

管井降水技术在深基坑涌水事故处理中的应用与启示

刘 静^{1,2}, 吉泳安³

(1.安徽省地矿局第一水文工程地质勘察院,安徽 蚌埠 233000; 2.安徽水文地质工程地质公司,安徽 蚌埠 233000;
3.南京达西岩土工程有限公司,江苏 南京 210019)

摘要:江苏残疾人康复中心项目基坑涌水事故是因前期降水方案设计和降水施工质量控制不到位而导致,事故处理过程中通过对项目所在地地层资料深入分析,该地区为典型的长江漫滩二元地质结构,主要含水层为巨厚砂层,充分考虑该地区含水层厚、渗透系数大的特点,合理布置降水井数量及深度。对基坑内已施工的不合格降水井作报废处理、严控施工质量和运行管理,成功地解决了基坑涌水事故。本文详述了该项目事故发生和解决过程,为类似工程提供有益经验。

关键词:深基坑;管井降水;涌水事故;降水设计

中图分类号:TU46⁺3 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)06-0079-07

Tube well dewatering technology for the treatment of the deep foundation pit water flooding accident

LIU Jing^{1,2}, JI Yong'an³

(1. *The First Institute of Hydrological and Engineering Geological Prospecting, Anhui Geological Prospecting Bureau, Bengbu Anhui 233000, China;*

2. *Anhui Hydrogeology Engineering Geology Company, Bengbu Anhui 233000, China;*

3. *Nanjing Darcy Geotechnical Engineering Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210019, China*)

Abstract: The foundation pit flooding accident of the Jiangsu Disability Rehabilitation Center project was caused by the improper previous dewatering plan design and quality control of dewatering construction. In-depth analysis of the stratum data about the project location during the accident handling process showed that this area is a typical dual geological structure of the Yangtze River floodplain where the main aquifer is the thick sand layer. With fully consideration of the characteristics of the aquifer such as great thickness and large permeability coefficient in this area, the number and depth of dewatering wells was properly planned. Through abandonment of unqualified dewatering wells, and strict control of the construction quality and operation management, the water flooding accident at the foundation pit was successfully resolved. This article details the accident history and treatment process so as to provide useful experience for similar projects.

Key words: deep foundation pit; pipe well dewatering; water flooding accident; dewatering design

0 引言

随着城市地下空间开发的快速发展,地下工程基坑降水技术得到了广泛的应用,但由于对地下水文和地质条件认识不足、对地下水控制不到位带来的深基坑事故屡有发生。

车灿辉等^[1]对南京长江漫滩地区某深基坑突水对巨厚砂层地区超深基坑发生涌水事故经过及原

因进行了详细的分析,并提出了详实可行的施工技术措施。胡云华^[2]以南京纬三路长江隧道梅子洲风井基坑为例对临江超深基坑开挖高承压水问题做了详细的分析并给出了处理对策,给南京地区沿江深基坑项目提供了非常宝贵的经验及理论依据。王荣华^[3]、陈家春等^[4]、李瑛等^[5]、徐彬等^[6]、杨擎等^[7]对深基坑工程地下水管涌事故原因进行了分析,并进

收稿日期 2020-04-07; 修回日期:2020-05-18 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.06.014

作者简介:刘静,女,汉族,1987年生,工程师,水文地质专业,主要从事水文地质研究工作,江苏省南京市建邺区江东中路311号中泰国际广场5栋1616室(210019),271054689@qq.com。

引用格式:刘静,吉泳安.管井降水技术在深基坑涌水事故处理中的应用与启示[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):79-85.

LIU Jing, JI Yong'an. Tube well dewatering technology for the treatment of the deep foundation pit water flooding accident[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(6):79-85.

