

文章编号:1009-3087(2013)03-0050-07

利用贡献率分析法研究河道型水库两岸滑坡发育规律

崔玉龙¹,魏进兵^{1,2*},邓建辉¹,陈滔¹,杨宇硕²

(1. 四川大学 水利水电学院,四川 成都 610065;2. 中机三勘岩土工程有限公司,湖北 武汉 430030)

摘要:通过实地调查发现金沙江向家坝段大多数滑坡发育于坝址-新市镇侏罗系地层,且为顺层滑坡,顺层滑坡在水库蓄水后容易复活且顺层岸坡在水库蓄水后容易发生新的滑坡。通过实地调查并借助勘察资料建立该段滑坡数据库,研究坝址-新市镇段不同岩层倾角、不同岸坡结构类型、不同河流弯曲类型对滑坡发育的影响,并且定量统计这3种因数的各种类型分别对滑坡的贡献率。结果表明:层面倾角为 $10^{\circ} \sim 19^{\circ}$ 的岸坡,对滑坡贡献率最高,层面倾角为 $30^{\circ} \sim 34^{\circ}$ 的岸坡对滑坡贡献率最低;缓倾外顺向层状岸坡对滑坡贡献率最高,中倾外顺向层状岸坡对滑坡贡献率最低;河流的凹岸对滑坡贡献率最高,凸岸贡献率最低。所得研究结果与实际情况较为吻合,为水库岸坡危险评价提供量化标准,同时为库区以后的规划建设提供选址依据。

关键词:向家坝库区;岸坡结构;岩层倾角;贡献率;滑坡

中图分类号:TV223

文献标志码:A

Development Law of Landslides in the Either Bank of the Channel Reservoir with the Analysis of Contribution Rate

CUI Yu-long¹, WEI Jin-bing^{1,2*}, DENG Jian-hui¹, CHEN Tao¹, YANG Yu-shuo²

(1. College of Water Resources and Hydropower, Sichuan Univ., Chengdu 610065, China;

2. China Machinery TIDI Geotechnical Eng. Co., Ltd, Wuhan 430030, China)

Abstract: Through field survey, it was found that the great majority of the landslides in Xiangjiaba segment of Jinsha River develop from the dam site to the Xinshi town segment where outcrop Jurassic strata, and most of these landslides are bedding slopes. The bedding landslide is apt to revive and the bedding bank slope is prone to revive after the reservoir impounding. A landslide database was established through field survey and with the help of geotechnical investigation dates. The effect of different dip angles to the development of landslides was studied by the contribution rate method, which is also applied to the bank structure types and river bend types. A quantitative statistic on those three factors was also made to analyze the contribution rate to landslides. The results showed that the dip angles of bedding surface to the maximum contribution rate are between 10° and 19° , the minimal contribution rate is between 30° and 34° . Similar to the dip angles, and the maximum contribution rate is gently dipping outer forward layered bank slope, the minimal contribution rate is medium dipping outer forward layered bank slope. The concave bank of the river has the maximum contribution rate while the convex bank of the river has the minimal one. These results were coincide with the actual situation, which offers a quantitative criteria for evaluating the risk of reservoir bank slope and provides basis for planning and constructing of the reservoir in the future.

Key words: Xiangjiaba reservoir region; bank structure; dip angle of strata; contribution rate; landslide

向家坝水库为一典型的河道型水库,岸线长度 156.6 km,水库两岸侏罗系地层出露长度共约 140 km,出露于坝址至新市镇段。通过调查发现库区 61 个滑坡中有 46 个发育在该地层中^[1],说明该地层为易滑地层。

滑坡发育受多种因数影响,两河口水电站库区滑坡主要发育于中陡-陡倾反向层状结构岸坡及陡倾顺向层状结构斜坡中,地貌上主要位于河谷的凹岸^[2];三峡库区滑坡发生的斜坡坡度以 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 为主,崩塌发生的斜坡坡度多大于 30° ^[3]。分析研究向家坝水库易滑地层滑坡发育规律对评价库岸稳定和预测库岸变形破坏趋势具有重要意义。

