

基于北京一号小卫星的北京及周边五大流域 地表水资源监测与分析

周会珍¹,汪爱华¹,李 丽¹,迟耀斌^{1,2},王智勇³,闫 军²

(1. 北京宇视蓝图信息技术有限公司,北京 100096;2. 中国科学院遥感应用研究所,北京 100101;
3. 二十一世纪空间技术应用股份有限公司,北京 100096)

摘要:地表水作为水资源的重要组成部分,能从特定角度反映水资源状况。研究了基于北京一号小卫星影像的地表水体分类标准、水信息提取方法,并对 2007 年北京及周边五大流域地表水资源进行了动态监测,同时结合气象水文数据分析其时空分布规律、年内变化特征和变化原因。研究表明:① 利用北京一号小卫星 32 m 多光谱影像辅以 4 m 全色影像,基于面向对象分类等方法可以较准确地提取各类地表水信息;② 2007 年北京及周边五大流域地表水资源变化特征与该区域 2007 年平均降水量、降水量的年内变化以及水库调蓄等有关。

关 键 词:北京一号小卫星;地表水;信息提取;北京及周边五大流域;年内变化

中图分类号:TV 211.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2010)02-0195-07

1 引 言

北京地处海河流域,属于半干旱、半湿润季风气候地区^[1],从东到西分布有蓟运河、潮白河、北运河、永定河、大清河五大水系^[2]。伴随着城市发展,北京及周边地区用水需求迅速上升,已经超出了区域内水资源的承载能力。因此,迫切需要对该区域开展定期的、快速的水资源监测和评价。

北京一号小卫星具有双传感器(多光谱相机和全色相机)、幅宽大、分辨率高、重访周期短^[3]等特点,因此,在水资源监测领域具有应用潜力。一方面,地表水作为水资源的重要组成部分能从特定角度反映水资源状况。另一方面,流域是水资源管理的最佳自然单元^[4]。因此,本文从流域角度出发,利用北京一号小卫星数据研究了地表水体提取方法,开展了北京及周边五大流域地表水资源动态监测,并结合气象水文数据对其年内变化原因进行了分析。

2 研究区概况

北京及周边地区的五大流域分别为潮白河流域、北运河流域、蓟运河流域、永定河流域和大清河流域,分布于 38°03′~41°38′N,111°59′~118°12′E,

流经山西、河北、内蒙、北京、天津 5 个省、市、自治区,面积约 12 万 km²,各个流域的地理位置如图 1 所示^[5-7]。

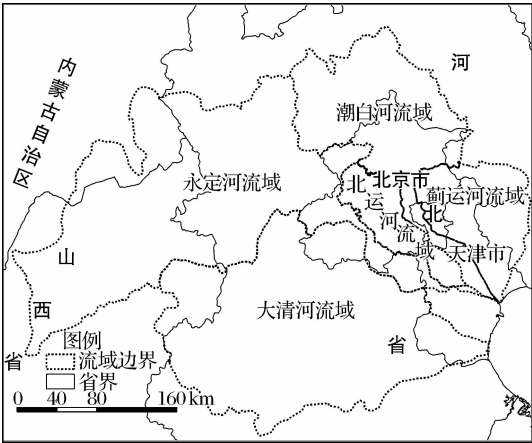


图 1 研究区域位置示意图

Fig. 1 Locations of study area

3 数据

3.1 遥感数据

本文所用遥感数据为北京一号卫星数据。使用多光谱数据共有 4 景(每景影像大小为 300 km ×

300 km),其中枯水期影像成像时间为 2007 年 3 月 25 日,丰水期影像为 2007 年 8 月 9 日。在使用的全色数据中,枯水期成像时间范围从 2007 年 3 月到 2007 年 5 月,丰水期成像时间范围从 2007 年 6 月~2007 年 9 月。北京境内区域采用多光谱和全色融合影像,北京以外区域由于全色数据只有部分覆盖,故以 32 m 多光谱数据为主,4 m 全色数据为辅。

