



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 42647—2023

## 星载激光测高仪在轨场地定标方法

In-orbit field calibration method for spaceborne laser altimeter

2023-05-23 发布

2023-09-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	I
引言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 一般要求 .....	1
4.1 激光定标场 .....	1
4.2 测量仪器设备 .....	2
4.3 测量环境 .....	2
5 定标数据获取 .....	2
5.1 地面测量数据 .....	2
5.2 大气参数 .....	3
5.3 星载激光测高仪数据 .....	3
6 技术流程与计算方法 .....	3
6.1 技术流程 .....	3
6.2 计算方法 .....	4
7 定标不确定度分析 .....	6
7.1 分析步骤 .....	6
7.2 不确定度影响因素 .....	6
7.3 不确定度计算式 .....	6

## 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。

本文件由全国宇航技术及其应用标准化技术委员会(SAC/TC 425)提出并归口。

本文件起草单位：中国资源卫星应用中心、中国四维测绘技术有限公司、中国科学院空天信息创新研究院、武汉大学、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国测绘科学研究院、北京中勘迈普科技有限公司、自然资源部第四地形测量队、西安交通大学、太原理工大学、中国航天标准化研究所。

本文件主要起草人：韩启金、马灵玲、龙小祥、黎荆梅、李松、闵祥军、徐兆鹏、李大成、王玉鹏、李庆鹏、陈军、曾健、赵航、邸志众、马跃、廉志鹏、崔林、张学文、李晓进、马秀秀、杜晓铮、赵永光、赵园春、张泽星、李宗鹤。



## 引 言

在轨定标是保证星载激光测高仪测高产品质量和精度的前提和基础。为保障陆地观测卫星激光测高仪在轨场地定标方法的规范性和可靠性,制定本文件,从而实现对在轨的星载激光测高仪测距误差和指向角误差高精度定标,为星载激光测高仪地面处理系统的激光数据处理提供可靠的定标参数,提升激光测高数据产品的质量和精度。

# 星载激光测高仪在轨场地定标方法

## 1 范围

本文件规定了星载激光测高仪在轨场地定标的一般要求、定标数据获取、技术流程与计算方法、定标不确定度分析等内容。

本文件适用于星载激光测高仪测距与激光指向角等系统误差的在轨场地定标。其他同类星载激光载荷的定标可参照使用。

## 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 18314 全球定位系统(GPS)测量规范

GB 22021 国家大地测量基本技术规定

GB/T 34509.2—2017 陆地观测卫星光学遥感器在轨场地辐射定标方法 第2部分:热红外

## 3 术语和定义

GB 22021 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。



### 3.1

**星载激光测高仪** **spaceborne laser altimeter**

搭载于卫星上,精密测量卫星到地球表面的距离或地球表面起伏变化的主动探测激光雷达系统。

### 3.2

**激光定标场** **laser altimeter calibration site**

用于校正星载激光测高仪指向角和测距值系统误差的定标试验场地。

### 3.3

**光程大气延迟** **optical path atmospheric delay**

激光测距中由大气折射引起的光程时间比真空中实际传输时间延长的现象。

## 4 一般要求

### 4.1 激光定标场

#### 4.1.1 场地要求

激光定标场场地要求如下:

- a) 场地边长应大于激光足印直径与激光测高仪点位预报误差范围之和;
- b) 场地整体倾斜度应小于 $2^{\circ}$ ;
- c) 场地开阔,且周边无影响激光地面探测器工作的障碍物;

