

Flood Risk Analysis for the Landslide Lake of Hongshiyuan

Jizhou Ren, Wei Zhao

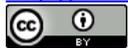
Zhaotong Branch, Hydrology and Water Resources Bureau of Yunnan Province, Zhaotong Yunnan
Email: rjz2229409@126.com

Received: Jun. 6th, 2015; accepted: Jun. 26th, 2015; published: Jun. 29th, 2015

Copyright © 2015 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

When great landslide lake was formed at Hongshiyuan in Niunan River, the hydrometeorological data and engineering design data of landslide lake area were collected rapidly. Through analysis to flood probability, flood standard, design flood peak flow and the flood volume in designing period, the analysis and calculation results of the flood were provided timely to dispose the risk at Landslide Lake. The results indicated the probability of annual maximum flood in this landslide lake was larger in August and September, which was about 35%. The flood routing on the flood of every 5 years and 20 years was carried out by the water balance equation to analyze the highest flood level and the largest capacity of the lake. The results showed that there were 6 design capacities in 1 day, 3 days, 5 days and 7 days were larger than the maximum capacity of the landslide lake, the frequency of overflowing weir was about 75%. The risk area is great through risk analysis to submergence and breach when flood overflows cofferdam, 4213 people and 6 hydropower stations along the upstream and downstream of 83 km landslide river reach may be affected by submergence and weir break. Therefore, risk-elimination is urgent for the landslide lake of Hongshiyuan.

Keywords

Landslide Lake, Flood Risk, Analysis

红石岩堰塞湖洪水风险分析

任继周, 赵 伟

作者简介: 任继周(1966-), 男, 云南昭阳人, 总工程师, 高级工程师, 本科, 主要从事水资源调查评价和防洪预报等工作。

云南省水文水资源局昭通分局, 云南 昭通
Email: rjz2229409@126.com

收稿日期: 2015年6月6日; 录用日期: 2015年6月26日; 发布日期: 2015年6月29日

摘要

牛栏江红石岩形成大型堰塞湖后, 及时收集堰塞湖区水文气象和工程设计资料, 通过洪水几率、洪水标准、设计洪峰流量和设计时段洪量分析, 及时为堰塞湖排险处置提供了洪水分析计算成果, 得出堰塞湖在8至9月份发生年最大洪水的几率是大的, 为35%; 并得出5年和20年一遇的设计洪峰流量, 1 d、3 d、5 d、7 d设计洪量成果; 当发生5年和20年一遇洪水, 通过水量平衡方程进行调洪演算来分析堰塞湖的最高洪水位和最大库容, 1 d、3 d、5 d、7 d设计库容超过堰塞湖最大库容的有6个, 漫堰的概率为75%; 通过洪水漫堰后淹没、溃堰风险分析, 得出风险范围是极大的, 在堰塞湖上下游83 km的河段, 有4213人, 6个水电站会受到淹没和溃坝影响。因此, 红石岩堰塞湖的排险处置是非常紧迫的。

关键词

堰塞湖, 洪水风险, 分析

1. 引言

2014年8月3日16时30分, 云南省鲁甸县发生6.5级地震, 在鲁甸县火德红乡李家山村和巧家县包谷垭乡红石岩村交界的牛栏江干流上, 因地震造成两岸山体塌方形成堰塞湖。红石岩堰塞湖以上流域面积11,832 km², 堰塞体位于红石岩水电站取水坝下游600 m处, 堰塞体顶部高程1216 m, 堆积体高约83~96 m, 堰塞体垂直河道方向迎水面长约286 m, 背水面长约78 m, 顺河方向顶部宽部约753 m, 估算堰塞体总方量约1200万m³。根据中华人民共和国水利行业标准《堰塞湖风险等级划分标准》(SL450-2009), 红石岩堰塞湖总库容2.6亿m³, 按该规范划分标准, 红石岩堰塞湖属大型堰塞湖。此时正处于主汛期, 牛栏江洪水的风险大, 不仅影响堰塞湖的排险和后续处置, 直接影响上下游4县(区)12个乡镇, 以及牛栏江上下游上建有的小岩头、天花板、黄角树等水电站。因此, 对红石岩堰塞湖洪水分析及洪水风险分析意义重大。该领域的研究, 我国的王雄世、邢爱国对堰塞湖溃堰洪水进行了研究, 没有涉及洪水风险分析[1] [2], 匡尚富等人进行了堰塞湖溃堰及影响分析评估, 重点主要溃堰理论研究和下游风险评估, 没有涉及洪水漫堰、实地调查及上游的风险评估[3], 由于堰塞湖的突发性和水文等基础资料等条件的影响, 研究的范围和深度受到客观限制, 本文结合红石岩堰塞湖的实际, 对堰塞湖洪水进行了分析, 对洪水漫堰进行了风险分析, 并结合实地调查进行洪水漫堰和溃堰时洪水的风险分析, 支撑红石岩堰塞湖排险和后续处置工作, 现归纳如下, 供同行参考。

