

空间相机热环境模拟试验的探讨

韩双丽 孙同和 卢 铿 李积慧

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘要 描述了空间相机的热环境模拟试验的过程,探讨了用 CAT 技术实现热环境的方法和途径。

关键词 空间相机 热环境 模拟试验

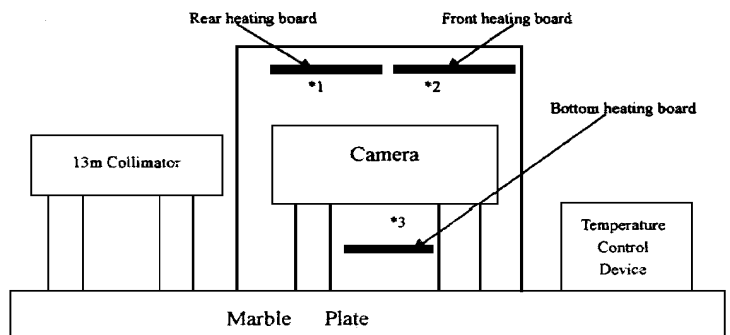
1 引言

相机位于飞船的轨道舱内,轨道舱环境(主要是热环境)的变化使相机的光学系统在轴向和径向产生温差,或使整体温度水平变化超出相机的适用温度范围,从而影响相机的分辨力,使成像质量下降。但影响程度的大小,不仅要通过理论计算来获取,还要通过模拟试验来验证。既人为地制造一个热环境,使相机产生径向温差,轴向温差,整体温度水平变化来检验相机的成像质量,如何实现上述的热环境则是本文的核心所在。同时,还探讨了热环境对成像的影响。

2 试验设计

2.1 热环境模拟试验装置

为了尽可能模拟相机在轨道舱内主动段状态下的热环境,特地制作了给相机提供热环境的模拟热环境室(以下简称热室),相机置于热室内。由于受现场光学测试条件所限,热室在保障不影响光学测试的



* — Thermocouple;

□ — Al plate used for heating

Fig. 1 Heat circumstance simulative test device

基础上进行构造, 见图1。热室由木制框架、铝板、泡沫围制成热封闭空间, 为防止漏热, 相机支座由铝箔、泡沫与棉纱包裹。热室由顶部及底部的加热铝板供热, 为使热室内空气温度均匀, 底部用台式小电扇吹, 以微风搅拌空气。

2.2 温度测试与控制仪器

- 测温仪——上海大华产, 型号: DR090 ;
- 控温仪——长光所制(控制精度为0.3) ;
- 温度传感器——热电偶(经标定, 测量误差为0.1) ;
- 数据接口转换装置——长光所制(相机内测温传感器 PROCOS— 接口) 。
- PC 机 —— 存储相应控制软件和测试数据。

2.3 热源模拟装置

热源模拟是热试验有效与否的关键技术。热源由装在相机周围的三块加热铝板提供(分别称前加热板, 后加热板, 底加热板, 铝板正面喷无光黑漆(热辐射率 $\epsilon \cong 0.90$), 背面贴放加热带, 顶部两块加热板功率各为480W, 下面一块加热板功率为640W。为实现轴向温差和径向温差, 采用分区加热方式, 既三块加热板分别由独立的控温仪控制。给相机提供轴向温差时, 后加热板和底加热板工作, 且镜头与机身的中间部位插有竖隔热板, 板两面喷涂白色漆($\epsilon \cong 0.85$), 以防止加热区交叉影响。提供径向温差环境时, 前加热板和后加热板工作, 沿相机轴向插有横隔热板, 隔热材料由包有铝箔的硬泡沫板组成, 也是防止加热区的交叉影响。

2.4 控温、测温系统的设计

2.4.1 测温系统原理框图

测温点多, 试验的时间历程又很广, 有效地把大量试验数据记录下来是非常重要的, 为此把PC 机作为存储媒体, 以便于数据处理。

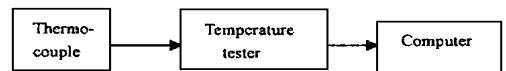


Fig. 2 Temperature testing system principle

2.4.2 控温系统原理框图(共有三套完全相同的电路)

