[19]中华人民共和国专利局

[11] 公开号 CN 1135801A

[12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 95190948.7

[51]Int.Cl[6]
G10K 11/04

[43]公开日 1996 年 11 月 13 日

[22]申请日 95.8.17

[30]优先权

[32]94.9.27 [33]US[31]310,786

[86]国际申请 PCT/US95/10143 95.8.17

[87]国际公布 WO96/10246 英 96.4.4

[85]进入国家阶段日期 96.5.27

[71]申请人 迈克罗索尼克斯有限公司

地址 美国弗吉尼亚州

[72]发明人 蒂莫西·S·卢卡斯

托马斯·W·范多伦

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所

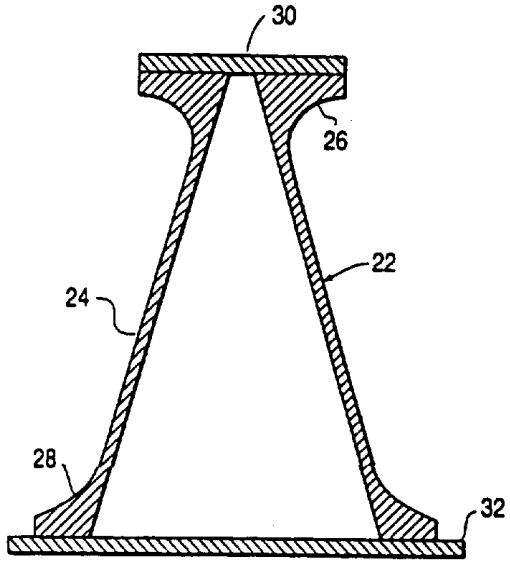
代理人 傅 远

权利要求书 5 页 说明书 17 页 附图页数 15 页

[54]发明名称 共振强声合成

[57]摘要

一种声共振器，包括一容有流体的腔体，该腔体为非谐波共振模式，并提供预定合成一非正弦、无冲击的波形所需的谐波相位和幅度的边界条件。



权 利 要 求 书

1. 一种非谐波声共振器，包括一容有流体并被机械激励的腔体，所述腔体被以共振模式激励，并具有产生谐波相位和幅度的边界条件，由此合成一稳态的、非正弦的无冲击波形。

2. 如权利要求 1 的声共振器，其特征在于，所述非正弦的无冲击波在所述腔体内一点上具有不均匀的正压力对称性。

3. 如权利要求 1 的声共振器，其特征在于，所述非正弦的无冲击波在所述腔体内一点上具有不均匀的负压力对称性。

4. 如权利要求 1 的声共振器，其特征在于，所述非正弦的无冲击波在所述腔体内一点上具有均匀的压力对称性。

5. 如权利要求 1 的声共振器，其特征在于，所述腔体有着端部，在每一端作反射端接，并进一步包括使所述腔体在所述共振模式频率上作机械振动的手段。

6. 如权利要求 1 的声共振器，其特征在于，所述腔体有一开口端和带反射端接的封闭端，并进一步包括一连接在所述腔体开口端的活动活塞，所述活动活塞以所述共振模式的频率振动。

7. 如权利要求 1 的声共振器，其特征在于，所述腔体包括一声压缩器的共振腔。

8. 如权利要求 1 的声共振器，其特征在于，流体是一种液体。

9. 如权利要求 1 的声共振器，其特征在于，流体是一种气体。

10. 如权利要求 1 的声共振器，其特征在于，所述腔体实质上包括一锥形形状。

11. 如权利要求 1 的声共振器，其特征在于，所述腔体实质上包括一曲面形状。

12. 如权利要求 1 的声共振器，其特征在于，所述腔体包括一弯

曲段和一锥形段。

13. 一种非谐波声共振器，包括一容有流体和受到机械激励的腔体，所述腔体被以共振模式激励，具有产生谐波相位和幅度的边界条件，以合成一稳态的、非正弦的无冲击波形，所述腔体具有端部，在所述腔体的每一端作刚性反射端接，以及，进一步包括一使整个腔体以所述共振模式的频率作机械振动的激励器。

14. 一种用于压缩-蒸发系统的非谐波声共振器，包括一腔体，所述腔体包括围绕着所述腔体纵向轴线的刚性内壁和有着声反射端接的两个刚性端壁，所述内壁和端壁在所述腔体内形成一容纳致冷剂的空间，所述腔体内壁、端壁和致冷剂确定了产生谐波相位和幅度的边界条件，以合成一稳态的、非正弦的无冲击波形，所述共振器具有使整个腔体以所述腔体的共振模式频率作机械振动的激励器。

15. 一种用于压缩-蒸发系统的非谐波声共振器，包括一腔体，所述腔体具有围绕其纵向轴的刚性内壁和有着声反射端接的两个刚性端壁，所述内壁和端壁在所述腔体中形成一段容纳致冷剂的空间，所述腔体的内壁、端壁和致冷剂确定了产生谐波相位和幅度的边界条件，以合成一稳态的、非正弦的无冲击波形，并具有分布阻抗的避免干扰，所述共振器有一使整个腔体的所述腔体的共振模式频率作机械振动的激励器。

16. 一种声共振器，包括一容有流体的腔体，所述腔体具有非谐波模式，内径为 r，轴向坐标 z，无论粒子速度多大，dr/dz 总是连续的，以避免扰动。

17. 如权利要求 16 的声共振器，其特征在于，对预定的声粒子速度，dr/dz 不超过一个会引起扰动的值。

18. 一种非谐波声共振器，包括一腔体，所述腔体受到热激励并容有流体，所述腔体被以共振模式激励，并具有产生谐波相位和幅度的边界条件，以合成一稳态的、非正弦的无冲击波形。

19. 如权利要求 18 的声共振器，其特征在于，所述腔体包括热声激励装置。

20. 如权利要求 18 的声共振器，其特征在于，所述腔体通过周期性吸收电磁能被激励。

21. 一种在腔体中产生声共振的方法，包括：

将一流体引入该腔体；

使该腔体以一选定的共振模式频率作机械振动；

产生谐波相位和幅度，以合成一稳态的、非正弦的无冲击波形。

22. 一种在腔体中产生声共振的方法，包括：

将一流体引入该腔体；

以选定的共振模式频率对该腔体进行热激励；

产生谐波相位和幅度，以合成一稳态的、非正弦的无冲击波形。

23. 一种声压缩系统，包括：

一容有流体的腔体，所述腔体具有产生谐波相位和幅度的边界条件，以在所述流体中合成一稳态的、非正弦的无冲击波形；

一连接到所述腔体的激励器，在所述腔体中形成一声波以激发所述腔体选定的声共振模式，使流体在所述腔体内被压缩；以及，

一个连接到所述腔体的流抗装置。

24. 一种声压缩系统，包括：

一容有致冷剂的腔体，所述腔体具有作声反射端接的刚性端壁，并具有产生谐波相位和幅度的边界条件，以在所述致冷剂中合成一稳态的、非正弦的无冲击波形；

一连接到所述腔体的激励器，使整个腔体作机械振动，以在所述腔体内形成一声波，激发所述腔体的一种选定的声共振模式，使致冷剂在所述腔体中被压缩；以及，

连接到所述腔体的流抗装置。

25. 一种压缩蒸发系统，包括：

一容有致冷剂的腔体，所述腔体具有作声反射端接的刚性端壁，并具有产生谐波相位和幅度的边界条件，以在所述致冷剂中合成一非正弦的无冲击波形，所述腔体至少有一出口和一个进口；

一个连接到所述腔体的激励器，使整个腔体作机械振动，由此在所述腔体中形成一声波，激发所述腔体选定的声共振模式，使致冷剂在所述腔体内被压缩；

一冷凝器，连接到所述腔体的至少一个出口；

一减压装置，连接到所述冷凝器；

一个蒸发器，连接到所述减压装置和所述腔体的至少一个进口。

26. 如权利要求 25 的压缩-蒸发系统，其特征在于，所述腔体进一步包括位于所述至少一个进口的第一阀门和位于所述至少一个出口的第二阀门。

27. 一种在腔体中产生声共振的方法，包括：

选择所述腔体的形状，包括内表面尺寸、轮廓和两个端壁尺寸，每一端壁对声能具有反射性，所述形状选为当所述腔体受到所述腔体的选定共振模式激励时产生一所需的稳态的、非正弦的无冲击波形；

将一流体引入该腔体，以及使该腔体以所述选定的共振模式的频率作机械振动。

28. 一种在一腔体中产生声共振的方法，包括：

选择所述腔体的形状，包括内表面尺寸、轮廓和两端壁尺寸，每一端壁对声能具有反射性，所述形状选为当所述腔体受到所述腔体的选定共振模式激励时产生一所需的稳态、非正弦的无冲击波形；所述形状被选为当所述腔体中流体粒子速度足够大时 dr/dz 在所述腔体内表面区域是连续的，以避免产生扰动，其中 r 是所述腔体所述内表面的半径尺寸，z 是轴坐标；

将所述流体引入该腔体；以及，

使该腔体以所述选定共振模式的频率作机械振动。

29. 一种在腔体中产生声共振的方法，包括：

选择所述腔体的形状，包括内表面尺寸、轮廓和两端壁尺寸，每一端壁对声能具有反射性，所述形状选定为当所述腔体受到所述腔体的选定共振模式激励时产生所需的非正弦、无冲击的波形，所述形状被选为当所述腔体中流体粒子速度足够大时dr/dz在所述腔体内表示区域是连续的，以避免产生扰动，并且，d^2r/dz^2，较低以避免由于径向流体加速产生的扰动，这里 r 是所述腔体所述内表面的径向尺寸，z 是轴坐标；

将所述流体引入该腔体，以及，

使整个腔体以所述选定共振模式的频率作机械振动。

说　明　书

共振强声合成

发明领域

本发明涉及声共振器，这种声共振器用来提供预先确定极强声压振荡的波形时所需的特定谐波相位和幅度，在声压缩器中有着特别的用途。

相关技术的描述

在声学领域中已经知道，当声压幅度与介质的未受干扰的环境压力相比有限时，导致的非线性效应会产生基频谐波频率的声波，下面把这些非线性产生的声波称为谐波。

对行波和驻波而言，大幅度谐波的出现是与冲击波的形成相关联的，这就大大限制了波的峰-峰压力幅度。冲击波的形成需要谐波幅度明显大于基频声波幅度，下面把这种谐波称为大相对幅度谐波。

对有限幅度的行波，谐波的相对幅度主要取决于介质的非线性特性，对一共振腔内出现的有限幅度的驻波而言，谐波的相对幅度也同样取决于介质，但是，也强烈地受到共振腔边界条件的影响。共振腔的边界条件由其周壁的几何形状、周壁材料共振腔内流体的声学特性所确定。

如美国专利 No. 5,319,938 中所说明的，现在能设计产生极大压力、接近正弦波振荡的声共振腔。图 1 表示正弦压力波的波形。正弦波的压力是对称的，即 $|P_+|=|P_-|$。这里 P_+ 和 P_- 分别是最大的正负压力幅度。若正弦压力振荡在一个环境压力为 P_0 的共振腔中产生，则 $(P_0+|P_+|)$ 不能超过 $2P_0$，否则因为压力对称会要求 $(P_0-|P_+|)$ 小于零，而这是不可能的。这样，正弦振荡能够产生的最大峰-峰压

