

ICS 49.020

CCS M50

CSPSTC

团 体 标 准

T/CSPSTC X-2022

崩滑体无人机机载激光雷达数据采集 与处理技术规程

Technical code of practice for airborne lidar data acquisition and
processing of landslide UAV

(征求意见稿)

2022-xx-xx 发布

2022-xx-xx 实施

中国科技产业化促进会 发布

目 次

前言	II
引言	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	3
4 基本规定	3
4.1 测量系统	3
4.2 调查比例尺	3
4.3 点云密度与精度	4
4.4 设备选型	5
5 技术准备	6
5.1 资料收集	6
5.2 现场踏勘	6
5.3 技术设计	6
6 控制测量	6
7 航线设计	7
7.1 飞行设计	7
7.2 飞行时间	8
8 数据获取	8
8.1 飞行准备	8
8.2 飞行检校	9
8.3 飞行实施	10
8.4 补飞与重飞	11
9 数据预处理	12
9.1 POS 数据处理	12
9.2 航带拼接	12
9.3 坐标转换	13
10 数据处理	13
11 质量检查	13
附录 A（规范性）无人机机载激光雷达组装安全检查记录表	15
附录 B（规范性）无人机机载激光雷达系统安装偏心分量测定记录表	16
附录 C（规范性）无人机机载激光雷达飞行记录表	17

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。

本文件由中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：XXXXXX。

本文件主要起草人：XXXXXX。

引 言

为了规范崩滑体无人机机载激光雷达数据采集与处理技术要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结了无人机机载激光雷达在崩塌、滑坡等地质灾害中的实践经验，在吸收了该领域的有关科研和技术发展的成果、参考有关标准，并广泛征求意见的基础上，制定本文件。

本文件的主要技术内容是：范围，规范性引用文件，术语、定义和缩略语，基本规定，技术准备，控制测量，航线设计，数据获取，数据预处理，数据处理，质量检查。

崩滑体无人机机载激光雷达数据采集与处理技术规程

1 范围

本文件给出了崩滑体无人机机载激光雷达数据采集与处理技术应用的测量系统、调查比例尺、点云密度与精度、设备选型的基本规定，确立了技术准备、控制测量、航线设计、数据获取、数据预处理、数据处理、质量检查的程序。

本文件适用于无人机机载激光雷达对崩塌、滑坡等地质灾害体数据采集与处理。对高山峡谷、高陡边坡区域崩滑体的应急抢险、变形监测等工作可参照执行。

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 18314 全球定位系统（GPS）测量规范
- GB/T 32864 滑坡防治工程勘查规范
- GB 50026 工程测量标准
- GB 55018 工程测量通用规范
- CH/T 3005 低空数字航空摄影规范
- CH/T 8021 数字航摄仪检定规程
- 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
- DZ/T 0221 崩塌、滑坡、泥石流监测规范
- T/CAGHP 001 地质灾害分类分级标准（试行）
- T/CAGHP 018 地质灾害地面三维激光扫描监测技术规程（试行）

