

70 mm 高速摄影机抓片机构动平衡计算

马丽华^{1,2}, 梁志毅³, 乔卫东², 石兴春², 鲁梅²

(1 空军工程大学 电讯工程学院 3 系, 西安 710077)

(2 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(3 西北工业大学 航天学院, 西安 710072)

摘 要:对 70 mm 间歇式同步高速摄影机的曲柄摇杆式抓片机构动平衡计算方法、实施途径和结果进行了分析研究. 利用 MSC/Visual Nastran Desktop 软件, 在该抓片机构虚拟样机上进行了动平衡计算. 计算结果为工程设计提供了可靠的设计数据和理论依据, 改善了实际的动平衡质量, 提高了摄影频率. 应用实践证明, 采用动力学仿真方法进行动平衡计算, 可简化抓片机构动平衡的计算过程, 并提高了计算准确度和设计效率.

关键词:高速摄影机; 动平衡计算; 曲柄摇杆式抓片机构; MSC/Visual Nastran

中图分类号: TB811

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2007)09-1710-4

0 引言

70 mm 间歇式高速摄影机^[1-2]是我国新一代大画幅间歇式高速摄影机, 可获得大信息量、高质量图像, 对于 8 片孔的画面, 其信息量高达 4.7×10^9 , 高出电视摄像系统 2 个数量级. 它对空间飞行目标的测量有着很好的应用潜力, 可以广泛用于测量高速运动的直升飞机、炸弹、导弹、火箭等目标的弹道坐标、弹道轨迹、速度等参量^[1]. 该摄影机也是我国首次采用虚拟制造技术研制成功的高速摄影机^[1].

1 抓片机构

在间歇式高速摄影机中, 抓片机构使片道中的胶片实现运动和静止的周期变化, 即当抓片机构带动胶片移动一个画幅距后, 胶片便准确地静止在某一位置上, 并在此时完成曝光, 如此重复下去. 高速抓片机构是间歇式高速摄影机的核心部件, 其结构和技术参量决定了摄影机的主要性能. 抓片机构经历了从简单—复杂—简单的改进过程. 按照运动类型, 抓片机构可分为凸轮式、曲柄连杆式、双曲柄式、曲柄摇杆块式和复合多杆式等类型^[3]. 与其他机构相比, 曲柄摇杆式抓片机构动力学特性较好^[4-5], 而且结构简单、紧凑、刚度好, 输片准确性便于调整, 可以满足 70 mm 高速摄影机高频率、大画幅距的间歇输片要求. 70 mm 高速摄影机的抓片机构是通过高精度齿轮使两套曲柄摇杆机构同速同相位运动, 即两套抓片爪同时进入胶片片孔, 同速带动胶片运动, 同时退出片孔. 根据拍摄画幅不同, 70 mm 同步高速摄影机的输片机构有四片孔和八片孔两套. 两

套输片机构的结构形式, 接口尺寸完全一致, 方便用户的快速更换. 图 1 为 70 mm 高速摄影机的四片孔输片机, 其关键部件就是左边的双联曲柄摇杆式抓片机构.

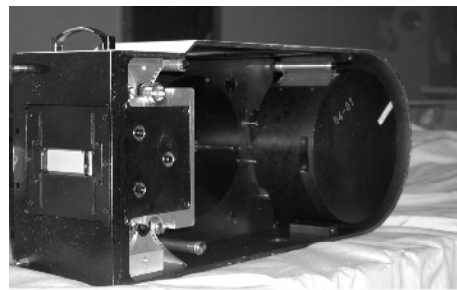


图 1 70 mm 高速摄影机输片机

Fig. 1 Film translation mechanism of 70 mm HSPC

2 动平衡计算

2.1 目的

在高速机械及精密机械中, 机械的平衡具有特别重要的意义. 而改善高速摄影机抓片机构的动力特性、动平衡质量、结构性能三大指标是提高摄影频率的主要途径. 在 70 mm 间歇式同步高速摄影机中, 抓片机构的运动件不是以回转轴为对称轴的等速回转件, 而是平面运动件. 在低速时, 惯性力小, 常常可以忽略不计, 但在高速运转时, 惯性力将大大增加. 这种惯性力将在各运动副中产生一种动压力, 从而在各运动副中引起附加摩擦力和在构件中引起附加内应力. 同时, 由于惯性力的大小(在某一方向)有周期性的变化, 这将引起间歇输片机构和整个摄影机的强迫振动. 这种振动不仅能大大降低摄影机的寿命, 限制机构本身的极限频率, 而且也极大地影响着画幅稳定性和画幅图像的分辨率. 在设计阶段, 应进行抓片机构的动平衡计算, 并根据计算结果对抓

