

南京江北长江漫滩地层抽水回灌 案例分析



吉泳安^{1,*}, 崔雨轩²

¹南京达西岩土工程有限公司, 江苏南京 210019

²中国葛洲坝集团第一工程有限公司, 湖北宜昌 443002

摘要: 南京江北新区某项目, 在基坑开挖完成且底板浇筑后, 基坑发生底板侧墙与地墙间隙涌水事故。此时基坑内 2-4、2-5 粉细砂层承压水观测井水位能够满足安全水位控制要求, 根据分析涌水为深层的 3-4e、3-4 中粗砂层涌水。由于底板已经施工完成, 难以在坑内处理。为解决坑内涌水问题, 采取坑外降水措施, 但降水导致旁边小区地面出现快速沉降, 为减小地面沉降, 特设计了回灌井, 组织了回灌试验, 优化回灌井结构、布置间距等问题根据试验成果进行抽水与回灌错层的方式, 解决了坑外抽水与回灌相互回流的问题。最后成功的控制了沉降。本工程是在没有止水帷幕的条件下, 同时在坑外进行降水及回灌, 既解决了涌水, 又控制了沉降, 并且基坑深度大、涌水量大, 过程中先通过分析, 再进行试验, 最终施工达到回灌目的。具有参考价值, 故总结成文。

关键词: 基坑涌水; 基坑降水; 回灌; 沉降控制

DOI: [10.57237/j.cear.2023.01.004](https://doi.org/10.57237/j.cear.2023.01.004)

Case Study of Pumping and Recharging in the Floodplain by Yangtze River in Jiang Bei Nanjing

Ji Yongan^{1,*}, Cui Yuxuan²

¹Nanjing Darcy Geotechnical Co., Ltd, Nanjing 210093, China

²Gezhouba Group No. 1 Engineering, Yichang 443002, China

Abstract: For a project in Nanjing Jiangbei New Area, after excavation of foundation pit and foundation plate pouring, water inrush between side wall of foundation plate and wall occurred in foundation pit. At this time, the water level of confined water observation wells in 2-4 and 2-5 silty fine sand layers in foundation pit can meet the requirements of safe water level control. According to the analysis, the inrush water is inrush water from 3-4e and 3-4 coarse sand layers in deep layer. It is difficult to treat the floor slab in the pit due to the completion of construction. In order to solve the problem of water inrush in the pit, the measures of precipitation outside the pit are adopted, but precipitation causes rapid settlement of the ground in adjacent areas. In order to reduce the ground settlement, a recharge well is specially designed, the recharge test is organized, the structure of the recharge well is optimized, and the spacing between the two layers is arranged according to the test results. The problem of recirculation between pumping and recharging outside the pit is solved. Finally, settlement was successfully controlled. Without water-stop curtain, the project carries out precipitation and recharge outside the pit at the same time, which not only solves the inrush water, but also controls the settlement. In addition, the foundation

*通信作者: 吉泳安, jiyongan@live.com

pit is deep and inrush water is large. During the process, the analysis is carried out first, and then the test is carried out, so that the purpose of recharge can be achieved. It has reference value, so it is concluded in writing.

Keywords: Well-up Water; Foundation Pit Dewatering; Recirculation; Settlement Control

1 引言

城市地下空间开发越来越多，基坑深度越来越大，大范围的降水也将产生更大的影响，城市建筑密集，原有的浅基老建筑、旧的管线、新建管廊等均会因为地下空间的开发而产生不良的影响。

回灌是解决因降水引起固结沉降的一种有效手段，特别是对于基坑突涌等产生应急降水的情况[1-4]，回灌是保证基坑顺利进行有效手段。但目前可参考查阅的相关资料少，更难找到成功的案例，多数停留在理论分析这一阶段[5-11]。本文对这一抽、灌结合的案例从设计基础、试验、效果等方面进行分析，希望对该类工程提供有利参考。

