

扬州深大基坑降水方案优化设计

王 钰¹, 刘 静²

(1.南京达西岩土工程有限公司,江苏 南京 210000; 2.安徽省地矿局第一水文工程地质勘察院,安徽 蚌埠 233000)

摘要:扬州东部综合客运枢纽地下配套工程深大基坑采用大放坡+地下连续墙+内支撑围护,场地地层为深厚强透水地层,降水井布置在坡底还是坡间平台,将直接影响降水的动态控制。本文提出了方案一(坡底布井)和方案二(坡间平台布井)2套降水方案,并利用数值模拟方法进行了比选。对比结果:虽然方案一井数和最终总涌水量略少于方案二,但是需提前降水,会造成大量水资源的浪费;而方案二可以根据基坑开挖深度的增加,逐步增加抽水井,体现了按需降水的原则。因此,认为方案二更优。类似基坑进行降水方案设计时,不应仅考虑总井数和最终总涌水量,还应考虑到不同开挖阶段,动态控制、按需降水,才能从源头上实现基坑工程的绿色施工。

关键词:降水优化设计;降水井;深大基坑;动态控制;数值模拟

中图分类号:TU46⁺3 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)09-0063-07

Optimized dewatering design for a deep and large foundation pit in Yangzhou

WANG Yu¹, LIU Jing²

(1.Nanjing Darcy Geotechnical Engineering Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210000, China;
2.The First Institute of Hydrology and Engineering Geological Prospecting,
Anhui Geological Prospecting Bureau, Bengbu Anhui 233000, China)

Abstract: This article describes the foundation pit dewatering case of the underground support project of the Comprehensive Passenger Transportation Hub in the East of Yangzhou, where step-slope excavation is adopted as well as diaphragm wall and inner support in the foundation pit excavation. Since the aquifer is thick and highly permeable, deployment of the dewatering wells, either at the bottom of the slope or the inter-slope platform, will directly affect the dynamic control of dewatering. In this paper, two dewatering plans are proposed for comparison: in Plan 1, wells are arranged at the slope bottom; while in Plan 2 wells are arranged at the inter-slope platform. Comparison results from the numerical simulation method show that: in Plan 1, although the number of wells and the final total flow rate are slightly smaller than the those in Plan 2, the need to pre-dewatering will result in a large amount of water waste; in Plan 2, the pumping well number can be gradually increased with the depth of the excavation, reflecting the principle of dewatering on demand. Therefore, Plan 2 is considered to be better. This research can serve as a reference to the dewatering design of similar foundation pits; not only should the total number of wells and the final total flow rate be considered, but also the different excavation stages. By implementing the principles of dynamic control and dewatering on demand, the green construction of foundation pit works can be realized from the very start.

Key words: dewatering optimization design; dewatering well; deep and large foundation pit; dynamic control; numerical simulation

0 引言

伴随着地下空间开发利用的大趋势,大量基坑工程涌现,取得良好的经济效益的同时也造成了资

源浪费、生态环境恶化等问题,不利于可持续发展^[1-3],实现基坑工程的“绿色”施工势在必行^[4]。降水是基坑工程中的重要措施^[5-8],通过降低地下

收稿日期:2019-11-08; 修回日期:2020-07-15 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.09.011

作者简介:王钰,女,汉族,1993年生,水文地质专业,硕士,从事地下水控制和水文地质工程地质的研究工作,江苏省南京市建邺区江东中路311号1617室,821160945@qq.com。

引用格式:王钰,刘静.扬州深大基坑降水方案优化设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(9):63-69.

WANG Yu, LIU Jing. Optimized dewatering design for a deep and large foundation pit in Yangzhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(9):63-69.

水位,解决基坑的安全问题和施工效率问题,保证基坑顺利开挖。但是在目前降水设计和施工过程中,往往存在着过度降水、不注重动态控制等问题^[9],造成水资源的浪费。

数值模拟法是基坑降水设计的常用方法,可以使不同降水方案设计条件下的水位实现可视化,有助于得到最合理方案。崔永高^[10]利用数值法模拟了某面积为129600 m²、开挖深度14 m的基坑的降水方案,对均匀和不均匀布置群井,进行了渗流场模拟,提出井位角密中疏布置,可实现降深调平。袁斌等^[11]模拟对比了沈阳某地铁车站基坑在无止水帷幕及不同帷幕深度下的总水量、坑外水位及地表沉降,得到了最优化的基坑降水井及止水帷幕深度。游洋等^[12]分析了南京某临江深大基坑的地质条件,对比了基坑Ⅱ区和Ⅲ区均布置降压井分别降低承压水位,和仅在Ⅲ区布置降压井,通过水力联系降低Ⅱ区水位的两种方案,认为后者更优。

