

附件 5

《入河（海）排污口排查整治无人机遥感航测技术规范（征求意见稿）》

编制说明

《入河（海）排污口排查整治无人机遥感航测技术规范》

标准编制组

二〇二一年二月

目 录

1 项目背景.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 工作过程.....	1
2 标准制订的必要性.....	2
2.1 贯彻党中央、国务院决策部署的需要.....	2
2.2 落实“水陆统筹，以水定岸”的需要.....	2
2.3 实现“精准排查、全覆盖”的需要.....	3
2.4 全面推广专项行动经验的需要.....	3
3 国内外研究进展.....	3
3.1 无人机平台发展历程.....	3
3.2 无人机载荷发展历程.....	4
3.3 无人机遥感技术在生态环境监管中的应用.....	5
3.4 相关标准发展现状.....	5
4 标准制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 工作流程.....	10
5.6 飞行准备.....	10
5.7 飞行实施.....	14
5.8 数据处理及质量控制.....	15
5.9 成果提交.....	16
6 对实施本标准的建议.....	17

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，摸清流域、海域排污口底数，掌握陆源入河（海）污染源情况，支持水生态环境质量改善，规范和指导入河（海）排污口排查整治工作，切实做好入河（海）排污口排查整治无人机遥感航测工作，生态环境部执法局组织编制了《入河（海）排污口排查整治无人机遥感航测技术规范》。

本标准的承担单位为：生态环境部卫星环境应用中心、生态环境部华南环境科学研究所、清华大学环境学院。

1.2 工作过程

2018年8月，为了摸清长江干流生态环境风险，建立长江岸线开发利用、生态破坏等环境问题清单，生态环境部组织编制长江干流生态环境无人机调查三年计划。为了掌握无人机航测及专题信息解译方法和技术参数，生态环境部卫星环境应用中心（以下简称“卫星中心”）先后在长江干流九江段、泰州段等典型区域开展无人机航测和信息解译试点，初步形成了长江干流生态环境无人机遥感调查工作方案。

2019年1月，生态环境部在唐山市开展以改善渤海水环境质量为核心目标的入海排污口排查整治试点工作，卫星中心以《长江干流生态环境无人机遥感调查工作方案》为指导，开展了试点区域无人机航测及入海排污口专题信息解译工作。在此基础上，进一步总结经验，凝练技术方法形成了《渤海入海和长江入河排污口排查整治无人机航测技术要求（试行）》（初稿）。

2019年2月，针对《渤海入海和长江入河排污口排查整治无人机航测技术要求（试行）》（初稿）召开专家咨询会，根据专家咨询会意见进行修改形成《入海（河）排污口排查整治无人机航空遥感技术要求（试行）》（征求意见稿），并向生态环境部相关司局（5个）、直属事业单位（5个）以及长江经济带、渤海地区15省（市）生态环境厅（局）等征求意见，共征得意见34条。经认真研究后共采纳涉及飞行范围、飞行时相、数据坐标系等意见11条，原则上采纳涉及培训、资金支持等意见4条，不采纳涉及协调空域、飞行资质要求等与技术无关的意见19条。

2019年3月，为扎实推进渤海地区和长江经济带入河（海）排污口排查整治，切实做好入河（海）排污口无人机航空遥感工作，生态环境部向长江经济带、渤海地区15省（市）生态环境厅（局）印发了《入海（河）排污口排查整治无人机航空遥感技术要求（试行）》（环办执法函〔2019〕268号），指导各省市开展入河（海）排污口无人机航测及专题信息解译工作，共获取了5.6万余平方公里无人机影像，为入河（海）排污口排查奠定了工作基础。

2020年4月，为扎实推进黄河流域入河排污口排查整治试点工作顺利开展，以《入海（河）排污口排查整治无人机航空遥感技术要求（试行）》（环办执法函〔2019〕268号）为

基础，编制了《黄河流域入河排污口排查整治无人机航空遥感技术要求（试行）》，指导黄河流域试点省市开展入河排污口无人机航测和解译相关工作。

2020年7月起，为总结入河（海）排污口排查整治专项行动和试点工作经验，指导开展七大流域及近岸海域入河（海）排污口排查整治无人机航测工作，生态环境执法局组织部卫星中心等相关单位研究编制《入河（海）排污口排查整治无人机遥感航测技术规范》。首先总结了前期工作经验和工作成果，并与地方管理机构、相关技术单位进行了深入交流与讨论，其次召开专家咨询会和座谈讨论会，广泛征求专项行动工作人员和行业领域专家的意见，历经4次的修订后形成本标准征求意见稿。

2021年2月，受生态环境部生态环境执法局委托，生态环境部环境标准研究所组织召开了本标准公开征求意见稿技术审查会，生态环境部环境工程评估中心、中国科学院空天信息创新研究院、中国环境科学研究院、国家基础地理信息中心、中国科学院地理科学与资源研究所、北京师范大学、海河流域北海海域生态环境监督管理局生态环境监测与科学研究中心、重庆市生态环境保护综合行政执法总队、泰州市生态环境综合行政执法局、江苏省环境监测中心等单位代表参加了会议。编制组汇报了《入河（海）排污口排查整治 无人机遥感解译技术规范》的编制过程与内容，会议通过了标准征求意见稿的技术审查，并建议“进一步提高标准文本和编制说明的规范性，完善相关内容”。编制组根据技术审查会意见进行修改，形成了《入河（海）排污口排查整治 无人机遥感航测技术规范》（征求意见稿）。

