

# 二滩库区地质灾害分布规律及发展趋势分析

陈秀琼<sup>1</sup>, 陈永波<sup>2,3</sup>, 孔纪名<sup>3</sup>, 胡平华<sup>3</sup>

(1. 西南交通大学土木学院, 四川 成都 610031; 2. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 四川 成都 610015;

3. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:** 库区地质灾害的分布规律及今后的发展趋势对二滩水电站的运营寿命有着重要的影响。电站自1998年蓄水以来, 库水位涨落、侵蚀基准面的抬高等变化, 对库区地质灾害的稳定性和发展起到什么样的影响, 是研究所要解决的主要内容。在实地收集资料的基础上, 系统地分析和评价了库区地质灾害, 为水电站下一步工作规划提供了重要的依据。

**关键词:** 二滩; 地质灾害; 分布规律; 趋势

**中图分类号:** P642.2

**文献标识码:** A

二滩水电站蓄水以来, 随着水位上升, 相对侵蚀基准面提高, 以前发生的部分滑坡、泥石流被库水淹没, 库区的环境已发生了一些变化。在这一变化过程中, 库区库岸再造的状况如何, 是否诱发了更多的滑坡和泥石流; 库岸再造、滑坡、泥石流的发育趋势如何; 已发生的滑坡和泥石流有多少物质进入库区, 一直是二滩水电开发公司及其电厂关注的问题。因此分析和评价库区典型滑坡、泥石流的分布现状和发展趋势, 对二滩水电站的正常运营有着重要的意义。

## 1 库区工程地质条件<sup>[1]</sup>

### 1.1 地形地貌

二滩水电站水库位于雅砻江下游, 属高山峡谷型水库。设计蓄水位海拔1200 m, 干流雅砻江回水至打罗, 库区长约145 km, 支流干鱼河回水至永兴, 长约40 km。由于二滩水库地处青藏高原东南缘与云贵高原西北部接壤带, 山峦起伏, 河谷幽深, 库区内谷底至山顶一般相对高差都在2000~3000 m之间, 其中最高峰位于盐边县北部穿洞子山, 海拔

4195 m。

### 1.2 地层岩性条件

库区地层分布较为齐全, 根据水电站对江段的划分, 与地质灾害有关的地层由老至新主要有:

前震旦系盐边组变质玄武岩夹硅质板岩、石英闪长岩;

震旦系上统灯影组白云岩、白云质灰岩; 观音崖组紫红色夹灰绿色粉砂岩、砂质页岩、泥质灰岩、白云质灰岩;

石炭系中统威宁组的硅质条带灰岩、结核灰岩;

二叠系上统峨眉山组峨眉山玄武岩、阳新组灰岩, 梁山组粘土岩。

侏罗系下统至三叠系上统白果湾群的陆相碎屑岩: 砂岩、粉砂岩、泥岩、页岩含煤层。

### 1.3 地质构造条件

二滩水电站库区大部分位于扬子准地台西南侧的康滇地轴范围内, 在大地构造部位上位于川滇南北向构造带中段西部, 二滩水电站库区即位于金河—箐河与安宁河断裂带之间的盐边—共和断块东部(图1)。由于受康滇地轴的影响, 库区岩体褶皱剧烈, 许多地段岩体陡倾, 褶皱轴及逆断层走向与地轴

收稿日期 (Received date): 2007-01-11; 改回日期 (Accepted): 2007-10-13.

基金项目 (Foundation item): 中国科学院西部之光项目“雅安市雨城区突发性山地灾害预警研究”支持。[This paper by the light of the Chinese Academy of Sciences western project “sudden Yucheng District of Ya'an City Mountain Disaster Warning” support.]

作者简介 (Biography): 陈秀琼 (1969-) 女 (汉族), 讲师, 四川省成都市, 主要从事地质灾害方面的研究工作。[Chen Xiujing (1969-), female, professor born in Chengdu City, Sichuan province. Mainly engaged in the research of geological disaster.]



