

超深圆形竖井基坑开挖变形实测分析

张 扬

(杭州市南排水利发展有限公司, 浙江 杭州 310009)

摘 要 本文依托国内某开挖 64 m 超深圆形竖井基坑项目, 针对软土地区圆形超深竖井基坑开挖过程中的变形问题进行了详细的实测分析, 对基坑施工过程中的周边建筑物竖向位移、地面沉降、河堤竖向位移、墙体位移等关键参数进行了连续监测; 利用实测数据, 分析了基坑施工全过程中的周边建筑物变形、围护结构变形、地表沉降变化、墙体及土体深层水平位移等。结果显示, 随着开挖深度的增加, 基坑周边的沉降和位移均呈现增长趋势。在基坑开挖前对围护体系进行防水检测以及在施工过程中做好应急堵漏措施是非常重要的, 因为防水性能对于保持基坑稳定性和控制地下水位至关重要。

关键词 超深竖井; 基坑开挖; 变形分析

中图分类号: TU74

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)07-0010-03

1 研究背景

深隧排水系统指埋设在深层地下空间的大型、特大型排水隧道。目前, 东京、新加坡、芝加哥、上海、武汉等城市均已建成深隧排水系统。圆形超深竖井基坑为深隧排水系统工程面临的重要难题之一。在软土地区进行这样的工程开挖面临着巨大的挑战。此外, 软土地区的地下水位通常较高, 这也给基坑开挖带来了更大的复杂性。地下水的存在会降低土体的有效应力, 增加土体的流动性, 从而导致更大的沉降和位移。如果不对变形进行有效的预测和控制, 不仅会影响工程的进度和安全性, 还可能导致地面塌陷等严重的环境灾害。

相关学者对于竖井基坑也进行了相关研究, 王晓鹏^[1]介绍了上海苏州河深隧工程的管理关键技术; 何巍伟等^[2]重点分析深隧排水系统建设过程中的工程设计研究方法及重点内容; 张慎河等^[3]对排水深隧衬砌管片混凝土力学特性进行研究, 分析混凝土的受力情况; 姜大威等^[4]对基坑“竖井”式开挖支护的加固设计、承载力验算、工程实践及推广应用进行了总结与分析, 真正以“缩短工期、节约成本”为原则, 解决现场实际施工难题。段凯等^[5]以某超深基坑工程为例, 分析不同降水时段及降水深度对围护结构变形及内力分布的影响。

因此, 对软土地区圆形超深竖井基坑开挖的变形分析进行深入研究具有重要的理论意义和实用价值。通过沉井施工过程中的变形监测, 分析不同因素对基坑变形的影响, 可以为工程设计提供科学依据, 有效预防和减少基坑工程中可能出现的风险。

2 工程概况

本次分析超深基坑位于浙江杭州市余杭区。本项目地面整平至 3.50 m, 竖井基坑开挖深度 64.0 m, 坑底标高 -60.50 m。开挖面积 699 m², 竖井结构外径 27.0 m, 总延长 90.9 m。支护结构采用 1 200 mm 厚地下连续墙, 墙深 74 m, H 型钢接头, 采用 15 m 深三轴搅拌桩进行槽壁加固。地墙接缝位置采用 $\phi 2000$ RJP 补强, 桩顶标高 -11.00 m, 桩底标高 -42.00 m。

基坑挖深 0 ~ 32 m 设置 6 道混凝土环梁, 32 m 至坑底采用主体衬砌逆做, 衬砌分 9 层施工完成, 单层厚 2.5 ~ 3.0 m。底板厚 3.0 m。

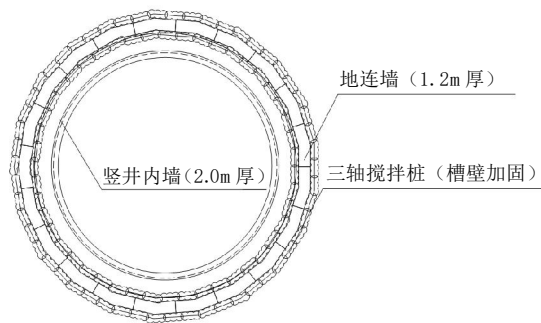


图1 项目围护设计平面图

2.1 工程地质及周边环境

本工程场址区地表分布地层主要为第四系覆盖层, 下伏白垩系下统朝川组(K1c)泥质粉砂岩和砂砾岩。地层自上至下依次以: 杂填土、黏土、粉土、细砂、圆砾、泥质粉砂岩等为主。

场地地下水主要为孔隙潜水、孔隙承压水两类。

本工程场地下方存在三层孔隙承压水含水层,其中第三层承压水为⑫1层粉细砂、⑫4层圆砾、⑭1层粉细砂和⑭4层圆砾联合含水层。第三层承压水含水层层厚稳定水量丰富,承压水水位不易降低。

