

川藏公路 102 滑坡群地段基覆界面问题研究

曾庆利, 杨志法, 尚彦军, 张路青, 袁广祥, 祝介旺

(中国科学院地质与地球物理研究所, 工程地质力学重点实验室, 北京 100029)

摘要: 边坡坡体结构中, 下伏基岩与上覆松散堆积体间接触界面(即基覆界面)的形态特征对边坡稳定性往往起决定性作用, 同时也是边坡稳定性计算和边坡抗滑工程设计的重要依据。本文针对著名的川藏公路 102 滑坡群路段边坡基覆界面特征问题进行了初步研究, 根据该路段河谷冰川地貌特征、2# 滑坡后壁地下水渗水带特征和少量物探钻孔资料提出了新的基覆界面位置, 即 102 滑坡群路段边坡基岩与上覆松散堆积体的界面位置在平均海拔 2 325m, 而不是前人所认为的帕隆藏布江河谷基岩出露处(海拔 2 120m)。该新认识对 2# 滑坡工程整治设计方案选择具有重要指导意义, 并建议首先考虑隧道方案。

关键词: 松散堆积体; 基覆界面; 河谷冰川地貌; 102 滑坡群; 川藏公路

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2008)03-0001-06

1 引言

川藏公路(国道 318 线)102 滑坡群是指 1991 年 6 月发生于川藏公路波密县通麦镇原 102 道班所辖路段、公路里程 K4078 ~ K4081 之间长 2.74km 的路段上 6 个规模不等的松散堆积体滑坡(图 1)。公路交通部门自 2001 年 7 月开始至 2006 年 6 月, 累计投入资金

1.15 亿元并采取“减、锚、排、养”的设计主导思想对该滑坡群路段进行了 2 期原线工程整治和保通^[1]。但是目前长 623m 的 2# 大滑坡路段上, 崩塌、滚石、泥石流等地质灾害几乎每天都在发生, 基本上大雨大滑、小雨小滑、无雨也滑, 成为川藏公路西藏境内著名的危险和瓶颈路段之一。

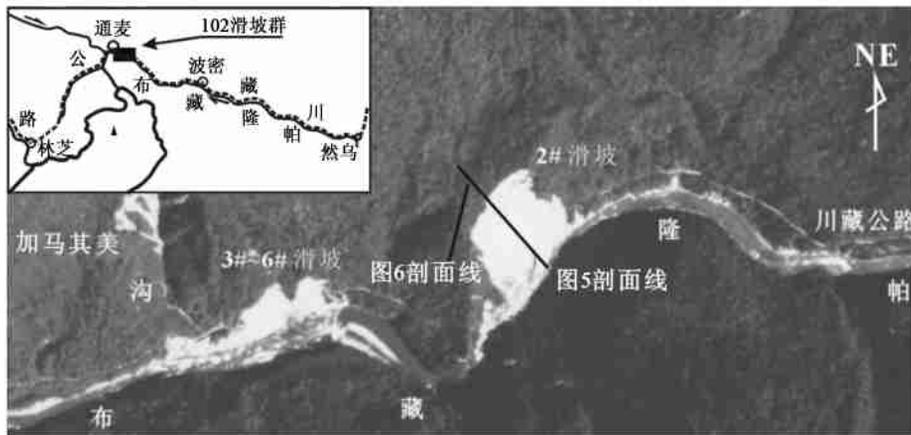


图 1 102 滑坡群概貌图(航片, 摄于 1991 年 11 月)

Fig. 1 Aerial photograph of 102 landslide group (taken in Nov. 1991)

102 松散堆积体滑坡群 2# 滑坡路段的工程整治效果不理想的事实表明, 2# 滑坡的整治不仅仅是一个

收稿日期: 2007-08-16; 修订日期: 2007-09-25

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB 412701)

