

# 一种遥感影像快速计算水面率的方法

刘璐铭<sup>1</sup>, 殷丽雪<sup>2</sup>, 颜 军<sup>2</sup>, 王新芸<sup>1</sup>, 刘 欢<sup>1</sup>, 蒋晓华<sup>2</sup>, 李先怡<sup>2</sup>

(1 珠海欧比特卫星大数据有限公司 珠海 519080;

2 珠海欧比特宇航科技股份有限公司 珠海 519080)

**摘要:** 为了有效去除阴影噪声对遥感影像水体提取的干扰, 快速准确计算大区域范围内的水面率, 本文提出基于 GF6 (高分六号卫星) 影像, 利用 UWI (Urban Water Index, 城市水体指数) 并结合 FROM-GLC10 (Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover 10, 全球陆地覆盖精细化观测与监测 10) 数据, 通过求交计算和小碎斑删除实现水体提取结果的精细化, 有效消除了阴影等噪声对水体提取的干扰, 实现水面率的快速计算。本文选择中山市作为试验区, 试验区范围广、地物背景复杂, 综合对比本文算法、NDWI (Normalized Water Index, 归一化水体指数) 算法和 TSUWI (Two-Step Urban Water Index, 城市二类水体指数) 算法, 从定性与定量角度分析, 结果表明: 本文算法提取的水体连续完整、漏提和误提较少, 可有效去除阴影、建筑、道路等噪声干扰, 在总体精度、Kappa 系数、错分误差、漏分误差等指标均取得了较好结果。利用 UWI 与 FROM-GLC10 数据相结合计算水面率具有可行性, 为工程化、大面积、快速计算水面率提供了一种新的思路。

**关键词:** UWI; FROM-GLC10; GF6; 水面率; 遥感影像

中图分类号: P237; TP75 文献标志码: A 文章编号: 2095-1000(2023)04-0096-06

DOI: 10.12347/j.ycyk.20221222001

引用格式: 刘璐铭, 殷丽雪, 颜军, 等. 一种遥感影像快速计算水面率的方法[J]. 遥测遥控, 2023, 44(4): 96-101.

## A fast method for calculating water surface ratio in remote sensing images

LIU Luming<sup>1</sup>, YIN Lixue<sup>2</sup>, YAN Jun<sup>2</sup>, WANG Xinyun<sup>1</sup>, LIU Huan<sup>1</sup>, JIANG Xiaohua<sup>2</sup>, LI Xianyi<sup>2</sup>

(1. Zhuhai Orbita Satellite Big Data Co., LTD., Zhuhai 519080, China;

2. Zhuhai Orbita Aerospace Science & Technology Co., LTD., Zhuhai 519080, China)

**Abstract:** In order to remove the influence of shadow noise on water extraction from remote sensing images effectively, and calculate the water surface rate in a large area quickly and accurately, this paper proposes a method which uses the UWI (Urban Water Index) index and FROM-GLC10 (Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover 10) data based on GF6 image to achieve the refinement of water body extraction results through intersection calculation and small speckle deletion, eliminate the interference of shadow noise on water body extraction effectively, and achieve the rapid calculation of water surface ratio. Zhongshan City is selected as the test area in this paper which is large and the ground features are complex. By comparing the algorithm in this paper, NDWI (Normalized Water Index) algorithm and TSUWI (Two-Step Urban Water Index) algorithm, the qualitative and quantitative analysis shows that the water body extracted by the algorithm in this paper is continuous and complete, with fewer omissions and errors, which can remove noise interference such as shadows effectively, buildings and roads, and the best results have been achieved in the overall accuracy, Kappa coefficient, wrong score error, missing error and other indicators. It is concluded that the combination of UWI index and FROM-GLC10 data is feasible to calculate water surface ratio, which provides a new idea for engineering and large-area calculation of water surface ratio quickly.

