

团 体 标 准

T/GDSES XXXXX

海漂垃圾无人机调查技术规范

Technical specification for UAV-based survey
of floating marine litter

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语与定义 1

4 总体要求 2

5 工作流程 3

6 无人机通用作业规范 3

7 海漂垃圾调查专项要求 4

8 垃圾信息提取与识别 6

9 现场调查与数据验证 6

10 分布特征分析 7

11 成果要求 8

附 录 A （资料性） 海漂垃圾无人机调查记录表 9

附 录 B （资料性） 海漂垃圾无人机调查报告提纲 10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广西大学、广东海洋大学、延边大学、厦门大学、中国科学院南海海洋研究所、厦门蓝海天信息技术有限公司、广西壮族自治区海洋环境监测中心站提出，由广东省环境科学学会归口。

本文件起草单位：广西大学、广东海洋大学、延边大学、厦门大学、中国科学院南海海洋研究所、厦门蓝海天信息技术有限公司、广西壮族自治区海洋环境监测中心站。

本文件主要起草人：徐向荣、李承勇、李海威、周静雅、余克服、蔡明刚、陈凯、李恒翔、刘晓东、江红蕾、代振清、孙瑞坤、黄荣永、柯宏伟、崔博文、刘双印、卢志勇、庄海东、蓝文陆、邓琰。

本文件首次制定。

海漂垃圾无人机调查技术规范

1 范围

本文件规定了利用无人机开展海漂垃圾调查的总体要求、工作流程、无人机通用作业规范、海漂垃圾调查专项要求、垃圾信息提取与识别、现场调查与数据验证、分布特征分析和成果要求。

本文件适用于利用无人机平台开展海漂垃圾调查工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 14950 摄影测量与遥感术语

CH/Z 3001 无人机航摄安全作业基本要求

3 术语与定义

GB/T 14950、CH/Z 3001 界定的术语和定义，以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

海漂垃圾 floating marine litter

漂浮于海面的固体废弃物，受风力、潮流作用发生移动。

3.2

无人机 unmanned aerial vehicle

由动力驱动、机上无人驾驶、可重复使用的航空器，具有遥控、半自主、自主三种飞行控制方式。

[来源：CH/Z 3001—2010，3.1]

3.3

遥感 remote sensing

不接触物体本身，用传感器收集目标物的电磁波信息，经处理、分析后，识别目标物、揭示其几何、物理特征和相互关系及其变化规律的现代科学技术。

[来源：GB/T 14950—2009，3.1]

3.4

航向重叠 longitudinal overlap

本航线内相邻像片上具有同一地区影像的部分，通常以百分比表示。

[来源：GB/T 14950—2009，4.53]

3.5

地面采样距离 ground sampling distance (GSD)

亦称地面分辨率。遥感影像中相邻像元中心在地面上的实际距离，单位为米（m）。

3.6

无人机元数据 UAV metadata

描述无人机影像、调查数据等基本特征的信息，包括拍摄时间、飞行位置、飞行高度、传感器参数、数据处理方法等。

3.7

识别准确率 recognition accuracy

无人机正确识别的垃圾数量占现场清查垃圾总数量的百分比。

4 总体要求

4.1 调查对象与分类

4.1.1 调查对象

本文件调查对象为海漂垃圾，即漂浮于海面的固体废弃物，受风力、潮流作用发生移动。

4.1.2 分类指标

调查对象按以下两个维度进行分类，见表1。

表1 海漂垃圾分类维度

分类维度	类别
材质	塑料、聚苯乙烯泡沫、木制品、纤维、橡胶、其他。
尺寸等级	特大块（>100 cm）、大块（10 cm<尺寸≤100 cm）、中块（2.5 cm<尺寸≤10 cm）。

