JJG

中华人民共和国测绘地理信息计量检定规程

JJG（测绘）3402－2021

无人机航摄系统

Unmanned Air Vehicle Aerial Photography System

××××－××－××发布　　××××－××－××实施

自然资源部发布

无人机航摄系统

检定规程

JJG（测绘）3402-2021

Verification Regulation of

Unmanned Air Vehicle Aerial Photography System

归 口 单 位：自然资源部

主要起草单位：国家测绘地理信息计量站

参加起草单位：中测新图（北京）遥感技术有限责任公司

工业和信息化部电子第五研究所

深州市大疆创新科技有限公司

本规程委托全国地理信息标准化技术委员会测绘分技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

徐寿志（国家测绘地理信息计量站）

方爱平（国家测绘地理信息计量站）

参加起草人：

薛艳丽（中测新图（北京）遥感技术有限责任公司）

黄　璇（工业和信息化部电子第五研究所）

魏坤岭（深州市大疆创新科技有限公司）

李　莹（国家测绘地理信息计量站）

目　录

引　言 II
无人机航摄系统检定规程 1
1 范围 1
2 引用文件 1
3 术语和计量单位 2
4 概述 2
5 计量性能要求 3
6 通用技术要求 3
7 计量器具控制 4
7.1 检定条件 4
7.2 检定项目 4
7.3 检定方法 5
7.4 检定结果处理 10
7.5 检定周期 10
附录 A 11
附录 B 12
附录 C 13
附录 D 14

引　言

本规程依据 JJF1002—2010《国家计量检定规程编写规则》，根据无人机航摄系统的特性和实际生产作业的需要，结合国内外无人机航摄系统的硬件组成、技术发展水平和应用情况编写制定。

无人机航摄系统检定规程

1 范围

本规程适用于固定翼、多旋翼及复合翼无人机航摄系统的首次检定、后续检定和使用中检查。本规程规定了固定翼、多旋翼及复合翼无人机航摄系统的检定项目、技术要求和检定方法。

2 引用文件

本规程引用下列文件：

GB/T 38058-2019 民用多旋翼无人机系统试验方法

GB/T 38996-2020 民用轻小型固定翼无人机飞行控制系统通用要求

GB/T 38997-2020 轻小型多旋翼无人机飞行控制与导航系统通用要求

GB/T 38931-2020 民用轻小型无人机系统安全性通用要求

GB/T 23236-2009 数字航空摄影测量 空中三角测量规范

GB/T 39610-2020 倾斜数字航空摄影技术规程

CHT 9008.1-2010 基础地理信息数字成果 1：500 1：1000 1：2000 数字线划图

CH/T 9008.2-2010 基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 1:2000 数字高程模型

CH/T 9008.3-2010 基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 1:2000 数字正射影像图

CH/T 9016－2012 三维地理信息模型生产规范

JJG（测绘） 3401-2016 数字航摄仪检定规程

凡是注日期的引用文献，仅注日期的版本适用于本规程；凡是不注日期的引

用文献，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

3 术语和计量单位

3.1 无人机 unmanned air vehicle

一种由动力驱动、机上无人驾驶、可重复使用的航空器，具有遥控、半自主、自主三种飞行控制方式。主要分为固定翼无人机、多旋翼无人机和复合翼无人机。

3.2 无人机航摄系统 unmanned air vehicle aerial photography system

以无人机为飞行平台、以影像传感器为任务设备的航空遥感影像获取系统。

3.3 任务载重 payload

飞行器在正常飞行时可以承受的最大任务设备重量。

3.4 空中三角测量 aerial triangulation

根据少量的野外控制点，在室内进行控制点加密，求得加密点的高程和平面位置的测量方法。

3.5 数字高程模型 Digital Elevation Model（DEM）

在一定范围内通过规则格网点描述地面高程信息的数据集，用于反映区域地貌形态的空间分布。

3.6 数字正射影像图 Digital Orthophoto Map（DOM）

将地表航空影像经垂直投影而生成的影像数据集，具有像片的影像特征和地图的几何精度。

3.7 三维地理信息模型 three dimentional model on geographic information

能可视化反映相关地理要素在立体空间中的位置、几何形态、表面纹理及其属性等信息，包括各种地上主要地理信息的外部及地下空间，不含地上各建（构）筑物地理信息内部。

4 概述

无人机航摄系统包括飞行平台、飞行导航与控制系统（以下简称飞控系统）、地面监控系统、任务设备、数据传输系统、发射与回收系统和地面保障设备。无人机航摄系统是以无人机为飞行平台，通过搭载航摄相机，对目标作业区域进行航飞，获取影像数据，通过空中三角测量等处理，获得数字产品或相关专题图等地理信息产品，是航天遥感和航空遥感的重要补充手段，在自然资源监测、智慧城市建设、地理国情监测、应急救灾、国土调查等方面发挥重要作用。

