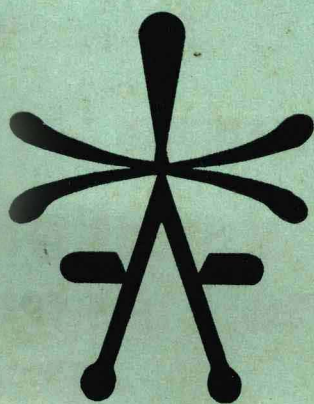


射流技术基础

华中工学院射流技术小组编



武汉市革命委员会生产指挥组科技组
武汉市射流技术推广协作组

毛主席语录

教育必須为无产階級政治服务，必須同生产劳动相結合。

大学还是要办的，我这里主要說的是理工科大学还要办，但学制要縮短，教育要革命，要无产階級政治挂帅，走上海机床廠从工人中培养技术人員的道路。要从有实践經驗的工人农民中間选拔学生，到学校学几年以后，又回到生产实践中去。

工人階級必須领导一切。

备战、备荒、为人民。

中国应当对于人类有較大的貢獻。

我們必須打破常規，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期內，把我国建設成为一个社会主义的現代化的强国。

实践、認識、再实践、再認識，这种形式，循环往复以至无穷，而实践和認識之每一循环的內容，都比較地进到了高一級的程度。

前 言

无产阶级文化大革命的滚滚洪流荡涤着世界上一切污泥浊水。经过无产阶级文化大革命锻炼的中国人民，在党的九届二中全会公报的号召下，更高地举起毛泽东思想伟大红旗，焕发出冲天的革命干劲，社会主义工农业大跃进的高潮正在全国兴起。

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。**”射流技术是六十年代发展起来的新技术，它是自动控制技术中的一个重要组成部分。应用射流元件组成各种射流系统来实现自动控制。射流元件在某些方面可以起到电子管、晶体管的作用，而在某些方面的应用上要比电子管、晶体管更稳定可靠，使用寿命较长。它能在极苛刻的条件下（如电磁场干扰、冲击、高温辐射等），有效地工作。另一方面，它比较简单，易制造，成本低，因此易于普及推广。

在我国射流控制技术的发展过程中，始终充满着两条路线的激烈斗争。在无产阶级文化大革命以前，叛徒、内奸、工贼刘少奇推行反革命修正主义的教育路线和科技路线，拚命鼓吹“洋奴哲学”、“爬行主义”、“专家至上”等反动谬论，压制工人阶级的发明创造，对广大工农兵实行资产阶级专政，以致射流控制技术的发展受到很大的阻碍。经过无产阶级文化大革命两个阶级、两条道路、两条路线的激烈搏斗，彻底摧毁了刘少奇反革命修正主义路线，结束了资产阶级技术“权威”垄断射流技术的局面。中国工人阶级遵照伟大领袖毛主席关于“**工人阶级必须领导一切**”的指示，昂首阔步地登上了科学技术的舞台，成为发展射流控制技术的主人。在工人阶级的坚强领导下，广大革命群众活学活用毛泽东思想，突出无产阶级政治，发扬敢想、敢说、敢做、敢闯的革命精神，大破“射流技术神秘论”，大搞科学实验和技术革新，一个以工人为主体的大力发展射流控制技术的群众运动，已在全国各地广泛开展。“**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。**”我们武汉市也和北京、上海、天津、沈阳、吉林、广州、唐山、南京、成都、石家庄、西安、济南、青岛等城市一样，对射流技术进行了研究，并生产了射流元件及附件。

目前，射流技术已广泛应用于国防、航空、机床、化工、电力、石油、船舶、纺织、仪表、医疗以及其他民用工业中。大批的创造发明和新成果不断涌现，如机床自动控制，液面的检测、控制和报警（自动），化工产品的自动包装；柴油机耗油率的自动测量，射流恒温装置，轮船的锅炉、主机的射流控制，飞机发动机射流控制系统等等。

一九六九年，在党的“九大”强劲东风的鼓舞下，我国工人阶级遵照毛主席“**团结起来，争取更大的胜利**”的伟大号召，狠抓革命、猛促生产，提出了“开展射流为革命，心怀世界一片红”，“攻克射流关，气死帝修反”的豪迈口号，实现了2600匹马力远洋破冰救助拖轮的燃油副锅炉的射流自动控制。这台射流自动控制系统，不仅控制锅炉的给水、停水、喷油、点火、燃烧、鼓风，而且自动控制锅炉的压力，使锅炉操作过程完全自动化，达到世界先进水平。

