

气流声源与流体动力声源

气流声源

气流声源是一种机械式的声频或超声频振动发声器，它靠气流的动能作为振动能量的来源，可分低压与高压气流声源，前者可称为哨，后者是膜片辐射器——例如哈特曼(Hartmann)辐射器及其各种变异体等。

当哨在气流的流动尚未达到发生声音的状态下工作时，则气流的工作压力与哨周围大气压力的差不超过临界值 1.9 公斤/平方厘米；而对于哈特曼辐射器及其变异体来说，其压力差将超过这一临界值。

气流声源与气笛一样，都是用于气体介质的一种强功率声源。由于声源内的波阻抗甚小，所以这种发声器（本文亦用辐射器一词）都不采用硬的振动辐射面，在某些情况下，例如超声雾化器，可以利用液体来工作。

低压气流声源的效率较高，可达 30%，但声功率不大，通常不超过数瓦。因此，主要应用于控制测量设备中。为了提高声功率，往往采用相同的哨的组合发声器。然而，为了使每个单元辐射器彼此能同步，常使得结构复杂化，这对工业使用来说并不合算。反之，虽然高压气流声源不太经济，却在工业中采用得较多。因为，高压气流声源比较紧凑，可以获得较强的声频或低超声频的声功率达数十瓦。在一系列工业设备中，它是连续发射的制式工作的，可用于对空气中尘埃的凝聚，用于对气体和重油的助燃以及用于在超声场中加速热交换等等。而在脉冲发射制式下，它靠脉冲式的供应压缩空气或者

利用周期性地断开气门的办法来实现，这类声源多用于超声定位设备或遥控设备。

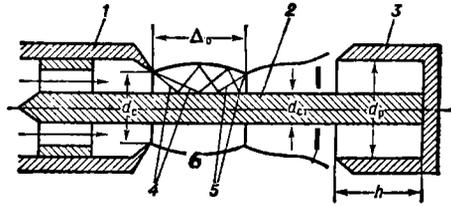


图1 轴杆式气流声源简图

1—喷嘴；2—轴杆；3—共振器；4—稀疏波；
5—压缩波的斜反射；6—气流的边界

在超声技术设备中，功率大、构造简单是重要的因素，因此常采用哈特曼发声器，它是利用超声速气流受到共振器的制动（阻碍）所产生的不稳定性来发声的。这类发声器的缺点是效率低，只有5—6%。通常这类发声器中，在贯穿喷嘴1和共振器3的轴线是一根轴杆或轴管（见图1中的2），轴杆可起到固定共振腔的作用，并起着重要的空气动力学作用，它可以改变气流内的速度剖面结构。此外，靠近轴杆处的刚性边界导致气室内斜反射的结构发生压缩与稀疏变化，同时也减小了气流的路径长度，因此在不消耗气体的条件下提高了声功率与发声频率。

具有中心轴杆的气流发声器，在发声工作状态下的压力差为 $P_a = P_0 - P_a = 1.5 \sim 4$ 千克/平方厘米（ P_0 和 P_a 分别为喷嘴和它周围的大气压力）。令第一气室的长度为 Δ_0 ，喷嘴的直径为 d_0 ，中心轴杆直径为 d_{0T} ，则 Δ_0 应当是

$$\Delta_0 = 1.1(d_0 - d_{0T}) \left(1 + 0.8 \frac{d_{0T}}{d_0} \right) \cdot \sqrt{\frac{P_a - 0.9}{P_a}}$$

轴杆式气流发声器允许喷嘴与共振器之间的长度有较大的变动范围 ($0.4d_0 < l < 1.2d_0$), 以及允许共振腔的深度 h 有较大的变化 [$1.2l \leq (l+h) \leq 2.1d_0$]。若在 $P_a = 3$ 千克/平方厘米之下, 则发声频率为:

$$f = C/4[h + 0.4l + (d_p - d_{OT}) (0.4 - 0.2h/d_0)] \text{ 千赫}$$

其中 C ——声速, 米/秒; d_p ——共振腔的直径(毫米)。当压力不是 3 公斤/平方厘米时, 在接近共振状态(最大辐射功率)下, 当 $h \approx l$ 时可以在公式中引进因子

$$\varphi = 0.78\sqrt{P_a - 0.93}$$

轴杆式气流发声器在 $d_p/d_0 = 1.6$ 时, 可得到最大声功率。这时有两种情况, 它们的功率相同但振动频率与排气方向不同。第一种情况是高频的(见图 2 a), 调谐的特征参数是 $l_1 + h_1 = 1.3d_0$, 由共振腔出来的废气朝喷嘴方向沿它的外侧流过, 因此可以使废气远离发声体空间。第二种是低频的, 它在 $l_2 + h_2 = 2d_0$ 时发生, 废气流过共振腔的外侧(见图 2 b)。这种发声器可应用于气体的声学助燃, 这时气流发声器同时起着气体喷嘴的作用, 由喷嘴送出热气流。轴杆式气流发声器的最大效率接近于哨的效率, 约为 18—25%。

