

小孔喷注噪声和小孔消声器

马大猷 李沛滋 戴根华 王宏玉

(中国科学院物理研究所)

摘 要

喷注噪声是一种最常遇到的噪声,它在环境噪声公害中是重要的祸源。我们研究了利用喷注噪声本身性质和人的听觉以降低喷注噪声干扰的方案。测定了喷注噪声中对人干扰的部分。从实验中和理论上都发现这种干扰声功率在小喷口只占总声功率的很小一部分,并求得其定量关系。喷口小时,每单位面积所发干扰声功率大约与气室压力超压的2.3次方成正比,并与喷口直径的3次方成正比。因此用许多小喷口代替一个大喷口,可使干扰噪声降低很多。实验证实这个推论。作了几个小孔消声器,取得良好效果。文中还讨论了小孔消声器设计中的问题。

一、引 言

气流噪声是一种常遇到的噪声,从锅炉和热机的排气放空,通风和风动设备的管道,阀门和排气口,以至飞机、火箭等的噪声都属于这一类。研究气流噪声的机理、特性,掌握它发生的规律,并利用这些规律有效地控制它的发生,从而降低它对人的干扰和危害,是克服噪声公害的一个基本课题。自五十年代初期开始,以喷气飞机,随后以火箭为背景的喷气噪声研究已建立起比较完整的理论^[1,2]和大量的实验规律^[3,4],除了用于飞机噪声控制外,也用于工矿的气流噪声控制^[5]。过去的研究主要限于和飞机、火箭以及工矿设备有关的孔径较大的喷口和管道,孔径较小(如几毫米)的喷口有什么特殊性质,注意得较少。本文目的就是根据噪声降低的需要,对小孔喷注的湍流噪声进行实验和理论研究,寻找它的特殊规律,加以利用。我们发现在声速和亚声速条件下,小孔喷注噪声的干扰功率随喷口孔径的五次方下降,并和气室超压的2.3次方成比例。因此,减小孔径可以作为降低噪声干扰的基础。根据这个原理设计出的小孔消声器(扩散器)尺寸小,构造简单,效果良好,和近年来国际上注意的大孔扩散器^[6]有所不同。这种消声器很容易达到二、三十分贝的消声效果(可听噪声能量降低至百分之一至千分之一)。

上面所说的干扰噪声功率是指经过A计权网络测得的声功率,下面讨论声级时也只用A声级,这是评价噪声对人干扰或产生听力损伤最常用的标准^[7]。

二、实 验 装 置

实验所用气流由一台4L-20/8型空气压缩机供给,其容量是20米³/分(折合标准空气),

绝对压力 9 公斤/厘米²。空气经压缩后进入贮气罐,以后经过长 30 米,直径 40 毫米的管道引入消声室,出口在室中央,可装上不同孔径的收缩喷嘴,喷嘴取水平方向.在到达喷嘴以前的有效气室压力(驻压)流量和温度可在控制室内监视. 气体驻压以及喷注速度和密度可在空压机房内改变进气、送气和放气阀门加以控制. 实验证明,管道和阀门的噪声对实验结果的影响很小(声级低时稍有影响,使读数偏高),所以没有采取措施. 因所测的是在喷嘴上游的驻压,管道内的压力损失已除去,不必另计. 温度测量说明变化很小,可忽略不计. 我们测驻压而不测气流速度,原因是测驻压简单易行,与工厂、矿山实践一致,结果有实际意义.

声压测量用 CH11 型电容传声器输出到 BK2112 型声谱仪读出. 传声器可用转台带动在水平面内以喷嘴为中心作 360° 转动,传声器到喷嘴的距离按现有设备是 1180 毫米. 喷注噪声的指向性可用 BK2305 型声级记录器与转台连动,同步记录,也可以在半圆上按球面积等分的十个点上读出声级得到. 十个点的声级按能量平均得球面上的平均声级,加上球面积的分贝数 $10 \log 4\pi(1.18)^2 \approx 12.4$ 分贝,就是声功率级. 测量了中心频率是 63 赫到 31.5 千赫的十个倍频带声级和 A 声级,总声压级 L. 以上计算方法可用于各种声级. 但因喷注噪声的频率范围超过传声器的测量范围, L 值仅作参考. 传声器用活塞发生器校准,高频用 BK4133 电容传声器校准.

三、实验结果

我们共测了五种喷嘴,孔径分别是 1, 2, 4.15, 11.08 和 20.08 毫米. 驻压(绝对压力) P 由 1 到 9 倍大气压 P₀ 左右. 在较大孔径(11.08, 特别是 20.08 毫米), 流量比较大,沿路损失大,到喷嘴时,驻压只能达到 4 至 5 倍大气压. 喷嘴都是逐渐缩小的,所以气流速度是逐渐增加的,出喷嘴时达到最大. 实验范围主要在阻塞喷嘴,出口气流速度是局部声速. 这种情况有实际意义,因普通排气放空主要是在阻塞情况下进行.

通过各种喷嘴的喷注都分别测得了在不同驻压,不同方向的倍频带频谱(中心频率自 63 赫到 31.5 千赫). 表 1 是距喷嘴 1180 毫米处测得结果的一例.

