

注浆注胶技术在治理铁路轨道板下沉病害中的应用

孙涛¹, 唐世杰²

(1. 北京铁路局集团有限公司张家口工务段, 河北 张家口 075000;

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:唐包铁路线白草鞍隧道无砟轨道上行线局部线段轨道板渗水、翻浆,在列车动荷载作用下发生不均匀下沉。对轨道板下沉病害进行了注浆、注胶整治施工:向下沉架空轨道板线拱下0.5 m垂深破碎岩层压注速凝水泥浆以达到密实和固化拱底破碎岩层改善和提高仰拱基底岩石承载能力,向已下沉的轨道板底压注新型高强度发泡树脂4.75[#]双液胶体以提升整体轨道板直至恢复其原位。经注浆、注胶技术处理,该线段垂向下沉量达到了设计稳定值,恢复无砟轨道运载能力。

关键词:无砟轨道;渗水;轨道板下沉病害;注浆;注胶

中图分类号:U216.4 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2022)02-0153-06

Grouting and glue injection technology for treatment of railway track plate sinking

SUN Tao¹, TANG Shijie²

(1. Zhangjiakou Industrial Section of Beijing Railway Bureau Group Co., Ltd., Zhangjiakou Hebei 075000, China;

2. Inner Mongolia Shitong Geotechnical Engineering Co., Ltd., Ordos Inner Mongolia 014300, China)

Abstract: There was water seepage and frost boiling in the track plate at the local uplink of the ballastless track of Baicaoan Tunnel of the Tangbao railway line. Under dynamic loading of trains, the track plate sank unevenly. Railway track plate sinking was treated by grouting and glue injection: The 0.5m vertical depth of the broken rock layer under the inverted arch of the suspended track plate was injected with quick-setting cement slurry to achieve compaction and solidification of the broken rock layer at the bottom of the arch to improve and increase the rock bearing capacity of the base of the inverted arch; and a new 4.75[#] high-strength foamed resin was injected into the bottom of the sinking track plate to lift the whole track plate until it returns to its original position. After grouting and glue injection, the vertical subsidence of the line has reached the designed stable value with the carrying capacity of the ballastless track restored.

Key words: ballastless track; water seepage; track plate sinking; grouting; glue injection

唐包铁道白草鞍隧道无砟轨道上行线局部线段轨道板渗水、翻浆,两线间积水严重,在重载运煤列车频繁运行对无砟轨道长时间的动荷载作用下,导致轨道板局部不均匀下沉。张家口工务段采取临时补救措施:即在铁轨与轨枕间加厚橡胶垫衬以维护和维持该线路的运行。为保证列车运行安全,需要对白草鞍隧道无砟轨道下沉病害进行整治施工。

1 病害概况

1.1 隧道局部积水及其危害

唐包线白草鞍隧道山体内地下水丰富,加之隧道两侧边排水槽因落煤及尘土淤积排水不畅,使道床长时间浸泡在水中,在运煤重载列车运行震击力长期作用下,仰拱底围岩疲劳破坏加剧,碎粒或粉粒状岩石细粒被地下水冲、溶蚀带走,最终导致仰拱底板围岩形成空洞引发轨道板下沉。

收稿日期:2021-08-20; 修回日期:2022-02-14 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.02.021

第一作者:孙涛,男,汉族,1981年生,工程师,桥梁与隧道工程专业,硕士,主要从事铁路桥隧大修工程的勘察、调研及施工组织管理工作,河北省张家口市高新区站前西大街11号。

引用格式:孙涛,唐世杰.注浆注胶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.

