

文章编号:1001-4179(2015)10-0074-03

# 水库联合调度在堰塞湖排险处置中的作用研究

王绍志,舒远华,郎学友

(云南省水文水资源局 昭通分局,云南 昭通 657000)

**摘要:**2014年8月3日,云南鲁甸县6.5级强震在牛栏江干流形成了大型堰塞湖,应急排险和处置施工的难度较大。基于干、支流多个水文监测点的观测数据,对牛栏江已建的4个水库、电站实施了联合调度。利用上游德泽水库实施洪水拦蓄并削减洪峰,有效减少了堰塞湖的防洪压力。对小岩头电站实施严格管理,遇特殊水情时保持上游来水与下泄水量一致。对下游天花板电站、黄角树电站实行空库度汛,确保溃坝险情出现时具备拦洪功能。经过6次联合调度以及3个多月的后续处置,有效减小了堰塞湖上、下游防洪压力,保障了下游沿岸集镇安全。

**关键词:**水库调度;堰塞湖;排险处置;牛栏江;云南

中图法分类号:T 文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.10.018

2014年8月3日16:30,云南鲁甸县发生6.5级强烈地震,在牛栏江干流上的红石岩处形成堰塞湖。该堰塞体堆积总方量约1 000万 $\text{m}^3$ ,堰塞体顶高程1 216 m(河床高程1 120 m),在水位1 216 m时总库容达2.6亿 $\text{m}^3$ ,上游回水长度约25 km,属“大型堰塞湖”,应急排险和处置施工难度大。在堰塞湖上游建有德泽水库(大型水库)和小岩头电站,堰塞湖附近建有红石岩电站,下游分别建有天花板电站和黄角树电站。在堰塞湖下游39 km处有陡滩口村庄,55 km处还分布有巧家县小河集镇等。堰塞湖的形成对上下游人民群众生命财产安全构成严重威胁。为减小堰塞湖防洪压力,按照应急排险和后续处置指挥部要求,制定了水库联合调度方案,经过多次运行,为堰塞湖上下游人民群众生命财产安全提供了可靠保障。

## 1 堰塞湖概况

牛栏江发源于昆明市杨林海,位于 $102^{\circ}53' \sim 104^{\circ}05'$ , $25^{\circ}02' \sim 27^{\circ}24'$ 之间,属长江流域金沙江下段右岸一级支流。河流由南向北流经嵩明、寻甸、马龙、沾益、宣威、会泽、鲁甸、巧家等县后,在巧家县红山乡汇入金沙江,河长469 km,流域面积13 211  $\text{km}^2$ 。河道平均坡降6.5‰。

堰塞湖上游牛栏江干流上的水利工程有德泽水库、象鼻岭水电站、小岩头水电站。德泽水电站控制集水面积4 551  $\text{km}^2$ ,正常蓄水位1 790 m,正常库容4.16亿 $\text{m}^3$ ,总库容4.48亿 $\text{m}^3$ ,调节库容0.320 0亿 $\text{m}^3$ ,大坝坝顶高程为1 796.30 m,最大坝高142 m,挡水结构为混凝土面板堆石坝。象鼻岭水电站(建设中)位于牛栏江中下游,坝址控制集水面积11 405  $\text{km}^2$ ,调节库容1.69亿 $\text{m}^3$ 。小岩头电站水库为日调节水库。堰塞湖下游有天花板电站水库,总库容0.787 1亿 $\text{m}^3$ ,死水位以下库容0.294 9亿 $\text{m}^3$ ;黄角树电站水库,总库容0.406 0亿 $\text{m}^3$ ,正常库容为0.240 8亿 $\text{m}^3$ ,见图1。

## 2 调度方案的确定

水库联合调度方案主要是以牛栏江上已建的德泽水库、小岩头电站、天花板电站、黄角树电站的综合调度以及德泽、黄梨树、大沙店、堰塞湖、天生桥、小河等水文监测站点的观测数据为基础共同建立的。上游德泽水库进行拦蓄和削减洪峰,有效减少堰塞湖防洪压力;对小岩头电站实行严格管理,在遇特殊水情时保持上下来水平衡(上游来水与下泄水量一致);对下游天花板电站、黄角树电站实行空库度汛,将水位降至一定的限制水位,出现堰塞湖溃坝险情时拦蓄一定洪峰,确