其中,多光谱数据以 2000 年 TM 正射影像为参考影像进行几何精校正。以整景为单元,以二次多项式为纠正模型,采用三次立方卷积完成图像重采样。纠正后各点误差平原区在 1 个像元以内,山区控制在 2~3 个像元内。投影类型为 UTM/WGS84 投影。4 m 全色数据参考 2000 年 ETM+ 15 m 的全色数据进行纠正,投影类型为 UTM/WGS84 投影。采用 Brovey 变换方法对多光谱数据和全色数据进行融合。

3.2 其它数据

本研究所使用的气象水文数据(如:降水量、水库水位、多年平均降水量、地表水资源量等)来源于海河水利委员会公布的 2007 年海河流域水资源公报和 2007 年海河流域水情月报。

4 研究方法

4.1 地表水体分类标准

地表水体的存在类型多种多样,包括河流、水库、湖泊、坑塘、冰川,在北京及周边地区,地表水主要以前 4 种形式存在。而北京一号小卫星数据为中、高分辨率数据,对于坑塘尺度的地表水体能够辨别,因此,建立了河流、水库、湖泊、坑塘的地表水体分类标准。

4.2 流域边界绘制

流域是指河流的集水区域,凡降落在流域上的雨水都沿着地面斜坡直接流入该河或经过支流注入该河。本研究按照流域划分的标准和原则,勾绘了北京及周边五大流域的边界图,具体流程如下:

- (1) 将 1 : 80 万的行政地图数字化,并采用经纬度网格进行几何纠正。
- (2) 按行政图上水系的汇聚方向和流向勾勒流域的大体边界。
- (3) 叠加 90 m 分辨率的 DEM,沿着 DEM 影像上的亮点区域(即山脊线)细化边界。
- (4) 叠加 32 m 分辨率的北京一号多光谱影像并参考文献、书籍等资料进一步细化边界,并对个别

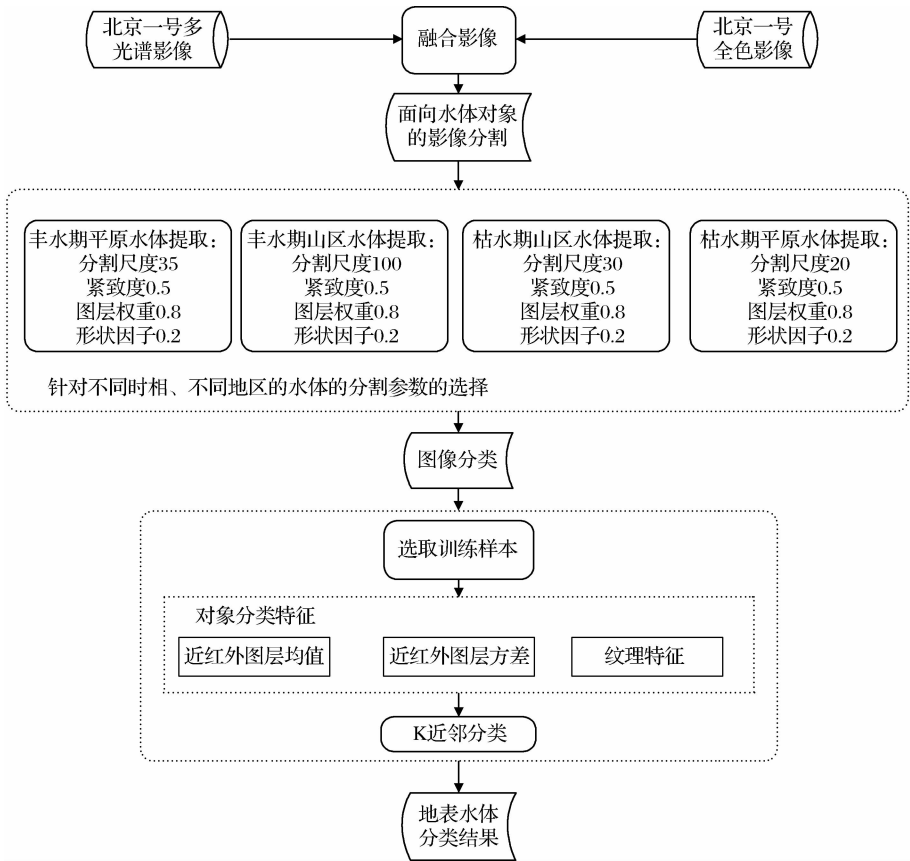


图 2 北京境内基于融合影像的面向对象水体提取技术流程图

Fig. 2 Flow chart of water extraction by Object-oriented classification in Beijing

