

云南山区水库溃坝洪水及其演进分析

刘新有^{1,2}, 李自顺¹, 朱俊¹, 尹炳槐¹

(1. 云南省水文水资源局, 云南 昆明 650106;

2. 云南大学亚洲国际河流中心云南省国际河流与跨境生态安全重点实验室, 云南 昆明 650091)

摘要:受地形影响, 西南山区水源以水库为主, 由于大部分水库修建时间较早, 在西南季风气候降水集中影响下, 存在较大的溃坝风险。溃坝洪水突发性和破坏性极强, 进行水库溃坝洪水计算及洪水演进分析, 是在水库大坝发生突发性安全事故时科学应对的基础。结合西南山区实际, 优选溃坝洪水计算与洪水演进模型, 并以云南省昌宁县河西水库为例, 分析确定相关参数, 分析指出了西南山区水库溃坝形态以全溃为主, 具有溃坝洪水量极大、洪水演进迅速的特点。研究不仅可为河西水库制定大坝安全管理应急预案提供技术支撑, 也能为该地区水库溃坝洪水及其演进分析提供参考借鉴。

关键词:溃坝洪水; 洪水演进; 云南山区

中图分类号: P333.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2013)03-0061-04

水库大坝安全不仅关系到下游生命财产安全, 也关系到用水安全和经济社会的可持续发展。溃坝洪水由于其突发性和破坏性极强, 往往造成下游毁灭性灾害, 是危害特大的灾害现象^[1-2]。在西南山区, 受地形影响, 河流深切, 水源多以水库为主, 常在城镇附近上游位置修建水库, 俗有“头上一碗水”之称。因此, 溃坝洪水一旦发生, 将对生命财产安全造成严重威胁。为了预估溃坝洪水带来的影响, 并提早采取相应的措施, 将洪水灾害造成的影响减少到最小程度, 有必要进行溃坝洪水计算^[3]。

水库溃坝洪水及其演进分析是编制水库大坝安全管理应急预案的基础, 是水库大坝发生突发性安全事故时科学应对, 避免或减少人员伤亡和财产损失的重要非工程措施。受山地地形破碎的影响, 云南大型水库较少, 中型水库是许多城市供水的主要水源。本文以具有较强代表性的中型水库云南省昌宁县河西水库为例, 对西南山区水库溃坝洪水计算及洪水演进进行分析。

1 水库概况

1.1 水文概况

河西水库位于昌宁县右甸坝北端的田园镇, 距县

城 9km, 地理坐标为北纬 24°53'25"、东经 99°38'33"。水库拦蓄澜沧江水系二级支流右甸河水, 控制径流面积 86.6km², 其中水面面积 0.51km², 主河道全长 24.7km, 河道平均坡降 3.04%。水库汇流区多年平均降雨量 1 658.8mm, 丰水年可达到 2 195.8mm, 多年平均径流量 6 707×10⁴m³。

1.2 工程概况

河西水库于 1959 年动工兴建, 1962 年完成坝高 36.5m, 库容 730×10⁴m³, 经过 1964 年改建和 1978 年扩建, 坝高增至 45m, 坝顶长 205m, 坝顶宽 5.6m, 坝顶高程 1 852.8m, 总库容达 1 200×10⁴m³, 大坝为均质土坝。水库具备年调节能力, 担负着灌溉昌宁县莽水乡和田园镇 2.5×10⁴ 亩耕地, 每年向城市供应 180×10⁴m³ 生活用水以及下游防洪任务。

2 山区水库溃坝洪水计算

2.1 溃口参数分析

溃口参数主要是指口门的形态和溃口形成的时间。溃口形成的影响因素很多, 目前对其形成的物理机制尚不很清楚。据国外资料统计, 溃坝原因由于洪水超过工程泄洪能力而导致溃坝的约占 35%, 设计施工缺陷占 40%, 渗漏、管涌、沉陷、滑坡等原因占 25%。西

收稿日期: 2011-11-25

基金项目: 水利部公益性行业专项经费项目“高原盆地城市水源地脆弱性诊断研究”(201001058)

