doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.02.004

基于GEE平台的广西地表水时空特征分析

岑　铭[1]
（1. 广西壮族自治区水利电力勘测设计研究院有限责任公司，广西 南宁 530023）

摘　要：基于GEE平台分析1990—2020年广西主要地表水类型的时空变化特征，基于澄碧河、达开、青狮潭和洪潮江水库等实验区对常见的光谱水体指数（NDWI、MNDWI、AWEI、MBWI、WI_{2015}和TCW）的实用性和稳定性进行分析，挑选适合于广西地区水体信息提取的最优指标，然后将其集成于GEE平台研究广西主要地表水类型的时空变化特征。研究表明AWEI水体指数阈值稳定，有很好的实用性，更适合于广西地区地表水信息提取和长时间序列的监测。1990—2020年各个大型水库地表水的面积变化都不尽相同，面积变化较大，研究成果可为广西水资源动态管理提供科学、客观的基础数据。

关键词：地表水；GEE平台；Landsat数据；广西地区
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）02-0017-06

Spatio-temporal Characteristic Analysis of Surface Water in Guangxi Based on GEE Platform

CEN Ming[1]
(1. Guangxi Zhuang Autonomous Region Water Conservancy and Electric Power Survey and Design Research Institute Co., Ltd.,Nanning 530023, China)

Abstract: Based on the GEE platform, we analyzed the spatio-temporal change characteristics of the main surface water types in Guangxi from 1990 to 2020. We analyzed the practicability and stability of NDWI, MNDWI, AWEI, MBWI, WI2015 and TCW, and selected the optimal index suitable for water body information extraction in Guangxi at first. And then, we integrated into the GEE platform to study the spatio-temporal change characteristics of the main surface water types in Guangxi. The research shows that the threshold value of AWEI water body index is stable, has good practicability, and is more suitable for surface water information extraction and long-term monitoring in Guangxi. From 1990 to 2020, the surface water area of each large-scale reservoir changed differently, and the area change was more drastic. The results can provide scientific and objective basic data for the dynamic management of water resources in Guangxi.

Key words: surface water, GEE platform, Landsat data, Guangxi Region

目前，利用长时间序列数据进行广西地区主要地表水类型动态监测的研究相对较少，因此本文将不同水体指数进行对比和分析，挑选出最优的光谱水体指数，基于Google Earth Engine利用Landsat系列数据对1990—2020年广西地区主要地表水类型进行时空变化特征分析[1-13]。

1　数据和方法

1.1　研究区概况

广西地区位于中国南部沿海，地势四周高，中部与南部低。属亚热带季风气候，全区大部地区热量丰富，雨水丰沛，干湿分明。本文在研究区范围内选取了4个典型的实验区来测试各光谱水体指数的实用性和稳定性，详细信息见表1。

1.2　数据源

本文利用1990—2020年所有可用的Landsat5 TM和Landsat8 OLI大气表观反射率遥感数据作为主要数据源，其中Landsat7 ETM+由于存在条带，研究中不予采用，通过GEE平台进行图像筛选和云量去除，选择数据质量较好的Landsat序列影像。

本文在澄碧河水库、达开水库、青狮潭水库和洪潮江水库分别选取了对应的高分二号遥感影像用于精度验证和对比分析，成像时间分别为：2018-08-22、2018-08-18、2018-09-21、2018-06-28。利用二次多项式模型，将Landsat8影像与其对应的准同步高分二号影像进行几何配准，然后将误差控制在0.5个像元内。

1.3　光谱水体指数方法

各光谱水体指数计算公式如表2所示。首先，利

收稿日期：2021-10-18。
项目来源：广西高校中青年教师科研基础能力提升项目（2021KY670）。

用ENVI中波段计算器工具计算各实验区各光谱水体指数，利用最大类间方差（OTSU）自适应阈值方法确定其初始阈值。其次，针对实验区的地表覆盖特点分别选取不同类型的样点，计算这些类型样点在各光谱水体指数影像上的统计量，以确定其取值范围，同时检验初始阈值的合理性。最后，对各光谱水体指数在a、b、c和d实验区的初始阈值求平均值，利用各实验区的初始阈值偏离其的平均阈值的程度来表征各光谱水体指数阈值的稳定性。

