

[12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 95100142.6

[51]Int.Cl⁶

G10K 11/16

[43]公开日 1995 年 9 月 27 日

[22]申请日 95.1.16

[30]优先权

[32]94.1.21 [33]US[31]184,646 / 94

[71]申请人 美国3M公司

地址 美国明尼苏达

[72]发明人 利兰·R·惠特尼

托马斯·J·斯坎伦

查尔斯·A·马尔蒂拉

约瑟夫·G·曼德尔

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所

代理人 孙敬国

说明书页数:

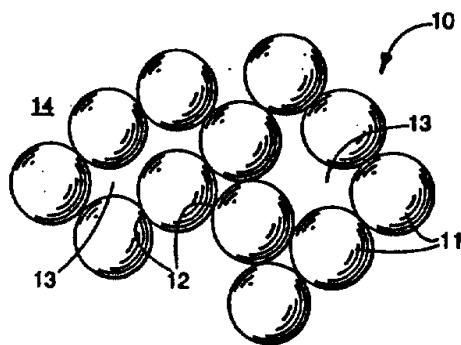
附图页数:

[54]发明名称 多孔声学衰减器

[57]摘要

本发明提供了一种声学衰减器,它包含:

一含有在其接触点烧结和/或粘接在一起的颗粒的多孔材料,所述多孔中至少一部分连续连接在一起,所述多孔材料含孔隙率约20%至60%,平均孔隙直径约5至280微米,弯曲度约1.25至2.5,密度每立方英尺约5至60磅,模量每平方英寸约12,000磅或以上,所述多孔材料具有至少一个通孔,所述孔隙率、平均孔隙直径、密度和模量值均为多孔材料中不含任何通孔时的性形,所述通孔的平均直径大于平均孔隙直径。



权 利 要 求 书

1. 一种声学衰减器，其特征在于，它包含：

一含有在其接触点烧结和/或粘接在一起的颗粒的多孔材料，所述多孔中至少一部分连续连接在一起，所述多孔材料含孔隙率约20%至60%，平均孔隙直径约5至280微米，弯曲度约1.25至2.5，密度每立方英尺约5至60磅，模量每平方英寸约12,000磅或以上，所述多孔材料具有至少一个通孔，所述孔隙率、平均孔隙直径、密度和模量值均为多孔材料中不含任何通孔时的性形，所述通孔的平均直径大于平均孔隙直径。

2. 如权利要求1所述的衰减器，其特征在于，所述通孔的平均长度为约1/8英寸或以上。

3. 如权利要求1所述的衰减器，其特征在于，所述通孔的平均直径约为1/64英寸至约6英寸。

4. 如权利要求1所述的衰减器，其特征在于，所述衰减器约0.1%至约50%的表面积含有通孔。

5. 如权利要求1所述的衰减器，其特征在于，所述通孔为下述截面形状：圆形、矩形、三角形、椭圆形、正方形和槽形。

6. 如权利要求1所述的衰减器，其特征在于，所述通孔的平均长度对直径比范围为约2:1至约50:1。

7. 如权利要求1所述的衰减器，其特征在于，所述材料的厚度约18"或更大。

8. 如权利要求1所述的衰减器，其特征在于，所述多孔材料含有多通孔。

9. 一种包含声源与衰减器的声学系统，所述衰减器包括：

一含有在其接触点烧结和/或粘接在一起的颗粒的多孔材料，

所述多孔中至少一部分连续连接在一起，所述多孔材料含孔隙率约 20% 至 60%，平均孔隙直径约 5 至 280 微米，弯曲度约 1.25 至 2.5，密度每立方英尺约 5 至 60 磅，模量每平方英寸约 12,000 磅或以上，所述多孔材料具有至少一个通孔，所述孔隙率、平均孔隙直径、密度和模量值均为多孔材料中不含任何通孔时的性形，所述通孔的平均直径大于平均孔隙直径。

10. 一种在周围介质中，把一种材料用作声学衰减器的方法，其特征在于，所述材料包含：

一含有在其接触点烧结和/或粘接在一起的颗粒的多孔材料，所述多孔中至少一部分连续连接在一起，所述多孔材料含孔隙率约 20% 至 60%，平均孔隙直径约 5 至 280 微米，弯曲度约 1.25 至 2.5，密度每立方英尺约 5 至 60 磅，模量每平方英寸约 12,000 磅或以上，所述多孔材料具有至少一个通孔，所述孔隙率、平均孔隙直径、密度和模量值均为多孔材料中不含任何通孔时的性形，所述通孔的平均直径大于平均孔隙直径。

说明书

多孔声学衰减器

本发明涉及采用多孔声学衰减器来衰减声音的方法、配用这种多孔声学衰减器的声学系统以及多孔声学衰减器本身。

现有技术的设计思想是，隔音材料只有做成非孔状、块状并且柔软方才有效。公众的误解是，吸音材料也是良好的隔音材料。然而，隔音材料具有与吸音材料相反的性质，即隔音材料大量地反射声音，并且可以不吸音。当隔音材料被放置在并非为一个显著的噪声源或噪声通道的区域内时，隔音材料并非有效。为了获得显著的改进(声级衰减 3dB)，被处理的区域必须是声能为目标噪声一半的声源或通道。

1974 年 4 月 9 日授权的美国专利号为 3,802,163(Riojas)的专利文献中，公开了一种用作消音器中废气过滤器的圆盘。圆盘可以是钢网、多孔金属网、石棉、纤维玻璃、多孔焦炭及其组合。Riojas 的目的在于减少汽车引擎排气中的杂质。

1975 年 8 月 5 日授权的美国专利号为 3,898,063(Gazan)的专利文献中公开了一种过滤器和消音器的组合装置，其中含有可替换的陶瓷过滤器元件。此过滤器元件可以是一个带有小孔的模制陶瓷件，这些小孔成筒状或馅饼形，模制陶瓷件或者具有完全穿越此元件的孔。消音器被设计成能够迫使流入过滤器的液体从陶瓷过滤器的壁流出。

1984 年 3 月 13 日授权的美国专利号为 4,435,877(Berfield)的专利文献公开了一种用于由软开孔泡沫插件(flexible open cell foam inserts)构成的真空吸尘器的噪声消音器。在泡沫穿过工作气

流流动的开孔而延伸的地方，泡沫有多个很大的孔，从而使大颗粒穿过此泡沫障碍物而防止堵塞泡沫孔。

隔音材料中用作排气、结构支撑、电气接线、控制电缆敷设等而切割的孔，降低了隔音性能。为了重新获得开孔之前所具有的声学性能，可以通过加入密封胶材料来消除开孔所产生的声泄漏，从而改进隔音材料。当然，如果开孔是为了排气，就必须用密封以外的方法来重新获取声学隔音性能。一种方法是配备带隔板的附加导管。另外，隔板中还可以加入吸音材料。

我们发现了一种衰减器，这种衰减器含有一种具有通孔的声学材料，其声学性能几乎不降低。这种声学材料的特点是声学材料的模量(modulus)、孔隙率(porosity)、弯曲度(tortuosity)、平均气孔直径和平均密度。通过降低由于切孔而引起的性能劣化的程度，使补偿修正的需要降低到最小。

本发明的声学衰减器包含：由在其接触点处烧结并(或)粘接在一起的颗粒构成的多孔材料，至少一部分孔连续连接在一起，其中，所述多孔材料的填隙孔隙率约为 20% 至 60%，平均孔径约为 5 至 280 微米，弯曲度约为 1.25 至 2.5，密度约为每立方英尺 5 至 60 磅，模量约为 12,000psi 或以上，其中，所述多孔材料至少有一个通孔，其中，所述填隙孔隙率、平均孔径、密度及模量值均是指多孔材料中没有通孔的情况，其中，通孔的平均直径大于平均孔隙直径。

本发明的多孔声学衰减器在提供了足够排气能力的同时，还提供了良好水平的声音衰减。

本发明还提供了一种把衰减器用作周围介质中隔音器的方法。

本发明还提供了一种含有声源和衰减器的声学系统。此声源可以位于含有此衰减器的封闭装置之内，或者在这种封闭装置之外。

本发明的声学衰减器具有(但并不局限于)下述广泛的应用：包

括(但并不局限于)计算机、复印机和投影仪的办公室设备;包括(但并不局限于)冰箱、吸尘器和真空清洁机的小型/大型电器;包括(但并不局限于)空调器的供热/通风设备;包括(但并不局限于)喇叭箱的音响设备。

本发明的衰减器特别适用于既要求刚性又要求其柔软强度足以自我支撑的应用场合。在这些应用场合中,本发明的实践通过仅用一单一材料而达到自我支撑、空气流动和声学性能的目标。

图 1A 是制备本发明衰减器中一部分烧结多孔材料的放大截面图。

图 1B 是制备本发明衰减器中一部分粘接多孔材料的放大截面图。

图 2 是本发明一部分衰减器的立视图。

图 3(A—H)沿图 2 所示本发明衰减器线 3—3 方向、具有不同通孔结构的截面图。

图 4 是应用本发明衰减器的声学系统的示意透视图。

图 5 是例 10 中喇叭箱的极性图。

图 6 是自由空间中例 10 所述喇叭的阻抗图。

图 7 是喇叭箱中例 10 所述喇叭的阻抗图。

声学材料

本发明的衰减器可以采用各种声学材料。声学材料最好是一种隔音材料。

例如,有效声学材料的类型如图 1A 和 1B 所示,见美国专利申请号为 07/819,275 的专利文献(Whitney 等)中所描述的内容,此处引述供参考。

如图 1A 所示,一种可以用作本发明衰减器的特定声学材料 10 包含非纤维颗粒 11,非纤维颗粒 11 在接触点 12 处烧结在一起,颗粒之间留有空隙 13,此声学材料至少有一个通孔提供给本发明的衰

减器。

声学材料自身及由这种声学材料制成的衰减器可以在周围介质 14 中工作。通常，周围介质含有空气，但也可以含有其他气体，如汽油或柴油机产生的碳氢化合物废气，或空气和碳氢化合物废气组成的混合气体。

