

直射式喷咀垂直跨流喷油与沙丘驻涡 稳定器匹配的实验研究

北京航空航天大学 顾善建* * 杨茂林 黄 勇 张迎年

【摘要】 试验研究了直射式喷咀垂直跨流喷射时,进口气流速度、喷咀压降与稳定器径向位置等参数对沙丘驻涡(BD)稳定器截面燃油浓度分布的影响,并与沿 z 向喷射情况作了比较。结果表明,垂直跨流喷油与BD稳定器的匹配比沿 z 向(即水平方向)喷油好。为使良好气动特性与燃烧稳定性的BD稳定器获得推广与应用,必须考虑喷油方式、气流速度、喷咀压降与稳定器径向位置等参数对燃油浓度分布的影响。

关键词: 直射式喷咀 沙丘驻涡稳定器 浓度分布

1 前 言

新月形沙丘(BD)驻涡火焰稳定器具有良好的气动与稳焰特性。和同样堵塞比的V型火焰稳定器比,BD型火焰稳定器的阻力下降75~80%,且燃烧稳定范围宽^[1]。

为将BD型火焰稳定器推广应用,首先进行了直射式喷咀水平跨流喷射时,BD型稳定器截面燃油浓度分布的试验研究^[2]。发现这种喷油方式与BD型稳定器的气动特性不匹配。因此,又进行了直射式喷咀垂直跨流喷射时,BD型稳定器截面燃油浓度分布的试验研究。

2 试验内容与分析

BD型火焰稳定器安装在3000mm×170mm的矩形试段中,喷油杆安装在试段侧壁上,可以转动喷油杆或改变其安装位置来改变燃油喷射方式。喷咀中心为坐标原点,气流方向沿 x 轴,喷射方向沿 y 轴。用连续取样分析法测定稳定器截面燃油浓度分布,采用电加热取样感头在BD型稳定器月牙形尾缘上下截面逐点测取当地油气比。

直射式喷咀水平跨流喷油时,稳定器两牛角尖处富油,而此处回流区小,涡量小,燃油在此区停留时间短,故不能充分燃烧,特别是全加力状态,富油情况更严重,性能更差。为了解决这一问题,必须改变喷油方式,找出与BD型稳定器气动特性相匹配的燃油浓度分布。为此,首先研究了直射式喷咀垂直跨流喷油。

2.1 试验参数

常温,气流速度50m/s,喷咀直径0.5mm,喷咀压降11kg/cm², $X_o=300$ mm, $Y_o=110$ mm(即稳定器位于试段中心),喷孔位于BD型稳定器中心垂直平面内。稳定器截面燃油浓度分布的测量结果如图1所示。离稳定器尾缘5mm处测得的燃油浓度分布示于图2。由图清楚地看

出以下特点: (1) BD 型稳定器中心垂直平面两侧燃油浓度分布对称的, 中心燃油浓度值最大, 向两侧沿月牙形曲线逐渐衰减, 两牛角尖处燃油浓度值最小。(2) 在该试验条件下 BD 型稳定器月牙形上下尾缘燃油浓度值最大, 沿 y 向逐渐减小。