表1 研究区4个典型子区域详细信息

典型实验区	区域	GF-2成像时间	Landsat成像时间	主要地表水类型	主要噪声影像
a	澄碧河水库	2018-08-22	2018-08-24	细小河流、水库	湿地、水生植被
b	达开水库	2018-08-18	2018-08-21	河流、水库	细小河流、湿泥滩
c	青狮潭水库	2018-09-21	2018-09-18	水库	山体阴影
d	洪潮江水库	2018-06-28	2018-07-01	水库、河流	水生植被、山体阴影

表2 各光谱水体指数详情

光谱水体指数	引用	计算公式
NDWI	McFeeters,1996[8]	(ρb2 −ρb4)/ (ρb2 +ρb4)
MNDWI	徐涵秋,2006[9]	(ρb2 −ρb5)/ (ρb2 +ρb5)
AWEI	Feyisa,2014[10]	4(ρb2−ρb5)−(0.25ρb4 + 2.75ρb7) ρb1 +2.5ρb2−1.5(ρb4 +ρb5)−0.25ρb7
TCW	Crist,1985[11]	0.031 5ρb1 +0.202ρb2+0.310 2ρb3+0.159 4ρb4−0.680 6ρb5−0.610 9ρb7
WI_{2015}	Fisher,2016[12]	1.720 4+171ρb2+3ρb3−70ρb4−45ρb5−71ρb7
MBWI	王晓彪,2018[13]	2ρb3−ρb3−ρb5−ρb6−ρb7

1.4 水体提取精度检验

对高分二号遥感影像[14]进行人工目视解译，得到高分影像地表水提取结果，利用基于格网的统计方法验证同区域Landsat地表水提取精度，具体为利用ArcGIS软件在a、b、c和d实验区分别建立渔网，网格大小为900×900 m^2，分别计算高分二号和Landsat地表水提取结果在各网格内的面积，通过计算两者之间的相关系数对分类结果进行精度评价。

