



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105318963 B

(45)授权公告日 2020.03.10

(21)申请号 201510279192.9

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2015.05.27

G01H 17/00(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105318963 A

(56)对比文件

JP 2009192299 A, 2009.08.27,

(43)申请公布日 2016.02.10

审查员 李鑫

(30)优先权数据

14/292,854 2014.05.31 US

(73)专利权人 波音公司

地址 美国伊利诺伊州

(72)发明人 J·R·安德柏林克

L·布鲁斯尼克

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

公司 11245

代理人 赵蓉民

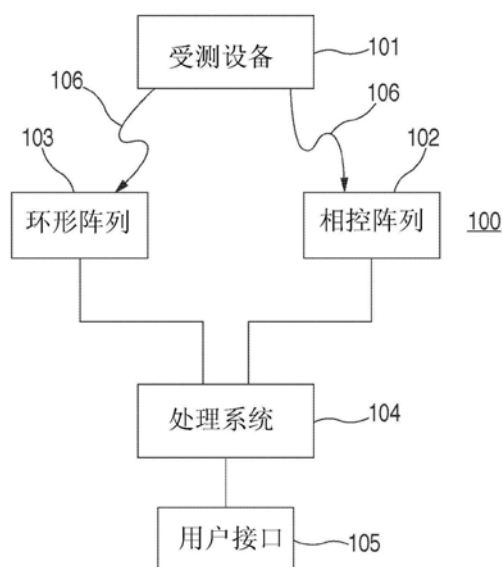
权利要求书2页 说明书10页 附图13页

(54)发明名称

使用自适应孔径相控阵列的噪声源分解系统和方法

(57)摘要

本发明涉及使用自适应孔径相控阵列的噪声源分解系统和方法。一种用于确定噪声源的特性的系统和方法。麦克风的第一阵列安装在沿着与噪声源的中心轴线平行的线、从开始位置到结束位置可移动的平台。麦克风的第二阵列包括相对于噪声源安装在间隔开的固定位置中的声音传感器。处理系统处理来自麦克风的第一阵列的第一信息和来自麦克风的第二阵列的第二信息。处理系统以第一阵列的每个离散步长收集并存储第一信息和第二信息、空间滤波第一信息、处理滤波后的第一信息以及基于第二信息校准滤波后的第一信息,并且进一步处理校准的第一信息以获得所选位置处的特性。对于立交桥测试,第一阵列反而保持在固定位置中。



1. 一种用于确定受测设备(101)的至少一个特性的系统(100),包括:
声音传感器的第一阵列(102),所述第一阵列安装在平台上;
声音传感器的第二阵列(103),所述第二阵列是声音传感器的环形阵列,所述第二阵列中的每个所述声音传感器安装在间隔开的固定位置中;和
处理系统(104),其用于处理来自所述声音传感器的第一阵列中的所述声音传感器的第一信息和来自所述声音传感器的第二阵列的第二信息,所述处理系统被配置为针对多个预定点收集和存储所述第一信息和第二信息,空间上滤波所述第一信息从而创建滤波后的第一信息,处理所述滤波后的第一信息且随后基于所述第二信息,通过使用来自所述环形阵列的声音传感器的对应频率数据校准每个网格点处的频率数据来校准所述滤波后的第一信息以及进一步处理校准的第一信息从而获得所选位置处的特性。
2. 根据权利要求1所述的系统(100),其中所述平台从相对于所述受测设备(101)的开始位置到相对于所述受测设备的结束位置是可移动的,其中所述间隔开的固定位置是相对于所述受测设备,其中所述处理系统(104)进一步被配置为,随着所述声音传感器的第一阵列从所述开始位置移动到所述结束位置,针对多个预定点收集和存储所述第一信息和第二信息。
3. 根据权利要求1所述的系统(100),其中所述平台是固定的;并且其中所述处理系统被配置为,随着所述受测设备从开始位置移动到结束位置,收集和存储所述第一信息和第二信息。
4. 根据权利要求1到3中任一个所述的系统(100),其中所述处理系统(104)被进一步配置为从处理和校准的第一信息中提取源位置信息。
5. 根据权利要求1到3中任一个所述的系统(100),其中所述第一阵列(102)是自适应孔径阵列。
6. 根据权利要求2-3中任一个所述的系统(100),其中所述第二阵列中的每个声音传感器与位于所述受测设备邻近位置处的原点间隔相等距离。
7. 一种用于确定受测设备(101)的至少一个特性的计算机实施方法,所述方法包括以下步骤:
收集和存储来自声音传感器的第一阵列(102)的第一信息和来自声音传感器的第二阵列(103)的第二信息,所述第二阵列是声音传感器的环形阵列,所述第一阵列安装在平台上,所述第二阵列中的每个所述声音传感器安装在间隔开的固定位置中,所述第一信息和所述第二信息是针对多个预定点收集和存储的;
空间上滤波所述第一信息以创建滤波后的第一信息;
处理所述滤波后的第一信息且随后基于所述第二信息,通过使用来自所述环形阵列的声音传感器的对应频率数据校准每个网格点处的频率数据来校准所述滤波后的第一信息,以及
进一步处理校准的第一信息以获得所选位置处的特性。
8. 根据权利要求7所述的方法,其中所述平台从相对于所述受测设备(101)的开始位置到相对于所述受测设备的结束位置是可移动的,其中所述间隔开的固定位置是相对于所述受测设备,其中所述收集和存储步骤随着所述声音传感器的第一阵列从所述开始位置移动到所述结束位置,针对多个预定点收集和存储所述第一信息和第二信息。

9. 根据权利要求7所述的方法,其中所述平台是固定的;并且其中所述收集和存储步骤随着所述受测设备(101)从开始位置移动到结束位置,收集和存储所述第一信息和第二信息。

10. 根据权利要求7-9中任一个所述的方法,进一步包括从处理和校准的第一信息中提取源位置信息的步骤。

11. 根据权利要求7-9中任一个所述的方法,其中处理所述第一信息的步骤包括确定可用频率范围和可用第一阵列位置。

12. 根据权利要求7-9中任一个所述的方法,其中处理所述第一信息的步骤包括校正距离、大气吸收损耗、压力倍增和剪切层折射效果中的至少一个。

13. 根据权利要求7-9中任一个所述的方法,其中处理所述第一信息的步骤包括确定所述滤波后的第一信息能够在其上投影的空间。

14. 一种存储用于确定受测设备的至少一个特性的计算机可用程序代码的永久计算机可读存储介质,在所述程序代码被计算机执行时,使得所述计算机执行根据权利要求7-13中任一个所述的方法。

使用自适应孔径相控阵列的噪声源分解系统和方法

技术领域

[0001] 本发明一般涉及用于使用自适应孔径相控阵列进行噪声源分解的系统和方法。

背景技术

[0002] 人们经常对噪声和噪声源或噪声原因进行分析以了解噪声产生背后的物理性质。例如,可以进行分析以识别噪声来自哪里。这种类型的分析可以在设备测试中执行。例如,可以收集飞行器发动机(如喷气发动机)的噪声数据。可以分析收集的噪声数据以确定喷气发动机内部或外部的哪些组件引起噪声。这些不同组件还可以被称作组件噪声源。喷气发动机内的不同结构或物理元件或喷气发动机生成的喷射排气,包括,例如,在喷气发动机的管道和入口内的不同表面和高速排气流可能引起不同频率的不同噪声。

[0003] 尽管用于分析噪声数据的常规系统和方法提供一些有用信息,但没有一个能能在多相位阵列位置处获得的所收集的相位阵列数据中提取噪声子分量(subcomponent)频谱并将这些数据投影到任何容许的感兴趣空间位置。另外,没有一个能够提供基于不同源位置定义的子分量源位置的频率和方向性变化。

[0004] 因此,人们需要一种克服上述常规系统和方法的缺点的系统和方法。

发明内容

[0005] 在一个方面,一种用于确定被测设备的至少一个特性的系统。声音传感器的第一阵列安装在平台上。声音传感器的第二阵列包括安装在间隔开的固定位置中的声音传感器。处理系统处理来自声音传感器的第一阵列中的声音传感器的第一信息和来自声音传感器的第二阵列的第二信息。处理系统被配置为针对多个预定点收集和存储第一和第二信息,空间上滤波第一信息,处理滤波后的第一信息且随后基于第二信息校准滤波后的第一信息以及进一步处理校准的第一信息以获得所选位置处的特性。

[0006] 在一个进一步实施例中,平台从相对于被测设备的开始位置到相对于被测设备的结束位置是可移动的。进一步,间隔开的固定位置是相对于被测设备的。最后,处理系统进一步被配置为,随着声音传感器的第一阵列从开始位置移动到结束位置,针对多个预定点收集和存储第一和第二信息。

[0007] 在另一个进一步实施例中,平台是固定的且处理系统被配置为,随着被测设备从开始位置移动到结束位置,收集和存储第一和第二信息。

[0008] 处理系统可以进一步被配置为从处理和校准的第一信息中提取源位置信息。第一阵列可以是自适应孔径平面阵列。第二阵列可以是环形阵列,其中第二阵列中的每个声音传感器与位于被测设备的邻近位置处的原点间隔相等距离。第一信息的处理可以包括确定可用频率范围和可用第一阵列位置。第一信息的处理可以包括校正距离、大气吸收、压力倍增和剪切层折射效果中的至少一个。第一信息的处理可以包括确定滤波后的第一信息能够在其上投影的空间。第一信息的处理可以包括确定滤波后的第一信息内的每个点的噪声源方向性特性。

[0009] 在另一个方面,一种用于确定受测设备的至少一个特性的计算机实施方法。从声音传感器的第一阵列收集和存储第一信息,第一阵列安装在平台上。从声音传感器的第二阵列收集和存储第二信息,第二阵列中的每个声音传感器安装在间隔开的固定位置中。针对多个预定点收集和存储第一信息和第二信息。接下来,空间上滤波第一信息。处理滤波后的第一信息且随后基于第二信息校准滤波后的第一信息。最后,处理校准的第一信息以获得所选位置处的特性。

[0010] 在一个进一步实施例中,平台从相对于受测设备的开始位置到相对于受测设备的结束位置是可移动的,并且间隔开的固定位置是相对于受测设备的。此外,随着声音传感器的第一阵列从开始位置移动到结束位置,针对多个预定点收集和存储第一和第二信息。

[0011] 在另一个进一步实施例中,平台是固定的,并且随着受测设备从开始位置移动到结束位置,收集和存储第一和第二信息。

[0012] 在又一个方面中,一种存储用于确定声音源的至少一个特性的计算机可用程序代码的永久计算机可读存储介质。提供用于收集和存储来自声音传感器的第一阵列的第一信息和来自声音传感器的第二阵列的第二信息的程序代码,第一阵列安装在平台上,平台从相对于噪声源的开始位置到相对于噪声源的结束位置是可移动的,第二阵列中的每个声音传感器安装在相对于噪声源的间隔开的固定位置中,随着声音传感器的第一阵列从开始位置移动到结束位置,针对多个预定点收集和存储第一信息和第二信息。还提供空间上滤波第一信息的程序代码。还提供用于处理滤波后的第一信息且随后基于第二信息校准滤波后的第一信息的程序代码。最后,提供进一步处理校准的第一信息以获得所选位置处的特性的程序代码。