1.2 隧道内无砟轨道下沉情况

白草鞍隧道轨道板下沉病害状况见表1。

表1 白草鞍隧道无砟轨道局部下沉情况
Table 1 Sinking situation of local sections of the ballasteless tracks in Baicaoan Tunnel

序号	起点里程	终点里程	整治长度/ m	下沉量/ mm
1	K404+172	K404+184	12	61
2	K405+020	K405+027	7	47
3	K405+881	K405+885	4	31

1.3 轨道下沉临时补救措施

表1所列路段采取维持铁路运行的应急措施是:在铁轨与轨道板间加塞橡胶板以弥补轨道板下沉量,但这种方法所弥补的下沉量是有限的,当加塞橡胶垫厚度 >50 mm时,因轨道固轨螺栓有限长度无法固定线轨,对行车安全造成极大威胁。

2 轨道板下沉整治方案的确定及实施条件

2.1 整治方案的确定

经现场调查后,采用国内较为成熟的注浆加固路基(地基)工艺技术,能完全满足该线路病害治理恢复路基承载能力的质量要求^[1-4]。

参考和借鉴国际上注胶挤密地基土及注胶抬升路基(地基)病害治理实例,在多次铁路路基挤密加固和路面抬升成功施工的基础上,确定采用注胶方案抬升轨道板。

2.2 整治病害的用时条件

铁路线路维修通常是利用行车运营间隔时间经调整后集中某一段时区(天窗点)进行。唐包线为货运线,施工占用“天窗点”定在上午8:00—11:30。日施工时长仅210 min。

2.3 整治病害的施工场地条件

隧道内行车线路数量确定了隧道截面设计尺寸,除蔽车洞有一定空间存放物资及小型施工设备机具外,大型机具设备须“天窗点”内即进施工,到点即出隧道,不影响线路正常运营行车。因此场地条件只允许小型注浆机具和材料进洞施工及存放,注胶机具为车装移动式设备,须动用线路机车及平板挂车在“天窗点”内即进即出隧道进行注胶施工。

3 注浆注胶治理轨道板下沉的机理

3.1 注浆充填仰拱底部围岩孔洞、孔隙

本次白草鞍隧道轨道板下沉治理工程主要工艺之一是加固仰拱底部破碎围岩。从轨道板下沉现象分析认为:仰拱底部围岩在重载列车行车冲击震动荷载作用下和地下水流作用下已形成局部空洞、孔隙,要阻止轨道板继续下沉,必须加固仰拱底破碎围岩,恢复其应有的强度。采取注入压力水泥浆充分充填仰拱底围岩的空洞、孔隙,并根据被注岩体孔隙度的大小合理调整浆液水灰比及速凝剂加入量,达到水泥浆饱和充填仰拱底破碎围岩孔洞、孔隙并水泥浆速凝固化后达到加固仰拱底碎裂岩体的目的,恢复路基承载能力^[5-9]。

3.2 注胶抬升下沉轨道板机理

白草鞍隧道轨道板下沉治理工程主要工艺之二是向轨道板底部充填层顶部接触面间注入高强度发泡树脂4.75[#]双液胶体使其产生各向同性膨胀力顶举轨道板恢复原位。A、B双液发泡剂注入至轨道板与充填层界面时,其产生各向膨胀力可达0.7 MPa,合理设计施钻注胶孔并注入A、B双液高强度发泡树脂4.75[#]就能在其界面处产生多点向上推力,其合力将向上抬升轨道板至设计抬升高度。