一步针对管涌事故提供了详细的预防和抢险方案。

从已有的施工案例及研究成果来看,地下水问题对现今地下空间开发影响极为重大,深刻的认识地下水问题及掌握正确的处理方式是深基坑工程顺利实施的关键。本文结合实际经验,对施工现场实地考察并结合三维数值模拟进行理论结算,给出了详细的施工方案和计划,并成功应用到工程实践中。

1 工程概况

1.1 基坑情况

江苏省残疾人康复中心项目位于南京市浦口区柳州东路以南,江山路以西。工程场地地貌单元属长江漫滩,该地区含水层为巨厚砂层,地下水特别丰富,施工过程中需特别注意地下水控制。本工程分为南、北两个部分,北侧部分地上拟建1栋11层康复中心,3栋1~3层的康复中心门诊、辅助器具服务中心、科研教育培训中心,地下设有1层整体地下室,局部设有2层立体机械停车库,本次事故所在位置为地下2层立体机械停车库(见图1)。

地下2层立体机械停车库基坑为长方形基坑,长边95 m、短边24 m、周长238 m、面积2280 m²,基坑采用54幅1 m厚地下连续墙支护结构,东侧墙底深32~35 m、西侧34 m、南侧34 m、北侧44 m,基坑开挖深度20 m。

1.2 场地工程地质及水文地质条件

1.2.1 地层结构

场地地貌单元属长江漫滩,地层依次为①₁杂填

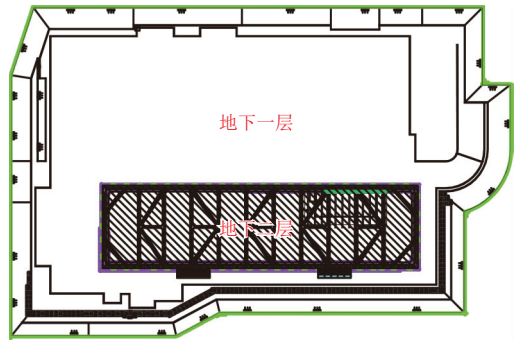


图1 基坑总平面图

Fig.1 General plan of the foundation pit

土,①₂素填土,①_{2a}淤泥、淤泥质填土,②₁粉质粘土,②₂淤泥质粉质粘土、粉质粘土,②_{2a}粉土、粉砂,②₃粉细砂,②₄粉细砂,②₅粉细砂,④中粗砂混卵砾石,⑤₁强风化粉砂质泥岩、泥质粉砂岩,⑤₂中风化粉砂质泥岩、泥质粉砂岩,⑤_{2a}中风化粉砂质泥岩、泥质粉砂岩(见图2)。

1.2.2 水文地质条件

潜水:场区地下水属潜水,由人工填土及新近沉积土的饱和粘性土、砂性土组成含水层组。地表人工填土尤其表层杂填土,结构松散,具大孔隙,密实度差,透水性较好,有利于地下水的渗透及汇集,含水较为丰富,雨季时出水量较大,属弱透水地层;新近沉积的软弱粘性土(主要为②₁层粉质粘土,②₂层淤泥质粉质粘土、粉质粘土)含水量高,但给水性差,透水性弱。勘察期间测量的潜水稳定水位在地面以下1.1~3.0 m,高程为4.64~5.06 m(吴淞高程系),水位起伏和地形起伏基本一致。水位受季

