

# 锚拉抗滑桩及锚喷技术联合应用于快速滑动的滑坡防护加固工程

林思波

(广西壮族自治区桂林水文工程地质勘察院,广西 桂林 541002)

**摘要:**以桂林—阳朔高速公路 K2542 + 750 ~ 810 上边坡滑坡防护治理工程为例,介绍了锚拉抗滑桩及锚喷技术联合应用于治理快速滑动的滑坡的应用情况。滑坡体主要由断层破碎带岩土组成,具有地质构造复杂、岩石破碎、残坡积土孔隙大、雨季地下水丰富、滑坡体岩石成分复杂、力学性能差异大、正处于快速滑移阶段等特点;在滑坡防护加固工程的设计和施工中采用该技术方法等综合措施,解决了突出的问题,并取得了良好的经济效益和社会效果。

**关键词:**锚拉抗滑桩;锚喷;快速滑动滑坡;断层破碎带;防护加固

中图分类号:U417.1 文献标识码:B 文章编号:1672-7428(2015)05-0062-05

**Combination of Anchoring-drawing Anti-slide Pile and Anchor Spray Technology Applied in Rapid Sliding Landslide Protective Strengthening/LIN Si-bo** (Guangxi Institute of Hydrology and Engineering Geological Prospecting, Guilin Guangxi 541002, China)

**Abstract:** With an engineering case of side slope sliding protective control for K2542 + 750 ~ 810 in Guilin-Yangshuo expressway, the paper introduces the application of the combination of anchoring-drawing anti-slide pile and anchor spray technology for rapid sliding landslide protective strengthening. The landslide is mainly composed of rocks and soil of fault fracture zone with complex geological structure, rock breaking, large rock pores, rich groundwater in rainy season, complex composition of slope rocks and large difference in mechanical properties; what was more, it was in the rapid sliding stage, this technical methods and some comprehensive measures were taken in the engineering design and the construction with good effects.

**Key words:** anchoring-drawing anti-slide pile; anchor spray; rapid sliding landslide; fault fracture zone; protective strengthening

## 1 工程概况

桂林—阳朔高速公路是国家西部开发包头至茂名高速公路的组成部分,自2009年建成并通车以来,成为桂粤经济联系的重要通道。其中,K2542 + 750 ~ 810路基开挖时形成滑坡,虽经简易防护,但仍继续快速滑移,至2012年11月滑坡向高速公路方向水平滑移累计达5.20 m,属于快速滑移滑坡。简易防护加固工程严重损坏,部分滑坡体岩土多次滑入高速公路,严重影响了高速公路安全和行车安全(参见图1)。为根本性解决滑坡地质灾害危害,我院承担了对该滑坡的治理任务。经勘查和综合分析研究,采用锚拉抗滑桩及锚喷技术,结合深泄水孔、盲沟和排水沟等综合措施进行治理。治理完成后监测至今,防护加固工程安全稳定,达到了治理的目的。

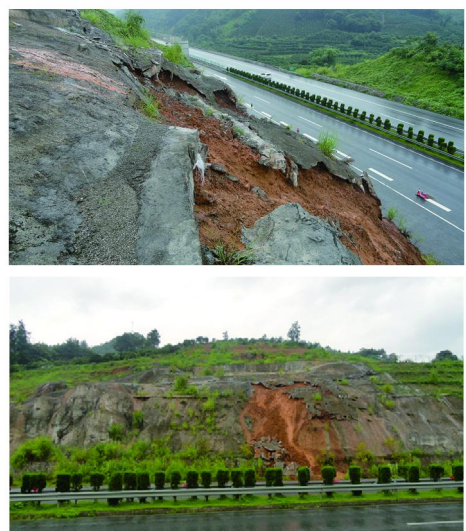


图1 滑坡体情况

收稿日期:2014-11-6;修改日期:2015-04-23

作者简介:林思波,男,汉族,1978年生,工程师,矿建、土木工程专业,从事水文工程地质、岩土工程、工民建、公路建设等方面工作,广西桂林市象山区铁西一里8号,linsibo123@sina.com。

