

云南龙江特大桥滑坡稳定性及不利因素分析

李俊东

云南地质工程第二勘察院, 云南昆明 650200

摘要: 拟建的保腾公路是昆明至缅甸、印度国际大通道及亚洲公路网的重要组成部分。其控制性工程——龙江特大桥附近滑坡稳定性对特大桥建设至关重要。文中针对龙江特大桥桥位区存在影响的主要滑坡——龙江特大桥1号滑坡, 以滑坡的工程地质条件、形态分布特征为基础, 分析破坏模式、形成机制和不利因素, 指出节理结构面是控制龙江特大桥滑坡形成和稳定性的主要因素, 同时受地下水的影响, 并提出了相应的防治措施, 为该滑坡的有效防治提供了重要依据, 也为公路边坡的后续研究提供了有价值的参考。

关键词: 工程地质; 公路滑坡; 形成机制; 破坏模式; 防治对策

中图分类号: P642.22; P642; TU457 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2012.01.09

An Analysis of the Impact of Stability and Adverse Factors of Landslide on Longjiang Giant Bridge in Yunnan Province

LI Jun-dong

No. 2 Investigation Institute of Yunnan Geological Engineering, Kunming, Yunnan 650200

Abstract: The Baoteng highway to be built in Yunnan Province will be an international thoroughfare from Kunming to Myanmar and India and also an important component part of the Asian Highway Network. The Longjiang Giant Bridge is the controlled engineering of this highway, and the landslide stability near this bridge is of vital importance to the building of this bridge. This paper made an analysis of the main landslide—No. 1 landslide in the area of the Longjiang Giant Bridge in such aspects as its engineering geological conditions, morphological distribution, distribution mode, formation mechanism and resultant adverse factors and, on such a basis, put forward the idea that the joint structural plane constitutes the main factor controlling the formation and stability of the landslide of the Longjiang Giant Bridge, with underground water also having some adverse effects. The corresponding prevention and tackling measures are also suggested, which provide important basis for effective control of the landslide and also supply valuable reference opinion to subsequent study of lateral slope of the highway.

Key words: engineering geology; landslide along highway; formation mechanism; destruction mode; control measures

通过大量的理论研究和工程实践, 国内外大多数专家普遍认为滑坡是内外因素共同作用的结果(陈洪凯等, 2000, 2001, 2002)。对公路边坡稳定性的研究显得越来越重要, 不仅可为工程设计、施工提供科学的理论依据, 而且可对边坡加固和滑坡的预测预报也具有的指导作用(郑颖人等, 2001; 胡柳青等, 2000)。滑坡产生的根本原因在于组成斜坡的岩土体性质、结构构造和斜坡的外形, 这些因素

是决定滑坡发生与否及其类别的内部条件, 而水的作用、地震和人为因素影响则是诱导或促使加速产生滑坡的外部条件。地质灾害的形成条件及影响因素是非常复杂的, 是在各种因素作用下的综合效应(姚玉增等, 2010; 郭建强等, 2003; 冯向阳, 2007; 金小赤等, 2008)。地质因素是形成地质灾害的基础, 而非地质因素是诱导或触发条件, 加速地质灾害的发展过程。因此, 在地质灾害分析与危害评价、支

收稿日期: 2011-09-15; 改回日期: 2012-01-19。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 李俊东, 男, 1965年生。副总工程师。主要从事水文地质、工程地质专业方面的工作和研究。通讯地址: 昆明市双凤东路190号, 山水南苑10栋5单元502室。E-mail: wangxilich@126.com。

护与防护措施的制定时,应该首先把握占主导地位的地质因素,同时对各种诱导或触发因素进行具体问题具体分析。

拟建的保山至腾冲高速公路位于云南省西部、横断山脉南段,是云南省干线公路“9210”骨架网、“7719”一般干线网和高速公路网的公路发展总体规划中的一部分,是昆明至缅甸、印度国际大通道及亚洲公路网的重要组成部分。全线拟建大桥 34 座,特大桥 1 座(龙江特大桥)。桥址区路线自龙江乡邦换村北约 500 m 处呈南东—北西走向以近垂直的角度跨越龙川江至五合乡大丙弄村南东,桥轴线走向 307°。大桥推荐桥型方案为单跨悬索桥,最大桥高 280 m,主跨径 1178 m。其控制性工程——龙江特大桥处于上新统芒棒组玄武岩夹砂砾岩地层区,跨径

逾千米,边坡高达 280 m,边坡的稳定性对特大桥建设至关重要。

遥感解译资料(云南地质工程第二勘察院,2005)显示(图 1),龙江大桥近场区龙江河谷两岸由滑坡、火山活动等形成的环状构造特别发育,在云南省地质环境监测总站 2003—2006 年完成的腾冲县及龙陵县两县地质灾害调查与区划报告中,将芒棒盆地地质灾害易发性划分为“特高易发区”。

