



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2017.05.014

孙建芸,袁琳,王新生,等.基于GF_1卫星的丹江口水库水面面积-蓄水量-水位相关性研究[J].南水北调与水利科技,2017,15(5):89-96.SUN Jian yun, YU AN Lin, WANG Xir sheng, et al. Correlations between water surface area, water storage, and water level of Danjiangkou Reservoir based on GF_1 Satellite[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(5): 89-96. (in Chinese)

基于GF_1卫星的丹江口水库 水面面积-蓄水量-水位相关性研究

孙建芸¹,袁琳¹,王新生^{1,2},李朋泽³,邹金秋⁴

1. 湖北大学 资源环境学院, 武汉 430062; 2. 农业部遥感应用中心 武汉分中心, 武汉 430062;
3. 绍兴市城市规画测绘院, 浙江 绍兴 312000; 4. 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所, 北京 100081

摘要: 基于GF_1卫星16 m分辨率多光谱遥感数据及水文观测数据,通过计算NDWI水体指数来提取丹江口水库水面面积,并研究水面面积、水位与蓄水量三者之间的相关性,实现动态分析水库蓄水量变化情况,以期为“南水北调”提供决策支撑。研究发现:(1)南水北调中线首个调度年前后丹江口水库水面面积-水位,水位-蓄水量以及水面面积-蓄水量之间均为显著相关关系,且三对变量依次呈现明显的1次、2次、3次曲线关系,拟合曲线方程的决定系数分别达到0.976、0.999和0.980,因此可以根据其中一个已知变量预测其他两个未知量;(2)水面面积自2014年10月5日至2016年5月5日最大变化幅度相差180 km²,是影响周边环境变化的重要因素;(3)同时蓄水量在首个调度年内,于2014年11月初达到最大值204.10亿m³,可调水量在16.53~78.93亿m³范围内浮动,且年内整体变化平缓稳定,保证了2015调度年内南水北调中线工程的供水需求。

关键词: 丹江口水库;GF_1卫星;水面面积;水位;蓄水量

中图分类号: P962 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)05-0089-08

Correlations between water surface area, water storage, and water level of Danjiangkou Reservoir based on GF_1 Satellite

SUN Jian yun¹, YUAN Lin¹, WANG Xir sheng^{1,2}, LI Peng ze³, ZOU Jin qiu⁴

(1. School of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China;

2. Wuhan Branch of Remote Sensing Application Center, Ministry of Agriculture, Wuhan 430062, China;

3. Urban Planning Institute of Surveying and Mapping of Shaoxing City, Shaoxing 312000, China; 4. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the GF_1 Satellite's 16m resolution multispectral remote sensing data and hydrological observation data, we extracted the water surface area of the Danjiangkou Reservoir by calculating the Normalized Difference Water Index (NDWI), and studied the correlations between water surface area, water level, and water storage, realizing dynamic analysis of the reservoir's storage changes, in order to support the decision making in the "South to North water transfer project". The results showed: (1) There were significant correlations between water surface area and water level, water level and water storage, and water surface area and water storage of Danjiangkou Reservoir before and after the first operation year of the Middle Route South to North Water Transfer Project. Moreover, these three pairs of variables presented strong linear, conic, and cubic curve relationships respectively, with the determination coefficients of curve fitting equations reaching 0.976, 0.999, and 0.980 respectively. Therefore, one known variable of the three can be used to predict

收稿日期: 2016-08-10 修回日期: 2017-01-25 网络出版时间: 2017-08-29
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170829.1932.025.html>
基金项目: 农业科学领域数据资料整编与加工(2013FY110900-6)

Fund: Data Reorganization and Processing in Agriculture Sciences(2013FY110900-6)

作者简介: 孙建芸(1991-),女,内蒙古锡盟人,主要从事农业遥感研究。E-mail: 332150935@qq.com

通讯作者: 邹金秋(1975-),男,湖北人,助理研究员,博士,主要从事农业遥感研究。E-mail: zoujq@mail.caas.net.cn

the other two unknown variables. (2) The water surface area during October 5, 2014 to May 5, 2016 varied by a maximum of 180 km², and was an important factor that affected the surrounding environment. (3) The water storage in the first operation year reached a maximum of 20.41 billion m³ in early November 2014, while the amount of transferable water fluctuated between 1.653 billion m³ and 7.893 billion m³, remaining generally stable within the year. These ensured the water supply of the South to North Water Transfer Project during 2015.

