

基于GIS的溃坝洪水计算信息快速提取

王 珊

(中国水利水电科学研究院防洪抗旱减灾研究所,北京 100038)

摘要:基础信息的快速提取是风险评估的技术基础。根据应急条件下溃坝洪水计算的需求,分析GIS技术所能快速提取的基本信息,并以唐家山堰塞湖为例,探讨了运用GIS技术从DEM数据快速提取溃坝洪水计算所需信息的关键技术。该方法避免了现场实地断面勘测、繁琐的资料整理和计算,并且利于把握溃坝洪水影响的全局,在时间紧迫、资料缺乏情况下的溃坝洪水风险分析中具有良好的应用前景。

关键词:GIS;溃坝洪水计算;信息快速提取

1 引言

我国拥有8万多座水库,在防洪、发电、供水、航运等方面都发挥着重要作用,但是水库大坝一旦溃决失事,会形成极具破坏性的洪水,造成重大人员伤亡和财产损失,严重影响水库下游地区的社会经济发展。据水利部2001年统计,全国有病险水库约3万座,占水库总数的36%,其中大中型水库的病险率接近30%,小型水库的病险率更高。在大中型病险水库中,其下游有大城市、铁路枢纽或重要设施的危险水库43座^[1]。随着国家经济的快速发展、城市化进程的加快,越来越多的人口和资产在水库下游地区集中,在这种形势下,低频率高危害的灾害风险问题逐渐成为人们关注的重点^[2]。因此,研究大坝溃坝问题、探讨水库溃坝风险、评价溃坝洪水影响,对于制定地区应急预案和加强区域防洪减灾是十分必要而紧迫的工作^[3-5]。此外,因地震等原因诱发的堰塞湖也对溃坝风险提出了快速评估的需求^[6]。

溃坝洪水风险研究与影响评价最重要的工作之一就是基础资料的收集,传统方法是通过现场实地勘测、水文测站的水文资料等方式,经过长时间的整理计算而得到,效率较低,工作时间成本和经济成本都很高,且往往不能从整体上把握研究区域。随着计算机技术和GIS技术的发展,能够更快更准确地获取计算所需的关键性资料,加速洪水风险计算和评估进程,节省工作时间和提高精度^[7]。特别是在应急处置或先期观测较少的情况下,采取简便快速方法获取相关资料显得尤为重要。本文根据溃坝洪水计算过程的需求,分析GIS技术所能快速提取的信息,以唐家山堰塞湖溃决洪水为例,探讨基于GIS技术快速提取溃坝洪水计算所需信息的方法。

2 溃坝洪水计算所需信息分析

溃决洪水分析主要是计算坝址处和坝下游的洪水过程,包括坝址处的流量和水位过程线,以及下游洪水演进过程中沿程各处的流量、水位、流速、洪峰到达时间等^[8]。溃决水流的构成复杂,一般需采用水力学模型进行分析。利用GIS系统进行基础资料的提取也主要围绕计算分析的主要任务和需求来考虑技术方案。

为简化计算且不失一般性,溃决洪水有多种计算方案。本文以一维非恒定流数值模型所需基本资料提取作为分析对象,研究GIS技术快速提取溃坝洪水计算所需信息的方法。一维非恒定流数值模型所用基本方程如下:

$$\text{连续方程: } \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\text{能量方程: } \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{U^2}{C^2 R} = 0 \quad (2)$$

式中, A 为过水断面面积, Q 为断面流量, Z 为断面的水位, U 为断面流速, R 为水力半径, C 为谢才系数。

对方程(1)、(2)进行求解并给定边界条件和初始条件后,就可数值求解得到溃决洪水各有关参数。

假定初始条件为已知起始时刻水位流量 $Z_{i,0}$ 或 $Q_{i,0}$,上边界条件为起始断面的洪水流量过程 $Q(t)$,下游边界条件为最末断面水位流量关系 $Q=f(z)$ 或水位过程 $Z(t)$ 。采用试算迭代法,可计算出下游各个断面溃坝洪水水位(Z)和流量(Q)过程。

求解方程(1)、(2)所需的基本信息主要为:

