

王志,赵琳娜,张国平,等. 汶川地震灾区堰塞湖流域面雨量计算方法研究[J]. 气象,2010,36(6):7-12.

汶川地震灾区堰塞湖流域面雨量计算方法研究^{*}

王 志 赵琳娜 张国平 许凤雯

国家气象中心,北京 100081

提 要: 2008 年 5 月 12 日汶川大地震发生后,唐家山等堰塞湖水位上升,直接威胁到灾区下游地区人民生命财产安全,堰塞湖面雨量的预报至关重要。应用 GIS 技术,通过数字高程模型(DEM)、水系资料、堰塞湖位置等信息,应用水流逆向搜索方法,并参照航拍影像和 1:5 万高程数据进行修正,提取出南坝、唐家山、肖家桥以及老鹰岩等堰塞湖上游小流域和地震灾区所处的嘉陵江、岷江、涪江、沱江以及青衣江上游流域边界,应用泰森多边形法开展了以上流域面雨量预报。初步建立了面对突发性应急事件,流域特征信息不完备状况下的小流域面雨量预报服务技术,为应急决策服务提供了水文气象技术支持。

关键词: 面雨量, 边界提取, 堰塞湖, 数字高程模型, 泰森多边形法

Research on the Areal Precipitation Calculation Method for Dammed Lakes in Wenchuan Earthquake Disastrous Areas

WANG Zhi ZHAO Linna ZHANG Guoping XU Fengwen

National Meteorological Center, Beijing 100081

Abstract: It is vital to forecast the areal precipitation of the dammed lakes' upper basins and the upper reaches of the rivers in the situation with the water level rising, which threatens to the safety of life and property after the occurrence of the Wenchuan Earthquake. In the paper, it is realized the boundary extractions of the upper basins of Nanba, Tangjiashan, Xiaojiaqiao and Laoyingyan dammed lakes and the upper reaches of Jialing River, Minjiang River, Fujiang River, Tuojiang River and Qingyi River by using the DEM model, river map and the locations of dammed lakes based on the GIS system. The areal precipitation is calculated with the forecasting precipitation data of the weather stations in disastrous areas by the Thiessen polygon method. It is established a method of areal precipitation forecasting technology under the condition of incomplete information of basin characteristics available as well as emergency states, and it provides the technical support for decision making service on hydrometeorology.

Key words: areal precipitation, boundary extraction, dammed lakes, DEM, Thiessen polygon method

引 言

面雨量是指某一特定区域或流域的平均降水状况,定义为单位面积上的降水量。由于流域面雨量能客观地反映该流域的降水情况,因此在分析、预报水情变化时面雨量应用非常广泛,为水文学上的一

个重要参数^[1,16-17]。天气预报中引进面雨量预报可以更好地为防洪工作服务,以期达到从定性到定量,从主观到客观,从局部到流域的效果。这对于江河、水库洪水水位的预见期和防洪调度决策至关重要^[2]。

流域面雨量的计算首先要有确定的流域边界。在以往的面雨量计算中^[3-5]一般流域均为已知。如

^{*} 中国气象局新技术推广项目(CMATG2009YB15)“复杂地形下降降水空间分析关键技术研究”、(CMATG2010M33)“基于 GIS 的精细化面雨量预报平台建设及推广应用”、国家气象中心青年基金项目“应急服务中基于 GIS 的面雨量、体积水预报技术”共同资助

2009 年 4 月 19 日收稿; 2010 年 2 月 9 日收修定稿

第一作者: 王志,主要从事环境与应用气象研究。Email: wzhi@cma.gov.cn

在目前的中央气象台面雨量业务^[3]中,所使用的流域边界数据只有七大江河及其二级子流域的边界,而缺乏其他流域以及现有江河流域中更细小区域的边界资料。因此,在面对如汶川地震突发事件,如何有效迅速地获得唐家山堰塞湖上游小流域的边界,成为开展流域面雨量服务的基础。流域边界的提取一般需要通过地形、河流等地理信息的处理来实现^[6]。

