

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.01.064

机场枢纽近磁浮区域超深基坑地下水控制技术

张宁

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:在城市机场复杂交通枢纽区域,如何综合有效的管控超深基坑中出现的复合承压含水层,已成为上海地区超深基坑明挖建设中必须解决的一个关键技术问题。上海机场联络线浦东机场站位于上海浦东机场交通枢纽核心区机场主干道—迎宾大道正下方,项目基坑范围内地层受古河道切割影响,南北向地质条件起伏大,⑥层和⑧层缺失,⑦层和⑨层承压水联通。车站主体结构邻近磁悬浮桩基础距离仅为26.5m,周边环境保护要求也极高。为满足基坑和环境的双安全,项目进行了复合承压含水层组的围护+降水综合设计,再通过抽水试验验证分析,确保降水方案实施的可靠性,通过基坑开挖阶段动态管控,最终达到预期承压水控制的目标。

关键词:承压水控制;复合承压含水层;围护+降水综合设计;基坑降水

中图分类号: TU46+3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)01-0258-06

0 引言

随着上海城市地下空间建设的飞速发展,基坑开挖越来越深,周边环境越来越敏感,基坑开挖涉及的承压含水层越来越多。这些含水层构成了一个厚度大、渗透性差异明显的复合承压含水层组。如何综合有效管控超深基坑中出现的复合承压含水层组,已成为上海地区超深基坑明挖建设中必须解决的一个关键技术问题。很多情况下,承压含水层无法完全隔断或经济上不具有可能性,例如在上海⑦层与⑨层连通区域和⑤₂与⑦层连通区域,含水层深达百米以上,此时采用单一的降水管井方案已经远远不能达到基坑安全施工的目标,创新应用围护+降水综合设计的理念,综合地进行复合承压含水层组的管控,既能满足基坑开挖要求,又能达到周边环境保护的目的。

1 工程概况

机场联络线浦东机场站位于T1航站楼与T2航站楼之间,即上海浦东机场的交通主干道—迎宾大道的正下方。车站为城际列车和市域列车共线停靠站,是地下二层单岛加越行站,主体长557m,宽35m,总建筑面积达约4.6万m²,见图1。北侧为景观水池,南侧为在建旅客过夜用房,西侧为P1停车库,

东侧为磁浮及轨交二号线。车站范围内存在大量涉及机场运营的重要管线,车站上方还有三座人行连廊、空港宾馆上匝道、长途客运站需进行拆除,周边环境非常复杂,同时项目施工期间需保证机场运营需求,机场不停航施工要求高。

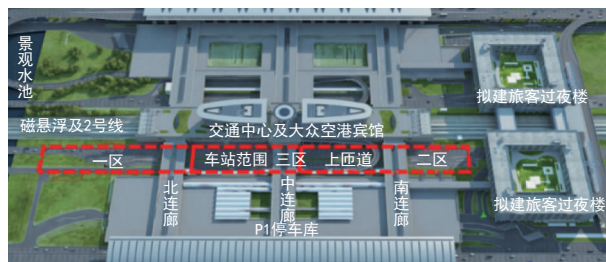


图1 浦东机场站平面示意图

浦东机场站车站主体划分为3个基坑(一区、二区、三区),采用地墙+明挖支撑的围护体系。在机场核心区实施深基坑,施工难度大,车站主体结构与磁悬浮桩基础距离仅为26.5m,对周边环境保护要求也极高,磁浮公司对项目基坑施工要求:“桩基处水位降幅不得大于1.0m”。

2 工程地质及水文地质

2.1 工程地质概况

根据项目勘察报告,基坑最大钻探深度为85.0m,场地北端为正常沉积区(靠一区区域),南端为古河道沉积区(靠二区区域),在现场勘探深度范围内,从上到下可以分为为六个大层以及若干亚层。底板以上土层为①₁层填土层、②₃层灰色黏质粉土、③层灰色淤泥质粉质黏土、③_T层灰色砂质粉土、④层灰色淤泥质

