

# 采用高压旋喷桩技术加固煤矿采动区铁路路基实践

高兴元<sup>1</sup>, 渠红梅<sup>2</sup>

(1. 徐州工程学院, 江苏 徐州 221008; 2. 中矿国际工程设计研究院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:** 依据理论分析和数值计算的成果, 对研究区段的旋喷桩加固进行了工程设计、现场施工组织和质量检测, 结果表明, 采用旋喷桩约束加固具有较好的加固效果和经济效益。

**关键词:** 铁路路基; 旋喷桩; 地基处理; 质量检测

**中图分类号:** U418.5    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2010)03-0052-03

**Application Practice of High-pressure Rotary Jet Grouting Pile for Groundwork Treatment in Railway Subgrade/** GAO Xing-yuan<sup>1</sup>, QU Hong-mei<sup>2</sup> (1. Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou Jiangsu 221008, China; 2. International Design and Research Institute of Mining, Xuzhou Jiangsu 221008, China)

**Abstract:** According to the theory analysis and numerical calculation result, the reinforcement scheme of rotary jet grouting pile in the approach sector is designed. According to the construction organization and quality inspection, it was indicated that restrained reinforcement by high-pressure rotary jet grouting pile could bring good reinforcement result and economic benefit.

**Key words:** railway subgrade; high-pressure rotary jet grouting pile; groundwork treatment; quality inspection

## 0 引言

徐州矿务局张集煤矿采动区铁路路基下因煤炭开采, 预计下沉 5 m, 该区地下水位较高, 要保证铁路安全运营, 必须要维持原设计标高, 因此路基要进行加高, 但 K4 + 160 ~ 887.1 为软土地段。路段软弱土层厚度 10 ~ 11 m, 临界高度 3 ~ 5 m, 路堤高度 8 ~ 10 m, 路堤高度大大超过临界高度, 地基在经历地表变形的压缩、拉伸和扭曲作用后, 已变为扰动土体。原状土受到扰动, 其摩擦角和粘聚力就会降低, 粘聚力平均下降 9.4%<sup>[1]</sup>, 必须进行软基处理。采用旋喷桩约束加固地基减少了桩数, 节省了工程费

用, 施工方便, 且加固后路堤变形均匀, 加固效果优于全断面布桩, 因此本路段采用的加固方式为约束加固。

## 1 工程概况

采动区铁路专用线全长 6.60 km, 呈东南—西北走向。K4 + 160 ~ 887.1 软土地段全长 727.1 m。地层自上而下主要为: ①层冲填土、②层砂粘土、③层淤泥质砂粘土、③<sub>A</sub>层淤泥和⑤层砂粘土构成。地基土物理力学性质指标见表 1。

表 1 地基土物理力学性质指标统计表

岩土名称	含水量 $W$ /%	重度 $\gamma$ / (kN·m <sup>-3</sup> )	孔隙比 $e$	液限 $W_L$ /%	塑限 $W_P$ /%	塑性指数 $I_P$	液性指数 $I_L$	剪切试验 ( $q$ )		压缩试验 (天然)	
								$c$ /kPa	$\varphi$ /(°)	$\alpha_{1-2}$ /MPa	$E_S$ /MPa
①	27.5	18.3	1.082	42.8	23.3	19.4	0.82	22	8.3	0.74	2.78
②	24.3	19.4	0.701	30.6	18.8	13.7	0.51	27	13.1	0.34	4.73
③	25.6	19.8	0.714	27.1	17.9	9.2	0.89	14	10.8	0.37	5.40
③ <sub>A</sub>	30.9	18.0	1.194	45.1	23.0	20.9	0.93	8	5.5	0.73	3.28
⑤	24.2	19.5	0.732	33.4	19.4	14.0	0.36	39	25.6	0.22	7.96