走向近于一致。但共和断块内构造破坏较弱,大坝就位于该断块内。共和断块以北地区(即库区上游区域),岩层强烈褶皱、倒转、折断和破碎。深大断裂和次一级断层成束成网分布,对地壳近代活动性、地貌发育过程及滑坡、崩塌、泥石流等山地地质灾害的发育有显著的影响。

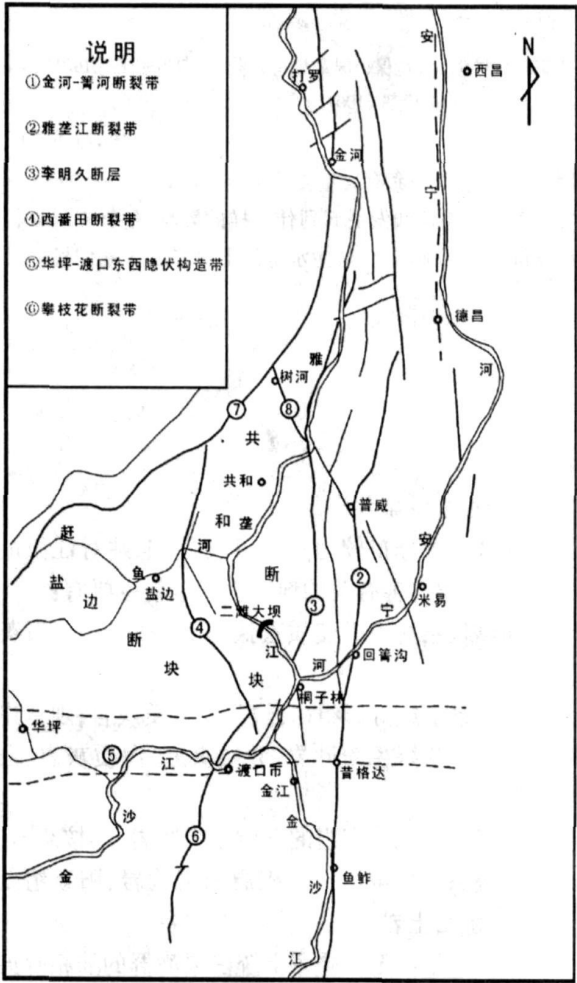


图 1 二滩库区区域地质构造纲要图

Fig 1 Ernan area geology structure outline map

气候特征

库区属亚热带河谷气候和中亚热带半湿润温暖气候,年降雨量 800~1 000 mm,相对湿度 65%;年均温 13.5~19.5℃,最冷月均温 8.9℃,极端最低气温 2.6℃,≥10℃积温 4 500~6 500℃,6~11月温度偏低,12~5月温度偏高。根据我们在坝首多年的现场观测资料(表 1):大坝周边多年平均降雨量为 1 176.4 mm,大多集中在 6~9月,约占全年降雨总量的 79.97%。

表 1 二滩水电站大坝附近多年降雨量

Table 1 Ernan regional rainfall

年份	1998	1999	2000	2001	2002
全年降雨量(mm)	1 340	1 229	1 081	1 263	969
6~9月降雨量(mm)	1 211	942	835	967	749

2 库区滑坡(包括库岸坍塌)分布

滑坡形成条件分析

从大坝~打罗 145 km的库区,发育的滑坡(包括库岸坍塌)共计 195处。其中大多为库岸坍塌,大型滑坡也较多,其中≥1×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>的滑坡共计 10处,≥1×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>的滑坡共计 5处。这些滑坡的形成和发展不仅与其所处的地质背景有关,而且受到各种因素的影响:

1. 地层岩性条件:库区滑坡主要发育在二叠系、侏罗系砂岩、泥岩、砂泥岩互层、玄武岩风化层、岩浆岩风化层以及坡积层,占库区滑坡总数的 95.4%,而震旦系的白云岩、泥盆系和石炭系灰岩、白云岩等硬性岩体发育的滑坡仅有 9处,且多以崩塌为主,规模较小。对于软弱相间的岩体以及坡积层,由于在库水位升降、降雨等作用的调节下,软弱面的强度进一步降低,当抗剪力无法承受下滑力时,坡体随失稳形成滑坡;

2. 地形地貌条件:库区地貌总体为高山峡谷,由于雅砻江下蚀强烈,基本无阶地发育。根据河段岩性、斜坡结构的差异,微地貌可分为深切峡谷段和宽缓河谷段。而滑坡主要分布在宽缓河谷段,约占 65%;深切峡谷段滑坡较少,多以崩塌和河岸坍塌为主,约占 35%。

滑坡(包括库岸坍塌)分布规律

根据库区地层岩性、地质构造以及滑坡分布的多少,可将整个库区划分为三段:坝首~藤桥段、藤桥~金河段、金河~打罗段。

1. 坝首~藤桥段:长约 44 km,为滑坡分布稀疏区。该段构造活动微弱,仅在离坝址 2.5 km处有头滩断层斜切河谷;地层岩性为前震旦系结晶杂岩、震旦系碳酸盐岩、砂岩以及二叠系粘土岩、灰岩、玄武岩;段内除金龙山古滑坡和霸王山古滑坡外,其余部分岩体相对完整、构造活动较弱,且坡积层较薄,形成滑坡较少,但发育有 42处小型滑塌,为库岸库水位的影响所形成的小型坍塌;

