

民用飞机发动机起动系统技术研究

陈启高

(成都飞机设计研究所 四川 成都 610041)

摘要: 随着科学技术水平的飞速发展,民用航空的需求不断增加,加速了多电飞机时代的到来,也对飞机发动机系统提出了新的要求。根据当前多电发动机系统发展的新趋势,需要对当前民用飞机发动机、空气涡轮启动系统以及电启动系统的特征进行综合分析和解读,为民用飞机发动机启动系统的设计和实施提供行之有效的理论依据。

关键词: 民用发动机; 起动系统; 技术研究

0. 引言

在航空工业中,飞机发动机需要为飞机飞行提供动力援助,同时还需要为四种次级功率系统提供原始动力。飞机上的四种次级功率系统主要是液压系统、气动系统、电气系统和机械系统。现阶段,全电飞机的概念应运而生,在这种飞机上,电气系统取代了其他几大类系统,将次功率系统进行全新升级,所有的功率系统都以电的形式产生和传输,尽管全电飞机的概念升级,但是在实际设计和实施中仍然面临着重重挑战。在设计时,为了使电气系统更好运行,多电飞机的概念也因此出现。多电飞机需要通过运用电力系统来取代部分次级功率系统,从而使飞机自重得到有效控制,并且能降低运输成本,全方位提升飞机系统的稳定性和安全性。当前,波音公司研制的 B787-10 飞机是多电系统运用的历史杰作,在商业及民间飞行中,这一型号的飞机将多电系统真正落到实处。

从传统视角来看,飞机发动机的引擎方式会对发动机的安全性和使用效率造成影响。随着我国市场对飞机需求的不断提升,加之多电飞机时代的到来,在多电飞机的设计和使用时,空气启动系统将代替单一电力驱动。基于这一发展大背景,需要进一步加强对大型客机多电技术的研究和测试。当前,在民用发动机的生产研发方面,已不再认为发动机只需拥有能量传输的功能,设计师开始试图将发动机与全电观念进行融合,希望能够通过发动机的能量传输,使能源在不同的飞机系统中得到有效输送和转移,同时也可以满足发动

机的安全要求。在设计方面,电起动技术是当前较为常见的技术之一,引气系统或多电系统本身各有所长,在新一代空客 A350 飞机中就采用了引气系统,而波音 B787 则采用了多电系统。

1. 发动机起动系统作用

发动机从转速为零过渡到慢车转速的整体过程也被称之为起动过程。在地面起动时,以燃气作为主要动力来源的涡轮发动机需要依靠外界动力源启动系统,使发动机的高压压气机转子达到足够的转速,从而能够为压气机提供足够的空气流量。在点火喷油以后,发动机涡轮所产生的功可以使发动机持续加速。

2. 适航要求

民用飞机发动机起动系统涉及到的 25 部适航条款要求如下:

- (1) 25.901 安装;
- (2) 25.903 发动机;
- (3) 25.1189 切断措施;
- (4) 25.1301 功能和安装;
- (5) 25.1305 动力装置仪表;
- (6) 25.1309 设备、系统及安装;
- (7) 25.1461 含高能转子的设备;
- (8) 25.1521 动力装置限制。

