

# 水利水电工程无人机机载激光雷达地形 测量技术导则

Technical guidelines of topographic surveying with unmanned airborne LIDAR  
for water resources and hydropower engineering

2025 - 02 - 13 发布

2025 - 05 - 13 实施

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 缩略语 ..... 2

5 总体要求 ..... 2

6 准备工作 ..... 5

7 航测设计 ..... 7

8 数据获取 ..... 8

9 数据处理 ..... 10

10 地形图绘制 ..... 13

11 检查验收 ..... 17

12 成果整理与归档 ..... 17

附录 A（资料性） 飞行记录表..... 18

参考文献 ..... 19

## 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。

本文件由广东省水利厅提出并组织实施。

本文件由广东省水利标准化技术委员会（GD/TC 139）归口。

本文件起草单位：中水珠江规划勘测设计有限公司。

本文件主要起草人：何宝根、邓神宝、伍峥、王小刚、沈清华、孙雨、王建成、赵薛强、熊翰文、陈淼新、钟翠华、杨秋佳、龙耿文、何定池、王进科、叶文芳、何沁洁、童娅琼、钟嫣然、王浩、钟传熙、杨健达、刘庚元、凌艺、黄杏、吴文根、涂图。

# 水利水电工程无人机机载激光雷达地形测量技术导则

## 1 范围

本文件规定了水利水电工程无人机机载激光雷达地形测量的准备工作、航测设计、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的水利水电工程测量，其他类型的测绘工程可参照执行。

## 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—2021 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

**无人机机载激光雷达** **unmanned airborne LIDAR**

在无人机航空平台上，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**

使用无人机航测影像等生产的，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 GNSS station**

实施机载激光雷达航测时，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)

CORS: 连续运行卫星定位导航服务系统 (Continuously Operating Reference System)

## 5 总体要求

### 5.1 测量基准

#### 5.1.1 空间基准

空间基准应满足以下要求：

- a) 大地坐标系统宜采用 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) 高程基准宜采用 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

点云密度按不大于1/2数字高程模型成果格网间距计算，应符合表1的规定。

表1 点云密度要求

成图比例尺	数字高程模型成果格网间距 m	点云密度 点/m²
1:500	0.5	≥16
1:1 000	1.0	≥4
1:2 000	2.0	≥1
1:5 000	2.5	≥1
1:10 000	5.0	≥0.25

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，其高程中误差不应大于表2的规定。

表2 点云高程精度要求

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
1:1 000	0.15	0.35	0.50	1.00
1:2 000	0.25	0.35	0.85	1.00
1:5 000	0.35	0.85	1.75	2.80
1:10 000	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，点云数据高程允许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 数字正射影像图地面分辨率

数字正射影像图地面分辨率不应低于表3的规定。

表3 数字正射影像图地面分辨率要求

单位为米

成图比例尺	影像地面分辨率
1:500	0.05
1:1 000	0.1
1:2 000	0.2
1:5 000	0.5
1:10 000	1.0

5.2.2.2 数字正射影像图平面精度

数字正射影像图相对于野外控制点的平面位置中误差不应大于表4的规定。

表4 数字正射影像图平面精度要求

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
1:1 000	0.6	0.6	0.8	0.8
1:2 000	1.2	1.2	1.6	1.6
1:5 000	2.5	2.5	3.7	3.7
1:10 000	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，数字正射影像图平面位置允许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不应大于表5的规定。

表5 数字高程模型高程精度要求

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
1:1 000	0.2	0.5	0.7	1.5
1:2 000	0.4	0.5	1.2	1.5
1:5 000	0.5	1.2	2.5	4.0
1:10 000	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，数字高程模型高程允许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 明显地物点平面精度要求

单位为图上毫米

成图比例尺	平地、丘陵地	山地、高山地
1:500~1:2 000	0.6	0.8
1:5 000~1:10 000	0.5	0.75
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±1.0 mm。		

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 高程注记点高程精度要求

测图比例尺	平地、丘陵地	山地、高山地
1:500~1:10 000	$1/4\times H$	$1/3\times H$
注1：H为基本等高距。		
注2：山地、高山地采用10 m等高距时，按5 m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 等高线插求点高程精度要求

