

The Analysis on Flood Outflow and Inflow Balance of the Reservoir during Construction Period at the Hongshiyuan Barrier Lake of Niulanjiang River

Qinghua Ma¹, Gang Ou², Wenjin Chen³

¹Zhaotong Branch of Hydrology and Water Resources Bureau of Yunnan Province, Zhaotong Yunnan

²Kunming Engineering Corporation Limited, Power Construction Corporation of China, Kunming Yunnan

³Course Rectification Work Construction Headquarters of Niulanjiang River Red Rock Barrier Lake, Ludian Yunnan

Email: 1359221771@qq.com

Received: Aug. 1st, 2016; accepted: Aug. 12th, 2016; published: Aug. 18th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Analysis is done on the discharge of flood and variation of water level in the reservoir at the barrier lake in case of 5-year, 10-year, 20-year, 30-year, 50-year, 100-year and 200-year flood according to reservoir inflow flood process under various design standards at the dam site of the barrier lake, the discharge curve of combination of diversion tunnel and spillway tunnel of the former Hongshiyuan HPP, and the capacity curve of the barrier lake reservoir, in order to provide decision basis for flood control in barrier regulation, construction of spillway tunnels, power plants and reconstruction of traffic tunnels in the reservoir area in the flood season in 2016, and to minimize the flood risk during construction. And three flood events occurring during the flood season in 2015 are selected for water balance analysis. The analysis shows that the reservoir outflow and inflow at the barrier lake in 2015 are well balanced, the actual discharge flow and discharge curve are well consistent with the water level and flow at Tianshengqiao HPP, and the flood is discharged without blockage and is controlled safely. The diversion tunnel from the former Hongshiyuan HPP and the spillway tunnel (upper part) on the right bank can jointly discharge flood below standard of the 200-year flood. The water level before the dam is lower than the elevation of the bottom of the sluice channel of the barrier.

Keywords

Status Quo of Flood Discharge Facilities, Analysis on Flood during Construction Period, Hongshiyuan Barrier Lake, Niulanjiang River, Ludian "Magnitude 8.03" Earthquake

作者简介: 马清华, 男, 水文工程师, 主要从事水文分析计算和水资源调查评价工作。

文章引用: 马清华, 欧岗, 陈文晋. 牛栏江红石岩堰塞湖整治工程施工期出、入库洪水量平衡分析[J]. 水资源研究, 2016, 5(4): 415-421. <http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2016.54048>

牛栏江红石岩堰塞湖整治工程施工期出、入库洪水量平衡分析

马清华¹, 欧 岗², 陈文晋³

¹云南省水文水资源局昭通分局, 云南 昭通

²中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明

³牛栏江红石岩堰塞湖整治工作建设指挥部, 云南 鲁甸

Email: 1359221771@qq.com

收稿日期: 2016年8月1日; 录用日期: 2016年8月12日; 发布日期: 2016年8月18日

摘 要

为给2016年汛期堰塞体整治、溢洪洞、发电厂房和库区复建交通隧道等项目施工的防洪度汛工作提供决策依据, 最大限度减轻施工期间的洪灾风险, 根据堰塞湖坝址各设计标准的入库洪水过程、原红石岩电站引水隧洞和溢洪洞联合泄流曲线及堰塞湖库容曲线, 分析了当堰塞湖发生200、100、50、30、20、10、5年一遇洪水时, 堰塞湖的洪水下泄和库水位变化情况, 并选取了2015年汛期发生的三场洪水进行水量平衡分析。分析表明: 2015年堰塞湖出、入库水量平衡性较好, 实际下泄流量与泄流曲线及天生桥站的水位、流量关系符合性较好, 洪水下泄通畅, 安全可控。原红石岩电站引水隧洞和右岸溢洪洞(上半洞)能够合并下泄200a一遇以下标准的洪水, 坝前水位低于堰塞体泄流槽底部高程。

