

改善某型发动机加速性试验研究

北京航空航天大学 孟庆明*
113厂 欧阳军 商权理

【摘要】 为了改善某型发动机加速性,进行了大量的试验研究,采取了多种技术措施。其中最有效的就是适当加大“C”节流器的流量和改变放油针油槽的结构设计。

主题词: 涡轮螺旋桨发动机 加速试验 节流器

分类号: V235.12

为了保证运七飞机良好的机动性,在驾驶员移动发动机操纵杆时某型发动机应具有迅速改变工作状态的能力。这就要求进一步缩短加速时间^[1]。为此特提出工程目标如下:(1)油门在不大于1秒钟时间内,从保持发动机I级平衡转速的最小状态推到起飞(I)状态时,发动机功率达到95%额定起飞(I)功率的时间不超过7秒(力争不超过5秒)。(2)完成加速功率变换的时间和达到稳定工作所需要的总时间不超过15秒。

1 改善某型发动机加速性的技术途径

为了在使用中获得最短的加速时间,对燃油调节系统提出了复杂的要求,而具体实现加速供油量的调节是通过液压延迟器和转速校正放大器及其执行机构来达到的^[2]。自87年至今主辅机厂家多次合作进行外场、合架的试验。得出明确的结论:若要改善其加速性,必须加快加速过程中的供油速度。其中最主要的途径是加大“C”层板节流器的流量。然而在目前发动机不稳定工作边界不变的条件下,“C”节流器流量过大的话,会增大加速过程中发动机转速摆动的幅度,有时甚至会出现排火现象。

若选在“C” $\approx 0.467 \text{ m}^3/\text{s}$ 加速时间有明显地缩短,但转速下摆量也比较大。在目前的条件下可以选在 $0.333\sim 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 的范围内。

在增大“C”节流量的同时,应控制转校放油腔压力,这个压力不能过大,亦不能过小。因为该压力的大小直接影响到系统的调节品质。

从转校放油系统原理图看出:转校放油腔压力受进口油咀 d_i 、出口油咀 d_o 和挡板活门环形节流面积的影响。一般情况下,喷嘴 d_p 是不变的,只改变进口油咀 d_i 和出口咀 d_o ,使它们的匹配关系达到最佳。

综合以上所述,为了缩短发动机加速时间,选取的最佳参数范围是:(1)“C”节流器流量为 $0.333\sim 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。(2)进油咀和出油咀匹配关系: $d_i = 0.5 \text{ mm}$, $d_o = 0.7 \text{ mm}$ 或 $d_i = 0.6 \text{ mm}$, $d_o = 0.8 \text{ mm}$ 。保持薄膜放油腔放油时压力 $P_f = 0.6 \text{ MPa}$ 左右。

2 如何解决转速下摆的问题

从发动机试车测试的结果看,增加“C”节流器流量会使转速下摆低于 96.5%,甚至低于 93%,这是不允许的。如何解决这个问题呢?首先观察图 1a 实验曲线。转校放大器工作点调在 99.5% 转速时,最大下摆转速为 95.7%,不符合技术要求。再观察图 1b。把转校放大器工作点调到 104% 时,最大超调转速为 106.5%,转速最大下摆量为 101.5%,工作点调高了,转速下摆的相对数值却小了。这就给我们一种启发:可否设计出一种校正工作点是变化的转校放大器,即放油工作点在 98%,停止放油工作点在 102%。这也就是实现转速校正两点控制的问题。如此 设置转放校正点的目的在于给系统一个提前量,提前放油和提前停止放油,防止转速过头。如转速升高时,当转速达到 98% 时就开始放油。这样超调的最大转速就会小于 100% 时开始放油的最大转速。从最大转速下降时,若降到 102% 就提前停止放油,肯定要比降到 100% 时才停止放油的下摆转速要小得多。若工作点设置得合适,则很快会达到稳态值,缩短转速稳定时间,减小转速下摆量。以上的这种设计思想是正确的,问题在于工程实现。

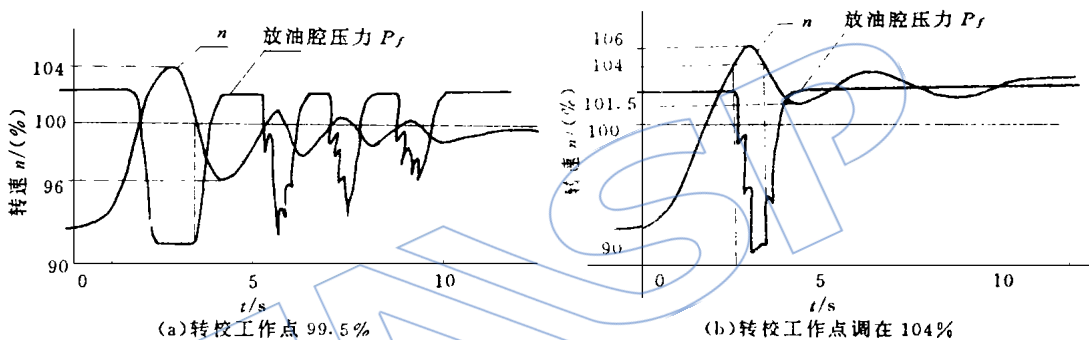


图 1 加速实验曲线

改变放油针的放油槽长度的设计如图 2 所示。把原来放油针放油槽的长度由 6.5 mm 改变为 6.9 mm,其他参数皆不变,这相当于提前放油。

对放油量随放油针的位移进行分析计算^[3]。

根据求取流量 $G = \mu \sqrt{2g\nu\Delta P}S$ 的公式计算 G 。其关键问题是计算随放油针行程而变化的面积 S 。根据图 2 绘制出放油针的剖面图,如图 3 所示。首先计算单边油槽节流面积 S_1 : 因