[0013] 在一个进一步实施例中,平台从相对于受测设备的开始位置到相对于受测设备的结束位置是可移动的。间隔开的固定位置是相对于受测设备而言的。最后,用于收集和存储的程序代码还随着声音传感器的第一阵列从开始位置移动到结束位置,针对多个预定点收集和存储第一和第二信息。

[0014] 在另一个进一步实施例中,平台是固定的且用于收集和存储的程序代码还随着受测设备从开始位置移动到结束位置,收集和存储第一和第二信息。

[0015] 已经讨论的上述特征、功能和优点能够在各种实施例中独立地实现或可以在其他实施例中组合,参考下述描述和附图能够了解本发明的各种实施例的进一步细节。

[0016] 此外,本发明包括根据以下条款的实施例:

[0017] 条款1.一种用于确定受测设备的至少一个特性的系统,包括:

[0018] 声音传感器的第一阵列,第一阵列安装在平台上;

[0019] 声音传感器的第二阵列,第二阵列中的每个声音传感器安装在间隔开的固定位置中;和

[0020] 处理系统,其用于处理来自声音传感器的第一阵列中的声音传感器的第一信息和来自声音传感器的第二阵列的第二信息,处理系统被配置为针对多个预定点收集和存储第一和第二信息,空间上滤波第一信息以创建滤波后的第一信息,处理滤波后的第一信息且随后基于第二信息校准滤波后的第一信息以及进一步处理校准的第一信息以获得所选位置处的特性。

[0021] 条款2.根据条款1的系统,其中平台从相对于受测设备的开始位置到相对于受测

设备的结束位置是可移动的,其中间隔开的固定位置是相对于受测设备而言的,其中处理系统进一步被配置为,随着声音传感器的第一阵列从开始位置移动到结束位置,针对多个预定点收集和存储第一和第二信息。

[0022] 条款3.根据条款1的系统,其中,平台是固定的;并且其中处理系统被配置为,随着受测设备从开始位置移动到结束位置,收集和存储第一和第二信息。

[0023] 条款4.根据条款1的系统,其中处理系统进一步被配置为从处理和校准的第一信息中提取源位置信息。

[0024] 条款5.根据条款1的系统,其中第一阵列是自适应孔径阵列。

[0025] 条款6.根据条款2的系统,其中第二阵列是环形阵列,其中第二阵列中的每个声音传感器与位于受测设备的邻近位置处的原点间隔相等距离。

[0026] 条款7.根据条款1的系统,其中第一信息的处理包括确定可用频率范围和可用第一阵列位置。

[0027] 条款8.根据条款1的系统,其中第一信息的处理包括校正距离、大气吸收、压力倍增和剪切层折射效果中的至少一个。

[0028] 条款9.根据条款1的系统,其中第一信息的处理包括确定滤波后的第一信息能够在其上投影的空间。

[0029] 条款10.根据条款1的系统,其中第一信息的处理包括确定滤波后的第一信息内的每个点的噪声源方向性特性。

[0030] 条款11.一种用于确定受测设备的至少一个特性的计算机实施方法,所述方法包括以下步骤:

[0031] 收集和存储来自声音传感器的第一阵列的第一信息和来自声音传感器的第二阵列的第二信息,第一阵列安装在平台上,第二阵列内的每个声音传感器安装在间隔开的固定位置中,针对多个预定点收集和存储第一信息和第二信息;

[0032] 空间上滤波第一信息以创建滤波后的第一信息;

[0033] 处理滤波后的第一信息且随后基于第二信息校准滤波后的第一信息,以及

[0034] 进一步处理校准的第一信息以获得所选位置处的特性。

[0035] 条款12.根据条款11的方法,其中平台从相对于受测设备的开始位置到相对于受测设备的结束位置是可移动的,其中间隔开的固定位置是相对于受测设备而言的,其中,收集和存储步骤随着声音传感器的第一阵列从开始位置移动到结束位置,针对多个预定点收集和存储第一和第二信息。

[0036] 条款13.根据条款11的方法,其中平台是固定的;并且其中,收集和存储步骤随着受测设备从开始位置移动到结束位置,收集和存储第一和第二信息。

[0037] 条款14.根据条款11的方法,还包括从处理和校准的第一信息中提取源位置信息的步骤。

[0038] 条款15.根据条款11的方法,其中第一信息的处理步骤包括确定可用频率范围和可用第一阵列位置。

[0039] 条款16.根据条款11的方法,其中第一信息的处理步骤包括校正距离、大气吸收损耗、压力倍增和剪切层折射效果中的至少一个。

[0040] 条款17.根据条款11的方法,其中第一信息的处理步骤包括确定滤波后的第一信

息能够在其上投影的空间。

[0041] 条款18.一种存储用于确定被测设备的至少一个特性的计算机可用程序代码的永久计算机可读存储介质,其包括:

[0042] 用于收集和存储来自声音传感器的第一阵列的第一信息和来自声音传感器的第二阵列的第二信息的程序代码,第一阵列安装在平台上,第二阵列中的每个声音传感器安装在间隔开的固定位置中,针对多个预定点收集和存储第一信息和第二信息;

[0043] 用于空间上滤波第一信息以创建滤波后的第一信息的程序代码;

[0044] 用于处理滤波后的第一信息且随后基于第二信息校准滤波后的第一信息的程序代码,和

[0045] 用于进一步处理校准的第一信息以获得所选位置处的特性的程序代码。

[0046] 条款19.根据条款18的永久计算机可读存储介质,其中平台从相对于被测设备的开始位置到相对于被测设备的结束位置是可移动的,其中间隔开的固定位置是相对于被测设备而言的,并且其中,用于收集和存储的程序代码随着声音传感器的第一阵列从开始位置移动到结束位置,针对多个预定点收集和存储第一和第二信息。

[0047] 条款20.根据条款18的永久计算机可读存储介质,其中,平台是固定的;并且其中,用于收集和存储的程序代码还随着被测设备从开始位置移动到结束位置,收集和存储第一和第二信息。

附图说明

[0048] 以下通过示例方式给出的具体实施方式并不旨在仅仅将本发明限制于此,结合如下附图将更好理解本发明,其中:

[0049] 图1A是结合本发明使用的噪声源测试系统的方框图;

[0050] 图1B是结合本发明使用并在图1A中示出的处理系统的方框图;

[0051] 图2是示出结合本发明使用的噪声源测试系统的一种配置的示意图;

[0052] 图3是根据本发明的当前优选方法的流程图;

[0053] 图4A是用于解释根据本发明的当前优选方法的测试数据的波束成形映射图,图4B是图4A示出的数据在反卷积之后的未校正的数据的波束成形映射图,以及图4C是反卷积之后校正的数据的图4B的波束成形映射图的一个版本;

[0054] 图5A和图5B根据本发明的当前优选方法、用于示出所收集的数据的有效投影空间的测试环境的俯视图;

[0055] 图6A和图6B是根据本发明的当前优选方法的噪声方向性图表,其用于示出在每个网格点处如何获得源水平;

[0056] 图7是复合噪声方向性图表,其包括来自图6A和图6B的信息;

[0057] 图8是示出根据本发明的当前优选方法的校准的数据如何投影到期望位置的示意图;

[0058] 图9是示出来自波束成形映射图内的三个不同区域的噪声分布的曲线图;

[0059] 图10是示出对于使用校正数据的波束成形映射图,源位置的频率的变化的曲线图;和

[0060] 图11是对于波束成形映射图内的三个不同区域,源位置的频率的变化的曲线图。

具体实施方式

[0061] 在本发明的整个附图中,相同的附图标记表示相同的元件,其中附图示出本发明的各种示例性实施例。

[0062] 现在参考图1A,所示的噪声收集和分析系统100在用于分离受测设备子分量噪声源的相控阵列分析中是有用的。在系统100中,受测设备101发射噪声(附图标记106所示),噪声由声音传感器的相控阵列102和声音传感器的远场(以及,在示例性实施例中,环形)阵列103两者探测。相控阵列102和远场阵列103在下文相对图3进行描述。处理系统104接收来自相控阵列102和远场阵列103的信号,并根据本文公开的方法、经由用户接口105(如,键盘、鼠标和视频显示器)、在用户的控制下处理这种信号。如本领域的技术人员容易理解的,处理系统104可以数字化来自每个声音传感器的信号或者这种信号可以在阵列102、103处被本地数字化且作为数字信号提供到处理系统104。每个阵列102、103中的声音传感器可以是用于探测声音的任何合适的传感器,包括但不限于,麦克风、水听器、激光传感器和地震仪。

[0063] 如图1B所示,处理系统104可以是用于处理阵列102、103探测到的噪声信号的常规计算系统,并且可以包括,例如,处理器110、存储器单元111、RAM/ROM 112、输入接口113和输入/输出接口114,所有这些可以经由总线115耦合。如本领域的技术人员容易理解的,许多其他计算机架构可以取代图1B所示的架构,并且提供具有可比性的结果。具体地,处理系统104可以在操作系统下运行,该操作系统存储在存储器单元111中并在启动时经由存储在RAM/ROM 112中的内建操作系统(BIOS)加载。操作系统可以经由输入/输出接口114(其可以包括,至少部分地包括,键盘接口、鼠标接口和视频显示器接口)提供用户接口。优选地,用户接口是图形化用户接口(GUI)。操作系统允许存储在存储器单元111上的计算机程序在用户控制下被执行。输入接口113耦合到声音传感器的相控阵列102和远场阵列103且可以包括适合的模数转换器以生成与阵列102、103中的每个声音传感器处探测到的声音信号对应的数字信号。在替代方案中,如上所述,模数转换器可以在每个阵列102和103处本地完成,且输入接口可以替代地被配置为接收数字信号而不是模拟信号。处理系统104优选包括存储在存储器单元111上的一个或更多计算机程序,其在用户控制下,执行下文讨论的图3的方法。

[0064] 现在参考图2,示出一种测试系统布置200的俯视图。具体地,受测设备被定位为其关键点处于沿着起始线205定位的参考点201处。例如,受测设备的关键点可以是飞行器发动机的主喷嘴出口。相控阵列102是可移动的(如,沿着线206)且在图2中示出位于初始位置(处于虚线203标出的50°角度处)和最终位置(处于虚线204标出的150°角度处)。在测试期间,如下所述,随着相控阵列102沿线206行进,收集离散点(如,10°步长)处的噪声数据。相控阵列102包括安装在垂直平面阵列上的多个声音传感器且是自适应孔径平面阵列,如共同受让的美国专利号8009507B2(“‘507专利”)描述的。相控阵列102的构造和运行在‘507专利中充分阐述,本文不再重复。安装在相控阵列102上的声音传感器具有嵌套图案,并且每个嵌套阵列的图案的产生在共同受让的美国专利号6583768中描述。远场阵列103包括一系列声音传感器211-221,在一个实施例中,这些声音传感器的每个可以位于与参考点201相距相等距离的位置,相对于参考点201处于50°到150°的角度处(如图2所示)。当测试噪声由位于参考点201处的飞行器发动机的主喷嘴出口发射时,每个声音传感器可以定位在相距

