

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.02.08

四川得荣峡谷公路边坡稳定性评价与防治措施建议

赵占群^{1,2}, 杨强国², 谷明成², 吕显福^{1,2}

(1. 中国铁道科学研究院, 北京 100081; 2. 中铁西南科学研究院有限公司, 四川 成都 611731)

摘要: 川西地区多为山地, 高山峡谷多见, 公路建设工程中几乎都需要开挖坡脚, 孕灾性高, 致灾性强, 一旦发生滑坡或者崩塌生命财产损失巨大, 因此峡谷公路边坡的稳定性分析与防治措施需要引起高度重视。论文以甘孜州得荣县城公路旁某灾害体为例, 结合实地勘察分析出其可能产生崩塌和滑坡两种较大的变形破坏类型, 并分别采用赤平投影分析法和静力平衡法从定性和定量两方面评价了危岩体的稳定性, 采用不平衡推力法评价了不稳定斜坡的稳定性。得出结论: 峡谷公路边坡病害高发, 变形破坏类型多种多样, 治理工程设计时应该以辩证的思维采用具体问题具体分析的原则。根据上述研究成果, 提出了峡谷公路边坡的防治措施, 为相关部门进行峡谷公路边坡地质灾害治理提供了重要依据。

关键词: 公路边坡; 危岩体; 不稳定斜坡; 稳定性分析; 防治措施

中图分类号: U41

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)02-0055-06

Stability evaluation and control measures of the valley highway slope in Sichuan Derong county

ZHAO Zhanqun^{1,2}, YANG Qiangguo², GU Mingcheng², LYU Xianfu^{1,2}

(1. China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China; 2. China Southwest Research Institute of China Railway Engineering Company Limited, Chengdu, Sichuan 611730, China)

Abstract: The western Sichuan area is mountainous. Almost all of the highway construction projects need to excavate the foot of slope. Once the landslide or collapse occurs, it can cause a very huge loss of life and property. Therefore, the stability analysis and control measures of the slope of the valley highway should be paid more attention. Taking the disaster body of Derong county highway for example, combined with field survey, this thesis proposes that it is possible to produce two big types of deformation and failure of landslide and collapse. From two aspects of qualitative and quantitative analysis, it mainly evaluates the stability of the dangerous rock body by using the stereographic projection analysis method and static balance method. And the imbalanced thrust force method is used to evaluate the stability of unstable slope. It is concluded that the valley highway slope has a high incidence of disasters and a variety of deformation and failure types. The specific problem analysis principle should be used in the design of project. It puts forward the control measures of the valley highway slope according to the research results. It provides the important basis for the relevant departments to carry out the geological hazard control of the valley highway slope.

Keywords: highway slope; dangerous rock body; unstable slope; stability analysis; control measures

0 引言

近年来,随着西部大开发战略的深入推进,西南地区公路基础设施建设如火如荼,雅安—西昌高速、西

昌—攀枝花高速、丽江—攀枝花高速等等相继建成通车,然而川西山区为高山峡谷地貌,沟壑纵横交错,地质情况复杂,地质灾害高发,峡谷公路边坡稳定性和安全问题日益凸显,成为公路边坡工程中常见的技术难

收稿日期: 2015-07-23; 修订日期: 2015-10-23

第一作者: 赵占群(1991-),男,河北邢台人,硕士研究生,主要从事地质灾害防治研究。E-mail: zq02208315@163.com

题与重点。因此,对高山峡谷地区公路边坡灾害的正确认识和科学治理已成为岩土工程界专家以及工程设计人员们急需解决的重大问题。闫峻^[1]曾浅要分析了川藏公路深沟峡谷地段病害整治对策;朱建平、蔡军、马惠民^[2]曾归纳总结了高山峡谷地段公路边坡变形类型及防治措施;李彩侠、马煜^[3]研究了川西高原甘孜州东俄洛至炉霍段公路沿线地质灾害类型及其成因。文章在学习总结前人关于峡谷公路边坡研究的基础上,分析了得荣县地区的地形地貌、地层岩性、地质构造和水文条件,评价了灾害体中危岩体和不稳定斜坡的稳定性,从而为选择合理的防治工程方案和设计方法提供科学依据。

