

# 高压旋喷桩在高速公路路基治理中的应用

徐学军

(山西省地质矿产勘查开发局二一七地质队,山西大同 037008)

**摘要:**分析了大呼高速公路路基出现沉降裂缝的原因,介绍了采用高压旋喷注浆工艺进行路基治理的措施。实践表明,该技术可在不影响高速正常运行的条件下安全施工,达到预期目的。

**关键词:**高速公路路基;高压旋喷注浆;沉降;裂缝

**中图分类号:**TU472.3<sup>+</sup>6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2013)10-0080-04

**Application of High Pressure Jet Grouting Pile in Treatment of Expressway Subgrade/XU Xue-jun** (217 Geological Team, Shanxi Province Bureau of Geology Exploration, Datong Shanxi 037008, China)

**Abstract:** The paper analyzes the causes of settlement cracks in Datong - Hohhot expressway and introduces the measures for subgrade treatment with high pressure jet grouting technology. The practice shows that with this technology, the treatment construction can safely carried out with normal traffic remaining.

**Key words:** expressway subgrade; high pressure jet grouting; settlement; crack

## 1 工程概况

大呼高速公路是国家新建的高速公路重点项目,历经2年承建,于2010年10月1日正式通行。运行不足2年时间,大同新荣至右卫段长约70 km局部相继出现了20多处沉降、裂缝路段路面,最大沉降、裂缝的路段长达到120 m,纵横裂缝均有,以纵向裂缝为主,裂缝宽度最大达0.30 m,沉降量最大达0.40 m,以慢车道最为严重,行车道相对较轻,超车道次之,极大影响了车辆的正常运行。受甲方委托,由山西省第十地质工程勘察院于2011年5月和2012年4月对危害较严重有代表性的沉降、裂缝路段分别进行了2次工程地质勘察,以调查其产生沉降和裂缝的原因,并提出治理建议。据设计图纸及甲方要求,我院于2012年5月开始施工,历时5个月,共治理沉降、裂缝路段路面16处,完成桩孔施工工作量共计43830 m,治理的相应路段路面重新运行后,经过监测1年来没有发现异常情况,保证了高速公路的正常通行。

## 2 路基土、天然地基土物理力学性质以及分布特征

勘察钻孔最大揭露深度为16 m,揭露路基土以及天然地基土自上而下分为4层,分别如下。

(1)水稳层:灰、黑灰色,密实,稍湿,主要由砂石、水泥组成,密实度较好,上部为沥青面层,厚20 cm;中部为砾石水稳层,厚20 cm;下部为砂砾水稳层,厚20

~28 cm;该层厚度以及底层埋深0.6~0.68 m。

(2)砂砾石垫层:褐黄色,稍密~中密,稍湿,主要由中细砂、粉砂组成,含砾石约10%,级配差、分选性差,局部含滞水,水量少,该层厚度0.3~1.2 m,埋深1.0~2.2 m,一般南侧较厚。

(3)路基土:褐黄、棕褐色,稍密~中密,稍湿、局部湿,主要由粘土组成,干强度低,韧性低,含不均匀土块。根据钻孔土样土工试验结果,天然含水率8.1%~15.6%,天然密度1.26~2.07 g/cm<sup>3</sup>,干密度1.61~1.80 g/cm<sup>3</sup>(原路面路基土试验的最大干密度为1.92 g/m<sup>3</sup>),天然孔隙率0.496~0.667,液性指数<0,塑性指数为5.9~12.6,压缩模量 $E_{s1-2}$  28.1~11.9 MPa,压缩系数 $\alpha_{1-10}$  0.13~0.20,属于中压缩粘土。局部夹灰土透镜体,中密,稍湿;少数局部夹砂砾石透镜体,含卵石,稍密~中密,稍湿;个别路面局部湿,松散~稍密。该层厚度3.6~12.14 m,层底埋深4.6~12.4 m。