颗粒 11 可以由一种无机材料或聚合物材料制成。可以是空心的，也可以是实心的。其平均外径在约为 10 到 500 微米较为合适。空心颗粒由于其重量较轻而较受欢迎，其壁厚(平均内半径和平均外半径之差)约为 1—2 微米。较佳颗粒的平均外径近似为 20 到 100 微米，最好约为 35 至 85 微米，如果壁厚比外径至少小一个数量级的话，这些较佳颗粒的壁厚无严格要求。

随后将制作通孔的材料是由颗粒 11 制成的，颗粒 11 之间形成空隙 13，空隙 13 的特征孔隙直径可以用熟知的水银侵入技术(mercury intrusion techniques)或扫描电子显微术(SEM)进行测量。对本发明所用材料进行这类测试的结构表明，在空气中运用时，特征孔隙直径最好取约 25 至 50 微米。

另外，声学材料在加入通孔前的特征是，孔隙率可以取约 20% 至 60%，最好取 35% 至 40%(确定孔隙率时，空心颗粒均假定为实心颗粒)，这是用人们熟知的水银侵入技术或者水饱和方法测得的结果。

另外，在加进通孔前，声学材料的特征是弯曲度取约 1.25 至 2.5，最好为约 1.2 至约 1.8。

对于本发明，在加进通孔之前，声学材料的声音衰减在差不多整个 0.1 至 10KHZ 的频率范围内可与质量定律特性相比。

一种市售的声学材料是美国佐治亚州 Porex 技术公司(Porex Technologies Corp.)的 POREX(R)X 系列多孔塑性材料。

例如，合适的无机颗粒包括(但并不局限于)从一组玻璃微泡

沫、玻璃陶瓷颗粒、结晶陶瓷颗粒中选择出来的物质及其组合物。例如，合适的聚合物颗粒包括(但并不局限于)从一组聚烯烃颗粒(如聚乙烯和聚丙烯)、聚偏二氟乙烯颗粒、聚四氟乙烯颗粒、聚酰胺颗粒(如尼龙 6)、聚醚砜颗粒中选择出来的物质及其组合物。

玻璃微泡沫，特别是美国 3M 公司的牌号为 SCOTCHLITE™、型号为 K15 的玻璃微泡沫是最常采用的颗粒 11。这些微泡沫的密度约为 0.15g/cc。

如图 2 所示，除了烧结以外，另一种方法是在接触点 12 处用一种分立材料将颗粒 11 粘接在一起，分立材料 20 即一种粘接剂，但粘接剂 20 不能太多，以免堵塞空隙 13。通常是将颗粒 11 与树脂粘接剂 20 混合在一起，然后再使树脂固化或固定。

使用中，粘接剂 20 可以由一种无机材料或有机材料制成，包括陶瓷材料、聚合材料和弹性材料。在需要暴露在高温的应用场合下，最好采用陶瓷粘接剂，而聚合粘接剂的特点是其低密度。

另外，粘接剂的材料可以与颗粒材料相同。例如，可以对聚合颗粒进行处理，从而仅以少量的变形就可以将这些颗粒粘接在一起。

然而，有些聚合物和弹性物相当软，使声学材料的硬度不够，无法很好地工作。因此，声学材料必须具有约 5 至 60 磅/立方英尺的密度，约 5 至 40 磅/立方英尺更好，最好约 5 至 15 磅/立方英尺，杨氏模量为每立方英寸 12,000 磅或以上。如果这一模量太低，则声衰减较差。这种材料将具有适当的声学性能，同时可以自我支撑，从而适宜用作机壳的结构组件。

但是，许多聚合粘接剂是合适的，包括环氧树脂、聚乙烯、聚丙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、尿烷、醋酸纤维及聚四氟乙烯(PTFE)。

合适的弹性粘接剂为天然橡胶和合成橡胶，如熟知的商品名为“NEOPRENE”的氯丁橡胶以及基于乙烯、丙烯二烯单体的橡胶。

其他合适的粘接剂为 RTV-11 和 RTV-615 牌名的美国通用电器公司的硅酮化合物。

另外，可以对上述隔音材料作进一步处理，形成一有用的隔音材料，详见目前共同申请待批的美国专利申请号 08/185,598，申请人为 Scanlan 等，标题为“Starved Matrix Composite”(律师文件号 06267/001001 的专利文献中的描述，此处引述供参考，用来：

(a)形成一具有基质微结构的物质，其表面用来涂覆含有陶瓷颗粒和有机聚合物粘接剂的混合物；

(b)热分解步骤(a)所得的物质，使粘接剂碳化，但仍保留物质的基质微结构；

(c)在此物质的微结构的至少一部分表面上，淀积一从一组含有碳化硅、氮化硅中选择出来或其组合形成的涂层，由此形成声学材料。

本实施例中，此粘合剂最好为环氧树脂、酚醛树脂，或其组合。此方法在步骤(b)之前还可以包括将第二有机粘接剂涂覆到此物质上。

碳化硅、氮化硅或其组合最好用化学真空淀积方法淀积。

按照 Scanlan 等人的方法，本发明的合成构件最好通过将填料颗粒和树脂粘接剂以及其他(任选)所需要的添加剂在一孪生壳混合器内混合而制备。在将组份混合了足够长时间以后，混合物被倒入一具有一定形状的模具内。为了便于从模具中取出此组合件，模具最好用一种释放剂(如碳氟化合物、硅酮、滑石粉或氮化硼粉末)处理过。然后，此混合物在模具中加热。加热步骤的特定温度根据树脂粘接剂来选择。如果是环氧树脂和酚醛树脂，通常温度约为 170℃。对于大型部件或形状复杂的部件，最好使温度缓慢上升至最终温度，以避免加热部件产生热应力。

加热以后，从模具中取出组合件。需要的话，可以对组合件再

另外放一些树脂(例如通过浸入或涂刷)。这里的树脂最好与初始混合物中的树脂不同。例如,如果初始混合物中的树脂是环氧树脂,则在此组件上可以再涂覆一酚醛树脂涂层。然后此组件再经热处理。

一旦部件从模具中取出以后,组件可以再由机械加工成形,或就保留原样。例如,部件可以被截成圆盘或大圆片。可以在部件上穿些孔或做些空腔。然后,组件被置于炉内(例如实验炉),炉内含有惰性气体(如氮气)或还原气体(如氢气),从而使粘接剂热分解。通常,热分解在大气压下进行。特定的热分解温度是根据粘接剂来选择的。对于环氧树脂粘合剂和酚醛树脂粘合剂,典型的热分解温度范围为 500°C 至 1000°C 。在室温下,组合件被装入炉内,然后在几小时的时间内,炉温缓慢上升至最终热分解温度(通常温度上升时间约2.3小时)。

热分解过程中,缺基质微结构被保留,粘合剂被转变成碳素物。碳素物通常覆盖陶瓷填料颗粒的表面,并在相邻颗粒之间形成颈口,从而在整个部件范围内形成一碳素点阵形式。此碳素点阵形成碳化硅或氮化硅涂层的表面。可以预期,某些颗粒将部分没有被碳素物所覆盖,这是由于这些部分被粘接剂所涂覆,并且这些部分之间含有粘接剂的缘故。这些颗粒未经涂覆的表面也可以用碳化硅和(或)氮化硅涂覆。但是,通常要求被碳素物涂覆的表面至少为50%(最好至少90%)。

热分解以后,组合件从炉中取出并涂覆碳化硅、氮化硅或其混合物。涂层可以由诸如溶解在有机溶液内的聚硅氮烷溶液前体(Solution precursor)形成。另外,在碳化硅的情况下,此涂层可以由熔化的硅金属与热分解组件的碳素物点阵产生的碳之间发生反应后形成。然而,最好按照本领域内熟知的技术,在减压下通过气体前体(gaseous precursor)的化学气相淀积(CVD)来淀积此涂层。

用于形成本发明衰减器的声学材料也可以包含一种或多种功能

添加剂，包括(但并仅限于):颜料、填料、阻燃物等。最好本发明的材料包含无添加剂的烧结颗粒和(或)粘接颗粒。

美国专利申请序号为 07/819,275 的材料包含平均外径为 5 至 150 微米的空心微泡沫，这些空心微泡沫在其接触点处粘接在一起，中间形成空隙。此隔音材料具有 0.5×10^4 至 4×10^7 mks 雷/米的气流阻率，声音衰减相当于质量定律的性能。因为气流阻率独立地取决于材料的孔隙率以及空隙体积，所以隔音材料可以用 20% 至 60% 的孔隙率来表述其特征；或者用在周围介质粘附表皮深度(viscous skin depth)的一个数量级范围内的空隙特征直径来表述其特征。

美国专利申请号为 07/819,275 的专利文献中的隔音材料包含多个重量较轻的微泡沫，这些微泡沫在其接触点处，用任何一种方便的方法粘接在一起。

按照美国专利申请号为 07/819,275 的专利文献，微泡沫最好由陶瓷材料或聚合物材料制成。平均外径在 5 至 150 微米范围内较合适。微泡沫的壁厚(内半径和外平均半径之差)最好是 1—2 微米。微泡沫的平均外径最好近似为 70 微米，对这些较佳微泡沫的壁厚没有严格要求，如果此壁厚至少小于其外径一个数量级的话。

空心微泡沫之间形成的空隙有一个特征空隙直径，这一特征空隙直径可以用水银侵入技术测得。对美国专利申请号为 07/819,275 中所采用的材料进行这种测试的结果表明，在空气中应用时，特征空隙直径最好约为 25 至 35 微米。

按照美国专利申请号为 07/819,275 的专利文献，一系列的值使声学材料具有较好的性能，这是由于特征空隙直径近似于周围介质的粘附表皮深度(其仅取决于介质的粘性和密度以及声音的入射频率)的缘故。例如，空气的粘附表皮深度从 0.1KHZ 下的 200 微米变化到 1KHZ 下的 70 微米，直至 10KHZ 下的 20 微米。

