

高陡岩质滑坡治理及环境恢复技术

熊慧灵*

(湖南安全技术职业学院 安全工程学院, 湖南 长沙 410151)

摘要:为详细评价怀化鹤城分水坳高陡岩质滑坡的稳定性,针对滑坡提出合理的治理及环境恢复方案.首先结合实际工程地质条件,分析了滑坡的成因及诱发因素,该滑坡主要由人类工程活动和大气降雨共同作用形成,而大气降雨是直接诱发因素.然后通过研究滑坡的失稳机理,对滑坡的稳定性进行了定性和定量分析,得出滑坡在暴雨工况下处于不稳定状态,滑坡有进一步滑动的趋势.最后,经对比分析选定了锚杆工程、锚索工程、毛石混凝土挡墙工程、植被混凝土绿化工程、喷锚网护坡工程、排水工程的综合治理方案.该方案既考虑了滑坡的治理加固,又考虑了滑坡治理后的环境恢复问题,可为今后类似的滑坡治理工程提供参考.

关键词:高陡岩质滑坡;稳定性分析;治理方案;植被混凝土

中图分类号:P642.22 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2021)02-0042-06

Treatment and Environmental Restoration Technology of High and Steep Rock Landslide

XIONG Huiling

(School of Safety Engineering, Hunan Vocational Institute of Safety Technology, Changsha 410151, China)

Abstract: In order to evaluate the stability of Fenshuiao high and steep rock landslide in Hecheng District of Huaihua City, a scheme of the reasonable treatment and environmental restoration is proposed for the landslide. Firstly, combined with the actual engineering geological conditions, the causes and inducing factors of the landslide are analyzed. The landslide is mainly formed by the combination of human engineering activities and atmospheric rainfall, and the atmospheric rainfall is the direct inducing factor. Then, the stability of landslide is analyzed qualitatively and quantitatively by studying the instability mechanism of landslide. It is concluded that the landslide is in unstable state under rainstorm condition, and the landslide has the tendency of further sliding. Finally, through comparative analysis, the comprehensive treatment scheme of anchor rod engineering, anchor cable engineering, rubble concrete retaining wall engineering, vegetation concrete greening engineering, spray anchor net slope protection engineering and drainage engineering are selected. This plan considers not only the treatment and reinforcement of the landslide, but also the environmental restoration after the treatment of the landslide, which can provide references for similar landslide treatment projects in the future.

Keywords: high and steep rock landslide; stability analysis; treatment scheme; vegetation concrete

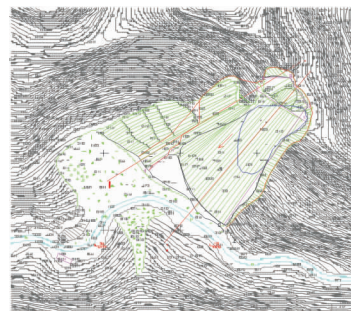
近些年来,由于我国道路建设规模不断加大,开挖坡体修路不可避免对周边环境造成影响.原生植被的破坏加剧了水土流失,在降雨情况下,裸露坡体极易发生滑坡和落石等地质灾害.为了改善滑坡区域的生态环境,保障人民的生命财产安全,对滑坡进行合理的环境恢复治理十分重要.徐晨栋等^[1]以清子高速某工程滑坡为研究背景,对不同工况下的滑坡进行数值模拟,分析了开挖后滑坡的发生机制.周斌斌^[2]分

