

国外射流技术

第一辑

上海科学技术情报研究所

15.108
25

国外射流技术
(第一辑)

上海科学技术情报研究所编

*

上海科学技术情报研究所出版

新华书店上海发行所发行

上海科学技术情报研究所印刷

*

1970年10月出版

代号: 1684007 工本费: 0.25 元

(只限国内发行)



毛主席语录

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。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。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

前 言

射流技术是六十年代发展起来的一项新技术，是气动、液动控制技术的新的飞跃，是电子技术在自动化领域中的重要补充。射流控制装置简单、可靠、经济。

无产阶级文化大革命中，我国工人阶级高举毛泽东思想伟大红旗，在毛主席的“备战、备荒、为人民”和“独立自主、自力更生”的伟大战略方针指引下，破除迷信，解放思想，土法上马，敢想敢干，猛攻射流技术。使射流技术在全国各地得到迅速地普及和推广，新材料、新工艺、新技术、新装置不断涌现，射流控制装置已应用到化工、机械、仪表、轻工、纺织、造船、电力等许多工业部门。一支以工人为主体的发展射流技术队伍正在发展壮大，一个大搞射流技术的群众运动正在蓬勃兴起。

在发展射流技术大好形势的鼓舞下，遵照毛主席的“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”和“知己知彼，百战不殆”的教导，应广大工农兵的要求，我们选择部分国外射流资料，不定期地编译出版《国外射流技术》。对待国外资料，我们应当根据“洋为中用”的原则，彻底批判“爬行主义”、“洋奴哲学”。批判地吸收和利用国外资料，走我国自己科学技术发展的道路，迅速地赶超世界先进水平。

由于我们水平有限，难免有错误之处，恳切期望得到广大读者的支持和帮助，对刊物质量提出宝贵意见，并能推荐和提供有关射流技术方面的选题和译文，和我们一起办好这本刊物。

上海科学技术情报研究所

1970年5月26日

TP 6 / 10

国外射流技术

第一輯

上海科学技术情报研究所编

目 录

1. 射流在工业中的展望····· P.J.Baker 等 ·····(1)
2. 评价射流系统可靠性的技术····· A.R.Adler ·····(4)
3. 射流元件的制造方法与使用方法····· 眞锅重命·····(9)
4. 射流技术应用于滚珠轴承内环内径自动检测仪····· 宫本克巳等·····(21)
5. 低成本控制系统能够使工业用
 燃气轮机同柴油机竞争····· P.M.Slade 等·····(28)
6. 射流有助于加速组合机床的设计····· E.F.Fay·····(32)
7. 关于射流-膜片继电器技术····· Т.К.Берендс 等·····(36)
8. 射流式燃料控制系统····· B.A.Otsap 等·····(41)
9. 用射流放大器测量流速····· J.T. Sharpsteen ·····(52)

第二輯要目預告

1. 射流技术的优缺点····· P.C.Bain 等
2. 船用柴油机的气动控制····· A.C.Law
3. 液面控制装置
4. 射流阀控制飞行服的温度

射流在工业中的展望

P.J.Baker D.C.Bain

射流是利用流体的流动特性来完成传感、传动、控制和计算工作的一些元件和技术的通称。射流元件，根据它是数字式的或模拟式的，包含或不包含活动零件，可分成四大类。

非活动零件数字式元件有二大类：紊流放大器(图1)和附壁元件(图2)。活动零件数字式元件是指那些包含浮动或形变薄膜或漏洩弹簧的元件。利用滑动接触的一般元件(例如短管阀)，不包括在内。除了控制系统中用的小型元件之外，也可以用大型元件来控制工作流体本身的流动。

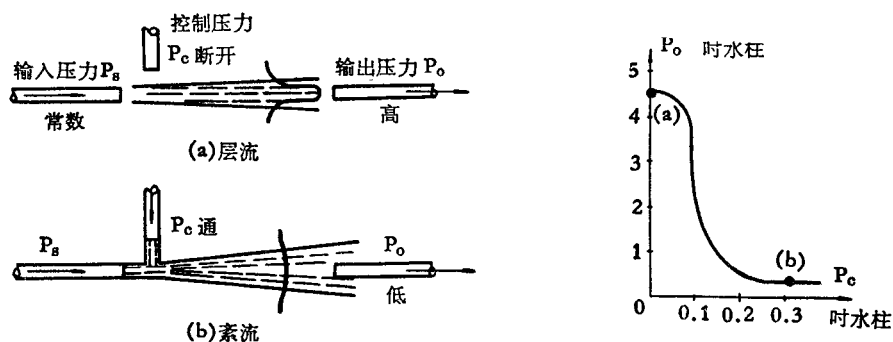


图1 紊流式放大器工作原理

射流的应用促使许多工业的生产水平有提高，尽管它的出现已经晚了一些，以致不能取代现有的工艺。本文谈及正在采用并可进一步广泛采用射流的某些工业，并指出射流具有优点的一些应用范围(见下表)。

