

# 中国民用飞机燃油测量系统 现状与发展趋势

Current Situation and Development Trend of China Civil Aircraft Fuel Oil  
Measuring System

郑州轻工业学院机电工程学院 张欲晓 曾显群 王新杰



张欲晓

博士, 郑州轻工业学院机电工程学院讲师。毕业于北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院, 精密仪器及机械专业。研究方向为新型传感器设计和传感器性能研究。近年发表学术论文 10 余篇, 授权发明专利 2 项。

数字化、综合化是包括燃油系统在内的所有机载设备系统发展的必然趋势, 并且正在逐步进入工程应用。因此, 我国必须瞄准世界燃油测量技术的先进水平, 紧跟其发展方向, 大力发展以机载计算机为中心, 实现燃油测量、加油控制、输供油控制等功能子系统集成于一体, 以总线形式与飞控、航电等功能系统进行信息交换, 实现资源的共享, 最终形成未来飞机的系统大综合。

油系统还可以完成冷却飞机上其他系统、平衡飞机、保持飞机重心于规定的范围内等附加功能。对燃油系统所提出的一般要求是: 工作可靠、寿命长、防火安全、重量轻、外廓尺寸小、结构简单、维护修理方便、控制精确和生产工艺性好等。

民用飞机燃油系统一般包括燃油箱系统、加放油系统、供输油系统、油箱通气增压系统、燃油测量系统、信号指示系统和热负载系统<sup>[1]</sup>。燃油箱系统由左、右两个独立的燃油系统和辅助供油系统组成, 分别向左、右发动机供油。在左、右燃油系统的连接管路上还装有连通开关, 可将 2 个独立的燃油系统连通, 以便能够用任一主燃油系统向每台发动机供应

燃油, 从而实现交叉供油的目的。

加油系统一般有地面重力加油系统、地面压力加油系统和空中加油系统。供油系统负责将燃油从供油箱按照要求的压力和流量输送至发动机。输油系统负责将燃油从各油箱输送至供油箱。油箱通气增压系统的功能主要是为了保证燃油箱内有一定的压力, 另外保证加油时油箱与机外大气保持畅通。油箱内保持一定的压力是为了使燃油泵正常工作而不出现气蚀现象, 同时防止燃油过分蒸发, 另外, 油箱增压压力还可能作为输油的动力源。

油量测量与指示系统负责各油箱燃油量和飞机总油量的测量和指示。燃油测量是保证飞机燃油系统

飞机燃油系统是飞机上众多系统中的—个子系统, 它的功用是储存燃油, 并保证在规定的任何状态(如各种飞行高度、飞行姿态)下, 均能按发动机所要求的压力和流量向发动机持续不间断地供油。此外, 燃

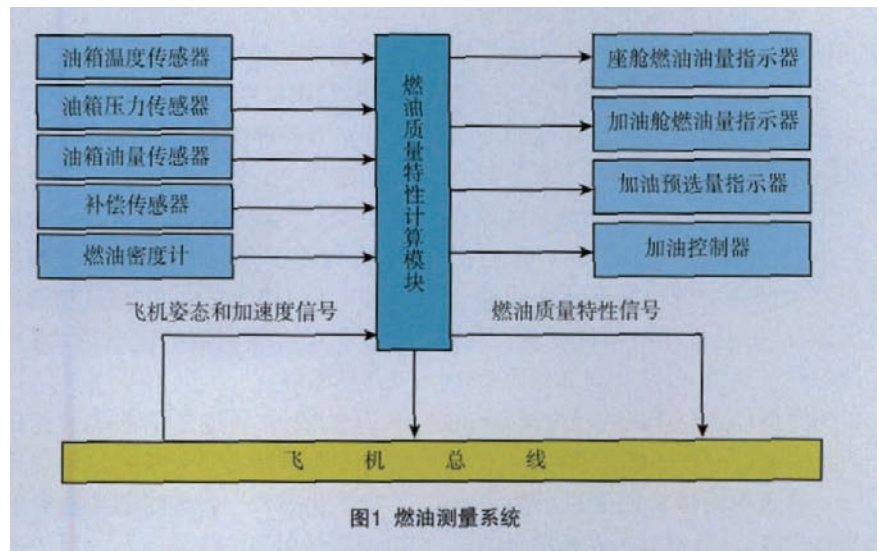
正常、准确运行的一个关键环节,燃油测量系统的测量精度、可靠性和维护性对飞机的整体性能有着重要的影响。信号指示系统用于指示燃油系统的工作状态,如燃油泵正常与故障、输油阀的打开与关闭、油箱满油与油尽、剩油量不多警告等。

