

文章编号: 1672-8785(2008)08-0017-04

# 用于航空遥感的二维像移补偿镜的设计

夏永泉 贾建军

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

**摘要:** 在航空遥感中, 由于振动、飞行器的运动及相机摆动等原因, 相机在曝光时, 被摄物影像与 CCD 之间存在着相对运动, 带来了成像模糊及拖尾效应, 此即像移。其存在对图像质量及精度都有很大影响, 因此, 怎样减少像移就成为提高遥感设备性能的重要手段。

本文介绍了压电式二维像移补偿镜的工作原理, 详细描述了其结构的设计以及功能的实现。设计了 PZT 压电陶瓷驱动补偿镜的柔性铰链平台, 实现了补偿镜对 CCD 成像像移的二维补偿, 并对像移补偿镜模型进行了性能分析, 通过实验验证了像移补偿镜的性能。

**关键词:** 像移补偿; 二维偏转镜; 压电陶瓷驱动

**中图分类号:** TK323    **文献标识码:** A

## Design of 2D Image Motion Compensation Mirror for Aerial Remote Sensing

XIA Yong-quan, JIA Jian-jun

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract:** In aerial remote sensing, due to the vibration, aircraft motion and swing, there is relative motion between the image of an object to be imaged and the CCD device when a camera is exposed. This will result in image blur and smearing effect, ie. image motion. The image motion has great influence on the quality and accuracy of an image. Therefore, the reduction of image motion has become an important way to improve the performance of remote sensors.

In this paper, the operation principle of a piezoelectric 2D image motion compensation mirror is presented. The structure design and function realization of the mirror are described in detail. A flexible hinge platform for a PZT piezoelectric ceramic driving compensation mirror is designed. The 2D compensation of the compensation mirror to the CCD image motion is realized. The performance of the image motion compensation mirror model is analyzed and the performance of the image motion compensation mirror is verified experimentally.

**Key words:** image motion compensation; 2D fast steering mirror (FSM); piezoelectric ceramics driving

## 1 引言

在航空遥感中, 由于振动、飞行器的运动及相机摆动等原因, 相机在曝光时, 被摄物影像与

感光介质之间存在着相对运动, 带来了成像模糊及拖尾效应, 此即像移。其存在对图像质量及精度都有很大影响, 因此, 怎样减少像移就成为提高遥感设备性能的重要手段。

**收稿日期:** 2008-05-04

**作者简介:** 夏永泉 (1982—), 男, 天津人, 硕士研究生, 主要研究方向为光学设计。

在当前的机械和光学像移补偿系统中，高精度电机驱动轴系及角度测量与控制反馈系统是最常用的机构。这种机构在大(线)角位移、中高精度、大负载、低响应速率、低重复频率的情况下有着不可替代的地位。压电陶瓷元件具有体积小、推力大、分辨率高和频响快的优点，并且不发热、无噪声、易于控制，是理想的精密微位移机构的驱动器件。把压电陶瓷元件与柔性铰链放大机构结合起来，相对传统的机械式光学补偿方法，这种方法具有响应快、精度高、结构紧凑、机构运动无摩擦、低功耗等特点，特别适用于星载或机载环境下各种成像机构的像移补偿。

## 2 压电式二维像移补偿镜系统的基本原理

压电式二维像移补偿镜是一种利用压电陶瓷配合柔性铰链放大机构推动的补偿反射镜，它使曝光图像在像面上产生一个与像移方向相反的运动，以便减少和抵消由像移造成的成像模糊现象。系统采用基于压电陶瓷迟滞模型<sup>[2]</sup>的闭环控制方法。

图1为基于迟滞模型的闭环控制系统的原理图，该控制系统由前馈控制环和PID控制环两部分组成。前馈环基于迟滞逆模型，获得前馈补偿电压。在反馈环中，将期望位移量和实际位移量进行比较，得到的偏差量 $e(k)$ 作为PID控制器的输入，从而获得附加补偿电压。

闭环控制过程如下：首先获得压电陶瓷迟滞模型，输入位移量 $X_d(k)$ ，经过迟滞逆模型 $L^{-1}$ ，得到补偿控制电压 $u_L(k)$ ，驱动压电陶瓷工作台

移动，实际输出位移 $X(k)$ 接近期望位移值，然后闭环控制器开始工作，通过PID调节后驱动偏转台达到更高的定位精度。

## 3 设计指标

设飞行速度为250m/s(0.8马赫)，瞬时视场(IFOV)为0.1mrad，飞行高度为15km，像元大小为1.5m，积分时间为2ms，则沿轨方向的像移大小为 $250\text{m}/\text{s} \times 2\text{ms} = 0.5\text{m} = 0.033\text{mrad}$ 。在采用320×256元探测器的条件下，根据速高比计算出来的扫描速率为 $40/(256 \times 1.5 / 250 \cdot 0.125) = 28.3^\circ/\text{s}$ 。

