

《无人机环境遥感监测基本作业规范》
(征求意见稿)》
编制说明

《无人机环境遥感监测基本作业规范》

标准编制组

二〇二五年五月

项目名称：无人机环境遥感监测基本作业规范

项目统一编号：2020-L-12

承担单位：生态环境部卫星环境应用中心、江苏省环境监测中心、
辽宁省生态环境保护科技中心、贵州省环境工程评估中心、
西藏自治区生态环境遥感监测中心

编制组主要成员：杨海军、李 营、朱海涛、檀 畅、李亚龙、
胡晶晶、姜 晟、程 岩、来楷迪、宋国富

环境标准研究所技术管理负责人：雷晶

卫星环境应用中心技术管理负责人：吴传庆

生态环境监测司项目负责人：高锋亮

目录

1	项目背景	1
1.1	任务来源	1
1.2	工作过程	1
2	标准制修订必要性分析	2
3	国内外相关标准情况	2
3.1	无人机平台发展历程	2
3.2	无人机载荷发展历程	3
3.3	无人机遥感技术在环境监测监管中的应用	4
3.4	相关标准发展现状	5
4	标准制修订的基本原则和技术路线	6
4.1	基本原则	6
4.2	技术路线	6
5	标准主要技术内容	7
5.1	标准框架	8
5.2	适用范围	8
5.3	规范性引用文件	8
5.4	术语和定义	9
5.5	总体要求	10
5.6	系统配置	11
5.7	方案设计	12
5.8	飞行实施	14
5.9	数据处理	15
5.10	质量控制	17
5.11	数据整理	17
6	与国内外同类标准或技术法规的水平对比和分析	19
7	对实施本标准的建议	19
9	参考文献	20

《无人机环境遥感监测基本作业规范（征求意见稿）》编制

说明

1 项目背景

1.1 任务来源

为贯彻中共中央、国务院关于全面加强生态环境保护和坚决打好污染防治攻坚战决策部署，协同推进“天-空-地-海”一体化监测体系，切实加强低空无人机环境遥感监测能力，指导和规范全国开展无人机环境遥感监测，生态环境部生态环境监测司将《无人机环境遥感监测基本作业规范》（以下简称“《规范》”）列入2020年标准制订项目，项目统一编号为：2020-L-12。

本标准的承担单位为：生态环境部卫星环境应用中心、江苏省环境监测中心、辽宁省生态环境保护科技中心、贵州省环境工程评估中心、西藏自治区生态环境遥感监测中心

1.2 工作过程

2014年11月，国务院办公厅发布《关于加强环境监管执法的通知》（国办发〔2014〕56号），提到“要强化自动监控、卫星遥感、无人机等技术监控手段运用”；2016年，国务院《“十三五”生态环境保护规划》（国发〔2016〕65号）指出，“建立天地一体化的生态遥感监测系统，实现环境卫星组网运行，加强无人机遥感监测和地面生态监测”；同时，《全国生态保护“十三五”规划纲要》（环生态〔2016〕151号）要求，“加强卫星和无人机航空遥感技术应用，提高生态遥感监测能力”。上述文件，均对无人机遥感生态监测提出了政策需求。

2014年11月，《无人机环境遥感监测基本作业规范（试行）》曾以原环境保护部办公厅文件（环办〔2014〕84号）正式下发至地方环保部门。近年来，无人机遥感技术在生态环境监测领域迅速发展，在国家重点生态功能区县域生态环境质量考核、大气污染源监察、长江入河排污口排查、渤海地区入海排污口排查、重大环境污染事故应急等业务中发挥了重要作用，地方生态环境部门对无人机遥感监测提出了新的需求。

2020年生态环境监测司将《规范》列入2020年标准制订项目，由生态环境部卫星环境应用中心（以下简称“卫星中心”）牵头，组织相关技术单位成立编写组，着手开展了《规范》编制工作，编写组首先对国内外航空遥感相关技术标准进行了搜集整理，共收集了十余部国内外航空遥感相关技术标准以及相关权威机构发布的技术文件；编写组对这些技术标准和文件进行了系统研究，同时对我国生态环境监测主管部门、地方生态环境部门、无人机生产厂家、无人机研究机构等进行了广泛深入的调研，结合环保公益性行业科研专项项目“环境污染事故航空遥感应急监测关键技术研究与应用”、国家污染减排专项项目“污染减排与生态保护遥感技术支撑能力建设”、国际科技合作项目“环境污染无人机遥感监测载荷配置关键技术研究”、国家重点研发项目“基于无人机的固定源大气污染源排放现场执法遥测技

术方法研究”项目、生态环境部重大项目“长江干流生态环境遥感调查”等项目研究成果，起草了《规范》编制框架，2021年初形成了《规范》初稿。

2021年—2024年，卫星中心组织相关编制单位根据《规范》初稿开展无人机环境遥感监测试验，先后开展了入河入海排污口无人机航测试验、突发环境事件应急无人机遥感监测、自然保护区人为活动干扰无人机遥感监测等10多项任务100多架次飞行试验，并跟踪低空无人机遥感技术发展，不断修改完善，形成了《规范》（征求意见稿）。2025年4月，召开了技术审查会，根据专家意见对部分条款进行了修改。

2 标准制修订必要性分析

无人机航空遥感是卫星遥感的有效补充，已在生态环境遥感监测领域崭露头角，并发挥了有效的支撑作用，应用前景广阔。然而，目前国内仍然缺少生态环境领域的无人机遥感作业规范，在无人机环境遥感监测系统配置、方案设计、内外作业等要求方面仍未形成统一的行业标准，制约了生态环境系统无人机遥感技术的推广与应用；同时，标准不一的作业方式，也在一定程度上增加了无人机作业安全风险。

在新时期生态环境保护需求下，生态环境领域的无人机基本作业规范制定，将弥补我国生态环境领域无人机基本作业规范的空白，指导和规范地方生态环境系统开展无人机遥感监测与应用，有效降低和避免无人机监测安全风险，更好地发挥无人机遥感技术潜能，为生态环境遥感监测提供新的技术支撑，进一步提升生态环境监测能力。

3 国内外相关标准情况

3.1 无人机平台发展历程

在我国，习惯上将无人驾驶飞行器称作无人机，通常引用的英文名称为 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)，不同文献上对于无人机的定义描述也不尽相同，2002年1月我国出版的《国防科技名词大典航空卷》将无人机定义为“不用驾驶员或者驾驶（操作）员不在机上的飞机”。目前在学术界得到普遍认同的是2002年1月美国联合出版社出版的《国防部词典》中对无人机的定义：“无人机是指由动力驱动、不搭载操作人员的一种空中飞行器，采用空气动力为飞行器提供所需的升力，能够自主或遥控飞行，既能一次性使用也能进行回收，能够携带杀伤性或非杀伤性任务载荷。弹道或半弹道飞行器、巡航导弹和炮弹不能看作是无人机。”

1917年，英国皇家航空研究院（Royal Aircraft Establishment）初步将空气动力学、轻型发动机和无线电三者结合起来，研制出了世界第一架无人驾驶飞机。同年12月，美国发明家 Elmer Sperry 在军方支持下使用自己发明的陀螺仪和美国西部电气公司开发的无线电控制系统成功完成了“空中鱼雷”的首飞。此后，无人机的发展经历了四个阶段。自无人机诞生后，至20世纪60年代，无人机主要用作靶机，处于靶机起步阶段；60年代之后研制重点为无人侦察机和电子战类无人机，并在战场上崭露头角，80年代开始进入民用领域，该时期处于初步实用阶段；自90年代海湾战争开始，无人机在现代高技术局部战争中得到

全面应用，军用无人机开始成体系建设和发展；进入 21 世纪后，察打一体无人机投入实战应用，无人作战飞机、空天无人机飞速发展，同时，无人机在民用领域逐步得到广泛应用并形成产业，处于迅速崛起阶段。2010 年以来，无人机发展进入军警民全领域应用的蓬勃发展阶段。