力为 $2P_0$。这里忽略了由声压激励的非线性过程所引起的环境压力的任何变化。

No. 5,319,938 号专利通过防止形成大相对幅度谐波来产生无冲击波，但是，在一些声共振器的应用场合正弦波形表现出局限性。例如，用在声压缩器中的共振器有时必须产生要求 P_+ 大于 $P_0$3 倍以上的压缩，用在低温兰金循环中的声压缩器可要求在 P_0 仅为 70psia 时 P_+ 大于 L15psia，要满足这些条件的声波需要在 P_- 和 P_+ 之间（围绕环境压力 P_0）有极不对称的压力。

以前，要产生不对称压力的共振波存在着某些尚未解决的问题。一个明显偏离正弦形状的波形一定会包含大相对幅度谐波，这些谐波通过会导致形成冲击波（激波），这就严重限制了峰-峰压力幅度，并引起额外的能量损失。

已经从理论和实验中对共振声波作了研究，对于本发明，这些研究可分为两类：1. 谐波共振器激励的失调共振；2. 非谐波共振器激励的共振。

一个共振器当有着一组为另一共振频率整倍数的驻波模式频率时被认为是“谐波性”，下面的讨论只考虑纵向共振模式。如果在某个共振频率上激励有限幅度的声波，那么以谐波调谐的共振器就产生冲击波。由于这一原因，针对非正弦的、无冲击波波形的谐波共振器研究主要集中于产生在失调谐波频率的波形，激励一个共振器失调谐振大大限制了可得到的峰-峰压力大小。

下列文献在谐波共振器研究中具有代表性：W. Chester 的“封闭管中的共振振荡”，《流体力学杂志》，1964 年，18 期，44～64 页。A. P. Coppons 和 J. V. Sanders 的“刚性壁管中有限幅度驻波”，《美国声学学会杂志》1968 年 43 期，516～529 页。D. B. Crikshank，Jr 的“封闭管中有限幅度声振荡的实验研究”，《美国声学学会杂志》1972 年，43 期，1024～1036 页，以及，P. Merkli. H. Thoman 的“共

振管中的热声效应”,《流体力学杂志》1975 年,70 期,161～177 页。

一个共振器在不具有一组为另一共振频率整倍数的驻波模式频率时被认为是“非谐波性”。非谐波共振器激励的共振的研究通常受到必须消除大相对幅度谐波的应用的推动。例如,热声引擎共振器要求大幅度的正弦波,被设计成尽可能减小谐波幅度,这种研究的一个例子可在 D. F. Gaitan 和 A. A. Atchley 的“谐波和非谐波管中的有限幅度驻波”一文中看到,《美国声学学会杂志》1993 年,93 期 2489～2495 页。

Gaitam 和 Atchley 提出了采用具有各段不同直径的非谐波共振器,在与共振器长度相比较短的一段距离上发生面积变化。如美国专利 No. 5,319,938 中所述,这一方案目的在于对波的谐波进行明显的抑制,由此提供正弦波。

总的来说,有限幅度的共振器激励的共振产生正弦波或冲击波,而共振器激励的失调共振产生很小的峰-峰压力幅度。

提供大的峰-峰压力幅度、非正弦、无冲击波的所需波形的能力将代表着高度压缩声共振器的显著进步。当共振器在共振频率上被激励时,这种波形要求有大相对幅度谐波存在。

这样,就需要有能合成大的压力幅度的无冲击波波形的共振器。

发明综述

本发明的一个目的是提出一种声共振器,其边界条件保持合成一要求波形所需的预定谐波相位和幅度。

本发明的另一目的是提出一种声共振器,其边界条件设计成利用谐波的相对相位作为一种手段来显著地扩大通常与大相对幅度谐波相联系的压力幅度冲击极限。

本发明的又一目的是提供幅度非常大、压力不对称的共振波。

本发明的声共振器包括一个容有流体的腔体,腔体的几何形状、以及腔体壁材料和流体的声学特性形成产生预定波形的谐波相位和

幅度所需的边界条件。该腔体的横截面面积连续变化以避免高速声粒子的湍流，以及得到大相对幅度谐波。

本发明的声共振器能够用于声压缩器，为各种用途例如热交换系统提供大的压缩。

如上所述，本发明的声共振器具有许多优点，并能得到数倍于介质环境压力的峰-峰声压幅度。尤其是，它有着一个突出的优点，即这些有着精确控制波形的压力极大的振荡，能够用形状很简单的共振器得到。

本发明的这些和其它目的和优点将由于以下的说明和附图而变得更明显，其中类似的标号总是代表类似的部件。

附图简述

图 1 图示一正弦波绝对峰-峰压力幅度的极限；

图 2 图示一谐波调谐的共振器的模式频率和谐波频率；

图 3 图示谐波调谐的共振器中在激励频率对基本谐振变化时产生的波形；

图 4 图示与图 3 中三个波形相应的有关谐波相位；

图 5 是一种具有阶跃式阻抗变化的共振器的截面图；

图 6 是一种具有局部分布阻抗变化的共振器的截面图；

图 7 是按照本发明的共振器的截面图，采用分布阻抗变化的几何形状产生不对称的正波形；

图 8 提供了图 7 中共振器的理论和实验数据；

图 9 是按照本发明的一种共振器的截面图；采用分布阻抗变化的形状改变图 7 中共振器的谐波幅度；

图 10 提供了图 9 中共振器的理论和实验数据；

图 11 是按照本发明的一种共振器的截面图；采用分布阻抗变化的形状产生不对称的负波形；

图 12 提供了图 11 中共振器的理论数据；

图13是按照本发明的一种共振器的截面图，采用分布阻抗变化的形状产生不对称的负波形；

图14提供了图13中共振器的理论和实验数据；

图15A和15B是按照本发明的一种用于声压缩器的共振器的截面图；

图16是在一压缩/蒸发系统中按照本发明的共振器的截面图。

推荐实施例的详细描述

局部阻抗变化的非谐波共振器

如美国专利No. 5,319,938中所述，横截面面积有突变的非谐波共振器会明显减小谐波的相对幅度。这些面积突变引起共振器的局部声阻抗改变。图5表示一种阻抗突变的例子，这里共振器2是通过将直径大的一段4连接到直径小的一段6形成的。这一横截面面积突变产生一阻抗阶跃8，相对于共振器长度有很大局限性。

由于局部阻抗变化(以下称LI)共振器用于维持较低幅度的谐波，波形基本上保持正弦形状。

分布阻抗变化的非谐波共振器

本发明较佳实施例包括一个分布阻抗变化(以下称DI)的共振器，与LI共振器不同，DI共振器易于允许大相对幅度谐波存在。

图5、6、7、9、11和13所示的共振器说明LI和DI共振器之间的区别。图6表示根据美国专利No.5,319,938中图6的共振器10。共振器10包括圆锥形段16，它使大直径段12与小直径段14相连，与图5的共振器不同，这一横截面积变化不是完全集中在某一局部而是部分地分布的，这一部分分布变化的面积沿锥形段16长度方向出现部分分布变化的阻抗。

“部分分布”一词在这里及以下指小于共振器的全长，LI和DI不用于表示分布的具体程度。例如，在图5的LI共振器和图7、9、11和13的完全DI共振器之间存在着一系列部分DI共振器。这样，本

发明的范围不限于分布阻抗的具体程度，相反，本发明的范围包括采用指定用途或所需波形所要求的具体分布的阻抗。

本发明的实施例提出了图 7、9、11 和 13 的共振器，它避免了面积突变以提供大幅度谐波。与同样的基频幅度相比，本发明的共振器能提供比图 5 和图 6 中面积突变更明显的共振器更大幅度的谐波。

由于图 5、6 中共振器相对较低幅度的谐波，就需要更大的基频幅度来产生波形可察觉变化所需的相对谐波幅度。但是，由于面积突变引起的额外干扰，使得更大的基频幅度极难获得，而且效率低下。

例如，若图 6 的共振器其平均压力 P_0 为 85psia，峰-峰值压力幅度为 60psi，则所有谐波幅度都比基频至少小 25dB，产生近似于正弦的波形。在峰-峰值压力为 60psi 及以上，干扰开始占主要地位，正如由迭加在基频上的大幅度高频噪声和额外的功率消耗所表明的那样。

设计时为避免干扰，本发明的较佳实施例的共振器有一半径 r 和轴坐标 z，无论粒子速度多大，dr/dz 都是连续的，否则就会产生由于不连续所引起的干扰，较佳实施例还避免了粒子速度大时过大的 d^2r/dz^2，以避免径向流体加速度过大时产生干扰。

谐波共振器中的谐波相位

为了有助于认识本发明的共振器，先了解一下谐波共振器的简单例子是有益的。

在谐波共振器中，当激励频率在模式频率附近时，谐波相位明显地但可预见地受频率影响，如 W. Chester 的“封闭管中的共振“一文中所述，《流体力学杂志》1964 年，18 期，44～64 页。

在下面作为以接近模式频率的频率激励的谐波共振器的例子中，对谐波 1 至 5 考虑了这些效应，图 2 说明一圆柱形谐波共振器的情形，三种激励频率。f_1、f_2 和 f_3 分别小于、等于和大于模式 1 共振频率。底部的水平轴线标出共振器前五个模式的共振频率（由 100、

200、300、400 和 500Hz 处的垂直线表示)。标有符号的三条水平线是激励频率 f_1、f_2 和 f_3 的波的基频和相关的较小谐波(由符号表示)的轴线。

谐波相位对频率的依赖关系可由下式作定性表示:

$$E(t)=\sum_{n=1}^{\infty} AnSin(n2\pi ft+\varnothing_n) \qquad (1)$$

这里 E(t)是声压(加在环境压力 P_0 上),An 是每一谐波 n 的幅度,f 是声波的基波(或激励)频率,$\varnothing_n$ 是每一谐波 n 与频率有关的相位。

图 3 表示所产生的波形,这些波形在圆柱形共振器每一端对图 2 中三个激励频率 f_1、f_2 和 f_3 测到。所有激励频率 f 都接近共振器的最低共振频率。对本例来说,三种波形的基波和谐波幅度都为 $A_n=1/n$(注意这里忽略了 A_n 可能与频率有关)。在图 3 中,水平轴是时间,垂直轴是压力,P_0 是介质的环境压力。

参见图 2,激励频率 f_1 低于模式 1 频率,这使谐波 n 的频率(nf_1)落入模式 n−1 和 n 的频率之间,对每一 n,所产生的基波和谐波相位为 $\varnothing_n=-90°$。压力波形用式 1 计算,图 3 中用 f_1 表示,由于 $|P_-|>1P_+|$,这一波形称为不对称负波(AN)。

图 2 的激励频率 f_2 等于模式 1 频率,这使谐波 n 的频率等于模式 n 的频率,这样对每一 n,所产生的基波和谐波相位为 p−n20°·压力波形在图 3 中用 f_2 表示,这时波是冲击波,$|P_+|=|P_-|$。

图 2 中激励频率 f_3 大于模式 1 频率但小于模式 2 频率,这使谐波 n 频率落入模式 n 和 n+1 频率之间。对每一 n,产生的基波和谐波相位为 $\varnothing_n=90°$。压力波形在图 3 中用 f_3 表示,由于 $|P_+|>|P_-|$,被称为不对称正波(AP)。

