

# 基坑工程降水回灌一体化装置研制

黄 薛<sup>1,2</sup>, 曾纯品<sup>1,2</sup>, 高 扬<sup>1,2</sup>

(1.山东省地矿局八〇一水文地质工程地质大队,山东 济南 250014; 2.山东省地矿工程勘察院,山东 济南 250014)

**摘要:**为保证基坑降水工程中回灌水满足济南泉域地下水系统的水质要求,研制了基坑工程降水回灌一体化装置。该装置包括回灌主机和集水箱 2 个部分,主要组件由水泵、过滤器、压力罐、电控系统、集水箱、回灌井管材等构成。介绍了回灌设备工作原理、技术特色。通过济南轨道交通 R1 线大杨庄站基坑降水工程的成功应用,验证了该基坑工程降水回灌一体化装置取得的良好环境效益和社会效益。

**关键词:**基坑工程;降水;回灌一体化装置;电控系统

**中图分类号:**TU753 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)11-0065-07

## Development of integrated apparatus for foundation pit dewatering and recharge

HUANG Xue<sup>1,2</sup>, ZENG Chunpin<sup>1,2</sup>, GAO Yang<sup>1,2</sup>

(1.801 Hydrogeology and Engineering Geology Brigade, Shandong Provincial Bureau of Geology & Mineral Resources, Jinan Shandong 250014, China;

2.Shandong Provincial Geo-mineral Engineering Exploration Institute, Jinan Shandong 250014, China)

**Abstract:** In order to ensure that the recharge water in the foundation pit dewatering project meets the water quality requirements of the spring groundwater system in Jinan, an integrated dewatering and recharge apparatus for foundation pit projects has been developed. The apparatus consists of two parts: recharge engine and water collection tank. The main components are water pump, filter, pressurizing tank, electronic control system, water collection tank and recharge well tubing. The working principle and technical characteristics of the recharge apparatus are introduced. Through the successful application in the foundation pit dewatering project of Dayangzhuang Station on Line R1 of Jinan Rail Transit, the integrated dewatering and recharge apparatus for the foundation pit project has achieved good environmental and social benefits.

**Key words:** foundation pit engineering; dewatering; recharge and recharge integrated device; electronic control system

## 0 引言

济南是泉水历史文化名城,泉水保护越来越受到重视<sup>[1]</sup>。按照济南市政府“加快科学发展、建设美丽泉城”的工作部署,为确保建筑基坑工程及周边环境安全,切实做好节水保泉工作,在建筑基坑工程中需要进一步加强截水帷幕、回灌等技术应用工作。目前基坑降水工程应用的回灌设备比较单一,自动化程度不高,还没有成套、系统化的一体化回灌装置用于基坑降水回灌,基坑降水工程中多采用利于水

的重力自然渗漏方式进行回灌;虽然部分单体回灌设备能够实现加压回灌的功能,但操作性差和无法准确调整回灌参数,回灌效果不佳;因济南泉域地下水系统的独特性,普通的回灌技术不能达到补给泉域地下水系统的水质要求,无法达到保护泉水环境的目的<sup>[2-8]</sup>;采用先进的集水沉淀箱及全自动清洗过滤器对基坑排水水质进行过滤,达到净化水质的目的,使回灌水质符合环保要求。为了配合济南市政府的工作要求,重点解决济南轨道交通建设基坑

收稿日期:2018-11-12; 修改日期:2019-08-21 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.11.012

作者简介:黄薛,男,汉族,1973 年生,研究员,注册岩土工程师,一级建造师,建筑工程(岩土工程)专业,从事工程地质、水文地质、岩土工程相关技术研究工作,山东省济南市经十路 13632 号,1037719588@qq.com。

引用格式:黄薛,曾纯品,高扬.基坑工程降水回灌一体化装置研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):65-71.

HUANG Xue, ZENG Chunpin, GAO Yang. Development of integrated apparatus for foundation pit dewatering and recharge[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):65-71.