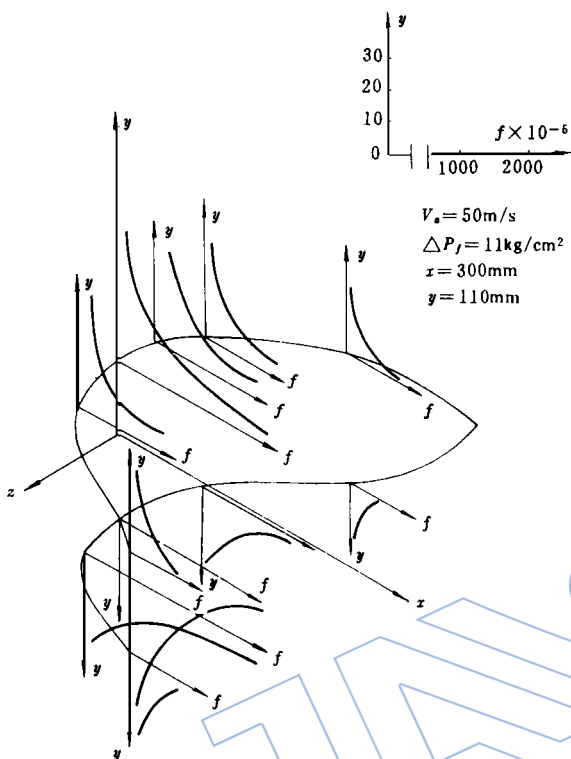


图 1 BD 稳定器全截面燃油浓度分布

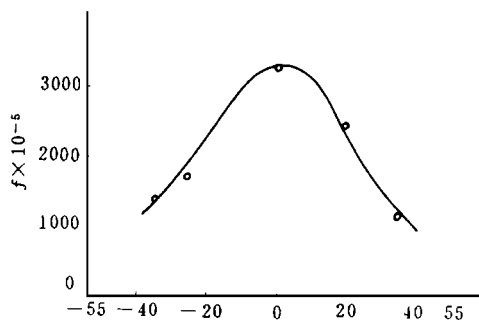


图 2 BD 稳定器尾缘处横向燃油浓度分布

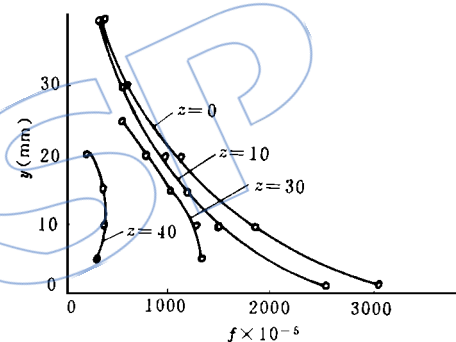


图 3 BD 稳定器纵向燃油浓度分布

文献 [3] 说明, 直射式喷咀沿 y 向跨流喷油时, 喷咀下游浓度场呈不对称的头盔形, 即沿 y 向燃油浓度分布是不对称的, 但各垂直平面内 y 向燃油浓度分布具有相似性; 沿 z 向燃油浓度分布呈正态分布。这一浓度分布特征与 BD 型火焰稳定器相匹配, 比沿 z 向喷油好得多, BD 型稳定器中心处槽最宽, 回流区最大, 担负的燃油量最大; 向两侧随着涡管尺寸与涡量的减小, 担负的燃油量也逐渐减小, 两牛角尖处担负的燃油量最少, 这与 BD 型稳定器的气动特性与燃烧特性相一致。

2. 2 稳定器径向位置的影响

在上述参数不变情况下, 改变 BD 型稳定器径向位置, 这必然引起流经稳定器截面燃油浓度分布变化。试验结果见图 3。试验参数为: $Y_0 = 80 \text{ mm}$, 即稳定器从试段中心向下移了 30 mm , 其他参数与前一试验相同, 测得的结果如图 3。

与稳定器放在试段中心相比, 由于油雾射流大部分流经稳定器上部, 这就使上下两截面燃油浓度分布相差很大。稳定器上截面燃油浓度分布宽, 下面窄。值得说明的是: 从 $z = 30 \text{ mm}$ 垂直平面开始, 整个燃油浓度分布逐渐出现在稳定器上截面。这由两方面原因造成, 一方面燃油浓度锥底盘呈椭圆形, 从中心垂直平面开始, y 向燃油浓度分布向两侧分布范围逐渐减

小; 另一方面 BD 火焰稳定器槽宽从中心开始向两侧逐渐减小, 即稳定器尾缘中心最高, 两端最低。

2. 3 进口气流速度的影响

在常温、喷咀压降 11kg/cm^2 、喷咀直径 0.5mm , $X = 30\text{mm}$ 、 $Y_o = 110\text{mm}$ 条件下, 仅改变气流速度进行了试验, 其结果如图 4、5 所示。随着气流速度增大, 油雾射流穿透深度显著降低, 雾化得到改善, 整个燃油浓度锥底盘缩小, 浓度锥中心点燃油浓度值增大, 燃油浓度分布曲线斜率增加。这些因素引起稳定器截面燃油浓度分布发生显著变化。

