

# 基于多源空间数据的淮河流域洪涝灾害监测评估

钱名开<sup>1</sup>, 郑伟<sup>2</sup>, 彭顺风<sup>1</sup>, 李凤生<sup>1</sup>

(1. 淮河水利委员会水文局(信息中心), 安徽 蚌埠 233001; 2. 国家卫星气象中心, 北京 100081)

**摘要:**提出了综合利用被动微波卫星、中等空间分辨率光学卫星、高空间分辨率光学卫星和雷达卫星等遥感数据, 地理数据, 以及水文和气象等多源空间数据的洪涝灾害监测评估方法。并以2007年淮河流域洪涝灾害监测为例, 快速获取了全流域洪涝灾害的时空变化特征信息, 以及淮河干流区域的最大淹没面积及淹没历时数据, 实现了重点区域灾情的精细监测和量化评估。结果表明, 该方法充分利用多源空间数据, 保证下垫面洪涝灾情信息的及时获取, 克服了传统调查统计方法的不足, 在2007年淮河流域防洪减灾服务中发挥了重要作用。

**关键词:** 淮河; 洪涝监测; 洪灾评估

中图分类号: P333.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2013)02-0019-06

## 1 前言

淮河流域地处我国心腹地带, 是气候、海陆相过渡带。流域内降水、径流时空分布不均, 地形、水系不对称, 加上黄河长期夺淮的影响, 使得淮河流域成为我国典型的孕灾地带<sup>[1]</sup>。自古以来, 淮河流域洪涝灾害频发, 威胁的范围是我国人口最为密集、经济发展潜力巨大的地区。防御洪涝灾害、减少损失, 关系到该区域的社会安定和经济发展。淮河水利委员会(简称“淮委”)通过多年的信息化建设, 已经建立了水文气象信息实时监测系统, 初步建立了淮河流域基础地理信息库和背景遥感数据库。这些成果为淮河流域洪涝灾害的监测评估提供了数据保障, 同时也提出了新的挑战, 即如何能够充分综合利用遥感、地理、气象和水文等数据, 实现对洪涝灾害科学、快速、全方位的监测和评估。本文针对淮河流域洪涝灾害的特点, 提出了综合利用被动微波、中等空间分辨率光学、高空间分辨率光学和雷达等遥感数据, 地理数据, 水文和气象等多源空间数据的洪涝灾害监测评估方法。

## 2 数据与方法

### 2.1 卫星遥感数据与洪涝监测方法

#### 2.1.1 大尺度洪涝监测

被动微波遥感数据受天气影响小, 容易获得多年

连续运行的多时相数据, 并且微波信号对地表水体和土壤湿度的变化十分敏感, 适合于云雨天气下对地表水体和土壤湿度的大范围动态监测。AMSR-E(先进微波扫描辐射计)搭载在美国地球观测系统(EOS)AQUA卫星上, 是多频率、双极化的微波辐射计, 同一地区数据采集周期可达到每天1~2次, 地面分辨率从几十公里到几公里。考虑到其37GHz通道空间分辨率比6.9、10.6、18.7、22GHz通道分辨率高, 且与22、87GHz通道相比, 受大气的影响小<sup>[2]</sup>, 因此选择37GHz通道作为数据源进行洪涝监测研究。相关研究表明, 极化比值指数PRI尽可能分离了土壤湿度、地表粗糙度、植被和大气各因素的影响, 对地表水体和土壤湿度具有很好的敏感性<sup>[3-4]</sup>。基于PRI指数和线性混合模型的WWF(Water and Wetness Fraction)洪涝监测方法, 能够对洪涝水体和土壤湿度信息进行有效监测<sup>[5]</sup>。

#### 2.1.2 中尺度洪涝监测

中等空间分辨率光学遥感数据相对于被动微波遥感数据, 具有更高的空间分辨率和时间分辨率, 并且对水体敏感性比土壤湿度的敏感性高, 更适合于地表水体的监测。MODIS数据具有两个地面分辨率为250m的通道(通道1为0.62~0.67 $\mu\text{m}$ , 通道2为0.841~0.876 $\mu\text{m}$ ), 利用通道2和通道1进行比值运算, 在一定程度上能够消除大气和薄云的影响, 且在比值图像中, 水体的反射率值远低于其他地物, 因而利用阈值法