区域进行修订和完善。

与此同时,还参考了大量的文献、资料^[5-7]等进行验证。验证结果表明流域边界(如图 1)是比较准确的,精度在 90%以上。

4.3 地表水体信息提取方法

4.3.1 北京一号小卫星融合影像

北京境内山区和平原比例相当,“同物异谱”和“同谱异物”现象广泛存在。此外,枯水期和丰水期的地表水体光谱特征也存在差异。因此,按照“分区、分季相”原则分成丰水期山区、枯水期山区、丰水期平原、枯水期平原 4 种情况。对不同季相、不同区域融合影像采用面向对象分类法^[8]提取水体,技术流程如图 2 所示。

4.3.2 北京一号小卫星多光谱影像

针对北京一号小卫星 32 m 多光谱数据特点,主要采用 NDVI 阈值法提取水体。对于比较大的水体,如水库、湖泊以及成片的坑塘,直接采用 NDVI 阈值法。对于河流水系,为了保证提取精度,还

需要借助 4 m 全色数据——分别采用枯水期和丰水期的全色数据,测量河流水面宽度,计算水系长度,从而得到河流的水面面积。测量宽度的河段划分采用如下规则:一条河流如果有其它支流的汇入,则设置一个结点,相邻的两个结点间取 3 个河流水面宽度的测量值,取平均值作为该河段水面宽度。总体技术流程如图 3 所示。

4.4 精度验证方法

为了对研究结果进行验证,分别对各类地表水体类型、水面边界及水体周边土地类型进行了精度评价。共开展了 4 次野外调查,调查详细情况如表 1 所示,总体精度达到 94%。

5 结果与分析

首先从地表水资源的空间分布、时间分布两个角度对 2007 年五大流域地表水资源特点进行了分析,并采用 ArcMap9.2 制作专题图(突出河流、水库、湖泊坑塘,并叠加了省级行政区划矢量和流域边

