



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115790246 A

(43) 申请公布日 2023. 03. 14

(21) 申请号 202211227488.2

(22) 申请日 2022.10.09

(66) 本国优先权数据

202210371388.0 2022.04.11 CN

(71) 申请人 西北工业大学

地址 710072 陕西省西安市友谊西路

(72) 发明人 朱惠人 徐志鹏 周道恩 刘存良

刘海涌 郭涛

(74) 专利代理机构 西安凯多思知识产权代理事

务所(普通合伙) 61290

专利代理师 云燕春

(51) Int.Cl.

F28F 13/06 (2006.01)

F23R 3/00 (2006.01)

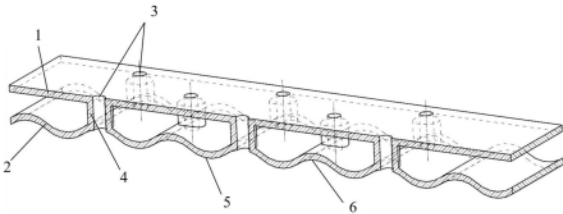
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种双层壁冷却装置及应用

(57) 摘要

本发明一种双层壁冷却装置及应用,属于航空发动机领域;包括冷侧平板、热侧波纹板和中空扰流柱,所述冷侧平板位于冷气通道一侧,所述热侧波纹板位于高温燃气通道一侧,两层壁板之间形成截面积周期性变化的倒丘陵形中间通道;所述冷侧平板和热侧波纹板之间设置有若干中空扰流柱,将冷气通道与高温燃气通道连通,且中空扰流柱与热侧波纹板的连接处位于热侧波纹板的波峰上。本发明采用中空柱扰流冷却和外部气膜冷却结合,使用较少的冷气达到高冷却效率的目的,同时减少结构内热应力,降低结构流动阻力。同时避免了传统波纹板冷气通道流阻较大的缺点,有效解决下游隔热屏和喷管隔热屏因冷气总压不足,无法出流的问题。



1. 一种双层壁冷却装置,其特征在于:包括冷侧平板、热侧波纹板和中空扰流柱,所述冷侧平板位于冷气通道一侧,所述热侧波纹板位于高温燃气通道一侧,两层壁板之间形成截面面积周期性变化的倒丘陵形中间通道;

所述冷侧平板和热侧波纹板之间设置有若干中空扰流柱,通过中空扰流柱内的中空孔将冷气通道与高温燃气通道连通,且中空扰流柱与热侧波纹板的连接处位于热侧波纹板的波峰上。

2. 根据权利要求1所述双层壁冷却装置,其特征在于:所述热侧波纹板为对称型正弦型波纹板或非对称型波纹板,其波纹轨迹为垂直和平行于高温主流方向。

3. 根据权利要求2所述双层壁冷却装置,其特征在于:所述热侧波纹板的波长 λ 为10-60mm,波纹振幅M为1-10mm。

4. 根据权利要求3所述双层壁冷却装置,其特征在于:所述热侧波纹板和冷侧平板所形成通道的平均高度H是波纹振幅M的1-5倍。

5. 根据权利要求1所述双层壁冷却装置,其特征在于:所述中空扰流柱的中空孔截面为圆形,所述中空孔孔径 D_i 在0.5-5mm之间,中空孔的倾角为 30° - 90° ;所述中空扰流柱的壁厚在0.25-2mm之间。

6. 根据权利要求5所述双层壁冷却装置,其特征在于:相邻所述中空扰流柱的中空孔展开间距P为 $4-8D_i$,相邻所述中空扰流柱的中空孔流向间距S为0.33-1倍波纹波长 λ ,波长为流向通孔间距的整数倍。

7. 根据权利要求1所述双层壁冷却装置,其特征在于:所述中空扰流柱的径向截面形状为圆形、椭圆形、水滴形或双曲形。

8. 根据权利要求7所述双层壁冷却装置,其特征在于:所述中空扰流柱的中空孔截面与中空扰流柱的径向截面形状一致。

9. 一种权利要求1所述双层壁冷却装置的应用,其特征在于:所述双层壁冷却装置应用于加力燃烧室,所述冷侧平板与加力燃烧室外壁构成冷气通道,所述热侧波纹板构成加力燃烧室内壁面;所述冷气通道内的冷却气流一部分沿轴向向后流动,一部分通过中空扰流柱的中空孔流出,在所述热侧波纹板的内侧形成出流气膜。

