

2013年黑龙江大洪水遥感监测分析

王伶俐, 陈德清

(水利部水利信息中心, 北京 100053)

摘要:2013年汛期,黑龙江流域发生自1984年以来最大洪水,下游发生超100年一遇特大洪水,干流萝北至同江河段多处堤防出现险情。利用多源卫星遥感数据,对2013年黑龙江大洪水汛情和灾情进行了持续动态监测和分析评估,准确、及时、全面地跟踪了整个流域洪水的演进过程及发展变化趋势,特别是解决了无观测资料情况下对洪灾的监测预测难题。

关键词:多源卫星;黑龙江洪水;遥感监测分析

中图分类号:TV123

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)05-0031-05

1 引言

遥感技术具有宏观、快速、经济等特点,以及对大范围的地表状态采集能力,可为防汛指挥部门提供大量的洪涝地区背景信息和洪水淹没实时信息,成为现代洪水监测与评估的主要手段^[1-2]。当前我国卫星遥感事业迅速发展,能够应用于洪水灾害遥感监测的卫星数据源日渐增多,如风云系列气象卫星、资源系列卫星、北京一号小卫星、环境减灾小卫星等。特别是2013年4月高分一号卫星成功发射投入使用,改变了目前我国洪水灾害遥感监测大多基于中、低分辨率遥感影像难以满足行业应用精度要求的现状。

2013年汛期,黑龙江发生自1984年以来最大洪水,下游发生超100年一遇特大洪水,干流萝北至同江河段多处堤防出现险情。由于黑龙江是国际界河,且流域大部分面积在俄方境内,水文监测站布设不够,缺少水位、流量等水文观测资料,给黑龙江洪水及时准确的预报以及防洪应急指挥调度和抢险救灾带来不利影响。卫星遥感技术为该地区洪水的动态连续监测提供了先进手段,解决了境外无观测资料情况下对洪灾的监测和预测问题。2013年黑龙江洪水遥感监测自8月15日开始,10月8日结束,历时55d。在整个监测期间,联合运用高分一号卫星、遥感1号和6号等卫星,实现了对汛情的连续动态监测,为黑龙江洪水预测预报、应急指挥调度、抢险救灾决策等工作提供了及时的技术支撑。

本文从俄罗斯伯力河段行洪能力和同江河段堤防

决口淹没区面积和水深水量估算等两方面对卫星遥感技术在洪水监测中的应用进行分析和探讨。

2 洪水概况

2.1 流域概况

黑龙江发源于蒙古肯特山南侧,蜿蜒东流沿途接纳结雅河、布列亚河、松花江、乌苏里江等大支流,最后在俄罗斯境内注入鄂霍次克海(见图1)。从源地至爱辉附近的结雅河口,为黑龙江的上游;结雅河口到俄罗斯哈巴罗夫斯克(伯力)的乌苏里江汇合点为中游;乌苏里江口以下为下游。流域面积 $184.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,在中国境内流域面积约 $88.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。^[3]作为中俄国界的界河是黑龙江上、中游的部分河段。

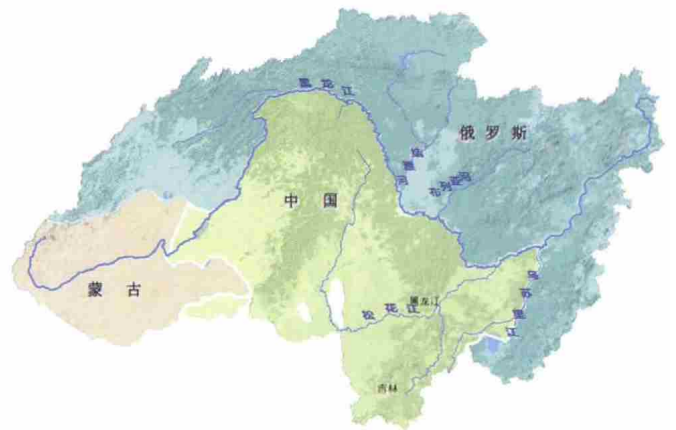


图1 黑龙江流域概况示意图

Fig.1 The Heilongjiang River basin

收稿日期:2014-04-01

基金项目:高分水利遥感应用示范系统(一期)(08-Y30B07-9001-13/15)

