

无损检测在航空发动机 维修中的应用

沈阳航空工业学院 石宏 项松 艾延廷

航空发动机维修中最常用的无损检测方法有磁粉检测、渗透检测、涡流检测、超声检测、射线检测和内窥镜检查等。前3种方法主要用于被检物的表面及近表面缺陷检测,后3种方法主要用于被检物内部的缺陷检测。

航空发动机维修既是飞机维修的一部分,也是航空机务工作的重要组成部分。由于航空发动机是由多种类型零、部件组成的复杂机器,在高温、高压、高转速及恶劣的环境不断变换的工作状态中工作,要求重量轻、推力大、耗油低、工作可靠、寿命长、成本低,而且发动机结构还要不断更新,导致其维修比重加大。同时由于现代设备广泛应用了最新科技成果,性能更高级,技术更加综合,结构更加复杂,给航空设备的定期维修、快速维修特别是大修带来很大挑战,因此目前航空发动机的维修装备和手段也在不断发展,推陈出新,使航空发动机的维修手段更加现代化、高科技化。本文主要阐述航空发动机维修中的无损检测技术。

航空发动机维修中最常用的无损检测方法有磁粉检测、渗透检测、涡流检测、超声检测、射线检测和内窥镜检查等。前3种检测方法主要用于被检物的表面及近表面缺陷检测,后3种检测方式则主要用于被检

物内部的缺陷检测。

磁粉检测

磁粉检测是利用磁现象来检测铁磁材料工件表面及近表面缺陷的一种无损检测方法。其基本原理是铁磁性材料的工件被磁化后,由于有破坏材料的连续性的缺陷存在而导致磁力线的局部畸变,进而造成部分磁力线泄漏出工件表面而形成漏磁场,吸附添加到工件表面上的磁粉而形成磁痕,从而显示出缺陷的位置、形状和大小。

磁粉检测主要用于检测铸造、焊接和热处理部件。如某型航空发动机涡轮叶片的磁粉探伤,首先用煤油将叶片清洗干净,将探伤仪两个卡头分别放在裂纹两侧,让磁力线垂直穿过裂纹。按压手柄上的开关,以接通电源,对叶片进行充磁;叶片充磁的同时,在卡头中间浇注磁悬液。仔细观察被检测部位(必要时用放大镜),如有线状磁粉聚集,形成峰状,并有尖锐的尾巴者即可定为裂纹。

渗透检测

渗透检测习惯上又叫渗透探伤。操作时先把被检测的构件表面处理干净,使渗透液与受检件表面接触,由于毛细作用,渗透液会渗透到表面开口的细小缺陷中去。然后去除零件表面残存的渗透液,再用显像剂吸出已渗透到缺陷中去的渗透液,从而在零件表面显出损伤或缺陷的图像。渗透检测分为着色法和荧光法,其原理是相同的,不同的是着色法在可见光下观察缺陷,而荧光法则在紫外线灯的照射下观察缺陷。

渗透检测法在航空发动机维修中有着很广泛的应用,凡是用铝合金、镁合金、耐热合金制成的发动机零部件,在大修或检修时,一般都采用荧光法来检测其表面损伤。外场条件下,多用着色法检测发动机上那些不能拆卸的零件。为了验证超声检测和涡流检测的结果,有时采用着色法检测铁磁材料制成的构件,以便肉眼能看到缺陷及损伤。采用荧光

法检测不锈钢、耐热合金钢制成的紧固件、承力件和大量的铝、镁合金构件,如涡喷六进气支架,涡轮盘榫齿槽底和端面裂纹。渗透检测法还可以用于铸造叶片的检测。

涡流检测

涡流检测是以电磁感应为基础的无损检测技术,只适用于导电材料,主要应用于金属材料 and 少数非金属材料(石墨、碳纤维复合材料)的无损检测。涡流检测方法根据电磁感应原理,导电材料在交变磁场作用下会产生涡流,导电材料的表面层和近表面层的缺陷影响所产生涡流的大小和分布,因此,根据涡流的大小和分布可检测出存在的缺陷。

目前涡流检测技术已广泛用于航空航天领域中金属构件的检测。如航空发动机叶片的裂纹以及螺栓、螺孔内裂纹表面和亚表面缺陷,还可用于检测焊缝的缺陷。在某型航空发动机二级涡轮叶片叶背第一槽槽内裂纹的涡流探伤中,将探头的感应点放在被检叶片的第一槽内,并使探头从槽的一端匀速地移动到另一端,在移动中注意探头轴线与被检表面保持垂直,对探头的压力要均匀,用力不宜过大,只要轻轻接触即可。用涡流法检查出来的有裂纹的叶片,应再用渗透法验证。

