

73.8
SGZ
6:1

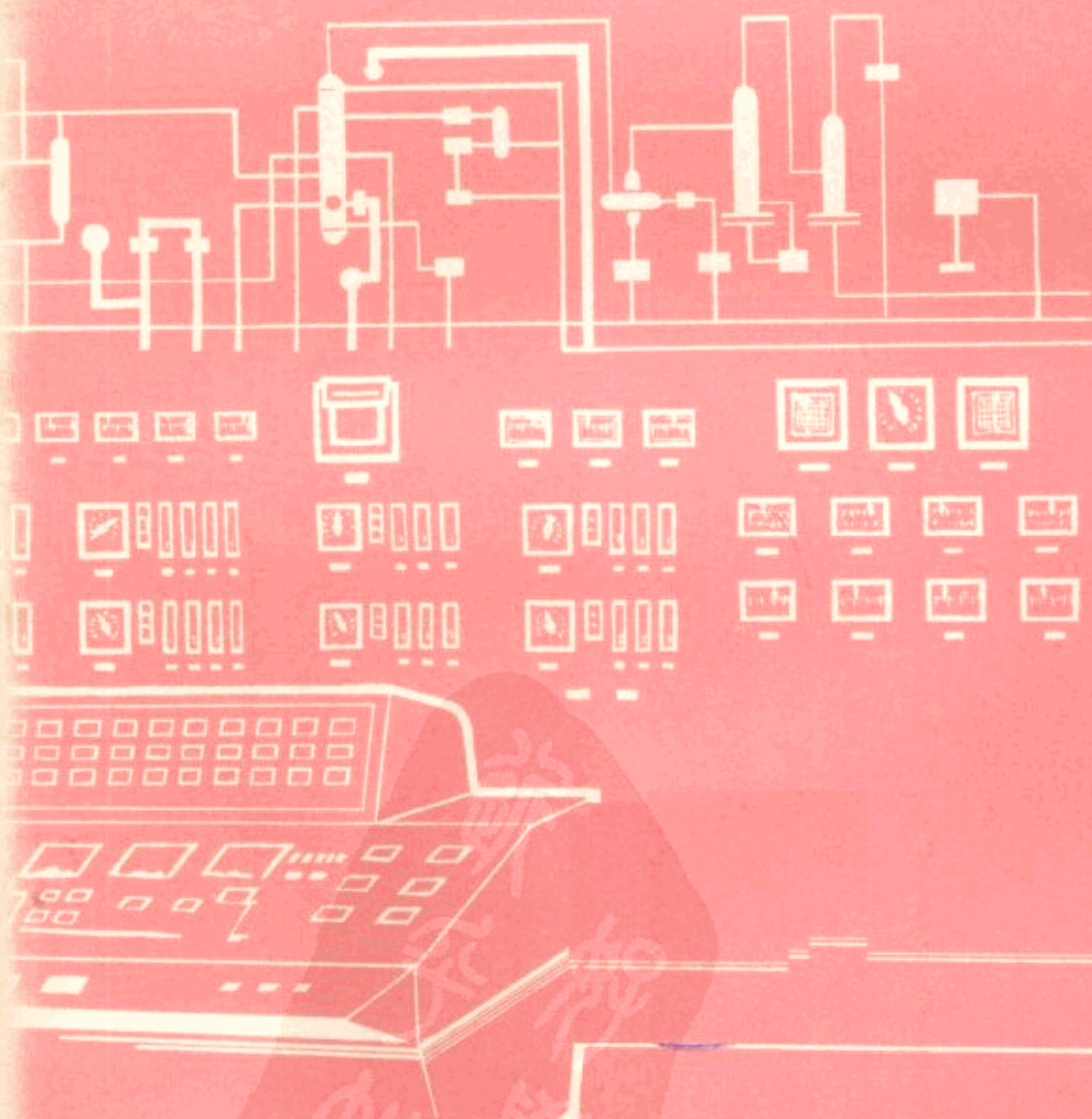
资料

6

73.8
SGZ
6:1

射流元件与应用

第一集



上海工业自动化仪表研究所

一九七二年十月

PDG

毛主席语录

我们必须打破常规，
尽量采用先进技术，在
一个不太长的历史时期
内，把我国建设成为一个
社会主义的现代化的
强国。

目 录

比例元件-----	1
单向气动功率放大器-----	13
单控双位气动功率放大器-----	19
比例升压器-----	23
电——气转换器-----	28
液体自动定量射流控制装置-----	30
冲圆片射流自动控制装置-----	49
射流速度传感器-----	57
化工射流时间程序控制装置-----	60
纸浆浓度射流自动调节装置-----	72

