

双转子涡喷发动机喷水诱喘方法

黎阳机械公司 张 炬 吴岳庚 运启生

在某型双转子涡喷发动机上,进行了稳态复合式诱喘方法的试验研究,即把涡轮 I、II 级导向器和尾喷口流通面积,按相同于设计状态的百分比缩小,同时向主燃烧室里喷水,诱使喘振发作。缩小数值应恰当,大了会造成不喷水时发动机严重超温,小了会造成水起不到明显堵塞作用,不易逼到喘振点。这个百分比缩小值可以事先估算。

一、供水系统

往发动机主燃烧室里喷水,要解决喷水量 $G_{\text{喷水}}$ 、喷水压力与喷入处燃气压力之差 $\Delta P_{\text{喷水}}$ 、水的雾化程度、喷射方向、供水量及水质处理等问题。

喷水量 $G_{\text{喷水}}$ 是依据压气机部件特性线、从共同工作点到喘振点的空气流量减少量、增压比升高值、以及发动机燃油泵实际供油能力来确定,涡轮导向器和尾喷口流动面积缩小后,根据缩小导向器流通面积后空气折合流量 $G_{\text{Bhs导水}}$ 和喘振点的空气折合流量 $G_{\text{Bhs喘}}$ 计算,喷水量 $G_{\text{喷水}} \approx G_{\text{Bhs导水}} - G_{\text{Bhs喘}}$ 。

往发动机主燃烧室里喷水,涡轮前燃气温度 T_3^* 要下降,为保持 $\bar{n}_{1hs}$ 不变,发动机燃油自动调节器,要指示燃油泵多供油,喷水量越大 T_3^* 下降越多越要多供油。这样,火焰筒头部处于富油燃烧,一方面火焰筒局部过热,另一方面燃烧效率要降低。所以,喷水量不能过大,但也不能太小,否则逼不到喘点。最好根据缩小堵塞面积的估算值,压气机特性线,燃油泵供油能力,三者综合考虑后,再确定最佳方案,得出合适的喷水量。燃油泵供油增量与喷水量之比大约在 $\Delta GT:G_{\text{喷水}} \approx 1:(8 \sim 10)$ 范围内。依照实际情况,我们暂取 $\Delta P_{\text{喷水}}$ 值,进行喷水喷咀设计计算,再核校喷水量,最后取 $\Delta P_{\text{喷水}} \approx 1.7652 \times 10^6 \text{ Pa} (18 \text{ kg/cm}^2)$ 。

喷水量和 $\Delta P_{\text{喷水}}$ 是选择水泵的供水量及扬程的依据。为保证稳定连续喷水,供水量应大于喷水量, $G_{\text{供水}} \approx (1.1 \sim 1.2)G_{\text{喷水}}$ 。供水压力也应考虑管路、闸阀、水滤等压力损失。

喷水喷咀设计、加工质量,乃是稳态复合式诱喘方式成败的关键。水喷入燃气中,应能立即全部变成过热水蒸汽,同时,使原来 T_3^* 温度场不要遭受到很大破坏,喷水喷咀应沿发动机燃烧室周向均匀分布,拟定个数 N 。根据全台发动机的喷水量,以公式: $G_{\text{单}} = G_{\text{喷水}}/N$,求出单个喷水喷咀的喷水量 $G_{\text{单}}$ 。按照喷水量变化范围,再分 I、II、III 组设计喷水喷咀。由于发动机燃烧室结构不同,喷水喷咀结构形式也应因此而异。但无论是哪种结构形式,喷出来水要颗粒小,雾化均匀,喷雾锥角合适;不允许喷到高温部件的壁面上。在喷入燃气前需将水预热,以加快变成过热水蒸汽的速度。水喷入方向为垂直燃气流方向或稍许迎着气流方向倾斜一个角度,使水变成蒸汽有一个暂短停留时间。喷水喷咀插入火焰筒里的深度要适宜,同组喷咀的喷水量要均匀。这样才不至于严重破坏 T_3^* 温度场。

对于供水系统总要求: 1, 要源源不断的保证供水量, 管路、闸阀、水泵等要防止锈蚀, 自动调节; 2, 供水系统与发动机油门杆要联锁。一旦发动机发生喘振或有其他故障时, 发动机停车, 立即把发动机油门杆拉回, 同时切断水泵供水, 与此同时, 迅速地把排水闸阀打开, 将喷水总管和管路里的水放掉, 避免高温部件受到损害; 3, 要进行水质处理, 除去机械杂质, 水的pH值在6.5~7.5范围, 总固体不大于30mg/L, 溶解固体不大于25mg/L, 处理后的水, 电阻率不小于150k Ω ·cm。