2 标准制订的必要性

2.1 贯彻党中央、国务院决策部署的需要

2018年4月26日，习近平总书记在主持召开深入推动长江经济带发展座谈会时明确提出，“要从生态系统整体性和长江流域系统性出发，开展长江生态环境大普查，系统梳理和掌握各类生态隐患和环境风险，做好资源环境承载能力评价，对母亲河做一次大体检”。为贯彻落实习近平总书记指示要求和长江经济带发展座谈会会议精神，2018年9月，生态环境部启动长江经济带生态环境无人机调查三年计划，韩正副总理圈阅同意开展此项工作，其中入河排污口调查是最重要的任务。无人机遥感技术具有机动灵活、多角度、空间分辨率高等优势，不仅能掌握宏观整体情况，而且能够精细识别绝大部分各类型入河（海）排污口，可有效支撑长江经济带的生态环境保护工作。

2.2 落实“水陆统筹，以水定岸”的需要

入河（海）排污口是连结陆上污染源和受纳水体的枢纽，是改善水质的关键环节。过去水陆分离，水利部门不上岸，只管入河排污口，环保部门只管出厂界排污口，污染源、入河（海）排污口和水体的监管不连贯。《深化党和国家机构改革方案》明确提出将水利部的排污口设置管理职责划归生态环境部，入河（海）排污口作为水环境质量改善的“牛鼻子”，面临底数不清、责任主体不清、管理范围不全等突出问题，入河（海）排污口有多少、排到哪里、谁在排、排的是什么，是我们急需掌握的关键性问题，只有摸清底数，才能落实“水陆统筹，以水定岸”，实现“污染源-排污通道-排污口-受纳水体”全链条监管。

2.3 实现“精准排查、全覆盖”的需要

当前，有的地方认为入河（海）排污口排查为简单的体力工作，忽视现场工作的艰难困苦和入河（海）排污口分布的复杂性，工作方式仅依靠人工岸线徒步，难以保证质量。基于无人机航测成果，解译疑似排污口、可疑区域等，不仅能实现排查区域全覆盖，为人工现场排查提供“靶向目标”，而且还能基于高分辨率无人机影像底图提高入河（海）排污口定位精度，保障准确开展监测、溯源、整治及日常管理工作，支撑生态环境精准监管。

2.4 全面推广专项行动经验的需要

2018年8月起，生态环境部先后在泰州、唐山、重庆等城市开展入河排污口试点排查工作，摸索无人机航测技术参数、排污口专题信息解译方法，明确技术要求。在随后的渤海地区入海、长江入河、黄河入河排污口排查整治专项行动中，推动各城市编制入河（海）排污口排查整治无人机航测方案，并获取了接近6万平方公里0.1米分辨率无人机影像，统一由卫星中心开展入河（海）排污口专题信息解译，开展入河（海）排污口第一级排查，为人工现场排查提供了靶向目标。目前，各地高度重视此项工作，山东、江苏、广东、安徽、贵州、陕西等省份已经开始启动辖区海域及流域入河（海）排污口排查整治工作，并希望生态环境部提供无人机航测及解译等相关技术的培训与指导，迫切需要出台本标准指导相关工作。

3 国内外研究进展

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，采用空气动力学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的运用在各行各业。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。俄罗斯联邦测绘局大量利用无人机航拍技术来完成俄罗斯国家地图和地图集;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多年的发展,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(Eisenbeiss, 2009)。例如,德国人Wester-Ebbinghaus等(1980)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(Miyatsuka, 1996)。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,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仪器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(龚建华等,2014)。在这些组合相机研制中,使用的单个相机一般为国外高端民用单反相机。

3.3 无人机遥感技术在生态环境监管中的应用

目前我国正处在工业化和城镇化高速发展的新时期,随之而来的环境压力越来越大,环境保护任务也日趋繁重。环境基础数据资料的获取是做好当前环境保护工作的前提,随着环境保护工作要求的不断提高,环境基础数据资料的精确性、可靠性和时效性也迫切需要提高。无人机通过遥感技术可快速获取地理、资源、环境等空间遥感信息,完成遥感数据采集、处理和应用分析。具有机动、快速、经济等优势,将无人机应用于环境保护领域,可有效提高环境基础数据资料的精确性、可靠性和时效性,为环境保护工作提供重要的技术支持,为生态环境部门准确、合理、高效地做出决策打下良好基础。

