

# 新型生态边坡治理支护形式现场试验研究

崔恒<sup>1</sup>, 李慎锋<sup>1</sup>, 张吉庆<sup>1</sup>, 于海峰<sup>1</sup>, 薛久军<sup>1</sup>, 孙涛<sup>2</sup>, 张泉成<sup>1</sup>

(1.青岛瑞源工程集团有限公司, 山东 青岛 266555; 2.山东科技大学, 山东 青岛 266590)

**摘要:**边坡治理工程常用到喷锚支护形式。护坡面层采用素混凝土或者钢筋混凝土,耗用建材量大,不经济。公路边坡往往还需要环保观感要求,灰色的混凝土跟周围环境不协调。本文提出一种“锚杆加固+土工格栅护坡+客土喷播绿化”的新型生态边坡复合支护形式,并设计试验段进行研究。通过理正岩土软件计算,边坡稳定性、锚杆承载力均满足设计要求。试验段锚杆采用GFRP锚杆,面积100 m<sup>2</sup>。施工完成后,对比传统土钉墙混凝土面层和格构梁锚杆护坡支护形式,该形式具有施工快捷、经济适用等优势,既可用于加固边坡又具备绿色环保功能。

**关键词:**土工格栅;GFRP锚杆;生态边坡;边坡治理;边坡支护

**中图分类号:**P642.22 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)01-0077-06

## Field test on new type of ecological slope retaining

CUI Heng<sup>1</sup>, LI Shenfeng<sup>1</sup>, ZHANG Jiqing<sup>1</sup>, YU Haifeng<sup>1</sup>,

XUE Jiujun<sup>1</sup>, SUN Tao<sup>2</sup>, ZHANG Quancheng<sup>1</sup>

(1.Qingdao Ruiyuan Engineering Group Co., Ltd., Qingdao Shandong 266555, China;

2.Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong 266590, China)

**Abstract:** Bolting and shotcreting are commonly used in slope treatment. The retaining surface is made of plain concrete or reinforced concrete, which consumes a large amount of building materials and is expensive. Gray concrete is not in harmony with the surrounding environment, because highway slopes often require environmental awareness. In this paper, a new ecological slope compound retaining form of “bolting + geo-grid slope + green spray on borrowed soil” was presented and used over an experimental section. Calculation indicated that the slope stability and the anchor bearing capacity all meet the design requirements. The test section anchor rod adopted the GFRP anchor rod, the area is 100m<sup>2</sup>. After construction, compared with the traditional soil nailing wall concrete surface layer and lattice beam anchor bar retaining form, this form has the advantage of quick construction, economic application, which can be used to reinforce the slope and have green environmental protection function.

**Key words:** geo-grid; GFRP anchor rod; ecological slope; slope treatment; slope retaining

## 0 引言

边坡治理工程往往规模大、项目多、涉及面广。土石填挖工程形成的大量土石裸露边坡,破坏了既有植被,对现场地表生物影响较大。通常采用单纯的工程防护,如喷锚防护等,导致原有植被破坏、水土流失等一系列生态环境和工程问题。护坡面层采用素混凝土或者钢筋混凝土,耗用建材量大,不经济。公路边坡往往还需要环保观感要求,灰色的混

凝土跟周围环境不协调。生态边坡既可以永久防护又可以绿化美化环境,普遍应用于矿山复绿、山体治理、公路边坡工程,发展前景良好。张乾峰等<sup>[1]</sup>采用CS高次团粒混合纤维防护工法为边坡上植物生长提供了良好土壤环境;陈明<sup>[2]</sup>将CS技术用在高速公路石质边坡中,实现了一次性永久绿化;沈守云等<sup>[3]</sup>对CS绿化后土壤养分元素变化及植物群落景观做了研究分析;李春林等<sup>[4]</sup>采用FSA技术对山体

**收稿日期:**2018-07-24; **修回日期:**2018-11-06 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2019.01.014

**作者简介:**崔恒,男,汉族,1988年生,一级建造师,硕士,从事地质灾害治理、山体治理、岩土工程等方面工作,山东省青岛市西海岸新区庐山路6号。

**通信作者:**张吉庆,男,汉族,1989年生,硕士,主要从事岩土工程、地质灾害、土地整治等领域的设计、施工、技术创新等工作,山东省青岛市西海岸新区庐山路6号,314239923@qq.com。

**引用格式:**崔恒,李慎锋,张吉庆,等. 新型生态边坡治理支护形式现场试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(1):77-82.

CUI Heng, LI Shenfeng, ZHANG Jiqing, et al. Field test on new type of ecological slope retaining[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(1):77-82.

