

团 体 标 准

T/HEPF 001—2025

生态环境保护领域无人机搭载传感器 应用技术规范

Technical specifications for the application of UAV sensors in the field of ecological
and environmental protection

2025-11-3 发布

2025-12-1 实施

河北环保联合会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 工作流程	2
5 任务需求分析	2
6 飞行准备	3
7 飞行实施	6
8 数据处理	7
9 质量控制	7
10 成果提交	9
附录 A（规范性）飞行记录表	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。

本文件由河北环保联合会提出并归口。

本文件起草单位：河北航线点信息技术有限公司、河北雅马特信息科技有限公司、无锡谱视界科技有限公司、中科宇图科技股份有限公司、河北集梦环保工程有限公司、河北领陆者环保科技有限公司、北京迭创环境科技有限公司。

本文件主要起草人：蒋凤保、王福锁、马志杰、祖瑜晨、庞力硕、李文卓、王银钱、甄占坡、申海鹏、王培信、赵乐、崔利红、张博、周静博、孙硕、程亚楠、康明晓、张梓怡、郟慧霞、李正德、李腾飞、李春清、张传东、周军、田野、张琦、李楠、李欣屹、刘鹤柔、张佳良、张马珍、张田丽、韩福雷、郭彦磊、马佳平、焦翠艳、牛彦琼。

本文件首次发布。

生态环境保护领域无人机搭载传感器 应用技术规范

1 范围

本文件规定了无人机搭载传感器在生态环境保护领域应用中的工作流程、无人机及传感器选型、飞行准备、飞行实施、数据处理、质量控制和成果提交。

本文件适用于利用无人机搭载各类传感器开展的生态环境保护相关工作。

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。

HJ 1233 入河(海)排污口排查整治无人机遥感航测技术规范

GB 42590 民用无人驾驶航空器系统安全要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人机 unmanned aerial vehicle

由遥控设备或自备程序控制装置操纵，机上无人驾驶的航空器。

[来源：GB/T 38152—2019，2.1.1，有修改]

3.2

传感器 sensor

能感受被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。包括气体传感器、水质采样器、光谱传感器、激光雷达、可见光相机、热红外相机等。

3.3

气体传感器 gas sensor

能感受气体（组分、分压）并转换成可用输出信号的传感器。

3.4

多光谱传感器 multispectral sensor

一种能够对多个特定光谱波段的电磁辐射进行探测、感知并记录的光学设备。

3.5

高光谱传感器 hyperspectral sensor

光谱分辨率在 10^{-2} 数量级的光学遥感器，其工作波长通常为 $0.4\ \mu\text{m}\sim 2.5\ \mu\text{m}$ 。

3.6

激光雷达 light detection and ranging

一种通过发射激光束，并测量反射光的时间延迟或相位变化来获取目标物体距离、角度、反射强度等信息的主动式遥感探测设备。

3.7

数字正射影像图 digital orthophoto map

利用数字高程模型，对航空像片或卫星遥感影像进行数字微分纠正和镶嵌，按一定图幅范围裁剪生成的影像数据。它是同时具有地图几何精度和影像特征的图像。

[来源：HJ 1233—2021，3.5]