(4)粘土及全风化砂岩:紫红、紫褐色,硬塑,干湿度中~高,韧性中~高,稍湿,质纯,该层未见底,揭露厚度0.5~3.0 m。

## 3 造成路面沉降、裂缝的原因

### 3.1 路基土压实度问题

根据土工试验结果,现场岩性鉴定以及甲方提供的路基土击实试验数据,经统计计算已勘察的各

收稿日期:2013-06-06;修回日期:2013-08-06

作者简介:徐学军(1962-),男(汉族),山西大同人,山西省地质矿产勘查开发局二一七地质队工程师,钻探工程专业,从事探矿工程技术及管理工作,山西省大同市永泰南路79号,sxd1518@163.com。

路段最大压实系数为0.8,统计结果显示各沉降、裂缝路段路基土为低液限粉土,由于遇水侵蚀,压实系数低~中等,含水率变化大,均匀性差,遇水浸泡后,极易发生沉降,导致承载力下降,加之路基受行车动荷载影响,而形成路面沉降式裂缝,同时由于沉降、裂缝路段路面均位临桥梁或桥涵处,两侧及护坡遇水浸泡、渗透坍塌产生滑动,压拉作用,导致路面沉降、裂缝。

由于路面上无法采取Ⅰ级探井样,只能采取Ⅱ级探井样,而Ⅱ级探井样受挤密,导致实际检测数据偏大,若采取Ⅰ级探井样,其检测数据会更真实,且比现有检测数据更大。

### 3.2 路基土中水的来源问题

所有沉降、裂缝路段路面由于被雨水侵蚀或浸泡造成的自然灾害均与本路段地形有着重要关系,由于地里位置均偏低,路基两侧地面凸凹不平水流阻力增大,流速降低,易形成滞水带,尤其路基南部均位临南高北低的两个倾向于河沟且面积较大的斜坡,雨季雨水汇集后最终涌向并穿过桥梁桥涵两侧,即地表过水量大,易从路基两侧砂砾石垫层以及护坡中侵入路基体,同时有几处路段2010年雨季暴雨曾淹没路基,地表形成滞水带并侵入路基体。随后对个别出现的沉降、裂缝路段路面曾进行过修复,随后继续出现沉降、裂缝,且程度较为严重。

### 3.3 天然地基评价

经勘察本路段天然地基土主要由白垩系(K)老粘土以及全风化砂岩组成,该土层地基土承载力高,不具沉降性,可排除其对路基沉降裂缝的影响。据区域水文地质资料,该区域地下水位深度大于15~20 m。

## 4 治理方案的确定

大呼高速公路运行1年后产生的沉降、裂缝路段路面主要集中在新荣段和右玉段,甲方当初由于受各种条件限制对个别沉降、裂缝路段路面只进行了踏铺或修复,没有从根本上解决问题,后期依然产生了沉降和裂缝,严重影响交通运行。随后对有代表性的沉降、裂缝路段K101+480、K105+950、K110+500、K159+450、K164+100、K166+152等处进行了工程地质勘察。据工程地质勘察成果,设计院多次实地踏勘,认为造成沉降、裂缝的主要原因与该路段的地理环境有着很大关系。设计部门经过认真分析研究,在治理中考虑到治理方案主要以提高路基土的承载力增强其水稳定性降低压缩性为目

的,因路基土遇水侵蚀后虽密实度、压实度较原路基较低,但相对于软弱地基依然较高。若采用静压注浆法,由于泵压较小(最大压力2 MPa),路基土孔隙比相对较大水泥浆不易渗入到路基体中,不易于提高路基的整体稳定性。再因为受高速公路运行现状以及场地限制,采用其他桩体施工难度大,可行性较低。参照国内外高速公路近年来的类似施工经验,采用高压旋喷桩注浆法进行岩土工程治理。

## 5 施工交通安全措施及施工准备

### 5.1 相关安全措施

根据上级和甲方要求,施工不得影响交通运行,多数超车道暂不处理,由甲方按照高速公路相关安全规范及要求在施工路段设置有关交通安全标志,并配置专职安全人员。所有施工人员必须身穿反光服,夜间作业照明灯背向超车道,给施工带来一定难度。为了保证施工安全、质量及进度,施工中采取的一系列相应措施保证了施工正常进行。

