

# 中华人民共和国国家军用标准

FL 0113

GJB/J 6201—2008

---

## 大尺寸测量系统—激光跟踪仪校准规范

**Calibration specification for the large scale coordinate measurement system  
--laser tracker**

2008—03—17 发布

2008—10—01 实施

---

国防科学技术工业委员会 发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 概述 .....	3
3.1 用途 .....	3
3.2 原理 .....	3
3.3 结构 .....	3
4 计量特性 .....	4
4.1 外观及工作正常性 .....	4
4.2 长度测量示值误差 ( $E_L$ ) .....	4
4.3 内置激光干涉仪测量示值误差 ( $E_{IFM}$ ) .....	4
4.4 绝对距离测量仪ADM的示值误差 ( $E_{ADM}$ ) .....	4
4.5 基点位置误差 .....	4
4.6 内置激光干涉仪的真空波长不确定度和频率稳定度 .....	4
5 校准条件 .....	4
5.1 环境条件 .....	4
5.2 校准用设备及其它设备 .....	4
6 校准项目 .....	5
7 校准方法 .....	5
7.1 外观及工作正常性 .....	5
7.2 内置激光干涉仪测量示值误差 .....	6
7.3 长度测量示值误差 .....	5
7.4 绝对距离测量仪 ADM 的测量示值误差 .....	6
7.5 基点位置误差 .....	6
7.6 温度、气压传感器的示值误差 .....	7
7.7 内置激光干涉仪的真空波长不确定度 .....	7
8 校准结果的处理和复校时间间隔 .....	7
8.1 校准结果的处理 .....	7
8.2 复校时间间隔 .....	7
附录 A (规范性附录) 长度测量不确定度的评定示例 .....	8
附录 B (资料性附录) 校准证书内容 .....	10

## 前 言

本校准规范的附录A为规范性目录，附录B为资料性附录。

本校准规范由中国航空工业第一集团公司提出。

本校准规范由中国航空综合技术研究所归口。

本校准规范起草单位：中国航空工业第一集团公司北京长城计量测试技术研究所。

本校准规范主要起草人：王继虎、马骊群、熊昌友、何小妹、曹铁泽、李秋蓉。

# 大尺寸测量系统-激光跟踪仪校准规范

## 1 范围

本校准规范规定了大尺寸测量系统-激光跟踪仪（以下简称激光跟踪仪）的计量特性、校准条件、校准项目、校准方法、校准结果的处理和复校时间间隔。

本校准规范适用于新制造、使用中、修理后的激光跟踪仪。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本校准规范的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本校准规范，然而，鼓励根据本校准规范达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡不注日期的引用文件，其最新版本适用于本校准规范。

JJG 739 双频激光干涉仪工作基准检定规程

JJG 875 数字压力计检定规程

JJG 718 温度指示控制仪

## 3 概述

### 3.1 用途

激光跟踪仪是一种具有球坐标系的大尺寸坐标测量系统。主要用于大尺寸坐标测量以及大型构件尺寸及形位误差的测量，亦可对运动的构件和静止构件进行连续和静态测量。

### 3.2 原理

激光跟踪仪的原始测量值采用球坐标形式表示。它主要由三部分组成，即两个测角单元和一个测距单元。测角单元是两个角度编码器，测距单元是一个单光束激光干涉仪，通过球形目标反射镜接触被测物体实施测量。实现跟踪的是一个四象限光电位置感应器(PSD)，由PSD控制马达，使激光束始终指向目标反射镜的中心。

