



77-1-4

化工单元设备资料

喷雾干燥 (二)

上海化学工业设计院医药农药工业设计组

一九七九年三月二十日

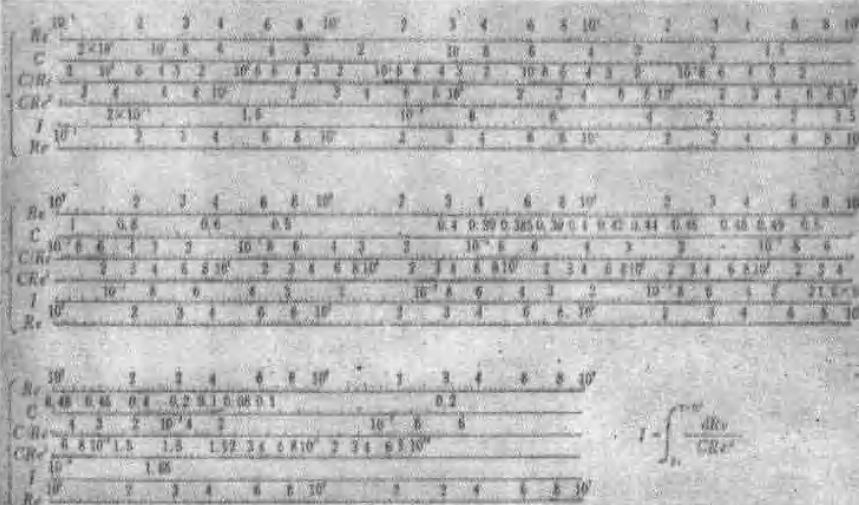


图4 球形粒子的阻力系数以及该系数和雷诺数的关系



图13 雷诺数为220时的
液滴的形状



图14 雷诺数为640时的
液滴变化情况(其一)



图16 雷诺数为340时的
液滴变化情况



图18 雷诺数为340时的
液滴变化情况(其二)





图21 当转速为3440转/时的位置变化情况
(续三)



图22 当转速为400
时的定环环
的复杂形状

图23 当转速为1010转/时
无定形轨迹的定环

喷雾干燥器的运转和设计(15)

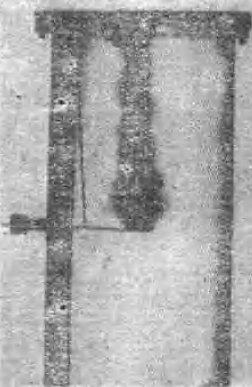


图24 示环物在中心部喷出

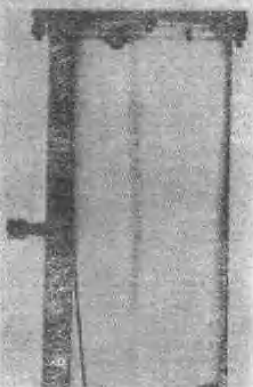


图25 示环物在中心部喷出



图26 示环物在中心部喷出

8/1805
2/32
2

喷雾干燥

第二集

(译自日文“化学装置 1971 年 1、2 和 1972 年
2、3、4、5、6、7、8、9、10 期)

目 录

1 喷雾干燥的运转和设计 (11)	1
2 喷雾干燥的运转和设计 (12)	23
3 喷雾干燥的运转和设计 (13)	55
4 喷雾干燥的运转和设计 (14)	78
5 喷雾干燥的运转和设计 (15)	99
6 喷雾干燥的运转和设计 (16)	120
7 喷雾干燥的运转和设计 (17)	144
8 喷雾干燥的运转和设计 (18)	168
9 喷雾干燥的运转和设计 (19)	188
10 喷雾干燥的运转和设计 (20)	215

第四章 超声波喷雾

圆板式、压力式、双流式为喷雾干燥最好的喷雾器，都逐一作了介绍，除上述以外的喷雾器，在压力式喷嘴中，还有扇形喷嘴（喷嘴呈矩形），整体喷嘴（没有旋回流压力式喷嘴），同上述原理不同喷嘴有液—液衝突式，静电式，超声波式（或超声波振动），以及单纯的振动式喷雾器等。

