

· 光电探测 ·

基于三线靶标的航空相机地面分辨率质量评价

王 跃, 刘海英, 陈晓宇, 朱海滨, 杨 旭, 姜彦名, 等

(吉林东光集团有限公司, 长春)

摘 要: 检测航空相机对地面图像质量是对其性能检测的一项重要指标。航空相机是否达到设计指标要求要通过实际航拍验证, 但是航空相机航拍检测的地面目标不是实际的地面目标而是人为设定的一种目标。目前这种目标在国内还没有相应的技术标准和质量评价体系, 三线靶标成像的分辨率检测是目前国内广泛使用的航空相机对地面图像质量评价比较直观、易读和定量的判别方法。简述了地面分辨率的不同表达方式及三线靶标的构成, 分析了三线靶标地面分辨率与航高、焦距的关系。根据三线靶标分辨率判别方法特点, 结合实际应用, 实际设计了一个三线靶标用于航拍试验, 航拍结果满足设计的航空相机地面分辨率航拍技术指标性能要求。

关键词: 航空相机; 地面分辨率; 三线靶标; 航拍; 对比度

中图分类号: V245.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2024)-05-0034-05

Quality Evaluation of Ground Resolution of Aerial Camera Based on Three Line Target

WANG Yue, LIU Haiying, CHEN Xiaoyu, ZHU Haibin, YANG Xu, JIANG Yanming, et al

(Jilin Dongguang Group Co., Ltd., Changchun, China)

Abstract: Detecting the ground image quality of aerial cameras is an important characteristic for their performance testing. Whether the aerial camera ultimately meets the design requirements needs to be verified through actual aerial photography, the ground target detected by aerial photography is not an actual ground target, but a manually setting target. At present, there is no corresponding technical standard and quality evaluation system for this type of target in China. Resolution detection of three line target imaging is a commonly used, intuitive, easy to read and quantitative discrimination method for evaluating ground image quality using aerial cameras in China. The different expressions of ground resolution and the composition of three line targets are briefly described. The relationship between ground resolution of three line targets and altitude, focal length are analyzed. According to the characteristics of three line target resolution discrimination methods, and incorporated with practical applications, a three line target for aerial photography experiments is designed. And the aerial photography results meet the performance requirements of the designed aerial camera ground resolution aerial photography technical characteristics.

Key words: aerial camera; ground resolution; third line target; aerial photography; contrast

航空照相机是安装在航空器上用于对地面、空中目标进行摄影测量、侦察、射击训练以及确定战果等的一种光、机、电综合运用的高精密照相机^[1-3]。设计完成后要进行动态模拟试验、电磁兼容试验和环境试验^[4-7]等大量的实验室检测, 是否达到设计要求, 需要通过实际航拍验证。航空相机在空中执行任务即对目标进行摄影测量主要目的之一就是发

现、识别和辨认目标^[8-9]。

航空相机在各个领域如公共安全、环境检测、地形测绘、城市规划、土地和森林资源调查和路桥建设等方面广泛使用, 对相机性能的要求越来越高。检验航空相机性能的一项重要指标就是地面图像质量^[10-11]。但实际的地物各种各样, 千差万别, 无法一一评价, 所以必须有一个统一的对特定地物

的评价方法,即不考虑地物的类别人为定义的一种尺度。通过实际航拍地面所能分辨的一定尺度的目标来验证航空相机所能达到的地面分辨率。然而目前国内关于航拍的地面目标还没有相应的技术标准和评价体系,但是对于评价航空相机成像质量的要求而言,地面分辨率的航拍结果的质量评价又是非常重要的。

1 三线地面分辨率靶标构成

通过实际航拍检测地面分辨率的地面目标,目前国内通用的是美国空军标准使用的三线分辨率靶标^[12]。靶标图案由三个相同尺寸的平行条纹为一组,每群组中6个元素为一组,即由相互垂直的两个图案组成,如图1所示。

