

文章编号: 1000-8055(2002) 02-0170-03

对进气道插板试验数据的一点探讨

王如根, 江 勇, 张启发
(西安空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要: 以实际进气道/发动机插板喘振试验数据为依据, 对发动机进口畸变流场的试验数据进行了分析, 并对进一步改进动态数据采集的设计提出了一点看法, 供探讨。

关键词: 进气道; 发动机; 插板试验; 畸变

中图分类号: V228.7 文献标识码: A

Analysis of Distortion Test Data by Inlet Flat Baffle

WANG Ru-gen, JIANG Yong, ZHANG Qi-fa
(Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: In this paper, a method of installing a movable flat baffle upstream the inlet for inducing a distortion flow field is introduced. The airflow disturbance level (W) and the airflow pulsation intensity of engine intake is defined. The test data of distortion flow field at engine intake was analysed, which was obtained by inlet/engine matching test. It is showed that the distribution of dynamic pressure sensors is very important for the disturbance level (W) and the airflow pulsation intensity. And the data sampling rate and sampling time of dynamic pressure can be decreased.

Key words: inlet; engine; inlet baffle; distortion

1 实验方法简介

利用进气道插板试验考核发动机稳定性是一种相对经济、实用的试验方法, 进气道插板喘振的发动机稳定性试验方法^[1], 基本原理如图 1 所示。为研究发动机进口流场, 作者在距发动机进口 20 cm 处安装了米字型压力测量耙, 在米字耙上安置了 40 个动态测压点, 每个测点的采样率 10 kHz, 每分钟采样数据约 110 MB。试验时, 将发动机稳定在某一工作状态, 将可调插板(插板距测量耙 190 cm)插入到某一深度工作 2~3 min 后, 采集 30 s 总压脉动值和 40 点稳态压力数据, 同时实时监测压气机出口的动态压力。

2 发动机进口气流扰动水平的计算

发动机进口气流的总扰动水平(记 W) 由周向不均匀度、径向不均匀度和总压脉动强度 3 部分组成, 考虑到径向不均匀度对稳定性影响较小, 计算时可不予考虑。因此有:

$$W = \Delta \sigma_0 + \epsilon_p$$

其中, $\Delta \sigma_0$ 为周向畸变不均匀度, ϵ_p 为平均总压脉动强度(单位为%)。

2.1 周向不均匀度的计算

记发动机进口平均压力为 $p_{cp} = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 p_{qj}$,

其中 p_{qj} 为第 j 支测压耙的径向平均压力 $p_{qj} =$

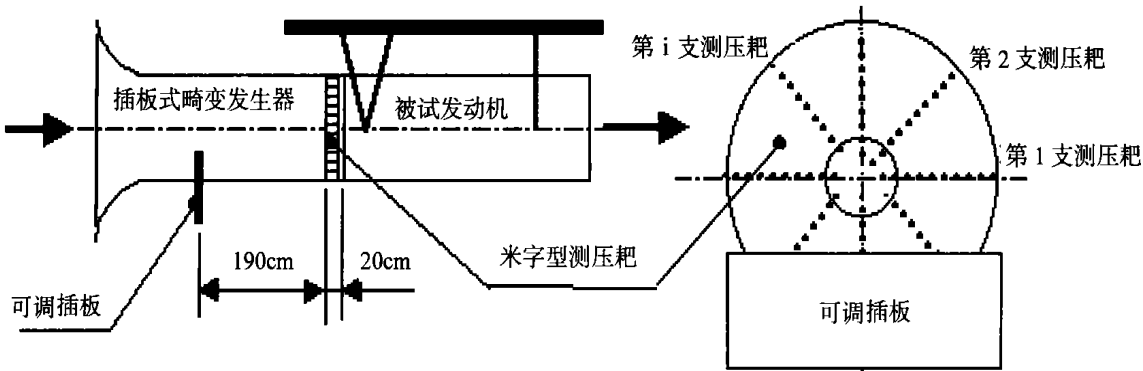


图 1 进气道 / 发动机匹配工作稳定性试验装置示意图

$\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 p_i$ 。令 $\Delta \varphi = \varphi_{\text{结束}} - \varphi_{\text{起始}}$ 为周向低压区范围, 其中 $\varphi_{\text{起始}}$ 为周向低压区起始角度, $\varphi_{\text{结束}}$ 为周向低压区结束角度。假设低压区起始角位于第 s 和 $s+1$ 支测压耙之间, 结束角位于第 k 和 $k+1$ 支测压耙之间, 则有:

$$\varphi_{\text{起始}} = \varphi_s + \frac{p_{\varphi s} - p_{\varphi}}{p_{\varphi s} - p_{\varphi s+1}} \times \frac{360}{8}$$

