

文章编号: 1000-6893(1999)增-0S07-03

旅客机环境控制系统的发展

陈元先

(湖北襄樊 219 信箱,湖北 襄樊 441052)

EVOLUTION OF THE ENVIRONMENTAL CONTROL SYSTEMS FOR COMMERCIAL AIRCRAFT

CHEN Yuan-xian

(P. O. B 219, Xiangfan, Xiangfan 441052, China)

摘 要: 回顾了飞机环境控制系统在民用旅客机应用中的技术发展过程,介绍了现役各种民用飞机的不同技术方案的环境控制系统特点,比较讨论了 3 种不同中型民用旅客机的环境控制系统方案,展望了民用飞机的环境控制系统的发展趋势。

关键词: 民用旅客机; 环境控制系统; 空气调节系统

中图分类号: V245.3 **文献标识码:** A

Abstract: The history of commercial aircraft environmental control systems (ECS) is reviewed. This paper notes many of the significant developments in commercial aircraft ECS functional systems, such as bleed system, air-cycle refrigeration system, temperature system and cabin pressure regulating system. The various system types are comprised. Finally some possible directions that would be taken in future design are briefly discussed.

Key words: commercial aircraft; environmental control systems; air conditioning

飞机环境控制系统(ECS)即飞机空气调节系统,主要功能是为驾驶舱和旅客舱提供调节空气,以满足舱内加热、冷却、增压、通风和湿度调节的要求。ECS 主要由下列功能子系统组成:引气系统、制冷系统、座舱压力调节系统、温度调节系统。

1 旅客机 ECS 系统技术现状

(1) 制冷系统 在 ECS 各功能子系统中,最重要的是制冷系统。因此, ECS 的发展是与制冷系统的发展密切相关的。ECS 中的制冷系统主要有两大类型:蒸发循环制冷系统和空气循环制冷系统。由于飞机上空气循环制冷的综合优势,目前航线上的旅客机几乎全部采用了空气循环制冷系统,现役旅客机采用的空气循环制冷系统主要有下述 4 种形式^[1]: 1 简单式(涡轮- 风扇式)低压除水系统; 2 两轮升压式(涡轮- 压气机式)低压除水或高压除水系统; 3 三轮升压式(涡轮- 压气机- 风扇式)低压除水或高压除水系统; 4 四轮升压式(涡轮- 压气机- 涡轮- 风扇式)高压除水,又称冷凝循环制冷系统。各种空气循环形式的制冷系统的使用情况见表 1。

上述各种空气循环制冷系统各具特色,同时

也反映了飞机环境控制系统中空气循环制冷系统的技术发展过程。目前由于飞机环境控制系统的整体技术和各关键附件的技术进步,各种空气循环制冷系统技术都有了较大的发展,针对不同的飞机条件,各种系统各有优缺点,因此,以上 4 种空气循环制冷系统在现役民用旅客机均有应用。

表 1 各种形式的制冷系统的原理图及使用情况表

制冷系统形式		应用机种名称
简单式		安-24, 伊尔-18, 伊尔-62
两轮升压式	低压除水	B707-300, B727, B737-300, B737-500, MD-80, MD-90, DC-9
	高压除水	B737-400, ATR-72
三轮升压式	低压除水	MD-95, A300, A310, B747-400, DC-10, L-1011, B737-600, B737-700
	高压除水	A320, A330, A340, BAE146, B737-800, B757, B767, GLOBAL EXPRESS
四轮升压式		B777

(2) ECS 的气源系统 ECS 的气源系统又称引气系统,为飞机 ECS 提供制冷气源。现役旅客机的引气系统基本是直接从发动机压气机引气,并且采用中、高压两级引气。根据不同飞行状态,引气系统自动选择中压级引气或高压级引气。引气系统具有引气压力、温度自动调节和超温、超压保护和逆向流动保护等功能。引气系统同时进行