供水系统原理见图1。自来水压力不足时由初级水泵组增压。过滤器除掉水中杂质, 酸、碱使水呈显中性。离子交换器, 用阴、阳树脂将水中离子交换出来。溶液过滤机把水过滤后, 变成纯水存储水箱中。球形阀平常切断水防止进入发动机内, 应急时关闭切断供水。气膜水量调节阀操纵进水闸阀以变化喷水量, 其大小用涡轮流量计测得。单向活门用来保证喷入燃烧室里水有一定压力, 又防止燃气流入供水系统。远程压力表19, 指示喷入水的总压, 供水分流阀, 将水均匀地分到四段喷水总管里, 再经过喷水喷嘴, 水喷入燃气中。调压阀7保证水泵供水恒压又防止水泵受到损坏。带有联锁的油门杆5在当 $\bar{n}_{1h}$ 拉回到60%时, 立即切断输水泵组6的电源停止供水, 并打开排水闸阀18, 将喷水总管及前面管路里的水排除掉。

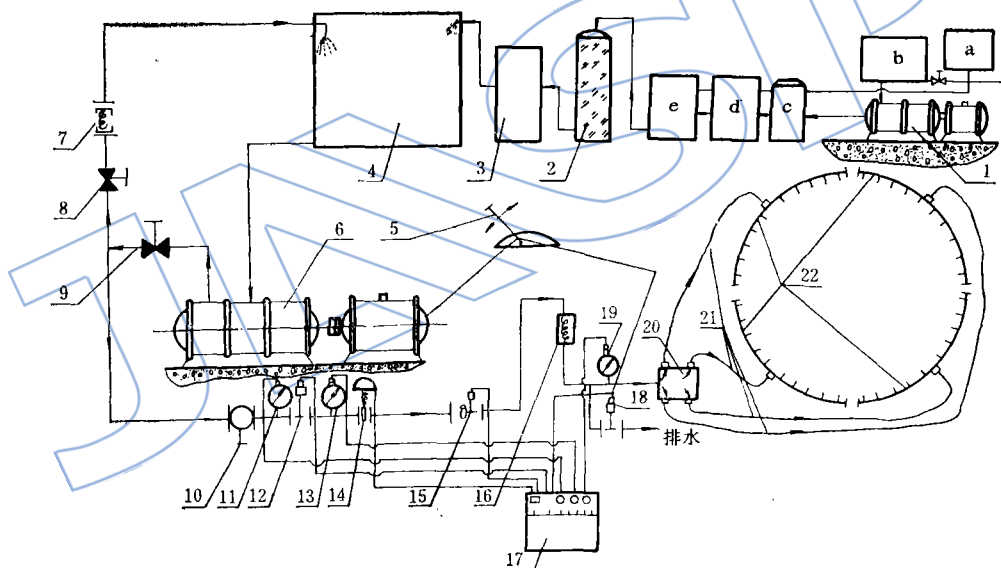


图1 喷水逼喘车台供水系统的原理图

1. 初级水泵组 2. 离子交换器 3. 溶液过滤机 4. 净化后的水箱 5. 带有联锁的油门杆 6. 输水泵组 7. 调压阀 8. 开关 9. 开关 10. 球形阀 11. 远程压力表 12. 进水闸阀 13. 远程压力表 14. 气膜水量调节阀 15. 涡轮流量计 16. 单向活门 17. 活动式操纵台 18. 排水闸阀 19. 远程压力表 20. 供水分流阀 21. 金属软管 22. 喷水总管 a. 废酸碱收集池 b. 蓄水池 c. 过滤器 d. 酸槽 e. 碱槽

测试系统要满足“复合式”诱喘试验的需要。用压力示波图形和频率判断是否喘振, 发生在低压压气机还是高压压气机上。当然, 录取动、稳态数据要齐全, 并准确可靠、重复性好。

