

梯级橡胶坝塌坝泄流计算仿真系统

张庆华¹,刁艳芳¹,程传民²,刘巍²

(1. 山东农业大学水利土木工程学院, 山东 泰安 271018; 2. 泰安市水利勘察设计院, 山东 泰安 271000)

摘要:针对梯级橡胶坝塌坝泄流计算过程比较复杂、烦琐的问题,利用 VFP 语言编制了梯级橡胶坝塌坝泄流计算仿真系统。计算结果表明:在输入橡胶坝的坝高、净宽、侧收缩系数、塌坝时间等参数的基础上,该仿真系统能精确、快速地推算梯级橡胶坝不同塌坝方案的塌坝泄流过程和最大泄流量,从而能够尽早预测塌坝产生的“人造洪峰”,对于橡胶坝工程的设计和梯级橡胶坝汛期控制运用方案的编制具有一定的参考意义。

关键词:梯级橡胶坝;塌坝泄流过程;塌坝最大泄流量;塌坝时间;堰上水头;仿真系统

中图分类号:TV135 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2014)04-0053-04

Cascade rubber dams fall discharge calculation simulation system//ZHANG Qinghua¹, DIAO Yanfang¹, CHENG Chuanmin², LIU Wei² (1. *Water Conservancy and Civil Engineering College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China*; 2. *Water Survey and Design Institute in Tai'an, Tai'an 271000, China*)

Abstract: In order to solve complex problem of cascade rubber dams fall discharge calculation, the cascade rubber dams fall discharge calculation simulation system was customized adopting VFP programming language. The results show that when parameters such as dam height, dam width, lateral contraction coefficient and complete dam fall time are input into this system, the discharge processes of cascade rubber dams under different fall schemes are calculated rapidly and the maximum discharges can be obtained as soon as possible. This system can provide basis for rubber dams design and planning the flood control and use of cascade rubber dams schemes.

Key words: cascade rubber dams; fall discharge process; maximum discharge; fall time; weir head; simulation system

1957 年世界上首座橡胶坝在美国诞生,此后橡胶坝在我国和世界上许多国家得到了广泛应用。随着同一河道上橡胶坝建设数量的增多,出现了梯级橡胶坝,从而汛期控制运用问题越来越突出。实践证明,在橡胶坝大量蓄水情况下,不合理的橡胶坝塌坝方案易造成河道“人造洪峰”现象,危及河道安全。因此,研究制订科学合理的橡胶坝汛期控制运行方案,对工程及下游河道安全度汛至关重要。

目前橡胶坝的运行调度是研究的难点问题之一,得到越来越多的专家、学者的重视。例如 Kahl 等^[1-3]对橡胶坝运行参数的自动观测与自动化控制进行了研究;田忠禄^[4]通过对具有决策支持系统的枢纽橡胶坝安全运行管理自动化系统的研究,提出了利用现代计算机技术建立橡胶坝安全运行管理自动化系统;Zhang 等^[5-6]提出了橡胶坝建设、运行和维护各个阶段存在的问题及解决方法;徐智廷等^[7]探讨了梯级橡胶坝汛期调度运用,提出了橡胶坝汛

期调度运用应遵循的原则;李风增^[8]通过对胶南市风河梯级橡胶坝综合管理与运用的研究,提出了橡胶坝运行控制办法;吴军华等^[9]通过对安阳市洹河梯级橡胶坝联合运行探讨,提出了洹河梯级橡胶坝联合运行的要求和应注意的问题;张世功等^[10]针对 2009 年 7 月沂河两次暴雨洪水过程,分析了沂河梯级橡胶坝调度运用对河道洪水的影响;温会军^[11]对辽河干流 11 座橡胶坝工程的联合调度方案编制进行了探讨,分析了橡胶坝联合调度的主要问题及技术难点。

在橡胶坝汛期控制运用方案编制中,塌坝方案是主要内容之一,即确定橡胶坝何时塌坝以及塌坝时间。而编制橡胶坝塌坝方案必须知道橡胶坝塌坝形成的泄流过程和塌坝产生的最大泄流量,这些问题属于橡胶坝水力计算领域。在 20 世纪 90 年代中期以前,许多专家、学者开展了橡胶坝溢流等水力学问题的试验研究,提出了橡胶坝挡水、完全塌坝后泄