作者利用贡献率分析法研究岩层倾角、岸坡结构类型和河流弯曲类型分别对滑坡发育的影响。在此将

收稿日期:2012-10-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51079093);国家重点基础研究发展规划资助项目(2010CB732005)

作者简介:魏进兵(1976—),男,讲师,博士。研究方向:岩土工程监测及数值模拟。

岩层倾角按5°间隔分为7类,将岸坡结构分为6类,将河流歪曲类型分为3类。

贡献率分析法是针对某类影响因数的各种类型研究其对滑坡发育的贡献程度。可以将某一种特定影响因数的各种类型与滑坡发育的关系量化:

$$\text{贡献率} = \text{贡献指数} / \text{贡献总指数} \times 100\% \quad (1)$$

首先根据实地调查和勘察资料建立滑坡数据库,然后利用贡献率分析法分别定量统计岩层倾角、岸坡结构、河流弯曲特征3种影响因数的各种类型对滑坡发育的贡献率,最后建立简化模型从地质力学角度分析呈现这些统计规律的原因。

1 滑坡数据库资料

通过实地调查和查阅勘察报告得出的46处体积在10⁶ m³以上的滑坡建立的数据库,图1为研究区地质及滑坡发育简图。将各层面倾角区间、不同岸坡结构类型、不同河流弯曲类型发育的滑坡进行数量、面积和体积的统计,贡献率分析法相比传统统计方法可以提高分析结果的准确性和可靠性。层面倾角以5°为一个区间,具体倾角分类数值见表1。岸坡结构分类参考报告^[1]见表2,河流弯曲类型如表3所示。