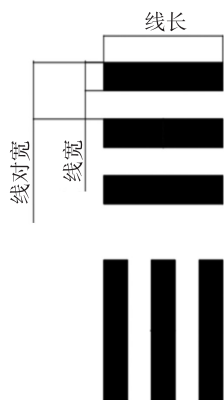


图1 三线靶标的构成

线长度为 $2.5/X$ mm,宽度为 $0.5/X$ mm,平行线间的间隔与线宽相等, X 为每毫米的线对宽。分辨率板尺寸根据使用情况增减,公因子等于 $2^{1/2}, 2^{3/2}, 2^{4/2}, 2^{8/2}$ 。

靶标图案的反差分为三种:高反差分辨率板是一种高对比的分辨率板(100:1),明暗区的密度差大于2.00;中反差分辨率板是一种中对比的分辨率板(6.3:1),明暗区的密度差等于 0.80 ± 0.05 ;低反差分辨率板是一种低对比的分辨率板(1.6:1),明暗区的密度差等于 0.20 ± 0.05 。

2 地面分辨率的不同表达方式

2.1 地面分辨率

对航空相机来说,地面分辨是一个重要指标率,用符号“ R ”表示^[13]。航空相机在空中对地面上的靶标进行垂直拍照,靶标被成像在焦面(CCD或

COMS)上,在拍照的图像中可以通过观察水平线和垂直线的清晰度来判别出地面能分辨的最小靶标。这个最小靶标的尺寸大小就是地面分辨率,它表示能分辨地面景物大小的能力,是图像上两个物体能清楚分开的最小距离。如果两个物体之间的距离小于分辨极限,在图像上就被显示成一个物体了。地面分辨率不同,识别信息的能力也不同。

2.2 地面分辨率的不同表达方式

使用方对地面分辨率的要求一般有两种提法:一种是在比例尺1:10 000时的地面分辨率,例如,焦距600 mm,要求比例尺1:10 000时的地面分辨率为0.2 m,就是要求在飞行高度6 000 m时的地面分辨率。见式(1)

$$\text{比例尺} = \frac{1}{H / (f \times 10^{-3})} \quad (1)$$

另一种是在某飞行高度 H 下,能分辨多少米。例如上面的例子也可以说成焦距600 mm,要求6 000 m高度下的地面分辨率是0.2 m。两种提法表达的意思一样。

对分辨率要求的飞行验证考核一般也是采用上面提出的两种飞行高度去验证,即在比例尺1:10 000条件下确定的飞行高度验证,或是按技术指标要求的高度下去验证。

3 三线分辨率靶标地面分辨率判别方法

3.1 地面分辨率判别方法

航空照相地面分辨率大小可通过观察水平线和垂直线的清晰度来判别。可分辨的地面目标尺寸(水平线和垂直线尺寸)越小,图像中的物体越清晰,即表示地面分辨率越高。可用式(1)计算照相地面分辨率^[13]。见式(2)

$$R_g = \frac{R_s \times f}{H} \quad (2)$$

式中, R_g 为地面分辨率(lp/m); R_s 为相机飞行摄影分辨率(lp/mm); H 为飞行高度(m); f 为相机焦距(mm)。

通过观察到的最小靶标的尺寸,再根据飞行高度和镜头焦距,即可计算出相机飞行摄影分辨率。该方法提供了一种评价航空相机实际飞行照相质量的方法及质量控制过程。

3.2 航高与地面分辨率的关系

航高与地面分辨率、摄影分辨率以及焦距的关系如图2所示。

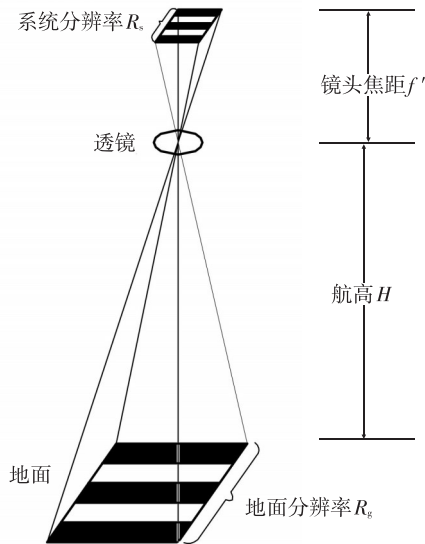


图2 地面分辨率与系统分辨率

由图2可见,在航摄镜头焦距和传感器(即 CCD 或 COMS)一定情况下,航高与所摄影像的地面分辨率成反比关系,即飞行高度越高地面分辨率越低。

对像元尺寸 $5.5 \mu\text{m}$ 的 CCD,以焦距 200 mm,航高 3 000 m,6 000 m 分别计算,可得到不同航高下的地面像元分辨率,见表1。

