



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102865274 A

(43) 申请公布日 2013.01.09

(21) 申请号 201210319468.8

(22) 申请日 2012.07.06

(30) 优先权数据

61/506,055 2011.07.09 US

(71) 申请人 拉姆金动力系统有限责任公司

地址 美国华盛顿州

(72) 发明人 R·E·布赖登塔尔

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322

代理人 龙淳

(51) Int. Cl.

F15D 1/00 (2006.01)

B64C 23/06 (2006.01)

F03D 1/06 (2006.01)

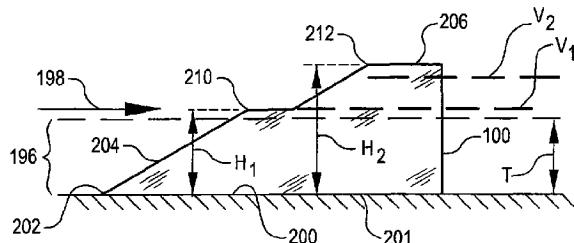
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 6 页

(54) 发明名称

涡流发生器

(57) 摘要

一种用于使流体流过表面期间的流动分离衰减的涡流发生器、或涡流发生器阵列。涡流发生器包括基部，基部具有前端和从前端向外和向后延伸至外端的前缘。前缘包括在基部上方高度  $H_1$  处的第一成角度不连续段，和在基部上方高度  $H_2$  处的第二成角度不连续段。涡流发生器被构造成用于邻近表面在流体中产生至少两个 ( $2$ ) 个涡旋  $V_1$  和  $V_2$ ，并使最外侧产生的涡旋朝向流体经过的表面转动。



1. 一种用于使流体流过表面期间的流动分离衰减的涡流发生器，包括：

基部，其具有前端和从所述前端向外和向后延伸至外端的前缘，所述前缘包括

(a) 在所述基部上方高度  $H_1$  处的第一成角度不连续段，和

(b) 在所述基部上方高度  $H_2$  处的第二成角度不连续段，

所述涡流发生器被构造成用于邻近所述表面在所述流体中产生至少两个涡旋  $V_1$  和  $V_2$ 。

2. 如权利要求 1 所述的涡流发生器，其中高度  $H_1$  为高度  $H_2$  减去高度  $H_1$  的结果的约 1.6 倍。

3. 如权利要求 1 所述的涡流发生器，其中所述涡旋  $V_1$  首先邻近所述基部产生，并且其中所述涡旋  $V_2$  首先从涡旋  $V_1$  向外产生，并且其中由所述涡流发生器给予所述流体的动量使所述涡旋  $V_2$  朝向所述基部旋转。

4. 如权利要求 1 所述的涡流发生器，其中所述前缘还包括在所述基部上方高度  $H_3$  处的第三成角度不连续段，所述涡流发生器被构造成用于产生第三个涡旋  $V_3$ 。

5. 如权利要求 4 所述的涡流发生器，其中高度  $H_2$  为高度  $H_3$  减去高度  $H_2$  的结果的约 1.6 倍。

6. 如权利要求 4 所述的涡流发生器，其中所述涡旋  $V_3$  首先邻近所述涡旋  $V_2$  产生，并且其中由所述涡流发生器给予所述流体的动量使所述涡旋  $V_3$  朝向所述基部旋转。

7. 一种飞机，所述飞机包括：

多个用于使流体流过表面期间的流动分离衰减的涡流发生器，所述涡流发生器包括基部，所述基部具有前端和从所述前端向外和向后延伸至外端的前缘，所述前缘包括

(a) 在所述基部上方高度  $H_1$  处的第一成角度不连续段，和

(b) 在所述基部上方高度  $H_2$  处的第二成角度不连续段，

所述涡流发生器被构造成用于邻近所述表面在所述流体中产生至少两个涡旋  $V_1$  和  $V_2$ 。

8. 如权利要求 7 所述的飞机，其中所述飞机包括一个或多个 S 管道，所述 S 管道具有与发动机关联的入口和出口，并且其中所述 S 管道中包括多个所述涡流发生器。

9. 如权利要求 7 所述的飞机，其中所述飞机包括机翼表面，并且其中所述机翼表面上包括多个所述涡流发生器。

10. 如权利要求 7 所述的飞机，其中所述飞机包括垂直尾翼表面，并且其中所述垂直尾翼表面上包括多个所述涡流发生器。

11. 如权利要求 7 所述的飞机，其中所述飞机包括控制面，并且其中所述控制面上包括多个所述涡流发生器。

12. 如权利要求 7 所述的飞机，其中所述飞机包括水平尾翼表面，并且其中所述水平尾翼表面上包括多个所述涡流发生器。

13. 一种用于在液体上或通过液体行驶的装置，所述装置具有与所述液体接触的表面，并且包括：

多个用于使流体流过所述表面期间的流动分离衰减的涡流发生器，所述涡流发生器包括基部，所述基部具有前端和从所述前端向外和向后延伸至外端的前缘，所述前缘包括

(a) 在所述基部上方高度  $H_1$  处的第一成角度不连续段，和

(b) 在所述基部上方高度  $H_2$  处的第二成角度不连续段，

所述涡流发生器被构造成用于邻近所述表面在所述流体中产生至少两个涡旋  $V_1$  和  $V_2$ 。

14. 一种陆地车辆，所述陆地车辆具有与所述陆地车辆运行通过的空气接触的表面，并且包括：

多个用于使空气流过所述表面期间的流动分离衰减的涡流发生器，所述涡流发生器包括基部，所述基部具有前端和从所述前端向外和向后延伸至外端的前缘，所述前缘包括

(a) 在所述基部上方高度  $H_1$  处的第一成角度不连续段，和

(b) 在所述基部上方高度  $H_2$  处的第二成角度不连续段，

所述涡流发生器中的每一个被构造成用于邻近所述表面在空气中产生至少两个涡旋  $V_1$  和  $V_2$ 。

15. 如权利要求 14 所述的陆地车辆，其中所述陆地车辆包括卡车。

16. 如权利要求 14 所述的陆地车辆，其中所述陆地车辆包括轿车。

17. 如权利要求 16 所述的陆地车辆，其中所述轿车包括赛车。

18. 一种风力涡轮机，包括：

多个可旋转叶片，所述可旋转叶片各自包括空气动力面；

多个用于使空气流过所述空气动力面期间的流动分离衰减的涡流发生器，所述涡流发生器包括基部，所述基部具有前端和从所述前端向外和向后延伸至外端的前缘，所述前缘包括

(a) 在所述基部上方高度  $H_1$  处的第一成角度不连续段，和

(b) 在所述基部上方高度  $H_2$  处的第二成角度不连续段，

所述涡流发生器被构造成用于邻近所述空气动力面在所述流体中产生至少两个涡旋  $V_1$  和  $V_2$ 。

19. 如权利要求 18 所述的风力涡轮机，其中所述高度  $H_1$  为高度  $H_2$  减去高度  $H_1$  的结果的约 1.6 倍。

20. 如权利要求 18 所述的风力涡轮机，其中所述涡旋  $V_1$  首先邻近所述基部产生，并且其中所述涡旋  $V_2$  首先从涡旋  $V_1$  向外产生，并且其中由所述涡流发生器给予所述流体的动量使所述涡旋  $V_2$  朝向所述基部旋转。