4.1.3 统计与记录要求

调查过程中应完整记录各类垃圾的数量及占比。垃圾数量按“件”计。尺寸统计应按以下要求执行：

- a) 每件可识别的垃圾宜记录其尺寸等级；
- b) 统计结果应包含各尺寸等级垃圾的数量和占比；
- c) 具备条件时，可对典型垃圾记录尺寸估算值，用于辅助校核。

4.2 调查内容

调查内容见表2。

表2 调查内容

项目	内容
数量与构成	垃圾数量（件）及按材质、尺寸分类的数量和占比
数据整理	无人机影像、标注信息、统计结果及无人机元数据的收集与归档

4.3 调查区域与调查单元划分

4.3.1 调查区域选择

调查区域应具有代表性，并保障飞行安全。宜优先选择生态敏感区或历史污染严重的近岸海域。

4.3.2 调查单元划分

海面区域调查单元按等间距航线划分，确保航线航向重叠满足要求，实现调查区域完整覆盖。

4.4 调查时间与频次

4.4.1 调查时间

调查应避免恶劣天气条件。海漂垃圾调查宜选择风浪平静时段开展，宜选择平潮时段。海漂垃圾的调查范围应根据调查目的、无人机续航能力及海岸带地形特征确定，宜覆盖自海岸线向海一侧的近岸海域。

4.4.2 调查频次

海漂垃圾调查频次宜根据管理需求定期开展，具体频次由调查组织方结合季节特征及污染变化趋势确定。

5 工作流程

海漂垃圾无人机调查工作流程包括调查方案制定、无人机航摄实施、垃圾信息提取与识别、现场调查与数据验证、分布特征分析与成果输出等环节，工作流程见图1。

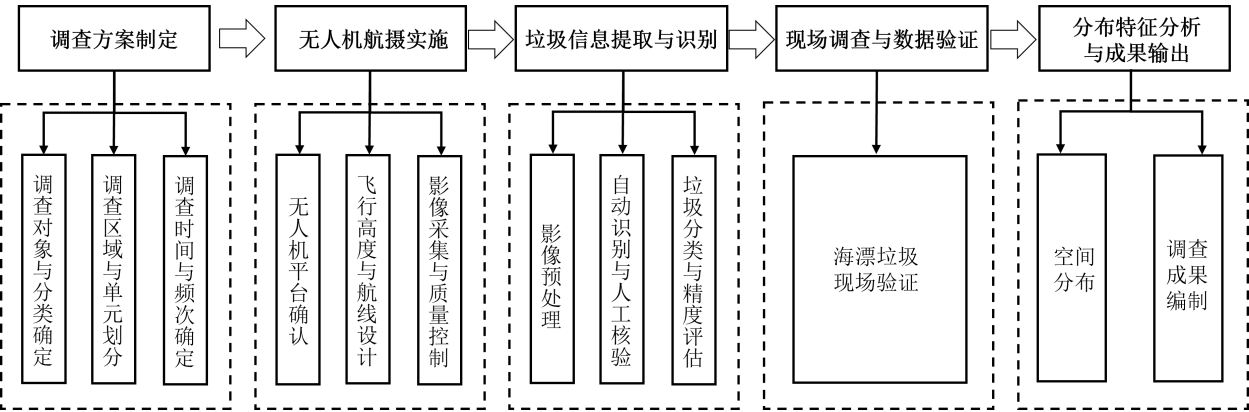


图 1 海漂垃圾无人机调查工作流程

6 无人机通用作业规范

6.1 无人机平台与传感器

- 6.1.1 无人机平台应具备良好的飞行稳定性和抗风能力，续航时间应满足影像采集需求。
- 6.1.2 无人机应搭载高分辨率光学相机，宜配备多光谱或高光谱传感器。
- 6.1.3 无人机应搭载高精度 GPS/北斗+IMU 组合定位定向系统。
- 6.1.4 传感器地面采样距离宜优于 0.03 m。

