

流域洪灾监测评估与预警技术体系框架

丁志雄¹, 黄诗峰¹, 邓炯²

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044; 河南省国土资源调查规划院, 河南 郑州 450000)

摘要 通过流域洪灾类型及其预测的分析以及流域洪灾预警问题的提出, 利用遥感与 GIS 等技术手段, 结合水文水力学模型, 建立流域洪涝灾害监测评估与预警的技术体系框架, 技术体系囊括了遥感、GIS 等高新技术以及众多的模型技术。以松花江流域为例应用区, 利用 1998 年大洪水资料进行实际应用研究, 结果表明, 洪水灾害的预测与遥感监测的结果基本一致, 技术体系是可行和有效的, 可以为最终建立基于遥感与 GIS 的流域洪灾监测评估与预警系统提供有力支撑。

关键词 流域洪灾; 洪灾监测评估; 预警技术; 水文模型

中图分类号: TV877 文献标识码: A 文章编号: 1006-764X(2007)S2-0019-04

1 流域洪灾类型及其预测分析

洪水灾情预测, 可以为洪水调度提供决策依据, 如水库的调度运用、行蓄洪区的启用等。通过流域水文模型预报洪水、一维河道洪水演算计算河道断面上的洪水水位, 再通过二维洪水演进或洪水的淹没分析, 获得可能的洪水淹没状况(包括淹没范围和淹没历时)。在基础背景数据库(如土地利用、社会经济数据等)的基础上, 利用洪灾损失评估模型计算洪水淹没范围内可能的灾情损失, 这就是洪水灾情预测的整个过程。

针对不同的洪水状况及不同的区域(如蓄滞洪区、农村区、城市区等), 灾情预测可能会略有不同, 分别叙述如下:

a. 通过洪水实测和后续气象水文预报, 确知在流域范围内不会发生大范围超标准(主要针对堤防)洪水, 依据洪水调度预案, 适当使用行蓄洪区, 以缓解重点保护区域的防洪安全压力, 对人为行蓄洪水的受淹区域进行灾情损失预评估, 以便对比分析不同分蓄洪预案条件下(如分蓄洪区的选择, 分蓄洪量的大小, 分蓄洪时间的长短等)可能造成的洪涝灾害损失, 以最大可能选择一种使洪灾损失为最小的洪水调度方案。在这种情况下, 灾情预测只限于行蓄洪区, 由于这些区域是重点洪水管理区域, 基础背景数据较为详细和精确, 灾情预测评估能够做到相对较为准确。由于范围相对较小, 基础资料较为齐全,

蓄滞洪区的淹没计算往往采用二维洪水演进模型。

b. 通过洪水实测和后续气象水文预报, 确知在流域大范围内将发生超标准洪水时, 洪水水位很高(实测或预报), 超过相应堤防的堤顶高程, 使得洪水漫过堤顶, 淹没周边的区域, 此时需要根据洪水水位和有关地形数据(DEM)利用洪水演进模型或洪水淹没分析预测模拟可能的受淹区及受淹区内的水深分布情况, 再利用基础背景数据库和洪灾损失评估模型, 进而确定可能的洪涝灾情信息。由于淹没范围广阔, 水流相对平缓, 采用二维洪水演进模型进行洪水淹没计算就显得费时和代价昂贵, 所以直接利用洪水淹没分析确定洪水淹没范围就是可行和有效的方法, 同时淹没范围往往是广大的农村地区, 基础资料收集相对较为粗略, 因此, 灾情的预测评估也将相对较为粗略。

c. 在洪水未超标的情况下堤防就发生溃决, 造成堤防保护区范围内的淹没, 这时就需要知道堤防的溃决位置、进洪情况等, 但由于堤防溃决往往有对堤防抢险补修工作的介入, 使得洪水淹没不能自然完成。所以淹没区的确定需要根据进洪量和堤防溃决部位周边的地形来确定, 进而根据社会经济空间数据库确定洪水灾情及其损失。要预先预测这种情况下的洪水灾情, 就需要知道堤防可能的溃决位置, 这牵涉到堤防工程本身的安全性问题, 堤防的安全性影响因素非常复杂, 除与堤防本身的工程质量有关外, 还与洪水的持续时间(浸泡堤防)、洪水水位,

