

民用航空发动机维修管理 及其先进技术

Maintenance Management and Advanced Technology of Civil Aeroengine

四川斯奈克玛航空发动机维修有限公司 康 静



康 静

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,自1996年以来一直从事民航发动机维修工作,2002年、2006年先后赴法国 snecma-services 接受 CFM56-3/5B/7B 发动机维修的管理培训。

中国航空运输业的持续快速发展带动航空维修市场的持续快速增长,巨大的市场吸引着来自世界的目光,同时也在很大程度上激发了国内民航维修企业扩展维修能力,以及国内航空工业界进入民用航空维修的

中国航空运输业的持续快速发展带动航空维修市场的持续快速增长,巨大的市场吸引着来自世界的目光,同时也在很大程度上激发了国内民航维修企业扩展维修能力,以及国内航空工业界进入民用航空维修的积极性。

积极性。发动机的维修,正是其中一个具有重要战略意义且蕴藏着惊人经济效益的领域。目前国内的民航发动机维修,主要是 CFM56 系列、PW4000、RB211 和 V2500。不可否认,我们已经有一些跻身世界先进行列的企业和能力,但总体来看仍处于起步阶段:维修产量和效率低,核心技术能力不足,关键部件修理仍然需要向国外外包,高精尖设备只能从国外采购。正因如此,这也是一个值得关注值得奋斗、大有作为的领域。相信通过战略的眼光系统的规划、先进的技术与管理、民航维修企业和航空工业界以及设备制造业密切合作,我们必将向着民用航空发动机维修领域国际最高水平稳步迈进。

发动机维修靠的是先进的技术与管理,为了确保发动机维修的高质

量和高效率,提升企业的竞争力,新成立的维修企业会尽量采用最先进的工艺和设备,而业内的资深企业会自发地对已有的维修工艺进行评估改进,力图跟上技术发展的潮流。在新加坡的一些发动机零部件维修公司,在 3~4 年的时间,维修流程就全部实现了自动化的升级,与之相应的是维修量的几何增长,尽管也有一些企业长期停滞不前逐步走向萎缩关闭,但仍让人深切地感受到技术革新给企业带来的蓬勃生机。

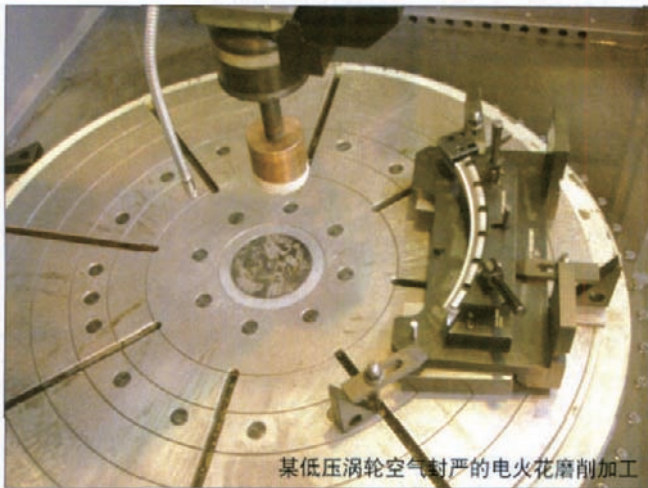
发动机维修实际应用的 先进技术

1 先进发动机分解 / 装配和试车技术

发动机大修的第一步就是发动机的彻底分解,国外 MRO 周期的平

均标准是3~4天。虽然分解过程不需要用到高精尖设备,但仍然有必要强调通过一系列的工艺方法,实现快速高效分解的重要性,尤其是要确保将分解造成的零件损伤降到最低。在常规分解中,通过推广液压、气动工具、力矩倍增器的使用,可有效地提高分解效率。当出现零件“咬死”而需要特殊分解时,则需根据发动机的结构制定工艺方法,如采用钻孔、孔探打磨等方法取出断螺栓,用加热轴承外钢套同时干冰冷却压气机前轴的方法来分解“咬死”的核心机。当发动机排故时,需要制定工作范围最小化的局部分解方案,如用于压气机叶片更换的“top casing”,用于压气机性能、发动机裕度恢复的“side casing”,整机状态更换高压涡轮叶片的“quick turn”等。

装配过程相对分解过程来说,技



术性更强。先进的平衡工艺,叶尖高速磨削技术和计算机检测同心度从一开始就已写入标准工艺。除此之外,国外的MRO开始关注发动机装配中,高效率的一次性装配,主要是核心机的同心度装配,防止高压、低压振动高,以及装配中的间隙控制技术。在国外MRO中已经得到应用的计算机精密测量系统,可以准确实现盘的一次性装配合格。传统装配中用千分表检测盘的圆周跳动和平面跳动,然后人工调整盘与盘的相对