用毛泽东思想武装起来的湖北省、武汉市的工人阶级，在毛主席的“**备战、备荒、为人**

民”的伟大战略思想指引下，坚决贯彻“独立自主、自力更生”的伟大方针，狠抓阶级斗争和两条路线斗争，打破洋框框，走我国自己发展工业技术的道路，土法上马，修旧利废，改装成功了各式各样的射流自动控制机床以及其他的生产设备。例如，本市××工厂在1970年5月，组成以工人为主体的三结合射流技术战斗小组，奋战二个月，试制成功了射流控制机床等9台，大大的改善了劳动条件，节约了劳动力，提高了工效，取得了很大成绩。而早在两年前武汉钢铁公司就采用射流程序控制系统，用以自动操作移动床离子交换器的八个阀门，是我国第一台水处理的时间程序控制装置。目前湖北省武汉市各有关单位，正在进一步开展射流控制技术的研制，大力地向生产的深度和广度进军，把射流控制技术提高到一个新的水平。

在毛主席“实践、认识、再实践、再认识……”的伟大教导下，我们经过一些实践和学习，并吸取了全国各地射流技术实践的丰硕成果，编写成这本普及读物——射流技术基础，目的是想在射流技术的普及和推广方面起些作用，并用以和其他兄弟城市交流经验。

伟大领袖毛主席教导我们：“因为我们是为人民服务的，所以，我们如果有缺点，就不怕别人批评指出。不管是什么人，谁向我们指出都行。只要你说得对，我们就改正。你说的办法对人民有好处，我们就照你的办。”由于我们毛泽东思想学得不好和技术水平不高，编写时间极为仓促，错误和缺点一定不少，希望同志们批评指正。

目 录

前 言

第一編 射流元件及附件

第一章 射流的基本特性	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 重度和密度.....	(1)
第三节 流量与连续性方程.....	(3)
第四节 粘性.....	(4)
第五节 压力.....	(5)
第六节 流体流动的二种类型——层流和紊流.....	(7)
第七节 功率和动量.....	(8)
第二章 射流元件	(10)
第一节 附壁式射流元件.....	(10)
第二节 动量交换式射流元件.....	(17)
第三节 渦流式射流元件.....	(25)
第四节 液压射流元件.....	(26)
第三章 射流元件的制造和测试	(29)
第一节 手工加工.....	(29)
第二节 环氧树脂浇铸.....	(30)
第三节 电镀法.....	(32)
第四节 光刻腐蚀法.....	(34)
第五节 电火花线切割.....	(38)
第六节 元件测试与基本性能.....	(38)
第四章 附件	(48)
第一节 气源净化调节装置.....	(49)
第二节 压力流量放大器.....	(54)
第三节 开关元件.....	(57)
第四节 信号转换装置.....	(60)
第五节 延时器.....	(61)
第六节 气动通用附件的检修.....	(63)

毛主席语录

任何运动形式，其内部都包含着本身特殊的矛盾。
这种特殊的矛盾，就构成一事物区别于他事物的特殊的
本质。

第一章 射流的基本特性

第一节 概 述

在我们的日常生产中、工作中和生活中，常常可以见到：水从救火龙头中射出，高速气流从喷气式飞机的喷管中喷出，药水从喷筒中喷出等等，一束从喷嘴中高速射出来的流体，我们称之为“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）。

毛主席教导我们：“任何运动形式，其内部都包含着本身特殊的矛盾。这种特殊的矛盾，就构成一事物区别于他事物的特殊的本质。”所以射流与流体的其他运动形式（如水管中水的流动，自然界里空气的流动等）不同的地方就在于它具有喷射成一束流动的特点。

毛主席又教导我们：“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。”利用射流流动过程中所发生的一些物理现象，我们可以做成各种射流元件，组成控制系统，以实现生产过程的自动控制。

射流技术是一门与流体流动有关的控制技术。所以当我们需要进一步了解射流技术的时候，就会碰到许多流体力学上的概念，如流量、压力、动量等等。因此在进一步了解射流技术之前，让我们先熟悉几个有关流体的基本概念。

第二节 重度和密度

一、重 度

通常说，铁比木头重，这句话是有毛病的，拿同样大小的铁块和木块进行比较，说铁比木头重就没有毛病了。要比较各种物质的轻重，必须就相同的体积来说。例如我们拿一立方米的铁块和一立方米的木块及一立方米的水来进行比较，一立方米的铁块重为7800公斤，一

立方米的木块重为 500 公斤，一立方米的水重为 1000 公斤。由此可看出铁、木、水等的轻重程度。

流体与其他物质一样，是具有重量的，对于均质流体来说，每一单位体积内所含的重量叫重度，即：

$$\text{重度} = \frac{\text{重量(公斤)}}{\text{体积(米}^3\text{)}}$$

若用 γ 表示重度 V 表示均质流体的体积 G 表示流体的重量
则上式可改写为：

$$\gamma = \frac{G}{V} \dots\dots\dots (1-1)$$

在工程单位制中，重度的单位是公斤/米³。

注意：重度与物理上所熟知的比重不同，所谓比重是指流体的重量与温度为 4℃ 时同体积蒸馏水重量之比。

二、密 度

通常我们可用质量来代表物体所含物质的多少。例如有甲、乙两块铁，甲块的体积是 15 厘米³，乙块的体积为 1 厘米³，因为甲块的体积是乙块的 15 倍，两块物质又同样是铁，所以甲块铁的质量是乙块铁的质量的 15 倍。

