

565

522.73

809

射流技术及其应用

陕西省科学技术情报研究所

一九七〇年八月

目 录

一、射流技术简介.....	1
二、射流元件及其原理.....	2
三、射流元件制造和测试方法.....	7
四、射流技术应用举例.....	14
(一) 电厂制粉系统射流程序启停装置.....	14
(二) 射流在膜盒密封试验装置上的应用.....	20
(三) 射流在膜盒压力表疲劳试验机上的应用.....	20
(四) 射流程序控制塑料线槽压床.....	21
(五) 射流在波纹管成型机上的应用.....	24
(六) 空气压缩机的射流自动控制.....	27
(七) 射流控制的自动车床.....	29

一、射流技术简介

伟大领袖毛主席教导说：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。停止的论点，悲观的论点，无所作为和骄傲自满的论点，都是错误的。”

射流技术是在六十年代在自动控制方面出现的新技术。

在我们日常工作、生活中，常常可以看到这样的现象。如：喷气式飞机从喷管中喷出的气流，救火车水龙头中喷出的水流，喷雾器中喷出的药水等都是射流现象。凡是流体（气体或液体）喷射成一束的流动就叫射流。

射流技术是利用射流流动的某些物理特性，做成了具有类似电子管、晶体管作用的自动控制元件，完成各种逻辑门的动作。再用这些元件组成各种控制系统，以实现自动控制。这种控制系统组成包括：射流元件、附件，如气电转换器、气动定值器、功率放大器等。

射流元件类型比较多，有附壁式、光流式、动量交换式、对冲式等等。目前附壁式射流元件应用较广泛。

射流元件以流体为工作介质，特别是用空气，所以它不受电磁场干扰，不怕振动、不怕高温、不怕酸蚀、不怕辐射，可以在恶劣条件下工作，工作稳定、可靠、寿命长，比较简单，易于制造，适合搞群众运动。

射流元件可以用光敏玻璃、塑料、树脂、金属、陶瓷等材料制造，其加工工艺简单，易于大量生产，例如环氧树脂浇注、光刻腐蚀、电镀等。因此，射流控制系统的造价要比同样的电子系统便宜十倍以上。

从控制参数来说，射流技术可以控制压力、流量、液面、温度、位移、转速等，从控制方式来说，除了一些简单参数逻辑控制外，还可以组成各种时间程序控制和行程程序控制，用来组成自动加工、检测及调节装置等等。

由上述情况看来，射流技术可以在很多方面应用，据目前所知，在机械加工的自动控制、自动测试设备的控制、化工流程、导弹的导航、热力过程的自动控制、医疗上人工心脏的频率压力控制、食品加工、农田水利排灌、液面自动控制等方面都有应用。

射流技术的应用，还有一定的局限性，如射流元件反应比电子元件慢，不能远距离传送等。另外，射流技术的理论、制造工艺等，还有待于进一步研究。但是，射流技术必将在新的工业革命高潮中发挥很大的作用，是实现工业自动化的一种好方法，尤其在许多特殊环境下，它的优越性要超过电子技术。

二、射流元件及其原理

毛主席教导我们：“我們討論問題，应当从实际出发，不是从定义出发。”什么叫射流？被一些洋人、洋书、资产阶级技术“权威”讲得神乎其神、高不可攀的射流技术，实际上一点也不神秘。在我们日常生活中，常常可以看到水从救火龙头中射出，药水从喷筒中喷出，高速气流从喷气式飞机的喷管中喷出等等，这些形式的流体流动，就叫做射流。它与流体的其它流动形式（如河水的流动，自然界空气的流动等）不同的地方是它具有喷射或一束流动的特点。

如何利用射流构成射流元件呢？目前发展的射流元件大部分是利用射流的相互作用和射流的附壁效应构成动量交换式比例射流元件和附壁式数字射流元件。

（一）动量交换式比例射流元件

此种元件是在输入信号和输出信号之间按比例动作的元件，其特性与电子管、晶体管作放大元件的情况类同。动作原理多数是利用流体之间相互作用发生动量交换来实现。

动量交换原理：如图1甲所示。流体经过喷嘴时，喷射成一束扩散的流体。其射流的动量 M 为：

$$M = \rho A u^2 \Delta t$$

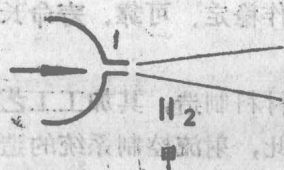


图1

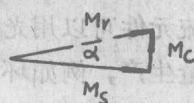


图2

式中： ρ ——射流密度；

A ——喷嘴截面积；

u ——射流的平均速度；

Δt ——时间间隔。

在图1乙中，主射流从喷嘴（1）中射出，控制射流从喷嘴（2）中射出，两股射流垂直碰撞。在碰撞前，其流动方向成直角。由于动量守恒，所以在相互作用后，射流必须改变到由矢量 M_r 表示的方向（图2），即主射流在控制射流作用下发生偏转，其偏转角 α 为：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{M_c}{M_s} = \frac{\rho_c \cdot A_c \cdot u_c^2}{\rho_s \cdot A_s \cdot u_s^2}$$

式中脚码： c ——表示控制射流诸量； s ——表示主射流诸量。

动量交换式比例射流放大器—最简单的一种如图 3 所示，图中输出喷嘴（3）位于主射流喷嘴轴线上方某一距离。一股较大的功率射流从喷嘴（1）射出。在没有控制射流时，输出喷嘴（3）接收的压力接近于零。当控制喷嘴（2）加上一股控制流时，主射流将发生偏转，输出喷嘴（3）的输出压力也随之加大。图 3 丙是这种放大器的特性曲线，输出压力和控制压力之间按一定的比例关系工作。

