

文章编号:1000-582X(2006)07-0128-06

金沙江宜宾—白鹤滩段岸坡类型与稳定性*

徐志文^{1,2},许向宁³,黄润秋²

(1. 成都理工大学 地质灾害防治国家专业实验室,四川成都 610059;

2. 四川省 国土资源厅地质环境处,四川成都 610072;

3. 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:在现场调研和深入研究宜宾—白鹤滩段岸坡地质背景和岩体力学环境条件的基础上,根据岸坡岩土体的结构特征和地形特征,将金沙江宜宾—白鹤滩段约410 km长的沿江地带岸坡类型划分为4个大类9个亚类9个小类,并详细阐述了各类岸坡发育分布特征与稳定性状况。结果表明,顺向等倾岸坡和斜向倾内层状岸坡是滑坡的易发地段,而崩塌则在陡倾内层状和斜向倾内层状岸坡中最易发生;变形体主要集中发育于平缓倾内层状岸坡和中—陡倾外层状岸坡。研究结果对金沙江宜宾—白鹤滩段岸坡稳定性评价和岸坡失稳的预测和防治具有重要的实际应用价值,可为“西电东送”重点工程区岸坡失稳的预测和防治提供了科学的地质依据。

关键词:金沙江;岩土体结构;岸坡类型;稳定性

中图分类号:P64

文献标识码:A

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 0.89×10^8 kW,年发电量 5000×10^8 kW·h,占长江流域的一半和全国可开发量的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 819.7×10^8 m³,规划装机容量 5343×10^4 kW,发电 2746.8×10^8 kW·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减沙作用,减少三峡库尾段泥沙的淤积,使三峡枢纽发挥更大的经济效益和社会效益。因此,有必要开展岸坡类型划分研究,评价岸坡稳定性,为岸坡失稳的预测和防治提供科学的地质依据^[1-2]。

1 岸坡地质环境概况

研究区地处云贵高原与四川盆地两大地貌单元所接壤的大凉山向川中盆地过渡地段,山高谷深,地形陡峻,河谷狭窄,悬崖绝壁多见,河谷均为“V”型谷,江面宽50~300 m不等,局部绥江、屏山河段较开阔。地貌

主要为构造侵蚀与剥蚀高山、高中山、中山与构造侵蚀、溶蚀高中山,绥江以东下游以构造侵蚀低山为主体,沿河谷零星不连续分布侵蚀堆积阶地、洪积扇地貌。区内地层除石炭系,第三系缺失外,其余地层均有出露。构造上地处扬子台褶带与四川台拗的接合地区,主要以北东向的阿则背斜,互岗向斜,勺寨向斜,黄泥坡背斜,石板滩背斜,马鞍山向斜,石成山向斜,墙背斜与五角堡—楼东背斜等褶皱形成岸坡的构造格架,南北向褶皱仅沿新市镇至永善地段有出露,但以断裂为主,如楔子坝断裂,关村断裂以近南北向发育。

区内降雨丰沛,年平均降雨量796~1290 mm,但上游至下游河谷地带降水量从巧家的796.4 mm,逐渐增大至宜宾的1164.8 mm,降水日数在120 d以上;平均降水天数从巧家的107.8 d,到下游屏山、水富两地分别达到167 d和176 d,一次降雨过程,一般为3~5 d,甚至更长,并以暴雨或特大暴雨为多;一日最大降雨量一般均在100 mm以上,下游河段的屏山、水富、宜宾等地则超过200 mm。降雨在各地和河谷地段年内

* 收稿日期:2006-03-02

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90102002)

作者简介:徐志文(1966-),男,山东蓬莱人,成都理工大学高级工程师,硕士,主要从事地质环境管理及科研工作的研究。

分布不均,极不平衡,大部分降雨集中在 5—10 月,其降雨量约占全年降雨量 80%~90%。

据地震和前人资料,地震带地震具有频率高、强度大、带状分布的特点,沿岸坡南部的巧家—莲峰山—华盖山断裂带具新活动性,并先后在宜宾、高县等地发生过 5~5.5 级地震,特别在该断裂带与北北西向关村和中村断裂带交汇的盐津地区,于 1976 年发生于 7.1 级强烈地震,近年来弱震活动也持续不断^[2]。