**Keywords:** UWI; FROM-GLC10; GF6; Water surface ratio; Remote sensing image

**Citation:** LIU Luming, YIN Lixue, YAN Jun, et al. A fast method for calculating water surface ratio in remote sensing images[J].

Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2023, 44(4): 96-101.

## 引 言

水面率是指承载水域功能的水域面积与区域总面积之比,它是城市规划与水系管理的控制性指标,也是水域面积大小的直观表现形式<sup>[1]</sup>。水面率是否合理,影响到城市生态环境功能的正常发挥,关系到聚落环境的宜居程度<sup>[2]</sup>。水面率所涉及水域类型主要包括河流、湖泊、水库、湿地、沼泽、水塘、水坑等自然或人工陆地地表淡水水体<sup>[3]</sup>。

随着遥感技术蓬勃发展,基于遥感影像大面积提取水体成为可能,为水面率快速计算提供新的技术手段。目前,基于遥感影像提取水体方法主要包括:阈值法、水体指数法、面向对象方法、深度学习模型等<sup>[4]</sup>。阈值法<sup>[5]</sup>基于单红外波段水体反射率较低的特性进行识别,此方法简单、便捷,但无法提取小面积水体,且阈值需要多次尝试才能确定;水体指数法<sup>[6]</sup>基于水体光谱特性,构造差值或比值等数学公式突出水体信息,抑制其他背景地物,利用简单波段运算提取水体;面向对象方法<sup>[7]</sup>基于分割思想,将影像分为大小不一的同质对象,结合光谱、纹理等信息区分水体;深度学习<sup>[8-10]</sup>是近些年较为热点的方法,通过搭建不同神经网络模型,训练样本,实现水体提取,但样本勾绘和模型构造往往费时费力,参数调节也存在不确定因素。另外,由于建筑物和山体等遮挡产生的阴影与水体光谱信息接近,用以上方法提取水体时容易与阴影混淆产生大量错误图斑,因此如何快速去除阴影干扰成为众多学者的研究热点。

基于上述原因,本文研究以中山市为例,选择GF6遥感影像,利用UWI提取水体粗结果,结合FROM-GLC10数据剔除建筑、山体阴影等非水体干扰,实现水面率快速计算。

## 1 研究区及数据概况

### 1.1 研究区域

本文选取中山市作为计算水面率的研究区域。中山市是广东省辖地级市,位于北纬22°11'~22°47',东经113°09'~113°46'之间,地处珠江三角洲中部偏南的西江、北江下游出海处,行政管辖面积约1 783.67平方公里,境内平原广阔,山丘起伏,属于亚热带季风气候,光热充足,雨量充沛,东临伶仃洋,珠江八大出海水道中有磨刀门、横门、洪奇沥等三条水道经中山出海<sup>[11]</sup>。市域范围有

外江12条,内河涌1 041条,内河涌总长约2 016.35千米,水系分为平原河网和低山丘陵河网,河网密布,流域宽广,渔业养殖产业发达,河湖鱼塘众多<sup>[12]</sup>。

### 1.2 研究数据

本文选取2景GF-6 PMS(多光谱)影像作为研究数据,主要参数信息如表1所示。数据时相为2020年10月3日和11月5日,影像质量良好,完全覆盖研究区域,经辐射校正、大气校正、正射校正、影像融合、镶嵌匀色等预处理步骤,去掉有云部分,按照中山市陆域边界矢量进行裁剪。

表1 GF6-PMS技术参数

波段名称	光谱范围(μm)	空间分辨率(m)	幅宽(km)
全色波段	0.45~0.90	2	
蓝波段	0.45~0.52		
绿波段	0.52~0.60	8	≥90
红波段	0.63~0.69		
近红波段	0.76~0.90		