因此，美国专利申请号为 07/819,275 的专利文献中的隔音材料的特征是，其特征空隙直径在周围介质的粘附表皮深度数量级范围内；气流阻率为 0.5×10^4 至 4×10^7 mks 雷/米，最好为 7×10^5 mks 雷/米；以及这种材料声音衰减可与质量定律性能相比。

另外，美国专利申请号为 07/819,275 专利文献中的隔音材料的特征是，孔隙率为 20% 至 60%，最好为 40%（在确定孔隙率时，微空心球均被假定为实心颗粒）；气流阻率为 0.5×10^4 至 4×10^7 mks 雷/米，最好为 7×10^5 mks 雷/米；以及这种材料的声音衰减可与质量定律性能相比较。

美国专利申请号为 07/819,275 的专利文献中，在重合频率以外的几乎 0.1 至 10KHZ 的整个频率范围内，当声音衰减低于由场入射或法线入射质量定律预示的理论特性不到 10dBA 时，对声音的衰减具有“可与质量定律相比的性能”。

例如，法线入射质量定律预示的传输损失用分贝数表示为

$$20\log(\omega m/2pc)$$

其中， ω 为入射声音的(角)频率，

m 为隔音器单位面积的质量，

p 为周围介质的密度，

c 为声音在周围介质中的速度。

重合频率是这样一些声谱区域，在这些区域中，隔音器发生机械谐振，隔音器作为一个整体，其声学阻抗等于周围介质的声学阻抗，即以某些特定角度入射的波将发生完善的传输。这些频率仅由隔音器的厚度和机械特性确定。

美国专利申请号为 07/819,275 的专利申请文献中建议的玻璃微泡沫为最常采用的重量轻的微泡沫，特别是美国 3M 公司牌号为“SCOTCHLITE”、型号为 C15/250 的玻璃微泡沫。这些微泡沫的密度约为 0.15g/cc。不需要采用筛选技术来减小这些微泡沫的大小分

布及密度，因为大小分布和密度对声学特性的影响极小（按照质量定律判断）。

按照美国专利申请号为 07/819,275 的专利文献，烧结的另一种方法是在与一种分立材料（即粘接剂）的接触点处将微泡沫粘接在一起，但粘接剂不能太多，否则将除去空隙。通常，这可以通过将微泡沫与树脂粘接剂混合在一起，然后通过固化或固定来完成。

使用时，粘接剂可以由无机材料或有机材料（包括陶瓷材料、聚合物材料和弹性材料）制得。陶瓷粘接剂适用于需要暴露在高温应用场合，而聚合物粘接剂由于其柔软性和重量较轻而受欢迎。

按照美国专利申请号为 07/819,275 的专利文献，某些聚合物和弹性物可能太柔软，隔音器因不够坚硬而无法很好工作。隔音器的另一个特征是按照 ASTM 标准 C293—79 测量的劲度率为 1 至 $8 \times 10^6 \text{psi/磅—吋}^3$ ，抗弯强度为 200 至 500psi 。这种隔音材料将具有合适的声学特性，并能自我支撑，从而适合用作机壳的结构件。

按照美国专利申请号为 07/819,275 的专利文献，有许多合适的聚合物粘接剂，包括环氧树脂、聚乙烯、聚丙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、尿烷、醋酸纤维和聚四氟乙烯（PTFE）。合适的弹性粘接剂是天然橡胶和合成橡胶，如人们所熟知的商品名为“NEOPRENE”的氯丁橡胶，以及基于乙烯、丙烯二烯单体的橡胶。其他合适粘接剂为美国通用电器公司牌号为 RTV—11 和 RTV—615 的硅酮化合物。

美国专利申请号为 07/819,275 的隔音材料

为了制得这种隔音材料，将美国 3M 公司牌号为“SCOTCH-LITE”、型号为 C15/250、密度约为 0.15g/cc 、直径约为 50 微米的微泡沫与美国 3M 公司牌号为“SCOTCHCAST”、型号为 265 的干粉状树脂混合在一起，树脂对微泡沫的重量比为 $1:1$ 、 $2:1$ 和 $3:1$ 。不对以 $1:1$ 和 $3:1$ 混合而成的微泡沫进行筛选，但是经筛选的和不经筛选的微泡沫以 $2:1$ 的比例混合在一起使用。筛选出的合成

粉末放入木质或金属模具内，在 170°C 下固化约 1 小时。

经固化的材料，其密度约为 0.2g/cc 。空隙特征直径约为 35 微米。气流阻率为 10^6mks 雷/米，孔隙率为体积的 40%；这些值中的每一个值近似文献所报导的密集石粉的相应值。视树脂与泡沫的比例而定，抗弯强度可达 500psi。此组件在水平样品框架试验中不能支撑住框架。

这种材料有三类声学特征。

首先，阻抗管测量(impedance tube)确定材料的声衰减，以 dB/cm 表示。这些测量的数值与试样的几何尺寸(形状、大小、厚度)无关。共测试了三种型号的样品，并与“FIBERGLASS”牌号密度为 0.168g/cc 和 0.0097g/cc 的绝热玻璃丝比较(Baranek Leo L., Noise Reduction, McGraw—Hill, New York, 1960, p270), 并与密集石粉进行比较(Attenborough, K., “Acoustical Characteristics of Rigid Fibrous Absorbents and Granular Materials”, Journal of the Acoustical Society of America, 73(3)(March 1983), p 783)。

与其他三种材料的每一种材料相比(声音衰减约为 0.3 至 5 dB/cm), 以树脂对空心微泡沫的重量比为 1 : 1 而制备的样品，其声音衰减在 0.1 至 1KHz 频率范围内位于 0.1dB/cm 和 10dB/cm 之间。

以树脂对非筛选空心微泡沫的重量比为 2 : 1 制备的样品的衰减，在同样的频率范围内，位于 0 和 12dB/cm 之间，而其他三种材料在相同的频率范围内的衰减为 0—3dB/cm。对于采用筛选空心微泡沫、重量比为 2 : 1 的情况，衰减在 0.2 至 0.4KHz 的范围内略有下降，但在 1KHz 时快速增加到超过 14dB。

其次，按照 SAEJ1400 的插入损耗测量，是通过把板插在含有宽频带噪声源的混响室(reverberant room)和含有一话筒的消音箱(anechoic box)之间的窗户中进行的。板的大小为 55.2 平方厘米，

厚度可达 10.2cm。测试结果强烈地依赖于几何尺寸。

含有空心微泡沫的隔音板厚度约为 10.2cm，其质量约为 19.8kg。试作一比较，厚度为 1.59cm 的石膏板(建筑工业中常用)的质量约为 16.3kg。铅板的质量为 55Kg。

在 0.1 至 10KHz 的频率范围内，含有微泡沫的板，其工作性能略优于石膏板。尤其是在 160Hz 下，尽管含有微泡沫的板的质量仅为铅板质量的 36%，但通过含有微泡沫的板的插入损耗比通过铅板的插入损耗大 10dB。

与理论特性相比，除了下列情况以外，含有微泡沫的板超过了质量定律的预示结果：在约 0.25KHz 和约 0.4KHz 之间，但在此范围内低于 10dB；在 0.8KHz 时，但仍低于 10dB；从约 3KHz 至 10KHz，但这是由于中心位于约 6KHz 的重合频率范围的缘故。

第三，插入损耗测量是用话筒和一频率分析仪，对含有一宽频带噪声源的箱体进行的。此粗略成立方体的箱一边的尺寸范围从 41cm 至 61cm。这些测量结果强烈地依赖几何尺寸。

由含有微泡沫的隔音材料制成一箱体，由石膏制成另一箱体，两个箱体具有相同的总质量，约为 52.8Kg，但壁厚不同。因此，含有微泡沫的材料制成的箱体壁厚约 10.2cm，含有石膏材料的箱体壁厚为 1.6cm。

在整个 0.04KHz 至 1KHz 的频率范围内，含有微泡沫的隔音材料制成的箱体，其衰减超过质量定律所预示的性能，并且大体在 1KHz 至 8KHz 的频率范围内，此质量定律预示的性能低 10dB。

在 1KHz 以下和 2KHz 以上的频率范围内，含有微泡沫的隔音材料制成的箱体，其工作性能总体上比由石膏制成的箱体的工作性能好 10dB。

美国专利申请号为 07/819,275 的隔音材料 II

以重量比范围从 2 : 1 至 1 : 1 的例 1 中牌号为“SCOTCH-

CAST”、型号为 265 的环氧树脂和牌号为“SCOTCHLITE”、型号为 C15/250 的玻璃微泡沫混合在一起，并经热固化而形成一厚度约 4.8mm 至 15.9mm 的坚硬结构，从而制成一种隔音材料。将这种材料切割成几个直径为 3.5cm 的圆柱体，其形状使得这些圆柱体紧密地与一型号为 2AM—NCC—16 的“GAST”空气发动机的消音器机壳密配合，消音器机壳的内直径近似与圆柱体的外直径相同。此圆柱体取代了常规的消音器，即两个 #8 筛网在其自身之间支撑了一个厚度约为 13cm 的致密非编织纤维。

通孔

正如前面指出的那样，本发明的衰减器包含一个具有一个或多个通孔的声学材料。“通孔”的含义是穿越声学材料的开孔，这些通孔将高压面和低压面连接起来（当有周围介质流时），并且（或者）能够将声学材料的高声强面与低声强面连接起来。通孔的数量和大小可以不同。通常，要有足够的通孔在特定应用场合下（如通风排气）提供所需要的气流速率。另外，足够的通孔应使得约 0.10% 至约 90% 的整个（无通孔的）声学材料表面含有通孔。如果整个（无通孔的）声学材料表面不到 0.1% 表面含有通孔，则其气流特征接近无通孔的隔音材料的情况。如果整个（无通孔的）声学材料表面大于 90% 的部分含有通孔，则材料的完整性受到破坏，其声学功效可忽略不计。整个（不含通孔的）声学材料表面最好含有约 0.5% 至约 50% 的通孔，为的是使气流和声音衰减为最大，最好是约 0.9% 至 25%，为的是便于制造以及进一步使声音性能达到最佳。