表1 焦距一定,不同航高对应的地面像元分辨率

地面像元	分辨率/m	200 mm
航高	3 000	0.082 5(12.12 lp/m)
	6 000	0.165(6.06 lp/m)

3.3 焦距与地面分辨率的关系

由图2可见,当航高一定时,焦距与地面分辨率成正比关系:即焦距越长地面分辨率越高,反之焦距越短地面分辨率越低。

对像元尺寸 $5.5 \mu\text{m}$ 的 CCD,航高 6 000 m,焦距 200 mm 镜头拍摄的地面像元分辨率 0.165 m,100 mm 镜头拍摄的地面像元分辨率 0.33 m,即用 200 mm 镜头拍摄的地面像元分辨率比用 100 mm 镜头所拍摄的地面像元分辨率提高了一倍。计算数据见表2。

表2 航高一定,不同焦距镜头对应的地面像元分辨率

地面像元	分辨率/m	6 000 m
焦距	100	0.33(3.03 lp/m)
	200	0.165(6.06 lp/m)

由此得出结论,在照相高度一定时,要想得到较高的地面分辨率在体积质量允许情况下,首先要相机有较长的焦距。

4 三线分辨率靶标判别法的优缺点

4.1 三线分辨率靶标判别法的优点

由于三条线和两条线的差异比五条线和四条线的差异更容易被人注意到,因此三条线为一组,这些测试靶标识别乱真分辨率的能力更强,测试靶标上如果仅三条线为一组,就能更容易识别乱真分辨率。此方法因为比较直观、有具体量化数据,处理数据方法简单易行。因此在评价航空相机实际飞行照相质量时被广泛使用。由于它包含了影响传感器性能的各种因素:光学系统成像质量、高低温性能、像移补偿、稳定平台、景物对比度、曝光控制、几何形状等,有具体可用于分析的数据,成像质量一目了然。

还有一个很重要的优点是可以预测系统的分辨率。画出实际光学系统的 MTF 曲线和胶片(或探测器)的阈值调制(TM)曲线,两曲线的交叉点即为系统分辨率,如图3所示^[4]。

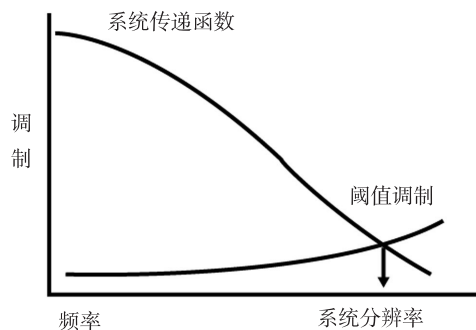


图3 MTF和TMM交叉点确定系统分辨率

由图3可知,更高的系统分辨率取决于光学系统设计、传感器的设计和性能,要想获得更高的系统分辨率就需要有更优的光学系统设计和更先进的传感器技术。

4.2 三线分辨率靶标判别法的缺点

虽然分辨率靶标具有上述优点,但是也存在一些缺点。首先靶标对比度会随着使用频次增加及风吹日晒有所下降,所以存放时应注意放置在阴凉干燥处,同时应平铺切勿重压。其次制作、维护地面靶标时需要很大的场地,使用地面靶标时需要很大的劳动强度,需要多人协同。最后航空相机在摄影曝光的瞬间物镜主光轴应保持与地面垂直。见图4。