物体的质量是和它的重量成正比的，但是质量不能和重量混为一谈。它们的意义是根本不相同的。质量是物体所含物质的量，和地心引力完全没有关系。重量却是地球对物体的吸引力，要看物体对于地球的位置而定。例如把一个物体从平地移到高山顶上，物体的质量没有改变，可是地球对物体的吸引力却要减小些，就是说，物体的重量要减轻些。

重量 (G) 和质量 (m) 之间有如下的关系：

$$G = mg \dots\dots\dots (1-2)$$

其中 g 为重力加速度。

流体也与其他物体一样，也具有质量。对于均质流体来说，单位体积内所含有的质量叫做密度。即：

$$\text{密度} = \frac{\text{质量}}{\text{体积}}$$

或用 ρ 表示流体密度
 m 表示流体质量
 V 表示流体体积

$$\text{则有} \quad \rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (1-3)$$

在工程单位制中，密度 ρ 的单位是 $\frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4}$ 。

密度和重度之间有一个简单的关系式，因为重量 G 等于质量 m 和重力加速度 g 的乘积，
即： $G = mg$

所以就可以得出：

$$\gamma = \rho \cdot g \dots\dots\dots (1-4)$$

流体的密度和重度是随着温度的变化而变化的。

表 1—1 中列出了在一个大气压下常用的几种流体的重度、密度及比重的数值。

表 1-1

流体名称	温度 (°C)	重度 ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	密度 ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	比重
蒸馏水	4	1000	101.93	1
石油	15	880—890	89.70—90.72	0.88—0.89
润滑油	15	890—920	90.72—93.78	0.89—0.92
煤油	15	760	77.44	0.76
空气	0	1.293	0.132	0.001293
空气	10	1.183	0.120	0.001183

第三节 流量与連續性方程

单位时间内流过某一截面积的流体量称为流体的流量。流量有二种表示方法，一种为体积流量，另一种为重量流量。

所谓体积流量就是单位时间内流过某一截面积的流体体积。其表示式为：

$$Q_v = v \cdot S \quad \dots\dots\dots (1-5)$$

式中： Q_v ——体积流量 v ——流速 S ——截面面积。体积流量的单位是升/秒。

所谓重量流量就是单位时间内流过某一截面积的流体重量。其表示式为：

$$Q_G = v \cdot S \cdot \gamma \quad \dots\dots\dots (1-6)$$

式中： v ——流速 S ——截面面积 γ ——重度

重量流量的单位为：公斤/秒。

在射流元件的流量测量中，一般采用转子流量计，如图（1—1）所示。

流量计是由一个垂直的锥形玻璃管所构成，在它的里面放着浮子，锥形管的较大的一端是向上的。浮子的外径比锥形管的内径为小，因此浮子可以沿着管子的长度，也就是沿着管的刻度标尺由零点 to 最大流量数值的刻度点之间自由移动。

测量时，转子流量计下端是输入端，被测流体进入转子流量计，浮子由于流体作用而升高，直到浮子与锥形管内表面之间的环形空隙达到一定数值，这个数值能使由于流体的压力损失、作用在浮子上的力和浮子在流体内的重量平衡时为止。

转子流量计上的刻度，有的为直接读数，有的还要查对曲线表。

我们在日常生活中可以经常看到：河中或管道中的水是连续不断

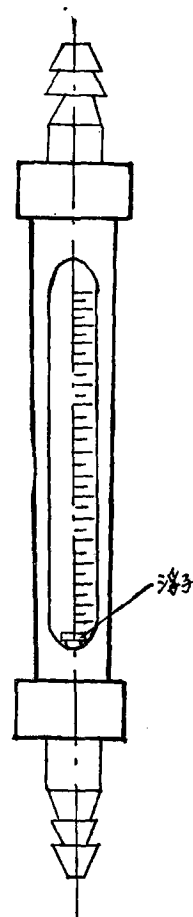


图 1-1

的流动着。毛主席教导我们说：“我們看事情必須要看它的實質，而把它的現象只看作入門的向导，一进了門就要抓住它的實質，这才是可靠的科学的分析方法。”水连续不断的流动，说明水在同一时间里流过各个截面的体积流量相等。

如图（1—2）所示的管道中，通过截面 S_1 的流量用 Q_1 表示，通过截面 S_2 的流量用 Q_2 表示。

由于流体在连续的流动，因此必有：

$$Q_1 = Q_2$$

也就是：

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad \dots\dots\dots (1-7)$$

式中： S_1 、 S_2 为截面面积

v_1 、 v_2 为相应截面上的流速

式（1—7）称为流体的连续性方程。

式（1—7）可以改写为以下形式：

$$v_2 = \frac{S_1}{S_2} v_1$$

说明流体连续流动时，截面面积大的地方，流动速度小，截面面积小的地方流动速度大。也就是说，如果知道两个截面的大小，已经测出一个截面上的流速，则第二个截面上的流速不必测量，可用上式计算出来。