如果输出喷嘴和主射流喷嘴在同一轴线上，如图 4 甲所示。输出流的压力将受到控制流压力的加大而减小，构成一个放大倍数为负值的放大器（如图 4 乙所示）。

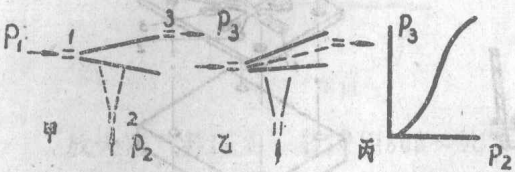


图 3

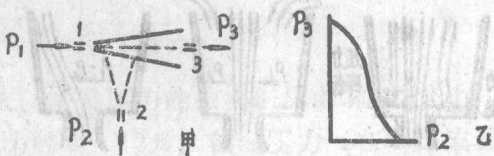


图 4

为了有效地接收和利用功率射流，必须把射流限制在平面内，以便使更多的功率射流进入输出口，图 5 示出上海电器元件厂目前生产的平面比例式放大元件。

随着研究试验工作的深入发展，比例式元件已有许多种型式，诸如对冲式放大元件，涡流式放大元件等。

(二) 附壁式数字射流元件

一束高速的流体（包括气、水或其它流体）从喷管中喷出，其流动状是不规则的扩散运动，如图 6 所示。由于流体无规则的运动，从而撞击射流两侧的静止空气（或其它流体），并带动它们一起向前运动。这样射流就具有抽气的作用（或称卷吸作用），这种特性就为制造附壁式射流元件找到了依据。



图 5

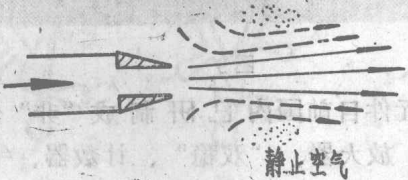


图 6

附壁效应的原理可用图 7 来说明。如前所述，当流体从喷嘴射出时，会卷吸周围的流体。如果在喷嘴的两侧附有挡板，则被卷吸走的流体补充受到限制，造成射流两侧压力降低。此时若两侧的挡板与喷嘴之间的距离不等，如图 7 甲所示， $S_1 > S_2$ ，由于左边空间

大，被卷走的气体容易得到补充，而右边空间小，被卷走的气体补充比较困难，因而两侧压力 P_1 、 P_2 不等， $P_1 > P_2$ 形成压差。在压差 $(P_1 - P_2)$ 的作用下，主射流偏转，附在距离喷嘴近的一侧面壁上（如图7丙的右侧壁），这就是附壁效应。

在图7丁中，如果在右侧壁开一小孔，加入压力 P_3 ，当 $P_3 > P_1 - P_2$ 时，主射流就会被推向左侧壁，并附于左侧壁流动，这就是附壁式射流元件的动作原理。

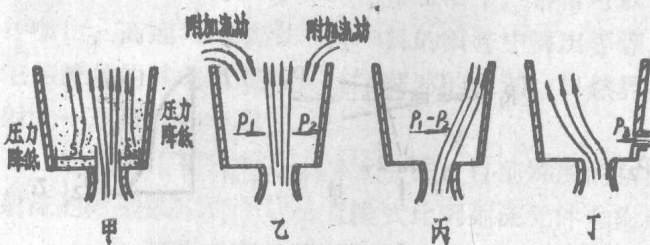


图7

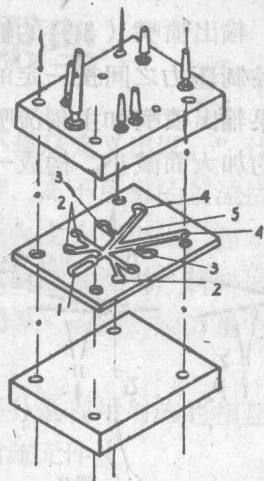


图8

毛主席教导我们：“如果有了正确的理论，只是把它空谈一阵，束之高阁，并不实行，那末，这种理论再好也是没有意义的。”我们理解了附壁效应以后，就应该用它来研制附壁式射流元件。

利用附壁效应可构成多种附壁式射流元件，完成各种逻辑动作。其基本结构型式是在一块平板上挖出沟、槽、孔，连接上、下盖板就行了，如图8所示。图9是西安仪表厂试制的部分附壁式射流元件。

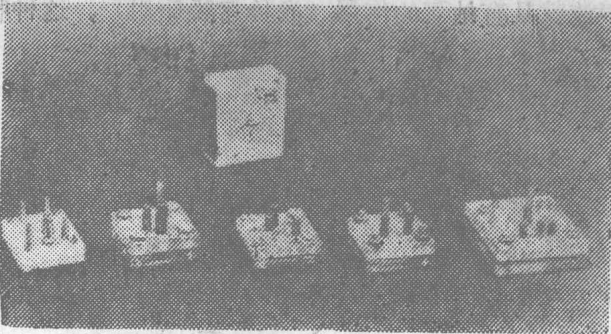


图9

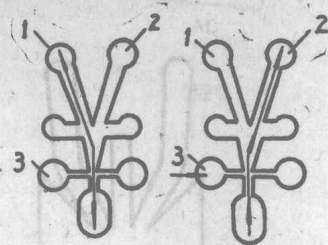


图10

附壁式元件目前国内已研制成“非”门、“或”门、“与”门、“或非”门、“禁止”门、放大器、“双稳”、计数器、半加器等十余种。

下面介绍几种附壁式射流元件：

放大器——图10所示，其几何形状是不对称的，左壁距离喷嘴较近。主射流从喷嘴射出时，将附于左壁而从输出道（1）排出。当，从输入道（3）加入控制射流 P_3 时，主射流将从输出道（2）输出 P_2 。去掉控制射流时，主射流又回到输出道（1）。由于压力 P_2 比 P_3 大得多，故有放大作用。其特性如图11所示。它类同一个作开关用的三极管，主射流

喷嘴好比发射极，输入道（3）好比基极，输出道（2）好比集电极。放大器的作用也相当于一个继电器。我们在—程序控制装置中应用了近二十个放大器，起到了原来电气控制回路中常开结点的作用。



