

ICS 07.040

A 76

备案号:29581—2010



中华人民共和国测绘行业标准

CH/T 8021—2010

数字航摄仪检定规程

Verification regulation of digital aerial photographic camera

2010-08-24 发布

2010-10-01 实施

国家测绘局 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本技术要求	3
4.1 外观检查	3
4.2 功能检查	3
4.3 其他要求	3
5 实验室检定	3
5.1 检定项目及要​​求	3
5.2 实验室检定条件	4
5.3 实验室检定方法	4
6 野外标准场检定	10
6.1 空对地检定	10
6.2 地对地检定	12
7 检定结果的处理	14
7.1 检定合格标准	14
7.2 检定结果处理	14

前 言

本标准由国家测绘局提出并归口。

本标准主要起草单位：国家光电测距仪检测中心。

本标准参加起草单位：北京四维远见信息技术有限公司。

本标准主要起草人：齐维君、方爱平、左建章、丁朋辉、刘宗杰、张锐、吴秀娟。

引 言

本标准根据国内外数字航摄仪发展的技术水平、应用情况及数字航摄仪硬件组成,参照有关光学航摄仪,光电成像器件的检定技术资料以及国外数字航摄仪检定实验方法,对数字航摄仪的检定工作进行规范。

本标准中实验室检定适用于可拆卸的单镜头面阵光电成像器件的数字航摄仪检定,其他则采用野外标准场检定。

数字航摄仪检定规程

1 范围

本标准规定了数字航摄仪的检定项目、技术要求和检定方法。
本标准适用于数字航摄仪的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 6962 1:500 1:1000 1:2000 地形图航空摄影规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

光电成像器件 photo-electronic imaging device

利用光电效应将可见或非可见的辐射图像转换或增强为可观察、记录、传输、存储以及可进行处理的图像的器件系列总称。目前比较成熟的光电成像器件有电荷耦合器件(CCD)和互补金属氧化物半导体(CMOS)两大类。

3.2

数字航摄仪 digital aerial photographic camera

在进行数字航空影像数据获取时,利用光电成像器件阵列记录影像信息的航空摄影设备。数字航摄仪由光学镜头、光电成像器件和存储器等主要部分构成,按其结构可以分为单镜头数字航摄仪和多镜头数字航摄仪,按光电成像器件的排列形式又可以分为线阵式数字航摄仪和面阵式数字航摄仪。

3.3

实验室检定 laboratory calibration

在满足特定检定环境要求的实验室内,对数字航摄仪进行检定。

3.4

空对地检定 air-to-ground calibration

根据航空摄影测量原理,在具有一定地形起伏的地面检定场内布设控制点和各种形式的砧板(标志),用待检定的数字航摄仪对地面检定场进行航空摄影,利用控制点进行摄影测量区域网平差和全野外单像对测图,检定数字航摄仪的摄影测量精度,同时分析其影像质量。

3.5

地对地检定 ground-to-ground calibration

将数字航摄仪搭载在可控导轨上模拟航空摄影,在设定曝光处拍照获取地对地检定场地面控制点影像;采用摄影测量的空间后方交会原理解算数字航摄仪的内方位元素以及各项畸变参数。

