

用 中 为 洋

毛泽东

资料6

射流技术译文集

第一集

一机部热工仪表科学研究所

一九七〇年四月

最 高 指 示

……一切外国的东西，如同我們对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃腸运动，送进唾液胃液腸液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验，我們需要的是这样一种态度。

外国一切好经验，好的科学技术，我們都要吸收过来，为我们所用。拒绝向外国学习是不对的。当然，迷信外国认为外国的东西都是好的，也是不对的。

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。

目 录

流体放大器.....	1
流体放大作用—— 7.三级数字式放大器.....	8
采用各种扩展比的喷嘴进行超声速流体放大.....	31
蒙特利尔的机构配合起来研究流态放大器.....	47
纯流体放大器.....	54
气动二极管.....	60
引流式射流放大器.....	64
采用射流放大器的时基控制.....	72
流体放大作用—— 水力模拟技术在流体互作用元件 研究中的应用.....	73
流体操作系统.....	112
管路、射流、柯安达效应.....	127
利用流体操作的定时器.....	137
控制装置.....	158
全气动导弹空间方位角控制系统及其组件的设计.....	161
电—— 气射流放大器.....	179
射流放大器设计中所采用的环氧树脂铸件.....	185
流线观测法 (一)气流部分.....	191
光学加工法.....	201
高速纹影法.....	207

流 体 放 大 器

译自《USP 3,186,422》1965.6.1

增益可变的放大器。两级推挽式。包括数字和模拟式两种。

放大器包括一个发射喷嘴，两个相对的控制喷嘴邻近发射喷嘴。另有一增益调节喷嘴，亦在功率喷嘴附近，它使发射射流偏转与控制射流引起的偏转相垂直，很多接受喷嘴放在同一平面上，在发射射流偏转的区域内。每个接受喷嘴相应于不同的增益，由增益调节喷嘴的流量和压力来改变放大器的增益。

申请专利的内容：

调整增益的方法：

1. 改变一对接受喷嘴的距离（根据图1c）
2. 改变接受喷嘴离开功率喷嘴的距离（图1b）
3. 改变接受喷嘴的宽度

增益可表示为压力增益，质量流量增益或功率增益。压力增益即一对接受喷嘴间的差压与一对控制喷嘴间差压的某一变化之比。其它类推。功率增益为压力增益和质量流量增益之积。

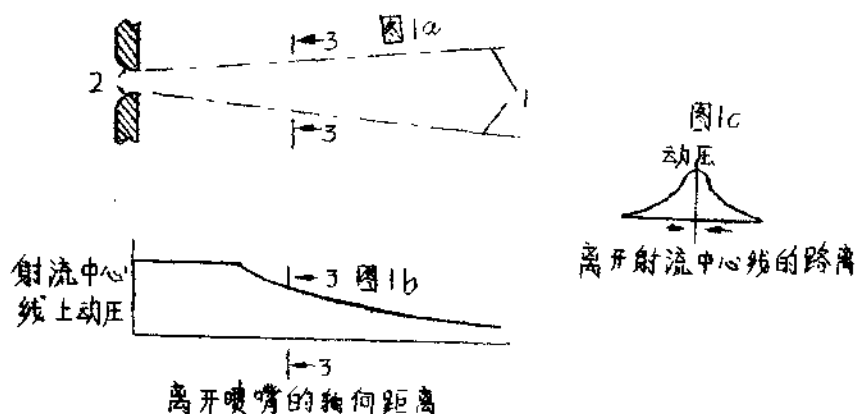


图1 所示为基本的射流原理，系本发明的基础

由图可见：

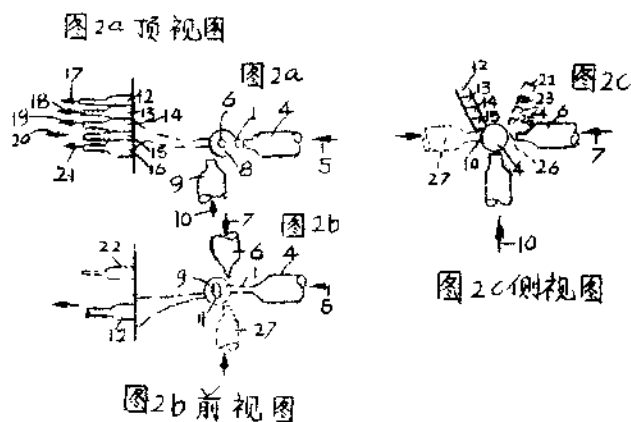
(a) 「动压(速度)——自射流中心线的横向距离」曲线的斜率是该横向距离的函数；