2 工程概况

本工程紧邻长江、地处长江漫滩地区，基坑旁边有一小区距离基坑 250m。本基坑最大开挖深度约为 31.54m，采用地下连续墙作为止水结构，墙深 56.2m。

地层情况为：上部约 20 米厚为淤泥质粉质粘土层，其下为 25 米厚为粉土、粉细砂层，再下为 30~50 米厚为含卵石砾石中粗砂、中粗砂层，其下为岩层。

最下部的含卵石砾石中粗砂、中粗砂含水层渗透系数达 50m/d，水位在地面下 5m。造成本次涌水的正是该含水层。

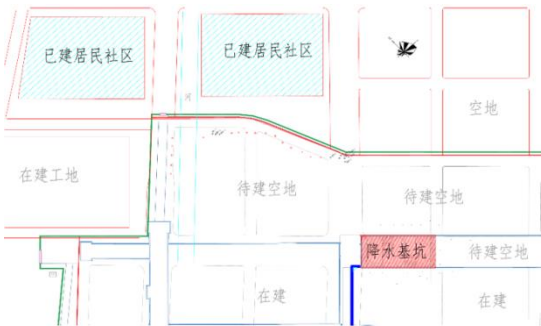


图 1 工程场地平面图
Figure 1 Site plan

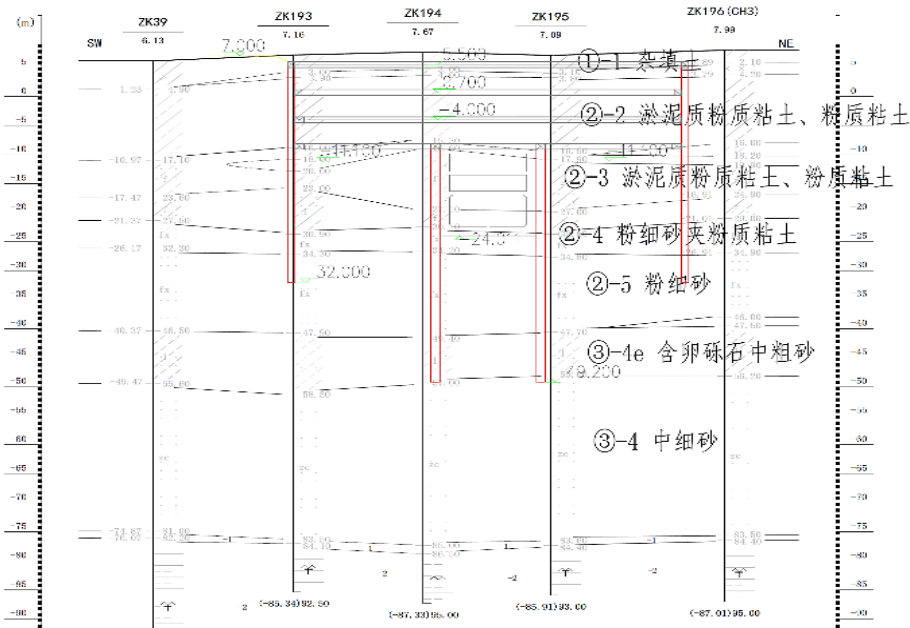


图 2 工程地质剖面图
Figure 2 Engineering geologic profile

3 回灌原因

经分析因汛期承压水位上涨，导致深层承压水沿工程桩周上涌，形成管涌事故，为解决事故，采用坑外大降水的方式即基坑外施工降水井[12-15]，降低下部承压水位至基坑底以下（埋深 32.54m，标高-25.54m），并保持抽水至主体结构施工完成。

在整体大降深抽水的情况下，导致周边水位下降，从而导致固结沉降。基坑旁小区距基坑 250m，为此降水前对周边建筑物布控监测点，并在降水初期进行回灌试验，试验结束后立即组织回灌井施工并运行。

4 基坑降水设计

回灌前根据工程地质特征确定主要回灌目的层：

- (1) 场地内 2-2、2-3 淤泥质粉质粘土，失水易发生沉降，因此需要保持其水位不下降。
- (2) (2) 3-4e、3-4 含卵砾石中粗砂层含水层，为降水层，水位降深大。且其渗透系数大，回灌会导致循环抽水，故该层不能作为回灌目的层。
- (3) (3) 2-4、2-5 粉细砂层，通过勘察资料及实际施工情况，该层存在大量的粘土薄层夹层，