收稿日期:2015-03-20

作者简介:王绍志,男,工程师,主要从事水文分析计算及水资源调查评价工作。E-mail:ztszswj@163.com

保下游沿岸的陡滩口、小河等集镇人民群众的生命财产安全。

根据牛栏江干流上游的七星桥、德泽、黄梨树、大沙店、天生桥等水文控制站点及堰塞湖水位站观测资料,确定水库联合调度方案,并参考天气预报成果及洪水演进结果,在河道流量较小时,有序、合理调节各水库库容。在遇极端天气情况下,一方面为保护自身安全,另一方面可逐级拦截洪水,保障下游安全。

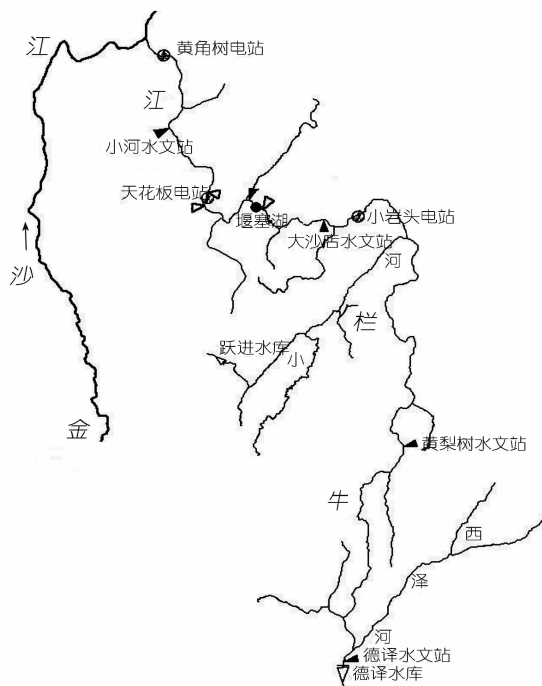


图 1 牛栏江水系及重要水利工程分布

### 3 水库调度运行

(1) 第 1 次调度。鲁甸 6.5 级地震后,在牛栏江干流上形成堰塞湖,据天花板电站观测的水位数据,入水库流量接近于零,在对堰塞湖情况不太清楚的情况下,为减少溃坝威胁,协调上游德泽水库,在不影响水库自身安全的前提下,下闸拦蓄,同时要求下游天花板、黄角树电站加大水库下泄流量,尽可能地腾空库容,以便拦截堰塞湖不确定因素造成的次生灾害。至 8 月 7 日 13:00,德泽水库共拦蓄水量近 0.4 亿  $\text{m}^3$ ,天花板电站、黄角树电站水位已降至死水位附近。

(2) 第 2 次调度。2014 年 8 月 10 日 08:00,根据昭通市气象局气象预测数据,受冷锋切变和西南季风影响,预计 8 月 10~12 日,地震灾区及堰塞湖上游将出现一次强降水过程,雨量预计为 20~40 mm,局地 50~100 mm。结合牛栏江流域天气系统,受降水影响,上游来水量将逐步增大,预报最大洪峰流量出现在 8 月 12 日 17:00 左右,洪峰流量超 400  $\text{m}^3/\text{s}$ 。制定调度方案为,德泽水库 8 月 10 日 08:00~12 日 20:00 期

间,根据目前蓄水情况关闭闸门,拦截强降水造成的洪水;下游天花板电站水库、黄角树电站水库控制在死水位运行。至 8 月 12 日 20:00,此次洪水过程中,德泽水库共拦蓄洪水近 0.6 亿  $\text{m}^3$ 。

