



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111079340 A

(43)申请公布日 2020.04.28

(21)申请号 201911363181.3

(22)申请日 2019.12.26

(71)申请人 中国科学院合肥物质科学研究院
地址 230031 安徽省合肥市蜀山湖路350号

(72)发明人 曾议 司福祺 杨东上 廖捷
鲁晓峰 曹子昊 叶帅 刘凤垒

(74)专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责
任公司 11251

代理人 邓治平

(51) Int. Cl.

G06F 30/23(2020.01)

G01M 11/00(2006.01)

G01M 99/00(2011.01)

G01R 31/00(2006.01)

G06F 119/08(2020.01)

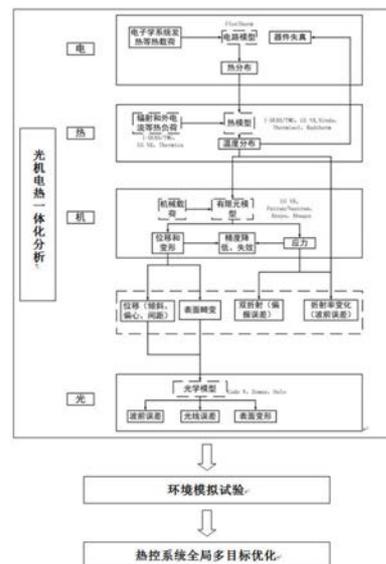
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与优化方法

(57)摘要

本发明公开了一种空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与优化方法,包括:步骤1、进行温度场计算,分别考虑遥感器载荷的温度场描述;步骤2、计算遥感器在不同温度场作用下所引起的光程差变化;步骤3、计算遥感器在热状态下光学系统的性能参数并与任务要求的光学性能指标相比较;步骤4、计算在热状态下电子学系统的信噪比并与任务要求的电性能指标相比较;步骤5、比较结果若满足指标要求,则加大输入给仪器的温度载荷,重复上述计算过程,直至得到不满足指标的临界温度为止,以此作为热控指标;步骤6、通过环境模拟试验评估、验证设计结果;步骤7、综合以上结果,对热控系统加以改进和优化。本发明提高热设计标准准确性,提升设计质量。



CN 111079340 A

1. 一种空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与优化方法,其特征在于:包括如下步骤:

步骤1、进行温度场计算,得到遥感器载荷的温度场描述;

步骤2、计算遥感器在不同温度场作用下所引起的光程差变化;

步骤3、计算遥感器在热状态下光学系统的性能参数并与任务要求的光学性能指标相比较;

步骤4、计算在热状态下电子学系统的信噪比并与任务要求的电性能指标相比较;

步骤5、比较结果若满足指标要求,则加大输入给仪器的温度载荷,重复上述计算过程,直至得到不满足指标的临界温度为止,以此作为热控指标;

步骤6、通过环境模拟试验评估、验证设计结果;

步骤7、综合以上结果,对热控系统加以改进和优化。

2. 如权利要求1所述的空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与优化方法,其特征在于:所述的空间光学遥感器优化设计方法是一种多学科集成化分析、优化方法,建立电学和热学数据接口、热学和力学数据接口,以及力学和光学数据接口。

3. 如权利要求1所述的空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与优化方法,其特征在于:所述的温度场计算,分别考虑载荷的热状态在均匀温度变化及温度分布变化时对温度场的描述,可用Patran/Nastran、NX Thermal、TMG、Flowtherm热分析软件进行温度场计算。

4. 如权利要求1所述的空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与优化方法,其特征在于:所述的计算光程差变化,为计算遥感器在不同温度场作用下所引起的光机结构的热弹性变形及透镜或棱镜折射率梯度变化引起的光程差变化。

5. 如权利要求1所述的空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与优化方法,其特征在于:所述的计算遥感器性能参数,为进行波像差拟合,将所求得的多项式系数代入光学计算软件,计算遥感器在热状态下光学系统的波前畸变、MTF光学性能参数。

