

RB211 动机老龄化故障列举与针对性方案

邢建

(北京飞机维修工程有限公司 发动机/APU 大修产品事业部 北京 100621)

摘要: 列举了 RB211 发动机近几年由于老龄化引起的几个影响较大的故障, 包括风扇机匣的腐蚀、低压涡轮转叶磨损, 紧急燃油关断装置失效等问题。分析了这些故障出现的根本原因, 并给出了具体的针对性方案。

关键词: RB211; 发动机; 老龄化; 故障

RB211 Engine Aging Failure Enumeration and Targeted Program

XING Jian

(Beijing Aircraft Maintenance Engineering Co., Ltd. Engine/APU Overhaul Product Division, Beijing 100621)

Abstract: Several major failures of RB211 engine caused by aging in recent years are listed, including fan casing corrosion, low pressure turbine rotor blade wear, emergency fuel shut-off device failure and so on. The root causes of these failures are analyzed, and specific targeted schemes have been proposed.

Key words: RB211; Engine; Aging; Failure

RB211-535E4 系列发动机是罗尔斯罗伊斯公司生产的高涵道比涡轮风扇航空发动机, 于 1984 年投入使用, 服役至今已近四十载, 当前主要用于波音 757-200、-300 等飞机。而波音 757 由于其某些方面独特的优势, 其机队的保有量在世界范围内还是比较可观的。相应的, 为其提供动力的 RB211-535 系列发动机也将继续服役至波音 757 退役。近几年来, RB211 发动机在其维修过程中出现了一些新的问题, 我们认为有些是与其老龄化相关的, 本文将列举其中三个。

1 RB211-535E4 发动机风扇前机匣腐蚀

RB211-535E4 发动机风扇前机匣出现腐蚀的情况在十年前很少见, 但是在近十年内, 由风扇前机匣腐蚀造成前机匣报废的情况逐步增多。RB211 的风扇前机匣的主体材质为铝合金, 其外部包裹了凯芙拉来提高其包容性, 而凯芙拉并不能完全隔绝空气, 所以凯芙拉的外面又覆盖了一层特氟龙来隔绝外界水汽等易造成腐蚀的环境因素。

由于前机匣外部包裹了凯芙拉包容层, 所以其腐蚀若发生大多并不是直接可见的。如果某个前机匣有腐蚀的出现, 大多可通过在特氟龙的末端出现的白色或灰色粉末来预判。RB211 的发动机手册明确指出: 若在风扇前机匣外发现白色或灰色粉末, 需要用超声波

仪器检查前机匣厚度, 若厚度小于手册要求, 机匣停用。

从其材料和设计结构来看, RB211 的风扇前机匣其实具有较好的耐腐蚀性, 这也是 RB211 发动机在服役前期乃至中后段时期, 很少出现前机匣腐蚀的原因。然而, 在发动机的使用过程中, 包裹于前机匣外层的特氟龙衬套经常发生破损, 且特氟龙末端, 热缩于机匣的部位也可能发生松脱, 环境中的水汽等不利因素就有机会进入特氟龙内部。当特氟龙得到修补后, 内部的水汽等又不易挥发, 进入其中的水汽等元素就会在机匣金属表面形成较易发生腐蚀的环境, 随着发动机使用时间的增长, 腐蚀就会慢慢发生。(见图 1)

想要防止或延缓前机匣腐蚀的发生, 需要重点关注特氟龙的状态。无论是在翼使用中, 还是在厂修理时, 一旦发现特氟龙有破损, 必须及时修补, 如不可修补, 要及时更换特氟龙, 最大程度的阻止环境因素对机匣腐蚀的不利影响。

2 RB211-535E4 发动机低压涡轮转叶磨损

RB211 发动机的低压涡轮 2 级转叶, 近几年来频繁出现其前缘叶根部位磨损的情况, 甚至造成过一例空停事故。此故障首次出现在 2016 年, 我们经过大量的技术分析, 同时与发动机生产厂家罗尔斯罗伊斯公司进行沟通, 最终确定其故障根源, 即: 低压涡轮机匣上安装 2 级导叶的安装槽宽度接近可用极限或已经超标。(见图 2)

导致此问题的原因主要有两点：一是低压涡轮机匣这个零件使用时间较长，长时间的使用导致2级导叶安装槽宽度逐渐磨损至趋于上限；二是此故障区域经过多次焊修，导致材料强度下降，所以即使焊修后尺寸符合手册要求，也有一定的概率在试车后或出厂后短时间内再次发生此故障。