## 2 滑坡特征及工程地质条件

### 2.1 地形、地貌、地层岩性

该滑坡位于岩溶峰林谷地地貌区,地形起伏,呈陡坡-缓坡-陡坡地形。地质构造复杂,为一北东向复式背斜和一系列北东-南西向正断层发育区。滑坡体由上覆第四系( $Q^{el-dl}$ )残坡积含角砾粉质粘土(厚度3~8 m,孔隙大,角砾分布不均,为不均匀土层,力学强度差异大),下覆断层破碎带内破碎岩(散体状结构、破裂状结构,层厚变化较大);下石炭系( $C_{1y}$ )和泥盆系上统( $D_3$ )强风化薄层泥岩、强一中风化、中-薄层粉砂岩(厚度5~6 m,属软岩和较软岩)和微-未风化、中-厚层状坚硬灰岩等组成。

### 2.2 滑坡特征及工程地质条件

经勘查,滑坡边界清晰,呈狭长簸箕状,滑坡体体积约 $10.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,滑坡体前缘宽60 m,舌状隆起;地面裂缝强发育,规模、形态不一,尤以横向裂缝最发育,长193 m,延伸至滑坡后缘塌陷槽;塌陷槽长60 m,宽5~6 m,塌落高度3.50~4.00 m,两壁近垂直,降雨时槽内积水;滑坡剪出口位于距高速公路路面8~12 m边坡中部。滑坡体由第四系坡残积土和断层破碎带岩土组成,主要为棕黄色、黄色含角砾粉质粘土和呈紫红色、灰色的泥岩、砂岩、灰岩、角砾状岩块等,呈碎块状,裂隙和结构面发育;导水性较好,地下水沿坡面渗流排出。滑坡体两侧岩层产状较紊乱,主要为 $60^\circ \angle 55^\circ$ 和 $53^\circ \angle 29^\circ$ 两组,与高速公路走向 $120^\circ$ 呈大角度相交。滑床为坚硬灰岩和较坚硬、破碎状砂岩等组成。

自2007年修路开挖边坡始,即发生滑坡,大量岩土体多次滑入高速公路。虽经多次削坡、清方和临时防护,滑坡仍迅速下移。经2009—2012年长期系统监测,该滑坡前缘水平滑移5.20 m,垂直下降位移0.67 m,简易防护工程严重变形、局部断裂;东侧滑坡舌坡面隆起,高1.80~2.20 m,坡角 $53^\circ \sim 72^\circ$ ;滑坡西侧坡面大量开裂、破裂,破裂壁高0.20~0.65 m,宽0.36~0.88 m。同时滑坡前缘坡面大

量地下水渗流排出,滑坡剪出口呈弧形舌状隆起,部分岩土块沿坡滑落入高速公路。滑坡体坡面裂缝加剧,地面上种植的金桔树部分受滑坡裂缝扩展,树根系和树干被拉裂成劈开状,埋设于地里装水灌溉用的塑料缸,由圆筒状被挤压呈椭圆状;原临时支护工程部分被推移偏离原直线轴线位置达2.80~3.10 m,整个滑坡体处于快速向前滑动运动中。

经勘查,滑坡体岩土体主要技术参数见表1。

表1 滑坡岩土体主要技术参数

岩土名称	状态	重度/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	粘聚力/ kPa	内摩擦角/ ( $^\circ$ )	基底摩擦系数	地基承载力特征值/kPa	锚固体与岩土层粘结强度特征值/kPa
含角砾粉质粘土	天然	19.5	17.0	13.0	0.30	180	25
	饱和	19.8	15.1	11.5	0.25	120	22
强风化泥岩		20.5	40.0	22.0	0.40	260	130
中风化粉砂岩		22.0	42.0	25.0	0.60	450	400

### 2.3 滑坡体推力计算

滑坡滑床主要为中厚层坚硬灰岩和断层破碎带破碎岩,滑床面简化为折线,滑坡稳定性及滑坡推力计算采用传递系数法,按工况II,自重+暴雨条件下进行。依据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)中表5.3.1,该滑坡为一级边坡,其稳定安全系数取1.35。参照《滑坡防治工程设计与施工技术规范》(DZ/T 0219—2006)附录A中公式A9~A17计算K2542+770剖面滑坡推力(最大剩余下滑推力)。计算简图和计算成果见图2和表2。计算结果,滑坡最大推力2845.79 kN/m。