一种双层壁冷却装置及应用

技术领域

[0001] 本发明属于航空发动机领域,具体涉及一种双层壁冷却装置及应用。

背景技术

[0002] 加力燃烧室及其后部的高温部件工作环境恶劣,在加力燃烧室点火复燃后的加力燃烧室内的气体温度可高达2050K-2100K,甚至更高。加力燃烧通常是短时间内开启和断开的,需要考虑温度分布和变化时导致的热应力和热变形。此外,加力燃烧室筒内的发生振荡燃烧也会严重影响其使用寿命,在设计冷却结构时也必须纳入考虑范围之内。

[0003] 纵向波纹隔热屏是加力燃烧室常用的隔热屏之一,它具有降低热应力和冷气驻留冷效高的优点。为了提高其冷却效果,通常在燃气背风面开设气膜孔,虽然燃气侧波峰凹面处冷气能够驻留,具有高冷效的特点,但由于冷气在冷气通道波峰区域冷气速度高压力低的特点,在冷气波峰1/6区域内不适宜开设气膜孔,容易引起燃气倒灌,参见《正弦型纵向波纹隔热屏流动特性研究[D].南京航空航天大学,2010》,作者常国强。

[0004] 冲击+发散双层壁气膜冷却技术是现代发动机高温部件先进冷却方式之一,在冷气形成气膜之前,能够充分利用冲击换热系数高的优点,达到局部强化换热的效果。发明专利CN105042640B航空发动机燃烧室火焰筒的冷却结构,提出了由外壁板、内壁板和扰流柱组成的,采用冲击+发散+扰流柱形成的复合冷却双层壁结构,能保证冷却气用量少的情况下,保证高冷却效果。刘友宏等在《冲击/发散冷却层板隔热屏冷却性能及对比[J].航空动力学报,2014,29(006):1272-1278》中对比了新型冲击/发散冷却层板隔热屏冷却性能,论证其应用于加力燃烧室的可行性,与波纹板隔热屏和单层平板隔热屏进行了相同工况的对比分析,结果表明冲击/发散冷却层板隔热屏具有较好的冷却效果。双层壁结构有结构强化作用,同时气膜孔出流的同时并具有一定的防振效果,能提升加力燃烧室的寿命和可靠性。专利CN205225464U用于航空发动机的双层壁以及航空发动机叶片,公开了一种用于航空发动机的双层壁以及航空发动机叶片,利用了冲击+气膜冷却结构,并利用贯穿两层壁面的柱内气膜孔增强换热效果。冲击+发散双层壁结构虽然能达到较好的换热效果,但内部流动阻力较大,受主次流总压比变化的影响较大,在小压比情况下不容易出流。此外由于双层壁结构为平板结构,热应力不容易释放,在频繁加热-冷却作用下,容易出现破裂情况。

[0005] 而波纹孔板冷却技术是另一种广泛应用于发动机高温部件的冷却方式,它利用了冷气在波纹凹槽内驻留,具有较好的冷却效果,同时利用波纹结构释放结构内的热应力。Wakeman的专利“Gas Turbine Engine Multi-Hole Film Cooled Combustor Liner and Method of Manufacture”:USPatent,5181379,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。

[0006] 专利CN112178692A提出了一种带L型冲击孔板的纵向波纹冷却结构,在波纹板结构的基础上添加L型冲击孔板,利用冲击换热来增强冷却效果。但波纹结构及其改进结构无疑带来了冷却效果的提升,但仍存在冷气质消耗过大,高温部件表面温度不均匀导致的热

应力较大。因此,深度挖掘冷气的冷却能力,并减小冷却结构内部流动阻力是现有冷却技术的最大挑战。

[0007] 对于航空发动机加力燃烧室和喷管的隔热屏,一方面要承受高温燃气对壁面的对流加热,另一方面受到高温火焰的辐射加热,因此,隔热屏极易出现高温烧蚀和受热应力破坏的情况,传统波纹板结构,冷气消耗量大,冷气通道流阻大,不利于波纹板结构下游的冷气出流。

发明内容

[0008] 要解决的技术问题:

[0009] 为了避免现有技术的不足之处,本发明提供一种双层壁冷却装置,将冷侧平板和热侧波纹板通过中空扰流柱连通,解决了传统波纹板结构冷气消耗量大,冷气通道流阻大,不利于波纹板结构下游的冷气出流的问题。

[0010] 本发明的技术方案是:一种双层壁冷却装置,包括冷侧平板、热侧波纹板和中空扰流柱,所述冷侧平板位于冷气通道一侧,所述热侧波纹板位于高温燃气通道一侧,两层壁板之间形成截面积周期性变化的倒丘陵形中间通道;

[0011] 所述冷侧平板和热侧波纹板之间设置有若干中空扰流柱,通过中空扰流柱内的中空孔将冷气通道与高温燃气通道连通,且中空扰流柱与热侧波纹板的连接处位于热侧波纹板的波峰上。

[0012] 本发明的进一步技术方案是:所述热侧波纹板为对称型正弦型波纹板或非对称型波纹板,其波纹轨迹为垂直和平行于高温主流方向。

[0013] 本发明的进一步技术方案是:所述热侧波纹板的波长 λ 为10-60mm,波纹振幅M为1-10mm。

[0014] 本发明的进一步技术方案是:所述热侧波纹板和冷侧平板所形成通道的平均高度H是波纹振幅M的1-5倍。

[0015] 本发明的进一步技术方案是:所述中空扰流柱的中空孔截面为圆形,所述中空孔孔径 D_i 在0.5-5mm之间,中空孔的倾角为 30° - 90° ;所述中空扰流柱的壁厚在0.25-2mm之间。

[0016] 本发明的进一步技术方案是:相邻所述中空扰流柱的中空孔展向间距P为 $4-8D_i$,相邻所述中空扰流柱的中空孔流向间距S为0.33-1倍波纹波长 λ ,波长为流向通孔间距的整数倍。

[0017] 本发明的进一步技术方案是:所述中空扰流柱的径向截面形状为圆形、椭圆形、水滴形或双曲形。

[0018] 本发明的进一步技术方案是:所述中空扰流柱的中空孔截面与中空扰流柱的径向截面形状一致。

[0019] 一种双层壁冷却装置的应用,所述双层壁冷却装置应用于加力燃烧室,所述冷侧平板与加力燃烧室外壁构成冷气通道,所述热侧波纹板构成加力燃烧室内壁面;所述冷气通道内的冷却气流一部分沿轴向向后流动,一部分通过中空扰流柱的中空孔流出,在所述热侧波纹板的内侧形成出流气膜。

[0020] 有益效果

[0021] 本发明的有益效果在于:本发明提供一种带中空扰流柱的平板加波纹板冷却装

置,采用中空柱扰流冷却和外部气膜冷却结合,使用较少的冷气达到高冷却效率的目的,同时减少结构内热应力,降低结构流动阻力。具体实现的原理为:参照图2所示,一部分冷却气流B通过中空孔3,在波纹板高温燃气侧形成驻留冷气涡旋E,从而在热侧波纹面形成冷气膜,减小主流燃气A的热量向隔热屏的传递;另一部分冷气C在冷侧平板1和波纹板2形成的通道中,经过中空柱排3的扰流,对热侧波纹板2进行冷却;热侧波纹板2,在不均匀的热流条件下可允许一定的形变,被动改变波纹的振幅M,消除热应力,从而达到延长隔热屏使用寿命的目的;中空扰流柱4与中间通道气流C成30-90°倾角,一方面使得流动截面为椭圆,降低了内部流阻,另一方面使得冷却气流D1与主流A有较小的夹角,保证冷气对壁面的贴敷,从而达到更高的冷却效果,减少喷管的掺混损失。如图5所示,外冷气通道8由冷侧平板1和平直外壁7构成,避免了传统波纹板冷气通道流阻较大的缺点,有效解决下游隔热屏和喷管隔热屏因冷气总压不足,无法出流的问题。如图6所示,椭圆形13、水滴形14、双曲形15的柱面形状,不仅可以使气膜在燃气表面贴敷更好,增强换热效果,还可以降低内部柱排的流动阻力。

