

毛 主 席 语 录

要采用先进技术，必须发挥我国人民的聪明才智，大搞科学试验。外国一切好的经验、好的技术，都要吸收过来，为我所用。学习外国必须同独创精神相结合。采用新技术必须同群众性的技术革新和技术革命运动相结合。必须实行科学研究、教学同生产相结合。

摘自周恩来总理一九六四年十二月二十一日、二十二日的《政府工作报告》

目 录

射流装置设计指导 (美) O. L 伍德 ————— 1

射流功率放大器的设计 ————— 27

射流“或非”门以及“或非”逻辑的二—十进制
转换器的设计 ————— 44

试验射流“与—非”，“或—非”逻辑元件检验系
流及几个初步试验结果 ————— 60

射流装置设计指导 <美> O. L 伍德

通常，流体系统一直是采用电子来控制的。流体（高压下的液体或气体）在系统中不是起“指挥”作用，而是起一种“执行”的作用。

近5年来发展了一种新技术，就是利用流体作为工作介质来控制液压系统。

不少工业人士预见到射流装置在今后十年内将会得到极广泛的应用。

优点：射流装置在条件困难的环境中能可靠地工作。几乎用任何一种流体与可靠的结构材料结合起来即可制造。如果适当选择流体与材料，则在严重的电磁场或辐射场的条件下，比电子设备（尤其是半导体）工作可靠得多。此外，当有核爆炸或脉冲式反应堆发生的辐射脉冲存在的条件下，在设计射流系统时并不存在对过渡过程的影响。

在高温、低温，振动和冲击等场合下，射流装置的性能仍旧很好。由于它没有移动部件，因而具有很大的可靠性，而且由于基本元件结构简单，可使造价低廉。

流体放大器能放大流量或压力，或可得到极大的功率增益。单个流体放大器可作逻辑元件之用，而若用电子元件来代用则需几个有源和无源的电子元件组合而成。流体逻辑元件可互相连接成逻辑线路，如记忆元件，通用寄存器，半加法器，二进制计数器等，由此可组成一流体计算机。

局限性：在制造和操作这种设备时必须予以充分注意，才能得到很高的可靠性。它存在三类失效的可能性：

1. 各装置之间连接不当；
2. 结构材料失效（脱胶、裂纹、开裂、脱落、漏液、变形、翘曲、分解）；
3. 由于流体内有污物而引起通道小孔等阻塞。

第1、2二种的失效可由适当选择材料与合理设计来解决，第3种失效则可用过滤器来解决。

一般规律下在空气中一个讯号的传递速率为每毫秒一呎。由于在一般情况下，一个系统中的通道长度以呎计，因此动作的速率可达到毫秒级。与数字式电子计算机可达到毫微秒级相

比，射流装置的速率是较慢的，然而对很多工业逻辑与控制设备来说，射流装置的速率已经足够应付了。

目前射流装置的发展尚处于主要以实验作的基础的阶段，这是由于对稳态与过渡过程的数学分析存在着困难。近年来由于使用大型电子计算机解奈维—斯托克斯流体流动方程式而求出时间因变数的解才使在解析方面有了一定的进展。随着对射流装置作用的解释进一步深化，有可能更容易得到一个系统最佳化的状态。

