

# 金沙江干流水电工程区岸坡失稳危险性预测 及防治对策

许向宁 李胜伟

(四川省地勘局成都水文地质工程地质中心, 四川 成都 610081)

**摘要:**笔者通过调查研究和综合分析金沙江干流水电工程区岸坡地质背景和岩体力学环境条件,定性分析与定量评价相结合,采用与三峡工程库区岸坡失稳危险性评价相类比的方法,针对崩滑体失稳按总体积的 1/8 和 1/11 入江方量进行了计算和按美国土木工程学会涌浪图解算法计算了入水点及在向家坝坝址、溪洛渡坝址和邻近城镇的涌浪高度,并围绕大坝施工安全、库区周边城镇安全、水库运营安全等方面对岸坡失稳的危险性进行了评价预测,提出了岸坡失稳的防治对策。评价结果表明,向家坝库区和溪洛渡库区土质岸坡坍塌及崩滑体入江和涌浪不会影响水库的正常运行及长期效益。

**关键词:**金沙江; 崩滑体失稳; 入江方量; 涌浪; 危险性预测

**中图分类号:**P642 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2005)01-0155-07

金沙江流域水能理论蕴藏量资源十分丰富,其中可开发水电装机容量达  $0.89 \times 10^8 \text{ kW}$ , 年发电量  $5000 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 占长江流域的 1/2 和全国可开发量的 1/4。根据国家总的工程布署,金沙江流域加快了能源建设,规划了乌东德、白鹤滩、溪落渡、向家坝等 9 个梯级水电站,总库容为  $819.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 规划装机容量  $5\,343 \times 10^4 \text{ kW}$ , 发电  $2\,746.8 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。金沙江流域的电能担负着“西电东送”的任务,可大大缓解中国部分地区长期以来用电紧张的局面。另外,金沙江流域的开发对三峡水库有重要的拦沙作用,减少三峡库尾段泥沙的淤积,推迟三峡水库淤积平衡的年限,使三峡枢纽发挥更大的经济效益和社会效益。因此,有必要评价岸坡稳定性,对岸坡失稳危险性进行预测,提出科学合理的防治对策,为水电工程建设和库区地质环境保护提供科学的地质依据。笔者通过实地调查研究和综合分析金沙江干流水电工程区岸坡地质背景和岩体力学环境条件,重点从崩滑体失稳入江方量预测和涌浪预测讨论了岸坡失稳的危险性,最后提出了岸坡失稳的防治对策。

## 1 崩滑体失稳的入江方量和涌浪预测

大型崩塌、滑坡使金沙江天然河道阻塞,是河谷发育过程中伴随的一种重要现象,一些大规模的崩滑活动还有可能

对金沙江航道及水利水电工程造成严重威胁。因此,有必要对崩滑体失稳后的入江方量及所激起的涌浪进行预测,并对其危害性进行评价(图 1)。

### 1.1 崩滑体失稳入江方量预测与评价

在金沙江干流沿岸,蓄水后处于半淹没状态的分布面积较大的土质岸坡共有 13 段,长 60.65 km,其中向家坝水库沿岸 10 段 47.57 km,溪洛渡水库沿岸 3 段 13.08 km。

各段的坍塌规模,采用卡丘金图解法进行预测<sup>[1]</sup>(图 2)。

在系统分析库岸地质环境条件基础上,选取不同类型岩石的现代河流枯水位—洪水位作用区间(包括上下一定坡段),作出实测或图切地形地质剖面,确定相应岩土层河谷岸坡稳定坡角,以此坡角类推水库蓄水后相应水位作用带(主要是水位变幅带及其上下一定范围坡段)不同岩土层最终稳定坡角,以获得库岸再造的最终范围。

具体做法如下:

(1)作预测岸坡的原始剖面(原始岸坡坡角为  $\gamma$ ),在剖面上标上水库设计高水位及设计低水位;

(2)预测水下岸坡:在设计低水位线以下波浪影响深度  $h_p$  处,于原始岸坡上确定一点 M,在高水位线以上,浪爬高度  $h_B$  高度处画一条高程线,然后由 M 作一坡角为  $\alpha$  的斜线与该高程线交于 N 点,则 MN 斜坡段为直接遭受波浪冲蚀的水