传统的环境监测通常采用点监测的方式来估算整个区域的环境质量情况,具有一定的局限性和片面性。无人机遥感系统具有视域广、及时连续的特点,可迅速查明环境现状。借助系统搭载的多光谱成像仪生成多光谱图像,直观全面地监测地表水环境质量状况,提供水质富营养化、水华、水体透明度、悬浮物、排污口污染状况等信息的专题图,从而达到对水质特征污染物监视性监测的目的。无人机还可搭载移动大气自动监测平台对目标区域的大气进行监测,自动监测平台不仅能够监测污染因子,还可采用搭载采样器的方式,将大气样品在空中采集后送回实验室监测分析。无人机遥感系统安全作业保障能力强,可进入高危地区开展工作,也有效地避免了监测采样人员的安全风险。

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。

在我国，中国民航局、国家测绘科学院、中国航空综合技术研究所和中国电子技术标准化研究院已开展了有关标准化课题的研究，初步提出了无人机标准体系的框架，也制订了一批无人机的专用标准、规范，如《民用无人机空中交通管理办法》（MD-TM-2009-002）、《民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理暂行规定》（AC-61-FS-2013-20）、《低空数字航空摄影规范》（CH/Z 3005-2010）、《低空数字航空摄影测量外业规范》（CH/Z 3004-2010）、《无人机航摄安全作业基本要求》（CH/Z 3001-2010）、《低空数字航空摄影测量内业规范》（CH/Z 3003-2010）、《无人机航摄系统技术要求》（CH/Z 3002-2010）、《1:500 1:1000 1:2000 地形图航空摄影测量内业规范》（GB/T 7930-2008）等。但在生态环境保护领域，尚无针对利用无人机遥感技术进行环境监测的相关技术规范。

4 标准制订的基本原则和技术路线

4.1 基本原则

（1）实用性

面向入河（海）排污口排查整治中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入河（海）排污口影像数据规范性获取。

（2）协调性

本标准与我国现行生态环境保护的方针政策相一致，同时沿用测绘、地理国情普查等标准中无人机遥感航测相关要求。

（3）全面性

规定了入河（海）排污口排查整治无人机遥感航测流程的基本要求，通过无人机航摄系统获取高分辨率的可见光、热红外及倾斜摄影遥感影像数据，进行处理后生成数字影像产品，实现高分辨率无人机影像规范化获取。

（4）系统性

本标准是入河入海排污口排查系列标准规范的重要组成部分，相关内容与《入河（海）排污口三级排查技术指南》、《入河（海）排污口排查整治无人机遥感解译技术规范》、《入河（海）排污口命名与编码规则》等相关规范要求相衔接。

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，可以为入河（海）排污口排查整治无人机遥感航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) 针对飞行准备、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) 在长江入河排污口排查整治、渤海地区入海排污口排查整治、黄河流域入河排污口排查整治等专项行动中开展应用；

