



团 体 标 准

T/CWHIDA 00XX—2025

T/AOPA 00XX—2025

水利水电工程无人驾驶航空器应用技术 通则

General technical specification for application of unmanned aircraft in water
resources and hydropower engineering

(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

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国水利水电勘测设计协会 联 合
中国航空器所有者及驾驶员协会 发 布
X X X X X X 出 版 社 出 版

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	2
4 基本规定	2
4.1 应用原则	2
4.2 时空基准	2
4.3 安全管理	2
4.4 应用模式	3
4.5 应用场景	3
4.6 工作流程	4
4.7 质量要求	4
5 应用系统选择	4
5.1 飞行平台	4
5.2 任务载荷	5
6 前期准备	6
6.1 资料收集	6
6.2 现场查勘	6
6.3 空域申请	6
6.4 地面辅助	6
6.5 航线设计	6
7 数据采集	7
7.1 飞前检查	7
7.2 气象条件	7
7.3 飞行作业	8
7.4 数据导出	8
7.5 应急处理	8
8 数据处理	8
8.1 基础数据处理	9
8.2 业务数据处理	9
9 成果提交	11
9.1 成果内容	11
9.2 提交要求	11
附录 A（资料性） 航摄因子表	12
附录 B（资料性） 飞行记录表	13

参 考 文 献	14
---------------	----

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。

本文件由中国水利水电勘测设计协会、中国航空器拥有者及驾驶员协会（中国AOPA）联合提出并归口。

本文件起草单位：水利部水利水电规划设计总院、中水北方勘测设计研究有限责任公司、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、河南省水利勘测有限公司、西藏自治区水利电力规划勘测设计研究院、北京城建勘测设计研究院有限责任公司、普宙科技有限公司、广东省水利电力勘测设计研究院有限公司、华设设计集团股份有限公司(扬州市勘测设计研究院有限公司)、北京云圣智能科技有限公司、西北工业大学、中国民航大学。

本文件主要起草人：

水利水电工程无人驾驶航空器应用技术通则

1 范围

本文件规定了水利水电工程无人驾驶航空器应用的系统选择、前期准备、数据采集、数据处理及成果提交的要求。

本文件适用于无人驾驶航空器在水利水电工程勘察设计、施工建设、运营维护中的应用。

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 36540 水体可见光-短波红外光谱反射率测量

GB/T 38152 无人驾驶航空器系统术语

GB/T 39610 倾斜数字航空摄影技术规程

GB/T 39612 低空数字航摄与数据处理规范

CH/T 3005 低空数字航空摄影规范

CH/T 3007.1 数字航空摄影测量 测图规范第1部分:1:500 1:1000 1:2000 数字高程模型 数字正射影像图 数字线划图

CH/T 3021 倾斜数字航空摄影技术规程

CH/T 8023 机载激光雷达数据处理技术规范

CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范

SL 197 水利水电工程测量规范

SL 277 水土保持监测技术规范

SL 326 水利水电工程物探规程

SL 725 水利水电工程安全监测设计规范

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

无人驾驶航空器 `unmanned aircraft`

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]

注：以下简称“无人机”。

3.1.2

倾转旋翼无人机 `tiltrotor unmanned aircraft`

通过倾转旋翼或螺旋桨动力单元方向，实现垂直起降与水平飞行的混合构型无人机。

3.1.3

无人机自动巡检系统 `unmanned aircraft automatic inspection system`

一种通过远程控制或预设程序指令，实现无人机全自动起降、巡检航线任务执行、充电、数据实时回传及预处理分析的智能化巡检系统。

3.1.4

基础数据 basic data

无人机采集的原始数据经标准化处理后形成的通用成果数据集，包括但不限于正射影像（DOM）、数字高程模型（DEM）、三维点云、倾斜摄影模型、多光谱图像序列及结构化视频流等。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AI: 人工智能 (Artificial Intelligence)
BIM: 建筑信息模型 (Building Information Modeling)
DEM: 数字高程模型 (Digital Elevation Model)
DLG: 数字线划地图 (Digital Line Graphs)
DOM: 数字正射影像图 (Digital Orthophoto Map)
DSM: 数字表面模型 (Digital Surface Model)
GIS: 地理信息系统 (Geographic Information System)
GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)
IMU: 惯性测量单元 (Inertial Measuring Unit)
InSAR: 合成孔径雷达干涉 (Interferometric Synthetic Aperture Radar)
LiDAR: 激光雷达 (Light Laser Detection and Ranging)
NDVI: 归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index)
RTK: 实时动态载波相位差分 (Real Time Kinematic)
SAR: 合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar)
POS: 定位定姿系统 (Position And Orientation System)
PPK: 后处理载波相位差分 (Post Processed Kinematic)

