

文章编号: 1674—8247(2018)01—0076—04

成贵铁路高山田巨型古滑坡成因分析及地质选线

王富平 叶 堃 岳志勤

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:高山田古滑坡规模巨大,是上下均为阶地、中间为滑坡体的三层结构,形态极为特殊复杂。通过综合野外地质调绘、现场钻探等勘察手段,详尽查明了滑坡体的工程地质特征,包括滑坡边界、分布形态、滑床埋深、滑体岩性特征、滑体组成及厚度、主滑方向等。本文在此基础上对滑坡成因进行了分析,采用极限平衡法综合计算了滑坡体的 C 、 φ 值,并对滑坡体的下滑力、抗滑力进行了计算,判定了滑坡体自然稳定性和工程稳定性。研究表明:高山田古滑坡属于阶地型巨厚层岩质推移式巨型滑坡,该滑坡目前处于稳定状态,但隧道开挖易引起古滑坡局部复活,施工安全风险极大,地质选线时采取了绕避滑坡的方案。本研究可供复杂山区河流阶地斜坡勘察借鉴。

关键词:古滑坡;推移式滑坡;极限平衡法;地质选线;阶地

中图分类号:U212.22 **文献标志码:**A

Cause Analysis and Geologic Route Selection for Gaoshantian Giant Fossil Landslide of Chengdu-Guiyang Railway

WANG Fuping YE Kun YUE Zhiqin

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Gaoshantian fossil landslide, which covers a large scale, has a very special and complex form of three-layer structure including the upper and lower levels of terrace and the middle layer of the landslide mass. By using the geological prospecting methods like geological mapping and field drilling, the engineering geological characteristics of the landslide mass are ascertained, including landslide boundary, distribution pattern, depth of sliding bed, lithologic character, component and thickness of landslide mass, main sliding direction, etc. On this basis, the landslide causes are analyzed in this paper, C and φ value, sliding force and sliding resistance force of the landslide mass are calculated with limit equilibrium method, and then, the nature stability and engineering stability of landslide mass are determined. The results show that Gaoshantian fossil landslide belongs to giant terraced push type thick layer rock landslide, which is now stable but could be easily resurged by tunnel excavation, and there is a high risk for construction. The scheme of by passing the landslide is suggested geological route selection. The study provides reference to the investigation work of river terrace slopes in complex mountain area.

Key words: fossil landslide; thrust load caused landslide; limit equilibrium method; geological route selection; terrace

1 古滑坡基本地质条件

1.1 自然地理概况

成贵铁路高山田古滑坡位于宜宾市兴文县麒麟

乡,距兴文县县城约 8 km,处于四川盆地南部川滇黔结合部。属亚热带湿润型气候,气候温和,雨量充沛,无霜期长,四季分明,光照适中,雨热同季,年平均温度 17℃,年均降水 1 430.3 mm。

收稿日期:2017-05-10

作者简介:王富平(1986-),男,助理工程师。

引文格式:王富平,叶堃,岳志勤. 成贵铁路高山田巨型古滑坡成因分析及地质选线[J]. 高速铁路技术,2018,9(1):76-79.

WANG Fuping, YE Kun, YUE Zhiqin. Cause Analysis and Geologic Route Selection for Gaoshantian Giant Fossil Landslide of Chengdu - Guiyang Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(1): 76 - 79.

1.2 工程概况

高山田古滑坡位于成贵铁路 DK 方案的 DK 235 + 235 ~ DK 235 + 770 段,铁路以隧道工程(顶板埋深 23 m)通过滑坡 NE 侧,古滑坡平面示意图如图 1 所示。滑坡区位于中低山区古宋河峡谷右岸阶地上,阶段地势较为平缓,自然坡度 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。阶段后沿为悬崖峭壁,自然坡度 $30^{\circ} \sim 85^{\circ}$,最大高差约 600 m,阶段面多垦为旱地,部分为水田,岸坡植被较发育。县道位于古宋河左岸,交通较为便利。

