

专用设备在航空发动机维修中的应用

北京飞机维修工程有限公司 (Ameco) 李 春



李 春

1983年毕业于南昌航空工业学院(现为南昌航空大学),1984年起在民航北京维修基地任工艺员、工程师;1989年起在北京飞机维修工程有限公司发动机部工作,先后担任工程师、股长、车间经理;现任发动机部工具、设备、设施办公室主任。

随着民用航空业的发展,民用航空器的维修变得越来越重要。现代民用航空器融合了当今世界上各领域的先进技术,在其安全性和可靠性不断提高的同时,对维修保养的要求也越发苛刻。专用设备在航空维修中所起的作用也更加重要,航空维修业的发展和专用设备制造业的发展是分不开的。

一个航空发动机的维修企业通常要根据所进行的维修工作内容投

随着民用航空业的发展,民用航空器的维修变得越来越重要。现代民用航空器融合了当今世界上各领域的先进技术,在其安全性和可靠性不断提高的同时,对维修保养的要求也越发苛刻。专用设备在航空维修中所起到的作用也更加重要,航空维修业的发展和专用设备制造业的发展是分不开的。

入一些必要的设备,这是开展航空发动机维修业务的基本保障。北京飞机维修工程有限公司在航空器维修上积累了丰富的经验,随着业务的发展,公司为飞机大修、发动机大修和附件大修生产线购置了大量先进设备,这些设备在生产过程中发挥了巨大作用。下面重点介绍一下发动机大修业务中所涉及到的一些基本设备。

孔探设备

孔探设备用于发动机维修已有几十年的历史。无论在航线维护还是在发动机维修车间,孔探设备的应用都是必不可少的。从功能上讲,早期的孔探设备只能进行发动机内部状态的检查,如压气机叶片、燃烧室内部和涡轮叶片等部位的完好性与烧蚀情况,以及小尺寸的外来物的抓取。现代的孔探设备除具备以上功能外,还可以对损伤部位的尺寸进行精准测量,这为发动机的监控和放

行提供了有力保障。在条件允许的情况下,还可对损伤部位进行打磨修理,如压气机叶片。这一修理手段能避免在翼发动机的提前换发,对航空公司来说可节省大量的修理费用。

随着科技的发展,孔探设备变得越来越小巧和人性化。数字化的引入使得所观察到的图像可以轻松地在计算机上存储和处理,与发动机生产厂家进行远距离的、快速的技术交流和沟通也变成了现实。

作为航空发动机维修业不可缺少的孔探设备,其理想的产品应该具有以下特性:

- 尽量轻巧便携,无论狭小、宽阔场所都能随处可用。
- 坚固可靠的机身外壳,适应各种工作环境。
- 内置锂电池,可长时间工作。
- 功能丰富。包括图像记录、处理,准确的三维测量等功能。
- 多种可选不同直径的内窥镜和主机可自由更换,操作简单,显示高

清图像,可以通过通用移动载体自由导入、导出图像和数据。

我公司用于发动机大修车间的孔探设备选用了奥林巴斯公司的产品。在设备选型时,发现该公司的产品除具备以上特性外,最让人欣赏的是其尺寸测量的精准度。当然该公司多年来提供及时可靠的售后服务和技术支援也是我们看中其产品的重要原因之一。

清理清洁设备

用于发动机维修过程中的清理清洁设备有很多种,不同工序和场所要使用不同方法和设备。在外场维护和发动机试车台使用气流通道清洗设备来完成发动机内部的清洗,可以提高发动机的工作裕度和效率。

在发动机大修车间内的清理清洁设备通常包括化学清洗设备和机械清洁设备。航空发动机零件在经过长时间的工作后,冷部件上会有大量灰尘和油污,热部件上会有严重的积碳和氧化皮。还有一些零件上带有粘接剂、硅橡胶、防护漆或喷涂层等物质,在对其进行检查和修理之前通常需要将它们去除掉。

世界三大航空发动机制造公司(美国 Pratt & Whitney 和 GE,英国 Rolls · Royce)所推荐的零部件清洁方法大致相似。要完成这些工艺规范需配备不同的化学清洗槽、高压清洗机和不同介质的喷砂机。

