

飞机总体设计中的能源管理

Energy Management in Aircraft Design

王大勇 郑勇峰 张桥梁 / 中航工业成都飞机设计研究所

摘要: 提出了飞机总体设计中能源管理的概念, 对飞机各能源进行了分类, 分析了各能源之间的关系, 并从总体设计的角度提出了能源管理的优化设计方法。

Abstract: This paper presents the concept of energy management in aircraft design, classifies all aircraft energies, and analyzes the relationship between the energies. From the prospective of aircraft general design, the optimization design method for energy management is proposed.

关键词: 能源管理; 优化设计; 综合; 飞机设计

Keywords: energy management; optimization design; integrated; aircraft design

0 引言

能源包括传统能源和可再生能源。传统能源如煤炭、石油、天然气、核能等, 可再生能源如风能、太阳能、生物质能、水电和地热能以及其他新能源。能源问题实际上包括两个方面: 能源本身的数

量和能源利用的效率, 前者始终是有限的, 而后者可以通过优化设计使其得到最大化, 这就是能源管理问题。

能源管理在各行业中均受到极大的重视。例如, 英国皇家邮递公司在电动货车上装载了微波驱动器能源管理

系统, 大大提高了电动车的性能。能源管理策略在天然气管道运行、烟草生产管理等领域中均得到了采用。同样, 在飞机设计中也存在能源管理问题。民用飞机的航电系统由于采用了集群计算机、综合化模块和总线等技术, 实现了

因, 结构设计、材料选择、热处理、机械加工、安装使用、各种腐蚀现象等, 提出以下改进措施。

1) 在停机后及时清理蒸发器内的残留物, 避免其硬化后对叶片产生冲击力;

2) 对叶片根部危险区, 设计做如下改进: 增加叶片焊点, 保证其有足够的连接强度, 使焊点不会因应力增大而断裂脱落; 在中部不采取焊接方式, 加一片加强块以增加强度; 叶片与轴焊接时, 改进焊接工艺, 确保焊接质量, 使叶片没有缺陷。

AST

参考文献

[1] 美国金属学会. 金属手册: 断口

金相与断口图谱[M]. 第九卷. 北京: 机械工业出版社. 1983: 15-32.

[2] 刘正义等. 机械装备失效分析图谱[M]. 第一版. 广东: 广东科技出版社. 1990: 22-35.

[3] Henry G, Hanstman D. 宏观断口学及显微断口学[M]. 第一版. 北京: 机械工业出版社. 1990: 10-27.

[4] Manson S.S. 金属疲劳损伤[M]. 第一版. 北京: 国防工业出版社. 1976: 22-40.

[5] 上海交大金相分析编写组. 金相分析[M]. 第一版. 北京: 国防工业出版社. 1982: 5-18.

[6] 崔约贤, 王常力. 金属断口分析[M]. 第一版. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出

版社. 1998: 7-12.

[7] 钟群鹏, 田永江. 失效分析基础[M]. 第一版. 北京: 机械工业出版社. 1989: 3-16.

[8] 洪杰, 刘书国, 张大义, 陈萌. 小型短寿命涡扇发动机涡轮叶片疲劳失效分析[J]. 航空动力学报, 2012, 27(3): 604-609.

[9] 徐燕云, 王贵成, 刘钢. HSK热缩刀柄一刀具失效分析[J]. 机械设计与制造, 2012, (2): 177-179.

作者简介

钟山, 高级工程师, 主要从事航空试验设备、试验件等设计。

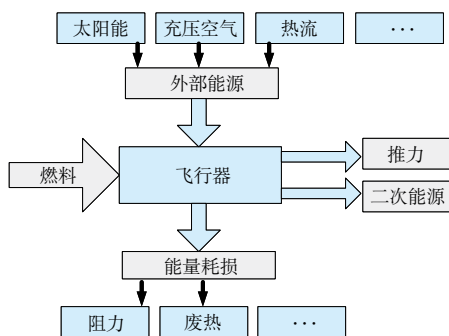


图1 内外能源系统的关系图

对电源、液压源和辅助动力等综合控制,提升了民用飞机运行的经济性、舒适性和可靠性。

1 国外研究进展

美国空军研究实验室(AFRL)已经开展了综合飞行器能源管理技术(Invent)和自适应通用发动机技术(Advent)等针对下一代飞机能源技术的发展计划,并提出能量优化飞机(EOA)概念。2011年底,美国国防部成立EOA指导委员会。该委员会将为EOA国家计划设定目标。2012年9月,该委员会通过三军EOA国家计划信息征询书,向所有供应商对EOA中的综合飞行器能源管理技术计划等4项产品进行技术评论征询。

