

The RR300 Engine Vibration Test Technology

Ke Huang

Xinjin Branch of Civil Aviation Flight University of China, Chengdu, Sichuan, 611430, China

Abstract

RR300 turboshaft engine is a small gas turbine shaft engine, which is different from the previous turboshaft engine unit body maintenance mode, the engine adopts the preventive maintenance mode of the whole machine. Regular vibration test and analysis of the engine can effectively predict the related faults of the engine and the body, and continue to grasp the health status and development trend of the engine. In order to achieve the purpose of preventive maintenance, the maintenance personnel can make the corresponding test process and analysis scheme based on the engine vibration analysis, so as to conduct continuous engineering evaluation of the health status of the engine, and serve as an important basis for the engine health monitoring and fault diagnosis.

Keywords

turboshaft engine; vibration; monitoring; preventive maintenance

RR300 发动机振动测试技术

黄轲

中国民航飞行学院新津分院, 中国·四川成都 611431

摘要

RR300型涡轴发动机是一种小型燃气涡轮轴发动机, 该型发动机不同于以往涡轴发动机的单元体维修方式, 该型发动机采用的是整机预防性维修方式。定期对发动机进行振动测试与分析, 可有效预判发动机和机体的相关故障, 并持续掌握发动机的健康状况以及发展趋势。为达到预防性维修的目的, 维护人员可基于发动机振动分析, 制作相应的测试工艺及分析方案, 以对发动机的健康状态进行持续的工程评估, 并作为发动机健康监控及故障诊断的重要依据。

关键词

涡轴发动机; 振动; 监控; 预防性维修

1 发动机型号背景简介

RR300 发动机由美国罗-罗 (Rolls-Royce) 发动机公司设计并生产, 并取得了发动机型号适航批准。RR300 系列发动机是罗-罗公司在 M250 系列发动机的基础上, 开发出的一款起飞功率为 221kW (300hp) 的涡轴发动机, RR300 保持了与 M250 发动机相似的外观和结构, 去掉了轴流离心组合式压气机, 取而代之的是单级离心压气机, 并通过进一步的优化设计, 使总压比达到了 6.2 : 1, 最大功率输出达到 240~300 轴马力。目前, 主要用于替代轻型直升机和通用飞机所用的活塞式发动机, 其主要的装备对象是罗宾逊 R66 直升机和贝尔 47-GT-6 直升机。

RR300 型涡轴发动机属于小型燃气涡轮发动机, 但它不是大型燃气涡轮发动机的“缩小型”。与传统活塞发动机相比较, 具有体积小、重量轻、功率大、振动小、维修及操作方便等突出优点。从自身结构特点上看, RR300 型发动

机由罗尔斯·罗伊斯 250-C20 系列发动机衍生而来, 沿袭了发动机单元体的回流式布局, 并具有诸多独特之处, 如具有高可靠性的单机离心式压气机、能进行充分燃烧的单罐式环形轴流燃烧室、涡轮叶片冷却技术、高转速转子的动力平衡以及精准高效的动力输出齿轮系传动等。该发动机基本工作原理与通常的涡轮轴发动机工作原理一致, 其主要组成部分包括: 离心式压气机、燃烧室、燃气涡轮、动力涡轮以及动力/附件齿轮箱。

2 振动原理与特性

从有关方面获悉, 罗宾逊 R66 型直升机目前在国内的机队规模呈扩张趋势, 本文以该型直升机所搭载的 RR300 发动机为研究基础, 对其振动测试技术进行工程应用分析。随着机队规模的增长, 该项技术的应用和需求将与日俱增。

该型发动机为涡轮轴发动机, 其振动主要来源于内部复杂的工作机制和结构特点。在发动机工作时, 转子与机匣的相互作用、气流的不均匀性、燃烧过程的不稳定性等因素都可能导致振动的产生。当转子高速旋转时, 由于制造公差、材料不均匀等原因, 其质心可能偏离旋转中心线, 从而产生