2 岸坡类型划分

为体现岸坡的稳定性差异和变形破坏的基本型式,反映岸坡的岩体性质、结构特征和发育阶段,拟分别以组成岸坡的工程地质岩类、结构和横向支撑条件作为岸坡类型划分的主要原则。

一般来说,对库岸的稳定性和演化机制起控制作用的是岸坡的物质组成和结构特征,据此,首先对岸坡可划分为土质岸坡和岩质岸坡 2 类,然后在上述 2 种类型中按照组成岸坡岩土工程地质类型、岩层产状及其与岸坡角关系进一步划分若干亚类^[3-5]。

2.1 大类划分

按照组成岸坡的岩土体的工程地质类型,将岸坡划分为 4 类:

1) 土质岸坡(I); 2) 碎屑岩岸坡(II); 3) 碳酸盐岩岸坡(III); 4) 结晶岩变质岩岸坡(IV)。

2.2 亚类划分

根据岸坡岩土体的结构,将各大类型划分为若干亚类型。

1) 土质类型可分为:

① 冲积砂砾石土质岸坡(I₁); ② 崩滑堆积碎块石土质岸坡(I₂)。

2) 碎屑岩和碳酸盐岩岸坡按贯通性断面(层面或不整合面)倾角与坡面倾向间的关系划分为:

① 顺向岸坡,岩层倾向与坡向交角 $\leq 30^\circ$ (II₁、III₁);

② 反向岸坡,岩层倾向与坡向交角 $\geq 150^\circ$ (II₂、III₂);

③ 横向岸坡,岩层倾向与坡向交角 $60^\circ \sim 120^\circ$ (II₃、III₃);

④ 斜向岸坡,岩层倾向与坡向交角在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 或 $120^\circ \sim 150^\circ$ 之间 (II₄、III₄);

⑤ 平缓层状岸坡,岩层倾角 $\alpha < 10^\circ$ (II₅、III₅);

3) 岩浆岩变质岩岸坡(IV)划分为:

① 岩浆岩岸坡(IV₁); ② 变质岩岸坡(IV₂)

2.3 小类划分

通过调查发现,在稳定性差的顺向坡中,存在着大量稳定性好或较好的岸段。与之相反,在从前认为稳定性好的反向坡中,同样存在一些稳定性差的实例。因此,对此类岸坡有必要进行小类划分。

1) 顺向坡小类划分

为了能同时反映岩体结构与坡形特征,表现结构面组合与临空面的关系,故按坡角(S)与贯通性断面倾角(I)比值,以及贯通性断面倾角与其易滑倾角(ϕ_c ,简称易滑角)或易崩塌的岩层倾角(ϕ_t ,简称易崩角)之间的关系将顺向坡再分成:

① 伏倾坡(II₁₁、III₁₁),其 $S/I < 1; I < \phi_t$ (图 1)^[5];

② 陡立伏倾坡(II₂₁、III₂₁),其 $S/I < 1; I \geq \phi_t$ (图 2)^[5];

③ 缓倾角等倾坡(II₃₁、III₃₁),其 $S/I \approx 1, I < \phi_t$ (图 3)^[5];

④ 陡倾角等倾坡(II₄₁、III₄₁),其 $S/I \approx 1, I \geq \phi_t$ (图 4)^[5];

⑤ 缓倾角超倾坡(II₅₁、III₅₁),其 $S/I > 1, I < \phi_t$ (图 5)^[5];

⑥ 陡倾角超倾坡(II₆₁、III₆₁),其 $S/I > 1, I \geq \phi_t$ (图 6)^[5];