5 计量性能要求

无人机航摄系统计量性能要求见表 1。

表 1 计量性能要求

序号	检定类别	检定项目	计量性能要求
1	无人机平台	任务载重	≥1 kg
2		续航时间	≥30 min
3	航摄相机	径向畸变	畸变改正后残差的中误差小于1/3像素
4		信噪比	≥35 dB
5	无人机航摄系统	空中三角测量精度	满足应满足CH/T 9008.2-2010标准7.1表3要求
6		DOM/DEM 成果精度	DOM精度要求： 平面、丘陵地平面精度≤0.6mm×比例尺； 山地、高山地平面精度≤0.8mm×比例尺。 DEM精度要求： 高程中误差应满足CH/T 9008.2-2010标准6.4表3要求。
7		三维地理信息模型精度	平面中误差应满足CH/T 9008.1-2010标准6.1.6.1表3要求。 高程中误差应满足CH/T 9008.1-2010标准6.1.6.2表4要求。

6 通用技术要求

对无人机航摄系统的通用技术应满足以下要求：

a) 仪器各部件及其附件应匹配、齐全、完好和通讯正常。

b) 仪器表面不应有明显的划痕、裂缝、变形。

c) 仪器应具有自检测功能。

d) 仪器操作按键反应灵敏、功能正常。

e) 仪器控制软件和数据后处理软件应能正常安装、使用。

7 计量器具控制

7.1 检定条件

7.1.1 检定器具及技术要求见表 2。

无人机航摄系统所用的主要检定器具及技术要求见表 2。

表 2 主要检定器具及技术要求

序号	检定器具	技术要求/最大允许误差
1	砝码	F_1 等级
2	秒表	±0.10 s（1h 测量间隔）
3	均匀光源	在 380 nm ~1080 nm 波长范围内，出口光斑的均匀性优于 96%。
4	航摄相机检测仪	轴角编码器测角精度优于 2″
5	空对地（几何）检定场	标志点平面位置精度优于 1cm；高程精度优于 2cm

7.1.2 空对地（几何）检定场

对无人机航摄系统进行系统测量精度检定时，应满足以下要求：

a) 航摄前需对检定场进行清扫，确保标志物清晰可见。

b) 天气状况晴朗，光照条件好，避免过大的阴影。

c) 检定场的地形应具有一定起伏，且地物和地貌具有多样性。

d) 相邻控制点间距不大于 100m。

e) 控制点中心颜色应与周围物体有较大的反差，便于影像识别。

7.2 检定项目

无人机航摄系统的检定项目见表 3。

表 3 检定项目

序号	检定项目	检定类别		
		首次检定	后续检定	使用中检查
1	任务载重	+	+	+
2	续航时间	+	+	+
3	径向畸变	+	-	+
4	信噪比	+	-	+
5	空中三角测量精度	+	+	-
6	DOM/DEM 精度	+	+	-
7	实景三维模型精度	+	+	-
注：检定类别中“+”为必检项目，“-”为选检项目。检定项目 6 和 7，可选其中一种进行检定。				

7.3 检定方法

7.3.1 任务载重

a) 利用砝码校准磅秤，查看磅秤误差是否符合要求；

b) 根据无人机的标称载重，将任务载荷放置磅秤上，读取重量值并记录；

c) 将任务载荷挂载在被检无人机，起飞无人机，对于旋翼和复合翼无人机悬停 5min，之后进行机动飞行 5min，无人机能够正常运行，即判定合格。对于固定翼无人机，直接进行机动飞行 10min，判断飞行是否正常。

