

文章编号:1007-1180(2010)11-0110-05

三线阵立体测绘卫星 LMCCD 相机的实现

王 智, 乔 克, 张立平

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 为了降低对卫星姿态稳定度的要求, 对全球以及月球、火星等外星球进行无控制摄影测量与制图, 在卫星摄影测量中引入 LMCCD 相机的概念。实现用于立体测绘的 LMCCD 相机, 需要满足技术指标要求的光学镜头、LMCCD 像面、调焦机构以及内方位元素。本文根据 LMCCD 相机的实现条件, 对 LMCCD 探测器的配置、LMCCD 像面结构与拼接以及光学镜头、调焦机构进行了详细设计, 并对 LMCCD 相机的内方位元素进行了分析计算。

关键词: LMCCD 相机; 立体测绘; 内方位元素

中图分类号: V245.6

文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI 20102711.0110

Implementation of LMCCD Camera for Stereo Mapping Satellite Using Three-Line Array CCDs

WANG Zhi, QIAO Ke, ZHANG Li-ping

(Changchun Institute of Optics, fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to reduce attitude stability requirement of satellite, and uncontrolled photogrammetry to whole earth and moon, mars etc, the LMCCD camera was used for satellite photogrammetry. The implementation of stereo mapping LMCCD camera included qualified optical lens, LMCCD image surface, focusing mechanism, and inner orientation. According to implementary terms, the configuration of the LMCCD detectors, the structure and splicing of the LMCCD image surface, the optical lens and the focusing mechanism were designed in detail in this paper, and the inner orientation of the LMCCD camera were analyzed and calculated.

Keywords: LMCCD camera; stereo mapping; inner orientation

1 引言

三线阵立体测绘卫星获取的三线阵影像,在几何上等同于相同参数的框幅像片上的三条影像,可以利用影像本身构建空中三角测量网,以降低对卫星姿态稳定度的要求。传统的三线阵 CCD 影像利用光束法平差^[1]误差很大,文献[2]认为平差精度低的主要原因是三线阵 CCD 航线由被离散间距为“定向时刻”的各个三角锁组成,而平差时诸多三角锁之间缺少有效的联接点条件,因此文献 [3] 提出 EFP 法,并增加联接点真像平面坐标,可以使诸多三角锁模型得到很好的整合,从而显著地提高精度。为此文献[4]提出了 LMCCD 相机的概念,LMCCD 相机是线-面阵 CCD 组合相机的简称 (Line-matrix CCD array),是对传统三线阵 CCD 相机的改进。该相机可以在定向时刻摄取平差用的联接点像平面坐标,提高三线阵 CCD 相机的摄影测量性能。

这种基于 LMCCD 相机的立体摄影测量可以不依靠地面控制点,适合于全球性无控制摄影测量与制图,特别是在深空探测,如探月工程、火星探测等立体摄影测量中有重要的价值。

2 LMCCD 原理结构

2.1 LMCCD 相机 CCD 探测器配置

LMCCD 相机是以传统的三线阵 CCD 相机为基础,在正视相机线阵 CCD 阵列两侧各设置两个小面阵 CCD,故称之为 LMCCD 相机,其 CCD 探测器配置如图 1 所示。

