

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2023.01.017

# 杭州地铁深基坑高承压水回灌应用实践

冯 伟, 陈海尤

(杭州市地铁集团有限责任公司, 杭州 310004)

**摘 要:** 针对基坑工程周边无排水条件、区域位置敏感等不利条件下的高承压水处理的技术难题, 以杭州地铁1号线三期机场风井项目为例, 优化基坑设计参数, 采用抽灌一体化承压水处理方案, 设计承压水回灌系统。研究表明, 基坑各项监测数据均在可控范围内, 验证了抽灌一体化承压水处理方案的可行性, 对于类似工程条件下的深基坑施工具有一定的借鉴价值与指导意义。

**关键词:** 轨道交通; 承压水; 回灌; 深基坑; 监测

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2023)01-0113-07

## Application and Practice on Recharge of High Pressure Confined Aquifer in Deep Excavation of Hangzhou Metro

FENG Wei, CHEN Haiyou

(Hangzhou Metro Group Co., Ltd., Hangzhou 310004)

**Abstract:** Effective treatment of confined aquifers is an important factor that determines excavation safety. By taking the example of the project of the airport ventilation shaft of Hangzhou Metro Line 1 Phase III, this study optimizes the design parameters of excavation and adopts the treatment measure of pumping and recharging the confined aquifer, effectively solving the technical difficulties; for example, no drainage conditions near the excavation engineering and the adverse conditions of the sensitive surrounding location. The monitoring results indicate that each excavation-monitoring dataset is under control. The treatment measures for pumping and recharging confined aquifers can not only reduce engineering costs but also effectively protect the surrounding environment, providing a certain reference value and guiding significance to the construction of deep excavations under similar engineering conditions.

**Keywords:** rail transit; confined aquifer; recharge; deep excavation; monitor

随着地下空间开发工作的不断推进, 地下施工深度已到达承压水层, 承压水对地下施工会造成重大影响, 比如基坑突涌破坏、环境岩土工程问题、围护结构开裂、空洞引起的流砂。据统计, 与地下水有关的基坑事故占地铁基坑事故的45%~70%<sup>[1-3]</sup>。当承压水水头过高或基坑开挖深度过深, 突涌稳定性不满足规

范要求时, 一般可采取按需减压降水或直接隔断承压水2种方式确保基坑安全<sup>[4]</sup>。

针对承压水严重影响地下施工安全的问题, 很多学者开展了相关研究。朱春雷<sup>[5]</sup>针对杭州地区复杂的水文地质环境, 对杭州地铁所面临的高承压水问题及相应的综合控制措施进行了研究。朱雁飞<sup>[6]</sup>提出了基

收稿日期: 2021-11-05 修回日期: 2022-01-11

第一作者: 冯伟, 男, 硕士, 工程师, 主要从事轨道交通建设管理工作, 1048266125@qq.com

引用格式: 冯伟, 陈海尤. 杭州地铁深基坑高承压水回灌应用实践[J]. 都市快轨交通, 2023, 36(1): 113-119.

FENG Wei, CHEN Haiyou. Application and practice on recharge of high pressure confined aquifer in deep excavation of Hangzhou metro[J]. Urban rapid rail transit, 2023, 36(1): 113-119.

坑围护-降水一体化设计的概念,在多项工程中获得了成功应用。陆建生等<sup>[7]</sup>提出了抽灌一体化设计的概念,并取得了较好的工程应用效果。张刚<sup>[8]</sup>对降承压水引起地表沉降的预估与实测对比进行了研究。龚晓南等<sup>[9]</sup>对承压水降压引起的上覆土层沉降进行了研究,结果表明,如果承压水顶板隔水性较好,短期内开采深层承压水,降压引起的沉降量可以不予考虑。

基坑工程以确保基坑安全为第一要务,在此基础上还应尽量减少对周边环境的不利影响。杭州地区的地铁建设与国内其他城市相比,水文地质环境更为复杂,尤其是钱塘江流域普遍存在高承压水及水质超标问题。本文以杭州地铁1号线三期机场风井深基坑工程为例,针对杭州地区高承压水的特点及其对地铁建设的影响,详细介绍了在周边无排水条件、承压水水质超标、周边环境敏感等不利条件下,采取抽灌一体化承压水处理方法解决地铁施工中的高承压水问题,为杭州地铁后续建设提供工程经验,也为类似条件下地铁基坑工程施工提供参考。