表 1 喷注噪声的倍频带频谱
[分贝(0 分贝=20 微帕), 喷嘴孔径 D = 2 毫米, 驻压比 P/P₀ = 8.35]

倍频带 中心频率 (赫)	与喷注方向所成角(度)											功率级 L _w (分贝)
	26	46	60	72	84	96	108	120	134	154	180	
63	50	44.5	40.5	40.5	40	40	40	39	38.5	39	40	55
125	51	44.5	41	40.5	39.5	38.5	38.5	37.5	40	40	40.5	56
250	52	46	45	45	44.5	44	41.5	41.5	42	44	45	58
500	60	54	52.5	52.5	52.5	52	50	49.5	50.5	52	52.5	66
1000	69.5	63	61	61	60.5	59.5	58.5	57.5	57.5	58	58.5	75
2000	78.5	71	68	68	67.5	67	65.5	65	64.5	64.5	65	83
4000	87	78.5	74.5	74.5	74	72	70.5	69.5	68.5	67	67	91
8000	94.5	86.5	80.5	79	76.5	76.5	75.5	74.5	73.5	71	71.5	98
16000	100.5	95.5	86	83.5	82.5	81.5	80.5	79.5	78.5	77	78.5	104
31500	104.5	97	90.5	89.5	87.5	87	85.5	84	85	86	86	108
L _A	99.5	91.5	86	85	84	83	81.5	81	80	78.5	78.5	103.5
L	103	95.5	89.5	88	86.5	85.5	84.5	83.5	83	81.5	82	

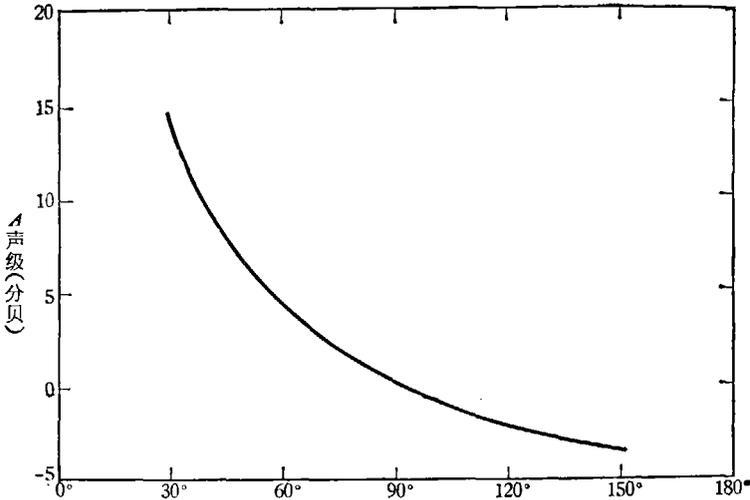


图 1 小孔喷注噪声 A 声级指向性

表中 26°—154° 十个点是把以喷口为中心的球面按面积平分分为十个圆带的中心角度, 180° 的值只作为参考, 不计入结果。L_w 是把十个方向的声级按能量平均加上圆面积的分贝数而得的倍频带声功率级或 A 声功率级(用 A 加权网络量得的声功率级, 0 分贝 = 1 沙瓦)。

从表 1 可以看出, 各频带的指向性都不相同, 找不到简单的统一规律。但每一频带在各种孔径和各种压力下, 指向性出入不大, 可以求得平均关系。图 1 是各种孔径在各种压力下 A 声级的平均指向性。由于小孔喷注噪声的特点是以高频率为主, A 声级的指向性基本是高频率(以 8000 赫为中心的倍频带是主要的)的指向性。喷注下游方向声强较高, 较大部分能量向前方发射。在 45° 方向的声压级大约等于各方向的平均值, 在 90° 方向的声压级比这个值低 9 分贝。