研究使用的FROM-GLC10数据<sup>[13]</sup>是清华大学宫鹏教授团队基于2017年Sentinel-2(哨兵2号)数据开发的世界首套10米分辨率的全球地表覆盖产品,分类体系详情如表2所示,主要包括耕地、森林、草地、灌木地、湿地、水体、苔原、人造地表、裸地、冰川和永久积雪,总体精度为72.76%<sup>[14]</sup>。根据其产品名称规则,本研究选择了包含中山市的fromglc10v01\_22\_112.tif数据集,裁剪后得到中山市2017年土地覆盖基础数据。

表2 FROM-GLC10数据分类体系

name	code	类别
Cropland	10	耕地
Forest	20	森林
Grassland	30	草地
Shrubland	40	灌木地
Wetland	50	湿地
Water	60	水体
Tundra	70	苔原
Impervious surface	80	人造地表
Bareland	90	裸地
Snow/Ice	100	冰川和永久积雪

## 2 原理与方法

本文研究思路如图 1 所示。首先，GF6 影像数据经过大气校正、几何校正、影像融合、拼接裁剪等步骤进行预处理，计算 UWI，选择合适阈值二值化后得到水体粗结果；其次，裁剪中山市 FROM-GLC10 数据，按照分类标准将非水部分赋值为 1，水体赋值为 0；然后，将非水部分和基于 GF6 提取的水体粗结果求交得到初始阴影，进一步去除小碎斑实现精细化；最后，水体粗结果减去精细阴影去除非水部分，提取纯净水域，将其矢量化计算水体面积，结合行政区域面积得到水面率结果。

### 2.1 基于 UWI 城市水体指数提取水体粗结果

Wu 等人<sup>[15]</sup>提出利用 UWI 和 USI(Urban Shadow Index, 城市阴影指数)相结合构建两步水体指数法(TSUWI)提取水体，该方法考虑了蓝、绿、红和近红波段，相较于传统的 NDWI 只用到了绿和近红波段，其对光谱信息的应用更加充分，使得水体与背景地物对比明显，减少了与非水部分的混淆，取得了较好的实验效果<sup>[16]</sup>。但该方法采用经验阈值，难以适应于不同时相、不同地方的数据，并且采用本文数据实验发现，利用 UWI 提取的结果中水体完整性较好，但存在大量的建筑、阴影等噪声图斑；利用 USI 提取的结果中阴影等噪声较少，但水体不完整。如果按照原文方法对这两种结果进行求交计算，提出的水体既不完整，也存在较多噪声。

因此，本文只选择一个指数即 UWI，提取水体粗结果，后续结合 FROM-GLC10 数据去除阴影、建筑等噪声。UWI 指数计算公式为：

$$\delta_{UWI} = \frac{\rho_G - 1.1 \times \rho_R - 5.2 \times \rho_{NIR} + 0.4}{|\rho_G - 1.1 \times \rho_R - 5.2 \times \rho_{NIR}|} \quad (1)$$

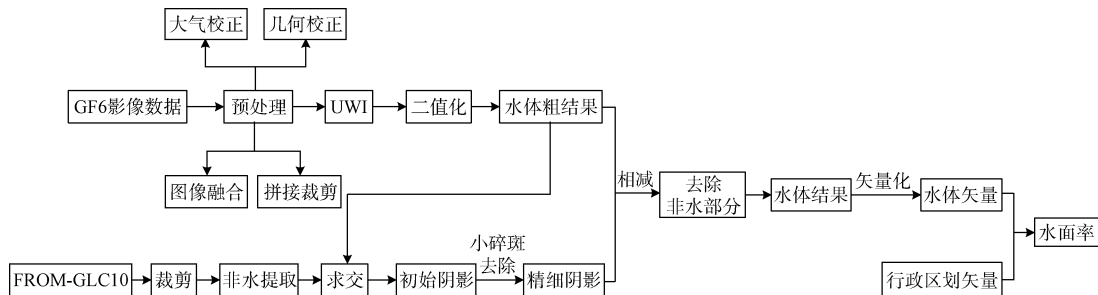


图 1 算法流程图

Fig. 1 Algorithm flow char

式中， $\rho_G$ 、 $\rho_R$ 、 $\rho_{NIR}$  分别为绿光波段、红光波段和近红光波段的反射率。UWI 指数增加了水体和其他地物对比度，选择阈值(一般使用 0)，将该指数二值化后即可得到水体粗结果。