关键词

泄洪设施现状, 施工期洪水分析, 红石岩堰塞湖, 牛栏江, 鲁甸“8.03”地震

1. 概述

2014年8月3日16时30分, 云南省昭通市鲁甸县龙头山镇发生6.5级地震, 震区鲁甸县火德红镇李家山村和巧家县苞谷垭乡红石岩村交界处, 牛栏江干流红石岩段右岸山体大面积塌方, 形成最高危险等级(I级)的大型堰塞湖。堰塞体位于原红石岩水电站取水坝下游1.2 km处, 顶部左岸高, 右岸低, 迎水面最低高程点1222.0 m, 左岸最高点为1270.0 m, 下游最低点高程为1091.7 m, 堰塞体总方量约1000万 m^3 , 是唐家山堰塞体的4倍。堆积体以白云岩为主, 夹带中至薄层状的砂、页岩及灰岩。

在应急和后续处置阶段采取了在堰塞体开挖泄流槽、拆除原红石岩水电站调压井施工支洞堵头检修闸门、利用引水隧洞调压井井筒自由泄流、采取措施防止原电站进水口被漂浮物堵塞及新建应急泄洪洞等五种工程排险措施, 至2014年10月4日晚8时堰塞湖内蓄水已全部排空, 入流、出流基本平衡, 恢复原河道正常过流, 红石岩堰塞湖由此转入后期整治阶段。

牛栏江属长江流域金沙江下段右岸一级支流, 发源于昆明市嵩明县杨林海, 流域呈南北向狭长形, 地理坐标系统位于东经102°53'~104°05'、北纬25°02'~27°24'之间。河流由南向北流经嵩明、沾益、会泽、巧家、鲁甸等县后, 在昭阳区麻耗村附近汇入金沙江, 河长469 km, 流域面积13,672 km^2 。牛栏江位于昭通市境内的流域面积2012 km^2 , 占流域总面积的14.7%。拟建红石岩堰塞湖水库正常蓄水位1200.0 m, 相应库容 $1.41 \times 10^8 m^3$; 校核洪水位1208.06 m, 总库容 $1.85 \times 10^8 m^3$ 。堰塞湖上游有牛栏江-滇池补水工程的德泽大(二)型水库、黄梨

树电站、小岩头电站、象鼻岭电站(在建中)和入库控制站大沙店水文站；下游有红石岩电站(本次地震受损)、天生桥水文站(“8.03”地震抢险期间新建)、天花板和黄角树电站。堰塞湖下游两岸分布有鲁甸县龙头山等 10 个乡镇，涉及 3 万余人和 3.6 万亩耕地。

2. 堰塞湖整治工程施工期洪水分析

2.1. 泄洪设施现状

2015 年堰塞湖整治工程施工期间，行洪通道有原红石岩电站引水隧洞 + 应急泄流洞(以下简称导流隧洞)、右岸溢洪洞(上半洞)和堰塞体上的应急泄流槽。1) 导流隧洞是 2015 年汛期参与泄洪的主要通道，隧洞总长 3.057 km，圆形断面内径 8.8 m，隧洞进口底板高程 1118.5 m，“8.03”地震后，新建了 1 条长 284.55 m、过流断面尺寸为 7.5 m × 7.5 m (顶拱中心角 120°)的应急泄流洞，连接原红石岩电站引水隧洞，出口底板高程 1095.5 m，已于 2014 年 10 月 3 日贯通。2015 年汛期设置了拦污设施并对漂浮物进行了打捞，过流通畅。2) 右岸溢洪洞(上半洞)是红石岩堰塞湖整治阶段的生命线工程，隧洞总长 1.28 km，过流断面上层尺寸为 15.6 × 9 m (顶拱中心角 120°)，隧洞进口底板高程 1177.9 m，出口底板高程 1124.95 m。自 2014 年 11 月动工以来，2015 年汛前已完成上层开挖及支护施工，经过云南省水利厅建设管理处和质量安全中心检查，已具备应急过流条件，是堰塞湖整治工程施工期间防洪度汛工作的重点项目。3) 堰塞体上的应急泄流槽于 2014 年 8 月 25 日开挖完成，泄流槽底板高程 1208.0 m，底宽 5.0 m，两侧坡比约 1:1.5，深 8 米，梯形过水断面面积为 136 m²，在超标洪水情况下应急泄流槽也将参与泄洪。

