

文章编号: 1007-2780(2012)06-0847-05

杂光对三线阵相机光学系统成像的影响

田铁印, 王 红, 吴国栋

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 光学系统先进制造技术中国科学院重点实验室,
吉林 长春 130033, E-mail: tiantieyin@ciomp.ac.cn)

摘 要: 针对高成像质量三线阵测绘相机杂光导致相机成像质量下降的问题, 文章根据光学系统的设计结果, 对相机的杂光系数进行分析与计算, 提出合理的杂光抑制措施; 利用 ZEMAX 软件和 LightTools 软件, 分析了杂光对三线阵立体测绘相机成像的影响, 通过模拟计算得到杂光系数小于 5% 的理论结果; 实验检测了相机实际杂光系数, 得到最大杂光系数小于 6% 的实测结果, 模拟了杂光影响下的光学系统图像, 证明了杂光抑制措施的有效性和杂光影响下成像分析的合理性。

关 键 词: 三线阵; 测绘相机; 模拟成像; 杂光分析

中图分类号: TN919.8 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20122706.0847

Impact of Stray Light on Image of Three Line Array Camera

TIAN Tie-yin, WANG Hong, WU Guo-dong

(Key Laboratory of Optical System Advanced Manufacturing Technology, Changchun Institute of Optics,
Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China, E-mail: tiantieyin@ciomp.ac.cn)

Abstract: The optical system, with high image quality and low distortion can ensure the high mapping precision. The quality of the optical system can be reduced by the effect of stray light. The effect of the stray light is analyzed according as the result of the optical design and the restraining method is putted forward to reduce stray light. The image of three line array mapping camera with stray light is analyzed by using the software LightTools and ZEMAX, the theoretical result of stray light coefficients is less than 5%. The stray light coefficients of each system are tested, and the largest stray light coefficient is less than 6%. The simulated image of optical system with tested result shows the correction of image analyzing with stray light and the feasibility of the stray light restraining methods.

Key words: three-line CCD; mapping camera; simulated image; stray light analysis

1 引 言

三线阵立体测绘相机可以实现对地目标的立体测绘, 并且具有体积小、重量轻和功耗小等优点, 成为了空间对地测绘测量应用的主要遥感器。

空间遥感器的任务是在视场外有极强光源(如太阳)条件下探测极微弱的信号, 杂光成为影响三线阵立体测绘 CCD 相机成像质量的重要因素, 所以分析光学系统的杂光, 采取有效的杂光抑制措施是保证三线阵立体测绘相机成像质量的重要环

收稿日期: 2012-08-06; 修订日期: 2012-09-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 60507003)

作者简介: 田铁印(1967—), 男, 吉林长春人, 研究员, 主要从事光学传感器与大型光电经纬仪的研制工作, 研究方向为光学总体及光学设计。

节。杂光是指光学系统成像光线之外,扩散于像面上的其他非成像光线。包括来自系统外部的辐射源(如阳光、地气光)和内部辐射源(如光学元件、结构件等)及散射表面的非成像光^[1]。其危害是:

- ①降低像面的对比度和调制传递函数;
- ②减少整个像面的层次,清晰度变差;
- ③严重时会在像面处形成杂光斑点。

可见杂光是影响相机灵敏度的重要因素。太阳光直接或经过一次或多次反射进入遥感器光学系统入口(遮光罩),有必要对其产生的杂光能量水平及其光学系统的杂光系数进行分析和计算,采取防相应的防杂光措施,以保证相机达到预定的灵敏度。本文首先根据测绘相机的光学设计结果,分析与计算了测绘相机光学系统的杂光系数,然后利用 LightTools 软件和 ZEMAX 软件对杂光影响下的光学系统成像进行模拟分析,最终通过光学实验和检测验证了分析方法的准确性和可行性。

2 相机光学设计

三线阵 CCD 相机由具有一定交会角的前视、正视和后视 3 个线阵 CCD 构成,3 台相机连续扫描地面并产生 3 幅相互交迭的图像,3 个 CCD 的成像角度不同,实现立体测绘成像。垂直对地成像的相机称为正视相机,向前倾斜成像的相机为前视相机,而向后倾斜成像的相机称为后视相机^[2]。

光学设计采用三片对称型与匹兹瓦型结合的结构形式,这种结构不仅具备匹兹瓦型相对口径大和对称型畸变小的优点,还能够设计为像方远心光路,大大提高了测绘精度。正视相机与前、后视相机光学系统结构如图 1、图 2 所示。