### 3.3 结构

激光跟踪仪的结构简图见图1，具体结构见c)。



图1 激光跟踪仪结构简图

## 4 计量特性

### 4.1 外观与工作正常性

4.1.1 激光跟踪仪的外观应无锈蚀、碰伤及其它影响使用的外观缺陷。

4.1.2 激光跟踪仪单次开机预热时间，是指激光跟踪仪电源开机至保证系统正常工作所需的时间，一般不超过 40min。

4.1.3 内置激光干涉仪输出氦氖激光属二级激光，开机 1h 后进行功率测量，最大值应不超过 2mW。

### 4.2 长度测量示值误差 ( $E_L$ )

长度测量示值误差 $E_L$ ，应不超过制造厂给出的规定条件下激光跟踪仪长度测量示值最大允许误差 $MPE_L$ 。

### 4.3 内置激光干涉仪测量示值误差 ( $E_{IFM}$ )

内置激光干涉仪测量示值误差 $E_{IFM}$ ，应不超过制造厂给出的规定条件下内置激光干涉仪测量示值的最大允许误差 $MPE_{IFM}$ 。

### 4.4 绝对距离测量仪 (ADM) 的示值误差 ( $E_{ADM}$ )

绝对距离测量仪 (ADM) 的示值误差 $E_{ADM}$ ，应不超过激光跟踪仪绝对距离测量的示值最大允许误差 $MPE_{ADM}$ 。

### 4.5 基点位置误差

激光跟踪仪的基点位置误差，是指在反射镜有效的接收角范围内(见表1)，激光跟踪仪在基点 (HomePoint) 处静态测量的位置误差。以光学中心误差反映的基点位置误差见表1。

表1

	空心角锥反射镜		玻璃棱镜		猫眼反射镜
类型	CCR 或 SMR		TBR		Cateye
规格	$\Phi 38.1\text{mm}$	$\Phi 12.7\text{mm}$	$\Phi 38.1\text{mm}$	$\Phi 12.7\text{mm}$	$\Phi 75\text{mm}$
有效接收角	$\pm 20^\circ$		$\pm 15^\circ$ (带挡光环)		$\pm 60^\circ$
光学中心误差	$< \pm 0.01\text{mm}$		$< \pm 0.01\text{mm}$		$< \pm 0.01\text{mm}$

### 4.6 内置激光干涉仪的真空波长不确定度

内置激光干涉仪的真空波长不确定度，其值应不大于 $1 \times 10^{-7}$ 。

## 5 校准条件

### 5.1 环境条件

环境条件及其要求如下：

- 环境温度： $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ；
- 温度波动：不大于 $1.0^\circ\text{C}/\text{h}$ ；
- 相对湿度：不大于75%；
- 环境温度的梯度、环境振动、气流扰动和周围磁场应在制造厂规定的允许范围内。
- 定温时间即被校仪器在室内平衡温度的时间，应不少于4h。

### 5.2 校准用设备及其它设备

校准用设备应经法定计量技术机构检定（或校准），满足校准使用要求，并在有效期内。

校准用主要设备：

- 激光干涉仪标准装置（测量不确定度优于 $5.0 \times 10^{-7}$ ）；
- 激光功率计；
- 时钟；
- $0.633\mu\text{m}$ 波长（副）基准装置。

## 6 校准项目

激光跟踪仪的校准项目及校准工具见表2。

表2

序号	校准项目	主要校准工具
1	外观及工作正常性	时钟、激光功率计
2	内置激光干涉仪的真空波长不确定度和频率稳定度	0.633 $\mu\text{m}$ 波长（副）基准装置
3	内置激光干涉仪测量示值误差	激光干涉仪标准装置
4	绝对距离测量仪测量示值误差*	激光干涉仪标准装置或已校准的内置激光干涉仪
5	基点位置误差	已校准的内置激光干涉仪
6	温度、气压传感器的示值误差	标准温度计，标准气压计等
7	长度测量示值误差	激光干涉仪标准装置

注：对于不带有绝对距离测量功能的激光跟踪仪，此校准项目不做要求。

## 7 校准方法

### 7.1 外观及工作正常性

外观及工作正常性要求如下：

- 目视检查激光跟踪仪的外观；
- 激光跟踪仪单次开机预热时间采用时钟计时；
- 开机预热1h后用激光功率计对激光跟踪仪进行功率测量。测量时功率计距跟踪仪的距离不大于200mm。取最大值为测量结果。

### 7.2 长度测量示值误差

7.2.1 用 $\Phi 38.1\text{mm}$ 空心角锥反射镜，对跟踪仪的基距进行修正。

7.2.2 用激光干涉仪标准装置作为标准器进行长度测量的示值误差校准（见图2）。校准时最大长度不小于10m（首次校准时推荐最大长度不小于测量范围的66%），测量长度间隔建议取1m左右。

