨水量调蓄能力和覆盖面上均有较大不足，难以应对初期雨水瞬时水量冲击负荷。急需通过新建复线工程，完善片区收集系统，补齐城镇收集管网短板，提升苏州河干支流及相关水体水环境质量，适应城市发展的目标，于2022年7月合流污水复线总管部分正式开工，定位为“十四五”重大民生与环保工程。

该项目采用设计穿越多处中心城区，施工周边环境内存在大量既有建（构）筑物、市政管线等，特别是在盾构井取土过程中对其影响较大。在用地紧张的城市核心区，相较于传统的地墙工艺难以满足用地需求，机械掘进式沉井工法因其占地面积小，施工速度快，环境影响小等技术特点在国内外此类工程项目中开始使用。施工监测为此类新工艺对其施工影响区域内的建（构）筑物、地下管线、周边地质体等进行的监测、巡视工作提供数据支撑，对可

能发生的险情提前预警，使用作为现代施工过程中不可缺少的一环。

1 工程概况

合流污水一期复线工程（总管部分）FXZ1.2 标 DN5000 盾构工程自普善路-柳营路路口附近的彭越浦泵站 1#盾构井始发，沿普善路、万荣路方向下穿大宁郁金香公园后，接入 2#盾构井；随后沿万荣路一直向北延伸，通过 3#盾构井，穿越中环线后，进入江场西路北侧的 4#盾构井；此后盾构区间改向东，沿江场西路穿越共和新路立交，通过平型关路东侧的 5#盾构井，接入西泗塘西侧的 5-1#盾构井，线路总长 6.58km。

盾构井监测等级为一级。设置的监测项目有周边管线沉降、周边建筑物沉降、周边土体沉降、坑外潜水位、桩体深层水平位移监测项目。本文主要介绍施工过程中对周边地质体及建（构）筑物的监测数据分析。

2 盾构井情况

3#井内径 16.4m，外径 17.7m，壁厚 0.65m，环高 1.5m，井深 38.043m，结构采用预制混凝土管片进行拼装。

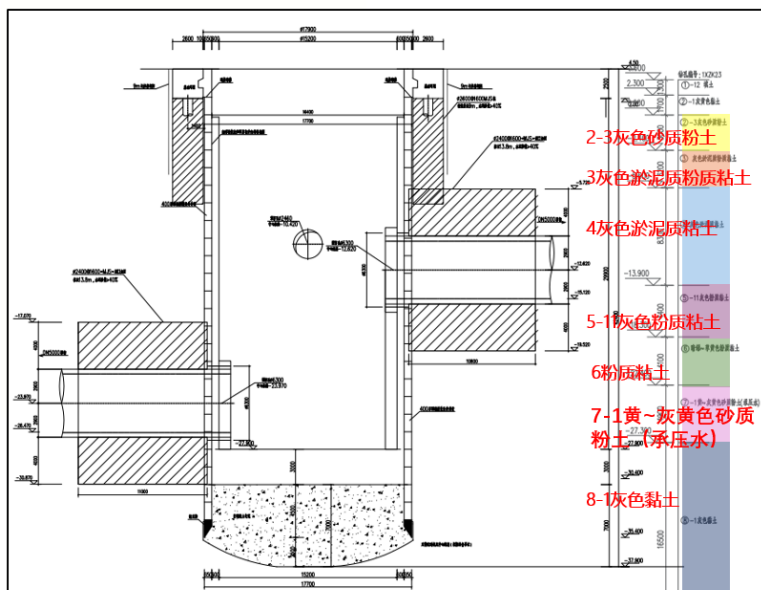


图 1 3#井剖面图

因施工现场处于城市中心位置,传统的地下连续墙工艺难以满足场地要求,故施工选用机械掘进式沉井(VSM)工法,掘进过程采用不排水下沉。

本项目竖井式竖井掘进机是铁建重工自主研发用于

地下垂直施工的掘进机,能够安全高效完成竖向开挖、出渣与衬砌,主机部分自下而上,包含开挖系统、驱动系统、主机支撑系统、主机提升系统、推进系统、井筒提升系统、管线路缆架系统、泥浆环流系统、电气系统和液压系统等。

3 测点布置要求及监测方法

3.1 测点布置

(1) 建筑物沉降测点布置方法

周边建(构)筑物沉降监测点用电锤在建筑物外侧墙体上立柱上钻孔,后埋入“L”型测量标志埋入锚固剂回填钻孔孔隙,或利用原建筑长期沉降监测点。布置原则如下:

- ①建(构)筑物四角,在外墙或承重柱上布点。间距10m~15m。
- ②不同地基或基础的分界处。
- ③建(构)筑物不同结构的分界处。
- ④变形缝、抗震缝或严重开裂处的两侧。
- ⑤新、旧建筑物或高、低建筑物交接处的两侧。
- ⑥监测点宜布置于通视良好,不易遭受破坏之处。
- ⑦多边形的建筑物宜沿纵横轴线对称布置。

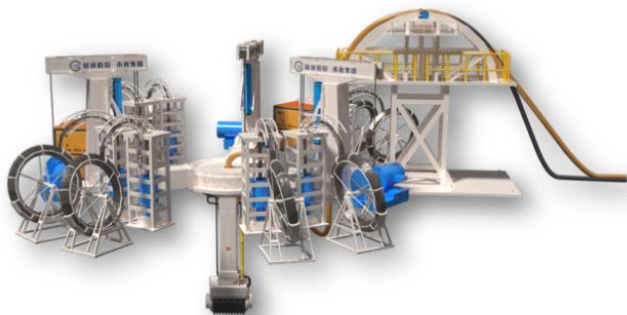


图 2 竖井掘进设备



图 3 施工现场实景图



图 4 建筑物监测点布设示例



图 5 建筑物监测点布设示

(2) 周边管线沉降测点布设方法

①管线监测点间距宜为 10m~20m。

②根据管线年份、类型、材质、管径、管段长度、接口形式等情况，综合确定监测点的布置位置和埋设形式，应对重要的、距离盾构井近的、抗变形能力差的管线进行重点监测。

③利用窨井、阀门、抽气孔以及检查井等管线设备作为监测点。

(3) 周边土体沉降测点布设方法

①盾构井竖向沉井施工期间监测范围为井深 2 倍范围内，按剖面垂直于井边布置，断面数量为 4 个断面；每条剖面线上的监测点宜由内向外先密后疏布置，根据现场实施情况布设 8 到 11 个。

②深层监测点沉降标选用 $\Phi 25$ 钢筋材料长度在 80cm~100cm；布设时使用水钻破开地面硬化层，后插入沉降标使其位移原状土层后回填黄沙、瓜子片，后套入测点保护装置。



图 6 地表监测点现场布设示例

(4) 深层水平位移（测斜）

测斜管材料选用 ABS 塑料管，其安装在抗拔桩体内，安装过程中需要校正十字管槽。将测斜管与桩体钢筋笼固定，管内灌满清水，顶部使用测点保护装置保护。



图 7 桩体深层水平位移布设实景图



图 8 周边监测点平面布置示意图

3.2 监测办法

沉降监测方法：沉降监测网由盾构井深度 3 倍范围外基准点与 3 个工作基点组成，测量人员根据国家二等水准测量要求每次形成闭合水准线路或附合水准线路。测量结果使用同济 AdjustLevel 水准平差软件进行平差。

深层水平位移测量方法：使用精度为 $\pm 0.02\text{mm}/500\text{mm}$ 的新科测斜仪，每次测量时探头滑轮沿测斜套管内壁导槽自下而上测定该点偏角值，然后旋转 180 度在同一导槽内再测量一次，形成一测回，由此通过叠加推算各点的位置值。

各项监测数据达到预警值或报警值及时通知参建各方。

4 监测数据分析

项目实施节点历程见下表 1，周边环境监测点最终累计变化见下表 2。

4.1 建筑沉降变形情况

图 9 为盾构井施工过程中周边建（构）筑物监测点数据变形情况。其在一倍深度范围内典型监测点最大变形 J71 为 -23.53mm，与该建筑其他测点形成差异沉降情况，位置距离盾构井边线约 12m 处，平均变化速率在 -0.17mm/d 左右，进入报警预警值范围（设计报警值 $\pm 25\text{mm}$ 。）

表 1 实施节点历程表

序号	工况	时间	监测频率	备注
1	抗拔施工完成	2025/1/11~2025/07/07	2 次/周	
2	提升系统安装完成	2025/07/08~2025/07/22	2 次/周	
3	竖井施工完成，设备拆除	2025/07/23~2025/10/31	1 次/1d	
4	封底施工完成，地下结构施工	2025/11/01~2025/11/26	2 次/周	沉进排水期间 1 次/1d
5	施工完成	2025/11/27~2026/04/01	2 次/周	