格构梁植被进行恢复,减少了后期养护和管理;陈守辉等<sup>[5]</sup>采用“防护网+防水纤维层+客土+无纺布”的形式来保护植物及生长条件;黄晨忱等<sup>[6]</sup>用实例说明被动防护网在危岩落石治理工程中的应用;孙小杰等<sup>[7]</sup>采用生态袋护坡系统解决了狭小施工空间高陡边坡复绿问题。本试验采用“2层土工格栅+客土喷播+锚杆”的护坡形式,护坡及绿化效果良好。

新型生态边坡治理支护形式护坡原理:第一层土工格栅与坡面贴合,打锚杆加锚头固定,防止边坡坍塌。在第一层土工格栅上喷射第一层客土(约15 cm厚),铺设第二层土工格栅,加锚头固定。然后喷射第二层掺加植物种子的客土(约5 cm厚),最后养护管理。

## 1 工程概况

国风药业新型生态边坡治理支护形式现场试验位于青岛市黄岛区奋进路以北,齐长城路以西。试验面积约100 m<sup>2</sup>,高7 m,长14 m。

## 2 地质条件

根据地表调查和钻探揭露,场地地层主要有第四系全新统填土层、残积层及燕山晚期侵入岩层。试验段边坡为岩质边坡,岩层主要为I强风化花岗岩上亚带( $\gamma_5^3$ )、III强风化花岗岩下亚带( $\gamma_5^3$ )和中风化花岗岩( $\gamma_5^3$ )。

I强风化花岗岩上亚带( $\gamma_5^3$ ):黄褐、灰褐色,稍湿一饱和,密实。中粗粒花岗结构,块状构造,结构大部分破坏,矿物成分显著变化,风化裂隙很发育。

III强风化花岗岩下亚带( $\gamma_5^3$ ):黄褐、浅肉红色,稍湿一饱和,密实。中粗粒花岗结构,块状构造,结构大部分破坏,矿物成分显著变化,风化裂隙很发育。

中风化花岗岩( $\gamma_5^3$ ):浅肉红、黄褐、灰白色,中粗粒花岗结构,块状构造,结构部分破坏,沿节理面有次生矿物,风化裂隙发育,主要矿物为长石、石英,次要矿物为云母。该层场区内部分勘探点(10个)有揭露,层顶标高15.83~25.95 m,最大揭露厚度为12.20 m。

地下水主要赋存于第四系松散堆积物素填土中的上层滞水和下卧基岩中的基岩风化裂隙水。两水体相互联通,具自由水面,为潜水。大气降水为主要

补给源,以侧向径流排泄和蒸发方式排泄。

## 3 支护设计

锚杆采用GFRP(玻璃纤维增强塑料)锚杆,角度15°,间距2 m×2 m,孔径110 mm,水平方向3排锚杆,自上而下长度分别为5、4、2.5 m,如图1、图2所示;注浆材料PSA 32.5水泥,水灰比1:0.5。GFRP锚杆性能参数如表1所示。