有源元件

这类装置，由于要产生增益，因此需有一外加的能量。它有两种基本形式——数字式和模拟式。

数字式 由于控制信号的作用，使输出端产生二个断续的幅度之差。这类放大器常称之为逻辑元件，因为他们可以发生逻辑作用。

附壁装置：这种装置系哈利·戴蒙德实验室所发明，是应用柯安达效应的一种数字装置（见图1）。这种放大器属于平面型，可以由二块平板中的若干通道所组成。

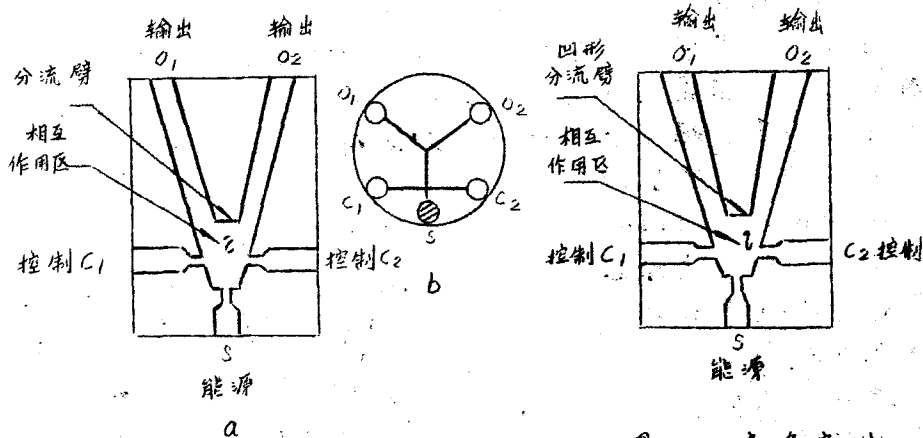


图2—高稳定附壁放大器

图1—附壁放大器，a典型结构的平面图，b. 图形符号。有影线的圆S指与压力源连接的能量输入口； C_1 、 C_2 是控制口， O_1 、 O_2 是输出口。

当有一股流体能源施加在输入口上时,则输出在左右二输出通道上必定只占其一。由于此装置能稳定在二个状态的每一边,故称为双稳态放大器或触发器。

如果在控制口上加一控制射流,那末输出可以一端转变到另一端,例如假定开始时主射流系由通道 O_1 流出,这时射流进入作用区后即向左偏转,附着于通道 O_1 的外壁,并位于控制口 C_1 的下游(注)。在主射流与作用区壁面之间存在着一个低压分离气泡。由于柯安达效应使射流在这个状态下维持稳定。如果在控制口 C_1 中注入一控制讯号,则上述低压分离气泡立即消失,同时由于控制流的动量使射流转向右边。这时主射流即附着于输出通道 O_2 的壁上,并且当控制讯号去除以后,仍能维持从通道 O_2 流出。若在控制口 C_2 再加入一流体脉冲,则主射流立即返回到 O_1 。

如果把分流臂做成凹形则可得到一高稳定性,压力损失低的双稳态附壁放大器(见图2)。在凹形处产生一个旋涡,若主射流由 O_1 流出,此旋涡方向为左转,从 O_2 流出则反转。由于此旋涡能增加射流附壁的稳定性,因此可以得到很高的压力恢复(即低的压力损失),但是流量增益与放大器的转换时间却受到了损失。

这种放大器可以设计到使其对输出阻抗完全不敏感。甚至当输出口完全阻塞情况下流体被迫转向另一输出口时,只要把原输出口阻塞去掉,射流就会立刻还原,从原输出口流出。这是因为在输出口阻塞时上述旋涡的方向仍旧维持不变,当阻塞去除后此旋涡就促使主射流转入原来位置。

若把二控制口之一与大气接通,则此放大器就成为单稳态(见图3)。除非有另一控制讯号迫使主射流改变方向,平时主射流有一个“自己选择的”输出端。

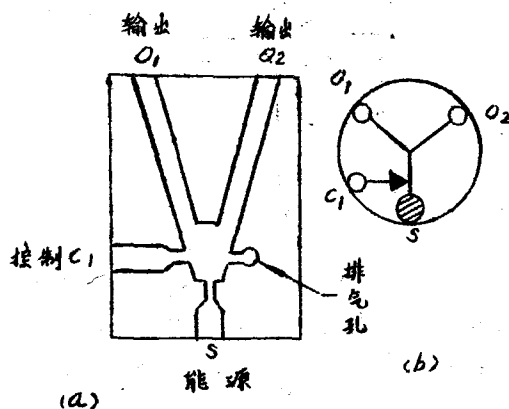


图3—单稳态附壁放大器

把附壁装置设计成不对称，而使其有一“自己选择的”出口，也可以作为单稳态之用。

振流式：最近斯佩里、尤塔公司发展了一种高速平面型的触发器，叫做振流式放大器（见图4）。此放大器采用了一种称为边振效应的流体动力现象，在适当的情况下，一股液流冲向一尖劈的尖端，就会绕此尖端起振荡，这股振荡液流先在尖劈的一边引起一个旋涡，此旋涡把液流推向尖劈的另一边，这样又在那边引起另一旋涡，又把液流推回原处。就这样往返不休持续下去，射流在尖的分流臂与输出通道之间不停振荡。射流就这样维持“动态”稳定，直到注入一股控制流使输出切换。由于射流是在振荡状态，因此要把输出从一个输出口转向另一个出口只需很小的控制讯号。

所以振流式放大器是一种高增益的快速装置（典型装置的转换时间为100微秒或更小）。

当注入控制流后，在作用区内形成旋涡。这时射流就被猛烈扰动移向尖劈的另一边，而在另一输出尖端与分流臂之间振荡。这时能流就从另一端输出，直到有另一控制讯号使其复原为止。

引流式：此放大器是洪尼威尔公司所发展，利用流体边界层以控制其开关（见图5）。当流体注入输入口时，输出射流即附着于位于

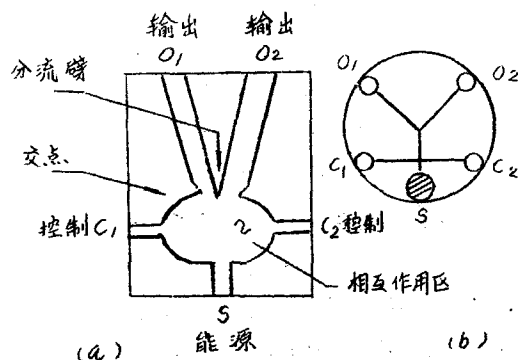


图4——振流式放大器

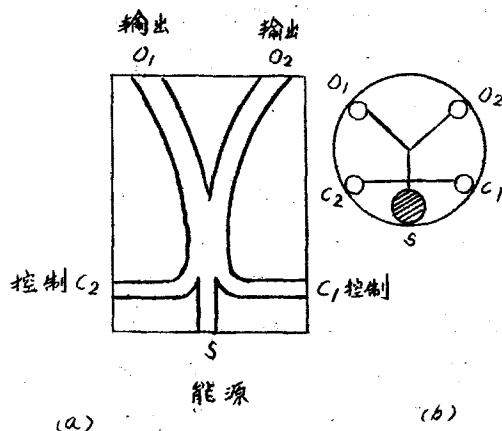


图5——引流式放大器

二个输入喷口下游的空气动力型边界上的一个。如主射流由输出通道 O_1 流出，则流体被带动向输出口 O_2 上游流动。因为在 O_1 边界上的压力很低，因此存在一个横向压力梯度使主射流稳定地从 O_1 流出。若要把输出转向，必须在控制口 C_1 中加一控制讯号。注意 C_1 与 O_2 系在同一边。从 C_1 中注入的控制讯号附着在 O_2 的外壁流动，由于控制流与主射流在作用区中的切线相接，因此使横向压力梯度反向，因而使主射流转入 O_2 。如果在 C_2 上注入控制流，则主射流又转回 O_1 。由此可见要转变射流方向，控制射流必须位于主射流的对方。

