

白格堰塞湖溃决洪水特性分析及其对下游梯级电站的影响

邓 则 军

(华电金沙江上游水电开发有限公司,四川 成都 610041)

摘 要:堰塞湖溃口洪峰流量及到达时间的准确预测是堰塞湖下游梯级水电站在制定应急方案时的重要参考依据。在重点分析了金沙江白格堰塞湖形成机制的基础上,考虑堰塞体溃口出流、冲刷及侧向拓展,按照 1/2 和 1/3 的溃决演变方式,计算出堰塞体下游梯级电站坝址处的洪峰流量及到达时间。结果表明,下游坝址离堰塞体距离越远,洪峰流量越小、到达时间越长。

关键词:白格堰塞湖;岸坡特征;溃决特征;下游电站影响

中图分类号:TV122+.4;Q349+.17;[TM622] **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2021)04-0091-03

Analysis on The Characteristics of Outburst Flood from Baige Dammed Lake and Its Impacts on Downstream Power Stations

DENG Zejun

(Huadian Jinsha River Upstream Hydropower Development Co, LTD, Chengdu, Sichuan, 610041)

Abstract: Accurate prediction of peak discharge and the arrival time of flood from the dammed lake's breach is an important reference for the cascade hydropower stations in the lower reaches to formulate emergency response plan. Based on analysis of the formation mechanism of the Baige dammed lake on the Jinsha River, considering the outflow, erosion, and lateral expansion of the breach of the dammed lake, this paper calculates the peak discharge and its arrival time at the dam site of the cascade power station downstream according to the failure evolution method of 1/2 and 1/3. The results show that the farther the downstream dam site is from the dammed lake, the smaller the peak discharge and the longer the arrival time.

Key words: Baige dammed lake; characteristics of bank slope; outburst characteristics; impact on hydropower stations downstream

0 引 言

当崩滑体、泥石流、冰川沉积物和火山喷出物等固体物质在较短时间内快速堆积形成结构松散的坝体时,河道因之受阻而形成具有一定库容的湖泊,即堰塞湖^[1]。堰塞湖本身构造极不稳定,在河道上游持续来流的情况下,堰塞湖水位将在短时间内急剧上升,从而诱发上游区域淹没,对上游沿岸居民生命、财产安全以及自然环境等造成重大威胁。

据统计^[2],大多数堰塞体在湖水持续浸泡、掏蚀及冲刷等作用下最终发生漫流溃坝,产生的巨大洪水也会对下游沿岸居民以及对下游水库、电站等造成严重影响。如雅鲁藏布江支流易贡湖

2000 年 4 月 9 日,由于发生特大崩塌型泥石流而形成堰塞坝,之后,堰塞湖水位以每天 1 m 的速度上涨,至当年 6 月 10 日发生溃决,涨水历时 62 d,拦蓄水量达 30 亿 m³,累计水位上涨 55.36 m,最大水深 62.06 m^[3];新西兰亚当斯山在 1999 年 10 月 6 日发生大面积山体滑坡(1 000~1 500 万 m³)形成约 120 m 高的堰塞体,造成波伊鲁阿河阻塞,短时间内形成一座长 1 200 m,宽 350 m,深 80 m,库容 500~700 万 m³ 的堰塞湖,之后 1 周左右,在大雨作用下导致堰塞湖溃决,最终发生重大地质灾害^[4]。