作者简介:王伶俐(1974-),女,湖北宜昌人,博士,高级工程师,研究领域为卫星遥感在防洪抗旱、水资源管理、生态环境监测中的应用。

E-mail: llwang@mwr.gov.cn

2.2 洪水情况

2013年7~8月,黑龙江流域连续出现5次明显强降雨过程。受上游干支流、俄方境内结雅河和布列亚河以及松花江来水影响,黑龙江干流出现一次长历时洪水过程,超警历时24~46d,嘉荫至抚远江段超过历史最高水位0.28~1.55m,其中萝北水位站(黑龙江萝北)8月25日0时洪峰水位99.85m,列1952年建站以来第1位(历史最高水位99.57m,1984年8月),超警历时28d;抚远水位站(黑龙江同江)9月2日0时洪峰水位89.88m,列1951年建站以来第1位(历史最高水位88.33m,1984年8月),超警历时46d,洪水过程线见图2。

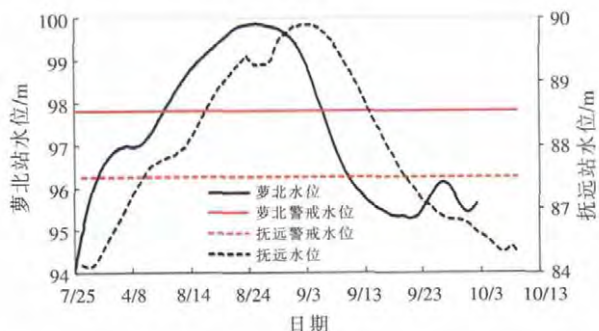


图2 萝北水位站和抚远水位站洪水过程线

Fig.2 The water level hydrograph at the Luobei station and Fuyuan station during the flood period

3 洪水遥感监测分析

3.1 数据

3.1.1 卫星数据

2013年黑龙江洪水遥感监测中,应用的遥感数据包括高分一号卫星16m宽覆盖光学影像和遥感1号、6号雷达卫星影像,以及环境减灾1A/1B星多光谱卫星影像等。

高分一号卫星主要载荷包括两台空间分辨率为2m全色/8m多光谱的高分辨率相机(简称PMS相机),以及4台空间分辨率为16m的多光谱宽覆盖相机(简称WFV相机)。高分一号卫星16m的4台WFV相机组合图像幅宽可达800km,探测兰、绿、红、近红外4个谱段,重访周期为3~4d,在满足水体识别要求的前提下,兼顾了成像范围和图像获取的时间分辨率要求,为该次洪水监测的主要数据源。

遥感1号和6号卫星为高分辨率合成孔径雷达卫星,空间分辨率3~5m,条带模式幅宽20~30km,扫描模式可达100km以上,不受天气和云层的干扰,可在一定程度上穿透物体,能很清晰地看到地表水体分布情况,具有全

天候的工作能力^[4]。在该次洪水监测中,为有效地实现汛情动态连续跟踪,采用了扫描宽幅模式进行数据采集。

环境减灾卫星(HJ-1A/B)搭载有两台CCD相机,探测兰、绿、红、近红外4个谱段,空间分辨率30m,扫描带宽711km,具备协同完成2d对地重复观测一次的能力,主要作为辅助数据源或补缝数据源。

洪水发生期间,多为恶劣天气,光学卫星无法对水体进行实时监测。由于该次洪水期间主要降雨集中在俄罗斯境内,我国境内为晴好天气,为光学卫星遥感数据的有效使用提供了有利条件。

2013年黑龙江洪水遥感监测收集高分一号影像15期共56景,遥感1号和6号影像13期共25景,环境减灾1A/B星影像4期共4景,以及其他光学影像2期共4景,合计89景数据。在汛情发展的关键时期(8月下旬~9月上旬),多种卫星遥感数据的联合运用使得采集的数据在时间分辨率和空间分辨率上互为补充,增加了洪水遥感监测频率,基本实现了对洪水的逐日监测。

3.1.2 基础背景数据

本次洪水遥感监测中还用到了本底水体数据、河流水系、堤防、地形(DEM)、居民点、交通等基础地理数据和水利专题数据。本底水体是在洪水发生之前的水体分布情况,用于洪水发生时洪水淹没范围的对比判断。堤防数据主要用于监测堤防状况以及堤防外有无异常水体。地形数据是分析洪水淹没范围最主要的基础背景数据,用于确定洪水的水位、水深分布以及水量。

