引文格式：郑旭霞. 无人机视角下海洋垃圾监测方法与空间分析[J]. 地理空间信息, 2026, 24(3): 99-102. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.03.020

无人机视角下海洋垃圾监测方法与空间分析

郑旭霞
（福建省地质测绘院，福建 福州 350011）

摘　要：现行的近岸海域海洋垃圾监测方法费时费力，监测范围有限，只能局部采样而无法定性分析；现行的垃圾分类法按照垃圾尺寸或材质进行分类，对垃圾溯源与治理具有局限性。基于无人机遥感影像识别海洋垃圾，获取垃圾的分布范围；建立了根据行业和用途的垃圾分类体系，对海洋垃圾进行归纳分类；并通过垃圾分布密度评价海洋垃圾治理成效。利用该方法对三都澳近岸海域海洋垃圾进行遥感信息提取、分析与评价，实现了精准治理，有利于责任归属部门从源头管控。

关键词：无人机；海洋垃圾；分类体系；信息提取；监测
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）03-0099-04

Monitoring Method and Spatial Analysis of Marine Debris from the Perspective of UAV

ZHENG Xuxia
(Fujian Geologic Surveying and Mapping Institutes, Fuzhou 350011, China)

Abstract: The current marine debris monitoring methods in nearshore waters are time-consuming and labor-intensive, with limited monitoring scope restricted to localized sampling and lacking qualitative analysis capabilities. The current marine debris classification systems based on size or material properties also exhibit significant limitations in tracing pollution sources and treatment. We used the unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing images to identify marine debris, and then established a novel classification framework based on industrial origin and functional use. Finally, we used the distribution density of debris to evaluate the effectiveness of marine debris management. We used this method to extract, analyze and evaluate the remote sensing information of marine debris in the nearshore waters of Sandu'ao, achieving precise management, which was conducive to the control of responsible departments from the source.

Key words: UAV, marine debris, classification system, information extraction, monitoring

海洋垃圾[1]是指分布在靠近海岸的滩涂、陆地、岸线沿线海域的人造或经加工被丢弃的固体物质。随着海上养殖、海洋旅游、用海项目、海洋贸易的发展，海洋垃圾成为近岸海域海洋环境的主要污染物，直接伤害海洋生物、破坏生态系统，甚至对人类健康、航运安全产生威胁，进而对海洋经济产生负面效应[2-3]。2017 年 6 月联合国海洋可持续发展大会提出，到 2025 年预防和大幅减少各类海洋污染，特别是陆上活动造成的污染，包括海洋废弃物污染[4]。新修订的《海洋环境保护法》强化了海洋垃圾污染防治以及陆海统筹、区域联动等。福建省作为海洋大省，高度重视海洋生态环境保护，近年来出台了多个相关政策，不断加大海洋垃圾的整治力度。

海洋垃圾因其来源复杂、数量大、流动性强和治理成本高等特点，一直以来都是各国的大难题[5]。目前海洋垃圾监测方法多采用实地打捞调查，监测范围有限、周期漫长，且投入的人力、物力、财力巨大；海洋垃圾分类多根据尺寸或材质，未能掌握垃圾来源，不利于垃圾源头管控。2021 年国家海洋环境监测中心制定了海环保[2021]143 号《近岸重点海域海洋垃圾调查技术指南（试行）》，具体规范了工作人员现场调查海洋垃圾的方法。垃圾监测主要采用实地观测大件垃圾数量、打捞并称重从而获得垃圾分布情况，垃圾按尺寸大小或材质进行分类[6-11]。近年来，无人机在海洋环境保护中的作用越来越重要[12-13]。无人机低空飞行操作便捷，其搭载高分辨率相机和先进的传感器可实时采集高分辨率的影像数据[14-15]，高效覆盖大面积海域，从而实现对海洋垃圾的监测。本文首先利用无人机获取三都澳近岸海域的高分辨率影像；再对影像中的海洋垃圾进行定位，获取垃圾的位置、分布范围和面积，并根据垃圾的色彩、纹理、形态等特征进行分类；最后通过垃圾分布密度对海洋垃圾的治理

项目来源：福建省环保科技计划资助项目（2024R024）。
作者简介：郑旭霞（1977—），本科，高级工程师，主要从事遥感影像信息智能提取与资源环境遥感应用研究工作，E-mail：1534838965@qq.com。

