

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—202X

## 三维空间标准靶标场校准规范

Calibration Specification for 3D spatial standard target field

(征求意见稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

## 三维空间标准靶标场校准规范

Calibration Specification for 3D spatial standard target  
field

JJF ××××—202X

归 口 单 位：全国几何量长度计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

# 目 录

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 引 言.....                             | II |
| 1 范围.....                            | 1  |
| 2 引用文件.....                          | 1  |
| 3 术语.....                            | 1  |
| 3.1 靶标 Target.....                   | 1  |
| 3.2 靶标间距 Target Distance.....        | 1  |
| 4 概述.....                            | 1  |
| 5 计量特性.....                          | 2  |
| 5.1 球型靶标直径.....                      | 2  |
| 5.2 球型靶标球体圆度.....                    | 2  |
| 5.3 靶标间距.....                        | 2  |
| 5.4 靶标间距稳定性.....                     | 2  |
| 6 校准条件.....                          | 2  |
| 6.1 环境条件.....                        | 2  |
| 6.2 测量标准及其他设备.....                   | 2  |
| 靶标间距.....                            | 3  |
| 7 校准项目和校准方法.....                     | 3  |
| 7.1 球型靶标直径.....                      | 3  |
| 7.2 球型靶标形状误差（球度误差）.....              | 3  |
| 8 校准结果表达.....                        | 5  |
| 9 复校时间间隔.....                        | 5  |
| 附录 A.....                            | 6  |
| A.1 激光跟踪仪校准标准球（球形靶标）直径的不确定度评定示例..... | 6  |
| A.2 激光跟踪仪校准球形靶标场的不确定度评定示例.....       | 7  |
| 附录 B.....                            | 8  |
| 附录 C.....                            | 9  |

# 引 言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成本规范制定的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

# 三维空间标准靶标场校准规范

## 1 范围

本规范适用于三个及以上标准靶标组成的三维空间标准靶标场（以下简称三维靶标场）。

## 2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1422 坐标测量球校准规范

JJF 1214 基线场校准规范

JJF 1859 标准球棒校准规范

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 术语

### 3.1 靶标 Target

靶标是具有一个稳定、可识别的靶点，与测量设备或装置配合使用的目标。

靶标按形状可分为：球型靶标（漫反射、无透射），见图 1 中 a 所示；球面反射靶标是在球体中心部位加工或镶嵌了反射镜或几何图形，见图 1 中 b、c 所示；面型靶标（漫反射）见图 1 中 d、e 所示：

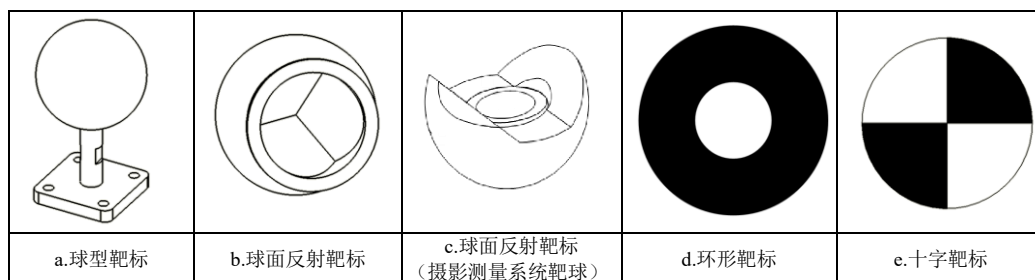


图 1 常见靶标类型

### 3.2 靶标间距 Target Distance

靶标间距为靶点（光学中心或几何中心）之间的空间距离。

## 4 概述

三维靶标场是由不同距离范围和不同角度范围内的多个靶标组成，用于扫描仪、全站

仪、摄影测量系统，跟踪仪等三维坐标仪器的校准，通常有球型靶标场、球面反射靶标场、平面靶标场等。

球型靶标场范围一般不小于  $10\text{m} \times 6\text{m} \times 3\text{m}$ ，靶标数一般不少于 10 个，水平角测量范围大于  $180^\circ$ ，垂直角测量范围大于  $60^\circ$  组成的空间立体靶标场。

球面反射靶标场有球杆连接和无球杆连接两类。球杆固定安装，材质为低线膨胀系数的材料（碳纤维、殷钢等）。无球接杆的球面反射靶场，其空间一般不小于  $10\text{m} \times 10\text{m} \times 2.5\text{m}$ ，空间边数不少于 10 条。