射流换向阀：有些公司已发展了几种射流换向阀或开关。图 6 所示为鲍尔士工程公司所采用的一种平面型阀。由于在射流换向阀中必须有一个讯号经常加在其上才能使转换器动作，因此本器件不是双稳态的。鲍尔士式流量转换器使用射流相互作用原理，把讯号流束冲击主射流束使之偏转，例如由 C_1 注入的控制讯号可把主射流束偏向出口 O_2 。摩尔制器公司有一种流体型换向阀可用空气或其他气体来控制液流。

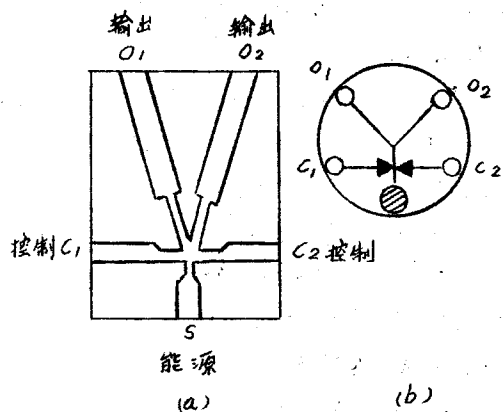


图 6 — 射流换向阀

汇流式：图 7 所示为斯佩里·尤塔公司发展的一种数字式单稳态装置。因其结构是轴对称的，故可用车镗等工艺来加工。作用原理是：当流体从高深宽比的环形缝中流出时，具有一种向对称轴线会聚成一小直径圆锥式流束的倾向（深宽比是环形缝缝的直径与缝宽之比）。当有控制束注入时，就使主射流向输出管道外面流动，因此当有控制流存在时，输出口中并无输出。可由几个控制通道来控制一个开关，因为只有当控制口 C_1 C_2 C_3 中皆无控制讯号时才有输出，所以这类放大器属于“非”门逻辑元件。由于输入输出间的声学隔离作用，因此把几个放大器互相连接起来，用一只放大器来控制其他几只是较容易的。由于主射流与控制射

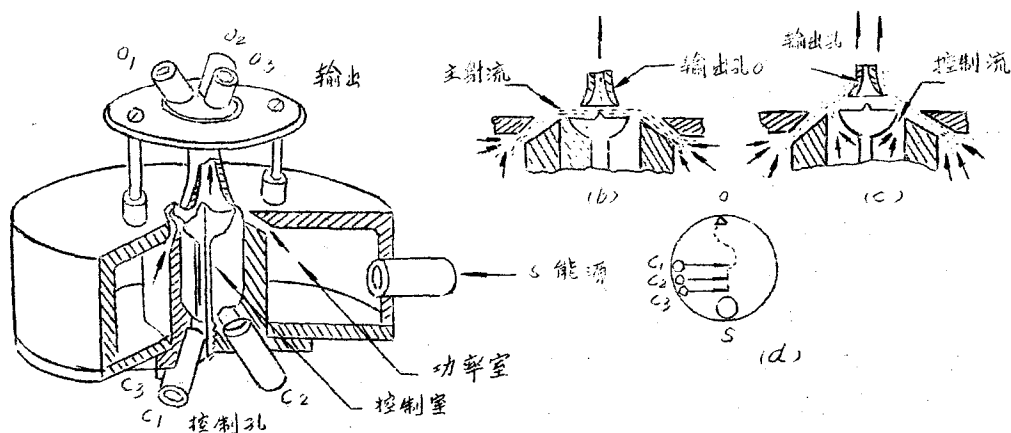


图7—汇流式放大器：a. 典型截面图，b. 无控制流时的流线图，c. 有控制流时的流线图，d. 符号。

流的作用区是一极狭的环状区，因此可以达到对大流量的快速控制。

紊流式：这种放大器是奥格发明的，由豪威公司制造出售。其原理是利用一股淹没在流体中的自由射流从层流改变成紊流的过渡现象（见图8）。从一内径约 $\phi 0.030$ 吋光滑管子中射出的流体形成层流。如果在同轴距上述发射管约 0.75 吋处放一收集管，则大部分层流皆能被收集后而输出。若在任一控制管中注入控制讯号，就会使层流变为紊流，这样就使收集管中的输出下降。若把控制讯号去除则层流现象又能重新建立。

因其他现象也可以来控制，例如高频振荡与声学扰动就能把层流转变为紊流。因此本放大器对机械振动很敏感，即使用在自由射流时也是如此。利用尖端放电现象能制成一电液转换器，用一对高压电极所产生的电气风（即尖端放电）能触发本放大器。把几只紊流放大器相互连接起来是很简单的。其动作时间较缓慢，约为 $7 \sim 10$ 毫秒。

