

文章编号: 1008-2786-(2010)6-741-06

“5·12”汶川地震区都汶路老虎嘴崩塌体治理

王全才^{1,2}, 王兰生¹, 李宗有³, 王浩²

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 四川省交通厅交通勘察设计研究院, 四川 成都 610017)

摘要: 距“5·12”汶川地震震中映秀 2.8 km 的都汶路老虎嘴崩塌体, 是本次地震中岷江上游最具影响的一处次生灾害, 规模巨大, 性质特殊, 其处治工程思路与一般工程设计更是不同。在认识该崩塌体本底条件的基础上, 分析其形成、发育特性及未来发展趋势, 提出并实施的固坡桩技术、安全备用平台就是其中两种有别于一般设计的特色工程。

关键词: 老虎嘴; 崩塌体; 分析; 治理

中图分类号: P642.23 U412.2

文献标识码: A

斜坡上的岩体, 经过长期雨水侵蚀风化后, 在重力和其他外力作用下, 发生急剧崩落垮塌现象, 即所谓的崩塌。崩塌常常以两种形式存在, 其一是崩塌体彻底崩塌滚落, 直接堆积在山坡坡脚处, 形成崩塌堆积体; 其二是崩塌体崩塌过程中个别大块岩体停留在内侧斜坡上, 并连同那些尚未摆脱母体但已松动的岩体一道成为危岩体。本文探讨的老虎嘴崩塌体就属于前一种形式为主的灾害体。野外调查和分析表明, 该崩塌体尽管规模巨大, 且个别崩塌颗粒硕大惊人, 但在强大的岷江冲刷作用下, 依然体现出崩塌体固有的松散易动的弱性, 加上不稳定体上实施工程对基础的苛刻要求, 使本属正常的工程在此无能为力。作者针对老虎嘴崩塌治理提出的一套治理技术, 特别是本文着重介绍的固坡桩技术和安全备用平台两个特色设计, 就充分利用了崩塌体自身有利属性和随河势而演变的发展趋势, 达到简单、渐进和协调设计的目的^[1]。该设计理念有望为其他类似崩塌体的防治提供有益的借鉴, 并为寻求一种实用创新的技术研究方向作出准备。

1 研究体概况

“5·12”汶川地震特色次生山地灾害遗迹——老虎嘴崩塌体位于震中映秀镇以北约 2.8 km 的岷江左岸, 公路里程为都汶(江)路 K28+290~K29+020, 计 730 m。它规模巨大, 是“5·12”地震对岷江及公路岸坡危害最为严重的一个崩塌体。地震发生之时, 它以排山倒海之势, 从高出岷江 460 m 的高山上倾泻而下, 致使岷江即刻断流, 100 m 余宽的河道瞬间荡然无存, 从而形成岷江上最具危险的壅塞体。正如老虎嘴的名字一样, 地震使其成了人们打通映秀(汶)生命通道的拦路虎, 并足足耗时三个多月才被抢险大军所征服。时至今日, 该崩塌体仍然严重挤占着岷江, 并迫使河道切入右岸 67 m 之多, 而公路中心在 K28+530 剖面处竟向右岸摆动 130 余 m。老虎嘴崩塌体(图 1)以及上游依次紧邻的老虎嘴滑塌体、豆芽坪崩塌错落体和下游的磨子沟泥石流沟, 共同以 4 种不同的灾害形式构都

收稿日期 (Received date): 2010-08-15; 改回日期 (Accepted date): 2010-09-28.

基金项目 (Foundation item): 中国科学院知识创新项目 (KZCX2-YW-332 资助). [Supported by Knowledge Innovation Program of CAS (KZCX2-YW-332).]

作者简介 (Biography): 王全才 (1959-), 男, (汉族), 研究员, 主要从事滑坡整治工程设计与滑坡机理、工程结构与坡体协调性等方面的研究. [Wang Quancai (1959-), male, the Han nationality, Professor, works fields mainly covering mechanism of landslides, engineering design, controlling engineering structure and compatibility of landslides etc.] E-mail: slopeak@163.com

1) 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川省交通厅交通勘察设计研究院, 都汶路映秀至汶川段灾后重建工程设计文件, 2008. 12.

