

直升机发动机安装损失试飞研究

高佳鑫

哈尔滨飞机工业集团有限责任公司 黑龙江 哈尔滨 150066

【摘要】：结合涡轴发动机相似性理论与特定类型直升机的安装特性，我们将比较安装前后发动机速度的 NG-P 特性（发动机装机后燃气涡轮转速——功率特性），并分析和解释影响变化的因素。根据发动机安装的特定位置、飞行条件和飞行环境，提出了针对直升机发动机安装损失的测试思路。

【关键词】：直升机；涡轴发动机；性能；装机功率损失；转速——功率特性；试飞

引言

发动机安装后的实际可用输出是确定直升机性能的主要因素之一。在实际飞行测试中，应通过减去安装损失的方式来获得发动机的真实功率，同时考虑到发动机使用寿命内性能的变化。涡轴发动机受排气损失，安装错误和装配过程的影响，其输出功率会偏离发动机台架功率。功率损耗的这部分是发动机的安装损失^[1]。

通常有两种方法来确定直升机发动机的安装损失。一种是发动机厂家指定的安装损失，另一种是飞行测试数据与地面测试数据的比较。在以前的飞行测试中，安装损失基本上是一个固定值，没有考虑飞行环境参数和飞行条件对直升机飞行性能的影响。

本文对作为安装损失的主要参数的发动机装机后燃气涡轮转速——功率(NG-P)特性进行了分析。基于涡轴发动机相似性理论，我们分析了安装位置、飞行条件、环境温度和测试高度对安装性能飞行测试结果的影响。提出了根据特定的飞行环境参数和飞行条件确定直升机发动机安装损失的想法。

1 动力装置

本文中选择的直升机发动机布局示例具有以下特征：

如图 1 所示，示例中的直升机装有三台发动机。1# 和 2# 发动机位于机身的左侧，而 3# 发动机位于机身的右侧，并且与 1# 发动机对称放置。该发动机的中央有一个环形进气口。1# 和 3# 发动机进气口在机身的两侧，而 2# 发动机进气口在机身的右上方。排气系统在水平方向上向上倾斜 30 度。方向相反，机身两侧有三个发动机排气系统。

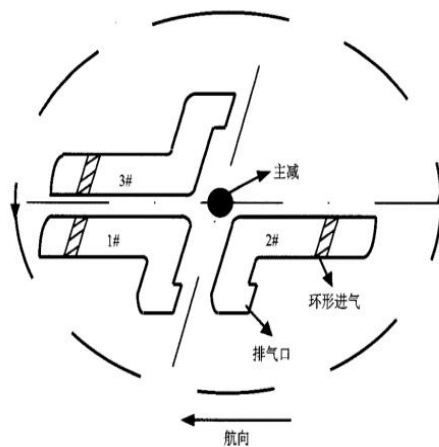


图 1 样例直升机动力装置布局示意图

2 原理分析

本文基于涡轴发动机相似性理论，分析了飞行测试数据的结果，并转换了不同飞行条件下每台发动机的燃气涡轮转速 NG 和输出以及输出 JP 的测量数据，并将发动机海平面和国际标准大气（ISA 的 IVG-P 转换结果）。转换公式如下：

$$P_c = P_i \frac{A_s}{A_H} \sqrt{\frac{T_s}{T_H}}$$

$$NG_c = NG_H \sqrt{\frac{T_s}{T_H}}$$

P_c 和 NG_c 是海平面，处于 ISA 状态的发动机输出，燃气涡轮转速转换值，而 T_s 是海平面，处于 ISA 状态的标准大气压力和大气压力。 P_i ， NG_H ， A_H ， T_H 是 H 高度处的发动机功率，燃气涡轮转速，大气压和大气压的读数。

