

# 航空发动机大修专用工具设备的配置和调试

四川斯奈克玛航空发动机维修有限公司 康 静



康 静

2000年开始从事航空发动机工装设备管理工作,目前就职于四川斯奈克玛航空发动机维修有限公司工程部,于2002年和2006年赴法国Snecma-services接受发动机专用工具设备的管理培训。

随着新型号客机的使用,航空发动机维修工作的本土化已被国内各大航空公司提上了议事日程。在对市场前景充分论证后,新发动机大修项目立项并进入实施阶段,此时发动机修理专用工装和设备的引入、调试便成了决定项目周期和成本的重要因素。发动机的大修主要包括发动机的分解装配、试车、零件清洗、故障检测和修理。一般来说,发动机修理

在对市场前景充分论证后,新发动机大修项目立项并进入实施阶段,此时发动机修理专用工装和设备的引入、调试便成了决定项目周期和成本的重要因素。

厂可以在1年半的时间内完成前期的准备工作并开始对首台发动机进行试修。

## 试车台的改造

(1)当发动机大修项目进入实施阶段后,试车台的改造是整个维修过程中周期最长,也是需要最优先开展的设备项目。对于现有试车台的改造,一般包括台架、吊发设备和安装试车软件3个工序。目前,试车台改造的本地化面临周期和认证两大难题,因而其升级改造一般会选择发动机的OEM厂家进行。在这个过程中,厂家需要约1年的时间完

成硬件和软件的准备,随后运输到现场并进行为期3周左右的安装调试。同时,还需要有一台合格的发动机用于试车台的标定。OEM厂家的专家小组会通过这台发动机在另一个经过认证的试车台所录取的性能数据来进行对比,并完成标定。

(2)目前世界范围内15万磅(68000kg)推力级的航空发动机试车台,通常具备以下特性:拥有先进



安装在试车台台架上的发动机

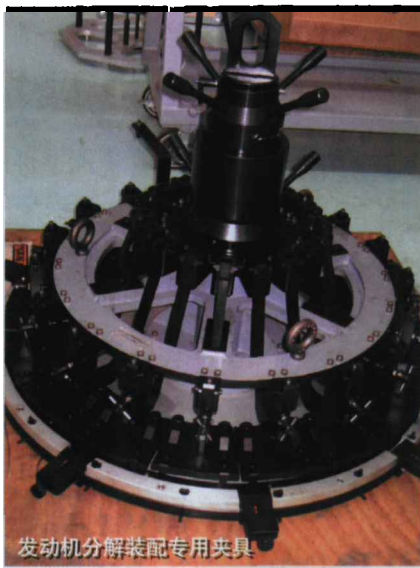
的采集系统,这个系统能处理航空发动机试车所需的大量数据,拥有操作及控制航空发动机试车流程的智能化 HMI(人机界面),并采用 PLC 技术来控制其中的部分功能;对于不同的数据、报警等信息能实现形象生动的显示(如图表、仪表、数值、曲线等);能在发动机试车结束后自动生成客户需求范围内的性能报告。除此之外,先进的试车台还需安装高速、稳定的计算机系统并配有专用的大型液压吊装夹具,用于运输准备试车的飞机发动机。

### 发动机分解装配 专用工具及其调试

(1) 分解和装配发动机需要各式各样的吊具、夹具、拔具以及一些支撑、存放和翻转的工具。一般维修厂商会从发动机的 OEM 厂家购买供分解装配的专用工装,而 OEM 厂家会有专门的工装设计小组对特殊的工装进行设计,并在维修手册的每一个章节列出所需的专用工具清单和件号。这些专用的工具覆盖了发动机修理的主要操作过程,并大量采用优质的原材料(如进口铝 6061,特殊钢 40CrMo 等)、先进的加工工艺并配备国外知名厂家先进的标准件,如精度达 0.001mm 的大型气动转台。

除了上述从 OEM 厂商购买的专用工具外,还有一些从当地采购的辅助设备,如吊称、力矩倍增器、加热器、测温仪等,约占分解装配所用工具数量的 5%。此外还有一些手动工具如内六角扳手、转接头、加长杆、棘轮扳手、力矩扳手等。由于发动机上有大量的螺钉螺帽需要分解,且这些螺钉螺帽的紧度大,位置各异,因此,还需要许多高质量多规格的手动工具。SNSP-ON 和 FACOM 是全球范围内两家主要的专用航空手动工具供应商,其产品可以满足发动机分解各个阶段的需要。

