

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.06.017

贺娟, 王晓松. 基于 HEC-RAS 及 HEC-GeoRAS 的溃坝洪水分析[J]. 水利水运工程学报, 2015(6): 112-116. (HE Juan, WANG Xiao-song. Analysis of dam-break flood based on HEC-RAS and HEC-GeoRAS[J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(6): 112-116.)

# 基于 HEC-RAS 及 HEC-GeoRAS 的溃坝洪水分析

贺娟, 王晓松

(中国水利水电科学研究院 水力学研究所, 北京 100038)

**摘要:** 洪水漫顶、渗漏等原因引起的垮坝失事, 将会给下游人民带来巨大的生命财产损失, 因此, 对溃坝洪水引起的淹没范围的准确预测至关重要。通过对大渡河上 22 座梯级水电站进行对比分析, 选定长河坝电站水库大坝为研究对象, 分析洪水漫顶引起的长河坝溃坝, 及由其引起的下游黄金坪、泸定水电站的连续溃坝对泸定县的淹没范围。首先利用 HEC-GeoRAS 和 Google 地球提取研究区域的地形数据, 然后将建好的模型导入到一维溃坝洪水计算工具 HEC-RAS 中进行溃坝洪水演进模拟, 最后通过 HEC-GeoRAS 分析研究区域的洪水淹没范围及流速分布。结果表明: 由长河坝溃坝引起的下游泸定县的洪水淹没范围为左右岸平均漫堤宽度约 200 m, 已经淹没了城区; 从流速分布图得出河道中心的流速均较大, 最大流速为 16.217 m/s。研究结果可为洪水风险图的制作及防洪决策提供一定的技术支持。

**关键词:** 溃坝洪水; HEC-RAS; HEC-GeoRAS; 淹没范围

**中图分类号:** TV877

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-640X(2015)06-0112-05

我国水资源时空分布不均, 汛期降雨量占全年的 80% 以上<sup>[1]</sup>, 极易造成暴雨洪水, 如“75.8”特大洪水、“98”长江流域特大洪水等均给人民生命财产造成了巨大损失<sup>[2-3]</sup>。水库作为我国防洪工程体系的重要组成部分, 其正常运行至关重要。一旦由于地震、特大洪水、地基缺陷、泄流能力不足、运行不当等原因引起垮坝失事或者决口, 将会严重危及下游周边人民的生命财产安全, 给国家的经济建设带来巨大损失。

目前, 多采用一维或二维模型实现对溃坝洪水的演进模拟。二维数学模型需要对研究区域进行网格划分, 需要的水力要素信息也随之增加, 计算耗时较长, 难以实现溃坝风险的实时评估。而一维溃坝模型解决了上述问题, 计算效率高, 广泛应用于大尺度河谷区域的溃坝洪水风险分析<sup>[4]</sup>。

根据《全国水库垮坝登记册》的统计, 溃坝原因有洪水漫顶、渗漏、管理不当、其他及原因不详, 所占比例分别为 47.85%、39.86%、4.69%、5.26% 和 1.04%。可见, 洪水漫顶是造成溃坝的主要原因。本文以大渡河流域的长河坝水电站为研究对象, 采用一维数值模型模拟洪水漫顶造成的溃坝过程, 并对模拟结果进行分析研究。

## 1 研究方法

建立溃坝洪水模型需借助的软件主要有 ArcGIS、HEC-RAS 及 HEC-GeoRAS。各软件介绍如下:

HEC-RAS<sup>[5]</sup> 在洪水分析中的应用较广, 但受到两个方面的限制: 一是经济条件的限制, 无法测得所需断面及洪泛区的全部数据, 断面数量的减少会使断面之间的距离增大, 使水面线计算的准确性降低; 二是糙率  $n$  的取值范围对水面线计算的准确性具有重要影响<sup>[6]</sup>。