1 工程地质条件

得荣县地处四川省甘孜州南部,青藏高原东南缘横断山脉北端,川西高原高山狭(深)谷区。境内沟壑纵横,高山与峡谷并列,地形变化的总趋势是东南低西北高。全县总面积中,高山约占 96%,极高山约占 3%,平坝约占 1%。灾害体位于构造剥蚀、溶蚀高山峡谷地貌,低点位于西侧的定曲河,高点位于不稳定斜坡东侧的斜坡,高程 2680 m,高差 300 m 左右。

该地区属山地亚热带气候,气温随海拔高度升高而降低。多年年均降雨量 330.6 mm,且年际年内变化较大,降雨主要集中在 6~9 月,约占全年总降雨量的 86%。

得荣县属金沙江水系,金沙江自北向南,流经县境西部和西南部边缘。定曲河为金沙江一级支流和常年性河流,水流自北向南流经灾害体前缘,灾害体位于定曲河左岸,该处定曲河呈“U”型谷,东侧沙麦顶-扎丁、西侧松里-仲根-卡日共一带为一级宽缓台阶,海拔高程约 3000 m,宽约 500~1000 m。

调查区内从奥陶系到第四系除缺失第三系、白垩系和侏罗系外,其它各系均有不同程度的发育。大部分地区基岩裸露,基岩岩性包括砂岩、板岩、灰岩、玄武岩和大理岩。勘查区不稳定斜坡下伏基岩为泥盆系中下统格绒-穷错组上段(D_1^{3-2})砂质板岩、绿片岩,危岩区基岩为三迭系上统曲嘎寺组中段(T_3q^2)灰岩。地表为第四系上更新统冰水堆积层(Q_3^{el})含角砾、碎石土、全新统崩坡积层(Q_4^{col+dl})碎石、块石粉质粘土、冲洪积层(Q_4^{al+pl})砂卵砾石层。

本区地处横断山脉北端,受区域性强大的压应力作用,产生了一系列绵延数百至千公里的大断裂和紧密褶皱。区内构造线呈北西向展布,其展布方向与河流一致,由东北向西南,褶皱发育递减,断裂发育递增。

贯穿全区的里甫-日雨断裂和布吉断裂,将整个区内褶皱分为二个次级单元:中心复向斜,得荣复背斜。

2 灾害体形态规模

灾害体共发育有 1#不稳定斜坡(XP1,由 XP1-1、XP1-2 两部分组成)、2#不稳定斜坡(XP2,由公路边坡及坡面危石区组成)以及后山危岩区(W1,由 16 个典型危岩体及 3 个孤立危岩组成)(图 1)。

不稳定斜坡 XP1:体积约 $24.0 \times 10^4 \text{ m}^3$,按厚度分类为中层不稳定斜坡,按体积分类为中型不稳定斜坡。大部分溜滑物质堆积在斜坡上和斜坡坡脚处,平面形态呈“倒钟形”,发育在第四系覆盖层中。前缘高程 2394 m,后缘高程 2473 m 左右,相对高差约 80 m,主滑(主崩)方向 278° 。沿主滑(主崩)方向长约 115 m、横向平均宽约 120 m。坡体厚度约 26.0~13.6 m,平均厚度约 20 m。



图 1 不稳定斜坡 XP1

Fig.1 The unstable slope XP1

不稳定斜坡 XP2:体积约 $24.2 \times 10^4 \text{ m}^3$,按厚度分类为浅-中层不稳定斜坡,按体积分类为中型不稳定斜坡。平面形态呈“弯曲的长条”形,是发育在第四系覆盖层中的崩滑式土质不稳定斜坡。前缘高程 2395 m,后缘高程 2436 m 左右,相对高差约 40 m,主滑(主崩)方向 $275^\circ \sim 284^\circ$ 。沿主滑(主崩)方向长约 30~45 m、横向平均宽约 335 m。坡体厚度约 10.4~22 m,平均厚度约 10.2 m。斜坡中间顶部,长约 15 m,宽约 160 m 范围,坡表堆积大量松散危石(图 2)。

后山危岩区(W1):呈弯曲条带状分布,由 16 个典型危岩体及 3 个孤立危岩体组成。后山危岩区属中高山河流峡谷地貌,危岩区后缘高程 2630 m,前缘高程 2475 m,相对高差 155 m,地形坡度 $35^\circ \sim 45^\circ$,坡度较陡。后山危岩区平面面积 $1.6 \times 10^4 \text{ m}^2$,共发育有 16 个较大危岩单体,危岩总方量约 3000 m^3 ,主崩方向 250° 。危岩母体为三迭系上统曲嘎寺组中段(T_3q^2)灰岩,产状为 $290^\circ \angle 70^\circ$,切向坡,属小型崩塌(图 3)。