美国已将无人机越来越多地运用在各行各业。美国国家航空航天局（NASA）成立了一个无人机应用中心，专门开展无人机的各种民用研究，它同美国海洋与大气局（NOAA）合作利用无人机进行天气预报、地球变暖和冰川消融等科学研究，并且用来勘察森林火灾情况，协助救火指挥官部署消防力量。俄罗斯联邦测绘局利用无人机航拍技术来完成俄罗斯国家地图和地图集制作；2009 年俄罗斯科学家利用无人机航拍的图片对大堡礁到冰冻贝加尔湖的广大地区进行科研考察研究。欧洲在民用无人机方面雄心勃勃，决心要赶超美国，力争占领民用无人机发展的中心舞台。2006 年制定并多方集资付诸实施“民用无人机发展路线图”，首期跨度为 6 年，并计划成立一个泛欧民用无人机协调组织，主要职责是市场评估、技术监视、空域管制、适航安全、标准制订、通用接口、成本控制等方面的试验研究。经过将近 20 年的发展，目前日本拥有 2346 架已注册农用无人直升机，操作人员 14163 人，成为世界上农用无人机喷药第一大国。

我国于 20 世纪 50 年代后期才开始无人机研制，60 年代初研制和生产了低速遥控靶机，70 年代研制成功“长虹”无人机，80 年代发展成功“长空 1 号”系列无人机。进入 21 世纪后，国内无人机发展呈现“井喷”态势，军用和民用无人机都得到了飞速发展，近年来更是引领了消费无人机的发展潮流。

3.2 无人机载荷发展历程

在无人机遥感发展早期，数码相机技术比较落后，使用的光学载荷主要是中画幅的胶片相机。例如，德国人对一栋历史建筑进行无人机航空摄影时使用了当时较为先进的 Rolleiflex SLX 中画幅胶片相机。随着数码相机技术的发展，人们开始尝试在无人机上使用数码相机，但是初期由于分辨率的限制，数码相机并没有得到广泛使用。1996 年，Miyatsuka 对一个考古遗迹进行无人机遥感时，使用了当时先进的 600 万像素的柯达 DCS 460 数码相机，发现该分辨率对于考古应用仍不够，推荐使用中画幅的胶片相机。近年来，数码相机的性能不断增强，像素、速度、功能都有了巨大的提升，市面上高端单反相机有效像素数达到 3600 万，快门速度高达 1/8000 s，相机存储容量最高可达 100G 以上，而且非量测型数码相机的标定技术和标定精度也在不断完善和提高。因此，数码相机已逐渐全面取代胶片式相机，成为轻小型无人机遥感的主流光学载荷。据不完全统计，现有无人机遥感系统的载荷类型有 70%以上为光学数码相机。

在光学遥感载荷方面，国内外目前均使用数码相机替代胶片相机，尽管在民用相机的无人机遥感实际应用上，国内产品与国外品牌尚有一定距离，但在专业相机的研发方面，国内的研发水平及前景还是比较乐观。贾建军等（2006）针对无人机遥感有效载荷的特点，利用成熟的商业光学镜头、相机机身，高分辨率大面阵 CCD 成像模块和嵌入式计算机硬件系统，通过光学、机械和电子学软硬件模块的集成，设计了一套实用的无人机大面阵 CCD 相机遥感系统。刘仲宇等（2013）以保证系统的识别距离和相机像素数为目标，采用实时传统

型商业级数码相机为相机载荷，自行开发嵌入式硬件控制电路操控相机拍摄，集成开发了一款超小型无人机相机系统，经过飞行试验，获得了高分辨率的清晰图像。中测新图（北京）遥感技术有限责任公司研制了 TOPDC-1 系列中画幅量测型数码相机，分为三种型号，分别具有 4000 万、6000 万、8000 万像素，并配备了 47mm、80mm 两种焦距可更换镜头，相机采用镜间快门，从结构上消除由于非严格中心投影导致的相移，以保障航摄精度要求。中国测绘科学院先后研制了 CK-LAC04 四拼相机和 CK-LAC02 双拼相机等多种适用于无人机的特轻小型组合特宽角相机，采用了不同于以往组合相机的新型机械结构方式，实现了组合相机的内部自检校（桂德竹等，2009；林宗坚等，2010）。遥感科学国家重点实验室在设备研制类项目支持下，进行了由四个相机组合而成的超低空无人机大幅面遥感成图轻微型传感器载荷系统改造研制。在这些组合相机研制中，使用的单反相机一般为国外高端民用单反相机。

3.3 无人机遥感技术在环境监测监管中的应用

近年来，生态环境领域无人机遥感监测应用技术加速发展，无人机应用场景逐步拓展，利用无人机机动灵活、隐蔽性强等特点，开展了自然生态、水环境、大气、土壤、固体废物等低空飞行遥感监测，高效支撑了污染源管控、自然生态保护、生态环境监测预警、突发环境事件应急响应等生态环境管理工作，促进了低空制造、低空飞行等方面低空经济快速发展。

一是生态环境基础信息调查方面。摸清家底是生态环境监管的基础，近年来生态环境部先后组织开展了第二次污染源普查、全国土壤详查、第三次海洋基线调查、入河入海排污口排查等生态环境要素基础信息调查工作，其中开展无人机低空飞行是重要的调查手段。低空无人机排查作为排污口“三级排查”中的重要一环写到了相关标准规范中，2019 年至今，全国七大流域开展低空飞行排污口排查累积达 20 万平方公里。在第三次海洋污染基线调查中，全国 1.8 万公里大陆海岸线全覆盖开展低空无人机飞行调查。

二是生态环境日常巡查方面。国家重点生态功能区县域生态环境质量考核、海湾清洁指数监测、生态保护红线及自然保护地人为活动干扰监测等已形成年度、季度、月度等不同频次生态环境低空巡查工作机制。例如低空无人机抽查作为国家重点生态功能区县域生态环境质量考核的一项重要工作，每年抽取 15 个县域重点生态变化斑块开展低空无人机监测，目前已累积飞行了 175 个县域，200 多个架次，覆盖面积约 8000 平方公里。

三是污染源精准监管方面。中央生态环境保护督察、生态环境执法监管等利用无人机开展前期线索摸排、及时发现生态破坏、锁定污染源违法排污、典型案例拍摄取证等已成为工作常态。2013 年生态环境部首次在唐山市开展钢铁企业大气违法排污无人机遥感巡查，引起了强烈社会反响，促进了低空无人机在督察、执法中深入应用，目前全国生态环境系统拥有无人机近 5000 架，搭载了采样、大气污染物检测、温室气体监测、热成像仪、高分辨率光学相机等系列环境专用载荷。在中央环保督察中，累积支撑长江经济带、黄河流域等 9 部生态环境问题警示片拍摄，开展近万架次无人机飞行。低空无人机已经是基层执法人员开展生态环境监管工作的重要法宝，无人机已经列入生态环境保护综合行政执法标配准备，同时对低空无人机及相关载荷装备在智能化、普适性、精度高等方面提出了新期待。

3.4 相关标准发展现状

目前美国、欧洲等国家和地区针对无人机的研究和应用早于我国，已经开始制订或起草民用无人机的相关标准，但尚未形成完整的体系，大部分国家和地区与我国相同，仍处于探索阶段。

