

注浆及挡墙护砌技术在铁路高路基沉降治理中的应用

宋威武¹, 唐世杰²

(1. 北京铁路局集团有限公司承德工务段, 河北 承德 067000;
2. 内蒙古石彤岩土工程有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 014300)

摘要:唐包铁路塔黄旗东站有5段人工填土高路基出现下沉量100~600 mm的病害现象,严重影响行车安全。采取了向沉降路基上部填土及道砟底部注浆、向站区两边缘沉降区段路肩处增设挡墙、护砌的病害治理措施,施工过程中解决了高路车站区的物料二次垂直倒运、高路车站区路基顶部近水平倾斜注浆管植入、注浆管壁环隙封堵、线轨上注浆管植入等施工难题,达到了病害治理的质量标准和工程目标。

关键词:高路基;人工填土路基;路基沉降;注浆加固;挡墙;护砌;病害治理

中图分类号:U216.4 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2023)02-0108-06

Application of grouting and retaining wall technology in settlement control of high railway subgrade

SONG Weiwu¹, TANG Shijie²

(1. Chengde Construction Section of Beijing Railway Bureau Group Co., Ltd., Chengde Hebei 067000, China;
2. Inner Mongolia Shitong Geotechnical Engineering Co., Ltd., Ordos Inner Mongolia 014300, China)

Abstract: There are 5 sections of artificially filled high subgrade subsiding of 100~600mm in Tahuangqi East Station of Tangshan-Baotou Railway Line, which seriously affects driving safety. In view of such problem, the upper part of the subsidence subgrade was filled with soil, the bottom of the ballast was grouted, the retaining walls were added and stones were layed on the shoulder of the subsidence section at the two edges of the station area. In the construction process, the construction difficulties such as the secondary vertical reverse transport of materials in the high subgrade station area, near horizontal tilt implantation of the grouting pipe at the top of the subgrade in the high subgrade station area, sealing of the ring gap of the grouting pipe wall and the implantation of the grouting pipe on the line rail are solved. The quality standards and engineering objectives of disease control were achieved.

Key words: high subgrade; artificially filled subgrade; subgrade subsidence; grouting reinforcement; retaining wall; protective masonry; disease control

唐包铁路塔黄旗东站位于唐包线K317+230~K319+840区段,分别有5段人工填土高路基出现下沉量100~600 mm的病害现象,尤其是该站段外缘两侧线轨水平漂移频次及沉降量日趋加剧,特别是遇连续降雨使雨水浸泡路基时长增加,极易导致局部路基塌陷并加剧路基沉降,严重影响行车安全。采取了注浆及挡墙护砌技术对高路车站台

沉降病害进行了治理,并取得了良好的效果。

1 高路车站台沉降病害概况

1.1 客观因素对沉降的影响

唐包铁路线穿越燕山山脉约260 km,根据站区多道线路并行区的站台建设要求,沿途站台多选址在山凹间地势较为平坦开阔地段。较为宽展的山

收稿日期:2022-11-21; 修回日期:2023-02-18 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.02.015

第一作者:宋威武,男,汉族,1979年生,工程师,土木工程专业,主要从事铁路桥梁、隧道、路基维修工程的勘察、调研及施工管理工作,河北省承德市双桥区车站路33号承德工务段,81548013@qq.com。

引用格式:宋威武,唐世杰.注浆及挡墙护砌技术在铁路高路基沉降治理中的应用[J].钻探工程,2023,50(2):108-113.

SONG Weiwu, TANG Shijie. Application of grouting and retaining wall technology in settlement control of high railway subgrade[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(2):108-113.

坳成为站台选址的优势,但其地形存在的高低不平是出现高路基站台沉降量加大的客观因素。2015 年开通的塔黄旗东站就是典型的一例,其累计沉降量见表 1,治理现场见图 1、图 2。

表 1 塔黄旗东站站区沉降监测数据

Table 1 Subsidence monitoring data of Tahuangqi station

序号	站区区段	沉降监测值/mm
1	K317+230~275	590
2	K317+360~410	100
3	K318+270~370	550
4	K319+200~380	600
5	K319+780~840	400



图 1 K319+200~380 上行侧路基下沉及注浆挡墙施工照
Fig.1 Construction photos of roadbed sink, grouting and retaining wall in the K319+200~380 uplink side



图 2 K319+200~380 下行侧路基下沉及注浆挡墙施工照
Fig.2 Construction photos of roadbed sink, grouting and retaining wall in the K319+200~380 downlink side