4 基本规定

4.1 应用原则

水利水电工程无人机的应用原则宜包括以下内容：

- a) 可行性：综合考虑应用效率、技术水平、经济性等因素；
- b) 科学性：规范应用工作流程和采用适宜的技术方法；
- c) 安全性：识别并防范无人机应用中的安全风险。

4.2 时空基准

水利水电工程无人机应用的时空基准应满足下列要求：

- a) 平面坐标系采用2000国家大地坐标系，采用工程坐标系时应建立与2000国家大地坐标系的联系；
- b) 高程基准采用1985国家高程基准；
- c) 时间基准采用公历纪元和北京时间。

4.3 安全管理

水利水电工程无人机应用应遵循以下安全管理要求：

- a) 应严格遵守无人机应用的相关规定；
- b) 无人机操控员应具备相应的资质和技能水平；
- c) 无人机飞行实施前应制定详细的应急响应预案，包括应急响应流程、责任人分工、救援措施等内容；
- d) 应按要求对无人机及载荷设备进行维修保养，及时发现并排除安全隐患。

4.4 应用模式

水利水电工程无人机应用包括测绘、巡查、调查、监测四种模式。

4.5 应用场景

4.5.1 工程测量

采集工程区域地形地貌信息，支撑地形测绘、断面测量、土方量计算、三维场景搭建等应用，宜采用无人机测绘模式。

4.5.2 地质调查

采集工程区域地表、地下信息，支撑岩层产状判定、地质构造解析、不良地质现象识别、地质灾害预警与监测等应用，宜采用无人机测绘及调查模式。

4.5.3 水资源调查

采集流速、流量、水位、水深、水储量等水文要素信息，支撑水域面积测绘、水文监测、水质监测与评估等应用，宜采用无人机测绘及调查模式。

4.5.4 移民征地实物调查

采集移民调查区域及周边现状信息，支撑居民区分布统计、基础设施状况评估、房屋结构类型与面积核查、征地拆迁进度管理与监督等应用，宜采用无人机测绘及调查模式。

4.5.5 施工进度监控

周期性采集水利水电工程宏观现状信息，掌握整体施工进度，支撑工程节点监控、施工效率分析、资源调配等应用，宜采用无人机巡查模式。

4.5.6 质量安全管理

周期性采集水利水电工程局部细节信息，评估施工设备和工程主体的结构安全性，排查施工质量安全隐患，支撑坝体质量巡检、混凝土浇筑、监控设备安装、校验隐蔽工程验收、高空巡检、边坡监测、设备检查、人员监控等应用，宜采用无人机巡查及监测模式。

4.5.7 水土保持调查

采集工程建设区域及周边现状信息，支撑生产建设项目区域及周边环境、水土保持措施监测等应用，宜采用无人机测绘及调查模式。

4.5.8 运行巡查管理

开展日常巡查、特殊事件巡查和应急巡查，及时发现工程区域的异常情况，宜采用无人机测绘及调查模式。

4.5.9 安全监测评估

采集工程设备及主体运行的各项参数信息，支撑大坝健康监测、堤防稳定性评估、水闸结构检查等应用，宜采用无人机巡查及监测模式。

4.6 工作流程

水利水电工程无人机应用的工作流程宜包括应用系统选择、前期准备、数据采集、数据处理、成果提交。

4.7 质量要求

水利水电工程无人机应用的成果质量应满足相关专业规范要求。

5 应用系统选择

5.1 飞行平台

5.1.1 飞行平台选择应遵循“任务导向、环境适配、性能匹配”的原则。

5.1.2 水利水电工程无人机宜满足以下要求：

- a) 无人机应具有良好的抗风、防雨性能；
- b) 无人机飞行控制系统、动力系统以及无人机与地面站间的指令和数据传输应稳定可靠；
- c) 无人机应具备先进的避障和防撞系统，适用于大面积水域环境作业，宜具备水面迫降的功能；
- d) 无人机应具备灵活的载荷配置能力，能够搭载不同类型的任务载荷。