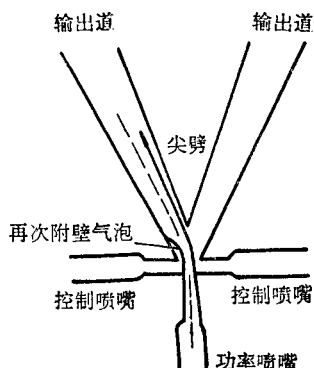


图2 附壁式放大器工作原理

机械-水力学、电子学和射流之间的性能比较

特 性	机械-水力学	电 子 学	射 流
频率响应	$10 \sim 10^2$ 赫	10^{10} 赫	10^3 赫
增 益	$10^3 \sim 10^4$	10^8	$10^3 \sim 10^4$
垫料密度	低	很高	介质
系统柔顺性	佳	很易变的	很好

在英国,除了军用外,机床工业比起其它工业来,较受射流工作者的重视。

主要原因是:输入和输出机械信号早已存在于许多机床中。气体力学和水力学已广泛用于动力工作,所以用射流逻辑来控制这种工作比用具有界面元件的电子逻辑较吸引人。不用界面可使系统简化而提高可靠性。界面往往是现有系统发生故障的一个主要原因。

虽然目前某些射流元件比等效的电子元件贵得多,但气动阀比螺线管阀和继电器要便宜得多。

射流元件的反应较慢,但对于许多比较简单的系统来说,这是无关紧要的。另一方面,对于大型系统来说,必须考虑总的反应。对于简单的系统,例如传感、测量或定位,射流在机床工业方面具有许多应用。由于大多数现代化的车间的环境条件是较好的,所以活动零件和非活动零件射流元件都可以用。在欧洲,凡是采用活动薄膜元件的系统,都有较好的效果。

可靠性最为重要,因为生产线发生故障会在经济上造成很大损失。例如,在包装和造纸工业方面,大量的程序操作促使人们采用射流来进行控制。对于固定的和不固定的包装尺寸,早已制成了数字式包装机。在生产设备中已经大量采用非常简单的气动逻辑,以将工件自动夹持在夹具中进行加工。凡采用射流的工厂,生产率都有一定的提高。

射流传感器具有许多优点,它比其他元件(例如光电池)简单而便宜。用空气作为工作流体时,较常用的技术是间歇喷射和反压传感。除了检测工件或位置之外,空气检测头还可以十分精确地测量和控制尺寸大小,而且和材料的特性无关。

大部分应用于待装配的小型、低级逻辑系统。例如在传感应用中只需要少量逻辑时,用气动设备建立整个系统比用界面便宜而可靠。这样的系统不大需要维护,结构牢固,一般工作人员都可操作(采用电子逻辑时操作者都要经过训练)。

在困难的环境下控制飞机、导弹和宇宙飞船,需要结构牢固而且经得起困难环境考验的系统。美帝对于射流的研究,大部分力量化在这一方面。

对于导弹控制来说,射流有许多优点:便宜、可靠、经得起环境考验。采用阀门和机械联动装置的一般控制系统比较容易发生故障而且比较重。正在试制大量射流传感器(包括速度、温度和压力比传感器)来控制航空发动机。试制工作中最吸引人的元件之一就是射流温度传感器。据称,采用射流温度传感器的射流燃气轮机控制系统比现有的系统效率高。这种传感器使燃气轮机保持最佳的工作状态。

数字式和模拟式元件将广泛应用于宇宙空间。许多应用都要求元件用适当的陶瓷或高温金属做成,以形成单块结构。紊流放大器在这方面看来没有多大发展前途,因为它对噪声、突加负载和温度是敏感的。

射流应用于船舶的理由如下:

- (1)机器间内环境温度高,如用电子控制设备,就需要冷却装置;
- (2)发动机室内的振动负载和突加负载会损坏电子系统,除非采用昂贵的防震装置;
- (3)射流元件对于海洋性气候具有较好的抗腐蚀性能;
- (4)可靠性提高后,可以减少维护人员;
- (5)在大多数情况下,气源容易获得。

大型射流元件还可以用来控制流体宇宙飞船。射流也可以用来控制大型船舶,例如油船。射流最有希望的应用之一是控制货运。油船采用射流转换阀和液位传感器可大大减少火灾,而且效率较高。

射流元件由于可靠性高,而且经得起困难环境的考验,所以可以考虑用来控制核设施。如同宇宙空间的许多应用一样,高的可靠性比成本重要得多。目前大部分研制工作都集中在用大型射流元件来控制反应堆内的流体。这些元件也可用于许多处理工业(例如淡化和化工设备),它们包括:转换阀、二极管和涡流控制阀。在强的辐射区内,这些元件往往必须装在反应堆内。所以,在反应堆的寿命期内,它们必须能在任何时候工作且无需维护。其他优点是:(1)不用重的活动零件;(2)消除了封接问题;(3)射流转换阀比一般阀门便宜。

射流应用于许多处理工业的优点之一是:大多数流体本身已经处理过,大型射流元件特别适用于这种工业。

处理设备的防火工作是一个实际问题,要求采用昂贵而庞大的设备。目前气体力学已经应用到这一方面,但它的逻辑能力有限且昂贵。而射流元件一般工作人员都可以加以维护。在不清洁的环境下,它比电子元件可靠,操作也较简便,不大需要维护。

大量事实证明,在欧洲,射流已经广泛应用到化学工业。许多化工厂周围有大量腐蚀性气体,所以射流元件比电子控制系统更合适。钢铁厂的环境条件很坏,生产过程中存在高温、热和机械冲击、振动、噪声、污浊的空气等情况。这种工业是利用射流的一个自然的场所。

对于这种工业可以考虑采用超声射流元件。这种元件具有噪声而且要消耗大量空气,这是不利的,但这并不能排斥它的应用。工厂里的噪声通常是大的,而且一台压缩机的成本小于大多数设备的资金和运转费。超声射流元件还可以用来直接推动阀门和其他控制装置,这样就可以省用继电器等。

射流在食品和饮料工业方面也有许多应用。根据卫生条例,设备必须定期清洗和消毒。射流控制箱用热水和蒸汽清洗,比起现有控制设备来不大会引起故障。而且这些设备操作时,周围是很潮湿的。在食品工业和钢铁工业方面,射流温度传感器可以广泛用来控制烘炉和炼钢炉的温度。

在某些应用中,无活动零件的射流元件没有关闭本领,这是不利之点。

已被证实,在困难环境下的可靠性(特别是在宇宙空间、核子、船舶和钢铁工业方面)是采用射流元件的一个主要理由。

如果认为采用射流元件后一点也不需要维护的话,那是错误的。大多数射流元件还是需要一些维护的,只是比其他元件所需维护少一些罢了。但射流元件的维护简单,而且一般工作人员都可以进行。

但是,从目前来看,射流是有一些缺点的。设计资料缺乏,研制费昂贵,在建立系统时往往遇到元件与元件之间的匹配问题。这些缺点主要是因为射流目前尚处在初始阶段,必然会影响它的产量。

但从长远来看,射流必定是一种新的控制工具。

(译自“The future of fluidics in industry”, *«Engineering»*,
October, 1969, p.398~399.)

评价射流系统可靠性的技术

A.R.Adler

我们直观地预想射流装置使用可靠。这种感觉来自于一些特征：没有活动零件和对输入信号变化的宽容限。然后，我们只有较少的实验和分析证据来证实这种可靠性。

近年来，从其他方案的研究中我们知道，没有对这种设备易受的故障方式及其基本机构作定量和定性的了解，射流元件所固有的可靠性，实际上是不能实现的。再则，我们了解，要恰当地设计有射流元件的完整系统或支系统，必须确定量的可靠性要求，并能估计成功的概率。