Key words: anjiangkou Reservoir; GF_1 satellite; water surface area; water level; water storage

我国南涝北旱的气候特征制约了我国社会、经济、生态的健康可持续发展。通过跨流域的水资源合理配置,可以大大缓解我国北方水资源严重短缺问题,促进南北方经济、社会与人口、资源、环境的协调发展。“南水北调工程”总体布局被设计为3条调水线路,即西线工程、中线工程和东线工程,分别从长江上、中、下游调水,以适应西北、华北各地发展需要^[1],是缓解中国北方水资源严重短缺局面的重大战略性工程。丹江口水库,作为南水北调中线引水工程的水源地,水库库容的三维形态并不易直接获取,但通过水位-蓄水量-水面面积相关性研究可以估算水库蓄水量和水面面积变化,为中线工程水资源的监测保护和分配决策提供依据,具有重要的实用价值。

国内外针对水库水面面积提取、水位面积曲线测定、蓄水量、调水量以及水文情势的研究采用了多种技术手段,解决了相关方面的问题^[2-12]。乔平林^[2]以实地观测数据为基础,建立水库水面面积-库容的关系曲线,决定系数达到0.96,利用TM影像提取面积,进一步求出水库资源量;唐晓玲^[3]利用EOS/MODIS资料,采用阈值法对向海水库水面面积进行遥感动态监测;丁志雄^[4]将DEM和遥感相结合对水库水位-水面面积曲线测定方法进行了研究,得出水位面积关系曲线;张杰等^[5]以国产HJ-1A/B的CCD多时相遥感影像为数据,采用单阈值法、NDWI法和决策树分类方法提取丹江口库区水域信息,研究三期水面面积动态变化;陈文倩等^[6]研究了基于国产GF-1遥感影像的水体提取方法,将单阈值法、NDWI法与多波段法进行对比研究,并提出新的决策树水体信息提取方法;陈华等^[7]探讨了汉江丹江口以上流域降水特征及变化趋势,分析其降水量的变化规律,指导水库的调度运行。陈桂亚等^[8]对丹江口水库的弃水可调水量是否满足南水北调(中线)供水区的要求做了分析研究;郭文献等^[9]采用动态范围分析法对研究了丹江口水库对汉江中下游水文情势的影响;靖立玲等^[10]采用两种秩次相关检验法对南水北调一期工程的生态补水潜力进行了研究。Feng, L等^[11]利用MODIS数据监测鄱阳湖洪水长期变化对周边生态环境的影响, Ding

Xiaowen^[12]用微波遥感监测手段对洞庭湖水面面积进行研究,取得较好结果,国内外多是对水体水面面积的提取方法进行探究,对于丹江口水库也主要集中在对水库局部特征的研究,如降水量,调水量等,针对丹江口水库的整体研究较少,尤其是水面面积、水位、蓄水量三者关系联动研究几乎查阅不到,且自GF-1卫星发射以来,在丹江口水库上的应用研究并不多。而三者之间存在关联关系,联动研究能够更加直观地反映水库的调水运行情况,可以准确掌握水库的整体信息。

因此,本文以丹江口水库为研究对象,利用GF-1卫星上WV-2传感器所拍摄的16m多光谱数据,时间范围从2014年10月5日到2016年1月2日,通过归一化水体指数法(NDWI)提取不同时间的水面面积,将其结果与水位和蓄水量数据结合做相关性分析,并在此基础上构建三者关系模型,为通过水位来科学估算水面面积和蓄水量提供科学依据,以期能够宏观尺度动态监测和评价库区对周边区域影响范围变化情况,分析调度年的水文响应情况,同时指导年度调水的相关决策。

1 研究区概况

丹江口水库(图1),分布于湖北省丹江口市(库区还涉及到湖北省郧县、十堰市张湾区、郧西县等)和河南省南阳市淅川县之间,水源来自于汉江及其支流丹江。研究区地理位置介于北纬32°36′-33°48′,东经110°59′-111°49′之间,横跨鄂、豫两省。由湖北境内的汉江库区和河南境内的丹江库区两大部分组成,多年平均入库水量为394.8亿m³,水源来自于汉江及其支流丹江。水库死水位为150m^[13],2012年丹江口水库大坝加高到176.6m后,水库设计正常蓄水位由157m提高到170m,库容从174.5亿m³增加到290.5亿m³,并于2013年9月开始蓄水。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

GF-1卫星是中国高分辨率对地观测系统的第

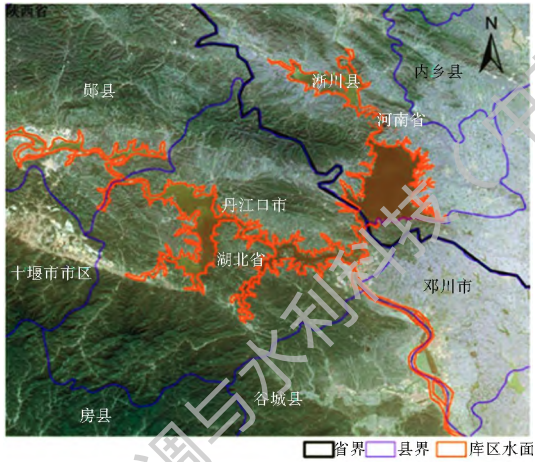


图1 丹江口水库地理位置

Fig. 1 Geographical location of Danjiangkou Reservoir

一颗卫星,于2013年4月26日成功发射,同年12月30日正式投入使用。该卫星搭载了两台2 m分辨率全色/8 m分辨率多光谱相机,四台16 m分辨率多光谱相机,其中16 m多光谱数据含有4个波段,分别为蓝光波段(0.45~0.52 μm)、绿光波段(0.52~0.59 μm)、红光波段(0.63~0.69 μm)、近红外波段(0.77~0.89 μm),是本文提取水面面积的数据来源^[14]。基于研究内容,下载丹江口水库区域所有云覆盖率为零的16 m多光谱高分数据影像共21幅,时间跨度从2014年10月5日到2016年1月2日,且为了保证后期研究质量,尽量满足每个月均有影像覆盖。截取丹江口库区在时间序列受外界环境变化明显的主要区域进行面积提取。