堰塞湖形成后,一旦发生不可控的突发性溃坝往往会产生较大的破坏,具有洪峰高、水量集中、洪水涨落迅速、传播速度快等特点。我国西南

收稿日期:2021-06-10

地区地处环太平洋地震带与欧亚地震带之间,堰塞湖等地质灾害时有发生,为降低堰塞湖溃决洪水诱发发生重大地质灾害的可能性,必须采取适当的紧急措施来控制堰塞湖的发育。为尽量降低堰塞湖溃决洪水所带来的不利影响,有必要探究堰塞湖溃决洪水的特点,分析堰塞湖溃决洪水发育过程,计算洪峰流量及到达下游的时间,为下游水电站、水库等采取主动应对措施提供科学的参考依据。以金沙江上游白格堰塞湖为例,分析其结构形态特征。基于水量平衡方程,建立了堰塞湖溃决洪水计算模型,研究了“11·3”白格堰塞湖开挖不同导流槽时的洪水溃决过程,通过与过流洪水实测结果对比,分析了不同处理方法对溃决洪水的影响,为我国高土石坝堰塞湖溃决洪水分析提供参考。

1 白格岸坡特征及堰塞湖基本情况

1.1 白格岸坡地质构造特征

白格岸坡位于金沙江构造的混杂岩带,属于河谷型构造破碎松散体,主要由弱变形构造透镜体岩块和强变形错动带构成。由于镜下岩石结构破坏严重,使其强度较低。在重力卸荷作用下,白格岸坡的滑动层发生贯通。同时,金沙江江水对白格岸坡坡脚持续掏蚀,在掏蚀作用和松散体重力卸荷的作用下,白格岸坡发生失稳滑移。通过对岸坡失稳全过程的综合分析,白格岸坡滑移为“推移式+牵引式”的混合型滑坡^[5]。

2018年10月10日约22:00,白格岸坡失稳发生第一次滑坡堵江。之后,滑坡体原址于次日3日17:00左右再次发生滑坡堵江。两次滑坡均造成金沙江江水断流,并形成堰塞湖,即“10·10”和“11·3”白格堰塞湖。经地质勘察校核,白格滑坡体地理坐标是东经98°42'17.98",北纬31°45'6.41"。

除已入江的部分外,白格滑坡体目前仍有部分未下滑入江,受下部水流冲刷切脚等影响可能产生新的滑动,从而形成新的堰塞湖,这种滑移趋势再次说明我国西南地区地质情况的复杂性,以及分析白格堰塞湖溃决洪水特性的必要性。

1.2 白格堰塞湖基本情况

第一次发生白格堰塞体堵塞金沙江之前,江水水面高程约为2 880 m,两次岸坡失稳阻塞金沙江形成堰塞湖后,江面高程出现不同程度上升。与“10·10”白格滑坡体所形成的堰塞湖相比,“11

·3”白格堰塞体阻塞河道所形成的堰塞湖面积更大、江面高程更高。两次滑坡形成的堰塞湖分别于10月13日、11月14日溃决,溃堰洪水对下游水电站产生了不同程度影响,特别是对在建的苏洼龙水电站影响重大^[6]。“10·10”和“11·3”两次白格堰塞体和堰塞湖的基本数据见表1。

表1 “10·10”与“11·3”白格堰塞体和堰塞湖基本数据^[7]

基本数据	“10·11” 白格堰塞湖	“11·3” 白格堰塞湖
堰塞体体积 /万 m ³	800	200 *
堰塞体顺河长度 /m	2 000	273 *
堰塞体顺河宽度 /m	450~700	195 *
堰塞体厚度 /m	61~100	33.5 *
堰塞体顶高程 /m	2 932.0	2 966.5
江水面原始高程 /m	2 880.0	2 892.8
堰塞湖最大库容 /亿 m ³	2.9	7.7
上游来水量 /(m ³ ·s)	1 700	650
最大水头 /m	52.0	76.0

表中,“*”表示“11·3”堰塞体在“10·10”堰塞体基础之上的相应增加量;两次堰塞湖最大库容分别对应最大垭口高程为2 932.0 m和2 966 m。从表1中可以看出,白格岸坡第二次失稳滑移(11月3日)后,堰塞体的体积、顺河长度、宽度以及高度出现不同程度增加,第二次较第一次堰塞体厚度最大增加约55%。