面雨量的计算方法较多^[7]。目前面雨量业务中常用的方法多采用泰森多边形法。该方法先求得各测站的面积权重系数,即将流域内各相邻测站用直线相连,做各连线的垂直平分线,把流域划分为若干个多边形,每个多边形内都有一个测站。过去使用泰森多边形法进行面雨量计算的最大局限性在于缺乏弹性,一个站缺报就影响一片区域完全无值,否则就需要作出新的泰森多边形,在测站很多时,这是很麻烦的,而且会使计算结果的连续性受到影响^[8]。这主要是由于没有良好的泰森多边形工具和空间数据动态管理造成的。

地理信息系统(GIS),作为一门重要的空间信息技术,在越来越多的气象服务中发挥了重要作用。面雨量的计算需要大量的空间信息,这些信息既包括空间地理信息,如边界信息、气象站点位置、数字地形高程等,同时又包括站点属性信息,如站点降水量预报和实况。GIS 技术优势在于对气象信息的管理,它既可以对地理空间数据进行分析处理,与数值模型计算相结合,还可以形象直观地可视化表达模型计算结果。同时,GIS 空间分析能力还可以与气象信息技术相结合,提供空间和动态的地理信息,并采用一定模型为各类应急决策服务提供科学依据^[9-10]。目前国内部分气象业务单位逐渐开展了 GIS 技术在面雨量预报方面的研究和应用,初步开发了一些基于 GIS 的预报系统^[11]。本文通过 GIS 的以上优势,对目前地面雨量预报系统进行优化,建立了一套基于 GIS 的汶川地震灾区面雨量计算方法。

1 流域特征提取

汶川地震灾区面雨量预报服务中的预报对象是嘉陵江、岷江、涪江、沱江以及青衣江上游流域和南坝、唐家山、肖家桥以及老鹰岩等堰塞湖上游小流域的面雨量,因此,首先要解决的就是确定以上流域的

边界。数字高程模型(DEM)数据中包含了丰富的地形、地貌、水文信息,能够反映各种分辨率的地形特征,通过 DEM 可以提取大量的地表形态信息,如流域网格单元的坡向、坡度以及单元格之间的关系等^[12]。DEM 是地理信息系统的基础数据之一,也是目前用于流域地形分析的主要数据。本文中应用 1:25 万四川、甘肃、陕西三省的数字高程模型(DEM)来进行边界的提取。

ArcGIS9.2 作为流行的 GIS 软件不仅提供了直观的工具操作界面,还提供了用户创建自己的工具包功能,可以方便地用于其他工程,本文选用 ArcGIS9.2 作为 GIS 工具。ArcGIS 环境下河网特征提取的有关命令集成在水文工具集(Hydrology)中,使用起来方便。根据 DEM 格网特征提取原理,以南坝、唐家山、肖家桥及老鹰岩上游小流域边界提取为例,按照如下步骤进行提取。

1.1 对原始 DEM 进行无洼地填补

DEM 是比较光滑的地形表面模型,但是由于 DEM 误差以及一些真实地形的存在,使得 DEM 表面存在着一些凹陷的区域。在进行水流方向计算时,由于这些区域的存在,往往得到一些不合理的甚至错误的水流方向。因此,在进行水流方向计算前,应该首先对原始 DEM 进行洼地填充,得到无洼地的 DEM。填充的基本过程是先利用水流方向数据计算出 DEM 数据中的洼地区域,通过洼地区域统计得到洼地出水口和洼地最低点的高度值,计算其洼地深度,然后,依据这些洼地深度设定填充阈值进行洼地填充。

在 ArcGIS 中应用填充(Fill)命令处理 DEM 的洼地(图 1)。在进行这个指令之前可以先利用原始 DEM,找出洼地及洼地深度,或者可以利用 Fill 后的 DEM 与原始 DEM 相减,即可得到洼地填补的位置以及填补量。

