(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 112178692 B
(45)授权公告日 2022.04.19

(21)申请号 202011159453.0
(22)申请日 2020.10.27
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112178692 A
(43)申请公布日 2021.01.05
(73)专利权人 西北工业大学
地址 710072 陕西省西安市友谊西路127号
(72)发明人 朱惠人 徐志鹏 刘存良 张丽 许卫疆 李鑫磊
(74)专利代理机构 西北工业大学专利中心 61204
代理人 云燕春
(51)Int.Cl.
F23R 3/00(2006.01)

审查员 朱丽丹

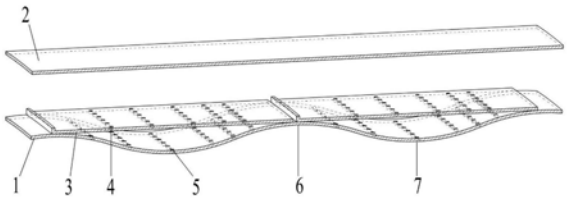
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构

(57)摘要

本发明一种带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构，属于航空发动机燃烧室的冷却技术领域；包括波纹气膜孔板和L型冲击孔板，所述波纹气膜孔板为圆筒波纹管结构，作为加力燃烧室内壁，其内为主燃气涵道，L型冲击孔板的两端分别焊接于波纹气膜孔板的相邻波谷上；波纹气膜孔板的波纹包括迎风面和背风面，迎风面沿轴向均布2-3排气膜孔，背风面沿轴向均布3-4排气膜孔；L型冲击孔板垂直于波纹气膜孔板轴向的一侧板面为扰流柱，高度为H，其平行于波纹气膜孔板轴向的板面上开有多排冲击孔。其结构可在两方面强化换热：冷气涵道的L型冲击孔板上的L型肋扰流增加换热；冷气经冲击孔通过冲击对流换热方式带走波纹气膜板的冷量，冲击换热可以形成高换热区。



CN 112178692 B

1.一种带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构，其特征在于：包括波纹气膜孔板和L型冲击孔板，所述波纹气膜孔板为圆筒波纹管结构，位于加力燃烧室内、并作为加力燃烧室的内壁，其内侧为加力燃烧室主燃气涵道，L型冲击孔板的两端分别焊接于波纹气膜孔板的相邻波谷上；L型冲击孔板、波纹气膜孔板与加力燃烧室的外壁面内表面构成冷气涵道；

所述波纹气膜孔板的每个波纹都包括迎风面和背风面，所述迎风面沿波纹气膜孔板的轴向均布有2-3排气膜孔，所述背风面沿波纹气膜孔板的轴向均布有3-4排气膜孔，每排气膜孔中包括若干沿周向均布的孔径为D_f的气膜孔，D_f取值范围为0.5-1.5mm；

所述L型冲击孔板垂直于波纹气膜孔板轴向的一侧板面为扰流柱，高度为H，其平行于波纹气膜孔板轴向的板面上开有多排冲击孔，孔径为$1D_f$-$1.2D_f$；每排冲击孔和每排气膜孔均为交错排列，即每排冲击孔的正投影落于相邻两排气膜孔中间；相邻两块L型冲击孔板之间距离为δ，取值为$0.5D_f$-$1D_f$；

所述波纹气膜孔板的迎风面上每排气膜孔内的气膜孔为均布，相邻气膜孔的展向间距为P_w，其范围为$3D_f$-$4D_f$；

所述波纹气膜孔板的迎风面上相邻两排气膜孔之间的轴向间距为S_w，其范围为$6D_f$-$9D_f$；

所述波纹气膜孔板的背风面上每排气膜孔内的气膜孔为均布，相邻气膜孔的展向间距为P_l，其范围为$4D_f$-$7D_f$；

所述波纹气膜孔板的背风面上相邻两排气膜孔之间的轴向间距为S_l，其范围为$3D_f$-$5D_f$。

2.根据权利要求1所述带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构，其特征在于：所述气膜孔的流向倾角为α，定义为气膜孔的轴向与波纹气膜孔板轴向的夹角，取值范围为20°-90°。