## 2 加固方案设计

### 2.1 桩长

软土层底在地表以下 10 ~ 11 m, 对于软土层当

其厚度不大时, 桩应穿透软弱层至较好的持力土层上, 因此, 该段设计桩长为 12 m。

### 2.2 布桩方式

K4 + 160 ~ 887.1 段为铁路专用线和车站调车

收稿日期: 2009-12-06

基金项目: 江苏省徐州市建设系统科技项目

作者简介: 高兴元(1977-), 男(汉族), 江苏铜山人, 徐州工程学院讲师, 结构专业, 硕士, 从事土木工程教学与科研工作, 江苏省徐州市徐州工程学院土木学院, pcc\_gao@163.com。

线双线路段,路堤宽度在 52 ~ 59 m 之间,根据数值模拟的结果,采用约束布桩,桩径为 0.6 m,排间距 1.3 m,路中线两侧各布置 3 排桩,桩间距 1.5 m,道床外侧布置 3 排桩,桩间距 1.5 m,坡脚布置 4 排桩,间距 1.2 m,布桩方式如图 1 所示。

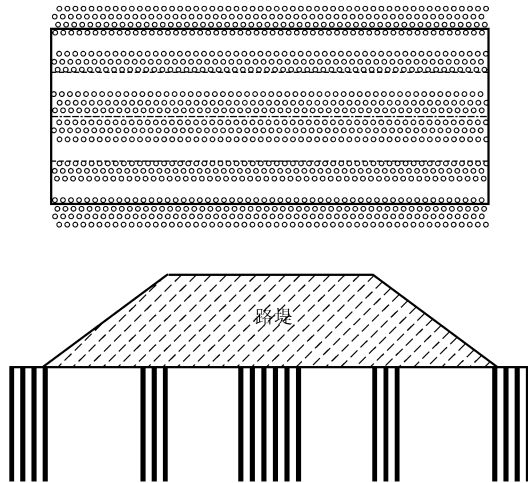


图 1 布桩方案图

### 2.3 单桩承载力计算

取最不利地段 DK4 + 166 处计算单桩承载力,旋喷桩单桩承载力特征值取下两式中的较小值:

$$R_k^d = \eta f_{cu,k} A_p \quad (1)$$

$$R_k^d = \pi D h_i q_{si} + A_p q_p \quad (2)$$

式中:  $R_k^d$ ——单桩承载力, kPa;  $f_{cu,k}$ ——桩身试块的无侧限抗压强度, 3500 kPa;  $\eta$ ——强度折减系数, 取 0.41;  $D$ ——桩径, 0.6 m;  $A_p$ ——桩身截面积, 为 0.283 m<sup>2</sup>;  $h_i$ ——桩间第  $i$  层土的厚度, m;  $q_{si}$ ——桩间第  $i$  层土的摩擦力标准值, 取值见表 2;  $q_p$ ——桩端天然地基土的承载力, 由于旋喷桩穿过软土层达到⑤层砂粘土层, 对铁路专用线 K4 + 160 ~ 887.1 段逐桩进行静力触探现场试验, 并结合钻探取样试验, 得到该区段的土层情况和地基承载力情况, 桩端地基土承载力为 260 kPa。

表 2 桩周土摩擦力标准值

土层	①	②	③ <sub>A</sub>	④	⑤
$q_{si}/kPa$	15	20	0	40	60

按照式(1)算得,  $R_k^d = 406.1$  kPa, 按照式(2)算得  $R_k^d = 473.9$  kPa, 因此单桩承载力特征值为 406.1 kPa。

### 2.4 沉降分析

根据数值模拟的结果, K4 + 160 ~ 887.1 段路堤顶面下沉值 243.4 ~ 223.8 mm。对于最不利路段

DK4 + 166 处, 加固后路堤顶面最大沉降值为 243.36 mm, 对于矿区铁路专用线, 要求填筑后最大下沉量  $\geq 500$  mm, 满足要求。

## 3 高压旋喷桩工艺要求

### 3.1 施工程序及要求

高压旋喷施工前, 应选择路基附近相同的地层进行试喷成桩, 并进行质量检测, 以确定喷射工艺参数、单桩承载能力、喷射体无侧限抗压强度等技术指标。先进行路基坡脚桩喷射施工, 然后进行路基下喷射施工。