- (1)起始断面溃坝洪水过程 $Q(t)$,即给出流量过程;
- (2)最末断面水位流量关系 $Q=f(z)$,即给出水位;
- (3)全部断面起始时刻的水位 $Z_{i,0}$ 和 $Q_{i,0}$ 流量;

收稿日期:2010-01-24

作者简介:王珊(1985-),女,硕士研究生,主要从事防洪减灾领域研究。

基金项目:科技部国家科技支持计划项目“水库大坝安全保障关键技术研究”(2006BAC14B02);水利部重大项目“水库溃坝风险与减灾技术研究”。

- (4) 特定断面的断面形状;
- (5) 记录的时间间隔 Δt 和相邻断面的距离间隔 Δx ;
- (6) 谢才系数 C 和水力半径 R 。

其中部分参数需要间接计算确定,主要如下^[9]:

(1) 谢才系数 C

谢才系数采用曼宁公式计算:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

(2) 水力半径 R

在得到各个断面的地形资料后,假定一个水位,可以计算得到该水位下的过水面积和湿周,进而得到 R 。

(3) 起始断面溃坝洪水过程 $Q(t)$

在计算溃坝流量过程时,由于溃口不断扩大,库区内水位随着溃口洪水的流出而降低,故计算大坝溃口过水面积时,需要得到大坝的水位库容关系。

(4) 断面间距 Δx 及比降 J

3 基于 GIS 的溃坝洪水计算所需信息快速提取

以上分析明确了溃坝洪水计算所需信息。运用 GIS 技术,在具有数字高程模型 (DEM) 数据的基础上,可以快速提取以下信息:(1) 下游河道断面地形;(2) 断面间距及河段比降;(3) 水位库容关系。

以唐家山堰湖为例,基于 1:50000 DEM 数据,运用国产 GIS 软件 SuperMap GIS,介绍以上信息的快速提取方法。

3.1 工作底图配置

选择 DEM、堰塞湖、河流及居民地等图层,配置成工作底图(如图 1 所示)。从图上可以看出,所选取的范围包括从唐家山到绵阳市以下的石嘴镇,70 多公里的

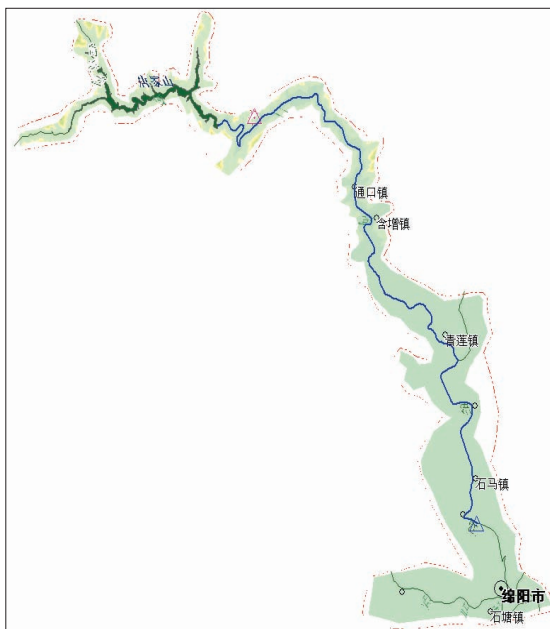


图 1 工作底图

距离,沿程主要有通口镇、含增镇、青莲镇、石马镇、绵阳市等居民地(城镇)。

在工作底图上,从唐家山向下,按照尽可能与居民地(重要城镇)靠近的原则,依次布设了 72 个断面。此外,此区域内也有万阿线、成青线、南遂线等省级公路,以及宝成线等铁路。为了图面的简洁和清楚,图 1 没有绘出这些对象。

3.2 信息提取

3.2.1 断面地形提取

如前所述,本文的信息提取工作环境是 SuperMap DeskPro,断面地形数据提取的主要工作步骤如下:(1) 在工作底图中,将图幅放大并定位到要提取断面的区域;(2) 如图 2 所示,选择剖面图绘制菜单,进入剖面提