模拟式：模拟装置的输出是按照控制讯号的大小成比例地连续变化的。

射流相互作用式：哈利·戴蒙德研究所研制的比例放大器与附壁放大器除作用区不同外，其余皆相似。在比例放大器中作用区的形状制成得避免发生柯安达效应，即没有附壁作用。当没有讯号流入时，主射流冲向分流臂平分为二部分各由二输

出口流出。若在 C_1 中注入控制流则主射流偏转，使 O_2 的输出大于 O_1 。主射流的偏转量正比于控制流以及主射流与控制流的动量通量

(即单位面积内的流体动量)。若同时注入相对的控制讯号，主射流的偏转与二控制讯号之差成正比。为了更有效的利用主射流的偏转，输出口必须位于足够远的位置，但也不能太远，以免压力损耗太大。

旁流式：这种装置是甘尼特控制公司所发展的一种高流量增益放大器。通过一个弯曲通道中流体壁的脱离点，以控制二输出口的能流

(见图 10)。在一个弯曲通道中流体的速度分布随之而歪斜，若歪斜到足够的程度则流体就与器壁脱离开来。由一股反向控制流束就可以很容易的控制脱离点，使其向上游移动。一随动臂流束可通过动量交换用来偏转主能流束的一臂。分离片可帮助主能流束的速度形状歪斜。主能流臂提供输出的一个

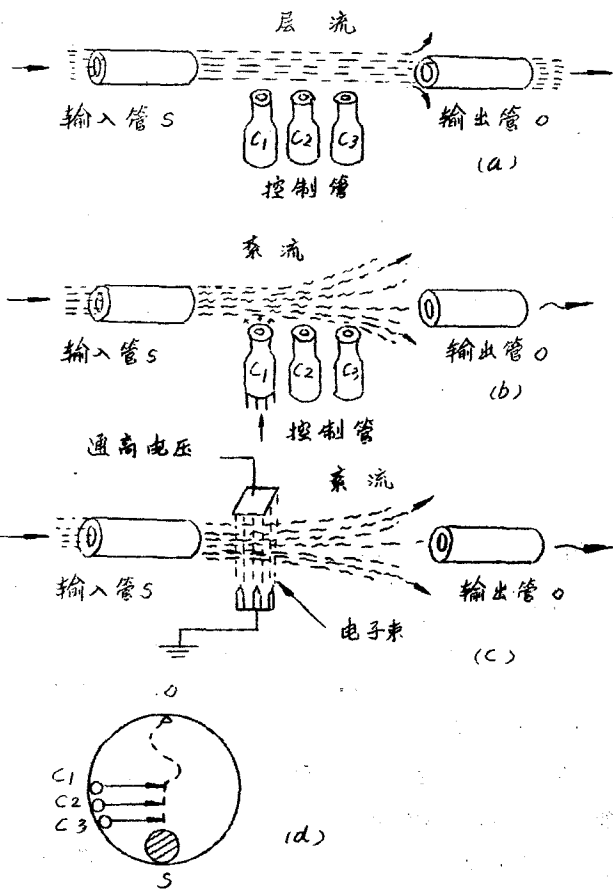


图 8—紊流放大器 a. 层流 b. 紊流 c. 由尖端放电引起的紊流 d. 符号

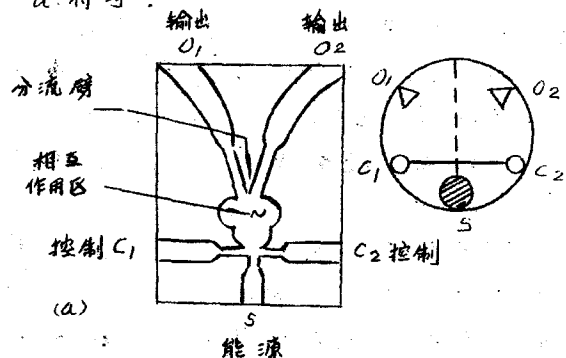


图 9—射流相互作用放大器

半，而随动臂流束与主能流汇合后提供了输出的另一半，脱离点愈向上游移动则主能流愈歪斜。这时由于主能流所占的截面积变小，因而形成了较高的动量通量。主能流的动量通量愈高，则被随动臂流的偏转就愈小。这样，注入控制讯号后就引起更多的主能流从 O_1 中输出。输出口 O_1 、 O_2 的位置安排是这样的，当无控制讯号时全部流量皆从 O_2 输