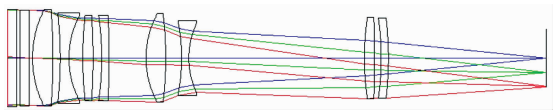


Fig. 1 Configuration diagram of optical system for straight-sight camera

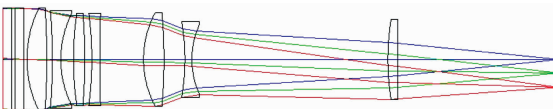


Fig. 2 Configuration diagram of optical system for forward-sight and backward-sight camera

3 光学系统杂光计算

光学系统成像时,能够到达像面的非成像光线就是杂光,这些光线不参与直接成像,会在像面形成鬼像,严重影响成像质量。

3.1 杂光模拟分析

杂光形成的主要因素有:由光学元件的反射与散射造成的杂光;机械镜筒的反射与散射造成的杂光;以及相机内部各受光面的反射、散射等造成的杂光^[3-4]。

根据三线阵立体测绘相机光学系统设计结果,利用 LightTools 分析软件,建立光学系统的二维结构模型。在模型建立时,考虑镜筒内表面的反射。

图 3 模拟了正视相机中,除一次杂光外,来自于视场外的光束经镜筒壁的反射,形成二次或多次杂光最终到达探测器。所以,对光学系统采取合适的杂光抑制措施是必要的。

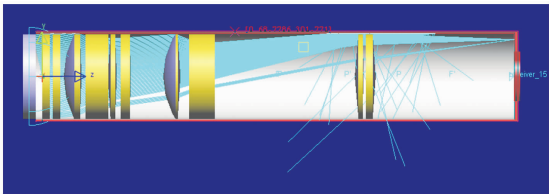


Fig. 3 Stray light influence simulation diagram of optical system for straight-sight camera

3.2 抑制杂光的措施

为了减少杂光,将其控制在允许的范围内,采取的抑制措施有^[5]:

- ① 透镜表面镀高透过率的减反膜;
- ② 设计外遮光罩,挡住视场之外的光线,使其不能直接进入光学系统,从而大大减少光学系统的杂光,同时在遮光罩内表面加工遮光环,进行染黑处理,涂消光漆,减小由于遮光罩内表面反射进入光学系统的杂光;
- ③ 在镜筒内设置遮光环,进行染黑处理,并涂消光漆,处理之后,镜筒内壁的反射率大大降低,减少了镜筒内壁反射引入的杂光;
- ④ 内壁涂层吸收。

3.3 杂光系数的计算

杂光在像面处是近于均匀分布的,相机中杂光的存在不仅减少了参与成像光的能量,更主要

的是使整个像面产生一个近似均匀的附加照度,降低光学系统的成像质量。杂光系数是反映光学系统成像质量的重要指标。

实际成像光学系统中,成像光线在像面上的有效扩散范围是有限的。由一均匀的大面光源在像面上造成的杂光光强分布,像面上的杂光照度为 E_G ,大面积均匀光源在像面上所成的总照度为 $E_0 + E_G$,那么杂光系数 η 的定义式为

$$\eta = \frac{E_G}{E_G + E_0}$$

(1)

4 杂光对光学系统成像的影响

杂光与光学系统的实际成像光线一起落在系统的感光器件上共同参与成像,降低了光学系统的成像质量。针对空间相机光学系统,衡量光学系统成像质量的主要指标就是光学系统的传递函数(MTF),杂光对系统传递函数的影响可以由如下公式表达:

$$F_{\text{杂光}} = \frac{1 - \eta}{1 + \eta} \cdot F_{\text{光学}}$$

(2)

