

陈诚,谢映,陈燕丽,等. 基于 Sentinel-1A 的青狮潭水库水体面积监测[J]. 气象研究与应用,2022,43(4):26–31.

Chen Cheng, Xie Ying, Chen Yanli, et al. Water area monitoring of Qingshitian Reservoir based on Sentinel-1A [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(4): 26–31.

基于 Sentinel-1A 的青狮潭水库水体面积监测

陈 诚¹, 谢 映¹, 陈燕丽^{1*}, 莫建飞¹, 李明志²

(1. 广西壮族自治区气象科学研究所, 南宁 530022; 2. 百色市气象局, 广西 百色 533000)

摘要: 青狮潭水库是广西北部第一大水库, 水体变化对桂林市的漓江黄金水道调控有着重要影响。基于 Sentinel-1A 遥感数据, 利用结合地形数据的阈值法对青狮潭水库进行水体面积监测。结果表明, 2019 年 3—12 月期间, 水库水体面积为 0.16–0.25 hm², 水库面积空间变化主要集中在库区的西南侧和北侧; 经与光学遥感监测定性对比, SAR 影像提取水体准确, 与目视解译的水体进行定量分析表明水体提取精度为 93.58%, Kappa 系数 0.945, 可满足水文监测需求。连续的监测结果可以为库区及其下游的生态管理、防汛抗旱工作提供参考。

关键词: 合成孔径雷达(SAR); 水体识别; 水库监测; 时间序列分析; Sentinel-1A 卫星

中图分类号: P237

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.4.05

引言

水库对于地区地表水文调节具有重要的作用^[1], 监测水库的面积变化对地区的农业生产、生态环境评价、防灾减灾等均具有较大的意义^[2–3]。近年来, 受全球气候变暖影响, 广西区域或局地极端天气事件频发多发^[4–5]。广西壮族自治区气候中心的报告指出, 2020、2021 年桂北地区夏季均发生暴雨洪涝, 而秋季则转为干旱^[6–7]。暴雨洪涝和干旱的急转使得广西北部水库的防汛抗旱压力较大^[8]。

鉴于传统方法依赖水文资料监测水库水体并不能很好地展现实际水体时空变化特征, 许多学者利用多时相光学遥感影像提取水体面积, 以弥补时空变化信息的不足^[9–10], 如张行清等^[10]利用环境与灾害监测预报小卫星 HJ-1 资料监测广西水库面积变化, 刘诗燕等^[11]结合数字高程模型(DEM)与淹没频率优化的水体方法获取水库月尺度变化, 张闻松等^[12]利用陆地卫星 Landsat8 获取了全国湖泊最大水域面积, 成效显著。但广西地处低纬、天气复杂多变, 全年云覆盖天数较多, 光学遥感能够获取的晴空影

像数量较少^[10], 并且难以预估晴空影像的时间间隔, 对监测水体变化情况造成了困难。合成孔径雷达(SAR)遥感卫星利用微波遥感成像, 能够穿透透雨, 避免了光学遥感被云层遮挡的问题, 适用于云下遥感监测^[13–15]。如 Uddin 等^[16]基于阈值法获取了孟加拉国 2017 年 3、4 月的洪涝淹没范围, 制图结果能够为灾害分析提供支撑; 黄萍等^[17]利用先验类别信息和协变量校准模型对两处内陆和沿海湿地景观水体分类, 提取了鄱阳湖的水体面积。根据 SAR 的成像原理, 水体与非水体在反射强度上有显著差异, 因此可以基于反射强度阈值进行水体与非水体的区分, 但在地形起伏较大的区域, SAR 遥感电磁波无法到达山体背面产生阴影, 阴影反射强度与水体相近, 山体阴影易与水体信息混淆, 仅利用图像阈值难以区分, 给山区水体的辨别及水体面积时空变化监测带来诸多不确定性。因此, 能否利用 SAR 卫星获取广西山区水库的水体时空变化情况是值得探索的问题。

选取青狮潭水库为研究区, 以 Sentinel-1A 卫星为影像数据源, 结合地形数据对水体面积进行提取, 根据 2019 年 3—12 月共 25 期研究区 SAR 影像, 分

收稿日期: 2022-04-20

基金项目: 广西气象科研计划项目(桂气科 2022QN13、桂气科 2021ZL04)