3.根据权利要求1所述带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构，其特征在于：所述L型冲击孔板的扰流柱高度H为0.8mm。

一种带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构

技术领域

[0001] 本发明属于航空发动机燃烧室的冷却技术领域，具体涉及一种带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构。

背景技术

[0002] 现代军用航空发动机为了满足短距离起飞和快速机动需要，往往装配了加力燃烧室。冲压发动机作为最简单的一类吸气式发动机，由于结构简单和超音速区间的优越性，其燃烧室的性能研究受到许多国家的重视。上述两种燃烧室结构类似，但其严苛的工作条件对设计研究带来了挑战。具体表现为，一方面，燃烧室内点火后气体温度迅速升高到2100K，甚至更高，这一温度极大超过了燃烧室筒体的材料的耐温极限；另一方面，上述燃烧室内气体流速高，压力低，很容易发生振荡燃烧，严重影响其使用寿命。为防止筒体过热和振荡燃烧，在燃烧室筒体和热燃气间需安装带冷却结构的隔热屏。隔热屏形式有多种，其中带气膜孔的纵向波纹隔热屏由于结构简单重量轻，冷却性能较好，得到了广泛的应用。

[0003] 较早的波纹板隔热屏研究可以追溯到90年代，Wakeman[1]的专利提出了一种正弦型薄壁波纹板，板上开密集的气膜孔，孔径推荐大小为0.5mm左右，孔与流向的倾角为20°。这种结构具有统一的壁面厚度，能减少径向温度梯度。Napoli[2]的专利在纵向波纹隔热屏的基础上提出了带方向倾角的气膜孔，这些气膜孔在流向上倾角为 20°，周向倾角为30-60°。许多实验和数值[3-6]都针对波纹结构，气膜孔位置，排布方式等做了一些研究，证实了不同的气膜孔的布置方式和波纹结构会对纵向波纹隔热屏的冷却性能造成影响。目前大部分研究还是遵循波纹板上整体开均匀密布的孔的形式，大量冷气未能发挥其应有的效能。

[0004] 参考文献：

[0005] [1]Wakeman,T.G.,Walker,A.,Maclin,H.M.,1993,“Gas Turbine Engine Multi-Hole Film Cooled Combustor Liner and Method of Manufacture”:US Patent,5181379.

[0006] [2]Napoli,P.D.,1993,“Combustor Liner with Circumferentially Angles Film Cooling Holes”,US Patent,5233828.

[0007] [3]Funazaki,K.,Igarashi,T.,Koide,Y.,Shinbo,K.,2001,“Studies on Cooling Air Ejected over A Corrugated Wall:its Aerodynamic Behavior and Film Effectiveness”,ASME Turbo Expo:Power for Land,Sea,&Air,pp.1- 12.

[0008] [4]Ahmed,M.A.,Yusoff,M.Z.,Shuaib,N.H.,2013,“Effects of Geometrical Parameters on the Flow and Heat Transfer Characteristics in Trapezoidal-Corrugated Channel using Nanofluid”,International Commun in Heat and Mass transfer,Vol.42,pp.69-74.

[0009] [5]Ren,H.-L.,Liu,Y.-H.,Du,L.-W.,2017,“An Experimental Study of Flow and Heat Transfer Performance of a Longitudinal Corrugated Liner for a

Combustion Chamber”Applied Thermal Engineering,Vol.127,pp.1305-1316. [6]Ren, H.-L.,Liu,Y.-H.,2016,“Experimental investigation of fluid flow and heat transfer characteristics of a longitudinal corrugated liner for a combustion chamber”Applied Thermal Engineering,Vol.108,pp.1066-1075.