21. 如权利要求 20 所述的风力涡轮机，其中所述前缘还包括在所述基部上方高度  $H_3$  处的第三成角度不连续段，所述涡流发生器被构造成用于产生第三个涡旋  $V_3$ 。

22. 如权利要求 21 所述的涡流发生器，其中高度  $H_2$  为高度  $H_3$  减去高度  $H_2$  的结果的约 1.6 倍。

23. 如权利要求 21 所述的涡流发生器，其中所述涡旋  $V_3$  首先邻近所述涡旋  $V_2$  产生，并且其中由所述涡流发生器给予所述流体的动量使所述涡旋  $V_3$  朝向所述基部旋转。

24. 一种用于使流体流过表面期间的流动分离衰减的涡流发生器阵列，包括：

第一涡流发生器，所述第一涡流发生器包括基部，所述基部具有前端和从所述前端向外延伸至外端的前缘，所述前缘包括在所述基部上方高度  $H_1$  处的第一成角度不连续段，所述第一涡流发生器的尺寸和形状被设置成在所述流体中产生第一个涡旋  $V_1$ ；

第二涡流发生器，所述第二涡流发生器包括第二基部，所述第二基部具有第二前端和从所述第二前端向外延伸至第二外端的第二前缘，所述第二外端包括在所述基部上方高度  $H_2$  处的第二成角度不连续段，所述第二涡流发生器的尺寸和形状被设置成在所述流体中产生第二个涡旋  $V_2$ ；并且

其中所述第一涡流发生器和所述第二涡流发生器的尺寸、形状和在阵列中的间隔被设置成使得所述涡旋  $V_1$  首先邻近所述基部产生，并且所述涡旋  $V_2$  首先从涡旋  $V_1$  向外产生，并且其中由所述第一涡流发生器和所述第二涡流发生器给予所述流体的动量使涡旋  $V_2$  朝向所述表面旋转。

25. 如权利要求 24 所述的涡流发生器阵列，其中高度  $H_1$  为高度  $H_2$  减去高度  $H_1$  的结果的约 1.6 倍。

26. 如权利要求 24 所述的涡流发生器阵列，还包括第三涡流发生器，所述第三涡流发生器包括第三基部，所述第三基部具有第三前端和从所述第三基部向外延伸至第三外端的第三前缘，所述第三外端包括在所述第三基部上方高度  $H_3$  处的第三成角度不连续段，所述第三涡流发生器的尺寸和形状被设置成在所述流体中产生第三个涡旋  $V_3$ ，并且其中所述涡旋  $V_3$  首先邻近所述涡旋  $V_2$  产生，并且其中由所述涡流发生器阵列给予所述流体的动量使所述涡旋  $V_3$  朝向所述表面旋转。

## 涡流发生器

### [0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2011 年 7 月 9 日提交的标题为“超音速压缩机”的在先未决的美国临时专利申请序列号 61/506,055 的优先权，其内容通过引用结合于此。

### [0003] 政府投资声明

[0004] 本发明是在美国能源部授予的合同号 DE-FE0000493 下在美国政府支持下完成的。美国政府在本发明中具有特定权利。

### [0005] 附图的版权

[0006] 本专利文件的公开内容的一部分包含受到版权保护的材料。申请人不反对任何人对出现在专利和商标局的专利文件或记录中的专利文件或专利公开内容的描摹复制，但除此之外在任何情况下保留全部版权权益。

## 技术领域

[0007] 本说明涉及用于在流体流动期间使流体混合的涡流发生器。

## 背景技术

[0008] 在工业中存在对用于简单、可靠和有效地混合流体的改进的涡流发生器的持续的兴趣。这样的装置可在多种应用中有用。此外，从效率的角度出发，将会期望通过减小由于边界层现象引起的寄生损失而提高例如飞机机翼或风力涡轮机叶片的多种部件的效率。因此，可以理解的是，提供使流体流动所沿表面邻近的流体的混合增强的新颖、高效的涡流发生器设计将会是有利的。

[0009] 虽然已知多种涡流发生器设计用于激励和最小化由边界层与经过的总体流体流动的相互作用所引起的扰动，但是仍然存在进一步改进的需要，特别是关于在高速飞机的机翼和尾部表面可遇到的高速气流或跨音速气流。超过现有装置的性能的提高将会允许逐步减小阻力，因此随着时间的推移而提高效率，并提供显著的燃料节省。

## 发明内容

[0010] 已开发出一种新颖的涡流发生器设计，在一个实施例中，通过利用一个或更多附加的涡旋进一步激励初始形成的涡旋而增强涡旋的发展。在一个实施例中，可通过各涡流发生器产生两个或更多涡旋。在一个实施例中，可通过各涡流发生器产生三个或更多涡旋。在一个实施例中，可布置具有选定尺寸和形状的涡流发生器的阵列，以共同提供协作的涡旋。在任一方式中，从一个表面向外发展的逐渐变小的涡旋可用以激励在靠近流体流过的表面的位置初始发展的较大的涡旋。在一个方面，第一涡旋可用于使第二涡旋从向外的位置朝向邻近表面的向内的位置转动，从而混合并激励边界层。

[0011] 不加限制，这里提供了多种实例。例如，在一个实施例中，涡流发生器可设置成产生两个涡旋。在一个实施例中，涡流发生器可设置成产生三个涡旋。在多种应用中，这样的涡流发生器可应用于多种流体，无论是空气还是水，或者应用于多种被处理的流体，无论本

质上是气态还是液态。

[0012] 一般地,为了使不利的空气动力学效应或流体动力学效应最小化,并且为了提高经过表面的流体流动效率,可将一个或更多涡流发生器用作边界层控制结构。一般地,可在任何给定的应用中在选定的装置上使用多个涡流发生器。这样的涡流发生器可选自一种或多种类型的涡流发生器,无论是利用单个涡流发生器产生两个涡旋还是利用单个涡流发生器产生三个或更多涡旋。一般地,这样的涡流发生器通过使边界层与涡流发生器伸入其中的总体流体流动流混合而激励边界层。更加一般地,在多个实施例中,涡流发生器可产生多个涡旋,其中较大的涡旋使同时产生的、邻近的且较小的涡旋朝向边界层旋转并由此进入边界层,且因此由于较小的涡旋与边界层混合而控制该边界层。

[0013] 最后,对于不同的流体流动应用,多种构造,特别是详细的涡流发生器的几何形状和数量及其放置位置,可由本领域及本说明书所针对的技术人员做出,而不背离其教导。

## 附图说明

[0014] 现在将使用说明性的附图通过示例性实施例说明涡流发生器的构造,在附图中相同的附图标记表示相同的元件,并且其中:

[0015] 图 1 是附设于流体流过的选定表面的涡流发生器的实施例的概略侧视图,其中涡流发生器被设计为产生至少一 (1) 个涡旋,并且这里示出如粗虚线所示由入流气流产生两 (2) 个协作的涡旋。

