

三峡库区甘家院子滑坡稳定性预测与验算

许国敏¹, 赵其华¹, 徐华辉²

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 成都 610059;

2. 核工业西南建设工程总公司, 成都 610021)

摘 要: 三峡库区云阳县甘家院子滑坡是由 H_1 、 H_2 、 H_3 滑坡体组成的滑坡群, 类型复杂, 影响范围甚广。在深入分析了滑坡地质特征、结构特征和变形特征的基础上, 对滑坡就蓄水以后滑坡体的变形、失稳形式作出预测, 最后采用传递系数法验算滑坡体整体稳定和局部稳定性, 所得结果为滑坡的治理与防治工程提供依据。同时计算结果表明, 该滑坡目前处于稳定状态, 在库水位作用下或遭遇长时间高强度的暴雨时, 滑坡可能整体失稳, 与预测结果完全吻合。

关键词: 滑坡; 稳定性预测; 稳定分析; 传递系数法

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1005 3409(2007) 03 0105 04

Stability Prediction and Checking for Ganjiayuanzi Landslides in the Three Gorges Reservoir Area

XU Guo min¹, ZHAO Qi hua¹, XU Hua hui²

(1. State Professional Lab of Geological Hazard Prevention and Engineering

Geological Environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059;

2. China Nuclear Southwest Construction Project Parent Company, Chengdu 610021, China)

Abstract Yunyang landslide, located in Yunyang county of the Three Gorges Reservoir area, is comprised by H_1 、 H_2 and H_3 landslide body, whose circumstance is more urgent and influence is great. Based on an intensive study on the characteristics of geology, structure and deformation of the Ganjiayuanzi landslide, the deformation and stability failure forms of the landslide, supposing that the reservoir has stored water, are predicted. Lastly, checking local stability and overall stability are made by applying the transfer coefficient method, which provides a foundation for the prevention and improvement of the landslides. According to the study, when the action of different water level of the Three Gorges Reservoir or it suffers sustaining rainstorm, the landslide maybe collapses entirely. Meanwhile, all these calculations are consist with the stability prediction.

Key words: landslides; stability prediction; stability analysis; transfer coefficient method

滑坡系指构成斜坡的岩土体在重力及其它外营力作用下失稳, 沿坡体内部软弱面(带)发生的整体性下滑现象。三峡工程在其兴建及以后的运行过程中会涉及一系列的工程技术难题, 滑坡是库区的最为典型的难题之一。

云阳县甘家院子滑坡由 H_1 滑坡、 H_2 滑坡、 H_3 滑坡组成的滑坡群, 滑坡规模大, 类型复杂, 影响范围广, 其中 H_1 、 H_2 、 H_3 体积分别约为 $765 \times 10^4 \text{ m}^3$, $426 \times 10^4 \text{ m}^3$, $765 \times 10^4 \text{ m}^3$ 均属大型土质滑坡。目前处于基本稳定状态, 局部存在变形破坏现象。但在三峡水库蓄水后, 滑坡区前缘受库水位变动影响, 其稳定性急剧变差以致滑失, 导致整个滑坡体稳定性变差, 可诱发牵引式滑坡。因此对甘家院子滑坡稳定性进行分析与验算, 为滑坡的治理与防治工程提供依据, 确保三峡水电站正常运营及人民财产安全具有重要意义。

1 地质、水文环境条件

1.1 地形地貌条件

滑坡区属构造侵蚀剥蚀低山地貌, 位于彭溪河右岸、木

古河左岸的斜坡上。斜坡大致顺南北向展布, 斜向木古河。滑坡区地形大部分较缓, 在前缘入河地带地形相对较陡, 大致在 225 m 高程以上坡角 $10^\circ \sim 15^\circ$, 225 m 高程以下坡度 $20^\circ \sim 30^\circ$ 。

H_1 滑坡为老滑坡, 平面呈“扇状”, 沿北东—南南向展布, 整体上呈缓坡地形, 北东高南西低, 上缓下陡, 坡角 $5^\circ \sim 25^\circ$ 。后缘高程 351.3 m, 前缘高程 163.3 m, 相对高差 188 m, 滑坡总体主滑方向 230° 。前部发育有一个次级滑坡, 滑向 190° , 后缘前陡, 长 590 m, 宽 330 m, 后部坡角 $5^\circ \sim 7^\circ$, 前部坡角 $10^\circ \sim 40^\circ$ 。