4 注浆工艺的实施

4.1 注浆工艺流程及注浆孔布置

注浆工艺流程见图1,注浆孔布置见图2、图3。

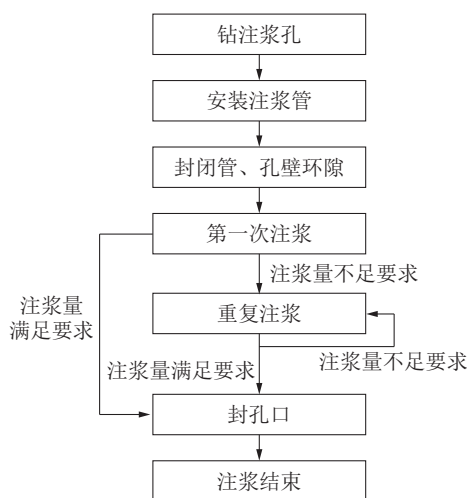


图1 注浆工艺流程

Fig.1 Grouting process

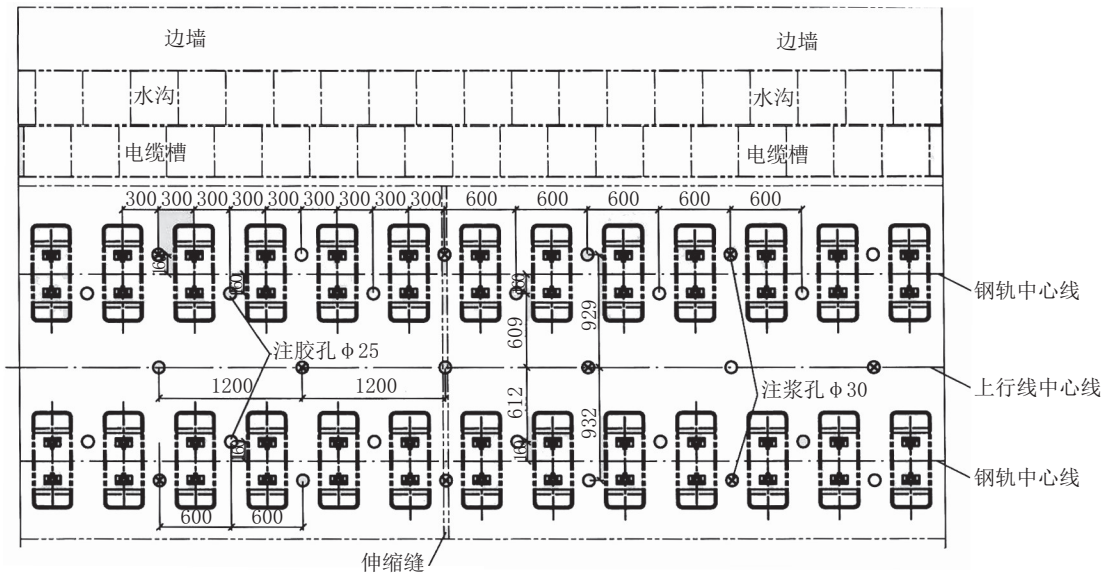


图2 注浆注胶孔平面布置

Fig.2 Layout plan of the grouting and glue injection holes

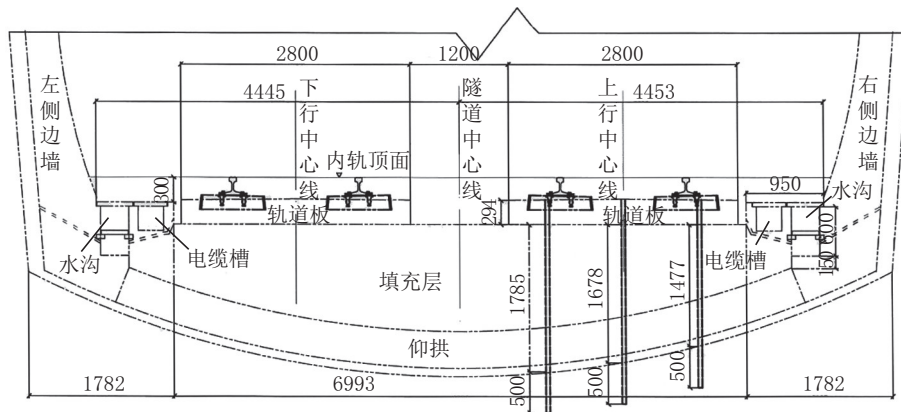


图3 注浆孔剖面布置

Fig.3 Sectional layout of the grouting holes

4.2 注浆孔施工及注浆管安装

采用 $\text{O}30\text{ mm}$ 金刚石薄壁取心钻头及轻型高速钻机钻进注浆孔,其钻深至仰拱底 0.5 m 以深。之后在注浆孔内安装注浆管,注浆管直径 25 mm ,管底 1 m 段钻 $\text{O}4\text{ mm}$ 出浆孔 10 个,钻孔上半 0.3 m 孔段管环隙灌浆封堵^[10-12]。

