



超 声 波 在染整生产中的应用

(德)П·别尔格麦 (苏)В·М·弗里德麦著

天津紡織科學技術研究所譯



紡織工業出版社

**1. DER ULTRASCHALL UND SEINE ANWENDUNG
IN WISSENSCHAFT UND TECHNIK**

VON

DR. LUDWIG BERGMANN

6 völlig überarbeitete und erweiterte

Auflage mit 609 Bildern

Zürich, 1954.

**2. ЗВУКОВЫЕ И УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЛЕГКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ.**

В. М. ФРИДМАН

ГИЗЛЕГПРОМ 1956

超声波在染整生产中的应用

(德) Л. 别尔格麦 著

(苏) В. М. 弗里德曼

天津紡織科学技术研究所譯

奚杏蓀 庄淑娟 校

*

紡織工业出版社出版

北京五三六工厂印刷·新华书店发行

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 开本·3 $\frac{28}{32}$ 印张·67 千字

1959 年 12 月初版

1959 年 12 月北京第 1 次印刷·印数 1—1500

定价 (10) 0.55 元

超声波在染整生产中的应用

(德) J. 别尔格麦 (苏) B. M. 弗里德曼著

天津紡織科学技术研究所译

奚杏蓀 庄淑娟 校

紡織工業出版社

1959年·北京

內 容 簡 介

本書系摘譯自“超声波”(Л. Бергман: Ультразвук и его применение в науке и технике) 和“声波和超声波的振动在輕工业中的应用”(В. М. Фридман: Звуковые и ультразвуковые колебания и их применение в легкой промышленности)。全書共分两部分:第一部分为超声波发生器及換能器,在这部分中,較詳尽的討論了各种类型的超声波发生器和換能器的构造、性能及其优缺点。第二部分研究了声波和超声波在染整生产中的应用的几个方面,给出了全部实验数据和結果。本書可供从事印染工业的技术人員及从事这方面工作的研究人員参考。

目 录

第一部分 超声波发生器及换能器	(5)
一、机械发生器	(5)
(一) 加尔顿哨笛	(5)
(二) 气流发射器	(7)
(三) 液体哨笛	(12)
(四) 超声波汽笛	(15)
(五) 戈利茨曼超声波发射器	(16)
二、电机机械式换能器	(17)
三、电磁式换能器	(18)
四、电动换能器	(26)
五、磁致伸缩换能器	(28)
(一) 磁致伸缩振动器	(28)
(二) 磁致伸缩换能器的发生器	(36)
(三) 磁致伸缩式换能器的优缺点	(40)
六、压电式换能器	(41)
(一) 压电式振动器	(42)
(二) 压电石英换能器的发生器	(43)
(三) “Москит” 型发生器	(44)
七、使用 20~1000 千赫的超声波振动器时 3 千瓦 的 ЛГЕ-3Б 型高频发生器的改装	(51)
八、使用 20 及 800 千赫的超声波振动器时 10 千瓦 的 ЛГЗ-10 型发生器的改装	(57)

九、使用 20 及 800 千赫的超声波振动器时 30 千瓦

的 JIT3-30 型发生器的改装(61)

第二部分 声波和超声波在紡織工业方面的应用 ... (65)

一、声波和超声波对織物机械性能的影响 (65)

二、声波和超声波在染色过程中的应用 (69)

(一) 电磁式、磁致伸缩式和压电式振动器在染色过程中的应用 (69)

(二) 机械振动器在染色过程中的应用 (75)

(三) 漏轮机装置在染色过程中的应用 (76)

三、声波和超声波在織物用各种溶液漂白和浸渍过程中的应用 (77)

四、声波和超声波在織物洗滌过程中的应用 (81)

五、声波和超声波在羊毛洗滌和消毒过程中的应用 ... (87)

六、声波和超声波在人造纖維工业中的应用 (98)

七、超声波的乳化作用 (102)