发明内容

[0010] 要解决的技术问题：

[0011] 为了避免现有技术的不足之处，本发明提出一种用于加力燃烧室的带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构，能够解决波纹板冷气侧换热能力弱，波纹板面整体开孔过多过密，冷气利用效率不高的问题，同时解决波纹隔热屏热应力不均的问题。

[0012] 本发明的技术方案是：一种带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构，其特征在于：包括波纹气膜孔板和L型冲击孔板，所述波纹气膜孔板为圆筒波纹管结构，位于加力燃烧室内、并作为加力燃烧室的内壁，其内侧为加力燃烧室主燃气涵道，L 型冲击孔板的两端分别焊接于波纹气膜孔板的相邻波谷上；L型冲击孔板、波纹气膜孔板与加力燃烧室的外壁面内表面构成冷气涵道；

[0013] 所述波纹气膜孔板的每个波纹都包括迎风面和背风面，所述迎风面沿波纹气膜孔板的轴向均布有2-3排气膜孔，所述背风面沿波纹气膜孔板的轴向均布有3-4 排气膜孔，每排气膜孔中包括若干沿周向均布的孔径为D_f的气膜孔，D_f取值范围为0.5-1.5mm；

[0014] 所述L型冲击孔板垂直于波纹气膜孔板轴向的一侧板面为扰流柱，高度为H，其平行于波纹气膜孔板轴向的板面上开有多排冲击孔，孔径为$1D_f$-$1.2D_f$；每排冲击孔和每排气膜孔均为交错排列，即每排冲击孔的正投影落于相邻两排气膜孔中间；相邻两块L型冲击孔板之间距离为δ，取值为$0.5D_f$-$1D_f$。

[0015] 本发明的进一步技术方案是：所述气膜孔的流向倾角为α，定义为气膜孔的轴向与波纹气膜孔板轴向的夹角，取值范围为20°-90°。

[0016] 本发明的进一步技术方案是：所述波纹气膜孔板的迎风面上每排气膜孔内的气膜孔为均布，相邻气膜孔的展向间距为P_w，其范围为$3D_f$-$4D_f$。

[0017] 本发明的进一步技术方案是：所述波纹气膜孔板的迎风面上相邻两排气膜孔之间的轴向间距为S_w，其范围为$6D_f$-$9D_f$。

[0018] 本发明的进一步技术方案是：所述波纹气膜孔板的背风面上每排气膜孔内的气膜孔为均布，相邻气膜孔的展向间距为P_l，其范围为$4D_f$-$7D_f$。

[0019] 本发明的进一步技术方案是：所述波纹气膜孔板的背风面上相邻两排气膜孔之间的轴向间距为S_l，其范围为$3D_f$-$5D_f$。

[0020] 本发明的进一步技术方案是：所述L型冲击孔板的扰流柱高度H为0.8mm。

[0021] 有益效果

[0022] 本发明的有益效果在于：本发明提出一种用于加力燃烧室的带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构，包括气膜孔板、L型冲击孔板，其特征在于气膜孔板构成加力燃烧室内壁，内侧为加力燃烧室主燃气涵道，冷气侧L型冲击孔板、部分波纹气膜孔板与外壁面构成冷气涵道。其结构可在两方面在强化换热：冷气涵道的L型冲击孔板上的L型肋扰流增加换热；冷气经冲击孔通过冲击对流换热方式带走波纹气膜板的冷量，如图6所示，冲击换热可以形成

高换热区。减少燃气向隔热屏传热方面:冷气从气膜孔流出在波纹板燃气侧形成气膜,降低传热温度;波纹气膜孔板和L型冲击孔板上的气膜孔和冲击孔不均匀分布,增加了冷气在主流背风面波谷积聚,提高了冷气利用效率,如图7所示,与传统模型相比,可以提高整体的冷却效率,有利于减少燃气向波纹板面的传热。此外,波纹结构和L型冲击孔板单侧固定,有利于抵抗热应力和热变形。

附图说明

[0023] 图1为本发明一种带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构示意图;

[0024] 图2为本发明一种带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构局部放大示意图;

[0025] 图3为本发明一种带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构前视图;

[0026] 图4为本发明一种带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构仰视图;

[0027] 图5为本发明在加力燃烧室中的安装示意图;

[0028] 图6为波纹隔热屏冷气侧换热系数分布云图;