析了高边坡滑坡的成因和破坏机制.刘德平等^[3]对甘南某高速公路滑坡稳定性进行分析和验算,提出了一种综合治理方案.陈锋等^[4]对G318公路坛子岩村滑坡进行稳定性计算,根据分析结果选取了合适的治理方案.夏冬等^[5]通过分析国内外岩质边坡生态复绿技术的特性,详细归纳了相关复绿技术的优缺点.目前在边坡生态修复技术方面,植被混凝土绿化技术应用较为广泛.植被混凝土绿化技术结合相关岩体特征和植被的生长特点,将水泥、生植土、混凝土添加剂、腐殖质和植绿种子等按一定比例混合后喷射到坡面,能够快速、有效地实现生态环境修复,具有固土、绿化等较明显的成效^[6,7].鉴于其技术上的优点,唐建超等^[8]将植被混凝土绿化技术应用于缓正高速公路护坡绿化;王华俊等^[9]将植被混凝土绿化技术引入到高速公路边坡硬质坡面进行绿化,达到了一定的生态和景观效果;席文明^[10]则在高陡边坡中运用植被混凝土生态防护技术进行护坡绿化,边坡复绿后效果显著.目前,对滑坡特别是高陡岩质滑坡方面的治理加固和生态环境恢复研究甚少.本文以怀化鹤城分水坳滑坡为工程背景,考虑滑坡所在区域的实际情况,采用多种加固措施以及植被混凝土绿化技术对该滑坡进行综合治理和环境修复.

1 滑坡基本情况及成因分析

1.1 工程概况和滑坡区特征

怀化鹤城分水坳环境恢复治理区位于省道S312分水坳隧道北侧,因原省道S312边坡开挖引发滑坡,造成大面积植被破坏,且引发自燃,导致水土流失及空气污染,污染下游板木溪水库水质,是湖南省28处重点督办地质环境点之一.根据现场调查及测绘,滑坡平面上呈舌状,滑坡后缘高程651~662 m,前缘高



(a) 地质平面



(b) 地形地貌

图1 滑坡区现场

程561~562 m,高差约90~100 m.滑坡前缘宽度74 m,顺主滑方向长100 m,主滑方向为220°;滑动面呈圆弧形,面积约7 000 m²,滑坡体厚度5~20 m,体积约60 000 m³,属小型牵引式岩质滑坡.该滑坡目前已经整体下滑,滑体大部分被清走,坡面仅部分残留,主要分为2块:左上侧残留岩体,高度40 m(标高600~640 m),平均宽度20 m,厚度3~10 m,一般厚度7 m,需加固处理;右侧残留滑体及自燃后物质,最高标高643 m,最低标高560 m,高差83 m,纵向长度100 m,宽度20~50 m,平面面积约3 700 m²,为松散坡积物,降雨时易冲刷下滑.该滑坡位于省道S312上方,过往车辆行人较多,主要威胁道路交通安全;道路靠山坡一侧为污水处理厂,受滑坡威胁,潜在经济损失3 000万元左右.滑坡区场地现状如图1所示.

1.2 区域地质环境条件

1.2.1 地形地貌

地貌类型属剥蚀低山地貌,总体地势中间高四周低,顶部为山顶,高程685 m,山坡中部有原省道S312通过(标高560 m),南侧为山谷.整体坡度25°~50°,坡体植被发育,多为灌木.

1.2.2 地层岩性

区内出露地层有第四系(Q)、寒武系下统牛蹄塘组(ϵ_1n)、震旦系上统留茶坡组(Z_0l).地层由老至新叙述如下:

震旦系上统留茶坡组(Z_0l):黑色、灰黑色硅质岩,层间夹有页片状硅质页岩,与下伏地层整合接触.

寒武系下统牛蹄塘组(ϵ_1n):岩性为黑色炭质板岩、炭质板状页岩与硅质岩互层,薄层状构造,含黄铁矿星点和团块,并可见顺层分布的黄铁矿条带.硅质岩为灰黑色,裂隙较发育,常见有石英、方解石脉充填.因十年前开始自燃至今,地表因烘烤呈砖红色.与下伏地层整合接触.

第四系(Q):主要分布在山体表面,由黄褐色黏土及一些残坡积物组成,厚度0.5~1.0 m.与下伏地层不整合接触.

1.2.3 地质构造与地震

根据场地所在区域的地质资料,区内未出现显著的断裂构造,为单斜地层,地质构造简单.根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015)和《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010),该区设计基本地震加速度值小于0.05g,地震动反应谱特征周期值为0.35 s,地震设防烈度小于6°,属弱震区.