施工时按照如下顺序进行操作: 钻机就位 → 钻孔 → 插管 → 旋喷作业 → 冲洗 → 移动机具。

### 3.2 冒浆的处理

根据经验, 冒浆(内有土粒、水及浆液)量小于注浆量 20% 者为正常现象, 超过 20% 或完全不冒浆时, 应查明原因并采取相应的措施。

(1) 冒浆量过大的主要原因, 一般是有效喷射范围与注浆量不相适应, 注浆量大大地超过旋喷固结所需的浆量所致, 可适当减少注浆量, 对于冒出地面的浆液, 经过滤、沉淀除去杂质和调整浓度后, 可回收再利用;

(2) 若是地层中有较大空隙引起不冒浆, 则可在浆液中掺加适量的速凝剂, 缩短固结时间, 使浆液在一定土层范围内凝固, 还可以在空隙地段增大注浆量, 满空隙后再继续正常旋喷。

### 3.3 消除固结体顶部凹穴

采用水泥浆液进行旋喷时, 在浆液与土搅拌混合后的凝固过程中, 由于浆液析水作用, 一般均有不同程度的收缩, 造成在固结体顶部出现凹穴, 单管旋喷的凹穴深度在 0.3 ~ 0.5 m 之间, 这种凹穴现象对于地基加固是极为不利的, 必须采取措施予以消除。本路段属于既有构筑物地基, 可采用两次注浆的办法, 即旋喷注浆完成后, 在固结体的顶部与路堤基础的底部之间预留空隙, 并在原旋喷孔位上进行二次注浆。

## 4 旋喷质量检测

工程完工后, 按照质量检测的要求, 对该路段软基处理的 3 根桩进行了钻心法检测, 以确定工程桩的完整性, 对其中 1 根桩的水泥土心样进行抗压强度试验, 确定桩身水泥土强度, 对 1 根桩的水泥土进行单桩竖向抗压静载试验, 以检验单桩竖向抗压极限承载力。

#### 4.1 钻心检测

钻心检测主要是钻取旋喷固结体的岩心,观察判断其固结整体性和固结体的长度,并将其做成标准试件,进行室内物理力学性质试验,鉴定其是否符合设计要求。钻心检测成果见表3。从钻取岩心观察,旋喷桩固结体整体性好,其桩长度都达到了设计要求。

表3 钻心检测成果表

桩号	施工日期	钻心日期	桩长/m	钻心进尺/m	桩身评价
32	2008-11-14	2009-02-08	8.0	8.4	心样连续、完整,断口吻合
39	2008-11-17	2009-02-09	8.0	8.3	心样连续、完整,断口吻合
45	2008-11-19	2009-02-09	10.0	10.4	心样连续、完整,断口吻合

#### 4.2 桩身水泥土强度试验

此铁路专用线加固改造中,旋喷桩设计水泥土试块无侧限抗压强度为3.5 MPa,经对抽心试块无侧限抗压强度的测试,其平均无侧限抗压强度满足设计要求。抽心试块无侧限抗压强度统计如表4。

表4 抗压强度试验结果

桩号	心样部位	心样号	试件尺寸/cm	抗压强度/MPa	试件所处工程部位抗压强度代表值/MPa	心样试件抗压强度代表值/MPa
32	上段	32-1	Ø7.15 × 7.12	4.6	4.66	
		32-2	Ø6.95 × 7.05	4.7		
		32-3	Ø7.10 × 7.16	4.7		
	中段	32-4	Ø7.12 × 7.10	6.2	6.03	
		32-5	Ø7.16 × 7.10	6.0		
		32-6	Ø7.10 × 7.15	5.9		
	下段	32-7	Ø7.15 × 7.10	6.7	6.80	
		32-8	Ø7.20 × 7.15	6.9		
		32-9	Ø7.08 × 7.15	6.8		

