



(21) 申请号 201911265593.3

(22) 申请日 2019.12.11

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110863864 A

(43) 申请公布日 2020.03.06

(73) 专利权人 沈阳航空航天大学

地址 110136 辽宁省沈阳市道义经济开发
区道义南大街37号

(72) 发明人 张魏 曾睿 李广超 朱建勇

寇志海 毛晓东

(74) 专利代理机构 沈阳东大知识产权代理有限

公司 21109

专利代理师 刘晓岚

(51) Int. Cl.

F01D 5/18 (2006.01)

(56) 对比文件

EP 0278434 A2, 1988.08.17

US 2016326886 A1, 2016.11.10

US 8317472 B1, 2012.11.27

CN 207315453 U, 2018.05.04

CN 108301877 A, 2018.07.20

EP 1865149 A2, 2007.12.12

CN 105673089 A, 2016.06.15

CN 102182518 A, 2011.09.14

CN 205064004 U, 2016.03.02

李广超等. 涡轮导向叶片综合冷却特性实验
研究.《推进技术》.2018, 第39卷(第12期),

王龙飞. 燃气涡轮叶片中新型扰流结构的换
热和流动研究.《中国优秀博硕士学位论文全文
数据库(博士)工程科技II辑》.2019,

审查员 乔路

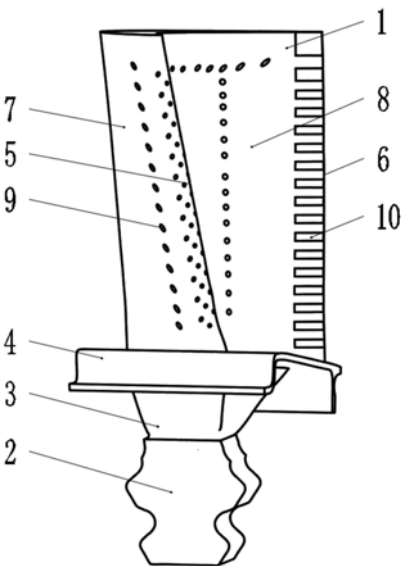
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的
涡轮叶片

(57) 摘要

本发明涉及一种内部带有横向蜿蜒交替缩
扩短通道的涡轮叶片, 包括叶身、榫头、连接叶身
和榫头的底座以及中间叶根, 叶身包括前缘、尾
缘、外凸的吸力面和内凹的压力面, 叶身内设
有扰流柱以及由内部肋围成的沿叶身高度方向
和沿叶弦方向的蜿蜒通道, 沿叶弦方向分布的
蜿蜒通道靠近尾缘处U形弯外侧壁中心开设溢
流孔, 前缘冷气腔与沿叶身高度方向的蜿蜒通
道间的内部肋上开有冲击孔, 叶身外开设有尾
缘劈缝以及沿叶身高度方向和沿叶弦方向的
气膜孔。本发明能够通过加强叶片内部换热的
方式来弥补外部冷却不足的缺陷, 同时使气膜
冷却发挥良好作用, 以满足涡轮工作温度不
断提高对冷却提出的更高要求。



1. 一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片,其特征在于:包括叶身、榫头、连接叶身和榫头的底座以及中间叶根,叶身包括前缘、尾缘、外凸的吸力面和内凹的压力面,叶身内设有扰流柱以及由内部肋围成的沿叶身高度方向和沿叶弦方向的蜿蜒通道,所述沿叶身高度方向的蜿蜒通道分布在叶身内部靠近前缘一侧;所述沿叶弦方向的蜿蜒通道为横向蜿蜒交替缩扩短通道,由内部肋围成,分布在叶身内部后半段;沿叶弦方向分布的蜿蜒通道靠近尾缘处U形弯外侧壁中心开设溢流孔,前缘冷气腔与沿叶身高度方向的蜿蜒通道间的内部肋上开有冲击孔,叶身外开设有尾缘劈缝以及沿叶身高度方向和沿叶弦方向的气膜孔;所述沿叶弦方向的气膜孔分布在吸力面根部后半段,且位于第一条缩扩短通道上。