收稿日期: 2023-06-03

作者简介: 张宁(1978—),男,硕士,高级工程师,从事市政工程经营管理工作。

黏土,底板及底以下土层为⑤₁层灰色黏土、⑤₃₋₁层灰色黏土、⑤₃₋₃层灰色粉质黏土夹粉土、⑦₂层粉砂、⑨层粉砂。

2.2 水文地质概况

拟建场地揭露的地下水分为赋存于浅部土层中的潜水以及⑦层和⑨层的承压水。

根据地质勘探资料和地区经验,浅层潜水年平均高水位埋深0.5 m,年平均低水位埋深为1.5 m。承压含水层主要有⑦₁层黏质粉土、⑦₂层粉砂、⑨₁层粉砂和⑨₂层砾砂层,⑦层的承压稳定水位平均埋深6.68 m。

一区、三区地墙墙趾位于⑦₂层粉砂,二区地墙墙趾位于⑤₃₋₁层粉质黏土。本工程地层受古河道切割影响,南北向地质条件起伏大。浅层②₃、③_T砂性土较厚,约7 m。④层淤泥质土厚且深,层底埋深约19.5~22.5 m。⑥、⑧层缺失,承压水⑦、⑨层联通。地质纵剖面见图2。

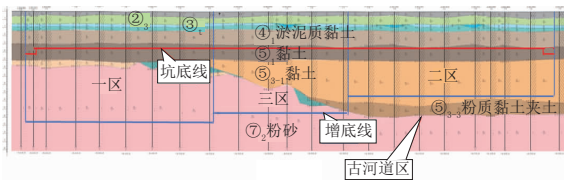


图2 地质纵剖面图

2.3 地质与水文特点分析

(1)浅部分布厚约4.5 m的②₃层黏质粉土和1.8 m厚的③_T层砂质粉土,在动水作用下易发生流砂,需进行疏干降水处理。

(2)⑤₃₋₁层粉质黏土分布在二区和三区,受古河道切割影响,由北往南该层厚度由0 m增大至32 m;⑤₄层粉质黏土仅局部呈透镜体分布,厚度约3 m;在基坑南段分布⑤₃₋₃层粉质黏土夹粉土,与下伏⑦₂层粉砂直接连通。

(3)其下分布⑦₁层黏质粉土和⑦₂层粉砂,为第一承压含水层。⑦₁层仅在一区分布,厚约2.8 m;⑦₂层粉砂层由北往南埋深变大,含水层组厚度超过30 m;该层在约66~75 m范围分布⑦_{2T-2}层粉砂夹粉质黏土夹层,渗透性相对较小。

(4)其下分布第⑨层粉细砂层,⑦层、⑨层连通。⑨层底下分布第⑩层粉质黏土隔水层。根据地质纵剖面图,基坑底部落在⑤₁层粉质黏土,围护墙趾则插入⑦₂层粉砂层,未隔断承压含水层。