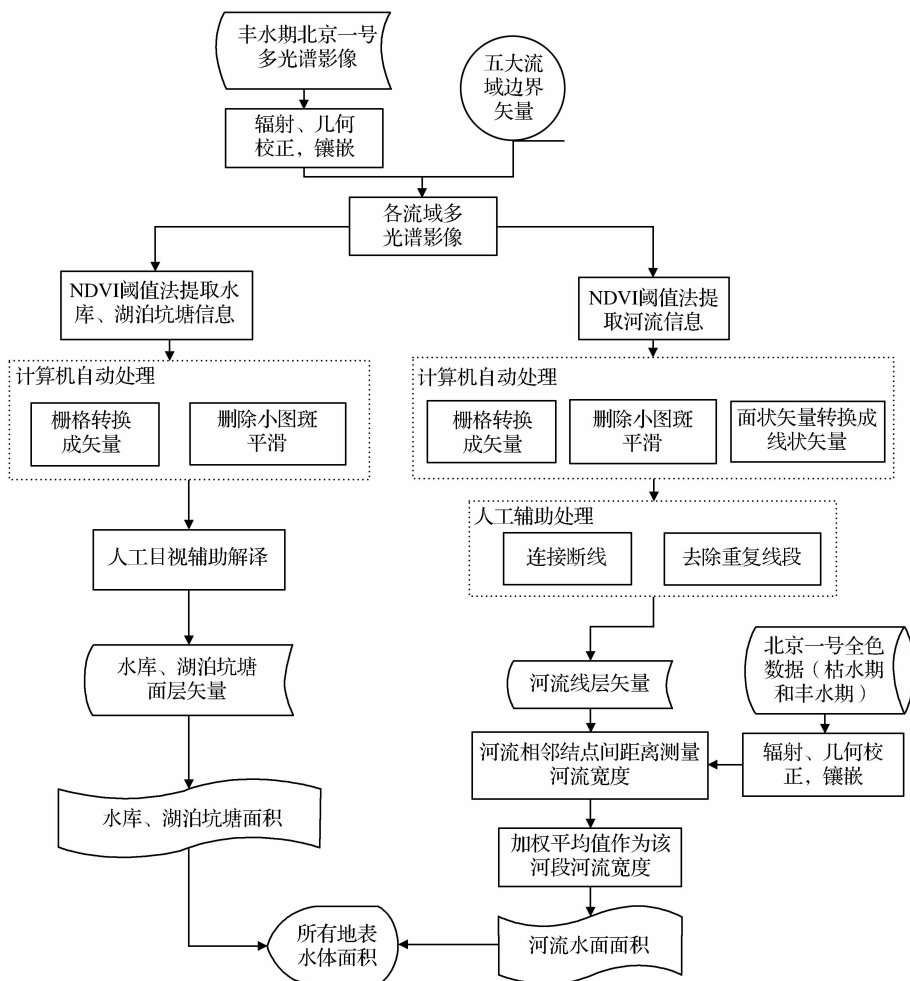


图 3 北京境外五大流域地表水体提取技术流程图

Fig. 3 Flow chart of surface water extraction in five basins out of Beijing

表 1 野外调查情况及精度评价列表

Table 1 List of field investigation and precision evaluation

调查时间	调查区域	调查内容	采样点数	平均准确率/%
2007.08.19	潮白河流域北京段中下游地区	① 判断河流坑塘是否有水;② 测量河流、坑塘水面宽度;③ 判断水库边界的解译准确度,是否因山体、树木阴影等造成大量误差。	93	94
2007.08.30	延庆县官厅水库库滨带区域 ^[9]			
2007.09.24	永定河流域官厅山峡段			
2007.10.13~2007.10.17	潮白河源头			

界矢量,添加了地物名称、图例、经纬网、比例尺、图廓线和指北针等制图要素进行整饰),然后对各个流域的地表水资源特征进行分析,具体如下。

5.1 五大流域地表水资源空间分布

图 4 为五大流域 2007 年枯水期和丰水期地表水资源空间分布图,总体来看,五大流域地表水资源

空间分布不均匀,其中西部、北部的山区主要以河流和水库分布为主,湖泊、坑塘几乎没有分布;东南部平原地区以湖泊、坑塘分布为主。从各个流域来看,北运河流域河网密集,坑塘众多。潮白河流域下游地区河流几乎断流,主要以坑塘为主。永定河流域河流比较稀疏,甚至出现“无流区”,坑塘分布很少。