洪水流速等有着极为密切的关系,所以要确定哪一段堤防在什么样的洪水条件下可能会溃决是非常困难的事情,并且还牵涉到受人为影响下淹没区的进洪量不易确定的问题,所以就目前来说,对这种情况进行洪灾预测,需在洪水预报和堤防安全评估模型的基础上,估计溃决发生的位置和进洪情况进行。

2 流域洪灾预警问题

洪水灾情的预警是针对可能出现的洪水灾害(即灾情预测)向公众或特定人群发出的一种警示信息,内容包括淹没范围、流速分布、淹没区的人口、房屋、耕地以及其他社会经济指标等,以图文并茂的方式进行展示,并以醒目的标志进行标识,可以通过网络或电视、电话等媒体手段向外界发布,以引起公众或有关部门注意,以便采取必要的措施避免或减轻可能的灾害损失。

要做到洪水的灾情预警就要求洪水的灾情预测相对准确,发布要谨慎。在目前的技术水平条件下,并不是所有的洪水灾情都能够做到预警。对于上述洪水灾情预测中的第1和第2两种情况,即蓄滞洪区淹没和漫堤式淹没,只要流域的水文预报模型、一维河道洪水演算模型、二维洪水演进模型或洪水淹没分析模型适用可靠,并且精度能满足要求,则进行相应的洪水预警是可能的。这里假定流域内降雨测量是准确的,即可以根据流域的实测降雨,通过水文预报模型、一维河道洪水演算模型、二维洪水演进模型或洪水淹没分析模型以及灾情评估模型等一系列模型的计算,确定相应流域实测降雨的灾情信息。而对于堤防溃决式的洪水灾情(上述洪水灾情预测中的第3种情况),由于堤防溃决发生的时空位置不确定,在洪水发生前很难根据洪水预报和一维河道洪水演算对可能的洪灾作出准确的预警,所以此时利用遥感等快速、覆盖范围广阔的技术手段对洪水发展态势进行动态跟踪监测,辅之以地面实测水文资料 and 基础背景数据库进行灾情的动态跟踪评估,适当作出灾情预测预警是可行和有效的。

3 流域洪灾监测评估与预警技术体系框架

根据上面的分析,绘出流域洪灾监测评估与预警技术流程体系的框架如图1所示。该框架体系中遥感和GIS作为重要的信息获取或处理手段,贯穿整个技术流程体系中,如雷达遥感的测雨、利用GIS进行的子流域面雨量计算、利用GIS处理数字高程模型产生数字流域水文模型、土地利用和下垫面信息遥感获取与GIS处理、洪水遥感动态跟踪监测、基于GIS平台的灾情评估结果及洪水灾情预警信息的展示等。