有关超声波喷雾情况介绍于下：

超声波喷雾同其他喷雾器比较从喷雾器喷出的速度慢，即液滴的飞翔距离短，还有作为一般的倾向，液体的道路少，液的压力和流量对液体的物性影响少，等为特长。

为此是值得注目的喷雾器

4-1 哈特曼式的其它空气流发声

本节对哈特曼笛和空气流的超声波发生器拟作基本的介绍。

哈特曼的实验装置是利用空气喷流的非常简单的装置，成功的发生强的声波，首先，最初的预备实验装置如图1所示，压缩空气是由图中的Y，通过空气溜B而由S喷出。

在开着空隙的K部分承受此空气喷流，空气压力即B部分的压力与K部分的压力差用M的压力计测定。

其结果如图2(a)示。由于S和K的距离不同，显示出压力的脉动，在同图(b)(c)为压力脉动的说明图，(b)的情况是压力差较小，(c)的情况压力差较大，发声时为(b)的状态。

根据这些预备试验，哈特曼制作了图3的实验装置。

压缩空气由此图的左侧管子的喷嘴部分喷出，该空气流同共振器

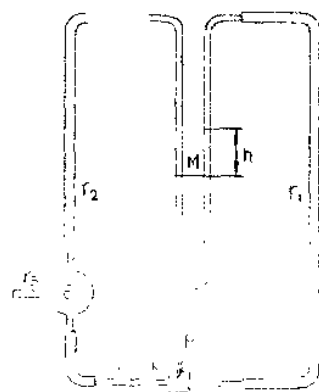


图1 哈特曼的实验装置

R 冲击共振器 R 的微螺旋可以调节微量距离，共振器 R 的空气喷流冲击部分开启小的共振孔。

哈特曼发现此实验装置的结果是：共振孔深度与发声的波长为直线关系。

图 4 为共振的口径为 0.7 mm 时的情况，图 5 为共振孔的口径为 1.2 mm 时的数据，共振孔部深与声波的波长的关系都成直线关系。

将此种关系归纳成实验式，分别如下：

$$\lambda = 4.22 d + 1.2 \quad (\text{图 4}) \quad (1)$$

$$\lambda = 4.22 (d + 0.3) \quad (\text{图 5}) \quad (2)$$

λ = 波长 d = 共振孔的深度

按上列二式，可以确定波长大致为共振孔的 3 倍。

根据上述哈特曼的研究，确信以简单的装置可发生超声波。

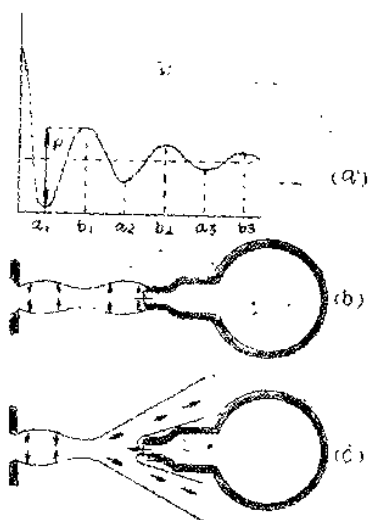


图 2 哈特曼(Hartmann)的实验结果

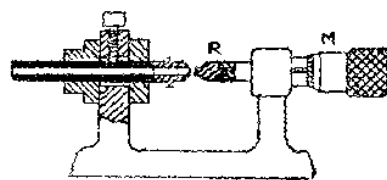


图 3 哈特曼的发声器的实验装置

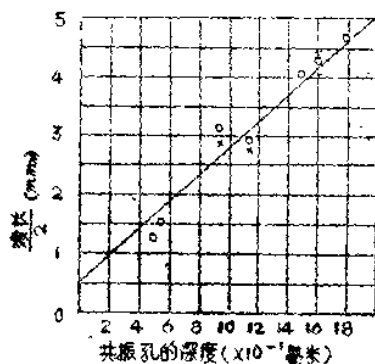


图 4 哈特曼的实验结果
(共振孔的直径 0.7 毫米)