地形类别	等高线插求点高程允许中误差
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：森林隐蔽困难地区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

水利水电工程无人机机载激光雷达地形测量工作流程见图1。

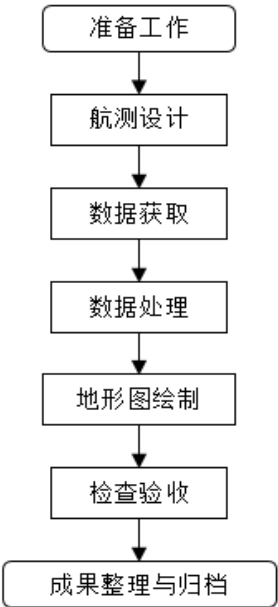


图1 工作流程

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

宜收集如下资料：

- 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 CORS 数据、数字高程模型、地形图和正射影像等成果；
- c) 测区内空域管制要求；
- d) 其他有关资料。

## 6.3 现场踏勘

现场踏勘内容如下：

- a) 了解测区内主要河流、水库、湖泊等水系的水（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宜满足下列要求：

- a) 抗风能力宜 $\geq 5$ 级；
- b) 具备足够的载荷能力，能挂载激光雷达、数码相机、POS 系统等传感器及其辅助系统；
- c) 具备异常天气、GNSS 信号丢失、通讯失联、低电（油）量等异常情况应急处置功能。

### 6.4.2 激光雷达

激光雷达宜满足下列要求：

- a) 激光雷达测程、发射频率、回波次数等参数满足成果对点云密度及数据精度的要求；
- 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 系统宜满足下列要求：

- a) 机载 GNSS 接收机具备高动态双频或多频数据接收能力，采样频率宜不低于 5 Hz；
- b) IMU 横滚角、俯仰角测量精度优于  $0.005^\circ$ ，航偏角测量精度优于  $0.02^\circ$ ；
- c) IMU 数据记录频率宜不小于 200 Hz；
- 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 1 ms；
- 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。

### 6.4.4 数码相机

数码相机宜满足下列要求：

- a) 镜头宜为定焦镜头，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。

#### 6.4.5 地面 GNSS 基站

地面GNSS基站可采用CORS或自主架设基站，宜满足下列要求：

- a) 类型为测量型双频或多频 GNSS 接收机，自主架设基站的采样频率宜不低于 5 Hz；
- b) GNSS 接收系统具有抗干扰能力。

#### 6.5 设备检校

设备检校宜满足下列要求：

- a) 激光雷达、相机宜定期检校；
- b) 当机载激光雷达出现下列情况时，使用前宜完成检校：
  - 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 的规定执行。

#### 6.6 技术设计书编写

技术设计书宜按CH/T 1004的规定编写。

### 7 航测设计

#### 7.1 分区划分

分区划分宜按CH/T 3005的规定执行，并满足下列要求：

- 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。

#### 7.2 航测覆盖范围

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

飞行时间宜满足下列要求：

- a) 在水（潮）位变化较大的测区，选择水（潮）位较低的时段；
- 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；
- c) 在河流、湖泊、海洋、盐碱地、滩涂等区域宜避开正午前后 2 h 航测；
- d) 在陡峭山区和高大建筑物密集地区宜在正午前后 2 h 内航测；
- e) 兼顾航测时段的 GNSS 信号强度和卫星分布情况。

#### 7.4 飞行高度

飞行高度宜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，并高于测区内高点至少 50 m。

## 7.5 飞行速度

飞行速度宜满足下列要求：

- a) 同一分区内，飞行速度宜保持一致；
- b) 飞行速度与相机快门速度匹配，以确保航测基准面像点位移不超过 0.5 个像元。像点位移可按 CH/T 3005 的规定计算。

## 7.6 重叠度设计

重叠度设计宜满足下列要求：

- a) 重叠度在航测分区基准面上设计，并满足点云和影像的采集要求；
- b) 点云旁向重叠设计宜达到 20%；
- 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，可适当提高重叠度。

## 7.7 激光雷达参数设计

激光雷达参数设计宜满足下列要求：

- a) 激光雷达测程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

航线敷设宜满足下列要求：

- 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 30 min；
- 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。当有堤防、输水线路、河流、海岸线、公路等地物时，可按地物走向飞行；
- 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) 测区有较大面积水域时，宜减少像主点落水。

