

# 用于孔探的航空发动机低压转子辅助转动装置设计研究

张铭 罗欣卫 吴英杰 廖承成 梁侯昌  
(中国民航大学航空工程学院 天津 300300)

**摘要:** 针对目前民航维修中航空发动机低压转子孔探工作缺乏辅助转动装置的现状, 本文研究设计了一套用于孔探的发动机低压转子转动装置, 该装置能够减少人力成本, 提高孔探工作的效率。

**关键词:** 辅助转动装置; 孔探; 航空发动机; 低压转子

## 0 引言

孔探是航空发动机无损检测常用的一项技术手段, 它能够保证在检测的同时, 航空发动机的材料、工件、设备和结构物不被破坏。工作人员首先是使用孔探仪深入航空发动机内部, 再通过光学技术将密封的或者比较难观察到的航空发动机内部图像传输到外部, 然后对传送出来的光学图像进行评估、检测、诊断。基于以上特点, 孔探在一线维修生产工作中应用广泛, 且执行频率高。

在目前对航空发动机低压转子的孔探中, 整个工作缺乏辅助转动装置, 操作过程需要两个人配合, 即一人手动转动风扇叶片, 另一人通过内窥镜观察内部的叶片, 同时两人要通过语言交流配合。整个孔探的工作时间较长, 劳动强度较大, 人力成本较高, 并且风扇叶片转动人员保持叶片匀速转动的难度较大, 容易导致转速的快慢波动, 从而不利于孔探人员进行观察工作, 直接影响到孔探的精度。

## 1 研发思路

对于常见的 CFM56-5B、CFM56-7B 和 V2500 等双转子涡扇发动机来说, 孔探工作主要是执行发动机内部的低压转子叶片和高压转子叶片的无损检查。以空客 A320 飞机为例, 在 AMM 维修手册中, 由于转动高压转子的力较小, 且转动接近口方便接近, 空客为高压转子叶片的孔探工作提供了用于控制高压转子转动的设备。相反, 由于转动低压转子的力较大, 且转动接近口不太方便接近, 空客没有为低压转子叶片的孔探工作提供用于控制低压转子转动的设备。在国内外的航空维修企业中, 低压转子叶片的孔探工作大多是靠人工转动风扇的方式, 从而带动整个低压转子转动来实现的, 如图 1 所示。

由发动机的构造可知, 风扇叶片的形状不规则且夹持不方便, 采用机械性的夹持装置来夹持风扇叶片, 模仿人工转动风扇, 从而带动整个低压转子转动的方式在技术上不太可行, 而且容易对风扇叶片造成损伤。除此之外, 在发动机内部的低压转子部分也不容易接近和转动。因此, 本项目研发的低压转子辅助转动装置采用在发动机外部通过特制的连接部件与前整流锥相连接, 通过辅助转动装置带动前整流锥转动, 以达到带动整个低压转子转动的目的, 从而有效地配合技术人员对发动机的低压转子叶片进行孔探工作。

## 2 装置的设计

本项目设计的低压转子辅助转动装置主要由动力部分、

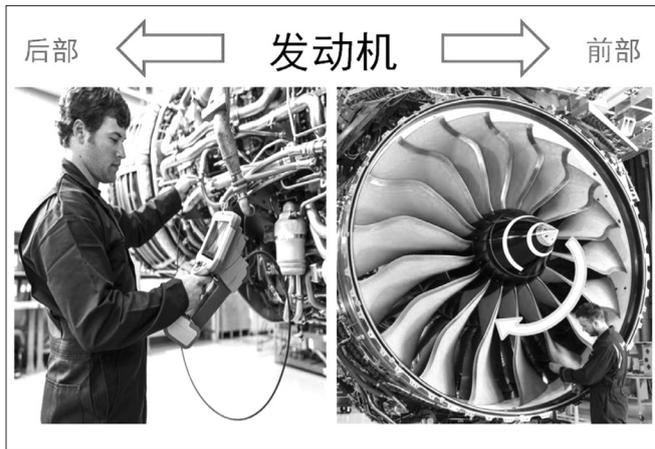


图 1 低压转子叶片的孔探

传动部分和连接部分三大部分组成。装置的结构简图如图 2 所示。辅助转动装置模拟工作图如图 3 所示。

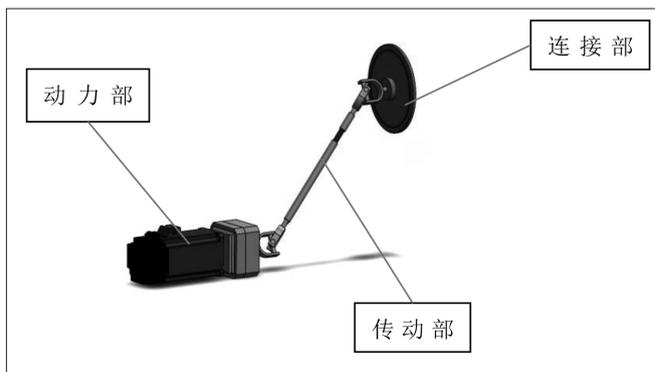


图 2 辅助转动装置结构简图

### 2.1 动力部分

本装置的动力部分采用 PLC (可编程逻辑控制器) 控制伺服电机驱动的方式。PLC 以其功能强、可靠性高、使用灵活方便、易于编程及适于在工业环境下应用等一系列特点, 成为工业控制领域中的主流控制设备。伺服电机的控制方式为闭环控制, 控制可靠、精度高, 伺服电机一般不会出现丢步或过冲的现象, 低速时运行也非常平稳; 有较好的过载能力, 有较小的转动惯量和较大的扭转转矩; 有很小的启动频率, 从最低转速加速到额定转速一般只需要几个毫秒。本项目选择直流伺服电机作为本装置的动力部件。锂电池配合直流伺服电机进行使用, 可以摆脱像交流电机那样对交流