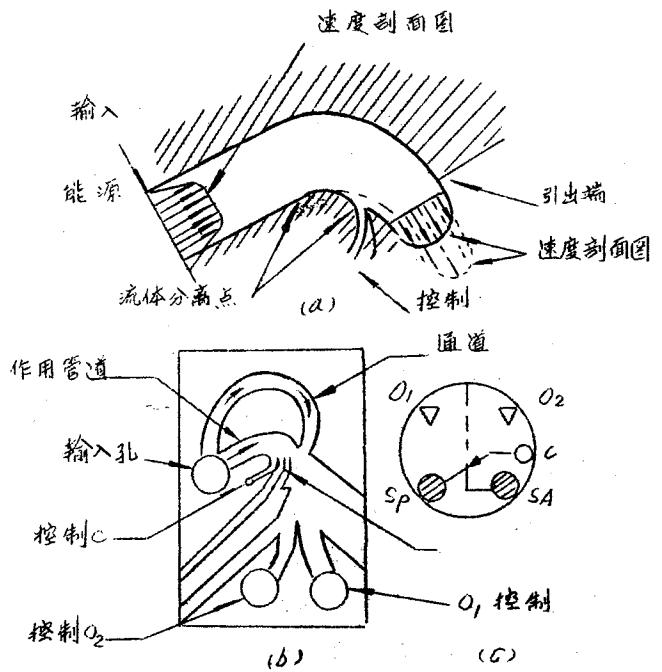


图 10 — 涡流式放大器

a. 速度分布图 b. 典型截面
c. 符号

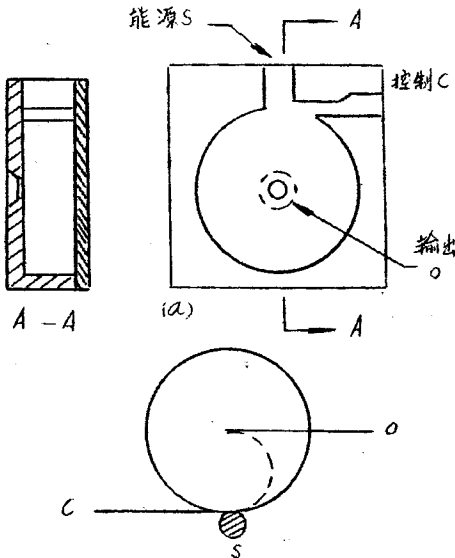


图 11 — 旋流式放大器 (节流器)

出；当控制讯号全部加入时，全部流量皆从 O_1 输出。

旋流式：若干公司发展了旋流式流体放大器，也称为比例式流阻器，第一台是哈利·戴蒙德所提出的。这类装置是利用旋涡的形成来调节流量的阻抗（见图 11）。旋流式放大器是一个中空圆筒，在中心有一孔。如果在控制口 C 上没有讯号，则流量从输入口 S 流入经输出口 O 。

流出时所受到的阻抗很小。当注入控制讯号时，由于控制流是沿圆筒以切线方向注入，因此就形成了一个旋涡。这时由S流出的能流不再沿径向流动，而是被旋涡所带动以螺旋方式趋向O。当流体螺旋接近输出口时，流体的旋转半径就减小，这样由于角动量不灭定律，使旋转流体的切线速度增加。旋转流体中的剪应力使流体的螺旋形路线向内时产生了压力降，这样就产生了流量阻抗，减少了输出。控制流愈大，则输出就愈小。有几种旋涡式放大器甚至可以使输出完全断绝。

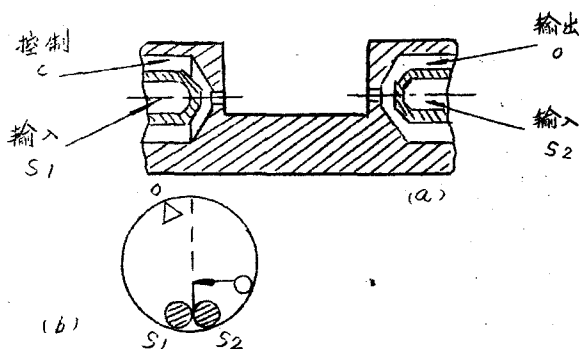


图12 — 直冲式调制器

冲击调制式：有二类比例式压力放大器：直冲调制器（图12）与横冲调制器（图13），是约翰逊服务公司所发展的。本装置有在一直线上的二个相对的输入口。从管中冲出的二股流束相互冲击，并在平衡点上形成一径向流动锥体，由一个输出集流罩收集径向流量。在二股能流束中任一股的动量通量的改变将引起平衡点的移动，因此流动锥体也发生了变化，这样就引起了输出压力与流量的改变。

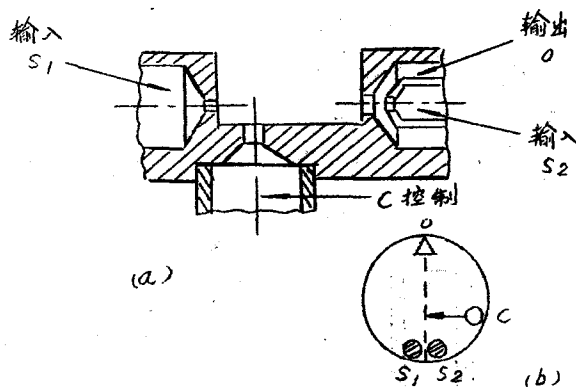


图13 — 横冲式调制器

在直冲调制器中，由一环状控制流束约束一个能流的直径。如果加入控制流则射流的动量通量就增加（这是由于其直径收缩之故），平衡点就向上述射流的下游移动，这时由于输出集流罩中收集的径向流量增加，因此输出也就增加。由于输出与控制流成正比，因此这是一种正增益比例放大器。

在横向冲击调制器中，控制讯号是与主射流成直角的方向加入的。当控制讯号加入后，其中一股主能流由于与控制流的动量交换而偏转，使平衡点沿被偏转的流束的喷嘴上游移动。由于平衡点离开了集流室，使输出的压力、流量减小。因为输出与控制讯号成反比，因这是一种负增益放大器。