因此对桥位区附近滑坡的分析研究是十分必要的,滑坡稳定性分析是龙江大桥边坡稳定性分析中的重要内容之一,一方面,滑坡对大桥工程存在直接影响,另一方面,对既有滑坡破坏模式(范文等,2006)的研究,可作为进行边坡稳定性分析时的类比对象。

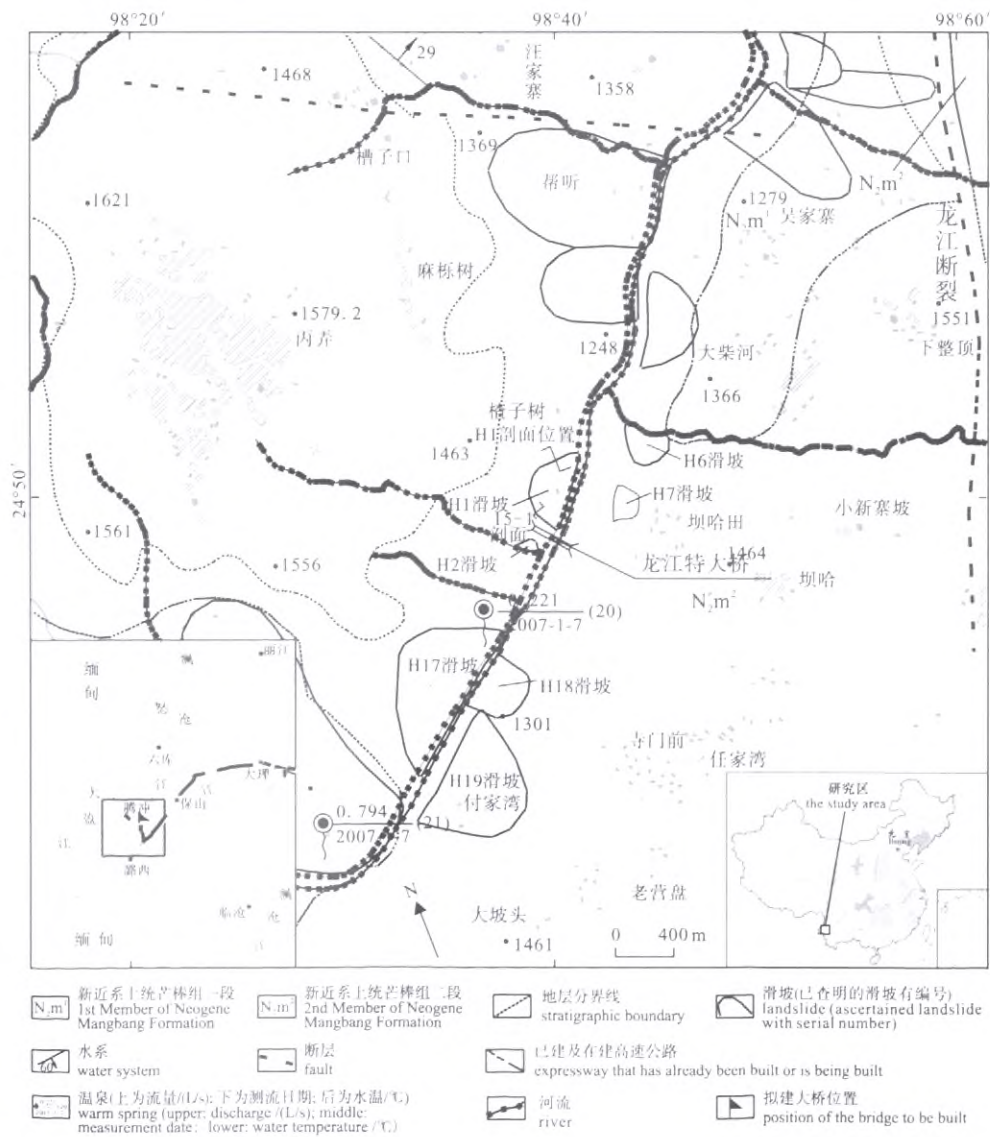


图 1 龙江特大桥周边待查滑坡分布图
Fig. 1 Distribution of landslides to be ascertained around the Longjiang Giant Bridge

滑坡调查是本勘察项目工程地质测绘的主要内容, 龙江大桥桥位区则是本次勘察的重点区域, 在地面测绘的同时动用了钻探、物探、浅井、探槽和取样试验手段。桥位区外围近场区其它滑坡主要结合遥感解译资料, 采用测绘手段对重点区域现场进行调查、核实, 滑坡区工程地质条件与桥位区类似, 对研究桥位区边坡稳定性有重要的借鉴意义。

整体滑坡形成于1954年, 滑坡下滑时产生了堵江现象, 滑坡产生时主滑体一次下滑, 将龙江右岸向左推移, 堰塞湖翻坝后龙江河床左移, 原本右凹的河床现变为平直河段。同时, 滑坡后缘留下高近百米的陡崖和滑坡洼地, 滑坡主滑体滑动结束后, 滑体后部陡崖及两侧壁上受滑坡牵引拉张面松动的岩体进一步崩塌、滑塌, 使后缘洼地变浅, 周界形态进一步改造变化成为现状下的不规则形状。另根据滑坡后部陡崖高度推算, 滑坡滑动时的垂直位移量约为70~90 m。