2.2. 堰塞湖坝址设计洪水推求

堰塞湖坝址上游 24.3 km 处的迤车镇坪子村设有大沙店水文站(其前身是江底水文站，于 1953 年设立，1961 年 1 月停测，1966 年 5 月恢复观测至 1982 年 12 月，2011 年又恢复观测至今)，流域面积 11,412 km²，为牛栏江干流控制站。堰塞湖坝址下游 46 km 处的小河镇坝统村设有小河水文站(其前身是罗家河水文站，于 1959 年设立，1969 年因垮山停测。1972 年该水文站迁至上游 9.5 km 处，改称小河水文站)，流域面积 13,130 km²，为牛栏江入金沙江控制站，控制面积占整个牛栏江流域的 96%。经过分析，两站资料的精度较高，可靠性和一致性较好。将缺测年份洪峰流量系列进行插补延长及订正后，两站年最大洪峰流量系列均为 1953 年~2012 年，共 60 年。在小河站和大沙店站的洪峰流量资料系列中加入历史调查洪水，用矩法公式计算统计参数，采用 P-III 型曲线进行适线，在参数优选的基础上按适线法调整，得出大沙店站和小河站的洪水频率计算成果，见表 1。

堰塞湖坝址以上流域面积 12,087 km²，占小河水文站流域面积的 92.1%，大沙店水文站流域面积占堰塞湖坝址控制面积的 94.4%。堰塞湖坝址设计洪水以大沙店站和小河站为上下游控制站，按区间面积直线内插法计算，设计洪水成果见表 2 [1]。

2.3. 入库洪水分析

当堰塞湖水位(导流隧洞进口处，下同)低于 1140.0 m，入库流量小于 394 m³/s 时，洪水不漫取水坝，流量直接从导流隧洞下泄，入流量与出流量基本一致；当水位高于 1140.0 m 而低于 1177.9 m，堰塞湖水位与下泄流量关系较稳定，基本成线性关系，库内产生雍水；当堰塞湖水位达到 1177.9 m 并继续上涨时，溢洪洞(上半洞)开始过流，当水位高于 1191.40 m 时，溢洪洞(上半洞)为有压过流状态，堰塞湖水位与下泄流量关系稳定，成线性关系，堰塞湖水位在 1177.9~1208.0 m 之间时，为导流隧洞和溢洪洞(上半洞)联合泄流，泄流曲线见图 1；当堰塞湖出现超标(经分析：来水量超过 200 年一遇)洪水，水位高于 1208.0 m 时，堰塞体顶部泄流槽参与泄洪。

以堰塞湖发生 100 年一遇洪水为例，依据此标准的入库洪水过程、下泄能力和库容曲线进行调洪计算，得出调洪后堰塞湖坝前水位为 1201.19 m (见表 3)，其他设计标准洪水调洪计算亦是如此，调洪计算后的堰塞湖设

Table 1. Maximum flood peak flow design of Dashadian and Xiaohe hydrometric station
表 1. 大沙店、小河水文站设计最大洪峰流量成果

站点	项目	统计参数			设计洪峰流量(m ³ /s)								
		均值	Cv	Cs/Cv	P=0.5%	P=1%	P=2%	P=3.33%	P=5%	P=10%	P=20%	P=33.3%	P=50%
大沙店	洪峰流量 (m ³ /s)	943	0.60	4	3540	3090	2650	2330	2080	1660	1240	1020	745
小河		1170	0.66	4	4830	4190	3550	3090	2720	2120	1540	1250	889

Table 2. Maximum flood peak flow design of Red rock barrier lake dam site
表 2. 红石岩堰塞湖坝址设计最大洪峰流量成果

项目	设计洪峰流量(m ³ /s)									
	P=0.5%	P=1%	P=2%	P=3.33%	P=5%	P=10%	P=20%	P=33.3%	P=50%	
洪峰流量(m ³ /s)	4050	3520	3000	2630	2330	1840	1360	1110	802	

Table 3. Achievement of spillway cave and diversion tunnel unite discharge
表 3. 溢洪洞与导流隧洞联合泄流调洪成果表

