

大型民用客机液压系统的对比与分析

Contrast and Analysis on Civil Aircraft Hydraulic System

朴学奎 / 上海飞机设计研究院

摘要:通过对波音787和A380液压系统的分析和研究,探讨了5000psi液压系统关键技术。

关键词: 液压系统; 5000psi高压; 对比; 分析

Keywords: hydraulic system; 5000 psi high-pressure; contrast; analysis

0 引言

随着液压技术与电气电子技术的有机结合,飞机液压系统得到了突飞猛进的发展。而航空技术的进一步发展,也对飞机液压系统提出了更高的要求。为适应现代飞机性能要求的变化,飞机液压系统正向高压、分散、智能、节能等方向发展。

1 民用飞机液压系统架构

1.1 波音787液压系统

波音787是波音系列民机中首个采用5000psi(35MPa)高压系统的机型,它有三套相互独立的左、中、右液压分系统,为飞机的主飞行操纵系统(升降舵、方向舵及副翼、襟副翼和扰流板)、高升力操纵系统(后缘襟翼、前缘缝翼)、起落架控制系统(起落架收放、前轮转弯)和反推装置等提供动力。

液压系统的用户配置保证任何一套液压系统满足飞行控制的能力(图1)。

1) 左(右)液压系统

左(右)系统由一台发动机驱动泵和一台电驱动泵组成。主泵是发动机驱动泵,电动液压泵作为备用泵。其作用一是在液压功率需求大的飞行阶段,为系统提供补充能源;二是作为发动机驱动泵的备份能源,为系统提供应急能

源。发动机驱动泵额定功率为25gpm(约95L/min),电动液压泵分两级功率,分别为27gpm(约103L/min)和37gpm(约140L/min)。

2) 中液压系统

中液压系统由两台电驱动泵和冲压涡轮(RAT)液压泵组成,两台电动泵作为主泵和备用泵互相交替使用,由飞行管理计算机按照工作日控制主或备用泵。

冲压涡轮位于右侧翼身整流罩,为飞机提供应急液压能源和电能源,冲压涡轮在打开后,应急液压系统只向主飞控系统提供应急能源。在整个飞行剖面,可以提供应急能源。冲压涡轮液压泵额定功率为19gpm(约72L/min)。

3) 特点

波音787液压系统特点如下:系统压力为5000 psi (35MPa);发动机泵和电

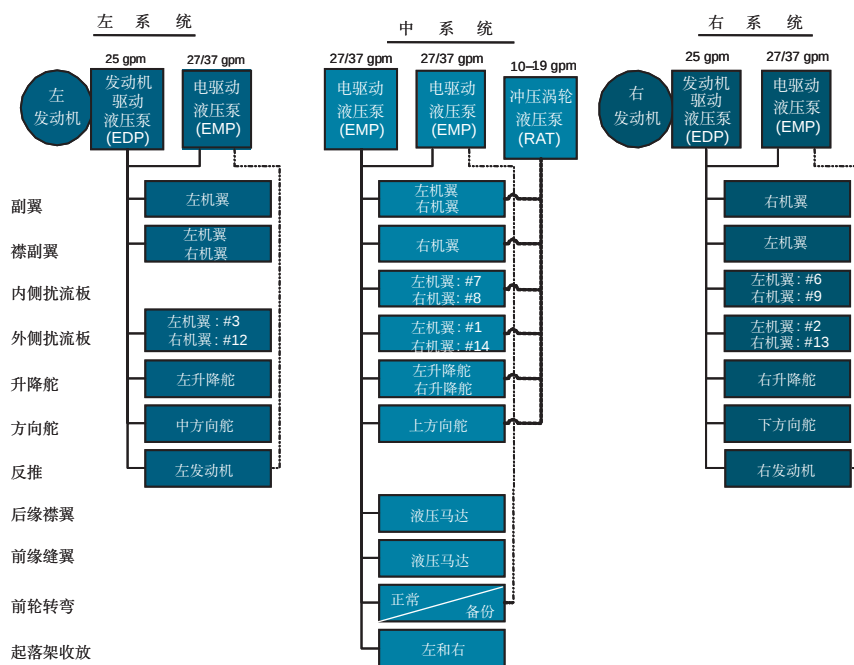


图1 波音787飞机液压系统用户配置图

动泵可以互换,有利于减少航空公司备件数量;刹车系统采用电驱动模式;电动泵采用直流电机驱动,用液压泵壳体回油冷却电机,分37gpm和27gpm两级速度;油箱均采用自增压油箱。

1.2 A380飞机液压系统

A380是空客系列飞机中首次采用5000psi(35MPa)高压系统的机型。该飞机为多电式飞机,采用了局部液压系统(LEHGS)、电动静液作动器(EHA)和电备份静液作动器(EBHA)等先进的机电液压设备。

A380由两套液压系统和两套以电为动力的分布式电作动器作为备用作动器构成了一混合作动系统(2液/2电模式)。用户分别为主飞行控制系统、辅助飞行控制系统、起落架控制系统、前轮转弯系统、货舱门操作系统、刹车系统。A380的作动系统用户配置见图2。