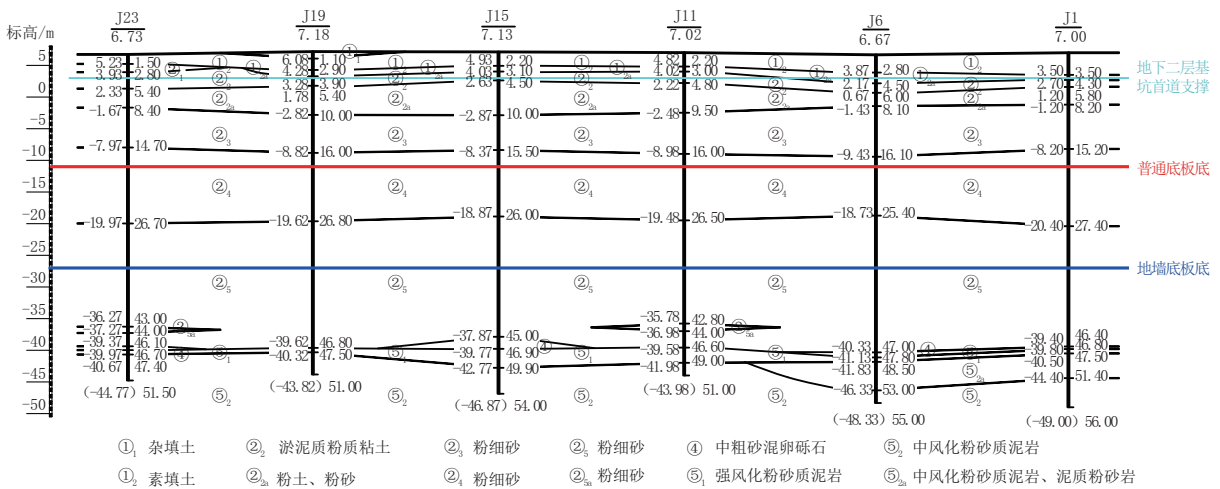


图2 地质剖面示意图

Fig.2 Schematic diagram of the geological profile

节性变化影响较大,年变化幅度一般在 1.0 m 左右。

承压水:承压含水层由②₃、②₄、②₅层粉细砂、④层含卵砾石中粗砂组成,隔水顶板为②₂层淤泥质粉质粘土,隔水底板为下伏基岩,其中②₃、②₄、②₅层粉细砂、④层含卵砾石中粗砂透水性好,厚度达 42 m,含水丰富,属透水地层。勘察时根据钻孔的承压水头观测结果看,含水层水头埋深在地面下 1.62~2.11 m,高程为 4.54~4.58 m(吴淞高程系)。承压水水头高程较潜水位低,水位随季节不同有升降变化,年变幅在 1.0 m 左右。

2 事故经过

本工程地下一层地下室前期已顺利施工至底板并开始做上层结构,地下 2 层立体机械停车库原设计降水井 23 口疏干井,井深 23~30 m,采用直径 360 mm 水泥管井,抽水采用定制泵身的 7.5 kW 高扬程水泵全负荷降水,出水总速率约 15000 m³/d,在事故发生前基坑内抽水井动水位约 20 m,无观测井测量静水位,最大单井出水量约 10 m³/h,远远低于降水设计预估值。

2019 年 6 月 24 日深基坑立体车库挖至地面以下 14 m 深时,工程桩超灌桩头位置出现异常情况:水夹着泥沙沿工程桩周边上涌(见图 3),且涌砂量持续增大,事故发生后项目多次组织相关单位就事故原因进行分析,判断该涌水事故的原因是前期基坑降水方案设计、降水井成井质量及降水运行管理均存在较大的问题,施工范围内水位降深无法满足开挖要求。



图 3 现场涌水照片

Fig.3 Water flooding on the site

3 事故处理降水方案

3.1 降水设计思路

事故发生时地下一层基坑已经开挖完成,本次降水主要针对地下二层基坑,工程场地内为巨厚砂层,厚度达 42 m,地下水丰富,基坑涌水量大,容易

出现涌水、管涌、流砂等事故。应重视降水问题。本次为解决地下水问题布置以下 2 类降水井^[8-10]:

(1)地下二层基坑内降水井 15 口,井深 31 m,将水位降至开挖底面以下 1 m 位置,方便开挖等作业施工。

(2)坑外布置应急备用井 20 口,井深 31 m,防止围护结构渗漏水形成流砂、管涌等事故,作为应急备用井,平时可观测坑外水位情况。

地下二层基坑属于悬挂式基坑,传统的解析公式不适用,因此考虑采用数值模型法进行计算。数值法通过程序化运算可模拟不同复杂条件下的地下水流状况。利用《Visual ModFlow》软件进行计算。