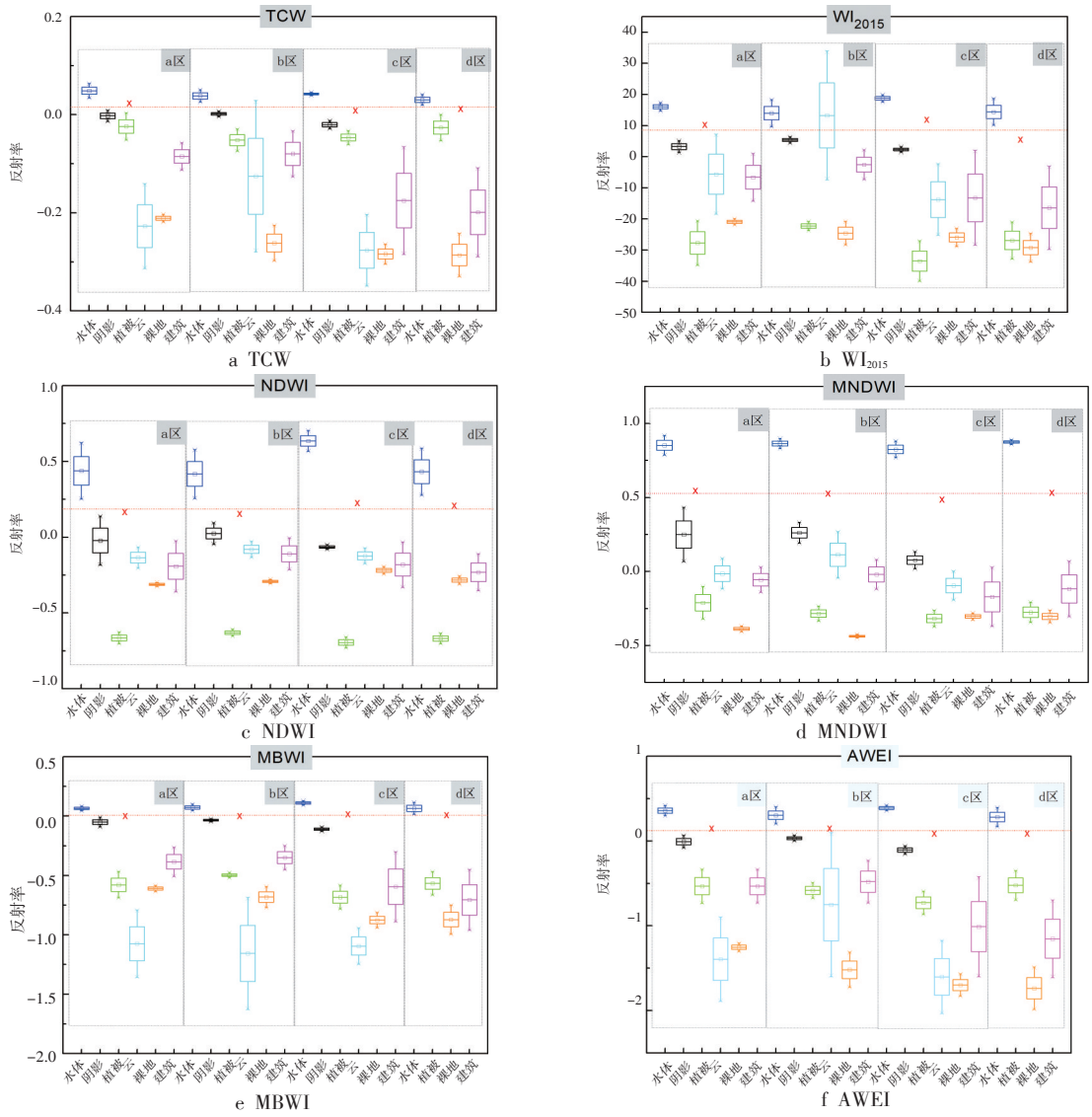
2 结果与分析

2.1 各光谱水体指数的对比分析

各光谱水体指数在各实验区域的阈值波动范围和稳定性分析。如图1所示，由于光谱水体指数增强水体信息，而削弱其他类型地物信息，所以水体会集中分布在图中上方区域，而其他类型地物均分布在下方区域。在垂直方向上，代表水体信息的取值区间（图中蓝色小方块）与其他5种类型地物取值区间无交集的区域，可视为水体和背景地物可分离的阈值波动区间。从图1a和1b可以看出，WI_{2015}和TCW在b区域不能较好地区分云和水体，容易造成错分。图1c、1d中NDWI的阈值波动范围较大，从b区的0.16变动到c区的0.27，变化幅度为0.16~0.27；MNDWI也存在同样的问题，变化幅度为0.46~0.62；NDWI和MNDWI在各区域的平均阈值分别为0.22和0.54，在不同的区域NDWI和MNDWI阈值出现较大的波动，阈值稳定性较差。而且1d中MNDWI阈值波动区间比较宽，经过统计分析发现，这个区间内的像元均为水体和背景地类产生的混合像元，说明在水体分类过程中MNDWI对混合像元的处理存在不确定性，从而影响结果数据的提取精度。虽然1e中MBWI阈值较稳定，但阈值波动区间较窄，在应用于长时间序列的水体变化监测中 很容易造成水体信息的错分现象。而1f中AWEI的平均阈值与各实验区的初始阈值比较接近，变化幅度仅为0.08~0.1，阈值稳定性较好。而且AWEI阈值波动区间相对较窄，这也是AWEI光谱水体指数具有较好的实用性和稳定性的一种表现形式。

