

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2017.06.026

拉杆吊挂式辅助动力装置安装系统设计

黄飞*, 姚平安, 缪志松

航空工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089

摘要: 针对辅助动力装置安装系统, 从系统具体的功能要求及设计指标要求出发, 研究了拉杆吊挂式安装系统不同拉杆布置形式对整体传力的影响, 给出了系统设计力学分析流程。以型号研制为例, 重点分析了系统的减振设计及其分析方法, 分析结果表明, 设计的辅助动力装置安装系统可以满足指标要求。该设计方法和流程可为其他型号提供参考。

关键词: 辅助动力装置; 安装系统; 安装拉杆; 减振器

中图分类号: V228 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2017) 06-0026-04

辅助动力装置 (APU) 是现代大中型军民机不可缺少的系统设备之一, 主要功能是为飞机提供压缩空气或电力, 以起动发动机、提供环境引气或作为空中应急动力源等辅助作用^[1]。APU 本质上是一台离心式涡轮发动机及发电机设备, 除了要满足飞机引气与供电需求, 同时由于 APU 压气机、涡轮、发电机等部件的高速运转带来的振动问题, 因此, APU 还应满足在飞机上的安装与减振要求。

APU 的安装位置一般为机身尾部、主起落架舱内或发动机舱。随着 APU 重量和尺寸的增加, 为了满足降噪减振要求, 民用飞机一般将 APU 安装在机身尾部, 即飞机尾锥处^[2]。APU 在飞机尾锥处的安装可分为 3 种主要形式: 托架式安装、支撑式安装和拉杆吊挂式安装。托架式安装和支撑式安装多应用于小型飞机上重量较轻的 APU 安装; 拉杆吊挂式安装具有结构简单、维修性好等特点。本文主要针对拉杆吊挂式 APU 安装系统设计进行分析。

1 设计要求

1.1 功能要求

APU 安装系统主要功能是通过合适的安装结构形式将 APU 可靠地固定在飞机上, 使 APU 在不同飞行状态下都能正常工作。其主要功能要求包括: (1) 应能承受飞机飞行包线内任何飞机工作状态, APU 加上所装附件重量的惯性载荷、陀螺力矩载荷和扭转载荷, 以及 APU 型号规范规定的地

面工作极限, 而没有故障和永久变形; (2) 转子卡滞、转子轮毂破裂和甩出或承受极限载荷时, 安装系统应有承载能力不失效; (3) 必须能够隔离或减弱 APU 传给飞机结构的振动; (4) 能吸收和降低飞机结构的振动, 从而隔离或减弱飞机结构传给 APU 的振动; (5) 有效防止由于 APU 热膨胀、飞机变形、与 APU 相连的任何飞机管道或任何其他 APU/飞机界面连接处的热胀冷缩引起的过大 APU 载荷; (6) 应能补偿系统零部件允许的制造误差和装配误差。

1.2 主要设计指标

APU 安装系统主要包含安装结构及减振器, 其中安装结构需要满足相关的力学性能要求。针对 APU 安装系统的主要设计指标为: (1) 在正常 APU 工作转速及发电机转速下, APU 安装系统的设计传递率不应超过 5%, 甚至更小; (2) 安装在柔性减振器上的 APU 其一阶固有频率不应过低以造成较大的振幅, 一般应大于 10Hz; (3) 减振器要有适当的阻尼以最大限度地隔离 APU 与机体之间的振动, 减振器阻尼系数在 0.1~0.25 之间, 可根据系统的实际振动参数确定; (4) 对比设计刚度, 减振器交付刚度变化不超过 $\pm 30\%$ 等。

2 APU 安装系统结构形式

拉杆吊挂式安装采用带有减振器的拉杆体系将 APU 固定在尾锥承力框架结构上, 如图 1 所示。安装拉杆布置形

收稿日期: 2017-03-01; 退修日期: 2017-04-18; 录用日期: 2017-04-21

* 通讯作者. Tel.: 029-86832447 E-mail: flyhobo@163.com

引用格式: HUANG Fei, YAO Ping'an, MIU Zhisong. Design of strut suspended APU mounting system [J]. Aeronautical Science & Technology, 2017, 28 (06): 26-29. 黄飞, 姚平安, 缪志松. 拉杆吊挂式辅助动力装置安装系统设计 [J]. 航空科学技术, 2017, 28 (06): 26-29.

