

空间遥感相机调焦机构设计

丁亚林, 田海英, 王家骥

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

摘要: 空间遥感相机所处的环境条件非常复杂, 由于环境条件的改变, 相机的焦平面将产生不同程度的偏移, 为保证相机的成像质量, 需将变化的焦平面加以校正, 因此设计一套借助精密滚珠导轨、凸轮导向机构实现调焦的调整机构。本文从保证空间遥感相机成像质量的角度出发, 介绍了调焦机构的方案选取原则, 阐述了调焦机构的工作原理、组成及调焦机构的运动转化原理, 给出了提高调焦机构安全可靠性和所采取的措施, 并对该调焦机构在调焦范围内的调焦精度进行了初步分析。

关键词: 滚珠导轨; 凸轮导向机构; 调焦机构; 成像质量

中图分类号: V 447.3 **文献标识码:** A

1 引言

由于空间遥感相机所处的发射时运载条件(如冲击、振动、过载)和在轨运行时环境条件(如压力、温度、微重力等)的变化, 使相机的焦平面产生不同程度偏移, 为了保证高分辨力相机的成像质量, 相机在空间投入使用前需将变化的焦面加以校正, 因此设计一套补偿相机焦面离焦的调整机构——调焦机构。本文从保证相机的成像质量出发, 介绍凸轮调焦机构的组成及工作原理, 详细阐述了调焦机构运动转化原理及安全可靠性设计, 并对该调焦机构进行了简要的精度分析。

2 调焦方案的确定

对于空间遥感相机光学成像系统来说, 不管采用哪种成像光学系统(折射式或折反射式), 均由多个光学元件组合而成, 而对于每个光学元件来说, 在成像过程中, 其作用各不相同, 有的光学元件对成像起决定性作用(如主镜、次镜), 它们对光学间隔要求控制得非常严格, 因此, 不宜做调焦光学元件; 而有的光学元件(如校正镜), 在光学系统成像中, 起校正像散、畸变等作用, 这些光学元件相对关键光学元件(如主镜)间的间隔发生微小

变化, 对像质影响较小, 而对光学系统成像的像面位置产生一定的影响, 因此对于环境条件比较复杂的空间遥感相机, 其调焦元件选用口径较小的后校正镜。折反射球面光学系统有前校正镜和后校正镜, 前校正镜外形尺寸大、质量大, 不适宜做调焦镜组用, 而后校正镜组位于光学系统的会聚光束中, 尺寸较小、质量小, 调整起来比较容易, 易保证调焦精度, 因此确定后校正镜组作为调焦光学元件。

3 调焦方式的选择

不同的光学系统, 其调焦方式各不相同, 空间遥感相机调焦机构大体有两种调焦方式, 一种是丝杆丝母调焦, 另一种是凸轮调焦, 这两种调焦方式各有特色。丝杆丝母调焦结构简单, 易于加工, 费用低, 但在真空低温条件下在两个极限运动位置易产生卡滞现象, 抗冲击振动能力差; 而凸轮调焦方式精度高, 凸轮、齿轮等运动件表面经特殊处理后无冷焊、无卡滞现象, 有很好的抗冲击振动能力, 同时结构也比较简单, 但对凸轮曲线加工要求较高, 根据现有实际加工能力及空间遥感相机所处的工作环境及精度要求, 经过实际对比, 选用双凸轮曲线调焦方式。

4 检调焦机构工作原理

检调焦机构控制原理如图 1 所示, 该控制系统由主控制回路和副控制回路组成。主回路是一个闭环控制电路, 由检焦器检测出相机像面位置, 借助 A/D 变换器, 将模拟量转化为数字量送入存储器中, 检调焦控制器从存储器中读取数据进行

运算、处理, 把处理结果同理想标定值进行比较, 然后检调焦控制器将比较差值(离焦量)送入功率驱动器, 该指令控制调焦电机工作, 调焦电机借助于齿轮传动机构, 将力传递给凸轮执行机构, 移动调焦镜, 使景物像正确地成像在相机的焦面上。