5.1.3 飞行平台应满足作业精度、环境适应性、续航能力及载荷兼容性等指标要求，并宜满足下列规定：

- a) 测绘用无人机，宜配置RTK/PPK模块，并支持单北斗导航；
- b) 巡查、调查用无人机，宜配置5G图传模块、变焦云台；周期性且航线较为固定的无人机巡查宜选用无人机自动巡检系统；
- c) 监测用无人机除满足本条a)、b)的要求外，宜搭配自动采样装置。

5.1.4 无人机种类和类别的选择应综合考虑工程作业区范围、地表植被、地形类别、海拔和高差、气象及交通条件和主要成果指标、设备性能等因素，并按照表 1 选择。

表 1 无人机种类与类别选择表

工程类型	工程几何特性	可选无人机种类	可选无人机类别
水闸、泵站、渡槽、大坝等	—	多旋翼	微型、轻型、小型
引调水、河道、堤防等	顺直（弯曲系数 <1.3 ）	多旋翼、固定翼、复合翼及倾转旋翼	微型、轻型、小型、中型、大型
	弯曲（弯曲系数 >1.3 ）	多旋翼	微型、轻型、小型、中型
河湖库、蓄滞洪区等	面积 $<5\text{ km}^2$ ； 岸线发育系数 >2	多旋翼	微型、轻型、小型，中型
	面积 $>5\text{ km}^2$ ； 岸线发育系数 <2	固定翼、复合翼及倾转旋翼	小型、中型、大型

5.2 任务载荷

5.2.1 应根据水利水电工程应用场景、工作内容选择适用的任务载荷。

5.2.2 任务载荷包括但不限于可见光相机、多/高光谱相机、热红外相机、激光雷达、合成孔径雷达、探地雷达、雷达测速仪、抛投器、喊话器、探照灯以及其他仪器设备，不同应用场景下搭载的载荷系统宜按照表 2 选择。

表 2 任务载荷选择表

应用场景	工作内容	任务载荷
工程测量	地形测绘	测绘相机、激光雷达、倾斜相机
	断面测量	测绘相机、激光雷达、倾斜相机
	土方量计算	测绘相机、激光雷达、倾斜相机
	三维场景搭建	测绘相机、倾斜相机
地质调查	岩层产状判定	可见光相机、多/高光谱相机、倾斜相机
	地质构造解析	可见光相机、多/高光谱相机、倾斜相机
	不良地质现象识别	可见光相机、倾斜相机、激光雷达、倾斜相机
	地质灾害预警与监测	可见光相机、激光雷达、合成孔径干涉雷达、倾斜相机
水资源调查	水域面积测绘	可见光/视频相机、激光雷达
	水文监测	多光谱传感器、雷达测速仪
	水质监测与评估	多/高光谱相机、红外热成像相机、多参数集成探头
移民征地实物调查	房屋与构筑物测量	测绘相机、倾斜相机、多光谱相机
	土地分类与评估	测绘相机、倾斜相机、红外热成像相机
	文化遗产与生态调查	视频相机、倾斜相机、激光雷达
	征地拆迁进度管理与监督	测绘相机、倾斜相机
施工进度监管	工程节点监控	可见光/视频相机、红外热成像相机
	施工效率分析	可见光/视频相机、红外热成像相机
	资源调配	可见光/视频相机、红外热成像相机
质量安全监管	坝体质量巡检	激光雷达、高清视频
	混凝土浇筑监控	可见光/视频相机、红外热成像、太赫兹成像仪
	设备安装校验	激光测量设备
	隐蔽工程验收	合成孔径干涉雷达、红外热成像相机
	高空巡检	可见光/视频相机
	边坡监测	合成孔径干涉雷达、激光雷达、倾斜相机
	设备检查	激光扫描设备、可见光相机
	人员监控	可见光/视频相机、红外热成像相机
水土保持监测	生产建设项目区域及周边环境	可见光相机、激光雷达、倾斜相机、多/高光谱相机
	水土保持措施监测	雷达测高仪、光学相机、红外相机、多光谱相机、声呐探测设备
运行巡查管理	日常巡查	可见光/视频相机、红外热成像相机
	特殊事件巡查	可见光/视频相机、红外热成像相机、激光雷达、多光谱相机、合成孔径干涉雷达
	应急监测与预警	可见光/视频相机、激光雷达、水位与雨量传感器、多光谱/热成像相机、毫米波雷达
安全监测评估	大坝健康监测	可见光/视频相机、激光雷达、倾斜相机