参考点20125英尺的位置。在一个替代实施例中,远场阵列103中的声音传感器211-221可以以其他配置定位,如,沿平行于线206的线定位,或定位在另一个良好形态的空间曲线上。在另一个替代实施例中,嵌入到相控阵列102中的声音传感器可以用于校准。虽然图2所示的测试设置示出相控阵列102和远场阵列103的 50° 到 150° 的角度范围,但这一范围可以增加或减小,例如,取决于受测设备和用于测试的可用空间,并且仍然提供可接受的结果。在一个示例性实施例中,随着相控阵列102以 10° 的步长移动时,收集离散点处的数据。而且,可以以各种设施获取数据,包括打开的喷气设施,对于这种情况,风洞剪切层可以存在于相控阵列102和受测设备之间。由于剪切层导致的声音的折射和衰减的合适校正将使用本领域技术人员熟悉的那些方法应用在这种配置中。此外,在一些情况中,相控阵列102可以被固定在合适位置,而受测设备可以移动(如,沿着线205),如将发生在立交桥测试(flyover testing)中。

[0065] 在一个实施例中,相控阵列102(如‘507专利中更详细解释的)可以包括分布在四种不同尺寸的子阵列上的416个声音传感器,子阵列提供感兴趣频率范围上的重叠覆盖。四种尺寸可以被称为:小(S)、中(M)、大(L)和超大(XL),具有分别包含170、199、110和170个声音传感器的基线子阵列。水平/垂直子阵列孔径大小可以约为12英寸*9英寸(S)、26.2英寸*19.8英寸(M)、57.6英寸*43.6英寸(L)和126英寸*95.6英寸(XL)。各种子阵列之间的声音传感器的共享可以用于减少进行阵列提供保真度(fidelity)的测量所需要的总体声音传感器计数。

[0066] 现在参考图3,示出用于执行本发明的方法的流程图300。首先,在步骤301处,在针对相控阵列102的每个位置的噪声测试期间,收集每个声音传感器处的数据,如上所述。具体地,如‘507专利中更详细讨论的,在一个实施例中,相控阵列102以离散步长(例如 10° 的步长)从第一位置(如相对于参考点201为 50°)移动到第二位置(如相对于参考点201为 150°) (通常测量到相控阵列102的中心的角,如图2所示)。数据存储存储在存储器中,且来自相控阵列102中的声音传感器的数据首先被作为时间序列存储,且随后被处理为互谱矩阵(cross-spectral matrix,CSM)并被存储。在另一个实施例中,当受测设备相对于相控阵列102沿着弯曲路径移动时(如,立交桥测试中),相控阵列102和声音传感器211-221保持静止。

[0067] 在步骤302中,针对给定配置、条件和相控阵列位置,对每个相控阵列数据CSM进行常规频域延迟和波束求和(空间滤波)。对于立交桥测试,使用具有去多普勒化(DeDopplerization)(以考虑移动源)的时域延迟和波束形成求和(sum beamforming)。图4A示出对于静止的受测设备、21kHz(模型刻度频率)下的 $\theta=90^{\circ}$ 相控阵列位置的样本常规波束成形映射图400。映射图400示出喷嘴404出口处的良好限定的噪声源区域401和两个下游的噪声源402、403。映射图400示出原始、未校正的噪声源映射图数据(即,相控阵列102处看到的水平不是具体噪声源处的实际水平,且没有对距离和大气吸收进行任何校正)。附图标记405(“+”标记)指定峰值水平出现在映射图400中的位置。这一峰值水平与最下游噪声源有关。上游喷嘴出口区域中的峰值水平仅为0.07dB,低于最大峰值水平。这意味着,如果源位置基于映射图400内的最大峰值水平限定,即使水平在上游噪声源和下游噪声源之间轻微波动,那么在峰值源位置中会存在非常宽的频率偏移。

[0068] 接下来,在步骤303处,接着使用合适方法对常规波束成形数据去卷积。如本领域

的技术人员容易理解的,存在很多常规去卷积方法可用于这一过程。图4B示出基于映射图峰值以下9dB的截止阈值的去卷积波束成形数据以用于处理。很明显,在图4B中,图4A中所见的三个噪声子分量区域现在被明显分开,如附图标记406、407、408所示。尤其是,峰值噪声水平(附图标记406)位于喷嘴404的出口附近。如下所述,这一频率落入频率范围中,在该频率范围上,主导噪声源从下游(噪声源)主导过渡到上游(喷嘴出口)主导。

[0069] 在步骤304处,计算每个相控阵列子阵列的可用频率范围和发射角度。在阵列数据由于阵列上的去相关效果和/或特定较高频率以上的噪声源方向性效果而开始并继续质量退化时,相位阵列可能具有特定较低频率以下的不足空间分辨率性能。实际上,可用频率范围和发射角度包括其上的波束成形映射图噪声源被良好限定(清楚地定位)且其上的映射图很大程度上没有非噪声相关阵列处理伪像(artifact)的频率和角度。在选择用于分析的可用范围时,可以要求相同的频率集合用在特定分析中的所有角度上。这使得在角度和频率参数之间进行权衡。对于给定分析,如果需要最大频率覆盖,用户会需要向下选择角度范围。在另一方面,如果对于给定分析期望最大角度覆盖,那么可能有必要减小具体阵列的频率范围。

[0070] 在步骤305处,至少距离、大气吸收损耗、压力倍增和剪切层折射效果的校正可以应用到去卷积的数据。如上所述,图4A和图4B中所示的波束成形映射图数据包括在相控阵列102处测量的水平,没有对相控阵列102的平面处的距离、大气吸收损耗、压力倍增或剪切层折射效果进行任何校正。具体地,在步骤305处,距离被校正为1英尺无损耗值。图4C示出步骤305中校正后的图4B的水平。校正后,窄带数据优选通过对合适的相控阵列频率二进制求和而被减小到1/3倍频水平,当然,本领域的技术人员容易理解,可以选择其他频带定义用于归一化(即,第n个倍频或窄带)。

[0071] 接下来,在步骤306处,确定噪声子分量能够被校准和投影在其上的空间。这需要扫描校正的噪声映射图数据以确定所有频率上的最上游源位置和最下游源位置。图5A示出跨越 50° 到 150° 的远场阵列103中的声音传感器211-221的测试设施内的位置和跨越 60° (附图标记512)到 150° (附图标记513)的相控阵列102的中心的位置的俯视图500。线515表示噪声源存在于相控阵列102的所有角度和频率的完整范围。能看到,最下游源516在约 $x=145$ 英寸处。线518连接源516和最上游相控阵列位置512。位置512是最上游位置,代替图2所示的 50° 点,因为如果使用图2所示的 50° 点,那么线518将延伸到远场阵列102的范围外(即,远离声音传感器211的上游)。同样地,线519连接源516和最下游相控阵列位置513。源516处的源水平—作为相控阵列角度的函数—因此仅被限定在以线518、519为边界的内部角度上。类似地,线520、521代表最上游源517处的源水平能够被限定的边界。这两个集合所包括的角度范围的交集如图5B中的阴影区域530所示。因此,区域530限定跨越源516和源517之间的所有源点被所有相控阵列位置完整限定的空间。在这个区域530的外部,源516和源517之间的噪声水平可以仅被部分限定(即,不完整)或根本未被限定,因此,阻止它们用于分析。区域530对应于相控阵列数据能够投影到的位置并识别声音传感器211-221中的哪些能够用于校准相控阵列102的数据(即仅可以使用在区域530内的声音传感器—声音传感器213-220)。

[0072] 在步骤307处,针对每个频率在波束成形网格上的每个点处提取噪声源方向性。图6A是测试设施600的俯视图,其示出导致相控阵列信号水平的提取的关键特征。图6A包括从

50°到150°的环形阵列103中的声音传感器211-221的位置、具有延伸的噪声源的波束成形映射图610和受测喷嘴的轮廓图404 (波束成形映射图610出于示例性说明目的被有意放大)。还示出50°到150°相控阵列测量位置621到631处的相控阵列102位置,其中矩形632、633、634分别示出50°、90°和150°相控阵列位置处的相控阵列102位置。环形阵列103和相控阵列102的共同起点640在喷嘴中心线616上的喷嘴404的主喷嘴出口处。射线661从网格点641传播通过50°相控阵列632位置621并相对于中心线616形成角度 β_{650} 。角度 β_{650} 不具有50°的测量,因为网格点641从环形阵列起点640向下游偏移。沿着射线661的噪声水平由环形曲线图中的圆点671指示。这一水平对应于相控阵列102测量的水平。在所有相控阵列位置上,在步骤307期间重复这一过程以限定如虚线曲线675示出的感兴趣网格点处的噪声方向性。

[0073] 图6B示出与图6A等同的图像,但波束成形映射图610内具有位于更下游的网格点685。在这种情况下,在大部分相控阵列102位置上密集采样方向性(如虚线曲线680示出),但在130°、140°和150°度相控阵列位置629、630、631测量值处的位置上,方向性变得明显粗糙,这表明:最好应该沿着阵列行进以相等间隔而不是相等角度获取相控阵列测量值。这很重要,因为在噪声水平投影到不同空间位置时,使用噪声水平方向性曲线的内插(interpolation)。

[0074] 在步骤308处,使用来自环形阵列103声音传感器211-221的对应频率数据校准每个网格点处的频率数据(注意,相控阵列频率数据通常是窄带或第n个倍频带组分)。相控阵列数据的常规波束成形的标准做法通常涉及使用每个CSM行上的平均值替换互谱矩阵(CSM)对角元素,或删除对角元素。以这些方式进行CSM对角替换允许显著改善波束成形映射图中的噪声源定位品质。然而,这种修改导致数据内的能量平衡改变。即,常规波束成形输出水平将会受影响。由于这种和其他阵列处理效果,相控阵列数据必须进行校准以允许噪声源水平的正确投影。通过使用环形麦克风谱实现上述校准。图7是图6A和图6B的复合,示出步骤307中生成的极坐标曲线图675、680。基于假设波束成形映射图610所示的噪声水平轮廓(contour)包括测试环境下的所有噪声源(即,波束成形网格外没有明显噪声源),对于环形阵列103内的给定声音传感器,如声音传感器214,上游网格点641处的噪声源沿着射线路径720传播到声音传感器214。射线路径720穿过测量点(点721和722)之间的噪声方向性曲线675。为了将网格点641处的噪声水平投影到声音传感器214,因此,需要从方向性曲线675内插噪声水平以获得投影水平值(点705)。随后,这种内插值水平通过对距离和大气吸收应用校正而被投影到声音传感器214。类似地,在下游网格点685处,位置685处的噪声源沿着射线730投影到声音传感器214,并且同样地,出于噪声水平投影目的,其需要在测量点(点731和732)之间的内插点710。随后,对来自这些网格点641、685的投影水平求和以获得这两个网格点对声音传感器214处测量的水平的总的噪声贡献。内插、投影和求和的这一过程在所有剩余的网格点上重复,由此提供所有网格点对声音传感器214的全部噪声贡献。理论上,全部(求和)值将完全等于声音传感器214在感兴趣频率处测量的频谱水平。然而,实际上并不必然是这种情况,因为CSM对角元素的修改和阵列处理效果。因此,校准值必须定义为噪声传感器214处的实际水平和网格点处的相控阵列水平到声音传感器214的投影获得的求和水平之间的差值。随后,这一校准值被直接应用回波束成形映射图610内的所有网格频谱值(沿着连接网格点到声音传感器214的射线路径(如,线720、730)的相反方向)。