(b) 动压(及速度)随着离开喷嘴的轴向距离增加而减少；

(c) 接受嘴的宽度确立了接受嘴所接受到的平均动压(及速度)由于射流横向偏转引起的平均压力(及速度)的变化随接受嘴宽度而定，愈宽——压力愈少。

调整增益的方法就是根据这样原理制定的。

1—图1c，2—图1b，3—图1c



- 图中：4 —— 发射喷嘴；
 6 —— 控制喷嘴；
 9 —— 增益调节喷嘴；
 27 —— 控制喷嘴；
 12~16 —— 接受嘴

发射流具有比较恒定的压力和流率 (flow rate)。由发射喷嘴出来的射流具有图 1 a 所示形状。由控制喷嘴 6 出来的喷流 8 与发射射流 1 垂直，其能源具有压力，且流量可调 (第一个可控流量能源，控制射流使发射射流朝其方向偏转，但转的大小与其控制射流的压力或流量成比例。

增益调节喷嘴与发射喷嘴的轴线以及控制喷嘴的轴线互相垂直。其能源具有压力，且流量可调 (第二个可控流量能源)。增益调节喷嘴的射流 11 与发射射流 1 交叉，与控制射流 8 垂直，它能使发射射流朝其方向产生偏转，偏转大小与其流量或压力成比例。

输出装置即多个射流接受嘴 12 ~ 16 离开控制喷嘴及发射喷嘴较远，位于其下游。这些接受嘴可能如图所示那样并排，亦可能分开一些，排成一行，在同一平面上。图 2 所示接受嘴 12 ~ 16 具有同样的宽度和横截面积，并且最好是位于垂直于发射喷嘴轴线及平行于增益调节喷嘴轴线的平面上。其离开发射喷嘴轴线的距离，在控制射流和增益调节射流的方向上，是逐渐递增的。

上述诸平面的相对位置是最好的一种，但亦不一定非这样不可。接受嘴的平面可以不与发射喷嘴的轴线垂直，但仍然与增益调节喷嘴轴线平行。同样，控制喷嘴 6 和增益调节喷嘴 9 亦不一定要垂直于发射喷嘴的轴线。

如果在同一平面上，在与第一排接受嘴对称的位置上，增加第二排接受嘴便可做成一个高增益的放大器。如图 2 c 所示，两排接受嘴形成 V 形，22 ~ 26 即为第二排接受嘴。更高效能的放大器系推挽式，增设第二个控制喷嘴 27 (与 6 相对) 即可得到。在推挽式放大器中，未产生偏转的发射射流最好通过两组接受嘴的中间，并朝向 V 形交点。

各种喷嘴和接受嘴都可用玻璃、塑料或任何一种适于流体传递的材料做成。喷嘴和接受嘴可以置于大气之中或放在一个容器之中，该容器内通道的横截面积，在从发射喷嘴到接受嘴的方向上逐渐增大。在后一种情况下要开一个合式的出口以防止流体附着于通道壁上。喷嘴和接受嘴的截面形状多种多样，最好是圆形或长方形。

图2所示可变增益流体放大器的工作情况如下：

在静止状态下，控制喷嘴6和27的输入信号为0，或者为一相等的流量或压力，因此，发射射流在横向上不产生偏转。如图2a所示，此时接受嘴16和26接受到同样的发射射流，接受嘴15和25接受到较少的但亦是同等的射流。根据功率射流在接受嘴平面处的横截面积，接受嘴的横截面积的各排中接受嘴间的距离不同，其余的接受嘴亦可能接受到较少的发射射流。以17~21长短不同的箭头表示。但从每一对对应接受嘴的输出信号仍为0，因其大小相等，相互抵消。

