

# 浅谈RB211风扇机匣 防磨带修理

Wear - Resisting Belt Maintenance for RB211 Fan Casing

Ameco 公司 李 明



李 明

毕业于西北工业大学,1996年起在民航北京维修基地任修理工艺工程师,负责RB211、PW4000、JT9D发动机风扇机匣、齿轮箱等冷段零件修理。2005年后负责P·W系列发动机零件修理及P·W、R·R、Boeing标准工艺管理工作。

RB211发动机是英国罗·罗公司开发研制的一款民用航空大型三转子发动机。此款发动机以其良好的性能及可靠性被国内外多家航空公司选用(见图1)。

Ameco作为国内唯一一家具备此款发动机大修能力的航空维修企业,从1993年具备此款发动机大修能力后,就在修理深度和广度上不断

防磨带的修理对于发动机的性能有非常大的影响,因此,原制造厂家对于防磨带的修理规范的要求也是特别严格的。因此,如何严格地控制风扇叶片叶尖间隙,使其满足手册所要求的尺寸极限,就成为我们需要解决的问题。

地发掘进取,通过自身能力的开发,取得了一系列的成果。

## 修理方案解析

RB211发动机防磨带的修理是按照罗·罗公司提供的修理手册进行的。修理的主要目的是恢复风扇叶片的叶尖间隙。RB211发动机推力的75%以上都是由风扇叶片产生的,通过控制叶尖间隙的大小,可以达到提高发动机推力,从而改善发动机性能的目的。防磨带的修理对于发动机的性能有着非常大的影响,因此,原制造厂家对防磨带的修理规范要求也特别严格。因此,如何严格地控制风扇叶片的叶尖间隙,使其满足手册所要求的尺寸极限,就成为我们需要解决的主

要问题。

据了解,罗·罗公司在执行此项修理任务时,使用了一个专用的加工工具,此工具套在发动机主轴上,以发动机主轴为圆心,在整机状态下进行回转加工。但此工具为非卖品,且价格十分昂贵;另外,为了减少修理周期,我们在进行风扇机匣防磨带的修理时,发动机已经分解,风扇机匣处于单件状态,因此,我们必须利用



图1 RB211-535E4发动机



图2 RB211风扇叶片和防磨带



图3 RB211风扇叶片和风扇毂

其他修理手段解决这个问题。

### 修理的具体步骤

(1) RB211 发动机在进厂时,在发动机未分解前,按照手册的要求测量风扇叶片的叶尖间隙,尺寸要求为:

前缘 0.508 ~ 2.54mm;

后缘 1.524 ~ 3.00mm。

当间隙尺寸超出此尺寸后,则必须按照手册对防磨带进行修理,以恢复叶尖间隙(见图2)。

(2) 手册提供的具体操作方法为:

(a) 涂覆蓝胶 OMAT874 并固化;

(b) 通过机加工或手工打磨的方法恢复防磨带的尺寸。

(3) 在发动机安装完毕,处于在翼,齿轮箱安装的状态下,按照手册要求测量叶尖间隙,使叶尖间隙尺寸在步骤(1)所要求的尺寸间隙范围

内。

### 修理过程中所要解决的问题

(1) 此项修理工作贯穿整个发动机修理过程的始终。从发动机进厂开始,到发动机安装完成,试车前安装到吊架上,在如此长的一个时间段(发动机修理周期一般为75天左右),如何有效合理地进行工作的协调和安排是第1个需要解决的问题。

(2) 发动机进厂时叶尖间隙的测量是由总装工段的机械员完成的;在修理过程中的测量是由修理工段的修理人员完成的;在车台的最终测量是由试车机械员完成的。由于风扇

叶片和风扇毂之间是有间隙的(见图3),因此,不同操作人员的手法轻重不同将造成测量结果不同,从而使数据失真,这是我们需要解决的第2个问题。

(3) 在发动机进厂和车台测量叶尖间隙时,发动机已经安装完成,构成间隙的2个要素——风扇叶片和防磨带已经到位,这样才能测量叶尖间隙。但是在风扇机匣处于单件状态时,风扇叶片是不存在的,如何去控制打磨后涂层的厚度尺寸使其满足最终发动机在翼状态下的间隙尺寸要求是我们所要解决