2. 流域和工程概况

牛栏江发源于昆明市杨林海, 位于102°53'~104°05', 25°02'~27°24'之间, 属长江流域金沙江下段水系的右岸一级支流。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, 在巧家红山乡汇入金沙江, 河长469 km, 流域面积13,211 km², 小河水文站控制面积12,696 km²。流域平均比降4.4‰, 牛栏江于大沙店进入昭通市鲁甸县, 至金沙江汇口113 km, 河床平均坡度6.5‰, 昭通市区间面2012 km², 占流域总面积的15.2%。

牛栏江昭通段属山区性天然河道, 断面形状多呈“U”型, 局部“V”型, 常水水面宽在42~81.2 m之间,

小河水文站历史最高水位 780.10 m, 出现在 1997 年 7 月 19 日, 相应流量 1610 m³/s, 多年平均水位 776.02 m, 相应流量 140 m³/s, 该站 8、9、10 月发生年最大洪水的发生几率分别为 15%、20%、0%; 一次洪水历时在 7~10 d, 洪峰持续时间在 1~3 d 左右。

牛栏江水系水能资源丰富, 水能理论蕴藏量 183.5 万千瓦, 可能开发的装机容量约 88.6 万千瓦。牛栏江干流除建有德泽大(2)型水库外, 水电站采用“二库十级”开发方案, 自上而下依次为: 黄梨树、大岩洞、象鼻岭、小岩头、罗家坪、洪石岩、天花板、凉风台、陡滩口、黄角树水电站。受红石岩堰塞湖影响建成电站有小岩头、红石岩、天花板、黄角树等 6 座水电站(支流 2 座), 牛栏江干流已经建成的 4 座电站装机 630 MW。

3. 洪水分析

为支撑堰塞湖的排险、后续处置和群众避险, 进行了牛栏江红石岩堰塞湖的洪水分析计算, 为简化计算, 选择小河、大沙店水文站调查和实测的洪水资料进行分析, 按面积比拟法计算堰塞湖的设计洪峰流量、洪量。

3.1. 洪水标准

根据中华人民共和国水利行业标准《堰塞湖风险等级划分标准》(SL450-2009), 牛栏江红石岩堰塞湖总库容 2.6 亿 m³, 按该规范划分标准, 红石岩堰塞湖属大型堰塞湖, 应急排险处置和后续处置的设计标准为 5 年、20 年一遇。

3.2. 洪峰流量的计算

牛栏江流域干流上先后建有河湾子、黄梨树(1958 年建站)、大沙店、小河等水文站。牛栏江下游入金沙江控制站小河水文站 1958 年设立, 后因垮山停测, 1971 年上迁 9.5 km 至巧家县小河乡坝统村, 至 2010 年后停测, 测站控制面积 12,696 km²。大沙店于 1966 年设立, 至 1982 年后停测, 测站控制面积 10,870 km²。红石岩堰塞湖控制面积 11,832 km², 与小河站流域面积相差 6.8%。为简化计算, 选择邻近的小河和大沙店水文站调查和实测的洪水资料进行分析计算, 以此作为红石岩堰塞湖的洪水计算的依据[4]。