[0029] 图7为波纹隔热屏气膜冷却效率分布云图;

[0030] 附图标记说明:1、波纹气膜孔板;2、外壁面;3、L型冲击孔板;4、冲击孔;5、气膜孔;6、波纹波谷;7、波纹波峰;8、主燃气涵道;9、冷气涵道;10、可调节喷嘴;A、主流燃气;B、冷却气流;C1、冲击射流;C2、冷却气流;C11、壁射流;C12、壁射流;C13、气膜射流;C14、气膜射流;α、气膜孔的轴向与波纹气膜孔板轴向的夹角;D_f、气膜孔当量直径;D_i、冲击孔当量直径;P_w、迎风面相邻气膜孔的展向间距;S_w、迎风面相邻两排气膜孔之间的轴向间距;P_l、背风面相邻气膜孔的展向间距;S_l、背风面相邻两排气膜孔之间的轴向间距。

具体实施方式

[0031] 下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,旨在用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。

[0032] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“中心”、“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”、“顺时针”、“逆时针”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0033] 从参阅图1、图2、图3、图4对带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构的详细介绍,以及图5对带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构在加力燃烧室中的应用布置位置介绍。

[0034] 实施例一:

[0035] 本实施例是一种带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构。在波纹气膜孔板的迎风面上含波峰一排在内,布置三排气膜孔5,在波纹气膜孔板的背风面上布置三排气膜孔 5,气膜孔当量直径D_f为1mm。迎风面的气膜孔展向间距P_w为$4D_f$,迎风面相邻气膜孔排轴向间距S_w为$6D_f$。背风面气膜孔展向间距P_l为$4D_f$,背风面相邻气膜孔排轴向间距S_w为$4D_f$。迎风面和背风面气膜孔流向倾角为α为60°L型冲击孔板上冲击孔4位于相邻气膜孔排中间,冲击孔当量直径D_i为1.2mm,排数为五排。两块L型冲击孔板之间距离δ为$0.5D_f$。优势在于:充分利用冲击换热强的特点,气流从冲击孔冲击到气膜板上形成壁射流,后从气膜孔流出形成燃气侧气

膜冷却。迎风面贴壁好，孔排间距大，背风面容易驻留孔排间距小。

[0036] 本实施例中，迎风面孔排数和背风面孔排数相同，主要考虑到背风面波谷能驻留冷气，同时兼顾减少迎风面高换热。这样的布置能使得整个波纹面的温度更加均匀，减小波纹板内部的热应力。相比于传统均匀分布孔结构，实施例一的气膜冷却效率提高了42.5%，冷气侧平均换热系数增大了3.2%，见表1。

[0037] 实施例二：

[0038] 本实施例是一种带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构。在波纹气膜孔板的迎风面上布置两排气膜孔5，在波纹气膜孔板的背风面上布置四排气膜孔5，气膜孔当量直径D_f为1mm。迎风面的气膜孔展向间距P_w为$3D_f$，迎风面相邻气膜孔排轴向间距S_w为 $7D_f$。背风面的气膜孔展向间距P_l为$5D_f$，背风面相邻气膜孔排轴向间距S_w为$4D_f$。迎风面和背风面气膜孔流向倾角为α为60°。L型冲击孔板上冲击孔4位于相邻气膜孔排中间，冲击孔当量直径D_i为1.2mm，排数为五排。两块L型冲击孔板之间距离δ为$0.5D_f$。其特征在于：充分利用冲击换热强的特点，气流从冲击孔冲击到气膜板上形成壁射流，后从气膜孔流出形成燃气侧气膜冷却。迎风面贴壁好，孔排间距大，背风面容易驻留孔排间距小。

[0039] 本实施例中，背风面孔排数多于迎风面孔排数，但迎风面气膜孔展向间距小于背风面气膜孔展向间距，主要考虑到背风面的多排气膜孔冷气展向扩展且在波谷能驻留冷气，而迎风面冷气由于加速和康达尔效应容易贴附壁面，且分布较细长，气膜孔的展向间距减小能够使得前后孔排相互作用，减小了内卷对涡的强度。经过多个波纹气膜叠加后，能取得较好的冷却效果。相比于传统均匀分布孔结构，实施例二的气膜冷却效率提高了20%，冷气侧平均换热系数略微降低了1.7%，见表1。