平面靶标场测量范围建议不小于  $200\text{m} \times 200\text{m} \times 50\text{m}$ ，用于摄影测量系统、扫描仪等测量。

## 5 计量特性

### 5.1 球型靶标直径

直径一般不小于 100mm，应满足靶标场测量要求。

### 5.2 球型靶标球体圆度

球型靶标圆度，优于 0.1mm，并满足靶标场测量要求。

### 5.3 靶标间距

球型靶标场靶标间距不确定度优于  $U=30\mu\text{m}+6 \times 10^{-6}L$ ， $k=2$ ；

有球杆连接的球面反射靶场标间距测量不确定度优于  $U=10\mu\text{m}$ ， $k=2$ ；

无球杆连接的球面反射靶场标间距测量不确定度优于  $U=30\mu\text{m}+6 \times 10^{-6}L$ ， $k=2$ ；

平面靶标场靶场标间，水平测量不确定度优于  $U=10\text{mm}$ ， $k=2$ ；高程测量不确定度优于  $U=20\text{mm}$ ， $k=2$ 。

注：以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。

### 5.4 靶标间距稳定性

相邻两周期测量结果的变化量不大于  $\sqrt{2}U$ ， $U$ 为校准结果的不确定度。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境条件应满足被校三维靶标场的测量不确定度要求；推荐室内靶标场的温度变化不大于  $0.5^\circ\text{C}/\text{h}$ ；相对湿度： $\leq 80\% \text{RH}$ 。

6.1.2 室内靶标场内应无灰尘、振动和强光等影响测量的因素。

### 6.2 测量标准及其他设备

测量标准和其他设备的计量特性见表 1。

表 1 测量标准和其他设备的计量特性

| 序号 | 校准项目     |             | 测量标准及其他设备 | 技术要求                                                                               |
|----|----------|-------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 球型靶标直径   |             | 激光跟踪仪     | 空间距离示值误差: $MPE:\pm(7\mu m+3\times 10^{-6}L)$                                       |
|    |          |             | 环境参数测量设备  | 温度: $MPE: \pm 0.1^{\circ}C$<br>气压: $U=10Pa$ ( $k=2$ )                              |
| 2  | 球型靶标形状误差 |             | 激光跟踪仪     | 空间距离示值误差: $MPE:\pm(7\mu m+3\times 10^{-6}L)$                                       |
|    |          |             | 环境参数测量设备  | 温度: $MPE: \pm 0.1^{\circ}C$<br>气压: $U=10Pa$ ( $k=2$ )                              |
| 3  | 靶标间距     | 球型靶标间距      | 激光跟踪仪     | 干涉测距: $MPE:\pm 0.5\times 10^{-6}L$<br>空间距离示值误差: $MPE:\pm(7\mu m+3\times 10^{-6}L)$ |
|    |          |             | 环境参数测量设备  | 温度: $MPE: \pm 0.1^{\circ}C$<br>气压: $U=10Pa$ ( $k=2$ )                              |
|    |          | 球面反射靶标场靶标间距 | 激光跟踪仪     | 干涉测距: $MPE:\pm 0.5\times 10^{-6}L$<br>空间距离示值误差: $MPE:\pm(7\mu m+3\times 10^{-6}L)$ |
|    |          |             | 环境参数测量设备  | 温度: $MPE: \pm 0.1^{\circ}C$<br>气压: $U=10Pa$ ( $k=2$ )                              |
|    |          | 平面靶标场靶标间距   | 全站仪       | 测距: I级; 测角 I级;                                                                     |
|    |          |             | GNSS接收机   | 静态测量精度: $3mm+0.5\times 10^{-6}L$                                                   |
|    |          |             | 环境参数测量设备  | 温度: $MPE: \pm 0.2^{\circ}C$<br>气压: $U=10Pa$ ( $k=2$ )                              |
|    |          |             |           |                                                                                    |

注: 校准也可使用满足技术要求的其他标准器进行校准。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 球型靶标直径

校准使用激光跟踪仪, 将激光跟踪仪架设在被测球型靶标场附近, 距离最近球型靶标不小于 2m。使用跟踪仪配套靶球在球型靶标表面测量标准球, 采样点数不小于 50 个, 测量点分布区域应大于球面一半, 且均匀分布在球的可测区域, 以距离跟踪仪最近点为极点, 测量点位置需至少包括: 极点、 $45^{\circ}$  环线、 $90^{\circ}$  环线, 使用激光跟踪仪配套软件按最小二乘法拟合球, 分别得到球型靶标的直径  $D$ 、及球心坐标( $x, y, z$ )。