作者简介: 刘新有(1981-), 男, 湖南邵阳人, 工程师, 博士生, 主要从事水文水资源与生态安全研究。E-mail: lxy73320@163.com

南山区修建水库一般就地取材,多为均质土坝。在《水能和大坝建设》一书的“大坝失事分类”中统计了100个溃坝实例,分析认为导致土坝溃决的原因有两类,即坝顶漫涌和管涌破坏,其中以坝顶漫溢较为常见,破坏程度取决于漫坝流量和持续时间。决口的位置大都发生在坝体中部,溃口多呈“V”型,顶宽为坝高的3~4倍。在下泄库水冲刷作用下,溃口迅速下切和拓宽,而从溃口下泄的库水流量和流速亦随之迅速增大,常使大坝一溃到底。管涌破坏历时最短,形成的最终形状同坝顶漫溢的一样。

2.2 溃坝初始状态分析

如溃坝发生在非汛期,要考虑坝上水位为正常高水位的最不利情况,水库上游的初始水流状态为正常高水位时的进库流量及相应下游枯水期流量、水位。如溃坝发生在汛期,需考虑不同频率的洪水,坝上水位由水库调洪确定,一般应为坝顶高的漫顶水位,下游初始状态为相应的流量、水位。由于汛期发生溃坝的可能性较大,因此,为切合实际和出于安全考虑,在进行河西水库溃坝洪水分析时,溃坝初始状态取用汛期的情况,即取用漫顶水位进行计算。

2.3 溃坝洪水计算

目前国内外溃坝最大流量计算的方法及经验公式主要有圣维南法、斯托克法、正负波相交法、黄委经验公式、辽宁省水文总站经验公式、铁道部科学研究院经验公式等。铁道部科学研究院在板桥水库溃坝模型试验的基础上,结合河南、辽宁等13个省400余座水库溃坝资料,以及根据不同大小的试验水槽和模型,针对不同的溃坝要素共进行了约600次试验,提出了溃坝最大流量的经验公式。该公式对板桥水库天然溃坝以及浙江省南山水库自溃坝实测资料验证,表明公式计算的溃坝最大流量与实测时的溃坝最大流量分别相差1.4%、5%。同时,以上几种溃坝洪水计算方法比较表明,铁道部科研院经验公式计算出的溃坝洪水流量较其他方法大^[4]。因此,采用铁道部科学研究院经验公式计算计算结果可靠,据此制定的大坝安全管理应急预案也是较为安全的。

铁道部科学研究院经验公式适用于坝体全溃($b_g=B_g, h_b'=0$)、横向局部溃决($b_g<B_g, h_b'=0$)、竖向局部溃决($b_g=B_g, h_b'>0$);横、竖向都局部溃决($b_g<B_g, h_b'>0$)等各种情况,计算公式如下:

$$Q_g=0.27\sqrt{g_n}\left(\frac{L_k}{B_g}\right)^{\frac{1}{10}}\left(\frac{B_g}{b_g}\right)^{\frac{1}{3}}b_g(H_g-K_0'h_b')^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

式中: Q_g 为坝址断面溃坝最大流量(m^3/s); L_k 为水库库区长(m),可采用坝址断面至库区上游端部淹没宽度突然缩小处的距离,或近似地按 $L_k=\frac{W}{H_g \cdot B_g}$ 计算;当 $\frac{L_k}{B_g}>5$ 时,按 $\frac{L_k}{B_g}=5$ 计算; B_g 为坝长(m); b_g 为坝体溃决口门平均宽度(m),对一般土坝和堆石坝,当水库库容大于 10^6m^3 时,按 $b_g=K_1 \cdot K_2(W^{\frac{1}{4}} \cdot B_g^{\frac{1}{7}} \cdot H_g^{\frac{1}{2}})$ 计算;当水库库容小于 10^6m^3 时,按 $b_g=K_1 \cdot K_3(W \cdot H_g)^{\frac{1}{4}}$ 计算;如计算得到的 b_g 值大于坝长 B_g 时,则按 $b_g=B_g$ 计算; K_1 为安全系数,取 $K_1=1.1\sim 1.3$,按水库下游保护对象及坝体质量选定; K_2 为坝体建材系数,对黏土类、黏土心墙或斜墙和土、石、混凝土, $K_2=1.2$;对均质壤土, $K_2=2.0$; K_3 为材质系数,质量好的用6.6,质量差的用9.1; W 为水库库容(10^4m^3); H_g 为溃坝时坝体上游水深(m); h_b' 为溃坝后坝体残留高度(m),由于坝体系分层建筑,当某一高程以下坝体质量良好,该高程以上质量较差并有可能沿该高程溃决时,则取质量良好部分高度为 h_b' ,当无法确切估算时,可假定 $h_b'=0$,以策安全。 K_0' 为修正系数,按 $K_0'=1.4\left(\frac{b_g \cdot h_b'}{B_g \cdot H_g}\right)^{\frac{1}{3}}$ 式计算;当 $\frac{b_g \cdot h_b'}{B_g \cdot H_g}>0.3$ 时,则按 $K_0'=0.92$ 计算。