这种地层结构在水位下降时容易引起沉降[16]。同时因其水平向渗透系数好，垂向渗透系数差，有较好的可回灌性又不会直接补给 3-4e、3-4 层。因此回灌该层可保证 2-2、2-3 淤泥质粉质粘土，2-4、2-5 粉细砂层水位提升，从而减小地面沉降。

5 回灌形式研究

确定回灌目的层后，对目的层的可回灌性、布置间距、回灌方式等通过试验进行研究分析。

试验分为：①单井试验，试验主要确定回灌方式、回灌用水及回灌量；②群井回灌试验，主要确定回灌间距、初步分析回灌效果。

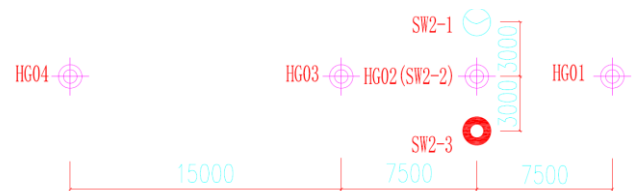


图 3 回灌试验井平面布置图

Figure 3 Layout of recharge test well

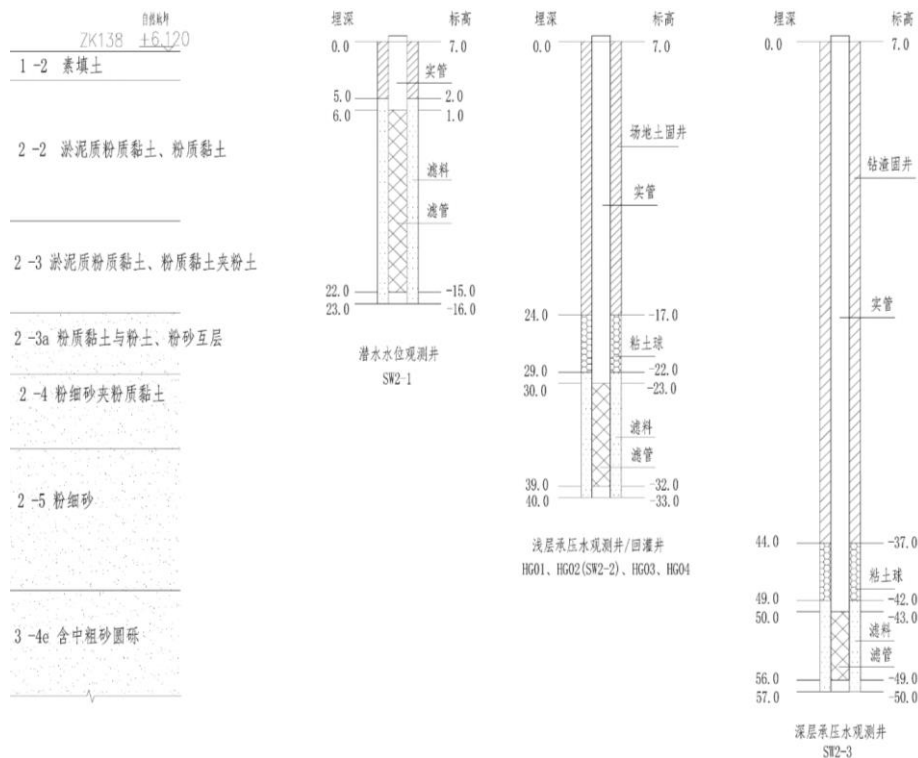


图 4 回灌试验井结构

Figure 4 Recharge test well structure

5.1 单井回灌试验

试验对比了两种工地上的常用水源，排水沟内水与降水井内的地下水，同时对比了常压回灌与加压回灌的影响差别。

表 1 单井回灌对比数据一览表

Table 1 List of single well recharge contrast data

序号	试验内容	回灌量 m ³ /h	SW2-2 水位回升	回灌形式	备注
1	沟水回灌	3.96	0.240	无压	
2	抽水回灌	11.33	0.617	无压	
3	加压抽水回灌	22.44	1.126	抽水	

试验表明，由于排水沟的水内存在大量的絮状沉淀物，极易导致滤管堵塞，影响连续回灌效果，回灌量偏小，降水井抽水直接回灌结合加压的方式回灌量明显加强，图 5 中 2-4、2-5 层主要回灌目的层水位回升约 0.905m，回灌效果理想。