声学材料可以含有任意数量的通孔。然而，可以通过改变孔径使被通过覆盖的面积占总百分比保持为常量。如果只有几个孔径很大的通孔，则声音衰减将被减弱。如果有大量孔径很小的通孔，则与只有少量大孔径通孔的情况相比，背压将明显上升。通常，选择具有足够直径大小的足够数量的通孔，从而使特定应用场合下具有

良好的气流和声音衰减。与不带孔隙的基片材料相比，本发明提供了一种意想不到的宽范围的灵活性，从而实现了这些声音及背压目标。例 9 中厚度大于或等于 4 英寸的样品表明，随着通孔数量的增加，意想不到地获得了对高频声音的优先衰减。

除了上文所公开的限制以外，通孔的直径与应用场合有关，可以从正好约大于声学材料的平均孔隙直径到比衰减器的厚度大得多。在大量的应用场合下，通孔的直径为从约 $1/64$ 英寸至约 6 英寸，通常为 $1/16$ 英寸至约 2 英寸。如果通孔的直径小于约 $1/64$ 英寸，则背压会大大增加。通孔的直径无需全部相同。通常，为便于制造，所有通孔取相同的直径。

尽管如果通孔既不直又不垂直于材料时孔的长度可以不同，但通孔的长度通常与声学材料的厚度相同。可以预计，通孔的路径可以呈直线以外的其他形状(例如扭曲的或呈曲线状的)。可以相信，具有这种通孔形状的材料同样可以很好工作，达到所要达到的目的。当设计使隔音材料厚度受到限制时，这种通孔形状的材料特别有用。通孔的长度既取决于声学材料的特定运用场合，也取决于声学材料的厚度。已经观察到，当孔长约为 $1/2''$ 或更长时，通过含有多孔隔音材料的衰减器的压降低于非多孔基片材料的衰减器的压降。如果孔长小于约 $1/2''$ ，则通过衰减器的周围气流的阻力将接近具有相似通孔的非多孔材料的阻力。

视衰减器的运用场合的不同，孔长对直径的比例可以有所不同。然而，通常长度对直径之比取约 $1:1$ 至约 $100:1$ ，为的是获得良好的气流和声音衰减。如果长度对直径之比大于约 $100:1$ ，则背压将大大增加。如果长度对直径之比小于约 $1:1$ ，则声音衰减将减弱。

通孔的形状可以有所不同，通孔的形状可以取如下(但并不限于)形状：圆形、椭圆、正方形、槽形、三角形、矩形等，或者兼而有之。

之。通常为便于机械加工而将孔取成圆形。孔的截面也可以不同，但通常为便于机械加工而取固定形状。

通孔的图案也可以不同。图案可以为对称的，也可以是不对称的。通孔的分布最好相当均匀，为的是使气流均匀。如果通孔均集中于材料的某一部位，则材料的完整性受到破坏。在某些情况下，需要将通孔集中的材料的某一部位；在这种使用情况下，衰减器将只接收这一部位的入射气流。在衰减器的这一部位处，通孔最好呈均匀分布。

本发明的另一个发明点在于含有沿声学衰减器的方向进行辐射的声源的声学系统。在一典型的声学系统中，将声学衰减器直接置于声源和收听者之间就足够了，但是，为了对声音作进一步衰减，还可以将声学衰减器大体上(或者完全)包围住声源或收听者的耳朵。

例如，如图 4 所示，可以用这种声学衰减器构筑一个开孔箱体 40(箱体一面开孔，用于扬声器 41 的传声)。

另一种应用是头戴式耳机，这种耳机的机壳由声学衰减器构成，因为此耳机机壳以一种被动方式“吸入”，因而使收听者更觉舒服。

在许多应用场合下，视声学衰减器自身的孔隙率而定，这种系统可以在声学上被密封住，从而使空气和潮气可以直接通过衰减器从箱体内散发出去。

因此，举例来说，可以对安装在基座上的一台机械装置提供一种密封的减噪箱体。此声学衰减器可以部分地与吸音材料对齐。

消音器应用

一种特别受人欢迎的声学系统是将声学衰减器用作一消音器。在这种应用场合中，此声学衰减器已使气体很快通过此消音器。

结构应用

也可以将上述没有分立支撑件的声学衰减器用作一结构件。可以由衰减器的板、块或片材料制成大体积的箱体。

这类板制作时，可以使每一板块上有一连锁铰链部分。这些连锁板在形成声学密封的箱体时特别有用。

测试方法

下述测试方法用来测试各例子中所报告的各种测试结果。

背压及声压级

在实验室气流凳上测试样品在各种气流速率下的背压及声压级。用位于箱体一端面或一端处的金属管道将一个呈箱体形状的产品支架与一实验室压缩空气管线相连，待测试的产品固定在箱体的另一端。产品的一个 12 英寸乘 12 英寸的表面暴露在进气之下。用一个温度计测量进气的温度。一压力传感器被置于进气口与产品之间的管线上，用来测量产品建立起来的背压。

通过一距产品表面中心 1 米、与声源方向呈 45 度角放置的、型号为 2148 的 Bruel 和 Kjaer 双通道手提式信号分析仪(可从丹麦 Naerum 的 Bruel 和 Kjaer 公司购得)来完成声压级(即噪声电平)的测量。每一次测量为单一读数点的结果。将气流速度设置在所要求的水平上，并且一旦气流速率水平稳定以后，就读取声压级读数。测量单位用 dBA 表示，这是一种 A 权重的分贝刻度。

背压(用 H_2O 的英寸高度来测量)指的是产品两端的压力差(即，入口处的压力减去出口处的压力)。流量用每分钟标准立方英尺来测量。要求背压和声压级具有较低值。

杨氏模量

每一样品的杨氏模量用下述方法计算(粗略地按照 ASTM C 623):

测量样品的重量和尺寸，用来计算样品的密度。注意确保使测得的频率与第一弯曲型对应。一加速度计和一带仪表的冲锤(instru-

mented impact hammer)与一频率分析仪相连,用来测量样品各点的频率响应函数。用可从美国加州 Milpitas GenRaid/SMS Inc. 购得的第四版模态分析程序“星模态”(modal analysis program“Star Modal”)来分析其频率响应函数,从而确定样品的自然频率和模态形状。进行数值分析(有限元模型分析),计算理论第一弯曲型。将测得的尺寸和密度值输入模型,并假定一杨氏模量值。将从有限元模型分析得到的理论第一弯曲频率与从测量得到的实际第一弯曲型相比较。这一步骤的目的在于确定如何调整初始杨氏模量值;如果理论频率低于实际测得的频率,就提高杨氏模量,反之就降低杨氏模量。重复上述步骤,直至根据有限元模型分析得到的理论第一弯曲频率与根据测量得到的实际第一弯曲型一致为止。杨氏模量是有限元模型中所使用的最新值即最后值,其结果用每平方英寸的磅数(psi)表示。

缩 写 语

本文中采用的缩写语如下:

<u>缩写语</u>	<u>定义</u>
SPL	声压级
BP	背压
AFR	气流速率
DEG	度数(角度)
Dia.	直径
dBA	A—权重分贝数
scfm	每分钟的标准立方英尺
L/D	孔长/孔直径

壁表面积 = $\pi \times \text{孔直径} \times \text{孔数} \times \text{孔长}$

举 例

本发明可以进一步用下述具有代表性的例子来描述,但是,这

些举例中所叙述的特定材料和数量，以及其他条件和细节，不应被视为是对本发明的限制。除非另有特指，否则所有份额和百分比均指其重量。

例 1

从本例可以看出与隔音材料孔隙率相关联的通孔的优点。

本例中两个样品声学材料用下述方法制得：

美国 3M 公司牌号为 SCOTCHLITE™、型号为 K15、密度约为 0.15g/cc、直径约 50 微米的玻璃微泡沫与美国 3M 公司牌号为 SCOTCHCAST™、型号为 265 的干粉树脂，以树脂对微泡沫重量比为 2：1 的比例混合在一起。将合成粉末筛选后置于一模具内，用机械方法振动，减少松散的粉末，以利于释放其中埋陷的空气，视块体的大小而定，在 170℃ 下固化最大至约 4 小时。必要时，将固化了的块体切割成所要求的测试尺寸和厚度。

根据历史测量情况，固化了的材料密度约为 0.2g/cc。孔隙特征直径约 35 微米。孔隙的体积约占 40%。杨氏模量约为每平方英尺 60,000 磅。这一材料用标记“ACM-1”表示。这样制得的一件样品再作进一步处理，在其表面上涂覆一两个部分的液态环氧树脂，从而表面被密封，表面气孔被填满。随后，在每一样品的 12 英寸乘 12 英寸表面上，在垂直于衰减器主表面的方向上，以均匀分布的正方形点阵图案(网格图案)钻 265 个直径为 1/8 英寸的通孔。样品厚度为 2 英寸。本例中，孔长与样品厚度相等。然后，按照上面介绍的测试方式，测试样品的声压级和背压。

用 dBA 表示的声压级、用水的英寸高度表示的背压以及用 scfm 表示的气流速度(AFR)见下面表 1 所示。

表 I

经(和未经)环氧树脂涂覆的 ACM

	未经涂覆的衰减器		经环氧树脂涂覆的衰减器	
	265 个 1/8" 直径孔		265 个 1/8" 直径孔	
流速 (scfm)	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)
5	0	5.0	0	5.1
10	0	54.4	0.1	55.2
15	0.1	56.8	0.1	57.7
20	0.1	58.1	0.2	59.3
25	0.2	60	0.3	61.6
30	0.2	62.3	0.4	63.4
35	0.3	63.5	0.5	64.9
40	0.4	65.2	0.5	66.3
45	0.4	66.5	0.7	67.7
50	0.5	67.7	0.8	68.4
55	0.6	69.1	1	70.2
60	0.7	70.1	1.1	71.2
65	0.8	71.8	1.3	72.4
70	0.9	73	1.5	74
75	1.1	74.5	1.7	75.3
80	1.2	75.4	1.9	76.2
85	1.4	76.4	2.1	77
90	1.5	77.4	2.4	78.1
95	1.7	78.5	2.7	78.9