比 例 元 件

一、概况

1. 比例放大元件的结构型式：

- (1) 偏流型比例放大元件；
- (2) 冲流型比例放大元件；
- (3) 涡流型放大元件；
- (4) 双弯流型放大元件。

2. 比例放大元件动作基础：

比例放大元件是在输入信号和输出信号之间按比例关系进行模拟动作的元件。它们的主要动作原理多数是利用主射流和输入信号流之间的动量交换。

由于偏流型比例放大元件是平面型，制造、装配、调试都较方便，因此一般都首先试制这种元件。下面就叙述这种元件。

二、具有旋涡排气孔的偏流型比例放大元件

1. 特点：

- (1) 由于具有旋涡式排气孔使元件对负载不敏感；
- (2) 放大倍数较高；
- (3) 线性较好；
- (4) 带负载后放大倍数降低较多；
- (5) 输入阻抗较小，易零点漂移；
- (6) 设计制造不好时，容易产生振荡、不稳定。

2. 元件分类：

(1) 从几何形状来看：

- i) 具有旋涡排气孔的比例放大元件；
- ii) 具有中心消压的比例放大元件；
- iii) 带有负反馈的饱和型比例放大元件。

(2) 从放大角度来看：

- i) 压力放大元件；
- ii) 流量放大元件；
- iii) 功率放大元件。

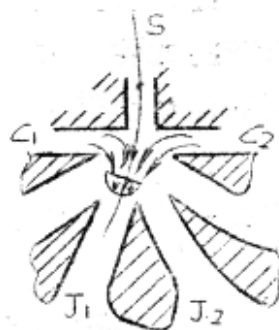
(3) 从对元件级联要求来看：

- i) 要求输入阻抗高，抗干扰强，偏压影响小，作为第一级元件；
- ii) 要求带负载后放大倍数变化小，作为第二级元件；
- iii) 要求输出阻抗小的、功率放大倍数高的元件作为末级输出；
- iv) 要求线性范围长，线性好的。

3. 偏流型比例放大元件的工作原理及特性要求：

(1) 偏流型比例放大元件工作原理：

当左右没有控制信号时，一股主射流射向一个极薄的分流劈，把主射流分成二股，速度分布线左右对称，左右输出道有相同输出。当加入控制信号 P_{C_2} 后，在控制流动量的作用下，主射流发生偏转，输出压差大致上与二控制口之间压力差成线性关系：



$$K_p = \frac{\Delta (P_{J_1} - P_{J_2})}{\Delta (P_{C_2} - P_{C_1})} = \frac{\Delta P_J}{\Delta P_C}$$

K_p —— 压力增益。

此时速度分布中心偏转 θ 角，因此较大部分流量从左接收道 J_1 输出，右接收道 J_2 输出减小，就形成了输出压差 ΔP_J 。

主射流的偏转可进行如下计算：

设 ρ 为流体密度， V_t —— 垂直于射流中心线的速度， V_a —— 相互作用后的主射流速度， A 为截面积， S 为主射流下标， C 为控制射流下标。

射流偏转角 $\tan \theta = \frac{V_t}{V_a}$

而 $V_t = \frac{m_C V_C}{m_C + m_S}$ $V_a = \frac{m_S V_S}{m_C + m_S}$

$\therefore \tan \theta = \frac{V_t}{V_a} = \frac{m_C V_C}{m_S V_S}$



$\therefore mV = \rho AV \cdot V = \rho AV^2$

$\tan \theta = \frac{\rho A_C V_C^2}{\rho A_S V_S^2} = \frac{\rho h W_C V_C^2}{\rho h W_S V_S^2}$

$V = K \sqrt{2gH}$ $V^2 = KP$

$\therefore \tan \theta = \frac{W_C}{W_S} \cdot \frac{P_C}{P_S}$

或 $\tan \theta = \frac{W_C}{W_S} \cdot \frac{(P_{C1} - P_{C2})}{P_S}$

(2) 静特性：

i) 输入特性——指输入流量与输入压力的关系。

ii) 流量特性——指输出排孔时输入压差 ($P_{C1} - P_{C2}$) (或流量差) 与输出流量差 ($Q_{J2} - Q_{J1}$) 关系。

iii) 压力特性——指输出堵死时输入压差 ($P_{C1} - P_{C2}$) 与输出压差 ($P_{J2} - P_{J1}$) 的关系。

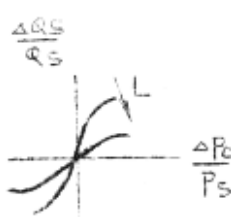
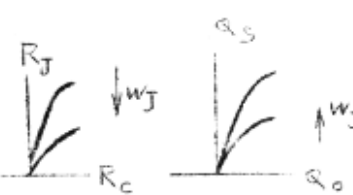
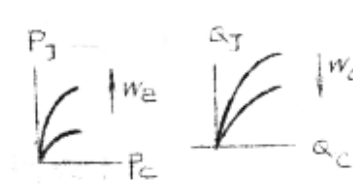
IV) 压力放大系数——指在压力特性近零点的斜率，以 K_P 表示。