2.2 周边环境

竖井位于余杭塘河与九曲洋港交汇处西北侧拆迁地内,场地地貌单元属冲湖积平原区地貌单元,现状地面高程为 3.12 ~ 5.64 m,地势较平坦。

3 监测情况

本项目监测范围为基坑边线外 3 倍基坑挖深范围,即基坑边线外 192 m 范围。

具体监测的项目按照《建筑基坑工程监测技术标准》(GB 50497-2019)的要求进行。本项目主要监测内容为:建筑物沉降、地表沉降、地墙钢筋应力、围护墙体深层水平位移、地下水位变化、支撑轴力、环撑收敛等。

4 变形分析

4.1 周边建(构)筑物竖向位移监测

本基坑工程周边建筑物竖向位移累计值最大为 -8.83 mm (JGC78),位于基坑西侧制砵站内设备基座处。

前期围护施工期间,基坑周边建筑物的沉降发展较小,相应的竖向位移历时曲线较平缓。基坑开挖初期,建筑物变形趋势平缓,于基坑开挖超过 30 m 后,沉降速率逐渐加大,至开挖至岩层面后(第四道衬砌下方)监测数据又趋于平缓。

随着大底板浇筑完成,周边建(构)筑物的沉降发展逐渐趋于平缓,其竖向位移量逐渐趋于收敛。且

各部位的差异沉降不是太大,现场巡视也未发现建筑物外立面的裂缝发生明显的变化,说明该建筑物仍处于安全可控的范围内。

4.2 坑外地表竖向位移监测

图 2 为地表竖向位移历时曲线。本基坑工程地表沉降监测点竖向位移整体变形较小,监测过程中未发生变形速率预警和累计变形预警情况。其中地表竖向位移累计值最大为 -14.04 mm (DBC5-3),位于基坑西南侧,距离基坑约 12 m,该位置对应基坑出土口。

基坑开挖初期,地表沉降逐渐加大,至开挖至岩层面后(第四道衬砌下方)监测数据又趋于平缓。随着大底板浇筑完成,河堤的沉降发展逐渐趋于平缓,其竖向位移量逐渐趋于收敛。现场巡视也未发现地面因基坑施工有开裂、塌陷等病害。地表沉降整体规律是距离基坑越远、变形越小,同一断面,最大沉降点往往为第 2、第 3 个点,而不是最近的点,符合沉降槽变化规律。

各监测断面最远测点距离基坑 72 m,变形仅 -2 ~ -3 mm,说明此类地层基坑,1 倍挖深基本满足监测范围要求。地表沉降变化规律与周边建筑物等周边环境的情况一致,由此可证明各监测项目变形数据的关联性,从而更准确、有效地反映出基坑工程施工的变形情况,确保工程施工安全。各监测断面最远测点距离基坑 72 m,变形仅 -2 ~ -3 mm,说明此类地层基坑,1 倍挖深基本满足监测范围要求。

4.3 围护墙体深层水平位移监测

图 3 为围护墙体深层水平位移不同深度历时曲线(QCX2)。本基坑工程围护墙体、坑外土体深层水平

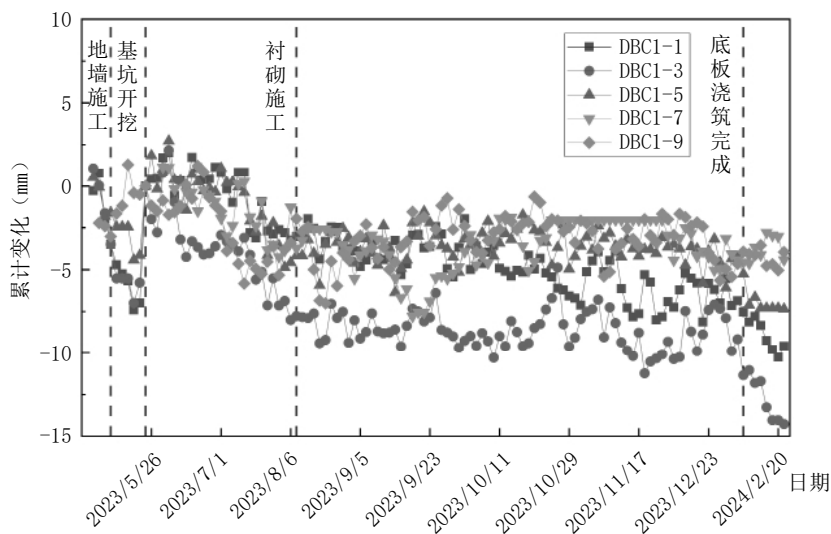


图 2 地表竖向位移历时曲线

位移整体变形较小,监测过程中未发生变形速率预警和累计变形预警情况。基坑围护墙体水平位移累计值最大为14.1 mm(QCX2),位于基坑南侧;坑外土体深层水平位移累计值最大为12.9 mm(TCX1),位于基坑东侧。

深层水平位移整体变形较小,一般基坑的控制值为0.7%~1.4% H,本项目截止底板施工完成累计变形仅为0.2% H,证明圆形基坑的围护体抗变形能力较强,同时也证明地连墙的施工质量较好。