先估算坝体溃决口门平均宽度,然后再估算坝址断面溃坝最大流量。根据河西水库实际情况,坝体溃决口门平均宽度 b_g 计算取用参数值如表1所示。将表1中的参数代入坝体溃决口门平均宽度 b_g 的计算公式即可求出河西水库 $b_g=221.85m$,大于坝长 B_g ,根据以上经验公式 B_g 的取用条件,当计算得到的 b_g 值大于坝长 B_g 时,则按 $b_g=B_g$ 计算,即取 $b_g=205.00m$ 。

根据河西水库实际情况,坝址断面溃坝最大流量计算取用参数值见表2。将表2中的参数代入式(1)即可求出河西水库坝址断面溃坝最大流量为 $61\,439.32m^3/s$ 。

表1 溃决口门平均宽度计算取用参数值
Table 1 The parameter values calculated for the average width (b_g) of dam outburst

参数	K_1	K_2	W	B_g	H_g
取值	1.3	2	1 250	205	45

表2 坝址断面溃坝最大流量计算取用参数值
Table 2 The parameter values calculated for the largest dam-break flow at the dam cross-section

参数	L_k	B_g	b_g	H_g	K_0'	h_b'
取值	2 000	205	205	45	0	0

3 山区水库溃口洪水过程

3.1 溃坝洪水最大流速

坝址断面溃坝洪水最大流速可采用圣维南-A.Ritter公式计算:

$$V_c = \frac{2m}{2m+1} \sqrt{\frac{gH_0}{m}} \quad (2)$$

式中: V_c 为坝址断面溃坝洪水最大流速; H_0 为溃坝时坝前最大水深, 取漫堤时的水深 45m; m 为河槽断面形状系数, $m = BH_0/A$; B 为溃坝时坝前水面宽度, 取坝长 205m; A 为坝前河槽断面面积, 取坝址断面面积 $45 \times 205 = 9\,225\text{m}^2$ 。

经计算, 河西水库坝址断面溃坝洪水最大流速为 14m/s。

3.2 溃坝洪水历时与过程

瞬间全溃流量过程线与洪峰流量 Q_m 、溃坝前下泄流量 Q_0 及溃坝前可泄水量(库容) W 有关, 一般概化为 4 次抛物线。库水泄完时间 T 按下式计算:

$$T = \frac{W}{Q_{\text{均}} - Q_0} \quad (3)$$

式中: Q_0 为溃坝前下泄流量, 取百年一遇洪水流量 $202\text{m}^3/\text{s}$; $Q_{\text{均}}$ 为流量过程线平均值; W 为可泄水量, $1\,250 \times 10^4\text{m}^3$ 。

