

冲压空气涡轮在民用涡桨飞机中的应用

Application of Ram Air Turbine in Civil Turbo-Prop Aircraft

中航飞机研发中心 王永鑫 崔宇

[摘要] 冲压空气涡轮作为飞机的应急能源,能够提高飞机的安全性能。通过对冲压空气涡轮系统及其性能进行分析,并根据涡桨飞机进地速度低的特点以及动能损失的影响,举例分析了冲压空气涡轮在民用涡桨飞机选型应用中应考虑的因素。

关键词: 冲压空气涡轮 涡桨飞机 动能损失 民用飞机

[ABSTRACT] As the emergency energy source, Ram air turbine(RAT) can enhance the safety performance of aircraft. According to the analysis of RAT system and its performance, low approaching speed of turboprop aircraft and the effect of dynamic loss, this paper analyzes the factors that should be considered during the application of RAT in civil tur-boprop aircraft.

Keywords: RAT Turbo-prop aircraft Dynamic loss Civil aircraft

随着多电飞机的发展和电传操纵的广泛应用,飞机上的应急用电负载越来越多,容量也越来越大,如果只靠蓄电池作为应急电源,容量过大会给飞机带来更多的负担,已经不能满足多电飞机发展的要求。冲压空气涡轮(Ram air turbine, RAT)可以在应急情况下提供持续的电能和液压动力。越洋航班 236 号班机在飞越太平洋时燃油耗尽,之后放下 RAT 为飞机提供电能,使飞控系统仍能继续工作,最终安全着陆,从而避免了人员伤亡事故的发生。

现代涡桨飞机也开始采用电传操纵,并向多电飞机发展。这使得涡桨飞机对应急电源有了更高的要求。冲压空气涡轮以往都是安装于涡扇飞机,而很少在涡桨飞机中进行应用。因此,研究冲压空气涡轮在涡桨飞机中的应用,对于我国涡桨民机的发展具有重要意义。

1 RAT 系统简介

冲压空气涡轮是应用在民航客机和军机的动力应急装置。它将飞机飞行中来流和动能转化为转子的机械能,通常作为飞机的附加动力使用。冲压空气涡轮根据其结构可分为桨叶式和涵道式 2 种。民航客机飞行

速度低,使用的冲压空气涡轮是桨叶式。涵道式冲压空气涡轮一般应用在军机领域。因此,民用涡桨飞机只会采用桨叶式的冲压空气涡轮,本文也只对桨叶式的冲压空气涡轮进行研究。

桨叶式常由两三个涡轮叶片构成涡轮转子,安装于吊舱的外部,依靠飞机飞行时的空气动能吹动叶片旋转,以带动相联的轴高速旋转,将高速气体动能转为机械能输出。而飞机飞行高度与速度在飞行包线内变化,因此 RAT 的迎风速度、工作转速和输出功率是变化的,需要自动调节冲压涡轮叶片桨距(叶片的迎风角度)来调整气动状态,以获得高气动力品质和最大输出功率^[1]。这种涡轮功率调节机构复杂,效率低,做功能力小。

涵道式涡轮由涡轮定子和转子组成,安装于吊舱内部。涡轮定子的作用是调整气流以改变气流方向,同时加速气流使其具有更大的动量冲击其后的转子叶片,使转子发出更大的功率。涡轮输出功率一般通过改变涡轮流道面积或节气门面积调节。涵道式涡轮在飞机亚音速和超音速飞行时,都能正常工作^[2]。

冲压空气涡轮可以带动发电机和液压泵,为飞机提供电力和液压能源。大飞机由于飞机复杂,需求的液压能较多,通常采用冲压空气涡轮同时带动发电机和液压泵。对于中小型飞机,可以选择只带动发电机,再由发电机带动电动液压泵进行工作。