选择因素：目前还没有一种理想的万能流体放大器，因此一特定的使用系统对放大器的选择具有不同的特征。这些特征为：增益，讯号噪声比，线性度（对比例装置而言），频率响应以及系统中单个放大器之间连接的方便程度。

增益，有三类：压力、流量和功率。对数字式与比例式而言，增益的含义不同。数字式放大器的流量增益是指输出流量之改变与使其触发所必需的控制流量改变之比。压力增益是指输出压力之改变与触发所必需的控制压力改变之比。功率增益为输出功率之改变被触发所必需的控制功率去除。

比例放大器的流量增益为控制流量——输出流量曲线上直线部分的斜率。压力增益系相应的压力曲线图上的斜率。在极大极小输出量间绘一直线使其尽可能偏离曲线较少。功率增益是在一特定范围内，输出功率与控制功率之比。

在二种放大器中使用不可压缩流体或选用在低压缩性的部分时，功率增益为：

$$G = \frac{P_{02} I_{02} - P_{01} I_{01}}{P_{c2} I_{c2} - P_{c1} I_{c1}}$$

其中 P —— 压力
 I —— 流量（以重量计）

下标 c —— 控制

下标 o —— 输出

下标 1 —— 起始稳定状态

下标 2 —— 最后稳定状态

讯号噪声比：系最大输出讯号幅值被最大噪声幅值所除。数字式对讯号噪声比的要求比比例式低。在数字式放大器中输出是在二个断续的能量位中之一，每一个皆有一定的允许范围。如果加在输出讯号上的噪音不超过允许范围，则即使在一定的噪音场合下，数字放大器仍能很好的工作。但是要注意避免由于讯号噪音过大而引起的多余的触发。在比例放大器中在控制

或输入讯号中的噪音就被放大了。

线性：只有在比例放大器中才有，是指测出的讯号增益与平均增益之间曲线偏离直线的程度。

频率响应：在比例放大器中是指输出讯号滞后于控制讯号 45° 时的频率。数字放大器的频率响应是由开关时间所定，即当控制讯号上升到全幅度值的 50% 时开始起一直到输出讯号达到其全幅值的 50% 时为止的时间间隔，上述输出讯号可指流量、压力或功率。

互连能力：对一个数字式射流放大器的一个考核指标是看其多输出的能力，即它能带动多少其他放大器。在决定多输出能力时所有放大器的大小，输入阻抗，增益与能源条件皆应相等。

多输出能力只指数式系统而言，这时每个放大器只作为逻辑元件而用，对每一级放大器的增益并不太重要。

比例放大器大多是串接使用的，因此相互连接的问题不大。所谓串接系指用一小放大器来控制一大的放大器以达到逐级加大增益。有时在数字放大器中为了要克服相互连接的困难也有采用串接的，如果要求增益不大，则最好不用串接，因为每加一个放大器皆需要能源。

解决比例放大器串接的一个途径是调节他们输入口的压力使他们能同时达到饱和。如果二个放大器同时达到饱和则可得最大的线性。所谓输出的饱和系指当控制讯号增大后所能达到的最大成比例的输出量（当输入功率为常数时）。

另一个互相连接的解决办法是使放大器的输入输出阻抗匹配，如果一有源放大器的输出阻抗与一无源放大器的输入阻抗成匹配，就可以得到最大的功率传递，可用下述方法来调节一放大器的阻抗，如加装输出分流器，洩气口，溢流口，以及改变通道的截面。

三种最容易连接的射流放大器是紊流式、汇流式，冲击调制式。他们之间的相同点有：输入——输出间的声学隔离，在输出负载很大时该射流可通向周围大气中，使用圆形通道有较稳定的流型。

输入——输出的声学隔离可以免除在动作时由于不需要的声学振动所引起的干扰，上述每一种放大器在输出堵塞时，该射流就洩到大气中，而当堵塞打开时该射流仍然回复原状，采

用圆形通道不会发生平面型装置中由方形通道转向圆形通道时所引起的噪音与功率损耗。在圆形通道中由于没有平面壁，因此不会把不需要的扰动反射回来。

增益衰减与输入 — 输出相位移和频率的关系见图 14。因为增益衰减与相位移还和放大器尺寸，能源条件，输出情况有关，因此这一图表只是定性的。目前对不同的装置进行绝对比较以得到定量数据的标准方法尚未建立起来。图示的数据系射流相互作用放大器带有负载，旋流式放大器无负载和开路（对前级放大无反馈），横向冲击调制器带有一固定负载。若弯流式放大器与旋流式放大器也带有负载则其频响就要下降。

