

南京江北新区中心区地下空间一期 基坑涌水事故处理与启示

吉泳安, 孟 舰

(南京达西岩土工程有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要:南京江北新区中心区地下空间一期基坑涌水事故是由于基坑内废桩孔回填封堵不密实, 导致深部承压含水层中承压水击穿废桩孔, 造成涌水事故。事故发生后, 采用混凝土回填反压涌水, 后在桩孔内注浆封堵, 但均未成功。之后经过调查和分析研究, 确定采取降水方案, 即降低深部承压水水位至涌水口以下, 在无涌水的情况下进行注浆封堵。该降水封堵方案实施历时 18 天, 成功地解决了涌水事故。本工程涌水事故的处理为类似工程提供了有益的经验。

关键词:基坑涌水; 废桩孔涌水; 深层承压水; 涌水事故; 降水; 注浆封堵

中图分类号: TU46⁺3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2020)07-0094-06

Treatment and analysis of the foundation pit water inrush incident in Nanjing Jiangbei New District

JI Yongan, MENG Jian

(Nanjing Darcy Geotechnical Engineering Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210000, China)

Abstract: The foundation pit water inrush incident on the underground space first-stage works in the central area of the Jiangbei New District, Nanjing happened due to lack of compaction of the backfilling in the abandoned pile holes in the foundation pit, which caused the confined water in the deep pressurized aquifer to penetrate the abandoned pile holes, leading to the water inrush incident. After the incident, the holes were backfilled with concrete to counter water inrush, and then grouted to seal off. But none of them succeeded. Through investigation and analysis, the dewatering program was adopted, whereby the deep confined water level was lowered below the water inrush position and grout was injected to seal off without the gushing water. This dewatering program took 18 days to successfully resolve the water inrush incident, which can provide useful experience for similar projects.

Key words: foundation pit water inrush; inrush through abandoned pile holes; deep confined water; water inrush incident; dewatering; grouting plugging

0 引言

南京江漫滩地区地下水丰富, 基坑工程特别是深基坑在设计施工过程中需特别注意地下水控制, 施工中前人已经总结了基坑止水帷幕等对降水的影响, 徐勇^[1]等指出深基坑止水帷幕失效原因分析及相关处理办法, 汤光明^[2]也对悬挂式止水帷幕进行分析研究。除此之外专门的承压含水层、突涌涌水等事故原因也多有前人进行总结分析, 文献[3-9]对各种突涌事故进行总结分析, 为我们提供了对涌

水事故的处理办法。

南京江北新区中心区一期工程基坑开挖到 16.1 m 时, 基底废桩孔出现涌水, 涌水量约 160 m³/h, 且间歇性携带细砂。事故发生后项目采取了灌混凝土、注浆反压等措施均未见成效。在参考车灿辉等^[10]管井在江底隧道中成功的降水案例, 认为巨厚含水层大流量降水方案可行, 因此提出降低深层含水层水位, 在无涌水的情况下实施注浆封堵的方案, 成功地解决了涌水事故, 抢险总共费用 110 多

收稿日期: 2019-10-28; **修回日期:** 2020-04-09 **DOI:** 10.12143/j.tkgc.2020.07.016

作者简介: 吉泳安, 男, 汉族, 1990 年生, 从事基坑降水设计与施工管理工作, 江苏省南京市建邺区中泰国际广场 5 栋 16-16, jiyongan@live.com。

引用格式: 吉泳安, 孟舰. 南京江北新区中心区地下空间一期基坑涌水事故处理与启示[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(7): 94-99.

JI Yongan, MENG Jian. Treatment and analysis of the foundation pit water inrush incident in Nanjing Jiangbei New District[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(7): 94-99.