(2) 发动机装配整个过程的质量和安全性很大程度上取决于各个部位转子的平衡,所以对平衡设备的性能有较高的要求。全套平衡设备主要由卧式平衡、立式平衡和叶片静平衡 3 部分组成。卧轴和立轴形式的设备参照 SAE 标准应用于单个涡轮和压缩机转盘的精平衡和带有高精度平衡夹具的完全模块化的动平衡;叶片静平衡设备则用于测量单个叶片的质量、重心以及产品的半径。一个先进的平衡设备都具备智能化的软件在转子的圆周上为叶片提供最优化的分配,使所有力矩总和最小化。以卡尔·申克公司的平衡设备为例,该公司提供的平衡设备在



发动机分解装配专用夹具

技术上处于世界一流水平,配备有成熟稳定的软硬件系统和精准耐用的机器设备,获得了行业内最高的测量精度,操作简单方便,目前已被许多维修企业采用。

(3) 上述工艺装备的装配和调试一般分以下 3 个步骤进行:首先,维修人员要对照图纸检查工艺装备的完整性,对螺钉螺帽以及内十二方花键这类易损耗的部件应建档并准备备件。第二,对重要的功能性尺寸和技术参数进行复测。量具类工装的功能性尺寸要定期检测;打具和拔具类工装要检查零部件的硬度值,

防止因硬度不合格(硬度过高)而造成使用过程中工装的损坏,同时避免对零件和人员可能造成的伤害;对吊具除进行目视检查之外,还应定期进行载荷试验和探伤。载荷试验中可通过贴应变片观察吊具有无永久性变形,荧光和磁粉探伤可探测吊具有无裂纹。第三,使用培训机。使用培训件来对工装进行实际功能检查,除功能性尺寸需要复测获得具体数值外,其他的结构尺寸可通过实际操作来进行功能性测试。在装备的调试过程中这一步是必不可少的,因为 OEM 的图纸及工装制造过程中可能存在 5% 左右的缺陷率,不经过功能性的测试直接在首台客户发动机上使用有一定的风险。而且,工作者也需要通过在培训机上使用工装来熟悉和掌握工艺装备的使用要点,掌握发动机分解装配的操作流程。

### 发动机零件 的清洗、检测与维修

(1) 清除工件表面积碳和固体的污染物,使工件表面达到一定的洁净程度,是对零件进行检查前必须完成的一道重要工序。发动机零件的清洗过程是一个复杂的物理、化学过程,不仅与污染物的性质、种类、形态以及粘附程度有关,也与清洗介质的理化特性、清洗性能、工件材质、表面状态以及清洗的条件,如温度、压力以及附加的超声振动、机械外力等因素有关。一台完整的航空发动机涉及的零件数量、种类繁多,因此,需要有不同的清洗线来完成不同材质零件的清洗。目前,维修企业主要应用不同的清洗槽(如浸渍清洗槽、刷洗槽、喷流清洗槽、超声波清洗槽、减压清洗槽、旋转筒清洗槽等)来清洗不同的零件。根据零件的受污染情况的不同,有时还需要与其他洗涤方法混合使用。

(2) 除了上述清洗方法外,目前部分航空发动机大修厂已应用了单

机械手或多机械手组合自动清洗线,可完成工件移送、清洗、干燥等工艺。这类清洗线的特点是:自动上下料台,可以准确上卸工件,降低劳动强度;拥有循环热风烘干槽,工作环境干燥,零件表面无水渍;具备抛动清洗功能,保证零件清洗均匀;设置液位控制系统,确保机器正常工作。

(3) 在完成了零件的清洗后,下一步要进入零件检测环节。零件尺寸检测环节一般只需要一些通用的



量测量具和三坐标测量机、影像测量仪等基础设备,而零件的损伤检测对设备的要求则比较高,往往会需要用到一些特殊的专用检测设备,如专用的风扇叶片检测计算机系统、叶片表面缺陷激光测量仪等。在检测过程中经常涉及到的无损检测设备包括荧光渗透探伤设备、磁粉探伤机、X射线检测设备、超声和涡流检测设备、内窥检查设备等。近年来,由荧光渗透和内窥检查组合而成的UV孔探设备受到了越来越多维修企业的青睐。