经试算, $T = 0.425\text{h}$, 即 25.5 min 库水泄完, 溃口处洪水过程见图 1。

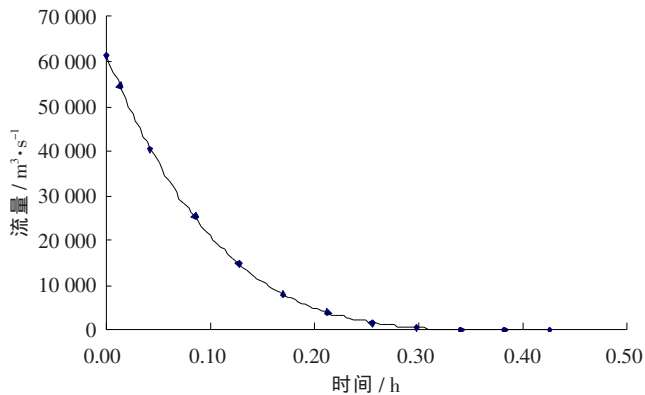


图 1 坝址断面溃坝洪水过程

Fig.1 The dam-break flood at the dam cross-section

4 山区水库溃坝洪水演进

溃坝洪水淹没范围及严重程度分析是发生溃坝时人员应急转移的依据。溃坝洪水淹没范围及严重程度可通过洪水演进分析, 确定洪水流速、洪水历时与过

程、沿程洪峰流量及洪水过程、淹没深度等进行分析。

4.1 溃坝洪峰流量

沿程洪峰流量计算公式。溃坝波为单波, 峰形尖瘦, 向下游演进时, 受河槽作用, 流量过程线尖峰部分很快坦化, 演进至下游断面时的洪峰流量 Q_{lm} 按以下经验公式计算:

$$Q_{lm} = \frac{W}{\frac{W}{Q_m} + \frac{L}{V_c K}} \quad (4)$$

式中: Q_m 为溃口处洪峰流量, $61\,439\text{m}^3/\text{s}$; W 为可泄水量(溃坝库容), $1\,250 \times 10^4\text{m}^3$; L 为计算断面距坝址的距离, m; V_c 为河道洪水期断面最大平均流速, 若无资料, 一般山区可采用 3~5m/s, 河西水库下游河槽坡降较大, 取 5m/s; K 为经验系数, 山区可采用 1.1~1.3。

4.2 溃坝洪水演进

一般来说, 洪水起涨陡, 峰值到达快, 峰后流量下降比峰前缓慢, 洪水过程线概化为三角形流量过程线^[5](见图 2)。

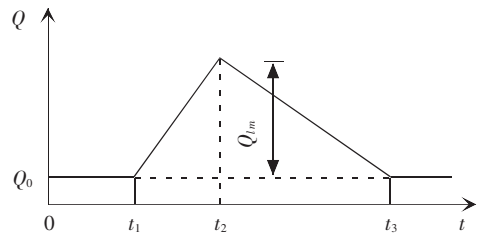


图 2 概化洪水过程线

Fig.2 The generalized flood hydrograph

洪水起涨时间、洪峰流量到达时间、洪水消落时间计算可采用黄河水利委员会水利科学研究所经验公式:

$$\text{洪水起涨时间: } t_1 = k_1 \frac{L^{1.75}(10-h_0)^{1.3}}{W^{0.2}H_0^{0.35}} \quad (5)$$

$$\text{洪峰流量到达时间: } t_2 = k_2 \frac{L^{1.4}}{W^{0.2}H_0^{0.5}h_m^{0.25}} \quad (6)$$

$$\text{洪水消落时间: } t_3 = \frac{2W}{Q_{lm}} + t_1 \quad (7)$$

式中: 时间单位均为 s; h_0 为溃坝洪水到达前下游断面平均水深, 即与 Q_0 相应的平均水深, m; 系数 k_1 在 $(0.63 \sim 0.73) \times 10^{-3}$ 之间, 取 0.68×10^{-3} ; 系数 k_2 在 0.8~1.2 之间, 取 1.0; h_m 为洪峰流量时的平均水深, 即与 Q_{lm} 相应的平均水深; 其余符号意义同前。

在库区大坝下游选取 10 个主要居民点附近断面对溃坝洪峰流量及洪水传播时间进行计算, 计算结果见表 3, 沿程洪水传播过程见图 3。

表3 各断面溃坝洪峰流量及洪水传播

Table 3 The dam-break flood flow and flood transfer at the various sections

断面名称	距坝距离 / m	洪峰流量 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	起涨时间 / min	洪峰到达时间 / min	消落时间 / min	洪水时长 / min
新城村	3 066	17 495.88	2.15	3.54	23.85	21.70
上丙达	5 409	11 313.54	5.80	8.74	36.93	31.13
昌宁县城	8 446	7 758.98	12.65	17.92	53.91	41.27
上七甲	12 331	5 534.56	24.52	33.12	75.69	51.17
马家寨	15 552	4 471.68	36.81	48.35	93.79	56.98
高桥	22 586	3 150.37	70.73	88.99	133.44	62.71
大园子	26 161	2 739.05	91.47	113.20	153.65	62.18
温泉乡	28 575	2 517.14	106.74	130.83	167.31	60.57
中寨	35 190	2 059.83	153.67	184.11	204.84	51.17
红梅村	40 540	1 795.95	196.86	232.28	235.29	38.42