超声检测

超声检测的原理是:声波在物理介质(如被检测材料或结构)中传播时,被检测材料或结构内部存在的缺陷会使声波改变原来的传播规律,如产生折射、反射、散射或剧烈衰减等现象,通过分析这些规律的变化,可以建立起缺陷同被检测物理量与声波的幅度、相位、频率特性、声速、传播时间、衰减特性等之间的相关关系。

超声检测是目前复合材料和焊接结构中应用最为重要和广泛的无

损检测方法,可检测出复合材料结构中的分层、脱粘、气孔、裂缝、冲击损伤和焊接结构中的未焊透、夹杂、裂纹、气孔等缺陷,缺陷定性定量准确。超声检测在航空发动机维修中应用较多,如叶片裂纹、放气带裂纹、燃烧室外套裂纹等的检测。

国外大多数飞机制造厂在生产中都采用了先进的多坐标数控扫描自动成像超声无损检测设备进行产品检测。由德国GE检验技术(GEIT)公司开发的试验机新近安装在斯德哥尔摩附近的萨伯航空结构公司,这是一种专用的试验机,可以将复合材料结构的扫描时间减少50%。该机特点是通过一个同步系统可以对照几何数据与超声检测结果,从而得出对结构件的综合评估。洛克希德·马丁公司开发的激光超声检测仪采用2个激光器,一个用来加热被检零部件,通过热弹性膨胀来产生超声,另一个用来检测超声振荡。

射线检测

射线检测的原理是:当射线入射到物体时,射线的光量子将与物质原子发生一系列相互作用,使射线被吸收、散射,导致透射射线强度发生衰减,其衰减程度与射线的能量、被透照物质的性质、厚度、密度等因素有关,密度或厚度愈大,衰减愈大。若被检件有孔洞等缺陷,透过缺陷处的射线强度就大,进而使射线胶片相应处的曝光量增多,暗室处理后呈现较黑的缺陷影像,从而达到检测零件内部质量的目的。

用X射线探伤可以检测航空发动机燃烧室外套滚焊焊缝的熔合质量,判定各类焊接件焊缝是否存在内部缺陷;可以检测发动机中铸造叶片和焊接叶片的孔洞类、裂纹类、夹杂类的缺陷。国外大型飞机制造厂家都有大型多坐标射线检测成像设备用于产品的检测,美国和其他一些国家还开发了便携式射线检测设备

用于外场检测。

内窥镜检查

内窥镜检查也是航空发动机上常用的维修检查装备,它是指借助于专用的光电仪器(工业内窥镜)对肉眼无法直接接近的区域进行检查,属于无损检测中的目视检查方法。

在民用航空器维护中,内窥镜检查通常也称为“孔探”,是发动机在翼维护的五大工具之一,其目的是掌握发动机内部的状况。据统计,大约90%的发动机非例行更换都与内窥镜检查结果直接相关。作为唯一一种在航线维护中能够不分解发动机而了解其内部状况的检查手段,内窥镜检查对于安全和效益两方面均有重要意义和价值。

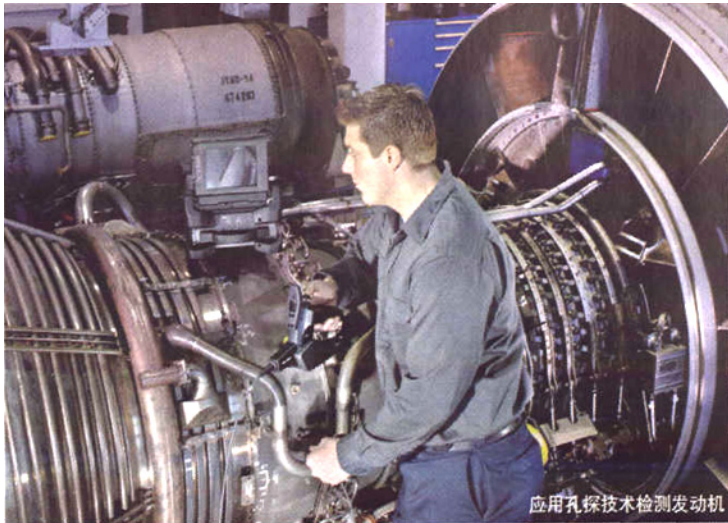
内窥镜主要分为直杆内窥镜、光纤内窥镜和视频内窥镜。直杆内窥镜限于在观察者和观察区之间为直通道的场合使用,观察时将光源和内窥镜相连,直杆插入发动机内部,观察者通过目镜观察发动机内部情况;光纤内窥镜限于观察者和观察区之间并无直通道的场合使用,观察时将光源和内窥镜相连,光纤插入发动机内部时,由于光纤是柔性的,可以通过一个手柄控制其旋转,观察者通过目镜观察发动机内部情况;视频内窥镜本身为柔性插入管,在形式上取代了直杆镜和光纤镜,但如果加上刚性套管则可以当成直杆镜使用。随着计算机技术和光电技术的发展,目前内窥镜检测技术发展较快:可以对观察到的图像进行储存,可在储存的图像上添加文字注释;可测量裂纹的长度;机械手可以取出落在发动机内部的小螺钉等物品;带有柔性杆的内窥镜能够对不同的方位进行观察记录。