3 术语、定义和缩略语

下列术语、定义和缩略语适用于本文件。

3.1 术语和定义

3.1.1

无人机 **unmanned air vehicle**

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、半自助、自主三种飞行控制方式。

注：无人机是航空平台的一种，按构型分为旋翼、固定翼、伞翼机、无人直升机等。

3.1.2

无人机机载激光雷达 **UAV airborne lidar**

在无人机上，搭载集成激光扫描仪、定位定姿系统、数码相机和控制系统所构成的综合

系统。

3.1.3

惯性测量单元 inertial measurement unit

用于测定激光扫描设备在飞行过程中空间的姿态变化。

注：包括俯仰角（pitch），侧滚角（roll）和航偏角（yaw）。

3.1.4

定位定姿系统 position orientation system

由机载 GNSS 接收机与 IMU 装置组成，用来测量目标物体每个时刻的空间位置和姿态角。

3.1.5

点云密度 point density

单位面积内激光点的个数，一般用点每平方米表示，反映点云的分布状况。

3.1.6

航带宽度 swath width

机载激光雷达所获点云激光脚点形成的扫描带的宽度。

3.1.7

反射率 reflectivity

投射到物体上被反射的辐射能与投射到物体上的总辐射能的比率。

3.1.8

卫星定位连续运行基准站 continuously operating reference station

由卫星定位系统接收机（含天线）、计算机、气象设备、通讯设备及电源设备、观测墩等构成的观测系统。

注：其长期连续跟踪观测卫星信号，通过数据通信网络定时、实时或按数据中心的要求将观测数据传输到数据中心。可独立或组网提供实时、快速或事后的数据服务。

3.1.9

视场角 field of view

以扫描中心为顶点，最大范围的两条边缘扫描线构成的夹角，称为视场角。

3.1.10

地面点 ground point

点云中反应真实地表面形态的点。

3.1.11

激光有效距离 effective ranging of the laser

激光扫描仪可以探测的距离。

3.1.12

点云缺失 deficiency of point cloud

由于云、雪、雾等天气原因，密集植被、反射率较低等地表覆盖因素，陡峭山体、地形突变等要素，以及飞行设备故障、飞行姿态及扫描方式引起的点云密度明显低于设计要求的情况。

3.1.13

郁闭度 canopy density of vegetation

树冠在阳光直射下在地面的总投影面积（冠幅）与此林地（林分）总面积的比。

3.1.14

大气透明度 atmospheric transparency

电磁波辐射在通过大气层时会产生一定的衰减，用于表征大气允许电磁波通过的百分率。

3.1.15

仿地飞行 Imitating flight

无人机在作业过程中，通过设定与已知三维地形的固定高度，使得飞机与目标地物保持恒定高差。

注：借助仿地飞行功能，无人机机载激光雷达能够适应不同的地形，根据测区地形自动生成变高航线，保持地面分辨率一致从而获取更好的点云数据效果。

3.2 缩略语

UAV——*Unmanned Air Vehicle*（无人机）

CORS——*Continuously Operating Reference Station*（卫星定位连续运行基准站）

IMU——*Inertial Measurement Unit*（惯性测量单元）

POS——*Positioning and Orientation System*（定位定姿系统）

LiDAR——*Light Detection and Ranging*（激光扫描系统）

FOV——*Field of View*（视场角）

GNSS——*Global Navigation Satellite System*（全球导航卫星系统）

RTK——*RealTime Kinematic*（实时动态）

ASCII——*American Standard Code for Information Interchange*（美国信息交换标准代码）

DOM——*Digital Orthophoto Map*（数字正射影像）

DEM——*Digital Elevation Model*（数字高程模型）

DLG——*Digital Line Graphic*（数字线划图）

4 基本规定

4.1 测量系统

4.1.1 平面控制网的坐标系统，应采用高斯-克吕格投影的平面直角坐标系统，并在满足边长投影变形不应大于 25mm/km 要求下，作如下选择：

- 1 已建立平面控制网，应沿用同一坐标系统；
- 2 新建立平面控制网，应采用 2000 国家大地坐标系统；
- 3 有特殊要求的项目，平面坐标系统可通过专项设计确定。

4.1.2 高程控制网宜采用 1985 国家高程基准。在已建立高程控制网的区域，可沿用已有高程基准。

4.2 调查比例尺

4.2.1 利用无人机机载激光雷达开展崩滑体地质灾害调查数据获取时，应优先确定地质灾害调查比例尺，不同比例尺，采用的平台、设备、技术参数均不同。

4.2.2 崩滑体地质灾害调查比例尺确定宜符合下列要求：

- 1 开展精细化调查、治理设计、变形监测等工作可选用1:500、1:1000比例尺；
- 2 开展灾害详查、早期识别、应急抢险等工作可选用1:1000、1:2000比例尺；
- 3 小区域、小流域等重点区域的地质灾害调查宜采用1:5000或1:10000比例尺。