汶路扼守岷江、危害公路的灾害群体^[1]。

2 崩塌体形成条件与现状

地质环境

老虎嘴崩塌体发育区位于川西北高原的东北部,其气候不仅具有高原气候特点,同时偶现敏感过渡区的特色。冬季受青藏高原和北方冷气流的影 响,寒冷干燥、日照强烈,夏季则相对暖湿,风雨变换,季节性差异虽不甚突出,但昼夜温差较大,气候异常多变,有利于岩体的风化。

老虎嘴崩塌体发育区作为青藏高原向四川盆地过渡的边缘地带、川西龙门山的中段,属剥蚀—侵蚀中高山深切河谷地貌。区内构造比较复杂,褶皱发育,主要受龙门山断裂影响。龙门山断裂带由大致平行的三条断裂组成,自西北向东南依次是汶川—茂汶断裂、北川—映秀断裂、安县—灌县断裂。根据相对位置关系,地质界又把它们分别称为山后断裂、中央断裂及山前断裂,晚新生代的构造变形主要就发生在这三个断裂上。也正是这三个断裂带连同一些横向断裂共同构成庞大而复杂的龙门山断裂带体系。本文研究区主要集中在中央断裂,发育的裂隙以构造裂隙为主。

老虎嘴崩塌体发育区新构造活动强烈,新生代以来主要表现为大面积抬升隆起和断块差异升降,并导致岷江强烈溯源侵蚀。新构造剧烈变形产生的应力集中,最终导致该区中、强地震的时常发生。主要的有 1713 年的叠溪 7 级地震、1748 年的漳腊北 6.5 级地震、1933 年叠溪的 7.5 级地震、1960 年的漳腊 6.3 级地震和 2008—05—12 的汶川 8.0 级地震,这些不断出现的强震使本已破碎的岩体更加支离破碎。

水文条件

老虎嘴崩塌体倚临的岷江上游,流域面积 22 564 km²。流域内主、支流平面形态呈树枝状,密集而纵横有序。其中映秀以上主要支流有黑水河、杂谷脑河和鱼子溪,多年平均流量分别为 140 m³/s、110 m³/s 和 62.4 m³/s。岷江西源出自分水岭海拔 4 610 m 的郎架岭,东源即岷江干流发源于松潘县北部的弓杠岭。在汶川青坡以上集水面积 14 124.5 km²,平均比降 8.4‰,汶川县境出口多年平均流量 452 m³/s。据映秀中滩铺水文站岷江流域观测资料,多年平均流量 342 m³/s,最小流量为 82.4 m³/s。

最大流量为 2 700 m³/s。2010—06—07 老虎嘴下游 K28+20 处路基被洪水再次冲毁的当日,岷江水流量就达 1 280 m³/s。岷江冲刷挟带能力极强,尤其是急转弯处的冲刷岸。老虎嘴崩塌体的坡脚,就处在一个很急的转弯处,在 > 100 m 范围内转角竟达 108°,这对整个岷江来说也是非常少见的,因而也是不正常的。

岷江从都江堰沿江溯上,降雨量由大到小急剧跳跃性变化,且冬、夏两季雨量差异也较明显,每年 5~6 月,气候暖湿,降雨增多形成雨季,7~8 月降雨相对减弱,9~10 月雨量再次增加,形成低温阴雨季节。因此,该地区具有一年两个干季和 5~6 月与 9~10 月两个雨季。区内多年平均降雨量 > 800 mm。

