

梯级水电站面临堰塞湖灾害时应对措施研究

鄢 勇

(华电金沙江上游水电开发有限公司,四川 成都 610041)

摘 要:我国西南地区水电开发处于新的高峰期,但山体存在大量的滑坡、崩塌点,极易形成堰塞湖灾害,这势必对已建、特别是在建水电站等造成严重威胁和不利影响。结合近年金沙江上游发生的地质灾害,尤其是白格岸坡垮塌阻塞金沙江的具体事例,研究白格堰塞湖溃决洪峰对下游梯级电站的影响,找出梯级电站面对上游堰塞湖溃决洪峰的有效应对措施,为今后发生类似地质灾害采取应对措施时提供参考。

关键词:堰塞湖;梯级水电站;溃决洪水;应对措施

中图分类号:[TM622];TV122+.4;U216.41+9.2 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2021)04-0087-04

Study on Emergency Responses of Cascade Hydropower
Stations Facing Dammed Lake Disaster

YAN Yong

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

Abstract: Hydropower development in Southwest China is at a new peak, but there are a large number of land-slides and collapses in the mountains, which can easily cause dammed lake disasters and pose a serious threat and adverse impact on the existing hydropower stations and in particular on those which are under construction. Based on the geological disasters occurred in the upper reaches of Jinsha River in recent years, and the specific case in which the Jinsha River is blocked due to slop collapse of Baige bank, this paper studies the impact of outburst flood peak of Baige dammed lake on downstream cascade hydropower stations, and finds out the effective response measures for cascade hydropower stations when facing outburst flood peak from the upstream dammed lake, and the findings in this paper can be referenced when similar geological disasters occur in future.

Key words: dammed lake; cascade hydropower stations; outburst flood; response measures

0 引 言

我国幅员广阔,西南、西北以及东北等高山峡谷区常有滑坡、泥石流等自然灾害发生,特别是西南地区地质复杂,山区沟谷纵横交错,山体在巨大势能作用下极易发生岸坡失稳。由于山体滑坡、崩塌等往往伴随有大量碎石冲击河道、堵塞江河,特别是在水流流速相对较低的枯水季节极易造成水流中断,从而形成堰塞湖。高危堰塞湖往往具有大蓄水量和强破坏力,同时具有对下游造成的灾害链长等特点,增大了堰塞湖灾害的处置难度。多数堰塞湖形成后,将在短时间内发生溃决^[1-2],为降低堰塞湖溃决给下游地区带来的不利影响,必须在极短时间内进行人工干预。

我国西南地区水电开发处于新的高峰期,但山体存在大量的滑坡、崩塌点,极易形成堰塞湖灾害,这势必对已建、特别是在建水电站等造成严重威胁和不利影响^[3]。结合近年金沙江上游发生的地质灾害,尤其是白格岸坡垮塌阻塞金沙江的具体事例,研究白格堰塞湖溃决洪峰对下游梯级电站的影响,找出梯级电站面对上游堰塞湖溃决洪峰的有效应对措施,为今后发生类似地质灾害采取应对措施时提供参考。

1 白格堰塞湖对下游梯级电站的影响

1.1 白格堰塞湖的规模

2018 年 11 月 3 日 17:00 左右,白格岸坡再次垮塌,阻塞金沙江江水通道,形成“11·3”白格堰塞湖。此次堰塞体规模约有 1 000 万 m³,其中

收稿日期:2021-06-10

800 万 m³ 为“10·10”白格岸坡失稳残留。本次新增量约为 200 万 m³,新增堰塞横河向长度约 195 m,新增堰塞体顺江长度 273 m,堰顶垭口高程约 2966 m。堰塞体主要由强风化片麻岩发生高位垮塌碰撞形成的块碎石土组成。据测算,在上游江水持续来流情况下,堰塞湖蓄满时间预计为 10.5 天,所对应的满库库容为 7.7 亿 m³(对应 2 966 m 垭口高程)。

