

## 袖阀管注浆法加固地基技术的改进与应用

周志军<sup>1</sup>, 何 剑<sup>1</sup>, 彭 帝<sup>1</sup>, 吕大伟<sup>2</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 广东省路桥建设发展有限公司, 广东 广州 510635)

**摘 要:**针对传统袖阀管注浆法的跑浆串浆现象以及在地基中产生明显的挤土效应问题,提出了双阀布袋袖阀管注浆法,即在常规袖阀管外套上高强纺织土工密封布袋,并在外侧固定配有阀门的塑料排水板;结合梅汕高速公路工程现场试验,探讨了双阀布袋袖阀管注浆法的应用对桥台、路基变形及孔隙水压力的影响。结果表明:双阀布袋袖阀管注浆法可以有效控制串浆跑浆现象,注浆间歇期各深度孔隙水压力消散较快,挤土影响范围可控制在 6 m 左右且持续时间相对较短;运营期加固处理工程不宜直接设置塑料排水板。

**关键词:**地基处理;袖阀管注浆法;孔隙水压力;挤土效应;变形

**中图分类号:**U445.55<sup>+</sup>2;TU753.8 **文献标志码:**A

## Improvement and Application of Sleeve-valve-pipe Grouting Method

ZHOU Zhi-jun<sup>1</sup>, HE Jian<sup>1</sup>, PENG Di<sup>1</sup>, LU Da-wei<sup>2</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Guangdong Road and Bridge Construction Development Co., Guangzhou 510635, Guangdong, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of the grout loss and leaking and the soil compacting effect in foundation by the traditional sleeve-valve-pipe grouting method, the bivalve sack sleeve-valve-pipe grouting method was put forward. The improvement of the new method included that high-strength textile seal sack for soil engineering covered the conventional sleeve-valve-pipe, and plastic drainage plate with valve was fixed on the outside. According to the field test on Mei-Shan expressway construction, the effects of the application of bivalve sack sleeve-valve-pipe grouting method on bridge abutment, subgrade deformation and pore water pressure were discussed. The results show that the improved method can prevent the grout loss and leaking, pore water pressures for different depths of grouting holes dissipate fast, and the influence range of soil compacting effect is about 6 m and the duration is short; plastic drainage plate is unfavorable for reinforcement treatment engineering in operational period.

**Key words:** ground treatment; sleeve-valve-pipe grouting method; pore water pressure; soil compacting effect; deformation

## 0 引 言

法国 Soletanche 基础工程公司于 20 世纪 50 年代发明了索列坦修工法,是一种比较先进的注浆施工工艺,并且被广泛应用于国内外土木工程界。中国在引进以后,对索列坦修工艺进行了一系列的研

究和开发,并将之称为袖阀管注浆法。这种方法适用性很强,在砂性土、粉土及淤泥质土等底层的加固效果比较好<sup>[1-9]</sup>。利用袖阀管注浆法来处理道路软基,比碎石桩、换填法等地基处理方法在造价、工期、技术、机械上拥有明显优势,而且它对环境的不良影响也比较小。因此,袖阀管注浆法在高速公路路基

处理中应用比较普遍<sup>[10-12]</sup>。但是袖阀管注浆法也存在一些问题:在施工过程中浆液的扩散无法准确预料导致控制上比较困难<sup>[13-16]</sup>;施工所必须的注浆压力会对地基产生超孔隙水压力,挤土效应明显,可能破坏地基稳定与邻近构筑物的安全<sup>[17-19]</sup>。针对这些不足,笔者在常规袖阀管注浆法基础上,提出了双阀布袋袖阀管注浆法,并在梅汕高速公路的通道桥桥头路段进行了地基加固应用,检验改进的袖阀管注浆法的效果。

## 1 工艺改进要点

(1)在袖阀管外表套上一条高强土工布袋,随浆液一起置入注浆孔内,以便达到控制浆液在布袋范围内、减少串浆返浆的目的。

(2)在袖阀管外布袋周围固定一道土工用PVC排水板,以达到在施工过程中加快消散超孔隙水压力、减少负面影响的目的。

与常规工法的不同在于,本方法设置了土工编织袋和塑料排水板,并安装了阀门,故将此方法定义为双阀布袋袖阀管注浆法。

## 2 工程概况与施工控制要点

梅汕高速公路的通道桥桥头先期采用CFG桩+轻质土回填的方法处理该路段软土地基,但两侧的防撞栏因桥台与路基的不均匀沉降较大而出现了拉裂现象。为了减少该路段通车以后的工后沉降,需要对此路段再次进行地基加固处理。

