

岩土灌浆技术在滑坡治理中的应用

刘永杰¹, 谷风林², 刘彦林²

(1. 河北省地矿局, 河北 石家庄 050081; 2. 河北省地矿局国土资源勘查中心, 河北 石家庄 050081)

摘要:结合广西壮族自治区桂梧高速公路钟山至马江段百花滩2号滑坡治理的工程实例,介绍了岩土灌浆技术在滑坡治理工程中的具体应用。在了解滑坡成因的基础上,经过科学论证,优选滑坡治理方案。通过灌浆试验研究,得出灌浆的各项设计参数,并将岩土灌浆技术在滑坡治理工程中成功应用,收到了满意的效果。

关键词:滑坡治理;岩土灌浆技术;灌浆试验;灌浆压力;水泥浆液

中图分类号:U418.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)03-0066-05

Application of Rock and Soil Grouting Technology in Landslide Treatment/LIU Yong-jie¹, GU Feng-lin², LIU Yan-lin² (1. Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Shijiazhuang Hebei 050081, China; 2. The Center of Land and Recourse Exploration, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: According to the engineering case of an expressway in Guangxi, the paper introduced the application of rock and soil grouting technology in landslide treatment. By the scientific demonstration, landslide treatment scheme was planned; and by the grouting experiment study, the design parameters for grouting were obtained. The rock and soil grouting technology was successfully applied in landslide treatment with satisfied effect.

Key words: landslide treatment; rock and soil grouting technology; grouting test; grouting pressure; cement slurry

1 概述

岩土灌浆施工是将既有流动性又有胶凝性的浆液(或化学溶液),按规定的浓度,通过灌浆钻孔压送到岩土裂隙或土层孔隙中,这些浆液在岩土裂隙或土层孔隙中扩散、充填后,经过硬化、胶结形成结石,可以起到加固、防渗、改善地基的物理力学性质与工程地质条件等作用。

岩土灌浆技术最早应用于水闸和船坞工程。目前,岩土灌浆技术在隧洞防渗、坝基处理、地铁等建筑物的防渗加固和修补以及道路、桥梁、边坡的加固处理等方面得到了广泛的运用。

采用岩土灌浆技术治理滑坡,其作用机理是通过浆液对滑带土的挤密作用以及对部分空隙的充填,使滑带的物理力学指标明显改善,含水量减小,密度增大,粘聚力和内摩擦角显著提高,减少或消除滑坡体的剩余下滑力,同时,也对地表水的渗透起到阻挡作用,从而达到稳定滑坡的目的。

广西壮族自治区桂(林)一梧(州)高速公路钟山至马江段百花滩2号滑坡就是采用滑带灌浆+局部抗滑桩的方案进行治理的。经长期观测,滑坡治理效果明显,治理后滑坡已稳定。

2 百花滩2号滑坡体的基本特征

2.1 工程地质条件

滑坡体的地层情况如下:

- (1)一级阶地冲积层:黄色亚粘土,含粉细砂;
- (2)坡残积土:混碎石,红褐色,局部黄褐色,中密,稍湿,碎石含量30%~50%,碎石成分为泥质砂岩,棱角状,粒径2.0~50.0 mm,底部偶见块石,粒径100~500 mm,层厚0.5~10.0 m;
- (3)砂砾土:主要由全风化的泥质砂岩块石和粘土组成,紫红色,局部为石英砂岩;
- (4)碎石:主要由泥质粉砂岩颗粒组成,黄褐色,碎石呈棱角状,粒径3~5 cm,层厚1.2~15.9 m;
- (5)含碎石粘土:主要为粘土,混有全风化和强风化的泥质砂岩颗粒,具糜棱结构,含水量较大,层厚1.5 m左右,推测为滑动带;
- (6)泥质砂岩:紫红色,上部为全风化、强风化,可见原岩结构,裂隙发育,钻探岩心破碎,层厚0.5~5 m,下部为弱风化,中厚层状,裂隙较发育。