A380的两套液压系统分别配置了4台发动机驱动泵和2台电动液压泵,主要为飞机主飞行控制系统、起落架、前轮转弯系统和其他液压系统提供动力。

A380的每个升降舵舵面均有一个液压作动器和一个EHA驱动。同样,每个方向舵由两个独立的电备份液压作动器(EBHA)驱动。EBHA在正常模式下是以液压为动力,在备份模式下以电力为动力。

A380每个机翼有三个副翼,每个副翼由两个作动器驱动其偏转。其中,内侧和中间的副翼采用一个液压作动器和一个EHA作动器驱动,而外侧副翼则采用两个液压作动器驱动。

扰流板操纵主要是以液压为动力的。其中每个机翼上有一块扰流板作动器是以电力为备份的EBHA。襟翼和缝翼是由机械旋转式作动器驱动的。机械旋转式作动器通过一个扭矩传输轴系与PDU连接。襟翼的PDU包括两个液压马达,缝翼

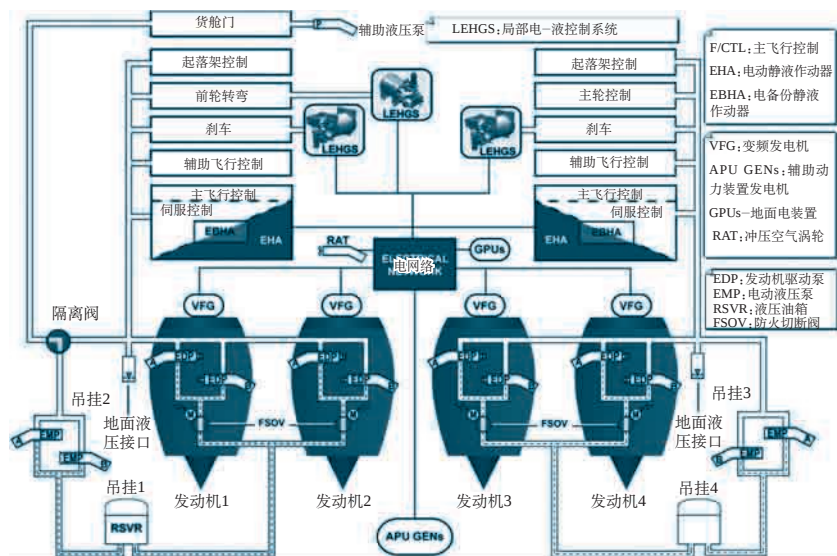


图2 A380飞机液压系统用户配置图

的PDU包括一个液压马达和电动机。

A380液压系统的特点是采用两液压-两电动模式,有4套能源保证飞机作动系统的工作,比传统的3套液压作动提高了安全性。

由于大量采用EHA等电-液作动器,节省了液压管路,从而在减轻重量的同时,也减少了可能的泄漏源,提高了液压能源系统的平均故障间隔时间和可靠性。

发动机驱动泵带脱开式离合器,可以在泵发生故障时将该故障泵和系统隔离。

发动机驱动泵采用柱塞形式,并且配有脉动衰减器,使得压力脉动只有额定压力的 $\pm 1\%$ 左右,从而实现了低噪声。

由于工作压力的提高,其液压导管管径及应力也减小,可使管路的疲劳降到最低,从而提高了液压动力输送管路系统的可靠性。

2 民用飞机液压系统发展趋势

2.1 新型液压作动技术

1) 电动静液作动器(EHA)

A380大量采用新型的功率电传作动器,如EHA,取代传统作动器成为新型舵面执行机构。采用功率电传作动器的电力作动系统,由飞机第二能源系统至作动系统各执行机构之间的功率传输,通过导线以电能量传输的方式完成的,而现行机载液压作动系统则通过遍布机身的液压管路里的油液来传递功率。研究表明,飞行控制舵面均采用一体化电动作动器后,由于没有了遍布机身的液压管路,加上一体化作动器易形成容错能力,使飞机具有一系列优点:可靠性更高、维修性更好、效率更高、飞机性能提高,同时由于燃油减少且飞机出勤率大为提高,可大量节省费用。正是这些众多的优点,使得发展功率电传作动器成为了必然。EHA的结构如图3所示。

2) 电备份静液作动器(EBHA)

EBHA作为液压系统的备份,简化液压能源系统,同时增加液压系统的工作可靠性。EBHA与EHA相比,其结构相当,保持了原EHA系统的结构简洁,具有易于实现优化控制、维修方便等优点。同时,在EHA结构基础上增加