作者简介: 陈诚(1994—), 男, 工程师, 研究方向为遥感数字图像处理。E-mail: ccf185@163.com

* 通讯作者: 陈燕丽(1982—), 女, 正研级高级工程师, 研究方向为生态遥感技术应用。E-mail: cyl0505@sina.com

析研究区水体面积变化趋势, 结合库区降水数据探究青狮潭水库的面积变化时空特征, 为广西水库遥感监测提供参考。

1 资料和方法

1.1 研究区

青狮潭水库位于广西南岭山脉南侧、桂林市灵川县境内, 始建于 1958 年, 总库容为 $6 \times 10^8 \text{m}^3$, 是广西第四、广西北部第一大的水库, 也是桂北水库群最

大的水库。青狮潭水库地处广西暴雨中心地带, 库区多年平均降水量达 2400mm, 其中 40% 以上的降水集中在 6—8 月^[18]。水库来水主要来源于上游的东江和西江, 年均来水量 $8.4 \times 10^8 \text{m}^3$, 库区水体通过大坝后流向甘棠江, 流经灵川县城后汇入漓江, 在漓江黄金水道调控上具有重要作用, 掌握青狮潭水库的水体变化情况是掌握漓江水文情势的重要环节之一。为方便研究, 选取图 1 红框区域为研究区, 总面积约为 4.65hm^2 。

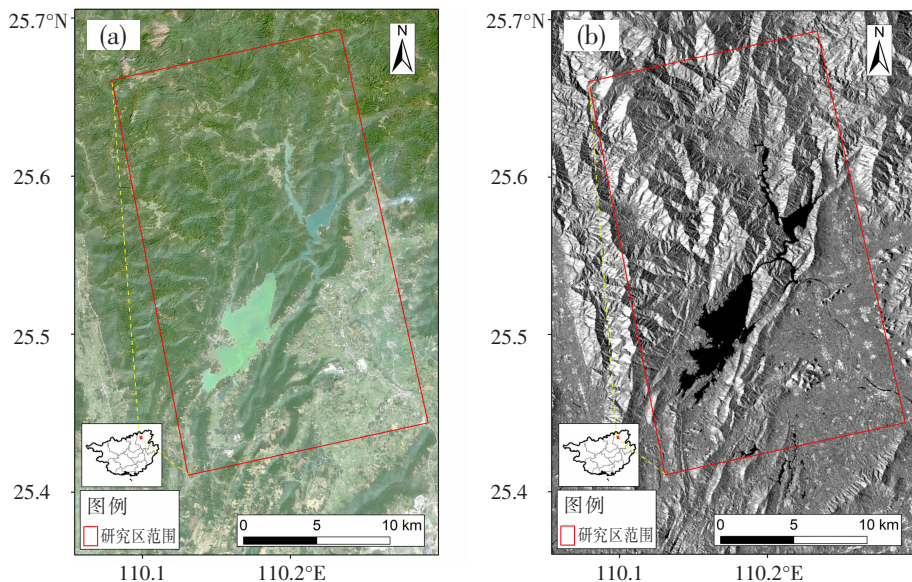


图 1 研究区遥感影像

1.2 数据来源

(1) 遥感数据: 收集了 2019 年 3 月 7 日—12 月 20 日共 25 景 SAR 影像和参考光学影像。其中, SAR 数据来源于欧洲空间局 (ESA) 的哨兵一号 (Sentinel-1A) 卫星一级地距 (GRD) 产品, 获取网址为 <https://scihub.copernicus.eu/>。成像模式为干涉宽带 (IW), 工作波段为 C 波段, 工作频率为 5.4505GHz, 重访周期为 12d, 地面分辨率为 10m, 影像幅宽为 250km, 极化方式为 VV+VH 双极化, 成像角度在 $29.1^\circ \sim 46.0^\circ$ 之间, Sentinel-1 IW GRD 级数据是由单视复数影像经过多视处理、采用 WGS84 椭球投影至地距的聚焦数据, 因此地距坐标是斜距坐标投影至地球椭球后的成果; 参考光学遥感影像来源于 ESA 的哨兵二号 (Sentinel-2A) 卫星 (图 1), 影像日期为 2019 年 3 月 12 日。

(2) 气象数据: 选用青狮潭自动站 2019 年逐日气象数据, 来源于广西气象数字档案馆。

(3) 地形数据: 选用 30m 分辨率的 DEM, 来源于 NASA 航天雷达地形任务 (SRTM), 获取网址为 <https://earthexplorer.usgs.gov/>。