4.3 注浆工艺参数

4.3.1 浆液水灰比的控制

本次注浆主材料采用 $\text{PO} 42.5$ 普通硅酸盐水泥,制浆用水是隧道排水槽内山泉水,水灰比控制在 $0.85\sim 1.20$,主要取决仰拱下岩石孔隙几何尺寸及孔隙率大小,其次地下水及活动程度也是决定浆液凝

固速度的主要因素。

在孔隙度较大且地下活动水丰富区域注浆时,注浆量大且注浆压力小,此时应立即减小浆液水灰比至 $0.85\sim 0.95$,同时加入水泥量 2% 的速凝剂 HZC-1 。如堵漏效果不佳,可采取间歇加入水泥量 $5\%\sim 10\%$ 的水玻璃(模数为 $1.5\sim 3.0$)。观察堵漏效果以便随时调整 HZC-1 及水玻璃加量,以便达到理想的注浆效果。

在孔隙度较小且无地下活动水区域注浆时,应采用较大水灰比($0.95\sim 1.1$)的水泥浆,并加入水泥量 5% 的减水剂(亚甲基二萘磺酸钠)以改善浆液的可注性和提高注浆量。

4.3.2 注浆泵量、压力的调整

在注浆压力允许情况下(≤ 0.3 MPa),注浆泵量取较大值,以提高注浆效率,具体控制如下。

(1)通常情况下以 100 L/min 泵量初注约 20 min,如孔口压力上升幅度较小(0.3 MPa 以下),则采取减小浆液水灰比至 0.9 以下并续注观察:如泵压上升但在注浆允许范围内,可持续注浆;随注浆时长及注浆量增加泵压逐渐升高,要维持泵压 0.3 MPa 以下须降低注浆泵量,直至降低至 10 L/min 以下即可终止注浆。

(2)注浆漏失严重,减小浆液水灰比至 0.85 及加速凝剂 HZC-1,如止漏效果不佳时,可适量加入水玻璃混合浆液试注,保持泵压 0.3 MPa 以下,如孔口压力逐渐升高可逐步减少水玻璃加入量并持续注入混合浆液,直至注浆量 < 10 L/min 即可终止注浆。

(3)当仰拱底被注岩体孔隙率较小时,注浆泵量控制在 30~50 L/min,孔口压力控制在 0.3 MPa 以下,应适当加大浆液水灰比至 0.9~1.2,并加入减水剂(亚甲基二萘磺酸钠 NNO),采取多次间歇式注浆法(间歇时间 5 min)续注,直至注浆量 < 10 L/min (注浆压力达 0.3 MPa)方可终止注浆^[13-16]。

5 注胶工艺的実施

5.1 注胶流程及注胶孔布置

注胶流程见图 4,注胶孔布置参见图 2。

5.2 注胶孔的施工

采用 $\varnothing 25$ mm 金刚石全面钻头钻进成孔,钻至设计深度 344 mm(穿透轨道板并加深至充填层 100 mm);之后安装注胶封口栓塞,封口栓塞用锤击法挤压进入注胶孔口。

5.3 注胶抬升轨道板

用注胶车装载注胶使用的全部设备、器材、胶体材料,并由铁路平板机车牵引至注胶施工线段,注胶双液泵工作参数为:单液泵量 35 L/min,注胶额定压力 3.0 MPa。接好压胶枪与注胶栓塞后即可开始注胶抬升下沉轨道板。注胶抬升轨道板施工要点如下。

