

燃烧室压力对空气雾化喷嘴 雾化性能的影响

北京航空航天大学 曹明骅**

【摘要】 对某发动机上的空气雾化喷嘴进行了实验研究,以探讨燃烧室压力对空气雾化喷嘴性能的影响。实践证实本文研究结果对高压下空气雾化喷嘴的设计做了有益的探索。

主题词: 燃烧室 燃油喷嘴 雾化 雾化机理

1 前言

为了分析燃烧室压力对喷嘴雾化性能的影响,进行了空气雾化喷嘴在背压下的模拟实验研究。实验中所用测试设备为马尔文激光测雾仪 ST 2600。实验所用喷嘴为内混合空气雾化喷嘴,其构造图如图 1 所示。1 号喷嘴为两次空气雾化,主气路为轴向旋转槽,次气路为切向旋转槽。2 号喷嘴也为两次空气雾化,次气路与 1 号喷嘴相同,但主气路为光滑轴向通道。3 号喷嘴则为一次空气雾化,其雾化空气经过一光滑圆柱体导入。上述喷嘴中燃油喷嘴均选定为英国 Delavan 公司的离心式压力雾化喷嘴,其流量数 FN 分别为 $1.51 (\text{kg/h})/\sqrt{\text{bar}}$ 和 $3.6 (\text{kg/h})/\sqrt{\text{bar}}$ 。

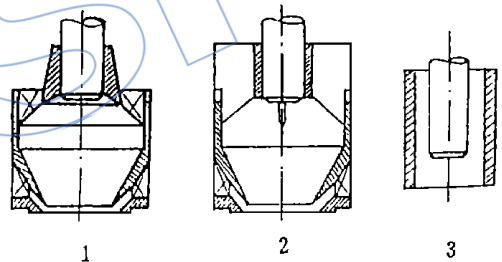


图 1 喷嘴构造示意图

按照设计要求,实验研究必须在保证气体与液体质量流量之比为 27 和雾化空气喷嘴压降 ΔP 与燃烧室压力 P_K 之比,即雾化空气相对压降 $\Delta P/P_K$ 为 3% 和 5% 的条件下进行。由于实验设备所限,背压只能模拟到 6bar 。

2 实验结果分析

2.1 燃烧室压力对液雾特性的影响

从图 2 中看出:当气液比和雾化空气相对压降一定的条件下,随着燃烧室压力的提高,液雾的索太尔平均直径 D_{32} 将明显减小。用线性相关法对 47 组测量数据进行相关分析得到:当雾化空气相对压降 $\Delta P/P_K$ 为 3% 时: $D_{32} \sim P_K^{-0.491}$ 。当雾化空气相对压降 $\Delta P/P_K$ 为 5% 时: $D_{32} \sim P_K^{-0.418}$ 。上述结果表明:当雾化空气相对压降较小时,燃烧室压力高低对液雾特性影响相对要大。这与参考文献[1]中所述十分吻合,该文给出燃烧室压力指数为 -0.4 到 -0.6。

2 2 雾化空气相对压降对液雾特性的影响与燃烧室压力关系

如理论分析所预料的那样,无论采用哪种空气雾化喷嘴和哪种燃油喷嘴,随着雾化空气相对压降的增大,其表征液雾特性的索太尔平均直径 D_{32} 将减小。然而,这种影响趋势将随着燃烧室压力的升高而减弱,如图 2 和图 3 所示。图中 $D_{V0.1}$ 是液雾容积累积量为 10% 时的液滴直