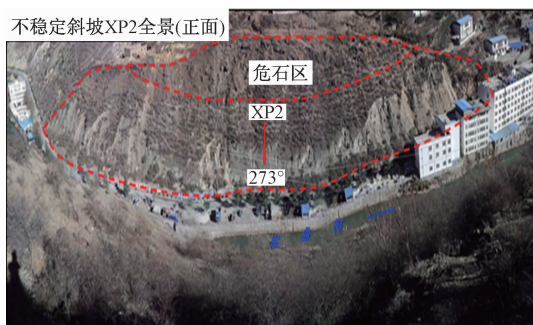


图2 不稳定斜坡 XP2

Fig. 2 The unstable slope XP2

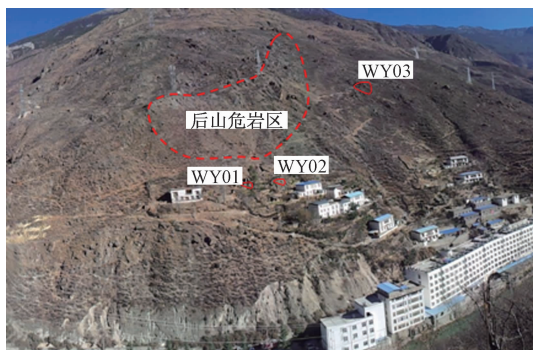


图3 后山危岩区 W1

Fig. 3 The dangerous rock zone after the mountain W1

3 峡谷公路边坡稳定性影响因素

高山峡谷地段地质条件复杂,公路边坡病害高发,变形破坏的类型和特点多种多样,包括危石与落石,危岩体与崩塌体,不稳定斜坡与滑坡、泥石流、坡面冲刷和溜滑体等。得荣公路边坡主要发育有危岩体和不稳定斜坡两种病害,此外在降雨、地震及车辆震动作用下偶有落石、局部溜滑和坡面冲沟产生。

3.1 危岩体稳定性影响因素

(1) 地层岩性

形成危岩的陡崖为灰岩,岩体破碎,下部基座破碎岩体最先崩落,形成凹岩腔,促使卸荷裂隙及构造裂隙进一步发展、贯穿,使稳定岩体逐渐变为潜在不稳定岩体,最后突然崩塌破坏。

(2) 地质构造

后山危岩区岩层呈单斜产出,岩层产状 $290^{\circ} \angle 70^{\circ}$,节理裂隙发育,岩体易沿岩层面、构造裂隙和卸荷裂隙发生崩塌破坏。

(3) 地形地貌

后山危岩区陡崖高约 40 ~ 60 m,陡崖作为危岩形成的基本条件之一,一方面促进了裂隙的发展,另一方

面加大了危岩崩塌产生的破坏力。后山危岩区坡体结构类型为切-顺向坡,大大加剧了崩塌的发生。

(4) 降雨

灰岩岩体内裂隙发育,贯通性好,受地形切割影响,富水性差。但大气降水溶解可溶物质,加速了裂隙的扩展与贯通,大大降低了岩体物理力学参数。在洪水季节还要产生暂时性水效应,动、静水压力明显,促进危岩体向崩塌破坏产生。

(5) 震动

得荣“8·31”地震对上部危岩体有一定影响,使原本基本稳定的岩体产生了大量新生裂缝,结构面进一步延展贯穿,大大降低了其稳定性。

3.2 不稳定斜坡稳定性影响因素

(1) 地形地貌:区内以中山地貌为主,河谷平坦区较少,总体上地形切割强烈,沟壑纵横密布,地形临空条件发育,有利于地质灾害的发育。

(2) 地层岩性:据统计,得荣县境内地质灾害点多分布于泥盆系中下统格绒-穷错组上段(D_1-2)灰岩夹石英砂岩地层,其次为三迭系上统曲嘎寺组中段(T_3q^2)地层,岩性为以灰岩为主。坡体由碎石块夹土组成,土与块石、碎石的胶结程度极不均匀。在外界因素尤其是地表水的触发下,松散堆积体易分解后溜滑崩落。