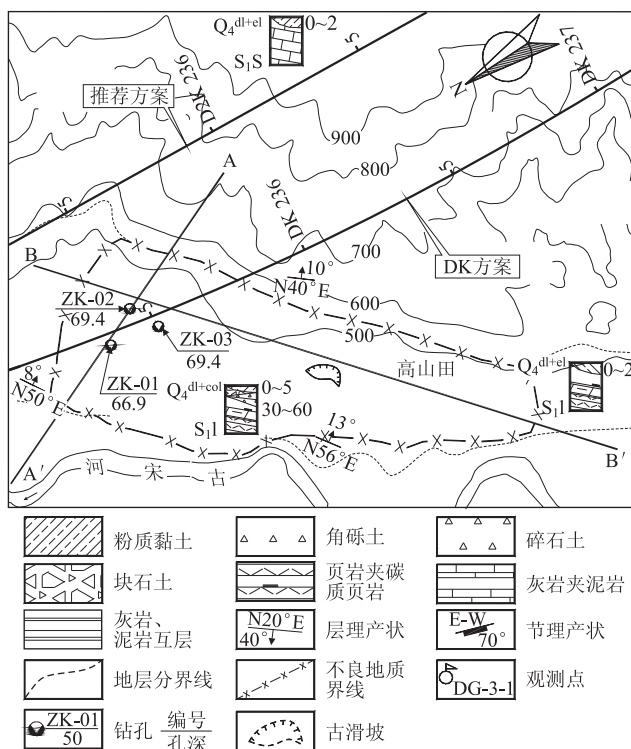


图1 高山田古滑坡平面示意图

1.3 地层岩性

区内上覆第四系滑坡堆积(Q_4^{del})粉质黏土、细角砾土、粗角砾土及碎石土夹块石,第四系坡残积($Q_4^{\text{dl+el}}$)粉质黏土。下伏基岩为志留系石牛栏组(S_1s)灰岩夹泥岩,龙马溪组(S_1l)页岩夹炭质页岩。

1.4 地质构造

滑坡位于长宁大背斜东南端的岩砂田鼻状背斜东翼倾伏端,岩层产状 $N30^{\circ} \sim 55^{\circ}E/10^{\circ} \sim 15^{\circ}SE$,倾向山内。岩体较完整,节理较发育,主要发育两组延伸和贯通性好的节理裂隙:① $N55^{\circ}E/85^{\circ}NW$,后缘陡壁即为该裂隙面,间距约 3 m;② $N30^{\circ}W/80^{\circ}SW$,可见延伸约 3 m,间距 2 m。

1.5 水文地质条件

滑坡区域地表水主要为古宋河河水,古宋河两岸

发育季节性冲沟。古宋河河水四季常流,全长 73.7 km,落差 692.5 m,集水面积 754 km^2 ,年均流量 $16.3 \text{ m}^3/\text{s}$,年均径流量 5.14 亿 m^3 ,属于长江流域永宁河支流,古宋河迂回折曲呈“π”字状。受大气降水补给,流量随季节性变化。地下水主要为第四系堆积层孔隙水及基岩裂隙水。孔隙水赋存于局部冲沟沟床及滑坡堆积层,接受大气降水和地表水补给;基岩裂隙水赋存于基岩各类结构面内,主要由大气降水补给,最终排入古宋河中。

2 古滑坡成因机制分析

2.1 古滑坡形态

古滑坡平面形态为长方形,前缘和后缘均较宽,约 1 400 m,轴向 $N40^{\circ}W$,与铁路中线夹角约 53° ,轴向长 240 ~ 340 m,中部微微隆起,地表自然坡度 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$,表层覆盖粉质黏土,为旱地。中部~后缘较陡,地表自然坡度 $10^{\circ} \sim 28^{\circ}$,为荒坡,少量植被。滑坡壁高约 90 m;后缘山坡陡立,地表自然坡度 $60^{\circ} \sim 85^{\circ}$,覆土薄,植被较好。

2.2 古滑坡物质成分及结构特征

2.2.1 物质成分

滑坡体物质成份主要由两部分组成:(1)后缘~中部以灰岩碎、块石为主,厚 20 ~ 45 m,其下为页岩、泥质灰岩为主的碎块石,厚约 10 m,最下面一层为滑动带土,以细角砾土为主,石质成分为页岩,厚约 5 m。(2)中部~前缘以泥岩和钙质泥岩为主的碎、块石,厚 20 ~ 30 m,其下为厚约 1 m 的粉质黏土夹角砾。滑坡体体积约为 $1\,300 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

2.2.2 结构特征

古滑床组成为:中前部为志留系龙马溪组的页岩,后部为志留系石牛栏组互层状分布的页岩和灰岩。滑床纵坡为:前缘稍有反翘,坡度约 $0^{\circ} \sim -9^{\circ}$,前部坡度约 4° ,中后部坡度约 $15^{\circ} \sim 22^{\circ}$,后部坡度 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。