3.2 监测方法

洪水遥感监测分析主要包括水体边界提取,洪水淹没范围、水深和淹没水量的估算。

3.2.1 水体边界提取

选取洪水发生前正常水位时期(2013年7月10日)的高分一号卫星的标准假彩色合成影像作为本底水体数据,即将第4波段给予红色、第3波段给予绿色、第2波段给予蓝色(R4G3B2),以最大限度地突出水与陆地、植被之间的差异,植被以红色、水体以接近自然水体的蓝色或蓝黑色呈现^[5-7]。将洪水期的遥感影像和本底水体图像以及堤防数据严格配准叠合,提取河道水体,对河道关键断面测量水面宽度,并以堤防为临河水体一侧的边界,提取堤防保护区以外的淹没范围。堤防等水利工程的损毁以目视解译为主,主要分析溃口位置、数量、溃口宽度及其动态变化。

3.2.2 淹没水深和淹没水量计算

将数字地面高程模型(DEM)与淹没范围叠加,提

取淹没范围边界上的高程数据。在淹没区的各个连通区域里,视水面为水平面,水位相同(洪水稳定或退水时期接近该假设)。在淹没区的边界上,可近似认为水深为零,则边界点的高程即为该区域此刻的水位值。根据统计学原理,取边界点高程的众数作为水位的估计值。由该区域的数字高程模型可知区域内各点的地面高程,则水位值与内部各点的地面高程之差,即是洪水淹没区内各点的水深值。

淹没区水量采用地理空间分析中的填方体积计算方法,即逐个栅格统计累加水位与区域内部点地面高程的差值,再乘以栅格单元的面积,获得某一水位下淹没区存储的水量。

4 监测成果

4.1 伯力河道行洪能力

黑龙江大洪水期间,松花江和乌苏里江洪水相继汇入与干流洪水遭遇,由于中游干流河道坡降平缓,大量的洪水在河槽内蓄积,致使洪水难以迅速下泄,水位高、持续时间长,给我国境内抚远段防洪安全造成严重威胁,因此通过卫星遥感技术及时掌握俄罗斯境内下游河道的行洪泄洪情况意义重大。

据8月27日高分一号标准假彩色卫星影像分析,俄罗斯伯力河段M58公路大桥处水面宽度2516m,比发生洪水前(7月10日)增加了1077m,大桥上游和下游水面宽度分别为8607m和13101m,比发生洪水前(7月10日)分别增加了6006m和11132m(见图3、4)。由此可见,洪水期间该河段大桥上、下游水面均大幅变宽,洪水来量大,但桥梁跨越处由于地形因素,行洪断面急剧缩小,对水流形成瓶颈,泄洪能力小,严重影响了河道行洪,从而致使抚远河段长时间维持高水位,超警历时达46d。

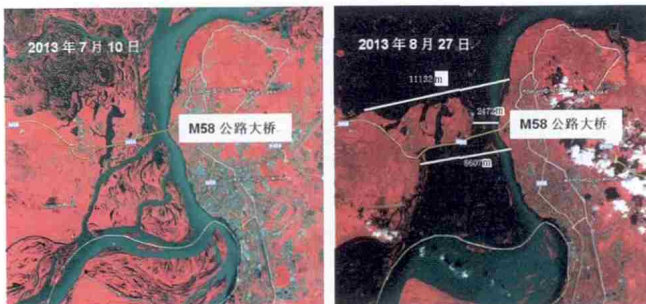


图3 伯力河段7月10日和8月27日高分一号标准假彩色影像(红色为植被,深绿色为浑水,黑色为清水)
Fig.3 The false color images of Gaofen-1 on July 10 (left) and August 27 (right), 2013