流量的计算方法,如1987年陈瑞^[12]通过模型试验对橡胶坝溢流的流量系数进行了研究;1996年苑希民等^[13]对溢流橡胶坝的泄流特性进行了模型试验;2011年Zhang等^[14]对橡胶坝塌坝泄流进行了研究,提出了橡胶坝连续塌坝泄流过程计算方法。

梯级橡胶坝塌坝泄流计算一般采用逐时段演进方法^[14],是一个复杂而又烦琐的过程,计算工作量大、耗时多,若用人工计算困难大。本文利用VFP语言,编制梯级橡胶坝塌坝泄流计算仿真系统,可计算单级或梯级橡胶坝塌坝泄流过程线,同时计算塌坝产生的最大泄流量等数据,为橡胶坝工程设计、编制橡胶坝汛期控制运用方案提供依据。

1 梯级橡胶坝塌坝泄流计算原理

1.1 单级橡胶坝

橡胶坝塌坝泄流可按堰流公式计算。由于橡胶坝塌坝是一个连续的过程,堰流公式中的流量系数及堰上水头随塌坝时间而发生变化,橡胶坝塌坝后某时刻的泄流量为

$$Q = \varepsilon \sigma m B \sqrt{2g} H_0^{3/2} \tag{1}$$

式中: Q 为某时刻橡胶坝的泄流量, m^3/s ; ε 为侧收缩系数; σ 为淹没系数; m 为流量系数; B 为橡胶坝过流断面净宽, m ; g 为重力加速度, m/s^2 ; H_0 为某时刻堰上水头, m 。

根据文献[4],本文计算 H_0 的公式为

$$H_0 = H_{\text{水}} - H_{\text{坝}} + \frac{\alpha v^2}{2g} \tag{2}$$

式中: $H_{\text{水}}$ 为某时刻橡胶坝上游水深,即水库水深, m ; $H_{\text{坝}}$ 为某时刻橡胶坝的高度, m ; v 为某时刻橡胶坝上游水流近流速, m/s ; α 为动能修正系数。

用式(1)(2)计算橡胶坝塌坝泄流量一般采用逐时段演进方法,具体计算过程为:首先选定计算时段长 Δt 、坝袋塌落时间等基本参数,然后从第一时段开始,逐时段计算坝袋塌落后坝的高度、坝上游蓄水库容、水库水深、堰上水头、橡胶坝泄流量。

1.2 梯级橡胶坝

图1为由 n 个橡胶坝组成的梯级橡胶坝(图中 L_k 、 H_k 、 V_k 分别为第 k 级橡胶坝的蓄水长度、坝的高度、蓄水库容; $L_{k-1,k}$ 为上级橡胶坝至下级橡胶坝设

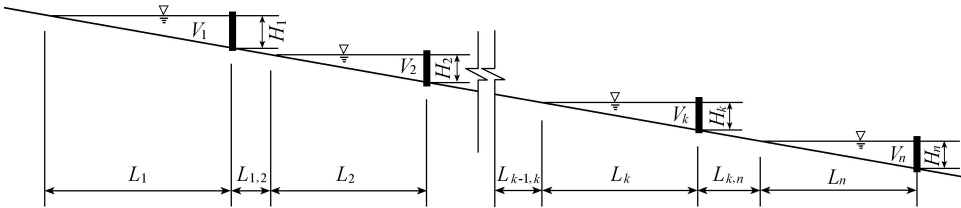


图1 梯级橡胶坝示意图

计水面之间的距离)。当上级橡胶坝泄流时,对下级橡胶坝泄流产生影响,使下级橡胶坝泄流量加大,由于两级橡胶坝之间有一定距离($L_{k-1,k}$),上级橡胶坝的泄流到达下级橡胶坝需要一定的时间,因此,上级橡胶坝的泄流量不能简单地叠加到下级橡胶坝泄流量,其影响可通过上级橡胶坝泄流后增加下级橡胶坝库容(蓄水量)的方法计算。

a. 上下级橡胶坝间隔距离较短。当上下级橡胶坝间隔距离较短时(如 $L_{k-1,k} = 0$),上级橡胶坝的泄流很快到达下级橡胶坝,此时可不考虑上级橡胶坝泄流到达下游的延续时间,第 t 时段坝上游蓄水库容为