	堤防稳定性评估	可见光/视频相机、激光雷达、倾斜相机
	水闸结构检查	可见光/视频相机、激光雷达、倾斜相机

6 前期准备

6.1 资料收集

水利水电工程无人机应用根据应用场景收集以下资料：

- a) 测绘资料：控制点资料、DLG、遥感影像、DEM等。
- b) 地质资料：岩层分布、地质构造、地震烈度等。
- c) 水文气象资料：工程区域水位、流量、洪水、泥沙等水文资料，气温、降水、蒸发等气象资料。
- d) 社会经济资料：工程区域周边工业、农业、交通运输等方面的社会经济情况。
- e) 工程资料：工程设计图纸、建设运行管理日志、业务流程、历史监测数据等。
- f) 生态环境资料：工程对环境生态的影响，库区的淹没范围及移民情况等。

6.2 现场查勘

现场查勘应了解水利水电工程所在作业区域内地形地貌、植被覆盖、适飞空域、飞行障碍物、周边机场、重要设施、城镇布局、道路交通、人口密度、水域分布、地表水系、工程枢纽布置、生态敏感区等基本情况。

6.3 空域申请

根据飞行任务，按照规定向相关军民航空管理部门申请临时空域，经批准后方可开展飞行活动。

6.4 地面辅助

根据具体应用场景按需开展地面辅助工作，包括无人机地面基站架设、地面控制点布设与测量、反射率校正等。

6.5 航线设计

6.5.1 航摄分区设计应遵循以下要求：

- a) 数字正射影像、倾斜摄影及激光点云采集应遵循以下原则：
 - 1) 航摄分区划分应综合考虑工程区域地形高差、地貌特征及任务需求，应符合GB/T 39612中的规定；
 - 2) 采用IMU系统辅助定姿定位时，应考虑IMU误差累积的指标确定航线直飞时间的大小进行分区；
 - 3) 分区界线应尽量与图廓线一致。如地面高差突变，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；
 - 4) 采用仿地飞行模式时，可不考虑航摄分区。
- b) 全景图、视频、水文数据、合成孔径雷达、探地雷达等数据采集可不考虑航摄分区。

6.5.2 基准面设计应遵循以下要求：

- a) 数字正射影像、倾斜摄影及激光点云采集应遵循以下原则：
 - 1) 依据分区地形起伏、飞行安全条件等确定分区基准面高度；
 - 2) 在确保飞行安全的前提下，宜采用分区平均高程为基准面，特别要求的可根据实际情况确定基准面；
 - 3) 采用仿地飞行模式时，可不考虑基准面。

- b) 全景图、视频、水文数据、合成孔径雷达、探地雷达等数据采集的基准面应以目标点高程为基准面。
- 6.5.3 航线高度设计应遵循以下要求：
 - a) 影像采集的航线高度根据设备参数、影像地面分辨率、地形高度等计算；
 - b) 视频采集的航线高度根据设备参数、视频清晰度等计算；
 - c) 激光点云采集的航线高度根据点云密度、点云重叠度、点云精度、激光有效测程及飞行安全等因素决定；
 - d) 仿地飞行时，航线高度应采用相对航高计算。
- 6.5.4 航线方向设计应遵循以下要求：
 - a) 数字正射影像、倾斜摄影及激光点云采集应遵循以下原则：
 - 1) 通常情况下，航线应按东西向直线飞行；
 - 2) 遇到地形起伏较大时，航线方向尽可能平行于等高线走向；
 - 3) 对于河道堤防工程、引调水线路、水域岸线等带状摄区，航线方向可平行于带状摄区走向；
 - 4) 航线曝光点应尽可能避免像主点落水。
 - b) 开展地质调查时，航线方向应沿地质构造走向布设航线，断裂带区域宜采用“之”字形走向。
 - c) 全景图、视频、多光谱、水文数据、合成孔径雷达采集航线方向应根据相关要求，采用定点、直线、环绕等多种方式。
- 6.5.5 重叠度设计应遵循以下要求：
 - a) 数字正射影像、全景图摄影的重叠度应符合CH/T 3005中的规定；
 - b) 倾斜航空摄影的重叠度应符合CH/T 3021中的规定；
 - c) 激光雷达摄影的重叠度应符合CH/T 8024中的规定；
 - d) 视频、水文数据、合成孔径雷达、探地雷达等数据采集时可不考虑重叠度。
- 6.5.6 应填写航摄因子表格记录，格式及内容见附录 A。