收稿日期: 2015-03-04

作者简介: 贺娟(1988—), 女, 陕西延安人, 硕士, 主要从事城市暴雨及洪水模拟研究。

E-mail: 18910232716@163.com

HEC-GeoRAS<sup>[7]</sup>是ArcGIS的一个扩展模块,能够从研究区域的DEM图层中提取HEC-RAS所需的地理空间数据,如河流、河段、站点信息、横断面数据及断面距下游的距离、糙率及桥等建筑物的几何数据。

因此,本文首先通过HEC-GeoRAS获得所需的地形数据和糙率 $n$ ,其次将其导入HEC-RAS中进行溃坝洪水模拟,使得水面线计算结果的准确性有所提高,并且节省了人力和财力。

发生溃坝洪水时水流的流态为非恒定流,非恒定流计算的核心公式为连续方程和动量方程,见式(1)和(2)。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad (1)$$

式中: $x$ 为计算河道的长度; $t$ 为计算时间; $Q$ 为溃坝流量; $A$ 为河道过流断面面积; $q_l$ 为单位距离的侧向流量。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial Z}{\partial x} + S_f\right) = 0 \quad (2)$$

式中: $g$ 为重力加速度; $S_f$ 为阻力坡降; $V$ 为流速。

式(1)和(2)均为非线性方程,采用迭代法求解方程,速度慢,甚至可能出现计算不收敛的情况。因此,HEC-RAS中采用线性增量法进行求解。

## 2 溃坝洪水案例计算及分析

### 2.1 工程介绍

大渡河发源于青藏高原东部边缘果洛山东南麓,流经高原山区,穿越崇山峻岭,至四川盆地注入岷江,全长1 062 km。大渡河水电基地是国家规划的十三大水能基地之一(其水资源量超过全国的一半),是西部大开发的标志性工程。以水库是否具有控制性作用和库区下游是否为人口密集区域为原则,对大渡河水电基地干流规划的22个梯级电站中的挡水工程进行综合分析,最后选定长河坝为研究对象,研究其溃坝洪水对下游泸定县的淹没范围。

长河坝水电站位于四川省甘孜藏族自治州康定县境内,工程地处大渡河上游金汤河口以下约4~7 km河段,坝址上游距丹巴县城82 km,下游距泸定县城49 km。水电站枢纽建筑物由砾石土心墙坝<sup>[8]</sup>、泄洪系统、引水发电系统等组成。水库正常蓄水位为1 690 m,相应库容为10.4亿 $\text{m}^3$ ,其中死库容为6.2亿 $\text{m}^3$ ,具备季调节能力。长河坝水电站作为大渡河干流水电梯级开发的第10级,是一等大(1)型水电工程,对大渡河流域的水电开发具有控制性作用。

### 2.2 前期处理

结合Google地球,通过GIS中镶嵌的HEC-GeoRAS工具,在研究区域的DEM图层(分辨率为30 m)上分别建立河道中心线、横断面线、河岸线、左右岸及河道的流向线、桥及水库,分别赋予其相应的属性,由此提取出相应的高程数据,同时通过土地利用图层提取出相应的糙率 $n$ 。其中,河道中心线由GIS中的水文工具生成的山谷线构成;河岸线由Google地球生成后导入到GIS中的bank图层;桥、水库及相关障碍物由Google地球确定好位置之后导入到GIS中。生成的前期处理图见图1。

### 2.3 HEC-RAS模型的建立及计算

将前期处理生成的文件导入到HEC-RAS中,检查断面数量及位置是否满足要求,若不满足,重新回到前期处理步骤,将所需断面补充进去,直至满足要求为止。对所有断面进行一定的处理,并将桥的几何数据补充完整。