依照上面方法分别测得第  $i$  个球型靶标的球直径  $D_i$ , 测量次数不少于 2 次, 取测量平均值作为标准球直径测量结果。

### 7.2 球型靶标形状误差 (球度误差)

校准使用激光跟踪仪, 按 7.1 方法测量球面点, 用跟踪仪配套软件, 根据测得点, 按照最小二乘法拟合球面, 计算各测点到拟合球心的距离  $r_i$ , 其极值即为形状误差 (球度误

差)。测量次数 2 次，取 2 次测量结果大的值作为测量结果。

按照公式 (1) 计算球形靶标形状误差  $\Delta$ ：

$$\Delta = r_{\max} - r_{\min} \quad (1)$$

式中：

$r_{\max}$ ——最小二乘拟合球外测量点到拟合圆圆周最大距离；

$r_{\min}$ ——最小二乘拟合球内测量点到拟合圆圆周最小距离；

### 7.3 靶标间距

#### 7.3.1 球型靶标间距

按 7.1 方法，得到每个球形靶标的球心坐标，按照公式 (2) 计算扫描用标准球球心距  $D$ 。

$$D = \sqrt{(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2 + (z_m - z_n)^2} \quad (2)$$

式中：

$(x_m, y_m, z_m)$  ——第  $m$  个靶心坐标；

$(x_n, y_n, z_n)$  ——第  $n$  个靶心坐标；

测量次数不少于 2 次，取测量平均值作为靶标间距测量结果。

#### 7.3.2 球面反射靶标场靶标间距

球面反射靶标场靶标间距通过激光跟踪仪的干涉测距模式，使用一个平面反射镜及跟踪仪配套靶球，分别测量两个及多个靶球阵列靶标间距。

测量时，首先将跟踪仪准备好，将激光跟踪仪的测量光通过一个平面镜发射，调整反射平面镜的姿态，使激光跟踪仪经过平面镜反射后的光既通过第  $m$  个靶球中心位置，又通过第  $n$  个靶球中心位置，通过移动靶球，在  $m$ 、 $n$  两个位置分别测量，根据公式 2 计算，即可得到两点见距离  $D$ 。测量次数不少于 2 次，取测量平均值作为靶球阵列靶标间距测量结果。

当满足使用需求，也可以通过激光跟踪仪直接测量各个靶点坐标，直接测量靶标间距。

#### 7.3.3 平面靶标场靶标间距

测量使用全站仪依次瞄准各个平面靶标场靶点，测量该点位置坐标，按公式 (2) 计算平面靶标场靶标间距。

不通视靶标场采用将 GNSS 接收机天线置于平面靶标中心，测量该点位置坐标，按公

式（2）计算平面靶标场靶标间距。

#### 7. 靶标间距稳定性

两个相邻周期的点间距考核装置稳定性。按照公式（2）计算

$$\Delta D = |D_i - D_{i+1}| \quad (3)$$

结果应符合 5.4 的要求。

#### 8 校准结果表达

经校准的三维空间标准靶标场出具校准证书。校准证书内容，见附录 C。

#### 9 复校时间间隔

可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议复校间隔一般不超过 2 年。

## 附录 A

## 测量不确定度评定示例

## A.1 激光跟踪仪校准标准球（球形靶标）直径的不确定度评定示例

## A.1.1 测量方法

通过激光跟踪仪，对球表面进行均匀分布的多点（推荐数量 $n \geq 20$ ）三维坐标 $(x_i, y_i, z_i)$ 采样，运用最小二乘法拟合理想球面方程： $(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2=R^2$ ，其中 $(x_0, y_0, z_0)$ 为拟合球心坐标， $R$ 为拟合球半径；根据直径与半径的几何关系 $D=2R$ ，由拟合得到的半径计算标准球直径测量值。

## A.1.2 测量模型

$$D=2R$$

$$u_c^2(D) = \left( \frac{\partial D}{\partial R} \right)^2 u^2(R) = 4u^2(R)$$

$$u^2(R) = u_{inst}^2(R) + u_{sphere}^2(R) + u_{env}^2(R) + u_{repeat}^2(R) \quad (A.1)$$