从这些数据可以看出，隔音材料的孔隙率减小了压力降落，并产生更好的声音衰减。

例 2—3

这两个例子表明改变通孔的数量、长度对直径比以及壁表面面积，但保持开口面积百分比和样品厚度为常量时的效果。

这两个例中所使用的隔音材料是按照上述例 1 中的方法制得的 ACM—1。以例 1 中同样的图案在样品上钻多个通孔，并用例 1 中同样的方法对样品进行测试。例 2 中开孔面积百分比为 1/23%。例 3 中开孔面积百分比为 2.26%。

通孔数量、通孔直径(D)、AFR、SPL 和 BP 见下面表 II 所示。

表 II

流速 (scfm)	1 孔 1 1/2" Dia. 2"厚		4 孔 3/4" Dia. 2"厚	
	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)
5	0	56.3	0	54.2
10	0	62.5	0.1	62.6
15	0.1	67.5	0.1	62.8
20	0.2	69.2	0.2	63.8
25	0.3	70.7	0.4	67.9
30	0.4	72.2	0.5	68.6
35	0.5	73.3	0.6	69.8
40	0.7	74.9	0.8	71.2
45	0.9	76	1.1	72.4
50	1.1	76.7	1.3	73.2
55	1.3	77.9	1.6	74.6
60	1.5	78.5	1.8	75.4
65	1.8	79.9	2.1	76.9
70	2.1	81	2.5	78.5
75	2.4	82.7	2.8	79.3
80	2.7	83.3	3.2	80.3
85	3	84.2	3.6	81.3
90	3.4	85	3.9	81.9
95	3.8	86.3	4.4	82.8

表 II (续)

流速 (scfm)	36 孔 1/4" Dia.		64 孔 3/16" Dia.		144 孔 1/8" Dia.	
	2" 厚		2" 厚		2" 厚	
	压力 (H ₂ O 的英尺高度)	SPL (dBA)	压力 (H ₂ O 的英尺高度)	SPL (dBA)	压力 (H ₂ O 的英尺高度)	SPL (dBA)
5	0	51	0	49.4	0.1	50.3
10	0.1	55.9	0.1	54.9	0.1	53.3
15	0.1	57.2	0.2	56	0.2	54.7
20	0.2	57.8	0.3	56.8	0.4	55.8
25	0.4	61.1	0.4	58.8	0.6	57.2
30	0.5	62.9	0.6	60.3	0.7	59.1
35	0.7	63.9	0.8	62.1	1	60.9
40	0.9	65.5	1	63.5	1.3	62.4
45	1.1	66.7	1.3	65.3	1.6	63.7
50	1.4	67.5	1.6	66.3	2	65
55	1.4	67.4	1.9	67.9	2.5	66.7
60	2	70.2	2.2	69.1	2.9	67.9
65	2.3	71.2	2.5	70.2	3.4	69.1
70	2.6	72.6	2.9	71.5	4	70.4
75	3.1	74.2	3.3	72.6	4.6	71.6
80	3.4	74.6	3.7	73.9	5.1	72.7
85	3.8	75.9	4.1	74.6	5.7	73.6
90	4.3	77.1	4.5	75.6	6.4	74.5
95	4.8	77.8	5.1	77	7.2	75.7

表 I — 例 3

同样厚度同样开孔面积百分比可变 L/D				
流速 (scfm)	265 孔 1/8" Dia. 2" 厚		170 孔 5/32"Dia. 2" 厚	
	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)
5	0	50	0	50.7
10	0	54.4	0	55.2
15	0.1	56.8	0.1	57.2
25	0.1	58.1	0.1	58.8
25	0.2	60	0.2	61.1
30	0.2	62.3	0.2	62.8
35	0.3	63.5	0.3	64.2
40	0.4	65.2	0.3	66.1
45	0.4	66.5	0.4	67.5
50	0.5	67.7	0.4	68.5
55	0.6	69.1	0.5	69.7
60	0.7	70.1	0.6	71.1
65	0.8	71.8	0.7	72.4
70	0.9	73	0.9	73.9
75	1.1	74.5	1.1	74.9
80	1.2	75.4	1.1	76.3
85	1.4	76.4	1.2	77
90	1.5	77.4	1.3	78.1
95	1.7	78.5	1.5	78.5

表 I — 例 3(续)

流速 (scfm)	118 孔 3/16" Dia. 2" 厚		1060 孔 1/16" Dia. 2" 厚	
	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)
5	0	51.6	0.1	50
10	0	57.5	0.1	52.9
15	0.1	57.8	0.2	55
20	0.1	59.2	0.3	56.6
25	0.2	61.4	0.4	58.1
30	0.2	63.1	0.5	59.8
35	0.3	64.7	0.5	61.7
40	0.4	66.2	0.7	62.9
45	0.4	67.9	0.8	64.5
50	0.5	68.8	0.9	65.7
55	0.6	70.6	1.1	67.1
60	0.7	71.5	1.3	68.9
65	0.7	73	1.4	70
70	0.9	73.9	1.6	71.3
75	1	75.5	1.8	72.5
80	1.1	76.5	1.9	73.5
85	1.3	77.3	2.1	74.9
90	1.4	78	2.3	75.3
95	1.6	79.4	2.6	76.4

从这些数据可以看出,当保持开孔面积百分比为常数时,孔数较少但孔径较大,并改变壁表面面积和长度对直径比将导致背压较低,而噪音电平较高。相反,孔数较多但孔径较小,而改变壁表面面积百分比和长度对直径之比时,将导致噪音衰减增加,但背压较高。

例 4

本例描述改变通孔图案时的效果。

本例采用如例 1 所示方法制备而得的 ACM-1 隔音材料。制备

三个 2 英吋厚度的样品，并在样品上钻 144 个直径为 1/8 英吋的通孔，每一样品具有不同的图案。这些图案是：例 1 中呈均匀间距分布的点阵(网格图案)，位于样品中心以双行(行间距 3/8 英吋)“X”图案(X)排列的、一系列角对角有相当均匀间距的孔，以及直径分别为 43/4"和 101/2" 的两个同心圆而排列成的相当均匀间距的孔。测试这些样品的 SPL 和 BP。

具有各种流速的测试结果如表Ⅲ所示。

表Ⅲ

1441/8"孔 2"厚 通孔图案可变						
流速 (scfm)	网格图案		X — 图案		心圆图案(2 圆)	
	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)
5	0.1	50.3	0.3	50.3	0.1	50.3
10	0.1	53.3	0.1	55.7	0.1	55.2
15	0.2	54.7	0.2	57.3	0.2	55.9
20	0.4	55.8	0.3	59	0.3	57.5
25	0.6	57.2	0.5	61	0.5	59.1
30	0.7	59.1	0.6	62.6	0.6	60.8
35	1	60.9	0.9	64.2	0.8	62.9
40	1.3	62.4	1.1	65.7	1	64.1
45	1.6	63.7	1.4	66.8	1.3	65.9
50	2	65	1.7	68	1.6	66.5
55	2.5	66.7	2.1	69.2	2	68.4
60	2.9	67.9	2.5	70.6	2.4	69.1
65	3.4	69.1	2.9	71.8	2.8	70.5
70	4	70.4	3.3	72.9	3.2	70.2
75	4.6	71.6	3.8	74.3	3.7	73
80	5.1	72.7	4.3	75.1	4.2	74.4
85	5.7	73.6	4.8	76.2	4.7	75.1
90	6.4	74.5	5.3	77	5.1	75.7
95	7.2	75.7	6.1	78.4	5.8	76.9

从这些数据可以看出，通孔图案对衰减器的声学性能和背压有影响。

例 5

本例中采用了各种类型的多孔材料。

采用的多孔材料是按照例 1 的方法制得的 ACM—1 以及多孔

聚乙烯(可从美国佐治亚州的 Porex Technologies 公司购得, 牌号为 Porex X-4930)。“Porex X-4930 的密度为 31.9 磅/英尺³, 杨氏模量为 31,200psi, 孔隙直径约 10 微米至 40 微米。这样一个 12 英寸乘 12 英寸、厚度为 0.24 英寸的样品重量为 290 克。此 ACM-1 样品的厚度为 0.25 英寸。这两件样品均以例 1 和例 4 的网格图案钻了 144 个孔直径为 1/8 英寸的通孔。与例 1 中相同, 测试这些样品的 SPL 和 BP。测试结果和 AFR 如下表 IV 所示。

表 IV

流速 (scfm)	X-4930W/144 1/8" 孔		25"ACM-1W/144 1/8"孔	
	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)
5	0	55.9	0	56.5
10	0.1	61.5	0	61
15	0.2	64.7	0	64.3
20	0.3	66.1	0.1	66.1
25	0.4	68.6	0.2	67.8
30	0.5	69.8	0.2	70.1
35	0.6	71.4	0.5	71.5
40	0.8	72.7	0.4	73.3
45	1	73.8	0.5	75
50	1.2	74.7	0.6	75.8
55	1.4	76	0.7	77.2
60	1.6	77.1	0.8	78.1
65	1.8	78.6	1	79.5
70	2.1	80.1	1.1	80.9
75	2.3	80.9	1.2	81.9

80	2.6	82.3	1.4	82.8
85	2.8	83.1	1.5	83.6
90	3	84.2	1.7	84.5
95	3.4	85.4	1.9	85.8