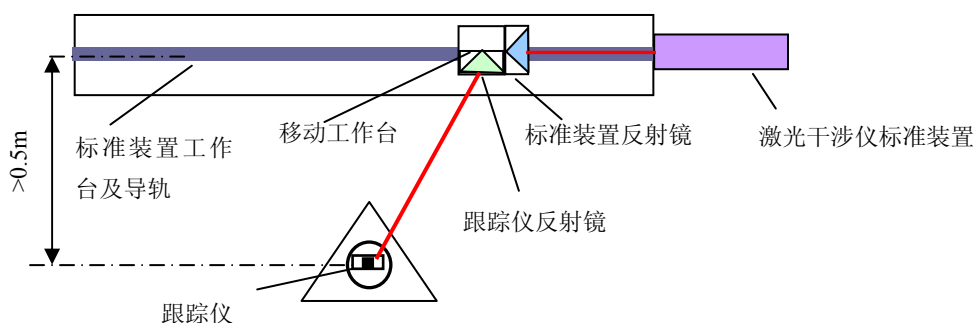


图2 长度测量示值误差的校准示意图

激光跟踪仪距离标准装置的安放距离大于0.5m。测量时应避免激光跟踪仪断光，测量过程中不得重新设置激光干涉仪标准装置或激光跟踪仪的示值。

激光跟踪仪测得的长度值与激光干涉仪标准装置的示值之差为其长度测量示值误差 $E_L$ 。

7.2.3 测量不确定度参见附录A。

### 7.3 内置激光干涉仪测量示值误差

内置激光干涉仪测量示值误差要求如下：

- a) 用  $\Phi 38.1\text{mm}$  空心角锥反射镜，对跟踪仪的基距进行修正。
- b) 用激光干涉仪标准装置进行长度测量的示值误差校准。测量前，调整激光跟踪仪的位姿使得：
  - 1) 激光干涉仪标准装置的测量轴线沿激光跟踪仪的径向方向；
  - 2) 激光跟踪仪和激光干涉仪标准装置安置在同一方向，以尽量减少跟踪仪两个转轴的角度运动；
  - 3) 激光干涉仪标准装置的角锥镜和激光跟踪仪的目标反射镜应按图 3 方式安装以减小阿贝误差。两个反射镜在光束面上尽可能地靠近。

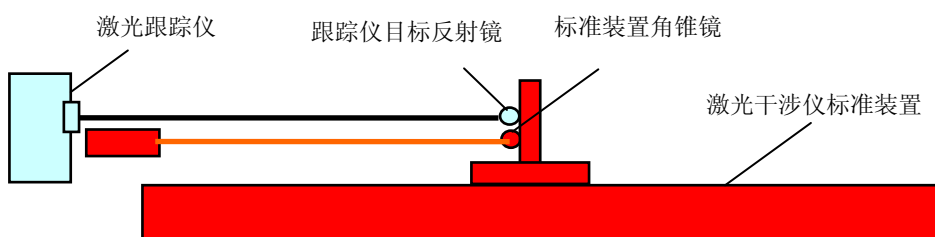


图3 内置激光干涉仪示值误差校准示意图

测量前，调整角锥镜的口面角度以避免激光跟踪仪断光。测量时，激光跟踪仪和激光干涉仪标准装置同时读数。测量过程中，不得重新设置激光干涉仪标准装置或激光跟踪仪的示值。其最大长度不小于 10m（首次校准时推荐最大长度不小于测量范围的66%），测量长度间隔建议取1m左右。

激光跟踪仪测得的长度值与激光干涉仪标准装置的示值之差为内置激光干涉仪的示值误差 $E_{IFM}$ 。

### 7.4 绝对距离测量仪 ADM 的测量示值误差

7.4.1 使用  $\Phi 38.1\text{mm}$  空心角锥反射镜。配置目标反射镜后须对跟踪仪的基距进行修正。

7.4.2 使用跟踪仪的内置激光干涉仪（已通过校准的）或激光干涉仪标准装置进行 ADM 的示值误差校准（见图 4），测量时，在大于 3m 处测量第一点，然后每隔约 4m 测量一个目标点，最远点应在 20m 以外。计算内置激光干涉仪（IFM）与 ADM 的测距差值，取 ADM 与 IFM 的最大差值作为测量结果。