第一部分 超声波發生器及換能器

一、机械發生器

早在 1899 年，考尼格就曾指出，在空气中可用极小的音叉获得超声波，音叉的长度仅仅几毫米；这种声波的频率可达 90 千赫。根据麦力杰的资料，敲击中心固定的厚 10~12 毫米的圆鋼板时，可以激起振动，其频率与鋼板的直径有关，并能达到 35 千赫（直径 35 毫米时）。鋼弦在縱向的振动所发生的超声波频率可达 30 千赫。我們知道，50 厘米长的鋼弦可产生 5000 赫频率的振动。如果把鋼弦的长度縮短到 10 厘米以內，振动的频率为 25 千赫，这样大频率的振动已經成为可聞声了。

（一）加尔頓哨笛

加尔頓哨笛具有衡定的振幅，频率在 40 千赫以內。这种哨笛的构造示于图 1。气流經過笛咀 A 通向环形縫隙 C，在环形縫隙的出口进入圓筒形的刃状口 D，这

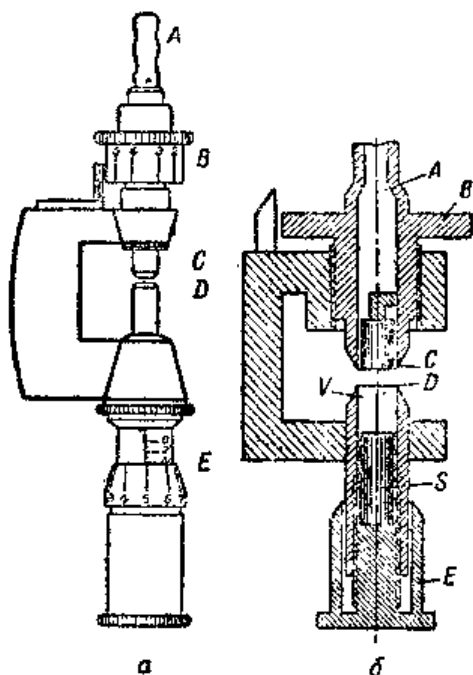


图 1 加尔頓哨笛
a. 外 形 b. 縱断面

时在刃状口产生周期性涡流，使气体的容积 V 激起振动。容积 V 的大小可用带测微螺钉的鼓形轮 F 及活塞 S 来改变（容积的可变长度为 l 毫米）。第二个测微螺钉 B 可调节 C 及 D 之间的间隙，以便获得所需要的涡流频率，这个频率初近似的等于 u/d ，即等于气流速度 u 与间隙宽度 d 之比。单独调节容积和间隙要费很多时间；因此爱德力曼创造了一种哨笛，调节这种哨笛的容积时（即调节音的高度），可自动调整所需要的间隙宽度。

哨笛所产生的频率可用下式求出：

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{4(l+k)}$$

式中 λ —波长； l —哨笛容积 V 的长度（毫米）； k —与气流压力有关的常数。例如，爱德力曼笛

当 $p=22, 51, 300$ 毫米水银柱时，

$$k=7.2, 6.2, 4.7$$

上面公式中的速度 C 与温度 t 有关，并可用下式表出：

$$C = 331800 \sqrt{1 + 0.00367 t} \text{ 毫米/秒}$$

根据国立宾夕法尼亚学院声学实验室对这种哨笛研究的结果，在功率为几瓦的条件下，超声波哨笛能产生 55 千赫以内的频率。

勒瓦瓦塞尔制成的强功率的超声波哨笛在效率为 8~10% 时，功率为几百瓦时。这种哨笛的发射强度与谐振器的长度有关，即决定于哨笛的直径，而频率则决定于谐振器的横截面大小。

(二) 气流发射器

为在空气中获得达 50 瓦 的较大的声功率，加尔曼制造了一种气流发射器，其作用原理是用以下现象为基础的。在超过 0.9 大气压的过剩压力作用下，气流进入喷嘴 D (图 2)，即以超过声扩散的速度进入喷嘴。马赫及萨勒尔赫尔指出，气流在喷嘴前具有周期的结构 (图 2 虚线所示)。如果用流速管来测量距喷嘴出口不同距离上气流的压力，并绘成曲线图，则可以得出图 2 上的曲线 K 。