的第3个问题(见图2和图4)。

(4) 叶尖间隙的最终验收测量是在发动机整体安装完毕,齿轮箱已安装,发动机在翼的状态下进行的,而发动机在进厂时的叶尖间隙测量是在发动机处于3、9点支撑位置时得到的,风扇机匣的修理是在风扇机匣处于单件状态下进行的。由于支点不同,此3种状态下风扇机匣的变形量也不相同,要依据3、9点支撑下测量所得到的数据,在单件状态下进行修理,从而满足发动机在车台在翼状态下的叶尖间隙尺寸要求,是我们需要解决的第4个问题。

### 解决方法

(1) 对于前2个问题,我们采取了只由一个职能部门,甚至是一个职能部门的同一个人来完成发动机在进厂、机匣单件修理、试车前间隙尺寸的测量。通过此方法,最大限度地保证了数据的准确性,同时,此种方法的应用也能使具体工作人员能对每一台发动机风扇机匣防磨带的修理过程有一个完整的认识。操作者通过对进厂数据的测量分析,就能在修理的过程中调节胶的涂抹厚度,再通过最终车台在翼状态下的尺寸测量,就能进一步掌握由于机匣变形对间隙所造成的影响,进而有意识

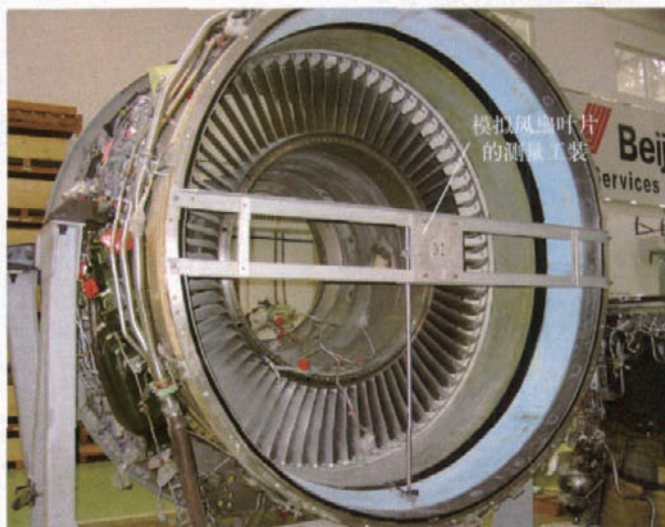
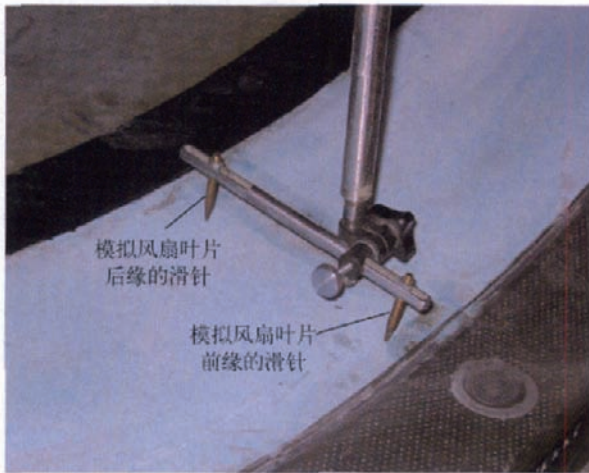


图4 RB211防磨带自制叶尖间隙模拟测量工装



注:此工装在轴向、径向、周向都是可调的。

图5 RB211防磨带自制叶尖前后缘模拟测量

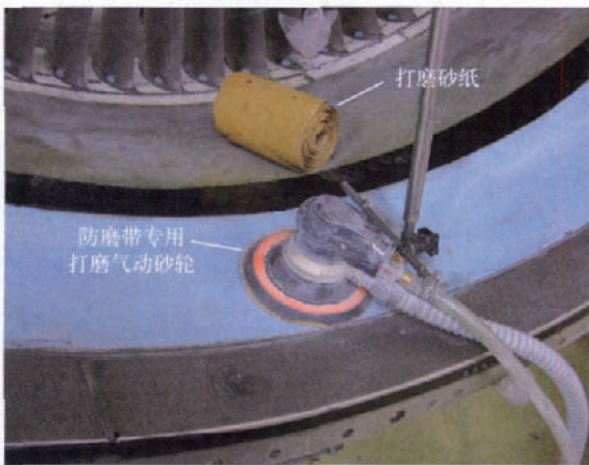


图6 防磨带专用打磨气动砂轮

地控制不同部位的胶的厚度,在手册所提供的尺寸范围内,对于不同的部位,找出一个范围更小的尺寸间隙,通过一定修理经验的积累,最终通过递推的方法,找出一个最合理的机匣单件状态下的尺寸间隙,通过这些不同部位缩小的尺寸间隙,从而达到最终发动机在翼状态下的风扇叶片叶尖间隙的完全控制。