3.2 水文地质模型

本次根据场地地质条件,将①₂填土、①_{2a}淤泥、②₂淤泥质粉质粘土为上部潜水含水层,相对隔水层;②_{2a}粉土粉砂为上部含水层,②₃、②₄、②₅粉细砂为场地主要含水层降水目的层,下部为圆砾及基岩垂直方向上概化为⑤层。

由于场地地层透水性强,降水的影响范围大。本次平行与垂直方向各外扩 500 m,作为本次模拟范围。

求解地下水运动问题,可以利用下述地下水流连续性方程及其定解条件来描述地下水的三维非稳定渗流规律。根据场地地质及水文地质条件,参考相关文献^[11],建立了下列与之相适应的地下水三维非稳定渗流数学模型:

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) + W = \frac{E}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

其中:

$$E = \begin{cases} S_{\text{承压含水层}} \\ S_y \text{潜水含水层} \end{cases}; T = \begin{cases} M \text{承压含水层} \\ B \text{潜水含水层} \end{cases}; S_s = \frac{S}{M}$$

式中: K_{xx} 、 K_{yy} 、 K_{zz} ——平行于主轴 x 、 y 和 z 方向的渗透系数, L/T ; W ——单位体积流量,用以代表流进或流出的源汇项, m^3/d ; h ——点 (x, y, z) 在 t 时刻的水位, m ; S_s ——储水率, L/m ; S ——贮水系数; S_y ——给水度; M ——承压含水层厚度, m ; B ——潜水含水层厚度, m 。

初始条件:

$$H(x, y, z, t) = H_0(x, y, z, 0) \quad (x, y, z) \in \Omega$$

边界条件:

第一类边界条件:

$$H(x, y, z, t) \Big|_{\Gamma_1} = H_1(x, y, z, t) \quad (x, y, z) \in \Gamma_1$$

第二类边界条件:

$$K \frac{\partial H(x, y, z, t)}{\partial n} \Big|_{\Gamma_2} = q(x, y, z, t)$$

式中: Ω ——立体时间域; $H_0(x, y, z, 0)$ ——研究区各层初始水头值; $H_1(x, y, z, t)$ ——研究区各层第一类边界 Γ_1 上的已知水头函数(L); $q(x, y, z, t)$ ——第二类边界 Γ_2 上的单位面积法向流量 [$L^2 T^{-1}$];对于隔水边界, $q = 0$ 。

3.3 模型剖分

模型采用六面体网格剖分,在水平方向上采用非等距矩形网格剖面(基坑开挖区域附近网格加密),模拟区平面上剖分为 148 行、458 列,加密区最小单元格的面积为 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$,非加密区域单元格面积约为 $25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$;垂向上根据地层及围护结构深度共剖分为 6 层(见图 4)。

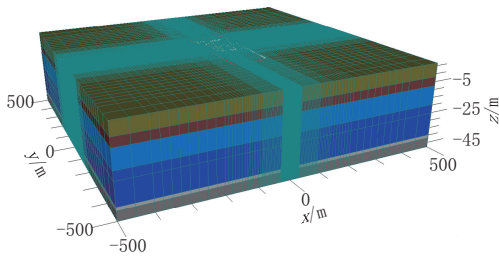


图 4 三维模型概化图

Fig.4 Generalized view of the 3D model

3.4 模型参数

3.4.1 地层渗透系数

地下水流数学模型涉及的模型参数主要为渗透系数(K_{xx} 、 K_{yy} 、 K_{zz}),其值的大小直接决定概念模型与实际水文地质模型的拟合程度以及基坑涌水量预测的大小。本次结合南京浦口地区降水工程资料、地层经验参数、地勘资料等相关文献^[12],充分考虑地层的各向异性,渗透系数取值见表 1。

