JJF

湖北省地方计量技术规范

JJF（鄂）63-2020

非量测相机校准规范

Calibration Specification for Non-metric Camera

2020-12-18 发布　　2021-01-01 实施

湖北省市场监督管理局 发布

非量测相机校准规范

Calibration Specification for

Non-metric Camera

JJF (鄂) 63—2020

归 口 单 位： 湖北省市场监督管理局

主要起草单位： 中国地震局地震研究所

武汉地震计量检定与测量工程研究院

参加起草单位： 湖北省测绘质量监督检验站

本规范委托武汉地震计量检定与测量工程研究院负责解释

本规范主要起草人：

李　冀（中国地震局地震研究所）

刘海波（中国地震局地震研究所）

张　鑫（武汉地震计量检定与测量工程研究院）

参加起草人：

张志艺（湖北省测绘质量监督检验站）

彭友志（中国地震局地震研究所）

刘正华（中国地震局地震研究所）

目　　录

引 言 II
1 范围 1
2 引用文件 1
3 术语 1
4 概述 2
5 计量特性 3
5.1 主点坐标 3
5.2 主距 3
5.3 畸变 3
6 校准条件 3
6.1 环境条件 3
6.2 校准用标准装置 3
7 校准项目和校准方法 4
7.1 校准项目 4
7.2 校准方法 4
8 校准结果 8
9 复校时间间隔 8
附录 A 10
附录 B 11
附录 C 14
附录 D 20

引　　言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》要求编制。

本规范为首次发布。

非量测相机校准规范

1 范围

本规范适用于普通数码相机、带数字照相功能的座式和专业照相机、其他具有数字照相功能的设备等非量测相机（以下简称相机）的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG（测绘）3401-2016 数字航摄仪检定规程

GB/T 29298-2012 数字（码）照相机通用规范

JB/T 10362-2010 数码照相机

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 非量测相机 non-metric camera

用于近景摄影测量的非专业数字相机称之为非量测相机。

3.2 像素 pixels

影像传感器上能单独感光的物理单元。

3.3 摄影中心 photographic center

所有物点及其在影像传感器上对应像点连线的交汇点即为摄影中心，通常用 S 表示，详见图 1。

3.4 主距 principal distance

摄影中心到影像平面之间的垂直距离即为主距，通常用f表示，详见图 1。

3.5 主点 principal point

摄影中心在影像平面上的垂足 O 即为主点，通常其坐标用（x_0、y_0）表示，详见图 1。

3.6 径向畸变 radial distortion

沿向径方向偏离其理论位置的畸变即为径向畸变，以实际像点与理论像点沿向径方向的距离之差表示，通常用k_1、k_2、k_3表示。

3.7 偏心畸变 decentering distortion

垂直于向径方向偏离其理论位置的畸变即为偏心畸变，以实际像点与理论像点沿垂直于向径方向的距离之差表示，通常用p_1、p_2表示。

3.8 面阵畸变 array distortion

由影像传感器内像素非正方形及影像传感器阵列非正交引起的畸变即为面阵畸变，以实际像点与理论像点的距离之差表示，通常用α表示像素非正方形系数、β表示像素阵列非正交系数。

4 概述

相机广泛应用于近景摄影测量和无人机航空摄影测量，采用非接触的方式实现对被摄目标的测量。

相机主要由镜头、光圈、快门和影像传感器组成，通过镜头将被摄目标成像在影像传感器上，基于获取的影像采集目标的数据信息，对采集的数据进行解析处理，获取待测物的三维坐标信息，其摄影原理如图 1。