3.6

空间频率 spatial frequency

同类景物或图像辐度的信号沿空间坐标轴按正弦变化的频率。以周每毫米(c/mm)或线对每毫米(lp/mm)表示。

3.7

奈奎斯特空间频率 Nyquist spatial frequency

由奈奎斯特采样定律确定的空间频率。数字航摄仪的奈奎斯特空间频率,数值上等于两倍像元尺寸(d)的倒数,即 $1/(2d)$ 。单位为线对每毫米(lp/mm)。

3.8

检定主距 calibrated focal length

根据最适合使用条件的畸变值分布,对等效主距进行数学调整后得到的主距值。

3.9

径向畸变 radial distortion

以对称主点 PPS 为中心沿辐射方向的畸变。以实际像点与理论像点的距离之差表示。

3.10

最佳对称主点(PPS) principal point of symmetry

像场内所有几何影像的径向畸变,无论是由于物镜的像差,还是镜片在加工和安装过程中的缺陷所造成的,都应该尽可能地对称于某点 S,该点就称为对称主点。

3.11

光学分辨率 optical resolution

镜头对 1 mm 宽度内所能清晰分辨的线条数,用以表示获取传递或显示图像细节的能力。单位为线对每毫米(lp/mm)。

3.12

摄影分辨率 resolution of photography

衡量成像系统对黑白相间、宽度相等的线状目标影像分辨的能力。以每毫米线对数表示,单位为线对每毫米(lp/mm)。

3.13

动态摄影分辨率 dynamic photographic resolution

数字航摄仪在空中对地面试验场进行摄影后测得的摄影分辨率。

3.14

像面照度 illuminance of image plane

物镜的焦平面单位面积上接收到的辐射能量。

3.15

杂光系数 coefficient of stray light

在规定检定条件下待检物镜的焦平面上杂光的光通量与总光通量的比值。

3.16

调制度 modulation

正弦型景物或图像的信号最大值和最小值之差与两者之和之比。

3.17

调制传递函数(MTF) modulation transfer function

数字航摄仪输出信号的调制度与输入信号的调制度之比随空间频率变化的函数。

3.18

光谱响应曲线 spectral response curve

在规定条件下,照射到探测器上的单位曝光量所产生的输出电压随波长变化的函数曲线。

3.19

辐射系数 coefficient of radiometric

数字航摄仪光电成像器件及探测器各单元的人射辐射量与输出电压的关系系数。辐射系数分为绝

对辐射系数和相对辐射系数。数字航摄仪的入射辐射量与输出电压的关系系数称为绝对辐射系数；光电成像器件探测器各单元对均匀入射辐射量的响应进行均衡化处理后得到系数称为相对辐射系数。

4 基本技术要求

4.1 外观检查

外观检查包括：

- 仪器表面不应有碰伤、划痕、脱漆和锈蚀，盖板及部件应接合整齐、密封良好；
- 各种校正螺钉不应有松动情况，转动脚螺旋应松紧适度、无晃动；
- 水平及竖直制动及微动机构运转平稳可靠，无跳动现象；
- 数字航摄仪的光学零部件应无水渍、霉斑、灰尘。

4.2 功能检查

功能检查包括：

- 操作面板上各按键反应灵敏，功能正常；
- 数据输入输出接口及电源接口完好；
- 仪器的附件应能满足调校及使用的要求。

4.3 其他要求

对后续检定和使用中检验的仪器，允许有不影响仪器准确度和技术功能的缺陷。

5 实验室检定

5.1 检定项目及要 求

数字航摄仪实验室检定项目及要 求见表 1。

表 1 数字航摄仪实验室检定项目及要 求

序号	项目	性能要求	检定周期/年	检定类别		使用中检验
				首次检定	后续检定	
1	对称主点	优于 $3\ \mu\text{m}$	2	+	+	+
2	径向畸变	改正后残差小于 $1/3$ 像元	2	+	+	+
3	检定主距	优于 $3\ \mu\text{m}$	2	+	+	+
4	光学分辨率	轴上目视分辨率大于 $100\ \text{lp/mm}$ ，轴外目视分辨率大于 $50\ \text{lp/mm}$	2	+	+	+
5	物镜杂光系数	小于 5%	2	+	+	-
6	物镜透过率	大于 80%	2	+	+	-
7	物镜像面照度分布	宽角物镜在离轴 $140\ \text{mm}$ 之内，特宽角物镜离轴 $125\ \text{mm}$ 之内，像面的最低照度不小于最高照度的 50%	2	+	+	-
8	滤光镜入射光偏折量	滤光镜镜片对于垂直入射的照准光线所产生的偏差小于 $10''$	2	+	-	-
9	调制传递函数(MTF)	光学系统在奈奎斯特空间频率处的 MTF 大于 0.6，数字航摄仪总 MTF 大于 0.2	2	+	+	+
10	光谱响应	不超出标称值的 5%	2	+	-	-
11	信噪比(SNR)	最大输出信噪比不小于 $40\ \text{dB}$	2	+	-	-
12	相对辐射系数	优于 5%	2	+	+	+
13	绝对辐射系数	优于 10%	2	+	+	+

注：检定类别中“+”为应检项目，“-”为可不检项目。

5.2 实验室检定条件

5.2.1 检定环境

检定环境应满足以下要求：

- a) 检定环境温度控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，大气压在 $860 \text{ hPa} \sim 1\,060 \text{ hPa}$ ；
- b) 远离强电场、磁场和震动的影晌；
- c) 相对湿度在 $50\% \sim 70\%$ ；
- d) 防止杂散光进入工作区；
- e) 洁净度 100 000 级。