图 3 中每一波形的前三个谐波(频率为 f、2f 和 3f)的相对相位在图 4 中表示,注意,每一谐波的幅度都被画成一样。对不同的相位角 $\varnothing_n$,波的每一谐波成份的相对位置随时间改变。

当谐波共振器的激励频率经过最低共振频率时，相位$\varnothing_n$从－90°经过0°(共振处)到＋90°，取这一范围内的连续值。注意，当激励频率f经过模式n＝1的共振频率时，每一谐波频率nf将经过第n模式的共振频率。－90°与0°之间的相位$\varnothing_n$会产生AN波，而0°与＋90°之间的相位$\varnothing$n会产生AP波。当$\varnothing_n$＝±90°时，波形在时间(轴)上是对称的。如图3中f_1和f_3所示。当－90°＜$\varnothing_n$＜＋90°时，波形在时间(轴)上是不对称的。当$\varnothing_n$从±90°接近0时，波形变得逐步对于时间不对称，成为一锯齿波(即冲击波)。为简化起见，在该例中不考虑引起共振频率变化的非线性效应(如增强或弱化非线性)。被忽略的另一效应是，当相位$\varnothing_n$接近0°时，谐波的相对幅度会增大。

上述谐波共振器的性能例子可看出如何通过改变谐波相位来改变压力波形，本发明通过改变共振器的边界条件，研究了谐振激励的非谐波共振器中各种谐波相位现象。

非谐波共振器中的相位确定

在建立控制谐波相位和幅度所需的共振器边界条件时本发明提出了一种手段，在大幅度的声压范围中合成所需的波形。这种新的性能称为共振强声合成(RMS)。

所谓压力幅度“冲击极限”通常与谐波的大相对幅度有关。RMS认为，这种冲击形成更确切地说是谐波相位的作用。本发明探索改变谐波相位的能力，由此显著地延伸了冲击极限，由此得到以前无法获得的压力幅度。

参见图3和4可对相位改变的重要性有一些认识。f_2和f_3的基波和谐波幅度(式1的A_n)是相同的，仅改变谐波相位，f_2的峰-峰压力幅度就增加30%，实际上，可能的最大压力幅度还会更大。当谐波相位经从0°变化到＋90°时，消除了传统的冲击，以前由于冲击前沿损失的功率可用于产生更大的压力幅度。

如图2、3和4所示，谐波共振器中谐波相位对频率的依赖关系

是可预见的，对基波的较低谐波也同样有着类似的相移。这一相移(以及所产生的波形变化)在共振器经过共振点时出现。本发明的非谐波共振器设计成在共振频率工作时给出所需的波形(由谐波幅度和相位确定)。尽管非谐波共振器的模式谐波相邻是固定的(当激励频率保持等于共振频率时)，但仍然存在类似于谐波共振器的相位和幅度效应，在本发明的边界条件(由周壁几何形状和壁材料及共振器中流体的声学特性确定)设计中研究了这些效应。由此，可按所需波形的要求，赋予各个谐波不同的相位和相对幅度。

在下面的例子中，只考虑基波(频率 f，f 为激励频率)，谐波 2(频率 2f)和谐波 3(频率 3f)。谐波的相对幅度越大，其对最后的波形的潜在作用越大。非线性过程容易产生幅度随着谐波数量增加而减小的谐波，在非线性过程中，能量转移到高次谐波。这样，考虑基波和谐波 2、3 能够相当精确地表示最终波形。实际上，用来确定谐波 2 和 3 幅度和相位的分析方法同样可延伸到谐波 4 和更高次谐波，以确定其对最后波形的影响。

美国专利 5,319,938 和 5,231,337 叙述了对本发明实施例提供激励功率的具体机械装置，这里作为参考。图 5，6、7、9、11 和 13 中所用的激励方法假定共振器在每一端都有反射端，共振器沿其圆轴线以某一模式的频率振荡(被激励)或者，可用一振动活塞代替一个反射端，对共振器激励，激励功率也可以是热传递的，如热声原动机(如美国专利 4,953,366，和 4,858,441 中所述)或寻找一种流体电磁能的循环吸收如美国专利 5,020,977 中所述，为简单起见，在下面的讨论中略去了激励方法的细节，而图 15A、15B 和 16 表示一个激励共振器的激励器的方框图，该共振器也接有一流抗。

对非谐波共振器来说，难以仅由其接近给定的共振模式来预测谐波相位，但是共振器的谐波相位和其它特性能用现有的分析方法来预测。这类特性可包括粒子速度、共振模频率、功率消耗、共振品质

因子、谐波相位、幅度和产生的波形，共振器中声场的确定取决于描述存在大幅度声波时流体特性的微分方程的解。一种可采用的非线性方程是NTT波方程(J. N. Tj∅tta和S. Tj∅tta的“声波的相互作用，第一篇：基本方程和平面波”，《美国声学杂志》1987年，82期1425～1428页)由下式给出)：

$$(\nabla^2-\frac{1}{C_o^2}\cdot\frac{\partial^2}{\partial t^2})P+\frac{\delta}{C_o^2}\cdot\frac{\partial^3 P}{\partial t^3}=-\frac{\beta}{P_oC_o^4}\cdot\frac{\partial^2 P^2}{\partial t^2}-(\nabla^2+\frac{1}{C_o^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2})L \quad (2)$$

这里非线性系数定义为$\beta=1+B/2A$，拉格朗日(Lagrangian)密度L由下式确定：

$$L=\frac{\rho_oU^2}{2}-\frac{P^2}{2\rho_oC_o^2} \quad (3)$$

变量P是声压，U是声粒子速度，t是时间，x、y、z是空间变量，C_o是小信号音速，ρ_o是流体环境密度，B/2A是非线性参数(R. T. Beyer“流体中非线性参数”，《美国学学会杂志》1960年，32期719～721页)，δ是声扩散率，表示粘性和热传导对自由空间中波传播的效应(M. J. Lighthill的“机械学概述”，G. K. Batchelor和R. M. Davis编辑，英国剑桥大学出版社1956年出版，250～351页)。

对图8、10、12和14的本发明实施例，由式2的解来预测理论值，这些能基于式2的无损耗(δ=0)型式，并限制在一维空间(Z)。在特殊情形下的损耗由计算热粘性边界层损失得出(G. W. Swift的“热声引擎”，《美国声学学会杂志》1988年，84期1145～1180页)。

用来解式2的方法是有限元分析法，对每一有限元渐次逼近法(至第三次)适用于式2描述的非线性波方程，导出描述基波、二次谐波、三次谐波频率声场的线性微分方程，由实验确定对任一指定流体的非线性系数β。这一分析在一具有中央处理单元、程序和数据存储器(ROM和RAM)的计算机上进行。计算机经编程使用上述有限元分析法解式2。计算机配有以监视器形式的显示器和/或打印机以输

出计算结果并显示每一谐波的波形。

图 8、10、12 和 14 所示对本发明实施例理论和实验的比较揭示了预测的和实测的数据之间相当一致。可通过式 2 的二维或三维解可得出更精确的数学模型。而且，可以用更精确的波方程（式 2 精确到声压的第二级）。

对本节其余部分所述的本发明的实施例，用式 2 的解来推出谐波相位和幅度，在上一节用于说明谐波共振器时提出的简单概念（即模式和谐波在频率范围内的相对位置）也作了考虑，但不是一直有效的。

首先，考虑可产生 AP 波的本发明一个简单实施例。参见图 2 和 3，通过使低谐波（nf）的频率处于模式 n 和 n+1 频率之间来获得产生 AP 波 f_3 的相位。类似的模式-谐波近似也存在于产生 AP 波的非谐波共振器中。

图 7 的非谐波 DI 共振器产生共振 AP 波，共振器 22 由圆锥形腔体 24 形成一其有一喉部法兰 26 和一口部法兰 28。圆锥形腔体 24 的两个开口端由喉板 30 和口板 32 刚性地端接，分别固定在喉部法兰 26 和口部法兰 28。腔体 24 的轴向长度为 17.14cm，喉部（小端）和口部（大端）的腔体内径分别为 0.97cm 和 10.15cm。

图 8 表示对基波和二次、三次谐波计算得到的沿共振器 22 轴向长度 L 分布的设计相位和压力，即图（a）、（b）和（c）。同时还画出了总的压力波形，即图（d），这是由式 2 用在共振器 22 喉端（220）适当的相位 $\varnothing_n$ 和幅度 A_n 按时间迭加（用式 1）基波、三次和三次谐波得到的。图（e）波形可作比较，这是当（以 HFC-134a 把共振器压力充为 85psia 时测得的，由基波、二次和三次谐波的幅度和相位构成如谐波共振器的 AP 波那样，较小的谐波频率（nf）在模式 n 和 n+1 的频率之间。

当用 HFC-134a 按 7/4 比例把共振器 22 增压到 85psia 时产生

波形，声粒子速度超过 MACH1，相关的峰-峰压力振荡超过 400psi。

类似于图 7 的共振器 22，DI 共振器能产生兰金循环应用中有用的 AP 波，如前所述其它应用可能需要不同特性的波。例如，一规定的用途可能会要求保持$|P_+|$不变，而$|P_-|$增加 25%，同时减小功率消耗。

图 9 和 10 的非谐波共振器 34 是满足增加$|P_-|$和减小功率消耗的设计要求的许多种可能的途径之一。用共振器 22 作为起点，我们可以由图 4 的曲线(+90°)看到，若保持相位不变，则减小二次谐波幅度会增大$|P_-|$。或者，增加三次谐波幅度会增大$|P_-|$。如图 8 中所示，圆锥形共振器 22 允许极大相对幅度谐波存在。为了改变谐波幅度，需要改变圆锥形共振器 22 的边界条件，如使 d^2r/dz^2 在某一点为非零。图 9 的共振器 34 提出了一种适当的边界条件变化，由一具有曲线段 38、锥形段 40、喉部法兰 42 和口部法兰 44 的腔体 36 形式，共振器 34 由喉板 42 和口板 48 刚性地端接，腔体 36 的轴向长度为 17.14cm，口部内径 10.15cm，曲线段 38 长 4.28cm，其直径作为轴坐标 2 的函数由下式给出：

$$D(z)=\frac{D_{th}}{\partial}[e^{mz}+e^{-mz}$$

这里 z 的单位是米，$m=33.4$，$D_{th}=0.097m$。

图 10 表示对共振器 34 计算出的设计数据(图(a)～(d)，包括由 HFC-134a 充至 85psia 的测量数据构成的波形(图 e)二次谐波的相对幅度从共振器 22 的 0.388(二次谐波的 29.2psi 除以基波的 75.3psi)减小到共振器 34 的 0.214(18.88psi 除以 88.02psi)。二次谐波的这一减小导致$|P_-|$增大 25%，功率消耗也被减小。

本发明另一简单实施例是非谐波 DI 共振器 50，设计为产生 AN 波，共振器 50 由一具有喉部法兰 54 和口部法兰 56 的曲面腔体 52 形成。曲面腔体 52 的两个开口端由分别固定到喉部法兰 54 和口部