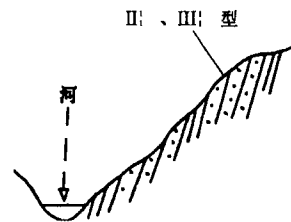


图 1 伏倾坡

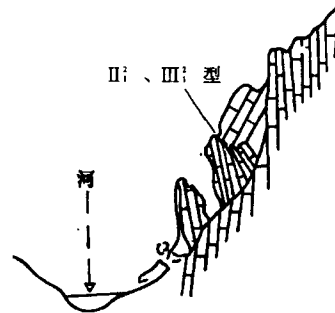


图 2 陡立伏倾坡

2) 反向坡小类划分

① 完整性好或倾角较缓的反向坡(II₁₁、III₁₁);

② 具有软弱底座或倾角较陡的反向坡(II₂₁、III₂₁)。

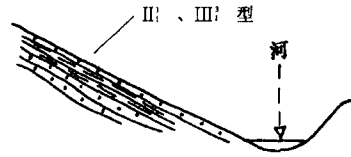


图3 缓倾角等倾坡

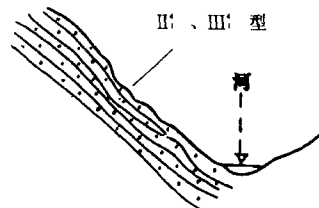


图4 陡倾角倾坡

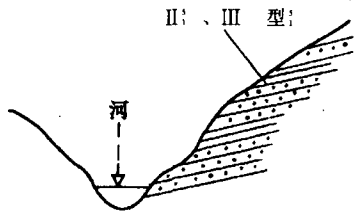


图5 缓倾角超倾坡

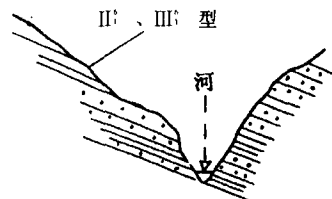


图6 陡倾角超倾坡

3 各类岸坡发育分布特征与稳定性状况

按上述划分原则,将宜宾—白鹤滩段岸坡划分为4个大类9个亚类9个小类区145段,其中左岸有76

段,右岸有69段,各类岸坡发育分布特征与稳定性状况见图7和表1,并分述如下:

表1 岸坡类型及稳定性汇总表

岸坡类型	岸段长/km			占岸坡总长百分比/%	崩塌平均单体规模/ $10^4 m^3$	崩塌密度个·km $^{-1}$	崩塌模数/ $10^4 \cdot km^{-1}$	主要破坏型式	稳定性综合评价		备注	
	总长	左岸	右岸						现状	蓄水后		
I	I ₁	19.64	—	19.64	2.05	119.36	0.15	18.23	滑坡	好	好	
	I ₂	44.48	5.08	39.4	4.63	4 372.64	0.25	1 081.36	滑坡	好-较好	较好	
II ₁	II ₁ ¹	8.87	8.87	—	0.92	1 675.00	0.23	377.68	滑坡	较好	较好	
	II ₁ ³	17.11	17.11	—	1.78	8 849.83	0.23	2 068.92	滑坡	较好-差	差	
	II ₁ ⁴	4.48	4.48	—	0.47	2 347.30	1.34	3 143.49	滑坡、崩塌	差	差	
	II ₁ ⁵	9.92	5.12	4.80	1.03	102.59	0.30	0.38	滑坡、崩塌	好-较好	较好	
	II ₁ ⁶	15.76	9.86	5.90	1.64	101.4	0.32	32.17	滑坡、崩塌	较好-差	差	支流15.76
	II ₂	II ₂ ¹	75.78	72.06	3.72	7.90	425.48	0.42	179.67	滑坡、崩塌	好-较好	好-较好
	II ₂ ²	21.57	—	21.57	2.25	62.61	0.19	11.61	滑坡	较好	较好	
II ₂	II ₂ ³	69.74	20.19	49.55	7.27	661.28	0.30	199.12	滑坡、崩塌	好	好-较好	支流10.36
	II ₂ ⁴	93.38	43.53	49.85	9.73	423.34	0.26	108.80	滑坡、崩塌	较好较好	-较差	支流20.07
	II ₂ ⁵	27.85	6.85	21.00	2.90	510.0	0.57	293.02	崩塌、扩离	好-较好	好-较好	支流1.99
III ₁	III ₁ ¹	8.58	—	8.58	0.89	878.90	0.47	409.74	滑坡、崩塌	好	好	
	III ₁ ²	25.75	6.41	19.34	2.68	586.68	0.43	250.62	崩塌	较差	较差	
	III ₁ ³	5.52	—	5.52	0.58	—	—	—	—	较差	较差	
	III ₁ ⁴	5.05	—	5.05	0.53	2.3	0.20	0.46	滑坡	较好	较好	
	III ₁ ⁵	22.05	19.79	2.26	2.30	1 580.87	0.73	1 147.12	滑坡、崩塌	较好-较差	较差	支流11.96
	III ₁ ⁶	17.41	—	17.41	1.81	74.16	0.46	34.08	崩塌	较好	较差	
III ₂	III ₂ ¹	85.49	26.56	58.93	8.91	753.66	0.39	290.92	滑坡、崩塌	好-较好	较好	支流5.92
	III ₂ ²	77.12	40.61	36.51	8.04	378.10	0.39	147.08	滑坡、崩塌	好-较好	较好	支流1.74
III ₃	167.09	116.17	50.92	17.41	770.05	0.32	248.86	滑坡、崩塌	较好-较差	较差		
III ₄	18.05	28.92	19.13	5.01	943.76	0.62	589.24	崩塌、滑坡	较好	较好	支流3.63	
III ₅	19.48	14.44	5.04	2.03	763.06	0.41	313.37	崩塌	较好较好	-较差		
IV ₁	36.38	9.29	27.09	3.80	97.67	0.30	29.53	滑坡、崩塌	好	好		
IV ₂	33.17	16.24	16.93	3.46	60.17	0.33	19.95	崩塌	较好较好	-较差		