- d) 场地应选择在交通便利、试验人员与定标设备易于进出的地带。

#### 4.1.2 气象条件

气象条件要求如下：

- a) 晴空日一般不少于 90 日/年；
- b) 场地周边大气模式相对稳定，湍流效应低。

#### 4.1.3 配套设施条件

配套设施条件要求如下：

- a) 激光定标场周边具备获取大气参数的条件；
- b) 场地环境满足野外试验的工作条件要求。

### 4.2 测量仪器设备

#### 4.2.1 测量仪器

测量仪器种类如下：

- a) 激光地面探测器；
- b) 激光角反射器；
- c) 大气参数测量仪器；
- d) 定位测量仪器。

#### 4.2.2 测量仪器要求

测量仪器要求如下：

- a) 激光地面探测器波长响应范围应涵盖星载激光测高仪工作波段；
- b) 激光地面探测器能量响应范围应覆盖星载激光测高仪地面能量密度的分布区间；
- c) 激光角反射器尺寸应与星载激光测高仪能量密度匹配；
- d) 定位测量仪器符合 GB/T 18314 的规定；
- e) 测量仪器在使用前应进行标定，在有条件的情况下应进行现场标定；
- f) 测量仪器使用按照仪器操作手册执行。

### 4.3 测量环境

测量环境要求如下：

- a) 天气晴朗，目标区周边 10 km<sup>2</sup> 内天顶无云；
- b) 风力小于 4 级；
- c) 试验期间大气干燥、洁净。

## 5 定标数据获取

### 5.1 地面测量数据

地面测量数据如下：

- a) 激光地面探测器响应数量；
- b) 激光地面探测器响应时刻的世界协调时；
- c) 激光地面探测器响应的能量级别；

d) 利用定位测量仪器测量激光地面探测器、激光角反射器的位置信息。

## 5.2 大气参数

大气参数数据如下：

- a) 场地温度、相对湿度、气压廓线；
- b) 近地表大气气压。

## 5.3 星载激光测高仪数据

### 5.3.1 实验室定标数据

实验室定标数据包括：

- a) 星载激光测高仪初始激光束指向角参数；
- b) 星载激光测高仪实验室测距值定标参数。

### 5.3.2 星载激光测高仪观测数据

星载激光测高仪观测数据包括：

- a) 地面处理的精密轨道数据、精密姿态数据；
- b) 星载激光测高仪过顶激光定标场的激光束时刻信息；
- c) 星载激光测高仪过顶激光定标场的激光束测距值。

## 6 技术流程与计算方法

### 6.1 技术流程

星载激光测高仪过顶激光定标场时，同步测量定标场大气参数，激光地面探测器记录激光地面足印位置和时间信息，利用大气参数校准激光传输过程中的光程大气延迟，结合激光地面探测器获取的激光足印质心位置信息、激光测高仪姿态轨道信息和激光测高仪采集的测距信息等数据，根据激光测高仪定标模型计算出激光测高仪的指向角和测距值定标参数。星载激光测高仪在轨场地定标方法流程图见图 1，包括以下流程。

- a) 首先根据开展激光定标的区域范围，通过轨道预测、激光指向角预估等技术对激光测高仪过境时间、激光足印位置进行预测。
- b) 激光定标场选取。根据 4.1 场地要求，从预估的多个激光足印位置中选取合适的场地作为定标场地。
- c) 地面探测器与激光角反射器布设。在确定的激光定标场中，以激光足印位置为中心，布设激光地面定标探测器及激光角反射器，架设大气测量仪器。
- d) 地面探测结果记录。等待卫星过境后，登记响应到激光信号的激光探测器编号，并精确测量其范围内的全部地面探测器和激光角反射器的位置。记录有响应的激光地面探测器能级、时刻、位置数据；记录有响应激光探测器范围内角反射器的反射器口径、位置、高度数据；记录大气参数。
- e) 星载激光测高仪地面足印质心坐标值计算。利用激光探测器阵列捕获的激光足印信息，计算星载激光测高仪地面足印质心坐标，作为定标的控制点位。
- f) 星载激光测高仪测距值计算。利用过境期间的星载激光测高仪观测数据，计算控制点位对应的激光测距值。
- g) 激光测高仪测距和指向角定标参数计算。结合控制点位信息、改正后的激光测距值以及激光

