

中华人民共和国测绘行业标准

CH/T XXXXX—XXXX

对地观测卫星激光几何检校技术规范

Technical specification for laser geometric calibration of earth observation satellite

报批稿

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施



目 次

前言 ..... III

引言 ..... IV

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 缩略语 ..... 1

5 总体要求 ..... 2

    5.1 空间参考 ..... 2

    5.2 时间系统 ..... 2

    5.3 检校周期 ..... 2

    5.4 检校成果 ..... 2

    5.5 检校精度 ..... 2

6 检校过程 ..... 2

    6.1 技术流程 ..... 2

    6.2 任务设计 ..... 3

    6.3 控制获取 ..... 4

    6.4 参数解算 ..... 5

    6.5 参数精度验证 ..... 7

7 过程记录与资料归档 ..... 7

    7.1 过程记录 ..... 7

    7.2 参数文件命名 ..... 7

    7.3 资料归档 ..... 7

附录 A（资料性）外业作业记录表示例 ..... 9

附录 B（资料性）激光指向检校参数和激光测距检校参数记录表示例 ..... 11

附录 C（资料性）激光指向检校参数和激光测距检校参数精度验证结果记录表示例 ..... 12



## 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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国地理信息标准化技术委员会卫星应用分技术委员会(SAC/TC230/SC3)归口。

本文件起草单位：自然资源部国土卫星遥感应用中心、湖南科技大学、武汉大学、自然资源部第一大地测量队、中国科学院上海技术物理研究所、中国航天科技集团公司第五研究院第五〇八研究所。

本文件主要起草人：唐新明、谢俊峰、莫凡、窦显辉、李少宁、李松、唐洪钊、李国鹏、黄庚华、陈辉、王春辉、胡芬、欧阳斯达、祝小勇、薛玉彩。

## 引 言

卫星激光测高是采用装载于卫星平台的激光测高仪对地形地物进行高程测量的主动遥感技术。对地观测卫星激光测高能够快速获取全球高精度高程控制点甚至三维地形，同时在极地冰盖测量、植被高度及生物量估算、云高测量、海面高度测量以及湖泊水库水位测量等方面都可以发挥重要作用。最近几年，我国对地观测卫星激光测高技术得到了快速发展，资源三号02星搭载的国内首个对地观测激光测高仪取得试验成功并有效获取了激光测高数据，资源三号03星、高分七号相继发射并已实现激光测高产品业务化生产，陆地生态系统碳监测卫星即将发射，更先进的陆海激光高程测量卫星也在规划中。

在轨几何检校是实现高精度卫星激光测高的必要途径，但目前国内尚没有对地观测卫星激光在轨几何检校技术规范。针对国产卫星激光测高的特点，为满足卫星激光测高技术快速发展的需要，特制定对地观测卫星激光几何检校技术规范。本文件与《对地观测卫星激光测高数据处理技术规范》、《对地观测卫星激光测高数据质量评价指标及方法》和《对地观测卫星激光测高数据产品》配套使用。

# 对地观测卫星激光几何检校技术规范

## 1 范围

本文件规定了对地观测卫星激光几何检校的总体要求、检校过程、过程记录与资料归档。

本文件适用于对地观测卫星线性体制激光测高仪在轨几何检校(以下简称几何检校)作业,激光测高卫星或装载激光测距载荷卫星可参照使用。

## 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 18316 数字测绘成果质量检查与验收

GB/T 36100-2018 机载激光雷达点云数据质量评价指标及计算方法

CH/T XXXX- XXXX 对地观测卫星激光测高数据产品

## 3 术语和定义

CH/T XXXX- XXXX《对地观测卫星激光测高数据产品》界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**地面探测器** ground energy detector

放置于激光足印范围内,用于响应特定波长的激光信号,能够反映到达地面的激光波束的能量分布和光斑大小等信息的感应器。

### 3.2

**激光指向参数** laser pointing parameters

激光出光光轴相对于卫星本体的安装角度值。

### 3.3

**激光测距参数** laser ranging parameter

根据激光渡越时间计算得到的激光出光点至地面反射点的距离参数。

### 3.4

**激光指向检校参数** laser pointing calibration parameter

激光实际指向参数与激光指向参数的系统差值。

### 3.5

**激光测距检校参数** laser ranging calibration parameter

激光实际测距参数与激光测距参数的系统差值。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件：

BODY：卫星本体坐标系 (Body Coordinate)