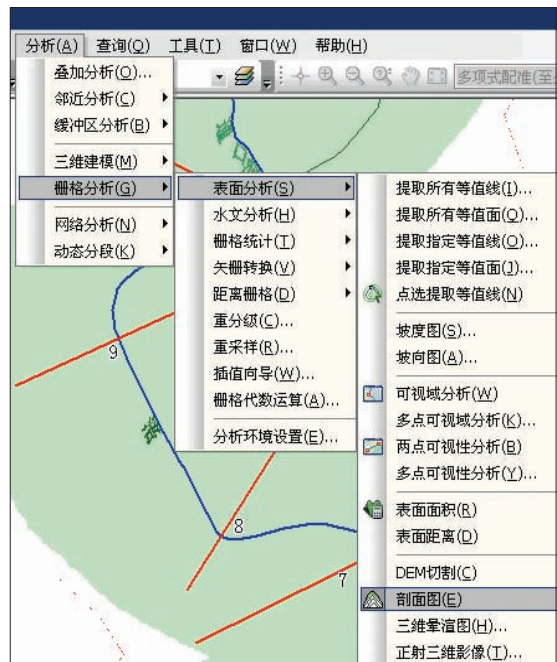


图 2 断面地形截取

取状态;(3) 单击断面起点,沿断面前行,到断面终点,右击鼠标,即可得到相应的断面地形图;(4) SuperMap 提供了位图文件、影像数据集以及属性表数据集 3 种形式保存断面信息,此处以最后一种形式,即属性表数据方式,保留断面信息,便于处理为模型计算需要的数据。如此重复,提取每一个断面的地形数据。按照此方法,在从唐家山至石马镇的河道上剖分了 72 个断面。图 3 给出了龙凤镇和通口镇附近剖面实例。

3.2.2 断面间距及河道比降提取

比降是溃坝洪水计算中的重要信息之一。比降数据提取的主要步骤如下:(1) 在断面地形的基础上,提取相邻断面的最低河底高程 $h_上$ 、 $h_下$;(2) 运用 GIS 的距离量算功能,沿相邻断面之间的河道量取长度 L ;(3) 计算河道比降。图 4 给出了从堰塞坝至青义镇的河道纵剖面图。

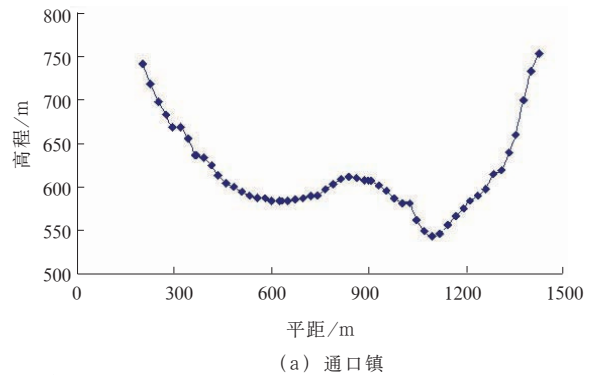
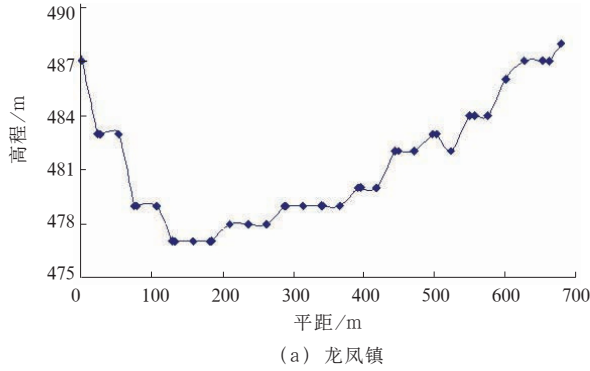


