

# 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

张中坡<sup>1</sup>, 陈跃武<sup>2</sup>, 李丙奎<sup>2</sup>, 唐世杰<sup>2</sup>

(1. 北京铁路局衡水工务段, 河北 衡水 053000; 2. 黑龙江北方有色建设有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150046)

**摘要:**针对京九铁路衡水工务段局部高路基及桥(涵)台背后高路基出现程度不等的沉陷病害,近2年对该线选择性地进行了约5000延米的静压注浆和重力注浆加固处理,受铁路行车对线轨允许水平沉浮限制,多数高路基注浆量基本正常,但也有局部呈注浆量不足现象。其规律是桥涵台背、护锥体及部分频繁发生塌陷的高路基段注浆量很大,注浆效果良好,基本解决了后续严重再沉陷病害问题;而注浆量很小的高路基段仍需进一步研究工艺措施,增加注入合理的浆量,以彻底治理沉陷病害。

**关键词:**铁路高路基;沉陷病害;静压注浆;重力注浆

**中图分类号:**U416.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)04-0068-03

**Discussion on the Effects of Settlement Grouting Treatment for High Roadbed of Railway and the Improvement of Grouting Quality/ZHANG Zhong-po<sup>1</sup>, CHEN Yue-wu<sup>2</sup>, LI Bing-kui<sup>2</sup>, TANG Shi-jie<sup>2</sup>** (1. Hengshui Track Division, Beijing Railway Bureau, Hengshui Hebei 053000, China; 2. Heilongjiang North Nonferrous Metals Construction Co., Ltd., Harbin Heilongjiang 150046, China)

**Abstract:** According to the variable degrees of settlement of the local high roadbed and the back of bridge and culvert in Hengshui track division of Beijing - Jiulong, static pressure grouting and gravity grouting consolidation were selectively used for about 5000 running meters in these 2 years. By the train operation limitation of rail allowance to the level undulating, most high roadbed grouting volume is normal, but there are part insufficient grouting. It is often seen that the grouting effects are good in the back of bridge and culvert, supporting cone and some frequent subsiding high roadbed with large amount of grouting, which solves subsequent settlement; while the technical process still should be studied for those high roadbed with small amount grouting to treat settlement.

**Key words:** high roadbed of railway; settlement; static pressure grouting; gravity grouting

## 0 引言

新建筑物地基处理和已有建筑物地基加固是岩土工程主要研究及施工对象。国内外已有成熟的工艺方法应用在不同条件下的工程领域并取得良好工程效果,如复合地基采用的各类柔性桩、压(挤)密地基土和水冲密实地基土等方法均能因地制宜地被采用在不同的地基处理中;在已有建筑物地基沉陷特别是不均匀沉陷引起构筑无法正常使用的地基处理中,多采用注浆工法、掏空纠偏工法处理地基不均匀沉陷问题。

铁路路基沉陷治理相当于已有构筑物地基不均匀沉陷的治理,其沉降病害处理是在正常通车条件下进行的,不允许线路有任何拆修恢复过程。因此,京九铁路高路基沉陷病害处理以静压注浆和重力注浆为加固主要工法。

## 1 工程特点

### 1.1 路基高,相对沉降量大

京九线经由河北平原地段基本是高路基,多数与该线相交的其它交通道路均下穿该线,较低的路基相对地面高出3~4 m,较高的路基相对地面高出10~12 m。

### 1.2 原路基填土级配不合理及压实度欠佳

路基填土多为粉质粘土、粉土,该土质在路基填筑过程中未经土料合理级配加之控制最优含水量上的忽视很难达到路基压实度,导致填筑大体积高路基压实度很难达标的后果。除此,该线建设速度快,对路基压实质量的控制不严,加剧了后期自然沉降量过大的病害。

### 1.3 后期维护中的问题

使用中边坡维护与道床排水系统的修复不完全

收稿日期:2012-12-27

作者简介:张中坡(1981-),男(汉族),河北沧州人,北京铁路局衡水工务段桥梁科副科长、工程师,土木工程专业,从事铁路桥梁工程研究、施工和维护工作,河北省衡水市中华北大街92号,zhangzp126@126.com。

到位,经多年降水冲刷和道床由沉陷积水下渗对土路基软化冲蚀,道床下土路基形成渗流通道和隐穴洞,表现为局部路基下沉现象,特别是在连续降雨量较大情况下,因土体软化和冲蚀局部路基发生突然垮塌现象。

#### 1.4 构筑物两侧沉陷严重

桥涵两台背后20~30 m段表观路基沉降更大,台背与护锥填土相通,护锥彻体有程度不等的陷坑。这种现象可谓路桥工程通病,其原因是由于结构的影响对台背后填土压实度严重不足,经多年降水自然密实与冲蚀隐存了较多的不规则孔洞,加剧了沉陷程度。

