

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.03.05

云南石门坎水电站业主营地古滑坡特征及稳定性分析

李 雷, 周益民, 田 乐

(黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003)

摘要: 云南石门坎水电站业主营地古滑坡, 由土夹碎石、碎石土和全强风化砂岩、粉砂岩、泥岩组成。采用摩根斯顿—普赖斯法和简布法两种计算分析方法, 计算其不同地质剖面在不同工况下的稳定系数。结果表明滑坡整体处于稳定状态。业主营地成功建在古滑坡之上, 为山区水电站营地的选址提供了值得借鉴的案例。

关键词: 古滑坡; 空间形态; 稳定性; 敏感系数

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)03-0026-05

The characteristic and stability analysis on the ancient landslide at the Yezhuaying hydropower station in Yunnan province

LI Lei, ZHOU Yimin, TIAN Le

(Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Henan, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: The ancient landslide of Shimenkan hydropower station owners camp in Yunnan is composed of soil with gravel, gravel soil and fully-strong weathered sandstone, siltstone and mudstone. With two methods of Morgenstern-Price and Janbu, Calculating its stability coefficient of different geological profile under the different conditions. The results show that the landslide is in steady state. Through the analysis of the sensitive factors of landslide, the sensitive coefficient of internal friction angle is greater than the cohesion, is the major influencing factor.

Keywords: ancient slide; spatial form; stability; sensitivity coefficient

0 引言

云南石门坎水电站位于高山峡谷地带, 地形陡峻, 工程附近难以找到一块平地。业主营地的选址成为水电站工程的一大难题。大坝上游约 2 km 处的右岸有一古滑坡, 地形较为平缓, 经过地质勘察, 最终确定营地建在这一古滑坡之上。营地滑坡为一平缓的斜坡台地, 周边三面环山, 前面临河。滑坡分布高程 800 ~ 910 m, 高于水库正常蓄水位 756 m, 为非涉水滑坡。目前滑坡整体处于稳定状态。业主营地作为该水电站建设期和运行期工作和生活区, 为二级边坡^[1]。场地地震动峰值加速度为 0.108 g, 地震基本烈度为Ⅶ度。

1 古滑坡基本特征

1.1 空间形态

古滑坡位于山前岸坡较为平缓地带, 呈北东—南西向展布, 总体上为西南高北东低, 向东凸出。由于滑坡年代久远, 经过堆积滑动再堆积及后期人类频繁活动, 被冲失、改造, 滑坡地貌要素特征发生很大变化。滑坡后缘及左右两侧, 三面环山, 整体上中后部呈圈椅状。滑坡体后缘存在下坐塌滑形成的台坎, 分布高程在 910 m 左右。前缘成舌状, 分布高程在 800 ~ 820 m。古滑坡工程地质平面图见图 1。

收稿日期: 2014-05-22; 修订日期: 2014-06-25

第一作者: 李 雷(1969-), 男, 高级工程师, 工程地质及水文地质专业, 主要从事水利水电工程地质工作。E-mail: yrcclilei@126.com

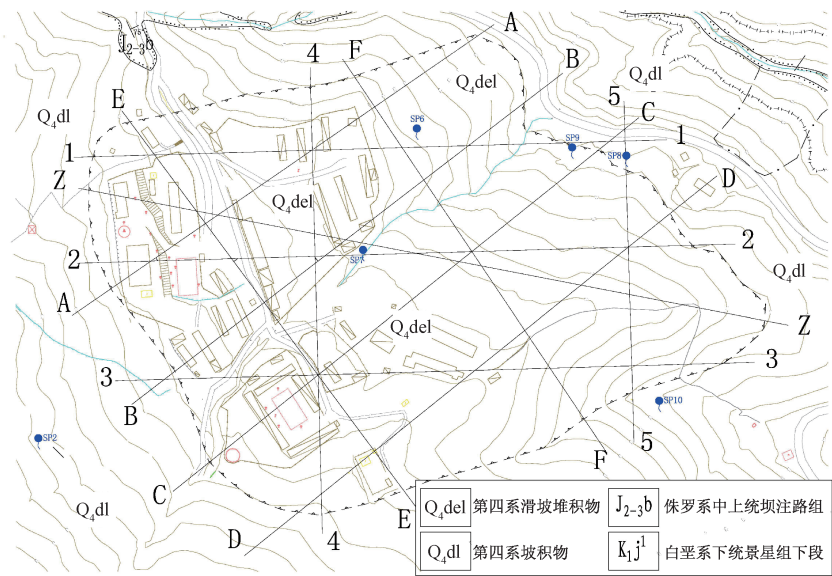


图 1 古滑坡工程地质平面图

Fig. 1 Engineering geological plan sketch for the ancient landslide

滑坡区内顺坡向发育有三条冲沟。在纵剖面方向,滑坡体后部较陡,中部平缓,前缘较陡,呈折线坡(图 2)。图 2 为 A-A 剖面,业主营地位于该剖面上。滑坡后缘地形较陡,坡度 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$,中部地形平缓,坡度 $4^{\circ} \sim 12^{\circ}$,前部地形坡度 $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 。

