

基于“永临一体化”的调蓄池深基坑内支撑设计优化

张自光^{1, 2}, 孟 源³, 陶佳佳⁴

(1. 建筑结构与地下工程安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230601; 2. 安徽建筑大学 土木工程学院, 安徽 合肥 230601;
3. 中铁四局集团第一工程有限公司, 安徽 合肥 230041; 4. 江苏雷威建设工程有限公司, 江苏 南京 210003)

摘 要: 基于“永临一体化”的深基坑内支撑结构是近年来迅速发展和推广的一种新型深基坑支护技术。本文依托合肥清三冲雨水调蓄池深基坑工程实践, 在分析调蓄池地下主体结构 and 深基坑原内支撑结构特征的基础上, 提出了一种仅通过对内支撑竖向高程的轻微调整技术, 进而实现深基坑临时支护结构与调蓄池地下主体永久结构一体化的设计优化方案, 并详细阐述了方案实施步骤。工程实施效果表明, 调蓄池深基坑“永临一体化”支撑结构具有安全度高、经济性好、高效节能、绿色环保、建设周期短等诸多优势, 工程建设整体效果良好。

关键词: 土木工程; 永临一体化; 蓄水池; 深基坑; 内支撑; 设计优化

中图分类号: TU998.4

文献标识码: A

文章编号: 2095-8382 (2022) 02-021-05

Design Optimization of Internal Support for Deep Foundation Pit of Reservoir based on the Integration of Permanent and Temporary Works

ZHANG Ziguang^{1, 2}, MENG Yuan³, TAO Jiajia⁴

(1. Anhui Provincial Key Laboratory on Construction Structure and Underground Engineering, Hefei 230601, China;
2. College of Civil Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China; 3. The First Engineering Co., Ltd., China
Railway fourth Bureau Group, Hefei 230601, China; 4. Jiangsu Leiwei Construction Engineering Co.Ltd., 210003, China)

Abstract: The deep foundation pit internal support structure combined permanent and temporary works is a new deep foundation pit support technology developed rapidly in recent years. Based on the Qing Sanchong deep foundation pit project for rainwater reservoir in Hefei, the underground main structure of the project and the characteristics of the original internal support structure of the deep foundation pit are analyzed, and an optimization scheme for the integration of the temporary support structure of the deep foundation pit and the temporary underground structure by slightly adjusting the vertical elevation of the internal support, as well as the implementation steps is proposed. It is proved that the optimization scheme is safe, economic, efficient, environment-friendly and the construction process is short. The effect of the construction is satisfactory.

Keywords: civil engineering; integration of permanent and temporary works; reservoir; deep foundation pit; internal support; design optimization

常规的深基坑支护结构多为临时性, 主体结构施工完成后即退出工作, 并被拆除或者遗弃在地

下, 造成极大浪费。基于“永临一体化”的深基坑内支撑结构是将基坑内支护结构同时作为地下主

收稿日期: 2021-07-15

基金项目: 安徽省高校省级自然科学研究重点项目 (KJ2021A0611); 安徽省住房城乡建设科学技术计划项目 (202053); 中铁四局集团科技研发项目 (HYB2020219); 江苏雷威建设工程有限公司科技开发项目 (HYB20200218)

