引文格式：董康,刘文国,刘明旭,等. 利用DEM和遥感影像分析南四湖水位—水面关系[J]. 地理空间信息, 2025, 23(5): 90-93. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2025.05.019

# 利用DEM和遥感影像分析南四湖水位—水面关系

董　康[1]，刘文国[1]，刘明旭[1]，杜　艺[1*]，刘　华[2]
（1. 山东省水利勘测设计院有限公司，山东 济南 250013；2. 华东理工大学 测绘与空间信息工程学院，江西 南昌 330000）

**摘　要：**为查清南四湖不同水位下的水面面积，分析抬高水位后的水面变化，通过采集三维特征线和特征点的方式构建了南四湖的DEM；通过提取各水位下的水面多边形要素计算了其对应的水面面积，并解译了6期已知水位的遥感影像水面面积和分布情况。对比分析发现，两种方法所得水面面积基本相符，证明了DEM和水面面积计算方法的正确性。利用该方法分析了南四湖水位—水面关系，计算了不同蓄水位抬高方案可增加的水面面积，可为扩大南四湖水面方案的可行性论证提供数据支撑，为同类水库和湖泊的水位—水面关系研究提供参考。

**关键词：**DEM；遥感；三维特征线；水位；水面面积
**中图分类号：**P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）05-0090-04

## Water Level and Water Surface Relationship Analysis of Nansi Lake Based on DEM and Remote Sensing Images

DONG Kang[1], LIU Wenguo[1], LIU Mingxu[1], DU Yi[1], LIU Hua[2]
(1. Shandong Survey and Design Institute of Water Conservancy Co., Ltd., Jinan 250013, China;
2. School of Surveying Mapping and Spatial Information Engineering, East China University of Science and Technology, Nanchang 330000, China)

**Abstract:** In order to find out the water surface area of Nansi Lake under different water levels and analyze the changes of water surface after raising the water level, we constructed the DEM of Nansi Lake by collecting 3D feature lines and points, calculated the water surface area corresponding to the water level by extracting the water surface polygon elements under each water level, and interpreted the water surface area and distribution of remote sensing images of known water levels at six time. The comparative analysis result shows that the water surface area obtained by the two methods is basically consistent, proving the correctness of DEM and water surface area calculation method. We used this method to analyze the relationship between water level and water surface area of Nansi Lake, and calculated the water surface area of different water level in different water storage level schemes, which could provide data support for the feasibility study of expanding the water surface area scheme of Nansi Lake, and reference for the water level and water surface relationship research of similar reservoirs and lakes.

**Key words:** DEM, remote sensing, 3D feature line, water level, water surface area

南四湖位于山东省西南部，是南阳湖、独山湖、昭阳湖和微山湖4个相连湖泊的总称，是华北地区最大的淡水湖泊，典型的浅水型堰塞湖。1960年建于昭阳湖区的二级坝枢纽将其分为上级湖和下级湖，上级湖兴利水位为34.5 m，死水位为33.0 m；下级湖兴利水位为32.5 m，死水位为31.5 m。20世纪80年代以来，周边百姓在沿湖地带的湖滩淤地上垦荒辟田、围圩养殖，湖区逐渐成为生产生活场所，湖区内围垦纵横交错，湖区中心成方连片水面面积逐年萎缩，经济和社会效益显著降低[1-3]。国内已有部分学者[4-6]对南四湖的水面面积和分布进行了研究，但南四湖湖区内地形复杂，水面分散，遍布养殖鱼塘、水田、圩埂等人工地貌[7-15]，构建湖区准确的DEM难度较大，且受来水量变化影响，南四湖不同季节的水位变化较大，水面面积随之变化，采用遥感影像提取的水面面积仅能代表拍摄时间的湖区现状。为查清南四湖不同水位下的水面面积，分析抬高水位后的水面变化，本文通过构建DEM来分析南四湖水位—水面关系，并通过解译分析6期不同季节、不同水位的遥感影像水面分布来验证分析结果。

项目来源：国家自然科学基金资助项目（42001411）。
第一作者简介：董康（1988—），硕士，高级工程师，从事水利工程勘测工作，E-mail：dongkang001@126.com。
通信作者：杜艺（1984—），硕士，高级工程师，从事水利工程勘测工作，E-mail：373315260@qq.com。

## 1　数据来源

为分析南四湖水位—水面关系，本文采用的数据包括：①南四湖1∶10 000地形图，图上地形要素丰富，地面和水下高程注记点分布合理，可作为构建南四湖DEM的基础底图；②2020—2021年6期不同季节的南四湖高分一号卫星遥感正射影像，分辨率为2 m，覆盖上、下级湖各3期影像；③2020—2021年南阳水文站和微山水文站的逐日水位观测数据（图1），结合遥感影像拍摄时间可获得遥感影像所对应的水位高程。