2. 根据权利要求1所述的一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片,其特征在于:所述沿叶弦方向的蜿蜒通道长径比为3~3.5,通道缩扩比为1:3.5~1:7,通道最大截面处长宽比为1~1.5,可根据叶身与长径比确定具体蜿蜒通道数量。

3. 根据权利要求1所述的一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片,其特征在于:所述沿叶身高度方向分布的气膜孔设在高壁温区域。

4. 根据权利要求1所述的一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片,其特征在于:所述沿叶弦方向的气膜孔孔径为0.3~0.8mm,气膜孔间距为3~5倍孔径,气膜孔射流角为30°~60°,方位角为30°~90°。

5. 根据权利要求1所述的一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片,其特征在于:所述溢流孔是横截面为长1.6~4mm、宽0.8~2mm的长方形孔,可根据实际情况具体确定。

6. 根据权利要求1所述的一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片,其特征在于:所述冲击孔分布在前缘冷气腔与沿叶身高度方向的蜿蜒通道间的内部肋上。

7. 根据权利要求1所述的一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片,其特征在于:所述尾缘劈缝分布在压力面尾缘处。

8. 根据权利要求1所述的一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片,其特征在于:所述扰流柱分布在尾缘劈缝前端的冷气腔内。

9. 根据权利要求1所述的一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片,其特征在于:所述内部肋用于支撑叶身型面,厚度为0.8~2mm。

一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片

技术领域

[0001] 本发明属于燃气轮机涡轮转子叶片冷却技术领域,尤其涉及一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片。

背景技术

[0002] 燃气轮机涡轮是与气流进行能量交换的叶轮机械,通过涡轮将气流极高的焓转变为动能,再通过涡轮转子叶片转变为机械能。在高温高压燃气的冲击下,制造涡轮转子叶片所采用的金属材料由于温度升高机械性能急剧下降,所以在高强度的运行过程中,对叶片各处进行有效冷却尤为重要。目前采用的涡轮转子叶片普遍存在吸力面根部后半段气膜冷却效率断崖式下降的问题。相关研究表明,燃气流经涡轮转子叶片前缘时会分别在叶片两侧卷起马蹄涡,压力面马蹄涡分支同端壁附近的低动量气流汇合并形成通道涡。由于叶片间的流动转折角会在燃气通道中引起强的横向压力梯度,在横向压力梯度的作用下,通道涡在向下游移动的过程中离开压力面前缘并越过通道,向相邻叶片吸力面靠近,最终附在吸力面上直到流出通道。吸力面附近的通道涡将转子叶片根部后半段气膜卷向叶片中部,使该区域难以被气膜覆盖。该区域的流场特性造成气膜冷却几乎无法发挥作用,冷却效率极低。因此,亟需一种通过加强叶片内部换热的方式来弥补外部冷却不足缺陷的涡轮叶片,同时使气膜冷却发挥良好作用,以满足涡轮工作温度不断提高对冷却提出的更高要求。

发明内容

[0003] 针对现有技术存在的不足,本发明提供一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片,能够通过加强叶片内部换热的方式来弥补外部冷却不足的缺陷,同时使气膜冷却发挥良好作用,以满足涡轮工作温度不断提高对冷却提出的更高要求。

[0004] 一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片,包括叶身、榫头、连接叶身和榫头的底座以及中间叶根,叶身包括前缘、尾缘、外凸的吸力面和内凹的压力面,叶身内设有扰流柱以及由内部肋围成的沿叶身高度方向和沿叶弦方向的蜿蜒通道,沿叶弦方向分布的蜿蜒通道靠近尾缘处U形弯外侧壁中心开设溢流孔,前缘冷气腔与沿叶身高度方向的蜿蜒通道间的内部肋上开有冲击孔,叶身外开设有尾缘劈缝以及沿叶身高度方向和沿叶弦方向的气膜孔。

[0005] 优选地,所述沿叶弦方向的蜿蜒通道为横向蜿蜒交替缩扩短通道,由内部肋围成,分布在叶身内部后半段,长径比为3~3.5,通道缩扩比为1:3.5~1:7,通道最大截面处长宽比为1~1.5,可根据叶身与长径比确定具体蜿蜒通道数量。