收稿日期:2004-02-18;改回日期:2004-10-22

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200312300003)资助。

作者简介:许向宁,男,1971年,博士生,副总工程师,从事环境地质、边坡及地质灾害防治工作;E-mail:xuxiangning@263.net。

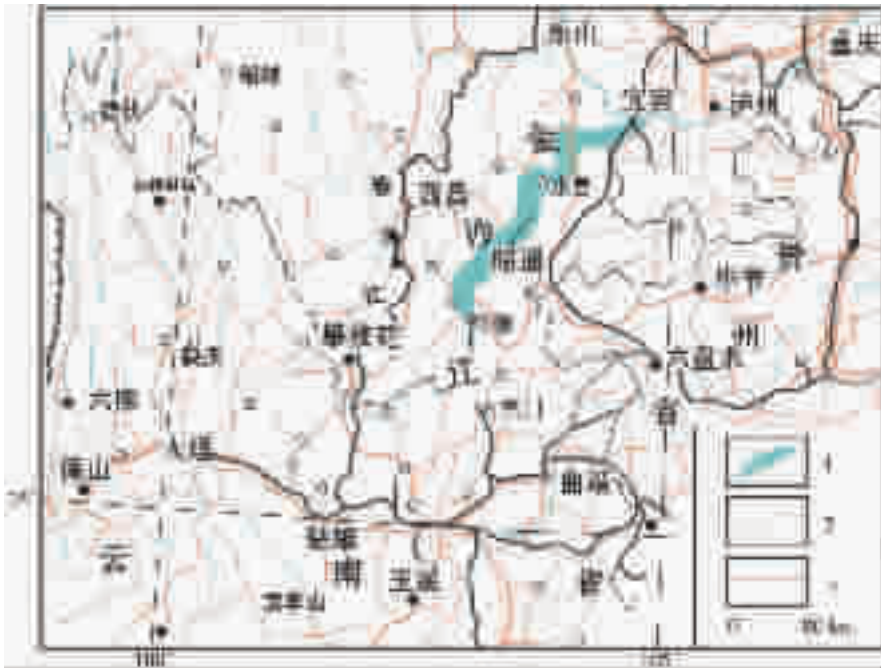


图 1 交通位置图

1—研究区域;2—水系;3—主干公路

Fig.1 Location map of the study area

1—Study area;2—River system;3—Main road

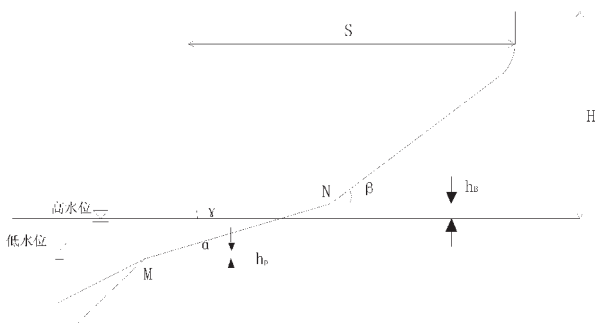


图 2 预测塌岸规模的卡丘金图解法

Fig.2 Kachugin graphic method for predicting the scale of the collapsing bank

下磨蚀岸坡。其中:

- $h_p$ —波浪冲刷深度,相当于 1~2 倍波高;
- $h_b$ —浪击高度或浪爬高(m),大体为 0.1~0.8 倍波高;
- $\alpha$ —水下稳定坡角( $^\circ$ );

(3)预测水上岸坡:由 N 点向上作一坡角为  $\beta$  的剖面线,其中: $\beta$  为岸坡水上稳定坡角。

完成上述步骤后,即可得到预测塌岸的卡丘金图(图 2),

从图上就能直接量出最终塌岸的宽度  $S$ , 并获得塌岸的平均厚度值。

对堆积体和变形体构成的土质库岸,应首先计算其稳定性,若为稳定型,则以卡丘金图解法进行预测;若为失稳型,则以失稳后库岸进行再造预测。

根据卡丘金图解法预测塌岸最终再造范围,从预测结果(表 1)中可见,总的塌岸方量约  $70\ 497.9 \times 10^4\ m^3$ ,其中向家坝水库沿岸  $53\ 621.1 \times 10^4\ m^3$ ,占整个库容的 9.75%;溪洛渡水库沿岸  $16\ 876.8 \times 10^4\ m^3$ ,占整个库容的 1.46%。由此可见,土质岸坡入江物质不会影响水库的正常运行,但应注意可能入江点的堵江和碍航。