1.2 下游梯级电站坝址处预估洪峰流量

按照白格堰塞体堰体 1/3 溃决和 1/2 溃决两种方式、溃决时间依次按 3.5 h 和 4 h 计算,白格堰塞体处溃决洪峰将分别达到 28 100 m³/s 和 45 000 m³/s。白格堰塞体下游的金沙江上游河段有叶巴滩、拉哇、巴塘、苏洼龙等在建梯级水电站,坝址离白格堰塞体距离依次为 54.1 km、139.0 km、160.9 km 和 224.0 km。参照“10·10”白格堰塞湖发生时苏洼龙坝址处与巴塘坝址处洪峰流量基本相同,按照堰塞体 1/2 溃决方式计算,各坝址处的洪峰流量将分别达到 34 700 m³/s、29 200 m³/s、28 200 m³/s 和 28 200 m³/s。

2 梯级电站面临堰塞湖灾害的应对措施

“11·3”白格堰塞湖满库库容达 7.7 亿 m³,一旦发生溃决,将对下游临近梯级电站造成严重影响和损失。参照“10·11”(堰塞湖名)溃决洪水影响,首先考虑实施白格堰塞体人工干预措施。时值冬季,要新修 12km 长道路到达堰塞体,无疑施工组织难度大,短时间内不能实现预期目标,因此,下游电站防洪应急措施须考虑上游白格堰塞体不能实施人工干预的情况。“11·3”白格堰塞湖发生时,下游梯级电站处于在建或建成运行状态,故需采取不同的应对措施。

2.1 已建成水电站防御堰塞湖溃决洪水应对措施

已建成水电站在面对堰塞湖灾害时,一般通过梯级电站的调蓄作用,适量腾空库容来消纳堰塞湖溃决洪水,从而削减洪水级别^[4]。“11·3”白格堰塞湖发生时,金沙江中游梯级梨园、阿海、金安桥、龙开口和鲁地拉等水电站正处于运行状态。根据溃坝洪水分析成果及水库运行情况,水利部长江水利委员会提出按照堰塞体溃决前和溃决后的“两阶段、四步走”腾库实施方案,11 月 10 日,下达 67 号调度令,通过金沙江中游梯级水库腾出

足够库容消纳溃坝洪水,优先使用梨园、阿海、金安桥水库拦蓄洪水,分阶段对水库进行调度。累计腾空库容约 8.07 亿 m³,可用调节库容达 13.0 亿 m³。金沙江中游梯级电站开展应急调度后,白格堰塞湖溃决在金沙江上游万年一遇洪水被削减为一般洪水^[5]。

2.2 在建水电站防御堰塞湖溃决洪水应对措施

在建水电站工程状态的差别,导致防御堰塞湖溃决洪水的应对措施差异较大,且通常较为复杂。在制定应对措施时应考虑工程建设状态、堰塞湖溃决洪峰等因素。以在建的苏洼龙水电站面临白格堰塞湖溃决洪水的应对措施为例,探讨在建水电站面临堰塞湖洪水时的应对措施。

2017 年 11 月,苏洼龙水电站实现大江截流。上下游围堰为土石围堰,于 2018 年 5 月底完工。其中,上游土石围堰堰顶高程 2 432 m,对应库容 1.37 亿 m³,在设计 20 年一遇洪水标准下,堰前水位 2 429.85 m。围堰顶宽 10 m,最大堰高 50 m,堰顶轴线长约 403.89 m。下游土石围堰堰顶高程 2 396 m,在设计 20 年一遇洪水标准下,堰前水位 2 394.6 m。“11·3”白格堰塞湖形成时,苏洼龙水电站已进入主体建设期,拦河坝基坑开挖基本完成,坝基振冲碎石桩正是施工高峰。