法兰 56 的喉板 58 和口板 60 刚性地端接，腔体 52 的轴线长度为 24.24cm。口部内径为 9.12cm。腔体 52 的内径作为轴坐标 2 的函数由下式给出：

$$D(z)=0.0137+0.03z+20z^4$$

这里 2 的单位是米，在腔体喉端(细端)z=0，图 12 表示对共振器 50 计算得到的设计数据。计算出的时间波形表示所希望的 AN 对称性，由二次谐波的−90°相位产生。参见图 2、3 和 4，产生谐波共振器 AN 波 f_1 的相位是通过使谐波频率 nf 处于模式 n−1 和 n 频率之间而得到的，图 11 和 12 中产生 AN 波的非谐波 DI 共振器 50，其谐波频率 nf 也处于模式 n−1 和 n 的频率之间，n=2 和 3。

在图 7 和 11 的非谐波共振器 22 和 50 中，分别产生了 AP 波和 AN 波。在这两个例子中，对于使谐波相位与谐波和模式频率范围中相对位置有关的谐波共振器所说明的简单概念也适用于非谐波共振器。尽管这些简单例子有助于得到一些认识，但对于谐波共振器所解释的简单概念对非谐波共振器并不总是有效，也并不足以延伸到实现本发明的实质，严格的数学模型，例如建立在式 2 基础上的那种模型，才最适于本发明的设计。

例如，在共振器 50 中，共振器的模式要求在频率上不必提高就可以产生 AN 波。图 13 和 14 表示其模式是频率下移的共振器 62，类似于共振器 22。与产生 AP 波的共振器 22 不同，共振器 62 产生 AN 波。

共振器 62 由曲面腔体 64 形成，有一喉部法兰 66 和一口部法兰 68，曲面腔体 64 的两开口端由分别固定到喉部法兰 66 和口部法兰 68 的喉板 70 和口板 72 刚性地端接。腔体 64 的轴间长度为 24.24cm，腔体 64 的内径作为轴坐标 2 的函数由下式给出：

$$D(z)=1.244\times10^{-2}-1.064z+95.74z^2-3.71\times10^3z^2+7.838\times1$$
$$-9.285\times10^5z^5+6.56\times10^6z^6-282\times10^7z^7$$

$$+7.2\times10^{7}z^{8}-9.87\times10^{7}z^{9}+5.459\times10^{7}z^{10}$$

这里 z 的单位是米，坐标原点在共振器 62 的喉部开口端。

图 14 表示对共振器 62 计算得到的设计数据，包括当共振器 62 以 HFC-134a 把压力充为 85psia 时测得的数据构成的波形，所需的波形是对称的，来源于－90°二次谐波相位，表示了理论和实测波形。

本发明的共振器用在声压缩器是理想的。声压缩器及其各种阀门设置在美国专利 5,020,977、5,167,124 和 5,319,938 中曾讨论过，这里引为参考。总的来说，声压缩器可作许多用途。一些例子包括，流体或高纯流体的压缩或抽吸、热传导循环、供气和处理，以及能量转换。

图 15A 和 15B 表示一封闭循环中的声压缩器，它采用了本发明的共振器。图 15A 中，共振器 74 有一喉部法兰 76 和一口部法兰 78，共振器 74 由固定到口部法兰 78 的口板 80 刚性地端接。阀盖 82 装在喉部法兰 76 上，有一排气阀 84 和进气阀 86，分别由管道 90 和 92 连接到流抗 88。排气阀 84 和进气阀 86 用于把共振器 74 中振荡压力转换成经过流抗 88 的净流体流动。流抗 88 可包括一热交换系统或能量转换装置。共振器 74 最好由激励器 94 激励，例如熟知的电磁震动器，它以一种在美国专利 5,319,938 或 5,231,337 中所述的方法对整个共振器 74 进行机械振动，这里作为参考，弹性安装件 94 用来使共振器 74 和激励器 94 紧固在一固定物件 98 上。后者固定共振器/激励器组件。

图 15B 类似于图 15A，其中共振器 74 的口板 80 由一活塞 80′代替，这里激励器 94′采用电磁激励器的形式，例如音圈激励器，以使活塞振动。这一结构对本领域技术人员来说是熟知的。

图 16 表示把共振器 74 作为一个压缩器来使用，用于一压缩-蒸发冷冻系统中。图 16 中，共振器连接到一闭合回路，由冷凝器 124、毛细管 126 和蒸发器 130 组成。这一结构组成一典型的压缩-蒸发系

统，可用于制冷、空调、热泵或其它热传导应用。在本例中，流体包括一压缩-蒸发制冷剂。激励器 94″可以是按图 15A 的共振激励器或按图 15B 的活塞型激励器。

在工作时，加压的液体制冷剂从毛细管 126（作为降压器件）进入蒸发器 130，在其中经历一压力下降过程。低压液体制冷剂随后在蒸发器 130 中吸收其来自制冷段 128 的蒸发热，由此变为一低压蒸汽。驻波压缩器维持一低的进气压力。由此使低压蒸发的致冷剂被从蒸发器 130 抽入驻波共振器 74。这一低压蒸发的制冷剂随后在共振器 74 中作声压缩，再以较高的压力和温度释放到冷凝器 124。当高压的气态致冷剂经过冷凝器 124 时，它放出热量并再次冷凝成增压的液体，这一增压的液体致冷剂随后流经毛细管 126，重复热力学循环。

具有变化的截面面积的共振器的优点，例如降低粒子速度、粘性能量损失和热能损失，已在美国专利 No. 5,319,938 中解释，这里引为参考。

在图 7、9、11、13 和 15 所示共振器腔体的实施例中，已注意到腔体内部区域在结构上是空的，只含有流体（即冷冻剂），所需波形的再现是通过改变腔体沿纵向 z 轴的内部横截面面积来实现的，由此获得所需的谐波相位和幅度，而不产生不应有的干扰。

尽管上述描述包括许多尺寸说明，这些不应构成对本发明范围的限制，而是作为最佳实施例的示范，最佳实施例重点在于在形状非常简单的共振器中共振合成所需的波形，这样，本发明的范围不限于具体的共振器设计而是寻求用于控制谐波幅度和相位的共振器的边界条件，由此实现共振强声合成。

本发明特定实施例的数量随着所需特性的数量而变，这些特性可包括能量消耗、喉部对口部压力比、共振品质因子、所需的压力幅度、确切的波形和工作流体，一系列共振器的几何形状都具有提供指

定特性所需的边界条件，共振器的边界条件可通过改变周壁形状来改变，这包括平坦的或弯曲的口板和喉板，其曲率变化可用于改变模式频率、声粒子速度、共振品质因子和能量消耗。为一特定设计所选的确切形状会反映所需特性的重要程度。通常，共振器的形状可以是圆柱形、球形、环形、锥形、角形的或其组合。

本发明的一个重要特征是获得稳态波形的能力，这些波形的合成是对腔体边界条件选择的结果。即当压缩器工作时波形随时间持续，这样，在一种较低压力压缩器的应用中，压缩器的稳态工作会提供稳态的峰-峰压力幅度，其值为平均压力范围的 0.5～25%，或更多的选择，可以是以下一种：0.5～1.0%、1.0～5.0%、5.0～10%、10～15%、15～20%、20～25%、10～25%、15～25%和 20～25%。对较为适中的压力用途而言，这一百分比范围可在 25～100%，更可从以下之一选取：30～100%、40～100%、50～100%、60～100%、70～100%、80～100%和 90～100%。对较高的压力应用中，这些百分比可包括大于 100%的值，可从下列之一中选：125%、150%、175%、200%、300%和 500%。

有许多方法来发掘本发明的基本特点，这对技术人员来说是易于做到的。例如，本发明提出的波形不限于这里已讨论的那些波形，本发明只要改变共振器的边界条件可以对每一谐波实现不同的相位和相对幅度，由此提供了控制波形的多种手段。而且，共振模式对谐波的相位效应并不仅限于纵向模式。

进一步来说，非正弦波并不一定是压力不对称时，无冲击波可以是非正弦和压力对称的，通过产生非零相位的低偶次谐波幅度和高奇次谐波幅度来实现。这样，本发明可实现一系列的压力不对称。