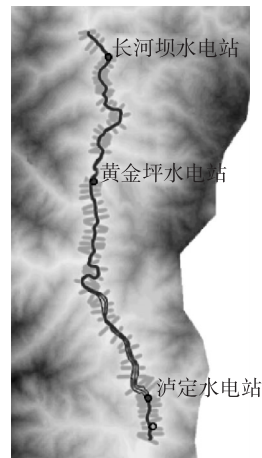


图1 前期处理

Fig. 1 An early treatment figure

研究区域内共有 3 座,依次为长河坝、黄金坪与泸定水电站,最大坝高分别为 240、95.5 和 84 m。

虽然泸定水电站距离泸定县较近,但由于长河坝水电站的坝高比黄金坪水电站及泸定水电站要高得多,长河坝水电站的失事将会给下游造成更大影响。因此,选取长河坝电站为研究对象进行溃坝洪水模拟。长河坝水库为河道型水库,库区用多个横断面代替,并在黄金坪水电站和泸定水电站的坝址处各设置一个壅水。溃坝缺口的相关数据见图 2。

在溃坝洪水计算分析中,关键在于缺口形成的时间和缺口最终尺寸的确定。目前,主要有两种解决办法:一是根据历史溃坝洪水信息用线性回归方程来估算上述 2 个溃坝参数;二是用数值模型模拟缺口形成的物理机制,最终得到这两个参数。不同的估测方法得到缺口流量过程曲线不同,但对于大坝下游区域而言,离坝体越远,不同估测方法得出的淹没范围越趋于一致。

本文主要研究长河坝溃坝对距其下游 49 km 泸定县城的影响,假定缺口形成的时间为 2 h。参考许多国际溃坝洪水模型,假定溃坝发生在一个特定形状的初始状态,本文假定溃坝由中心点开始向外扩散,溃口最终尺寸为底部高程 1 560 m,宽 200 m,左右坡度都为 0.5(见图 3)。当水位超过坝顶高程 1 700 m 时就开始溃坝。长河坝上游为丹巴水文站,根据《大渡河 2011 年水文年鉴》中对丹巴水文站的洪水要素统计<sup>[9]</sup>,选取 2011-07-03T02:00/2011-07-10T20:00 的丹巴水文站所在的断面流量作为非稳定流流量输入(见图 4)。最后设置初始条件及边界条件,由于泸定县以上为大渡河上游,平均坡降为 3.6‰,因此,将下游边界条件设置为正常水深。