图11

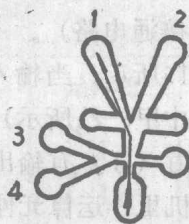


图12

放大器气源压力一般采用800~1000毫米水柱，切换压力能使主射流由通道（1）变换到通道（2）所需的控制压力值一般为气源压力的6~12%，输出压力（在输出流量为零时）约为气源压力的30~45%。就压力放大倍数来说，约为3~7倍，主喷嘴宽度约为0.25~0.5毫米。

“非”门——图10所示的放大器，若利用输入道（3）和输出道（1）的关系，就成了一个“非”门元件，即当输入道（3）加入控制信号时，输出道（1）中的压力就“非”（没有）了。其作用如同电气回路中常闭结点。“非”门元件性能与放大器相同。

“或非”门——此种元件的形状也类同放大器，如图12所示。只是在左边改成两个输入道（3、4）。当输入道（3），“或”输入道（4）有控制流时，输出道（1）中的压力就“非”了，故称“或非”元件。其性能与放大器类同。它的作用类似两个串联的常闭结点（只要两个结点中任何一个断开，电路就断开）。

“或”门——如图13所示，它是一种无源“或”门。当输入道（1），“或”输入道（2）有输入信号时，输出道（3）就有输出。西安仪表厂试制的此种“或”门，当其输入压力信号为300毫米水柱时，输出约为180~200毫米水柱。在装置中应用此“或”门，起到了原来电气回路中两个并联结点的作用。



图13

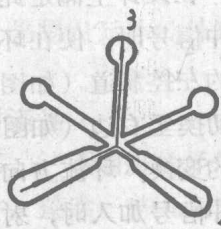


图14

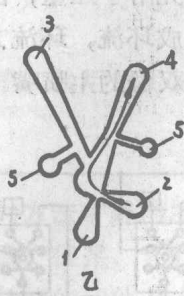
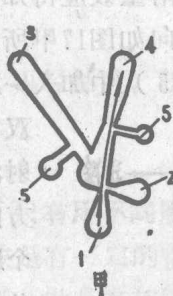


图15



图12的“或非”元件若利用输入道（3、4）和输出道（2）的关系，则也成了—个“或”门。此种“或”门属于有源“或”门。

“与”门——如图14所示，它是一种无源“与”门。当输入道（1）“与”输入道（2）同时有输入信号时，输出道（3）才有输出。西安仪表厂试制的“与”门，当其输入压力信号为300毫米水柱时，输出约为160~180毫米。喷嘴宽度一般在0.3~0.5毫米内。在装置中应用此“与”门，起到了原来电气回路中两个串联的常开结点的作用（两结点必须同时闭合时，才能接通电路）。

半加器——如图15所示，当输入道（1）或输入道（2）中任一有输入时，则输出道（4）有输出（如图中甲、乙所示），而输出道（3）没有输出。当输入道（1、2）同时有输入时，则输出道（3）有输出，而输出道（4）没有输出（如图丙所示）。半加器可以用在数字式计算机里作运算元件。我们曾用它作过简单的运算，性能尚好。

“双稳”元件——如图16所示，其几何形状是对称的。经喷嘴射出的主射流可附于元件的任一壁，均能得到稳定的输出，这就是双稳元件。若先附于左壁，则从输出道（1）输出。当输入道（3）加输入信号时，射流便切换到右壁，从输出道（2）输出。此时，即使消除输入道（3）中的控制流，射流仍稳定于右壁。如果使射流再切换回去，则必须在控制道（4）中加入一控制流。所以，双稳具有放大和记忆作用。所谓记忆就是说把脉冲信号（一种短暂的信号）记忆下来。



图16

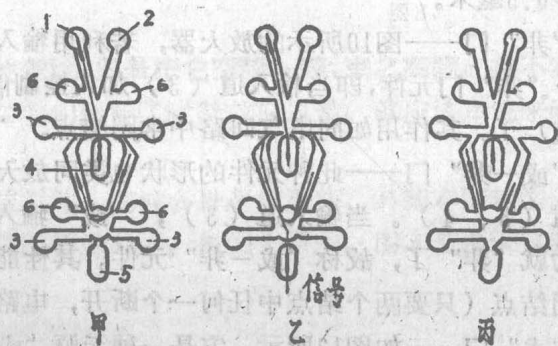


图17

“计数器”——如图17所示，它由上下两只“双稳”元件连接而成。下面一只“双稳”的两输出道与上面一只的两控制道相连，构成了一个环道。当主射流在上面一只双稳的气源道中射出时，若先附于左壁，由附壁效应得知，左控制道内的压力低于右控制道内的压力。在环道中将形成环流，环流方向如图17甲所示。在设计上满足此环流还不足以切换主射流。但当在下面双稳的主喷嘴（5）中加入一脉冲信号时，便在环流的带动下进入上面双稳的左控制道（如图17乙所示），而使主射流切换至右边（如图17丙）。由于主射流方向的变换，环流方向也随之改变。当第二个脉冲信号加入时，射流又切换至左边。如此循环。

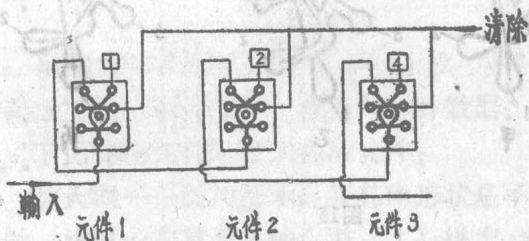


图18

计数器很容易组成计数回路。三位二进制计数回路的例子如图18所示。如果将每个计数器上面一只双稳的主射流附于左壁和右

壁以分别表示不同的计数状态（0，1）则可用表一来表示计数回路的工作。如果把右壁作为输出，它就是一个加法计数回路；如果把左壁作为输出，它就是一个减法计数回路。

表一

脉冲输入数	右 壁 输 出			左 壁 输 出		
	元件 3	元件 2	元件 1	元件 3	元件 2	元件 1
0	0	0	0	1	1	1
1	0	0	1	1	1	0
2	0	1	0	1	0	1
3	0	1	1	1	0	0
4	1	0	0	0	1	1
5	1	0	1	0	1	0
6	1	1	0	0	0	1
7	1	1	1	0	0	0
8	0	0	0	1	1	1