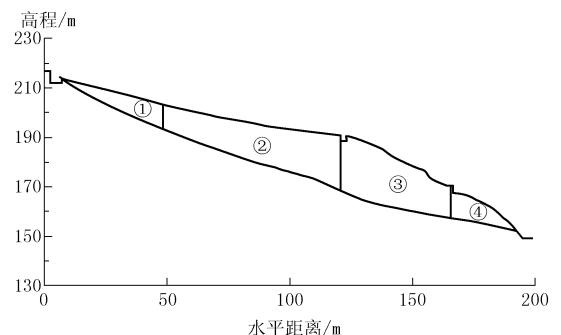


图2 计算简图

表2 K2542+770计算成果

条块编号	平均厚度 $L_1/\text{m}$	重度 $\gamma_1/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	面积 $S_1/\text{m}^2$	总荷载/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$ )	滑面长度/ 度/m	倾角/ ( $^\circ$ )	粘聚力/ kPa	内摩擦角/ ( $^\circ$ )	下滑力/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$ )	抗滑力/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$ )	传递系数	稳定系数	安全系数	剩余下滑力/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$ )
①	14.22	19.8	304.39	6026.92	42.81	33	15.1	11.5	3282.5	1674.8	0.91	0.51	1.35	0.00
②	19.08	19.8	866.62	17159.08	45.41	17	15.1	11.5	5016.8	4024.2	0.97	0.69	1.35	2748.52
③	15.69	19.8	931.05	18434.79	59.35	11	15.1	11.5	3517.5	4577.9	0.97	0.88	1.35	2845.79
④	8.93	19.8	74.55	1476.09	16.69	5	15.1	11.5	128.6	551.2	1.00	0.92	1.35	2392.17

### 3 防护加固工程设计

(1) 防护加固工程设计按桂林抗震设防烈度6度,基本地震加速度 $0.05g$ ,特征周期 $0.35\text{ s}$ ,I级永久性防护加固工程进行。滑坡防护加固工程设计,安全系数按抗滑桩受弯强度设计安全系数 $1.05$ ,受剪强度设计安全系数 $1.10$ 计。2012年12月以施工图设计实施防护加固工程。

(2) 设锚拉抗滑桩一排共17根,轴心距 $3.50\text{ m}$ ,抗滑桩横断面矩形 $2.00\text{ m}\times 3.00\text{ m}$ ;单根桩长 $11.00\sim 17.00\text{ m}$ ,桩端嵌入中—微风化、完整—较完整岩层深度 $< 2.00\text{ m}$ ;桩身混凝土强度为C25。距桩顶 $1.00\text{ m}$ 处,每桩设一束 $4\text{ }\varnothing 15.24\text{ mm}$ 预应力锚索,长 $35.00\text{ m}$ ,设计值预应力 $450\text{ kN/束}$ ,桩顶设横断面 $0.60\text{ m}\times 1.00\text{ m}$ 锁梁。共现浇混凝土 $2900\text{ m}^3$ 。

(3) 抗滑桩计算采用理正抗滑桩设计软件进行,并进行配筋、预应力锚索、桩身内力等计算验算;验算模型相应参数见上述数据。综合分析结论:在桩长 $16.00\text{ m}$ ,桩端嵌入滑动面以下中—微风化岩层深度满足要求( $4\sim 6\text{ m}$ )时,满足设计要求。靠滑坡体两侧,桩端嵌入滑动面以下稳定岩层深度 $2\sim 4\text{ m}$ 可满足相应要求。

(4) 设 $\varnothing 100\text{ mm}$ 、长 $9.00\text{ m}$ 深泄水孔,4排,共34个,排距 $3.00\sim 4.00\text{ m}$ ,孔距 $5.00\text{ m}$ ,梅花状布设;设地表排水沟及滑坡前舌排水盲沟等排渗入滑坡体内地下水和地表水综合措施。

(5) 桩前开挖削坡面,采用锚喷防护。锚筋用 $\varnothing 28\text{ mm}$ 钢筋行距和排距均为 $3.00\text{ m}$ ,梅花状布设,单根长 $4.50\sim 6.00\text{ m}$ ;挂双向 $\varnothing 6.5@200\text{ mm}$ 钢筋网,喷C20细石混凝土(厚 $8\text{ cm}$ )面积 $1200\text{ m}^2$ 。同时,锚喷区布设浅泄水孔。