美国联邦航空局 FAA 于 2015 年 2 月 16 日发布了《小型无人机管理规章草案》，在全球民用航空界引起了轰动。自 2005 年起，FAA 就计划起草适用于 25 公斤以下的小型无人机专用规章，尽管现在还处于征求意见阶段，但该草案的提出已经是小型无人机融入美国国家空域的一个里程碑。这对于完善我国的小型无人机管理、明确发展方向也具有借鉴价值。该草案简化了无人机的性能要求，放宽了无人机的监控和管理，旨在让无人机行业迅速发展，并符合经济和社会发展的需求。英国民航局于 2012 年 8 月发布了最新一版的 CAP722《无人机系统在英国空域的使用条例》，该条例是英国民航局在英国领空内对无人机使用的指导准则，也是整个英国无人机行业的参考标准，并被全世界模仿、学习与实施。这份文件强调了在英国操作无人机前需要注意的适航性和操作标准方面的安全要求，并对民用无人机采取比较宽松的政策。由于欧洲目前尚未制订统一的无人机规范，因此目前欧洲境内的无人机需要遵守各个国家单独制订的规范。例如，根据法国法律，未经航空局批准，任何飞越法国领空的无人机都是违法的；根据德国法律，无人机重量不得超过 25 公斤。欧盟委员会希望 2015 年年底构建一套适用于欧盟的无人机监管框架。

我国无人机航空遥感技术规范发布单位主要包括国家测绘局、国家能源局、中国民用航空局及地方技术监督局。国家测绘局发布的规范，包括《无人机航摄系统技术要求》《低空数字航空摄影规范》《无人机航摄安全作业基本要求》《低空数字航空摄影测量外业规范》《低空数字航空摄影测量内业规范》，上述规范涵盖了无人机系统组成、作业要求及数据处理等方面，建立了测绘领域系统性的无人机航空遥感技术规范体系；国家质量监督检验检疫总局发布了《航空摄影技术设计规范》《IMU/GPS 辅助航空摄影技术规范》，规定了航摄设计的基本要求、主要内容和审批程序、IMU/GPS 辅助航空摄影系统、摄影计划与航摄设计、航摄飞行及质量、IMU/GPS 数据处理、成果质量检查、成果整理和验收等标准，相对来说，两个规范较为全面；国家能源局发布了《架空输电线路无人机巡查作业技术导则》《油气管道工程无人机航空摄影测量规范》，定义了架空输电线路和油气管道无人机监测、巡查的作业流程；中国民用航空局发布了《无人机云系统接口数据规范》，规定了轻小型民用无人机系统与无人机云系统之间的传输数据要求、数据加密要求、编码规则和性能要求；安徽省质量技术监督局发布了《基于无人机平台的松材线虫病枯死松树监测技术规程》《道路交通事故现场无人机勘测技术规范》，江西省质量技术监督局发布了《农业植保无人机》，河南省质量技术监督局发布了《农用旋翼植保无人机安全及作业规程》《农业旋翼植保无人机技术条件》，广东省质量技术监督局发布了《无人机用锂离子电池组技术要求》，广西壮族自治区发布了《电动旋翼植保无人机技术条件》《气象无人机飞行控制系统数据传输协议技术规范》，重庆市质量技术监督局发布了《农用航空器电动多旋翼植保无人机》，上述规范规定了明确了应用领域，能够有效指导相关工作顺利开展。

总结其他行业发布的无人机航空遥感技术标准规范，可以看出，国家测绘局的标准规范最完善也最全面，而其他部门发布的标准规范侧重性及针对性较强，更适合具体行业应用。

综合国内现有的无人机航空遥感技术可知，国内航空遥感技术标准规范主要集中在无人机作业规范、数据处理和行业应用方面，且行业应用方面最为集中，而在无人机系统设计、安全监控、数据传输等方面规定较少。

4 标准制修订的基本原则和技术路线

4.1 基本原则

《规范》在制定过程中，符合如下基本规则：

(1) 实事求是原则

制定的标准规范，符合我国无人机遥感技术发展现状，满足生态环境监测业务需求，符合我国无人机相关产业生产、使用的实际情况，并符合我国政治与经济法规政策。

(2) 用户为主原则

充分考虑生态环境监测业务发展及技术需求，结合区域生态环境工作差异，有针对性地制定无人机作业技术规范，使所有用户获益。

(3) 科学先进原则

在积极分析、比较国内外无人机相关标准规范应用的基础上，结合现阶段无人机平台及载荷发展现状，规定了无人机环境遥感监测流程的基本要求，通过无人机航摄系统获取高分辨率的可见光、热红外、高光谱、雷达、激光等环境监测所需数据，进行处理后生成数字影像预处理产品及专题信息产品，实现高分辨率无人机影像规范化获取和应用。

(4) 适用性原则

面向生态环境监测业务需求，对无人机遥感航测工作的各个步骤进行规定，支撑各级行政单位实现基于无人机遥感的环境监测影像数据规范化获取及处理，确保具有适用性与通用性。

4.2 技术路线

本标准以国内外现有无人机航测标准为基础，具有较强的科学性、可行性和可操作性，可以为无人机环境监测工作提供明确的技术规范，为生态环境监管工作提供可靠的技术支撑。标准制订的技术路线主要包括：

(1) 开展国内外文献调研、国内其他行业无人机应用调研、现场调研试验、试点区域验证、交流研讨等；

(2) 确定本标准的框架体系，包括适用范围、无人机航测技术流程、飞行准备、飞行实施、数据处理、质量控制、成果提交等；

(3) 针对方案设计、数据处理、质量控制等工作过程中的重点难点问题开展深入研究试验；

(4) 形成各阶段标准文本和编制说明。详细技术路线见图 1。

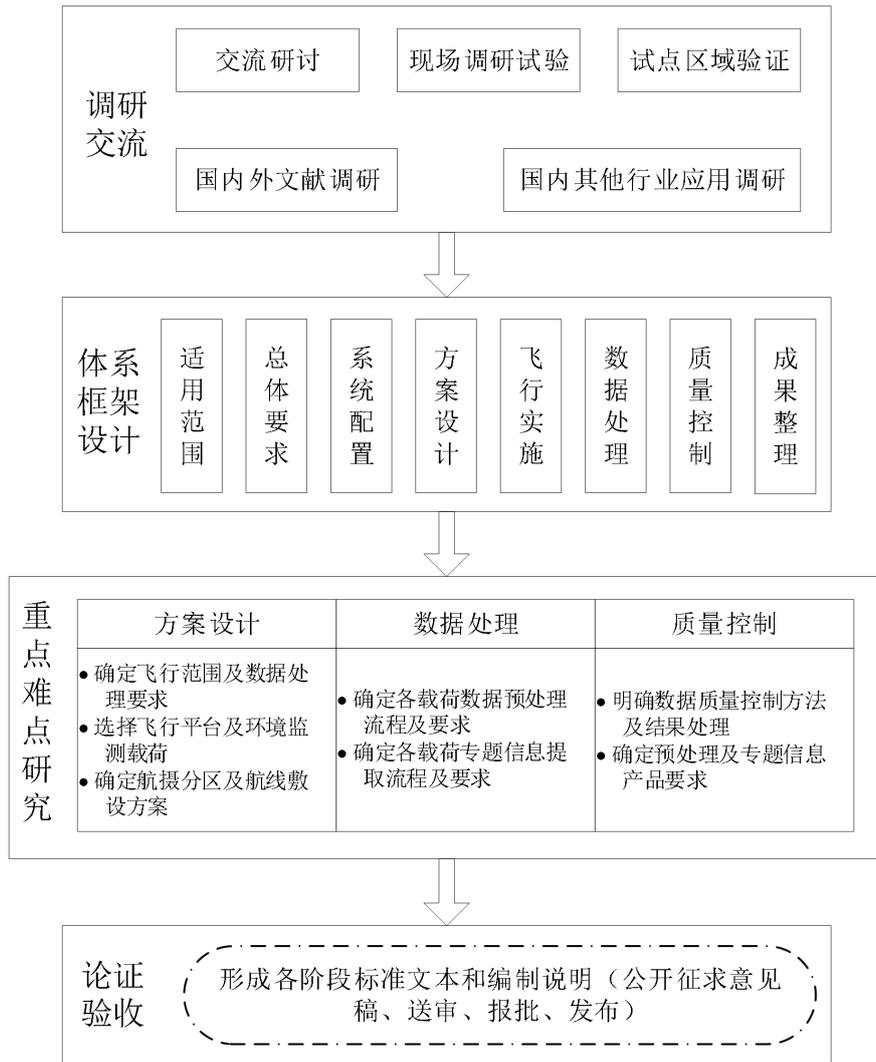


图 1 本标准制订的技术路线图

5 标准主要技术内容

基于生态环境监测业务需求，结合无人机遥感系统软硬件设备构成、影像处理等技术流程及工作原理，《规范》从无人机系统配置、飞行监测方案、飞行作业（外业作业）、影像处理（内业作业）等方面，规定了生态环境监测领域无人机作业的基本需求。