位置,这种方法耗时长,返工次数多,而且往往得不到盘与盘的最佳排列。采用计算机精密测量系统,按照系统测试计算提供的相对位置信息,可以直接一次性实现最佳装配,降低振动,减小转/静子之间的间隙,提高核心机效率。

试车技术的核心是发动机各项性能数据的自动化采集和分析计算,拥有操作及控制航空发动机试车流程的智能化HMI(人机交互界面);先进试车台设计和制造是跟发动机大修密切相关的技术。

2 自动化无损检测技术

在发动机零部件的无损检测技术领域,近年来国外的MRO和零部件专业修理厂普遍完成了从手动到自动的技术升级。如叶片的自动荧光探伤,采用编程控制将装在标准篮子中的叶片自动的放入不同的槽中,完成渗透、浸洗、乳化和显像,从而大大提高检测效率。X光检测也从拍片洗片的传统方式升级到了计算机实时成像。

自动涡流检测也成为了无损检测的必备工艺,用于发动机风扇盘、涡轮盘、压气机盘表面和近表面疲劳裂纹的探伤。其检测过程由精密的机械手自动化执行,既避免了人为差错,又实现了缺陷的高精度检测,并具有卓越的重复性。零部件的检测中,探头沿部件表面精确定位,或伸入零件结构内部进行检测,缺陷不仅可以定量,还可通过涡流彩色C扫描进行定位和定性,即可以获得缺陷的形状信息,避免漏检和误检的情况。

发动机零部件的深度修理涉及多项高、精、尖工艺,设备投资巨大,

是国内民航维修企业能力相当薄弱的环节。以某高压涡轮静子叶片为例,其维修工艺流程包括检验、高压水喷去涂层、真空清洗、真空钎焊、叶片成形磨、喷涂以及激光打孔等五一节。发动机大修中已经形成了“修理代替换件”的原则,对发动机关键件的先进修理技术探索形成了各个厂家的核心竞争力。主要是运用再制造理念实施关键零部件的修理,一些以前不得不报废的磨损和损伤件,修理后与新件一样好,甚至性能超过以往的新零件。对于转子、静子、叶片、导向器、轴、燃烧室、机匣和齿轮箱进行大修的全套技术,尤其是其中的专利技术,值得系统性的关注。

3 焊接技术

特种焊接技术在发动机焊接结构件中的应用越来越广泛。特种焊接技术主要包括钨极惰性气体保护弧焊、等离子弧焊、电子束焊、激光焊、真空钎焊、扩散焊、惯性摩擦焊、线性摩擦焊和真空电弧焊等。

在国外一些零部件修理厂,等离子弧焊已被大量应用到压气机叶片的叶尖堆焊,形成了很强的修理产能。在叶片堆焊中,有极少数厂家掌握了激光堆焊技术,电子束焊也大量应用在机匣的修理中。

4 涂层技术

涂层技术对航空发动机关键零部件的抗磨损、高温防护、隔热、封严以及钛合金零件的防微动磨损、阻燃等性能有重要作用。先进的涂层方法主要包括真空等离子喷涂、层流等离子喷涂、超音速等离子喷涂、电子束物理气相沉积、化学气相沉积等。

5 精密加工和特种加工技术

发动机零件的精密加工往往需要购置专门的加工设备,以满足不同零件的特殊外形尺寸和加工精度,达到高质量和最佳效率。

特种加工技术则可以解决常规加工方法难以解决的问题,特种加工技术主要包括激光加工、电子束加

工、离子束加工、等离子加工、电火花加工、电解加工、电液束加工、超声波加工、磨粒流加工和高压水射流切割等。

6 附件测试维修技术

对发动机的电气和液压附件测试和维修,主要依赖先进的设备。目前大型的综合试验台往往要靠进口,迫切地需要国内相关的专业院校和厂家能进行开发研制。

发动机维修管理

发动机维修既是技术的竞争,又是管理的竞争。管理的目的,是为了实现质量、成本和周期的最优化。在确保质量的前提下,维修周期的长短,越来越成为航空公司选择MRO的重要指标,维修周期直接影响到航空公司的备发数量增加或是产生租赁发动机的需求,任何一项带来的成本都相当巨大。而对MRO来讲,缩短周期也是自身的需求,意味着缩短了资金回笼时间,增加资金周转次数,实现现金流的良性循环。