H_2 滑坡平面形态呈“马鞍形”, 沿近东西向展布, 平均坡角 20° , 整体上呈上陡中缓下陡的地形, 滑坡前缘最低高程 136.73 m, 后缘最高标高 396.87 m, 相对高差 260.14 m, 滑向 234° 。前缘滑体伸入河道形成滑舌并导致河道偏移, 坡脚土体直接与河道相接。

H_3 滑坡平面形态呈“扇状”, 沿北东—南南向展布, 整体上地势北东高南西低, 上陡下缓, 滑坡后部因修筑公路形成陡

* 收稿日期: 2006 04 11

作者简介: 许国敏(1980—), 男, 江西临川人, 成都理工大学 2004 级硕士研究生, 主要从事边坡防治、地下工程方面研究工作。

坎,中前部呈缓坡地形,平均坡角 12° .滑坡前缘最低高程 136.2 m,后缘最高高程 268.72 m,相对高差 132.52 m,滑向 230° .滑坡后部为基岩陡壁,云万公路经滑坡后部通过,前缘剪出口经后期改造已不甚明显,坡脚土体直接与河道相接。

1.2 地层岩性

区内出露的地层:基岩由侏罗系上统互层状泥岩与砂岩($J_3-S_{8+M_8}$)组成;覆盖层由不同成因类型的第四系松散堆积层组成,物质成分主要为黏性土、砂土和碎块石土。

1.3 气象、水文条件

云阳县属亚热带暖湿季风气候区,气候温和,降水充沛。平均年降水量 1 100 mm,5~10 月降水量占全年的 79%,夏季多暴雨、洪涝。

水文地质特征:根据地下水的赋存条件、水动力特征,结合含水介质的组合状况,将区内地下水类型主要划分为两种类型:①松散介质孔隙水;②碎屑岩类裂隙水。松散介质孔隙水主要分布于滑坡体内透水性能差的黏性土夹块碎石土,碎屑岩类裂隙水主要为砂岩、泥岩或页岩互层裂隙水,赋存于侏罗系砂岩裂隙中。

2 滑坡稳定性预测

2.1 滑坡体变形、失稳形式

根据现场勘察资料分析可知,该滑坡群堆积体的变形、失稳形式可以总结归纳为 3 类,即:

(1)浅层变形失稳:该类变形主要分布于滑坡 H_1 、 H_2 、 H_3 前缘,由于受到木古河长期侧蚀坡脚,加之库区蓄水后水位涨落对坡脚的影响,库水对滑体土物理力学性质的弱化,以及库岸再造这些因素都将导致滑坡前缘的失稳,形成次级滑坡。

(2)牵引式变形失稳:由于受到滑坡前缘失稳的影响,将会诱发后部原本稳定的滑坡体复活,并呈牵引状逐渐影响到中部乃至后部一定范围内滑坡体的失稳,最终将影响到滑坡的整体稳定性。这也将是该滑坡群在未来库区蓄水后的主要变形失稳模式。

(3)局部滑塌:从目前滑坡群状况来看,整体发生滑动的可能性较小,但在局部地段,由于后缘坡度过陡,人类不规范的工程活动、库区蓄水等因素的影响,仍存在局部失稳的可能。