但是,对于深厚含水层条件下大放坡开挖的深大基坑降水优化设计,还缺少案例研究。降水井布置在坡底还是坡间平台,将直接影响降水的动态控制。本文以扬州东部综合客运枢纽地下配套工程深大基坑为例,模拟对比了2种不同的降水方案,给出

更合理的降水方案,对类似基坑降水设计具有借鉴意义。

1 工程概况

扬州东部综合客运枢纽地下配套工程位于长江支流廖家沟东侧,北侧为在建扬州南站高铁站房,南侧为拟建交通中心(与配套工程合建),西侧为在建连淮扬镇铁路高架桥梁,东侧为站东路,配套工程垂直站东路东西向敷设。基坑总长182.3 m,总面积约26000 m²,标准段、盾构井开挖深度分别为22.5、23.8 m(盾构井集水坑25.0 m),为典型的深大基坑^[13]。基坑采用明挖顺作法施工。围护结构采用放坡+地下连续墙+内支撑(局部地下连续墙+内支撑)的结构形式,放坡深度约为10 m,地连墙底端深度38.5~44.5 m,进入潜水含水层底部。

场地地下水类型主要为第四系孔隙潜水和承压水。潜水主要赋存于③粉土、粉砂层中,层底深度约39 m,勘察抽水试验取得的渗透系数为9 m/d,稳定水位埋深约为5.2 m。41 m以深④细砂、中粗砂层为承压含水层,透水性好、水量丰富,厚度可达70 m以上。③粉土、粉砂与④细砂、中粗砂层之间的③₂₃层粉质粘土为相对隔水层。场地地层剖面见图1。

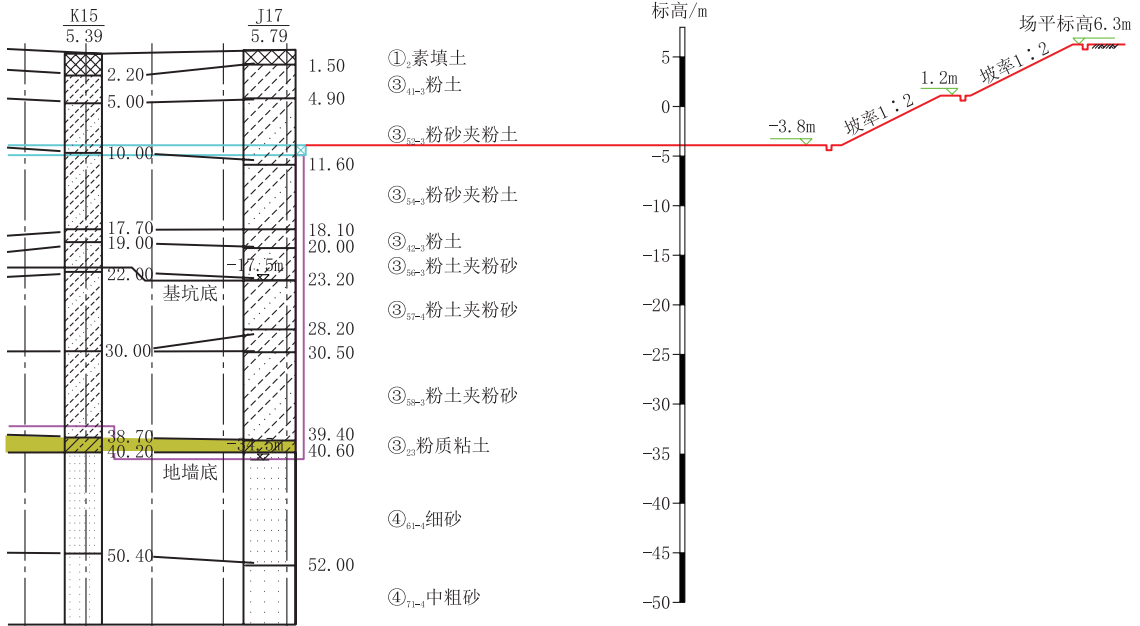


图1 基坑地层剖面

Fig.1 Stratigraphy at the foundation pit

2 抽水试验

为测定初始承压水位,获取水文地质参数,先施

工4口降压井进行抽水试验。降水井的深度为56 m。具体井结构为:钻孔孔径550 mm,井管采用 $\varnothing 273 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 钢管,滤管为同规格桥式滤水管,

