

# 遥感相机热环境模拟试验设计与加热功率的确定

李积慧 卢 镔 韩双丽 王家骐

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

**摘要** 阐述了热光学环境模拟试验的重要性及制备相应试验设备的迫切性, 提出试验装置的设计方案, 运用计算机辅助工程分析(CAE)等方法确定加热功率。

**关键词** 热环境模拟试验设备 热室 加热功率

## 1 引言

遥感相机模样热环境模拟试验是遥感相机研制过程中极为重要的一环, 它不仅能起到揭示光、机、热内在规律并验证相机的热控方案和热分析的正确性的作用, 而且对初样的热设计和热分析具有突出的借鉴和指导意义。热环境模拟试验装置是环境试验的重要物质基础, 关系到试验的有效性和可信用。

空间环境模拟试验在我国已开展了30余年, 积累了许多宝贵的经验, 但环境试验在空间热光学领域起步较晚, 尚没有形成完整的试验理论体系, 未能制备出专用的试验设备。本文在统筹遥感相机热环境模拟试验的试验目的、现有和所需技术条件之后, 提出一种热环境模拟试验装置的设计方案, 并运用CAE等手段确定试验装置中加热器的功率和排列方式。

## 2 遥感相机热环境模拟试验的目的和意义

空间遥感相机具有通光孔径大、成像焦距长、规化频率高、瞬时视场小、光学零件几何尺寸大等特点, 为保证其在恶劣的空间环境条件下能够正常工作, 达到预定的分辨力和成像质量等技术指标, 相机结构和光学系统必须具有很高的尺寸稳定性。热环境模拟试验是在遥感相机模样热设计和热分析的基础上, 将模样相机封闭于空间热环境模拟室(简称热室)中, 利用13m

平行光管监测不同时刻、不同工况下相机的成像质量的变化情况,进而探讨相机的热特性、热环境因素对相机成像质量的影响;考核热设计和热分析模型的正确性,验证轴向/径向许用温差范围和许用温度水平范围等热控指标;评定相机模样被动热控方案的可行性与合理性,为初样热设计提供参数化依据<sup>[1]</sup>。同时,通过模拟试验,迈出我国航天领域内热光学环境试验的第一步,为今后制备更完善的热环境模拟试验装置,建立合理的热光学设计、分析、试验模型打下坚实的基础。

### 3 热环境模拟试验装置设计的指导思想

热环境试验设备是模拟航天器及其组件在轨运行中经历的主要空间环境的试验设备,它是相当复杂和难以制备的,需要花费大量的人力和财力。由于热光学环境模拟试验在我国还刚刚起步,还需要不断的科研探索 and 人力、物力投入;因此在立足我所现有设备和技术条件的基础上,力求试验装置的设计尽量满足工程实际的要求,即运用该装置能比较准确地使相机的光学系统产生所需的轴向或径向温差或各种温度水平,并可以精确地测量出相机相应的成像质量最后确定相机热控指标。这样该装置就须具备以下一些技术条件:

(1) 实现精确的温度控制:采用红外加热器进行加热时热流平均值与设计值的偏差不能超过 $\pm 5\%$ ,热流分布不均匀性不超过 $\pm 5\%$ <sup>[2]</sup>。同时由于相机和热室的热容很大,加热时易产生热过冲,因此对相机内部光学系统特定点的温度应进行比较精确的测量与控制。

(2) 封闭的模拟热环境,即热室:要实现较精确的温度控制,就必须把相机放置在一个尽量密闭的环境中,严格控制该环境与外界环境间的热交换,使外热流尽可能地贡献于相机本身温度的升高。另外应尽量减少相机和检测仪器间的成像光路中的空气扰动,避免其对相机像质的影响。

(3) 满足不同工况要求:因为我们不仅要获得相机能正常工作的温度水平范围,而且需探讨在不同轴向和径向温差情况下相机像质的变化;所以我们不但要将加热板分成多个加热区,每个加热区热流可独立调节;而且需将热室分隔成几个小空间,每个空间的温度能够单独控制。

(4) 有效测量相机像质的仪器:遥感相机工作在胶片摄影模式时分辨力为 $110\text{lp s/mm}$ ,在CCD模式下分辨力为 $80\text{lp s/mm}$ ,要求检测相机像质的仪器具有很高的精度和检测能力。