收稿日期: 2012-06-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(40901231)

作者简介: 钱名开(1962-), 男, 安徽无为, 教授级高工, 主要从事水文水资源管理工作。E-mail: mkqian@hrc.gov.cn

就可以识别出水体<sup>[6]</sup>。最大洪水淹没面积和淹没历时是洪涝灾害评估和洪涝风险评价的重要因子,MODIS数据具有高时空分辨率的特点,在计算洪涝水体最大淹没面积和淹没历时方面可以发挥其他遥感数据不可替代的作用<sup>[4]</sup>。利用MODIS数据可以获得多天的洪涝水体分布图,进一步通过并集运算得到洪水期间的最大淹没面积,通过叠加运算可以获得淹没历时。

### 2.1.3 精细化监测评估

高空间分辨率的雷达数据具有全天候、全天时特点,在洪涝灾害时期常常伴有的云雨天气条件下,雷达数据可以穿透云层,高空间分辨率能够更准确地获取洪涝水体信息,成为重点区域洪涝灾害监测和灾情详细评估的关键数据源。与其他地物相比,水体在雷达遥感图像中具有较低的后向散射系数,通过阈值法即可提取出水体信息。

高空间分辨率的光学遥感数据主要用于灾前土地利用信息的更新,因洪涝灾害的突发性强,高空间分辨率传感器的重访周期较长,加之恶劣的天气条件,灾害期间难以及时获得高分辨率的光学数据,因而需要提前获取数据,预先建立背景遥感数据库。利用新的高分辨率光学数据与背景数据库进行对比分析,提取并更新土地利用信息,用于灾情的详细评估。目前,淮委已建立了全流域15m分辨率的ETM本底数据库,淮干及以南地区2.5m分辨率的SPOT本底数据库,濠洼行蓄洪区、临淮岗洪水控制工程和蚌埠闸等重点工程地区分辨率小于1m的高分影像数据库,这些数据为洪涝灾害的精细化评估提供了保障。

## 2.2 地理数据

地理信息数据是洪涝灾害监测和评估中不可或缺的基本背景数据,主要包括淮河流域不同尺度的行政区划、居民点、铁路、公路、地形等公共基础地理信息数据;以及河流、湖泊、水库、行蓄洪区、流域分区、堤防等水利专题数据;还包括人口、房屋、工矿企业、农作物、土地利用等社会经济空间展布数据。目前已经建立全流域1:25万和1:5万的基础地理信息数据,淮干息县至洪泽湖段1:5000和蚌埠段1:2000地理信息数据库。多种比例尺的地理信息数据为开展不同尺度的洪涝灾害监测和评估提供了基础数据支持。

## 2.3 水文气象数据

水位、流量等水文信息是对洪涝灾害进行监测和评估的最直接因子,也是进行科学调度,制定防灾减灾决策最主要的依据。而且水文信息通过地面站点实测获取,及时准确,可作为卫星遥感监测结果的验证信息。强降水是淮河流域发生洪涝灾害的最主要诱发因素,通过流域的降水预报信息,并与卫星遥感监测的地表水体和土壤湿度等参数结合,可对洪涝灾害进行早期预警,为防灾减灾工作争取时间。研究表明,卫星遥感监测到的洪涝水体面积、土壤湿度信息,与河道水位、流量等水文信息存在很好的定量关系。