外包 80 目锦纶滤网,滤料为中粗砂,回填至滤管顶部 1 m,其上回填粘土止水、固井。

2.1 试验数据

以 JY01 为抽水井, JY02~JY04 作为观测井进行抽水试验,抽水井与观测井两两间距为 27 m,见图 2。1 月 10 日 15:30 开始抽水,抽水前测得 3 口观测井初始水位深度 5.13~5.15 m,抽水 24.5 h 后观测井水位深度为 0.28~0.57 m,见表 1。抽水井水泵功率为 18.5 kW,流量 2400 m³/d。

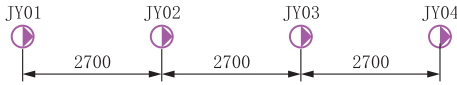


图 2 试验井平面位置
Fig.2 Layout plan of the test wells

表 1 抽水试验水位数据

Table 1 Water level data from the field pumping test

时间	水位降深/m			备注
	JY02	JY03	JY04	
01-10 15:30	0	0	0	初始水位
16:00	0.34	0.18	0.13	
16:30	0.41	0.24	0.19	
18:30	0.48	0.31	0.26	
01-11 07:00	0.55	0.38	0.33	
09:00	0.41	0.24	0.19	
11:00	0.35	0.17	0.11	
13:00	0.44	0.26	0.21	
15:00	0.49	0.32	0.26	
16:00	0.57	0.37	0.28	24.5 h
17:00	0.56	0.38	0.27	

2.2 水文地质参数计算

为避开潮汐的影响,选择抽水约 24.5 h 的数据进行计算。根据《水文地质手册》(第二版)^[14]中承压水非完整井有 2 个观测井的公式计算渗透系数 K :

$$K = \frac{0.16Q[\ln(r_2/r_1) + 0.5(\xi_1 - \xi_2)]}{M(s_1 - s_2)} \quad (1)$$

式中: K ——渗透系数, m/d; Q ——总抽水量, m³/d; M ——承压含水层厚度, m; r_1 、 r_2 ——观测井距抽水井的距离, m; ξ_1 、 ξ_2 ——观测井处稳定流非完整井补充水流阻力,通过查表确定; s_1 、 s_2 ——观测井水位降深, m。

影响半径 R 根据《供水水文地质勘察规范》^[15]中下式进行计算:

$$\lg R = \frac{s_1 \lg r_2 - s_2 \lg r_1}{s_1 - s_2} \quad (2)$$

计算结果见表 2, 含水层渗透系数 $K = 19.0 \sim$

24.7 m/d, 单井抽水的影响半径 $R = 195 \sim 286$ m。降水方案中承压含水层 K 取为 25 m/d, R 取为 300 m。

表 2 承压含水层渗透系数计算结果

Table 2 Calculation results of confined aquifer hydraulic conductivity

组别	利用观测井	r/m	s/m	ξ	$Q/(m^3 \cdot d^{-1})$	M/m	$K/(m \cdot d^{-1})$	R/m
1	JY13	27	0.57	1.29	2400	70	19.0	195
	JY14	54	0.37	1.29				
2	JY14	54	0.37	1.29	2400	70	24.7	286
	JY15	81	0.28	1.29				
3	JY13	27	0.57	1.29	2400	70	20.8	234
	JY15	81	0.28	1.29				

3 降水方案设计

3.1 降水要求

潜水井: 大放坡开挖(开挖 0~10 m 深)阶段, 将潜水位降至坡脚下 1 m(深度约 11 m, 标高-4.8 m), 保证边坡稳定; 坑中坑施工(开挖 10~25 m 深)时, 将潜水位降至地面下约 17 m(标高-10.7 m)以深, 减小围护结构侧压力, 降低渗漏、管涌风险^[16]。