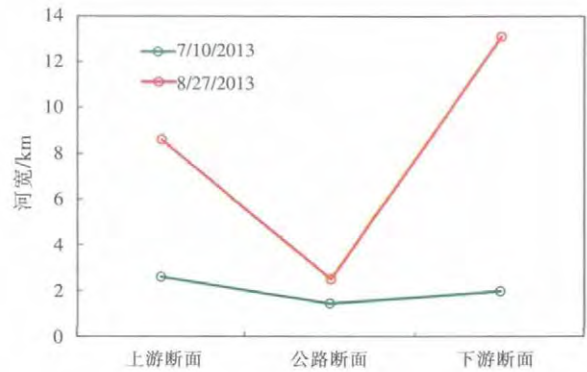


图4 大桥上游断面、大桥断面和大桥下游断面水面宽度
Fig.4 The river width before and during the flood

另外,分析图3的标准假彩色合成影像,也可了解河道水体的清洁程度以及水源组成。一般而言,水体的色调受水体深浅,浑浊程度以及拍照的光照时间的影响而有较大的变化。水体浑浊,色调浅,纯净的水体呈黑色^[7]。7月10日我国境内松花江和乌苏里江水体较为浑浊,含沙量高,颜色为蓝绿色。发生洪水后,由于该次洪水水源主要来自俄罗斯境内河流,水质清澈,颜色呈黑色,则呈现一清一浊,清水浊水同流一河互不相融界限分明的现象。

4.2 溃口及淹没区

本次洪水过程中,黑龙江干流萝北至抚远江段堤防先后出现3处溃口,溃口地点分别位于绥滨县二九零农场段、萝北县肇兴镇柴宝段、同江市八岔赫哲族乡段。溃口位置见图5。本文以淹没范围最大的八岔溃口淹没区为例,探讨对淹没面积、水深和水量的遥感监测和估算。



图5 黑龙江干流堤防溃口位置及范围分布示意图
Fig.5 Distribution of the dike breaches and inundation area

4.2.1 淹没范围和面积

图6为黑龙江同江八岔溃口淹没面积随时间变化

的序列图,图 7 为 7 月 10 日~10 月 15 日采集到的高分一号 16m 标准假彩色合成影像。通过多时相的卫星影像对比可以分析洪水期间洪水的进展以及洪水淹没的动态变化,包括淹没区水体移动(扩大或消退)的方向和速度。

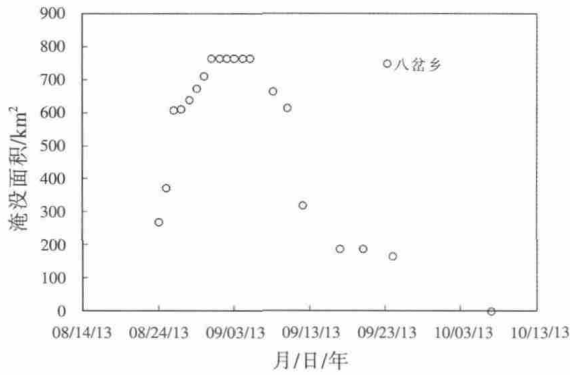


图 6 黑龙江同江八岔溃口淹没面积序列
Fig.6 Time series of inundated area at the Bacha village

从 7 月 10 日的本底影像可见洪水发生前同江至抚远河段水面宽度为 2~3km,洪水期间河道水面宽度则大幅扩宽到 7~10km,洪水消退期间水体逐渐回归主河槽,河道变窄,至 10 月 15 日河道基本恢复洪水发生前状态(见图 7)。

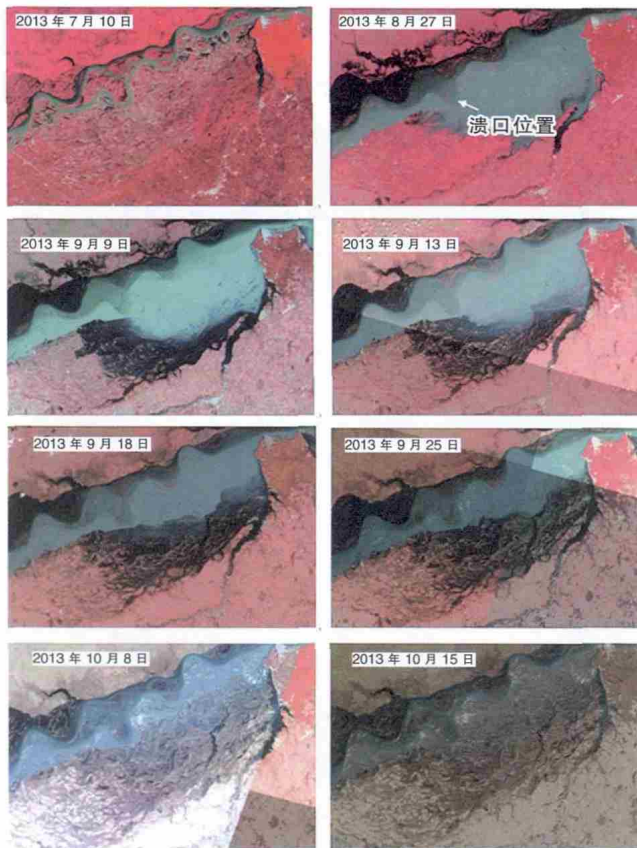


图 7 2013 年高分一号标准假彩色合成同江八岔堤防溃口序列图
Fig.7 The false color images of Gaofen-1 for the Bacha village