更进一步，本发明的共振器尺寸可按比例增减，仍然产生类似的波形，尽管工作频率和功率消耗会发生变化。

所以，本发明的范围不应当由图示的实施例确定，而是由权利要

求书及其等同物确定。

说　明　书　附　图

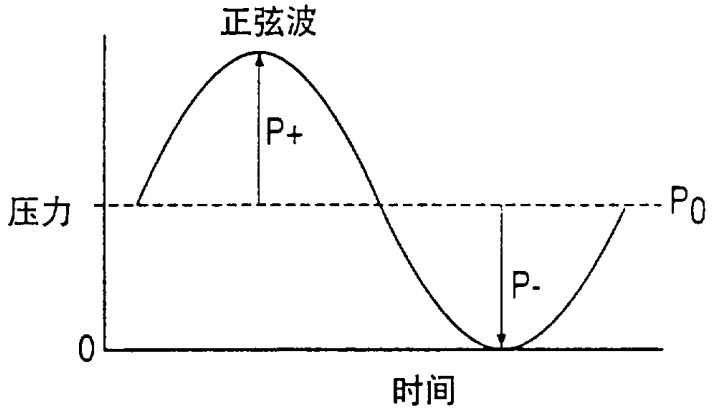


图 1

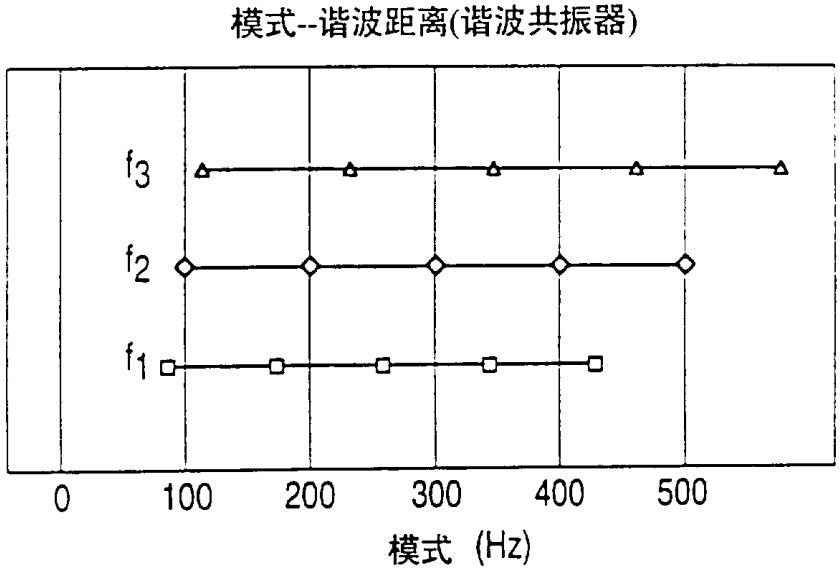


图 2

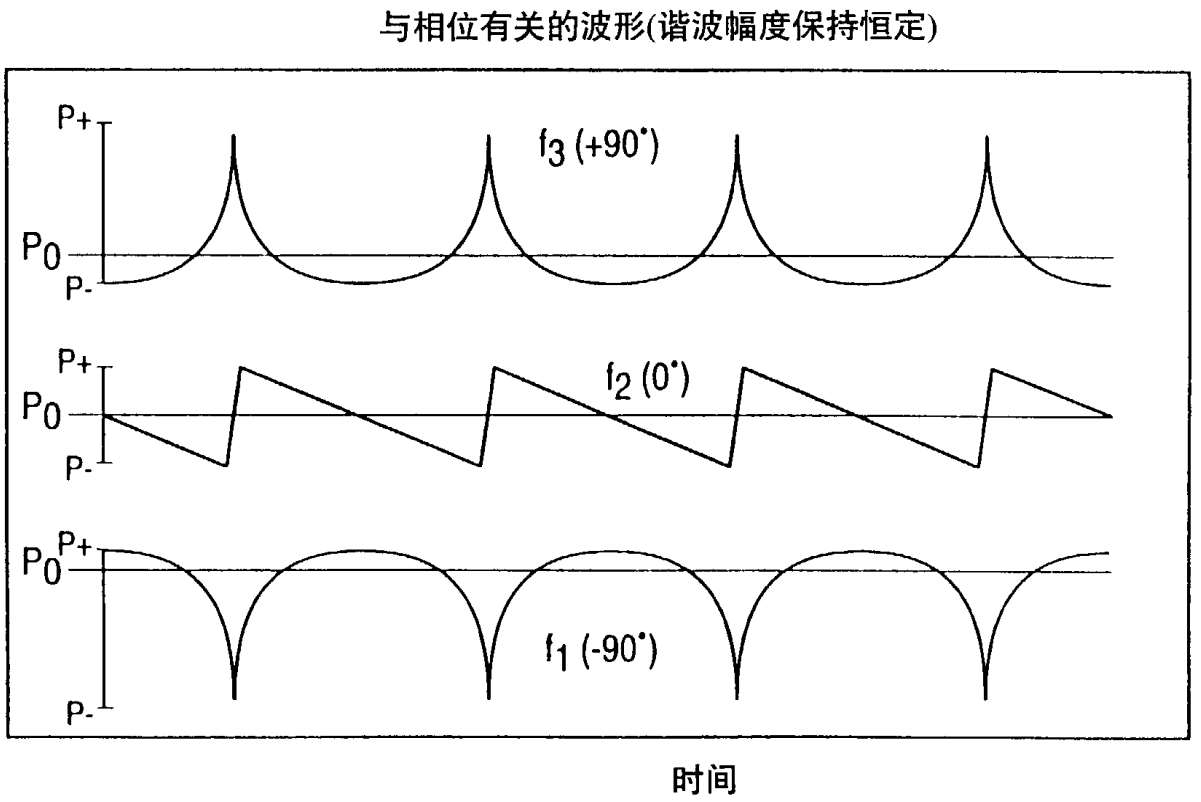


图 3

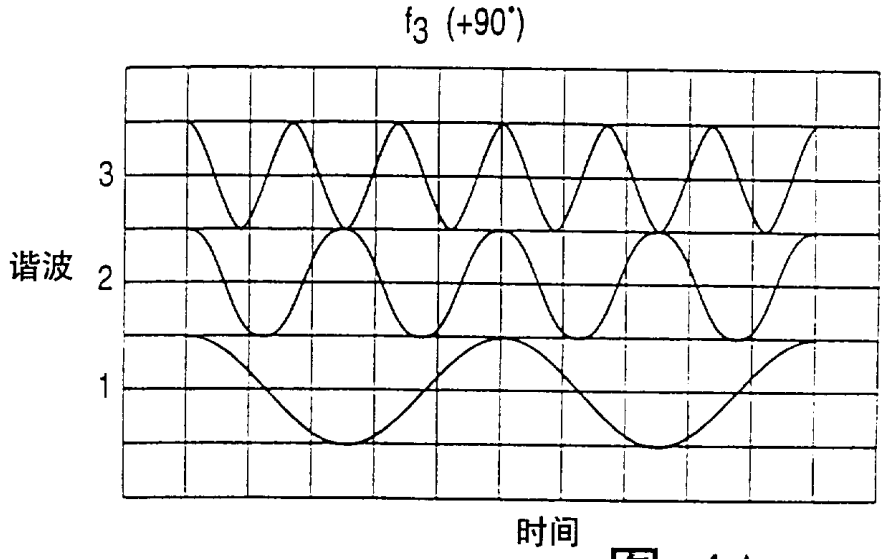


图 4A

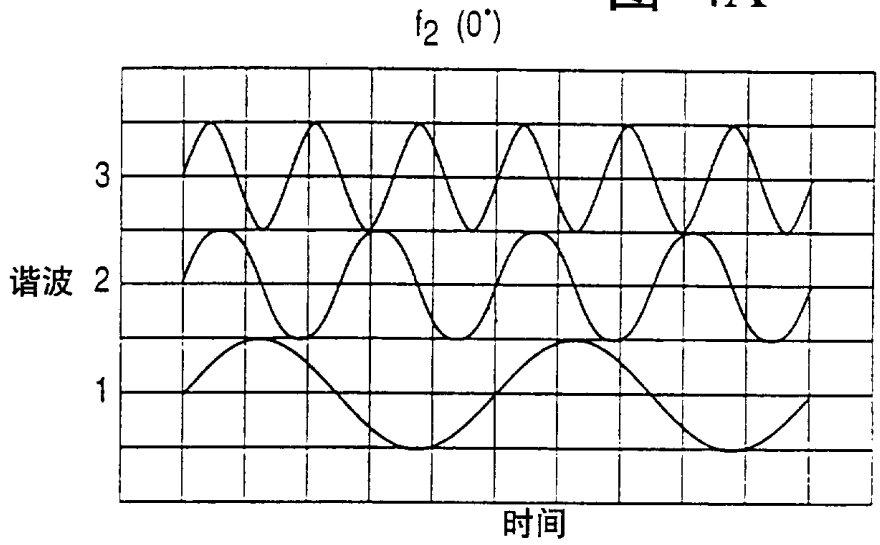


图 4B

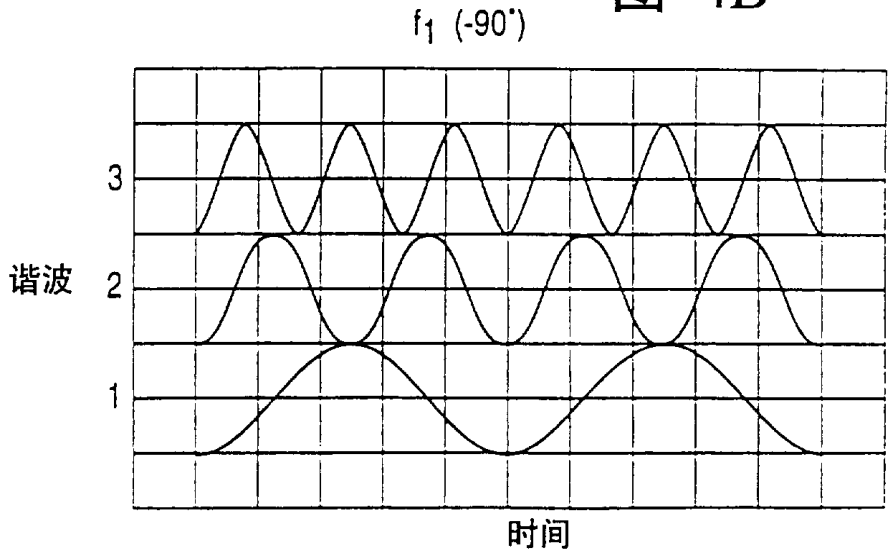


图 4C

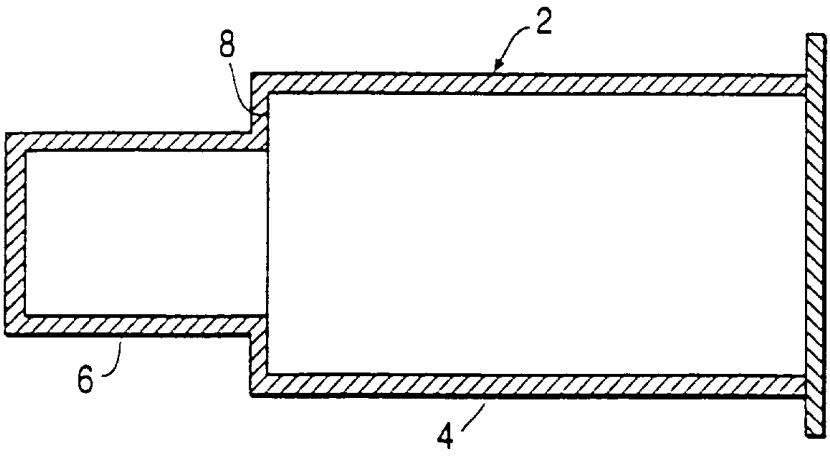


图 5

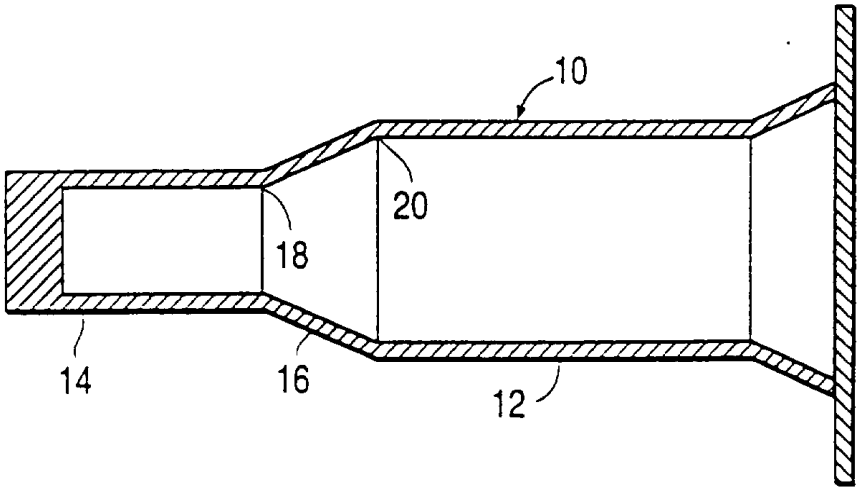


图 6

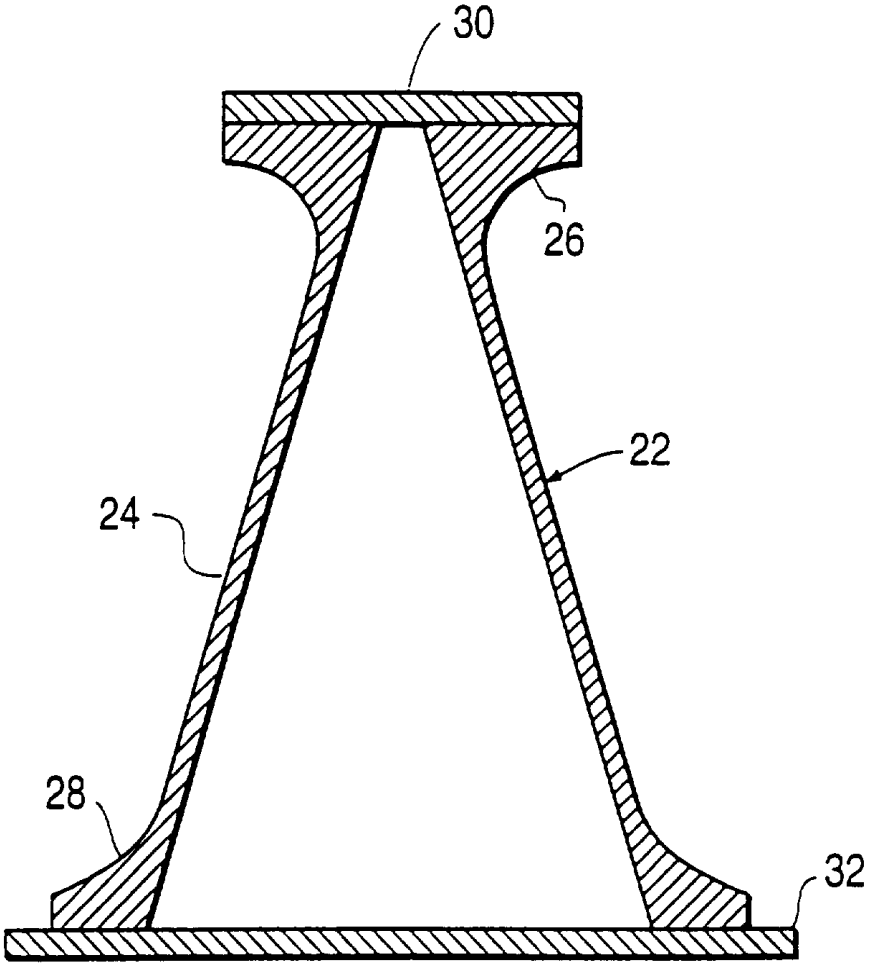
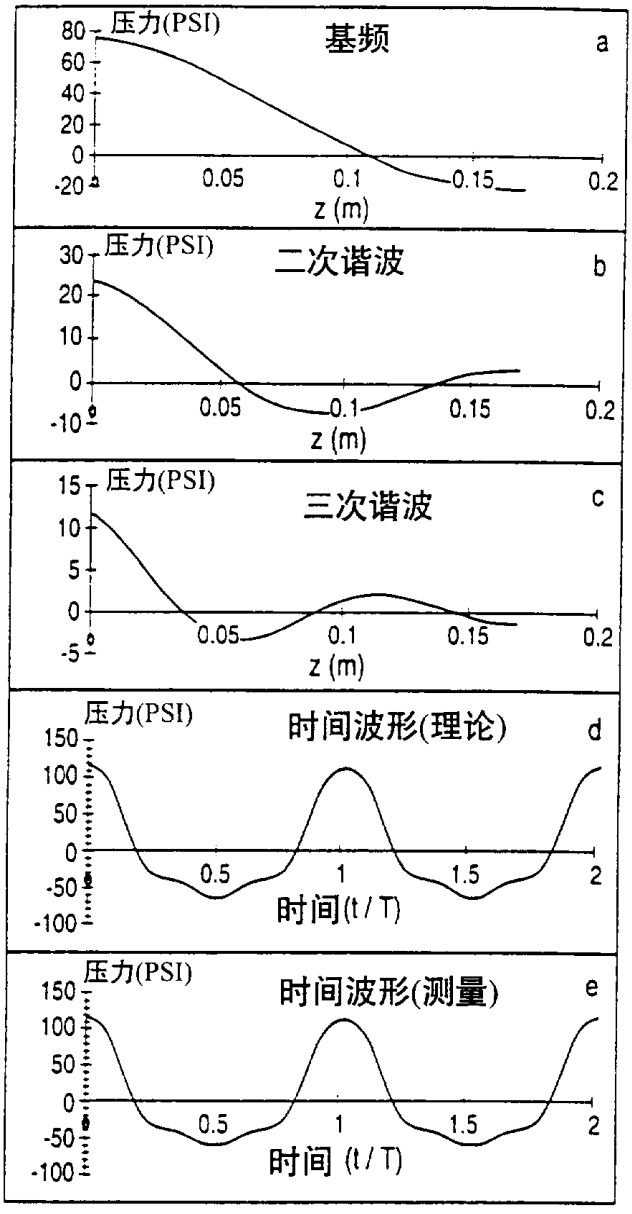