万元,用时 18 天。

1 事故经过

2018 年 9 月在发生涌水的位置施工钻孔灌注桩成孔时遇障碍物,成孔困难,后采用冲击钻成孔至 61.5 m 深,下放钢筋笼时塌孔,该孔废弃后采用粘土回填,但回填不密实。

2019 年 7 月 4 日,基坑开挖至埋深 16.1 m 时,深层承压水击穿废桩孔,出现涌水,且涌水含砂,现场立即采用混凝土反压、注浆反压等措施,均未能有效控制涌水。2019 年 7 月 8 日,现场抽水涌水量约 160 m³/h。见图 1。



图 1 现场涌水及反压处理情况

Fig.1 Water inrush and back pressure treatment

2 基坑涌水原因分析

如图 2 所示,基坑分为 3 个区,两边基坑较浅,开挖深度约 16 m,中间基坑开挖深度 28~32 m,北高南低。基坑采取地连墙围护,外围围护深度 39 m,内部深坑围护深度 57 m。

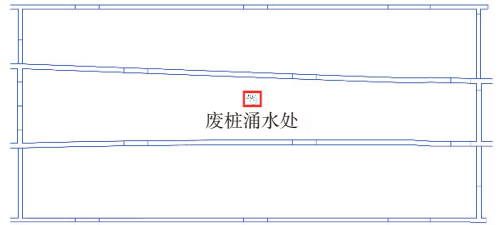
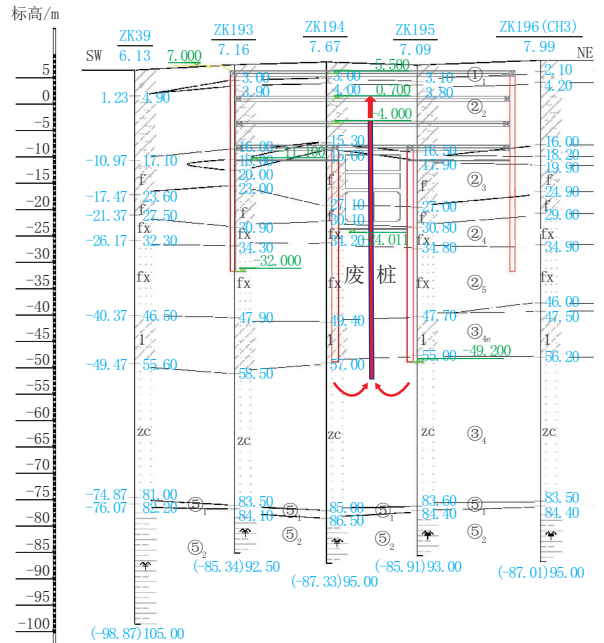


图 2 涌水点平面位置

Fig.2 Plan of the water inrush point

基坑主要含水层为②₄粉细砂夹粉质粘土,②₅粉细砂,③_{4e}含卵砾石中粗砂,③₄中粗砂。见图 3。



- ① 杂填土;② 淤泥质粉质粘土、粉质粘土;③ 淤泥质粉质粘土、粉质粘土;④ 粉细砂夹粉质粘土;⑤ 粉细砂;
- ③_{4e} 含卵砾石中粗砂;③₄ 中粗砂

图 3 涌水处地层剖面

Fig.3 Geological profile at the water inflow location

基坑内降水主要针对②₅层以浅,上层的渗透系数约为 10 m/d,而下部③_{4e}含水层为含卵砾石中粗砂渗透系数约 40 m/d,③_{4e}、③₄层未被止水结构隔断,受外界地下水补给。因此坑内降水对深部的③_{4e}、③₄层没有影响。

现场基坑内②₅层水位已经降至埋深 33 m,而实测③_{4e}、③₄层水位埋深约为 5 m。废桩孔深度进入到③₄层,基坑开挖到 16.1 m 时,在高水头压力下,废桩孔被击穿,造成突涌事故。

3 处理方案

由于基坑涌水量大,直接注浆浆液被流水带走,

无法封堵。

结合余德可等^[12]、汤建铭等^[13]在济南、珠江等突涌降水设计与施工处理方案,本次拟采用降水方案:将③_{4e}层及③₄层地下水水位降到涌水口以下,降水深度约11 m。水位到位后采取静水注浆封堵。