Invent计划是EOA国家计划的核心,其宗旨在于提高多电飞机的热管理能力,解决低可观测飞机的冷却问题。该技术被认为可增加10%~15%航程,10%~30%动力,其供电和散热能力是F-35等四代机的5倍,重量和体积只有过去的一半。Invent提出的设计理念包括:按照整个飞行包线中平均功率和热载荷进行设计,对于峰值功率需求采用能量存储技术等。目前,AFRL需要重点攻关的3项技术是:混合式电-热管理系统、大容量的电源系统和高性能的机电作动器。Invent计划的另一个目的就是寻找新的热沉方法,并能使用充压空气冷却又不增加红外特性。在F-35的子系统研制过程中,Invent计划考虑了增加动力系统自适应能力和热管理能力,采用鲁棒性好的电源和高性能的电作动系统。Advent计划的目标是在飞机的全飞行包线内,采用发动机循环技术,使飞机兼有高速飞行和长续航时间飞行能力,以优化飞机飞行性能,该计划还将发展能改变发动机风扇和核心流量和增压比的技术,如通过引入第三个外涵道来提高燃油效率。

Advent既可以提高性能又可以提供高燃油效率,耗油率降低15%~25%,可使亚声速战斗机的航程和续航时间

分别增加30%和70%,可使超声速攻击机的航程和续航时间分别增加40%和80%。

另外,正在筹划和实施的高效小尺寸推进(ESSP)技术可使无人机耗油率降低25%;高效嵌入式涡轮发动机(HEETE)技术可使运输机/加油机耗油率降低25%。

2 飞机能源的内涵与分类

参考能源的分类方法,并根据能源和飞机的关系,将飞机能源系统分为内能源系统和外能源系统。

2.1 内能源系统

内能源系统主要是指飞机系统内部自身固有的能源和再生的能源。根据内能源生成的次序和级别,内能源系统还可再分为:1级内能源系统和2级内能源系统。1级内能源系统主要包括:动力能源、燃油、冷却液、电能、氧气、应急动力能源等;2级内能源系统主要包括液压能、环控能源、2级电能等。

2.2 外能源系统

外能源系统主要是指飞机系统借助外部能源所生成的可供飞机使用的能源,主要包括风能、太阳能等。

2.3 内、外能源系统的关系

飞机的内外能源系统、内能源中的各级子系统之间是密不可分的。飞机内外能源系统关系图见图1,各级能源系统关系图见图2。在重量和体积代价约束的条件下,1级能源的总量决定了2级能源的总量,随着2级能源需求的不断增加,研究如何实现各能源间的综合管理、权衡与转化,是飞机总体设计中的一重要课题。

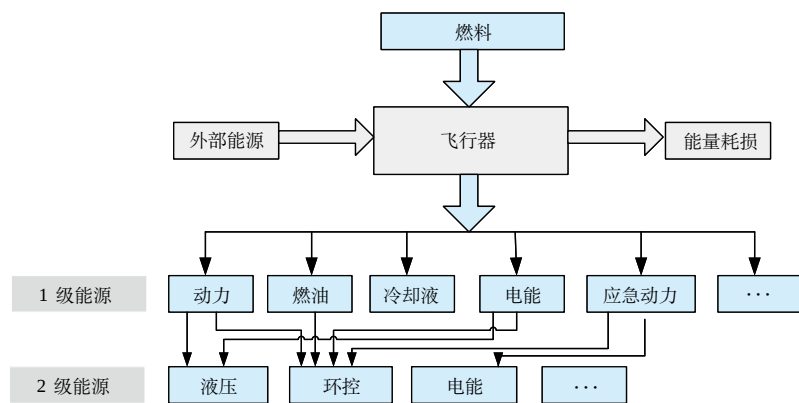


图2 飞机各级能源系统关系图

3 能源需求

在1级能源中,动力系统为保证发动机具备足够的稳定余度,所能提供的

功率是有限的。但随着飞机对机动能力要求的提高,特别是非常规机动,舵面铰链力矩的需求越来越大,使得提供作动器能源的液压能的需求也相应增长。同时,随着航空电子设备的高速发展,负载(包括环控除冰)需求的增加,全机的供电需求也在急剧增加。液压泵、电机和燃油泵同时提出对发动机的大功率提取需求,这必然会造成能源需求的冲突,为总体设计中的权衡工作提出了挑战。

同样,随着负载的增加,环控冷却的能力需求也在增加,尤其是加装机载激光武器设备后,兆瓦级的散热冷却需求更是惊人。除了液冷需求以外,燃油常常作为环控系统的热沉,由于油量是有限的,并且会随着时间的损耗,机载燃油将越来越不能满足散热的需求。