2.2 滑坡成因

滑坡所处山体为一古滑坡地段,属于低山及河

收稿日期:2010-01-07;修回日期:2010-01-24

作者简介:刘永杰(1964-),男(汉族),河北邢台人,河北省地矿局高级工程师,探矿工程专业,从事工勘施工技术、管理及信息研究工作,河北省石家庄市工农西路410号,liuyongjie999@126.com;谷风林(1970-),男(汉族),河北邯郸人,河北省地矿局国土资源勘查中心助理工程师,水文地质工程地质专业,从事工勘施工技术与管理,河北省石家庄市中山西路800号,hbdkgf@163.com;刘彦林(1969-),男(汉族),河北邯郸人,河北省地矿局国土资源勘查中心工程师,探矿工程专业,从事工勘施工技术与管理, hbdkljy@163.com。

谷地貌,后缘为一高山,山体最大高程 305 m,前缘紧临河谷,山脚谷地高程 112 m,最大高差 193 m。地形陡峭,高差很大,植被茂盛。

因新建公路的施工开挖,形成了新的临空面,使得古滑坡体的地应力重新分布。同时,由于工程开挖将地表植被破坏,加上当时持续的特大降雨,地表水通过上部透水性较强的土层和碎石层渗透到相对隔水的泥质砂岩滑床上,使滑坡体的含水量大大增加,造成古滑坡部分复活,地表出现弧形裂缝,土体产生明显位移。

滑坡体纵长最大长度 212.3 m,横向最大宽度 111.4 m,滑坡体最大厚度 24.5 m,体积约 $6 \times 10^5 \text{ m}^3$,为大型滑坡。滑坡体主要由透水性较强的混碎石粘土和碎石层组成。滑带土主要由糜棱状结构的混砾石粘土组成,粘土含量 30%,透水性较弱,但含水量较大。滑床为相对隔水的泥质砂岩。地下水主要来源于大气降水。

3 方案论证

由于新建高速公路的一条隧道出口和一座桥梁的部分桩基础位于滑坡体内,为了消除滑坡对公路造成的安全 and 质量隐患,必须对滑坡进行治理。

对滑坡体经过前后两次工程地质勘察,并对治理方案进行了多次研究论证,决定采用滑带灌浆+局部抗滑桩的方案进行治理,辅助措施主要有滑坡体外围截水沟、表面排水沟、内部引水管以及对裂缝进行注浆、夯填防渗等。治理方案对比见表 1。

表 1 百花滩 2 号滑坡治理方案对比表

序号	治理方案	优点	缺点	造价情况	可行性评价
1	削方减载	难度小,施工简单,效果明显	开挖可能造成更大范围滑坡	较低	较差
2	抗滑桩+锚索	技术成熟,易于检验	因滑坡剩余下滑力大(2874 kN/m),所需抗滑桩尺寸大,滑体破碎,锚索成孔难度大	较高	较好
3	抗滑桩+挡土墙	技术成熟,易于检验	滑体厚度大,剩余下滑力大,倾覆力矩大,所需抗滑桩和挡土墙尺寸大	较高	较好
4	滑带灌浆+局部抗滑桩	施工方法简单,对地表破坏小	灌浆需特定工艺,检验方法较复杂	较低	好

4 灌浆试验

灌浆试验是灌浆设计和施工前所必须完成的工作,目的在于通过灌浆试验获得有关资料、数据,为设计和施工提供符合实际的依据。

4.1 试验目的

- (1) 检验灌浆后灌浆材料对滑带土的充填效果;
- (2) 验证灌浆固结体上下接触面的抗剪强度指标;
- (3) 验证灌浆孔间距、灌浆压力、浆液水灰比、浆液灌入量和灌浆终止条件的合理性;
- (4) 对滑带灌浆机理做进一步解释。

4.2 试验孔的布置

灌浆试验前,对灌浆范围的地质条件和灌浆地段的选择进行了详细的调查,通过研究分析前期所做的工程地质勘察资料,了解了施工区的断层、裂隙、破碎带的性质与规模,掌握了地层的软弱夹层、填充物和地层的透水性等,在上述基础上,对灌浆地段进行了初步选定。