洪水频率 P	50%	33.3%	20%	10%	5%	3.33%	2%	1%	0.5%
洪峰流量(m ³ /s)	802	1110	1360	1840	2330	2630	3000	3520	4050
调洪后最高水位(m)	1161.27	1167.90	1181.16	1186.09	1189.17	1191.69	1195.20	1201.19	1207.00
最大下泄流量(m ³ /s)	511	543	741	1148	1580	2079	2229	2384	2524
削峰流量(m ³ /s)	291	567	619	692	750	551	771	1136	1526
削峰比例	36.3%	51.1%	45.5%	37.6%	32.2%	21.0%	25.7%	32.3%	37.7%

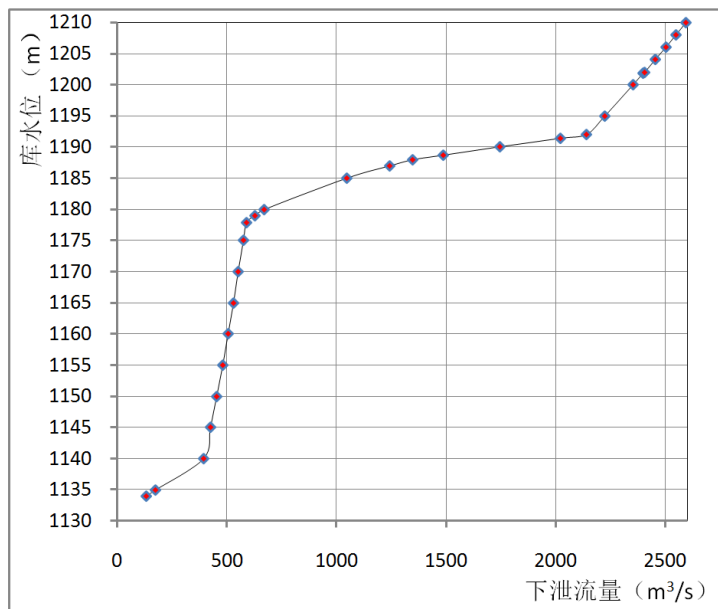


Figure 1. Relation of reservoir water level-Water discharges graph
图 1. 库水位 - 下泄流量关系图

