

金沙江鲁地拉电站库区段地质灾害的发育特征及其工程危害性

何宝夫¹, 张加桂¹, 曹正邻², 田 涛³, 王献礼¹, 熊探宇¹

HE Bao-fu¹, ZHANG Jia-gui¹, CAO Zheng-he²,

TIAN Tao³, WANG Xian-li¹, XIONG Tan-yu¹

1. 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室/中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 云南省永胜县国土资源局, 云南 永胜 674200; 3. 北京林业大学, 北京 100083

1. *Key Laboratory of the Neotectonic Movement and Geohazard, Ministry of Land Resources/
Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *Yongsheng County Bureau of Land & Resources in Yunnan Province, Yongsheng 674200, Yunnan, China;*

3. *Beijing Forestry University, Beijing 100083, China*

摘要:库区处于云贵高原西部、青藏高原东南缘,为中国西南地区的活动构造区,显著的内、外动力地质作用致使区内地质灾害十分严重。经野外调查发现,区内主要的地质灾害类型为崩塌、滑坡、泥石流等,且主要集中分布在金江桥以东的高山峡谷区;在实际调查库长为 100km 的河谷段,共发育着 81 处地质灾害点,总平均线密度(D)为 0.81 个/km,其中滑坡为区内最主要的地质灾害,共发育 59 处,占总灾害点的 72.84%。在野外地质调查的基础上,着重阐述了库区段主要地质灾害的类型、发育特征和地质灾害与工程安全的关系,为工程的规划和地质灾害的治理提供科学依据。

关键词:金沙江;鲁地拉电站库区;地质灾害发育特征;工程危害性

中图分类号:P694

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2009)08-1108-10

He B F, Zhang J G, Cao Z H, Tian T, Wang X L, Xiong T Y. Geohazard characteristics and engineering harmfulness in Ludila reservoir hydropower station, Jinshajiang River, China. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(8):1108-1117

Abstract: The Ludila reservoir hydropower station is located in the western part of Yunnan-Guizhou Plateau, southeast rim of the Tibetan Plateau, which is the most tectonically active region in southwest China, intensive internal and external geological process has led to widespread potential geohazard within this region. Through field geological investigation, it's found that the major local geohazard types include rockfall, landslide and debris flow. Those geohazards are highly concentrated in the high mountain valley area, east of Jinshajiang Bridge. 81 geohazard points are identified 100km along the river; average density is 0.81 per kilometer. Among which landslide is the most important geohazard, which amounts to 59, accounts for 72.84%. On the basis of field investigation, the thesis describes the main geohazard types, development characteristics, relationship between geohazards and engineering harmfulness, which can be provided as scientific information for project planning and prevention of geological hazards.

Key words: Jinshajiang River; Ludila reservoir hydropower station; geohazard development characteristics; engineering harmfulness

早期对水电工程中重大滑坡灾害及边坡变形等的认识不足,造成国际上水电工程事故屡见不鲜。如,1959 年法国 Malpasset 双曲拱坝溃坝^[1-2],1963 年

意大利 Vajont 大坝失事^[3],1976 年美国 Teton 坝发生溃坝^[4]等。其中,Vajont 水库库区白垩系中粘土夹层极为普遍是导致其发生滑坡的主要原因,滑坡直

收稿日期:2009-05-20;修订日期:2009-06-01

地调项目:中国地质调查局项目《西南三江地区区域地壳稳定性评价及分区图》(编号:1212010741404)资助

作者简介:何宝夫(1984-),男,在读硕士,从事区域地壳稳定性及地质灾害研究。E-mail:hbfx@126.com

接造成该水库报废,下游 2500 人死亡。在 Vajont 大滑坡发生前尽管许多地质工作者均预计到可能产生的滑坡及其规模,但都认为在靠背椅状的岩石构造区,滑坡是低速型的,没有任何人预先估计到该滑坡是滑速最快的、创记录的、破坏性的滑坡^[3,5]。

在国内,地质灾害致使水库工程重大事故发生的案例也不少。如,1961 年 3 月 6 日,湖南拓溪水电站上游右岸发生高速滑坡,产生浪高 21 m,涌浪越过坝顶使在坝面上工作的 70 余名工人丧生^[6];1994 年 7 月 21 日,连续降雨导致广西蛇地水库山体滑坡,堵死溢洪道,造成大坝溃决^[7];2006 年 7 月,广东省畚尾坑水库,由于山体滑坡堵塞了溢洪道,库水位急速上涨,漫顶后洪水冲刷坝体,造成大坝溃决^[8]。自 1998 年以来,中国政府累计投入了 276 亿元资金,对 2381 座病险水库进行了除险加固^①。还将完成 6200 座病险水库的除险加固^[6],这些病险水库多与地质灾害有关。

地质灾害使水电工程建设及运营中工程事故频繁发生,因此很有必要对鲁地拉库区段的地质灾害进行研究。有鉴于此,笔者通过野外调查和分析,研究了库区地质灾害的发育类型、特征及其与工程安全的关系,为水库的建设和地质灾害防治提供科学的依据。

1 库区段的背景条件

1.1 工程概况

金沙江流域水资源储量丰富,主要集中在中、下游河段。流域规划开发 12 座梯级电站,可开发装机容量 $6000 \times 10^4 \text{ kW}$,是中国最大的水电能源基地,位居全国十二大水电基地之首^[8]。其中,鲁地拉水电站位于云南省丽江市永胜县与大理白族自治州宾川县的金沙江中游河段上,为金沙江中游河段规划“一库八级”水电站开发方案中的第七梯级。设计坝顶高程为 1228 m,最大坝高为 140 m,正常蓄水位 1223 m,总装机容量 $2100 \times 10^4 \text{ W}$ ^②。