根据勘察报告,该通道桥桥头路基处于深厚的高压缩性软弱层地段,厚度高达13 m。典型地层分布情况描述如下:路基以下0~7 m为回填花岗岩风化残积土;7~22.5 m为饱和流塑状态淤泥;21.5 m以下为强风化花岗岩。路基下卧软弱土层含水量极高,具高压缩性。土的性质详见表1。

表1 路基下卧软弱土层的性质

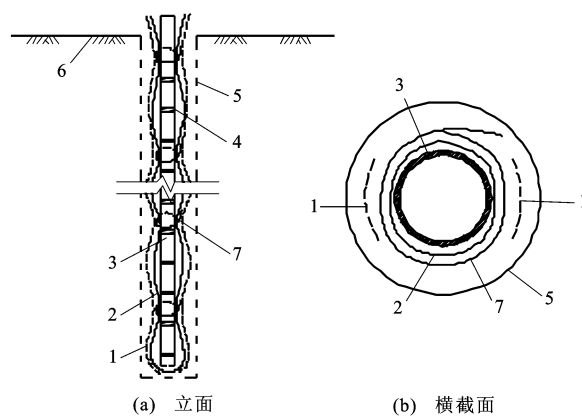
Tab. 1 Properties of Weak Subsoil for Subgrade

土的类型	路堤填土高度/m	最大埋深/m	质量含水量/%	孔隙比	压缩系数	压缩模量/MPa
淤泥质土	7.0	15.0	75	1.94	1.83	1.67

高速公路运营期间,采用大面积开挖并进行复合地基处理在经济上很不合理,因此,最终选择袖阀管注浆法来进行加固处理该路段的下卧软弱土层。依托此工程,笔者采用改进的袖阀管注浆法(即双阀布袋袖阀管注浆法)进行地基加固,并对该方法的效果进行检验。

因施工现场来往工程车辆多,注浆施工顺序总体安排为:0#桥台路段左幅、1#桥台路段左幅、0#桥台路段右幅、1#桥台路段右幅。为防止注浆挤土推移桥台和一字墙,注浆顺序从桥台向路基方向推进,且采用隔行跳孔、分次注浆的方式施工,严禁全部钻孔后再集中注浆。

(1)制作双阀布袋袖阀管:将纺织布缝制成与设计深度要求一致的布袋,体积约为注浆体积的0.6~0.9倍,布袋的抗拉强度和缝合强度均不小于 $15 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 。把布袋套在袖阀管上,并沿着袖阀管长度方向每1.5 m间距用细铁丝牢固绑扎在管壁上,在达到设计注浆压力前不可打开;再在外侧绑扎2根塑料排水板。双阀布袋袖阀管立面图和横截面图见图1。



1—塑料排水板;2—布袋;3—袖阀管;4—橡皮阀;5—钻孔;  
6—地面;7—细铁丝扣

图1 双阀布袋袖阀管

Fig. 1 Diagram of Bivalve Sack Sleeve-valve-pipe

(2)注浆施工:钻孔直径不小于10 cm,孔中分节插入双阀布袋袖阀管,布袋的顶端袋口用粗铁丝绑紧。其设备与常规注浆设备无异,每两个相邻细铁丝扣之间为一个注浆段。注浆次序自下而上,浆液在布袋的限制作用下进行压密注浆;待注浆量超过设计值的60%时即拔管进行下一注浆段施工,并在8 h内实施二次补浆,补浆量为设计值的剩余值<sup>[18,20]</sup>(图2)。

## 3 桥台、路基变形及孔隙水压力

### 3.1 监测点布置及数据观测要求

保证施工过程中桥梁结构物的安全十分重要,因此,在施工中进行了一系列监测,并进行实时反馈和调整。施工开始前,在两个桥头观测点依次设置深层位移测斜管、孔隙水压力计、沉降观测点和桥台裂缝观测点。另外,表面沉降观测点还可在加固施工完成后继续观测,用于评价注浆加固效果。详细布置见图3。

