

制导用红外成像系统的可装配性设计

王春生^{1,2}, 喻松林², 宁汝新¹, 刘检华¹

(1. 北京理工大学机械与车辆工程学院, 北京 100081; 2. 华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 阐述了 DFA 的基本理论和方法, 并结合具体实例介绍了其在制导用红外成像系统结构设计中的应用。

关键词: 可装配性设计; 红外成像系统; 结构设计; 红外导引头

中图分类号: TN216 **文献标识码:** A

DFA of IR Imaging System Used in IR Seeker

WANG Chun-sheng^{1,2}, YU Song-lin², NING Ru-xin¹, LIU Jian-hua¹

(1. School of Mechanical and Vehicular Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: The principle and analysis methods of DFA comprehensively are described. Based on a practical design procedure, the feasibility of DFA in structure design of IR imaging system used in IR seeker is also illustrated.

Key words: DFA; IR imaging system; structure design; IR seeker

1 引言

近年来,以凝视红外焦平面器件为核心的红外成像制导技术,成为精确制导研究领域的新热点。而制导用红外成像系统,直接决定着整个导引头的作用距离、制导精度、体积、质量和成本。在制导用红外成像系统的研发过程中,存在着大量的特殊技术问题,其中之一就是该系统的装配工作困难极大,主要表现在以下几个方面。

(1) 装配复杂

红外成像系统是一个光机电一体化的复杂装配体,这是由其零件类型与连接方式的多样性以及光学、电气连接的复杂性决定的。除结构件装配外,光学接口装配、电学接口装配、介质输送管路布局与安装等方面都存在大量工作。

(2) 装配精度要求高

为保证成像质量,该系统对装配精度要求极高,例如红外镜头与探测器之间的偏心、倾斜和轴向间隔公差要求都在几微米到十几微米之内。

(3) 工作环境恶劣

导弹在起飞瞬间以及飞行过程中要承受很强的

冲击和振动,在发射前后温度有剧烈变化。另外,因发射地点和季节的不同,有可能使导弹处于高温、高湿或低温等环境。因此,最终的装配体除了要满足较高的精度要求外,还要满足抗冲击、振动,耐恶劣环境条件等要求^[1]。

(4) 干扰力矩的消除

该成像系统安装在导引头稳定平台上,为了消除对稳定平台的干扰,在其设计中还要考虑整个装配体的重心位置与转动惯量,并合理设计电子学引线及制冷机管路的布局以减小对平台的扭力矩。

(5) 导引头小型化对装配工作提出了更高的要求

导引头的发展趋势之一是小型化,使导引头内部空间进一步缩小,开敞性更差,填充密度进一步加大,使得装配空间更加有限,装配问题更为突出。

有鉴于此,在制导用红外成像系统的结构设

作者简介: 王春生(1974-),男,北京理工大学在读博士生,华北光电技术研究所高级工程师,研究方向为数字化设计与制造,光机设计。E-mail: w_chunsheng2003@163.com

收稿日期: 2008-04-09; **修订日期:** 2008-05-24

计中,必须高度重视结构的可装配性,以免在研发后期由于装配问题引发大的设计更改。本文将结合具体实例介绍可装配性设计(design for assembly, DFA)方法在制导用红外成像系统研发中的应用,该设计方法在研发初期充分考虑后期的装配工作,可以从源头上解决装配问题。

2 DFA 的主要内容

DFA 采用一系列定性的设计准则和定量的分析方法,从不同的侧面对装配结构进行分析,以确定结构设计可装配性、装配质量和机构设计的有效性,从而避免因后期装配问题导致再设计所造成的巨大浪费^[2]。

(1) 面向装配的设计原则

在总结专家经验的基础上形成的用来提高产品可装配性能的设计指南,主要包括减少零件数量;改进定位安装属性;采用模块化设计,提高装配模块的通用化和标准化,提高互换性;减少装配中定位和调整次数;以及设计补偿装置,消除装配过程中的累积误差,达到预期的装配精度。