5.2.2 计量器具控制

检定数字航摄仪所用的主要计量器具见表 2。

表 2 主要计量器具及要求

序号	器具名称	技术要求
1	精密转台	相对定位精度 $\pm 1''$
2	精密测角仪	测角精度 $\pm 1.5''$
3	球形平行光管	在 $320 \sim 2\,200 \text{ nm}$ 波长范围内,其反射率均大于 90% ;在 $380 \sim 780 \text{ nm}$ 可见光范围内,其反射率均大于 96% ;涂层应防潮、防酸、碱、盐的侵蚀
4	积分球	在 $380 \sim 780 \text{ nm}$ 可见光范围内,反射率曲线呈一水平直线;在 $320 \sim 2\,200 \text{ nm}$ 波长范围内,其反射率均大于 90% ;出口光斑的均匀性优于 99% ;直径不小于 90 cm
5	平行光管	面形精度 PV 优于 $\lambda/8$; 波长范围 $380 \sim 12\,000 \text{ nm}$,透过率大于 95% ;焦距大于 1.5 m
6	高灵敏度光电探测器	工作波段 $0.3 \sim 1.1 \mu\text{m}$
7	轴角编码器	最小示值 $0.1''$,最大测角误差 $\pm 2''$
8	光谱辐射计	工作波段 $0.35 \sim 1.0 \mu\text{m}$,波长准确度 $\pm 1 \text{ nm}$,重复精度 $\pm 1.5\%$
9	单色仪	波长范围 $350 \sim 1\,100 \text{ nm}$,波长准确度 $\pm 0.5 \text{ nm}$
10	辐照度计	工作波段 $0.35 \sim 1.0 \mu\text{m}$,通道光谱带宽 10 nm
11	光谱辐照度标准灯	用作一、二级光谱辐射亮度的钨带灯
12	漫反射参考标准板	不随时间温度而改变,表面均匀,漫反射,无光谱选择性,无荧光,且经检定合格
13	照明系统	发光二极管(LED)阵列的冷光源
14	鉴别率板	采用三线靶标,高对比度 $1\,000:1$; 中对比度 $6.3:1$; 低对比度 $1.6:1$
15	高精度示波器	带宽 60 MHz ,实时采样 500 MS/s ,等效采样 25 GS/s ,采样率和延迟时间精确度 10^{-4}
16	自准直平行光管	分辨率不低于 $0.2''$,测角误差不大于 $0.5''$
17	MTF 测试卡	符合 ISO12233 规定
18	中性滤光片	光洁度 $80 \sim 50$;平行度小于 $1'$;有效孔径 $\geq 90\%$ 中心区域

5.3 实验室检定方法

5.3.1 检定前准备

检定前将待检数字航摄仪置于实验室内进行温度平衡,时间不少于 2 h 。各检定设备的用电系统接通电源预热 20 min 以上,再进行后续检定工作。

5.3.2 内方位元素、径向畸变

5.3.2.1 检定设备

检定设备主要包括照明系统、平行光管、轴角编码器、精密测角仪。

5.3.2.2 检定步骤

内方位元素和径向畸变检定步骤如下：

- 将待检数字航摄仪安装在内方位元素检定系统的支架上，使数字航摄仪的入瞳落在高低轴和方位轴的焦点上，调整平衡；
- 与测量机架方位轴相同高度处放置平行光管，平行光管星点板孔的直径在数字航摄仪光电成像器件靶面上的像，保证覆盖 2×2 个像素以上，便于细分测量；
- 依次以相同角度转动测量机架，使平行光管的点像目标成像在待检数字航摄仪的光电成像器件靶面上，从光电成像器件的输出数据中提取目标在光电成像器件的位置；
- 在同一时刻记下高低、方位编码器的角度值，目标的真实角度等于编码器角度加上目标的脱靶量；

5.3.2.3 内方位元素数据处理

内方位元素计算见式(1)、式(2)、式(3)。

$$f \sum (\tan^2 A + \sec^2 A \cdot \tan^2 E) - P_x \sum (\tan^3 A + \sec^2 A \cdot \tan^2 E \cdot \tan A) - P_y \sum \sec A \cdot \tan^3 E = \sum (x \cdot \tan A + y \cdot \sec A \cdot \tan E) \quad (1)$$

$$f \sum (\tan^3 A + \sec^2 A \cdot \tan^2 E \cdot \tan A) - P_x \sum (\tan^4 A + \sec^2 A \cdot \tan^2 E \cdot \tan^2 A) - P_y \sum \sec A \cdot \tan A \cdot \tan^3 E = \sum (x \cdot \tan^2 A + y \cdot \sec A \cdot \tan A \cdot \tan E) \quad (2)$$

$$f \sum \sec A \cdot \tan^3 E - P_x \sum \sec A \cdot \tan^3 E \cdot \tan A - P_y \sum \tan^4 E = \sum y \cdot \tan^2 E \quad (3)$$

式中：

- A —— 高低角，通过轴角编码器测得；
- E —— 方位角，通过轴角编码器测得；
- x, y —— 点像目标像面中心为坐标原点的坐标；
- f —— 主距；
- P_x, P_y —— 主点坐标。