(6) 用粘土回填并夯实滑坡体地面裂缝,并种植草、树木等绿化坡面。待滑坡体发展进入稳定期后,再修筑地表排水天沟等工程。

(7) 滑坡防护加固工程布设见图3、图4。

### 4 工程措施和主要技术要求

#### 4.1 抗滑桩

(1) 抗滑桩采用人工挖孔,由上而下方式进行,易操作和便于观察滑动带等。

(2) 跳跃式开挖,间隔 $2\sim 3$ 孔,避免相邻孔孔底处于相同标高。及时进行岩性编录及验槽,并进行钢筋笼安装。

(3) 制安钢筋笼时,同时预留预应力锚索施工孔。在滑动面地段,设置加强钢筋。

(4) 桩身混凝土采用商品混凝土现浇并分层振捣密实。每根桩均连续灌注桩身混凝土,并一次性灌注成桩。

(5) 钢筋笼制作、现浇混凝土等均按现行技术规范、规程和设计要求进行。

(6) 抗滑桩灌注成桩后,再浇灌混凝土锁梁。

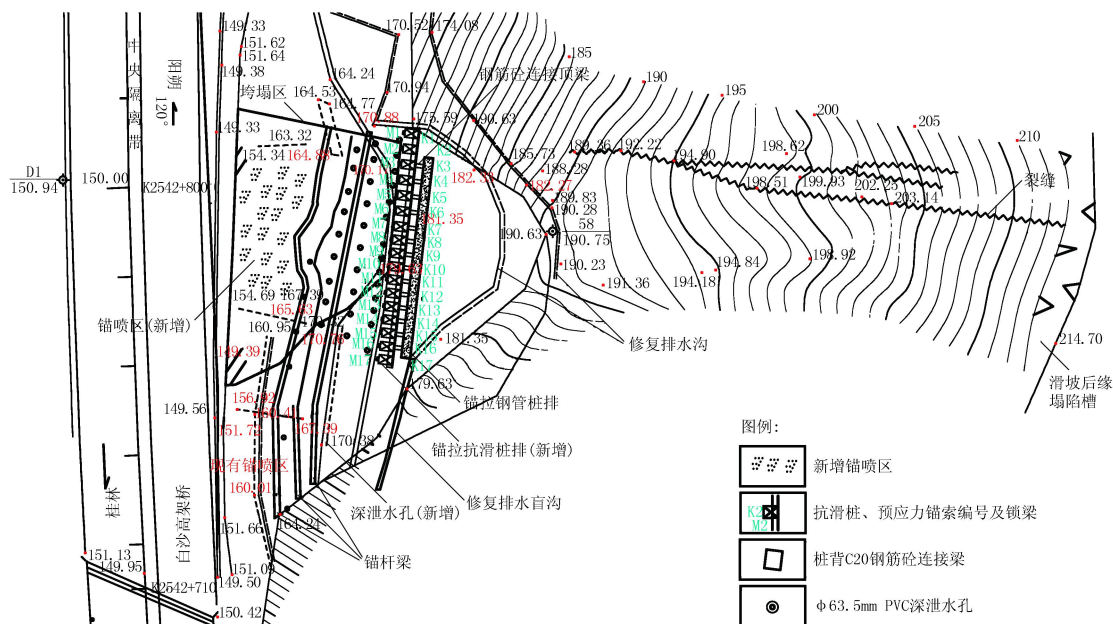


图3 滑坡防护加固工程平面图

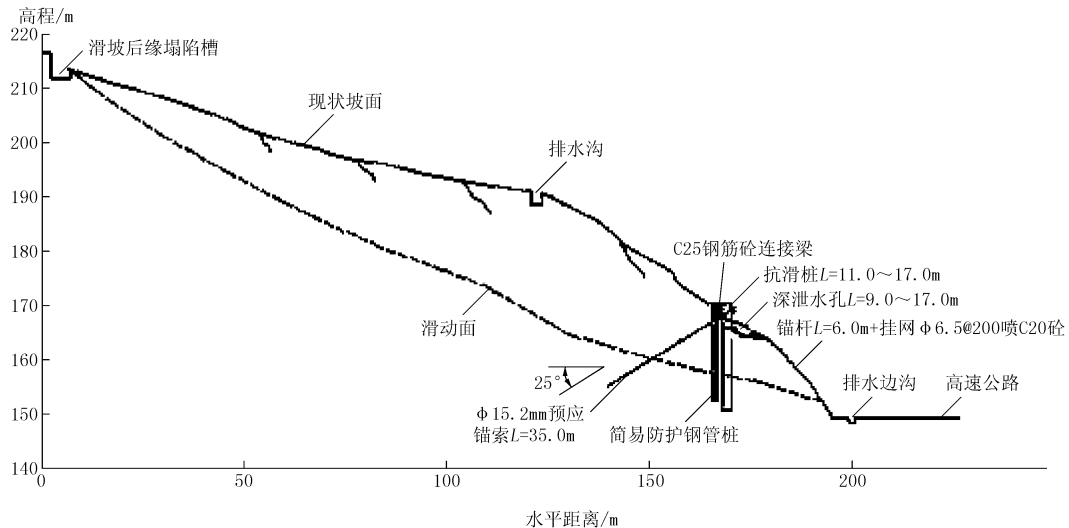


图 4 K2542+770 剖面图

(7) 灌注抗滑桩和锁梁时,埋设长期监测标志点,并逐一编号。

#### 4.2 预应力锚索和锚杆

(1) 预应力锚索、锚杆采用干作业法成孔。锚孔成孔使用西安探矿机械厂生产的 MGJ50 型锚索钻机,配 VHP750 型空气压缩机和相应机具及潜孔锤等机械器具。

(2) 锚索、锚具设备采用广西柳州欧维姆(OVM)建筑机械有限公司生产的高强度低松弛无粘结筋,ZB 型超高压油泵,YCW、YD 型千斤顶和锚具及夹片等。锚杆采用 HRB335 热轧  $\varnothing 28$  mm 钢筋和  $\varnothing 6.5$  mm 钢筋对中支承架组成。对中支承架按锚固段每 1.00 m 设一个,自由段每 1.50~2.00 m 设一个。

(3) 预应力锚索和锚杆孔径 110~130 mm,锚孔方向与水平线夹角(俯角) $25^\circ$ ,成孔允许偏差  $\pm 2^\circ$ ;孔位偏差:水平  $\leq \pm 100$  mm,垂直  $\leq \pm 50$  mm。

(4) 预应力锚索孔深穿越滑动面以下 6.00~8.00 m 或进入微风化岩 4.00 m。依据地层及滑动面深度,作相应调整。