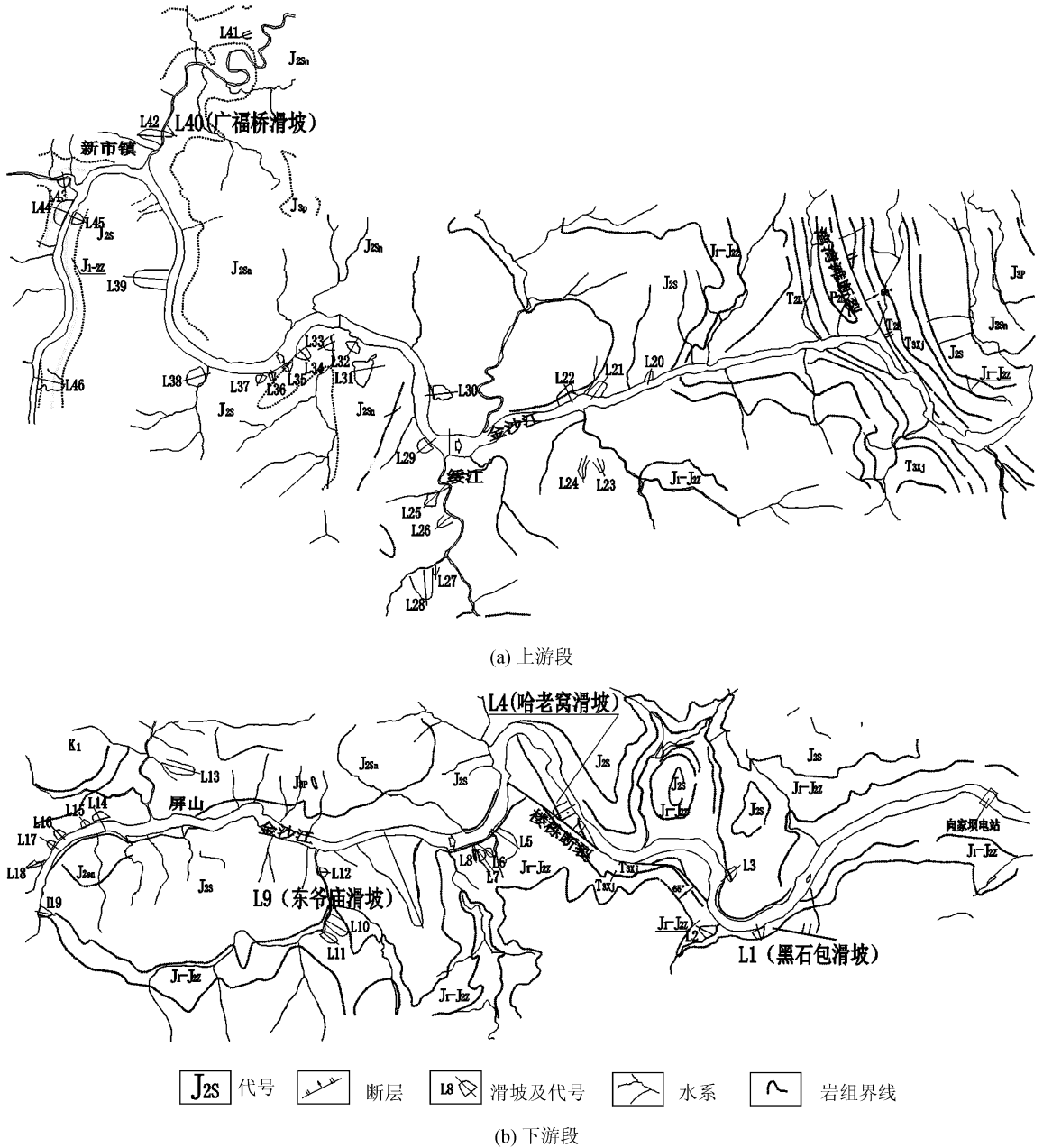


图1 研究区地质及滑坡分布简图

Fig. 1 Geological map and landslide distribution of research area

表1 滑坡的层面倾角区间分类

Tab. 1 Dip angle of landslide classification

编号	角度区间/(°)	编号	角度区间/(°)
q_1	< 10	q_5	25 ~ 29
q_2	10 ~ 14	q_6	30 ~ 34
q_3	15 ~ 19	q_7	> 34
q_4	20 ~ 24		

表2 滑坡的岸坡结构分类

Tab. 2 Bank structure of landslide classification

编号	岸坡类型	岩层倾角	夹角
I	平缓倾外层状岸坡	$\alpha < 10^\circ$	$0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$
II	横向岸坡	$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$60^\circ \leq \beta \leq 120^\circ$
III ₁	缓倾外顺向层状岸坡	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	$0^\circ < \beta \leq 30^\circ$
III ₂	中倾外顺向层状岸坡	$20^\circ < \alpha \leq 45^\circ$	$0^\circ < \beta \leq 30^\circ$
IV ₁	缓倾内逆向层状岸坡	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	$150^\circ < \beta \leq 180^\circ$
IV ₂	中倾内逆向层状岸坡	$20^\circ < \alpha \leq 45^\circ$	$150^\circ < \beta \leq 180^\circ$

注:夹角 β 为岩层倾向与岸坡坡向的夹角。

表4 层面倾角与滑坡数量、面积和体积的关系

Tab. 4 Relation between dip angle and quantity, area and volume of landslides

倾角区间	数量 n_1 /个	数量贡献率 Q_{11} /%	面积 $n_2/(10^4 \text{ m}^2)$	面积贡献率 Q_{12} /%	体积 $n_3/(10^4 \text{ m}^3)$	体积贡献率 Q_{13} /%
q_1	4	8.70	82.53	9.96	2260	11.23
q_2	17	36.96	187.68	22.66	5109	25.39
q_3	13	28.26	448.00	54.08	10080	50.09
q_4	8	17.39	83.16	10.04	1745	8.67
q_5	2	4.35	11.49	1.39	490	2.43
q_6	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00
q_7	2	4.35	15.53	1.87	440	2.19