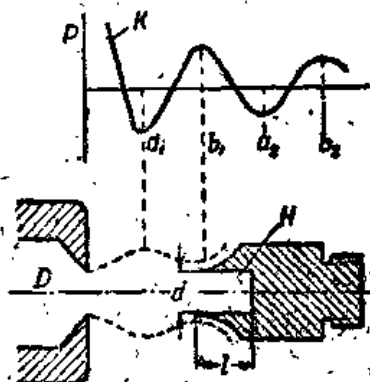


图 2 加尔曼气流发射器的作用原理

压力的周期分佈在图 3 上可以很清楚的看到，图上气流的照片是用阴影方法获得的。这里是用重复的亮龙部分来表示周

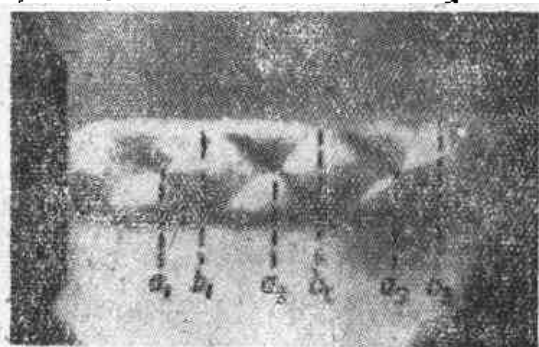


图 3 在以超音速喷入的气流中压力的分布情况

(根据加尔曼原著)

期性的；图 2 a_1b_1 、 a_2b_2 等所表示的压力增大部分是不稳定的。如果在这里放一做为谐振器用的容积 H ，则可以向周围介质中发射声波。同时产生同一类型的松弛振动，在振动过程中，空气在过剩压力作用下进入谐振器，然后又由谐振器中排出。

空气振动的频率，即所发射的声波的频率，决定于谐振器内腔的大小。如果内腔的长度为 l ，直径（通常等于喷嘴直径）为 d ，根据格利姆戈利楚定律，用下面的公式可近似的计算出波长 λ ：

$$\lambda = 4(l + 0.3d)$$

当 $C=d$ 时， $\lambda = 5.2 l$ ；波长 $\lambda = 5.2$ 毫米适应于 $l = 1$ 毫米，即频率 f 接近于 63 千赫。

与相当于最短波长的距离相比，把谐振器与喷嘴间的距离增大时，可使波长增加到一定程度，增加的百分比可用下面的公式求出：

$$\frac{\lambda_{\text{最高}} - \lambda_{\text{最低}}}{\lambda_{\text{最低}}} 100 = 8.85 (p - 0.9)$$

式中 p —大气中气流的过剩压力。

发射器的声功率初近似值等于：

$$W_a = 3d^2 \sqrt{p - 0.9} \text{ 瓦特}$$

式中 d —谐振器的直径，毫米。

发射器的效率用下面的公式求出：

$$\eta = 5.46 \frac{\sqrt{p - 0.9}}{(1 + p) [(1 + p)^{0.291} - 1]}$$

不难看出，5%的效率相当于 2.5 大气压的过剩压力。

表 1 为各种发射器的数据 表中用 W_e 表示消耗功率, W_s 表示所发射的声功率。

表 1 气流发生器的数据

$d=l$ (毫米)	p (大气压)	λ 波长 (毫米)	f (千赫)	W_e (JL)	W_s (JL)	η (%)
2	2.61	11.7	23.2	335	13.4	3.99
3	2.61	18.2	16.3	691	38.2	5.40
4	2.74	24.6	13.4	1380	73.1	5.29
5	3.44	32.7	10.0	2920	103.0	3.52
6	3.16	37.0	8.9	3570	145.0	4.0

计算加尔曼气流发射器的尺寸和功率有如下八个公式:

$$I \quad f_{\text{最高}} = \frac{34000}{\lambda_{\text{最低}}} = \frac{5860}{d} \quad (\lambda \text{ 和 } d, \text{ 厘米})$$

$$II \quad R = \frac{f_{\text{最高}} - f_{\text{最低}}}{f_{\text{最高}}} \times 100 = 8.85(p - 0.93)\%$$

$$III \quad \frac{a_1}{d} = 1 + 0.04(p - 0.93)^2$$

$$IV \quad \frac{a_2 - a_1}{d} = 0.43 \sqrt{p - 1.86}$$

$$V \quad \frac{W_a}{d^2} = (295 p - 0.93) \text{ 瓦特/厘米}^2$$

$$VI \quad \frac{W_e}{d^2} = 5250(p + 1.033) \times [(p + 1.033)^{0.491} - 1.01] \text{ 瓦特/厘米}^2$$

$$VII \quad \eta = \frac{W_s}{W_e} \times 100\%$$

$$VIII \quad \frac{V}{d^2} = 0.852(p + 1.033) \text{ 立方米/分·厘米}^2$$

式中 $f_{\text{最高}}$ ——在第一个不稳定区域内达到的最大频率;
 $R = [(f_{\text{最高}} - f_{\text{最低}}) / f_{\text{最高}}] \times 100$ ——用百分比表示的相对