水位和蓄水量数据:根据研究目的,本文在全国水雨情网站^[15]收集到自丹江口水库坝高达到176.6 m之后每一天的水位和对应蓄水量数据作为参与研究的数据源。数据时间范围从2014年10月5日到2016年5月5日,如表1为21幅库区影像对应时期的水位和蓄水量数据。

GF_1卫星数据预处理在ENVI软件平台上进行操作,首先在内部自行开发的GF_1数据处理插件中选中批量处理高分数据界面,确定制定的数据位置和后续结果的保存位置,软件将以全国地理行政区底图为配准基础,自动根据影像及其参数实现对所有数据的几何校正过程,然后利用ENVI软件中的图像镶嵌(Mosaicking)工具对每一个时期的遥感数据进行拼接,得到能完整覆盖丹江口水库的影像数据,以便进一步的分析使用。

2.2 研究方法

本文主要把归一化水体指数法(NDWI)提取出的水库水面面积与水位和蓄水量数据结合,在SPSS软件中基于pearson相关分析方法确定三者相关

表1 不同时期水位与蓄水量数据

Tab. 1 Data of water level and water storage in different periods

时间/年月-日	库上水位/m	蓄水量/10 ⁶ m ³
2014 10 05	158.94	18 953.2
2014 10 08	159.44	19 360.8
2014 11 14	160.62	20 328.4
2014 11 18	160.63	20 336.6
2014 11 19	160.46	20 197.2
2014 12 13	160.08	19 885.6
2015 01 03	159.15	19 123
2015 02 08	157.54	17 865.8
2015 02 12	157.28	17 665.6
2015 04 15	157.01	17 457.7
2015 04 28	157.25	17 642.5
2015 05 27	155.63	16 491
2015 05 30	155.37	16 309
2015 06 19	154.11	15 427
2015 07 07	155.61	16 477
2015 08 29	153.01	14 666.9
2015 10 12	153.29	14 860.1
2015 10 20	152.95	14 626
2015 10 21	152.9	14 592
2015 11 02	152.39	14 245.2
2016 01 02	152.55	14 354

性,并在此基础上构建三者关系模型。

2.2.1 归一化水体指数(NDWI)

对水库周边五种主要地物的光谱曲线进行分析,植被在第二波段绿光波段反射率虽然与水体差异不大,但在第四波段近红外波段具有较高的反射率,和与水体反射率形成较大反差;空地,建筑物和山体阴影的光谱曲线走势与水体相似,但它们的绿光波段和近红外波段反射率差值与水体相比均较小,归一化差异水体指数NDWI是根据植被和水体在可见光和近红外波段的波谱特点,利用绿与红波段的数据构建而成^[16-18]。该指数可以一定程度地抑制植被信息,突出水体信息,还可以有效地将水体与植被及山体阴影等信息区分开。

为了更好提取水体信息,可以借助GF_1卫星的多光谱影像,将NDWI指数作为提取水库区域信息的分类依据。利用ENVI的Band Math工具输入NDWI的计算公式:

$$(b2 \times 1.0 - b4) / (b2 + b4) \quad (1)$$

式中:b2对应绿光波段,即高分影像的第二波段;b4对应近红外波段,即高分影像的第四波段。计算所得NDWI影像结果,通过密度分割设定阈值将水体

信息突出显示^[19], 在 ARCMAP 中运用栅格转矢量 (Raster to polygon) 工具将水库水面面积提取, 得到最终水体提取结果。

2.2.2 相关性分析

库区地形环境复杂, 受到多方面因素的影响, 但最终会直观反映到水库水位, 水面面积和蓄水量的变化上, 因此, 水库的水位、水面面积和库容量之间存在着复杂的相关性, 在一定情况下, 可以通过上述三个因素的实际观测值, 在相关性分析的基础上构建关系模型, 在实际应用中较好地反映出三者之间的关系曲线^[20-22]。

3 研究结果

3.1 基于遥感数据水库面积信息提取

根据上述研究方法和操作流程, 本文将丹江口水库的 21 幅遥感影像数据进行了水面面积提取, 图 2 为局部水面面积提取效果, 其中蓝色区域是水体, 可以看到水体与非水体界限明显。为了验证结

果的精确性, 本文在 ARCGIS 中对每一期影像水体提取矢量结果分别随机选取 500 到 600 个数据点, 将分类正确的点属性值设为 1, 错误点设为 0, 最后统计正确点所占比例, 正确率均在 97% 左右, 满足研究所需。图 3 列出丹江口水库 8 个不同时期的水面面积提取结果, 可以看出在中线工程正式供水伊始, 即 2014 年的 11 月、12 月, 为了保证供水量, 水库水面面积保持较高水平, 随后几个月面积逐渐减少, 到 2015 年的 10 月下旬, 第一个调度年即将结束之时, 水面面积已明显缩小。