## 1 工程背景

### 1.1 工程概况及周边环境

杭州地铁1号线三期工程位于杭州市东部,线路串联起萧山机场、杭州东站、杭州城站、杭州汽车客运中心等多个重要交通枢纽。根据工程整体筹划,向阳路站—萧山机场站区间2台盾构机从向阳路站始发,2台盾构机从萧山机场站始发,4台盾构机均在机场风井接收,该区间工程为杭州地铁首次盾构穿越运营中的干线机场。机场风井作为盾构区间接收井,风井主体结构大致成矩形,风井主体结构南北方向长度为22.9 m,东西方向长度为25.3 m,机场风井主体为地下3层框架结构,基坑开挖深度为26.2~26.5 m。

机场风井位于萧山国际机场北侧停机坪内,紧邻机场北跑道,机场风井西侧紧靠顺丰速运物流中心,详见图1。由于区域位置敏感,如发生基坑事故将直接影响机场正常运营,因此,施工过程中对地表沉降、施工扬尘及排水要求高。该位置周边无市政管网,前期降水主要是通过管路直接排放至河道内。

### 1.2 工程地质与水文地质条件

机场风井自上而下开挖主要地层为:素填土层、砂质粉土层、粉砂加砂质粉土层、粉砂层、砂质粉土层,基底位于淤泥质黏土层,地下连续墙底位于圆砾层,详见图2。

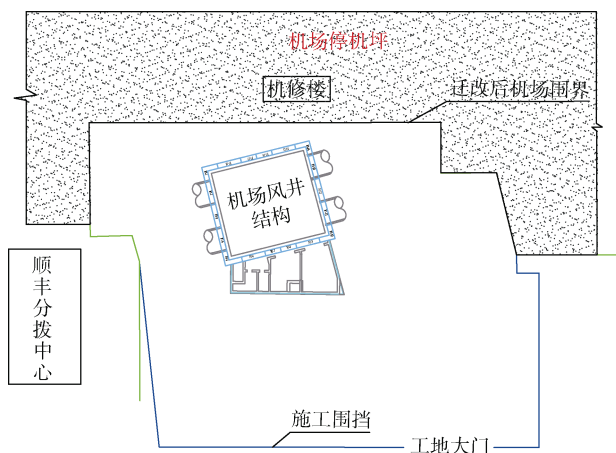


图1 机场风井与周边建(构)物平面位置关系

Figure 1 Plane position relationship between airport air shaft and surrounding buildings (structures)

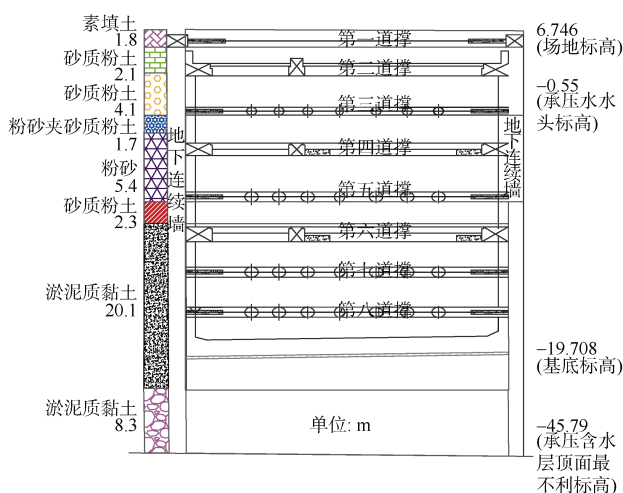


图2 机场风井地质剖面图

Figure 2 Geological profile of airport air shaft

机场风井潜水主要赋存于浅(中)部填土层、粉(砂)性土中。潜水初见水位埋深为地面下1.00~2.30 m;潜水稳定水位埋深为地面下1.10~2.40 m。潜水主要由大气降水与地下同层侧向径流补给,以竖向蒸发及地下同层侧向径流方式排泄,并随季节性变化,自然历史条件下,年水位变幅为1.0~1.5 m。根据沿线场地钻孔内所取地层浅部的2个潜水水样进行的水质化学分析试验,潜水物理指标为:无色、黄色、微浑浊—浑浊;水化学类型为HCO<sub>3</sub>-Ca-Na及Cl-Na型水,PH值7.33~7.61,属中性水—弱碱性水,其矿化度为609~2 851 mg/L,为淡水—微咸水。

根据勘察资料,机场风井承压水主要赋存于下部的圆砾层中,该层承压水埋深较深,隔水顶板埋深约在52 m,隔水顶板黏土层渗透系数为 $2 \times 10^{-7}$  cm/s。根