6. 如权利要求1所述的空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与优化方法,其特征在于:所述的环境模拟试验,为地面真空模拟热试验。

7. 如权利要求1所述的空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与优化方法,其特征在于:所述的热控系统优化,综合考虑热控系统质量、功耗、工艺性、可靠性因素,采用各种搜索寻优算法,进行多目标约束优化。

一种空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与优化方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种空间光学遥感器的多学科集成优化设计方法,具体是涉及一种对卫星平台上光学遥感器有效载荷进行一体化分析及热设计的方法,包括光、机、电、热的集成分析,以及热控系统的多目标优化设计方法。

背景技术

[0002] 在卫星上的各种有效载荷里,空间光学遥感器是长寿命对地观测卫星的主要有效载荷,通常是具有较高光学性能的光学仪器。在资源勘测、地产评估、减灾、环境监视、军事侦察和监视、海洋开发、气象预报等各个领域有广泛应用,是经济建设和国防建设的重要手段。

[0003] 卫星的轨道寿命与任务性质要求遥感器在严酷的空间环境下具有可靠的光学性能,因此,必须有较高的热稳定性,即良好的抵抗空间热载荷的能力。在轨道运行过程中,其所在轨道位置及飞行姿态处于不断的变化中,所受外热流呈周期性变化,加上内部功耗的不断改变,使结构呈现出在不同部位或同一部位在不同时刻具有不同温度的复杂热状态。这些热负荷对光学系统、光机结构以及电子学系统有着重要的影响。为满足卫星上搭载的光学遥感器载荷对空间环境的适应性要求,保证载荷正常工作并达到性能指标,需要对载荷实施合理的热控制措施。

[0004] 热控制技术是控制载荷内部及外部环境的热交换过程,使其热平衡温度处于指标要求范围内的技术,是载荷各系统中十分重要的保障系统之一。随着空间光学遥感器功能的不断增强,对载荷提出了日益严苛的性能要求,高效的热分析和设计是建立良好热控系统的前提,对于高精度光学仪器来说,其研制涵盖了光、机、电、热等多学科的内容,热控系统与光、机、电等系统相互影响和关联,在设计时要充分考虑一个学科对其他学科相关分系统的影响。

[0005] 对多通道,光路复杂,镜片类型和数量较多,包含多块偏轴非球面镜片的光学系统,热光学分析技术和优化设计方法较少,且对于电子学分系统的影响,现有方法也较少涉及。而对于空间光学遥感器,需要对电子器件作综合考虑,特别是采用电荷耦合器件(CCD)的空间遥感器。对于这类光学遥感器,光、机、电、热的一体化分析、优化方法是很有现实意义的。进一步的,在对热控系统做优化设计时,对热控系统各方面指标进行多目标优化设计的方法还较少。以往的方法更多倚靠工程经验和后期试验验证,设计初期多为定性判断,缺乏定量依据,使得方案不够精确、全面。

发明内容

[0006] 针对现有方法存在的上述问题,现提供一种空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与全局优化的方法。本发明从系统的观点出发,全面考虑光学系统、机械结构系统、电子学系统与外部热环境的关系,将光学、机械结构、电子系统本身看作热设计的一

部分,强调热设计的综合性,整体性。综合传热学、结构力学和光学等多个学科对光学仪器进行光、机、电、热一体化的集成分析,获得遥感器在不同空间热环境条件下的温度场分布、热弹性变形,得到对光学系统成像质量、电子器件性能及各种精密机械结构的影响,最后提出遥感器正常工作所需要的温度水平、梯度、稳定性等指标,及对周围环境的要求。以光、机、电、热集成的分析方法为基础,全面考虑和平衡系统性能,质量,功耗、工艺性和可靠性等因素,选择适当参数,建立多目标优化算法,通过分析迭代,进行全局优化,实现对以上指标的多目标综合优化设计。