这一过程产生图7中的各个极化坐标图760、770中的点740、750所示的校准的方向性水平。这一过程重复用于声音传感器211-221 (图5B示出仅声音传感器213-220具有有效数据) 之间的所有有效 (如在306步骤中确定的) 声音传感器, 以获得每个网格点处的完整校准噪声水平集合。为方便起见, 校准水平优选通过应用合适的大气吸收和距离校正被校正为1英尺无损距离。通过应用这种校正, 接着明确将校准的噪声水平投影到受限于步骤306中确定的有效投影空间约束的任意期望空间位置。

[0075] 在步骤309处, 校准数据被投影到期望位置。用于投影校准数据的过程与图8所示的较早描述的校准过程相似。在图8中, 点800指定期望的投影点。上游网格点641处的校准的1英尺无损方向性数据 (来自曲线810) 用于获得对应于射线830 (从网格点641投影到其水平被针对大气吸收损耗和距离而校正的点800) 与曲线810相交的点的内插值。类似地, 下游网格点685处的校准的1英尺无损方向性数据 (来自曲线820) 用于获得对应于射线835 (从网格点685投影到其水平被针对大气吸收损耗和距离而校正的点800) 与曲线820相交的点的内插值。这一过程应用于波束成形映射图610内的所有剩余网格点以提供所有这些网格点的完整投影水平集合, 这些投影水平随后被求和以提供点800处的总噪声水平。

[0076] 噪声源分析的具体目标在于确定各个子分量区对总噪声水平的贡献的水平。在图9中的波束成形映射图610中, 注意, 在这个具体频率处存在三个主导噪声源, 示为区域1 (905)、区域2 (910) 和区域3 (915)。区域1 (905) 对应于喷嘴出口附近的噪声, 已知其在高频处占主导, 而区域2 (910) 和区域3 (915) 采集剩下 (下游) 噪声源, 其可以包括, 例如, 在低频处占主导的喷气混合噪声。期望将噪声水平从每个这些区域投影 (分别) 到环形阵列声音传感器的90°位置。每个区域905、910、915的噪声贡献的确定遵循与上文所述的用于确定总水平的过程相同的过程, 但仅投影来自给定区域内的水平。获得的频谱由图9中的线条图900示出。曲线920对应于总投影水平, 该投影水平默认与环形阵列103水平相同, 因为相控阵列102水平已经被校准为环形阵列103水平。区域1 (905) 喷嘴水平 (子分量频谱) 对应于图9中的曲线906, 并在频带43处是第一可测的, 且连续地增加水平到频带45, 超过该频带45, 它们基本上与总水平相同 (即, 喷嘴噪声源完全主导频带45处开始的噪声场)。在噪声场的下游末端处, 区域3 (915) 喷嘴水平 (子分量频谱) 对应于曲线916, 其完全主导频带40和41的噪声贡献并接着继续减小 (对总水平的贡献而言), 这起初是由于在频带43处具有峰值贡献的区域2 (910) (区域2喷嘴水平 (子分量频谱) 对应于曲线911) 内的噪声源的影响逐渐增加。图9清楚地示出由于三个区域905、910、915中的噪声源导致的噪声贡献中的平衡如何随频率变化以及如何采集每个噪声源占主导处的频率。

[0077] 在步骤310处, 针对用户定义区域提取源位置。除了能够将噪声子分量水平投影到不同空间位置外, 还需要知道主导噪声源的位置在空间上如何变化。图10包括曲线图1000, 其示出波束成形映射图610的源位置随频率的变化。注意, 水平轴线相对于距离核心喷嘴出口位置 (x 核心) 的距离 (x) 和风扇喷嘴出口直径 (D 风扇) 被归一化。存在各种选项可用于定义源位置。其中一个定义是, 在噪声映射图 (给定频率处) 上确定最高水平出现的位置, 即, 峰值水平位置相对于频率 (全局峰值)。这由曲线图1000中的曲线1010示出。在更低的频率处, 主导噪声源是主喷嘴出口下游的约5个风扇喷嘴直径, 且高频率主导噪声源正好在主喷嘴出口下游的中心。曲线1010中清楚的过渡出现在频带44处, 低于频带44, 下游噪声源占主导, 并且高于它, 喷嘴出口源占主导。然而, 定义主导源位置的全局峰值的使用没有考虑其

他噪声源的存在,也没有考虑它们对源位置计算的潜在影响。为解决这一问题,第一替代源位置定义反而计算噪声源存在的所有位置的平均值(在此情况下,阈值水平设置在映射图中的峰值水平以下以定义水平超过阈值的网格点)。因此,这种定义考虑了所有噪声源的空间分布。这种计算的结果由图10中的曲线1020示出。第二替代源位置定义反而包括,使用每个网格点处的噪声水平计算用于加权的加权平均值。这由图10中的曲线1030示出。首先注意,空间平均值(曲线1020)和加权平均值(曲线1030)定义提供源位置相对于频率的相对类似的计算(即使所述差值变化高达约风扇直径的一半,这被认为相对于将源位置投影到飞行器而言是小差异)。基于空间/加权平均值(曲线1020和1030)的计算和基于全局峰值水平(曲线1010)的计算之间存在源位置的大差异(若干风扇直径的数量级),这是显著的而且能够导致将源位置投影到飞行器的大的误差。

[0078] 源位置计算可以进一步通过限制对较早定义三个区域的分析而得到改善。基于波束成形映射图610的校准数据的这种分析结果在图11中的曲线图1100中示出。曲线图1100包括图10的加权平均计算曲线1030。每个区域包括各自的峰值曲线1110a、1110b、1110c,各自的空间平均曲线1120a、1120b、1120c和各自的加权平均曲线1130a、1130b、1130c。简化单独的区域允许源位置数据在比考虑整个映射图时获得的频率范围更宽的频率范围上延伸。例如,在图10中,由于频带44和更高频带的喷嘴噪声源占主导,下游源位置仅延伸到频带43。然而,在图11中能够看到,通过将计算限制到指定区域,下游噪声源,区域3(915)延伸到更高频带,到达频带44。类似地,在图11中能够看到,喷嘴噪声源,区域1(905),延伸到甚至更低的频率。图11中,区域2(910)源的中间影响也很明显。通过隔离区域而不是使用峰值或平均源位置,能够看到在其上每个单个源具有显著的贡献的完整频率范围(或甚至作为可识别噪声源存在)。

[0079] 虽然已经参考优选实施例及其各个方面具体示出和描述了本发明,本领域技术人员将了解在不偏离本发明的主旨和范围的情况下,可以进行各种变化和修改。所附权利要求被理解为旨在包括本文描述的实施例、上文提到的替代及其所有等同体。

