



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103557183 A

(43) 申请公布日 2014. 02. 05

(21) 申请号 201310133102. 6

(22) 申请日 2013. 04. 01

(30) 优先权数据

13/436, 551 2012. 03. 30 US

(71) 申请人 洛克威尔自动控制技术股份有限公司

地址 美国俄亥俄州

(72) 发明人 加龙·科赫·莫里斯

布鲁斯·威廉·魏斯

罗伯特·迈克尔·米哈尔斯基

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 朱胜 陈炜

(51) Int. Cl.

F04D 29/40 (2006. 01)

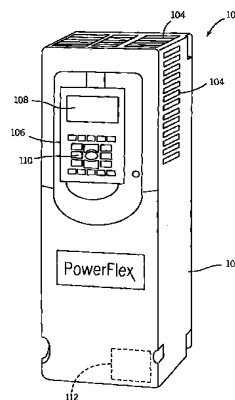
权利要求书2页 说明书9页 附图14页

(54) 发明名称

偏心的风扇外壳

(57) 摘要

本发明的实施例指向一种电气设备系统,包括:电气设备部件;热管理系统,被布置成引导空气通过所述电气设备部件的构件;所述热管理系统的矩形风扇外壳;及在风扇外壳内布置的风扇,其中,风扇的旋转轴相对于所述矩形风扇外壳的几何中心点偏移。



1. 一种电气设备系统,包括:  
电气设备部件;  
热管理系统,被布置成引导空气通过所述电气设备部件的构件;  
所述热管理系统的矩形风扇外壳;及  
在风扇外壳内布置的风扇,其中,风扇的旋转轴相对于所述矩形风扇外壳的几何中心点偏移。
2. 根据权利要求1所述的电气设备系统,其中,所述电气设备部件是电机驱动器。
3. 根据权利要求2所述的电气设备系统,其中,所述电机驱动器包括电力再生电路。
4. 根据权利要求1所述的电气设备系统,其中,所述矩形风扇外壳包括正方形风扇外壳。
5. 根据权利要求1所述的电气设备系统,其中,所述矩形风扇外壳包括一个或更多个片状金属面。
6. 根据权利要求1所述的电气设备系统,其中,所述矩形风扇外壳和所述风扇被配置成接收输入空气流,并且所述风扇被配置成产生输出空气流,其中,所述输出空气流以相对于所述输入空气流大约90度角流出所述矩形风扇外壳。
7. 根据权利要求1所述的电气设备系统,其中,所述风扇的外圆周被布置为距离所述矩形风扇外壳的第一壁第一距离,以及所述风扇的外圆周被布置为距离所述矩形风扇外壳的第二壁第二距离,其中,所述第一壁与所述第二壁相对立,以及所述第一距离和所述第二距离不同。
8. 根据权利要求7所述的电气设备系统,其中,所述矩形风扇外壳包括在所述矩风扇和所述矩形风扇外壳的第一壁之间的高压区域、和在所述矩风扇和所述矩形风扇外壳的第二壁之间的低压区域,其中,所述高压区域大于所述低压区域。
9. 根据权利要求7所述的电气设备系统,其中,所述第一距离与所述风扇的直径之比大约为0.10到0.30。
10. 根据权利要求7所述的电气设备系统,其中,所述第二距离与所述风扇的直径之比大约为0.05到0.20。
11. 根据权利要求7所述的电气设备系统,其中,所述第一距离与所述第二距离之比大约为2.50到1.50。
12. 根据权利要求1所述的电气设备系统,其中,所述风扇的外圆周被布置为距离所述矩形风扇外壳的底部壁第一距离,以及所述外圆周被布置为距离所述矩形风扇外壳的敞开的顶部第二距离,其中,由所述风扇产生的输出空气流被配置成从所述敞开的顶部流出,所述底部壁与所述敞开的顶部相对立,以及所述第一距离和所述第二距离不同。
13. 根据权利要求12所述的电气设备系统,其中,所述第一距离与所述风扇的直径之比大约为0.05到0.30。
14. 一种热管理系统,被配置成减少电子部件在工作过程中的温度,所述热管理系统包括:  
矩形风扇外壳;及  
风扇,其中,所述风扇被偏心地安装在所述矩形风扇外壳内。
15. 根据权利要求14所述的热管理系统,其中,所述风扇的几何中心点相对于所述矩

形风扇外壳的几何中心点偏移。

16. 根据权利要求 14 所述的热管理系统,其中,所述风扇的旋转轴从所述矩形风扇外壳的几何中心偏移。

17. 根据权利要求 14 所述的热管理系统,包括被配置成驱动所述风扇的电机,其中,所述电机的旋转轴从所述矩形风扇外壳的几何中心偏移。

18. 一种电机驱动器,包括:

电力再生电路;

矩形外壳;及

在所述矩形外壳内安装的风扇,其中,所述风扇的旋转轴相对于所述矩形外壳的几何中心偏心。

19. 根据权利要求 18 所述的电机驱动器,其中,所述风扇的外圆周被布置为距离所述矩形外壳的第一壁第一距离,所述风扇的外圆周被布置为距离所述矩形外壳的第二壁第二距离,所述第一壁与所述第二壁相对立,所述第一距离和所述第二距离不同,以及所述第一距离与所述风扇的直径之比大约为 0.10 到 0.30。

20. 根据权利要求 18 所述的电机驱动器,其中,所述风扇的外圆周被布置为距离所述矩形外壳的底部壁第一距离,所述外圆周被布置为距离所述矩形外壳的敞开的顶部第二距离,由所述风扇产生的输出空气流被配置成从所述矩形外壳的敞开的顶部流出,所述矩形外壳的底部壁与所述矩形外壳的敞开的顶部相对立,所述第一距离和所述第二距离不同,以及所述第一距离与所述风扇的直径之比大约为 0.05 到 0.30。

## 偏心的风扇外壳

### 技术领域

[0001] 本公开一般涉及电力电子装置领域,尤其涉及用于空气冷却系统的风扇或通风机。

### 背景技术

[0002] 例如开关装置和系统等广泛的各种应用存在于电力电子学中。该种系统可以包括热管理系统,热管理系统用于调节电气设备的温度以提高电气设备的可靠性和效率,同时降低设备的过早故障。例如,热管理系统可以具有风扇、通风机或其它的用于对电气设备进行空气冷却的设备。在某些应用中,风扇或通风机可以包括其中布置了风扇或通风机的外壳。现在认识到传统的风扇或通风机设计可能导致效率低或不均匀的空气流产生。

### 发明内容

[0003] 在第一实施例中,电气设备系统包括:电气设备部件;热管理系统,被布置成引导空气通过所述电气设备部件的构件;所述热管理系统的矩形风扇外壳;及在风扇外壳内布置的风扇,其中,风扇的旋转轴相对于所述矩形风扇外壳的几何中心点偏移。

[0004] 在第二实施例中,热管理系统被配置成减少电子部件在工作过程中的温度,所述热管理系统包括:矩形风扇外壳;及风扇,其中,所述风扇被偏心地安装在所述矩形风扇外壳内。

[0005] 在第三实施例中,电机驱动器,包括:电力再生电路;矩形外壳;及在所述矩形外壳内安装的风扇,其中,所述风扇的旋转轴相对于所述矩形外壳的几何中心偏心。

### 附图说明

[0006] 当参考附图阅读下面的具体描述时,将更好地理解本公开的这些和其它的特征、方面和优点,在全部附图中相同的附图标记代表相同的部件,其中:

[0007] 图 1 是根据本发明实施例的电子装置的透视图,该电子装置可以包括具有偏心外壳的通风机或风扇;

[0008] 图 2 是根据本发明实施例的电气设备系统的示意图,该电子设备系统可以包括具有偏心外壳的通风机或风扇;

[0009] 图 3 是根据本发明实施例的具有偏心外壳的风扇的透视图;

[0010] 图 4 是根据本发明实施例的具有偏心外壳的风扇的透视图;

[0011] 图 5 是根据本发明实施例的具有偏心外壳的风扇的正投影图;

[0012] 图 6 是根据本发明实施例的风扇和入口环的透视图;

[0013] 图 7 是说明根据本发明实施例的网格尺寸对风扇的入口处的体积流量的影响的表格;

[0014] 图 8 是说明根据本发明实施例的模拟风扇的仿真结果和风扇的厂商提供的数据之间的对比的曲线图;

- [0015] 图 9 是用于根据本发明实施例的确定风扇模型的校正后的风扇速度的各种数据点的表格；
- [0016] 图 10 是说明根据本发明实施例的风扇厂商数据和校正后的风扇速度据之间的对比的曲线图；
- [0017] 图 11 是具有根据本发明实施例的偏心外壳的风扇的参数模型的正投影图；
- [0018] 图 12 是具有根据本发明实施例的用于偏心外壳的参数建模的各种几何变量的范围的图表；
- [0019] 图 13 是列出根据本发明实施例的通过计算流体动力学工具计算出的运行 (run) 或叠代 (iteration) 的表格；
- [0020] 图 14 是列出根据本发明实施例的推导出偏心外壳的预测局部流量系数的参数的表格；
- [0021] 图 15 是包括根据本发明实施例的用于确定在偏心外壳内的风扇的偏心位置的各种几何变量的值的表格；
- [0022] 图 16 是用于说明根据本发明实施例的用于测试风扇外壳的气流实验台的示意图；
- [0023] 图 17 是用于说明根据本发明实施例的使用图 16 中的气流实验台测试出的风扇外壳的测试结果的曲线图；
- [0024] 图 18 是用于说明根据本发明实施例的使用图 16 中的气流实验台测试出的风扇外壳的测试结果的曲线图；
- [0025] 图 19 是用于说明根据本发明实施例的使用图 16 中的气流实验台测试出的风扇外壳的测试结果的曲线图；
- [0026] 图 20 是用于说明根据本发明实施例的使用图 16 中的气流实验台测试出的风扇外壳的测试结果的曲线图；
- [0027] 图 21 是用于说明根据本发明实施例的对于偏心的风扇外壳的设计曲线的曲线图；
- [0028] 图 22 是用于说明根据本发明实施例的对于偏心的风扇外壳的设计曲线的曲线图。