根据小河水文站 1959~2010 年实测洪水年最大洪峰流量资料和历史调查洪水资料组成不连续系列, 按经验频率公式 $P = a/(N + 1) + (1 - a/(N + 1)) \times (m - L)/(n - L + 1)$ 计算频率(a 为调查历史洪水, N 为调查历史洪水排位期, m 为洪水序号, n 为实测洪水个数, L 实测系列中提出的大洪水), 用矩法公式计算统计参数, 经 P-III 型曲线适线求得年最大洪峰流量统计参数为: 小河站多年平均洪峰流量 $Q_m = 1250 \text{ m}^3/\text{s}$, $C_v = 0.64$, $C_s = 4C_v$ 。

通过建立大沙店与小河站洪峰流量相关, 展延大沙店洪峰流量系列, 与小河系列一致, 同理计算大沙店水文站的年最大洪峰流量统计参数为: $Q_m = 1020 \text{ m}^3/\text{s}$, $C_v = 0.62$, $C_s = 4C_v$, 按面积比内插计算堰塞湖的洪峰流量设计值, 成果见表 1。

3.3. 设计洪量的计算

根据小河水文站 1959~2010 年实测洪水年最 1 d、3 d、5 d、7 d 最大洪量资料系列, 按经验频率公式 $P = m/(n + 1)$ 计算频率(m 为洪水序号, n 为实测洪水个数), 用矩法公式计算统计参数, 经 P-III 型曲线适线求得年最大 1 d、3 d、5 d、7 d 洪量统计参数, 由此计算小河站设计洪量, 按面积比拟法计算堰塞湖的各时段设计洪量[5], 成果见表 1。

3.4. 洪水几率分析

据小河站 1959~2010 年实测洪水资料系列经统计得知: 在 52 年中, 8、9、10 月发生年最大洪水的次数分别为 6 次、8 次、0 次, 发生几率分别为 15%、20%、0%, 10 月份未发生过年最大洪水。由此可见 8、9 月发生年最大洪水的几率是高的。

4. 洪水风险分析

4.1. 堰塞湖洪水漫堰的风险分析

“8.03”地震发生后，堰塞湖水位从8月3日16:30的1137.5 m上升至8月4日9:40的1162.0 m，上涨24.5 m，涨幅1.42 m/h。

8月3日16:30时至4日16:30时，入堰塞湖平均流量353 m³/s，湖容3050万m³。4日16:30时至5日16:30时，入堰塞湖平均流量为206 m³/s，堰塞湖增加蓄水量1780万m³，5日16:30时堰塞湖水位为1174.77 m，相应库容4830万m³。5日18时堰塞湖水位为1174.98 m，湖容为4880万m³。

采用堰塞湖库容曲线，以堰塞湖设计洪水成果为入流，出流以8月7日现状出流126 m³/s计算(7日调压井开始溢流)，设定调洪起始水位为1174.98 m，通过入流和出流水量平衡方程连解，即用调洪演算来分析堰塞湖的最高洪水位和最大湖容。水量平衡方程为 $Q - q = \pm \Delta V$ (Q为堰塞湖时段平均入流，q为堰塞湖时段平均出流， ΔV 为蓄水变量)。分析20年、5年一遇的洪水时，堰塞湖的净流入湖水量见下表，加上现状库容4880万m³后堰塞湖的水位和库容见下表2。当遭遇5、20年洪水，按1、3、5、7日设计洪量；在5日18时堰塞湖现存水量4880万m³的基础上，按现状下泄流量126 m³/s计算，堰塞湖水位将接近或者超过1216 m。由此可见，堰塞湖漫堰的可能性是极大的，设计时段洪量漫堰的概率为75.0%。

4.2. 堰塞湖漫堰后洪水风险范围的分析

堰塞湖漫堰后的风险主要是两个，一是漫堰后对上游的淹没风险，堰塞湖对上游堰塞湖内部分居民和小岩头电站造成淹没，加剧库区地质灾害的发生；另一个是溃堰对下游的影响风险，一旦溃决，将形成溃坝洪水，对下游沿岸的小河镇等地人民生命财产造成的危害难以估量，并直接威胁着下游天花板、黄角树等水电站安全，极易引发灾害，故堰塞湖排险处置迫在眉睫。