1.3 水体提取方法

1.3.1 SAR 数据预处理

根据 SAR 成像和微波散射的原理, 水体和非水体在后向散射强度上存在差异, 其中水体后向散射强度更低, 而非水体高。因此可依据后向散射强度图进行水体与非水体的识别。

对 SAR 数据的预处理步骤包括热噪声消除、轨道校正、边界噪声消除、辐射校正、裁剪、斑点噪声减弱、地形校正等步骤, 所有预处理步骤均在 ESA 提供的 SNAP 处理软件中完成。采用 Gamma 滤波器减少影像斑点噪声, 并平滑后向散射系数。使用 DEM 作为参考进行距离多普勒 (RD) 几何校正, 使用的投影坐标系为 CGCS2000, 使得影像更接近于研究区真实地理坐标。最后, 将处理后的 VV 极化波段转换

为雷达后向散射系数图像,用于水体提取。

1.3.2 提取方法

在提取青狮潭水库水体时,将影像分成“水体”与“非水体”两类,由于水库地处山区,地形起伏较大,SAR 成像时在山体背面易产生阴影,后向散射强度与水体相近,直接利用阈值分类容易将山体阴影判识为水体,因此应结合地形数据对山体阴影进行剔除,以提高识别准确率。利用入射角信息与 DEM 模拟研究区入射角(LIA),将 LIA 较大的区域认定为山体背面予以剔除,根据 Sentinel-1A IW 成像入射角范围介于 $23^{\circ}\sim 46^{\circ}$ 的特点,将影像分类为 $LIA>46^{\circ}$ 与 $LIA\leq 46^{\circ}$ 两类图像,基于 $LIA\leq 46^{\circ}$ 的后向散射图像,利用双峰直方图阈值法确定水体与非水体的最佳分类阈值 T,其中小于 T 部分为水体。对于调整后的最佳分类阈值选定最适 $LIA=a$ 进行二次分类,剔除部分因地形起伏造成的误分类。提取流程如图 2 所示。

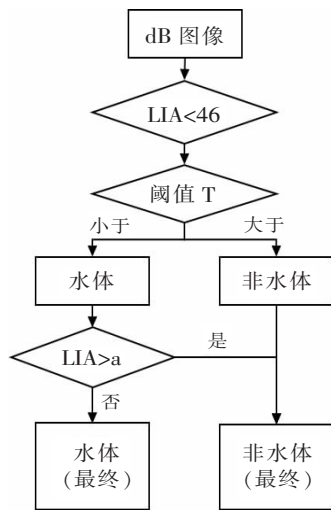


图 2 水体提取方法

2 结果与分析

2.1 水库水体提取精度

对分类精度的评价主要通过 2019 年 3 月 7 日影像的分类正确率与 Kappa 系数进行评价。通过参考 2019 年 3 月 12 日的 Sentinel-2 遥感影像,以水体指数结合目视解译提取水体与非水体样本进行精度的验证。水体总样本量为 195995 个像元,总面积为 0.17hm^2 ;非水体样本量为 1774024 个像元,总面积为 1.77hm^2 。为了保证验证数据的精度,在提取时,

水库区域提取范围与水陆分界线保证约 2 个像元的缓冲区。除利用视觉方法定性分析外,还基于目视解译的水体结果,采用 Kappa 系数和精度定量分析准确性。根据对不同阈值的调整,最终确定本研究的提取图像阈值为 -18.08 、 $LIA=52^{\circ}$,此时水体提取精度最高,其中总体精度为 99.30%,水体精度为 93.58%,Kappa 系数 0.98。2019 年 3 月 7 日、12 月 8 日的提取结果如图 3 所示。