6.2 航线与覆盖要求

6.2.1 航线应平行或垂直于海面主要方向设计，确保调查区域完整覆盖，无调查盲区。航向重叠度、航线间距等参数应根据调查要求和设备性能确定，具体按第 7 章执行。

6.2.2 对于生态敏感区、垃圾高发区等重点区域，宜增加航线密度，提高影像重叠度。重点区域航线密度宜较一般区域增加 20%以上，航向重叠度宜不低于 90%。

6.3 数据获取与影像质量要求

6.3.1 影像采集条件

影像采集应在天气晴朗、光照均匀、无强逆光和阴影干扰的条件下进行，确保影像清晰可识别。

6.3.2 数据存储与备份

采集的影像应及时存储，采用本地存储与云端备份相结合的方式，保障数据完整性和安全性。

6.3.3 影像质量控制

质量控制应包括检查曝光精度、清晰度、重叠度及定位精度，不符合质量要求的影像应重新采集。所有影像应附带完整无人机元数据，包括拍摄时间、位置、高度及传感器参数等。

6.4 作业记录

航拍结束后，应记录作业情况、飞行参数及调查环境。作业记录必填字段至少包括：航线名称、调查区域名称、调查日期、调查单元编号、天气情况、飞行高度（m）、飞行速度（m/s）、航向重叠度、航线间距（m）、地面采样距离（m）、飞行开始时间、飞行结束时间。垃圾信息记录必填字段至少包括：物体编号、垃圾材质、尺寸等级、数量（件）、备注。同时宜记录潮汐状态、风向、风速等水文气象信息。

记录表格式见附录 A，附录 A 为资料性附录。

7 海漂垃圾调查专项要求

7.1 调查方法

7.1.1 作业前专项准备

航拍作业前，应完成以下准备工作：

a) 环境条件核查：调查当日宜获取调查区域潮汐预报数据，用于影像采集时机的优化。作业期间宜避开波高大于 1.5 m 的时段，应避开台风、强对流等极端天气。海漂垃圾调查宜选择平潮时段开展；

b) 设备性能检查：无人机应搭载 GPS/北斗双模定位模块及 IMU 惯性测量单元，相机宜设置为高速连拍模式，确需使用录制模式时应保证视频单帧画面分辨率不低于本标准对地面采样距离的要求。无人机电池防护等级应适应海上作业环境，单次续航能力应满足调查区域全程覆盖需求；

c) 飞行区域划定：应根据无人机测控距离及续航能力确定调查范围。应提前与海事管理部门协调，明确船舶航道范围，划定无人机安全飞行边界，禁止在航道内开展调查作业。

7.1.2 航摄参数

海漂垃圾无人机调查航摄参数见表 3。

表 3 海漂垃圾航摄参数

参数	要求
----	----

航向重叠度	80%~90%
地面采样距离（GSD）	宜优于 0.03 m
注：重点区域航向重叠度宜不低于 90%，具体按 6.2.2 执行。	

7.1.3 飞行方案设计

飞行方案应符合以下要求：

- a) 按调查区域布设平行航线，实现调查区域完整覆盖；
- b) 发现垃圾聚集区后，宜布设补充航线，必要时可采用盘旋方式。补充航线高度可较主航线降低 5 m~10 m。

7.1.4 飞行高度确定

飞行高度按式（1）计算：

$$H = \frac{GSD \times f}{a} \quad (1)$$

式中：

- H ——理论飞行高度，单位为米（m）；
- GSD ——地面采样距离，单位为米（m）；
- f ——摄影镜头主距，单位为毫米（mm）；
- a ——像元尺寸，单位为毫米（mm）。