频率变化范围； a_1 —由喷嘴到第一个不稳定区域开始的距离； $(a_2 - a_1)/d$ —第一个不稳定区域的一部分，在这范围内发射功率近似常数； d —喷嘴和谐振器的直径， p —气流的过剩压力（公斤/厘米²）； W_a —总的声功率， W_e —保持气流所必需的功率； η —效率； V —发射器一分钟所消耗的空气体积。

为了举例，我们计算调节范围为 20% 时，频率 $f_{\text{最高}} = 24000$ 赫的气流发射器。按图 4 图解中的 I 求出 $d = 0.25$ 厘米；按 II 求出 $p = 3.19$ 大气压，即化成正数为 3.2 大气压；根据这些数值，按 III 求 $a_1/d = 1.21$ ，即 $a_1 = 0.3$ 厘米；按 IV 求 $a_2 - a_1/d = 0.5$ ，即 $a_2 - a_1 = 0.125$ 厘米；按 V 求 $W_e/d^2 = 445$ ， $W_e = 27.8$ 瓦特；按 VI 求 $W_a/d^2 = 11500$ ，即 $W_a = 718$ 瓦特；按 VII 求 $\eta = 3.9\%$ ，最后按 VIII 求 $V/d^2 = 3.6$ ， $V = 0.225$ 立方米/分。

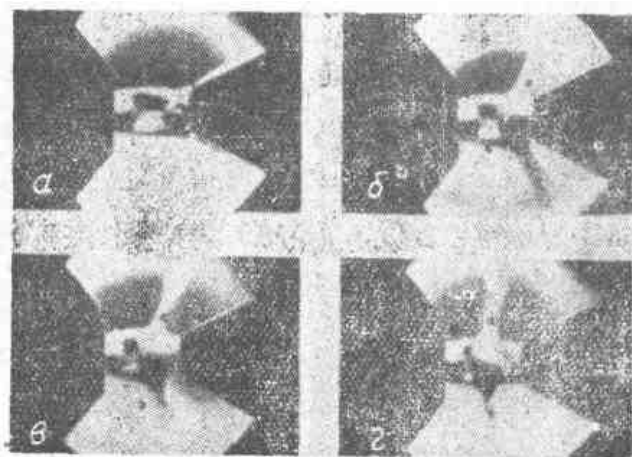


图 4 加尔曼气流发射器的作用原理

在加尔曼的专题论文中，可以看到全部技术细节的详尽说明，以及用相同的发射器进行多次实验的结果。气流发射器是用较简单的构造，在空气及其它气体中获得较大的声功率的唯一声源。

气流发射器在空气中产生的声频可达 120 千赫；而声波在氢气中的传播速度较在空气中快 4 倍，获得的声频为 500 千赫。

根据格尔捷茨及维兹涅尔的实验，把发射器放在旋转椭圆体的一个焦点上时，声能将特别集中。同时另外焦点上声的强度极大，甚至可以激起放在这里的棉花。

根据沙弗斯的实验，这种机构可以有效的从空气中把声能传导到液体中，这在一般情况下是很困难的，因为各种声阻的差极大。把装有辐射液体的玻璃烧瓶放在椭圆体的焦点上，转入烧瓶内的声波由瓶壁多次反射出来。如果往瓶内倒入水，瓶中瞬时即产生白雾，并发生由空隙现象所引起的特别的爆炸声响。

上述哨笛的最大缺点，是声场产生在气流中，在很多情况下使用不便，甚至这种发射器完全不能实际应用。为了很多目的，声场必须同气流分开，以便能作用到其它气体或液体中去。埃列特和加涅曼所做的实验表明，空气的振动在加尔曼发射器的谐振器腔中激起频率相同的机械振动。由于与气流分开，这种声源可以把声辐射到任何介质中去。