作者简介: 曾庆利(1973-), 男, 博士后, 从事地质工程及地质灾害方面的研究工作。

E-mail: qlzeng2008 @126. com

工程问题, 而首先应该是一个地质问题。目前的研究中, 对于 102 滑坡群路段基岩与上覆松散堆积物的界面(以下简称基覆界面)形态特征问题却很少有人涉及。如果这个最基本的工程地质背景和赋存环境问题没有识别清楚, 滑坡稳定性计算就缺少正确的边界条件, 滑坡的发展趋势就难以准确预测, 滑坡工程整治将面临“治了滑, 滑了治”这样恶性循环的风险。

本文在前人对川藏公路典型地质灾害地质背景、成灾机制和防治方法研究的基础上^[3~10],结合2006年春季野外勘测,从河谷冰川地貌特征、水文地质特征和少量物探钻探显示出发,对102滑坡群的关键地质问题之一——“巨厚松散堆积体与基岩的界面问题”进行研究,重新初步确定了102滑坡群路段巨厚松散堆积体与基岩界面位置,并给出相应的工程地质剖面图,其成果可望对102滑坡群形成机制研究、稳定性分析、发展趋势预测及后续的滑坡工程整治设计提供指导意义和参考价值。

2 基覆界面问题的提出

在102滑坡群路段工程治理前期,前人对102滑坡群发育的环境(地质、地貌、气候、水文)、发生机理、发展演化趋势和整治进行了比较全面和系统的研究^[11~12],为后续研究和工程整治实践提供了比较详尽的初步资料。据文献[11]、[12],从2#滑坡后缘台地(海拔约2450m)至帕隆藏布江河谷基岩出露处(海拔2120m)之间均为第四纪冰碛和冰水沉积物,厚达330m;基岩与上覆松散堆积体之间的岩覆界面的位置在现公路高程线(海拔2200m)以下的海拔2120m处^[11]。文献[11]给出的102滑坡群2#滑坡中线工程地质剖面图及基岩与松散堆积体之间的接触界面位置等被有关研究者广泛引用,并以此为基础进行工程整治设计、稳定性计算和滑坡发展趋势预测^[13~16]。

然而,上述基覆界面位置的确定是根据吕儒仁等(2001)报道的2个钻孔资料^[17],即“1996~1997年在2#滑坡顶部平台施工了2个钻孔,进尺分别为50.81m(ZK1)和100.76m(ZK2)。ZK2钻孔位置海拔为2467.76m,底部进入冰碛层9.40m”。由此可见,文献[10]和[11]关于第四纪冰碛层厚度为256.4m,即从ZK2钻孔底部(海拔2376m)至河谷基岩出露处(海拔2120m)的厚度只能是一种推断,缺乏实际钻孔数据支持。同时很显然,前人结论是将斜坡表面的老滑坡体也看作是连续的冰碛层。因此,在102滑坡群地段坡体内,基岩与松散堆积体之间的实际界面位置并不清楚。进而,前人提供的、进行稳定性计算、趋势分析及工程整治设计的工程地质剖面图是值得质疑的。

因此,本文提出了重新研究102滑坡群地段的基覆界面问题,即隐藏在滑坡体下面、基岩与上覆松散堆积体间真正的界面位置问题。

3 基岩与上覆松散堆积体界面位置重新确定

本文根据野外实地详细调查,并结合藏东南河谷

冰川地貌特征分析、地下水渗水带出露特征和少量物探钻孔资料,对102滑坡群2#滑坡段基岩与上覆松散堆积体界面位置进行了重新认定。

3.1 冰川地貌特征

据藏东南地区第四纪冰川发育特征,帕隆藏布江流域冰期可以划分为4期:即倒数第二次冰期(简称倒二冰期)、末次冰期、小冰期和新冰期^[8,10]。其中倒二冰期和末次冰期规模较大,虽然帕隆藏布江在这两次冰期中没有形成贯穿主谷统一的山谷冰川(支谷冰川只是进入主谷并分段占据主谷的不同部位),但是间冰期冰川退缩时却在主谷两侧形成高冰碛台地。冰期时冰川前进并对主谷进行改造,形成U形谷。间冰期冰川退缩遗留下大量冰碛,受到流水侵蚀形成V形谷。

102滑坡群路段位于受NW向嘉黎—察隅右旋活动断裂控制的帕隆藏布江下游,岩体结构受构造扰动强烈,完整性较差,加上下游流水侵蚀能力强,形成典型的V形深切峡谷。其演化模式如图2所示。