1 龙江特大桥 1 号滑坡区岩层特征和水文地质特征

龙江特大桥 1 号滑坡发育于龙川江河床至Ⅲ级阶地前缘部位新近系上新统芒棒组二段玄武岩夹砂岩、砾岩、粘土岩、透镜状粘土岩地层中, 共有 3 个砂岩、粘土岩夹层。滑坡所处地层环境为: 后部陡崖顶出露第四旋回花岗质砂砾岩夹粘土岩, 厚度 1.3~39 m; 后部陡崖及两侧Ⅲ阶地前缘至Ⅱ级阶地

后缘之间陡坡部位出露玄武岩, 厚度约 150 m; Ⅱ级阶地前缘部位分布有第三旋回底部砂岩、粘土岩, 滑坡体上于 ZK27、ZK29 号钻孔内滑床稳定地层内揭露到该层位, 厚度 6.1~9.3 m; 第二旋回底部砂岩、粘土岩夹层位于河床上 26 m 至下 90 m(推测), 高程 1085~1201 m 范围; 第二旋回玄武岩地貌上位于Ⅰ级阶地后缘至Ⅱ级阶地前缘部位。故 H1 滑坡发育的地层环境为第二、三旋回的玄武岩。

(1)滑体为第四系松散土层, 其中包含砾亚粘土、碎石土、块石土三个亚层。滑带土主要分布于玄武岩弱风化层顶面, 局部位于强风化层底部或凝灰岩、凝灰质玄武岩、凝灰质砂岩顶部。岩性为强风化砂状、角砾状玄武岩; 玄武岩、凝灰岩风化的可塑状粘性土。

(2)滑床主要由芒棒组二段第二、第三旋回玄武岩夹两层砂岩、粘土岩软弱层构成, 玄武岩层弱风化且岩体相对较为完整; 第二旋回底部砂岩、粘土岩软层仅在滑坡前缘出露, 第三旋回底部砂岩、粘土岩软弱层分布高程大致在 1269.8~1281.7 m, 大致与桥位区内龙江Ⅱ级阶地前缘部位对应。

龙江特大桥 1 号滑坡产生前, 从位于滑坡外围的分水岭形态可以看出, 龙江特大桥 1 号滑坡产生前, 坡面上亦是一个以现地表分水岭为界的独立汇水区域, 斜坡上产生的地表水流通过数条小冲沟汇集后流入龙江, 滑坡的产生并未改变原有汇水条件(图 2)。

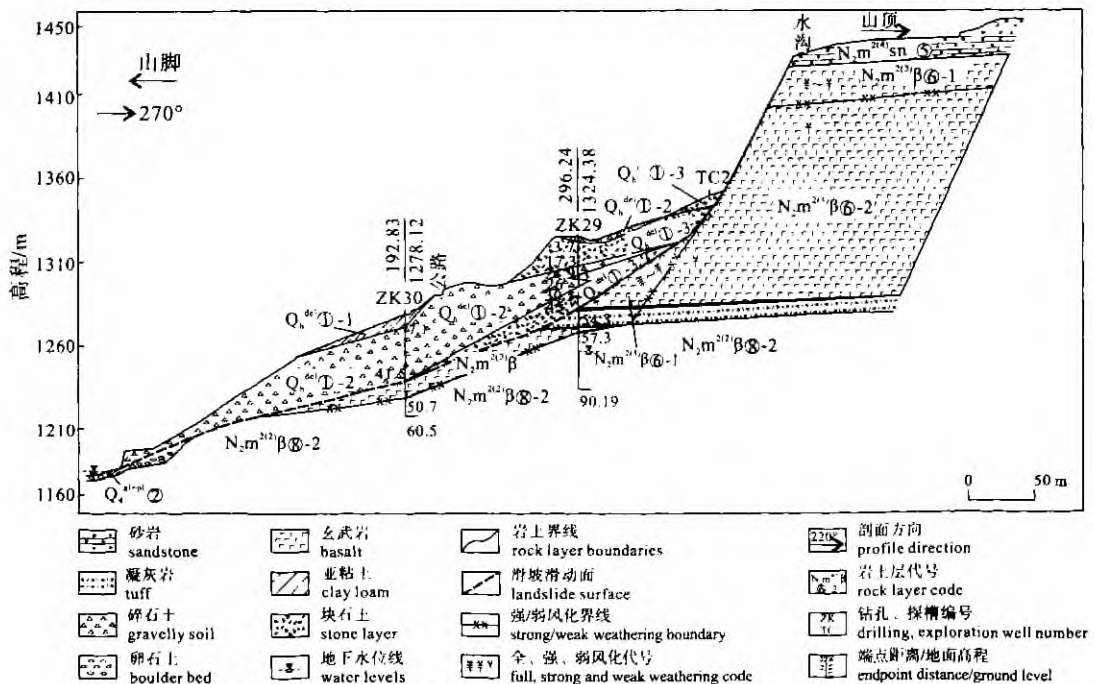


图 2 龙江特大桥 1 号滑坡工程地质剖面缩略图
Fig. 2 Simplified engineering geological section of No.1 landslide in Longjiang Giant Bridge area