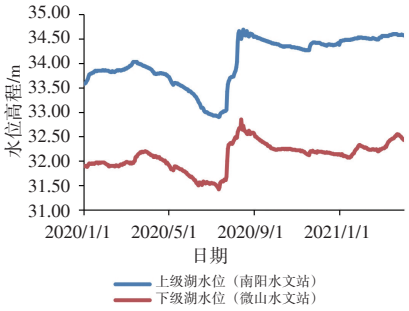
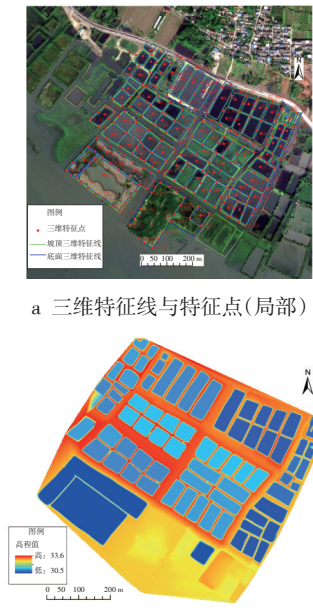



图1　南四湖内水文站逐日水位观测数据

## 2　研究技术路线与方法

1）DEM构建。本文以南四湖1∶10 000地形图为基础底图构建南四湖湖区DEM，分辨率为5 m×5 m。在含有水下地形信息的1∶10 000地形图中采集表现地表和水下地形信息的三维特征线和特征点，主要包括等高线、等深线、地貌线、面状水域水岸线、地表高程点和水下高程点。桥面、涵洞等非地表高程注记点应删除，不参与模型构建；将陡崖、斜坡、双线冲沟等地貌符号转化为等高线；对缺少高程点的山头、凹地、垭口等内插高程特征点或特征线。对于南四湖湖区广泛分布的养殖鱼塘，首先采集鱼塘圩埂双侧坡顶线，并参照附近陆地高程注记点为其赋予高程值；再采集鱼塘底面坡底线，并参照鱼塘水下高程注记点为其赋予高程值，完整表现鱼塘的地形特征（图2a）。三维特征线和特征点采集完成后，将其输入ArcGIS软件中，构建TIN模型，并对其进行检查，修改不合理的三角形，内插生成DEM（图2b）。抽取湖区均匀分布的110个点位，利用GNSS RTK野外实测数据进行对比分析，结果表明高程中误差为0.3 m。

2）水面面积计算。利用构建的DEM计算南四湖




a 三维特征线与特征点（局部）

b DEM（局部）

图2　养殖鱼塘区域的DEM构建

不同水位对应的水面面积，首先确定计算水位 $L_i$；再利用ArcGIS的按属性提取工具将DEM中 $h \leqslant L_i$ 的栅格区域提取为粗略淹没区，认为其存在淹没可能，并利用栅格转面要素工具将粗略淹没区转换为矢量多边形；然后结合DEM判断每个粗略淹没区多边形是否可通过航道、浅槽、沟渠等与湖区连通，可连通则为实际淹没区，删除距离湖区较远且无法与湖区连通的多边形；最后对相邻的破碎多边形进行合并，单个多边形面积大于30 $km^2$的水面为连片水面，其余为零散水面，连片水面与零散水面共同组成水面 $D_i$，计算得到水面 $D_i$ 的面积 $S_i$。

如图3所示，表达水面多边形要素 $D$ 的顶点按顺时针或逆时针组织为 $P_j(j=1,2,3,\cdots,N)$，$N$ 为顶点数。不规则多边形面积的计算公式为：