穿轨方向的像移距离为： $28.3 \times 17.5 \times 2\text{ms} = 0.992\text{mrad}$ 。补偿镜相对焦面1/4焦距(75mm)，所需镜面口径为 $0.25 \times 120 / \sin 45 = 42.2\text{mm}$ 。所需补偿角度为 $0.992 \times 4 = 3.97\text{mrad}$ 。

经过上述计算，得到总的像移补偿要求如下：

- 镜面口径：42.2mm(最小)
- 转动角度：1.98mrad
- 精度： $< 20\mu\text{rad}$
- 响应速度：100Hz

## 4 二维像移补偿镜系统的设计

本压电式二维像移补偿镜系统主要由柔性铰链平台、反馈式压电陶瓷驱动器、位置微调预紧机构、电学控制部分、总体支撑框架等组成。

(1) 反射镜根据设计要求采用直径为40mm的k2玻璃，表面镀可见光波段的反射膜以便于实验测试，实际应用时改为红外波段的反射膜。镜片厚度经综合考虑系统机械负载与镜面变形

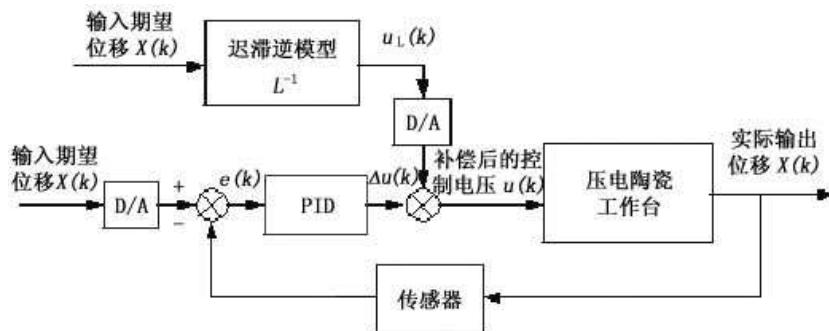


图1

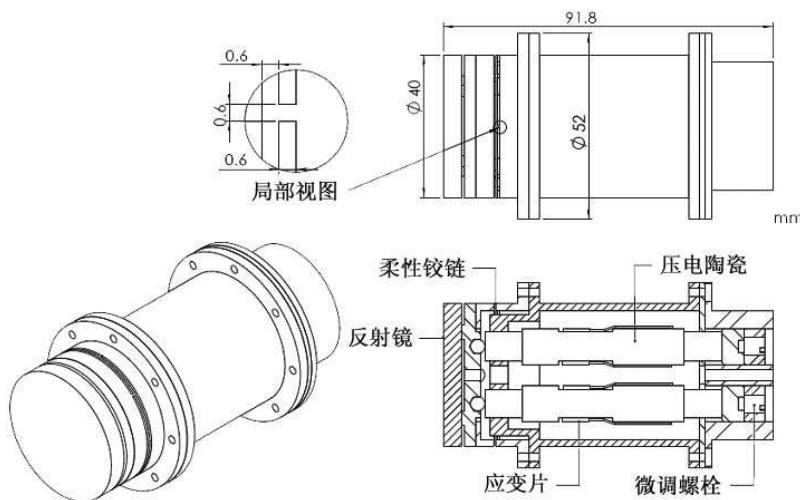


图 2 补偿镜系统结构尺寸及内部装配图

表 1

型号	驱动电压 VAD (V)	最大位移量 ( $\mu\text{m}$ )	电容 ( $\text{nF} \pm 10\%$ )	推力 (N)	拉力 (N)	尺寸 (mm)
WTYD0808055	0 ~ +150	$\geq 40$	2200	500	5	$8 \times 8 \times 40$

并优化计算后被定为 5mm。

(2) 柔性铰链参数影响因素如上所述, 主要由系统响应频率、压电陶瓷最大输出力、机构负载、材料弹性模量、屈服强度和疲劳极限等决定。经理论计算和有限元分析模拟后, 材料定为 1Cr18Ni9Ti, 厚度为 2mm, 间隙、宽度、高度均为 0.6mm, 加工工艺为慢走丝线切割后再加去应力热处理。

(3) 压电陶瓷的选用有尺寸、最大输出位移、最大输出力、电压位移曲线线性度、最大电容等限制。最终选用重庆 26 研究所的 PZT 陶瓷微位移器。

(4) 应变片采用中航电测 BE350-3AA(11)N4 普通型应变片。基本电阻值为  $349.9 \pm 0.1$ , 灵敏系数为  $2.09 \pm 1\%$ 。