式一定程度上决定了 APU 整体的动力学特性以及拉杆的受力情况。拉杆布置的目标是用最简洁的拉杆体系,保持 APU 在整个飞行包线内载荷平衡、传力合理。拉杆布置需要考虑载荷情况、损伤容限与冗余设计、传力路线、系统安全等因素,以保证 APU 安装系统能够承受飞行中的各种载荷。

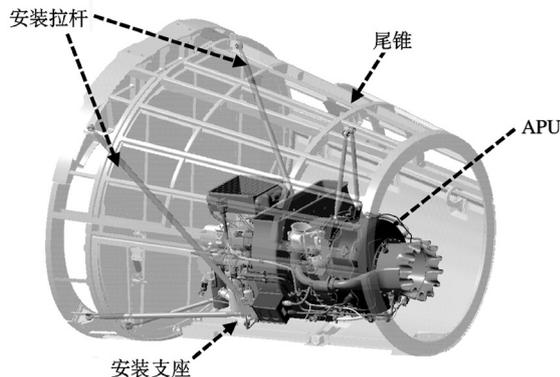


图 1 APU 安装在飞机尾锥处的安装

Fig.1 APU mounting system in aircraft tail cone

在对安装系统进行受力分析时,通常将 APU 作为六自由度刚体,安装拉杆为只承受拉压作用的二力杆。因此,为了保证六自由度刚体的稳定,则至少要求在 APU 上具有 3 个安装节用于固定安装拉杆。根据安装拉杆数量的不同,安装系统可分为静定和超静定系统。一种典型的静定安装系统为 6 根拉杆组成的“3-2-1”布置方式,如图 2 (a) 所示。其中左右安装节连接拉杆可承受横向、垂向以及航向力。而后安装节仅可以承受垂向力。

“3-2-1”静定安装拉杆布置形式为单传力路径结构,因此,任何一根拉杆发生失效断裂都会使 APU 产生不稳定位移。利用该布置形式作为安装系统构型时,需要通过损伤容限分析对结构强度进行评估和验证。该构型传力路径较短,系统重量轻,波音 787 飞机即采用此构型。

为了保证 APU 安装系统的安全性,大多数 APU 安装采用超静定的冗余结构。具有 3 个安装节的 APU 的超静定安装系统构型一般为“3-2-2”构型,如图 2 (b) 所示。该安装系统构型存在 7 根拉杆,理论上任意一根拉杆断裂失效,其余 6 根拉杆仍可以组成静定的结构,空客 A320 即采用此构型。该拉杆布置形式安全性较高,同时由于增加一根拉杆,安装系统的重量也略有上升,一般增加 5%。

部分 APU 具有 3 个以上的安装节,同时为进一步提高安装系统安全裕度,还可以继续增加安装拉杆数量,组成“3-2-1-1”或“3-2-2-1”形式的冗余安装系统构型,如图 2 (c)、图 2 (d) 所示。过高的冗余会导致安装系统重量和成本的增加,同时还会带来安装过程中的配合公差和热补偿问题。

