

航空发动机引气系统工作原理与性能影响因素研究

董钹

空装驻新乡地区军事代表室

DOI:10.12238/etd.v6i6.16802

[摘要] 本文聚焦航空发动机引气系统,概述其作为飞机关键部分,为多系统提供气源动力。详细阐述工作原理,包括引气来源、调节控制与分配使用。分析引气压力、温度、流量等性能指标,探究发动机工况、环境等性能影响因素。旨在深入了解该系统,为提升其性能,满足现代航空业对安全与经济性的追求提供理论依据。

[关键词] 航空发动机; 引气系统; 工作原理; 性能影响因素

中图分类号: V231.3 **文献标识码:** A

Research on Working Principle and Performance Influencing Factors of Aero-Engine Bleed Air System

Tan Dong

Military Representative Office of Air Force Equipment Department in Xinxiang

[Abstract] This paper focuses on the aero-engine bleed air system, outlining its role as a critical component of an aircraft that provides air supply power for multiple systems. It elaborates in detail on the working principle, including bleed air sources, regulation and control, and distribution and utilization. The performance indicators such as bleed air pressure, temperature, and flow rate are analyzed, and the performance influencing factors such as engine operating conditions and environment are explored. The aim is to gain an in-depth understanding of this system and provide a theoretical basis for improving its performance to meet the modern aviation industry's pursuit of safety and economy.

[Key words] Aero-Engine; Bleed Air System; Working Principle; Performance Influencing Factors

引言

在现代航空领域,航空发动机的性能至关重要,而引气系统作为其关键构成,对飞机安全高效运行意义重大。它为环境控制、防冰等诸多系统提供气源动力,直接影响飞行体验与安全。随着航空技术发展,对引气系统性能要求日益严苛。深入研究其工作原理与性能影响因素,有助于优化系统设计、提升性能,推动航空事业持续进步。

1 航空发动机引气系统概述

航空发动机引气系统是现代航空发动机不可或缺的关键组成部分,在保障飞机安全、高效运行方面发挥着至关重要的作用。该系统的主要功能是从发动机的高压压气机不同级别处引出高温高压气体,经过一系列的调节、控制和分配后,为飞机上的多个系统提供所需的气源动力。这些被引出的气体被广泛应用于飞机环境控制系统,用于调节座舱内的温度、湿度和压力,为乘客和机组人员创造舒适宜人的飞行环境;在防冰系统里,引气被用来加热飞机的关键部位,如机翼前缘、发动机进气口等,防止在低温高湿环境下形成冰层,确保飞行安全;在燃油系统方

面,引气可用于燃油箱的增压,保证燃油的正常供应;另外,还为液压系统提供动力源,驱动各种液压作动筒,实现飞机的起落架收放、襟翼操纵等关键动作^[1]。航空发动机引气系统的设计需要综合考虑多个方面的因素,既要满足不同系统对引气参数的严格要求,又要确保在整个飞行包线内系统能够稳定可靠地运行,同时还要尽可能降低对发动机性能的影响,提高能源利用效率。随着航空技术的不断发展,对引气系统的性能要求也越来越高,促使该系统不断向高效、可靠、智能化的方向发展,以适应现代航空业对安全性和经济性的双重追求。

2 航空发动机引气系统工作原理

2.1 引气来源与取气方式

航空发动机引气系统的气体主要来源于高压压气机的不同级。在发动机运行过程中,空气经过多级压气机压缩后,压力和温度显著升高。通常,引气口设置在高压压气机的中间级和高压级位置。中间级引气一般用于在发动机低转速或起飞、爬升等阶段,此时该级引气能够提供较为合适的压力和温度气体,满足飞机部分系统对引气的需求。而高压级引气则多在发动机处于

慢车工况下使用,这样既能获取更高压力的气体,保障各系统在复杂飞行条件下的正常运行,也能满足慢车工况下的特定引气需求。取气方式主要有两种,一种是直接从压气机级间引气,通过专门的引气管道将气体引出,这种方式结构相对简单,但可能会对压气机的气流产生一定干扰;另一种是采用可调引气活门,根据发动机工况和系统需求精确控制引气的时机和流量,这种方式能够更好地平衡引气与发动机性能之间的关系,提高系统的灵活性和效率。

2.2 引气调节与控制原理

引气调节与控制是确保引气系统稳定运行的核心环节。系统通过一系列精密的调节装置来实现对引气压力、温度和流量的精确控制。压力调节主要依靠压力调节活门,它能够根据下游系统的需求和发动机的工作状态,自动调整活门的开度,从而改变引气管道内的气体压力。当系统所需压力降低时,活门开度减小,减少引气量,使压力维持在设定值;反之,活门开度增大,增加引气量。温度调节则通过预冷器和控制活门共同完成。预冷器利用发动机风扇引来的相对低温空气对高温引气进行冷却,控制活门根据温度传感器反馈的信号,调节冷却空气的流量,确保引气温度在安全范围内。流量控制方面,除了上述可调引气活门的作用外,还通过流量控制活门精确分配引气到各个用户系统,根据不同系统的优先级和需求,动态调整各支路的引气流量,保证整个系统的协调运行。这些调节与控制装置相互配合,形成一个复杂的闭环控制系统,通过实时监测和反馈调整,使引气参数始终保持在最佳范围内。