野外地质调查得知,在2#滑坡以东北岸、海拔2300~2350m处,地貌上表现为一个基岩基座阶地,该阶地长约500m,宽度不大(图3左侧)。该基座阶地在102东沟附近由第四纪冰碛物和冰水沉积物覆盖。在2#滑坡对岸也存在一个海拔高度类似的基岩基座阶地平台,长约600m,宽约300m(图3右侧);该平台南侧山体同样由冰碛组成。上述地貌特征与图2(b)相吻合。河流侵蚀的差异性可能是造成某些地段出露基岩的重要因素。

在2#滑坡体西侧景点介绍橱窗附近、公路上方斜坡中(海拔约2220m)发现强风化的片麻岩基岩。在3#~5#滑坡所在的北侧岸坡,片麻岩基岩被冰碛物、冲洪积物及其崩坡积物所覆盖,仅有零星出露,两者界面位置的平均海拔在2320m左右。前人关于河谷基岩出露处(海拔2120m)以上均为第四纪松散堆积体的结论^[11,12,17]显然与这些现象相悖。厚达330m的第四纪巨厚松散堆积体在较短的空间范围内(从102东沟向西至3#滑坡长约1.7km),从无到有,再到仅位于海拔2320m以上,发生这种遽然变化的可能性较小。

此外,2#滑坡与3#滑坡之间的向西南突出的山咀(图1中下部)虽然高达350m、坡度达到近40°,却依然十分稳定,也是在山咀处存在一个平均海拔为2325m基岩基座的依据之一。