2. 藤桥~金河段:长约 80 km,为滑坡发育密集



区。该段主要位于雅砻江断裂带上, 并伴有强烈褶皱。该段由于受构造活动的影响, 滑坡特别发育, 共发育滑坡 148 处, 占全区的 75.9%, 其中库区内的 10 处典型大型滑坡均分布在该区段。

3. 金河—打罗段: 长约 17 km 为滑坡偶发区。该段新构造活动强烈, 发育有 NNE 的金河—箐河断裂带、WE 的金河断层、大盐池北断层, 但由于岩性以古生界碳酸盐岩和玄武岩等硬性岩体为主, 因此仅在断层经过处形成岩体崩滑。该段仅发育 3 处以崩滑为主的山地地质灾害。

### 滑坡 (包括库岸坍塌) 发展趋势分析

1. 库区滑坡发展趋势: 水库蓄水初期, 由于库水位的陡涨陡落引起斜坡内地下水渗流压力增加, 对滑坡发生起到了诱发和促使其加速变形的作用。水库蓄水后, 库区内大部分滑坡基本处于缓慢变形或局部复活状态, 如甘塘古滑坡复活体, 大坪子滑坡。同时也有部分斜坡变形加快形成滑坡, 如坪子上滑坡。由于这类滑坡规模一般较大, 因此目前的非稳定状态对二滩水电站水库造成的影响也将较大。

2. 岸坡再造发展趋势: 这类坍滑的发生是由于库水位的涨落变化引起。水库在经过多年间运行后, 其斜坡也逐渐稳定。在正常的降雨和库水位不发生大幅快速涨落的条件下, 该类型坍滑体将逐渐减少, 基本不会对库区造成大的影响。

3. 库区斜坡发展趋势: 蓄水后库区斜坡普遍变形, 特别是堆积层较厚的斜坡。随着时间的推移, 库岸斜坡的稳定性表现为:

a 斜坡在经过 5~7 年的应力和应变调整后逐渐趋于稳定, 库区大部分斜坡属于该类;

b 斜坡变形积累到一定程度造成破坏, 形成滑坡。一般这个数量较少, 但规模都较大。

## 3 库区泥石流分布规律及发展趋势

### 泥石流分布规律

库区的泥石流沟基本上分布在雅砻江干流两岸, 支流中泥石流沟数量较少。由于雅砻江干流两岸地形陡峻, 支沟具有沟短高差大、流域面积较小、且沟道较长的特点。

活动性泥石流主要分布距大坝 50~130 km 的南坝至金河段的宽缓河谷段, 共发育有各类泥石流沟 57 条, 但大多发育都不完善, 有的泥石流沟只有

形成区和堆积区, 流通区极短; 有的只有形成区和流通区, 堆积区因水库蓄水而被淹没, 原泥石流沟的特征已趋不明显, 有的形成了新的堆积区。

库区泥石流具有明显的季节性, 每年的 6、7、8 三个月是泥石流暴发的主要季节, 间或也有少数泥石流出现在 5 月或 9 月, 甚至 11 月也有泥石流的发生。泥石流一般都发生在连续的降雨过程中, 地表松散物被水分充分饱和后, 在暴雨的激发下, 发生泥石流。

### 泥石流活动特征

库区泥石流主要为降雨型泥石流, 固体物质补给来源主要为滑坡、崩塌、坡面侵蚀及沟床内的固体物质。根据泥石流的发育及活动状况, 库区泥石流可简单分为活动性泥石流和间歇性泥石流。

1. 活动性泥石流: 通常每年都有泥石流发生, 形成区山坡坡度大, 植被差, 山坡裸露, 地表侵蚀严重, 滑坡、崩塌等不良地质现象众多; 泥石流流通区的沟床纵比降大, 沟床内往往不通畅, 有易堵塞的沟段; 沟床横断面呈 V 型, 沟内冲淤变化大, 沿沟两侧的植物不易生存; 泥石流堆积扇不稳定且易于变化。

2. 间歇性泥石流: 目前处于暂时停歇阶段的泥石流沟, 但并未完全停止活动, 通常会在停歇数年或数十年后偶有发生。该类型形成区一般地表裸露面积小, 地表侵蚀程度低, 滑坡、崩塌及重力堆积等不良地质现象不多且零星分布, 松散固体物质储量不大, 流通区的沟道较为顺直通畅, 沟床断面呈 U 型。沟床纵比降均匀, 沟口堆积扇较稳定, 扇面上植被覆盖较好, 水流有比较固定的流径。