溃口发生初期阶段,因河道跑水形成的淹没范围迅速增大(见图 6)。8 月 23 日溃口,8 月 25 日~8 月 27 日两天时间里淹没区面积从 271km² 增大到 608km²,面积增大速率为 168.5km²/d。随后洪水淹没推进变缓,至 9 月 1 日淹没范围 764km²,5 天时间扩大了 156km²,面积增大速率为 31.2km²/d。9 月 9 日淹没区水体开始退水,退水范围为标准假彩色合成影像上黑色区域。退水初期由于积水位高,积水通过上游达里加湖堤坝的溃口回流至黑龙江,退水速度快,9 月 18 日积水面积已回落至 188km²,较最大淹没面积减少了 576 km²,退水速率为 64km²/d。剩余积水由于地势低洼长期无法自然排出。其时该地区最低温度已降至 20℃ 左右,若不及时采取有效措施加快排涝进度,积水将会封冻,势必影响当年的秋犁和来年的春播。该遥感监测分析成果为当地部门及时部署有效的防洪堤防决口的抢修、洪涝排水方案提供了重要的依据。至 10 月 8 日,淹没区积水基本排空。

同时,从图 7 可见溃口初期跑水自溃口处沿着堤防向东北部蔓延直至抚远县,以后淹没水体向溃口处西南位置推进;退水时则相反,积水由西南部开始消退,逐渐回归至主槽。

图 8 为根据标准假彩色合成影像和堤防数据制作的 9 月 9 日淹没范围专题图。退水区域是指退水期间相比最大淹没范围水体的缩小部分,积水区域是指持续淹没区。



图 8 9 月 9 日八岔淹没范围图
Fig.8 The map of the flood inundation situation on September 9, 2013

4.2.2 淹没水深和水量

8 月 23 日 8 时 30 分八岔乡堤防段发生溃口,其下游抚远水位站水位 23 日 18 时出现小的陡降,由 16 时的 89.40m 下降到 89.37m,此后持续下降至 24 日 20

时的89.25m后,该水位维持至27日4时缓慢上升(见图2)。由此可见,八岔乡溃口形成的跑水直接影响了下游抚远站的水文变化趋势,由于难以及时有效组织实施溃口测流获取跑水量,给抚远站洪水及时准确的预报,以及防洪应急指挥调度带来不利影响。利用遥感手段和GIS技术估算洪水淹没区水深和水量,解决了无观测资料情况下对洪灾的监测和预测问题,有一定的实用性。

从9月9日八岔溃口淹没区的水深分布可见(见图9),水深从西南向东北部逐渐递增,与淹没推进和消退的趋势相符。蓝色浅水区域基本与淹没范围图中的退水区重合,红色颜色代表的最大水深位于整个淹没区的最里位置,即上文中提到由于地势低洼积水难以自排的区域。由水深分布估算的淹没区水量成果表明,9月9日同江市八岔乡堤防溃口受淹区总受淹面积为764km²,退水区面积约为220km²,积水区平均水深2.9m左右,滞留水量约23×10⁸m³。

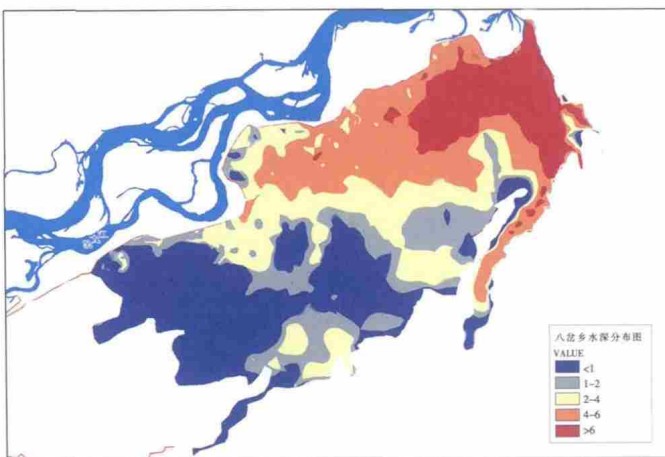


图9 9月9日八岔淹没区水深分布
Fig.9 Distribution of the inundation depth in the Bacha village on September 9, 2013