7.3.2 续航时间

a) 选择满足要求的天气，飞行人员与地面站人员带着设备到达预定地点，利用风速计测定起飞场地的风速，并记录；

b) 起飞前进行无人机航摄系统安装等工作；

c) 按照要求连接好地面监控系统，配置相关参数，检查确认无误；

d) 连接地面站，开展遥感器、参数设置、发动机、地面站等的测试工作，同时记录下此刻的风速；

e) 无人机航摄系统起飞，记录下此刻的时间，同时手动调整其飞行姿态，

调节无人机航摄系统使其爬升到预设高度（如 200m）；

f) 无人机航摄系统爬升到预定高度后，切换到自动驾驶，记录此刻时间，使其按照航线飞行，飞行过程中，时刻注意飞控电压，直至电压达到预设值后，使其下降，若没有达到预设值就使其继续飞行，直到飞控电压达到预设值；

g) 飞控电压达到预设值后，控制无人机航摄系统降落，并记录此刻的时间；

h) 根据起飞、降落时间计算无人机航摄系统的续航时间。

7.3.3 径向畸变

a) 将被检航摄相机安装在航摄相机检测仪上，调整航摄相机位置，使其入瞳落在畸变测量仪转臂的旋转轴上；

b) 打开点光源，将被检航摄相机对平行光管和点光源形成的无穷远点目标成像，保证覆盖 2×2 个像素以上，便于细分测量；

c) 精确调整被检航摄相机的位置，使得转臂在从一端旋转到另一端的过程中，无穷远点目标成像在被检航摄相机光电成像器件的中心行上；

d) 依次以相同角度转动畸变测量仪的转臂，使无穷远点目标成像在被检航摄相机的光电成像器件靶面上，从被航摄相机的输出影像中提取目标在光电成像器件上的位置，同时记录相应的轴角编码器的角度值；

e) 测量完该方向后，重复步骤 c)、d)，测量被检航摄相机光电成像器件的中心列上的数据。

f) 按公式（1）分别计算出光电成像器件行向和列向的对称主点坐标和标定主距，以及各目标点的畸变；

g）按公式（2）的畸变模型，根据最小二乘法计算出各个畸变系数；

h）各个目标点的畸变值与按公式（2）计算得到的各个目标点畸变值之差，即为目标点畸变改正后的残差，以其中误差作为检定值，其结果应满足表 1 的要求。

$$\left.\begin{aligned}
p &= \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} L_i \tan W_i \times \sum_{i=1}^{n} \tan^3 W_i\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} L_i \tan^2 W_i \times \sum_{i=1}^{n} \tan^2 W_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^{n} \tan^2 W_i \times \sum_{i=1}^{n} \tan^4 W_i\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} \tan^3 W_i\right)^2} \\
f &= \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} L_i \tan W_i \times \sum_{i=1}^{n} \tan^4 W_i\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} L_i \tan^2 W_i \times \sum_{i=1}^{n} \tan^3 W_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^{n} \tan^2 W_i \times \sum_{i=1}^{n} \tan^4 W_i\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} \tan^3 W_i\right)^2} \\
D_i &= f \times \tan\left(W_i - \frac{p}{f}\right) - \left(L_i - p\right)
\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

式中：

p——行向或列向的对称主点位置，mm；

W_i——第i个目标点对应的角度测量值，rad；

L_i——第i个目标点到光电成像器件靶面中心的长度，由单个像素尺寸和目标点到光电成像器件靶面中心的像素个数得到，mm；

f——标定主距，mm；

D_i——第i个目标点的畸变，mm；

n——目标点个数。

$$\left.\begin{aligned}
D_{ix} &= \left(x_i - x_0\right)\left(K_1 r_i^2 + K_2 r_i^4 + K_3 r_i^6\right) + P_1\left[r_i^2 + 2\left(x_i - x_0\right)^2\right] + 2P_2\left(x_i - x_0\right)\left(y_i - y_0\right) \\
&\quad + B_1\left(x_i - x_0\right) + B_2\left(y_i - y_0\right) \\
D_{iy} &= \left(y_i - y_0\right)\left(K_1 r_i^2 + K_2 r_i^4 + K_3 r_i^6\right) + 2P_1\left(x_i - x_0\right)\left(y_i - y_0\right) + P_2\left[r_i^2 + 2\left(y_i - y_0\right)^2\right]
\end{aligned}\right\} \quad (2)$$

式中：

D_{ix}——列方向上第i个目标点的畸变，mm；

D_{iy}——行方向上第i个目标点的畸变，mm；

K_1、K_2、K_3——径向畸变系数；

P_1、P_2——偏心畸变系数；

B_1——像素形状改正系数；

B_2——面阵坐标轴改正系数；

x_0, y_0 ——对称主点坐标；

r_i ——第 i 个目标点的径向半径，mm；

x_i ——第 i 个目标点的列方向坐标，mm；

y_i ——第 i 个目标点的行方向坐标，mm。

7.3.4 信噪比

a) 打开均匀光源的电源开关进行预热；

b) 将被检航摄相机安置在测量机架上并调整，使其位于均匀光源出光口中心位置；

c) 使被检航摄相机对均匀光源出光口成像，调整均匀光源亮度，使图像的灰度值不超过图像饱和度的 9=80%；

d) 根据被检航摄相机获取的图像，按公式（3）计算被检航摄相机的信噪比作为检定值，其结果应满足表 1 的要求。

$$V_{SNR} = 20 \times \lg \frac{M}{S} \tag{3}$$

式中：

V_{SNR} ——信噪比，dB;

