

# 三角带滑坡稳定性对极端气候的响应

徐丹梅<sup>1</sup>, 杜尚海<sup>2</sup>

(1. 河北省地矿局 水文工程地质勘察院, 石家庄 050021; 2. 吉林大学 环境与资源学院, 长春 130026)

**摘要:** 三角带滑坡是典型的久治不愈滑坡, 随着三峡库区蓄水, 三角带滑坡呈现古滑坡的复活和新滑坡的形成双重变形, 极端气候必定会对其稳定性产生影响。本次研究选取三角带滑坡的深层滑面、浅层滑面及高焦炉古滑坡的滑面为对象, 对4种工况下的滑坡稳定性进行评价。评价结果表明: (1) 在洪水和暴雨极端条件下, 高焦炉古滑坡各剖面均处于稳定状态; 三角带滑坡浅层滑面由基本稳定向欠稳定状态转变, 局部出现不稳定状态; 三角带滑坡深层滑面由基本稳定向欠稳定状态变化; (2) 通过 $\varphi$ 值与 $c$ 值参数敏感性比较分析可以看出,  $\varphi$ 值对滑坡稳定系数的敏感性较大; (3) 综合分析结果表明, 三个滑坡稳定性评价结果为: 三角带滑坡深层滑面< 三角带滑坡浅层滑面< 高焦炉古滑坡, 且在暴雨和洪水极端气候的双重影响下均发生一定的稳定性下降现象。

**关键词:** 三角带; 滑坡; 稳定性评价

中图分类号: P642.22; P461+.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0168-05

## The Response of Landslide Stability to Extreme Climate in Triangle Area

XU Dan-mei<sup>1</sup>, DU Shang-hai<sup>2</sup>

(1. Hebei Institute of Hydrogeology, Shijiazhuang 050021, China;

2. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China)

**Abstract:** Landslide in triangle area is a typical one in Three Gorges, the storage water in reservoir will arouse the resurrection of landslide, especially under extreme weather conditions, therefore, landslide stability evaluation under 4 conditions has been performed, and the results show that: (1) Under extreme conditions of floods and rainstorm, high coke ancient landslides are in a stable state of each section; shallow landslide of triangle area changes from steady-state to less stable and unstable state locally; deep landslide in triangle area changes from steady-state to less stable; (2) The parameter sensitivity analysis show that, the  $\varphi$  has higher sensitivity than  $c$  values; (3) The comprehensive analysis of the stability evaluation results show that the deep landslide< shallow landslide< high coke ancient landslide, and the stability evaluation under extreme climate, such as flood and rainstorm, has certain decline phenomenon.

**Key words:** triangle area; landslide; stability evaluation

滑坡作为自然界四大地质灾害之一, 常常中断交通、损毁厂矿、堵塞河道、掩埋村镇, 给人民生命财产造成巨大损害<sup>[1]</sup>。为研究滑坡的发育特征和影响因素, 国内外专家开展了大量的研究, 揭示了滑坡目前的3种诱发机理即降雨软化滑坡土体、坡顶加载和坡脚切割或工程弃渣堆积等人类工程活动、库水位变化和滑坡体周期性浸泡等<sup>[2-3]</sup>。

三峡库区位于我国西南部多雨潮湿的山区和丘陵区, 地质条件复杂, 地质环境容量有限, 是我国地质灾害的多发区和重灾区<sup>[4]</sup>。三峡水库建成蓄水后, 非

汛期三角带滑坡将部分淹没于水下, 导致地下水位上升、滑带土进一步软化、抗剪强度降低, 对滑坡稳定性将产生不利影响, 在暴雨和洪水等极端气候条件下将发生滑坡失稳<sup>[5]</sup>。结合土工实验数据对滑坡的稳定性进行综合评价, 分析三峡水库蓄水后三角带滑坡稳定性对暴雨与洪水综合作用的极端气候的响应效果。