在通用电气公司的研究和发展中心，采用以下途径来更好地了解射流系统的可靠性：

1. 可靠性试验方案；2. 这个方案的范围；3. 根据类似的经验估计射流系统可靠性的分析技巧。

可靠性试验方案

在确定可靠性试验程序前，我们同实验室工作人员和工程技术人员谈过有关以前的射流试验，特别是关于这些装置怎样损坏和为何损坏的。

我们研究的损坏方式包括：完全损坏，记忆损失，噪声，信号失漏，不适当的增益和不稳性。潜伏的和实际的损坏机构包括化学侵蚀，蠕变，老化，压力过高或过低，表面浸蚀，受热畸变，通道腐蚀，应力腐蚀疲劳，膜起垢和流体污染。分析这些损坏的方式和机构，表明它们可分成三组：1. 环境效应；2. 流体输送效应；3. 几何效应。

在设计一种能很有意义地评定这些效应的方案中，有必要作出不仅对效应本身而且对其出现的后果都是敏感的试验。采用统计技术，我们发展了一种因子试验，以压力 P 、温度 T 、污染 C 作为影响试验装置可靠性的三种因素，且选择一种五级移位寄存器作为所用的装置。共需六个寄存器。

寄存器试验

六个寄存器最初都在 T_1 、 P_1 、 C_1 状态下试验。在规定时数后，把它们分为三组，每组两个，状态Ⅰ是在强制的条件下进行的，如下：

第一组：在 T_2 、 P_1 、 C_1 ，继以在 T_2 、 P_2 、 C_1 。

第二组：在 T_1 、 P_2 、 C_1 ，继以在 T_1 、 P_2 、 C_2 。

第三组：在 T_1 、 P_1 、 C_2 ，继以在 T_2 、 P_1 、 C_2 。

在状态Ⅲ，在设计条件下再试验其残存效应。

在状态Ⅰ，对环境所作变动为：

1. 气源压力：从触发器的设计值 1.5 磅/时^2 以及门的设计值 2.0 磅/时^2 至低于强制

值 25%。

2. 气源温度: 从设计值 70°F 至强制值 160°F 。

3. 环境污染: 从设计条件室内空气至强制条件伴有尘埃的 10 毫升 (钟罩) 空气射流。

每个五级寄存器由十五个计数元件组成, 并有五个两进位数容量。它们以 120 次/秒连续记数, 平均试验期限为 130 天。实际的试验配置见图 1。

试验表明一个高的初始损坏率和个别移位寄存器间本质上的差别。

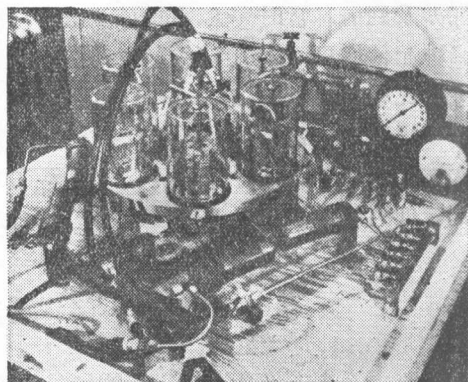


图 1 第一次可靠性试验系列的装置。射流移位寄存器是在六个玻璃罩下, 每个寄存器由十五个计数元件组成

成熟的过程

从此得到明显的教训是, 某些制造和装配过程与它们需要的控制不同。着重了解射流元件(如同以前必须了解电子工业那样), 我们必须把同样高级的技巧用到对制造过程的控制、了解和标准化, 如同已用到元件的设计那样。

这也证实了我们的意见, 即未成熟装置的统计试验的主要优点是对可靠性问题和要求有一个透彻了解, 虽然它没有提供可用于成熟装置固有损坏率的知识。换言之, 它可以是更快地达到成熟的有力工具。

产生损坏的因素

从试验环境看我们初始的试验结果, 显然, 压力和污染在所采用范围内的变化对可靠性没有重大影响(第二系列试验出现很不相同的结果, 只在较高的强制标准下)。然而, 有迹象暗示, 损坏率随温度的升高而增加(尽管这一发现有可疑的价值, 可能是试验装置所用特殊塑料的一种特征)。

第一系列(试验)一个非常有趣的发现是, 这些装置显示出选择性损坏方式, 对于某些输出值, 给出一特定的输入值。对于我们安排的五级移位寄存器, 如果操作不适当, 一特定输入值可产生三种错误输出中的任何一种。按统计分析, 这些错误的概率分别是 40%、40% 和 20%。然而, 实际上, 第一种方式的错误占 15/16, 第二种是 1/16, 第三种方式则完全没有。

损坏型式和我们期望的差别很大, 以至于在统计上是重要的, 并说明这类见识不能依据直觉的判断取得, 这就需要在确实的基础上, 经过改造其程序, 在线路元件的水平上研究发生损坏时出现的事件程序。

