

ICS

CCS 点击此处添加 CCS 号

DB

地方标准

DB XX/T XXXX—XXXX

# 无人机机载激光水利水电地形测量技术导则

Technical Guidelines for Water Resources and Hydropower Engineering  
Topographic Surveying with UAV Airborne LIDAR

(2024 年 1 月 15 日)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

发布

# 无人机机载激光水利水电地形测量技术导则

## 1 范围

本文件规定了无人机机载激光水利水电地形测量的准备工作、航摄设计、数据获取、数据处理、地形图绘制、检查验收和成果整理与归档等技术要求。

本文件适用于采用无人机机载激光雷达系统，以生产1:500~1:10 000比例尺陆地数字高程模型、正射影像图、实景三维模型和地形图等成果为目的的水利水电工程测量。其他性质的测绘工程可以参照执行。

## 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 7931 1:500 1: 1 000 1: 2 000地形图航空摄影测量外业规范
- GB/T 13977 1:5 000 1: 10 000地形图航空摄影测量外业规范
- GB/T 13989 国家基本比例尺地形图分幅和编号
- GB/T 18314 全球定位系统（GPS）测量规范
- GB/T 20257.1 国家基本比例尺地图图式 第1部分：1： 500 1： 1 000 1： 2 000地形图图式
- GB/T 20257.2 国家基本比例尺地图图式 第2部分：1： 5 000 1： 10 000地形图图式
- GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收
- GB/T 27919 IMU/GPS辅助航空摄影技术规范
- GB 55018 工程测量通用规范
- CH/T 1004 测绘技术设计规定
- CH/T 3003 低空数字航空摄影测量内业规范
- CH/T 3004 低空数字航空摄影测量外业规范
- CH/T 3005 低空数字航空摄影规范
- 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

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**机载激光雷达 airborne LIDAR**

在航空平台上，集成激光雷达、定姿定位系统、数码相机和控制系统所构成的综合系统。

### 3.2

**点云 point cloud**

以离散、不规则方式分布在三维空间中的点的集合。

### 3.3

#### 点云密度 density of point cloud

单位面积上点的平均数量。

注：一般用每平方米的点数表示。

### 3.4

#### 地面点 ground point

点云中反应真实地表形态的点。

### 3.5

#### 非地面点 off-ground point

点云中除地面点之外的点。

### 3.6

#### 实景三维模型 real scene three-dimensional model

使用无人机航摄影像生产的，对人类活动空间的位置、几何形态、纹理及属性等信息进行真实三维表达的不规则三角网模型。

### 3.7

#### 地面 GNSS 基站 base station

实施机载激光雷达航摄时，架设于地面上与机载GNSS进行同步观测的GNSS接收机。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

GNSS：全球导航卫星定位系统（Global Navigation Satellite System）

IMU：惯性测量装置（Inertial Measurement Unit）

POS：定姿定位系统（Position and Orientation System）

PPS：每秒脉冲数（Pulses Per Second）

## 5 总则

### 5.1 测量基准

#### 5.1.1 空间基准

空间基准要求如下：

- a) 大地坐标系统应采用 2000 国家大地坐标系。如采用其他坐标系统，应与 2000 国家大地坐标系建立联系。
- b) 高程基准应采用 1985 国家高程基准。如采用其他高程基准，应与 1985 国家高程基准建立联系。

#### 5.1.2 时间基准

时间基准应采用公历纪元和北京时间。

### 5.2 成果规格及精度指标

#### 5.2.1 点云

### 5.2.1.1 点云密度

点云密度应满足表1的要求。

表1 点云数据密度要求

成图比例尺	数字高程模型成果格网间距 m	点云密度 点/m <sup>2</sup>
1:500	0.5	≥16
1:1000	1.0	≥4
1:2000	2.0	≥1
1:5000	2.5	≥1
1:10000	5.0	≥0.25
注：按不大于1/2数字高程模型成果格网间距计算点云密度。		

### 5.2.1.2 点云高程精度

点云高程精度使用野外控制点数据进行检查，其高程中误差应不大于表2的要求。

表2 点云数据高程允许中误差

单位为米

成图比例尺	平地	丘陵地	山地	高山地
1:500	0.15	0.25	0.35	0.50
1:1000	0.15	0.35	0.50	1.00
1:2000	0.25	0.35	0.85	1.00
1:5000	0.35	0.85	1.75	2.80
1:10000	0.35	0.85	1.75	3.50
注：在植被覆盖密集区域、反射率较低区域（如水域、光滑表面等易形成镜面反射的区域）等特殊困难地区，点云数据高程中误差可为规定值的1.5倍。				