(5)古河道区⑤₃₋₁层弱透水层厚度变化极大,由北往南厚度由约0 m增大到约32 m,使得下伏⑦层承压水起伏很大,层顶埋深由约30 m变化到约63 m,

使得坑内降深幅度差异较大。

(6)结合以上考虑,针对性的进行围护+降水方案综合设计,综合进行复合承压含水层的管控。

3 围护结构设计

浦东机场站本体的支护形式为厚1 000 mm地墙(局部落深部位1 200 mm),与内衬墙按照叠合墙设计,见图3、图4。

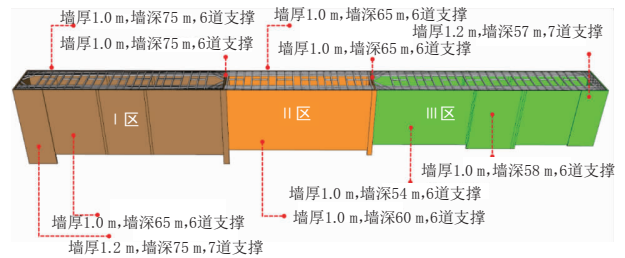


图3 地下连续墙平面示意图

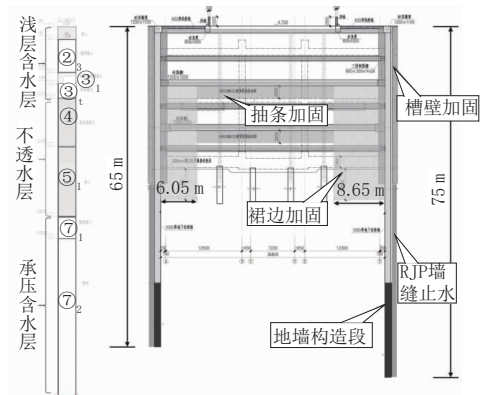


图4 地下连续墙剖面示意图

车站本体基坑选择明挖法,土方开挖流程为顺做法,基坑平均深度23~26 m,沿基坑深度方向设置六道支撑(端头井设置七道支撑),基坑内设两道封堵墙。先实施北侧一区基坑和南侧二区基坑,再实施中间三区基坑。其中一区、三区和封堵墙地下连续墙采用套铰接头,二区为十字钢板接头,墙缝均采用RJP止水。

地墙作为隔水帷幕,主要作用是隔断基坑内外的地下水联系或者增加基坑内外地下水绕流的路径。为此,地墙深需要满足隔断坑内外潜水及承压水联系的要求,或进入隔水层足够深度以形成可靠的隔水边界。本工程承压水⑦、⑨层联通,满足隔水要求的地下连续墙深度需远大于基坑结构稳定计算要求的人土深度,将极大增加建设成本,综合多方面考虑,一区和三区地墙底部分别设置构造段,即通过增加隔水帷幕长度达到满足隔水深度要求的目的。

4 降水控制设计

4.1 初步方案

(1)设置疏干井降低基坑内的潜水

本工程坑内加固较多,基本将淤泥质土置换,故车站基坑的降水井单个抽水面积选择上取 280 m²。考虑水力降落漏斗的存在,疏干井一般深入至基坑开挖底面以下 6 m 左右,井深为 30 m,其中一区因⑦层埋深较浅,为确保疏干井不揭穿承压水,井底于⑦层顶保持 3 m 以上距离,井深为 27 m。

(2)设置降压井降低承压含水层水头,满足抗突涌需求

本次基坑减压降水采用悬挂式隔水帷幕+降水一体化设计,一区止水帷幕东侧 75 m、西侧 65 m,降水井深为 42 m,滤管深度为 32~41 m;靠近三区井深 47 m,滤管深度为 37~46 m;三区止水帷幕东侧 65 m、西侧 60 m,靠近一区降水井深为 47 m,滤管深度为 37~46 m;三区中部区域井深 50 m,滤管深度为 37~46 m。三区近二区处及二区范围内不布置降压井,见表 1 及图 5。

表 1 降水井工作量统计表

工程部位	项目名称	数量/口	深度/m
一区	疏干井	25	27
	降压井	8	42(靠端头井区)/47(靠三区)
	降压备用井	2	42
	降压观测井	3	39
三区	疏干井	19	30
	降压井	3	47(靠一区)/50(靠二区)
	降压备用井	1	47
	降压观测井	1	47
二区	疏干井	28	30
	潜水观测井	24	13
坑外	承压水观测井(西侧)	5	42
	回灌井	11	50
	回灌观测井	6	50



图 5 承压水降水井平面示意图

(3)采用地下水综合控制技术,控制和减小坑外降深和沉降,保护环境

坑内降压井根据基坑开挖实施按需降水(见图 6)。因东侧磁悬浮沉降控制要求极高,需控制坑外水位降深小于 1 m,主要于一区和三区北侧坑外东侧靠近磁悬浮一侧布置回灌井(见图 7)。回灌井距离基坑和磁浮约 10 m,为增提高回灌效果以更好地控制沉降变形,并考虑回灌水部分进入坑内对坑内降水的影响,回灌井滤管深度设计为 50 m 与 60 m 交错布置,主要考虑对⑦层进行回灌。回灌井间距按照 15 m 布置,共布置回灌井 21 口及 6 口观测井。