### 具体实施方式

[0029] 本公开的实施例致力于风扇或通风机外壳（在该外壳内偏心地布置有风扇）。换句话说，风扇的旋转轴的几何中心与外壳的几何中心不同中心。在某些实施例中，外壳可以具有矩形或正方形配置。另外，根据这些实施例，可以基于各种变量（例如风扇尺寸、风扇性能、外壳尺寸、操作压力等），唯一地定制或优化在外壳内的风扇的偏心或偏移定位。

[0030] 图 1 是电机驱动器 100 的透视图，其可以包括具有偏心外壳的通风机或风扇。在一个实施例中，电机驱动器 100 可以由 Wisconsin 的 Milwaukee 的 Rockwell Automation（罗克韦尔自动化）制造的 PowerFlex 驱动器。然而，应该注意，电机驱动器 100 可以代表应用根据本技术的冷却系统的其它电子装置。在图 1 所示的实施例中，电机驱动器 100 包括外壳 102，外壳 102 具有在驱动器 100 的一个或多个侧面上的冷却口 104。为了便于与电机驱动器 100 互相作用，电机驱动器 100 可以包括人机界面 (HMI) 106。HMI 106 可

以包括例如 LCD 或其它显示器等显示器 108 以及允许由用户进行输入的小键盘 110。另外, HMI106 可以被拆除以及可以被放置于外壳 102 中的贮槽中。

[0031] 如下面进一步描述的, 电机驱动器 100 可以包括热管理系统 112, 热管理系统 112 包括具有偏心外壳的通风机或风扇。具体地, 通风机或风扇 (例如, 离心式风扇) 可以被配置以将冷却空气流提供到电机驱动器 100 中。即, 通风机或风扇可以迫使冷却空气流穿过在电机驱动器 100 内的电气设备。例如, 电机驱动器 100 可以包括电机起动器、过载继电器、电路断路器以及固态电机控制装置, 固态电机控制装置例如是变频驱动器、可编程逻辑控制器、电力再生电路等。将理解, 该种电气设备在工作过程中可以产生热, 从而降低电气设备的效率。为了提高效率, 可以通过由风扇或通风机产生的冷却空气流来控制 / 或降低该种电气设备的温度。

[0032] 此外, 如下面具体描述的, 风扇或通风机可以被布置在偏心外壳内。换句话说, 风扇或通风机可以被安置在相对于外壳偏移或偏心的位置。外壳一般可以是矩形 (例如, 正方形) 以便于在电气装置中的相容安装并保留电气装置内的限定的可用空间。现在认识到, 通过在外壳内偏心地设置通风机或风扇, 可以调节流出风扇或通风机的冷却空气流的形状和数量。以该方式, 可以改善热管理系统 112 (即, 风扇或通风机) 的效率。例如, 在不调整外壳的尺寸的情况下可以修改冷却空气流的形状、压力和 / 或流速。另外, 可以改善通风机或风扇的噪声特性和能量利用。此外, 在某些实施例中, 可以对于具体应用或工作条件来将通风机或风扇的偏移中心或偏心位置进行优化。具体地, 如下面描述的, 可以使用计算流体动力学软件来模拟风扇或通风机, 并且可以定制或计算 (例如, 使用实验逼近的设计) 风扇或通风机在外壳内的离心位置以达到所期望的风扇或通风机性能。

[0033] 图 2 是可以包括热管理系统 112 的电气设备系统 120 (例如, 电机驱动器) 的示意图。虽然上述热管理系统 112 的实施例是在电机驱动器 100 的背景下描述的, 但是具有风扇或通风机 (该风扇或通风机具有偏心外壳) 的热管理系统 112 可以用在具有电气设备的其它系统中。实际上, 图 2 所示的电气设备系统 120 可以是具有电气设备 122 的任意的各种系统。例如, 电气设备系统 120 可以是个人计算机、路由器或转换器、变压器、制造设备、家用电器、汽车或具有电气设备 122 的任意其它系统。

[0034] 如所示出的, 热管理系统 112 包括在外壳 126 内布置的风扇 124。更具体地, 如下面具体描述的, 风扇 124 被布置在外壳 126 内以使得风扇 124 具有相对于外壳 126 的几何中心 128 (例如, 中心点) 偏心、偏移或离心的位置。即, 风扇 124 几何中心 130 (例如, 中心点) 与外壳 126 的几何中心 128 不同中心。如所示出的, 热管理系统 112 产生冷却空气流 132, 冷却空气流 132 可以通向、越过或穿过电气设备 122, 从而降低电气设备 122 的温度。如下所述, 由于风扇 124 在外壳 126 内的偏心定位, 可以调节冷却空气流 132 的各种特性, 并且可以改善热管理系统 112 和电气设备 122 的效率。

[0035] 图 3 是热管理系统 112 的透视图, 该图示出了在外壳 126 内偏心布置的风扇 124。即, 风扇 124 几何中心 130 (例如, 风扇 124 的旋转轴 140) 与外壳 126 的几何中心 128 不同中心。在所示实施例中, 可以由金属片或其它材料构成的外壳 126 具有矩形配置。即, 外壳 126 的前表面和后表面基本上为矩形。例如, 外壳 126 可以具有矩形棱柱配置, 和 / 或外壳 126 的内部可以具有基本上立方体体积。然而, 外壳 126 的其它实施例可以具有其它配置。如所示出的, 在所示实施例中风扇 124 被安装在具有入口环 (inlet ring) 142 的外壳

126 内并且被配置成产生空气流 150, 空气流 150 以相对于风扇 124 的空气入口 152 近似 90 度角流出外壳 126。更特定地, 空气 154 通过空气入口 152 进入外壳 126, 并且由电机 158 沿顺时针方向 156 驱动的风扇 124 产生通过外壳 126 的敞开的顶部 160 流出的空气流 150。由于风扇 124 在外壳 126 内的偏心安装, 外壳 126 内的高压区域 162 可能大于外壳内的低压区域 164。由于该布置, 可以提高风扇 124 和外壳 126 的空气流 150 的流速, 从而提高风扇 124 和外壳 126 的效率。另外, 低压区域 164 的面积减少可以有助于减少由箭头 166 表示的空气流 150 中的一部分再次进入外壳 126。

[0036] 图 4 是热管理系统 112 的透视图, 该图示出了在外壳 126 内偏心布置的风扇 124。更特定地, 图 4 提供了具有在前面设置的电机 158 的热管理系统 112 的透视图。作为结果, 图 4 清楚地示出电机 158 也关于外壳 126 被偏心地设置。换句话说, 电机 158 的几何中心或旋转轴偏离外壳 126 的几何中心 128。在某些实施例中, 电机 158 可以是例如无刷 DC 电机等电动机, 然而, 其它类型的电机 158 可以用于对风扇 124 提供电力。

[0037] 图 5 是在外壳 126 内偏心布置的风扇 124 的正投影图。在所示实施例中, 外壳 126 具有矩形配置。更具体地, 所示外壳 126 具有高度 180、长度 182 和深度 184。另外, 风扇 124 具有直径 186。例如, 直径 186 可以近似为 100 至 500mm、150 至 450mm、200 至 400mm 或 250 至 350mm。如上面提到的, 风扇 124 在外壳 126 内具有偏移或偏心位置。即, 虽然风扇 124 本身一般在形状上是统一的, 但是风扇 124 的几何中心 130 与外壳 126 的几何中心 128 不同中心。

[0038] 如上面所提到的, 可以参考各种几何变量来描述风扇 124 在外壳 126 内的偏心率。例如, 可以关于从风扇 124 到外壳 126 的各种距离来描述风扇 124 在外壳 126 内的位置。如所示出的, 风扇 124 的外圆周 188 离外壳 126 的底部 192 大约为距离 190。即, 风扇 124 被设置在外壳 126 的底部 192 上方的距离 190 处。因此, 风扇 124 的外圆周 188 位于离外壳 126 的顶部 160 距离 194 处。类似的, 风扇 124 的外圆周 188 被设置在离外壳 126 的左壁 198 距离 196 处并且离外壳 126 的右壁距离 200 处。将理解, 距离 196 和 200 可以不相等, 从而在相对于外壳 126 的偏心或偏移位置上设置风扇 124。作为结果, 距离 190、194、196 和 200 可以用于限定风扇 124 在外壳 126 内的位置 (至少关于外壳 126 的前表面 204 和后表面 206)。另外, 可以根据距离 208 (离外壳 126 的后表面 206 距离 208 来设置电机 158) 至少部分地表示风扇 124 在外壳 126 内的位置。即, 距离 208 是从电机的前表面 210 到形成后表面 206 (即, 与前表面 204 或空气入口 152 相对立的面) 的壳壁的距离。

[0039] 如上面所提到的, 根据这些实施例, 所描述的几何变量 (例如, 距离 190、196、200 和 208) 可以被定制或优化以达到由风扇 124 和外壳 126 产生的空气流 150 的期望或目标特性。例如, 可以基于例如风扇 124 的尺寸或性能和 / 或外壳 126 的尺寸限制 (例如, 外壳 126 的高度 180、长度 182 及深度 184) 等因素来优化上面描述的几何变量。例如, 在某些实施例中, 距离 196 与风扇 124 的直径 186 之比可以大约为 0.10 到 0.30。类似地, 距离 190 与风扇 124 的直径 186 之比可以大约为 0.05 到 0.30。另外, 在某些实施例中, 距离 200 与风扇 124 的直径 186 之比可以大约为 0.05 到 0.20。进一步例如, 距离 196 与距离 190 之比可以大约为 2.50 到 0.50。另外, 距离 196 与距离 200 之比可以大约为 2.50 到 1.50, 以及距离 190 与距离 200 之比可以大约为 0.50 到 2.00。如下面具体描述的, 可以使用参数建模 (例如, 风扇 124 和 / 或外壳 126 的建模) 和统计学方法来将几何变量进行优化以达到