(5) 精确的温度传感器、恰当的布置:相机光学系统的温度值是调节和控制外热流的依据,如果温度测量不准确,就会得出与实际情况不符的结论,在进入轨道后会影响到相机某些组件的正常工作,甚至会在试验时引起光学系统的破坏,这就需要温度传感器具有高可靠性和高精度性。相机的光学系统的好坏决定其成像质量,而决定光学系统好坏的主要元件如主镜、次镜对温度变化又非常敏感,所以在布置温度传感器时要以对成像质量影响较大的光学元件、内部热源为重点,并满足测量轴向及径向温差的要求。

### 4 装置组成及分析模型的建立

#### 4.1 装置组成

试验装置由模样相机、13m 平行光管、模拟空间环境的热室、加热带、铝箔隔板、大理石光学平台、温度采集与记录系统和计算机温控系统组成(如图1所示)。为防止漏热,热室由木制框架、铝板、泡沫围制成热封闭空间,热室内大理石平台和相机支架上由铝箔、泡沫与棉纱包裹,相机与V型支架间用聚四氟乙烯垫隔离,热室与平行光管间的通光筒也用双面镀铝薄膜及棉布包上。将加热区域分成三块,其中上面两块,下面一块。为实现径向和轴向温差,用铝箔包缚泡沫塑料板制成纵向及横向隔板。在相机内部和外部粘接了29个热电偶,对相机的重要部位的温度进行实时采样。为使热室内空气温度上升均匀,热室底部用电扇,以微风搅拌热室内的空气。进行被动热控试验时相机镜头部分采用10层双面镀铝聚脂薄膜包裹。

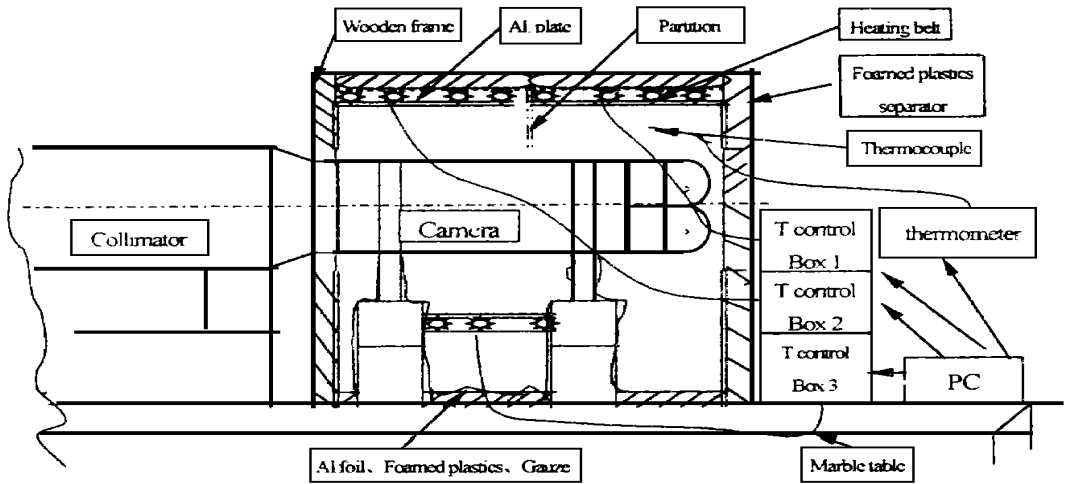


Fig 1 Thermal environment experiment device scheme

#### 4.2 分析模型建立

由于进行试验初步热分析的目的在于决定热室铝皮上固定的加热带的多少和分布,以及测温热电偶在相机内外的布置,所以可根据实际情况进行适当的简化处理。将热室简化为全封闭的铝皮薄壳,忽略外面的木框和泡沫,省略平行光管和工作平台,将加热带透过铝皮辐射加热近似为均匀加热。同时采取一些措施使分析模型尽量接近试验状态,如计入热室向周围环境散发的热量,采用进行热响应工程分析时的相机模型作为此次的分析模型热分析模型如图2所示。