#### 1.5 施工不能影响行车

处理病害是在正常行车情况下进行的,线路上不允许放置任何工程设备,更不允许中断行车夯填路基。

#### 1.6 施工交通道路

多地交通道路较为方便,但沿铁路线路便道通行较为困难。有的路段施工设备相距注浆段数百米。

## 2 注浆工艺及技术要求

### 2.1 注浆管结构及植入

注浆管设计长度5 m,钢管规格为 $\text{Ø}40\text{ mm} \times 2.5\text{ mm}$ 焊管;注浆管导浆孔眼直径5~6 mm,孔眼轴向间距15 cm,径向 $180^\circ$ 对称钻通,整个孔眼按梅花状分布于注浆管底端向上2 m段范围。

注浆管采用风镐振击法植入,植入倾角为道床面下倾 $30^\circ$ ,植入位置分别在两线外路肩并距外侧铁轨1.8 m处。为施工方便和提高植管效率,将5 m管分为两段并中间以紧配合管箍联接后分两次振击植入路基。

### 2.2 注浆技术要求

注浆采用静压注浆和重力注浆相结合的方法,注浆管内注浆采用静压注浆,管口注浆压力 $<0.3\text{ MPa}$ ,道渣底层15 cm层厚注浆采用重力注浆。

### 2.3 水泥浆配制

水:水泥=1:1;外加剂主要有减水剂和早强剂,并按其配比量加入。减水剂主要是进一步改善浆体流动性和提高其早期强度,早强剂主要是提高其早期强度,但影响其流动性。

### 2.4 注浆速度及终止注浆参数

对于静压注浆而言,在路基空洞较大情况下,注浆速度为 $100\text{ L/min}$ ,在路基孔隙较小时,注浆速度

随管口压力确定,原则是保证管口压力 $<0.3\text{ MPa}$ 情况下尽量调高注浆速度,通常注浆速度控制范围在 $30\sim 50\text{ L/min}$ ;

终止注浆参数主要有2个:即注浆压力在 $0.3\text{ MPa}$ 并注浆速率 $<5\text{ L/min}$ 的情况下续注15 min左右终止注浆;重力注浆多在道渣底层注浆中采用,该注浆可采用较大注浆速率(可大于 $100\text{ L/min}$ ),经多次注浆后渣底层注浆高度达到15 cm并初凝后浆液面不再下降为终止注浆标准。

### 2.5 补充注浆

每处注浆最少要二次或多次补浆,特别是在桥涵台背后因注浆量大,一次注浆量过大易引发路基下沉、护锥砌体崩裂问题,要求每次注浆面上升高度控制在3 m以内,待前次注浆体终凝并具有一定初期强度后间歇分次注入,间歇时间 $>8\text{ h}$ ,气温低时应 $>12\text{ h}$ ,普通硅酸盐水泥,强度等级 $\text{PO } 42.5$ 。

## 3 注浆机具选择

注浆机具见表1。

表1 注浆机具

序号	名称	规格型号	数量	性能
1	空压机	8/6	1台	工作压力 $0.8\text{ MPa}$ ,风量 $6\text{ m}^3/\text{min}$
2	发电机	75 kW	1台	良好
3	发电机	20 kW	6台	良好
4	风镐	G20	5台	良好
5	风管	$1\frac{1}{4}$ 、 $\frac{3}{4}\text{ in}$	各300 m	耐压 $1.6\text{ MPa}$
6	制浆机	$2\text{ m}^3$	6台	轻便
7	注浆泵	吉林100、80	各3台	无级变速; $100\text{ L/min}$ ; $5\text{ MPa}$
8	输浆管	1 in	2000 m	耐压 $1\text{ MPa}$

## 4 注浆引发相关问题的解决及效果

### 4.1 局部路基上浮

在注浆管紧密联接输浆管后并调整注浆泵转速和管口卸压阀使注浆压力 $<0.3\text{ MPa}$ 情况下,极个别注浆地段路基出现上浮 $3\sim 4\text{ cm}$ 情况。遇此情况解决办法是:(1)停止继续注浆;(2)人工找平道渣;(3)适当降低管口压力并间歇注浆至终止注浆标准。

### 4.2 压力达 $0.3\text{ MPa}$ 时注浆量仍很小

可采用清水引注的方法,一般引注清水量 $<50\text{ L}$ ,并及时跟注水泥浆;在此情况下对水泥浆的处理除合理加入减水剂外适当加大水灰比改善其流动度并延长注浆时间使其达到注浆终止标准。

### 4.3 路基坡面漏浆和锥体砌石缝漏浆

此种情况非常普遍,解决的办法是:(1)人工封堵并压重漏浆孔洞;(2)砌缝漏浆采用隋性材料加水玻璃水泥浆液人工封堵;(3)在面积砌缝漏浆严重的情况下,采用水泥干粉加水泥浆喷锚加固砌石面层并待其强度达3~5 MPa后注浆。