## 1 研究区概况

三角带滑坡地处长江凹岸转折处, 河岸冲刷侵蚀强烈。在三峡水库按175~145 m(吴淞高程)蓄水方案

运行时,三角带滑坡处于三峡满库水位回水末端,且研究区属亚热带湿润气候,多年平均降雨量 1 141.8 mm,降雨多集中在 5–9 月,约占全年降雨量的 70%,且强度较大,暴雨时有发生,为地质灾害的重要诱发因素之一。

三角带滑坡平面展布为横长式,东西宽约 800 m,南北长 200~350 m,面积约 20 万 m<sup>2</sup>,滑体厚度一般为 10~35 m,体积约 480 万 m<sup>3</sup>,为大型中层土质滑坡。滑坡前缘高程 155~170 m,后缘高程 202~214 m,主滑方向为 179°。

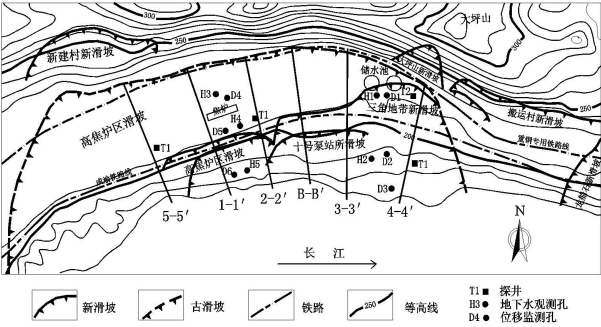


图 1 三角带滑坡剖面位置示意图

根据已有的观测资料可以将三角带滑坡划分为三个发展阶段:

(1) 滑坡快速发展阶段。重钢 1956 年建厂初期,原粮食仓库以南洪水后地面有变形和滑动迹象,并造成粮库拉裂破坏。1958–1960 年,成渝铁路储煤场–受煤坑一带的人工填土表面出现变形裂缝,至 1959 年变形加剧,古滑坡前缘向南最大位移 1 462 mm,后部最大位移 640 mm,下错高差达 400 mm,并形成了长约 200 m,宽 10 m 左右的洼地。1960 年,受煤坑附近的变形范围又向北扩展约 10 m,储煤场附近的变形范围向北扩展 1 m 左右,破裂壁高由原来的 400 mm 增加到最大 1 630 mm。

(2) 滑坡稳定阶段。经 1962–1966 年的三期抛石反压治理后,上述变形基本得到了控制,抛石工程起到一定作用,1991–1994 年对古滑坡进行的位移监测资料表明,位于前述变形区以外的建筑物,无明显变形。根据长江水利委员会综合勘测局 1994 年 10 月–1995 年 2 月进行的钻孔测斜仪监测资料,位于三角带滑坡西部的焦炉区没有变形显示,储煤场–受煤坑新变形区没有变形显示。

(3) 滑坡重新活动阶段。近年来,三角带滑坡变形迹象在不断扩大,主要表现为地面多条平行的横向拉张裂缝、侧向的羽状拉裂、房屋建筑物开裂变形、管道变形、铁路路基下沉、电杆倾斜等。滑坡中后部形成多级平台及错落坎,地表出现多处拉裂缝,宽者达 10 cm 左右,延伸性好,中后缘木料加工厂墙体出

现拉裂。东侧壁道路中曾出现 4 条羽状拉裂缝,裂缝呈羽状平行排列,大致自 NWW 向 SEE 延伸。1999 年 6 月–2004 年 8 月,铁路路基累计下沉 1.1 m,累计外移 0.75 m,而且年年发生下沉和外移,且日趋加大,2000–2001 年,路基平均每年下沉 15 cm 和外移 8 cm,2002–2004 年平均每年下沉 26 cm 和外移 13 cm。

