

航空发动机室内台架推力测量修正方法研究

杨福刚,陈宇,常诚

(中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司,沈阳 110043)



摘要:为解决缺少标准发动机而不能对试车台进行定期校准来确定试车台推力修正值的问题,通过数据统计分析方法,得到台架的发动机推力修正值;通过台架气动流场参数测试,计算出气动冲量、喷口负压和迎风阻力等对发动机推力的影响,并根据验证统计数据,分析了推力修正值的合理性。

关键词:台架校准;气动参数测试;推力修正系数;航空发动机;试车台

Correction Methods of Thrust Measurement for Aeroengine Indoor Bench

YANG Fu-gang, CHEN Yu, CHANG Cheng

(AVIC Shenyang Liming Aeroengine group corp. LTD, Shenyang 110034, China)

杨福刚(1973),男,高级工程师,从事航空发动机试车研究工作。

收稿日期:2011-06-20

Abstract: Due to no standard engine, an aeroengine test bench could not be calibrated periodically to determine thrust correction factor. The thrust correction value was obtained by statistical analysis method. The effect of pneumatic impulse, nozzle negative pressure and wind resistance on the engine thrust was calculated by the aerodynamic flow parameter test. The rationality of thrust correction value was analyzed by statistical data.

Key words: bench calibration; aerodynamic parameter test; thrust correction coefficient, aeroengine; test bench

0 引言

目前,航空发动机研制先进国家均建有露天试车台,很容易实现室内试车台架的推力修正。根据国军标要求,科研、生产用各型航空发动机试车台必须定期进行校准,以确定试车台的修正值或修正系数^[1]。长期以来,中国因缺乏室内试车台校准用发动机标准件的露天基准试车台,使发动机室内试车台的校准工作一直处于有规定、难实施的局面。而形成校准用的发动机大多由国外试车台产生,国产发动机与其相比,在台架结构、气动布局 and 测试系统等方面均存在较大差异,导致发动机技术状态评定困难和性能评价不准确等,影响了发动机的修理和使用。

本文通过数据统计分析得出各试车台架的发动机推力修正系数,以解决无校准发动机校准台架问题,进而实现对航空发动机性能的准确评定。

1 台架推力实施方案

1.1 台架试车数据分析

通过对各试车台在所有最大和全加力状态下稳态性能推力统计、分类和归纳,分析出发动机推力与大气温度的变化关系。利用理论推力和推力换算系数曲线得到在最大和全加力状态下理论推力的公差^[2],通过拟合方法,绘制出其推力范围曲线,并将在各温度下所统计的发动机测量推力绘制到上述曲线中,通过分析推力损失影响因素,最后得到各台架合适的推力修正系数。

1.2 台架气动参数测试

在室内试车台上进行发动机试车时,由于受进气冲量、迎风阻力和发动机喷口附近负压等影响^[3],所测推力比发动机的实际推力低。为了获得科学准确的台架修正系数,对试车台架进行气动参数测试,以分析推力损失的主要影响因素,为试车台推力修

正系数的确定提供参考依据。

2 实施结果

2.1 台架数据分析结果

通过收集试车台在所有最大和加力状态下的稳态性能参数,对数据进行分类分析和总结,将发动机转速、推力和大气压力与大气温度的变化关系绘制成曲线,分析和研究发动机在各稳定状态下主要参数随大气温度的变化规律。

首先,研究关于推力换算的计算方法,分别用在最大和加力状态下的推力换算系数计算出对应大气温度下的理论推力测量值;然后,按照最大和全加力状态下推力限制值公差,绘制出 2 种状态下的理论推力公差曲线,如图 1、2 所示。