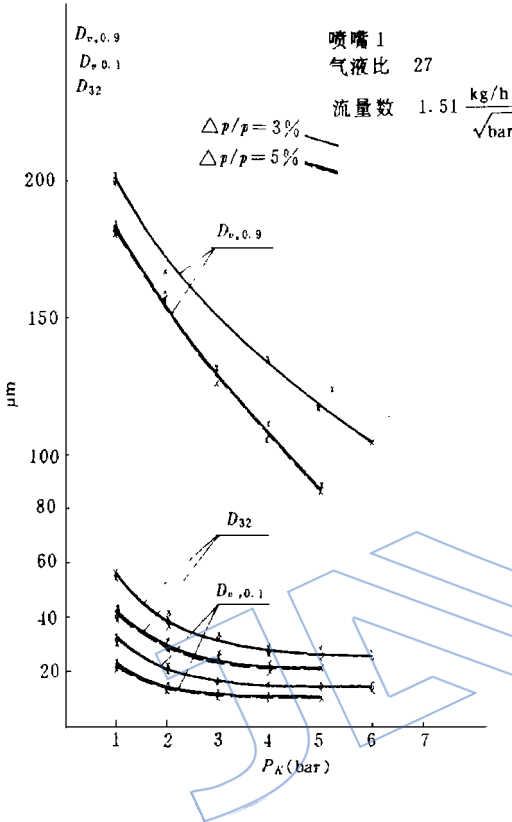


图 2 燃烧室压力对液雾特性影响

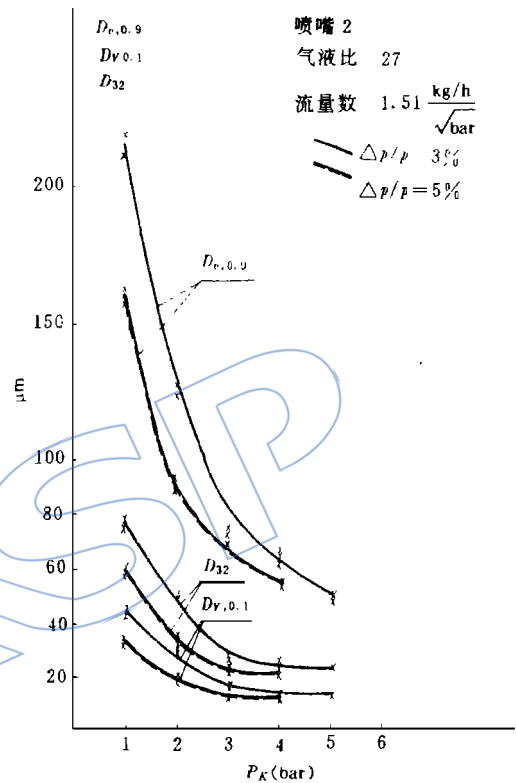


图 3 压力和雾化空气相对压降对液雾特性影响

径,而 $D_{V0.9}$ 则是容积累积量为 90% 时的液滴直径。

3 燃烧室压力对空气雾化喷嘴构造设计的影响

3 1 燃油喷嘴流量数的选择

图 4 是选用流量数 FN 分别为 $1.51(\text{kg/h})/\sqrt{\text{bar}}$ 和 $3.6(\text{kg/h})/\sqrt{\text{bar}}$ 两种燃油喷嘴的实验结果对比,其液雾特性相差十分明显。常压下流量数大的燃油喷嘴其液雾特性稍优,但随着燃烧室压力的升高,流量数小的燃油喷嘴呈现了明显的优势。这是由于实验研究要求必须在满足气液比为 27 和相对雾化空气压降 $\Delta P/P_K$ 为 3% 和 5% 的条件下进行,因此常压下燃油流量较小,其喷嘴压降相应很低,两燃油喷嘴相比,流量数为 $1.51(\text{kg/h})/\sqrt{\text{bar}}$ 的燃油喷嘴此时其喷嘴压降稍大些。但其喷雾锥角只有 70° 左右,而流量数为 $3.6(\text{kg/h})/\sqrt{\text{bar}}$ 的燃油喷嘴,其液雾锥角却为 120° 左右,这导致了它的雾化质量在常压下稍优。然而,随着燃烧室压力的提高,燃油流量将相应增加,其喷嘴压降也将随之迅速增加,例如 2 号空气雾化喷嘴,当燃烧室压