轴杆式气流声源可以看做是无指向性的, 为了构成单一方向上的辐射, 可将它置于反射体内或适当的喇叭中, 这样可获得 2—5 瓦/平方厘米的声功率, 当使用椭圆反射体时可达 40—60 瓦/平方厘米。

膜片式气流声源是通过激励弹性膜片振动而发声的, 靠近膜片处有带法兰盘的圆柱形喷嘴, 由它送出压缩空气激励膜片振动。

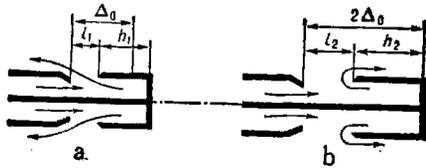


图 2 轴杆式气流声源的二种排气方式
(a) 高频的 (b) 低频的

为了得到最大的声辐射, 膜片直径应大于法兰盘直径的一倍, 这就不会使废气流到发声部位, 这类发声器的效率和功率低于其它形式的气流发声器。

流体动力发声器

这是将液态流体中的涡流能量转换成声波辐射的一种换能器。它的工作原理是利用由喷嘴出来的射流与一定几何形状的障碍物的相互作用, 或者利用周期性地强迫射流中断的方法使液体媒质发生扰动, 从而产生某种形式的速度场与压力场。这种扰动可以对喷嘴附近的射流产生反作用, 有可能建立起自持振动体系。不同构造的发声器有着不同的发声机理, 流体发声器的构造虽然与气流发声器的不同, 但有时也称为液哨。

使用较广的一种是薄板形流体发声器, 也叫簧片哨。它浸没在液体中工作, 喷嘴的周边为直角(见图 3 a), 对着喷嘴的某一距离处为两端削尖的薄板, 薄板在振动节点处被固定(图 3 b)。当液体射流流过薄板时, 激起板的弯曲振动, 振动的固有频率为 $f_p = (\alpha t/l^2)\sqrt{E/\rho}$, α 为比例常数, 与板的固定方式有关; l 为板长, t 为板厚, E 为弹性模量, ρ 为材料的密度。如果上述各量均用 C.G.S. 制, 则当在两个节点固定板时, $\alpha = 2.82$; 当用悬臂方式固定时(图 3 b), $\alpha = 0.162$ 。薄板的附加质量会降低频率 f_p 。在回旋的射流中可以产生自持振动, 其振动频率为 f_c , $f_c = kv/h$, v ——流速, h ——喷嘴与薄板的间距, k ——与 v, h 有关的比例系数。为了获得强振动, 必须使 f_c 与 f_p 相等。在实际使用中, 调整板振动与流振动共振并不难, 调整流速或间距 h 就可以达到共振。薄板式液哨的频率范围是 2—35 千赫, 主要的辐射形式是板在其垂直方向上的振动。在图 3 a 所示情况下, 振动的最大值在中间, 在图 3 b 中, 最大振动发生在自由端。

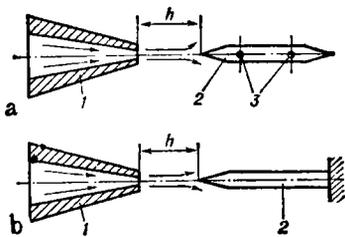


图3 薄板式流体动力发声器简图

a—在节点固定, b—悬臂式固定
1—喷嘴, 2—薄板, 3—固定点(振动节点)

另一种形式的流体发声器是用圆环形缝隙作为喷嘴(见图4), 从圆锥形腔体由喷嘴送出射流, 振动障体是一个圆柱体(图4中的2), 圆柱壳对准圆环形的喷嘴构成悬臂式柱壳振动。

流体动力发声器还存在一种可能的发声机制, 即在喷嘴与障体之间发生空化区的脉动声。这一情况出现在如图5所示的发声器, 主要部件是圆锥—圆柱形喷嘴1, 障体—反射体2, 以及置于喷嘴—反射体轴线上的连杆, 这样组成了一个共振振动系统。反射体的表面可以是凸面、平面或凹面。从能量聚焦角度来看, 最好是凹面的, 它能在喷嘴前方形成空化区。由于空化的原因, 在喷嘴与反射体之间会周期性地(脉动频率)喷射空化气泡。为了获得较强的辐射, 应当确定圆柱直径 D 与喷嘴直径 d 的比例。空化区的脉动产生了交变的速度场与压力场, 它能激起轴3的固有振动, 这就提高了辐射的声强与单频性能。轴杆的固有振动频率公式与前面的薄板的相同(对于两边固定的轴, α 值为1.03; 悬臂轴为0.7)。

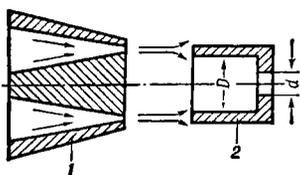


图4 圆环形喷嘴的薄板流体发声器

1—喷嘴, 2—圆筒形悬臂式薄板。

在图4中圆筒形障体的底面上开有直径为 d 的孔, 这种结构就是利用空化区的脉冲产出辐射的。液体的流速为20—35米/秒, 水头压力为2—10个大气压力时, 在喷嘴与反射体之间形成一个环形空化区, 它的辐射频率处在0.3—25千赫之间。