这些试验的另一个有趣和重要的发现是, 对某些特定的输入值来说, 格外容易出现损坏。

损坏率

我们的可靠性试验工作在这方面最重要的成果, 可能是发现试验过程中知道的一切损坏

都涉及到信息暂时失去，即在每个例子中一些信息漏掉了。同样重要的是发现，无需更换或修理元件就可恢复适当的运转。这个发现极为重要，因为这是对电子元件和射流元件损坏率进行比较的关键。

用于预言和分析的电子设备的损坏率，几乎只与需要部分更换的完全损坏有关。但在这次试验过程中，在各种环境下，包含 780 个移位寄存器，没有一次需要更换或拆卸寄存器或其元件的故障。由此看来，可以充分证实射流装置的可靠性。

第二試驗系列

第二系列方案是上述方案的一种改善和引伸。

在进行这个新系列可靠性的试验中，我们又用六只移位寄存器，类似较早的设备。然而，较早的设备由十五个触发器式元件组成，本系列的寄存器是图 2 所示十个元件构成。这种元件是用与较早的寄存器同样的塑料制成的。图 3 所示的是一个装配好的五级移位寄存器，有连接污染试验的供气管道。图 4 是装配好的试验装置。

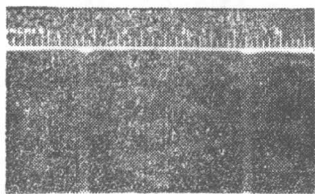


图 2 典型的射流移位寄存器元件

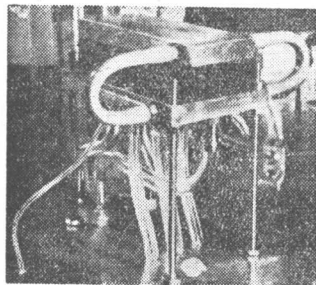


图 3 用于第二次試驗系列的移位寄存器有十个元件，如表示的一个

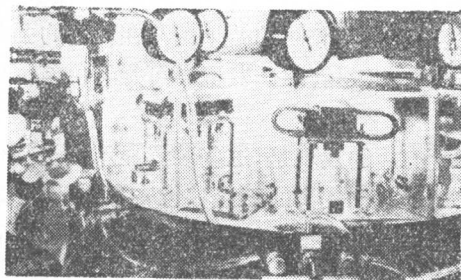


图 4 第二次試驗系列的裝置，包括在油和尘土污染条件下的 2.1 兆次运转

試驗的变动

其他变动包括在发生控制脉冲的槽盘上加一空号段，所以能通过示波器上的空号来识别节拍脉冲的程序。这脉冲发生盘每秒向每个寄存器传送 100 个脉冲。

引伸方案的目的是为了发展关于以下方面的有意义的资料：1. 损坏的时间属性，例如

初期的失败率；2.移位寄存器间和动力源间的变化；3.级间的变化；4.给定输入值的变化。

这次试验也着重于进一步了解污染，把油和尘土都视为污染。一九六五年十二月正式开始进行试验。

污 染 试 验

运转的第一个月中，有许多损坏，都与工厂里空气压缩机所用润滑油的油污有关。这种油比较厚，在 100°F 时的粘度为 600SSU。这比通常在喷气发动机或汽轮机中用的油要粘厚得多。在开始寻找损坏原因期间，共运转了 1.2 兆次移位，发生五次损坏，都与油污有关。

在消除了从工厂空气管道来的油的渗入后，在约 3 兆次洁净运转中，就没有信号失漏（即损坏）。然后，我们把计划引进的污染移到系统中。

在写本文时，我们已有 2.1 兆次污染运转，包括 1.2 兆次带油污的，0.9 兆次受尘污的。这六个试验的移位寄存器中，包含二次污染试验的各有二个，其余二个则在洁净情况下运转。

从开始污染试验以来，共有两次损坏，可以把这个试验系列看成是统计上的可靠性。另一方面，第一系列试验，在统计上可认为是成功的，但从可靠性的观点来看尚未尽善。

损 坏 的 类 型

在许多方面，现行方案中的污染试验较第一次可靠性的污染试验更严格。那时所用唯一的污染是 MIL 特型尘土，放在钟罩内搅拌后输入移位寄存器中。在第二系列中，主气动润滑油器，经寄存器供气管道把油雾直接喷入射流放大器（图 5）。为了计量输入放大器的油的精确量，润滑油器在试验前后都被秤过。油是 SAE10号*的粘度，在 6 亿次运转中，每只寄存器得到约 60 毫升的油。

