

文章编号: 1007-6301 (2002) 03-0282-07

遥感技术在洪涝灾害防治体系 建设中的应用

孙绍骋

(中华人民共和国民政部, 北京 100721)

摘要: 本文综述了遥感技术在洪涝灾害防治体系建设中的应用, 包括洪涝灾害背景数据的建设和更新、洪涝灾害承灾体的识别和信息提取、洪涝灾害相关模型计算以及灾害监测、减灾救灾应急系统等方面, 并对目前应用中存在的主要问题和发展方向进行了探讨。

关 键 词: 遥感; 洪涝灾害; 地理信息系统

中图分类号: TP79; TV 21 **文献标识码:** A

我国是自然灾害频繁发生的国家, 也是世界上灾害最严重、受灾历史最早、成灾种类最多的少数国家之一。每年由于自然灾害和人为活动诱发的灾害造成严重的人员伤亡和五六百亿元计的直接经济损失^[1]。在各种各样的自然灾害中, 洪涝灾害是威胁我国国民经济和人民生命财产安全的主要灾害之一。

洪涝灾害的发生一般具有突发性特点, 要进行洪涝灾害的预警预报、救灾和安排灾后的重建需要对洪涝灾害相关信息进行及时、准确、可靠的采集和反馈^[2]。而传统基于人工为主的信息采集手段、过程与水平已经很难满足防洪抗涝的需要。20 世纪 60 年代发展起来的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。遥感技术在自然灾害防治中的应用在我国可以分为四个阶段, 即 20 世纪 70 年代的起步阶段, 80 年代的初步发展阶段, 90 年代上半叶的快速发展阶段和 90 年代以后的实际应用阶段^[3]。经过三四十年的探索应用和实践, 逐渐形成了贯穿灾前、灾中和灾后全过程的遥感应用领域和方法。本文将对遥感技术在洪涝灾害中的作用, 特别是在我国的研究现状进行评述, 并对存在的问题和未来的发展进行探讨。

1 洪涝灾害背景数据库的建设和更新

洪涝灾害背景数据的建立是洪涝灾害预警预报、损失评估和救灾的基础。背景数据库

收稿日期: 2002-02; 修订日期: 2002-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40171040); 中国科学院地理科学与资源研究所知识创新所长基金项目 (SJ10G-A 00-06)

作者简介: 孙绍骋 (1960-), 男, 现为北京大学在读博士, 《灾害学》和《中国减灾》杂志编委, 发表论文数十篇。

的内容主要包括两个方面。一是自然数据, 包括地形图、气象条件、大气环境、坡度、土壤、地表物质组成、河流网络和湖泊的分布及其特性; 再是社会经济方面的数据, 包括人口分布、产业布局、经济发展状况等。由于遥感图像是自然环境综合体的信息模型, 通过对遥感数据的人工解译分析或者计算机自动分类, 能够直接得到的主要是自然方面的数据。

洪涝灾害背景数据的建设与更新一般在灾前进行, 强调的是数据的准确性和可靠性, 因此对于遥感数据的空间分辨率和光谱分辨率要求高, 而对于时间分辨率的要求相对灾中的灾情监测要低一些。常用的遥感数据包括美国的LANDSAT-TM、法国的SPOT-HRV、中国国土资源卫星数据、美国气象卫星NOAA-AVHRR 和中国的风云气象卫星, 以及目前正在成为遥感热点的合成孔径雷达数据和成像光谱仪数据。

NOAA-AVHRR 数据的时间分辨率高达 6 小时, 但其空间分辨率较低(星下点为 1.1 km), 主要应用于大面积的洪涝灾害过程监测。而在灾前背景数据库的建设过程中主要应用于气象条件的研究, 包括云量的估算^[4]、云性质的分析^[5]、太阳辐射量的监测等。洪水的形成原因主要有降雨洪水、融水性洪水、工程失事型三种。利用NOAA 卫星数据和地形数据的复合提取积雪信息方法, 结合监督分类方法在地形复杂地区也取得理想的分类结果, 并利用GIS进行了积雪遥感的高效实用的制图^[6], 及根据理论技术和数学模型, 在引进温度、消融量、风速和地貌等修正系数后进行积雪量的估算, 已经取得满意的结果^[7]。以气象卫星和多谱雷达数据在降雨定量预报和测定方面的研究也取得了新的进展, 已经接近实用化的水平^[8]。这些遥感手段可以将传统的点雨量监测转变为面雨量监测, 充分反映了降雨量在空间分布上的不均匀性, 弥补了雨量监测站稀少或者没有的缺陷, 为分布式水文模型提供了输入参数。