## 2.4 基于多源空间数据的淮河流域洪涝灾害监测评估

基于对卫星遥感数据、地理数据和水文气象数据的分析,本文提出基于多源空间数据的淮河流域洪涝灾害监测评估技术框图(见图1)。

中等分辨率光学遥感数据时间分辨率高,是对下

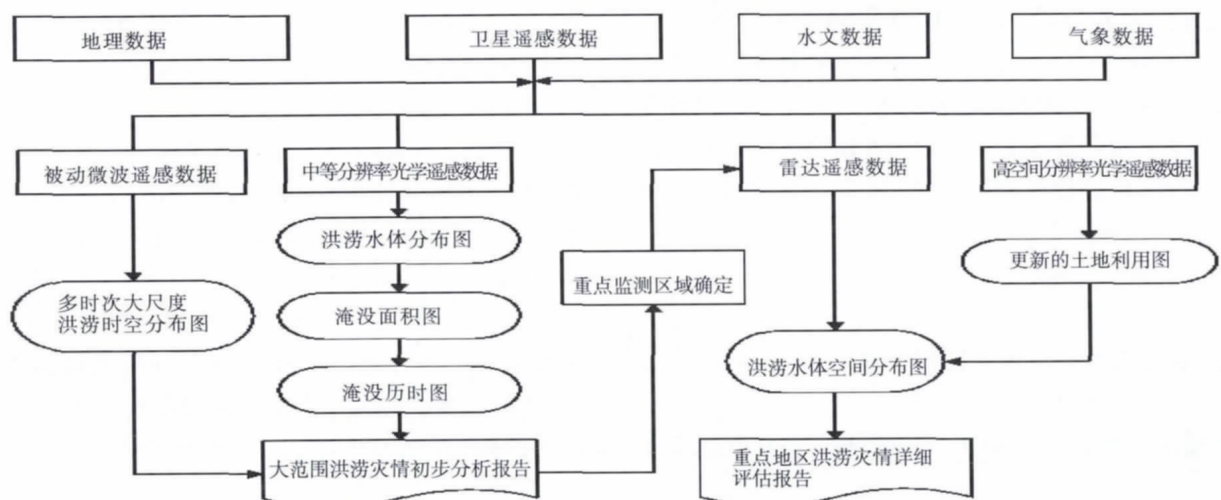


图1 多源空间数据的洪涝灾害监测评估理论框架图

Fig.1 Framework of flood monitoring and assessing method base on multi-source spatial data

垫面洪涝信息动态监测的首选数据源,能够近实时地获得的洪涝信息。被动微波遥感数据作为补充,其时间分辨率高、受天气影响小,对水体和土壤湿度敏感,适合于近全天候、大范围、动态监测下垫面洪涝信息,并且与水文气象等资料综合分析,可用于洪涝灾害辅助预警。在洪涝灾害发生前或者是发生初期,通常难以近实时地获得高空间分辨率遥感数据,此时中等分辨率光学遥感数据和被动微波遥感数据可以提供流域初步灾情信息。基于初步的评估结果,结合水文和气象信息,确定灾情比较严重或者可能会变得严重的地区,调用背景数据库中重点地区的高空间分辨率光学遥感数据,进行灾前的土地利用信息提取和更新。当获得洪涝灾害发生期间高空间分辨率的雷达图像后,与土地利用数据融合分析后,即可对灾情进行详细评估。这样就可以最大限度的保证下垫面信息的近实时获取,形成一个有效的多源空间数据协同监测洪涝信息系统。

### 3 应用分析

#### 3.1 水文气象分析

2007年汛期,淮河流域持续性强降水天气始于6月19日,到7月10日集中性强降水告一段落,这期间经历了7次暴雨天气过程,分别出现在6月19~20日、22~23日、26~28日、6月29日~7月1日、2~3日、4~7日和8~9日<sup>[7]</sup>。其中,前3次的降雨过程雨势不强,但由于降雨中心基本上出现在淮河支流分布比较密集的淮北地区,致使淮河流域底水明显增加,为后期强降水导致的全流域性洪水埋下隐患。而6月29日~7月10日期间的4次为连续性大暴雨天气过程,使得淮河干流7月8日全线超警戒水位。与历史上淮河洪涝年比较发现:2007年淮河梅雨期的总降水量低于1954年、1991年和2003年的降水量,为历史第4位;淮河干流的水位则超过了1991年和2003年,为历史第2位,上游降水量大导致了淮河出现1954年以来的高水位。

