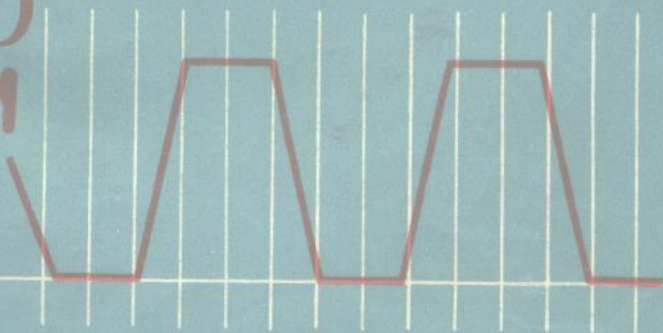


射流元件及其应用

上海电器元件厂 编



上海科学技术情报研究所

前 言

射流技术是六十年代发展起来的新技术，它是利用流体在特定元件中流动的某些物理效应来实现自动控制的，也是电子技术在自动化领域中的重要补充。射流控制装置比较稳定、简单、经济、易于制造、便于搞群众运动。

我厂广大工人和革命技术人员响应毛主席“抓革命，促生产，促工作，促战备”的伟大号召，接受了上级交给的试制光敏微晶玻璃射流元件的任务。帝、修、反的技术封锁岂能阻止中国人民前进的步伐！在一无资料，二无设备的情况下，工人们遵循毛主席的教导：“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”，狠批了叛徒、内奸、工贼刘少奇的“洋奴哲学”、“爬行主义”等修正主义黑货，在毛主席“独立自主，自力更生。”“备战、备荒、为人民”的伟大方针指引下，破除迷信，解放思想，敢想敢干，群策群力，因陋就简，发扬“一不怕苦，二不怕死”的革命精神，终于在很短的时间内制造出第一批光敏微晶玻璃射流元件。这是毛泽东思想的伟大胜利！是“抓革命，促生产”的丰硕成果。

“革命就是解放生产力，革命就是促进生产力的发展”。在无产阶级文化大革命伟大胜利的推动下，在向党的“九大”和二十周年大庆献礼的战役中，我厂射流技术又有了进一步的发展。目前，已能生产多种射流元件和配件，并为化工、轻工等行业试制了几种成套的射流控制装置。在发展射流技术的战斗中，我们深深地体会到一个颠扑不破的真理：紧跟伟大领袖毛主席就是胜利！

当前,大搞射流技术的群众运动正在全国兴起,为了及时交流在发展射流技术中的经验和体会,以达相互促进、共同提高之目的,我们在交通大学、第一轻工业部上海食品工业设计院等兄弟单位的密切配合下,编写了这本小册子。限于水平,如有错误之处,请同志们批评指正。

上海电器元件厂革命委员会

一九七〇年二月

目 录

前 言	1
第一章 射流的基本概念	1
一、射流的概念	1
二、射流的特性	1
三、流体流动的简单规律	5
四、射流的附壁效应和动量交换	10
第二章 射流元件的工作原理和测试方法	14
一、附壁式射流元件	14
二、动量交换式和其他射流元件	23
三、射流元件的测试方法	30
第三章 射流应用线路	36
一、射流控制半自动攻丝机	36
二、射流脉冲发生器	38
三、射流汤盆包装机	40
四、高低液位射流控制	44
五、十进制环型计数器	47
六、程序加料射流自动控制器	50
七、脉冲袋式捕集器射流控制装置	57
八、麻油自动定量及真空容器麻油液位射流控制装置	65
九、射流制瓶机	71
十、二硫化碳自动计量射流控制装置	80
十一、微型轴承磨床射流控制装置	85
第四章 射流装置的线路设计	87

一、射流基本元件和逻辑代数浅说·····	87
二、线路设计的讨论·····	93
三、线路设计中有关问题的讨论·····	102
第五章 光敏微晶玻璃射流元件制造工艺·····	113
一、光敏微晶玻璃的性能·····	113
二、光敏微晶玻璃和射流元件的制造工艺·····	118
附 录·····	129
I. 射流配件·····	129
II. 制造射流元件的材料和方法的比较·····	140
III. 射流元件的几何尺寸及特性曲线·····	142
符号表·····	146