降水工程中的回灌问题,有效保护泉水环境,我们研制了一套基坑工程降水回灌一体化装置。

### 1 设备结构组成

研制的降水回灌一体化装置主要由回灌主机和

集水箱两部分组成,见图1、图2。各组件由管件阀门连接固定在整体底座上,形成降水回灌一体化装置;排污口集中排放,设备整体安装,便于运输,防雨防尘,也可以安装于集装箱内,更适用于野外作业。降水回灌一体化装置主要由以下几个组件构成:

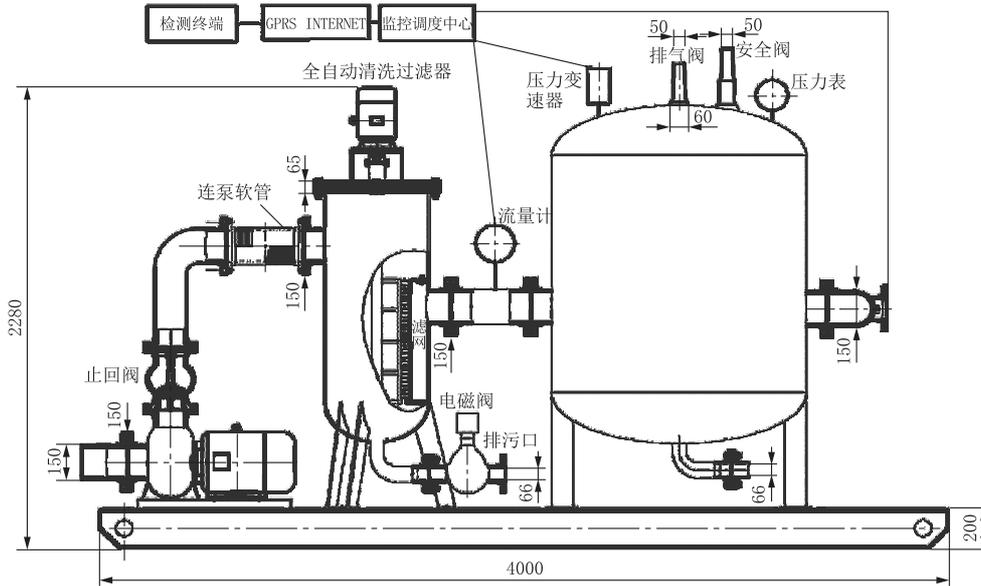


图1 回灌主机示意图

Fig.1 Schematic diagram of the recharge engine

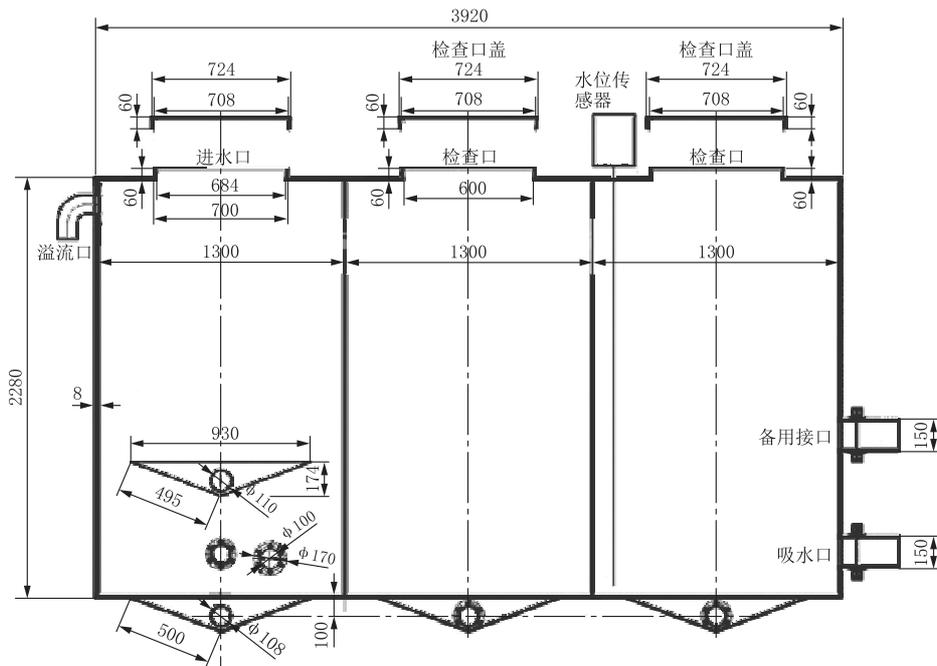


图2 集水箱立面示意图

Fig.2 Diagram of water collection tank elevation

(1)水泵。水泵的选择应充分考虑基坑的总排水量,基坑涌水量受地质条件、水位降深和季节影响

大,基坑抽水会随着时间的增加而减少,后期达到相对稳定值,初期抽水量一般是稳定值的4倍。为保

证水泵工作的连续性和经济运行,根据济南市地下水特点及基坑降水施工要求和多年施工经验,选用流量  $60\sim 100\text{ m}^3/\text{h}$ 、扬程  $60\text{ m}$  的水泵;也可以采用具有变频功能的水泵,实现流量压力自动控制。