降压井: 基坑开挖至临界深度 20 m(标高-13.6 m)前开启, 降低承压水位至安全水位(深度约 12 m, 标高-5.5 m)以深, 防止基底突涌。

坑中坑疏干井: 将坑中坑水位降至基底 1 m(深度约 26 m, 标高-19.7 m), 疏干开挖范围内土体, 便于坑内施工。

3.2 基底抗突涌稳定性验算

基底以下④细砂、中粗砂承压含水层有造成基底突涌的风险。

基坑底板抗突涌稳定条件为: 基坑底板至承压含水层顶板间的土重力大于承压水的顶托力。即^[17]:

$$\frac{D\gamma}{h_w\gamma_w} \geq K_h \quad (3)$$

式中: K_h ——突涌稳定安全系数, 一般为 1.05~1.1, 本次按 1.05 计算; D ——承压含水层顶面至坑底的土层厚度, m, 为基坑开挖底板与含水层顶板之间的距离; γ ——承压含水层顶面至坑底土层的天然重度, 19 kN/m³; h_w ——承压含水层顶面的压力水头高度(承压水位至承压含水层顶板距离), m, 初始承压水位标高 1.0 m; γ_w ——水的重度, 10 kN/m³。

计算结果见表3。标准段、盾构井段承压水位需要降至标高-4.2、-5.5 m处,相应降深分别为5.2、6.5 m。

表3 抗突涌稳定性验算

Table 3 Anti water inrush stability check

位置	开挖底板 高程/m	含水层顶 板高程/m	安全水位 标高/m	临界开挖 标高/m	水位降 深/m
标准段	-17.6	-34.1	-4.2	-13.6	5.2
盾构井	-18.6	-34.8	-5.5	-13.9	6.5

3.3 地下水流模型建立

采用地下水流数值模拟软件 MODFLOW, 建立三维地下水流模型进行计算。平面上, 模拟区以基坑为中心, 边界布置在降水井影响半径以外, 在降水影响半径处($R=300$ m)设置为定水头边界, 初始地下水水位按标高+1.0 m考虑。

剖面上, 将场区自上而下概化为③粉土、粉砂层, ③₂₃粉质粘土层, ④细砂、中粗砂层, 见图3。各层渗透系数根据抽水试验结果取值, 见表4。地下连续墙设置为隔水边界。根据现场抽水试验, 潜水井及降压井单井出水量分别取为960、2400 m³/d。

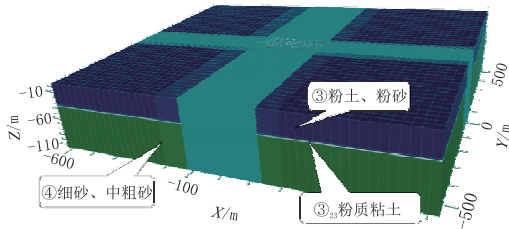


图3 三维模型概化图

Fig.3 3D model generalization diagram

表4 模型渗透系数取值

Table 4 Values of hydraulic conductivity parameters in the model

概化层	$K/(m \cdot d^{-1})$	备注
③粉土、粉砂	9	潜水含水层
③ ₂₃ 粉质粘土	0.02	相对隔水层
④细砂、中粗砂	25	承压含水层

3.4 降水井布置

3.4.1 方案一: 坡底布井

控制性降水井(潜水井、降压井)布置在坡底, 贴近地连墙布置。开挖至坡底后割除上部井管, 井口深度为地面下10 m。

3.4.1.1 潜水井布置

经模型运行分析, 需在坡底布置22口潜水井(含2口观测备用井)。大放坡开挖阶段开始, 开启20口潜水井, 可以使坡脚潜水位降至坡脚下1 m

(标高-4.8 m), 地连墙外侧潜水位降至地面下约17 m(标高-10.7 m), 总涌水量约19200 m³/d, 见图4。潜水井单井水量960 m³/d。

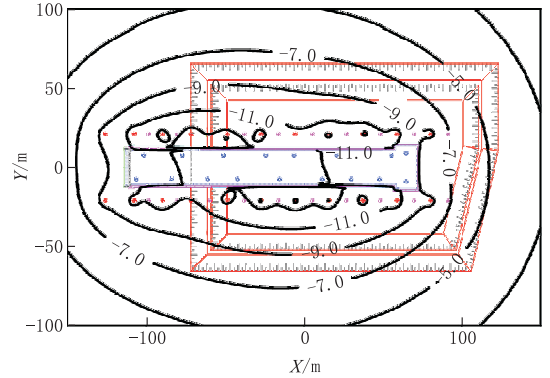


图4 方案一预测潜水位标高等值线图(单位:m)

Fig.4 Contour map of phreatic level elevation in Plan 1

3.4.1.2 降压井布置

在20口潜水井抽水的基础上, 布置20口降压井(含2口观测备用井), 可以将承压水位降至安全水位(标高-5.5 m), 见图5。基坑总涌水量62400 m³/d, 降压井总抽水量43200 m³/d, 单井水量2400 m³/d; 潜水井总抽水量为19200 m³/d。