综合影响因素

从上述条件不难看出,老虎嘴崩塌堆积体除了本身地形地貌、岩性构造十分特殊外,活动的地震带、强大的岷江冲刷切割以及经济发展对交通建设的快速需求,都为老虎嘴的崩塌准备了条件。在此,突发外力的作用显然是第一位的,这就是高陡地形和不利构造、节理等本底条件下的突发地震力作用。根据 2008 年地震后我们在设计文件中的分析,“随着时间的推移,老虎嘴崩塌体原来以地震为主的影响作用将有所调整,即雨水和河流冲刷将逐渐取代之前地震力的主导地位,成为最主要的触发因素”。两年来老虎嘴龙口以下河道的冲刷和下游两次岸坡冲刷都已充分说明了这一点。

相对于堆积体而言,地震力对老虎嘴危岩体的影响作用会更大一些,时间也将长一些,但随着时间的推移,余震的减弱,同样存在雨水风化作用向主导地位转变的趋势。

老虎嘴崩塌体呈现两种截然不同的坡体类型,即已经发生崩塌的松散堆积体,和仍然处于危险状态的危岩体。前者呈明显的崩塌外貌,即标准的半锥体形状,其锥体于 K28+530 剖面原岷江左岸处堆积厚度达 86 m 之高,而且仅堆积于河底内的物质就约 150×10⁴ m³,属于一典型的大型崩塌体。堆积体主要由大小不一的块石组成,同时含有碎、砾石。堆积体浅表层坡体物质粒径大多在 20~200 mm,其中偶尔可见近百吨的巨石。

至于危岩体,如图 2 图 3 和图 4 所示,它们或以结构面切割的层状、块状或以嵌状、碎裂状以及散体颗粒状的形式存在于公路内侧高陡边坡上,虽经部分清除,但由于工作量、难度异常之大所以仍然远

未清理彻底。

由于崩塌堆积体非常高, 范围比较大, 除下部块石区外, 不少堆积体表层比较疏松; 至于崩塌的母体, 尽管已经崩塌但多少还是存在崩滑、飞石及局部滑移不稳定现象, 尤其上部表层小规模垮塌的情况偶然还会存在; 但中下部如今尚并不存在整体失稳的问题, 不过坡体物质尤其是浅表层物质的动态调整仍在进行, 并将持续一段时间。因此就目前公路运行安全而言, 主要危险在上而不在下。

3 崩塌体特点与发展趋势

3.1 崩塌体特点

- 1. 由于崩塌体在强大外力作用下于很短时间内形成, 所以崩塌体的解体性强、分选性弱;
- 2. 崩塌体规模大, 危害大, 颗粒差别大, 处理难度和工程量更大;
- 3. 崩塌体呈典型的半锥形形体特征, 其中侧面堆积坡度相对陡一些, 而正面坡度相对缓一些。
- 4. 尽管该崩塌体主体大都在很短时间内形成, 但仍经历了多次反复堆积和叠加的过程, 相对而言, 崩塌体深层块石粒径更大一些, 中表层则相对小一些的粒径略多一些;
- 5. “动止角”现象。人们知道坡体将根据自身的坡体物质颗粒和物理力学指标存在一个固有的“休止角”。但当我们进一步分析后认为: 休止角尽管是