片机构加以改进,以减小动不平衡量;在制造阶段,应进行动平衡试验,并根据动平衡机实测不平衡量数据,采用适当的去重方法来调整抓片机构的质量分布,使其满足动平衡要求。

通常把平衡后的剩余惯性力(与一定频率相对应)的大小作为评价间歇输片机构动平衡的标准。

2.2 动平衡计算目标

在对抓片机构进行动平衡计算时,可将其回转件看作刚性转子,不考虑其弹性变形,其惯性力的平衡可以用理论力学中力系平衡的原理来处理。间歇式抓片机构的平衡是属平面机构的平衡问题。使平面机构完全平衡的条件为

$$\sum m_i x_i = \sum m_i y_i = 0$$

由于本机构是作往复运动以及平面复合运动,应该同时设法使机构的合力和力偶得到完全的或部分的平衡,即通过引入附加的运动件,即平衡块来补偿曲柄摇杆机构本身的动不平衡,使 $\sum m_i r_i$ 最小。其中 r_i 为各构件质心相对转动中心的回转半径。

机构的动平衡计算还应综合考虑满足大画幅尺寸情况下尽可能紧凑的结构。

2.3 计算方法

由于受传统设计思想和设计手段的限制,人们尝试了许多方法,希望改善抓片机构和胶片的运动特性、动力特性,使机构有较好的动平衡性,以便提高摄影频率,但始终没有解决好摄影频率提高而惯性力迅速增大的矛盾^[4]。利用传统的图解法和解析法对机构进行分析和综合的效率低。文献[5]提出了一种利用计算机对高速摄影机抓片机构进行动平衡计算及结构优化的方法,虽然可以达到较好的效果,但其计算过程烦琐,实现不易。

随着计算机技术的发展,机构运动仿真正逐渐应用到机构的分析和设计中。机构运动仿真不仅可以对机构进行快速和高准确度的分析及综合,而且在结构设计完成后,无需试制样机,就可提前仿真整个机构的运动过程,对设计中可能出现的问题作出预测和改进。将先进的机构运动仿真技术应用于70 mm高速摄影机动平衡计算过程中。利用Mechanical Desktop三维立体造型软件建立了曲柄摇杆机构的虚拟样机,在此样机上利用MSC/Visual Nastran动力学分析软件进行动力学仿真,很容易地分析并计算了该机构的动平衡,同时也完成了该机构的优化设计。其计算流程如图2。

2.3.1 三维实体建模

建立了如图3的70 mm高速摄影机曲柄摇杆抓片机构的虚拟样机。抓片机构的偏心轴上依次装有小齿轮、轴承、抓片爪、平衡块、平衡板等运动件。

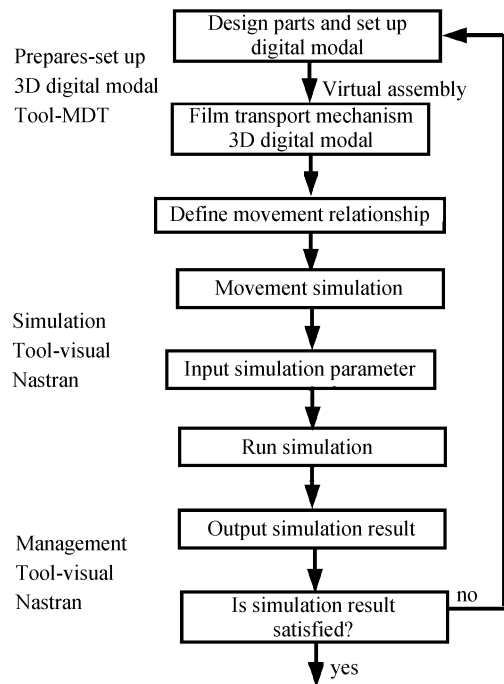


图2 动平衡计算流程
Fig. 2 Flow-chart of Dynamics Balance

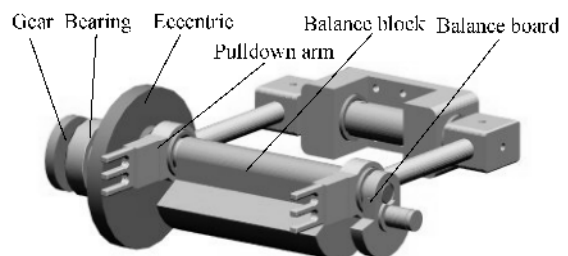


图3 抓片机构虚拟样机
Fig. 3 The digital modal of pull-down mechanism

虚拟样机中,一个系统需要通过给定约束才能最后完成它的仿真模拟试验。在该曲柄摇杆机构动力学虚拟样机模型中,各部件之间的约束根据物理样机模型的约束关系来直接定义。同时,为简化仿真模型,对抓片偏心轴施加力矩(马达),驱动抓片偏心轴旋转,带动抓片爪周而复始地运动。