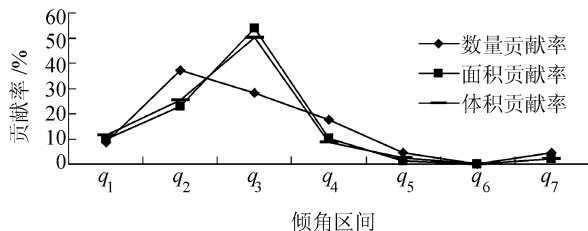


图2 不同层面倾角与贡献率

Fig. 2 Landslides dip angle and contribution rate

利用表2计算不同层面倾角与滑坡数量、滑坡面积、滑坡体积贡献关系,即不同层面倾角滑坡发育的贡献率:

$$Q_{1i} = n_i / N_i \quad (1)$$

式中: Q_{1i} 为不同层面倾角的滑坡数量、滑坡面积、滑坡体积贡献率; n_i 为不同层面倾角发育的滑坡数量、滑坡面积、滑坡体积; N_i 为总的滑坡数量、滑坡面积、滑坡体积($i = 1$ 代表滑坡数量, $i = 2$ 代表滑坡面积, $i = 3$ 代表滑坡体积)。

由表4和图2可知,层面倾角为 $10^\circ \sim 19^\circ$ 之间

表3 滑坡的河流弯曲特征分类

Tab. 3 River bending characteristic of landslide classification

编号	河谷位置
h_1	凹岸
h_2	平直
h_3	凸岸

2 滑坡类型因子的贡献统计

2.1 不同倾角区间贡献率 Q_{1i}

根据对研究区46处滑坡的统计,7个不同倾角区间发育的滑坡数量、滑坡面积和滑坡体积的统计结果见表4。

相应的滑坡贡献率关系曲线见图2。

时,发生滑坡的概率偏高,其数量、面积和体积分别占总数的65.22%、76.74%、75.48%;层面倾角为小于 9° 或大于 20° 时,发生滑坡的概率偏低;当层面倾角大于 35° 时,滑坡的数量、面积和体积均有所反弹。

2.2 不同岸坡类型贡献率 Q_{2i}

根据对研究区46处滑坡的统计,分别对6类岸坡结构类型发育的滑坡数量、滑坡面积和滑坡体积进行统计,统计结果见表5。相应的滑坡贡献率关系曲线见图3。利用表5计算不同岸坡结构类型与滑坡数量、滑坡面积、滑坡体积贡献关系,即不同岸坡结构滑坡发育的贡献率:

$$Q_{2i} = n_i / N_i \quad (2)$$

式中: Q_{2i} 为不同岸坡结构发育的滑坡数量、滑坡面积、滑坡体积贡献率; n_i 为不同岸坡结构发育的滑坡数量、滑坡面积、滑坡体积; N_i 为总的滑坡数量、滑坡面积、滑坡体积($i = 1$ 代表滑坡数量, $i = 2$ 代表滑坡面积, $i = 3$ 代表滑坡体积)。

表5 岸坡类型与滑坡数量、面积和体积的关系

Tab.5 Relation between bank structure and quantity, area and volume of landslides

岸坡结构类型	数量/个	数量贡献率 $Q_{21}/\%$	面积/(10^4 m^2)	面积贡献率 $Q_{22}/\%$	体积/(10^4 m^3)	体积贡献率 $Q_{23}/\%$
I	2	4.35	19.48	2.35	360	1.79
II	12	26.09	79.78	9.63	1778	8.84
III ₁	22	47.83	634.27	76.57	15551	77.28
III ₂	2	4.35	6.00	0.72	260	1.29
IV ₁	4	8.70	23.52	2.84	540	2.68
IV ₂	4	8.70	65.34	7.89	1635	8.12

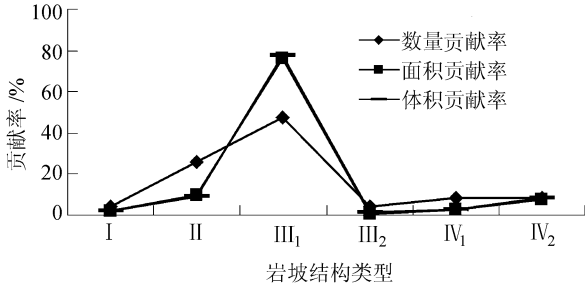


图3 不同岸坡结构类型与贡献率

Fig.3 Bank structure and contribution rate

表6 河流弯曲类型与滑坡数量、面积和体积的关系

Tab.6 Relation between river bending types and quantity, area and volume of landslides