式中：

$u_{inst}(R)$  —— 激光跟踪仪自身误差引入的半径不确定度；

$u_{sphere}(R)$  —— 标准球形状误差引入的半径不确定度；

$u_{env}(R)$  —— 环境因素引入的半径不确定度；

$u_{repeat}(R)$  —— 重复测量引入的半径不确定度

## A.1.3 标准不确定度分量的计算

A.1.3.1 标准器引入的不确定度  $u_{inst}(R)$ 

激光跟踪仪测量 $|\Delta L_{空间}| < 7\mu\text{m} + 3 \times 10^{-6}L$ ，按均匀分布，则有

$$u_{inst}(R) = (7\mu\text{m} + 3 \times 10^{-6}L) / \sqrt{3} = 4.1\mu\text{m} + 1.74 \times 10^{-6}L, \text{因球半径一般小于 } 0.2\text{m}, \text{取}$$

$L=0.2\text{m}$ ，带入公式，有：

$$u_{inst}(R) = 4.1\mu\text{m} + 1.74 \times 10^{-6} \times 0.2\text{m} \approx 4.5\mu\text{m};$$

A.1.3.2 标准球形状误差引入的不确定度  $u_{sphere}(R)$ 

标准球形状误差一般小于 $0.03\text{mm}$ ，因测量时，采样点 $n > 20$ 个，按均匀分布，有：

$$u_{sphere}(R) = (0.03\text{mm} / \sqrt{3}) / \sqrt{20} \approx 3.9\mu\text{m};$$

A.1.3.3 环境引入的不确定度  $u_{env}(R)$ 

标准球材料温度引入的半径测量不确定度：一般扫描用标准球料选用铝合金材质，膨胀系数大致介于 $(22 \times 10^{-6} \sim 24 \times 10^{-6}) / ^\circ\text{C}$ ，材料温度测量偏差 $0.5^\circ\text{C}$ ，取膨胀系数 $24 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，则有：

$$u_{env1}(R) = 0.5^\circ\text{C} \times 24 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \times 0.2\text{m} = 2.4\mu\text{m}$$

环境温度测量偏差一般小于 $0.5^{\circ}\text{C}$ ，跟踪仪测距结果影响约为 $1\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$ ，则有：

$$u_{\text{env}2}(R) = 0.5^{\circ}\text{C} \times 1\mu\text{m}/^{\circ}\text{C} = 0.5\mu\text{m}$$

两部分合成，则有：

$$\begin{aligned} u_{\text{env}2}(R) &= \sqrt{(u_{\text{env}1}(R))^2 + (u_{\text{env}2}(R))^2} \\ &= \sqrt{(2.4\mu\text{m})^2 + (0.5\mu\text{m})^2} \\ &\approx 2.5\mu\text{m} \end{aligned}$$

#### A.1.4 标准球半径测量的合成标准不确定度

$$\begin{aligned} u_c(R) &= \sqrt{(u_{\text{inst}}(R))^2 + (u_{\text{sphere}}(R))^2 + (u_{\text{env}}(R))^2} \\ &= \sqrt{(4.5\mu\text{m})^2 + (3.9\mu\text{m})^2 + (2.5\mu\text{m})^2} \\ &\approx 6.5\mu\text{m} \end{aligned}$$

#### A.1.5 标准球直测量的合成标准不确定度

根据公式A(1),有：

$$u_c = 2 \times u_c(R) = 2 \times 6.5\mu\text{m} = 13\mu\text{m}$$

#### A.1.6 扩展不确定度计算标准球直测量的合成标准不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 13\mu\text{m} \approx 26\mu\text{m}$$

### A.2 激光跟踪仪校准球形靶标场的不确定度评定示例

#### A2.1 测量方法

通过激光跟踪仪，对球表面进行均匀分布的多点（推荐数量  $n \geq 20$ ）三维坐标  $(x_i, y_i, z_i)$  采样，运用最小二乘法拟合理想球面方程： $(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2 = R^2$ ，其中  $(x_0, y_0, z_0)$  为拟合球心坐标。