在无人机系统配置技术内容方面，分解无人机系统组成，从无人机平台性能、飞行控制系统功能、载荷配置参数、地面测控系统功能、地面保障系统要求、系统处理系统等方面，规定了无人机系统生态环境监测的具体要求，并细化每一项指标具体要求。

在飞行监测方案技术内容方面，分解飞行监测方案的设计要求，涵盖监测方案的飞行区域、任务目标、组织管理与人员分工、具体技术要求、保障措施等，细化方案中具体指标。

从飞行作业（外业作业）技术内容方面，围绕现场踏勘、飞行前检查、飞行操控、飞行后检查等内容，细化了无人机外业作业具体要求，并对外业作业具体参数指标进行了规定。

在影像处理（内业作业）技术内容方面，规范无人机影像处理、专题信息提取等两方面内容，明确影像处理及信息提取的具体技术细节与指标参数要求。

5.1 标准框架

本标准包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、总体要求、系统配置、方案设计、飞行实施、数据处理、质量控制、成果整理和附录 11 个部分。

- (1) 适用范围：本标准中的主题内容和适用范围。
- (2) 规范性引用文件：本标准中引用的标准、规范等。
- (3) 术语和定义：本标准中关键词语解释。
- (4) 总体要求：本标准的工作流程、时空基准和监测模式相关要求。
- (5) 系统配置：本标准中的飞行平台、任务载荷及地面保障设备技术要求。
- (6) 方案设计：本标准中的明确任务、资料收集、设备选型、航摄计划、飞行申报等技术要求。
- (7) 飞行实施：本标准中的设备检验及校正、实地踏勘、飞行作业、数据检查、补摄及飞行记录的方法和技术要求。
- (8) 数据处理：本标准中的彩色相机、红外相机、成像光谱仪、雷达、激光雷达数据预处理及专题信息产品的制作的方法和技术要求。
- (9) 质量控制：本标准中原始影像产品、预处理影像产品、专题信息产品质量控制方法和技术要求。
- (10) 数据整理：本标准中的无人机航测成果清单和技术要求。
- (11) 附录。

5.2 适用范围

本标准规定了无人机环境遥感监测的系统配置、方案设计、飞行实施、数据处理、质量控制、数据整理等相关要求。

本标准适用于我国利用固定翼无人机、复合翼无人机、旋翼无人机飞行平台开展生态环境无人机遥感监测。三角翼、飞艇等飞行平台的生态环境遥感监测可参照执行。

5.3 规范性引用文件

本标准规范性引用文件共 10 个，包括 3 个国家标准、7 个测绘标准。对于《测绘成果质量检查与验收》（GB/T 24356），直接引用了其中单位成果质量元素及错漏分类的内容；对于《IMU/GPS 辅助航空摄影技术规范》（GB/T 27919-2011），直接引用了其中系统组成和要求及补摄的要求；对于《航天高光谱成像数据预处理产品分级》（GB/T 36301），参考了其中对于航天高光谱数据处理产品的分级标准及定义；对于《低空数字航空摄影测量内业规范》（CH/Z 3003），直接引用了其中预处理、空中三角测量、定向建模、数字高程模型制作的相关内容；对于《低空数字航空摄影测量外业规范》（CH/Z 3004），直接引用了其中像控点布设及测量的内容；对于《低空数字航空摄影规范》（CH/Z 3005-2010），直接引用了其中固定翼无人机平台的部分要求；对于《基础地理信息数字成果 1:500、1:1000、1:2000 数字正射影像图》（CH/T 9008.3），直接引用了成果要求中的部分内容；对于《1:5000 1:10000 地形图合成孔径雷达航空摄影技术规定》（CH/T3015），直接引用了其对 SAR 预处理部分的要求；对于《1:5000 1:10000 地形图合成孔径雷达航空摄影测量技术规定》（CH/T3016），

直接引用了其空中三角测量、SAR 正射影像图的处理和要求；对于《机载激光雷达数据处理技术规范》（CH/T 8023），直接引用了其激光雷达数据预处理的流程和要求。

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是标注日期的引用文件，仅标注日期的版本适用于本作业规范；凡是不标注日期的引用文件，其最新版本适用于本作业规范。

GB/T 24356-	测绘成果质量检查与验收
GB/T 27919-2011	IMU/GPS辅助航空摄影技术规范
GB/T 36301	航天高光谱成像数据预处理产品分级
CH/Z 3003	低空数字航空摄影测量内业规范
CH/Z 3004	低空数字航空摄影测量外业规范
CH/Z 3005-2010	低空数字航空摄影规范
CH/T3015	1:5000 1:10000地形图合成孔径雷达航空摄影技术规定
CH/T3016	1:5000 1:10000地形图合成孔径雷达航空摄影测量技术规定
CH/T 8023	机载激光雷达数据处理技术规范
CH/T9008.3	基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 1:2000 数字正射影像图

5.4 术语和定义

本标准对无人机、无人机环境遥感监测、定位定向系统、数字正射影像图、无人机航摄、航摄计划、航线敷设等 7 个术语进行了定义。

（1）无人机 unmanned air vehicle（UAV）

无人机是本标准数据源获取的平台载体，尚无统一定义，如无人航空器、无人机等。本标准主要参考《无人机航摄系统技术要求》（CH/Z 3002）和《无人机环境遥感监测基本作业规范（试行）（环办〔2014〕84号）》，结合无人机环境遥感监测实际应用工作中的无人机特点进行定义，是指“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。”

（2）无人机环境遥感监测 environmental monitoring by UAV remote sensing

本标准的术语和定义中无人机环境遥感监测术语是结合现阶段无人机平台、载荷、数据处理及生态环境监测应用需求相关技术和内容，自主定义的一个术语。是指“利用无人机搭载彩色相机、红外相机、成像光谱仪、机载雷达等任务载荷，对生态环境进行低空遥感监测，获取无人机遥感影像并进行处理、专题信息提取和分析应用。”

（3）定位定向系统 position and orientation system（POS）

本标准的术语和定义中定位定向系统的定义采用了百度百科上对定位定向系统的定义。利用全球卫星导航系统和惯性测量装置直接确定传感器空间位置和姿态的集成系统。

（4）无人机航摄 aerial photography by UA

无人机航摄是指利用无人机搭载航摄传感器（如数码相机、多光谱相机、激光雷达等），通过自主飞行或人工遥控的方式，从空中对地表进行遥感影像采集的技术。

（5）航摄设计 aerial photography design

航摄设计是指根据无人机环境监测任务需求，系统规划航空摄影的整体技术方案的过程。其核心目标是确保影像数据满足精度、覆盖度和应用要求，同时优化飞行效率与成本。

（6）航线敷设 flight route planning

航线敷设是指在无人机航摄或航空测绘任务中,根据任务需求、地形条件和传感器参数,科学规划无人机飞行路径的过程。其核心目标是确保影像数据的全覆盖、高精度和高效采集,同时满足安全飞行要求。

(7) 无人机数字正射影像图 UAV digital orthophoto map (UAV DOM)