1.2 路基沉降中的行车补救措施

唐包铁路自 2015 年全线开通运行以来,沿线高填方路基和站台区多处相继出现沉降程度不等的病害现象,为维持列车正常运行,采取向沉降线路、站区段补充加厚道砟的措施,恢复线轨运行设计平直度。

2 路基沉降病害治理方案设计

本次唐包线塔黄旗东站路基沉降病害治理共分 5 大段,其治理方案及施工方法相近。本文对 K319+200~318 段病害治理技术进行介绍,图 3、图 4 为路基注浆示意。

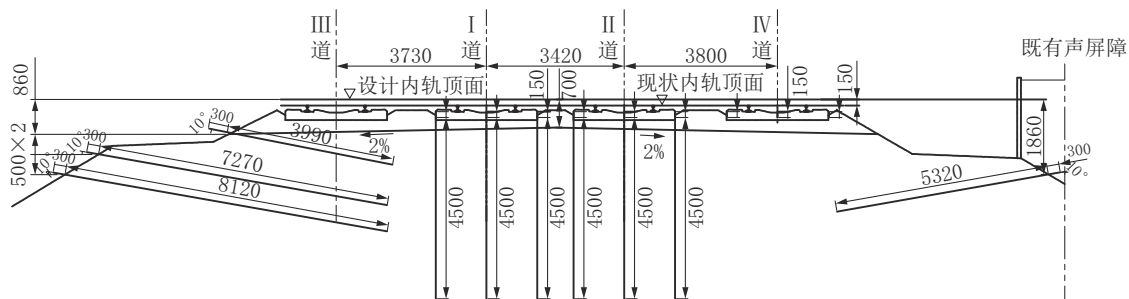


图 3 K319+290 路基注浆断面示意
Fig.3 Corross-section of K319+290 grouting subgrade

2.1 高填土站区路肩边坡上顶部注浆加固

如图 3 所示,站区 K319+290 处高填方路基边坡上顶部下行侧(Ⅲ道线)设计 2 排倾角为 10°、管长分别为 7.27 m 和 8.12 m 的注浆管,上下两排注浆管垂

直间距 0.5 m,注浆管水平间距 1.5 m,且两排呈梅花形布孔。而上行侧(Ⅳ道线)只设计 1 排倾角为 10°、管长为 5.32 m 的注浆管,注浆管水平间距 1.5 m。

从站区路基边坡注浆管设计可以看出,高路基

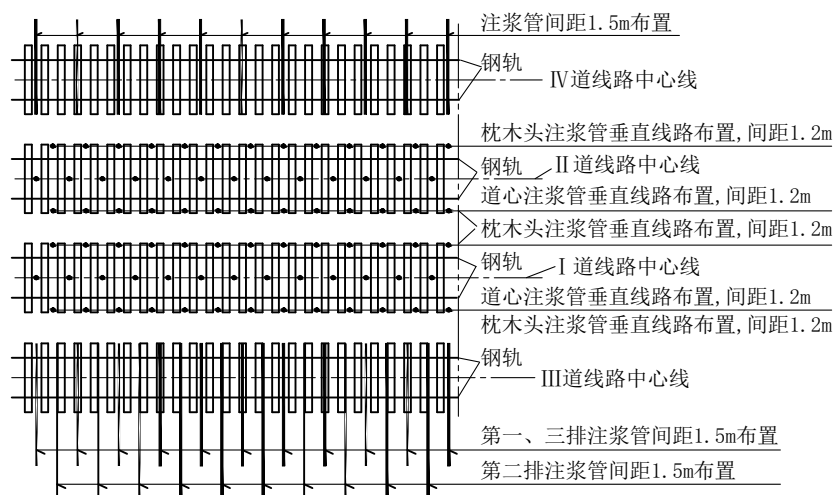


图4 路基注浆平面布置示意

Fig.4 Plane sketch of the grouting subgrade

整个土体本次不做注浆加固。其原因是,高路基(8~18 m高)填土经通车数年的行车重载碾压和震动密实,其土体密实度已接近其设计值,土体内注浆后进一步加固作用不大。本次只在路肩顶部0.5~1.0 m范围内注浆,其注浆影响范围可至路肩面垂向向下2.0 m。注浆的功效主要是:(1)进一步注浆密实路基上部两边缘至线轨间顶部2.0 m宽垂向区路基土体,减小路基顶部垂向2 m范围土体的沉降;(2)路肩顶部0.5~1.0 m范围内的注浆人为地降低了该层边坡土体的渗透系数,从而进一步降低和减轻了因降雨诱发高路基沉降病害的程度^[1-2]。