[0040] 表1实施例与传统模型数值计算方法

[0041]

	计算域	网格类型	网格数量	湍流模型	残差项	平均 h	平均 η
传统模型	周期性	ICEM 非结构	1.02×10^7	k-ε Realizable	10^{-5}	880	0.40
实施例一	周期性	ICEM 非结构	1.25×10^7	k-ε Realizable	10^{-5}	908	0.57
实施例二	周期性	ICEM 非结构	1.22×10^7	k-ε Realizable	10^{-5}	865	0.48

[0042] 尽管上面已经示出和描述了本发明的实施例，可以理解的是，上述实施例是示例性的，不能理解为对本发明的限制，本领域的普通技术人员在不脱离本发明的原理和宗旨的情况下在本发明的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

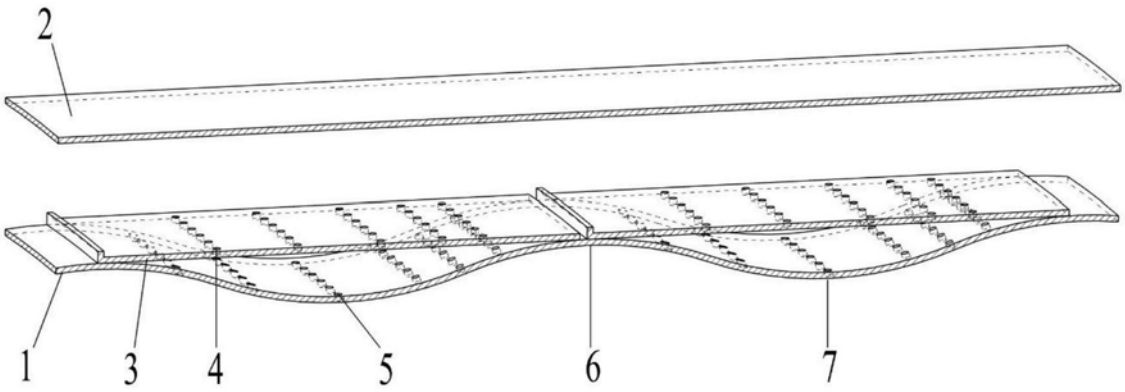


图1

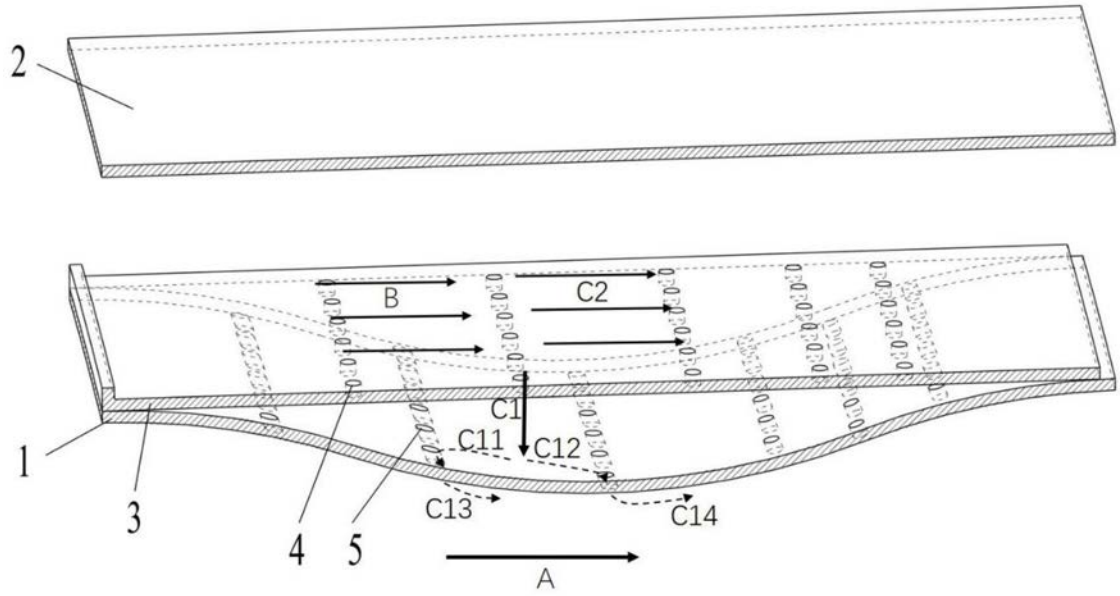