图 5 所示为这种发射器的简图。这里用圆膜片 M 做为振动系统，膜片是谐振器 II 的后壁，振动的原有频率与所辐射的声频相同。膜片 M 与固定环 R 及位于膜片中心的立

体谐振器 H 是一个整体 (图 56)。但是, 当膜片与谐振器接触不紧密时, 膜片上会激起强力振动。因此又设计出图 5 a 所示的构造, 其中谐振器 H 与距膜片中心很近的圆筒之两端分开。这种构造的优点, 是便于更换零件。这样可以精确的把谐振器调谐到膜片振动的固有频率上。

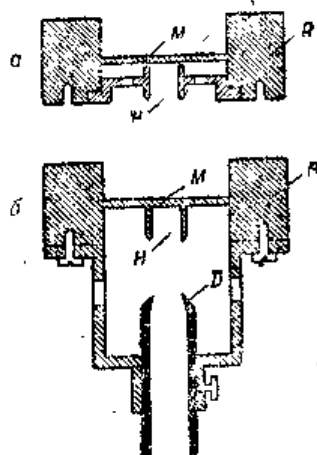


图 5 埃列特和加涅曼的平面空气动力发射器

直径为 D 、厚度为 d 的固定圆膜片基本振动频率 f , 可由下式求出,

$$f = \frac{10.24 d}{\pi D^2} \sqrt{\frac{E}{3\rho(1-\sigma^2)}}$$

式中 E — 弹性系数 (达因/厘米²); ρ — 膜片材料的密度; σ — 膜片材料的普松系数。

埃列特 (Элет) 的实验最初为 5000 赫; 同时使声能达到近 1 瓦特/厘米², 振动片前的压力限度约 2.5 大气压。在膜片上的容器内装满水时, 水中将出现高 1 厘米的喷涌现象, 这与使用磁致伸缩及压电式发射器时所发生的现象相同; 同时易于在水中造成油或水银的乳化液。

(三) 液体哨笛

往往需要在液体中激起超声波振动, 因此就需要研究上述发射器能否在液体中应用。气流发射器是不可能的, 因为不能以超声速度 (即超过 1500 米/秒的速度) 通过液体。

亞諾夫斯基和波利曼提出一種製造液體哨笛的方法。當空氣通過縫隙，縫隙前裝刃狀口，則在刃狀口的左右兩面先後產生渦流，从而使以聲速傳播的壓力產生周期的變化；到達縫隙後，渦流又使通過縫隙的氣流受到控制。當縫隙和刃狀口之間的距離適當時，這個機構將輻射等幅聲波，其頻率與縫隙和刃狀口間的距離 d 及空氣通過縫隙的速度 u 的關係為 $f = u/d$ 。亞諾夫斯基和波利曼把帶縫隙的噴咀 D 和帶刃口的長方形薄片 P （圖 6）放到液體中，液流通過噴咀 D 以高壓噴出，沖激薄片 P 而激起薄片 P 自然振動。薄片 P 以兩個 K 點固定，兩個 K 點上有振動波節。正確的選擇液流速度 u 和噴咀到薄片的距離 d 時，薄片發生調諧共振並產生極強的振動；這種液體哨笛可以有效的把聲輻射到周圍液體中去。

薄片振動的自然頻率可用公式初近似的計算出來，所用的兩端沒磨銳的長方形薄片的公式為：

$$f = \frac{22.4}{4\pi l^2 \sqrt{3}} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

式中 l —薄片長度； d —薄片厚度， E —彈性模數（達因/厘米²）； ρ —薄片材料的密度。

圖 6 所示為上述構造的哨笛。通過較小的孔可以把它浸沉到需要輻射的液體中。在圖 6 a 可以清楚的看到位於噴咀 D 前面的帶有刃口 S 的薄片 P ；圖 6 b 可以看到套管 A ，通過套管引入經過噴咀而激動的液體；以及用來改變刃口到噴咀距離的調諧機構 B 。如果哨笛浸沉在水中，並用水管使水在其中通過，在準確調諧的瞬間，在黑暗中照明的條件