V) 流量放大系数——指在流量特性近零点的斜率，以 K_Q 表示。

VI) 功率放大系数——以 K_{PQ} 表示 $K_{PQ} = K_P \cdot K_Q$ 。

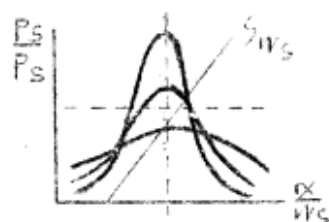
4. 元件各参数间的相互关系：

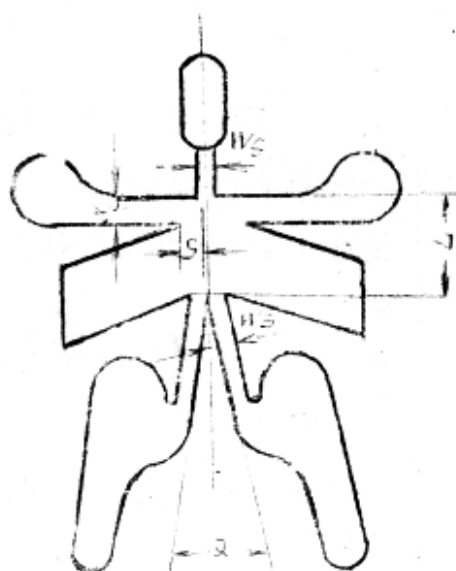
下面就我們所得到的各几何参数及形状对特性的影响作一般介绍

几何参数及形状	影响特性的程度
(1) 劈距 L 	L 愈小, 收获率和放大系数都较大, 但必须 $L > 5 W_S$。 我們取 $L = 6 W_S$ 和 $7 W_S$ 得到 $K_P = 4 \sim 5$ 倍 $K_Q = 5 \sim 7$ 倍 $L = 9 W_S$ 和 $10 W_S$ 得到 $K_P = 3 \sim 4$ 倍 $K_Q = 2$ 倍
(2) 输出道宽 W_J 	W_J 愈大, K_Q 愈大, K_P 愈小, 但对一定负载有一适宜的 W_J 值。
(3) 控制道宽 W_C 	W_C 愈大, K_P 愈大, K_Q 减小。 我們实验了当 $W_C = 0.5$ $W_J = 0.5$ 时 $K_P = 4 \sim 5$ 倍 $K_Q = 5 \sim 7$ 倍 $W_C = 0.3$ $W_J = 0.5$ 时 $K_P = 2 \sim 3$ 倍 $K_Q = 4$ 倍
(4) 位差 S	S 增大, 会使 K_{PQ} 下降, 对控制道抽负压, 但 S 过于小会产生非线性, 所以一般 $S > \frac{W_S}{2}$。
(5) 主喷嘴长 l_S	一般取 $l_S = (2 \sim 3) W_S$
(6) 中心消压孔宽 e	对于中心消压元件来说 e 很重要, e 增加, 使 K_Q 下降, 线性范围加大, 但当 $e > 2 W_S$ 时在零点附近会有不灵敏区的非线性, $\therefore$ 一般希望 $\frac{e}{W_S} = 1 \sim 2$。

(续上表)

几何参数及形状	影响特性的程度
(7) 控制道的偏斜角	一般控制角度在 0° 以下较好, 放大倍数变化较小, 要求上控制道的宽度大于下控制道宽度以使 K 不变。
(8) 主喷嘴形状	尽可能使主喷嘴能源由一稳定区域而光滑的到达喷嘴, 以减少流量损失。
(9) 偏角 α	对应于劈距 L 有一适宜的 α 角, α 过大会使收获降低, α 过小会使线性范围降低, 我们取 $\alpha = 7 \sim 8^\circ$ 。
(10) 相互作用区的消压孔	为了排除附壁现象, 使相互作用区的压力为零, 在可能情况下消压孔应开大些, 使动量交换正常进行, 消压孔的大小还能影响到收获率、元件工作点的稳定以及线性。
(11) 负载孔 R	我们目前的大小是: 主喷嘴 0.5 的 $R = 1.1$ 主喷嘴 0.3 的 $R = 0.75$ 负载孔的大小直接影响到元件的收获率及输出对负载的敏感程度。
(12) 对称性及收获率	要求元件对称尽可能一致, 才能使其他元件级联方便, 性能对称。收获率不宜过高, 也不宜过低, 约 $30\% \pm$ 较好, 收获率太高会使元件的一边很快处于上饱和点, 收获率太低, 会使元件的一边很快处于下饱和点。