图2

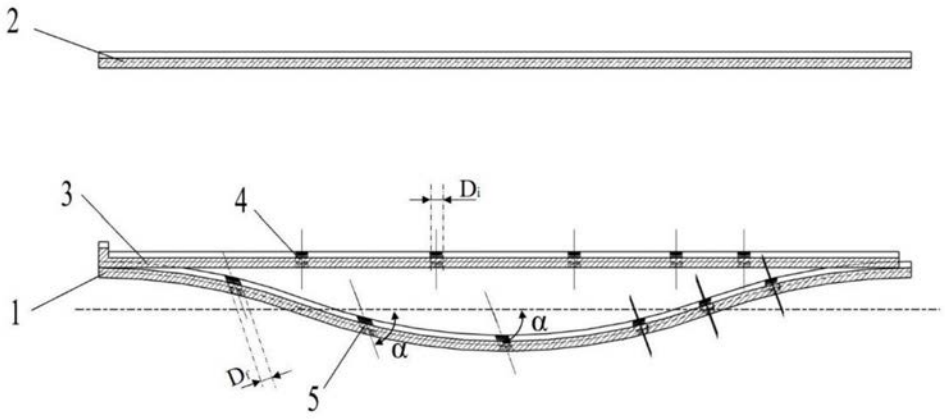


图3

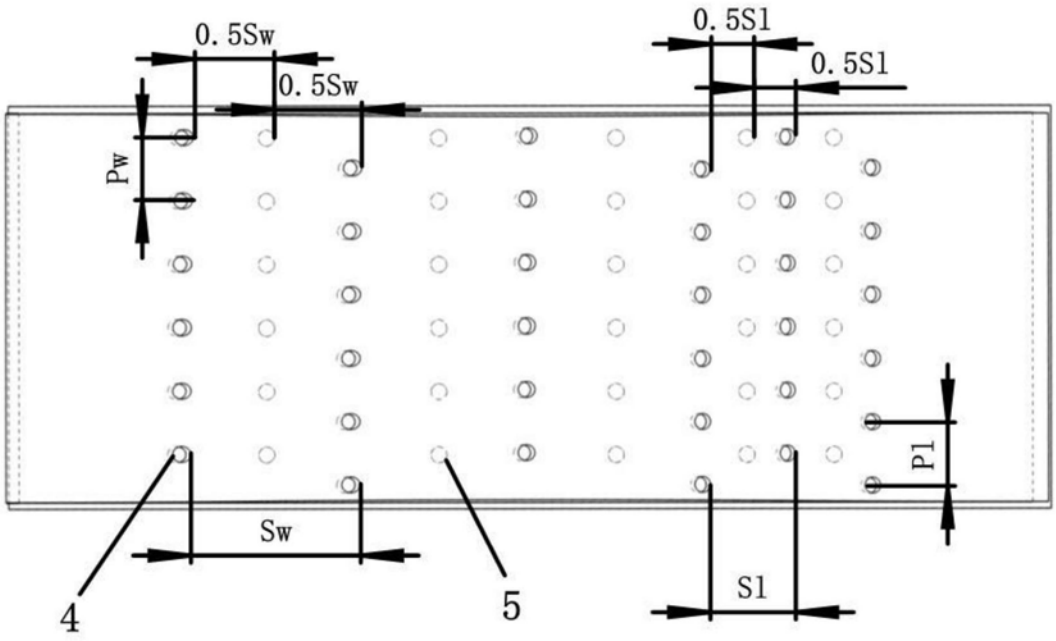


图4

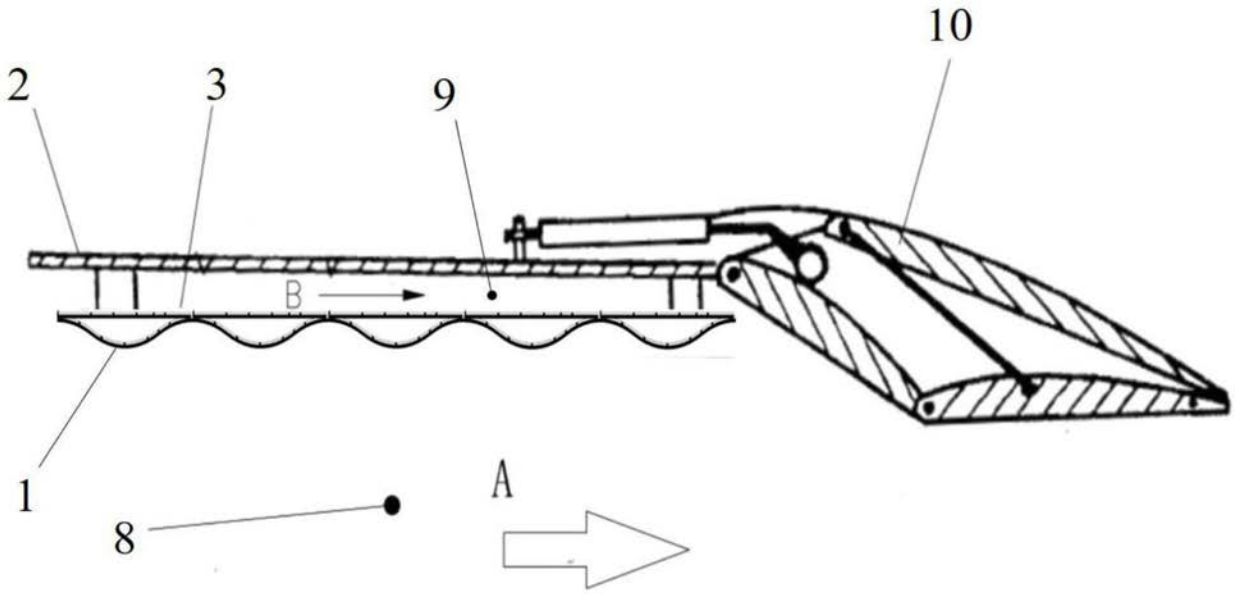


图5

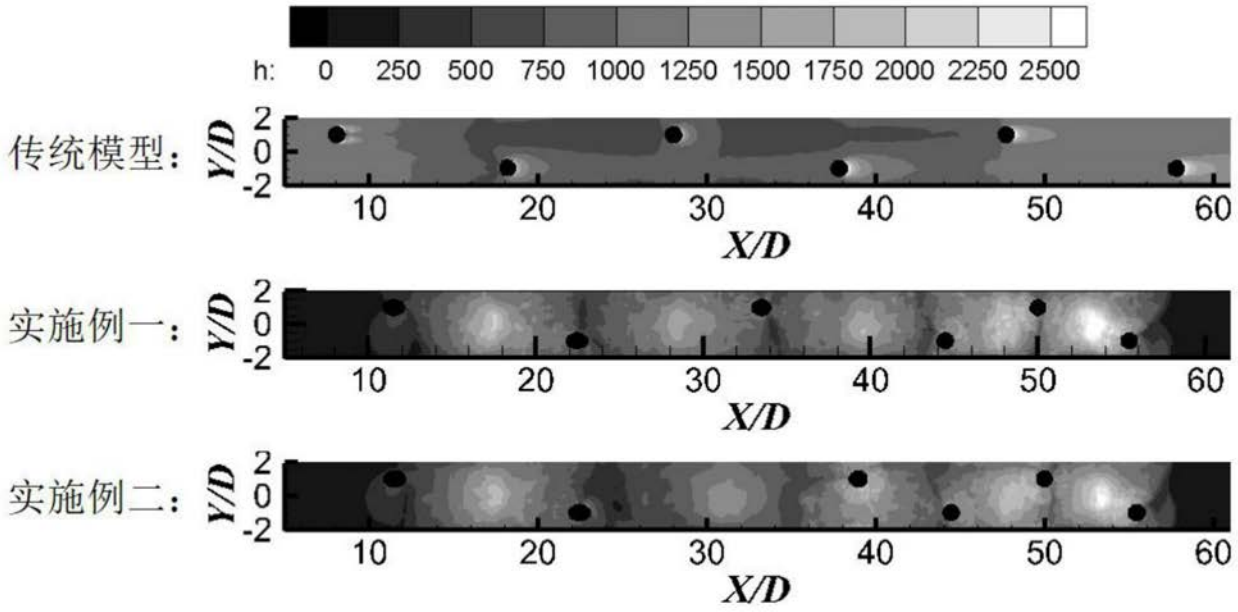

h: 0 250 500 750 1000 1250 1500 1750 2000 2250 2500