3.8

波段 band

在电磁光谱中，特定波长范围的连续区间。

3.9

地面采样距离 ground sampling distance

传感器获取影像时，影像中每个像素所对应的地面实际尺寸。

3.10

像元尺寸 pixel size

成像传感器像元阵列上，每个像素所对应的实际物理尺寸。

3.11

辐射分辨率 radiation resolution

传感器区分地物辐射能量细微变化的能力，直观体现为传感器的灵敏度。

4 工作流程

无人机搭载传感器在生态环境保护中的应用工作流程包括任务需求分析、飞行准备、飞行实施、数据处理、质量控制及成果提交，具体如图1所示。

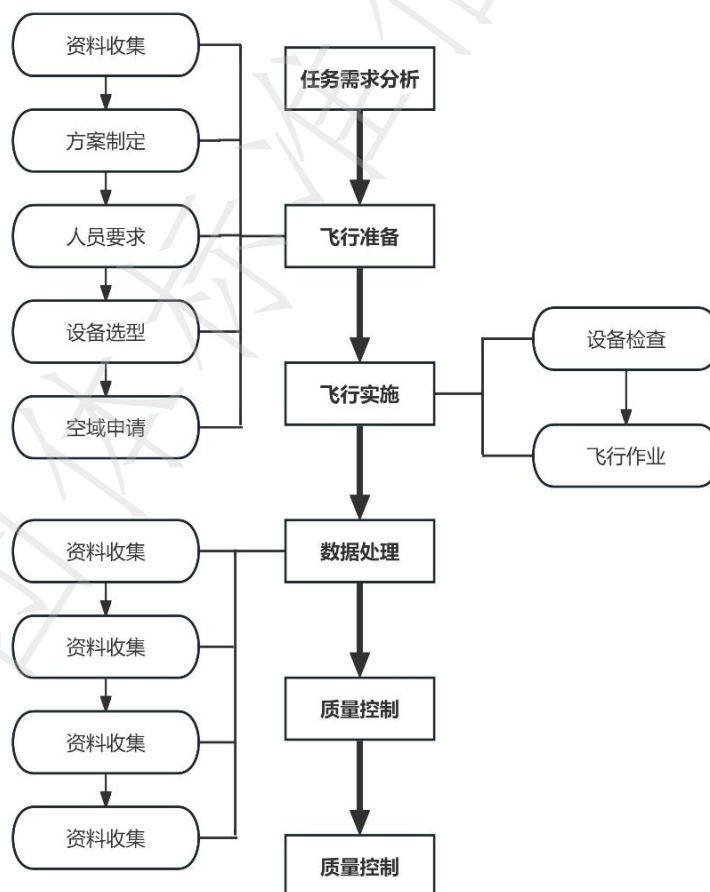


图1 无人机搭载传感器在生态环境保护中的应用工作流程

5 任务需求分析

5.1 水环境保护方面

在采集湖水水样、现场照片和光谱数据时，宜选用无人机搭载水质采样器、光谱传感器、可见光相机、热红外相机等。

5.2 大气环境保护方面

在采集现场照片和大气污染物浓度时，宜选用无人机搭载气体传感器、可见光相机、热红外相机、激光雷达等。

5.3 土壤环境保护方面

在采集现场照片进行目视判读或生成正射影像图时，宜选用无人机搭载可见光相机。

5.4 生态遥感方面

在采集生态系统的植被覆盖、生物多样性、生态系统健康状况等多方面信息时，宜选用无人机搭载可见光相机、热红外相机、光谱传感器、激光雷达等。

5.5 温室气体监测方面

在采集二氧化碳、甲烷等温室气体浓度数据和地表影像时，宜选用无人机搭载温室气体传感器，辅以可见光相机或热红外相机。

6 飞行准备

6.1 资料收集

无人机航摄作业前，应收集下列资料：

- a) 卫星影像资料、地形图、交通图、行政区划图等；
- b) 任务范围内的机场、军事设施、重要设施等情况；
- c) 任务范围气候条件等。

6.2 方案制定

根据需求分析结果，制定无人机航测方案，主要包括飞行范围划定、设备选型、飞行计划、数据处理过程以及成果提交方式等。

6.3 人员要求

6.3.1 资质要求

依据相关法规，操作人员需取得对应机型和等级的民用无人驾驶航空器操控员执照。

6.3.2 专业技能要求

无人机操作人员需熟练掌握无人机的起飞、悬停、航线飞行、降落等基础操作，能够根据不同的飞行环境和任务需求，灵活调整飞行参数，能快速处理飞行过程中出现的姿态异常、信号丢失等突发情况。同时，根据不同的飞行任务需求，掌握相应的专业技能，了解所搭载传感器的性能和操作方法。