图3 截取断面实例

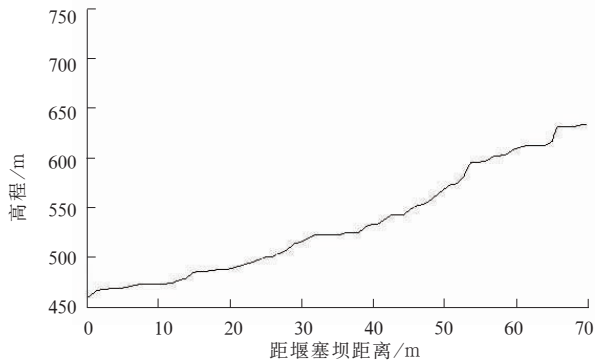


图4 通口河道纵剖面图

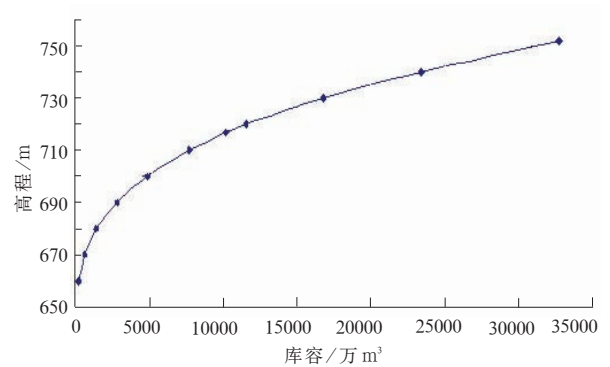


图5 唐家山堰塞湖水位-库容曲线

3.2.3 水位库容关系提取

水位库容关系提取的主要步骤如下：(1)拟定堰塞湖库区不同的高程(可理解为水位)用于确定库容；(2)运用GIS的高程提取功能，选择DEM数据进行拟定高程等值线的提取；(3)运用GIS的分析功能，沿各等高线和堰塞坝的包络范围，选择栅格数据，进行填挖方分析，其中附加高程值为具体的等高线高程值，即可提取每等高线高程以下的容积(可理解为库容)。(4)将不同高程和容积绘制成相应的水位-库容关系。本文拟定了11个高程值，并提取了相应值下的容积，绘制成唐家山堰塞湖的水位库容关系，如图5所示。

4 唐家山堰塞湖溃决洪水算例

唐家山堰塞湖是2008年汶川大地震形成的典型堰塞湖，对下游地区具有极大威胁，故采用此研究案例。根据当时处理提出的3种方案，即1/3溃坝、1/2溃坝和全溃，采用前面提取的水位库容关系、河道断面、断面间距等信息，进行计算和分析，得到这三种溃坝方案下主要断面的最高水位，并据此勾绘相应方案下的淹没范围(如图6所示)。勾绘时，主要参照了各断面在该方案下的最高水位和主河道的走向等因素。将该结果与文献[10]的结果对照可知，本例计算的结果是可为溃坝洪水风险评估提供参考的。

5 结语

本文首先简要分析了简化情况下一维溃决洪水计



图6 不同溃决方案淹没范围示意图

算所需的基本信息，在此基础上，以唐家山堰塞湖为例，基于该地区的DEM数据，运用GIS技术，快速提取了水位库容关系、河道比降、下游河道大断面数据；并运用所提取数据，进行了溃决洪水模拟，得到了较为合理的结果，满足溃坝洪水风险评估的初步需求。

需要说明的是，由于DEM的分辨率问题，本方法只能提取较为粗略的河道断面地形，并且在绘制淹没范围时，也是主要简单地参考各断面的最高水位和主河道走向，对溃坝洪水的计算结果精度造成一定程度的影响。但是，这种方法可以迅速提取计算所需的关键信息，避

免了现场实地断面勘测、繁琐的资料整理和计算,在时间紧、资料缺乏情况下的溃坝洪水计算中值得参考;此外,这种方法有利于从全局把握溃坝洪水风险,简单适用。因而,基于GIS的洪水计算信息的快速提取,对于溃坝洪水风险计算,尤其是紧急情况下进行溃坝洪水风险的评估,具有重要意义。

目前此项工作的开展方法基本上是运用GIS软件提取相应信息,然后采用专业模型软件,如HecRas, Mike等进行计算和分析,完成以后,再返回GIS软件进行处理,得到最后的结果。将GIS与溃坝洪水计算模型充分结合,在深入分析溃坝洪水风险快速评估内容和步骤的基础上,开发基于GIS的溃坝洪水计算信息快速提取与处理的完整系统,以便在紧急情况下更好地进行溃坝洪水风险的评估,是非常值得探讨的工作。

参考文献

[1] 刘宁. 对中国水工程安全评价和隐患治理的认识[J]. 中国水利. 2005(22): 8-12.