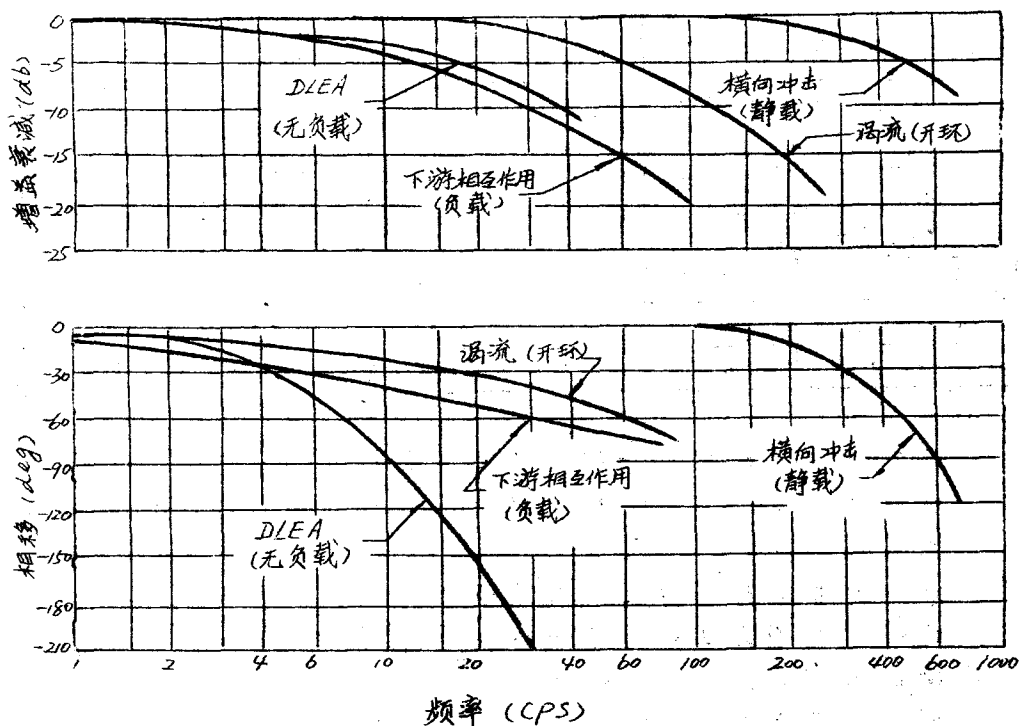


图 14 — 比例式射流放大器的特性图

表一为数字式与比例式放大器在功率范围，转换时间，频率响应，几何形状与连接方便性上的比较。对低功率低速度系统使用而无严重声学振动的场合下，以选用电流式放大器最合

适。对汇流式来说最好是用在—数字系统中需要快速开关，以及中到大流量的场合，但是应允许有溢流到大气中。射流阀在有一连续控制讯号场合下特别适用于低速大流量。紊流式频率响应很低，但在比例放大器中它是流量增益最好的一种。横冲调制器的频率响应最高，其压力增益也最好。

表— 特性比较

放大器类型	功率范围	开关时间	频 响	几何形状	连接容易性
数字式					
附壁式	低到高	中		平面型	难
振流式	"	快		"	中 等
引流式	"	中		"	"
射流换向阀	"	中		平面型或三角	"
汇流式	中到高	快		三 角	易
紊流式	低	慢		"	"
比例式					
射流相互作用式	低到高		中	平面型	难
紊流式	中到高		慢	"	中 等
旋流式	"		中	三 角	"
冲击调制式	低到高		高	"	易

图15至22给出了各种射流放大器的特性曲线。

图15为一高稳态附壁放大器有负载时的输出压力变形。压力恢复高达29%。

图16系摩尔制品公司的射流换向阀，其开关时间约50毫秒。这种换向阀与4吋管道相接能控制的流量为750加仑/分。小型换向阀的开关时间可以短一些。

图17是汇流式放大器的规一化输出压力与输出流量的曲线。最大压力恢复为26%。

图18为紊流式放大器，当控制讯号加入时，输入管道仍旧能接收一部份紊流，因此输出压力没有降到0。

图19系射流相互作用放大器压力增益。其中差动控制压力与差动输出压力皆除以输入压力(5磅/吋²g—5psig)。PC1在0.545psig上为常数。PC2从0到1psig之间改变。