(满足 $p_{\varphi s} \geq p_{\varphi}, p_{\varphi s+1} < p_{\varphi}$)

$$\varphi_{\text{结束}} = \varphi_k + \frac{p_{\varphi k} - p_{\varphi}}{p_{\varphi k} - p_{\varphi k+1}} \times \frac{360}{8}$$

(满足 $p_{\varphi k} < p_{\varphi}, p_{\varphi k+1} \geq p_{\varphi}$)

周向压力畸变不均匀度 $\Delta \overline{\sigma_0}$ 的大小可按下式计算:

$$\Delta \overline{\sigma_0} = \frac{1}{\Delta \varphi p_{\varphi}} \times \frac{360}{8} \times \left\{ \sum_{j=s}^{k-1} \left\{ \frac{p_{\varphi} - p_{\varphi j}}{2} + \frac{p_{\varphi} - p_{\varphi j+1}}{2} \right\} + \frac{1}{\Delta \varphi p_{\varphi}} \left\{ \frac{p_{\varphi} - p_{\varphi s+1}}{2} (\varphi_{s+1} - \varphi_{\text{起始}}) + \frac{p_{\varphi} - p_{\varphi k}}{2} (\varphi_{\text{结束}} - \varphi_k) \right\} \right\}$$

2.2 气流脉动强度的计算

每一个动压测点的气流脉动强度:

$$\epsilon = \frac{(\Delta p_i^*)^2}{p_{\varphi}} \times 100\%$$

平均气流脉动强度为:

$$\epsilon_p = \frac{1}{N_d} \sum_{i=1}^{N_d} \epsilon_i$$

其中, N_d 为进口截面分布的动态压力测点数,

$$(\Delta p_i^*)^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [\Delta p_i^*(\tau)]^2 d\tau$$

$$\Delta p^*(\tau) = p_i^*(\tau) - \overline{p_i^*}$$

$$\overline{p_i^*} = \int_0^T p_i^*(\tau) d\tau / T$$

T 为时间间隔, 一般取 $T = 1 \sim 2$ s。

3 试验结果分析

3.1 发动机喘振点的试验结果

本文选取了 $N1 = 70\%, 75\%, 89\%, 96.7\%$ (实际转速分别为 7805, 8362, 9923, 10782 r/min) 4 种工作状态进行发动机稳定性考核试验, 结果该发动机抗进口扰动的能力如图 2 所示。图中,

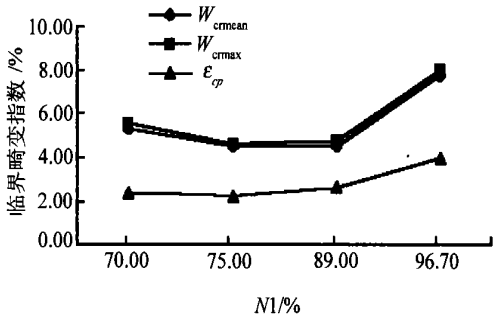


图 2 临界畸变指数随发动机转速的变化规律

W_{crmean} 为临界状态 W 值的时间平均值, W_{crmax} 为发动机喘振前 W 值的瞬时最大值。可见该发动机在设计点有较好的抗畸变能力, 但在中等转速范围的稳定性较差。

3.2 气流脉动强度的分布

表 1 给出了 $N1 = 96.7\%$ 转速下, 某一插板位置各测量点对应的气流脉动强度。由表 1 可知, 测量点位置不同计算得到的气流脉动强度有很大区别, 因此正确安装动态压力测量点的位置是准确测量气动脉动强度的一个关键因素。