表 2 典型监测点累计变化表

监测点号	累计变化 (mm)	监测点号	累计变化 (mm)	监测点号	累计变化 (mm)	备注
RQ13	-19.43	DB5-2	-51.33	J71	-23.53	一倍范围内
XX03	-22.58	DB6-2	-50.40	J72	-7.18	
YS07	-19.39	DB6-3	-22.10	J73	0.10	
DL23	-23.14	DB7-1	-41.02	J74	1.88	
DX09	-17.76	DB8-1	-51.19	J75	-9.05	
WS10	-19.86	DB8-2	-48.13	J76	-22.59	
S08	-5.71	DB5-7	-4.79	J24	-8.34	二倍范围内
S12	-1.05	DB5-8	2.97	J35	0.80	
RQ11	-2.01	DB6-7	-8.63	J43	-3.02	
RQ16	-8.15	DB6-8	-2.49	J54	5.73	
YS06	-8.47	DB7-6	0.50	J58	-1.09	
DL25	-3.68	DB7-7	3.51	J64	-2.90	
DX12	-2.54	DB8-6	-2.21	J77	2.94	
WS14	-5.74	DB8-7	-4.16	J81	-0.27	

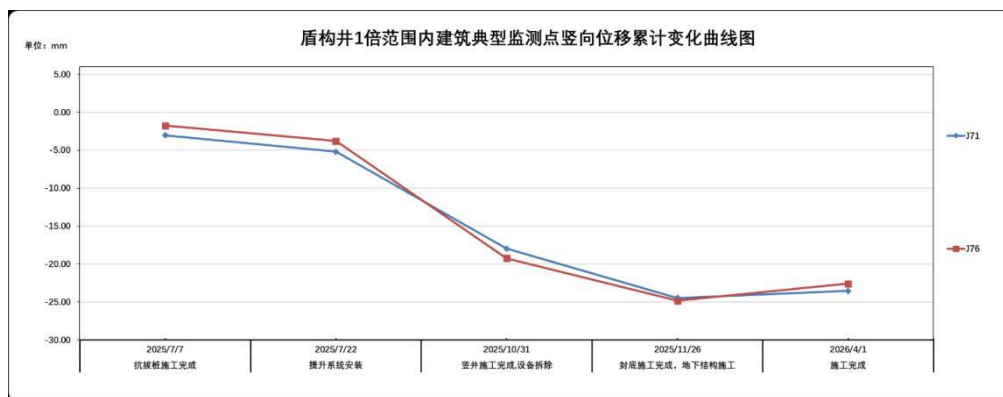


图 9 盾构井开挖深度 1 倍范围内建筑物沉降曲线图

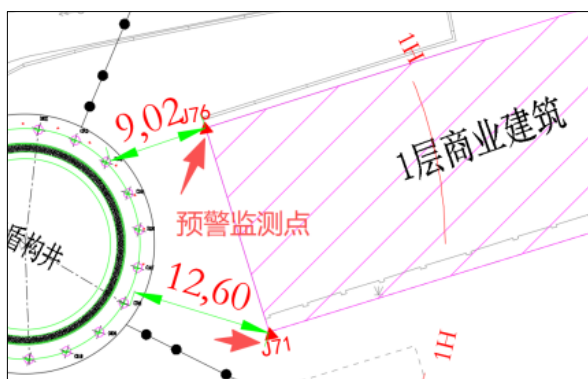


图 10 建筑物监测预警点

在提报监测数据后对该区域进行加密注浆后速率稳定, 无变形增大趋势; 在向外远离盾构井两倍深度范围内的典型监测点 J43 最大变形为-3.02mm, 平均变化速率在-0.02mm/d 左右, 距离盾构井边线约 43m 处。

在整体施工过程中巡视结果未发现(构)筑物新增裂缝等异常情况。

4.2 周边管线沉降变形情况

图 11 是盾构井周边地下管线典型监测点变形情况。在其一倍深度影响范围内变形数据在-17.76mm~-23.14mm 之间, 最大变形为监测点 DL23 (-23.14mm) 平均变化速率-0.16mm/d, 离盾构井边线约 12m 位置。继续远离盾构井方向 2 倍深度范围最大变形监测点为 YS06 (-8.47mm) 平均变化速率为-0.06mm/d, 距离盾构井边线约 36m 处。