改善后的空气流 150。

[0040] 另外,如下面所描述的,当对风扇 124 在外壳 126 内的偏心位置进行优化时可以考虑其它变量。例如,在对风扇 124 在外壳 126 内的偏心率进行优化中可以考虑由箭头 212 表示的、具有外壳 126 和风扇 124 的环境的周围或工作压力。下面再现的实验数据表示风扇 124 在外壳 126 内的偏心定位可以有助于改善空气流 150 的流速、压力、效率等。改善后的空气流 150 然后能够改善电气设备系统 120(例如,电机驱动器 100) 内的电气设备 122 的冷却,从而改善电气设备系统 120 的性能和效率。

[0041] 下面的描述描述了一种方法,该方法可以用于优化外壳 126 的各种几何变量以在希望的工作压力范围(例如,工作压力 212) 内达到风扇 124 的改善的效率。更具体地,下面的实验使用实验设计(Design of Experiment) 技术、计算流体动力学工具以及基于遗传算法的优化工具来研发有效的风扇外壳 126 设计。在无量纲流( $\phi$ )、压力( $\psi$ ) 和动力( $\eta$ ) 风扇系数方面示出数值和实验结果,其可被定义为:

$$[0042] \quad \phi = \frac{Q}{\omega \cdot D^3} \quad (1)$$

$$[0043] \quad \psi = \frac{P}{\rho \cdot \omega^2 \cdot D^5} \quad (2)$$

$$[0044] \quad \eta = \phi \cdot \psi \quad (3)$$

[0045] 其中, Q 表示体积流量,  $\omega$  表示风扇 124 的旋转速度, P 表示压力,  $\rho$  表示空气的密度, D 表示风扇 124 的直径 186。

[0046] 本实验中使用的计算流体动力学(CFD) 软件是 ANSYS Icepak13。ANSYS Icepak13 具有表示简化的叶轮和离心式风扇(例如,风扇 124) 的内置对象。这些内置对象可以用于对各种应用中的流量进行仿真。另外,移动参考系(MRF) 技术被用于说明叶片几何参数(blade geometry) 和旋涡的影响。

[0047] 在优化外壳 126 之前,计算并验证在没有外壳 126 的情况下风扇 124 的性能。具体地,由风扇 124 厂商提供的风扇 124 和入口环 142 的详细 CAD 模型被输入到 ANSYS IcePro5.1 并被处理成可以被输入到 ANSYS Icepak13 的几何体。图 6 是被输入到 ANSYS Icepak13 的风扇 124 和入口环 142 的透视图。具体地,风扇 124 和入口环 142 的模型被放置在框 220 中,在框 220,边界位于离风扇 124 一个直径处。如所示出的,除了入口侧 224 是敞开的之外,框 220 的所有的侧(side)222 是封闭的。这样,可以对在没有外壳 126 的情况下风扇 124 的性能进行仿真。MRF 流体柱被定义为比风扇 124 的直径 186 大 2%,从而包围风扇 124 的整个移动部分。另外,工作的风扇 124 速度被分配给 MRF 流体区域。

[0048] 多层次网孔(multi-level meshing) 技术与自动六变形占优网孔(automated hex-dominated mesher) 一起使用以捕获风扇 124 的叶片 226 和 MRF 流体之间的详细交互作用。对叶片 226 几何参数分配两个值,而对剩余的几何参数分配一个值。使用用于连续、动量及扰动方程的一阶离散方法,在 20°C 的温度以及 1.2kg/m<sup>3</sup> 的空气密度的情况下进行建模。当最大标准化残差小于  $1 \times 10^{-4}$  时达到模型收敛。

[0049] 此外,使用网格收敛指标方法、以被应用到图 6 中所示的除了入口侧 224 之外的所有侧 222 的压力系数( $\psi$ ) 来执行网格独立研究。图 7 是说明在 0.058 的标准化压力系数( $\psi$ ) 的情况下网格尺寸对风扇 124 的入口 152 处的体流量的影响的表格 240。具体地,图 7 包括用于粗糙、中等以及精细网格的最大网格尺寸、尺寸比、网孔数量及流量系数( $\phi$ )。



对于风扇 124 的入口 152 处的流量系数( $\phi$ ), 网格收敛指数被计算为 0.011%。对于下面描述的仿真, 使用最精细的网格 (例如, 表格 240 中所示的“精细”)。

[0050] 通过对外壳 126 的模型的敞开的侧 222 应用 0、0.032、0.053 及 0.069 的压力系数 ( $\psi$ ) 边界条件来提取风扇 124 性能曲线。将理解, 上述压力系数 ( $\psi$ ) 边界条件可以覆盖风扇 124 的大部分有效范围。图 8 是说明风扇 124 的 Icepak MRF 仿真结果 (由附图标记 252 表示) 和由风扇 124 厂商提供的风扇 124 数据 (由附图标记 254 表示) 之间比较的曲线图 250。如所示出的, 由 Icepak MRF 仿真预测的风扇 124 性能 (例如, 线 252) 跟随由厂商测量的性能 (例如, 线 254), 但是始终低于预期。

[0051] 为了说明上述预测和测量性能之间的差异, 对风扇 124 的模型进行调整。具体地, 图 9 是用于确定风扇 124 模型的校正后的风扇速度的各种数据点的表格 260。用于调整风扇 124 的模型的途径是调节模型使用的风扇 124 速度 (例如,  $\omega_{\text{model}}$  ( $\omega_{\text{模型}}$ )), 以使预测的风扇 124 曲线 (例如, 图 8 的曲线图 250 中的线 252) 和厂商的数据曲线 (例如, 图 8 的曲线图 250 中的线 254) 之间的误差最小。首先, 无量纲厂商风扇 124 实验性能数据以 99.91% 的相关系数 (决定系数) 拟合下面的二次方程:

$$[0052] \quad \Psi_{\text{exp}} = 9.35 \times 10^{-2} + 8.06 \times 10^{-2} \cdot \phi - 9.97 \cdot \phi^2 \quad (4)$$

[0053] 其中,  $\psi_{\text{exp}}$  是压力系数,  $\phi$  是流量系数。用于体流量的风扇定理 (例如, 下面的等式 (5) 和 (6)) 用于调节 Icepak 结果。

$$[0054] \quad \phi_2 = \phi_1 \cdot \left( \frac{\omega_{\text{model}_2}}{\omega_1} \right) \quad (5)$$

$$[0055] \quad \Psi_2 = \Psi_1 \cdot \left( \frac{\omega_{\text{model}_2}}{\omega_1} \right)^2 \quad (6)$$

[0056] 之后, 使用上述等式 (4) 计算用于相同的校正后的 Icepak 体流量处的训练数据点的期望的风扇 124 压力。然后, 通过使用基于梯度的优化器来确定用于 Icepak 风扇 124 模型的校正后的模型风扇速度  $\omega_{\text{model}}$ , 以使调整后的 Icepak 模型压力系数  $\Psi_{\text{tuned}}$  和期望的标准化压力系数  $\psi_{\text{exp}}$  之间的误差平方和 (SSE) 最小。使用下面的等式进行该确定:

$$[0057] \quad SSE = \sum_{i=1}^4 (\Psi_{\text{tuned},i} - \Psi_{\text{exp},i})^2 \quad (7)$$

[0058] 发现用于 Icepak 模型的调整后的风扇速度  $\omega_{\text{model}}$  比实际工作速度快 2.4%。

[0059] 图 10 示出说明由附图标记 272 表示的厂商数据和由附图标记 274 表示的校正或调整后的风扇速度之间的对比的曲线图 270。更具体地, 在 0.032 到 0.069 的压力系数范围内, 曲线图 270 示出厂商数据 (例如, 线 272) 和校正后的模型风扇速度 (例如, 线 274) 是一致的。换句话说, 在 Icepak 模型中增加 2.4% 速度之后, 由 Icepak 模型预测的风扇 124 性能与厂商数据近似匹配。

[0060] 如上所述, 某些公开的实施例指向具有矩形或正方形配置或形状的风扇外壳 126。另外, 外壳 126 的某些实施例输出与外壳 126 的入口 (例如, 入口 152) 的中心轴基本成 90 度角的空气流 (例如, 空气流 150)。换句话说, 空气在一侧 (例如, 入口侧 224) 进入风扇 124, 并且在与入口成 90 度的侧流出。另外, 如上所述, 可以关于各个几何变量来定义风扇 124 在外壳 126 内的偏心位置。例如, 图 11 是外壳 126 的参数模型的正投影图, 从而说明定义风扇 124 的偏心率的各种输入参数 (例如, 几何变量)。将理解, 图 11 所示的正投影图与图 5 所示的正投影图类似。然而, 为了清楚的目的, 图 11 所示的正投影图包括在下面的描述中使用的实验变量。

[0061] 对于矩形风扇外壳 126 选择的、定义了具有直径 D 的风扇在外壳 126 内的偏心位置的四个几何变量是从前 (F) 壁、底 (B) 壁及后 (R) 壁到风扇 124 的距离中的每一个以及从电机 (例如, 电机 158) 到与风扇入口 (例如, 入口 152) 相对立的壁的距离 (M)。选择第五变量, 即应用于通风机外壳出口处的压力系数 ( $\psi_{BC}$ ), 以使得在所期望的 0.032 和 0.069 的压力系数工作区域范围内提取风扇性能曲线。此外, 如图 11 所示, 风扇 124 和外壳 126 的出口 (例如, 顶部 160) 也被分离为 6 个区域, 以使得可以提取局部容积系数 ( $\phi_{x=1-6}$ )。图 12 说明包括按照风扇 124 的直径 D 表示的、用于风扇外壳 126 的参数建模的输入参数 (例如, 几何变量) 的范围的图表 280。具体地, 图 12 包括用于均在图 11 中示出并在图表 280 中描述的变量 F、R、B、M 和  $\psi$  的最小和最大值。