[0007] 本发明采用的技术方案如下:一种空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与优化方法,包括如下步骤:

[0008] 步骤1、进行温度场计算,得到遥感器载荷的温度场描述;

[0009] 步骤2、计算遥感器在不同温度场作用下所引起的光程差变化;

[0010] 步骤3、计算遥感器在热状态下光学系统的性能参数并与任务要求的光学性能指标相比较;

[0011] 步骤4、计算在热状态下电子学系统的信噪比并与任务要求的电性能指标相比较;

[0012] 步骤5、比较结果若满足指标要求,则加大输入给仪器的温度载荷,重复上述计算过程,直至得到不满足指标的临界温度为止,以此作为热控指标;

[0013] 步骤6、通过环境模拟试验评估、验证设计结果;

[0014] 步骤7、综合以上结果,对热控系统加以改进和优化。

[0015] 进一步地,所述的空间光学遥感器优化设计方法是一种多学科集成化分析、优化方法,建立电学和热学数据接口、热学和力学数据接口,以及力学和光学数据接口。

[0016] 进一步地,所述的温度场计算,分别考虑载荷的热状态在均匀温度变化及温度分布变化(如轴向、径向以及周向温差等)时对温度场的描述,可用Patran/Nastran、NX Thermal、TMG、Flowtherm等热分析软件进行温度场计算。

[0017] 进一步地,所述的计算光程差变化,为计算遥感器在不同温度场作用下所引起的光机结构的热弹性变形及透镜或棱镜折射率梯度变化引起的光程差变化。

[0018] 进一步地,所述的计算遥感器性能参数,为进行波像差拟合,将所求得的多项式系数代入光学计算软件(如Code-V或Zemax),计算遥感器在热状态下光学系统的波前畸变、MTF等光学性能参数。

[0019] 进一步地,所述的环境模拟试验,为地面真空模拟热试验。

[0020] 进一步地,所述的热控系统优化,综合考虑热控系统质量、功耗、工艺性、可靠性等因素,采用各种搜索寻优算法(如遗传算法),进行多目标约束优化。

[0021] 本发明的有益效果:

[0022] (1) 量化空间环境对载荷性能的影响,提高热设计指标准确性,提升设计质量。弥补现有分析、优化方法的不足,实现高效完善的热设计,为空间光学载荷热控优化设计提供技术支撑;

[0023] (2) 对热控系统做综合优化,实现高效完善的热设计,缩短研制周期,降低系统成本;载荷热系统的多目标优化设计方法更加科学,准确,有说服力。

附图说明

[0024] 图1为本发明的空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与优化方法流程示意图。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图以及具体实施方式进一步说明本发明。

[0026] 如图1所示,一种空间光学遥感器有效载荷光机电热一体化分析与优化方法,包括如下步骤:

[0027] 步骤1、进行温度场计算,得到遥感器载荷的温度场描述;

[0028] 步骤2、计算遥感器在不同温度场作用下所引起的光程差变化;

[0029] 步骤3、计算遥感器在热状态下光学系统的性能参数并与任务要求的光学性能指标相比较;

[0030] 步骤4、计算在热状态下电子学系统的信噪比并与任务要求的电性能指标相比较;

[0031] 步骤5、比较结果若满足指标要求,则加大输入给仪器的温度载荷,重复上述计算过程,直至得到不满足指标的临界温度为止,以此作为热控指标;

[0032] 步骤6、通过环境模拟试验评估、验证设计结果;

[0033] 步骤7、综合以上结果,对热控系统加以改进和优化。

[0034] 光机电热集成分析的目的在于揭示热状态与光学、机械、电子系统性能间的相关性,以及寻求在空间热真空环境下保持系统性能在指标要求范围内的合理设计参数。通过光机电系统的热特性分析,计算确定仪器在满足空间分辨率、光谱分辨率和像质前提下的许用温度水平和温度分布范围,所界定的温度范围为确定热控指标以及热控设计提供依据。仪器光机系统热特性主要通过计算在不同温度场作用下光学遥感器系统的调制传递函数(MTF)是否满足要求进行评价,电子系统热特性主要通过信噪比是否满足要求进行评价。热环境引起MTF和信噪比变化可通过对空间光学遥感器进行电子学、热学、光学、力学集成分析计算得出。