# 8 数据获取

## 8.1 地面 GNSS 基站

### 8.1.1 基站距离

基站布设距离宜满足下列要求：

- a) 测区内任意位置与最近基站间的距离宜不大于 30 km；
- b) 当测区跨度较大时，可按 30 km~50 km 间距布设 2 个以上基站，在航测的全过程中与机载 GNSS 接收机同步接收 GNSS 信号。

### 8.1.2 基站选址

基站宜按GB/T 18314的规定选址，并充分利用测区内符合要求的CORS或不低于SL 197中GNSS五等的已有控制点。

### 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，在航测期间不移位、不丢失。

### 8.1.4 基站点位测量

基站点位测量宜满足下列要求：

- a) 基站平面位置允许中误差为 0.1 m，高程允许中误差为 0.1 m；
- b) 采用五等以上已有控制点的，经校核无误后，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

基站静态观测宜按GB/T 18314的规定执行，观测时段应完整覆盖机载GNSS观测时段。

## 8.2 飞行准备

飞行准备宜满足下列要求：

- a) 起降场地视野开阔，附近不应有强烈反射卫星信号的物件（如大型建筑物等），视场内障碍物的高度角不大于 15°，距离大功率无线发射源 200 m 以上，距离高压输电线 50 m 以上；
- b) 机载设备在起飞前加电检测，并确保机载 GNSS 获得有效可见卫星数；
- c) 执行起飞、降落航线的安全性互检，同时检查任务航线的参数和指令是否正确设置；
- d) 制定突发情况应急预案。

## 8.3 飞行实施

飞行宜按照GB/T 27919的规定实施，并满足下列要求：

- a) 选择风力较小的时间起飞；
- b) 观察无人机在任务航线上的高度、速度、姿态、卫星信号、续航等情况，实际航高变化应不超过设计航高的 5%~10%；
- c) 填写飞行记录表，格式见附录 A。

## 8.4 补摄与重摄

### 8.4.1 当出现下列问题，应进行补摄或重摄：

- a) POS 系统数据记录缺失；
- b) 点云数据密度、精度不能满足要求；
- c) 点云数据未完整覆盖测区或存在漏洞；
- d) 影像数据存在漏拍、进云、进雾等无法修复的质量问题。

8.4.2 补摄宜采用同型号激光雷达和相机，补摄航线的两端超出补摄范围外两条基线，且成果质量不应降低。

## 8.5 检查点测量

### 8.5.1 基本要求

检查点宜满足下列要求：

- a) 平面检查点精度按成图比例尺地形图上明显地物点的平面位置允许中误差要求控制；
- b) 高程检查点精度按成图比例尺地形图上高程注记点的高程允许中误差要求控制；
- c) 对满足要求的地形资料可直接使用，否则应全野外布点。

#### 8.5.2 标志布设

检查点标志宜满足下列要求：

- a) 平面检查点的目标影像应清晰，易于判别，可选在交角良好（ $30^{\circ} \sim 150^{\circ}$ ）的细小线状地物交点、明显地物拐角点、原始影像中不大于  $6 \times 6$  像素的点状地物中心，同时应是高程起伏较小、常年相对固定且易于准确定位和量测的地方。弧形地物、阴影、高大建筑物以及高大树木附近，与周边不易区分的地点不应选为点位目标；
- b) 高程检查点选在高程起伏较小、常年相对固定且易于准确定位和量测的地方，以硬化地面为主；
- c) 大面积沼泽、森林、湖泊、河流、滩涂等特殊困难地区，难以找到合适点位目标的，航测前应布设地面标志，布设方法按 CH/T 3004—2021 中附录 A 的规定执行。

#### 8.5.3 测量方法

检查点采用外业散点法施测，可使用GNSS-RTK或全站仪测量。

#### 8.5.4 检查点数量

检查点数量宜满足下列要求：

- a) 总图幅数不超过 50 幅时，检查图幅数不少于总图幅数的 10%；总图幅数多于 50 幅的，按 5%对超过部分进行检查。每幅图测量 20 个~50 个检查点；
- b) 大面积沼泽、森林、湖泊、河流、滩涂等特殊困难地区可酌情减少。