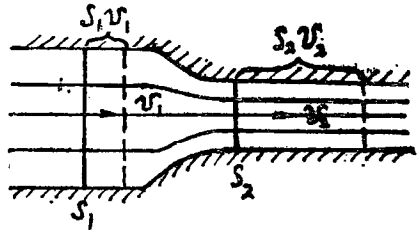


图 1-2

第四节 粘 性

在日常生活中，我们常提到“粘性”这个概念，大家都知道油比水粘性要大，水比空气的粘性大。但是什么是“粘性”？又在什么情况下我们才考虑流体的“粘性”呢？

当我们站在岸边观察水在河里流动时，我们发现靠近岸边的水流得慢，愈接近河中心水流得愈快，这就是因为水在流动时与河岸相互间产生摩擦，阻碍水向前流动。同时河中心流动较快的水可带动流动较慢的水，反之，靠近河岸边流动的水在流动过程中阻碍（拖住）流动较快的水。流体在流动时内部产生这种阻力我们称之为内摩擦力或粘滞阻力，也就是我们通常所说的流体的“粘性”，不同的流体它们的“粘性”是不同的。如当我们推动一块浮在水面上的木板向前运动时要用力，将相同的木板放置于甘油中，要推动它以相同速度向前运动时，就要用较大的力，这就是因为甘油比水的“粘性”大的缘故。

通常我们用流体的粘性系数值来表示流体的粘性。

流体的粘性系数有二种：其一为动力粘性系数用 μ 表示，单位为公斤·秒/米²；其二为运动粘性系数用 ν 表示，单位为米²/秒。

动力粘性系数 μ 与运动粘性系数 ν 之间有如下关系：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \dots\dots\dots (1-8)$$

其中： ρ 为流体的密度

流体的粘性系数随温度变化的数值可在有关流体力学的书籍中查到。

第五节 压 力

我们在烂泥地上走路，脚常会陷的很深；如果在这样的地上铺了一块木板，人在板上走，板就陷的浅了，在第二种情形下，既然添了木板，地面所受到的重量，应该比第一种情形的大，即使不算木板的重量，至少也是相等的，为什么反会陷的浅呢？

毛主席教导我们：“我们看事情必须要看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进了门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。”

上述问题的实质是什么呢？实质就是因为烂泥地上铺木板后，人走过时，重量分布在比较大的面积上的缘故。假使木板的面积是鞋底的面积的三十倍，人在板上走，地面上每平方厘米所受到的力就只有没有放板的时候的三十分之一，所以陷的浅了。

我们经常看到：载重汽车的轮胎和公共汽车的轮胎比小汽车的轮胎宽大得多，有时轮子也不止四个，而有六个到十个，这样，汽车的重量就可以分布在比较大的接触面积上，使车轮和路面能够承受得住汽车所产生的压力。

从这里可以知道，每单位面积上所受的力的概念，有时比全面积所受的总力的概念还重要。每单位面积上所受到的和受力面垂直的力称为压力。即：

$$\text{压力} = \frac{\text{和受力面垂直的力}}{\text{受力面积}}$$

若：p表示压力，P表示和受力面垂直的力，S表示受力面积。则：

$$p = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (1-9)$$

压力的单位是公斤/厘米²或公斤/米²。

例如：在10厘米²的面积上，受到30公斤和面垂直的力的作用，则每平方厘米将受到 $\frac{30}{10} = 3$ 公斤的力的作用，换句话说，这面上所受到的压力为3公斤/厘米²。

流体和固体一样具有重量，所以容器里盛着流体的时候，上层的流体会压下层的流体，下层的流体会压容器的底，如果在容器的侧壁上开一孔口，流体就会从孔口喷出来，由此可知容器里的流体，不仅对容器的底部有压力，对于容器侧壁也有压力。

下面我们来进行一个简单的实验。如图1-3所示，用一个弯曲的U形玻璃管把某种着色的液体倒在里面，玻璃管内的两边液面就会同样高。再把橡皮管的一端连在右边的玻璃管口上，橡皮管的另一端连接一个玻璃漏斗，在漏斗口上繫一片橡皮膜。这样我们就造成了一个简单的压力计（测量压力的仪器）

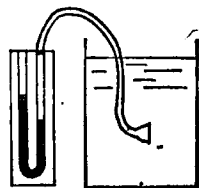


图 1-3

现在把这个压力计的漏斗放到水里，就可以看到压力计里，左边的液面比右边高，漏斗放进水里越深，压力计里两边液面的高度相差越大，表示橡皮膜上受到水的压力越大。可是在同一深度的地方，不论漏斗口向上、向旁边、向下、或向任何方向，压力计里液面的高度差是不变的。从这里可知：流体内部向任何方向都有压力，在同一深度，向各方面压力都是相等的。深度增加，压力也跟着增加。