图 1 老虎嘴壅塞体与壅塞湖

Fig. 1 Lao Huzui congestion body and congestion Lake



图 2 老虎嘴崩塌体上部松散堆积体

Fig. 2 Loose deposit upper Lao Huzui rockfall

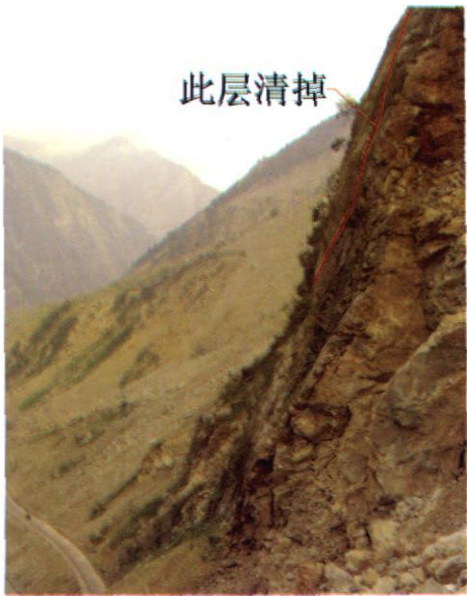


图 3 薄层松动危岩

Fig. 3 Thin unstable rock

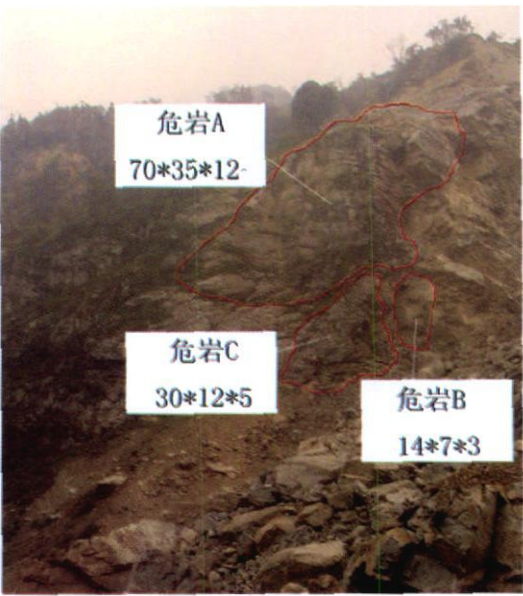


图 4 公路内侧危岩外貌

Fig. 4 Morphology of dangerous rock inside road

松散坡体物质自然堆积的一个属性,但作为地震力显然给岩土体颗粒在脱离母体时,施加了一定的动力,尤其是不同位置高度、不同风化程度的岩体,因解体之时地震力的作用使其拥有不同的动能和势能。所以最终形成的自然坡度,并非真正的休止角,而是较休止角要小一些。经分析此崩塌体非地震作用时休止角一般在 $25^{\circ} \sim 42^{\circ}$,而地震作用下实测老虎嘴崩塌体 K28+530剖面处,堆积坡度仅为 19° 。

趋势分析

正如刚刚发生地震后作者分析和强调的那样,“未来河流冲刷和雨水将成为影响崩塌体稳定的两个主要因素;目前老虎嘴崩塌堆积体已处于整体基本稳定,局部不稳定的状态,随着时间的推移和不利条件尤其是岷江的强大冲刷作用,将逐步向欠稳定和不稳方向转化,并继续伴随上部坡体一些崩塌落石现象。而危岩体除了表层松散的那种类型会随时出现崩塌落实现象之外,那些陡倾破裂的薄壁型岩体存在整体倾覆的危险,而完全被裂隙贯通切割的大块危岩体也同样会择机失稳!总而言之,整个发展趋势是崩塌堆积体由大规模集中崩塌向小规模单体崩塌、整体稳定向局部不稳定方向发展,而危岩体则反之”,现在看来,这一认识不仅已被证实,而且未来几年内将会依然如此。

需要特别注意的是老虎嘴崩塌堆积体已经严重侵占了岷江固有河道,而岷江流量变化及强大的冲刷、携带能力众所周知。所以岷江洪水对崩塌岸坡的再造作用,尤其是岷江主流向固有河道回归方向的发展,将是不能逆转的客观规律,无非是时间早晚的问题。至于尚未崩塌而依然存在的危岩体,将向三个方向发展:1. 岩体风化表层被震松的危险碎裂块石,一遇震动雨水作用,就会出现滚动掉落;2. 块体较大,但其节理裂隙已完全贯通的危岩,尽管它们不存在掉块的现象,可已经独立地被切割,其整体垮塌的危险随时存在,而且一旦发生,后果不堪设想;3. 由 $255^{\circ} \sim 260^{\circ} / 65^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 裂隙面控制的薄型临空高陡危险块体,此类薄层危岩尤为危险,一方面它们贯通的裂隙延展很长,另一方面裂隙在振动雨水作用下都有所张开,很不稳定,事实上近期发生的几次一定规模的崩塌就属于这一种。