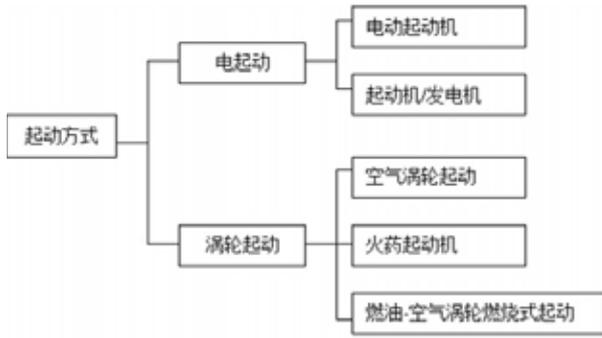


图 1. 发动机起动方式分类

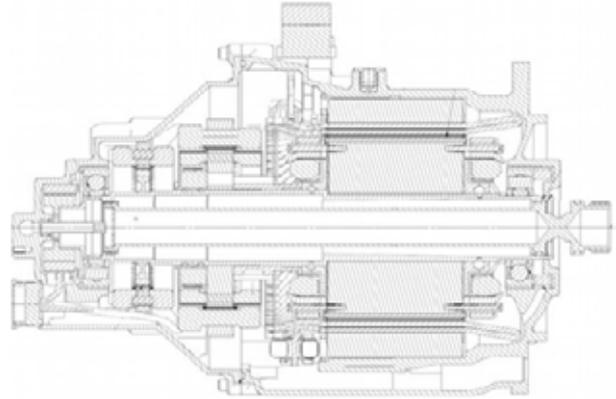


图 2. 起动 / 发电机结构

3. 发动机起动系统介绍

民航飞机的发动机系统主要有涡轮起动和电起动这两种起动方式，这两类起动方式的分类如下图 1 所示。现阶段用于商用干线飞行的 150 座客机采用的发动机一般是涡轮起动；B787 飞机等使用的是涡扇发动机，采用了电起动技术，这也是电起动技术首次应用于涡轮发动机中。

3.1 空气涡轮起动系统

系统的涡轮风机启动装置如图 2 所显示，空气涡轮起动力 (ATS) 装配在发电机的附件传动箱上 (AGB)，并配有起动风机门 (SAV) 以及相关管路。发电机在启动后，必须由当地的气源车、APU 以及发电机交叉引气来供给，压缩空气断路器直接启动 ATS。ATS 引导发电机启动，在发电机速度超过脱离速度时，发电机自动工作，此时 SAV 关掉，同时与 ATS 相同配件的机匣 (AGB) 也脱离，ATS 在飞机上就不再工作。目前，所有 150 座级商用干线客机上所采用的涡扇引擎，都通过空气涡轮启动。

3.2 电起动系统

美国多电客机的研发工作于 1990 年起步，历经了 10 余年的进展，使用发电启动系统的全电力客机动力系统已获得了证实。通过利用电力成为航空真正的第二能量，极大地改善了航空的动力体系构成，并进一步优化了航空功能体系。通过取消引气功能，大大提高了航空发动机的性能，降低了航空的能量耗费，从而增强了航空的经济效益、安全可靠、维护性和地面保障能力，使得全电动 / 多电客机拥有了一般客机所没有的优点，因此引起了航空大国的高度关注。发电厂启动系统与传统的引气系统结构和多电客机构造中的相对比，各航空大国都进行了全面的科技研发，目前世界最新的波音 B787 飞机发动机就率先应用了发动机电起动技术，每台发动机配备了 2 台启动 / 汽轮机。

引擎电起动控制系统主要由起动发电厂 (SG)、电机控制器 (MC) 等控制系统元件所构成。SG 装于附件齿轮箱内，在发电厂的启动过程中，以 MC 为 APU 电源来驱动 SG，而 SG 在发电厂启动初期，作为电动机拖动汽车引擎，向发电厂供给扭矩。当发电厂超过规定速度可以自动加速时，则不再要求向 SG 供给扭矩。当主发电机正常工作后，作为汽轮机发电，给飞行器的电源系统供电。这样对多电源飞行器来说，电启动技术就会在能量效率方面表现出先进性。

4. 发动机起动系统对比分析

目前，150 座级商用干线客机所采用的涡扇引擎一般使用了空气式涡轮启动形式，而 B737 和 A320 客机所用的引擎则使用了气体涡轮启动形式。成功的多电构型飞机都是由一台发电机中配置了 2 个启动 / 发电机以适应发动机对起动力矩的需要，并供给相应的发电机起动力矩，从而增加了系统派遣稳定性，例如 B737 的引擎就是使用了这种起动方法。

4.1 启动 / 发电机功率需求

启动 / 发电机的工作特点首先保证最大转矩恒定，然后再保证恒功率不变，直至起动机达到最大脱离速度，才启动发电机。启动 / 发电机功率选型应考虑启动发电机所要求的输出功率以及在发电机慢车运行中的额定功率和各种运行情况的需要，加以进行选型。实验结果表明，启动的民用发电机必须采用总扭矩超过 300ft-lb 的 2 台，每台分别为 250kVA 的启动 / 发电机，才能达到启动要求。