对计算结果进行分析,溃口出流过程见图 5。溃口最大流量为 31 424.13 m<sup>3</sup>/s,足以对下游造成较大范围的洪水淹没。

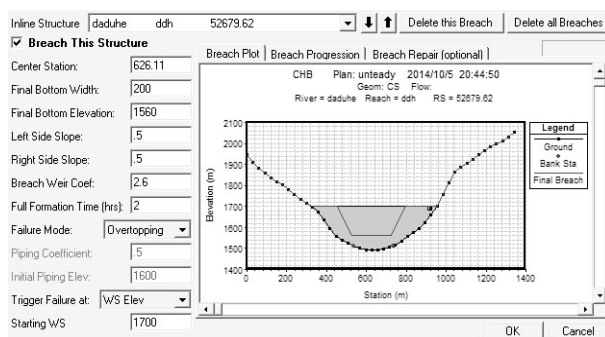


图 2 溃坝参数设置

Fig. 2 The settings of dam break parameters

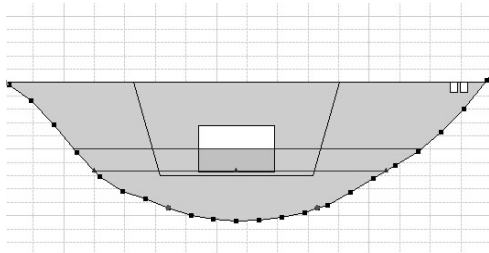


图 3 溃口形成过程

Fig. 3 Dam break forming process

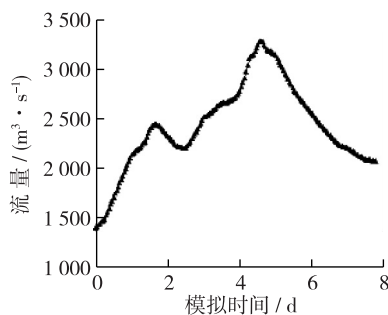


图 4 溃坝入流过程线

Fig. 4 Dam break inflow process line

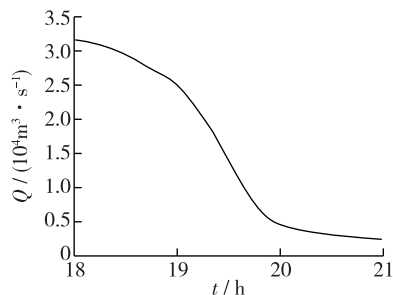


图 5 溃口出流过程线

Fig. 5 Dam break outflow line

## 2.4 溃坝洪水淹没范围分析

将计算得到的 GIS 文件导入到 HEC-GeoRAS 中,洪水淹没范围及流速分布见图 6。

在上述淹没范围图的基础上,通过 GIS 平台可以计算出长河坝下游泸定县的洪水淹没范围为左、右岸平均漫堤宽度约为 200 m,已经淹没到了城区。从流速分布图中可以看出河道中心流速均较大,最大流速为 16.217 m/s。同时,在上述两幅图的基础上如果能够叠加行政区域图层、社会经济分布图层,就可以快速、便捷地做出洪水风险图,从而为防洪决策服务。

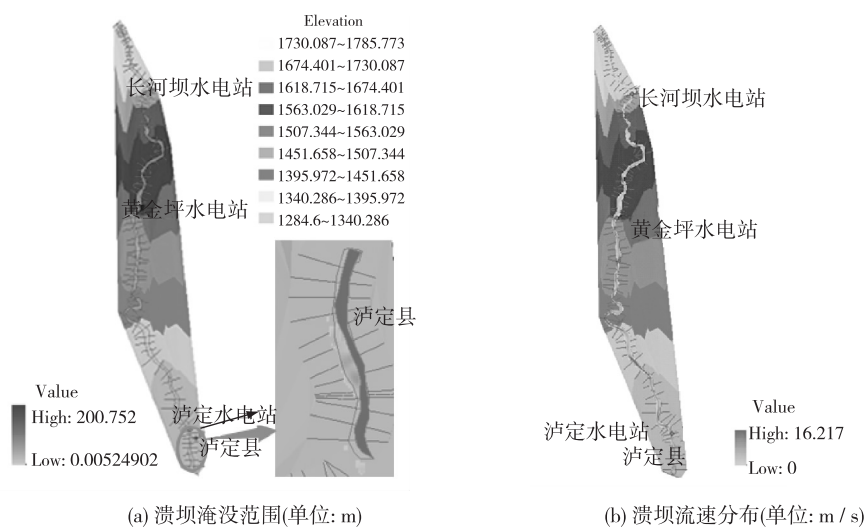


图6 溃坝淹没范围和流速分布

Fig.6 Flood submerging range and velocity distribution of dam break

### 3 结 语

本文综合应用 ArcGIS, HEC-RAS 等软件, 介绍精确模拟一维溃坝洪水计算过程的一种方法。并以大渡河上的长河坝水电站为例, 基于 DEM 数据提取模型计算所需的横断面等数据, 对洪水漫顶造成的溃坝洪水进行演进模拟, 得到水库下游泸定县的洪水淹没范围及流速分布, 能够满足溃坝洪水风险评估的初步需求, 从而为防洪决策服务。由此说明本文采用的方法是一种较为经济和精确的方法。

