

空间光学遥感器轨道外热流的模拟

王建设

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要:通过热平衡试验,探索飞行器及其组件特别是关键光学组件受空间高真空和超低温环境作用的热效应规律、验证其热设计的正确性、修正热分析模型以及考核热控系统维持各组件和整个系统在规定工作温度范围内的能力,其中非常重要的一项任务在于采用合理的模拟方法和适宜的加热装置来模拟其轨道外热流的等效作用。针对其结构、表面特性、外热流分布的特点和热平衡试验的要求,叙述了一种轨道外热流的红外模拟方法和工程算法,着重提出了空间光学遥感器外露光学组件轨道外热流的模拟方法及其装置。借助计算机软件,在验证和修正的基础上,确定模拟装置的红外加热片的参数。研究结果提供了一种模拟飞行器组件、空间光学遥感器光学组件外热流的途径。

关键词:空间飞行器;空间光学遥感器;轨道外热流;模拟方法

中图分类号:TH117 **文献标识码:**A

1 引言

飞行器在轨道运行过程中,外露表面受太阳辐射、地球红外辐射和地球阳光反照这三部分主要热因素的作用。这些热源从不同的方位作用于飞行器的外露表面,使得表面各处产生不同的温度分布和波动,影响飞行器有关子系统的工作质量。为了探明其热效应等方面的规律,有必要通过热平衡试验的手段做深入的研究。飞行器及其组件热平衡试验涉及的一项关键技术是用加热装置来模拟轨道外热流,使得被试表面各处到达的热流与实际的轨道外热流的作用等效。本文研究了飞行器,特别是光学组件的轨道外热流的红外加热模拟的方法,叙述了具体的技术路径。对于给定的轨道参数,可按轨道平均和瞬态等情况来考虑这三部分外热流因素。

2 模拟方法与计算

该方法涉及的主要内容有:轨道参数与飞行姿态、结构与表面状态分析,轨道外热流的计算,轨道外热流的等效,红外加热片参数的确定,轨道外热流模拟装置设计等。

2.1 轨道参数与飞行姿态

光学遥感器(飞行器)在轨道上运行时接收的太阳直接辐射、地球红外辐射和地球阳光反照的热量与轨道的方位、形状、大小及其在轨道上的位置有关,需要在一定的假设下对有关的轨道参数进行计算。涉及的参数主要有:近地点、远地点、升交点、降交点;偏心率、倾角(轨道平面与赤道平面的交角)、近地点幅角、升交点赤经;太阳黄经、阳光与轨道面的夹角、会日点到近地点的地心角距、进出地影的真近点角;飞行器离地面的高度、飞行器的相角、飞行器轴线与阳光夹角、飞行器轴线与地球飞行器连线的夹角、光学遥感器(飞行器)表面面元的法线与地球飞行器连线的夹角;运行周期、圈数等等。

光学遥感器(飞行器)在轨道中的运行姿态有:(1)自旋稳定、(2)姿态控制使飞行器主轴在轨道平面内,并且垂直于地球飞行器的连线、(3)姿态控制使飞行器主轴在轨道平面内,并且指向地心。

根据需求和预定的安排,光学遥感器(飞行器)在各个工作阶段处于不同的工作状态,例如,自主飞行段、留轨飞行段。

2.2 结构与表面状态分析

不同种类的光学遥感器(飞行器),其结构和外露部件表面形状往往有着一些区别和各自的特殊性,不仅表面形状各异,而且表面状态和材料性

质亦不同, 这些因素与其接收的轨道外热流密切相关, 故应对此问题进行研究并分类。本着轨道外热流计算和模拟装置设计的方便和需要, 根据其结构、形状、方位、表面状态和与热相关的性质将其划分为若干个区域, 使得每个区域尽可能反映出近于同一性的特征。