6.3.3 安全与责任要求

应遵守以下规定：

- a) 具备强烈的安全意识，严格遵守国家和地方关于无人机飞行的法律法规、空域管理规定以及禁飞区、限飞区要求，不应在机场净空保护区、军事禁区、人口密集区域等禁飞区域擅自飞行；
- b) 飞行前，按照规定申请飞行空域和计划，确保飞行活动合法合规；
- c) 关注气象条件，避免在恶劣天气（如大风、暴雨、雷电等）下飞行，保障飞行安全和公共安全；
- d) 对无人机飞行任务全程负责，包括飞行前的准备、飞行过程中的操作和数据采集、飞行后的设备维护与数据处理等环节。

6.4 设备选型

6.4.1 所需设备

a) 任务所需设备主要由无人机和传感器组成。无人机包括机体、动力系统、电气系统以及其他保证无人机正常工作的设备和部件；传感器应包括但不限于可见光相机、热红外相机、气体传感器、多光谱传感器、高光谱传感器、水质采样器、激光雷达等。根据需求分析和资料收集结果，对满足任务需求的无人机和传感器进行合理搭配，以达到最优的任务效果；

b) 所有机型需符合GB 42590 相关要求；

c) 避免出现无人机和传感器不适用的情景，如：利用燃油为动力的无人机搭载气体传感器等情景。

6.4.2 无人机

6.4.2.1 固定翼无人机

在需要对广袤区域进行快速扫描，开展大范围、高效率、常态化监测与巡查任务时，宜选用固定翼无人机。这类无人机依靠机翼产生升力维持飞行，相较于旋翼无人机，更能满足长航程需求，且载荷能力强，可搭载多种专业载荷。

固定翼无人机的主要性能指标应满足以下要求：

- a) 任务载重不小于 1 kg；
- b) 实用升限高于海拔 1000 m；
- c) 抗风能力大于等于 4 级；
- d) 在-10℃~40℃温度环境中能正常工作；
- e) 飞行时间不少于60 min；
- f) 导航精度小于等于10 m。

6.4.2.2 多旋翼无人机

在复杂地形或狭小空间区域内作业，要求具备垂直起降、悬停稳定及灵活操作能力时，宜选用多旋翼无人机。这类无人机在生态环境保护工作中展现出卓越应用价值，可搭载多种传感器设备。

多旋翼无人机的主要性能指标应满足以下要求：

- a) 任务载重不小于 2 kg；
- b) 实用升限高于海拔 3000 m；
- c) 抗风能力大于等于 5 级；
- d) 在-10℃~40℃温度环境中能正常工作；
- e) 飞行时间不少于30 min；
- f) 导航精度小于等于5 m。

6.4.3 传感器

6.4.3.1 可见光相机

在需要获取生态环境的直观影像，监测土地利用状况、植被覆盖、水体颜色变化、动物活动等情况时，宜选用可见光相机。该设备适用于光照条件较好的白天环境，在阴天或低光照条件下，图像质量会受影响，但如今一些相机具备较好的低光性能，也能满足一定需求。

可见光相机主要性能指标要求如下：

- a) 有效像素不低于 2000 万；
- b) 最高快门速度应不低于 1/800 s；
- c) 在-10℃~40℃温度环境中能正常工作；
- d) 拍摄照片时可同时记录经纬度信息。

6.4.3.2 热红外相机

在需要探测物体表面的热辐射差异，监测水体温度分布、植被热应力、城市热岛效应、工业热源排放等情况时，宜选用热红外相机。该设备可在白天和夜晚工作，受光照影响小，但受大气散射和云层影响较大，在浓雾、暴雨等天气下性能会下降。

热红外相机主要性能指标要求如下：

- a) 热红外传感器像素不低于 30 万；
- b) 温度测量范围不小于-10℃~110℃；

- c) 测温精度应在 ± 2 °C范围之内；
- d) 拍摄照片时可同时记录经纬度信息。

6.4.3.3 多光谱传感器

在需要通过多个特定波段的光谱信息，开展植被分类、土地覆盖变化监测、水体富营养化评估、海洋生态监测等工作时，宜选用多光谱传感器。该设备对光照条件有一定要求，通常在白天阳光充足时使用效果最佳，且不同波段的传感器对大气散射和吸收的敏感性不同，需考虑大气校正等因素。