小孔喷注噪声的频谱比较简单, 从表 1 可见, 除低频有其它噪声干扰外, 频谱是上升的。图 2 是各喷口在不同驻压

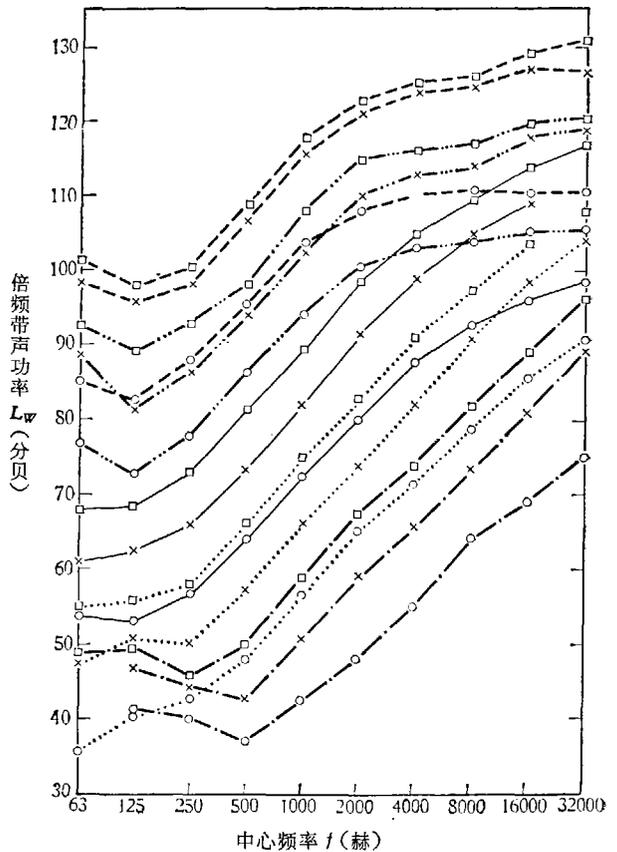


图 2 小孔喷注噪声的倍频带功率谱

- [— · — ·] D = 1, (P - P₀)/P₀ = 1.3, 3.3, 7.3;
- [·····] D = 2, (P - P₀)/P₀ = 1.4, 3.3, 7.4;
- [——] D = 4.15, (P - P₀)/P₀ = 1.2, 3.3, 6.5;
- [— · — ·] D = 11.08, (P - P₀)/P₀ = 1.2, 3.2, 6;
- [---] D = 20.08, (P - P₀)/P₀ = 1.1, 3.5, 4]

下所发噪声的倍频带功率频谱,各频谱线基本是以每倍频程 9 分贝上升的直线。频率高时逐渐弯曲,特别是喷口大 ($D = 11.08$ 或 20.08 毫米) 时更明显,渐趋于极大值,在更高频率,则逐渐减小。

从图 2 的各曲线的相互关系可看到另外两种特性。一种是喷口孔径的影响,当喷口变小时,同一频带的噪声功率迅速下降,但喷口较大时噪声随喷口孔径降低较慢。另一种是压力影响,压力变化对声功率的影响也比较大,并且和喷口孔径关系不大。为了进一步研究这个问题,作了一系列放空实验。用空压机把贮气罐贮满,以后关上进气阀门,使贮气罐内的空气通过喷口放出,直到放空为止。同时用声级记录器记下在与喷注成 90° 方向的 A 声级。贮气罐容量约 2.5 m^3 ,通过孔径 1 毫米喷口放气可放 1 小时以上,用 20.08 毫米喷口放气近 10 分钟,变化足够缓慢。 90° 方向的声级具有代表性,也与声功率成比例。图 3 是记录的一例。可以看出, A 声级随压力差降低的关系接近直线。

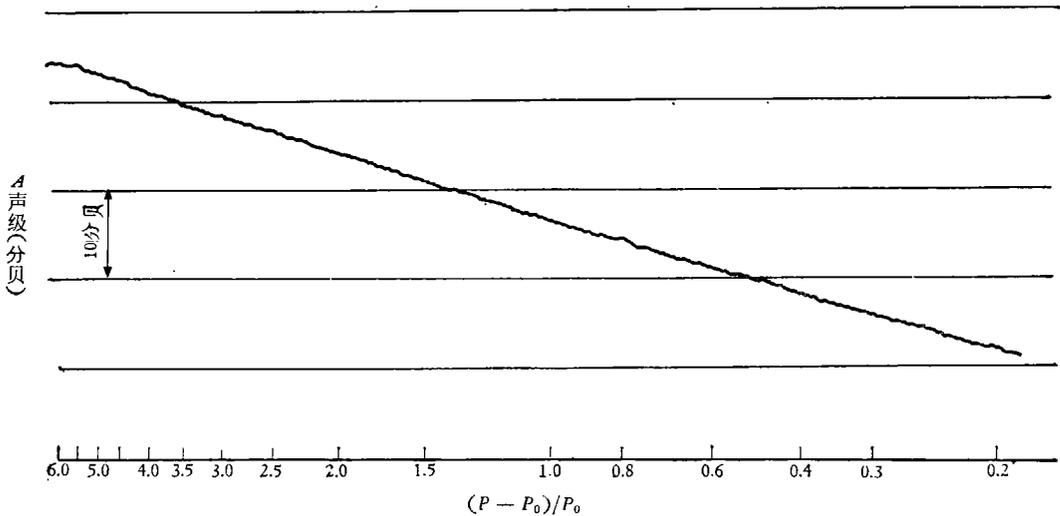


图 3 通过小孔放空时, 90° 方向 A 声级的变化

比较各种孔径的放空曲线,可以得到孔径和压力影响噪声的确切关系。图 4 就是把放空曲线重画在一起的情况(喷口孔径为 30 毫米时,声级压力关系偏离直线就较大)。

图 4 中纵坐标是 A 声级 L_A ,横坐标是孔内外压力差与环境压力的比 $(P - P_0)/P_0$,按对数坐标,这样画各条线几乎都是直线,互相平行。由图 4 可把结果总结如下:

喷口孔径改变时,在小孔(孔径 1、2 毫米),孔径减半, A 声级约降 15 分贝,把喷口面积减小(6 分贝)的影响去掉,净减 9 分贝。孔较大时, A 声级降低渐少。孔径由 20.08 毫米降至 11.08 毫米时, A 声级只降低 9 分贝,把面积影响去掉,只有 3 分贝。孔更大,可能只有面积关系了。

压力改变时,则另是一样。首先,孔径大小(在所实验范围内)不影响压力关系, A 声级-压力曲线基本是一组平行直线。其次, A 声级似乎是与压力差的对数成正比。在实验范围内,压力差 $P - P_0$ 增加一倍, A 声级约增加 6.9 分贝。