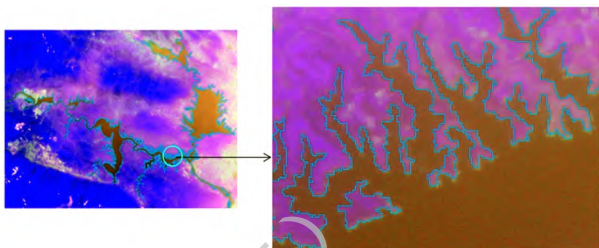


图 2 丹江口水库局部水面提取效果
Fig. 2. Extraction effect of local water surface in Danjiangkou Reservoir

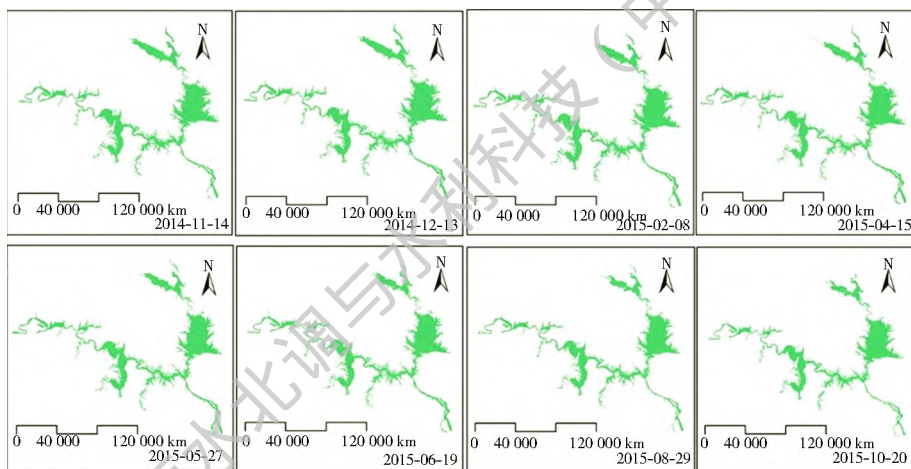


图 3 丹江口水库不同时期水面面积提取结果

Fig. 3 Extraction results of water surface area of Danjiangkou Reservoir in different periods

3.2 水面面积- 水位- 蓄水量相关性分析

根据库区水面面积提取结果以及对应时期的水位以及蓄水量数据, 绘制水面面积- 水位, 水面面积- 蓄水量及水位- 蓄水量三对变量在时间跨度上变化趋势的组合折线图, (见图 4)。从图中可判断出 2014 年的 10 月到 2016 年 1 月初南水北调中线工程第一个调度年前后, 丹江口水库的水位, 面积以及蓄水量的变化由缓慢下降向平稳趋势过渡, 且三者之间相关关系明显。为了精确评价三对变量间的相关关系, 将水位, 水面面积, 蓄水量三个变化因子两两输入到 SPSS 软件中进行相关性分析, 研究表明: 水位- 蓄水量、水面面积- 水位以及水面面积- 蓄水量三对变量间在 $\alpha = 0.01$ 水平上显著相关, 相关

系数分别达到 0.999, 0.988, 0.985 (见表 2)。

3.3 面积- 水位- 蓄水量关系模型构建

为了进一步研究水面面积- 水位, 蓄水量- 水位以及水面面积- 蓄水量的定量关系, 在相关性分析的基础上对三对变量的关系做回归分析, 将水库水位和蓄水量作为自变量进行曲线估计, 经过多次拟合研究验证, 发现水面面积- 水位一次线性关系明显, 决定系数 R^2 达到 0.976; 蓄水量- 水位在 2 次曲线关系上拟合最好, 决定系数为 0.999; 而水面面积- 蓄水量则在三次曲线关系上拟合程度最高, 决定系数为 0.980 (见图 5)。