小面阵 CCD 用于摄取空中三角锁之间的联接点

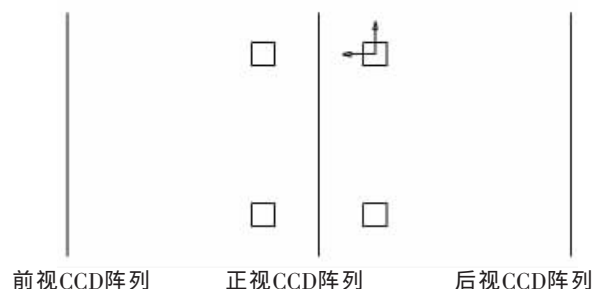


图1 LMCCD相机的CCD探测器配置

像平面坐标,按 EFP 光束法平差规定,每一短基线(前视或后视相机与正视相机摄影中心的距离)按 10 等分选定 EFP 时刻(定向时刻),因此,为了能够摄到联接点,小面阵 CCD 中心与正视线阵中心的距离为 $dx=f\tan\alpha/20$,式中 f =正视相机主距, α =前、后视相机与正视相机的夹角。 dy 是空中三角测量选点时定向点与线阵第 1 个(最后一个)有效像元的距离。在推扫摄影过程中,只有在定向时刻才记录小面阵的影像数据,即在定向时刻除了三线阵 CCD 影像外,另加 4 个小面阵影像,它们的坐标均属于该定向时刻的像平面坐标。利用这些小面阵 CCD 的影像,应用 EFP 光束法平差,单航线四控点空中三角测量可能得到与相同参数的框幅像片空中三角测量基本相同的性能。

2.2 LMCCD 相机 CCD 探测器配置的实现

设轨道高度 $H=500$ km,线阵 CCD 像元大小 0.0065 mm,线阵 CCD 像元数 12 000,地面分辨率 5 m,交会角 $\alpha=25^\circ$,焦距 $f=650$ mm。

则 $dx=f\tan\alpha/20=650\times\tan25^\circ/20=15.15$ mm; dy 取 800 像元,则 $dy=0.0065\times800=5.2$ mm。

选用的面阵 CCD 像元数为 640×480 ,像元大小 0.0074 mm,实际应用的小面阵 CCD 的像元数为 256×256 ,在进行 CCD 探测器配置时,应使 256×256 像元的中心与线阵中心的距离为 15.15 mm。

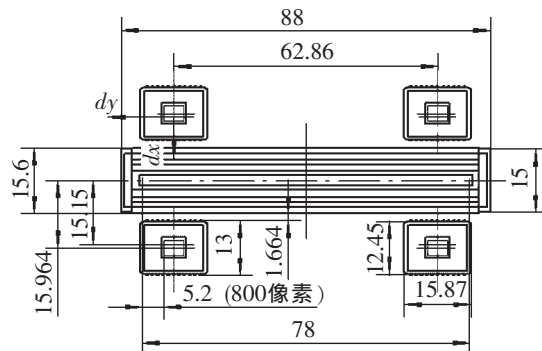


图2 CCD探测器配置的实现

3 LMCCD 相机的实现

用于立体测绘的 LMCCD 相机的实现,需要满足

技术指标要求的光学镜头、LMCCD 像面、调焦机构以及内方位元素。

3.1 LMCCD 像面

3.1.1 LMCCD 像面结构设计

为保证 LMCCD 相机像面结构的力学以及热稳定性, 选用 4J32 作为像面基板材料。像面基板主要是保证 LMCCD 像面各 CCD 感光元共面、图 2 所示的相对位置关系以及图 4 所示的物象对应关系, 并且结构设计时要考虑各个精度指标的稳定性以及热传导性。LMCCD 像面结构设计如图 3 所示。