据抽水试验成果,承压水水头达到 45 m 左右,抽取承压水时,上层潜水位变化不明显,两者没有直接水力联系。承压水物理指标为:红色、浑浊,水化学类型为 Cl-Na, PH 值 6.26,属弱酸性水,矿化度为 5 108 mg/L,属咸水。依据文献[10]规定,该承压水中氨、氮、氟化物含量严重超标,远高于 V 类水标准限值(V 类标准限值氨氮 2 mg/L、总氮 2 mg/L、氟化物 1.5 mg/L,检测结果氨氮 24.65 mg/L、总氮 58.81 mg/L、氟化物 2.78 mg/L),需对承压水进行处理,无法直排到河道中。要确保基坑安全,关键是解决承压水排放问题。

## 2 基坑设计方案

### 2.1 支护结构设计

根据所处环境、工程地质、水文地质及水文资料条件以及基坑深度,经技术经济综合比较、计算分析和工程类比,本风井采用框架逆作法施工。机场风井为地下 3 层,主体开挖深度 26.5 m,设计采用 1 200 mm 厚地下连续墙(采用十字钢板接头,且地下连续墙采用槽壁加固 20 m),设 8 道支撑,其中 3 道逆作梁、1 道砼支撑、4 道钢支撑,地下连续墙内侧设置 800 mm 厚内衬墙,内衬墙与地下连续墙之间均按叠合墙设计。基坑坑底位于淤泥质黏土层,地下连续墙总长约 60.47 m,插入比约为 1:1.294,地下连续墙墙趾位于圆砾层中,承压水层厚约 40 m,地下连续墙无法隔断。坑底采用满堂旋喷加固,加固深度为 9 m。

### 2.2 抗突涌计算及降水设计

根据文献[11]基坑突涌稳定性安全系数不应小于 1.1。安全系数的计算公式为

$$F_s = \frac{H\gamma_s}{h\gamma_w} \quad (1)$$

式中:  $F_s$  为安全系数;  $H$  为基坑底至承压水层顶板间距离, m;  $\gamma_s$  为基坑底至承压水层顶板间的平均重度,  $\text{kN/m}^3$ ;  $h$  为承压水头高度至承压水层顶板的距离, m;  $\gamma_w$  为水的重度,  $\text{kN/m}^3$ , 取  $10 \text{ kN/m}^3$ 。

下面分 3 种工况进行计算,岩土力学参数详见表 1,突涌稳定性计算结果详见表 2。

表 1 岩土力学参数

Table 1 Geotechnical parameters

| 序号 | 土质    | 重度 $\text{kN/m}^3$ | 凝聚力/kPa | 内摩擦角/(°) |
|----|-------|--------------------|---------|----------|
| 1  | 淤泥质黏土 | 17.2               | 14      | 10       |
| 2  | 淤泥质黏土 | 17.2               | 14      | 12       |
| 3  | 水泥土   | 17.7               | 90      | 23       |

表 2 突涌稳定性计算结果

Table 2 Calculation results of intruding stability

| 工况      | $H/\text{m}$      | $h/\text{m}$ | 突涌稳定性安全系数 | 是否满足要求 | 降水深度/m           |
|---------|-------------------|--------------|-----------|--------|------------------|
| 基坑开挖到底  | 26.082(其中水泥土 9 m) | 45.24        | 1         | 否      | 4.5              |
| 基坑剩余一层土 | 28.082(其中水泥土 9 m) | 45.24        | 1.07      | 否      | 0.9              |
| 基坑剩余二层土 | 31.082(其中水泥土 9 m) | 45.24        | 1.19      | 是      | 为便于施工管控,此时开始降承压水 |

