

文章编号: 1000-6893(2002) 02-0140-03

全尺寸二元喷管红外辐射特性研究

郑礼宝

(南京航空航天大学, 江苏 南京 210016)

INFRARED EMISSIONS FROM TURBOJET WITH TWO-DIMENSIONAL NOZZLE

ZHENG Li-bao

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

摘 要: 设计了一种全尺寸二元收敛喷管, 用涡轮喷气发动机 WP-6 作为燃气发生器, 在发动机处于最大状态时, 用红外光谱仪对二元喷管及尾喷流的红外辐射进行了测试。研究结果表明, 与基准喷管相比, 在发动机产生相同推力的条件下, 二元喷管改善了喷口和尾焰红外辐射的光谱分布, 减小了红外源的尖峰辐射, 明显降低了发动机的红外辐射强度。

关键词: 二元喷管; 尾喷流; 收敛喷管; 红外辐射; 涡轮喷气发动机

中图分类号: V 231.3 文献标识码: A

Abstract: Investigated in this paper is the infrared radiation (IR) from a large-scale convergent two-dimensional nozzle attached to a sort of turbojet called WP-6 which can generate the maximum thrust of 2600 kg force at the full state. The IR signatures emitted from the two-dimensional nozzle and hot plume are measured with the infrared spectrum radiometer of 12-550 Mark II model made by BARNES Ltd. in USA in the open air during night as well as that of the conic nozzle served as datum exhaust which may produce the same thrust as the two-dimensional one. The results indicate that the spectrum distributions of the two-dimensional nozzle are improved and the wave length corresponding to the maximum spectrum intensity is shifted up to a longer waveband. Compared with the IR from the conic nozzle, IR signature of the plume issuing from the two-dimensional nozzle which has an aspect-ratio parameter of 2.25 is decreased by 60% over the band range of 4.0 ~ 4.7 μm .

Key words: turbojet; two-dimensional nozzle; hot plume; convergent nozzle; infrared radiation

在模型红外特性和推力影响^[1]研究基础上, 用 WP-6 涡轮喷气发动机, 对全尺寸二元喷管进行了红外辐射特性的实验研究。结果表明, 在发动机最大工作状态, 与基准喷管相比, 二元喷管减小了红外源的尖峰辐射, 改善了红外能量的光谱分布, 明显抑制了喷管及尾喷流的红外辐射。

1 试验装置

试验装置包括 CK-1 靶机、WP-6 发动机、滑行车、底座和发动机操控系统组成。红外试验是用原 WP-6 发动机作为燃气发生器, 全尺寸喷管安装在发动机上, 而且通过快卸环可使喷管绕发动机机身轴线旋转。红外辐射测试时, 测试仪器安放在地面上。相对于红外仪光路轴线, 二元喷管有水平和垂直两种放置方式(如图 1 所示)。为避免排气筒体高温热壁对红外测试的影响, 在排气筒体的外围设置了遮蔽蒙皮。

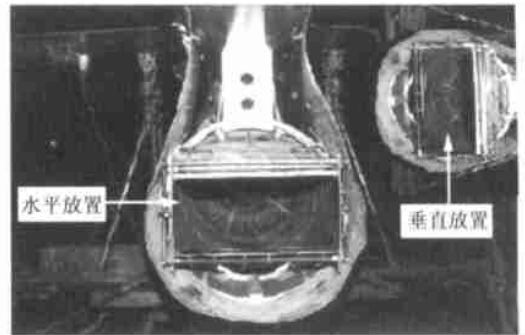


图 1 安装在试验装置上的二元喷管照片

Fig. 1 The photo of full scale two-dimensional nozzle on experimental setup

2 全尺寸试验喷管

两个全尺寸试验喷管总长 $L = 1250\text{mm}$, 轴对称喷管进口直径 $\varnothing 531.6\text{mm}$, 出口直径 $\varnothing 438\text{mm}$; 二元喷管由圆转方过渡段、喷管收敛段两部分组成。圆转方过渡段横截面边界形状是超椭圆, 超椭圆方程为