### 5.2 设备配置

根据现场情况,据甲方要求共配置6台XPZ-50型旋喷钻机,3台ZJB(BP)系列高压注浆泵,3辆10 m<sup>3</sup>水车,1台挖掘机,2辆运渣车。

## 6 施工情况以及技术工艺参数

### 6.1 治理工程(如表1)

表1 各路段治理情况、工作量及水泥用量

序号	路段	桩数 /个	工作 量/m	处理范围 (长×宽)/m	桩孔 形状	沉降 情况	水泥用 量/t
1	K105+950(左侧)	500	4376	128×6.8	梅花	严重	403.00
2	K111+700(左侧)	390	2430	99×6.8	正方形	轻微	178.32
3	K101+480(左侧)	340	3022	100.5×6.6	梅花	严重	279.00
4	K110+500(中部)	173	1304	23.4×9.66	梅花	严重	105.00
5	K100+900(右侧)	303	3822	66×6.0	梅花	严重	325.24
6	K101+480(右侧)	324	3497	83×6.6	梅花	严重	263.00
7	K105+950(右侧)	264	2376	87×6.6	梅花	严重	186.00
8	K106+520(右侧)	205	2962	61×6.2	梅花	严重	313.40
9	K111+800(右侧)	135	1582	41×6.2	正方形	轻微	120.00
10	K166+152(右侧)	335	4174	83×6.2	梅花	严重	322.00
11	K159+450(右侧)	186	2270	48×6.2	梅花	严重	185.00
12	K163+300(左侧)	100	682	20×6.0	正方形	轻微	66.00
13	K162+778(左侧)	270	3185	80×6.0	梅花	严重	177.50
14	K164+100(左侧)	621	6671	94×11.0	梅花	严重	540.00
15	K166+800(左侧)	66	747	16×6.8	梅花	严重	40.00
16	K162+780(右侧)	64	730	46×3.0	正方形	轻微	40.00
合计		4276	43830				3543.46

### 6.2 工艺技术

(1)按照设计要求,桩底必须嵌入老粘土或全

风化砂岩 2 m 以上,严重下沉路段桩孔均按中心间距 1.5 m 梅花形布置,轻微下沉路段均按中心间距 1.5 m 的正方形布置,成桩直径 0.5 m,28 d 地基承载力 4 MPa。为了增强止水防渗效果,在护坡路面端部先打 2 排孔,形成帷幕止水防渗墙,采用由外向内施工顺序。根据沉降、裂缝情况,沉降严重处桩孔间距可适当缩小,水泥采用 32.5 普通硅酸盐水泥,水灰比 1~1.5。

(2) 沉降、裂缝严重处 K164+100(左侧)和 K166+152(右侧)桩孔间距调整到 1.30 m,排距为 1.0 m。有的路段中部沉降严重,两头次之,桩孔布置中部按梅花形,两边按正方形布置,其中中央隔离带 K110+500 严重沉降段桩孔按 1.10 m 布置。施工中由于受公路场地条件限制排浆困难,废浆不得流到护坡及下部绿化带,只能临时滞流在路面内,待稍硬化后及时排除,不得影响交通运行。

(3) 工艺参数:单管法注浆,喷嘴直径 3 mm,喷嘴个数 1 个;压力 20 MPa;流量  $100 \text{ m}^3/\text{min}$ ;提升速度 25 cm/min,下部老粘土、全风化砂岩及水稳层改为 30~35 cm/min;旋转速度 22 r/min,下部老粘土、全风化砂岩及水稳层转速适当降低;注浆管外径 50 mm。

施工中在路基下部及路基水浸后软弱处(或空洞)随时调节钻杆提拉速度及旋转速度。

## 7 施工中应解决的几个关键问题

### 7.1 安全施工难度大

根据甲方要求,施工中不得影响路段的交通运行,再加上工期较紧,而且甲方要求最多只能同时作业 3 个路面,上行线和下行线必须单独施工,每个作业面开通 1 个车道,作业 2 个车道,给施工增加了难度。因运行的大货车离作业的设备很近,在进行旋喷操作时因注浆泵压力较大,必须预防车辆通过时拧卸钻杆或发生堵钻时,水泥浆液产生高压喷射,射到行驶车辆挡风玻璃影响行驶视线越出车道发生事故。