根据曲线的拟合结果, 可以得到三对变量模拟曲线的相关参数 (表 3), 求出水库水面面积- 水位,

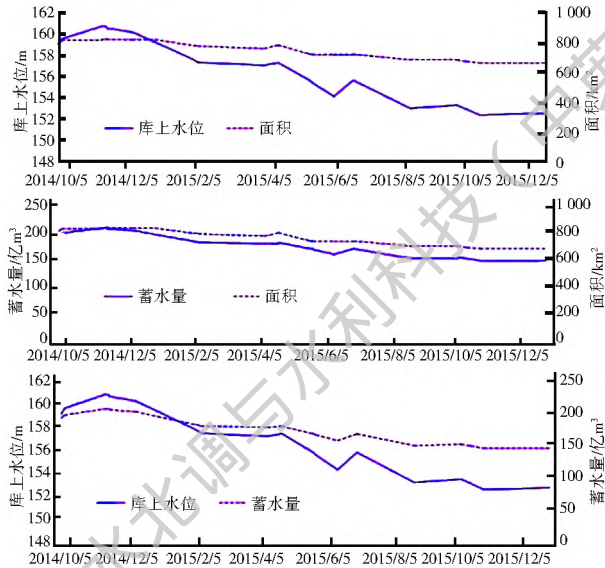


图4 面积- 水位- 蓄水量变化趋势

Fig. 4 Area water level storage variation trend

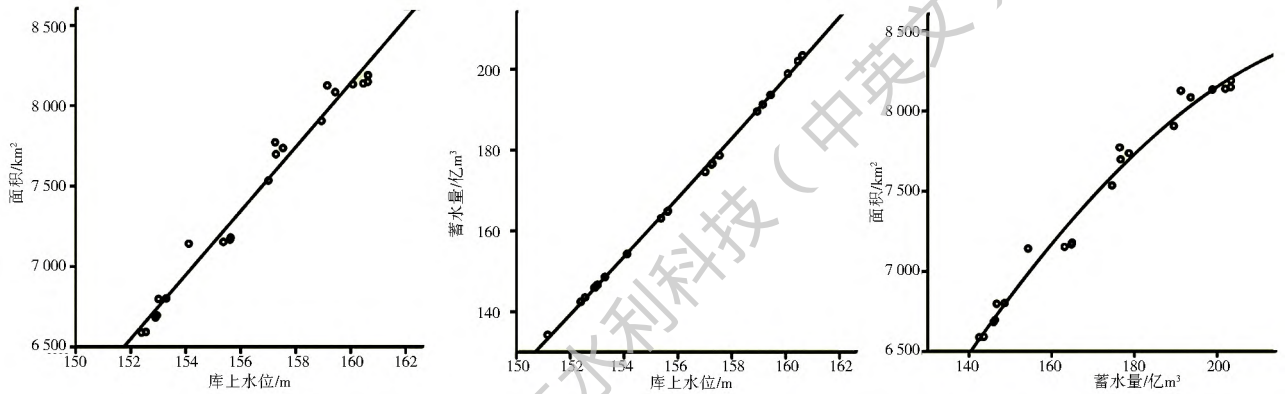


图5 面积- 水位、蓄水量- 水位、面积- 蓄水量拟合曲线

Fig. 5 Fitting curves of area water level, water storage water level, and arear water storage

表3 水面面积- 水位、蓄水量- 水位、水面面积- 蓄水量拟合曲线参数

Tab. 3 Parameters of fitting curves of arear water level, water storage water level, arear water storage

研究时段	拟合关系	拟合曲线次数	决定系数 R^2	常数 b_0	一次系数 b_1	二次系数 b_2	三次系数 b_3
2014 10-5 至	水位- 面积	1	0.976	- 23661.102	198.756	-	-
	水位- 蓄水量	2	0.999	- 40199.824	-	2.343	-
2016 01-02	蓄水量- 面积	3	0.980	- 474.711	0.561	-	- 3.23E-10

通过拟合获得的曲线方程式精确度较高,可以在一定误差范围内模拟三个变量测量结果。本文水位数据可以直接获得,因此拟合方程优先将水位数据作为自变量研究,得到三个回归方程,分别见式(2)-式(4)。

$$Y_{(面积)} = - 23661.102 + 198.756X_{水位} \quad (2)$$

$$Y_{(蓄水量)} = - 40100.824 + 2.343X_{水位}^2 \quad (3)$$

$$Y_{(面积)} = - 474.711 + 0.561X_{(蓄水量)} + (- 3.232E - 10)X_{(蓄水量)}^3 \quad (4)$$

根据上述三个拟合公式,只要已知三个变化因素之中的一个变量,就可以推算出其他两个未知变

表2 水位- 蓄水量、水面面积- 水位、蓄水量- 面积相关性
Tab. 2 Correlations between water level-water storage, water surface area-water level, water storage-area

研究因子	相关性	库上水位 / m	蓄水量 / 亿 m^3	水面面积 / km^2
库上水位 / m	Pearson 相关性	1	0.999**	0.988**
	显著性(双侧)	0.000	0.000	
	N	21	21	21
蓄水量 / 亿 m^3	Pearson 相关性	0.999**	1	0.985**
	显著性(双侧)	0.000	0.000	
	N	21	21	21
水面面积 / km^2	Pearson 相关性	0.988**	0.985**	1
	显著性(双侧)	0.000	0.000	
	N	21	21	21

注:**表示在0.01水平(双侧)上显著相关。

蓄水量- 水位以及水面面积- 蓄水量的拟合曲线方程,其中每个方程的未知系数均达到精度要求,因此

量的近似值。其中,水位数据可以在实际中直接观测,而蓄水量数据也可通过水位- 蓄水量曲线反推出来,因此水位- 水面面积关系曲线可以间接反映水面面积与蓄水量的关系,因此为了评价监测丹江口水库首个调度年前后库区的水面面积和蓄水量变化,本文把收集到的库区对应时间段内每日的水位数据代入到拟合公式中,在一定误差范围内推算研究库区在坝高增加以后的水面面积信息,结合已有对应水位下的蓄水量数据,可以有效反映和预测库区水面面积及蓄水量的变化范围和趋势。需要注意的是,水库的坝顶高度决定着水库的蓄水能力,因而

也会牵制水位和水面面积的变化,因此,本文研究所得拟合公式只适用于在水库坝高为 176.6 m 并且库容形态变化一定的情况下使用,该关系并不能满足所有水库形态下的水面面积、水位、蓄水量变化。