基于遥感和GIS技术以及DEM数据实现了对溃口淹没区水深分布的模拟和水量的估算,为全面掌握洪水淹没信息提供了一种实用的新手段,有广泛的应用前景。值得指出的是该方法的关键在于获取高精度的DEM数据。DEM的精度不够则不能准确地表达边界高程值,因此水量计算结果有很大的误差^[9]。由于受淹地区多是相对低洼平坦地区,其高程起伏变化不大,DEM至少应由1:10 000或更大比例的地形图生成^[10]。

5 结论

通过对2013年黑龙江大洪水的动态连续的遥感监测实践表明:

(1)遥感与GIS技术相结合,能准确、及时、全面地跟踪整个流域洪水的汛情状况及其发展变化趋势,特别是解决了无观测资料情况下对洪灾的监测预测难题,为防洪减灾提供了科学依据和技术支撑。

(2)现有在轨运行国产卫星的联合运用可以实现遥感数据在时间分辨率和空间分辨率上的互补,提高洪水监测频率,实现对洪水的逐日监测。

(3)高分一号卫星16m宽覆盖数据具有大视场、高重复覆盖的特点,是进行大范围、长历时、高频次洪水监测的理想数据源,在洪涝灾害监测中具有很大的应用潜力。

(4)遥感数据和DEM数据相结合能够实现溃口淹没区水深分布的模拟和水量的估算,是对传统水文测验方法的有效补充,该方法准确程度取决于DEM数据的精度。

参考文献:

- [1] 李香颜,陈怀亮,李有. 洪水灾害卫星遥感监测与评估研究综述[J]. 中国农业气象, 2009,30(1):102-108. (LI Xiangyan, CHEN Huailiang, LI You. A review on monitoring and assessment of flood disaster by satellite remote sensing [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2009, 30(1): 102-108. (in Chinese))
- [2] 丁志雄,李纪人. 流域洪水汛情的遥感监测分析方法及其应用[J]. 水利水电科技进展, 2004,24(3):8-11. (DING Zhixiong, LI Jiren. Remote sensing monitoring analysis methods and their application to flood monitoring in river basins[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2004, 24(3):8-11. (in Chinese))
- [3] 百度百科: 黑龙江 [EB/OL]. <http://baike.baidu.com/link?url=uJ8zVtUs8ah5FAAM7u4gev8zcGxnhakf1gl2CCQBNrIpbAqLFFhLO5M1z8Dx9pTMQX3dHQ4lbH0snDmos4Tua>. (Baidu Encyclopedia: Heilongjiang River [EB/OL]. <http://baike.baidu.com/link?url=uJ8zVtUs8ah5FAAM7u4gev8zcGxnhakf1gl2CCQBNrIpbAqLFFhLO5M1z8Dx9pTMQX3dHQ4lbH0snDmos4Tua>. (in Chinese))
- [4] 陈子丹,陈德清,李琳,等. 2003年淮河洪水遥感动态监测[J]. 中国水利, 2003,12:26-28. (CHEN Zidan, CHEN Deqing, LI Lin, et al. Remote sensing dynamic monitoring of 2003 Huai River flood [J]. China Water Resources, 2003,12:26-28. (in Chinese))
- [5] 罗玉彬,马浩录,吕莉. HJ-1A/B在2012年黄河上中游洪水监测中的应用[J]. 测绘通报, 2013,6:54-58. (LUO Yubin, MA Haolu, LV Li. Application of HJ-1A/B in 2012 flood monitoring in the Yellow River upper and middle reaches [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2013,6:54-58. (in Chinese))
- [6] 范登科,李明,贺少帅. 基于环境小卫星CCD影像的水体提取指数法比较[J]. 地理与地理信息科学, 2012,28(2):14-19. (FAN Dengke, LI Ming, HE ShaoShuai. Comparison and research on different indices for water extraction based on CCD images from HJ satellite

(下转第93页)