三、射流元件制造和测试方法

毛主席教导我们：“社会主义革命和社会主义建设，必须坚持群众路线，放手发动群众，大搞群众运动。”射流技术也同样要大搞群众运动。经过无产阶级文化大革命，广大无产阶级革命派高举毛泽东思想伟大红旗，在射流元件制造方面摸索出很多宝贵经验。运用各种加工方法，已经制造出有1米长，小的仅20毫米宽的各种不同类型的射流元件。选用的材料也较多，有铜板、铝板、铸铁、有机玻璃、聚氯乙烯、环氧树脂、不锈钢、光敏玻璃、光敏塑料等等。

现将几种加工方法简介如下：

（一）手工加工

在一块铜板上，先画出元件的外形，再经钻孔、铣槽、最后用手加工修整，就制造出了一个射流元件。

（二）环氧树脂浇注

毛主席教导我们：“不同质的矛盾，只有用不同质的方法才能解决。”手工加工射流元件，对探索新元件，摸索一些几何参数是有一定的帮助。但是，当获得一个比较满意的元件之后，要想用手工加工的方法来复制一批具有相同性能的元件是有一定困难的，因此必须寻找其他方法来解决。如果采用环氧树脂浇铸的方法，在给定射流元件的原型的基础上，可以浇铸出同样的元件复制品，工艺操作也很简单。下面就把这种工艺方法介绍一下：

环氧树脂浇注射流元件，是将合格的射流元件（即母片）复制成环氧树脂的元件。其

工艺操作简单，易于掌握，复制性好，因而成品率高。对于用量不大、品种繁多以及无特殊环境条件要求的使用场合，采用此种工艺还是比较好的。其工艺流程如下：

有机硅橡胶制模——环氧树脂浇注——检查——机械加工——装配试验。

有机硅橡胶制模：有机硅橡胶在催化剂（二丁基二月桂酸锡）的存在下与正硅酸酯作用，进行交链反应。在室温下能熟化成乳白色的弹性体。熟化时不需要加热和加压。当室温在 5°C 以下，不易起作用，在 25°C 以上反应较快，反应时间缩短，但易产生小气泡，所以固化温度不宜过高。催化剂亦不能加得过多，否则熟化后硅橡胶要粘手。

1、制模的原材料、设备及用具：

(1) 有机硅橡胶106*，107*；(2) 固化剂：正硅酸酯；(3) 催化剂：二丁基二月桂酸锡（有机锡）；(4) 烘箱（ 150°C ）；(5) 真空泵及真空干燥器；（若没有这两样设备，则浇注需更加细心，否则易夹杂气泡）(6) 天平；(7) 蒸发器；(8) 单面刀片，玻璃棒（直径4毫米，长约300毫米），金属针，细毛刷，玻璃片（厚度约5毫米，80毫米见方或 $\phi 100$ 均可）；(9) 辅助材料：橡皮泥，汽油，凡士林。

2、制硅橡胶模的方法：

(1) 清洗母片：这一步虽然只是整个制模过程中的一个细节，但是很重要，否则将直接影响成品质量。方法是把母片放在120*汽油中浸泡约30分钟，再用细毛刷把元件的表面以及沟槽的各个角落仔细刷洗，凉干后即可。

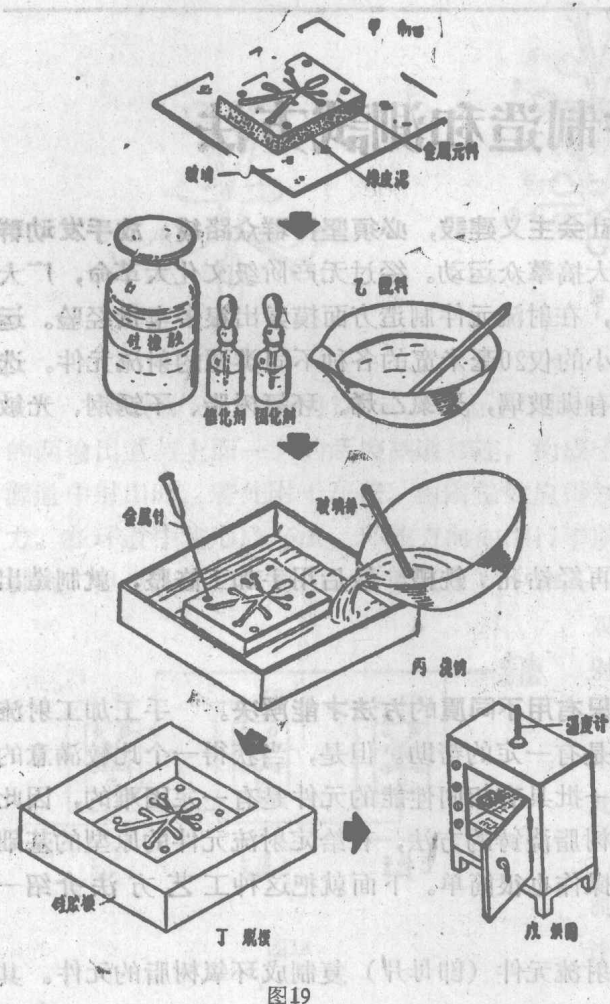


图19

(2) 制模：把橡皮泥反复的揉，使之柔和，表面无裂纹。再把它放在玻璃片上。另用一块一面涂有一层极薄的凡士林（目的是防止玻璃片与橡皮泥粘得很牢不易取下）的玻璃片压在橡皮泥上，并在周围边上垫上厚度相同（约5毫米）的垫块。压平后取下玻璃片，则在另一玻璃片就有一厚度与垫块相同的橡皮泥了。把母片放在橡皮泥上，用玻璃片轻轻地压，作到既能密合无缝隙，又不致于把母片压入橡皮泥，造成成品的厚度与母片不一。然后再用刀片沿母片的四周切齐，成一方正的凸台（如图19甲）。选择大小适当的模框，把凸台框在中间就成了。模框大小的选择，既要考虑硅橡胶模子的强度，又要节省原材料。如元件成品为 $32 \times 32 \times 5$ ，其模框为 $50 \times 50 \times 20$ 即可。