滑坡体地下水补给来源为大气降雨,滑体内仅在雨季或雨季后一段时间内存在重力水,滑体上地下水的流动速度快,排泄迅速。地下水位高时,滑体上松散岩类孔隙水于滑体中前部以泉或沿沟溢出的方式排泄。

滑床及周边玄武岩裂隙孔洞水及砂岩、粘土岩孔隙裂隙水主要接受大气降雨补给,地下水补给下渗、赋存及运移通道主要为玄武岩中的节理、气孔及砂岩、粘土岩孔隙三种,迳流方向以坡顶向龙江河谷方向为主,排泄方式有泉、沿沟河溢出等方式。

2 滑坡形态描述

龙江特大桥 1 号滑坡位于龙江桥 K21+208 ~ K21+656 段右侧 149 ~ 754 m 范围,主滑体龙江特大桥 1 号—1 平面形态似“马蹄形”,两侧次级滑块呈长条形或半圆形。各次级滑块规模详见表 1。该滑坡前缘高程 1183 ~ 1184 m,后缘高程 1350 m。滑坡体在轴向剖面线上中前部呈直线型,地形坡度 29°。后部存在两级滑坡平台,并存在洼地。一级平台位于主滑体北部,高程 1300 ~ 1360 m,平台呈南北向

(垂直滑坡滑动方向)延伸,长 130 m,宽 30 ~ 70 m,平台前缘形成了四面高起中部下凹的洼地。二级平台位于主滑体南部,高程 1300 ~ 1400 m,平台呈长轴方向南北的椭圆形,长 130 m,宽 70 m,平台上存在顺滑坡拉张裂缝发育的南北向沟谷及洼地。

3 滑坡破坏模式和形成机制

3.1 破坏模式分析

本次勘察期间对滑坡周边岩体结构进行调查和统计分析,结果显示:滑坡周边发育的 8 组优势结构面,代表性产状见表 2。第⑦组节理对滑坡的形成至关重要,其倾向与坡向相同,倾角较坡略缓,是斜坡岩体在应力作用下破裂面发展过程中追踪的主要软弱面。倾向近东、西向(第①组)结构面可作为第⑦组结构面的补充,在滑裂面在沿第⑦组节理发展受阻时可转沿第①组节理发展,直到与下一段节理面串通,最终形成阶梯式滑裂面。

由此可看出,龙江特大桥 1 号滑坡存在形成切割边界的陡倾角结构面组合,亦存在形成滑裂面的结构面组合。从滑坡后部陡崖及南侧岩壁形态和结

表 1 龙江特大桥 1 号滑坡次级滑块形态、规模一览表
Table 1 Morphologies and scales of sub-blocks of No. 1 landslide

编号	滑体形态	滑向/°	长/m	前缘宽/m	平均宽/m	滑体厚/m	面积/m ²	体积/10 ⁴ ×m ³
龙江特大桥 1 号-1	马蹄形	90	335	363	345	41	129242	530.13
龙江特大桥 1 号-2	长条形	105	300	75	70	7	11076	14.7
龙江特大桥 1 号-3	椭圆形	95	108	101	68	1.9	7355	1.41
合 计							147673	546.24

表 2 龙江特大桥 1 号滑坡后部陡崖优势结构面代表性产状一览表
Table 2 Representative attitudes of preferred planes of rear scarps of No. 1 landslide

结构面分组(以走向分)			结构面产状范围值			代表性产状	
编号	方位	走向/°	倾向/°	倾角/°	走向/°	倾向/°	倾角/°
①	近南北向	339 ~ 15	82 ~ 105	63 ~ 84	0	90	74
			249 ~ 285			267	
②	近东西向	74 ~ 98	344 ~ 8	67 ~ 83	86	356	75
			164 ~ 188			176	
③	北西-南东向	292 ~ 317	22 ~ 37	57 ~ 81	300	30	69
			214 ~ 227			220	
④		320 ~ 335	50 ~ 65	57 ~ 81	327	57	69
			241 ~ 245				
⑤	北东-南西向	19 ~ 33	109 ~ 123	55 ~ 83	25	115	69
			293 ~ 300			295	
⑥		47 ~ 60	140 ~ 150	55 ~ 83	55	145	69
			317 ~ 323				
⑦	北北东向缓倾角组	15 ~ 18	105 ~ 108	18 ~ 24	16	106	21
⑧	北东向缓倾角组	32 ~ 34	302 ~ 306	18 ~ 23	33	303	21