传统模型：
实施例一：
实施例二：
Y/D
2
0
-2
10 20 30 40 50 60
X/D

图6

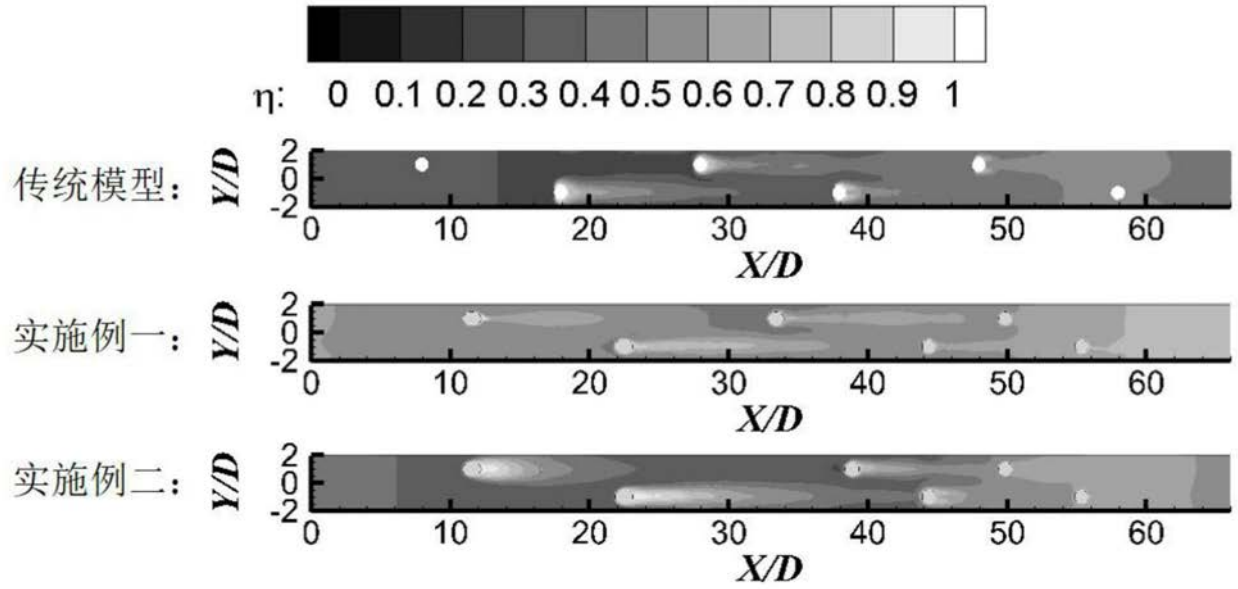

η: 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1
传统模型：
实施例一：
实施例二：
Y/D
2
0
-2
0 10 20 30 40 50 60
X/D

图7