1.2.4 水文地质

场地内地下水类型主要为第四系松散岩类孔隙水及基岩裂隙水.

1) 松散岩类孔隙水:主要赋存于第四系土层之中,受大气降水的补给,无稳定水位,对滑坡稳定性影响极大.

2) 基岩裂隙水:赋存于下伏页岩中,主要接受大气降水及松散岩类孔隙水补给,直接排泄至沟谷中,水位埋深较大,在坡底部附近富水.

1.3 滑坡物质结构特征

根据地质调查及区域地质资料,滑坡物质组成及结构特征自上而下分布的地层为残坡积碎石土和中风化炭质板岩.

滑体:(1)残坡积碎石土(Q^{el+dl}):由紫红色、黄褐色黏土及一些残坡积物组成,厚度0.2~0.6 m.该层分布于整个坡体上.(2)中风化炭质板岩:灰黑色,薄层状构造,含黄铁矿星点和团块,并可见顺层分布的黄铁矿条带,节理裂隙发育,常见有石英、方解石脉充填.经多年自燃后至今,坡体表面因烘烤呈灰白色、砖红色,结构松散.岩层主要产状为 $0^\circ \angle 8^\circ$ 和 $350^\circ \angle 8^\circ$,为逆向坡;主要节理为 $210^\circ \angle 80^\circ$ 和 $140^\circ \angle 75^\circ$,岩体受节理裂隙影响,较为破碎,胶结差.

滑带(面):滑带主要为一组 $180^\circ \angle 50^\circ$ 节理的联通面.

滑床:滑床主要由寒武系下统牛蹄塘组炭质板岩,岩层产状为 $0^\circ \angle 8^\circ$,结构面属硬质结构面.

1.4 滑坡成因分析

根据滑坡形成的条件、影响因素,并考虑滑坡破坏特性分析,本滑坡是由岩土体性质、地形条件、人类工程活动和大气降水共同作用形成.一方面滑坡区人类工程活动较强烈,主要为早年开挖坡体修路,原始地貌被改变,人工切坡为斜坡滑移破坏提供了临空面,改变了坡体原有的应力状态,且削坡形成的边坡未进行任何防护,增加了滑坡的可能性.滑坡所处位置的斜坡自然坡度陡峭,坡度约为 50° ,坡体高差超过100 m,属于高陡边坡,滑坡位能较大,为滑坡滑移创造了条件.另一方面滑体主要由残坡积碎石土、强风化(自燃)炭质板岩组成,残坡积碎石土土质松散,孔隙度高,遇水易崩解.下覆地层为炭质板岩,层状结构,薄层状,节理裂隙大量发育,岩石力学强度低.大气降雨渗入地下,长期渗透到滑动面(带)上,软化滑动面,降低了滑动面(带)岩土体抗剪强度,使得滑动面(带)逐渐向外扩展、贯通,最终坡体发生滑动.

2 滑坡稳定性分析

2.1 定性分析

根据现场调查提供的滑坡岩层面及节理产状,选取最不利剖面采用赤平投影对滑坡稳定性进行定性分析,滑坡结构面赤平投影图如图2所示.根据赤平投影分析可知,其中J1节理面倾向与开挖面倾向的夹角小于 30° ,属外倾结构面,但倾角大于坡面角度,因此节理面相对稳定性较好,边坡沿节理面滑动可能性较小;J2节理面倾角大于坡面角度,且属内倾结构面,因此节理面稳定;YC1岩层结构面倾角小于坡面角度,但属内倾结构面,因此结构面稳定;分析组合结构面的影响,其中YC1-J1组合交线的滑动可能性较大.