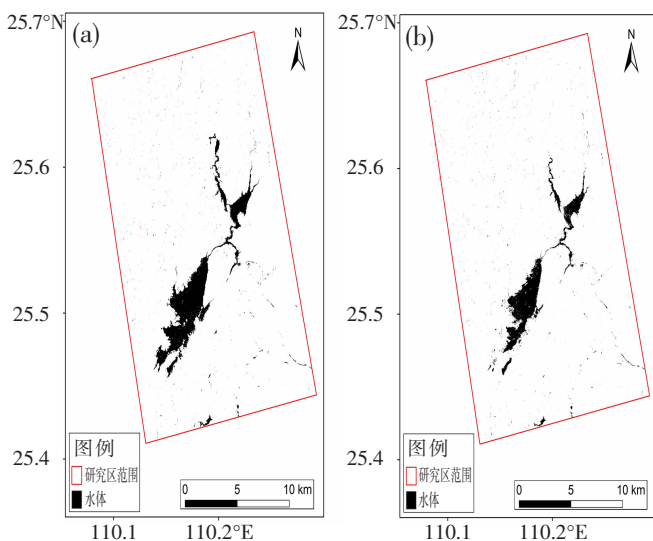


图 3 水体提取结果

(a)2019 年 3 月 7 日;(b)2019 年 12 月 18 日

2.2 水库水体时空变化分析

使用在 2019 年 3 月 7 日—12 月 20 日期间的 25 景 Sentinel-1A 影像进行水体面积的提取,水体面积变化如图 4 所示。2019 年青狮潭水库水体面积呈现春、夏季面积大,秋季面积小的特征,其中 3—7 月水体面积变化幅度较大。监测期间水库平均面积为 0.21hm^2 ,春季(3—5 月)平均水体面积为 0.21hm^2 ,夏季(6—8 月)平均水体面积为 0.23hm^2 ,秋季(9—11 月)平均水体面积为 0.19hm^2 。水库最大面积出现在 2019 年 8 月 10 日,达到 0.25hm^2 ,最小面积出现在 2019 年 12 月 8 日,为 0.16hm^2 。

总体而言,研究时段内水库水体面积有两次减小过程,分别在 2019 年 3 月 7 日—5 月 18 日和 2019 年 8 月 10 日—12 月 20 日期间,而 5 月 18 日—8 月 10 日期间则呈现增大趋势。相比其他时段,水体面积在 5 月 6 日至 6 月 11 日期间变化较大,5 月 6 日—5 月 18 日较 5 月 6 日平均面积变化

率为 $-0.0036\text{hm}^2\cdot\text{d}^{-1}$,面积减小 0.0431hm^2 ,减小趋势显著;5月18日—6月11日水体面积增加了 0.0530hm^2 ,平均面积变化率为 $0.0022\text{hm}^2\cdot\text{d}^{-1}$,水体面积增大。

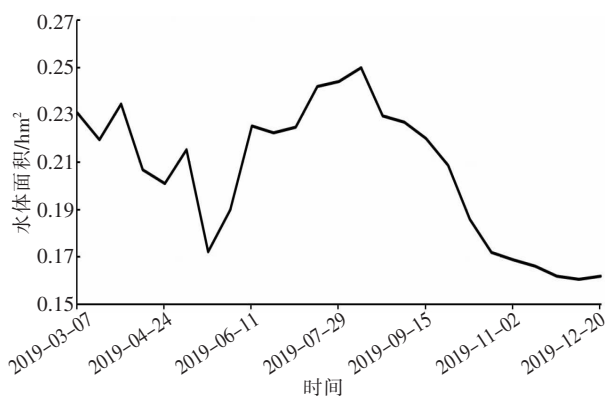


图4 青狮潭水库水体面积变化图
(2019年3月7日—12月20日)

对获得的各时次水体提取结果进行叠加,获得青狮潭水库2019年3月—12月水体分布频数图,如图5所示,最大值为25,表示该像元在25景图像上均为水体,最小值为0,表示该像元在25景图像上均为非水体。水库面积空间变化主要集中在库区的西南侧和北侧,该处地势较为平坦,水库库容增大时水体主要淹没该处;而水库沿山体扩大不明显,水库大坝处水体面积无明显变化。

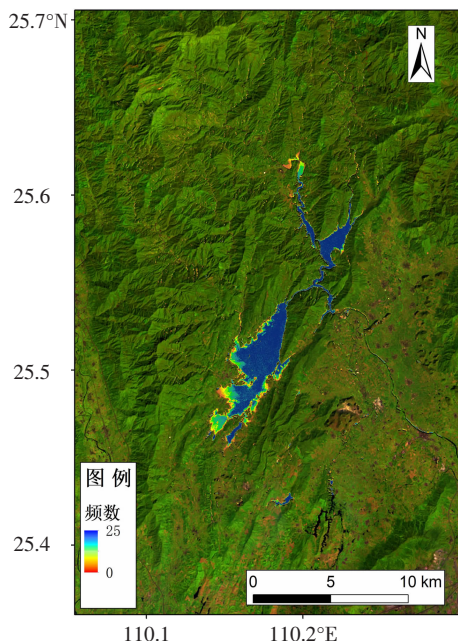


图5 青狮潭水库水体频数图

3 讨论

相较于光学卫星的监测,SAR卫星对于研究区的监测有效的避免了云的遮挡,是多云地区较为理想的遥感数据,能够弥补光学遥感的不足。Sentinel-1A卫星也表现了监测中良好的稳定性。对青狮潭水库水体面积监测结果表明,表明利用10m空间分辨率的Sentinel-1A卫星数据监测具有较高的准确率,即Sentinel-1A卫星可以为类似水库监测工作提供数据源。