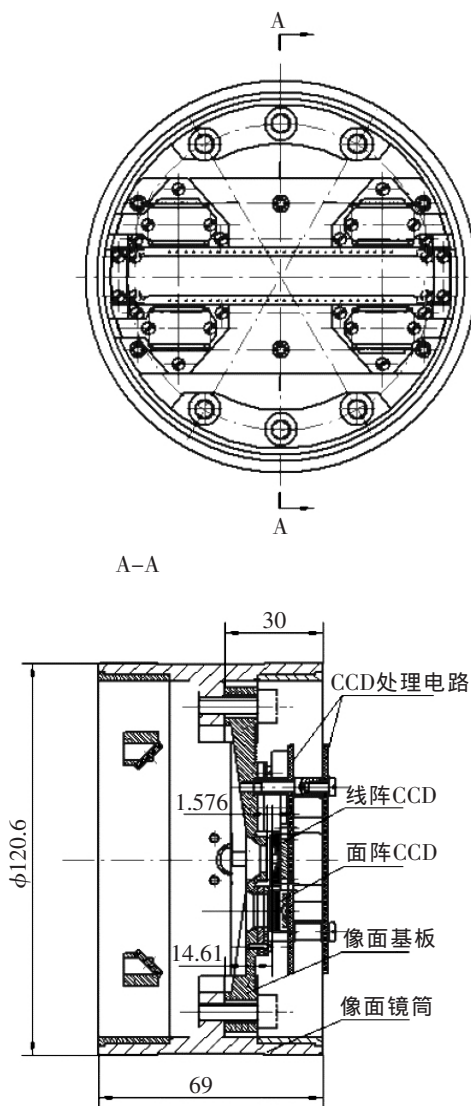


图3 LMCCD 像面结构

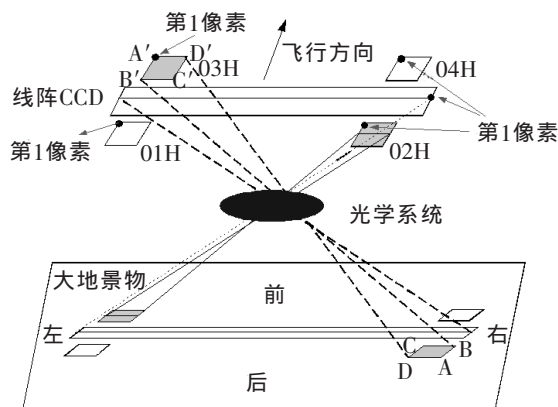


图4 LMCCD 像面物象对应关系

3.1.2 LMCCD 拼接

(1) 精度指标

用于测绘的 LMCCD 相机为满足地面分辨率 5 m 的精度要求, 要求其主距的标定精度 $\leq 20 \mu\text{m}$, 主点位置的标定精度 ≤ 0.2 像元 ($0.2 \times 0.0065 = 1.3 \mu\text{m}$)。

LMCCD 相机是采用移动 LMCCD 像面的方式进行调焦, 主距的标定精度、主点的位置精度受调焦精度和像面 CCD 拼接精度的影响。作者在文献 [5] 中对 LMCCD 相机的调焦机构进行了设计及精度分析, 参考调焦机构的精度, 对误差进行分配, LMCCD 像面需要满足的精度是:

5 片 CCD 感光面共面度: 0.005 mm ;

线阵 CCD 像元阵列的直线性: 0.002 mm ;

面阵 CCD 像元阵列与线阵 CCD 像元阵列的平行性: 0.002 mm ;

面阵 CCD 与线阵 CCD 拼接的位置精度: $\pm 0.015 \text{ mm}$

(2) 拼接

LMCCD 像面的拼接需要在专门设计的调整工装 (见图 5) 上进行, 像面调整工装安装在拼接显微镜的工作台上, 该工作台可实现 X、Y 两个正交方向的直线移动, 移动量由光栅尺显示, 且两个方向的直线导轨需满足拼接行程内直线性以及正交性精度要求。