### 1.2 崩滑体失稳的入江方量预测

由于崩滑体下滑入江方量的影响因素很多,而迄今尚没有一个比较精细的计算公式,因此计算崩滑体入江方量时采用了经验值法。参照三峡工程库区以往工程实例:1982 年发生的鸡扒子滑坡,入江方量占总体积的 1/8;1985 年发生的新滩滑坡,入江体积约占总体积的 1/11,根据这两个滑坡的入江方量,本次崩滑体入江方量分别取为总体积的 1/8 和 1/11 进行计算<sup>[2-3]</sup>。经地质条件类比,安全角度考虑,采用 1/8 入江方量进行评价(表 2~3)。库区崩滑体入江总方量:向家坝库段为  $2\ 626.26 \times 10^4\ m^3$ ;溪洛渡库段为  $4\ 030.8 \times 10^4\ m^3$ 。

表 1 半淹没土质岸坡岸预测成果  
Table 1 Results of prediction of semi-inundated soil bank slope collapse

岸段编号	岸别	距坝里程/km	岸段长度/m	最终坍岸规模				入江断面占过水断面的%	
				平均宽度/m	面积/(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> )	平均厚/m	体积/(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	枯水位	380m 水位
1	右岸	0~2.33	5.27	320	168.64	25	4 216	267	15
2	左岸	0~1.72	5.08	450	228.6	20	4 572	300	17
5	右岸	7.07~15.47	8.48	420	356.16	30	10 684.8	420	24
9	右岸	19.13~23.84	4.39	280	122.92	35	4 302.2	327	19
18	左岸	36.87~40.58	4.32	350	151.2	30	4 536	350	20
21	右岸	40.68~44.16	3.35	300	100.5	45	4 522.5	450	26
38	左岸	80.61~85.56	7.14	290	207.06	40	8 282.4	387	22
42	左岸	87.24~89.57	2.50	330	82.5	40	3 300	440	25
43	右岸	94.84~98.28	3.42	270	92.34	45	4 155.3	405	23
46	左岸	95.94~99.55	3.62	310	112.22	45	5 049.9	465	27
小计	10 段			共长 47.57km		体积 53621.1 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>			
岸段编号	岸别	距坝里程/km	岸段长度/m	最终坍岸规模				入江断面占过水断面的%	
				平均宽度/m	面积/(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> )	平均厚度/m	体积/(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	枯水位	600 m 水位
77	左岸	187.69~191.12	3.53	370	130.61	40	5 224.4	493	11
80	左岸	196.79~200.34	3.59	330	118.47	40	4 738.8	440	10
105	左岸	272.66~278.60	5.96	290	172.84	40	6 913.6	387	8
小计	3 段			共长 13.08 km		体积 16 876.8 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>			
合计	13 段			总长 60.65 km		总体积 70 497.9 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>			

表 2 按 1/8 体积崩滑体失稳入江方量预测成果

Table 2 Calculation of the cubic capacity of the sliding mass falling into the river according to 1/8 of the total volume