#### 4.4 注浆管间窜浆

注浆管在相距1 m注浆时相互窜浆现象很平常,解决的办法是分别用木塞加袋皮逐个封堵窜浆管口,并采用间歇注浆以满足注浆终止条件。

#### 4.5 管壁外窜浆

此种情况较少见,解决的办法主要是采取间歇注,浆使管壁窜浆浆体终凝后提高管壁与土体封堵压力后分多次注入浆量以达到终止注浆条件。

#### 4.6 护锥砌体鼓胀崩开

在高护锥石砌锥体的台背后和锥顶注浆,由于多年砌缝浆体因塌陷破坏或浆砌强度低,注入水泥浆体各向压力随浆面升高而加大导致砌体崩裂破坏,遇此情况必须立即停注,修复崩口并待其强度提高后采用间歇注浆法注入浆体,并要控制每次注浆液面升高 $\geq 3$  m。

#### 4.7 注浆加固效果

(1)就桥台涵洞两侧而言,注浆过程中吸浆量均较大,高路基一座桥(台背及护锥)均注入水泥100 t(水灰比为1的浆液体积为66.67 m<sup>3</sup>)左右,更多的达150 t水泥(水灰比为1的浆液体积为100 m<sup>3</sup>),从注浆序次上是由下而上浆液窜出路堤缝隙不断升高的现象看,说明经注浆后桥涵两侧隐藏的孔洞充满了水泥浆,效果很好。

(2)在塌陷较严重的路基注浆,经注浆管静压注浆后压浆量也比较大,个别浆管单管压浆量达10 t,平均可达1.5 t/根左右,除浆管内静压注浆外,道渣底层重力注浆吸浆量也较大,说明这些路段所注浆量基本上对已有路基土中的孔洞充填饱和,并对路基土有一定的挤密加固效果。

(3)对于沉陷不太明显的粉土路基注浆,在限定的管口压力下注入浆液较少,个别路段注入很少,采用加大水灰比,加入减水剂改善浆液流动性的办法能够增加一定的注浆量,但也不太理想,这些路段在道渣底层的重力注浆量也不大,可以说在这些路段注浆效果不太好。

## 5 尚待改进注浆工艺的探讨

### 5.1 注浆管结构与植入的角度、位置

原注浆管设计导浆眼分布在管底2 m段钻眼,

从实际注浆看,静压注浆过程中由管壁与土体处窜浆现象极少,为增加浆液与被加固土体有效接触,应增加钻眼段长度为2.5~3.0 m,这样方能使注入浆液相遇路基软弱层概率进一步增大,从而增加单位延米注浆量。

注浆管的植入角度直接影响管底深入路基土的垂直深度和横穿路基土的跨距,原植入角度(倾角30°)浆管可深入路基土2.5 m,横穿跨距4.33 m,对于常态道床顶向下3 m范围空间注浆影响最大,此设计是合理的,但路肩以下土体注浆影响很小。从单根注浆管注浆影响半径可达2~3 m考虑,可尝试间隔法改变注浆管植入角度,可采用3 m长管60°倾角间隔植入,使注浆影响空间分布向路基外侧扩展。

从植入注浆管位置看,原植入位置管内静压注浆对于路基外侧边坡土体影响很小,而边坡多为降水冲蚀影响较重位置,可在护网两侧确定植管位置并向线路方向倾角60°植管,管长3 m即可;个别路段特别是在注浆量较小的路段植管位置应灵活,要通过分析地表沉陷现象找准路基内孔洞可能隐藏的空间位置,将浆管的导浆眼管段植入注浆靶区。

### 5.2 影响注浆量的主要工艺因素

#### 5.2.1 压力因素

在不同地质条件和注浆参数下,浆体在被注土体形成的浆石体是不一致的,按其浆体在土体中分散形成结构可分为:充填式注浆、劈裂式注浆、挤密式注浆。3种注浆除与被注土体颗粒组成、结构有关外,注浆压力的提升促使注浆形式由充填式向挤密式过渡,即在小压力下以充填式注浆为主,大压力下以挤密式注浆为主。在被注土体为细粒粘性土或粉土的情况下或在土体缝隙 $< 0.2$  mm的情况下,充填式注浆效果很差,要提高注浆量,须加大注浆压力。

就京九线注浆而言,压力提高会导致路基上浮影响行车,解决的办法只能是加强对路基的监护观测并及时调整上浮差值,在此条件下适当提高管口注浆压力至0.6 MPa,以实现粉土路基注浆较理想效果。

#### 5.2.2 流动度因素

在给定管口注浆压力情况下,浆体的流动度越大,浆体稳定性越高,注入浆量就越多。从提高水泥浆流动度考虑,在浆体材料确定的条件下加大水灰比是经济有效的主要手段,除此之外是合理加入