[0062] 将理解, 实验设计 (DoE) 是统计学方法, 其中, 一组输入参数 (Xs) 按受控方式而改变以测量它们对于一个或多个响应变量 (Ys) 的影响。使用 DoE 方法的优点是可以在较少数量的实验中提取输入参数和响应变量之间的关系。另外, 可以以包括一阶项和二阶项的经验模型来表示输入参数和响应变量之间的关系。

[0063] 对于这里描述的实验, 使用了 5 因子、2 等级、半因子实验设计。该实验设计要求在 Icepak 中的多次运行或叠代 (其在图 13 所示的表格 290 中列出)。在表格 290 中, 值 -1 表示用于图 12 的表格 280 中列出的各个变量的最小值, 值 +1 表示用于图 12 的表格 280 中列出的各个变量的最大值。期望流量系数响应具有很强的二阶效应, 因此增加额外的面心点 (例如, 表格 290 中的运行 17-26) 以及中心点 (例如, 表格 290 中的运行 27)。此外, 在表格 290 中, 零值表示在表格 280 中所列的最小值 (-1) 和最大值 (+1) 之间的中间值。

[0064] 在 Icepak 中执行表格 290 中列出的运行 27, 并且用于外壳 126 的出口出的 6 个离散部分中的每一个的流量系数 ( $\phi_{x=1-6}$ ) 被拟合到包括用于输入因子 M、R、F、 $\psi_{BC}$  及 B 的线性、双向交互及二次项的多项式方程。使用后向线性回归算法计算下面等式 (8) 中的模型参数 (an), 其中, 如果用于该项的统计量大于 0.05 (表示存在 95% 的可能性该项为零), 则消除该项。后向回归算法开始于消除任意的无关二次项 (由双向交互以及线性项跟随)。保持模型层次以使得如果无关二次项用在双向交互或二次项中则不消除无关二次项。图 14 是表格 300, 其列出了使用等式 (8) 推倒出的参数来预测在外壳 126 的出口 (例如, 顶部 160) 处的局部流量系数 ( $\phi_{x=1-6}$ )。

$$[\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_3, \phi_4, \phi_5, \phi_6] = a_0 + a_1 \cdot M + a_2 \cdot R + a_3 \cdot F + a_4 \cdot \psi_{BC} + a_5 \cdot B + a_{12} \cdot M \cdot R + a_{13} \cdot M \cdot F + a_{14} \cdot M \cdot \psi_{BC} + a_{15} \cdot M \cdot B + a_{23} \cdot R \cdot F + a_{24} \cdot R \cdot \psi_{BC} + a_{25} \cdot R \cdot B + a_{34} \cdot F \cdot \psi_{BC} + a_{35} \cdot F \cdot B + a_{41} \cdot \psi_{BC} \cdot B + a_{42} \cdot M^2 + a_{33} \cdot R^2 + a_{44} \cdot F^2 + a_{55} \cdot \psi_{BC}^2 + a_{112} \cdot B^2 + a_{113} \cdot M^2 \cdot R + a_{114} \cdot M^2 \cdot F + a_{115} \cdot M^2 \cdot \psi_{BC} + a_{115} \cdot M^2 \cdot \psi_{BC} + a_{115} \cdot M^2 \cdot B + a_{221} \cdot R^2 \cdot M$$

(8)

[0066] 对于这里描述的实验, 通过在图 14 所示的表格 300 中所列的流量和功率系数的各种组合来创建两个外壳 126 实验设计。由于在外壳 126 实验设计时工作点是未知的, 因此通过将压力系数设置为固定在 0.032、0.050 及 0.069 来执行最优化。所产生的三组功率系数等式可以被组合到复合目标函数中。

[0067] 第一个外壳 126 实验设计意图将在 0.032 到 0.069 的期望压力系数范围内的功率系数最大化。使用的目标函数是:

$$[0068] \quad \text{MAXIMIZE (Average} (\eta_{\phi = 0.332}, \eta_{\phi = 0.050}, \eta_{\phi = 0.069}))$$

[0069]  $\eta = (\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4 + \phi_5 + \phi_6) \cdot \Psi_{BC} \quad (9)$

[0070] 对于等式 (9) 中所示的目标函数,应用下面的几何约束:

[0071]  $\frac{F+R}{D} \leq 0.248$

[0072]  $M = 0 \quad (10)$

[0073]  $\frac{B}{D} \leq 0.08$

[0074] 适当设置尺寸约束来将外壳 126 的尺寸最小化以适合驱动器 (例如,电机驱动器 100) 的特定模型 (“实验设计 1”)。第二个外壳 126 实验设计 (“实验设计 2”) 也意图使用等式 9 将功率系数最大化,但是使用下面的几何约束来限制用于不同驱动器 (例如,电机驱动器 100) 的外壳 126 尺寸。

[0075]  $\frac{F+R}{D} \leq 0.368$

[0076]  $\frac{M}{D} \leq 0.115 \quad (11)$

[0077] 通过 200 个个体的种群来运行遗传算法,直到目标函数对于至少 20 代无变化。如图 15 中的表格 310 中所示,由于限制流量 (例如,空气流量 150) 的更严厉的几何约束,因此用于实验设计 1 的平均功率系数是 17% (这低于用于实验设计 2 的平均功率系数)。

[0078] 图 16 是说明设计并构件以允许根据 ANSI/AMCA210-07 标准测试外壳 126 的气流实验台 320。具体地,气流实验台 320 能够测量高达 1100ft<sup>3</sup>/min 的体积流率和高达 3 英寸水柱的压力。通过被测装置 (例如,外壳 126) 的体积流量是由穿过平行安装的精密测流嘴 324 的压力降 322 来获得的。例如,精密测流嘴 324 可以是 1、2、3 或 4 英寸测流嘴 324,并且测流嘴 324 可以是按照 AMCA210-07 标准制造的。

[0079] 测流嘴 324 的上游和下游的沉积网屏 (settling screen) 326 被包括以使气流场平滑。使用压力计 328 (通过一端敞开到空气中) 测量外壳 126 的静态压力。通过将分别位于 90 度 (与气流方向垂直) 的测压孔进行平均来获得压力测量值。下面讨论的风扇性能曲线是通过在保持气流实验台通风机 (例如,风扇 124) 恒定的同时以可调节排气门 330 调节气流率来获得。

[0080] 通过金属片构建并且在图 16 描述的气流实验台 320 上测量外壳 126 的实验设计 1 和外壳 126 的实验设计 2 中的每一个的三个样本 1。为了捕获流量的整个范围,组合使用 1、2、3 和 4 英寸测流嘴 324。另外,发现用于组合的 4 个测流嘴 324 的不确定性分析对于体积流率测量是 +/-2.0% 以及对于静态压力测量是 +/-3.3%。下面示出该过程的实验结果。

[0081] 图 17-20 是说明上述实验结果的曲线图。即,图 17-20 中的图表示出在用于上述外壳 126 的实验设计 1 和 2 的气流实验台 320 上的外壳 126 性能。例如,例如,图 17 是用于外壳 126 的实验设计 1 的第一、第二及第三样本的气流实验台 320 测量结果的曲线图 350。具体地,曲线图 350 示出对于外壳 126 的实验设计 1 的三个样本,与测量出的性能 (例如使用气流实验台 320) 相对比的、通过 Icepak 和实验计算的设计所预测的用于外壳 126 的实验设计 1 的流量和压力系数性能。虽然实验模型的设计预测流量系数具有 4.3% 的最大误差,但是这也不能完全捕获曲率。对于外壳 126 的实验设计 1 运行的 Icepak 模型校正地预

测流量系数并约定所测量的样本具有 1.6% 的最大误差。

[0082] 类似地,图 18 是用于外壳 126 的实验设计 1 的第一、第二和第三样本的气流实验台 320 测试结果的曲线图 360,从而说明与通过 Icepak 和实验计算的设计所预测的性能相对比的用于外壳 126 的实验设计 1 的功率系数性能(例如,根据流量和压力测量计算出)。如所示出的,该实验设计预测功率系数具有在 0.032 到 0.069 的压力系数范围内的 6.3% 的最大误差,以及 Icepak 模型预测功率系数具有 3.8% 的最大误差。如图 17 所示,Icepak 模型准确地捕获了随着流量系数而改变的功率系数状态。

[0083] 图 19 是用于外壳 126 的实验设计 2 的第一、第二及第三样本的气流实验台 320 测量结果的曲线图 370。曲线图 370 示出对于外壳 126 的实验设计 2 的三个样本,与测量出的性能(例如使用气流实验台 320)相对比的、通过 Icepak 和实验计算的设计所预测的用于外壳 126 的实验设计 2 的流量和压力系数性能。实验模型的设计预测流量系数具有 6.0% 的最大误差。流量系数的 Icepak 预测的流量系数的最大误差是 7.1%。

[0084] 最后,图 20 是用于外壳 126 的实验设计 2 的第一、第二和第三样本的气流实验台 320 测试结果的曲线图 380,从而说明与通过 Icepak 和实验计算的设计所预测的性能相对比的用于外壳 126 的实验设计 2 的功率系数性能(例如,根据流量和压力测量计算出)。如所示出的,该实验模型的设计预测功率系数具有在 0.032 到 0.069 的压力系数范围内的 3.5% 的最大误差,同时 Icepak 预测功率系数具有 5.6% 的最大误差。