2.3 引气分配与使用原理

引气从发动机引出后,经过调节控制,需要根据飞机各系统的需求进行合理分配。引气分配系统就像一个智能的交通枢纽,将引气按照不同系统的优先级和流量要求,准确地输送到各个用户端。例如,在飞机起飞阶段,环境控制系统和防冰系统对引气的需求较大,分配系统会优先保障这两个系统的引气供应,确保座舱环境舒适和飞机关键部位不结冰;而在巡航阶段,燃油系统增压和液压系统对引气的需求相对稳定,分配系统会根据实际情况合理分配引气,以满足各系统的正常运行。引气的使用原理则是各系统利用引气的压力能或热能来实现特定功能。环境控制系统通过引气驱动空气循环机,实现对座舱空气的制冷、加热和通风;防冰系统将引气引导至需要防冰的部位,通过加热使冰层融化或防止冰的形成;燃油系统利用引气对燃油箱进行增压,保证燃油在各种飞行姿态下都能顺利供应到发动机;液压系统则借助引气的动力驱动液压泵,为飞机的各种操纵机构提供动力。

3 航空发动机引气系统性能指标

3.1 引气压力与温度

引气压力和温度是衡量引气系统性能的重要指标。合适的引气压力能够确保下游系统正常工作,例如环境控制系统需要一定压力的引气来驱动空气循环机,实现座舱的温度和压力调节;防冰系统也需要足够压力的引气来有效加热飞机表面,防止

结冰。引气压力过高可能会对系统部件造成损坏,增加泄漏风险;压力过低则无法满足系统需求,影响飞机正常运行。引气温度同样至关重要,过高的温度可能会超出系统部件的耐受范围,导致设备损坏,甚至引发安全隐患;温度过低则可能无法达到防冰或加热的效果^[2]。因此,引气系统必须能够将引气压力和温度精确控制在规定范围内,以保障各系统的可靠运行。

3.2 引气流量

引气流量在航空系统中占据着举足轻重的地位,它直接关系到各系统能否顺利获取充足的气源动力,进而保障飞机各部件的正常运转。由于飞机在飞行过程中会经历多种不同的飞行阶段和工况,各系统对引气流量的需求也随之呈现出显著的差异。以起飞和爬升阶段为例,此时飞机需要克服巨大的重力与空气阻力,以实现快速上升,因此发动机必须输出更大的推力,发动机转速大幅提高。在这种情况下,诸如空调系统、防冰系统等各系统对引气流量的需求也相对较大,只有充足的引气才能确保这些系统稳定工作。而在巡航阶段,飞机处于相对平稳的飞行状态,引气流量需求相对稳定且较小。这就要求引气系统必须具备精准调节引气流量的能力,如同一位技艺精湛的“流量管家”。它既要能在各系统高负荷运行时,及时提供足够的引气,满足其工作需求;又要在低负荷时合理控制引气量,避免不必要的引气浪费,从而有效提高发动机的燃油经济性和整体性能。

3.3 系统可靠性与稳定性

航空发动机引气系统工作在极端恶劣的环境中,面临着高温、高压、高振动等严峻考验,因此系统可靠性和稳定性是至关重要的性能指标。可靠性要求系统在规定的条件和时间内完成规定功能的能力,即系统在长时间运行过程中,各部件能够正常工作,不出现故障或失效。稳定性则强调系统在受到各种干扰时,能够保持引气参数的稳定,如压力、温度和流量的波动在允许范围内。为了提高系统的可靠性和稳定性,需要采用高质量的部件和材料,进行严格的设计和制造工艺控制,同时配备完善的故障诊断和容错机制,以便在出现故障时能够及时采取措施,确保系统的安全运行。

3.4 能源效率

在航空领域,能源效率始终是衡量系统性能的核心关键因素之一,其重要性不言而喻。航空发动机引气系统在运行期间,不可避免地会消耗发动机的一部分功率,这部分功率的损耗直接关联到发动机的燃油消耗与整体运营成本。所以,提高引气系统的能源效率,对于降低发动机燃油消耗、减少运营成本有着极为重要的现实意义。能源效率主要体现在引气系统对发动机功率的合理、高效利用上。通过精心优化引气调节与控制策略,能够最大程度减少不必要的引气损失,提升引气的有效利用率。例如,积极采用先进的可调引气活门和智能控制系统,这些技术可依据发动机不同的工况以及各系统的实际需求,精确地控制引气量和各项参数。如此一来,就能有效避免过度引气导致的能量浪费,使得每一份引气都能得到充分利用,进而实现引气系统