计库水位过程线见图 2，堰塞湖水位 - 库容曲线见图 3。

堰塞体下游约 4 km 处的天生桥水文站，在鲁甸“8.03”地震水文应急监测期间施测了水位、流量资料，经

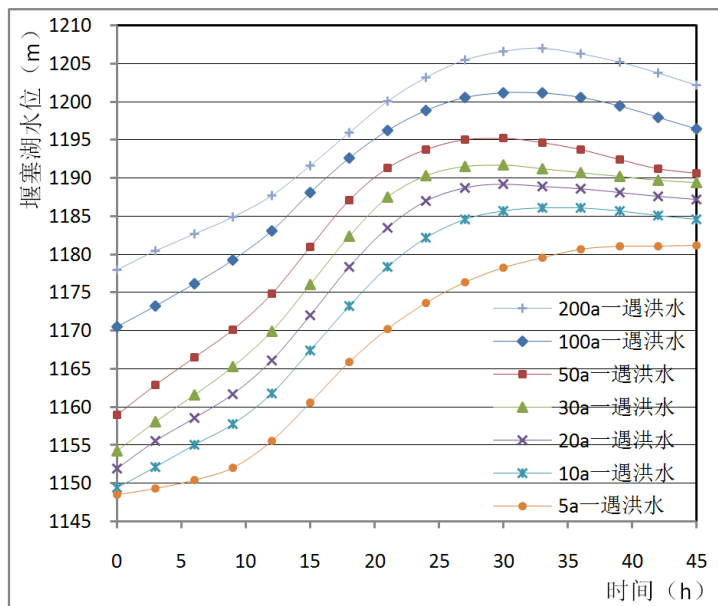


Figure 2. The barrier lake design process line of water level

图 2. 堰塞湖设计库水位过程线

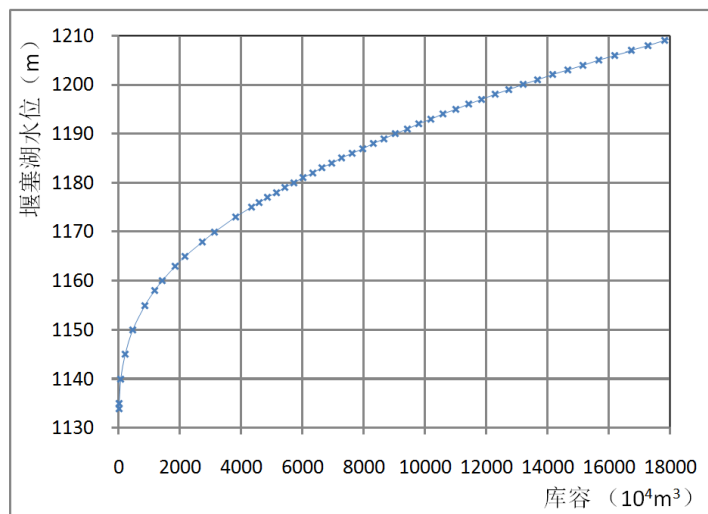


Figure 3. Relation Barrier lake water level-storage capacity

图 3. 堰塞湖水位 - 库容曲线图

过整理分析和实时数据修正，拟定了该站的水位 - 流量关系线，见图 4。在进行堰塞湖水量平衡分析时，根据天生桥站观测的水位值，查水位 - 流量关系线，即可得出流量，并以此验证堰塞湖的出流是否正常。

根据堰塞湖上游德泽水库泄洪数据、黄梨树站和大沙店站实测报汛数据，在 2015 年汛期的入库洪水中选取最大的三场进行入流和出流的平衡性分析，以判定堰塞湖泄洪通道是否正常。

1) 8 月 10 日 17 时，德泽水库开始泄洪，最大下泄流量达 $250 \text{ m}^3/\text{s}$ 。根据上游来水及降水情况分析预测：11 日 17 时入流量约 $410 \text{ m}^3/\text{s}$ ，最大流量 $460 \text{ m}^3/\text{s}$ 于 12 日 3 时出现。11 日 8 时，大沙店站实测流量 $260 \text{ m}^3/\text{s}$ ，12 时，堰塞湖水位为 1137.3 m ，水位低于取水坝顶部高程 1140.0 m ，经现场观测，来水量直接从导流隧洞下泄，取水坝前无雍水。14 日，上游水位继续上涨，8 时，德泽站流量 $499 \text{ m}^3/\text{s}$ ，大沙店站流量 $409 \text{ m}^3/\text{s}$ ，根据上游来水及降水情况分析预测：15 日 2 时，堰塞湖最大入库流量将达到 $680 \text{ m}^3/\text{s}$ ，入流量小于 2 年一遇洪水。15 日 11

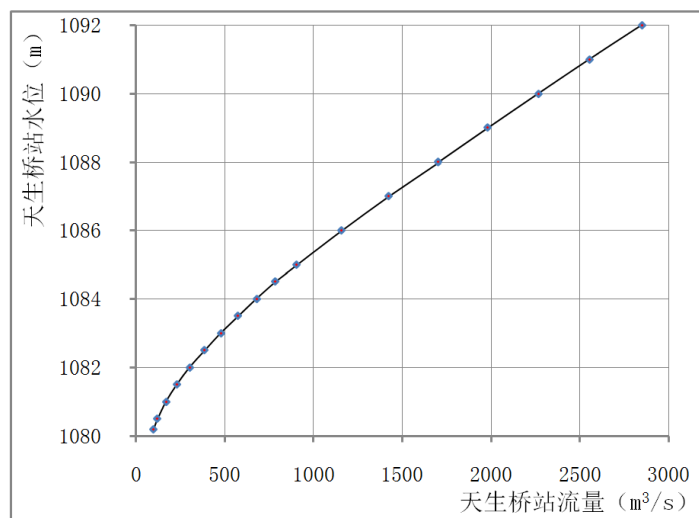


Figure 4. Relation of Tiansheng bridge Hydrological Station water level-flow
图 4. 天生桥站水位 - 流量关系图