在方法上,本文采用的提取方法主要在于避免由于LIA过大造成的类间混淆,降低了双峰直方图阈值法对于水体与非水体之间的比例,表明了LIA在分类时具有有效性,但仍然无法进一步减少由于阈值而造成的混淆。因此,在水体面积更小时,应当进一步缩减目标区域,以换取更高的监测精度。此外,DEM也决定了LIA的准确性,应当在研究区水体面积最大时收集DEM,从而避免由于水下地形造成的LIA过大。

监测的结果显示,水库在2019年3—5月、8—12月有两次水体面积减少过程,而5—8月水体面积增大。按照广西流域边界划分,降雨是青狮潭水库的主要来源,而从用途来看,水库以灌溉为主,兼有供水、防洪等目的。根据统计,5—7月桂北、桂东北频发暴雨^[19-20],因此根据广西汛期气象形势特点,5—8月水体面积增大主要来源于该时段内的集中降水。气象资料表明,该地区2019年的降水集中在3—8月,占全年降水量的94%,其中5月31日—6月11日与7月6日—7月11日两次降水过程12d降水量分别为458mm和655.6mm。因此,可以认为3—5月水体面积减少主要为漓江提供水源保障,兼有为汛期腾退库容的目的,而5—8月水体面积增大则主要受到降水影响,漓江来水充足,水库调蓄来水为秋冬季节径流调节提供保障;8—12月水体面积减少则由于降水稀少,漓江来水不足,需释放库容调节漓江径流,10月21日前后水库水体面积减少趋势有所差异,其中10月21日后水库面积变化速度减缓,可能与水库需保证垫底库容有关。从空间上来看,水库面积空间变化主要集中在库区的西南侧和北侧,分别位于灵川县公平乡和兰田瑶族乡境内,参考光学遥感影像,水库面积变化区域的地表覆盖以草地为主,部分地区为裸地。

青狮潭水库也是广西暴雨较为集中的地区,结

合气象数据虽然可以解释部分水体面积变化的原因,但水体面积受到地形、人工调控等多方面因素的影响,因此如何定量的评估降水与水库水体面积变化关系,仍需进一步研究。此外,由于 Sentinel-1A 卫星时间分辨率为 12d,限制了广西山区强降雨过程中的水体变化监测能力,仍然有必要采用高分 3 号等多源 SAR 卫星进行数据的补充。

4 结论

利用 Sentinel-1A 遥感影像对广西北部山区的青狮潭水库开展遥感监测。针对 SAR 卫星成像特点,利用阈值法结合 DEM 对水体进行提取,利用 3 月 12 日的 Sentinel-2A 光学影像验证,3 月 7 日 Sentinel-1A 提取总体精度为 99.30%, 水体精度为 93.58%,提取结果可靠,满足水文监测的需求,表明 Sentinel-1A 是多云地区监测地表水体良好的数据源。利用 2019 年 3 月 7 日—12 月 20 日共计 25 期 SAR 影像对青狮潭水库进行监测,监测结果揭示了青狮潭水库 2019 年 3 月—12 月的时空变化特征,水库最大面积出现在 2019 年 8 月 10 日,达到 0.25hm²,最小面积出现在 2019 年 12 月 8 日,为 0.16hm²。水库面积空间变化主要集中在库区的西南侧和北侧。监测成果可为库区以及漓江的生态管理、防汛抗旱工作提供依据。

致谢 此次遥感数据来源于 ESA,降水数据来源于广西气象数据档案馆,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

[1] 赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 自然资源学报, 2003, 18(4): 443-452.

[2] Duan Z, Gao H, Ke C. Estimation of lake outflow from the poorly gauged Lake Tana (Ethiopia) using satellite remote sensing data[J]. Remote Sensing, 2018, 10(7): 1060.

[3] 贺秋华, 余德清, 余姝辰, 等. 三峡水库运行前后洞庭湖水资源量变化[J]. 地球科学, 2021, 46(1): 15.