2.2 站区道线路基注浆加固

向路基土体尚存的孔隙内注水泥浆,进一步减少路基顶部约4 m厚填土土体的孔隙率。详见图3、图4。

注浆管垂直于路基面且每一线轨沿线轨向布设3排,其中线轨中心线上布设1排管间距为2倍轨枕距的注浆管,另2排注浆管分别布设在同一线轨上两轨枕头处,管间距为2倍轨枕距,同一线轨上3排注浆管按梅花状间隔分布。每根注浆管设计长4.50 m。植管管头与道砟平齐,道砟厚度(路基沉降较重处)一般在1.4 m,注浆管植入路基土中约3.1 m。

施工中考虑到道砟层覆盖较厚,注浆管植入如仍采用钻进成孔后植入方法则孔口护筒安装工艺较为复杂,且工时耗费较大,因此采用了分段风镐震击法植管的工法。

从道线注浆管布置原则和注浆管植入路基填土深度可以看出,道线注浆作用有两点:(1)密实线路上部路基约3.5 m厚层段的土体,减小其受载沉降量;(2)道线路基顶部3.5 m范围的注浆密实,更有效地阻止天然降水对下伏路基土体的渗透,从而降低高填土路基的总体沉降病害程度^[3-4]。

道线路基注浆是重力注浆与劈裂注浆共存的注浆形式。

2.3 站区两线路边缘超厚道砟注浆加固

向两线路边缘超厚道砟注浆,图3上行侧道砟内注浆管未作设计是因为隔音挡墙(参见图1)的设置距道砟边缘间距较小而植管困难所致,道砟底部注浆是采用重力充填式注浆完成的向路基两侧上部约0.5 m范围内土体注水泥浆,进一步密实其上部路基土体。注浆方式为重力充填式注浆。其注浆的工程目的是固化因路基沉降而不断增厚的底部道砟层,将其增厚底部道砟注浆固化成路基顶层,恢复运行线路的原设计路基水准高度和道砟设计厚度。道砟底部注浆管长3.99 m,均采用风镐震击法植入,注浆泵量100 L/min,压力<0.05 MPa,路肩与道砟底相交处设注浆挡板并分层次由道砟底面逐层注高浆液面至新做路肩面高度,保证列车正常运行^[5-7]。

2.4 路肩加设混凝土挡墙及护砌

路基下沉后采用加厚道砟维持线路运行,站段内两外侧线轨Ⅲ道线、Ⅳ道线水平侧向位移病害加重。其原因是道砟增加厚度超量,加之列车行车震击作用,道砟向线轨外侧坍移所致。因此超厚道砟

须用水泥浆固化使其恢复道砟设计厚度,即下部已固化道砟人为地变成坚固的路基,同时将沉降的路

基新作混凝土挡墙并平齐于道砟注浆面高度,形成新的混凝土路肩。详见图5。

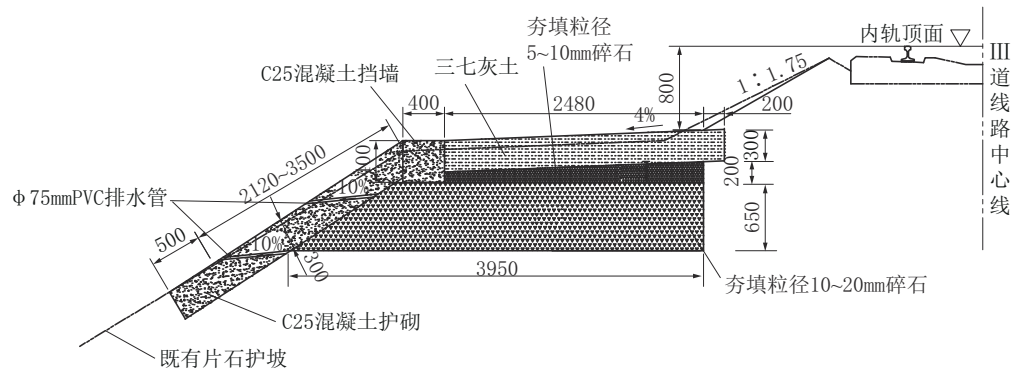


图5 III道线边坡护砌断面

Fig.5 Cross-section of track III slope protection

路肩因沉降需增补的主要工程是:(1)嵌入式浇筑宽度40 cm、高度等高于道砟注浆面高度的C25混凝土挡墙;(2)浇筑上缘与挡墙相接下缘覆盖原有沉降路肩拱顶20 cm厚的C25混凝土护砌;(3)夯填挡墙与道砟间增补新路肩的碎石、三七灰土,使其成为新做路肩。