第一章 射流的基本概念

一、射流的概念

什么叫“射流”呢？要回答这个问题，只要我们列出日常生产和生活中所遇到的现象就容易理解了，如后图所示就是射流的一些例子。

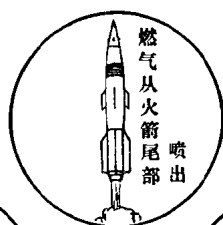
看到这些现象，是不是已经够了呢？毛主席教导我们：“社会实践的继续，使人们在实践中引起感觉和印象的东西反复了多次，于是在人们的脑子里生起了一个认识过程中的突变（即飞跃），产生了概念”。因此，我们必须使感性认识来一个飞跃，从而达到理性认识的阶段。由列举的一些例子，我们可以得出它们的共性即：一束从喷嘴中高速喷射出来的流体就叫做“射流”（这里说的流体，就是指能够流动的气体、液体，如：空气、水、油等等），这就是前一感性认识的飞跃。

由此可见，射流并不是什么神秘莫测的东西。**卑贱者最聪明！**用毛泽东思想武装起来的中国工人阶级，就是最聪明、最懂得射流。射流一旦被工人阶级掌握，就一定能充分发挥它的优越性，为社会主义建设服务。

下面，我们介绍射流的特性、流体的流动规律、然后再进一步介绍射流的“附壁效应”和“动量交换”等等。这样，我们对射流的基本概念，就有一个比较全面的认识了。

二、射流的特性

现在，我们从日常生产和生活中，已经感觉到射流的客观存



这就是射流现象

在；然而“感觉到了的东西，我们不能立刻理解它，只有理解了的东西才更深刻地感觉它。感觉只解决现象问题，理论才解决本质问题”。那么，怎样才能更深刻地感觉射流，从而进一步从理论上理解射流的本质呢？下面我们就来讨论一下：

1. 射流的速度分布

当一束高速的气体从喷嘴里喷射出来进入大气时，这束射流就要扩大，见图 1-1。

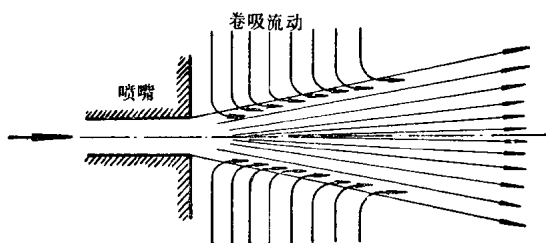


图 1-1 射流的流动状态

若我们用手指在喷嘴左右、远近移动，就会感到有一股压力，而且这股压力在变化着。这是什么原因呢？因为手上感觉到力的大小与冲击到手上的压力大小有关，而这股压力的大小又与流体的速度有关。例如在逆风中骑自行车前进的人与农村中挑稻草前进的人都有这样的感觉：风越大，骑车与挑稻草前进越吃力就是这个缘故。然而，用手指的感觉来确定速度的大小是不准确的，所以最好用测量装置来测定射流速度的平面分布，我们用图 1-2 来表示射流在沿喷嘴中心线方向的速度分布。为简明起见，我们把射流的速度分布划分成二个区域：

(1) 速度核心区 如果用箭头的长短来表示速度的大小，那么如图 1-2 所示，有一个三角形的区域(用 A 、 B 、 C 表示)，在这个区域里，速度到处一样，并且比周围的要大，这个区域叫

做“速度核心区”。三角形 A 、 B 、 C 的大小有一定的几何关系，它的高 ($O'B$) 大约是喷嘴宽 (AC) 的 $3\sim 6$ 倍左右 (由实验所得)。