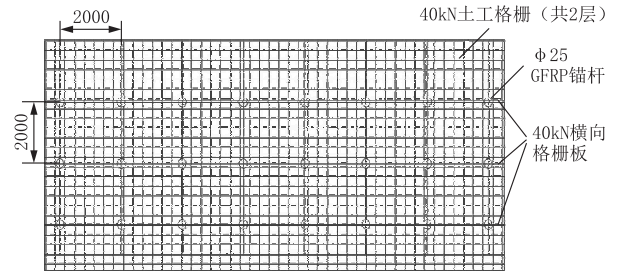


图1 边坡支护平面布置

Fig.1 Layout plane of slope retaining

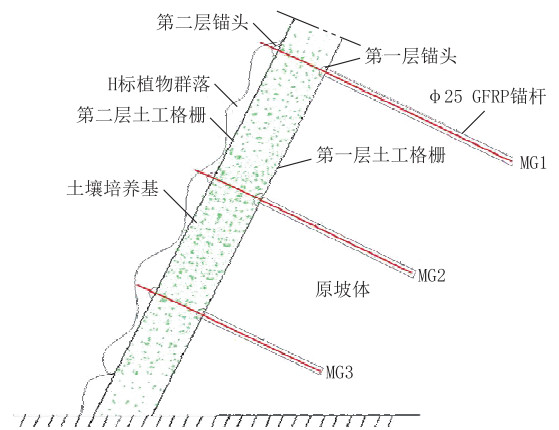


图2 边坡支护剖面

Fig.2 Profile of slope retaining

表1 GFRP锚杆参数

Table 1 Parameters of GFRP anchor rod

直径/ mm	横截 面积/ mm <sup>2</sup>	螺距/ mm	抗拉 荷载/ kN	抗拉 强度/ MPa	扭矩/ 强度/ (N· m)	剪切 强度/ MPa	弹性 模量/ GPa	GFRP锚 具承载 力/kN
25±0.5	490.97	10±0.5	≥280	≥600	≥100	≥150	>40	≥110
26±0.5	530.93	10±0.5	≥300	≥600	≥110	≥150	>40	≥110
28±0.5	615.75	10±0.5	≥350	≥600	≥130	≥150	>40	≥110

因 $\varnothing 25$  mm的GFRP锚杆抗拉强度大于 $\varnothing 25$  mm的HRB400钢筋,用理正岩土软件(6.5PB2版)计算时,GFRP锚杆用1E25钢筋代替。

### 3.1 计算简图(见图3)

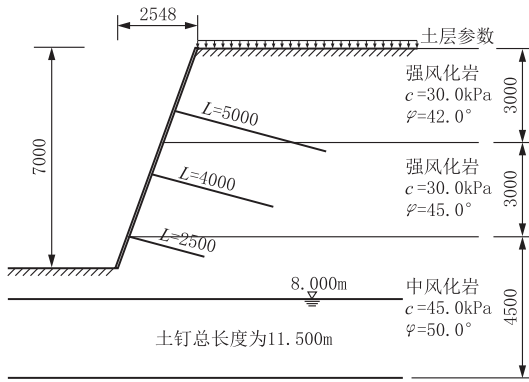


图 3 计算简图

Fig.3 Diagram of calculation

### 3.2 计算结果

#### 3.2.1 土钉承载力验算(见表 2)

表 2 土钉承载力验算

Table 2 Capacity checking of soil nailing

工况	开挖深度/m	破裂角/°	土钉长度/m	轴力标准值/kN	抗拔承载力标准值/R/kN	轴力设计值/kN	抗拉承载力设计值/R <sub>s</sub> /kN	是否满足	
1	2.500	56.0	0						
2	4.500	56.5	1	5.000	46.467	97.947	63.893	176.715	满足
3	6.500	57.0	1	5.000	38.801	88.040	53.351	176.715	满足
			2	4.000	44.207	93.187	60.785	176.715	满足
4	7.000	57.2	1	5.000	40.050	85.885	55.069	176.715	满足
			2	4.000	26.103	90.071	35.892	176.715	满足
			3	2.500	6.103	70.062	35.892	176.715	满足

#### 3.2.2 整体稳定性验算

根据《复合土钉墙基坑支护技术规范》(GB 50739-2011)5.3.2 条、5.3.5 条,验算基坑整体稳定性:

$$K_1 = K_{s0} + \eta_1 K_{s1} + \eta_2 K_{s2} + \eta_3 K_{s3} + \eta_4 K_{s4} \geq K_s$$

$$K_2 = K_{s0} + K_{s1} + 0.5 K_{s2} \geq 1.0$$

式中:  $K_s$ ——整体稳定性安全系数;  $K_{s0}$ 、 $K_{s1}$ 、 $K_{s2}$ 、 $K_{s3}$ 、 $K_{s4}$ ——整体稳定性分项抗力系数,分别为土、土钉、预应力锚杆、截水帷幕、微型桩产生的抗滑力矩与土体下滑力矩比;  $\eta_1$ 、 $\eta_2$ 、 $\eta_3$ 、 $\eta_4$ ——土钉、预应力锚杆、截水帷幕、微型桩组合作用折减系数。

#### 3.2.3 土钉验收抗拔力计算

根据《复合土钉墙基坑支护技术规范》(GB 50739-2011)5.2.6 条,土钉的工作系数  $\psi = 1.000$ , 验收抗拔力  $T_{yj}$ : 1 号土钉 111.526 kN, 2 号土钉 110.584 kN, 3 号土钉 77.754 kN。