[0085] 将理解,执行关于外壳 126 实验设计的实验设计研究的一个优点是可以在用于外壳 126 的宽泛的几何设计和用于风扇 124 的压力系数范围中捕获流量、压力和功率系数行为。产生用于  $M = 0$  的流量和功率系数的实验设计曲线作为外壳 126 的有效直径 ( $d_n$ ) 的函数,其可以被限定为:

$$[0086] \quad d_n = \frac{2 \cdot H \cdot W}{H + W} \quad (12)$$

[0087] 其中,H 是外壳 126 的高度,W 是外壳 126 的宽度,以及 H 和 W 被定义为:

$$[0088] \quad H = 0.04 \cdot D + D + B \quad (13)$$

$$[0089] \quad W = F + D + R \quad (14)$$

[0090] 图 21 和 22 说明了使用上述处理产生的设计区线。具体地,图 21 示出作为无量纲外壳 126 直径  $d_n/D$  和用于  $M = 0$  的压力系数的函数的流量系数的曲线图 400,图 22 示出作为无量纲外壳 126 直径  $d_n/D$  和用于  $M = 0$  的压力系数的函数的流量系数的曲线图 410。曲线图 400 和 410 中的曲线可以用于帮助理解外壳 126 对风扇 124 性能的影响。例如,曲线图 410 中的功率系数曲线表示随着压力系数值增加, $d_n/D$  已经对功率系数具有更大的影响。

[0091] 本公开的实施例指向风扇或具有在外壳内偏心布置的风机的通风机外壳。实际上,对称的风扇的旋转几何中心或轴不与外壳的几何中心同中心。在某些实施例中,外壳可以具有矩形或正方形配置。另外,可以基于例如风扇尺寸、风扇性能、外壳尺寸、操作压力等变量,来定制或优选风扇在外壳内的偏心或偏移位置。

[0092] 虽然本文已经说明和描述了本发明的仅仅某些特征,但是本领域技术人员可以进行许多修改和变化。因此,可以理解附属权利要求意欲覆盖落入本发明的实际理念中的所有这种修改和变化。