化学清洗槽通常用不锈钢板焊接而成,根据需要在槽内配置加热管和搅拌器等辅助装置。高压清洗机在市场上有多种品牌可供选择,但使用寿命却不尽相同。柱塞泵是影响高压清洗机寿命的关键部件,通常欧洲国家的产品更具竞争力,其中又以德国产品为上乘,较好的品牌有德国凯驰(KARCHER)和德国 ALTO 等。喷砂机分为干式和湿式两大类,干式喷砂机又有压入式和吸入式两种,航空维修业一般使用压入式干喷

砂机,目的是根据不同的零件调整工作压力。国内较权威的喷砂机生产厂是北京长空喷砂设备有限公司,其产品系列覆盖了所有发动机维修业务的需求,无论干式还是湿式喷砂机在价格上都比进口设备便宜很多。

对于燃烧室内壁和高压涡轮导向叶片上的陶瓷涂层的去除,传统工艺是放在高温强酸性溶液内浸泡。这种方法不但会严重腐蚀设备,而且还对环境造成污染,现已被超高压水喷射工艺方法取代。

无损检测设备

在航空发动机维修车间内,无损检测是必不可少的。其目的是在不对零件造成任何伤害的前提下,对零件的表面、浅表面和内部进行检查,以发现其可能存在的任何缺陷,这对航空器飞行安全的保障至关重要。其工艺方法通常包括荧光渗透、磁力探伤、涡流检测、超声波检测和 X 光检测等。其中荧光渗透检查的使用频率最高,有 90% 以上的零件要经过荧光渗透检查。检查的工艺过程是:在零件表面上涂覆渗透剂→渗透→漂洗掉多余的渗透剂→乳化处理→水洗→干燥→显影→在黑光灯下检查是否有裂纹。渗透剂的涂覆有多种方法,可以浸泡、刷涂、喷淋或静电喷涂。前 3 种方法对设备要求不高,但涂覆的效果不好,不是涂覆不均匀就是渗透剂浪费严重。静电喷涂的方法是目前国际上比较流行的施工方法,借助静电喷涂设备使渗透剂在静电的作用下均匀地吸附到零件表面上。采用这种方法不但提高了渗透质量,还可以节约渗透剂,同时减少了含渗透剂的污水排放量。



同样,显影粉的涂覆也可以使用静电喷涂的方法。

机加工设备

用于发动机零部件修理的机加工手段通常有车、铣、镗、磨、电火花加工等。但根据被加工零部件的尺寸、精度、材质和形状的不同,所用机床的性能和技术要求也不尽相同。在航空发动机维修车间内通常会遇到钛合金、耐热高温合金、蜂窝封严、金属毛毡封严、橡胶封严等零件的机械加工。现代航空发动机在设计 and 制造时不断地追求高可靠性和耐用性,所选用的材料不但要有高强度,还要有很好的抗疲劳性能。随着材料机械性能的不断提高,机械加工变得越来越困难。除此之外,为了提高发动机的性能,其结构也被设计得更加复杂,有些零件仅靠传统的机床已无法达到加工要求。例如, PW4000 发动机高压压气机环形封严组件车加工时,由于所有加工表面都是圆锥面,在加工过程中无法用普通量具进行尺寸测量,所以机床必须带有在线测量系统。用于加工的数控立式车床产于齐重数控装备有限公司(原齐齐哈尔第一机床厂),使用西门子 840D 的控制系统,带有雷尼绍(Renishaw)测量头和机内对刀仪,以及 12 位刀库。无论是机床的精度还是功能的配备,在国产车床上都是顶尖的。也只有这类机床才可以轻

松地完成发动机上的一些特定零部件的加工。另外,对各类机匣和齿轮箱壳体的修理需要使用数控镗铣床来完成,而涡轮导叶上的冷却孔和定位槽又需要用电火花机床来修复。可以说,现代民用航空发动机的修理必须得到现代化机床的支持。