3 不同因素对发动机装机特性影响分析

直升机发动机的 NG-P 性能飞行测试需要在各种固定的飞行条件下进行。图 2、图 3 显示了在各种典型的稳定飞行

条件下,如悬停、垂直上升、平飞和斜爬,三种发动机转换为 NG-P 性能的综合飞行测试结果。

与此类发动机的保证最低输出相比,可以看到这种直升机的已安装 NG-P 输出的总体特征。也就是说,三个发动机的已安装 NG-P 输出低于保证的最小值。接下来,本文将主要从发动机安装位置,直升机飞行条件,环境温度和高度的高度对这种发动机的 NG-P 特性进行比较和分析。

3.1 安装位置及飞行状态

从图 3 的飞行测试结果中可以看出。

(1) 从安装位置的角度来看,在不同的飞行条件下,三台发动机的 NG-P 性能差异很大。其中,1#发动机的 NG-P 性能在各种飞行条件下都相对稳定,数据收敛性优于其他发动机。2#发动机与 1#发动机相比,在不同飞行状态下,其 NG-P 性能差异较大;3#发动机的性能随飞行条件的不同而有很大差异,但比 2#发动机略好。

(2) 从飞行条件因素分析,同一发动机在不同飞行条件下的 NG-P 性能也不同。通常,在平飞和斜爬升飞行中,发动机的 NG-P 性能基本相同,但是在垂直运动中(尤其是在悬停时),这三种发动机的 NG-P 性能要优于平飞。

对上述现象的原因进行分析,应返回到这种类型的发动机动力装置的布局特征。

让我们从三个发动机的相对安装位置开始分析。2#发动机在 1#和 3#发动机之后,排气系统在进气系统之前。其进气口位于其它两发以及自身排气流场范围内,易受到影响。影响的程度取决于飞行条件。即使在相同的飞行条件下(在悬停等情况下),气流也会有所不同,因此发动机 NG-P 性能数据的结果相对可变。3#发动机在主旋翼尾流以及 2#发动机进排气流的双重作用下,其 NG-P 性能也受到一定程度的影响,因此数据结果在各种飞行条件下比较分散。与其他两台发动机相比,1#发动机不易受其他两台发动机影响,NG-P 性能试飞数据结果收敛性较好。

其次,从这类发动机的进气方式来说。这种发动机中间有环形进气口。1#、3#发动机进气口位于机身两侧,2#发动机进气口位于机身右上方。因此,与前飞状态相比,直升机在垂直运动时,发动机的进排气损失较小,因此 NG-P 性能较好。

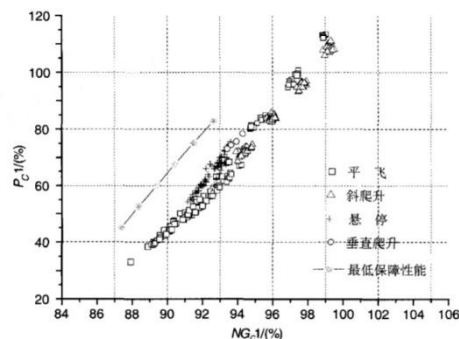


图 2 1#发动机装机 NG-P 性能
(海平面,ISA)

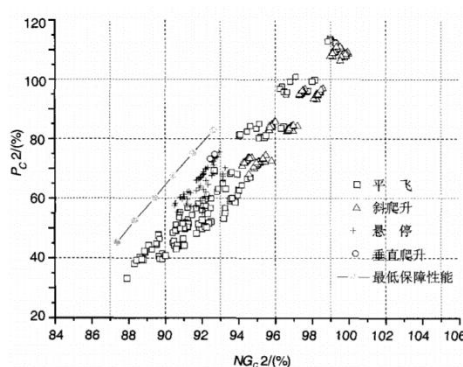


图 3 2#发动机装机 NG-P 性能
(海平面,ISA)

3.2 进气温升

进气温度的升高是指发动机重新吸入释放到大气中的排气并且进气温度升高的现象。以涡轴发动机最大输出的温度特性为例,如果进气温度升高 15,则发动机输出损失可能达到 9%。进气温度的升高不仅会降低发动机功率,而且在严重的情况下还会导致发动机“点火”或关闭,从而危害飞行安全。因此,在设计时必须格外小心。

