

库区滑坡的次生灾害分析与研究

——以藕塘滑坡为例

陈欢^{1,2}, 廖景高¹

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 610081)

摘要: 滑坡除直接成灾外, 还会产生次生灾害, 滑坡体落入江河中, 可形成巨大涌浪, 造成较大的危害。涌浪高度除受滑速、失稳体积、水深等重要因素的影响外, 波浪的形成还要受水库地形、库面宽度、滑坡入库过程的持续时间以及滑坡体的宽度等因素的影响, 尤其在峡谷地区更为显著, 且波浪在传播过程中, 还受到河谷两岸的阻碍、往返的折射以及波群的相互干扰或迭加等影响。以藕塘滑坡为例, 在滑坡局部失稳情况下采用潘家铮涌浪算法, 计算和预测滑体冲入库区后的滑速和造成的涌浪高度, 并且考虑了地震作用和滑坡前缘泡在水中所产生的阻力。

关键词: 滑坡; 次生灾害; 涌浪; 地震作用; 藕塘滑坡

中图分类号: P642.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)07-0041-04

Analysis and Research on Secondary Disasters of Landslide in Reservoir Area/CHENG Huan^{1,2}, LIAO Jing-gao¹ (1. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 610081, China)

Abstract: Landslide is not only a direct disaster, but also can cause secondary disasters, huge surge formed by landslide body falling into the river will bring great harm. The surge height is affected by sliding speed, failure volume, water depth and other important factors; the formation of waves is affected by reservoir terrain, reservoir width, the duration of landslide falling into the reservoir and the width of landslide. Especially in the canyon area, in the wave propagation process, waves are also affected by the obstacles on both sides of the valley, round-trip refraction and wave group mutual interference or superposition. In this paper, Pan Jiazheng surge algorithm is used, under the condition of local landslide instability in Outang, the sliding velocity and surge height by landslide rushing into the reservoir are calculated and predicted; the earthquake action and the resistance of leading edge in reservoir water are considered.

Key words: landslide; secondary disasters; surge; earthquake action; landslide in Outang

0 前言

滑坡除直接成灾外, 还常常造成次生灾害。滑坡体落入江河之中, 可形成巨大涌浪, 击毁对岸建筑设施和农田、道路, 推翻或击沉水中船只, 造成人员伤亡和财产损失; 落入水中的土石有时形成激流险滩, 威胁过往船只, 影响或中断航运; 落入水库中的滑坡体可产生巨大涌浪, 有时涌浪翻越大坝冲向下游形成水害。涌浪高度除受滑速、失稳体积、水深等重要因素的影响外, 波浪的形成还要受水库地形、库面宽度、滑坡入库过程的持续时间以及滑坡体的宽度等因素的影响, 尤其在峡谷地区更为显著, 且波浪在传播过程中, 还受到河谷两岸的阻碍、往返的折射以及波群的相互干扰或迭加等影响, 关系十分复杂。因此, 对库岸滑坡失稳后所造成的涌浪问题进行分析是必要的。

本文主要采用潘家铮涌浪算法, 在藕塘滑坡局部失稳情况下, 滑体冲入库区后的滑速和造成的涌浪高度进行计算和预测, 并且考虑了地震作用和滑坡前缘在泡在水中所产生的阻力。

1 滑坡概况

藕塘滑坡(见图1)位于奉节县长江南岸, 系安坪乡所在地, 安坪镇位于奉节县城上游约15 km, 上距万州98 km、重庆425 km, 下距长江三峡工程坝址177 km、宜昌223 km。

藕塘滑坡前缘高程90~102 m, 后缘高约475 m, 南北长1000~1500 m, 东西宽800~1300 m, 体积约 $6380 \times 104 \text{ m}^3$, 滑坡地表平均坡度 15° , 滑坡发育三级缓平台, 高程分别为180~220、350~400、430~470 m, 安坪新集镇建于高程180~220 m、台面宽