1.2 库区地质环境概况

研究区处于云贵高原西部,青藏高原的东南缘,位于中国西部两大地貌单元的地形急变区。库区位于金沙江丽江干流段,金沙江在库区段内呈 L 型展布,总体地势西高东低。库区气候为典型的金沙江干热河谷季风气候类型,区内垂直气候变化较大,具有典型的立体性气候的特征。年平均气温 18.4°C ,极端最高气温 32.2°C ,极端最低气温 -11.2°C 。两侧山区

随海拔的增加温度逐渐降低,降雨量逐渐增多,正是这种独特的气候环境,使得上下部岩体遭受不同程度的风化,形成岩石的差异风化,为地质灾害的发育创造了条件(图版 I-a)。

研究区地质条件复杂,具有高地应力、高地震烈度、强烈地壳形变、强烈外动力作用、强烈浅表层改造的“两高三强烈”的特殊内外动力条件^[9-11]。区域上发育程海断裂、清水-周城断裂、丽江-剑川断裂等(图 1)^[12],同时还发育一系列褶皱构造(图版 I-b)。在断裂构造带附近,岩体非常破碎,地质灾害、工程地质问题更加突出。

地震是新构造运动剧烈活动的主要表现形式。地震使地表岩体结构遭受破坏,岩体强度降低,在降雨的诱发作用下,往往发生一系列次生地质灾害,形成地质灾害链^[13]。永胜-宾川地震带穿过库区,内、外动力地质灾害链活动频繁,对库区建设和安全运营产生深远的影响^[14-15]。2001 年永胜 Ms6.0 级地震,震中位于永胜县金沙江边上的涛源乡金江村。地震使永胜、鹤庆、宾川 3 个县的水利设施和生命线工程遭受了不同程度的破坏。震后公路边坡裂缝严重,个别路段路基开裂下沉,局部公路上方滑坡、崩塌阻塞公路,部分公路桥梁、涵洞和挡墙老裂缝加宽变长^[16],周围三县直接经济损失达 4.4 亿元。

库区按工程地质岩组分类可以分为四套岩组:中生界的三叠系、侏罗系、白垩系红层碎屑岩岩组,程海断裂以西大面积分布的二叠系玄武岩岩组,金江大桥附近局部裸露的二叠系碳酸盐岩岩组,以及第四系松散堆积岩组。区内红色碎屑岩中夹有一套软弱夹层(图版 I-c),构造变形较为强烈,易于风化和遇水软化,岩石强度低,在一定诱因下极易产生滑坡。第四纪松散堆积体在内外动力联合作用下也极易发生地质灾害。

2 库区地质灾害的基本类型及特征

野外初步地质调查表明,区内主要地质灾害类型为滑坡、崩塌(塌岸)和泥石流(图 2),在实际调查库长 100 km 的河段发育着 81 处地质灾害点,总平均线密度(D)为 0.81 个/km。其中,滑坡体个数为 59 个,占总灾害点的 72.84%,平均线密度为 0.59 个/km;崩塌体个数为 9 个,占总灾害点的 11.11%,平均线密度为 0.09 个/km;泥石流发育有 9 条,占总灾害的 16.05%,平均线密度为 0.13 条/km(表 1)。