[0016] 图 1A 是附设于流体流过的选定表面的涡流发生器的实施例的概略侧视图,其中涡流发生器被设计为产生至少一 (1) 个涡旋,并且这里示出如粗虚线所示由入流气流产生两 (2) 个协作的涡旋,而且涡流发生器被设置为阶梯平面形状,而非图 1 中所示的后掠三角形平面形状。

[0017] 图 1B 是涡流发生器阵列构造的实施例的概略侧视图,其中两 (2) 个不同高度的分离的涡流发生器附设于流体流过的选定表面,其中两 (2) 个涡流发生器的构造被设计为如粗虚线所示由入流气流产生至少两 (2) 个协作的涡旋,并且其中一 (1) 个涡流发生器被设置为阶梯平面形状,且一 (1) 个涡流发生器被设置为后掠三角形平面形状。

[0018] 图 2 是如上面的图 1 或上面的图 1A 中所示的涡流发生器的实施例的操作的概略端视图,示出在流体流过的选定表面上方首先产生的两 (2) 个涡旋,即较大涡旋和较小涡旋。

[0019] 图 3 是如上面的图 1、图 1A 和图 2 中所示的涡流发生器的实施例的操作的概略端视图,示出两 (2) 个涡旋,即较大涡旋和较小涡旋,两个涡旋转动并使较小涡旋向下翻转靠近流体流过的选定表面,以便就位于对邻近选定表面的边界层起作用的位置。

[0020] 图 4 是附设于流体流过的选定表面的涡流发生器的实施例的概略侧视图,其中涡流发生器被设计为产生至少一 (1) 个涡旋,并且这里示出如粗虚线所示由入流气流产生三 (3) 个涡旋。

[0021] 图 4A 是附设于流体流过的选定表面的涡流发生器的实施例的概略侧视图,其中涡流发生器被设计为产生至少一 (1) 个涡旋,并且这里示出如粗虚线所示由入流气流产生三 (3) 个协作的涡旋,而且其中涡流发生器被设置为阶梯平面形状,而非图 4 中所示的后掠三角形平面形状。

[0022] 图 4B 是涡流发生器阵列构造的实施例的概略侧视图, 其中三 (3) 个不同高度的分离的涡流发生器附设于流体流过的选定表面, 其中三 (3) 个涡流发生器的构造被设计为如粗虚线所示由入流气流产生至少三 (3) 个协作的涡旋, 并且其中涡流发生器各自设置为阶梯平面形状。

[0023] 图 5 是如上面的图 4 或图 4A 中所示的涡流发生器的实施例的操作的概略端视图, 示出在流体流过的选定表面上方首先产生的三 (3) 个涡旋, 即大涡旋、中等大小涡旋和小涡旋。

[0024] 图 6 是如上面的图 4、图 4A 和图 5 中所示的涡流发生器的实施例的操作的概略端视图, 示出三 (3) 个涡旋, 即大涡旋、中等大小涡旋和小涡旋, 这些涡旋转动并使较小的涡旋向下翻转靠近流体流过的选定表面, 以便就位于对邻近选定表面的边界层起作用的位置。

[0025] 图 7 提供了利用关于发动机入口和出口的 S 管道的低可观测性轮廓飞机的透视图, 该 S 管道及其入口和出口可受益于使用本文所述的涡流发生器设计。

[0026] 图 8 示出一种具有机翼、控制面以及垂直尾翼和水平尾翼的商用飞机, 这些部件可受益于使用本文所述的涡流发生器设计以使沿暴露于气流的表面的边界层增厚衰减。

[0027] 图 9 示出一种风力涡轮机, 其具有的叶片可通过使用本文所述的涡流发生器设计以使沿暴露于气流的表面的边界层增厚衰减而提高效率。

[0028] 图 10 示出本文所述的涡流发生器在陆地车辆上的使用, 这里提供了一种赛车, 其中初始暴露于气流的驾驶室部分和暴露于气流的下压力翼片利用了本文所述的涡流发生器。

[0029] 图 11 示出一般具有本文所述类型的涡流发生器在流体动力学应用中的使用, 例如在潜水艇的表面上, 其中保持平滑的流体流动对于噪音衰减以及操作效率可能是重要的。

[0030] 前述仅为示例性的附图包含可在利用本文所教导的原理的实际涡流发生器设计中存在或省略、或者可在这种涡流发生器的多种应用中实施的多种元件。变化的涡流发生器设计可使用稍微不同的空气动力学或流体动力学结构、机械连接布置或工艺流程配置, 而仍采用本文所述或所提供的附图中示出的原理。已尝试采用示出至少对于理解示例性的涡流发生器设计而言重要的元件的方式绘制附图。这种细节对于提供用于多种应用的有用的涡流发生器设计应当是有用的。特别地, 这种涡流发生器对于控制可能与邻近飞机表面的高速气体相关联的边界层分离现象应当是有用的, 飞机表面例如与低热特征发动机入口和出口相关联的 S 管道、或机翼表面、或垂直尾翼表面、或相关的控制面。

[0031] 应当理解的是, 在由权利要求限定的本文的教导的保护范围和覆盖范围内, 由于对于在多种流体无论是气体还是液体的流动中的涡流发生器应用是必需或有用的, 因而在不同的实施例中可能有用, 并且取决于例如被处理的或仅仅经过涡流发生器的气体的温度和压力等使用状态, 可根据本文的教导利用多种特征。

## 具体实施方式

[0032] 提供以下详细说明及其涉及的附图用于说明并示出在此阐述的本发明的各方面的一些实例和具体实施例, 而不是为了详尽说明以下说明并要求保护的本发明的各方面的全部可能的实施例和实例的目的。因此, 本详细说明不且不应以任何方式解释为对在本申

请或任何相关申请或作为结果的专利中要求保护的本发明的范围进行限制。

[0033] 为了便于理解本文所公开的主题，使用本文以下所提出的多个术语、缩略语或其它简写术语。这些定义的意图仅在于补充对于本领域技术人员常见的用法。未以其它方式定义的任何术语、缩略语或简写术语均应理解为具有与本文件首次提交的同时期的技术人员所使用的普通意义。

[0034] 在本公开内容中，术语“空气动力学的”应被理解为不仅包括空气的处理，而且包括另外说明的压缩和相关设备内的其它气体的处理。因此，更广泛地，术语“空气动力学的”在此应被认为包括空气以外的气体的气体动力学原理。例如，可在多种工业过程中遇到各种相对纯净的气体，或者气体元素和 / 或化合物的多种混合物，因此如可适用的，术语“空气动力学的”也将包括空气以外的气体或气体混合物的使用。

[0035] 在本公开内容中，除非另外注明，术语“流体动力学的”应被理解为不仅包括水（包括海水）的流动，而且包括工艺设备内的其它液体的处理。因此，更广泛地，术语“流体动力学的”在此应被认为包括水以外的液体的流体流动原理。例如，可通过其中由于边界层现象引起的减阻可能有用的设备，处理各种相对纯净的液体或多种液体化合物的混合物，因此如可适用的，术语“流体动力学的”将包括可被认为是流体动力流的流动中，通过水以外的液体的各种液体的处理。