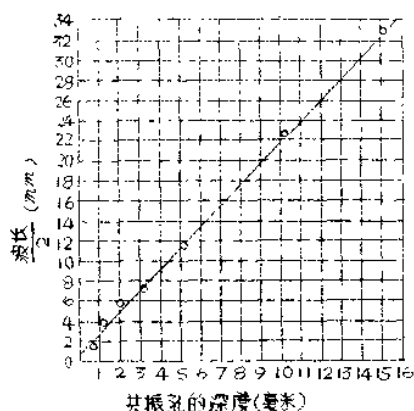


图5 哈特曼的实验结果
(共振孔的直径1.2毫米)

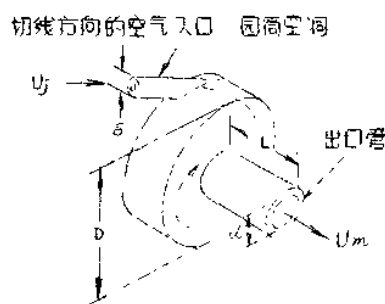


图6 钱诺德(Chanaud)③
的音波发生器

图6所示为钱诺德涡卷型发声器用水和空气进行实验，水和本文没什么关系故省略。

以空气做实验时，图6是切线方向空气进口管径 δ 为0.25吋，圆筒空腔的直径 D 为0.5, 1.0, 2.0吋三种，其长度为1吋。

空气的进口管按装在空腔的1吋长度的中央，大部分的笛按装在喷嘴的后边，这样按装的位置，对于声的周波数没有影响。

出口管其直径有0.245, 0.37, 0.495, 0.745吋4种，长度为0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0吋，曾进行过多种直径和长度的组合。

实验结果，首先获得出口管长度对周波数的影响结果见图7。

图中的横轴为出口管的空气雷诺数，纵轴为斯多哈尔数 $(f \cdot d) / U_m$ f 为周波数， d 和 U_m 为出口管的内径和空气速度。

图7圆筒空腔的直径为2吋，空气的出口管的直径为0.73吋时的结果。若令空气的动粘度 ν 一定时，对应于横轴的雷诺数，空气速度 U_m 值相同，出口管的速度相同时， L/d 愈大，出口管愈长，则周波数为小。

对于不同的 L/d ，雷诺数增加时，则斯多哈尔数增大。

图8表示在不同的出口管直径条件下，其长度的影响同理论值(科勃特兹 Collstz 和戈特 Gortler)的比较。

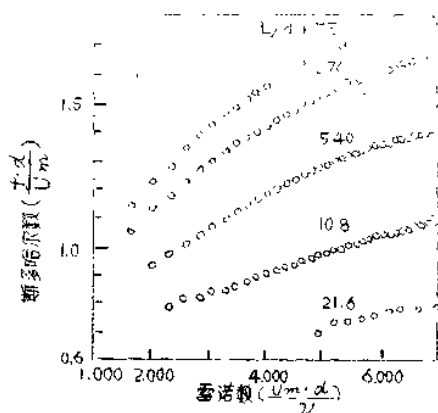


图7 出口管的长度与音的周波数的关系

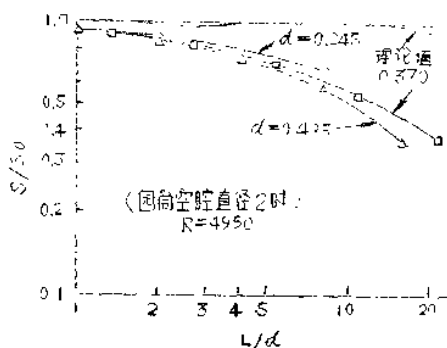


图8 出口管的长度影响的比较

纵轴的 S 为斯多哈尔数, S_0 为 $L/d=1$ 时的斯多哈尔的理论值。圆筒空腔的直径, 和其它因素的影响由图9表示, 空气入口的口径, 圆筒空腔的直径, 出口管的口径等之间具有复什的关系。