防冰供气控制。

目前在役民用旅客机的引气系统有电子气动式调节和数字电子式调节 2 种形式。电子气动式调节的有 B737-300, B737-400, B757, B767, MD82, A300, A320 系列和 A330 等飞机。数字电子式调节的有 B747-400, B767ER, MD-11, MD-90, B747, B777 和 A340 等飞机。数字电子式调节具有数字式控制、连续 BIT、失效重构模式和调节精度高等特点,是与飞机环境控制系统的综合控制相适应的一种引气系统调节和控制方式。

(3) 温度调节系统 ECS 中的温度调节系统的核心部件是 ECS 控制器,该子系统的主要功能是测量座舱各区域温度并自动调节座舱温度达到要求值,并对飞机环境控制系统中各部件工作状态进行检测。ECS 控制器的发展过程经历了:60 年代使用的磁性放大器控制;70 年代使用的模拟控制;80 年代使用了第一代数字式控制器(即模拟/数字混合控制器);而到了 90 年代则发展到集成的容错数字控制、可下载的软件和集中显示。

温度调节系统通过对 ECS 的组件温度调节和座舱温度调节的双重控制来实现系统调节座舱区域温度、最佳的热空气调节量和冲压空气用量,限制供气管道的最高、最低温度;提供压气机超温保护和提供水分离器出口的最高、最低温度限制及实现机内故障自检及附件的自动故障隔离和备用重构控制。目前在役民用旅客机的温度控制系统的 ECS 控制器的控制功能模式基本是与飞机设计的年代的 ECS 控制器的发展过程完全相对应的。

(4) 座舱压力调节系统 座舱压力调节系统的功能是使增压座舱内的空气压力及压力变化速率满足乘员舒适度要求。座舱压力调节系统经历了气动式、电子气动式、数字电动式和集中控制式几个发展阶段,过去广泛应用于旅客机上的是电子气动式,80 年代中期后开始的新飞机的座舱压力调节系统基本都是采用的数字电动式系统,气动式座舱压力由于调节精度低,已难以满足现代民用飞机的需要。

电子气动式座舱压力调节系统目前应用的飞机有 B727, B737, B747, DC-9, MD80, MD82, DC-10 和 A300 等飞机;数字控制式座舱压力调节系统目前应用的有 B747-400, B757, B767, MD90, MD95, MD11, A320, A330 和 A340 等飞机。集中控制式是将座舱压力调节和引气控制组合为一体进行集中控制,进行座舱压力自动调节、故障自动

巡检和通告及手动备份操作、飞机着陆机场高度和压力变化速率自动调节,目前应用的有 B777 飞机。

2 中型旅客机 ECS

现役 100 座级的旅客机中以 A320, B737-700 和 MD-95 为典型代表,它们都是双发涡轮风扇式中短程旅客机,乘客量 100~179 人。A320, B737-700, MD-95 的 ECS 综合比较见表 2。

表 2 A320, B737-700, MD-95 旅客机 ECS 比较表

机种	气源系统	制冷系统	温度调节系统	座舱压力调节系统
A320	中、高压两级引气,带预冷器,电子气动式控制	三轮升压式高压除水,带座舱空气回流,冲压空气调节	数字式控制	电子气动式控制
B737-700	中、高压两级引气,带预冷器,电子气动式控制	三轮升压式低压除水,带座舱空气回流,冲压空气调节	模拟式控制	数字电子式控制,带推力回收
MD-95	中、高压两级引气,带预冷器,数字电子式控制	三轮升压式低压除水	数字式控制	数字电子式控制,带推力回收

我国应开展中型民用旅客机的预研工作,综合我国民航公司的现役飞机使用状况、经济性及环控系统的维护性和可靠性的要求,环控系统各分系统可分别考虑:

(1) 气源系统 采用发动机压气机中压级或高压级引气,可以合理使用引气,节省能耗。气源系统对供往制冷系统的空气压力、温度进行自动控制,保证供气有固定的压力和温度值,有利于 ECS 系统平稳工作。气源系统有独立的气动控制系统,保证各调节环节正常运行,具有预防逆向流动功能,机翼、整流罩防冰功能等。