2.2 分类结果精度验证

通过对各典型实验区精度定量评价发现，图2a、b、c、d各区域中，R^2分别为0.949、0.963、0.993和

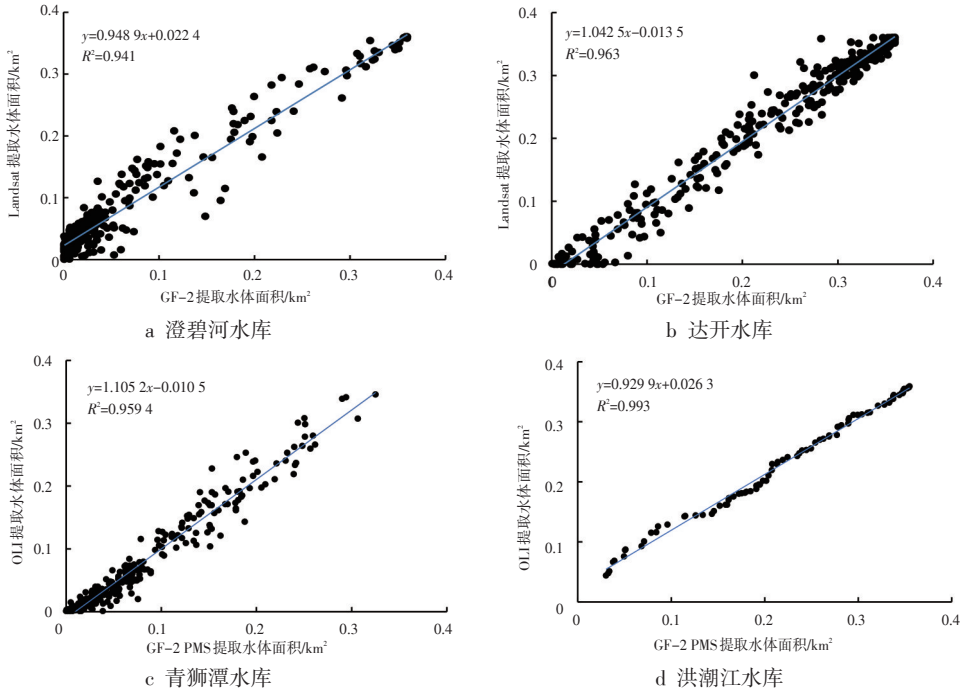


a TCW　　b WI_{2015}

c NDWI　　d MNDWI

e MBWI　　f AWEI

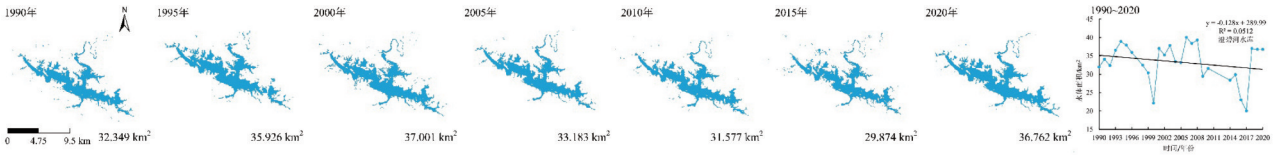
图1　不同类型地物在各光谱水体指数上的阈值的波动及分布图



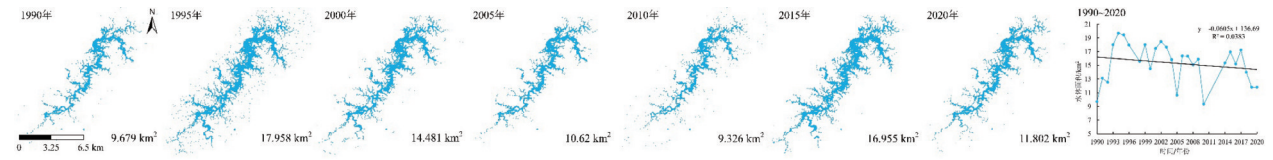
a 澄碧河水库　　b 达开水库

c 青狮潭水库　　d 洪潮江水库

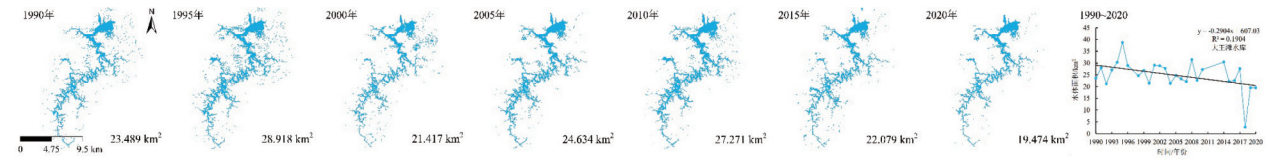
图2　典型实验区精度检验散点图



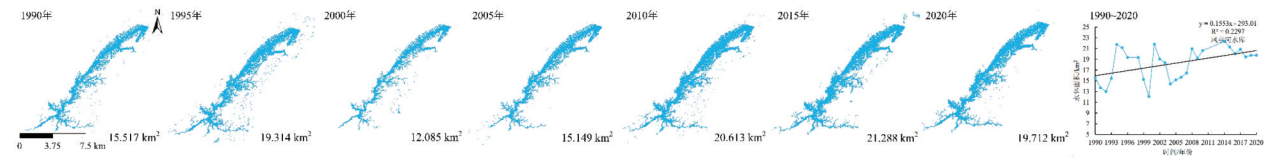