(5) 形成各阶段标准文本和编制说明。详细技术路线见图 1。

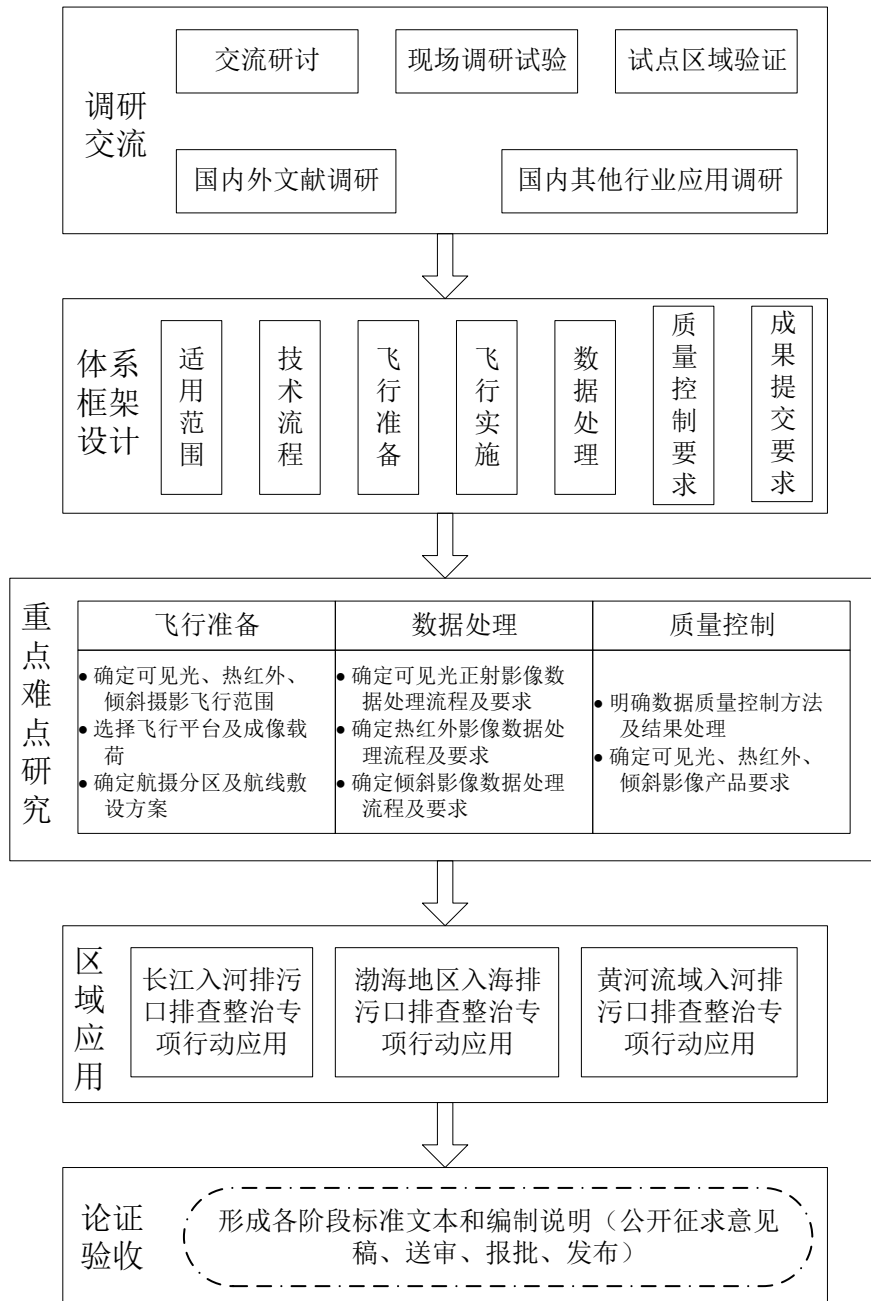


图 1 本标准制订的技术路线图

5 标准主要技术内容

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、工作流程、飞行准备、飞行实施、数据处理、质量控制要求、成果提交要求和附录 10 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) 工作流程：本标准中入河（海）排污口无人机遥感航测的总体技术流程。

(5) 飞行准备：本标准中的飞行前期资料收集、飞行范围、空域申请、设备选择、航摄计划、像控点布设及测量、设备检验及校正的方法和技术要求。

(6) 飞行实施：本标准中的排污口无人机航测飞行实施中实地踏勘、飞行作业、数据检查、飞行记录的方法和技术要求。

(7) 数据处理：本标准中的可见光影像、热红外影像以及倾斜影像产品的制作的方法和技术要求。

(8) 质量控制要求：本标准中原始影像、可见光和热红外数字正射影像图、倾斜影像产品质量控制方法和技术要求。

(9) 成果提交要求：本标准中的无人机航测成果清单和技术要求。

(10) 附录

5.2 适用范围

本标准规定了入河（海）排污口排查整治无人机航测的工作流程、飞行准备、飞行实施、数据处理、质量控制、成果提交。并规定本标准适用于利用无人机航摄系统开展入河（海）排污口的第一级排查工作。

5.3 规范性引用文件

本标准规范性引用文件共 6 个，包括 2 个国家标准、3 个测绘标准和 1 个与本标准同属于入河（海）排污口排查整治系列标准。对于《倾斜数字航空摄影技术规程》（GB/T 39610-2020），直接引用了其中倾斜数字航摄仪性能要求及影像重叠度要求的内容；对《低空数字航空摄影测量外业规范》（CH/Z 3004-2010），直接引用了其中像控点布设及测量的内容；对《低空数字航空摄影测量内业规范》（CH/Z 3003-2010），直接引用了其中空中三角测量、定向建模、数字高程模型制作的相关内容；对《测绘成果质量检查与验收》（GB/T 24356-2009），直接引用了其中单位成果质量元素及错漏分类的内容；对《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 9008.3-2018），直接引用了其成果要求中的部分内容，对《入河（海）排污口三级排查技术指南》（HJ □□□），引用了排查范围的部分内容。

本标准内容引用了下列文件或其中的条款。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 24356	测绘成果质量检查与验收
GB/T 39610-2020	倾斜数字航空摄影技术规程
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/T 9008.3	基础地理信息数字成果1:500、1:1000、1:2000数字正射影像图
HJ □□□	入河（海）排污口三级排查技术指南

5.4 术语和定义

本标准对入河（海）排污口、无人机、无人机航摄系统、定位定向系统、数字正射影像图、倾斜数字航摄仪、第一级排查等 7 个术语进行了定义。

(1) 入河（海）排污口 sewage outlet into environmental water bodies

排污口在水利部门第一次水利普查中的“入河湖排污口”和原国家海洋局的渤海陆源入海污染源排查中的“陆源入海排污口”都有涉及，分别从水利部门和海洋部门对排污口进行了界定，原环境保护部在《第二次全国污染源普查入河（海）排污口普查与监测技术规定》中明确提出了“入河（海）排污口”，本标准的术语和定义中入河（海）排污口的定义采用了《关于加强入河入海排污口监督管理工作的指导意见（征求意见稿）》中的定义。直接或者通过管道、沟、渠等排污通道向环境水体排水的门口。

(2) 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）》，结合入河（海）排污口三级排查工作中实际航测应用的无人机特点进行定义，是指“一种由动力驱动、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。”

(3) 无人机航摄系统 unmanned air vehicle aerial photography system

本标准的术语和定义中无人机和无人机航摄系统直接采用了测绘行业标准《无人机航摄安全作业基本要求》(CH/Z 3001-2010)中的术语和定义。以无人机为飞行平台、以影像传感器为任务设备的航空遥感影像获取系统。