水泵工必须认真负责,不得离岗,随时注意压力表的变化情况,出现异常迅速与安全员、操作员传递讯号,将一切隐患消灭在萌芽状态之中。

另一方面也要防止路面污染,以免给交通带来一定不便。

特别是夜间作业要控制好照明灯的方向,不得影响司机视线。针对此情况,每个段面施工设置一名专职安全员,一名安全巡视员,一名指挥员轮流值

班,全体人员提高安全防范意识,按照高速公路各项安全规章严格执行,做到安全生产,文明施工。

### 7.2 排浆及水泥浆沉淀坑制备困难

因施工在高速原路面进行,受场地条件限制,废浆不得流入行驶车道,采用沙袋临时围堵,待稍凝固后及时清理外运。超车道施工及个别路段施工中浆液坑无法开挖,临时采用中央隔离带两侧护栏用薄铁皮及塑料布围堵成浆液坑,给施工带来较大不便。

### 7.3 施工组织管理

因每个沉降、裂缝路段以及每个部位危害程度不同,为了降低工作量减小成本,必须根据实际情况进行操作,根据危害程度进行桩孔布置,合理选择工艺技术参数,每个路段委派一名技术人员进行把关、认真负责,并做好以下几点。

(1) 建立质量保证体系,切实做到严格工艺,精心操作,逐项检查,确保质量。

(2) 认真执行原材料质量检验制度,按规定进行抽检。

(3) 坚持隐蔽工程和关键部位的质量检查验收制度。

(4) 严格执行质量“三检制”,实行自检、互检、专检相结合,以自检自控为主,增强质量意识,实行“质量否决权”制度。

(5) 观测成果必须坚持随时计算、核算,发现异常及时报告。

## 8 质量控制

高压旋喷桩的质量控制应贯穿在施工的全过程,对其质量的控制主要以预防控制为主,检查重点是:水泥用量、桩长、提升速度、旋转速度、桩孔间距以及施工顺序等。因此我们选择具有技师职称的、经验丰富的老技术工人,担任各班组的操作班长,他们能通过钻进过程中的实际状况,及时根据孔内情况针对工程地质勘察成果,熟练地应用钻进及技术参数,并随时调整。

(1) 水泥浆液应严格按照配合比执行,充分搅拌不得离析。

(2) 根据地层情况实际操作中随时调整工艺参数,由于外来水是从护坡端部侵入路基体,护坡端部形成的防渗帷幕墙严把质量关,增强路基的水稳定性。其桩孔布置根据实际情况进行调整,桩间距控制在 1.0~1.2 m,桩排距控制在 0.8~1.0 m。施工中工艺参数提拉速度控制在 0.02 m/min 左右,转速控制在 20~25 r/min。

(3) 严格把握桩体深度, 预先用基准仪测定路基标高, 因路基底部起伏变化较大, 施工前应认真测量并制作桩孔深度布置图, 确定每个桩孔的孔底标高。

(4) 加强现场的检查校核, 经常检查钻机安装的水平校核, 也即进行钻孔的垂直度校核, 一旦发现钻机安装水平偏差超标, 应及时进行纠正。进入硬层时, 通过减压、减速来避免孔斜, 若发现孔斜要及时采用上提钻具复钻法进行纠正, 或者钻杆上下往复活动的形式进行孔壁修正。

(5) 桩体垂直度  $< 1\%$ , 桩孔偏差  $< 3\text{ cm}$ 。

## 9 结语

施工期间先后将前期施工的桩体随时进行开挖验收, 均满足设计要求。经过 1 年的观测, 证明路基止水防渗加固效果显著, 高压旋喷注浆工艺防渗补

强达到预期目标。经过认真组织管理, 工程提前完成, 说明高压旋喷注浆工艺在治理高速公路沉降、裂缝工程中的应用是成功的, 该方法在类似工程的施工中必将会有一个广泛的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 王国际. 注浆技术理论与实践[M]. 江苏徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.
- [2] 贾庆山. 大型油罐地基处理[M]. 北京: 中国石化出版社, 1993.
- [3] 王铁宏. 全国重大工程项目地基处理实录[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [4] 林宗元. 岩土工程监理手册[M]. 辽宁沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1996.
- [5] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [6] 徐建忠, 诸葛艺, 程海义. 高压旋喷桩加固预应力管桩桩端湿陷性土持力层施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(11): 65-68.