2.3 轨道外热流的计算

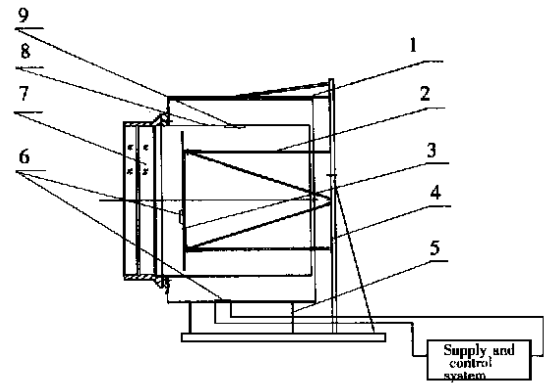
将光学遥感器(飞行器)的外表面划分为若干个区域, 即具有一定形状(矩形、圆形、环状性或接近矩形)按一定秩序排列(如沿母线方向布置)的计算面元, 确定面元尺寸及其数量, 对于给定的轨道参数和工况条件, 用计算机计算每一面元上的太阳辐射、地球红外辐射、地球阳光反照外热流, 计算该面元接收到的轨道外热流总值。可按轨道平均和瞬态情况计算外热流^[1-2]。

2.4 轨道外热流的等效

外热流的等效是实现轨道外热流模拟的基本原则, 即用外热流模拟装置(红外模拟器)来等效太阳辐射、地球红外辐射、地球阳光反照的实际作用。它由红外加热器、热流计、电源及其控制系统组成。

为了能模拟出遥感器外露组件每一部件的外表面、内表面上各区域的太阳辐射、地球红外辐射、地球阳光反照外热流各个成分, 按照其受外热流作用的各个表面的近似形状来构造外热流模拟装置的形状和结构, 并在组件中零部件之间的连接、过渡、交织处对其形状和结构做局部修正, 使得模拟装置的加热片区域与该组件的外露表面的各计算面元在形状和尺寸上保持对应, 然后用表面形状接近于外露表面的若干个能产生热的红外加热片, 离开表面一段距离, 一般约为 100mm 至 150mm, 将遥感器(飞行器)外露组件围起来, 构成模拟装置的加热器。

空间光学遥感器光学系统的一些组件是外露件, 它包括窗口和遮光罩两个组件。遮光罩分内表面和外表面, 情况比较特殊。尤其是光学窗口对外热流的影响颇为敏感, 其外热流模拟的效果将是热平衡试验成败的关键因素。遮光罩的内、外表面外热流是非均匀分布的, 并且各区域上外热流对光学窗口的影响作用是不一样的。为合理地模拟其每一部件外表面和内表面上各区域的外热流, 采用的方法和技术途径常因各自的条件和技术要求的情况而不同。在考虑到遥感器光学系统高精度的特点, 光学窗口和遮光罩结构、表面状态的特殊性, 本文提出了一种构造其外热流模拟装置的方法和结构形式, 示意图见图 1。模拟加热器外层 1 对应于遮光罩的外表面, 模拟加热器内层 2 对应于遮光罩的内表面, 模拟加热器底层 3 对应于光学窗口的表面。模拟器加热的各个部分由支架 4、支架 5 支承。



1- external heater for optical shield, 2- inner heater for optical shield, 3- heater for optical object, 4- support frame, 5- support frame, 6- heating sheet, 7- optical object, 8- optical shield, 9- thermal flux meter

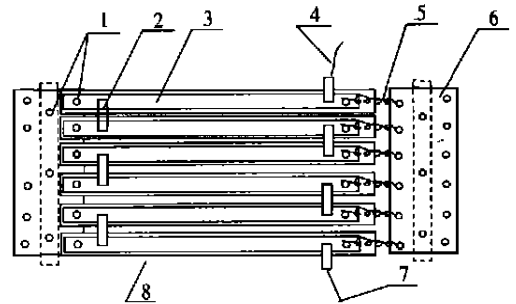
Fig. 1 Simulation of orbit external thermal flux of space optical system

对于某些空间光学遥感器的外露光学系统, 其光学技术指标要求不是太高的遮光罩, 可采用在遮光罩的外端口的虚拟面处设置虚拟面模拟加热器。在遮光罩的外侧仍用模拟加热器外层 1。