滑坡体纵向长度为 320 ~ 420 m,沿主滑动方向,

滑体底面呈斜坡状,高程在 800 ~ 900 m,滑体厚度约 20 ~ 58m,中间厚两边薄,平均厚度约 38m。滑坡体横向宽度约 280 ~ 340 m,中间厚两边薄。滑坡体分布面积约为 $12.0 \times 10^4 \text{ m}^2$,体积约为 $456 \times 10^4 \text{ m}^3$,为一大型古滑坡^[2]。

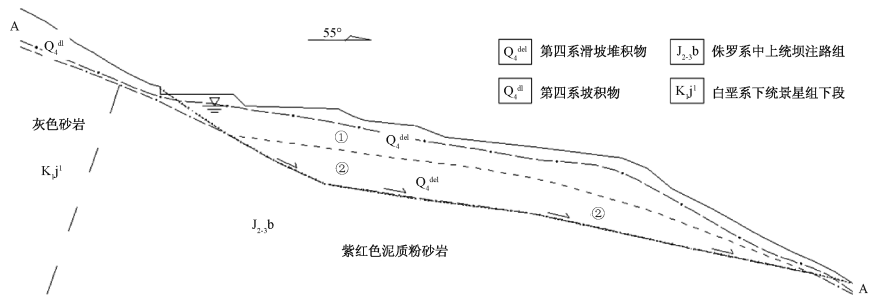


图 2 古滑坡典型剖面图

Fig. 2 The typical profile for the ancient landslide

1.2 结构特征

古滑坡上部为边坡蠕变塌滑形成的滑坡堆积物,根据岩性可以分为两层,上层为红褐色,黄褐色粘土夹少量碎块石,成分复杂,厚度变化大,下层为红褐色、灰白色碎石土,碎块石成份以泥岩和石英砂岩为主,充填物为红褐色粘土。厚度变化大,滑坡体中部分布较厚,两端较薄。滑坡体下部滑带为砂岩、泥岩、粉砂岩,差异风化明显。

滑体:根据滑坡堆积物岩性特征,将滑体可分为两层:①土夹碎石:分布于滑体的上部,呈紫红色,少数为褐色,为可塑或硬塑状态的粘土夹少量的碎石块,碎块

石原岩岩性为砂岩、粉砂岩、泥岩,呈棱角状、次棱角状。②碎石土:分布于①土夹碎石层的下部,由岩块、土混杂堆积。碎石原岩岩性成分复杂,既有砂岩、粉砂岩,亦有少量的泥岩岩块,主要是全强风化的砂岩、泥岩、粉砂岩蠕变塌滑后堆积而成。

滑带:滑带物质主要为坡积土和全、强风化砂岩、粉砂岩、泥岩经滑动挤压、揉皱形成的泥、泥包砂、砂和泥夹碎屑。

滑床:滑床是滑坡的载体。滑坡后缘沿第四系坡积土层拉裂塌滑,其后部滑床主要为坡积土和全强风化的砂岩、泥岩、粉砂岩。滑坡中部滑床为基岩岩体,

岩性主要为全强风化的泥岩、粉砂岩,局部为全强风化的砂岩。滑坡前缘剪出段滑床主要为坡积土和全强风化的砂岩、泥岩、粉砂岩。

滑坡的演化形成机制及滑带材料力学特性研究是滑坡体稳定性判别的重点研究内容^[3-5]。

2 滑坡形成机制及破坏模式

营地古滑坡所在位置原始地形较缓,左右及后面三侧环山,且山体较陡。由于曼牙向斜的形成,造成基岩地层陡倾,顺层小断层和层间挤压带发育,在延伸方向和分布高程上具有一定的随机性,使岩体的完整性受到不同程度影响。在长期的风化、卸荷作用下,浅表层岩体发生变形、分解、破碎等变化,形成碎石、块石,即古滑坡的近源物质。