## 5.2.2 数字正射影像图

### 5.2.2.1 数字正射影像地面分辨率

数字正射影像图地面分辨率不应低于表3的规定。

表3 数字正射影像地面分辨率要求

单位为米

成图比例尺	影像地面分辨率
1:500	0.05
1:1000	0.1
1:2000	0.2
1:5000	0.5
1:10000	1.0

### 5.2.2.2 数字正射影像平面精度

数字正射影像图相对于野外控制点的平面中误差应符合表4的规定。

表 4 数字正射影像平面允许中误差

单位为米

成图比例尺	平地	丘陵地	山地	高山地
1:500	0.3	0.3	0.4	0.4
1:1000	0.6	0.6	0.8	0.8
1:2000	1.2	1.2	1.6	1.6
1:5000	2.5	2.5	3.7	3.7
1:10000	5.0	5.0	7.5	7.5

注：在植被覆盖密集区域、反射率较低区域（如水域、光滑表面等易形成镜面反射的区域）等特殊困难地区，数字正射影像平面中误差可为规定值的1.5倍。

### 5.2.3 数字高程模型

数字高程模型相对于野外控制点的高程中误差，应符合表5的规定。

表 5 数字高程模型高程允许中误差

单位为米

成图比例尺	平地	丘陵地	山地	高山地
1:500	0.2	0.4	0.5	0.7
1:1000	0.2	0.5	0.7	1.5
1:2000	0.4	0.5	1.2	1.5
1:5000	0.5	1.2	2.5	4.0
1:10000	0.5	1.2	2.5	5.0

注：在植被覆盖密集区域、反射率较低区域（如水域、光滑表面等易形成镜面反射的区域）等特殊困难地区，数字高程模型高程中误差可为规定值的1.5倍。

### 5.2.4 地形图

#### 5.2.4.1 地形图平面精度

地形图平面精度采用明显地物点相对于邻近控制点的平面位置中误差衡量，不应大于表6的规定。

表 6 明显地物点平面位置允许中误差

单位为图上毫米

成图比例尺	平地、丘陵地	山地、高山地
1:5000~1:10000	0.5	0.75
1:500~1:2000	0.6	0.8

注：隐蔽困难地区明显地物点平面位置允许中误差可为规定值的1.5倍，但山地、高山地允许中误差为图上±1.0mm。

#### 5.2.4.2 地形图高程精度

地形图高程精度以高程注记点、等高线插求点相对于邻近控制点的高程中误差衡量，应符合下列规定：

- a) 地形图中高程注记点相对于邻近高程控制点的高程中误差不应大于表 7 的规定。

表 7 高程注记点允许中误差

测图比例尺	平地、丘陵地	山地、高山地
1:500~1:10000	$1/4 \times H$	$1/3 \times H$
注1：H为基本等高距。 注2：1:500、1:1000比例尺地形图高程注记点的高程中误差不大于0.15m。 注3：山地、高山地采用10m等高距时，按5m等高距精度要求执行。		

- b) 等高线插求点高程中误差不应大于表 8 的规定。

表 8 地形图等高线插求点高程允许中误差

地形类别	等高线插求点高程中误差
平地	$1/3 \times H$
丘陵地	$1/2 \times H$
山地	$2/3 \times H$
高山地	$1 \times H$
注1：H为基本等高距。 注2：采用10m基本等高距时，图幅等高线插求点高程允许中误差为 $\pm 5m$ 。 注3：森林隐蔽困难地区图幅等高线插求点高程允许中误差可为规定值的1.5倍。	

### 5.3 工作流程

无人机机载激光水利水电地形测量工作流程见图1。

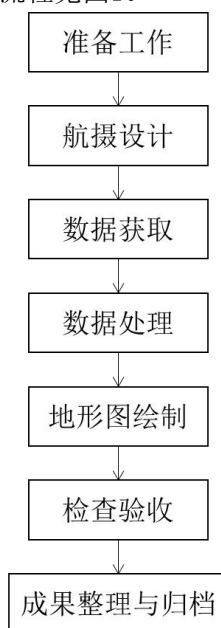


图 1 无人机机载激光水利水电地形测量工作流程

## 6 准备工作

### 6.1 需求分析

项目实施前，充分了解水利水电工程规模、建筑物级别和布局、特征水位等信息，确定测量范围、成果类型、成果精度和比例尺等要求，形成需求分析报告。

### 6.2 资料收集

宜收集以下资料：

- a) 测区行政区划、自然地理、交通、通信、地形和植被覆盖等情况。
- b) 测区及周边控制点资料、似大地水准面成果和全球导航卫星系统连续运行基准站、数字高程模型、地形图和正射影像等成果。
- c) 其他有关资料。