因此,需要根据 APU 系统重量、飞行载荷大小以及机身结构形式等因素确定合适的安装系统构型。

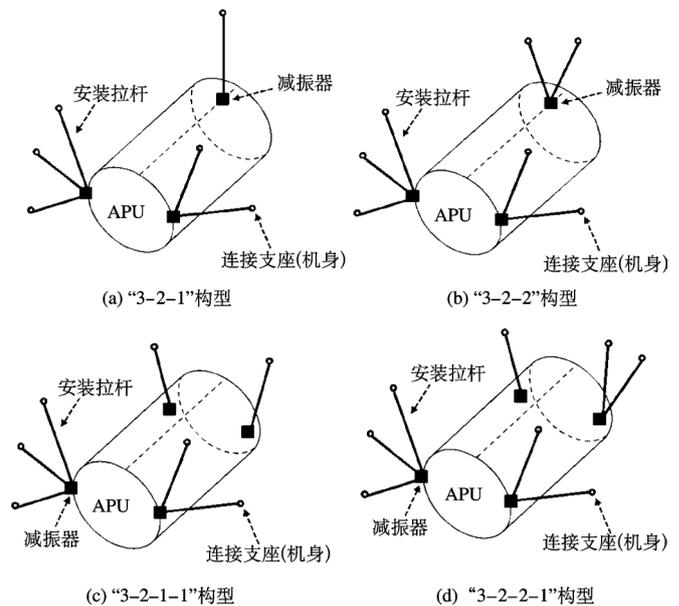


图 2 安装系统构型

Fig.2 APU mounting system configuration

3 APU 安装系统设计力学分析流程

合理的力学分析流程是保证 APU 安装系统设计安全性与可靠性的基础。APU 安装系统设计过程中的力学分析主要包括:静力分析、疲劳分析以及动力学分析^[3]。在 APU 安装系统力学分析过程中,首先需要根据选定的 APU 安装系统构型,确定安装拉杆与机身结构框初步连接位置并提取连接点刚度数据,结合载荷与振动环境以及 APU 惯性数据(重量、重心及转动惯量等)通过静力分析确定安装拉杆及安装支座初步几何尺寸,通过动力学分析初步确定减振器阻尼、刚度等参数。然后对安装系统关键部位进行强度校核并分析其是否满足动力学设计指标。最终通过静力与疲劳试验验证安装系统设计的合理性。分析流程如图 3 所示。

安装拉杆和支座是 APU 安装系统主要的传力部件。必须保证其能够承受飞行过程中的各种载荷而不发生永久变形或断裂。此处的载荷主要是 APU 重心处的惯性载荷,还包括 APU 转子卡滞载荷、主发动机风扇叶片脱落载荷(MEFBO)和陀螺力矩。APU 安装拉杆为薄壁圆管结构,计算过程中简化为只能承受拉压载荷的杆单元。对于承受压力载荷的拉杆其主要的失效形式为压缩失稳。一般使用欧拉(Euler)公式或较为保守地使用约翰逊(Johnson)公式校核其稳定性。最终还需要通过拉杆压缩稳定性试验验证。

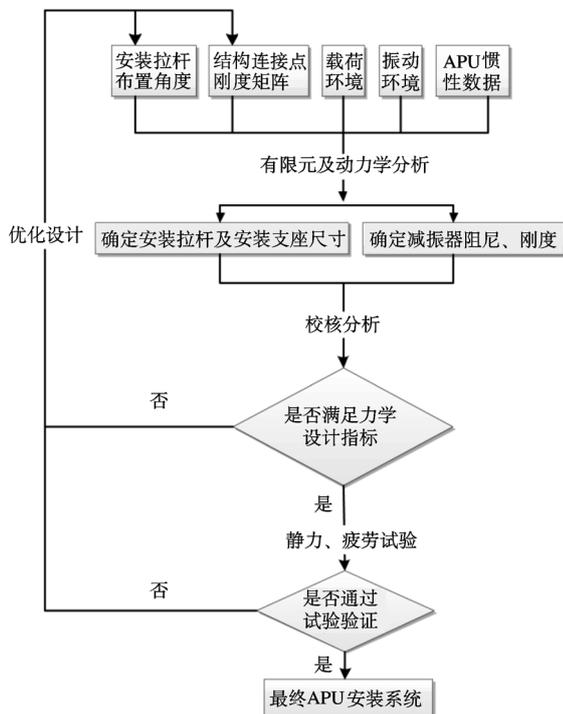


图3 APU安装系统力学分析及验证流程

Fig.3 APU mounting system mechanical analysis and verification process

APU 安装支座结构形式较为复杂,需要通过有限元分析确定支座受力关键部位,如图4所示。然后根据其受力形式,校核关键部位的强度。在设计 APU 安装支座时,应特别注意螺栓夹持力造成的接头耳片根部应力集中,此应力集中区域容易产生裂纹甚至断裂。需要通过应力分析表明该弯曲应力不会引起破坏失效,或采用滑动衬以避免耳片根部弯曲预应力的产生。