在施工过程中周边巡视未发现地下管线破损、泄漏等异常情况。

4.3 地表沉降情况

图 12 为盾构井施工过程中典型地表沉降监测点变形情况。在其一倍深度范围内地表沉降数据在-22.96mm~-51.33mm 之间, 最大变形 DB5-2 (-51.33mm) 平均变化速率为-0.36mm/d, 位于盾构井边线约 6m 位置; 盾构井环片堆载区域(DB8-2)为-51.13mm。在继续远离盾构井方向盾构井 2 倍深度范围内变形数据明显收敛, 其最大变

形 DB5-6 (-15.82mm)，平均变化速率为-0.11mm/d。

4.4 深层水平位移

图 13~16 为深层水平位移典型监测点变化数据，其随盾构井掘进深度增大变化速率亦有所增大。从 0.04mm/d 到 2.16mm/d，变形速率最大时段掘进深度

18m~20m 左右，位于灰粉质粘土与粉质黏土层中，对设备开挖系统造成一定影响、设备工效降低，监测数据反应后调整参数后通过该区域变化速率开始收敛到 0.56mm/d~0.95mm/d 之间。至施工完成累计最大变形 P05 (60.33mm)，位于地下 18m 位置。

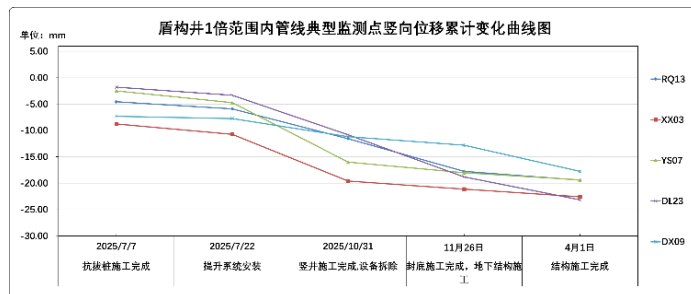


图 11 盾构井 1 倍范围内典型地下管线监测点沉降曲线图

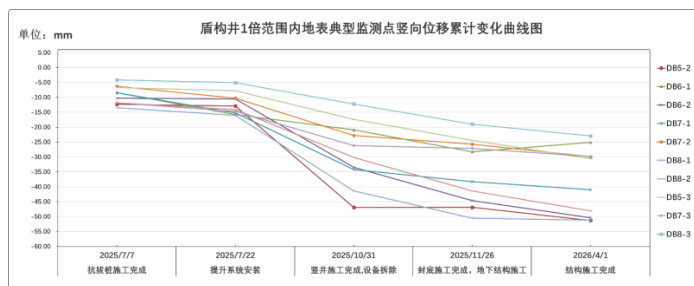


图 12 盾构井 1 倍范围内地表沉降曲线图

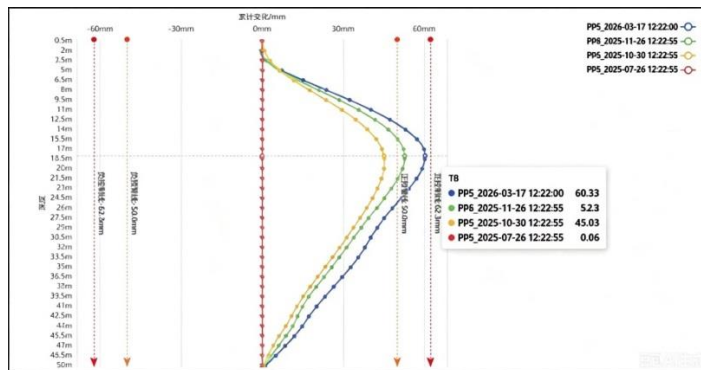


图 13 深层水平位移典型监测点 P05 累计变化曲线图

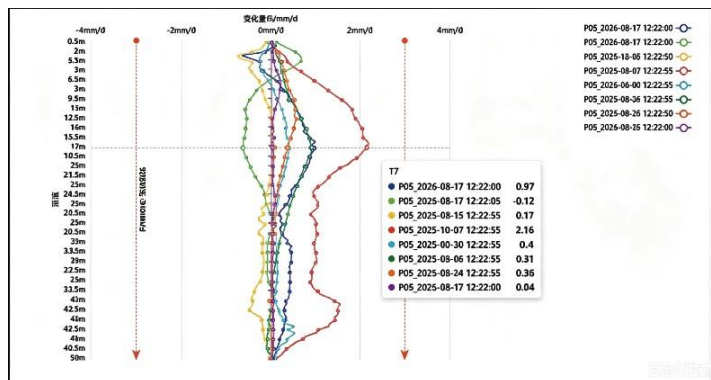


图 14 深层水平位移典型监测点 P05 变化速率历时曲线图

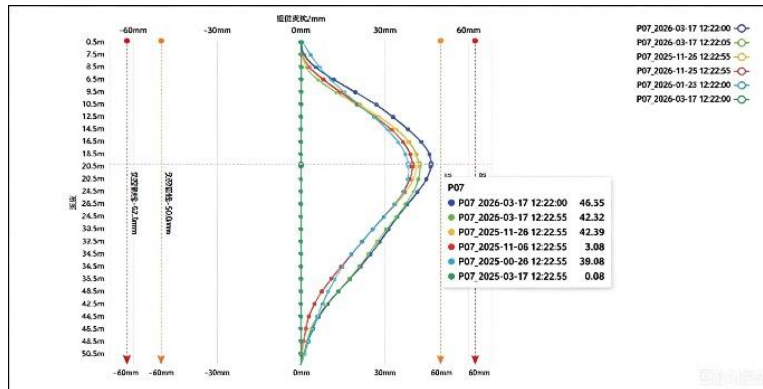


图 15 深层水平位移典型监测点 P07 累计变化曲线图

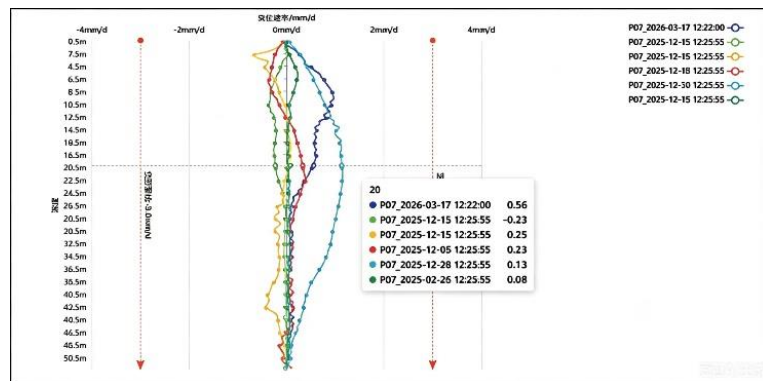