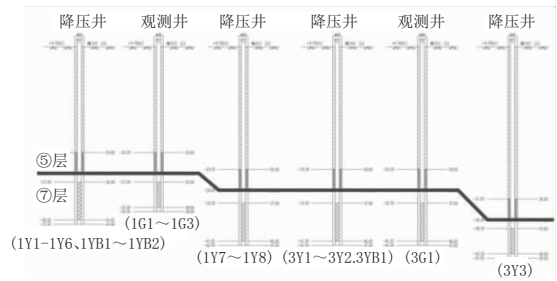


图 6 坑内承压水降水井剖面示意图

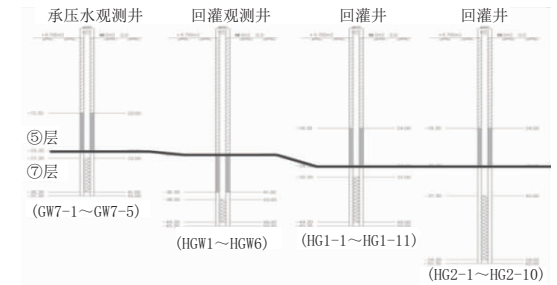


图 7 坑外回灌井及承压水观测井剖面示意图

4.3 抽水试验及分析

(1)基坑开挖前需进行抽水试验,现以一区抽水试验进行分析,见表 2 和图 8~图 11。

表 2 抽水试验过程

试验阶段	抽水井号	回灌井	坑内观测井号	坑外观测井号	历时/h
单井试验	抽水	1Y3	1YB1、1G2	HGW2、HG2-3	16.7
	恢复	—	1YB1	—	11
群井试验	抽水	1Y1、1Y5、1Y8	—	GW7-2、GW7-3、HGW2、HGW3、HG2-6	25.5
	抽水	增开 1Y3	—	—	2
	恢复	—	1G1、1G2、1G3	—	25.5
	抽灌试验	1Y1、1Y5、1Y8	除 HG2-8 外的所有回灌井	1G1~1G3	GW7-2、GW7-3、HGW2、HGW3、HG2-8
抽灌试验	1Y1、1Y4~1Y5、1Y7~1Y8	—	—	—	24
抽灌试验	1Y1~1Y5、1Y7~1Y8	—	—	—	77

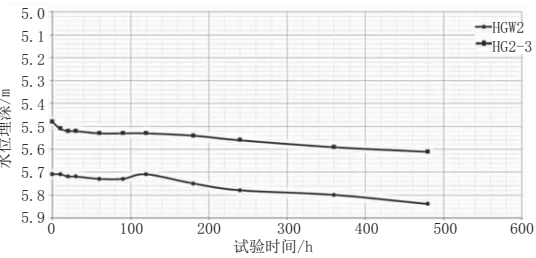
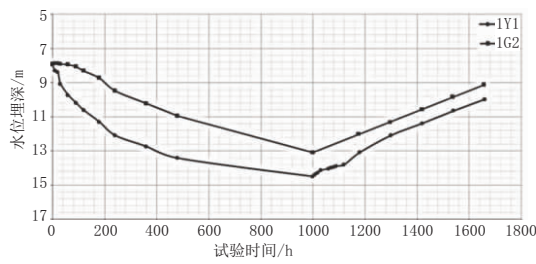


图8 单井试验期间坑内及坑外观测井水位埋深曲线

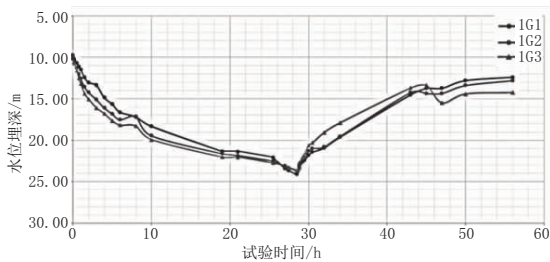


图9 群井试验期间坑内及坑外观测井水位埋深曲线

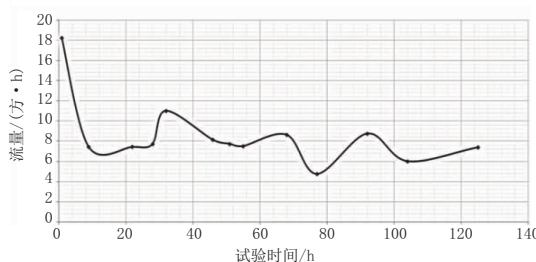
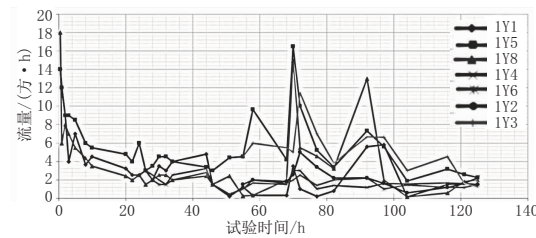