(3) 配料：根据模子大小配适量的料（模框容积与硅橡胶的比重1.06的

乘积)。其比例是：有机硅橡胶106*，107*，按1:1配合后，加1.5%的催化剂搅匀，再加3%的固化剂搅拌均匀，稍静置后即可浇注。

(4) 浇注：先用细针挑入少许滴在母片上，把沟槽填满，放在真空器中减压除气泡，再取出把整个模框浇满即成。如果不用真空器减压，浇注时要慢，让其自动流入沟槽，使气泡能够充分排除。浇满后平放，在常温常压下静置3~4小时，固化成表面不粘手后即可脱模，放在烘箱内80℃下，继续固化4小时，就得到可用的有机硅橡胶模了(如图19)。

环氧树脂浇注射流元件：

1、原材料，设备及用具：

(1) 环氧树脂6101或634；(2) 催化剂：四甲基胺基二苯甲烷；(3) 固化剂：顺丁烯二酸酐(苹果酸)，间苯二胺；(4) 增塑剂：磷苯二甲酸二丁酯；(5) 硅橡胶模；(6) 电加热炉、烘箱、通风橱；(7) 天平、烧杯、玻璃棒、蒸发皿、金属针、小坩埚、温度计(0~120℃)；(8) 酒精、丙酮。

2、配方：环氧树脂浇注用的配方有多种，可根据原料条件和使用要求选择。这里介绍两种(如下表所示)。第一种常用，其流动性好，不易起泡，成品为黄色透明体。第二种固化快，流动性稍差，易夹杂气泡，成品为棕黑色。

配方编号	1	2
名称及配方		
环氧树脂 6101 或 634	100	100
催 化 剂	四甲基胺基二苯甲烷0.5~1%	
固 化 剂	顺丁烯二酸酐40%	间苯二胺14~15%
增 塑 剂		磷苯二甲酸二丁酯15~20%

3、浇注：以上两种配方的浇注方法基本上相同，其过程(图20)如下：

(1) 首先把硅橡胶模放入烘箱中80℃预热，如果硅橡胶模不是第一次用于浇注，则需用酒精清洗，然后再在80℃烘箱内预热不少于半小时，预热时间过短，成品易夹杂气泡。

(2) 按成品元件的重量称量环氧树脂，盛入蒸发皿中，在电炉上加热。按配方比例称量固化剂、催化剂和增塑剂。若用第一种配方，固化剂和催化剂还需分别加热熔化(在坩埚内)，固化剂(顺丁烯二酸酐)的熔点是51~53℃，催化剂(四甲基胺基二苯甲烷)熔点为88.5~91℃。当环氧树脂温度为75±5℃范围内，即可把熔化了固化剂和催化剂加入环氧树脂内搅拌均匀，静置少许就可用了。请操作者注意：温度是一个很重要的条件，若温度不当，不仅影响浇注成品的质量，严重者将决定浇注的成败。对此不能疏忽。催化剂在熔化时全部熔化就行了。熔化后，若继续加热，则易氧化变色。熔化了催

化剂和固化剂加入环氧树脂时温度过高 ($>80^{\circ}\text{C}$)，则固化快，流动性差，严重的可不等浇注就固化在蒸发皿内了；若温度过低 ($<65^{\circ}\text{C}$)，流动性也差，易夹杂气泡。

采用第二种配方时，工艺过程与上述基本相同，固化剂熔化约 60°C 。增塑剂不用加热，当环氧树脂在 $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时加入固化剂和增塑剂，混合搅均匀，即可浇注。如上述配好料后，从烘箱中取出硅橡胶模进行浇注。

(3) 浇注最好在通风橱中进行，因为这两种配方都有刺激性，对眼睛很不利。浇注时用细针滴入少许，让其自动流入模子的细微尖角处，如果流动性不好，还需用针引导流入尖角并挑去气泡，然后从一点浇入至满为止。平放入烘箱内，在 80°C 固化约 2 小时，表面不粘手时取出冷却至室温即可脱模，把元件放回烘箱内，在 80°C 继续固化 4 小时，为防止变形把元件放在平板上压上约 1 公斤的重物。固化完成后的元件经检查无气泡（特别是关键部位）就可进行机械加工，再装上盖板进行性能测试，合格的就可供使用了。

环氧树脂浇注射流元件，工艺操作虽然简单，但都是手工操作，一点一滴的浇注，所以生产效率低，再者气泡夹杂问题还未彻底解决，难以保证质量。因此，目前采用环氧树脂浇注射流元件作为大量生产工艺还未见到，用于试验比较能发挥其优点。总之，环氧树脂

浇注射流元件，还有不少的问题需要进一步试验研究来满足各方面对射流元件日益增多的要求。

(三) 光刻—腐蚀法：

毛主席教导我们：“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。”环氧树脂浇铸比手工操作来虽然进了一步，但对大量生产元件，仍有一定的限制。光刻—腐蚀的方法是一门新技术，能够满足大量生产射流元件。

光刻—腐蚀法，是采用光敏玻璃作为材料，以光刻—腐蚀的方法来制造元件。

光敏玻璃，又称光敏微晶玻璃，是一种具有特殊性能的材料。它和胶卷一样，可以进行感光 and 显影，然后在显影部分直接溶解于酸。采用光刻—腐蚀的方法，可以使元件的喷嘴制造得很小，即使把喷嘴制造成 0.15×0.6 毫米也不难做到的（典型的喷嘴尺寸 0.5 毫米、0.25 毫米），而元件