式中, $F_{\text{杂光}}$ 为有杂光影响的光学系统传递函数, η 为系统杂光系数, $F_{\text{光学}}$ 为光学系统传递函数。

根据杂光对光学系统传递函数的影响,模拟

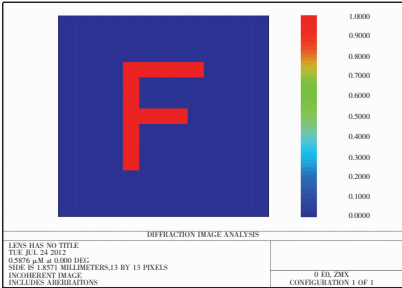


图 4 5%杂光时光学系统的图像

Fig. 4 Image of optical system with 5% straight-sight

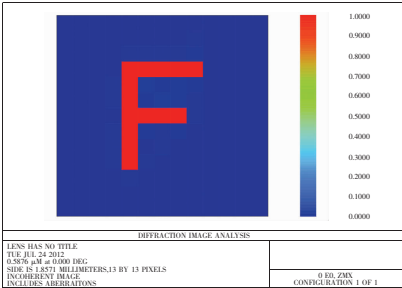


图 5 10%杂光时光学系统的图像。

Fig. 5 Image of optical system with 10% straight-sight

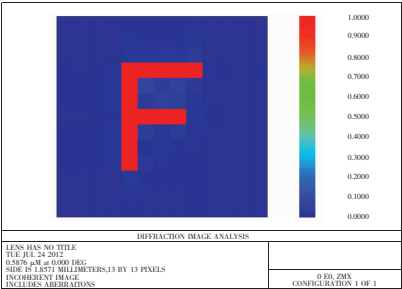


图 6 20%杂光时光学系统的图像

Fig. 6 Image of optical system with 20% straight-sight

光学系统存在 5%、10%、20% 杂光时的成像图像,分别如图 4、图 5、图 6 所示^[6-7]。

由图像分析可知,只有当杂光系数小于 5% 时对成像的影响较小,可以满足成像要求;当杂光系数大于 20% 时,图像劣化明显,严重影响系统的正常成像。因此需要采用消杂措施,将系统的杂光系数控制在 5% 以内。

5 光学系统消杂光设计

利用 LightTools 分析软件进行设计,得到相机消除杂光的计算结果如表 1 所示。图 7 为正视相机抑制杂光模拟图,图 8 为前、后视相机抑制杂光模拟图。

表 1 相机消除杂光的计算结果

Table 1 Stray light elimination results of each camera

	遮光罩			镜筒间	消杂光漆	
	长度/ mm	内径/ mm	遮光 环数	遮光环 总数	材料	吸收系数
正视 相机	110	148	8	22	ERB-2B	93%
前、后 视相机	135	164	8	22		

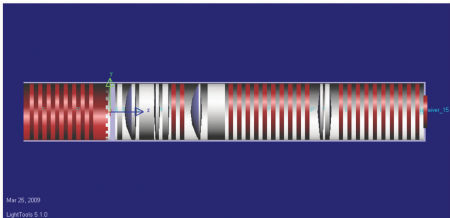


图 7 正视相机光学系统杂光抑制模拟图

Fig. 7 Stray light restrain simulation diagram of optical system for straight-sight camera

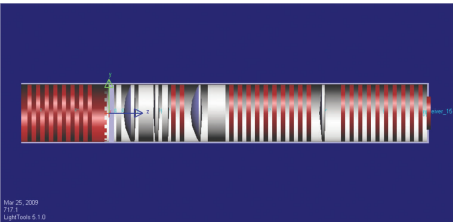


图 8 前、后视相机光学系统杂光抑制模拟图.

Fig. 8 Stray light restrain simulation diagram of optical system for forward-sight and backward-sight camera

单面减反膜透过率为 99.3%，透镜边缘吸收率为 99%，涂消光漆后镜筒内表面的吸收率为 93%，利用 LightTools 软件，计算得到正视相机和前、后视相机光学系统的杂光系数均小于 5，正视相机杂光成像图像的能量分布如图 9 所示，前、后视相机杂光成像图像的能量分布如图 10 所示。

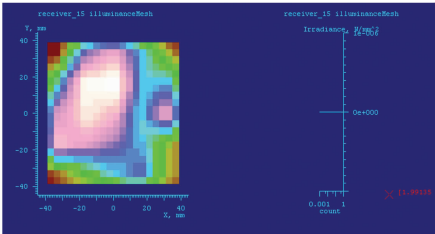


图 9 正视相机光学系统杂光在图像上的能量分布

Fig. 9 Stray light energy distributing at image of optical system for straight-sight camera

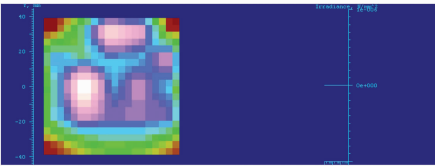


图 10 前、后视相机光学系统杂光在图像上的能量分布.