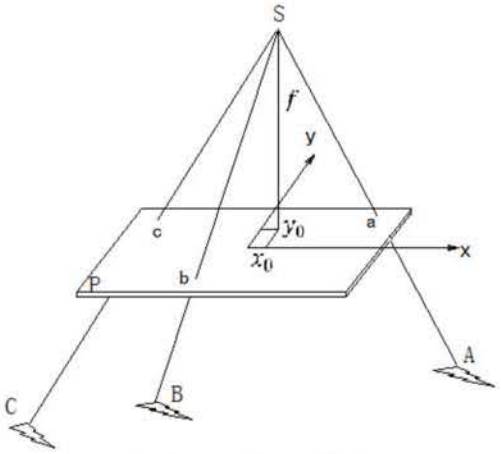


图 1 摄影原理示意图

S 为摄影中心；P 为影像传感器；A、B、C 为物点；

a、b、c 为像点；f为主距；x_0、y_0为主点坐标

5 计量特性

5.1 主点坐标

主点坐标值扩展不确定度不大于 7μm，k=2。

5.2 主距

主距值扩展不确定度不大于 7μm，k=2。

5.3 畸变

经畸变修正后像平面坐标拟合值与理论值之差的绝对值不大于 1 个像素。

注:上述计量特性为一般相机校准的推荐值，其实际计量特性应以相机校准要求为准。

6 校准条件

6.1 环境条件

1）环境温度：（20±10）℃

2）湿度：≤80%RH

3）其它条件：校准时，校准区域不得有影响相机及其校准系统正常工作性能的强光源、电场、磁场，振动和冲击。

6.2 校准用标准装置

室内三维相机检校场（以下简称检校场）,检校场布局示例见附录 B。

6.2.1 校准装置计量特性

a）在满足不确定度条件的要求下，标志点数量建议一般不小于 100 个；

b）标志点覆盖的长方体最长边与最短边之比不大于 3；

c）在保证影像清晰的前提下，检校场成像面积不小于满像幅的 1/3；

d）标志点的大小应保证在最小的成像条件下，标志点在影像上的尺寸不小于 9 个像素，标志点直径或边长一般不小于 5cm；

e）标志点坐标分量不确定度：$U \leq 0.2$ mm,k=2（标志点平面上分量）；

$U \leq 0.4$ mm,k =2（垂直于标志点平面分量），各点坐标分量相关的，应给出各相关系数。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

相机的校准项目见表1。

表1 相机校准项目一览表

序号	校准项目	
1	主点坐标	主点横向坐标x_0
2		主点纵向坐标y_0
3	主距	主距f
4	畸变	径向畸变系数k_1
5		径向畸变系数k_2
6		径向畸变系数k_3
7		偏心畸变系数p_1
8		偏心畸变系数p_2
9		像素非正方形比例系数α
10		像素阵列非正交畸变系数β
11		畸变残差最大值

7.2 校准方法

利用检校场，采用多片空间后方交会的方法完成校准。

按照用户需求，对相机指定调焦距及对焦位置进行校准，在校准前，应对被校准相机调焦及对焦结构进行固定。

校准按以下步骤进行。

7.2.1 将被校相机安装在相机脚架上，如图2所示，安置在检校场正前方S1，调节脚架高度，使相机镜头中心与检校场中心大致等高；前后移动脚架，调整相机与检校场距离，在保证影像清晰的前提下，使检校场尽量占满相机的像幅。如果

检校场不能占满像幅，则对相机进行上下、左右旋转调整，使检校场标志点能规律均匀分布在相机像幅的不同角落。然后依次在 S2、S3、S4、S5 四个位置（正前方、左上、左下、右上、右下），按同样方式拍摄检校场影像。

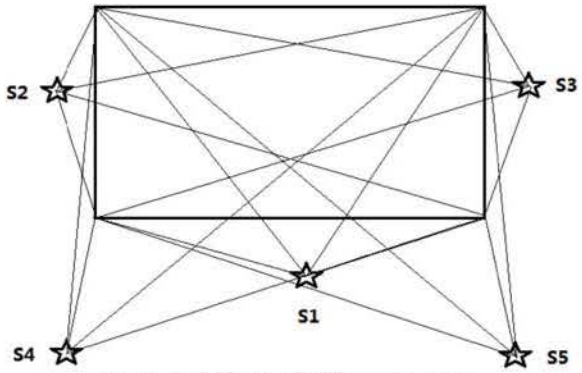


图 2 相机检校拍摄位置示意图

7.2.2 测量所有影像中的标志点像点坐标，采用光束法平差原理，建立共线条件方程式：

$$\begin{cases} x - x_0 + \Delta x = -f\dfrac{a_1(X_a-X_S)+b_1(Y_a-Y_S)+c_1(Z_a-Z_S)}{a_3(X_a-X_S)+b_3(Y_a-Y_S)+c_3(Z_a-Z_S)} \\ y - y_0 + \Delta y = -f\dfrac{a_2(X_a-X_S)+b_2(Y_a-Y_S)+c_2(Z_a-Z_S)}{a_3(X_a-X_S)+b_3(Y_a-Y_S)+c_3(Z_a-Z_S)} \end{cases} \quad (1)$$