目前,我国航空燃油测控系统产品大部分仍为机电模拟式或简单的数字式产品,基本上相当于国外 20 世纪 70 年代末 80 年代初的技术水平,只能实现简单的机身油量测量、全机剩余油量及发动机耗油量检测的功能。波音 757、波音 767 和 A310 等飞机装备有燃油计算机,主要用于燃油测量、加油控制和故障报警,目前还没有应用燃油管理系统的飞机出现。也没有资料对燃油管理系统的结构、功能和工作原理进行全面的总结和描述。但是对于这项技术,各国都在加紧研究,目前国内尚处于起步阶段。正因如此,对各种新的燃油测量技术的研究、开发和应用层出不穷,推动着燃油测量技术不断地发展与完善。

## 燃油测量系统

燃油测量系统主要由油位测量传感器、密度测量传感器、燃油测量与处理任务计算机和油量显示等部分组成(见图 1)。燃油管理计算机根据各油箱内传感器的测量值和来自飞机总线的飞机姿态和加速度信号,通过分析和计算得出各油箱及飞机总的燃油质量特性数据(包括燃油重量、重心和惯性矩等),燃油量信息在驾驶舱油量表及加油控制板上的油量表上显示,燃油质量特性数据还作为加油控制、输油控制的依据。燃油测量系统的基本工作过程为:首先由油位测量传感器测量出油箱中的油面高度,测量任务计算机利用油面高度、飞行姿势和存储在内部的油箱数学模型等信息,计算出对应的燃油体积,结合燃油密度传感器所测

得的燃油密度,即得油箱所载燃油的质量,燃油测量任务计算机将燃油质量通过数据总线传给座舱显示系统和飞行管理任务系统等。在早期的燃油测量系统中,不能对燃油密度进行直接测量,而采用的是介电常数与温度补偿相结合的方法来间接测量密度。



燃油测量系统的根本目标就是提供精确的燃油油量信息,而影响燃油测量精度的因素有很多,主要包括传感器制造误差、油箱容差、燃油属性、燃油污染和系统安装误差等。对这些影响因素都将进行大量研究与投入。目前,此研究主要是高精度测量传感器的研制、传感器优化布局、测量误差的补偿与修正技术和油量显示的数字化技术等方面。

燃油系统的各油箱内都装有 1 个(或几个)油量传感器、1 个补偿传感器、1 个温度传感器和 1 个压力传感器。油量传感器一般垂直地安装在油箱内,当一个油箱内有几根油量传感器时采取并联连接。用油量传感器和补偿传感器可以测得油箱内油量传感器安装位置处的燃油深度。用温度传感器和压力传感器分别测量出油箱内的温度和压力,便于根据需要直接调节油箱内的相关参数。这样,既可以相互验证燃油的参数,也可以将这些参数通过飞机总线

直接输送到控制系统中。

燃油管理计算机接受油量传感器和补偿传感器的信号,经过计算得出该油箱内油量传感器浸油深度信号。同时,燃油管理计算机也接受来自飞机总线的飞机姿态信号和飞机三轴加速度信号,经过计算求出飞机油面角度。飞机油箱的几何模型已

预先存入计算机内,根据传感器浸油深度和油箱油面角度,唯一地确定了油箱内的燃油,参考燃油密度计测得的燃油密度值,经过运算可以求得该部分燃油的重量、重心、惯性矩等数值,再将各油箱的燃油质量特性相叠加,则可以获得全机总的燃油质量特性数据。将这些数据送往驾驶舱和加油控制板上的显示器显示。

高精度测量传感器研制是决定系统测量精度的最直接因素,一方面不断改进传感器的加工与制造工艺和各种新材料的研制,另一方面研究新的油位、密度测量传感器,如超声波油位测量传感器和放射性油位测量传感器等。每一种新的油位测量方式诞生,都会带来一种新的油量测量技术的出现,极大地丰富和发展燃油测量系统。

不同几何形状油箱所需传感器的数量与安装位置是不同的,对于确定形状的油箱,传感器布局与数量必须与飞行姿态有关,系统的高精度只

能出现在有限的姿态范围内,因为在整个飞行姿态范围内的燃油测量精度是精度与姿态变化范围达到平衡的一种折中反应。传感器优化布局的研究主要包括油箱 CAA 计算、油箱布局设计和计算机仿真与验证等,同时还 需要飞机总体与系统进行密切交流与合作,才能达到最佳测量效果。

从安装在油箱中传感器的敏感元件所感应的物理量转化为测量任务计算机所需的油位、密度信息,必须经过信号激励、放大、调制和降噪等一系列处理过程,每一个环节都会产生误差,并最终影响到油量测量精度。对传感器测量误差的补偿与修正技术研究主要包括高性能的电子元器件选用、优化电路设计、引入合适的修正系数,以及将这部分误差转化为测量任务计算机的机内误差,由系统内部进行软件修正等。