图10 抽灌试验各抽水井流量变化及回灌总流量变化曲线

(2)抽水试验结论分析

a. 坑内开 1Y3 单井抽水, 流量 12.3 m³/h, 坑内降压观测井水位降至埋深 14.49 m, 降深 6.51 m, 坑

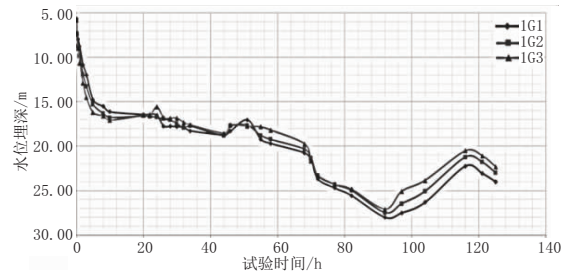


图11 抽灌试验坑内及坑外水位埋深曲线

外水位降深 0.13 m。根据试验数据结合规范中有关计算公式应用 Aquifer Test 软件对数据进行水文地质参数的计算, 见表 3。

表3 ⑦₂层承压水含水层水文地质参数

抽水井	观测井	渗透系数 K / (m·d ⁻¹)	贮水系数	导水系数 / (m ² ·d ⁻¹)	导压系数 / (m ² ·d ⁻¹)
1Y3	1YB1	4.67	5.35E-3	4.67E+1	8.73E+3
	1G2	4.19	3.04E-3	4.19E+1	1.38E+4
平均值		4.43	4.19E-3	4.43E+1	1.13E+4

b. 坑内开启 1Y1、1Y5、1Y8 三口井抽水, 总流量 19 m³/h, 坑内水位降至埋深 22.13 ~ 22.77 m, 此水位满足基坑标准段开挖至底时⑦₂层水位控制要求。

c. 坑内开启 1Y1、1Y3、1Y5、1Y8 四口井抽水, 总流量 28.5 m³/h, 坑内水位降至埋深 23.60 ~ 24.11 m, 降深 13.52 ~ 14.31 m, 此水位满足基坑端头井开挖至底时⑦₂层水位控制要求。此时坑外水位降深 0.31 ~ 0.55 m, 坑内外降深比约 25 ~ 30 : 1, 坑内降水对抗外水位影响较小, 对磁浮侧的降深影响在控制要求的 1 m 以内。

d. 停抽后基坑内承压水位恢复速率较慢, 停抽 30 min 恢复 8%, 1 h 恢复 12%, 24 h 仍未恢复至初始值。

e. 承压水位满足控制要求的基坑涌水量较小, 坑内降压对抗外影响较小, 停抽后坑内水位恢复缓慢, 说明试验期间围护止水效果良好, 且⑦₂层垂向渗透性较差, 坑内降压时接受的补给较少。

f. 根据长期抽灌试验, 坑内开启 7 口井, 总流量 13 m³/h 可维持水位埋深 24 m 左右, 可以满足水位控制要求, 满足基坑开挖要求。坑内水位保持基本稳

定时,坑外回灌总流量 6~8 m³/h,东侧(回灌侧)水位上升约 0.5~0.9 m,西侧(无回灌侧)水位下降 0.42~0.50 m。回灌效果良好,可确保回灌区坑外水位控制要求。

5 地下水运行管控

5.1 疏干运行管控

(1)基坑开挖前 20 d,首先进行坑内疏干,对降水井采取抽真空加负压方式,此外,在基坑开挖阶段,应维持连续不断进行抽水,使得开挖阶段的地下水位始终低于开挖面 0.5~1.0 m。