[0036] 术语“入口”在此可用于定义被设计用于接收流体流动的开口。例如，在用于飞机发动机的空气动力学 S 管道中，空气动力学 S 管道具有入口，该入口具有形状被设置为捕获并吸入通过飞机发动机的被处理气体的入口横截面积。入口可具有多种形状，并且当在这样的入口处或入口内形成例如用于低轮廓可观测性应用的转弯时，这样的入口内的边界层现象的控制通常值得关注。

[0037] 术语“出口”在此可用于定义被设计用于排放流体流动的排放口。例如，在用于飞机发动机的空气动力学 S 管道中，空气动力学管道具有形状被设置为把从飞机发动机放出的热废气传送并排放的选定横截面积的出口。出口可具有多种形状，并且当在这样的出口中或通向这样的出口的管道内形成例如用于飞机的低轮廓可观测性应用的转弯时，该出口内的边界层控制通常值得关注。

[0038] 如在图 1 中总体所见，在一个实施例中，涡流发生器 100 和 / 或 120 的尺寸和形状可设置成，使由箭头 198 表示的高动量总体流体流动混合到边界层 196 中并沿表面 201 混合，以便洗涤边界层 196，使得在这样的混合后，边界层厚度 T 被最小化。

[0039] 现在转到图 1 至图 6，在一个实施例中，边界层控制结构可设置为涡流发生器，例如涡流发生器 100 或 120。此外，如图 7 中所示，涡流发生器 100 可位于例如机翼 162 的空气动力面上，或例如飞机 167 的 S 管道发动机入口 164 或出口 166 部件的其它表面上。同样地，如图 8 中所示，涡流发生器 100 或 120 可位于机翼 169 上、或垂直尾翼 168、水平尾翼 170 上、或例如飞机 174 的襟翼 172 的控制面上。此外，如图 9 中所示，涡流发生器 100 和 / 或 120 可位于风力涡轮机 182 的叶片 180 上。例如公路卡车或图 10 中所示的赛车 184 的陆地车辆，可在例如下压力翼片 186 的适当表面上或在驾驶室面 188 上利用涡流发生器 100 和 / 或 120。类似地，如图 11 中所示，涡流发生器 100 和 / 或 120 可位于例如潜艇 192 的壳体 191 的流体动力面 190 上。通常，在流体流动期间形成低动量边界层的部位，采用本文公开的新颖的涡流发生器设计与较高能量的总体流体流动混合可倾向于使流动分离衰减，减

小阻力并提高总体性能。

[0040] 如图 1 中所示,厚度为 T 的边界层 196 可发生在由参考箭头 198 表示的总体流体的流动中。邻近表面 201 设置的涡流发生器 100 能够将能量从箭头 198 所示的较高能量的总体流体带给边界层 196。涡流发生器 100 可包括连接至适当表面 201 的基部 200, 其具有前端 202 和前缘 204, 前缘 204 从基部的前端 202 向外和向后, 即沿下游方向延伸至外端 206。在一个实施例中, 前缘 204 包括沿第一前缘 204 的至少一个成角度不连续段 210, 用于产生至少一个涡旋。在一个实施例中, 前缘 204 包括在基部 200 上方高度  $H_1$  处的第一成角度不连续段 210, 以及在基部 200 上方高度  $H_2$  处的第二成角度不连续段 212, 用于产生两个涡旋。如对于图 4 中的涡流发生器 120 所示, 在一个实施例中, 前缘 204 包括在基部 200 上方高度  $H_1$  处的第一成角度不连续段 210, 在基部 200 上方高度  $H_2$  处的第二成角度不连续段 212, 以及在基部 200 上方高度  $H_3$  处的第三成角度不连续段 214, 用于产生三个涡旋。在多种实施例中, 如在图 7、8、9、10 或 11 中的任一个中所示, 可在流体动力面上设置多个涡流发生器 100 和 / 或 120。涡流发生器可设置成上述新颖的构造或其变型。

[0041] 在一个实施例中, 涡流发生器可设置成具有为高度  $H_2$  减去高度  $H_1$  的结果的约 1.6 倍的高度  $H_1$ 。在一个实施例中, 高度  $H_2$  可为高度  $H_3$  减去高度  $H_2$  的结果的约 1.6 倍。因此, 在一个实施例中, 在各自的多涡旋实施例中用于产生涡旋的涡流发生器中, 不连续段的高度比可以是约 1.6, 大致是所谓的“黄金比例”。通常, 黄金比例 (更精确为 1.618) 由希腊小写字母 phi ( $\phi$ ) 表示。关于涡旋强度, 如果高度比等于 phi ( $\phi$ ), 那么强度比, 也就是第一与第二涡旋之间的比较强度可等于  $(\phi)^{-2}$ 。通常, 如图 2 和 3 之间且同样地在图 5 和 6 中所示, 在涡流发生器设计中, 一种有用的技术可以是使用较大且较强的涡旋即  $V_1$  使较小的涡旋即  $V_2$  朝向表面 201 转动。同样地, 在三个涡旋的情况下, 这种技术包括使较大且较强的涡旋即  $V_1$  和  $V_2$  转动, 以朝向表面 201 驱动较小的涡旋  $V_3$ 。以这样的方式, 本来可能不能与邻近表面 201 的厚度为 T 的边界层 196 混合的较大的涡旋  $V_1$  能够携带能量, 以借助于较小的涡旋  $V_3$  朝向表面 201 的运送而使箭头 198 所示的较高能量的总体流体与边界层 196 混合。

[0042] 现在转到图 1A 中所示的实施例, 示出附设于流体流过的选定表面 201 的涡流发生器 102 的概略侧视图, 其示出入流气体流动 198。涡流发生器 102 被设计为产生由粗虚线表示的两 (2) 个协作的涡旋  $V_1$  和  $V_2$ 。涡流发生器 102 被设置为阶梯平面形状, 而非图 1 中所示的涡流发生器 100 的后掠三角形平面形状。

[0043] 相似的协作涡旋由图 1B 中所示的单个涡流发生器的构造所产生。该附图提供了涡流发生器的构造的实施例的概略侧视图, 其中两个不同高度的分离的涡流发生器 104 和 106 附设于流体流过的选定表面 201。两个涡流发生器 104 和 106 的构造被设计为由入流气体流动 198 产生由粗虚线表示并在图 2 中进一步示出的至少两 (2) 个协作的涡旋  $V_1$  和  $V_2$ 。涡流发生器 104 被设置为后掠三角形平面形状, 而涡流发生器 106 被设置为阶梯平面形状。涡流发生器阵列 107 包括第一涡流发生器 104 和第二涡流发生器 106。第一涡流发生器 104 具有第一基部 200<sub>1</sub>, 其具有前端 202<sub>1</sub> 和从所述前端 202<sub>1</sub> 向外延伸至外端 211<sub>1</sub> 的前缘 204<sub>1</sub>。前缘 204<sub>1</sub> 具有在基部 200<sub>1</sub> 上方高度  $H_1$  处的第一成角度不连续段 210<sub>1</sub>。如所提到的, 第一涡流发生器 104 的尺寸和形状被设置为在流动流体 198 中产生第一涡旋  $V_1$ 。设置了第二涡流发生器 106。第二涡流发生器 106 具有第二基部 203<sub>2</sub>, 其具有第二前端 205<sub>2</sub> 和从第二前端 205<sub>2</sub> 向外延伸至第二外端 206<sub>2</sub> 的第二前缘 207<sub>2</sub>。第二外端 206<sub>2</sub> 具有在第二基