此外,白格堰塞湖库容与高程的关系也是下游梯级电站应对溃决洪水的重要参考资料。堰塞体至波罗下坝址区间河段的库容水位关系可通过实测断面计算得到,结合波罗电站预可阶段下坝址库容水位关系,基于断面法和地形法,计算得出白格堰塞湖库容曲线。白格堰塞湖库容曲线见图1。

从图1可以看出,随着水位上升,堰塞湖库容急剧增加。当堰塞湖水面高程为2 932 m时(对应“10·11”白格堰塞体垭口高程),堰塞湖库容约为2.9亿m³;当堰塞湖水面高程为2 966.5 m时(对应“11·3”白格堰塞体垭口高程),堰塞湖库容将达到7.7亿m³。“11·3”白格堰塞体具有更高的垭口高程,具有更大的库容和水头,这势必对下游水电站产生更大的威胁和影响。

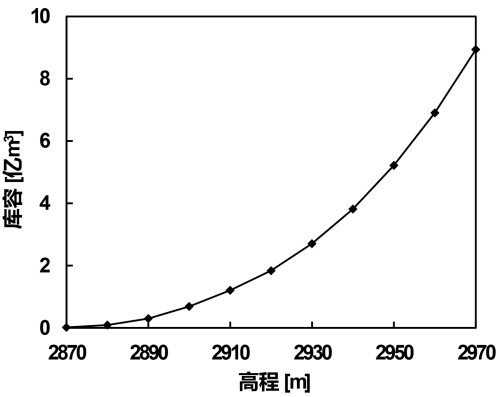


图 1 白格堰塞湖库容曲线

2 堰塞湖溃决特征及其对下游电站的影响

白格堰塞湖下游规划叶巴滩、拉哇、巴塘和苏洼龙等梯级电站,为确保各梯级电站安全应对溃决洪水,降低围堰的叠加洪水效应,避免对下游造成更大灾害和损失,必须对白格堰塞湖不同溃决方式下的洪峰流量做出准确预测,为下游电站在采取人工干预措施时提供科学依据。“11·3”白格堰塞湖较“10·11”堰塞湖规模更大,对下游的影响也更为显著。

基于堰塞体溃口出流、冲刷及侧向拓展,成都勘测设计研究院计算了白格堰塞体不同溃决方式下的溃口洪峰。根据“10·11”白格堰塞体溃决洪水过程有关资料,苏洼龙坝址的过洪洪峰流量与上游的巴塘洪峰流量基本相同。在进行“11·3”白格堰塞体溃决洪水分析时,苏洼龙坝址(距上游白格堰塞体约 224 km)的过洪洪峰流量采用与巴塘相同的洪峰流量数据。按照堰塞体发生 1/3 和 1/2 溃决,所需的时间分别为 3.5 h 和 4 h,白格堰塞体不同溃决方式下的洪水特征见表 2。

表 2 白格堰塞体不同溃决方式下的洪水特征

距堰塞 体距离 /km	地名	1/3 溃决		1/2 溃决	
		洪峰流量 (10 ³ m ³ /s)	洪峰传播 时间 /h	洪峰流量 (10 ³ m ³ /s)	洪峰传播 时间 /h
0	堰塞坝	28.1	0	45	0
54.1	叶巴滩	20.9	1.95	34.7	1.4
138.9	拉哇	17.3	4.95	29.2	3.67
160.8	巴塘	16.8	5.62	28.2	4.24

从表 2 可以看出,按照 1/3 堰塞体发生溃决计算,堰塞坝的洪峰流量为 28 100 m³/s;随着下游梯级电站远离堰塞坝,叶巴滩、拉哇以及巴塘坝址的洪峰流量则依次下降,洪峰传播时间则逐渐