7 数据采集

7.1 飞前检查

- 7.1.1 无人机作业起飞前检查应包括设备检查、环境检查和作业安全检查。
- 7.1.2 设备检查应包括校准指南针、指示灯显示、螺旋桨安装且无损伤、电池电量或油量、任务载荷和云台工作状态、电机状态、遥控器功能以及气象条件和禁飞区信息。
- 7.1.3 环境检查应符合下列规定：
 - a) 起飞位置周边环境应空旷开阔，远离输电线路等；
 - b) 起飞作业过程中，天气应良好；
 - c) 预设合适的返航高度，电动无人机应设定低电量报警值。
- 7.1.4 作业安全检查应符合下列规定：
 - a) 检查起飞位置周围安全距离内人员和无关设备；
 - b) 检查作业区域内的障碍物；
 - a) 检查设计航线。

7.2 气象条件

- 7.2.1 无人机飞行应在气象条件良好的情况进行，不宜在强风、暴雨、雪、雾等恶劣天气下飞行。
- 7.2.2 无人机航空摄影时，应选择天气晴好的时间段，且满足航摄影像拍摄要求。
- 7.2.3 无人机搭载激光雷达、热红外相机等不依靠光线作业的任务载荷时，可在满足风力条件且无降水的夜间飞行作业。

7.3 飞行作业

7.3.1 飞行实施应满足以下要求：

- a) 起飞阶段，应根据地形、风向等因素合理选择起飞方向，起飞过程中监控飞行姿态及电压、高度、速度等参数；
- b) 飞行阶段，监控无人机的油量、电量、姿态、高度、航速、空速、地速、传感器数据、载荷工作状态等以及气象、空域等变化状况，做好应急干预准备；
- c) 降落阶段，降落点应无障碍，风向和风速适宜，实时监控各项传感器数据，做好应急干预准备；
- d) 降落后应检查各项软硬件是否正常，及时导出各项所需数据；
- e) 飞行过程中应填写飞行记录表，格式及内容见附录B。

7.3.2 重拍或补拍应满足以下要求：

- a) 航摄过程中出现影像或点云漏洞、点云密度不够、POS数据缺失等数据质量不符合要求的情况，应及时重拍或补拍；
- b) 重拍航线应按原计划航线进行，补拍可在不影响内业加密和模型连接的情况下局部补拍；
- c) 重拍或补拍的范围应超出重拍或补拍范围至少一个航线间距。

7.3.3 现场质量检查应满足以下要求：

- a) 影像重叠度、倾角和旋角、分辨率，点云密度，视频清晰度，航线高度等应符合相关要求；
- b) 影像应清晰、层次分明、反差适中、色调柔和，不应有云、烟、雾等影像判读的缺陷；
- c) 点云无分层、无明显噪声，数据精度符合要求；
- d) POS数据完整无丢失、解算精度符合要求。

7.4 数据导出

无人机飞行结束后，应及时下载航迹文件、可见光影像、视频、激光点云、光谱影像、热红外影像、SAR数据、探地雷达图像等原始数据，并对相应数据进行质量检查。

7.5 应急处理

7.5.1 在飞行作业过程中，当出现下列情况之一影响飞行安全时，应及时采取返航或就近安全降落措施。

- a) 降水、强风、气流等外界因素突变；
- b) 临时许可空域变化；
- c) 危及飞行安全的异常情况。

7.5.2 无人机飞行过程中出现下列情况或故障，应及时采取降落或紧急迫降措施。

- a) 飞行状态不稳或失去动力，出现下列情况之一时：
 - 1) 磁罗盘、加速度计等出现故障或被干扰；
 - 2) 电池电量或油量不足；
 - 3) 无线电波干扰、GNSS信号丢失；
 - 4) 螺旋桨叶损坏或电机过热等机械故障。
- b) 航线偏移较大。
- c) 通讯链路不畅。