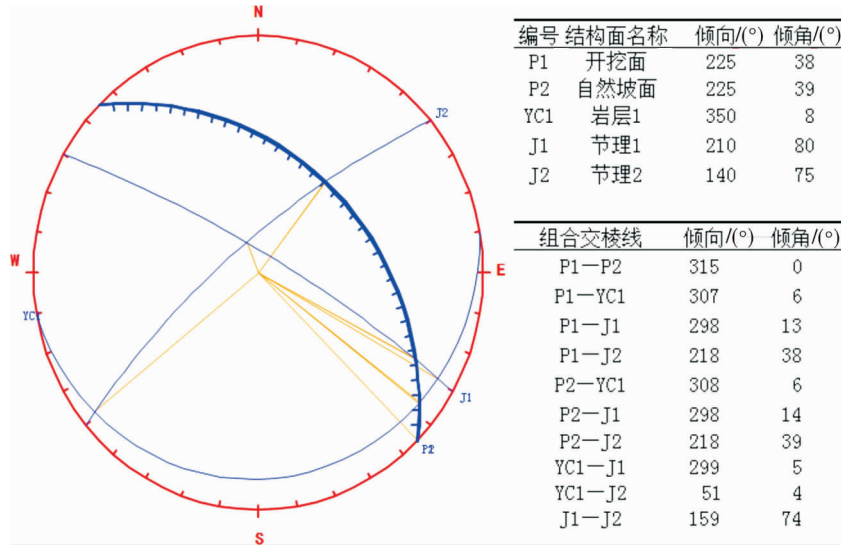


图 2 赤平投影法分析

2.2 定量分析

2.2.1 计算剖面 and 计算工况确定

计算剖面选择滑坡区域内的最不利断面,该断面贯穿滑坡前后缘.考虑区内地下水水位埋深较深,坡体未见稳定水位,故计算过程中不考虑地下水对滑坡的影响.滑坡稳定性分析仅针对自重工况 I 和暴雨工况 II (暴雨、连续降雨状态) 2 种工况进行.滑坡支护前工程地质剖面图如图 3 所示.

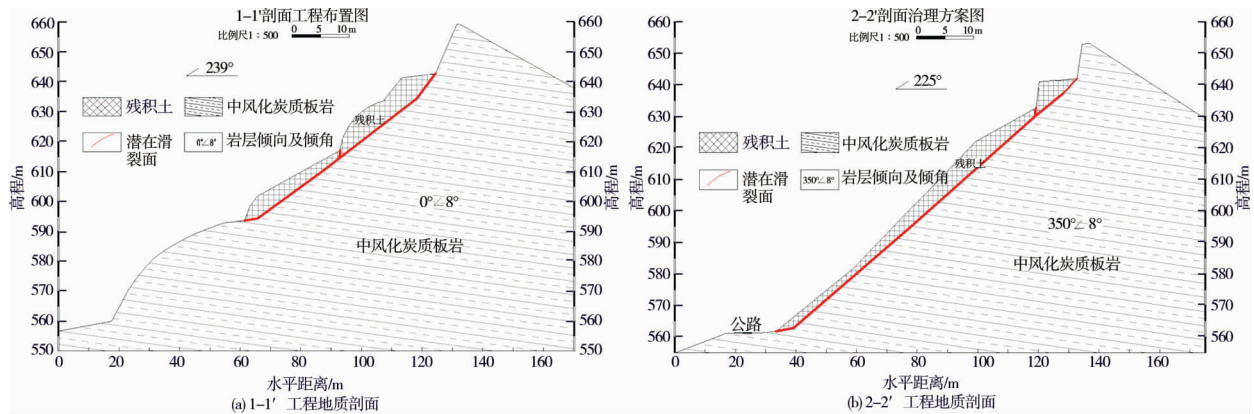


图 3 滑坡支护前工程地质剖面

2.2.2 计算参数确定

设计参数根据勘查单位提供的岩土层参数,结合地区经验、反演分析选取.滑坡治理设计所用的岩土层及滑带物理力学参数如表 1 所示.

2.2.3 滑坡稳定性评价及推力计算

根据调查报告,滑带(面)主要为节理的联通面,滑体主要为残坡积碎石土,滑面为穿过软弱夹层的折线形滑面.按照上述确定的计算剖面、计算工况和计算参数,结合工程实际情况,本滑坡工程采用北京理正岩土计算软件,根据折线形滑面(采用勘查指定最危险滑面)计算,该滑坡加固前的稳定系数和推力计算结果见表 2.