图20

体积大约只有 $30 \times 24 \times 1.5$ 立方毫米、 $25 \times 20 \times 1$ 立方毫米大小。

1、制造过程

将规定的元件尺寸，按比例放大制成元件图（图21甲），用摄影方法，按比例拍摄成一张带负象的软片（图21乙），然后把软片和光敏玻璃迭在一起，再覆盖一块能透过紫外线的玻璃片，放在功率强大的紫外光线下进行感光。光线通过软片上透明部位，直接照射到光敏玻璃上，引起玻璃内部发生变化，黑色不透光部份，就不能透过紫外光线。感光结束以后，进行热处理，促使玻璃上感光部份在一定温度之下汇集结晶，形成一种带乳黄色的图象（图21丙）。放入一定浓度的氢氟酸容器里进行腐蚀，最后在玻璃片上留下几何图形的通道就是我们所需要的元件（图21丁）。

当元件制成后，配上玻璃面板和底板，用加热加压的方法把元件粘结起来，成为一个性能良好的射流元件（图21戊）。如果要进一步提高射流元件的耐压强度和物理性能，可以再经过一次适当的曝光和热处理，就能转变成良好的陶瓷材料。

2、优点和存在问题

（1）这种方法适宜于大量生产，加工精度高，为射流元件标准化、系列化提供了条件。又适合有计划地迅速改变元件参数，进行元件性能试验。

（2）它可以把较多的射流元件排列在一块玻璃平面上，用通道把它们连贯起来，制成复杂线路元件组件板（光刻气路板）。如果把这些组件板再按一定的要求迭合起来，

便形成一块更为复杂的立体式射流组件板，使射流装置的形体大大缩小，这是其他加工方法所无法达到的。

（3）工艺过程较长，手续复杂，从设计制图开始到完成一只元件，每一道工序都需要较长的时间，操作条件一般来说要求也是比较高的，并需要一定的设备。

（4）元件制造过程中，各项工序都存在一定误差，特别是酸腐蚀影响最大。所以在设计制图时，应事先进行修正补偿。

（5）光敏玻璃比较昂贵，单个元件又比较脆弱。目前从事射流技术的有些单位，正在研制价格低廉制造方便的光敏塑料，为射流元件制造提供一条宽广的道路。

（四）电火花线切割及其他

毛主席教导我们：“我们能够学会我们原来不懂的东西。”电火花线切割是一门新的技术，只要我们善于学习，就能掌握它，使它为制造射流元件服务。

电火花线切割加工，是在液体介质中利用脉冲放电的现象，使金属工件产生电腐蚀而

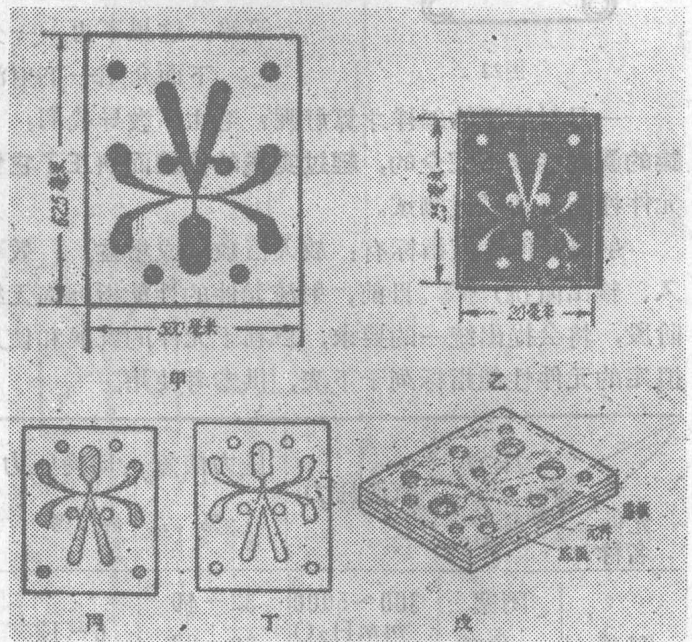


图21

形成所要求的形状，可以用来制造射流元件。

加工时（图22），将待加工的金属板迭在一起（约20块）夹紧。把金属丝穿过已钻孔的圆孔中，利用程序控制、光电跟踪或靠模方法，使工件沿着预先设计的形状进行加工，在液体介质中产生脉冲放电，精确地加工出元件的形状，基本上能满足工艺上的要求。

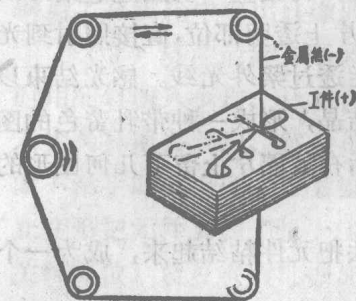


图22

用线切割机床加工元件，它的壁面比较垂直，同批元件尺寸一样，所以元件物理性能也是基本相同的。但由于制造成本高，加工速度慢，因此不适宜大批生产。

除了上述几种加工方法外，还有其他制造方法。例如塑料压铸法，也是目前制造射流元件的方法之一，可以大量生产成本低廉的塑料元件。它的缺点是制造模具成本较高，存在收缩和变形缺陷。此外还有陶瓷压制法、冲压法等等，这里不再一一介绍了。

下面介绍一下射流元件的基本性能指标和测试方法

一只射流元件怎样才算好呢？毛主席教导我们：“人类认识的历史告诉我们，许多理论的真理是不完全的，经过实践的检验而纠正了它们的不完全性。”制成的每一个射流元件性能必须经过测试。

射流元件性能指标有：放大倍数（或增益）、效率、线性、响应时间、连接性（即输入、输出阻抗）等等。目前，射流元件的性能指标尚无统一的规定，待研究工作发展到一定阶段，将会提出统一的要求，以利于元件的发展和使用。现将上海市射流技术学习班初步拟定的元件性能指标列于下表，供参考使用。

元件名称	压力 负载情况	气源压力	压力恢复	切换压力	漏气压力	返回压力	触发压力
			%	%	%	%	%
双稳	闭塞	300~5000 mmH ₂ O	32-40	6-12	<2 1 1		
	一负载		20-28				
	二负载		16-22				
或非	闭塞	同 上	32-40	6-12	2 1 1	>3.5	
	一负载		20-28				
	二负载		16-22				
计算器	闭塞	同 上	32-40		2 1 1		<15
	一负载		20-28				
	二负载		16-20				
无源元件	一负载		>60				