[0022] 经过数值验证,如图7和8,为本发明的一种实施例与同位置开孔的传统单层波纹板结构模型的综合冷却效率对比分布云图和线图,在使用相同气膜冷却气量情况下,综合冷却效率从0.267提升至0.742,提高幅度为2.78倍,从图中可以看出,实施例冷效分布更加均匀,因此结构内热应力较小。结构的流动阻力以总压损失系数衡量,由1.29下降为1.1,下降为原结构的85.3%,因此可以用更低压力的冷气对该结构进行冷却。

[0023] 综上所述,该发明的优点为:(1)冷却空气量少,冷却效率高;(2)波纹结构有效减小热应力;(3)结构流动阻力小,保证下游冷却结构出流。

附图说明

[0024] 图1为本发明一种双层壁冷却装置示意图;

[0025] 图2为本发明一种双层壁冷却装置流动示意图;

[0026] 图3为本发明一种双层壁冷却装置特征尺寸示意图;

[0027] 图4为本发明一种双层壁冷却装置孔排布置示意图;

[0028] 图5为本发明在加力燃烧室应用场景示意图;

[0029] 图6为本发明中空扰流柱的结构形式示意图;

[0030] 图7为本发明实施案例与单层波纹板模型综合冷却效率对比云图;

[0031] 图8为本发明实施案例与单层波纹板模型展向平均综合冷却效率对比线图;

[0032] 附图标记说明:1、冷侧平板;2、热侧波纹板;3、中空孔;4、中空扰流柱;5、热侧波纹板的波谷;6、热侧波纹板的波峰;7、外壁;8、冷气通道;9、主燃气涵道;10、可调节喷嘴;11、圆形中空扰流柱;12、椭圆形中空扰流柱;13、水滴形中空扰流柱;14、双曲形中空扰流柱;A、主流燃气;B、冷却气流;C、板间冷却气流;D1、中空孔出流;D2、出流气膜; D_1 、中空扰流柱内径; D_0 、中空扰流柱外径;E、热侧波纹板波峰内凹处驻留冷气涡旋;H、板间通道平均高度;M、波纹振幅;P、中空扰流柱排展向间距;S、中空扰流柱排流向间距; λ 、波纹长度。

具体实施方式

[0033] 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。

[0034] 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。

[0035] 本实施案例是带中空扰流柱的平板加波纹板冷却装置在加力燃烧室内的具体实施案例。

[0036] 从涡轮排出的高温低压燃气经过扩压后进入主燃气涵道9,与燃油喷嘴喷出的燃油混合后再燃,形成高温燃气,主流高温燃气A温度可高达2200K,远超材料的熔点,因此要对隔热屏进行冷却。

[0037] 参阅图1、图2、图3、图4,本实施案例加力燃烧室的平板加波纹板冷却装置,包括冷侧平板1、热侧波纹板2以及连接冷侧平板和热侧波纹板的中空扰流柱4。冷侧平板1与外壁7构成冷气通道8,在冷侧平板和热侧波纹板中间形成截面积周期性变化的倒丘陵形中间通道,热侧波纹板2构成加力燃烧室内壁面。

[0038] 图2和图5中展示了加力燃烧室中空扰流柱的平板加波纹板冷却装置的工作方式,带中空扰流柱的平板加波纹板冷却装置通过支架固定安装在加力燃烧室外壁面7上,可调节尾喷口10与外壁面7固定连接。冷却气流B在冷气通道8中沿轴向向后流动,其压力高于主燃气涵道9内燃气压力,冷却气流B一部分通过中空柱形成出流D1,并在热侧波纹板2形成出流气膜D2。冷侧平板和热侧波纹板中间形成中间通道通过气流C,通过对流换热对热侧波纹板进行冷却。

[0039] 本实施案例采用的波纹长度 λ 为12mm,两波纹板板间通道平均高度H为6mm,波纹振幅M为2mm,中空柱内径 D_i 为2mm,中空柱外径 D_o 为4mm,中空扰流柱排展向间距P为12mm,中空扰流柱排流向间距S为12mm。由于热侧波纹板波峰内凹处驻留冷气涡旋E,形成气膜层对热侧波纹板的良好覆盖,进而大量减少燃气向热侧波纹板的传热量;此外,冷却气流C通过两层波纹板中间通道,通过对流换热对热侧波纹板进行冷却,带走热侧波纹板的热量,进一步降低了热侧波纹板温度,从而对整个加力燃烧室形成良好的保护作用;平直的冷气通道相对于传统波纹形冷气通道可大幅降低流动阻力。本实施案例和相同开孔率、开孔位置的单层波纹板结构,进行了数值计算对比。具体计算设置见表1,实施案例与单层多单层波纹板结构冷效对比见图7及图8。在相同冷气消耗情况下,本实施案例的综合冷却效率是单层波纹板的2.78倍,冷气的总压损失系数下降85.3%。