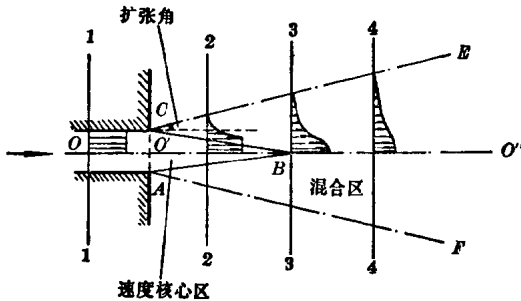


图 1-2 射流速度平面分布

1—1 截面: 喷嘴内部分布 2—2 截面: 核心区 and 混合区分布
3—3 截面: 核心区终点分布 4—4 截面: 混合区内部分布
 $\triangle ABC$: 速度核心区

(2) 混合区 在速度核心区与扩张的点划线之间,称为“混合区”。它的特点是流动速度大大降低。因为高速喷射的射流要带动周围静止的气体一起向前,结果这股射流的速度就要降低。这是一个很重要的现象,我们必须引起重视。这种现象叫做射流的“卷吸”,或称“抽吸”。如图 1-2 所示,在点划线 CE 和 AF 的外面,气流速度很小,可以认为静止。但是,在靠近喷嘴的地方,也有一定的流动速度,这是由于射流起着强烈的卷吸作用所致。

2. 扩张角

扩张角是表示射流向着二边扩张的程度。图 1-2 是用点划线 AF 和 CE 与射流中心线 OO'' 之间的夹角来表示。如果射流进入大气,其扩张角一般是 $12^\circ \sim 15^\circ$ (仅对气体而言)。

三、流体流动的简单规律

我们在这里介绍一下流体流动的类型。

当我们将水龙头轻轻地打开，就会看到一条又细又圆滑的水柱，在这条水柱里，它的流动是有规则的；但是，将水龙头开大，自来水便杂乱无章地喷射出来。前一种流动我们叫做“层流”流动，后一种流动叫做“紊流”流动。人们会问：怎样来区分它们呢？毛主席教导我们：“世界上的事情是复杂的，是由各方面的因素决定的。看问题要从各方面去看，不能只从单方面看”。仅仅依据所观察到的现象进行判断是很不深刻的。试验表明：对管子或渠道里的流动情况来说，流动的类型“是由各方面的因素决定的”，不仅与流动的速度有关，而且还与流体的特性（如粘性）及管子的粗细有关。流体粘性越大，越不会发生紊流；管子越细也不会发生紊流。在积累了大量材料的基础上，就可以进行“去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里的改造制作工夫”，进而“造成概念和理论的系统”，来区分在什么情况下是层流，什么情况下是紊流。

通过一系列试验，我们得到一个区分层流和紊流界限的经验数，用 R_e 表示：

$$R_e = \frac{\text{流动速度} \times \text{管子直径}}{\text{流体运动粘性系数}}$$

若在普通光滑圆管中的流动用 $R_e = 2300$ 作为区分层流还是紊流的界限。

那么：层流流动—— R_e 小于 2300；

紊流流动—— R_e 大于 2300。

在常温下，水的运动粘性系数是 0.01 厘米²/秒，空气是

0.15 厘米²/秒。

在非圆形截面的管道里,在 R_e 式中就不用直径表示了,而是用等效直径($=4 \times$ 管道截面积/周长)这个长度单位来代替圆管直径。各种不同的管道,区分层流和紊流的经验数也不同,它们都由具体试验来确定。

我们明确了流体流动有层流和紊流后,就能知道射流也有层流射流和紊流射流两种。不过要指出的是紊流射流的卷吸作用比层流射流要大。

下面介绍一下流体流动的一般规律:

毛主席教导我们:“马克思主义的哲学认为十分重要的问题,不在于懂得了客观世界的规律性,因而能够解释世界,而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。”为此,我们用最简单的形式介绍流体在管道(圆形,长方形等)里的流动参数,以及这些参数所服从的客观规律,便于“能动地改造世界”。

先熟悉一下我们常常会遇到的一些参数名称:

速度——用 V 表示,即单位时间里流体流过的距离,用“厘米/秒”或“米/秒”表示;