$$V_t = V_{t-1} - Q_{t-1} \Delta t + Q_{t-1,上} \Delta t \tag{3}$$

式中: V_t 、 V_{t-1} 分别为第 t 、第 $t-1$ 时段初坝上游蓄水库容, m^3 ; Q_{t-1} 、 $Q_{t-1,上}$ 分别为第 $t-1$ 时段本级、上级橡胶坝泄流量, m^3/s 。

b. 上下级橡胶坝间隔距离较长。当上下级橡胶坝间隔距离较长时,上级橡胶坝泄流到达下级橡胶坝有一定的延续时间 T ,由于橡胶坝塌坝泄流量是分时段进行计算的,因此在仿真计算时,延续时间 T 是通过计算延续的时段数 K 来反映上级橡胶坝泄流对下级橡胶坝的影响,第 t 时段坝上游蓄水库容可按下式计算:

$$V_t = V_{t-1} - Q_{t-1} \Delta t + Q_{t-K,上} \Delta t \tag{4}$$

式中: $Q_{t-K,上}$ 为第 $t-K$ 时段上级橡胶坝泄水流量, m^3/s ; K 为上级橡胶坝泄水达到下游延续的时段数, $K = \frac{T}{\Delta t}$ (取整数); T 为上级橡胶坝泄水到达下游橡胶坝延续的时间, s 。

2 梯级橡胶坝塌坝泄流计算仿真系统

橡胶坝塌坝泄流过程计算是一个复杂而又烦琐的过程,因此利用前述梯级橡胶坝塌坝泄流计算基本原理,编制了基于VFP语言的橡胶坝塌坝泄流计算机仿真系统,该系统可根据橡胶坝的坝长、坝高、河道坡度等参数,以1s时段长模拟计算橡胶坝不同塌落时间形成的流量过程,从而找到最大泄流量。该系统可计算最大5级橡胶坝塌坝泄流过程。

2.1 数据输入

系统主要输入 3 类数据:①各级橡胶坝基本数据,包括橡胶坝名称、级数、净宽、侧收缩系数、正常挡水高度、正常挡水蓄水量、上游河道宽度、上游河道比降等。②橡胶坝塌坝方案数据,包括上级橡胶坝泄流到达本级橡胶坝的时间、橡胶坝开始塌坝时间、橡胶坝完全塌坝时间等。③对不规则河道,还应输入橡胶坝挡水高度与蓄水量关系表。

2.2 塌坝泄流计算

系统在已知塌坝方案的基础上,能进行各级橡胶坝塌坝过程泄流量计算和塌坝形成的最大泄流量统计。

a. 塌坝泄流过程计算。基本数据输入完成后,运行“梯级橡胶坝泄流计算”子程序,系统自动完成各级橡胶坝塌坝泄流过程计算。当某级橡胶坝无基本数据时,系统仅计算其上级橡胶坝泄流过程。

b. 塌坝最大泄流量统计。梯级橡胶坝泄流过程计算完成后,运行“橡胶坝泄流汇总”子程序,系统自动完成各级橡胶坝塌坝产生的最大泄流量、发生时间、相应坝高等计算结果统计。

2.3 计算结果查询

系统可查询橡胶坝的基本参数,如各级橡胶坝塌坝泄流过程,塌坝产生的最大泄流量及其发生时间、相应坝高、堰上水头等。

2.4 计算结果输出

各级橡胶坝塌坝泄流过程计算结果以报表的形式输出,包括橡胶坝运行时间、坝高、坝前蓄水库容、堰上水头、泄流量等。

各级橡胶坝塌坝最大泄流量统计结果输出内容包括橡胶坝名称、蓄水量、塌坝时间、上游泄流到达时间、最大泄流量及其发生时间、相应坝高、堰上水头等。

以上各种计算结果还可以 Excel 表的形式输出,便于统计分析。

3 算例计算

某河道有三级梯级橡胶坝,河道为矩形断面,宽 100 m,底坡为 1/1 000。一级橡胶坝(上游)坝高 4.0 m,库容 80 万 m³;二级橡胶坝坝高 3 m,库容 45 万 m³;三级橡胶坝(下游)坝高 4.0 m,库容 80 万 m³。一级橡胶坝距离二级橡胶坝的设计水面距离为 50 m,三级橡胶坝设计水面与二级橡胶坝坝底相接。