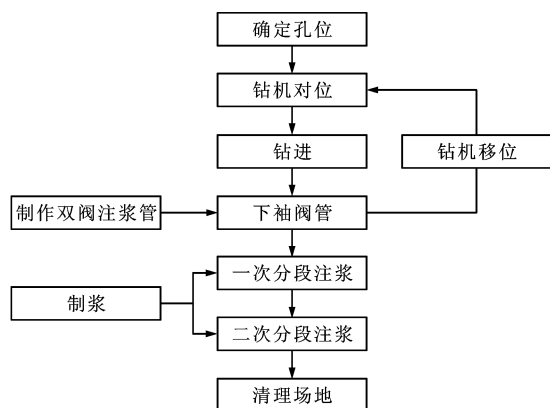


图2 双阀布袋袖阀管注浆法施工工艺流程

Fig. 2 Technical Process of Construction by Bivalve Sack

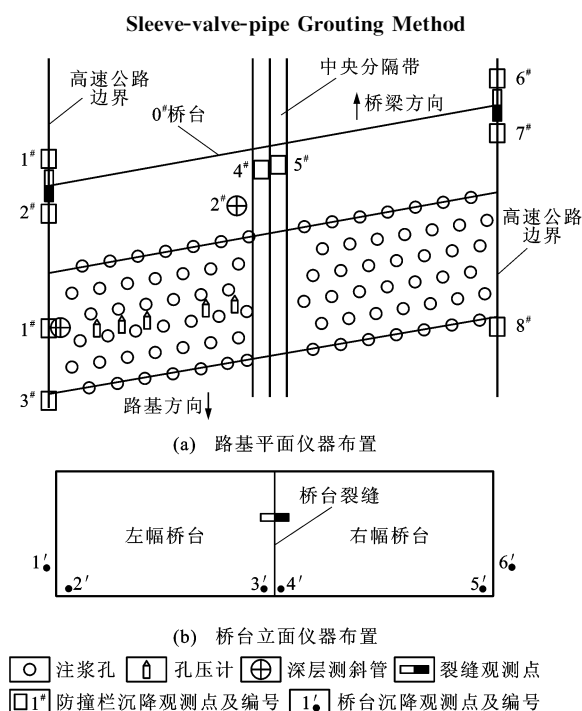


图3 监测仪器布置

Fig. 3 Arrangement of Monitoring Instrument

对于深层侧向位移观测点,在注浆期间的每天早上注浆前和下午注浆后各观测一次;对于孔隙水压力的布置,沿竖向分别在不同深度土层设置孔压计,并按照规定实时记录数据。由于桥头两侧对称,笔者仅对0#桥台路段注浆过程的观测数据进行分析。

### 3.2 深层侧向位移观测数据分析

图4、5分别为0#桥台外路基中间、左路肩深层位移速率变化曲线。各测点在注浆期间观测的深层侧向位移变化中,最大位移均出现在软土层中间深度位置,变化范围为84.3~104.5 mm,平均为99.4 mm。从观测数据来看,注浆引起的侧向位移相对较大,但据位移速率变化曲线(图6)来看,仅个别时间段位

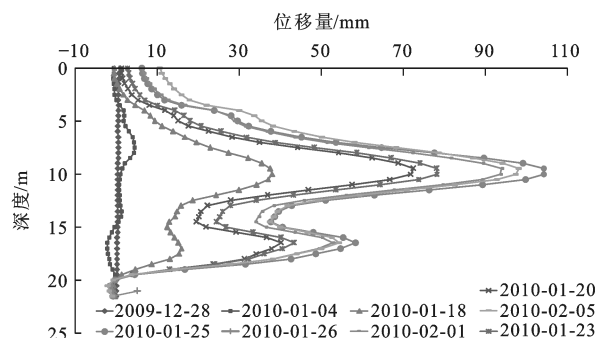


图4 0#桥台外路基中间深层位移的变化

Fig. 4 Change of Deep Displacement in the Intermediate Subgrade near 0# Bridge Abutment