M ——图像的最大灰度值；

S ——图像灰度值的标准差。

7.3.5 空中三角测量精度

检定飞行前，进行飞行相关的准备工作，包括设备的安装调试、航线和航高设计。严格按照航摄设计要求在空对地（几何）检定场上空进行航摄检定飞行。飞行结束后，进行飞行质量和影像质量的检查，在满足质量要求后进行检定数据处理。

采用配套软件进行空中三角测量处理，并选择一定控制点作为检查点，按照公式（4）和公式（5）分别计算空中三角测量的平面位置中误差和高程中误差作

为检定结果，其结果满足表 1 的要求。

$$S_{xy}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[(x_i-x_{i0})^2+(y_i-y_{i0})^2]}{n}} \tag{4}$$

$$S_h=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(h_i-h_{i0})^2}{n}} \tag{5}$$

式中：S_{xy} 表示空中三角测量平面位置中误差，m；S_h 表示空中三角测量高程位置中误差，m；i 表示检查点编号；n 表示为控制点数量。

7.3.6 DOM/DEM 精度

a）数字正射影像图精度 DOM

采用配套的软件在空中三角测量和数字高程模型结果的基础上建立数字正射影像图，并选择一定控制点作为检查点，按照公式（6）计算数字正射影像图的平面位置中误差作为检定结果，其结果满足表 1 的要求。

$$S_{xy}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[(x_i-x_{i0})^2+(y_i-y_{i0})^2]}{n}} \tag{6}$$

式中：S_{xy} 表示数字正射影像图平面位置中误差，m。

b）数字高程模型精度 DEM

采用配套的软件在空中三角测量结果的基础上建立数字高程模型，并选择一定控制点作为检查点，按照公式（7）计算数字高程模型高程中误差作为检定结果，其结果满足表 1 的要求。

$$S_h=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(h_i-h_{i0})^2}{n}} \tag{7}$$

式中：S_h 表示数字高程模型高程位置中误差，m；i 表示检查点编号；n 表示为控制点数量。

7.3.7 实景三维模型精度

采用配套的软件在空中三角测量结果的基础上建立实景三维模型，并选择一定控制点作为检查点，按照公式（8）和公式（9）分别计算实景三维模型的平面位置中误差和高程中误差作为检定结果，其结果满足表 1 的要求。

$$S_{xy}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[(x_i-x_{i0})^2+(y_i-y_{i0})^2]}{n}} \tag{8}$$

$$S_h=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(h_i-h_{i0})^2}{n}} \tag{9}$$

式中：S_{xy} 表示实景三维模型平面位置中误差，m；S_h 表示实景三维模型高程位置中误差，m；i 表示检查点编号；n 表示为控制点数量。

7.4 检定结果处理

经检定符合本规程要求的无人机航摄系统应出具检定证书。

经检定不符合本规程要求的无人机航摄系统应出具检定结果通知书，并注明不合格项目。

7.5 检定周期

无人机航摄系统检定周期一般不超过 2 年。

附录 A

径向畸变检定记录及计算示例

表 A.1 给出了径向畸变检定记录及计算示例。

检测编号：_____ 仪器型号：_____ 仪器编号：_____

观　　测：_____ 记　　录：_____ 日　　期：_____

表 A.1 径向畸变检定记录及计算示例

点号	像点位置/像素		畸变改正后的残差/像素
	x_i	y_i	dr_i
1	77.165	2000.437	0.056
2	248.942	2000.704	-0.014
3	419.109	2000.909	0.040
4	587.491	2000.652	-0.004
5	754.764	2000.930	0.053
6	920.390	2000.882	-0.137
7	1085.344	2001.002	0.057
8	1248.438	2001.542	-0.144
9	1411.032	2001.556	0.001
10	1572.166	2001.522	-0.172
11	1733.016	2002.028	-0.105
12	1892.944	2001.956	0.114
13	2052.064	2001.921	-0.004
14	2210.501	2001.698	-0.085
15	2369.115	2001.798	0.347
16	2527.116	2001.802	0.333
17	2684.534	2001.913	0.102
18	2841.749	2002.061	-0.149
19	2999.082	2002.109	-0.084
20	3156.255	2001.910	-0.227
21	3314.080	2001.854	-0.084
22	3472.163	2002.026	0.181
23	3629.813	2002.018	-0.040
畸变改正后的残差中误差	$S_r=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(dr_i)^2}{n-7}}$ =0. 139		