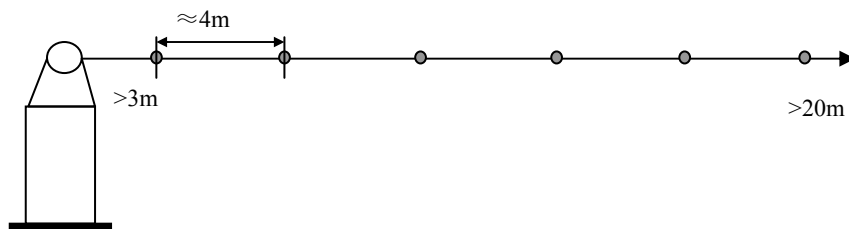


图4 ADM 测量示值误差的校准示意图

### 7.5 基点位置误差

将目标反射镜置于基点（HomePoint），采点模式选取静态测量，在有效的反射镜接收角范围内，转动目标反射镜的反射面（见图5）。每转动一次，测量一次当前反射镜在基点位置的坐标值，取8~10个测量点。所有测量点的平均位置偏差，即每个位置与平均位置的距离的平均值作为测量结果。

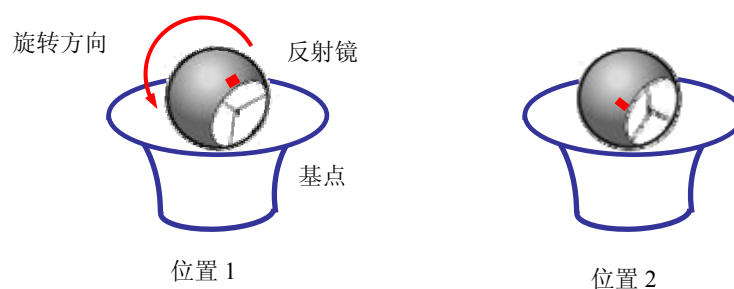


图5 目标反射镜的校准示意图

#### 7.6 温度、气压传感器的示值误差

对激光跟踪仪的温度传感器进行校准测试，方法按JJG718规定。

对激光跟踪仪的气压传感器进行校准测试，方法按JJG875规定。

#### 7.7 内置激光干涉仪的真空波长不确定度

激光跟踪仪的内置干涉仪进行拍频测量，方法按JJG739规定。

### 8 校准结果的处理和复校时间间隔

#### 8.1 校准结果的处理

经校准的激光跟踪仪出具校准证书，并给出校准条件、依据文件、校准结果及测量不确定度。校准证书内容参见附录B，测量不确定度评定方法参见附录A。

#### 8.2 复校时间间隔

建议复校时间间隔为1年。修理后应立即校准。



附录 A  
(规范性附录)  
长度测量不确定度的评定示例

### A.1 数学模型

长度测量示值误差的不确定度评定:

$$E = L_t - L_s \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$E$ ——激光跟踪仪的长度测量示值误差;

$L_t$ ——激光跟踪仪的测量值;

$L_s$ ——激光干涉仪标准装置的测量值。

### A.2 标准不确定度:

在以下的分析中,  $L$  的单位为米, 根据分析有以下不确定度来源:

- a) 激光波长误差引入的不确定度分量: 由《激光干涉仪设计手册》得知, 在使用寿命内, 激光发射系统其波长精度为  $u_1$
- b) 电气误差引入的不确定度分量: 由《激光干涉仪设计手册》得, 在激光干涉仪系统中, 其电气误差为  $u_2$
- c) 非线性误差引入的不确定度分量: 在干涉仪系统中, 光学件的非线性误差都是由光束泄露引起的, 由《激光干涉仪设计手册》知, 其非线性误差最大值为  $u_3$
- d) 光学漂移误差引入的不确定度分量:  $\delta_p \mu\text{m}/^\circ\text{C}$ , 根据实验测得值, 若测量期间温度波动变化为  $\delta_{t1} ^\circ\text{C}$ , 空间温度的不均匀为  $\delta_{t2} ^\circ\text{C}$ , 则:

$$u_4 = \delta_p \mu\text{m}/^\circ\text{C} \times \sqrt{(\delta_{t1})^2 + (\delta_{t2})^2} ^\circ\text{C} \dots\dots\dots (B.2)$$