从以上结果,小孔每单位面积所发噪声功率迅速随孔径降低。用大量小孔代替一个大孔可保持同样流量,而大大降低 A 声级,这现象可作为降低噪声的基础。

必须说明,在 11.08 毫米和 20.08 毫米喷口测量时,驻压在一定范围内(大致是 2.5 到 7 倍

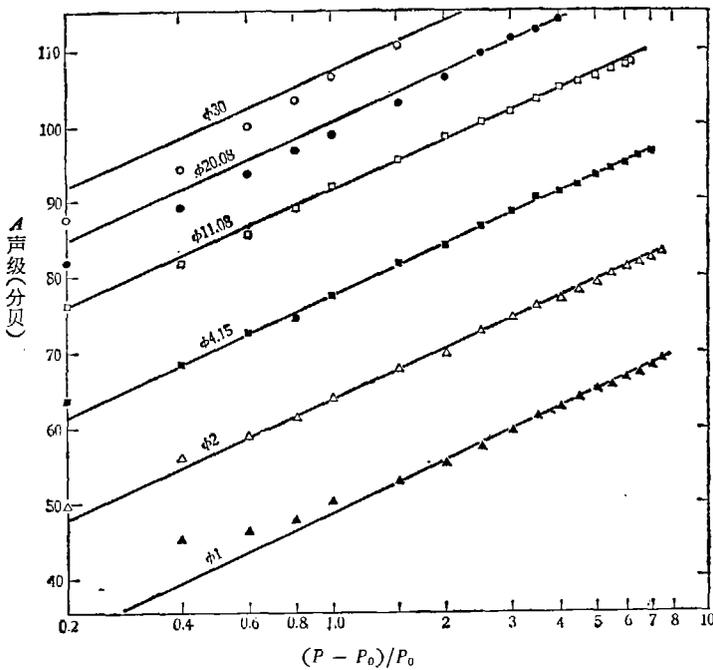


图 4 小孔喷注噪声 A 声级随压力变化曲线组

大气压,主要是在 4 到 5 倍大气压)时,喷注噪声除连续部分的湍流噪声外,还有包含单频啸叫的冲击噪声,频率在几千到二万多赫;可使总声级提高 10 分贝以上.这种啸叫现象已有人讨论过^[7].消除啸叫冲击噪声以免影响测量,比较容易,我们所用办法有三种:(1)喷口端锯成“V”型缺口;(2)喷口上沿径向装一刀口;(3)喷口外装六个径向但稍弯曲的短叶片.这些简单方法都很有效,只是在喷注的轴线附近(主要在 180°)还有一些残余影响.

四、理论分析

上面所观察到的现象,部分可用现有喷注噪声基本理论解释,但有些则超过现有理论范围. Lighthill 最早给出喷注噪声功率的公式为^[1]:

$$W = K \frac{\rho^2 D^2 V^8}{\rho_0 c_0^5}, \tag{1}$$

式中 W 为喷注总声功率(W), ρ 为喷注密度(公斤/米³), D 是喷口孔径(米), V 是喷注速度(米/秒), ρ_0, c_0 是环境大气的密度(公斤/米³)和声速(米/秒), K 是常数,实验值约为 $(0.3-1.8) \times 10^{-4}$. 在垂直于喷注方向的声强满足类似的比例关系,只是常数不同. (1)式适用于一般亚声速喷口,不能用到阻塞喷口,关于后者的湍流噪声公式还未见到. 关于频谱, Von Gierke 归纳从孔径 50 毫米低亚声速空气喷注至孔径 650 毫米, 2200°C, 马赫数(喷注速度和声速的比)为 3 的火箭测量结果得到的声功率谱数据^[3],也和简单理论分析^[2]符合. 声功率谱级是每赫声功率 dW_f/df 的级, 0 分贝 = 1 沙瓦/赫. 归一化声功率谱级的实验关系如图 5 所示. 为了计算便利,我们建议用下面的近似式:

$$y = \frac{4}{\pi} \frac{1}{\left(x + \frac{1}{x}\right)^2} \tag{2}$$

来表示图 5 中的实验点。式中 y 是对 x 的相对谱密度, 即

$$y = \frac{1}{W} \frac{dW_f}{dx} = \frac{1}{W} \frac{dW_f}{df} \frac{V}{4D} \frac{c_0}{c};$$

x 是相对斯特劳哈耳数(斯特劳哈耳数 fD/V 和频谱峰处的值之比)加以声速改正, 即

$$x = \frac{4fD}{V} \frac{c}{c_0};$$

c 和 c_0 是喷注中和环境声速, dW_f/df 是赫的声功率。如此, 总声功率级 L_w 和声功率谱级 L_f , 分别是:

$$L_w = 10 \log (W/W_0), \quad W_0 = 1 \text{ 沙瓦},$$

$$L_f = 10 \log \left(\frac{dW_f}{df} / W_{0f} \right), \quad W_{0f} = 1 \text{ 沙瓦/赫}.$$

把 (2) 式画在图上 (图 5), 与资料中的实验点符合甚好。但在阻塞空气喷注的情况, $V = c$, 取 $x = 5fD/c_0$ 更符合我们的实验结果。频谱峰在 $fD/V = 0.2(x = 1)$ 。(2) 式的确切物理意义不清, 形式象一共振辐射系统的辐射功率,

$$y = \frac{\text{常数}}{\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)^2 + \frac{1}{Q^2}}, \tag{3}$$