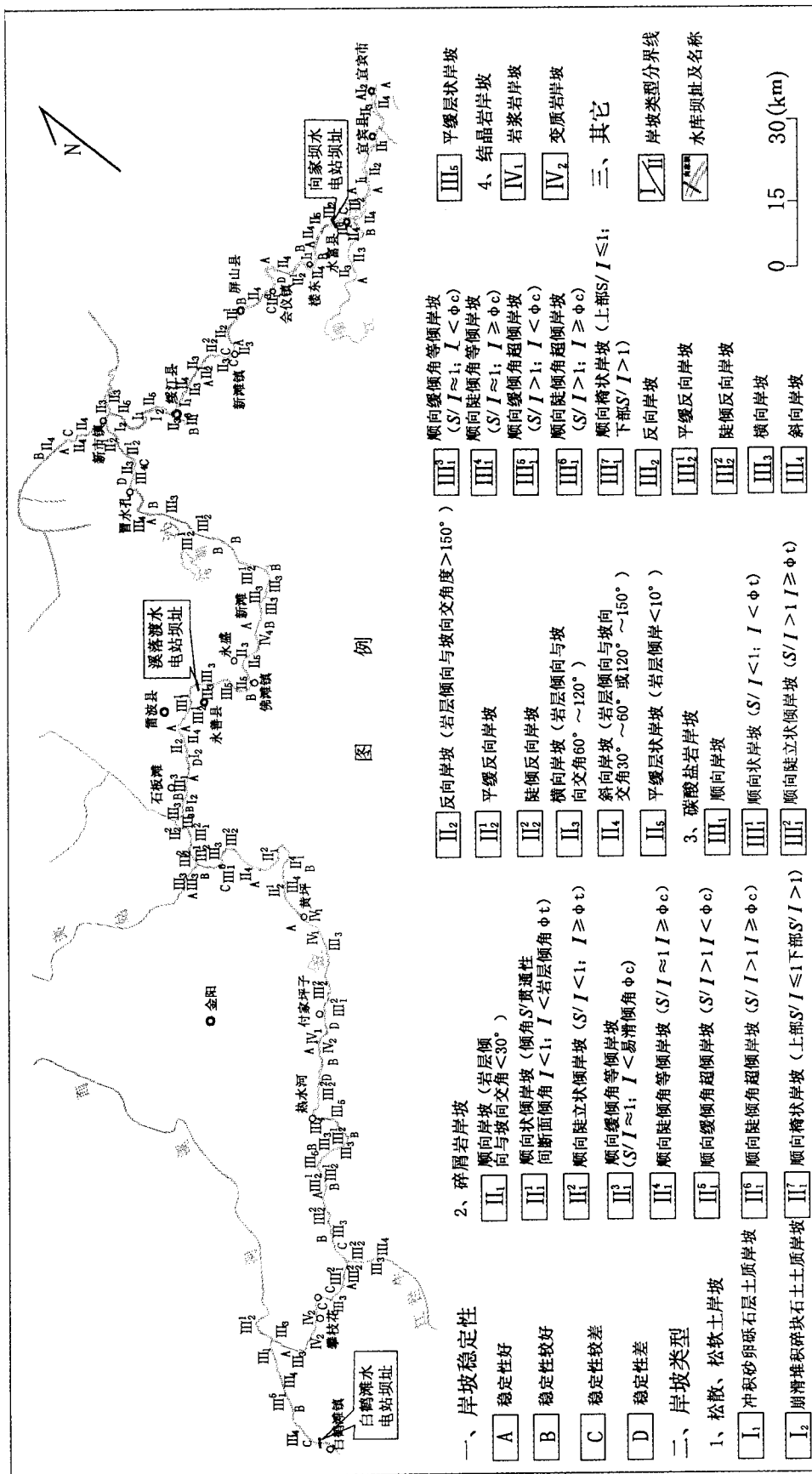


图7 岸坡类型划分与稳定性分界线图

3.1 土质岸坡(I)

1) 冲积砂砾石土质岸坡(I₁);

此类岸坡结构松散,主要为冲积成因,具二元结构,仅分布在金沙江下游新市镇以下宜宾县城、水富县城、凤来寺、楼东及绥江县城等一带的I、II级阶地,共有7段,长19.64 km,占岸坡总长的2.05%,崩滑体密度和崩滑模数分别为0.15个/km和 $18.23 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性好。

2) 崩滑堆积碎块石土质岸坡(I₂)

此类岸坡主要为崩积、坡积成因,除宜宾段分布在金沙江左岸外,其余的均分布在右岸的珍珠坝、吴家田坝、青龙咀,大井坝等地段,共有4段,长44.48 km,占岸坡总长的4.63%,滑坡比较发育,崩滑体密度和崩滑模数分别为0.25个/km和 $1081.36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,但滑坡能量一般都释放殆尽,稳定性总体好—较好。

3.2 碎屑岩和碳酸盐岩岸坡(II、III)

1) 顺向岸坡(II₁、III₁)

① 伏倾坡(III₁₁)

这类岸坡只有2段,分布在右岸的黄坪溪—五星店段和左岸的跑马坪—油坊沟段,岸线总长17.48 km,占岸坡总长的1.81%,崩滑体密度和崩滑模数分别为0.35个/km和 $393.71 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性总体好—较好。

② 陡立伏倾坡(II₂₁)

这类岸坡共有3段,分布在右岸的甘田坝—河口段和捏池—野猪堂段,左岸的系米沱—对坪镇段,岸线总长25.75 km,占岸坡总长的2.68%,崩滑体密度和崩滑模数分别为0.43个/km和 $250.62 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性较差。

③ 缓倾角等倾坡(II₃₁、III₃₁)