(4) 用荧光渗透法对发动机零件进行无损检测,是探测发动机零件损伤程度的重要手段。普通的荧光渗透设备只能对零件表面进行检测,而航空发动机零件的形状十分复杂,对于那些口径很小的深孔以及零件里狭小的凹穴,普通的荧光渗透设备无法测量。目前先进的UV孔探系

统采用OLYMPUS UV3000光源,这是日本奥林巴斯(OLYMPUS)株式会社在2006年8月面向全球航空客户推出的最先进的荧光光源,适用于对航空零件进行高质量荧光孔探。这款荧光光源达到了 $15\text{mW}/\text{cm}^2$ (距离 $15.24\text{cm}$ )的高强度,以及3000h的超长寿命。OLYMPUS这款UV孔探设备的图像显示分辨率高达 $1024 \times 768$ 像素(以前是 $480 \times 320$ 像素);具有静态影像记录功能、静

态影像加注声音记录功能及动态影像记录功能;此外,它除了可以在PC电脑上控制操作内窥镜外,还可以通过设备遥控器轻松地实现探头的全方位导向、无级电子画面放大及多种亮度调整等功能。

(5) 根据零件的不同损伤程度,其修理等级可分为小修理、中度修理和深度修理3种。发动机零件的小修理工具主要包括用于螺套更换的全套专用工具、手动气动打磨工具、铆接工具、氩弧焊机、喷漆设备、喷丸和表面强化处理设备。发动机零件中度修理主要应用的设备有等离子喷涂设备、真空钎焊设备、各类机械加工设备和电镀设备。发动机零件深度修理中用到最多的是焊接设备,如激光熔敷焊接设备、激光自动焊接设备、电子束焊机等。其中电子束焊属于高能束焊接,其特点是焊接时不需要填充焊丝或其他材料,焊接深度在 $0.05 \sim 100\text{mm}$ 范围内,可以精确控制;焊缝深宽比大,可达 $25:1$ 以上;热影响区小,使焊后工件变形小。此外,由于焊接是在真空

环境中进行的,所以还可采用扫描搅拌焊接,这种方法有利于焊接过程中气体杂质的排出,使焊缝表面光亮美观,无氧化现象。

### 其他维修设备

(1) 发动机的在翼维修也是发动机维修不可忽视的环节,而孔探打磨工具是在翼维修中被广泛使用的设备。发动机在飞行和试车台试车过程中,压气机叶片有时会因空气中细小的外来物而产生损伤或腐蚀。孔探打磨工具可对已知的发动机叶片故障进行测量,进行多角度的刚性打磨和抛光处理,并对全过程进行记录。当叶片损坏程度在修理标准范围内时,采取原位修理,加深打磨 $0.05 \sim 0.1$ 倍腐蚀深度,整个打磨面光滑过渡;然后在蚀坑的两端加长打磨 $5 \sim 10$ 倍的腐蚀深度,最后检查整个打磨面深度不得超过修理标准。目前,德国RICHARD WOLF公司提供的孔探打磨设备就可以为发动机提供快速安全的叶片修复服务,而且不用分解、拆卸发动机。

(2) 在发动机维修中还涉及到一些高端的机加工设备,如发动机转子叶片磨削高速磨床。该设备专门用于叶片在高转速下的磨削,其意义在于使磨削过程中叶片的转速与装在发动机上工作时一致,叶片的伸展量也与发动机运转中一致,转子叶片在磨削中得到的尺寸与实际工作中一致,从而可获得完美的发动机转静子间隙控制。整个磨削过程自动化,包括粗磨、精磨、去毛刺和测量,提高了磨削的精度、效率和质量。

“工欲善其事,必先利其器”,在航空发动机的大修中,需要一系列先进设备为维修的质量和效率提供保证,高效地利用这些设备,是维修企业提高竞争力的一个重要途径,也是需要进行深入探讨的课题。

(责编 魏峰)