LANDSAT-TM 数据由于具有 30 m 的空间分辨率、7 个光谱波段和 16 天的时间分辨率, 适合于进行 1:50000~1:200000 比例尺的洪涝灾害背景数据采集和更新。其中对于土地利用和土地覆盖的研究尤为普遍, 虽然遥感土地利用研究的目的并不针对建立洪水灾害背景数据库。另外, 通过 TM 数据也可进行河流系统和湖泊分布的解译, 甚至进行湖泊和水库的库容测定^[8]。我国的 TM 数据最早起于 1986 年, 在此以前, 应用较多的是具有 79 m 空间分辨率的多波段 MSS 数据。

SPOT-HRV 数据的空间分辨率高达 10 m (多波段为 20 m), 而且具有立体观测能力, 可以应用于更详细的地面资料的采集和更新。一般对应专题地图的比例尺可为 1:25000~1:50000。通过对其立体像对图像进行立体重建, 能够得到研究区域的数字地形模型(DTM), 在灾前的枯水期可用于进行河道、河势、河中滩岛和植被的分布等影响洪水演进的因素进行研究。目前商用遥感数据的空间分辨率越来越高, 如美国空间图像公司(Space Imaging)的IKONOS 卫星数据和以色列的EROS 数据为 1 m、俄罗斯的SPN-2 为 2 m、印度的BhasKara-2 为 2.5 m 等等^[9]。这些高分辨率的遥感数据为采集更加详细和准确的洪涝灾害背景数据提供了可能。

例如, 利用高分辨率数据调查蓄滞洪区的土地利用现状。另一方面, 航空遥感由于分辨率高, 灵活性高、不受时间限制的优点, 也是建设和更新洪涝灾害背景数据库的一个重要途径。

2 洪涝灾害承灾体的识别和信息提取

在洪涝灾害的发生过程中, 灾害承灾体的信息提取是进行灾害损失动态评估和安排救灾、减灾方案的前提。洪涝灾害承灾体主要是指淹没区域内的各种地物及其属性, 例如农田、工矿、居民地、道路以及人口状况等。承灾体的提取以前主要依靠利用专题地图和现场调查。而专题地图数据往往不具有较好的现势性, 现场调查的方法费时费工, 加之在灾中也无法及时进行实地的现场调查。如果洪涝灾害背景数据库中的数据现势性好、内容齐备的情况下, 从灾中的遥感数据中得到洪涝灾害的淹没范围以后, 在 GIS 系统进行多个数据层的空间叠加操作 (OVERLAY) 即可进行承灾体的快速提取。例如在 1998 年全国洪水肆虐期间, 中国科学院利用时间序列的遥感数据快速识别洪水及其动态信息, 完成遥感监测图象、图形 70 余幅, 灾情分析报告和简报 50 余份, 并快速传递到国务院和有关部委, 有力地支持了抗洪救灾工作^[10]。

淹没范围一般利用多波段卫星数据进行图像分类, 提取水体信息和水体淹没信息, 除了常见的计算机图像分类方法 (如各种监督分类和非监督分类方法) 以外, 现已发展了一些简单易行的新方法, 如遥感波段谱间关系方法^[11]和水体判别函数法^[12]等。

由于在洪涝灾害发生期间, 得到的遥感影像一般会受到云量的影响, 因此单纯依靠水体的光谱特征还不能进行有效的水体信息的计算机自动提取。根据 NOAA 卫星的可见光波段和热红外波段, 进行自动判别云, 利用周期相近的图像资料相对变化率来反演替代云区的灰度值, 可以保证淹没的范围连续性和客观性^[4]。

排除云量干扰的另一个途径是采用雷达数据。雷达图像由于具有全天候、全天时的特点, 对于洪涝灾害的监测更具有优势。我国利用机载 SAR 数据进行洪水监测进行了大量的研究和实践, 在实时传输等方面取得了新的进展^[8]。利用雷达数据提取洪涝灾害淹没范围也得到了实际应用^[13]。