从图可清楚地看到 D/δ 的比值大时则斯多哈尔数也大, 若 D/d 的比值大则斯多哈尔数趋向为小, 可清清楚楚的看到。

4-2 超声波喷雾

佩斯金 (Peskin) 曾对液体薄膜的超声波喷雾器理论作了研究, 关于超声波喷雾时的液滴直径的分布见文献(5)。

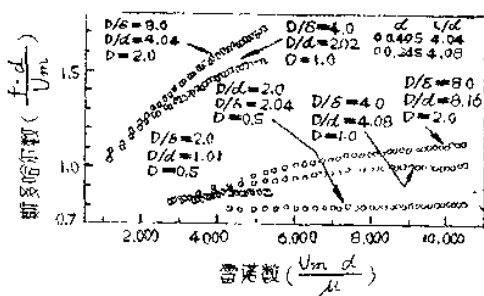


图9 圆筒空腔等的大小

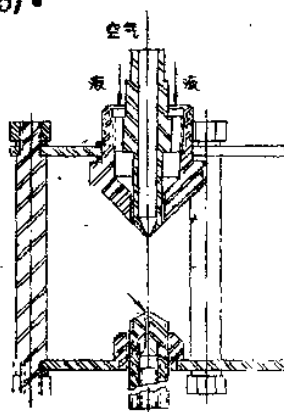


图10 使用哈特曼笛的喷雾器

本节主要研究喷雾的实际问题。

威尔科克斯 (Wilcox) 为使用哈特曼的雷用 20~90,000 周波/秒的声波进行喷雾实验, 其实验装置如图 1.0 所示, 液体在外侧由内侧用空气喷出, 进行了关于空气压力同共振孔的位置以及孔的深度之间的实验

表 1

	A	B	C	D
加料方法	环状薄膜			
音波周波数 (KHz)	42	18	*	42
水流量 (加仑/时)	50	50	20	20
水压 (磅/吋 ²)	50	50	12	12
空气流量 (磅/时)	15.4 (恒定)			
空气压力 (磅/吋 ²)	50 (恒定)			
体面积平均直径 (μ)	158	139	124	21

* 无共振器

表 2

	A	B	C
加料方法	图 1.2	图 1.2	图 1.3
水流量 (加仑/时)	123	185	100
水压 (磅/吋 ²)	20	40	30
空气流量 (磅/时)	66	35	58
空气压力 (磅/吋 ²)	90	40	70
体面积平均直径 (μ)	282	256	173

周波数与前项公式有少许变更

$$f = C / 4 (L + 0.3d) \quad (3)$$

f = 音的周波数； C = 音速； L = 共振孔的深度； d = 共振孔的直径。

此外，声波的强度在喷雾器的中心线的10吋下边，当使用50 磅/吋²压力的空气时，可得135db(1db为0.0002 达因/厘米²)

上述试验结果如表1和图11所示，图11的A、B、C、D的条件见表1。表1的A和B由于声波数不同而其他条件相同，其平均粒径为158和139 μ ，也许周波数高不一定液滴径小，不用说是由于实验数据过少而得出的结论，表1中的C、D条件是超声波有无的比较，其平均径为124 μ 到211 μ ，呈现了使用超声波的效果，由图11看出液滴径是非常均匀的。

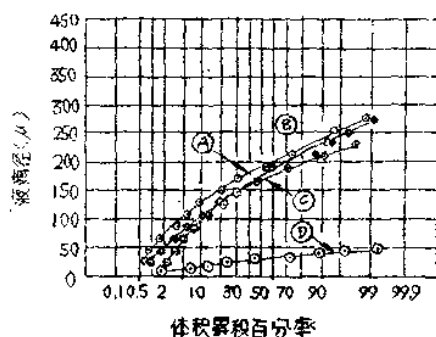


图11 使用哈特曼雷喷雾
的液滴粒径分布
(按图10的实验装置)

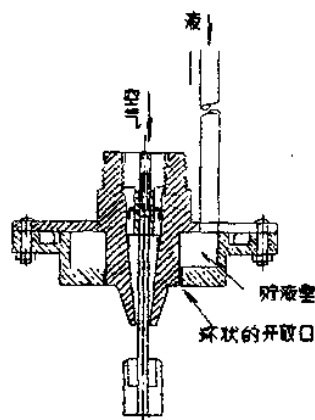


图12 改良型超声波的
喷雾器(环状液膜型)