二、试验结果和讨论

经过441次开车、喘振19次, 录取 4 万多个数据, 证明复合式喷水诱喘法是成功的。

最初, 在发动机导向器和尾喷口面积为设计值时, 分别采用单一的向主燃烧室里喷水, 喷水量达到最大, 燃油泵供油能力到顶, 压气机仍然不喘, 在Ⅲ、Ⅳ位置尾喷口直径时, 时而出现在旋转失速, 时而又消失了。这种单一诱喘方式未能奏效的原因, 是燃气速度快, 水来不及全部变成过热水蒸汽, 对导向器面积堵塞作用不大所致。

单一缩小涡轮Ⅰ、Ⅱ级导向器和尾喷口面积诱喘, 由于缩小的百分比数值确定的恰当, 不喷水开车, 发动机不超温, T_4^* 提高5.2%, 试验结果与单一喷水诱喘方式相当。

采用稳态复合式诱喘, 喷水量减少一半, 发动机燃油泵供油量也大大减少, 压气机发生喘振, 而且几次喘振重复性又非常好。在无限接近喘振点前一点, 以稳态测试手段, 录取下来数据, 得到满意的结果。见表

表 1 三种诱喘法试验结果 (数值以共同工作点值为100%的相对值, $\bar{n}_{1hs} = \text{常数}$)

尾喷口直 径位置	单一喷水法 (末端)		缩小流通面积法 (不喷水)		复合诱喘法 (喘点)	
	压比增量 $\Delta\pi_k^*(\%)$	空气减少量 $\Delta G_{Bhs}(\%)$	压比增量 $\Delta\pi_k^*(\%)$	空气减少量 $\Delta G_{Bhs}(\%)$	压比增量 $\Delta\pi_k^*(\%)$	空气减少量 $\Delta G_{Bhs}(\%)$
Ⅰ	11.39	0.63	9.10	0.60	12.34	3.48
Ⅱ	14.06	0.82	12.34	0.60	14.91	3.95
Ⅲ	11.46	3.51	11.14	0.67	13.59	7.77
Ⅳ	8.53	5.66	8.76	2.95	9.96	8.56

从试验数据和压力波形图判断, Ⅰ、Ⅱ是高压压气机喘振, Ⅲ、Ⅳ是低压压气机喘振。

由此可见, 复合喷水诱喘法能均匀平稳地沿发动机等折合转速逼到喘振点, 能准确地测取所需数据, 得到发动机稳定工作裕度的实际值及压气机稳定工作边界。

本工作在黎阳公司领导下, 承蒙有关单位干部, 技术人员和工人辛勤劳动, 西北工业大学有关老师们指导, 我们表示感谢!

(责任编辑 冯毓诚)

“机械工程有限元应用与程序”短训班于七月开班

受航空工业部发动机局委托, 中国航空学会动力专业委员会定于1987年7月在北航举办“机械工程有限元应用与程序”短训班。主要内容有弹塑性力学基础、有限元基本理论和程序设计、有限元在损伤容限设计中的应用、边界元法工程应用等。愿参加者请与本编辑部联系。

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FORCED SURGE BY WATER INJECTION IN A TWIN-SPOOL TURBOJET ENGINE

Zhang Ju, Wu Yuegeng, Yun Qisheng

(Li Yang Machinery Company)

Abstract

An experimental investigation of forced surge by water injection in a twin-spool turbojet engine has been performed on the ground thrust bed. It is demonstrated that water injection into the main combustion chamber coupled with the flow area scale-down of both turbine nozzle and jet nozzle is satisfactory for the test. An optimum scale-down percentage of both areas was found from a large number of tests.

During such combined forced surge process, the engine operating condition can approach the surging boundary accurately along the line of the corrected constant rotation speed. Hence, exact stable operating margin as well as stable operating boundary for the compressor can be obtained.

A DATA ACQUISITION AND PROCESSING SYSTEM FOR SMALL WIND TUNNEL TESTING

Jiang Zhi, Tang Zhiming, Ning Huang

(Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics)

Abstract

This paper presents a data acquisition and processing system designed and adapted to small wind tunnels for testing simulation models. For convenience and efficiency a remote control subsystem is especially designed for communication between the computer and the testing site. The relevant data acquisition and processing software package has been composed. Actual operation of this system shows that its performance is satisfactory. This system can process a data collection of 5x50 messages in 10 different conditions in only a few minutes.

EFFECTS OF FLAMEHOLDER GEOMETRY ON PENETRATION AND MAXIMUM CONCENTRATION LINE OF FUEL SPRAY

Gu Shanjian, Yang Maolin, Wu Jipin

(Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics)

Abstract

The penetration and the maximum concentration line of fuel spray are very