根据百花滩 2 号滑坡的滑面深度、滑体厚度及滑体物质的不同,将滑坡区分为 2 个试验场地。在一号场地布置 2 个灌浆孔、2 个取心检测孔(兼物探)和 2 个竖井检查孔,各孔相对位置见图 1。在二号场地布置 3 个灌浆孔、2 个取心检测孔(兼物探)和 2 个竖井检查孔,试验方法与一号场地相同,不再赘述。

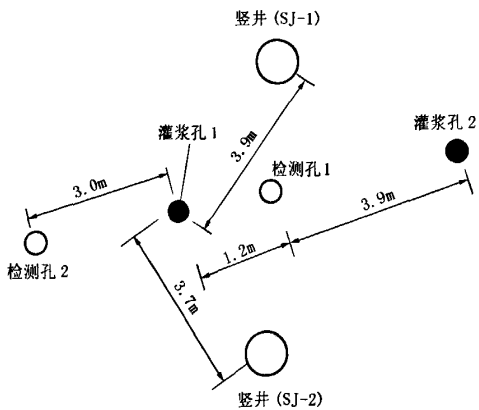


图 1 一号场地试验孔布置图

4.3 试验过程

4.3.1 钻孔

灌浆孔采用工程地质钻机、金刚石钻进成孔。成孔过程中及时采取岩心,初步判定滑带位置。

主要机械设备包括 ZY-150 型工程地质钻机、

BW250/50 型灌浆泵及 LZJ-200 型高速制浆机等。

灌浆孔开孔口径 130 mm,终孔口径 110 mm。1 号灌浆孔钻进深度 16.3 m,2 号灌浆孔钻进深度 13.0 m。

1 号孔钻进至 7.0 m 时,钻进速度明显加快,改用干钻法取心,心样不完整,主要为含碎石粘土,该层厚度 1.5 m,即深度为 7.0~8.5 m,初步判断该层为软弱层。从 8.5 m 以深至 16.3 m 终孔,钻进速度较慢,心样完整。初步判断 1 号孔软弱层在 7.0~8.5 m,基本可以确定该层为滑带。

2 号孔与 1 号孔情况类似,只是软弱层(滑带)深度在 10.0~11.5 m。

灌浆试验也就是对此软弱层(滑带)进行处理。

4.3.2 灌浆试验

灌浆步骤如下:

- (1)安装灌浆设备,布设灌浆管路;
- (2)配制浆液:浆液配比为水:水泥:速凝剂=0.8:1:0.2~0.35,搅拌时间为 5 min;
- (3)灌浆顺序:先灌注滑床以下 1.0 m 部位,再灌注滑带土顶部以上 1.0 m 部位,最后从下至上灌注整个滑带土部位;
- (4)灌浆控制:对两个灌浆孔滑带位置分别进行封孔处理,同时进行间歇性灌浆,在一个孔暂停时,另一个孔进行灌浆,如此反复循环,直至满足设计闭浆条件,即压力≥2.5 MPa,流量<5 L/min,且保持 30 min,灌浆结束;

(5)扫孔灌浆:第一次灌浆结束后,间隔 24 h,扫孔进行第二次灌浆,第二次灌浆只灌注软弱层部位,灌浆方法同上。

4.3.3 灌浆试验过程中的现象分析

(1)1 号灌浆孔开始灌浆过程时,在竖井 SJ-2 深度 11.0 m 处有水渗出,随着灌浆的进行,渗出量逐渐增大,之后又逐渐变小,最后停止。

此情况说明,在灌浆过程中,浆液逐渐将岩土体中的水挤出。随着灌浆的进行,岩土体中的缝隙、孔隙和节理被浆液充填,封堵了渗水通道,最终使得渗水停止。

(2)对每个灌浆孔第三次灌浆时,发现灌浆压力明显增大,起始压力约 1.0 MPa,灌浆结束时压力达到 3.0 MPa,且吸浆量<5 L/min。这说明滑动带土体的密实度得到了明显提高。