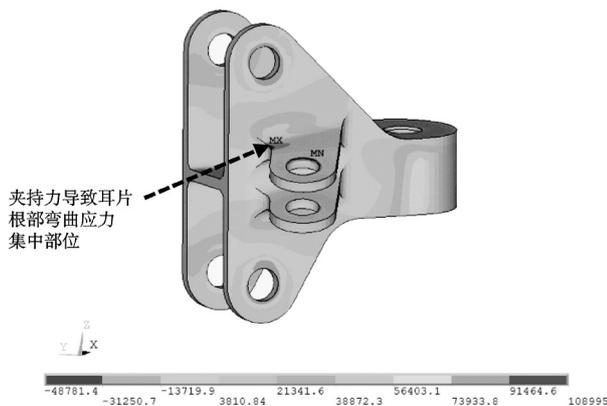


图4 耳片弯曲导致的高应力区域

Fig.4 High stress area due to bending of clevis ear

运输类飞机地-空-地循环载荷造成的结构损伤占主要地位,所受过载相对较小。因此,必须对 APU 安装系统(主要为安装拉杆和安装支座)进行疲劳强度分析,对于破

坏失效不会引起灾难性后果的 APU 安装系统,适航规章中允许采用安全寿命方法分析保证其在整个服役期内的安全性。也可以采用裂纹扩展方法确定一个合理的检修周期,保证在此检修周期内安装系统能可靠工作。最终还需要通过疲劳试验加以验证。

4 APU 安装系统减振设计

减振器是 APU 安装系统的核心部件,也是隔离 APU 与机体之间振动的主要部件。APU 减振器一般由弹性阻尼材料来耗散结构振动能量。目前,多数飞机采用如图5所示的“罐头状”减振器^[4]。橡胶包裹在外层金属壳体之内,由橡胶部件挤压减振。较新型的飞机采用球头拉杆减振系统。球头拉杆减振系统利用拉杆两端包裹有橡胶材料的金属球头起振动隔离作用,如图6所示。相比于传统“罐头状”减振器,球头拉杆减振系统具有重量轻、维修性好以及占用空间小等特点,能够在狭小的空间内实现 APU 的拆装。将是以后 APU 安装系统发展趋势。