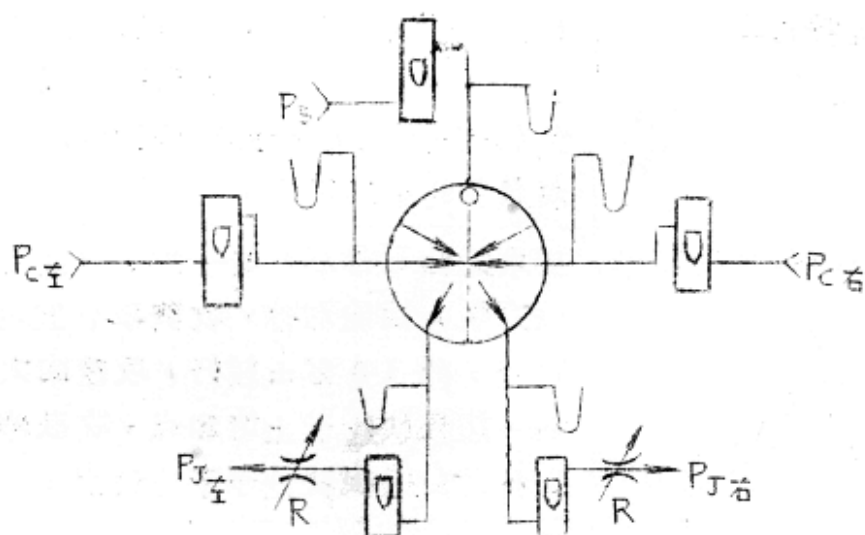




旋渦排孔比例元件示意图

5. 元件的参数及特性：

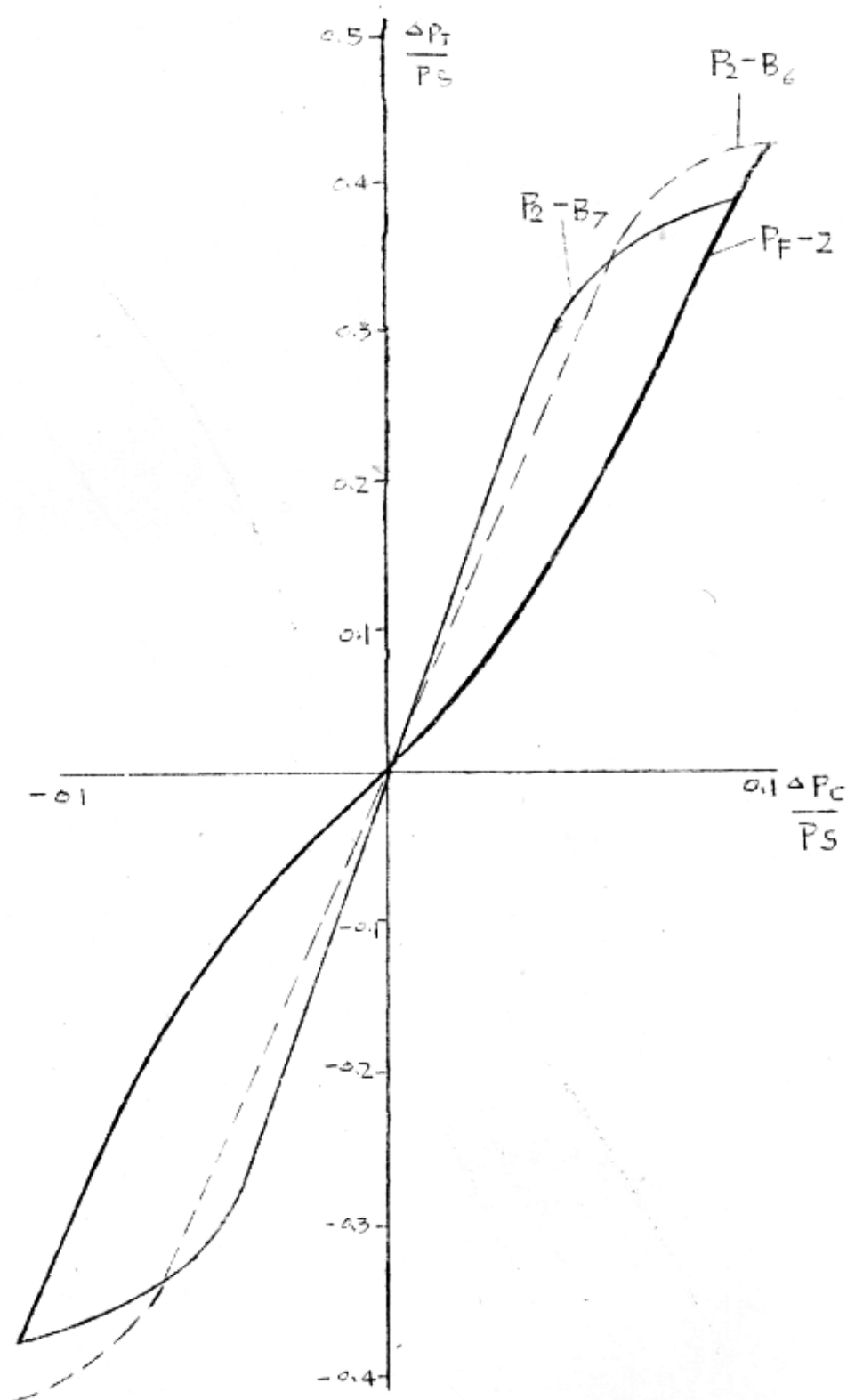
(1) 测试方法：



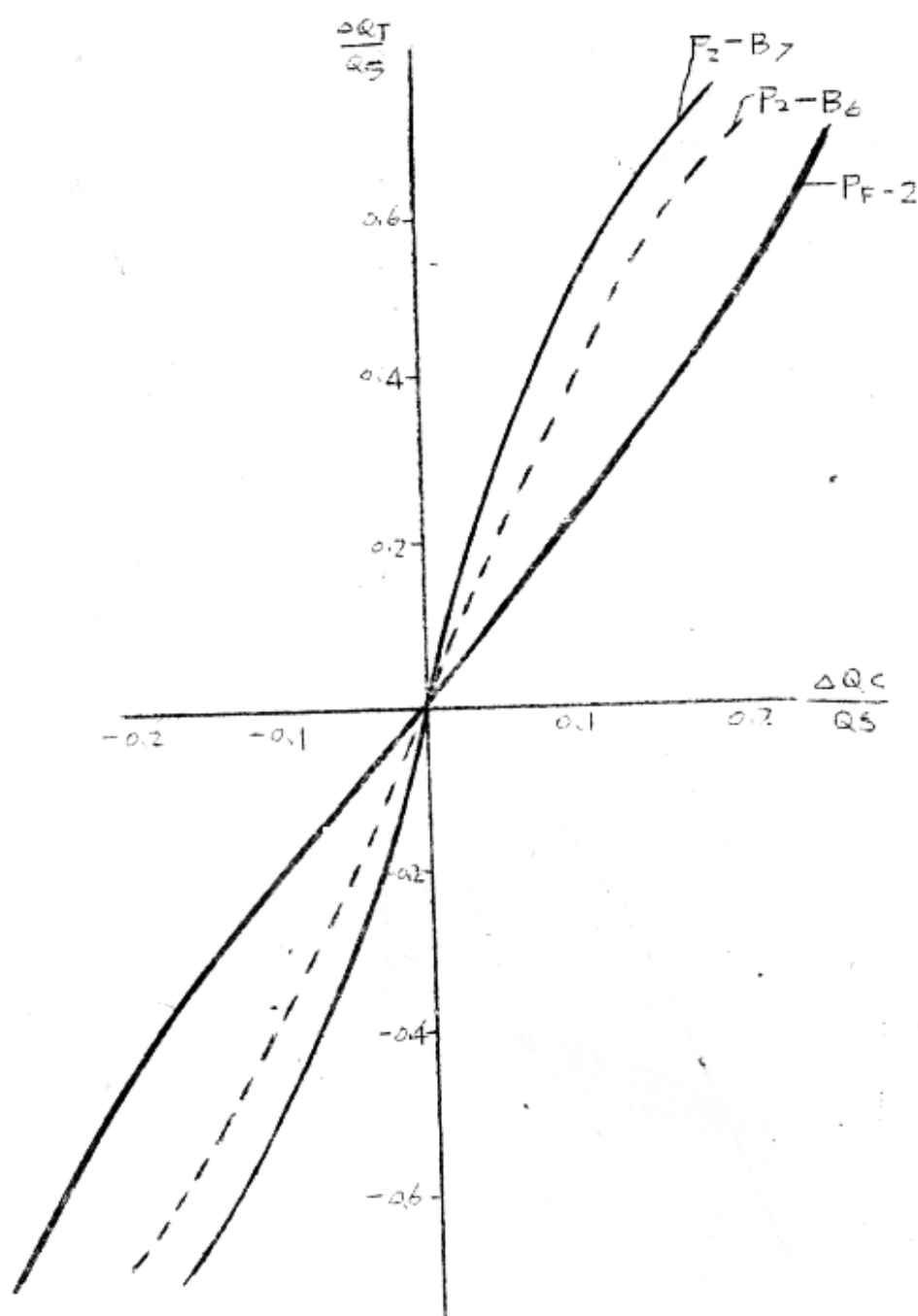
测压力特性时将 $R \rightarrow \infty$ 即关死。

测流量特性时将 $R \rightarrow 0$ 即打开。

测输出特性时即改变 R 测得。



压力放大特性



流量放大特性

(3) 几种元件的参数及特性：

i) P2-B₆ $P_S = 1000 \text{ mmH}_2\text{O}$ $Q_S = 108 \text{ L/H}$

设计尺寸： $W_S = 0.3 \text{ mm}$ 实际尺寸： $W_S = 0.31 \text{ mm}$

$$W_C = 0.5$$

$$W_C = 0.53$$

$$S = 0.3$$

$$S_1 = 0.36$$

$$S_2 = 0.34$$

$$L = 1.8$$

$$L = 1.76$$

$$W_{J_1} = 0.5$$

$$W_{J_1} = 0.485$$

$$W_{J_2} = 0.52$$

$$\alpha = 8^\circ$$

$$\alpha = 7^\circ 50'$$

(a) 压力收获率 $30\% \pm$ (b) 流量收获率 $60\% \pm$

(c) 压力放大 $\bar{K}_P = 5$ (d) 流量放大 $\bar{K}_Q = 4$

(e) 线性范围 10% ，线性较好。

ii) P2-B₇ $P_S = 1000 \text{ mmH}_2\text{O}$ $Q_S = 110 \text{ L/H}$