海面波浪起伏可导致局部区域等效航高变化，实际飞行高度宜按式（2）修正：

$$H_a = H - h \quad (2)$$

式中：

- H_a ——实际飞行高度，单位为米（m）；
- H ——理论飞行高度，单位为米（m）；
- h ——调查区域平均波高，单位为米（m）。

7.2 数据处理与指标计算

7.2.1 影像预处理与校正

原始影像应进行筛选，剔除模糊、曝光异常、云影遮挡等无效影像。

海漂垃圾采用单张照片识别，不强制地理拼接。海面区域因无法布设地面控制点且同名特征点稀少，影像处理应基于无人机搭载的 GPS/北斗+IMU 组合定位定向系统获取的高精度 POS 数据开展。

垃圾位置坐标应统一转换为CGCS2000国家大地坐标系。海漂垃圾移动目标的位置修正应符合以下要求：

- a) 垃圾空间位置应归算至影像采集时间，成果数据中应记录该时间；
- b) 同一垃圾出现在多张相邻影像时，应按外形轮廓和尺寸进行同物判别与关联，避免重复计数；
- c) 成果提交的坐标以首张识别影像采集时间的坐标为准。

7.2.2 信息提取

应以调查单元为基本统计单元，提取垃圾材质、数量、尺寸等级、聚集规模等信息。聚集规模可按以下规定划分：

- a) 单一点聚集：垃圾数量不大于 5 个；
- b) 小范围聚集：垃圾数量 6 个~20 个；

c) 大范围聚集：垃圾数量大于 20 个。

7.2.3 尺寸统计

垃圾尺寸分类按4.1.2的规定执行。

8 垃圾信息提取与识别

8.1 信息提取与自动识别

垃圾信息提取应采用自动识别与人工核验相结合的方式。

影像预处理应包括辐射校正、几何校正和影像增强处理。海面影像应采取反光抑制和波纹干扰削弱措施。

自动识别宜采用基于深度学习的目标检测与分类方法，对垃圾目标进行定位、材质识别及尺寸等级估计。识别过程中应设置置信度阈值和目标重叠判定条件，减少误检和重复检测。海面垃圾识别可结合时序影像或动态检测窗口方式。

8.2 质量控制与成果要求

8.2.1 模型选择

模型训练宜采用基于 YOLO 等成熟深度学习目标检测模型的迁移学习方法，或基于实测调查数据自主训练目标检测模型。

8.2.2 训练样本与参数设置

训练样本应覆盖不同天气条件、不同观测时段及典型调查场景。调查数据集应在调查工作中持续积累和更新，每次任务完成后应将经人工校核的影像及标注成果纳入训练样本库。样本标注应对垃圾目标进行准确框选，并标注垃圾材质和尺寸等级。识别参数应通过验证集测试确定。

置信度阈值不宜低于 0.7，目标重叠判定阈值不宜高于 0.5。训练集、验证集、测试集的划分比例宜为 7:2:1。

8.2.3 人工校核与精度要求

对置信度较低或存在判读歧义的识别结果，应进行人工目视解译修正。人工解译应依据统一的解译标志和判读规则进行，并采用交叉复核方式。

自动识别类别精度应满足以下要求：

- a) 特大块和大块垃圾识别准确率不低于 95%；
- b) 中块垃圾识别准确率不低于 90%；

垃圾信息成果应与调查单元编码关联，内容应包括调查单元编号、垃圾材质、尺寸等级、空间位置、数量及识别置信度。数据格式宜采用通用空间数据或表格数据格式。

9 现场调查与数据验证

无人机调查信息提取完成后，应对存在疑问或需要核验的调查单元开展现场验证。现场验证数据应记录于附录 A。

9.1 作业条件

海漂垃圾现场验证采用船舶作业，应满足以下要求：

- a) 作业人员应穿戴救生衣，配备救生设备；
- b) 波高大于 1.5 m 时应暂停作业；
- c) 验证宜与无人机航摄同步或随后开展，具体时间间隔根据海况和作业条件确定；宜采用船机协同模式同步进行。