a 澄碧河水库



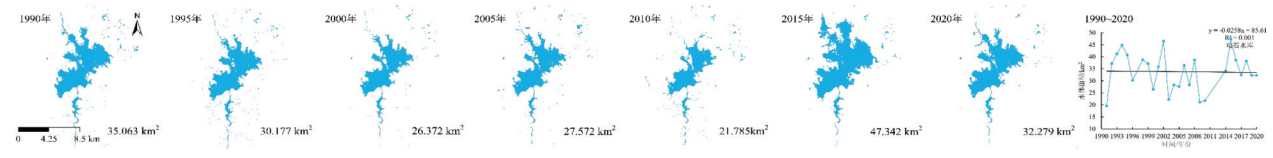
b 达开水库



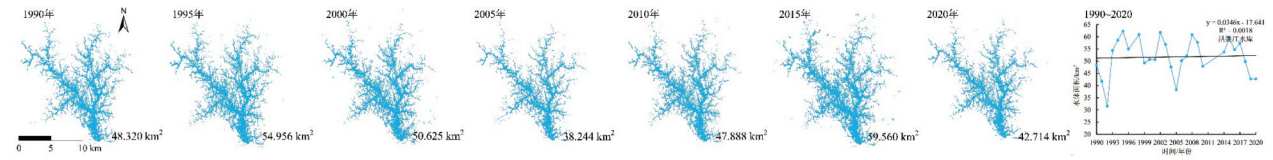
c 大王滩水库



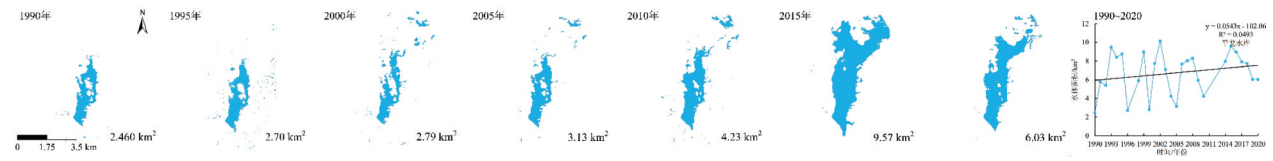
d 凤亭河水库



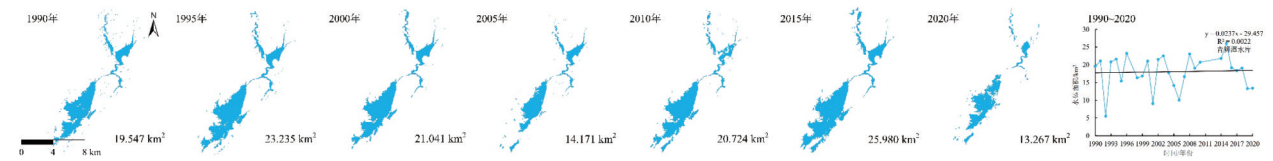
e 龟石



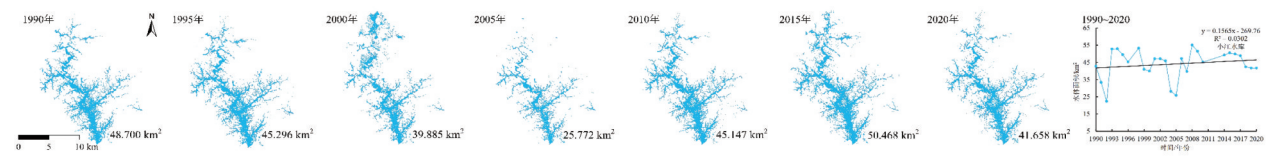
f 潮洪江



g 平龙水库



h 青狮潭



i 小江水库

图3 1990—2020年广西地区主要地表水类型变化情况

0.959，基于AWEI光谱水体指数提取的结果与高分二号影像目视解译结果有较好的相关性，提取结果整体上较为一致。说明基于AWEI光谱水体指数的提取方法精度较高，可以满足研究要求。