风化卸荷的碎石、块石沿山坡崩积、坡积,随着时间的推移,越积越厚,形成大型堆积体。然后又继续遭受风化作用,砂岩、泥岩、粉砂岩形成全强风化砂、泥夹碎屑、泥。经过自身的密实过程,起初堆积体基本能保持自稳。在地下水的作用,堆积体自重应力增加,堆积体及堆积物与基岩接触带即全、强风化带,力学性质弱化,强度降低,构成潜在的滑动带^[6]。地下水作用进一步加剧,堆积体在饱水状态下,由于自重力的作用,产生湿陷,下挫滑塌,以致失稳,后部推动前部移动,形成推移式滑坡。后期,经过长期人类活动的改造,形成了现今的古滑坡地形地貌。

3 滑坡稳定性评价

3.1 计算方法

对于土质边坡和呈碎裂结构、散体结构的岩质边坡,当滑动面呈圆弧形时,宜采用简化毕肖普(Simplified Bishop)法和摩根斯顿—普赖斯(Morgenstern-Price)法进行抗滑稳定计算。当滑动面呈非圆弧形时,宜采用摩根斯顿—普赖斯法和不平衡推力传递法进行抗滑稳定计算。

鉴于计算方法的局限性和边坡岩土体结构、力学参数等问题的复杂性,使之对边坡的稳定性按照单一方法的判定具有一定的局限性。采用多种计算方法对边坡进行稳定计算,便于综合分析、正确判断边坡的稳定性状。考虑该工程边坡的实际需要和重要程度等因素,采用摩根斯顿—普赖斯(Morgenstern-Price)法和简布(Janbu)法两种方法进行抗滑稳定计算^[7],对比分析,综合判断。

摩根斯顿—普赖斯法是基于经典的摩根斯顿—普

赖斯方法的基本假定,将滑动体分成若干个条块,加入地震惯性力,对每一土条的力和力矩的平衡方程联解,求出滑动面的安全系数。简化 Janbu 法应用于不规则滑面的岩土体边坡,垂直条分,考虑了条块间的作用力,不假定垂直分条界面上推力的数值或方向,而是假定推力的作用点位置。推力线位置的变化对稳定系数影响较小,一般取分条侧面下三分点为推力作用位置。

3.2 岩土指标取值

滑坡体组成物质不均匀,潜在滑带埋深厚,原状样采取困难,试验试件制备过程中成型难度大,试验成功率低,造成试验结果的代表性不强。因此在计算参数选择时,根据滑坡物质组成,地形地貌结构类型形成机制及其发展演化等特征,基于室内试验结果、反分析法、工程地质类比进行综合确定(表1)。

表1 古滑坡体岩土物理力学指标

Table 1 The physical and mechanical parameter for the ancient landslide

岩土类型	天然容重 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	饱和容重 $\gamma_{\text{sat}} / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	天然粘聚力 c / kPa	饱和粘聚力 $c_{\text{sat}} / \text{kPa}$	天然内摩擦角 $\varphi / (^{\circ})$	饱和内摩擦角 $\varphi_{\text{sat}} / (^{\circ})$
①	19.1	20.0	22.3	16.8	25.5	22.0
②	19.0	20.1	2.0	0.0	31.0	26.5
滑带	19.2	20.1	8.0	4.0	21.0	16.5
滑床	26.1	26.2	300	200	37	33

3.3 滑坡稳定性计算及评价

勘察结果表明,滑坡体主要结构面为土与碎石接触界面(①和②层分界面)和全强风化砂夹泥软弱层(即滑带),因此在进行稳定性评价时,分别对两个软弱面(带)进行计算分析。

对地质勘察中确定的滑坡底滑面进行稳定性计算时,沿主滑方向选取 A-A、B-B、C-C 和 D-D 四条剖面,计算其不同工况下的稳定系数。为了了解滑坡体向河流临空面方向滑动的稳定性,同时计算了 1-1、2-2、3-3 以及 Z-Z 剖面在不同工况下的稳定系数。稳定性计算剖面位置见图1。

经过计算,结果见表2。由计算结果可知,两种计算方法结果基本一致。现状条件下,滑坡体稳定系数基本在 1.20 以上,滑坡体整体处于稳定状态;在暴雨工况下,其稳定系数较现况下略有降低(降低不足 0.1),因为滑坡体现状已处于近饱水状态,暴雨的作用对滑坡的稳定性影响有限,与计算结论相吻合;在暴雨和地震同时作用下,滑坡体的稳定系数基本在 1.06 ~ 1.74,虽然个别剖面安全裕度较小,但滑坡体整体仍处于稳定状态。