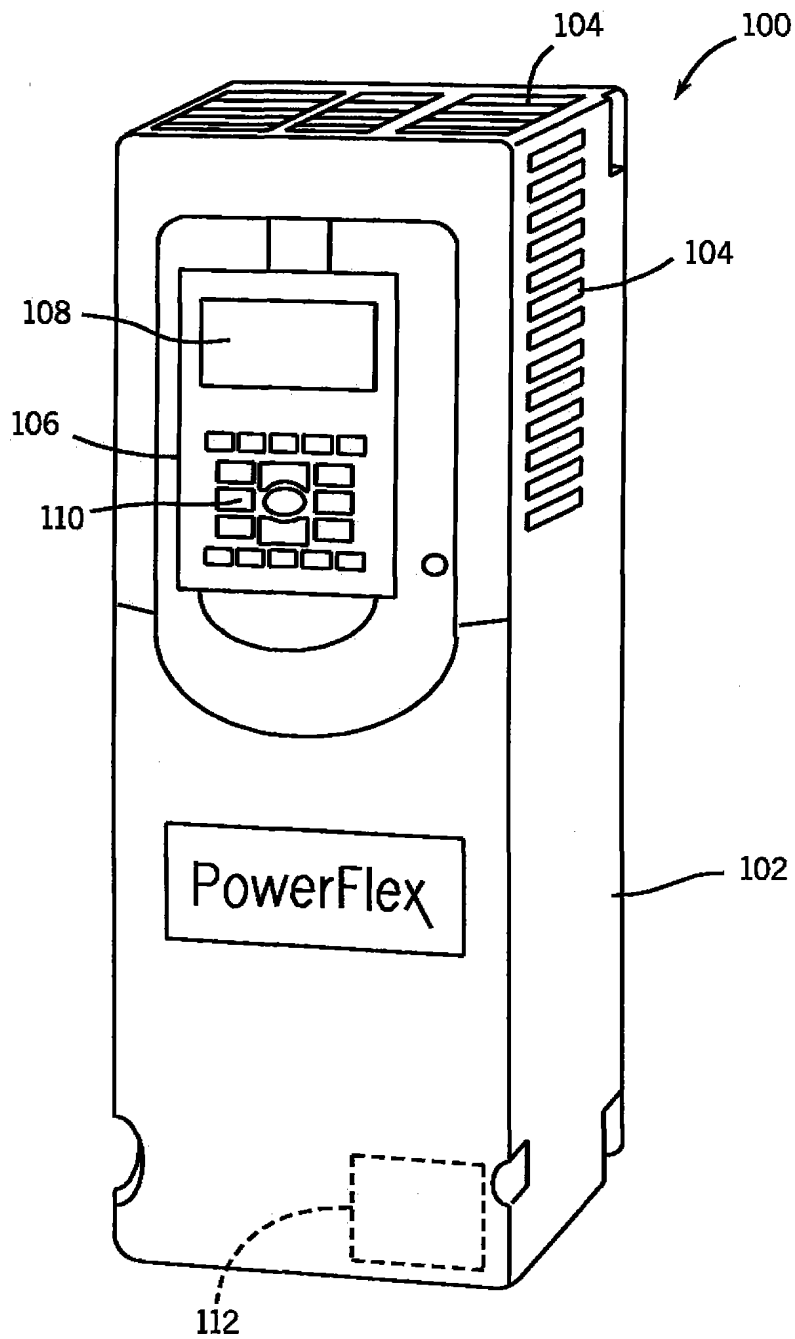


图 1

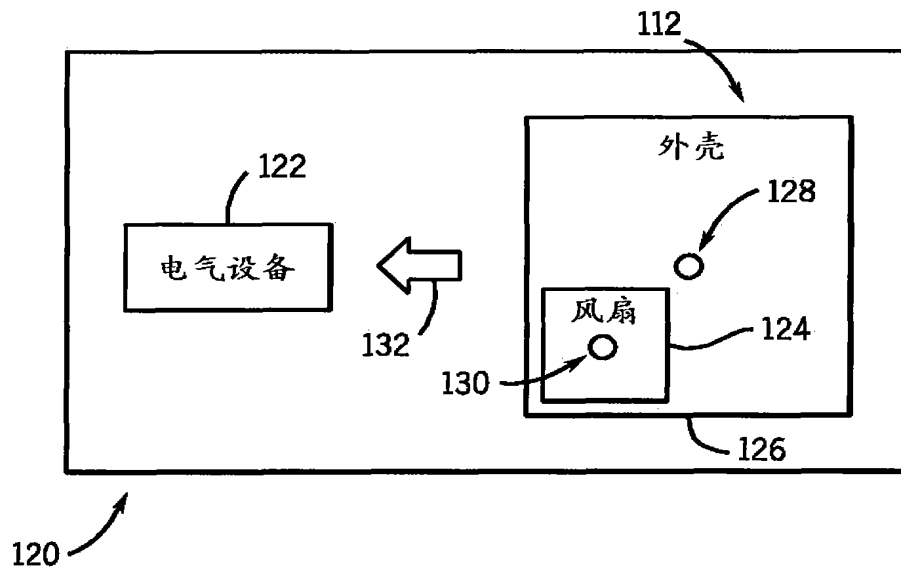


图 2

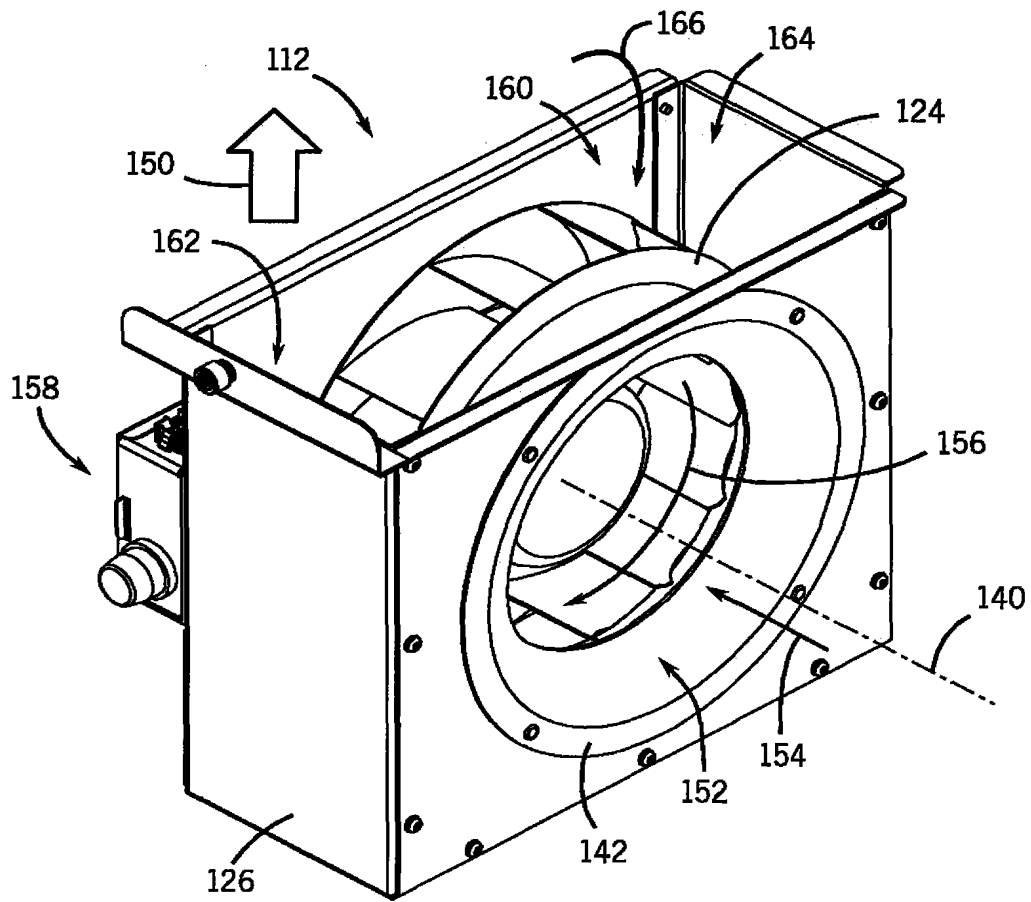


图 3

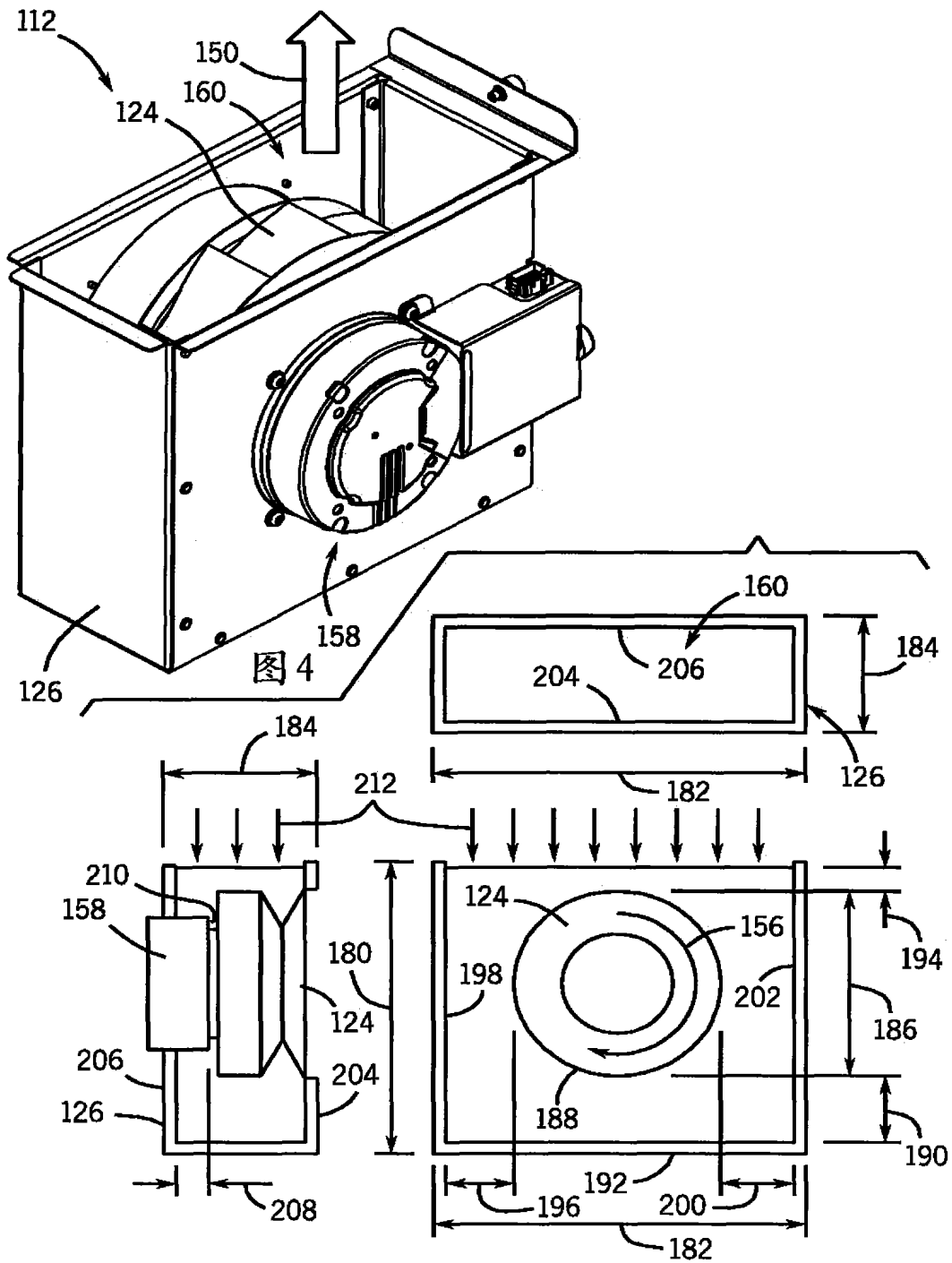


图 5



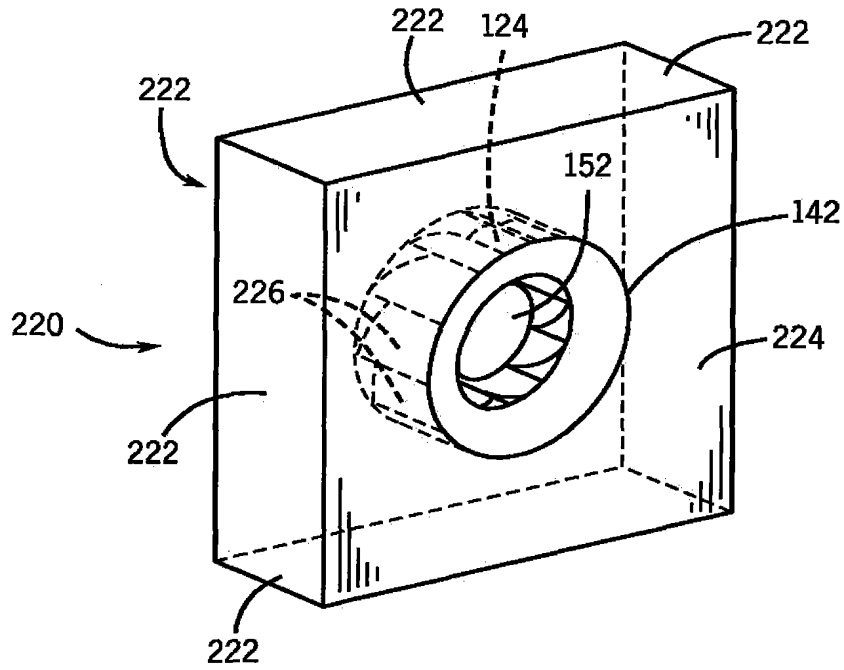


图 6

240

网格	最大网格尺寸	尺寸比 (>1.3)	网孔数量	流量系数( $\phi$ )
粗糙	0.0412 D	-----	292,242	0.06241
中等	0.0304 D	1.36	382,133	0.06924
精细	0.0212 D	1.43	650,734	0.06914

图 7

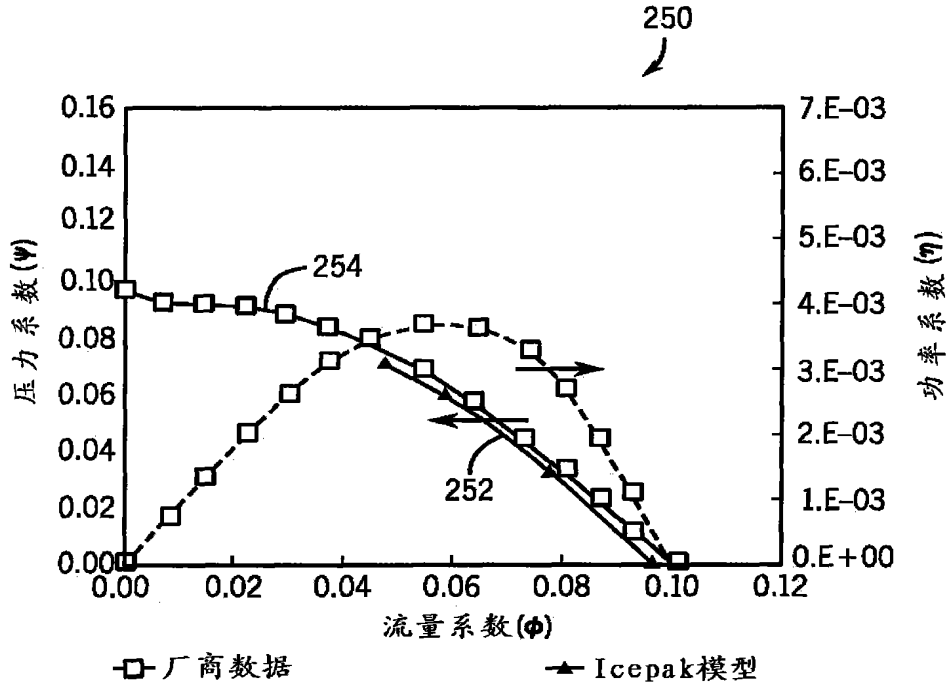


图 8

260

点	原始Icepak数据 (速度 = $\omega$ )		校正后的Icepak数据 (速度 = $\omega_{模型}$ )	厂商风扇数据 (方程4)
	$\phi$ 模型	$\Psi$ 模型	$\Psi$ 调整后	$\Psi$ 期望
1	0.0973	0	0	$f(0.0973 \cdot \omega_{模型} / \omega)$
2	0.0790	0.032	$0.032 \cdot (\omega_{模型} / \omega)^2$	$f(0.0790 \cdot \omega_{模型} / \omega)$
3	0.0597	0.050	$0.050 \cdot (\omega_{模型} / \omega)^2$	$f(0.0597 \cdot \omega_{模型} / \omega)$
4	0.0483	0.069	$0.069 \cdot (\omega_{模型} / \omega)^2$	$f(0.0483 \cdot \omega_{模型} / \omega)$