(3) 地表水作用:降雨形成地表水,由于坡体物质具有渗透性,暴雨季节雨水的下渗作用是不稳定斜坡产生溜滑崩落的重要外因。

(4) 地下水作用:斜坡体基岩接触带为相对隔水层,地下水易沿此基岩层面富积。同时,基岩中的裂隙水也在向坡体外渗透软化滑带土,使其力学强度降低,滑体易沿此部位滑移。地下水产生的孔隙水压力以及浮托力是不稳定斜坡产生的重要内因。

(5) 地震作用:区内处于多组构造形迹(断层)集中区,地应力集中,地震活动频繁,地震震级也较高,2013年得荣“8·31”地震直接导致了不稳定斜坡上岩体的崩落。

(6) 不合理的人类工程活动:不稳定斜坡所处高山峡谷地区适宜人类进行修房造屋的地方极少,人类进行工程活动不可避免需进行边坡开挖,不稳定斜坡的形成与当地居民修筑房屋、修筑公路切除坡脚是密不可分的。

4 峡谷公路边坡稳定性分析

4.1 危岩体稳定性分析

危岩体基本都发育于山丘地带,其稳定性评价与

分区是进行防治设计的关键。危岩体稳定性评价的方法可分为定性方法和定量方法两大类。定性方法主要有地质历史分析法、赤平投影法、工程地质类比法等,定量计算方法主要有数值模拟法、静力计算法、人工神经网络、可靠度法和系统识别法等,实际工程中危岩体稳定性计算以静力计算为主^[4-5]。

危岩体主要破坏模式有 3 种:①危岩基座悬空,沿岩层面、卸荷裂隙发生的滑移式崩塌破坏;②危岩基座完整,沿岩层面、卸荷裂隙发生的倾倒式崩塌破坏;③

基座悬空,楔形体发生的坠落式崩塌破坏^[6]。后山危岩区危岩母体为三迭系上统曲嘎寺组中段(T_3q^2)灰岩,由 16 个典型危岩体及 3 个孤立危岩体组成,W1-3、W1-4、W1-5、W1-7、W1-8、W1-9、W1-13、WY1、WY2、WY3 均为滑移式崩塌破坏,W1-2、W1-6 为倾倒式崩塌破坏,W1-1、W1-10、W1-11、W1-12、W1-14、W1-15、W1-16 为坠落式崩塌破坏。本文将选取 W1-13、W1-2、W1-16 三种不同类型的危岩体各一例分别进行定性分析和定量计算,危岩体基本特征见表 1。

表 1 危岩体基本特征

Table 1 The basic characteristics of dangerous rock boby					
破坏模式	位置	危岩体规模		结构面特征	
W1-13 滑移式	W1 危岩区 东南侧中部	高约 9.0 m,宽 6.0 m,厚 3.0 m,整体体积约 150 m ³	$J_1:72^\circ\angle 50^\circ$,张开约 2~5 mm,间距 0.8~1.5 m,裂面较平直,无填充。	$J_2:350^\circ\angle 65^\circ$,张开约 2~3 mm,间距 0.8~2.0 m,裂面较平直,无填充。两组节理与岩层面切割岩体呈块状。	
W1-2 倾倒式	W1 危岩区 顶部北侧	高约 2.5 m,宽 2.0 m,厚 3.0 m,整体体积约 15 m ³	$J_1:75^\circ\angle 68^\circ$,宽约 3~5 mm,间距 0.3~0.5 m,裂面较平直,无填充。	$J_2:350^\circ\angle 73^\circ$,宽约 1~5 mm,间距 0.5~1 m,裂面较平直,无填充。两组节理与岩层面切割岩体呈块状。	
W1-16 坠落式	W1 危岩区 东南侧中部	高约 4.0 m,宽 3.5 m,厚 3.0 m,整体体积约 38 m ³	$J_1:65^\circ\angle 45^\circ$,张开约 1~2 mm,间距 0.6~3.0 m,裂面较平直,无填充。	$J_2:350^\circ\angle 65^\circ$,张开约 2~3 mm,间距 0.8~3.0 m,裂面较平直,无填充。两组节理与岩层面切割岩体呈块状。	

4.1.1 危岩体定性分析

定性分析采用赤平投影分析法,经分析,岩层面倾向与坡向一致,为一组不利结构面,在 J_1 、 J_2 及层面的共同作用下,将岩体局部切割成块状,在卸荷应力作用下使岩体沿坡向形成明显凹岩腔,使危岩体易沿岩层、卸荷裂隙结构面产生崩塌。W1-13 危岩体处于欠稳定状态(图 4~图 6)。