无人机数字正射影像图是本标准中影像解译的主要数据源,主要参考《摄影测量与遥感术语》(GB/T 14950-2009)和《基础地理信息数字产品 1:10000 1:50000 生产技术规程第 3 部分:数字正射影像图(DOM)》(CH/T 1015.3-2007),结合无人机环境遥感监测工作中的实际工作基础,对数字正射影像图 digital orthophoto map (DOM)进行了定义,具体是指“对无人机、卫星像片进行数字微分纠正和镶嵌,按一定图幅范围裁剪生成的数字正射影像集,同时具有地图几何精度和影像特征的无人机图像。”

5.5 总体要求

要求基于现阶段生态环境遥感监测的需求,结合目前无人机平台、载荷、数据处理技术现状,从工作流程、时空基准、监测模式 3 个方面对无人机环境遥感监测基本作业提出总体要求。

(1) 工作流程

无人机环境遥感监测工作流程包括方案设计、飞行实施、数据处理、质量控制及数据整理,具体如图 2 所示。

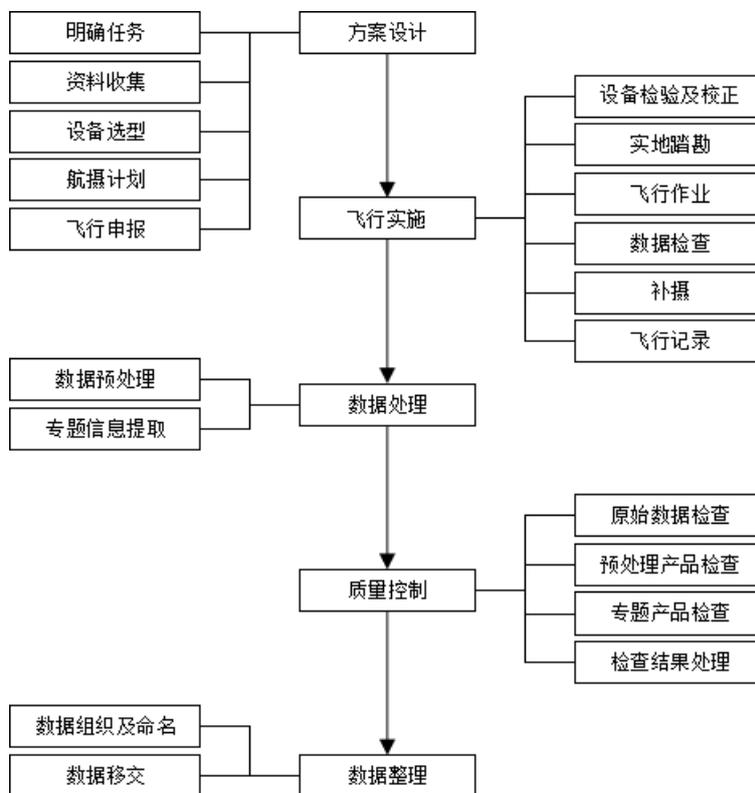


图 2 无人机环境遥感监测工作流程

（2）时空基准

根据国家相关规定，无人机环境遥感监测时空基准主要包括 3 个方面，大地基准应采用 2000 国家大地坐标系（CGCS2000），高程基准应采用 1985 国家高程基准，时间基准应采用公历纪元和北京时间。

（3）监测模式

无人机环境遥感监测模式宜分为基础调查、日常巡查、线索取证、应急监测四类，在开展生态环境监测工作中，可根据实际情况进行调整。各类监测模式内容如下：①基础调查主要包括地理空间数据制作与更新、生态环境基础数据调查等；②日常巡查主要包括河湖岸线水生态环境巡查、工业园区巡查、自然保护区巡查等；③线索取证主要是在生态环境督察、执法前期开展水、气、生态、土壤、固体废物等无人机监测，以便掌握生态环境违法问题线索；④应急监测主要是在突发环境事件中针对污染溯源、污染峰团跟踪、应急处置等进行的无人机监测。

5.6 系统配置

根据编制组调研情况，现阶段满足生态环境遥感监测的无人机系统主要由飞行平台、任务载荷和地面保障设备组成。编制组在调研了大量目前国内无人机飞行平台和遥感载荷技术水平的基础上，结合生态环境遥感监测影像的质量需求，在考虑现阶段载荷技术不断发展进步的基础上，参考《低空数字航空摄影规范》（CH/T 3005-2010），对满足生态环境遥感监测的飞行平台、任务载荷、地面保障设备相关技术指标进行了规定。飞行平台主要包括固定翼无人机平台、多旋翼无人机平台，任务载荷主要包括彩色相机、红外相机、成像光谱仪、机载雷达、激光雷达、POS 系统等。

（1）飞行平台

考虑到生态环境监测对固定翼/复合翼无人机平台需求，性能指标主要从任务载重、巡航速度、相对高度、实用升限、续航时间、测控距离、抗风能力等方面提出要求，其他指标参照 CH/Z 3005-2010 中 4.1 的要求。综合分析开展生态环境无人机遥感监测的固定翼无人机载荷重量基本大于 2 kg，如彩色光相机、红外相机等，所以要求固定翼无人机任务载重一般不小于 2 kg。根据近三年生态环境监测无人机飞行试验，巡航速度一般在 60~160 km/h 范围内；相对航高一般不超过 1500 m，最高不超过 2000 m；最大飞行海拔高度一般不小于 6000 m；续航时间一般不小于 1.5 h；测控距离一般不小于 15 km；抗风能力应大于 4 级。

考虑到微型、轻型多旋翼无人机一般任务载荷与飞行平台高度集成，本标准不做具体要求，小型及以上多旋翼无人机平台性能指标主要从任务载重、巡航速度、续航时间、测控距离、相对高度、最大飞行海拔、抗风能力等方面提出要求，任务载重一般不小于 2 kg；巡航速度一般在 50~80 km/h 范围内；续航时间一般不小于 30 min；测控距离一般不小于 5 km；相对航高一般不超过 1000 m，最大飞行海拔高度一般不小于 5000 m；抗风能力应大于 4 级。

（2）任务载荷

彩色相机主要用于可见光照片拍摄，配合 POS 系统数据生成正射影像图，为了保证影像空间分辨率和影像质量，有效像素不低于 2000 万，感光度不低于 ISO100，影像获取速率优于 1 幅/s，相机镜头应为定焦镜头，且对焦无限远，最高快门速度应不低于 1/1000 s。为

了保障安全开展无人机飞行作业，要求镜头与相机机身以及相机与成像探测器稳固连接。

红外相机主要开展温度探测，传感器有效像素应不低于 640×480，热灵敏度小于 100 mK，测量误差小于±3 K。

成像光谱仪主要获取高光谱数据，用于植被、水质等参数反演，光谱通道数一般应大于 150 个，光谱分辨率应优于 10 nm，光谱响应范围至少覆盖 400nm~900nm。

机载雷达作用距离大于等于 3 km，成像幅宽大于等于 2 km，分辨率大于等于 0.3 m。

激光雷达要求测距精度优于 5 cm，最大测距不小于 300 m，点频率不小于 240000 point/s（单回波），可同时搭配彩色相机。

POS 系统与彩色相机、红外相机、成像光谱仪等任务设备配合使用，为影像数据提供精确的位置信息，能输出位置和姿态测量参数与任务载荷获取的数据进行配对；考虑到任务载荷获取数据的频次，POS 系统最小采样间隔不大于 1 s；俯仰角、侧滚角测量精度优于 0.5°，偏航角测量精度优于 1°；其他指标参照 GB/T 27919-2011 中 4.1 的要求。

根据不同生态环境监测任务需求，可相应选择其他合适类型的任务载荷，如倾斜相机、气体检测仪、温室气体检测仪、多光谱相机等。

（3）地面保障设备

地面保障设备是无人机环境遥感监测的基本保障，包括包装运输箱、保障安全工作所需要的灭火器、风速风向仪、户外电源等设备。包装运输箱应采用高质量材料制作，内部采用泡沫等材料填充，具有一定的抗冲击、抗震动性能；包装运输箱应有良好的密封性，具备一定的防水、防潮、防尘功能；灭火器等设备应质量可靠，适合野外使用。