3.1 塌坝方案

梯级橡胶坝塌坝方案见表 1,其中完全塌坝时间为橡胶坝自设计挡水高度全部塌落需要的时间,塌坝开始时间为自最下游三级橡胶坝塌坝开始起算

的一、二级橡胶坝开始塌坝时间(或为滞后时间)。

表 1 橡胶坝塌坝方案

方案	完全塌坝时间/h			塌坝开始时间/h		
	一级坝	二级坝	三级坝	一级坝	二级坝	三级坝
1	2	1.5	2	0	0	0
2	2	1.5	2	1	0.5	0
3	2	1.5	2	1.5	1	0
4	2	1.5	2	2	1.5	0

3.2 计算结果

启动橡胶坝塌坝泄流计算仿真系统,输入橡胶坝基本数据、塌坝方案等,然后运行橡胶坝塌坝泄流计算子程序(本例计算时段为 1 s),得到梯级橡胶坝塌坝泄流过程及最大泄流量计算结果,如图 2 和表 2 所示。

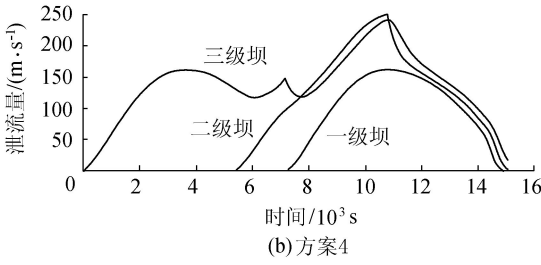
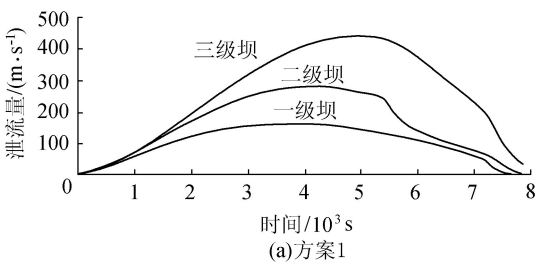


图 2 梯级橡胶坝塌坝泄流过程线

表 2 塌坝最大泄流量计算结果

方案	最大泄流量/(m ³ ·s ⁻¹)			发生时间/s		
	一级坝	二级坝	三级坝	一级坝	二级坝	三级坝
1	160.99	280.39	441.62	3 667	4 100	4 930
2	160.99	250.29	357.56	7 267	7 200	7 200
3	160.99	250.29	254.78	9 067	9 000	7 200
4	160.99	250.29	241.09	10 867	10 800	10 840

从图 2 可以清楚地看到梯级橡胶坝各塌坝方案的泄流过程及变化趋势,从表 2 中还可看到各塌坝方案的塌坝最大泄流量及发生时间,可编制橡胶坝控制运用方案提供依据。

4 结 语

本文梯级橡胶坝塌坝泄流计算仿真系统具有通用性强、人机交互功能好、扩展性强等特点,能精确、快速地推算梯级橡胶坝不同塌坝方案的塌坝泄流过程和最大泄流量,从而能够尽早预测塌坝产生的“人造洪峰”,对于橡胶坝工程的设计和梯级橡胶坝汛期控制运用方案的编制具有一定的实用参考意义。

参考文献:

[1] KAHL T, RUELL S. Flashboard alternatives including rubber dams [C]//Proceedings of Waterpower, Niagara Falls. New York: [s. n.], 1989: 447-456.

[2] PLAUT R H, LIAPIS S I, TELIONIS D P. When the levee inflates [J]. Civil Engineering, 1998, 68 (1): 62-64.

[3] CONRAD D A, MULDOON D P. Design and application of a PC/PLC utility rubber dam control system [J]. Instrument Society of America. 1995, 6: 351-362.

[4] 田忠禄. 具有决策支持系统的枢纽橡胶坝安全运行管理自动化系统研究 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2008, 6 (1): 56-59. (TIAN Zhonglu. Study on the automation system for safe operation and management of rubber dams with decision supporting system [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2008, 6 (1): 56-59. (in Chinese))

[5] ZHANG X Q, TAM P W M, ZHENG W. Construction, operation, and maintenance of rubber dams [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2002, 29 (3): 409-420.

[6] TAM P W M, ZHANG X Q. Management of rubber dams in Hong Kong [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 1999, 26 (2): 123-134.