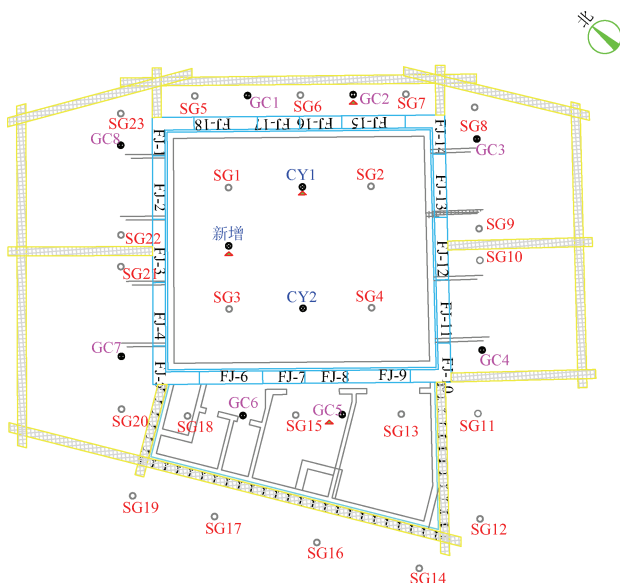
根据文献[12]的研究,由于水泥土的重度与原状土相近,经加固后水泥土重度提升为 0.5%~3%,因此水泥土重度按照  $17.7 \text{ kN/m}^3$  考虑。采取坑底加固后可提高土体的力学参数,使其抗压、抗剪及整体刚度提高,并与围护结构连成整体,提高基坑稳定性。目前在基坑设计过程中,由于水泥土的重度相较于原状土没有明显提升(主要在于凝聚力、内摩擦角等力学参数的提高),文献[11]的基坑抗突涌计算公式中未考虑加固层的作用,鉴于地下工程具有众多的不确定性因素,以及本工程周边环境的重要性,因此本文的基底加固更多作为一种安全储备。

根据表 2 计算结果,机场风井在进行第 7 道支撑(钢支撑)下方土方开挖时需对基坑内的承压水进行降压,基底见底时需将承压水水头降至地面下 11.8 m,因此只能采取抽灌一体化处理方法。坑内选取 CY1、新增的承压井采用 160 方水泵进行抽排,坑内 CY2 作为观测井;坑外选取 GC2、GC5 采用 110 方水泵进行抽排。降承压水以坑内为主,坑外为辅,尽量减少对周边环境的沉降影响。

基坑在坑内、坑外均设置降水井,基坑范围内为潜水,坑外设置降水井,水位降至地下 10 m,坑外采取渠式切割水泥土连续墙(Trench cutting re-mixing deep wall, TRD)作为止水帷幕控制降水对周边环境的影响;坑内设置疏干井,坑内水位降至坑底以下 2 m 深度。机场风井内一共布置 34 口降水井,其中主体结构坑内 4 口疏干井、3 口承压井,附属结构坑内 3 口疏干井、2 口承压水观测兼备用井。基坑外 6 口承压水观测兼备用井和 16 口疏干井,机场风井降水布置见图 3。

## 3 抽灌一体化承压水处理关键技术

降水设计以降水头控制为主,不以水量为主。根据地层组合调整抗突涌安全系数,本工程采用抽灌



注: FJ-地下连续墙; SG-疏干井; CY-承压井;  
GC-承压水观测兼备用井

图3 降水井平面布置

Figure 3 Layout plan of dewatering well

一体化设计。由于工程地质条件与场地周边环境的复杂性,并非所有的基坑工程均适合回灌。影响基坑降水回灌的因素可大致分为3类<sup>[13]</sup>:回灌场地水文地质条件、回灌水水质、回灌方案的经济和社会性因素。

1) 回灌场地水文地质条件:本工程的水源回灌主要选择在渗透系数较大的圆砾层,渗透系数越大则回灌的水量越多,是比较理想的回灌地层。且承压水顶板隔水性较好,埋深较大,抽排承压水不会对地表沉降造成太大影响。

2) 回灌水水质:本工程潜水可直接疏干,且水质达标,可就近直接排放至河道。而承压水水质不达标,因此仅能选择同层回灌。同层回灌不仅可避免回灌含水层的污染,大大节约水资源,确保自然生态系统中水资源的相对平衡,而且可以减少对周边环境的影响。

3) 回灌方案的经济和社会性因素:经前期承压水抽排情况及对承压水质进行检测,承压水铁离子、氨、氮、氟含量超标,导致无法直接排放至河道内。方案比选:方案1采用污水处理方案,费用约500万,场地准备需1个月;方案2采用回灌方案,费用约200万,场地准备需15d。综合考虑处理设施施工周期及方案成本,采用方案2进行承压水处理。

### 3.1 回灌井布置

1) 根据回灌井工作原理,机场风井承压水回灌后,回灌区域水位将上抬。若回灌井距离基坑过近,

可能影响基坑正常降压工作,甚至危害基坑安全,故回灌井位置要远离基坑。

2) 回灌井应选在有条件施工且受周边环境影响小的位置。

3) 根据前期试抽及水质检测,机场风井承压水存在大量铁离子等污染,铁离子经氧化后形成氧化铁,长时间回灌时氧化铁附着于回灌井滤管位置,易造成滤管堵塞,降低回灌量。故回灌前布置一定长度的排水管路及沉淀池,使其提前曝气形成氧化铁,并通过过滤及沉淀去除水内氧化铁含量,以此增加回灌井使用寿命。