### 9 数据处理

#### 9.1 成图坐标系统转换

成图坐标系统转换宜满足下列要求：

- a) 用于坐标转换的控制点均匀分布于测区四周及中部，测区高处和低处均有控制点；
- b) 平面坐标转换控制点数不少于 4 个，高程转换控制点数不少于 5 个，具体数量依据成图比例尺、测区形状和规格确定；
- c) 点云数据、影像外方位元素均需转换为成图坐标系；
- d) 坐标转换检查点均匀分布于测区，相对于邻近基本控制点的平面位置允许中误差为图上 0.1 mm，高程允许中误差为基本等高距的 1/10；
- e) 检查点转换值与实测值较差满足不大于图上 0.2 mm 的条件下，平面坐标转换可采用赫尔莫特四参数法或布尔莎七参数法；
- f) 检查点转换值与实测值较差满足不大于 1/5 倍基本等高距的条件下，高程转换可采用平面拟合法或多项式曲面拟合法。

#### 9.2 POS 数据处理

POS数据处理宜满足下列要求：

- a) 在飞行区域布设地面 GNSS 基站的，选择距离该架次最近的基站数据进行解算或采用多基站联合解算。使用基站 GNSS 观测数据、基站坐标，联合机载 GNSS 观测数据，按照后处理精密动态测量模式进行处理，确定飞行过程中各时刻机载 GNSS 天线的基准坐标；
- b) 在飞行区域内有 CORS 的，并且采样频率符合要求，可利用这类基站的观测数据，联合机载 GNSS 观测数据，按照后处理精密动态测量模式进行处理，确定飞行过程中各时刻 GNSS 天线的基准坐标；
- c) 差分 GNSS 结果与 IMU 数据进行 POS 数据联合处理，得到机载 GNSS 天线的航迹线，根据扫描仪偏心分量和相机偏心分量分别解算得到扫描仪航迹数据和相机航迹数据；
- d) IMU 和 GNSS 数据联合解算精度应满足 GB/T 27919 的规定。

### 9.3 点云和影像数据解算

点云和影像数据解算宜满足下列要求：

- a) 联合扫描仪航迹数据、激光测距数据、系统检校数据和坐标转换参数，进行点云数据解算，生成成图坐标系点云文件，导出为 LAS 格式或其他存储格式；
- b) 联合相机航迹数据、坐标转换参数、系统检校数据和影像数据，解算成图坐标系影像外方位元素。

### 9.4 点云分类

#### 9.4.1 噪声点滤除

点云分类之前应滤除以下噪声点：

- a) 明显低于地面的点或点群；
- b) 明显高于地表目标的点或点群；
- c) 移动地物反射点或点群；
- d) 水域中杂物反射点或点群。

#### 9.4.2 点云自动分类

##### 9.4.2.1 提取地面点

利用基于反射强度、回波次数、地物形状等的算法或算法组合，对点云进行自动分类，提取地面点。

##### 9.4.2.2 非地面点分类

根据点的高度及点云分布的形状、密度、坡度等特征，对非地面点进行分类。对于形状规则、空间特征明显的地物（如建筑物、电力塔等），可通过参数设置，利用软件自动提取其点云数据。

#### 9.4.3 人工编辑分类结果

人工编辑分类结果的情况包括：

- a) 高程突变处，如坡度过大的坡、坎、悬崖、喀斯特地貌等，可小范围自动分类或人工分类；
- b) 建筑物或构筑物与地面相接的基础部位划分为地面点，架空部分划分为非地面点。

### 9.5 数字高程模型制作

#### 9.5.1 数据空白区处理

数据空白区处理宜满足下列要求：

- a) 对于河流、湖泊等面积较大的水体，采集水涯线作为特征线参与数字高程模型的生成，其中，静止水域的水涯线高程值取其常水位高程，流动水域的水涯线高程应自上而下平缓过渡，并且与周围地形之间的关系正确、合理；
- b) 对于滤除非地面点后出现的零散、小面积无数据区域，制作数字高程模型时可设置适当的构网距离，保证插值结果反映完整地形，不出现漏洞。