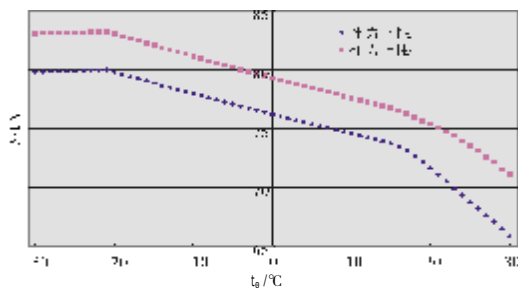


图 1 在最大状态下的理论推力公差曲线

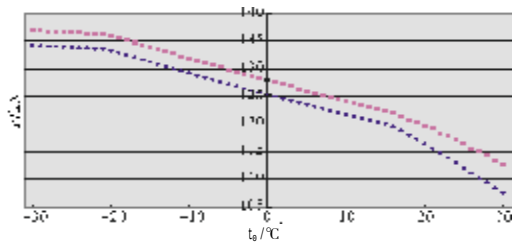


图 2 在加力状态下的理论推力公差曲线

将试车台的推力测量值按发动机进口温度,分别绘制到图 1、2 中,得到台架发动机在最大和加力状态下测量推力随大气温度的变化曲线,如图 3、4 所示。

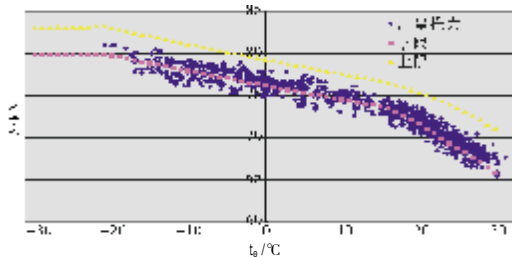


图 3 在最大状态下的测量推力曲线

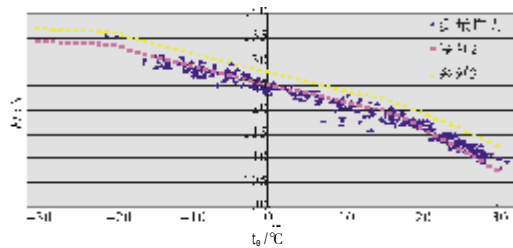


图 4 在加力状态下的测量推力曲线

从图 3、4 中可见,发动机测量推力与发动机进口温度变化关系符合理论曲线变化趋势,但明显低于理论推力值。这是因为台架气动参数影响使发动机推力损失。因此,需要通过测量台架气动参数进行分析。

2.2 气动参数测试结果

按照台架气动参数测试方案,对各试车台架进行气动参数测试,测试内容包括试车间进气压力降、空气平均流速、发动机进气截面和排气截面静压差,以及发动机试车间排气系统有无回流等。车间测试如图 5 所示。

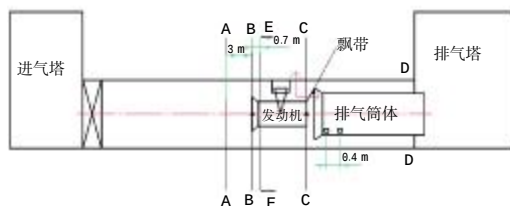


图 5 车间测试

经测试,其结果符合国军标要求。

2.2.1 气动冲量和迎风阻力修正

发动机在室内试车台上试车时,由于气流通过试车台进气系统时有压力损失,并且对发动机有一定的迎面速度产生进气冲压,使其地面静止条件未得到满足;外流沿发动机长度的静压变化和摩擦阻力会引起测量推力损失,试车台排气系统造成的尾喷口处环境静压降也会引起测量推力损失^[4]。因此,需要对台架气流场进行测试,研究试车间内的流场状况,计算各台架气动冲量和迎风阻力对推力的影响。通过对气动影响量进行测试分析,可以计算出气动参数对推力的修正值,对该修正值可通过以下方法进行修正

$$F - F_{cl} = \Delta F_r + \Delta F_n + \Delta F_p \quad (1)$$

式中: F 为发动机实际推力, N ; F_{cl} 为测量推力, N ; ΔF_r 为进气冲量修正, N ; ΔF_n 为迎风阻力修正, N ; ΔF_p 为喷口范围负压引起的修正。

2.2.1.1 迎风阻力对推力的影响

由于推力测量平台动架、发动机吊架和各连接管

路均受到2股气流的作用,如果已知受2股气流作用部件的形状、阻力系数和2股气流参数,就可以对这些部件的阻力进行估算。

单个部件的迎风阻力为

$$\Delta F_{ni} = C_x A_{mi} \times \frac{\rho V_n^2}{2} \quad (2)$$

式中: C_x 为部件的迎风阻力系数,该值取决于迎风部件的形状和雷诺数^[9]; A_{mi} 为计算的投影面积。

$$Re = \frac{\rho V_n d_m}{\mu} \quad (3)$$

式中: ρ 为空气密度; V_n 为部件迎风气流速度; d_m 为部件中部截面或直径; μ 为气动黏性系数。

总修正值 $\Delta F_n = \sum \Delta F_{ni}$, 即所有与动架有关部件的迎风阻力的总和。

取台架各部件迎风阻力系数为1,按照公式对迎风阻力修正值进行估算后可知,迎风阻力对发动机推力影响相对很小,可以忽略不计。

2.2.1.2 气动冲量对推力的影响

在试车时,由于气流通过试车台进气系统时有压力损失,并且对发动机有一定的迎面速度,产生进气冲压,使发动机的“地面静止”条件未得到满足,相当于发动机在地面飞行,从而对发动机推力产生影响。