当控制喷嘴6和27的输入流量或压力不等时，二者的组合射流使发射射流朝较强控制射流的方向偏转。当增益调节喷嘴9无流量输入或其流量保持不变时，在某一排的一个或某几个接受到偏转后的发射射流。如图2a和2b所示，接受嘴14，15，16，比24，25，26接受到较多的发射射流流量。测定15与25间差压或质量流量之差的变化和控制喷嘴6和27间差压或质量流量之差的变化之比，即和15与25的间隔有关。发射喷嘴4，控制嘴6和27，接受嘴15和25的总合便是一个固定增益放大器。其增益之所以是一定的，是因为在一定范围内，由接受嘴所感受到的发射射流的横向偏转与控制喷嘴的输入信号成比。

如果在增益调节喷嘴9上加入一个流量信号（具有压力）或改变其输入流量，便会使发射射流在与控制射流垂直的方向上产生（一个）可控偏转。因此，发射射流既在横向上又在纵向上产生偏转。如图2c所示，随着发射射流在横间和纵向上进一步偏转，上述固定增益放大器的增益减少。改变增益调节喷嘴的输出信号，即可有效地改变接受嘴的间隔。放大器的增益取决于横间距离或两排相应接受嘴的间隔。根据在某一增益调节射流下接受最多发射射流的接受嘴的放大倍数确定放大器的放大倍数。（如图2所示）接受嘴间的距离增大，则增益减少，在只有一个控制喷嘴和一排接受嘴的情况下，通过改变在控制射流方向上接受嘴离开发射喷嘴轴线的横向距离，即可改变增益大小。

第二种调整增益的方法示于图3。

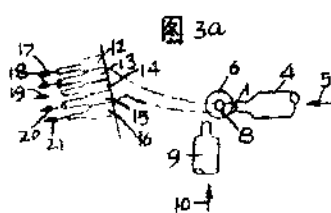


图 3 a 侧视图

(a side view)

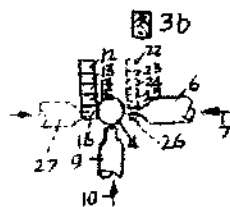


图 3 b 前视图

(a front end view)

图 3 与图 2 的区别在于接受嘴的布置。接受嘴所在平面如图 3 所示与发射喷嘴 6 的轴线不垂直，与增益调节喷嘴 9 不平行。（假定 6 和 9 相互垂直）。各组接受嘴离开发射喷嘴轴线的距离，仅仅在增益调节射流的方向上逐渐增加，即两组接受嘴排成垂直的和平行的行列。因此相应接受嘴间的距离是不变的（与图 2 不同）。接受嘴的宽度和横截面积均相等，和图 2 情况一样。

在模拟式放大器中，两排接受嘴如图 3 b 所示是分开的，而在数字式放大器中则间隔很少。因此，改变增益调节喷嘴的输出射流，即可改变发射喷嘴和接受嘴间纵向的和轴向的间隔（距离），从而改变接受嘴的动压（如图 1 b 所示），即改变增益。