#### 3.2.4 抗隆起稳定性验算

依据《复合土钉墙基坑支护技术规范》(GB

50739-2011)5.1.2 条,按如下公式计算:

$$\frac{\gamma_{m2} DN_q + cN_c}{(q_1 b_1 + q_2 b_2 + \sum q_i b_i) / (b_1 + b_2)} \geq K_b$$

$$q_1 = 0.5 \gamma_{m1} h + \gamma_{m2} D = 74.000 \text{ kPa}$$

$$q_2 = \gamma_{m1} h + \gamma_{m2} D + q_0 = 163.000 \text{ kPa}$$

式中:  $\gamma_{m1}$ ——地面至坑底土层加权平均重度(多级放坡时,指第一级坡顶至坑底的加权平均重度),  $\text{kN/m}^3$ ;  $\gamma_{m2}$ ——坑底至抗隆起计算面土层加权平均重度,  $\text{kN/m}^3$ ;  $h$ ——基坑开挖深度,  $\text{m}$ ;  $D$ ——坑底至抗隆起计算面的距离,  $\text{m}$ ;  $q_0$ ——地面加荷均载(特指满布荷载),  $\text{kPa}$ ;  $c$ ——抗隆起计算面处土体的粘聚力,  $\text{kPa}$ ;  $b_1$ ——斜坡宽度,  $\text{m}$ ;  $b_2$ ——地面均布荷载的计算宽度(可取  $b_2$  等于  $h$ ),  $\text{m}$ ;  $\sum q_i b_i$ ——各局部荷载和放坡等效荷载;  $K_b$ ——抗隆起安全系数。

$$N_q = \tan^2(45 + \varphi/2) e^{\pi \tan \varphi} = 319.057$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi = 266.882$$

$$\frac{\gamma_{m2} DN_q + cN_c}{(q_1 b_1 + q_2 b_2 + \sum q_i b_i) / (b_1 + b_2)}$$

$$= 86.245 \geq 1.500$$

式中:  $\varphi$ ——抗隆起计算面处土体的内摩擦角,  $(^\circ)$ 。抗隆起稳定性计算满足。

### 4 所需材料

$\varnothing 25 \text{ mm}$  GFRP 锚杆约 200 m, 配套锚头 56 个, 双向土工格栅约 250  $\text{m}^2$ , PSA 32.5 水泥 10 t。

### 5 施工步骤

#### 5.1 工艺流程

搭设脚手架构建作业平台 → 岩质边坡修整 → 钻机成孔 → GFRP 锚杆制作 → 锚杆安装 → 浆液制备 → 锚杆注浆 → 铺设底层双向土工格栅 → 安装底层成品 GFRP 锚头 → 安装土工格栅横隔板 → 喷射种植基材层 → 铺设顶层双向土工格栅 → 安装顶层成品 GFRP 锚头 → 喷播种子基材层 → 养护验收。

#### 5.2 具体步骤

(1) 搭设脚手架, 构建作业平台。立杆纵距 2 m, 横距 1.5 m (平铺 3 块脚手架板, 每块脚手架板宽 300 mm), 步距 1.8 m, 脚手架限高取 8 m。外排架内侧设全封闭密目安全网 (每 10  $\text{cm} \times 10 \text{ cm}$ , 2300 孔)。

(2)按设计要求修整工作面至第一道锚杆施工标高,修坡以人工为主,清除坡面上危险及松动岩石,消除安全隐患。对于土质坡面,如果坡面削切过于平滑,将导致坡面与植物生长发育基础连接不紧密,甚至造成基础材料的流失。因而应事先对其进行粗糙处理,不宜过于光滑。对于坡面径流、渗水等不良状况进行处理,可考虑设置简易的排水设施。

(3)采用手持钻机按照设计要求的位置在边坡上钻孔,钻孔与坡面水平面成 $15^\circ$ ,锚杆纵向间距2 m,横向间距2 m;锚杆打孔,孔径50 mm,孔深2.5~5 m。注浆材料:矿渣硅酸盐水泥,水灰比1。

(4)制作 GFRP 锚杆杆体,锚杆杆体上安装定位支架,锚杆长2.5~5 m。

(5)制备浆液,通过注浆管向钻孔内注浆。注浆后将锚杆推送到钻孔内一定深度,距离孔底100 mm,坡面外预留350 mm。

(6)将带横隔板的多层结构生态边坡防护体系中的第一层(底层)双向土工格栅覆盖在边坡上;土工格栅的铺设应从坡顶向下铺设,坡顶间隔2 m(与锚杆位置对应)钻孔设置垂直 GFRP 注浆锚杆,深度1.5 m,并用锚头锚固。土工格栅应张紧,搭接长度 $<300$  mm。当坡面凹凸起伏较大时,土工格栅应尽可能贴近坡面,见图4。