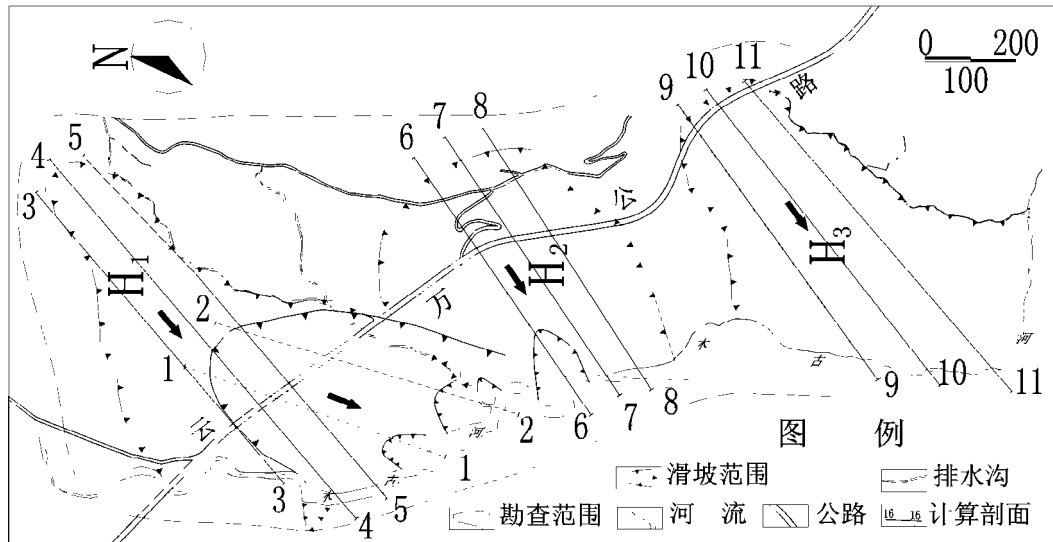


图 1 甘家院子滑坡平面简图

2.2 滑坡体变形稳定性判定及发展预测

甘家院子滑坡目前处于基本稳定状态,变形、失稳多数属于前缘及后缘部分,如后缘陡崖,前缘次级滑坡及变形体。滑坡前缘位于木古河左岸,三峡水库蓄水期间,随着水位上涨,滑坡体前缘次级滑坡及变形体可能复活而失稳。库水位 175 m 以下的堆积体,长期受库水浸泡、快速涨落及波浪冲刷、剥蚀的影响,首先是堆积体前缘部分变形失稳,并形成新的卸荷、临空面,稳定性降低,在库水作用下变形失稳。如此反复,逐渐向中部、后缘扩展,引起由前缘至中部、由下而上的变形失稳即牵引式失稳。牵引式失稳将导致目前基本稳定或稳定性较高的滑坡体中部地段蜕变为稳定性较差的前缘地段,由于直接面临库水的作用,并最终影响和威胁堆积体的整体稳定性,可能导致较大范围内的斜坡失稳。具体到三个滑坡,则各有其不同特点:

(1) H_1 滑坡稳定性判断及发展趋势。 H_1 滑坡经历多级多次滑动后,目前整体上处于基本稳定状态,但在右前部存在局部再次滑动的可能。一旦库区蓄水至 175 m,必将浸没前缘堆积的滑体,改变滑坡体的平衡状态,在不利工况荷载组合条件下,前部次滑坡将发生滑动,其滑动后在老滑坡前部形成新的临空面,导致老滑坡复活滑动。

(2) H_2 滑坡稳定性判断及发展趋势。 H_2 滑坡后部于 1981 年曾发生较大规模的滑塌,根据其后方陡崖岩体裂隙发育情况来看,目前暂时不会形成新的滑塌,但仍存在坠石的可能,堆积于陡崖坡脚的滑塌体,由于其坡度较陡,目前已发现变形迹象,并揭露有滑面,因此该滑塌堆积体仍存在形成滑坡的可能,一旦形成滑坡,滑体必然会对移民专用公路——云万公路形成直接威胁,而且滑体向前运动堆积于公路下方的平台之上,相当于在滑坡后缘进行加载,这必将进一步降低整个坡体的稳定性。

滑坡前部坡度较陡,土层较厚,本属于易滑地段,但因其左侧坡体已经发生过滑坡,滑舌伸入河中,导致木古河改道,这从一定程度上减轻了木古河对于坡脚的侧蚀作用,有利于坡体的稳定,因此滑坡前部目前并未发生新的滑坡,处于稳定状态。在库区蓄水后, H_2 滑坡坡脚将会被淹没于库区水位线以下,其形成滑坡的可能性大大增加,必将处于不稳定状态。

(3) H_3 滑坡稳定性判断及发展趋势。 H_3 滑坡整体呈缓坡地形,基岩接触面略呈台阶状,有利于整个坡体的稳定,目前,滑坡后部云万公路出现多条地裂缝,延伸较远,说明坡体仍处于缓慢变形阶段。从勘察情况来看, H_3 滑坡除后部出现变形迹象外,坡体上变形迹象不明显,因此, H_3 滑坡目前