# 水合物岩心气体采集技术获重大创新

《中国矿业报》消息(2013-10-15) 从中国地质调查局油气资源调查中心获悉, 由该中心技术人员研制出的两种适用于陆域天然气水合物钻探现场岩心气体的采集方法提高了野外工作的效率和采集气体样品的质量, 并具有操作简便等优点。

据了解, 目前, 相关技术已成功运用于漠河盆地天然气水合物钻探现场, 取得了良好效果; 有 8 项实用新型专利已获得国家知识产权局的批准, 另有 4 项发明专利目前在审批中。

钻井岩心中的烃类气体含量和组成是识别天然气水合物存在与否及判断烃类气体来源的重要指标, 目前钻井岩心的气体采集方法主要有顶空气法和静置排气法两种。其中, 顶空气法主要用来采集岩心(或岩屑)中的气体, 多用常温机械振荡方式释放气体, 其优点是野外操作简单、快捷, 缺点是气体释放不完全, 且采集过程中无法排除取样罐顶部预留空间的打气, 容易造成分析误差。静置排水法主要用于采集含水合物的岩心气体, 采用常温下自然静置释放的排水

取气技术, 其优点是野外操作简单, 排除了空气的影响, 缺点是自然静置释放速度较慢, 且受环境温度影响较大, 因水合物分解程度不一, 所释放气体量误差较大。

为克服上述两种方法中存在的分解速度慢、取气不完全、效率低, 以及易受环境温度、空气混入影响等缺点, 中国地质调查局油气资源调查中心天然气水合物调查室技术人员经过反复研究实验, 研制出两种适用于陆域天然气水合物钻探现场岩心气体的采集方法, 即真空恒温提取法和恒温振荡排水提取法。

据介绍, 真空恒温提取法采用真空、恒温脱气技术, 脱气程度高, 脱气环境稳定, 提高了气体采集效率, 排除了空气的影响, 保证了气体样品的提取质量。恒温振荡排水提取法通过对集气装置、集气罐、取气环境装置的创新设计和脱气和取气装置的有效集成, 排除了空气和温度的影响, 提高了工作效率和采集气体样品的质量。

# 整装勘查综合研究锁定四大目标任务

《中国矿业报》消息(2013-09-30) 从近日在京举行的整装勘查区综合研究工作项目立项论证会上获悉, 根据找矿突破战略行动的总体工作安排, 2014 年度整装勘查跟踪评价及找矿预测与勘查技术方法研究主要确定了四项目标任务。

一是开展整装勘查区找矿预测研究。针对影响整装勘查区主攻矿种找矿突破的关键地质问题, 通过编(填)专题地质图(如岩性构造图、成矿构造图、成矿流体蚀变矿物图等)、专题样品采集分析研究, 初步查清整装勘查区主要矿床类型、典型矿床地质特征、成矿地质体和矿体定位机制、成矿作用特征标志, 配合物化探资料综合分析, 建立找矿预测地质模型, 提出找矿突破的方向和勘查工作部署建议。

二是开展勘查技术方法应用研究。分轻重缓急地选择部分代表性的整装勘查区开展勘查技术方法的适用性研究, 包括对已有物探数据的重新处理和解释应用, 配合必要的大比例尺物化探工作, 研究提出有效的技术方法组合, 通过示范, 推广适用物化探技术方法, 带

动物化探技术的推广应用。

三是组织开展专家巡回技术指导。组织技术指导组专家和其他相关专家深入勘查一线开展技术指导、现场交流研讨, 指导解决勘查工作中遇到的难题, 提出解决问题的主要方法与建议。

四是开展整装勘查区跟踪评价与部署研究。协调推进整装勘查, 动态跟踪工作进展, 组织开展实施过程的监督检查, 评估和汇总勘查工作成果, 提出调整和完善整装勘查工作部署建议, 为整装勘查工作提供技术和信息服务。

此次部署论证的整装勘查区综合研究项目, 要解决的问题来自一线勘查队伍的具体需求, 由在整装勘查区内开展勘查工作的地勘单位牵头, 联合相关院校、科研院所以及物化探专业队伍组建的科研团队, 并与专家组的巡回指导紧密结合, 是地质科技攻关在产、学、研结合方面的一次新的尝试。