射流元件的测试方法有：静态测试法；动态测试法。下面我们只介绍一下元件静态测试方法：

静态测试的主要参数是压力和流量。测量压力和流量，所用的仪表有：压力表（U形管、单管压力计、压力表）和转子流量计，以及定值器等。测量时元件用管子与元件连接，如图23所示。

1、压力测试

如果测试的线路是专门用作压力测量的，可以不接流量计。

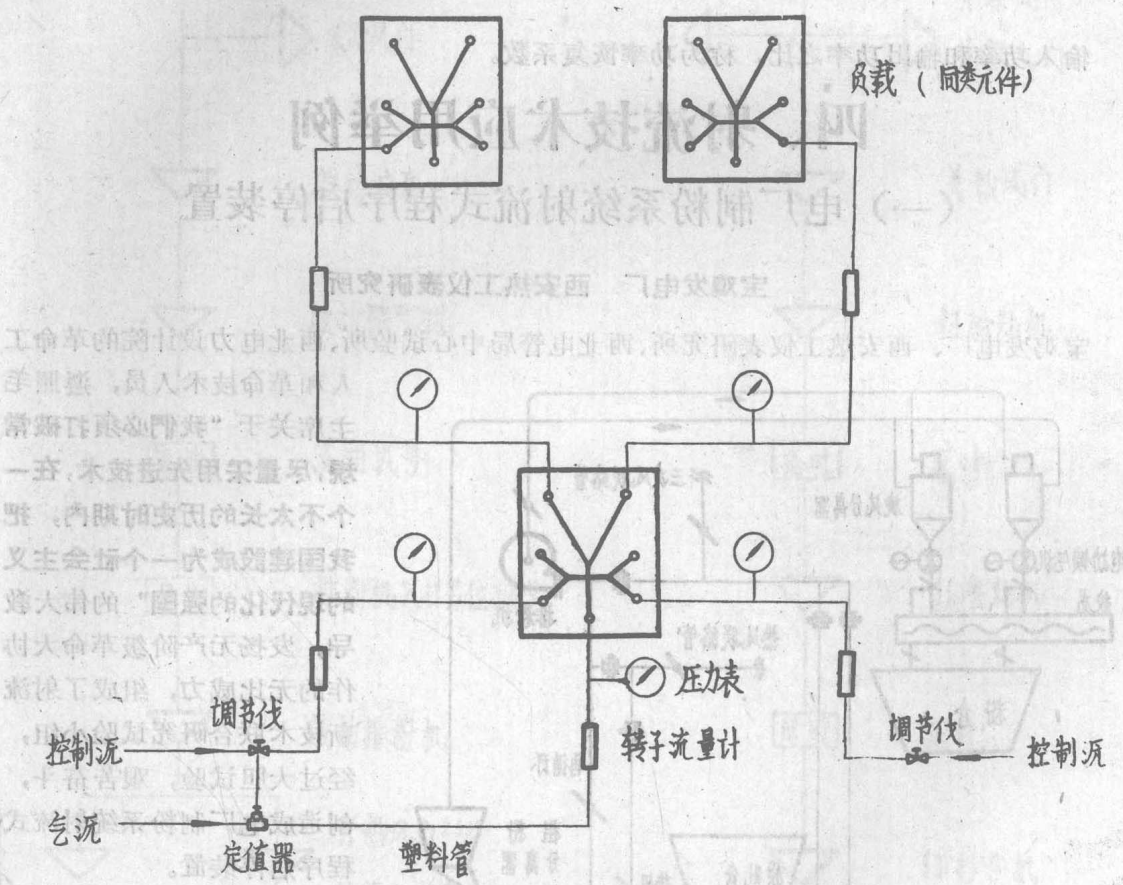


图23 元件测试线路图

在一定气源压力下，元件的二个输出道中有一个将会有压力输出，那么从输出端表得出的输出压力和气源压力表读得的压力比，就称为压力恢复系数，若调节左边控制流压力，正好使元件的输出从一边突然跳到另一边输出时，该控制流的压力称为该元件的切换压力。其压力大小正好是元件输出端发生变化时的数值。输出压力和切换压力之比称为放大倍数（或称增益）。图23表示元件输出端都带有一定数量的元件作为负载。如果待测元件输出端不接负载，而只将输出直接接到压力表上进行读数，这就是在一定气源压力下的最大压力恢复系数。

2、流量测试

按图23的接线和测试方法，从相应流量计可以测得在一定气源压力下的输入流量和输出流量以及切换流量。同时应读出相应输入压力和输出压力以及切换压力。再从流量计所

的换算表中查出流量。

在一定气源压力下输出和输入流量之比，称为流量恢复系数。

3、功率测试

功率的大小，实际上是压力和流量的乘积，所以在测量流量的同时，也就是测量功率，因为在测量输入、输出、切换流量时，必须同时记录输入、输出、切换压力。我们只要把各个对应的压力和流量相乘，它的乘积值，就代表该元件的输入、输出和切换功率。