热喷涂设备

热喷涂设备广泛应用于航空发动机制造和修理行业,其原理是将要喷涂的材料粉末加入到高温高速热源中使其在熔化或半熔化的状态下堆积到零件表面形成致密涂层。热喷涂通常分为等离子喷涂、火焰喷涂和爆炸喷涂等方法,其中等离子喷涂的方法应用最为广泛。一般在航空发动机制造和修理过程中使用热喷涂工艺来达到下面几个功能:

(1) 尺寸修复。

尺寸修复是修理行业必不可少的修理手段之一。当零件出现磨损需要恢复尺寸时,过去用电镀方法,但是,因为电镀工艺严重污染环境,所以无论是发动机制造商还是修理单位都在尽可能地避免使用电镀的方法。用等离子喷涂方法来恢复零件尺寸不是最近才开始的,随着热喷涂设备的不断完善和发展,在航空发动机零件修理领域里的应用越来越广泛。从非转动部件的配合尺寸恢复开始,发展到今天已经可以对涡轮盘和涡轮轴的尺寸进行恢复。甚至一些机型的起落架也用等离子喷涂取代了传统的镀铬工艺。

(2) 提供磨损涂层。

在涡轮风扇发动机中,转动部件和非转动部件之间的封严效果将直接影响到发动机的工作效率和性能。以RB211发动机为例,其中压和高压压气机的叶尖封严全部使用了磨损涂层。在等离子喷涂过程中要严格控制涂层的硬度,如果涂层太硬,当叶片与涂层接触时会使叶片折断;若涂层太软又容易剥落造成

压气机的二次损伤。因此,喷涂参数的控制十分重要。在我们所使用的2种型号的等离子喷涂设备上,发现UniCoat对参数的控制要比9MC精准得多,这主要是由于在UniCoat等离子喷涂系统中采用了闭环控制,在喷涂过程中对各项喷涂指标实行实时监控。

(3) 提供隔热涂层。

为了提高发动机的使用寿命,在一些关键部件上使用隔热涂层是一种既经济又有效的方法。如用等离子喷涂的方法在高压压气机机匣、燃烧室内壁和涡轮导向叶片上喷涂一层耐热陶瓷涂层,使这些零件在恶劣的环境中仍能有效地长期工作。

(4) 提供硬面涂层。

为一些长期在振动摩擦环境下工作的零件表面喷涂一层碳化钨涂层,使其表面变得又硬又滑,以提高零件表面的耐磨性。

当今国际上生产热喷涂设备的厂商甚多,但Sulzer Metco仍以其悠久的历史和雄厚的技术基础名列榜首,其热喷涂设备广泛用于航空、电力、汽车和特殊工业领域,Sulzer Metco公司在其他先进的表面处理设备方面也处于全球领先的地位。

空气流量试验台

空气流量试验台是维修现代航空发动机必不可少的试验和检测设备。针对不同的零件和发动机装配的不同阶段,都要使用不同功能的流量试验台进行检测。检测结果将直接影响到发动机的工作性能。以下是我公司发动机大修车间所使用的几种流量试验台。

(1) CTE6075 真空流量试验台。

美国HABCO公司的此试验台由压力调节器、真空泵、真空绝对压力传感器、数字压力表、质量流量传感器及带线性数字流量显示的质量流量表组成。工作中,在试验台上调节绝对压力值时,能够自动显示测量区域的空气流量值。最大流量测量范围是0~60PPH(0~27.24kg/h)。试验台上配备的质量空气流量表能够自动补偿空气温度及压力变化,使得操作简单,测量准确。

这一试验台主要用于对PW4000系列发动机轴承腔室封严渗漏的检测和RB211发动机的3[#]轴承单元的检测。



(2) CTE5070 空气流量试验台。

此试验台由压力调节器、压力表、压力传感器、质量流量表等组成。试验台压力可在表压表压被调节到7~350kPa范围内任一值时,自动显示测量区域的空气流量值。最大流量测量范围是0~450PPH(0~20.43kg/h)。试验台上配备的质量空气流量表能够自动补偿空气温度及压力变化。操作简单,测量准确。