4.2.1. 上游防护对象的风险范围分析

小岩头电站厂房-堰塞湖湖区的洪水风险范围分析。小岩头厂房设计、校核水位分别为1208.56 m和1209.5 m，小岩头厂房室外地坪高程1211 m。当堰塞湖水位超过1208 m时，小岩头电站厂房会受到洪水影响。

小岩头电站厂房-堰塞湖湖区25公里的河谷地带，涉及昭通市鲁甸县、巧家县和曲靖会泽县，1230 m以下的村庄会受到淹没影响和湖岸崩塌影响。通过洪水漫堰风险分析，在堰塞湖湖区25公里的河谷地带，1座电站被淹没，3个乡镇，256户，758人口会受到回水淹没影响。

Table 1. Hongshiyuan design flood peak discharge and the results of the actual table

表 1. 红石岩设计洪峰流量及洪量成果

频率(%)	洪峰(m ³ /s)	W _{1d} (亿 m ³)	W _{3d} (亿 m ³)	W _{5d} (亿 m ³)	W _{7d} (亿 m ³)
20	1500	0.802	1.97	2.98	4.33
5	2560	1.10	2.75	4.06	5.84

Table 2. Hongshiyuan table design water level and capacity of the actual table

表 2. 红石岩设计水位和库容成果表

频率(%)	水位(m)	V _{1d} (亿 m ³)	水位(m)	V _{3d} (亿 m ³)	水位(m)	V _{5d} (亿 m ³)	水位(m)	V _{7d} (亿 m ³)
20	1195.18	1.08	1209.32	2.00	#	2.70	#	3.42
5	1200.16	1.36	#	2.77	#	3.86	#	4.79

注：库容超过2.6亿m³，“#”表示水位已超过1216.0 m的堰塞湖堰顶高程。

4.2.2. 下游防护对象的风险范围分析

长江委研究了堰塞体全溃、2/3 溃、1/3 溃三种情况 12 中方案，其中对应泄流槽开挖深度为 8 m、宽度为 5 m 的全溃方案，溃口洪峰流量为 54,300 m³/s，入金沙江汇口洪峰流量为 26,000 m³/s，沿程水位变幅为 24.6~86.2 m。长江委的溃堰洪水分析提供了洪水水位沿程的变化和变化幅度，但是战线长、范围大。为有的放矢，结合实地调查和测量，选定下游重点防护对象进行风险分析，重点防护对象为牛栏江河谷低洼处的人口集中的村镇和电站。选定的控制断面为天生桥、回龙湾、罗家梁子、桃花园、锅厂、小河镇，各重点防护对象洪水影响分析如下。

堰塞湖至天生桥 4.5 km 的河段：河流水位 1093 m，溃堰后洪水位 1171 m；沙坝村最低高程 1139 m，红石岩电站和沙坝河(支流)四级电站厂房 1113 m 已经破坏，1 个乡镇，17 户，32 人会受到溃坝影响。此河段为溃堰后洪水影响最严重的区域。

天生桥至回龙湾 5 km 的河段：河流水位为 1060 m，溃堰后洪水位 1122 m；左岸巧家包谷脑、老店乡的吊岩子、大坝子等村庄，最低高程为 1094 m，右岸鲁甸最低高程 1074 m，牛栏江跨河大桥 1074 m，堰塞湖下游 4.5 km 的河段，1 个乡镇，8 户，20 人会受到溃坝影响。此河段为溃堰后洪水影响比较大的区域。

回龙湾至罗家梁子(天花板库区) 8.6 km 的河段：天花板死水位为 1050 m，溃堰后洪水位 1093 m；左岸巧家老店乡团林堡村最低高程为 1140 m，天花板电站取水坝坝顶高程 1076.80 m；此河段为溃堰后洪水影响主要是天花板电站取水大坝。

天花板电站坝址至桃花园(谓姑) 5.4 km 的河段：河流水位为 940 m，溃堰后洪水位 974 m；巧家的开基、谓姑、二坪子等地最低高程 946 m，天花板和清水河(支流)电站厂址河堤高为 974 m，2 个乡镇，107 户，268 人会受到溃坝影响；此河段为溃堰后洪水影响严重的区域。