2 RAT 系统分析

RAT 系统包括叶片、涡轮、发电机、GCU(发电机控制单元)、放下作动筒、上位锁、收起泵和手动释放装置等。下面以某种型号的 RAT 系统为例进行系统分析。

2.1 机械结构分析

RAT 具有叶片锁功能。当 RAT 在 RAT 舱内时,叶片被锁止;当 RAT 放下后,锁闩打开, RAT 开始转动。叶片锁机械结构由 2 个推杆、1 个双臂曲柄和 1 个锁闩组成,其中一个推杆的终端连接到飞机结构撞针托板上某个点。这个推杆具有弹簧载荷来保证机构在锁定位置直到 RAT 放下。双臂曲柄把这个推杆连接到另外一个作动推杆,作动推杆穿过结构,连接到涡轮锁闩。锁闩安装在发电机外壳上,当在锁住位置或收起位置时,

锁闭会插到轮毂上的一个凹槽内。

RAT 结构里的机械式的调节装置能使发电性能维持在稳定的范围内。冲压空气涡轮叶片是可旋转的。叶片配重结构能使叶片螺距调整到相应的位置,叶片配重的运动会使叉盘上的凸轮随动机构进行相应运动。叉盘将叶片配重结构的力传给管理弹簧。当超过管理弹簧的预设载荷时,叶片的螺距会随风速增加而变化。通过选择飞行重量、叶片空气动力特性和管理器弹簧这 3 者之间平衡的角度,来保持发电在需要的限制范围内。

RAT 结构与 RAT 舱门具有连动机构,当 RAT 放下时,会带动 RAT 舱门打开。该连动机构是简单的杆连接。RAT 的发电机可以装在涡轮的同一条直线上,直接由涡轮驱动;而对于较大的冲压空气涡轮,可以把发电机放在 RAT 基部,中间通过齿轮箱进行连接。

2.2 发电系统分析

RAT 的发电机可以有多种类型,其性能要与相应的涡轮尺寸相对应。如某型 RAT 所用发电机为六极三相,115/200Vrms,名义 400Hz,4 线,空冷发电机。该发电机为典型现代航空发电机,由永磁发电机(PMG)、励磁机和主发电机构成。当飞机双发失效时,飞机在空中的空速达到一定条件下,RAT 会自动释放,或进行手动应急释放。随着 RAT 加速,PMG 产生的控制电源会提供到 GCU 中,使 GCU 在 5000r/min 时上电。在 6460r/min 时,发电机的励磁机开始工作。励磁机与发电机加速协同可达到 115VAC 的稳定状态。

当速度达到 6800r/min (340Hz) 时,GCU 发送一个信号使 RAT 线接触器(RLC)闭合,应急发电机便将电能输出到飞机电网中。如果速度降到 6460r/min(323Hz)时,RLC 断开。如果速度恢复到 6800r/min (340Hz) 以上 400ms 后,RLC 重新闭合。当涡轮速度低于 6000r/min (300Hz) 时,发电机将去激励。

GCU 可提供 115VAC 电压管理、馈电错误、过压、低频保护和自检测,但 GCU 必须安装在增压、温度受控的区域。RAT 涡轮结构中的机械调节装置用来维持整个飞行包线过程中的相对固定速度控制(360~440Hz),使在应急情况下产生的电能具有可以接受的固定电源质量。

2.3 收放系统分析

RAT 有自动和手动 2 种释放方式,其中手动为应急释放。RAT 的释放是通过打开上位锁实现的,而上位锁的控制方式有两种:通过电磁线圈和采用机械方式。通常自动释放通过控制电磁线圈实现,而手动释放可以采用 2 种方式中的任意一种。

RAT 的收放通常使用液压系统来实现。RAT 作动筒中具有弹簧载荷,能够提供 RAT 放下的初始力,在放下过程中具有阻尼作用,防止作动筒运动过快。RAT 在

空中放下后,不能再收起,只能等飞机着陆后通过自动或手动方式收起。在收起 RAT 时,要使叶片在要求的位置,从而使 RAT 收起后叶片能锁止。如果采用独立的液压系统来控制 RAT 收放,其收起通常通过手动收起泵来实现。在这种情况下,如果要实现自动收起功能,只能使用电能,即电动机。这必然要增加地面工具或飞机重量,从经济性和减重考虑均不适用。如果 RAT 采用非独立的液压系统,那么与飞机上的其他液压系统进行交联时,可以使用系统液压能源实现自动收起功能。对于支线型民机,基于节省成本和液压系统自身特点等方面考虑,应该优先使用结构简单的独立液压系统。

