

燃气分析法测量喷气推力的探讨

南华动力机械研究所 彭拾义

一、计算公式

通常测量发动机的喷气推力,是在试车台架上用机械方法进行,离开试车台架,例如在机场或在飞行中,无法知道各种情况下推力的变化。本文提出用燃气分析法测量喷气推力,企图解决这个问题,从燃烧前后碳的质量守恒出发,推导出喷气推力与燃烧产物的关系,因而只要测量出亚音速收敛喷管出口截面上燃气的 CO_2 和 CO 容积百分数含量 V_{CO_2} 和 V_{CO} ,及燃气总温 $T_e^*(\text{K})$ 和静压 $P_e(\text{Pa})$,而该出口截面积 $A_e(\text{m}^2)$,燃料消耗量 $G_f(\text{Kg/s})$,飞行速度 $C_o(\text{m/s})$ 和飞行高度的大气压力 P_o 都为已知量,即可求得喷气推力 $F(\text{N})$:

$$F = G_g C_e - G_a C_o + (P_e - P_o) A_e \quad (1)$$

燃气分析法测量喷气推力,实质上是用 V_{CO_2} 和 V_{CO} 来表达燃气流量 G_g 、空气流量 G_a 和喷管出口的燃气速度 C_e 。假设燃气中含碳的物质只有 CO_2 和 CO ,即略去其他微量碳化物,那末根据 V_{CO_2} 和 V_{CO} 可求出燃气含碳量。如忽略空气中的含碳量(只含 $\text{CO}_2\% = 0.0003$),由碳的质量守恒方程得

$$G_g = \frac{2.063 G_f}{(V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}})} \quad (2)$$

$$G_a = G_g - G_f = G_f \left[\frac{2.063}{(V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}})} - 1 \right] \quad (3)$$

(2)式与连续方程联解,得

$$C_e = \frac{592.6 G_f T_e}{(V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}}) P_e A_e} \quad (4)$$

(4)式中喷管出口截面静温 T_e 也是待求未知数,是 C_e 、总温 T_e^* 和比热 C_p 的函数。可用逐次逼近法:先取 $T_e = T_e^*$,代入(4)式得 C_e (第一次逼近);再由 C_e 、 T_e^* 、 C_p 算出 T_e ,又代入(3)式得 C_e (第二次逼近),经二、三次逼近即可得足够精确的 C_e 和 T_e 。(曾以实际试验的具体数值计算得第二、三次逼近的 C_e 误差为别为1.1%和0.26%)。

求喷气推力有以下四种情况:

1. 发动机在原地工作($C_o = 0$),燃气在喷管中完全膨胀($P_e = P_o$)(即涡轮后总压 $P_4^* < 1.86 \text{Pa}$),并设 P_o 为标准大气压(101325Pa),由(1)(2)和(4)式得

$$F = \frac{0.01206 G_f^2 T_e}{(V_{co_2} + V_{co})^2 A_e} \quad (5)$$

2. 发动机在原地工作($C_o = 0$), 但燃气不完全膨胀 $P_e > P_o$ 。(即 $P_4^* \geq 1.86 P_o$), 喷管出口处于临界状态, C_e 为当地音速, 则推力 F 与涡轮后总温 T_4^* 有关:

$$F = \frac{38.57 G_f \sqrt{T_4^*}}{V_{co_2} + V_{co}} + \left(\frac{P_4}{1.86} - P_o \right) A_e \quad (6)$$

3. 发动机在飞行中工作($C_o \neq 0$), 燃气在喷管中完全膨胀

$$F = \frac{1222.5 G_f^2 T_e}{(V_{co_2} + V_{co})^2 P_o A_e} - \left(\frac{2.063}{V_{co_2} + V_{co}} - 1 \right) G_f C_o \quad (7)$$

4. 发动机在飞行中工作, 燃气在喷管中不完全膨胀, 则

$$F = \frac{38.57 G_f \sqrt{T_4^*}}{V_{co_2} + V_{co}} - \left(\frac{2.063}{V_{co_2} + V_{co}} - 1 \right) G_f C_o + \left(\frac{P_4^*}{1.86} - P_o \right) A_e \quad (8)$$

二、试验结果

用JT15D内外涵发动机在试车台架上作试验时。在发动机的进口专门设计有测量段, 测4点静压和10点总压; 在内涵喷管的出口截面上, 设有12个燃气分析取样点, 测 CO_2 和 CO 的容积百分数, 此外, 还在此截面上测10点总压、10点总温和1点静压; 在外涵喷管的出口截面测4点总压和4点总温; 在试车台架上测量发动机的喷气推力和煤油消耗量。

试验结果表明, 用本文(2)式求得的内涵燃气流量 G_g 与实测比较, 相差8.9%; 用(4)式求得的内涵喷气速度 C_e 与实测比较, 相差8%; 用(5)式求得的发动机内涵推力与实测的内涵 G_g 、 C_e 所产生的推力比较, 相差4%, 但与实测的发动机总推力(内涵和外涵推力之和)减去外涵推力比较, 相差6.9%(外涵推力由实测的外涵空气流量和出口速度算出)。

显然, 欲提高燃气分析法测量喷气推力的精确度, 可预先按试车台架实测的推力校准按燃气分析求得的推力。

燃气分析法测量喷气推力, 既简单, 又可摆脱地面试车台的限制, 因而有可能在飞行中随时测量, 做到随时了解发动机在各种不同状态下推力的变化, 并且有适可的精确度。

(责任编辑 王华芳)

A JET THRUST MEASUREMENT METHOD WITH GAS COMPOSITION ANALYSIS

Peng Shiyi

(Nanhua Powerplant Research Institute)

Abstract

A new method is proposed which uses composition analysis of gas from engine for determining jet thrust at a given fuel consumption. This method has been verified in JT15D engine testing, and the thrust error is about 6.9%.

FLIGHT TEST ON ENGINE SURGE INDUCED BY SIMULATED MISSILE FIRING

Li Shuren

(Flight-Test Research Centre)

Abstract

Based on flight test data of the engine surge induced by simulated missile firing, the behaviors of the surge are analyzed. The space and time response to the surge, the features of the surge course, and the formation and movement of the hammer shock are considered.

EFFECTS OF INLET-GUIDE-VANE WITH VORTEX GENERATOR ON PERFORMANCE OF AIR-INTAKE

Wang Xiaowen and Zhang Shiyang

(Nanjing Aeronautical Institute)

Abstract

An experimental investigation has been made on improvement of flow field in an air-intake with inlet-guide-vanes by the aid of vortex generators. Emphasis is placed on the effects of the vortex generator configuration and location on the performance of the air-intake.