力增加到 5bar 时, 流量数为 $1.51(\text{kg/h})/\sqrt{\text{bar}}$ 的燃油喷嘴压降将达到 35.07bar, 由于所采用的燃油喷嘴是压力雾化喷嘴, 喷嘴压降对其雾化性能的影响极其明显。另外, 随着燃油喷嘴压降的增大, 其喷雾锥角将减少, 它对雾化特性的影响因素将减弱。这都将导致随着燃烧室压力的提高, 选用小流量数燃油喷嘴的空气雾化喷嘴其雾化性能明显优于采用大流量数的燃油喷嘴。综上所述, 燃油喷嘴流量数的选择要与燃烧室工作压力和喷嘴类型等相适应。

3 2 雾化空气部份构造设计的考虑

由于气液比和相对雾化空气压降已经选定, 在此条件下进行雾化空气部份构造设计时需要考虑雾化空气的引入方式及其构造要与燃烧室工作压力高低和所选用的燃油喷嘴相匹配。实验结果如图 5 所示。当气液比和雾化空气相对压降一定时, 对两种不同雾化空气引入方式

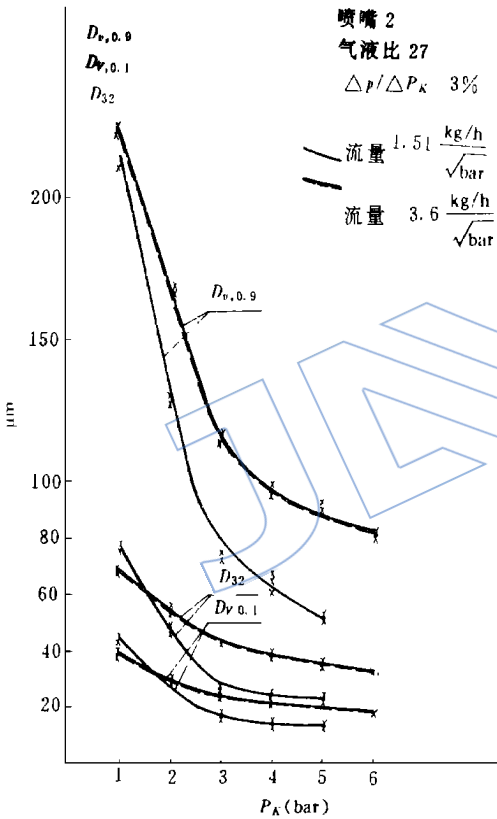


图 4 燃油喷嘴流量数对液雾特性影响

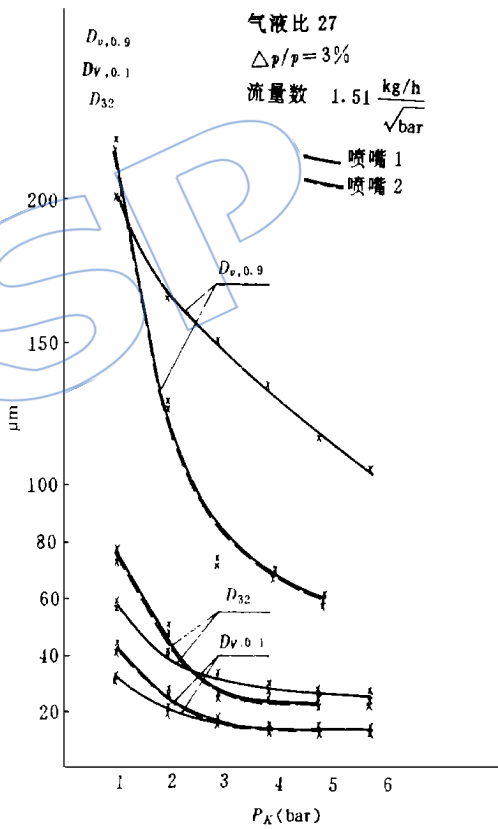


图 5 雾化空气进气方式对液雾特性影响

的喷嘴来说, 随着燃烧室压力的提高, 其液雾的索太尔平均直径均明显减小。但进一步比较还可以发现: 当燃烧室压力低于 3bar 时, 主气路为轴向旋转槽的 1 号喷嘴, 其雾化性能优于主气路为光滑轴向通道的 2 号喷嘴; 但是当燃烧室压力高于 3bar 时, 2 号喷嘴反而优于 1 号喷嘴。尤其值得注意的是 2 号喷嘴其液雾 $D_{v,0.9}$ 要小于 1 号喷嘴, 并且二者差距将随着燃烧室压力的提高而加大。上述实验结果表明: 雾化空气的旋转强度除了要与燃油喷嘴构造和工作状态相适应外, 还应注意与燃烧室工作压力的高低相匹配。雾化空气的过份旋转, 将会使已雾化了的油雾随着雾化空气电向混合室内壁引起液滴的再聚积, 导致 $D_{v,0.9}$ 的增大, 并进而引起液雾特性

的恶化。实验中实际目测和用V_{ideo}摄像机录相均可明显发现:当背压稍高时,在喷嘴出口边缘燃油分布很浓,并有液雾聚积大液滴出现。

为了进一步探讨上述问题,对一次雾化并且雾化空气经过一光滑圆柱体导入的3号喷嘴,进行了补充实验,其实验结果与1号、2号喷嘴对比如表1所示。虽然常压下3号喷嘴不如1

表 1 3 种喷嘴常压、高压实验结果对比