3.1 总涌水量计算

根据《建筑与市政工程地下水控制技术规范》(JGJ 111-2016),利用承压完整井公式进行基坑涌水量计算(计算模型见图4)。

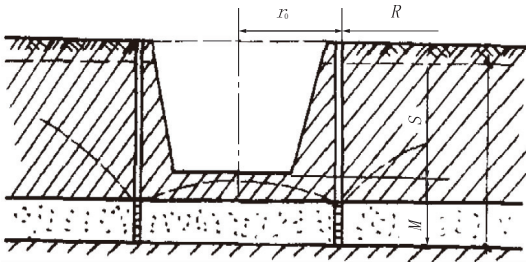


图4 承压含水层计算模型

Fig.4 Calculation model of the confined aquifer

$$Q = \frac{2.73KMS}{\lg[(R+r_0)/r_0]}$$

式中: Q ——基坑计算涌水量, m^3/d ; K ——含水层渗透系数,根据勘察单位提供数据,按18.6~40.5 m/d考虑; M ——承压含水层厚度,30~40 m; S ——设计降水深度,11.5 m; R ——影响半径,m, $R=10S\sqrt{K}$; r_0 ——等效大井半径,约为55 m,根

据《管井技术规范》(GB 50296-2014), $r_0 = \sqrt{A/\pi}$,其中 A 为基坑面积。

通过计算,深层承压水位降低至16.1 m时,预估总涌水量40596 m^3/d ,见表1。

3.2 单井出水量

降水管井的单井出水能力应选择群井抽水中心水位干扰影响最大的井,并按下式确定:

$$q = 120\pi r l \sqrt[3]{k}$$

式中: q ——单井出水量, m^3/d ; r ——过滤器半径,0.1625 m; l ——过滤器进水部分长度,15~18 m; K ——含水层渗透系数,40.5 m/d。

理论计算出的单井出水量为3200~3780 m^3/d 。结合附近纬三路过江隧道基坑降承压水资料,结合梁太略等^[14]在纬三路过江通道盾构工作井降水方案探究中相关参数,设计单井出水量约为4800 m^3/d ,见表1。

3.3 降水井数量

降水井数量可根据基坑涌水量和设计单井出水量按下式计算:

$$n = \lambda Q/q$$

式中: n ——降水井数量; Q ——基坑涌水量, m^3/d ; q ——单井出水量, m^3/d ; λ ——安全系数,根据规范取1.2。

经计算,设计降水井数量10口,见表1。

表1 降水井数量计算结果

Table 1 Calculated number of dewatering wells

序号	影响含水层位	含水层厚度 M/m	渗透系数 $K/(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	降深 S/m	影响半径 R/m	涌水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	总涌水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	单井出水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	安全系数	计算井数/ 口
1	② ₅	13	18.6	11.5	496	7585.5				
2	③ _{4e}	10	40.5	11.5	732	11004.0	40596.5	4800	1.2	10
3	③ ₄	20	40.5	11.5	732	22007.0				

3.4 降水井布置

基坑已经开挖16 m,在基坑内施工降水井无法成孔,降水井须布置在基坑外侧。设计降水井的深度超过废桩底部,深65~71 m,滤管主要布置在③_{4e}含卵砾石中粗砂含水层、③₄含砾中粗砂含水层。降水井布置及结构见图5、图6。

3.5 预测降水对环境的影响

沉降计算根据《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120-2012)降水引起的地层压缩变形量公式。结合陈忠等^[15]对承压水降水基坑变形规律参考,计算②₂、②₃淤泥质土及②₄粉细砂失水固结产生的沉