毛主席教导我们：“对情况和问题一定要注意到它们的数量方面，要有基本的数量的分析。”

下面我们就来讨论决定流体内部压力大小的方法。如图 1—4 所示，在静止的流体中我们取截面积为 S 高度为 h 的流体柱进行研究。则作用在流体柱底面上的总力 P_2 等于作用在流体柱顶面上的总力 P_1 与流体柱重量 G 之和。

即： $P_2 = P_1 + G$

或 $P_2 = P_1 + \gamma h S$

则压力： $P_2 = P_1 + \gamma h \dots\dots\dots (1-10)$

式 (1—10) 的关系表示出流体内部压力的分布规律。对于气体来说，由于重度 γ 很小， γh 可以忽略不计，则 $p_1 = p_2$ 。也就是说，在静止的气体中，各点的压力是相等的。

毛主席教导我们说：“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。”

关于流体内部压力分布的规律被广泛的应用在工程实际中，其中如利用这一规律制成测量流体压力的仪器—测压计。

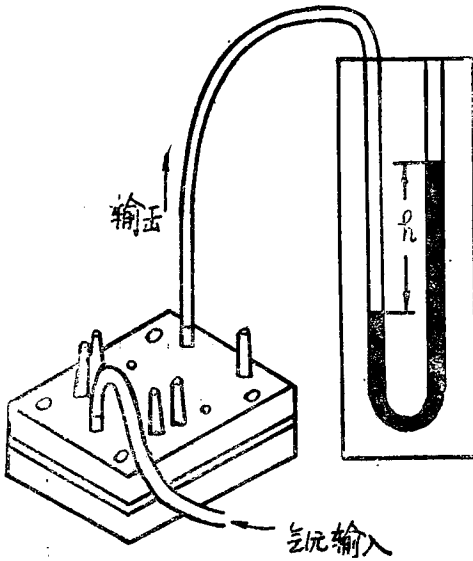


图 1-5

在射流元件制造出来后，往往还须要对其进行测试，以检验其性能和质量，测试其压力时，常用的测压计为 U 形管测压计。如图 1—5 所示。将 U 形管测压计一端接于射流元件的一个输出道口，测量元件的输出压力值。如果压力计中采用的流体为水（水的重度 $\gamma = 1000$ 公斤/米³）压力计中的液面高差 $h = 300$ 毫米，则元件的输出压力为： $p = \gamma h = 1000 \text{ 公斤/米}^3 \times 0.3 \text{ 米} = 300 \text{ 公斤/米}^2 = 0.03 \text{ 公斤/厘米}^2$ 。但是在实际应用中，往往我们将压力直接用液柱高度表示，如上例中元件的输出压力用 $\frac{p}{\gamma} = h = 300$ 毫米水柱表示，此值可直接从 U 形管压力计上读出。

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。”

在日常生活和工程实际中，流体往往是以运动的形式出现，在流体运动的过程中，流体不但具有压力而且具有速度，下面我们就来讨论运动流体中的压力加速度的关系。

如图 1—6 所示，在一根粗细不均匀的管子里，在粗和细的部分各装一支二端开口的玻璃管称测压管。当管中有流体流过时，由于流体压力的作用，测压管中液面将上升一定的

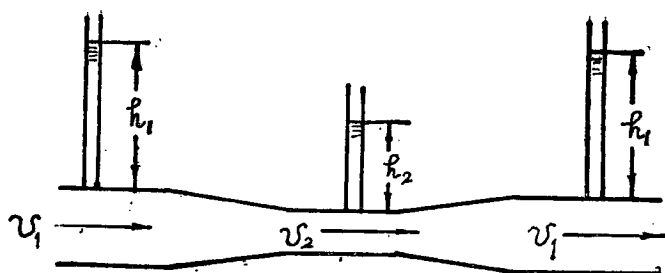


图 1-6

高度，测压管中液面的高低显示出粗细二部分压力不同；管道截面大的地方压力大，管道截面小的地方压力小。根据流量的连续性方程我们知道，流体的流速是与管道的截面积成反比的，截面大的地方流速小，截面小的地方流速大。这就说明了：流体在流动过程中，流动速度大的地方压力低，流动速度小的地方压力高。这就是运动流体中压力和速度的关系。

第六节 流体流动的二种类型——层流和紊流

当我们将水龙头轻轻的打开，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，自来水便杂乱无章的喷射出来。毛主席教导我们：

“认识开始于经验——这就是认识论的唯物论。”为了进一步认识流体流动的物理现象，下面我们从一个简单的实验开始介绍。

实验装置如图（1—7）所示。

在水箱1上装一个漏斗形的孔口，用玻璃管与孔口相连接。玻璃管的末端有一个阀门3。颜色水的小容器下部接一小管，管子末端的直径很小，接入漏斗2中，由阀门5来调节小管内颜色水的流动。