[4] Chen Y. Multiple-scale characteristics of the extreme rainfall over South China during the pre-summer rainy season: Statistic analysis and a case study[D]. Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2018.

[5] 欧坚莲, 汤中明, 黄恩恩, 等. 2014—2020 年梧州市短时大暴雨雷达回波特征分析[J]. 气象研究与应用, 2022, 43(1): 20-25.

[6] 李妍君, 陆甲, 李艳兰, 等. 2020 年广西气候概况[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(2): 100-104.

[7] 秦川, 何洁琳, 李艳兰, 等. 2021 年广西气候概况[J]. 气象研究与应用, 2022, 43(1): 84-89.

[8] 莫建飞, 钟仕全, 陈燕丽, 等. 极端降水事件下广西流域洪涝社会经济暴露度分析[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 6.

[9] Shen X, Wang D, Mao K, et al. Inundation extent mapping by synthetic aperture radar: A review[J]. Remote Sensing, 2019, 11(7): 879.

[10] 张行清, 丁美花, 陈燕丽, 等. 基于 HJ-1 卫星遥感的广西水库水面监测[J]. 水利学报, 2014, 45(4): 427-434.

[11] 刘诗燕, 蔡晓斌. 结合 DEM 与淹没频率的水库水体动态遥感提取优化方法[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2022, 56(3): 523-531.

[12] 张闻松, 宋春桥. 2022. 中国湖泊分布与变化: 全国尺度遥感监测研究进展与新编目[J]. 遥感学报, 26(1): 92-103.

[13] Bertoldi G, Della Chiesa S, Notarnicola C, et al. Estimation of soil moisture patterns in mountain grasslands by means of SAR RADARSAT2 images and hydrological modeling[J]. Journal of Hydrology, 2014(516): 245-257.

[14] 谷鑫志, 曾庆伟, 谌华, 等. 高分三号影像水体信息提取[J]. 遥感学报, 2019, 23(3): 11.

[15] Di Baldassarre G, Schumann G, Brandimarte L, et al. Timely low resolution SAR imagery to support floodplain modelling: a case study review[J]. Surveys in geophysics, 2011, 32(3): 255-269.

[16] Uddin K, Matin M A, Meyer F J. Operational flood mapping using multi-temporal sentinel-1 SAR images: a case study from Bangladesh[J]. Remote Sensing, 2019, 11(13): 1581.

[17] 黄萍, 许小华, 李德龙. 基于 Sentinel-1 卫星数据快速提取鄱阳湖水体面积[J]. 水资源研究, 2018, 7(5): 9.

[18] 灵川县地方志编纂委员会. 灵川县志[M]. 南宁: 广西人民出版社, 1997.

[19] 刘国忠, 周云霞, 覃月凤, 等. 2020 年广西暴雨灾害天气综述与分析[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(1): 101-106.

[20] 周绍毅, 苏志, 廖雪萍, 等. 基于芝加哥法的桂林市短历时暴雨特征分析[J]. 气象研究与应用, 2019, 40(2): 25-29.

Water area monitoring of Qingshitan Reservoir based on Sentinel-1A

Chen Cheng¹, Xie Ying¹, Chen Yanli^{1*}, Mo Jianfei¹, Li Mingzhi²

(1. Guangxi Institute of Meteorological Sciences, Nanning 530022, China;

2. Baise Meteorological Bureau, Guangxi Baise 533000, China)

Abstract: Qingshitan Reservoir is the largest reservoir in northern Guangxi, and the change of water in Qingshitan Reservoir has an important influence on the Waterway regulation of the Lijiang River in Guilin. Based on Sentinel-1A remote sensing data and topographic data, this study used the threshold method to extract the water surface area of Qingshitan Reservoir. The results showed that the water surface area of Qingshitan Reservoir was 0.16~0.25hm² from March to December 2019, and the spatial variation of the reservoir area was mainly concentrated in the southwest and north sides of the reservoir area; After qualitative comparison with optical remote sensing monitoring, Synthetic Aperture Radar(SAR) images extracted water bodies accurately, and quantitative analysis with visually interpreted water bodies showed that the water extraction accuracy is 93.58%, and the Kappa coefficient was 0.945, which can meet the hydrological monitoring needs. The continuous monitoring results can provide a reference for ecological management, flood control, and drought relief in the reservoir area and its downstream.

Key words: Synthetic Aperture Radar(SAR), water identification, reservoir monitoring, time series analysis; Sentinel-1A satellite