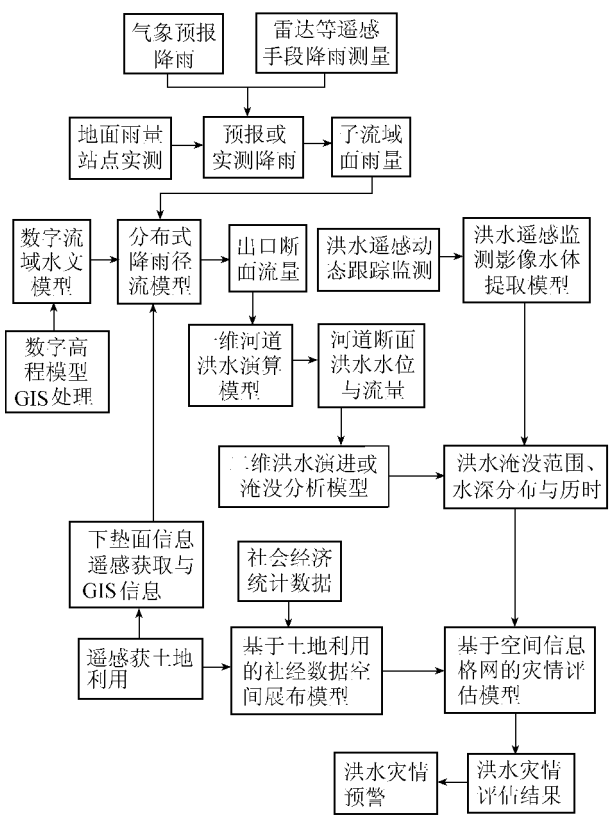


图1 流域洪灾监测评估与预警技术流程体系框架

框架体系的核心是几个有关的模型,分别为洪水水文预报模型、一维河道洪水演算模型、二维洪水演进或洪水淹没分析模型、洪水遥感监测影像水体提取模型、基于土地利用的社会经济数据空间展布模型、基于空间信息格网的灾情评估模型等。

3.1 分布式降雨径流模型

降雨径流模型是一种公认的技术上较为先进的暴雨洪水径流预报方法。水文学发展到今天,在全世界已研制成功了成百上千的降雨径流模型,其中比较有名的如美国的HEC模型、英国的TOPMODEL模型、丹麦的Mike NAM模型、意大利的SCL模型、日本的TANK模型、中国的新安江模型等^[1]。降雨径流模型都必须包括有产流计算和汇流计算两部分,以实现由暴雨输入求得流域出口断面洪水过程线的功能。不同的模型虽然一般表现在所采用的产、汇流理论和计算方法的差异上,但主要还是表现在产流机制上的不同。在我国,新安江模型应用得最为广泛。遥感与GIS技术的应用,使得利用传统模型建立分布式降雨径流模型成为可能。降雨径流模型的结果输出为出口断面流域,作为河网的入流参与一维河道洪水演算模型计算。

3.2 一维河道洪水演算模型

一维河道洪水演算有基于水文学方法的马斯京干河道分段洪水演算法和基于水力学一维圣维南方程洪水演算。基于水力学一维圣维南方程的洪水演

算由于遵循的是质量守恒方程和动量守恒方程,所以一维河道洪水演算结果从理论上讲更为可信,方程的求解一般采用四点隐式有限差分格式进行求解,也有用六点隐式差分格式求解的,如 Mike11-HD 模型。六点隐式差分格式比四点隐式有限差分格式求解更稳定,但精度会受影响。一维河道洪水演算模型与降雨径流模型耦合,就可以由降雨预报出流域内干流各断面的水位和流量。

3.3 二维洪水演进或洪水淹没分析模型

根据一维河道洪水演算结果,利用二维洪水演进模型或洪水淹没分析模型确定洪水的淹没状况。二维洪水演进模型采用的是遵循质量守恒方程和动量守恒方程的二维圣维南方程。方程的求解也一般采用有限差分等数值方式求解。在目前的技术水平下,进行大范围的高精度的洪水演进模拟还不可行,但在一个流域内针对一些重点区域(如蓄滞洪区、重点防洪城市区等)建立洪水演进模型还是可行的。作为一个重要的技术补充,洪水淹没分析模型在流域内河道两边广大的农村区域洪水淹没分析是有效和可行的手段,洪水淹没分析模型主要是利用研究范围内的数字高程模型(DEM),通过河道的分段和连通等分析方法,确定洪水的淹没区域和范围,可以根据水位或总进洪量来确定淹没范围和水深分布。洪水演进或洪水淹没分析可以与一维河道洪水演算模型耦合,以便实时确定不同的洪水淹没状况。

3.4 洪水遥感监测影像水体提取模型

遥感技术因其具有观测范围大、获取信息量大、速度快、实时性好、动态性强等优点,在洪涝等自然灾害的研究中得到越来越多的应用。逐渐代替了传统的以人工为主的信息采集手段。现在,基于遥感图像水体信息的提取,主要有两种方法:①利用数理统计与人工解译相结合的方法;②基于各种算法的信息自动提取^[2]。洪水灾害的遥感监测水体提取人工解译方法是在人工干预的情况下,对图像中的水体信息进行识别。这种方法精度相对较低,对参与解译分析的专家依赖性较强,可重复性差。水体自动提取是在遥感图像自动分类的基础上进行的。如监督分类和非监督分类方法,目前常用的水体信息提取和识别方法包括阈值法、差值法、比值法、光谱特征变异法、光谱主成分分析法等,这些方法各有优缺点,针对不同的遥感数据源的水体提取应采用相适应的方法。从遥感图像上提取的水体与本底水体叠加就可以获取洪涝灾害的淹没范围,与DEM叠加获得水深分布,与多时段洪水遥感监测分析叠加获取淹没历时。