(2) 可装配性分析

可装配性是指装配模块能以相对较低的成本和较短的时间顺利地装配成产品的能力^[3],是产品相对于装配资源的装配难易程度的一种度量,它与产品结构、装配方法选择和装配资源配置有密切的关系。Strges 把可装配性分为三级:零件级、系统级和工艺级^[4]。对于零件方面,包括质量、体积、重心偏离程度、材料脆性、刚柔性、表面特征、对称性、是否有定位特征、定位方式、抓取难易、是否需借助工具等。对于工艺方面,包括联接方式、装配时保持方位的能力、装配时的阻力、结合时的运动方式等。对于系统方面,包括组成工件数目、装配基准的合理性、装配、拆卸和调整的方便性和可接近性等。

(3) 装配公差分析

在对装配模型分析的基础上,确定组成环和封闭环,生成装配尺寸链,分析各种误差的影响规律。考察各环节装配误差有无相互抵消的可能性,是否需设计补偿环,最终使装配公差得到合理分配,并以公差分析的结果指导装配序列规划。

(4) 装配序列规划

针对某一设计方案,搜索可行的装配序列,并按照可装配性分析与装配公差分析的结果,从可行装配顺序中选出较优的装配序列。

(5) 装配机构仿真

通过数字化预装配,用可视化的手段分析、验证和展示产品的装配工艺过程,包括零件装配过程中空间扫掠体积与已装配零件间的干涉检查以及功能部件运动过程中的干涉检查。

3 DFA 在制导用红外成像系统结构设计中的应用

针对制导用红外成像系统的结构设计方案,从全面提高装配性能的角度出发,应用 DFA 的设计、分析方法进行了如下评价和改进。

(1) 模块化设计

采用模块化设计后,便于制定各个模块的装配技术规范 and 积累装配技术经验,并有利于保证装配质量和提高装配效率。此外,同一等级的装配模块在进入总装之前互不相关,可并行作业,缩短装配周期。按此原则,将系统分为四个主要模块,如图 1 所示。其中连接模块为系统的核心,各模块的装配基准均由连接模块提供,简化了装配关系,有利于保证装配精度。

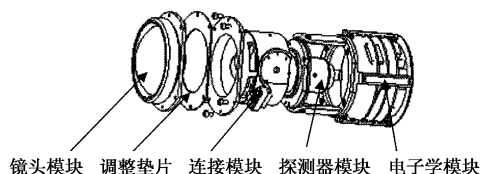


图1 模块划分

(2) 减少零件数目

在满足产品功能的前提下,权衡产品零部件数目和零部件的结构复杂度对产品装配性能的影响,设计多功能、多用途零件,从而减少零件数目,简化装配工作。如图 2 所示的零件,同时承担了镜头模块、探测器模块、电子学模块的安装和定位,以及整个成像系统与主体框架的连接、定位,为多个有相互位置要求的功能模块提供了统一的定位基准,简化了装配关系。

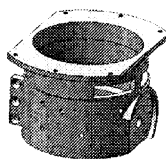


图2 连接件

(3) 装配公差分析与补偿环设计

合理地分配产品的装配公差,可显著地提高其装配性能,降低装配成本。由于装配公差要求严格,现代光学装配工艺只有通过调校式装配,才能使可

达到物理极限的设计结构获得其内在设计质量^[5]。对于制导用红外成像系统的装配来说,由于零件数量多,以及零件、部件的加工、装配误差,往往会出现接口不协调的现象,需采用补偿方法处理。本系统中主要是根据光学设计的要求进行尺寸链分析,确定调整环的位置及调整量,以满足光学接口要求。由于装配空间有限,本系统设计了图1中所示的调整垫片为补偿环,装配时,对其厚度按系统轴向累计误差的实际值进行修配,使成像质量达到最佳。采用调整环之后,可放松对其他组成环的公差要求,改善了装配工艺性,降低了装配成本。