【作者简介】黄轲 (1991-), 男, 中国四川成都人, 本科, 工程师, 从事飞机维修工程研究。

离心力对轴产生扭矩，引发振动。此外，涡轮转子与压气机转子之间的花键联接，在旋转时也可能因间隙或不同心而产生摩擦力矩，进而产生振动。振动存在以下三种特性：

①整机振动特性：涡轮轴发动机的整机振动特性受到转子、机匣以及它们之间相互作用的影响。转子在高速旋转时，其临界转速、固有模态等特性对整机振动有重要影响^[1]。同时，机匣的固有模态也会对整机振动产生影响。在不同的工作状态下，如应急、起飞和额定工况，发动机的整机振动特性也会有所变化。

②扭转振动特性：涡轮轴发动机的扭转振动是其特有的振动形式。由于涡轮轴具有显著的弹性，且在高速运转时受到周期性变化的激振力矩作用，因此会产生扭转振动。这种振动具有必然性和潜伏性，对发动机的性能和寿命有重要影响。

③振动频谱特性：通过对发动机振动信号的采集和分析，可以得到其振动频谱图。振动频谱图可以反映出发动机在不同频率下的振动情况，从而有助于识别振动源和判断振动类型。

3 振动测试方法

在执行发动机振动测试工作之前，需要设计合理的测试方案，包括测试点的选择、测试参数的设定、测试流程的安排等。本项目以 RR300 发动机振动测试为研究对象，以发动机振动数据的采集—分析—持续监控（连续链）为关键科学问题，采用理论分析与实际工程应用相结合的方法，开展 RR300 发动机健康监控与故障诊断的关键技术研究，具体内容如下。

3.1 设备的安装

定期或不定期对发动机进行振动测试，在发动机的压气机与进气道分界线处、附件齿轮箱吊架处、动力涡轮/燃气涡轮分界线处各安装一个速度计（振动传感器），以收集地面/不同飞行速度的振动数据值。振动测试使用的设备可选用 ACE Systems 2015/2020/4040，或者 Chadwick-Helmuth 192/192A。图 1 为 ACES4040 的实物样例图。



图 1 振动测试设备全套样例图

3.2 数据的采集与分析

通过电缆将传感器与频谱分析仪连接，再通过分析仪显示得出发动机振动结果（频谱图），将不同转速以及不同飞行姿态下的振动数据与基准频谱进行对比分析。制作发动机振动数据记录表、相应的分析结果报告，维护工作人员可将连续的分析流程纳入该机型的工程技术管理。

该型发动机需记录下以下工况下的振动值：

①地面慢车。

②地面全油门。

③悬停状态。

④不同飞行速度下，50 海里/小时至 100 海里/小时，每次递增 10 海里/小时。

在地面或飞行中，发动机和齿轮箱在测试过程中不会超过限值。否则可能会导致发动机和齿轮箱的损坏。振动值的大小反映为位移沿指定轴随时间的变化率或运动速度，通常以英寸每秒（IPS）为单位。如果测试显示振动超过正常工作范围或平均值高于 1.0IPS，则根据异常的振动数据值进行分析，并对相关部位进行检查或整体送修，如对各单元体外部壳体、连接焊缝等重点区域的目视检查、内部转子及轴承的孔探检查、滑油样品的分析等。

4 异常振动的处置

造成异常振动的原因比较多，通常采取的措施如表 1 所示。

5 振动测试的维修计划

①定期检测计划：执行发动机 400 小时定期维护工作时执行检测工作、发动机 200 小时和 12 个月定检工作中如发现安装松动或裂纹等相关异常时执行。

②非定期检测：发动机或机体振动异常时执行该检测工作。

③将每次测得的数据以及针对异常振动采取的排故措施进行记录，持续的数据比对和排故措施总结对飞机的健康监控和预防性维修具有重要指导意义。

6 研究发动机振动测试技术的难点与意义

RR300 发动机作为高性能的涡轮轴发动机，其工作环境复杂多变，可能涉及高温、高压、高速旋转等极端条件。在这样的环境下进行振动测试，需要确保测试设备能够在高温、高压环境中稳定运行，并且具备足够的灵敏度和精度以捕捉发动机的微小振动。振动测试旨在评定发动机在预期使用环境中的抗振能力，因此，需要确定测试的具体参数，如速度、振幅、相位等，以及这些参数在不同工况下的变化情况。而测试设备的精度、测试环境的稳定性以及测试过程中的随机误差等都可能对测试结果产生影响。因此，在理论分析过程中，应充分考虑这些因素，以提高测试结果的准确性和可靠性。