副回路可以构成一个开环控制回路, 地面测控站可以根据下传的实际图像质量通过遥控指令在地面上对相机进行调焦。

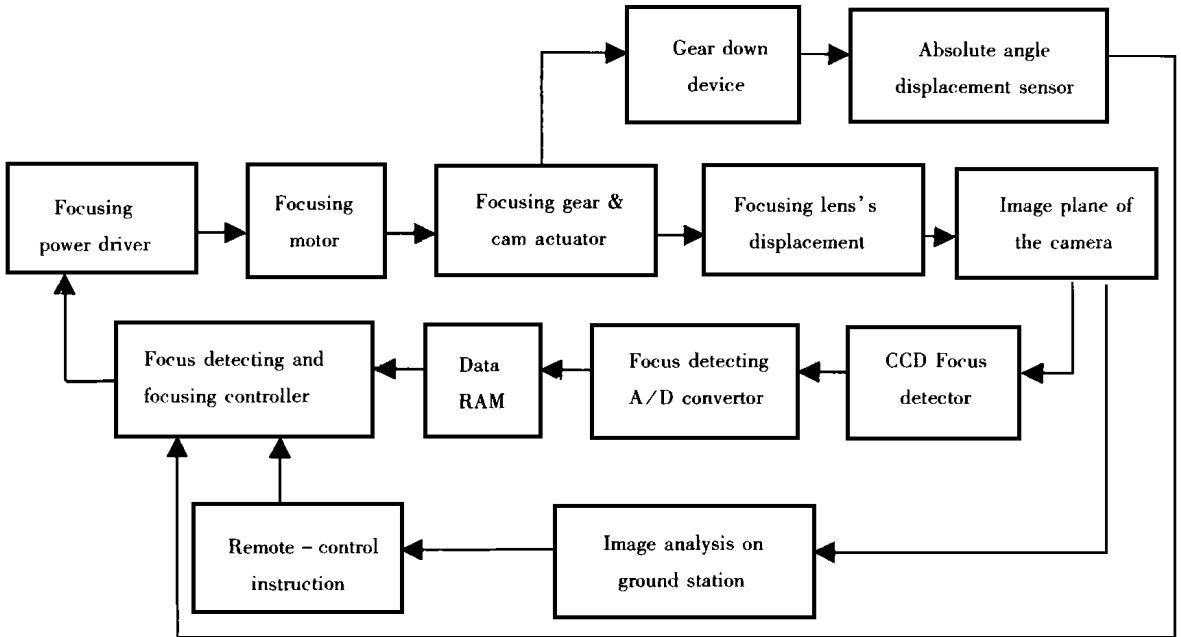


Fig 1 Schematic diagram of focus detecting and focusing control

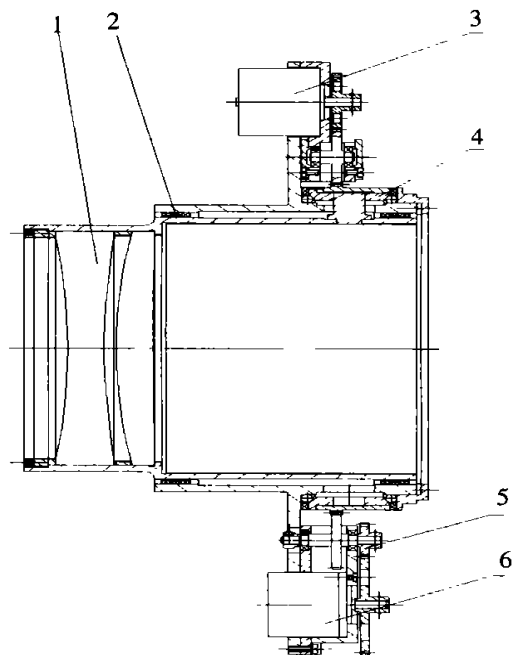
5 调焦机构的组成

空间遥感相机调焦机构主要由调焦镜组件、滚珠导轨机构、凸轮导向机构、齿轮传动机构、调焦电机组件、编码器组件及限位机构等组成, 结构简图如图 2 所示。

6 调焦机构运动转化设计

6.1 调焦镜组平移机构设计

调焦镜通过隔圈、压圈安装在调焦镜筒内, 借助于大跨距、高精度分装轴承将调焦镜筒与固定筒连接在一起, 调焦镜筒外圆两端及固定筒内孔两端为经过特殊处理的滚道, 精密轴承的钢球借助保持架保证钢球在滚道内的相对位置, 轴承微过盈配合装配在滚道内, 精密钢球相对内外滚道沿光轴平行方向滚动, 沿光轴方向旋转运动被限位, 从而实现调焦镜组件借助于精密钢球相对固定筒沿光轴作平移运动的功能。



1. focusing lens subassembly; 2 spherical guide mechanism; 3 focusing motor subassembly; 4 cam guiding device; 5 gear device; 6 rotary encoder subassembly

Fig 2 Structural diagram of focusing device

6.2 凸轮导向机构的设计

凸轮导向机构是实现调焦电机旋转运动转化为调焦镜组件沿光轴方向平移运动, 决定调焦量大小的执行机构, 是反映调焦精度的重要环节, 因此在结构设计时, 综合考虑调焦精度、调焦量及调焦组件所占有的空间进行设计。

凸轮导向机构主要由凸轮、齿圈、凸轮轴及凸轮座组成。