3 路基沉降病害治理施工技术

线轨面(Ⅲ、Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ线轨)工程作业时间均须在“天窗点”内进行(“天窗点”即是无列车通行条件下的线路维修时区)，“天窗点”每隔1~2天安排一次,每次约5 h。路基坡面处可在铁路安全监护人员的防护条件下白班进行施工。

3.1 站区内路基顶部段两侧注浆

因站区内病害路基填土高度在8~18 m范围,注浆孔钻机无法稳固安装,故采取如下工艺措施。

3.1.1 注浆孔的施工及安装注浆管

站区路基两侧上缘处(如图3、图4所示)下行两排和上行单排注浆管的植入较为复杂且难度较大,主要工作是:(1)因路基填土高度达18 m且坡角近40°的坡上缘处无法安装钻机,施工前需沿路基钻孔上缘处搭设钢管工作平台;(2)在工作平台上安装QZJ-100D型轻便钻机,按注浆管下垂10°倾角钻凿注浆孔;(3)安装注浆管并封堵管口1 m段管壁环状间隙。

3.1.2 制浆与注浆

站区路基底处设置制浆站并安装注浆泵,制浆设备是自制的水泥浆搅拌筒,注浆泵是吉林-100型

泵与改装无级电磁调速电机组合而成,其注浆泵量可在0~100 L/min范围内无级调节。

注浆工艺参数控制如下:

(1)多次用溢浆法封堵孔口1 m封堵段管壁环隙,间歇停注后彻底清洗注浆管内储留浆液,保持注浆管通畅,便于后续注浆顺利进行。

(2)采用PO42.5普通硅酸盐水泥制成水灰比为1的水泥浆,按水泥量的0.2%~0.5%加入减水剂亚甲基二萘磺酸钠(NNO);遇路基注入量较大时,以水泥量的1%~2%在浆中加入速凝剂HZC-1。

(3)通常情况下路基土体注入速度控制在40~60 L/min,孔口注浆泵压 <0.25 MPa。可连续注浆4 h。

(4)随着注浆时长和注入浆量的增加,泵压逐渐升高,必须减小泵量以便控制泵压 <0.25 MPa续注,直至注浆泵量 <10 L/min方可终止注浆^[8-11]。

3.2 站区内线轨浅部路基注浆

站区内线轨浅部路基注浆施工均在“天窗点”内进行,其技术措施如下。

3.2.1 注浆管的安装

如图3、图4所示,线上注浆管长4.50 m,施工中采用分两节管接长法并分别用风镐击入注浆管。其底部管长2.5 m,顶部管长2.0 m,两管用自制管箍过度配合级接长。

3.2.2 制浆与注浆

与站区高路基两边坡顶部注浆方法相比,无需封堵管壁环隙1 m段,其它基本相同^[6,12]。

3.3 站区两边缘超厚道砟底层注浆固化

因注浆体是道砟不是路基土,注浆工艺流程及方法变化较大,具体措施如下。

3.3.1 注浆管的安装

如图3所示,道砟内注浆仅在Ⅲ道侧的道砟内设计了注浆工作量,其注浆管长3.99 m,管间距1.5 m,注浆管设置在预注浆面顶部道砟内。

注浆管植入全部采用风镐击入法,注浆管为单根通长,无需截断接长工序。

3.3.2 制浆与注浆

制浆与前述路基注浆的要求相同。注浆仅以重力充填式注浆形式注入道砟内,无注浆压力,泵量100 L/min。注浆终止标准以浆液面平齐Ⅲ道超厚层道砟固化上顶线为准。注浆分次进行,每次连续注浆液面升高值控制在15 cm以下,分次间隔停注时间 $>8\text{ h}$ ^[13-15]。

3.4 挡墙制作及边坡护砌施工

挡墙及边坡护砌是在站区边缘道线超厚道砟注浆完成后进行施工。

参见图5,主要工作内容及工作量是:(1)设计量混凝土挡墙制作;(2)设计量边坡混凝土护砌制作;(3)夯填碎石及三七土。

根据站区交通条件、工程分部工作面及原始地面高差条件,具体采用了如下施工工法:

(1)人工平整护砌坡面及挖深挡墙下卧基槽:按设计图纸尺寸要求挖深护砌坡面20 cm并平整下挖后坡面;下挖路基边缘处挡墙40 cm深基槽。

(2)安装 $\text{O}75\text{ mm}$ PVC挡墙底部通水管并进行挡墙支模加固。

(3)现浇混凝土挡墙,现浇混凝土坡面护砌。

(4)夯填碎石及三七灰土,并按设计要求逐层填筑夯实。

4 沉降路基病害治理施工难点及措施

4.1 高路基站区的物料二次垂直倒运

因站区路基高出地面约15~18 m,高路基两侧均为林地和农田地,站区内填土高路基站台面下有3座箱涵式地方道路相交并从站台面下通过。施工机具及物资全部安装和存放在相交箱涵洞口处,站区高路基顶部所用混凝土及机具材料均须二次倒运。其所用混凝土由混凝土泵供给,碎石及其它材料物料由轨道式“爬山虎”托牵到路基顶面处。整个

倒运工作量大,高差大,倒运效率较低,耗时费工。

4.2 高路基站区路基顶部近水平倾斜注浆管植入

高路基顶部两排注浆管(管长分别为7.27 m和8.12 m,参见图3)的植入难度主要是:(1)植管位置在路基斜坡顶部,且路基填筑高度达15~18 m,注浆孔水平斜深 $>7\text{ m}$,须采用钻机钻注浆孔。(2)路基填土内含有少量不均匀块石,采用普通回转风动排渣钻孔工艺钻进成孔难度大、工效低。

解决如上两个难题的措施是:(1)在注浆孔设计孔位的路基顶部延线上搭设钢管铰架工作平台,在工作平台上安装QZJ-100D型轻便钻机钻进成孔;(2)由于被钻土体有块石存在,采用 $\text{O}60\text{ mm}$ 风动潜孔锤钻进含块石土体以提高成孔效率^[1-2]。

4.3 注浆管壁环隙封堵

本次注浆机理为劈裂式注浆,注浆过程中必须在孔口建立注浆压力,浆液只有在封闭有压腔隙内的压力条件下方能提高注浆效率及注浆质量。对于以钻孔植管工法植入的注浆管,其孔口以下1 m段孔壁环隙尽管采取封堵措施,但在注浆压力作用下管孔环隙及注浆管周围土体仍有浆液窜溢现象。

解决措施:停止注浆并在浆液初凝后终凝前(停注4~6 h)冲洗注浆管内残存水泥浆沉淀于管口之外,其后再次接管注浆。如孔口处不再溢浆且恢复正常注浆压力和泵量即可正常连续注浆,否则须重复孔口止溢浆程序:停注 \rightarrow 冲洗注浆管 \rightarrow 溢浆管壁环隙待凝固 \rightarrow 注浆。直至在管壁环隙封堵处不再窜浆条件下注入足量水泥浆并达到终止注浆条件为止^[5,7]。

浆液窜溢解决彻底与否是保证注浆质量达标的关键^[3]。

4.4 线轨上注浆管植入

由于线轨上植入注浆管长度4.50 m且路基上铺有厚度 $>0.8\text{ m}$ 道砟,以钻进成孔工艺施钻道砟植管孔封堵孔口无法风力出渣并钻进成孔,因此采用了风镐震击法植管工法。施工中有时注浆管头击中路基埋藏块石阻止浆管击入设计管长度。解决办法是采用吊锤反击法起拔上半节(2.0 m长)注浆管并挪换注浆管植入点位重新植管,直到挪位后植管成功为止^[3-4]。

5 结语

唐包铁路线塔黄旗站高路基沉降病害治理历

经2个多月的注浆加固路基、道砟硬化及路肩挡墙制作、路基顶部护砌铺设施工,遇到了多个施工难题,在现场工程技术人员、施工人员共同努力下,经站区现场多次试验确定了解决难题的有效工艺方法。加固工程竣工后经常态化列车运行考证:站区两边缘线路Ⅲ、Ⅳ道砟稳定,不再向外坍塌;该路基高程高差变化小于其允许值,达到了病害治理的质量标准和工程目标。

参考文献(References):