2.3 古滑坡成因调查及分析

2.3.1 成因调查

在成贵铁路地质野外测绘过程中,发现该段斜坡平台上有较多灰岩夹页岩块石堆积,最大直径可达 3 m。古滑坡南、北两侧均见基岩出露,为志留系龙马溪组(S_1l)页岩。古滑坡前缘古宋河河坎和滑坡东侧陡坎上均发现志留系龙马溪组页岩出露,层理面清晰,较光滑,连续性好,岩体完整。古滑坡后缘发育一组陡倾“X”型节理,节理产状为 $N55^{\circ}E/85^{\circ}NW$ 和 $N30^{\circ}W/80^{\circ}SW$,两组节理贯通性较好,延伸 2 ~ 3 m,其

中 N55°E/85°NW 组节理倾向河道。在滑坡中前部测绘时,发现有部分似基岩的连续性较好的灰岩和页岩互层出露,长约 40 m,走向和周边页岩基本一致,但岩层倾角为 50°~90°。根据区域地质资料和测绘显示,该段岩性为志留系石牛栏组地层(S_{1s}),而根据测区周边的调查和区域地质资料显示,该段应为志留系龙马溪组(S_{1l})的页岩地层。该段周边的岩层产状近水平,倾角为 10°~15°,岩层倾角有 40°~80°的变化。另外,在滑坡前缘 DK 方案的 DK 235+493 处右侧沟槽的灰岩块石下面,发现了古河床堆积物—砾砂层,厚约 0.8 m,高出现代河床 55 m,且有村民在该处接引水作为家用。

综合分析后,判定该滑坡为一古滑坡堆积体。勘探采用双管单动钻探工艺,取出岩芯显示岩层倾角变化明显,时而陡倾,时而平缓,且灰岩和页岩夹杂分布。滑坡体厚 30~60 m,滑动带为细角砾土,见明显的揉搓迹象,厚 0~2 m。古滑坡横向范围剖面如图 2 所示。

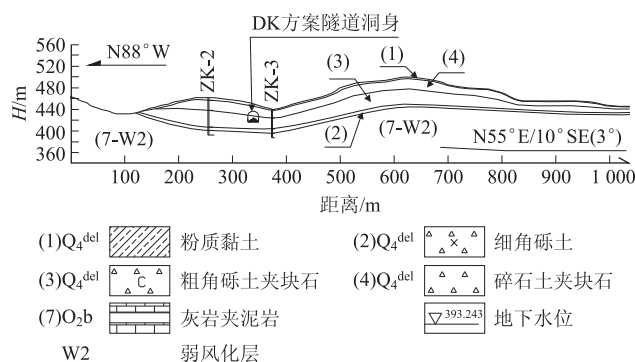


图2 古滑坡侧缘轴向断面(B-B'剖面)

2.3.2 成因分析

综合地质野外测绘和钻探成果分析,判定该古滑坡的成因:

(1) 滑坡后缘灰岩陡崖发育一组平行于河流的陡倾构造节理,连续性及贯通性好,切割深度大,是滑坡后缘控制性结构面,与另一组“X”陡倾节理组合,将岩体切割成大块体。

(2) 古滑坡前缘为古宋河沿节理面深切,产生临空面。

(3) 下伏龙马溪组页岩为软质岩,吸水性强,浸水易软化,形成软弱面,差异性风化造成灰岩陡崖临空。

(4) 地表雨水沿节理裂隙下渗降低了岩体结构面的力学强度。

在这些因素的综合作用下,滑坡中后部灰岩山体沿平行于临空面的裂隙变形开裂,山体剪切下错,挤压

推移下部河流阶地及其底部页岩向前滑动,形成中后部以灰岩块石为主、中前部以页岩碎块石为主的滑坡体,后经河流改道下切,形成现有地貌。按引起滑动的力学性质,该古滑坡为切层推移式滑坡,按滑坡体厚度、体积划分为巨厚层巨型滑坡^[1-8]。

3 古滑坡稳定性分析

3.1 稳定性分析剖面

该古滑坡为单面斜坡,呈长方形,成因复杂,考虑到地形地貌、变形特征因素及滑坡性质,选择A-A'剖面作为本滑坡代表性计算剖面,剖面如图3所示。

3.2 计算参数选择

本滑坡滑面可近似为折线型,故采用极限平衡法对滑坡强度参数进行反算。基本公式如下:

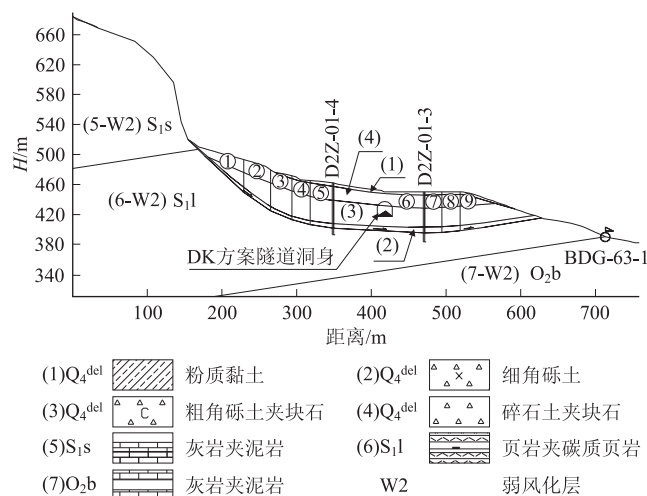


图3 古滑坡侧缘轴向断面(A-A')

$$T_i = W_i \sin \alpha_i \quad (1)$$

$$R_i = Cl_i + W_i \cos \alpha_i \tan \varphi \quad (2)$$

$$\psi_j = \cos(\alpha_i - \alpha_{i+1}) - \sin(\alpha_i - \alpha_{i+1}) \tan \varphi \quad (3)$$

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=i+1}^n \psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=i+1}^n \psi_j) + T_n} \quad (4)$$

根据以上公式建立极限平衡方程,代入本滑坡各项几何参数及物理力学参数,令 $F_s = 1$,得到该滑坡极限平衡方程为:

$$C \sum_{i=1}^9 l_i \Psi + \tan \varphi \sum_{i=1}^9 W_i \cos \alpha_i \Psi = \sum_{i=1}^9 \sin \alpha_i \Psi \quad (5)$$

其中, $\Psi = \prod_{i=1}^9 [\cos(\alpha_i - \alpha_{i+1}) - \sin(\alpha_i - \alpha_{i+1}) \tan \varphi]$ 。

在实际试算过程中,由于滑面确定,故只能得到一个二元极限平衡方程式,黏聚力和内摩擦角两个参数均可自由变化,因此按该方法获得的参数组合值并不唯一。根据上式,得 C 值与 φ 的函数关系,如图4所示。

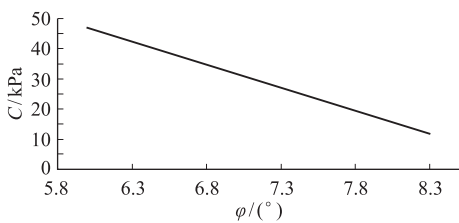


图 4 C 值与 φ 的函数关系

由平衡方程可知,粘聚力 C 值对稳定性结果的影响较小。一般情况下,抗剪强度参数取值时,应对砂性

土假定 C 值,反求 φ 值,对黏性土则假定 φ 值,反求 C 值。对本滑坡而言,可选择假定 φ 值,寻找在该 φ 值条件下,土体滑动的极限 C 值。根据所得极限平衡方程进行多次试算,结合工程经验,取 $C = 19.4 \text{ kPa}$, $\varphi = 8.0^\circ$ 为滑坡的强度参数。

3.3 稳定性检算

如上图 3 所示,根据古滑坡形态,将滑坡体假定分为 9 段。采用传递系数法对滑坡稳定性进行计算。计算结果如表 1 所示。

表 1 代表性滑坡稳定性检算一览表

计算编号	计算段重	滑动面长度/m	滑动面倾角/(°)	粘聚力 C/kPa	内摩擦角 φ /(°)	Ni /(kN/m)	Ti /(kN/m)	传递系数 I	条块传递下滑力 /(kN/m)	条块传递抗滑力 /(kN/m)	稳定系数
1	37 325.9	122.6	43.0	19.4	8.0	27 298	25 456	0.97	25 456	6 215	1.18
2	41 387.8	43.3	35.0	19.4	8.0	33 903	23 739	0.94	48 450	11 638	
3	38 161.5	31.1	22.0	19.4	8.0	35 383	14 296	0.98	59 972	16 548	
4	45 240.4	34.2	15.0	19.4	8.0	43 699	11 709	0.98	70 207	22 946	
5	28 842.8	21.4	9.0	19.4	8.0	28 488	4 512	0.98	73 303	26 903	
6	151 755.9	123.3	3.0	19.4	8.0	151 548	7 942	0.98	79 766	50 050	
7	96 530.0	86.9	-2.0	19.4	8.0	96 471	(3 369)	0.99	75 117	64 490	
8	48 254.9	60.4	-5.0	19.4	8.0	48 071	(4 206)	0.99	70 256	71 854	
9	29 543.9	92.9	-8.0	19.4	8.0	29 256	(4 112)	0.77	65 531	77 142	