## 2 滑坡稳定性评价的计算方法和参数获取

### 2.1 滑坡稳定性计算方法

滑坡滑体物质主要由第四系人工填土、粉质黏土夹砂岩、泥岩块碎石组成。计算时以 1–1′、2–2′、3–3′、4–4′、5–5′ 与 B–B′ 纵剖面为计算剖面(见图 2),选取三角带滑坡的深层滑面、浅层滑面及高焦炉古滑坡的滑面分别计算其稳定性。各剖面的滑面位置根据监测到的滑带(滑面)位置、勘探揭露的滑带位置、地表变形资料及地貌特征,并考虑整个滑面的空间分布综合确定。4–4′ 剖面铁路抗滑桩治理后的滑面,根据监测到的变形位置、地貌特征及抗滑桩的位置综合分析后确定。该滑坡滑体坡面地形线及滑带均简化成折线,其稳定系数的计算采用传递系数法。计算时取滑坡的单位宽度为 1.0 m。稳定性计算公式:

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

式中:  $F_s$ ——滑坡稳定性系数;  $\psi_j$ ——传递系数;  $R_i$ ——第  $i$  计算条块滑体抗滑力(kN/m);  $T_i$ ——第  $i$  计算条块滑体下滑力(kN/m)。

### 2.2 工况设计

三角带滑坡处于长江三峡大坝上游,在汛期基本不受库水位的影响,但非汛期受库水位的影响,属于涉水滑坡,本滑坡工程级别为 iv 级,结合研究区的实际情况,将极端气候条件设计为 3 种工况: 50 年一遇暴雨、50 年一遇洪水以及 50 年一遇洪水与暴雨的遭遇条件,并进行无暴雨和洪水条件下的滑坡稳定性评价,以分析暴雨和洪水极端气候对三角带各滑坡的影响效果,本次研究设计的 4 种工况见表 1。

表 1 三角带滑坡稳定性评价工况设计表

工况	工况设计内容
工况 1	自重+ 地表荷载+ 建库前多年平均水位
工况 2	自重+ 地表荷载+ 50 年一遇暴雨
工况 3	自重+ 地表荷载+ 50 年一遇洪水
工况 4	自重+ 地表荷载+ 50 年一遇洪水+ 50 年一遇暴雨