4 工程设计与创新

设计理念与创新

开放设计 鉴于都汶路防灾工程的特殊重要性,

四川省交通厅开放式地集结国内优势设计单位,广泛吸收先进的防治技术,达到了安全运营和新型技术得以利用的两个目的。

关联设计 设计中不仅考虑了灾害体自身与河道的发展、公路的设计标准和使用年限,同一工点不同手段、以及不同工点不同手段的匹配,而且即使高速公路也借助了当前一些技术成果。

分步设计 采取随河势的发展、崩塌体自身的调整状态进行更合理的分步设计。并始终前瞻性地看到,当前所有影响河道的工程都将是非长期的,一旦完成使命,时机成熟,一定要恢复自然河道,保持岷江发展的游离状态。

柔性被动工程设计 不仅变尚未稳定的坡体中不可实施工程为可以实施,而且避免刚性工程对投资的巨大要求。

生态与谐调工程设计 实现工程与环境以及交通与旅游的完美协调。尤其是达到就地取材、科学合理、治若无治的治理境界。

工程设计

根据老虎嘴崩塌体的现状、成因、性质、特点以及发展趋势分析,对其主要采取十种工程防治和安全防范措施。即:柔性框架石笼、骨架护坡、石堤与格宾护脚工程、固坡桩组合工程、桩顶墙、拦石(内挡)墙、被动网、锚固结构、安全备用平台、安全警示体系和位移变形监测系统。其中多项属于创新或部分创新工程,如典型的柔性框架石笼等,它们各有所长,并分别以不同的形式发挥着各自的作用。在此特别提到的是固坡桩组合工程和安全备用平台两种工程,见图 5。

固坡桩组合工程:在 K28+620 ~ K28+680 范围内设计为固坡桩组合结构,主要体现在多桩并用、外侧临水坡面抛填四面体护坡以及桩顶平台回填大块石反压公路边坡。固坡桩由专门机械冲击成孔。固坡桩桩径 1.8 m,桩长 17.5 ~ 22.5 m 不等(见表 1)。首期设置 12 根,桩距平均 5 m。为增加固坡桩的整体抗弯刚度,设计中力求发挥桩土、桩排等复合桩基作用。不仅将桩排设计成非直线型,内侧对应一排超短附桩,桩顶以圈梁连接,而且特在桩顶设一拉杆,仅此微小特殊设计就大大改善了桩体的受力状态。且不说桩本身的抗剪作用和多桩与圈梁强化抗弯的能力,仅单桩承弯 M 就显著提高即