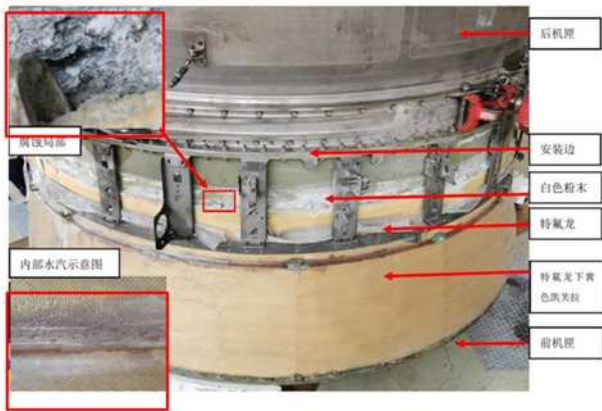


图1 风扇前机匣腐蚀示意图

据近几年送修发动机的实际数据来看，自此事件首次出现（约2016 前后）至今，还未进厂大修或修理过先关区域的在翼发动机，在航线例行孔探检查时发现存在此故障的几率不小于十分之一。所以，目前在翼发动机在进行孔探检查时，需着重关注此故障区域。

对于在厂修理的发动机，我们会严格控制低压涡轮机匣高危区域的尺寸状态。对于尺寸接近手册极限的零件，我们会主动与客户沟通并更换，以此来避免因此故障导致的返厂和非例行下发。



图2 低压涡轮2级转叶前缘根部磨损

3 紧急燃油关断装置失效

2022 年度，在某台 RB211 发动机在大修后的出厂试车过程中，发生了一起紧急燃油关断钢索断裂的事件。RB211 的紧急燃油关断装置的作用，是防止由发动机低压涡轮轴断裂造成的二次损伤，主要包括三部分：紧急燃油关断活门，钢索，和棘爪组件。正常情况下，只有在发动机低压涡轮轴断裂时，棘爪钩（共两个）才能够张开并勾住钢索将其拉动，钢索被拉动后会将连接的紧急燃油关断活门关断，从而切断燃油供给，使发动机紧急停车，而钢索也会在惯性作用下被拉断。

而此次事件中，直至发动机紧急停车前，各个转子的转速都并

无异常，故此次紧急关断装置的启动属于非正常触发。我们反复分析了此套装置的设计细节，并重新仔细检查了所有可能涉及的零件，最终确认了故障源，即：一个棘爪钩的止动端磨损严重，磨损量约2.3mm，此磨损量导致棘爪钩可以在止动端不插入对正孔时也可以打开，并勾断钢索造成事故。

造成此事件的失效零件——棘爪，其出现非正常磨损的位置，在发动机手册的检查章节中并无尺寸测量的要求。在发动机的正常运行过程中，此配合位置相对运动很少，不应出现较大程度的磨损量，所以手册中也并无尺寸检查要求。而此失效的棘爪应是使用时间过长，由微小的磨损量常年累积而成的，这其实也是发动机老化带来的失效形式之一。（见图3）

为避免此事件再次发生，我们将棘爪的失效位置增加了尺寸检查要求，并在棘爪组件拆下与装上后都增加了相应检查，确保棘爪钩在正常姿态下与钢索保持足够间隙。

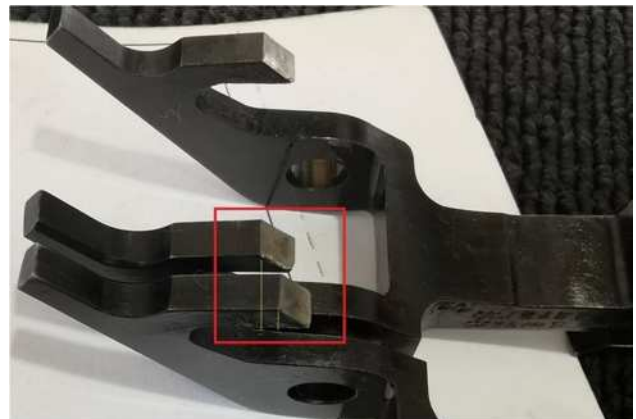


图3 棘爪止动端磨损

4 结束语

RB211 发动机老化后出现的新问题在逐年增加，这是由于发动机上的一些不受使用时间或循环控制的零件，在经过多年的使用后出现了一些偏离最初设计的状态，例如零件外型，材料强度，零件尺寸等方面的变化，而这些偏离在最初的设计阶段并没有被考虑到，所以一些预想之外的故障会逐渐发生。在发动机生产厂家没有针对老化后的产品制定系统改善方案的情况下，作为运营人和大修厂，就需要针对老龄化的产品制定额外的保障方案，来保障飞机的运营安全。

参考文献：

[1] 罗尔斯-罗伊斯公司. 发动机手册, 手册号: E-535E4-6RR[S]2023.

作者简介：邢建（1987—），男，北京人，本科学历，工程师，研究方向：航空维修。