- [2] 黄金池,何晓燕. 溃坝洪水的统一二维数学模型[J]. 水利学报. 2006, 2(37): 222-226.
- [3] 刘明国,谢春德. 水库逐渐溃坝洪水过程计算方法研究[J]. 四川水力发电. 2008, 8(4): 86-90.
- [4] 曾富慈. 突发性水旱灾害的预防与预警—解读《国家防汛抗旱应急预案》之四[J]. 中国防汛抗旱. 2006, 2: 21-22.
- [5] 周克发,李雷. 我国已溃决大坝调查及其生命损失规律初探[J]. 大坝与安全. 2006, 5: 14-18.
- [6] 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): 65-67.
- [7] 李昌志,黄金池. SuperMapGIS在防洪减灾中的应用实例和需求[J]. 中国水利. 2008(19): 17-21.
- [8] 谢任之. 溃坝水力学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1989.
- [9] 李家星,赵振兴. 水力学(上册)[M]. 南京: 河海大学出版社, 2001.
- [10] 丁志雄,路京选,王义成. 基于遥感与GIS的堰塞湖区淹没与溃坝影响分析[C]//中国水利学会2008年学术年会论文集(下册). 北京: 中国水利水电出版社. 2008: 868-876.

(上接第51页)

4 启示

2009年,登陆影响我国的台风多,由于未发生严重的流域或区域洪水,防台风工作成为汛期防汛工作的重头戏。目前,在台风防御工作中,一个鲜明的特点就是工作重点前移,突显了预测预报的作用,要求在台风尚未形成之时,就要及早预测分析每个台风的特点,做到针对性强。

2009年台风防御工作主动性强,客观地说,预先评估和特点研判总体上成功率是较高的,例如对于8号“莫拉克”,根据所有接收到的水文气象信息进行综合分析,于8月5日基本判定其主要特点为:(1)强度大,正面登陆;(2)时间长,影响面广;(3)水汽足,降雨量大;(4)“三碰头”,遭遇恶劣。灾后分析评估认为,抓住了其主要特点,特别是水汽含量丰富,降雨量巨大,实际情况与预测较为接近,在台湾岛形成的过程主暴雨中心点雨量超过3000mm,在大陆登陆后,在浙江仍创造了台风过程降雨量的历史纪录。但是,对于7号热带风暴,在其登陆后,对其中心风压关系不一致的研究不透彻,重视还不够,因而对其强度减弱预测过于乐观,事先没有特别提出预测警告,也是值得总结和进步的。

从2009年台风防御工作中可以看到,预测的成功非常重要。近十多年来,随着数值天气预报水平的不断提

高和丰富,水文气象业务人员对各相关信息的综合判断能力也在不断提升,实际预测准确率也有明显提高,但与不断提高的服务要求相比,仍有较大差距。台风登陆强度、登陆地点、登陆时间、暴雨中心落区等方面的预测成功与否,都对灾害的构成有较大影响,因而,台风强度预测相应地也有很大风险。为减少风险,下一步应对台风定量化进行深入研究。

参考文献

- [1] 陈联寿,丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [2] 王继志. 近百年西北太平洋台风活动[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.
- [3] 周国良,张建云,岳智慧. 西北太平洋热带风暴活动及其影响[J]. 水科学进展, 1999, 9(4): 399-404.
- [4] 周国良. 21世纪初的台风活动及其降水特征[J]. 中国水利水电科学研究院50年院庆期刊.
- [5] 徐良炎,高歌. 近50年台风变化特征及灾害年景评估[J]. 气象, 2005, 31(3): 41-45.
- [6] 李英,陈联寿,张盛军. 登陆我国热带气旋的统计特征[J]. 热带气象学报, 2004, 20(1): 14-23.
- [7] 水利部水文局. 水情年报1997~2008年[M]. 北京: 中国水利水电出版社.
- [8] 中国气象局预测减灾司. 台风业务和服务规定(第3次修订版)[S]. 北京: 气象出版社. 2001.