#### A2.2 测量方法

$$\text{测量模型: } L = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2$$

式中：

$L$ —— 校准球形靶标场标志点间

$x_i, y_i, z_i$ —— 球形靶标  $i$  球心坐标；

$x_j, y_j, z_j$ —— 球形靶标  $j$  球心坐标；

由测量模型可知，

标志点间由标志点坐标计算得到，所以不确定度主要受点坐标测量重复性及跟踪仪测距误差影响。

### A.2.3 标准不确定度分量的计算

#### A.2.3.1 标准器引入的不确定度 $u_{\text{inst}}(R)$

激光跟踪仪测量 $|\Delta L_{\text{空间}}| < 7\mu\text{m} + 3 \times 10^{-6}L$ ，按均匀分布，则有

$$u_{\text{inst}} = (7\mu\text{m} + 3 \times 10^{-6}L) / \sqrt{3} = 4.1\mu\text{m} + 1.74 \times 10^{-6}L$$

#### A.2.3.2 球形靶标球心坐标测量重复性引入的不确定度 $u_{\text{repeat}}$

球形靶标球心坐标测量重复性与距离相关，一般优于 $2.2\mu\text{m} + 2.2 \times 10^{-6}L$ ，取：

$$u_{\text{repeat}} = 2.2\mu\text{m} + 2.2 \times 10^{-6}L ;$$

#### A.2.3.3 环境引入的不确定度 $u_{\text{env}}$

根据艾伦公式，温度对测距影响，温度对长度的影响约 $1\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ ，气压对长度的影响约 $0.27\mu\text{m}/\text{hPa}$ 。

温度的测量误差约 $0.5^\circ\text{C}$ ，气压的测量误差约 $0.5\text{hPa}$ 。

则： $u_{\text{env-t}} = 0.5^\circ\text{C} \times 1\mu\text{m}/^\circ\text{C} \times L = 0.5 \times 10^{-6}L$ ；

$$u_{\text{env-p}} = 0.5\text{hPa} \times 0.27\mu\text{m}/\text{hPa} \times L \approx 0.14 \times 10^{-6}L$$

两部分合成：

$$u_{\text{env}} = \sqrt{(u_{\text{env-t}})^2 + (u_{\text{env-p}})^2} = \sqrt{(0.5 \times 10^{-6}L)^2 + (0.14 \times 10^{-6}L)^2} = 0.52 \times 10^{-6}L$$

### A.2.4 合成标准不确定度

根据公式A(1),有：

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{(u_{\text{inst}})^2 + (u_{\text{repeat}})^2 + (u_{\text{env}})^2} = \sqrt{(4.1\mu\text{m} + 1.74 \times 10^{-6}L)^2 + (2.2\mu\text{m} + 2.2 \times 10^{-6}L)^2 + (0.52 \times 10^{-6}L)^2} \\ &\approx \sqrt{(4.66\mu\text{m})^2 + (2.86 \times 10^{-6}L)^2} \end{aligned}$$

### A.2.5 扩展不确定度计算

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times \sqrt{(4.66\mu\text{m})^2 + (2.86 \times 10^{-6}L)^2} \approx Q[9.4\mu\text{m}, 5.8 \times 10^{-6}L] \quad k=2$$

校准证书（内页）格式

证书编号：××××——××××

校 准 结 果  
扫描用标准球直径及形状误差结果

| 球编号号  | 球直径（mm） | 形状误差（mm） |
|-------|---------|----------|
| 1     |         |          |
| 2     |         |          |
| ..... |         |          |

靶标间距

| 序号    | 位置    | 靶标间距（mm） |
|-------|-------|----------|
| 1     | 1~2   |          |
| 2     | 1-3   |          |
| ..... | ..... |          |

本 xxx 场经校准结果如下：

1. 标准球直径及形状误差结果见表 1：

表 1 球形靶标直径及形状误差

| 序号                            | 球编号   | 球直径<br>(mm) | 球形状误差<br>(mm) |
|-------------------------------|-------|-------------|---------------|
| 1                             | S1    | 125.02      | 0.03          |
| 2                             | S2    | 125.02      | 0.03          |
| .....                         | ..... | .....       | .....         |
| 球直径 $U=0.05\text{mm}$ , $k=2$ |       |             |               |

2. 标靶间距结果见表 2：

表 2 靶标间距

| 位置                              | 标靶间距 (mm) | 位置    | 标靶间距 (mm) |
|---------------------------------|-----------|-------|-----------|
| S1~S2                           | 1646.948  | S1~S3 | 3048.636  |
| .....                           | .....     | ..... | .....     |
|                                 |           |       |           |
| 靶球间距 $U=10.05\text{mm}$ , $k=2$ |           |       |           |

**JJF ××××—202×**

---

中华人民共和国  
国家计量技术规范  
**三维空间标准靶标场校准规范**

**JJF××××—202×**

国家市场监督管理总局发布