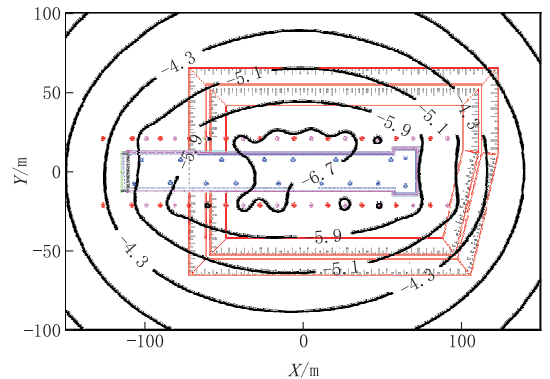


图5 方案一预测承压水位标高等值线图(单位:m)

Fig.5 Contour map of confined water level elevation in Plan 1

3.4.2 方案二: 坡间平台布井

考虑到场地初始水位埋深约5 m, 控制性降水井(潜水井、降压井)布置在一级平台上, 开挖至一级平台后割除上部井管, 井口深度约为地面下5 m。

3.4.2.1 潜水井布置

经模型运行分析, 在边坡一级平台上布置27口潜水井。大放坡开挖过程中, 开启15口潜水井, 可以使潜水位降至坡脚下1 m(标高-4.8 m), 总涌水量约14400 m³/d, 见图6; 坑中坑施工过程中, 开启25口潜水井, 可以使潜水位降至地面下约17 m(标

高-10.7 m),总涌水量约 24000 m³/d,见图 7。潜水井单井水量 960 m³/d。

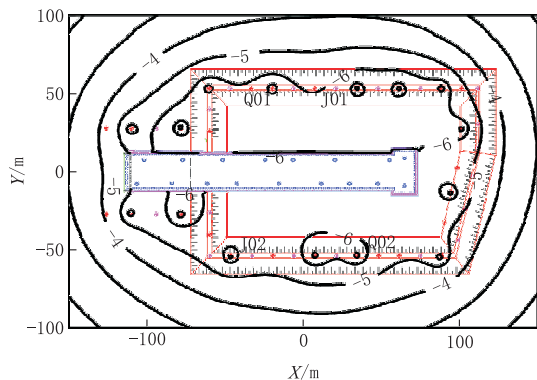


图 6 方案二放坡开挖阶段预测潜水位标高等值线图(单位:m)

Fig.6 Contour map of phreatic level elevation at the step-slope excavation stage in Plan 2

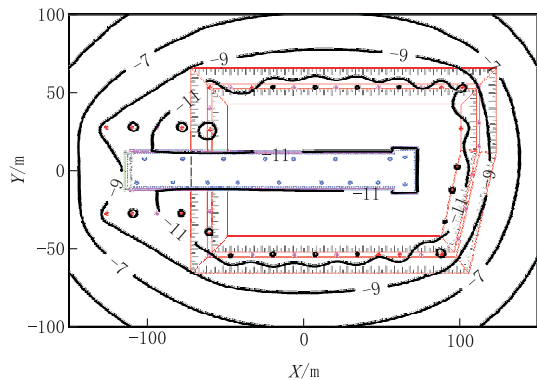


图 7 方案二坑中坑开挖阶段预测潜水位标高等值线图(单位:m)

Fig.7 Contour map of phreatic level elevation in the deep pit excavation stage in Plan 2

3.4.2.2 降压井布置

在 25 口潜水井抽水的基础上,布置 20 口降压井(含 2 口观测备用井),可以将承压水位降至安全水位(标高-5.5 m)以深,见图 8。基坑总涌水量 67200 m³/d,降压井总抽水量 43200 m³/d,单井水量 2400 m³/d;潜水井总抽水量为 24000 m³/d。

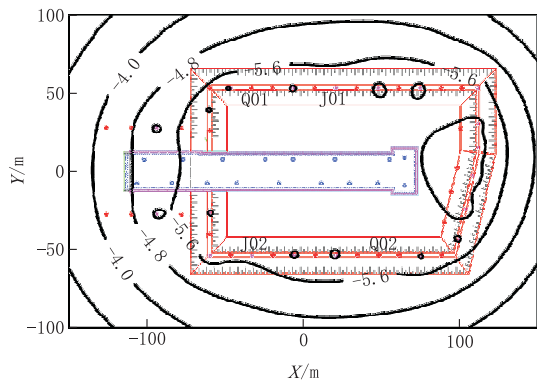


图 8 方案二预测承压水位标高等值线图(单位:m)