收稿日期: 2013-06-15

作者简介: 陈欢(1988-), 男(汉族), 四川成都人, 成都理工大学硕士在读, 中国地质科学院探矿工艺研究所助理工程师, 地质工程专业, 从事地质灾害监测、评估等工作, 四川省成都市金牛区一环路北二路1号。



图 1 藕塘滑坡全貌

约 140~240 m 的第一级宽缓平台上,有大量居民建筑物与多条市政道路以及企事业单位,常住人口约 3960 人(图 1)。区域地质构造为藕塘滑坡地处扬子准地台之次级构造单元——四川台坳与上扬子台褶带(亦称八面山台褶带)交汇处。

新构造运动特征为本区及邻区新构造运动主要以大面积多阶段的间歇性抬升为主,差异活动不明显,在地貌上形成多级侵蚀剥夷面和河流阶地。

藕塘滑坡处于扬子准地台的 3 个次级构造单元分界部位,其基底主要由早元古~晚元古代变质火山——碎屑岩组成,沉积盖层出露齐全,且均为整合和假整合接触,挽近期以来地壳运动以大面积抬升为主,断裂活动性不强,历史上也未见破坏性地震发生。根据中国地震动峰值加速度区划图(2001 年,1:400 万),50 年超越概率为 10% 时,本区地震动峰值加速度为 0.05g,其对应的地震基本烈度为 VI 度区。

地层岩性(参见表 1):

(1) 冲积层(Q^{al}),厚一般 1~5 m,以砂卵石、粉砂、细砂为主,结构松散,砂卵石主要见于长江河床,粉砂、细砂主要见于漫滩部位;

(2) 冲、洪积层(Q^{al+pl}),长江岸坡、油坊沟、大沟底部及出口为卵、砾、粉细砂构成,厚 1~5 m;

(3) 坡积层(Q^{dl}),一般厚 2~20 m,主要为黄褐色粘土夹碎块石,碎块石成分为砂岩、粉砂岩等,一般呈次棱角状或棱角状,碎石大小一般 5~20 cm,块石大小一般 0.3~0.8 m,主要分布于滑坡两侧缘及后缘;

(4) 滑坡堆积(Q^{del}),滑体组成具上、下两大层结构特征,上层主要以砂岩、粉砂岩为主的碎块石夹粘土层(局部地表少量粘土层),厚度一般 10~25 m,最厚约 40 m,结构松散;下层以似基岩块体为主,成分主要为粉砂质粘土岩、粉砂岩和砂岩(如鹅项颈、双大田附近),其厚度一般 12~30 m,较厚处达 49~65 m,具层序,呈碎裂状结构。

表 1 地层岩性

地层名称				地层厚度/m	岩性组合
界	系	统	组		
新生界	第四系	Q		1~100	冲积:砂卵石、粉砂、细砂;坡积:粘土夹碎块石;滑坡堆积:碎块石夹粘土或具层序的似基岩块体
中生界	侏罗系	J ₂	新田沟组 J _{2n}	200~300	上部为灰黄色、灰绿色长石石英砂岩与灰绿色页岩不等厚互层,下部为紫红色、黄褐色粘土岩夹长石石英砂岩与少量岩屑长石砂岩
			自流井组 J _{1x1}	148.1	灰、灰绿、灰黄色砂岩,粘土岩,粉砂岩夹少量灰色页岩及黑色炭质页岩
		J ₁	珍珠冲组 J _{1z}	86.2	灰绿、灰黄色岩屑石英砂岩,灰色砂岩夹灰色、灰黄色粘土岩及黑色炭质页岩,底部 0~3.5m 为黑色炭质页岩
			第一段 J ₁₋₁	81.8	灰色、深灰色、灰黄色砂岩、粉砂岩夹灰色粘土岩及少量黑色炭质页岩
		上统	须家河组 T _{3xj}	206.2	上部为灰、浅灰色岩屑砂岩与长石石英砂岩不等厚互层;下部为浅灰色岩屑长石砂岩、长石石英砂岩夹少量深灰色、灰色页岩及薄煤层
三叠系	T ₃	T			