第三种调整增益的方法示于图 4。

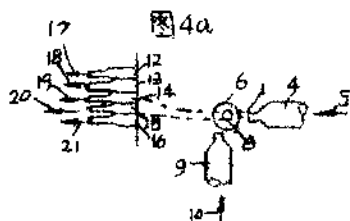


图 4 a 侧视图

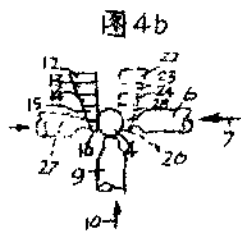


图 4 b 前视图

本图与图 2、3 的主要区别在于接受嘴的宽度及横截面积不等 (见图 4 b)。宽度愈大, 增益愈少, 因为接受到的平均动压愈少。

多输入通道固定增益式流体放大器适用于作可变增益放大器的第二级。如图 5 所示。

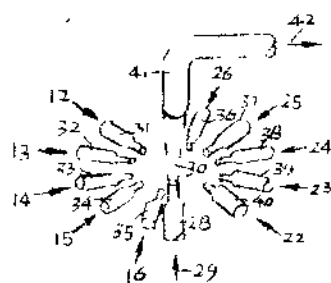


图 5



图 5 a



图 5 b



图 5 c

发射喷嘴 28 具有比较恒定的可控流量, 其压力恒定。

控制喷嘴 31 ~ 40 排成环形, 位于与 28 轴线垂直的平面上, 对发射射流 30 而言, 是对称的, 会聚的, 31 ~ 40 分别与接受嘴 12 ~ 16、22 ~ 26 的输出相连。接受嘴 28, 随发射射流偏转程度不同, 接受全 $P_1 \sim P$ 或 0 发射射流流量。如果第一级和第二级放大器相隔一段距离, 可采用合适的连接管道进行连接。接受嘴 41 的输出可以接到流体从执行机构作为控制或计算元件的最后的功率级。

如欲作为推挽式, 需采用两个第二级放大器。第一级某一排接受嘴的输出接到第一个二级放大器的半圆控制喷嘴, 另一排接受嘴的输

出接到第二个二级放大器的另一半控制喷嘴。将两个二级放大器的输出作为控制信号，接到第三级，便形成推挽式。

另一种第二级多输入通道放大器示于图 6。

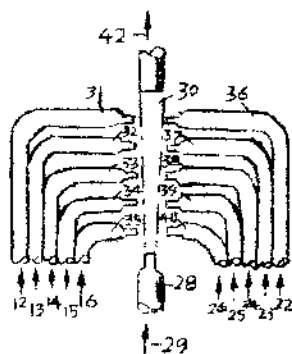


图 6

它是一个可变增益放大器。和图 5 不同之处在于控制喷嘴 31 ~ 40 是排成两列，一个对一个。邻近发射喷嘴的控制射流可使发射射流产生较大的偏转。愈远则产生的偏转愈小，因此，将第一级放大器中具有最低增益的接受嘴 12 和 22 连到离发射喷嘴 29 最远的控制喷嘴上（如图 6 所示）而将具有最大增益的接受嘴 16 和 26 连到最近的控制嘴上。如在接受嘴 41 附近再加设另一接受嘴，图 6 所示放大器即成为推挽式。

所有可能的变型可构成 7 种可变增益放大器，1 种固定增益放大器和两种两级流体放大器回路（详见专利声明 8~12）。

流体放大作用

7. 三级数字式放大器

译自《AD429.118》Ang. 1963

目 录

摘要

1. 导言
2. 操作原理
 3. 2.1 数字特性
 - 2.2 射流边缘振荡
 - 2.3 效率
 - 2.4 切换特性
 - 2.5 稳定性及存储作用
 - 2.6 级联系统中的反馈
3. 三级数字式放大器
 - 3.1 三单元数字式放大器系统的性能
 - 3.2 整体三级数字式放大器的性能
4. 结论
5. 进一步的问题
6. 参考资料
7. 文献目录

附 图 说 明

附图

1. 边界层数字单元中射流的示意图
2. 沿着吸附壁的典型压力分布图
3. 三级数字式放大器的示意图
4. 整体三级数字式放大器
5. 整体三级数字式放大器的铝制第一级——设计图