处于基本稳定状态。由于 H₃ 滑坡前缘土体未做任何防护措施,直接深入河中,常年受到河水的冲蚀,在库区蓄水后,江水的冲蚀作用将进一步加强,库区水位的涨落也将直接影响到滑坡的稳定,这些因素的作用将有可能诱发 H₃ 滑坡在前部出现局部的滑动。

3 滑坡稳定性验算

3.1 稳定性计算方法

滑坡稳定性计算采用极限平衡法,滑坡推力计算采用传递系数法。视滑坡体是不可压缩的介质,计算时不考虑滑坡体的局部挤压变形,按滑面变坡点将滑体垂直地划分为若干块,每一块均视作刚体,滑体条块间只传递压力,而不传递拉力。其稳定及推力计算公式为:

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + T_n}$$
$$\psi_i = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \varphi_{i+1}$$
$$\prod_{j=1}^{n-1} \psi_j = \psi_i \cdot \psi_{i+1} \cdots \psi_{n-1}$$
$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i; \quad T_i = W_i \sin \theta_i + P_{wi} \cos(\alpha_i - \theta_i);$$
$$N_i = W_i \cos \theta_i + P_{wi} \sin(\alpha_i - \theta_i) \gamma_{\text{土}} + V_{di} \gamma + F_i;$$
$$P_{wi} = \gamma_w i V_{di} \quad i = \sin |\alpha_i|;$$
$$\gamma = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

式中: F_s ——滑坡稳定性系数; ψ_i ——传递系数; R_i ——第*i*块滑体抗滑力(kN/m); T_i ——第*i*块滑体下滑力(kN/m); N_i ——第*i*块滑面上的法向反力(kN/m); i ——地下水渗坡度; c_i 、 φ_i ——第*i*块滑面上的内凝聚力(MPa)及摩擦角(°); l_i ——滑面长度(m); α_i ——地下水流线的平均倾角(°);

表 2 滑动面(带)土的物理力学参数

滑坡位置	天然状态抗剪强度指标		饱和状态抗剪强度指标		有效应力抗剪强度指标		备注
	C/kPa	$j\hat{f}$	C/kPa	$j\hat{f}$	C/kPa	$j\hat{f}$	
H ₁ 滑坡	20.10	8.00	18.20	6.80			根据现场大剪试验值、地区经验值综合确定
H ₁ 次级滑坡	19.50	7.80	17.00	6.40			利用反演法、试验值确定
H ₂ 滑坡中后部	28.10	16.00	18.50	14.30	23.00	15.00	参考现场大剪试验值确定
H ₂ 前缘(除 6-6 外)	26.10	17.68	23.65	16.50	25.00	17.00	利用反演法、试验值确定
H ₂ 前缘(6-6 剖面)	26.10	11.50	22.50	9.50	25.00	11.00	该段已发生滑移,参数参照滑体钻孔滑面的试验值
H ₃ 滑坡	21.50	9.10	18.00	7.00	18.50	8.50	根据现场大剪试验值、地区经验值综合确定
H ₃ 后缘次级滑坡	30.00	9.10	25.00	6.80	30.00	9.05	该段已变形,参数参照大剪试验并滑面的试验值

3.4 计算剖面

选用以 3-3、4-4、5-5、6-6、7-7、8-8、9-9、10-10、11-11 共 9 条纵剖面(见图 1)为代表计算滑坡整体稳定性.;以 1-1、2-2 剖面为代表计算 H₁ 滑坡前缘次级滑坡稳定性,以 a-b 代表评价 H₂、H₃ 滑坡后缘次级滑坡稳定性;以 c-d 为代表剖面评价 H₂、H₃ 滑坡前缘次级滑坡稳定性。

3.5 计算结果

各剖面稳定验算结果见表 2、表 3、表 4。

3.6 稳定性评价

根据文献[3]中的滑坡稳定性分级指标,稳定性系数 K 大于 $F_{st} = 1.25$ 为稳定状态, $1.05 < K < F_{st}$ 为基本稳定状态, $1.00 < K < 1.05$ 为欠稳定状态, $K < 1.0$ 为不稳定状态,因此根据稳定性计算结果表明。