设计尺寸： $W_S = 0.30 \text{ mm}$ 实际尺寸： $W_S = 0.32 \text{ mm}$

$$W_C = 0.50$$

$$W_C = 0.505$$

$$S = 0.3$$

$$S_1 = 0.34$$

$$S_2 = 0.33$$

$$L = 2.1$$

$$L = 2.09$$

$$W_{J_1} = 0.5$$

$$W_{J_1} = 0.56$$

$$W_{J_2} = 0.55$$

$$\alpha = 8^\circ$$

$$\alpha = 7^\circ 53'$$

(a) 压力收获率 35% (b) 流量收获率 70%

(c) 压力放大 $\bar{K}_P = 6$ (d) 流量放大 $\bar{K}_Q = 5$

(e) 线性范围 10% ，线性较差。

iii) PF-2 $P_S = 1000 \text{ mmH}_2\text{O}$ $Q_S = 90 \text{ L/H}$

设计尺寸： $W_S = 0.3 \text{ mm}$ 实际尺寸： $W_S = 0.24 \text{ mm}$

$$W_C = 0.4$$

$$W_C = 0.37$$

$$W_{C_1} = 0.3$$

$$W_{C_1} = 0.22$$

$$W_{C_2} = 0.24$$

$$S = 0.3 \text{ mm}$$

$$L = 2.1$$

$$W_J = 0.45$$

$$e = 0.4$$

(a) 压力收获率 4 %

(c) 压力放大 $\bar{K}_p = 3$

(e) 线性范围 15~20 % , 线性较好。

$$S_1 = 0.36 \text{ mm}$$

$$S_2 = 0.34$$

$$L = 2.37$$

$$W_{J_1} = 0.46$$