1.2 对生成水流方向栅格进行流向分析

对于每一个格网,水流方向指水流离开此格网时的指向。在 ArcGIS 中,采用 D8 原则^[13],通过对中心栅格的 8 个邻阈栅格编码,中心栅格的水流方向便可由其中的某一编码来确定。应用水文工具集下的流向确定(Flow Direction)命令,生成 8 方向水流流向(图 2)。

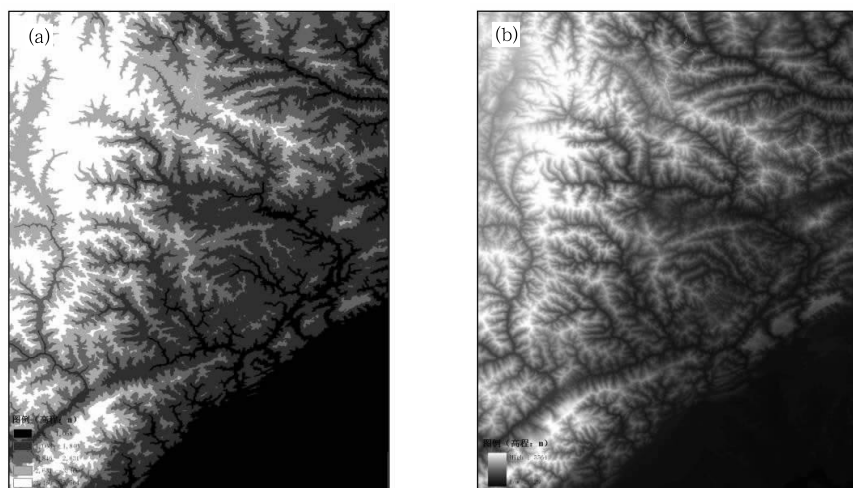


图 1 DEM 的无洼地填充 (a) 原始 DEM; (b) 填充后的无洼地 DEM
Fig. 1 The raw DEM (a) and the DEM with depression filling (b)

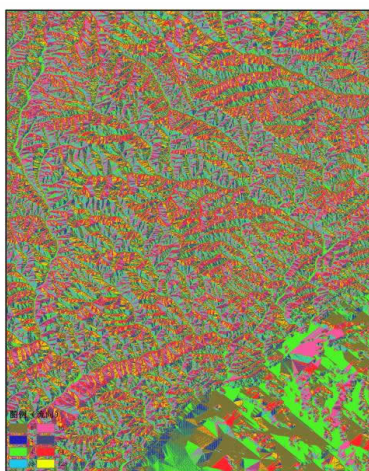


图 2 水流方向栅格
Fig. 2 Flow direction raster



图 3 汇流累积栅格
Fig. 3 Accumulated confluence raster

1.3 计算汇流累积栅格

假设以规则格网表示的数字地面高程模型每点处有一个单位的水量,按照自然水流从高处流往低处的自然规律,根据区域地形的水流方向栅格计算每点处所流过的水量,便得到了该区域的汇流累积量。每一点的汇流累积量同时表示了该点的上游汇水面积。在 ArcGIS 中,根据无洼地 DEM 的水流方向栅格图层,应用水文工具集下的汇流累积(Flow Accumulation)命令可获得汇流累积栅格(图 3)。

1.4 河网的提取

集流阈值是河系网络提取的关键因子,用汇流累积值作为河道认定的门槛标准。根据具体情况,选取一组集流阈值进行实验,获取适合的河系提取集流

阈值。首先,应用水文工具集下的定义河系命令对流向累积栅格设置集流阈值,本文阈值设置为 10000;然后,以设定的集流阈值为标准,利用条件判断命令(Con)将大于等于该阈值格网设置为 1,剩余格网不设置值,得到栅格河网,利用栅格河网矢量化生成矢量河网图(图 4)。