根据苏洼龙坝址处的水位、库容和导流洞及泄洪洞联合泄流能力,苏洼龙水电站在遭遇白格堰塞体溃决洪水时,考虑上游围堰不过水和过水两种情况,为苏洼龙水电站制定应对堰塞湖溃决洪水措施提供科学依据。

2.2.1 加高围堰挡水

为保证上游围堰的完整性并充分发挥其挡水作用,采取上游围堰加高挡水可作为候选应对措施之一,但需对其可行性进行验证。在遭遇白格堰塞体 1/3 和 1/2 两种溃决方式的洪水时,经调洪计算得到围堰上游水位及泄洪建筑物最大下泄流量,上游围堰挡水位计算成果见表 1。

表 1 苏洼龙上游围堰挡水位计算成果

堰塞体 溃决方式	坝址处洪峰流量 /m ³ ·s ⁻¹	最高水位 /m	最大下泄流量 /m ³ ·s ⁻¹
1/3 溃决	16 800	2 441.02	6 969.98
1/2 溃决	28 200	2 448.35	7 340.64

从表 1 可以看出,当白格堰塞体在 1/3 溃决时,苏洼龙坝址处上游围堰的挡水位将达到

2 441.02 m;当堰塞体在 1/2 溃决时,挡水位达到 2 448.35 m。在两种溃决方式下,泄洪建筑物最大下泄流量均已超过导流标准,采用 20 年一遇洪水时所相应洪峰流量 6 180 m³/s,且上游围堰挡水位将分别高出苏洼龙水电站上游围堰现有堰顶高程 9.02 m 和 16.35 m。

苏洼龙上游围堰的堰顶高程为 2 432 m,参考“10·11”白格堰塞体溃决洪水过程资料,计算得出了苏洼龙上游围堰最高可抵御的洪水。白格堰塞体溃决洪水传播至苏洼龙坝址处时的洪水过程见图 1。

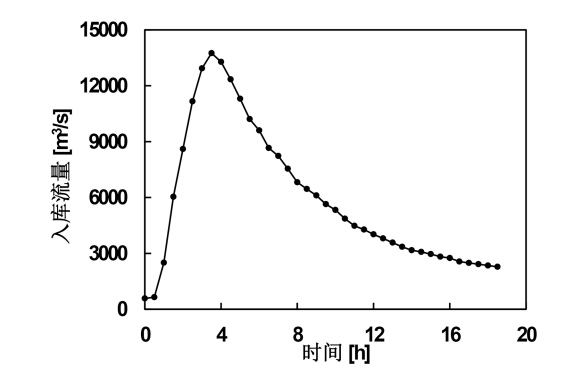


图 1 白格堰塞体溃决洪水传播至苏洼龙坝址时的过程

从图 1 可以看出,苏洼龙坝址处洪峰流量高达 13 750 m³/s,远超苏洼龙上游围堰抵挡能力。基于苏洼龙上游围堰现有最大挡水能力,只有降低白格堰塞体溃决水位,使白格堰塞湖的蓄水库容及溃决时突发洪水规模下降,才能维持苏洼龙上游围堰的完整性。经计算和分析得出,白格堰塞体溃决的总水量不超过 4 亿 m³、溃决水位不超过 2 943 m 时,苏洼龙上游围堰最高挡水位才不会高于 2 432 m。

苏洼龙上游围堰的堰顶宽度 10 m,如果在现有围堰基础上进行加高,一方面围堰加高高度有限,另一方面存在时间紧迫、施工难度较大的问题,根据溃决洪水计算结果,采用加高上游围堰来拦蓄堰塞湖洪水的可行性较差。