构面发育情况分析, 滑坡后部和侧面边界主要由陡倾角结构面控制, 而滑动面主要由第⑦组结构面起主控作用, 第①组起辅助作用。结构面构成滑坡边界条件的组合方式如图3所示。

根据钻探揭露结合周界形态分析, 龙江特大桥1号滑坡滑动面为折线型, 滑动面倾角 $17^{\circ} \sim 34^{\circ}$ 。如前所述, 滑坡周边岩体内普遍存在倾向与坡向相同, 陡倾角和缓倾角的二组节理, 其中倾角与滑面倾角相近的一组节理面为岩体变形时破裂面追踪的主要对象。陡倾角节理面对破裂面形成的贯通起辅助作用, 即在破裂面沿⑦组节理面沿伸受阻时, ①组节理面可起到沟通作用。

综上所述, 龙江特大桥1号滑坡形成时的破坏模式为整体滑动型, 滑动速度为速滑方式。滑坡产生前, 滑坡后部及两侧边界已存在, 此边界由岩体中节理几组节理面对岩体交叉切割形成, 其中后部边界由1~3组结构面共同切割岩体形成。

滑动面形成是岩体在重力、地下水压力等内部应力作用下, 岩体沿结构面不断位移变形且渐进式由上向下扩展。滑动面向下发展到一定程度后, 坡体中沿破裂面迹线方向未贯通的岩体难以抵抗上部强大的剪应力而在瞬间破坏, 形成快速下滑的滑坡。

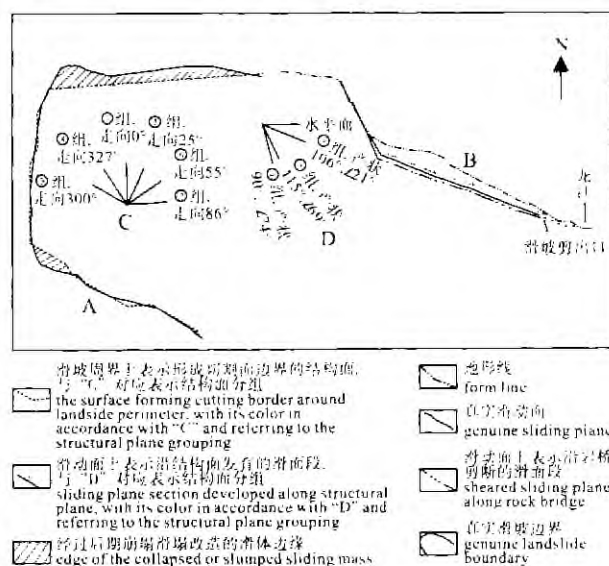


图3 龙江特大桥1号滑坡边界形成模式解析图

Fig. 3 Formation model of the boundary of No.1 landslide

A-结构面构成滑坡边界切割面示意图; B-结构面构成滑坡剪切破裂面示意图; C-①~⑤组结构面走向方位示意图; D-与滑坡滑向相同的3组结构面倾角示意图

A-the cutting edge diagram of landslide boundaries formed by structural plane; B-the shearing fracture surface diagram of landslide formed by structural plane; C-the strike direction diagram of structural plane ①~⑤; D-the dip diagram of 3 structural planes which are in the same strike direction with landslide

3.2 滑坡形成机制

桥位区所在区域内滑坡、崩塌成因与新构造运动及外力地质作用密切相关, 由前述可知, 桥位区周边滑坡、崩塌基本上产生在龙江河谷或其支流近龙江入口段。存在此分布规律, 除因地壳上升、龙江强烈切割形成陡岸坡临空面外, 尚与桥位区内岩体结构面发育密切相关, 结构面发育程度和组合方式是玄武岩滑坡形成的关键因素。对龙江岸边滑动方向与河流流向垂直的滑坡, 走向近南北向、北北东—北东向、北西—北北西向的1~3组节理可构成其后边界, 以走向近南北向的一组起主控作用。走向近北东向、近东西向及南西向的1~3组结构面可构成其侧边界, 其中以近东西向的结构面起主控作用。走向近东西向的缓倾结构面对滑动面起主控作用, 近东西向的中、陡倾角结构面可起到沟通辅助作用。构造运动是结构面形成的最主要因素, 而桥位区内新近系玄武岩则主要是新构造运动的产物。因此, 桥位区周边滑坡、崩塌发育, 归根结底是新构造运动和河流侵蚀作用的结果。

龙江特大桥1号滑坡的成因除上述因素外, 水文地质条件亦是不可忽视的因素。前已述及, 龙江特大桥1号滑坡区存在一独立的汇水单元, 后部陡崖上方发育数条小冲沟, 冲沟水流长期沿裂缝渗入是促成滑面形成贯通的重要因素。地层岩性是构成边坡的物质基础。岩性决定了岩石的强度、抗风化能力、遇水软化等性质, 这些都会直接影响边坡的稳定性。地层中的软弱夹层及其空间分布组合若形成顺坡向夹层, 则这些软弱夹层就构成边坡稳定性的控制层位, 如该区玄武岩中的凝灰岩、砂岩中的粘土岩。其自身强度均较低, 抗风化能力差也易于软化, 强度若进一步降低, 由其控制的边坡稳定性较差。