[0040] 表1实施案例与单层波纹板模型数值计算方法

	计算域	网格类型	网格数量	计算方法	湍流模型	残差项	平均 η	
[0041]	传统模型	周期性	多面体网格	8.6×10^6	有限体积法	k- ω SST	10^{-4}	0.267
	实施案例	周期性	多面体网格	1.34×10^7	有限体积法	k- ω SST	10^{-4}	0.742

[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。

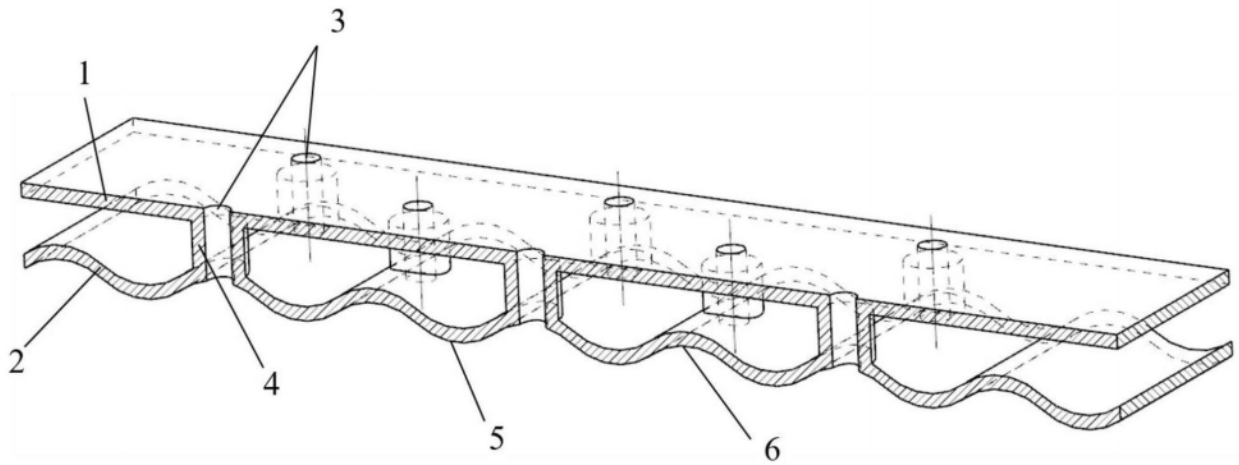


图1