作者简介: 张自光 (1980-), 男, 工程师, 博士, 主要从事城市地下空间开发研究。E-mail: 228065458@qq.com

体工程永久结构,内支撑无需拆除,避免了材料以及由此引起的人力、物力、社会资源的浪费,同时避免了内支撑拆除过程中引起的围护结构二次受力和二次变形造成的影响,实现了深基坑支护结构的永久化,具有高效节能、绿色环保、建设周期短等诸多优势,是近年来我国迅速发展和积极推广的一种新型深基坑支护技术^[1-2]。梁梦梦等^[3]以昆明螺蛳湾超大深基坑工程项目为背景,介绍了深基坑内支撑与结构一体化相结合的设计施工技术;李连祥等^[4]结合济南某基坑工程实践,对支护桩与地下主体结构相结合的永久支护结构受力变形特征进行了全过程分析;张毅^[5]结合某调蓄池基坑工程实例,综合比较分析了基坑临时支护结构与主体工程永久结构分离设计和结合设计的两种方案;叶海龙^[6]就一种内支撑临时水平结构用作永久结构梁板工程申请了“一种内支撑临时水平结构用作永久结构梁板的方法”发明专利;袁野、仝联飞^[7]总结了深基坑支护结构与主体结构设计类型和分析方法;田丽丽等^[8]深入介绍了主体结构用作深基坑支撑的设计思路、施工工序、计算分析、开挖效果等;胡焕校等^[9]总结分析了支护结构与主体结构相结合的深基坑复合支护技术的适用性及特点;路林海等^[10]指出深基坑支护桩与主体结构结合的技术可以有效控制基坑变形;李大华等^[11]详细阐述了“桩墙合一”及地下结构梁板替代内支撑在工程中的应用。

上述研究成果为本文提供了重要的思路,然而目前关于深基坑“永临一体化”的研究主要集中在深基坑锚拉式支护结构,针对地下全封闭式雨水调蓄池工程特征的深基坑“永临一体化”内支撑结构形式,尚未检索到相关报道。本文紧密结合合肥清三冲雨水调蓄池深基坑工程实践,对比分析调蓄池地下主体结构和深基坑内支撑结构特征,在此基础上提出了一种深基坑“永临一体化”内支撑设计优化方案,并详细阐述了优化方案的实施步骤,可为该类深基坑工程支护结构设计及相关规范标准制定提供参考依据和范例支持。

1 工程项目特征

1.1 工程概况

清三冲雨水调蓄池项目位于安徽省合肥市蜀

山区,地貌类型属江淮波状平原,微地貌为南淝河一级阶地,用地性质属临河公园绿地,周边无重要建(构)筑物。基坑场地西、北、东三面临河,南侧为城市小路,其中北侧距南淝河河堤 45~80 m,东侧距河堤 12~25 m,西侧距河堤 15~21 m,南侧距顺河南路距离 1.5~7.0 m。项目场地地形较为平整,为便于论述,本文将地面相对高程记为 0.0 m,文中其余高程均为与地面的相对高程。

清三冲雨水调蓄池深基坑项目由调蓄池主体矩形基坑、放空泵房基坑和管理用房基坑三部分组成,平面形态整体呈异形状,其中主体结构基坑开挖深度为 18.4~19.7 m,放空泵房基坑开挖深度为 19.7~21.2 m;管理用房基坑平面开挖深度为 8.6 m。深基坑平面构成及相关尺寸如图 1 所示。

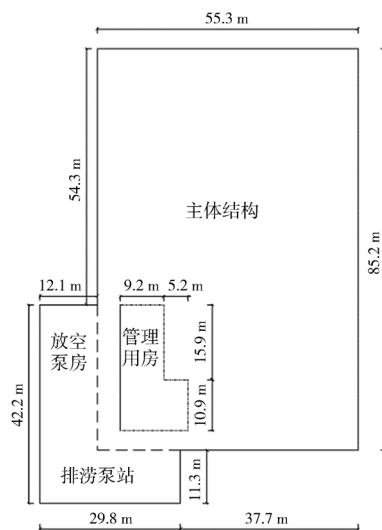


图 1 基坑平面图

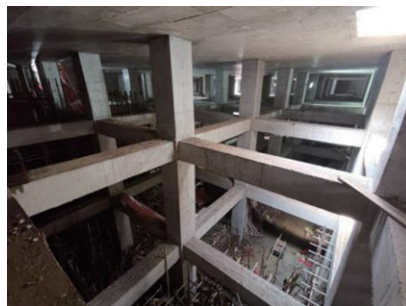


图 2 调蓄池地下框架梁柱结构平面分布图

1.2 主体结构地下工程

清三冲雨水调蓄池主体采用地下三层封闭式钢筋混凝土框架结构。调蓄池顶板屋面采用双向板肋梁楼盖,梁顶面设计相对高程为 -5.8 m,楼盖

上方土体回填完毕后种植树、草,恢复公园地面。调蓄池底板采用承压型囊式扩体锚杆作为永久抗浮构件,池底高程设计相对高程 $-18.4\sim-21.2\text{ m}$ 。调蓄池设计有效容积 $40\,000\text{ m}^3$ 。调蓄池地下二层和三层主体结构混凝土强度等级为 C35,框架梁顶面设计相对高程依次为 -9.3 m 、 -13.3 m ,框架梁断面尺寸为 $600\text{ mm}\times 600\text{ mm}$,结构柱断面尺寸 $800\text{ mm}\times 800\text{ mm}$,平面分布如图 2 所示。