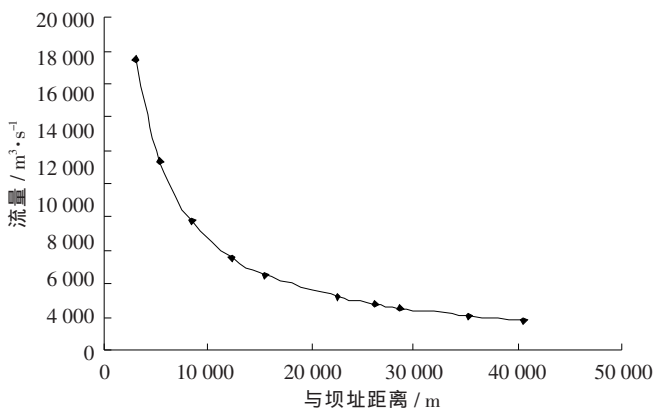


图3 溃坝洪水传播过程

Fig.3 The dam-break flood hydrograph

由表3可知,新城村距离大坝3.07km,溃坝洪水仅需2.15min到达,溃坝洪峰流量在3.54min后到达;大坝与新城村之间的右甸河左岸分布有较密集的村落,溃坝洪水及洪峰流量将在瞬间到达;昌宁县城距离大坝8.45km,溃坝洪水仅需12.65min到达,溃坝洪峰流量在17.92min后到达。若待溃坝时再通知人员转移已来不及,必须预警提前转移。温泉乡距离大坝较远,达28.58km,溃坝洪水需106.74min到达,溃坝洪峰流量在130.83min后到达,温泉乡以下人员撤离时间相对充裕。各断面洪水过程时间在21.70~62.71min之间,洪水过程时间从上游到下游呈单峰状,第一个断面新城村洪水过程时间最短,离水库大坝下游22.59km处的高桥断面洪水过程时间最长。由图3可知,沿程洪峰流量随着距离的增大逐渐减小,且速度逐渐变缓。

5 结语

受西南季风气候和复杂地形的影响,西南山区降水丰富,时间分配极不均匀,且区域差异巨大,特别是在全

球气候变化和人类活动双重因素的交织作用下,区域水文情势正在发生新的变化。短历时强降雨越来越频繁,加之山区水库来水暴涨暴落的特点,突发性洪水对水库大坝造成了严重的潜在威胁。同时,西南山区水库多建于新中国成立初期,由于历史原因,没有经过严格的论证和施工设计,也没有现代化的机械进行施工,以至存在较多隐患。实践证明,“凡事预则立,不预则废”。根据西南山区自然地理和水库工程特征,选择适合的溃坝洪水过程及其演进计算模型,对规范水库大坝突发事件的应急管理和应急响应程序,提高水库大坝安全事件防范能力,最大程度地减少人员伤亡和财产损失至关重要。

参考文献:

- [1] 王少军. 溃坝洪水与大坝风险管理 [J]. 中国减灾, 2007, (11): 30-31. (WANG Shaojun. Dam-break flood and dam risk management [J]. Disaster Reduction of China, 2007, (11): 30-31. (in Chinese))
- [2] 隆文非, 张新华, 黄金池, 等. 水库溃坝洪水预测方法研究及应用 [J]. 四川大学学报 (工程科学版), 2008, 40 (1): 21-36. (LONG Wenfei, ZHANG Xinhua, HUANG Jinchu, et al. Study on the prediction method of flood due to dam-break and its applications [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2008, 40(1): 21-36. (in Chinese))
- [3] 赵太平. 水电工程溃坝洪水计算 [J]. 泥沙研究, 2003, (2): 48-53. (ZHAO Taiping. Calculation of dam-break flood in hydropower projects [J]. Journal of Sediment Research, 2003, (2): 48-53. (in Chinese))
- [4] 孙文初, 刘霞, 李伦. 溃坝洪水流量计算方法浅析 [J]. 广东水利水电, 1999, (3): 3-6. (SUN Wenchu, LIU Xia, LI Lun. The dam-break flood flow calculation method analysis [J]. Water Resources & Hydropower of Guangdong, 1999, (3): 3-6. (in Chinese))
- [5] 张振, 张光科, 刘超, 等. 小型水库溃坝洪水演算探讨 [J]. 东北水利水电, 2007 (11): 3-5. (ZHANG Zhen, ZHANG Guangke, LIU Chao, et al. Discussion on calculation of dam breach flood for small reservoir [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast, 2007(11): 3-5. (in Chinese))