在图10的实验装置，因为共振器的支架干扰喷雾，所以威尔科克斯改进了图12、图13的实验装置。

其实验结果如表2和图14，根据图12的实验装置，在声波发生器之间，当流过薄层液层时，表2的A、B中，B的液体量比A

的多，尽管认为声波能量较小，而其平均粒径稍微小些。

由图 1 4 看它的液滴径的分布，一般来说得不到好的结果，即几乎不受音波的影响。在图 1 3 实验装置的实验值没有同 C 相同的装置的比较数据，同 A、B 的数据比较水压为 A、B 试验中间值，水量比其小一位数，由喷嘴进行喷雾试验其平均直径没有象 A、B 那样小，还有在图 1 4 看出的滴径分布，同 A、B 比也不见得好，仅从图 1 4 看出 A、B、C 的实验径同其他喷雾器比较也没有看出有良好的结果。

威尔科克斯等人也进行上述的实验得不到均匀喷雾，图 1 5 为按装有反射镜的实验装置，曾做一些共振器位置变化的实验，但没取得实验数据。

汉森 (Hansen) 曾经通过高速度照相检查超声波喷雾器形成的油滴，喷雾器使用图 1 6 的 2 种形式进行实验，在喷雾器 A，小铁块的尖端，从液体入口进入的油由芯子送到尖端的表面，喷雾部分的尖端的尺寸为 0.4×2 mm，即螺丝刀型。在尖端涂油，由把手部分的超声波发生器的振动而进行喷雾。

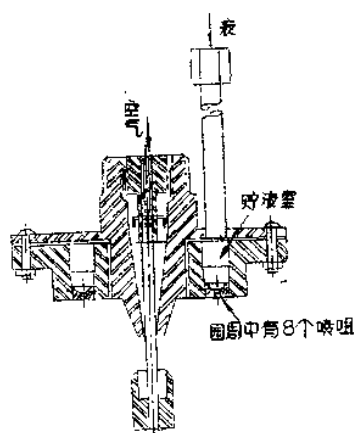


图 1 3 改良型的超声波喷雾器

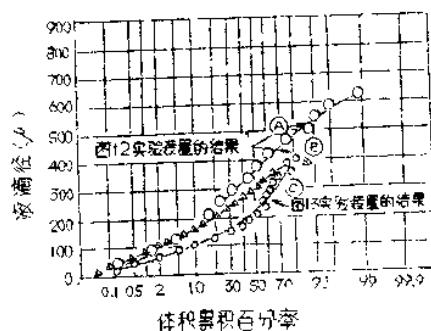


图 1 4 超声波喷雾器的液滴径分布

喷雾器 B 为由内径 0.16 mm，外径 0.21 mm 的玻璃毛细管组成，

使油从毛细管流出，借超声波喷雾油的一种形式。

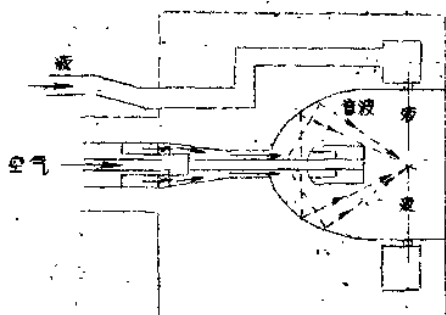


图15 按装反射镜的超声波喷雾器

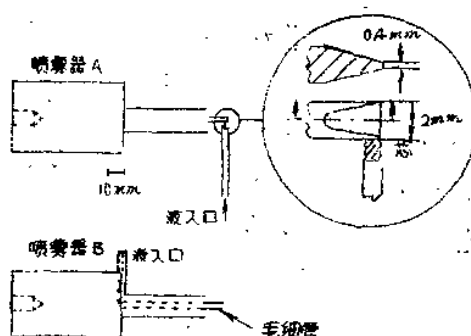


图16 汉森的超声波喷雾器的实验装置

喷雾器A的喷雾状态如图17。

图中1~16[#]的喷雾状态均在 0.7×10^{-6} 秒种内摄得的，液体由铁的尖端顺序地（1~6）露出，而在7折回，在8~12成液索鼓出，而在13~16，从液索尖端生成液滴。此项实验系用20 KHz的超声波装置进行的。