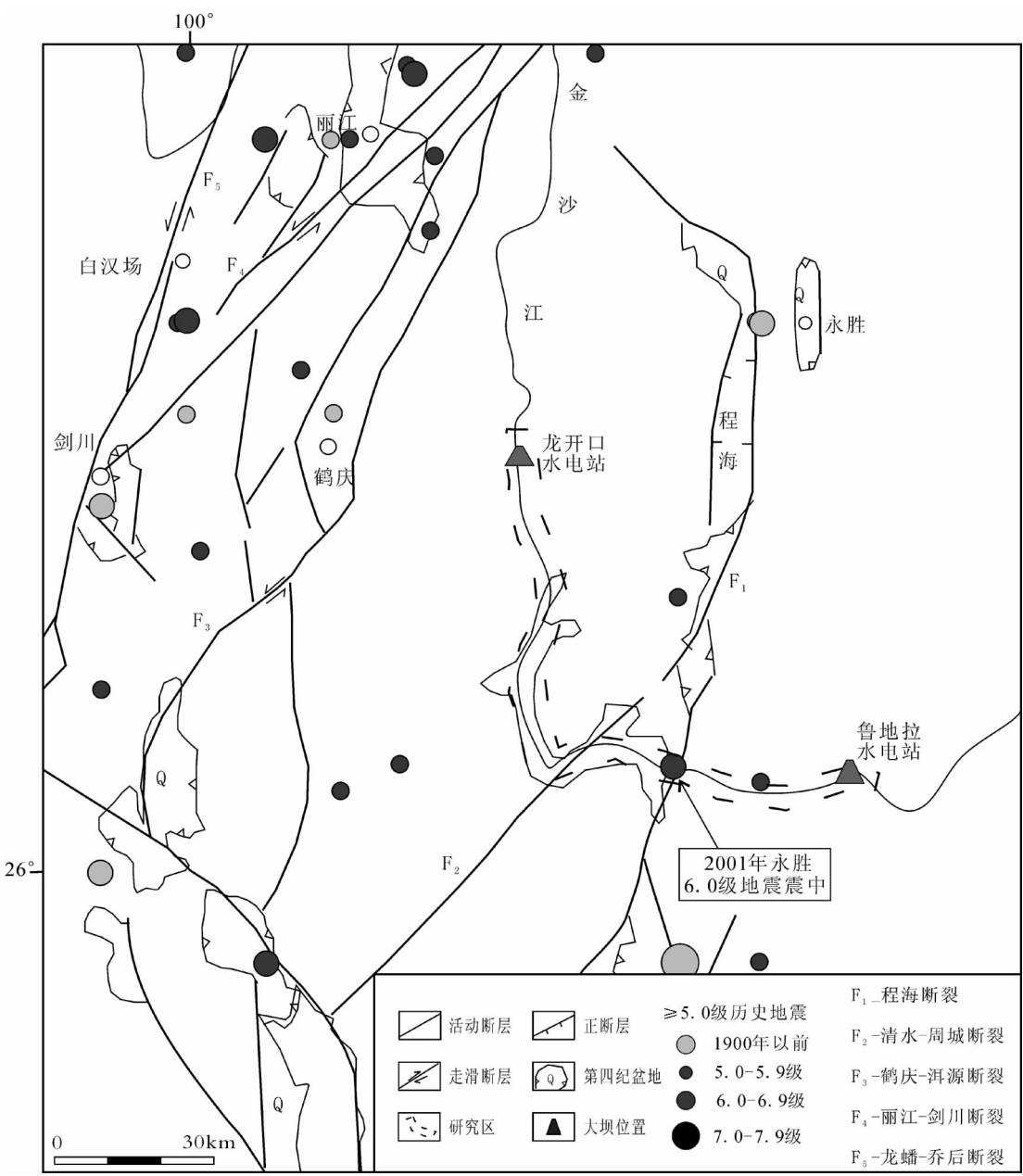


图 1 鲁地拉电站区域构造略图(据参考文献[12]修改)

Fig. 1 Sketch map of regional structure of Ludila reservoir hydropower station

2.1 滑 坡

调查发现,滑坡是该区的主要地质灾害。据统计,区内滑坡达 59 个,其平均线密度为 0.59 个/km, 占总灾害的百分比达 72.84%。

库区内滑坡的平面形态呈明显的圈椅状(图 3、图 4、图版 I-d),后缘滑壁保留一般较完好,滑体滑移特征明显,部分滑坡具有典型的双沟同源现象。区

内滑坡规模以大中型为主,少数为特大型。根据滑坡体的物质组成和结构特征,大致可将本区的滑坡划分为两大类:堆积层(土质)滑坡和岩质滑坡,以松散的堆积层滑坡居多,岩质滑坡较少;按滑动体厚度区分,多属中层滑坡,少数为深层滑坡;按力学性质划分多属牵引式滑坡,绝大多数滑坡前缘受人类不合理的工程活动和河流侧蚀的影响,滑坡前缘切坡,形