(4) 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（GNSS）和惯性测量装置（IMU）直接确定传感器空间位置和姿态的集成技术。

(5) 数字正射影像图 digital orthophoto map (DOM)

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)，结合入河（海）排污口无人机遥感解译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。它是同时具有地图几何精度和影像特征的无人机图像。”

(6) 倾斜数字航摄仪 oblique digital aerial camera

本标准的术语和定义中倾斜数字航摄仪的定义引用了 GB/T 39610 中的定义，即倾斜数字航摄仪是由一个垂直相机和多个倾斜相机组成，对地面进行多个视角摄影的数字航摄设备与器械。

(7) 第一级排查 Level1 inspection

本标准的术语和定义中一级排查的定义引用了《入河（海）排污口三级排查技术指南》（HJ□□□）中的定义，即基于遥感影像解译识别疑似排污口和可疑区域的工作。

5.5 工作流程

编制组根据《入海（河）排污口排查整治无人机航空遥感技术要求（试行）》，参考测绘标准《无人机航摄安全作业基本要求》（CH/Z 3001-2010），结合前期收集到的长江、黄河流域排污口排查整治无人机遥感航测工作经验，制订了入河（海）排污口排查整治无人机遥感的工作流程。

(1) 利用无人机航摄系统获取入河（海）排污口排查范围的可见光影像数据和沿江（河）工业集聚区、人口集聚区等重点区域的热红外影像和倾斜摄影数据，对影像数据进行处理并生成数字图像成果。

(2) 入河（海）排污口排查整治无人机遥感航测主要工作包括飞行准备、飞行实施、数据处理、质量控制要求及成果提交要求，具体如下图所示。

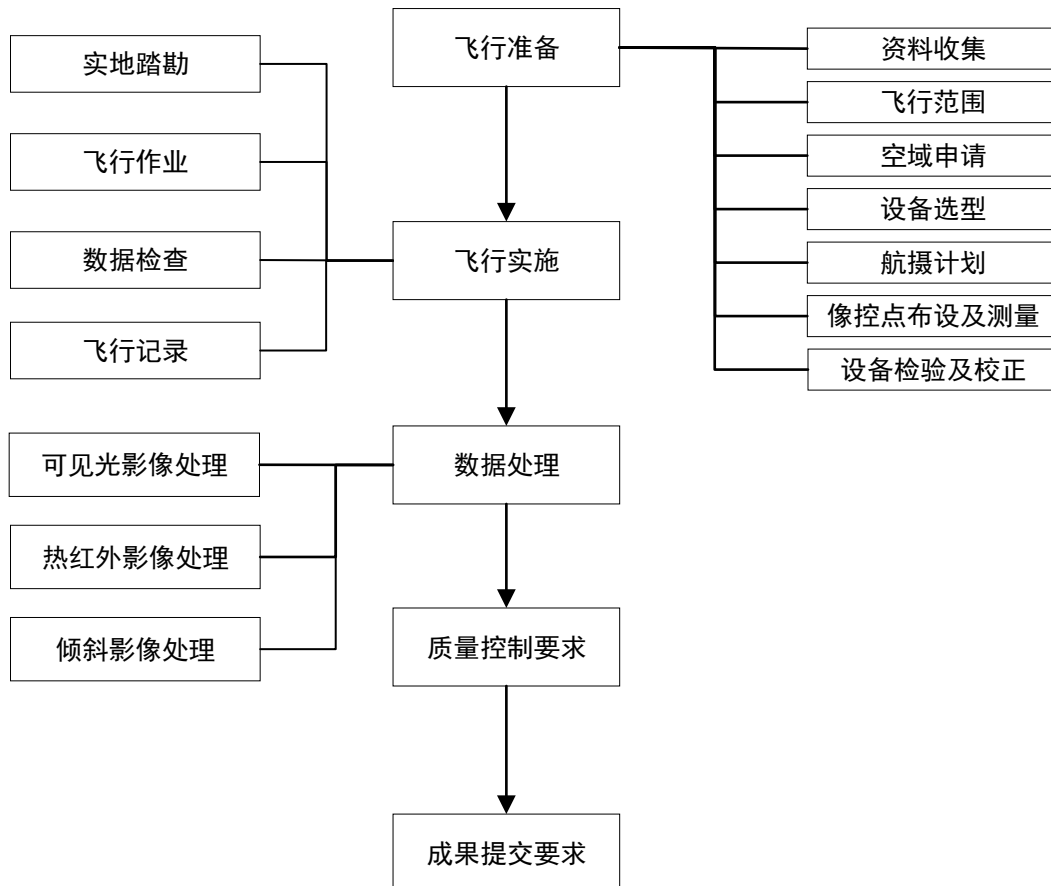


图 2 入河（海）排污口排查整治无人机遥感航测工作流程图

5.6 飞行准备

5.6.1 资料收集

无人机航摄作业前，应收集摄区的相关资料。主要包括：

- a) 卫星影像资料、地形图、交通图、行政区划图、水系图等；

b) 入河（海）排污口设置规划图、城市排水系统图、农田排水系统图、工业园区（集聚区）规划、水环境功能区划图等；

c) 排查范围内的机场、重要设施等情况；

d) 排查范围气候条件等。

编制组参考测绘标准《无人机航摄安全作业基本要求》(CH/Z 3001-2010)及《入河（海）排污口三级排查技术指南》(HJ 909)，在广泛收集了地方环保部门开展排污口无人机航测工作经验的基础上，结合目前无人机遥感航测实际工作需要，规定了开展入河（海）排污口排查整治无人机遥感航测开展资料收集方面的要求，主要目的选取航摄区域，制定航摄计划。