Fig. 10 Stray light energy distributing at image of optical system for forward-sight and backward-sight camera

5 实测结果

利用面源法测量杂光系数，其测量装置主要由黑体目标、光度积分球、准直物镜、光电接收器等组成^[8-9]，如图 11 所示。

对正视和前、后视相机分别进行杂光测试，测试结果如表 2 所示。

正视和后视相机的杂光测试结果略大于 5%，分析原因在于：

① 镜筒内壁的消杂光漆的吸收系数没有达到要求；

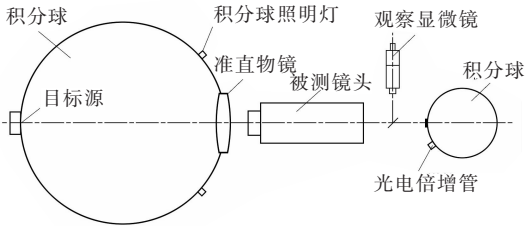


图 11 杂光系数测试装置

Fig. 11 Stray light coefficient testing equipment

表 2 各相机杂光系数实测结果

Table 2 Stray light coefficient tested results of each camera

杂光系数/%	
正视相机	6.0
前视相机	4.1
后视相机	5.2

② 装调、修研时对镜筒漆面造成划痕，使得高次杂光没有得到有效抑制；

③ 测量仪器自身具有一定的测量误差。

根据实测杂光系数，模拟正视与前、后视光学系统成像图像如图 12、图 13、图 14 所示。

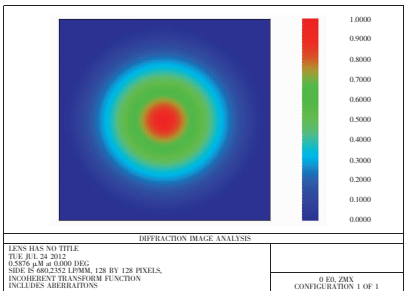


图 12 正视相机实测杂光系数模拟图像

Fig. 12 Simulating image of straight-sight camera with tested stray light coefficient

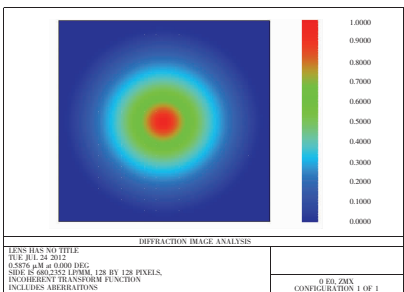


图 13 前视相机实测杂光系数模拟图像

Fig. 13 Simulating image of forward-sight camera with tested stray light coefficient

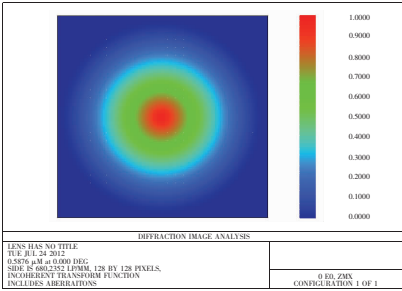


图 14 后视相机实测杂光系数模拟图像
Fig. 14 Simulating image of backward-sight camera with tested stray light coefficient

由图像可知,光学系统成像能量比较集中,成

像质量良好,可以满足技术指标要求。

6 结 论

根据三线阵立体测绘 CCD 相机的光学设计结果,利用 LightTools 软件对正视相机和前、后视相机光学系统的镜筒反射与透镜表面反射等产生的杂光影响进行了分析,计算得到相应的杂光系数,并利用 ZEMAX 软件模拟杂光影响下的光学系统成像。通过杂光检测实验,得到正视、前视和后视相机杂光系数均小于 6% 的实验结果,分析实际检测结果下的光学系统图像,证明了杂光抑制措施的有效性和杂光影响下成像分析的合理性。

参 考 文 献:

[1] 唐勇,卢欣,郝云彩. 星敏感器杂光抑制分析 [J]. 控制工程,2003,5:26-31

[2] 田铁印,王红,谷凤安. 三线阵立体测绘相机光学系统设计 [J]. 光学精密工程,2009,17(11):2692-2697

[3] 马冬梅,张晓辉,韩昌元. 大口径、长焦距光学系统杂光系数、渐晕系数、像面照度均匀性等参数的测试 [J]. 应用光学,1998,19(5):44-47.

[4] 高万荣,薛鸣球,苗兴华,等. 长焦距光学系统杂光系数测量的新方法及其理论分析 [J]. 光学学报,1996,16(11):1626-1630.

[5] 郭帮辉,孙强,王志. 300~1100nm 多波段成像光学系统设计与杂光分析 [J]. 中国光学与应用光学,2010,3(5):474-479.

[6] 彭华峰,陈鲸,张彬. 天基光电望远镜空间多目标成像模拟技术研究 [J]. 光学技术,2007,33(2):219-222.

[7] 顾有林. 利用 QuickBird 数据进行热红外遥感成像模拟的研究 [J]. 光学技术,2008,34(6):877-885.

[8] 曹智睿,荀显超,袁理. 测试条件对杂光系数测试结果的影响 [J]. 中国光学与应用光学,2010,3(4):369-373

[9] 杨志文. 光学测量 [M]. 北京:北京理工大学出版社,1995:248-253