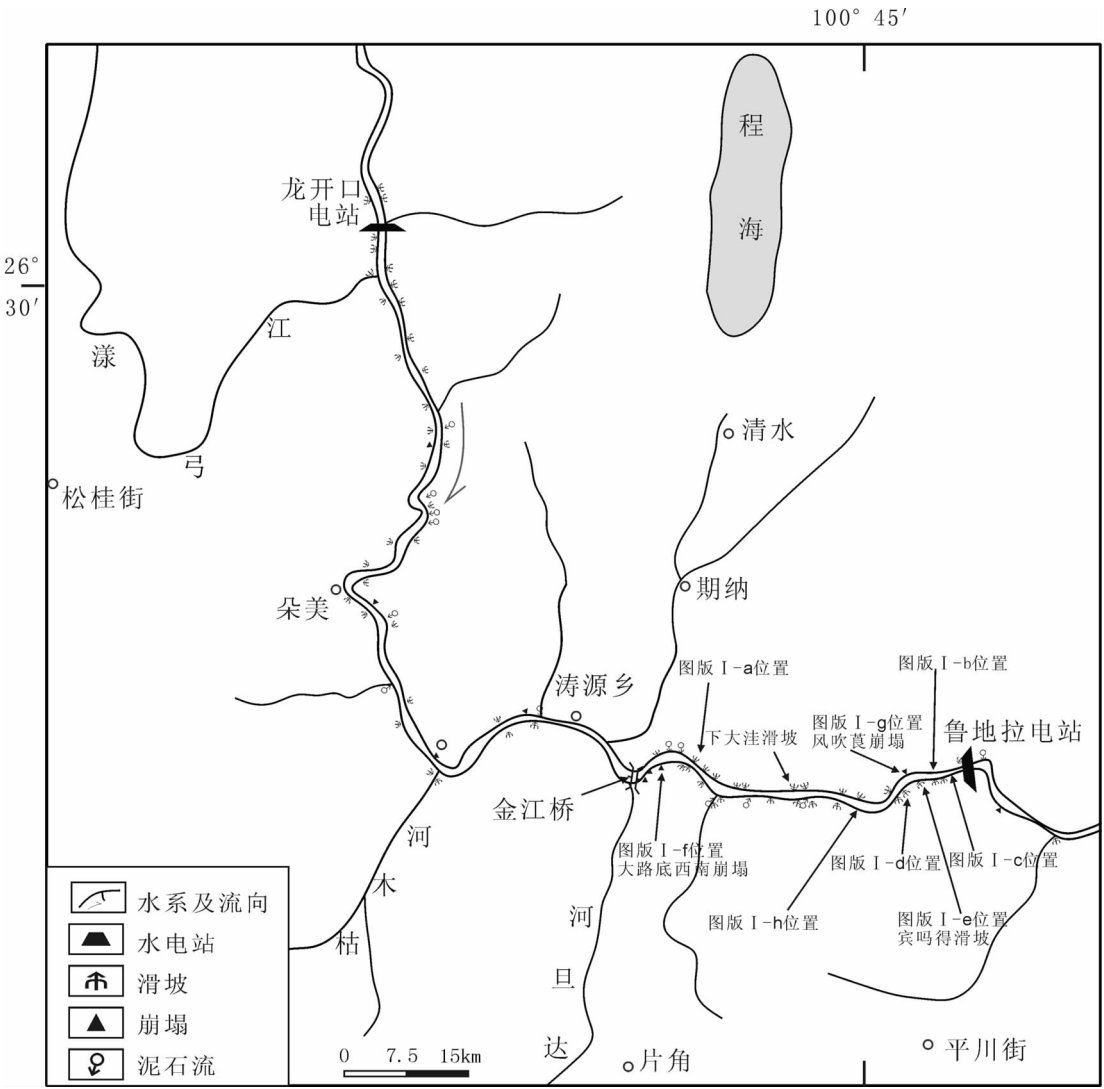


图 2 鲁地拉电站库区地质灾害分布图

Fig. 2 Distribution of geohazards in the Ludila reservoir hydropower station

成临空面,牵引后部斜坡变形破坏,区内推移式滑坡分布较少。

滑坡集中分布的地段为中生界红层,即以层状结构为主的碎屑岩岩组。在库区高山峡谷地带,部分地表水穿过表层松散岩土体渗透到下部基岩,基岩顶部往往为隔水层,水在基岩顶部汇聚,促使滑坡发生。另外,由于风化带顺斜坡倾向河床,强风化与弱风化界面也往往组成控滑面,形成滑坡。

库首段所处位置的特殊性,无论对水库建设还是后期的水库运营,都有很大的影响,而且地质环境条件的特殊性使库首段滑坡相对发育。下面通过对库首段典型特大型滑坡的描述,分析其潜在