其共振频率 $f_0 = V/5D$, 内阻和辐射阻抗所形成的 Q 值等于 $1/2$ 。

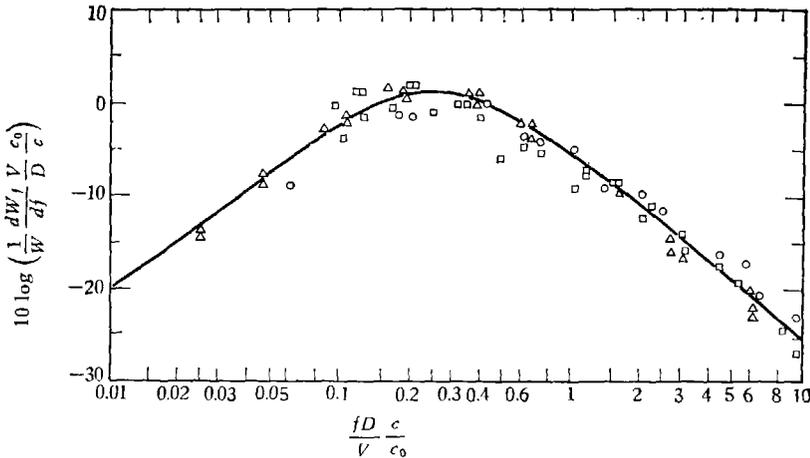


图 5 喷注噪声的归一化功率谱

(点是实验值^[3]; □ 是 φ50—250 毫米空气喷注, △ 是 φ50—580 毫米喷气飞机喷注, ○ 是 φ500—550 毫米火箭喷注——本文的经验曲线)

现在假设 (2) 式也适用于小孔 ($D < 50$ 毫米), 从表 1 和图 2 的部分频谱证明, 这个假设是合理的。由此我们可求出所需要的频率、孔径特性。以 f_n 为中心频率的倍频带声功率 W_n 与总声功率 W 的比是

$$\frac{W_n}{W} = \int_{f_n/\sqrt{2}}^{f_n\sqrt{2}} \frac{1}{W} \frac{dW}{df} df = \int_{x_n/\sqrt{2}}^{x_n\sqrt{2}} y dx = \frac{2}{\pi} \left[\tan^{-1} x - \frac{x}{1+x^2} \right] \Big|_{x_n/\sqrt{2}}^{x_n\sqrt{2}}, \quad (4)$$

式中

$$x_n = \frac{5f_n D}{c_0}$$

如 $x \ll 1$ ($c_0 = 340$ 米/秒, 如 $f_n < 10000$ 赫, 则要求 $D \ll 10$ 毫米). (4) 式的近似值是¹⁾

$$\frac{W_n}{W} \doteq \frac{4}{3\pi} \frac{x^3}{(1+x^2)^2} \Big|_{x_n/\sqrt{2}}^{x_n\sqrt{2}} \doteq 1.05 x_n^3 \quad (4a)$$

倍频带声功率大致与 x_n^3 成正比, 在同一喷口时与 f_n 成正比, 中心频率每升高一个倍频程, 声功率增加 9 分贝, 与实验结果一致. 在 90° 的倍频带声压级也满足每倍频程升高 9 分贝的规律.

在另一方面, 对于同一倍频程, 喷口大小不同时, 倍频带相对声功率 W_n/W 和 D^3 成正比. 因 W 和 D^2 成正比, 所以 W_n 和 D^5 也成正比. 这就是孔径减半时, W_n/W 降低 9 分贝, W_n 降低 15 分贝. 实验结果正是这样. 以上结果都限于 $x_n \ll 1$ 时. 如 x_n 较大, 频率变化或孔径变化引起的 W_n 或 W_n/W 的变化就小了.

上面的推论可用的 A 声级. A 声级包括一些倍频程(基本是中心为 8000 赫及以下的倍频程)的声功率并加以计权, 小孔噪声各个倍频程或计权后的声功率都仍满足随孔径减半相对功率降低 9 分贝的规律, A 声级应满足同样规律.

为估计 A 声级也可用定量方法, 比上述定性考虑更确切, 并且不仅适用于小口径的极限条件. A 计权网络基本是把 500 赫以下和 8000 赫以上的灵敏度逐渐压低. 小孔气流噪声是高频的, 低频能量很少, 低频计权影响不大. 高频计权可看作把中心为 8000 赫及以下的各个倍频带能量全部计入, 中心为 16000 赫及以下的各个倍频带能量完全不计入. 这样, A 声级包括的能量 W_A 就由下式决定

$$\frac{W_A}{W} = \int_0^{x_A} y dx = \frac{2}{\pi} \left[\tan^{-1} x_A - \frac{x_A}{1+x_A^2} \right], \quad (5)$$

式中 $x_A = 5f_A D/c_0$, $f_A (=11200$ 赫) 为中心是 8000 赫频带的上限频率. 代入数值 $c_0 = 340$ 米/秒, $x_A = 0.165 D/D_0$, $D_0 = 1$ 毫米, 当 $D < 4$ 毫米时, 上式可写成

$$\frac{W_A}{W} \doteq \frac{4}{3\pi} \frac{x_A^3}{1+x_A^2}. \quad (5a)$$

误差小于半分贝, 大约与 x_A 或 D 的三方成正比, 孔径减半, 相对 A 声级降低 9 分贝. (5) 式是比较准确的式子, 可应用到各种孔径.