6. 整体三级数字式放大器的铜制第二级——设计图
 7. 整体三级数字式放大器的铝制第三级——设计图
 8. 整体三级数字式放大器
 9. 测试单数字元件用的试验设备
 10. 测量吸附壁上压力分布情况的设备
 11. 测量压力分布用的数字元件仪表装置
 12. 测试三单元数字式放大器系统用的设备的示意图
 13. 测试三单元数字式放大器系统用的设备
 14. 测量输出压力用的仪表装置
 15. 三单元数字式放大器射流区中的静压——主喷流能源压力曲线
 16. 三单元系统射流区中的总压——主喷流能源压力
 17. 三单元数字放大器系统中的马赫数——主喷流能源压力
 18. 测量输出射流和压力用的仪表装置
 19. 整体三级数字式放大器中压力恢复——主喷流压力
 20. 整体三级数字式放大器的负载曲线
 21. 整体三级数字式放大器的最大输出功率——主喷流能源压力
 22. 整体三级数字式放大器的功率效率——主喷流能源压力
 23. 整体三级数字式放大器的切换功率(瓦特)——主喷流能源压力
 24. 整体三级数字式放大器的切换功率(呖-磅/秒)——主喷流能源压力
 25. 整体三级数字式放大器的瞬时功率增益——主喷流能源压力
 26. 整体三级数字式放大器的输出射流——主喷流能源压力
 27. 整体三级数字式放大器的射流增益——主喷流能源压力
 28. 整体三级数字式放大器的规格化切换射流——主喷流能源压力
- 摘要：

叙述了能够获得高功率输出和射流增益的三级数字式放大器的设计和性能。系统的设计是在测量了单个的元件和把单元与输出、输入和反馈性能相匹配的基础上进行的。系统中的射流增益是通过把喷嘴宽度逐级放大10倍的方法来达到。负载对中间单元的影响可通过把分离块设置在比较要求能有最大效率的位置更为下游的地方来加以控制的。

系统是以共同的 $1 - 15$ 磅/吋² (表压) 的主喷流能源压力来操作的。系统是以大气压下的射流来切换的。第三级输出经过一只 12° 的扩散器而射向大气。射流增益可高达 3000, 压力恢复为 50~67% 功率增率约为 10000。

1. 引言:

边界层数字单元是流体放大的基本元件之一。本文的目的在于讨论构成射流增益高而压力恢复较好的三级数字式放大器的这些单元的设计参数, 以及在两个所试验的级联系统中所作的一些测量。

边界层单元的工作原理有些还不能根据古典流体动力学作出充分的解释。其中最主要的就是附壁射流的相互作用和从周围卷吸流体粒子的现象——亚声速、声速、超声速——中操作, 但本文主要讨论在亚声速范围中操作的单元。

2. 操作原理:

当射流从喷嘴射出时, 射流的边界上就产生紊流。由于射流对周围流体的剪应力的摩擦, 射流向侧面扩散并减速, 而同时卷取了周围流体中的粒子(参考资料2)。当周围流体与射流相混时, 射流的速度分布发生变化, 使速度分布截面图在 $6W$ (喷嘴宽度) 的距离上接近于高斯分布。在扩散过程中, 射流的动能变为紊流的动能, 后者又转换为热能。在这一过程中, 射流被减速而周围粒子被加速。结果使输出射流有一个净增加 (net increase)。虽然大部分射流的速度随着离开喷嘴的距离变远而减速, 但在离开喷嘴 $6W$ 的范围内有一个核心, 在这个核心区里, 速度是最高而且恒定的(参考资料2)。射流的最高能量就在这个核心区中, 因为在这里还不曾与外界发生混合作用。

2.1 数字特性:

边界层单元的数字特性是在将射流附近加以边壁或固定的边界的情况下取得的(图1)。从主喷嘴喷出的喷流附在两个边壁之一上面而形成一低压气袋(Pocket)或空隙(bubble)。在气隙周围的射流的轨道大约是成圆弧形的。气隙中的压力随着离开喷嘴的距离的不同而变化, 因为主喷流经常把粒子吸去或带回。在射流离开一个

边壁而附到对面的边壁上之前，控制喷嘴的控制流必须先使气隙中的压力增加。这就是这些元件所以能具有数字特性的因素之一。

有射流吸附的边壁上的静压分布多半是与边壁的后移 (Set back) 和倾斜角成函数关系，变化的范围从低于环境压力到最高值，然后逐渐下降，直到在离开喷嘴相当的距离上接近于环境压力为止。图 2 所示为沿着吸附壁上的典型静压分布图。