桃花园至锅厂 10 km 的河段：河流水位为 870 m，溃堰后洪水位为 900 m；巧家锅厂村最低高程 912 m，2 个乡镇，53 户，135 人口会受到溃坝影响；此河段应该注重防范河岸崩塌。

锅厂至小河镇至黄角树取水坝 24.5 km 的河段：河流水位为 774 m，溃堰后洪水位为 800 m；巧家小河镇最低高程 780 m。黄角树电站坝址校核标准 $P = 0.05\%$ ，校核洪水洪峰流量 7170 m³/s，校核洪水位 774.37 m，黄角树电站坝址会受到影响，1 个乡镇，250 户，3000 人口会受到溃坝影响。此河段为溃堰后洪水影响严重的区域。

以上各防护对象断面，溃堰流量变化在 26,000~54,300 m³/s，水位变幅在 23.7.0~86.2 m 之间，人口集中的鲁甸的沙坝村、巧家的小河镇、谓姑村，以及天花板等电站为重点防护对象，涉及堰塞湖重点风险范围的上下游河长 83 km，乡镇 9 个，总人口有 4213 人，6 个水电站会受到回水淹没和溃坝洪水影响；其余下游至金沙江汇口河段防护重点是河库岸崩塌的风险。溃堰对居民点影响，地方政府需结合现场调查，考虑安全超高、河道距离，可能产生的地质灾害等因素，根据实际情况，确定人员是否真正安全，是否转移避险，并建立相关的联动避险机制。

5. 结论

针对堰塞湖排险处置的紧迫性，及时收集堰塞湖区水文气象和工程设计资料，通过比较分析，及时为堰塞湖排险处置提供了洪峰流量、洪量等设计洪水成果；通过堰塞湖洪水漫堰、淹没和溃堰风险分析，为堰塞湖的排险处置决策提供了技术支撑，同时也为群众的避险提供了重点和范围。为此，由国家防总、水利部牵头成立的云南鲁甸 8.03 地震牛栏江红石岩堰塞湖排险处置指挥部提出了在堰顶开挖泄洪槽、以调压溢流、爆破调压井施工支洞堵头和新建泄洪洞的科学处置措施，至 10 月 4 日堰塞湖蓄水基本放空，排险和后续处置两个阶段工作结束，险情基本排除。

参考文献 (References)

- [1] 王雄世, 张建新. 基于经验公式的堰塞湖最大溃决洪水及演进分析[J]. 水文, 2010, 30(1): 56-58.

-
- WANG Xiongshi, ZHANG Jianxin. Analysis of maximum dam-break flood and its routing of Barrier Lake based on empirical formula. *Journal of Chin Hydrology*, 2010, 30(1): 56-58. (in Chinese)
- [2] 邢爱国, 徐娜娜, 宋新远. 易贡滑坡堰塞湖溃坝洪水分析[J]. *工程地质学报*, 2010, 18(1): 78-83.
XING Aiguo, XU Nana, SONG Xinyuan. Numerical simulation of lake water down-stream flooding due to sudden breakage of Yigong landslide dam in Tibet. *Journal of Engineering Geology*, 2010, 18(1): 78-83. (in Chinese)
- [3] 匡尚富, 汪小刚, 黄金池, 等. 堰塞湖溃坝风险及其影响分析评估[J]. *中国水利*, 2008, (16): 17-21.
KUANG Shangfu, WANG Xiaogang, HUANG Jinchi, et al. Risk analysis and impact assessment of dam-beak in lake. *China Water Resources*, 2008, (16): 17-21. (in Chinese)
- [4] 任继周. 白水江流域“20070825”暴雨洪水分析[J]. *人民长江*, 2009, (20): 73-75.
REN Jizhou. Analysis “20070825” storm flood in Baishuijiang River Basin. *Yangtze River*, 2009, (20): 73-75. (in Chinese)
- [5] 赵映东. 堰塞湖排险过程中的水文计算探讨[J]. *水文*, 2009, (29): 62-63.
ZHAO Yingdong. Discussion on hydrologic calculation in eliminating risks of Barrier Lakes. *Journal of Hydrology*, 2009, (29): 62-63. (in Chinese)