CGCS2000：2000国家大地坐标系 (China Geodetic Coordinate System 2000)

CST：中国国家标准时间 (China Standard Time)

ICRF：国际天球参考框架 (International Celestial Reference Frame)

ITRF：国际地球参考框架 (International Terrestrial Reference Frame)

WGS84：世界大地测量系统 (World Geodetic System -1984 Coordinate System)

## 5 总体要求

### 5.1 空间参考

5.1.1 坐标系采用 CGCS2000。必要时，采用经批准的其他坐标系。

5.1.2 高程系采用 1985 国家高程基准。采用其他高程基准时，应与 1985 国家高程基准建立联系。

### 5.2 时间系统

5.2.1 时间系统为 CST。

5.2.2 卫星下传数据和过程数据的时间系统采用累积秒记录。

注：累计秒是指以某一时刻为基准起算到当前时刻的累积时间，以秒为单位。

### 5.3 检校周期

应每年至少检校1次，6个月检校1次为宜。激光测高精度明显异常时应及时检校。

### 5.4 检校成果

几何检校成果为激光指向检校参数和激光测距检校参数。

### 5.5 检校精度

激光指向检校参数精度应优于  $(\delta + 1)''$ ，激光测距检校参数精度应优于  $(\rho + 0.1)\text{m}$ ， $\delta$  为卫星平台的姿态测量精度， $\rho$  为激光测高仪经过实验室标校后的距离测量精度。