(2)坑外潜水位观察孔布置完成并取得初值后,疏干井方可进行正式抽水。疏干降水井需 24 h 持续不断运行。

(3)每台真空泵可满足 3 口降水井的负压运转,潜水泵则按每口井 1 台配置,即采用真空泵抽气和潜水泵抽水联合的方法来降低潜水水位。两种类型泵同时运转,在真空泵的井管与吸气管连接处安装真空压力表进行监测。井管内的真空压力应不小于 0.065 MPa。

5.2 减压降水运行管控

(1)针对减压降水,为最大程度减少基坑降水对周围环境以及周边市政设施、构筑物的影响,必须按需降水。

(2)根据计算结算,当土方开挖至临界标高时,开始对降水井进行抽水,同时,开始对观测井的承压水位标高进行动态监测。详细减压降水工况经降水试验验证,本工程按表 4 进行。

表 4 承压水水位控制工况表

分区	开挖工况	开挖深度 h/m	降压幅度 d/m	抗突涌 安全系数 F
一区	第三层		无需降压	
	第四层	16.9	1.64	1.10
	第五层	20.5	7.70	1.11
	标准段收底	23	12.11	1.12
三区	端头坑底	25.9	17.00	1.13
	第四层		无需降压	
三区	第五层	20.5	1.18	1.10
	收底	23	5.48	1.11

$$F = \frac{r_s(H-h)}{r_w(H-d)} \geq 1.1$$

式中:F为基坑开挖抗突涌安全系数,不小于 1.1 时,开挖稳定性满足要求;H为承压含水层顶板埋深,一

区取 41 m,三区取 51 m; r_s 为底板至承压水层顶板间土层加权平均重度,取 18 kN/m³; r_w 为地下水重度,取 10 kN/m³。

(3)减压降水运行时,应配置单独的动力电缆线,宜配置双路电源供电保证减压降水运行正常。

5.3 回灌运行管控

(1)针对回灌水的水质,首先要干净无污染,pH 值控制在 6.5 至 7.5 区间。同时,回灌水源的亚铁和锰的含量应当予以控制,防止回灌过程中接触氧发生氧化形成悬浮物堵塞滤孔和反滤层。回灌源也可采用处理过的原水(抽水井内抽出的地下水)或自来水。

(2)本工程回灌井布置位置因距离地墙较近,因此不采取加压措施以免对围护止水效果产生影响。

(3)坑外地下水回灌阶段,需要每隔一段时间进行回抽,主要作用是抽出回灌阶段产生的颗粒物以及空气等,防止管井阻塞,以保障回灌的可持续性。

(4)回灌时,需要时刻观察坑内深层承压水位的变化情况,使坑内降水与坑外回灌保持动态的平衡。回灌井启动条件应根据周边环境复杂程度以及周边环境受地下水位下降程度影响程度而确定。

6 结果分析

在基坑承压水降水期间,同步观测了周边不同距离处承压水观测井的水位数据。

在基坑开挖标准段坑底(坑深 23 m)时,坑内降水井总出水量约 15 m³/h,标准段安全水位埋深约 18 m。基坑开挖端头落深坑底(坑深 26 m)时,坑内降水井总出水量约 22 m³/h,端头落深段安全水位埋深约 23 m。磁浮侧回灌井每日回灌量约 70 m³,水位降深控制在 0.5~0.9 m,满足磁浮公司要求,见图 12~图 14。