### 参 考 文 献:

- [1] 陈志恺. 中国水资源的可持续利用问题[J]. 水文, 2003, 23(1): 1-5. (CHEN Zhi-kai. The issues of sustainable utilization of water resources in China[J]. Hydrology, 2003, 23(1): 1-5. (in Chinese))
- [2] 谭燕, 陈德辉. 河南“75.8”大暴雨的中尺度集合预报试验[J]. 气象, 2008, 34(9): 10-21. (TAN Yan, CHEN De-hui. Mesoscale ensemble forecasts on “75.8” heavy rain in Henan[J]. Meteorological Monthly, 2008, 34(9): 10-21. (in Chinese))
- [3] 王润, 姜彤, 高俊峰, 等. 1998 年长江流域洪水灾害成因分析[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(1): 16-21. (WANG Run, JIANG Tong, GAO Jun-feng, et al. 1998 Yangtze River flood: causes and analysis[J]. Journal of Natural Disasters, 1999, 8(1): 16-21. (in Chinese))
- [4] 张大伟, 权锦, 何晓燕, 等. 基于地理信息系统的一维溃坝洪水分析系统研发及应用[J]. 水利学报, 2013, 44(12): 1475-1482. (ZHANG Da-wei, QUAN Jin, HE Xiao-yan, et al. Development and application of 1D dam-break flood analysis system based on GIS[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(12): 1475-1482. (in Chinese))
- [5] Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS user's manual 4.1[M]. Davis, CA: US Army Corps of Engineers, 2012.
- [6] PATEL K P. Water modeling using HEC-RAS, HEC-HMA, and GIS models-a case study of the wreck pond brook watershed in Monmouth county. New Jersey[D]. New Brunswick Rutgers: The State University of New Jersey, 2009.
- [7] Hydrologic Engineering Center. HEC-GeoRAS user's manual 10[M]. Davis, CA: US Army Corps of Engineers, 2010.
- [8] 崔建凯, 沈军辉, 张进林, 等. 长河坝水电站开关站工程边坡稳定性三维有限元分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2007, 18(1): 24-27. (CUI Jian-kai, SHEN Jun-hui, ZHANG Jin-lin, et al. Analysis of 3D FEM on slope stability of switch station in Changheba hydroelectric power station [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2007, 18(1): 24-27. (in Chinese))
- [9] 四川省水文水资源勘测局. 中华人民共和国水文年鉴——长江流域岷沱江区 2011 年水文资料(第 6 卷第 8 册)[M]. 北

- 京: 中华人民共和国水利部水文局, 2012. (Sichuan Province Hydrology and Water Resources Survey. Hydrological yearbook for the Minjiang River area in Yangtze River of the People's Republic of China, Hydrological data in 2011( Volume 6, 8th book) [M]. Beijing: Hydrology Bureau of Water Resources of the People's Republic of China, 2012 (in Chinese))
- [10] 解家毕, 孙东亚. 全国水库溃坝统计及溃坝原因分析[J]. 水利水电技术, 2009, 40(12): 124-128. (XIE Jia-bi, SUN Dong-ya. Statistics of dam failures in China and analysis on failure causations [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2009, 40(12): 124-128. (in Chinese))

## Analysis of dam-break flood based on HEC-RAS and HEC-GeoRAS

HE Juan, WANG Xiao-song

(China Institution of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

**Abstract:** If the dam failure and break induced by overtopping flow and leakage through the dam, it will cause a great loss of life and property for the people downstream. Therefore, it is significant to predicate accurately the flooding area. By analysis of 22 hydropower stations located on the Dadu River, Changheba hydropower station was selected as a research object. The flooding area of Luding county caused by the overtopping floods of the Changheba hydropower station dam and its downstream Huangjinping dam and Luding dam was analyzed in this paper. Firstly, the terrain data was extracted by HEC-GeoRAS and Google Earth, after then, the data was imported into the HEC-RAS and dam-break flood was calculated. Finally, the flooding area map and flow velocity distribution map were captured using HEC-GeoRAS. The analysis results show that there is a flooding area of 200 m induced by overtopping along both left and right bank sides; the flow velocity along the center of the river is large and the maximum velocity can reach 16.217 m/s. The analysis results can provide a technical support for the production of a flood risk chart and for flood control decision.

**Key words:** dam break flood; HEC-RAS; HEC-GeoRAS; flood submerging range