

喷管故障情况下异常 数据的处理*

胡保朝 张开春

(中国三江航天集团精密机械研究所, 远安, 444200)

摘 要: 根据首台发动机静止试验喷管故障情况下的试验数据, 提出了对压强-时间、推力-时间曲线进行修正处理的方法, 得出了满意的结果, 为正确评价发动机总体设计、内弹道设计提供了可信数据。

主题词: 固体推进剂火箭发动机, 火箭发动机喷管, 故障分析, 数据处理

分类号: V435.23

PROCESSION OF ABNORMAL DATA UNDER NOZZLE FAILURE CONDITIONS

Hu Baochao Zhang Kaichun

(The Precision Machinery Research Inst. of CSSG, Yuan'an, 444200)

Abstract: The method base on test data under nozzle failure conditions is presented to correct the processing of pressure-time and thrust-time relation, and a satisfied result is obtained. The method provide credible data for correctly appraising the system design and internal ballistics design of the motor.

Subject terms: Solid propellant rocket engine, Rocket engine nozzle, Fault analysis, Data processing

1 引言

在发动机研制初期的静止试验中, 由于一些认识不到的设计缺陷、新技术的应用等, 故障时有发生。在故障发生的情形下, 用常规的数据处理方法很难对试验测得的数据进行处理, 进而影响正确评价发动机内弹道性能。由于发动机试验数量有限, 价格昂贵, 因此, 充分利用仅有的试验信息是非常重要的。为此, 本文根据发动机首台静止试验中, 喷管出现故障后的结果, 提出了在故障情况下压强-时间、推力-时间数据处理的方法, 并进行实例分析, 得到了完整的内弹道性能数据, 为进一步的设计工作提供了很有价值的的数据。

2 故障现象及测试结果

首台发动机静止试验中, 发动机点火正常、燃烧稳定, 在发动机工作约 44s 时, 喷管喉衬

* 收稿日期: 19961206, 修回日期: 19970325

吹掉, 火焰变短、变粗, 发动机工作约 55s 结束时, 喷管外形结构仍保持完整, 发动机燃烧室结构完整, 测试的发动机压强-时间、推力-时间曲线见图 1 和图 2。

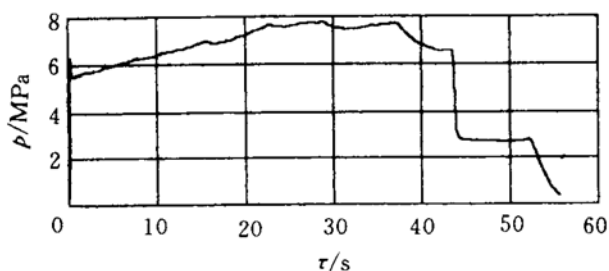


Fig. 1 Pressure-time curves for a certain SRM

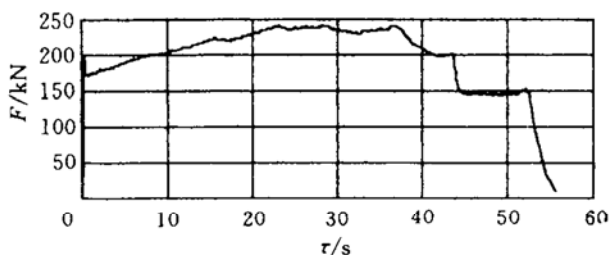


Fig. 2 Thrust-time curves for a certain SRM

3 试验数据处理

由于试验喷管喉衬被吹掉, 喉径突然扩大, 燃烧室压强急剧下降, 这样, 燃烧效率、喷管效率降低, 直接从试验测得的数据不能正确评价发动机内弹道性能和推进剂的能量水平。因此, 必须寻找一种有效的方法, 对试验数据进行补齐修正, 以便得到准确的发动机内弹道性能。

3.1 压强

根据同类型号研制经验, 钨渗铜喉衬在发动机工作过程中基本不烧蚀, 喉衬在被吹掉前, 可以认为喉径不变。喉衬被吹掉后, 喉径在瞬间突然扩大, 然后逐渐烧蚀, 近似认为喉径按线性规律烧蚀扩大。喉衬吹掉前, 喉部面积 $A_{ti} = \pi (d_{ti})^2 / 4$ 。式中: d_{ti} 为初始喉径, 即钨渗铜喉衬被吹掉前的喉径。喉衬吹掉后, 喉部面积 A_t 可表示为:

$$A_t = \frac{\pi}{4} [d_{ti} + 2 \cdot k_t \cdot (t - t_{b1})]^2 \quad (1)$$

式中: t 为时间, t_{b1} 为发动机点燃至喉衬被吹掉瞬间的时间间隔, k_t 为喉部材料的烧蚀率, 可由喉径线性烧蚀扩大求出。

燃烧室压强 p 公式为:

$$p = \left(\frac{\rho_p \cdot A_b \cdot a \cdot C^*}{A_t} \right)^{\frac{1}{1-n}} \quad (2)$$

由于推进剂密度 ρ_p 为常数, 燃速系数 a 、燃速压强指数 n 、特征速度 C^* 在发动机整个工作过程中变化很小, 在本文中假定为常数, 因此, 在燃烧同一燃面 A_b 时, $p \propto (1/A_t)^{1/(1-n)}$, 即可对喉衬被吹掉后压强进行修正, 即将喉衬吹掉后的喉部面积 A_t 修正到 A_{ti} , 压强修正值 p' 表示为:

$$p' = p \cdot \left(\frac{A_t}{A_{ti}} \right)^{\frac{1}{1-n}} \quad (3)$$

3.2 推力

实测发动机推力 F 公式为: $F = \eta_{CF} \cdot C_{Fth} \cdot A_t \cdot p_p$ 。式中: η_{CF} 为推力损失系数; C_{Fth} 为理论推力系数。喉衬被吹掉后, 发动机推力的修正值 F' 可按下式计算:

$$F' = \eta'_{CF} \cdot C'_{Fth} \cdot A_{ti} \cdot p' \quad (4)$$

式中: η'_{CF} ——喉衬吹掉后推力损失系数修正值, 由喉衬吹掉前的试验曲线可得到 η_{CF} 随时间的

变化规律，本文 η'_{CF} 按 η_{CF} 线性外推结果取值。

3.3 时 间

喉衬吹掉后，燃速修正值公式为： $r' = a \cdot p'^n$ ；燃去相同肉厚 Δw 时： $\Delta w = r \cdot \Delta t = r' \cdot \Delta t'$ 。因此可得： $\Delta t' = (p/p')^n \Delta t$ 。式中： $\Delta t'$ ——喉衬吹掉后燃去相同肉厚 Δw 时的时间间隔修正值。

3.4 数据处理结果

根据上述方法对本台发动机出现故障后的试验曲线进行了修补，得到了完整的内弹道曲线。根据修补后的内弹道曲线，按正常数据进行处理，可以得到发动机所有内弹道性能。主要性能参数的处理结果见表 1。

Table 1 Corrected result

Item	Actual measurement value	Correction value
Burning time (s)	52.072	49.683
Burning time average pressure (kPa)	6052.1	6896.6
Burning time average thrust (kN)	206.40	215.03
Burning rate (mm/s)	5.876	6.159
Total impulse (kN·s)	10971.6	11031.7
Specific impulse (N·s/kg)	2331.2	2343.9

上述方法充分利用发动机静止试验故障情况下的试验数据，对发动机性能进行了评估，并在后续发动机静止试验中得到验证。