崩滑体名称	总体积/万 m <sup>3</sup>	1/8 体积/万 m <sup>3</sup>	前缘宽度/m	入江断面积/m <sup>2</sup>	入江断面占过水断面的%		
					枯水位	380 m 水位	
H2	向家坝崩塌群	2 108.2	263.525	1597	1 650.125	55	3.14
H3	大金号滑坡	1 100	137.5	763	1 802.097	60	3.43
H6	黄牛干滑坡	1 403	175.375	/	/	/	/
H7	东岳庙滑坡	6 127.5	765.9375	1140	6 718.75	224	12.80
H12	新滩溪滑坡	1 466.4	183.3	500	3 666	122	6.98
H15	赵家湾滑坡	1 500	187.5	320	5 859.375	195	11.16
H16	大鹿溪滑坡	1 067	133.375	/	/	/	/
H25	藤岩崩塌	2 160	270	/	/	/	/
H26	凉风坳滑坡	1 728	216	/	/	/	/
H28	新滩滑坡	2 349	293.625	/	/	/	/
小计	10 个	总入江体积 2626.2625 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>					
H35	牛滚凼滑坡	7 624.5	953.0625	710.2	13 419.64	447	9.74
H36	易子村滑坡	7 891.4	986.425	558.5	17 662.04	589	12.82
H38	付家坪子滑坡	2 396.8	299.6	1152.3	2 600.017	87	1.89
H39	大枫湾滑坡	3 919	489.875	205.8	23 803.45	793	17.27
H40	石盘寨危岩	912	114	1 246.8	914.3407	30	0.66
H41	卷义堂滑坡	1 340.3	167.5375	191.5	8 748.695	292	6.35
H42	花坪子滑坡	1 334	166.75	198.5	8 400.504	280	6.10
H43	麻地湾滑坡	3 668	458.5	741.0	6 187.584	206	4.49
H44	鹦哥村滑坡	3 159.5	394.9375	493.7	7 999.544	267	5.81
小计	9 个	4 030.8125					
合计	19 个	6 657.075					

表3 按 1/11 体积崩滑体失稳入江方量预测成果  
Table 3 Calculation of the cubic capacity of the sliding mass falling into the river according to 1/11 of the total volume

崩滑体名称	总体积/万 m <sup>3</sup>	1/11 体积/万 m <sup>3</sup>	前缘宽度/m	入江断面面积/m <sup>2</sup>	入江断面占过水断面的%	
					枯水位	380 m 水位
H2 向家坝崩塌群	2 108.2	191.65	1 597	1 200.09	40	2.29
H3 大金号滑坡	1 100	100.00	763	1 310.62	44	2.50
H6 黄牛干滑坡	1 403	127.55	/	/	/	/
H7 东岳庙滑坡	6 127.5	557.05	1 140	4 886.36	163	9.31
H12 新滩溪滑坡	1 466.4	133.31	500	2 666.18	89	5.08
H15 赵家湾滑坡	1 500	136.36	320	4 261.36	142	8.12
H16 大鹿溪滑坡	1 067	97.00	/	/	/	/
H25 藤岩崩塌	2 160	196.36	/	/	/	/
H26 凉风坳滑坡	1 728	157.09	/	/	/	/
H28 新滩滑坡	2 349	213.55	/	/	/	/
小计	10 个					
H35 牛滚函滑坡	7 624.5	693.14	710.2	9 759.73	325	7.08
H36 易子村滑坡	7 891.4	717.40	558.5	12 845.12	428	9.32
H38 付家坪子滑坡	2 396.8	217.89	1 152.3	1 890.92	63	1.37
H39 大枫湾滑坡	3919	356.27	205.8	17 311.60	577	12.56
H40 石盘寨危岩	912	82.91	1 246.8	664.98	22	0.48
H41 卷义堂滑坡	1 340.3	121.85	191.5	6 362.69	212	4.62
H42 花坪子滑坡	1 334	121.27	198.5	6 109.46	204	4.43
H43 麻地湾滑坡	3 668	333.45	741.0	4 500.06	150	3.27
H44 鹦哥村滑坡	3 159.5	287.23	493.7	5 817.85	194	4.22
小计	9 个	2931.5				
合计	19 个	4 841.33				

### 1.3 危害性评价预测

(1) 根据计算结果,向家坝段土质岸段坍塌及大型崩滑流入江的方量为  $56247.36 \times 10^4 \text{ m}^3$  ( $53621.1 \times 10^4 + 2626.26 \times 10^4$ ), 占向家坝整个库容的 10.2%, 溪洛渡段的方量为  $20907.6 \times 10^4 \text{ m}^3$  ( $16876.8 \times 10^4 + 4030.8 \times 10^4$ ), 占溪洛渡整个库容的 1.81%。由此可见,土质岸坡坍塌及崩滑流入江不会影响水库的正常运行及长期效益。