多光谱传感器主要性能指标要求如下：

- a) 波段数量应不少于 4 个；
- b) 地面采样距离（GSD）需达到 0.1 m~1 m；
- c) 相机像元尺寸不大于 6 μm ；
- d) 辐射分辨率应达到 12 bit 及以上；
- e) 拍摄照片时可同时记录经纬度信息。

6.4.3.4 高光谱传感器

在需要获取连续的、高分辨率的光谱信息，以实现地物类型精确识别、植被生化成分监测、土壤养分探测、浮游生物种类识别等目标时，宜选用高光谱传感器。该设备受光照和大气条件影响较大，需进行严格的大气校正和辐射定标，且对工作环境的稳定性要求较高，温度、振动等因素可能影响光谱测量的准确性。

高光谱传感器主要性能指标要求如下：

- a) 波段数量应不少于 100 个；
- b) 地面采样距离（GSD）需达到 0.05 m~0.5 m；
- c) 相机像元尺寸不大于 5 μm ；
- d) 辐射分辨率应达到 14 bit 及以上；
- e) 拍摄照片时可同时记录经纬度信息。

6.4.3.5 气体传感器

主要用于检测大气中的各种污染气体浓度。

在需要检测大气中的各种污染气体浓度时，宜选用气体传感器。不同气体传感器对环境条件要求不同，需考虑温度、湿度、气压等因素影响，某些传感器在高湿度环境下可能出现测量误差，需进行湿度补偿。

气体传感器主要性能指标要求如下：

- a) 支持组网作业，一台或多台气体传感器的数据可以在一台或多台可视化终端展示；
- b) 工作温度：-20 °C~60 °C；
- c) 具备主动式进气系统；
- d) 至少可检测4种不同参数；
- e) 采样频率不小于1 Hz；
- f) 交叉干扰补偿系数：要求多气体交叉敏感度 $\leq 3\%$ 。

6.4.3.6 水质采样器

在需要采集水体样本，以便在实验室中分析水质的各种理化指标，监测河流、湖泊、海洋地下水等各种水体的水质状况，了解水质变化趋势追踪污染源时，宜选用水质采样器。该设备需要适应不同的水体环境，包括不同的水温、水流速度、酸碱度等，如高温工业废水需配置耐高温硅胶管及高温传感器；高流速河流需配置加重固定底座与防湍流采样头，确保定位精度；强酸强碱的工业废水等恶劣环境中，需选择具有耐腐蚀性的采样器。

水质采样器主要性能指标要求如下：

- a) 应具备等时混合水样和等比例混合水样采集功能，以满足不同监测需求；
- b) 采样量误差：不超过 $\pm 6\%$ ；
- c) 容量不小于1 L；
- d) 材质应具有良好的化学稳定性，避免对水样造成污染；

- e) 垂直扬程不低于 8 m，以满足从不同深度水体采样的需求；
- f) 水平吸程不低于 20 m，确保能在一定范围内采集水样；
- g) 在-5℃~50℃温度环境中能正常工作。

6.4.3.7 激光雷达

在需要获取地形地貌信息、植被高度和结构信息、水体深度、大气污染物分布等数据时，宜选用激光雷达。该设备受天气条件影响较大，在雨、雪、雾等天气下，激光的传输和散射会受到影响，导致测量精度下降，且对目标表面的反射率有一定要求，对于反射率较低的物体，可能需要增加激光发射功率或采用其他技术手段。

激光雷达主要性能指标要求如下：

- a) 测距精度达到 ± 0.1 m；
- b) 测程不小于 50 m；
- c) 垂直分辨率不小于 1 m；
- d) 水平分辨率不小于 2 m；
- e) 点云密度一般要求在每平方米不小于 10 个点；
- f) 在-20℃~50℃温度环境中能正常工作。