## 6 检校过程

### 6.1 技术流程

几何检校技术流程见图1。



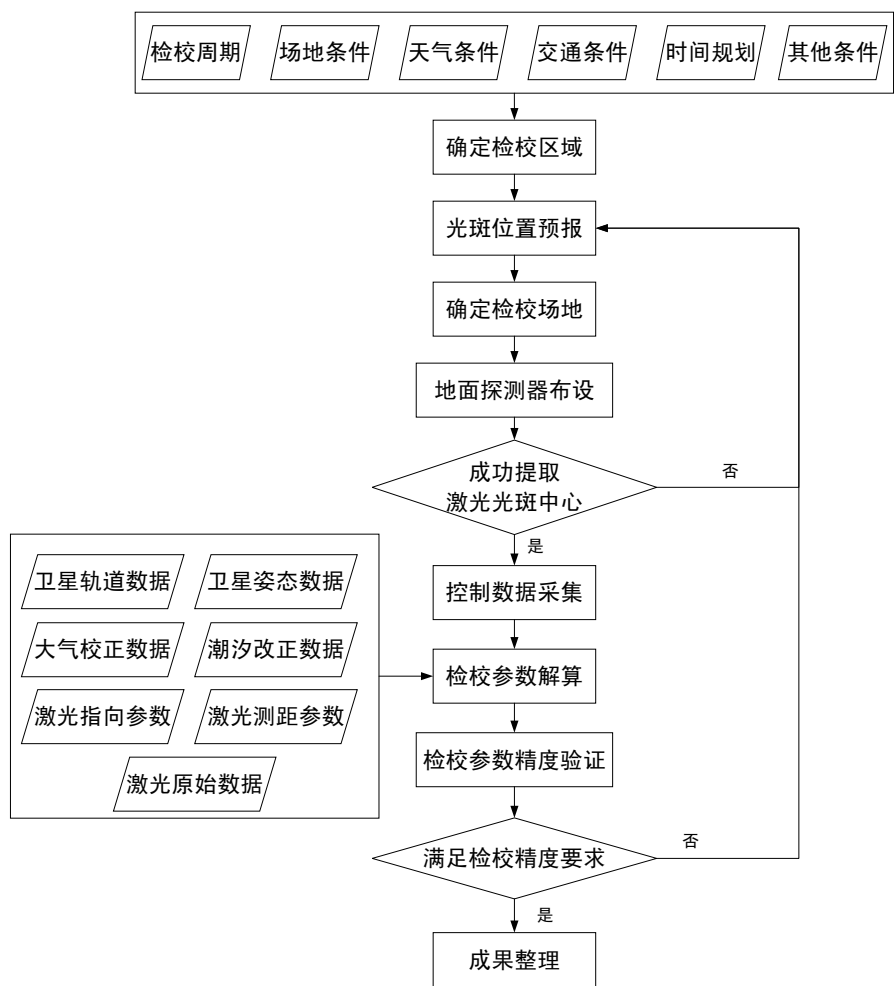


图 1 几何检校技术流程

6.2 任务设计

6.2.1 方法选取

几何检校方法有：地面探测器检校法、机载相机成像检校法、角反射器检校法、平坦地形检校法、波形匹配检校法、地形匹配检校法以及相关方法的结合等。应根据对地观测卫星激光测高载荷特性及精度要求选取合适的检校方法，宜采用地面探测器检校法。

6.2.2 场地条件

地势应平坦，地形坡度小于 $2^{\circ}$ ，无建(构)筑物遮挡。

6.2.3 天气条件

激光测高仪过境期间，应无云，避开雨、雪、冰雹等极端天气。

6.2.4 交通条件

地面设备应方便运输至检校区域。

6.2.5 时间规划

利用卫星在轨运行时按照一定频率记录卫星星体在空间中位置状态的数据，预估卫星星下点轨迹。参考检校准备情况、天气预报信息等，规划检校作业时间。

6.2.6 其他条件

卫星侧摆角应小于 $2^{\circ}$ ，若无特殊情况，一般不侧摆。为尽量减少姿态测量随机误差对检校参数的影响，应采用多个时间和多点综合检校的策略，一般应不少于3个时间段、3个几何检校地面控制点。

### 6.3 控制获取

#### 6.3.1 光斑位置预报

根据卫星轨道预报数据、卫星姿态预报数据和激光指向参数，预报激光在检校区域内的位置坐标，作为布设地面探测器阵列场地。

#### 6.3.2 地面探测器设计

地面探测器应满足以下要求：

- a) 探测能量响应范围应覆盖激光地面光斑能量范围；
- b) 探测能量输出量化等级不少于 8 级；
- c) 在不同激光发射能量情况下，地面探测器的响应一致性偏差不大于 1 个量化分层；
- d) 探测波长已采用 532nm 或 1064nm；
- e) 具备不受太阳等背景光影响的滤波功能；
- f) 具备自动置平功能，置平度小于  $2^{\circ}$ 。

#### 6.3.3 地面探测器布设

布设方案应满足以下要求：

- a) 布设方位与卫星星下点轨迹方位一致；
- b) 布设范围应包络激光足印位置预报最大误差，激光足印应落在地面探测器阵列内，布设方式见图 2；

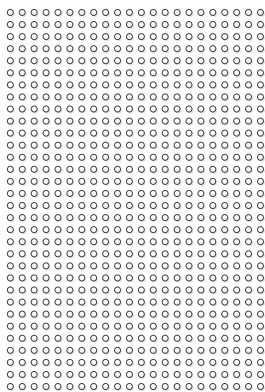


图 2 地面探测器布设方式

- c) 根据卫星激光足印大小设置地面探测器布设间距，光斑内应至少有  $5 \times 5$  个地面探测器被卫星激光触发；
- d) 地面探测器布设宜调整在同一水平面。