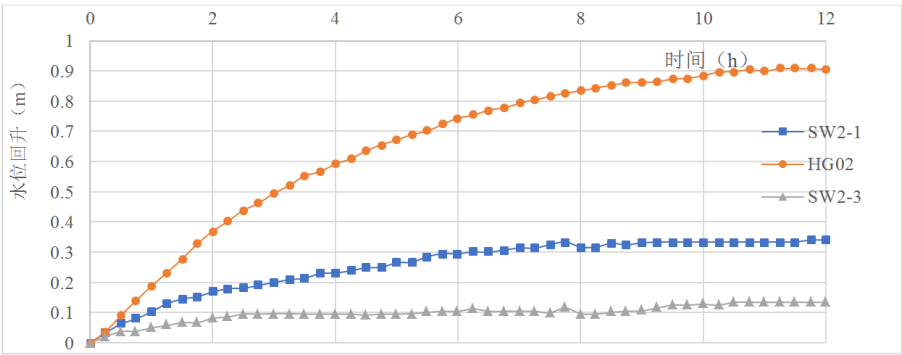


图 5 水位上升曲线图（加压回灌试验）

Figure 5 Water level rise curve (pressure recharge test)

但随着压力增加至 0.2 MPa 后，地面出现涌水，地基土被击穿。

效果，具体见表 2。

表 2 不同距离对比数据一览表

Table 2 A list of different distance comparison data

序号	回灌井	回灌井间距	水位回升	回灌量 m ³ /h	备注
1	HG01、HG04	30m	0.407	11.325	
2	HG01、HG03	15m	0.408	2.768	

试验中同样观测井水位回升 0.4m 左右时，间距 15m 明显比 30m 间距回灌量小，因此回灌间距选择 15m。

5.3 试验结论

- (1) 选择回灌主要目的含水层为 2-4、2-5 粉细层，同时兼顾上部潜水含水层，混合回灌井结构，可以有效地抬升包括潜水含水层内的水位。
- (2) 回灌井间距选择为 15m。



图 6 引水措施、加压回灌地基土被顶穿

Figure 6 Water diversion measures, pressure recharge foundation soil is top through