(3) 第 3 次调度。2014 年 8 月 15 日 08:00,德泽水库水位 1 788.04 m,水库蓄水量 4.007 亿  $\text{m}^3$ ,距正常蓄水库容仅有 1 000 多万  $\text{m}^3$  调洪库容。根据昭通市气象局气象预测,预计震区在 8 月 17 日 08:00~18 日 08:00 有中到大雨,降雨量 30~50 mm。因该段时间堰塞湖正处于排险处置过程中,坝体上泄流槽正在进行开挖,数百人参与施工,上百台大型施工机械聚集于此,水文部门据此预估可能造成的洪水风险。而当时的德泽水库,经过前段时间的洪水拦截,正处于汛限水位左右运行,防洪压力较大。经过一系列的分析计算,得出德泽水库须立即放水以腾出 0.2 亿  $\text{m}^3$  库容,实现对下一过程洪水的有效拦截。最后确定的调度方案为:8 月 15 日 19:00 提前泄洪,腾出库容,与 16 日 12:00 以后形成的洪峰错开,减轻对堰塞湖处置的影响。而当日 19:40 时下泄洪水 160  $\text{m}^3/\text{s}$ ,20:00 时下泄 200  $\text{m}^3/\text{s}$ ,22:00 时下泄 240  $\text{m}^3/\text{s}$ ,23:00 时下泄 240  $\text{m}^3/\text{s}$ ,24:00 时下泄 280  $\text{m}^3/\text{s}$ ,并维持至 16 日 12:00 时,此后按下泄 280  $\text{m}^3/\text{s}$  的基数每小时递减 50.0  $\text{m}^3/\text{s}$ ,至 16:00 时控制到 80.0  $\text{m}^3/\text{s}$  的下泄流量稳定运行;下游天花板电站、黄角树电站水位控制在死水位运行。

(4) 第 4 次调度。8 月 23 日堰塞湖应急排险指挥部召开堰塞湖防汛会议,并与天花板电站业主共同讨论确定该电站运行方案,即在上游来水稳定、堰塞湖防洪压力不大的情况下,天花板电站可将水位蓄至 1 070.00 m,确保电站正常运行,但不能超过汛限水位 1 071.05 m。

(5) 第 5 次调度。9 月 15 日~18 日,各级气象预报机构分别对台风“海鸥”登陆点、移动路线、降雨量级进行了预测,同时,水文部门也对降雨形成的洪峰及入堰塞湖水量进行分析预测。提出的调度方案为:德泽水库根据蓄水状况及自身安全,采用先泄后蓄方式进行运行,计划下泄 0.4 亿  $\text{m}^3$  水量。该水库于 8 月 15 日 22:00 开闸泄洪,下泄流量从 21.0  $\text{m}^3/\text{s}$  (发电流量)逐步上升到 195  $\text{m}^3/\text{s}$ ,泄洪时间长达 100 h,下泄洪水总量为 5 282 万  $\text{m}^3$ ,加上前期调节的 1.100 亿  $\text{m}^3$  库容,为拦截台风“海鸥”影响区间产生的洪水,共调节出 1.500 亿  $\text{m}^3$  库容。同时,要求下游天花板电站控制水位在 1 054.87 m、相应库容 0.362 1 亿  $\text{m}^3$  以下运行,黄角树电站水库控制在死水位运行。在台风“海鸥”影响期间,德泽水库上游河道来水总量达 1.532 亿

$\text{m}^3$ 。

(6) 第 6 次调度。10 月 3 日 15:30, 堰塞湖泄洪洞出现涌水, 应急排险指挥部迅速进行调度, 要求上游德泽水库不能加大泄量, 同时要求天花板电站前期加大泄量, 但最大下泄流量不能超过  $800 \text{ m}^3/\text{s}$ , 腾出库容有效地拦蓄堰塞湖泄洪洞涌水产生的洪水。此次调度天花板电站全部拦蓄堰塞湖泄洪洞涌水下泄洪水, 同时该电站最大下泄流量为  $731 \text{ m}^3/\text{s}$  (按调度要求小于  $800 \text{ m}^3/\text{s}$ ), 保证了下游小河等集镇的防洪安全。

## 4 不实施调度各阶段险情分析

(1) 堰塞湖形成初期。由于没有泄流槽 (仅堰塞湖坝体有少量的渗流量), 在 8 月 3 日 16:30 ~ 8 月 7 日 13:00 短短 92.5 h 内, 堰塞湖湖内水位由 1 138.00 m 迅速上涨至 1 176.87 m, 涨幅达 38.87 m, 涨率达  $0.42 \text{ m/h}$ , 湖内水量为  $0.525 4 \text{ 亿 m}^3$ 。若不实施河库调度, 德泽水库不进行拦蓄, 水量将达到  $0.925 4 \text{ 亿 m}^3$ , 水位将上涨至 1 191.83 m, 上涨幅度达 53.83 m。若造成堰塞湖溃坝, 按全部溃决计算, 洪水演变至下游 39 km 处的陡滩口村庄流量将达到  $8 530 \text{ m}^3/\text{s}$ , 至 55 km 处的小河集镇流量将达到  $6 600 \text{ m}^3/\text{s}$ , 至 81 km 处的金沙江汇口流量为  $4 400 \text{ m}^3/\text{s}$ , 将给沿江人民群众的生命财产安全造成严重损失。

