



# 液压射流技术

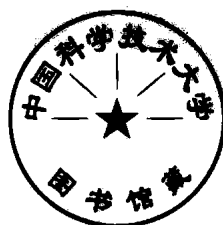


山东人民出版社

# 液 压 射 流 技 术

山东工学院射流组编

(只限国内发行)



山东人民出版社

# 液 压 射 流 技 术

山东工学院射流组编

\*

• 山东人民出版社出版  
山东新华印刷厂潍坊厂印刷  
山东省新华书店发行

\*

1973年4月第1版 1973年4月第1次印刷

印数：1—7000

统一书号：15099·06 定价：0.31元

(只限国内发行)

## 编 者 的 话

射流技术是六十年代发展起来的一种自动控制技术。它与电子自动控制技术相比，除有结构简单、成本低、抗干扰能力强(如磁场、振动等)、容易掌握、适于普及和推广等特点外，还由于它的能源设备简单、紧凑，便于实现单机自动控制。因而在机械制造工业等部门得到了推广和应用。

我省广大工人、技术人员在毛主席关于“打破洋框框，走自己工业发展道路”的方针指引下，自力更生，奋发图强，在推广气动射流技术的同时，也进行了液压射流技术的试验和推广。他们设计、制造出各种液压射流元件和附件，应用于生产中，积累了许多实践经验。

为了交流经验，以适应液压射流技术推广和普及的迫切需要，在有关领导部门和工厂的支持下，在初步总结我省液压射流技术成果的基础上，我们编写了《液压射流技术》这本书。由于水平所限，调查研究不够全面，书中难免存在一些缺点和错误，请读者批评指正。

# 目 录

<b>第一章 液压射流技术的基本知识</b> .....	(1)
§ 1—1 概述.....	(1)
§ 1—2 液体的某些基本性质.....	(2)
一、密度和重度.....	(2)
二、粘性.....	(8)
三、压力、流量、功率和流速.....	(5)
§ 1—3 液压射流元件的工作原理.....	(8)
一、附壁式射流元件.....	(8)
二、动量交换式射流元件.....	(20)
三、其他元件.....	(23)
§ 1—4 液压射流元件的基本性能.....	(25)
一、静态特性.....	(25)
二、动态特性.....	(29)
<b>第二章 液压射流元件的设计、制造和测试</b> .....	(31)
§ 2—1 液压射流元件设计中一些问题的讨论.....	(31)
一、液压双稳射流元件的切换原理.....	(31)
二、液压双稳射流元件的几何参数.....	(34)
三、液压双稳射流元件设计中一些问题的讨论.....	(47)
§ 2—2 带可动部件的液压射流元件.....	(54)
一、活动摆臂液压射流元件.....	(54)
二、活动喷嘴液压射流元件.....	(57)
§ 2—3 液压射流元件的制作.....	(58)
一、手工加工.....	(58)
二、电铸法.....	(64)

三、光刻—腐蚀法·····	(67)
四、电火花线切割法·····	(67)
§ 2—4 液压射流元件的性能测试·····	(67)
<b>第三章 液压附件</b> ·····	<b>(71)</b>
§ 3—1 油泵·····	(71)
一、齿轮泵·····	(71)
二、叶片泵·····	(73)
三、柱塞泵·····	(76)
四、油泵的安装、使用与维护·····	(76)
§ 3—2 油缸·····	(79)
一、双出杆式油缸·····	(79)
二、单出杆式油缸·····	(80)
三、油缸的流量和运动速度·····	(80)
四、油缸活塞的推力计算·····	(81)
五、油缸的密封·····	(82)
六、油缸制造和使用中的几个问题·····	(84)
§ 3—3 阀类·····	(85)
一、控制压力的阀·····	(85)
二、控制液体流动方向的阀·····	(89)
三、控制液体流量的阀·····	(95)
§ 3—4 其他液压附件·····	(101)
一、发讯器·····	(101)
二、液动延时器·····	(105)
<b>第四章 液压射流控制系统设计中的几个问题</b> ·····	<b>(107)</b>
§ 4—1 射流元件的选择·····	(107)
一、元件的主射流压力·····	(107)
二、元件的静态输出特性·····	(107)
三、元件的切换性能·····	(108)