上述两次损坏中，有一次是在有油污时出现的。毫无疑问，用于空气净化后，该系统就避免了这种损坏。

在为我们的试验发展一种可靠的尘土发生器的过程中，遇到了很大的困难。在管道、垫料和按时馈送机构等方面都碰到了问题，但都已解决，并发展了把尘土直接输入寄存器供气管道的成功的技术。

试验 90 小时后出现过一次损坏，在此期间有 68.3 克尘土进入一个移位寄存器。图 6 表示这个寄存器在损坏时的外表情况。图中见到的一切尘土，已通过该寄存器并从通风孔吹出。这个损坏实际上可以由树胶玻璃罩内（在照片上寄存器背面）产生的反压造成的，因为这个通风管道连接一个穿孔的 2 加仑罐，内衬有吸尘袋，以吸收排出的尘土。

损坏后检查吸收袋，整个袋子有很厚的一层尘土。虽然如此，不管这严重的阻塞，该寄

* 即在 130°F 时，萨波尔特（粘度计流出）秒数为 90~120 ——编者注

存器用高压空气吹过后，重又进入运转。再则，如同较早的试验一样，没有需要拆卸或更换元件的完全性损坏。

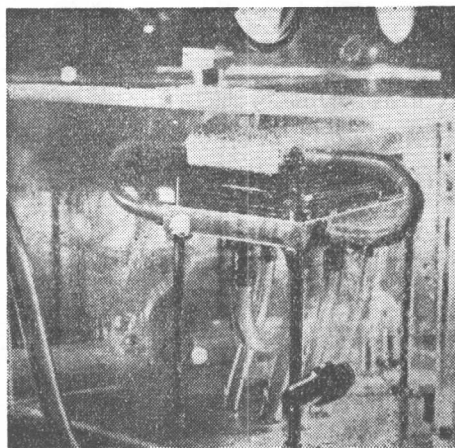


图 5 主油润滑器（顶部），经污染试验的寄存器供气管道把油雾喷入射流放大器

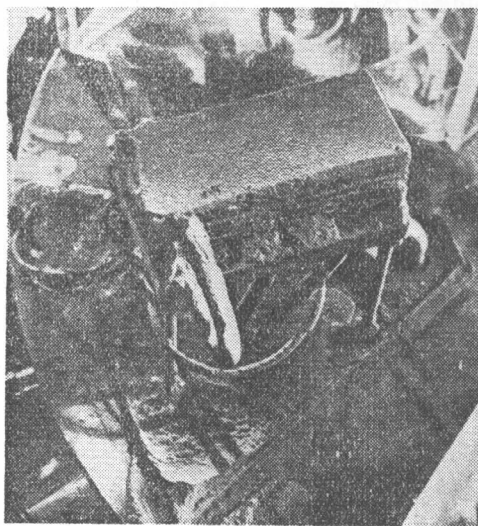


图 6 移位寄存器在尘土污染试验中损坏后的外表情况；在损坏时已有 68.3 克尘土通过寄存器

(译自“Techniques for evaluating reliability of fluidic systems”, «Hydraulics and Pneumatics», May, 1968, p.105~109.)

射流元件的制造方法与使用方法

真锅重命

一、引言

射流元件简单地叫作没有可动部件的流体元件，但是按各种不同动作原理可制造许多不同种类的元件，其制造方法与使用方法也是千差万别的。

此处将阐述关于利用柯安达附壁效应而工作的附壁式射流元件之制造方法和使用方法。

附壁式射流元件的特征是完全没有可动部件，且能在平面上构成，其结构简单，易于制造，使用方便。

射流元件有从使用于电子计算机等构成逻辑回路的超小型逻辑元件到使用于流路切换的大型流体控制元件，各种大小都有，由于其应用面和生产数量不等，故没有所谓万能的制造方法。因此，应选择哪一种合适的制造方法，将是今后很重要的问题。