输入功率和输出功率之比，称为功率恢复系数。

四、射流技术应用举例

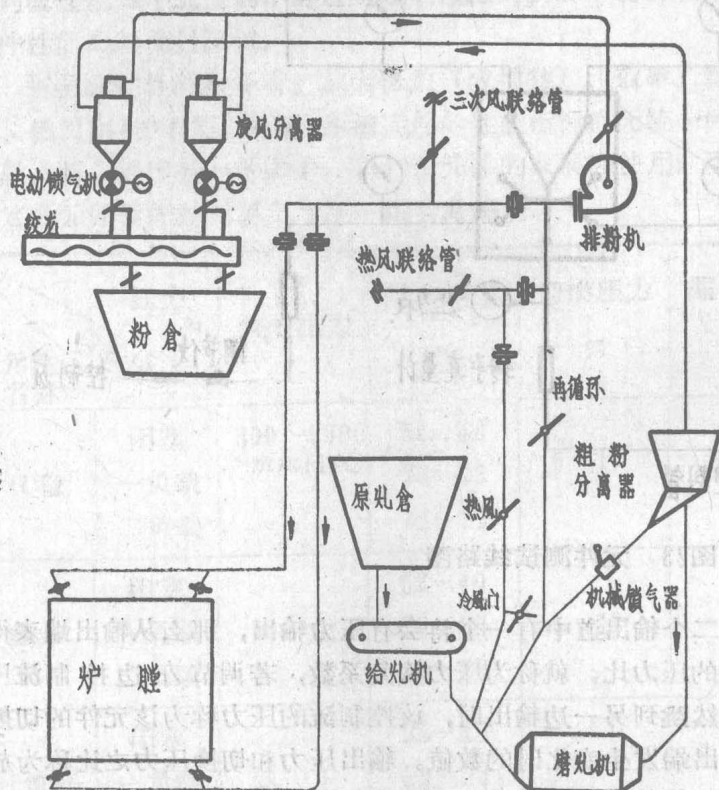
(一) 电厂制粉系统射流式程序启停装置

宝鸡发电厂 西安热工仪表研究所

宝鸡发电厂、西安热工仪表研究所、西北电管局中心试验所、西北电力设计院的革命工

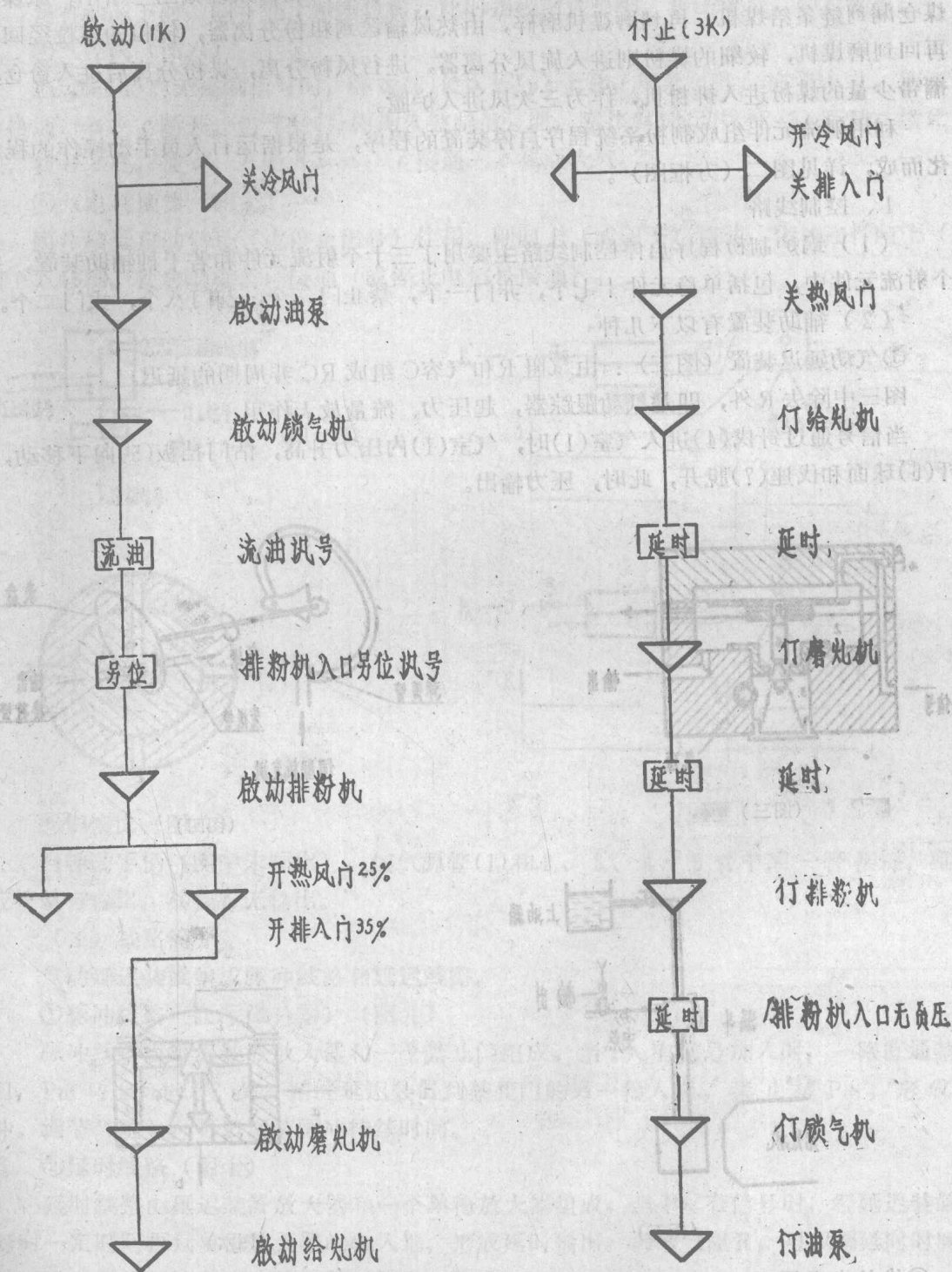
人和革命技术人员，遵照毛主席关于“我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国”的伟大教导，发扬无产阶级革命大协作的无比威力，组成了射流新技术联合研究试验小组，经过大胆试验，艰苦奋斗，造成电厂制粉系统射流式程序启停装置。

我国火力发电厂锅炉运行中，目前燃烧、给水、汽温、负压等系统都已实现了自动化，但制粉系统的启动和停止仍用人工操作，这是目前锅炉运行中的薄弱环节，不但启动频繁，劳动强度大，而且容易产生误操作，因此，制粉系统实现程序启停，对生产上有很大意义，这是目前锅炉运行自动



- 就地手动阀门
- 自动调节阀
- 就地及远控挡板

(图一) 锅炉制粉系统图



(图二) 制粉系统程序启停框图