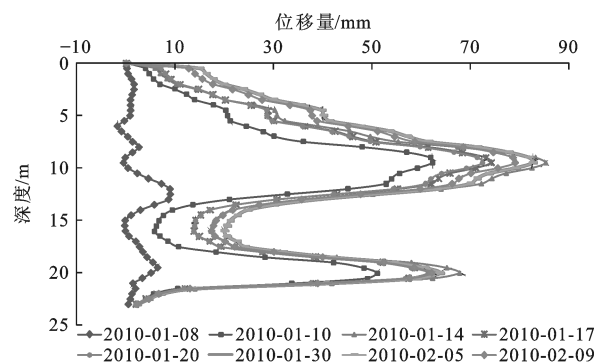


图5 0#桥台外左路肩深层位移的变化

Fig. 5 Change of Deep Displacement in the Left Shoulder near 0# Bridge Abutment

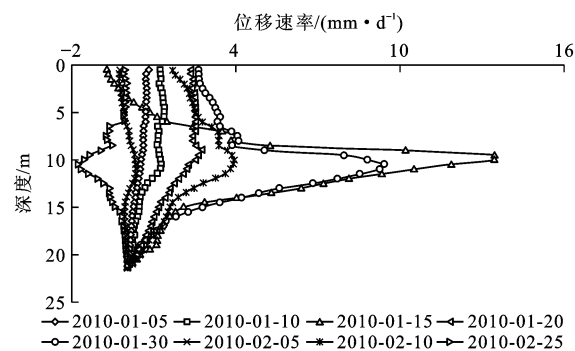


图6 0#桥台外路基中间深层位移速率的变化

Fig. 6 Change of Deep Displacement Rate in the Intermediate Subgrade near 0# Bridge Abutment

移速率较大,且位移速率较大的时间内注浆施工点均接近观测点,最近注浆孔距观测点仅50 cm左右。

图7为注浆孔距离与最大位移的关系曲线。由图7可以发现:注浆对土层产生的最大侧向位移与其距注浆孔的距离成负相关关系;随着距离的增大,产生的最大侧向变形量随之迅速减小。当距离为6 m时,在一个工班时间内,在不足40 m<sup>2</sup>路基上连续注入超过25 t水泥,其最大侧向变形为14 mm。因此,若施工过程控制合理,改进的袖阀管注浆法挤

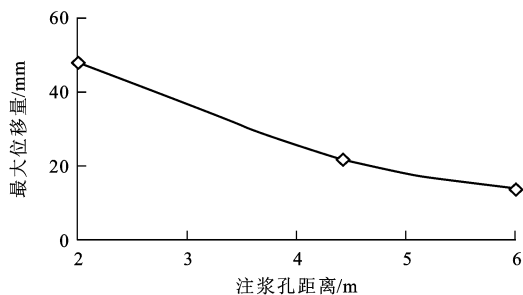


图7 注浆孔距离与最大位移的关系

Fig. 7 Relationship Between Distance of Grouting Hole and Maximum Displacement

土影响可控制在6 m左右。

从图7还可以看出,注浆施工停歇期间侧向变形变小,说明注浆影响范围土体在间歇期发生了收缩变形。在工班间歇期12 h内,土体收缩变形为1 cm左右,约占总变形量的10%。这主要是由于设置的塑料排水板加快了地基土排水速率,超孔隙水压力消散,土体发生回弹。结果表明,改进的袖阀管注浆法挤土作用持续时间相对较短。

### 3.3 孔隙水压力观测数据分析

图8为0#桥台外路基深度8.5、9.5、12.5、19.5 m处注浆过程中孔隙水压力变化曲线。

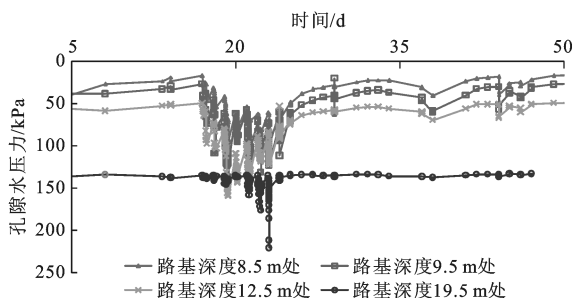


图8 0#桥台外路基注浆过程中孔隙水压力的变化

Fig. 8 Change of Pore Water Pressure During Grouting in the Subgrade near 0# Bridge Abutment

(1)在持续注浆施工开始后的第15~22天,土层中孔隙水压力值先持续增大,幅度达60 kPa;第22~28天,孔隙水压力又逐渐减小,基本恢复到初始状态。这表明注浆过程对土体的挤土作用比较明显,且整体土体消散过程大概需要7 d,单位土体消散过程持续时间短,在1 d以内。