这类岸坡共有3段,分布在右岸的火盆地—会议镇段和黄华镇一带,左岸的石板滩一带,岸线总长22.63 km,占岸坡总长的2.36%,崩滑体密度和崩滑模数分别为0.23个/km和 $2068.92 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性较好—较差。

④ 陡倾角等倾坡(II₄₁、III₄₁)

这类岸坡仅有2段,分布在右岸的甘田坝—沙河段和棉纱公社对岸一带,岸线总长9.53 km,占岸坡总长的1.0%,崩滑体密度和崩滑模数平均分别为0.77个/km和 $1571.98 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性较差—差。

⑤ 缓倾角超倾坡(II₅₁、III₅₁)

这类岸坡共有7段,分布在宜宾县城和邓厂右岸、左岸的柏溪镇、尼打莫、冯家坪一带,(横江)支流的高

滩坝—开口村段,淞溪镇—油坊沟段,岸线总长31.97 km,占岸坡总长的3.45%,崩滑体密度和崩滑模数分别为0.39个/km和 $573.75 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性较好—较差。

⑥ 陡倾角超倾坡(II₆₁、III₆₁)

这类岸坡共有3段,分布在左岸的补—勒坚—瓦拉波段和大河坝—热水河段,支流田坝子右岸,岸线总长33.17 km,占岸坡总长的2.68%,崩滑体密度和崩滑模数分别为0.43个/km和 $33.13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性较好—差^[6]。

2) 反向岸坡(II₂、III₂)

① 完整性好或倾角较缓的反向坡(II₁₂、III₁₂)

这类岸坡在溪洛渡库区主要分布在右岸的老元堡—马鞍山段和左岸的老渡口—司莫坪段和马达年—沙河段;在向家坝库区主要相对较广,分布在桧溪镇—水皇坝两岸,付家坝—新市镇两岸,右岸的邵家坪—箭头山段、渡口上一千秋旁和干沟头—黑林子段等。岸线总长161.27 km,占岸坡总长的16.81%,崩滑体密度和崩滑模数分别为0.40个/km和 $235.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性总体为好—较好。

② 具有软弱底座或倾角较陡的反向坡(II₂₂、III₂₂)

这类岸坡主要分布在溪洛渡库区右岸的鹦哥坪子、杨家湾—青杠坪段,左岸的麻柳坪—王家屋基段、下洗马溪—瓦拉坡段,以及小田公社两岸等;在向家坝库区未有分布。岸线总长98.69 km,占岸坡总长的10.29%,崩滑体密度和崩滑模数分别为0.29个/km和 $79.35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性总体较好。

3) 横向岸坡(II₃、III₃)

这类岸坡分布较广,岸线总长236.83 km,占岸坡总长的24.68%,干流的左右两岸和支流均有分布,岸线分布比较长的有右岸的新滩镇—枝子铺段、黄毛坝、小毛滩—火烧湾、干海子—二坪子段等和左岸的安边—灯盏窝段、新市镇—凤来庄、冒水孔—石灰窑段、青岗堡—大坪子段等。崩滑体密度和崩滑模数分别为0.31个/km和 $223.99 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性总体为较好—较差。

4) 斜向岸坡(II₄、III₄)

这类岸坡除在白鹤滩电站坝址两岸有分布外,其余主要分布在绥江以下地段,岸线分布比较长的有右岸的大湾—黄毛坝段、安家村段等和左岸的蛮溪口—下田坝段、屏山县城段等。岸线总长141.43 km,占岸坡总长的14.74%,崩滑体密度和崩滑模数分别为0.44个/km和 $349.02 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性总体为较好。

5) 平缓层状岸坡(Ⅱ₅、Ⅲ₅)

这类岸坡共有7段,分布在左岸的灯盏窝—新庙子段、大河坝对岸、老鸦山、麻地湾,右岸的黄龙滩—佛滩段、码口—新民段、马颈子对岸等,岸线总长47.33 km,占岸坡总长的4.93%,崩滑体密度和崩滑模数分别为0.49个/km和 $303.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性较好。