图 4 表示 BD 稳定器下部中心垂直平面内 y 向燃油浓度分布。由图可以看出, 随着气流速度增大, y 向燃油浓度分布显著改变。

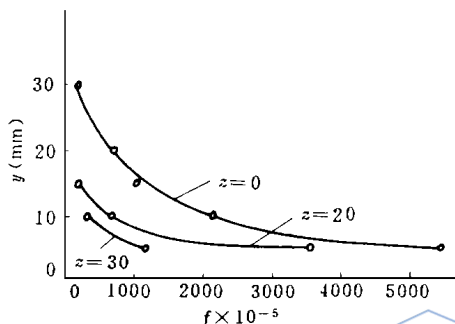


图 4 BD 稳定器纵向燃油浓度分布

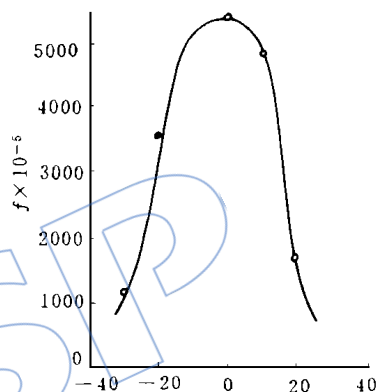


图 5 BD 稳定器尾缘处燃油浓度分布 ($y = 5\text{mm}$)

图 5 表示离稳定器尾缘 5mm 点沿月牙形曲线测得的燃油浓度分布。该图清楚表明, 气流速度改变, 必然引起稳定器尾缘附近燃油浓度分布改变, 从而引起燃烧性能变化。

2. 4 喷嘴压降的影响

在气流速度 50m/s , 常温, 喷嘴直径 0.5mm , $X_3 = 300\text{mm}$, $Y_o = 110\text{mm}$ 条件下, 只改变喷油

压力进行了试验。在稳定器垂直中心平面上测得的 y 向燃油浓度分布示于图 6。由于喷油压力增大, 射流动量增大, 引起油雾射流穿透深度增加, 整个浓度锥上移, 油珠在稳定器表面的溅跳雾化量也发生改变, 这些因素引起稳定器截面及月牙形尾缘附近燃油浓度分布改变。

关于燃油最大浓度线及最大浓度值, 文献 [2] 给出下列经验关系:

$$Y_{\max} = 602d_o^{0.2}\Delta p_f^{0.1}V_a^{-1.1}X^{0.3}$$

$$F_{\max} = 1100d_oV_a^{0.6}\Delta p_f^{0.3}X^{-0.8} \quad (1)$$

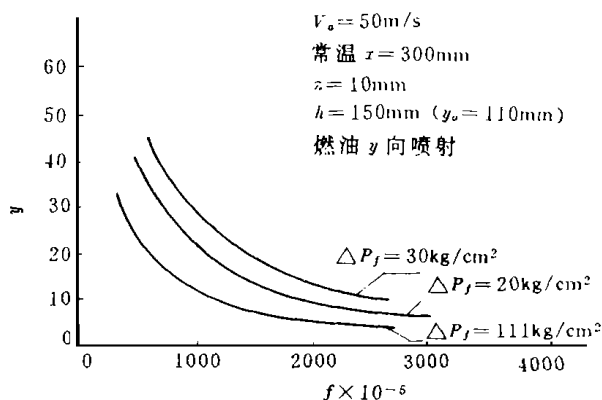


图 6 BD 稳定器中心剖面上的纵向燃油浓度分布

考虑温度的影响, 文献 [5] 给出下列油雾射流穿透深度经验关系:

$$Y_B = 7.5 d_0^{0.4} V_a^{-1} V_f^{0.6} T_a^{0.5} X^{0.4} \quad (2)$$

若以无因次形式表示, 则 (3) 可写成:

$$\bar{Y}_B = A \cdot q^{0.5} W_f^{-0.2} \bar{X}^{0.4} \quad (3)$$

同时试验得出油雾射流在 z 向穿透深度 z_B (射流 z 向展宽之半) 有下列近似关系:

$$z_B \approx 0.2 Y_B \quad (4)$$

根据文献 [4] 的研究结果, 燃油最大浓度线是一条重要的“特征线”, 以最大浓度线为界, 最大浓度线上方的燃油量约占总燃油量 40%, 下方的燃油量约占总燃油量 60%。因此研究直射式喷咀垂直跨流喷油与 BD 稳定器匹配时, 应采用上述经验关系确定油雾射流穿透深度与最大浓度线相对于 BD 稳定器位置, 即确定喷咀相对于稳定器位置, 使 BD 稳定器月牙形上下截面燃油浓度合理分布。

2. 5 不同喷油方式影响

选取垂直与水平两种不同喷油方式下月牙形稳定器尾缘燃油浓度分布作了比较, 如图 7 所示。该图清楚表明垂直跨流喷油时, BD 稳定器中心处燃油浓度值最大, 向两侧逐渐减小, 且浓度分布对称。水平喷油与此相反, 中心处燃油值小, 稳定器牛角尖处反而富油, 与稳定器气动特性不匹配, 故燃烧性能差。

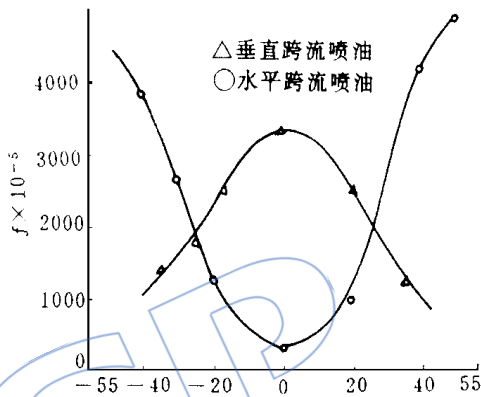


图 7 不同喷油方式时横向燃油浓度分布的比较

($V_a = 50 \text{ m/s}$, $\Delta P_f = 11 \text{ kg/cm}^2$, $y = 5 \text{ mm}$)

3 结 论

(1) 直射式喷咀垂直跨流喷油时 BD 稳定器截面燃油浓度分布比水平跨流喷油好, 这种喷油方式与 BD 稳定器的结构特点与气动特性相匹配, 是可考虑的喷油方式之一。

(2) 气流速度、喷油压力、稳定器径向位置与喷油方式对 BD 稳定器截面燃油浓度分布有重大影响, 不同工作参数, 对稳定器截面各点处燃油浓度贡献不同。因而研究喷油与 BD 稳定器相匹配时, 应采用油雾射流穿透深度与最大浓度线等经验关系估算, 确定喷咀与稳定器的相对位置。

参 考 文 献

- 高歌, 宁晃. 沙丘驻涡火焰稳定性的理论及实验研究. 工程热物理学报, 1981, 2 (4)
- 顾善建, 杨茂林, 张英年. 直射式喷咀水平跨流喷油与沙丘驻涡稳定器匹配的实验研究. 北航科研报告, 1986
- Gu Shanjian, Yang maolin, etc. A Method to Measure the Fuel Distribution and the Fuel Captured by V= Gutter Flameholder in High Speed Airstream. ASME Paper 85 GT-42
- 杨茂林, 顾善建, 刘高恩, 李象益. 直射式喷咀在高速气流中侧喷燃油浓度分布的试验研究. 航空燃烧学术会议论文, 乐山, 1982
- 杨茂林, 顾善建, 吴继平. 两相射流穿透研究. 工程热物理学报, 7 (3)