1.5 流域边界的确定

确定流域边界首先确定流域的汇水出口,然后结合水流方向逆向搜索所有流过该点的栅格,直到搜索到流域边界。对于各堰塞湖,将堰塞湖位置坐标转换为数据点文件,但这些点文件的位置可能并不是完全精确的汇水点,可先通过水文工具集中的 SnapPourPoint 工具,搜索该点周围一定范围内的最低点作为流域汇水出口,然后应用 Watershed 工



图 4 提取的河网层

Fig. 4 Extracted drainage network

具确定各堰塞湖上游流域范围。对以上的流域边界,再根据现有河流数据、部分震区最新的航拍影像和 1:5 万高程数据进行边界的修正,最终获得各堰塞湖上游小流域范围图(图 5)。

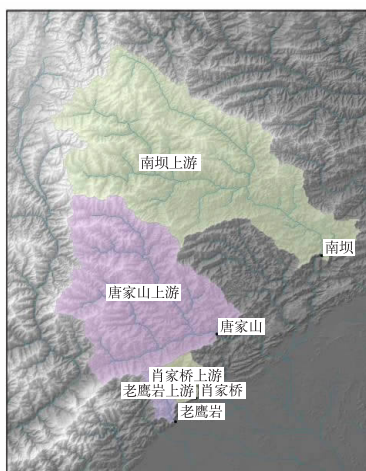


图 5 南坝、唐家山、肖家桥及老鹰岩上游小流域图

Fig. 5 The upper basins of Nanba, Tangjiashan, Xiaojiaqiao and Laoyingyan dammed lakes

同理,应用以上方法获得嘉陵江、岷江、涪江、沱江及青衣江上游流域边界,如图 6 所示。

2 基于地理信息系统的流域面雨量计算方法

流域面雨量的计算方法有很多,目前通过业务中常用的计算方法主要是通过站点降水来计算流域

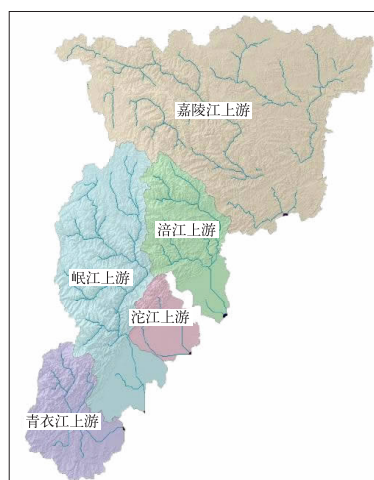


图 6 嘉陵江、岷江、涪江及青衣江上游流域图

Fig. 6 The upper reaches of the Jialing River, Minjiang River, Fujiang River, Tuojiang River and Qingyi River

面雨量的,可以通过泰森多边形或一些插值算法实现。ArcGIS 中内嵌了多种插值算法^[14],如反距离加权平均、最近邻插值、样条插值以及克里金插值方法等,为了与现有业务中算法的一致性,仍然沿用业务中使用的泰森多边形法。

2.1 数据格式的转换

汶川地震灾区面雨量预报服务中使用的降水预报是由中央气象台精细化降水落区预报演算到站点上生成的站点预报,数据格式为 micaps14 类数据。首先将 micaps14 类数据进行转化生成 ArcGIS 支持的 shp 格式文件。micaps14 类文件为文本格式,shp 文件的数据组织方式为公开的^[15],因此,可编程实现文件格式的转化,亦可通过对 micaps14 类文件进行简单处理后,直接将文件导入到 ArcGIS 中,生成 shp 格式的带有降水信息的站点文件。

2.2 站点的选择

站点选择的条件主要是所选站点生成的泰森多边形能够覆盖这个流域。由于川西高原区站点比较稀疏,通过实验选取每个子流域向外宽展 100 km 范围内的所有站点(图 7)作为基础来生成泰森多边形。