[0006] 优选地,所述沿叶身高度方向的蜿蜒通道分布在叶身内部靠近前缘一侧。

[0007] 优选地,所述沿叶身高度方向分布的气膜孔设在高壁温区域。

[0008] 优选地,所述沿叶弦方向的气膜孔分布在吸力面根部后半段,且位于第一条缩扩短通道上,气膜孔孔径为0.3~0.8mm,气膜孔间距为3~5倍孔径,气膜孔射流角为30°~60°,方位角为30°~90°。

[0009] 优选地,所述溢流孔是横截面为长1.6~4mm、宽0.8~2mm的长方形孔,可根据实际情况具体确定。

[0010] 优选地,所述冲击孔分布在前缘冷气腔与沿叶身高度方向的蜿蜒通道间的内部肋上。

[0011] 优选地,所述尾缘劈缝分布在压力面尾缘处。

[0012] 优选地,所述扰流柱分布在尾缘劈缝前端的冷气腔内。

[0013] 优选地,所述内部肋用于支撑叶身型面,厚度为0.8~2mm。

[0014] 本发明的有益效果是:通过对现有技术中普通涡轮转子叶片存在的不足之处进行分析,本发明针对涡轮叶片的冷却对涡轮叶片的内部结构进行了改进,在不改变叶片外形和不增加气膜冷却冷气用量的情况下,通过内部蜿蜒缩扩短通道使目标区域内部的换热系数更大,冷气温度更低,从而增加通道内冷气吸热量,以达到加强内部冷却的目的;此外,新的气膜孔分布使目标区域气膜有更好的覆盖特性,同内部冷却一起达到更好的冷却效果,具体如下:

[0015] 1、本发明通过设置沿叶弦分布的蜿蜒通道改变了叶身内部后半部分的蜿蜒通道的布置方式,沿叶弦分布的蜿蜒通道为缩扩短通道,使刚流入蜿蜒通道温度较低的冷气先流经吸力面根部后半段气膜冷却不良区域,温度更低的冷气有利于带走更多热量,改善该区域的冷却情况,降低叶外温度;

[0016] 2、本发明设置的沿叶弦分布的蜿蜒通道更加曲折、U形急弯更多,气流对叶身壁面的冲击和漩涡导致的流场混乱、冷热流体剧烈掺混因素的作用会使急弯区壁面换热能力大幅提高,大量的急弯区对增大通道整体的换热系数具有显著作用;

[0017] 3、本发明设置的沿叶弦分布的蜿蜒通道中每一段通道都较现有技术中的普通的长蜿蜒通道短,与长通道相比,短通道有利于抑制边界层的发展,管流未充分发展就进入U形急弯,使每一段短通道内壁面的换热系数始终保持在一个相对较高的水平;

[0018] 4、本发明设置的沿叶弦分布的蜿蜒通道为随叶身型面而弯曲缩扩的通道结构,独特的结构通过诱导流动分离形成漩涡,通道内速度也会随横截面积的变化而不断变化,使通道壁面难以形成稳定的边界层,换热进一步增强,更低的冷气温度和更高的换热系数的同时作用气膜冷却薄弱区域的冷气温度更低,换热系数更大,二者同时作用达到降低叶片温度,改善温度分布均匀性目的;

[0019] 5、本发明在吸力面根部设置了沿叶弦方向布置的一排气膜孔,与现有技术中普通叶片沿着叶片纵向布置气膜孔相比,弦向布置的气膜孔带来的好处是,不利于纵向气膜孔气膜覆盖的通道涡恰好利于弦向气膜孔的气膜覆盖,从此气膜孔喷出的冷气在通道涡的作用下由吸力面根部向叶顶方向流动,恰好可以覆盖在目标区域表面,起到隔离高温燃气作用,从而形成有效冷却以达到防护目的。

附图说明

[0020] 图1为本发明中涡轮转子叶片结构示意图;

[0021] 图2为本发明中普通涡轮转子叶片内部结构示意图;