流量——用 Q 表示,即单位时间里流体流过管子某一截面的体积,用“厘米³/秒”或“米³/秒”表示(有时用“升/小时”表示)。

压力——用 P 表示,即单位面积上所受到流体的力,用“公斤/厘米²”或“公斤/米²”表示。

在工业上用气压表示,一个工程气压就是 1 公斤/厘米²;换算成水柱高度相当于 10 米,水银柱高度相当于 73.5 厘米。

在一根截面有变化的圆管里流动的流体,假定流动不随时间变化,则可以发现:流体流到截面大的地方速度变小,压力增高;而流到截面小的地方速度变大,压力降低,如图 1-3 所示。

但流体流过任何截面时的流量始终不变。如果在图 1-3 水平位置上选取 A_1 和 A_2 两截面为例，在 A_1 上有速度 V_1 和压力 P_1 ；在 A_2 上有速度 V_2 和压力 P_2 ，我们可以总结出以下二个规律：

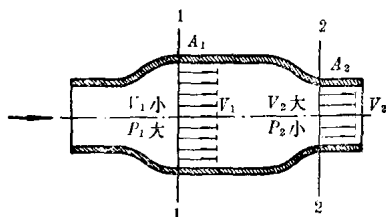


图 1-3 圆管截面上的参数表示

A_1, A_2 —圆管截面 P_1, V_1 — A_1 截面上的压力、速度
 P_2, V_2 — A_2 截面上的压力、速度

(1) 流量规律

$$Q(\text{流量}) = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

(2) 压力速度规律

$$P_0(A_1 \text{ 截面上的总压力}) \\ = CV_1^2 + P_1 = CV_2^2 + P_2 + \text{压力损失}$$

上式里的 C 是一个系数，不同的流体和不同的工作温度， C 的数值也不相同。我们列出空气和水在不同温度条件下 C 的数值(见表 1-1)。

表 1-1

流 体	温 度 (°C)								
	0	10	15	20	30	40	60	80	100
空 气 (公斤·秒 ² /米 ⁴)	0.066	0.065	0.063	0.061	0.060	0.057	0.054	0.051	0.048
水 (公斤·秒 ² /米 ⁴)	51.03	51.01	50.97	50.85	50.76	50.60	50.15	49.60	49.00

这两个规律不但说明了上述的流动现象，而且还进一步表明压力是以多种形式出现的。这里的 P_0 代表 A_1 上的总压力，由和流速“有关”的一项 CV^2 以及和流速“无关”的一项 P 组成。前者叫做“动压力”，后者叫做“静压力”。我们发现速度和压力是流动过程中的一对矛盾，根据毛主席的教导：“矛盾着的事物依一定的条件有同一性，因此能够共居于一个统一体中，又能够互相转化到相反的方面去，……”在同一根管子里，某截面上有速度又有压力，它们组成一对矛盾，但是它们又可以互相转化，这就是说速度可以转化成压力；反之，压力也可以转化成速度。这样，我们对压力和速度规律便能更深刻地了解了。

当流体从 A_1 流到 A_2 时，总压力 P_0 除了动压力和静压力外还要包括压力损失。因为从 A_1 到 A_2 时，流体总要磨擦发热，以及其他原因（例如管道的形状变化）所引起的压力损失，这个损失目前都是测量得到的。

这里还要指出，在射流测试技术或工业中经常用这些规律来测量管道里的压力、流速和流量的。下面我们简单介绍几个参数的测量方法。

1. 静压力测量

由于静压力与流速“无关”，又由于静压力在某一截面上（垂直于管道中心线）认为是相等的，所以要测量管道里某一截面上的静压力时，只要在管壁上开一个小孔，若小孔与 U 形测压管相连，则水柱的高度就是感受到的静压力，如图 1-4(1) 所示。

2. 总压力测量

总压力除静压力外，还包括动压力，它与速度有关。所以要测量总压力，只要把一只内径很小的（与管道截面比较）测压管伸进管道里，一端对准速度方向，另一端（弯成 90 度）也连接 U 形管，则水柱高度就代表了总压力，如图 1-4(2) 所示。如果在