5.3.2.4 径向畸变数据处理

径向畸变采用数字航摄仪配套软件进行计算。

5.3.3 光学分辨率

5.3.3.1 检定设备

光学分辨率检定采用目视法，检定设备主要包括平行光管、鉴别率板、显微镜、灯箱、中性滤光镜。

5.3.3.2 轴上光学分辨率检定步骤

轴上光学分辨率检定步骤如下：

- 将鉴别率板放在校正好的平行光管物镜的焦平面上；
- 将数字航摄仪物镜放在平行光管物镜正前方；
- 使光源照亮鉴别率板，用中性滤光片调节光源亮度；
- 调整镜头或平行光管的位置，使两者的光轴重合；
- 至少有两名专业的测试人员用显微镜测出鉴别率板相互垂直的两个方向线条并刚能分辨的组数，查表得出对应的线条数，求出物镜目视的分辨率，其公式为

$$R_1 = R_n (f'_0 / f') \quad (4)$$

式中：

- R_1 —— 待检数字航摄仪物镜的目视分辨率；
- R_n —— 靶标上刚能分辨的线条数；
- f'_0 —— 平行光管的焦距；

f' ——镜头的焦距。

5.3.3.3 轴外光学分辨率检定步骤

轴外光学分辨率检定步骤如下：

- a) 平行光管绕通过待测数字航摄仪的入瞳中心，垂直光轴的轴线移动，显微镜沿平行光管光轴移动，观察到清晰鉴别率板影像，分别测出不同视场角物镜分辨率；
- b) 在半视场角内至少提供 5 个分辨率测试值，对视场角小于 10° 的数字航摄仪可测试视场中心 0.5 和 0.8 视场的分辨率值。

5.3.4 物镜杂光系数

5.3.4.1 检定设备

检定设备主要由精密光学平台、球形平行光管、高灵敏度光电检定器、积分球和精密稳压稳流电源等部件组成。

5.3.4.2 检定步骤

检定步骤如下：

- a) 将供给积分球灯室直流稳压电源的插座插在交流稳压电源上，并打开电源开关进行预热。
- b) 将数字航摄仪物镜安装在专用调整架上，调整物镜使其位于积分球出射光阑中心位置，探测器安装在三维精密位移台上。
- c) 先把白目标放在球形平行光管的目标孔处，球形平行光管的目标经过航摄仪物镜成像在光电探测器的入射孔上；这时通过光电探测系统测得该像点的与背景照度和杂光照度之和成比例的读数。
- d) 把白目标去掉换上黑目标，并加上吸收腔，再从光电探测器上测得与杂光照度成比例的读数，并按式(5)计算，得到待检航摄仪物镜中心视场的杂光系数。

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_0 + \Delta E} = \frac{m'}{m_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中：

η —— 杂光系数；

ΔE —— 杂光照度；

E_0 —— 背景照度；

m_0 —— 与背景照度 E_0 和杂光照度 ΔE 之和成比例的光电探测器读数；

m' —— 与杂光照度 ΔE 成比例的光电探测器读数。

- e) 调节精密位移台使光电探测系统位于选定好的一系列视场角位置上，按照步骤 b) 和 c) 分别测量不同视场像面上的杂光系数。

5.3.5 物镜透过率

5.3.5.1 检定设备

同 5.3.4.1。

5.3.5.2 检定步骤

检定步骤如下：

- a) 将平行光管的光源接到直流稳压电源上，使平行光管焦面上的星点孔照亮，并发出平行光；
- b) 目标通过平行光管出射的平行光束经过可变光阑进入积分球探测器，从光电探测器上得到空测时的读数 m_0 ；
- c) 保持可变光阑口径与空测时一致，把数字航摄仪物镜放在专用调整架上，调节物镜使其光轴与平行光管的光轴重合，此时，在航摄仪物镜的焦平面上可以看到平行光管的星点目标的像；
- d) 在焦平面成像的后面放置光电探测器，调整光电探测器的前后位置，使光束全部进入积分球探测器，从光电探测器上得到实测时的读数，计算出航摄仪物镜的透过率，其公式为

$$\tau = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- τ —— 物镜透过率;
- m_0 —— 空测时光电探测器读数;
- m_1 —— 实测时光电探测器读数。

5.3.6 物镜像面照度分布

5.3.6.1 检定设备

同 5.3.4.1。

5.3.6.2 检定步骤

检定步骤如下:

- a) 将供给积分球灯室直流稳压电源的插座插在交流稳压电源上,并打开电源开关进行预热;
- b) 将数字航摄仪物镜安装在专用调整架上,调整物镜使其位于积分球出射光阑中心位置,探测器安装在三维精密位移台上;
- c) 调节精密位移台,使光电探测系统分别放置在距离航摄仪物镜光轴对称的位置上;
- d) 调节待检系统,使在水平和垂直方向上输出的光照度读数相等;
- e) 使积分球探测器分别位于视场中央和选定好的一系列视场角位置上,测量不同视场像面上的照度值,并按式(7)计算像面照度分布。

$$\delta_i = \frac{E_i}{E_0} \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