3.4 研究结果应用分析

通过对 21 个不同时期的丹江口水库的面积提取,结合对应时期的水位和蓄水量数据,构建了水面面积-水位,蓄水量-水位以及水面面积-蓄水量的关系模型。依据此关系模型,可以监测丹江口水库近期水面面积变化,从而测算出水面面积变化对水库周边地区的影响范围^[23-24];同时,也可通过此模型评价水库通水一年来每天可调水量变化幅度以及是否满足供水要求。

将 2014 年 10 月 5 日至 2016 年 5 月 5 日的蓄水量数据代入模型中(式(4))得到 2014 年至 2016 年水库正式通水前后库区水面面积变化。如图 6,丹江口水库研究区域在首个调度年前后面积的变化范围是 650~830 km²,对应时间为 2014 年 11 月 1 日研究库区水面面积达到最大,2015 年 11 月 5 日水面面积达到最小值,直接影响范围达到将近 180 km²。通过对影像结果的对比分析(可参考图 3),水面面积的变化敏感区域主要位于河南省淅川县内的丹江口库区以及湖北省老河口市和谷城县交界处的汉江下游地区,整体水面会有明显缩减。而且从图中也可以看到 2015 年内面积的变化基本以月为间隔,依次呈现出增大然后减小的波动性变化,这可能受到水库供水周期变化的影响。从整个时间跨度上丹江口水库水面面积在 2015 年内表现缓慢波动性减小的趋势,到 2016 年开始趋于平稳。但库区在水量调节作用下水面面积变化整体较稳定,不会对周边环境造成较大冲击。

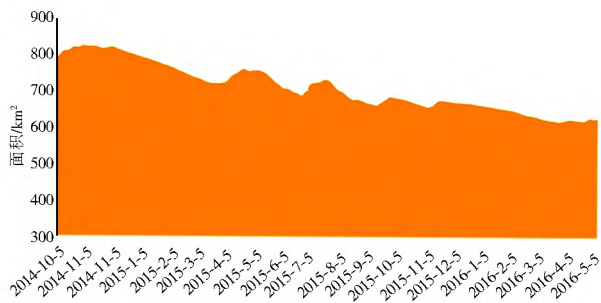


图 6 丹江口库区面积变化

Fig. 6 Area changes of Danjiangkou Reservoir

水库蓄水量首个调度年内的变化范围在 141.70~204.10 亿 m³ 内波动。为了评价首个调度年内水库是否满足供水条件,利用关系模型计算得到水库在死水位线上的理论蓄水量为 125 亿 m³,由

此可得每天可调水量^[25],如图 7。可供水量变化范围在 16.53~78.93 亿 m³ 内。由于社会经济的需要,近期年均调水量 95 亿 m³^[26],调水计划从时间跨度可分为汛期和非汛期,受水区非汛期调度期为 11 月至次年 4 月,汛期为 5 月至 10 月。由供水量图可看出水库在非汛期可供水量较大,汛期供水量整体降低。说明研究时段内水库的蓄水量满足向外正常供水的基本条件,保证库区年均调水 95 亿 m³ 计划的实施。但在同一时间段内,可调水量和受水区所需水量并不是完全匹配,2016 年 1 月份水库可供水量明显比 2015 同期可供水量有所下降,因此对于第二个调度年的调水计划需要做出相应的调整以保证受水区用水的合理分配。

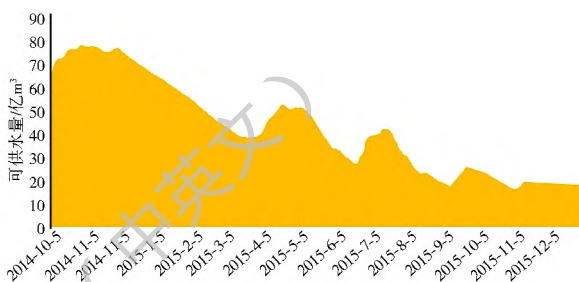


图 7 丹江口水库可供水量

Fig. 7 Available water supply of Danjiangkou Reservoir

4 结论与讨论

在丹江口水库向北方正式调水以来,水面面积-蓄水量-水位之间表现出很强的相关性和依赖性;根据构建的关系模型能够推算出库区正式通水前后库区面积变化,自从 2012 年坝顶高度抬高以后,水库蓄水能力不断刷新纪录,在 2014 年 10 月到 2015 年 11 月首个调度年内,库区水面面积一直保持在 650~830 km² 的稳定可控范围内。同时,通过计算死水位线下的理论蓄水量,可以看出库区一年来的可调水量完全满足年度调水计划的需求。

第一个调度年已平稳度过,可以将本文所得拟合曲线作为目前水库形态下实时评价库区调水状况是否合理的参考标准。如果蓄水量、水位、水面面积之间能够满足上述拟合曲线关系,也可同时说明水库维持在一个相对平衡的水量调节状态。同时,水库的形态同样影响着库区的蓄水能力,不同的坝高以及防御堤岸的变化也会反映出水位、水面面积、蓄水量之间不同的相关性,这也是研究需要考虑的一个因素^[27]。