### 2.2 结合 FROM-GLC10 数据去除阴影

基于 UWI 提取的水体粗结果，水体较为完整，但包含了阴影等大量噪声，结合 FROM-GLC10 数据将阴影去除。

首先，将 FROM-GLC10 数据重分为 2 类，水体赋值为 0，非水赋值为 1。由于该数据是基于 Sentinel-2 影像开发的 10 米分辨率土地利用覆盖产品，相较于高分 6 影像 2 米的空间分辨率，该产品结果较为粗糙，因此选择 3×3 的卷积核腐蚀重分类结果，然后重采样成为 2 米，以此减少产品粗糙程度。

其次，将该重采样影像与水体粗结果求交，生成初始阴影，选择 3×3 的卷积核对其腐蚀，使边界向内收缩，去除毛刺和颗粒噪声；设置删除小碎斑阈值，消除大量孤立的碎小斑块，得到精细阴影。

最后，水体粗结果减去精细阴影得到纯净水体结果。

### 2.3 计算水面率

纯净水体栅格影像矢量化生成水体矢量，与原始影像叠加套合，删除、修改错误矢量，补充漏提部分，得到精确水域范围，以此计算水域面积，然后将水域面积与影像面积相除即可生成水面率结果。

### 2.4 其他水体提取算法

#### 2.4.1 NDWI 算法

不同地物由于其物理组成成分不同，对电磁波的吸收、反射能力有差别，反映到遥感影像上表现为不同的光谱特征。水体的光谱曲线在蓝绿

波段吸收较低,其他波段尤其是红外波段吸收率很高,而植被和土壤在该两个波段吸收的能量较小,反射率较高,在这两个波段上水体与植被和土壤有着明显区别。Mcfeeters<sup>[6]</sup>基于上述原理,同时借鉴了归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)的原理构建了归一化水体指数(NDWI),选择绿光波段和近红波段进行归一化差值处理,增强水体信息,抑制背景信息,用于水体提取。NDWI的计算公式如下:

$$\delta_{NDWI} = (\rho_G - \rho_{NIR}) / (\rho_G + \rho_{NIR}) \quad (2)$$

其中,  $\rho_G$  代表绿光波段反射率,  $\rho_{NIR}$  代表近红光波段反射率。

#### 2.4.2 TSUWI算法

TSUWI是Wu<sup>[15]</sup>等人在2018年提出的一种两步城市水体指数,用于排除阴影干扰有效提取城市地表水体,该算法基于光谱分析和对水体纯净像元进行SVM(Support Vector Machines,支持向量机)训练,首先,计算城市水体指数和城市阴影指数这两个子指数,其次,分别确定两个指数各自的阈值,最后,两者取交集实现城市地表水体的自动化提取,能够排除阴影等暗像元对水体提取的影响,相互订正错分误差,达到较高的分类精度。

$$\delta_{UWI} = \frac{\rho_G - 1.1 \times \rho_R - 5.2 \times \rho_{NIR} + 0.4}{|\rho_G - 1.1 \times \rho_R - 5.2 \times \rho_{NIR}|} \quad (3)$$

$$\delta_{USI} = 0.25 \times \rho_G / \rho_R - 0.57 \times \rho_{NIR} / \rho_G - 0.83 \times \rho_B / \rho_R + 1.0 \quad (4)$$

$$\delta_{TSUWI} = (\delta_{UWI} > T_1) \wedge (\delta_{USI} > T_2) \quad (5)$$

式中,  $\rho_B$ 、 $\rho_G$ 、 $\rho_R$ 、 $\rho_{NIR}$  分别代表蓝光波段、绿光波段、红光波段和近红光波段的反射率,  $T_1$ 、 $T_2$  分别为  $\delta_{UWI}$  和  $\delta_{USI}$  的阈值,默认使用0,计算的  $\delta_{TSUWI}$  为二值变量,1代表水体,0代表非水。