$$S=\frac{1}{2}\left|\sum_{j=1}^{N}x_j(y_{j+1}-y_{j-1})\right|$$

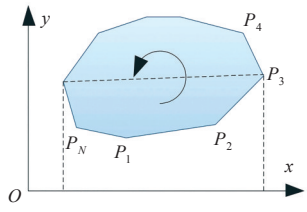



图3　水面面积计算方法

3）遥感影像解译。利用南四湖遥感影像对地表覆盖情况进行解译分析，重点提取水面覆盖情况。其主要流程包括：①通过室内初步解译和相关资料分析

发现，需解译的南四湖主要地类为连片水面、航道浅槽、养殖鱼塘、水田、陆地，因此选取枣林村和万庄村周边作为两个典型解译样区；②外业实地调查主要地类的特征与分布，各地类至少选取10个不同位置的典型实例，拍摄照片并记录地类名称、经纬度、拍摄时间、色彩特征、地貌环境，并与遥感影像建立对应关系，构建解译标志库，确立以形状和色彩特征等直接特征为解译分类基础，结合周边地貌环境关联分析，以护堤林、圩埂、乡村道路等为地类分界参考的解译规则；③采用计算机自动分类与人工目视解译相结合的方式进行解译分类，首先采用监督分类的方法，通过建立典型地物模板进行自动分类提取，再采用人工目视解译的方式对分类结果进行判断，人工修改分类错误或界限错误，并根据野外实际核查情况修正地类分布界线；④将解译结果存储为SHP面数据文件，对矢量数据进行拓扑检查，检查无误后汇总统计各地类面积，结果见图4。

4）结果验证分析。根据南阳水文站和微山水文站的南四湖逐日水位观测数据，获取遥感影像拍摄日期对应的上、下级湖的水位高程。将遥感影像解译水面面积和矢量图形与利用DEM计算的同水位水面面积和矢量图形进行对比，分析其是否一致。

5）抬高蓄水位后的水面变化分析。计算南四湖生态水位至防洪水位区间内每0.5 m高程步长阶梯的水面面积，并增加正常蓄水位和抬高0.3 m、0.5 m、1.0 m三种水位抬高方案，将计算结果整理汇总，并绘制水位—水面关系曲线。提取南四湖正常蓄水位（上级湖34.5 m、下级湖32.5 m）以及水位抬高0.3 m、0.5 m、1.0 m三种方案对应水面的矢量图形，分别统计连片水面和零散水面的面积，并分析相对于正常蓄水位水面的增加面积。

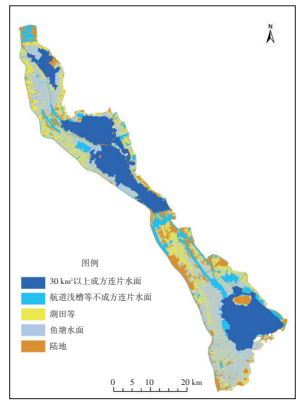



图4 南四湖2021年4月遥感影像解译结果

## 3 研究结果与分析

对DEM和遥感解译两种方法得到的水面分布图形进行对比分析，结果见表1，可以看出，面积差值最大的为2020年10月26日上级湖影像，其余影像差值百分比均小于2%，说明本次遥感影像解译的水面面积与DEM计算的水面面积基本相符，本文构建的DEM准确可靠、水面面积计算方法正确。

在此基础上计算水位—水面关系曲线，并分析抬高蓄水位后的水面变化情况。由水位—水面关系曲线可知，上级湖在水位35.5 m以下时，水面随水位的升高迅速扩大，水位高于35.5 m后水面面积增加不明显；下级湖在水位34.0 m以下时，水面随水位的升高迅速扩大，水位高于34.0 m后水面面积增加不明显。

表1 遥感影像解译水面面积与DEM计算的水面面积对比

| 影像日期 | 湖区 | 水位/m | 遥感影像解译水面面积/km² | DEM计算的水面面积/km² | 面积差值/km² | 差值百分比/% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2020-05-03 | 上级湖 | 33.66 | 545.719 | 539.208 | 6.511 | 1.21 |
| 2020-04-22 | 下级湖 | 32.02 | 545.113 | 547.431 | -2.318 | -0.42 |
| 2020-10-26 | 上级湖 | 34.33 | 544.878 | 568.060 | -23.182 | -4.08 |
| 2020-12-06 | 下级湖 | 32.18 | 550.723 | 550.166 | 0.557 | 0.10 |
| 2021-04-04 | 上级湖 | 34.59 | 564.204 | 574.831 | -10.627 | -1.85 |
| 2021-04-08 | 下级湖 | 32.29 | 569.159 | 574.472 | -5.313 | -0.92 |

本文分析了南四湖抬高蓄水位0.3 m、0.5 m、1.0 m三种方案比正常蓄水位下的连片水面与零散水面的增加面积，结果见表2，正常蓄水位下南四湖水面总面积为1 157.053 km²，其中连片水面为400.049 km²，零散水面为757.005 km²；水位抬高0.3 m水面总面积可增加21.405 km²，其中连片水面9.913 km²；水位抬高0.5 m水面总面积可增加41.642 km²，其中连片水面45.302 km²；水位抬高1.0 m水面总面积可增加75.954 km²，其中连片水面219.509 km²。随着水位的逐渐抬高，在水面总面积增加的同时，部