5.3.1 安装注胶管及注胶栓塞

注胶孔内导胶管低端应插至轨道板注胶孔底部,使 A、B 组分胶按 1:1 比例混合体直接进入轨道板底与充填层接触面处,注胶栓塞与导胶管连接后

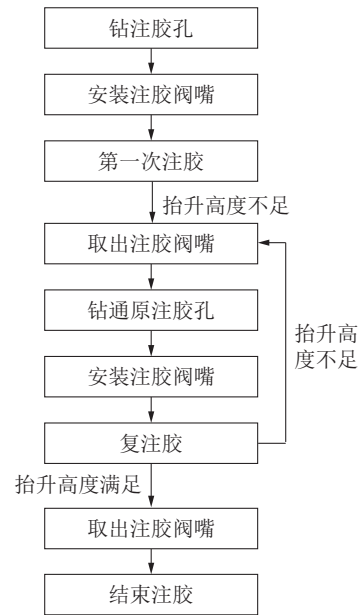


图 4 轨道板注胶抬升流程

Fig.4 Glue injection process for lifting the track plate

一次性植入注胶孔内,注胶栓塞靠静压挤入注胶孔内,由此挤压结合而产生摩擦抗拔力平衡注入胶体膨胀向上的顶力。

5.3.2 注胶时长与频次

注胶抬升轨道板注胶时长和频次应以短时多次掌握为好,通常 5~10 s/次,并根据轨道板抬升值适当增加注胶频次,频次间隔时长 < 5 s。

5.3.3 修复注胶孔及复注胶

在设计抬升垂距较大或多次注胶续注失败的情况下,须进行注胶孔的修复,即取出注胶栓塞并重新钻透注胶孔内固化胶体,再次安装导胶管及注胶栓塞进行多次重复注胶。

5.3.4 抬升观测及终止注胶

注胶前要在相邻稳定线点选定水准仪观测点并安装好观测用电子水准仪,专人及时观测轨道板抬升高度,达标后立即停止注胶并用 M30 水泥砂浆封堵孔口。

6 病害治理中的难点及对策

6.1 注浆孔钻孔深度的确定

要使注浆质量达到满意效果,注浆钻孔深度除设计参数要求外还须在施工中选择 5% 的钻孔加深探测验证注浆层厚度,先行施工探测孔以确定轨道板下覆岩层破碎程度及垂直深度,并以探测孔获取

资料确定最终注浆孔钻深。

6.2 注浆窜(漏)浆量较大及浆液可注性的调整

由于轨道板下覆岩石裂隙发育及岩石局部破碎及充水的流动性,对注入水泥浆溶蚀作用影响较大,施工中须采用帷幕注浆的顺序和合理的双液注浆工序和工艺。双液注浆的比例要根据注浆漏失严重程度现场合理调整。其调整规则是:使调整后的水泥、水玻璃混合浆体的可注性呈容易至不容易渐变规律,由纯水泥浆注入逐渐改变为水玻璃含量较多的双液注浆体。这种浆体流动度人为地渐变操作过程是破碎围岩特别是充有动水破碎围岩注浆固化的有效方法,它具有固化路基强度较高、操作容易、经济实用的特点。

6.3 注胶孔布置密度的确定

轨道板的下沉是随仰拱及充填层整体一同下沉的,而轨道板的抬升过程仅仅是轨道板与充填层间多处注胶分别抬升,其充填层及下部结构体保持下沉原位。抬升轨道板是由注入A、B胶(高强度发泡树脂4.75[#])双液混合后产生化学反应其体积膨胀产生各向同性力作用的结果所致。因此,轨道板质量越大,向上抬升力越大,注胶孔布置密度越大。本次注胶孔密度经施工效果验证较为合理经济。