2.2.2 开挖泄流通道过水

为避免上游围堰过水时发生溃决,首先需要分析上游围堰过流堰面抗冲能力。上游围堰为土石围堰,采用石渣和堆石填筑,堰顶高程 2 432 m,下游坡比 1 : 1.5。大坝基坑建基面高程 2 370

m,在设计洪水标准下,挡水水头约 60 m。按白格堰塞体 1/2 溃决洪水考虑,假定苏洼龙上、下游围堰均不溃决,堰顶堰面不破坏,上游围堰过流后堰前最高水位 2 437.78 m,基坑内水位 2 402.83 m,上游围堰的下游堰面最大流速约 23 m/s,远大于石渣或堆石抗冲流速。因此,一旦上游围堰遭遇白格堰塞体溃决洪水形成过流,围堰将溃决。

苏洼龙上游围堰堰顶高程 2 432 m 对应的库容约为 1.37 亿 m³,按照围堰堰体“全溃决”、“2/3 溃决”和“1/2 溃决”三种溃决方式进行了溃堰分析,结果表明,溃口形成时的流量分别为 43 300 m³/s、28 900 m³/s 和 21 700 m³/s,联合导流洞及泄洪洞泄流流量 6 230 m³/s,则溃口形成时合计下泄流量分别为 49 530 m³/s、35 130 m³/s 和 27 930 m³/s。上游围堰在堰体“全溃决”、“2/3 溃决”的情况下,溃堰后下泄总流量均大大超过白格堰塞体 1/2 溃决状况形成的苏洼龙坝址处洪峰流量 28 200 m³/s,叠加效应明显。因此,为减轻苏洼龙上游围堰溃决时洪水对下游的影响,有必要考虑对上游围堰采取主动破口措施。

通过对上游围堰不同破口方案的溃决洪水分析,考虑围堰过流的水力学条件,上游围堰破口方案应考虑从中部向两侧开挖,泄流槽断面为梯形复合断面,底宽 10 m,两侧边坡 1 : 1.2。在泄流槽开挖过程中,可根据两侧边坡的稳定性,动态调整泄流槽边坡坡度。为降低围堰溃堰溃口形成时的下泄流量叠加效应,在施工工期许可范围内应尽可能深挖泄洪槽。

此外,为降低上游围堰过水时的上下游水头差,在上游围堰破口完成后,对下游围堰进行破口,使基坑提前充水。

2.2.3 堰塞湖洪水对电站的影响

“11·3”白格堰塞湖溃决后,溃决洪水于 11 月 14 日 1 点 25 分抵达苏洼龙水电站坝址;2 点 25 分,堰前水位出现最高值 2417.6 m;3 点 50 分,洪峰流量达到 19 800 m³/s,远超电站校核洪水标准(PMF: Probable Maximum Flood)12 500 m³/s。

上游围堰在“11·3”白格堰塞湖溃决洪水到达之前,采取了提前破口形成过流槽,以降低围堰的叠加洪水效应。洪水过后,上游围堰冲毁宽度

约 285 m,其中左岸残留堰体约 82 m,右岸残留堰体约 36 m,残留堰体顶部及上游侧均分布有拉裂缝。下游的大坝基坑基本被淤平,淤积顶高程约 2 396 m,超出大坝建基面 2 370 m 约 26 m。混凝土防渗墙盖帽约 150 m 范围破坏严重,盖帽被冲走,下部防渗墙顶部被破坏。下游围堰冲毁宽度约 219 m(围堰轴线长约 405 m),防渗墙盖帽约 30 m 范围被冲走,下部防渗墙顶部被破坏。

4 结 语

堰塞湖溃决洪水对其下游梯级电站具有严重影响,必须提前做好应急措施以降低灾害损失。通过梯级水电站(包括已建水电站和在建水电站)在面临堰塞湖灾害时的应对措施的分析研究,可得出如下结论:

- (1)对于已建水电站,在堰塞湖溃决洪峰来临之前,加强流域调度,发挥梯级电站调蓄作用,适量腾空库容消纳堰塞湖溃决洪水,削减洪水级别;
- (2)对于在建水电站,结合实际工程状态,可

采取加高围堰挡水或开挖泄流通道等应对措施,减轻堰塞湖洪水对在建水电站构筑物的破坏,也要考虑降低坝址处瞬时合计下泄流量对下游的影响。

参考文献:

[1] 解家毕,丁留谦,张启义. 堰塞湖溃坝控制和人工排险技术[J]. 地质灾害与环境保护,2012,23(1):96-102.