#### 2.4.3 算法对比分析

NDWI算法的优点是:能够抑制植被信息,突出水体,计算简单;缺点是:对建筑物和土壤的分离有一定难度;受冰雪、薄云和山体阴影影响较大,适用于地势平坦地区。

TSUWI算法的优点是:在消除阴影干扰等方面有较大优势,适用于城市环境中水体提取;缺点是:UWI和USI的阈值确定较为困难,提取的水体完整性不足且存在噪声。

本文算法的优点是:能有效去除阴影、建筑、

道路等噪声干扰,水体误提、漏提较少,提取的水体完整性好、方便快捷;缺点是:提取精度会受FROM-GLC10数据质量影响。

### 3 效果分析

为验证本文算法效果,选取中山市作为试验区,将本文算法应用于2020年10月3日和11月5日的GF6-PMS影像,计算水面率并与NDWI、TSUWI方法进行对比。其中,NDWI二值化阈值设定为0,TSUWI算法相关参数根据文献[15]进行设置。利用本文算法在基于UWI城市水体指数提取水体粗结果时,二值化阈值设置为-0.2,以此保证水体范围全覆盖;结合FROM-GLC10数据去除阴影时,阈值设置为100,消除面积小于100个像素的碎小图斑实现初始阴影结果的精细化。试验结果如图2所示,三种算法都能提取水体大致范围。

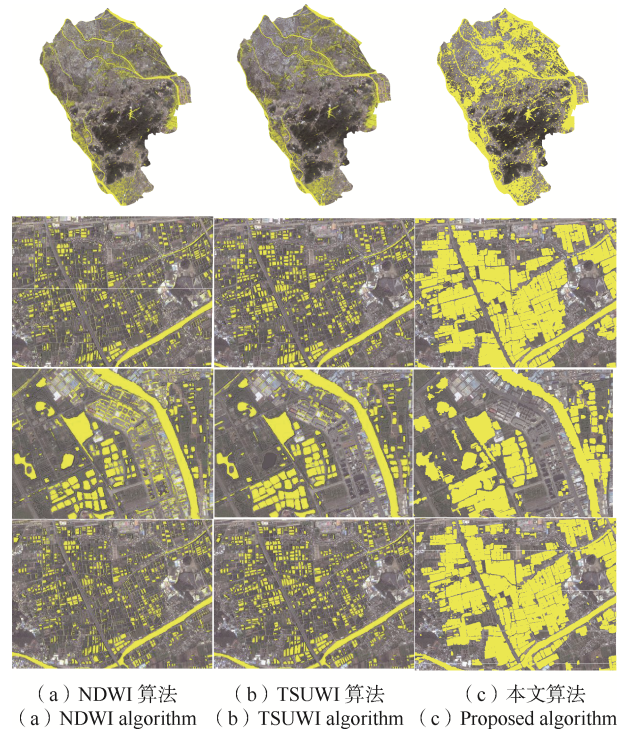


图2 试验结果

Fig. 2 The test results

从目视效果来看,NDWI提取的水体最为粗糙,存在大量漏提和错提现象,尤其是鱼塘、坑塘漏提和阴影、建筑、道路错提;TSUWI方法较NDWI稍好,但由于该算法利用UWI和USI取交集时,无法同时顾及水体和阴影,去除阴影时也