河流弯曲特征	数量/个	数量贡献率 $Q_{13}/\%$	面积/(10^4 m^2)	面积贡献率 $Q_{23}/\%$	体积/(10^4 m^3)	体积贡献率 $Q_{33}/\%$
h_1	16	59.26	162.20	55.49	3 843	55.86
h_2	11	40.74	130.10	44.56	3 037	44.14
h_3	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00

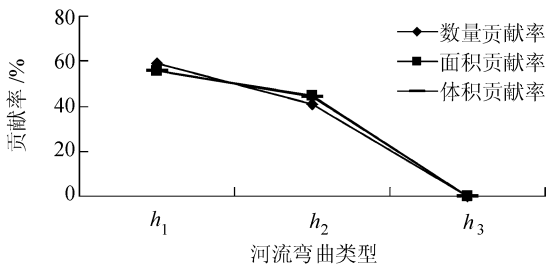


图4 不同河流弯曲类型与贡献率

Fig.4 River bending and contribution rate

利用表6计算河流弯曲类型处发育的滑坡数量、滑坡面积、滑坡体积贡献关系,即不同河流弯曲类型对滑坡发育的贡献率:

$$Q_{3i} = n_i / N_i \quad (3)$$

式中: Q_{3i} 为不同河流弯曲类型的滑坡数量、滑坡面积、滑坡体积贡献率; n_i 为不同岸坡结构发育的滑坡数量、滑坡面积、滑坡体积; N_i 为总的滑坡数量、滑坡面积、滑坡体积($i = 1$ 代表滑坡数量, $i = 2$ 代表滑坡面积, $i = 3$ 代表滑坡体积)。

由表6和图4可知,河流凹岸处发生滑坡的概率偏高,其数量、面积和体积分别占总数的

59.26%、55.49%、55.86%;平直河段发生的滑坡概率其次,且凸岸未发育有滑坡。

2.3 不同河流弯曲类型贡献率 Q_{3i}

分别对干流上27处滑坡的3种河流弯曲类型处发育的滑坡数量、滑坡面积和滑坡体积进行统计,统计结果见表6。相应的滑坡贡献率关系曲线见图4。

3 滑坡类型综合贡献率计算

通过对7类层面倾角区间对滑坡贡献率的统计,参考图2中贡献率大小关系,采用叠加组合方法,就得到不同层面倾角对滑坡的综合贡献率^[5-7]。同理可得不同岸坡结构类型和不同河流弯曲类型对滑坡的综合贡献率。

通过对7类层面倾角区间对滑坡贡献率的统计,参考图2中贡献率大小关系,采用叠加组合方法,就得到不同层面倾角对滑坡的综合贡献率^[5-7]。同理可得不同岸坡结构类型和不同河流弯曲类型对滑坡的综合贡献率。

3.1 赋值方法

按贡献率大小从高到低依次进行赋值,赋值间隔为1^[8],可得不同层面倾角滑坡贡献率赋值(表7)。同理得表8和9。

3.2 叠加统计

采用求均值的方法对表7中 $Q_{11} \sim Q_{13}$ 的同一区间倾角滑坡贡献值进行叠加统计,得出综合贡献指数^[5]:

$$Q(q_i) = \frac{1}{3} [q_i(n) + q_i(v) + q_i(s)] \quad (4)$$

式中: $Q(q_i)$ 为 q_i 的滑坡综合贡献指数; $q_i(n)$ 、 $q_i(v)$ 、 $q_i(s)$ 分别为倾角区间按照滑坡数量贡献率、滑坡面积贡献率、滑坡体积贡献率所得的赋值。

表7 各贡献率的倾角区间赋值

Tab.7 Assignment for different strata dips

各贡献率的倾角区间			赋值
Q_{11}	Q_{12}	Q_{13}	
q_2	q_3	q_3	7
q_3	q_2	q_2	6
q_4	q_4	q_1	5
q_1	q_1	q_4	4
q_5	q_7	q_5	3
q_7	q_5	q_7	2
q_6	q_6	q_6	1

表8 各贡献率的岸坡类型赋值

Tab.1 Assignment for different bank structures

各贡献率的岸坡类型			赋值
Q_{21}	Q_{22}	Q_{23}	
III ₁	III ₁	III ₁	6
II	II	II	5
IV ₁	IV ₂	IV ₂	4
IV ₂	IV ₁	IV ₁	3
I	I	I	2
III ₂	III ₂	III ₂	1