四、元件输出道的零点压力·····	(109)
五、元件的“排正”和“抽负”·····	(109)
六、元件的工作温度·····	(109)
§ 4—2 元件的连接·····	(110)
一、控制道并联·····	(110)
二、元件相互串联·····	(112)
三、关于堵控制道切换的问题·····	(113)
§ 4—3 执行机构的速度调节·····	(114)
§ 4—4 控制系统中的互锁回路·····	(116)
<b>第五章 液</b> 射流技术应用实例·····	(118)
§ 5—1 液压射流技术在清洗轴承环装置上的应用·····	(118)
§ 5—2 液压射流控制汽轮机保安系统·····	(119)
§ 5—3 水塔水位的射流控制·····	(121)
§ 5—4 液压射流技术在加工梳棉机链条套管 自动车床上的应用·····	(123)
§ 5—5 活劈元件在连杆铣镗机床上的应用·····	(126)
§ 5—6 射流控制自动秤·····	(128)
§ 5—7 液压射流技术在磨床上的应用·····	(129)
§ 5—8 液压射流控制1722多刀半自动车床·····	(131)
<b>编后</b> ·····	(138)
<b>附录一</b> 液压射流元件符号图·····	(140)
<b>附录二</b> 液压附件符号图·····	(141)
<b>附录三</b> 液压射流元件参考图形·····	(142)

# 第一章 液压射流技术的基本知识

## § 1—1 概 述

液体在一定的压力和速度条件下，从一狭小通道喷出而形成束状，称为液体射流。例如，从救火龙头喷射出来的高速水流等，就是液体射流（通称为液压射流）。但是河流中的淌水和管道中的流体流动，则不能叫液体射流，因为液体射流的特点是在自由状态下本身形成束状。河流中的淌水本身不能形成一束，也就是说，其压力、速度不够大；管道中的流体虽然能形成束状，但流束的表面是由管壁所造成的。因此，它们都不能称为液体射流。

如同气体射流一样，液体射流也具有扩散、卷吸、附壁效应、漩涡等现象。根据自动控制线路的要求，也可以制成双稳、“或非”、“与”门等各种射流元件。

液压射流技术比气动射流技术有如下优点：对流体的净化程度要求低、噪音小、工作平稳、能源设备既简单又紧凑、易于实现单机自动化等。但是，它也存在一些缺点，如控制系统受温度的影响较大、对密封的要求较高等。



## § 1—2 液体的某些基本性质

### 一、密度和重度

单位体积的液体所具有的质量叫做密度。如用  $M$  表示质量、 $V$  表示体积，则该液体的密度为：

$$\rho = \frac{M}{V}$$

在工程单位制中，质量  $M$  的单位是〔公斤·秒<sup>2</sup>/米〕，体积  $V$  的单位是〔米<sup>3</sup>〕，因而密度  $\rho$  的单位是〔公斤·秒<sup>2</sup>/米<sup>4</sup>〕。

单位体积的液体所具有的重量叫做重度。如用  $G$  表示液体的重量，则该液体的重度为：

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

在工程单位制中，重度  $\gamma$  的单位是〔公斤/米<sup>3</sup>〕。

密度和重度间有一个简单的关系。因为重量  $G$  等于质量  $M$  与重力加速度  $g$  的乘积，即  $G = Mg$ 。将此式代入上式，则得出液体重度和密度间的关系式：

$$\gamma = \rho g$$

上式中， $g = 9.81$ 〔米/秒<sup>2</sup>〕。

工程上几种常用液体的重度和密度为：水的重度  $\gamma = 1000$ 〔公斤/米<sup>3</sup>〕，密度  $\rho = 101.9$ 〔公斤·秒<sup>2</sup>/米<sup>4</sup>〕。润滑油的重度  $\gamma = 890 \sim 920$ 〔公斤/米<sup>3</sup>〕，密度  $\rho = 90.7 \sim 93.8$