成效进行评价，有利于科学指导海洋垃圾收集、打捞，统筹推进海洋垃圾治理，保障综合治理工作顺利进行，保护生态环境，推进生态文明建设。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

本文选取福建省三都澳近岸海域作为研究区。三都澳四周群山环抱，是世界上罕见的海湖，位于福建省宁德市境内；属中亚热带海洋性季风气候，热量充足、降水丰沛[16]；由鉴江半岛和东冲半岛合抱[17]，口小腹大，南北宽25 km，东西长45 km，湾内海域面积约为714 km^2，唯一出海口为2.6 km宽的东冲口，湾内外的水动力交换条件较差，导致湾内产生的垃圾容易积累。三都澳是我国沿海典型的海水养殖海湾，是全国最大的大黄鱼养殖基地，随着近海水域养殖业捕捞业的迅猛发展，产生了较大的污染，海洋垃圾尤为明显。泡沫浮球、损毁的鱼排、破渔网渔具、塑料瓶等大多难以自然降解，会随洋流或季风漂散，在潮水和地形的作用下，大部分垃圾在落潮后滞留在岸滩，导致海洋生态亮起“红灯”。三都澳四周地物丰富，包括山、河流、田、居民点、旅游景点、港口等，周边人类活动较多，所产生的海洋垃圾类型较多，满足对海洋垃圾的调查分析。

1.2 监测岸段设置

2023年每两个月在湾内较易滞留垃圾的岸段抽取4个岸段进行航拍，每个岸段长度约为3~4 km，宽度范围为以海岸线为中心向陆200 m至向海100 m；共调查24个岸段，涉及海岸线总长83.48 km，约占湾内陆地岸线的17%。监测区域见图1。

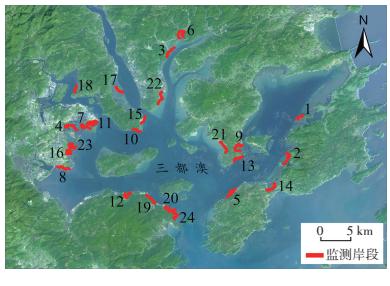


图1 监测区域

1.3 无人机影像获取与处理

采用DJI MatriceM300 RTK无人机搭载DJI ZENMUSE P1相机进行航拍作业。获取各监测岸段影像，数据有效全覆盖，分辨率均优于0.03 m。无人机影像处理采用DJI TERRA软件，基于全数字摄影测量系统进行空三加密，像点精度优于1/3个像素，正射影像精度优于2个像素，成图精度满足1∶500 DOM精度要求，可用于海洋垃圾分类识别与精准定位。

1.4 海洋垃圾信息提取与数据分析

1）监测方法。现行的海洋垃圾监测方法主要调查局部范围内海洋垃圾的重量；而利用遥感影像调查海洋垃圾则关注海洋垃圾的分布投影面积和空间分布情况。由于目前商用高分辨率卫星遥感影像地面分辨率为0.31~1.00 m，地物面积大于1 m^{2}才能被识别，无法识别面积较小的海洋垃圾；而无人机通过调节航拍高度可获取更高分辨率的遥感影像，能满足海洋垃圾分类识别的需求。本文利用无人机获取的遥感影像地面分辨率为0.03 m，且影像色彩丰富，可对海面上漂浮的、岸滩上滞留的垃圾进行定性定量监测，可清楚识别面积为0.01 m^{2}的地物，如矿泉水瓶、塑料餐盒等；当微小垃圾聚集在一起面积超0.01 m^{2}时，可根据其在影像上表现的纹理和色彩进行识别，如小贝壳、玻璃渣等。

2）垃圾分类。目前的海洋垃圾分类标准为按垃圾的尺寸和材质。其中，按尺寸分为特大块（尺寸>1 m）、大块（0.1 m<尺寸≤1 m）、中块（0.025 m≤尺寸≤0.1 m）、小块（尺寸<0.025 m）；按材质分为塑料类、聚苯乙烯泡沫塑料类、玻璃类、金属类、橡胶类、织物（布）类、木制品类、纸类、其他人造物品和无法辨识的材料等。该分类方法虽有利于垃圾处理，但不能反映垃圾来源，无法为垃圾源头管控提供帮助。本文采用的近岸海域海洋垃圾分类方法，主要针对海洋垃圾在无人机影像上的纹理色彩特征，并综合考虑福建省海洋垃圾类型和分布情况，根据行业和用途对海洋垃圾进行分类。分类体系分为两个层次，一级包括渔业垃圾、工业垃圾、生活垃圾、自然垃圾、其他垃圾5类；二级是在一级类型的基础上分为泡沫浮球、废弃渔网渔具、废弃渔船、废弃渔排、废弃撑架、废弃蓬布、其他渔业垃圾；工业废渣、其他工业垃圾；塑料垃圾、废弃家具、其他生活垃圾；水草、其他自然垃圾；其他垃圾15类。该方法直接体现垃圾来源，有利于源头管控。