表 1 设计支护计算所需的主要参数

岩土名称	重度 $\gamma/(kN/m^3)$		抗剪强度				锚固体黏结强度 标准值/kPa
			黏聚力 c/kPa		内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$		
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	
残积土	18.0	18.5	17.8	16.3	31.6	29.1	20
中风化炭质板岩	24.0	25.6	53.0	51.0	37.0	35.0	370
滑带(面)	18.0	18.5	16.5	15.6	19.3	17.9	—

表2 滑坡治理前稳定系数和推力计算结果

计算剖面	计算工况	滑坡稳定安全系数	推力/(kN/m)
1-1'	自重工况 I	1.078	287.67
	暴雨工况 II	0.981	403.32
2-2'	自重工况 I	1.074	383.27
	暴雨工况 II	0.979	523.93

根据《滑坡防治工程勘查规范》(GB/T 32864—2016)第13.3.2条规定:当稳定安全系数 $F_s \geq 1.15$ 时,滑坡处于稳定状态;当 $1.05 \leq F_s < 1.15$ 时,滑坡处于基本稳定状态;当 $1.00 \leq F_s < 1.05$ 时,滑坡处于欠稳定状态;当 $F_s < 1.00$ 时,滑坡处于不稳定状态^[11].因此,由表2可知在自重工况I下滑坡稳定安全系数为1.074~1.078,滑坡处于基本稳定状态;在暴雨工况II下滑坡稳定安全系数为0.979~0.981,滑坡处于不稳定状态.相比于自重工况I,在暴雨工况II下滑坡推力明显增大,1-1'剖面中推力增大40%,2-2'剖面中推力增大37%.上述结果表明该滑坡亟待治理加固,大气降雨作用下极可能再次引发滑坡.

3 滑坡治理和环境恢复设计

3.1 治理方案介绍

滑坡治理采用锚杆(索)工程、喷锚网护坡工程、毛石混凝土挡墙工程、绿化工程、排水工程及监测工程相结合的方案.通过在坡面设置锚杆(索),增强坡体整体稳定,避免不稳定岩土体发生滑塌;采用挂网喷混护坡,防止雨水渗入坡体;对坡面进行绿化,保证与周边环境相协调,同时减少雨水对坡面的冲刷,有利于生态环境恢复,也减少了对下游板木溪水库的水污染;在坡底修建毛石混凝土挡墙,然后覆土绿化,防止坡脚冲刷;对滑坡建立全方位的截排水措施,减少雨水对坡体的冲刷作用,通过设置深层泄水孔和一般泄水孔,及时排泄坡体积水,减少地下水的渗透力,增大坡体土体的抗剪强度,提高坡体的整体稳定性;另外,通过开展滑坡监测和信息化施工,将滑坡加固过程和加固后的稳定性数字化,将滑坡安全可视化.治理方案示意图如图4所示.