[公斤·秒<sup>2</sup>/米<sup>4</sup>]。

## 二、粘性

液压系统中多以润滑油作为工作液体。应用时，常常遇到润滑油变稀或变稠的现象，这说明润滑油的粘性在变化。粘性对液压射流系统工作的影响较大，因此工作中应特别注意。

### 1. 粘性的物理意义

液体在管道中流动，当管径和流速较小而液体粘性较大时，同一断面上沿径向各点的流速不等。中心处的流速最大，随着接近管壁而逐渐减小，管壁处流速为零。图 1—1 所示的流速分布情况，说明液体围绕管子轴线分层流动，每层流速不同而产生阻力。这种阻力就是液体存在粘性的具体表现。只有当液体各部分之间具有相对运动时，粘性才会显示出来。

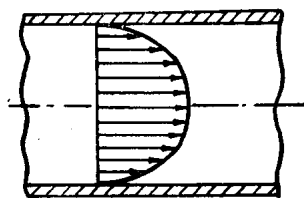


图 1—1 管路断面上的流速分布

### 2. 粘性系数

液体粘性的大小，通常用粘性系数表示。粘性系数有两种：

(1) 动力粘性系数  $\mu$ 。它是表示面积均为 1 [厘米<sup>2</sup>]，相距为 1 [厘米] 的上下两层液体，当上层液体以 1 [厘米/秒] 的速度与下层液体作相对运动时，下层液体对上层液体的运动所产生的阻力(以达因为单位)，称为动力粘性系数。

$\mu$  的工程单位是〔公斤·秒/米<sup>2</sup>〕。

(2) 运动粘性系数  $\nu$ 。液体的动力粘性系数  $\mu$  与液体密度  $\rho$  之比，称为运动粘性系数。即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$\nu$  的工程单位是〔米<sup>2</sup>/秒〕。

### 3. 粘性与温度的关系

液体的粘性受温度的影响较大，其粘性系数也随温度而改变，尤其是各种油类。温度较低时，油类的粘性较大；温度较高时，粘性较小。图 1—2 是几种常用机油的粘度（运

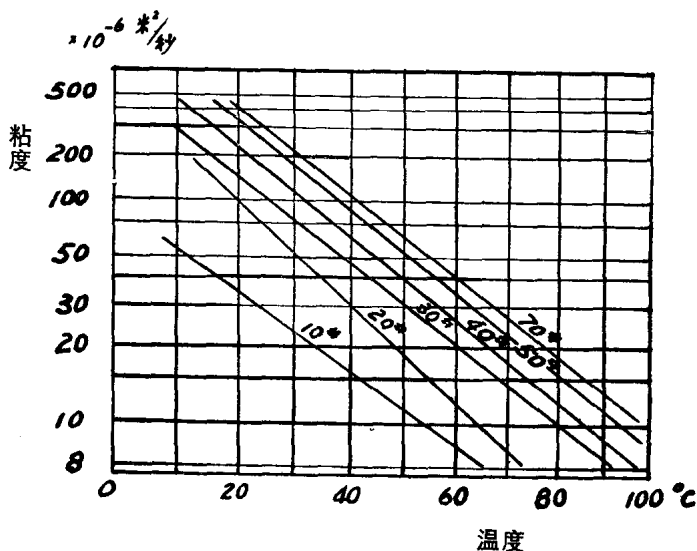


图 1—2 常用机油粘度与温度的关系

动粘性系数) 随温度的变化关系。

### 三、压力、流量、功率和流速

#### 1. 压力

物体单位面积上的作用力叫做压力。工程单位常用〔公斤/厘米<sup>2</sup>〕表示。液压系统中由于压力较高, 故多用压力表测量流体的压力。安装压力表时, 在测压口处必须使连接管的轴线与液流管道垂直, 见图 1—3。

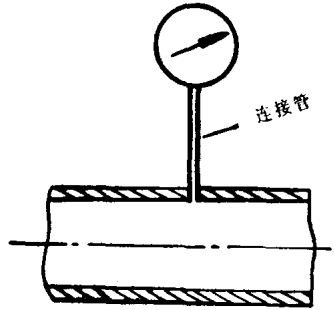


图 1—3 管路中的压力测量

#### 2. 流量与流速

单位时间内流经通流断面的流体总量叫做流量。流量有两种表示法: 一是重量流量  $Q_w$ , 常用单位为〔公斤/分〕; 一是体积流量  $Q_v$ , 常用单位为〔米<sup>3</sup>/分〕或〔升/分〕等。当  $Q_v$  的单位用〔米<sup>3</sup>/分〕表示时, 则两者的关系为