(2) 距坝较近的滑坡一旦失稳(如东岳庙滑坡、牛滚函滑坡、易子村滑坡等),可能造成壅塞或水下坝,一旦溃决,将对水利水电工程及施工围堰造成严重危害。

(3) 根据入江方量计算结果,除位于崩滑体附近的城镇受到较大威胁外对沿岸其他城镇无较大影响。

### 1.4 涌浪预测和危害性评价预测

#### (1) 涌浪预测

涌浪预测的方法和计算公式较多,但在理论上都尚未圆满解决,在实际应用上也有一定困难。根据前期资料的分析研究,美国土木工程学会用的方法比较符合调查区水库的特点。因此,采用了该方法对水库沿岸 16 个稳定性差和较差的

崩滑体进行涌浪预测,主要预测入水点、向家坝坝址、溪洛渡坝址和邻近城镇的涌浪高度(表 4~5)。

该方法计算步骤如下<sup>[4]</sup>:

① 计算出下滑体滑速  $V$  值。由  $V$  值算出  $V^*$

$$V = \sqrt{(1 - ctg(\frac{\alpha + \Phi}{2}) \cdot tg\Phi) \cdot \sqrt{2gH}}$$

$$V^* = \frac{V}{\sqrt{gH_w}}$$

公式中

$V$ ——入水(或剪出口)处最大滑速, m/s;

$V^*$ ——为滑坡速度, m/s;

$\alpha$ ——滑面加权平均倾角,度;

$\Phi$ ——滑带内摩擦角,度;

$g$ ——重力加速度, m/s<sup>2</sup>;

$H$ ——滑体重心至水面或剪出口处的垂直落差, m;

$H_w$ ——水深, m。

② 为预测距滑体落水点为  $X$  处的某点的涌浪高, 先求出  $X^*$ :

$$X^* = \frac{X}{H_w}$$

然后根据图 3 可求得。

(2) 危害性评价预测

采用上述方法计算时,未考虑河流弯道的消能作用,因而计算值可能偏于保守,根据计算结果,评价如下:

①到达坝前涌浪高度不超过 7m,因此可认为对施工围堰大坝不构成重大威胁,涌浪造成的危害也不会影响水库的正常运营及长期效益。

②离可能失稳崩滑体较近的城镇遭受不同程度的威胁,应设置必要的监测预警,以防患于未然。值得注意的有黄牛干滑坡在屏山镇的涌浪为 9.35 m;赵家湾滑坡在绥江的涌浪为 8.0 m;牛滚函滑坡在上田坝的涌浪为 10.88 m;易子村滑坡在上田坝的涌浪为 9.59 m;麻地湾滑坡在鹦哥镇的涌浪为 11.28 m,在对坪的涌浪为 8.09 m;鹦哥村滑坡在鹦哥镇的涌浪为 56.58 m。

## 2 岸坡失稳的危险性预测

### 2.1 对梯级电站工程的影响

①向家坝水库蓄水至正常高水位 380 m 后,大多数岸坡变形破坏体将被淹没或被部分淹没。在这种情况下,可能会对岸坡稳定性产生不利的影响,特别是对那些目前稳定差或较

差的岸坡变形破坏体的影响更为明显。从前述分析可知,近坝 30 km 范围内的稳定性差或较差的岸坡,不仅数量少且规模也小,即使失稳对大坝的影响也不大,但这一岸段内一些规模大目前已有明显复活迹象的岸坡如东岳庙滑坡、大金号滑坡等失稳后对大坝的影响仍需作进一步的勘查评价研究<sup>[4]</sup>。

②溪洛渡水库绝大部分库岸为稳定和基本稳定岸坡,从库首至卡哈洛 50 km 长的库段,除干海子滑坡局部稳定性稍差外,其余均属此类库岸;稳定性较差和稳定性差的库岸主要位于水库中段黄华、大兴和库尾白鹤滩一带,距坝址分别为 55 km、100 km 和 180 km 以上,但由于它们远离坝址,其活动对溪洛渡水库工程不会带来直接危害。

### 2.2 对库容的影响

向家坝库区岸坡变形破坏总体积为 15.65 亿 m<sup>3</sup>,占水库最大库容 55 亿 m<sup>3</sup> 的 28.45%。如果考虑库区稳定差或较差的坡体全部入江,其体积仅占水库最大库容的 3.3%。由此可见,水库蓄水后,岸坡稳定性变化对水库库容的影响较小。