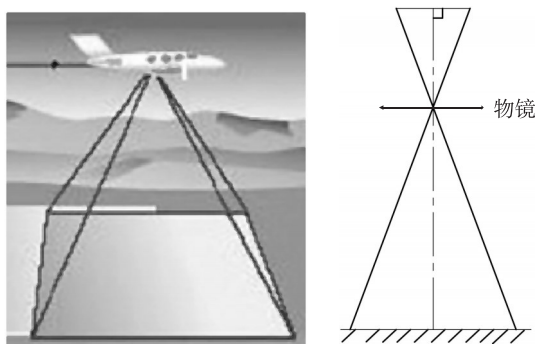


图4 摄影时物镜主光轴与地面应保持垂直

但是由于受多种因素影响使得拍照时物镜主光轴与地面靶标不能很好的保持垂直,使得拍照困难。即使具有上述缺点,由于这种方法长期以来作为评价航空相机光学系统航拍地面目标的一种标志,且能给出具体数量的大小,是目前对航空相机照相地面分辨率质量检测的最有效的方法。

5 三线地面分辨率靶标设计与检测

5.1 三线地面分辨率靶标设计

根据使用方提出的具体使用要求:目标照度范围、使用高度范围、使用速度范围、速高比范围、大气能见度、地面分辨率要求及靶标对比度等技术指标要求,设计了一种三线地面分辨率检测靶标。首先确定分辨率靶标的中心分辨率线宽,线对宽,线长。因为使用中有一些不确定性因素,如遇地形或环境条件限制,航空相机飞行高度不满足指标要求时,就要用到不同组别的靶标,所以应当在中心分辨率的基础上向两端延伸,这样可以使所设计的靶标适用范围更广。实际设计使用的地面分辨率靶标如图5所示。

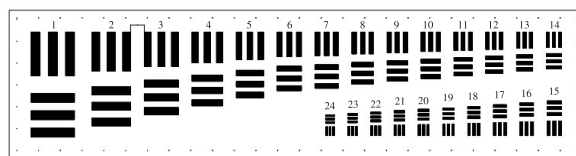


图5 靶标设计图

5.2 三线地面分辨率靶标制作与检测

在基板上采用打印或喷绘技术制作分辨率测试靶标图案。材基应选用抗风吹日晒不易褪色不易褶皱便于搬运的材料。靶标上黑白条纹的对比度对分辨率有着直接影响,分辨率会随着目标对比度的变化而变化。不同的对比度(即反差)对图像的分辨率影响很大。实际地物都是低对比度的,具体靶标对比度选取多少,应根据用户使用要求而定,如图6^[10]所示。



图6 对比度不同的图像及其相应的亮度轮廓

图像对比度的定义是图像中最亮部分和最暗部分亮度之比。定义为下式

$$c = \frac{B_{\max}}{B_{\min}} \quad (3)$$

由图6可见,对比度是决定分辨率极其重要的因素。不同的对比度对分辨率的影响非常大,所以在制作靶标时,对靶标的对比度要严格控制在设计要求范围之内。

实验室的动态分辨率检测都是高对比图案,实际地物都是低对比,所以实际试飞也都是低对比靶标,一般16:1或8:1。因此实验室做的动态分辨率检测一定要高些,否则试飞时可能达不到要求。

具体检测依据的标准、使用的光源、仪器型号、波段及反射率检测数据如表3所示,通过实际检测数据可以计算出可见光波段内靶标的对比度,满足设计要求。

6 外景地面分辨率航拍效果

选择合适的平整空旷地带,将分辨率靶标平铺。

表3 反射率检测数据(检测环境条件:温度 22 ℃,湿度 50%)

样品编号	检测项目	检测结果	检测依据	检测仪器及使用条件
YP-05-022	400~750 nm 波段, D_{65} 光源照明下色布的反射率	1、全棉白色布的反射率 $R=74.68$ 2、复合新丰呢 28 色布的反射率 $R=4.67$	GB/T3979-1997	Lamhda9 紫外可见近红外分光光度计; 1980A 彩色亮度计; 标准灯和标准白板。