(2) 对于风扇机匣在单件状态下涂层厚度的控制,通过摸索、研究,我们自制了一套模拟工装(见图4~7)来模拟风扇叶片的状态,使用类比的数学方法成功地控制了防磨带涂层的相对厚度。

(a) 在发动机进厂未分解,且为3.9点支撑时,使用专用的测量工装,按照手册所提供的测量方法,分

别挑出风扇叶片前缘最长和后缘最长的叶片。再使用所挑出的叶片,在前后缘叶尖向内12.7mm的位置,分别在图8所示的8个位置测量风扇叶片和防磨带之间的间隙,得到进厂时发动机叶尖间隙测量表(见表1)。

(b) 在风扇机匣单件状态下,依据步骤a所得到的进厂时发动机叶尖间隙测量表,通过自制工装(见图9),控制涂层的相对厚度。

具体操作步骤为:在8个位置,留出宽为10mm左右的测量位置,此8个位置不涂胶。除此之外的其他位置按照进厂时发动机测量得

到的间隙测量表的尺寸,涂抹一定厚度的蓝胶,涂抹厚度必须满足打磨以后能恢复防磨带尺寸的要求。在蓝胶固化并初步打磨完成后,使用模拟

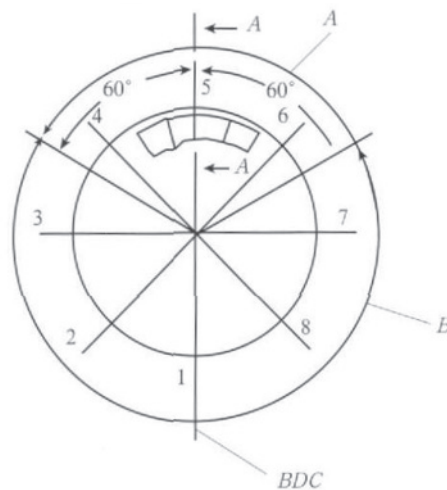


图8 在8个位置测量风扇叶片和防磨带之间间隙



图7 RB211防磨带叶尖间测量工具

风扇叶片的自制工装(下部的2个滑针分别代表风扇叶片的前后缘测量位置,见图10)通过调整2个滑针,使其在上述8个位置分别达到进厂时发动机最长叶片在此8个位置的前后缘的间隙尺寸,转动模拟工装测量杆,测量此8个位置附近涂覆蓝胶区域的防磨带和滑针之间的间隙尺寸,保证此尺寸在手册规定的尺寸间隙内(前缘:0.508~2.54mm,后缘:1.524~3.00mm)。以此8个尺寸控制在每个位置两边各1/16的区域,从而达到控制整个机匣防磨带的尺寸。

此种方法是把机匣划分为8个区域,在每个区域使用一点来控制1/8的圆弧区域的尺寸。经验证,此方法是完全可行的。

(3) 通过近一年多20多台次发动机的试修,对于风扇机匣在进厂3.9点支撑、单件状态、在翼状态的变形、以及在进厂3.9点支撑和在翼状态下风扇叶片叶尖间隙的变化,我