二、附壁式射流元件

在接触到制造方法和使用方法之前，先说明一下附壁式元件在构造上的一些问题。

图1所示为双稳元件。第一个问题是喷嘴部分的深度，必须是其宽度的2~4倍，两壁与底成直角，且必须相互平行。

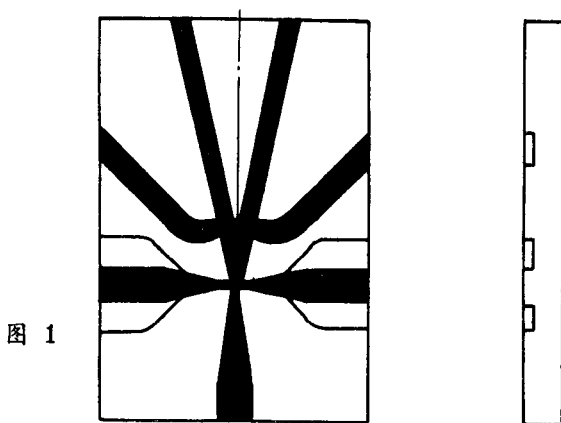


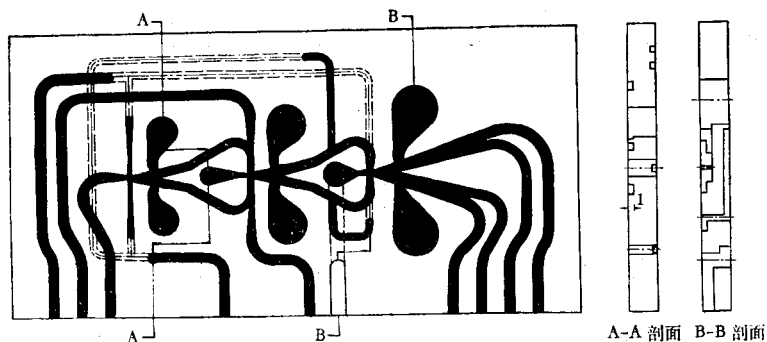
图 1

图2所示是二进制计数器的组合元件，但是如果沒有对复杂元件模型能加工到良好精度的拷贝装置，效率仍无法提高，这是第二个问题。

第三个问题，在拷贝原图时，如果将人画的图面和原型作为基础，则需要配备能将原图缩小的机构，否则，元件的小型化问题会受到一定的限制。

为了使流体能在通道中通过，必须在制成的模型上加上盖板(图3)。

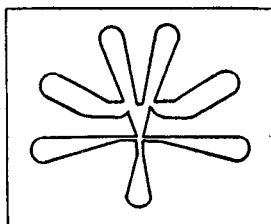
要找到喷嘴部分不埋入，其它部分完全粘合，又不受周围环境影响变形，不受流体干扰，并能永久粘结的方法是不容易的，这是第四个问题。



元 件 \ 孔	C	D	E	F	G
BC1001	閉	閉	閉	开	开
AM1001	开	閉	开	开	閉
MM1001	开	开	开	开	开

- 注：1. 沟深全部为6毫米。
 2. AM1001为双稳多諧振荡器，BC1001为二进制計数器，MM1001为单稳多諧振荡器，喷嘴通用。
 3. 各种組合元件。

图 2



④的一例

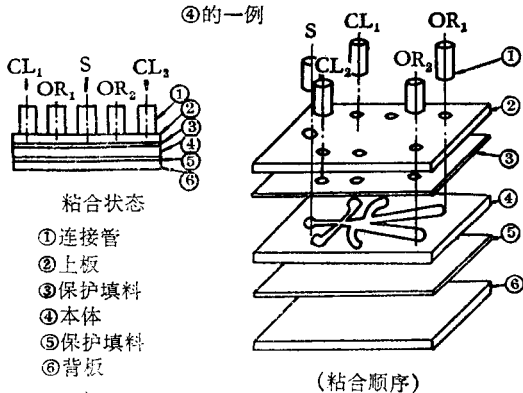


图 3

三、目前各国所采用的制造方法

1. 线锯法

虽属原始的方法,但不需要设备,能在实验室中简单地制造,所以使用于初期的实验。由于这是手工操作,制造精度难以达到,而且生产的元件性能不规则。美帝最初生产元件也是用雕刻刀在肥皂上雕刻后,再把玻璃板放在上面制作元件的。