6.4 轨道板抬升垂高与注胶的频次

注胶抬升轨道板的垂直向上推力是由轨道板与充填层间注胶形成封闭空间后并A、B胶(高强度发泡树脂4.75[#])混合膨胀力产生的各向同性力作用于轨道板底面进而推升轨道板上位移,这个位移量是有限不等量(一般小于20 mm/次)。因此,注胶的频次是由轨道板抬升总量决定的,抬升总量越大,注胶频次越多。目前,抬升总量在100 mm内可采用注胶工法抬升轨道板并注入胶体作为永久充填受力层使用。

7 结语

唐包线白草鞍隧道局部线段轨道板下沉整治工程已经历近2年通车运行,在线路工人正常维护下该段路基运行正常、稳定。本次注浆、注胶治理轨道板下沉病害工艺是张家口工务段引进国外整体设备(注胶车、注胶机)、注胶材料进行治理病害的先例,施工实践证明,注胶抬升轨道板的工程效果良好,注胶效率较高。但注胶材料设备较重,需平板车及机车牵挂装运配合注胶施工。治理轨道板下沉病害所

需机车进出频次较高,治理费用也较高。

该工艺方法科学先进,在治理下沉物体抬升复位、封闭注胶柔性体复原等方面是有效实用的。此工艺应进一步总结优化,提高其工艺水平并扩大其应用范围。

参考文献(References):

- [1] 唐世杰,陈跃武,李丙奎,等.注浆治理铁路高路基沉陷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.
- [2] 赵峰,唐世杰.双液静压注浆在丰沙线35号桥卵漂石地层的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):60-63.
ZHAO Feng, TANG Shijie. Application of two-fluid static pressure grouting in boulder bed[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(5):60-63.
- [3] 杨栋,王军朝,石胜伟,等.藏东南地区冰碛物斜坡钢花管注浆加固试验研究[J].钻探工程,2021,48(8):89-95.
YANG Dong, WANG Junchao, SHI Shengwei, et al. Reinforcement of the moraine slope with steel screen pipe grouting[J]. Drilling Engineering, 2021,48(8):89-95.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 王荣贵,秦飞,汪杰.新安县引咤涧隧洞工程小导管注浆技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):82-86.
WANG Ronggui, QIN Fei, WANG Jie. Slim pilot pipe grouting technology for the Zhenhe to Jianhe Water Diverting Tunnel Project in Xin'an county[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(10):82-86.
- [7] 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 Engi-

- neering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(5): 62-67.
- [8] 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 Qihong. 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.
- [9] 王伏春,乐应,白江红,等.强岩溶地区主过水通道注浆封堵技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):76-79.
WANG Fuchun, YUE Ying, BAI Jianghong, et al. Discussion of grouting plugging technology for main water channel in strong karst area [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(1):76-79.
- [10] 刘钟森,郭东兴,胡伟,等.闸底井注浆封堵处理实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(7):58-61.
LIU Zhongsen, GUO Dongxing, HU Wei, et al. Practice of grouting sealing for the well under gate base [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(7):58-61.
- [11] 姬中奎.复杂突水条件下矿井注浆堵水技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):61-65.
JI Zhongkui. Grouting and water blocking technology under complex conditions of water inrush in coal mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(5):61-65.
- [12] 杨裕尧,范大明.压力注浆技术在京福客专临湖特大桥岩溶地基处理中应用探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(5):65-68.
YANG Yuyao, FAN Daming. Application discussion of pressure grouting technology in large bridge of karst foundation at Beijing-Fuzhou Passenger Dedicated Line [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(5): 65-68.
- [13] 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.
- [14] 许青海,白宝云,严德金,等.帷幕注浆技术在钾镁盐矿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.
- [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.
- [16] 董建忠,何家趾.双液注浆技术在杭州市天城广场工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(7):46-48,81.
DONG Jianzhong, HE Jiazhi. Application of double liquid grouting in hangzhou tiancheng square [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(7): 46-48, 81.

(编辑 周红军)