3）垃圾信息提取。遥感解译样本的建立是快速、高效、精确提取遥感信息的前提[18]。本文在实地调查的基础上，根据海洋垃圾的色彩、色调、纹理、形状、大小、位置、布局等信息[19]，建立各类海洋垃圾的解译标志。根据解译标志和遥感影像工作底图，借助地理信息软件平台，采用自动识别与人机交互相结合的方式解译海洋垃圾信息[20]，获取垃圾分布位置、范围、面积、类型。

4）治理成效评价。现行的海洋垃圾评价方法是通过计算打捞区域单位面积内海洋垃圾的数量或重量进行评价。本文以岸段为单位进行评价，评价指标采用海洋垃圾分布密度（D），即岸线单位长度内向海100 m范围海洋垃圾的分布面积。岸段海洋垃圾治理成效分级见表1。

表1　岸段海洋垃圾治理成效分级

分布密度/(m^2/km)	治理成效等级	现场感官
$0 \leqslant D < 100$	很洁净	很干净，零星垃圾，感觉舒适
$100 \leqslant D < 300$	洁净	干净，少量垃圾，感觉较舒适
$300 \leqslant D < 500$	一般	一般，较多垃圾，感觉不舒适
$500 \leqslant D < 800$	差	脏，很多垃圾，感觉很不舒适
$800 \leqslant D$	极差	非常脏，非常多垃圾，感觉非常不舒适

2　研究结果与分析

2.1　海洋垃圾治理成效分析

本文在三都澳选取24个岸段，采用无人机遥感手段对近岸海域海洋垃圾进行调查，共涉及海岸线83.48 km，覆盖近岸海域范围近8 km^2，获得海洋垃圾覆盖面积为34 510 m^2，平均海洋垃圾分布密度为413 m^2/km。岸段海洋垃圾治理成效评定结果表明，治理成效很洁净的岸段有1条，占比为4%，为6号岸段；治理成效洁净的岸段有8条，占比为33%，分别为9、10、11、15、16、17、18、23号岸段；治理成效一般的岸段有8条，占比为33%，分别为2、4、7、8、12、13、21、24号岸段；治理成效差的岸段有4条，占比为17%，分别为3、14、20、22号岸段；治理成效极差的岸段有3条，占比为13%，分别为1、5、19号岸段。

2.2　海洋垃圾类型分布特征与来源分析

三都澳近岸海域海洋垃圾主要为渔业垃圾、一定量的生活垃圾和自然垃圾、少量工业垃圾和其他垃圾。渔业垃圾分布面积最大，为23 319 m^2，占比为67.6%，其中泡沫浮球、废弃撑架、废弃渔排、废弃蓬布、废弃渔船、废弃渔网渔具的占比分别为44%、22%、17%、7%、5%、5%，还有零星的废弃贝壳。白色泡沫浮球仍是主要问题，浮于水面或丢弃于岸滩或附着于延绳养殖区内；废弃撑架则散落在岸滩或沉浮于水面；废弃鱼排的木制架构破损或堆积杂乱废弃物，丢弃于岸滩或沉浮于水面；废弃渔船停靠在岸边或半沉于水面下；废弃蓬布覆盖于水面或岸滩；废弃渔网渔具滞留于岸滩，呈网布状或麻绳堆叠状。生活垃圾的分布面积为5 346 m^2，占比为15.5%，主要为塑料垃圾和零星的废弃家具。塑料垃圾主要为各种颜色的塑料袋、塑料瓶、塑料桶、塑料编织袋等，倾倒于岸边或沉浮于水中或散落于岸滩；废弃家具包括各种材质，丢弃于岸边。自然垃圾的分布面积为5 132 m^2，占比为14.9%，主要为水草。水草来源于近岸枯败零落的水草、互花米草枯枝和藻类植物等，叠铺于岸滩或成片聚集堆积，滞留于潮间带或悬浮于近岸和堤坝边缘的水域中。工业垃圾的分布面积为433 m^2，占比为1.2%，主要为工业废渣，包括玻璃废渣、陶瓷废渣等固体废弃物。其他垃圾的分布面积为280 m^2，占比为0.8%，主要为丢弃于岸边的建筑废渣、其他混杂的小碎块杂物，浮于水面或因海浪冲刷汇聚于岸边。