表 1 模型参数取值

Table 1 Model parameter values

地 层	层位划分	$K_{xx} =$	$K_{zz}/$
		$K_{yy}/$ ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$)	($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$)
① ₂ 素填土、② ₂ 淤泥质粉质粘土	弱透水层	0.04	0.01
② _{2a} 粉土粉砂	含水层	18	6
② ₃ 、② ₄ 、② ₅ 粉细砂	含水层	21	9
④ 中粗砂混卵砾石	承压含水层	40	20
风化岩层	相对隔水层	1	1

3.4.2 止水帷幕

地下连续墙止水帷幕在模型中可利用 Wall 模块表示,可设置墙的厚度及渗透性能,本次考虑地下连续墙渗漏,模型中设置渗透系数为 0.001 m/d 表示,见图 5。

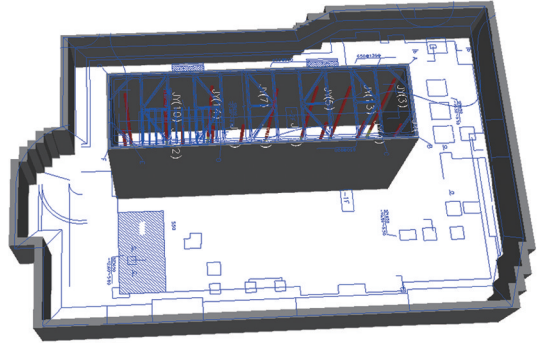


图 5 围护结构、降水井概化图

Fig.5 Generalized outline of the support structure and dewatering wells

3.5 模拟结果

根据计算结果,坑内水位下降 $16 \sim 21 \text{ m}$,降至标高 $-12 \sim -16 \text{ m}$ 时(见图 6),基坑总抽水量约 $14400 \text{ m}^3/\text{d}$,单井水量约为 $1200 \text{ m}^3/\text{d}$,约布置 15 口降水井。

3.6 坑外备用井

为防止围护结构渗漏水,布置备用井具备将水位降至开挖面以下位置的能力。

3.6.1 总涌水量计算

含水层不受止水帷幕影响,根据《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120-2012)^[13],可采用“大井法”计算基坑涌水量(见图 7),利用承压水非完整井计算公式:

$$Q = 2\pi k \frac{Ms_0}{\ln(1 + \frac{R}{r_0}) + \frac{M-l}{l} \ln(1 + 0.2 \frac{M}{r_0})}$$

式中: Q ——基坑总涌水量, m^3/d ; K ——渗透系数, 22 m/d ; s_0 ——基坑水位降深, 15.73 m ; R ——影响半径,约取 500 m ; r_0 ——基坑等效半径, 27 m ; M ——承压含水层厚度, 46.85 m ; l ——滤管有效工作部分的长度, 9 m 。

3.6.2 单井涌水量计算

单井出水能力可按式计算:

$$q_0 = 120\pi r_s l \sqrt[3]{K}$$

式中: r_s ——滤管半径, 0.1365 m ; l ——有效过滤器长度, 9 m 。

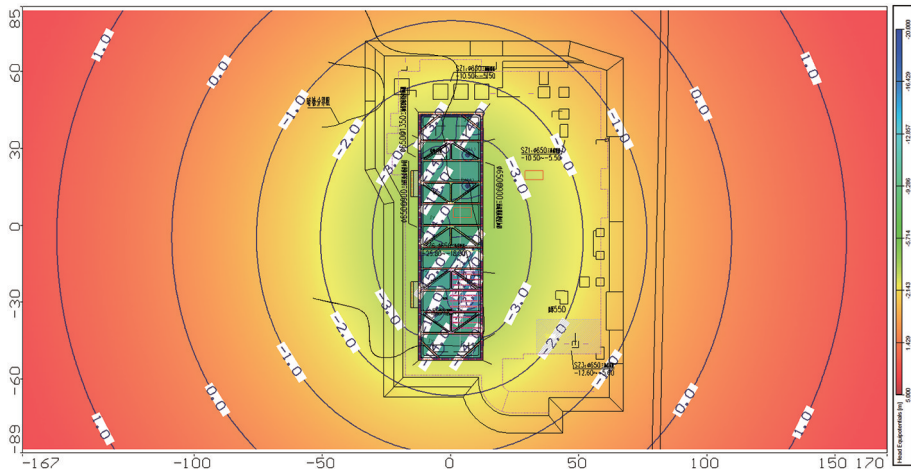


图 6 水位标高等高线图

Fig.6 Water level elevation contour map

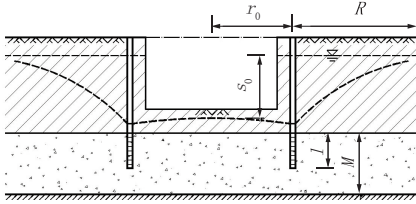


图 7 计算模型示意图

Fig.7 Schematic diagram of the calculation model

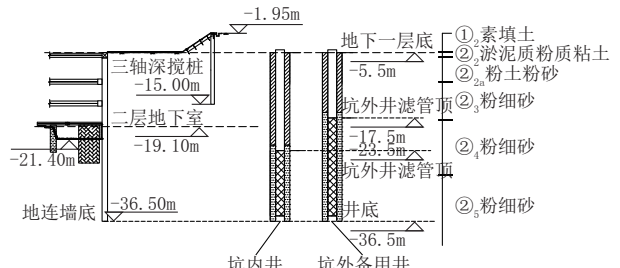


图 9 降水井结构图

Fig.9 Structure of the dewatering well

根据计算,理论单井涌水量约为 1544 m³/d。群井抽水干扰明显,随水位降低,单井涌水量也随之减小,本次取值约为 1400 m³/d。

3.6.3 降水井数量

降水井数量可根据下式计算:

$$n = 1.2Q/q$$

式中:Q——总涌水量, m³/d; q——单井出水能力, m³/d。

20%的备用兼观测井。经计算,设计坑外备用井 20 口(见图 8),备用井深度同坑内井深度(见图 9)。

4 事故处理过程与结果

2019 年 10 月 10 日,通过现场查看和水文地质条件分析,分析事故原因,制定了有针对性的降水方案,保证将地下水位降至开挖面以下 0.5~1 m。2019 年 10 月 15 日根据施工方案重新组织施工降水井,2019 年 11 月 5 日成井施工全部完成,在施工降水井的过程中逐步安装水泵抽水,2019 年 11 月 6 日试抽降水水位至开挖面以下 1 m,成功的解决了涌水事故(见图 10),并且在施工过程中严控成井质量^[14-16],最大限度的减小了降水对周边环境的影响,目前该项目已经顺利开挖至底板并开始做地下室结构(见图 11)。

按设计坑内施工 15 口井,坑外施工 20 口井作为备用观测井,井深均为 31 m,单井实测水量约为 50~60 m³/h,即单井抽水量约 1300 m³/d。坑内 10 口井同时抽水,总抽水量达到 13000 m³/d,观测井水位降至 21 m(开挖深度约 20 m),基坑顺利开挖至底板,在施工电梯井(底板以下 2 m)时,总共开启降水井 13 口,与设计工作量吻合。

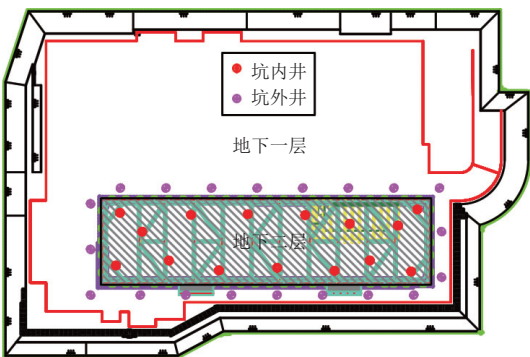


图 8 降水井平面图

Fig.8 Plan view of dewatering wells



图 10 开挖过程中的效果

Fig.10 Pit excavation



图 11 电梯井浇筑垫层、底板绑扎钢筋

Fig.11 Concreting for the elevator shaft cushion layer and placing of reinforcement bars for the floor slab