(1) 从表 2 计算结果分析可知, H₁ 老滑坡稳定系数现状 1.4~1.555,处于稳定状态,在暴雨作用下,稳定系数为 1.259~1.327,处于稳定状态;次级滑坡稳定系数现状为

θ_i ——滑面倾角(°); PW_i ——单位宽度的渗透压力(kN/m); i ——地下水渗透坡降; $V_{\text{土}}$ 、 $V_{\text{水}}$ ——浸润线以上体积、以下体积(m³/m)。

3.2 稳定性计算工况及荷载组合

根据《三峡库区三期地质灾害防治工程地质勘察技术要求》要求,涉水滑坡采用工况 1-工况 6,不涉水滑坡采用工况 7-工况 8 进行计算。根据滑坡现状天然条件、受力特征及其可能出现的荷载情况组合,综合考虑自重、地表荷载(建筑)、动荷载(汽车)、暴雨、库水位变动等影响因素,稳定性计算按下列 8 种工况考虑,工况及荷载组合如表 1。

表 1 计算工况及荷载组合

计算工况	荷载组合	备注
1	自重+地表荷载+现状水位	
2	自重+地表荷载+水库坝前 175 m、156 m、139 m 静水位+非汛期 20 年一遇暴雨(q 枯)	
3	自重+地表荷载+水库坝前 162 m、156 m、145 m 静水位+50 年一遇暴雨(q 全)	涉水
4	自重+地表荷载+坝前水位 175 m 降至 145 m	
5	自重+地表荷载+坝前水位 175 m 降至 145 m+非汛期 20 年一遇暴雨(q 枯)	
6	自重+地表荷载+坝前水位 162 m 降至 145 m+50 年一遇暴雨(q 全)	
7	自重+地表荷载	不涉水
8	自重+地表荷载+50 年一遇暴雨(q 全)	

注:暴雨作用下考虑滑坡区的地形及汇水面积,取 q 枯=70 mm/d、q 全=130 mm/d

3.3 计算参数的选取

根据勘察报告,本次计算滑坡体天然容重取 19.5 kN/m³,饱和容重取 21 kN/m³,滑面土体抗剪强度参数的选取合理与否,对滑坡体稳定性计算起关键性作用.因此计算采用室内试验值、野外大剪试验值、反演值、地区经验值等四种方法综合确定的抗剪强度,结果见表 2。

1.218~1.312,处于基本稳定状态,在暴雨作用下,稳定系数为 1.012~1.087,滑体处于欠稳定状态。在前缘滑塌失稳情况下,老滑坡稳定性变差,稳定系数为 1.044~1.067,处于欠稳定状态,极易造成老滑坡体的复活。

表 3 各种情况下 H₁ 滑坡稳定性计算结果

滑坡状况	计算 工况	计算剖面					备注
		1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	
H ₁ 滑坡	7	1.22	1.312	1.555	1.546	1.4	涉水
整体稳定性	8	1.01	1.807	1.348	1.327	1.259	
次级滑坡滑塌后	7			1.213	1.24	1.201	
老滑坡稳定性	8			1.056	1.067	1.044	

(2) 从表 3 计算结果分析可知, H₂ 滑坡是由上下两级滑坡组成的,滑坡目前没有形成一个整体连贯的滑动面,滑坡整体稳定系数现状 1.271~1.407,处于稳定状态。在暴雨

和库水位作用下, 稳定系数为 1.062~1.269, 处于基本稳定状态, 滑坡的稳定性由次一级的滑坡控制。H₂ 滑坡前缘次级滑坡(c-d 段) 稳定系数现状 1.156~1.233, 处于稳定状态。在暴雨和库水位作用下, 稳定系数为 1.002~1.084 说明次级滑坡局部段处于基本稳定-欠稳定状态; H₂ 滑坡后缘次级滑坡(a-b 段) 稳定系数现状 1.294~1.315, 处于稳定状态, 在暴雨作用下, 稳定系数为 1.042~1.052, 说明后缘次级滑坡处于欠稳定状态。

