

小偏差 dp_e , 它同 p_i 的关系示于图2。为简便起见, 又不失一般性, 我们只研究入口压力由 p_{io} 到 p_{ib} 这段的 dp_e , 并假定 $\frac{p_e}{p_{ib}} \leq 0.5$, 其中 $p_{ib} = \sqrt{\frac{p_{io}P'h_0}{A_{io}}}$, 经简单运算得 p_{ia} 点的最大出口压力偏差 $dp_{e,max}$:

$$dp_{e,max} = \frac{1}{A_{ef}} \left(\sqrt{p_{io}A_{io}} - \sqrt{P'h_0} \right)^2 \quad (1)$$

式中: $dp_{e,max}$ 为出口压力的最大偏差, N/m^2 ; A_{ef} 为膜片的有效面积, m^2 ; p_{io} 为入口压力的初始值, N/m^2 ; A_{io} 为入口压力作用面积, m^2 ; P' 为弹性元件刚度, N/m ; h_0 为初始开度, m 。

式 (1) 是从静态导出的结果, 计算最大出口压力偏差跟传统的逐点求法相比, 方法简单, 能将最大偏差一次求出, 只要不超过设计要求, 则在 p_{io} 下降到 p_{ib} 范围的 dp_e 均不大于 $dp_{e,max}$ 。但式 (1) 不包括对动态行为的描述, 所以它不能解决阀的稳定性问题。

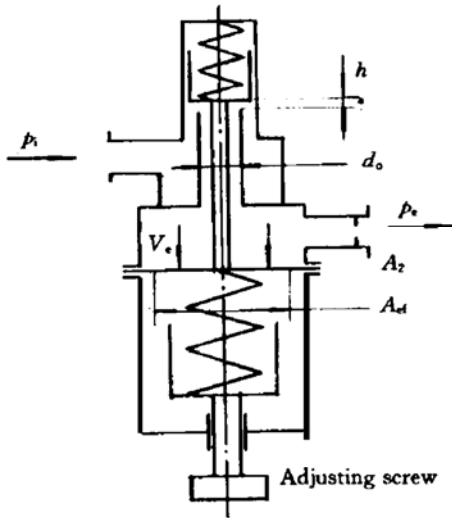


Fig. 1 Sketch map of reducer

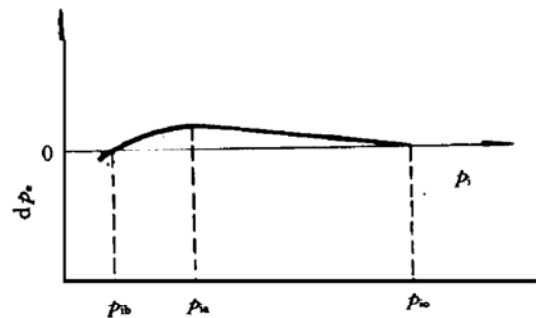


Fig. 2 Static characteristic curves of reducer

阀的动态问题通常是用排量的变化来验证的。突变的排量能激发出阀的动态行为, 排量的变化会使减压阀低压腔的压力跟着变化, 根据质量连续定律得:

$$\tau_e \frac{dp_e}{dt} = K_X X - K_{A_2} dA_2 \quad (2)$$

在初始条件 $t=0$, $dp_e=0$, $X_0=0$ 时, 式 (2) 的拉氏变换式为:

$$\tau_e S dp_e(S) = K_X X(S) - \frac{K_{A_2}}{S} dA_2(S) \quad (3)$$

式中: 时间常数 $\tau_e = \frac{V_e}{A_2 \sqrt{RT_e n \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n+1}{n-1}}}}$, s ; V_e 为减压阀低压腔容积, m^3 ; A_2 为出口限流孔面积, m^2 ; R 为气体常数, $N \cdot m / (kg \cdot K)$; T_e 为介质出口温度, K ; n 为绝热指数; K_X 为放大系数, N/m^3 ; $K_X = \pi d_0 p_{io} / A_2$; d_0 为阀座直径, m ; K_{A_2} 为放大系数, N/m^4 ; $K_{A_2} = p_{eo} / A_2$ 。