图4 铺设第一层土工格栅

Fig.4 Laying first layer geo-grid

(7)安装底层成品 GFRP 锚头。

(8)在锚杆杆体预留段上安装土工格栅横隔板。部分土工格栅裁剪为宽25 mm、长2.5 m的模块,张紧。将 GFRP 筋上下间隔穿过格栅孔洞并绑扎固定,靠近坡面一侧与底层土工格栅绑扎,土工格栅横隔板铺设、绑扎。

(9)制备客土和植物种子配比。客土要求颗粒均匀,土质肥沃,结构疏松,无明显杂质、垃圾等废料掺杂其中。严格按照设计要求购买草籽、客土喷播

辅料等工程原料,草籽、粘合剂、保水剂等关键材料要求在施工前进行相关实验,并按照园林相关技术规范进行检验。对于植物生长必须的主要肥料成分为氮(N)、磷(P)、钾(K)。施工时使用复合肥料,将之与客土均匀拌合,使纯氮量控制在 $10\text{ g/m}^2$ 以下。为了防止施工后种子裸露和流失,选用稳定剂作为侵蚀防止剂,用量为 $15\sim 25\text{ g/m}^2$ 。为了缓和土壤水分蒸发,防止表面下干燥,采用适量保水剂。

根据该工程客土喷播设计和当地环境条件,假定在正常施工季节,植物种子发芽正常计算得出种子配比。将客土、肥料、保水剂、稳定剂、麦秸等,按设计和试验要求充分混合拌匀,组成种植基材。

(10)在横隔板和双向土工格栅结构上喷射第一层种植基材层。采用高压湿法喷射,喷播厚度为150 mm。喷射过程中应严格控制用水量及搅拌材料的时间,搅拌时间 $>10\text{ min}$ 。喷播前对搅拌好的材料取样并做试验,通过试验数据来检查材料的物理性能及团粒反应发生程度是否符合设计要求。喷播过程中和喷播后应严密观察团粒反应发生的好坏,并通过技术措施确保发生良好的团粒反应。为了达到均匀的绿化效果,喷播厚度应尽可能均匀。但应有重点,在植物生长条件好的地方可喷得薄一些,在植物生长条件恶劣处喷得厚一些。

(11)在种植基材层上铺设第二层(顶层)双向土工格栅,见图5。



图5 铺设第二层土工格栅

Fig.5 Laying second layer geo-grid

(12)安装顶层成品 GFRP 锚头,将顶层双向土工格栅固定在种植基材层上,见图6。

(13)在顶层成品 GFRP 锚头和顶层双向土工格栅上喷射种子基材层,厚度50 mm。

(14)养护验收。施工完成后第3 d,种子开始发芽、破土。喷播完成后第10 d,苗木种子生长约5 cm,见图7。



图 6 安装顶层锚头

Fig.6 Installing top layer anchor head



图 7 种子破土发芽

Fig.7 Seeds are germinating

## 6 遇到的困难及解决措施

(1) 试验中采用手持钻机打孔,优点是机械体积小,便于在脚手架施工。但施工完成后塌孔严重,并且清孔不彻底,导致钻孔底部存在残渣,导致锚杆下放不到位。

解决措施:分段施工,严格控制钻孔成孔后与注浆下放锚杆之间的时间,及时注浆,防止塌孔。注浆时,将注浆管伸到钻孔底部,利用注浆压力和水泥浆,将残渣排出。

(2) 第一层土工格栅铺设、搭接时,第一层锚头垫板与土工格栅不能完全贴合、张紧。

解决措施:锚头垫板处挖深度 40~50 mm 圆形槽,开槽处平整坡面,使其最大程度贴合岩面。锚头拧紧时,自动使土工格栅张紧。

(3) 绑扎带强度不够,横隔板处施加压力,绑扎带易崩断。

解决措施:更换强度更高的绑扎带,将横隔板上弯 150 mm 长度与一层格栅加密搭接。

(4) 选用客土粘性较差,格栅与岩面间空隙较小,喷射压力大,容易造成客土反弹,喷射过程中容

易掉落,且格栅紧贴处客土不易粘附。

解决措施:严格控制掺水量,使客土具有良好的粘性。将凸出的岩面凿除,在第一层土工格栅与坡面间加 50 mm 厚垫块。

## 7 养护管理

青岛地处北温带季风区域内,年平均降雨量为 640 mm 左右。降雨量相对较少,且大部分月份蒸发量大于降雨量。原则上,由于本施工法喷播后形成的土壤培养基具有良好的团粒结构,水分保持能力极强,苗木成苗后可不浇水养护。但在种子发芽期及幼苗期(大约 1~3 个月)应浇水养护。养护期限视降雨量情况而定,一般需要养护 1~3 个月。原则上一周浇水一次,每次应浇足浇透。另外,喷播后植物从发芽、幼苗到成苗需要 4 个月,所以施工后 4 个月内应禁止人为践踏,并应做好病虫害防治工作。