### 9.5.2 数字高程模型生成

数字高程模型生成宜满足下列要求：

- a) 点云中所有地面点均作为特征点进行数字高程模型构建，根据实际情况，可选择带有高程信息的精确匹配的道路特征线、面状水域水涯线等参与生成数字高程模型；
- b) 生成规则格网的数字高程模型，格网大小按照表 1 中的规定执行；
- c) 数字高程模型应进行接边处理，接边处同名格网点的高程较差不大于 2 倍 DEM 高程允许中误差，超限的修改至限差内再接边。

## 9.6 空中三角测量

空中三角测量宜按 CH/T 3003 的规定执行，使用的文件包括影像数据、影像内方位元素、影像外方位元素、航测分区图等。

## 9.7 实景三维模型生产

### 9.7.1 模型重建

实景三维模型重建宜满足下列要求：

- a) 根据项目要求、计算机性能定义瓦片尺寸，单个瓦片占用的计算机运行内存不宜超过 50%；
- b) 同一测区分块生产的模型采用一致的原点；
- c) 瓦片命名规则为“前缀\_行序号\_列序号”，前缀一般为“Tile”，行序号、列序号根据指定原点以 X、Y 轴正方向为增长方向顺序编号，编号前“+”表示正方向、“-”表示负方向；
- d) 模型在测区内应无分块缺失、冗余，无纹理缺失；
- e) 有多种来源的数据可供选择时，优先采用高精度的数据。

### 9.7.2 模型修饰

模型修饰宜满足下列要求：

- a) 模型应整体美观，地面上下不应存在悬浮物，外边缘应裁切齐整，整体色彩逼真、无明显色差；
- b) 水域无明显孔洞，静止水面结构平整，流动水域水面高程自上而下平缓过渡，且与周围地形地物高程之间的关系正确，无纹理映射错误；
- c) 植被无底灰纹理；
- d) 道路不应出现不合理的高程突变，去除行驶车辆、行人的破损模型并抹去其纹理，无纹理映射错误；
- e) 重要建筑物、构筑物外立面无穿透性孔洞，模型无明显的扭曲、拉花、变形，重要建筑模型之间无粘连。

## 9.8 数字正射影像图制作

### 9.8.1 影像生成

采用影像内、外方位元素和航摄影像等数据，通过正射纠正，生成数字正射影像图。

### 9.8.2 影像处理

影像处理宜满足下列要求：

- a) 对影像进行色彩、亮度 and 对比度的调整和匀色处理，缩小影像间的色调差异，使得色调均匀、反差适中、层次分明，保持地物色彩不失真；
- b) 对影像脏点、模糊、错位、扭曲、变形、拉花、漏洞等问题，应查明原因并进行处理。

### 9.8.3 镶嵌

数字正射影像图镶嵌宜满足下列要求：

- a) 相邻的数字正射影像图接边误差不大于 2 个像元，超限的修改至限差内再接边；
- b) 镶嵌线应避开大型建筑物和影像差异较大的地方，宜选择线状地物，如河流、公路、沟渠、田埂的边沿；
- c) 镶嵌后的影像无明显拼接痕迹、过渡自然、纹理清晰。

### 9.8.4 裁切

按照分幅要求对拼接后的数字正射影像图进行裁切，生成分幅数字正射影像图。

## 10 地形图绘制

### 10.1 技术路线

地形图绘制的技术路线如下：

- a) 利用分类点云和数字高程模型生成等高线、高程点等高程要素；
- b) 基于实景三维模型、数字正射影像图进行三维测图，绘制地貌、地类和地物等要素，与高程要素合并得到室内测图成果；
- c) 使用室内测图成果开展外业调绘；
- d) 结合室内测图成果和外业调绘成果进行地形图编辑；
- e) 必要时，在地形图编辑后可进行补调；
- f) 三维测图、调绘和地形图编辑可以交叉进行。

### 10.2 要素表示原则

要素的表示应符合GB/T 20257.1、GB/T 20257.2和SL 197的有关规定。要素的表示与取舍以满足用图需要为前提，以保持实地特征、兼顾地域特点为原则，综合要素重要程度、图面负载量进行取舍。