凸轮借助于多个精密钢球, 支承在固定筒上, 钢球借助保持架保证相对位置不变, 修研支持架与固定筒间的调整圈, 保证钢球相对凸轮及固定筒间的间隙为零, 凸轮在固定筒上回转自如, 凸轮机构相对固定筒轴向位置恒定不变。凸轮旋转运动借助凸轮轴、凸轮座, 将调焦电机旋转运动转化为调焦镜组沿光轴方向的平行移动。

6.2.1 凸轮导向机构运动转化原理

凸轮与齿圈通过非标准的螺钉联结在一起, 凸轮轴装在凸轮座上, 凸轮座固定在调焦镜筒上, 借助于精密轴承, 将凸轮与凸轮轴联系起来, 当齿圈旋转时, 凸轮随之转动, 通过凸轮轴、凸轮座将运动传递给调焦镜筒, 由凸轮传递的运动可分解为沿光轴方向的移动和绕光轴方向的转动, 而调焦镜筒旋转运动通过限位机构限位, 从而实现了旋转运动转化为沿光轴方向平行移动。

6.2.2 调焦量的设计

调焦镜组沿光轴方向移动, 光学系统的焦面产生相应的改变, 调焦镜组的移动范围与焦面改变成一定的比例关系, 根据上述原理, 经过分析计算, 因环境条件变化导致相机焦面离焦, 需调整调焦镜组沿光轴方向移动 $\pm 2\text{mm}$ 即可得以补偿。在结构设计时, 综合考虑调焦机构的复杂程度、允许机构占有的空间范围, 在保证调焦机构功能的前提下, 尽量增大调焦范围, 使调焦量有一定的裕度, 确保相机离焦的有效补偿。

调焦电机借助凸轮机构将调焦电机的旋转运动转化为调焦镜组沿光轴方向的平行移动, 而调焦范围主要决定于凸轮机构中凸轮曲线的设计范围, 综合考虑凸轮曲线的加工工艺性、凸轮强度、刚度及允许的结构空间范围, 进行凸轮优化设计,

设计结果可实现调焦镜组的最大移动量为 $\pm 5\text{mm}$ 。

7 安全可靠设计

空间遥感相机焦面变化通过调焦机构来补偿, 为保证相机的成像质量, 要求调焦机构不但具有高的调焦精度, 而且应有足够的强度、刚度。因结构空间所限, 凸轮机构中凸轮轴及凸轮轴座力学性能相对薄弱, 在结构设计时, 采用冗余设计, 这样不但保证调焦精度, 提高凸轮机构的强度、刚度, 而且提高调焦镜筒运动的平稳性和减小调焦镜筒运动时光轴晃动, 由此保证调焦机构的调焦精度。