3　结　语

本文采用无人机航拍对宁德三都澳近岸海域进行海洋垃圾监测并分类，分析了垃圾治理成效。

1）海洋垃圾监测采用基于无人机的遥感影像获取垃圾信息，掌握垃圾分布位置、范围、面积和垃圾类型。无人机遥感影像时效性强、监测周期短，有利于及时掌握垃圾情况并及时治理。

2）海洋垃圾类型按照行业和用途进行划分，可引导摸清垃圾来源，责任归属到各相关部门，便于源头管控，有效控制垃圾入海。

3）根据海洋垃圾分布密度进行治理成效分级评价，有利于更好地了解海洋垃圾在不同地区的分布情况，从而采取相应的管理措施。

实验结果表明，本文方法实现了海洋垃圾的精准治理，在帮助找出污染源头和垃圾集中分布区域方面效果明显，有利于垃圾源头管控；且该分类体系中的垃圾类型满足福建省海洋垃圾的分类要求。研究结果将使各级政府能够更有效地制定污染治理政策和措施，同时减少相应的成本，提高治理效率，助力美丽海湾建设和新时代生态文明建设。

参考文献

[1] 孙伟,汤宪春,徐艳东,等. 山东省沿岸海域海洋垃圾分布、组成和变化特征[J]. 科学技术与工程,2016,16(18):89-94

[2] Agamuthu P, Mehran S, Norkhairah A, et al. Marine Debris: A Review of Impacts and Global Initiatives[J]. Waste Management & Research,2019,37(10):987-1002

[3] 纪思琪. 厦门湾海洋塑料垃圾来源定量及其政策研究[D]. 厦门:厦门大学,2019

[4] 李道季,朱礼鑫,常思远,等. 海洋微塑料污染研究发展态势及存在问题[J]. 华东师范大学学报(自然科学版),2019(3):

174-185

[5] 戴红,杨毕铖,颜露露,等. 厦门海域海漂垃圾现状及治理建议[J]. 海洋开发与管理,2018,35(11):67-71

[6] 许海超,周灵青,王杰,等. 浙江省三门县海域海洋垃圾监测研究初探[J]. 环境生态学,2024,6(5):50-56

[7] 张婉晴. 辽西海洋垃圾和微塑料时空分布特征与来源分析[D]. 大连:大连海事大学,2022

[8] Andrew P,Alex K,Chinthaka H. An Assessment of Floating Marine Debris Within the Breakwaters of the University of the South Pacific, Marine Studies Campus at Laucala Bay[J]. Marine Pollution Bulletin,2022,174:113290

[9] Kesavan S,Jayakumar N,Santhoshkumar S,et al. Dynamics of Marine Debris in the Point Calimere Wildlife and Bird Sanctuary Wetland,Southeastern Coast of India[J]. Ocean and Coastal Management,2024,251:107097

[10] 邓炜华,唐俊逸,罗育池,等. 广东省海洋垃圾污染特征、来源及风险评价[J]. 海洋环境科学,2024,43(5):696-706

[11] 黄备,罗韩燕,王婕妤,等. 杭州湾海洋垃圾污染的调查与分析[J]. 海洋环境科学,2024,43(5):707-714

[12] 程帆,丁宁,彭天驰,等.便携式无人机在地理国情应急监测系统的应用[J]. 地理空间信息,2022,20(8):136-138

[13] Andriolo U, Gonçalves G, Hidaka M, et al. Marine Litter Weight Estimation from UAV Imagery: Three Potential Methodologies to Advance Macrolitter Reports[J]. Marine Pollution Bulletin,2024,202:116405