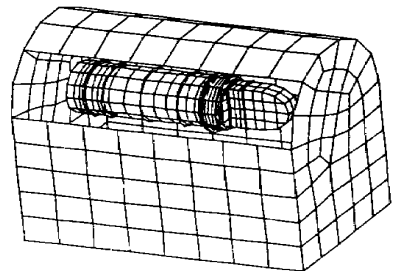


Fig 2 Thermal analysis model

模型材料及主要参数为:热室铝蒙皮材料为LY12,喷无光黑漆后发射率为0.9,隔热铝箔反射率为0.9,相机机壳材料为钛合金,发射率0.8。

## 5 计算结果与分析

假设热室与相机之间只通过辐射传递热量,此种情况比实际情况下传导、对流、辐射三种热传递形式都存在简化了许多,并仍能保证热室在规定时间内能够提供足够热量使相机温度上升至预定值。由于实验室内室温为 $25^{\circ}\text{C}$ ,因此要将相机温度水平提高 $8^{\circ}\text{C}$ 需要较高的热流输入和较长的加热时间。热室铝皮内表面喷上了高辐射率无光黑漆,不能长时间耐高温,并且相机内外温差太大易造成较大温度梯度,严重影响成像质量,甚至会威胁到光学系统的安全;因此把热室内靠近铝皮的空气温度阈值设为 $50^{\circ}\text{C}$ ,并将目标函数改为求取热室内空气温度达到 $50^{\circ}\text{C}$ 时所需的加热时间及均布加热功率。

应用 HP 工作站上的 Patran 软件的 Thermal 模块,假定不同的加热功率,计算热室、相机由初始温度 $25^{\circ}\text{C}$ 升温至热室内空气温度达到 $50^{\circ}\text{C}$ 时所需的加热时间。图3为所得的加热时间与均布加热功率对应关系曲线。

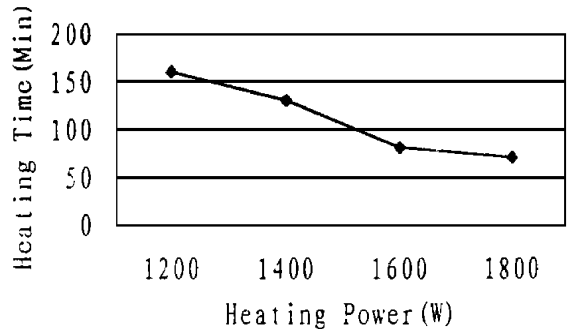


Fig 3 Heating power/heating time relation curve

由图3可知,均布加热功率为 $1200\text{W}$ 和 $1400\text{W}$ 时,热室内空气温度达到 $50^{\circ}\text{C}$ 时间较长,分别为 $160\text{min}$ 和 $130\text{min}$ ;当加热功率超过 $1600\text{W}$ 后,其所需时间的减少并不显著,而功率过大又不利于温度控制和均匀辐射,因此权衡之后采用均布加热功率为 $1600\text{W}$ ,其中上面两块加热板各 $480\text{W}$ ,下面一块 $640\text{W}$ ,并据此确定加热带的条数及布置。

## 6 结 论

遥感相机(模样)热环境模拟试验装置的制备及试验的开展,是我国航空航天科技工作者在热光学领域进行的一次非常有意义的探索。试验结果表明:加热装置能够在预定时间内使相机达到所需温升幅值,运用 CAE 手段确定加热功率的方法是有效的;试验装置基本能够满足试验前提出的各项要求,但与热分析结果出入较大。在将来进行相机初样热试验时,我们要进一步完善试验装置,减少热室向外漏热;改变加热方式,避免轴向温差、径向温差及均匀温升的相互影响。

### 参 考 文 献

- 1 卢锷等. 空间相机(模样)热环境模拟试验报告. 长春光机所, 1998
- 2 柯受全主编. 卫星环境工程和模拟试验. 北京: 宇航出版社, 1993

## Design of Space Remote-Sense Camera Thermal Environment Simulated Experiment Device and Determination of Heating Power

L I J i H u i, L U E, H A N S h u a n g L i, W A N G J i a Q i  
(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

The importance of thermal environment simulated experiment and the urgency of manufacturing concerning device are described. The designing scheme of the experiment device is provided. At last, heating power is determined by means of CAE.

**Key words:** Thermal environment simulated experiment device, Thermal house, Heating power

**李积慧** 男, 1971年生, 1995年考入长春光学精密机械研究所研究生部, 1997年直接攻读博士, 主要从事 CAD/CAE、空间光学机械的热控研究。