(2) 堰塞湖处置阶段。堰塞湖处置指挥部决定在堰塞坝坝顶开挖泄流槽, 动用多台大型机械及上百人的处置队伍进行排险作业, 若遇流域内强降水, 整个处置系统都将面临危险。8 月 12 日 20:00, 湖内水位为 1 181.20 m, 湖内水量为  $0.613 0 \text{ 亿 m}^3$ 。如德泽水库不进行拦截, 从 10 日 08:00 至 12 日 20:00, 成功拦蓄的  $0.600 0 \text{ 亿 m}^3$  洪水流入湖内, 湖内水位将达到 1 197.73 m, 水量将达到  $1.213 0 \text{ 亿 m}^3$ , 比拦蓄后的湖内实际水位高出 16.5 m。假设此水位造成溃坝, 按全溃计算, 洪水演进至下游 39 km 处的陡滩口村流量将达到  $8 800 \text{ m}^3/\text{s}$ , 55 km 处的小河集镇流量将达到  $6 800 \text{ m}^3/\text{s}$ , 至 81 km 处的金沙江汇口处流量为  $4 480 \text{ m}^3/\text{s}$ , 将对应急排险施工人员及上下游群众生命财产安全构成严重威胁。

(3) 堰塞湖涌水险情阶段。10 月 3 日 15:30, 堰塞湖应急泄流洞发生涌水险情, 至 4 日 20:00, 短短 28.5 h 内, 湖内水位下降 36.80 m, 湖容由  $0.484 0 \text{ 亿 m}^3$  降至  $0.008 8 \text{ 亿 m}^3$ , 下泄水量  $0.475 2 \text{ 亿 m}^3$ , 平均下泄流量  $465 \text{ m}^3/\text{s}$ , 最大下泄流量  $655 \text{ m}^3/\text{s}$ , 由于前期进行了有效调控, 使下游天花桥电站控制在水位

1 054.87 m、相应库容  $0.362 1 \text{ 亿 m}^3$  (总库容  $0.787 1 \text{ 亿 m}^3$ ) 以下, 黄角树电站水库控制在死水位运行, 当涌水来临时, 未对两电站水库造成任何安全威胁。如不进行前期有效调控, 电站为了保证最大经济效益, 一般均在汛限水位运行, 天花板电站汛限水位为 1 071.05 m, 相应库容为  $0.657 0 \text{ 亿 m}^3$ , 与总库容仅相差  $0.130 0 \text{ 亿 m}^3$ , 当湖内  $0.475 2 \text{ 亿 m}^3$  的水量下来时, 将造成天花板电站水库洪水翻坝。如该坝溃决, 按全部溃决计算, 洪水演变至下游陡滩口村流量将达到  $15 000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上, 演变到小河集镇流量将达到  $10 500 \text{ m}^3/\text{s}$ , 至金沙江汇口处流量为  $6 200 \text{ m}^3/\text{s}$ , 如此大量级的洪水, 将对下游上万人的生命、财产造成严重的威胁, 损失无法预估。

## 5 河库调度发挥的作用

水库调度在堰塞湖应急排险和后续处置中发挥了重要作用, 主要体现在以下几个方面: ① 利用牛栏江干流上的几个水文控制站实测资料进行预测预报, 为调度运行提供科学依据<sup>[1-2]</sup>; ② 利用上游德泽水库拦蓄洪水及削减洪峰, 减小牛栏江红石岩堰塞湖的防洪压力; ③ 对下游天花板电站、黄角树电站实行统一调度, 提前腾空库容能够有效地拦截堰塞湖下泄洪峰, 减小对下游沿岸陡滩口、小河等集镇的影响。通过实施河库调度有效保障了堰塞湖应急排险和后续处置施工安全, 能够防止 (或减少) 次生灾害发生, 为堰塞湖上下游沿 (库) 河两岸居民生命财产安全提供了保障, 确保了水库及电站的自身安全。