时, 大沙店实测流量为 $608 \text{ m}^3/\text{s}$, 12 时 30 分, 根据现场仪器监测, 堰塞湖水位为 1152.5 m , 来水量从导流隧洞下泄, 查 $z-q$ 关系线得出下泄流量为 $467 \text{ m}^3/\text{s}$, 部分洪水漫过取水坝进入堰塞体前的滞洪区域。下游天生桥站当日实测最高水位 1083.01 m , 查天生桥站水位 - 流量关系曲线得出流量为 $479 \text{ m}^3/\text{s}$, 偏差仅为 2.6% , 入流和出流基本一致, 导流隧洞无漂浮物堵塞, 泄流正常。

2) 8 月 29 日 8 时, 上游德泽站流量 $373 \text{ m}^3/\text{s}$, 大沙店站流量 $620 \text{ m}^3/\text{s}$, 根据上游来水及降水情况分析预测: 29 日 14 时, 大沙店站流量达 $680 \text{ m}^3/\text{s}$, 之后水位呈缓慢上涨趋势。29 日 14 时, 实际监测到大沙店站流量为 $671 \text{ m}^3/\text{s}$, 15 时 30 分, 堰塞湖水位为 1153.68 m , 来水量从导流隧洞下泄, 下泄流量为 $472 \text{ m}^3/\text{s}$; 30 日 14 时, 大沙店站流量下降到 $638 \text{ m}^3/\text{s}$, 但天气为中雨转小雨, 由于区间来水量的加入, 15 时 30 分, 堰塞湖水位为 1159.8 m , 来水量从导流隧洞下泄, 查 $z-q$ 关系线得出下泄流量为 $504 \text{ m}^3/\text{s}$, 洪水漫过取水坝进入堰塞体前的滞洪区域, 入流量小于 2 年一遇洪水。下游天生桥站当日实测最高水位 1083.25 m , 查天生桥站水位 - 流量关系曲线得出流量为 $525 \text{ m}^3/\text{s}$, 偏差为 4.2% , 入流和出流基本一致, 导流隧洞无漂浮物堵塞, 泄流正常。

3) 10 月 10 日 8 时, 上游黄梨树站流量 $340 \text{ m}^3/\text{s}$, 大沙店站流量 $606 \text{ m}^3/\text{s}$, 8 时大沙店站日雨量为 53.5 mm 。根据上游来水及降水情况分析预测: 堰塞湖入库最大洪峰流量为 $840 \text{ m}^3/\text{s}$, 时间在 10 日 15 时。10 日 18 时 40 分, 大沙店站实测到最大洪峰流量 $836 \text{ m}^3/\text{s}$, 受区间降雨影响, 考虑大沙店站至堰塞湖坝址区间面积 675 km^2 的来水量, 堰塞湖入库流量约 $900 \text{ m}^3/\text{s}$, 为本年最大, 20 时堰塞湖出现最高水位为 1162.0 m 。来水量从导流隧洞下泄, 查 $z-q$ 关系线得出下泄流量为 $515 \text{ m}^3/\text{s}$, 洪水漫过取水坝进入堰塞体前的滞洪区域, 入流量大于 2 年一遇洪水, 洪水位低于溢洪洞底板高程 1177.9 m , 溢洪洞未进水。下游天生桥站当日实测水位 1083.28 m , 查天生桥站水位 - 流量关系得出流量为 $531 \text{ m}^3/\text{s}$, 偏差为 3.1% , 入流和出流基本一致, 导流隧洞无漂浮物堵塞, 泄流正常[2]。

2015 年, 堰塞湖来水量在 2~3 年一遇之间, 当来年发生更高标准的洪水时, 即可按照表 3 的计算结果参考 2015 年的洪水情况进行平衡分析。当堰塞湖发生 5 年一遇洪水时, 调洪后最高库水位为 1181.16 m , 仅低于堰塞湖形成期间的最高水位(1182.58 m) 1.42 m , 高于右岸溢洪洞(上半洞)进口底板高程(1177.9 m) 3.26 m , 最大下泄流量 $741 \text{ m}^3/\text{s}$, 洪水从导流隧洞和溢洪洞下泄, 该水位级以下的人员和设备全部撤离, 下游天生桥站通过实时观测水位, 查水位、流量关系曲线得出出库站流量, 进一步分析判定下泄通道是否正常(下同); 当堰塞湖发生 10 年以上 200 年一遇以下洪水时, 调洪后最高库水位为 $1186.09\sim 1207.0 \text{ m}$, 低于堰塞体泄流槽底板高程, 详见表 3, 洪水从导流隧洞和溢洪洞下泄, 该水位级以下的人员和设备全部撤离; 当堰塞湖入库洪水超过 200 年一