(2)在连续施工期间,孔隙水压力曲线呈波动起伏状态,表明土层各深度范围内超孔隙水压力消散速度快,说明设置的排水板起到良好的排水作用。

图9为路基深度8.5、9.5、12.5 m处不同注浆孔距离所对应的孔压增量。从图9可以发现:注浆对土层产生的超孔隙水压力与其距注浆孔的距离成

负相关关系,随着距离的增大,产生的超孔隙水压力也随之迅速减小;当距离从1 m增加到6 m时,孔隙水压力由50 kPa急剧减小到5 kPa。图9与图7对比结果再次表明,改进的袖阀管注浆法挤土影响可控制在6 m左右。

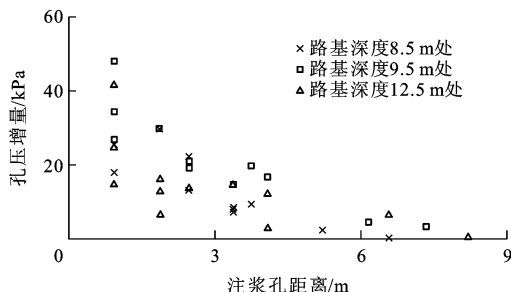


图9 注浆孔距离与孔压增量的关系

Fig. 9 Relationship Between Distance of Grouting Hole and Increment of Pore Pressure

### 3.4 桥台、防撞栏变形

为了掌握桥台、路基两侧防撞栏在注浆期间的变形情况,布置了裂缝和表面沉降观测点,其中桥台1#、6#点设置于路基两侧一字墙墙角,桥台伸缩缝裂缝观测点布置于桥台高度的3/5处。

图10为0#桥台沉降变化曲线。由10图可知:(1)注浆造成桥台有不同程度的抬升(沉降为负值表示抬升),0#桥台右幅抬升约15 mm,左幅相对小一些;(2)一字墙的沉降变化相对较小,在注浆期间主要表现为抬升,注浆后逐渐沉降至原标高;(3)桥台的变形主要发生在相邻路基注浆施工期间,注浆完成后仍发生缓慢抬升变形,但结合深层侧向位移与孔隙水压力变化情况来看,这主要是路基卸载所引起的。

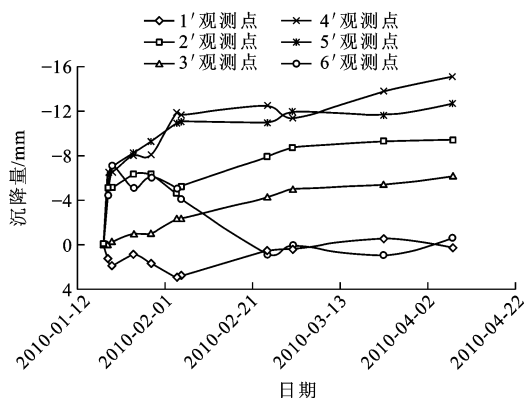


图10 0#桥台沉降变化

Fig. 10 Change of Settlement for 0# Bridge Abutment

图11为0#桥台外路基两侧防撞栏沉降变化曲线。由图11可知:(1)距离桥台最远的加固区外侧



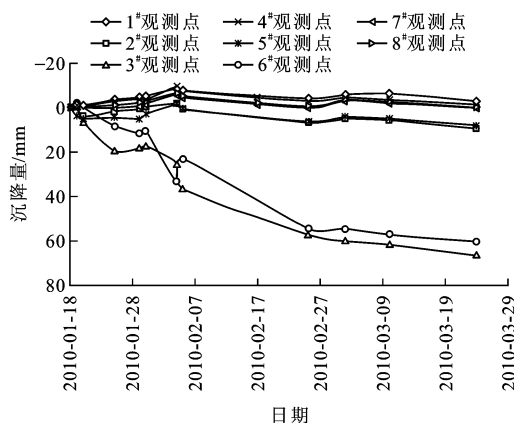


图 11 0# 桥台外路基两侧防撞栏沉降变化

Fig. 11 Change of Settlement of Crash Barriers on the Both Sides of the Subgrade near 0# Bridge Abutment

沉降变化最明显, 0# 桥台左右两端的累计沉降量分别为 66.4 mm 和 60.4 mm; (2) 加固区两侧桥台位置(包括桥台外中央分隔带附近)在注浆期间的沉降变化均较小, 且在注浆期间主要表现为轻微抬升, 停止注浆后缓慢下沉; (3) 注浆结束 30 d 后, 加固区路基端外侧的沉降速率仍较大, 此后才呈现出收敛的趋势。这是改进的袖阀管注浆法设置了塑料排水板, 布袋桩间土的排水固结加快导致的。