会将正确水体剔除, 存在鱼塘漏提现象较多; 本文算法水体提取结果完整, 无论河道、鱼塘、坑塘还是其他水域, 漏提、错提较少。

从精度检验结果来看, 本文随机选择了 900 个样本点进行精度评价, 样本点分布如图 3 所示, 其中水体样本点 376 个(黄色标识), 非水体样本点 524 个(绿色标识), 精度检验结果如表 3 所示, 本文算法总体分类精度比 NDWI 和 TSUWI 分别提升 16.96% 和 14.41%, Kappa 系数比 NDWI 和 TSUWI 分别提升 48.28% 和 38.71%, 错分误差比 NDWI 和 TSUWI 分别减少 62.04% 和 57.45%, 漏分误差比 NDWI 和 TSUWI 减少 73.02%、70.44%。无论从定性还是定量角度, 本文算法提取的水体更加完整, 错提和漏提更少, 阴影对水体的干扰得到较好抑制, 适合工程化快速统计水面率。利用本文算法提取中山市水域面积约 319.86 平方公里, 中山市陆域面积约为 1 753.99 平方公里(海域不计入内), 因此中山市水面率约为 18.24%。

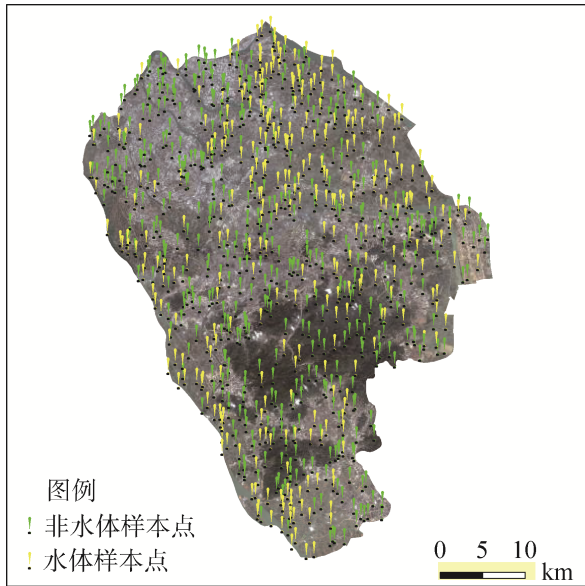


图 3 样本点分布

Fig. 3 Sample point distribution

表 3 精度检验结果

Table 3 Accuracy test result

指标	NDWI	TSUWI	本文算法
总体精度(%)	79.89	81.67	93.44
Kappa 系数	0.58	0.62	0.86
错分误差(%)	17.52	15.63	6.65
漏分误差(%)	32.73	29.87	8.83

### 4 结束语

本文提出利用 UWI 指数与 FROM-GLC10 数据相结合的方法, 基于 GF6 影像计算水面率, 选择中山市作为试验区, 从定性和定量两个角度与 NDWI 和 TSUWI 算法对比, 得到以下结论:

① 对比本文算法和 NDWI 与 TSUWI 算法, 在总体精度、Kappa 系数、错分误差、漏分误差等指标上, 本文算法均表现良好, 提取的水体完整、错误率低, 计算的水面率更加准确, 中山市水面率约为 18.24%。

② 本文算法充分挖掘了 UWI 指数与 FROM-GLC10 数据的优势, 简化了水体和阴影噪声的区分过程, 既保证水域完整性又能减少阴影混淆, 水域漏提和其他地物错提等现象大大减少, 可应用于工程化大面积快速统计某一地区的水面率, 也为人们便捷提取水体提供一种新思路。

### 参考文献

[1] 杨树滩, 仲兆林, 华萍. 江苏省适宜水面率研究[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(7): 31-34.  
YANG Shutan, ZHONG Zhaolin, HUA Ping. Suitable water surface ratio in Jiangsu province[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, 29(7): 31-34.

[2] 陈淑芬, 张建华, 刘建军. 基于温觉阈值气温调节的北方泉水聚落合理水面率研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(S2): 323-327.  
CHEN Shufen, ZHANG Jianhua, LIU Jianjun. Study of proper surface water ratio of the north spring settlement based on temperature sensation threshold regulation[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(S2): 323-327.

[3] 张志飞. 平原河网地区城市人居环境合理水面率研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.