Fig.8 Contour map of confined water level elevation in Plan 2

3.5 坑中坑疏干井布置

考虑到地连墙进入潜水含水层底,已基本隔断潜水含水层,根据工程经验在坑中坑内按约 240 m²/口布置 18 口疏干井。

3.6 降水井结构

潜水井、降压井深度分别取为 39、56 m,坑中坑疏干井深度取为 35 m。

潜水井及坑中坑疏干井结构为:孔径 550 mm;井管为 $\text{O}273 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 钢管,滤管为同规格桥式滤水管,外包 80 目锦纶滤网;滤料为中粗砂,回填至滤管顶部以上,上部回填粘土固井。见图 9。

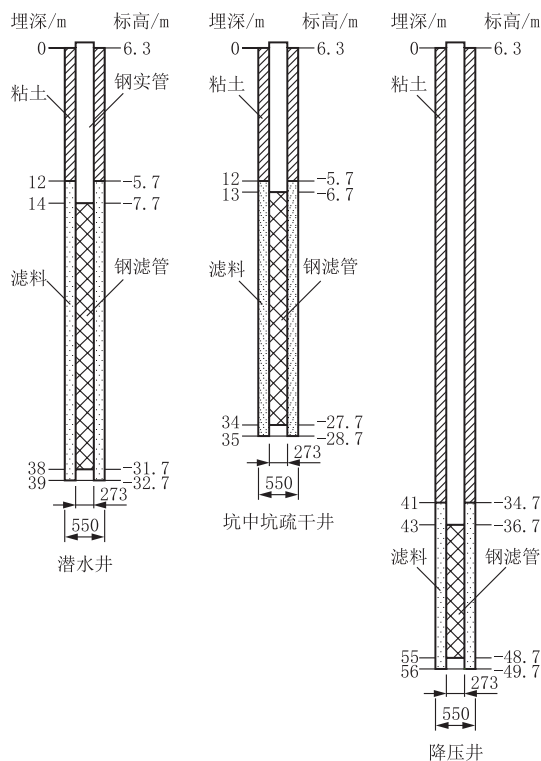


图 9 降水井结构

Fig.9 Dewatering well structures

4 方案比选及实施情况

方案一(坡底布井)与方案二(坡间平台布井)相比,潜水井总数少 5 口,降压井总数相同。大放坡开挖结束后,方案一和方案二井口深度分别为 10、5 m 深。

考虑到场地初始水位埋深约 5 m,即水面基本与边坡一级平台平齐,如果按方案一实施,则大放坡开挖阶段,开挖 5~10 m 深时,因井口标高低于初始水位,需开启全部 20 口潜水井抽水,并提前开启降压井降水,才能保证地下水不通过井口涌出,造成

大量水资源的浪费;方案二则可以根据基坑开挖深度,陆续开启降水井,保证了按需降水。基坑开挖各阶段水量对比见表5。

表5 2种降水方案水量对比

Table 5 Comparison of water flow rates between the two plans

开挖阶段	开挖深度/m	潜水井抽水 井数/口		降压井抽水 井数/口		水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	
		方案一	方案二	方案一	方案二	方案一	方案二
大放坡开挖	0~5	0	0	0	0	0	0
	5~10	20	15	18	0	62400	14400
坑中坑开挖	10~20	20	25	18	0	62400	24000
	20~25	20	25	18	18	62400	67200

同时,从运行管理方面,方案一需要多次割除井

管,反复安装水泵,即在基坑开挖至5 m深时割除井管,安装水泵抽水,使观测井水位降至10 m以深,并在继续开挖过程中反复割井管、下水泵,会给运行管理带来很大困扰;方案二则仅需在基坑开挖至5 m深后割除井管,安装一次水泵即可。从排水方面,基坑排水沟位于坡顶外侧,方案二井布置靠近排水沟,排水路径短;方案一则距离排水沟过远,不利于排水。