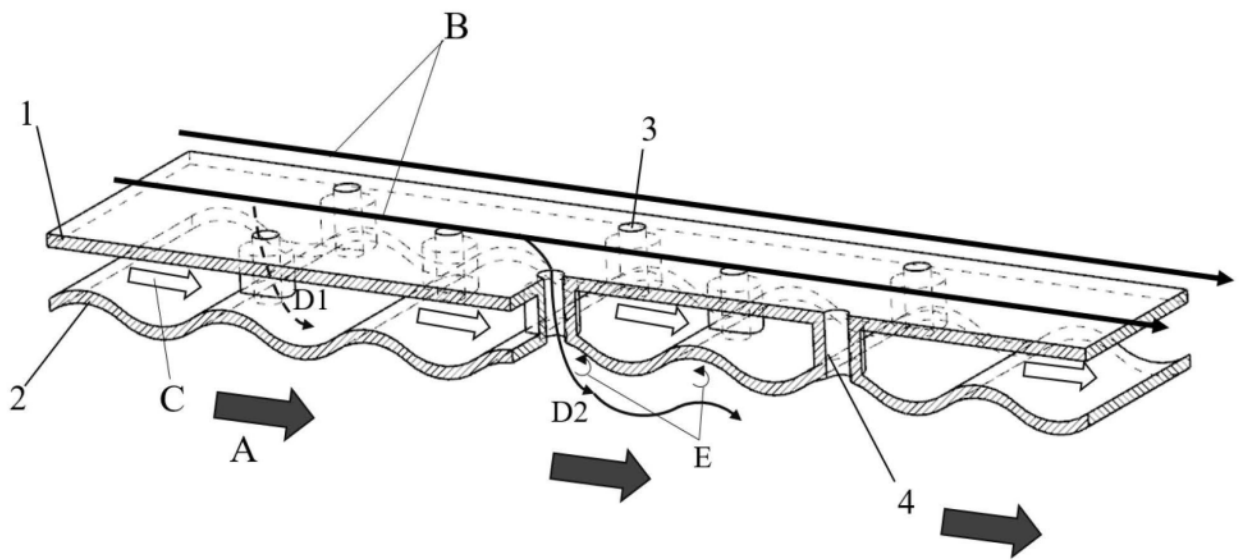


图2

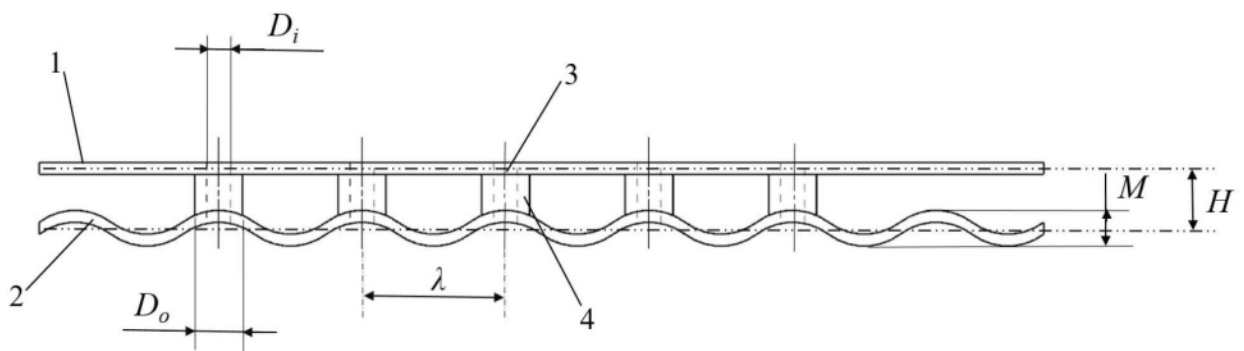


图3

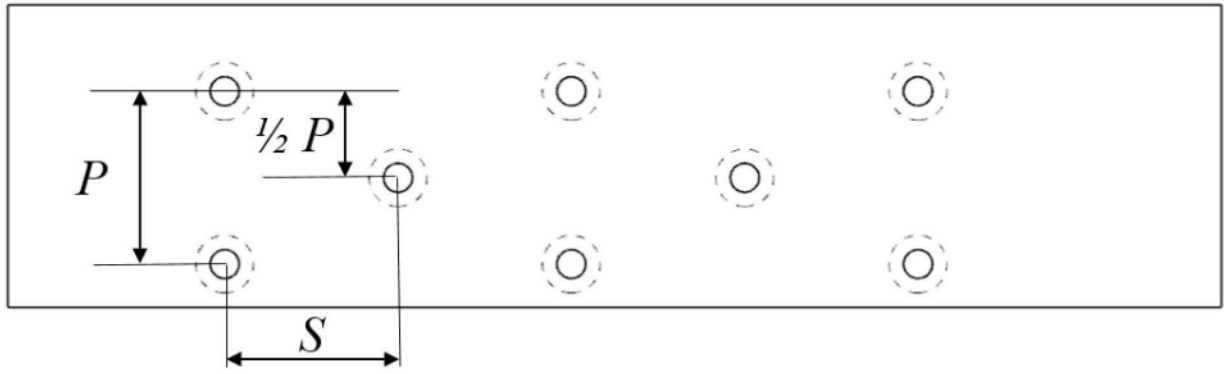


图4

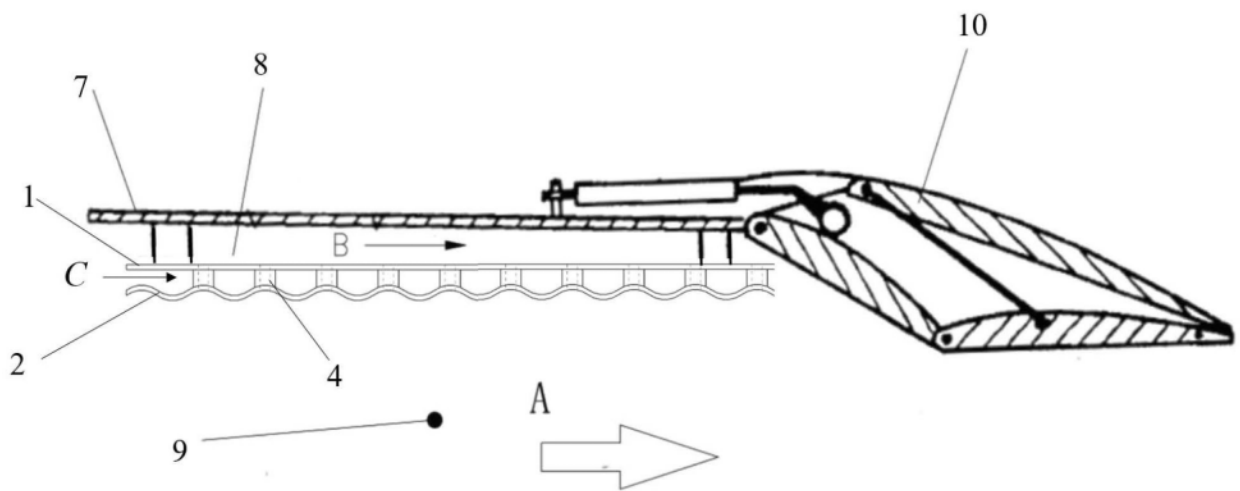