配合淹没范围内的数字地形模型, 可以得到洪涝灾害淹没区域的 3 维信息。这种方法在江汉平原的洪涝灾害监测中已经得以应用^[14], 取得了较好的效果。

在洪涝灾害背景数据库建设不完善的情况下, 直接对遥感数据进行分析是识别和提取洪涝受灾体空间分布信息的有效途径。对遥感数据进行目视解译来提取洪涝灾害承灾体时, 需要专家经验和较长的时间, 虽然不能进行日常性的灾中灾害承灾体的快速识别, 但由于识别的精度较高, 过去是、现在仍是一个行之有效的方法^[15]。承灾体的识别和提取一般采用遥感图像分类的做法, 其中应用最为普遍的是最大似然法。这种方法具体实施时需要各种承灾体的训练样本和先验概率且认为数据符合正态分布的假设。为了克服最大似然法的缺陷, 近年来发展了许多新的承灾体提取方法, 例如人工神经网络方法^[16, 17]、证据推理方法^[18]等。其中人工神经网络方法具有解决线性问题和非线性问题的包容性, 不要求数据符合正态分布的统计假设, 是一种非参数方法, 已被应用于灾中承灾体的快速识别和提取^[19]。人工神经网络方法以遥感各波段数据作为神经网络的输入, 应提取灾害类型作为神经网络的输出, 类型个数与输出层的神经元个数一致, 选择样本训练网络结构以后, 使用训练好的网络来提取承灾体的信息。另外, 随着 GIS 应用的日渐普遍, GIS 空间数据库存储的数据也将日渐丰富, 从数据库发掘知识并应用于提高遥感专题分类精度的方法也逐渐得以应

用^[20, 21]。

灾中灾害信息的提取对遥感数据的时间分辨率要求很高, 目前广泛采用具有 6 小时的 NOAA-AVHRR 数据^[22], 例如在 1998 年吉林省西部的洪水监测中, 通过使用 NOAA-AVHRR 数据进行了洪水动态的监测, 并完成了以农田损失为主的灾情评估^[23]。此外灵活性高的航空遥感数据也经常应用于受灾体的调查中。这样即可在数小时之内得到洪涝灾害的灾情状况, 实现对洪涝灾害的快速监测。

3 洪涝灾害相关模型计算

灾害现象主要是相对于人类来说的, 因此灾害的危险程度评价不仅取决于自然灾害本身的严重程度, 而且还取决于受灾区域内人类活动的程度和社会经济发展水平。在利用遥感和 GIS 进行灾害损失评估中, 一方面需要准确了解灾害本身的信息和灾害承受体的信息, 另一方面掌握灾害发生前的背景数据作为对比。当然数据的精度越高, 得到的灾害评估结果也就越详细和可靠。洪涝灾害具有时效短的特点, 因此需要在精度和速度两个方面进行权衡利弊。遥感数据、往往是具有较高时间分辨率的遥感数据作为一个快速提取灾害信息和承灾体信息的数据源, 结合洪涝灾害的背景数据库, 利用洪涝灾害本身的专业模型^[24], 例如洪涝灾害预报模型、洪水演进模型、危险度评价模型、洪水淹没范围计算模型、洪涝灾害淹没损失评价模型等等。在 GIS 系统中进行实时的计算, 以期快速得到各种评价结果, 为安排灾中救灾和灾后重建工作提供科学的决策支持。遥感数据在于获取信息的速度快, 是这些模型计算的主要驱动数据之一; 而 GIS 为模型计算中其它数据的快速获取提供了保证, GIS 强大的空间分析方法也大大缩短了以往手工信息处理的时间, GIS 丰富的数据表达能力有助于以直观形象的形式表达数据和预测结果。遥感和 GIS 一体化的洪涝灾害灾情快速评估系统在我国几次特大洪水灾害中得到了应用, 2 天内提供灾情的初步分析报告, 大大提高了对洪涝灾害应急反应的技术能力^[2]。例如在 1998 年全国特大洪涝灾害监测中, 建立在遥感、GIS 和分析模型基础之上的洪水速报系统, 能够快速地进行洪水地动态监测、农作物损失地评估、防洪工程的有效性分析、长江洪水蓄洪分洪的必要性分析、防洪减灾的决策建议以及灾后的重建规划等等^[10]。

需要指出的是, 应用模型是关键, 要提高遥感洪涝灾害模型计算中的精度和可靠性, 一方面需要进一步探索洪涝灾害中的各种应用模型。另外, 从实际应用的角度出发, 还需要建立遥感洪涝灾害模型计算的技术规范, 继承已有研究成果, 促进不同评价单位之间的协同工作。

4 洪涝灾害救灾减灾应急系统

要了解洪涝灾害发生发展过程、进行灾害损失和灾害的预测, 并为进一步的救灾和减灾决策提供科学依据, 必须将遥感技术和 GIS 结合起来, 将遥感作为快速获取灾害背景数据、孕灾环境数据、致灾因子和灾害承受体信息的一个重要手段, 实现效率和效益并重的目的, 将信息接收、传输、处理和分析全过程压缩到动态中, 实现对洪涝灾害实时、准确的监测^[2, 23, 25]。我国对于这方面的建设比较重视, 目前已经建成了洪涝灾情遥感速报系统^[10]