4.3.4 竖井取样检测

灌浆结束后 7 天,在竖井内的滑带范围用环刀取原状样,进行土工试验,对比检验土体灌浆前后的

含水量、密度、孔隙比和抗剪强度等物理力学指标。

4.3.5 钻孔取心检测

灌浆结束后 7 天,钻进检测孔,采取心样,检验浆液在滑带部位的置换和充填情况。

4.4 试验结果

4.4.1 灌浆前后滑带土的物理力学指标情况

根据竖井取样、钻孔取心、物探检测和土样物理力学性质试验结果综合分析,得出试验结果如下:

- (1)灌浆后滑带土层中水泥浆充填量一般为 5%~10%;
- (2)灌浆后滑带土的物理力学性质有明显改善,见表 2。

表 2 灌浆前后滑带土物理力学指标(平均值)对比表

滑带土状态	含水量 /%	天然密度 /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	干密度 /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	孔隙比	饱和度 /%	抗剪强度(天然快剪) c/kPa $\varphi/(^{\circ})$
灌浆前	27.06	2.06	1.61	0.78	94.2	26.2 4.9
灌浆后	17.37	2.14	1.82	0.57	87.3	78.9 21.3

(3)灌浆后滑带土纵波波速值明显提高,见表 3。

表 3 灌浆前后滑带土纵波波速值对比表

滑带土状态	滑带纵波速度均值 $V_p/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	滑带下部纵波速度均值 $V_p/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
灌浆前	1026	1916
灌浆后	1641	2197

4.4.2 滑带土灌浆加固效果的综合分析

(1)灌浆前,灌浆孔钻进时没有回水。灌浆后,在钻进抽心检测孔和物探检测孔时,钻孔有回水现象,说明灌浆后滑动带和滑体内被灌浆浆液挤密和充填。

(2)从竖井开挖揭露浆液对滑带土的充填情况来看,灌浆体的产状与滑带的产状一致,且深度与勘察资料吻合。另外,浆液所形成的水泥固结体连续、完整。

(3)根据滑坡体位移观测资料,在灌浆施工过程中,滑坡体有明显位移,说明浆液已进入滑带,对滑带土的强度产生了一定的影响,所以造成局部位移。灌浆结束 7 天后,滑坡体已停止位移,说明灌浆对稳定滑坡体起到了作用。

5 灌浆施工

5.1 灌浆孔布置

鉴于灌浆试验取得成功,获得了参考数据,在此基础上,进一步修正了灌浆参数,将整个滑坡体划分为 5 个灌浆区段,共设计灌浆孔 233 个,每个灌浆孔

又分数段进行灌浆。灌浆孔布置见表4。

表4 百花滩2号滑坡滑带灌浆孔参数表

灌区	灌浆孔数/个	孔距/m	孔径/mm	孔深/m	灌浆段/段
I区	24	6	130	12~22	2~3
II区	63	10	130	13~14	2
III区	106	6	130	13~25	2~3
IV区	37	8	130	20~25	2~3
V区	3	12	130	25	2

5.2 灌浆参数

灌浆浆液为水泥浆,水灰比1,水泥强度等级32.5 MPa。化学控制液由40波美度的水玻璃加特制的添加剂调制而成,其加注量根据灌浆时的压力、流量及地表情况随时调整。

每个灌浆孔分为2段或3段灌浆,灌浆顺序为自上而下。第一段灌浆闭浆压力要大于或等于2.0 MPa,第二、第三段灌浆闭浆压力要大于或等于2.5 MPa,吸浆量小于5 L/min,且保持时间30 min。

5.3 灌浆工艺流程

钻孔→放置灌浆管和封孔器→第一段灌浆→扫孔和加深钻孔→放置灌浆管和封孔器→第二段灌浆→扫孔和加深钻孔→放置灌浆管和封孔器→第三段灌浆→封孔。

5.3.1 灌浆孔钻孔

由于是在整个滑坡体大范围地布置灌浆孔,且数量较大,为了保证施工期间滑坡体的稳定,不宜采用冲洗液钻进成孔。经对比长螺旋钻进、地质回转钻机钻进和气动潜孔锤跟管钻进这三种成孔方法,选择了气动潜孔锤跟管钻进。采用YG-50型锚杆钻机、QCW型潜孔偏心冲击器,配置21 m³中风压空压机供风进行钻孔施工。采用一次成孔、分段灌浆施工方法。