### 泥石流发展趋势分析

水库蓄水后, 虽然庞大的水体影响到库区的小气候, 但由于正常高水位线只达 1 200 m 而库区所有泥石流沟的形成区高程均在淹没线以上, 水库蓄水后并不能使形成区的自然条件 (固体物资、水源、地貌等) 发生根本性的改变。

据四川省水文手册和攀枝花市水土流失保持资料, 库区的侵蚀模数为  $670 \sim 4\,200 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 泥石流活动所引起的输沙模数远大于一般概念上的侵蚀模数。根据 1955—11 至 1981—01 两个时相的对比相片测算, 这期间下荒田流域泥石流年平均输沙量为  $34\,000 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ 。库区流域面积  $>100 \text{ km}^2$  的支流流域有 11 条, 其流域总面积为  $5\,200 \text{ km}^2$ , 分布着暴发频率不高、泥石流活动微弱, 但为数众多的小型沟谷型泥石流沟和坡面型泥石流, 均具有一定的输沙能力。按强度侵蚀模数低限  $1\,870 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$



a)计算其年输沙量, 整个支流流域的输沙量为  $9.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 。将以上两部分合计, 整个库区泥石流输沙总量约为  $2.2 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$ 。因此, 可以认为水库蓄水以来每年均以这个输沙量向水库输送泥沙, 近期内这个量不会发生大的变化。

## 4 结论

1. 二滩水电站经过多年的运行, 库岸共发生表层坍滑(群)122处, 体积约  $8.7 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。在库水位不发生大幅快速涨落和暴雨的条件下, 发生表层坍滑(群)的数量将逐渐减少;

2. 库区浅层和深层滑坡共 73 处, 体积共计约  $3.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。水库蓄水初期由于库水位的陡涨陡落, 引起斜坡内渗流压力增加, 对滑坡发生起到了诱发和促使其加速变形的作用。水库蓄水后, 库区内大部分已有的滑坡基本处于缓慢变形或局部复活状态, 如甘塘滑坡, 大坪子滑坡。同时也有部分斜坡变形加快形成滑坡, 如下荒田对岸的坪子上滑坡, 2000 年发生较大规模滑动。

3. 库区干流上泥石流沟流域面积为  $1\,230$

$\text{km}^2$ , 泥石流年输沙量为  $1.23 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。库区支流泥石流活动微弱, 且数量不多, 暴发频率不高。坡面泥石流(含坡面侵蚀)也具有一定的输沙能力, 这两部分合计约  $9.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 。因此, 整个库区泥石流年输沙量约为  $2.2 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。

致谢: 本论文由中国科学院西部之光项目“雅安市雨城区突发性山地灾害预警研究”支持。

## 参考文献 (Reference)

- [1] Sichuan Province area geology [M]. Beijing: Geology Press, 1991  
[四川省区域地质志 [M], 地质出版社, 1991]
- [2] Deformation inspected annals of slope at Jinlong Mountain [R]. 二滩金龙岗谷坡变形监测年报 [R].
- [3] Geologic Environment Report Around Ertan Reservoir [R]. 1993 二滩水电站库区地质环境考察报告 [R]. 1993.
- [4] Zhu Pingyi, Li Pei, Kong Jinling. Debris flow at the Ertan Reservoir area along Yaolangjiang River [J]. Mountain Research, 1995, 13(4): 273 ~ 278 [朱平一, 李沛, 孔纪名. 雅砻江二滩水电站库区泥石流 [J]. 山地研究 (现山地学报), 1995, 13(4): 273 ~ 278]
- [4] Hu Pinghua, Kong Jinling. Development of debris flow around Ertan Reservoir [J]. Journal of Mountain Research, 2004, 22(5): 578 ~ 582 [胡平华, 孔纪名. 二滩库区泥石流发育发展趋势初探 [J]. 山地研究 (现山地学报), 2004, 22(5): 578 ~ 582]

# Distributing and Evolution Trend of Geological Disaster in Ertan Reservoir

CHEN Xiuqiong<sup>1</sup>, CHEN Yongbo<sup>2,3</sup>, KONG Jinling<sup>1</sup>, HU Pinghua<sup>4</sup>

(1. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610014, China; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610015, China; 3. Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China)

**Abstract** Distributing law and evolution trend of geologic hazards at reservoir area has important influence on the life running of Ertan Power Station. Since 1998 when the water storage began, that fluctuation of reservoir water level, arise of eroding datum plane, and etc. have what kinds of influence on the stability and development of geologic hazards at reservoir area is the main matter which the institute should solve. Based on field collected data, the geologic hazards at reservoir area were analyzed systemically and evaluated, and thus an important basis for the Power Station's next working layout was provided.

**Key words:** Ertan; geological disaster; distributing; evolution; trend