5.6.2 飞行范围

可见光数字正射影像范围：

a) 针对河流，以河流两侧现状岸线为基准向水、陆两侧适当延伸，其中向水一侧延伸不小于 100 m；针对湖泊，以湖泊现状岸线为基准向水、陆两侧适当延伸，其中向水一侧延伸不低于 100 m；针对海域，以实际海岸线为基准向海、陆两侧适当延伸，其中向海一侧延伸不低于 200 m；

b) 河（湖）心洲、沿河（湖）岸线滩涂湿地可根据实际情况全覆盖；近海岸岛屿以实际岸线为基准向水、陆两侧适当延伸；

c) 有监测断面的入海河流，监测断面以下入海河流岸线需纳入飞行范围；无监测断面入海河流，可根据实际情况自河流入海口处追溯不少于 5 km 岸线纳入飞行范围；

d) 沿河（海、湖）工业集聚区根据实际情况以河（海、湖）岸线为基准向陆一侧延伸至覆盖整个工业集聚区；

e) 可根据实际情况适当扩大或缩小飞行范围；

f) 对于特殊地形或航空管制等原因无法开展飞行作业的区域，可用最新的高分辨率卫星影像作为替代。

热红外影像范围：

a) 工业园区、工业集聚区等重点区域水系岸线；

b) 人口集居区、城市排水系统规划重点区域；

c) 其他要求可参照《入河（海）排污口三级排查技术指南》(HJ 909)。

倾斜摄影范围：

a) 峡谷、悬崖以及容易被林木、构筑物等遮挡的水系岸线区域；

b) 河流、湖泊、海岸线的垂直堤坝区域；

c) 其他要求可参照《入河（海）排污口三级排查技术指南》(HJ 909)。

编制组根据《入海（河）排污口排查整治无人机航空遥感技术要求（试行）》（环办执法函〔2019〕268号），结合长江、渤海地区入河（海）排污口排查整治专项行动经验以及河流、入海口复杂多变的地形条件和无人机遥感航测实际工作场景，规定了以《入河（海）排污口三级排查技术指南》(HJ 909)要求为基础，选取重点区域开展无人机航测，获取可见光正射影像、热红外影像及倾斜摄影数据。考虑到入河（海）排污口绝大多数都分布在河流、湖泊等水系岸线，且整个流域获取无人机影像耗时长、经济成本高，无人机航测主要围绕河流岸线、湖岸线、海岸线开展。可见光正射影像根据实际情况可覆盖干流、湖泊、海域完整

岸线，部分人类活动干扰程度较低的山区可不覆盖。无人机热红外影像主要用来识别设置在水面以下且排水温度较高的入河（海）排污口，主要覆盖工业集聚区、城乡结合部等重点区域水系岸线。无人机倾斜摄影主要解决通过正射影像无法识别的垂直立面上的入河（海）排污口，主要覆盖峡谷、悬崖、垂直堤坝区域。

5.6.3 空域申请

根据《中华人民共和国民用航空法》、《通用航空飞行管制条例》等相关法律法规，从事通用航空飞行活动的单位、个人，根据飞行活动要求，需要划设临时飞行空域的，应当向有关飞行管制部门提出划设临时飞行空域的申请。

5.6.4 设备选型

根据编制组调研情况，现阶段满足入河（海）排污口排查整治工作的无人机遥感航测系统主要由飞行平台和任务载荷组成。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，结合入河（海）排污口排查遥感影像的质量需求，参考《低空数字航空摄影规范》（CH/T 3005-2010）及《倾斜数字航空摄影技术规程》（GB/T 39610-2020），对飞行平台、可见光相机、热红外相机、倾斜数字航摄仪、POS 系统相关技术指标进行了规定。

（1）飞行平台

飞行平台的主要性能指标需满足以下要求：

- 任务载重应大于 2kg；
- 实用升限高于海拔 3000m；
- 抗风能力大于 5 级；
- 在-10℃--55℃温度环境中能正常工作。

（2）任务载荷

a) 可见光相机的主要性能指标需满足以下要求：

- 相机镜头应为定焦镜头，且对焦无限远；
- 有效成像尺寸为 36×24mm；
- 成像探测器面阵应不小于 2000 万像素；
- 最高快门速度应不低于 1/1000s；
- 真彩色影像每通道的灰度记录范围不低于 12bit；
- 镜头与相机机身，以及相机与成像探测器稳固连接。

b) 热红外相机的主要性能指标需满足以下要求：

- 热红外传感器像素数不低于 640×480；
- 温度测量范围不小于-10℃~100℃；
- 温度灵敏度（温度分辨率）小于等于 0.2℃；
- 测温精度需在±2℃范围之内；
- 镜头与相机机身，以及相机与成像探测器稳固连接。

c) 倾斜数字航摄仪的主要性能指标满足以下要求：

满足 GB/T 39610-2020 中 5.1 的要求。

d) POS 系统与可见光相机或热红外相机配合使用, 为影像数据提供精确的位置信息, 其主要性能指标需满足以下要求:

- 能输出位置和姿态测量参数;
- 姿态测量精度优于 0.5° 。

5.6.5 航摄计划

飞行实施前, 需在明确任务范围、飞行平台、任务载荷、目标精度的基础上, 制定详细的实施计划。航摄计划应包含航摄分区、航线敷设等内容。

(1) 航摄分区

航摄分区的制定应遵循以下原则:

- a) 河流、海岸线等按飞行架次分区, 工业区、岛屿等分区界限应与图廓线相一致;
- b) 分区内的地形高差一般不大于 $1/6$ 相对航高;
- c) 在地形高差符合 b) 条规定, 且能够确保航线的直线性的情况下, 分区的跨度应能完整覆盖整个摄区;
- d) 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。

(2) 航线敷设

航线敷设的制定应遵循以下原则:

- a) 航线沿河流、海岸线等方向敷设;
- b) 工业集聚区等大范围区域沿东西向平行于图廓线直线飞行, 特殊情况下亦可沿南北向飞行;
- c) 可见光影像: 航向重叠度为 $60\% \sim 80\%$, 最小应不小于 53% , 旁向重叠度为 $15\% \sim 60\%$, 最小应不小于 8% ;
- d) 热红外影像: 航向重叠度及旁向重叠度在可见光影像要求的基础上增加 $5\% \sim 10\%$;
- e) 倾斜数字航摄影像: 航向重叠度及旁向重叠度按照 GB/T 39610-2020 中 6.2.7 的要求执行;
- f) 航向覆盖超出作业边界线不少于两条基线;
- g) 旁向覆盖超出作业边界线不少于相幅的 50% ;
- h) 进行水域、海区摄影时, 应避免像主点落水。

航摄计划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, 航摄计划重点包括航摄分区和航线敷设, 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), 结合入河(海)排污口正射影像成图比例 $1: 1000$ 的要求, 制定了航摄分区和航线敷设的具体要求。

5.6.6 设备检验及校正

飞行实施之前应对所有设备进行检验和校正, 满足下列要求后方可使用:

- a) 所有设备外观、结构完整;
- b) 相机与 POS 系统稳定、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) 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。

5.7 飞行实施

5.7.1 实地踏勘

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）。

5.7.2 飞行作业

飞行作业需满足以下条件方可开展：

- a) 每次飞行作业前，需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；
- c) 不同地形太阳高度角要求，平地 $>20^\circ$ ；丘陵 $>30^\circ$ ；山地 $>45^\circ$ ；
- d) 飞行作业应选择在低潮位时期和枯水期等窗口时间开展作业；
- e) 航迹控制精度的偏航距 $< \pm 10\text{ m}$ ，航高差 $< 10\text{ m}$ ；
- f) 按飞行记录表的要求做好飞行记录。

无人机飞行作业时，需要考虑设备的运行状况、飞行区域的天气及覆盖物情况、飞行时间窗口、飞行区域地形条件、飞行时航迹的精度控制，以期能获得质量高、信息完善的无人机遥感影像，编制组调研了大量无人机队伍的外业作业经验，对无人机飞行作业进行了一定的要求。

5.7.3 数据检查

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：

- a) 影像数量和预估的数量基本一致；
- b) 影像数据和 POS 数据一一对应；
- c) 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；
- d) 影像上不应有大面积的云、云影、烟、大面积反光、污点等缺陷；
- e) 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。

5.7.4 飞行记录

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，所有飞行结束后，完成并填写可见光/热红外/倾斜摄影飞行区域信息统计表。

5.8 数据处理及质量控制要求

编制组基于《入海（河）排污口排查整治无人机航空遥感技术要求（试行）》，对此工作模式下的无人机可见光影像、热红外影像、倾斜影像处理流程查阅了大量文献、整理了数据处理的完整流程；研究了测绘产品生产及成果质量控制相关的国家及测绘标准，具体参考了 GB/T 24356-2009、CH/T 9008.3-2010、CH/Z 3003-2010 等标准要求。

5.8.1 数据处理

可见光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；热红外数据处理包括影像预处理、数字正射影像图制作；倾斜影像数据处理主要为数据预处理。

a) 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。

b) 空中三角测量：空中三角测量按 GH/Z 3003-2010 的相关要求执行。

c) 定向建模：定向建模按 GH/Z 3003-2010 的相关要求执行。

d) 数字高程模型制作：数字高程模型制作按 GH/Z 3003-2010 的相关要求执行。

e) 数字正射影像图制作：包含纠正、匀色、镶嵌、图幅裁切以及产品要求，具体要求详见标准正文。

5.8.2 质量控制

a) 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。

b) 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。

c) 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；

d) 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。

e) 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，交产品生成部门进行修正。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。