5.3.2 浆液制备

为保证浆液质量,制浆设备采用自主研发的LZJ-200型高速制浆机。

(1)制浆材料均经过称重,称重误差<5%;

(2)各类浆液必须搅拌均匀,测定浆液的密度和粘滞度,并做好记录;

(3)纯水泥浆液的搅拌时间<5 min,加入外加剂后再搅拌30 s以上;

(4)浆液温度必须保持在5~40℃之间。

5.3.3 灌浆

灌浆是本治理工程的最关键环节。经过高速制浆机制备好的水泥浆,放至低速搅拌机存储。灌浆设备为流量100 L/min、压力可达10 MPa的SGBG

-10型灌浆泵。

采用TJF工法进行灌浆施工。TJF工法就是通过设置封孔装置、间歇性灌浆、添加外加剂控制漏浆的一种灌浆方法。具体做法如下:

(1)灌浆孔达到灌浆位置后,放置灌浆管和封孔器;

(2)采用间歇灌浆,每灌入一定量水泥浆后暂停待凝一段时间,一般为12 h,间歇期间可进行其它孔灌浆,反复循环,直至满足闭浆条件灌浆结束;

(3)灌浆时用化学灌浆泵向孔内加注化学控制液,其加注量根据灌浆时的压力、流量及地表情况随时调控。

5.3.4 灌浆压力控制

灌浆压力控制采用分级升压法,即在灌浆过程中将压力分为几个阶段,逐级升高,直至达到规定的灌浆压力。开始灌浆时,如果吸浆量过大(≥ 25 L/min时),就使用低一级的压力灌浆。当吸浆量逐渐减少到一定限度(下限 ≤ 10 L/min)时,再将灌浆压力升高一级。灌注一段时间后,吸浆量又会逐渐减少到下限,此时再将灌浆压力升高一级。如此分级升压灌浆,直至达到规定的闭浆条件。

灌浆分级升压过程如图2所示。

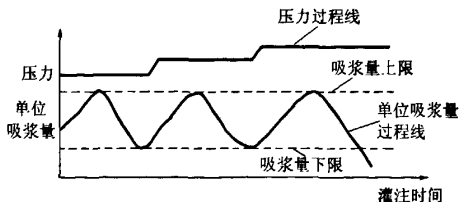


图2 灌浆分级升压过程示意图

5.4 回填封孔

灌浆孔灌浆结束(或钻孔取心检验)后,竖井取样后,要将钻孔和竖井回填封孔。

竖井采用粘土加干水泥粉充分搅拌后回填,并振捣密实。钻孔采用机械压浆法封孔,封孔材料为水泥砂浆。

5.5 施工中需要注意的问题

(1)设计将整个滑坡体分为5个区进行灌浆,相邻的两个区不能同时灌浆,并且每个区同时灌浆的孔数不能超过3个;

(2)灌浆中要注意观察浆液的跑、冒、漏现象,并要及时向孔内加注速凝剂进行控制,无法控制时要暂停灌浆,待水泥浆凝固一段时间后再继续灌浆;

(3)施工过程中要准确记录灌浆位置、压力、流

量和浆液用量,如遇有卡钻、掉钻、跑浆、漏浆、地表裂缝等特殊情况要及时通知监理和设计代表确认;