采用两种方法对①、②地层分界面进行了稳定性计算。计算结果表明,在各种工况情况下,安全系数均在 1.48 以上,稳定性较高,具有较大安全裕度,滑坡体沿此界面发生滑移破坏可能性较小。

总之,计算分析表明现状条件下,滑坡体整体处于稳定状态。鉴于业主营地古滑坡体稳定安全的重要性及地质结构的复杂性,建议进行巡视、监测工作。

表 2 古滑坡体稳定性计算成果

Table 2 The calculation results for the stability of the ancient landslide

剖面	计算方法	天然 工况	暴雨 工况	地震 工况	暴雨 + 地 震工况
A—A	Morgenstern-Price 法	1.293	1.287	1.167	1.164
	简化 Janbu 法	1.269	1.265	1.145	1.141
B—B	Morgenstern-Price 法	1.291	1.283	1.173	1.165
	简化 Janbu 法	1.232	1.223	1.117	1.109
C—C	Morgenstern-Price 法	1.211	1.199	1.101	1.090
	简化 Janbu 法	1.188	1.176	1.078	1.067
D—D	Morgenstern-Price 法	1.260	1.249	1.146	1.135
	简化 Janbu 法	1.215	1.205	1.102	1.092
1—1	Morgenstern-Price 法	1.244	1.235	1.130	1.125
	简化 Janbu 法	1.223	1.216	1.119	1.115
2—2	Morgenstern-Price 法	2.044	2.035	1.783	1.744
	简化 Janbu 法	1.888	1.878	1.643	1.634
3—3	Morgenstern-Price 法	1.644	1.634	1.454	1.445
	简化 Janbu 法	1.603	1.593	1.414	1.406
Z—Z	Morgenstern-Price 法	1.499	1.486	1.265	1.255
	简化 Janbu 法	1.443	1.429	1.218	1.207
稳定安全系数		1.20	1.15	1.10	1.05

4 滑坡敏感性分析

根据计算,滑坡体沿 C-C 剖面的稳定系数最小,因此滑坡敏感因子分析时选取该条典型剖面,对沿底滑面的情况进行敏感性分析。滑坡的稳定主要受滑坡岩土体的力学性质影响,以此为基准参数,运用摩根斯顿—普赖斯 (Morgenstern-Price) 法计算出基准条件下 C—C 剖面稳定系数 F_{so} 。在此基础上变动其中的某一参量,其它参数固定不变,计算出该参量在其变化范围内变动时滑坡稳定系数随之变化的结果。最后,根据上述计算结果得出敏感系数 $S^{[8-9]}$ 。

$$S = \frac{\eta_1}{\eta_2} \times 100 \quad (1)$$

其中: $\eta_1 = \frac{\Delta F_s}{F_{so}}$, $\eta_2 = \frac{|\Delta X|}{X_{\max} - X_{\min}}$

式中: ΔX ——为某因素的变化量;

$X_{\max} - X_{\min}$ ——为某因素最大变化量;

ΔF_s ——为 F_s 对应 ΔX 的变化量;

F_{so} ——为 F_s 的基准值。

经计算,抗剪强度与稳定系数基本呈线性关系(图 3)。当内摩擦角从 12° 增至 22° 时,稳定系数从 0.868 提高到 1.627,内摩擦角每增加 1° ,稳定系数提高约 0.08。为进一步分析内摩擦角对稳定系数的影响,取内摩擦角为 13.8° ,稳定系数为 1.0,滑坡处于不稳定状态;当内摩擦角为 15.7° 时,稳定系数为 1.15,处于极限稳定状态。

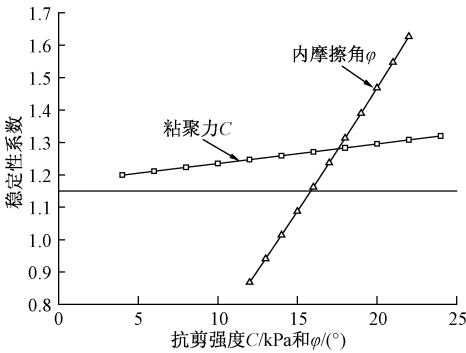


图 3 抗剪强度与稳定性系数关系曲线

Fig. 3 The relationship between shear strength and stability coefficient

当粘聚力从 4 kPa 增至 24 kPa 时,稳定系数从 1.199 提高到 1.320,粘聚力每增加 2 kPa,稳定系数约提高 0.01。为进一步分析粘聚力对稳定系数的影响,当粘聚力取为 0 kPa 时,稳定系数为 1.180,滑坡尚处于稳定状态。