6.5 空域申请

6.5.1 最大起飞重量在 250 g 以上的无人机，应在民航部门完成注册登记，同时确保飞行活动合法合规，避免对国家空域安全和其他航空活动造成影响；

6.5.2 无人机飞行前，操作人员需依据《中华人民共和国飞行基本规则》《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》等相关法规，提前向空管部门和相关主管单位提交空域申请；

6.5.3 若飞行区域涉及机场附近、军事禁区周边等特殊区域，还需与地区民航局、军队相关部门沟通协调，获得许可后方可飞行。

7 飞行实施

7.1 设备监测

飞行实施之前应对所有设备进行检查，满足下列要求后方可使用：

- a) 所有设备外观、结构完整；
- b) 传感器稳定、牢固固定于飞行平台上；
- c) 所有连接线正常、稳固连接；
- d) 相机镜头无遮挡并擦拭干净；
- e) 油箱（电池）容量满足至少一个飞行架次；
- f) 所有设备通电测试后工作正常；
- g) 传感器在正式工作前应进行检校或标定，如存在多传感器协同工作时，应增加电磁兼容性测试。

7.2 飞行作业

飞行作业应满足以下条件方可开展：

- a) 每次飞行作业前，应仔细检查设备的状态是否正常；
- b) 飞行作业应避免大雾、霾等能见度低和大风气象条件，以及各种覆盖物（如积雪、洪水等）的不利影响；
- c) 可见光正射和可见光倾斜影像不同地形太阳高度角要求，平地 $>20^\circ$ ，丘陵 $>25^\circ$ ，山地 $\geq 40^\circ$ ；热红外影像获取时间为拍摄目标与环境温度相差较大的时间段内；[来源：HJ 1233《入河（海）排污口排查整治无人机遥感航测技术规范》]
- d) 飞行作业应选择在较宽阔、无安全隐患的区域开展作业；
- e) 再次确认飞行区域周围有无机场、军事设施、重要设施禁飞等情况；
- f) 按规定做好飞行记录，飞行记录表按附录A执行；

g) 飞行实施过程中同时注意数据检查，若发现问题，及时进行补飞。

8 数据处理

8.1 数据接收与存储

无人机飞行作业完成后，需将搭载传感器采集的数据传输至地面数据处理站。数据需按照特定的文件格式和命名规则进行存储。文件格式应选择通用性强、便于后续处理的格式，如影像数据可采用 TIFF、JPEG 格式，光谱数据可采用 ENVI、HDF 格式等。命名规则要包含监测区域、时间、传感器类型等关键信息，方便数据管理与查询。为防止数据丢失，要对原始数据进行多重备份。

8.2 数据预处理

8.2.1 格式转换

不同传感器采集的数据格式各异，为便于统一处理，可能需进行格式转换。通过格式转换，消除数据处理过程中的格式兼容性问题，提高数据处理效率。格式转换过程中，要确保数据的准确性和完整性，避免数据质量下降。

8.2.2 数据拼接与镶嵌

当无人机在监测区域进行多架次飞行或采用条带式飞行模式时，会获取多幅数据。为得到完整的监测区域数据集，需进行数据拼接与镶嵌，同时确保图像之间的位置关系准确无误，形成一幅完整的大图像，为后续的数据分析提供连续、完整的数据基础。

8.3 数据解译与分析

8.3.1 图像解译

对于需要生成数字正射影像图的任务，进行图像处理。其他照片由专业人员凭借丰富的经验和专业知识，对图像进行目视判读。

8.3.2 数据分析

对大气污染物浓度、土壤、水质参数等数值型数据进行统计分析。计算数据的均值、最大值、最小值、标准差等统计参数，以评估数据的集中趋势和离散程度。通过时间序列分析，观察生态环境指标随时间的变化规律，为生态环境变化趋势预测提供依据。统计分析过程中，要注意数据的异常值处理，避免异常值对统计结果产生较大影响。