式中：

f为主距；

（x_0，y_0）为像主点在像平面坐标系中的坐标；

（x，y）为标志点像点在像平面坐标系中的坐标；

（X_S，Y_S，Z_S）为摄影中心 S 在摄影测量坐标系中的坐标；

（X_a，Y_a，Z_a）为标志点 A 在摄影测量坐标系中的坐标；

a_i、b_i、c_i（i=1,2,3）为方向余弦，表示像方坐标与物方坐标轴系间夹角的余弦值（是外方位元素的函数），表达式为：

$$\begin{cases} a_1 = \cos\varphi\cos\kappa - \sin\varphi\sin\omega\sin\kappa \\ a_2 = -\cos\varphi\sin\kappa - \sin\varphi\sin\omega\cos\kappa \\ a_3 = -\sin\varphi\cos\omega \\ b_1 = \cos\omega\sin\kappa \\ b_2 = \cos\omega\cos\kappa \\ b_3 = -\sin\omega \\ c_1 = \sin\varphi\cos\kappa + \cos\varphi\sin\omega\sin\kappa \\ c_2 = -\sin\varphi\sin\kappa + \cos\varphi\sin\omega\cos\kappa \\ c_3 = \cos\varphi\cos\omega \end{cases}$$

φ、ω、κ为摄影测量第一转角系统中的欧拉角。

Δx、Δy为畸变修正值，其表达式为：

$$\begin{cases}\Delta x=(x-x_0)(k_1r^2+k_2r^4+k_3r^6)+p_1(r^2+2(x-x_0)^2)\\ \qquad +2p_2(x-x_0)(y-y_0)+\beta(y-y_0)\\ \Delta y=(y-y_0)(k_1r^2+k_2r^4+k_3r^6)+p_2(r^2+2(y-y_0)^2)\\ \qquad +2p_1(x-x_0)(y-y_0)+\alpha(y-y_0)\end{cases}$$

式中：

r为径向距离，$r^2=(\mathrm{x}-x_0)^2+(\mathrm{y}-y_0)^2$；

k_1、k_2、k_3为径向畸变系数；

p_1、p_2为偏心畸变系数；

α为像素非正方形比例系数，β为像素阵列非正交畸变系数。

对公式（1）线性化，可得到误差方程：

$$\boldsymbol{V}_i^j=\boldsymbol{A}_i^j\boldsymbol{t}^j+\boldsymbol{B}_i^j\boldsymbol{X}_C+\boldsymbol{C}_i^j\boldsymbol{X}_I+\boldsymbol{D}_i^j\boldsymbol{e}-\boldsymbol{L}_i^j \tag{2}$$

式中：

$\boldsymbol{V}_i^j$为第 j 相片中第 i 点像平面坐标修正向量，与拟合残差符号相反；

$\boldsymbol{t}^j$为第 j 相片的外方位元素修正数

$$\boldsymbol{t}^j=\begin{bmatrix}\Delta X_S^j & \Delta Y_S^j & \Delta Z_S^j & \Delta\varphi^j & \Delta\omega^j & \Delta\kappa^j\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

$\boldsymbol{X}_C$为标志点物方坐标修正数

$$\boldsymbol{X}_C=[\Delta X_1 \quad \Delta Y_1 \quad \Delta Z_1 \quad \Delta X_2 \quad \Delta Y_2 \quad \Delta Z_2 \quad \ldots \quad \Delta X_P \quad \Delta Y_P \quad \Delta Z_P]^{\mathrm{T}}$$

$\boldsymbol{X}_I$为相机的内方位元素修正数

$$\boldsymbol{X}_I=[\Delta f \quad \Delta x_0 \quad \Delta y_0]^{\mathrm{T}}$$

$\boldsymbol{e}$为相机畸变参数修正数

$$\boldsymbol{e}=[\Delta k_1 \quad \Delta k_2 \quad \Delta k_3 \quad \Delta p_1 \quad \Delta p_2 \quad \Delta\alpha \quad \Delta\beta]^{\mathrm{T}}$$

$$\boldsymbol{L}_i^j=\begin{bmatrix}x_i^j-\tilde{x}_i^j\\ y_i^j-\tilde{y}_i^j\end{bmatrix}$$

x_i^j为第 j 相片中第 i 点像平面坐标测量值；

$\tilde{x}_i^j$为第 j 相片中第 i 点像平面坐标的迭代估计值；

将标志点在地面摄影测量坐标系中的已知坐标作为虚拟观测值，引入误差方程：

$$\boldsymbol{V}_X=\boldsymbol{X}_C+\boldsymbol{X}_C^{\boldsymbol{0}}-\widetilde{\boldsymbol{X}}_C \tag{3}$$

式中：

$\boldsymbol{X}_C^0$为标志点物方坐标近似值；

$\tilde{X}_C$为虚拟观测值的已知物方坐标。

将（2）、（3）两式组成总误差方程：

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{G}\boldsymbol{h} - \boldsymbol{l} \quad (4)$$