图 4 危岩体 W1-13

Fig.4 The dangerous rock body

与 W1-13 分析过程类似,W1-2 危岩体处于欠稳定状态,W1-16 危岩体处于基本稳定状态。

4.1.2 危岩体定量计算

定量计算采用静力计算方法,但滑移式、倾倒式、坠落式三种危岩体的计算公式各不相同,可查阅相关

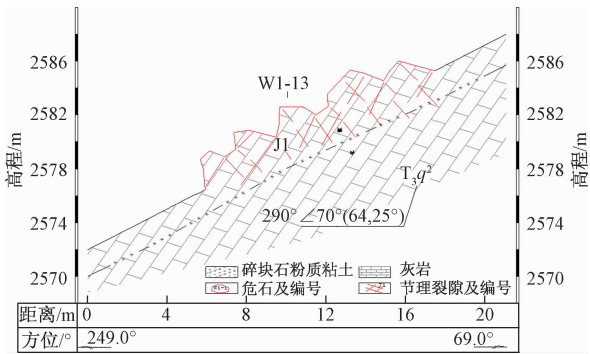


图 5 W1-13 剖面图

Fig.5 The section plan

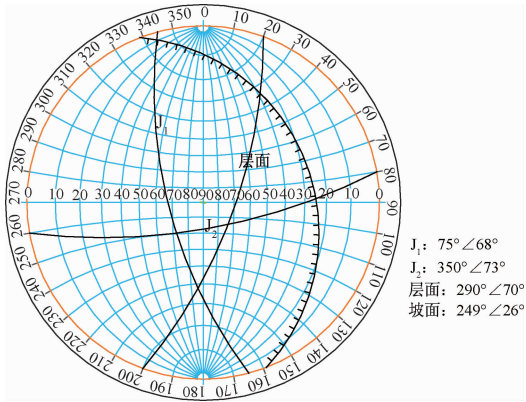


图 6 W1-13 赤平投影分析

Fig.6 The stereographic projection analysis

资料^[7]。根据参数反演与室内试验,确定所需的物理力学参数:

见表 2 和表 3,分析计算结果可知,三个危岩体在天然状态下处于基本稳定-稳定状态。暴雨使其稳定性大为降低,在暴雨工况下均处于欠稳定状态,有滑动的可能。三类危岩体在地震作用下稳定性系数均有所降低,但坠落式危岩体 W1-16 对于地震作用更敏感,稳定性显著降低。因此,上述危岩体应尽快进行治理。

表 2 稳定性计算参数表

Table 2 The stability calculation of parameter table						
灾害体	$\gamma/(\text{kN/m}^3)$		C/kPa		$\varphi/(^\circ)$	
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
滑体	21.75	21.92	30	28	35	32
潜在滑带	XP1	21.75	21.92	30	28	35
	XP2	21.75	21.92		43	38
岩体	25.9	27.0	抗剪: $C\ 990\text{kPa}$ $\varphi 40.38^\circ$		抗拉 强度	天然 870 kPa 饱和 710 kPa

表 3 危岩稳定状态分级

Table 3 The dangerous rock steady state grading				
破坏模式	滑移式	倾倒式	坠落式	
不稳定	$k_f < 1.00$	$k_f < 1.00$	$k_f < 1.00$	
稳定状态	欠稳定	$1.00 \leq k_f < 1.15$	$1.00 \leq k_f < 1.25$	$1.00 \leq k_f < 1.35$
		$1.15 < k_f \leq k_t$	$1.25 < k_f \leq k_t$	$1.35 < k_f \leq k_t$
	基本稳定	(非校核 1.4, 校核 1.15)	(非校核 1.5, 校核 1.2)	(非校核 1.6, 校核 1.25)
	稳定	$k_f \geq k_t$	$k_f \geq k_t$	$k_f \geq k_t$

表 4 危岩稳定性计算成果表

Table 4 The calculation results of dangerous rock stability				
破坏模式	W1-13 滑移式	W1-2 倾倒式	W1-16 坠落式	
稳定性系数	天然	1.368	1.409	1.514
	暴雨	1.055	1.103	1.185
	地震	1.308	1.345	1.189
稳定性评价	天然	基本稳定	基本稳定	稳定
	暴雨	欠稳定	欠稳定	欠稳定
	地震	基本稳定	基本稳定	欠稳定