式 (3) 表明, 当排量阶跃变化时 (即 dA_2 阶跃变化时), 输出信号 $dp_e(S)$ 同 $dA_2(S)$ 之间成积分关系。从式 (2) 看出, 输出量的变化速度 $\frac{dp_e}{dt}$ 同 dA_2 之比为一常数 K_{A_2} / τ_{pe} , 这说明 τ_{pe} 越大, 也就是减压阀低压腔容积 V_e 越大, $\frac{dp_e}{dt}$ 就越小, 压力 p_e 变化越慢, 这就是低压腔容积越大阀越容易

稳定的道理。阶跃排量引起的变化反馈回路在膜片处与弹簧力进行比较,产生误差信号进行调节。反馈回路是含有惯性力、阻尼力的振荡环节,在上述的初始条件下,其拉氏变换式为:

$$(T^2S^2 + \lambda S + 1)X(S) = -K_e d p_e(S) \quad (4)$$

式中: $T = \sqrt{m_v/P'}$ 为时间常数, s; m_v 为运动件质量, kg; λ 为系数, s; $K_e = A_{ef}/P'$ 为放大系数, m^3/N 。

根据式 (3), (4), 很容易求出闭环特征方程。并由 **Rou-Hurwitz** 判据得:

$$\lambda \tau_e > T^2 K_e K_X \quad (5)$$

将各系数的具体表达式代入式 (5) 得减压阀的稳定判据:

$$S_c = \frac{\lambda V_e P'^2}{\pi m_v A_{ef} d_0 p_{io} \sqrt{RT_e n \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n+1}{n-1}}}} > 1 \quad (6)$$

式 (6) 表明, 只要稳定系数 $S_c > 1$, 阀就稳定。

式 (1) 能帮助我们解决静态问题; 式 (6) 可帮助我们解决动态问题。综合两式能得到既满足静态要求又满足动态要求的膜片有效面积的不等式:

$$\frac{(\sqrt{p_{io} A_{io}} - \sqrt{P' h_0})^2}{d p_{e, \max}} < A_{ef} < \frac{\lambda V_e P'^2}{\pi m_v d_0 p_{io} \sqrt{RT_e n \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n+1}{n-1}}}} \quad (7)$$

这就是减压阀优化设计的基本方程。

表1给出了减压阀膜片有效面积的计算实例, 并与实测值做了对照。可以看出, 只要算出的 $A_{ef2} > A_{ef1}$, 像减压阀 **A** 和 **C**, 一定能找到最佳的、能满足动静特性要求的膜片有效面积值; 若算出结果是 $A_{ef2} > A_{ef1}$, 像减压阀 **B** 和 **D**, 就很难选出一个理想的 A_{ef} 值, 这时, 就得重新选择弹性元件刚度等其它部位的结构参数, 使 $A_{ef2} > A_{ef1}$, 特别是减压阀 **B**, 明显看出其弹簧刚度偏低, 改进后效果好转^[1,2]。

Table 1 Calculated example of effective area A_{ef}

Reducer			A	B	C	D
Medium			Air	Air	Air	Helium air
Inlet pressure	p_{io}	MPa	23	23.1	18.6	23
Area of supporting p_{io}	A_{io}	m^2	1.257×10^{-5}	1.9635×10^{-5}	3.14×10^{-6}	1.257×10^{-5}
Stiffness	P'	N/m	1.8014×10^{-6}	1.57×10^{-5}	6.757×10^{-5}	1.8014×10^{-6}
Lift	h_0	m	7.1×10^{-5}	1.27×10^{-4}	2.3×10^{-5}	6.5×10^{-5}
Max. static deviation	$d p_{e, \max}$	MPa	0.05	0.05	0.05	0.05

Table 1 Calculated example of effective area A_{ef} (Continued)