[0022] 图3为本发明内部结构示意图;

[0023] 图4为本发明中沿叶弦分布的蜿蜒通道立体图;

[0024] 图5为本发明中沿叶弦方向布置的气膜孔位置示意图；

[0025] 图中，

[0026] 1叶身,2榫头,3中间叶根,4底座,5前缘,6尾缘,7吸力面,8压力面,9气膜孔,10尾缘劈缝,11蜿蜒通道,12冲击孔,13扰流柱,14溢流孔,15内部肋,16冷气入口,17冷气出口。

具体实施方式

[0027] 为了更好的解释本发明,以便于理解,下面结合附图,通过具体实施方式,对本发明的技术方案和效果作详细描述。

[0028] 如图2所示为现有技术中普通涡轮转子叶片内部结构示意图,其叶身1内部前后两端的蜿蜒通道11均为纵向布置,如图1、3-5所示为一种内部带有横向蜿蜒交替缩扩短通道的涡轮叶片,包括叶身1、榫头2、连接叶身1和榫头2的底座4以及中间叶根3,叶身1是叶片主要的工作部分,负责将燃气动能转化为涡轮功,呈流线型,叶身1包括前缘5、尾缘6、外凸的吸力面7和内凹的压力面8;榫头2用于叶片与涡轮盘之间的连接,将叶片上的功传递给涡轮盘,底座4和中间叶根3起到连接叶身1与榫头2的作用,中间叶根3能显著降低榫头2温度,有效减少叶片对轮盘的传热量,底座4还负责维持燃气流道;叶身1内设有扰流柱13以及由内部肋15围成的沿叶身1高度方向和沿叶弦方向的蜿蜒通道11,沿叶弦方向分布的蜿蜒通道11靠近尾缘6处U形弯外侧壁中心开设溢流孔14,前缘5冷气腔与沿叶身1高度方向的蜿蜒通道11间的内部肋15上开有冲击孔12,叶身1外开设有尾缘劈缝10以及沿叶身1高度方向和沿叶弦方向的气膜孔9,气膜孔9和尾缘劈缝10用于外部气膜冷却,经沿叶弦分布的气膜孔9流出的冷气在近壁面流场的作用下,将贴附于叶片表面向斜后方运动。其覆盖区域正好位于此前气膜冷却的薄弱位置;沿叶弦方向分布的蜿蜒通道11靠近尾缘6处U形弯外侧壁中心开设有溢流孔14,将冷气引入尾缘6腔体。

[0029] 作为优选方案,所述扰流柱13分布在尾缘劈缝10前端的冷气腔内,沿叶弦方向的蜿蜒通道11为横向蜿蜒交替缩扩短通道,由内部肋15围成,分布在叶身1内部后半段,每两条缩扩短通道之间存在一个U形急弯;沿叶身1高度方向的蜿蜒通道11分布在叶身1内部靠近前缘5一侧;所述沿叶身1高度方向分布的气膜孔9设在高壁温区域;所述沿叶弦方向的气膜孔9分布在吸力面7根部后半段,且位于第一条缩扩短通道上;冲击孔12分布在前缘5冷气腔与沿叶身1高度方向的蜿蜒通道11间的内部肋15上;尾缘劈缝10分布在压力面8尾缘6处。

[0030] 冷气通过榫头2底端流入叶片,穿过榫头2、中间叶根3和底座4后进入叶身1内部的蜿蜒通道11,蜿蜒通道11分为两路,导引冷气沿不同方向流动。一股冷气由叶身1中部出发,经叶身1前半部分中沿叶身1高度方向布置的蜿蜒通道11到达叶身1前端,经冲击孔12喷射到前缘5内部对前缘5进行冲击冷却,之后由气膜孔9流出叶身1在叶片表面形成气膜冷却;另一股冷气由冷气入口16流入,部分冷气通过气膜孔9流出通道到达叶片表面形成气膜,其余部分冷空气经叶身1后半部分中沿叶弦方向布置的蜿蜒通道11到达叶身1后端从冷气出口17流出蜿蜒通道11,沿缩扩短通道向下游流动的过程中从叶身1表面带走大量的热,流经扰流柱13降低叶身1温度然后从溢流孔14和尾缘劈缝10流出叶身1。沿叶弦分布的气膜孔9以及缩扩短通道,使刚流入蜿蜒通道11未吸收热量温度较低的冷气,先到达叶身1根部吸力面7后半段气膜冷却不良区域的内部,更低温度的冷气与通道壁面之间产生更大的温差,有利于带走更多的热量,改善该区域的冷却情况,降低叶外温度。