1.3 深基坑开挖支护结构特征

清三冲调蓄池深基坑开挖严格按照“分段、分层、分块、对称、平衡、限时”的时空效应理论要求进行。基坑自北向南纵向分 3 段,自上而下分层开挖,每层开挖厚度不大于 5 m ,临时边坡坡度不大于 $1:1$,开挖完成一块、清理平整一块、垫层施工一块。根据深基坑稳定性及变形控制要求计算结果,结合场地条件,深基坑首先进行半放坡开挖,放坡高度 7.0 m ,设两级开挖平台,每级平台开挖高度为 3.5 m 。基坑放坡开挖作业实施前,首先在放坡坡顶靠近坡面位置施作一道四周封闭水泥土深层搅拌桩落地式止水帷幕,作为基坑放坡开挖期间的地下水防控止水措施。基坑放坡开挖作业完成后,在坡底靠近基坑侧壁自内而外依次施作钻孔灌注桩、高压旋喷桩、水泥土深层搅拌桩,并进行流水作业,以加快工程实施进度,如图 3、图 4 所示。

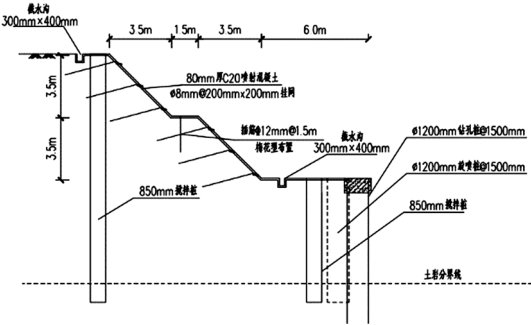


图 3 基坑支护体系断面图

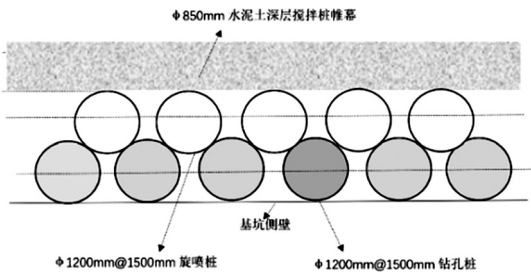


图 4 基坑围护桩平面分布图

深基坑内支撑采用“二道水平支撑,中间设置竖向支撑”的组合方式,如图 5 所示。基坑水平支撑采用强度等级为 C30 钢筋混凝土结构,横断面尺寸 $800\text{ mm}\times 800\text{ mm}$,上下两道水平支撑顶面相对高程分别为 -7.3 m 和 -12.3 m 。基坑竖向支撑采用钢立柱插入立柱桩基的“一柱一桩”结构形式,插入深度为 3.0 m 。钢立柱由强度等级为 Q235B 的 $4\text{L}200\times 18$ 等边角钢和缀板焊接而成,内部灌注 C30 混凝土,截面尺寸 $500\text{ mm}\times 500\text{ mm}$,下部立柱桩为钢筋混凝土钻孔灌注桩基础,如图 6 所示。