[2] 郑委,龚羊庆. 堰塞湖溃决研究综述[J]. 甘肃水利水电技术,2019,55(2):14-19.

[3] 丁俊,魏伦武,赖绍民,等. 我国西南地区城市地质灾害与防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报,2004,(15):119-146.

[4] 陈祖煜,胡贵良,张强,等. 金沙江梯级水电站在“11·3”白格堰塞湖应急处置中的减灾分析[J]. 水力发电,2020,46(8):59-63.

[5] 陈敏. 金沙江白格堰塞湖处置中水库应急调度经验与启示[J]. 人民长江,2019,50(3):10-14.

作者简介:

鄢勇(1969-),男,湖北浠水人,高级工程师,本科,从事水电工程开发建设技术管理工作。(责任编辑:卓政昌)



(上接第 86 页)

[4] 裴向军,何如许,朱利君,等. 锦屏一级水电站左岸边坡蓄水变形响应研究[J]. 中国农村水利水电,2019, No. 444(10):143-151.

[5] Jingen M A ,Corporation C E . Application of Slide in Analysis of Slope Stability[J]. Resources Environment & Engineering, 2014.

[6] Chandra D ,Jiang C . Application of Spencer's Method for Slope Stability Analysis[C]. Computing in Civil & Building Engineering. ASCE, 2015.

[7] 朱大勇,钱七虎. 三维边坡严格与准严格极限平衡解答及工程应用. 岩石力学与工程学报,2007,26(8):1513-1528.

[8] Griffiths D V, Lane P A. Slope stability analysis by finite elements[J]. Géotechnique, 1999, 49(3):387-403.

[9] 赵尚毅,郑颖人,张玉芳. 极限分析有限元法讲座——Ⅱ有限元强度折减法中边坡失稳的判据探讨. 岩土力学,2005,26(2):332-336.

[10] 郑宏,李春光,李焯芬,等. 求解安全系数的有限元法. 岩土工程学报,2002,24(5):626-628.

[11] Goodman R E, Shi G H. Block Theory and Its Application to Rock Engineering. Prentice—Hall, 1985, 26(1):103-105.

[12] 鄢爱清,丁秀丽,卢波,等. DDA 方法块体稳定性验证及其在岩质边坡稳定性分析中的应用. 岩石力学与工程学报,

2008,27(4):664-672.

[13] 陈鑫,赵洲,杨鹏. 基于颗粒流方法的滑坡灾变过程及冲击致灾预测研究[J]. 水力发电,2020, v. 46;No. 552(04):38-43.

[14] 张国新,李海枫,黄涛. 三维不连续变形分析理论及其在岩质边坡工程中的应用. 岩石力学与工程学报,2010,29(10):2116-2126.

[15] 吴建宏,大西有三,石根华,等. 三维非连续变形分析(3D DDA)理论及其在岩石边坡失稳数值仿真中的应用. 岩石力学与工程学报,2003,22(6):937-942.

[16] 吴旭彬,张巍. 基于 Midas—GTS 的某高速公路堆积型滑坡治理前后稳定性分析[J]. 水电与新能源,2020,34(10):10-17.

作者简介:

吕庆超(1985-),男,吉林梅河口人,高级工程师,博士,从事岩土工程设计与科研工作;

朱颖儒(1986-),男,山东邹平人,高级工程师,硕士,从事泄水建筑物设计与科研工作;

齐景瑞(1987-),男,甘肃武威人,工程师,本科,从事地质勘测工作;

李渤(1991-),男,陕西西安人,工程师,硕士,从事泄水建筑物设计与科研工作。

(责任编辑:卓政昌)