7.5.3 无人机出现失联、坠落等情况时，应按有关规定处置。

7.5.4 飞行作业时，任务载荷设备出现故障或数据获取异常，应立即停止数据获取并返航。

8 数据处理

8.1 基础数据处理

- 8.1.1 对照片数据进行数据整理、区域网划分、空中三角测量、微分纠正、匀光匀色、镶嵌裁切等处理，制作数字正射影像图或数字快拼图，其操作应符合 CH/T 3007.1 相关规定。
- 8.1.2 对倾斜摄影数据进行数据整理、空中三角测量、实景三维模型构建、实景三维模型接边和修饰等处理，制作倾斜实景模型，其操作应符合 GB/T 39610 相关规定。
- 8.1.3 对热红外、光谱相机获取的数据进行数据整理、水域岸线提取、波段运算、指数评价计算等处理，制作温度或水质参数空间分布图，其操作应符合 GB/T 36540 相关规定。
- 8.1.4 对拍摄数据进行裁剪、匀色、锐化等处理，制作工程巡查视频、照片或全景视频、全景拼图成果。
- 8.1.5 对激光雷达数据进行 POS 解算、格式转换、融合解算、点云滤波、地面点编辑等处理，制作 DEM，其操作应符合 CH/T 8023 相关规定。
- 8.1.6 对激光雷达数据进行 POS 解算、格式转换、融合解算得到地表点数据，制作 DSM，其操作应符合 CH/T 8023 相关规定。
- 8.1.7 对激光雷达数据进行 POS 解算、格式转换、融合解算、点云分类与目标提取、三维建模、模型优化、纹理映射与渲染等处理，生成精细化三维模型。
- 8.1.8 对三维地质雷达数据进行校正、增益、去噪、滤波、偏移归位、图像解译等处理。其操作应符合 SL 326 相关规定。
- 8.1.9 对多时相 SAR 影像数据进行影像配准、干涉对生成、相位解缠及大气校正处理，提取地表形变相位信息，构建形变时序模型；基于相干性优化与多轨道数据融合，结合地面控制点及地质环境参数，生成形变速率图。
- 8.1.10 水文雷达设备采集的数据处理应结合已有水文基础资料按照设备操作要求进行处理。

8.2 业务数据处理

8.2.1 工程测量业务数据处理应满足以下要求：

- a) 地形测绘：对激光点云数据进行滤波分类得到地面点，利用地面点生成等高线和高程点；利用空三加密结果创建立体像对，在立体像对模式下采集除等高线、高程点以外的要素；将地形数据、地物数据和调绘数据编辑生成DLG数据。DLG处理过程应符合SL197相关规定；
- b) 断面测量：对激光点云数据进行滤波分类预处理得到地面点，根据断面位置、方向等进行点云切片提取，并对提取的断面进行插值补全、特征提取及平滑优化等后处理，生成断面图；
- c) 土方量计算：对历史时期或者设计面DEM数据与当前DEM进行差值运算，得到土方量数值；
- d) 三维场景搭建：融合倾斜实景模型、BIM、DEM、DOM等地理空间数据搭建三维场景。

8.2.2 地质调查业务数据处理应满足以下要求：

- a) 岩层产状判定：利用倾斜实景模型解译岩层空间几何特征，结合地层走向与地形切割关系，计算岩层走向、倾向及倾角，辅以多光谱影像增强岩性对比，开展岩层产状量化分析；
- b) 地质构造解析：利用DSM、DEM数据，基于影像纹理特征、地形几何关系及多光谱数据解译线性构造、褶皱形态等要素，通过三角面拟合、位移量算及多源数据交叉验证，生成构造解译图件及三维模型；
- c) 不良地质现象识别：利用DSM与DOM，基于地形突变、裂缝纹理、地表形变等特征解译滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象；
- d) 地质灾害预警与监测：利用DSM、DEM及形变场，解译地表裂缝、坡体位移、渗水异常等灾害前兆特征；基于机器学习算法或阈值模型，结合地面监测站与历史灾害数据库交叉验证。