现在考虑压力影响. 压力变化影响频谱高低, 而不影响频谱形状: 由图 2 中在不同压力下每种孔径的频谱线都互相平行, 图 4 中各种孔径喷注的 A 声级压力曲线都是平行线, 这都证明了这一点. 因此压力变化引起的声场变化, 不可能是通过 x 值或它的有关量(如频率、孔径、流速或频谱峰)的变化形成, 否则对小孔和较大孔(x 值大小)的影响性质要不同. 换句话说, 压力改变时, V , f , D 的有效值和频谱峰的位置(斯特劳哈耳数)都不变. 因此, 从(1)式可看出,

1) $\tan^{-1} x = \frac{x}{1+x^2} \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{x^2}{1+x^2} \right) + \frac{2}{3} \frac{4}{5} \left(\frac{x^2}{1+x^2} \right)^2 + \dots \right], x^2 < \infty$.

声级随压力的变化在阻塞喷嘴只能和压力有关，其余因数都是常数。按图 4 中 $P - P_0$ 加倍， A 声级大约增 6.9 分贝。如假设总声功率 W 与 $(P - P_0)^{2.3}$ 或 $(P - P_0)^3 / PP_0^2$ 成比例，则与实验结果符合得很好。所以在阻塞情况，喷注噪声功率取经验式：

$$W = K_1 D^2 \frac{(P - P_0)^3}{PP_0^2}, \tag{6}$$

能解释现有结果， K_1 是常数。 A 功率就是

$$W_A = K_1 D^2 \frac{(P - P_0)^3}{PP_0^2} \left[\frac{2}{\pi} \left(\tan^{-1} x_A - \frac{x_A}{1 + x_A^2} \right) \right]. \tag{7}$$

90° 方向的 A 声级根据这个式子可写作，

$$L_A = 80 + 20 \log \frac{D}{D_0} + 10 \log \frac{(P - P_0)^3}{PP_0^2} + 10 \log \left[\frac{2}{\pi} \left(\tan^{-1} x_A - \frac{x_A}{1 + x_A^2} \right) \right], \tag{8}$$

$$D_0 = 1 \text{ 毫米}, \quad x_A = 0.165 D / D_0.$$

式中的经验常数是图 4 中的实验值求得的¹⁾。测得的结果都满足此式。图 6 就是这个理论曲线和实验值的比较。

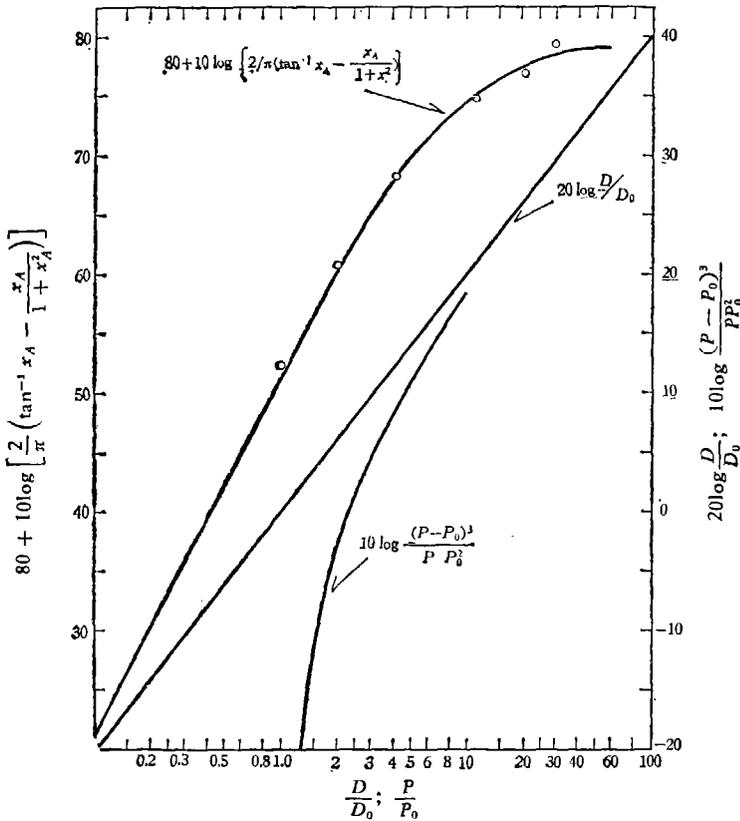


图 6 归一化 A 声级理论曲线和实验值

1) 这个式子也可写作

$$L_A = 77 + 20 \log \frac{D}{D_0} + 23 \log \frac{(P - P_0)}{P_0} + 10 \log \left[\frac{2}{\pi} \left(\tan^{-1} x_A - \frac{x_A}{1 + x_A^2} \right) \right].$$

上面(8)式和图 6 的归一化理论曲线都是根据阻塞喷口得来的, 用到亚声速喷口 ($P/P_0 < 1.893$) 时, 在 $P/P_0 > 1.5$ 时, 基本没有误差 (小于 ± 1 分贝)。压力比更小时, 更符合实验结果的压力项应为 $10 \log [(P - P_0)^4 / P_0^2 (P - 0.5P_0)^2]$ 。同时, 由于喷注速度的改变, x_s 值应乘以 $[\sqrt{P_0(P - 0.5P_0)} / \sqrt{1.322(P - P_0)}]$ 。