能源效率的显著提升,为航空业的节能降耗与可持续发展贡献力量^[3]。

4 航空发动机引气系统性能影响因素分析

4.1 发动机工况因素

发动机工况对引气系统性能有着直接影响。发动机的转速、推力和进气温度等参数的变化都会引起引气参数的波动。当发动机转速增加时,压气机的压缩比增大,引气压力和温度相应升高;同时,发动机推力的变化也会影响引气的流量需求,在高推力状态下,各系统对引气的需求增加,引气流量相应增大。此外,发动机进气温度的变化也会对引气温度产生影响,高温进气会导致压气机出口温度升高,进而使引气温度上升。

4.2 环境因素

环境因素也是影响引气系统性能的重要因素之一。飞行高度、大气温度和湿度等环境条件的变化都会对引气系统产生不同程度的影响。随着飞行高度的增加,大气压力降低,空气密度减小,这会导致发动机进气量减少,压气机的压缩比发生变化,从而影响引气压力和流量。大气温度的升高会使发动机进气温度上升,进而影响引气温度,同时高温环境也会对系统部件的性能和寿命产生不利影响。湿度方面,高湿度环境下,空气中的水分可能会在引气系统中凝结,导致部件腐蚀和冰堵等问题,影响系统的正常运行。因此,引气系统在设计时需要充分考虑环境因素的影响,采取相应的防护措施,确保系统在不同环境条件下都能可靠工作。

4.3 系统设计与结构因素

系统设计与结构的合理性对引气系统性能起着决定性作用。引气管道的布局、管径大小以及活门的设计等都会影响引气的流动阻力和压力损失。合理的管道布局能够减少引气在管道内的转弯和局部阻力,降低压力损失,提高引气效率;合适的管径选择则能够满足不同工况下的引气流量需求,避免因管径过小导致流量不足或管径过大造成能量浪费。活门的设计也至关重要,其结构形式、响应速度和密封性能等直接影响引气的调节精度和系统的可靠性。此外,系统各部件之间的连接方式和匹配程度也会影响整体性能,良好的连接设计能够减少泄漏,提高系统的稳定性和能源效率。

4.4 材料与制造工艺因素

材料的选择和制造工艺水平对引气系统部件的性能和寿命

有着重要影响。引气系统工作在高温、高压和腐蚀性环境下,因此需要选用具有良好耐高温、耐高压和耐腐蚀性能的材料。例如,一些高性能的合金材料能够承受高温引气的冲刷和腐蚀,保证部件在长期运行过程中不发生变形和损坏。制造工艺方面,精密的加工和装配工艺能够确保部件的尺寸精度和表面质量,减少内部缺陷和应力集中,提高部件的强度和可靠性。先进的制造技术,如增材制造等,还能够实现复杂结构部件的一体化成型,减轻部件重量,提高系统性能。

4.5 维护与保养因素

定期的维护与保养是确保航空发动机引气系统性能稳定的重要环节。在长期运行过程中,引气系统部件会因磨损、腐蚀和疲劳等因素逐渐老化,导致性能下降甚至出现故障^[4]。因此,需要制定科学合理的维护计划,定期对系统进行检查、清洁、润滑和更换易损件等工作。例如,定期检查引气管道的密封性,及时更换老化的密封件,防止引气泄漏;对预冷器进行清洗,去除表面的污垢和杂质,保证冷却效果;对活门进行调试和校准,确保其调节精度和响应速度符合要求。通过有效的维护与保养,能够延长系统部件的使用寿命,提高系统的可靠性和性能稳定性,保障飞机的安全运行。

5 结束语

航空发动机引气系统工作原理复杂,性能受多方面因素影响。从发动机工况、环境条件到系统设计、材料工艺,再到维护保养,每个环节都关乎系统性能。全面深入理解这些因素,能为系统优化、改进提供方向。未来,需不断探索创新,提升引气系统性能,以适应航空业发展需求,为飞行安全与高效运行提供更坚实保障。

[参考文献]

- [1]杜立群,颜云辉.智能结构振动主动控制中驱动器的最优配置[J].东北大学学报(自然科学版),2020,20(2):192-194.
- [2]张宏伟,徐世杰,黄文虎.一种混合的遗传算法在压电智能结构振动控制全局优化设计中的应用[J].振动与冲击,2020,18(4):6-11.
- [3]赵昱,李瑾岳,徐茂程.航空发动机关键装配技术综述与展望[J].航空学报,2022,43(10):475-507.
- [4]李云华,陈铁娟,张明弟,等.航空发动机装配难点与质量控制措施的研究[J].模具制造,2024,24(03):230-232.