#### 6.3.4 激光光斑中心提取

##### 6.3.4.1 预处理

根据被触发探测器阵列数据，结合卫星激光光斑呈不规则圆形或椭圆形、能量呈高斯分布等特性，剔除误触发异常点，对缺失点采用邻近插值进行补值，得到完整真实能量阵列值。

##### 6.3.4.2 光斑中心计算

计算预处理后的能量阵列中心，作为几何检校地面控制点。

#### 6.3.5 地面探测器坐标测量

采用GNSS RTK或其他高精度测量手段，实测被激光触发的地面探测器坐标，空间坐标系统按照5.1的规定执行。

## 6.4 参数解算

### 6.4.1 几何检校模型

根据卫星平台质心、激光器发射位置、GNSS天线以及地球椭球面的相对位置偏移和旋转几何关系，构建几何检校模型，矩阵形式见公式(1)。

$$\begin{pmatrix} X_{spot\_GCP} \\ Y_{spot\_GCP} \\ Z_{spot\_GCP} \end{pmatrix}_{ITRF} = \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix}_{ITRF} + R_{ICRF}^{ITRF} R_{BODY}^{ICRF} \begin{pmatrix} \Delta X_{ref} \\ \Delta Y_{ref} \\ \Delta Z_{ref} \end{pmatrix} + (\rho_0 + d\rho_{atm} + \Delta\rho) \begin{pmatrix} \cos(\beta + \Delta\beta) \cos(\alpha + \Delta\alpha) \\ \cos(\beta + \Delta\beta) \sin(\alpha + \Delta\alpha) \\ \sin(\beta + \Delta\beta) \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\begin{pmatrix} X_{spot\_GCP} \\ Y_{spot\_GCP} \\ Z_{spot\_GCP} \end{pmatrix}_{ITRF}$  ——地面实测的ITRF激光地面足印点的笛卡尔三维坐标，即几何检校地面控制点，

$X_{spot\_GCP}$ 、 $Y_{spot\_GCP}$ 和 $Z_{spot\_GCP}$ 分别为几何检校地面控制点的笛卡尔三维坐标，获取方法见6.3；

$\begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix}_{ITRF}$  ——ITRF卫星质心的笛卡尔三维坐标；

$R_{ICRF}^{ITRF}$  ——ICRF向ITRF的转换矩阵；

$R_{BODY}^{ICRF}$  ——BODY向ICRF的转换矩阵；

$\begin{pmatrix} \Delta X_{ref} \\ \Delta Y_{ref} \\ \Delta Z_{ref} \end{pmatrix}$  ——激光发射参考点与卫星质心间在BODY的固定偏移量；

$\rho_0$  ——激光测距值；

$d\rho_{atm}$  ——大气改正值；

$\Delta\rho$  ——激光测距检校参数；

$\alpha$  ——激光指向参数之一，激光出光轴在本地坐标系 XOY 面投影与 X 轴正方向的夹角；

$\beta$  ——激光指向参数之一，激光出光轴与其在 XOY 面的投影线的夹角；

$\Delta\alpha$ 、 $\Delta\beta$  ——激光指向检校参数。

### 6.4.2 激光指向检校参数与激光测距检校参数解算

结合几何检校模型，基于最小二乘原理，求解激光指向与激光测距检校参数。公式(1)的误差方程为公式(2)。

$$F = \begin{bmatrix} F_X \\ F_Y \\ F_Z \end{bmatrix} = - \begin{pmatrix} X_{spot\_GCP} \\ Y_{spot\_GCP} \\ Z_{spot\_GCP} \end{pmatrix}_{ITRF} + \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix}_{ITRF} + R_{ICRF}^{ITRF} R_{BODY}^{ICRF} \begin{pmatrix} \Delta X_{ref} \\ \Delta Y_{ref} \\ \Delta Z_{ref} \end{pmatrix} + (\rho_0 + d\rho_{atm} + \Delta\rho) \begin{pmatrix} \cos(\beta + \Delta\beta) \cos(\alpha + \Delta\alpha) \\ \cos(\beta + \Delta\beta) \sin(\alpha + \Delta\alpha) \\ \sin(\beta + \Delta\beta) \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$F$ ——几何检校模型误差方程；

$\begin{bmatrix} F_X \\ F_Y \\ F_Z \end{bmatrix}$ ——几何检校模型误差方程在 $X$ 、 $Y$ 和 $Z$ 上的分量。

分别对 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\rho$ 求偏导，线性化后的几何检校模型见公式(3)。

$$\begin{cases} X_{spot\_GCP} = X_s + \frac{\partial F}{\partial \alpha} d\alpha + \frac{\partial F}{\partial \beta} d\beta + \frac{\partial F}{\partial \rho} d\rho \\ Y_{spot\_GCP} = Y_s + \frac{\partial F}{\partial \alpha} d\alpha + \frac{\partial F}{\partial \beta} d\beta + \frac{\partial F}{\partial \rho} d\rho \\ Z_{spot\_GCP} = Z_s + \frac{\partial F}{\partial \alpha} d\alpha + \frac{\partial F}{\partial \beta} d\beta + \frac{\partial F}{\partial \rho} d\rho \end{cases} \dots\dots\dots(3)$$