### 2.3 对航运的影响

库区金沙江水流湍急,险滩众多,目前只能从宜宾通航至新市镇。蓄水后,可能会因为少数岸坡失稳对航运产生不利的影响,但从岸坡稳定性评价结果来看,库区稳定性差或较差的岸坡,多数已被库水半淹没甚至完全淹没,故岸坡即使失稳对航运的影响也是极其有限的。

### 2.4 对城镇及移民的影响

水库蓄水后,正常高水位以下的城镇和居民将要搬迁。除绥江、屏山和新市镇 3 个城址拟定采用移位搬迁外,大多数沿江小城镇和分散居民一般多采用后靠的办法进行移民。移民搬迁地的岸坡稳定性状态将直接影响当地居民的生命财产安全。因此,沿江小城镇和分散居民的后靠搬迁,应避开不稳定岸坡和不稳定斜坡,特别是应避开目前已有明显复活迹象的岸坡。

## 3 岸坡失稳的防治对策

岸坡稳定性调查评价的目的是为了掌握各岸坡类型及其变形体的形成、发育规律,对其稳定程度和危害性作出评价;对现今或蓄水后可能失稳的岸段或崩塌、滑坡等变形体,提出科学的经济合理的防治对策和方案,以保证梯级电站工程施工运营、航道及城镇居民的安全。

(1) 监测与预报:前人研究结果表明,岩质岸坡失稳和滑坡、崩塌体复活,多要经历一个较长时期的变形位移过程<sup>[5-9]</sup>。因此应建立完善的监测预警系统,对其变形发展动态进行监测,并实现中期和临滑预报,为防治工程方案的拟定和尽可能减轻灾害损失提供可靠依据。

(2) 防止降水与地表水的大量渗入:降水,特别是持续暴雨和大雨是触发滑坡和崩塌的重要触发因素。其整治方案的基本点为防止降雨和地表水大量渗入滑体(坡体),具体措施是修筑完善且安全有效的排水系统。

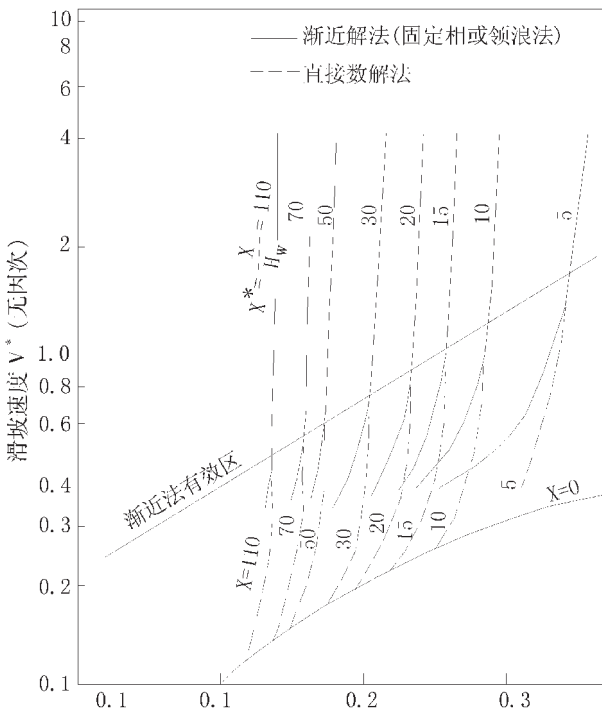


图 3 距落水点 X 位置处涌浪高计算图<sup>[4]</sup>

Fig.3 Chart showing the calculation of the surge wave height at locality X from the sliding mass falling site



表4 向家坝库区涌浪预测统计表

Table 4 Statistics of predicted surge wave heights in the Xiangjiaba reservoir area