由式子(1)计算营地滑坡抗剪强度对稳定性敏感系数,并绘制关系曲线(图 4)。

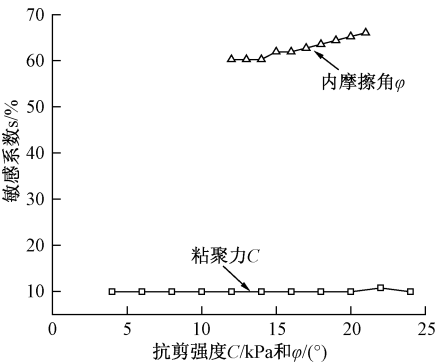


图 4 抗剪强度与敏感系数关系曲线

Fig. 4 The relationship between shear strength and sensitivity coefficient

内摩擦角对稳定性敏感系数为 60.3 ~ 66.0。粘聚力敏感系数为 9.9 ~ 10.7。内摩擦角敏感系数远远大于粘聚力的敏感系数。由图 4 可以明显看出,内摩

擦角对影响边坡稳定的敏感性很显著。

该水电站业主营地古滑坡虽然为涉水滑坡,但距离大坝 2 km,为近坝库岸临水滑坡。从 2008 年建成使用到现在,经过水库蓄水、电站放水发电运行,营地古滑坡一直处于稳定状态。

5 结论

(1) 营地古滑坡受人类活动影响,局部稳定性较差。加之在地震、强降水等特殊条件下,可能产生蠕变变形,形成局部塌滑,需要加强暴雨季节的巡视以及变形监测工作。

(2) 营地所在区为一堆积体大型古滑坡,通过地质勘察、稳定性计算分析,认为该滑坡体在现状条件下整体处于稳定状态。经过几年来的实践检验,也是稳定的。

(3) 云南石门坎水电站业主营地成功建在古滑坡之上,为山区水电站的营地选址,提供了难得的、宝贵的、值得借鉴的案例。

参考文献:

- [1] SL 386—2007 水利水电工程边坡设计规范[S].
SL 386—2007 Design code for engineered slopes in water resources and hydropower projects[S].
- [2] DL/T 5353—2006 水电水利工程边坡设计规范[S].
DL/T 5353—2006 Design specification for slope of hydropower and water conservancy project[S].
- [3] 胡世起. 高边坡复合堆积体稳定性评价及基础处理[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(2): 345 - 349.
HU Shiqi. Stability evaluation and foundation treatment of high slope compound accumulation body [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(2): 345 - 349.
- [4] 黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(3): 433 - 454.
HUANG Runqiu. Large-scale landslides and their sliding mechanisms in China since the 20th century [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(3): 433 - 454.
- [5] 徐卫亚, 周家文, 石崇, 等. 滑石板顺层岩质高边坡稳定性及加固措施研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(7): 1 423 - 1 435.
XU Weiya, ZHOU Jiawen, SHI Chong, et al. Investigation on slope stability and reinforcement method of Huashiban high rock bedding slope [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(7): 1423 - 1435.
- [6] 晏同珍, 杨顺安, 方云, 等. 滑坡学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2000: 10 - 13.
YAN Tongzhen, YANG Shunan, FANG Yun, et al. Landslide [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2000: 10 - 13.
- [7] 程建军, 廖小平, 王浩. 滑坡推力计算方法的对比研究与应用[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(1): 44 - 48.
CHENG Jianjun, LIAO Xiaoping, WANG Hao. Research and application of comparative calculation method of landslide thrust force [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2008, 35(1): 44 - 48.
- [8] 赵小波, 郝勇, 俸锦福. 三峡库区云阳西城滑坡稳定敏感因素分析[J]. 中国水运, 2011(5): 144 - 145.
ZHAO Xiaobo, HAO Yong, FENG Jinfu. Analysis of the three gorges reservoir area of yunyang xicheng landslide stability of the sensitive factors [J]. China Water Transport, 2011(5): 144 - 145.
- [9] 陈正垚, 李世海, 冯春. 基于应变强度分布准则的边坡稳定性分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(4): 11 - 17.
CHEN Zhengyao, LI Shihai, FENG Chun. Stability analysis about slope based on strain strength distribution model [J]. The Chinese Journal of Geological and Control, 2014, 25(4): 11 - 17.
- [10] 星玉才. 四川江油枫顺乡大院子 I 号滑坡形成条件和影响因素分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(2): 32 - 36.
XING Yucai. Analysis of the Dayuanzi village NO. I landslide impact factors Jiangyou city Fengshun township [J]. The Chinese Journal of Geological and Control, 2014, 25(2): 32 - 36.