表 1 RR300 发动机异常振动的处置方法

项次	振动原因	排查措施
1	测试仪器存在偏差或失效	检查振动测试仪、线缆和传感器是否可用且正确校准、安装是否正确
2	发动机受到外物损伤	按照维护手册执行发动机 FOD 检查
3	部分连接区域紧固件松动	检查压气机及涡轮的连接处紧固件力矩情况
4	轴承故障或其他磨损	检查金属屑探测器指示灯, 检查滑油滤和磁堵 (MCD) 是否有金属污染迹象
5	燃气涡轮内部振动过大	检查燃气涡轮 (N1) 内部情况
6	功率输出轴振动值过大	按照维护手册做如下检查: ①检查输出轴柔性连接处的状况以及输出轴振动水平; ②检查离合器组件的状况; ③检查发动机至机身的校准情况
7	齿轮箱振动值过大	按照发动机维护手册检查压气机和涡轮的安装螺栓是否存在松动情况
8.	主旋翼桨叶通道振动水平过大	按照维护手册做如下检查: ①检查主旋翼桨叶的校装情况、振动值和旋转轨迹; ②检查发动机至机身的安装情况; ③检查主减速器安装支座是否松动、安装错位等

大部分机型的直升机机体动部件, 如旋翼、尾桨等需要定期进行平衡测试, 以掌握直升机的振动水平。需要执行发动机振动测试的直升机机型比较少见, 对发动机进行振动水平的检测可以有效减少维修成本、预防故障的发生, 提高运行效率。

同时, 发动机的振动水平 (振动值) 不仅能够反映内部轴承、齿轮系磨损、压气机转子 / 涡轮转子不平衡、安装点松动、橡胶老化等故障。还有助于维护人员对主旋翼、尾桨系统的振动、动力传动系统不平衡等状况作出正确预判。本项目采用传感器 - 频谱仪的检测方式, 可操作性强, 不涉及加装和航空器载重与平衡, 不影响直升机适航性。

针对 RR300 发动机进行的振动测试技术研究, 不仅能够为发动机的维护提供有力支持, 还能够产生以下效益:

- ①减少维修成本: 振动测试技术能够准确预测发动机故障, 实现早期预警和预防性维护。这避免了突发性故障导致的昂贵维修成本, 降低了运营成本。
- ②延长发动机使用寿命: 通过振动测试, 可以及时发现潜在问题并进行维护, 从而延长发动机的使用寿命, 减少更换发动机的频率, 提高资产利用率。
- ③提高运行效率: 优化的维护计划减少了不必要的停机时间, 提高了发动机的运行效率, 进而提高运营效率。
- ④提高飞行安全性: RR300 发动机振动测试技术的研

究和应用, 有助于确保发动机的安全运行, 减少飞行事故的风险, 保障机组人员的生命安全。

7 结语

直升机的振动测试是一种重要的健康监控方式, 而以往直升机仅需要对机身几大旋转部件进行振动水平的测试与调整。RR300 发动机作为一种高性能航空发动机, 其振动测试技术是一种用于实时监测发动机运行状态的关键技术。作为直升机的一大振动源, 对发动机振动水平进行定期和不定期的数据采集在维护工作中有多方面价值:

- ①中国在涡轴发动机维护方面对于该项技术的开发与应用较少, 该技术的应用与完善对于其他型号发动机具有一定借鉴意义。
- ②有利于发动机及传动部件的故障预测与诊断, 促进发动机性能的评估与优化。
- ③及时发现异常, 避免发动机或机体因振动过大导致结构损伤或功能失效。优化维护计划, 减少维护成本, 提高经济效益。
- ④通过振动测试及时处理发动机的振动问题, 可提高飞行品质与飞行安全。

参考文献

[1] 王强, 邵航军. 罗尔斯·罗伊斯300型航空涡轮轴发动机培训教程 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2021.