8 调焦机构的精度分析

由相机的焦深(即允许的最大离焦量)来分配检焦器的允许误差、调焦机构的调焦精度(包括机构精度、控制回路的控制精度)以及相机热控精度范围内焦面位置的允许波动等误差因素, 可知调焦机构的调焦精度直接反映焦面的调整精度, 在调焦步进电机控制精度为 1 个步距角时, 对应焦面移动量为 0.0054mm , 即该调焦机构调焦精度为 $\pm 0.0054\text{mm}$, 该精度可满足设计指标要求。在控制电路采取四细分措施, 调焦灵敏度可达到 $\pm 0.00134\text{mm}$ 。

9 结束语

欲保证空间遥感相机在复杂环境条件下的成像质量, 要求有一套补偿光学系统焦面变化的调整机构予以校正, 因此设计一套精密的、满足性能指标要求的、安全可靠的、适用的调焦机构是必要的。经过初步的实验证明, 采用凸轮调焦方式获得了较好的结果, 能很好地达到所需要的调焦精度, 并具有很好的可靠性。

参考文献:

- [1] Yoder Paul R Jr. Opto-Mechanical System s Design[M]. New York and Basel: MarcelDekker Inc, 1986
- [2] 谢尔巴科夫 著 孙振洲,周桂琴译 航空照相机的设计与计算[M] 长春:吉林科技翻译协会,1982
- [3] Stanford-Lockheed Institute for A strophysical and Space Research. Transition region and coronal explorer[M] LM SC P01270- 1, 1994
- [4] Fiete Robert D, Tantaló Theodore A. Image quality of along-scan sampling for remote sensing system s[J]. Proc SPIE, 1999, 38(5): 815-820

Design on the focusing mechanism of space remote-sensing camera

D NG Ya-lin, T IAN Hai-ying, WANG Jia-qi

*(Changchun Institute of Optics, FineM echanics and Physics,
Chinese A cademy of Sciences, Changchun 130022, China)*

Abstract: The focus plane of a space remote-sensing camera will decenter and defocus, to some extent, under the condition of space environment, which is changeable and complicated. A focusing mechanism is described in which precision spherical guide ways and cam guide mechanism are employed in order to meet the requirement of image quality of a space remote-sensing camera. The principles of choosing the project of focusing mechanism are introduced. The composition and working principles of this focusing mechanism, the design idea of its motion transition and the technical measures to improve its safety and reliability are stated. The result of precision analysis is presented.

Key words: spherical guide ways; cam guide mechanism; focusing mechanism; imaging quality

作者简介: 丁亚林(1964-),男,吉林省长春市人,1987年毕业于吉林工业大学机械工程系,获学士学位,1994年毕业于东北大学机械工程系,获硕士学位,现主要从事光学仪器结构设计。

2001 沈阳现代测控技术系列讲座

邀请函

兹定于2001年4月12日至14日在辽宁省科学技术馆学术报告厅举办2001沈阳现代测控技术系列讲座,即第四期测控新技术学习班,同期将举办东北地区第四届国际仪器仪表及工业自动化展览会,本次系列讲座由沈阳市仪器仪表与自动化学会与北方工商业展览有限公司共同举办。拟报告内容如下:

(1)工业自动化整体解决方案;(2)数据采集系统整体解决方案;(3)工业现场总线技术及应用;(4)虚拟仪器及软测量技术;(5)组态软件新技术与新产品;(6)嵌入式测量与控制系统;(7)新型变频器和PLC及应用技术;(8)其它先进的测控技术。

有关系列讲座详情请关注沈阳测控信息网,网址 <http://www.cekong.com> 报名截止时间为4月10日。

通信地址:沈阳市铁西区南十三路1号29信箱沈阳市仪器仪表与自动化学会(110023)

联系电话:024-25415320,25681544 传真:024-25415320

电子信箱: syias@online.ln.cn

联系人: 贾冬娜