表9 各贡献率的河流弯曲特征赋值

Tab.9 Assignment for curve forms of the river

各贡献率的河流弯曲特征			赋值
Q_{31}	Q_{32}	Q_{33}	
h_1	h_1	h_1	3
h_2	h_2	h_2	2
h_3	h_3	h_3	1

由式(4)得出:

$$Q(q_1) = 4.33, Q(q_2) = 6.33, Q(q_3) = 6.67, Q(q_4) = 4.67, Q(q_5) = 2.67, Q(q_6) = 1.00, Q(q_7) = 2.33。$$

同理可得不同岸坡结构类型和不同河流弯曲类型的滑坡综合贡献指数:

$$Q(\text{I}) = 2, Q(\text{II}) = 5, Q(\text{III}_1) = 6, Q(\text{III}_2) = 1, Q(\text{IV}_1) = 3.33, Q(\text{IV}_2) = 3.67; Q(h_1) = 3, Q(h_2) = 2, Q(h_3) = 1。$$

3.3 贡献率分析

根据已得出的各层面倾角区间滑坡的综合贡献指数,对滑坡的综合贡献率进行计算^[3]:

$$Q_0(q_i) = \sum_{i=1}^7 Q(q_i) / M \times 100\% \quad (5)$$

式中, $Q_0(q_i)$ 为各层面倾角区间的综合贡献率。

由式(5)得出:

$$Q_0(q_1) = 15.48\%, Q_0(q_2) = 22.62\%, Q_0(q_3) = 23.81\%, Q_0(q_4) = 16.67\%, Q_0(q_5) = 9.52\%, Q_0(q_6) = 3.57\%, Q_0(q_7) = 8.33\%。$$

同理可得各岸坡结构类型和各种河流弯曲类型的综合贡献率:

$$Q_0(\text{I}) = 9.52\%, Q_0(\text{II}) = 23.81\%, Q_0(\text{III}_1) = 28.57\%, Q_0(\text{III}_2) = 4.76\%, Q_0(\text{IV}_1) = 15.86\%, Q_0(\text{IV}_2) = 17.26\%; Q_0(h_1) = 50\%, Q_0(h_2) = 33.3\%, Q_0(h_3) = 16.67\%。$$