综上,方案二在基坑总抽水量、现场运行管理、排水等方面均优于方案一,实际施工时按方案二实施,井位平面布置见图10。

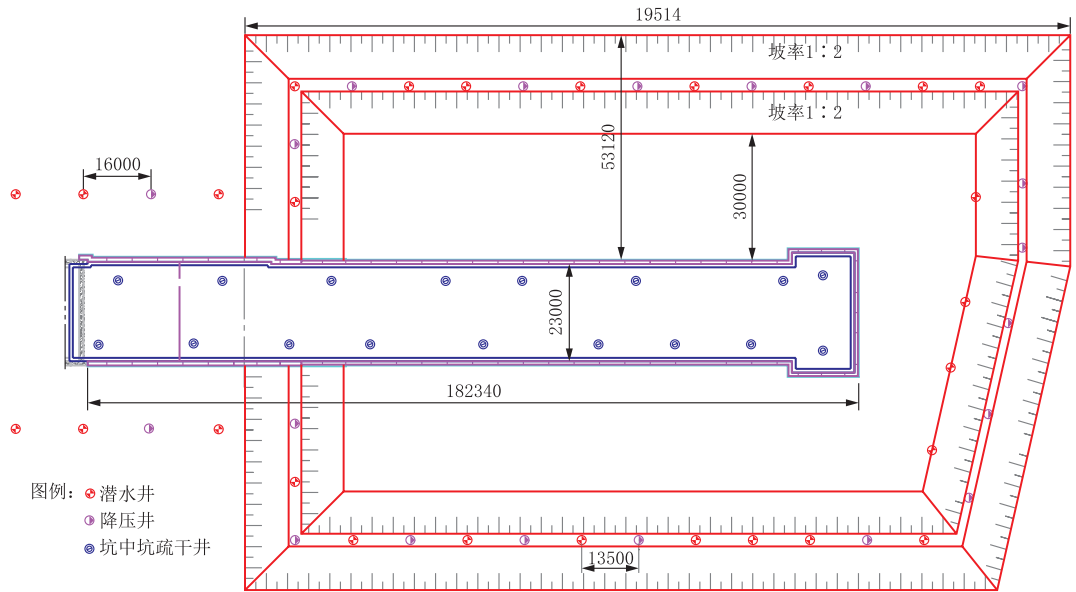


图10 降水井平面布置

Fig.10 Layout plan of the dewatering wells

基坑施工期间,严格遵循“按需降水”原则,实际水位与预测水位较为接近(见表6),证明方案设计合理。

表6 实施降水方案后计算水位与实测水位对比

Table 6 Comparison between the calculated water level and measured water level after dewatering

施工阶段	观测井 编号	计算水位/ m	实测水位/ m
大放坡开挖	Q1	-5.6	-4.8
	Q2	-6.2	-5.6
坑中坑开挖(10~20 m深)	Q1	-10.8	-10.4
	Q2	-11.1	-10.8
坑中坑开挖(20~25m深)	J1	-5.9	-5.6
	J2	-5.7	-5.8

注:Q1、Q2为潜水观测井,J1、J2为承压水观测井。

5 结语

扬州东部综合客运枢纽地下配套工程基坑采用大放坡+地下连续墙围护,基坑面积大(26000 m^2)、开挖深度深(25 m),含水层厚度大(砂层总厚度 $>100 \text{ m}$)、透水性强(渗透系数达 25 m/d),降水成功与否是基坑能否顺利开挖的关键。本文提出了方案一(坡底布井)和方案二(坡间平台布井)2套降水方案,并利用数值模拟方法进行了比选,取得了如下体会。

(1)虽然方案一井数比方案二少5口、开挖到底后总水量略小于方案二,但是因其井口位置低于初始水位,需提前降水,会造成大量水资源的浪费,且存在反复安装水泵和排水困难的问题,不利于现场

实施;而方案二井口位置与初始水面平齐,可以根据基坑开挖深度的增加,逐步增开降水井,做到了“按需降水”,实际施工过程中也更易实施。

(2)类似大放坡开挖的基坑进行降水设计时,在井位布置在坡间平台和坡底总水量相差不大的情况下,可以优先考虑将降水井布置在坡间平台上。

(3)进行降水方案设计时,不应仅考虑总井数和最终总涌水量,而应考虑到不同开挖阶段,动态控制、按需降水,避免因提前降水带来浪费,才能真正实现基坑工程的绿色施工。

参考文献(References):