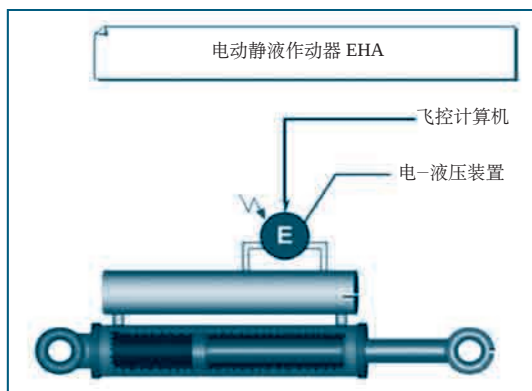


图3 电动静液作动器EHA结构示意图

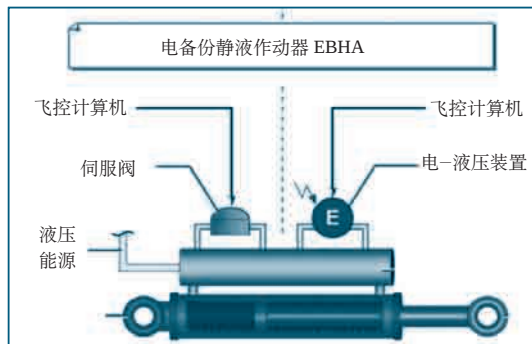


图4 电备份静液作动器EBHA结构示意图

的常规液压系统接口,使得EBHA能接受来自常规液压系统的能源。这样,在常规液压系统正常工作时,EBHA本地电机和泵并不工作,而是通过常规液压系统的压力油液驱动进行工作。只有当常规液压系统出现故障,系统失效或供压不正常时,EBHA在本地电机和泵驱动下工作,保证主要飞行控制舵面的正常操纵。

因此,从提高液压能源系统可靠性来看,EBHA具有明显的优势。电备份静液作动器EBHA的结构如图4所示。

2.2 液压系统高压化

现代飞机向高速大型化等方向发展,因此液压系统设计面临解决重量、体积、功率、有效载荷和可靠性等各种设计要素之间矛盾冲突的难题,问题的焦点集中在降低重量和减小体积上。如果保持液压系统输出功率不变,即流量与压力的乘积不变,根据液压系统的相似准

则,流量正比于液压元件体积的 $2/3$ 次方与流速的乘积,由此可见,提高液压系统压力是克服矛盾冲突的唯一解决方案。液压系统重量减少1kg,可以使飞机结构重量减少4kg,或者使飞机承载能力提高15kg。现代飞机多采用超临界翼面,操纵面的液压执行元件的安装空间减小,要求液压执行元件的体积减小。

国外大量研究结果表明,飞机液压系统减小体积和降低重量的最有效途径是提高系统工作压力,以3000psi作为飞机液压系统的基础压力,综合考虑多种设计因素,在不计最初的试制成本时,使系统重量最小的压力是4000psi,采用钢和合金钢材料的液压

系统最佳压力是5000psi,采用钛合金材料的液压系统最佳压力是8000psi。A380和波音787飞机液压系统就是很好的证明。

2.3 节能

飞机液压系统高压化和大功率,会使系统的无效功率增加,效率较低。随着飞机液压系统功率的增加其无效功率也会成比例地增加。而飞机液压系统无效功率的主要体现形式就是产生大量的热,从而导致飞机液压系统的温度急剧升高,主要会影响飞机的续航时间。随着飞行时间的增加,油温将愈来愈高,与之交换散热的燃油温度也会增加,发动机对燃油入口温度是有限制的,超过此限制将迫使飞机返航。采用变压力、泵转速调节等技术对液压系统不同工况进行调节,可以有效降低系统损耗功率,有利于降低系统发热,提高液压系统工作可靠性和减少故障发生

率等。波音787飞机电动液压泵采用两级调速状态,解决温升等问题。

2.4 高可靠性余度油源系统

飞机余度液压油源系统主要致力于如何提高系统和附件的安全性 with 可靠性,其主要技术涉及到液压能源系统的余度配置、余度管理、可靠性分析,能源系统余度管理软件的开发以及余度能源系统瞬态响应的提高等。电子元件的超大规模集成化和液压元件的微型化为高可靠的多余度泵源系统创造了条件,如A380的液压系统采用4套独立的飞行控制系统。

3 结论

商用飞机正向高速、大型化方向发展,波音787飞机和A380飞机液压系统方案设计和应用代表了未来相当长一段时间内,大型飞机液压技术的发展趋势。波音787飞机和A380飞机液压系统分别在波音和空客系列飞机中首次采用5000psi高压系统,说明现代飞机液压系统将朝着重量轻、体积小、高压化、大功率、多余度等方向发展。

经验表明,提高系统工作压力是增大系统传动功率的最佳途径。通过采用高压液压技术,飞机需要的动力可以通过更小的管道和液压部件传输,从而有效地减轻飞机重量,提高飞机的燃油经济性。因此高压液压技术的发展将是未来大型飞机液压系统的主要发展趋势,A380飞机大量采用新型的功率电传作动器,如电动静液作动器和电备份静液作动器,表明功率电传作动器会是未来大型飞机作动系统的发展方向。

AST

作者简介

朴学奎,高级工程师,从事民用飞机液压系统设计研究工作。