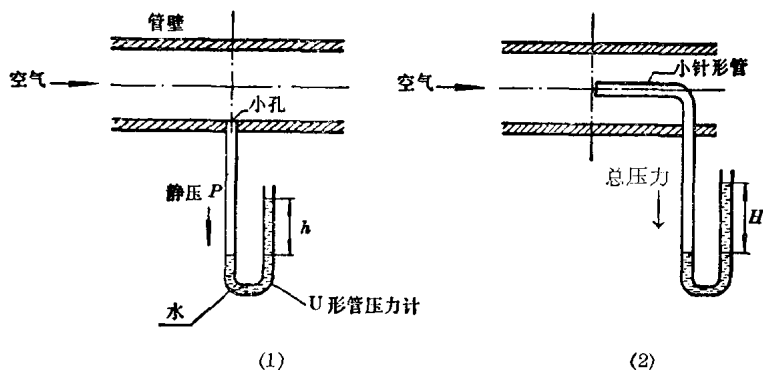


图 1-4 压力的测量

(1) 静压力的测量 (2) 总压力的测量

较大的管道里,由于流速很小,则测出的静压力就可以认为是总压力。所以在测量二个截面间的总压力损失时,只要把二个测压管分别接在 U 形管的两端, U 形管里水柱的高度就是总压力损失。此方法可用于测试射流装置的压力损失(图 1-5)。

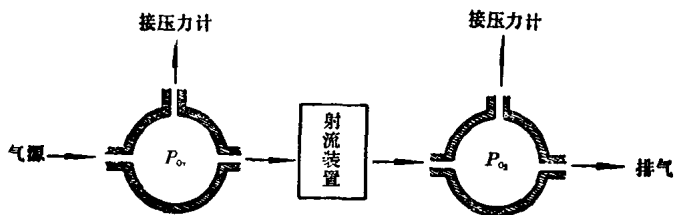


图 1-5 测试压力损失示意图

3. 流速和流量的测量

在同一截面上测得总压力和静压力后,根据同一个规律,就能计算出该截面上的速度和流量。目前还可使用热线风速仪来测量流速,而流量的测量常用孔板式或浮子式流量计等,在此我们不再详细介绍了。

四、射流的附壁效应和动量交换

1. 射流的附壁效应

设有这样的一个容器，它一端通大气，另一端仅开了一个小喷嘴，而喷嘴离开二边容器壁的距离不相等，左边 S_2 大，右边 S_1 小。当射流从喷嘴喷出后，射流立即附着在右壁上流动(图 1-6)，这种现象叫做射流的“附壁效应”。射流为什么能产生附壁效应呢？毛主席教导我们：“研究任何过程，如果是存在着两个以上矛盾的复杂过程的话，就要用全力找出它的主要矛盾。捉住了这个主要矛盾，一切问题就迎刃而解了。”由于射流从喷嘴喷出后就有着卷吸(或叫抽吸)周围气体的重要作用，靠近喷嘴的两侧

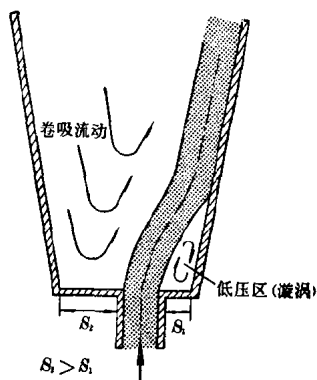


图 1-6 位差(S)不等时的附壁流动

卷吸更强烈，所以当射流刚刚从喷嘴喷射出来时，因为右壁离开喷嘴较近，射流和壁面间的空隙也小，而左面的空隙比较大(图 1-7)，假定射流在刚刚喷出后的一个极短时间里，在喷嘴附近两侧抽走的空气量完全一样，但是射流从空隙小的一边抽走的空气百分率(等于抽走量除原有量)却

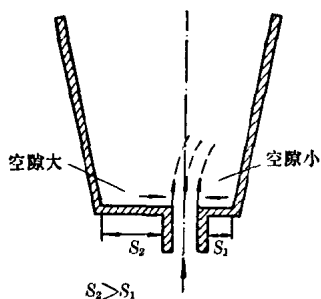


图 1-7 射流的附壁原理

比空隙大的一边抽走的要多(由于时间很短,认为大气来不及补充);因此空隙小的一侧压力比空隙大的一侧压力低,射流就开始向右偏转。再过一段时间,射流到达虚线位置,空隙小的一边,即使有空气补充,压力还是越来越低,射流也就越偏向右壁。在压力低到一定值时,在射流二侧形成了足够的压力差,射流就终于附在右壁上流动了。