作为中线工程调水源地,丹江口库区的水源补给主要受到汉江及其支流丹江的影响。其调水系统不仅要为北方四省市及沿线地区的供水补给提供一

定的保障,汉江中下游的防洪、作物灌溉、生活用水、环境、航运以及发电等相关社会生产活动同样对丹江口水库的水量调节分配具有很强依赖性,水库水位、面积以及蓄水量三个变量之间的关系是一定程度上受到人为制约后呈现的一种状态,可以根据三者的曲线关系图看出,它们之间并没有呈现变化完全一致的态势,因此中线工程调水并不能完全满足北方供水区的规划需水要求,是“以供定需的”系统^[28]。

对丹江口水库的水位-面积-蓄水量三个变量之间关系研究可以帮助决策者宏观把握库区环境变化及供水情况。日后有望将GF_1卫星的8 m多光谱数据和2 m全色影像数据融合提高水体分类精度,同时借助卫星较高的时间分辨率(重访周期4天),实现长期实时精确观测库区信息,为库区环境变化以及水量调度提供决策保障。

参考文献(References):

- [1] 汪易森,杨元月.中国南水北调工程[J].人民长江,2005,36(7):2-6.(WANG Yi sen, YANG Yuan yue. South to north water transfer project of China[J]. Yangtze River, 2005, 36(7): 2-6. (in Chinese))
- [2] 乔平林,张继贤,李海涛,等.水库容水量遥感监测方法研究[J].测绘学报,2003,28(3):55-57.(QIAO Ping lin, ZHANG Ji xian, LI Hai tao, et al. Methods of the volume measurement of reservoir using remote sensing[J]. Science of Surveying and Mapping, 2003, 28(3): 55-57. (in Chinese))
- [3] 唐晓玲.应用EOS/MODIS资料监测向海水库水面面积动态变化[J].吉林气象,2007,(2):35-38.(TANG Xiao ling. Monitoring dynamic changes of water surface area of Xianghai reservoir by using EOS/MODIS data[J]. Jilin Weather, 2007, (2): 35-38. (in Chinese))
- [4] 丁志雄. DEM与遥感相结合的水库水位面积曲线测定方法[J].水利水电技术,2010,41(1):83-86.(DING Zhi xiong. Study on method for measurement of reservoir water level and water surface curve based on DEM combined with remote sensing[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2010, 41(1): 83-86. (in Chinese))
- [5] 张杰,朱玉霞,刘锐,等.基于HJ-1丹江口库区水域信息遥感提取研究[A].中国环境科学学会2013年学术年会论文集[C];2013.(ZHANG Jie, ZHU Yu xia, LIU Rui, et al. The study on water area information extraction of Danjiangkou reservoir based on HJ-1[A]. Academic Essays of China Environmental Science Society in 2013[C]; 2013. (in Chinese))
- [6] 陈文倩,丁建丽,李艳华,等.基于国产GF-1遥感影像的水体提取方法[J].资源科学,2015,37(6):1166-1172.(CHEN Wen qian, DING Jian li, LI Yan hua, et al. Extraction of water information based on China-made GF-1 remote sense image[J]. Resources Science, 2015, 37(6): 1166-1172. (in Chinese))
- [7] 陈华,郭生练,柴晓玲,等.汉江丹江口以上流域降水特征及变化趋势分析[J].人民长江,2005,36(11):29-31.(CHEN Hua, GU O Sheng lian, CHAI Xiao ling, et al. The precipitation characteristics and variation tendency in the upstream area of Danjiangkou project on the Hanjiang river[J]. Yangtze River, 2005, 36(11): 29-31. (in Chinese))
- [8] 陈桂亚,沙志贵,王政祥.南水北调中线引丹江口水库弃水可调水量分析[J].人民长江,2001,32(2):6-9.(CHEN Gui ya, SHA Zhi gui, WANG Zheng xiang. Analysis on transferable surplus water volume from Danjiangkou reservoir for S-N water transfer. [J]. Yangtze River, 2001, 32(2): 6-9. (in Chinese))
- [9] 郭文献,夏自强,王乾.丹江口水库对汉江中下游水文情势的影响[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(6):733-737.(GU O Wen xian, XIA Zi qiang, WANG Qian. Effects of Danjiangkou reservoir on hydrological regimes in the middle and lower reaches of Hanjiang[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2008, 36(6): 733-737. (in Chinese))
- [10] 靖立玲,张丽丽,殷峻暹,等.南水北调中线一期工程生态补水潜力研究[J].人民黄河,2012,34(8):59-61.(JING Li ling, ZHANG Li li, YIN Jun xing, et al. Study of latent capacity of ecological water supplement in the middle route of south to north water diversion project[J]. Yellow River, 2012, 34(8): 59-61. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-1379.2012.08.021.
- [11] FENG Lian, HU Chuang min, CHEN Xiao ling, et al. Assessment of inundation changes of Poyang lake using MODIS observations between 2000 and 2010[J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 121: 80-92.
- [12] DING Xiao wen, LI Xiao feng. Monitoring of the water area variations of lake Dongting in China with ENVISAT ASAR images[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2011, 13: 894-901.
- [13] 刘宁.南水北调中线一期工程丹江口大坝加高方案的论证和决策[J].水利学报,2006,37(8):899-905.(LIU Ning. Study on heighting schemes of Danjiangkou reservoir for first stage of middle route south to north water transfer project. [J]. Journal of Hydraulic engineering, 2006, 37(8): 899-905. (in Chinese))
- [14] 段秋亚,孟令奎,樊志伟,等.GF-1卫星影像水体信息提取方法的适用性研究[J].国土资源遥感,2015,27(4):79-84.(DU AN Qiu ya, MENG Ling kui, FAN Zhi wei, et al. Applicability of the water information extraction method based on GF-1 image[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2015, 27(4): 79-84. (in Chinese)) DOI: 10.6046/gtzxyg.2015.04.13.
- [15] 全国水雨情网站.丹江口水库实时水情[EB/OL].http://xxfb.hydroinfo.gov.cn/index.html,2016-5-5/2016-7-8.(The National Hydrological Information Website. Realtime hydrological information of Danjiangkou reservoir[EB/OL].http://xxfb.hydroinfo.gov.cn/index.html,2016-5-5/2016-7-8. (in Chinese))
- [16] 曹荣龙,李存军,刘良云,等.基于水体指数的密云水库面积提取及变化监测[J].测绘科学,2008,33(2):158-160.(CAO Rong long, LI Cun jun, LIU Liang yun, et al. Extracting Miyun reservoir water area and monitoring its change based