图 16 深层水平位移典型监测点 P07 变化速率历时曲线图

5 结论

综合以上图表数据总结对周边环境影响:

(1) 综合各监测点位数据盾构井整体施工完成均未超过设计报警值, 阶段性最大变形发生在沉井下沉期间, 最大变形速率在 18m~20m 位置, 其中地表沉降最大累计 2.1cm, 地下管线最大沉降 1.8cm, 建筑物最大沉降累计 1.94cm, 变形速率较为平稳。(2) 为进一步减小沉井施工对周边环境的影响, 应严格控制周边荷载。(3) 机械掘进式沉井 (VSM) 工艺施工期间各监测点反应主要变形位置均位于盾构井边线外 13m 范围内。超过该区域的各项测点数据普遍变化量下沉方向 -0.19mm~-10.19mm 之间, 上抬方向在 0.32mm~4.90mm 之间。相对于传统工艺基坑施工 1 倍深度的主要影响区域, 其主要影响区域在其开挖深度的 1/3 范围; 机械掘进式沉井 (VSM) 工艺对周边环境的影响变形数据与影响范围均相对更小。(4) 各类土质对机械掘进式沉井 (VSM) 设备有一定影响, 其施工效率降低后周边变形速率有所增大, 施工期间应及时调整参数以减小对周边环境的影响。(5) 监测工作贯穿整个施工过程, 使各参建单位对此类新工艺各阶段对周边环境影响更加透明, 为设计、施工等参建单位提供了数据支撑, 对此

类新工艺提供的重要的数据、经验积累, 是当前施工信息化、可视化的一环。



图 17 盾构井施工期间周边各监测点变形热力图

[参考文献]

- [1]王文轩.上海合流污水总管盾构工作井深基坑工程施工实践[J].城市道桥与防洪,2021(3):34-36.
- [2]周亮.苏州河深层调蓄合流污水盾构工作井施工关键技术[J].城市道桥与防洪,2025(5):4-6.
- [3]《基坑工程施工监测规程》上海市标准 (DG/TJ08-2001-2016) [Z]上海.同济大学出版社,2016
作者简介:王友立(1992—),男,西北工业大学,建筑工程技术专业,就职于上海京海工程技术有限公司,项目经理。