发射时刻的精密轨道及精密姿态,计算激光测高仪测距和指向角定标参数。

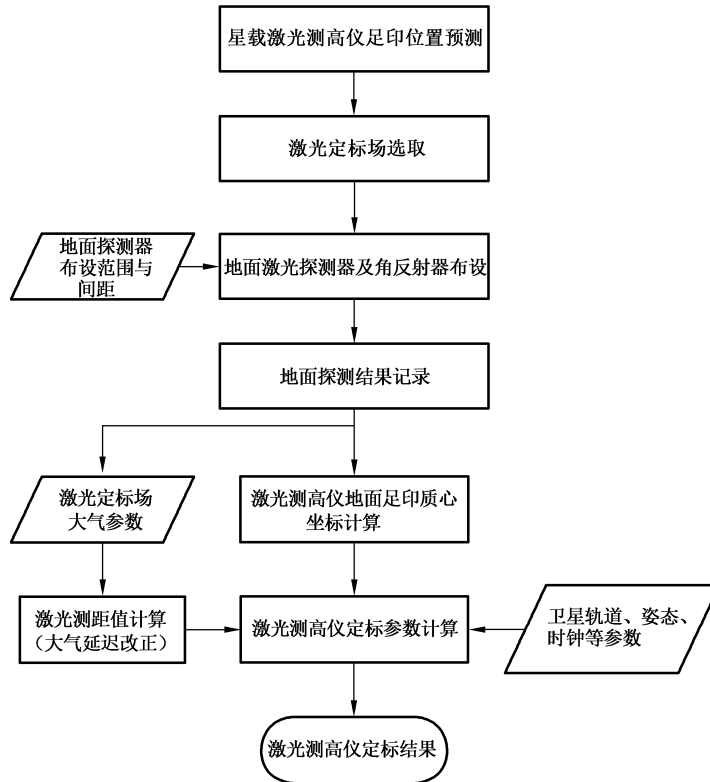


图 1 星载激光测高仪在轨场地定标方法流程

## 6.2 计算方法

### 6.2.1 星载激光测高仪地面足印质心坐标值计算

利用星载激光测高仪地面激光足印范围及周边区域布设的激光探测器阵列,获取星载激光测高仪发射的激光脉冲到达地面的时刻以及激光足印能量分布,使用能级平方加权重心法计算激光足印质心坐标,确定激光足印质心位置。用能级平方加权重心法计算激光足印质心坐标,按公式(1)计算。

$$\left. \begin{aligned} x' &= \frac{\sum x I^2(x, y)}{\sum I^2(x, y)} \\ y' &= \frac{\sum y I^2(x, y)}{\sum I^2(x, y)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $x', y'$  ——能级平方加权重心法求得的激光足印质心位置,单位为米(m);
- $(x, y)$  ——探测器在投影坐标系下的平面坐标位置,单位为米(m);
- $I(x, y)$  ——在平面坐标 $(x, y)$ 位置处探测器的能量级别。

### 6.2.2 星载激光测高仪测距值计算

通过计算星载激光测高仪发射和接收激光脉冲信号的时间差值与所在介质中的光速相乘得到激光测距值,按公式(2)计算。

$$\rho = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\rho$  ——激光测距值,单位为米(m)；

$c$  ——光速, $c = 2.997\ 924\ 58 \times 10^8$  (m/s)；

$\Delta t$  ——激光渡越时间,即  $\Delta t = T_r - T_e$ ,其中  $T_r$  为激光接收时间, $T_e$  为激光发射时间,单位为秒(s)。

对光程大气延迟引起的测距误差进行校正,星载激光测高仪的实际测距值按公式(3)计算。

$$\rho_1 = \rho - \Delta\rho_{\text{atm}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$\rho_1$  ——星载激光测高仪经光程大气延迟改正后的实际测距值,单位为米(m)；

$\Delta\rho_{\text{atm}}$  ——光程大气延迟作用引起的测距误差值,根据同步测量的大气参数数据,由大气延迟改正模型计算,单位为米(m)。

### 6.2.3 激光测高仪测距和指向角定标参数计算

星载激光测高仪飞行过程中,卫星整星的质心为原点  $O$ , $X$  轴指向卫星飞行方向, $Z$  轴指向地心方向, $Y$  轴垂直于卫星轨道平面, $O$ - $XYZ$  遵循右手规则,则星载激光测高仪地面足印点在地固坐标系下的坐标满足公式(4)：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF}} = \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix}_{\text{ITRF}} + R_{\text{ICRF}}^{\text{ITRF}} R_{\text{body}}^{\text{ICRF}} \left\{ \begin{bmatrix} \Delta X_{\text{Laser}} \\ \Delta Y_{\text{Laser}} \\ \Delta Z_{\text{Laser}} \end{bmatrix}_{\text{body}} + (\rho_1 + \Delta\rho) \cos\theta \begin{bmatrix} \tan\alpha \\ \tan\beta \\ 1 \end{bmatrix}_{\text{body}} \right\} \quad \dots\dots (4)$$