在飞机总体设计初始阶段就考虑能源系统的设计与管理是非常必要的。例如,传统飞机上的各种机电系统都是独立发展的,常常会导致某一机电系统所废弃的能源恰好是另一系统所需要的,但却无法利用。各机电系统的控制信息不能共享,各机电系统布局分散,硬件多、利用率低、通用性差、布线复杂。在设计之初开展能源综合设计能较好的解决能源需求矛盾问题。

4 总体设计方法

4.1 2级能源总体优化设计方法

要解决上述能源需求和管理难题,可以从优化2级能源的配置入手。

1) 提高能源转化效率

采用减阻/增升、优化飞行策略等措施,降低1级能源耗损,提高能源利用率。主要包括以下措施。

a. 优化螺旋桨,包括优化桨叶数和桨翼型等,以提高拉力/推力。

b. 外形整流,包括后机身修形,减

少底阻。采用后机身增加涡流发生器,降低后机身涡流阻力,以及层流优化、保形天线、升力分布控制等措施,可使燃油效率提高15%。

c. 大多数民用飞机采用增加翼梢小翼的方式可减少升力损失,增加大约30%的航程。

d. 改进增升装置,包括提高机翼密封性,采用高升力系数襟翼装置等。

e. 优化飞行策略,以能源消耗最小为目标值,进行飞行优化设计。

2) 系统功能结构化、结构功能系统化

在广义方面,系统在满足相同功能的条件下,如果重量和体积越大,飞机付出的能源代价也越大。减少重量和体积的一种有效的、间接的方法就是系统功能结构化、结构功能系统化。

a. 系统功能结构化。设计人员经常遇到的一个难以解决的问题是系统成品的外壳或支架的强度经常比支持结构要高。下一代飞机多采用复合材料的整体成形技术,在结构设计时可以预制一些“隔间”。系统成品则是采用不同用途的功能卡,根据需要进行更换插拔。系统功能结构化不仅减少全机总重量,而且会提高全机的整体的抗弯、抗扭能力。

b. 结构功能系统化。随着复合材料的发展,部分机体材料已经具备了一些系统功能,如碳纳米管(CNT)材料,其强度是钢的50倍,重量仅为其1/10。同时,CNT的刚性也非常好,热传导性能和导电性能分别是钢的3倍和数百倍。由碳纳米管材料制成的电缆,其减重效果和导电性都得到了提高;采用碳纳米管材料后,机体可以解决电磁屏蔽和接地问题,并降低雷达散射截面(RCS)和自防冰能力;经专门处理后,机体局部表面还可作为红外探测器使用。此外,耐腐蚀的复合材料可代替防腐漆;具有吸收振动能量的复合材料起落架可替

代着陆缓冲器的作用等。

3) 合并优化部分2级能源

第四代的组合动力装置(即热管理型IPU)将辅助动力、应急动力、液压系统、座舱和电子设备的环境控制、燃油的热管理等系统合并到一个整体系统中,其显著的技术特征是压气机、动力涡轮、高压直流发电机和环控制冷涡轮同轴。通过合并优化2级能源,1级能源可更直接地转化为2级能源,大大减少了系统零件数量和重量,降低了成本,提高了系统可靠性;另外,避免了环控系统从发动机直接引气,改善了发动机性能,减低了燃料消耗,同时提高了飞机的隐身性能。

从液压系统的发展来看,从传统的集中式液压系统发展到分布式液压系统,最终必将由多电飞机的电气系统完全代替液压系统。以功率电传系统的发展为例,取消传统液压作动器(HAS),组合电液作动器(EBHA)和电静液作动器(EHA)将使分布式液压系统代替集中式液压系统,而机电作动器(EMA)将直接使用电能而不需要再转换成液压能,效率更高、结构简单和易于维护。

4) 优化2级能源之间相互转换

目前,现役飞机上的各种机电系统都是独立发展的,而且飞机系统和发动机系统之间也是相互独立的。虽然在设计时考虑了各系统之间的接口关系和相互影响,但是并没有把飞机机电系统作为一个整体进行综合设计。这种传统的设计方法必然会产生以下问题:

a. 一种机电系统所要利用的能量虽然正是另一种系统所废弃的,但是却又无法把废弃的能量作为一种能源加以利用,即不能实现机上能量的综合利用;

b. 各机电系统的控制信息不能共享;

c. 各系统在布局上分散,硬件多、

阻比均大大超过涡喷发动机,而且可以高效率的工作。所以,冲压发动机是远程超声速巡航导弹或飞行器首选的动力系统。

在发动机意外熄火的情况下,冲压空气涡轮(RAT)能够从飞机飞行的空速中获取能量帮助起动发动机。通过冲压空气涡轮,冲压空气驱动发电机和/或液压泵为飞机提供应急电源和应急液压源,同时,冲压空气还可带走飞机上多余的热负载。目前,例如F-4、F105、波音757/767/777,以及A321/330/340等飞机都配有RAT。