4.3 点云密度与精度

4.3.1 制作崩滑体 DLG、DEM 产品的点云密度应符合本文件表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 制作 DLG、DEM 的点云密度要求

比例尺	数字高程模型格网间距 (m)	点云密度 (点/m ²)		
		丘陵地	山地	高山地
1:500	1.0	2.00	3.00	4.00
1:1000	2.0	1.00	1.50	2.00
1:2000	2.5	0.50	0.75	1.00
1:5000 1:10000	5.0	0.15	0.30	0.50

4.3.2 崩滑体地质灾害早期识别，或开展精细化调查、治理设计、变形监测等提取地表裂缝、重要目标体等信息时，点云密度应符合本文件表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 地表信息识别点云密度要求

比例尺	林分郁闭度	点云密度 (点/m ²)
1:500	[0.7, 1]	[30, 60)
	[0.2, 0.69)	[25, 30)
	[0, 0.2)	[16, 25)
1:1000	[0.7, 1]	[25, 30)
	[0.2, 0.69)	[20, 25)
	[0, 0.2)	[8, 16)

4.3.3 生产 DLG、DEM、DOM 产品的点云平面位置允许中误差应符合表 4.3.3-1 的规定，高程允许中误差应符合表 4.3.3-2 的规定。

表 4.3.3-1 点云平面位置允许中误差 (mm)

测图比例尺	丘陵地	山地、高山地
1:500 1:1000 1:2000	$\pm 0.60M$	$\pm 0.80M$

测图比例尺	丘陵地	山地、高山地
1:5000 1:10000	$\pm 0.50M$	$\pm 0.75M$

注：M 为测图比例尺分母；隐蔽困难地区地物点平面位置允许中误差按上表可放宽至 1.5 倍，但山地、高山地不应大于 $\pm 1.0M$ 。

表 4.3.3-2 点云高程允许中误差

数字高程模型格网间距 (m)	精度等级	丘陵地 (m)	山地 (m)	高山地 (m)
5.0	一级	± 0.88	± 2.12	± 3.54
	二级	± 1.20	± 2.89	± 4.84
	三级	± 1.77	± 4.24	± 7.07
2.5 2.0 1.0	一级	± 0.35	± 1.00	± 1.41
	二级	± 0.48	± 1.34	± 1.91
	三级	± 0.70	± 1.95	± 2.83

4.4 设备选型

4.4.1 飞人机型选型应根据地形类型、灾变范围长度或宽度、设备性能、工作便利等综合考虑，推荐按表 4.4.1 进行选取。

表 4.4.1 无人机选型

地形类型	灾变范围长度 或宽度 (m)	无人机平台	无人机要求
丘陵地	≤ 500	旋翼机	1、电动垂起型无人机； 2、抗风等级 ≥ 6 级，续航时间 $\geq 30\text{min}$ ，载重 $\geq 2\text{kg}$ ； 3、海拔 $> 3500\text{m}$ 应选用高原型无人机。
	500~1000	旋翼机、固定翼	
	≥ 1000	旋翼机、固定翼、伞翼机	
山地	≤ 500	旋翼机、固定翼	
	500~1000	旋翼机、固定翼、伞翼机	
	≥ 1000	固定翼、伞翼机、旋翼机	
高山地	≤ 500	旋翼机、固定翼	
	500~1000	固定翼、伞翼机、旋翼机	
	≥ 1000	固定翼、伞翼机、无人直升机、旋翼机	

4.4.2 激光雷达选型应根据崩滑体地表植被、地形起伏、高差等情况确定，并符合下列规定：

- 1 宜优先选用具有多回波技术的激光雷达；
- 2 丘陵地区域应选用中短测程的激光雷达，激光测距精度优于 0.05m；