并在 1998 年的洪水中发挥了显著作用。针对黄河流域洪涝灾害的卫星遥感灾害监测与评估系统也于 2000 年进入试运行的阶段^[26]。基于 GIS 和遥感的灾害应急反应系统虽然各个地方的软硬件环境有所不同, 数据结构设计也会有所差别, 但系统的逻辑结构一般都可以用图 1 简要表达^[27]。GIS 的空间分析工具可以帮助制定出优化的减灾和救灾方案, 例如是否启用分洪区、分洪区的选择、灾民疏散的最佳路径、灾后重建的功能分区等等。

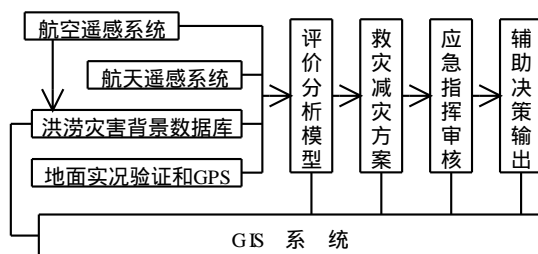


图1 遥感和GIS结合的洪涝灾害系统(据何建邦等修改, 1993)

Fig 1 Flooding response system based on Remote sensing and GIS

(Revised after Jianbang He, 1993)

5 结论和讨论

遥感技术在洪涝灾害的灾前预警预报、灾中的灾情监测和损失评估和安排救灾、灾后减灾与重建中都具有很大的应用潜力。遥感尤其和 GIS 结合后将有助于解决洪涝灾害减灾的两个核心问题, 即快速而准确地预报致灾事件, 对灾害事件造成灾害的地点、范围和强度的快速评估。预报的改进取决于对灾害事件及其机制的更加确切的了解, 而灾害的监测评价基于地球观测系统的完善, 必须使信息的获取既迅速又准确。只有在上面两个方面进行不断地探索并取得有效的成果, 才能更好地为防灾、救灾和减灾提供决策支持。目前, 以遥感、GIS 和全球定位系统(GPS)组合的 3S 对地观测系统发展迅速, 正在形成全天候、全方位、多平台、多高度、多角度、多时相的立体综合系统^[2], 而对于洪涝灾害本身的成灾机理、预测预警模型的研究相对滞后, 在一定程度上影响了 3S 技术应用的潜力。

参考文献:

- [1] 施雅风, 地学部“中国自然灾害灾情分析和减灾研讨会”开幕词[A]. 见: 中国科学院地学部编 中国自然灾害灾情分析和减灾研讨会[C]. 武汉: 湖北科学出版社, 1992. 3-4
- [2] 徐冠华, 田国良, 王超等. 遥感信息科学的进展和展望[J]. 地理学报, 1996, 51(5): 397-406
- [3] 黄铁青, 张琦娟. 自然灾害遥感监测与评估的研究与应用[J]. 遥感技术与应用, 1998, 13(3): 66-70
- [4] 周红妹, 杨星卫, 陆贤. NOAA 气象卫星云检测方法研究[J]. 遥感学报, 1995, 10(2): 137-142
- [5] 刘健, 许建民, 方宗义. 利用NOAA 卫星AVHRR 资料分析云的性质[J]. 应用气象学报, 1998, 9(4): 449-455
- [6] 马虹, 姜小光. 利用NOAA-AVHRR 数据进行积雪监测与制图的方法研究[J]. 干旱区地理, 1998, 21(3): 73-80
- [7] 王世杰. 利用NOAA/AVHRR 影像资料估算积雪量的方法探讨[J]. 冰川冻土, 1998, 20(1): 68-73
- [8] 李纪人. 遥感与水问题[J]. 国土资源遥感, 1999, 41: 1-7
- [9] 李志中, 王永江, 徐少瑜. 微小卫星对地观测及其应用前景[J]. 国土资源遥感, 2000, 46: 1-4
- [10] 魏成阶, 王世新, 阎守邕等. 1998 年全国洪涝灾害遥感监测评估的主要成果——基于网格的洪涝灾害遥感速报