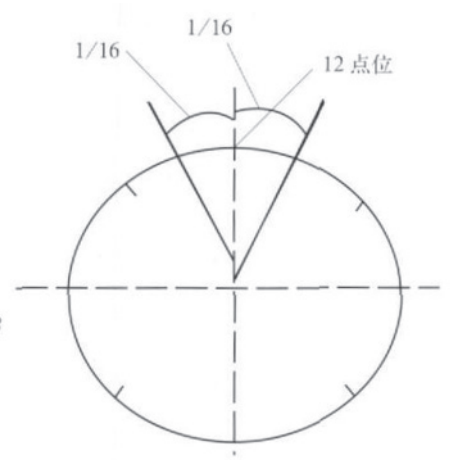


图9 自制工装

表1 3台发动机的后缘数据

测量位置 (从前向后 顺时针)	A 发动机			B 发动机			C 发动机		
	状态 2	状态 3	在状态 2 到状态 3 下的叶尖 间隙变化 趋势	状态 2	状态 3	在状态 2 到状态 3 下的叶尖 间隙变化 趋势	状态 2	状态 3	状态 2 到状 态 3 下的叶 尖间隙变化 趋势
	风扇机匣单件 状态防磨带修 理后叶尖间隙 /mm	齿轮箱安装, 发动机在翼状 态叶尖间隙 /mm		风扇机匣单件 状态防磨带修 理后叶尖间隙 /mm	齿轮箱安装, 发动机在翼状 态叶尖间隙 /mm		风扇机匣单件 状态防磨带修 理后叶尖间隙 /mm	齿轮箱安装, 发动机在翼状 态叶尖间隙 /mm	
6 : 00	2.25	2.55	→	2.85	3.10	→	2.60	2.72	→
7 : 30	2.55	2.63	→	2.90	3.05	→	2.60	2.63	→
9 : 00	2.50	2.47	→	2.82	2.75	→	2.90	2.92	→
10 : 30	2.82	2.67	→	2.73	2.52	→	2.40	2.25	→
12 : 00	1.74	1.55	→	1.74	1.53	→	1.60	1.43	→
1 : 30	2.62	2.47	→	2.65	2.45	→	1.70	1.58	→
3 : 00	2.50	2.53	→	1.90	1.92	→	2.30	2.28	→
4 : 30	2.35	2.52	→	2.65	2.72	→	2.20	2.32	→

们已经掌握了大量的数据,通过对这些数据的分析,得到风扇机匣在此3种不同状态下的变形量对间隙影响的定性分析结论。现以3台发动机的后缘数据为例(见表1),说明叶尖间隙的变化。

从表1中数据我们可以归纳出:发动机进厂3.9点支撑与齿轮箱安装、发动机处于在翼状态相比,上半部间隙变小,下半部间隙变大。

为什么会有这样的变化?这种变化对防磨带的具体修理有什么影响?这是我们需要知道并要解决的问题。

如果只考虑由于支撑点的不同而造成的风扇机匣在3种状态下的变形量的不同,则其变形如图10所示。

状态1为齿轮箱安装,3、9点支撑状态,由于齿轮箱的重力作用,风扇机匣下半部向下悬垂;

状态2为单件,齿轮箱未安装,3、9点支撑状态,可以认为风扇机匣为自由状态;

状态3为齿轮箱安装,发动机12点位吊点悬挂。

在支点不同,齿轮箱安装状态不同的前提下,风扇轴还受到由于后支点的不同而产生不同的俯仰角,从而造成风扇叶片叶尖和风扇机匣防磨带之间间隙的变化。通过大量的测量,我们得出了表1的间隙变化趋势。根据此趋势图,我们在执行风扇机匣防磨带修理时,一般按照以下2个原则来执行:

(a) 对于进厂检查防磨带叶尖间隙尺寸未超差的部位,按照手册所要求的程序,只涂覆一层薄薄的装饰性

蓝胶。

(b) 对于进厂检查防磨带叶尖间隙尺寸超差的部位,则按照手册进行修理的同时,还对涂层的厚度进一步的分区进行控制即把风扇机匣分成4个区域,具体尺寸控制见表2。

表2 具体尺寸控制

位置	前缘/mm	后缘/mm
1	1.50 ~ 2.00	1.80 ~ 2.20
2	1.80 ~ 2.20	2.00 ~ 2.40
3	2.00 ~ 2.40	2.40 ~ 2.80
4	1.80 ~ 2.20	2.00 ~ 2.40

## 结束语

通过以上措施的执行, RB211 风扇机匣防磨带的修理的难题终于得到了解决。经过我们对近十几台发动机按照此方法进行修理,证明此方法是合理、合法、可行的。

(责编 依然 岩石)

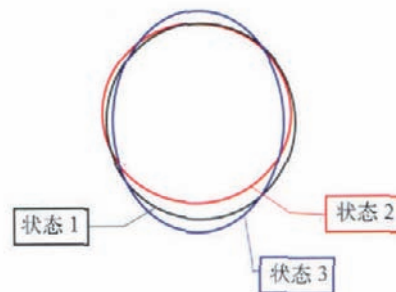


图10 模拟风扇叶片的自制工装