5.7 方案设计

方案设计是无人机航测任务重要的组成部分，所有航测任务基于此开展工作，方案设计重点包括航摄计划和航摄设计。编制组在参考《航空摄影技术设计规范》（GB/T 19294-2016）以及《低空数字航空摄影测量外业规范》（CH/Z 3004-2010）的基础上，结合目前我国不同环境监测任务的需求，对无人机航摄计划和航摄设计提出了具体要求。

5.7.1 任务明确

无人机环境监测实施之前应根据生态环境业务数据需求明确监测任务，包括监测目的、监测时间、监测地点、监测频次、数据类型、技术指标等。

5.7.2 资料收集

无人机环境作业前应收集基础地理、控制点、生态环境业务等 3 方面资料，①测区范围、基础底图影像、地形图、行政区划、禁飞区范围、气象条件、土地分类/覆盖图、周边机场、国界线、重要设施、保护区等资料；②已有控制点、CORS 站等控制资料；③测区范围内污染源普查、三线一单、生态保护红线、自然保护地、生态环境质量等生态环境业务应用相关数据资料。

5.7.3 设备选型

设备选型包括飞行平台和任务载荷设备选型。应该根据监测对象空间分布特点、任务载重、续航时间等确定飞行平台。作业面积大于 5km² 的，优先选用固定翼/复合翼无人机；作业面积在 1-5km² 之间的，根据飞行范围、设备配备情况宜选择固定翼/复合翼无人机或小型及以上旋翼无人机；作业面积小于 1km² 的，优先小型及以上旋翼无人机；视距范围内且无需测绘成图，优先选用轻型、微型旋翼无人机。飞行频率高且飞行范围固定的监测任务，可以选择无人机自动机场系统执行监测任务。应根据生态环境监测业务所需数据类型确定任务载荷类型，具体可参照表 1。

表 1 无人机飞行任务载荷配置表

监测模式	监测对象	监测信息	参考任务载荷
基础调查	基础底图制作	/	彩色相机
	生态调查	植被指数、植被类型、生物量等	多光谱相机、成像光谱仪、激光雷达
	土壤调查	土壤水分、重金属等物质含量	成像光谱仪
日常巡查	河湖海岸线巡查	岸线破坏位置、长度等	彩色相机
	重点湖库水华巡查	水华位置、面积	多光谱相机、成像光谱仪
	城乡黑臭水体巡查	黑臭水体位置、面积	多光谱相机、成像光谱仪
	入河入海排污口巡查	排污口异常排放情况	热红外相机、彩色相机
	工业园区大气环境巡查	园区大气污染物高值区	气体检测仪、彩色相机
	生态红线、自然保护地巡查	人为活动干扰位置、面积	彩色相机
	温室气体日常监测	典型区域温室气体浓度、通量	温室气体检测仪
线索取证	固废堆场	固废堆存体积、占地面积等	彩色相机、倾斜相机、激光雷达
	生态破坏	生态破坏图斑位置、面积	彩色相机
	大气、水等污染源	大气排放口污染物浓度、水排放口污染物浓度	气体检测仪、成像光谱仪
应急监测	海上溢油	溢油位置、面积	雷达、彩色相机
	污染溯源、污染峰团跟踪	污染源位置、污染峰团位置	热红外相机、彩色相机、成像光谱仪
	尾矿库泄漏	尾矿库泄漏量测算	激光雷达

5.7.4 航摄计划

无人机环境监测前应制作航摄计划，包括时间选择、航摄分区、航线敷设、像控点布设要求等。

(1) 航摄时间选择

航摄时间的选择应遵循如下原则：①基础调查、日常巡查应根据具体业务需求确定时间段和频次；②线索取证应选择对象易发生变化或已发生变化的时间段；③拍摄时，光学相关载荷要保证具有充足的光照度，且尽量避免大片云层的干扰；④成像光谱仪载荷的飞行时间宜选择在当地正午前后各 1.5h 内；⑤执行应急监测任务时，根据现场任务需求灵活选择飞行时间。

(2) 航摄分区

有效的分区和敷设即满足正射影像图的生产需要，还要能有效地提高无人机飞行实施工作效率，因此编制组参考《航空摄影技术设计规范》（GB/T 19294-2016），引用《低空数字航空摄影测量外业规范》（CH/Z 3004-2010），结合不同生态环境遥感监测正射影像成图比例的要求，制定了航摄分区、航线敷设、航摄时间的选择以及像控点布设的具体要求。

应根据监测范围的几何特点和监测需求，确定航摄分区，应急监测或区域范围较小的监测可不考虑航摄分区。航摄分区界线应与图廓线相一致，分区内的地形高差一般不大于 1/6 摄影航高，且能够确保航线的直线性情况下，分区的跨度应能完整覆盖整个摄区，当地形高差突变，地形特征差别显著或有特殊要求时，可以破图廓划分航摄分区。

(3) 航线敷设

应根据设计分辨率、航拍高度、任务载荷性能等敷设航线，视距范围飞行可不考虑航线敷设。航线敷设一般按东西向平行于图廓线直线敷设，特定条件下亦可做南北向敷设，河流、海岸线、境界等按其自然方向敷设。为保障能开展三角测量以及 DOM 生产，航向重叠度为 60%~80%，最小应不小于 53%；旁向重叠度为 15%~60%，最小应不小于 8%，航向覆盖超出作业边界线不少于两条基线，旁向覆盖超出作业边界线不少于相幅的 50%；进行水域、海区摄影时，应避免像主点落水。

(4) 像控点布设

像控点布设及测量按照 CH/Z 3004 中的要求执行。

5.7.5 飞行申报

2023 年 5 月 31 日，国务院、中央军委公布《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》，自 2024 年 1 月 1 日起施行，规范无人驾驶航空器飞行及有关活动，促进无人驾驶航空器产业健康有序发展，维护航空安全、公共安全、国家安全。利用无人机开展生态环境监测活动前应按照国家及地方无人机飞行空域管理、监督管理和应急处置的有关规定执行。

5.8 飞行实施

飞行实施主要包括设备检验及校正、实地踏勘、飞行作业、数据检查、补射、飞行记录等方面。

飞行实施之前应对所有设备进行检验和校正，所有设备外观、结构完整，相机与 POS

系统稳定、牢固固定于飞行平台上，所有连接线正常、稳固连接，相机镜头无遮挡并擦拭干净，油箱（电池）容量满足至少一个飞行架次，所有设备通电测试后工作正常，热红外相机在使用前进行过标定。

无人机遥感航测作业只有在所有设备正常工作的基础上才能开展航测任务，为了保障飞行任务的正常开展，飞行前对各项设备的检验校正工作是必不可少的，编制组在调研了大量无人机航测实践经验的基础上，规定了设备检验及校正的基本要求，以此保障飞行的安全有效实施。编制组参考《无人机航摄安全作业基本要求》（CH/T 3001-2010），为了无人机安全作业并选择合适的起降点，无人机飞行作业前需对测区进行实地踏勘，了解测区内的基本情况（地形地貌、地表植被以及周边的机场、重要设施、道路交通、工业布局、人口密度等信息）。

飞行作业需注意：每次飞行作业前，需仔细检查设备的状态是否正常；飞行作业应避免大雾、霾等能见度低的气象条件，以及各种覆盖物（如积雪、洪水、扬尘等）的不利影响；不同地形太阳高度角要求，平地 $>20^\circ$ ，丘陵 $>30^\circ$ ，山地 $>45^\circ$ ；飞行区域和水域相关时，应选择在低潮位时期和枯水期等窗口时间开展作业；航迹控制精度的偏航距 $<\pm 10$ 米，航高差 <10 米；搭载红外相机飞行时，根据需要在地面开展同步测量工作，记录多种典型地物的表面温度数据，同一测区内典型地物数量一般不少于3种；搭载成像光谱仪飞行时，根据需要在地面开展同步测量工作，记录多种典型地物的地表反射率数据，同一测区内典型地物数量一般不少于3种；按要求做好飞行记录。