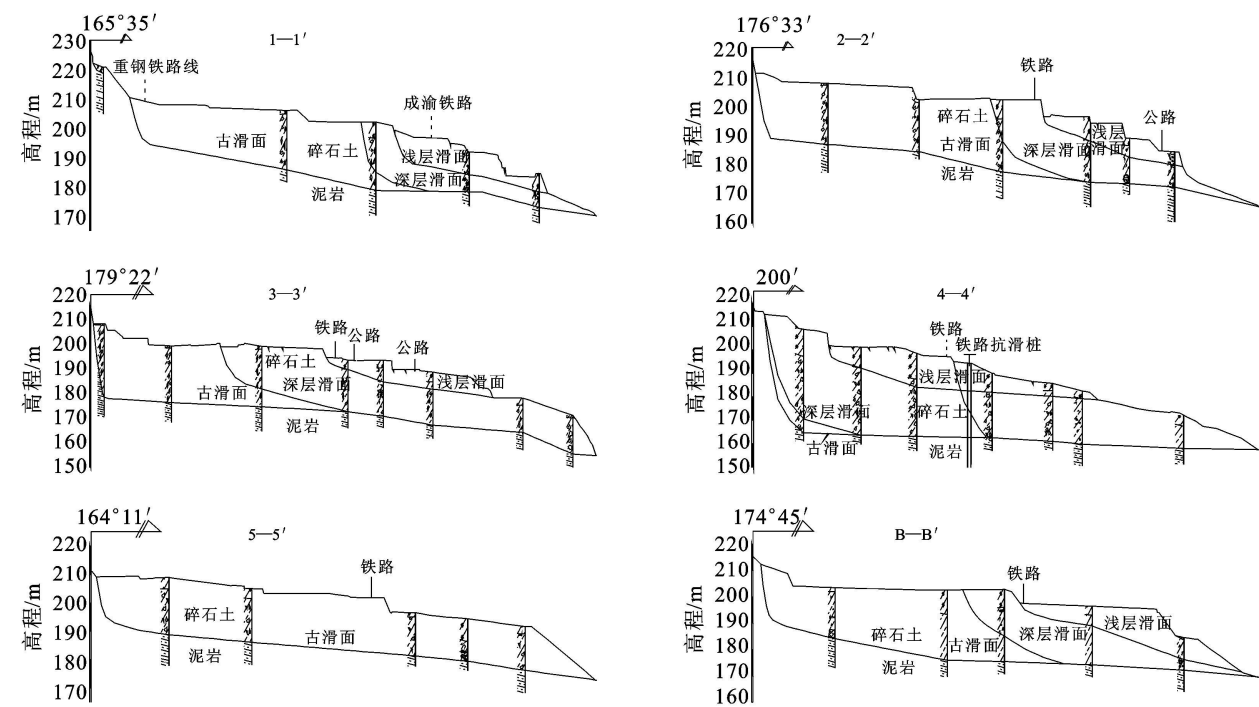


图 2 计算剖面图

2.3 滑坡稳定性计算参数选取

本次研究土体自重参数分为两种情况, 地下水位以上采用天然重度, 地下水位以下采用浮重度, 且根据室内试验值和现场大重度试验综合确定天然重度取  $21.0\text{ kN/m}^3$ , 饱和重度取  $21.5\text{ kN/m}^3$ 。

天然抗剪指标根据室内试验天然快剪峰值、残值和原位大型剪切试验值综合取值, 饱和抗剪强度指标根据室内土工试验峰值抗剪强度、残余抗剪强度、原位大型剪切试验成果、反演分析结果和已有工程经验进行综合取值。由于三角带滑坡存在上层滞水, 浅层滑带土多处于饱水状态; 高焦炉古滑坡滑带滑床顶部强风化层中存在基岩裂隙水, 滑带土多处于饱水状态, 因此二者采用饱和状态的抗剪强度指标, 各滑带土的抗剪强度指标取值见表 2。

表 2 抗剪强度指标取值<sup>①</sup>

取土位置	土样含水状态	$c/\text{kPa}$	$\varphi/(\text{^\circ})$
三角带滑坡深层滑带	天然状态	10.0	8.1
	饱和状态	8.0	6.1
三角带滑坡浅层滑带	饱和状态	11.0	5.2
高焦炉古滑坡滑带	饱和状态	8.0	6.1

注:  $c$ ——内聚力;  $\varphi$ ——内摩擦角。

3 三角带滑坡稳定性评价结果

3.1 三角带滑坡深层滑面稳定性评价

从三角带滑坡深层滑面的评价结果可以看出, 总体上处于基本稳定到欠稳定状态, 各评价断面间稳定性大小依次为: 1 断面 > 2 断面 > 3 断面 > 4 断面 > B 断面(图 3), 对比 4 个工况的评价结果可以看出, 暴雨

和洪水对各剖面滑坡稳定性影响均较大, 由基本稳定向欠稳定状态变化。

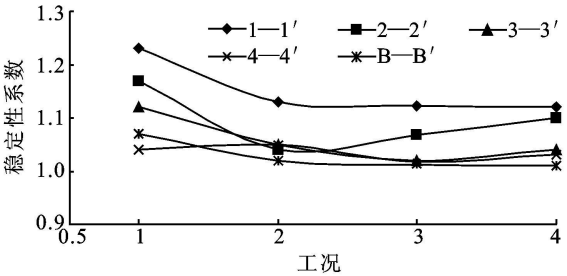


图 3 三角带滑坡深层滑面稳定性评价结果

3.2 三角带滑坡浅层滑面稳定性评价

从三角带滑坡浅层滑面的评价结果看出, 各断面在暴雨和洪水作用下出现基本稳定、欠稳定和不稳定状态, 各评价断面间稳定性大小依次为: 3 断面 > 1 断面 > 4 断面 > B 断面 > 2 断面(图 4), 对比 4 个工况的评价结果看出, 暴雨和洪水对 3 断面和 1 断面稳定性的作用效果不明显, 4 断面和 B 断面的稳定性呈现由基本稳定向欠稳定状态转变, 而 2 断面的稳定性受到暴雨和洪水的作用效果明显, 由基本稳定向欠稳定状态转化, 在暴雨和洪水双重作用下呈现不稳定状态。