- on a revised normalized difference water index [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2008, 33(2): 158-160. (in Chinese) DOI: 10.3771/j.issn.1009-2307.2008.02.054.
- [17] M cfeeter S K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(7): 1425-1432.
- [18] XU Hai-qiu. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(14): 3025-3033.
- [19] SHih S F. Comparison of ELAS classifications and density slicing Landsat data for water surface area assessment [J]. *Hydrologic Applications of Space Technology*, 1985. 160: 91-97.
- [20] 郭鹏. 基于 MODIS 和 HJ-1 数据的宿鸭湖水库面积遥感监测研究 [J]. *气象与环境研究*, 2014, 37(3): 49-54. (GUO Peng. Remote sensing research of the water area of Suyahu reservoir based on MODIS and HJ-1 images [J]. *Meteorological and Environmental Sciences*. 2014, 37(3): 49-54. (in Chinese)) DOI: 10.16765/j.cnki.1673-7148.2014.03.015.
- [21] 黄金龙, 陶辉, 王艳君, 等. 基于 MODIS 遥感影像的湖水水体面积与水位关系 [J]. *农业工程学报*, 2012, 28(23): 140-146. (HUANG Jir long, TAO Hui, WANG Yarr jun, et al. Analysis on relationship between water level and water area of lake based on MODIS image [J]. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(23): 140-146. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn1002-6819.2012.23.019
- [22] 田雨, 林宗坚, 卢秀山, 等. 基于 RS 的水库水位面积曲线测定 [J]. *南水北调及水利科技*, 2007, 5(1): 58-60. (TIAN Yu, LIN Zong-jian, LU Xir shan et al. Reservoir water level water surface curve measurement based on RS [J]. *South North Water Transfer and Water Science & Technology*, 2007, 5(1): 58-60. (in Chinese))
- [23] WANG Chang yao, ZHAO Ying shi, ZHANG Sheng-kai. A study on the water area changes in the north China plain by using remote sensing Technology [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1988, 6(3): 227-233. DOI: 10.1007/s13131-014-0482-x
- [24] SUN Fang-di, ZHAO Yu-ai yuan, PENG Gong, et al. Monitoring dynamic changes of global land cover types: fluctuations of major lakes in China every 8 days during 2000-2010 [J]. *Geography*, 59(2): 171-189. DOI: 10.1007/s11434-013-0045-0
- [25] 陈辉. 南水北调中线水源区的生态补偿及其机制的构建 [J]. *城市建设理论研究*, 2012, (36). (CHEN Hui. Ecological compensation and mechanism construction in the water source area of Middle Route South to North Water Transfer project [J]. *Research of Urban Construction Theory*, 2012, (36). (in Chinese))
- [26] 白金明, 张中旺. 南水北调中线工程对襄阳市水资源持续利用影响与对策 [J]. *水文*, 2013, 33(4): 88-91. (BAI Jir ming, ZHANG Zhong-wang. Influence of middle route project of south to north water transfer on sustainable utilization of water resources in Xiangyang city and concerned Countermeasures [J]. *Journal of China Hydrology*, 2013, 33(4): 88-91. (in Chinese))
- [27] 王银堂, 胡四一, 周全林, 等. 南水北调中线工程水量优化调度研究 [J]. *水科学展*, 2001, 12(1): 72-80. (WANG Yir tang, HU Si yi, ZHOU Quar lin, et al. Optimal water operation for the water transfer project from south to north (middle route) [J]. *Advance in Water Science*, 2001, 12(1): 72-80. (in Chinese))
- [28] 张忠波, 张双虎, 蒋云钟. 南水北调中线一期工程水量调度方案制定分析 [J]. *南水北调与水利科技*, 2011, 9(6): 5-9. (ZHANG Zhong-bo, ZHANG Shuang-hu, JIANG Yur zhong. The analysis of working out the first stage of the middle route south to north water diversion project scheduling schemes [J]. *South to North Water Diversion and Water Science & Technology*, 2011, 9(6): 5-9. (in Chinese)) DOI: 10.3724/SP.J.1201.2011.06005