#### 4.3 单桩竖向抗压静载试验

试验按照《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2003)单桩竖向抗压静载试验要点,对工程桩进行单桩竖向抗压静载试验。试验采用堆载配重提供试验反力,采用快速维持载荷法逐级加载,每级荷载维持时间为1 h,当桩顶沉降相对收敛后,加下一级荷载,直至加载结束。最大加载能力不小于单桩承载力特征值的2倍,即 $406.1 \text{ kN} \times 2 = 812.2 \text{ kN}$ ,试验取值820 kN,试验荷载分为10级,首级按2倍分级荷载加载,首级加载164 kN,以后各级加载82 kN,每级荷载施加后,按第5、15、30 min测读桩顶沉降量,以后每隔15 min测读一次。每级卸载量为加载时的2倍,每级荷载维持15 min,在第5、15 min时

测读一次沉降量,维持时间2 h,测读时间为5、15、30 min,以后每30 min测读一次。其中处于最不利路段的32号桩的 $Q-s$ 曲线和 $s-\lg t$ 曲线如图2、3。

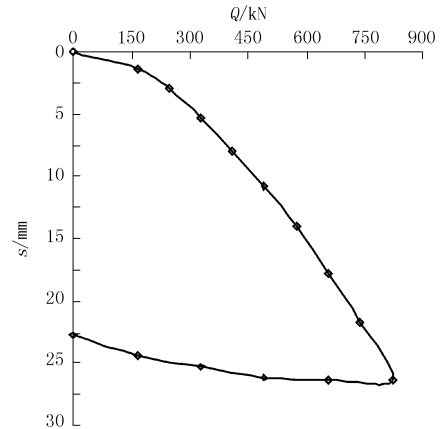


图2 32号桩 $Q-s$ 曲线

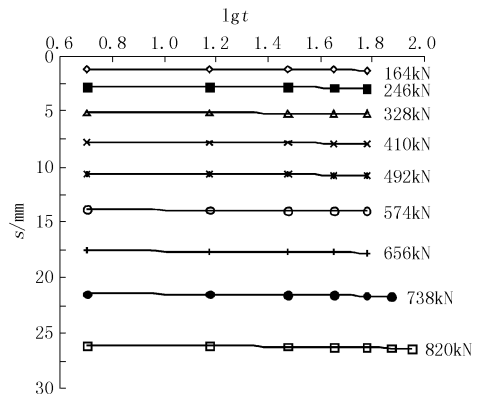


图3 32号桩 $s-\lg t$ 曲线

从32号桩的单桩竖向抗压静载试验的 $Q-s$ 曲线可以看出,在加载至820 kN时,桩顶总沉降为26.38 mm,末级荷载作用下的桩顶沉降达到4.68 mm,桩顶随荷载的沉降速率为0.0571 mm/kN;从其 $s-\lg t$ 曲线看,各级荷载所对应的时程曲线较平坦,未出现明显下弯,卸载后的回弹量为3.61 mm,回弹率为13.68%。以上情况说明该桩受压尚未进入极限状态,承载能力有一定余量,根据《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2003),此时取最大试验荷载值820 kN作为该桩的单桩竖向抗压极限承载力,符合设计要求。

#### 5 加固效果评价

图4是加固后铁路路基情况。从检测结果和运营情况看,张集矿铁路专用线旋喷桩软基处理工程加固效果良好,大大提高了地基承载力,抽检桩身的水泥土抗压强度和单桩竖向承载力完全满足设计要求,地基稳定性较好。

(下转第58页)

网,经过热泵机组提取和注入热量后,进入回水管网,通过另外一口回灌井的闸阀5、常开型电磁阀8、水表4、Y形过滤器7、柔性接头3回灌到井内。常开型电磁阀与井内潜水泵并联,不通电时阀门常开,通电后关闭。当回灌井转换为抽水井用时,随着潜水泵的启动,常开型电磁阀通电后自动关闭,回灌水不能进入抽水井内。当抽水井转换为回灌井用时,常开型电磁阀断电自动打开,回灌水通过电磁阀进入回灌井内。水井的抽灌功能随着潜水泵的动作自动切换,免去了人力切换的麻烦。