图5

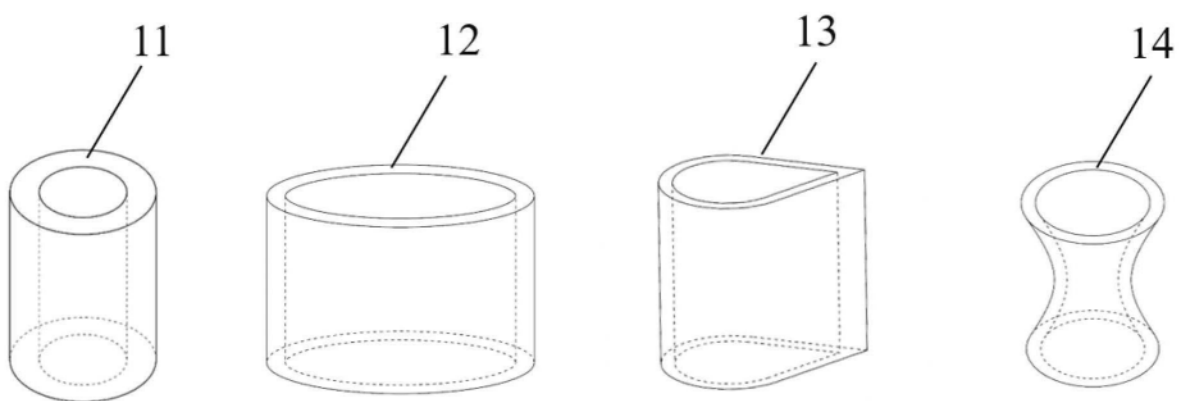


图6

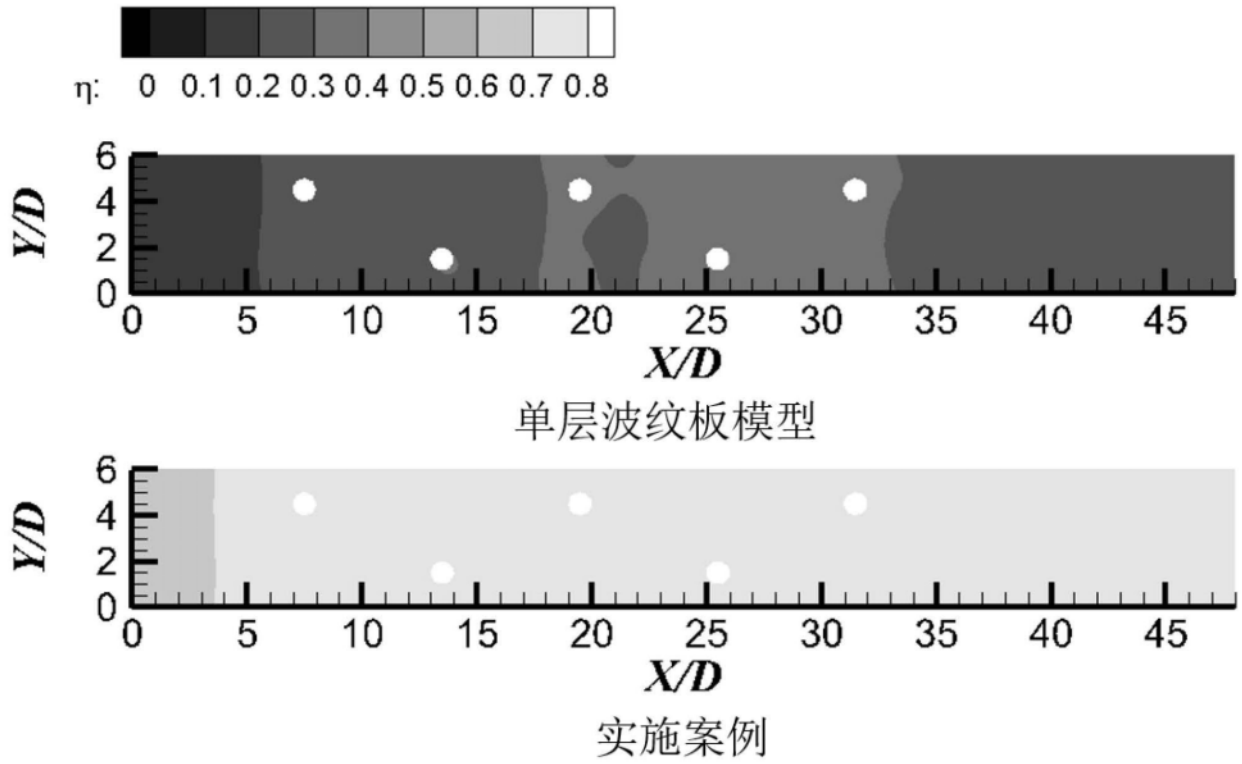


图7

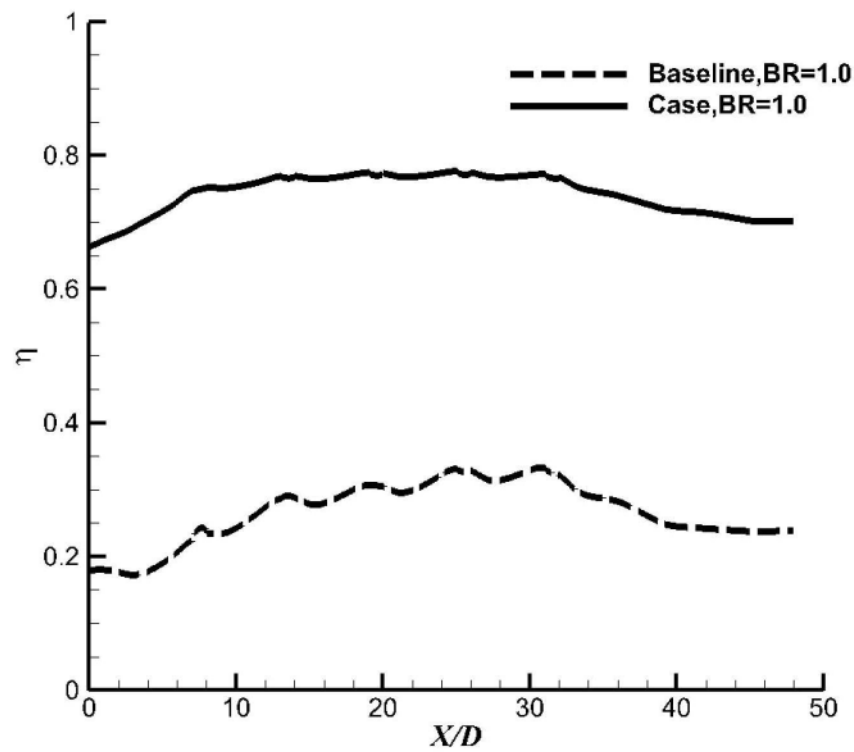


图8