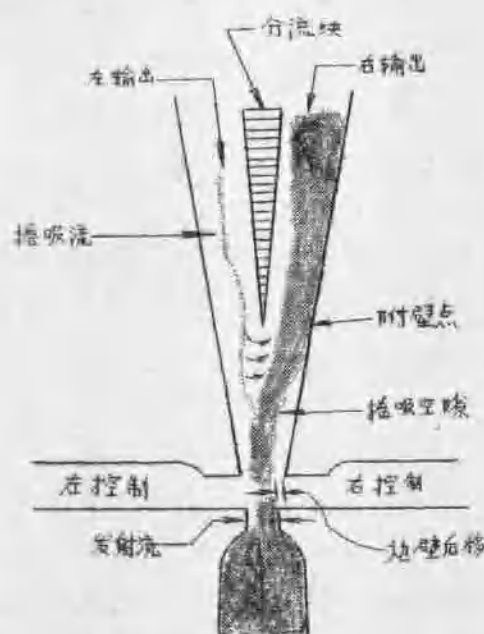


图 1 边界层数字单元中的射流示意图

2.2 射流边缘振荡：

根据古典空气动力学，射流中的一个楔形物（分流块）将使射流振荡，这种现象最先是由 C. Sondhaus (参考资料 3) 和 R. Wachmuth (参考资料 4) 所观察到的。因此，分流块会使带有相关谱波的共振频率增加，至于增加的原因和振幅的大小，曾经是许多研究

中的主题。这一现象使单元的噪声级增加，而结果所造成的损失显著地降低了效率，把楔形物顶部弄圆可以减少振盪。

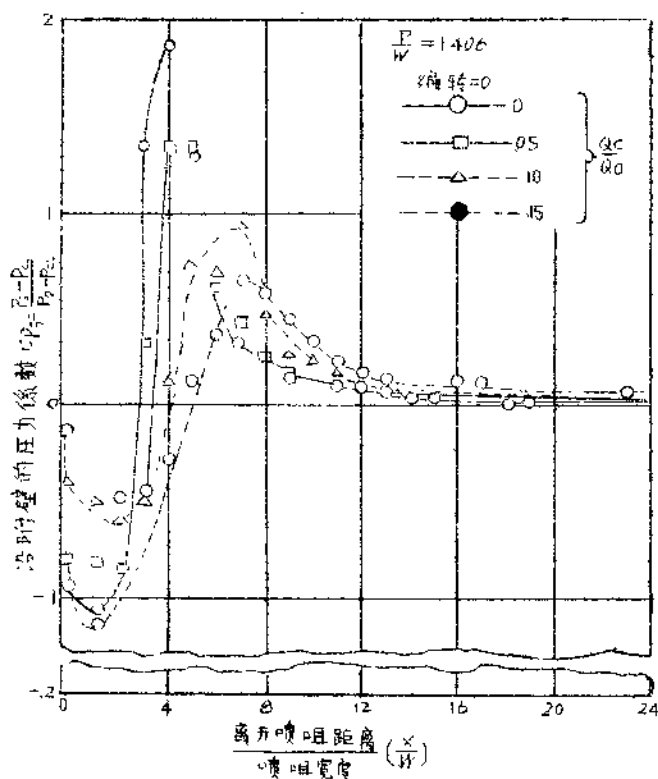


图2 沿附壁的压力分布

2.3 效率：

在制造数字单元时，首先要考虑的是效率，也就是说，主喷流的总能量应当只有极少的损失。根据 Albertson 关于空气射流的数据（参考资料2），显然总能量是随着距离的加远而降低。根据同一数据，亦可看到，直到 $6W$ 的距离为止，以射流方向喷射的最高速度是恒定的，而从该处更往下游，则成指指数地下降。由此可以下结论说：要制造效率高的单元，必须把射流的膨胀室尽量保持得很小，而分离

块的位置不应该放在 6 W 以后更下游的地方。

采用 12° 的扩散器可以很有效地使射流扩散，以得到高压效率。扩散器必须很短以减少损失，能够满足这些要求的元件已经制造成功，压力恢复约 70%，而在亚声速范围中，在主喷流能源压力为 15 磅/吋²（表压力）时，瞬时射流增益可大于 15。（所谓压力恢复是指单元能够承受的负荷量而言，是以主喷流输入口上的滞流压力为单位的）。