通过上述分析,作者认为,102滑坡群路段为典型的冰蚀U谷中嵌套流水侵蚀V谷的河谷冰川地貌特征,河谷两侧的高冰碛台地是主谷冰川退缩后残留下

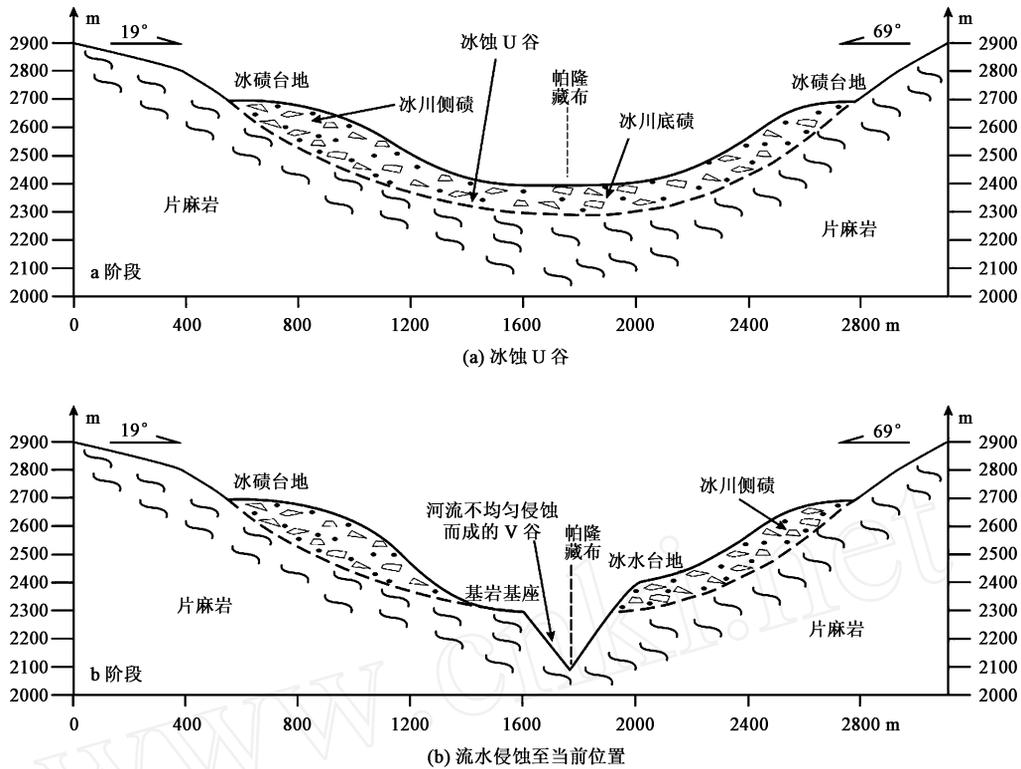


图 2 102 滑坡群路段帕隆藏布江冰蚀 U 谷演变成河流 V 谷示意图

Fig. 2 Sketch map of river evolution from glacial erosion U shape (a) to runoff erosion V shape (b), example in No. 102 landslide group segment



图 3 2# 滑坡附近及对岸的基岩基座阶地

Fig. 3 The rock base terrace locating in both sides of Parlung River near 2# landslide

来的侧碛和中碛;公路所在的北岸存在着一个统一的基岩基座,平均海拔高度在2 325m左右;其上覆盖着第四纪冰碛物和冰水沉积物。

3.2 地下水活动特征

2# 滑坡地段的地下水类型主要为孔隙水,由大气降水和冰雪融水进行补给。1991年2# 滑坡大规模滑动后,在主滑壁海拔2 330m附近有多处地下水成群成带渗出^[11]。目前,2# 滑坡后壁上多个渗水点的高程介于2 380~2 280m之间^[12](图4)。其中,1#~6# 泉水点位于2# 滑坡的东侧,高程2 340~2 380m;7#~12# 泉水点位于2# 滑坡体内,高程2 361~2 280m。这些

渗水点高程具有东高西低的特点,与上述基岩基座和现代河床在流向上的高程变化趋势一致。值得指出的是,这些孔隙水渗水点会逐渐侵蚀掉其上方松散体的基础而在滑坡后壁上产生拉裂缝,并最终促使后壁发生小规模垮塌,部分大石块快速运动形成滚石,其他土体则在孔隙水的作用下演变成小型泥石流,威胁路人和行驶车辆的安全。

2# 滑坡体及其东侧坡体泉水点集中出现在2 315m(1#~6# 泉水点高程平均值)和2 355m(7#~12# 泉水点高程平均值)之间这一事实,说明坡体内确实存在着一个透水性差异较大的界面。对于这一界面的组成,前人在探讨地下水对2# 滑坡的作用时都有过论述,均认为是第四系冰碛层与冰水沉积层之间由于粘粒含量差异所致。根据吕儒仁等资料^[17],冰碛层中粘粒含量为1.50%~2.30%,而作者在第一级平台上部及滑壁上所取冲洪积物的两个样品的粘粒含量分别为:3.50%和2.1%,两者粘粒含量差别不大。因此,渗水带部位不应该是冰碛物与冰水沉积物的接触界限,而可能是冰碛物与前述基岩基座阶地的接触界面。

3.3 松散体与基岩接触界面物探、钻探特征

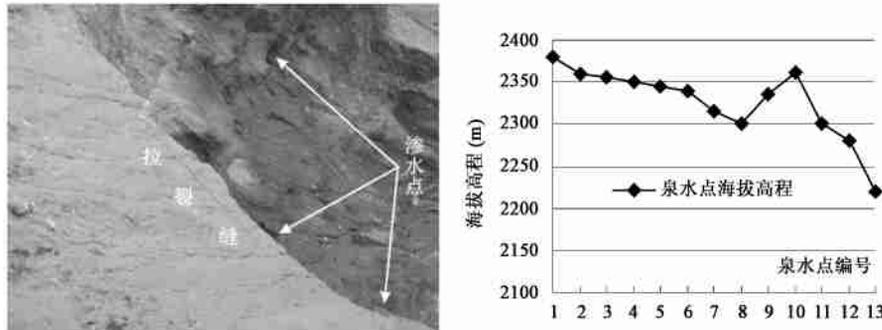


图 4 2# 滑坡后壁渗水点及高程曲线(自东向西)

Fig. 4 Groundwater seepage points in the backwall of 2# landslide and their elevation curve (from east to west)