部 203<sub>2</sub> 上方高度 H<sub>2</sub> 处的第二成角度不连续段 212<sub>2</sub>。第二涡流发生器 106 的尺寸和形状被设置为在流动流体 198 中产生第二涡旋 V<sub>2</sub>。第一涡流发生器 104 和第二涡流发生器 106 的尺寸、形状以及在涡流发生器阵列 107 中的间隔被设置为使得邻近表面 201 首先产生涡旋 V<sub>1</sub>，并且其中从涡旋 V<sub>1</sub> 向外首先产生第二涡旋 V<sub>2</sub>，而且其中由第一涡流发生器 104 和第二涡流发生器 106 给予流体 198 的动量使涡旋 V<sub>2</sub> 朝向表面 201 旋转。

[0044] 图 4A 是附设于流体流过的选定表面 201 的涡流发生器 122 的实施例的概略侧视图。涡流发生器 122 被设计为产生由粗虚线表示并在图 5 中进一步示出的至少三 (3) 个协作的涡旋 V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub> 和 V<sub>3</sub>。涡流发生器 122 被设置为阶梯平面形状，而非图 4 中所示的后掠三角形平面形状。

[0045] 与由涡流发生器 122 提供的协作涡旋相似的协作涡旋由图 4B 中所示的涡流发生器 124、126 和 128 的阵列 119 所产生。在该附图中，提供了涡流发生器 124、126 和 128 的构造的实施例的概略侧视图，并且其中这三个分离的涡流发生器具有不同高度并且附设于流体流过的选定表面 201。三个涡流发生器 124、126 和 128 的构造被设计为如粗虚线所示由入流气体流动 198 产生至少三 (3) 个协作的涡旋 V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub> 和 V<sub>3</sub>。虽然这样的涡流发生器中的每一个被示为阶梯平面形状，但是它们可被替换地设置为后掠三角形平面形状。

[0046] 如图 4B 中所示，第三涡流发生器 128 可具有第三基部 128<sub>3</sub>，其具有第三前端 202<sub>3</sub> 和从第三基部 128<sub>3</sub> 向外延伸至第三外端 206<sub>3</sub> 的第三前缘 207<sub>3</sub>。第三外端 206<sub>3</sub> 具有在第三基部 128<sub>3</sub> 上方高度 H<sub>3</sub> 处的第三成角度不连续段 214<sub>3</sub>。第三涡流发生器 128 的尺寸和形状可被设置为在流动流体 198 中产生第三涡旋 V<sub>3</sub>。涡旋 V<sub>3</sub> 首先邻近涡旋 V<sub>2</sub> 产生，并且由涡流发生器阵列 119 给予流动流体的动量使涡旋 V<sub>3</sub> 朝向安装有第三涡流发生器 128 的表面 201 旋转。

[0047] 涡流发生器 100 和 / 或 120 可被设计为，即尺寸和形状被设置为用于与在用于总体流动气体 198 的成分、密度、温度和速度的设计操作范围内选择的设计操作点相关的操作的入口相对马赫数。一种设计可被配置为用于选定的质量流，也就是用于将被混合的特定量的气体，并且该气体可具有在设计中应被考虑的与温度和压力有关的一定的入口状态（或这种状态的预期范围）。入流气体可相对纯净，具有单一或多种组分，或者可预期为成分可变。并且，当以给定的入口状态开始时，可期望获得特定的最终混合量，因此在特定设计中必须选择尺寸和形状。本文所述的设计允许用于高速气流状态，包括跨音速或超音速状态，因此被认为优于现有技术，特别是主要针对亚音速状态的设计。

[0048] 本文说明了用于使流体流动期间的边界层增长衰减的手段。用于控制边界层的手段可包括使用一个或多个涡流发生器，通过经由涡旋使气体从较高速度的总体流动部分移动到较慢的边界层流动中而激励边界层，从而激励边界层流动。

[0049] 除空气外，多种气体或其气体混合物可由本文所述类型的涡流发生器处理。在各种烃类气体，例如乙烷、丙烷、丁烷、戊烷或己烷的压缩或处理过程中，这样的装置可能有用。此外，具有至少气态氮的分子量 (MW = 28.02) 的气体或气体混合物可能是特别适合的，但是当然，取决于预期应用的温度、压力、和总体气体速度，在各种气体中使用的益处可广泛地变化。更通常地，与以相对低的速度例如甲烷的 (1440 英尺 / 秒) 和更低的（例如氨、水蒸汽、空气、二氧化碳、丙烷、R410a、R22、R134a、R12、R245fa 和 R123）速度发生马赫数为 1 的气体压缩有关的应用，可受益于本文教导的有效的边界层混合。

[0050] 总之,采用本文所教导的涡流发生器的多种实施例预期提供超过现有涡流发生器设计的显著提高的性能,特别是当以空气在跨音速或超音速入口状态下操作时。

[0051] 在前面的说明中,为了解释的目的,已阐述了诸多细节以便提供对所公开的新颖的涡流发生器的设计和应用的示例性实施例的透彻的理解。然而,为了提供有用的实际例或者实施选定的或其它公开的实施例,可能不需要某些说明的细节。此外,为了说明的目的,可使用多种相关术语。仅与参考点相关的术语不意味着被解释为绝对的限制,而是包括在前面的说明中,以便于理解公开的实施例的多个方面。并且,本文所述的方法中的多种动作或行为可能已被以最有助于理解本发明的方式按顺序描述为多个离散的行为。然而,描述的顺序不应被解释为暗示这样的行为必需依赖于顺序。具体地,某些操作可不必需精确地按呈现的顺序执行。并且,在本发明的不同实施例中,一个或多个行为可同时执行,或者可部分或全部去除而添加其它的行为。而且,读者将注意到,短语“在实施例中”或“在一个实施例中”被重复使用。该短语通常不指代相同的实施例;然而,其也可指代相同的实施例。最后,术语“包含”、“具有”和“包括”应被认为是同义的,除非上下文另外指明。

[0052] 从前文中,本领域技术人员可以理解,已提供新颖的涡流发生器用于使边界层与总体流体流动有效地混合。虽然已示出并说明新颖的涡流发生器的某些具体实施例,但是并不意图使涡流发生器受限于这些实施例,或限制于所描述的这种涡流发生器的应用。相反,当结合说明书考虑时,本文所述的新颖的涡流发生器将由所附权利要求及其等效物限定。

[0053] 重要的是,本文所述并要求保护的各方面和实施例可从示出的内容进行修改而本质上不背离所提供的新颖的教导和优点,并可实施为其它特定形式而不背离其精神或特征。因此,本文所呈现的实施例在所有方面应被认为是示例性的而非约束性的或限制性的。如此,本公开内容意在覆盖这里描述的结构,并且不仅覆盖其结构等效物,而且覆盖等效结构。考虑到以上教导,多种改型和变型是可能的。因此,所提供的保护应当仅由本文阐述的权利要求及其法律等效物来限制。