(5) 下锚后,孔内灌注 M25 水泥砂浆。采用水下灌注法注浆,灌浆压力一般 0.4~2.0 MPa,采用一次性灌浆。遇孔内砂浆漏失及收缩液面下降时,应及时补灌。

(6) 灌注砂浆浆液配比,水泥:中粗砂:水 = 1:1:(0.38~0.45),并以配合比试验成果为准。根据气温、土质和浆液易于流动等使用特点,加适当添加剂等。

(7) 浆液达到设计强度后,进行张拉。张拉前须检查千斤顶、油泵、工作锚具等设备工具,并按规定逐一进行预张拉和正式张拉及锁定。

(8) 张拉锁定后,用环氧树脂混合液满涂外露金属构件,再用 M25 砂浆封锚,并在外锚头上打上锚索编号和封锚年月日等标志。

#### 4.3 挂钢筋网和喷 C20 细石混凝土

(1) 坡面挂双向  $\varnothing 6.5@200$  mm 钢筋网。钢筋网由锚头外端焊接的  $2\varnothing 18$  mm 加强筋压紧。

(2) 喷射 C20 细石混凝土前,先清除坡面浮石、浮土及杂物,埋设喷混凝土厚度标志和浅泄水孔。

(3) 喷射混凝土用水泥选用 P. O42.5 普通硅酸盐水泥,细石为灰岩细石,粒径  $< 10$  mm,混凝土配合比按试验成果进行。喷射混凝土应均匀、连续,厚 8 cm。

#### 4.4 深泄水孔

(1) 深泄水孔成孔采用干作业法成孔,孔径 90 mm,仰角  $3^\circ \sim 5^\circ$ ,允许偏差  $\pm 2^\circ$ 。 $\varnothing 63.5$  mm 滤水管打  $\varnothing 10 \sim 15$  mm 梅花状花眼,排距 20~25 mm,眼距 25~30 mm,面孔隙率 25%~30%。于花眼段,外包 2~3 层 40~60 目铝合金纱网。管底部加木塞堵头,孔口外头露出坡面 30~50 mm。

(2) 安装好深排水管后,泄水管出口外壁与护坡面间空隙用 M25 水泥砂浆封闭,并作 100 mm  $\times$  100 mm  $\times$  (10~20) mm 方形台座,其下方加抹砂浆成排水沟,再畅通排入平台排水沟。

#### 4.5 修复坡面排水沟、排水盲沟



(1)采用 M7.5 浆砌石,坐浆法砌筑。块石选用硬质岩,未—微风化岩,粒径  $\leq 15$  cm,砂浆填塞应饱满,严禁干垒。沟底和两壁用 M10 砂浆抹面厚 2 cm,要均匀、连续。