#### 3.2 大尺度动态监测洪涝

利用 AMSR-E 数据对这几次强降水过程前后的地表水体和土壤湿度情况进行监测。图 2a,2b 给出了 6 月 24 日降雨过程前和 6 月 29 日降水过程后的 WWF 图。通过比较,29 日淮河干流及其附近区域未出现 WWF 高值带,但沂沭泗水系和里下河地区

WWF 值明显增大。6 月 29 日开始,淮河流域普遍降雨,至 7 月 5 日 8 时,降雨过程持续。从 7 月 5 日 WWF 图(见图 2c)中可以看到,淮河干流及其南约 50km、北约 100km 的范围出现了 WWF 高值带,淮河以北地区的 WWF 值变化特别大,明显出现一条 WWF 值大于 10% 的带状区域。经分析,因前期降雨多,河、沟、库、塘蓄水较多,一方面集聚这些地区的洪涝水体汇入淮河干流,增加淮河干流防汛压力,另一方面下垫面下渗降水的能力降低,缩短产汇流时间,增加汇入主河道的水量。由于连续降雨,王家坝及其下游主要控制站水位全面上涨,截至 7 月 6 日上午 8 时,淮河干流水位全线持续上涨,王家坝到达洪峰水位 28.38m、润河集 24.71m、正阳关 21.42m、鲁台子 20.67m、蚌埠闸 17.57m、吴家渡 17.15m,这说明了 WWF 图分析的合理性。7 月 10 日的 WWF 图(见图 2d)与 7 月 5 日相比,淮河干流及其南约 50km、北约 100km 的范围内仍然存在 WWF 高值带,洪涝水体面积和土壤湿度仍然很大,下垫面渗水能力仍很低。7 月 8 日,王家坝水位自 7 月 6 日第一次洪峰过后再度迅速上涨。至 7 月 11 日凌晨,王家坝水位达到 29.59m 的高度,超过 2003 年最高水位 29.41m。淮河发生 1954 年以来第二位流域性大洪水。7 月 16 日的 WWF 图(见图 2e)与 7 月 10 日相比,淮河干流及两侧 WWF 高值带的范围已经明显缩小,表明淮河干流的洪水压力有所缓解。7 月 22 日的 WWF 图(见图 2f)显示流域下垫面已恢复到正常状态。

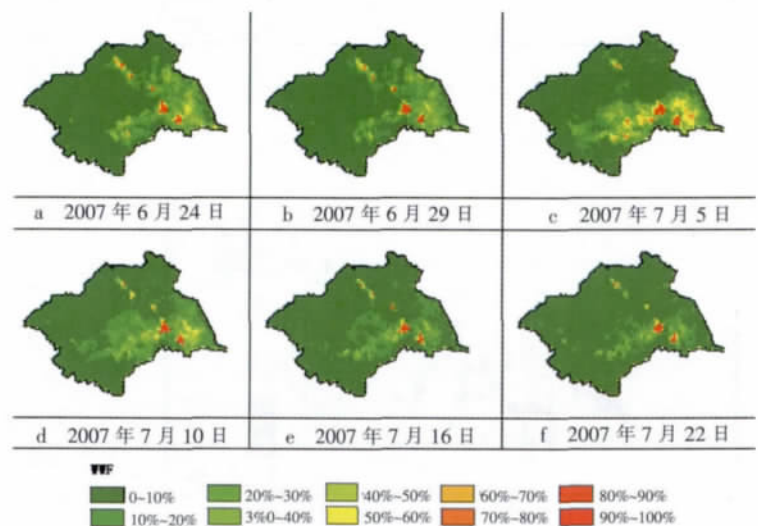


图2 2007年6月下旬到7月淮河流域 WWF 图  
Fig.2 Series of WWF for the Huaihe River basin from late June to July 2007