[0031] 实施例1

[0032] 本实施例中的涡轮转子叶片弦长为37mm,叶高(叶身1高度)为44mm时,内部肋15厚1mm。短通道长径比为2.92,缩扩比为1:7,通道最大截面长宽比为1.23。通道数为7条,弯角数为6。气膜孔9布置于吸力面7根部后半段,孔径为0.5mm,孔间距为1.5mm,射流角为30°,方位角60°。溢流孔14布置在沿叶弦方向分布的蜿蜒通道11靠近尾缘6处U形弯外侧壁中心,横截面为1*2mm的长方形;此涡轮转子叶片的吸力面7根部后半段综合冷却效率提高13~18%。

[0033] 实施例2

[0034] 本实施例中的涡轮转子叶片弦长为44mm,叶高(叶身1高度)为53mm时,内部肋15厚1.5mm。短通道长径比为3,缩扩比为1:6,通道最大截面长宽比为1.3。通道数为7条,弯角数为6。气膜孔9布置于吸力面7根部后半段,孔径为0.6mm,孔间距为2mm,射流角为30°,方位角75°。溢流孔14布置在沿叶弦方向分布的蜿蜒通道11靠近尾缘6处U形弯外侧壁中心,横截面为1.2*2.5mm的长方形;此涡轮转子叶片的吸力面7根部后半段综合冷却效率提高15~20%。

[0035] 实施例3

[0036] 本实施例中的涡轮转子叶片弦长为45mm,叶高(叶身1高度)为69mm时,内部肋15厚2mm。短通道长径比为3.2,缩扩比为1:5.5,通道最大截面长宽比为1.35。通道数为9条,弯角数为8。气膜孔9布置于吸力面7根部后半段,孔径为0.8mm,孔间距为2.5mm,射流角为45°,方位角90°。溢流孔14布置在沿叶弦方向分布的蜿蜒通道11靠近尾缘6处U形弯外侧壁中心,横截面为1.5*3mm的长方形;此涡轮转子叶片的吸力面7根部后半段综合冷却效率提高17~22%。

[0037] 本发明与普通长径比超过10的纵向蜿蜒通道11不同,蜿蜒缩扩短通道长度相对较短,较长的通道后端流动发展较充分、换热较弱,而较短的通道管流未充分发展就进入急弯区,每一段蜿蜒缩扩短通道内壁面的换热系数始终保持在一个相对较高的水平。除此之外,大量的急弯区和随叶片型面同步弯曲和缩扩通道形状对换热的增益更为明显。研究表明,180°的U形急弯由于气流对通道壁面的冲击,混乱的流场,漩涡的产生和冷热气流剧烈掺混使该处壁面的换热能力大幅提高,换热系数提高200%或更多。因此在蜿蜒缩扩短通道中占比很大的急弯区对增大通道整体的换热系数具有显著作用。并且急弯区正好分布于气膜冷却薄弱区,适合的位置更发挥出了横向蜿蜒通道11换热强的优势。本发明中沿叶弦方向布置的蜿蜒通道11由于叶片外形限制,会出现弯曲和交替收缩扩张的现象,相比于横截面积不变的直通道,弯曲并交替缩扩的短通道通过诱导流动分离形成漩涡,通道内速度也会随横截面积的变化而不断变化,使通道壁面难以形成稳定的边界层,从而大幅提高内壁面的换热。其次,本发明中设置的沿叶弦分布的气膜孔9相对于普通的涡轮叶片来说是新增的,与此前的气膜孔9相比,新增气膜孔9的分布更加合理,从气膜孔9喷出的冷气能更好地覆盖叶身1吸力面7根部后半段,从而获得优于以前的气膜冷却效率以及更宽的气膜冷却范围。