- [1] 孙涛,唐世杰.注浆注浆技术在治理铁路轨道板下沉病害中的应用[J].钻探工程,2022,49(2):153-158.
SUN Tao, TANG Shijie. Grouting and glue injection technology for treatment of railway track plate sinking[J]. Drilling Engineering, 2022,49(2):153-158.
- [2] 唐世杰,陈跃武,李丙奎,等.注浆治理铁路高路基沉降病害效果及提高注浆质量的探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):68-70,74.
TANG Shijie, CHEN Yuewu, LI Bingkui, et al. Discussion on the effects of settlement grouting treatment for high roadbed of railway and the improvement of grouting quality [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(4):68-70,74.
- [3] 张正雄.岩溶坝基帷幕灌浆高注浆量控制措施与效果分析[J].钻探工程,2021,48(7):121-125.
ZHANG Zhengxiong. Measures and effect of high grouting volume control in curtain grouting for karst dam foundation [J]. Drilling Engineering, 2021,48(7):121-125.
- [4] 高英强.迁安市长城金矿I号矿体帷幕注浆工程的施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(6):70-76.
GAO Yingqiang. Curtain grouting at No. I ore body of Great Wall Gold Mine in Qian'an [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(6):70-76.
- [5] 石逊,刘江,李红梅,等.水平分支注浆孔卡埋钻事故处理实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(9):33-38.
SHI Xun, LIU Jiang, LI Hongmei, et al. Treatment of drilling sticking and burial in horizontal grouting laterals [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(9):33-38.
- [6] 赵伟,张跃恒,董振国,等.敏东一矿软岩区地下水注浆治理技术及应用研究[J].钻探工程,2021,48(6):87-94.
ZHAO Wei, ZHANG Yueheng, DONG Zhenguo, et al. Application research on groundwater grouting treatment technology in the soft rock area of Mindong No.1 Mine [J]. Drilling Engineering, 2021,48(6):87-94.
- [7] 苏谦,黄俊杰,白皓,等.铁路站场岩溶地基加固补强技术与效果分析[J].岩土力学,2013,34(3):776-782.
SU Qian, HUANG Junjie, BAI Hao, et al. Reinforcement technique and its effect analysis of karst foundation disease of railway station [J]. Rock and Soil Mechanics, 2013,34(3):776-782.
- [8] 许青海,白宝云,严德金,等.帷幕注浆技术在钾镁盐矿风井病害治理中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(7):84-86,83.
XU Qinghai, BAI Baoyun, YAN Dejin, et al. Application of curtain grouting technology for ventilating shaft disease control in soluble potassium salt mine [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(7):84-86,83.
- [9] 李吉林,李志亮.采用注浆加固法处理盐渍土地区建筑物回填土沉降[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(3):65-68.
LI Jilin, LI Zhiliang. Treatment of backfill subsidence of buildings by grouting reinforcement in saline soil [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(3):65-68.
- [10] 袁超鹏,王胜,吴秋红.水泥-水玻璃注浆在围堰防渗漏浆处理中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):68-71.
YUAN Chaopeng, WANG Sheng, WU QiuHong. Application of cement-sodium silicate grouting in slurry leakage processing of cofferdam seepage control [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):68-71.
- [11] 杨立斌,王国瑞.既有建筑地基注浆加固实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(8):65-68,81.
YANG Libin, WANG Guorui. Practice of grouting reinforcement for the foundation of existing building [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(8):65-68,81.
- [12] 李玉龙.袖阀管注浆工艺在柔性接头地下连续墙施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(5):89-92.
LI Yulong. Application of sleeve valve pipe grouting technology in construction of the underground diaphragm wall with flexible joints [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(5):89-92.
- [13] 裴向军,王文臣,谢俊革,等.SJP水泥浆封堵强涌水钻孔可控注浆工艺技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(5):62-67.
PEI Xiangjun, WANG Wenchen, XIE Junge, et al. Research on the controlled grouting process with SJP cement slurry for plugging of strong water gushing borehole [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(5):62-67.
- [14] 王伏春,刘源,乐应.强岩溶地区动水注浆技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):78-81.
WANG Fuchun, LIU Yuan, YUE Ying. Discussion on dynamic water grouting technique in strong karst area [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(2):78-81.
- [15] 李玉龙,姜玮.双液注浆法在巨厚填土层加固施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(8):70-72.
LI Yulong, JIANG Wei. Application of double-liquid grouting method in consolidation construction of extremely thick fill soil layer [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(8):70-72.

(编辑 荐华)