2.3 泰森多边形的生成

泰森多边形的生成可直接采用 ArcGIS 中空间

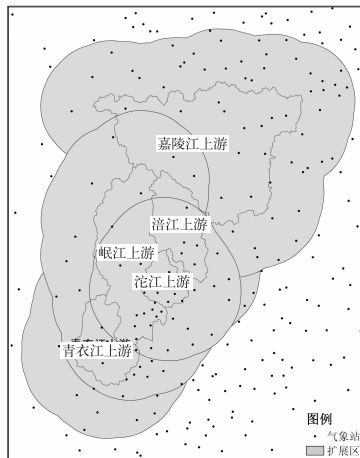


图 7 各江上游流域扩展区范围图

Fig. 7 The buffer zones of each basin

分析工具集的泰森多边形工具实现。泰森多边形的形状由每次输入的站点文件的站点位置所确定,不会因某个站点降水信息缺失,而产生面雨量计算区域出现空白。应用各流域边界对泰森多边形进行裁切,获得各流域范围内所需的多边形网格(图 8)。

2.4 流域面雨量的计算

在 GIS 中,每个流域多边形文件不仅具有如图 8 所示的空间信息,还包含了大量的属性信息。每一个多边形为一条记录,包含了这个多边形内地控制站点坐标、雨量的属性字段,并可添加面积字段自动获取多边形的面积值,然后以面积为权重,通过站点降水和多边形面积的乘积之和与流域总面积的比计算出流域面雨量。

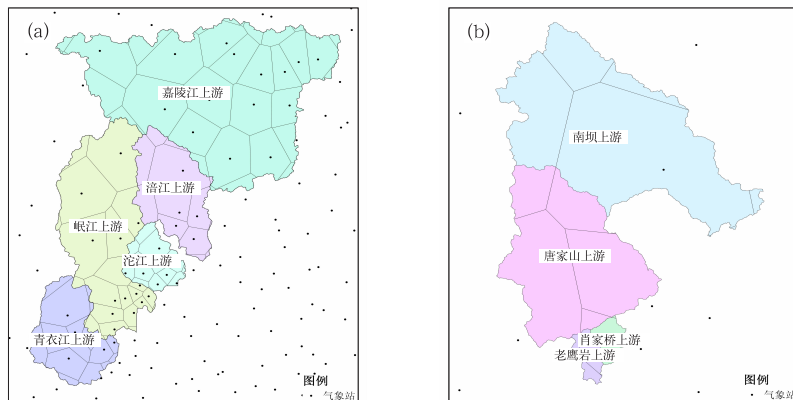


图 8 对泰森多边形裁切后生成的各流域多边形网格

(a) 各江上游子流域; (b) 各堰塞湖上游小流域

Fig. 8 Thiessen polygons in each basin

(a) subbasins in the upper reaches of rivers;

(b) subwatershed in the upper reaches of dammed lakes

2.5 面雨量订正成图

对于生成的流域面雨量值,由水文气象预报员

进行订正,给出面雨量的区间值。应用图形方式表达,从而最终完成面雨量的预报(图 9)。

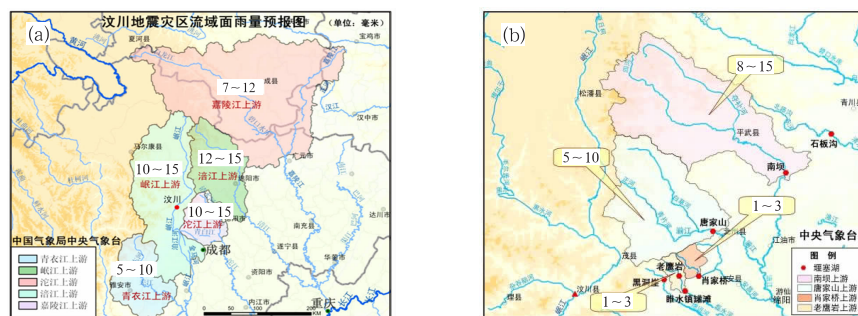


图 9 汶川地震灾区面雨量预报产品图

(a) 各江上游子流域, (b) 各堰塞湖上游小流域

Fig. 9 Samples of the areal precipitation products

(a) subbasins in the upper reaches of rivers;