式中：

$\frac{\partial F}{\partial \alpha}$ 、 $\frac{\partial F}{\partial \beta}$ 和 $\frac{\partial F}{\partial \rho}$ —— $F$ 分别在 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\rho$ 上的偏导系数；

$d\alpha$ 、 $d\beta$ 和 $d\rho$ —— $F$ 在 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\rho$ 上的偏导量，即激光指向检校参数和激光测距检校参数的改正量。

误差方程式见公式(4)。

$$\begin{cases} v_X = \frac{\partial F_X}{\partial \alpha} d\alpha + \frac{\partial F_X}{\partial \beta} d\beta + \frac{\partial F_X}{\partial \rho} d\rho - l_X \\ v_Y = \frac{\partial F_Y}{\partial \alpha} d\alpha + \frac{\partial F_Y}{\partial \beta} d\beta + \frac{\partial F_Y}{\partial \rho} d\rho - l_Y \\ v_Z = \frac{\partial F_Z}{\partial \alpha} d\alpha + \frac{\partial F_Z}{\partial \beta} d\beta + \frac{\partial F_Z}{\partial \rho} d\rho - l_Z \end{cases} \dots\dots\dots(4)$$

式中：

$v_X$ 、 $v_Y$ 和 $v_Z$ ——误差项分别在 $X$ 、 $Y$ 和 $Z$ 方向上的分量；

$\frac{\partial F_X}{\partial \alpha}$ 、 $\frac{\partial F_X}{\partial \beta}$ 和 $\frac{\partial F_X}{\partial \rho}$ —— $F$ 的 $X$ 轴分量分别在 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\rho$ 上的偏导系数；

$\frac{\partial F_Y}{\partial \alpha}$ 、 $\frac{\partial F_Y}{\partial \beta}$ 和 $\frac{\partial F_Y}{\partial \rho}$ —— $F$ 的 $Y$ 轴分量分别在 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\rho$ 上的偏导系数；

$\frac{\partial F_Z}{\partial \alpha}$ 、 $\frac{\partial F_Z}{\partial \beta}$ 和 $\frac{\partial F_Z}{\partial \rho}$ —— $F$ 的 $Z$ 轴分量分别在 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\rho$ 上的偏导系数；

$l_X$ 、 $l_Y$ 和 $l_Z$ ——常数项。

误差方程式的矩阵形式见公式(5)。

$$\begin{bmatrix} v_X \\ v_Y \\ v_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_X}{\partial \alpha} & \frac{\partial F_X}{\partial \beta} & \frac{\partial F_X}{\partial \rho} \\ \frac{\partial F_Y}{\partial \alpha} & \frac{\partial F_Y}{\partial \beta} & \frac{\partial F_Y}{\partial \rho} \\ \frac{\partial F_Z}{\partial \alpha} & \frac{\partial F_Z}{\partial \beta} & \frac{\partial F_Z}{\partial \rho} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\alpha \\ d\beta \\ d\rho \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_X \\ l_Y \\ l_Z \end{bmatrix} \dots\dots\dots(5)$$

公式(5)缩写形式为公式(6)。

$$V = AX - L \dots\dots\dots(6)$$

法方程式见公式(7)。

$$(A^T A)X = A^T L \dots\dots\dots(7)$$

式中：

$A^T$ —— $A$ 转置。

法方程式的解见公式(8)。

$$X = ((A^T A))^{-1} A^T L \dots \dots \dots (8)$$

式中：

$((A^T A))^{-1}$ —— $((A^T A))$ 求逆。

激光指向检校参数与激光测距检校参数解算是一个迭代计算的过程，通过公式(8)得到激光指向检校参数与激光测距检校参数的改正量，迭代三次为宜。

## 6.5 参数精度验证

### 6.5.1 激光指向检校参数

根据卫星激光三次以上检校作业得到激光指向检校参数，激光指向检校参数指向夹角的中误差为激光指向检校参数精度验证结果。计算方法按照GB/T 36100-2018的要求。

### 6.5.2 激光测距检校参数

计算几何检校地面控制点高程与激光实测高程的中误差作为激光测距检校参数精度，计算方法按照GB/T 36100-2018的要求。

### 6.5.3 符合性判定

激光指向检校参数精度和激光测距检校参数精度满足5.4的要求，提供给数据生产系统使用；激光指向检校参数精度和激光测距检校参数精度不满足5.4的要求，判定检校失败，应重新检校，直到满足精度要求。