- (1):29-32. (in Chinese))
- [8] 张润润. 香港地区降水趋势及其演变过程分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2010,38(5):505-510. (ZHANG Runrun. Trend and evolution of precipitation in Hong Kong [J]. Journal of Hohai University (Nature Sciences), 2010, 38(5):505-510. (in Chinese))
- [9] 徐利岗,周宏飞,梁川,等. 中国北方荒漠区降水多时间尺度变异性研究 [J]. 水利学报, 2009,40 (8):1002-1010. (XU Ligang, ZHOU Hongfei, LIANG Chuan, et al. Multi-time scale variability of precipitation in the desert region of north China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009,40(8):1002-1010. (in Chinese))

Characteristics of Precipitation in Lijiang River Basin during 1960~2010

DUAN Wenjun^{1,3}, WANG Jinye^{1,3}, ZHANG Lijie², LI Haifang^{1,3}, HUANG Huaqian¹

(1. Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. Wuzhou University, Wuzhou 543002, China; 3. Institute of Ecological Planning and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: The annual and monthly precipitation were calculated with Mapgis 6.7 based on the 50-year precipitation data at the 25 stations in the Lijiang River Basin and surrounding areas, on which the change of the precipitation during the period of 1960~2010 was analyzed using coefficient of variation method, five-year moving average method and Mann-Kendall test. The results show that (1) The annual precipitation in the Lijiang River had an increasing trend with fluctuation and increased by 23.1 mm/10a from 1960 to 2010, during which the annual precipitation was decreased by 14.6 mm/10a from 1970 to 2010. But both of the trends were not significant. (2) The annual precipitation in the Lijiang River Basin has the typical characteristics with rainy season and dry season. The precipitation in rainy season account for 76.26% of the total. (3) The precipitation in January and June show an increasing trend, while the trend in April show a sign of decreasing. (4) There are obvious differences between annual variations and monthly variations and the variation coefficient is less than 0.18 and more than 0.61, respectively.

Key words: annual precipitation; 5-year moving average method; variation coefficient method; Mann-Kendall test; Lijiang River Basin

(上接第 35 页)

- [J]. Geograph and Geo-information Science, 2012,28 (2):14-19. (in Chinese))
- [7] 韩琳,张艳宁,刘学工,等. 基于小波分析的河道主溜线遥感检测研究 [J]. 遥感技术与应用, 2012,27(5): 790-796. (HAN Lin, ZHANG Yanning, LIU Xuegong, et al. Study on river main-stream detection with wavelet transform from remote sensing [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012,27(5):790:796. (in Chinese))
- [8] 张金存,魏文秋. 洪水灾害的遥感监测分析系统研究 [J]. 灾害学, 2001,16(1):39-44. (ZHANG Jincun, WEI Wenqiu. A research on the remote sensing monitoring and analysis system of flood disaster [J]. Journal of Catastrophology, 2001,16(1):39-44. (in Chinese))
- [9] 许志辉,李祥,马浩录,等. 黄河滩区漫滩水深计算方法研究[J]. 人民黄河, 2009,31(8):114-116. (XU Zhihui, LI Xiang, MA Haolu, et al. Study on calculation methods of flooding depth of flood-prone area of the Yellow River [J]. Yellow River, 2009, 31(8): 114-116. (in Chinese))
- [10] 陈德清,杨建存,黄诗峰. 应用 GIS 方法反演洪水最大淹没水深的空间分布研究[J]. 灾害学, 2002, 17(2):1-6. (CHEN Deqing, YANG Jiancun, HUANG Shifeng. Study of the spatial distribution of maximum inundation depth using GIS [J]. Journal of Catastrophology, 2002,17(2):1-6. (in Chinese))

Satellite Remote Sensing Monitoring and Analysis of Heilongjiang River Flood in 2013

WANG Lingli, CHEN Deqing

(Water Resources Information Center, MWR, Beijing 100053, China)

Abstract: The China-Russian bordering Heilongjiang River experienced the worst flood since 1984, with a return period excess 100 years in the lower reach. Dike breaches occurred from Luobei County to Tongjiang City. The multi-satellite remote sensing data show the capability for continuous and dynamic flood monitoring, providing near real-time and effective flood information for decision making and disaster management. It demonstrated that satellite remote sensing has been a viable alternative or supplement to in-situ observations especially over the ungauged area.

Key words: multi-satellite; Heilongjiang River flood; remote sensing monitoring and analysis