5 结论与启示

本项目是典型的因对地下水认识不足,前期成井质量不合格,基坑内地下水位降深无法满足开挖要求而造成的涌水事故案例。前期设计井深仅为基底 2 m,不足以降低下部含水层水位,同时导致降水井有效滤管短,加上成井质量差出水能力有限,必然导致开挖后出现涌水。正确的降水设计方案和良好降水井施工质量是本项目能成功处理完成的关键,总结如下:

(1)方案设计合理:编制方案时对地下水的水文地质条件认识清晰,明确涌水含水层,针对性设计降水井深度;含水层参数确定以及总水量计算等都是可靠的;设计涌水量 $14400 \text{ m}^3/\text{d}$,而实际在施工二层地下室大底板时抽水 10 口降水井,水量达到约 $13000 \text{ m}^3/\text{d}$,观测井水位降至底板下 1 m,在施工坑中坑电梯井时,坑内抽水井增加至 13 口,水位满足电梯井施工要求。最终基坑顺利施工完成,实际抽水效果与设计方案的吻合。

(2)成井质量优异:施工过程中严控成井质量,降水井出水量均能满足设计要求 $1200 \text{ m}^3/\text{d}$,并严格控制出水含砂量,未对周边环境造成不利影响,对地下水正确的认识和计算,配合成熟的施工工艺和优异的成井质量,是本项目最终能顺利完成的关键。

(3)施工经验丰富:该地区含水层为巨厚砂层,水量较大,施工过程中因地下水量大水位高,且基坑已经开挖至大底板以下 10 m,成孔过程中易塌孔,增加了降水井施工难度,因此在施工降水井时,选择先施工坑外井,并同步下泵抽水,后将坑内降水井顺利施工完成。

(4)借鉴意义:本项目从因前期降水不到位造成坑内涌水开始已经停工超过 4 个月,造成了极大的经济损失和工期损失,后重新引进专业队伍对该基坑降水方案重新设计、施工,从设备进场施工到降水到位满足开挖要求,仅用 20 天,总费用在 100 万元左右,大大节省了时间成本及费用成本,为同类型项目提供了极为宝贵的经验。

(5)类似工程建议:①降水设计时应充分分析水文地质条件,明确降水目的层,并针对性处理;②施工时严格控制施工质量,确保降水井能够满足设计、施工需要;③正式开挖前应进行试抽水,确保水位能够降至安全水位,且不可盲目开挖,导致事故发生。

参考文献(References):

- [1] 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(4):183-187.
CHE Canhui, ZHANG Zhibo, LIU Shi. Analysis and management of confined water inrush of a deep foundation pit in the floodplain area of Nanjing Yangtze River[J]. Geotechnical Engineering Technology, 2014, 28(4): 183-187.
- [2] 胡云华.临江高承压水超深基坑开挖抗突涌分析与对策——以南京纬三路长江隧道梅子洲风井基坑为例[J].隧道建设,2015,35(11):1194-1201.
HU Yunhua. Analysis on and countermeasures for water inrush in construction of ultra-deep foundation pit at riverside under high confined water: Case study on deep foundation pit of Meizhou Ventilation Shaft of Weisanlu River-crossing Tunnel in Nanjing[J]. Tunnel Construction, 2015, 35(11): 1194-1201.
- [3] 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,2014,40(33):60-62.
WANG Ronghua. On analysis and treatment of underground water piping at some deep foundation pit[J]. Shanxi Architecture, 2014, 40(33): 60-62.
- [4] 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(7):114—116.

CHEN Jiachun, ZHANG Deng. Study on reasons of confined water uprushing in deep foundation pits and preventive measures[J]. Fujian Architecture & Construction, 2015(7):114—116.