将水箱1灌满水，并将液面保持恒定。稍为扭开阀门3，水即以较小的流速沿玻璃管流出。将阀门5稍为打开，小管中的颜色水流入玻璃管内，我们可以看到：玻璃管内的颜色水呈明显的直线形状，如图1—7甲所示。这说明整个管中的水都是沿轴线方向流动的，流体相互之间没有横向运动，不互相混杂，这种流体运动称为层流运动。

将调节阀3逐渐开大，玻璃管中的流速增大，则直线状的颜色水将开始微微振动，如果再开大调节阀，使流速增大到一定程度，则颜色水不再保持为直线形状，而破裂成一种非常紊乱的状态，颜色水不但有轴向流动而且还有横向运动，流体彼此间互相混杂，这种紊乱的

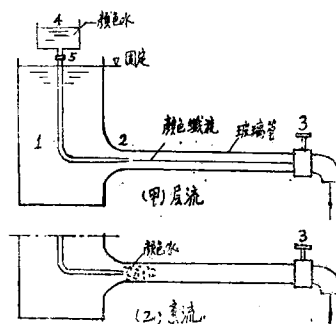


图 1-7

无规则的运动叫做紊流流动，如图（1—7）乙所示。

如果进行程序相反的试验，即逐渐关小阀门3，使玻璃管内的流速逐渐减小，则流体将从紊流运动状态转变为层流运动状态。

上述实验中所观察到的流动现象，是一切流体（包括水、空气、油等）流动的基本现象。

毛主席教导我们说：“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。”流体流动的类型“是由各方面的因素决定的。”

让我们将实验再继续下去。若保持管径 d 、流速 v 不变，用不同的流体，则可发现在粘性大的流体中，颜色水可保持为直线状，而在粘性小的流体中，颜色水又成为紊乱状态了。

若再将流体的性质、流速保持不变，而改变管径的大小。我们发现当管径小的时候，颜色水是直线状，当管径大的时候，颜色水则呈紊乱状。

由此可知，层流流动和紊流流动是与管径 d 、流速 v 和流体的运动粘性系数 ν 有关的，然而他们的关系并不是与管径 d 、流速 v 、运动粘性系数 ν 单个参数间的关系，而是与这一组数 $\frac{vd}{\nu}$ 有关，我们将这组数称为流态特别数，用 R_e 表示，即：

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

$$\text{或} \quad R_e = \frac{vd}{\nu} \dots\dots\dots (1-11)$$

试验告诉我们，若 R_e 大于 13800，管中的流动状态肯定是紊流流动，若 R_e 小于 2300，则管中流动状态肯定是层流流动，当 R_e 介于上述两者数值之间时，管中的流动可能是层流也可能是紊流或是一个过渡区，不过实践证明，是紊流的可能性更大些。

由此可归纳出一条判别管中流动状态的准则来。

若 $R_e < 2320$ 则为层流

$R_e > 2320$ 则为紊流

对于任意形状截面的管道来说，流态判别数 R_e 的形式可表为 $\frac{vR}{\nu}$ 。其中 R 称为水力半径，即为截面积 S （与速度方向向垂直的截面积）与湿周 χ 之比，即 $R = \frac{S}{\chi}$ ；湿周就是断面上流体接触固定边界的周长。

我们明确了流体流动有层流和紊流后，就知道射流也有层流射流和紊流射流二种。利用流体流态的变化现象可以制成射流元件，如紊流放大器。

第七节 功率和动量

一、功率

我们常常要用到功和功率的概念。

如果有一力 P 作用在物体上，使该物体在作用力方向上位移了 l 距离，那么我们就说物体做了功，其形式为：

$$A = P \cdot l$$

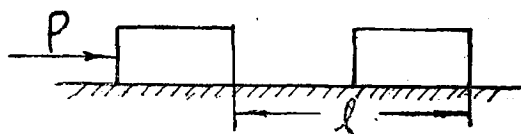


图 1-8

功的单位是公斤一米。

单位时间内，物体所做的功，叫做功率。

即：
$$N = \frac{A}{t} = \frac{P \cdot l}{t}$$

式中 N ——功率 t ——时间

对于流体来说，可得如下功率公式：

$$N = \frac{p \cdot S \cdot l}{t} = p \cdot S \cdot v = p \cdot Q$$

即：
$$N = p \cdot Q \quad \dots\dots\dots (1-12)$$

因此，流体的功率是流体的压力与流量的乘积。

功率的单位是公斤一米/秒。若功率的单位用瓦表示，则由于 $1 \text{ 公斤} \cdot \text{米/秒} = 9.8 \text{ 瓦}$ ，所以功率的表达式（1—12）可写成：

$$N = 9.8 p \cdot Q \quad \dots\dots\dots (1-13)$$

例如计算一下喷嘴宽度为0.25毫米的微型元件的耗气功率。若气源压力为1000毫米水柱高，测得流体流量为160升/小时，则根据式（1—13）算得耗气功率为0.436瓦。