- δ_i —— 测点序号为 i 处的像面照度百分比;
- E_i —— 测点序号为 i 处的像面照度值;
- E_0 —— 像面视场中央位置上的像面照度值。

5.3.7 滤光镜入射光偏折量

5.3.7.1 检定设备

检定设备主要是自准直平行光管。

5.3.7.2 检定步骤

检定步骤如下:

- a) 将滤光镜安置在专用的固定架上;
- b) 用自准直平行光管对准滤光镜某点,调整平行光管能看到滤光镜的反射像,使第一面的像对准重合,读出第二面的偏差,计算其值。

按照上述方法在滤光镜上每隔一定的距离测一个点,点的分布情况反映出整个滤光镜的偏差。

5.3.8 调制传递函数(MTF)

5.3.8.1 检定设备

检定设备包括光源、测试卡、中性滤光片、平行光管和数据采集与处理系统。

5.3.8.2 检定步骤

检定步骤如下:

- a) 将测试卡放在校正好的平行光管物镜的焦平面上;
- b) 将数字航摄仪放在平行光管物镜正前方;
- c) 调节光轴、光瞳、焦面到最佳位置;
- d) 调节测试卡的相对位移,使光电成像器件的输出信号最大;
- e) 读出测试卡透光条带对应的最大输出信号电压和不透光条带对应的最小输出信号电压。

5.3.8.3 数据处理

a) 调制度计算

空间频率 γ 的调制度 $M(\gamma)$ 按式(8)计算。

$$M(\gamma) = \frac{U_w - U_D}{U_w + U_D} \dots\dots\dots(8)$$

式中:

- $M(\gamma)$ —— 对应于空间频率 γ 的调制度;
- γ —— 空间频率;
- U_w —— 透光条带对应的最大输出信号电压;
- U_D —— 不透光条带对应的最小输出信号电压。

b) MTF 计算

MTF 按式(9)计算

$$MTF = \frac{\kappa M(\gamma)}{M_i(\gamma)} \dots\dots\dots(9)$$

式中:

- $M_i(\gamma)$ —— 对应于空间频率(γ)的输入信号调制度,由测试卡和平行光管的输出调制度确定;
- κ —— 方波测试卡的波形修正系数。

5.3.9 光谱响应

5.3.9.1 检定设备

检定设备包括光源、影像传感器测试装置、示波器及辐照度计。

5.3.9.2 检定步骤

检定步骤如下:

- a) 均匀照射光电成像器件,并调整光强度(用改变积分时间或中性滤光片的方法),以获得约 0.8 倍饱和电压幅度,记录积分时间;
- b) 测量并记录所有像元的输出电压平均值;
- c) 遮挡住光电成像器件并关掉光源;
- d) 测量并记录所有像元的暗信号电压的平均值;
- e) 移去待检数字航摄仪,在其位置上放辐照度计,打开光源,测量并记录光强度 H 带宽;
- f) 计算响应度,其公式为

$$R = \frac{V_{AVG} - V_{DS}}{H \cdot T_{int}} \dots\dots\dots(10)$$

式中:

- R —— 响应度;
- V_{AVG} —— 所有像元输出电压的平均值;
- V_{DS} —— 所有像元暗信号输出电压的平均值;
- H —— 光强度带宽;
- T_{int} —— 积分时间。

- g) 在光源上分别装上不同中心波长的窄带滤光片(450~1100 nm,间隔为 50 nm,带宽 20 nm),重复上述各步,即可测出每一波长的 $R(\lambda)$,从而得到响应度随波长变化的曲线,即光电成像器件的光谱响应曲线。

由于光谱响应是对每一个光敏元而言,检定时不可能逐个像元检定。一般方法是在面阵上随机取几个不同位置的像元进行测量;然后,对其结果进行平均,把平均值作为该光电成像器件的光谱响应。

5.3.10 信噪比(SNR)

5.3.10.1 检定设备

同 5.3.8.1。

5.3.10.2 检定步骤

检定步骤如下：

- a) 执行 5.3.8.2 的操作步骤 a)~c)；
- b) 将待检数字航摄仪的光电成像器件光学系统窗口遮挡，测出均方根噪声电压；
- c) 移开遮挡物，按设计规定的入瞳最大输入辐亮度测出最大输出电压；
- d) 计算信噪比，其公式为

$$SNR = 20 \lg(U_m/U_n) \dots\dots\dots(11)$$

式中：

SNR —— 信噪比；

U_m —— 最大输出电压；

U_n —— 均方根噪声电压。

5.3.11 辐射系数

5.3.11.1 检定设备

检定设备包括积分球、平行光管、光谱辐射计和数据采集处理系统。

5.3.11.2 检定步骤

检定步骤如下：

- a) 按照设计连接检定设备；
- b) 用光谱辐射计测出入瞳光谱辐亮度 $L(\lambda)$ ；
- c) 测出每个像元的输出响应；
- d) 改变积分球辐亮度，使其在 5%~95% 或具体规定的亮度范围内变化，重复 c)，求出每个像元的输出响应与入瞳辐亮度的函数关系曲线；
- e) 按式(12)、式(13)分别确定相对辐射系数和绝对辐射系数。