由于强降雨, 淮河干流及其附近区域在7月上旬到中旬, 都存在高值带状区域, 而这期间淮河干流一直在发生大洪水的危险中, 干流河道一直保持高水位, 淮河干流共出现了三次洪峰, 发生了流域性的洪水。以上分析可知, 利用 WWF 方法大范围、动态监测下垫面的洪涝信息, 可以帮助防灾减灾决策部门及时、宏观地了解下垫面的洪涝情况。

### 3.3 淹没面积和淹没历时估算

AMSR-E 数据大范围动态监测淮河流域洪涝灾情的同时, 利用这期间获得的中等分辨率光学遥感数据 MDOIS 对流域的洪涝灾情进行监测和初步评估。通过 7 月 10 日、11 日、16 日、18 日、27 日、29 日和 31 日的 MODIS 图像合成了 7 月份洪涝水体最大分布范围, 与背景水体叠加后生成了最大淹没面积图 (见图 3), 从图中可以看出淮河干流以及沿岸支流河道两侧由于水面变宽, 都有不同程度的淹没, 同时濠洼、荆山湖等行蓄洪区已充分利用。淹没历时估算将数据分为 7 月前, 7 月上旬、7 月中旬和 7 月下旬 4 个时间段, 分 3 个淹没历时时段进行计算, 即 0~10d, 10~20d 和大于 20d。图 4 展现了淮河干流地区淹没历时情况, 其中淹没历时为 0~10d 的区域主要分布于淮河各支流的内涝水

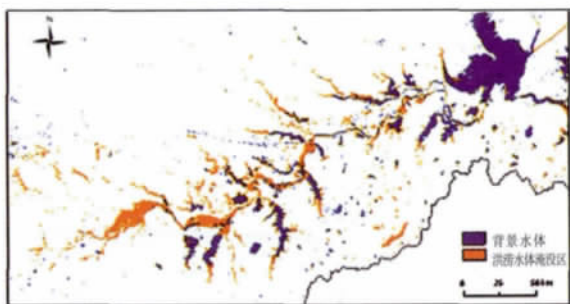


图3 2007年7月淮河干流区域最大淹没范围  
Fig.3 Maximum inundation area of the Huaihe River mainstream, July 2007

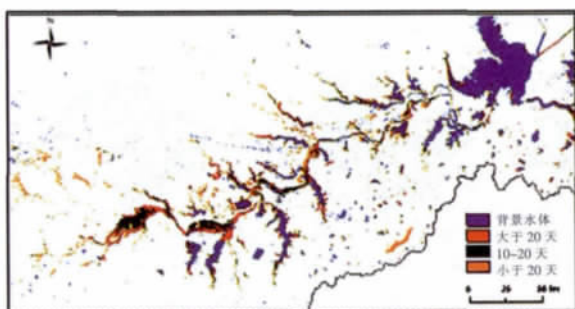


图4 2007年7月淮河干流区域淹没历时  
Fig.4 Flood duration of the area of the Huaihe River mainstream, July 2007

体, 淹没历时大于 20d 的区域分布在各支流的泛洪区和各行蓄洪区, 对农业生产等影响十分严重。图 5 给出了分省淹没面积和淹没历时统计结果, 安徽省受灾的面积最大, 其次是江苏省、山东省, 河南省受灾面积最小。通过图 3、4、5 的综合分析可知, 2007 年洪涝水体主要分布在淮河干流的行蓄洪区, 包括濠洼、南润段、邱家湖、姜家湖、唐垛湖、上六坊堤、下六坊堤、石姚段、洛河洼、荆山湖等; 另外淮河的各大支流也出现了内涝, 以涡河、颍河、西淝河等最为严重。从行政区域来看, 河南东部、安徽大部、江苏西部都出现了洪涝, 其中安徽省阜南、颖上、凤台、淮南、寿县、五河、怀远, 江苏省盐都、高邮、兴化, 山东省微山等地受灾面积较大。