9.2 核查方法

海漂垃圾现场验证采用船舶抽样核验方式，不再另行安排无人机航拍。抽样比例根据调查目的和精度要求确定，宜不低于 10%。

现场分类计数应符合以下要求：

- a) 特大块、大块垃圾直接测量尺寸；
- b) 中块垃圾可采用抽样称重换算数量；
- c) 同步记录垃圾漂移方向及聚集状态。

9.3 精度要求

海漂垃圾现场验证精度应满足以下要求：

- a) 识别准确率不低于 85%；

$$R_{\text{识别}} = \frac{N_{\text{正确识别}}}{N_{\text{现场实际垃圾总数}}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$R_{\text{识别}}$ —— 识别准确率；

$N_{\text{正确识别}}$ —— 现场验证中正确识别的垃圾数量，单位为件；

$N_{\text{现场实际垃圾总数}}$ —— 现场验证区域实际清查的垃圾总数量，单位为件。

- b) 材质判对率不低于 90%。

$$R_{\text{材质}} = \frac{N_{\text{正确分类}}}{N_{\text{现场实际垃圾总数}}} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$R_{\text{材质}}$ —— 材质判对率；

$N_{\text{正确分类}}$ —— 现场验证中材质判定正确的垃圾数量，单位为件；

$N_{\text{现场实际垃圾总数}}$ —— 现场验证区域实际清查的垃圾总数量，单位为件。

不达标单元应优化识别模型参数，必要时补充航拍数据重测。

10 分布特征分析

10.1 空间分布特征

海漂垃圾空间分布统计应包括以下内容：

- a) 按调查单元统计垃圾数量、材质和尺寸等级；
- b) 宜绘制垃圾数量的空间分布示意图；
- c) 结合调查区域周边环境，初步分析垃圾聚集可能来源。

10.2 数量与构成

应统计各调查单元的垃圾数量、材质构成和尺寸等级比例，分析不同区域垃圾数量、材质和尺寸结构差异。指标宜包括：

- a) 垃圾数量（件/调查单元）；

- b) 尺寸级别比例（特大块、大块、中块）；
- c) 材质构成比例。

11 成果要求

11.1 成果构成

调查成果应包括以下内容：

- a) 原始记录：无人机原始影像、飞行记录、现场验证记录等；
- b) 调查数据：垃圾材质、尺寸等级、数量、空间位置及识别置信度等结构化数据；
- c) 调查报告：调查方法、数据处理流程、质量控制措施、调查结果与分析等。

11.2 数据格式

成果数据格式应符合以下要求：

- a) 空间数据宜采用 Shapefile 或 GeoJSON 格式；
- b) 表格数据宜采用 CSV 格式；
- c) 各类数据应形成统一结构化表格。

11.3 调查报告

调查报告应包括以下内容：

- a) 调查方法；
- b) 数据处理流程；
- c) 质量控制措施；
- d) 调查结果与分析；
- e) 结论与建议。

11.4 报告提纲

调查报告提纲见附录 B，附录 B 为资料性附录。

附 录 B
(资料性)
海漂垃圾无人机调查报告提纲

B.1 概述

- B.1.1 调查目的
- B.1.2 调查范围
- B.1.3 调查依据

B.2 调查方法

- B.2.1 无人机平台与传感器
- B.2.2 航线设计与飞行参数
- B.2.3 影像采集与质量控制
- B.2.4 现场验证方法

B.3 数据处理与信息提取

- B.3.1 影像预处理
- B.3.2 自动识别与人工核验
- B.3.3 垃圾材质与尺寸等级判定

B.4 质量控制

- B.4.1 飞行质量控制
- B.4.2 识别精度评估
- B.4.3 现场验证结果

B.5 调查结果与分析

- B.5.1 垃圾数量与构成
- B.5.2 空间分布特征
- B.5.3 聚集区域及可能来源初步分析

B.6 结论与建议

B.7 附录

- B.7.1 调查记录表
- B.7.2 影像与调查数据清单
- B.7.3 其他支撑材料