根据以上原则,机场风井回灌井施工位置选择在机场风井东北位置距离机场风井基坑约134m处,此位置属于机场远期规划用地。规划用地主要为杂草,用地周边无地线管线及建构筑物。

## 3.2 回灌井设计

### 3.2.1 回灌井数量

根据机场风井高峰时,基坑减压降水流量为坑内2口承压井及坑外2口承压井同时开启时流量达到最大为540m<sup>3</sup>/h(共4台水泵,2台160m<sup>3</sup>/h流量的水泵,2台110m<sup>3</sup>/h流量的水泵),考虑1.1的安全富余系数,最终流量 $V=540 \times 1.1=594$  m<sup>3</sup>/h。

单井回灌量的计算是确定回灌井数量的关键,经咨询专家及结合杭州地区实际情况,根据文献[14],水平渗透系数的计算公式为

$$K = \frac{0.366Q}{SL} \times \lg \frac{aL}{r} \quad (2)$$

式中:  $K$  为水平渗透系数, m/d, 根据机场风井图纸得知圆砾层水平渗透系数  $K=69.12$  m/d;  $Q$  为单井回灌量, m<sup>3</sup>/d;  $S$  为抽水时水位降深, m, 根据现场试验为0.56 m;  $r$  为钻孔半径, m, 回灌井成孔直径为700 mm, 故  $r=0.35$  m;  $L$  为滤管有效渗透部分的长度, m, 回灌井井管进入圆砾层5 m, 故滤管  $L=5$  m;  $a$  为固定值, 取值为1.32。

回灌井单井回灌量  $Q$  的计算公式为

$$Q = \frac{K \times SL}{0.366} \times \frac{1}{\lg \frac{aL}{r}} \quad (3)$$

通过式(3)计算得到  $Q=414.58$  m<sup>3</sup>/d, 则回灌井数量为:  $V/Q=594 \div (414.58/24) \approx 34$  口。

由于承压水中二价铁离子含量较大, 经氧化后形成三价铁离子会附着在井壁, 可能会堵塞滤孔, 为延长回灌井的寿命, 需定期对回灌井进行回扬。为避免



以上情况及确保回灌井在出现故障时基坑内承压水能够连续排放,增设6口回灌井作为备用井以确保基坑在施工过程中的安全。

### 3.2.2 回灌井布置

回灌井影响半径 $R$ 为46 m,根据回灌布置原则及结合现场场地条件,回灌井分3组布置,其中1、2组各布置12口回灌井(其中2口作备用井),3组布置16口回灌井(其中2口作备用井),共设置回灌井40口。

### 3.2.3 回灌井水位监测

为确保基坑开挖安全及降低开挖风险,在回灌井位置与基坑之间设置2口观测井(GC1、GC2),观测井施工工艺及参数同回灌井。观测井用于观测承压水回灌后基坑附近承压水层的变化情况,从而指导基坑施工。

### 3.2.4 回灌井井深

机场风井抽取的承压水位位于圆砾层,为避免地下水回灌污染其他含水层,本次回灌目的层也为圆砾层。根据机场风井地勘报告显示,圆砾层上覆为粉细砂层,考虑到要充分利用圆砾层的强渗透性,回灌井滤管需进入圆砾层不小于5 m,井深不小于65 m,其中53~64 m为滤管,滤管约5 m位于圆砾层。

### 3.2.5 回灌井管路

根据工期安排,回灌井需有较长的使用寿命且较强的排水能力,故在回灌前应充分清除水中所含杂质。承压水中所含杂质主要为铁离子氧化后的氧化铁,则降压抽出的承压水需充分曝气,将水中所含铁离子氧化为氧化铁并沉淀。曝气采用蓄水池及排水沟的方式增加承压水进入回灌井的路程以增加曝气时间。

抽出的承压水通过 $\Phi 600$ 波纹管流到砖砌 $2\text{ m}\times 2\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的蓄水池1内,然后通过水沟1流至砖砌 $2\text{ m}\times 2\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的蓄水池2内,最后汇集到砖砌 $4\text{ m}\times 4\text{ m}\times 2\text{ m}$ 的蓄水池3内,最后从蓄水池3通过水沟2排入至各回灌井内。在排水通道中间设一处拐弯点,拐弯点适当落低并于中间设置一层60目过滤网过滤杂质并沉淀。回灌井布置详见图4。