### 10.3 高程要素生成

#### 10.3.1 等高线

使用基于点云制作的数字高程模型，按照GB 55018的规定生成等高线。

#### 10.3.2 高程注记点

高程注记点宜满足下列要求：

- a) 根据成图比例尺、图面负载量确定高程注记点密度，平地、丘陵地在图上每 100 cm<sup>2</sup> 内注记 10 个~20 个，山地、高山地在图上每 100 cm<sup>2</sup> 内注记 8 个~15 个；
- b) 除 0.5 m 基本等高距注记至 0.01 m 外，其余均注记至 0.1 m；



- c) 采用生成图幅等高线的同源地面点提取高程注记点；
- d) 通过人工编辑的方式，在主干道、堤顶、坝顶、坝脚、防浪墙顶、溢洪道堰顶、山顶、淹没范围内的房屋基础等重要部位增加高程注记点，删除房屋、水域等面状地物内部的高程注记点。

#### 10.4 三维测图

三维测图宜满足下列要求：

- a) 对能够准确判读的地物、地貌要素，应全部采集，对不能准确判读的要素（包括隐蔽地区、阴影部分和较小的独立地物）应尽量采集，并作出标记，由调绘确定；
- b) 要素的几何类型和空间拓扑关系正确。点状要素采集要素定位点；线状要素采集定位线，不应自重叠、自相交；面状要素采集外围闭合轮廓线。有向点和有向线的方向正确；
- c) 要素采集不移位、不错漏；
- d) 宜先采集水系、道路、居民地，再采集其他要素；
- e) 河流、溪流、湖泊、水库等水域的水涯线，按摄时水位采集。图上宽度小于 0.5 mm 的河流、沟渠用单线表示；
- f) 道路采集时正确处理道路的相交关系及与其他要素的关系，道路相交处形成结点，道路走向明确，衔接合理；
- g) 采集房屋和街区轮廓时，切准房角或轮廓拐角后打点连线，准确采集外围轮廓，反映建筑结构特征；
- h) 地物或地貌的比高或深度大于 2 m 时应量注比高，比高量注至 0.1 m；
- i) 三维测图数据应先相互拼接，再按标准图幅裁切；
- j) 提供给调绘使用的成果，需要调绘的地物颜色、符号和注记设置应方便调绘人员判读。

#### 10.5 调绘

##### 10.5.1 基本要求

调绘宜满足下列要求：

- a) 按 GB/T 7931 或 GB/T 13977 规定的调绘要求以及 GB/T 20257.1 或 GB/T 20257.2 规定的图式符号进行调绘；
- b) 当所调绘要素没有合适的符号时，可用类似的符号代替，或增设符号并加注说明；
- c) 调绘基本单位一般采用分幅后的标准图幅，为减少接边，也可用线状地物为界划分调绘区域；
- d) 外业调绘应与三维测图、地形图编辑有效衔接，调绘前，调绘人员应检查内业测图表示的各种地物、地貌的合理性、完整性，标注调绘重点和三维测图无法判读的疑难点；
- e) 调绘前应熟悉测区地形地貌，制定调绘计划，确定调绘路线以及人力分配方案；
- f) 调绘应走到、看到、量到、注记到、问清、绘准，描绘清楚，符号运用恰当，各种注记准确无误，应做到满幅、无漏洞、不重叠。由不同单位调绘时，应注明调绘人员及联系方式；
- g) 航测后新增的一般地物根据成图要求决定是否调绘，但新增的大型工程设施和变化较大的居民地、开发区等应进行补测。航测后已不存在的地物，应在调绘像片或图纸上标记；
- h) 调绘应保证满幅，自由图边应调出图外 4mm（图上距离），相邻调绘范围应接边；
- i) 调绘成果应经过全幅检查，包括漏调、属性或注记错误、指向不清、接边错误等，必要时重新调绘；
- j) 调绘图纸、数据应妥善保管，不应丢失、损毁。

##### 10.5.2 调绘底图

调绘底图形式包括：

- a) 底图调绘，使用矢量数据或矢量数据套合正射影像图作为调绘底图，底图打印幅面以方便使用为原则，先内后外法宜使用底图调绘；
- b) 像片调绘，调绘像片比例尺以准确判读和方便清绘为原则，应不小于成图比例尺的 1.5 倍，先后后内或内外同步时可使用像片调绘；
- c) 电子数据调绘，使用移动终端导入三维测图成果进行调绘。