8.2.3 水资源调查业务数据处理应满足以下要求：

- a) 水域面积测绘：利用DOM或者激光点云数据，提取水域边界，计算水域面积；

- b) 水文监测：利用毫米波雷达测速仪采集的多普勒频移数据反演水面流速，经几何校正、噪声抑制及地面实测流速仪数据校准，结合水文模型计算流量与水位变化，输出流速分布图、流量统计表等；
 - c) 水质监测与评估：利用多光谱/高光谱传感器获取的水体反射光谱数据，经辐射校正、影像融合及光谱反演模型，结合地面同步采样与历史监测数据库验证，生成水质参数空间分布图。
- 8.2.4 移民征地实物调查业务数据处理应满足以下要求：
- a) 房屋与构筑物测量：利用倾斜实景模型提取房屋轮廓、层高及屋顶结构特征，结合深度学习算法识别建筑类型及附属设施；基于倾斜实景模型计算建筑面积，融合GIS产权数据与实地抽检验证，生成房屋结构类型分布图、建筑物面积等；
 - b) 土地分类与评估：利用多/高光谱数据、高精度点云及影像等数据经几何校正、辐射归一化及点云分类生成地表覆盖分类图，结合机器学习算法反演土壤理化要素及土地利用潜力值，结合历史土地调查数据及水利工程规划要求，生成土地分类与评估专题图；
 - c) 文化遗产调查：利用多/高光谱数据、高精度点云及影像等数据经几何校正、点云分类构建文化遗产精细化三维模型，识别文物破损，融合地面考古调查与历史文献交叉验证，生成文化遗产专题图；
 - d) 征地拆迁进度管理与监督：利用周期性征地拆迁区域数字正射影像、倾斜实景模型，结合深度学习算法快速识别未拆除建筑、残留物及复垦进度，并与征地红线图、拆迁计划时序表进行动态比对，基于多期影像差异分析生成进度图并标注滞后或超前区域。
- 8.2.5 施工进度监管业务数据处理应满足以下要求：
- a) 工程节点监控：基于多时相倾斜实景模型与BIM比对，识别关键节点进度偏差，标记滞后区域；
 - b) 施工效率分析：利用点云数据计算土方开挖量、混凝土浇筑量，对比计划量评估效率；通过影像识别施工人员分布密度与作业时长，优化资源配置，生成施工效率分析报告；
 - c) 资源调配：利用数字正射影像识别砂石、钢筋等材料堆场分布，结合倾斜实景模型计算库存量与消耗速率，预测补货需求，基于三维地形模型与实时交通数据，优化材料运输路径。
- 8.2.6 质量安全监管业务数据处理应满足以下要求：
- a) 坝体质量巡检：利用周期性获取的大坝影像与三维点云，识别提取裂缝、渗漏点及位移异常等风险点；
 - b) 混凝土浇筑监控：利用无人机实时采集的浇筑面温度场与三维模型，检测平整度、体积偏差及振捣盲区，并结合温湿度传感器数据进行验证分析；
 - c) 设备安装校验：利用高精度点云结合制作的精细化结构三维模型，校验闸门轨道对中度、管道焊缝质量及机电设备定位偏差；
 - d) 隐蔽工程验收：通过InSAR地表微变形监测及地质雷达数据反演基础结构完整性，结合钻孔验证生成隐蔽工程质量评估报告；
 - e) 高空巡检：利用高分辨率光学相机、LiDAR，热红外相机等传感器对如塔吊等高空结构进行多角度拍摄与三维建模，识别裂缝、螺栓松动及防护网破损等风险位置；
 - f) 边坡监测：利用多光谱影像与InSAR图像，解译边坡位移速率及裂隙扩展趋势及潜在滑移面，融合地面GNSS监测站、倾斜计及地质勘探数据交叉验证；
 - g) 设备检查：利用数字正射影像、实景三维模型以及热红影像等多源数据，识别损伤与风险等级；
 - h) 人员监控：利用高清视频影像等基于AI行为识别算法检测未佩戴安全装备、闯入禁区等违规行为，实时推送告警信息至管理平台。
- 8.2.7 水土保持监测业务数据处理应满足以下要求：
- a) 生产建设项目区域及周边环境：利用高分辨率正射影像，结合多光谱/热红外传感器监测植被健康与土壤湿度，通过定期飞行建立时序数据，对比分析环境变化；通过高精度DEM/DSM，计算土方量、侵蚀量；结合GIS分析工具识别高风险侵蚀区域，生成生产建设项目区域及周边环境水土保持监测报告；

- b) 水土保持措施监测：通过对比设计图纸与施工实景，检测结构物位置、尺寸偏差；通过模型分析挡土墙倾斜角度、排水沟坡度是否符合规范，给排水沟堵塞区域，估算沉砂池淤积体积，统计格宾网覆盖率，识别未防护的裸露边坡；搭载多光谱相机获取NDVI，评估植被健康状态，识别退化区域，分析生态护坡草种根系固土效果。

8.2.8 运行巡查管理业务数据处理应满足以下要求：

- a) 日常巡查：通过定期采集获取的可见光影像、视频、热红外影像及三维点云等多源数据，利用图像识别、多源数据融合分析及BIM+GIS平台，识别提取结构裂缝、渗漏点、设备异常发热及环境侵蚀等隐患，实现隐患精准定位与分类分级，生成数字化日常巡查报告；
- b) 特殊事件巡查：将极端天气、突发事故、人为破坏等突发应急事件下获取的点云与历史BIM/实景模型配准，提取坝体位移、边坡滑移及裂缝扩展；通过热红外诊断，识别渗漏点、电气设备过热；利用多光谱影像反演NDVI指数，评估生态恢复潜力，实现快速评估灾损、识别安全隐患、指导应急抢修；
- c) 应急监测与预警：基于多期SAR数据反演工程坝体形变及边坡位移；融合DEM与实时水位数据，更新库容曲线，结合气象预报，预测淹没范围；利用热红外影像，识别渗漏点、电气设备过热。