图 9

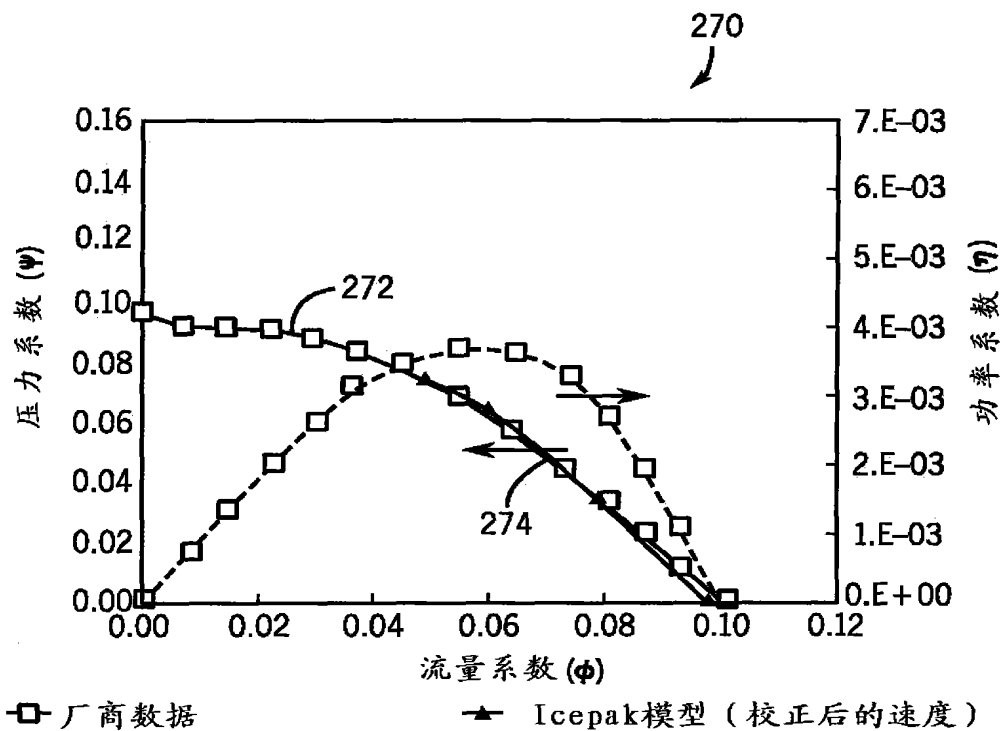


图 10

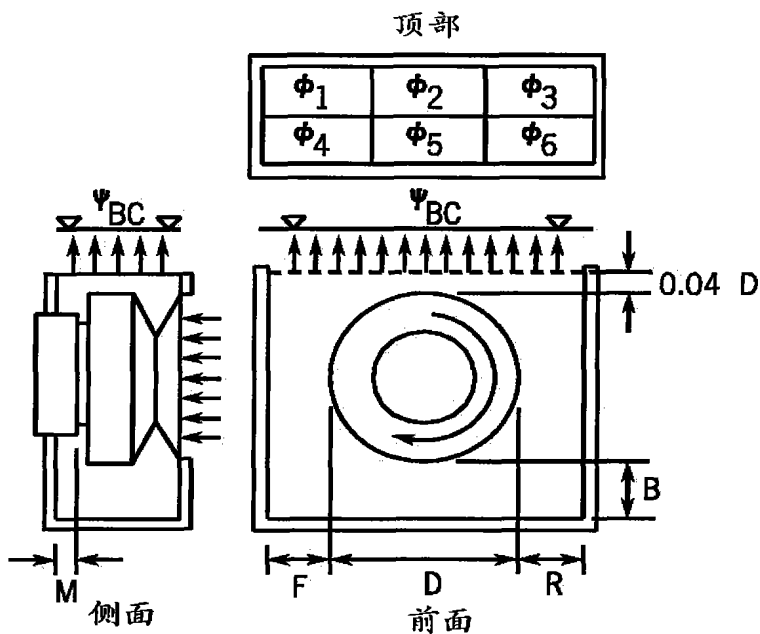


图 11

280



变量	描述	最小值 (-1)	最大值 (+1)
F	从叶轮片到前壁的标准化距离	0.08 D	0.24 D
R	从叶轮片到后壁的标准化距离	0.08 D	0.24 D
B	从叶轮片到基底壁的 标准化距离	0.08 D	0.24 D
M	从电机外壳到壁的标准化距离	0 D	0.12 D
$\Psi_{BC}$	出口处的压力系数	0.032	0.069

图 12

290

运行	M	R	F	$\Psi_{BC}$	B
1	-1	-1	-1	-1	+1
2	+1	-1	-1	-1	-1
3	-1	+1	-1	-1	-1
4	+1	+1	-1	-1	+1
5	-1	-1	+1	-1	-1
6	+1	-1	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1	-1	+1
8	+1	+1	+1	-1	-1
9	-1	-1	-1	+1	-1
10	+1	-1	-1	+1	+1
11	-1	+1	-1	+1	+1
12	+1	+1	-1	+1	-1
13	-1	-1	+1	+1	+1
14	+1	-1	+1	+1	-1
15	-1	+1	+1	+1	-1
16	+1	+1	+1	+1	+1
17	-1	0	0	0	0
18	+1	0	0	0	0
19	0	-1	0	0	0
20	0	+1	0	0	0
21	0	0	-1	0	0
22	0	0	+1	0	0
23	0	0	0	-1	0
24	0	0	0	+1	0
25	0	0	0	0	-1
26	0	0	0	0	+1
27	0	0	0	0	0

图 13

300

参数	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$\phi_4$	$\phi_5$	$\phi_6$
a <sub>0</sub>	0.021966	0.013552	0.017679	0.10372	0.00532	0.003527
a <sub>1</sub>	0.061858	-8.2E-5	0.010436	-0.00405	-0.00287	-0.081602
a <sub>2</sub>	-0.00573	0.009774	0.004921	-0.00339	0.000372	-0.059492
a <sub>3</sub>	0.015917	0.007645	-0.001032	0.081508	-0.01061	-0.006911
a <sub>4</sub>	0.059867	-0.1247	-0.394025	0.105791	-0.03817	-0.147968
a <sub>5</sub>	0.00274	0.025429	0.001902	-0.00307	-0.00012	0.033183
a <sub>12</sub>	0.029798	0.046725	0.030287	0.021176	-0.03533	0.710326
a <sub>13</sub>	-----	-0.11753	0.121407	-----	0.041264	0.391062
a <sub>14</sub>	-0.3871	-0.0686	-0.631457	0.405798	0.064687	0.075449
a <sub>15</sub>	0.033958	0.064171	0.025348	-0.01777	-0.02758	-0.195815
a <sub>23</sub>	0.040751	-----	-0.038468	0.0275	-0.01817	0.064855
a <sub>24</sub>	0.172243	-0.22282	-----	-----	-----	0.463197
a <sub>25</sub>	-----	-0.026	-0.006611	0.027635	-----	-0.028812
a <sub>34</sub>	-0.15391	0.113632	0.104951	-0.1395	0.165848	0.101246
a <sub>35</sub>	0.143811	-0.04343	-0.029511	-----	-----	-0.047444
a <sub>45</sub>	0.145869	-0.1683	0.130871	-----	-----	-0.207214
a <sub>11</sub>	-0.20957	-----	-0.047465	-----	0.0878833	0.332648
a <sub>22</sub>	-----	-----	-----	-----	-0.0283	0.05168
a <sub>33</sub>	-0.11019	-----	-----	-0.10561	0.033782	-----
a <sub>44</sub>	1.94782	-----	2.082562	-1.68781	-0.52113	1.727426
a <sub>55</sub>	-0.08476	-0.02419	-0.023697	-----	-----	-----
a <sub>112</sub>	-----	-----	-----	-----	-----	-1.090068
a <sub>113</sub>	-----	-----	-1.04903	-----	-----	-2.686999
a <sub>114</sub>	-----	-----	3.614792	-----	-----	-----
a <sub>115</sub>	-----	-----	-----	-----	-----	1.183033
a <sub>221</sub>	-----	-----	-----	-----	-----	-1.422727

图 14

310 ↙

变量	设计 1	设计 2
F	0.168 D	0.240 D
R	0.08 D	0.128 D
B	0.08 D	0.240 D
M	0	0.115 D
目标函数 (等式9)	2.774E-3	3.343E-3