3.5 基于土地利用的社会经济数据空间展布模型

由于洪水的淹没范围一般是不规则的,与行政界线不重合,洪水可能只淹没村或乡镇的一部分。社会经济数据是按行政单元统计的,在行政单元内社会经济信息也是不均匀的。进行洪涝灾情和损失评估,不能简单地利用行政单元的社会经济统计数据进行评估计算,而需要考虑受淹范围内的社会经济统计指标的空间分布,所以需要将按行政统计的社会经济数据在空间上作进一步的展布,以保证用于洪涝灾害损失评估的社会经济数据在空间上分布是合理的。基于土地利用的社会经济数据空间展布的基本原理是不同的土地利用类型对应不同的社会经济统计指标,如人口分布在居民地上,粮食产量分布在耕地上等。土地利用可以通过遥感图像解译配以实地调查确定,社会经济统计指标可从统计部门获取,利用土地利用分布与行政统计图层叠加,获得社会经济统计数据的空间分布。

3.6 基于空间信息格网的灾情评估模型

无论是洪水演进或洪水淹没分析,还是洪水遥感监测,都可以获得灾情评估的共同输入——洪水淹没范围、水深分布以及淹没历时等。将格网化的洪水淹没信息图层与社会经济空间展布图层叠加,即获得灾情评估的格网模型,基于该格网模型就可进行洪涝灾害的统计评估计算。如果是预测的洪水淹没信息,就可将统计评估结果输出为洪灾预警信息并发布。

4 应用实例

选择松花江流域作为应用研究区域,以1998年大洪水为典型应用案例。松花江流域位于中国东北地区,流域面积54.6万km²。松花江有南北两源,北源为嫩江,南源为第二松花江。1998年大洪水中嫩江、松花江形成全流域的超历史大洪水,很多地方形成几百平方千米甚至上千平方千米的漫延水面。松花江哈尔滨段洪峰迭起,哈尔滨水文站最高水位120.89m,超过历史最高水位(1957年,120.05m)0.84m,实测洪峰流量16600m³/s,为1898年建站以来实测最大洪峰流量,洪水重现期约100年。维持历史最高水位以上时间达8d,特大洪水持续近2个月(7~9月)的时间。哈尔滨市11个县市、132个乡镇、1030个自然村受灾。

以松花江流域1/250000地理信息数据为基础,结合河道勘测的实际测量数据,建立松花江流域的降雨径流模型及一维河道洪水演算模型,并将降雨径流模型与一维河道洪水演算模型耦合,进行河道洪水的实时预报(图2)。利用流域范围内178个雨量站的时段序列资料(1985~1997年序列资料)和

48 个控制站点的水位流量序列资料(1985 ~ 1997 年序列资料)率定和验证松花江流域降雨径流模型和一维河道洪水演算模型 模型经率定和验证 结果较好 基本满足水文预报的相关精度要求。



图 2 松花江流域水文模型与河道演算模型空间分布

利用经率定和验证的松花江流域降雨径流与一维河道洪水演算耦合模型 ,用 1998 年汛期雨量资料作为模型的输入 ,预测松嫩干流河道的洪水水位 ,得到 1998 年 8 月 20 日上午 9 时哈尔滨控制站的水位为 120.817m(实测水位为 120.84m) ,到下午 16 时水位上涨为 120.841m(实测水位为 120.86m)。为便于与洪水遥感监测结果对比(遥感监测时间为上午 10 时左右) ,取洪水水位 120.83 m 作为洪水淹没分析的水位 ,利用洪水淹没分析模型 ,计算得哈尔滨附近洪水淹没状况如图 3 所示 ,与 1998 年陆地卫星 TM 松花江干流洪水遥感监测结果提取的淹没范围(图 4)对比 ,可以看出淹没区域范围基本一致。可见 ,根据洪水预报模型和洪水淹没分析模型计算的洪水淹没图与遥感监测到的实际洪水状况是一致的。