5.2 群井回灌试验

试验主要对比 15m、30m 两种不同间距的回灌井

- (3) 采用原水密闭直接回灌较好,采取沟水回灌较差。
(4) 加压回灌有提升效果,但回灌压力不宜大于 0.1MPa。

根据试验调整回灌井结构: 根据回灌目的层调整井深; 根据加压情况增加注浆止水形式。调整后的井结构见图 7。

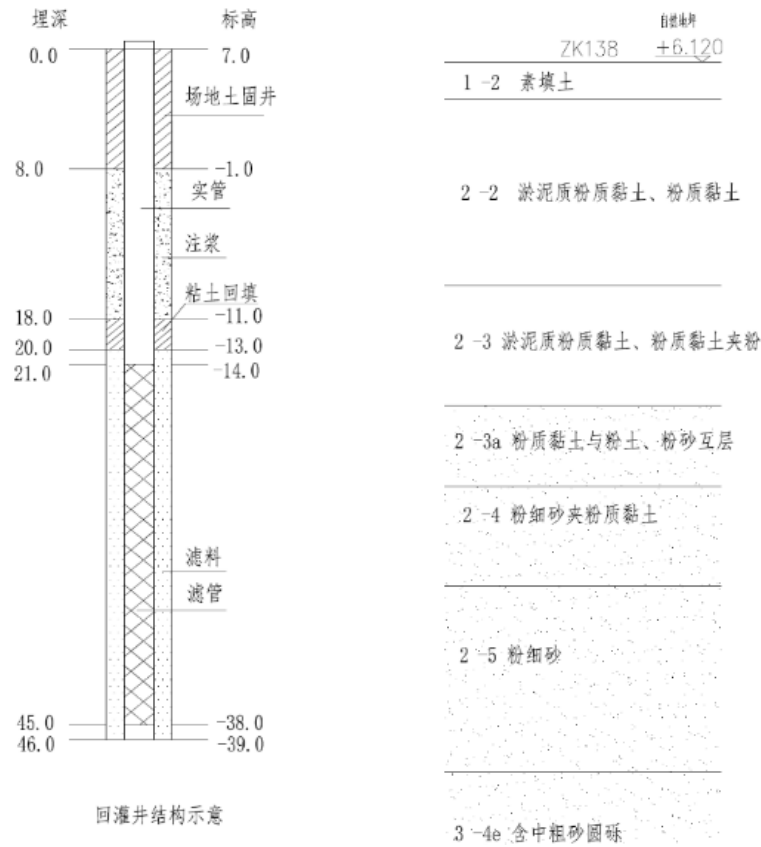


图 7 调整后回灌井结构图

Figure 7 Adjusted injection well structure drawing

6 回灌实施及效果分析

回灌试验结束后, 调整回灌井结构。在居民社区边按间距 15m 一口施工了 17 口回灌井, 平面位置见图 8。

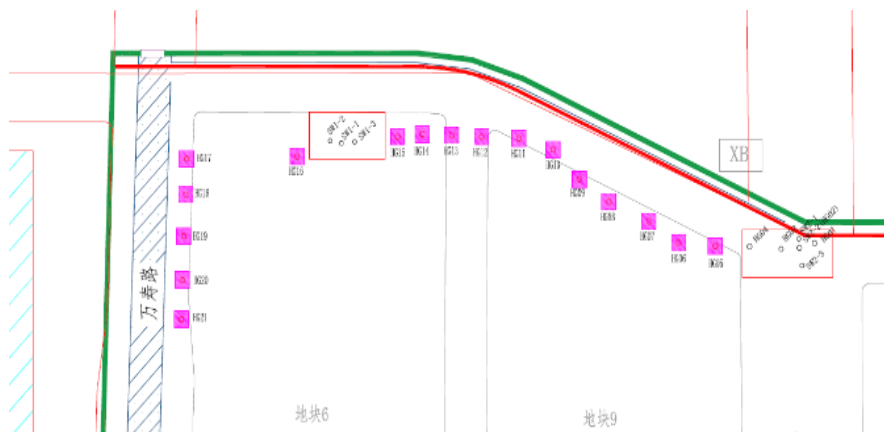


图 8 回灌井平面位置图

Figure 8 Plane location of recharge well

为保证施工效率，每成井几口井后，即开启回灌，至6月19日共开启回灌井17口，回灌量可达7500m³/d，浅层承压水水位回升6.32m，上部潜水水位回升1.61m、深层承压水水位回升2.93m。其中潜水水位及浅层承压

井水位基本恢复至初始位置。
在回灌井的外侧，居民社区建筑物周边沉降观测点大部分出现较好地回弹，在回灌井内测，靠近抽水井的沉降监测点沉降大部分已减缓，部分出现反弹。

表3 降水及回灌期间各位置水位变化情况

Table 3 Changes of water level in each position during precipitation and recharge

时间起点	总回灌量 m ³ /d	居民社区观测井 (m)						试验区观测井 (m)			
		SW1-1		SW1-2		SW1-3		SW2-1		SW2-2	
		埋深	变化	埋深	变化	埋深	变化	埋深	变化	埋深	变化
	0	2.11		10.29		10.42					
4月27日18台泵开始抽水		3.83	-1.72	16.43	-6.14	18.4	-7.98	4.43		16.53	
5月29日4口井开始回灌	716	4.15	-0.32	15.45	0.98	17.65	0.75	4.4	0.03	16.26	0.27
6月4日11口井开始回灌	4160	3.55	0.6	13.23	2.22	16.7	0.95	4.01	0.39	14.15	2.11
6月19日17口井回灌	7589	2.22	1.33	10.5	2.73	15.47	1.23	3.25	0.76	13.08	1.07