(下转第74页)

表4 采用防斜钻具后部分钻孔钻进时效

孔号	孔深/m	用时/h	进尺/m	时效/m
L1s - II - 7	9.0 ~ 10.3	1.40	1.3	0.93
	19.1 ~ 20.3	1.20	1.2	1.00
	29.1 ~ 30.3	1.17	1.2	1.03
	37.8 ~ 39.0	1.18	1.2	1.02
	46.6 ~ 47.8	1.28	1.2	0.94
	54.1 ~ 55.4	1.32	1.3	0.98
	67.8 ~ 69.1	1.35	1.3	0.96
77.8 ~ 79.1	1.28	1.3	1.02	
平均				0.98
L1x - III - 8	7.8 ~ 9.1	1.33	1.3	0.98
	18.9 ~ 20.2	1.37	1.3	0.95
	29.5 ~ 30.6	1.12	1.1	0.98
	39.1 ~ 40.4	1.43	1.3	0.91
	49.1 ~ 50.1	1.03	1.0	0.97
	68.8 ~ 70.0	1.23	1.2	0.98
	84.1 ~ 84.9	0.93	0.8	0.86
99.1 ~ 100.3	1.27	1.2	0.94	
平均				0.95

力,有效地限制了灌浆孔轴线顶角变化和孔底偏移量,控制了灌浆孔弯曲偏斜,明显提高了灌浆孔成孔

质量,很好地满足该帷幕灌浆工程防斜技术要求。

多扶正器防斜具的应用,使各类孔内事故发生概率减少,基本消除人工纠斜、造斜工作,使附加工序减少,生产效率提高,施工进度加快,在今后相关工程中可参考运用。

#### 参考文献:

- [1] 刘三虎,丁永波.蜀河水电站防渗帷幕灌浆技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(11):61-64.
- [2] 张志峰.浅析钻孔孔斜的控制[J].中州煤炭,2005,(4):22-24.
- [3] 赵新瑞.井斜控制理论及防斜钻井技术综述[J].钻采工艺,2000,23(1):4-9.
- [4] 梁贵和,关洪军,毛云.螺旋式扶正器与钻铤组合满眼防斜钻具在基岩地层深水井施工中的应用[J].水文地质工程地质,2005,(1):98-101.
- [5] 王伟.简易满眼钻具的设计[J].中国井矿盐,1999,(2):14-17.
- [6] 雷宗明.钟摆钻具扶正器安装高度计算[J].断块油气田,1997,4(2):53-55.

#### (上接第70页)

减水剂、塑化剂(亚硫酸纸浆液,碱性造纸液),能提高水泥浆流动度和稳定性。流动度越大,其结石体凝固时间越长且强度越低,但对于路基土体加固而言无大影响。因此在注浆量很小的粉土地基中注浆对浆体的处理除合理加入减水剂、塑化剂外,应适当增大水灰比至1.5左右,并采用清水引浆和多级水灰比工法进行注浆,以提高粉土质路基注浆质量。

#### 5.2.3 注浆材料的选配

就目前国内生产水泥材料而言,细度是影响水泥浆流动度的主要因素,水泥标号越高细度越细。已选择质量合格的PO 42.5的普通硅酸盐水泥能够满足路基注浆,要求水泥新鲜无结石。另外水泥的安定性是影响其浆体稳定和有无气孔的主要因素,除专用膨胀水泥凝固中有浆体膨胀特性外,一般普通硅酸盐水泥在凝结和硬化过程中浆体均呈微缩现象,但在浆量体积大、水化热量较大时会产生热开裂现象和包围土体受热产生膨胀,严重时导致路基上浮,因此在气温高、大体积注浆时要采用间歇注浆并

适当加入缓凝剂。

为提高水泥浆体的安定性和塑性,可在浆体中加入10%~20%粘土,使水泥浆体具有一定的蚀变性,并可降低浆体泌水率,降低水泥结石微孔隙透水性,但其结石体强度有所降低,但对于路基加固工程效果不存在任何问题。

#### 参考文献:

- [1] 付敏,张可能,梁成根,等.注浆方法在路基沉陷处理设计中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(11):5-7.
- [2] 王玉森.应用钻孔注浆工艺治理神延铁路路基下伏采空区[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2002,(Z1):36-37.
- [3] 祝保年.注浆技术在洛湛铁路岩溶路基施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(6):6-8.
- [4] 胡朝彬,戴苗,王宝勋,等.公路路基下溶洞的探测与加固处理实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(8):67-69.
- [5] 蔡年初,王雪平.某高速公路路基加固及路面抬升注浆施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(5):17-18.
- [6] 蒋丹阳.采用掏土纠偏及袖阀管加固技术整治铁路桥涵不均匀沉降[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(11):15-17,19.