表 1 鲁地拉电站库区地质灾害总数

Table 1 Classification of geohazard in Ludila reservoir hydropower station

灾害类型	数量	所占总比例/%	各自平均线密度(个/km)
滑坡	59	72.84	0.59
崩塌	9	11.11	0.09
泥石流	13	16.05	0.13

的危害性。

(1)左岸典型多层特大型滑坡

左岸典型的滑坡为下大洼多层滑坡(图 3、图 5),距坝址上游约 15 km,位于金沙江左岸的谷坡上,发

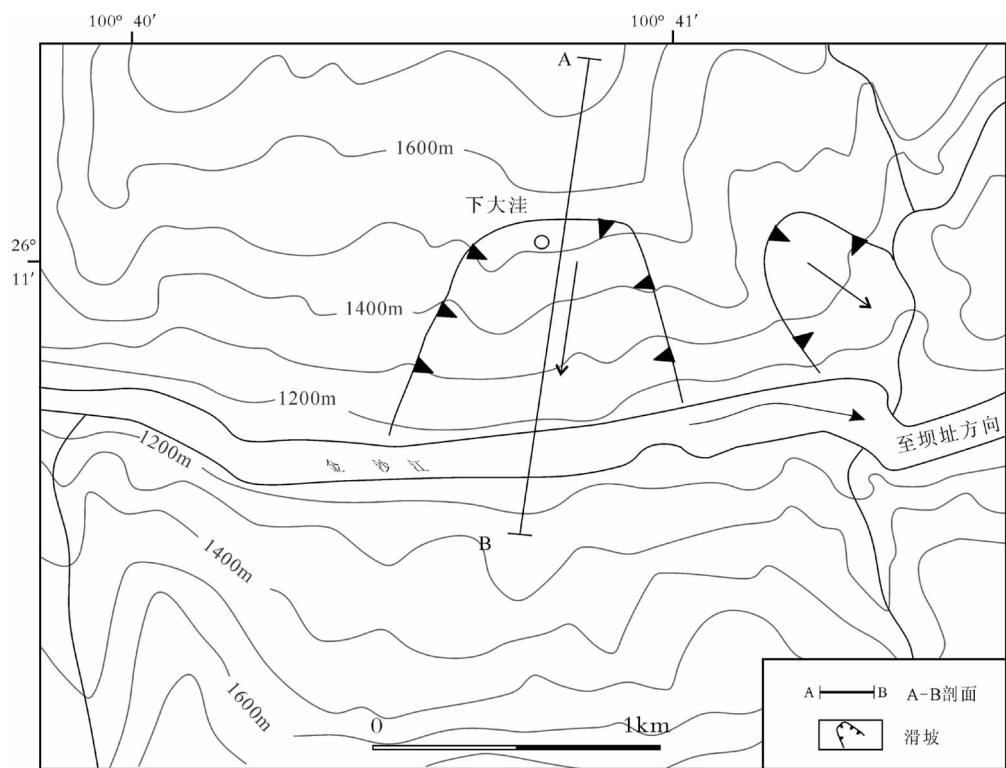


图 3 下大洼滑坡平面图 Fig. 3 Plane map of Xiadawa landslide

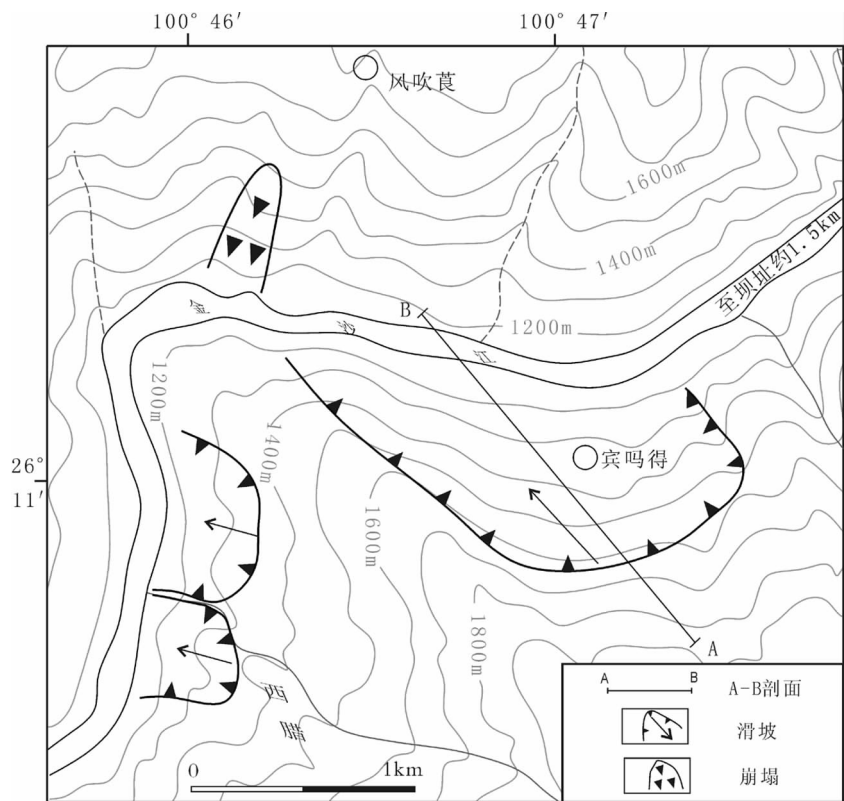


图 4 宾吗得滑坡平面图 Fig. 4 Plane map of Binmade landslide

育于中侏罗统张河组中,岩性为紫色、灰绿色长石石英砂岩夹页岩的互层状碎屑岩,产状 $185^{\circ}\angle 43^{\circ}$,体积约为 $1200\times 10^4\text{m}^3$ 。滑坡后缘海拔约1530 m,呈圈椅状,前缘约1190 m,主滑方向 190° ;地形坡度在 $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 之间,临近江面坡度较陡,总体坡型呈凸型,斜坡结构为顺向坡。由于受到皱褶作用,滑坡岩体破碎,主要为碎石土,滑坡体上冲沟发育,滑坡体局部有滑动现象。下大洼滑坡滑面成因复杂,经分析可分为3层滑面:第一层为浅表层的滑坡,由于冲沟发育,剥蚀表面物质,浅表层物质发生局部滑移;第二层为上部的堆积体与基岩面,基岩面充当了相对的隔水层,上部岩体破碎,易发生滑移;第三层为深层蠕滑面,由于页岩软弱夹层的存在,其岩石力学强度低,且为顺向坡,地层倾向与坡向一致,加之地形坡度较大,前缘又受金沙江的强烈下切,形成临空面,页岩层在重力作用下将发生变形滑移。

下大洼多层特大型滑坡目前已经有局部滑移,已威胁到下大洼村村民的生命财产安全。当水库蓄水、库水位升至1223 m时,滑坡前缘将淹没在库水位之下,前缘将被软化;若受地下水位上升、库水涨落、浪蚀、侧蚀等因素的影响,滑坡体将进一步解体,加速滑坡运动。此滑坡规模大,一旦整体下滑,将会堵塞库区,危害大、危险性大。

(2)右岸典型特大型滑坡

宾吗得特大型堆积层滑坡(图4、图6、图版I-e)位于金沙江右岸,距坝址约4 km,滑坡发育于中侏罗统张河组中,岩性为紫红色钙质粉砂岩夹黄绿色砂质页岩,岩层产状 $217^{\circ}\angle 45^{\circ}$;地形坡度大体在 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 之间,与地形坡向组成斜交坡。滑坡平面形态呈圈椅状,后缘陡坎明显,后缘海拔约1680 m,前缘海拔约1200 m,主滑方向约为 320° ,体积约为 $1100\times 10^4\text{m}^3$,为特大型堆积层滑坡,属深层牵引式滑坡。滑体由块石、碎石、碎石土等组成,经分析有2层滑动面:第一层为浅表层滑动面,公路开挖、降雨等因素使其局部开始滑动,第二层为深部的滑坡堆积体与基岩的接触面。

目前,由于建水电站进坝公路,开挖坡脚,局部地方已经开始滑移,威胁施工公路的正常运行,同时也威胁到宾吗得村民的生命财产安全。当水库蓄水后,库水位升至1223 m,滑坡前缘将淹没在库水位之下,前缘将遭受库水涨落、浪蚀、侧蚀等因素的影响,有可能发生整体的滑移。由于其规模大,距离大

坝较近,一旦发生滑坡,产生涌浪,将对大坝安全产生影响,威胁水库的安全运营。宾吗得滑坡稳定性较差,且危害性较大,应采取必要的工程处理措施。

2.2 崩塌(塌岸)

崩塌是库区较为严重的地质灾害类型之一(图版I-f,g),统计得出,区内崩塌为9个,平均线密度为0.09个/km,占总灾害的百分比达11.11%。库区最主要的崩塌位于大路底西南(金沙江右岸)的灰岩出露区;其次位于高山峡谷区的逆向坡区;再者位于金沙江河谷堆积阶地段,局部塌岸。

库区的崩塌跟地形地貌的关系密切,库首段为中山峡谷区,两岸局部坡度达 50° 以上,给崩塌的发育提供了临空条件和运动势能;同时,软弱岩石的差异风化造成局部泥岩形成凹槽,使上部的砂岩孤立,形成危岩体,极易发生崩塌;再者,库区段构造运动强烈,岩体节理裂隙发育,岩石较为破碎,一般发育几组结构面。