$$\left(\frac{x}{a}\right)^n + \left(\frac{y}{b}\right)^n = 1 \quad (1)$$

式中: x 为水平轴; a 为超椭圆长半轴; y 为垂直轴; z 为喷管轴线(喷射方向为正); b 为超椭圆短半轴; η 为超椭圆指数。过渡段进口为圆形, 即 $a = b, \eta = 2$; 出口为方形, 即 $\eta = 1$ (工程上, 超椭圆指数 $\eta = 99$ 时, 便有足够的形状精度)。为改善过渡段气动性能, 过渡段截面按线性递减设计, 出口面积为进口的 $3/4$ 。过渡段长 $l = 500\text{mm}$, 进口直径 $\varnothing 600\text{mm}$, 喷管出口宽高比为 2.25。过渡段各截面超椭圆形状参数与文献 [1] 相同。

3 红外辐射测试

(1) 红外测试条件 红外测试是在野外夜间进行的。测试现场, 大气温度为 14°C , 大气压力为 1025Pa 。喷管及发动机有关热力参数列于表 1。红外测试距离 $L = 500\text{m}$, 测试方位角范围是从 $0^\circ \sim 135^\circ$; 方位角 θ 以喷口中心为极坐标顶点, 探测器的光轴与喷管喷射方向的轴线的夹角。

表 1 二元喷管和基准喷管的热力参数

Table 1 Thermal-dynamical parameters of nozzles on turbojet

喷管	进口 总温 /K	进口 总压 /kPa	喷管 流量 /($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	耗油率 /($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)	推力* /(9.8N)
基准喷管	929.5	238.9	42.5	0.961	2683.4
二元喷管	931.2	233.2	42.2	0.960	2616.1

* 推力测量是在南航无人机电院喷气发动机试车台上进行的 [2], 数据是标准大气条件下的换算数据。

(2) 红外测试仪器 喷管和尾焰的红外目标是作为红外点源目标。尾焰虽然空间分布既长又宽, 但由于尾焰存在势核的原因, 尾焰红外辐射的能量主要还是集中在喷管近下游。红外测量是用红外光谱辐射计, 其型号是美国 BARNES 公司 12-550 Mark 红外光谱辐射计, 其红外探测器是液氮制冷 PV 型 InSb 器件, 工作波段为 $1.59 \sim 5.29\mu\text{m}$, 光谱分辨率约 $0.01\mu\text{m}$ 。12-550 Mark 红外光谱辐射计记录的是一组电压与波长一一对应数据。红外测试前, 用系统标准黑体炉进行了标定。

(3) 试验数据处理 根据红外试验现场测得的气压、温度、湿度和能见度等气象参数, 用 LOWTRAN7 程序计算大气红外光谱透过率 $\tau(\lambda)$ 。红外光谱仪测到的信号是目标红外辐射经大气传输衰减后, 由光学系统截获的光谱辐射照度 $E_t(\lambda)$ 。若用 L 表示目标至辐射计入瞳的距离, 那么测得的目标光谱辐射强度 $I_t(\lambda)$ 为

$$I_t(\lambda) = E_t(\lambda)L^2 \quad (\text{W}/(\text{Sr} \cdot \mu\text{m})) \quad (2)$$

用式 (2) 和大气红外光谱透过率 $\tau(\lambda)$ 数据, 可以

算出目标本身的红外辐射光谱辐射强度。在测试波段范围内, 对红外源光谱辐射强度进行积分, 便得到红外源的方向辐射强度。

4 试验结果

图 2 是二元喷管红外辐射光谱随方位角的变化

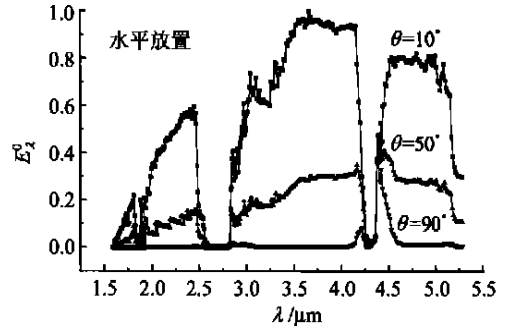


图 2 轴对称基准喷管和二元喷管无因次光谱分布
Fig. 2 The distribution of non-dimensional spectrum intensity of infrared emission