8.3.3 成果输出

根据数据处理与分析结果，编制详细的成果报告。以清晰的文字、直观的图表和专业的术语呈现监测成果，使报告具有可读性和实用性。例如，通过绘制大气污染分布图、水质状况图等图表，直观展示生态环境状况及变化趋势。报告中要对执行过程中存在的问题和不确定性进行说明，为后续监测工作的改进提供参考。

9 质量控制

9.1 影像质量控制

以人机交互的方式检查成果报告中的影像质量、完整性等，要求影像完整，纹理清晰，反差、色调适中。

9.2 可见光数字正射影像图质量控制

检查内容包括但不限于：

a) 以人机交互的方式检查影像图的完整性、分辨率等，是否存在拼接错位、模糊、扭曲变形、重影等现象；

b) 数字影像是否清晰，色调色彩均匀。

9.3 热红外图像质量控制

检查内容包括但不限于：

- a) 图像清晰度：无明显模糊、重影或运动伪影，确保地物轮廓清晰可辨；
- b) 热对比度：不同温度区域的灰度差异应显著，能清晰区分目标地物与背景的温度界限；
- c) 图像完整性：无数据缺失、条带噪声或大面积异常区域，覆盖范围符合监测任务要求；
- d) 几何精度：图像地物位置与实际地理位置的偏差需控制在规定误差范围内。

9.4 光谱传感器图像质量控制

检查内容包括但不限于：

- a) 图像清晰度：地物细节清晰可辨，无明显模糊、重影或运动拖影，边缘锐利度符合标准，确保目标特征完整呈现；
- b) 光谱准确性：各波段光谱响应与预设波段范围一致，通过标准光谱板校准验证，光谱反射率测量值与真实值偏差在允许范围内；
- c) 辐射均匀性：图像同一均匀区域内的辐射值波动较小，无明显暗角、光斑或条带噪声，灰度分布均匀；
- d) 曝光合理性：无过曝光导致的高光溢出或欠曝光导致的暗部细节丢失，直方图分布正常，动态范围充足。

9.5 气体传感器数据质量控制

检查内容包括但不限于：

- a) 数据完整性：采集时段内无数据缺失、断连情况，有效数据覆盖率符合监测任务要求，避免关键监测节点信息遗漏；
- b) 量程适用性：测量数据未超出传感器量程范围，避免因浓度过高或过低导致的数据饱和、失真问题；
- c) 环境干扰排除：检查是否存在温度、湿度、气压等环境因素对数据造成的异常影响，已采取的补偿措施有效且符合规范；
- d) 校准有效性：传感器校准周期符合要求，校准记录完整可追溯，确保数据基于有效的校准状态生成。

9.6 水质采样质量控制

检查内容包括但不限于：

- a) 采样规范性：采样器清洁度符合要求，无残留污染物干扰，采样操作严格遵循预设流程，如采样深度、采样量、采样频次等参数均按任务标准执行；
- b) 样品代表性：采样点布设覆盖监测区域关键点位，包括污染敏感区、水域特征点等，确保样品能反映区域整体水质状况，避免因点位偏差导致的代表性不足；
- c) 样品完整性：样品无泄漏、溢出情况，盛装容器密封完好，标签信息完整清晰，注明采样时间、地点、编号等关键信息，与采样记录一一对应；
- d) 保存有效性：样品保存方式符合规范，如冷藏、添加固定剂等措施及时到位，保存时间未超出最大允许存放期限，确保水质指标在分析前保持稳定；
- e) 检查是否遗漏全程序空白样品和现场平行样品的采集。