LMCCD 的 5 片 CCD 共面精度需要在拼接显微镜下多次测量, 通过修研 CCD 盒与像面基板间的调

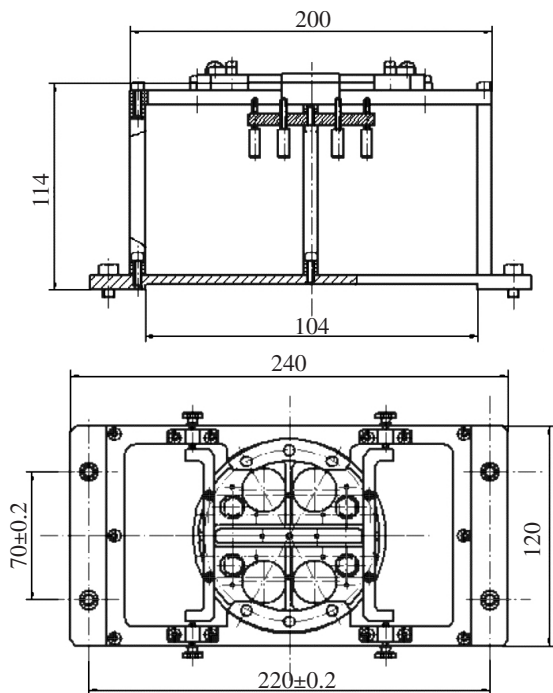


图5 LMCCD像面调整工装

整垫片来完成。其他精度则需要在拼接显微镜下, 通过在调整工装上多次调整来完成。

3.2 LMCCD 调焦机构

LMCCD 相机受发生过程的振动、冲击以及复杂多变的空间温度、压力等环境因素的影响, LMCCD 相机的像面可能会偏离焦平面, 导致图像分辨率下降, 影响立体测绘精度, 因此, LMCCD 相机需设计

调焦环节以补偿 LMCCD 像面的离焦。调焦机构设计如图 6 所示。LMCCD 相机调焦机构的设计与精度分析详见文献[5]。

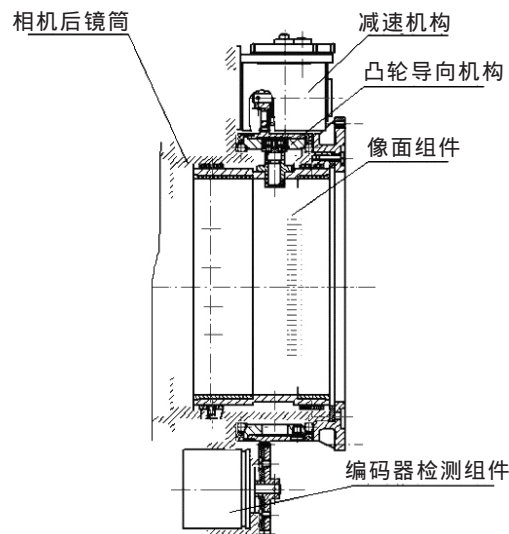


图6 LMCCD相机调焦机构

3.3 LMCCD 相机光学镜头设计

根据轨道高度、地面分辨率以及选定的线阵 CCD, 可确定 LMCCD 相机光学系统技术指标以及光学系统结构。根据光学系统结构及 LMCCD 相机工作环境, 考虑光机结构稳定性、消杂光措施、光轴的转换以及热控实施, 设计 LMCCD 相机光学镜头如图 7 所示, 详细的设计与镜头检测见文献 [6]。

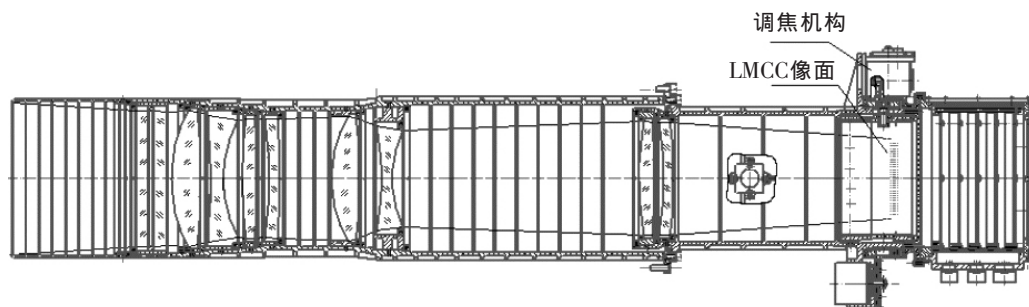


图7 LMCCD 相机光学镜头

3.4 LMCCD 相机内方位元素计算

用于立体测绘的 LMCCD 相机在光学镜头满足光学系统技术指标要求后, 需要提供准确的内方位元素标定值。因为主点的坐标、畸变和主距测量误差

将会对高程误差产生一定的影响。

根据测角法原理, 由文献 [7] 的内方位元素标定方法进行数据测量, 对 n 组测量数据 y_i 和 ω_i , 利用最小二乘多元回归的方法, 使用公式 (1) 进行计算:

$$y_i = y_0 + f \tan \omega_i \quad (1)$$

式中, y_i 为不同物方视场角下像点位置坐标; y_n 为主点位置坐标; f 为相机主距; ω_i 为不同物方视场角。

误差方程为:

$$v_i = y_i - (y_0 + f \tan \omega_i) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

由正规化方程组:

$$\begin{cases} n y_0 + \left(\sum \tan \omega_i \right) f = \sum y_i \\ \left(\sum \tan \omega_i \right) y_0 + \left(\sum \tan^2 \omega_i \right) f = \sum (y_i \tan \omega_i) \end{cases} \quad (3)$$

求解正规方程组得到主点、主距的最佳估计值。

主距:

$$f = \frac{n \sum (y_i \tan \omega_i) - \sum \tan \omega_i \sum y_i}{n \sum \tan^2 \omega_i - \left(\sum \tan \omega_i \right)^2} \quad (4)$$

主点:

$$y_0 = \left[\sum y_i - \left(\sum \tan \omega_i \right) f \right] / n \quad (5)$$

各视场径向畸变:

$$D_i = v_i = y_i - (y_0 + f \tan \omega_i) \quad (6)$$

该方法的计算结果能保证求得的主点、主距, 使该系统视场范围内的畸变均方和最小, 使对高程误差的影响最小, 进而提高测绘精度。

4 结 论

LMCCD 相机在卫星摄影测量工程中的实现是三线阵立体测绘领域的重要突破, 因为:

(1) 卫星摄影测量可以降低对姿态稳定度的要求;

(2) 相同精度的外方位元素测量值参与平差, LMCCD 影像可以提高测绘精度;

(3) 在有外方位元素测量值的情况下, 摄影测量不需要地面控制点, 即使无外方位元素测量值, 只要少量地面控制点, 也可以完成测绘。

LMCCD 相机对实现全球性无控制摄影测量和制图, 特别是深空探测, 如探月工程、火星探测等领域的立体测绘等有重要应用价值。

参考文献

- [1] Hofmann O, Muller F. Combined point determination using digital data of three line scanner systems[C]. *Kyoto, ISPRS COM.III*, 1988: 567-577.
- [2] 王任享, 王新义, 李晶, 等. 提高卫星三线阵 CCD 影像空中三角测量精度及摄影测量覆盖效能[J]. *测绘科学*, 2003(3): 4-9.
- [3] 王任享. 卫星三线阵 CCD 影像光束法平差研究[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2003, 28(4): 379-385.
- [4] 王任享, 胡莘, 杨俊峰, 等. 卫星摄影测量 LMCCD 相机的建议[J]. *测绘学报*, 2004, 33(2): 116-120.
- [5] 王智, 张立平, 李朝辉, 等. 传输型立体测绘相机的调焦机构设计[J]. *光学 精密工程*, 2009, 17(5): 1051-1056.
- [6] 王智, 张立平, 姚惠. 三线阵立体测绘相机光学镜头的设计[J]. *光子学报*, 2010, 39(2): 227-232.
- [7] 吴国栋, 韩冰, 何煦. 精密测角法的线阵 CCD 相机几何参数实验室标定方法[J]. *光学 精密工程*, 2007, 15(10): 1628-1632.

作者简介: 王智(1978-), 男, 汉族, 山东寿光人, 博士, 副研究员, 2006年于中科院长春光机所获得博士学位, 主要从事空间光学遥感仪器的研制。E-mail: wz070611@126.com