二、动 量：

在处理流体流动问题的时候，我们还常用到动量这个概念。所谓动量就是流体的质量与其流速的乘积。即：

$$\text{动量} = mv \quad \dots\dots\dots (1-14)$$

它在射流元件中是经常用到的一个概念。

毛主席语录

我們必須打破常規，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期內，把我国建設成为一个社会主义的现代化的强国。

第二章 射流元件

射流元件是射流技术的基础，它是一种利用射流流动的一些特性来实现自动控制的元件。目前，根据国内现有元件按作用原理来分，大体可分如下几种：

- 一、附壁式：如“双稳”、“或非”、“单稳”、“计数触发器”、“振荡器”等元件；
- 二、动量交换式：如“与”门、“或”门、比例元件、整流器、半加法器、紊流式射流元件等；
- 三、涡流式：如气动二极管、涡流放大器等。

下面我们分别对射流元件的工作原理、性能、制造和测试等加以介绍。

第一节 附壁式射流元件

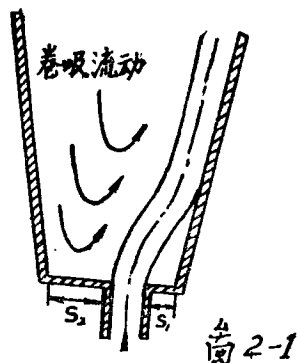
一、射流的附壁效应：

设有这样一个容器，它一端通大气，另一端仅开了一个小喷咀，而喷咀离开二边容器壁的距离不相等，左边 S_2 大，右边 S_1 小，如图 2-1 所示。

当射流从喷咀喷出后，射流立即附着在右壁上流动，这种现象叫做射流的“附壁效应”。

毛主席教导我们：“我們看事情必須要看它的實質，而把它的現象只看作入門的向导，一进了門就要抓住它的實質，这才是可靠的科学的分析方法。”那么我们就来分析一下射流为什么会产生附壁效应的。

首先，我们通过日常生活中所碰到的现象来说明一下卷吸（或抽吸）现象，这有助于我们对射流性质的了解。如果有一列快速前进的火车从我们身旁开过，从人们的常识中就知道要离铁轨远一些，否则有被火车吸进去的危险。这就是因为两侧的气体被高速前进的火车所带动（即卷吸作用），因而使两侧的压力降低，低于大气压。所以当人站在离铁轨



很近的地方，就有被大气压向火车推去的作用，也就是我们常说的被火车吸进去了。如两船靠近平行前进有碰撞的危险也是同样的道理。

通过这个例子，我们再来说明射流的卷吸现象就比较容易理解了。

当射流从喷咀中喷出，在两侧的静止气体就要被高速流动的射流所带动（卷吸现象），一部分气体随着射流一起流动，因而射流两侧的压力就要降低，即 P_1 和 P_2 都小于大气压，如图 2—2。

同时，远处的气体不断的流向低压区，补充被射流带走的气体，因此在射流的两侧就形成了附加流动。当射流刚从喷咀喷出后的极短的时间里，在喷咀两侧抽走的气量是完全一样的。也就是说在射流两侧的附加流动在同一时间内应补充相同的气体量。但由于射流距离两侧挡板不等，所以距离大的一侧补充速度就较小，而距离小的一侧补充速度较大。根据运动流体压力和速度的关系知，流体流动速度小，其压力就大，而流动速度大的，其压力就小。所以两侧的压力就不等，距离大的一侧压力大，距离小的一侧压力小，即 $P_2 > P_1$ 。在此压力差 $\Delta P = P_2 - P_1$ 的作用下，射流就偏向右壁，此时偏转的射流还在继续起卷吸作用， P_1 继续下降，使射流更加贴附于右壁流动。同时，在射流附着的右壁的小空间中，气体流动成迴旋状态，形成一个旋涡区，这又使右侧压力 P_1 进一步降低，因而就使得射流稳定的贴附于右壁流动，如图 2—3 所示。

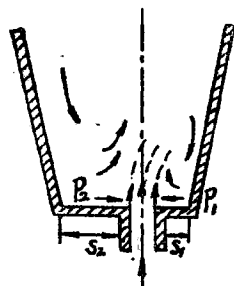


图 2-2

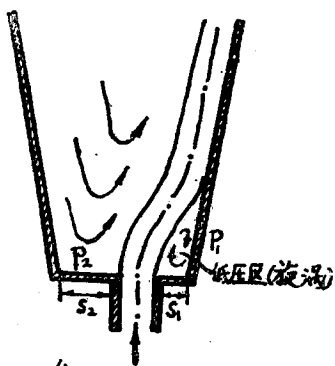


图 2-3

由以上分析，我们找到了“附壁效应”产生的原因。毛主席教导我们：“唯物辩证法认为外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用。”射流为什么会附壁，其内因就是射流从喷咀中喷出后有卷吸周围气体的作用，从而使喷咀两侧压力降低，此时又有二个不等距的挡板这样一个外界条件，使得喷咀两侧的压力降低不等，在压力差的作用下射流就附在邻近的壁面流动了。