5.9 成果提交要求

5.9.1 成果数据的组织及命名

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、像控点照片以及影像产品数据。对于数据的整理和提交方式，编制组参考各省提交的入河（海）排污口排查整治试点工作无人机航空遥感技术要求具体内容，并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、像控点照片以影像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：

- a) 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、像控点照片目录及影像产品目录组成，各目录下存储其对应的数据体文件（其结构形式见图 3）；
- b) 数据体文件为原始影像、POS 数据、像控点数据、像控点照片及影像产品；
- c) 对于倾斜影像成果，原始影像目录和影像产品目录下再设置一层目录，即第三级目录，其目录数量与飞行使用的倾斜数字航摄影仪中的相机数量保持一致；
- d) 对于热红外影像成果，不包括像控点目录和像控点照片目录。

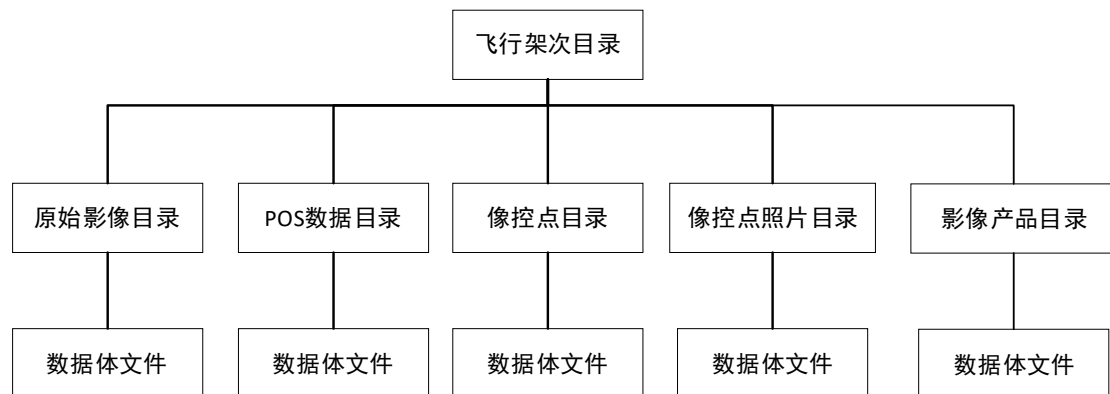


图 1 成果数据文件组织结构

各目录及数据体文件命名规则如下：

- a) 飞行架次目录按照 XXX-AAAABBCC-XXX-XX 的编号规则编制目录名称，各部分含义见图 4。

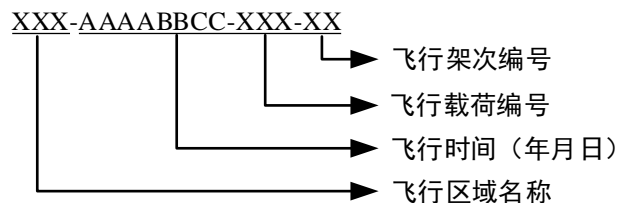


图 2 成果数据文件夹命名规则

- b) 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，开始为 0001；

c) 飞行载荷编号按照飞行载荷首字母缩写命名, 即可见光载荷编号为 KJG, 热红外载荷编号为 RHW, 倾斜数字航摄影编号为 QX;

d) c) 倾斜摄影成果中, 三级目录按照相机编号命名, 即垂直相机编号为 01, 倾斜相机编号为 02、03、……;

e) 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;

f) 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;

g) 像控点照片目录按照数据体类型命名, 即像控点照片, 其数据体文件按照顺序命名, 开始为 01;

h) 正射影像目录按照数据体类型命名, 即正射影像, 其数据体文件按照飞行架次目录命名。

5.9.2 成果提交内容

为圆满完成入河(海)排污口排查任务, 确保无人机航测质量, 在提交 0.1 米分辨率数字正射影像图的基础上, 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入河(海)排污口解译。具体提交内容如下:

a) 成果清单;

b) 飞行范围文件, 为 shapfile 矢量格式;

c) 飞行记录表, 为原版复印件及电子扫描件;

d) 飞行区域信息统计表;

e) 相机检校参数报告, 为原版复印件及电子扫描件;

f) 飞行成果数据, 存储于移动存储设备内;

g) 可见光数字正射影像产品精度报告, 为 PDF 格式;

h) 其他相关资料。

6 对实施本标准的建议

本标准现阶段利用无人机遥感航测技术进行入河(海)排污口排查整治的指导性技术规范, 与我国现有无人机平台、载荷、遥感数据处理水平相匹配, 确定了入河(海)排污口排查整治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, 必将在技术要求方面有所提高和优化, 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入河(海)排污口排查整治工作, 同时建议本标准应当随入河(海)排污口排查技术和我国无人机遥感航测技术的发展, 适时进行修订。