4.2 起动时间

适航标准 25.903(e) 条款中规定了引擎具备的空间再启动能力，根据 AC25-7A，规定了发动机 30 秒内达到从燃料开关的启动到空间点燃，90 秒内引擎系统从点燃到保持在慢车状况，并符合规定引擎 120 秒内达到空间启动。通过对发电机

的启动特性和启动 / 发电机功能分析, 实验结果表明, 电启动装置通过 2 个启动 / 发电机进行发动机在地面和空间上的不同阶段的启动, 就能够达到发电机启动的要求。当 1 个启动 / 发电机损坏后, 通过另 1 个启动 / 发电机也能够进行启动, 只是启动持续时间较长。

4.3 启动系统重量

现代的民用涡扇发电机空气涡轮启动装置, 与电力启动系统相连的各部分重量对比如表 1 所示, 较采用光电启动技术的传统空气涡轮启动装置, 增加了 200 千克。由于是电启动系统, MC 部件增重大约 100 公斤, 并且 MC 在发电机启动后还可以来驱动发电机上的其他电器工作, 需从全机角度, 包括航空供电等系统, 考虑使用电启动系统后对航空器总体重量的影响。

部件	空气涡轮启动系统重量 (kg)	电启动系统重量 (kg)
ATS	37	0
发电机	58	0
启动/发电机 (SG)	0	192
GCU	6	10
马达控制器 (MC)	0	110
合计	101	312

表 1 启动系统主要部件重量

4.4 启动系统可靠性

空气涡轮启动机在当前民用和商用航空中的使用较为广泛, 根据起可靠性功能模块可以算出整个启动系统的整体平均无故障工作时间。然后以每飞行小时作为计算标准, 计算出启动系统的可靠性约可达到 5.0×10^{-5} 每飞行小时。

电启动系统可靠性功能模块为启动系统部件, 根据电启动系统主要部件的可靠性数据, 可计算出启动系统的可靠性约达到 3.5×10^{-5} 每飞行小时。

4.5 技术成熟度

空气涡轮启动机在现役大型民用飞机中广泛使用, 其技术非常成熟, 并且积累了大量的使用数据。启动 / 发电机已经在波音 B787 飞机上使用, 并且技术已经成熟, 只是缺少航空公司运营情况的数据积累。

4.6 适航取证

空气涡轮启动机在大型民机涡扇发动机上的广泛使用, 为适航取证积累了丰富经验, 安装启动 / 发电机的发动机系统相对较复杂, 增加了适航取证的难度。

5. 结论

空气启动技术, 是目前使用较为普遍的大中型民用航空器的空气启动机辅助启动方法, 其性能设计与集成技术已成为航空器及发动机综合设计中非常关键的组成部分, 有关技术指标直接关系飞行器的适航取证性和飞机运行后的可派遣机场和可执飞航班数量等。因此, 本文作者经过深入研究了有关适航标准、工程规范, 并根据国内外一些大中型民用干线飞机的使用实践, 提出了民用飞机发动机空气启动技术系统, 对当前民用飞机的空气启动技术的性能设计与集成, 有着一定的参考价值。同时, 文章详细分析探讨了现代新型民用航空器的发动机空气涡轮引擎启动装置和电启动装置的优点, 也可为民用航空器的起车装置设计方案选型提供依据与参考。

作者简介:

陈启高 (1979—), 男, 汉族, 四川成都人, 工学学士, 工程师, 研究方向: 航空装备使用维护技术支持。

参考文献:

- [1] 谷雨, 徐美芳. 多发涡桨水陆两栖飞机发动机参数告警优化设计与应用 [J]. 飞机设计, 2022, 42(02):50-53+63.
- [2] 高鑫磊. 民用飞机发动机启动系统健康监测与故障诊断方法研究 [D]. 南京航空航天大学, 2019.
- [3] 江民节, 王嘉一. 某民用飞机发动机空中启动时间对比分析 [J]. 民用飞机设计与研究, 2017(04):84-87.
- [4] 彭丹祺. 民用飞机 APU 引气系统设计方法研究 [J]. 科技视界, 2015(27):108-109.
- [5] 曾涛. 民用飞机空气启动系统性能评估方法 [J]. 航空科学技术, 2015, 26(02):43-46.