$$W_{J_2} = 0.42$$

$$e = 0.43$$

(b) 流量收获率 10 %

(d) 流量放大 $\bar{K}_Q = 2.5$

三、从纸木浆浓度调节的初步试验看对元件的要求

纸木浆浓度调节目前采用的是用三个偏流型比例放大元件输出到比例功率放大器，由比例功率放大器的输出来推动执行机构。比例功率放大器的放大倍数是 10 倍，执行机构要求的输入信号是 $0.2 \sim 1 \text{ Kg/cm}^2$ ，因此要求三级元件的输出是 $200 \sim 1000 \text{ mmH}_2\text{O}$ ，而从传感器来的信号是 $0 \sim 50 \text{ mmH}_2\text{O}$ （基值除外），所以实际上要求三级元件的放大倍数 $K = 16$ 倍已能满足要求了，但是由于三级元件开环的线性较差，输入阻抗也小，线性范围也窄，因此必须加上负反馈，而加上负反馈后就使整个三级放大的倍数大大降低，负反馈越深，其稳定性、线性等越好，因此希望三级元件在开环状态下的放大倍数能达到 $25 \sim 30$ 倍，甚至再大些就更好了。这样的放大倍数就可以考虑对每一级元件的要求了。

1. 要求第一级元件抗干扰能力强些，使输入阻抗大些。

2. 要求第一级元件控制道之间的交互影响小些，使控制道的给定与测量都加二极管的形式，情况有所好转。

3. 在有些场合要求第一级的线性范围大些，输入阻抗大些就可直接采用饱和型的比例元件。

4. 由于第一级元件要求输入阻抗大些，相应的放大倍数会降低些， $K_p \approx 2 \sim 3$ 倍。

5. 第二级元件要求在带负载情况下，放大倍数变化小些，但我

們目前还较差， $K_p \approx 3 \sim 4$ 倍。

6. 末级输出要求是功率放大，输出阻抗小些。

7. 对元件的耗气量要求尽可能小，目前：