二、附壁式射流元件的成型：

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。”我们掌握了附壁效应这个规律，遵照毛主席的教导，把理论应用到生产实践中去。下面我们就来介绍一下应用附壁效应制成的射流元件。

从以上的分析知道，产生附壁效应的外界条件是两壁离喷咀的距离不等，射流就附在离喷咀近的壁面上流动。这两个距离是决定射流附壁的重要因素，所以在射流元件里把喷咀离壁面的距离 S 叫做位差。

从以上分析还知道，射流附着在离喷咀近的壁面上流动是由于射流本身的卷吸作用及两个不等距离挡板这个外界条件，使射流两侧产生压力差而形成。所以我们如要改变射流的附着情况，只要改变压力差就可以了。若在右壁（距离喷咀远的一侧）离喷咀不远的地方开一个小孔，另一股压力为 P_c 的射流从中喷出（图 2—4），当 $P_c > \Delta P = P_2 - P_1$ 时，即 $(P_c + P_1 > P_2)$ ，

射流就从右壁被推向左壁，这样的过程就叫做射流的切换。切换有两种形式：一种是从控制孔中加入一定压力的气体才能切换，这叫“正压”切换；另一种只要堵死控制孔，利用射流卷吸作用而产生压力差，把附于对面壁上的射流切换过来，这叫“负压”切换。

因为射流从喷嘴喷出后，它就要扩张。当射流贴附于某一壁面上流动时，有一部分气体就可能扩散到对面去，为了解决这个矛盾，采用在二壁之间安放一块“分流劈”，构成二条输出通道的方法，这样就消除了扩散现象。

当输出通道一旦被堵死或有阻塞现象，使多余的气体倒流时，射流就会“自动”切换，不能附在原来壁面上。为了解决这个矛盾，在二个壁面的一定位置上，各开一个孔，这孔就起着向外排气的作用，称为“排气孔”。

有了喷嘴，位差，控制孔，输出通道，分流劈和排气孔，就基本上构成了一只附壁式的射流元件（图2-5）。利用射流的附壁效应，就可以制成各种各样的附壁式元件。下面我们向大家介绍几种常用的附壁式射流元件。

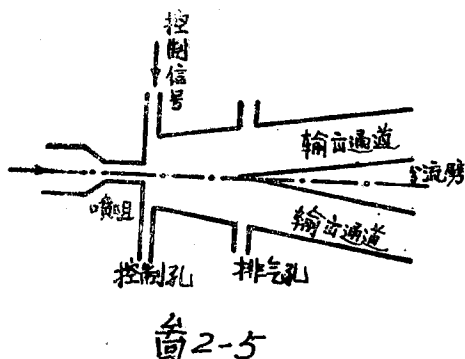


图2-5

三、附壁式射流元件：

（1）双稳元件

几何形状及动作原理：

如图2-6所示，双稳元件的几何形状是对称的。从喷嘴喷出的射流可附在任意壁上流动。这是因为几何形状的加工不可能是绝对对称的；再者，射流从喷嘴喷出时总带有一点微小的偏向，假如射流先附于左壁，从输出通道

1输出（图2-7甲）。当从控制通道3输入控制流时，使左边压力比右边压力高，射流便切换到通道2输出（图2-7乙）。

这时即使去掉控制信号，射流还是稳在右壁，从通道2输出（图2-7丙）。

如再从控制通道4输入一控制流时，射流才又重新切换至通道1输出（图2-7丁）；同样，当控制信号消失后，射流还是稳在左壁，从通道1输出。这就是双稳元件的“记忆”作用，就是说能把脉冲信号（短信号）记忆下来。这种元件，射流可有两个

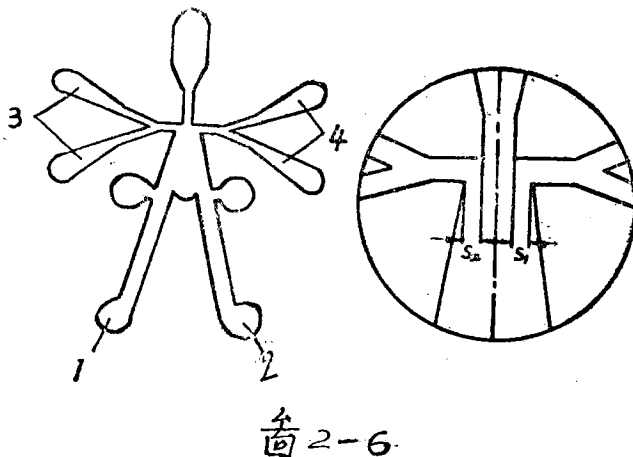


图2-6