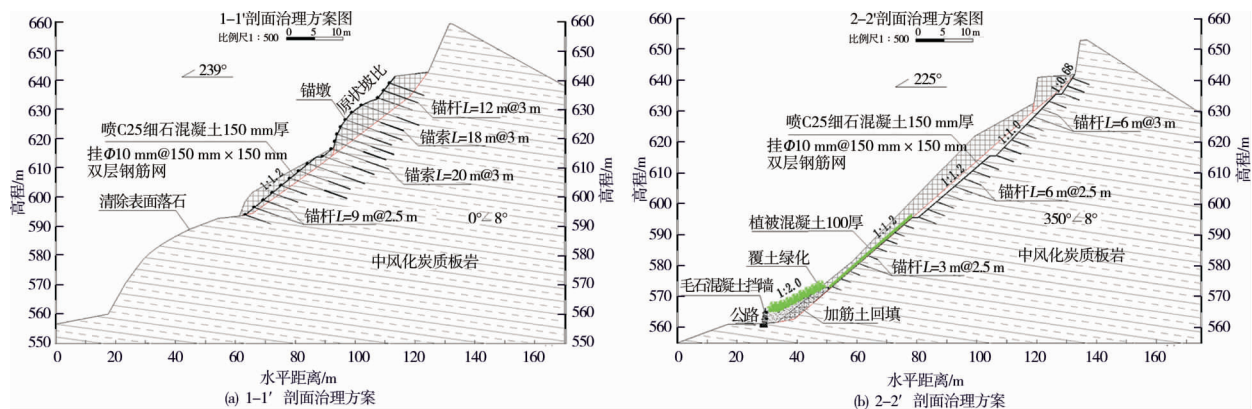


图4 滑坡治理方案

3.2 具体治理方案

3.2.1 锚喷网护坡工程

为增强坡体稳定性,在滑坡坡体上设置锚杆(索)+锚墩支护,锚墩呈梅花形布置分布于坡面上,其中锚墩采用C30混凝土现浇成型,锚杆(索)设置在锚墩中心处,锚杆(索)倾角 20° .锚杆采用全长黏结型锚杆,锚杆所用钢筋直径为20mm,钢筋等级为HRB400.锚杆竖向间距2.5m,横向间距2.5或3.0m,满足锚杆间距要求,锚杆长度分别为3,6,9,12m.锚索竖向间距2.5m,横向间距3.0m,满足锚索间距要求.锚索采用钢绞线,钢绞线的抗拉强度设计值为1320MPa.每根锚索采用4束15.2mm的钢绞线,锚索需锚固到中风化岩层,锚索自由段长度分别为10和12m,锚固长度为8m,锚孔直径150mm,锚索进行防腐处理.

锚杆(索)间采用挂网喷面护坡,喷枪强度C25,厚150mm,挂直径10mm、网孔150mm×150mm的双层钢筋网.锚索处锚墩截面尺寸为锚墩底部800mm×800mm,锚墩顶部500mm×500mm,锚墩高500mm.

3.2.2 毛石混凝土挡墙工程

为保证坡底绿化和安全,在坡底设置毛石混凝土挡墙,并在毛石混凝土挡墙上修建轻质围墙.在毛石

混凝土挡墙后采用加筋土回填,然后进行绿化.毛石混凝土挡墙墙高 5.0 m,墙底宽 2.35 m,墙顶宽 1.20 m,毛石混凝土挡墙采用 MU30 级毛石,C30 混凝土浇筑.毛石混凝土挡墙上设 2 排一般泄水孔,泄水孔长 3 m,泄水孔倾角 8° ,倾向墙外,采用 DN75 的 PVC 管,水平间距为 5.0 m,并设置反滤包.在毛石混凝土挡墙上每隔 20 m 设置一条伸缩缝,缝宽为 20 mm,沿缝的三边填塞沥青麻筋或沥青木板,塞入深度 200 mm.

在毛石混凝土挡墙顶部设置轻质围墙,轻质围墙采用将立柱(直径 48 mm 厚 3.5 mm 圆管)固定在底部尺寸为 500 mm×400 mm×400 mm 的 C25 素砼基础上,基础嵌入毛石混凝土挡墙,然后在立柱上设置侧向连接件连接空心方钢,并在空心方钢间设置网格 70 mm×150 mm 的钢丝网(直径 6 mm).

3.2.3 绿化工程

坡面绿化工程在护坡完成后采用 100 mm 厚植被混凝土护坡绿化,如图 5 所示.植被混凝土绿化采用网孔 50 mm×50 mm 的 14#镀锌(包塑)铁丝网,基材基层喷播 80 mm 厚,基材表层喷播 20 mm 厚(含植物种子).植被混凝土基材由生植土、水泥、混凝土绿化添加剂、腐殖质、有机肥、木纤维、保水剂和种子等组成.植草宜选用易成活、生长快、根系发达、叶茎矮或有匍匐茎的多年生当地草种.