虽然地表的残坡积松散层和全-强风化层处在地表, 其稳定性相对较差。但其影响深度和范围有限, 对桥基区影响较小。主要是靠近桥基区的松散层和全-强风化层会对桥基有一定影响, 更重要的是结构面组合条件以及强度可能产生潜在较深层的岩层失稳, 这会影响桥基区的稳定性。

4 稳定性计算与分析

4.1 定性分析

龙江特大桥1号滑坡为一次滑动彻底(自地形高处滑至地形最低处)、形成时间长的老滑坡, 滑坡形成时已有54年。根据见证者所述, 滑坡主滑体一次滑动至龙江河床, 主滑体及南侧龙江特大桥1号~2号次级滑体后再未产生过进一步活动。目前滑体后

部裂缝、后缘洼地已大部分被陡崖上方崩落的岩块及水流冲积物充填，两侧边界处除地形上的沟谷和滑坡边界两侧地层岩性的突变外，其它滑坡特征已消失殆尽，整个滑体上已长满植被。滑坡体上施工的 4 个勘探孔中所揭露滑带均含角砾粘土，已固结成密实状。由此判断，滑坡目前处于稳定状态。

4.2 滑面确定

根据现场工程地质调查和对滑坡进行实测，选取有代表性的剖面 15-1(图 4)。初步判断可能存在的滑动面，再利用地质钻孔资料进一步分析判断滑动面，对滑坡体剖面在极限平衡状态下进行稳定性分析。结合龙江特大桥边坡的情况，经综合分析确定龙江特大桥 1 号滑坡安全控制标准为：在考虑地震影响时稳定安全系数取 1.05；暴雨或连续降雨工况下取 1.1；天然状态下取 1.30。

龙江特大桥边坡工程安全等级属一级边坡。边坡处于地震等荷载作用状态下的工况取 1.05 ~ 1.15；边坡处于暴雨或连续降雨状态下的工况取 1.1 ~ 1.2；边坡处于天然状态下的工况取 1.20 ~ 1.30。

4.3 参数取值

滑带土的抗剪强度，对滑坡稳定性计算和抗滑工程设计是一个非常重要的参数，它的正确选择直接影响到滑坡稳定性计算的准确性和抗滑工程设计的合理性。

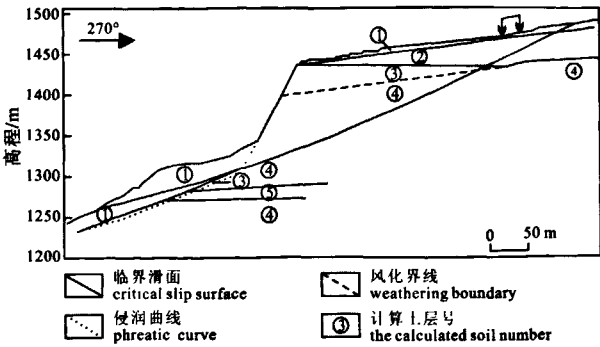


图 4 龙江特大桥 1 号滑坡 15-1 剖面滑裂面计算图
Fig. 4 Calculation diagram of slip surface along 15-1 profile of No. 1 landslide

本文采用反算和试验综合取值确定滑坡抗剪强度参数，具体过程如下：根据野外实测和勘察成果，绘制出滑坡主滑断面的工程地质剖面图；然后进行大剪试验，测定在外力作用下，特大桥所处边坡的砂砾岩、玄武岩及其软弱夹层岩土体本身的抗剪强度和变形的试验，求出特大桥边坡岩土体的正应力与剪应力的关系，为验算特大桥边坡的稳定性提供岩土体评价基础的依据。通过综合取值(云南地质工程第二勘察院，2008)大致确定滑动面及各有关岩层的容量、粘聚力、内摩擦角的取值范围。相关参数和抗剪强度如表 3、表 4。

表 3 滑坡土体物理力学指标统计表
Table 3 Physical and mechanical indexes of landslide soil mass

剖面	天然状态视密度 $Po/(g/cm^3)$	比重 G_s	孔隙比 e	饱和密度	液限 $W_L/\%$	塑性指数 I_p	液性指数 I_L
统计个数(n)	5	5	5	4	4	5	5
最大值(Max)	41.01	1.91	2.77	1.03	1.90	58.30	18.30
最小值(Min)	29.30	1.35	2.62	0.80	1.86	37.50	11.30
平均值(ϕm)	34.65	1.77	2.70	0.91	1.89	43.62	14.66
标准差(σf)	4.62	0.24	0.06	0.11	0.02	8.60	2.81
变异系数(δ)	0.13	0.13	0.02	0.12	0.01	0.20	0.19
修正系数(rs)	0.87	0.87	0.98	0.86	0.99	0.81	0.82
标准值	30.27	1.55	2.64	0.78	1.86	35.45	11.99