传统的模拟式油量显示装置由具有指针、计数器或两者相结合的仪表伺服机构组成,由于具有电桥式测量电路、伺服放大机构、平衡电位计,其精度往往受死点和线性度的影响,一定程度上影响了系统的测量精度。为了克服这一问题,近年来研制出带有液晶显示的数字式油量指示器。

### 燃油测量系统的发展趋势

每一项新技术的研究与应用都是围绕着减小系统测量误差和提高系统测量精度而进行的,都直接或间接地提高了系统测量精度,这就是燃油测量系统向前发展的不变主题。经过半个多世纪的发展,尽管燃油测量精度在不断提高,系统可靠性、维护性等性能在不断改进,但燃油测量系统的基本体系结构几乎没有任何改变,在这个发展过程中,微电子和计算机技术起了决定性作用,这主要体现在以下几方面:

(1)在油位测量方面,经历了从油尺、电容式测量到超声波、放射性、光纤等各种先进的测量方式并存的

时代。其中电容式油位测量传感器经历了从特性传感器到线性传感器的转变,这得益于计算机技术的发展,使实时的体积计算成为现实,放弃了用传感器的非线性电容变化来反应燃油体积变化的测量方式。在这个过程中,电容式油位传感器的加工制造工艺已日臻成熟与完善。

(2)在燃油密度测量方面,由于航空燃油是烃类产品的一种复杂混合物,其属性随产地不同而变化,而且存在着各种污染,导致燃油密度与介电常数的关系并不总是恒定的,并且系统对测量精度的要求在不断提高,故放弃了介电常数测量(或温度补偿)等间接测量密度方式,相继研制了各种直接测量的密度计(或密度传感器)。

(3)油位测量传感器线性化标志着油量测量任务计算机已经进入了特性化时代。将传感器所包含的物理特性信息(主要指系统所需的油箱形状、体积和规定姿态等)储存在测量任务计算机中,由其进行数据分类、计算、插值、存储和调用等各种复杂运算,以及实现系统故障监测、油量预选与告警等功能。

(4)随着微电子技术的发展,在系统电路设计中,传统的模拟电路正在逐渐被数字电路取代。这使系统在结构、尺寸、重量方面得以改善,并且大大提高了系统的工作效率、测量精度、可靠性和可维护性。

这一切都为燃油测量系统实现数字化奠定了有利条件,20世纪80年代初,国外有实力的公司(如史密斯、霍尼韦尔公司等)大力开展数字式燃油测量系统技术研究,先后在波音757、波音767、C-130、JSF和F-22等飞机上安装使用。同时系统数字化有利于燃油系统与其他机载机电系统通过数据总线进行信息交流与数据共享,进一步加快了燃油测量系统向数字化迈进的进程。

燃油测量系统数字化已经成为

发展的必然趋势,这一方面是系统自身发展与燃油系统数字化管理的需要,另一面也是飞机机载机电系统向公共一体化方向发展的需要。在功能、能量、控制和物理方面实现对飞机机载机电系统的公共管理是现代飞机未来发展的必然趋势,而数字技术、微电子技术和计算机技术的飞速发展使机载机电系统向综合化、一体化方向发展成为可能。

目前,我国燃油测量技术仍停留在电容式油量测量阶段,采用电容式油位测量传感器测量油位,采用介电常数测量的间接方式测量密度,系统的数字化程度很低。大力开展各种新型的油量测量技术(如超声波油量测量技术),研制适合我国燃油系统发展需求的数字式燃油测量系统,以实现燃油系统的数字化、综合化管理,是实现飞机燃油管理的重要基础与保证。

未来飞机的燃油管理系统的发展方向主要可以概括为3个方面:在功能方面,功能不断融合,形成飞机机械系统综合控制;在结构方面,将向分布式系统发展;在实现原理方面,将向智能控制方面发展,特别是专家系统将得到更广泛的应用。

### 结束语

数字化、综合化是包括燃油系统在内的所有机载设备系统发展的必然趋势,并且正在逐步进入工程应用。因此,我国必须瞄准世界燃油测量技术的先进水平,紧跟其发展方向,大力发展以机载计算机为中心,实现燃油测量、加油控制、输供油控制等功能子系统集成于一体,以总线形式与飞控、航电等功能系统进行信息交换,实现资源的共享,最终形成未来飞机的系统大综合。

本文有参考文献7篇,由于篇幅所限未能一一列出,读者如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 岩石)