## 5 性能分析

图 3 为试验设备的照片, 其中包括偏转镜、光学经纬仪、示波器、驱动电源等。光学经纬仪测量偏转镜的实际角度变化, 示波器观察应变片的反馈放大信号。

测试包括静态性测试, 如电压与偏转镜偏转角度测量, 看能否达到所需偏转范围及线性

度。动态测量主要测试其对控制信号的频率响应范围。



图 3

### 5.1 静态性能

下面分别是 X、Y 轴静态开环电压角度曲线。

如图 4 所示, 当控制电压从 0V 到 120V 时, 偏转镜偏转角度为 16 分 (4.7mrad), 满足设计要求。同时在开环控制下 X、Y 轴中段曲线达到很好的线性度, 只在两端有近 1 分的误差, 通过加应变片反馈可消除。

### 5.2 动态性能

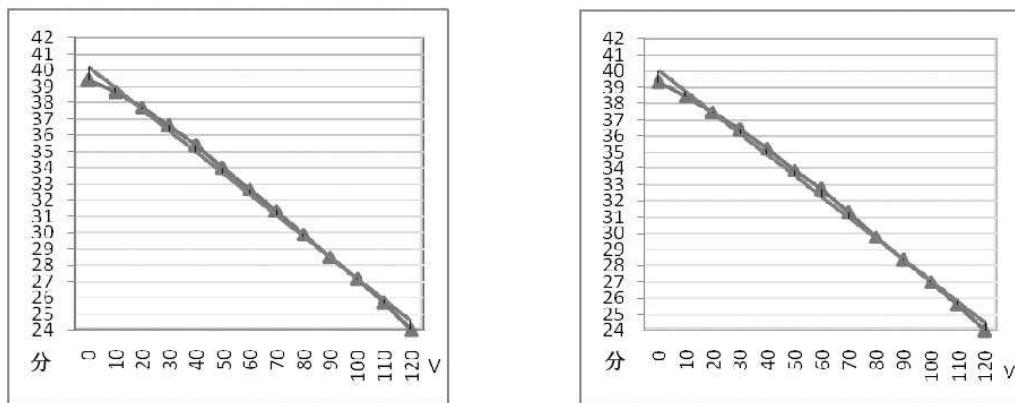


图 4

给出 0、1、100、300、1000Hz 的正弦全振幅驱动信号，观察响应振幅。

从图 5 可以看出，在驱动信号为 10Hz 以下时，偏转镜能保持全振幅 14 分的输出，在信号为 100Hz 时，振幅衰减到全振幅的 70% 左右，可以认为 100Hz 是其截止频率。同时观察到电源电流大小开始随频率的上升而增加，到 100Hz 时开始随频率的上升而减小。判断是由于驱动电路驱动能力有限，不能输出更大电流。如果采用驱动能力更强的功率放大芯片，对比 Pi 公司的产品，可达到的全振幅响应频率在 100Hz 以上。

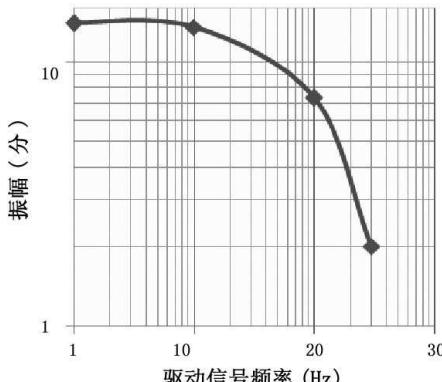


图 5

### 5.3 闭环阶跃响应

如图 6 所示，CH3 为 1V (对应 10V 驱动电压) 输入方波信号，CH1 和 CH4 分别为二维偏转镜 XY 轴闭环阶跃响应信号 (应变片闭环输出放大信号)。可以看出，阶跃响应时间均在 5ms 以内，满足设计要求。

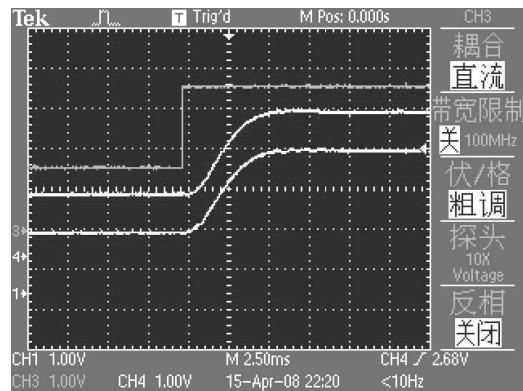


图 6

## 6 结束语

本文详细讨论了压电驱动二维像移补偿镜的设计，包括结构设计和电气设计。压电驱动二维像移补偿镜具有质量轻、精度高、响应频率高等特点。本设计作为二维像移补偿镜的摸样设计，达到了预期的设计目标。

## 参考文献

- [1] 刘明, 匡海鹏. 像移补偿技术综述 [J]. 电光与控制, 2004, 11(4):
- [2] S Sherrit, B K Mukherjee. Non-linear Properties of Piezoelectric Ceramics [C]. Proceedings of the 1998 IEEE Ultrasonics Symposium, Sendai, Japan, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 1998, 630–640.
- [3] 王永辉. 速控制反射镜结构及其动态特性的研究 [D]. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2004.
- [4] 庞振基. 精密机械设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.