图 7

图 8

共振器 22



	理论	实验
功率(瓦)	60.72	66.90

z=0处压力(PSI)

	理论	实验
基频	75.30 ∠ 90°	75.30 ∠ 90°
二次谐波	23.85 ∠ 90°	29.20 ∠ 90°
三次谐波	11.94 ∠ 90°	12.60 ∠ 90°

	谐波 (Hz)	模式 (Hz)
1	618.5	618.5
2	1237.0	1071.1
3	1855.5	1524.1
4		1981.2

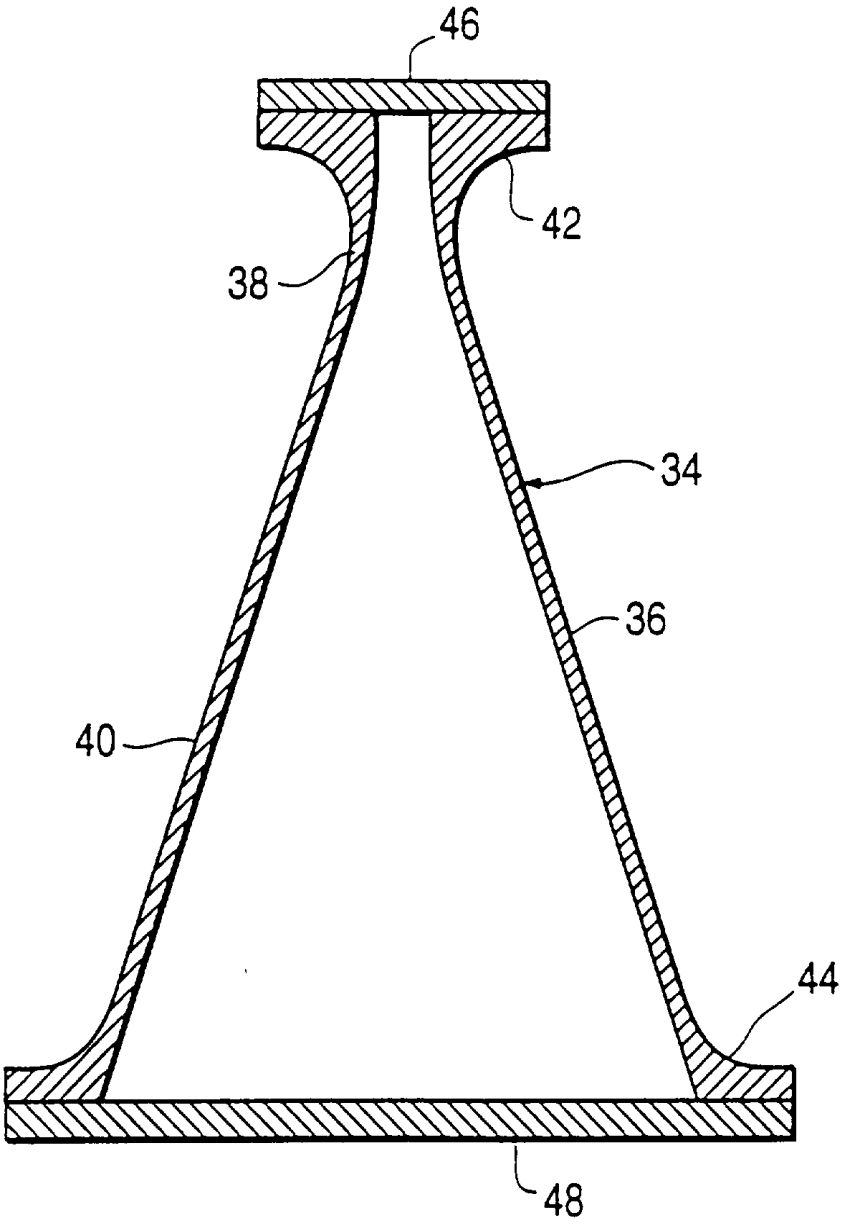
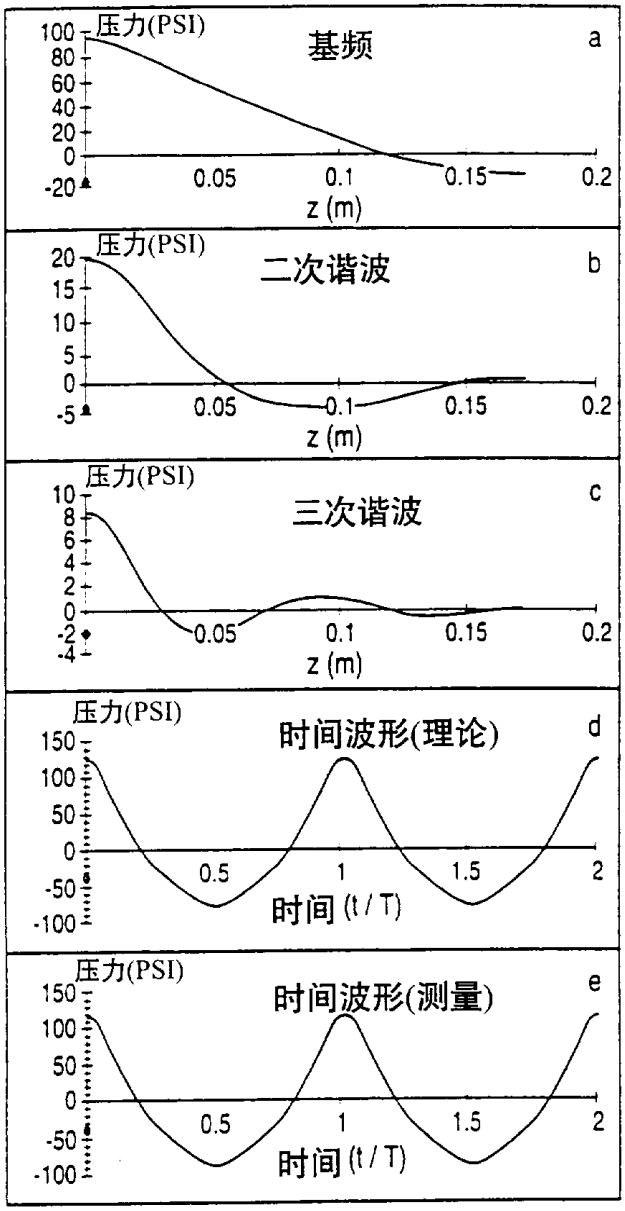


图 9

图 10

共振器 34



	理论	实验
功率(瓦)	44.28	44.83

z=0处压力(PSI)

	理论	实验
基频	88.02 ∠ 90°	88.02 ∠ 90°
二次谐波	19.34 ∠ 90°	18.88 ∠ 90°
三次谐波	8.65 ∠ 90°	10.01 ∠ 90°

	谐波 (Hz)	模式 (Hz)
1	679.3	879.3
2	1358.7	1062.5
3	2038.0	1455.4
4		1918.3
5		2388.9