喷雾器B的喷雾状态如图18，上述二种现象均可在照片中看出。

其中之一，由照片上侧可看到1~8[#]的东西，液索从下方切断，由于表面张力，逐渐形成液滴，还有一种现象在照片2~7[#]部分液索生长，在尖端得到的液滴同照片8~10[#]的现象相同，这种试验使用16.7 KHz的超声波。

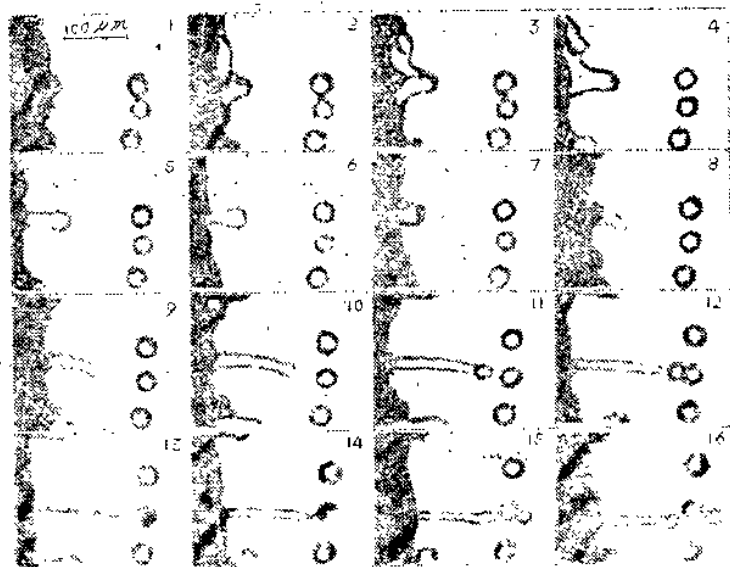


图 1 7 汉森喷雾器的实验

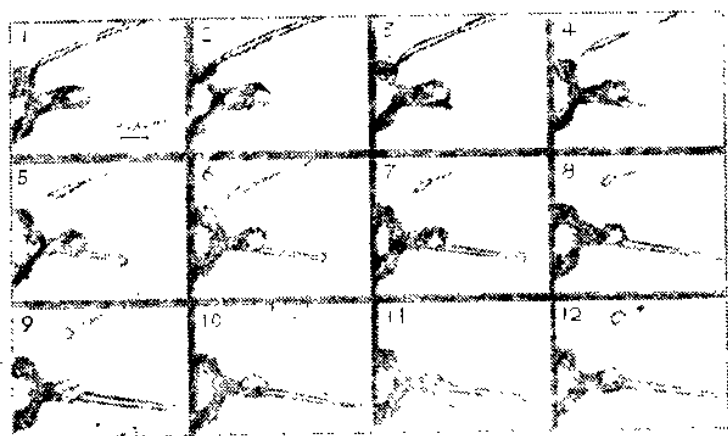


图 1 8 汉森喷雾器的实验

根据汉森的这个实验，清楚看出；超声波的喷雾情况同其它喷雾器一样，首先形成液索，然后成为液滴。

4-3 超声波喷雾器的专刊

新的形式喷雾器各在研究报告和专刊公告，一般使用空气流的哈特曼的笛和电气的超声波发生器，现分别介绍。

(a) 使用哈特曼笛的超声波喷雾

八木⑧氏用上述的威尔科克斯的实验装置相同的喷雾方法，某种部份作些微小差别，已经有实用新设计，其方法如图19示(a)为总图(b)为超声波发生器和喷雾部分，由同图(b)的10通入压缩空气，从共振器8发生声波，喷雾液由管9进入，这根管子也兼共振器的支架，这根管的中间有孔15，从小孔中排出液体，从而由声波进行喷雾。总图(a)16为防止在上盖和侧面粘着的锥形塞，则不象是声波用的反射板，还有17为共振器的安装用插销，干燥用的热风由3进入。