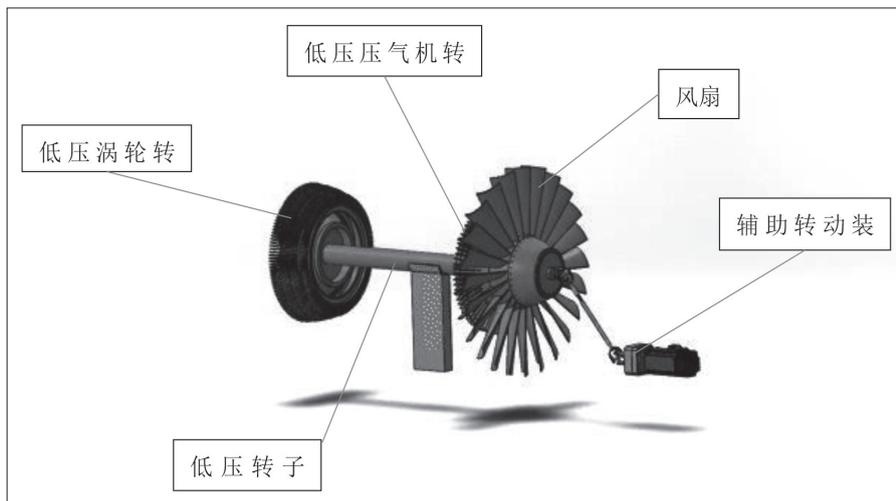


图3 辅助转动装置模拟工作图

电源的依赖,使本装置在使用的过程中更加方便,同时使本装置能够很好地适应在停机坪等室外无交流电源或者其他不方便使用交流电源的环境中工作,提高了本装置的适用性。采用PLC控制直流伺服电机驱动的方式,只需在PLC中输入特定的指令便能够控制直流伺服电机实现点动控制、快速启停及正反转的功能,能够很好地满足辅助转动装置对动力部分的需求。

### 2.2 传动部分

考虑到电机转速与配合孔探工作时所需的低压转子转速之间存在的差异,需要选用合适的减速器来降低电机的转速,从而获得适应孔探工作所需的低压转子转速。减速器在起到减速作用的同时也能够提高输出转矩,降低负载的惯量。在需要同等大小的输出转矩的情况下,搭配上合适的减速器还可以选用输出额定转矩更小的电机,从而降低成本,减轻整个辅助转动装置的重量。本项目选用行星齿轮减速器配合双联式万向节作为本装置的传动部分。行星齿轮减速器对比普通的齿轮减速器,在同等功率下体积更小,重量更轻,传动比范围更大,减速范围更广,精度更高,运转更平稳,能够满足本装置对转速、精度和稳定性的要求。万向节联轴器能够允许电机轴与连接部件轴存在任意角度的偏斜,并且应用双联式万向节可以抵消单个万向节因主动轴与从动轴之间瞬时角速度不等而引起的动载荷。同时,双联式万向节的中间件制作成可伸缩长度的杆件。在使用本装置配合技术

人员进行孔探工作时,因不同机型发动机的进气道长度存在着差异,杆长可调节的功能将大大提高整个辅助转动装置的通用性。

### 2.3 连接部分

由于航空发动机风扇叶片为扭转的复杂形状,很难直接采用机械性的方式来夹持风扇叶片,且采用夹持风扇叶片的方式,来实现辅助转动装置与风扇的连接很容易造成风扇叶片的损伤。因此,本装置采用连接部件与整流锥连接,然后通过连接部件带动整流锥转动,从而带动整个低压转子转动的方式。在连接过程中,由于整流锥不易夹持,需要先将发动机整流锥拆掉,利用整流锥拆开

后出现的螺纹孔与辅助转动装置特制的连接部件进行螺纹连接。同时在本装置与发动机连接处的接触面上使用橡胶材质的垫圈,可以有效防止对接触面造成损伤。此种连接方式技术上可行、稳定可靠且不会对发动机造成损伤。

在本项目中选用特定材质的法兰盘作为辅助转动装置的连接部件。法兰盘应用广泛,能够承受很大的工作压力,同时法兰盘具有多种尺寸和型号,后期能够根据航空发动机不同型号,选择或定制不同型号的法兰盘。除此以外,法兰盘一般采用螺纹连接的方式实现对接,拆装都较为方便快捷,在进行孔探工作中能够节省大量时间,提高工作效率。

### 3 结语

本项目研发的航空发动机低压转子辅助转动装置具有拆装方便、控制简单、稳定可靠以及通用性强等特点,能够很好地配合发动机孔探人员对低压转子叶片进行孔探检查,从而改变目前需要人工无固定节奏地转动风扇叶片的现状,提高了低压转子叶片的孔探工作的效率,为维修企业创造较好的经济效益。

**基金项目:**中国民航大学大学生创新创业项目,《用于孔探的智能型发动机低压转子控制装置研发》(项目编号202010059053)。

### 参考文献:

[1] 肖柏荣. 航空发动机维护中孔探检测技术的应用[J]. 中国高科技, 2019(15):96-98.