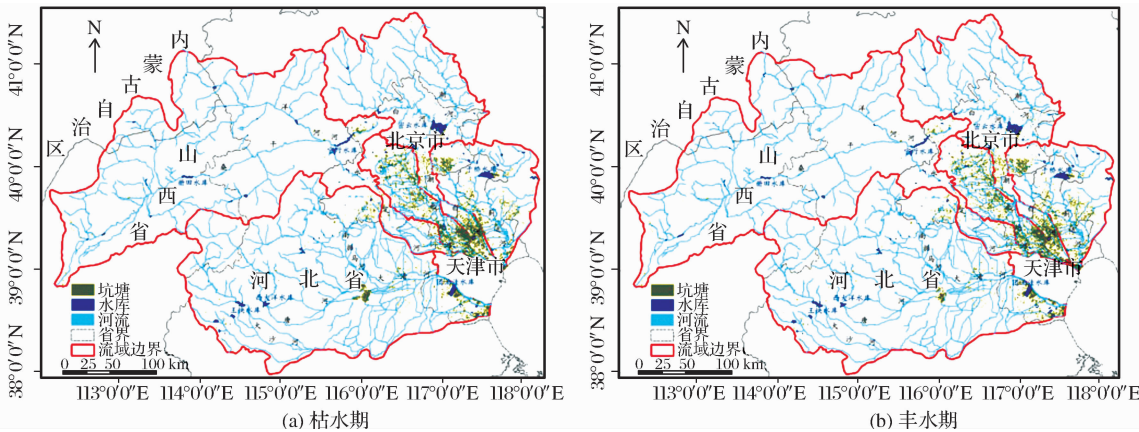


图 4 五大流域地表水资源分布示意图

Fig. 4 Surface water resources distribution in five basins in 2007

大清河流域东南边缘、蓟运河流域的西部和南部也有坑塘分布。从枯水期和丰水期两个图来看,五大流域地表水资源的空间分布状况相近。

5.2 五大流域地表水资源时间分布

表 2 为五大流域地表水面积年内变化列表,2007 年五大流域枯水期地表水面积为 1 306.85 km²,丰水期地表水面积略小于枯水期,为 1 299.98 km²,变化率不到1%。从各种地表水体类型的面积来看,枯水期湖泊、坑塘水面面积最大,水库水面面积次之,河流水面面积最小;丰水期湖泊、坑塘水面面积最大,河流

水面面积次之,水库水面面积最小。丰水期河流水面面积大于枯水期水面面积,高出约 6%,丰水期水库的水面面积比枯水期水库面面积小约 3%,丰水期水库和坑塘的水面面积比枯水期小约 4%。

5.3 五大流域地区各个流域地表水资源特征分析

在对五大流域地区总体地表水资源状况分析的同时,对各个流域的地表水资源特征包括地表水面积、河网密度也进行了分析。河网密度,是指单位面积内水道总长度。河网密度的计算公式如下^[10]:

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \tag{1}$$

其中: D_d 为河网密度/(km/km²), L 为河道总长度/km, A 为流域面积/km²。

图 5 为 2007 年五大流域地表水面积和河网密度对比图。可以看出,2007 年各流域丰水期的地表水面积和枯水期相差不大,大清河流域、永定河流域和北运河流域枯水期水面面积略大于丰水期水面面

表 2 2007 年五大流域地表水面积年内变化表

Table 2 List of surface water area of five basins in 2007

水体类型	枯水期水面面积 /km ²	丰水期水面面积 /km ²
河流	408.42	431.42
水库	412.37	399.73
湖泊+坑塘	486.04	468.83
总计	1 306.85	1 299.98

积,其它流域枯水期水面面积小于丰水期水面面积。不同流域的地表水面积差别很大,其中,地表水面积最大的是大清河流域,其次是潮白河流域,北运河流域和永定河流域地表水面积最小,不到大清河流域

地表水面积的二分之一。五大流域年平均河网密度都小于 0.35 km/km^2 ,其中永定河流域河网密度最小,约为 0.104 km/km^2 。河网密度最大的是北运河流域,其次是蓟运河流域,最小的是永定河流域,

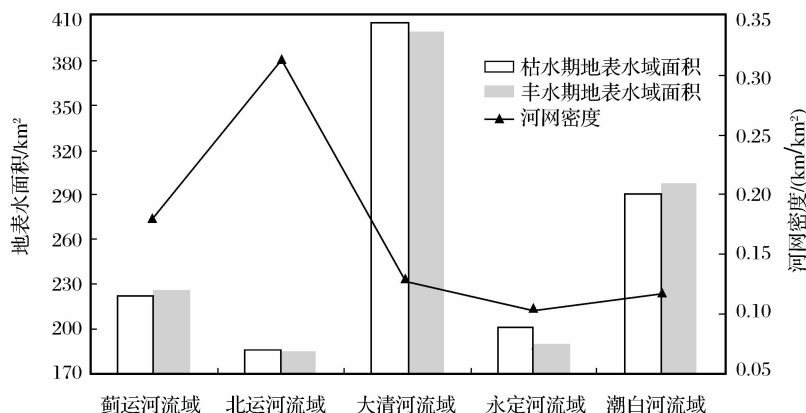


图 5 2007 年北京及周边地区五大流域地表水面积及河网密度对比图

Fig. 5 Contrast diagram of surface water area and drainage density in five basins in 2007

潮白河流域和大清河流域河网密度相差不大。

6 原因分析

北京及周边地区五大流域 2007 年地表水资源时空分布不均匀,河流断流现象较严重;地表水面积年内变化较小,而且不同地表水体类型年内变化情况不同,河流水面丰水期大于枯水期,而水库水面、湖泊和坑塘水面丰水期小于枯水期;流域间地表水资源空间分布也不均匀。因此,本文从降水量的年际变化和年内变化、地表水资源量的年际变化以及人类活动影响三方面进行原因分析。