(4)施工过程中有个别灌浆孔达不到闭浆压力2.5 MPa的,采用单孔设计灌浆量的1.2倍作为闭浆标准。

6 灌浆效果检测和评价

灌浆效果的检测,除了根据国家有关地质灾害治理工程质量检验评定标准对灌浆质量进行评定外,还采用以下方法对灌浆效果进行综合对比评价。

6.1 面波法检测

灌浆前在灌区中央进行面波测试,测出各个层面的剪切波速,灌浆后在原位置再次进行面波测试,对比两次的剪切波速,推断土体的力学性质变化情况。

6.2 钻孔取样检测

灌浆后在设计指定位置钻孔抽心取样,并对心样进行物理力学性质试验,将试验结果与灌浆前相近位置心样的指标进行对比,得出岩土体物理力学指标的变化情况。

6.3 竖井检测

灌浆后人工开挖竖井,主要验证水泥浆充填情况和取大样进行剪切试验,从而对灌浆效果进行检测。

7 灌浆施工常见事故及其处理措施

7.1 冒浆

冒浆是指在灌浆过程中,浆液沿裂隙冒出地表。其原因主要是由于岩层破碎、裂隙发育贯通(尤其是垂直裂隙),或者是灌浆段位置较浅、灌浆压力过大等因素造成的。

处理冒浆的方法主要有以下几种。

(1)在灌浆工艺方面采取控制性措施,比如:

①采用间歇灌浆法,即灌注一段时间的浓浆(或发现冒浆)后,间隔一段时间(一般为15 min左右)再灌,如此反复即可解决冒浆现象;

②降低灌浆压力,同时也可以提高浆液浓度,或者添加一定量的速凝剂。

(2)堵塞冒浆部位。可用棉絮、麻刀等纤维物质填塞冒浆裂隙。冒浆严重时,可在冒浆部位用混凝土浇筑盖板。

7.2 串浆

串浆就是在灌浆过程中,浆液从其他钻孔中溢出的现象。这是由于地层中裂隙(尤其是横向裂隙)过多,致使各钻孔间相互连通所致。

处理串浆的方法主要有以下几种:

(1)在施工组织安排上,适当延长相邻两个次序灌浆孔的施工间隔,同一次序灌浆孔适当拉开距离,尽量不在同一高程上灌浆,采用自上而下的灌浆方法也可以有效地防止串浆;

(2)若剩余待灌的钻孔数量较少,无法拉开距离或进行间隔施工时,可采用并联灌浆的方法,即两个钻孔采用相同的灌浆压力同时灌浆。

7.3 漏浆

在卵砾石和岩溶发育地区这种情况很多,浆液大量流失,灌浆压力长时间不能提升。其处理方法与处理冒浆基本一样,严重时可采用化学浆液灌注。

7.4 绕塞返浆

绕塞返浆就是在灌浆过程中,浆液绕过隔离塞返到上部孔段。其原因是由于灌浆时隔离塞所处孔段孔壁不规整,或因隔离塞未能完全压胀,使得隔离塞没有起到严密的封隔作用,也可能是因为上部已经灌浆孔段的裂隙没有灌实,使得下部灌浆段与隔离塞以上的地层通过裂隙相互贯通。

为了很好地预防绕塞返浆事故,钻孔时尽量采用金刚石钻进工艺,要注意保护孔壁完整;适当延长上部孔段灌浆后的待凝时间;每次灌浆前都要仔细检查橡胶隔离塞状态是否良好,不合格的及时检修或更换。

8 结语

经过对百花滩2号滑坡灌浆前后各种检测数据的对比分析,可以看出,滑带土的物理力学性质有了明显改善,说明灌浆效果较好,灌浆后的各项指标符合设计要求。加上局部抗滑桩、引排水和裂隙封闭等措施的共同作用,百花滩2号滑坡体已稳定,经过长期观测,未发生新的位移。通过该工程的施工实践,取得了比较成功的经验,可以为以后类似工程的施工提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 编写组. 岩土工程施工方法[M]. 沈阳: 辽宁科技出版社, 1990.
- [2] 龚晓南. 地基处理手册(第三版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [3] 刘振飞. 水利水电工程设计与施工新技术全书[M]. 北京: 海潮出版社, 2001.
- [4] JTJ 041-2000. 公路桥涵施工技术规范[S].
- [5] DL/T 5148-2001. 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].
- [6] JGJ 79-2002. 建筑地基处理技术规范[S].
- [7] 刘永杰, 袁建周. 黄壁庄水库坝基帷幕灌浆工程施工方法[J]. 探矿工程, 2002, (S1).