### 10.5.3 调绘内容

调绘内容宜满足下列要求：

- a) 对已有数据进行实地核查，对错、漏等进行修改和补充；
- b) 调查地物、地貌要素的属性和注记，以及内业无法获取的地理名称。调绘的属性和注记应标注在调绘底图上；
- c) 补测三维测图无法准确采集的阴影区地物、隐蔽和复杂部位地物，以及需要补测的航测后新增地物等；
- d) 房屋调绘以墙基为准。调绘水利水电工程淹没范围内的房屋建筑材料、房屋基础高程，并注记于图上。大比例尺测图时，当屋檐、阳台宽度大于图上 0.2 mm 的，应在底图上注明实测宽度（量注至 0.01 m），供内业人员进行屋檐改正或阳台处理，不需屋檐改正或阳台处理的应在技术设计书中明确；
- e) 水系及其附属建筑物调绘要求如下：
  - 1) 河流、水库、堰塘水边线一般应以航测时的水位描绘，若航测时处于枯水期或洪水期，水位变化较大时，需按常水位岸线调绘，非淡水的湖泊应加注水质；
  - 2) 汽车渡口应加加载重吨数；
  - 3) 水库及双线表示的河流上的拦水坝，应加注坝长、坝顶高程和建筑材料，简易修筑的拦水坝用堤符号表示。调绘水库泄水消能设施的类型和尺寸，并注记于图上。调绘大坝迎水坡、背水坡的护坡类型及反滤排水设施类型；
  - 4) 缺水地区的水井和居民地外的水井宜表示，直径大于图上 2.6 mm 的按实际形状测绘并依比例表示，每幅图测注 3 个~5 个水井的地面高程，并量注地面至水面的深度；
  - 5) 防洪（潮）堤应准确调绘并加注名称，堤上建筑物应调绘，堤上防浪墙应调绘且按实际长度绘制，并加注防浪墙高度、宽度；堤上里程碑应调绘并加注里程注记；
  - 6) 水闸、船闸应调绘，并根据建筑情况分别用能通车和不能通车的符号表示；
  - 7) 铁路、公路和测区内主要的机耕路附属的涵洞应调绘，其他机耕路及以下道路附属的涵洞可不表示；
  - 8) 水闸、涵洞、溢洪道、泄洪洞应当调绘过水面底部高程、规格、孔数和建筑材料并注记于图上，用于计算过水面积；
  - 9) 航行岸标、水中航标应调绘并注记编号；
  - 10) 调绘水库、水闸、堤防等的工程管理范围及保护范围边线。
- f) 公路应按国道、省道、县道、乡道及其他道路、专用公路的等级分类调绘，高速公路作为特殊公路单独列出，公路应注记行政等级、宽度以及技术等级代码；
- g) 管线调绘要求如下：
  - 1) 管线调绘应正确反映管线的种类、位置及走向特征；
  - 2) 永久性的电力线、通讯线应表示，电杆、铁塔应按实际位置绘出，同一杆上架有多种线路时，应择要表示；

- 3) 电力线分输电线和配电线,输电线路为高压线,配电线一般为低压线。电压在 35 kV 以上时,应加注电压(以 kV 为单位);
- 4) 地面及架空管线应表示,并注记输送物质;地下管线可不表示,但其出入口和检修井宜表示。
- h) 独立地物调绘要求如下:
  - 1) 在地物密集区域,选择特别突出的独立地物加以表示;
  - 2) 在地物稀少区域,应重视此类地物的表示,如小土堆、独立树、小棚房等,在实地显得突出时,即使是低矮的独立地物仍应表示。
- i) 地类界及垣栅调绘要求如下:
  - 1) 居民地外围和院落外围高 1.5 m 以上且图上长度大于 5 mm 的砖石墙、土墙、土围、垒石围应表示,高度不足 1.5 m 但有方位意义的也应表示;
  - 2) 栅栏、铁丝网、篱笆等图上宽度小于 5 mm 的或者高度小于 1 m 的可不表示。通电的铁丝网应加注“电”字。
- j) 军事设施和国家保密单位测量应符合要求,并按 CH/T 3004 的规定表示。