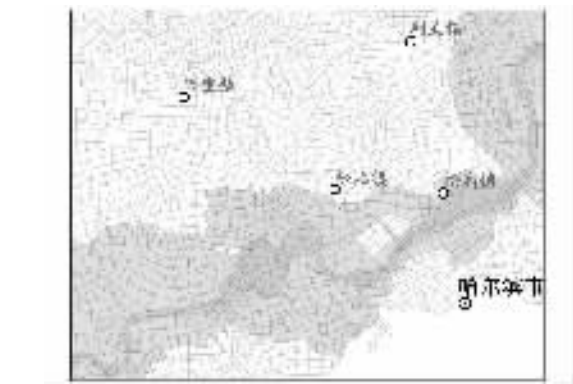


图 3 洪水淹没分析结果

再利用哈尔滨市空间展布式社会经济数据库 (该数据库已于 2003 年在黑龙江省防汛指挥系统建

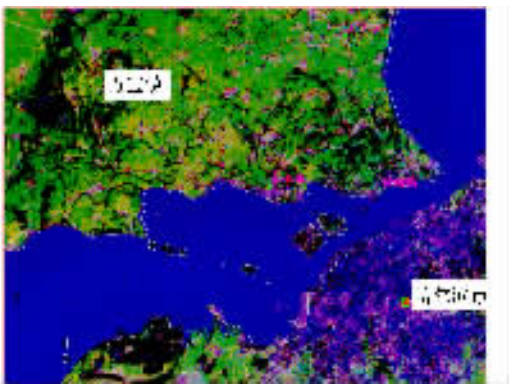


图 4 1998 年 8 月 20 日 TM 遥感监测洪水范围
设中完成) ,使用基于空间信息格网的灾情评估模型 ,可分别评估统计的洪水淹没分析和遥感监测洪水淹没范围内的灾情信息如表 1 所示

评估统计	表 1 灾情评估统计结果				
	受淹总面积/ km ²	受淹区总户数/户	受淹区总人口/人	受淹区耕地面积/hm ²	受淹区房屋间数/间
淹没分析评估	192.47	4252	14255	1364.14	12710
遥感监测评估	187.21	4121	14087	1350.13	12492

从表 1 中可见 ,淹没分析评估与遥感监测评估两者非常接近 ,相差均在 5% 以内 ,并且淹没分析评估的指标比遥感监测评估的指标偏大 ,这与洪水淹没分析的范围比遥感监测的洪水范围偏大一点的情况是相吻合的。

5 结 语

通过流域洪灾类型及其预测分析以及流域洪灾预警问题的提出 ,利用遥感与 GIS 等技术手段 ,结合水文水力学模型建立了洪涝灾害的监测、评估到预测预警一整套技术体系框架 ,技术体系框架囊括了遥感、GIS 等高新技术以及众多的模型技术。通过应用示例表明 ,该技术体系是实用的、可行的 ,在洪涝灾害发生之前 ,利用预报或实测降雨就可以预测洪涝灾害发生的时空分布及可能的灾情信息 ,在授权的情况下能够向公众或有关部门提供洪涝灾害可能发生及其灾害程度的预警信息 ,在洪涝灾害发生的时候能够利用遥感技术进行动态跟踪监测 ,适当作出预测评估 ,使得建成一个集成度高、性能稳定可靠、实用、高效的洪涝灾害遥感监测评估预警系统成为可能。

参考文献 :

[1] 李纪人 . 遥感和地理信息系统在分布式流域水文模型研制中的应用 [J] . 水文 , 1997 (3) : 8-12 .
[2] PROFETI G , MACINTOSH H . Flood management through landsat TM and ERS SAR data : a case study [J] . 1997 , 11 , 1397-1408 .

(收稿日期 2006-12-11 编辑 高建群)