注:变化量为本阶段与上阶段对比，负值表示水位下降，正值表示水位上升。

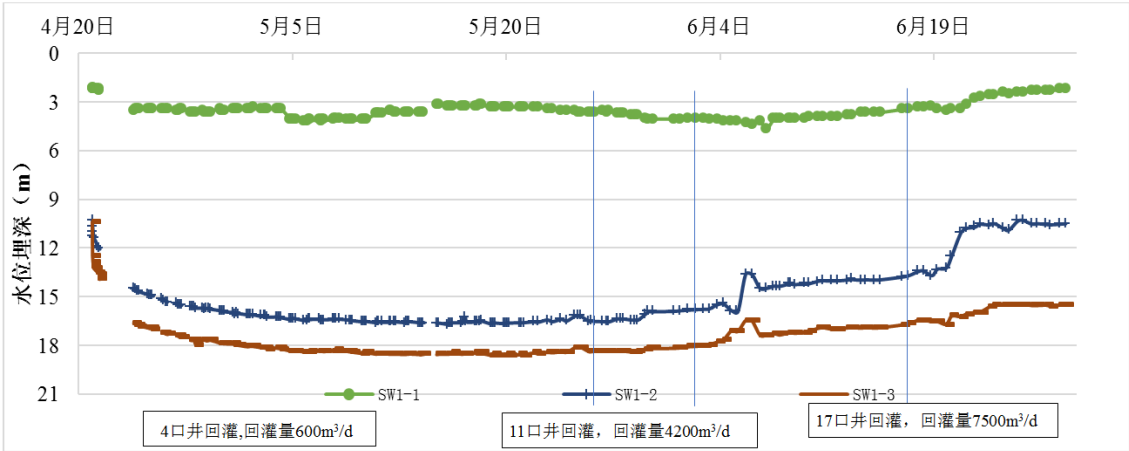


图9 居民社区附近观测井水位埋深历时曲线图

Figure 9 Diachronic curve of buried depth of observation well water level near residential community

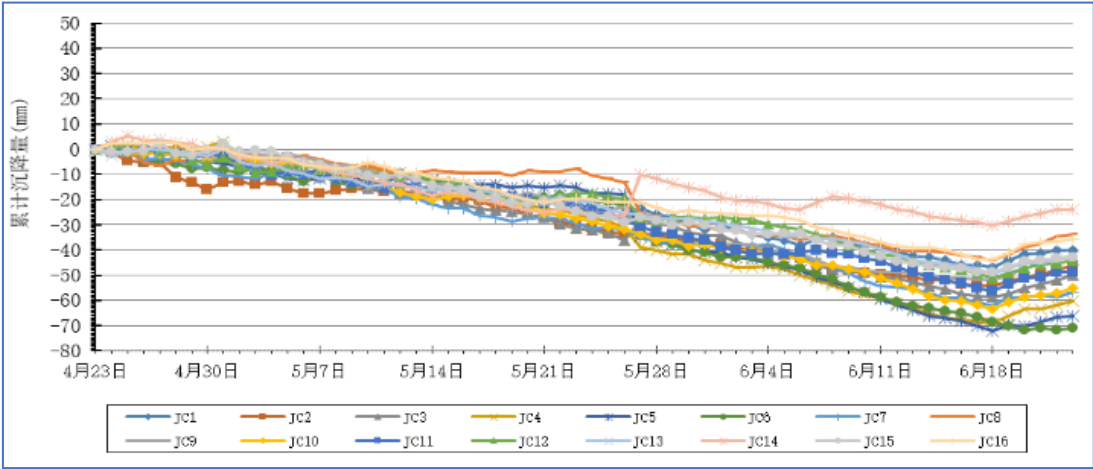


图10 社区建筑物周边累计沉降量变化曲线

Figure 10 Change curve of cumulative settlement around community buildings

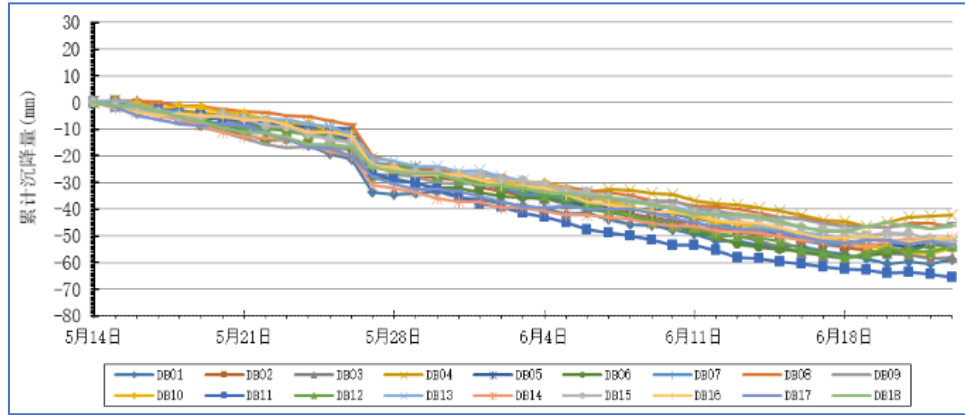


图 11 基坑至居民社区中间位置地表累积沉降量变化曲线

Figure 11 Change curve of surface cumulative settlement between foundation pit and residential community