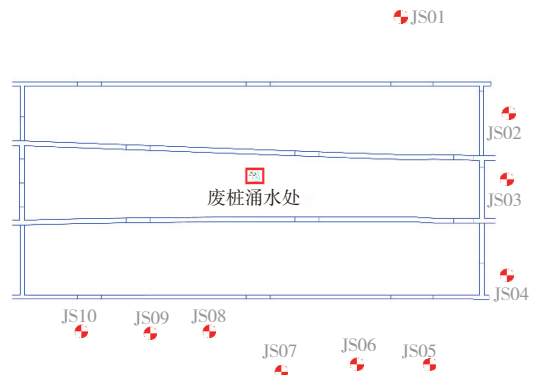


图5 降水井平面布置

Fig.5 Layout plan of dewatering wells

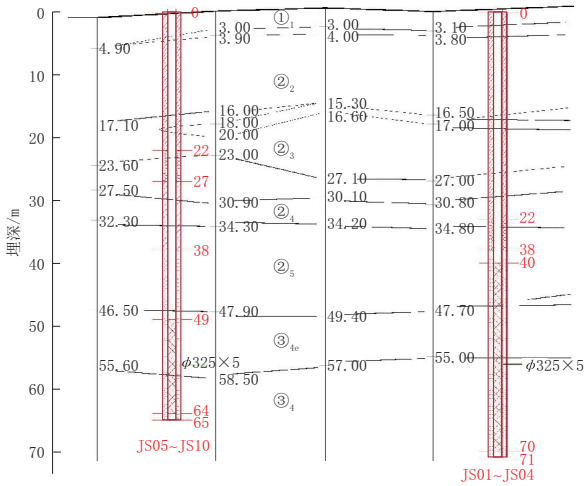


图 6 降水井结构

Fig.6 Structure of dewatering wells

降,根据勘察资料,②₂、②₃ 淤泥质土压缩模量约为 3.85 MPa,②₄ 粉细砂压缩模量约为 11.2 MPa。

根据模型预测,抽水 15 天后,周边社区处砂层地下水位降深约 5.19 m,淤泥质土水位降深约 0.46 m,预测最大可能沉降量约 12.3 mm,对社区不会产生危害性影响。计算结果见表 2,漏水点距离与水位降深、沉降关系见图 7。

$$S = \psi_w \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\sigma'_{zi} \Delta h_i}{E_{si}}$$

$$= (1/2) \times 5.19 \times 10 \times 5.19 / 11.2 +$$

$$(1/2) \times 0.46 \times 10 \times 0.46 / 3.85$$

$$\approx 12.3 \text{ mm}$$

表 2 水位降深及地面沉降预测

Table 2 Prediction of water level drop and ground subsidence

与涌水点距离 L/ m	淤泥质水位降深/ m	砂层水位降深/ m	预测沉降量/ mm
0	11.0	0.89	54.57
100	7.89	0.66	28.33
200	6.23	0.54	17.74
300	5.19	0.46	12.29

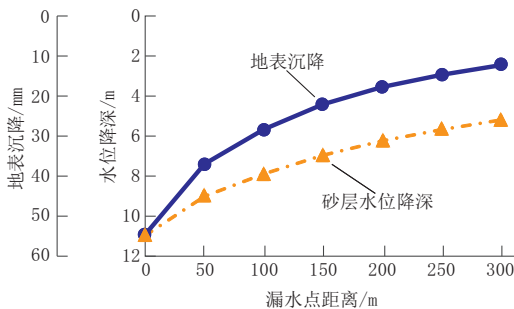


图 7 沉降预测

Fig.7 Ground settlement prediction

3.6 RJP 高压旋喷桩封堵

水位降到涌水口深度以下,在涌水口施工一根 RJP 高压旋喷桩,形成封堵。

4 处理效果

4.1 降水效果

根据方案,在 2019 年 7 月 26 日开始施工降水井,8 月 7 日 10 口井成井施工全部完成。8 月 8 日 9 口井开始抽水,留取 1 口井作为观测井,单井实测水量为 195~220 m³/h,即单井抽水量约 5000 m³/d。9 口井同时抽水,总抽水量达到 45000 m³/d。8 月 9 日观测井水位降至 18.7 m,水位降至设计位置,涌水点不再涌水,与计算相吻合。

4.2 注浆封堵效果

8 月 9 日降水后涌水口不再涌水,在涌水的废桩孔上施工了一根 RJP 高压旋喷桩,8 月 12 日施工完毕。RJP 高压旋喷桩施工后,继续抽水 3 天保证桩体达到强度,8 月 15 日停止抽水。停抽后涌水点未见涌水,上部的原反压混凝土盖板挖掉后,未见水迹,抢险成功。见图 8、图 9。