(2)过滤器。过滤器的选择应符合国家对取水回灌水质的要求,避免二次污染及堵塞回灌井滤水管。选用城市供水中级过滤器,电动压差全自动清洗(采用进出水压差或时间控制,电动机带动刷版刷洗过滤器,同时排污阀打开排污,清洗时间  $5\sim 30\text{ s}$  可调),实现清洗排污自动控制。

(3)压力罐。采用的压力罐直径为  $1.8\text{ m}$ ,高  $2.2\text{ m}$ ,额定压力  $1\text{ MPa}$ ,安全性能符合国家安全技术规范的基本要求。压力罐用于回灌系统的分流、平衡水量及压力的作用,避免水泵频繁开启。

(4)电控系统。通过采用了先进的变频控制技术,具有软启动,有超载、短路、过压、欠压、缺相、过热等保护功能,可以实现手动和自动化操作功能,以满足不同工况的要求。在异常情况下可以进行信号报警、自检、故障判断等,还能根据水量的高低自动调节回灌水流量。利用 GPRS/MODEM 实现设备的有线或无线远程控制,异地实时检测泵工作状态。监控

中心可远程监测现场设备的状态和运行参数。压力传感器、液位控制器、电磁流量计系统参数实现自动检测。变频器调节电动机的转速,使设备始终处于高效率的工作状态,并对故障进行报警记忆处理。

(5)集水箱。考虑运输方便和使用要求,规格采用  $4.0\text{ m}\times 1.0\text{ m}\times 2.5\text{ m}$ ,箱内有两道上边开口的隔板,能起到阻隔和过滤沉淀泥沙的作用,箱底设排污口,箱盖设检查口,箱体上部设溢流口,水泵吸水口安装滤网保护水泵叶轮,水箱内安装水位计。

(6)回灌井管材。回灌井管材有井口管装置、止水套管、桥式滤水管和沉淀管组成。管径一般采用  $\text{O}273\text{ mm}$ ,各管之间采用丝扣连接,井口管装置有高压胶管接头,水位自动检测设备。

## 2 工作原理

基坑降水工程抽出的地下水通过回灌水质处理系统以及水质监测系统水质分析,若符合回灌水质要求,则进入加压集水系统,加压集水系统的集水以定流量、定压力通过回灌井口装置进入回灌井,实现降水回灌的目标;否则,返回到回灌水质处理系统重新对水质进行分析并处理(参见图 3)。

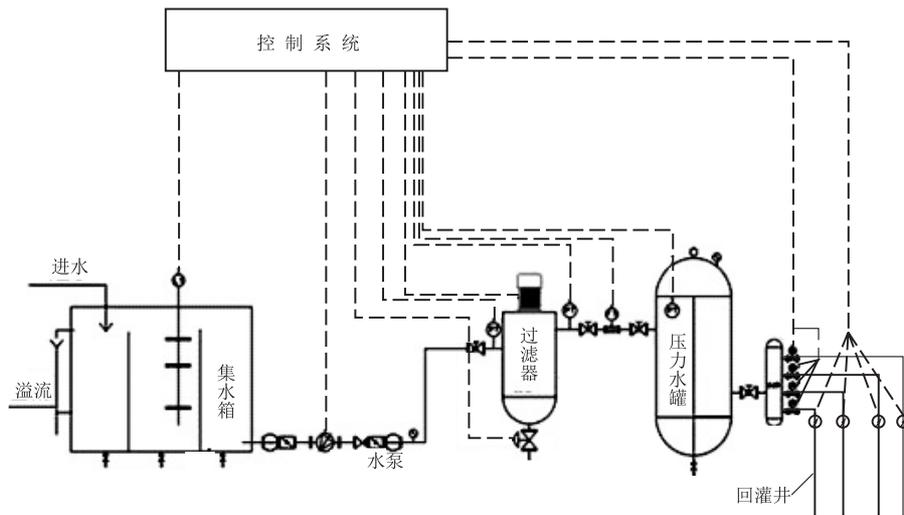


图 3 工作原理示意图

Fig.3 Schematic diagram of the working principle

回灌水质处理系统包括沉淀处理箱和水质处理设备,沉淀处理箱与水质处理设备连接,沉淀处理箱通过第一级加压泵与降水井连接,水质处理设备和沉淀处理箱分别与水质监测系统连接。