- [1] 彭涛,任东兴,邓安.绿色岩土工程研究现状及展望[J].四川地质学报,2018,38(2):292-298.
PENG Tao, REN Dongxing, DENG An. The research status and development of green geotechnical engineering[J]. Acta Geologica Sichuan, 2018,38(2):292-298.
- [2] 谢和平,高明忠,张茹,等.地下生态城市与深地生态圈战略构想及其关键技术展望[J].岩石力学与工程学报,2017,36(6):6-18.
XIE Heping, GAO Mingzhong, ZHANG Ru, et al. The subversive idea and its key technical prospect on underground ecological city and ecosystem[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017,36(6):6-18.
- [3] 谢和平,许唯临,刘超,等.地下水利工程战略构想及关键技术展望[J].岩石力学与工程学报,2018,37(4):781-791.
XIE Heping, XU Weilin, LIU Chao, et al. The subversive idea and key technical prospects on underground hydraulic engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2018,37(4):781-791.
- [4] 沈小克,韩焯,周宏磊,等.岩土工程在可持续发展中的新使命[J].工程勘察,2013,41(4):1-8.
SHEN Xiaoke, HAN Xuan, ZHOU Honglei, et al. New mission of geotechnical engineering in the sustainable development[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2013,41(4):1-8.
- [5] 葛鹏,胡远,左新明.扬中金源时代购物中心基坑降水数值模拟分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(4):63-69.
GE Peng, HU Yuan, ZUO Xinming. Numerical simulation analysis of foundation pit dewatering at Yangzhong Jinyuan Times Shopping Center[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(4):63-69.
- [6] 时钟,高富水、强透水卵石地层深基坑降水设计与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(5):78-83.
SHI Zhong. Dewatering design and practice of deep foundation pit in high water-rich and strong permeable cobble stratum[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(5):78-83.
- [7] 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.
TANG Jianming, WANG Yu. Dewatering design and implementation for treatment of water kick-in at a bridge cap foundation pit in the Pearl River[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(11):50-55.
- [8] 李兵.引渗疏干技术在复杂水文地质条件下深大基坑降水中应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(4):69-72,77.
LI Bing. Application of cited infiltration technique in dewatering of deep foundation pit under complicated hydrogeological conditions[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(4):69-72,77.
- [9] 宋福渊,油新华,赖永标.绿色施工技术在基坑工程中的应用[J].建筑技术开发,2015,42(2):12-14.
SONG Fuyuan, YOU Xinhua, LAI Yongbiao. Application of green construction technique in foundation pit project[J]. Building Technique Development, 2015,42(2):12-14.
- [10] 崔永高.深厚强透水含水层超大基坑降水群井效应研究[J].工程地质学报,2015,23(3):574-579.
CUI Yonggao. Multi-well effect of ultra-large foundation pit in deep thick and highly permeable aquifers[J]. Journal of Engineering Geology, 2015,23(3):574-579.
- [11] 袁斌,武永霞,廖少明,等.基于数值模拟的富水砂砾地层深基坑降水方案优化[J].工程勘察,2017,45(1):34-39.
YUAN Bin, WU Yongxia, LIAO Shaoming, et al. Optimization of deep excavation pit dewatering in water-rich sand and gravel strata based on numerical model[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2017,45(1):34-39.
- [12] 游洋,阎长虹,刘实,等.复杂地质条件下某深大基坑降水方案优化设计[J].工程地质学报,2017,25(3):715-722.
YOU Yang, YAN Changhong, LIU Shi, et al. Optimization design for dewatering of large deep foundation pit under complex geological conditions[J]. Journal of Engineering Geology, 2017,25(3):715-722.
- [13] 薛永申,黄玉林.复杂环境下软土地质深大基坑分区施工技术[J].上海建设科技,2014(1):36-39.
XUE Yongshen, HUANG Yulin. Construction technology of deep and large foundation pit in soft soil under complex environment[J]. Shanghai Construction Technology, 2014(1):36-39.
- [14] 地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队.水文地质手册(第二版)[M].北京:地质出版社,1980.
Research Group of Hydrogeology and Engineering Geology and Technology Methods of the Ministry of Geology and Mineral Resources. Hydrogeology handbook[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980.
- [15] GB 50027-2001,供水水文地质勘察规范[S].
GB 50027-2001, Standard for hydrogeological investigation of water-supply[S].
- [16] 杨擎,刘毅,王勇,等.隧道工作井深基坑管涌事故分析及处理技术[J].现代隧道技术,2015,52(4):184-189.
YANG Qing, LIU Yi, WANG Yong, et al. Analysis of and treatment technologies for a piping accident in the deep foundation pit of a shield tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology, 2015,52(4):184-189.
- [17] JGJ 120-2012,建筑基坑支护规程[S].
JGJ 120-2012, Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S].