3.3 高焦炉古滑坡滑面稳定性评价

从三角带滑坡深层滑面的评价结果可以看出, 总体上各断面处于基本稳定状态, 即使是在暴雨和洪水的双重作用下, 稳定性有所下降, 但依然处于稳定状态, 且各评价断面中, 3 断面稳定性最大, 2 断面、5 断面和 B 断面次之, 4 断面最不稳定(图 5), 但评价结果依然属于稳定层次。

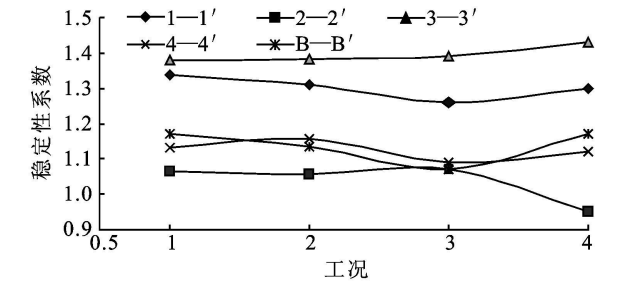


图 4 三角带滑坡浅层滑面稳定性评价结果

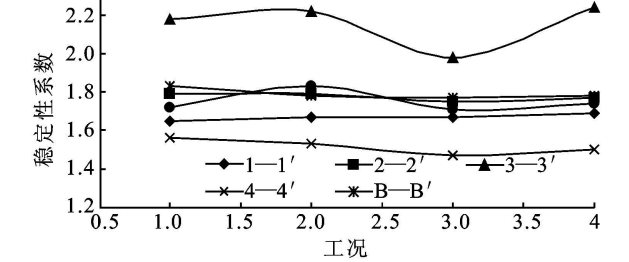


图 5 高焦炉古滑面稳定性评价结果

3.4 滑坡稳定性敏感因素分析

选取三角带滑坡深层滑面 4-4' 剖面在工况 1 条件下进行敏感性分析见表 3。从表中可以看出,滑带土抗剪强度( $c$ 、 $\varphi$ 值)对滑坡稳定性较为敏感,当  $\varphi$  值一定, $c$  值每降低 1 kPa,滑坡体稳定系数降低 0.02;  $c$  值一定, $\varphi$  值每降低  $1^\circ$ ,滑坡体稳定系数降低 0.16。 $\varphi$  值与  $c$  值比较, $\varphi$  值对滑坡稳定系数的敏感性较大。

表 3 敏感性分析计算表

$c/\text{kPa}$	$\varphi/(^\circ)$						
	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
3	0.67	0.75	0.82	0.90	0.97	1.05	1.13
5	0.71	0.79	0.86	0.94	1.01	1.09	1.17
7	0.75	0.82	0.90	0.98	1.05	1.13	1.21
8	0.77	0.84	0.92	1.00	1.07	1.15	1.23
9	0.79	0.86	0.94	1.02	1.09	1.17	1.25
11	0.83	0.90	0.98	1.05	1.13	1.21	1.29
13	0.87	0.94	1.02	1.09	1.17	1.25	1.33
15	0.90	0.98	1.06	1.13	1.21	1.29	1.37
17	0.94	1.02	1.10	1.18	1.25	1.33	1.41

3.5 滑坡稳定性综合评价

三峡库水位主要影响三角带滑坡,其边界条件清晰,滑坡堆积质粉黏土夹碎块石、人工填土层构成了三角带滑坡的滑体,厚度 10~35 m。主要受控于高焦炉古滑面及人工填土界面,并具有多级滑动的特点。三角带滑坡近 50 a 来一直在缓慢、持续的变形,并具有季节性,现状处于蠕动阶段。