2.3　模型应用及广西主要地表水类型的时空变化

2.3.1　模型应用

研究表明光谱水体指数AWEI具有较好的实用性和稳定性，因此我们将此算法集成到GEE中，利用AWEI光谱水体指数结合UTSU自适应阈值分割方法进行1990—2020年广西地区主要地表水类型的自动提取与识别。

从图3b、c、f和i地表水提取结果中可以看出，对于形状复杂的地表水类型AWEI可以很好地刻画和捕捉水体信息的细节变化和空间分布，说明AWEI水体指数具有较好精度和实用性。

2.3.2　时空变化特征

图3显示了1990—2020年广西地区主要类型地表水面积的动态变化，1990—2020年每个水库的面积变化都不尽相同，其中面积变化较大的水库分别为澄碧河水库、大王滩水库、凤亭河水库和平龙水库，年变化速率分别为−0.128 km^2/a、−0.290 4 km^2/a、0.155 3 km^2/a、0.054 3 km^2/a。其中近30 a澄碧河水库、达开水库、大王滩水库和小江水库水体面积有所缩减，而凤亭河水库、平龙水库面积有所增加，其他的水库地表水变化不明显。

3　讨　论

随着Google Earth Engine平台不断发展，如今GEE在各个领域得到了广泛的应用和推广，其中国产的遥感云计算平台也在高速地发展和完善，相比传统方法而言，利用遥感云计算进行大尺度地理研究已经变成一种趋势。GEE平台的出现为全面的监测研究区水体信息提供了可能，通过海量遥感数据的筛选和云量去除可以获取到高质量的遥感影像，快速的计算能力大大缩短了影像处理的周期[15]。

之前大量学者已经对广西地区主要地表水类型的变化进行监测，但受到获取影像时云的影响导致可用的高质量的影像极为有限，所以对于研究区的地表水主要集中在少数几个大型水库而开展。考虑到在不同的背景地类或不同的环境下各光谱水体指数具有各自的优势和局限性[12]，对比了6种常用的光谱水体指数，最终选择表现最稳定的AWEI集成于GEE平台进行广西地区主要地表水类型的识别和提取，并分析了其年际变化特征。结果表明1990—2020年每个水库地表水的面积变化都不尽相同，其中面积变化较大的水库分别为：澄碧河水库、大王滩水库、凤亭河水库和平龙水库，年变化速率分别为−0.128 km^2/a、−0.290 4 km^2/a、0.155 3 km^2/a、0.054 3 km^2/a。

4　结　论

本文基于GEE平台研究了1990—2020年广西主要地表水的类型时空变化特征，实验证明AWEI水体指数阈值较稳定，有很好的实用性，更适合于研究区的地表水识别和提取，将AWEI光谱水体指数集成于GEE遥感云计算平台可高效快速地进行广西地区地表水的识别和提取。

参考文献

[1] 高建东，冯棣. 1998—2017年海河流域水资源变化趋势分析[J]. 灌溉排水学报，2019，38(增刊): 101-105

[2] Song C Q，Huang B.Remote Sensing of Alpine Lake Water Environment Changes on the Tibetan Plateau and Surroundings: A Review [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing，2014，92(1): 26-37

[3] Vandijk A I，Renzullo L J. Water Resource Monitoring Systems and the Role of Satellite Observations[J]. Hydrology and Earth System Sciences，2010，15(1): 39-55

[4] Yang Y H，Liu Y X，Zhou M X et al. Landsat8 OLI Image Based Terrestrial Water Extraction from Heterogeneous Backgrounds Using a Reflectance Homogenization Approach[J]. Remote Sensing of Environment，2015，171(12): 14-32

[5] Sheng Y W，Song C Q，Wang J D，et al. Representative Lake Water Extent Mapping at Continental Scales Using Multitemporal Landsat8 Imagery[J]. Remote Sensing of Environment，2016，185(2): 129-141

[6] Zhang H Y，Fan J W，Cao W，et al. Response of Wind Erosion Dynamics to Climate Change and Human Ain Inner Mongolia，China During 1990—2015[J]. Science of the Total Environment，2018，639(9): 1 038-1 050