孔探技术多年来一直在航空发动机的维护中发挥着十分重要的作用。发动机的关键部件,例如主气流通道部件、高压压气机、高压和低压

涡轮的各级轮盘及叶片、燃油喷嘴、燃烧室等都是不易拆卸且检测可达性较差的零部件,对于这些零部件的检查与监测工作大都是通过孔探技术完成的。孔探技术在航空发动机维护中的重要作用具体体现在以下几方面。

1 定检规定孔探工作

定检工作通常是在无故障的飞机上进行的,工作开始之前应参阅最



应用孔探技术检测发动机

近一次的孔探报告,并了解发动机的技术状况,然后按照工作单卡规定的区域开始工作。如一次对BAe-146飞机进行孔探检查,检查部位为燃油喷嘴、燃烧室、高压涡轮第一级转子叶片。在检查燃烧室时发现,第二散热器环出现多处轴向裂纹,并有一处已形成封闭裂纹,随时可能发生掉块,会使高压涡轮转子受到严重损伤,危及飞行安全。经工程技术部门鉴定,决定更换发动机。

2 突发事件后的孔探工作

所谓的突发事件是指发动机超温、喘振、发现异物、外来物打击进气道、参数异常等。相应的孔探工作多为针对某一部位进行的检查,工作之前应详细了解故障,分析由此引起的损伤部位,并会同有关技术人员来制订工作程序,以确保不漏检因故障损坏的机件。例如,机务人员在一次进

行飞机地面维护时,发现1[#]发动机3.5级放气活门金属网内有一块金属块,属外来物,对该发动机的高压压气机、燃烧室、高压涡轮进行检查,发现高压压气机第九级转子有一叶片尖部折断,第十级静子叶片前缘被打卷曲,第十级转子叶片多片前缘被打击变形。根据飞机发动机维护标准,确定该发动机已超标,遂进行换发。

3 故障监控的孔探工作

此类工作在实际工作中所占比例较高,因为缺陷可分为3类:可忽略的缺陷,缺陷不影响飞行安全,但如果缺陷发展就会危及飞行安全;超标需要更换发动机的缺陷。其中第一类缺陷最常见,但在长期使用的发动机上,第二类缺陷较多,因而需要在更换发动机前定期监控发动机的故障状态,直至超标更换发动机为止。例如,某型双转子涡扇发动机大修时对火焰筒上产生的裂纹进行补焊,为了观察补焊效果,要求该型发动机工作到150h,须利用孔探仪(工业内窥镜)观察火焰筒补焊处有无裂纹。

4 孔探技术的延伸及发展

近年推广使用的发动机叶片打磨工具,就是利用孔探技术在发动机内部对缺陷叶片凹坑、打弯、撕裂等

进行维修,从而达到继续使用发动机的目的,尽可能延长发动机的使用寿命。在发动机的维护工作中,偶尔会遇到小零件掉到发动机内部,以前只能更换发动机,现在采用发动机孔探设备确定零件在发动机的位置,从孔探探头中间伸进一个小钢抓,利用内窥镜定位抓出小零件,从而避免了更换发动机造成的经济损失。

随着光电技术、传感器技术以及计算机技术的发展,孔探技术有以下几个发展方向:

(1) 自动化。一种是图像通过无线方式传送,如无线遥控式孔探仪可避免受到导线长度、质量等因素的限制;另外一种方式是有线式,如采用蛇形机器人等,其主要优势在于探头在内部不需要人为操纵,采用自寻方式,减少了对操作人员的经验要求,还可避免仪器的损坏。目前,英国、日本和美国的一些相关机构就内窥镜机器人技术正在进行广泛的研究,该技术在发动机维护中起着显而易见的作用。

(2) 立体显示。立体显示的意义在于可以指导无损条件下的维护工作,极大地降低维修成本。立体显示研究的最新技术是美国开展的真实景深技术,它不同于利用虚拟头盔等技术,不需要任何视觉的附属显示设备。

(3) 原位内窥维修。原位内窥维修是在不拆开发动机的条件下进行的,如对叶片卷刃的打磨、积碳的清理和发动机内的小碎片的清理等。在民航现场维修,特别是军机快速抢修中,原位维修能够极大地节约时间和成本,应用价值很高。

(4) 专家化。即采用模式识别、机器学习、神经网络以及专家系统等计算机手段,对硬件系统采集到的图像进行全方位的自动分析处理,做出有效评估,从而减少人为过失与误差。

(责编 钟元 微凉)