物探和钻孔是确定下伏基岩与上覆松散堆积体之间界面位置的最佳工程方法。武斌等(2006)报道了2#滑坡地段2002年的综合工程物探勘测资料^[18]。物探结果之一认为,2#滑坡顶部平台可分为堆积块碎石土、冲洪积卵砾石层和冰碛层碎石土等3层,共厚60~72m,是该滑坡第四系堆积最厚部位。虽然其对滑

坡体分层解释和松散堆积体厚度的解释结果有值得斟酌之处,但是该文作者也认为,松散堆积体厚度并未达到330m。此外,沿102平台上方北东向排水沟的物探测线显示,基岩面高程从南西向北东由2330m向2370m变化,反映出—个相对较缓的基岩基座存在于冰碛物的下方(图5)。

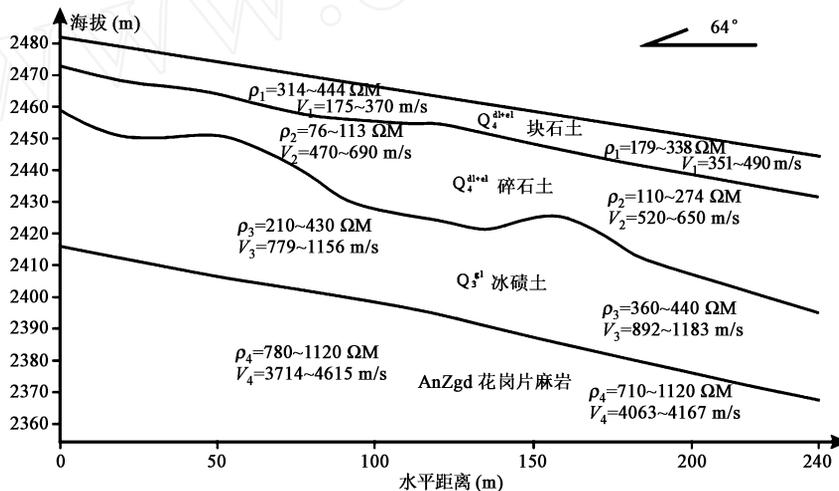


图 5 102 平台上方北东向物探剖面解译图(与武斌先生个人交流,剖面位置见图 1)

Fig. 5 The geophysical exploration profile in northeast direction on the first platform (personal communication with Mr. Wu and seeing the profile line in Fig. 1)

至于钻孔资料,作者仅在2#滑坡东侧公路边和第一级平台上方观察到2个钻孔及其遗留的不完整岩芯。其中,前者长度小于25m即可见到完整基岩,后者长度大于100m尚未见到基岩。此外,通过与102路段中铁二局施工人员交流,得知2#滑坡体中线公路附近的垂向钻孔在深度小于30m时即见到长约1m的岩芯,表现为微风化或新鲜基岩。

以上物探和有限的钻孔资料表明,2#滑坡地段公路以上坡体仍有基岩存在,第四纪冰碛层和冰水层厚度小于330m,这些均与作者的推断不矛盾。

3.4 2# 滑坡地段基岩与冰碛物的界面形态

通过上述详细分析论证,作者认为102滑坡群路段的北侧斜坡中普遍存在一个平均高程2325m的基岩基座阶地,该基座阶地是河谷从冰川U形谷向河流V形谷转变的部位。由于受河流侵蚀程度差异的影响,该平台在2#滑坡和3#滑坡之间的山咀处最宽,向东、西两个方向变窄。基岩基座阶地之上遗存有第四系冰碛层和冰水沉积层,相应地形成一个高程为2450m堆积平台。在2#滑坡体及其东侧斜坡段,由于基岩与冰碛物之间的透水性差异,两者之间的接触界