基坑土方挖开后,坑内外的土压力逐渐失衡,由

原先的静止平衡土压力逐步向主动土压力、被动土压力转换,受此影响,围护结构侧向位移与坑外土体侧向位移皆表现为向坑内位移,且各层土方开挖完成后,最大位移量基本出现在开挖面附近,最大位移量出现的位置与基坑开挖深度吻合得较好,到开挖至岩层后,该趋势逐渐停止。最大变形位置最终位于40~50 m深区域。

50~60 m深位置为泥岩层,该区域在上部土方开挖期间变化较小,坑内挖至泥岩层后,在对应深度出现较明显变形,总变形量接近10 mm。分析主要原因为

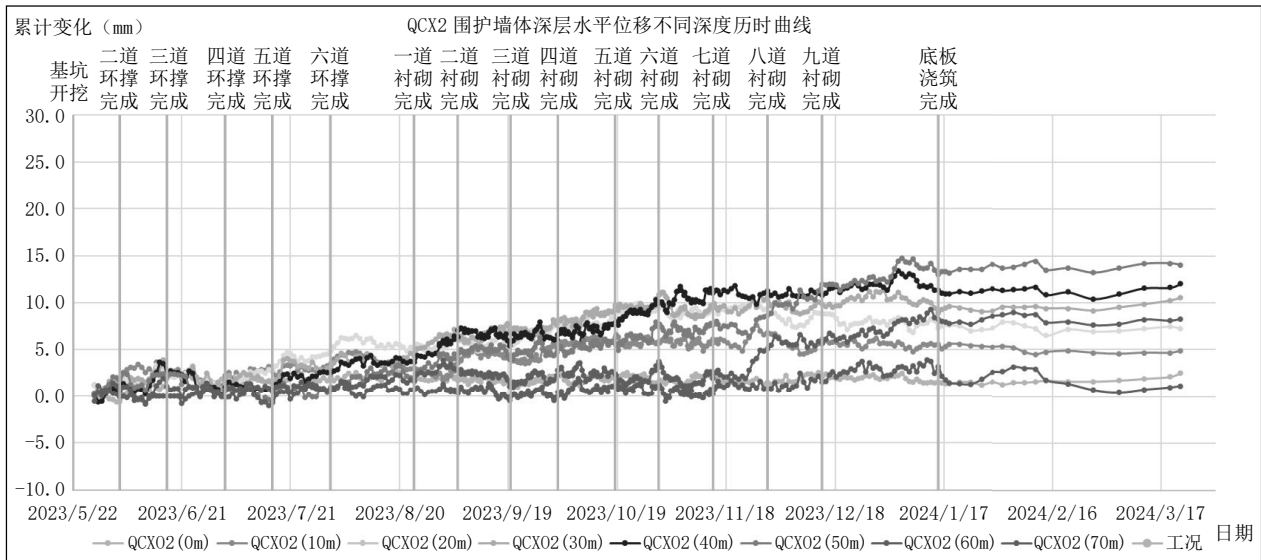


图3 围护墙体深层水平位移不同深度历时曲线(QCX2)

地连墙施工期间下部混凝土浇筑时压力大,地墙和岩层交界面产生了较大的土压力,但因未开挖时内外土压平衡,围护结构未产生明显变形;待该位置坑内土方开挖后,坑内外较大的土压力差造成围护结构向坑内变形。在基坑底板完成后,监测数据趋于稳定。

5 结论

从三轴搅拌桩、地墙、RJP施工期间开始,到底板施工完成,监测数据基本趋于收敛为止,支护结构经受降水、开挖等扰动的考验,最终监测数据均未超出设计控制值。总结本工程的变形分析可以得到以下结论:

1. 在整个基坑施工过程中,通过合理设置监测测项和测点分布,各测项数据相互印证分析,可消除单个测项、单个测点的异常数据。采用人工监测和自动化监测相结合的监测手段,可以有效地提高监测效率和精度。

2. 本项目地连墙发挥了部分圆形基坑拱效应,各监测项目数据较小,验证了基坑安全性、稳定性。

3. 在基坑开挖中应尽可能加快开挖速度,充分考虑时空效应原理,合理掌握开挖的次序与基坑无支撑、无垫层的暴露时间。

4. 最后一层挖土期间围护结构变形明显,迅速浇筑垫层和底板能及时控制住变形趋势,有利于围护结构安全。

参考文献:

- [1] 王晓鹏. 苏州河深隧调蓄工程试验段建造管理关键技术[J]. 中国市政工程, 2022(03):30-32,134.
- [2] 何巍伟,王梦华,武今中. 我国深隧排水系统典型案例分析[J]. 净水技术, 2023,42(06):142-151.
- [3] 张慎河,魏宏,邢鲁义,等. 排水深隧衬砌管片混凝土力学特性研究[J]. 山东建筑大学学报, 2022,37(05):20-27.
- [4] 姜大威,姜华锋. 基坑“竖井”式开挖支护设计与施工[J]. 山西建筑, 2023,49(07):98-101.
- [5] 段凯,石广. 降水对超深基坑围护结构的影响分析[J]. 结构工程师, 2024,40(01):142-149.