在注浆处理前, 对此桥头进行了长达 5 个月的沉降观测, 测点位置布置与注浆期间相同, 观测得到的最大沉降量约为 20 mm, 同样发生在加固区路基端的外侧。总之, 改进的袖阀管注浆法将导致路基沉降速率加快; 对于施工期的加固处理工程, 设置塑料排水板可减少工后沉降, 而对于运营期的加固处理工程, 不宜设置塑料排水板。

## 4 结 语

(1) 提出的双阀布袋袖阀管注浆法极大地改善了注浆产生的挤土效应, 挤土影响范围约为 6 m, 且挤土效应持续时间较短, 在 1 d 以内。

(2) 改进的袖阀管注浆法中设置的塑料排水板不仅可以排除注浆过程中产生的超孔隙水, 还可以排除上部填土荷载产生的超孔隙水和水泥浆液中多余的水, 从而减少土体的含水量, 提高土体强度, 且处理后路基沉降速率加快。因此, 对于施工期的加固处理工程, 设置塑料排水板可减少工后沉降, 而对于运营期的加固处理工程, 则不宜设置塑料排水板。

(3) 注浆对桥梁结构物的影响主要表现为桥台抬升和伸缩缝扩大。为减少注浆施工造成附近结构物的不良影响, 施工进度必须严格控制, 且应按隔排

跳孔的顺序施工。

(4) 改进的袖阀管注浆法对高填方路段的路基沉降、桥台及其他构造物台背等处不均匀沉降以及局部沉降的路基(填挖交界处)都具有较好的适用性。

## 参 考 文 献 :

## References :

- [1] 张家柱. 袖阀管注浆法在杂填土地基防渗加固中的应用[J]. 人民黄河, 2013, 35(11): 3-5.  
ZHANG Jia-zhu. Sleeve Valve Pipe Miscellaneous Fill in the Foundation Seepage Control and Reinforcement [J]. Yellow River, 2013, 35(11): 3-5.
- [2] 聂 鹏, 曲向进, 刘奉侨, 等. 沈大高速公路改扩建工程路基加宽容许工后不均匀沉降指标研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(11): 18-20, 53.  
NIE Peng, QU Xiang-jin, LIU Feng-qiao, et al. Allowable Differential Settlement for Widened Roadbed in Shen-Da Expressway Reconstruction[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(11): 18-20, 53.
- [3] 吴顺川, 金爱兵, 高永涛. 袖阀管注浆技术改性土体研究及效果评价[J]. 岩土力学, 2007, 28(7): 1353-1358.  
WU Shun-chuan, JIN Ai-bing, GAO Yong-tao. Studies of Sleeve-valve-pipe Grouting Technique and Its Effect on Soil Reinforcement[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(7): 1353-1358.
- [4] 周予启, 史春芳, 任耀辉. 袖阀管注浆技术在深圳平安金融中心深基坑工程中的应用[J]. 施工技术, 2013, 42(7): 9-11.  
ZHOU Yu-qi, SHI Chun-fang, REN Yao-hui. Application of Sleeve-valve Tube Grouting Method in Deep Foundation Excavation in Shenzhen Ping'an IFC[J]. Construction Technology, 2013, 42(7): 9-11.
- [5] 赵成江, 徐 恕, 金增芳. 注浆法在公路饱和黄土隧道塌陷区的应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2008, 25(12): 69-72.  
ZHAO Cheng-jiang, XU Shu, JIN Zeng-fang. Application of Grouting Treatment in Subsidence Area of Saturated Loess Tunnel[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2008, 25(12): 69-72.
- [6] 伊志奎. 注浆布袋桩在地基加固中的应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2003, 20(3): 33-34.  
YIN Zhi-kui. Application of Pile Made from Grouted Bags in Consolidating Subsoil [J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2003, 20(3): 33-34.
- [7] 王雪莲. 塑料排水板加固处理软土地基的施工质量控制[J]. 筑路机械与施工机械化, 2010, 27(5): 52-54, 66.  
WANG Xue-lian. Quality Control for Construction of