6.1 降水量

从年际变化看,2007 年整个海河流域平均降水量 483.5 mm ,比多年平均少 9.6% ,属偏枯年份,并且各水资源二级区年降水量与多年平均降水量相比,全部偏少^[11]。这与本年度五大流域河流断流现象严重有很大关系。

2007 年五大流域区域内丰水期降水量均比同期多年平均降水量低 2、3 成左右,6 月份,五大流域除大清河流域偏多两成多外,其它流域均偏少 2~3 成;7 月份,五大流域中除永定河流域偏少近 5 成,其它流域均偏少 3~4 成;8 月份,五大流域中除潮白河流域、北运河流域、蓟运河流域偏少 6 成外,其它流域偏少 2~4 成;只有 9 月份,五大流域中大清河流域偏多 7 成,其它流域偏多 2~3 成。但是,2007 五大流域区域内枯水期总体降水量却比同期多年平均降水量偏多,3 月份,该区域内降水量偏多

2.5~3 倍;5 月份,五大流域中大清河流域偏多 6 成多,其它区域偏多 5 成^[12]。

因此,2007 年丰水期五大流域降水量的明显减少与枯水期降水量的增加,缩小了两个季相降水量的差距,从而一定程度上导致该区域地表水面积年内变化很小。

6.2 地表水资源量

地表水资源量是指河流、湖泊等地表水体的动态水量,用天然河川径流量表示。2007 年海河流域天然河川径流量为 101.79 亿 m^3 ,折合径流深为 31.8 mm ,比多年平均值偏少 53.0% ,属特枯年份^[11]。这与遥感监测的本年度五大流域河网密度较小,河流断流相吻合。

6.3 人类活动

从前面的分析中可以看出,2007 年丰水期五大流域水库水面面积比枯水期水库水面面积小近 13 km^2 ,这与水库的调水、蓄水以及水库用水量等人类活动密切相关。

图 6 为 2007 年 1~10 月份五大流域重要水库水位^[12]变化图(注:图中水位均为每月 1 日 8 时观测值),从图中可以看出,大部分水库在 1~5 月份的水位高于 6~10 月份的水位,库容量较大的水库尤其明显,如密云水库和于桥水库两个时期水位差异为 1~2 m,官厅水库差异为 1 m 左右,岗南水库最大差异达 10 m 左右。水库调蓄与枯水期和丰水期没有必然的关系,因此,从遥感影像上看,会出现枯水期水库水面面积大于丰水期水面面积的现象。