[0035] 光机电热分析过程与光机结构设计过程相反,是电子学散热计算-热计算-结构计算-光学计算的逆仿真计算过程。首先进行温度场计算,分别考虑载荷的热状态在均匀温度变化及温度分布变化(如轴向、径向以及周向温差等)时温度场的描述,可用Patran/Nastran、NX Thermal、TMG、Flowtherm等热分析软件进行温度场计算;然后,计算遥感器在不同温度场作用下所引起的光机结构的热弹性变形及透镜或棱镜折射率梯度变化引起的光程差变化;最后,进行波像差拟合,将所求得的多项式系数代入光学计算软件(如Code-V或Zemax),计算遥感器在热状态下光学系统的波前畸变、MTF等光学性能参数并与任务要求的性能指标相比较。同时,计算在热状态下电子学系统的信噪比,与任务要求的电性能指标相比较。比较结果若满足指标要求,则加大输入给仪器的温度载荷,重复上述计算过程,直至得到不满足光学指标的临界温度为止。该临界温度范围越宽,说明光机电系统对热环境的变化越不敏感。随着系统指标的提高,临界温度范围也会变得越来越苛刻。临界温度也就是有效载荷热控系统设计的指标,考虑到工程中存在一些不确定性因素,实际工程中的热控指标要在计算热控指标的基础上加上一定的温度裕度。

[0036] 从图1可以看出:光机电热一体化分析主要涉及电学和热学接口、热学和力学接

口,以及力学和光学接口3个类别。对于力学和光学接口,不能在现有的商业软件内部得以解决,而是自行编制数据转换接口程序。

[0037] 采用电子系统散热仿真分析软件输出的数据文件,将相关热数据传递给热分析软件。选择在同一套软件架构内实施热分析和力学分析,采用相同的网格结构,将热分析结果作为温度场施加到结构中进而进行热弹性分析。有限元分析得到镜片面型变形后的离散节点数据,然后采用Zernike多项式拟合进行曲面拟和,用连续的函数表征变形后的光学表面。

[0038] 分析和试验是空间遥感器热设计的两个关键环节,本方法将分析和试验结合起来,通过地面模拟环境的真空热试验对热设计进行评估。

[0039] 通过系统的一体化集成分析,得到满足性能指标的热设计方案。在此基础上,综合考虑热控系统质量、功耗、工艺性、可靠性等因素,在满足约束条件的情况下对热控系统加以改进和优化。以质量指标为例说明,在系统设计中,影响到热控系统质量的因素很多,分析各种因素对热控系统质量的影响,比如回路管径、流量等因素,找到这些因素对系统质量的影响规律,计算各因素的合理取值,使其在满足系统功能的前提下质量尽可能地小。这是一个约束极值问题,在这个问题中,系统质量 m 是优化的目标函数,流动传热的数学模型及其它的功能要求是优化的约束条件,所有满足约束条件的点组成的集合为优化的可行域 S ,对每一个自变量参数集合 X (管径、冷媒、流量、辐射器散热处温度等) $\in S$,成立 $m(X) \geq m(\bar{X})$,则 \bar{X} 为最小化问题 $\min m(X)$ 的全局最优解。对热控制系统的轻量化设计是综合考虑所有影响因素的“全局质量优化”。与之类似,对功耗指标作同样的优化。对工艺性和可靠性指标,通过工程分析对其进行评价,将主观评判量化后转化为同类问题。综合以上各优化目标,即得到一个多目标约束优化问题。利用各种搜索寻优算法,如对禁忌搜索,模拟退火,遗传算法等对问题进行求解,实现热控制系统的多目标优化。