表 1 不同测点位置的气流脉动强度

靶角度/(°)	第 1 环(内环)	第 2 环	第 3 环	第 4 环	第 5 环(外环)
315	5.4203	5.0618	4.5885	5.0657	4.8862
270	6.1186	4.6876	4.2948	4.4637	3.9609
225	————	————	————	5.2939	4.6221
180	4.2995	————	2.8993	4.0947	4.4482
135	2.3899	1.4863	1.7910	2.7666	2.9488
90	————	1.2739	1.2345	————	————
45	2.0521	1.8081	2.8064	3.6098	3.0798
0	3.4575	2.3417	2.1329	3.6064	3.8745

3.3 测量时间的影响

图 3 给出了总扰动水平 W 和气流脉动强度 ϵ_p 随测量时间的变化规律。由图可知,插板式畸变发生器产生的畸变流场在发动机进口截面有稳定的扰动水平,其 W 和 ϵ_p 值基本上不随测量时间变化。因此,测量时间对测量结果基本没有影响。

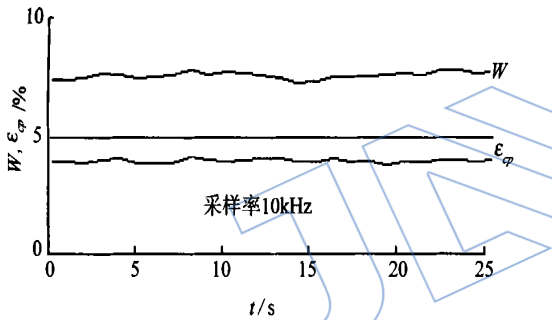


图 3 W 和 ϵ_p 随测量时间的变化

3.4 测点采样频率的影响

图 4 给出了发动机低压转子转速为 96.7% 时,不同采样频率下进口截面气流总扰动水平 W 和气流脉动强度 ϵ_p 的变化规律。由图 4 可知,测

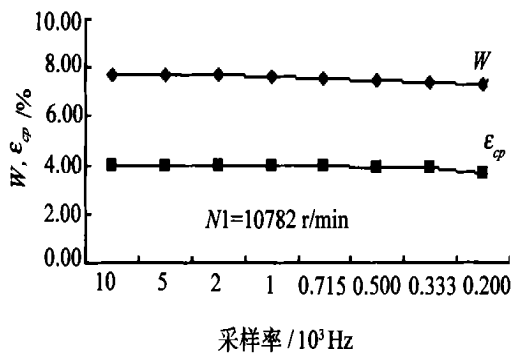


图 4 气流扰动水平和脉动强度随采样率的变化规律

量点的采样频率在很大范围内对气流总扰动水平和脉动强度影响很小,只有当采样率低于 300 Hz 时才有较明显的下降,与功率谱分析结果基本一致^[2]。然后,数据采样率的大小对测量系统研制的技术要求有很大影响,如本文使用的单通道 10 kHz 采样率所对应的采集系统由十分庞大的并行数据采集系统组成,动压传感器必须预埋在测量探针上,价格昂贵且易损坏,维修困难。因此,如果将动态压力的采样频率确定在 500~1000 Hz 左右,则传感器可安装在进气道外部,购置传感器的费用可大大降低,流场测量靶的制造也比较简单,维修性提高,研制成本可减少很多,系统安全性和可靠性提高。

4 结 论

通过对进气道插板试验测量数据的初步分析可知,计算气流脉动强度用的测压探头安装位置对脉动强度有显著影响,测量时间对气流脉动强度计算值的影响很小,一般采集 20 s 数据足够达到分析精度。数据采样率对采集、测量设备的技术难度和成本有很大影响,通过本文的分析可知,当采样率大于 500 Hz 时采样率大小对测量结果影响很小,因此作者认为在编写相关技术规范时,不宜规定太高的动态压力采样率。

参考文献:

[1] 王如根,陶增元,桑增产,等.进气道/发动机匹配工作稳定性试验研究[A].1999 年航空推进系统气动热力学学术会议论文集[C].1999.
[2] 江勇,李军,桑增产,等.发动机进气畸变流场及测量系统分析[J].燃气涡轮试验与研究,2000,13(1):53-56.

(责任编辑 杨再荣)