PC 机做为主控元件, 兼顾了测温数据的采集和参考温度的灵活变化。参考温度 T_0 (即温控点) 可根据需要由键盘输入。

控温仪主要由电子开关等元器件组成, 由 PC 机输出的控制信号控制电子开关的导通与否, 从而决定负载与电源的接通或断开。

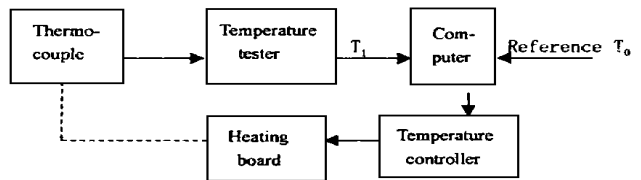


Fig. 3 Temperature controlling system principle

控制方法的优选
A) 开关控制。若采取开关控制方法, 只要 $T_0 > T_1$, 加热板就加热, 直到 $T_0 = T_1$ 时才停止加热; 由于加热板的热惯性很大, 停止加热后, 热室的温度仍然继续上升 2 - 3 , 这样的控制精度不能满足试验要求。

B) 比例控制。 $\Delta T = T_0 - T_1 < 0.1T_0$ 时, PC 机输出控制信号使加热板满功率加热, 热室的温度 T_1 上升, ΔT 变小, 为防止热过冲, 当 $\Delta T = 0.05 T_0$ 时, PC 机开始输出占空比与 ΔV 成正比的比例控制信号, 使热室的温度缓慢上升, $\Delta T = 0.01 T_0$ 时, PC 机输出停止加热

信号, 依靠加热板的热惯性, 热室的温度继续升高, 到 $T_0 + 0.3$ 时开始下降, 此后, 热室的温度稳定在 $T_0 \pm 0.3$ 之间。

比较以上两种控制方法, 比例控制使控制精度大大提高, 为此在本试验中采用该种控制方法。

2.5 温度传感器的选取和安装

a) 温度传感器的选取。温度传感器的分辨力、稳定性直接影响试验的控制精度, 为此采用了精度高, 稳定性好, 反应快的铜-康铜热电偶, 与之配套使用的是 PROCOS—型测温仪, 测温仪可以对多个测温点(最多90个)进行巡回检测, 并有 RS232接口, 可以与 PC 机通讯。

b) 热电偶的制作、安装。热电偶是根据试验所需长度, 参照有关技术规范自己制作的, 必须进行筛选。先从外观上, 把头部有气泡、不光滑的热电偶剔除掉; 第二步把热电偶放入冰水混合物中, 把测温仪显示值 > 0.2 的剔除掉。另外, 为确保测量值能真实反映被测物的温度, 传感器安装时必须严格按照有关技术规范操作。相机上装有传感器26个, 热室的空中吊有3个。

2.6 数据采样频率

由温度传感器感测到的温度信息通过测温仪进行采样、记录, 同时又通过 RS232串行口进入 PC 机存储, 其采样频率可按如下频度进行:

稳态温度场: 每15min 记录一次;

瞬态温度场: 每1min 记录一次。

“稳态”指热室内空气温度相对稳定, 相机内部各测温点的温度波动在3h 内不大于0.1

2.7 热模拟试验前相机的初始技术状态

相机为模样状态, 热模拟试验前安置在带有空调的光学测试大厅, 厅内基本恒温, 环境温度为 22 ± 0.5 ; 相机通过支架安放在大理石光学平台上, 支架为光学测试用 V 型支架, 相机与 V 型支架间用聚四氟乙烯垫隔离。由相机系统、13m 平行光管及照相机组成光学检测系统, 用于热环境测试条件下光学检测。

2.8 相机采用被动热控方式

a) 相机镜头部分采用10层双面镀铝聚脂薄膜包裹;

b) 相机外筒与支架间采用聚四氟乙烯垫隔离。

3 试验过程

3.1 温度水平

在做温度水平试验时, 空气中的三个热电偶参与控制; 首先在室温条件下, 相机经过24小时的自然恒温后, 处于稳态, 照相, 并记录有关参数, 再把温控点 T_0 设为 24 , 控温系统工作, 5h 以后, 相机达到稳态, PC 机发出提示信号, 接着照相, 记录参数; 再把温控点分别设为 26 、 28 、 30 、 32 , 重复上述过程。

3.2 径向温差

做径向温差试验时, 热室内沿着相机轴向方向插有横隔热板, 只有前加热板和后加热板工作, 热电偶1参与控制, 且以主镜上的径向温差为准; 同样, 先在常温稳态条件下, 照相, 记

录参数; 相机外壳是一体的, 虽然只给上半部加热, 由于热传导下半部的温度也随之升高, 因此只能记录瞬态温度场。把温控点 T_0 设为 24 , 主镜上径向温差为 0.1 、 0.2 、 0.3 、 0.4 、 0.5 、 0.6 时, PC 机发出提示信号, 照相, 记录参数。