- 系统的应用[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(2): 16-25
- [11] 周成虎, 杜云艳, 骆剑承. 基于知识的AVHRR 影像的水体自动识别方法与模型研究: 遥感在中国[M]. 北京: 测绘出版社, 1996. 221-232
- [12] 裴志远, 杨邦杰. 应用NOAA 图像进行大范围的洪涝灾害遥感监测的研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(4): 203-206
- [13] 黄韦良, 傅斌, 周长宝 等. 星载SAR 水下地形和水深遥感的最佳雷达系统参数模拟[J]. 遥感学报, 1999, 4(3): 172-177.
- [14] 邹尚辉. 江汉平原洪涝灾害遥感监测方法[J]. 华中师范大学学报, 1996, 30(1): 96-100
- [15] Cihlar J et al. Classification by progressive generalization: A new automated methodology for remote sensing multichannel data[J]. *Int J. Remote Sensing*, 1998, 19(14): 2685-2704
- [16] 王野桥. 遥感与多源地理数据分类中人工神经网络模型[J]. 地理科学, 1997, 17(2): 105-112
- [17] Bernard A C, Wilkinson G G, Kanellopoulos I. Training Strategies for Neural Network Soft Classification of Remotely Sensed Imagery[J]. *IN T. J. RS*, 1997, 18(8): 1851-1856
- [18] Winlinson G G, Megier J. Evidential Reasoning in Pixel Image Classification Hierarchy——A Potential Method for Integrating Image Classifiers and Expert System Rules Based on Geographical Context[J]. *IN T J RS*, 1990, 11(10): 1963-1968
- [19] 杨存建, 魏一鸣, 陈德清 等. 基于遥感的洪水灾害承灾体神经网络的提取方法探讨[J]. 灾害学, 1998, 13(4): 1-6
- [20] Li Tianhong, Ma A inai. A Case Study on Rule-based Multiple Source Data Classification Supported by GIS[J]. *International Journal of Sediment Research*, 14(2): 161-167.
- [21] 徐冠华 主编. 三北防护林地区再生资源遥感的理论及其技术应用[C]. 北京: 中国农业出版社, 1994. 64-68
- [22] Barton I J et al. Monitoring floods with AVHRR [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1989, 30(1): 89-94
- [23] 刘志明, 晏明, 逢格江. 1998 年吉林省西部洪水遥感监测与灾情评估[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(3): 98-102
- [24] 刘若梅, 蒋景瞳. 地理信息系统在自然灾害研究中的应用[A]. 见: 何建邦, 田国良, 王劲峰 主编. 重大自然灾害遥感监测与评估研究进展[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993, 28-34
- [25] 魏文秋, 张继群. 遥感与地理信息系统在灾害研究中的应用[J]. 灾害学, 1995, 10(20): 1-5
- [26] 李胜阳, 赵阳, 张芳. 黄河流域区域洪涝灾害遥感监测与评估系统[J]. 人民黄河, 2000, 22(4): 13-14
- [27] 何建邦, 田国良, 李树楷 等. 重大自然灾害监测评价应急技术方案[A]. 见: 何建邦, 田国良, 王劲峰 主编. 重大自然灾害遥感监测与评估研究进展[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 3-15

Applications of Remote Sensing in Flooding Alleviation System in China

SUN Shao-cheng

(Ministry of Civil affairs P. R. China, Beijing 100081 China)

Abstract: This paper generalized the applications of remote sensing in flooding alleviation in the following aspects, flooding background data base construction and updating, object of flooded information extraction, flooding related models such as flooding caused loss evaluation and hazard degree of flooding, and flooding responding system. In the flooding background base construction, the data precision and sufficiency are very important for its

future use, thus it concerns much with spatial and spectral resolutions of remote sensing data. The imagery with moderate and high resolution such as Landsat TM, SPOT-HRV even the newly available IKONOS data, can be used. In the aspect of flooding dynamic monitoring, data with high temporal resolution is preferred. Aided by time serial analysis provided by Geographical Information System, the multiple phrases of remotely sensed images can provide the progress of flooding. The NOAA-AVHRR data with 6 hours revisiting interval is frequently adopted in many flooding monitoring, including the 1998 flooding in the Changjiang (Yangtze) River. Aero-photographs with the advantages of promptness, accurate and timeliness are also used in flooding investigation, especially for gusty and small scale floods. In the studies and applications of flooding related models, remote sensing usually is used as an information source of the coefficients of the models, especially used to extract the driving data in models. In the respect of flooding responding system, remote sensing, GIS, Decision Making System, remote control system and Global Positioning System, along with modern communication techniques, are well integrated. This paper also discussed the current problems and future development of remote sensing in flooding research. The various models being the key of flooding research should be regarded with much importance both in model calibration and model sharing standards. Since the flooding alleviation research is a cross-disciplinary and multi-disciplinary field, any improvements in its related domains will promote its study and application.

Key words: Remote sensing; flooding disaster; Geographical Information System