2.4 切换特性：

设计的具有高压效率的数字单元对于控制喷嘴上当小的信号都是敏感的。换句话说，很容易使射流从一个通道切换到另一个通道，而在这个过程中所耗费的能量很小。实际上，在某些元件中，大气已能供给足够的气流和压力使输出切换。这是可能的，因为包围在射流中的气隙（jet inclosed bubble）的压力仅为 9~12 磅/吋²（绝对），而周围（大气）压力却大于 14 磅/吋²（绝对）因此，如果控制喷嘴是开启的，就有气流从大气中流入，气隙中的压力将要增加，主喷流将会吸附到对面的壁上。

2.5 稳定性和存储作用：

令人遗憾的是有效的亚声速数字元件只有当输出处没有负载时才能良好地操作。如果在输出处出现负载，譬如说另一个单元，则输出处的静压增加，而这个压力向上游传播，将附壁点移向上游。这样一来，就使吸卷的气隙（bubble）缩小，而其压力亦增加。射流将移到另一个通道，或者在某些设计中，就在两个通道之间振荡。如果单元必须在有负载的情况下操作，则这种效应是很不好的。

当分离块充分地移向下游，使射流转向对面的输出道，并在那里射出，且不会使附壁点上出现紊流，这时就可以得到存储作用。即使放大器的输出口全部阻塞，射流依然吸附在壁上。射流将从对面的通道射出，但压力依然保留在被阻塞的通道中。如果被阻塞的通道重新开放，射流就要从该通道中射出，在双稳态级联系统的策动器中存储作用是非常重要的。

2.6 级联系统中的反馈：

当两个单元接连在一起时，就会形成一个正反馈回路，这个反馈

迴路是由于与主噴流发生交互作用的下一级的射流粒子运动所引起的。参看三个单元联在一起的图3，就可以更好地理解这个过程。阴影区为有射流经过的区。在通道1 (Ieg1) 中，由于第三级中的射流继续卷吸粒子，因此压力较低。同时，第二级中的主噴流亦从通道2中卷吸粒子。如果两个压力大致上相等，则反饋大约为零。如果通道2的压力低于通道1的压力，则出现逆向射流，亦即为反饋。

3. 三级数字式放大器

制造了二只三级数字式放大器系统并加以试验。一个系统是用软管将三个数字元件联在一起，以第一级和第二级的输出分别直接射入第二级和第三级。这个系统是根据经验来设计的，设计时先试验个别的元件以确定其性能，然后加以匹配，使各单元之间取得协调，以得到所要求的系统性能。图3为此系统的示意图。

第二个系统是设计成为一个整体三级单元，系利用第一系统作为设计参比基准，如果第一系统的试验性能是合乎要求的，即可据以调节其他参数。系统的第一级和第二级的射流经过涡流气缸傳到下面的级上。涡流气缸具有抗阻匹配装置的作用。图4为此整体系统的示意图。图5、6、7为单元的设计图，图8为此系统的照片。

在两个系统中的任何一个给定级中，控制噴嘴宽度均与主噴嘴的宽度一样。在两个系统中，主噴嘴的面积逐级增加10倍，以得到射流和功率增益。按照规定，噴嘴面积为0.001，0.01和0.1吋²，第三级主噴流的深宽比 (aspect ratio) 为4:1。在两个系统的第三级中，附壁角为12°，而壁阶 (Wall Offset) 为0。

若把分离块的位置得：在第一级中离开噴嘴16个W，第二级中8W，第三级中4W，则第一级和第二级的压力效率就要损失。分离块的布置对于获得策动器和级际的稳定性和存儲作用有着密切的关系，因此设计时应该特别注意。

图9为测量构成第一系统的各个单元的特性所用的测试设备。个别单元的输入嘴和输出嘴的压力可用变送器测量出来，输入和输出射流可直接用流量计测出，并从在孔板上所测得的差压计算出来。变送器的输出信号被点繪在X-Y记录器上。点繪图是直接通过采用马达