7 结论

本工程采用了坑外降水、回灌相结合的方式，成功的保证了基坑施工，提升了建筑物周围的水位，出现了沉降回弹，从而减小了沉降，是一次成功的降水、回灌相结合的案例，本工程回灌成功主要基于以下几点：

- (1) 充分利用了 2-3、2-4 粉细砂层水平向和垂直向渗透系数的差异，采用降水层与回灌层不同的方式，既保证了回灌层以上的水位不下降，又避免了回灌与抽水循环。
- (2) 对地层特性的充分分析后，确定了回灌思路，通过试验获得验证，从而保证了回灌可靠性。
- (3) 优质的施工质量，确保回灌井的可回灌性。

参考文献

- [1] 郑剑升, 张克平, 章立峰. 承压水地层基坑底部突涌及解决措施 [J]. 隧道建设, 2003 (05): 25-27.
- [2] 陈家春, 张登. 深基坑突涌事故原因及处理措施[J]. 福建建筑, 2015 (07): 114-116.
- [3] 车灿辉, 张智博, 刘实. 南京长江漫滩地区某深基坑突水原因分析及治理 [J]. 岩土工程技术, 2014, 28 (004): 183-187.
- [4] 王荣华. 某深基坑工程地下水管涌原因分析与处理 [J]. 山西建筑, 2014 (33): 60-62.
- [5] 主灿. 抽灌水引起地面沉降的现场及室内试验研究 [D]. 导师: 张云. 南京大学, 2019.
- [6] 高东. 基坑降水引起地面沉降影响性分析 [D]. 导师: 汪东林. 安徽建筑大学, 2018.

- [7] 刘帅君, 张扬清. 降水开挖引起地面沉降的控制措施分析[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2016, 47 (05): 760-764.
- [8] 杨坤. 基坑降水引起地面沉降的机理分析及应用 [D]. 导师: 庞建勇. 安徽理工大学, 2016.
- [9] 原华, 张庆贺. 深基坑降水-回灌系统的最优化设计与应用 [J]. 上海交通大学学报, 2013, 47 (09): 1424-1429.
- [10] 姚纪华, 宋汉周, 吴志伟, 刘震. 基于回灌法控制深基坑降水引起地面沉降数值模拟 [J]. 工程勘察, 2013, 41 (04): 30-34.
- [11] 王国富, 李罡, 路林海, 唐卓华, 王倩. 济南轨道交通 R1 线车站基坑降水回灌适宜性分析 [J]. 施工技术, 2016, 45 (01): 67-72.
- [12] 徐正荣, 潘伟峰, 华锦耀. 深基坑突涌抢险处置施工技术 [J]. 建筑施工, 2019, v. 41; No. 340 (08): 46-47.
- [13] 赵峰. 深基坑承压水成因及其处理措施 [J]. 珠江水运, 2019, 000 (015): 100-101.
- [14] 李瑛, 胡德军, 叶向前, 等. 基于事故分析的深基坑承压水突涌机理研究 [J]. 地下空间与工程学报, 2019, v. 15; No. 114 (03): 310-315.
- [15] 汤建铭, 王钰. 珠江特大桥承台基坑突涌事故处理降水设计与施工 [J]. 探矿工程: 岩土钻掘工程, 2018, 45 (11): 50-55.
- [16] 陈忠, 钱宝源, 顾其波. 考虑承压水降水的深基坑施工变形规律研究 [J]. 宁波大学学报 (理工版), 2019, 032 (005): 65-69.

作者简介

吉咏安

1990 年生, 工程师, 研究方向为事岩土工程、基坑降水工程设计、施工、管理工作。

E-mail: jiyongan@live.com