面附近出现渗水集中带(平均高程2 325m)。少量物探和钻孔资料支持基岩与上覆松散堆积体界面位置平均

海拔在2 325m左右的结论。以上论证可如图6所示。

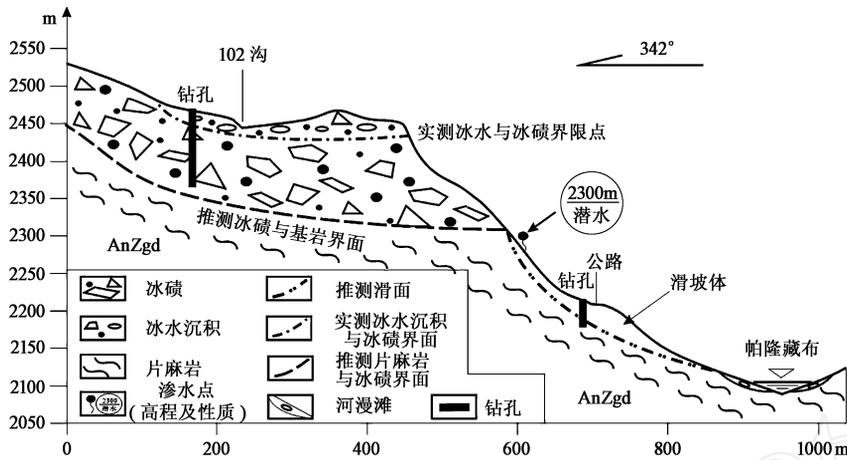


图6 2#滑坡中线工程地质剖面图(剖面位置见图1)

Fig. 6 The engineering geological profile along the middle-line of 2# landslide (see profile location in Fig. 1)

4 新基覆界面的工程意义

前人关于2#滑坡稳定性计算^[12,13,16]及滑带土强度参数的反演^[14]均是基于基覆界面在海拔2 120m,目前把这个基覆界面提高到平均海拔2 325m的位置,很显然进行分析计算的工程地质力学模型的边界条件发生很大改变,整个坡体的稳定性及发展趋势都将会改变。根据作者的研究成果^[8],2#滑坡坡体在其后缘和前脚附近易发生剪切破坏并出现拉裂缝;强降雨或地震条件下,老滑坡将发生复活,而新滑坡将继续在平台上的松散堆积体中发生,即滑坡发生具有周期性。

文献[12]提出了4种滑坡整治方案,即上线绕避方案、过河绕线方案和目前一期和二期工程采用的原线整治方案;文献[7]提出了隧道避滑方案。显然,在本文重新确定基覆界面位置在当前公路高程(2 200m)以上近100m,并且界面上方的松散体又经常发生失稳而又难以有效治理时,隧道避滑方案成为一劳永逸且对自然环境破坏最小的一种可选方案。此外,从工程经济、交通安全和长远经济效益等方面对原路整治方案与隧道方案(长1.3km,直接穿过1#~2#滑坡)进行的初步对比分析表明,隧道建成使用后一年创造的效益就是原投资的2倍。因此,本文建议102滑坡群段的治理优先考虑隧道方案,才能根本缓解西藏公路2010年远景规划中川藏公路是青藏公路运输量1.8倍的压力^[19]。

5 结语

本文从河谷冰川地貌特征、地下水渗水集中带及少量物探资料和钻孔调查等方面对2#滑坡路段边坡基岩与上覆第四纪冰碛接触界面位置进行了详细分析,初步确定基覆界面的位置在平均海拔2 325m处,位于目前公路路基上方,而不是前人资料所认为的在河谷海拔2 120m处。这个新结论对于102滑坡群,特别是目前灾害最为严重的2#滑坡路段的工程整治方案设计具有重要的指导意义和重大的经济价值。

致谢: 特别感谢中国科学院地质与地球物理研究所许兵、潘裕生、赵希涛、戴福初研究员给予本文的热情指导和鼓励。同时也感谢甘肃省区域地质调查研究院朱自立高级工程师为作者描述1991年2#滑坡发生后的情况。

参考文献:

- [1] <http://www.chinatibetnews.com/CB/channel99/246/248/200506/02/28802.html>.
- [2] 中国科学院地质研究所工程地质力学开放实验室. 谷德振文集[R]. 1994: 253-261.
- [3] 尚彦军, 杨志法, 廖秋林, 等. 雅鲁藏布江大拐弯北段地质灾害分布规律及防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 12(4): 30-40.
- [4] Shang Yanjun, Yang Zhifa, Li Lihui, et al. A super-large landslide in Tibet in 2000: background, occurrence, disaster, and origin[J]. Geomorphology, 2003, 225-243.