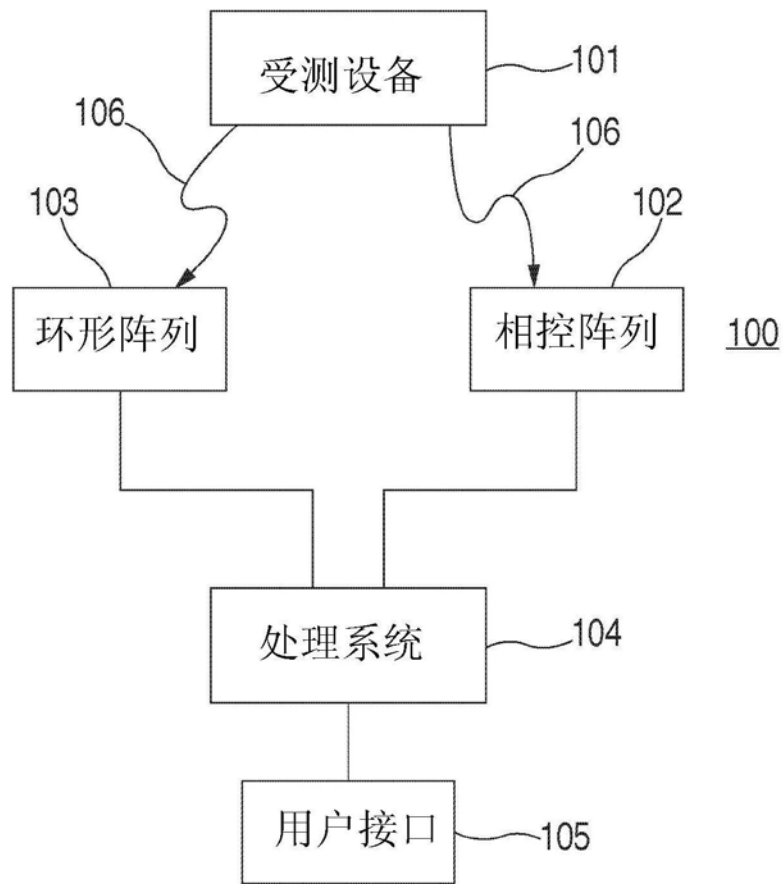


图1A

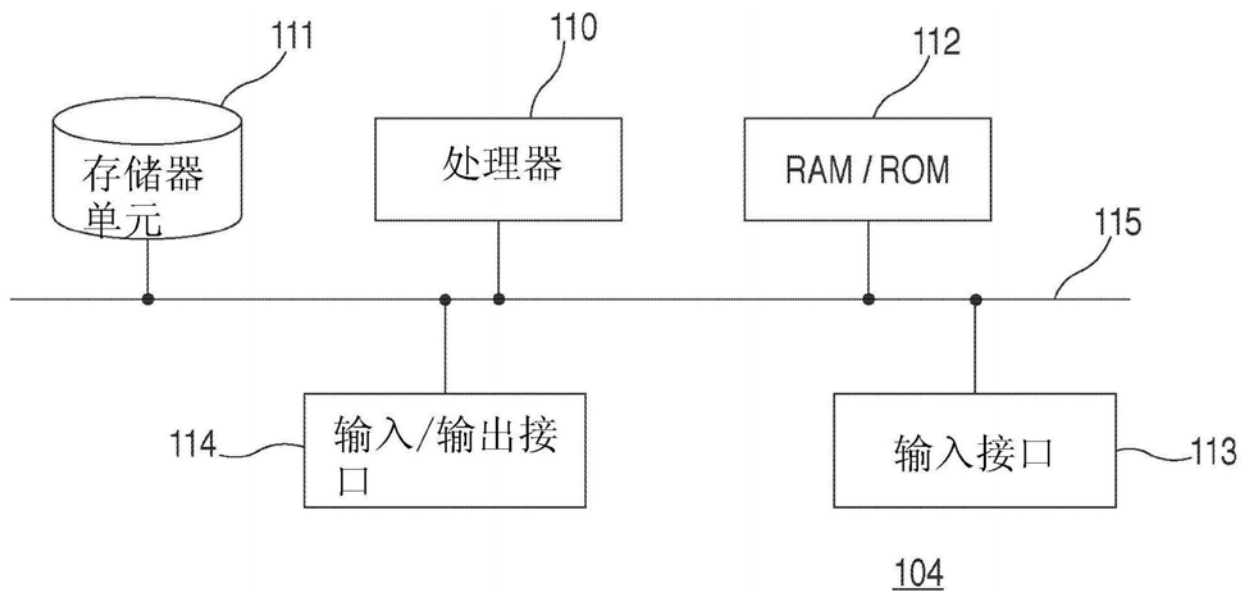


图1B

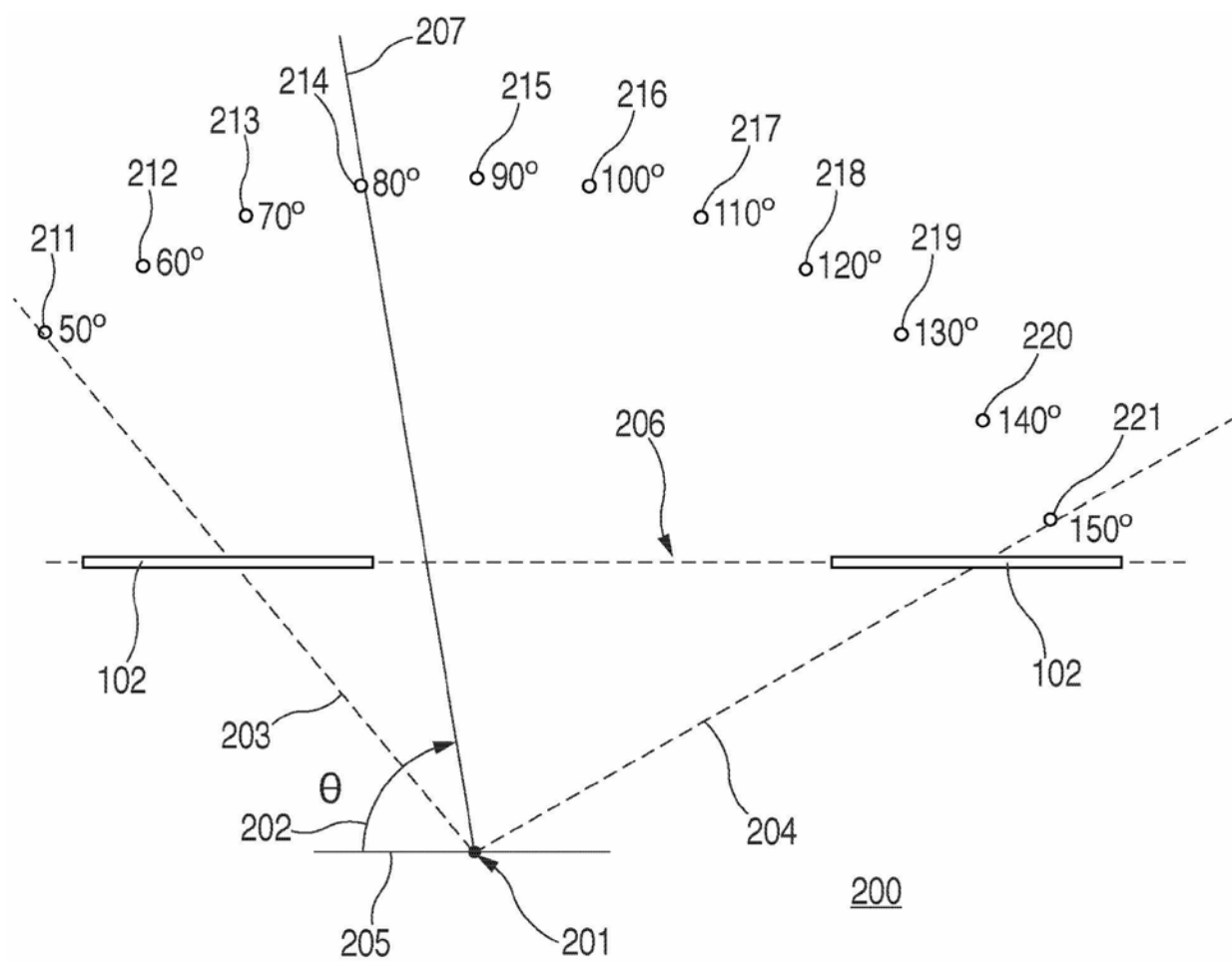


图2

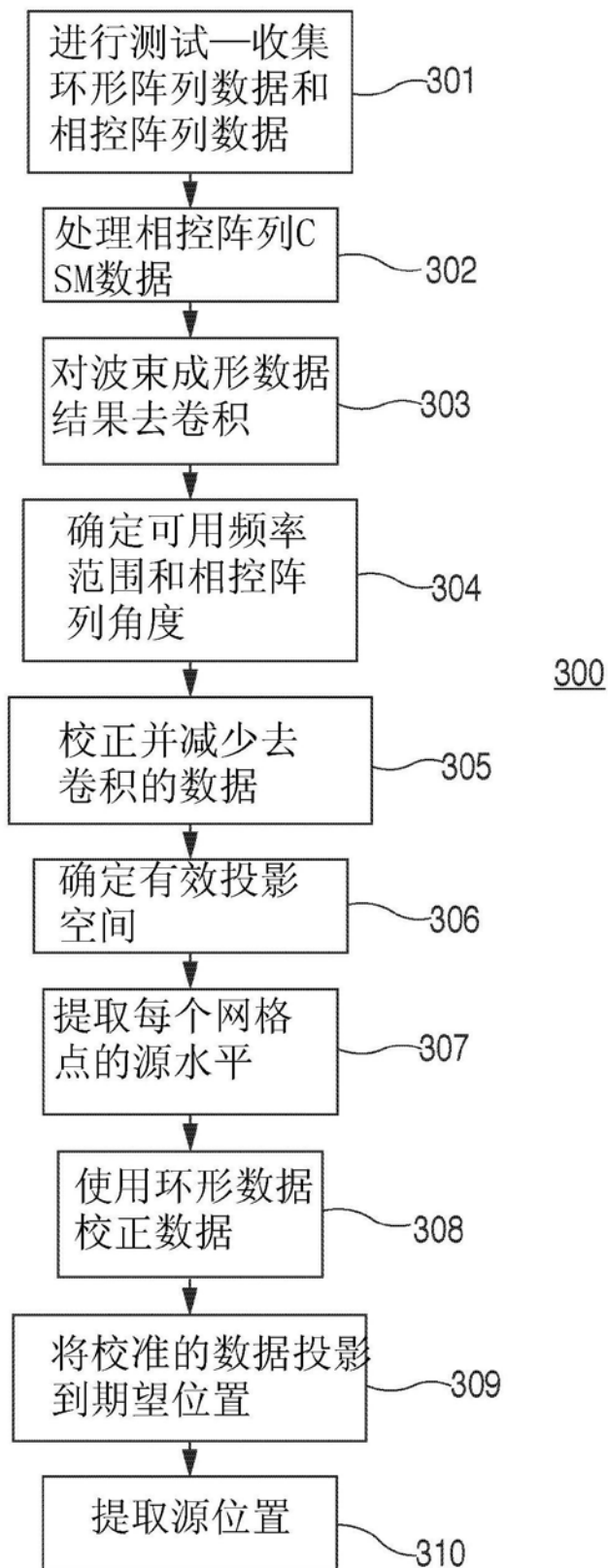