库区塌岸主要发生在金江桥以西的金沙江河谷堆积阶地段,过去的采金活动使岸坡遭受破坏,局部地段的岸坡稳定性下降,造成塌岸。金沙江河谷堆积阶地主要分布第四纪松散的冲、洪积堆积物。由于遭受金沙江的强烈侧蚀,加之河流的强烈下切,组成岸坡的第四纪冲洪积堆积层坡脚被冲蚀,岸坡上部的物质失去平衡,在重力的作用下造成岸坡的破坏。

2.3 泥石流

据统计,研究区内发育有13条泥石流沟,平均线密度为0.13条/km,占总灾害的16.05%。泥石流主要分布于高山峡谷河段。按规模划分,研究区的泥石流以中小型为主,个别为大型泥石流;按泥石流集水区地貌特征分,多数为沟谷型,少数为坡面型。

在调查当中发现一个比较严重的问题,工程开挖后的弃渣乱倒乱埋,有的直接填埋在沟口,极易发生滑坡和泥石流(图版I-h)。泥石流的活动,将造成大坝和电站设施的破坏,库区泥沙淤积,从而造成库区有效库容的减小,大大降低了电站的发电效益。

3 库区的地质灾害与工程安全

水库建设中首先要考虑的就是工程安全问题,地质灾害的发育对工程安全的影响重大,若对此问题不注意将造成严重的后果。一旦发生水库溃决,后果特别严重,不仅巨大的投资(工程设施)将毁于一旦,也会给下游人民的生命财产造成极大的危害。若