由于对八片孔输片机构指标要求的最高转速为125 R/s,因此将动力输入轴上的铰链中加入指定的角速度45 000 rad/s,形成零自由度的运动学模型。

抓片机构工作时,其回转中心位于小齿轮轴心,可以将每一个运动件运动时对回转中心所造成的离心惯性力分别求出,按照矢量叠加的方法,得到合惯性力 $\sum_{i=1}^n m_i r_i \omega^2$ 。 m 为运动件的质量,可由虚拟样机自动求出; r 为此运动件(质心)相对于回转中心的偏心矢量。由于 ω^2 为固定值,则只需计算出 $\sum_{i=1}^n m_i r_i$ 的值即可,动平衡的计算目的就是求出使 $\sum_{i=1}^n m_i r_i$ 最小的平衡块尺寸和位置。

定仿真步长为0.001 25 s,利用龙格-库塔变步

长法进行积分,终止时刻为满一周期(0.008 s),运行仿真,将 $\sum_{i=1}^n m_i r_i$ 值作为一个输出量。

2.4 计算结果

得到抓片机构一个运动周期内动平衡曲线图及数据见图4。其中横轴为时间(秒),纵轴为离心惯性力(牛顿)。

三个输出量中 X 为总剩余惯性力, Y、Z 分别为其在 y 轴、z 轴方向的分量。

2.5 结果分析

图5则为改变平衡块尺寸得到的总剩余惯性力。在转动时,由于各回转件对回转中心造成的离心惯性力的大小不变,方向时时改变;而抓片爪对于回转中心的离心惯性力大小和方向都在变化,因此无论平衡块尺寸与位置如何设置,都无法达到完全平