2. 机械雕刻法

利用雕刻机或雕模机,用针尖把原型描下来,依靠缩放仪的缩小动作,再通过铣刀来拷贝。

如果兼备拷贝机构与缩放机构,并使刀具之刃尖形状适当,则两壁的平行度良好,这是较好的加工方法,但是在大量生产和元件小型化方面有困难。

采用此法制造的射流元件,精度是 $\pm 2/100$ 毫米,喷嘴宽达 0.5 毫米。

3. Dycril 法

光聚合物 Dycril 作为照相制版用材料,但可用作化学铣削的部件材料。

这是把聚合开始剂、热重合防止剂和填充剂混合于碱可溶性乙二醇酯低分子,在整形成板状后,里面用钢板或铝板贴上而使用。

作为原版,则在绘图纸上墨制成图,通过照相摄影而缩小的软片。

使软片和 Dycril 粘合在晒图架上,用紫外线曝光,曝光部分,因光聚合而成为不溶性碱,因氢氧化钠而显影(清洗)。由于喷嘴之平行度较好,加工方便,适用于中等生产量。用这种方法制成的射流元件,喷嘴宽达 0.3 毫米。

4. 照相腐蚀法

应用光敏玻璃腐蚀成形来制造射流元件。通过紫外线使非结晶质玻璃转化为结晶质玻璃,利用氟氢酸溶液的溶解度之相差,而进行腐蚀。

模型的印相(晒相),与 Dycril 一样,把负象的软片与光形紧迭进行曝光。做好的模型,在研磨后,把成为盖子的玻璃放上,在炉中加热完成。

经加工的光敏玻璃腐蚀成形,如果用紫外线再曝光后,放在大约 500°C 的炉中作三小时的加热,则玻璃变化为陶瓷相,强度增加,称此谓光敏陶瓷。

从盖板的密闭完整这一点看来,由于该方法复制能力高,而使元件微型化成为可能。从高温和流体种类的范围等点讲它,是制作非常优良元件的材料,但是,由于制造者是以加工使用者所设计的元件出发,所以认为现在用此方法制造流体元件较困难。喷嘴宽是 0.1 毫米。

5. 环氧树脂浇铸法

到现在为止,所谈的方法是用铣削的制造方法,以及制作原型的方法。以下想谈一下从原型制作拷贝的方法。

其一,是环氧树脂浇铸法。此法是用硅酮橡胶将原型作为模型,把环氧树脂注入而凝固

的方法。所需的设备简单，成本低。硅酮橡胶模型是从其它方法即从雕刻机或 Dycril 等作成的原型来制造。

6. 热压法

与制作唱片盘一样，是把用机械法或电铸法作成的原型的模型压到热可塑性塑料上来制造的，推想这是大量生产的方向。

7. 射出成形法

这是一种以大量生产来降低成本为目的而使用的方法。

8. 积层法

此法用压床或光刻腐蚀落料的板片层迭起来制造超小型元件。板片的厚度使用 25~125 微米，制成的喷嘴宽为 50 微米。因为材质是金属的，所以不受温度和周围环境所影响。对于中等的生产量，由于价格也便宜，今后有发展的希望。

9. 陶瓷模法

此法适用于制造耐高温射流元件。首先，由金属模用整型加工而制成聚苯乙烯之芯，周围用陶瓷的原材料包围，在炉中，以大约 2000°F 温度下加热，则聚苯乙烯之芯被蒸发掉，剩下陶瓷的元件。

以上，谈了迄今为止生产元件的加工法概况，今后随着元件微型化，还可能采用各种新的制作方法。

四、射流元件的简单制作方法

请用图 3 的尺寸来加工。采用线锯的制造方法，由于只需少量的设备或机械，所以较好。如果制造时注意尺寸的对称性，则制成的元件一定会动作。

五、射流元件的简单试验法

对上述所作成的射流元件，为要简单地校验其是否能动作，可注意是否符合如下几点：

1. 能源输入口输入的空气压力约为 0.5 公斤/厘米²，空气可从任何一个输出口输出。如果所有输出道中没有空气输出，则输入喷嘴已被堵塞。如果在二个输出道中均有空气输出，可校正分流器位置。

2. 将控制孔 C₂ 封闭后，流体从输出道 O₂ 流出。即使把 C₂ 打开，流路也不切换。

3. 将控制孔 C₁ 封闭后，流体切换到输出道 O₁，即使把 C₁ 打开，流路也不变化。

六、射流元件的使用方法

为了应用射流元件，需准备下列材料：约 2~3 米乙烯管，几个 Y 字形分歧管，几个小型龙头或阀，几个三角烧瓶或贮器，以及约 20~30 厘米长直径为 5 的圆棒。