[14] 胡守超,常增亮,何其祎,等. 基于地物地貌的低空无人机测绘智能化航线规划研究[J]. 地理空间信息,2025,23(2):65-68

[15] 全昌文,李翔,盘贻峰,等. 中航时无人机在自然资源调查监测中的应用[J]. 地理空间信息,2024,22(6):57-60

[16] 肖集泓,赖敏英,李媚,等. 宁德三都澳海岛马尾松林群落特征及物种多样性[J]. 生态学报,2023,43(23):9827-9843

[17] 林建国. 2010—2021年三都澳富营养化变化及污染物来源分析[J]. 海洋环境科学,2025,44(1):97-106

[18] 沈佳洁,曹侃,祁信舒. 自然资源要素遥感智能解译样本分类体系研究[J]. 地理空间信息,2023,21(4):103-106

[19] Andriolo U,Gonçalves G,Rangel-Buitrago N,et al. Drones for Litter Mapping: An Inter-operator Concordance Test in Marking Beached Items on Aerial Images[J]. Marine Pollution Bulletin,2021,169:112542

[20] 周志伟. 基于无人机遥感和计算机解译的岸滩塑料垃圾监测技术[D]. 上海:华东师范大学,2022

(上接第86页)

特征可视化和检核参数设置，提升计算效率与判别精度；②增强空间自适应，在训练中引入随机旋转、缩放、噪声注入，增强模型对几何变换的鲁棒性；③引入领域知识，在损失函数中加入地理约束（如方向一致性惩罚项）或将长度、面积等几何属性作为辅助输入等。深化该研究不仅能推动地理学理论应用的创新，也是实现地理信息空间要素提取智能化的有益探索。未来需加强对多尺度要素耦合机制探索，结合AI技术不断优化动态相似性判别模型。

参考文献

[1] 张晓滨,杨东山. 基于时间约束的Hausdorff距离的时空轨迹相似度量[J]. 计算机应用研究,2017,34(7):2077-2079

[2] 安晓亚,刘平芝,杨云,等. 一种线状要素几何相似性度量方法及其应用[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2015,40(9):1225-1229

[3] 刘明洋,何清燕,蒋辉霞,等. 基于动态时间扭曲距离的水文相似预测方法研究[J]. 人民长江,2019,50(增刊1):56-59

[4] 郑诗语,邱芹军,谢忠,等. 基于XLNet的多数据源中文地名匹配方法[J]. 地理空间信息,2024,22(8):59-63

[5] 卞月楼,陆振宇,葛泉波,等. 基于注意力机制和特征金字塔的孪生卷积神经网络目标跟踪算法[J]. 计算机应用与软件,2023,40(2):178-185

[6] 徐先峰,张丽,郎彬,等. 引入感知模型的改进孪生卷积神经网络实现人脸识别算法研究[J]. 电子学报,2020,48(4):643-647

[7] 林娜,孙鹏林,王玉莹,等. 多尺度特征孪生神经网络的建筑物变化检测方法[J]. 测绘科学,2022,47(5):185-192

[8] 张伟良,刘琦,吴长彬,等. 基于孪生神经网络的土地利用现状年度变化检测[J]. 测绘通报,2021(3):91-95

[9] 郑增荣,刘斌,肖星星,等. 基于孪生神经网络的矿区GNSS三维形变预测模型研究[J]. 煤炭技术,2025,44(3):183-187

[10] 徐立,成毅,葛文,等. 利用孪生多层感知机进行线状要素几何相似性判别[J]. 测绘科学技术学报,2019,36(3):298-303

[11] 李奕霖,周艳平. 基于孪生网络和字词向量结合的文本相似度匹配[J]. 计算机系统应用,2022,31(10):295-302

[12] 于碧辉,王加存. 孪生网络中文语义匹配方法的研究[J]. 小型微型计算机系统,2021,42(2):231-234

[13] 冯艳红,于红,孙庚,等. 基于BLSTM的命名实体识别方法[J]. 计算机科学,2018,45(2):261-268

[14] 冯建强,宋昆仑. 基于CEEMDAN-LSTM的桥梁变形时间序列预测研究[J]. 地理空间信息,2023,21(7):40-43

[15] 葛磊蛟,赵康,孙永辉,等. 基于孪生网络和长短时记忆网络结合的配电网短期负荷预测[J]. 电力系统自动化,2021,45(23):41-50

[16] 徐菲菲,冯东升. 基于注意力机制的Siamese-BiLSTM短文本相似度算法[J]. 计算机应用与软件,2022,39(4):281-286