(下转第68页)

文数据库质量控制主要采用规则依赖于约束实现不一致数据的处理:

(1)域一致性约束:通过关系的属性列的域一致性约束规则实现不一致性数据的检测与处理。如同一属性字段的值域、计量单位、数据有效位数等域属性在数据加工、传输过程中数据应一致。

(2)包含依赖约束:通过关系的属性列与其它属性列或其他关系的属性列之间的包含关系实现不一致数据检测与处理。如:测站一览表中测站所在行政区划代码必须包含在行政区划代码表行政区划码属性中。

(3)函数依赖约束:通过一个关系的多个属性之间或一个关系的属性和其它关系的属性间存在的函数依赖关系实现不一致数据的检测与处理。如:月降水量表中月降水量属性等于日降水表中该月降水量的总和。

4 结论

水文数据库数据质量问题是水文信息化过程中一个关键问题。由于水文数据具有很强的专业知识和领域背景,对水文数据库中的数据进行质量评估和改进

的需求日益明显。

水文数据库质量问题关键在于一致性、完整性和准确性等三个主要维度;通过建立水文数据库质量评估和质量控制模型,采用具体的质量控制方法,能够实现对水文数据库数据质量改善,从而改善水文数据库质量,更好地提供专业化的水文信息服务。

参考文献:

- [1] Kate Fitzgerald. Weeding Out Bad Data [M]. Card & Payments, 2007.
- [2] Kahn B K, Strong D M. Product and Service Performance Model for Information Quality :An Update [C].IQ, 1998,102-115.
- [3] Cappiello C, Francalanci C, Pernici B. Data Quality Assessment from User's Perspective [C]. IQIS, 2004.
- [4] Aebi D, Perrochon L. Towards improving data quality [A]. In: Proc. of the International Conference on Information Systems and Management of Data [C]. 1993, 273-281.
- [5] E Rahm, H H Do. Data cleaning: problems and current approaches [J]. IEEE Data Engineering Bulletin, 2000, 23(4):3-13.
- [6] W.W. Ng, U.S. Panu, W.C. Lennox. Chaos based analytical techniques for daily extreme hydrological observations [J]. Journal of Hydrology, 2007, 342, 17 - 41.

Data Quality Control and Management for Hydrological Database

YU Yufeng¹, ZHANG Jianxin², ZHU Yuelong¹, WAN Dingsheng¹

- (1. College of Computer and Information Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Bureau of Hydrology, MWR, Beijing 100053, China)

Abstract: The data quality has an important influence on the informatization construction. This paper firstly analyzed the key dimensions such as completeness, consistency and accuracy of date quality, and then proposed an efficient data quality management framework based on those dimensions. The quality analysis and control model was built, and some methods and techniques to improve the data quality in hydrology database were discussed in practice view.

Key words: data quality; dimension; quality assessment; quality improvement

(上接第 64 页)

Analysis of Dam-break Flood Transfer in Yunnan Mountainous Area

LIU Xinyou^{1,2}, LI Zishun¹, ZHU Jun¹, YIN Binghuai¹

- (1. Yunnan Bureau of Hydrology and Water Resources Management, Kunming 650106, China;
2. Asian International Rivers Center, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: Affected by the terrain, reservoirs are taken as the main water sources in the Yunnan mountainous area. Because the most reservoirs were built many years ago, there is a greater risk of dam break under the influence of under the influence of precipitation concentrated in the monsoon climate. Therefore, it is important to make dam-break flood routing. In this paper, a dam-break flood routing model was used for the actual conditions of the Yuannan mountainous area and the Hexi Reservoir in Changning County was taken as a study case to determine the relevant parameters. The results show that if dam break occurs, reservoir will collapse fully, with a great amount of flood flow and rapid transfer.

Key words: dam-break flood; flood transfer; Yunnan mountainous area