由此得出各层面倾角综合贡献率如图5所示,各种岸坡结构类型综合贡献率如图6所示,各种河流弯曲类型综合贡献率如图7所示。

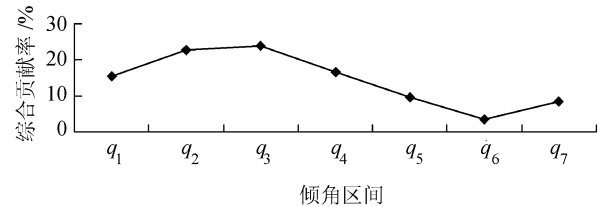


图5 不同层面倾角对滑坡发育的综合贡献率

Fig.5 Synthesis contribution rate to landslides growth of dip angle

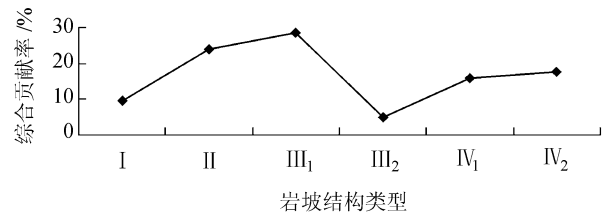


图6 不同岸坡结构滑坡发育的综合贡献率

Fig.6 Synthesis contribution rate to landslides growth of bank structure

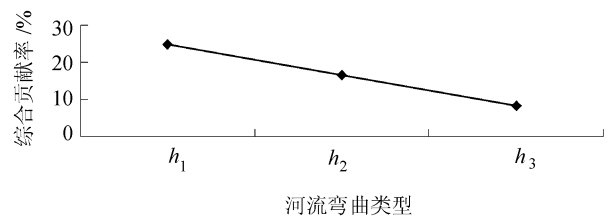


图7 不同河流弯曲类型对滑坡发育的综合贡献率

Fig.7 Synthesis contribution rate to landslides growth of river bending types

4 地质力学分析

从统计结果来看,河流凹岸容易发生滑坡,这是

因为处于河流凹岸的边坡前缘受侵蚀失去支撑,对于整个边坡来讲,阻滑力下降,同时该区域岸坡会形成一组平行河流走向的卸荷节理,该组节理常常控制滑坡的后壁。长期的侵蚀会造成顺向岸坡发生顺层滑坡,如哈老窝滑坡(L4);逆向岸坡也可能发生受该组卸荷节理控制的切层滑坡如黑石包滑坡(L1)。

从统计结果来看 10°~19° 倾角的层状岸坡和缓倾外顺向层状岸坡对滑坡的综合贡献率最大。通过现场调查和部分勘察发现该区域顺层滑坡的滑带主要发育在层状泥岩与砂岩交界面或薄层状泥岩中,发育滑带的岩层常见层间剪切现象。李守定^[9]将大型基岩顺层滑坡的滑带演化过程分为3个阶段:原生软岩、层间剪切带和滑带,演化过程为:原生岩组在构造应力或重力作用下发生应力集中,产生小变形,转化为层间剪切带,层间剪切带结构进一步发生破坏,发生大变形产生滑动位移,剪切带转化为滑带,对于斜坡来讲,发生了滑坡。由此可见:层间剪切作用越强,原始岸坡演化成滑坡的速度越快,发

生滑坡的概率越大。层间剪切作用受构造应力和重力作用共同影响,对于小范围区域内不同倾角的原始岸坡,主要考虑重力作用的差异。河流侵蚀作用越强烈,层状岩层前缘失去支撑,在重力作用下层间剪切作用越强烈,越容易发生滑坡。图8为简化的层状岸坡模型,对于倾角分别为近水平、15°、35°和40°的层状岸坡来说,近水平岩层在重力作用下下滑力最小,最不易发生滑坡;当岩层倾角为15°时,在重力作用下岸坡经历长期蠕变后发生剪切变形,受强降雨或地震作用下容易发生滑坡且体积较大,如东爷庙滑坡(L9),这类滑坡数量最多,体积最大;当倾角为35°时,岸坡同样会在重力作用下孕育层间剪切带并最终发展为滑带,这类滑坡体积最小,保留下来的滑坡残体最少,滑坡数量最少;当倾角为40°时岸坡已经不易形成层间剪切带,但是在重力作用下无论是顺向坡还是逆向坡岩层均可能被“剪断”,发生切层滑坡,如广福桥滑坡(L40),这类滑坡数量和滑带体积有所反弹。分析结果与统计结果是一致的。

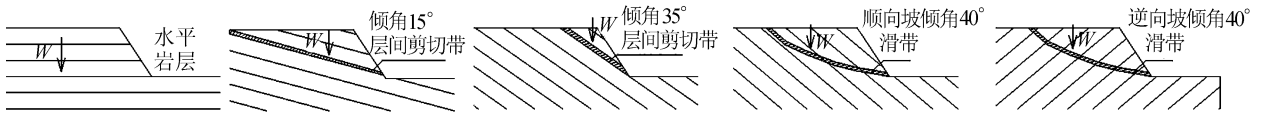


图8 不同倾角层状岸坡滑坡形成过程简图

Fig. 5 Diagram of landslide formation process within layered bank

5 结论与建议

1)通过分析研究表明:层面倾角为9°~20°的坡体,滑坡贡献率程度最高,其滑坡数量、滑带面积和滑带体积分别占总数的65.22%、76.74%、75.48%,综合贡献率达46.43%,是研究区滑坡最为发育的倾角区间;缓倾外顺向层状岸坡(Ⅲ₁)是滑坡最为发育的岸坡结构类型,其滑坡数量、滑带面积和滑带体积分别占总数的47.83%、76.57%、77.28%,综合贡献率达28.57%,是研究区滑坡最为发育的岸坡结构;凹岸是滑坡最为发育的河流弯曲类型,其滑坡数量、滑带面积和滑带体积分别占总数的59.26%、55.49%、55.86%,综合贡献率达50%。