水质检测系统包括水质检测仪器、回水阀和进水阀;水质检测仪器分别与回水阀和进水阀连接;水

质检测仪器根据检测的水质是否合格分别控制回水阀和进水阀的开闭;进水阀设置在水质监测系统与加压集水系统的连接管路上,回水阀设置在水质监测系统与沉淀处理箱的连接管路上。

加压集水系统包括流量压力调节系统和集水设备,流量压力调节系统与集水设备连接,流量压力调

节系统与井口装置连接,集水设备与水质监测系统连接。流量压力调节系统包括流量压力调节装置以及与其分别连接的流量表和压力表;在流量压力调节装置与压力表的连接管路上设置传感系统。

井口装置包括回灌通道、回扬通道和排气阀、回灌阀门和回扬阀门,其中,排气阀设置于井管上,用于控制井管内空气,回灌阀门设置于回灌通道上端,回扬阀门设置于回扬通道上端;回灌通道和回扬通道均连接井管。

回灌井包括井下部件及防护层,其中,井下部件包括从上至下依次相连的井管和滤水管;井下部件与井口装置连接,防护层包括双层止水层、隔水固定层和双层过滤层,双层止水层设置于井管外侧,双层止水层的外侧设置有隔水固定层,滤水管外包括双层过滤层,滤水管下端设置有泵室,泵室内设置有回扬潜水泵。

回扬潜水泵设置于距离回灌井井底 0.3~0.7 m,充分将堵塞悬浮物排出,保证回扬通过井管直接到达井口部件。

### 3 技术特色

研制的基坑工程降水回灌一体化装置通过压力控制系统、净化过滤系统、回灌分流系统、自动监测系统、智能电控系统等五部分协调工作,实现自动化控制管理,达到基坑降水与回灌一体化,减小基坑降水对周边环境的影响。其技术特色如下:

(1)水质净化。基坑工程降水回灌一体化装置充分考虑到回灌地下水水质的要求,通过净化过滤系统,实现水质净化功能,确保地下水不受回灌水污染。净化过滤系统包括集水沉淀箱(图4)和全自动净化过滤器(图5)两部分组成,通过集水沉淀箱的



图4 集水沉淀箱  
Fig.4 Precipitation tank



图5 全自动清洗过滤器  
Fig.5 Fully automatic cleaning filter

自动沉淀排污功能和全自动净化过滤器的净化过滤功能,实现水质净化的要求。

(2)压力控制。压力控制系统有手动和自动两种模式,自动模式下,压力控制系统可以根据参数设置以及自动监测系统的反馈结果,根据回灌压力的大小,自动控制回灌量,从而实现某个压力下的稳定回灌。当回灌量较小时,回灌压力相对较小,当回灌量较大时,回灌压力响应增大,通过压力控制系统的自动协调,可以根据回灌量的大小实现有压和无压的一体化,使回灌效率增大。

(3)回灌分流。基坑降水通过集水总管汇集到本装置内,经过水质净化、加压等处理后,可以通过回灌总管连接到多个回灌井(图6~8),使回灌井及回灌水均匀分布,不至于使某一区域地下水位过度上升或压力过大,从而对该区域的地层结构造成影响。



图6 回灌分流器  
Fig.6 Recharge shunt



图 7 井口分流  
Fig.7 Wellhead diversion



图 8 井口安装  
Fig.8 Wellhead installation

(4)自动监测。通过自动监测系统,基坑工程降水回灌一体化装置可以实现自动监测功能(图 9、10)。自动监测的主要内容有回灌量、回灌速率、地下水水位变化、回灌压力、设备故障等,以上内容不但可以自动存储于设备内,而且可以自动上传到云端控制系统,实现远程监测。



图 9 水位监测  
Fig.9 Water level monitoring



图 10 流速、流量监测  
Fig.10 Velocity and flow monitoring

(5)智能全过程控制。基坑工程降水回灌一体化装置可根据自动监测系统反馈的数据,通过智能电控系统(图 11、12),实现智能自动化控制,包括水泵的开关、回灌压力的调整,水泵转速的调整,全自动净化过滤系统的开关等。通过智能电控系统,能够保证降水环保回灌装置的运行在一个稳定、可视、可控的状态下,实现降水与回灌一体化,有压与无压的一体化。