五、孔群喷注噪声和扩散器

以上是单个小孔喷注噪声的特性。如有多个小孔喷注同时作用, 效果就是两方面的。小孔把噪声频谱推向高频, 如上所述, 使干扰噪声降低。但各个小孔喷注相互作用的结果, 可能形成大喷注, 又把频谱推回低频, 干扰部分增加, 把小孔降低噪声的效应抵消一部分。这和几个大孔互相影响的情况不同 (把飞机喷注分作二、三十个“小”喷注, 每个仍相当大, 按本文应称为大孔), 大孔噪声大部分在可听范围, 互相作用的结果要产生屏蔽作用, 使总噪声功率降低^[4]。在小孔, 频谱改变的影响更大。图 7 就说明这种情况。

图 7 中是九个孔径 1.1 毫米的小孔, 排成正方形, 在 90° 方向总的喷注噪声随小孔中心距

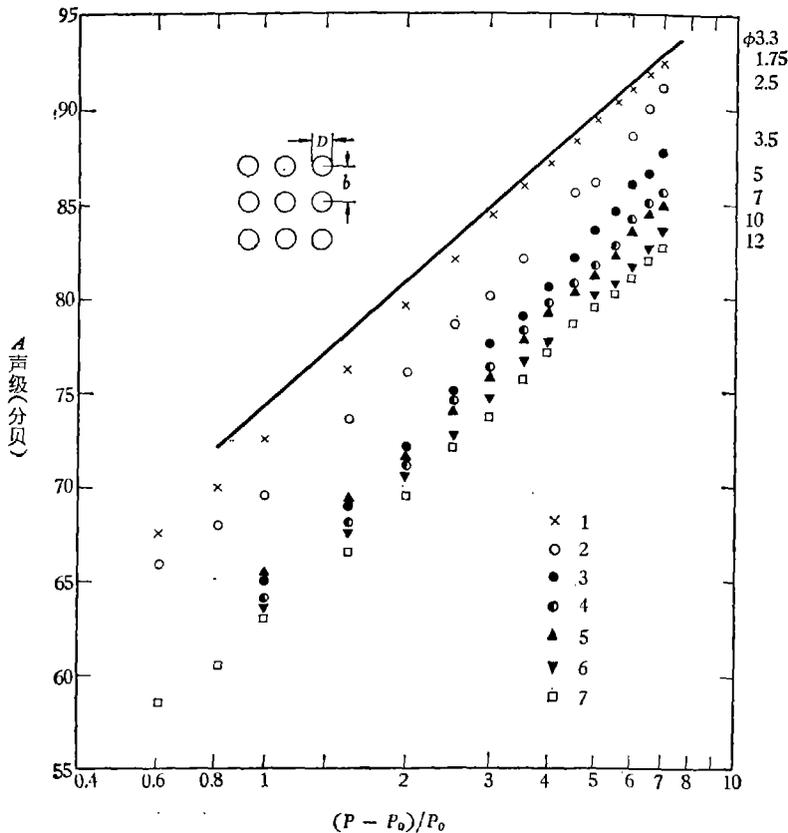


图 7 九个小孔喷注噪声和小孔距离的关系

(实线: 面积相同的单孔噪声, 孔径 3.3 毫米;
 1. $b/D = 1.75$ $D = 1.1$ 毫米 $b =$ 相邻两孔中心距离, 毫米, 以下同;
 2. $b/D = 2.5$; 3. $b/D = 3.5$; 4. $b/D = 5$; 5. $b/D = 7$;
 6. $b/D = 10$; 7. $b/D = 12$)

离增加而降低的情况.实线是面积相同(孔径为 3.3 毫米)单孔的噪声.当中心距与孔径比 b/D 小于 1.75 时,九孔的总噪声和同面积的单孔基本相同,说明九个喷注出口后很快结合到一起,成为一个单个喷注,当 b/D 大于 1.75 时,九个喷注逐渐扩张到稍远处才相遇,总噪声很快降低.最后趋向于九个单孔噪声的和(按能量相加),但在 $b/D = 5$ 或 7 以后,噪声降低就很慢.用多个小孔代替一个大孔,孔距必须合适才能取得最好的降低噪声效果.在进行这项实验时,观察到两个现象值得注意.一是小孔的形状影响噪声特性.在第三节实验中,小孔都是逐渐收缩的,在本节中小孔是在 2 毫米平板上钻的,在有些情况,经过钻孔喷出的喷注噪声有时高 4—5 分贝.另一个现象是气流达到小孔前,先经过收缩孔所得噪声要高.这些现象都需要进一步研究.

根据以上结果,作了扩散器的初步试验.在孔径 11.08 毫米的喷口上加扩散器,结果见图 8.图中最高的曲线是 11.08 喷口的喷注噪声,其中冲击噪声占很大成分.用第三节所述方法去掉冲击噪声后就成直线 2 的情况.