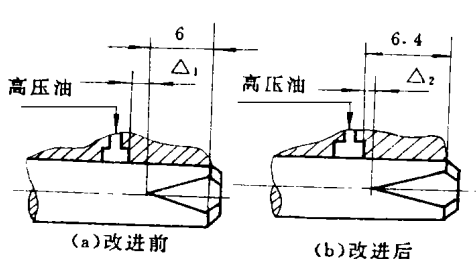


图 2 结构改进前后对比

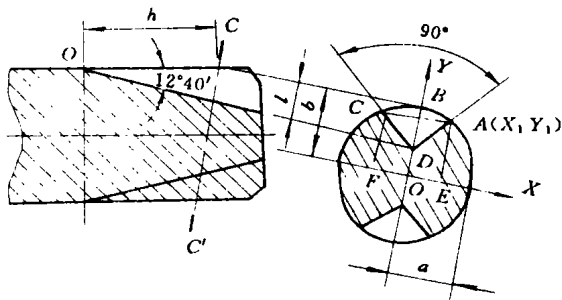


图 3 放油针油槽剖面图

为垂直于油槽底的截面 $C-C$ 为一椭圆。设椭圆的半长轴为 b , 半短轴为 d , $\angle CDA = 90^\circ$; BD

= l , 开度 h 。由图 3 可知, 油槽截面的面积是由三角形面积和弧形面积组成的。且这两部分面积随开度 h 而变化。

(1) 确定 A 点坐标(x_1, y_1)。联立椭圆方程、 DA 直线方程解得:

$$X_1 = \frac{-2a^2(b-l) + \sqrt{[2a^2(b-l)]^2 - 4(a^2+b^2)[a^2(l^2-2bl)]}}{2(a^2+b^2)}$$

式中: $a=2.5\text{ mm}$, $b=a/\cos 12^\circ 40' = 2.562\text{ mm}$, $l=h\sin 12^\circ 40'$

(2) 弓形面积 S_{CAB} 。 $S_{CBA} = (ab/2)(2\theta_1 - \sin 2\theta_1)$, $\theta_1 = \arcsin(x_1/a)$ 。

(3) 放油针油槽节流面积是弓形面积(S_1)和三角形 $\triangle CAD$ 面积之和。即 $S = 2S_1 = ab(2\theta_1 - \sin 2\theta_1) + 2(asin\theta_1)^2$ (4) 流过油槽的流量为: $G = 226.115S(\text{kg/h})$

实际测量结果见表 1, 计算结果见表 2。

表 1 $H_{\max}$ 与 G 的关系(实测)

	最大行程 $H_{\max}$ (mm)	供油量 (kg/h)	放油量 G (kg/h)	放油量所占 百分数
原放油针	0	790	0	0
	2.5	690	100	13%
	3	660	130	16.5%
	3.5	625	165	20%
	4	580	210	27%
改进后放油针	0	795	0	0
	3	650	145	18%
	3.5	600	195	24%
	4	570	225	28%

表 2 G 和开度 h 的关系(计算结果)

$h = H_{\max} - \triangle$ (mm)	放油量 G (kg/h)
2	82.29
2.5	127
2.85	165
3.0	180.7
3.1	194.5
3.5	243.1
4.0	314

当放油针改进前, 油针开度 $h = 2.85\text{ mm}$ 时计算的放油量 $G \approx 165\text{ kg/h}$ 左右和实测的 $H_{\max} = 3.5\text{ mm}$ 的放油量相等。如此看来, 重迭量 $\triangle_1 \approx 3.5 - 2.85 = 0.65\text{ mm}$ 。而改进后的放油针开度 $h = 3.1\text{ mm}$ 时, 计算的放油量 $G = 192.5\text{ kg/h}$ 左右和实测的 $H_{\max} = 3.5\text{ mm}$ 的放油量相等, 则得重迭量 $\triangle_2 = 3.5 - 3.1 = 0.4\text{ mm}$ 。从而得到初步的结论性意见: (1) 改进后的放油针其放油量随油针行程的变化规律完全和改进前的放油规律相同(从计算结果得出)。(2) 改进后可提前放油, 且放油针最大行程相同时, 放油量增大。这样对缩短加速稳定时间有利, 对克服发动机加速时转速下摆过大有一定的效果。改进后的放油针最大行程不能调得过大, 最好不要大于 4 mm ; 否则放油量太多, 反而不利于缩短加速稳定工作时间。

综上所述, 改善某发动机加速性的技术措施是: (1) 适当加大“C”节流器的流量; (2) 选择具有最佳匹配关系的进油咀和出油咀, 从而保持薄膜放油腔放油时的合适的压力范围; (3) 改变放油针的放油槽的长度, 可提前放油, 缩短了加速时间, 减小了转速下摆量, 从而达到了预期的工程目标。

参 考 文 献

1 C. M 斯辽赫钦科主编, 王振华, 陆亚钧等译. 空气喷气发动机原理. 国防工业出版社, 1982

2 航空发动机自动控制系统编写组. 航空发动机自动控制系统(下册). 国防工业出版社, 1982

3 Torrella G.The Numerical Simulation of the Main Fuel Control Unit of Gas Turbine Engines.AIAA- 92- 3760, 1992

(责任编辑 王庆康)