发动机大修的平均周期为60天,可以分为分解、零件准备、装配和试车交付4个阶段。分解、装配和试车是在同一生产地点由一个团队完成的工作,其信息收集和管理相对简单,而零件准备是把拆下的上千个脏状态零件,通过逐一的清洗、检验、修理、报废和补充,得到数量种类一一对应的合格件。“一个零件都不能少,一个零件都不能迟”,零件准备管理要实现的目标,就是按生产计划,合理组织航材、分阶段地给装配车间提供所需要的零件,确保发动机装配按计划顺利进行。这个阶段的工作效率、管理水平对发动机维修的总周期和成本起着至关重要的作用。

一些MRO通过采用先进的管理方式,如设立零件的统一管理机构,借助计算机维修信息系统来收集追踪零件实时的状态,在流程中引入精益管理的理念,很好地提高了管理

水平。

在流程中引入精益管理的理念,消除一切浪费,追求精益求精和不断改进,以最优品质、最低成本和最高效率对市场需求作出最迅速的响应,消除等待的浪费。有些工厂虽然投资了自动设备,但仍需人员在旁照顾,特称之为“闲视”的浪费,如在产品自动检测过程中,检验人员站在产品旁边等待。按精益的原则对厂房设施重新布局,将同一零件的各项工序尽可能的集中,布局时尽量节约厂房空间,消除搬运的浪费,简化工序,减少零件在不同操作者或区域之间的流转,使修理过程更加流畅。

在法国的修理厂,一个磨床工人同时运行自动静子磨床和普通外圆磨,用20min的时间将高压涡轮衬环装上静子磨床,运行磨削程序,在3.5h的磨削里,磨床工人在普通磨床上可以完成2~3件的其他零件加工。在新加坡修理厂,用于发动机蜂窝更换修理的所有设备整齐摆放在约40m²的正方形工作区里,有气动分解蜂窝的夹具,去除蜂窝的CNC铣床、打磨工作台、自动点焊机和真空钎焊炉。2个工人在4h的时间里有条不紊地完成一台发动机压气机蜂窝的钎焊修理所有工序。

先进的技术和管理的提升是发动机MRO的个体竞争力,发动机维修行业的整体实力提高,还需要战略的规划和布局,形成发动机大修厂、零部件专业修理厂、附件修理厂、特种工艺厂、设备制造厂合理配置的完备体系,并且有必要开展民航维修企业与国内航空工业界、军机维修企业之间的战略合作。战略合作有利于实现优势互补,在更短的时间内将技术转化为实际维修能力,较快形成国内民航发动机修理的全面能力。

在国外,顶级的发动机维修厂家正是发动机的整机制造厂,同时也是制造修理一系列军用发动机和民用发动机的产业巨无霸,如GE航空集

团、罗·罗公司和斯奈克玛、普惠公司等。这些集团旗下不仅有发动机制造、维修的直接业务,也有与发动机紧密相关的技术,如零部件制造等。国内由于大型民机发动机制造技术尚未成熟,在大型民机发动机产业链上,目前无法形成设计、制造、维修完整的闭环,与航空发动机有关的厂家和资源较为松散,没有得到综合利用。一方面,民航发动机维修需要大量高精尖的工艺来开展深度修理,要提高民航MRO的能力,需要较长的时间进行设备投资和人员培训,还要受制于投资回报项目成本分析这一市场经济的运作原则;而另一方面,这些工艺在国内的研究所、院校、航空发动机厂、空军修理厂早已是完成的能力。

初级形式的合作可以是工序外包,民航发动机维修厂在开展零部件维修的过程中,如有某种工艺缺乏,可与国内具备此工艺的单位进行合作,通过对单工序的“人、机、料、法、环”的评估、试制和质量体系的审查,即可开展合作。这种合作的优点是灵活,可快速形成点对点的合作关系。中级形式的合作则需要对有意向的厂家进行较为系统的分析,列出其适用于该MRO的全部能力,分别成立专门的项目组,与MRO之间开展长期广泛的工序合作。更高形式的工序合作,则是由具备各项先进特殊工艺的国内单位(一家或多家)专门成立面向民航维修的子公司或合资公司,申请特种工艺的民航维修许可证,更广泛地参与到维修领域中。

结束语

总而言之,无论是民航发动机维修的国内需求,还是“积极融入全球航空产业链”这一高远的目标,都鞭策着我们不断进步,科学地实行产业化发展,向着民用航空发动机维修领域的国际最高水平稳步迈进。

(责编 淡蓝)