RAT 使用的独立液压系统主要由作动筒和收起泵组成。其中,泵系统中有油箱来保障油液的热胀冷缩以及作动筒作动时油路中油液的变化。当收起时要把控制阀推到“收起”位置,压动手动泵,收起模式如图 1 所示。手动泵处的液压油经过单向阀,进入到作动筒的下端,使作动筒收起。而作动筒上端的液压油流回到油箱并补充给手动泵。安全阀防止手动泵供压时压力过大。在 RAT 收起后,将控制阀推回到“准备”位置。控制阀将作动器的两端连在一起,使作动器能够自由释放。放下模式如图 2 所示。

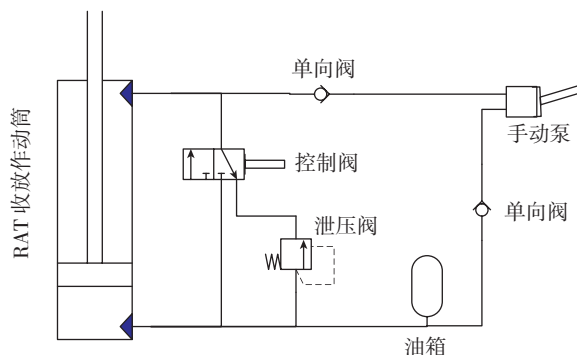


图1 收起RAT的液压系统的工作模式（收起模式）

Fig.1 Operating mode of the hydraulic system when it stows RAT (Stow Mode)

2.4 其他系统

为了防止在低温和结冰条件下定子和转子间的潮湿空气结冰,RAT 中设有电加热器^[3]。当环境温度低于 2℃ 时开始加热,当温度升高到 2℃ 后再持续加热 30min。通常由 GCU 控制 RAT 加热器加热。

RAT 的 GCU 具有测试功能。进行测试时由飞机的二次配电系统给 RAT GCU 供电,并将测试信息反馈给二次配电系统或航电系统。

3 性能分析

对于 RAT 系统,其性能包括提供的电源特性、重量、

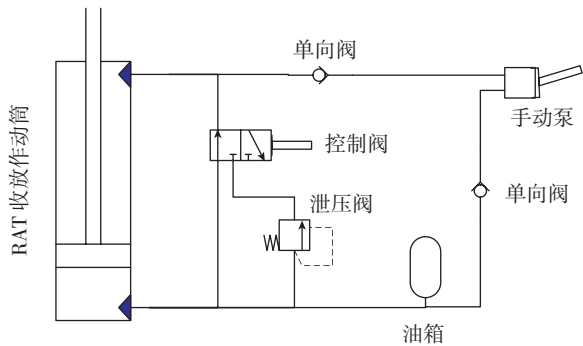


图2 放下RAT的液压系统的工作模式（放下模式）

Fig.2 Operating mode of the hydraulic system when it deploys RAT (Deploy Mode)

尺寸、动能损失特性、收起能力、可靠性、生命周期等。

当飞机带有放下的RAT着陆时,必须要保证在飞机快要着陆时的最低空速能够执行飞行动作。根据飞机级功能需求和应急情况下的负载统计,确定此条件下需要的电能。RAT发电机必须满足该空速下的发电能力。输出电能的稳定性是依靠涡轮的调速装置和GCU进行控制和管理的。将输出电能维持在某一频率范围内,能够为用电设备提供应急情况下的优质电源,从而保证飞行的安全。同时,该调速装置也可以防止因空速过快而导致涡轮损坏。因此,提供优质充足的电源是衡量RAT最重要的性能指标。