滑坡编号	滑坡名称	平均厚度/m	滑面平均倾角/°	落高/m	滑面摩擦角/°	滑速/(ms <sup>-1</sup> )	最大涌浪高/m		坝址及附近城镇处涌浪高/m			
							洪水期	蓄水初期	坝址及城镇名	距离/km	计算值	
											洪水期	蓄水初期
H2	向家坝崩塌群	44	23	25	20	6.10	12.76	7.48	向家坝	5.6	4.84	7.00
H3	大金号滑坡	48	27	20	21	7.35	17.76	9.60	水富	8.5	0	5.28
									向家坝	10.7	0	6.48
H6	黄牛干滑坡	55	37	130	21	27.99	50.05	40.7	水富	10.5	0	6.72
									向家坝	17.62	0	6.325
H7	东岳庙滑坡	50	12	50	11	6.61	15.25	9.25	新滩	16	0	7.425
									屏山	9	0	9.35
									向家坝	20.65	0	5
H12	新滩溪滑坡	53	22	30	20	5.52	14.84	8.48	新滩	14	0	7
									屏山	8.5	0	7.5
									向家坝	40.0	0	0
H15	赵家湾滑坡	40	13	100	11	12.95	26.8	14	绥江	15	0	6.36
									新滩	0.5	13.25	7.42
H28	新滩滑坡	48	20	200	18	14.86	34.08	19.2	向家坝	60.0	0	0
									绥江	4.5	5.6	8
									新市	10	0	6.4
									向家坝	127.75	0	0

表5 溪洛渡库区涌浪预测统计表

Table 5 Statistics of predicted surge wave heights in the Xiluodu reservoir area

滑坡编号	滑坡名称	平均厚度/m	滑面平均倾角/°	落高/m	滑面摩擦角/°	滑速/(ms <sup>-1</sup> )	最大涌浪高/m		坝址及附近城镇处涌浪高/m			
							洪水期	蓄水初期	坝址及城镇名	距离/km	计算值	
											洪水期	蓄水初期
H35	牛滚凼滑坡	75	13	70	11	10.83	39.75	16.125	溪洛渡	52.3	0	0
H36	易子村滑坡	71	13	39	11	8.08	27.69	13.135	上田坝	21	0	10.88
									溪洛渡	52.5	0	0
H38	付家坪子滑坡	26	20	120	18.5	9.92	12.48	5.33	上田坝	21	0	9.59
									溪洛渡	92.5	0	0
H39	大枫湾滑坡	76	22	320	20	18.03	63.08	28.12	溪洛渡	97.0	0	0
H40	石盘寨危岩	90	17	180	15	15.21	66.6	27	溪洛渡	110.0	0	0
H41	卷义堂滑坡	70	18	60	15	10.59	35.7	15.05	溪洛渡	117.0	0	0
H42	花坪子滑坡	80	30	210	26	18.45	68	30.4	溪洛渡	135.4	0	0
									溪洛渡	180.9	0	0
H43	麻地湾滑坡	55	19	100	17	10.76	28.6	11.825	鸚哥	5	7.15	11.28
									对坪	20	0	8.09
H44	鸚哥村滑坡	82	25	442	20	32.42	77.9	56.58	溪洛渡	185.7	0	0
									鸚哥	0	77.9	56.58

(3)禁止后缘严重加载和前缘减载;严禁在可能失稳的斜坡地带弃土弃渣,以避免造成加载而发生坡体变形破坏。对正在发展的崩滑体则应后缘减载,前缘压脚或设置抗滑挡墙等。

(4)规范和限制不合理的人类活动;人类工程活动,引起岸坡破坏的作用亦不可忽视,如采矿、采石、水工建设、筑路和其他工程建设的开挖、弃土弃渣等。为避免岸坡稳定性进一步恶化,应严格规范和限制不合理的人类工程活动,在电站兴建和运行期间应及早规划、规范和限制不合格的人类工程活动。

(5)综合治理,保护性开发土地资源;区内稳定性好和较

好的大中型滑坡,地势较平坦,土地较肥沃,是区内难得的移民和耕植场所,应充分予以利用,但必须是“保护性开发”。特别是对稳定性差和较差的岸坡,以及滑坡、崩塌区的土地利用和资源开发,应注意开发与保护相结合,实行综合治理。如加强坡面排水,防止降雨和地表水大量渗入;防止水土流失,土地利用以旱地作物和经济林木为主;禁止乱采(煤和石料)乱挖(坡脚);清除危岩体或远离危险区建设等等。