- e) 死区误差引入的不确定度分量: 根据实验测得, 1h 内波长补偿数变化的平均值为  $k_b$ , 视为均匀分布。通常情况下, 从靠近光源的一端开始测量, 死区长度约为  $l_s$  米, 则由此引入的死区误差为:

$$u_5 = k_b / \sqrt{3} \times l_s \dots\dots\dots (B.3)$$

- f) 环境参数测量不准确引入的误差: 本系统环境温度、压力和湿度等测量装置的测量不确定度分别为  $\delta_T$ 、 $\delta_p$ 、 $\delta_F$ , 符合正态分布, 跟据 Edlen 公式, 则本标准装置由于 P、T、F 测量不准确引入的不确定度为:

$$u_6 = \sqrt{(92.9 \times \delta_T)^2 + (0.268 \times \delta_p)^2 + (0.042 \times \delta_F)^2} / 2.58 \times 10^{-2} L \dots\dots\dots (B.4)$$

- g) 环境参数波动误差: 测量过程中, 若温度、压力和湿度的均匀性或波动的影响分别为  $\delta_{Tb}$  (含波动和不均匀的影响)、 $\delta_{pb}$ 、 $\delta_{Fb}$ , 则由 P、T、F 波动等影响引入的不确定度为:

$$u_7 = \sqrt{(92.9 \times \delta_{Tb})^2 + (0.268 \times \delta_{pb})^2 + (0.042 \times \delta_{Fb})^2} / 2.58 \times 10^{-2} L \dots\dots\dots (B.5)$$

- h) 阿贝补偿修正误差: 设被检激光跟踪仪反射镜相对与主光路位置差的测量精度为 0.5mm, 主光路与水平光路的位置差为  $L_H$  mm, 全程 35 米上的平均光程差为  $L_{dh} \mu\text{m}$ , 主光路与垂直光路的位

置差为  $L_V$  mm, 全程 35 米上的平均光程差为  $L_{dv}$   $\mu\text{m}$ , 符合正态分布。则阿贝补偿修正误差为:

$$u_8 = (L_{dh} / L_H + L_{dv} / L_V) / 2.58 \times 0.5 \dots\dots\dots (\text{B. 6})$$

i) 激光跟踪仪的目标反射镜引入的误差为  $u_9$ , 该值由生产厂家提供。

根据上述分析, 测量标准不确定度的固定分量为:

$$u_{c1} = \sqrt{u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_8^2 + u_9^2} \dots\dots\dots (\text{B. 7})$$

测量标准不确定度的可变分量为:

$$u_{c2} = \sqrt{u_1^2 + u_6^2 + u_7^2} \dots\dots\dots (\text{B. 8})$$

### A. 3 合成标准不确定度:

测量标准校准激光跟踪仪的合成标准不确定度为:

$$u_c = (u_{c1} + u_{c2}L)\mu\text{m} \dots\dots\dots (\text{B. 9})$$

式中:

$L$ ——单位为米

### A. 4 扩展不确定度:

校准激光跟踪仪的扩展不确定度为:

$$U = k \bullet u_c, \quad k = 2 \dots\dots\dots (\text{B. 10})$$

附录 B(资料性附录)  
校准证书内容

校准证书的内容应排列有序、清晰，至少应包括下列内容：

- a) 标题：校准证书；
  - b) 校准实验室名称及地址；
  - c) 证书编号、页码及总页数；
  - d) 委托方的名称及地址；
  - e) 被校准仪器：激光跟踪仪；
  - f) 被校准仪器的生产厂、型号规格及编号；
  - g) 校准地点及日期；
  - h) 校准人员签名，主管人员职务及签名；
  - i) 采用本校准规范的说明及对本规范的任何偏离的说明；
  - j) 环境参数情况：温湿度及气压的变化范围；
  - k) 使用的标准器及证书编号；
  - l) 校准结果：校准条件下的长度测量示值误差、绝对距离测量仪ADM的示值误差、目标反射镜坐标测量稳定性、激光跟踪仪预热时间、内置IFM激光干涉仪的激光功率；
  - m) 校准结果的不确定度；
  - n) 复校时间间隔的建议；
  - o) 未经实验室许可，不得局部复制证书的声明。
-