其次是重量和尺寸。减重是民用飞机的永恒话题,它涉及到飞机载重、飞行成本和航空公司的利润,所以重量越轻越好。飞机上的空间是有限的,飞机上装有各种设备,较大设备的布置不仅会影响飞机设备的布局,也会影响飞机的平衡性。同时,还要选择RAT动能损失较少的位置^[4]。所以,尽量选择较小尺寸的RAT。

RAT在飞机上的安装位置对其发电性能影响也非常大。安装在飞机上的RAT会有动能损失,即通过RAT的风速要比飞机的风速低。通常RAT安装在机头处的动能损失要比安装在机身处小很多。在考虑RAT的发电性能时要先转换成有效功率。RAT在安装设计时通常是沿竖直方向放下,这样重力可辅助放下。

虽然在飞机运营中RAT几乎是一直收起的,但它需要年检和定期维护。对于地勤人员来说,它的收起能力也是一个很重要的因素。RAT的可靠性也同样影响着飞机应急情况下的安全性。可靠性一直是飞机领域,特别是民机领域中衡量设备的一个重要指标。

4 民用涡桨飞机中RAT的选型研究

经过上面的系统和性能分析,可以得出:在RAT选型时,最关注的性能是RAT的发电能力,其次是RAT

的重量、尺寸、可靠性以及收起能力。涡桨飞机与喷气式飞机的不同点之一是涡桨飞机在着陆过程中进地速度保持很长时间,而喷气式飞机着陆过程中飞机的速度降低很快。涡桨飞机RAT发电性能包括高速飞行时的发电能力和低速(进地速度)时的发电能力,而低速时的发电能力起着决定性作用。

假设某民用涡桨飞机通过负载统计,在应急情况下,高速时需要10kVA的电能,而在低速时需要3kVA的电能。根据某公司的RAT产品目录可以查到,19英寸(1英寸=2.54cm)的RAT在高速条件下发电能力为13kVA,考虑动能损失时为11kVA;在低速条件下,发电能力为3kVA,考虑动能损失时为2.5kVA。而24英寸的RAT在高速条件下,考虑动能损失时发电能力仍大于15kVA;在低速条件下,其发电能力为7kVA,而考虑动能损失时为5kVA。在这种情况下,可以判断由于动能损失的影响,19英寸的RAT不能满足要求,而24英寸的RAT又远大于所要求的性能。

考虑到采用货架产品能大大降低飞机的研发费用,所以不考虑新研制RAT。这种情况的一种解决方案是在19英寸RAT的基础上通过GCU从蓄电池中提取部分电能来补偿在低速时的电能,另外一种解决方案是使用24英寸RAT。最终的方案选择要考虑蓄电池的使用条件。如果蓄电池用于应急条件时只为直流用电设备供电,在进地速度下不能进行电能的提取,则只能采用方案二;如果为采用方案一而增加电池容量,那么要权衡增加电池容量所增加的重量和尺寸与选择方案二所增加的重量和尺寸。另外重要的一点是要权衡增加电池容量后对飞机安全性的影响。

5 结束语

本文介绍了桨叶式冲压空气涡轮,对桨叶式冲压空气涡轮的机械结构、发电系统和收放系统等进行了分析,并确定了发电性能、重量和尺寸是衡量RAT的重要指标。结合涡桨飞机进地速度低且变化慢的特点,举例分析了RAT选型应用过程中应该考虑发电能力、重量、尺寸、动能损失、经济性以及安全性等因素。

参考文献

- [1] 刘思永,方祥军,王屏.可调桨距冲压空气涡轮气动特性实验与数值分析.航空动力学报,2003,18(5):587-592.
- [2] 杨锐.冲压涡轮进气段气动性能研究及风力机二维模型数值模拟[D].南京:南京航空航天大学,2008.
- [3] Aircraft ice protection. FAA (U.S.) Advisory Circular No: 20-73A. 2006.
- [4] 张剑锋,刘思永.半刚性尾涡在冲压空气涡轮性能计算中的应用.南京航空航天大学学报,1998,24(1):28-30.(责编 王一)