下，可以清楚的看到在薄片周围产生的云雾，在薄片强大减震作用下，云雾瞬间即消失。产生云雾的现象表明，在薄片和喷嘴之间存在着很大的声压，这种声压引起水的爆炸，并产生气泡。根据亚诺夫斯基和波利曼的资料，这种类型的液体哨笛，可以发生频率为4~32千赫的振动。哨笛消耗的功率 W 与压力 P （大气压）及通过喷嘴冲激出液体的容积 V （厘米³）的关系，可用下面的公式表出：

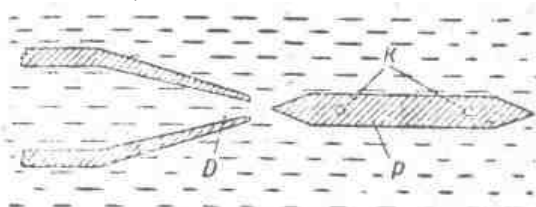


图 6 a 液体哨笛的作用

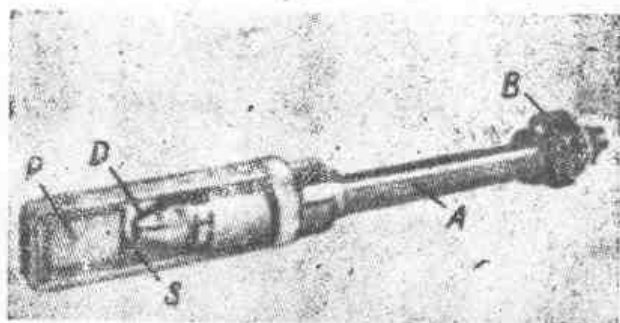


图 6 b 液体哨笛的外形

$$W = 981 \times 10^3 p V \text{ 尔格/秒} = 981 \times 10^{-4} p V \text{ 瓦特。}$$

但目前还没有实际应用这种液体哨笛的资料。已经知道的这种哨笛的缺点是：在液体中由于空隙现象造成的压力，使哨笛刃口很快就损坏。文克建议在喷嘴前放一拉紧的金属丝来代替薄片。利用活动的箍口调整金属丝的拉力和长度

时, 可使金属丝自然频率改变范围增大, 从而改变哨笛辐射的振动频率。但在这种情况下哨笛的功率下降。

(四) 超声波汽笛

图 7 所示为汽笛的外形, 其上部的纵断面示于图 8; 做为上盖的定片 S 厚 1.25 厘米, 上面有 100 个圆锥形的孔, 分佈在直径为 15 厘米的圆周上。这些孔的上部直径为 4.78 毫米, 下部直径为 2.39 毫米。转片 R 直接装在定片下电动机轴心上。转片是一个用硬铝合金制的圆盘, 盘的周围有 100 个孔。由转片和定片的孔送入压缩空气。空气经过支管 L 进入环形室 K , 然后经过环形缝隙 A 进入 O 孔。转片旋转时, 在定片上方产生声波, 声波频率决定于电动机的转数, 在频率为 8~19 千赫、压缩空气的压力为 0.2 大气压的条件下, 汽笛的声功率为 84~176 瓦特。把压力增大到 2 大气压时, 声功率增大到 2 匹。声强可达 180 分贝, 即 100 瓦特/厘米²。

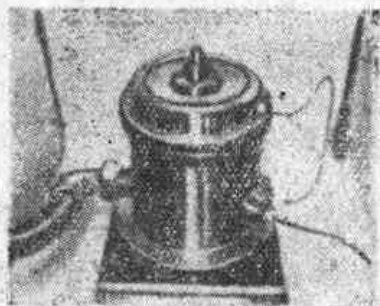


图 7 超声波汽笛的外形

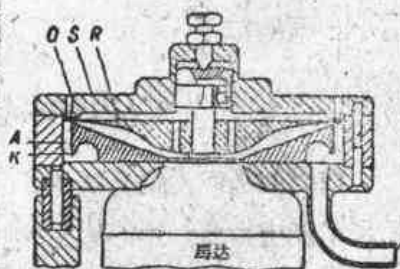


图 8 超声波汽笛上部的纵断面

另一种汽笛 (示于图 9) 效率很大, 由进管 B 进入的压