(4) 装配序列规划

按可装配性分析的结果确定连接模块为装配基准件,其在装配过程中可保持装配体稳定及自身的刚度,防止因重力和紧固变形影响总精度。各模块首先并行独立组装,并在工装上确定补偿环的实际修配量。在总装过程中,镜头与探测器之间公差要求严格,应首先进行装配,待其装调到位后,再安装电子学模块。电子学引线与气路导管的固定基础要由结构件提供,因此要在结构件安装到位后再对其进行装配,并通过仿真确定合理的装配位置与操作方式,克服此时装配空间狭小的困难。

(5) 机构运动分析

该导引头主框架开敞性差,操作空间有限,因此在结构设计过程中,做了大量的装配运动空间扫掠体积检查,排除了多处装配干涉隐患,保证了零部件的可达性和装配动作的可操作性。另一方面,该系统安装在稳定平台台体上,随台体进行搜索和跟踪运动,并要严格保证扫描角度。同时,该导引头内部填充密度大,限制了成像系统的运动空间,极易发生运动干涉。有鉴于此,在装配体三维模型的基础上,反复进行了运动干涉检查及设计修改,最终达到了总体要求。

(6) 装配体静平衡设计

红外成像系统的静不平衡将使平台受到绕支架轴的重力矩作用,且在导弹以加速度运动时,引起牵连惯性力矩的作用,从而产生误差。为消除此影响,应将装配体的重心设计在特定的位置上,使其在俯仰、方位等方向达到静平衡。具体方法是在每个零件三维模型的基础上,定义材料属性,在装配模型中合理选择坐标系,模拟出成像系统的质量、重心位置、转动惯量。对不同位置的结构件采用不同的材料组合,并适当添加配重块,从而使装配体相对于转动轴实现静平衡。

(7) 制冷管路的可装配性设计

制导用探测器组件多采用J-T制冷器,其供气管路一端随平台运动,另一端固定于弹上气瓶。该管路可等效为一弹簧负载,当平台转动不同角度时产生不同的干扰力矩,加大了平台的控制难度。为减小此影响,同时为防止管路在运动过程中受损,需将其特定部位设计成螺旋状,并合理选择其走向和安装方式。由于导引头内部空间有限,且该管路的安装是在结构件装配之后进行,必须充分考虑其操作空间和装配可达性,以免给后期装配工艺带来困难。

4 DFA 的实际应用效果

如上所述,本设计中采用DFA方法带来的实际效果主要表现在以下方面:

(1)充分利用了有限的装配空间,使得光学系统可以按照较高的参数设计并实现,达到了总体的要求。

(2)使得整个系统一次设计、加工、装配成功,避免了后期由于装配问题带来的设计修改,缩短了研发周期。

(3)简化了装配工艺,降低了对装配人员的技术要求,减少了对专用工装的需求,降低了装配成本。

(4)通过对装配体的静平衡设计与供气管路的布局设计,降低了对平台电机的干扰力矩,使相关参数达到了总体的要求,同时保证了管路的可装配性。

5 结 论

装配是产品生命周期中的重要环节,对于制导用红外成像系统,其装配工艺复杂,装配难度大,有很多特殊技术问题需解决,本文结合具体实例,介绍了DFA的设计理念及应用,最终实现了从设计本身入手改进产品的可装配性,避免了因后续装配问题而导致的设计更改,节省了产品开发时间和成本。

参考文献:

- [1] 沈世绵. 飞航导弹装调技术[M]. 北京: 宇航出版社, 1992.
- [2] 贾晨辉. 并行工程关键技术—DFA的研究与应用[J]. 机电一体化, 2005, (4): 29–31.
- [3] 顾寄南, 庞伟, 等. 基于装配模块的可装配性评价技术[J]. 农业机械学报, 2003, 34(3): 89–91.
- [4] Sturges Jr R H, Kilani M I. Towards an integrated design for an assembly evaluation and reasoning system[J]. CAD, 1992, 24(2): 67–79.
- [5] 刘秀娥. 透镜和反射镜系统的精密装配[J]. 电子工业专用设备, 1999, 28(3): 63–64.