## 7 过程记录与资料归档

### 7.1 过程记录

几何检校期间，作业人员应做好过程记录。

- 检校控制获取：几何检校外业作业期间，记录被触发探测器情况，外业作业记录表示例见附录A；
- 检校参数解算：几何检校完成后，记录激光指向检校参数和激光测距检校参数，记录表示例见附录B；
- 检校精度验证：精度验证完成后，记录激光指向检校参数和激光测距检校参数精度验证情况，记录表示例见附录C。

### 7.2 参数文件命名

激光指向检校参数和激光测距检校参数文件命名方式为：AAAA\_YYYYMMDD\_LasCaliPara.txt，激光检校精度验证文件命名方式为：AAAA\_YYYYMMDD\_LasCaliAcc.txt，其中AAAA表示卫星名称缩写，YYYYMMDD为YYYY年MM月DD日。

### 7.3 资料归档

资料归档包括：

- 激光指向检校参数和激光测距检校参数文件；
- 激光指向检校参数和激光测距检校参数精度验证结果文件；
- 检校精度验证报告按照GB/T 18316的要求编写；

CH/T XXXXX—XXXX

d) 其他相关资料。

附录 A  
(资料性)  
外业作业记录表示例

外业作业期间，记录地面探测器被触发情况以及被触发地面探测器控制信息情况，被触发地面探测器记录表示例见表 A.1，被触发的地面探测器控制信息记录表示例见表 A.2。

表 A.1 被触发地面探测器记录表示例

		行号																			
列号		08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
	13																				
	14																				
	15																				
	16																				
	17																				
	18																				
	19																				
	20																				
	21																				
	22																				
	23											1									
	24									1	2	1	2	1							
	25							1	2	4	4	3	3	2	1	1					
	26							1	4	5	6	5	4	3	2	1					
	27						1	3	5	6	7	7	5	4	2	1					
	28						1	3	5	7	8	7	6	5	2	1					
	29						1	3	5	6	7	7	5	4	2						
	30							2	4	5	5	5	4	2	1						
	31							1	3	3	3	2	1	1							
	32								1	1	1	1									
	33																				
	34																				
	35																				
	36																				
	37																				
38																					
39																					
40																					
41																					
42																					
43																					
44																					
注：最大能量值大致在表格中心，灰色表格填写行号和列号，白色表格填写地面探测器能量值。以 8 档能量的地面探测器、最大能量值的地面探测器的行号为 17、列号为 28 为例。																					

表 A. 2 被触发的地面探测器控制信息记录表示例

序号	点号	纬度(° )	经度(° )	高程 (m)	备注
1	A221	42. 475256	112. 261273	145. 61	



## 附录 B

(资料性)

## 激光指向检校参数和激光测距检校参数记录表示例

激光指向检校参数和激光测距检校参数记录表示例见表 B. 1。

表 B. 1 激光指向检校参数和激光测距检校参数记录表示例

参数	示例
激光指向检校参数(°)	$\alpha = 0.547312$ , $\beta = 0.817842$
激光测距检校参数(m)	$\rho = 0.05$
注：激光指向检校参数保留小数点后六位，激光测距检校参数保留小数点后两位。	

## 附录 C

(资料性)

## 激光指向检校参数和激光测距检校参数精度验证结果记录表示例

激光指向检校参数精度检验结果记录表示例见表C.1。激光测距检校参数精度验证结果记录表示例见表C.2。

表C.1 激光指向检校参数精度检验结果记录表示例

序号	检校日期	检校结果(°)	指向夹角(°)
1	9.13	0.547312, 0.817842	0.984081
2	9.18	0.547621, 0.817748	0.984175
3	9.23	0.547902, 0.817636	0.984238
注：激光指向检校参数精度：__0.23__"；是(√)/否( )满足精度要求。			

表C.2 激光测距检校参数精度验证结果记录表示例

序号	激光测量高程(m)	验证数据高程(m)
1	485.25	485.29
2	494.37	494.31
3	491.14	491.19
注：激光测距检校参数精度：__0.01__m；是(√)/否( )满足精度要求。		