进气冲量使发动机进气装置的推力降低,可表达为

$$\Delta F_r = G_0 v_m - (G_0 - G_1) v_m - (P_s - P_{0s}) A \quad (4)$$

式中: G_0 为试车间的总空气流量,可由 $G_0 = \rho v_m A$ 计算获得; v_m 为试车间截面的平均风速, m/s; G_1 为发动机空气流量, kg/s; v_m 为试车间外流道平均风速, m/s; P_s 为进气道滞止区静压, Pa; P_{0s} 为试车间进气截面静压, Pa; A 为试车间截面积, m²。

通过对台架进行气动参数测试与计算,得到台架气动冲量对推力的影响。

2.2.1.3 喷口负压对推力的影响

通过喷口附近负压对推力的影响进行 ΔF_p 修正, 即 $\Delta F_p = (P_1 - P_0) \cdot (A_1 - A_0)$ 。

发动机排气的引射作用在试车间内形成流动,受引射气流影响,喷口对发动机测量推力产生影响。引射筒大小及其与发动机喷口的距离决定引射流量和喷口处的静压。试验时在发动机喷口与试车间地面间布置2支压差传感器,测量喷口处无负压,说明喷口对发动机推力影响很小,可以忽略不计。

根据各台架气动参数测试结果,从迎风阻力对发动机推力影响、进气冲量推力修正值和喷口负压对推力的计算分析看,进气冲量对推力修正值的影响最大,占发动机总推力的2%~3%,修正量占总修正量的90%以上。

3 综合数据分析

通过各试车台现有推力修正系数统计,按发动机台数加权平均得出了各试车台架的平均推力修正系数。将各试车台架在最大和加力状态下的推力乘以平均推力修正系数后,得到台架发动机修正后推力与大气温度的关系曲线,如图6、7所示。在最大和加力状态下的推力基本在发动机理论推力范围内。

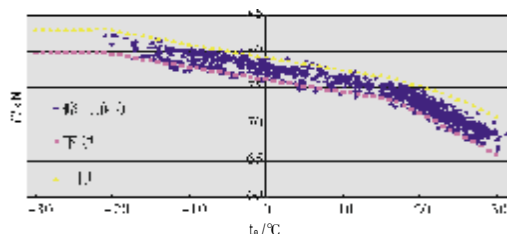


图6 在最大状态下的修正后推力曲线

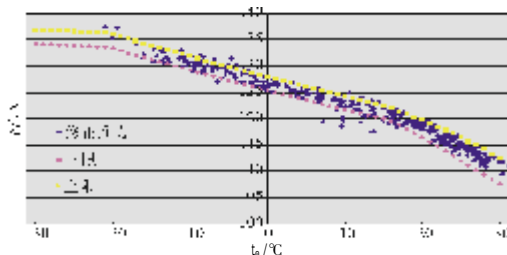


图7 在加力状态下的修正后推力曲线

发动机测量推力散度验算如下。

(1)为了便于发动机理论推力曲线线性常用段分析,该段曲线方程为

$$y = -0.1766x + 77.765 \quad (5)$$

(2)为了对比分析,取与试车台气动结构相近的试车台测量推力值进行计算。试车台的测量推力按线性进行曲线拟合所得到的曲线方程为

$$y = -0.1675x + 77.138 \quad (6)$$

(3)按上述方法得到加力状态理论方程为

$$y = -0.3883x + 128.04 \quad (7)$$

(4)测量推力拟合曲线方程为

$$y = -0.3978x + 124.75 \quad (8)$$

计算得到公差带内的样本比例分别为93.10%和95.63%,可以判定试车台气动参数相对稳定。

从试车台数据分析计算得到的推力(下转第42页)