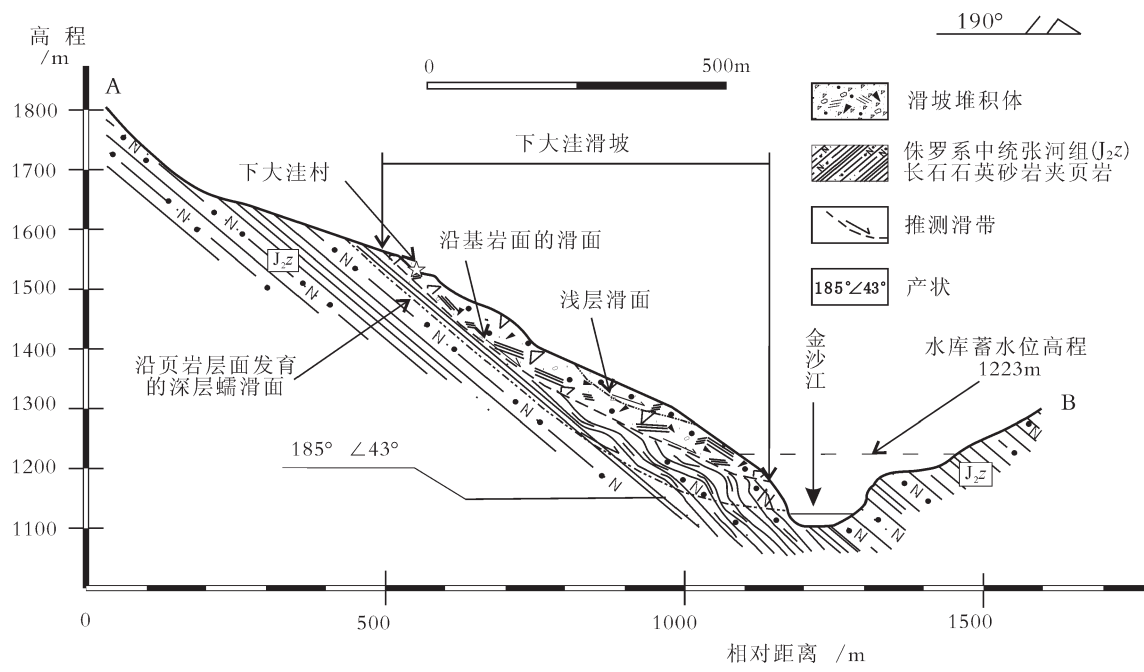


图 5 下大洼滑坡剖面图
Fig. 5 Profile of Xiadawa landslide

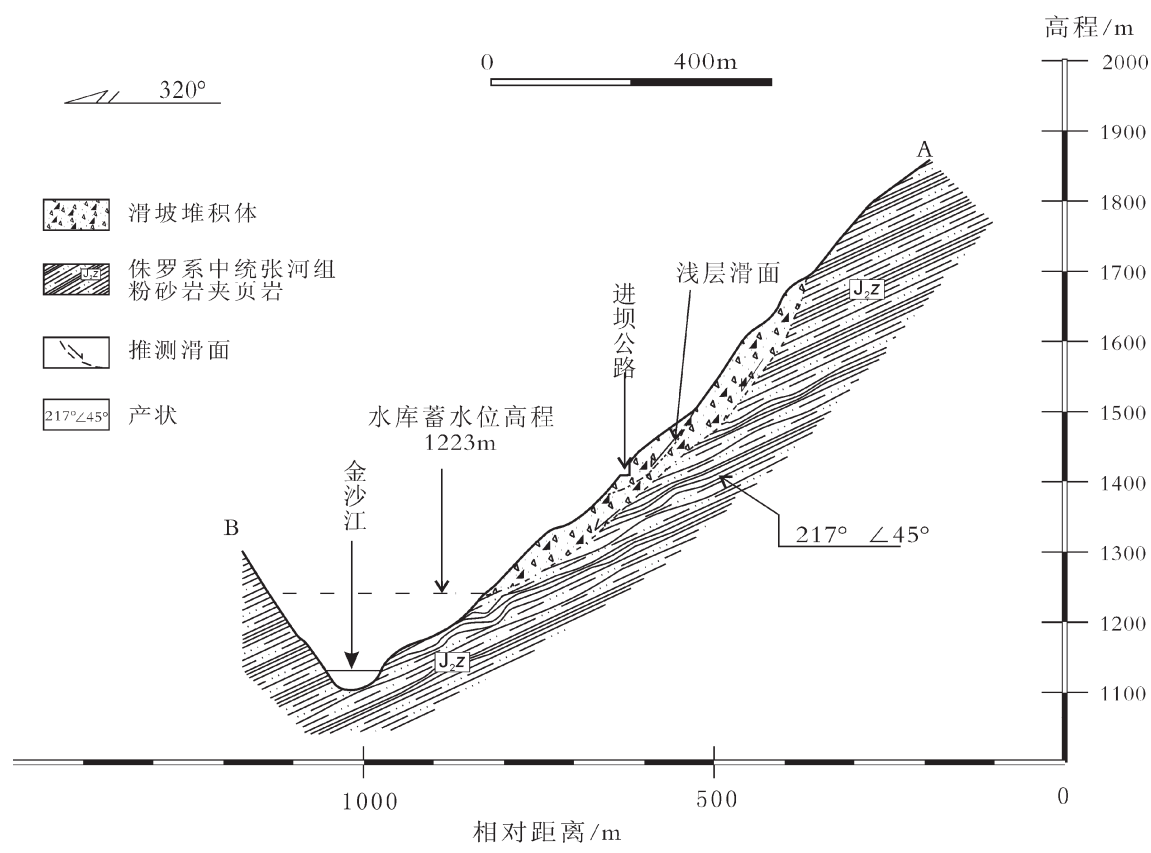


图 6 宾吗得滑坡剖面图
Fig. 6 Profile of Binmade landslide



a.岸坡植被稀少,冲沟发育(镜向 60°)



b.库区褶皱构造发育(镜向 340°)



c.库区红色碎屑岩中的软弱夹层(镜向 125°)



d.大型松散堆积体(镜向 100°)



e.宾吗得大型堆积层滑坡(镜向 170°)



f.灰岩崩塌阻塞交通(镜向 1750°)



g.风吹茛崩塌(镜向 340°)



h.工程弃渣直接堆积于沟口(镜向 140°)

前期的地质工作不够细致,勘查不够详细,水库后期要投入大量资金进行加固,有的则直接报废,这都将造成巨大的经济损失。在大坝设计、施工和运行过程中,任何失误和疏忽都将影响到大坝的安全,都有可能铸成大祸造成巨大的损失^[17-19]。

地质灾害对水库工程安全的影响,主要表现在对库岸稳定、库容、大坝、工程设施的安全问题等方面的影响,下面分别阐述这几个问题对工程安全的影响并提出相应的工程治理建议。

3.1 库岸稳定问题

现有的地质灾害对库岸稳定性的影响是多方面的,对库岸的工程安全问题也有着深远的影响。首先,地质灾害直接造成对进坝公路的破坏,使得交通线路瘫痪,此现象在高山峡谷区尤为严重。其次,在水电站建设的过程中,修建进坝公路,工程开挖边坡坡脚,对原先并不稳定的斜坡造成进一步的破坏,局部地段发生滑坡和崩塌,影响着施工的安全和进度。在库首区的高山峡谷地带很难找到一块平地,沿岸小村落往往坐落于滑坡平台之上,老滑坡在道路修建过程中或者在水库蓄水后稳定性将大大降低,威胁沿岸的居民。这些潜在的地质灾害将破坏库岸稳定,受威胁的居民必须搬迁,直接导致工程造价的上升。

在水库蓄水运营后,正常蓄水位变为 1223 m,库水位将上升约 95 m。在蓄水位升降、浪蚀、侧蚀、浸泡等外动力因素的影响下,原本脆弱的地质环境再次遭到破坏,将进一步诱发滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害,库岸稳定程度降低,库岸工程安全问题进一步受到挑战。

库岸地质灾害的发育与水的关系极为密切,治理库岸地质灾害,提高库岸稳定性,首先就应该从治水的角度出发。合理的排水可以有效地改善地表水、地下水的径流线路,防止坡体的软化,消除渗透变形的影响,进而增加库岸斜坡体的稳定性。结合库区灾害的特点,主要的工程措施有:在坡顶修截水沟,在坡体两侧和坡底设置排水沟。

结合库区两岸坡度较陡、坡底利用空间较窄、松散堆积层滑坡发育众多的工程特点,建议采取挡土墙的方法,可以起到拦截落石、加固边坡松散堆积体的作用,同时采用抗滑桩支挡,结合地表排水与护坡,但抗滑桩嵌固段必须深入到稳定基岩中,以避免抗滑桩发生整体移动。

金沙江右岸大路底西南的易崩塌区,由于体积大、坡度较陡,治理困难,应采用涵洞工程进行避让。对于其他地段的崩塌,则应该采取挂网喷射混凝土和拦石墙等方法进行防治。

3.2 库容问题

库容问题是水库建设中又一个很重要的问题,水库泥沙的淤积会造成库区有效库容的减小,致使发电效益大大降低,更有甚者直接使水库报废,如意大利的 Vajont 水库。

泥石流、特大型滑坡(图 3、图 4、图版 I-e)、崩塌(图版 I-f,g)、水土流失(图版 I-a)及工程弃渣(图版 I-h)是造成库区有效库容减少的主要原因。由于泥石流的活动,泥石流沟上游的物质将直接进入库区,造成水库淤积。特大型滑坡和崩塌的体积巨大,可能造成流域断流,堵塞航道。工程开挖后的弃渣乱倒乱埋,有的直接填埋在沟口(图版 I-h),极易发生滑坡,并且为泥石流提供物源,造成很大的地质灾害隐患。