[7] 杨柳燕，胡志新，何连生，等. 中国湖泊水生态系统区域差异性[M]. 北京: 科学出版社，2013

[8] 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): 1 425-1 432

[9] Xu H Q. Modification of Normalized Difference Water Index (MNDWI) to Enhance Open Water Features in Remote-

ly Sensed Imagery[J]. International Journal of Remote Sensing,2006,27(14): 3 025-3 033

[10] Feyisa G L, Meilby H, Fensholt R, et al. Automated Water Extraction Index: a New Technique for Surface Water Mapping Using Landsat Imagery[J]. Remote Sensing of Environment,2014,140(8): 23-35

[11] Crist E P. A TM Tasseled Cap Equivalent Transformation for Reflectance Factor Data[J]. Remote Sensing of Environment,1985,17(3): 301-306

[12] Fisher A,Flood N,Danaher T,et al. Comparing Landsat Water Index Methods for Automated Water Classification in Eastern Australia[J]. Remote Sensing of Environment, 2016, 175(6): 167-182

[13] Wang X B,Xie S P,Zhang X L,et al. A Robust Multi-Band Water Index (MBWI) for Automated Extraction of Surface Water from Landsat8 OLI Imagery[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2018, 68(10): 73-91

[14] Olthof I,Fraser R,Schmitt C,et al. Landsat-based Mapping of Thermokarst Lake Dynamics on the Tuktoyaktuk Coastal Plain, Northwest Territories, Canada Since 1985[J]. Remote Sensing of Environment,2015,168(12): 194-204

[15] Zhou Y, Dong J W, Xiao X M, et al. Continuous Monitoring of Lake Dynamics on the Mongolian Plateau Using all Available Landsat Imagery and Google Earth Engine[J]. Science of the Total Environment,2019,689(10):366-380

作者简介：岑铭（1983—），高级工程师，研究方向为水利水电工程测量、摄影测量与遥感应用。

常用参考文献著录要求

期　　刊 [序号] 主要责任者. 题名：其他题名信息 [文献类型标识 / 文献载体标识]. 刊名，出版年，卷（期）: 起止页码

专　　著 [序号] 主要责任者. 题名：其他题名信息 [文献类型标识 / 文献载体标识]. 出版地：出版者，出版年：引文页码

析出文献 [序号] 析出文献主要责任者. 析出文献题名：其他题名信息 [文献类型标识 / 文献载体标识]// 原文献主要责任者. 原文献题名：其他题名信息. 出版地：出版者，出版年：引文页码

专　　利 [序号] 专利申请者或所有者. 专利题名：专利号 [文献类型标识 / 文献载体标识]. 公告日期或公开日期

电子公告 [序号] 主要责任者. 题名：其他题名信息 [文献类型标识 / 文献载体标识].（更新或修改期）[引用日期]. 获取和访问路径

报纸文章 [序号] 主要责任者. 题名：其他题名信息 [文献类型标识 / 文献载体标识]. 报纸名，出版日期（版次）

附表 1　文献类型和标识代码

参考文献类型	文献类型标识代码
普通图书	M
会议录	C
汇编	G
报纸	N
期刊	J
学位论文	D
报告	R
标准	S
专利	P
数据库	DB
计算机程序	CP
电子公告	EB
档案	A
舆图	CM
数据集	DS
其他	Z

附表 2　电子资源载体和标识代码

电子资源的载体类型	载体类型标识代码
磁带（magnetic tape）	MT
磁盘（disk）	DK
光盘（CD-ROM）	CD
联机网络（online）	OL

注：1、英文和中文参考文献的要求、格式一样。
2、不能少于 7 条。
3、作者人数在 3 个以上时写出 3 个加“等”字，只有 3 个或不足 3 个则全部写出。
4、凡可标注数字对象唯一标注符（doi 码）的，一律标注于该条文献最后，用“.”与之前内容间隔。
5、参考文献在正文中要有与之相对应的标示。参考文献的排序为在正文中首次出现的顺序，对于不能在正文中明确标注的文献，一律放在所有能标注文献的后面。
6、希望本刊文献能得到您的关注。