每个架次的飞行结束后，应立即检查影像及POS数据的数量和质量，对于不符合要求的数据，需及时补飞。检查的内容包括：影像数量和预估的数量基本一致；影像数据和POS数据一一对应；影像目视清晰、纹理结构正常、反差适中，色调柔和，能够辨认出与地面分辨率相适应的细小地物；影像上不应有大面积的云、云影、烟、大面积反光、污点等缺陷；POS数据值在正常范围内。编制组在调研了大量实际飞行经验的基础上，为了保障飞行的有效性和准确性，认为飞行结束后需要对飞行数据进行必要的检查，并对需要的检查内容进行了规定。其中POS数据的正常范围需要结合实际飞行时的地理位置和载荷的空中姿态进行判断。

无人机在飞行作业中，不可避免地会出现影像数据或POS数据记录不完整的情况，针对飞行中出现的的数据丢失，编制组在参考《IMU/GPS辅助航空摄影技术规范》（GB/T27919-2011）的基础上，对无人机补摄和补摄原则进行了相应的要求。需补摄的情况包括：航摄影像出现相对漏洞或绝对漏洞；POS数据的补摄按照GB/T27919-2011中6.4.1~6.4.5中情况进行确定补摄时应采用前一次航摄飞行的同型号载荷，补摄时间、气象条件应和前一次航摄时尽量接近，补摄飞行应按原设计要求进行，补摄航线的两端至少超出漏洞之外一条基线。

编制组在调研了大量实际飞行经验的基础上，参考了部分现有的飞行记录模板和飞行区域信息统计模板，规定了每个飞行架次结束后应填写飞行记录；搭载红外相机或成像光谱仪飞行时，如开展地面同步采集工作，需填写红外/光谱仪地面同步测量表。

5.9 数据处理

编制组基于生态环境遥感监测需求，在参阅大量卫星环境遥感数据处理及各应用行业无

人机遥感数据处理的基础上，对此工作模式下的无人机彩色相机数据、红外相机数据、成像光谱仪数据、雷达数据、激光雷达数据处理流程查阅了大量文献、整理了数据处理的完整流程，包括预处理和专题信息提取；研究了测绘产品生产相关标准，具体参考了 GB/T 36301-2018、CH/T 9008.3-2010、CH/Z 3003-2010、CH/T 3015-2015、CH/T 3016-2015、CH/T 8023-2011 等标准要求。

5.9.1 数据预处理

(1) 彩色相机数据

可见光彩色相机数据处理过程包括影像预处理、空中三角测量、定向建模、数字高程模型制作、数字正射影像图制作。

影像预处理包括格式转换、畸变差改正以及图像增强。格式转换是为了方便后续处理，在不损失几何信息和辐射信息的前提下，将航摄原始数据进行格式转换；畸变差改正的要求是基于相机畸变系数，可利用专业软件对原始影像进行畸变差改正；也可利用摄影测量软件在空中三角测量阶段进行畸变差改正；图像增强是为提高数据处理精度及影像解译精度，对原始数据进行图像增强处理。空中三角测量：具体要求按照 CH/Z 3003 规定的相关要求执行。定向建模：具体要求按照 CH/Z 3003 规定的相关要求执行。数字高程模型制作：具体要求按照 CH/Z 3003 规定的相关要求执行。数字正射影像图（DOM）制作，包括纠正、匀色、镶嵌、图幅裁切等，具体要求按照 CH/T9008.3 规定的相关要求执行。

(2) 红外相机数据

红外相机数据处理的流程参照彩色相机数据处理流程，区别在于受目前硬件条件的限制，红外相机的空间分辨率低于彩色相机，因此不要求进行空中三角测量、定向建模及数字高程模型制作等流程，同时对于其数字正射影像图的成果精度要求应适当降低，其预处理的最终产品应提供温度数据。数据前期处理，包括格式转换、畸变差改正及图像增强，具体要求按照 CH/Z 3003 规定的相关要求执行；数字正射影像图（DOM）制作，包括辐射校正、几何校正、镶嵌、图幅裁切等。考虑到目前红外相机硬件指标的限制，其处理过程按照 CH/T9008.3 规定的相关要求执行，但数据产品精度可适当放低；大气校正，利用大气辐射传输模型或地面实况同步观测数据，生成地表温度数据产品。

(3) 成像光谱仪数据

目前适用于无人机的成像仪绝大部分是线扫的，且无人机应用较少，但在生态环境监测方面可以发挥其积极的作用。编制组在参考国家标准《航天高光谱成像数据预处理产品分级》（GB/T 36301）规定的基础上，结合现阶段无人机成像光谱仪数据处理过程，对无人机成像光谱仪数据预处理做如下要求。辐射校正，包括相对辐射校正和绝对辐射校正，基于实验室定标结果，生成辐亮度数据产品；几何校正，利用飞行作业时同步获取的 POS 数据进行几何校正，生成光谱影像数据产品；大气校正、地表反射率计算，利用大气辐射传输模型或地面实况同步观测数据，生成地表反射率数据产品。

(4) 雷达（SAR）数据

无人机雷达数据的处理是在参考《1:5000 1:10000地形图合成孔径雷达航空摄影技术规定》（CH/3015-2015）和《1:5000 1:10000地形图合成孔径雷达航空摄影测量技术规定》

(CH/3015-2015)的基础上做出的要求。数据前期处理,包括原始回波数据生成、InSAR影像产品生成及多极化SAR影像产品生成,具体要求按照CH/T 3015的相关要求执行;空中三角测量,具体要求按照CH/T 3016规定的相关要求执行;SAR正射影像图,具体要求按照CH/T 3016规定的相关要求执行。

(5) 激光雷达数据

激光雷达数据的预处理过程应符合现行行业标准 CH/T 8023《机载激光雷达数据处理技术规范》的规定,在原始数据的基础上,经过坐标系统转换、点云滤波分类、数字高程模型制作、匀光匀色、拼接、裁剪等处理后,最终生成数字正射影像图。

5.9.2 专题信息提取

无人机环境遥感监测专题信息所涉及的内容较多,编制组对这部分内容没有展开描述,仅对专题信息产品的生产流程和制作要求进行了描述。

专题信息提取是在预处理数据产品的基础上,经过图像融合、参数反演、图像分类、图像解译等处理过程,生成符合要求的满足水、气、生态、土壤、固体废物、核辐射等生态环境监测领域需求的专题信息产品。

专题信息产品的制作要求,在有相关国家或行业标准的时候按照标准执行,在没有相关国家或行业标准的时候根据实际需求执行。

5.10 质量控制

成果质量控制主要参照 GB/T 24356-2009。原始影像以目视方式检查,要求影像完整,纹理清晰,反差、色调适中。可见光数字正射影像图质量检查:以目视的方式检查影像,是否存在拼接错位、模糊、扭曲变形、重影等现象;是否满足可见光数字正射影像图产品要求;其他要求参考 GB/T 24356-2009 相关内容。热红外数字正射影像图质量检查:以目视的方式检查影像,是否存在拼接错位、模糊、扭曲变形、重影等现象;是否满足热红外数字正射影像图要求。倾斜影像数据产品质量检查:以目视的方式检查影像,是否存在拼接错位、模糊、扭曲变形、重影等现象。是否满足倾斜影像产品要求。专题信息产品应根据成果类型及处理方式对样本数据分别进行识别精度、分类精度、变化监测精度、反演精度等检验。质量检查结果处理:在质量检查中发现质量问题时,应及时提出处理意见,交产品生产部门进行修正。当问题较多或性质问题较严重时,可要求补飞或将部分或全部产品退回数据处理部门重新处理,再次进行最终检查并填写检查记录。