- [5] 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,2019,15(3):943—948.
- LI Ying, HU Dejun, YE Xiangqian, et al. Analysis and treatment of intruding accidents in deep excavation[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2019,15(3):943—948.
- [6] 徐彬,王昂峰.软土水库输水隧洞施工突发涌水的预防和抢险[J].浙江水利科技,2013,41(4):92—94.
- XU Bin, WANG Angfeng. Prevention and rescue of sudden water gushing in construction of water conveyance tunnel of Qincun Reservoir[J]. Zhejiang Hydraulics, 2013,41(4):92—94.
- [7] 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.
- [8] JGJ 111—2016,建筑与市政工程地下水控制技术规范[S].
- JGJ 111—2016, Technical code for groundwater control in building and municipal engineering[S].
- [9] 刘泽强.水文地质手册[M].北京:地质出版社,2006.
- LIU Zeqiang. Handbook of hydrogeology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- [10] 姚天强,石振华.基坑降水手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- YAO Tianqiang, SHI Zhenhua. Handbook of foundation pit dewatering [J], Beijing: China Architecture & Building Press, 2006.
- [11] 车灿辉.巨厚非均质潜水含水层抽水试验及参数计算[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(11):60—64.

CHE Canhui. Pumping test and calculation of hydrogeological parameters for massive anisotropic phreatic aquifers[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(11):60—64.

- [12] 李洪财.南京长江江心洲超大直径盾构接收井明挖段超深基坑降水技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):87—92.
- LI hongcai. Study on dewatering technology of ultra-deep foundation pit in opening cut section of super-large diameter shield receiving well in river island of Nanjing Yangtze River [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(5):87—92.
- [13] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- JGJ 120—2012, Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S].
- [14] 车灿辉,黄健,刘静.管井降水技术在江底取水隧道修复中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(7):70—76.
- CHE Canhui, HUANG Jian, LIU Jing. Tube well dewatering technology for repair of the water intake tunnel under the Yangtze River[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(7):70—76.
- [15] 刘静.城际铁路新郑机场站基坑工程降水设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(12):62—67.
- LIU Jing. Design and construction of foundation pit dewatering in an intercity railway station of Zhengzhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) 2014,41(12):62—67.
- [16] 杨冬雪,李志虎.拉萨地区邻河基坑管井降水案例分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(7):90—93.
- YANG Dongxue, LI Zhihu. Case analysis of tube well dewatering of the foundation pit neighboring river in Lhasa region [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(7):90—93.

(编辑 周红军)

(上接第 72 页)

- [14] 徐胜林,贾义斌.锚索抗滑桩加锚索地梁在滩坪特大型复杂滑坡治理工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(10):32—37.
- XU Shenglin, JIA Yibin. Application of anti-slip piles with anchor cables and grade beams with anchor in oversize complicated landslide control[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2005,32(10):32—37.
- [15] GB 50010—2010,混凝土结构设计规范[S].
- GB 50010—2010, Code for design of concrete structures[S].
- [16] 李斌,黄芬.福堂水电站震后厂房边坡锚索加固及应力监测与分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(5):67—71,76.
- LI Bin, HUANG Fen. Slope anchor cable reinforcement of Futang Hydropower Station after earthquake and the stress

monitoring analysis[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(5):67—71,76.

- [17] 王会永.锚索抗滑桩在太长高速公路的运用与对比研究[J].中外公路,2018,38(4),29—33.
- WANG Huiyong. Application and contrastive study of anti-slide pile with anchor cable in Tai—Chang Expressway[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2018,38(4),29—33.
- [18] 孙训方,方孝淑,关来泰.材料力学(第 5 版)[M].北京:高等教育出版社,2009.
- SUN Xunfang, FANG Xiaoshu, GUAN Laitai. Mechanics of materials (Version 5)[M]. Beijing: Higher Education Press, 2009.

(编辑 王建华)