表2　南四湖抬高水位后的水面面积变化

| 湖区 | 水位/m | 连片水面面积/km² | 零散水面面积/km² | 水面总面积/km² | 连片水面增加/km² | 零散水面增加/km² | 水面总面积增加/km² |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 上级湖 | 34.5 | 244.452 | 328.386 | 572.838 | – | – | – |
| | 34.8 | 249.798 | 328.441 | 578.239 | 5.346 | 0.055 | 5.401 |
| | 35.0 | 281.925 | 304.710 | 586.634 | 37.473 | –23.677 | 13.796 |
| | 35.5 | 384.890 | 212.417 | 597.307 | 140.438 | –115.970 | 24.468 |
| 下级湖 | 32.5 | 155.597 | 428.618 | 584.215 | – | – | – |
| | 32.8 | 160.163 | 440.056 | 600.219 | 4.567 | 11.437 | 16.004 |
| | 33.0 | 163.426 | 448.636 | 612.062 | 7.829 | 20.017 | 27.846 |
| | 33.5 | 234.668 | 401.033 | 635.701 | 79.071 | –27.586 | 51.486 |

分零散水面逐渐相互连通，转变为连片水面，因此抬高南四湖正常蓄水位可有效增加连片水面的面积。

## 4　结　语

本文通过采集三维特征线与特征点的方式构建了南四湖的DEM，计算了不同水位对应的水面面积，并通过与6期已知水位遥感影像解译的水面面积进行对比分析，验证了方法的正确性。在此基础上对南四湖水位—水面关系进行了分析，计算了不同蓄水位抬高方案可增加的水面面积，为扩大南四湖水面方案的可行性论证提供了数据支撑。

## 参考文献


[1] 侯学会,徐洪彪,李新华,等. 近35年南四湖水域面积动态变化及驱动力分析[J]. 山东农业科学,2021,53(6):127-132

[2] 赵玉灵,聂洪峰,杨金中,等. 山东南四湖近30年来水域分布遥感调查与监测[C]//中国遥感应用协会2007年学术年会论文汇编,2007:124-127

[3] 许吉仁,董霁红. 1987—2010年南四湖湿地景观格局变化及其驱动力研究[J]. 湿地科学,2013,11(4):438-445

[4] 周石,李英冰. 2006—2020年南四湖水体面积变化分析[J]. 中国农村水利水电,2021(9):38-43

[5] 李玉凤,王波,李小明. 基于SPOT5影像的山东南四湖地被覆盖分类研究[J]. 遥感技术与应用,2008,23(1):62-66

[6] 梁佳欣,李新举,高峰,等. 近30年南四湖湿地景观类型变化特征[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2018,49(3):433-437

[7] 刘恩峰,侯伟,崔莉,等. 南四湖湿地景观格局变化及原因分析[J]. 湿地科学,2009,7(3):261-265

[8] Liu Y, Lyu J S, Liao X C. Understanding Fishermen's Willingness and Preferences for Eco-compensation of Lake Conservation Projects: A Case Study from Nansi Lake Nature Reserve,China[J]. Environmental Management,2022,70(3):513-525

[9] Liu H,Jiang Y,Misa R,et al. Ecological Environment Changes of Mining Areas Around Nansi Lake with Remote Sensing Monitoring[J]. Environmental Science and Pollution Research,2021,28(32):44 152-44 164

[10] Mbatya W, Qayoom L A T, Sempewo J I. Assessment of Reservoir Sedimentation Level and Storage Capacity Using Remotely Sensed Data for Namadope Reservoir in Luuka District, Uganda[C]. World Environmental and Water Resources Congress 2019: Hydraulics, Waterways, and Water Distribution Systems Analysis, Pittaburgh, Pennsylvania, USA: American Society of Civil Engineers,2019:30-42

[11] 杨佳仪,周佳轩,吴红波. 1992年以来贝加尔湖湖区水位变化特征分析[J]. 地理空间信息,2023,21(9):31-35

[12] 刘力萌,陈兆宁,季民. 基于Sentinel-2卫星数据的洞庭湖面积变化监测[J]. 地理空间信息,2022,20(7):57-60

[13] 赵娅南,王聪华,罗峰,等. 基于SPOT6影像的玛旁雍错湖泊面积变化研究[J]. 地理空间信息,2022,20(5):45-47

[14] Sun W J, Wu Q, Dong D L, et al. Application of Remote Sensing Interpretation in Waterlogged Area Resulted from Mining Subsidence and Water Quality Monitoring[C]// Near-surface Geophysics and Geohazards, USA: Science Press,2010:854-859

[15] 苗正红,杨清臣,邱中军,等. 一种基于激光雷达技术的水库库容计算方法[J]. 地理空间信息,2018,16(5):14-15