例 6

本例中，用另一种多孔材料来制备本发明的衰减器。用一种非多孔材料制备一比较衰减器。

按照例 1 的方法制备此用 ACM-2 表示的多孔材料，所不同的是，用铝硅酸盐球（可从美国明尼苏达州的 Zeelan Industries 公司购得，牌号为“Z-Light W1600”）取代 K15 玻璃泡沫，并将型号为 265 的环氧树脂与此 Z-Light W1600 铝硅酸盐球以树脂对颗粒 1:6 的重量比混合在一起。制得的块料尺寸为 $12\frac{3}{4}$ 英寸 $\times$ $12\frac{3}{4}$ 英寸。此 ACM-2 的密度为 28.8 磅/英尺³，杨氏模量为 218,000psi，孔隙率百分数为约 35%。非多孔材料为铝，其密度为约 171 磅/英尺³。这两件样品的厚度为 1/2 英寸，并均以例 1 和例 4 中的网格图案钻了 144 个直径为 1/8 英寸的通孔。与例 1 中相同，测试这些样品的 SPL 和 BP。

测试结果和流速见下述表 V 所示。

表 V

流速 (scfm)	ACM-2 144 个 1/8" 孔		铝 144 个 1/8" 孔	
	压力 (H ₂ O 的英寸高度)	SPL (dBA)	压力 (H ₂ O 的英寸高度)	SPL (dBA)
5	0	52.4	0	51.6

10	0.1	57	0	55.5
15	0.1	59.3	0.1	58.6
20	0.2	61.1	0.2	59.9
25	0.4	63.5	0.3	62.4
30	0.5	65.3	0.5	64.7
35	0.6	66.9	0.6	65.9
40	0.7	68.5	0.7	67.9
45	0.9	70.3	0.9	69.9
50	1.1	71.1	1.1	70.7
55	1.3	72.5	1.3	72.7
60	1.5	73.6	1.6	73.3
65	1.7	75.1	1.8	74.5
70	1.9	76.4	2.1	75.6
75	2.1	77.6	2.4	76.9
80	2.4	78.6	2.6	78.1
85	2.6	79.6	2.9	78.8
90	2.9	80.5	3.3	79.9
95	3.2	81.3	3.5	80.3

从此表可以看出，可以不根据质量定律，铝的声学性能和本发明的衰减器相当。另外，本发明的衰减器背压较低。

例 7

本例中，多孔材料用来制备本发明的衰减器，并与用非多孔材料制备的比较衰减器进行比较。

所采用的多孔材料是按照例 1 中的方法制备的 ACM-1。非多孔材料是颗粒板。所有样品均为 3/4 英吋厚，并含有例 1 和例 4 中网格图案钻成的 265 个直径为 1/8 英吋的通孔。ACM-1 样品的重量为 506.2 克，颗粒板的重量为 1,525.9 克。与例 1 一样，测试样品的 SPL 和 BP。按照下述方法测量插入损耗：按照例 1 中的方法测试

没有样品(即箱体打开)时的声压级。然后,测量样品置于支架上时的声压级。没有样品时的声压级和有样品时的声压级之间的差即为插入损耗。

测试结果和流速见下述表 VI 所示。

表 VI

	颗粒板—3/4" 厚带 265 孔		ACM-1—3/4" 厚带 265 孔	
流速 (scfm)	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	插入损耗 (dBA)	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	插入损耗 (dBA)
5	0.60	13.3	0.45	12.9
10	0.70	15.6	0.60	13.5
15	0.70	14.1	0.65	14.2
20	0.75	16.4	0.75	16.3
25	0.75	16.5	0.75	16.5
30	0.80	17.0	0.75	16.6
35	0.95	16.9	0.80	16.7
40	1.10	17.3	0.85	16.4
45	1.15	18.2	0.95	18.0
50	1.20	19.1	1.10	19.0
55	1.45	17.3	1.20	17.3
60	1.70	17.6	1.20	17.3
65	1.75	17.3	1.40	15.8
70	1.85	17.2	1.50	16.8
75	2.15	16.9	1.60	16.8
80	2.40	17.1	1.75	16.9
85	2.50	16.2	1.85	16.3

90	2.70	17.1	2.10	16.2
95	2.80	17.3	2.20	16.9
100	3.15	17.3	2.40	15.8

从此表可以看出，与颗粒板相比，本发明的衰减器在具有同等插入损耗的情况下具有更好的整体声音特性，并在较小质量情况下具有更佳背压特性。这些数据以及例 6 中的数据表明，当孔长大于约 1/2 英吋时，多孔材料显示了良好的压力降落。

例 8

本例中，通过改变多孔隔音材料的厚度和通孔数来制备一衰减器。

多孔材料为 ACM-1，是通过例 1 中的方法改变其厚度来制备的。按照例 1 和例 4 中的网格图案，在每一样品中钻了多个直径为 1/8 英吋的孔。按照例 1 中的方法测试样品的 SPL 和 BP。

在流速为 5 至 100scfm 的范围内对每一样品进行测试，在 20—100scfm 的范围内，样品中的 SPL 和 BP 差异近似相同。流速为 60scfm 时的测试结果如下面表 VII 所示。

表 VII

厚度 (英吋)	1.23% 开孔面积 144 孔		2.26% 开孔面积 265 孔		5.34% 开孔面积 625 孔	
	压力 (H ₂ O 的英吋高)度	SPL (dBA)	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)	压力 (H ₂ O 的英吋高度)	SPL (dBA)
1	2.919	71.8	1.047	75.4	0.804	80.1
2	3.933	68.9	1.48	71.4	0.804	75.5
4	4.864	65.9	1.819	66.7	0.888	70.4
6	5.202	65.1	1.903	66.3	0.888	68.5

从表中可以看出，本发明的衰减器就样品厚度、孔数和开孔面积而言有下述趋势。样品厚度增加，背压和声衰减增加。孔数和开孔面积百分比增加，背压和声音衰减降低。

本例中，通过改变通孔数与频率之间的关系，来确定多孔材料制成的衰减器的声学特性。

所采用的多孔材料 ACM-1 是按照例 1 中的方法制成的。制备三个 6 英吋厚的样品，并按例 1 和例 4 中的网格图案，钻 144 个或 265 个或 625 个直径为 1/8 英吋的通孔。

按照例 1 中的测试方法测试每一样品的 SPL，所不同的，本例中测试以赫为单位的频率，而不测空气的流速。

SPL 值和频率见下表 VIII 所示。

表 VIII

频率(Hz)	144 孔	265 孔	625 孔
31.5	18.27	18.46	23.54
40	22.34	20.48	24.74
50	22.91	23.33	19.92
63	31.96	32.43	29.84
80	25.59	25.05	24.46
100	24.39	24.04	25.07
125	29.61	29.00	28.64
160	33.18	33.89	33.32
200	38.59	38.17	39.22
250	42.92	45.15	49.65
315	41.98	44.9	50.63
400	41.53	44.14	48.75
500	55.01	59.71	64.86
630	51.36	51.83	57.83
800	55.43	57.01	59.34
1000	47.53	47.95	51.57

1250	52.40	54.00	55.93
1600	49.98	52.77	54.16
2000	51.27	50.89	50.99
2500	51.88	52.80	53.81
3150	50.99	50.87	52.88
4000	50.82	50.12	49.91
5000	53.83	53.57	52.96
6300	56.65	65.21	55.41
8000	57.38	56.73	55.69
10000	52.63	52.75	51.43

这些数据表明，在 4000 赫兹及其以上的频率下，随着孔数的增加，获得了出乎意料的更大噪音衰减的结果。

扬声器例子

一喇叭箱由本发明的衰减器构成。在一只喇叭箱的情况下，电气、机械及气动之间的组合互作用导致谐振放大和声音方向的改变。喇叭箱是由同一种类型的材料 ACM—1(按照例 1 中的方法)制得，其厚度为 1 英寸，质量为 3.97 公斤，孔距为 1 英寸。顶部的孔成 8×13 阵列，侧面上的孔成 8×19 阵列，背面上的孔成 13×19 阵列。

喇叭箱内部的尺寸为 13"×19"×8"。所有通孔的直径为 1/8"。扬声器的锥体由美国威斯康星州 Audio Concepts 公司制造，型号为 AC8。其直流阻抗为 4.8 欧姆。

对喇叭箱进行了两种类型的测试：轴外模拟自由场响应试验(Off—axis simulated free field response test)和阻抗试验。

轴外自由场响应指的是水平极化响应。极化响应测量是与喇叭箱正面法线成 0 度、45 度、90 度、135 度和 180 度(deg)角，在环绕喇叭箱的方位角方向每次递增 45 度角来进行的。声学响应是在中心频率从 20 赫兹开始，以 20000 赫兹结束的 1/3 倍频带内作出的。Briel

和 Kjaer 2144 实时分析仪采用 Bruel 和 Kjaer 4135 话筒作为其输入。用位于扬声器中心的水平面内、并距扬声器 1 米远的话筒收集数据。一 Bruel 和 Kjaer 1402 随机噪声源用作声源。随机噪声被定义为在感兴趣的每一个 $1/3$ 倍频带内具有相等能量的噪声。此随机噪声在被馈送到扬声器之前，被一 Crown Com-Tech 800 放大。测试在一消声室内进行。

阻抗数据在同一喇叭箱内收集。阻抗是说话人的电气电阻、相对于输入信号的电感和电容的综合结果，它随频率而变，测量时用欧姆数表示。采用 Audio Concepts 公司型号为 AC8 的扬声器。用 Bruel 和 Kjaer WB1314 噪声源发生器来驱动此扬声器。一 1000 欧姆的电阻与此扬声器串联组成一恒流电路，用 Bruel 和 Kjaer 双通道分析仪从 0 至 400 赫兹以每次步进 $1/2$ 赫兹，测量扬声器端子的两端的频率响应电压。用一 10 欧姆电阻取代 1000 欧姆电阻加扬声器的串联组合来进行校正。测量自由空间中的扬声器的响应。然后，将扬声器装到喇叭箱内，测试该喇叭箱的响应特性。