图 11 智能电控箱  
Fig.11 Intelligent electronic control box

#### 4 工程应用

为了研究回灌效果,在济南轨道交通 R1 线大杨庄站基坑工程降水的过程中采用降水回灌一体化装置进行回灌。大杨庄站位于齐鲁大道与经十西路



图 12 智能电控系统操作界面

Fig.12 Operating interface of the intelligent electronic control system

交叉口,沿齐鲁大道南北向布置。基坑总长约 516.40 m,开挖深度为 16.5~26.0 m,采用咬合桩+内支撑支护止水体系;标准段水位降深约 12.0 m,局部换乘段水位降深约 20.0 m,计算的基坑总涌水量约 15000 m<sup>3</sup>/d。基坑周边环境较复杂,构筑物、地下管线密集。

为研究场地水文地质条件及含水层水文地质参数,确定单井回灌量及回灌速率及回灌对周边环境的影响,选择 H2、H3、H5、H6 进行回灌试验。其中 H3 试验成果见图 13,其回灌量与回灌压力呈线性关系,回灌量随着回灌压力的增加而呈线性增加<sup>[9-12]</sup>。

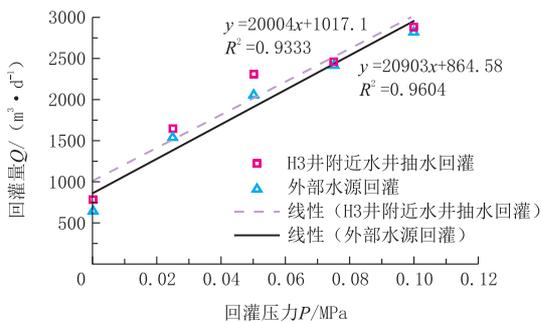


图 13 回灌量 Q 与回灌压力 P 关系曲线

Fig.13 Recharge quantity Q vs recharge pressure P curve

在基坑降水回灌过程中,对基坑两侧的观测井进行水位监测<sup>[13]</sup>,分析评价基坑周边地下水位的变化情况,确保安全。观测井位于基坑两侧外约 6~10 m 范围内。由于基坑分两段开挖、降水,回灌井也随着调整,确保回灌效果。降水与回灌从 2017 年

5月10日开始到2018年2月18日结束,观测历时 287 d,回灌率达到 95% 以上,周边地下水位上升约 0.4~1.1 m,影响范围在 100 m 以内,基坑从南向北右线附近地下水变化见图 14。根据对周边建(构)筑物、管线等变形监测,变形值极小,说明回灌虽然会引起基坑周边地下水位上升<sup>[14-15]</sup>,但幅度较小,影响小,设备得到了成功的应用。

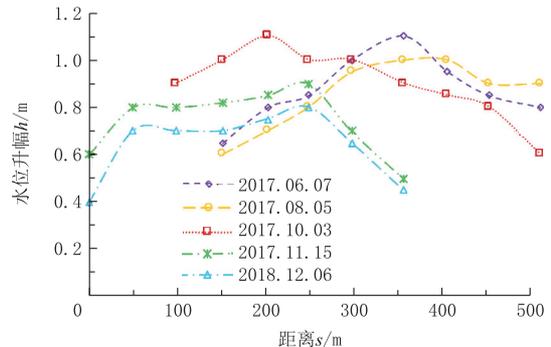


图 14 回灌过程中基坑从南向北右线附近地下水变化曲线图  
Fig.14 Groundwater change curve at the foundation pit from south to north in the recharge process

### 5 结语

研制的基坑工程降水回灌一体化装置可以有效增加回灌水量,并且回灌水质满足环保要求,确保泉域地下水系统补给、径流、排泄的动态平衡,有效减小了工程建设对泉水水位的影响,避免工程建设对地下水环境的影响,达到工程建设与泉水保护相协调的目标。研究成果已获国家专利 5 项,其中发明

专利 3 项,实用新型专利 2 项,具有良好的技术特色。设备成功应用于济南轨道交通 R1 号线大杨庄站基坑降水回灌项目,受到中央电视台、山东电视台、济南电视台、齐鲁晚报等媒体的广泛关注,取得了良好的环境效益和社会效益。