图 15

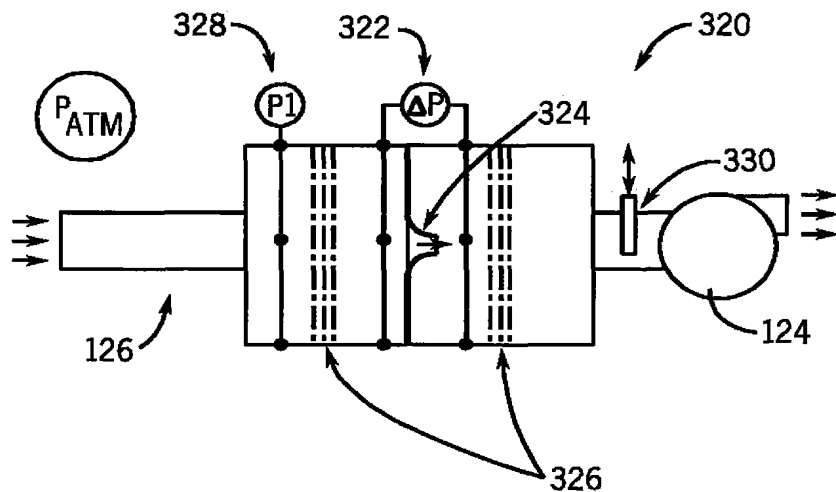


图 16

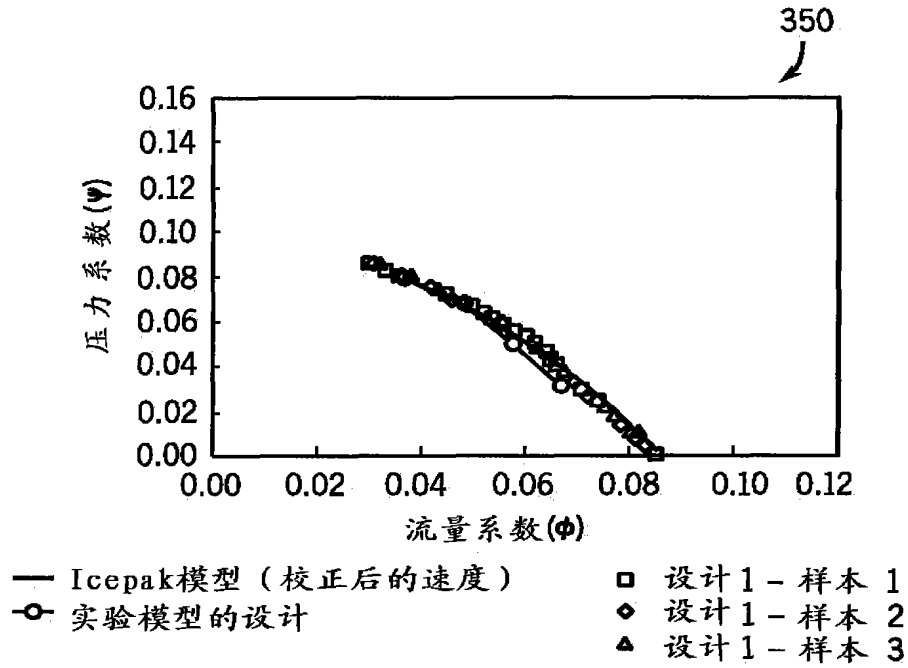


图 17

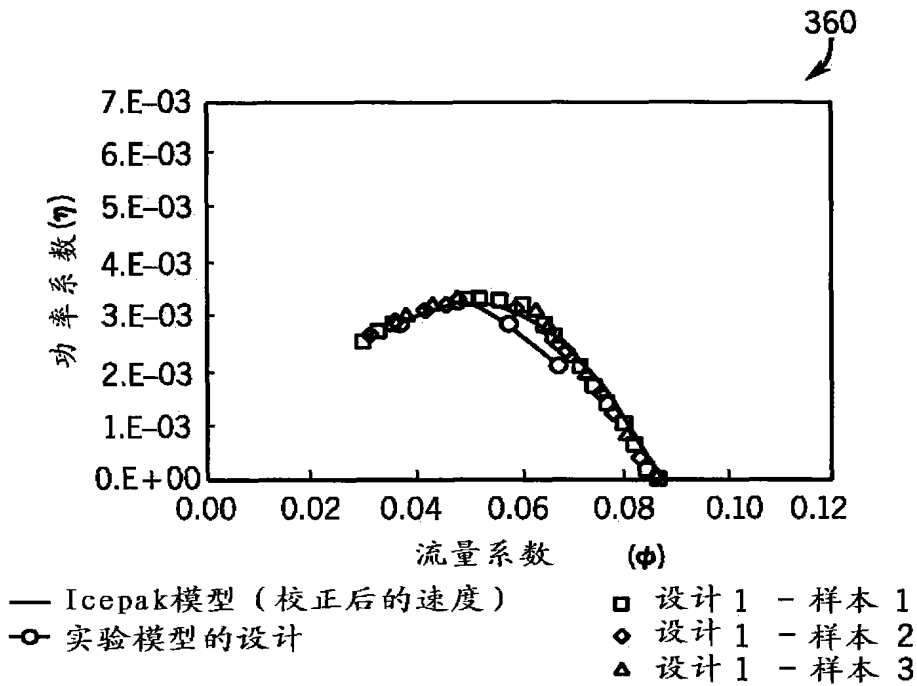


图 18



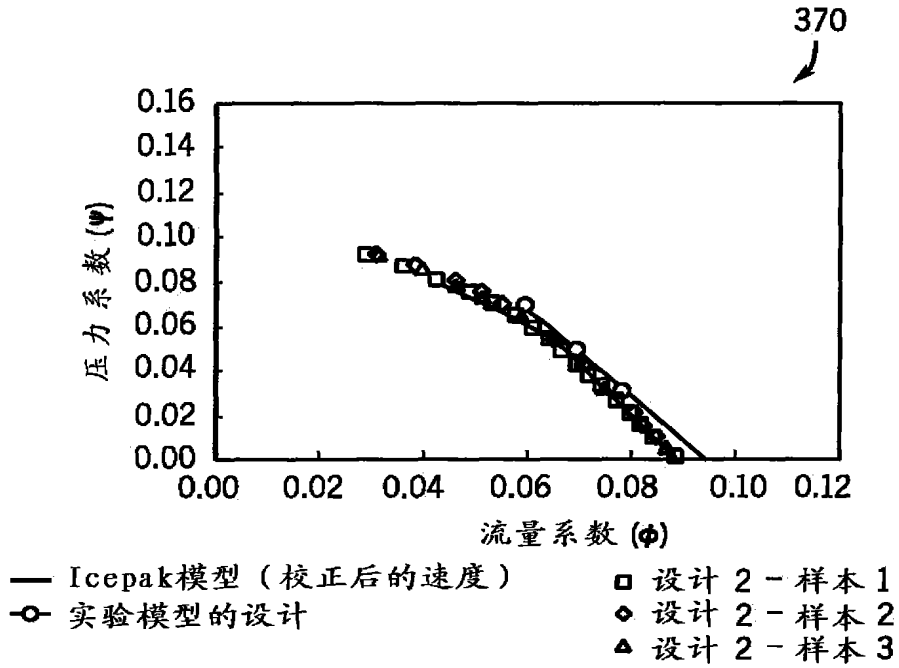


图 19

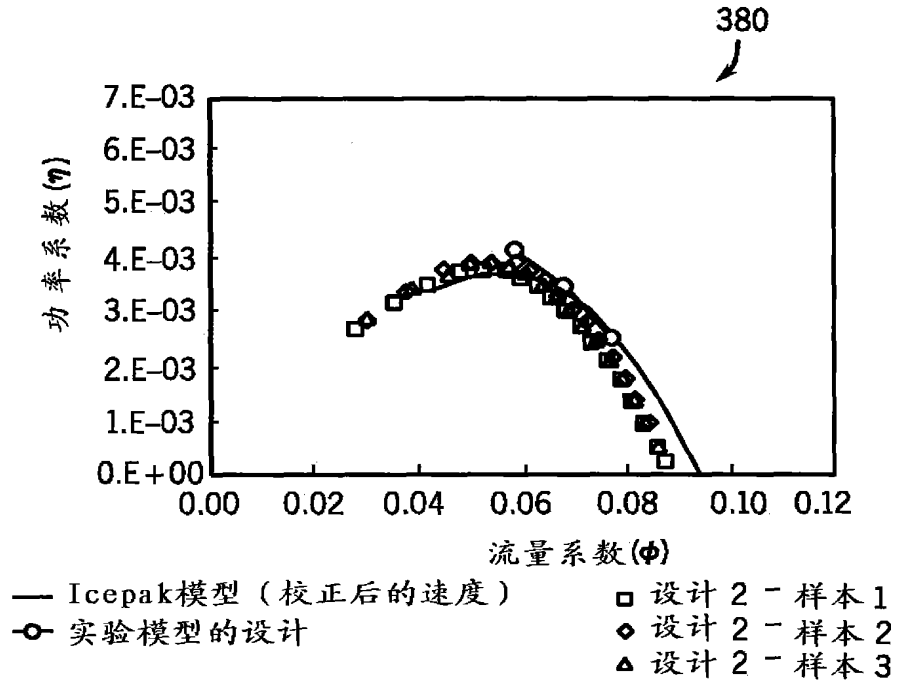


图 20

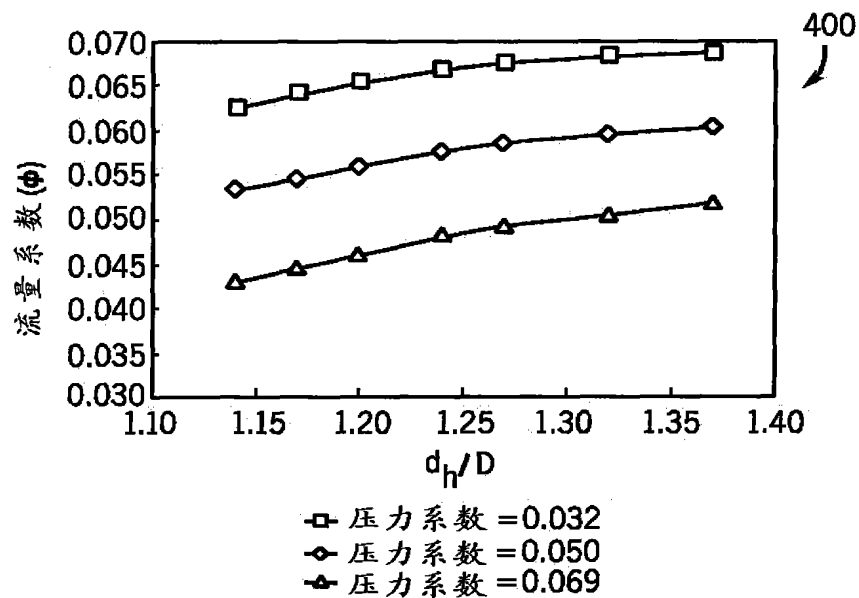


图 21

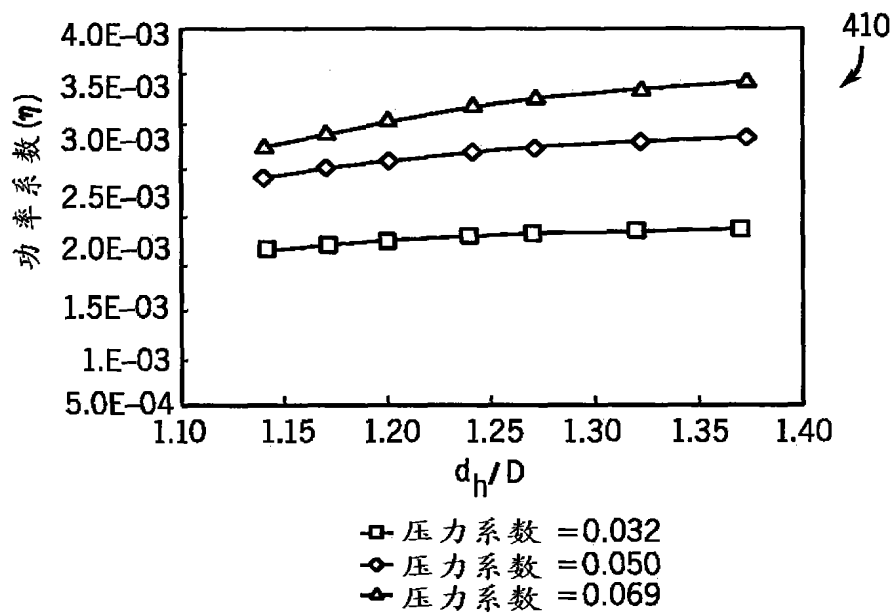


图 22