在 2014 年 8 月 3 日牛栏江堰塞湖形成后, 德泽水库于 8 月 4 日下闸拦蓄洪水, 下泄流量由之前的  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  下调到  $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$ , 为堰塞湖应急排险赢得了宝贵时间。在强台风“海鸥”影响期间, 德泽水库先泄后蓄, 有效地拦截洪峰, 为下游堰塞湖施工队伍和沿岸人民生命财产安全提供保障。10 月 3 日堰塞湖泄洪洞出现涌水, 最大下泄流量达  $655 \text{ m}^3/\text{s}$ , 对下游天花板电站等防洪区构成严重威胁, 指挥部再次对天花板电站进行科学调度 (拦削上游洪峰后再控制下泄流量), 在下泄的最大流量到达天花板电站前提前腾出调蓄库容, 有效拦截、削减了堰塞湖最大下泄洪峰, 从而保障了下游人民生命财产安全。通过对调度影响的对比分析可见, 河库调度在红石岩堰塞湖处置过程中发挥了重要作用。

## Cause analysis of lean – forward phenomenon of a concrete gravity dam

TAO Congcong, WU Bo, SONG Yongzhan

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** The prototype monitoring data of a concrete gravity dam in Southeast China shows that the dam body and dam foundation at the left bank is leaning toward the upstream direction. The qualitative and quantitative analysis results by using different analytical methods such as comprehensive process line contrast and mathematical modelling demonstrate that the leaning phenomenon is real and the underlying cause is the sedimentation in front of dam. The bedrock of dam foundation at left bank is weak, and the sedimentation year by year in the front of the dam weights the bottom of reservoir, causing the sink of the upstream reservoir base. The sedimentation phenomenon should be focused, and the effect of the sedimentation on the dam deserves further study.

**Key words:** concrete gravity dam; lean – forward phenomenon of dam; cause analysis; sedimentation in front of dam

(上接第 73 页)

## Study on rainfall isoline mapping by using VFP and CASS

ZHAO Deyou<sup>1</sup>, XIE Yunshan<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Hydrology Water Resources and Surveying Bureau, Nanjing 210029, China; 2. Jiangsu Hydrology Water Resources and Surveying Bureau Zhenjiang Sub – bureau, Zhenjiang 212003, China)

**Abstract:** In order to timely and accurately understand the spatial and temporal distribution and rainfall intensity in a region to meet the demand of practical work, the rainfall isoline should be mapped by computer technology with the rainfall data of relevant rainfall station in the region. Under the CAD environment, the coordinate and rainfall data file of the stations in special region can be generated by VFP database programming language, then, with the rainfall isoline generated by CASS graph software and relevant base map, the regional rainfall isoline can be generated. In the combination of the practical condition of Zhenjiang City, Jiangsu Province, this paper gives a detail introduction to this technology. The practical application shows the generated rainfall isoline map is satisfactory with good universality.

**Key words:** VFP; CASS; remote sensing rainfall; isoline; computer technology

(上接第 76 页)

## 参考文献:

- [1] 郑静,严富海,陈东平. 堰塞湖水文应急预报常用方法及实践[J]. 人民长江, 2013, 44(11): 27 – 30.

- [2] 段唯鑫,沈浒英. 舟曲堰塞湖水文气象预报应急保障实践[J]. 人民长江, 2011, 42(S): 48 – 50.

(编辑:李慧)

## Study on joint regulation of reservoirs in danger – removal and treatment of dammed lake

WANG Shaozhi, SHU Yuanhua, LANG Xueyou

(Zhaotong Branch, Hydrological and Water Resources Bureau of Yunnan Province, Zhaotong 657000, China)

**Abstract:** 6.5 magnitude Ludian earthquake struck Ludian County, Yunnan Province on 3 August in 2014 and generated a large scaled dammed lake on the mainstream of Niulan River, bringing along difficulties for the emergency danger – removal and treatment. On the basis of the measured data of multiple hydrological stations on stem Niulanjiang River, a joint regulation scheme containing 4 reservoirs was conducted. The flood control pressure of the dammed lake was mitigated by using upstream Deze Reservoir to retain the flood and reduce the peak. The strict regulation on Xiaoyantou Hydropower Station is to make the incoming discharge equal to the releasing discharge under special water regime. Tianhuaban Hydropower Station and Huangjiaoshu Hydropower Station in downstream were emptied to ensure their flood storage function in dam break situation. After 6 times of joint regulation and the following up treatment for 3 months, the flood control pressure was reduced effectively and the safety of downstream area was guaranteed.

**Key words:** reservoir regulation; dammed lake; danger – removal treatment; Niulan River; Yunnan Province