$$M_1 = M_k - M_k - M_k \quad (1)$$

式中 M_1 、 M_k 、 M_k 分别为桩后、桩前土压力和桩顶

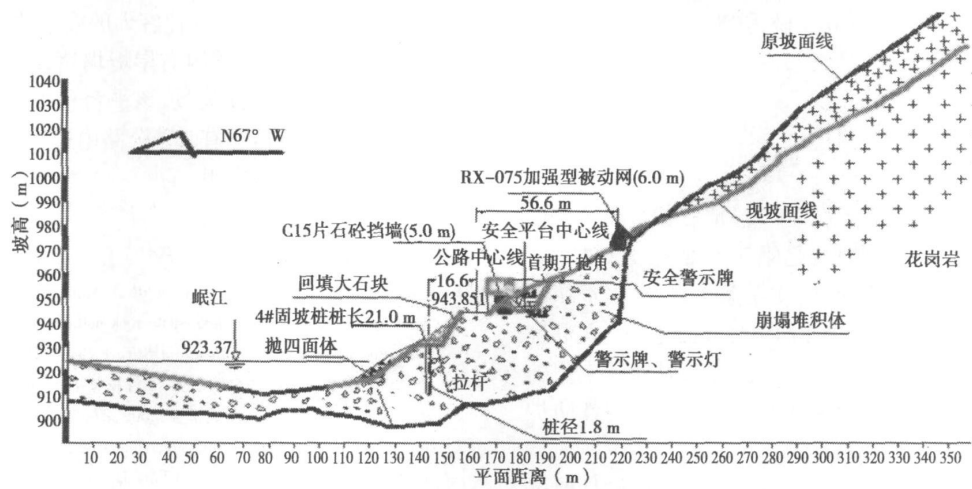


图 5 老虎嘴崩塌体治理工程代表剖面图
Fig 5 one of rock fall profiles of Lao Huzui control project

表 1 固坡桩基本数据表
Table 1 Basic Parameters of Pile Slope

桩号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#	11#	12#
桩长 (m)	22.5	22.0	21.5	21.0	20.0	19.0	18.5	18.0	18.5	18.0	18.0	17.5
标高 (m)	932.2	932.2	932.2	932.2	930.8	930.8	930.8	930.8	929.5	929.5	929.5	929.5
距路 (m)	18.0	18.5	17.0	16.0	15.0	16.5	17.0	18.5	17.0	18.0	16.0	16.5

拉力产生的弯矩。

桩顶平台可用公路内侧就地取材的大石块恢复回填, 粒径>0.4 m, 以增加对公路外侧边坡的反压作用。平台外侧浸水边坡坡脚抛填四面体。

安全备用平台: 安全备用平台包括平台本身和上部被动网, 下部拦挡墙等安全防御性工程两部分。里程范围是 K28+350~K28+637 共计 287 m, 该平台由于是在原自然平台基础上适当扩展而成。对该平台施工, 从经济各方面考虑暂不一步到位, 将平台设计高程抬高 2.0 m 作为本次施工的平台地; 必要时再作进一步考虑。目前平台首要功能是满足安全防护的一些需要。这种平台因对公路内侧边坡基本没有什么扰动。大都保持原始地貌。

尚须进一步考虑和关注的问题

1. 老虎嘴崩塌体等四个工程防治与河道发展密切相关, 选择河势发展的相对稳定态很重要。因此, 要重点解决老虎嘴崩塌体前缘的冲刷和泄流的消能问题; 保证抢通时下游所修丁坝的正常功效, 避免大洪水漫流坝顶后对丁坝的致命破坏作用。

2. 关于龙口以下右岸坡体的稳定问题, “右岸疏浚, 左岸封堵, 龙口爆破”是当时抢通公路针对壅

塞体处理的原则, 如今已不再适应。反而现在应该保护右岸, 适度松绑左岸, 选择更合理的龙口过流断面。尤其要遏止右岸过度冲刷的势头, 避免右岸坍塌堵江的情况发生。

3. 龙口上游附近自 K28+610~K28+780 的顶冲岸坡防护工程的稳定性至关重要, 在此关键是平台以下的防冲问题! 所以在平台外侧冲刷坡面抛填四面体, 一般来讲这样处理后桩基结构完全可以抵御一定的冲刷作用,

4. 为充分发挥崩塌体的自身稳定性, 在龙口下游 K28+350~K28+450 范围内暂时没有设置任何坡面防护工程, 而仅在坡脚处堆石处理, 同时放一排四面体, 两个叠放。对此可视洪水冲刷情况, 必要时, 再实施柔性防护工程。

5. 老虎嘴崩塌体的下游, 磨子沟泥石流沟口附近路基尽管已经抬高, 且对路基外侧也已设计挡墙, 但岷江强大洪水的冲刷能力不可忽视, 若发生异常情况, 护坦和小潜坝的组合形式可作为一个考虑的组合结构。至于泥石流沟口的防护仍以原设计为宜, 且务必注意新的泥石流堰塞体问题, 事实上 2008-09-09 作者现场对红椿沟泥石流潜在危害