参数	P_K (bar)	空气流量 (kg/h)	$\Delta P/P_K$ (%)	气液比	燃油流量 (kg/h)	燃油压力 (bar)	$D_{V,0.1}$ (μm)	D_{32} (μm)	$D_{V,0.9}$ (μm)
1	1	37.80	3	27	1.40	2.66	31.59	56.05	200.19
	4	151.47	3	27	5.61	17.82	14.64	28.05	134.19
2	1	48.33	3	27	1.79	2.60	42.64	75.39	215.51
	4	193.05	3	27	7.15	26.45	14.59	24.39	69.51
3	1	66.15	3	27	2.45	2.63	45.59	83.70	217.14
	4	252.18	3	27	9.34	42.2	12.17	19.44	50.99

号喷嘴,但燃烧室压力为4bar时的结果不仅不差,而且还略优于雾化空气旋转的1号和2号喷嘴。上述结果再次证实那种一味增加雾化空气旋转强度的做法是值得商榷的,雾化空气部份的设计必须要考虑到燃烧室工作压力的影响。

结束语 一个好的空气雾化喷嘴设计不仅需要考虑雾化空气的引入方式、工作参数以及旋转强度要与燃油喷嘴类型、燃油流量和喷嘴压降相适应,而且应该考虑燃烧室工作压力高低对液雾特性的影响。常压下雾化性能好的喷嘴,高压下不一定好,一般来说人们不应将在常压下做得的实验结果,不加分析地直接用于高压工作状态下。实践证明:基于本文所分析的实验结果而重新设计的空气雾化喷嘴在高压实验中和实际工作中得到了十分满意的结果。

致谢 本研究工作得到德国宇航院发动机所的资助,在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

1 Winterfeld G, Eickhoff H E, Depooter K. Design of Modern Turbine Combustors Fuel Injectors, Chapter 3, 1990
2 Cao M, Eickhoff H E, Joos D, Simon B. Influence of Operating Conditions on the Atomization and Distribution of Fuel by Air Blast Atomizers AGARD 70th Symposium on Combustion and Fuels in Gas Turbine Engines Chania, Greece, 1987

(责任编辑 杨再荣)