自由空间中扬声器的谐振频率为 33.5 赫兹，而喇叭箱的谐振频率为 30.5 赫。喇叭箱的谐振频率从自由空间的谐振频率向下偏移，这是由于孔使动态质量增大，从而使谐振频率下降。喇叭箱中含有开孔的净效果是产生了一种特定类型的有排气孔或通气孔的喇叭箱。

上文结合特定实施例对本发明作了描述，但是应该理解的是，本发明仍可作进一步的改进。后文的权利要求力图包括这些变异改进，本领域的技术人员应当能够理解，所有的这些变异改进均与已作出描述的本发明等同。

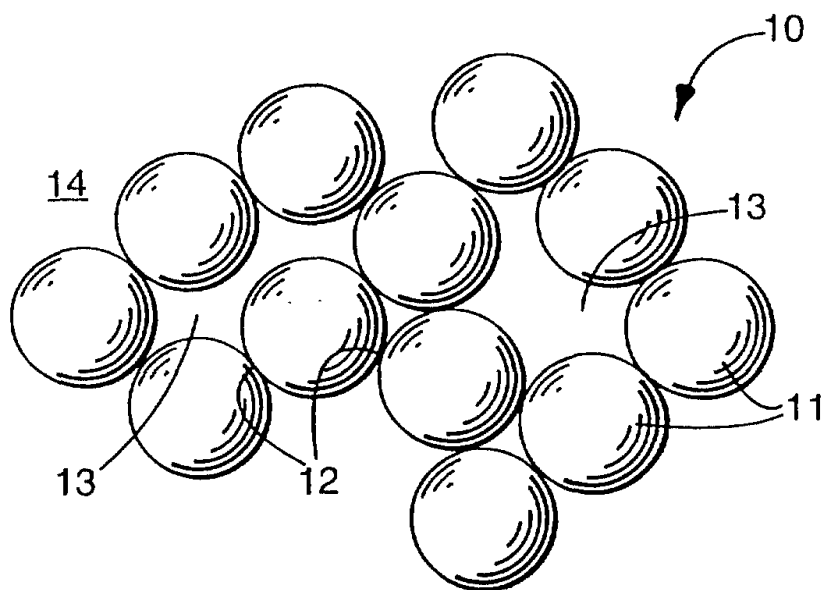


图 1A

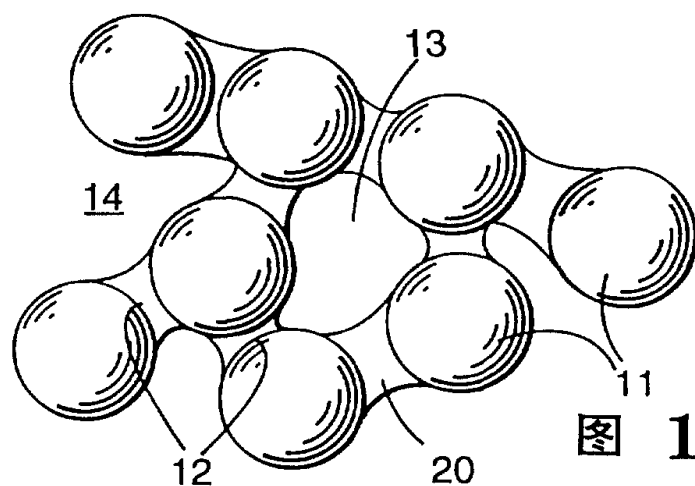


图 1B

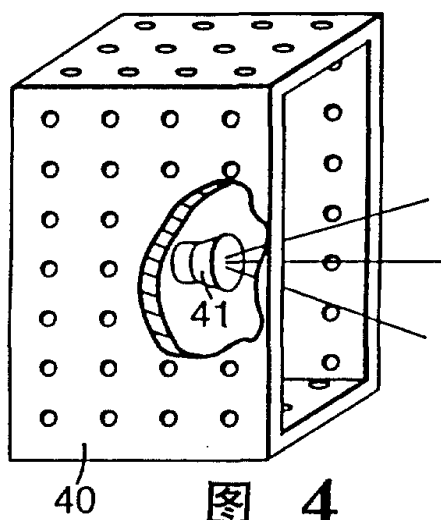


图 4

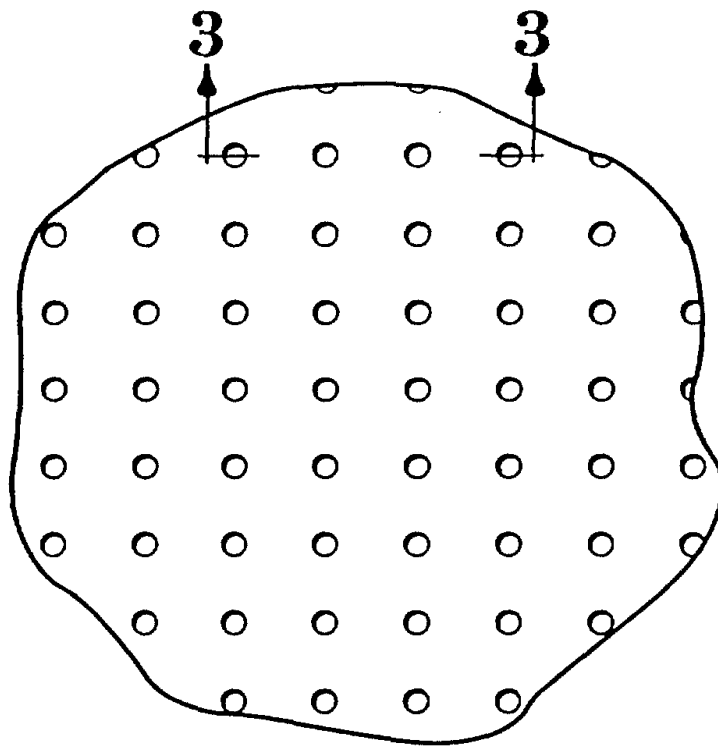


图 2

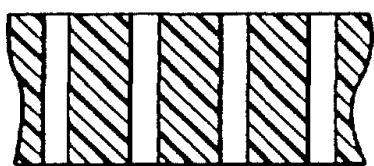


图 3A