2.5 红外加热片参数的确定

2.5.1 红外加热片电功率值

红外加热片的区域形状、尺寸与计算面元对应。红外加热片的结构如图 2 所示。根据算得的各个面元的轨道外热流的数据, 按照等效全面积辐射、有效面积吸收和反射的方法, 或局部近似的方法, 计算出对应区域加热片所应施加的电功率值。



1- screw, 2- connecting plate, 3- heating plate, 4- conductor, 5- spring, 6- frame, 7- conductor, 8- plate

Fig. 2 Heating sheet of the simulator of orbit external thermal flux

2.5.2 电功率数值的修正

为验证红外加热片电功率数值的正确性并据此做适当修正, 提出了一种工程算法。其方法是: 1) 建立热分析模型, 由轨道外热流数据和热边界条件作为热载荷施加于热分析模型, 计算出组件的温度场; 2) 在热分析模型上, 加入轨

道外热流模拟装置的结构, 构成热分析模型, 对热分析模型施加各个区域红外加热片的电功率值和热边界条件, 计算出热分析模型的温度场; 3) 比较温度场与温度场的的数据, 当两者的数据接近时, 将各个区域红外加热片的电功率值作为轨道外热流模拟装置的设计数据; 否则, 做局部修正或调整相应区域加热片的电功率值。若相邻区域红外加热片的形状、尺寸及其电功率值相等或接近, 可将它们合并为同一个区域, 构成一个较大的红外加热片, 从而减小电路控制的数量。

2.6 轨道外热流的模拟装置

在每一个模拟加热器上, 将若干个按一定秩

序排列的红外加热片安装在模拟装置的框架上, 用导线将红外加热片与电源、D/A、计算机连通组成回路, 既构成轨道外热流模拟装置, 另在被试表面设置热流计, 与 D/A、放大器连接且与回路并联, 可实现到达被试表面热流的监测和控制。

3 结 论

文中提出的轨道外热流的模拟方法和算法是一种适宜于飞行器及其组件, 特别是空间光学遥感器光学系统的实用方法, 是进行热平衡试验的技术基础。

参考文献:

- [1] 王建设. 空间光学遥感器轨道外热流的计算与软件设计[J]. 光学 精密工程, 1999, 7(6): 30-35.
- [2] 闵桂荣. 卫星热控制技术[M]. 北京: 宇航出版社, 1991.
- [3] 柯受全. 卫星环境工程和模拟试验[M]. 北京: 宇航出版社, 1993.
- [4] 李积慧, 等. 空间相机的热分析与热控制技术[J]. 光学 精密工程, 1999, 7(6): 36-41.
- [5] 牛晓明. CAE 技术在空间相机光机结构设计中的应用[J]. 光学 精密工程, 1999, 7(6): 23-29.

Simulation of orbit external thermal flux of a space optical remote sensor

WANG Jian-she

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)

Abstract: It is very important to simulate reasonably the orbit external thermal flux of a space flying object and space optical remote sensor through thermal equilibrium experiment in order to investigate them for thermal effect, verify thermal design, and evaluate the capacity of their thermal-controlling system to adapt the space environment. A simulation and computation method for orbit external thermal flux is described, and especially the technique and the device for a space optical remote sensor are presented in connection with structure, surface property, distribution of external thermal flux and thermal equilibrium experiment requirement. And parameters of heating sheet are determined on the basis of computation and verification employing computer software. As a result, it provides an approach for simulating the orbit external thermal flux of a space flying object and space optical remote sensor.

Key words: space flying object; space optical remote sensor; orbit external thermal flux; simulation method

作者简介: 王建设 (1958-) 男, 山西省侯马市人, 博士, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所副研究员, 主要从事数值模拟分析与计算机仿真技术, 工程力学, 有限元分析, 精密机械, 结构设计, 动压润滑, CAD/CAE, 软件开发, 空间光学遥感器热分析计算、热设计和热试验等研究工作。已发表论文 30 余篇。