可以用于JT8D/9D、PW2037和PW4000系列发动机轴承腔室封严的检测以及PW4000扩散机匣、排气机匣和RB211轴承机匣组件的滑油通道的检测。

(3) CTE3000 空气流量试验台。

此试验台配有计算机操作控制系统、压力表、压力传感器、真空绝对压力传感器、温度探头、喉段面积不

同的声速喷嘴、比例式压力调节器、各种测试卡具及压力安全保护装置等。试验台的测试压力范围是0~700kPa,绝对压力是0~112kPa。流量范围是0~45m³/min,故此试验台适于对超大空气流量的零件进行自动测试。由于测量参数均存储于测量软件中,试验台各种显示表及传感器处于正常校验周期监控下,在对零件检测前还需用发动机原生产厂家提供的样模对试验台进行校验,只有校验通过后方可进行正常的零件测试,保证测量结果准确。

此试验台主要用于PW4000系列发动机托皮管及3#轴承冷却器的检测。

以上3种试验台的功能各不相同,CTE6075利用真空原理来检测轴承腔室的密封性,其检测结果的好坏将直接影响到发动机的滑油消耗量,CTE6070是可移动的,在发动机装配阶段用来测量滑油通道的流量值,以此来确定在完成装配后的发动机主轴承区域的滑油流量,而CTE3000是不可移动的,主要对单个的零部件空气通道的流量值进行测量,以此测量结果来决定对零件的修理和调整。

这类测试设备在今后将会被制造得更加小巧,数字化的引入将使操作更加简便。

焊接设备

在航空维修车间内用途最广的焊接设备是氩弧焊机,需要焊接的材料通常有钛合金、镍基合金、钴基合金、铝合金和镁铝合金等。为保证焊接质量和焊接材料的安全性,在焊接过程中要绝对避免焊接材料被氧化,因此惰性气体保护就显得格外重要。这也是为什么在航空发动机维修过程中不能使用普通电焊机的原因。

这里介绍一款芬兰KEMPPI公司生产的MasterTIG MLS™ 逆变焊机。MasterTIG MLS™ 焊机电源采

用微处理器控制和IGBT 逆变技术(绝缘栅双极性晶体管),逆变频率20kHz;拥有独特的隔离冷却系统(ICS™)和多用途逻辑系统(MLS™),具有高可靠性和完美的焊接特性,避免了起弧收弧时的焊接缺陷,在多位置焊和工件间隙有变化时对熔池有良好的控制;焊接位置变化或需要较大填丝时不必断弧;软/热起弧功能使2个电流值可“记忆”,减少了对遥控的需求。

热处理设备

热处理设备是发动机大修车间必备的设备。许多重要的结构件在经过长时间服役后,其材料的内部组织结构已经发生了变化,这时就需要对其进行固熔或消除应力热处理,使其恢复以前的机械性能。另外,有些零件在经过焊接修理后也需要进行热处理以消除焊接应力。热处理通常在真空炉或空气炉中进行,真空炉热处理对零件有很好的保护作用,能够防止零件氧化脱碳。使用真空炉

进行热处理的零件有PW4000发动机的燃烧室导向器组件、涡轮5级导向叶片及5级LPT空气封严等。

我公司使用的真空炉为美国IPSEN生产的,其有效工作区为:直



径1800mm,高度为1500mm。最高工作温度为1316℃,极限真空度达到1.3~0.7kPa,工作真空1.3~0.7kPa。有效工作区温度均匀度在±5℃内,泄漏率是2μm/h。腔室采用的是7层隔热保温层,3层是钼材料,4层是耐热不锈钢材料(其他生产厂家生产的真空炉设备通常只采用5层隔热保温层)。带有超温报警装置。操作者只需将零件热处理的工艺过程输入程序温度控制器,设备就可自动完成对此零件的热处理过程。希望今后的真空炉能够带有WINDOWS系统操作控制功能和氢气洗炉功能,使操作更加简单容易。

结束语

当然,在发动机大修车间内还有许多各种其他设备,如三坐标测量机、表面状态激光检测仪、电子校装设备、静态电路试验台以及发动机试车台等相关设备,这些都是航空发动机维修工作中不可缺少的。这些专用设备既是建立航空发动机维修的基础,也是保障航空产品安全的硬件设施。相信随着航空产品科技含量的不断提高,专用设备对航空维修业的支撑作用将会越来越显著。

(责编 伟然)



MasterTIG氩弧焊机