## 4 结语

通过定性分析与定量评价相结合,采用与三峡工程库区

岸坡失稳危险性评价相类比的方法,针对崩滑体失稳入江方量和涌浪计算,评价了岸坡失稳的危险性,并提出了岸坡失稳的防治对策。根据计算结果,向家坝段土质岸坡坍塌及大型崩滑流入江的方量为  $56\ 247.36 \times 10^4 \text{m}^3$ ,占向家坝整个库容的 10.2%,溪洛渡段的方量为  $20\ 907.6 \times 10^4 \text{m}^3$ ,占溪洛渡整个库容的 1.81%。由此可见,土质岸坡坍塌及崩滑体入江和涌浪不会影响水库的正常运行及长期效益。但对于离坝区较近、规模较大且发现有复活迹象的岸坡,如大金号滑坡、东岳庙滑坡等,在水库蓄水后其稳定性会受到影响,一旦失稳产生可能会波及到大坝,建议引起重视。

#### 参考文献 (References):

- [1] 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.  
Zhang Zhuoyuan, Wang Shitian, Wang Lansheng. Principle of Engineering Geology Analysis[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994 (in Chinese).
- [2] 地矿部成都水文地质工程地质中心,成都地质学院,水利部常委会勘测总队. 长江三峡工程库岸稳定性[M]. 北京:科学出版社,1992.  
Chengdu Hydrogeology & Engineering Geology Center, Chengdu Institute of Geology, et al. On Stability of the Bank Slopes around the Three Gorges of the Yangtze River[M]. Beijing: Science Press, 1992 (in Chinese).
- [3] 地质矿产部编写组. 长江三峡工程库岸稳定性研究[M],北京:地质出版社,1988.  
Compilation Team of the Ministry of Geology and Mineral Resources. Research on the Stability of the Bank Slopes around the Three Gorges of the Yangtze River[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988.
- [4] 刘汉超,陈明东,等. 库区环境地质评价研究[M]. 成都:成都科技大学出版社,1993.  
Liu Hanchao, Chen Mingdong, et al. Research on Environmental-Geological Evaluation in Reservoir Area [M]. Chengdu: Chengdu Science and Technology Press, 1993 (in Chinese).
- [5] 张加桂,陈庆宣,蔡秀华. 三峡地区泥灰质岩石中几种表生构造及其与地质灾害的关系[J]. 中国地质,2003,30(3):320~324.  
Zhang Jiagui, Chen Qingxuan, Cai Xiuhua. Some supergene deformation structures in marly limestone in the Three-Gorges region and their relation to geohazards[J]. Geology in China, 2003, 30(3):320~324 (in Chinese with English abstract).
- [6] 李学杰,冯志强,林进清,等. 广东大亚湾海洋地质环境与潜在地质灾害[J]. 中国地质,2002,29(3):322~325.  
Li Xujie, Feng Zhiqiang, Lin Jinqing, et al. Marine geological environment and potential geohazards in the Daya Bay off the Guangdong coast[J]. Geology in China, 2002, 29(3):322~325 (in Chinese with English abstract).

## Risk evaluation and precautionary measures for bank slope instability in the hydroelectric project area on the mainstream of the Jinsha River

XU Xian-ning, LI Sheng-wei

(Chengdu Center of Hydrogeology and Engineering Geology, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Chengdu 610081, Sichuan, China)

**Abstract:** On the basis of a full investigation and study and an integrated analysis of the geological setting and rock-mass mechanical environment of the bank slopes of the hydroelectric project area on the mainstream of the Jinsha River and by combining the qualitative analysis with the quantitative evaluation, the authors calculated the instability of the sliding masses according to 1/8 and 1/11 of the total cubic capacity of the materials falling into the river and the surge wave heights at the falling sites as well as at the Xiangjiaba and Xiluodu dam sites and in adjacent townships according to the calculation method of the surge wave diagram given by the American Society of Civil Engineers, made the risk evaluation of the bank slope instability with respect to the operation safety at the dam, safety of the cities and townships around the reservoir and safety of the reservoir operation, and put forward precautionary measures for bank slope instability. The evaluation indicates that the collapse of the soil bank slope, falling of sliding masses into the river and surge waves in the Xiangjiaba and Xiluodu reservoir areas will not affect the normal operation and long-term effectiveness of the reservoirs.

**Key words:** Jinsha River; instability of the sliding mass; cubic capacity of materials falling into the river; surge wave; risk evaluation

**About the first author:** XU Xiang-ning, male, born in 1971, Ph.D candidate, mainly engages in environmental geology and slope and geohazard prevention and control engineering; Email: xuxiangning@263.net.