5.3.11.3 数据处理

a) 相对辐射系数

相对辐射系数按公式(12)计算

$$g_{jm}^k = \frac{(X_{bjm}^k - C_{jm}^k)}{E_j^k \cdot \left\{ (1/N) \times \sum_{j=1}^N [(X_{bjm}^k - C_{jm}^k) / E_j^k] \right\}} \dots\dots\dots(12)$$

式中：

g_{jm}^k —— k 谱段第 j 个像元 m 亮度级时的相对辐射系数；

E_j^k —— k 谱段第 j 个像元的辐照度；

X_{bjm}^k —— k 谱段第 j 个像元 m 亮度级时的未纠正的信号输出值；

C_{jm}^k —— k 谱段第 j 个像元 m 亮度级时的暗信号；

N —— 包含的像元个数。

b) 绝对辐射系数

绝对辐射系数按式(13)计算

$$A_k = \frac{X_k}{L_{ek}} \dots\dots\dots(13)$$

式中:

- A_k —— k 谱段绝对辐射系数;
- X_k —— k 谱段纠正后的信号输出值;
- L_{ek} —— k 谱段等效光谱辐亮度。

6 野外标准场检定

6.1 空对地检定

6.1.1 检定场技术要求

6.1.1.1 检定场位置

检定场选址应满足以下条件:

- a) 空域开阔,便于实施航空摄影检定飞行;
- b) 区域上空的大气湍流较小,且区域内无危险的垂直障碍物;
- c) 所在地区晴天日多,光照条件好;
- d) 地形应具有一定起伏,高差不应大于最低相对航高的 $1/4 \sim 1/5$,且地物地貌具有多样性。

6.1.1.2 检定场范围

检定场范围按照中、大测图比例尺设计,且满足每条航线最少曝光 12 次,不少于 2 条航线的要求。

6.1.1.3 地面目标

6.1.1.3.1 控制点

控制点布设应满足以下要求:

- a) 应均匀地、密集地分布于检定场内,且单张像幅最少含有 9 个控制点;
- b) 控制点密集区(1 个像对所包含的面积)的控制点不小于 100 个;
- c) 控制点水平精度达到 1 cm,高程精度达到 2 cm;
- d) 控制点尺寸设计应覆盖 6 个像元以上,且控制点中心颜色应与周围物体有较大的反差。

6.1.1.3.2 影像质量检定目标

影像质量检定目标在选材上应满足以下要求:

- a) 应具备耐高低温、耐候性的特点,适应野外工作环境的要求;
- b) 在可见光和近红外波段具有较好的光谱平坦性、朗伯性和均匀一致性。

6.1.1.3.2.1 西门子星

西门子星由角度为 10° 的黑白扇形拼接而成,可见光和近红外波段内对比度应在 $1/6 \sim 1/11$ 之间。

6.1.1.3.2.2 三线条分辨率目标

三线条分辨率目标分两组铺设,一组平行于飞行方向,一组垂直于飞行方向,每组由若干宽度按 12% 的公比增减的三线条分辨率单元组成。

6.1.1.3.2.3 灰度比例尺

由一系列经过严格标定的已知反射系数的反射目标组成,反射系数应在 $5\% \sim 80\%$ 内均匀分布。

6.1.2 航摄计划与航摄设计

航摄计划与航摄设计参照 GB/T 6962 执行。

6.1.3 飞行质量和摄影质量

飞行质量和摄影质量参照 GB/T 6962 执行。

6.1.4 检定项目及要求

数字航摄仪空对地检定项目及要求见表 3。

表3 数字航摄仪空对地检定项目及要

序号	项目	性能要求	检定周期/年	检定类别		使用中检验
				首次检定	后续检定	
1	摄影测量平面精度	平面精度不低于1/2个地面像元分辨率	2	+	+	+
2	摄影测量高程精度	高程精度应符合平面精度与数字航摄仪基高比的固定数学关系	2	+	+	+
3	动态摄影分辨率	影像中心部分应大于60 lp/mm,有效使用面积边缘部分应大于30 lp/mm	2	+	+	+
4	系统调制传递函数(MTF)	总MTF应大于0.2	2	+	+	+
5	线性度	不低于标称值的2%	2	+	+	-
6	动态范围	不低于标称值的2%	2	+	+	-
7	信噪比(SNR)	最大输出信噪比不小于40 dB	2	+	+	-
8	绝对辐射系数	优于10%	2	+	+	+