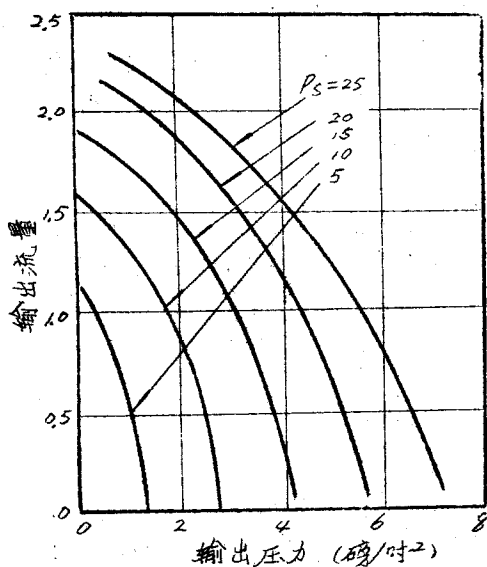


图15—附壁放大器的输出流量和输出压力关系曲线

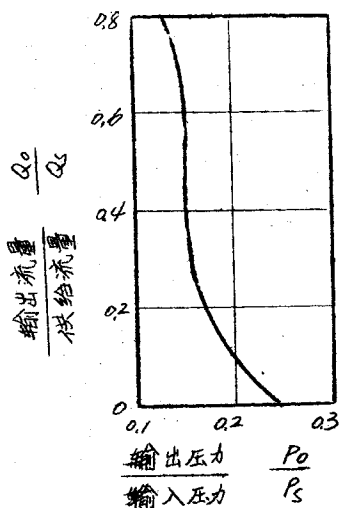


图17—汇流式放大器输出流量与输出压力曲线

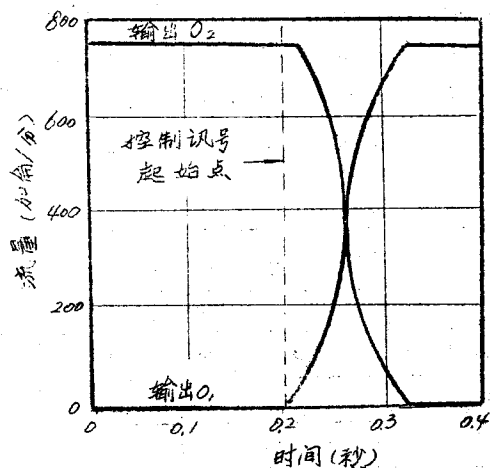


图16—射流切换阀的切换时间

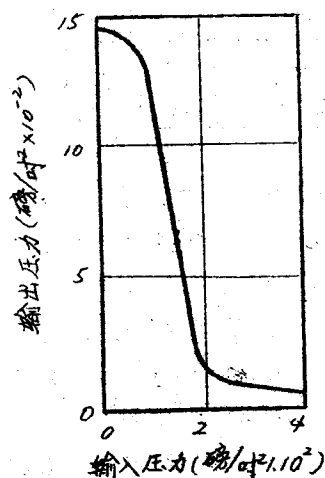


图18—紊流式放大器输出输入压力曲线

图20为紊流式放大器的质量流量与功率增益图。控制与差

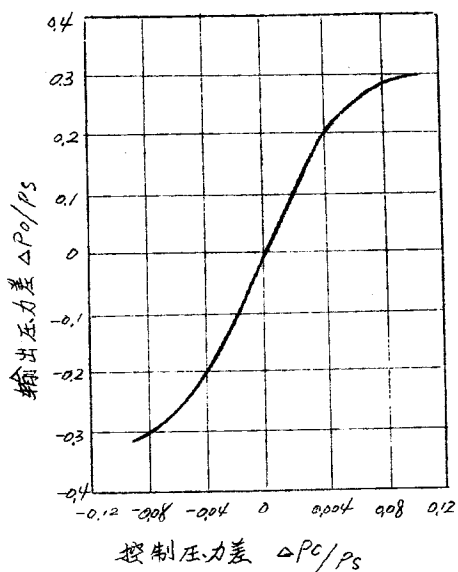


图 19—射流相互作用放大器的压力增益

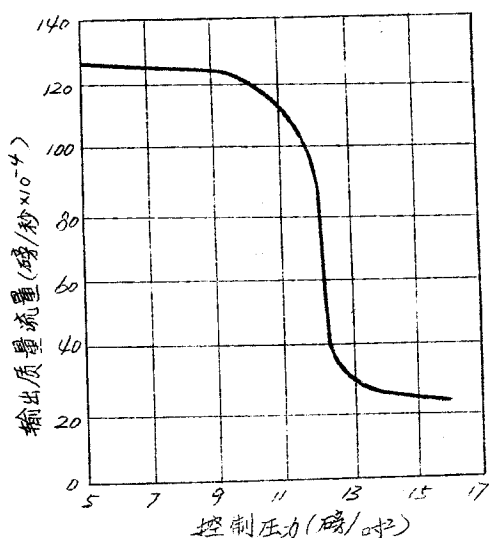


图 21—旋流放大器输出质量流与控制压力的曲线

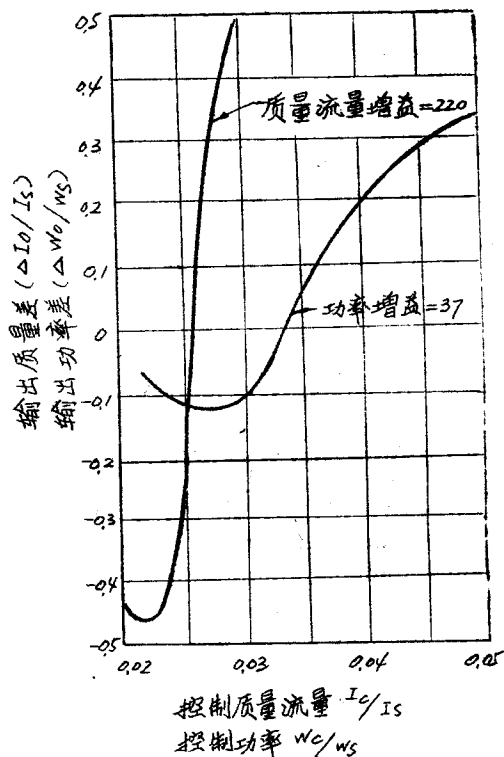


图 20—弯流式放大器的质量流量与功率增益(对最佳质量流增而言)

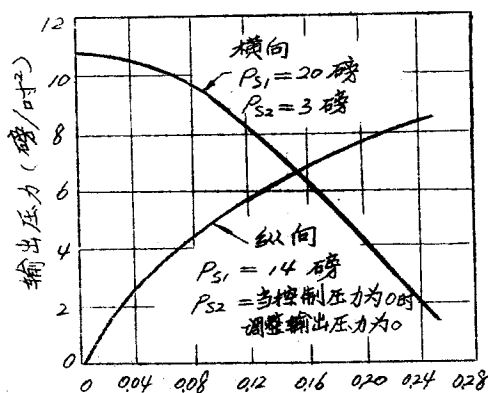


图 22—直冲与横冲调制器的典型压力增益