衡,都会有一定的剩余惯性力的存在。我们只能根据一定规律,通过改变平衡块的尺寸和位置,比较所得到的动平衡曲线,选取一组最佳数据。

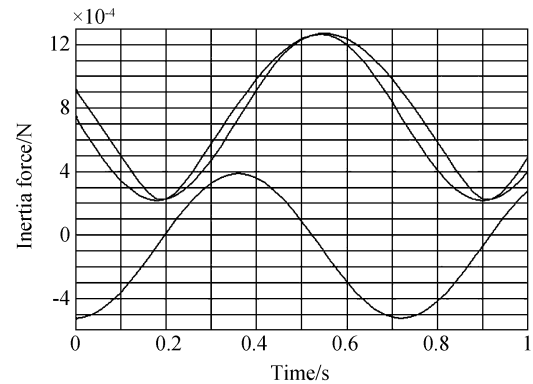


图4 抓片机构动平衡曲线图

Fig. 4 Dynamic balance curve of pull-down mechanism

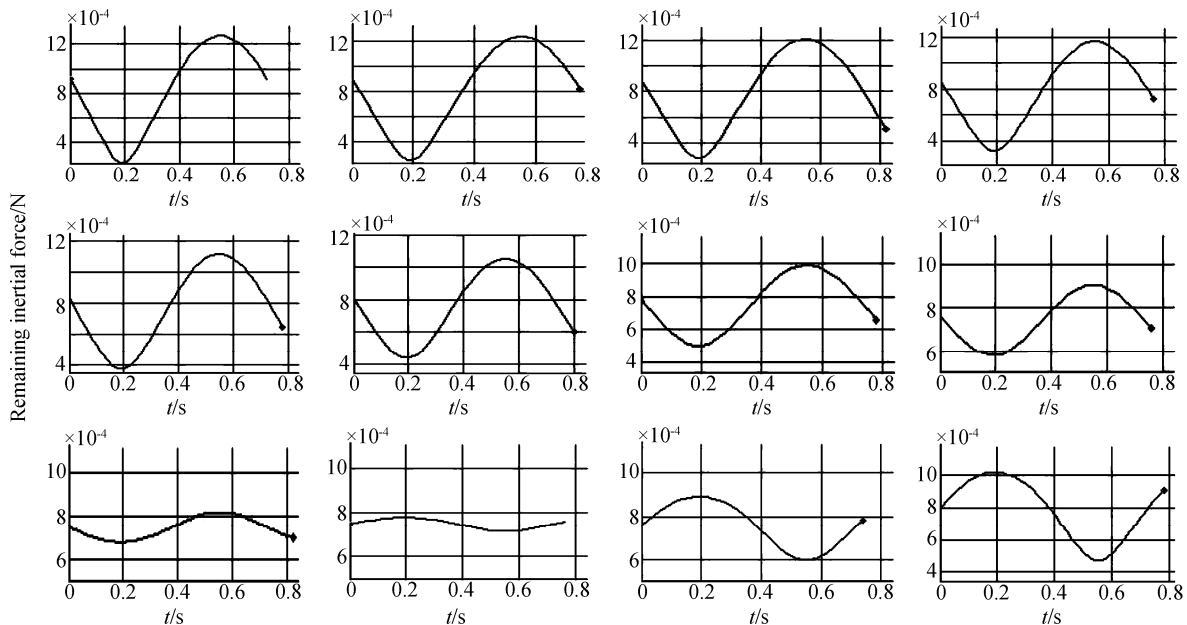


图5 不同尺寸的平衡块平衡结果

Fig. 5 Balance Result under counterweight with different size

3 结论

在 70 mm 间歇式同步高速摄影机实际制造前对抓片机构的动平衡进行了仿真计算,并根据计算结果对设计作了优化。该摄影机在装配完成后实际的动平衡性能良好,现在已交付使用。事实验证了上述的动平衡计算可以减少计算工作量,提高计算准确度,降低设计及试验成本,而且便于改进结构尺寸,以得到较理想的设计结果。

参考文献

- [1] HUI Bin, LI Jing-zhen, PEI Yun-tian, *et al.* Integrated analysis of optics and mechanics in large aperture catadioptric optical system[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(7): 1117-1120.
惠彬, 李景镇, 裴云天, 等. 大口径折反式光学系统的光机结合分析[J]. *光子学报*, 2006, **35**(7): 1117-1120.
- [2] LI An-hu, SUN Jian-feng, ZHU Yong-jian, *et al.* Optical-

mechanical-thermal analysis on prism assembly of precision light beam scanner[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(7): 1107-1112.

李安虎, 孙建锋, 朱勇健, 等. 精密光束偏离装置棱镜组件的光机热分析[J]. *光子学报*, 2006, **35**(7): 1107-1112.

- [3] DENG Xiao-guo, ZHOU Shi-zhong, XIONG Ren-sheng, *et al.* A optimized design bending mechanism of torodial focusing mirror [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(5): 797-800.
邓小国, 周泗忠, 熊仁生, 等. 超环面聚焦镜压弯装置的优化设计[J]. *光子学报*, 2006, **35**(5): 797-800.
- [4] PAN Yu-xue, BAI Feng-ming, LI Qing-tao, *et al.* Optical design of the spasmodic pull-down film mechanism of the high speed cine-camera in synthetic inertia balance [J]. *Journal of Mechanics Engineering*, 1996, **32**(1): 79-81.
潘毓学, 柏逢明, 李清涛, 等. 高速摄影机间歇式抓片机构综合动平衡优化设计[J]. *机械工程学报*, 1996, **32**(1): 79-81.
- [5] HU Xiao-feng. A CAD on the pulldown film mechanism with a crank swing block of the intermittent high speed cine-camera

[J]. *Optical Mechanisms*, 1990, (1):48-49.

光学机械, 1990, (1):48-49.

胡晓峰. 高速摄影机曲柄摇块抓片机构的计算机辅助设计[J].

Dynamic Balance Calculation of the Pull-down Mechanisms of 70 mm HSPC

MA Li-hua^{1,2}, LIANG Zhi-yi³, QIAO Wei-dong¹, SHI Xing-chun¹, LU Mei¹

(1 *Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068, China*)

(2 *The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China*)

(3 *College of Astronautics, Northwest Polytechnical University, Xi'an 710072, China*)

Received date: 2006-07-10

Abstract: The 70 mm high speed photographic camera (HSPC) and its film-transport mechanism were introduced. The method for calculate the dynamics balance of crank-rocker film pull-down mechanisms was described. The result was analyzed too. Result of dynamics simulation provided credible data is used for engineering design. The optimal dynamic balance is able to improve photo frequency. This way is more simple, exact and practical.

Key words: HSPC (high speed photographic camera); Dynamic balance; Crank-rocker pull-down mechanisms



MA Li-hua was born on August 8, 1974. She received her B. S. degree from North West University in 1996 and her M. S. degree from Xi'an Institute of Optics and Mechanics, Chinese Academy of Sciences in 2001. Now she works in the Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University. Her research areas include optical fiber communication, structure design, engineering analysis.