3.3 防砂滤压力损失

防沙滤是安装在进气口或发动机前面的除尘器,可减少沙尘对发动机的损坏。根据工作原理,它可以分为阻拦式进气过滤器,单通道颗粒分离器,多管式粒子分离器和集成惯性颗粒分离器。

当阻拦式过滤器与多管式粒子分离器启动时,进气压力的减小会使发动机性能降低并增加燃油消耗。随着飞行时间的延长,与多通道颗粒过滤器相比,阻拦式过滤器更容易发生设备堵塞,并且安装损失也更加严重。

集成式颗粒分离器是发动机前部结构的一部分,还包括发动机输出轴安装座、集成式燃油箱、防冰通风管和附件壳体。集成的颗粒分离器不仅满足发动机的功能要求,而且还提供颗粒分离功能。由于发动机工作性能是在安装了微粒捕集器的情况下测得的,因此假定整对微粒捕集器都不会造成发动机安装损失。

3.4 进气道构型

发动机进气根据位置的不同分为正面进气和侧面进气。当具有 280km/h 的速度时,具有向前进气口的传统直升机的性能可提高约 2.5%,而具有 400km/h 的速度的高速直升机的功率性能提升可达到 6%。因此,前进气口具有增加整体压气机压力和发动机输出功率的优势,从而有效地减少了安装损失。

3.5 其他因素

构成安装损失的因素还包括总进气压力和排气压力损失的恢复因素。需要优化发动机的进气和排气系统以减少安装损失。

4 安装损失特点及措施

结合以上分析和飞行测试,可以将安装损失特性总结如下:

进气温度的升高受飞行条件的影响。为了有效地上升,进气温度升高的影响将使安装损失最大化。随着向前飞行速度或高度的增加,进气温度不会显著增加,并且安装损失会减少。

防砂滤入口处的压力下降对安装损失有根本的影响。飞行时间越长,防砂滤的堵塞越大,安装损失也越大。相反,集成的颗粒分离器是发动机的组成部分,不会影响安装损

失。

引气的排出量会影响安装损失。鉴于发动机通风空气必须满足直升机环境控制和防冰功能的要求,应适当限制其使用。

前进气口可以减小安装损失,尤其是对于具有最大飞行速度指标要求的直升机而言。前进气口可以利用冲压效应来提高发动机性能并减少安装损失。

考虑到上述特性,建议在设计阶段和使用过程中将安装损失降至最低。

设计阶段:

- (1) 排气口应尽可能远离进气口。
- (2) 选择发动机时,请注意带有防沙滤的发动机。
- (3) 特别是对于高速直升机,前进气口优先于后进气口。

使用阶段:

- (1) 在起飞,着陆或其他需要保证发动机性能的飞行条件下,关闭发动机引气。
- (2) 对于在尘土飞扬的环境中使用堵塞的防沙滤和单通道/多通道颗粒防沙滤的直升机,建议在飞行过程中打开进气旁通阀以减少进气损失。

5 总结

本文比较分析了安装损失对飞行性能的影响,总结安装损失的特点,并为在设计和使用阶段减少安装损失提供了一些建议。同时,直升机的设计和使用是一个复杂的调整过程,安装损失只是该过程中需要考虑的一个方面。上述建议应根据实际情况来考虑。

参考文献:

- [1] 杨志强,周灵玲,马阔.直升机涡轴发动机安装损失特性研究[J].中国战略新兴产业,2018,000(06X):P.172-172.
- [2] 金可,万宇,顾文标,等.发动机安装损失试验精确测温方法研究[J].直升机技术,2014(2):64-66.
- [3] 周灵玲,邱良军.一种新型发动机功率试飞数据处理和代理模型建模方法[J].直升机技术,2019(4).
- [4] Shen L,Qi YU,Zheng J.Flight Test Study on the Engines Power Loss of Helicopter[J].Aeronautical Science & Technology,2015.
- [5] Jin K,Wan Y,Wenbiao G U,et al.The Technique of Precision Temperature Measurement on Helicopter Engine Installation Power Loss Test[J].Helicopter Technique,2014.