3.3 轴向温差

做轴向温差试验时, 热室中间部位插有竖隔热板, 只有前加热板和底加热板工作, 热电偶 1 参与控制; 同样, 先在常温稳态条件下, 照相, 记录参数; 把温控点设为 25 、 28 、 31 , 达到稳态时, PC 机发出提示信号(轴向温差分别为 0.5 、 1.0 、 1.5), 照相, 记录参数。

4 试验结果

相机分辨力与温度水平关系如图4

相机分辨力与径向温差关系如图5

相机分辨力轴向温差关系如图6

a) 通过在不同环境温度水平作用下摄影结果表明, 相机分辨力随温度水平升高, 呈下降趋势。如附图4所示, 当环境温度由 24 升至 32 时, 分辨力下降 13 lp, 变化率为 $1.6 \text{ lp} / ()$, 其相机分辨力衰减率为

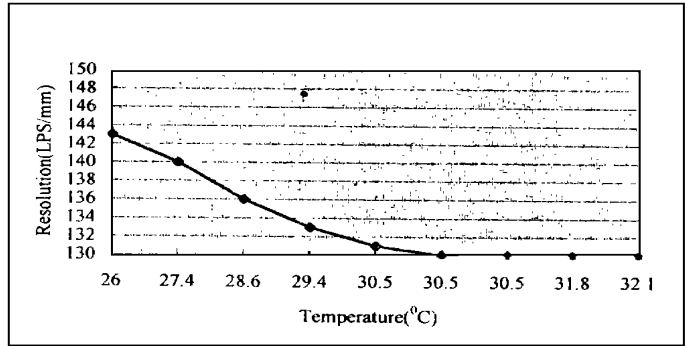


Fig. 4 Relation between camera resolution and temperature standard

$$[(143 - 130) / 143] \times 100\% = 0.09$$

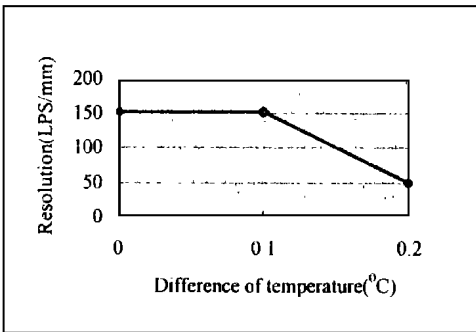


Fig. 5 Relation between resolution and radial difference of temperature

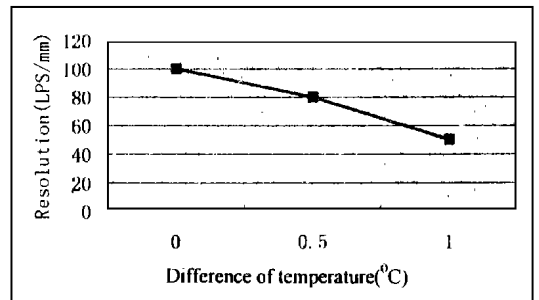


Fig. 6 Relation of resolution and axial difference of temperature

由上结果可知, 环度水平变化对相机分辨力降低影响不大。

b) 相机在轴向温差作用下, 分辨力随轴向温差增加下降, 当相机轴向温差为 1.5 时, 分

辨力由90 lp 下降到50 lp, 分辨力的衰减率为

$$[(100 - 50) / 100] \times 100\% = 0.5$$

c) 相机在径向温差作用下, 分辨力随径向温差增加而下降, 即相机径向温差为0.2 时, 分辨力由151 lp 下降到50 lp, 分辨力的衰减率为

$$[(151 - 50) / 151] \times 100\% = 0.67$$

初步可以得出径向(半径)温差指标为0.2 。

通过比较得知, 径向温差对相机分辨力衰减的影响明显大于温度水平及轴向温差所带来的影响。初步可以得出相机(模样)温度指标如下: 即相机可以适应的范围为

温度水平: 21 ± 4

轴向温差: 1.5

径向温差: 0.2 。

参 考 文 献

- 1 贺安之, 阎大鹏编著. 现代传感器原理及应用. 北京: 宇航出版社, 1995
- 2 闵桂荣主编. 卫星热控制技术. 北京: 宇航出版社, 1991

A Study on Thermal Circumstance Simulative Test of High Resolution Camera

HAN Shuang-Li, SUN Tong-He, LU E, LI Ji-Hui
(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

The process of simulative test of thermal circumstance is reported in this paper, the method of achieving thermal circumstance by CAT is investigated.

Key words: Space camera, Thermal circumstance, Simulative test

韩双丽 女, 1968年4月出生, 1990年毕业于大连理工大学, 并获学士学位。