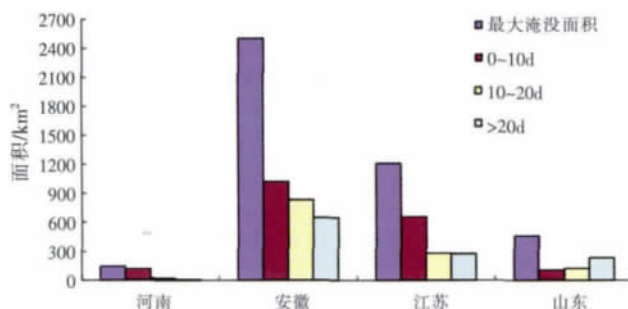
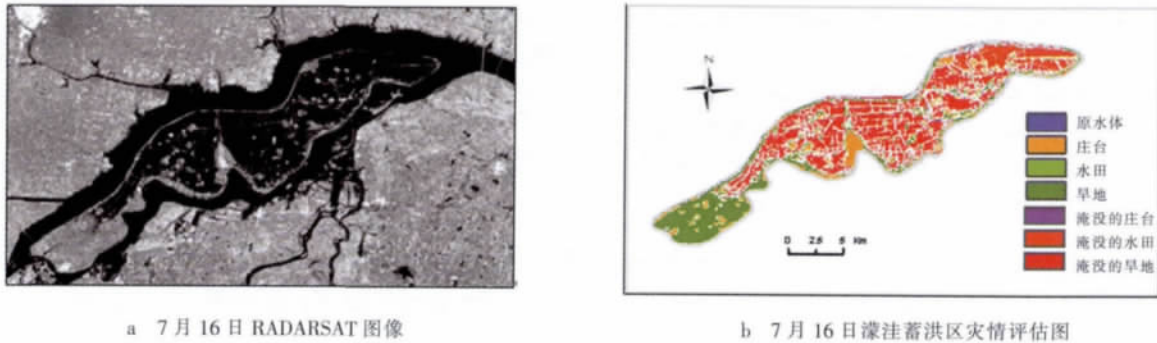


图5 分省淹没面积和淹没历时统计  
Fig.5 Statistics of inundation area and flood duration in some provinces

### 3.4 洪涝灾情详细评估

2007 年 6 月下旬到 7 月, 在对防汛形势进行科学预测预报的基础上, 淮委按照蓄泄兼筹、上下游兼顾、团结协作和局部利益服从全局利益的洪水调度原则, 采取“拦、泄、蓄、分、行”等综合措施科学调控洪水。在这次防汛抗洪中, 濠洼蓄洪区, 南润段、邱家湖、姜家湖、唐垛湖、上六坊堤、下六坊堤、石姚段、洛河洼和荆山湖等行洪区先后被使用。图 6 给出了濠洼地区洪涝灾害发生时的雷达数据 RADARSAT (见图 6a)<sup>[8]</sup>, 利用雷达数据提取的洪涝水体空间分布信息, 与灾前土地利用类型数据进行叠加分析, 得到行蓄洪区内被淹没的土地利用类型空间分布图 (见图 6b), 从图中可以看出 7 月 16 日濠洼蓄洪区大部分地区受淹, 但庄台和部分道路尚未被淹没。同时, 利用同样方法对南润段、邱家湖、姜家湖、唐垛湖等其它行蓄洪区行洪也进行了监测和灾情精细化评估, 图 7 展示了各行蓄洪区受灾的耕地面积统计结果。通过卫星遥感监测评估结果可知, 被启用的行蓄洪区都先后被洪水覆盖, 充分地发挥了