[7] 徐智廷, 孙廷玺, 张世功, 等. 沂河梯级橡胶坝汛期调度运用原则探讨 [J]. 中国水利, 2008 (19): 61-62. (XU Zhiting, SUN Tingxi, ZHANG Shigong, et al. Regulation of cascade rubber dams in Yihe River Basin [J]. China Water Resources, 2008 (19): 61-62. (in Chinese))

[8] 李风增. 胶南市风河梯级橡胶坝综合管理与运用 [J]. 中国水利, 2007 (16): 17. (LI Fengzeng. Integrated management and application of cascade rubber dams on Feng River of Jiaonan [J]. China Water Resources, 2007 (16): 17. (in Chinese))

[9] 吴军华, 孟红军. 安阳市洹河梯级橡胶坝联合运行探讨 [J]. 河南水利与南水北调, 2010 (4): 31-32. (WU Junhua, MENG Hongjun. Integrated operation of step rubber dams on Huanhe River in Anyang City [J]. Henan Water Resources & South to North Water Diversion, 2010 (4): 31-32. (in Chinese))

[10] 张世功, 孙廷玺, 段伟华, 等. 沂河梯级橡胶坝调度运用实况对洪水影响分析 [J]. 治淮, 2010 (5): 15-17. (ZHANG Shigong, SUN Tingxi, DUAN Weihua, et al. Analysis of Yihe cascade rubber dams operation and control impact on flood [J]. Huaihe Management, 2010 (5): 15-17. (in Chinese))

[11] 温会军. 辽河干流橡胶坝联合调度方案编制方法 [J]. 现代农业科技, 2012 (9): 274-276. (WEN Huijun. Rubber dam joint operation scheme established method of Liaohe River [J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2012 (9): 274-276. (in Chinese))

[12] 陈瑞. 对橡胶坝流量系数的探索 [J]. 水利学报, 1987 (6): 36-39. (CHEN Rui. Research on flow coefficient of rubber dam [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1987 (6): 36-39. (in Chinese))

[13] 苑希民, 林继镰. 溢流橡胶坝泄流特性试验 [J]. 天津大学学报, 1996, 29 (3): 342-348. (YUAN Ximin, LIN Jilian. Rubber dam fall discharge characteristic test [J]. Journal of Tianjin University, 1996, 29 (3): 342-348. (in Chinese))

[14] ZHANG Qinghua, DIAO Yanfang. Cascade rubber dams fall discharge calculation and analysis [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2011, 38 (8): 957-962. (收稿日期: 2013-07-01 编辑: 周红梅)

+++++

(上接第 45 页)

[18] KRZYSZTOFOWICZ R, HERR H D. Hydrologic uncertainty for probabilistic river stage forecasting: precipitation-dependent model [J]. Journal of Hydrology, 2001, 249 (1/2/3/4): 46-68.

[19] KRZYSZTOFOWICZ R, MARANZANO C J. Hydrologic uncertainty processor for probabilistic stage transition forecasting [J]. Journal of Hydrology, 2004, 293 (1/2/3/4), : 57-73.

[20] KRZYSZTOFOWICZ R, MARANZANO C J. Bayesian system for probabilistic stage transition forecasting [J]. Journal of Hydrology, 2004, 299 (1/2): 15-44.

[21] 梁国华, 王国利, 王本德, 等. 大伙房跨流域引水工程预报调度方式研究 [J]. 水力发电学报, 2009, 28 (3): 32-36. (LIANG Guohua, WANG Guoli, WANG Bende, et al. Study on forecast based operation mode for Dahuofang inter-basin water transfer project [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2009, 28 (3): 32-36. (in Chinese))

[22] 梁国华, 习树峰, 王本德, 等. 基于 BP 神经网络的旬降雨径流相关预报模型 [J]. 水力发电, 2009, 35 (8): 10-12. (LIANG Guohua, XI Shufeng, WANG Bende, et al. Ten-day correlation forecast model of rainfall and runoff based on BP neural network [J]. Water Power, 2009. 35 (8): 10-12. (in Chinese))

[23] 詹道江, 叶守泽. 工程水文学 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.

[24] HASHIMOTO T, STEDINGER J R, LOUCKS D P. Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation [J]. Water Resource Research, 1982, 18 (1): 14-20.

[25] SURESH K R. Modeling for irrigation reservoir operation [D]. Bangalore, India: Indian Institute of Science, 2002. (收稿日期: 2013-12-31 编辑: 周红梅)