并利用靶标边缘的固定孔或重压块将分辨率板固定好。对所设计的实验室检测合格的航空相机进行航拍试验,图7为外景航拍试验靶标图(地面靶标对比度 16:1),测试条件为:飞机飞行高度为 3 044 m,飞行速度为 387 km/h。进行 10 个循环的拍摄,拍摄结果满足技术指标要求^[15]。

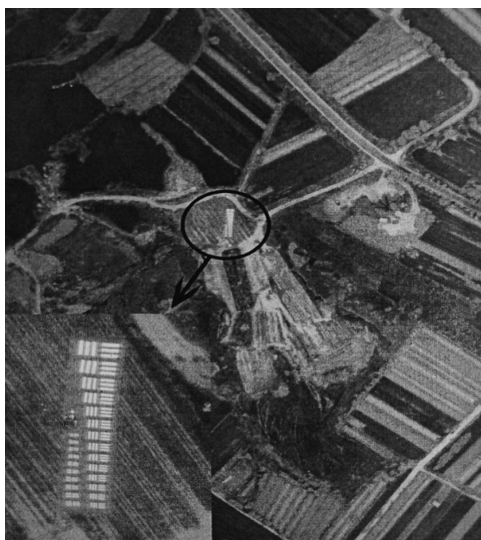


图7 外景航拍试验靶标测试图

7 结论

随着航空相机在各个领域的广泛应用,航空相机的研制已成为许多国家的重要课题,因此检测航空相机成像质量也是一个重要的课题。

目前使用的三线地面分辨率靶标评价航空相机的成像质量比较合理直观、易读并且有具体的量化数据,因此是一种直观、有效的对航空相机地面分辨率的质量评价方法。

根据不同航空相机的技术指标和质量要求,按此标准设计了几种不同规格的三线地面分辨率靶标,用于对航空相机的地面分辨率的质量评价都取得较好效果。

对比度数值大小对检测结果有很大的影响,因

此在三线靶标设计、制作、检测过程中要按照使用方对于对比度的要求严格控制,以保证技术指标的要求。

参考文献

- [1] 段洁,段雨晗,孙向阳,等.全景航空相机性能检测系统设计[J].红外与激光工程,2014,43(12):3977-3982.
- [2] 彭建伟,陈卫宁,张高鹏,等.低照度宽幅航空相机系统设计[J].红外与激光工程,2021,50(12):321-329.
- [3] 王志坚,王鹏,刘智影.光学工程原理[M].北京:国防工业出版社出版,2010,3:17-19.
- [4] 杨润书,马燕燕,殷海舟.低空无人机航摄系统地面分辨率与航高的关系研究[J].地矿测绘,2013,29(3):1-2.
- [5] 羽佳.航天相机图像地面分辨率的讨论[J].中国空间科学技术,1999,12(6):68-69.
- [6] 刘海英,王鹏,朱海滨.航空相机用室内动态分辨率检测系统[J].应用光学,2018,39(增刊):148-151.
- [7] 李林,王焯.环境温度对光学系统影响的研究及无热系统设计的现状与发展[J].光学技术,1997(5):26-29.
- [8] 程晓薇,车英,薛常喜.CCD数字航空相机高分辨力成像关键技术与发展[J].电光与控制,2009,16(4):130-135.
- [9] 刘海英,王跃,王英,等.大视场航空相机光学系统设计[J].应用光学,2019,40(6):980-986.
- [10] 萨宾 F F.遥感原理及解译[M].北京:地质出版社,1981:20-21.
- [11] 孙家柄.遥感原理与应用[M].武汉:武汉大学出版社,2005:10-15.
- [12] 孙振洲.美军侦查手册[M].周桂琴,译.北京:中国人民解放军空军司令部情报部,1984:21-23.
- [13] 王光,编译.KS-146长焦距航空照相机[M].北京:中国人民解放军空军司令部情报部,1989:6-8.
- [14] 蒋宁.一种航空相机地面分辨率判别方法[J].装备制造技术,2015,9:131-132.
- [15] 谢尔巴科夫 Я Е.航空照相机的设计与计算[M].孙振洲,周桂琴,译.长春:吉林省科技翻译协会,1985:1-2.

文中作者还有:王英