9.7 激光雷达数据质量控制

检查内容包括但不限于：

- a) 点云精度：平面位置和高程误差在规定范围内，通过与高精度控制点比对，确保单点坐标偏差符合任务精度要求；
- b) 点云密度：有效点云覆盖均匀，密度满足监测需求，无大面积低密度区域，关键地物周边点云分布密集，能清晰反映地物细节；
- c) 数据完整性：无明显数据空洞、缺失带，覆盖区域与预设范围一致，地形起伏较大区域或复杂地物周边无数据遗漏；

d) 坐标系一致性：数据坐标系与任务要求一致，坐标转换参数准确，无因投影或基准偏差导致的系统性误差。

9.8 质量控制结果处理

在质量检查中发现质量问题时，应及时提出处理意见，提交数据处理部门进行修正。当问题较多或性质问题较严重时，可要求外业部门进行补飞或将部分或全部产品退回数据处理部门重新处理，再次进行最终检查。

10 成果提交

10.1 成果数据的命名规则

成果数据文件命名规则如下：

a) 成果数据文件夹按照 XXX-AAAABBCC-XXX-XX 的编号规则编制名称，各部分含义见图2；

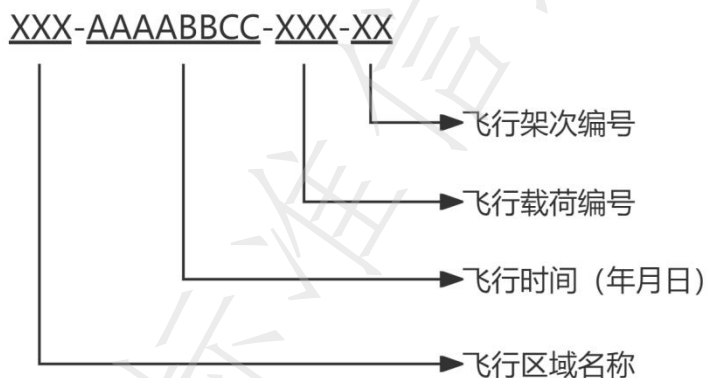


图2 成果数据文件夹命名规则

- b) 飞行区域按照省市县（区）+具体区域命名；
- c) 飞行时间为飞行开始时间的年月日，如 20220202；
- d) 飞行载荷编号按照飞行载荷首字母缩写命名，如：可见光载荷编号为 KJG，热红外载荷编号为 RHW；
- e) 飞行架次编号自 01 开始依次排列。

10.2 成果的内容

上交的成果应经检查验收后，交下一工序使用。上交的成果应准确、清楚、齐全，内容包括但不限于：

- a) 成果清单；
- b) 飞行范围文件，为 shapfile、dwg、kml 等矢量格式之一；
- c) 飞行记录表（见附录A），为原版复印件及电子扫描件；
- d) 编制详细的成果报告；
- e) 数字正射影像图、大气污染分布图等图表（如有）；
- f) 其他相关材料。

附录 A
(规范性)
飞行记录表

飞行记录表内容按表A执行。

表 A 飞行记录表

序号	项目	内容	备注
1	项目名称	XXX 项目	
2	机型选择	厂商+型号 (如大疆经纬 M300RTK)	
3	传感器选择	厂商+型号 (如大疆禅思 P1)	
4	飞行区域	XX 省 XX 市 XX 县 (区)	
5	成果类型	如: .JPG	
6	分辨率	以 m 或 cm 为单位	
7	绝对航高	以 m 为单位	
8	航线敷设相对方向	东-西、南-北、东南-西北、东北-西南之一	
9	地形特征描述	平原、高原、山地、丘陵、盆地之一	
10	飞行天气条件情况	起飞时当地的中国天气网天气实况	
11	作业面积	以平方公里为单位	
12	飞行航线设计图	航线设计图截图	
13	操作员 (编号)	姓名+编号	
14	起飞降落时间/航时	从 x 年 x 月 x 日 x 时 x 分至 x 年 x 月 x 日 x 时 x 分	
15	所需成果坐标系	如: CGCS2000	
16	像控点	像控点点位截图	
17	传感器校准记录	最近一次传感器跨标日期	
18	备注	需记录的特殊情况	

填表人 (签字):

日期: 年 月 日