- [5] 张路青, 许兵, 尚彦军, 等. 川藏公路南线八宿-林芝段滚石灾害的工程地质调查与评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(9): 1551 - 1557.
- [6] 丁继新. 滑坡和泥石流致灾条件叠合技术及风险分析——以川藏公路然乌至鲁朗段为例[D]. 北京: 中国科学院研究生院博士学位论文, 2005.
- [7] 杨志法, 尚彦军, 张路青, 等. 川藏公路地质灾害及其防治对策研究——以八宿至林芝段为例[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 330.
- [8] 曾庆利. 藏东南巨厚松散堆积体发育条件、成灾模式及防治对策——以川藏公路然乌至鲁朗段为例[D]. 北京: 中国科学院研究生院博士学位论文, 2007.
- [9] 曾庆利, 杨志法, 张西娟, 等. 帕隆藏布江特大型泥石流的成灾模式及防治对策——以扎木镇-古乡段为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(2): 27 - 33.
- [10] 曾庆利, 杨志法, 袁广祥, 等. 松宗古湖——藏东南帕隆藏布江末次盛冰期发育的一个冰川堰塞湖[J]. 第四纪研究, 2007, 27(1): 85 - 92.
- [11] 张晓刚, 王成华, 孔纪名, 等. 川藏公路“102”滑坡群的基本特征[J]. 山地研究, 1998, 16(2): 151 - 155.
- [12] 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 西藏自治区交通厅科学研究所. 川藏公路典型山地灾害研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999: 54 - 102.
- [13] 李同录, 赵剑丽, 李萍. 川藏公路102滑坡群2#滑坡发育特征及稳定性分析[J]. 灾害学, 2003, 18(4): 40 - 45.
- [14] 廖秋林, 杨志法, 尚彦军, 等. 川藏公路102滑坡滑动带力学参数的反分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(24): 4119 - 4123.
- [15] 朱汉华. 川藏公路西藏境内典型病害防治技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [16] 祝建. 巨厚层松散高陡边坡的形成机理及稳定性分析——川藏公路102滑坡群2#滑坡工程例析[D]. 西安: 长安大学硕士学位论文, 2005.
- [17] 吕儒仁, 李德基, 谭万沛, 等. 山地灾害与山地环境[M]. 成都: 四川大学出版社, 2001: 157 - 182.
- [18] 武斌, 曾校丰. 综合工程物探技术在川藏公路102大型滑坡勘察中的应用[J]. 四川地质学报, 2005, 25(1): 61 - 64.
- [19] http://www.qh.xinhuanet.com/qztl/syx/2006-06/09/content_225266.htm.

Study on discontinuity between bedrock and Quaternary covers in No. 102 landslide group section of Sichuan-Tibet highway

ZENG Qing-li, YANH Zhi-fa, SHANG Yan-jun, ZHANG Lu-qing, YUANG Guang-xiang, ZHU Jie-wang
(Key Laboratory of Engineering Geomechanics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The characteristics of the discontinuity between bedrock and loose deposits (namely bedrock-cover discontinuity) in the slope structure always make an important role on the slope's stability. Moreover, it is also the important basis with regard to the slope stability analysis and design of the landslide countermeasure solutions. According to the problem of the bedrock-cover discontinuity of the famous No. 102 landslide group section of Sichuan-Tibet highway, the paper, based on the characteristics of the glacial geomorphology and the groundwater seepage zone in the backwall of the 2# landslide and a few of geophysical and borehole materials, puts forward a new location of the discontinuity, i. e., the discontinuity is located at average altitude of 2 325 meters, but not 2 120 meters near the Parlung River valley, which was determined by previous researchers. The new cognition is of great important significance to the selection of engineering countermeasure solutions in the 2# landslide. In the paper, the solution of tunnel is recommended.

Key words: loose accumulation; bedrock-cover discontinuity; glacial geomorphology; No. 102 landslide group; Sichuan-Tibet highway

责任编辑: 张明霞