(b) subwatershed in the upper reaches of dammed lakes

3 结 论

本文应用 GIS 技术,通过对现有 DEM 进行无洼地填、计算汇流累积栅格确定流域的汇水出口,然后结合水流方向逆向搜索流域边界,再根据航拍影像和 1:5 万高程数据进行边界的修正,最终提取出南坝、唐家山、肖家桥以及老鹰岩等堰塞湖上游小流域和嘉陵江、岷江、涪江、沱江以及青衣江上游流域边界。

在流域边界确定后,根据泰森多边形的需要科学的选取站点资料,编程实现 MICAPS 数据向 shp 数据格式的转化,直接采用 ArcGIS 中泰森多边形工具,按照选定站点生成泰森多边形,再利用 GIS 的空间数据库进行面雨量计算,初步建立了面对突发性应急事件,流域特征信息不完备状况下的小流域面雨量预报服务技术,形成了一套新的预报流程,为应急决策服务提供了水文气象技术支持,同时,为以后建立类似的小流域面雨量预报提供了方法、示例和经验。

参考文献

- [1] 王名才. 大气科学常用公式[M]. 北京: 气象出版社,1994.
- [2] 周斌,吴娟,顾清源. 面雨量预报初探[J]. 四川气象,2001,21(3):6-7.
- [3] 徐晶,林建,毕宝贵,等. 七大江河流域面雨量计算方法及应用[J]. 气象,2001,27(11):13-16,51.
- [4] Dorninger M, Schneider S, Steinacker R. On the interpolation of precipitation data over complex terrain[J]. Meteorol Atmos Phys, 2008, 101: 175-189.
- [5] 林开平,孙崇智,郑风琴,等. 丘陵地区面雨量计算方法及应用[J]. 气象,2003,29(10):8-12.
- [6] 原立峰,李发源,张海涛. 基于栅格 DEM 的地形特征提取与分析[J]. 测绘科学,2008,33(6):86-88.
- [7] 徐晶,姚学祥. 流域面雨量估算技术综述[J]. 气象,2007,33(7):15-21.
- [8] Garbrecht J, Martzl W. The assignment of drainage direction over flat surfaces in raster digital elevation models [J]. Journal of Hydrology,1997,193:204-213.
- [9] 吴焕萍,罗兵,王维国,等. GIS 技术在决策气象服务系统建设中的应用[J]. 应用气象学报,2008,19(3):380-384.
- [10] 吴焕萍. GIS 技术在气象领域中的应用[J]. 气象,2010,36(3):90-100.
- [11] 周春雨,楼茂园,姚立峰. 浙江省流域面雨量业务系统[J]. 浙江气象,2006,26(4):22-25.
- [12] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社,2000.
- [13] 刘学军,王永君,龚健雅,等. DEM 流域网络提取算法的误差特性分析[J]. 测绘学报,2007,36(2):224-230.
- [14] 何葵,傅德平,赵志敏,等. 基于 GIS 的新疆降水空间插值方法分析[J]. 水土保持研究,2008,15(6):35-37.
- [15] 刘锋,张继贤,李海涛. SHP 文件格式的研究与应用[J]. 测绘科学,2006,31(6):116-118.
- [16] 向玉春,陈正洪,徐桂荣,等. 三种大气可降水量推算方法结果的比较分析[J]. 气象,2009,35(11):48-54.
- [17] 徐晶,李伟华. 台风强降雨诱发地质灾害的雨量特征分析[J]. 气象,2009,35(8):42-48.