伯努利原理也可以是流体动力发声器的一种工作原理, 它具有一个圆形的喷嘴(见图6中的1)和一个周边被夹紧的膜片2。由喷嘴出来的射流在喷嘴—膜片之间的区域内周期性地改变着压力, 引起了膜片的振动, 因此在液体中产生了低频振动, 其频率即膜片的固有振动频率。

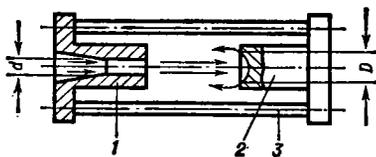


图5 轴杆式流体发声器简图

1—喷嘴, 2—反射体, 3—共振轴杆

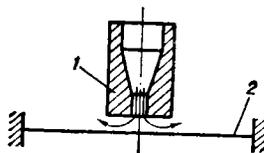


图6 伯努利效应液哨

1—喷嘴, 2—辐射膜片

除上述之外, 还有一种转子发声器。它主要的工作部件是一一对同轴的圆柱体——定子与转子, 在它们的侧面开有许多小孔。与气笛的工作原理相类似, 周期性地间断流体的喷射而发声, 即当转子旋转时, 依次使小孔通过高速流体, 造成了媒质中脉动压力, 转子发声器的频率与小孔的数目、与转速有关。

流体动力发声器能在相当宽的频带内工作, 能在0.3至35千赫频带内辐射1.5—2.5瓦/平方厘米的声强。流体发声器的优点是可以廉价地获得声能, 结构简单, 液体流一方面产生振动的振动体, 另一方面又是传

《海洋声学》问世

山东海洋学院物理系和中国科学院声学研究所水声研究室共同翻译的、由苏联科学院院士 JI. M. 布列霍夫斯基主编的《海洋声学》于 83 年第二季度末已由科学出版社出版并在国内发行。

这是一本具有 80 万字内容的专著,全书分九篇,共 40 章,中文版为 16 开本 533 页。该书全面地总结了苏联声学所在六十一—七十年代海洋声学工作方面的成就,它的特点是系统性完整性,理论阐述与实验结果相结合。不仅包括声波的传播理论,还对影响声波传播的其它因素,诸如海面、海底的反射和散射,散射层的散射,海洋介质随机不均匀性对声波传播的影响,以及海洋噪声等专题都有详细的论述。如所周知,美、苏是两个研究水声的主要国家,他们在过去廿年中出过几本水声专著。五十年代,布列霍夫斯基曾撰写过《分层介质中的波》这一专著(该书有中译本,原著曾于 1973 年有修订版);六十年代,美国的 I. Tolstoy, C. Clay 合写了《海洋声学》。这两本书都着重讨论了声波的传播问题。继这两书之后,七十年代布列霍夫斯基主编的《海洋声学》无论在内容上或广度上都是以上两书所不能比拟的。该书中

的有关海面、海底的反射散射,散射层的散射,以及传播起伏等各篇,更是过去各水声书籍中很少系统地论述过的。应当说,《海洋声学》是迄今为止颇有参考价值的一本水声学专著。

但是,也应指出,限于该书的编写年份(1974年),限于当时水声实验手段的水平,近十年来的海洋声学成就不可能得到反映。例如,在实验手段中大量采用计算机和信号处理技术,从而大大提高了获取信息的速度与数量;又例如,海洋中声场与海洋的大尺度、中尺度动力过程(如锋面、内波、海流、潮汐、涡流等)的关系及其逆问题,至今已取得了比较明朗的结果。再例如,在声场的数值模拟方面,已有许多简正波的射线的理论模型日臻完善,已能将倾斜海底、声速水平梯度、海底传播特性等空间变化因素估计在内,在大型计算机上快速地做出声场预报。这些都是十几年来的重要进展。尽管如此,《海洋声学》一书的基本理论与实验结果仍是海洋声学的重要基础,仍是科研与教学方面的重要教材。我们可以予期,该书的出版必将对我国的水声工作起到良好的借鉴作用。

丁 东 于一九八三年六月

播声波的载体。薄板式发声器的优点是可以在较低的水压(从 2 个大气压开始)下工作,缺点是由于疲劳压强往往使薄板断裂,不易准确地找到节点以设置支撑点,在粘滞媒质中和在含有硬粒子的悬浮液体中难以激发振动等。轴杆式发声器没有上述缺点,但它需要较高的水压才能工作,从 4 个大气压起才能激起振动。转子发声器较之薄板的或轴杆的,无论从结构上或是从使用上均为复杂,

它要求定子与转子有着高度的同轴性,要求转动部件的精度高,但它的发声效率较好。

流体动力发声器适用于需要功率声源的场合。例如两种互不溶解的液体的乳化,可获得高质量的油-水乳化液,水-水银乳化体等,能用来扩散液体中的硬粒子(例如油中的石墨),在溶液中加速晶体化过程,聚合物分子的分解,钢板压延后的清洗等。

(丁东编译自俄文版小百科全书《超声》1979)