[4] 苏龙飞, 李振轩, 高飞, 等. 遥感影像水体提取研究综述[J]. 国土资源遥感, 2021, 33(1): 9-19.  
SU Longfei, LI Zhenxuan, GAO Fei, et al. A review of remote sensing image water extraction[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2021, 33(1): 9-19.

[5] 周鹏, 谢元礼, 蒋广鑫, 等. 遥感影像水体信息提取研究进展[J]. 遥感信息, 2020, 35(5): 9-18.  
ZHOU Peng, XIE Yuanli, JIANG Guangxin, et al. Advances on water body information extraction from remote sensing imagery[J]. Remote Sensing Information, 2020, 35(5): 9-18.

- [6] MCFEETERS S K. The use of the normalized difference water index(NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7):1425-1432.
- [7] 吴小娟, 肖晨超, 崔振营, 等. "高分二号"卫星数据面向对象的海岸线提取法[J]. 航天返回与遥感, 2015, 36(4): 84-92.  
WU Xiaojuan, XIAO Chenchao, CUI Zhenying, et al. Coastline extraction based on object-oriented method using GF-2 satellite data[J]. Spacecraft Recovery&Remote Sensing, 2015, 36(4): 84-92.
- [8] 梁泽毓. 基于深度学习的多源遥感水体信息提取方法及其应用研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2019.
- [9] 王雪, 隋立春, 钟棉卿, 等. 全卷积神经网络用于遥感影像水体提取[J]. 测绘通报, 2018(6): 41-45.  
WANG Xue, SUI Lichun, ZHONG Mianqing, et al. Fully convolution neural networks for water extraction of remote sensing images[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2018(6): 41-45.
- [10] 梁忠壮, 孟令奎, 谢文君, 等. 基于卷积神经网络的都市水体提取方法研究[J]. 测绘地理信息, 2021, 46(2): 36-39.  
LIANG Zhongzhuang, MENG Lingkui, XIE Wenjun, et al. Research on convolutional neural networks for urban water body extraction[J]. Journal of Geomatics, 2021, 46(2): 36-39.
- [11] 陆海云. 中山市内河环境质量现状与治理方法探讨[J]. 科技创新导报, 2009(8): 108, 110.
- [12] 罗旌生, 高武龙, 黄宏展. 中山市典型饮用水水源现状及环境管理对策[J]. 广东化工, 2011, 38(7): 75, 64.  
LUO Jinsheng, GAO Wulong, HUANG Hongzhan. Status of typical drinking water sources in Zhoushan city and countermeasures[J]. Guangdong Chemical Industry, 2011, 38(7): 75, 64.
- [13] GONG Peng, LIU Han, ZHANG Meinan, et al. Stable classification with limited sample: Transferring a 30-m resolution sample set collected in 2015 to mapping 10-m resolution global land cover in 2017[J]. Science Bulletin, 2019, 64(6): 370-373.
- [14] 任慧群. 地表覆盖产品精度评定样本量估算方法研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2020.
- [15] WU W, LI Q, ZHANG Y, et al. Two-step urban water index (TSUWI): A new technique for high-resolution mapping of urban surface water[J]. Remote Sensing, 2018, 10(11): 1704.
- [16] 尹德威, 闫新珠. 基于改进TSUWI算法在山西矿山复杂水体提取中的应用研究[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(29): 6-9.

#### [作者简介]

刘璐铭 1993年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为摄影测量与遥感应用和图像处理。

殷丽雪 1997年生, 本科, 助理工程师, 主要研究方向为遥感水环境应用。

颜 军 1962年生, 博士, 工程师, 主要研究方向为卫星与大数据应用。

王新芸 1995年生, 本科, 助理工程师, 主要研究方向为国土资源遥感解译。

刘 欢 1992年生, 本科, 助理工程师, 主要研究方向为遥感数据处理。

蒋晓华 1978年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为遥感大数据应用。

李先怡 1985年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为遥感图像处理与研究。

(本文编辑: 傅 杰)