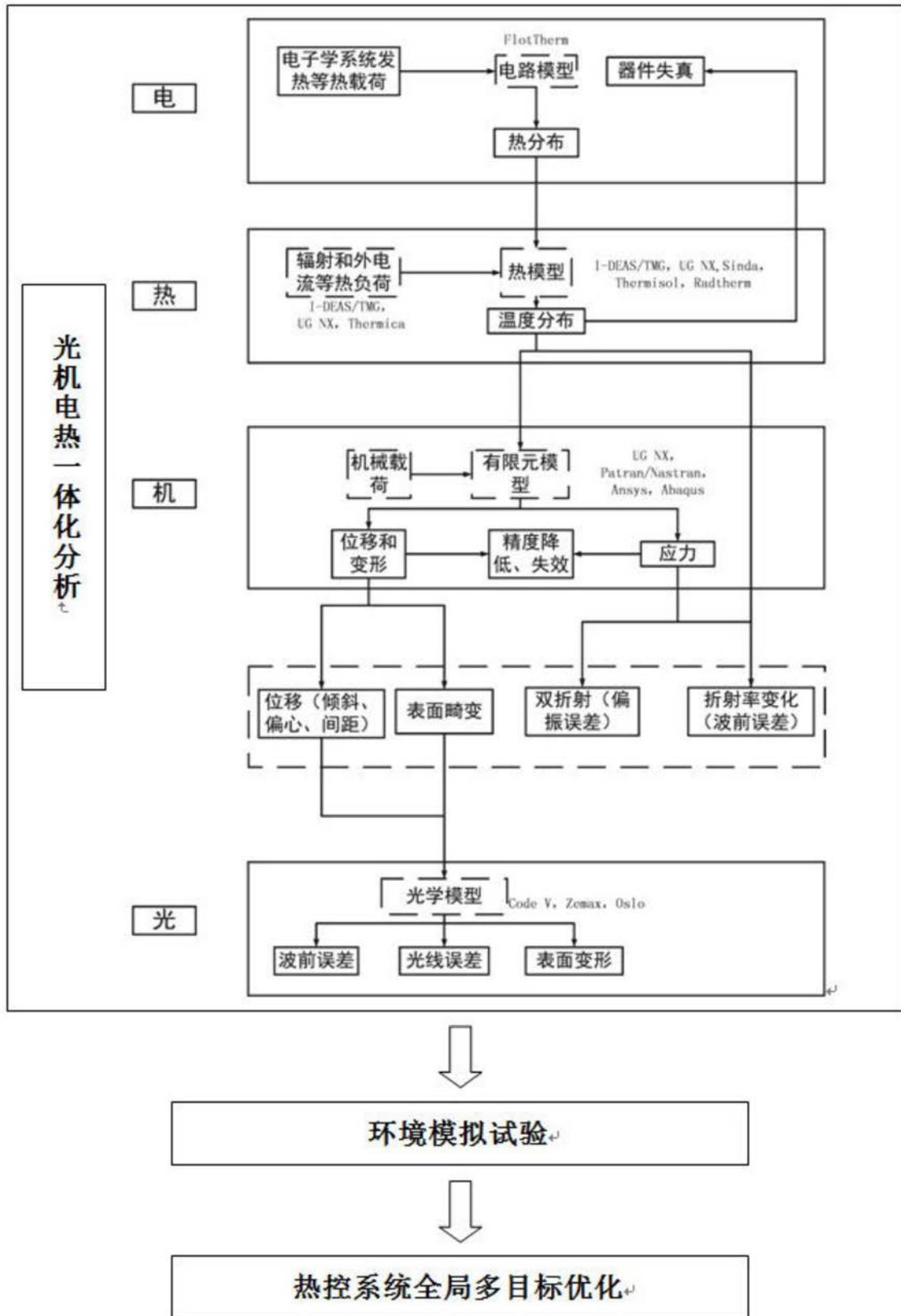


图1