4.2 不稳定斜坡稳定性分析

根据物质组成、结构特征和成因机制分析可知不稳定斜坡 XP1、XP2 变形破坏模式有一定的差异性。

不稳定斜坡 XP1 前缘有较好临空面,斜坡土体厚度较大,潜在滑面位于基覆界面,主要表现为沿基覆界面发生的牵引式整体滑动变形破坏。不稳定斜坡 XP2 前缘受定曲河河流切割作用,形成高陡自然边坡,后期

由于城市建设,修建公路开挖坡脚,形成人工切坡高陡临空面。后缘覆盖层延伸较近,基覆界面坡度较陡,变形破坏模式为边坡失稳破坏。

评价分析不稳定斜坡的稳定性时考虑三种工况:自重(含自然状态水位)、暴雨、地震力。①工况一:自重+天然水位;②工况二:自重+暴雨,土体饱和,岩土体物理力学参数为饱和状态参数;③工况三:自重+天然水位+地震。

通过钻探揭露潜在滑带,综合分析不稳定斜坡可能剪出口,得出不稳定斜坡可能发生折线型滑动;根据参数反演与室内试验,确定不稳定斜坡的稳定性计算参数(表 2),并采用不平衡推力法对不稳定斜坡典型剖面分别进行上述三种工况下的稳定性计算分析。

计算分析后稳定性结论评述如下,与现场宏观实际情况吻合:

- (1)天然状态下:XP1 处于稳定状态,XP2 处于基本稳定-稳定状态;
- (2)暴雨状态下:XP1 整体处于基本稳定状态,XP2 处于欠稳定-基本稳定状态;
- (3)地震状态下:XP1 处于稳定状态,XP2 处于基本稳定-稳定状态。

5 峡谷公路边坡病害防治措施

得荣县峡谷公路边坡主要发育有危岩体和不稳定斜坡两种病害,此外在降雨、地震及车辆震动作用下偶有落石、局部溜滑和坡面冲沟产生。灾害体主要发育有 XP1 和 XP2 两个不稳定斜坡以及后山危岩区 W1(由 16 个典型危岩体及 3 个孤立危岩组成)。各处病害的类型、性质和规模不尽相同,因此治理工程设计必须特别强调针对性,以辩证的思维采取具体问题具体分析的原则。

对于边坡病害的治理措施一般分为三种方法:主动治理、被动治理及主动-被动联合治理^[8],具体来说:

- (1)对于危石和落石群,应该统一规划,全部扫除,绝不留后患。对于体积比较大、埋深比较浅的危石,清除后会影响到边坡稳定性的,应该采取支护和嵌补的措施来治理;对于落石,主动防护措施一般采用锚杆挂网喷浆或布鲁克柔性防护网,被动防护措施一般采用拦石墙或拦石网。
- (2)对于危岩体及崩塌体,一般采用支挡、防护、锚固等综合治理措施。
- (3)对于卸荷裂缝,应该采取灌浆或注浆来使其裂缝封闭,然后将松动岩体和稳定岩体用锚杆或锚索

固定成统一整体。

(4) 对于岩堆体,通常采取框架、预应力锚索地梁或加高挡墙等措施来治理。

(5) 对于不稳定斜坡,通过稳定性分析计算,同时考虑到防治工程的施工环境、经济合理性与环境适应性,建议采用抗滑桩板拦石墙+被动网+坡面清危对灾害体进行综合治理。

具体来说,XP1-1 区采用抗滑桩板拦石墙治理,设置于斜坡下部公路内侧挡墙位置,抗滑桩截面 $1.5\text{ m} \times 2.0\text{ m}$,中对中间距 5 m ,长 12 m ,嵌固段深度 6 m ,共设抗滑桩 6 根,挡土板置于背坡侧。XP1-2 区在滑坡前缘剪出口、公路内侧设置一排抗滑桩,设计抗滑桩桩型 B~E 四种桩型。B 型桩截面尺寸 $1.8\text{ m} \times 2.4\text{ m}$,桩长 23 m ,嵌固端为总桩长的 $1/2$,共 3 根;C 型桩截面尺寸 $1.8\text{ m} \times 2.4\text{ m}$,桩长 20.0 m ,嵌固端为总桩长的 $1/2$,共 2 根;D 型桩截面尺寸 $1.5\text{ m} \times 2.0\text{ m}$,桩长 15.0 m ,嵌固端为总桩长的 $1/2$,共 15 根;E 型桩截面尺寸 $1.5\text{ m} \times 2.0\text{ m}$,桩长 12.0 m ,嵌固端为总桩长的 $1/2$,共 6 根。