表 4 各种情况下 H₂ 滑坡稳定性计算结果

滑坡状况	计算 剖面	计算工况								备 注		
		1	2		3		4	5	6		7	8
			156	175	156	162						
H ₂ 整体	6－6	1. 271	1. 062	1. 076	1. 136	1. 1	1. 202	1. 027	1. 057			
	7－7	1. 407	1. 235	1. 221	1. 349	1.206	1. 379	1. 195	1. 199	涉水		
	8－8	1. 315	1. 206	1. 182	1. 126	1.124	1. 269	1. 164	1. 187			
H ₂ 前缘 (c－d)	6－6	1. 233	1. 096	1. 207	1. 038	1.088	1. 042	0. 987	1. 002			
	7－7	1. 166	1. 095	1. 087	1. 066	1. 06	1. 08	1. 05	1. 087	涉水		
	8－8	1. 156	1. 043	1. 081	1. 028	1.028	1. 148	1. 005	1. 009			
H ₂ 后缘 (a－b)	6－6									1. 294	1. 052	
	7－7									1. 294	1. 052	不涉水
	8－8									1. 315	1. 042	

表 5 各种情况下 H₃ 滑坡稳定性计算结果

滑坡状况	计算剖面	计算工况									备 注		
		1	2		3		4	5	6	7		8	
			156	175	145	156							162
H ₃ 整体	9-9	1.302	1.297	1.302	1.294	1.293	1.283	1.25	1.24	1.266			
	10-10	1.488	1.42	1.43	1.471	1.426	1.407	1.315	1.29	1.353		涉水	
	11-11	1.336	1.22	1.231	1.279	1.216	1.258	1.133	1.13	1.17			
H ₃ 前缘 (c-d)	9-9	1.244	1.227	1.193	1.211	1.193	1.239	1.508	1.04	1.129			
	10-10	1.388	1.244	1.511	1.338	1.3	1.31	1.119	1.12	1.134		涉水	
	11-11	1.44	1.175	1.302	1.196	1.2	1.222	1.041	1.024	1.04			
H ₃ 后缘 (a-b)	9-9										1.418	1.120	
	10-10										1.294	1.022	不涉水
	11-11										1.315	1.03	

(3) 从表 4 计算结果分析可知, H₃ 滑坡整体稳定系数现状 1.302~1.488, 处于稳定状态。在暴雨和库水位作用下, 稳定系数为 1.130~1.315, 处于稳定-基本稳定状态。H₃ 滑坡前缘次级滑坡(c-d 段) 稳定系数现状 1.244~1.440, 处于稳定状态。在暴雨和库水位作用下, 稳定系数为 1.024~1.302, 说明次级滑坡处于欠稳定-基本稳定状态。H₃ 滑坡后缘云万公路东侧次级滑坡(a-b 段) 稳定系数现状 1.294~1.418, 处于稳定状态。在暴雨作用下, 稳定系数为 1.022~1.120, 处于欠稳定状态。

状整体基本稳定, 但三峡水库蓄水后, 由于长期受库水浸泡、库水涨落、波浪冲刷剥蚀 H₁ 滑坡可能发生前缘局部失稳, H₂ 滑坡可能发生整体失稳, H₃ 滑坡可能发生前缘、后缘局部失稳。因此洪水季节及三峡水库调度时, 江水位涨落是滑坡不利条件。

(2) 采用传递系数法验算甘家院子滑坡群整体及局部稳定性, 其结论与综合分析的结果完全吻合, 说明了传力系数法在类似工程中具有广泛应用性。

(3) 甘家院子滑坡稳定验算结果可为滑坡的治理与防治措施提供了依据。

4 结 语

(1) 根据滑坡现状及其地层构造分析, 甘家院子滑坡现参考文献:

[1] 陈祖煜. 土质边坡稳定分析的原理和方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

[2] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1994.

[3] 三峡库区地质灾害防治工作指挥部. 三峡库区三期地质灾害防治工程地质勘察技术要求[R]. 2003.

[4] 四川省地质局南江水文地质队. 云阳县城区滑坡工程地质勘察报告[R].

[5] 陶志平, 周德培. 三峡库区巨鱼沱滑坡地质特征及防治研究[J]. 工程地质学报, 2003 , 11(4) : 406 - 410.