的特别提示,已于2010年映秀“8·14”灾害中得以证实。

5 结语

老虎嘴崩塌体作为“5·12”地震黄金要道上的一个巨大崩塌体,同时也是岷江上唯一最大的壅塞体和危险岸坡,规模超常、作用条件复杂、安危影响极大。其治理工程已决非简单独立而是一个关联性治理工程。加上崩塌源的高陡广阔,时间和空间的不确定性,所以最终治理问题已不再是常规性防护措施所能排险、解决的问题。

针对老虎嘴崩塌体这一重大灾害体,设计通过非常规设计思路,运用避实就虚,柔性防护;分批分期、随势从简的设计手法。将复杂的问题简单化,以时间换时机,有计划、有目标地实施各时段急需的控制性工程,以达到准确、经济、安全的目的。

固坡桩组合工程,通过固坡桩、临水外边坡四面体以及桩基平台置放大颗粒块体组合工程,既解决了不稳定崩塌体上不能设置工程、工程不易施工、桩基抗弯缺陷和防止冲刷、稳定路基的大问题,同时就地取材,经济实用,体现了与原始坡体完全一样和治若无治的特色。

安全备用平台之所以作为一项创新工程,就在于它的三个突出功能,其一是直接减轻对公路的危害;其二是拦挡来自高位的崩塌落石,使来往车辆免

受灾害,并从心理上增强来往客人的安全感;其三也是最重要的,一旦现公路因右岸坍塌堵江或异常洪水使现有公路交通功能失效,该平台稍加平整就是一条新的公路。其他还有改善公路内边坡受力状态等等,一举多得,非常实用。

参考文献 (References)

- [1] Wang Quancai, Wang Lansheng et al. Application of Flexible Stone gabion framework in large-scale rock collapse controlling engineering [J]. Journal of Mountain Science 2009 27(5): 631~636 | 王全才, 王兰生, 李宗有, 等. 柔性框架石笼在大型崩塌体治理工程中的应用 [J]. 山地学报, 2009 27(5): 631~636
- [2] Huang Runqiu. Distribution and Mechanism of Landslides induced by Wenchuan Earthquake [A]. China-Japan Symposium on Seismic Disaster Prevention and Mitigation 2008 57~71 | 黄润秋. 汶川地震触发地质灾害发育分布规律及形成机理研究 [A]. 中日地震防灾减灾学术研讨会 [C]. 2008 57~71
- [3] Wang Quancai, Liu Xilin et al. Bridge study on danger influenced by debris in Taoguan Gully of Duijiangyan Wenchuan Haiwai [J]. Advance in Earth Science 2004 19 238~241 | 王全才, 刘希林, 等. 都汶公路泥石流对沟口桥梁危险性评价 [J]. 地球科学进展, 2004 19 238~241
- [4] Liu Mingguang et al. Physico-geographical maps of China [M]. Beijing: Sinomaps Press 1998 | 刘明光, 等. 中国自然地理图集 [M]. 中国地图出版社, 1998
- [5] Cheng Zunlan, Cui Peng. Major disaster and countermeasures of dammed lakes from landslides and debris flows [J]. Journal of Mountain Science 2008 26(6): 733~738 | 程尊兰, 崔鹏. 滑坡、泥石流堰塞湖灾害主要的成灾特点与减灾对策 [J]. 山地学报, 2008 26(6): 733~738

Remediation of Laohuzui Rock fall in Duwen Road Induced by Wenchuan “5·12” Earthquake

WANG Quancai¹, WANG Lansheng², LI Zongyou³, WANG Hao¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

(2. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

(3. Sichuan Communication Surveying and Design Institute, Chengdu 610017, China)

Abstract: Laohuzui rock fall which is 2.8 km away from the Yingxiu—“5·12” epicenter was the most influential sub-disasters on the upstream of the Minjiang River. Because it was Magnitude and the nature is special, the remediation is totally different from the general engineering designs. In this paper, authors based on knowing the background of the rock fall body condition, analysed the rock fall formation and development characteristic, then forecasted development trend. The authors also proposed a solid slope pile technology and reserveing platform of security design which are two special designs.

Key words: Rock fall, characteristics, controlling engineering