XP2 不稳定斜坡采用抗滑桩板拦石墙治理,在斜坡坡脚公路内侧挡墙位置,设置一排抗滑桩板墙,桩截面 $1.0\text{ m} \times 1.5\text{ m}$,中对中间距 5 m ,长 15 m ,嵌固段深度 7 m ,共设抗滑桩 70 根,挡土板置于背坡侧。斜坡上部危石采用人工风镐破碎清危。

6 结语

(1) 峡谷公路边坡病害具有地质条件十分复杂、变形破坏的性质和类型多种多样、变形破坏的危害巨大、治理工程设计方法多变的特点。

(2) 峡谷公路边坡失稳的原因是多方面的,其稳定性受地质构造、地形地貌、地层岩性、降雨、地震作用等多种因素的影响。

(3) 峡谷公路边坡病害高发,各处病害的类型、性质和规模不尽相同,治理工程设计时应该特别强调针对性,以辩证的思维首先分清主要矛盾和次要矛盾,再采取具体问题具体分析的原则。

(4) 随着川西交通基础设施建设的迅猛发展,峡谷公路边坡的稳定性分析与防治措施需要引起高度重视。本文重点评价了危岩体的稳定性,提出了峡谷公路边坡的防治措施,为相关部门进行峡谷公路边坡地质灾害治理提供了重要依据。

参考文献:

[1] 闫峻.川藏公路深沟峡谷地段病害整治对策浅析

- [J].筑路机械与施工机械化,2001,18(93):24-25.
- YAN Jun. The disease treatment countermeasures of Sichuan Tibet highway deep canyon area[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2001, 18(93):24-25.
- [2] 朱建平,蔡军,马惠民.高山峡谷地段公路边坡变形破坏特点及其防治措施[J].公路,2004(4):139-143.
- ZHU Jianping, CAI Jun, MA Huimin. The deformation and failure characteristics and prevention measures of mountain valley area of highway slope[J]. Highway, 2004(4):139-143.
- [3] 李彩侠,马煜.四川东俄洛至炉霍段公路沿线地质灾害类型及其成因[J].中国地质灾害与防治学报,2013,24(3):105-110.
- LI Caixia, MA Yu. Types and causes of the geologic hazards along the highways along Dongeluo—Luhuo[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(3):105-110.
- [4] 陈昌彦,王思敬,沈小克.边坡稳定性的人工神经网络预测模型[J].岩土工程学报,2001,23(2):157-161.
- CHEN Changyan, WANG Sijing, SHEN Xiaoke. Predicting models to estimate stability of rock slope based on artificial neural network[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(2):157-161.
- [5] 王在泉,张黎明,贺俊征.岩石边坡工程块体系统稳定性预测、监测和控制[J].岩石力学与工程学报,2004,23(10):1658-1661.
- WANG Zaiquan, ZHANG Liming, HE Junzheng. Stability prediction, monitoring and control of key block system in rock slope engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(10):1658-1661.
- [6] 陈洪凯,唐红梅,王林峰,等.危岩崩塌演化理论及应用[M].北京:科学出版社,2009.
- CHEN Hongkai, TANG Hongmei, WANG Linfeng, et al. Evolutionary theory and application of dangerous rock collapse[M]. Beijing: Sciences Press, 2009.
- [7] 贺凯,殷跃平,冯振,等.重庆南川甄子岩-二垭岩危岩带特征及其稳定性分析[J].中国地质灾害与防治学报,2015,26(1):16-22.
- HE Kai, YIN Yueping, FENG Zhen, et al. Analysis of characteristics and stability for Zengziyan-Eryayan unstable rocks belt in Nanchuan county Chongqing[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2015, 26(1):16-22.
- [8] 陈洪凯,唐红梅.三峡水库区危岩防治技术[J].中国地质灾害与防治学报,2005,15(2):27-30.
- CHEN Hongkai, TANG Hongmei. The dangerous rock control technology of Three Gorges Reservoir area[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 15(2):27-30.