结合库区多发育沟谷型泥石流的特点,建议采用排导槽工程,使其沿着固定的沟槽排放。对于规模不大、水量较多的沟谷,采用设计合理的桥梁工程保障公路畅通。

因施工产生的弃渣、弃土应合理堆埋,防止乱倒乱埋造成泥石流、滑坡。对各弃渣场可能出现的灾害问题,采取拦挡、护坡、排水等必要的工程措施。

考虑到库区流域内两岸坡面冲沟发育、植被覆盖率较低,泥沙将直接流入库区,应采取必要的生态治理工程,实行退耕还林,种植植被,同时加强植被保护、严禁乱砍滥伐,减轻入库泥沙的含量,防止产生严重的淤积危害。

3.3 大坝及工程设施安全问题

地质灾害的发育对大坝及其他工程设施会产生巨大影响,如 2008 年 6 月 9 日鲁地拉电站大坝下游施工场地发生泥石流灾害,造成工地 9 人死亡,大坝下游工程设施受到破坏。

经调查发现,库首段特大型堆积层滑坡发育,距坝址较近(如宾吗得特大型堆积层滑坡),相对高差大,势能较大,一旦发生滑坡就有可能发生涌浪,将危及大坝的安全。

4 结 论

(1)鲁地拉电站库区地处中国西南活动构造区,

内、外动力地质作用十分显著,库区段为崩塌、滑坡和泥石流等主要地质灾害的易发区、多发区,地质灾害给水库工程建设带来很大影响。

(2)经野外调查发现,实际调查库长 100km 的河谷段,发育着 81 个地质灾害点,总平均线密度(D)为 0.81 个/km;滑坡为区内最主要的地质灾害,共发育 59 处,占总灾害点的 72.84%。地质灾害主要发育在金江桥至鲁地拉坝址段的高山峡谷区。

(3)地质灾害对水库工程安全的影响,主要表现为对库岸稳定问题、库容问题、大坝及工程设施安全问题等方面的影响。有必要对金江桥至鲁地拉坝址段的不稳定岸坡进行监测,对重要地段应该采取工程措施进行治理。

致谢:感谢吴树仁研究员对本文提出的宝贵意见和建议,感谢姚鑫博士、郭长宝博士的技术指导。

参考文献

- [1]Habib P. The Malpasset dam failure[J]. Engineering Geology, 1987, 24:331-338.
- [2]Witke W, Leonhards G A. Modified hypothesis for failure of Malpasset Dam[J]. Engineering Geology, 1987, 24:367-394.
- [3]Jaeger C. Rock mechanics and engineering, 2ndEdition[M]. Cambridge University Press, 1979.
- [4]Seed H B, Duncan J M. The failure of Teton dam [J]. Engineering Geology, 1987, 24: 173-205.
- [5]张有天. 从岩石水力学观点看几个重大工程事故[J]. 水利学报,2003, (5):1-10.
- [6]陈祖煜. 水利水电工程中的滑坡和防治[J]. 重庆建筑,2005,(6):22-27.
- [7]蒋金平,杨正华. 中国小型水库溃坝规律与对策[J]. 岩土工程学报, 2008,(11):1626-1630.
- [8]聂勇,于火青,赵增海. 金沙江虎跳峡水电站开发建设的战略意义[J]. 水力发电,2004,(6):3-5.
- [9]杨宝嘉,吕伟. 滇西北三江地区新构造运动特征[J]. 成都大学学报(自然科学版),2006,(3):214-218.
- [10]明庆忠. 三江并流区地貌与环境效应[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [11]路银辉,徐世光,吴香根. 云南“三江”并流区地质灾害发育机制及其防治[J]. 中国地质灾害与防治学报,2007,(4):1-6.
- [12]国家地震局地震研究所,云南省地震局. 滇西北地区活动断裂[M]. 北京:地震出版社,1990.
- [13]胡海涛,袁志梅. 山地灾害山洪-滑坡(崩塌)-泥石流的成生联系[J]. 中国地质灾害与防治学报,1998,(S1):87-90.
- [14]韩金良,吴树仁. 地质灾害链[J]. 地学前缘,2007,(6):11-13.
- [15]韩金良,吴树仁,李东林,等. 秦巴地区地质灾害的分布规律与成因[J]. 地质科技情报,2007,(1):101-108.
- [16]王锡财,崔建文,施伟华. 永胜 6.0 级地震灾害调查及分析[J]. 中国地震,2002,(2):214-220.
- [17]邢林生. 我国水电站大坝事故分析与安全对策(一)[J]. 大坝与安全, 2000,(1):1-5.
- [18]邢林生. 我国水电站大坝事故分析与安全对策(二)[J]. 大坝与安全, 2000,(2):1-5.
- [19]马永锋,生晓高. 大坝失事原因分析及对策探讨[J]. 人民长江, 2001, (10):53-54.
- ① 陈雷. 关于水利发展与改革若干问题的思考. 在中国水利学会 2007 年年会上的报告, 2007.
- ② 云南地质工程勘察设计院. 金沙江鲁地拉水电站建设项目地质灾害危险性评估报告. 内部资料, 2007.