2)所用滑坡数据库建立在实地调查与勘察的基础上,相比GIS解译方法具有较高可靠性。作为1种信息数据处理方法,是定性定量相结合的广义最优化分析方法^[4],利用贡献率法分析岩层倾角、岸坡结构类型和河流弯曲类型3种影响因数的各种类型对滑坡的贡献率,为水库岸坡危险度评价提供

重要依据。

基于以上结论,向家坝水电站在蓄水及运行期间,尤其要重视缓倾角顺层岸坡的稳定状况。

参考文献:

- [1] Shichuan University. Comprehensive research report of reservoir bank stability, Xiangjiaba Hydropower Station [R]. Chengdu: College of Water Resources and Hydropower, Sichuan University, 2012. [四川大学.金沙江向家坝水电站库岸稳定性综合研究报告[R].成都:四川大学水利水电学院,2012.]
- [2] Shen Junhui, Gong Manfu, Liao Mingliang, et al. Development regularity of landslides in Yalong River reservoir area of Lianghekou hydropower station[J]. Hydrogeology and Engineering geology, 2007(4): 6-9. [沈军辉, 巩满福, 廖明亮, 等. 两河口水电站雅砻江主库区滑坡发育规律[J]. 水文地质工程地质, 2007(4): 6-9.]
- [3] Cai Bin, Chen Bo, Wei Lunwu, et al. Preliminary study on the laws of the development of landslides and collapse in the

- reservoir area of the Three Gorges Project [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1988(2): 17 - 24. [蔡彬, 陈波, 魏伦武, 等. 三峡库区崩塌滑坡发育规律初探[J]. 水土保持通报, 1988(2): 17 - 24.]
- [4] Zhongnan Hydropower Investigation, Design and Research Institute. Engineering geological investigation report of the reservoir, Xiangjiaba hydropower station [R]. Changsha: Zhongnan Hydropower Investigation, Design and Research Institute, 2003. [中国水电顾问集团中南勘测设计研究院. 金沙江向家坝水电站水库工程地质勘查报告[R]. 长沙: 中国水电顾问集团中南勘测设计研究院, 2003.]
- [5] Cheng Yonggang, Wang Yufeng. Research on contribution rate for dip angle of bedding andslide [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(12): 3708 - 3712. [成永刚, 王玉峰. 层面倾角对顺层岩质滑坡贡献率研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(12): 3708 - 3712.]
- [6] Qiao Jianping, Zhu Axing, Wu Caiyan, et al. Bottom factors applied to the zoning study of the risk levels of landslides in Three Gorges Reservoir Area [J]. Journal of Mountain Science, 2006, 24(5): 569 - 573. [乔建平, 朱阿兴, 吴彩燕, 等. 采用本底因子贡献率法的三峡库区滑坡危险度区划[J]. 山地学报, 2006, 24(5): 569 - 573.]
- [7] Qiao Jianping, Wu Caiyan. The influence of relative elevation on landslide occurrence within Yunyang-Wushan section in the Three Gorges Reservoir Region [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 16(4): 16 - 19. [乔建平, 吴彩燕. 三峡水库区云阳 - 巫山段斜坡高差因素对滑坡发育的贡献率研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(4): 16 - 19.]
- [8] Qiao jianping, Wu Caiyan, Tian Hongling. Contribution rate research of stratum to landslide growth of Yunyang-Wushan segment in the Three Gorges Reservoir Region [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(17): 2920 - 2924. [乔建平, 吴彩燕, 田宏岭. 三峡库区云阳 - 巫山段地层因素对滑坡发育的贡献率研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(17): 2920 - 2924.]
- [9] Lee Souding, Li Xiao, Wu Jiang, et al. Evolution process and pattern of sliding zone in large consequent bedding rock landslide [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(12): 2473 - 2480. [李守定, 李晓, 吴疆, 等. 大型基岩顺层滑坡滑带形成演化过程与模式[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(12): 2473 - 2480.]

(编辑 陈晓红)