式中：

$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ITRF}}$  ——星载激光测高仪地面足印质心在地固坐标系下的坐标；

$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix}_{\text{ITRF}}$  ——卫星质心在地固坐标系下的坐标；

$R_{\text{ICRF}}^{\text{ITRF}}$  ——空间惯性坐标系到地固坐标系的旋转矩阵；

$R_{\text{body}}^{\text{ICRF}}$  ——卫星本体坐标系到空间惯性坐标系的旋转矩阵；

$\begin{bmatrix} \Delta X_{\text{Laser}} \\ \Delta Y_{\text{Laser}} \\ \Delta Z_{\text{Laser}} \end{bmatrix}_{\text{body}}$  ——星载激光测高仪发射参考点与卫星质心在卫星本体坐标系下的固定偏移量；

$\Delta\rho$  ——星载激光测高仪的测距定标参数,单位为米(m)；

$\alpha$  ——星载激光测高仪的激光指向在卫星本体坐标系  $XOZ$  面的投影与  $Z$  轴夹角,单位为度( $^\circ$ )；

$\beta$  ——星载激光测高仪的激光指向在卫星本体坐标系  $YOZ$  面的投影与  $Z$  轴夹角,单位为度( $^\circ$ )；

$\theta$  ——星载激光测高仪的激光指向方向与卫星本体坐标系  $Z$  轴夹角,单位为度( $^\circ$ ), $\theta = \arctan[\sqrt{(\tan\alpha)^2 + (\tan\beta)^2}]$ ,激光指向示意图见图 2。

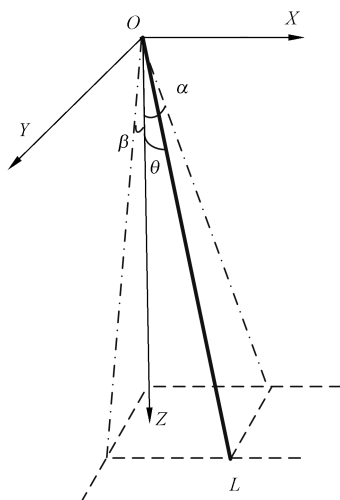


图 2 激光指向示意图

根据公式(4)的星载激光测高仪严密几何模型,将计算得到的地面足印质心坐标作为星载激光测高仪地面足印质心在地固坐标系下的坐标真值,计算出定标参数  $\Delta\rho$ ,  $\alpha$  和  $\beta$ 。当激光地面探测器获取的有效激光足印数量多于 1 时,可采用平差方法计算定标参数。

## 7 定标不确定度分析

### 7.1 分析步骤

不确定度分析步骤如下:

- 确定激光测高仪系统定标的影响因素;
- 列出各影响因素的误差组成;
- 测量或估算每个影响因素对激光指向角和测距值的误差;
- 根据不确定度传播律,计算激光指向误差和测距误差大小。

### 7.2 不确定度影响因素

不确定度影响因素如下:

- 星载激光测高仪观测数据不确定度包括卫星轨道姿态测量误差、激光脉冲时间同步误差;
- 地面测量数据不确定度包括激光地面探测器位置测量误差;
- 场地不确定度包括激光定标场地地面倾斜度等误差;
- 算法模型不确定度包括数据处理使用的轨道姿态插值模型、激光足印质心提取模型、光程大气延迟改正模型等不确定度。

### 7.3 不确定度计算式

依据不确定度传递理论对星载激光测高仪在轨场地定标结果的不确定度进行分析,相关分析计算公式按照 GB/T 34509.2—2017 中 A.2 的规定。