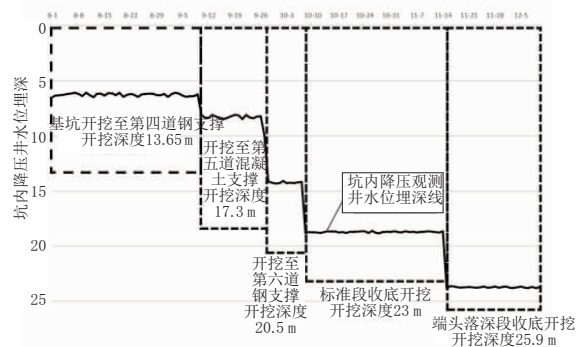


图 12 坑内降水井承压水水位降深曲线图

目前基坑已完成结构回筑,期间同步进行了周边环境变形监测,周边既有建构筑物及磁浮支墩沉

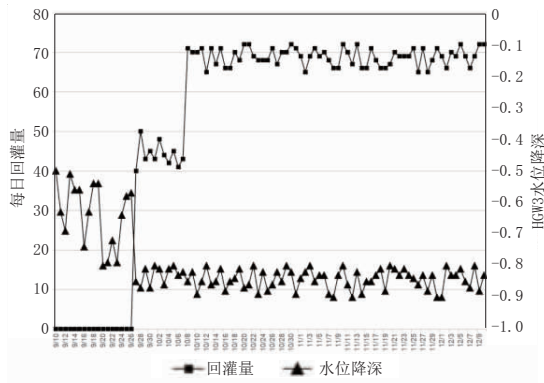


图 13 磁浮侧回灌观测井水位及总回灌量

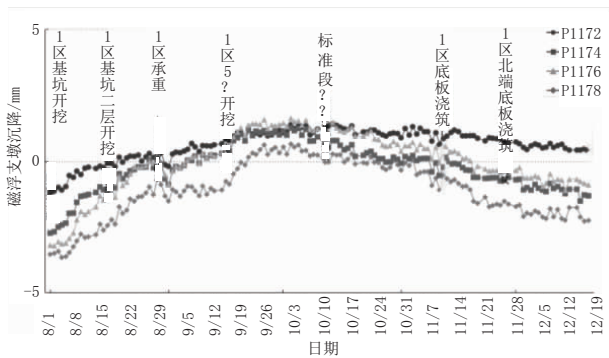


图 14 磁浮支墩监测点沉降量累计变化曲线

沉降均满足保护要求。

7 结语

机场枢纽核心区近磁浮范围实施深基坑,降水施工在基坑开挖施工中扮演着非常重要的角色,尤

其对于对于基坑进度和安全具有至关重要的作用。针对上海地区第一承压含水层,超深隔水帷幕存在施工技术难度大、造价高,施工完成后还需进行可靠性隔水帷幕质量检测等一系列问题,项目在隔水帷幕施工工艺的设计选择上,综合考虑基坑规模、承压水降压幅度要求、周边环境保护等级等因素,创新性采用围护+降水综合设计,兼顾了基坑安全性和经济性,利用悬挂式隔水帷幕及基坑承压降水抽灌一体化方案,最大程度上减轻了抽取地下水对基坑周边重要设施的不利影响,也为今后类似包含复合含水层的深基坑项目施工提供借鉴经验。

参考文献:

[1] 张军.超深基坑深厚复合承压水管控技术研究与实践[J].隧道与轨道交通,2022(1):17-22,57.

[2] 管天飞.紧临地铁深基坑施工技术[J].安徽建筑,2018,24(5):188-189,298.

[3] 姚东波.邻近既有建筑的地铁深基坑风险控制[J].建筑技术开发,2020,47(20):163-164.

[4] 兰 韡,王卫东,常林越.超大规模深基坑工程现场抽水试验及土层变形规律研究[J].岩土力学,2022,43(10):2898-2910.

[5] 杨洪杰,崔永高,孙建军.上海第(9)层减压降水悬挂式隔水帷幕深度的设计方法[J].建筑施工,2022,44(8):1758-1760.

[6] 李侠.悬挂式止水帷幕下基坑承压水降水方式探讨[J].价值工程,2020,39(6):207-209.

(上接第 253 页)

[2] 何清超,管熠.用 Boujou Three 实现摄像机轨迹反求(上)[J].电视字幕(特技与动画),2006,12(4):36-39.

[3] 何清超,管熠.用 Boujou Three 实现摄像机轨迹反求(中)[J].电视字幕(特技与动画),2006,12(5):31-35.

[4] 何清超,管熠.用 Boujou Three 实现摄像机轨迹反求(下)[J].电视字幕(特技与动画),2006,12(6):36-39.

[5] 李硕. Adobe Illustrator 画笔工具的使用技巧研究[J].软件,2021,42(6):84-86.

[6] 张政.AE 在影视后期制作中的应用[J].西部广播电视,2021,42(3):212-214.

[7] 郭建璞,李花. Adobe Premiere 改变视频剪辑速度和持续时间的方法[J].计算机技术与发展,2011,21(6):231-234.