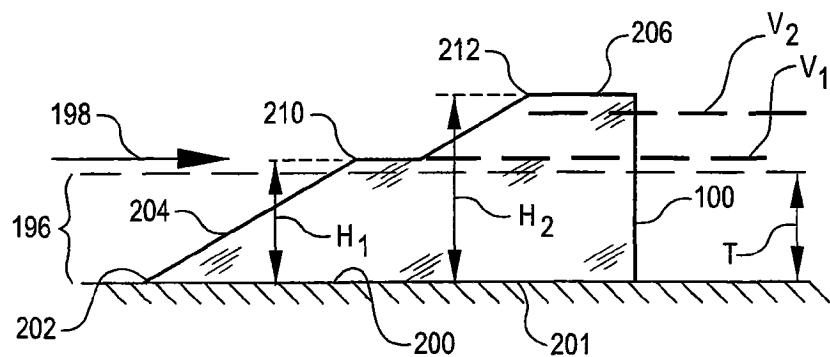


图 1

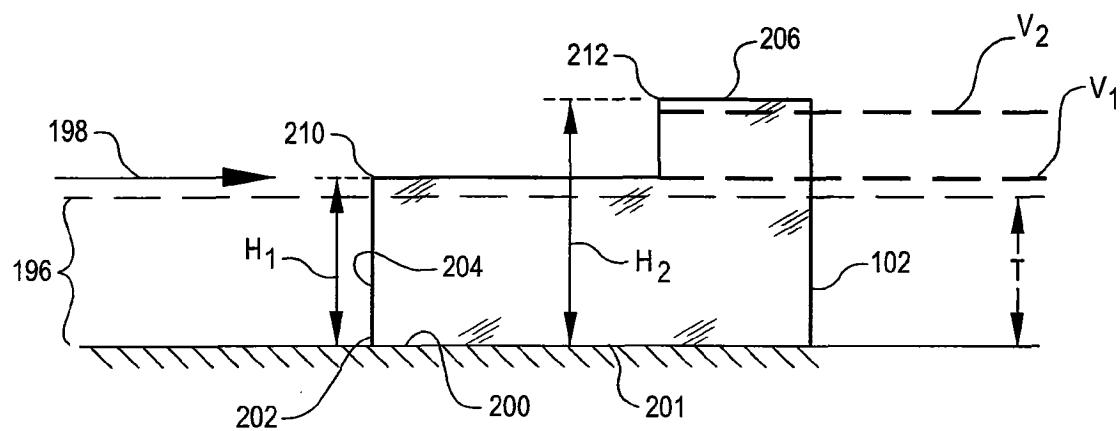


图 1A

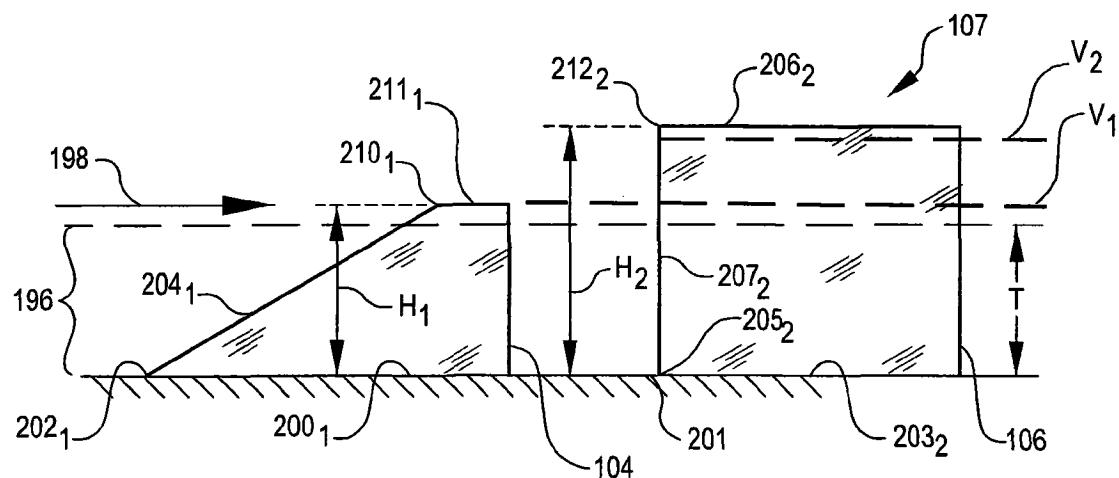


图 1B

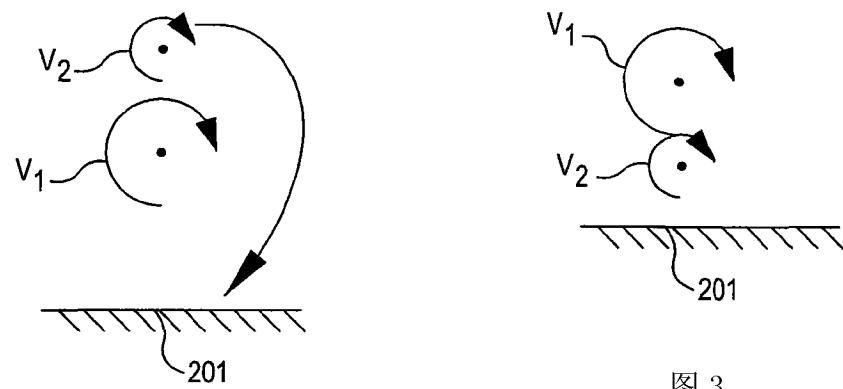


图 3

图 2

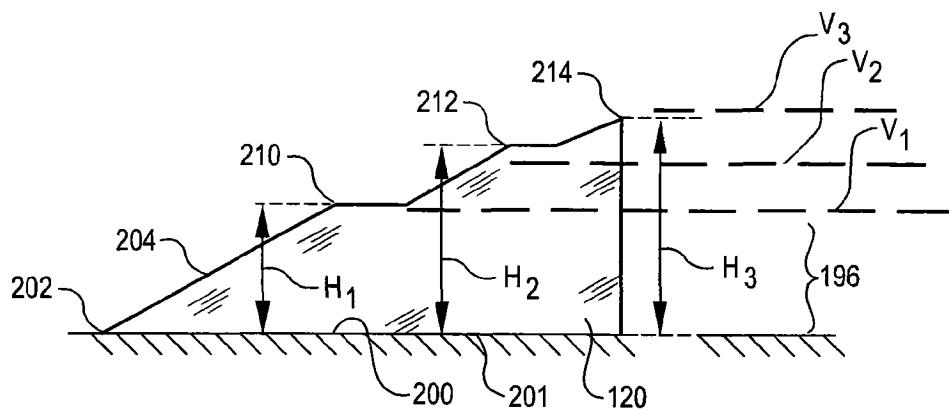