[0038] 整体上,本发明中沿叶弦方向布置的蜿蜒短通道替代了之前涡轮转子叶片内部后半部分沿叶身1高度方向布置的蜿蜒通道11,凭借由大量急弯区和随叶片型面交替缩扩并弯曲的通道形成的独特流场,使得本发明的内部通道换热系数大幅提高,极大增强了内部换热能力。并且在吸力面7根部新增一排沿叶弦方向的气膜孔9,气膜孔9位置的优化使得外

部气膜冷却的性能和范围均得到有效提高。本发明在不改变叶片型面和增加冷气用量的情况下,通过独特的内部通道设计和气膜孔9位置优化,加强内部换热能力并提高外部气膜冷却效率,使得吸力面7根部后半段冷却不良区域的冷却情况得到明显改善,整个吸力面7的综合冷效分布更加合理。

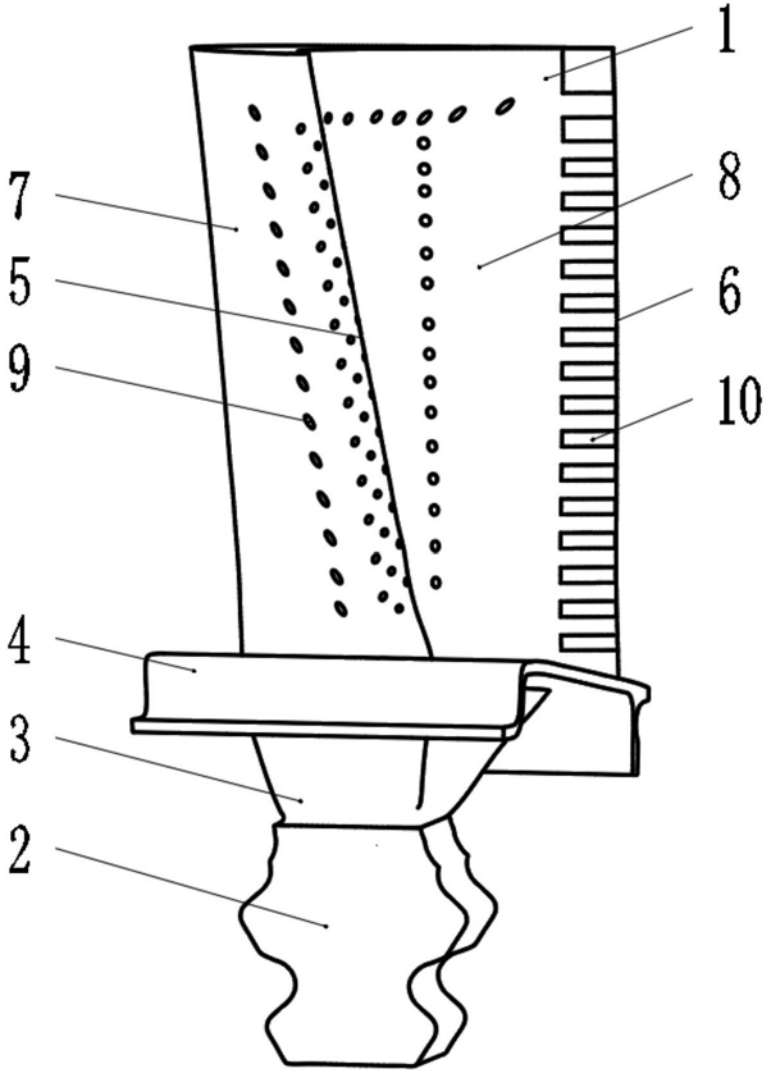


图1