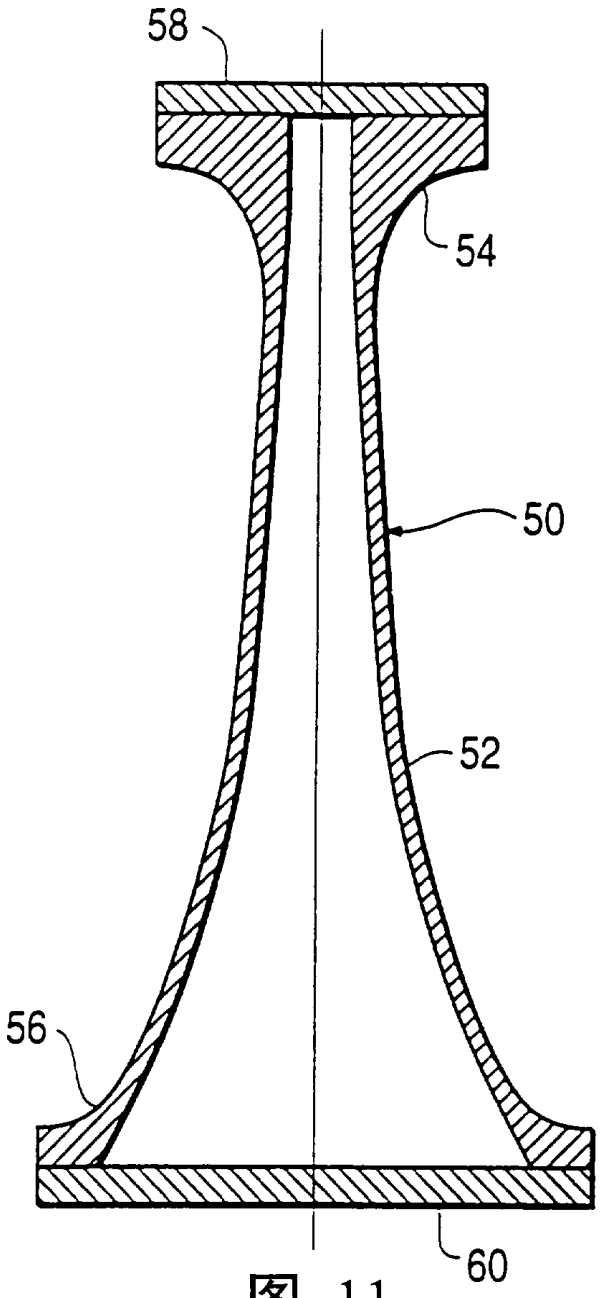
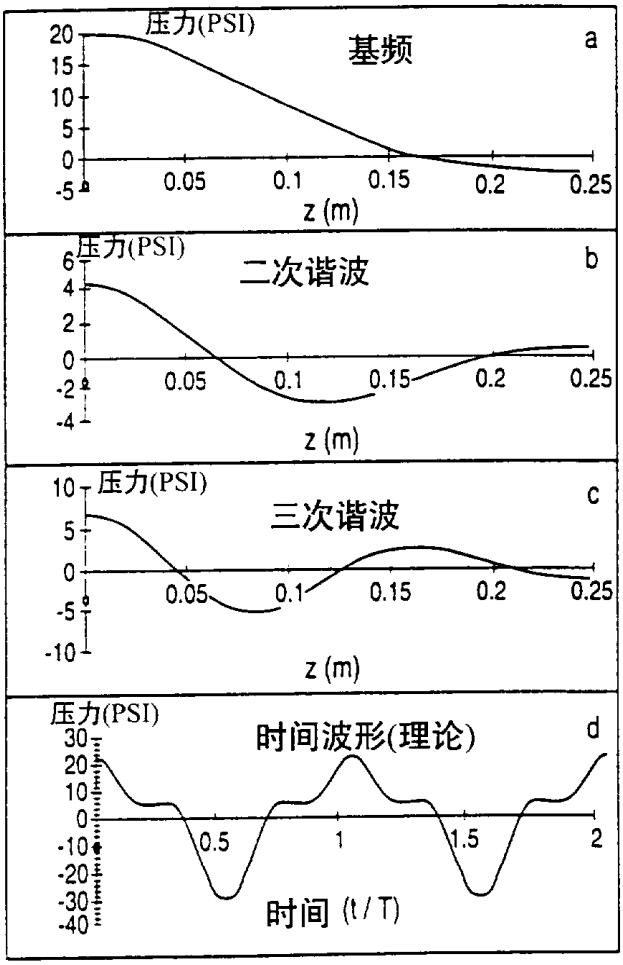


图 11

图 12

共振器 50



	理论
功率(瓦)	18.09

z=0处压力(PSI)

	理论
基频	20.00 ∠-90°
二次谐波	4.45 ∠-90°
三次谐波	6.81 ∠-90°

	谐波 (Hz)	模式(Hz)
1	328.7	328.7
2	657.3	685.6
3	986.0	1011.5

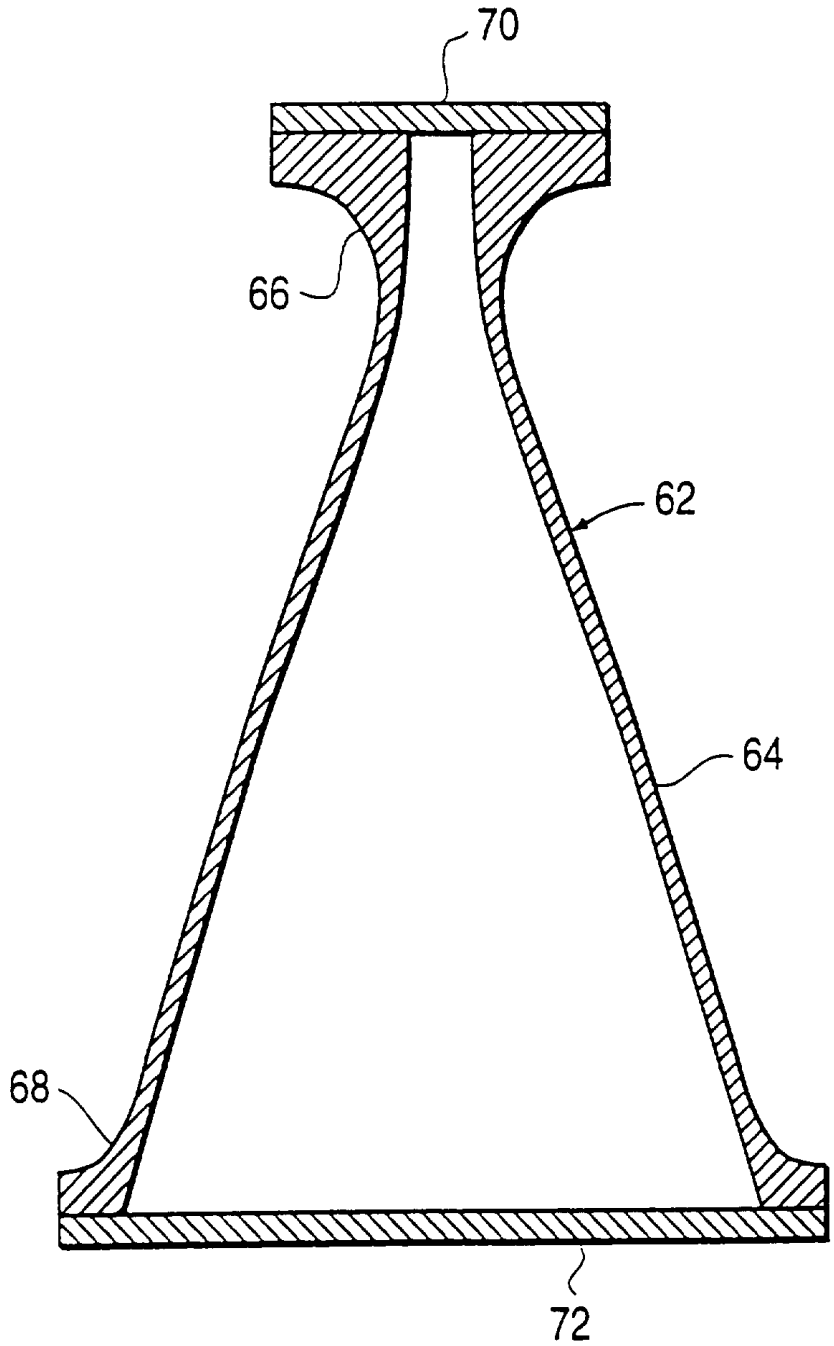
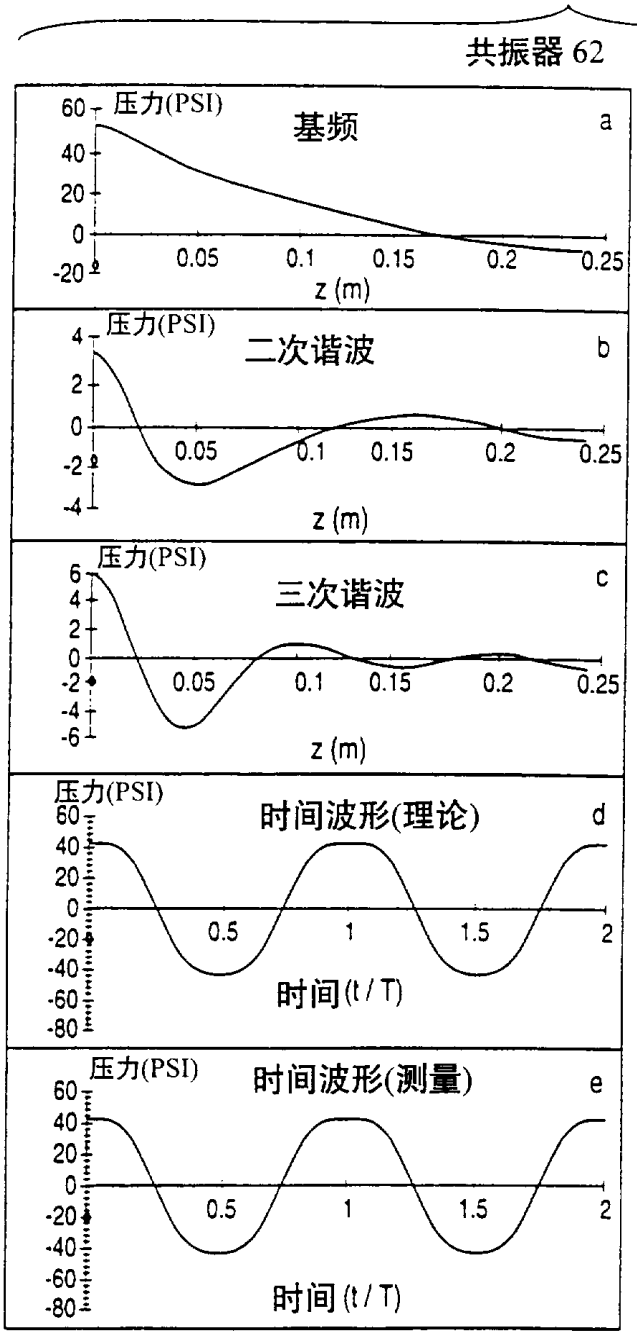


图 13

图 14



	理论	实验
功率(瓦)	18.94	21.40

z=0处压力(PSI)