从表 1 可以看出:滑坡稳定系数为 $K_s = 1.18$,表明古滑坡处于稳定状态。

4 古滑坡区铁路工程地质选线

古滑坡目前处于稳定状态,但 DK 方案线路在其侧缘中上部以隧道通过,轨面位于滑动面上方 20 m,隧道开挖爆破对滑体有扰动,特别是若施工用水下渗对滑体及滑带造成软化,更易引起古滑坡复活,施工存在较大的风险,易给后期铁路带来安全隐患,且考虑到该滑坡规模大,滑坡体厚度大,工程整治难度大,推荐采取绕避滑坡的方案。

5 结束语

该古滑坡规模巨大,滑坡形成后又被河流改造,使滑坡形态产生较大变异,且滑坡表面被河流物质覆盖,阶地叠加于滑坡之上,两平台合一,给滑坡的野外判释造成了很大的困难,其地质勘察工作具有典型意义。

本文通过工程地质调查及勘探等综合手段,查明了滑坡的成因、规模及其稳定性为优化铁路选线提供了地质依据。

参考文献:

[1] 铁道部第一勘测设计院. 铁路工程地质手册[M]. 北京:中国铁道出版社,1999.
China Railway First Survey & Design Institute. Handbook of Railway Engineering Geology [M]. Beijing: Chinese Railway Publication House,1999.

[2] TB 10027-2012 铁路工程不良地质勘察规程[S].

TB 10027-2012 Code for Unfavorable Geological Condition Investigation of Railway Engineering[S].

[3] TB 10003-2005 铁路隧道设计规范[S].
TB 10003-2005 Code for Design on Tunnel of Railway[S].

[4] 张玉成,杨光华,张有祥,等. 古滑坡滑带土的力学特性与库水位变化对其稳定性影响及加固措施[J]. 岩土力学,2016,(S2): 43-52.
ZHANG Yucheng, YANG Guanghua, ZHANG Youxiang, et al. Influence of Mechanical Properties of Sliding Soil of Ancient Landslide and Water Level Changes on its Stability and Reinforcement Measures [J]. Rock and Soil Mechanics,2016,(S2):43-52.

[5] 李晓,张年学,李守定,等. 三峡库区云阳宝塔滑坡西边界的更正与反思——古滑坡鉴别问题探讨[J]. 工程地质学报, 2011, 20(4):555-563.
LI Xiao , ZHANG Nianxue, LI Shouding, et al. New View Point of the West Edge of Baota Landslide in Three Gorges Reservoir Region [J]. Journal of Engineering Geology, 2011,20(4):555-563.

[6] 李育枢,钟东,周灏. 唐家湾东古滑坡成因与现代复活机制分析[J]. 地下空间与工程学报,2012,8(3):652-658.
LI Yushu, ZHONG Dong, ZHOU Hao. Analysis of the cause of east Tangjiawan Ancient Landslide and its Modern Reviving Mechanism [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2012, 8(3):652-658.

[7] 倪振强,孔纪名,阿发友,等. 碎石土古滑坡的开挖扰动效应及稳定性研究[J]. 工程勘察, 2012,40(5):5-9.
NI Zhenqiang,KONG Jiming, A Fayou, et al . Excavation Effect and Stability Analysis of Ancient Debris Landslide [J]. Engineering Survey, 2012,40(5):5-9.

[8] 岳志勤,马建军. 洛湛铁路马鹿岭膨胀土斜坡地质勘察及选线[J]. 铁道工程学报, 2012,29(12):10-14.
YUE Zhiqin,MA Jianjun. Geological Survey of Expansive Soil Slope in Maluling and Alignment of Luoyang-Zhanjiang Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society,2012,29(12):10-14.

(编辑:苏玲梅)