### 6.3 现场踏勘

踏勘目的主要有：

- a) 了解测区内主要河流、水库、湖泊等水系的水位（或潮位）情况及变化规律。
- b) 掌握测区内高大建筑物、高山、高大植被等障碍物的位置、高度等情况。
- c) 验证已收集资料的准确性和可靠性。
- d) 现场查勘室内选取的起降场地、地面 GNSS 基站位置等。

### 6.4 仪器设备选择

#### 6.4.1 无人机

搭载激光雷达的无人机要求如下：

- a) 具备足够的载荷能力，能满负荷挂载动力系统、激光雷达、数码相机、POS 系统等传感器及其辅助系统，且空间充足，不遮挡视场，不影响接线和插卡等。
- b) 抗风能力宜 $\geq 5$ 级。
- c) 支持大风异常返航、GNSS 丢失降高悬停、失联自动返航等安全机制。

#### 6.4.2 激光雷达

激光雷达应符合以下要求：

- a) 根据测区的地形条件和地表覆盖情况，以及成果对点云密度及数据精度的要求，选择激光有效距离、发射频率、回波次数等参数符合要求的激光雷达。
- b) 激光雷达与无人机、POS 系统之间的位置和姿态关系刚性稳定。

#### 6.4.3 POS 系统

POS 系统应符合以下要求：

- a) 机载 GNSS 接收机应采用双频 GNSS 接收机，具备高动态、高准确度双频数据接受能力，具有精确定义和稳定的相位中心，采样频率宜不低于 5Hz。
- b) IMU 横滚角、俯仰角测量精度优于  $0.005^\circ$ ，偏航角测量精度优于  $0.02^\circ$ 。
- c) IMU 数据记录频率不宜小于 200Hz。
- d) 具有信号示标输入器接口，能将相机快门开启脉冲通过接口准确写入 GNSS 数据流，脉冲延迟不大于 1ms。

- e) 具有 PPS 输出接口，能够将 PPS 输出到激光雷达，提供时间同步。
- f) 机内存储器容量大于一个架次记录的数据量。
- g) 电源满足一个架次不断电的要求。

#### 6.4.4 数码相机

数码相机要求如下：

- a) 镜头应为定焦镜头，且对焦无限远，稳定性良好。
- b) 内方位元素和相机畸变参数可精确测定。
- c) 像素不宜低于 2000 万。
- d) 相机与无人机、POS 系统之间的位置和姿态关系刚性稳定。
- e) 相机具备曝光信号反馈功能，能稳定输出和记录曝光脉冲。
- f) 存储器容量至少大于一个架次的航摄相片数据量。

#### 6.4.5 地面 GNSS 基站

地面GNSS基站要求如下：

- a) 与机载 GNSS 接收机性能匹配。
- b) 类型为测量型双频 GNSS 接收机，采样频率宜不低于 5Hz。
- c) GNSS 接收天线带有抑径板或抑径圈，抗干扰能力良好。
- d) 存储器容量大于一个架次观测的数据量。
- e) 电源满足一个架次不断电的要求。

#### 6.5 设备检校

设备检校要求如下：

- a) 激光雷达、相机宜定期检校，一般不过超 2 年。
- b) 当机载激光雷达系统出现下列情况时，使用前应完成检校：
  - 1) 未检定或已超过检定有效期。
  - 2) 经过大修或关键部件进行拆卸更换。
  - 3) 遭受剧烈振动和冲击。
  - 4) 其他可能改变部件相对位置或姿态关系的情况。
- c) 检校方法和要求按 CH/T 8024 的有关规定执行。

#### 6.6 技术设计书编写

技术设计书编写按照CH/T 1004的有关规定执行。

### 7 航摄设计

#### 7.1 分区划分

分区划分要求如下：

- a) 分区界线应与测量范围界线一致。
- b) 分区兼顾成果点云密度、成图比例尺、采集效率、飞行方向、飞行安全等因素。
- c) 分区考虑水利水电工程的分布和特点，属于同一个枢纽工程的建筑物划分至同一分区。
- d) 其他分区划分要求及分区基准面高度的确定方法，按 CH/T 3005 的有关规定执行。