建议每立方基层配方:生植土 0.90 m^3 ,水泥 100 kg,混凝土绿化添加剂 40 kg,腐殖质 0.20 m^3 ,有机肥 8 kg,木纤维 2 kg,保水剂 160 g;建议每立方面层配方:生植土 0.80 m^3 ,水泥 80 kg,混凝土绿化添加剂 30 kg,腐殖质 0.20 m^3 ,种子 50 g(催芽),有机肥 8 kg,木纤维 2 kg,保水剂 160 g.

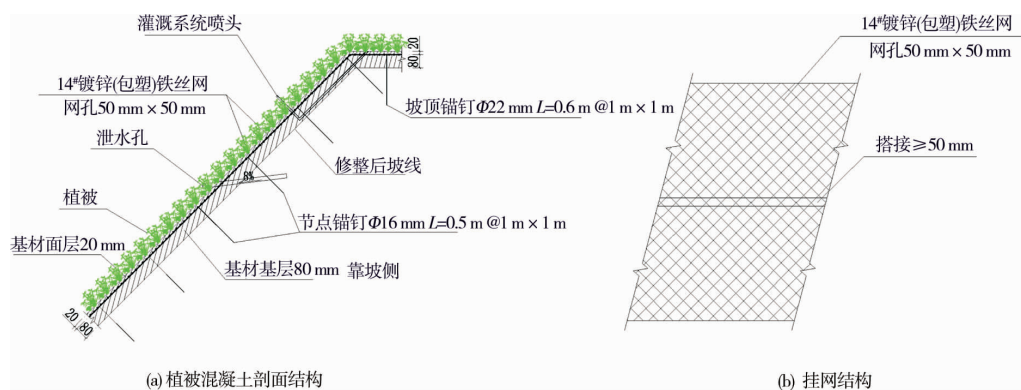


图5 植被混凝土绿化种植

4 结论

1) 本滑坡主要诱发因素是人类工程活动及大气降雨,其中大气降雨是直接原因.由定性分析可知,滑坡沿 YC1-J1 组合交线滑动的可能性较大.由定量分析可知,滑坡在暴雨工况 II 下处于不稳定状态,且滑坡推力显著增加.

2) 根据滑坡的地质条件、各工况稳定状态及对工程的影响关系等因素,滑坡环境恢复治理采用锚喷网护坡工程、毛石混凝土挡墙工程、绿化工程、排水工程及监测工程相结合的方案.

参考文献:

- [1] 徐晨栋,苑康泽,郭子坤,等.清子高速某工程滑坡诱发机制及治理模拟[J].地质与资源,2020,29(2):196-201.
- [2] 周斌斌.江罗高速 K24+100~290 六级高边坡滑坡治理探讨[J].工程与建设,2018,32(6):875-877.
- [3] 刘德平,陈涛.甘南某高速公路滑坡稳定性分析及治理研究[J].灾害学,2019,34(s1):174-179.
- [4] 陈锋,陈俊,吴银亮. G318 公路坛子岩村滑坡稳定性分析及治理方案研究[J].路基工程,2020,(2):206-210.
- [5] 夏冬,李富平,袁雪涛.露天矿岩质边坡生态重建技术研究现状及发展趋势[J].金属矿山,2018,(1):1-10.
- [6] 叶涌,陈巍,李明.植被混凝土护坡绿化技术在高速公路边坡的应用[J].山西建筑,2018,44(30):117-119.
- [7] 贾振鹏,高志飞,高艳军.岩石边坡植被混凝土施工技术及应用[J].低碳世界,2018,(4):38-39.
- [8] 唐建超,陈巍,黎志权.绥正高速公路植被混凝土护坡绿化植物生长特征研究[J].科技创新与应用,2018,(33):11-14.
- [9] 王华俊,卿翠贵,邓检良,等.高速公路边坡既有硬质坡面的绿化技术研究[J].公路,2019,64(6):256-259.
- [10] 席文明.植被混凝土生态防护技术在高陡边坡上的应用[J].化工矿产地质,2019,41(1):50-52.
- [11] 全国国土资源标准化技术委员会.滑坡防治工程勘查规范:GB/T 32864—2016 [S].北京:中国标准出版社,2016.