Reducer			A	B	C	D	
Medium			Air	Air	Air	Helium air	
Coefficient	λ	s	3.5×10^{-4}	3.5×10^{-4}	3.5×10^{-4}	3.5×10^{-4}	
p_e cavity volume	V_e	m^3	1.03×10^{-5}	1.78×10^{-5}	1.7×10^{-5}	1.03×10^{-5}	
Bore diamater of seat	d_0	m	4×10^{-3}	5×10^{-3}	2×10^{-3}	4×10^{-3}	
Mass of the move part	m_v	kg	0.1733	0.355	0.117	0.1733	
Gas constant	R	N•m/(kg•k)	287.1	287.1	287.1	287.1	
Medium temperature	T_e	K	288	288	288	288	
Adiabatic index number	n	—	1.4	1.4	1.4	1.66	
Static effective area	A_{ef1}	m^2	6.5×10^{-4}	5.67×10^{-3}	2.7×10^{-4}	7.64×10^{-4}	
Dynamic effective area	A_{ef2}	m^2	11.86×10^{-4}	6×10^{-6}	10×10^{-4}	4.16×10^{-4}	
Selected area	A_{ef}	m^2	7.069×10^{-4}	6.97×10^{-4}	9.6×10^{-4}	7.069×10^{-4}	
Test results	Static state	$d p_{e, \max}$	MPa	$\leqslant 0.046$	> 0.05	$\leqslant 0.02$	> 0.054
	Dynamic state		Stable	Vibration	Stable	Vibration	

3 结 论

根据减压阀的入口压力的初始值 p_{i0} 、排量 q_{mo} 、允许的出口压力的最大偏差 $dp_{e,max}$ ，先取适当的弹性元件刚度 P' ，可求出满足静态要求的膜片的有效面积值 A_{ef1} ；再根据介质的物理参数、阀座直径 d_0 、运动件质量 m_v 、弹性元件刚度 P' 、减压阀低压腔容积 V_e 求出满足动态要求的膜片有效面积值 A_{ef2} 。比较两个有效面积的计算结果，选一个介于两者中间的面积值 A_{ef} ，就可以使减压阀的综合性能达到满意的结果。

参 考 文 献

1 沈金海．周光国．减压阀动态特性试验分析．见：第三次全国减压阀学术讨论会论文．北京：1984.

2 朴龙奎．反向式减压阀的稳定系数．阀门，1988（2）

发烟机动力装置的试验研究^{*}

潘 宁 民

张 良

(北京航空航天大学动力系, 北京, 100083) (防化研究院第五所, 北京, 100083)

摘 要: 简要介绍了发烟机及其动力装置, 研究并改进了 WQJ-1 型小型航空发动机, 使之成为满足发烟要求的动力装置。确定了该发动机在新状态下的参数及结构, 进行了发烟机的雾油发烟实验, 得到了雾油发烟对发动机的影响及影响程度。实验结果表明: 将 WQJ-1 型小发动机改为发烟机动力装置是可行的。对发烟机的型号研制和扩展小型航空发动机的使用范围有积极促进作用。

主题词: 发烟机⁺, 小推力, 航空发动机, 动力装置

分类号: V239

TEST AND RESEARCH OF THE POWER OF THE SMOKE GENERATOR

Pan Ningmin

(Dept. of Jet Propulsion, Beijing Univ. of Aeronautics & Astronauts, Beijing, 100083)

Zhang Liang

(Fifth Dept., Research Inst. of Chemical Defence, Beijing, 100083)

Abstract: A smoke generator and its powerplant is introduced. WQJ-1 small aero-engine has been researched and developed to suit for the powerplant of the smoke generator. The parameters and construction of the engine in the new status were determined. The oil smoke test was done and the effect of oil smoke on the engine were obtained. The result shows that it is possible to make an improvement from the WQJ-1 small engine to the powerplant of the smoke generator. This paper plays a positive role in the research of the smoke generator models and enlargement the scope of small aero-engine.

Subject terms: Smoke generator⁺, Low thrust, Aircraft engine, Power plant

1 引 言

发烟机在战时用于产生烟雾(幕), 是一种有效的软杀伤武器^[1,2]。目前, 世界上先进的发烟机动力, 基本上都是小涡轮发动机。但作为发烟机的动力, 又有新的要求: (1) 提供一定流量、一定温度的燃气; (2) 体积小, 重量轻; (3) 结构简单, 操作、维护方便; (4) 寿命长, 成本低; (5) 使用安全性好。

根据发烟机对动力的要求和实际情况, 选择了飞机的辅助动力 WQJ-1 型小型航空发动机, 并将其改进成为满足发烟机要求的动力, 在此基础上设计并进行了发烟实验。证明用小航空发动机研

^{*} 收稿日期: 1997-03-18, 修回日期: 1997-08-04