$$Q_w = \gamma Q_v$$

式中的  $\gamma$  为流体的重度。

一般情况下, 可视液体是不可压缩的, 所以体积流量  $Q_v$  又等于通流断面处的平均流速  $v$  和面积  $A$  的乘积, 即

$$Q_v = vA$$

上式指出: 当流量一定时, 流速和面积成反比, 即: 管路中通过各断面的流量相等, 则管路断面较大处流速较小, 断面较小处流速较大。

### 3. 流体流动时的功率

同电功率等于电压乘电流的公式一样，当流体在管道内流动时，如管内某截面处的压力为  $p$ 、流量为  $Q_v$ ，则该截面处流体的流动功率为

$$N = 1.63 p Q_v \text{ [瓦]}$$

式中， $p$  的单位为〔公斤/厘米<sup>2</sup>〕， $Q_v$  为〔升/分〕。

### 4. 压力和流速的关系

在液体流动过程中，能量变化主要表现为压力能和动能的相互转换。压力能的大小取决于液体的压力，动能的大小取决于液体的流速。根据能量守恒和转换定律，在液体流动过程中，液体所具有的压力能和动能之和是常数。也就是说，流速增大时，压力就会降低；流速降低时，压力就会上升。例如，当有压水管的阀门打开时，阀前某截面上水流的压力能和动能各具有一定的值，若阀门逐渐关闭，则随着流速的下降而压力不断上升，直到阀门全部关闭，流速（动能）等于零时，压力达到最大值。此时，全部能量表现为压力能。

能量守恒和转换定律是客观存在的普遍规律，它说明能量不能自生自灭，但可以由一种形式转换成另一种形式。

### 5. 流动中的能量损失

上述讨论是在假定没有能量损失的前提下进行的。实际上，当液体流动时，阻力的存在就不可避免地造成能量的损失。这种能量损失称为阻力损失，主要是液体各部分之间以及液体与管壁之间发生摩擦所引起的，通常以热能方式逸散了。

阻力损失可分沿程阻力损失和局部阻力损失两种。沿程阻力损失主要是指流体在管道中流动所引起的损失，当管道细长，内壁粗糙时，损失就较突出；反之，当管道粗而短，内壁光滑时，损失就较小，甚至可以忽略。局部阻力损失是通流断面发生突然扩大、缩小或管道转弯时，流体内部产生强烈扰动而造成的。

考虑到流动中的能量损失，流动过程中的能量守恒与转换定律可表达为

$$\text{压力能} + \text{动能} + \text{阻力损失能} = \text{常数}$$

对于单位重量流体，压力能以  $\frac{p}{\gamma}$  表示，动能以  $\frac{v^2}{2g}$  表示，

阻力损失能以  $\Delta H$  表示，则上式可表示为

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + \Delta H = \text{常数}$$

以射流元件为例，当流体在进入主喷嘴以前，压力为  $p_1$ ，流速为  $v_1$ ，而在主喷嘴出口处，压力降到  $p_2$ ，流速却增加到

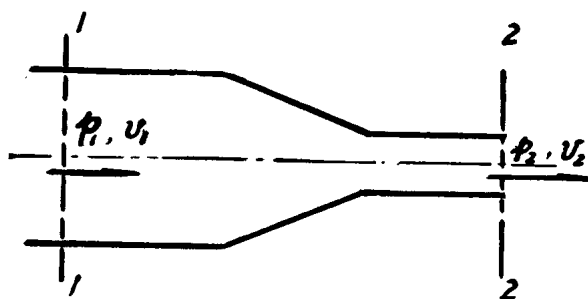


图 1—4 液流经过喷嘴前后的压力和速度

$v_2$ ，如图 1—4。能量关系可表示为

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H$$

式中的阻力损失能 $\Delta H$ ，主要是局部阻力损失。

### § 1—3 液压射流元件的工作原理

液压射流元件和气动射流元件的工作原理大体相同。因此，同样可以利用流体的附壁现象、动量交换、涡流等特性做成各种类型的元件，如附壁式、动量交换式、涡流式等液压射流元件。下面分别介绍几种常用的液压射流元件。