遇时,洪水从导流隧洞和溢洪洞下泄,堰塞体泄流槽将开始过流,堰塞体前后施工人员及时疏散,所有设备全部撤离,同时通过预警系统提前通知下游受影响的乡镇及电站做好防洪准备。

3. 结语

本文采用堰塞湖水位、导流隧洞下泄流量和天生桥站实测水位对选取的洪水场次进行了分析,通过以上三场入库洪水的变化分析看出:堰塞湖导流隧洞的泄洪比较正常,下游天生桥站实际监测到的水位所查出的流量与下泄流量偏差均在5%以内,与泄流曲线及天生桥站的水位、流量关系符合性较好。还考虑到天生桥站下游约300 m处的沙坝河汇入牛栏江干流时对天生桥水位产生的顶托影响,认为下游天生桥站的出流量是合理的。2015年堰塞湖入库洪水除10月10日的量级大于2年一遇外,其余的均小于2年一遇。8月30日和10月10日的两场洪水均已漫过原红石岩电站取水坝,在堰塞体前形成大量积水,但水位较低,溢洪洞未过流,导流隧洞来水量下泄通畅。尽管2015年堰塞湖的入库流量小于5年一遇,但经过入库洪水预测、现场实际监测和一系列的资料分析等工作,较好的验证了堰塞湖的水量平衡关系,可为来年汛期堰塞湖出、入库洪水的分析工作提供借鉴和参考,也为2016~2017年堰塞体防渗墙、溢洪洞和库区复建交通隧道等项目施工期间的防洪度汛工作提供可靠的技术支撑。

2015年施工单位的作业面位置较高,超过导流隧洞下泄能力的洪水虽然形成新的堰塞湖,但采取了拦污设施对漂浮物进行了打捞,过流畅通,积水在1~2天内即可全部下泄完毕。2016~2017年汛期,堰塞湖整治工程防洪风险的压力仍然很大,溢洪洞洞身已全面转入衬砌作业阶段,堰塞体整治、库区复建交通隧道等项目施工的作业面位置越来越低,施工人员增多,机械设备多,临水低洼处施工组织和防洪避险难度也将增大,堰塞湖施工范围内的防洪形势将更加严峻。建议在加强施工洪水预报工作的同时,充分利用堰塞湖上下游即将建设的水情测报系统,实际监测上游来水量、库水位和天生桥站的水位、流量数据,及时进行堰塞湖入流量和出流量的平衡分析工作。在编制堰塞湖整治工程项目防洪度汛应急预案的基础上,继续在导流隧洞上游采取拦污漂拦截和打捞漂浮物等措施,保障导流隧洞和溢洪洞过流畅通。本方案也有待在来年的防洪度汛工作中作进一步优化和必要的调整,以便更好的将其应用于堰塞湖整治工程防洪度汛工作的实践当中去。

参考文献 (References)

- [1] 宋昭义. 牛栏江红石岩堰塞湖防洪能力分析[J]. 人民长江, 2015, 46(1): 58-60.
SONG Zhaoyi. Niulanjiang river Red rock barrier lake flood control capacity analysis. Yangtze River, 2015, 46(1): 58-60. (in Chinese)
- [2] 陈剑池, 范可旭, 李中平, 张洪钢. 唐家山堰塞湖区域水文特性分析[J]. 人民长江, 2008, 39(22): 6.
CHEN Jianchi, FAN Kexu, LI Zhongping and ZHANG Honggang. The Tangjiashan quake lake regional hydrological characteristics analysis. Yangtze River, 2008, 39(22): 6. (in Chinese)