3.2 岩浆岩变质岩岸坡(Ⅳ)

1) 岩浆岩岸坡(Ⅳ₁)

这类岸坡共有3段,仅分布在溪洛渡坝址—鲁机一带,如左岸的月亮田、右岸的黄坪—大石包段,岸线总长36.38 km,占岸坡总长的3.8%,崩滑体密度和崩滑模数分别为0.3个/km和 $29.53 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性好。

2) 变质岩岸坡(Ⅳ₂)

这类岸坡仅分布在向家坝库区左岸的饶家屋基段和白鹤滩库区近坝段的鱼坝—莲花池两岸,岸线总长33.17 km,占岸坡总长的3.46%,崩滑体密度和崩滑模数分别为0.33个/km和 $19.95 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}$,稳定性较好。

4 结 语

笔者是在中国地质调查局下达的金沙江干流主要环境地质问题调查项目成果基础上整理形成此文的。在历时一年的详细现场调研、充分掌握第一手资料和深入研究宜宾—白鹤滩段岸坡地质背景和岩体力学环境条件的基础上,将金沙江—白鹤滩段约410 km长的沿江地带岸坡类型划分为4个大类9个亚类9个小

类,并详细阐述了各类岸坡发育分布特征与稳定性状况,为“西电东送”重点工程区(金沙江宜宾—白鹤滩段)岸坡失稳的预测和防治提供了科学的地质依据。另外经统计发现,平缓—中陡顺向层状岸坡(Ⅱ₁、Ⅲ₁)和斜向倾内层状岸坡(Ⅱ₄、Ⅲ₄)是滑坡的易发地段,而崩塌则在陡倾内层状(Ⅱ₂、Ⅲ₂)和斜向倾内层状岸坡(Ⅱ₄、Ⅲ₄)中最易发生;变形体主要集中发育于平缓倾内层状岸坡(Ⅱ₂、Ⅲ₂)和中—陡倾外层状岸坡(Ⅱ₁、Ⅲ₁)。这些认识对金沙江宜宾—白鹤滩段岸坡稳定性评价和岸坡失稳的预测防治具有重要的实际应用价值。

参考文献:

- [1] 许向宁,黄润秋.金沙江下游宜宾—白鹤滩段岸坡稳定性评价与预测[J].水文地质工程地质,2006,33(1): 31-36.
- [2] 许向宁.金沙江干流(宜宾—白鹤滩段)岸坡稳定性评价预测专题研究报告[R].成都:四川省地质调查院,2003.12.
- [3] 地矿部成都水文地质工程地质中心,成都地质学院,水利部长委会勘测总队.长江三峡工程库岸稳定性[M].北京:科学出版社,1992.
- [4] 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.
- [5] 陈喜昌.长江三峡工程库岸类型与稳定性[M].成都:四川科学技术出版社,1993.
- [6] 刘汉超,陈明东.金沙江向家坝水电站库区环境地质评价研究[M].成都:成都科技大学出版社,1993.

Types of Bank Slope and Its Stability form Yibin to Baihetan on Jinsha Rive

XU Zhi-wen^{1,2}, XU Xiang-ning³, HUANG Run-qiu²

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Department of Land and Resources of Schuan Province, Chengdu 610072, China;

3. Chengdu Hyrogeology & Engineering Geology Center, Chengdu 610081, China)

Abstract: By researching the locale and studying geologic background and rock - mechanics surroundings on hyroeijectric zone of Jinsha river (Yibing - Baihetan), the authors divide bank slopes into 9 types according to structure of rock and soil and terrain, and expatiate the distributing character and stability of each bank slope types, which serves as scientific geo - accordings in forecasting and controlling of bank slope's unsteady on hyroeijectric zone of Jinsha river.

Key words: jinsha river; structure of rock and soil; types of bank slope; stability