## 8 质量验收

施工 3 个月后,边坡绿色覆盖率占可绿化面积的 95% 以上,灌木组合中灌木 2 株/m<sup>2</sup> 以上,总覆盖率、均匀度、总密度均达到理想效果,见图 8。



图 8 边坡绿化效果

Fig.8 Effect of slope greening

## 9 结语

(1)采用“锚杆加固+土工格栅护坡+客土喷播绿化”的新型生态边坡复合支护形式,加强了岩石边坡稳定性。采用GFRP锚杆,计算时可用1E25钢筋代替。该护坡设计中土钉承载力验算、整体稳定性验算、土钉杆体截面积计算和抗隆起稳定性验算均满足设计要求。经历夏季多次大雨后,边坡未出现坍塌,护坡效果良好。

(2)该护坡形式,植被选择可多样化。灌、藤、花、草的有机结合,可自成良性的生态植被体系,有利于生态系统的快速恢复,绿色环保。喷播的绿色植被长势良好,植被与周围自然环境融为一体,美观自然。

(3)该种“锚杆加固+土工格栅护坡+客土喷播绿化”的新型生态边坡复合支护形式造价低于传统土钉墙混凝土面层和格构梁锚杆护坡支护形式,具有施工快捷、经济适用等优势。

## 参考文献(References):

- [1] 张乾峰,刘文胜,戴泉玉.CS高次团粒混合纤维施工法在常吉高速公路绿化工程上的应用研究[J].公路交通科技(应用技术版),2009,55(7):187-189,209.  
ZHANG Qianfeng, LIU Wensheng, DAI Quanyu. Study and application of the method of CS construction in Changji express way's greening engineering [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development (Application Techniques Edition), 2009,55(7):187-189,209.
- [2] 陈明.CS技术在宝天高速公路石质边坡生态恢复方面的应用[J].发展,2011,(2):114-115.  
CHEN Ming. Application of CS technology in ecological restoration of rock slope in Baotian express way[J]. Developping, 2011,

(2):114-115.

- [3] 沈守云,廖飞勇,王茂文,等.CS植被恢复技术对金竹山煤矸石矿区的影响[J].中南林业科技大学学报,2008,28(5):47-51.  
SHEN Shouyun, LIAO Feiyong, WANG Maowen, et al. Effects of CS plant restoration technology on Jinzhushan coal-waste pile district[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2008,28(5):47-51.
- [4] 李春林,许剑平,吴刚,等.FSA技术山体格构梁植被恢复方面的应用——以青岛河马石边坡绿化工程为例[J].中国城市林业,2011,9(1):45-47.  
LI Chunlin, XU Jianping, WU Gang, et al. Application of FSA technique in lattice beam revegetation: A case study of slope greening project in Hemashi, Qingdao city[J]. Journal of Chinese Urban Forestry, 2011,9(1):45-47.
- [5] 陈守辉,孙旭敏,满毅.高陡岩石边坡加固与复绿综合防护施工技术[J].广东土木与建筑,2011,(1):13-16.  
CHEN Shouhui, SUN Xumin, MAN Yi. Steep rock slope protection and complex composite construction green [J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2011,(1):13-16.
- [6] 黄晨忱,许曼钰.桂林七星公园危岩落石治理工程被动防护网设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(12):79-82.  
HUANG Chenchen, XU Manyu. Passive protection net design and construction of holding rockfall treatment in Guilin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(12):79-82.
- [7] 孙小杰,张辉,杜焯伟.高陡岩石边坡软体护坡技术设计及施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(4):78-81.  
SUN Xiaojie, ZHANG Hui, DU Zhaowei. Design and construction practice of software slope protection for high and steep rock slope[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(4):78-81.
- [8] GB 50739-2011,复合土钉墙基坑支护技术规范[S].  
GB 50739-2011, Technical code for composite soil nailing wall in retaining and protection of excavation[S].

(编辑 周红军)