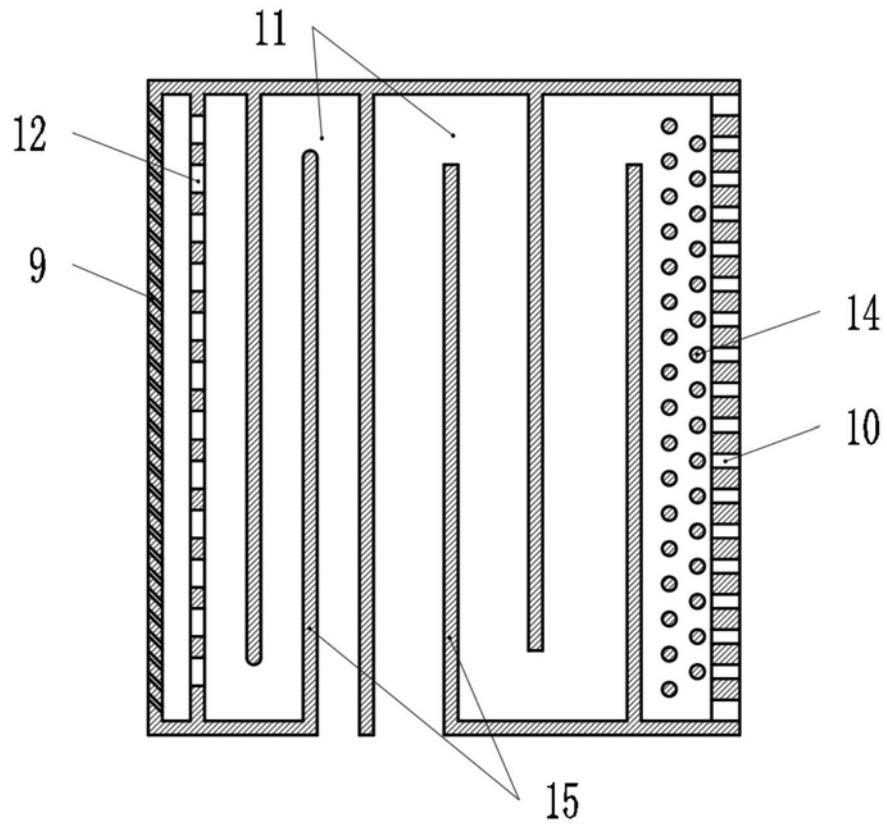


图2

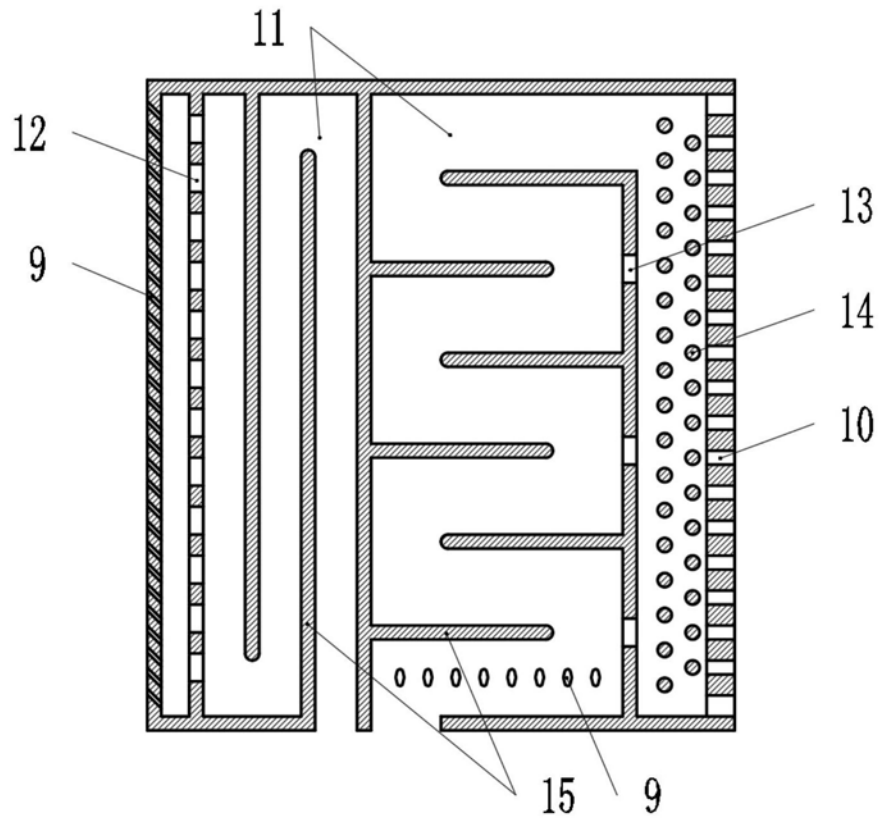


图3

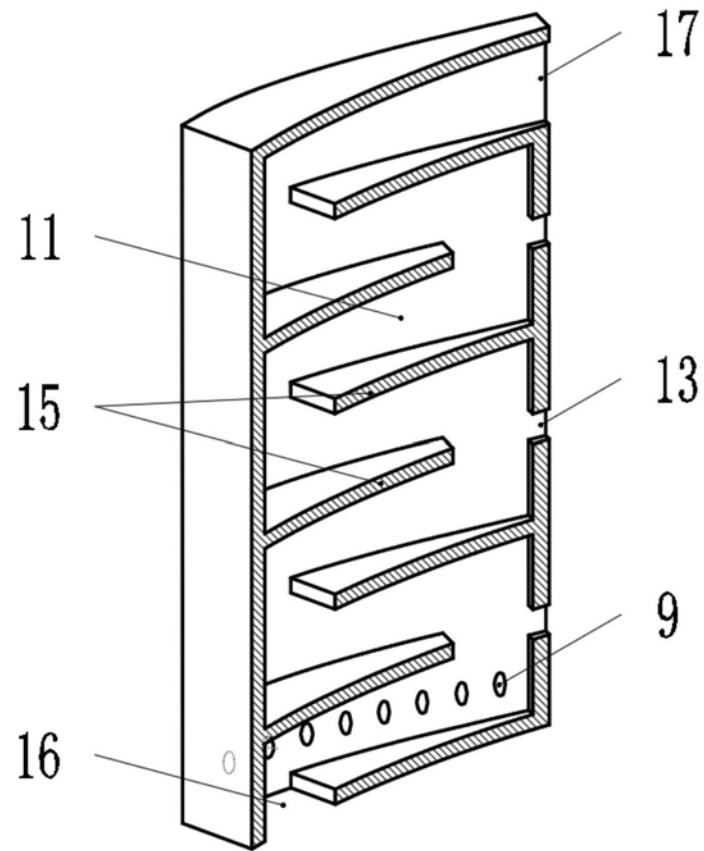


图4

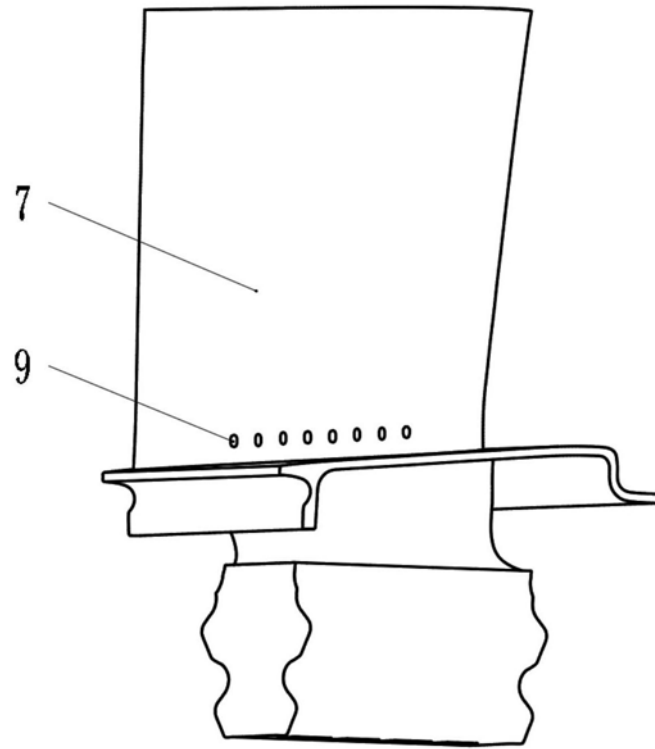


图5