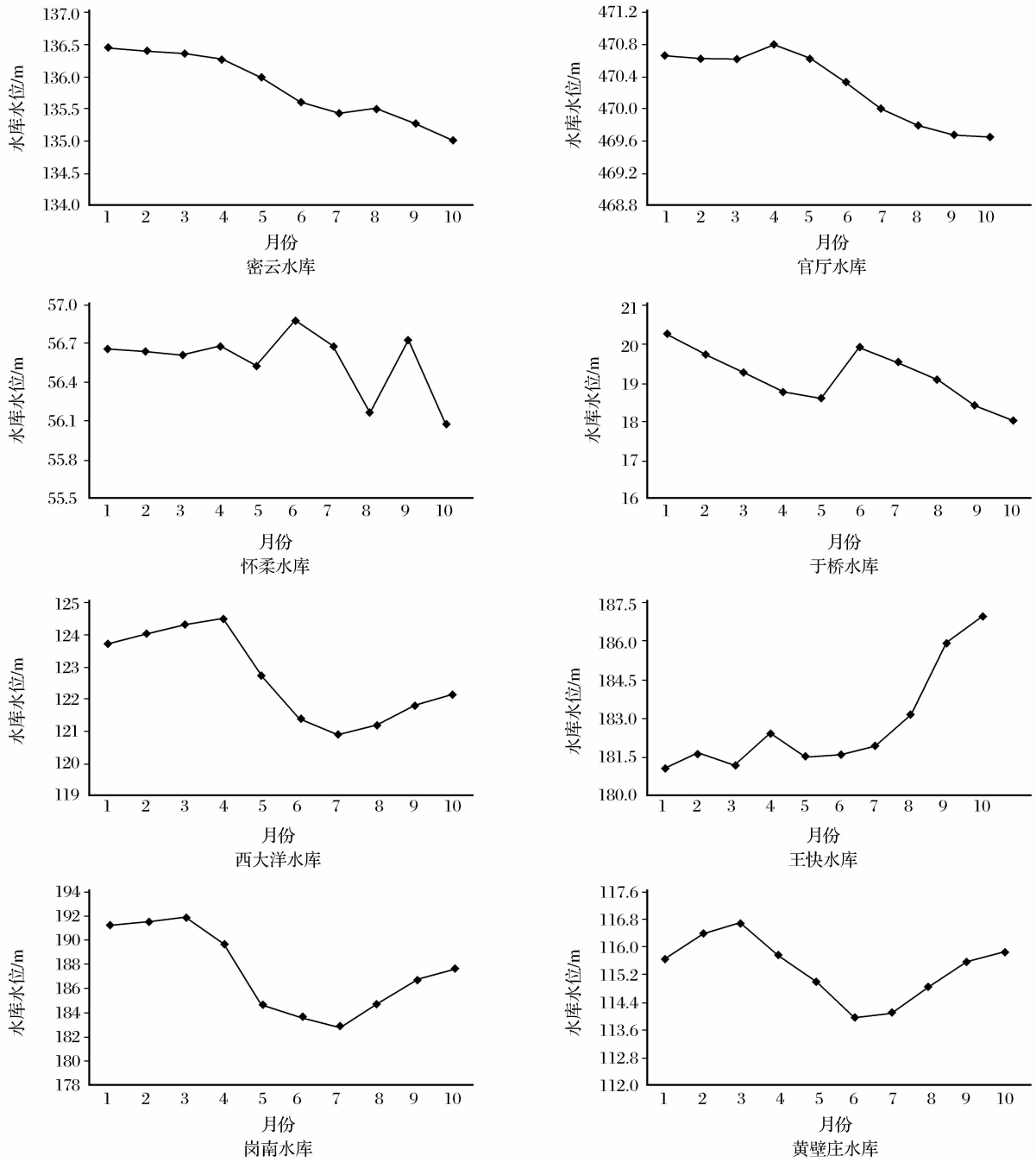


图 6 2007 年 1~10 月份五大流域重要水库水位变化图

Fig. 6 Water level change diagram of important reservoirs in five basin from January to October of 2007

7 结 语

本文利用北京一号小卫星遥感影像对地表水信息提取方法进行了探索,同时对 2007 年北京及周边五大流域地区地表水资源进行了动态监测,分析并总结了其时空分布规律以及年内变化特征,最后对其变化原因进行了定性分析。初步表明利用北京一号小卫星 32 m 多光谱影像辅以 4 m 全色影像,可

以较准确地提取各类地表水信息。本研究亦有待改进的地方:

- (1) 五大流域河流水系提取需要 4 m 全色数据提高精度,但是由于其幅宽较窄,在一个较大区域内所采用的数据时间跨度较长,从而形成误差。
- (2) 应该继续完成基于北京一号小卫星数据的 2008 年、2009 年研究区域的地表水体监测,从而形成一个时间序列,以便进一步完善研究区域地表水

资源的年际变化分析。

参考文献:

- [1] Wan Yusheng, Jin Ding. Water Resources Countermeasure Research in Beijing and Its Upper Surrounding Regions[J]. Water Resources Protection, 2002, (1): 11-14. [万育生, 靳顶, 北京及上游周边地区水资源问题对策研究[J]. 水资源保护, 2002, (1): 11-14.]
- [2] Zheng Guisen, Lv Jinbo. Water Resources in Beijing[J]. Chinese Geology, 2001, 28(4): 45-50. [郑桂森, 吕金波. 北京地区的水资源[J]. 中国地质, 2001, 28(4): 45-50.]
- [3] Zhou H Z, Chi Y B, Wang Z Y, *et al.* A Study on Surface Water Resources in Chaobaihe Basin of Beijing Based on Beijing-1 Micro-satellite Data[R]. ISPRS 2008, Beijing.
- [4] Liu Changshun, Chen Xian, Qiao Jianhua. Research Progress of River Basin Water Resources Management[J]. Study on Water Conservancy Development, 2004, 11: 19-22. [柳长顺, 陈献, 乔建华. 流域水资源管理研究进展[J]. 水利发展研究, 2004, 11: 19-22.]
- [5] Beijing Yongding River Management Office. Beijing Flood and Drought Series Books——Yongding River Flood and Drought[M]. Beijing: Chinese Water Conservancy and Hydropower Press, 2002. [北京市永定河管理处. 北京水旱灾害系列丛书——永定河水旱灾害[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.]
- [6] Beijing Chaobai River Management Office. Beijing Flood and Drought Series Books——Chaobai River Flood and Drought [M]. Beijing: Chinese Water Conservancy and Hydropower Press, 2002. [北京市潮白河管理处. 北京水旱灾害系列丛书——潮白河水旱灾害[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.]
- [7] Beijing Beiyun River Management Office. Beijing Flood and Drought Series Books——Beiyun River Flood and Drought [M]. Beijing: Chinese Water Conservancy and Hydropower Press, 2002. [北京市北运河管理处. 北京水旱灾害系列丛书——北运河水旱灾害[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.]
- [8] Chen Yunhao, Feng Tong, Shi Peijun, *et al.* Classification of Remote Sensing Image Based on Object Oriented and Class Rules[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(4): 316-320. [陈云浩, 冯通, 史培军, 等. 基于面向对象和规则的遥感影像分类研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2006, 31(4): 316-320.]
- [9] Yang Shengtian, Li Qian, Liu Changming, *et al.* Detecting Vegetation Fractional Coverage of Riparian Buffer Strips in Guanting Reservoir Based on “Beijing-1” Remote Sensing Data[J]. Geographical Research, 2006, 25(4): 570-578. [杨胜天, 李茜, 刘昌明, 等. 应用“北京一号”遥感数据计算官厅水库库滨带植被覆盖度[J]. 地理研究, 2006, 25(4): 570-578.]
- [10] Huang Yilong, Wang Yanglin, Liu Zhenhuan, *et al.* Stream Construction Characteristics in Rapid Urbanization Area: Shenzhen City as a Case[J]. Geographical Research, 2008, 27(5): 1212-1220. [黄奕龙, 王仰麟, 刘珍环, 等. 快速城市化地区水系结构变化特征——以深圳市为例[J]. 地理研究, 2008, 27(5): 1212-1220.]
- [11] Haihe Water Committee, Ministry of Water Resources, P. R. China. Haihe River Basin Water Resources Bulletin[R]. 2007. [水利部海河水利委员会. 海河流域水资源公报[R]. 2007.]
- [12] Haihe Water Committee, Ministry of Water Resources, P. R. China. Haihe River Basin Water Month Bulletin[R]. 2007. [水利部海河水利委员会. 海河流域水情月报[R]. 2007.]

Surface Water Detection and Analysis in Five Basins in Beijing and Its Surrounding Regions Based on Beijing-1 Small Satellite Data

ZHOU Hui-zhen¹, WANG Ai-hua¹, LI Li¹, CHI Yao-bin^{1,2},
WANG Zhi-yong³, YAN Jun²

(1. Beijing Landview Mapping Information Technology Co., Ltd, Beijing 100096, China;
2. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
3. Twenty First Century Aerospace Technology Co., Ltd, Beijing 100096, China)

Abstract: As an important composition of water resources, surface water can reflect the situation of water resources in certain degree. Firstly, using Beijing-1 small satellite data surface water classification standard and its extraction method were studied and surface water resources in Five Basins of Beijing and its surrounding regions in 2007 was detected, secondly its temporal and spatial distributions rules, annual variance characteristics and variance reasons were analyzed with meteorological and hydrological data. The results are as follows: ① Surface water information can be well extracted using Beijing-1 multi-spectral data with panchromatic data. ② The surface water change characteristic in Five Basins of Beijing and its surrounding regions in 2007 was related to the average precipitation in 2007, the annual precipitation variance and reservoir regulation and storage and so on.

Key words: Beijing-1 small satellite; Surface water; Information extraction; Five basins in Beijing and its surrounding regions; Annual variance