注:检定类别中“+”为应检项目,“-”为可不检项目。

6.1.5 检定方法

6.1.5.1 摄影测量精度检定

利用检定场的区域控制点进行摄影测量的区域网平差,检定航摄仪的空中三角测量加密精度;利用检定场密集区的控制点进行全野外方式的单像对摄影测量测图,检定航摄仪的单像对摄影测量测图精度。

6.1.5.2 影像质量检定

通过航空摄影获取影像质量检定目标的数字影像,将其输入图像数据处理软件,得到影像质量的各项检定值。

6.1.5.2.1 动态摄影分辨率

检校飞行时数字航摄仪对实验场的分辨率目标进行成像,统计目标所占的像元数目,同时测量地面目标的实际长度,按照式(14)计算动态摄影分辨率。

$$P = \frac{L}{N} \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中:

P —— 动态摄影分辨率;

L —— 地物实际大小;

N —— 分辨率目标所占像元数。

6.1.5.2.2 调制传递函数(MTF)

检校飞行时数字航摄仪对实验场的线性目标进行成像,通过模拟地物的真实景物,将真实景物与图像进行傅立叶变换,计算在频率域系统的MTF,见公式(15)。

$$I(u, v) = O(u, v) \times \text{MTF}(u, v) \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中:

$I(u, v)$ —— 图像经过傅立叶变换后的形式;

$O(u, v)$ —— 理想真实图像的傅立叶变换形式;

$\text{MTF}(u, v)$ —— 图像的调制传递函数;

u —— 傅立叶变换后 x 方向频率;

v —— 傅立叶变换后 y 方向频率。

6.1.5.2.3 线性度

检校飞行时数字航摄仪对实验场不同反射率的灰度比例尺目标进行成像,得到不同反射率目标的图

像灰度值；同时对灰度比例尺目标进行测量，利用辐射传输模型，得到相机入瞳处的表观辐亮度，计算线性度，见公式(16)， DN 和 L 的相关系数即为数字航摄仪的线性度。

$$L = DN \cdot a + b \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中：

- L ——表观辐亮度；
- DN ——图像灰度值；
- a ——绝对辐射定标系数的增益量；
- b ——绝对辐射定标系数的截距量。

6.1.5.2.4 动态范围

检校飞行时数字航摄仪对实验场不同反射率的灰度比例尺目标进行成像，同时对地面进行测量，利用辐射传输模型，得到研究区的表观辐亮度。当图像未发生饱和时所接收到的最大辐亮度和最小辐亮度对应的范围即为传感器的动态范围。

$$D = [L_{\min}, L_{\max}] \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中：

- D ——动态范围；
- L_{\min} ——数字航摄仪接收到的最小辐亮度；
- L_{\max} ——数字航摄仪接收到的最大辐亮度。

6.1.5.2.5 信噪比(SNR)

检校飞行时数字航摄仪对实验场的大面积均匀区域目标进行成像，以均匀区图像的灰度均值作为信号，均匀区图像的标准差作为方差，按公式(18)计算信噪比。

$$SNR = \frac{M}{S} \quad \dots\dots\dots(18)$$

式中：

- SNR ——信噪比；
- M ——图像均匀区的灰度均值；
- S ——图像均匀区的灰度标准差。

6.1.5.2.6 绝对辐射系数

检校飞行时数字航摄仪对实验场不同反射率的灰度比例尺目标进行成像，同时测量灰度比例尺目标的地表反射率，利用辐射传输模型，得到研究区的表观辐亮度。将灰度比例尺目标的多个表观辐亮度和对应的图像灰度值联合求解，计算得到传感器的绝对辐射定标系数 a 和 b ，见公式(16)。

6.2 地对地检定

6.2.1 检定场技术要求

6.2.1.1 检定场位置

检定场位置应满足以下要求：

- a) 地理位置交通便利；
- b) 地基稳固，地面起伏不大于最低摄影高度 1/5 的建筑用地；
- c) 对检定场拍照时，不会对周围环境产生光污染和噪声污染。

6.2.1.2 检定场范围

检定场范围应满足以下要求：

- a) 数字航摄仪在“无穷远”处能获得满幅检定场图像；
- b) 布置控制点检定场地要有一定的层次；
- c) 数字航摄仪能够在“无穷远”处的不同高度进行左右拍摄。