附录 B

空中三角测量精度检定记录及计算示例

表 B.1 给出了空中三角测量精度检定记录及计算示例。

检测编号：_____ 仪器型号：_____ 仪器编号：_____

观　　测：_____ 记　　录：_____ 日　　期：_____

表 B.1 空中三角测量精度检定记录及计算示例

点号	检查点平面位置误差		检查点高程误差
	dx_i /m	dy_i /m	dh_i /m
1	-0.011	-0.005	-0.065
2	0.097	-0.101	-0.132
3	0.028	-0.016	0.049
4	0.062	0.030	0.018
5	0.070	-0.134	-0.013
6	-0.032	-0.048	-0.046
7	0.068	-0.024	-0.174
8	0.087	-0.034	-0.048
9	0.103	-0.068	-0.336
10	0.018	0.015	-0.188
11	-0.067	-0.054	-0.063
12	0.130	0.033	-0.158
13	0.042	-0.033	-0.112
14	0.055	-0.083	0.010
15	0.100	0.036	-0.325
16	-0.017	0.022	-0.090
17	-0.023	-0.084	0.046
18	0.050	-0.184	-0.284
19	-0.053	0.110	0.316
20	0.058	-0.137	-0.226
空中三角测量精度	平面位置中误差：0.103m		高程中误差：0.173m

附录 C

DOM/DEM 精度检定记录及计算示例

表 C.1 给出了 DOM/DEM 精度检定记录及计算示例。

检测编号：_____ 仪器型号：_____ 仪器编号：_____

观　　测：_____ 记　　录：_____ 日　　期：_____

表 C.1 DOM/DEM 精度检定记录及计算示例

点号	检查点平面位置误差		检查点高程误差
	dx_i /m	dy_i /m	dh_i /m
1	0.054	0.015	-0.043
2	0.049	-0.016	0.000
3	-0.025	-0.032	-0.019
4	0.022	-0.047	-0.016
5	-0.046	-0.055	-0.086
6	0.058	0.066	0.024
7	0.055	0.034	0.056
8	0.051	0.017	-0.068
9	0.002	0.008	-0.050
10	0.004	-0.027	0.046
11	-0.029	-0.059	-0.028
12	0.067	0.058	-0.057
13	0.018	0.020	-0.042
14	0.063	0.003	-0.162
15	0.002	0.011	0.096
16	0.034	0.009	-0.029
17	0.051	-0.024	-0.066
18	-0.019	-0.031	0.003
19	0.105	0.039	-0.095
20	0.050	0.035	-0.018
21	0.040	0.000	-0.101
22	-0.018	0.000	-0.075
23	-0.012	-0.014	0.045
24	0.047	-0.002	0.040
25	0.035	0.006	-0.188
DEM/DOM 精度	DOM 平面位置中误差：0.056m		DEM 高程中误差：0.076m

附录 D

实景三维模型精度检定记录及计算示例

表 D.1 给出了实景三维模型精度检定记录及计算示例。

检测编号：_____ 仪器型号：_____ 仪器编号：_____

观　　测：_____ 记　　录：_____ 日　　期：_____

表 D.1 实景三维模型精度检定记录及计算示例

点号	检查点平面位置误差		检查点高程误差
	dx_i /m	dy_i /m	dh_i /m
1	0.042	-0.017	-0.155
2	0.015	0.022	0.121
3	-0.021	0.044	-0.138
4	-0.018	0.049	0.106
5	-0.048	0.065	0.006
6	-0.019	0.069	-0.148
7	0.066	0.060	0.141
8	0.001	0.053	0.152
9	-0.023	0.004	0.068
10	-0.015	0.040	0.023
11	-0.050	0.083	-0.056
12	-0.020	0.086	-0.097
13	0.021	0.042	-0.094
14	-0.017	0.066	0.042
15	0.002	0.040	-0.077
16	0.010	0.026	-0.175
17	-0.030	0.097	0.068
18	-0.066	0.104	0.001
19	0.083	0.066	-0.053
20	0.028	0.020	-0.157
21	-0.052	0.096	-0.171
22	0.005	0.062	-0.062
23	-0.073	0.114	-0.059
24	-0.067	0.090	0.173
25	0.043	0.067	-0.153
实景三维模型精度	平面位置中误差：0.082m		高程中误差：0.104m