#### 一、附壁式射流元件

##### 1. 射流的附壁效应

当流体从喷嘴高速喷出时，流体的质点在作杂乱、无规则的运动，由于流体间的摩擦阻力，射流就会带动它周围的静止流体一起向前流动，如图 1—5。这是射流的卷吸现象。

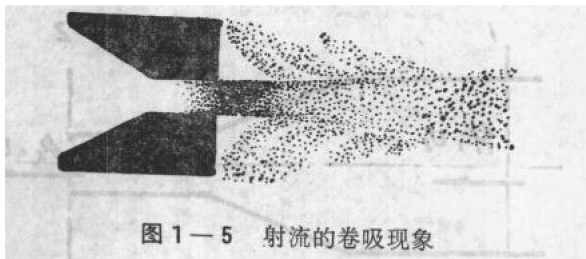


图 1—5 射流的卷吸现象

象。日常生活中碰到的卷吸现象也很多，例如高速前进的火车从身前驶过，我们都知道要站离轨道远一些，否则有被火

车吸进去的危险。这是因为高速前进的火车带动其两侧的空气，使两侧气压降低，当人站离轨道很近时，身体前后的压差就可能把人吸向火车，这和射流的卷吸现象是一样的。

图 1—6 甲中，从喷嘴喷出的射流被限制在两侧壁之

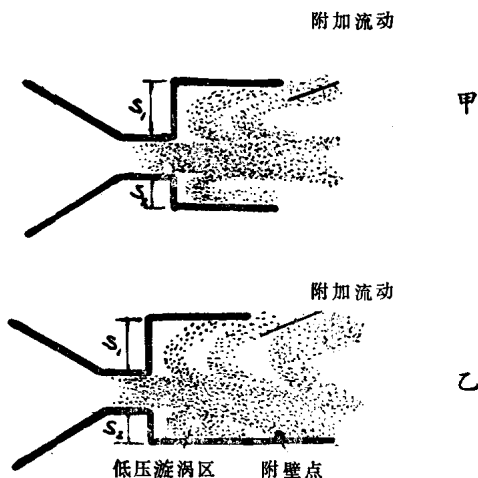


图 1—6 射流的附壁现象

间，由于卷吸作用而在流束两侧产生如图所示的附加流动。如果两侧壁到喷嘴边缘的距离不等，设 $S_1 > S_2$ ，则距离小的一侧补充被卷吸走的流体比较困难，压力较低；相反，另一侧则压力较高。在这种压差的作用下，流束偏向距离小的一侧；随着流束的偏转，距离小的一侧补充更为困难，压差更大，从而使射流牢固地附在距离小的侧壁上。这种现象称为射流的附壁效应。射流开始与侧壁接触的一点叫附壁点。附



壁点上游、射流与附壁侧之间产生漩涡的区域称为低压漩涡区（图 1—6 乙）。

实践证明，在一定范围内，射流速度高，卷吸作用大，附壁性增强；反之，射流速度低，卷吸作用小，产生的压差不足以使射流偏转，附壁性减弱或消失。因此，为了达到附壁的目的，必须具有一定的速度。

对液体射流来说，由于液体的粘性较空气大，既降低射流速度，又削弱卷吸作用，并且液体的密度几乎为空气的 1000 倍左右，流动时惯性较大，流束不易偏转。要获得良好的附壁性，需有较高的速度。从这一点来考虑，能源压力高是必要的。

## 2. 附壁式射流元件的构成

产生附壁效应的内在因素是射流有卷吸周围流体的作用，两侧壁到喷嘴边缘的距离不等则是产生附壁效应的外界条件。所以，喷嘴边缘到侧壁的距离是决定射流附壁的重要因素。在射流元件中，上述距离叫做位差，如图 1—6 中的  $S_1$  和  $S_2$ 。

如果元件中的位差相等，即  $S_1 = S_2$ ，射流依然可以附在任一侧壁上。这是因为射流离开喷嘴时，流束两侧的情况完全相同，使它沿着喷嘴中心线流动，但这是一种不稳定状态，只要存在一点微小的不对称，或者偶然受到一点干扰，流束就会偏离中心线，使两侧形成压差，结果偏离增加，从而更进一步扩大压差，直到迫使射流附壁。

从元件喷嘴喷出的流束叫做主射流。由上述分析可知，