已有研究结果表明,暴雨和洪水是三峡库区多数滑坡变形的最主要外因<sup>[7]</sup>。暴雨的发生会提高土体的含水量,由此引起岩土重度增大,降低其抗剪强度,对不透水层上的岩土层起到润滑作用,且当地下水在不透水层顶面上汇集成层时,产生的浮力加剧了滑坡体的变形;洪水的发生会伴随着三峡库区水位的涨落,滑坡体地下水位升高,孔隙水压力增大引起滑坡体岩土物

理力学性质发生变化,滑带抗剪强度降低,引起滑坡的稳定性下降。本次研究结果表明,三角带滑坡深层滑带现状处于蠕动状态,遇汛期库水位浸泡或库水位升降、暴雨时稳定系数降低,将变为不稳定状态而失稳。

2003 年 9 月-2006 年 6 月铁路部门在滑坡东部实施了抗滑桩治理工程,同期开展了位移监测,根据治理工程竣工后的监测资料,抗滑桩以上的变形近期已明显减弱,抗滑桩以下部分没有任何变形收敛迹象。三角带滑坡浅层滑带现状处于稳定-基本稳定状态,在遇暴雨、库水位浸泡及库水位升降时稳定系数降低,部分剖面段变为基本稳定-欠稳定状态,局部可能失稳。三角带滑坡是高焦炉古滑坡的一部分,三角带滑坡范围内变形强烈,三角带滑坡以西、以北也存在微弱的变形,遇库水位降落时,三角带滑坡将失稳,三角带滑坡以西、以北的高焦炉古滑坡也会引起部分或整体的变形,古滑坡的稳定状况也会发生变化。

4 结论

(1) 在洪水和暴雨极端气候条件下,高焦炉古滑坡各种工况条件下各剖面均处于稳定状态;三角带滑坡浅层滑面基本稳定向欠稳定状态转变,局部出现不稳定状态;三角带滑坡深层滑面由基本稳定向欠稳定状态变化;

(2) 通过参数敏感性分析可以看出,当  $\varphi$  值一定, $c$  值每降低 1 kPa,滑坡体稳定系数降低 0.02;  $c$  值一定, $\varphi$  值每降低  $1^\circ$ ,滑坡体稳定系数降低 0.16。 $\varphi$  值与  $c$  值比较, $\varphi$  值对滑坡稳定系数的敏感性较大。

(3) 综合分析结果表明,三个滑坡稳定性评价结果为:三角带滑坡深层滑面<三角带滑坡浅层滑面<高焦炉古滑坡,且在暴雨和洪水的双重极端气候影响下均发生一定的稳定性下降现象。

参考文献:

[1] 罗子立,三峡库区兴山县(34)杨家坪滑坡成因及防治研究[J].西部探矿工程,2005,17(6):215-218.

[2] 易庆林,易武,尚敏.三峡库区某滑坡变形影响因素分析[J].中国水土保持,2009(7):32-34.

[3] 陈洪凯,唐红梅.三峡库区大型滑坡发育机理[J].重庆师范大学学报:自然科学版,2009,26(4):43-47.

[4] 孙东晖,刘建磊.三峡库区土门子滑坡变形破坏机制分析[J].岩土工程技术,2008,22(5):267-270.

[5] 陈松,徐光黎,陈国金.三峡库区黄土坡滑坡滑带工程地质特征研究[J].岩土力学,2009(10):3048-3052.

[6] 《重庆市三峡库区三期地质灾害防治工程应急抢险紧急实施④类项目大渡口区三角带滑坡(治理总表序号 354)可行性研究阶段勘查报告》[R].2006.

[7] 薛星桥,张俊义,金泉豪,等.三峡库区淌里滑坡变形特征及影响因素分析[J].中国水土保持,2010(6):47-49.