表 4 滑坡抗剪强度统计表
Table 4 Statistics of shear strength of landslide

岩性	峰值		残余值	
	粘聚力 C/kPa	内摩擦值 $\Phi/^\circ$	粘聚力 C/kPa	内摩擦值 $\Phi/^\circ$
亚粘土	63.17	14.58	55.43	14.56
全-强风化玄武岩	86.88	27.19	73.34	27.18
全-强风化凝灰岩	63.61	27.85	52.76	24.06
砂砾岩	43.31	23.50	36.71	22.48
粘土岩	31.44	20.08	25.78	19.88
滑带土	2.40	25.18	0.31	22.87

表 5 龙江特大桥 1 号滑坡稳定性计算结果表
Table 5 Calculation results of stability of No. 1 landslide

边坡名称	滑裂面编号	工 况			
		1、天然	2、坡体饱水	3、天然+地震	4、坡体饱水+地震
龙江特大桥 1 号滑坡	P15-1	1.51	1.44	1.23	1.17

4.4 安全系数计算

由于各滑裂面岩层分布复杂,结合滑坡区地形起伏、岩性分层、地下水位及其变化、滑坡区堆积体地形、地质及水文特征等综合分析,粘聚力和摩擦角综合计算值,分别使用斯宾塞法(Spencer 法)、传递系数法(显式)、毕肖普简化法(Bishop 简化法)、沙尔玛法(Sarma 法)和瑞典圆弧法(方玉树, 2008; 张健等, 2005)进行综合计算。表中给出了滑裂面各种工况下安全系数。计算结果见表 5。

从表 5 中可以看出,该滑坡在各工况下均处于稳定状态,安全系数在标准值以上,与滑坡目前整体稳定状态一致。所以滑坡目前处于稳定状态。

5 不利因素分析

(1)造成滑坡产生的主导因素——龙江对滑坡前缘的侧蚀作用依然强烈,滑坡前缘原为龙江河流凹岸,因滑坡下滑改造,目前成为平直河段,河床内现有 2~10 m 宽的河漫滩,漫滩后存在 2~8 m 高的松散堆积层陡坎,多见新鲜坍塌的痕迹,为汛期洪水冲蚀作用的结果。河流侧蚀使滑坡前缘陡崖进一步变陡,可促使滑坡整体或局部复活。

(2)滑体后部陡崖上方数条小冲沟,沟水流向滑体,于后壁顶部贯通地表的裂缝及滑体后部块石、碎石层渗入补给滑体内地下水,这是影响滑坡及后部陡崖稳定的重要因素。

(3)滑坡后部陡崖卸荷节理发育,自陡崖顶起算,卸荷带最宽处 80 m,卸荷节理延伸到地表宽度最大 20 cm,地表可见的延伸长度 80 m。陡崖高度 70~90 m,陡崖面坡度 55°~70°,目前陡崖面上仍不时发生小规模崩塌,龙江特大桥 1 号滑坡后部陡崖属不稳定边坡。

6 结论

(1)通过对滑坡稳定性以及不利因素的分析,得出龙江特大桥 1 号滑坡目前处于稳定状态,但在前缘河流侧蚀及后部沟水汇入的长期影响下,滑坡仍有可能出现整体复活或局部复活。滑坡再次活动,会使后部陡崖进一步变得高陡,促使陡崖卸荷变形带变宽,向后扩展影响到右岸桥墩。

(2)目前,对龙江特大桥 1 号滑坡稳定性存在不利影响的自然及人为因素尚有多多个方面。因此提出几点防治建议:

a、滑坡前缘修筑人工河堤,消除河流对滑坡的侧蚀作用。

b、滑坡后部陡崖上方结合陡崖边坡防治设置排水工程,将后部小冲沟水流引从两侧稳定冲沟排除边坡区。

c、保护滑坡区地表植被和地质环境,禁止在滑坡体上进行大面积切坡开挖。

参考文献:

陈洪凯,唐红梅,翁其能,祝晓寅. 2001. 地质灾害防治系统工程方法论及散体滑坡研究[J]. 重庆师范学院学报(自然科学版), 18(2): 62-65.

陈洪凯,唐红梅. 2002. 散体滑坡室内启动模型试验[J]. 山地学报, 20(1): 112-115.

陈洪凯,翁其能,袁建议,王蓉. 2000. 重庆库区典型松散土体的岩土力学参数敏感性试验分析[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 23(S1): 203-206.

范文,俞茂宏,李同录,彭建兵. 2006. 层状岩体边坡变形破坏模式及滑坡稳定性数值分析[J]. 岩石力学与工程学报, 19(S1): 983-986.

方玉树. 2008. 边坡稳定性分析条分法条间力合理性研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 19(2): 80-85.

冯向阳. 2007. 试论西藏当雄-羊八井活动构造带的基本特征及其对青藏铁路安全运营的影响[J]. 地球学报, 28(2): 173-180.