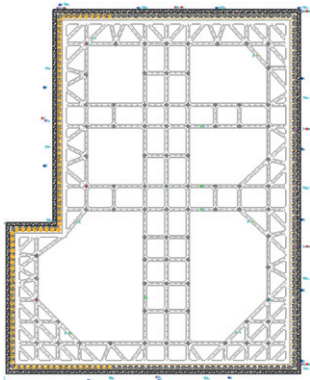


图 5 基坑内支撑平面分布图



图 6 深基坑内支撑

2 深基坑内支撑设计优化

2.1 方案优化

调蓄池主体工程整体采用地下三层框架结构体系,其中地下二层和三层框架梁顶面设计相对高程依次为 -9.3 m 和 -13.3 m 。调蓄池深基坑原设计第一道和第二道水平支撑顶面相对高程分别为 -7.3 m 和 -12.3 m ,且地表以下 7.0 m 深度范围内放坡开挖。因此,将基坑放坡开挖高度由 7.0 m 调整为 9.0 m ,基坑第一道水平撑的顶面高程即可与主体结构框架梁顶面高程取值一致;基坑第二道水平撑顶面高程下调 1.0 m (即 -13.3 m) 与主体结

构地下三层框架梁高程取得一致,基坑两道水平支撑间距由原设计 5.0 m 调整为 4.0 m。基坑水平和竖向支撑结构形式、断面尺寸、数量及平面分布位置均与原设计保持不变,以维持基坑开挖方式、材料运输和土石方出土路线不变。

2.2 实施流程

基于“永临一体化”的深基坑水平内支撑与围护桩的连接方式与原设计维持不变,仍通过冠梁和腰梁方式实现连接。在水平支撑与调蓄池主体结构边墙的连接部位预埋钢筋连接器,待边墙施工时凿出钢筋连接器,完成水平支撑与边墙的连接,如图 7 所示。水平支撑与竖向内支撑的连接节点通过在角钢格构柱的梁侧加腋法完成。梁侧加腋法通过在梁侧加腋的方式扩大梁柱节点位置梁的宽度,使得梁的主筋得以从角钢格构柱侧面绕行贯通,如图 8 所示。格构柱在基坑开挖完成后通过外包混凝土的方式形成主体工程结构永久框架柱。

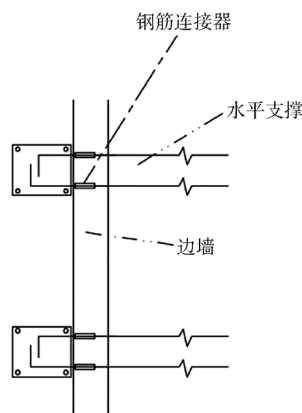


图 7 水平支撑与边跨结构柱连接节点

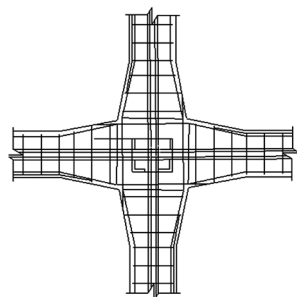


图 8 水平撑与格构柱连接节点

基于“永临一体化”清三冲调蓄池深基坑内支撑设计优化方案按如下步骤实施:

第一步:放坡开挖。在雨水调蓄池深基坑周边放坡坡顶靠近坡面位置,按设计深度施作一道四周

封闭的深层搅拌桩止水帷幕;地面下 9 m 采用半放坡分层开挖,每层开挖厚度 4.5 m,坡比 1:1,共设两级开挖平台,如图 9 所示。

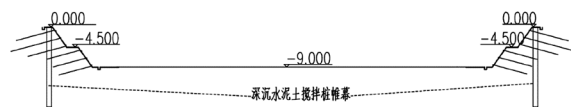


图 9 放坡开挖

第二步:施作围护结构及坑内立柱。在调蓄池深基坑半放坡坡底靠近开挖面处按设计深度施作钻孔灌注桩围护结构,按设计位置、深度等施作高压旋喷桩、水泥土深层搅拌桩、坑内立柱桩。坑内立柱为钢立柱插入立柱桩基的“一柱一桩”结构,上部的所述钢立柱由 4 块等边角钢和缀板焊接而成的格构柱构成,下部的所述立柱桩基为钢筋混凝土钻孔灌注桩基础,如图 10 所示。