### 3.2.6 回灌井构造

回灌井井管采用 $\Phi 325$ 壁厚6 mm

钢管,井管底部1 m为沉淀管,沉淀管底部采用钢板进行封死。沉淀管以上10 m为滤水管,滤管上设置直径为20 mm的滤孔,滤孔面积不得少于滤管面积的30%。滤水管外包一层铁丝网,再于铁丝网外包裹两层40目的尼龙网。

井底至51 m井深位置井壁回填料为188 mm厚级配砾石,51~46 m井深采用直径为15~25 mm的黏土球进行回填,46 m至井口处采用黏土进行回填。

### 3.3 回灌井运行

1) 回灌井施工完成后直接将排水通道施工于井位置,回灌井井口高出水沟面0.6 m。抽出的地下水通过曝气过滤沉淀后流入回灌井所在区域的通道,当通道内水位高于井口时形成自然回灌。

2) 每个区域选用2口井封闭作为备用,其余作为现用回灌井。

3) 长时间回灌后流量变小,应对每个区域回灌井进行回扬,回扬频率采用回灌井运行前30 d为1周/次,运行30 d后1周/2次。回扬期间打开备用井回灌,并逐口对其余井进行回扬,使用额定流量为 $50\text{ m}^3/\text{h}$ 的抽水泵进行回扬,单井回扬时间不少于4 h,回扬水排于曝气通道内。

4) 为避免回灌井内流入杂物堵塞井管,在蓄水池2内设置60目密目网并在回灌井前方300 mm处设置80目的密目网,回灌井运行期间安排专人每天对回灌

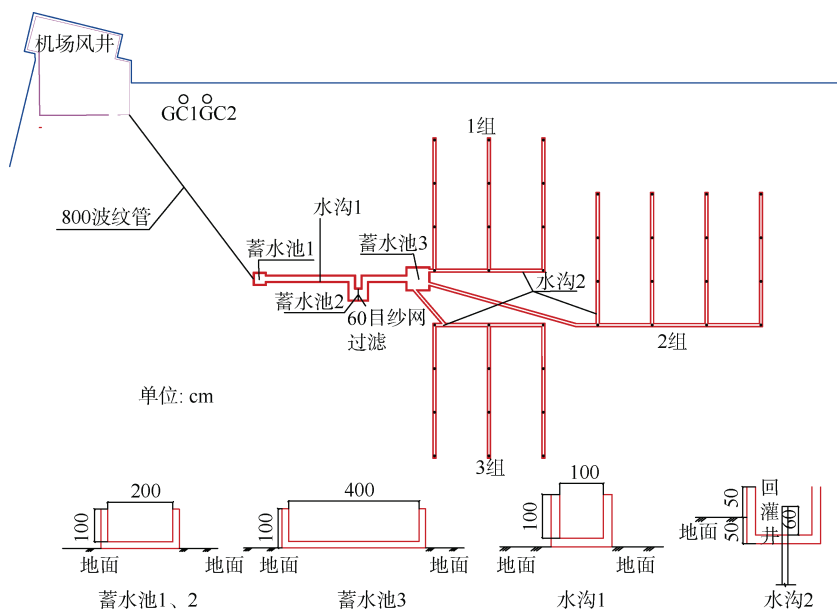


图4 回灌井布置

Figure 4 Layout plan of recharge well

并进行巡视及维护，定期对水沟进行清理。

5) 为确保回灌井的正常运行，回灌井区域电源单独从配电房接入。在每个回灌井区域设置 2 个二级电箱，二级箱线路在施工排水沟前进行穿管预埋。

4 监测结果分析

在开挖最后二层土时，同步开启坑内及坑外承压降水井，现场坑内承压井水位一直维持在 14 m 左右，满足水位低于 11.8 m 的设计要求<sup>[15]</sup>。通过现场回灌试验，验证针对圆砾层承压水进行常水头无压回灌的可行性，针对基坑实施同抽同灌，单井的平均回灌量可达到 15 m<sup>3</sup>/h，为后续杭州地铁基坑回灌设计提供有力的数据支撑。