5.11 数据整理

5.11.1 成果数据组织及命名

无人机航测飞行结束后,需提交原始影像、POS数据、像控点数据、预处理产品数据以及专题产品数据。对于数据的整理和提交方式,编制组参考各阶段各行业无人机数据整理工作要求及生态环境遥感监测数据特点,同时结合目前文件的存储方式,对需提交的原始影像、POS数据、像控点数据、预处理产品数据及专题产品数据的组织及命名做出了以下具体要求。

飞行成果数据按照以下结构进行组织：以飞行架次为单位组织，即一个飞行架次目录由原始影像目录、POS 数据目录、像控点目录、预处理产品目录及专题产品目录组成，各目录下存储其对应的数据体文件（其结构形式见图 2）；数据体文件为原始影像、POS 数据、像控点数据、预处理数据产品及专题数据产品。

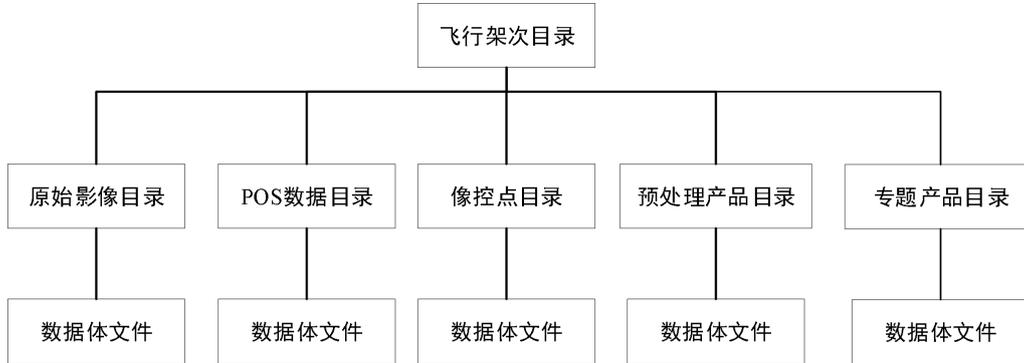


图 2 成果数据文件组织结构

为了更好开展归档工作，各目录及数据体文件命名规则如下：飞行架次目录按照 XXX-AAAABBCC-DD 的编号规则编制目录名称，各部分意义见图 3。原始影像目录按照数据体类型命名，即原始影像，其数据体文件按照顺序命名，起始为 0001；POS 数据目录按照数据体类型命名，即 POS 数据，其数据体文件按照飞行架次目录命名；像控点目录按照数据体类型命名，即像控点，其数据体文件按照飞行架次目录命名；预处理产品目录按照数据体类型命名，即预处理结果数据，其数据体文件按照飞行架次目录及产品名称命名；专题产品目录按照数据体类型命名，即专题信息提取结果数据，其数据体文件按照飞行架次目录及产品名称命名。

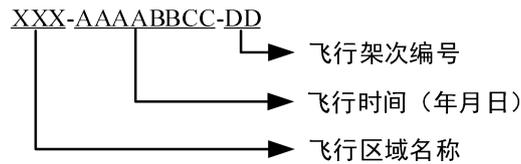


图 3 成果数据文件夹命名规则

5.11.2 数据移交

为圆满完成无人机环境遥感监测任务，确保无人机航测质量，在提交各阶段数据产品的基础上，还需提交飞行范围、飞行记录表、飞行区域信息统计表、相机检校参数、原始影像及 POS 数据，用于无人机航测质量检查及辅助开展各种生态环境监测任务。具体提交内容如下：

- a) 成果移交清单；
- b) 航摄飞行设计书；
- c) 飞行范围文件；
- d) 摄区航线图或航线规划文件；

- e) 飞行记录表，为原版复印件及电子扫描件；
- f) 飞行区域信息统计表；
- g) 载荷检校参数报告，为原版复印件及电子扫描件；
- h) 原始影像及对应的 POS 数据，存储于移动硬盘内；
- i) 预处理影像产品，存储于移动硬盘内；
- j) 专题信息产品，存储于移动硬盘内；
- k) 数字正射影像产品精度报告；
- l) 在结合实际情况的基础上，采用其他载荷技术获取满足质量要求的影像并提交其相应的标准格式数据；
- m) 其他相关资料。

6 与国内外同类标准或技术法规的水平对比和分析

在无人机民用领域，国内无人机遥感业务应用及技术推广要明显领先于国外，尤其在生态环境监测领域，国内无人机遥感监测及应用已处于高速发展阶段，而国外仍处于科研研究及实验阶段；同时，在生态环境监测领域，国内外无人机遥感作业相关规范仍处于空白。国内无人机相关规范主要以测绘、农业等领域的规范最为突出，而国外主要注重无人机性能方面的规范，对无人机作业规范还未涉足。

相对于测绘、农业等领域的无人机遥感技术规范，《规范》有其独特的技术要求，其不仅规范了无人机外业作业技术内容，同时也规定了无人机系统组成、地面保障、影像处理等方面，是对已有无人机作业规范的细化与补充；此外，《规范》紧紧围绕生态环境监测领域业务需求，具有很强的针对性，相对于测绘领域无人机作业规范，并未要求具备测绘级的精度，主要围绕生态环境监测要求而定；相对于农业领域的无人机作业规范，要更为具体详细，对无人机飞行作业、地面保障、影像处理提出了更高的要求。综上，《规范》是生态环境监测领域的、专业的无人机作业规范，填补了国内外生态环境监测无人机作业空白，是无人机作业规范领域的补充。

7 对实施本标准的建议

本标准无人机环境遥感监测框架性标准，为利用无人机遥感航测技术进行污染源监管、突发环境事件应急、生态破坏监管、水生态环境监测等的指导性技术规范，与我国现有无人机平台、载荷、遥感数据处理水平相匹配，确定了无人机遥感航测的工作流程、飞行准备及飞行实施各阶段的技术要求、数据处理流程及产品指标技术要求、原始影像及正射影像质量控制要求等。随着无人机平台及载荷技术的发展，相关技术要求必将在精度和可靠性方面进一步提高，技术应用流程也会相应优化。因此，建议标准发布实施用于指导利用无人机遥感航测技术进行生态环境监测工作，同时建议本标准应当随生态环境监测技术和我国无人机遥感航测技术的发展，适时进行修订。

8 参考文献

- [1] 张钟林. 国防科技名词大典·航空[M]. 北京: 航空工业出版社, 2002.
- [2] 贾建军, 舒嵘, 王斌永. 无人机大面阵 CCD 相机遥感系统[J]. 光电工程, 2006, 33(8):90-93.
- [3] 刘仲宇, 张涛, 李嘉全, 等. 超小型无人机相机系统关键技术研究[J]. 光电工程, 2013, 44(4):80-85.
- [4] 桂德竹, 林宗坚, 刘少芹, 等. UAV 载特轻小型组合宽角数字相机拼接模型[J]. 红外与激光工程. 2009, 38(5):906-914.
- [5] 林宗坚, 苏国中, 支晓东. 无人机双拼相机低空航测系统[J]. 地理信息空间. 2010, 8(4):1-3.
- [6] 中华人民共和国国务院、中华人民共和国中央军事委员会. 无人驾驶航空器飞行管理暂行条例. 第 761 号, [2023.5.31]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202306/content_6888800.htm.
- [7] 中国国家标准化管理委员会. 无人驾驶航空器系统术语: GB/T 38152-2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019:10.
- [8] 中国民用航空局. 无人机驾驶航空器系统作业飞行技术规范: MH/T 1069-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018:11.
- [9] 中国国家标准化管理委员会. 民用无人驾驶航空器系统安全要求: GB 42590-2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023:5.