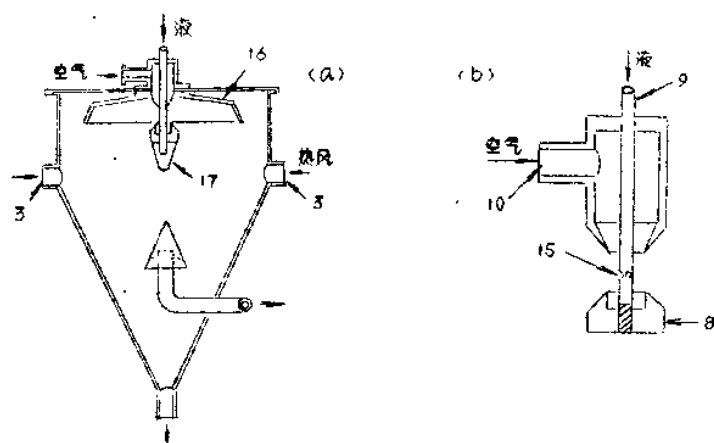


图19 八木⑧的超声波喷雾干燥器

乔克(Joeck)曾对各种超声波喷雾器进行考查，用图20(a)说明，压缩空气由管10进入，由此管的前端锐孔喷出，在共振器11发生超声波。料液由管14进入，由13排出，图中13在超声波作用下，使液体喷雾。