a 7月16日 RADARSAT 图像

b 7月16日濛洼蓄洪区灾情评估图

图6 濛洼蓄洪区洪涝灾情监测评估图

Fig.6 Accurate assessment of flood losses in Mengwa, July 2007

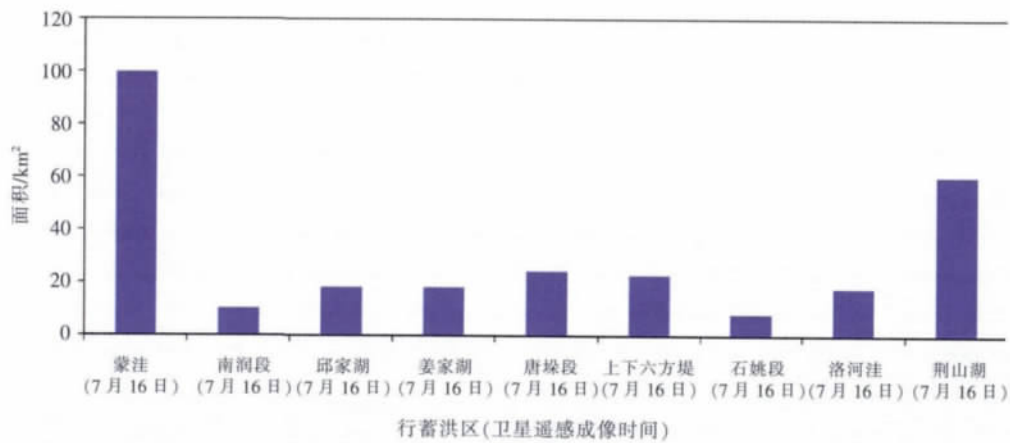


图7 沿淮河干流行蓄洪区淹没耕地面积统计

Fig.7 The inundation area of flood retention basins along the Huaihe River mainstream

削减洪峰、减缓淮河干流压力的作用。

### 4 结论

本文以2007年淮河流域洪涝灾害监测为例,首先利用被动微波遥感数据 AMSR-E 得到了淮河流域的 WWF 图,与水文数据和气象数据综合分析,从宏观上掌握了流域的洪涝灾情及其动态变化情况。同时利用洪涝灾害发生期间获得的中等分辨率光学遥感数据 MODIS 图像计算了7月份洪涝水体最大淹没面积和淹没历时,对淮河流域进行了灾情初步评估。进一步利用高空间分辨率的雷达数据 RADARSAT 与灾前获得的高分辨率光学遥感数据,对淮河干流及其附近区域的重要行蓄洪区进行精细化的灾情监测和评估,结果表明该方法可以充分利用多源空间数据信息,保证下垫面洪涝水情信息的及时获取,克服了传统的调查统计评估方法的不足,在2007年淮河流域防洪减灾服务中发挥了重要作用。

参考文献:

[1] 宁远,钱敏,王玉太.淮河流域水利手册[M].北京:科学出版社,2003:53-

76. (NING Yuan, QIAN Min, WANG Yutai. Manual for Water Resources Management of Huaihe River Basin [M]. Beijing: Science Press, 2003:53-76.(in Chinese))

[2] Temimi, M., Leconte, R., Brissette, F. Chaouch flood and soil wetness monitoring over the Mackenzie River Basin using AMSR-E 37 GHz brightness temperature [J]. Journal of Hydrology, 2007, 333: 317-328.

[3] Fily, M., Royer, A., Goita, K., et al. A simple retrieval method for land surface temperature and fraction of water surface determination from satellite microwave brightness temperatures in sub-arctic areas [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 85: 328-338.

[4] 颜锋华, 金亚秋. 星载微波 SSM/I 多时相辐射观测的特征指数监测与评估 2003 年 7 月中国淮河流域汛情 [J]. 地球物理学报, 2005, 48(4): 775-779. (YAN Fenghua, JIN Yaqiu. Monitoring China's Huaihe flooding in summer 2003 using characteristic indexes derived from microwave SSM/I multi-temporal observations [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005, 48(4): 775-779. (in Chinese))

[5] Zheng Wei, Liu Chuang, Wang Zhengxing et al. Flood and water-logging monitoring over Huaihe River basin by AMSR-E data analysis [J]. Chinese Geographical Science, 2008, (18): 262-267.

[6] Sheng, Y.W., Su, Y.F., Xiao, Q.G. Challenging the cloud-contamination problem in flood monitoring with NOAA/AVHRR imagery [J].

- Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1998, 64(3):191-198.
- [7] 矫梅燕,金荣花,齐丹.2007年淮河暴雨洪涝的气象水文特征[J].应用气象学报, 2008,19 (3): 257-264.(JIAO Meiyun, JIN Ronghua, QI Dan. Meteorological and hydrological characteristics of flood related torrential rain over Huaihe River basin in 2007[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2008,19(3):257-264.(in Chinese))
- [8] 彭顺风,李凤生,黄云.基于RADARSAT-1影像的洪涝评估方法[J].水文,2008,28 (2):34-37.(PENG Shunfeng, LI Fengsheng, HUANG Yun. A flood and water-logging assessment method based on RADARSAT-1 image[J]. Journal of China Hydrology,2008,28(2):34-37.(in Chinese))

### Flood Monitoring and Assessment Based on Multi-source Spatial Data for Huaihe River Basin

QIAN Mingkai<sup>1</sup>, ZHENG Wei<sup>2</sup>, PENG Shunfeng<sup>1</sup>, LI Fengsheng<sup>1</sup>

(1. Bureau of Hydrology (Information Center), Huaihe River Commission, Bengbu 233001, China; 2. National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In order to integrate the advantages of remote-sensing data, fundamental geographic data, hydrological data, meteorological data and etc. systematically to acquire real-time flood information, a flood monitoring and assessing method based on multi-source spatial data was presented. The flood event of the Huaihe River Basin in the summer of 2007 was chosen as the study case. For large-scale flood monitoring and warning, the water and wetness fraction) method based on passive microwave remote sensing data ASMR-E, hydrological and meteorological data were presented to reveal soil wetness and flood patterns of the Huaihe River Basin. For moderate-scale food monitoring of the Huaihe River Basin mainstream, the middle spatial resolution data MODIS was used to map maximum flood extent and flood duration; For detailed flood monitoring of pilot area, the radar data, RADARSAT and optical data, SPOT5 with higher spatial resolution were used to estimate the losses. The results show that comprehensive and effective use of multi-source spatial data could present reliable early flood warning, real-time monitoring of flood, and rapid and accurate assessment of flood losses.

**Key words:** Huaihe River; flood monitoring; flood disaster assessment

(上接第 96 页)

#### 参考文献:

- [1] 董增川, 张俊栋, 张旭臣, 等. 滦河流域水资源承载力研究[R]. 2009. (DONG Zengchuan, ZHANG Jundong, ZHANG Xuchen, et al. The research on water resources carrying capacity in Luanhe River basin [R]. 2009. (in Chinese))
- [2] 田建平, 张俊栋. 滦河流域水资源可持续利用评价及对策[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 53 (2): 56-57. (TIAN Jianping, ZHANG Jundong. Evaluation and countermeasures on sustainable utilization of water resources in Luanhe basin [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 53 (2): 56-57. (in Chinese))
- [3] 张丹, 周惠成. 大凌河流域上游水资源变化趋势及成因研究[J]. 水文, 2011, 31 (4): 85-86. (ZHANG Dan, ZHOU Huicheng. Change of runoff and its major driving factors in the upper reaches of Dalinghe River basin[J]. Journal of China Hydrology, 2011, 31(4):85-86. (in Chinese))
- [4] 徐丽娟. 人类活动影响下大清河流域降雨径流关系特征分析[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 53 (2): 73-75. (XU Lijuan. Analysis on dynamic feature of The rainfau-runoff relationship in the Daqing River basin under the influence of human activities [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 53 (2):73-75.(in Chinese))

### Change Tendency and Cause Analysis of Water Resources in Mountainous Area of Luanhe River Basin

WANG Zhansheng, LU Feng

(Chengde Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hebei Province, Chengde 067000, China)

**Abstract:** The surface and ground water resources in the Luanhe River Basin were analyzed and evaluated based the hydrological data from 1956 to 2007. The results show that there are uneven distribution, large interannual change and uneven annual distribution of the water resources in the Luanhe River Basin. Otherwise, three factors to decrease the water resources were analyzed as for the decrease trend of the water resources.

**Key words:** Luanhe River; water resources; tendency; cause