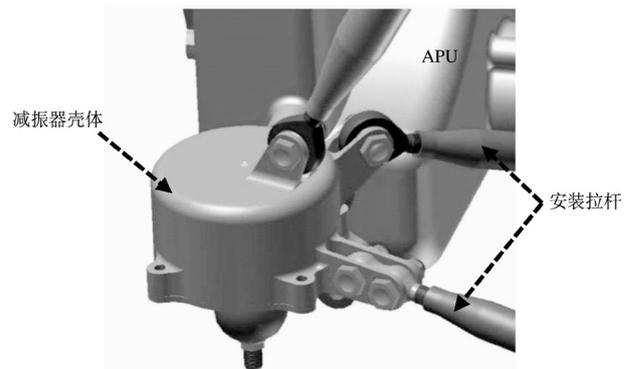


图5 “罐头状”APU减振器

Fig.5 “Canister” APU absorber

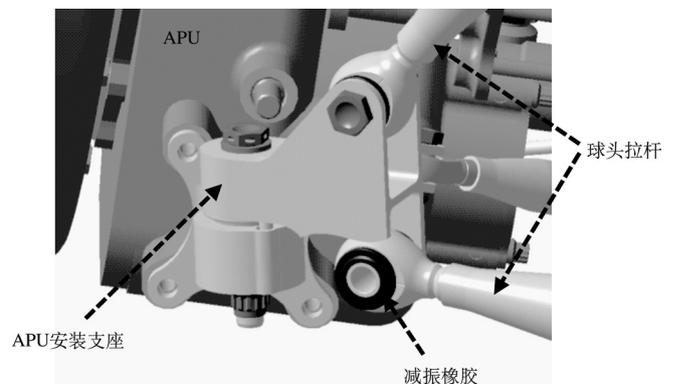


图6 球头拉杆减振系统

Fig.6 Ball tie rod damping system

评价减振器性能的主要指标是传递率。减振器刚度及阻尼参数的选择应该使 APU 工作主频对应的传递率尽可能地

降低,同时还要保证共振放大倍数不应过大,需要在两者之间寻求平衡,即选择合适的减振部件阻尼系数使共振放大倍数和传递率最优化。APU系统的一阶固有频率不能过低而导致较大的振幅。图7是某型飞机所使用的球头拉杆减振系统在垂向的传递率,该减振系统由7根球头拉杆和APU支座组成。分别计算每根拉杆的传递率。在APU转速及电机转速频率下(APU转速频率758.2Hz,电机频率200.7Hz),球头拉杆传递率均低于3%,满足设计指标要求,在其他两个方向亦相同。

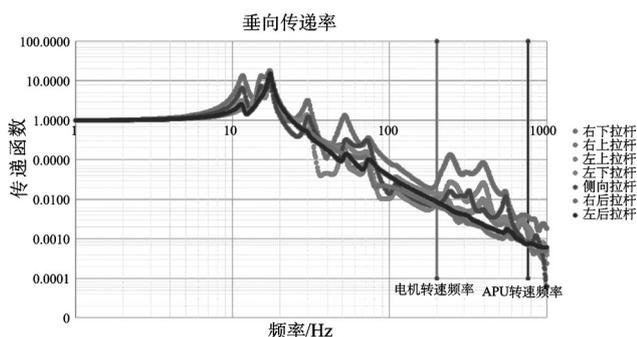


图7 球头拉杆减振系统垂向传递率

Fig.7 Dynamic force transfer function of ball tie rod damping system

5 结束语

辅助动力装置安装系统对飞机重量、振动噪声、维修性等有着重要的影响,设计结构简洁、工作可靠、减振高效的安装系统是APU系统设计的重要目标之一。本文通过对APU安装系统的研究,从系统设计指标、安装拉杆布置形式、力学分析流程、减振设计及试验等方面提出了一套设

计方法,对后续APU安装系统设计具有一定的参考价值。

AST

参考文献

- [1] 中国人民解放军总装备部. GJB 3971—2000 航空燃气涡轮辅助动力装置通用规范[S]. 2000.
PLA General Equipment Department. GJB 3971—2000 General specification for aviation gas turbine auxiliary units [S]. 2000. (in Chinese)
- [2] HB/Z312—1998 飞机燃气涡轮辅助动力装置安装设计指南[S]. 北京:航空工业出版社,1998.
HB/Z312—1998 Aircraft gas turbine auxiliary power units installation design guideline [S]. Beijing: Aviation Industry Press, 1998. (in Chinese)
- [3] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册:第9册 载荷、强度和刚度[M]. 北京:航空工业出版社,2000.
Aircraft Design Manual Board. Aircraft design manual: the 9th copies Load, strength and stiffness [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2000. (in Chinese)
- [4] Tomkins F A. Airborne auxiliary power units installation handbook [M]. Garrett Turbine Engine Company, 1983.

作者简介

黄飞(1989—)男,硕士,助理工程师。主要研究方向:飞机动力系统设计研究。

Tel: 029-86832447 E-mail: flyhobo@163.com

Design of Strut Suspended APU Mounting System

HUANG Fei*, YAO Ping'an, MIU Zhisong

AVIC The First Aircraft Design Institute, Xi'an 710089, China

Abstract: The influences of different strut suspended APU mounting system on force transfer were studied based on specific system function and design requirements. A mechanical design process for APU mounting system was provided. System vibration isolation design and analysis approach were deeply analyzed by taking the specific aircraft design for example. Result showed that the designed APU mounting system could satisfy the design requirements. The design process of strut suspended APU mounting system can be used as a reference for the other aircraft.

Key Words: APU; mounting system; mounting strut; damper

Received: 2017-03-01; Revised: 2017-04-18; Accepted: 2017-04-21

*Corresponding author. Tel. :029-86832447 E-mail: flyhobo@163.com