(2) 制冷系统 采用三轮升压式高压除水制冷系统,配备座舱空气回流和冲压空气调节设备,采用空气动力学轴承支承的涡轮冷却器。主要优点是:引气量减少 30% 左右,维护工作量小。增加座舱空气回流,使座舱内通风空气流量增加;地面停机时可以减少 APU 的引气量。冲压空气调节设备可减少某些飞行状态下冲压空气用量,减少飞行阻力。

(3) 采用数字式温度调节系统 系统分组件

温度调节和座舱区域(驾驶舱、前、后舱3个区域)温度调节两部分。组件温度调节备有出口导管内温度低限和超温保护。故障数据储存及在故障和非正常工作状态下的自动重构功能,保证 ECS 正常运行。

(4)采用数字式电子控制压力调节系统 系统由1个选择器板、2个座舱压力调节器、1个排气活门和作动器组件、2个正释压和负释压活门组成。压力调节系统有两套,1套工作1套备用,还有第3套手动控制压力调节系统。因此座舱压力调节具有高的安全余度。

3 旅客机 ECS 发展趋势

从70年代末由于开式空气循环制冷系统采用了高压除水技术,大大减少了发动机的引气量,提高了系统的性能系数,与此同时,空气动力轴承使涡轮冷却器的转速由原来的 $5 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4 \text{ r/min}$ 提高到 $1 \times 10^6 \text{ r/min}$ 以上,涡轮冷却器的效率由原来的60%~70%提高到85%以上;使得空气循环制冷技术在 ECS 的应用中取得了突破性的进展。

三轮升压式高压除水系统是目前采用的高性能制冷系统,它可以充分利用涡轮的制冷能力和回流部分座舱空气,与低压除水系统相比可以节省30%左右的发动机压气机的引气量,除水效率要提高10%~15%,这部分能量又可以回收利用,因此从节约能量的观点出发,这种系统是最好的。

近几年来,随着世界石油价格的平稳,旅客机销售价格竞争激烈。为了降低飞机价格,同时由于 ECS 技术的进步,重新选择三轮升压式低压除水系统。例如:MD-95, 737-600, 737-700等近期出厂的飞机就选用了三轮升压式低压除水系统。与高压除水系统相比,低压除水系统的引气量较大,低压水分离器的维修工作量大;但它与高压除水系统相比有如下优点:¹ 系统附件数少,相当高压除水系统的82%;⁰ 系统重量轻,相当高压除水

系统的63%;[»] 相对销价低,只是高压除水系统的83%;^¼ 工作可靠性高,MTBF值相当高压除水系统的140%。

综上所述,今后旅客机 ECS 的制冷系统将普遍采用三轮升压式高压除水系统或三轮升压式低压除水系统;2种系统各有优缺点,可按飞机实际情况选取。

在控制技术方面,已经发展了第2代综合数字式控制系统。所谓综合数字式控制系统就是把 ECS 的各系统(如引气、制冷、加热、座舱压力调节等系统)在功能上和结构上综合起来,并通过数据总线(Data Bus)与机上其它系统综合,使用多变量控制技术和综合控制系统,实现更稳定的参数控制和故障检测隔离重构。

在系统附件方面,空气动力轴承涡轮冷却器技术已趋成熟,并且具有效率高、寿命长、无需维护等优点,是今后制冷系统中首选的涡轮冷却器。

目前世界上正在进行研制的新环境控制系统很多,例如:闭式空气循环制冷系统;闭式蒸发循环制冷系统;部分闭式空气循环系统;全电驱动的空气循环制冷系统等^[2]。但是真正能装备在旅客机上还需要一定的时间。同时由于从舒适性的要求,旅客机的新鲜空气的供应量需要进一步增大,目前的开式空气循环制冷形式仍具有较大优势,因此今后若干年内旅客机上仍以目前使用的开式空气循环制冷系统为主。

参 考 文 献

- [1] Linnet K, Crabtree R. What is next in commercial aircraft environmental control system[R]. SAE Paper No. 932057, 1993.
- [2] 陈元先. 飞机环境控制系统的发展与展望[J]. 航空科学技术, 1996, 42(5): 29~31.

作者简介:



陈元先 生于1960年11月,获工学博士学位,研究员。工作专业方向:飞机机电系统及附件,现已发表论文9篇。