化情况。图中横坐标是波长, 纵坐标是无因次光谱辐射强度 E_λ^0 (比较基准为 $\theta = 10^\circ$ 方位上光谱辐射强度的最大值)。从图中可见, 在测试波长的范围内, 喷管及尾焰辐射的红外光谱能量分布在 3 个区域: $1.60 \sim 2.60\mu\text{m}$ (), $2.80 \sim 4.30\mu\text{m}$ (), $4.40 \sim 5.25\mu\text{m}$ ()。在 $\theta = 10^\circ$ 方位, 对应区域的尖峰辐射(指在规定波长范围内, 最大的红外光谱密度) 波长分别为 $2.4, 3.6$ 和 $4.6\mu\text{m}$, 而且, $\lambda = 3.6\mu\text{m}$ 的光谱辐射为最强。随着方位角增大, 即喷口表观面积减小, 光谱分布范围缩小, 辐射强度降低, 且尖峰辐射波长也发生移动。在 $\theta = 90^\circ$ 方位, 理论上, 喷口表观面积为零, 尾焰辐射的红外光谱分布局限在 $4.0 \sim 4.7\mu\text{m}$, 在 $4.2\mu\text{m}, 4.4\mu\text{m}$ 附近有两个尖峰辐射。图 3 中 $\theta = 70^\circ$ 方位

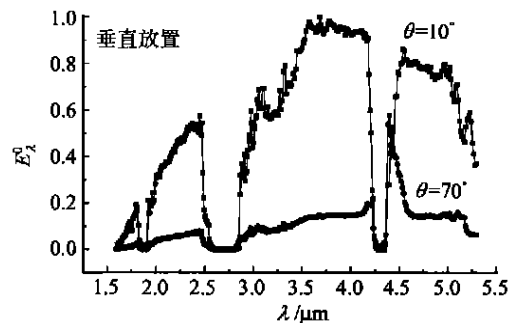


图 3 二元喷管垂直放置无因次光谱分布随方位角的变化
Fig. 3 The distribution of non-dimensional spectrum intensity of infrared emission

上的辐射谱线进一步表明了喷口表观面积很小时红外能量的分布。二元喷管和基准喷管红外辐射各区域能量分布占总能量的百分数列于表 2。

对于基准喷管, 在 $\theta=90^\circ$ 方位, 3 个区的红外能量比约为 1 : 3 : 8.5。随着方位角增大, 二元喷管红外辐射光谱分布的 I 区和 II 区红外能量所占比重减小, 而 III 区所占比重增大。数据表明, 若将喷管和尾焰视为红外点源来看, 从飞行器后半球到前半球, 红外源的辐射光谱向长波方向移动。在红外抑制技术研究中, 这是一个值得注意的现象。

表 2 各波段红外能量占测试波段总能量的百分比 / %

Table 2 The percentage of the energy over the band accounting for the total

方位角 / (°)		波段 / μm			
		1.60 ~ 2.60	2.80 ~ 4.30	4.40 ~ 5.25	
二元喷管	水平放置	10	15	54	31
		50	10	51	39
	90	3	21	76	
	垂直放置	10	14	54	32
		70	9	45	46
	基准喷管	90	8	23	69