图 4

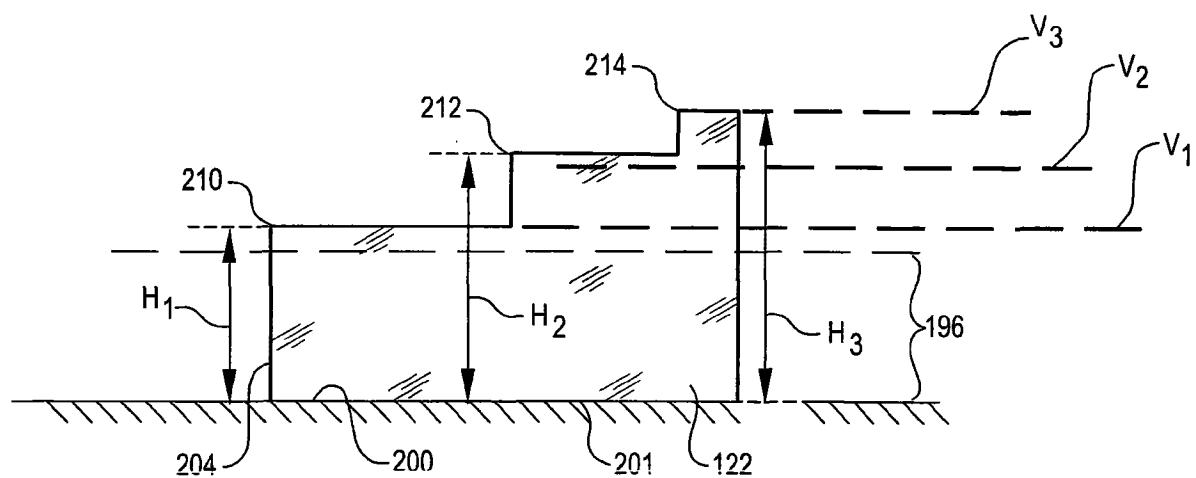


图 4A

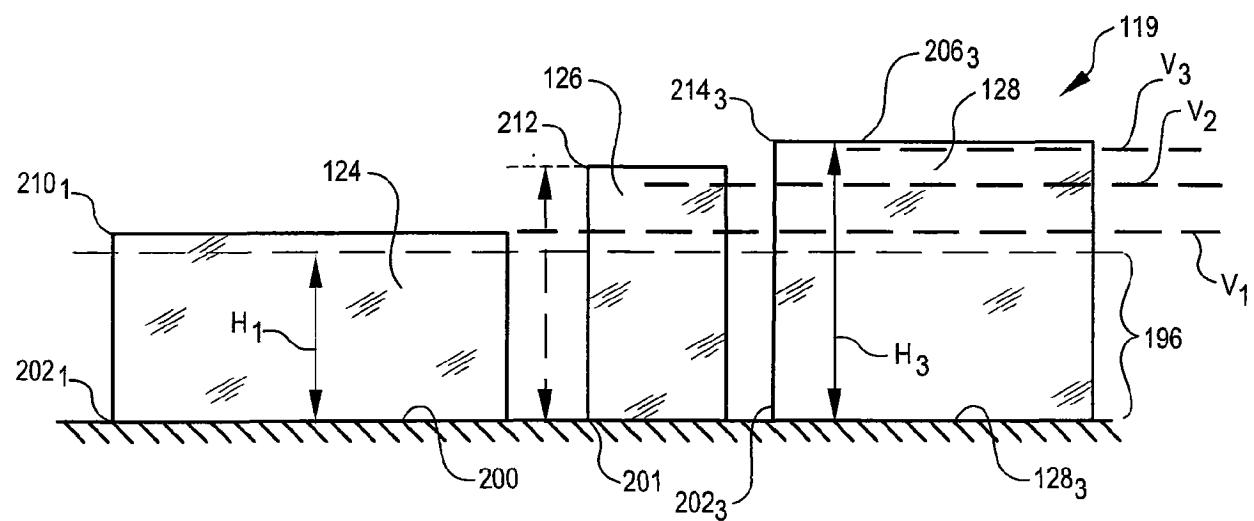


图 4B

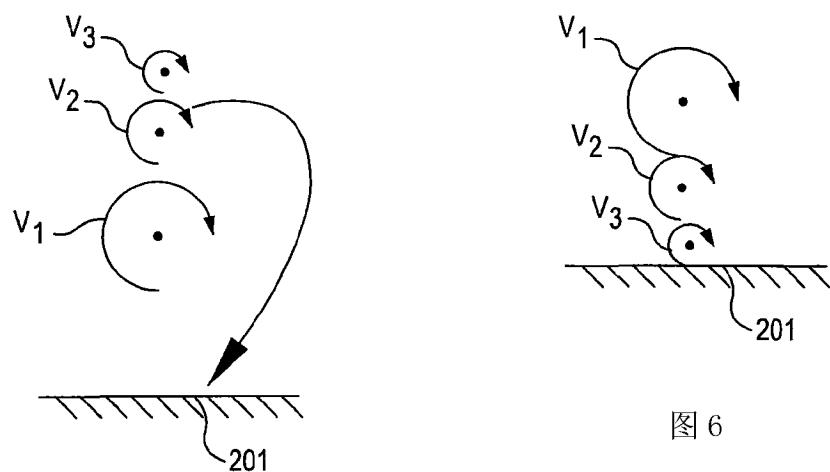


图 5

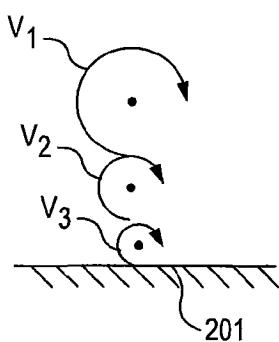


图 6