6.2.1.3 控制点目标

控制点目标布设应满足以下要求：

- a) 控制点应密集地布设在有效的控制区域内,点间距小于 4 m;
- b) 在没有发生地质变化的情况下,3 年内控制点的相对位移应小于 2 mm;
- c) 控制点应设置在石头或水泥块等具有稳定地基的物体上;
- d) 控制点中心强制对用于具有稳定地基的物体中心,对中误差不大于 1 mm;
- e) 对多镜头外视场拼接数字航摄仪,可在对应拼接部位的地面加密布设控制点;
- f) 控制点形状最少覆盖 6 个像元大小,且具有较高对比度;
- g) 控制点的三维坐标测量精度优于 2 mm;
- h) 控制点布设埋石后需要稳定 10 天以上。

6.2.1.4 空中滑道设计

空中滑道应满足以下要求:

- a) 滑道设计高度(工作面高度)应大于等于 50 m;
- b) 塔身良好接地,避雷击;
- c) 抗风性能达 11 级;
- d) 水平性控制在 $\pm 3^\circ$ 内。

6.2.1.5 吊舱设计

吊舱分为 3 部分:吊舱控制平台部分、舱壁部分及无线通信部分。

6.2.1.5.1 吊舱控制平台技术要求

平台应满足以下技术要求:

- a) 能实现航偏角、俯仰角、横滚角的模拟,俯仰角、横滚角的旋转角度范围为 $\pm 10^\circ$,航偏角的旋转角度范围为 360° ,最小旋转步距角为 0.1° ;
- b) GPS 天线安装平台位置与仪器设备相对位置是固定的刚性连接;
- c) 具有姿态保持能力;
- d) 具有姿态角度的输出功能;
- e) 控制平台的最大载荷不小于 200 kg。

6.2.1.5.2 舱壁技术要求

舱壁应满足以下技术要求:

- a) 能实现与小车的自动连接与断开;
- b) 能实现与底面的控制平台手动脱离与连接。

6.2.1.5.3 无线通信技术要求

无线通讯技术应满足以下技术要求:

- a) 工作频段不影响 GPS 及其他设备工作;
- b) 传输距离不小于 400 m;
- c) 有配套的操作软件或电子手簿。

6.2.2 检定项目及要

数字航摄仪地对地检定项目及要

表 4 数字航摄仪地对地检定项目及要

序号	项目	性能要求	检定周期/年	检定类别		使用中 检验
				首次 检定	后续 检定	
1	对称主点	优于 $3 \mu\text{m}$	2	+	+	+
2	检定主距	优于 $3 \mu\text{m}$	2	+	+	+
3	径向畸变	改正后残差应小于 $1/3$ 像元	2	+	+	+

注:检定类别中“+”为应检项目,“-”为可不检项目。

6.2.3 检定方法

采用摄影测量的空间后方交会原理,以共线方程为基础,以像点坐标作为观测值,求解数字航摄仪内方位元素、畸变系数以及其他附加参数。

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= -x_0 - \frac{\bar{x}}{c} \Delta c + \bar{x}r^2 K_1 + \bar{x}r^4 K_2 + \bar{x}r^6 K_3 + (r^2 + 2\bar{x}^2)P_1 + 2\bar{x}yP_2 + \bar{x}B_1 + \bar{y}B_2 \\ \Delta y &= -y_0 - \frac{\bar{y}}{c} \Delta c + \bar{y}r^2 K_1 + \bar{y}r^4 K_2 + \bar{y}r^6 K_3 + (r^2 + 2\bar{y}^2)P_2 + 2\bar{x}yP_1 + \bar{y}B_1 + \bar{x}B_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(19)$$

式中:

- 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;
- $\Delta x, \Delta y$ —— 像点坐标的构像畸变改正值;
- \bar{x}, \bar{y} —— 数码影像的量测坐标;
- x_0, y_0 —— 相机主点坐标;
- r —— 像点的径向半径。

7 检定结果的处理

7.1 检定合格标准

数字航摄仪检定结果满足以下任一条,均视为检定合格。

- a) 满足实验室检定各检定项目的性能要求;
- b) 满足野外标准场检定各检定项目的性能要求。

7.2 检定结果处理

经检定符合本规程要求的数字航摄仪,出具检定证书;经检定不合格的数字航摄仪,出具检定结果通知书,并注明其不合格项。

责任编辑 杨蓬莲

CH/T 8021—2010

中华人民共和国测绘行业标准

数字航摄仪检定规程

CH/T 8021—2010

*

国家测绘局 发布

测绘出版社 出版发行

地址:北京市西城区复外三里河路50号 邮编:100045
电话:(010)68531160 68531609 网址:www.sinomaps.com

北京建筑工业印刷厂印刷

新华书店经销

成品尺寸:210 mm×297 mm 印张:1.25 字数:33千字

2010年9月第1版 2010年9月第1次印刷

印数:0001—2000册

ISBN 978-7-5030-2128-2



如有印装质量问题,请与我社发行部联系

定价:15.00元