主喷嘴 0.5 $Q_S = 210 \text{ L/H}$

主喷嘴 0.3 $Q_S = 110 \text{ L/H}$

8. 要求检测信号的变化范围能够统一（基值不算），如：0 ~ 50 mmH₂O，0 ~ 100 mmH₂O。

9. 调节器的输出信号希望统一。如：输出带比例功率放大器，则输出差压为 0 ~ 0.1 Kg/cm²，若输出带比例射流阀时输出差压又应是多少？

10. 由检测来的信号，如果基值较高，对第一级元件的工作带来困难，减小基值的影响这是元件的一个工作，当然从检测来讲也应使基值尽量不能过大。在浓度调节上曾使控制道宽度减小以增加输入阻抗，收到一定效果，但还没有彻底解决，需待进一步研究。

四、讨 论

对于比例元件的工作，我們做得很差，还有很多地方的问题弄不清楚，特别是我們的工作做得不深、不透，元件的种类也搞得太少，因此还需很好地向兄弟单位同志们请教，在这里我們谈一些情况及看法，希望大家讨论，帮助比例元件更好用于生产实践中：

1. 旋渦型比例元件，它的收获率高，差动放大时的放大倍数较大，作推挽输出较有利。但是它的输入阻抗较小，如果要增加输入阻抗，相应的放大倍数就要降低，这对推动后一级元件来说就不合算。

2. 对于偏流型比例元件来说，带负载是取决于什么？我們曾经认为主要问题是功率输出，但当我們提高功率放大达到 $K_p Q = 20 \sim 35$ 倍时，带同类负载其放大倍数仍降低很多，如何使偏流型比例元件带负载后放大倍数不变或少变，这是一个很重要的问题，我們认为这里面不仅有功率输出问题，还有阻抗匹配问题，这有待于今后进一步研究。

3. 当傳感器来的检测信号，其基值 > 第一级比例元件能源压力

的60%以上时，将使元件中气体质量大大增加，这样影响动量交换，使放大倍数大大降低。因此对元件来说是否可以(a)对偏压无影响，(b)当偏压过大时，将偏压的基值消除而不影响灵敏度，有待研究。