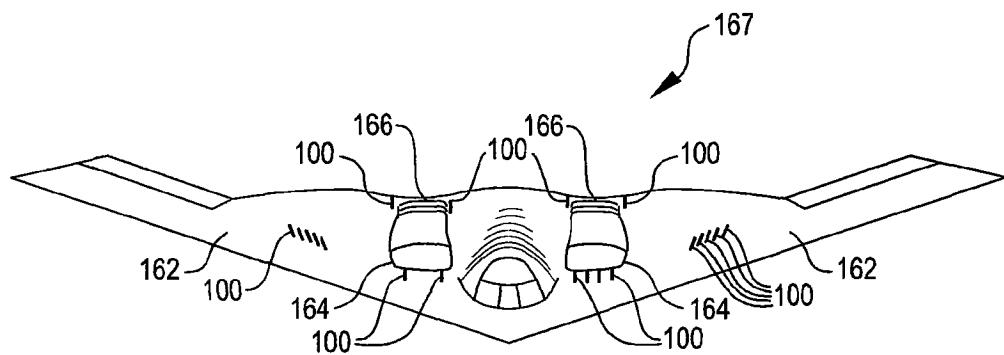


图 7

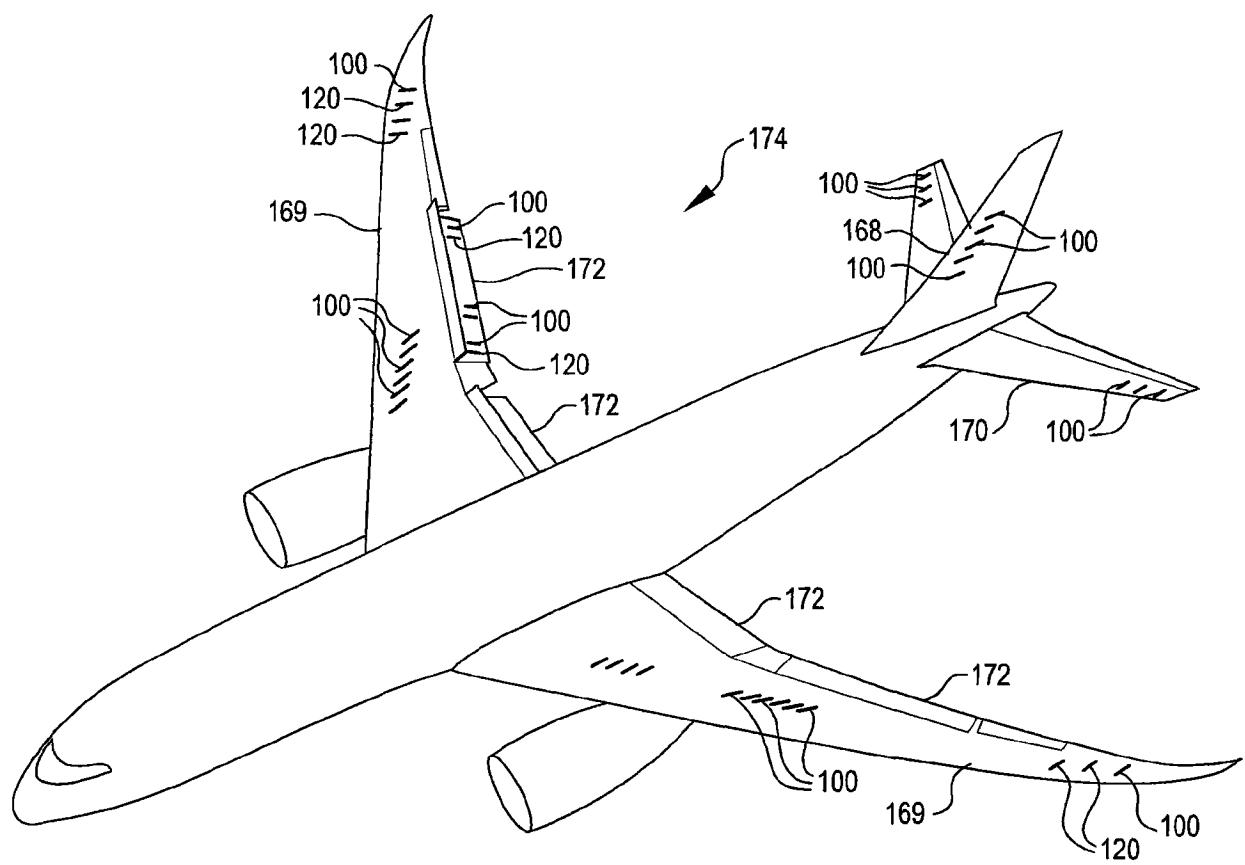


图 8

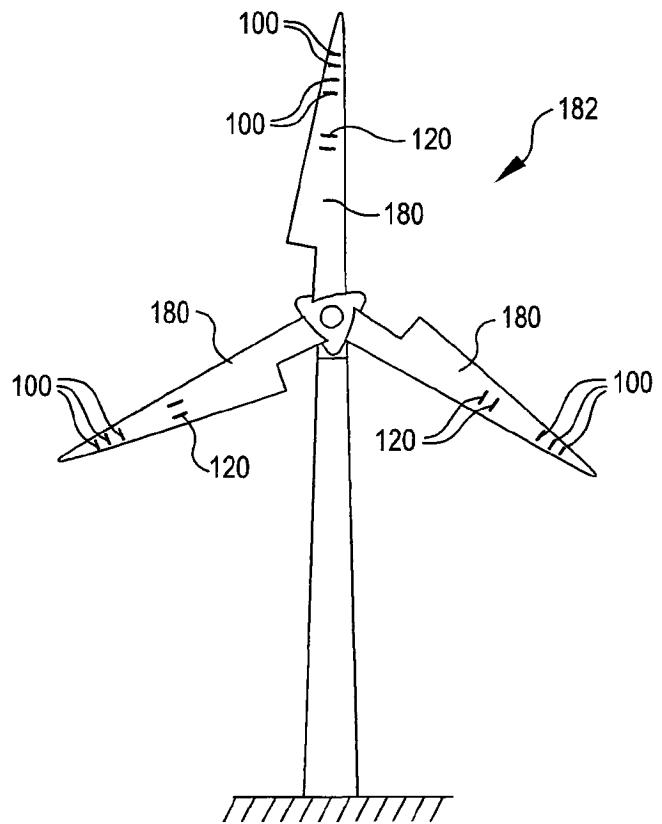


图 9

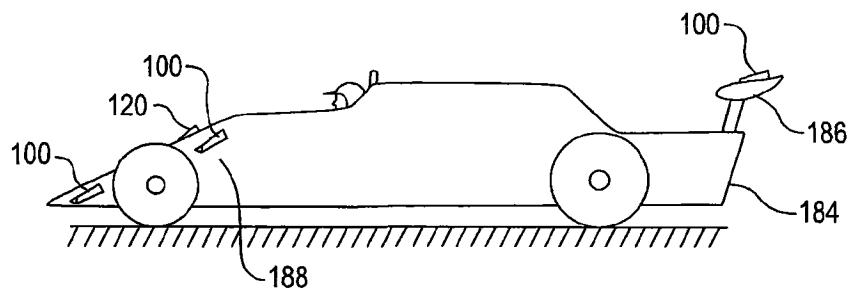


图 10

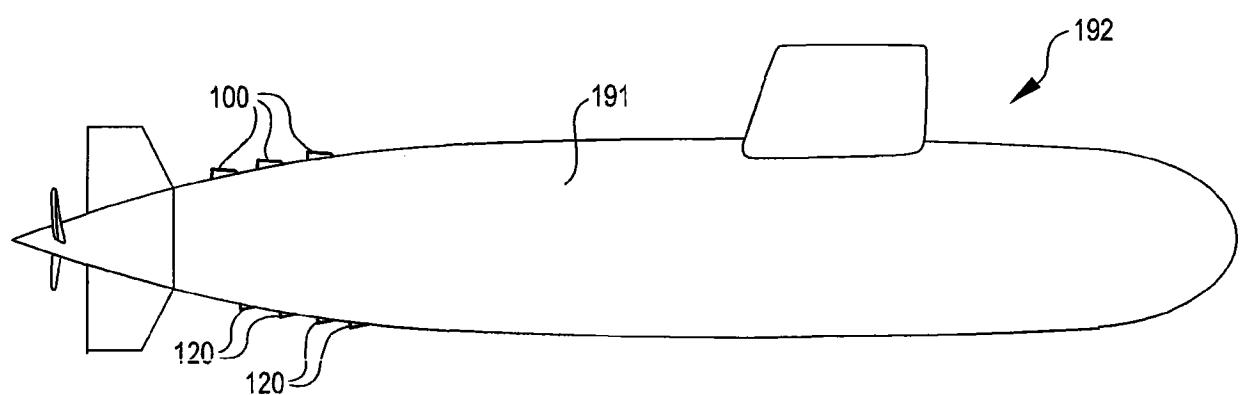


图 11