## 7.2 航摄覆盖范围

航向覆盖超出测量范围不少于两条基线。旁向覆盖超出测量范围一般不少于相机像幅的50%。

## 7.3 飞行时间

飞行时间要求如下：

- a) 在水位（或潮位）变化较大的测区，选择水位（或潮位）最低的时段。
- b) 避开 5 级以上大风、雨、雪、雾、扬沙等影响飞行安全和数据质量的天气，条件允许的选择植被稀疏、树木落叶的季节。
- c) 在河流湖泊、海洋、沙漠、戈壁、盐滩、盐碱地、滩涂等区域航摄时，在当地正午前后 2 小时内不得摄影，以减少地面反光的影响。
- d) 陡峭山区和高层建筑物密集地区应在当地正午前后 2 小时内摄影，以减少阴影的影响。
- e) 兼顾航摄时段的 GNSS 信号强度和卫星分布情况。

## 7.4 飞行高度

飞行高度要求如下：

- a) 飞行高度满足成果对点云密度和影像地面分辨率的要求，兼顾采集效率。
- b) 飞行高度高于测区内高点至少 50m。

## 7.5 飞行速度

飞行速度要求如下：

- a) 飞行速度不宜设置为无人机标称最大速度。
- b) 同一分区内，飞行速度宜保持一致。
- c) 飞行速度与相机快门速度匹配，以确保航摄基准面像点位移不超过 0.5 个像元。像点位移计算公式按照 CH/T 3005 的有关规定执行。

## 7.6 重叠度设计

重叠度设计要求如下：

- a) 重叠度在航摄分区基准面高度上设计，需同时满足点云和影像的采集要求。
- b) 点云旁向重叠设计应达到 20%，最少为 13%。
- c) 影像航向重叠宜为 65%~75%，旁向重叠宜为 30%~45%。
- d) 在陡峭山区、高大建筑物密集地区、海岛、河流等测区航摄，以及风速较大时，重叠度设计宜适当加大。

## 7.7 激光雷达参数设计

激光雷达参数设计要求如下：

- a) 激光有效测距能完整覆盖整个测区，测区低点不产生点云漏洞。
- b) 激光发射频率满足成果对点云密度的要求。
- c) 激光转速与发射频率、飞行高度及飞行速度等参数匹配，使得点云在航向、旁向均匀分布。
- d) 激光视场角在满足点云精度、减少噪点等条件下，宜采用较大的视场角。

## 7.8 航线敷设

航线敷设要求如下：

- a) 每条航线的直线飞行时间根据 IMU 误差积累的指标确定，不宜大于 30min。
- b) 航线一般按测区形状的长边平行敷设，亦可按照东西或南北方向飞行，或沿堤防、输水线路、河流、海岸线、公路等走向飞行，项目执行时可按照测区面积、形状，考虑到安全性和经济性等情况决定飞行方向。
- c) 每个分区至少设计一条构架航线，尽量与任务航线垂直、航高相近。
- d) 相机曝光点应依据数字高程模型设计，采用定点曝光或等距曝光控制方法，不宜采用等时曝光控制方法。
- e) 测区含有水域时，尽量减少像主点落水。

## 8 数据获取

### 8.1 地面 GNSS 基站

#### 8.1.1 基站距离

基站控制距离要求如下：

- a) 测区内任意位置与最近基站间的距离不宜大于 30km。
- b) 当测区跨度较大时，可按 30~50km 间距布设 2 个或多个基站，在航摄的全过程中与机载 GNSS 接收机同步接收 GNSS 信号。

#### 8.1.2 基站选址

基站选址应满足下列要求：

- a) 充分利用测区内符合要求的卫星定位连续运行基准站（CORS）或已有控制点，已有控制点等级不低于 SL 197 中 GNSS 五等。
- b) 基站点位要求按 GB/T 18314 的有关规定执行。

#### 8.1.3 基站造标

基站位置选定后，应制作固定的中心标识，要求地基稳固、标识清晰、便于观测，在航摄期间不位移、不丢失。

#### 8.1.4 基站点位测量

基站点位测量要求如下：

- a) 基站平面位置允许中误差为 0.1m，高程允许中误差为 0.1m。
- b) 采用五等以上已有控制点的，可直接利用其成果。
- c) 新选地面 GNSS 基站就近联测高等级控制点。

#### 8.1.5 基站静态观测

基站静态观测要求如下：

- a) 地面 GNSS 基站观测时段应完整覆盖机载 GNSS 观测时段。
- b) 基站静态观测要求按 GB/T 18314 的有关规定执行。

### 8.2 飞行准备

飞行准备的要求如下：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/305143220322011313>