图3

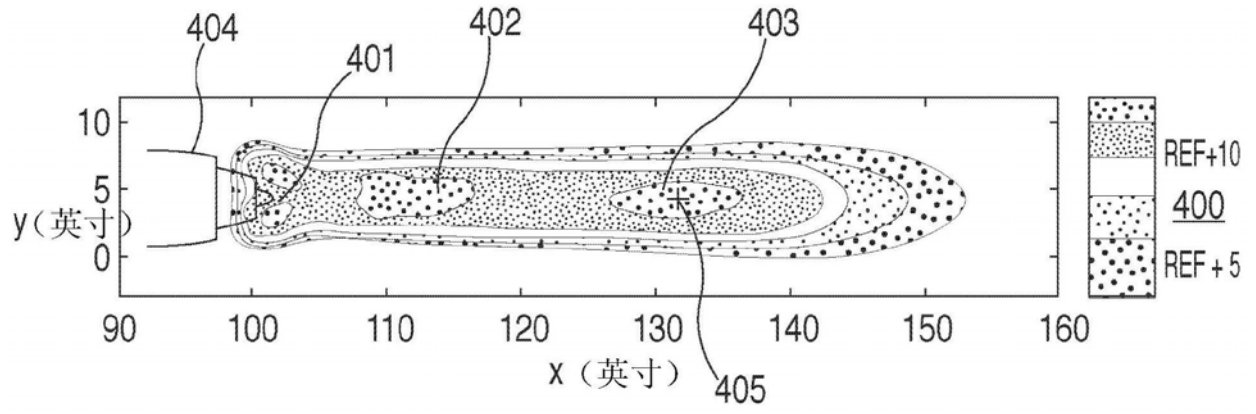


图4A

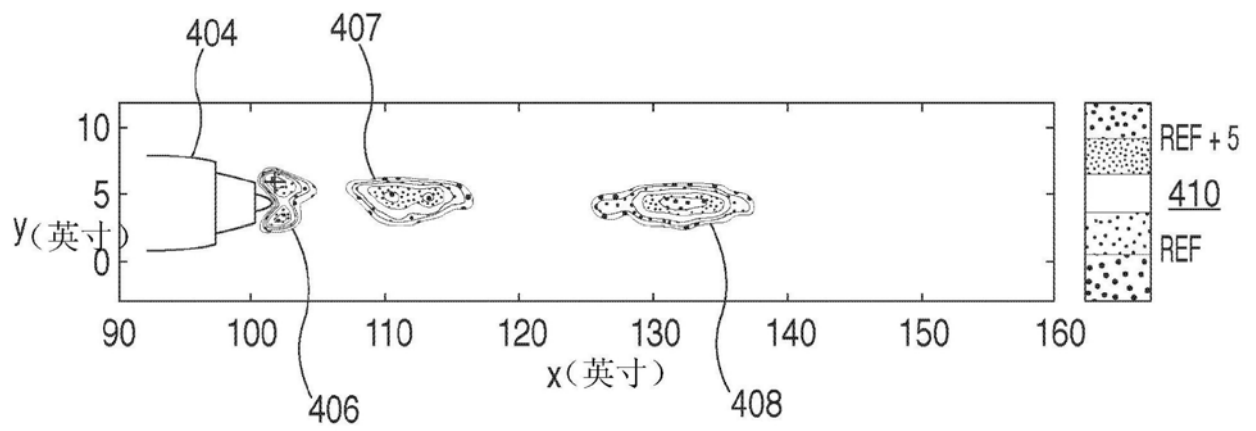


图4B

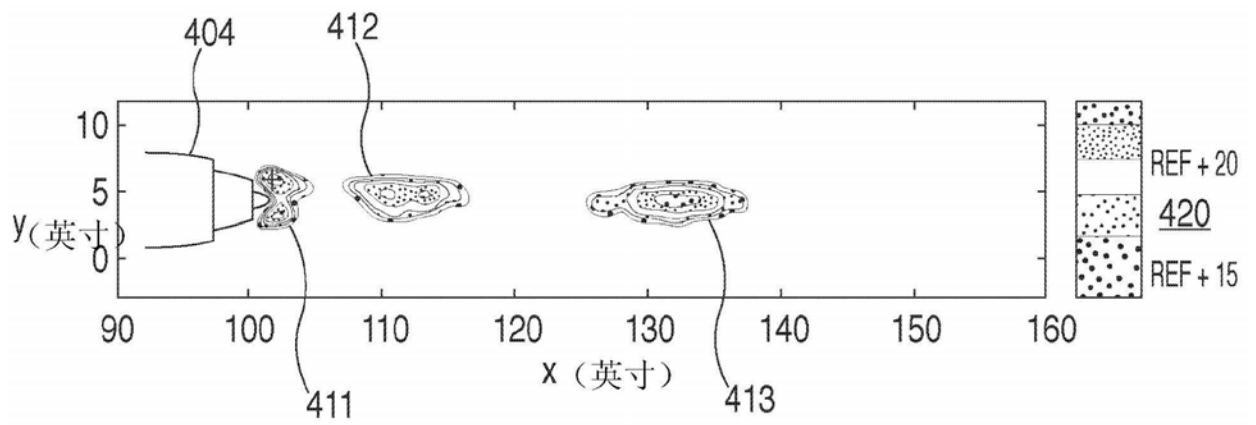


图4C

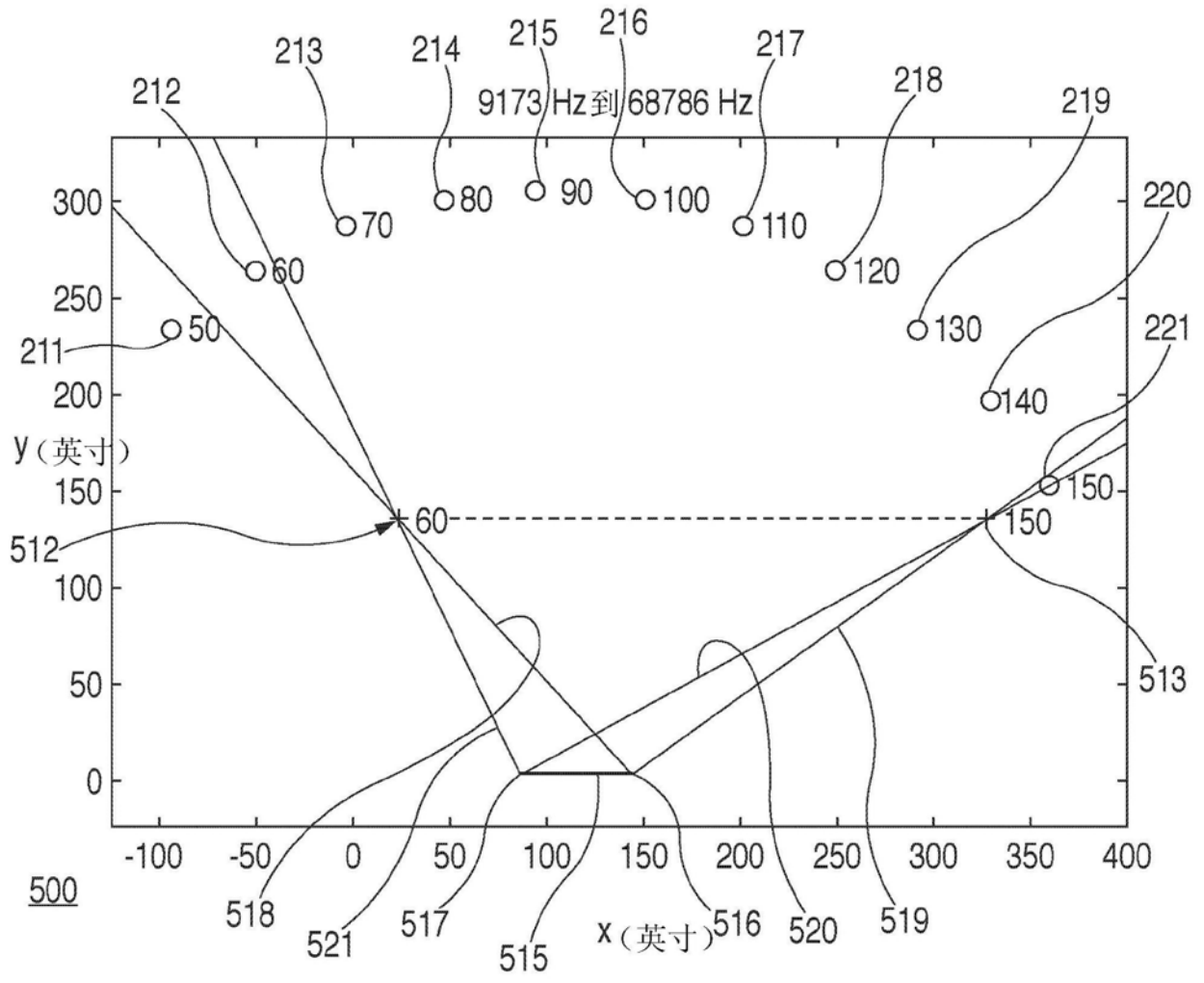