	理论	实验
基频	54.40 ∠-90°	54.40 ∠-90°
二次谐波	3.48 ∠-90°	6.96 ∠-90°
三次谐波	5.98 ∠90°	2.50 ∠90°

	谐波 (Hz)	模式 (Hz)
1	574.4	574.4
2	1148.7	802.4
3	1723.1	1047.2
4		1383.8
5		1684.7
6		2011.7

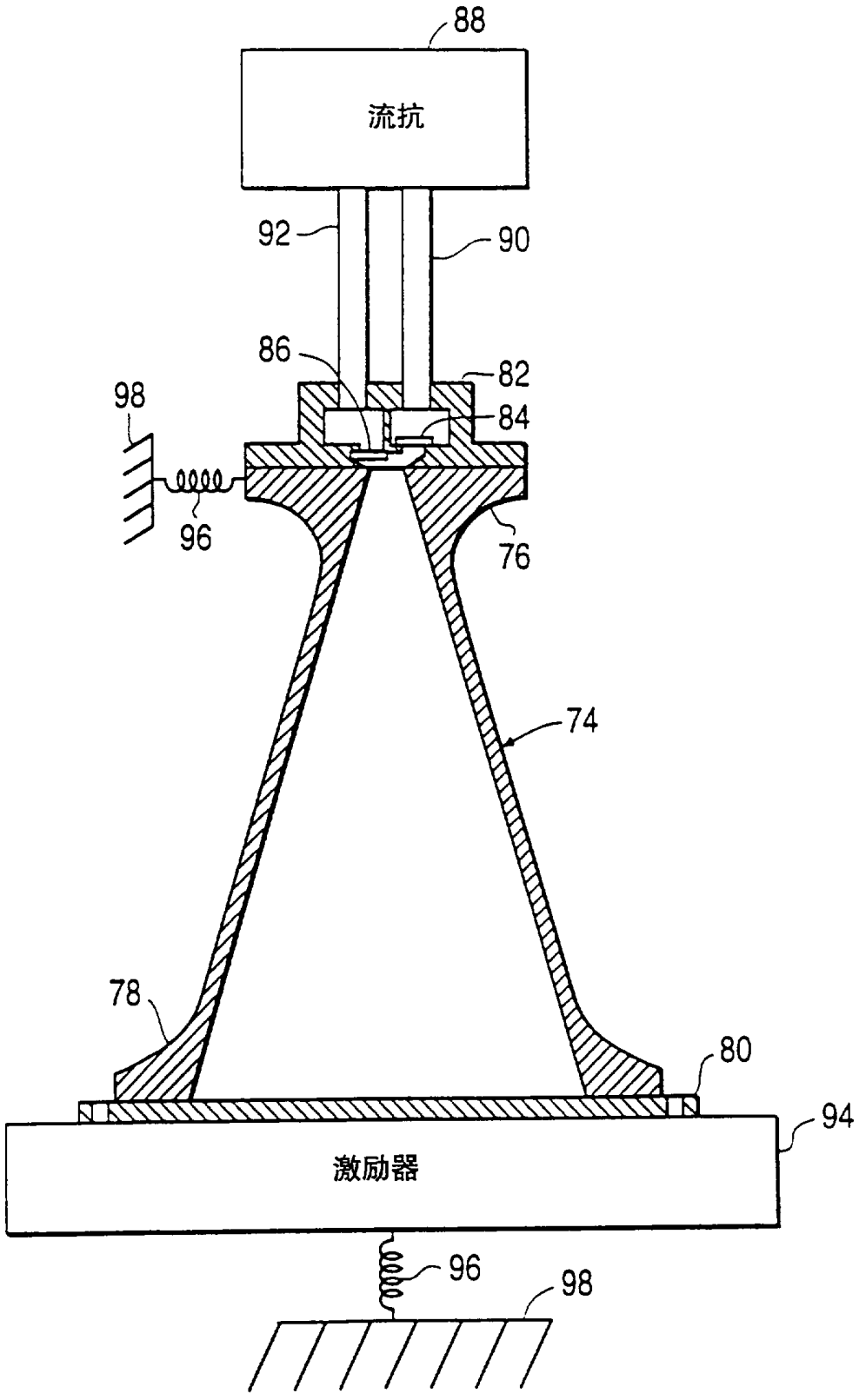


图 15A

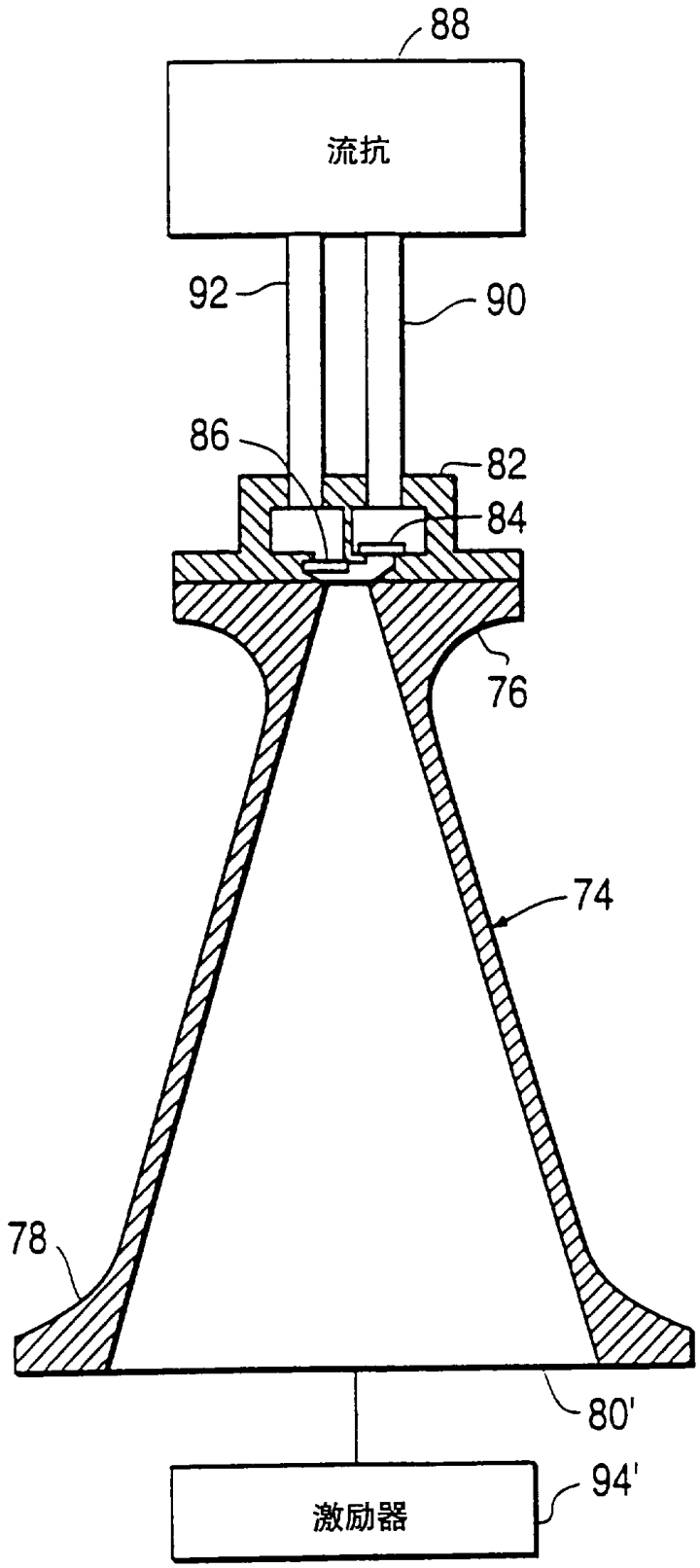


图 15B

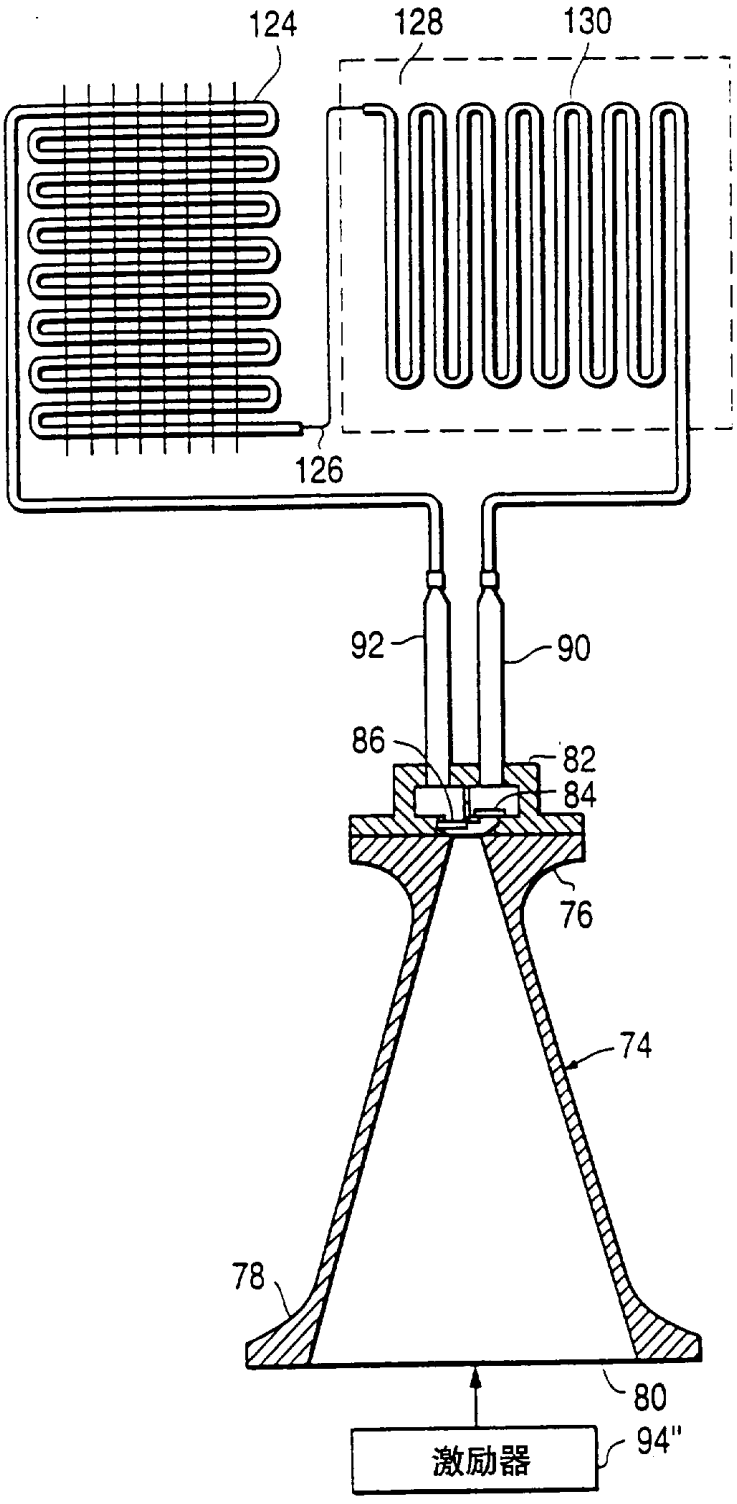


图 16