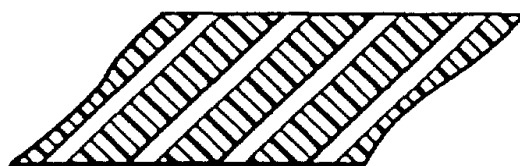


图 3B

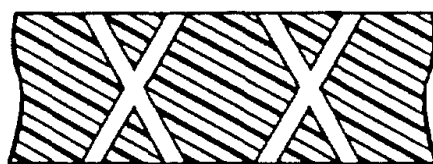


图 3C

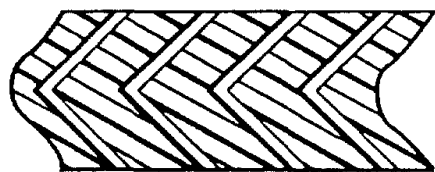


图 3D

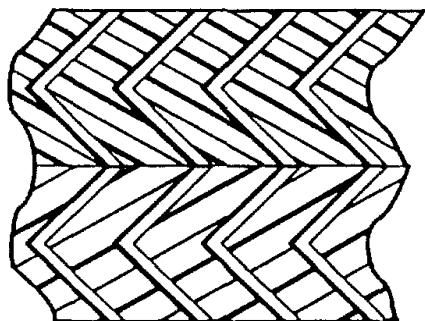


图 3E

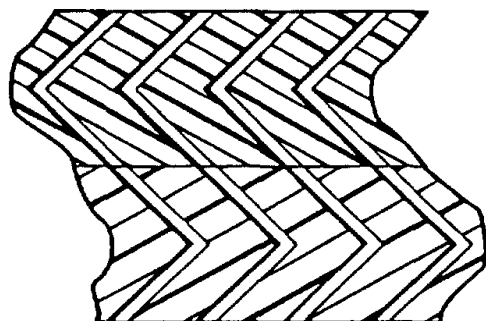


图 3F

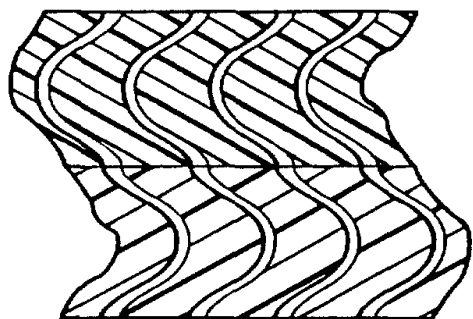


图 3G

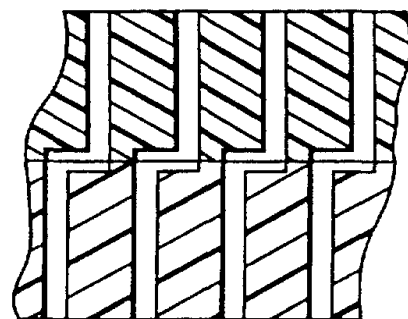


图 3H

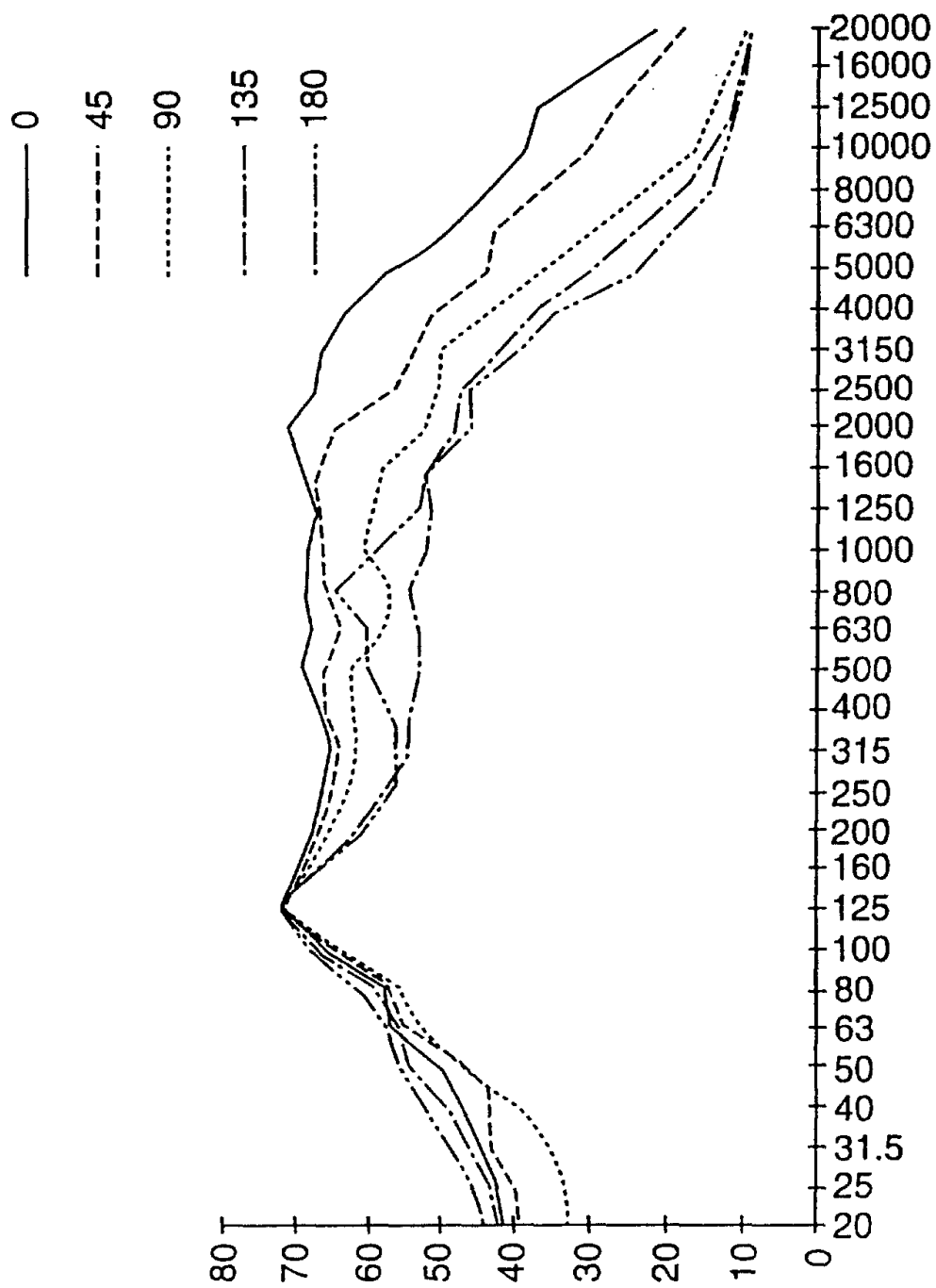


图 5

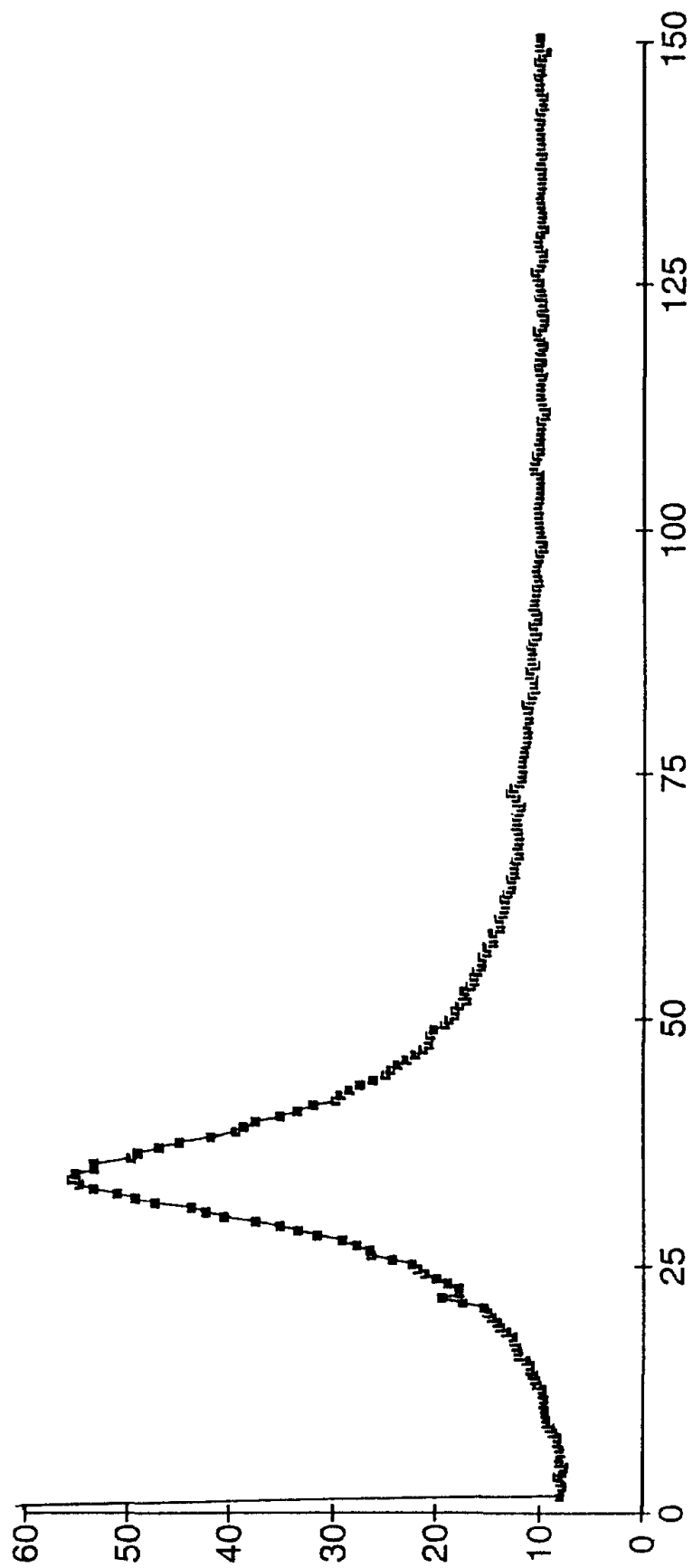


图 6

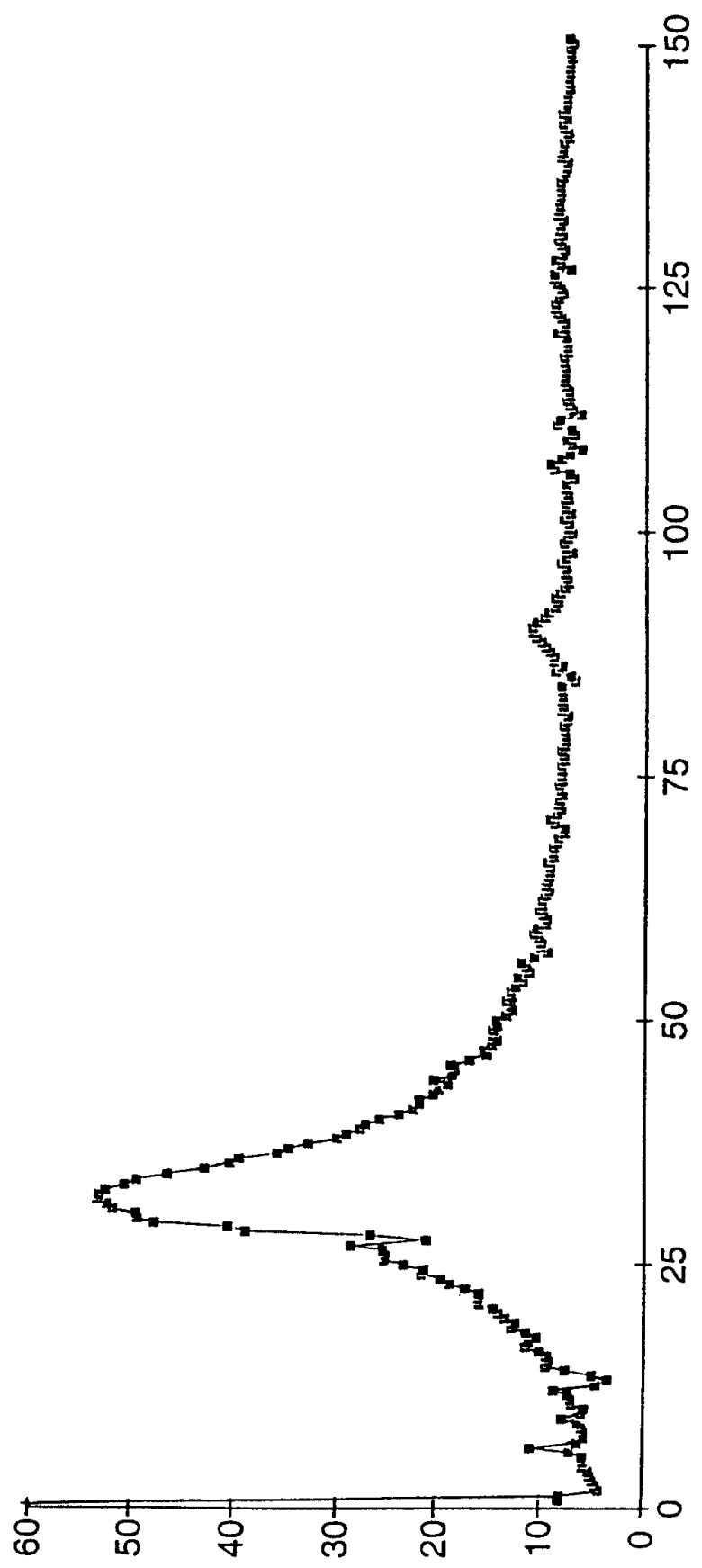


图 7