图5A

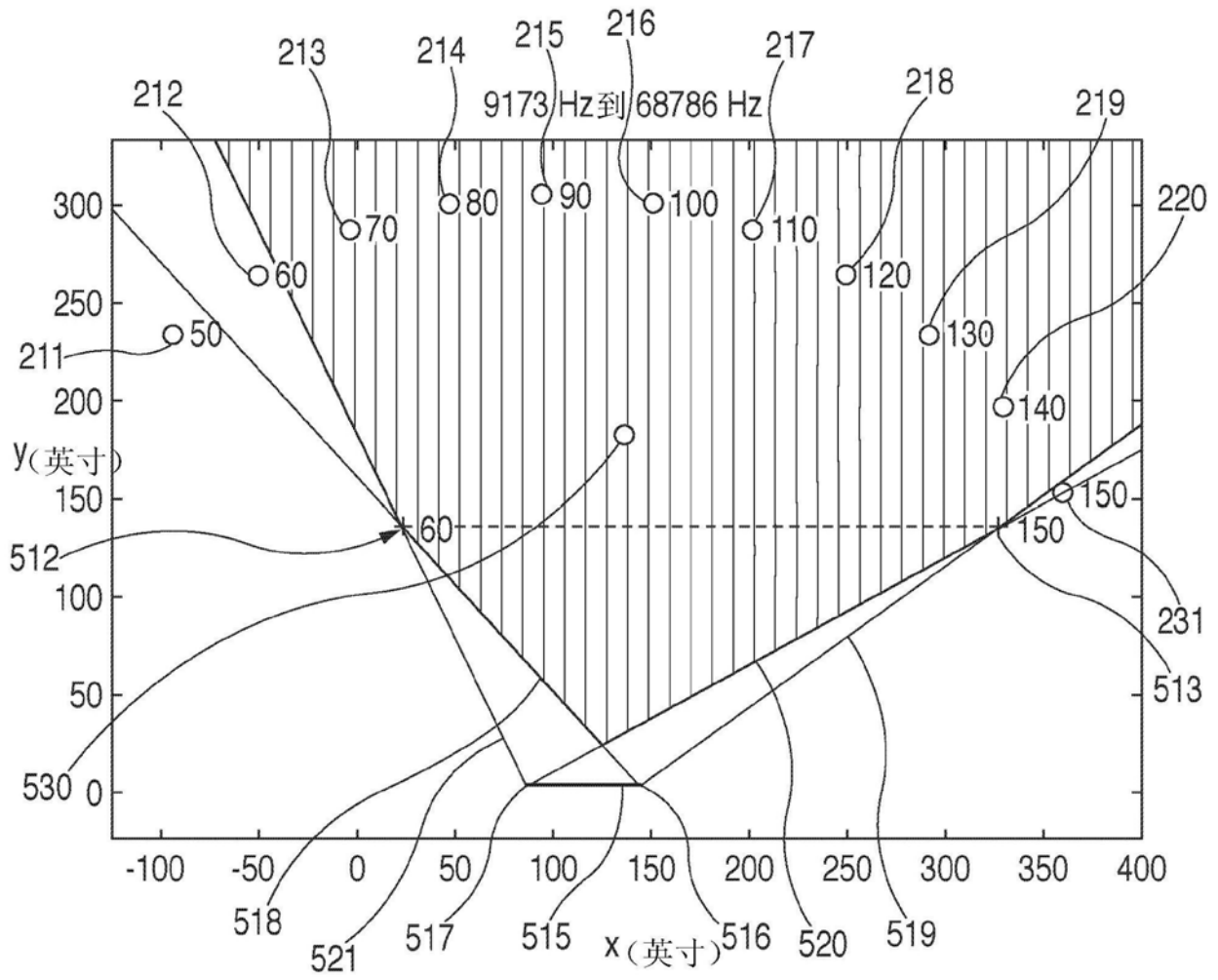


图5B

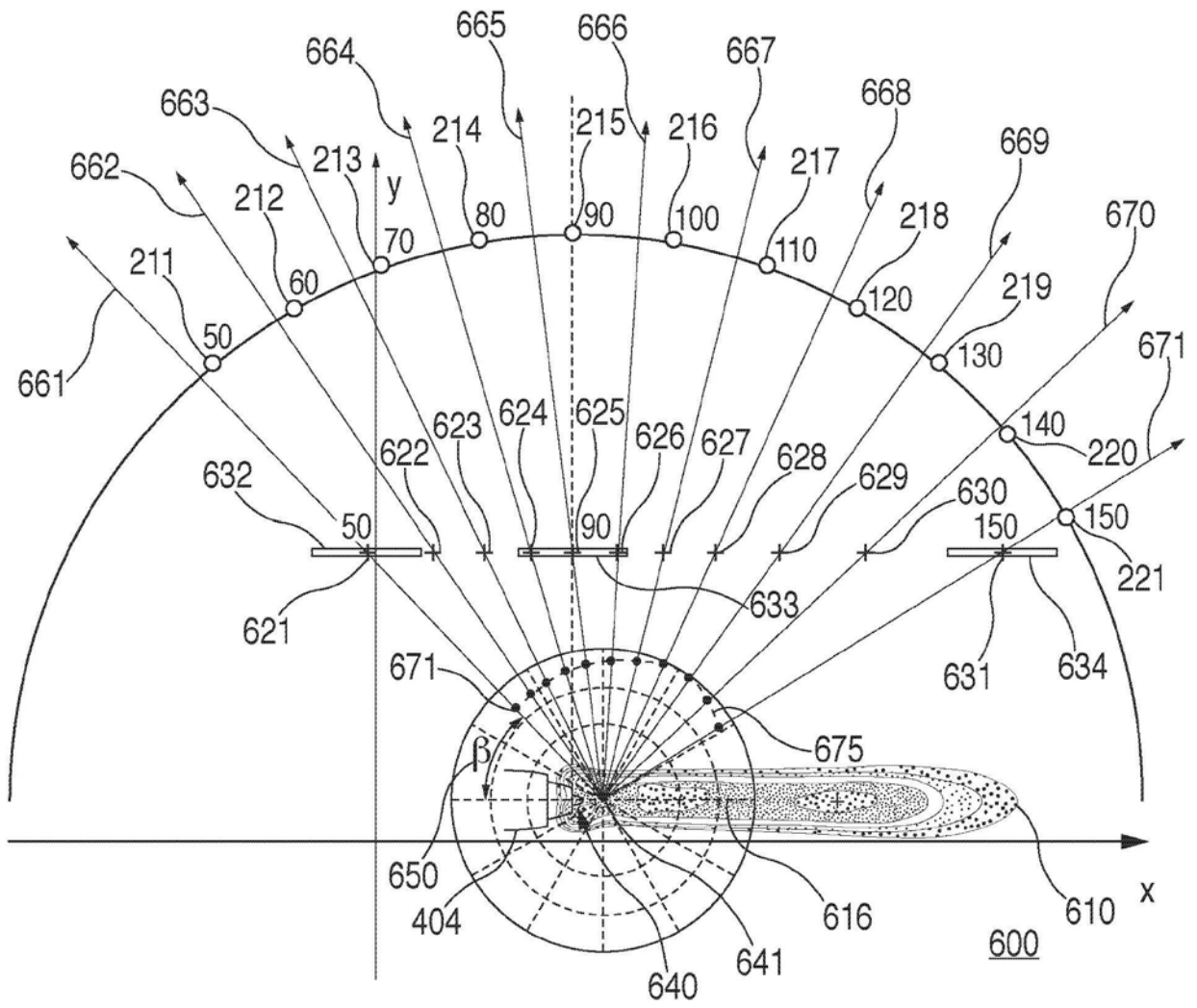


图6A

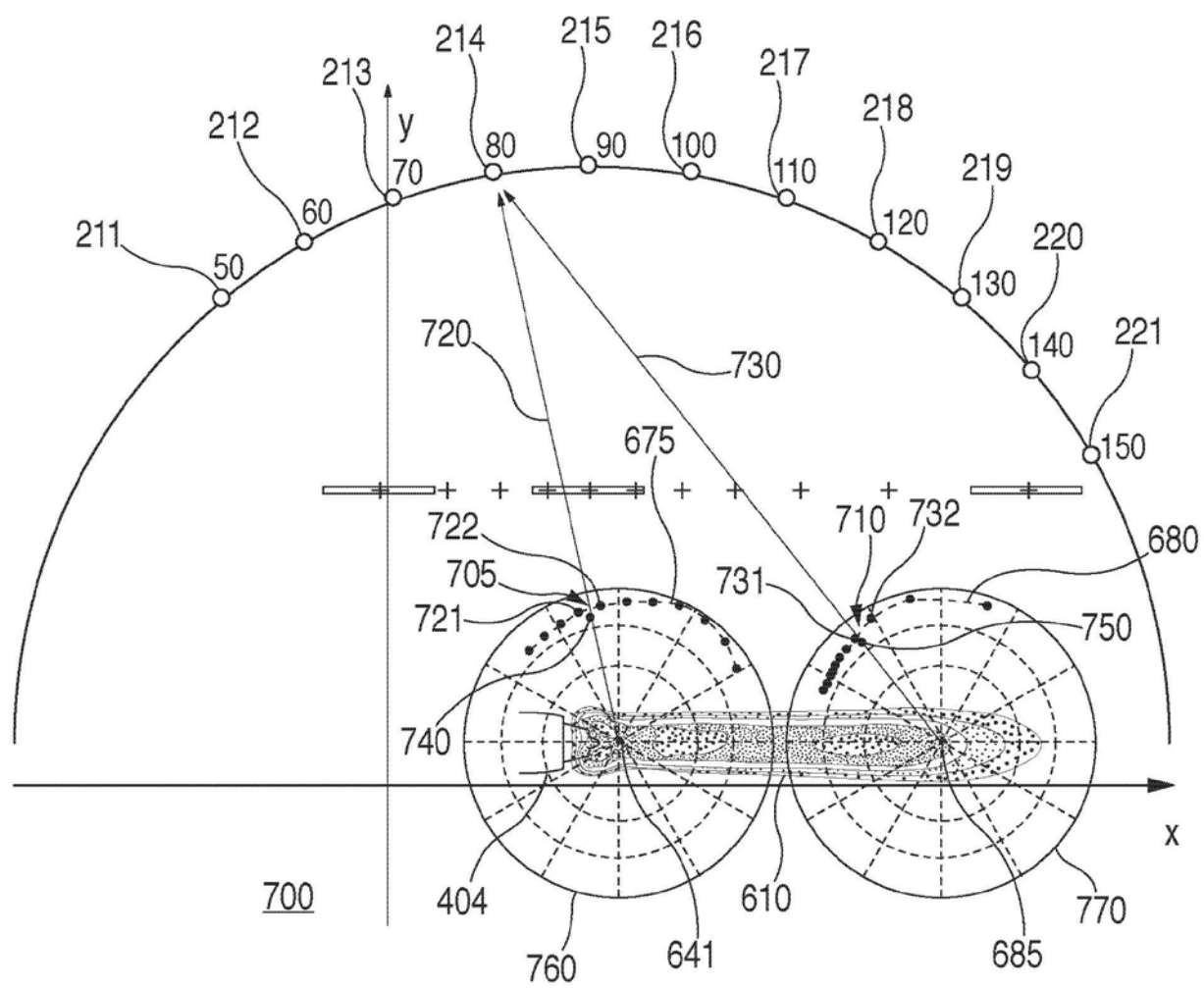


图7