- Soft Soil Foundation Strengthened with Plastic Drainage Bar[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2010, 27(5): 52-54, 66.
- [8] 李治平. 塑料排水板加固公路软地基施工及质量控制[J]. 筑路机械与施工机械化, 2008, 25(2): 46-49.  
LI Zhi-ping. Highway Soft Foundation Strengthening Construction and Quality Control Using Plastic Draining Bar[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2008, 25(2): 46-49.
- [9] 郑育新. 注浆工艺在采空区路基抗变形治理中的应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2011, 28(3): 56-58.  
ZHENG Yu-xin. Application of Grouting Technology in Deformation Treating of Subgrade in Goaf[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2011, 28(3): 56-58.
- [10] 关键, 许发明, 谭祥韶. 桥台过渡段路基布袋袖阀管注浆施工孔隙水压力变化及侧向水平移位变形规律的认识[J]. 珠江水运, 2013(10): 46-48.  
GUAN Jian, XU Fa-ming, TAN Xiang-shao. Recognition on the Pore Water Pressure and Deformation Rule of Lateral Horizontal Displacement of Sleeve-valve-pipe Grouting Construction in the Transition Section of Bridge Abutment[J]. Pearl River Water Transport, 2013(10): 46-48.
- [11] 朱登元, 管延华, 刘惠忠, 等. 袖阀管劈裂注浆加固粉土路基实验研究[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(8): 1425-1431.  
ZHU Deng-yuan, GUAN Yan-hua, LIU Hui-zhong, et al. Model Tests on Fracture Grouting Reinforcement of Silt Embankment by Using Soletanche Method[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(8): 1425-1431.
- [12] 俞建霖, 曾开华, 龚晓南, 等. 高速公路拓宽工程硬路肩下土体注浆加固试验研究[J]. 中国公路学报, 2005, 18(3): 27-31.  
YU Jian-lin, ZENG Kai-hua, GONG Xiao-nan, et al. Experimental Research on Injection Process of Soil Under Hard Shoulder in Freeway Widening Project[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(3): 27-31.
- [13] 蒋关鲁, 王力伟, 杭红星. 路桥交界处地基附加应力修正计算方法[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(2): 208-218.  
JIANG Guan-lu, WANG Li-wei, HANG Hong-xing. Modified Method for Additional Stress of Bridge-approach Foundation Under Subgrade Load[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(2): 208-218.
- [14] 张民庆, 张文强, 孙国庆. 注浆效果检查评定技术与应用实例[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(增2): 3909-3918.  
ZHANG Min-qing, ZHANG Wen-qiang, SUN Guo-qing. Evaluation Technique of Grouting Effect and Its Application to Engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(S2): 3909-3918.
- [15] 陈志良. 袖阀管注浆工艺在深圳地铁基础加固中的应用[J]. 铁道标准设计, 2005(12): 83-85.  
CHEN Zhi-liang. Application of Sleeve Valve Tube Grouting Method in Shenzhen Subway Foundation Excavation[J]. Railway Standard Design, 2005(12): 83-85.
- [16] 葛折圣, 黄晓明, 张肖宁, 等. 公路桥涵台背回填材料研究现状综述[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(4): 67-73.  
GE Zhe-sheng, HUANG Xiao-ming, ZHANG Xiao-ning, et al. Study Actuality Summary of Backfilling Materials Behind Abutments of Highway Bridge and Culvert[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(4): 67-73.
- [17] 张宝文. 高速铁路软粘土地基压密注浆及劈裂注浆试验研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2010.  
ZHANG Bao-wen. Experimental Study on Compaction Grouting and Fracture Grouting of Soft Clay in the High-speed Railway Foundation[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010.
- [18] 韩金田. 复合注浆技术在地基加固中的应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007.  
HAN Jin-tian. Study on the Complex Grouting Technique in Foundation Reinforce[D]. Changsha: Central South University, 2007.
- [19] 朱彦鹏, 何江飞, 李军. 黄土公路隧道浅埋段管棚注浆支护机理及监测分析[J]. 建筑科学与工程学报, 2011, 28(1): 11-15.  
ZHU Yan-peng, HE Jiang-fei, LI Jun. Support Mechanism and Monitoring Analysis of Pipe Roof Grouting for Loess Highway Tunnel in Shallow-buried Section[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2011, 28(1): 11-15.
- [20] 赵兴伟, 陈知胜. 浅谈压密注浆施工技术[J]. 施工技术, 2013, 42(增): 127-130.  
ZHAO Xing-wei, CHEN Zhi-sheng. Brief Analysis of Compaction Grouting Construction Technology[J]. Construction Technology, 2013, 42(S): 127-130.