基坑于 2019 年 10 月 1 日开启承压降水井，并于 2019 年 10 月底完成底板混凝土浇筑，最终地表沉降及墙体侧斜等监测数据均在允许范围内，过程中未发生基坑突涌等险情，承压水处理达到了理想目标，有效确保了基坑安全。为评估基坑变形量，选取基坑 4 条边的中轴线上的监测点进行分析，监测点与基坑边的距离均为 7 m，编号分别为 DBC3-2、DBC4-2、DBC5-2、DBC6-2，地表沉降监测数据见表 3。DBC3-2、DBC4-2、DBC5-2、DBC6-2 监测点最大的累计变化量为 24.86 mm，满足小于 30 mm 的设计要求<sup>[15]</sup>。地表沉降监测数据进一步印证了文献[11]的研究结论，如果承压水的顶板隔水性较好，则短期内开采深层承压水所引起的地表沉降量较小。

表 3 地表沉降监测数据

| 测点<br>编号 | 沉降累计变化量/mm  |             |              |              |              | 本月变<br>化量/<br>mm | 变化<br>速率/<br>(mm/d) |
|----------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|------------------|---------------------|
|          | 10 月<br>1 日 | 10 月<br>8 日 | 10 月<br>15 日 | 10 月<br>22 日 | 10 月<br>31 日 |                  |                     |
| DBC3-2   | -23.17      | -23.18      | -24.36       | -24.86       | -24.47       | -1.30            | -0.04               |
| DBC4-2   | -16.45      | -18.99      | -20.67       | -20.44       | -20.33       | -3.88            | -0.13               |
| DBC5-2   | -23.12      | -23.52      | -23.45       | -22.83       | -23.08       | 0.04             | 0.00                |
| DBC6-2   | -20.26      | -20.50      | -20.79       | -20.62       | -20.44       | -0.18            | -0.01               |

墙体测斜数据见图 5，墙体测斜数据随着深度的增大而增大，在 20.5 m 深度达到最大值，最大墙体测斜数据为 28.15 mm，满足小于 35 mm 的设计要求<sup>[15]</sup>。

5 结论

1) 针对杭州地铁 1 号线三期机场风井的特殊性，结合工程周边无排水条件、区域位置敏感、沉降控制要求高等特点，从优化基坑设计参数、抽灌一体化承压水施工技术等多方面采取控制措施，将设计、施工

技术、场地环境等多个方面有机结合，解决了机场风井深基坑施工难题，为安全生产及施工提供了保障，确保了萧山国际机场的运营安全。

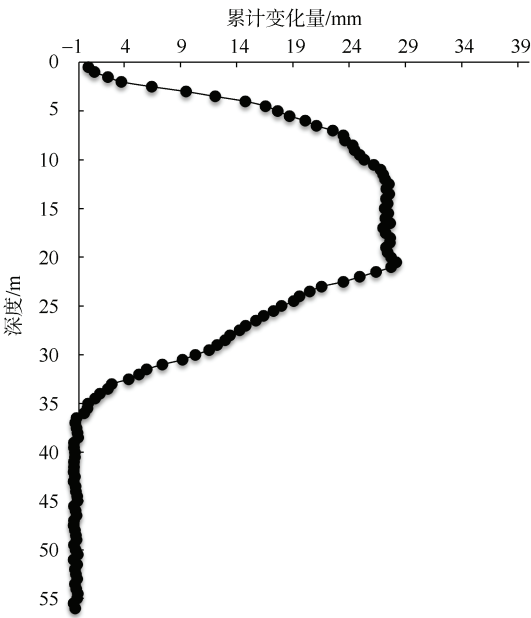


图 5 最大墙体测斜数据曲线  
Figure 5 Data graph of maximum wall inclination

2) 工程实践表明，在杭州地区特殊地层条件下承压水回灌是可行的，在圆砾层进行承压水回灌，单井的平均回灌量可达到 15 m<sup>3</sup>/h。在周边条件受限，且围护结构无法对承压水进行隔断的情况下，基坑坑外采取 TRD 止水帷幕+降水、地连墙接头采用十字钢板接头+坑底满堂加固的设计，施工过程中采取抽灌一体化承压水处理方法，可有效解决基坑开挖过程中承压水降压问题。对于类似工程条件下的基坑施工具有一定的借鉴价值与指导意义。

参考文献

[1] 王曙光, 温文. 深基坑工程事故分析与工程实践[J]. 地基基础工程, 2000(2): 1-9.

[2] 蒋红星, 李龙, 冯芳. 深基坑支护工程中的地下水防治问题研究[J]. 中国煤田地质, 2003, 15(1): 41-43.

JIANG Hongxing, LI Long, FENG Fang. Research on prevention and cure of ground water in the supporting engineering of deep foundation pit[J]. Coal geology of China, 2003, 15(1): 41-43.