式中：

$$\boldsymbol{G} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{C}_1^1 & \boldsymbol{D}_1^1 & \boldsymbol{B}_1^1 & \boldsymbol{A}_1^1 & & & \\ \boldsymbol{C}_2^1 & \boldsymbol{D}_2^1 & \boldsymbol{B}_2^1 & \boldsymbol{A}_2^1 & & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & & \\ \boldsymbol{C}_{M1}^1 & \boldsymbol{D}_{M1}^1 & \boldsymbol{B}_{M1}^1 & \boldsymbol{A}_{M1}^1 & & & \\ \boldsymbol{C}_1^2 & \boldsymbol{D}_1^2 & \boldsymbol{B}_1^2 & & \boldsymbol{A}_1^2 & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \boldsymbol{A}_2^2 & & \\ & & & & \vdots & & \\ & & & & \boldsymbol{A}_{M2}^2 & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & & & \ddots & \\ \boldsymbol{C}_{MN}^N & \boldsymbol{D}_{MN}^N & \boldsymbol{B}_{MN}^N & & & & \boldsymbol{A}_{MN}^N \\ & & \boldsymbol{E} & & & & \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{v} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{V}_1^1 \\ \boldsymbol{V}_2^1 \\ \vdots \\ \boldsymbol{V}_{M1}^1 \\ \boldsymbol{V}_1^2 \\ \boldsymbol{V}_2^2 \\ \vdots \\ \boldsymbol{V}_{M2}^2 \\ \vdots \\ \boldsymbol{V}_{MN}^N \\ \overline{\boldsymbol{X}}_C \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{l} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{L}_1^1 \\ \boldsymbol{L}_2^1 \\ \vdots \\ \boldsymbol{L}_{M1}^1 \\ \boldsymbol{L}_1^2 \\ \boldsymbol{L}_2^2 \\ \vdots \\ \boldsymbol{L}_{M2}^2 \\ \vdots \\ \boldsymbol{L}_{MN}^N \\ \tilde{\boldsymbol{X}}_C - \boldsymbol{X}_C^0 \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{h} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{X}_I \\ \boldsymbol{e} \\ \boldsymbol{X}_C \\ \boldsymbol{t}^1 \\ \boldsymbol{t}^2 \\ \vdots \\ \boldsymbol{t}^N \end{bmatrix}$$

运用最小二乘原理$\boldsymbol{v}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{P}\boldsymbol{v} = \min$，迭代求解参数$\boldsymbol{h}$，取其前 10 个元素对相机参数迭代近似值进行修正，得到相机内方位元素与畸变参数：

$$\boldsymbol{m} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{X}_I \\ \boldsymbol{e} \end{bmatrix} + \boldsymbol{m}_0 \quad (5)$$

式中：

$\boldsymbol{m}_0$为相机参数迭代近似值；

$\boldsymbol{P}$为观测值的权矩阵

$$\boldsymbol{P} = \begin{bmatrix} \dfrac{\boldsymbol{E}}{\sigma_L^2} & \boldsymbol{0} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{D}_{X_C}^{-1} \end{bmatrix}$$

式中：

$\boldsymbol{D}_{X_C}$为标志点已知坐标的协方差阵；

σ_L^2为标靶中心像平面坐标测量方差。

校准结果 m 的组成为：

$$\boldsymbol{m} = [f \quad x_0 \quad y_0 \quad k_1 \quad k_2 \quad k_3 \quad p_1 \quad p_2 \quad \alpha \quad \beta]^{\mathrm{T}} \quad (6)$$

按（2）式计算观测值拟合残差。

8 校准结果

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少应包括以下信息：

a)标题：“校准证书”；

b)实验室名称和地址；

c) 进行校准的地点；

d)证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

e)客户的名称和地址；

f)被校对象的描述和明确标识；

g)进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

j)本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

k)校准环境的描述；

l)校准结果及其测量不确定度的说明；

m) 对校准规范的偏离的说明；

n)校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；

o)校准结果仅对被校对象有效的声明；

p)未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

送校单位可根据相机的实际使用情况自主决定复校时间间隔，建议一般不超

过1年。

附录 A

校准证书内页格式

表 A.1 校准证书内业格式

序号	校准项目	校准结果
1	主点横向坐标x_0	
2	主点纵向坐标y_0	
3	主距f	
4	径向畸变系数k_1	
5	径向畸变系数k_2	
6	径向畸变系数k_3	
7	偏心畸变系数p_1	
8	偏心畸变系数p_2	
9	像素非正方形比例系数α	
10	像素阵列非正交畸变系数β	
11	畸变残差最大值	
主点横向坐标x_0校准结果的扩展不确定度： 主点横向坐标y_0校准结果的扩展不确定度： 主距f校准结果的扩展不确定度：		

以下空白

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/376045242135010054