另外,增大引气量会对飞机的航程和发动机推力造成较大影响,通过对冲压空气涡轮进行综合设计优化,既要满足发电功率和环控冷却需求又要满足飞机的飞行性能。

3) 激波升力

利用激波升力飞行的乘波体飞行器就是利用下表面的激波把高压气流完全封住,不会绕过前缘到上表面去。因此,乘波体只需要较小的迎角就能产生较大的升力。低阻、高升力、高升阻比是乘波体飞行器的三大气动特性,是高超声速飞行器最佳的外形选择,也是利用外部能源进行飞行的最佳例证。

4) 外部热流

在进行高超声速飞行时,外部巨大的热流需要外部防热系统和环控热管理系统的综合作用。采用传质换热的热防护系统可通过飞机上的燃油、冷却液、气体等吸收部分外部的热流,同时,对燃油进行了预加热提高了燃烧效率。利用热电制冷、热电再利用也是需要研究的方向。

5 一种综合化的能源系统总体顶层设计

在进行飞机能源总体设计优化

时,首先要确定系统功能,其次是确定该功能所需要能源,然后计算1级能源和2级能源的转换效率。

飞机能源总体设计优化采用功能分析与性能分析的设计方法见图3。从飞机总体功能要求分解成各个分系统功能要求,先由下到上,从分系统的能源应用到能源分配,再到能源生成,最后到所需最大燃油量;由上到下,由任务实现所需的燃料到能源生成,能源分配和能源消耗,验证是否符合总体要求。

在进行飞机能源总体综合设计优化时,如果动力能源是定量P,电能E1,应急动力EP,燃油F,冷却液C等,那么1级能源总量 $S1 = P + E1 + EP + F + C + \dots$ 。如果液压能H,环控EC,2级电能E2等,那么2级能源总量 $S2 = H + EC + E2 + \dots$ 。

飞机能源总体综合设计优化涉及机上每个机载系统和多个学科,包括气动、重量、性能、系统和结构,需要综合起来进行设计优化。多学科设计优化MDO(Multidisciplinary design optimization)概念将各系统和各专业的高精度分析模型和优化技术有机的集成起来,寻找一种最佳的设计方法。它的优势在于:

1) 分析模型中采用各学科已成熟的数值分析方法,较少依赖统计数据或经验公式,可用于新型飞机能源总体综合设计优化;

2) 通过研究各系统间的耦合关系,在获得飞机各系统功能满足要求情况下,达到所需能源最少这个最优解。

飞机能源总体综合设计优化也可以采用一种基于模型的设计方法,建立飞机能源管理技术的动态数学模型而不是静态的数据表格,用来精确描述系统之间的交互作用和瞬态响应。

飞机能源总体综合设计优化可以

使用MDO工具进行设计优化。目前,成熟的MDO工具较多,例如,由美国航空环境公司研发的主要用于高空长航时无人机的HALE MDO工具已成功用于“全球鹰”无人机的设计和优化。NASA德莱顿飞行研究中心研发的MDO是一种自动分析、设计流程工具,它利用现有的工具实现亚声速、跨声速、超声速和高超声速飞行器初步设计阶段真正的多学科优化。

6 结束语

飞机总体设计中的能源管理方法研究,不仅要有全面的专业知识结构和研究工具,还要有丰富的工程研制经验。飞机能源总体综合设计优化在未来的飞机总体设计中将会越来越重要,优化设计的理论和工具也会更加丰富和成熟。

AST

参考文献

- [1] 郭生荣.航空机电系统综合化技术展望[J],国际航空,2012,(8):49-52
- [2] 陈亚莉.碳纳米管材料步入生产里程[J],国际航空,2011,(1):46-50
- [3] A.L.Phillips, Nelson J. Gernert. 利用废热的飞机被动防冰系统[C],“全球鹰”技术文集,成都飞机设计研究所,2009.

作者简介

王大勇,工程硕士,高级工程师,从事飞机总体设计工作。

郑勇峰,工程硕士,工程师,从事飞机总体设计工作。

张桥梁,工学硕士,工程师,从事飞机总体设计工作。