郭建强,朱庆俊. 2003. 地质灾害勘查的地球物理方法及其发展趋势[J]. 地球学报, 24(5): 483-486.

胡柳青,李夕兵,温世游. 2000. 边坡稳定性研究及其发展趋势[J]. 矿业研究与开发, 20(5): 7-9.

金小赤,黄浩,沈阳,王义昭. 2008. 滇西保山地块中-晚二叠世地层划分、对比的现状和问题[J]. 地球学报, 29(5): 533-541.

姚玉增,李仁峰,温守钦,赵玉山. 2010. 辽宁省凌源市山地质灾害易发性评价研究[J]. 地球学报, 31(1): 109-116.

云南地质工程第二勘察院. 2005. 云南省保山-腾冲高速公路建设项目地质灾害危险性评估报告[R]. 昆明: 云南地质工程

第二勘察院.

云南地质工程第二勘察院. 2008. 云南省保山-腾冲高速公路龙江特大桥监测及试验报告[R]. 昆明: 云南地质工程第二勘察院.

张健, 孙巧银, 卢全中, 王勇. 2005. 黄陵至延安高速公路 K295+750-K296+050 段滑坡稳定性分析与治理[J]. 地球与环境, 33(增): 468-472.

郑颖人, 赵尚毅, 时卫民, 林丽. 2001. 边坡稳定分析的一些进展[J]. 地下空间, 24(4): 262-271.

References:

CHEN Hong-kai, TANG Hong-mei, WENG Qi-neng, ZHU Xiao-yin. 2001. Systematic engineering for preventing and harnessing geologic disasters and the study and prevention of the landstides of loose soil[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science Edition), 18(2): 62-65(in Chinese with English abstract).

CHEN Hong-kai, TANG Hong-mei. 2002. Research on start-up of loose landslide in lab[J]. Journal of Mountain Science, 20(1): 112-115(in Chinese).

CHEN Hong-kai, WENG Qi-neng, YUAN Jian-yi, WANG Rong. 2000. Sensitivity Analysis of Geotechnical Physical and Mechanics Parameters to the Typical Loose Earth in Chongqing Reservoir[J]. Journal of Chongqing University (Natural Science), 23(S1): 203-206(in Chinese with English abstract).

FAN Wen, YU Mao-hong, LI Tong-lu, PENG Jian-bin. 2006. Failure Pattern and Numerical Simulation Of Landslide Stability Of Stratified Rock[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 19(S1), 983-986(in Chinese with English abstract).

FANG Yu-shu. 2008. Rationality of inter-slice forces of slices method for slope stability analysis[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 19(2): 80-85(in Chinese with English abstract).

FENG Xiang-yang. 2007. Basic Characteristics of the Damxung-Yangbajain Active Tectonic Zone in Tibet and Its Influence on the Safety of the Qing-Zang Railway[J]. Acta

Geoscientica Sinica, 28(2): 173-180(in Chinese with English abstract).

GUO Jian-qiang, ZHU Qing-jun. 2003. New Geophysical Techniques for Exploration of Geological Hazards[J]. Acta Geoscientica Sinica, 24(5): 483-486(in Chinese with English abstract).

HU Liu-qing, LI Xi-bing, WEN Shi-you. 2000. The stability research of slope and its developing trend[J]. Mining Research and Development, 20(5): 7-9(in Chinese with English abstract).

JIN Xiao-chi, HUANG Hao, SHEN Yang, WANG Yi-zhao. 2008. Subdivision and Correlation of Mid-Late Permian Successions of the Baoshan Block, Western Yunnan: Status and Problems[J]. Acta Geoscientica Sinica, 29(5): 533-541(in Chinese with English abstract).

YAO Yu-zeng, LI Ren-feng, WEN Shou-qin, ZHAO Yu-shan. 2010. Probability Assessment of Mountainous Hazards in Lingyuan City, Liaoning Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(1): 109-116(in Chinese with English abstract).

Yunnan Geological Engineering the Second Investigation Institute. 2005. Yunnan Baoshan-Tengchong highway construction project geological hazard assessment report[R]. Kunming: Yunnan Geological Engineering the Second Investigation Institute(in Chinese).

Yunnan Geological Engineering the Second Investigation Institute. 2008. Yunnan Long-jiang Bridge of the Baoshan-Tengchong highway Monitoring and Test Report report[R]. Kunming: Yunnan Geological Engineering the Second Investigation Institute(in Chinese).

ZHANG Jian, SUN Qiao-yin, LU Quan-zhong, WANG Yong. 2005. The Stability Analysis And Treatment Engineering Landslide on Section K295+750~K296+050 of Huang Ling-Yan'an Highway[J]. Earth and Environment, 33(S1): 468-472(in Chinese with English abstract).

ZHENG Ying-ren, ZHAO Shang-yi, SHI Wei-min, LIN Li. 2001. Progress in analysis of slope stability[J]. Underground Space, 24(4): 262-271(in Chinese with English abstract).