通过这样的分析,我们找到了附壁效应的主要矛盾,这就是射流在喷嘴二侧的压力差。“捉住了这个主要矛盾”,射流为什么会附壁这个问题“就迎刃而解了”!此外,还值得我们注意,在射流附着一壁的空隙中,气流呈迴旋状态,这种流动叫做“旋涡”,如图 1-6 所示。

从实践的结果还表明,射流速度对附壁有影响。例如射流速度增加,附壁性好一些;因为速度提高了,就能增加射流的卷吸作用,使空隙二边的压力差更大些。若射流介质用的是油(机油等),由于油的粘性比空气大得多,所以要求油源的压力很高,才能保证射流有足够的速度,从而就产生附壁效应。这说明,射流的附壁性与经验数 R_0 有关!当 R_0 增加(有一定范围),附壁性好;反之,就差一些甚至没有附壁现象。这个规律给我们以后研究附壁的稳定性打下了基础。

我们掌握了附壁效应这个规律,就要遵照毛主席:“如果有正确的理论,只是把它空谈一阵,束之高阁,并不实行,那么,这种理论再好也是没有意义的”教导,将它应用于生产实践中去。

2. 附壁式射流元件的成型

位差——从以上分析知道:射流是附在离开喷嘴小(例如 S_1)的壁面上流动。如果两壁离喷嘴的距离相等时(即 $S_1=S_2$),射流可以附着在任一壁面上流动。这是因为射流刚从喷嘴喷射出来时总带有一点微小的偏向,假定偏在 S_1 这边,按照以上的

分析, S_1 这边的空隙变得小一些, 那么射流就附着在 S_1 一壁上流动(图 1-8); 反之也可以附在 S_2 一壁上流动。如果 S_1 、 S_2 不等, 射流则附在小的一边。由此看来, 这二个距离是决定射流附壁的重要因素, 所以在射流元件里把它叫做“位差”。

切换——从以上分析, 实现附壁效应主要是依靠压力差。若要改变射流附着的情况, 只要改变压力差就可以了。假定在低压区里开了一个控制孔, 输入一定压力的气体, 使低压区变

成高压区, 则射流从附着壁上被推开后附到另一壁上去, 象这样的过程叫做射流“切换”, 如图 1-9 所示。切换有二种形式: 一种

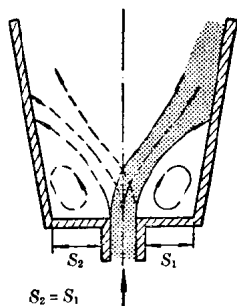


图 1-8 位差(S)相等时的附壁流动

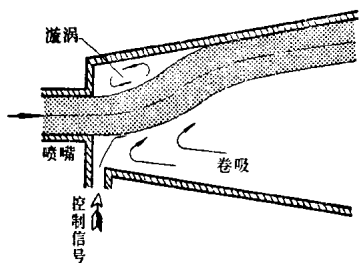


图 1-9 射流的切换

是在控制孔中加了一定压力的气体后才能切换的, 这叫做“正压”切换; 另一种只要堵死控制孔, 就能把附着在对面壁上的射流切换到这一边来, 这叫做“负压”切换。射流的切换, 在射流控制技术中, 起了十分重要的作用。

射流附着在某一壁上流动时, 它也要扩张, 有一部分气体就可能扩散到对面去, 这就产生了一个矛盾。我们采用在二壁面之间安放一块“分流劈”, 构成二条输出通道的方法来介决, 这样既消除了射流的扩张现象, 又能引导射流从通道输出。但是, 一个矛盾解决了, 另一个新的矛盾又产生: 当输出通道一旦被堵死, 或者有多余的气体倒流, 射流就会“自动”切换, 不能附在原来的