#### 10.5.4 野外补测

航测数据存在漏洞且不补摄的应进行野外补测,补测范围由内外业结合确定,且成果精度不应降低。

#### 10.5.5 调绘接边

外业调绘结束后应进行图幅接边,接边处房屋轮廓、道路、管线、河流、植被等的性质、等级、宽度、符号和注记应一致。

#### 10.6 地形图编辑

地形图编辑宜满足下列要求:

- a) 依据调绘成果,补充三维测图漏测的地物、航测后新增的地物和被遮挡的地物等;
- b) 大比例尺测图依据调绘成果对三维测图采集的房屋进行屋檐改正和阳台处理;
- c) 依据调绘成果,在地形图上加注河流、水库等的名称,补充拦水坝、堤防、水闸、船闸、涵洞、岸(航)标、防浪墙等水工建筑物的名称、规格、材料等注记;
- d) 全面检查和修改各类定位错误、遗漏、拓扑错误、图层错误、属性错误、要素关系错误、几何图形问题等。

#### 10.7 接边

接边宜满足下列要求:

- a) 分区施测的地形图,应进行接图检查和图边数据编辑;
- b) 接边处的地物平面位置较差不大于地物平面位置允许中误差的 2 倍,等高线高程较差不大于等高线插求点高程允许中误差的 2 倍,超限的修改至限差内再接边;
- c) 不改变接边处现状地物的真实形状,地貌拼接不产生变形。

#### 10.8 分幅

地形图分幅宜满足下列要求:

- a) 1:500、1:1 000 和 1:2 000 比例尺地形图可采用 50 cm×50 cm 正方形或 40 cm×50 cm 矩形自由分幅;
- b) 1:5 000、1:10 000 比例尺地形图按 GB/T 13989 的规定进行分幅和编号。

## 11 检查验收

各类成果应按GB/T 24356的规定进行检查验收。

## 12 成果整理与归档

通过检查验收的成果宜按以下内容进行整理并归档：

- a) 成果清单；
- b) 航摄影像、激光雷达测距文件、地面 GNSS 基站和机载 GNSS 数据、IMU 记录等原始数据；
- c) POS 数据，包括扫描仪航迹数据、相机航迹数据等；
- d) 点云分类成果；
- e) 数字高程模型；
- f) 空中三角测量成果，包括空三成果文件和空三报告；
- g) 数字正射影像图，包括影像文件、坐标定位文件和投影坐标文件；
- h) 实景三维模型；
- i) 调绘成果，包括标绘的图纸资料和 DWG 格式成果文件；
- j) 地形图，包括分幅图和索引图；
- k) 元数据、图历簿；
- l) 技术设计书；
- m) 技术总结；
- n) 检查报告；
- o) 其他相关资料。

附 录 A  
(资料性)  
飞行记录表

表A. 1为飞行记录表的内容。

表A. 1 飞行记录表

项目名称		测区名称	
参加人员			
飞行人员（签名）		雷达操控员（签名）	
飞行日期		天气	
架次编号		电池编号	
起飞电压		降落电压	
开机载设备时间		关机载设备时间	
起飞时间		降落时间	
测区海拔		航间距	
飞行速度		飞行高度	
激光有效测距		激光发射频率	
激光转速		激光起止角	
拍照间隔		影像起止编号	
基站点名		基站天线高度	
基站观测时段		雷达容量	
起飞场地	省/直辖市    市    区/县    街/镇    村    （B:    L:    H:    ）		
备注			
注：B、L、H分别指起飞场地的纬度、经度和海拔高度。			

### 参 考 文 献

- [1] GB/T 7930—2008 1:500 1: 1 000 1: 2 000 地形图航空摄影测量内业规范
  - [2] GB/T 13990—2012 1:5 000 1: 10 000 地形图航空摄影测量内业规范
  - [3] GB/T 39610—2020 倾斜数字航空摄影技术规程
  - [4] CH/T 8023—2011 机载激光雷达数据处理技术规范
-

广东省地方标准

水利水电工程无人机机载激光雷达  
地形测量技术导则

DB44/T 2620—2025

\*

广东省标准化研究院组织印刷  
广州市海珠区南田路 563 号 1304 室  
邮政编码：510220  
电话：020-84250337