8.2.9 安全监测评估业务数据处理应满足以下要求：

- a) 大坝健康监测：基于定期获取的坝体表面影像、三维点云及温度场数据，识别裂缝、渗漏湿迹，多期点云对比计算坝体表面位移；融合InSAR形变数据反演坝基渗流异常区域；
- b) 堤防稳定性评估：基于获取的堤防及周边地表点云与影像数据，利用时序点云对比分析滑移速率，识别潜在滑坡体；多光谱反演NDVI指数，评估护坡植被退化区域；基于DEM计算河岸侵蚀量，结合水文数据预测溃堤风险，生成堤防稳定性分级图、侵蚀量统计表；
- c) 水闸结构检查：基于近距离扫描闸体表面及机电设备获取的超高分辨率影像和高精度点云数据识别检测锈蚀区域，量化锈蚀面积，对比BIM模型校验闸门轨道对中度、启闭机基座位移，影像识别止水带老化裂纹。

9 成果提交

9.1 成果内容

根据应用场景，对工作流程进行总结，形成成果资料，宜包括以下内容：

- a) 资料成果：测绘资料、地质资料、工程资料等收集到的资料。
- b) 数据成果：航摄原始数据、基础成果数据、业务信息数据等。
- c) 报告成果：航摄报告、设备检校报告、数据质检报告、技术工作总结报告等。
- d) 其他成果：水利水电工程业务专题图集等。

9.2 提交要求

成果提交应符合如下要求：

- a) 提交的成果应准确、清楚、齐全，且经过检查和验收。
- b) 文档资料应分别保存为纸质和电子（包括光盘或其他移动介质）各一份，电子文档命名与纸质文档相同。
- c) 应在保存成果的介质表面粘贴标签，标签上应包括成果类型、传感器类型、数据格式、数据量、生产单位、制作日期等内容。

附录 A
(资料性)
技术作业设计

航摄因子表按照表 A 执行。

表 A 航摄因子表

航摄数据类型		视频	影像（可见光/多/高光谱）	雷达（激光/探地雷达）
飞行速度（km/h）				
*激光频率（kHz）		-	-	
空间分辨率（cm）				-
平均绝对航高（m）				
*旁向覆盖因子（%）				
*航向覆盖因子（%）				
平均 基 准 面	高程（m）			
	相对航高（m）			
	*基线长（m）	-		-
	*航线间距（m）			
	*旁向重叠度（%）			
	*航向重叠度（%）	-		-
注：* 为选择性填写。				

附录 B
(资料性)
飞行记录表格

飞行作业记录应按照表 B 执行。

表 B 飞行记录表

作业编号				作业日期			
工程名称							
应用场景							
应用模式							
无人机实名登记号				制造商代码			
无人机类型				任务载荷类型			
天气			能见度 (m)			风速 (m/s)	
操控员				机务			
架次序号	数据类型	相对航高(m)	飞行速度 (m/s)	起飞时间 (YYYYMMDD HH:MM)	飞行时间(min)	备注	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
记录人 (签名) : 负责人 (签名) :							
异常突发情况处置:							

参 考 文 献

- [1] GB/T 23236 数字航空摄影测量空中三角测量规范
- [2] GB/T 27919 IMU/GPS 辅助航空摄影技术规范
- [3] GB/T 35018 民用无人驾驶航空器系统分类及分级
- [4] GB/T 39612 低空数字航摄与数据处理规范
- [5] GB/T 38152 无人驾驶航空器系统术语
- [6] GB 42590 民用无人驾驶航空器系统安全要求
- [7] CH/T 2009 全球定位系统实时动态测量 (RTK) 技术规范
- [8] CH/Z 3001 无人机航摄安全作业基本要求
- [9] CH/Z 3002 无人机航摄系统技术要求
- [10] CH/T 3003 低空数字航空摄影测量内业规范
- [11] CH/T 3004 低空数字航空摄影测量外业规范
- [12] SL 277 水土保持监测技术规范
- [13] SL 326 水利水电工程物探规程
- [14] SL 551 大坝安全监测规范
- [15] SL 442V 水利水电工程建设征地移民实物调查规范
- [16] SL 725 水利水电工程安全监测设计规范
- [17] DZ/T 0262 区域地质调查中遥感技术规定