(2)坡体左侧排水盲沟绕开地面蓄水池进行重修。先挖沟,沟底及两壁高 15 ~ 20 cm 抹 M10 水泥砂浆,沟内填粒径 2 ~ 4 cm 灰岩碎石。

## 5 工程效果和施工体会

### 5.1 工程效果(参见图 5)



图 5 工程效果图

防护加固工程施工期间确保高速公路正常通行。2013 年工程竣工后,对滑坡和锚拉抗滑桩进行长期监测。防护加固工程监测表明锚拉抗滑桩等防护加固工程安全、稳定,其变形位移量小,满足设计和相关规范的技术要求,达到了治理快速滑动滑坡的效果;既确保了边坡的稳定,又保护了高速公路运营及村庄的安全。防护加固工程前后几年,采用拓普康(GPT-3002LN)全站仪进行长期观测、监测,其位移变形记录见表 3。

表 3 临时防护工程和锚拉抗滑桩位移变形观测记录

观测点 编号	累计变 化值/ mm	观测日期(年.月.日)			防护加固 后观测编 点(桩号)	观测日期 (年.月.日)
		2009. 10.28	2011. 04.21	2012. 11.20		
J1、J8、 J9、J12	X	<1.0	<67.0	<89.0	G1、G4、G5、	<2.0
	Y	<6.0	<33.0	<41.0	G6、G9、G10、	<1.6
	H	<6.0	<20.0	<27.0	G15、J6	<1.0
J2、J7、 A1	X	<2.0	<263.0	<342.0	G2、G7、G8、	<2.8
	Y	<7.0	<166.0	<213.0	G17、J3	<2.5
	H	<4.0	<130.0	<166.0		<2.0
J3、J4、 J5、J6、 A2	X	<10.0	<510.0	<673.0	G3、G12、G14、 G16	<3.5
	Y	<5.0	<168.0	<255.0		<3.6
	H	<4.0	<250.0	<332.0		<3.0

注:G1 ~ G17 为抗滑桩长期观测点,J1 ~ J9 为锚杆锚梁上观测点,A1 和 A2 为滑坡体坡面岩石上观测点。

### 5.2 施工体会

(1)快速滑动的防护加固工程是一项复杂而时效紧急的综合工程。一定要在查明滑坡的范围、形态、规模、滑动面、滑床和岩土层结构、工程技术参数等特点及滑动方向、滑动速率等条件下,有针对性地进行。同时,结合防、排水、绿化等综合工程措施,进行综合治理。

(2)设计选用针对性强、技术性强、操作性强的方案和工艺;熟悉能短时间内快速构结成抗滑体系结构,以利早日施工,及时形成抗滑工程,阻止滑坡继续滑移。

(3)施工中,宜选择枯水期进行,并且快速施工,及时处理因地层、滑动面、地下水等变化出现的新问题,缩短施工时间,达到防护加固的目的。

## 6 结语

本滑坡所处地为断层破碎带,岩石破碎,地下水较丰富,地层和地质构造复杂,工程地质条件差;滑坡规模较大;属快速滑移滑坡,稳定性差,危险性大;为高速公路建设开挖削坡引发的典型滑坡之一。通过对其综合勘查和稳定性分析,结合不同坡段应力分布及现状变形特点,将锚拉抗滑桩与连接梁及锚喷等综合技术,应用于快速滑移失稳的滑坡防护加固,取得了良好的经济效益和社会效益。将为类似滑坡的综合治理设计提供借鉴经验。

## 参考文献:

- [1] 编委会. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [2] 林宗元,等. 岩土工程治理手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [3] 曾宪斌,麦荣强,林思波. 锚索格构梁在岩质滑坡治理中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(4):72-75.
- [4] 和曙泉,徐国民. 某锚索抗滑桩板墙工程补强措施及负效应初探[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):75-79.
- [5] 马赞,霍俊华,孙旭,等. 鞍山垃圾与渣土受纳场边坡锚索支护治理设计与施工[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):75-78.
- [6] 韩新强,赵建平,刘文. 某天然气井场填方滑坡治理过程分析及效果评价[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):29-32.
- [7] 郭辉. 微型组合抗滑桩在青海西久公路某滑坡防治中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):46-49.
- [8] 闫贵海,王宪章,杨志银,等. 压力分散型锚索的验收试验分析与检验标准研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(7):80-84.
- [9] 周国锋,陈红刚,刘才高. 无粘结预应力锚索在乌江索风营水电站 Dr2 危岩体加固中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(10):61-63.