2 滑坡稳定性计算

稳定性计算是滑速及涌浪计算的前提。藕塘滑坡的滑动带及下伏基岩为相对隔水层,滑坡体物质破碎,地表降雨易入渗,影响滑坡稳定性系数的最主要因素是降雨引起的滑体中地下水位的抬升、三峡水库蓄水。本文应用传递系数法计算了如下几种工况下滑坡的稳定性。取滑坡中部可能产生的最大滑坡对滑坡进行下滑分析,滑坡条分图见图 3。

按《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001(2011 年版))的规定,当滑动面为折线形时,滑坡稳定性分析,可采用传递系数法(推力传递法)计算滑坡稳定性。该方法适用于滑面为任意形状的滑坡,并考虑滑坡体中的动水压力、浮托力、地震等动荷载及各个滑块不同抗剪强度参数的影响。由稳定性计算结果可知(表 2),145 m 水位+自重+地表荷载+雨季暴雨工况下滑坡最不稳定。

3 滑坡滑速计算原理

涌浪发生的可能性及涌浪的大小取决于变形土体的变形发展趋势和失稳解体的方式,缓慢入库较快速入库涌浪必然会小得多,多次分解入库所产生的涌浪必然会较一次入库要小很多。

中部变形区以及扩展变形区土体失稳滑入长江,由于方量较大,击起的涌浪对长江上航行的船只和

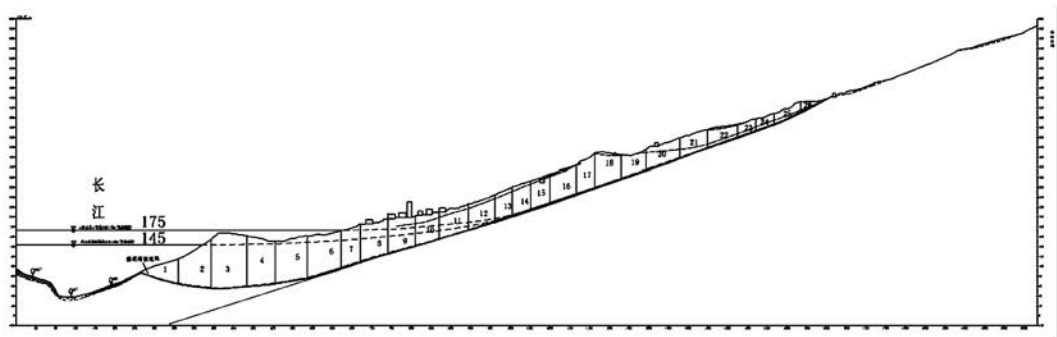


图 3 藕塘滑坡计算坡面 V—V'图

表 2 藕塘滑坡稳定系数计算结果

计算工况	稳定系数 K
	坡面 V
	天然: $c = 15 \text{ kPa}, \varphi = 13.5^\circ$ 饱和: $c = 10 \text{ kPa}, \varphi = 13^\circ$
145 m 水位 + 自重 + 地表荷载	1.2798
175 m 水位 + 自重 + 地表荷载	1.3258
145 m 水位 + 自重 + 地表荷载 + 雨季暴雨	1.1297
175 m 水位 + 自重 + 地表荷载 + 枯季暴雨	1.2308
175 ~ 145 m 水位骤降 + 自重 + 地表荷载	1.1880

邻近地带的码头、居民会造成危害。美国土木工程师协会推荐公式假定(参见图 4):滑体滑落于半无限水体中,且把滑体当作整体以重心作质点运动,按照牛顿第二定律及运动学公式推导出滑坡入水速度的计算公式,滑坡下滑的运动力等于下滑力与抗滑力之差:

$$F = W \sin \alpha - (W \cos \alpha \tan \varphi + cL)$$

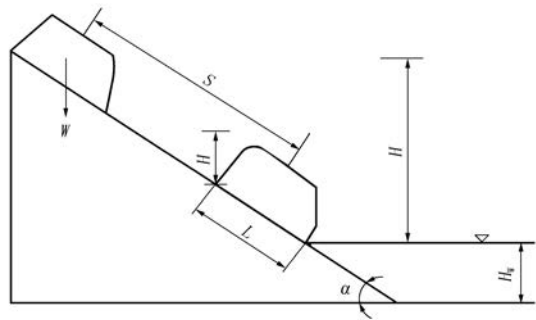


图 4 滑坡体涌浪预测各要素示意图

则入水的加速度和速度分别为:

$$\alpha = g(\sin \alpha - \cos \alpha \tan \varphi) - (cL/m)$$

$$V = \sqrt{1 - c \tan \varphi - [cL/(mgsin \alpha)]} \sqrt{2gH}$$

式中: α ——滑面倾角; W ——滑体单宽质量; φ 、 c ——滑动时滑面抗剪强度参数; H ——滑体重心距水面的距离; L ——滑块与滑面接触面长。

4 滑坡下滑加速度和计算成果

值得注意的是,该模型没有考虑在地震作用下

和滑坡前缘在水中的情况下有水的阻力。

因此,本文将会将这 2 个非常重要的因素加入进涌浪的计算里。

首先,参照《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223 - 2008),建筑工程抗震设防分类如表 3 所示。

表 3 建筑工程抗震设防分类标准

防震 设防烈度	设计基本 地震加速	防震 设防烈度	设计基本 地震加速
VI	0.05g	VIII	0.2(0.30)g
VII	0.10(0.15)g	IX	0.40g

滑坡剩余下滑力和水阻力的关系见图 5。

滑体下滑的受力分解见图 6。

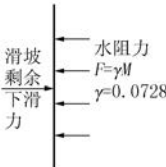


图 5 剩余下滑力和水阻力关系

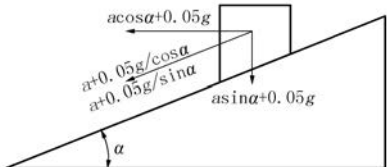


图 6 滑体下滑的受力分解图

藕塘滑坡剖面及房屋建筑所在位置见图 7 所示。

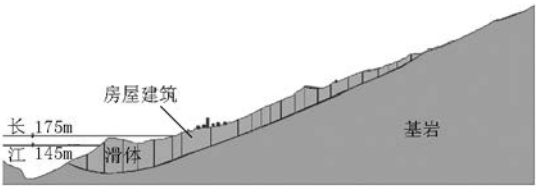


图 7 藕塘滑坡剖面及房屋建筑示意图

根据以上的图示可得出各种情况下加速度的值,见表 4。

5 滑坡下滑速度计算结果

前面提到的美国土木工程师协会推荐公式,由于推荐公式没有考虑地震和水阻力,不能直接用

表 4 各工况下的加速度取值 / (m·s⁻²)

工 况	加速度	考虑地震	考虑水阻力
水位 145 m + 自重 + 荷载	0.2498	0.2498g	0.2365g
水位 175 m + 自重 + 荷载	0.2063g	0.2063g	0.1832g
水位 145 m + 自重 + 地震 + 荷载 + 暴雨	0.2041g	1.4595g	1.4462g
水位 175 m + 自重 + 地震 + 荷载 + 暴雨	0.2079g	1.4632g	1.4399g
水位 175 m 骤降至 145 m + 自重 + 荷载	0.2022g	0.2022g	0.1891g

推荐公式计算,因此采用运动学定律计算:

$$V=at$$
$$S=1/2at^2$$

由此得出滑速的计算结果见表 5。

表 5 各工况下的滑速 / (m·s⁻¹)

工 况	速度	考虑地震	考虑水阻力
水位 145 m + 自重 + 荷载	1.7463	1.7463	1.6003
水位 175 m + 自重 + 荷载	1.2530	1.2530	1.0100
水位 145 m + 自重 + 荷载 + 地震 + 暴雨	1.7463	5.1640	5.0180
水位 175 m + 自重 + 荷载 + 地震 + 暴雨	1.2530	3.4276	3.1846
水位 175 m 骤降至 145 m + 自重 + 荷载	1.8379	1.8379	1.6919