4. 饱和型比例元件由于它本身带有负反馈，所以压力放大倍数虽然较小，但是它的输入阻抗却很大，具有抗干扰能力，同时线性范围也加大很多。这种元件是否可以作为第一级。

5. 具有中心消压的元件，由于互作用区消压孔比较大，以及中心有消压孔，因而它对偏压的影响就较小，对负载的敏感性也较小，它是否可以和旋涡型、饱和型结合使用。

6. 为了消除给定值与测量值控制道上的交互影响，最好是采用二极管形式可以大大减少它们之间的串气。

7. 对于单个比例元件往往会产生零点漂移，组成推挽放大输出后，稳定性能好多了，这和电子的直流放大零点漂移相类似，这种情况如何避免。

8. 对于冲流型比例元件其放大倍数很大，输入阻抗也很大，这样接连就较方便，但是加工工艺较困难，是否可以探索研究。

9. 作为调节器来讲既要考虑到精度、稳定性、线性范围，又要考虑到元件的功率损耗。这种偏流型比例元件如果要直接得到 $0.2 \sim 1 \text{ Kg/cm}^2$ 的输出，则它的功率损耗就将很大。如：杭州制药厂的一个流量调节用了六个比例元件，耗气量达 $35 \text{ m}^3/\text{时}$ ，这在经济上是不合算的。如果输出是带比例功率放大器，那么就具有膜片式的可动部件，这个比例功率放大器必须小巧、精度高、稳定，否则意义就不大了。从结构上看如果要实现PI调节还有很多工作要跟上，如气阻的线性问题，气容的小型化问题，比例范围调整和微分、积分如何隔开的问题，元件几何图形的安排问题，功率损耗问题等等，这都是有待进一步研究讨论的。

—机部热工仪表研究所

单向气动功率放大器

一、概述：

在射流的逻辑控制系统中，一般都由如下几部分组成：能源部分，检测变送部分，逻辑调控部分（包括中间放大级），执行机构部分等。

气动功率放大器就是上述控制系统中逻辑调控部分的一个装置，它的作用就是接受气压力较低的调控信号，输出流量较大的高压信号，以推动执行机构动作，因此它是一个中间继动器，由于它具有耗气功率小的优点，故在射流逻辑控制系统中广泛的配套使用。

QDF-I 型气动功率放大器是与上海电器元件厂协作完成，在用户使用过程中提出了不少宝贵意见，在工人师傅的帮助下，经过多次改进，已初步定型投产。正如毛主席所教导的“一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。”该放大器仍有许多不足的地方，有待在以后的实践中改进。

二、气动功率放大器的设计原理简述：

QDF-I 型气动功率放大器是根据气动学中的喷嘴—挡板放大器原理以及非金属膜片的压力—力转换原理设计而成，故亦有人把这种气动功率放大器称之为膜片式气动功率放大器。

1. 喷嘴—挡板放大器：

气动喷嘴—挡板放大器原理图如图1所示。它由有恒道截面的节流孔1，喷嘴2，节流孔与喷嘴间的气室（又称背压气室）3和挡板4组成，喷嘴挡板间构成变通道节流孔，喷嘴挡板静特性如图2所示。

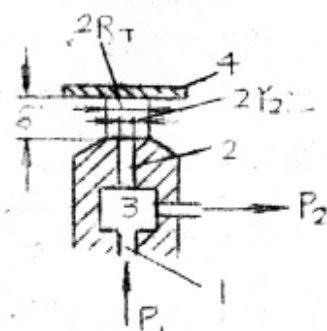


图1 喷嘴挡板放大器

输出压力 P_2 与能源压力 P_1 的关系可用下式来表示：

$$p_2 = \frac{p_1}{1 + \frac{16d_2^2}{d_1^4} \delta^2 \left(\frac{\mu_1}{\mu_2} \right)^2} \quad (1)$$

式中： d_1 为节流孔直径

d_2 为喷嘴直径

μ_1 为流经节流孔的气体流量系数

μ_2 为流经喷嘴的气体流量系数

δ 为喷嘴挡板间的距离

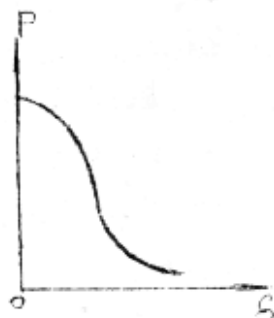


图 2

喷嘴挡板静特性

从上式可知，在 d_2 与 d_1 相比足够大时，喷嘴远离挡板的时候 $p_2 \rightarrow 0$ ，而当 $\delta = 0$ 时， $p_2 = p_1$

喷嘴对于挡板的作用力产生因素有二，一方面是由于从喷嘴流出的气流动量的变化，另一方面由于流经喷嘴挡板间隙的工作气体存在静压力所引起，这一部分力与许多参数，如间隙 δ 、 p_2 、喷嘴半径 r_2 、喷嘴端面半径 R_T 有关。

第一部分力可按下式算出

$$R_1 = \gamma Q_2^2 / \pi r_2^2 g \quad (2)$$

γ 为流体重度。

由于气体 γ 很小，故产生的作用力亦很小。

第二部分，当气体流向大气时，显然，其力就是除 γ 半径方向的压力梯度的函数

$$R_2 = 2 \pi \int_0^{R_T} P_r r dr \quad (3)$$

r 为从中线到 R_T 之间的任意半径

P_r 为距离 r 处喷嘴端面与挡板间隙中的压力。