### 参考文献 (References):

- [1] 奚德荫,孔斌,秦品瑞. 济南泉水研究[M]. 济南: 济南出版社, 2017:1-57.  
XI Deyin, KONG Bin, QIN Pinrui. Study on spring water in Ji'nan[M]. Ji'nan; Ji'nan Publishing House, 2017:1-57.
- [2] 魏征骥. 一种地下水回灌促渗方法:201210003853.1[P].2013-12-11.  
WEI Zhengji. A method to promote seepage in groundwater recharge; 201210003853.1[P].2013-12-11.
- [3] 王国富. 一种加压保泉回灌井及方法:104594326B[P].2016-04-13.  
WANG Guofu. A recharge well for pressuring to reinstate spring pressure and the method;104594326B[P].2016-04-13.
- [4] 刘文刚,高攀,李玲利,等. 一种回灌系统: 201721591336.5[P]. 2018-06-22.  
LIU Wengang, GAO Pan, LI Lingli, et al. A recharge system; 201721591336.5[P].2018-06-22.
- [5] 瞿成松,张晓晖,徐丹,等. 基坑地下水回灌系统:201610132537.2 [P].2016-06-01.  
QU Chengsong, ZHANG Xiaohui, XU Dan, et al. Groundwater recharge system for foundation pits; 201610132537.2 [P]. 2016-06-01.
- [6] 郭合龙,张敬强,张玲,等. 一种用于防止地下水回灌井堵塞的装置:201120432424.7[P].2012-05-30.  
GUO Helong, ZHANG Jingqiang, ZHANG Ling, et al. A device for preventing blockage of groundwater recharge wells; 201120432424.7[P].2012-05-30.
- [7] 江涛,郭梓宁,高传玉. 深基坑回灌系统:201720926755.3[P]. 2018-04-17.  
JIANG Tao, GUO Zining, GAO Chuanyu. Recharge system for deep foundation pits; 201720926755.3[P].2018-04-17.
- [8] 汤步展,陶云海,丁惟峰,等. 深基坑降水回灌系统:201721163682.3 [P].2018-04-17.  
TANG Buzhan, TAO Yunhai, DING Weifeng, et al. Dewatering and recharge system for deep foundation pits; 201721163682.3[P]. 2018-04-17.
- [9] 闫峭,马聪,周维博. 地下水回灌过程中水文地质参数的反演[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(7): 88-92.  
YAN Qiao, MA Cong, ZHOU Weibo. Hydrogeology parameters inversion during the process of groundwater recharge[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(7): 88-92.
- [10] 卢士涛,许涛涛,李亮亮,等. 承压砂层深基坑降水和回灌试验的应用研究[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13(2): 658-662.  
LU Shitao, XU Taotao, LI Liangliang, et al. Application of dewatering and recharge test for deep foundation pit in confined sand layer[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2017, 13(2): 658-662.
- [11] 牛磊,张春福,孟祥玉,等. 天津地区浅层地下水回灌试验分析[J]. 施工技术, 2016, 45(19): 46-48.  
NIU Lei, ZHANG Chunfu, MENG Xiangyu, et al. Analysis of shallow groundwater recharge test in Tianjin area[J]. Construction Technology, 2016, 45(19): 46-48.
- [12] 陆建生,潘伟强. 上海某枢纽基坑工程浅层承压水回灌试验分析[J]. 地下空间与工程学报, 2014, 10(4): 810-817.  
LU Jiansheng, PAN Weiqiang. Test and analysis of artificial recharge to the shallow confined aquifer of deep foundation pit in Shanghai[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2014, 10(4): 810-817.
- [13] 李罡. 基坑降水回灌技术在济南地铁中的应用[J]. 施工技术, 2018, 47(1): 79-83.  
LI Gang. Application of foundation excavation dewatering and recharge technique in Ji'nan subway[J]. Construction Technology, 2018, 47(1): 79-83.
- [14] 李佳琦,苑崑. 天津市某深基坑单井回灌试验研究[J]. 海河水利, 2017(S1): 104-107.  
LI Jiaqi, YUAN Wei. Experimental study on single well recharge of a deep foundation pit in Tianjin[J]. Haihe Water Resources, 2017(S1): 104-107.
- [15] 李洪庆. 井点回灌技术在地铁基坑工程中的应用[J]. 山西建筑, 2015, 41(19): 56-57.  
LI Hongqing. Application of well point recharging technology in subway foundation pit construction[J]. Shanxi Architecture, 2015, 41(19): 56-57.

(编辑 王建华)