喷管及尾焰红外光谱具有多峰辐射的特征。

图 4 是无因次尖峰辐射强度随方位角的变化情况。图中纵坐标 E_{max}^0 表示尖峰辐射强度与基准喷管方位角 0 方向上最大的光谱辐射强度的比值。变化曲线表明, 尖峰辐射强度随方位角的增大而非线性减小, 在方位角小于 90° 范围内, 尖峰强度随方位角增大迅速降低, 而在大于 90° 范围其变化趋于平缓。与基准喷管相比, 二元喷管(水平放置)的尖峰特征要弱。如在 50° 方位, 二元喷管尖峰强度较基准喷管减小约 41%; 在 90° 方位, 二元喷管尖峰强度降低 25%。

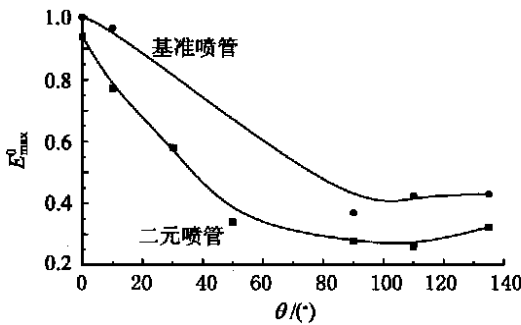


图 4 无因次尖峰辐射强度随方位角的变化

Fig. 4 The distribution of non-dimensional spectrum intensity of peak infrared emission

图 5 是二元喷管(水平放置和垂直放置)在 $4.0 \sim 4.7 \mu\text{m}$ 波段无因次红外辐射强度的空间分布。从图中可见, 基准喷管最大红外辐射强度不是在 0 而是在 10° 附近。二元喷管红外辐射在测试

的方位角范围内, 红外辐射特征随着方位角的增大而减小。与基准喷管相比, 二元喷管不论是水平放置还是垂直放置, 其红外辐射强度都降低了, 在方位角分别为 50° 和 90° 时, 红外辐射强度分别降低 22% 和 60%。可见, 随着方位角的增大, 二元喷管抑制喷管及尾焰红外辐射的效果越来越明显。

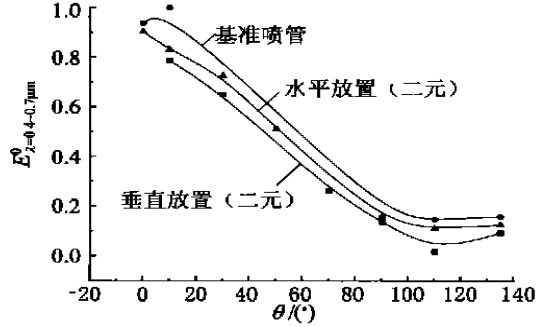


图 5 无因次红外辐射强度的空间分布

Fig. 5 The variation of non-dimensional intensity of infrared emission with location angle

致谢 在本项研究中, 得到了南航郭荣伟教授、冯桂宝高级工程师、王金南工程师, 以及 014 中心的吕明义研究员、李松明高级工程师的大力支持和帮助, 在此表示衷心的感谢!

参 考 文 献

[1] 郑礼宝. 二元喷管对发动机性能影响的实验研究[J]. 推进技术, 1997, 18(4): 58-61.
(Zheng L B. Experimental investigation on the influence of 2-D nozzle on jet-engine performance[J]. Journal of Propulsion Technology, 1997, 18(4): 58-61.)

[2] 徐南荣, 卞南华. 红外辐射及制导[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.
(Xu N R. Bian N H. Infrared radiation & control and guide [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1997.)

作者简介:



郑礼宝(1963-) 男, 工程硕士, 南京航空航天大学无人机研究院副研究员。主要从事航空发动机进、排气系统气动和红外特性研究, 以及飞机燃油系统设计和试验技术研究。1996 年, 获南航优秀青年教师称号, 获中航总科技进步二等奖一次。通讯地址: 南京航空航天大学 446 号信箱(210016)

电话: 025-4892876, 传真: 025-4891514。

(责任编辑: 李铁柏)