图 8 RJP 注浆完成后的情况

Fig.8 Photo after RJP grouting



图 9 破掉盖板后的情况

Fig.9 Photo after removal of the cover plate

4.3 降水引起的周边沉降量监测

抢险过程中对周边的地表及建筑物进行沉降观测,从 8 月 1 日抽水试验开始前进行观测,到抢险停

止抽水止,历时18天,16个观测点沉降值平均在±0.0 mm,沉降最大波动值±10 mm以内,降水对沉降没有影响。见图10、图11。

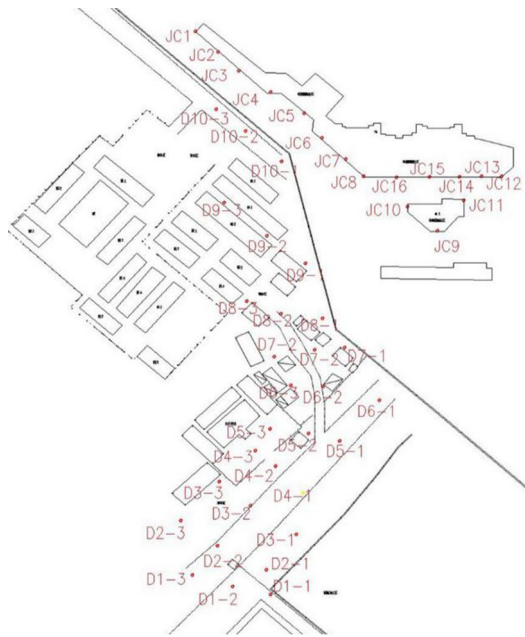


图10 监测点平面布置

Fig.10 Layout of monitoring points

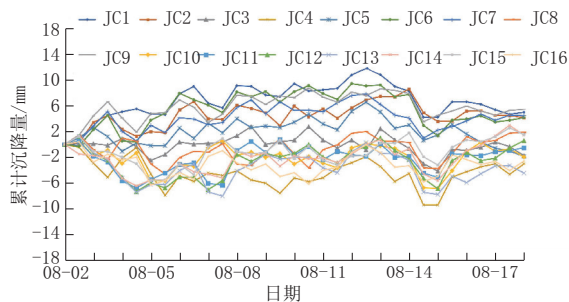


图11 坑外降水沉降变化曲线

Fig.11 Ground settlement curve outside the pit due to dewatering

5 技术经济效果分析

5.1 用时短

从确定采用降水措施,设备进场开始到降水到位、涌水封堵完成仅用时18天,这样的时间是很少见的。其主要原因为:

(1)编制方案时对地下水的水文地质参数认识清晰,包括涌水含水层确定,含水层参数确定以及总水量计算等都是可靠的;其中总水量计算几乎没有误差,设计涌水量 $40596 \text{ m}^3/\text{d}$,而实际抽水9口,水量达到 $45000 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,观测井水位降到涌水口下2.7 m左右,所以没有因设计方案问题而走弯路。

(2)因涌水量较大,设计中采用了口径较大的井管,保证能采用大流量水泵抽水,从而大大减少了降水井的数量,节省了施工时间。

(3)降水井成井质量优异,10口井都能满足设计要求,单井抽水量设计 $5000 \text{ m}^3/\text{d}$,抽水时没有因降水井出水能力不足浪费时间,整个施工几乎是一气呵成,没有因施工质量问题耽误时间。

5.2 费用低

本次事故处理的总开支估计在110万元左右,这与类似工程事故处理花费相比,费用低。主要原因有:

(1)采取降水处理的思路大大节省了费用:某项目出现类似涌水事故,不采取降水措施,而是采取在基坑外设计RJP止水幕墙,其花费代价高昂。

(2)大口径井、大泵抽水设计:采用大口径降水井,大大地减少了井数,从而节省了降水措施本身的费用。

(3)节省了时间成本:降水井质量优良且高效率,节省了时间成本,从而节省了费用。

5.3 对周边环境的影响小

事故处理前充分对降水引起的沉降进行分析,计算理论沉降量是安全可控的。实测沉降值在±10 mm以内,地面及周边建筑物无裂缝、错台等现象。

6 结语

本次事故处理思路正确,没有走弯路,是一次成功的利用降水措施解决因废桩回填不实造成的涌水事故的典型案例。

(1)富水地区的超深基坑工程,由于基坑内的各类勘探孔、桩孔等密集,极易发生承压水沿勘探孔、桩孔等涌水事故,基坑开挖前应提前梳理、排除,及时封堵处理。

(2)对于此类涌水事故,地下水位高、涌水量大,直接注浆封堵的方式难以实现,因此可采用先降水、再注浆的方式处理。

(3)降水处理涌水事故是直接有效的办法,但降水的过程中往往会造成周边的沉降问题,因此应提前对沉降进行分析,并严格控制成井质量,减小降水带来的不利影响。

(4)优质的成井质量,不仅利于周边环境的控制,也可以节约经济成本与时间,特别是应急抢险阶段,成井质量控制尤为重要。

参考文献 (References):

- [1] 徐勇,王心联.深基坑止水帷幕失效原因分析及处理措施研究[J].地下空间与工程学报,2010,6(6):1251-1255,1284.
XU Yong, WANG Xinlian. Analysis on reason of water stop curtain failure in deep foundation pit and research on its treatment measures[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010,6(6):1251-1255,1284.
- [2] 汤光明.悬挂式止水帷幕对深基坑降水的影响研究[D].西安:西安建筑科技大学,2011.
TANG Guangming. Research on the influence of the suspended water cut-off curtain on dewatering of deep foundation pits[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2011.
- [3] 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,2003,23(5):25-27.
ZHENG Jiansheng, ZHANG Keping, ZHANG Lifeng. Inrush at the bottom of foundation pits in the confined water layer and solutions[J]. Tunnel Construction, 2003,23(5):25-27.
- [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] 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 Technique, 2014,28(4):183-187.
- [6] 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):60-61,62.
WANG Ronghua. On analysis and treatment of underground water piping at some deep foundation pit[J]. Shanxi Architecture, 2014,40(33):60-61,62.
- [7] 方维龙,冯泽璞.深基坑止水帷幕失效的技术原因及处理措施[J].城市建设理论研究(电子版),2017(22):2095-2104.
FANG Weilong, FENG Zepu. Technical causes and treatment measures for failure of water stop curtain in deep foundation pit[J]. Theoretical Research on Urban Construction (Electronic Edition), 2017(22):2095-2104.
- [8] 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,2019,41(8):1434-1435.
XU Zhengrong, PAN Weifeng, HUA Jinyao. Construction technology of deep foundation pit inrush emergency disposal
- [9] 赵峰.深基坑承压水成因及其处理措施[J].珠江水运,2019(15):100-101.
ZHAO Feng. Generation of confined water in deep foundation pits and treatment measures[J]. Pearl River Water Transport, 2019(15):100-101.
- [10] 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.
- [11] 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 Xianqian, et al. Analysis and treatment of inrushing accidents in deep excavation[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2019,15(3):943-948.
- [12] 余德可,何鹏,陈伟.济南某地铁站点基坑降水措施分析[J].水利科技与经济,2019,25(5):75-80.
YU Deke, HE Peng, CHEN Wei. Analysis of dewatering measures for the foundation pit of a subway station in Jinan[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2019,25(5):75-80.
- [13] 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.
- [14] 梁太略,陈坤.纬三路过江通道盾构工作井降水方案探究[J].科技创新导报,2018,15(10):73-75,77.
LIANG Tailue, CHEN Kun. Dewatering plan for the shield working well along the Weisan Road river-crossing channel[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2018,15(10):73-75,77.
- [15] 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),2019,32(5):65-69.
CHEN Zhong, QIAN Baoyuan, GU Qibo. Deformation law of deep foundation pit construction considering pressure precipitation[J]. Journal of Ningbo University (Natural Science & Engineering Edition), 2019,32(5):65-69.

(编辑 周红军)