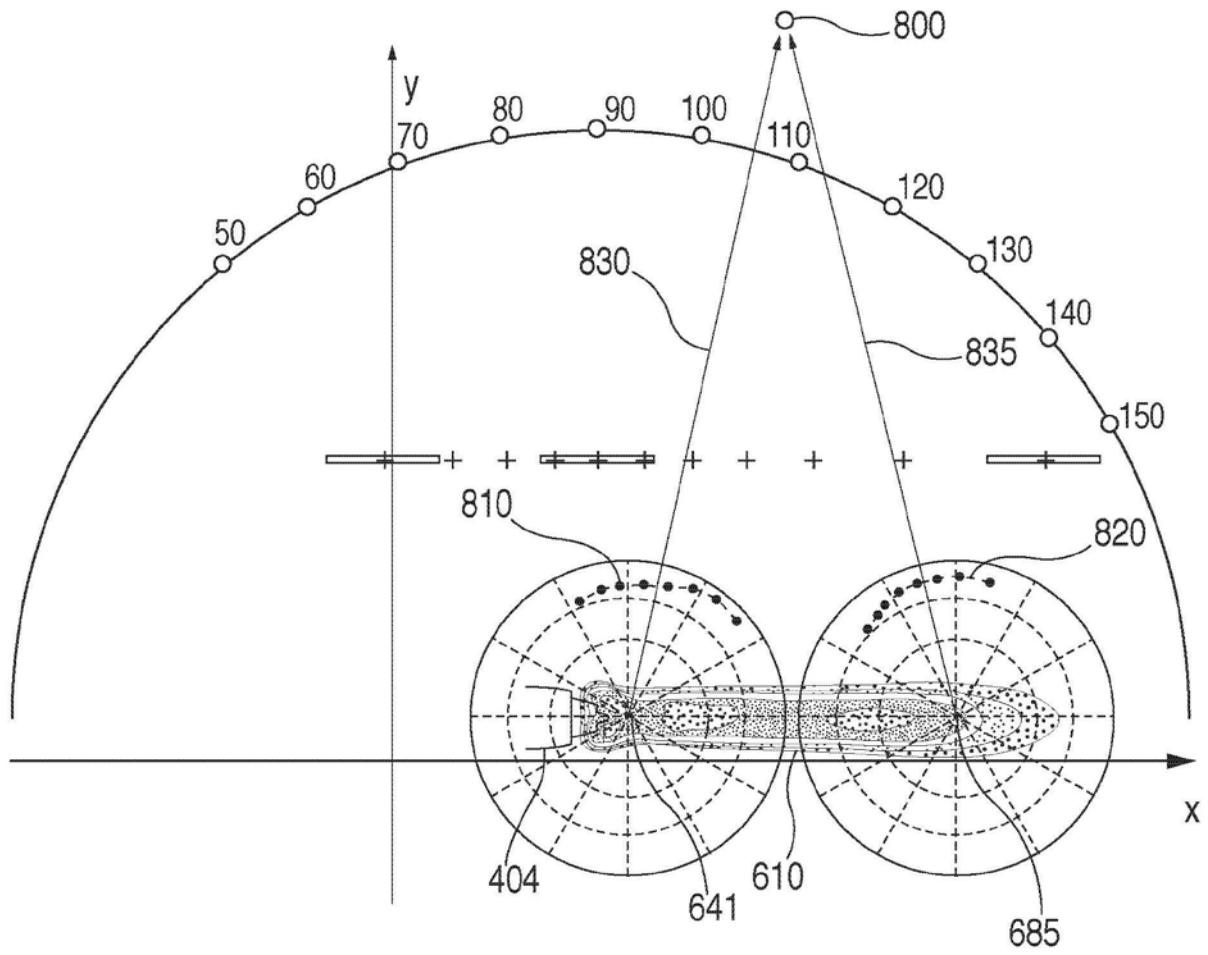


图8

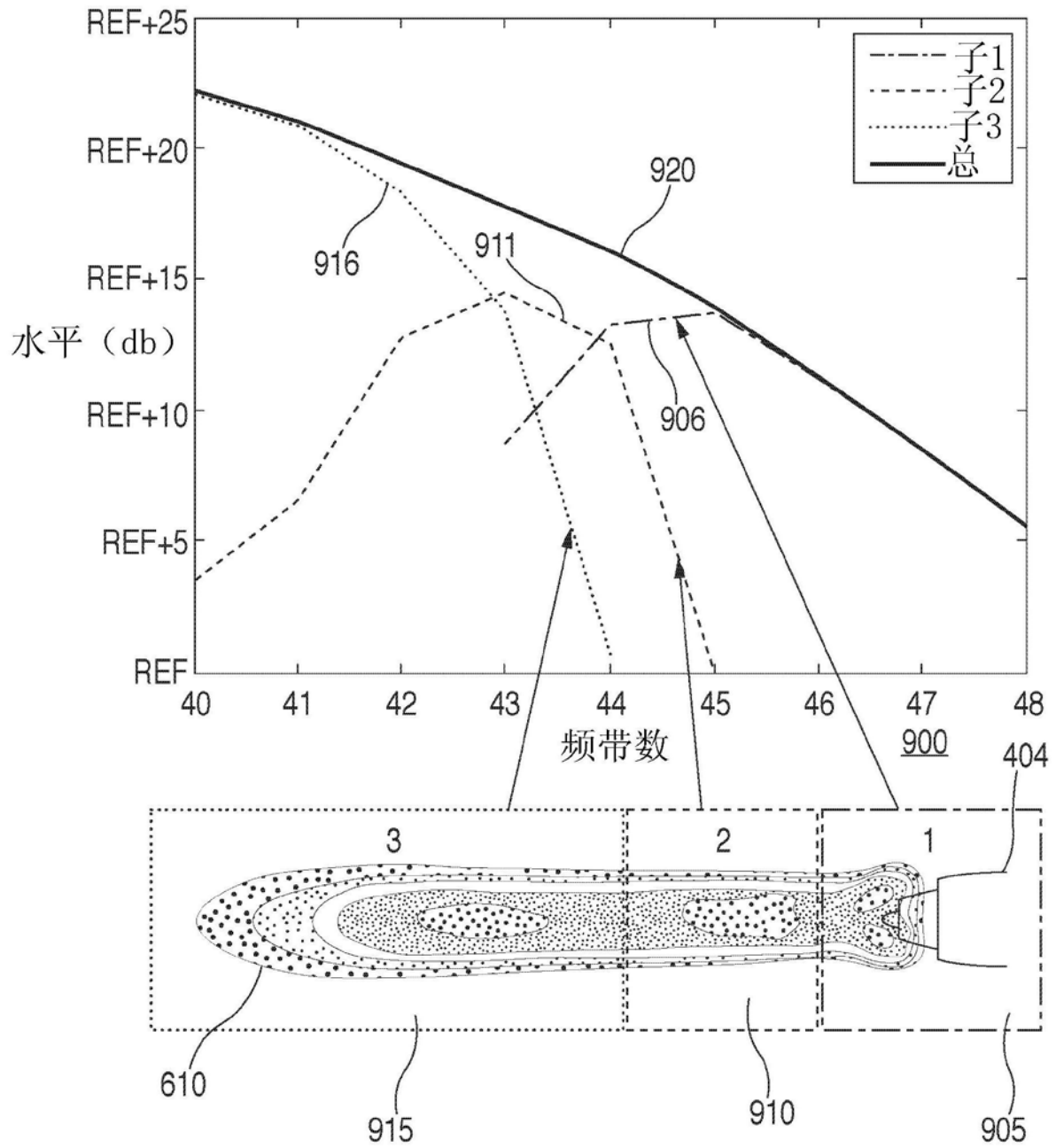


图9

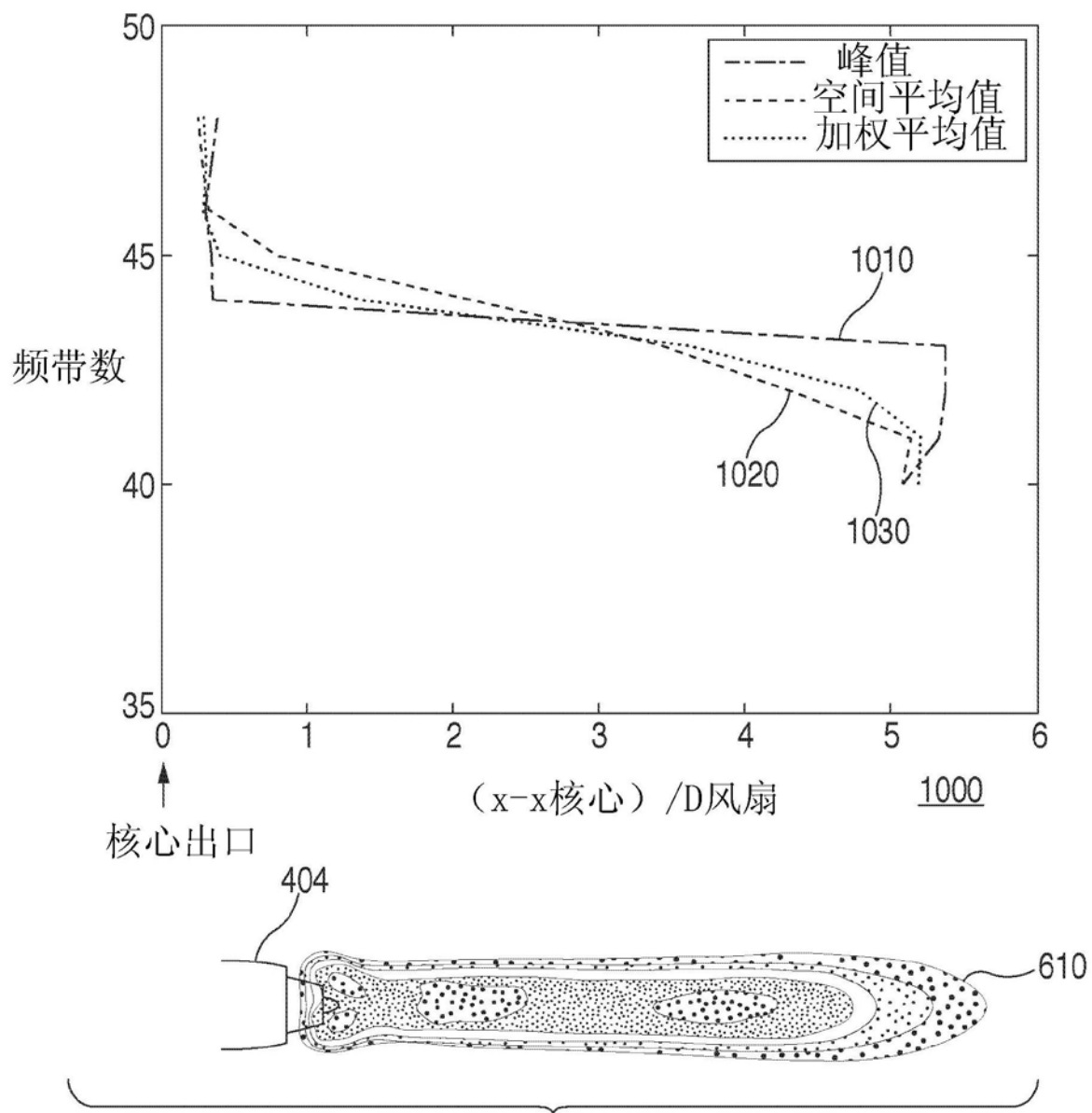


图10

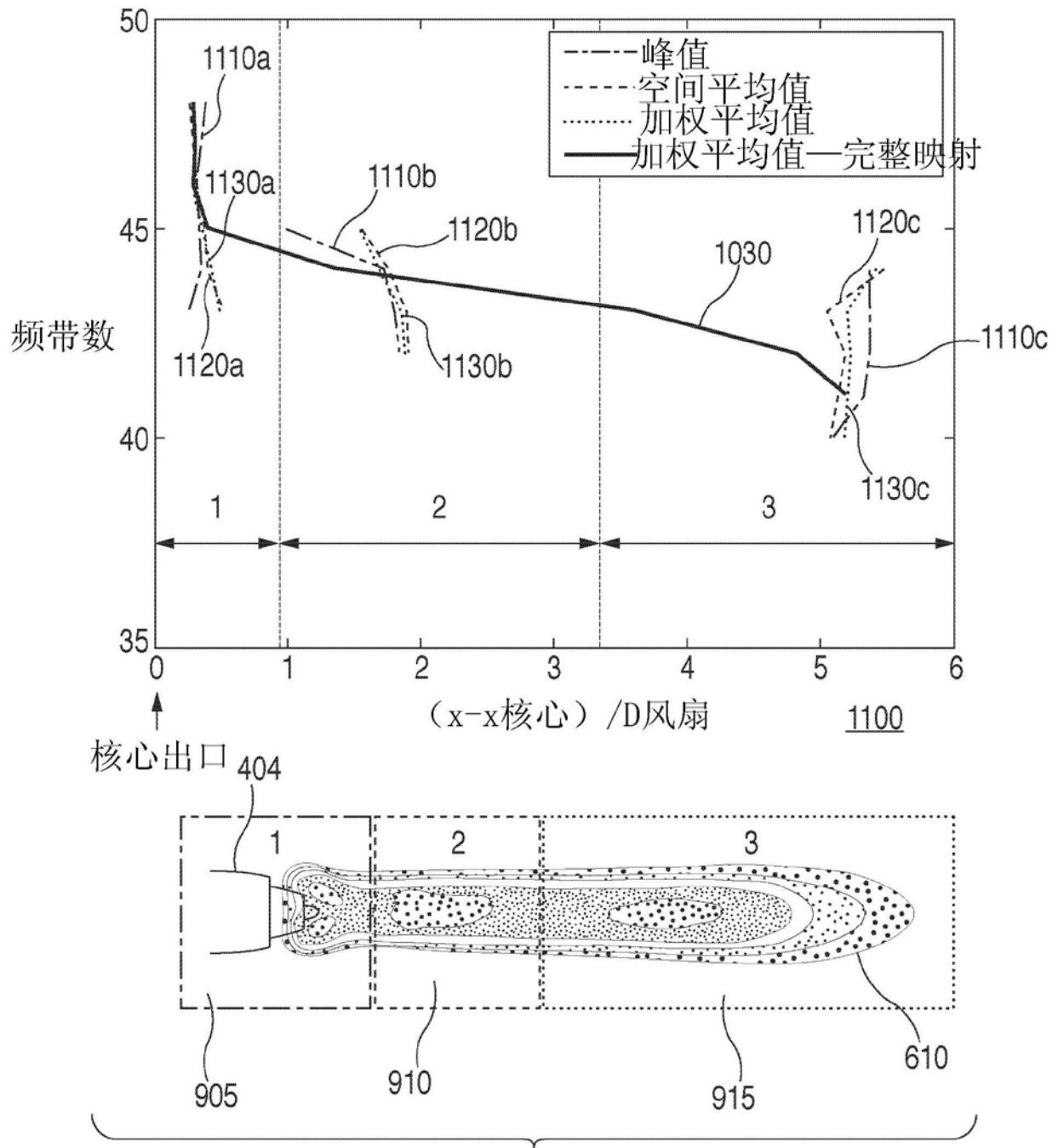


图11