[3] 叶琳昌. 要重视基坑围护中的防水问题[J]. 中国建筑防水, 2000(1): 18-22.

YE Linchang. More attention should be paid to water-

- proofing of pit exterior-protected construction[J]. China building waterproofing, 2000(1): 18-22.
- [4] 韦扣均, 汪乐, 丁文强. 地铁基坑组合式承压水处理方法应用实践[J]. 工程技术研究, 2020, 5(6): 15-18.  
WEI Koujun, WANG Le, DING Wenqiang. Application of combined confined water treatment method in metro foundation pit[J]. Engineering and technological research, 2020, 5(6): 15-18.
- [5] 朱春雷. 杭州地区高承压水对地铁建设的影响及对策[J]. 铁道工程学报, 2014, 31(7): 105-109.  
ZHU Chunlei. The influence of high pressure aquifer on construction of Hangzhou subway and its countermeasures[J]. Journal of railway engineering society, 2014, 31(7): 105-109.
- [6] 朱雁飞. 深基坑工程中承压水危害的综合治理方法(上)[J]. 上海建设科技, 2008(4): 16-19.  
ZHU Yanfei. Comprehensive treatment for confined water harm in deep foundation pit construction[J]. Shanghai construction science & technology, 2008(4): 16-19.
- [7] 陆建生, 潘伟强, 沈池, 等. 深基坑承压水抽灌一体化设计及工程应用[J]. 施工技术, 2014, 43(1): 48-52.  
LU Jiansheng, PAN Weiqiang, SHEN Chi, et al. Design and application on pumping-recharge integration system of deep foundation excavation[J]. Construction technology, 2014, 43(1): 48-52.
- [8] 张刚. 降承压水引起地表沉降的预估与实测对比研究[J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9(4): 908-913.  
ZHANG Gang. Study on the comparison between prediction and field measurement of surface settlement caused by dewatering of confined water[J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2013, 9(4): 908-913.
- [9] 龚晓南, 张杰. 承压水降压引起的上覆土层沉降分析[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(1): 145-149.  
GONG Xiaonan, ZHANG Jie. Settlement of overlaying soil caused by decompression of confined water[J]. Chinese journal of geotechnical engineering, 2011, 33(1): 145-149.
- [10] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准: GB 3838—2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑基坑支护技术规程: JGJ 120—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [12] 吕培林, 雷震宇, 董月英. 承压水作用下条形基坑坑底整体加固厚度研究[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(3): 478-481.  
LU Peilin, LEI Zhenyu, DONG Yueying. Study on the thickness of entirety stabilization in the bottom of strip pit under confined water pressure[J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2005, 1(3): 478-481.
- [13] 冶雪艳, 耿冬青, 杜新强, 等. 工程降水人工回灌综合技术[J]. 世界地质, 2011, 30(1): 90-97.  
YE Xueyan, GENG Dongqing, DU Xinqiang, et al. Integrated technique of artificial recharge in engineering dewatering[J]. Global geology, 2011, 30(1): 90-97.
- [14] 铁道部第一勘测设计院. 铁路工程地质手册[M]. 2 版(修订版). 北京: 中国铁道出版社, 1999: 182.
- [15] 北京城建设计发展集团股份有限公司. 杭州地铁 1 号线三期工程机场风井围护结构施工图纸[Z]. 北京, 2018.
- (编辑: 王艳菊)

### 无锡地铁集团数字化管理课题荣获全国企业管理现代化创新成果

近日, 全国企业管理现代化创新成果审定委员会发布《关于发布和推广第二十九届全国企业管理现代化创新成果的通知》(国管审〔2023〕1号)。无锡地铁集团申报的《城市轨道交通企业基于建设全生命周期和经营全过程的数字化管理》荣获第二十九届全国企业管理现代化创新二等成果。

2022 年以来, 无锡地铁集团成立数字化成果经验申报专项小组, 在总结集团信息化经验以及数字化成果的基础上, 启动国家级企业管理现代化创新成果申报。项目申报以来, 得到了全国企业管理现代化创新成果审委会办公室和省、市企业联合会领导及有关专家的关心支持, 多次专题召开指导座谈会, 对进一步完善申报成果材料提出了专业意见和建议, 推动申报成果充分反映地铁集团贯彻新发展理念, 实施创新驱动与数字化转型, 推动企业高质量发展的成功实践, 同时也为全市企业创新管理、转型发展提供了可复制、可借鉴的经验。

摘编自 <https://www.chinametro.net/2023-01-11>