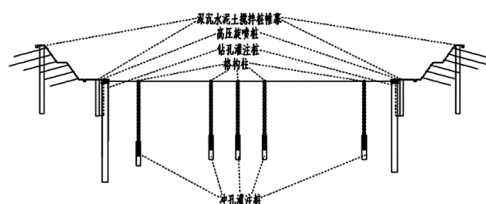


图 10 施作围护结构及坑内立柱

第三步:开挖,施作第一道水平支撑。开挖基坑坑内土体至第一道钢筋混凝土水平支撑底部设计标高(-10.1 m 高程)以下 20~30 cm;浇筑混凝土垫层,绑扎钢筋,浇筑完成钢筋混凝土支撑,完成兼做调蓄池地下二层主体结构框架梁的第一道钢筋混凝土水平支撑施作,如图 11 所示。

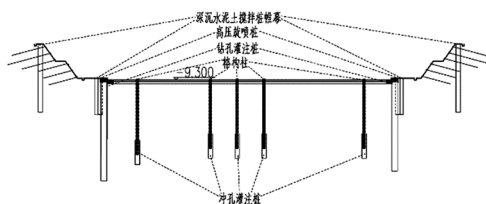


图 11 开挖并施作兼做一道水平支撑的地下二层主体结构框架梁

第四步:开挖,施作第二道水平支撑。开挖基坑坑内地层至第二道钢筋混凝土水平支撑底部设计标高(-10.1 m 高程)以下 20~30 cm;浇筑混凝土垫层,绑扎钢筋,浇筑完成钢筋混凝土支撑,完成兼做调蓄池地下三层主体结构框架梁的第二道钢筋混凝土水平支撑施作,如图 12 所示。

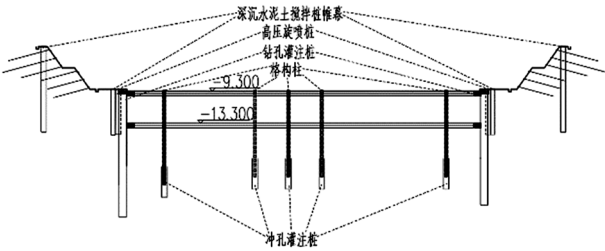


图 12 开挖并施作兼做二道水平支撑的地下三层主体结构框架梁

第五步:开挖,施作结构底板。开挖基坑坑内地层至基坑基底设计高程,绑扎钢筋、支模板、浇筑混凝土,形成基坑底板,完成基坑开挖作业,如图 13 所示。

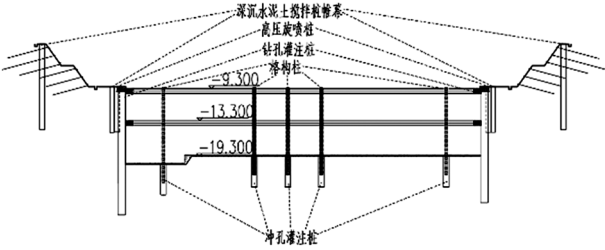


图 13 开挖并施作结构底板

第六步:自下而上依次施作地下主体结构柱、梁、墙、板,完成地下主体结构工程施工,如图 14 所示。

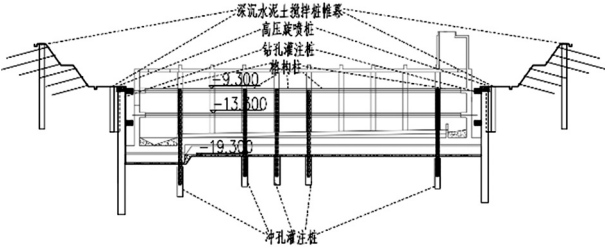


图 14 自下而上依次施作调蓄池地下主体结构柱、梁、墙、板

第七步:结构顶板回填,恢复地面。调蓄池主体结构施工完毕并达到设计要求后,在结构顶板上表面回填新鲜土体,使地面恢复至放坡开挖前状态,进行植被或公共设施建设,完成调蓄池结构施工,如图 15 所示。