图20(b)中，从管16进入压缩空气，料液由管17入，由18排出，在18部分按装共振筒20，发生超声波，并进行喷雾。

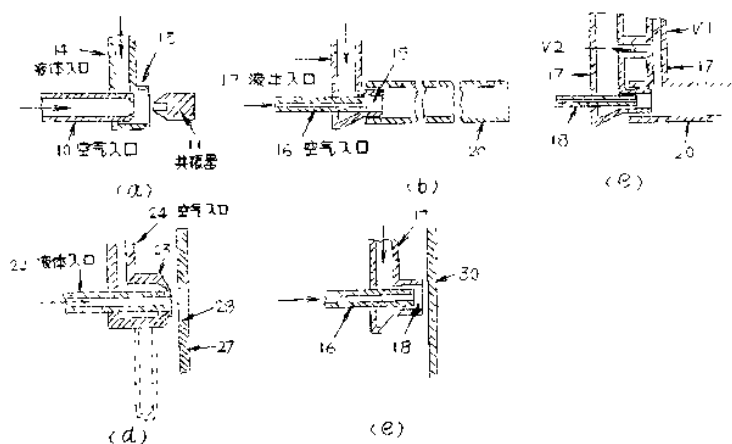


图 2 0 乔克的超声波喷雾器⁽⁸⁾

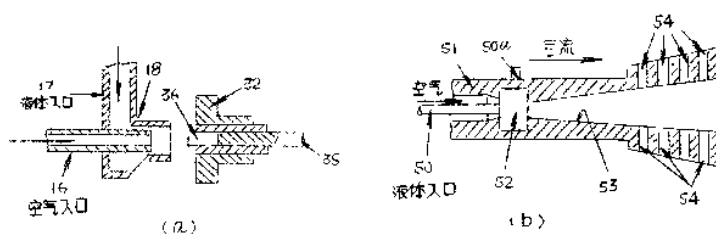


图 2 1 乔克的超声波喷雾器

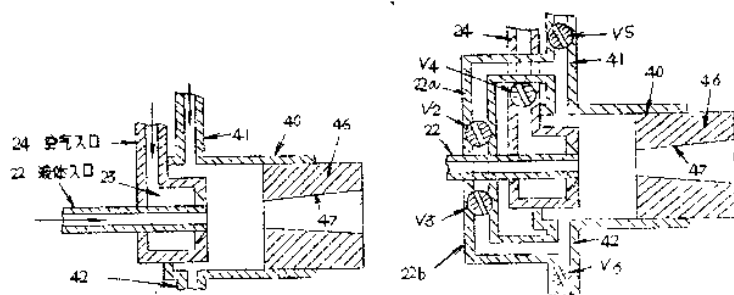


图 2 2 乔克的超声波喷雾器

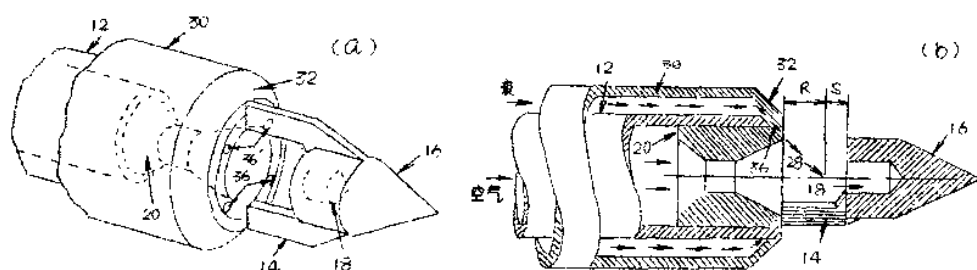


图 23 索尼克公司的超声波喷雾器

图 20(c) 为图(b)的变形，料液分二路由阀门 V_1, V_2 将进入两部分的流量调节。

图 20(d) 若以锐孔发生声波，料液由内侧进入，即由管(22)进入，空气由 24 进入，由 23 喷出，在喷嘴段前面设置金属平板 27，在 27 上的锐孔 28 发生声波，而进行喷雾。

图 20(e) 与图(b)的喷雾部分相同，共振筒改为平板 30，由此发生音波而喷雾。

乔克的进一步改进形式示于图 21。

图 21(a) 是将图 20 中的形式作了重新组合，物料和空气的喷嘴部分如图 20(b) 将共振器的孔的深度调到 36，图中 32 作用同图 20(e) 的 30 作用相同。图 21(b)，由管 50 进料，在其外侧进入空气，从 52 共振箱到 53 部分逐渐扩大，用 54 的孔使声波加强，而进行强力喷雾的方法。

其他种类的喷雾器如图 22。

图 22(a) 由 22 和 24 进入空气和料液，47 如同图 20(b) 的锐孔发生声波，41、42 也是料液入口，同其他的料液混合可同时进行喷雾。

图 22(b) 为(a)的改良结构，用阀门 $V_1 \sim V_6$ 各自调节流量。

乔克宣传别人的研究方式，提到的结构如图 20 的(b)(c)和图 22。

索尼克公司的超声波喷雾器如图 2 3 所示，图 2 3 (a) 为透视图，(b) 为它的剖面图，空气在管 1 2 里边通过，经过文丘里管 2 0 喷出，由于 1 8 的共振器发出声波。

此外，液体由 1 2 和 3 0 间的夹层加入，由 3 6 的孔流出。空气流在 2 0 的文丘里部分，速度具有 1 马赫，最好在 1.6 马赫以上。在文丘里的出口处，喷嘴周围的空气压力，在良好的操作条件下，为 1 ~ 2 磅/吋² 以上的低压，集中的声波能的芯在文丘里管和共振器 1 8 之间向外侧扩大。

料液从 3 6 的孔流出，在图 2 3 只有 4 个孔，多者更好。上述的空气压力，由于大多情况下中心比周围低，音能被吸引在芯部，将料液供给。此芯部在 2 8 的点，离喷嘴距离 R，离共振器距离 S，距离 S 用 $S = \lambda / 4$ 式求取。

$$\text{或者 } \lambda = 1.307 D_A \sqrt{M_E^2 - 1} \quad (4)$$

D_A = 喷嘴段内径 (气体压力同周围的气体压力相等时的管径)
(吋)

M_E = 喷嘴出口部分的气流的马赫数

由上式求出能量芯的位置，可使喷雾液对着芯的方向喷出。

这种喷雾方式同双流喷雾比较，动力消耗少，同其他的喷雾器比较可得到比较均匀的液滴。

用此喷雾器用水进行喷雾时，其平均粒径同水的流量和空气压力的关系示于图 2 4，求得的实验式不拟叙述。而其特点，料液的粘度对其平均粒径影响比较小。

另外乔克提出图 2 3 的改进型图 2 5，各部分都用螺纹连结，除了将料液进料口由夹层改为集合管形式外，基本没有变化。

若使料液进料简单化，可将喷出空气的文丘里和共振器的位置简单调节即可，还有一种改良方案，如图 2 6 示，在图 2 3 喷雾器中装 7 8 的夹层，由 8 0 将空气流出，为了调节喷雾流是必须要考虑的。

福特曼在哈鲁脱玛型的声波发生器的喷雾器，为在液体喷出部位按装共振器提出很多的方法，由于引起很多不便，为了避免上述问题