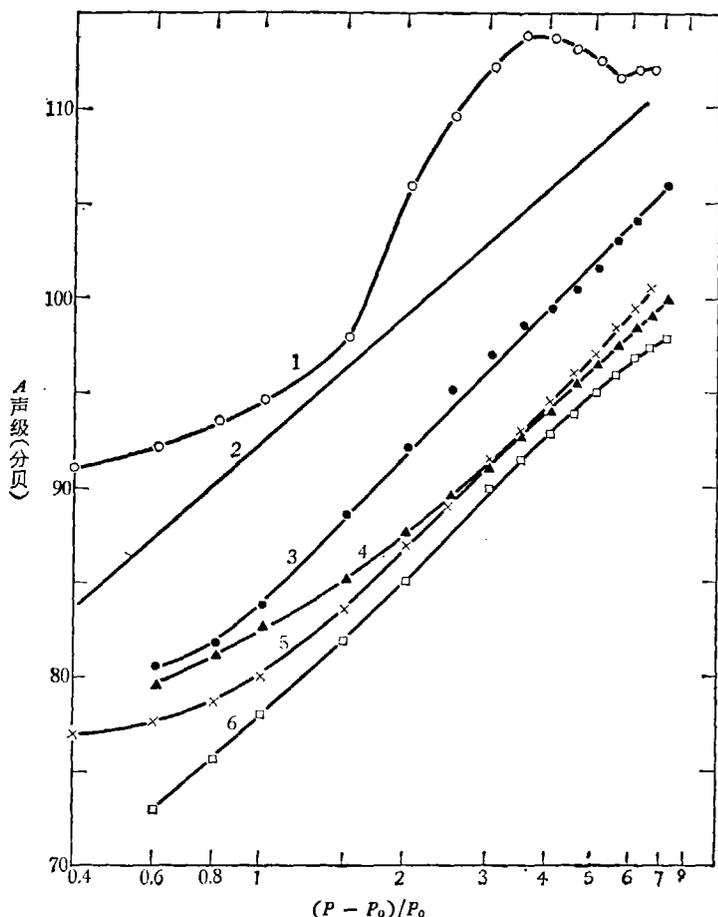


图 8 孔径 11.08 毫米喷口加扩散器的噪声

(1. 喷口未加处理; 2. 喷口上加去冲击噪声的刀口; 3. 加平板扩散器, 孔 $26 \times \phi 2.1$, 孔距 3; 4. 加圆柱扩散器, 圆柱面上穿孔 $30 \times \phi 2$, 孔距 5; 5. 加平板扩散器, 孔 $96 \times \phi 1.1$, 孔距 2; 6. 加平板扩散器, 孔 $77 \times \phi 1.1$, 孔距 3.5)

喷口上加平板扩散器,在平板上穿 26 个孔径 2.1 毫米的孔,噪声特性成为 3,噪声在各种压力下都相当减小. 加圆柱扩散器,在圆柱面上穿 30 个孔径 2 毫米的孔,中心距离较大,为 5 毫米,特性就成 4,噪声降低几乎加倍. 5 是平板扩散器 $96 \times \phi 1.1$, 孔减小但孔距为 2 毫米相对地小了,噪声相差不多. 6 是平板扩散器,穿孔 $77 \times \phi 1.1$, 孔距 3.5 毫米,噪声进一步降低.

由以上实验结果可以看出,小孔扩散器的作用是: (1) 消除冲击噪声; (2) 把噪声频谱推向高频因而降低干扰声的强度. 大孔扩散器中各喷注互相屏蔽的现象,在小孔扩散器的实验范围内未观察到. 小孔的孔形,中心距和排列方式对结果都有影响,应加注意. 小孔群的确切规律正进一步研究.

六、结 论

在本文中研究了小孔喷注噪声的特性,并求得了与喷注成 90° , 相距 1 米处的 A 声级的经验公式:

$$L_A = 80 + 20 \log_{10} \frac{D}{D_0} + 10 \log_{10} \frac{(P - P_0)^2}{PP_0^2} + 10 \log_{10} \left[\frac{2}{\pi} \left(\tan^{-1} x_A - \frac{x_A}{1 + x_A^2} \right) \right] \quad (\text{分贝}), \quad (8)$$

0 分贝 = 20 微帕,

式中 D = 喷孔孔径, 毫米; D_0 = 1 毫米; P = 气室驻压; P_0 = 环境压力; $x_A = 0.165D/D_0$. 式中最后一项表示小孔喷注噪声只有一小部分产生干扰的定量关系, 小孔喷注噪声 A 功率大致与小孔孔径的五次方成比例.

利用小孔喷注降低干扰噪声的特性可作成降低喷注噪声的小孔扩散器, 它的功能除降低可听声外, 还可消除大喷孔的冲击噪声. 但充分发挥小孔的作用必须注意孔距和孔形以及排列方式.

参 考 资 料

- [1] Lighthill, M. J., *Proc. Roy. Soc.*, (A) **211** (1952), 564, **222** (1954), 1.
- [2] Ribner, H. S., *Advances in Applied Mechanics*, VIII, 1964.
- [3] von Gierke, H. E., *Proc. 3rd I. C. A.*, Elsevier, 1961.
- [4] Richards, E. J., Mead, D. J. ed., *Noise and Acoustic Fatigue in Aeronautics*, Chap. 5, 7, Wiley, 1968.
- [5] Beranek, L. L. ed., *Noise and Vibration Control*, Chap. 16, McGraw-Hill, 1971.
- [6] Powell, A., *Proc. Phys. Soc.*, **66** (1953), Part 12, No. 408B.
- [7] McAuliff, D. R., *Sound and Vibration*, Aug., 1971.