增加。而按照 1/2 堰塞体发生溃决计算时,堰塞坝的洪峰流量则显著增加,高达 45 000 m³/s;同时,堰塞坝下游梯级电站的洪峰流量也出现不同程度增加,洪峰传播所需时间明显下降。下游苏洼龙坝址在两种溃决方式下的洪峰流量分别达到 16 800 m³/s 和 28 200 m³/s 坝址处洪水变化见图 2。

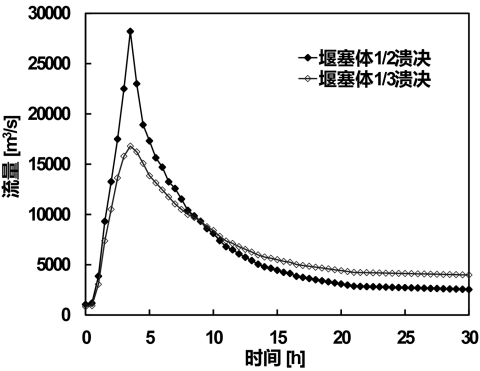


图 2 白格堰塞体不同溃决方式下苏洼龙坝址处洪水变化

从图 2 可以看出,堰塞体按照 1/2 和 1/3 方式溃决时,洪峰到达前,坝址处洪水流量快速增加;洪峰到达后,由于堰塞体缺口泄流作用,洪水流量表现出先快速下降后逐渐趋缓的变化。与堰塞体 1/3 发生溃决相比,堰塞体 1/2 发生溃决时,到达苏洼龙坝址处的洪峰流量更大,所需时间有所增加,且洪峰到达后的洪水流量削减趋势更为明显。发生“11·3”白格堰塞湖事件时,正值苏洼龙水电站建设高峰期。堰塞体发生 1/2 溃决时,到达苏洼龙坝址处的洪峰流量将远超水电站的过洪能力。综合考虑,为提高坝址安全,尽可能降低损失,苏洼龙水电站应采取人工干预措施应对“11·3”白格堰塞湖溃决。

3 结 语

堰塞湖溃决后,会对下游梯级电站造成不同程度的影响和危害,而堰塞湖溃口洪峰流量及到达时间的准确预测是堰塞湖下游梯级水电站在制定应急方案时的重要参考依据。经过对白格岸坡地质特征的分析 and “10·11”和“11·3”白格岩塞湖的特征对比,着重研究了不同溃决方式下堰塞体下游坝址处的洪峰特征,并按照 1/2 和 1/3 的溃决演变方式,计算出堰塞体下游梯级电站坝址处的洪峰流量及到达时间。同时,得出如下结论:

(下转第 115 页)

好详细记录,必要时可以留下照片等影像资料。

4 结 语

材料费作为水利水电工程总造价的重要组成部分一般占其 60%左右,部分装饰工程、安装工程的材料费甚至会达到工程总造价的 75%,所以,材料价格对工程造价具有重大影响。我们在控制工程造价时就必须做到合理确定材料价格,通过合理、具体的合同条款降低价格风险带来的影响,让参建各方积极采取有效措施控制工程造价,并在工程建设过程中对材料价格进行跟踪管理。本文就材料价格本身及其波动可能对工程造价产生的影响做出了分析,并提出了具有针对性的控制措施,希望能对以后涉及确认材料价格的相关工作有所帮助。

(上接第 93 页)

(1)白格岸坡滑移为“推移式+牵引式”的混合型滑坡,滑坡体规模巨大;

(2)计算结果表明,白格堰塞体发生 1/3 和 1/2 溃决时,苏洼龙坝址处的洪峰流量分别为 16 800 m³/s 和 28 200 m³/s。

参考文献:

[1] 马俊学,陈剑,崔之久,等. 堰塞湖溃坝堆积物的粒度特征分析:以岷江上游叠溪古滑坡堰塞湖为例 [J]. 现代地质, 2017, (31): 1261-1268.

[2] 陈生水,赵天龙,钟启明. 堰塞坝溃坝数学模型研究与应用[J]. 水利水运工程学报, 2015, (3): 1-8.