6 涌浪产生的浪高计算

潘家铮于 1980 年提出初始浪高的计算方法,他假定涌浪首先在滑坡入水处发生,产生初始波,然后向周围传播,并认为滑坡体侵入水库的断面积随时间的变化率是确定初始涌浪高度的主要因素,其计算模式按岸坡变形分为水平运动和垂直运动 2 种,2 种模式下的初始涌浪高度求解曲线见图 8。

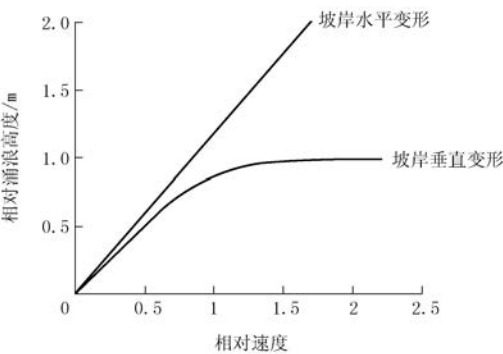


图 8 两种模式下的初始涌浪高度求解曲线图(据潘家铮 1980)

岸坡发生水平运动时,激起的初始浪高可表示为:

$$\xi_0/h=1.17v/\sqrt{gh}$$

当岸坡发生垂直运动时,激起的初始浪高可用下面的函数表示为:

$$\xi_0/h=f(v'/\sqrt{gh})$$

式中: ξ_0 ——激起的初始涌浪高度,m; h ——水库平均深度,m; v ——岸坡水平运动速度,m/s; v' ——岸坡垂直运动速度,m/s; g ——重力加速度,m/s²。

f 函数关系可以分段表示成下面 3 种形式。

- (1) 当 $0 < v'/\sqrt{gh} \leq 0.5$ 时, $\xi_0/h = v'/\sqrt{gh}$;
- (2) 当 $0.5 < v'/\sqrt{gh} \leq 2$ 时, $\xi_0/h = v'/\sqrt{gh}$ 呈曲线变化;
- (3) 当 $v'/\sqrt{gh} > 2$ 时, $\xi_0/h = 1$ 。

根据上面的算式可得出各工况下的涌浪高度如表 6。

表 6 各工况下的涌浪高度 /m

工 况	涌浪高度	考虑地震	考虑水阻力
水位 145 m + 自重 + 荷载	3.298514	3.298514	3.022741
水位 175 m + 自重 + 荷载	0.894519	0.894519	0.721036
水位 145 m + 自重 + 荷载 + 地震 + 暴雨	3.298514	9.754011	9.478237
水位 175 m + 自重 + 荷载 + 地震 + 暴雨	0.894519	2.447016	2.273533
水位 175 m 骤降至 145 m + 自重 + 荷载	3.471534	3.471534	3.195760

7 结论

运用本文方法,对在不同工况下的涌浪高度进行了预测,并且考虑地震作用和滑坡前缘泡在水里所产生的水阻力,得出了结果。在水位 145m + 自重 + 荷载 + 地震 + 暴雨的工况下,并考虑地震和水阻力情况,涌浪高度达到 9.5 m,对藕塘滑坡居住的居民极易造成危害,应作出及时的防治措施。

参考文献:

[1] 潘家铮. 建筑物的抗滑稳定和滑坡分析[M]. 北京: 水利水电出版社,1980.

[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,2009.

[3] 代云霞,殷坤龙,汪洋. 滑坡速度计算及涌浪预测方法探讨[J]. 岩土力学,2008,29(S1):407-411.

[4] 秦云,姜清辉,郭慧黎. 滑坡速度预测的计算方法探讨[J]. 岩土力学,2008,29(S1):373-378.

[5] 李树武,刘惠军. 某水电站库区滑坡滑速涌浪预测[J]. 地质灾害与环境保护,2006,177(1):74-77.