回灌井随着回灌量的衰减,水路系统压力会逐渐提高,当达到安全阀9设定的压力后,安全阀打开,部分地下水会进入雨水管道泻压,达到保护系统安全的目的。

## 5 结论及尚需研究的问题

试验及工程应用表明,利用潜水泵扬程形成的自加压压力回灌系统是可行的,一定范围内能延长“回扬”周期。

水井回灌量的衰减有其必然性,不完全是各种

堵塞造成的。随着“水丘”直径扩大造成的回灌量衰减,当“水丘”消除后,回灌量会恢复。各种堵塞造成的回灌量衰减是不可恢复的。

该技术只是初步应用,尚有很多技术问题需要解决,主要有以下几点:

(1)回灌井井身结构设计有别于抽水井,目前抽灌井都是一样的;

(2)压力回灌需要在理论上进行深入的研究,能做到对回灌量、压力随时间的变化预测或模拟,这样有利于今后抽灌井的设计以及今后水源热泵工程的操作和监控;

(3)防结垢和防堵塞技术的研究。

## 参考文献:

- [1] 郭小波. 地下含水层储能和地下水热泵系统中地下水回路与回灌技术现状[J]. 暖通空调, 2004, 34(1).
- [2] 陈崇希, 林敏. 地下水动力学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999.
- [3] 薛禹群. 地下水动力学原理[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [4] 美国制冷空调工程师协会. 地源热泵工程技术指南[M]. 徐伟, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.

## 中国将建设内蒙古东部新的煤炭出海南下大通道

**新华社沈阳消息** 在中国煤炭运输大港秦皇岛港附近的绥中县,将崛起一座新的亿吨级煤炭港区。这个新煤炭港区将成为辽宁省最大的煤炭运输港口,为内蒙古东部的煤炭资源出海南下提供支撑。

这一项目落户辽宁省葫芦岛市绥中县,定名为“葫芦岛港石河港区”。按照规划,一期工程建设4~6个5万吨级泊位,2012年吞吐量达到5000万t,二期工程吞吐量达到2.3亿t。

据悉,葫芦岛港石河港区一期项目由葫芦岛市政府、大连港集团有限公司、大唐国际辽宁分公司、国电东北电力有

限公司四方共同出资,投资额约为55亿元人民币。

与秦皇岛港依托大(同)秦(皇岛)铁路运输类似,石河港区也将和铁路共同构筑煤炭出海大通道。据介绍,绥中煤炭新港主要服务于内蒙古自治区锡林郭勒地区丰富的煤炭资源下海。锡林郭勒地区煤炭储量上千亿吨,有白音华、五间房等多个特大型煤田。

为便于煤炭运输至港区,将修建一条全长300多千米,从内蒙古赤峰市到绥中县的赤绥铁路。目前,港区和铁路项目都在加紧做好准备工作。

(上接第54页)



图4 加固后路基图

## 参考文献:

- [1] 王立波. 移动地表土对砌体结构基础作用的试验研究[D]. 江苏徐州: 中国矿业大学, 2005.
- [2] 卢信雅. 复合地基理论——深搅桩桩体作用及实体基础设计方法[A]. 全国岩土与工程学术大会论文集[C]. 北京: 人民交通出版社, 2003. 877-881.
- [3] 沈圆顺. 采动区铁路软土地基加固技术研究[D]. 江苏徐州: 中国矿业大学, 2008.
- [4] 喻林青. 单管旋喷在软弱地基加固处理和防渗帷幕工程中的应用[J]. 西北公路, 2001, (2): 1-3.
- [5] 韦讲汉. 用旋喷浆液测控旋喷体液固含量及喷射直径[J]. 煤田地质与勘探, 1999, (6): 67-72.