[3] 徐娜娜,邢爱国. 滑坡堰塞湖溃坝波影响因素分析[J]. 人

(上接第 97 页)

参考文献:

[1] 叶林春. 无人机遥感技术在水土保持监测中的应用研究 [J]. 水利技术监督, 2020, (6): . 267-269.

[2] 周湘山, et al. 遥感技术在水土保持监测中的应用[J]. 工程建设与设计, 2018, (6): 265-266.

[3] 姚赫,陈敏. 开发建设项目水土保持 GIS 管理系统建设探讨 [J]. 人民长江, 2008, 39(24): . 91-92.

[4] 王小川. 浅析 3S 技术在水土保持动态监测中的应用[J]. 低碳世界, 2020, 10(1): 49-50.

[5] 张歆,姚赫,高飞. 生产建设项目不同水土保持监测方法的比较分析[J]. 人民长江, 2017, 48(12): 36-41.

[6] 王新星. 卫星遥感与无人机遥感技术在生产建设项目水土保持监管中的应用——以晋陕蒙接壤地区部批生产建设项目为例[J]. 中国水土保持, 2019, (11): 29-33.

参考文献:

[1] 陈旭升. 建筑材料价格对建设工程造价的影响及风险管理 [J]. 工程技术与管理. 2020, 4(6): 243-245.

[2] 袁艳霞. 水利工程概预算编制中人工及材料费补差形式的探讨[J]. 山西水利科技. 1995, (11): 99-101.

[3] 缪建彬. 材料价格因素对工程造价的影响分析[J]. 价值工程. 2013, 32(36): 77-78.

[4] 姚亮. 材料价格变动对水工工程造价的影响及对策分析 [J]. 价值工程. 2020, (15): 1-2.

[5] 陶学明,李 颖. 工程造价控制中材料价格的风险管理研究 [J]. 建筑经济. 2006, (07): 73-75.

作者简介:

贺靖懿(1996-),女,四川成都人,助理工程师,工学学士,从事水电工程合同管理工作;

程婷婷(1994-),女,重庆垫江人,助理工程师,工学学士,从事水电工程合同管理工作. (责任编辑:卓政昌)

民黄河, 2012, (34): 83-85+88.

[4] 李运辉,陈献耘. 新西兰波伊鲁阿堰塞湖的形成及溃决 [J]. 水利水电快报, 2008: 1-3.

[5] 曹鹏,黎应书,李宗亮,等. 西藏昌都白格滑坡斜坡地质结构特征及成因机制[J]. 地球科学, 2020: 1-18.

[6] 王剑涛,薛宝臣,赵万青,等. 苏洼龙水电站遭遇白格堰塞湖灾害应对措施[J]. 水电与抽水蓄能, 2020, (6): 20-25.

[7] 陈祖煜,张强,侯精明,等. 金沙江“10·10”白格堰塞湖溃坝洪水反演分析[J]. 人民长江, 2019, (50): 1-4+19.

作者简介:

邓则军(1965-),男,四川成都人,工程师,硕士,从事水电工程开发建设技术管理工作. (责任编辑:卓政昌)

[7] 邓杨琼. 基于 GIS 的土地生态环境质量监测评价探析[J]. 南方农业, 2020. 14(26): 199-200.

作者简介:

王 苹(1984-),男,浙江温州人,工程师,本科,主要从事水土保持监测、水资源管理保护工作;

田应辉(1970-),男,贵州德江人,华电金沙江上游水电开发有限公司巴塘分公司副总工程师,高级工程师,从事工程建设管理工作;

阚思蒙(1995-),男,四川成都人,华电金沙江上游水电开发有限公司巴塘分公司环水保专责,助理工程师,从事工程建设管理工作;

李 宁(1992-),男,湖北赤壁人,助理工程师,本科,主要从事水土保持监测、水资源管理保护工作. (责任编辑:卓政昌)