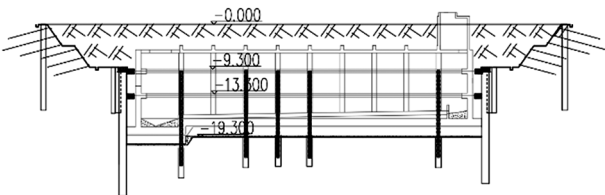


图 15 结构顶板回填,恢复地面

3 深基坑“永临一体化”内支撑结构实施效果分析

监控量测是保证深基坑工程施工安全、验证基坑支护结构设计合理性的有效手段,监测数据可定量反映工程实施效果。清三冲雨水调蓄池深基坑工程周边共布设围护桩桩体水平位移监测点 10 个,围护桩桩顶竖向及水平位移监测点均为 17 个,立柱竖向位移监测点 6 个,地表沉降监测点 17 组合计 51 个。清三冲雨水调蓄池深基坑工程各监测项目监测数据统计分析结果如表 1 所示。

表 1 深基坑支护结构及地表沉降监测统计分析

监测项目	样本数	最小值	最大值	平均值
桩体水平位移	10 个	14.7 mm	21.5 mm	17.9 mm
桩顶竖向位移	17 个	-0.1 mm	-4.7 mm	-1.5 mm
桩顶水平位移	17 个	7.0 mm	20.4 mm	14.3 mm
立柱竖向位移	6 个	-2.4 mm	-8.0 mm	-4.8 mm
地表沉降	17 个	-4.0 mm	-19.2 mm	-12.8 mm

注:①监测数据平均值取除最小值与最大值之外监测数据的平均值;②深基坑围护桩桩顶及桩体水平位移以向基坑内的方向为正;③基坑周边地表沉降检测值取 16 组每组 3 个监测值中的最大值。

由表 1 可见,清三冲基坑围护桩桩体水平位移最大值 21.5 mm,最小值 14.7 mm,平均值 17.9 mm;桩顶竖向位移最大值 4.7 mm,最小值 0.1 mm,平均值 1.5 mm;桩顶水平位移最大值 20.4 mm,最小值 7.0 mm,平均值 14.3 mm;立柱竖向位移最大值 8.0 mm,最小值 2.4 mm,平均值 4.8 mm,如图 16 所示;基坑开挖引起的周边地表沉降最大值 19.2 mm,最小值 4.0 mm,平均值 12.8 mm,典型时程曲线如图 17 所示。说明基于“永临一体化”的调蓄池深基坑内支撑结构整体稳定性好,对周边环境影响较小,工程建设整体效果良好。

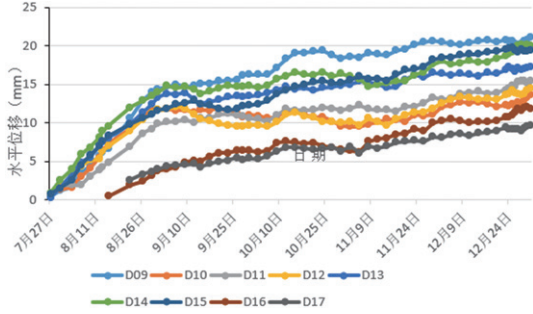


图 16 深基坑围护桩桩顶水平位移

(下转第 32 页)

使用功能的基础上,更加注重设计对于干净卫生、便捷隐私、社交乃至美学的多层次需求的回应。本次景区公厕的设计实践,将游客生理需求作为出发点,通过设计手段逐层回应现状问题,以期满足更高层次的人性化需求,创造更加人性化的使用空间,以期为今后的景区公厕建设提供经验借鉴。

参考文献:

- [1] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于促进全域旅游发展的指导意见 [J]. 中华人民共和国国务院公报, 2018 (10): 26-32.
- [2] [美] 马斯洛. 人的潜能和价值: 人本主义心理学译文集 [M]. 北京: 华夏出版社 1987.
- [3] 陈宗才, 朱昊, 马凯诗. 基于人性化视角下的城市公共

厕所空间环境设计的研究——以重庆市老城区公厕为例 [J]. 中外建筑, 2019 (12): 102-105.

- [4] [美] 亚伯拉罕·马斯洛. 动机与人格 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2012.
- [5] 李竹, 李超竑. 厕所革命在风景建筑中的设计实践 [J]. 世界建筑, 2019 (6): 20-25, 126.
- [6] 苏振强. 厕所革命背景下景区公共厕所设计研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- [7] 彭一刚. 建筑空间组合论 (3 版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [8] 季文媚, 辛明徽, 刘慧莹. 皖西大别山地区传统建筑文化传承设计研究 [J]. 安徽建筑大学学报, 2021, 29 (5): 7-12, 50.
- [9] 杨钢. 我国公共厕所设计定位与设计策略 [J]. 山东工艺美术学院学报, 2019 (4): 13-16.

(上接第 25 页)

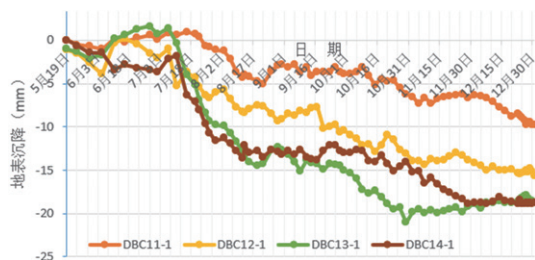


图 17 基坑周边典型地表沉降时程曲线

4 结论

调蓄池深基坑“永临一体化”内支撑结构不改变深基坑水平和竖向内支撑结构形式、断面尺寸、数量及其平面分布位置, 不改变基坑开挖方式、材料运输和土石方出土路线, 仅通过对内支撑竖向高程等技术的轻微调整, 使其满足地下主体结构受力变形及空间位置分布要求, 将深基坑水平内支撑和竖向内支撑同时承担地下主体结构框架梁柱结构的功能, 进而实现深基坑临时支护结构与调蓄池地下主体永久结构的一体化。本文详细阐述了调蓄池深基坑“永临一体化”内支撑结构实施步骤。工程实施效果表明, 基于“永临一体化”的调蓄池深基坑内支撑结构整体稳定性好, 对周边环境影响较小, 工程建设整体效果良好, 为类似基坑工程支护结构设计提供了参考依据和范例支持。

参考文献:

- [1] 王卫东, 丁文其, 杨秀仁, 等. 基坑工程与地下工程——高效节能、环境低影响及可持续发展新技术 [J]. 土木工程学报, 2020, 53 (7): 78-98.
- [2] 李连祥, 成晓阳, 刘兵. 复合地基支护结构永久性集约化设计分析 [J]. 铁道科学与工程学报, 2018, 15 (8): 1971-1979.
- [3] 梁孟孟, 唐明亮, 梅轲. 临近超高层建筑超大深基坑桩锚 + 内支撑与结构一体化施工技术 [J]. 施工技术, 2017, 46 (20): 34-37.
- [4] 李连祥, 刘兵, 李先军. 支护桩与地下主体结构相结合的永久支护结构 [J]. 建筑科学与工程学报, 2017, 34 (2): 119-126.
- [5] 张毅. 软弱地层的地下调蓄池优化设计 [J]. 中国农村水利水电, 2014 (2): 105-107.
- [6] 叶海龙. 一种内支撑临时水平结构用作永久结构梁板的方法: CN110439002A [P]. 20191112.
- [7] 袁野, 仝联飞. 深基坑支护结构与主体结构相结合的设计与施工研究 [J]. 中国新技术新产品, 2016 (21): 83, 174.
- [8] 田丽丽, 田敏, 李连营. 利用主体结构作为支撑在深基坑支护中的应用 [J]. 施工技术, 2019, 48 (S1): 869-871.
- [9] 胡焕校, 杨涛, 蒋菡. 基坑支护结构与主体结构相结合的复合支护技术的应用 [J]. 土工基础, 2017, 31 (2): 133-138.
- [10] 路林海, 孙红, 王国富, 等. 地铁车站支护与主体结构相结合深基坑变形 [J]. 中国铁道科学, 2021, 42 (1): 9-14.
- [11] 汪军, 李大华, 张自光. “桩墙合一”技术在深基坑工程中的应用 [J]. 安徽建筑大学学报, 2021, 29 (1): 26-32.