



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111120008 B

(45) 授权公告日 2024.10.25

(21) 申请号 201911259529.4

(22) 申请日 2019.12.10

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111120008 A

(43) 申请公布日 2020.05.08

(73) 专利权人 西安交通大学
地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72) 发明人 张荻 景祺 谢永慧

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任
公司 61200
专利代理师 闵岳峰

(51) Int. Cl.
F01D 5/18 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 211008774 U, 2020.07.14

审查员 李增贝

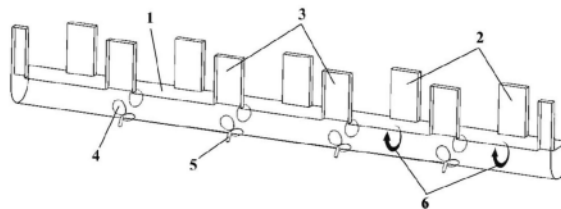
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 发明名称

一种新型透平叶片旋流冷却结构

(57) 摘要

本发明公开了一种新型透平叶片旋流冷却结构,包括旋流冷却腔和射流孔等;旋流冷却腔的顶部为平面结构,靶面为曲面结构;若干射流孔等间距布置在旋流冷却腔顶面一侧,若干出流槽等间距布置在旋流冷却腔顶面且与射流孔相对的另一侧,且出流槽和射流孔之间呈错排布置;若干球窝结构和气膜孔布置在旋流冷却腔靶面;工作时,冷却工质从射流孔喷射进入旋流冷却腔,沿射流孔所在靶面一侧流动,在弯曲靶面的作用下形成横向大尺度涡,与靶面进行强烈的热量交换,在流经球窝结构时产生流动分离与再附,增强球窝局部传热,在气膜孔抽吸作用下获得了更高的流体湍动能,消除了局部的传热恶化现象,完成换热后的冷却工质通过与射流孔相邻的出流槽排出。



1. 一种新型透平叶片旋流冷却结构,其特征在于,包括旋流冷却腔(1)、射流孔(2)、出流槽(3)、球窝结构(4)和气膜孔(5);其中,

旋流冷却腔(1)的顶部为平面结构,靶面为曲面结构;若干射流孔(2)等间距布置在旋流冷却腔(1)顶面一侧,若干出流槽(3)等间距布置在旋流冷却腔(1)顶面且与射流孔(2)相对的另一侧,且出流槽(3)和射流孔(2)之间呈错排布置;若干球窝结构(4)和气膜孔(5)布置在旋流冷却腔(1)靶面;

工作时,冷却工质从射流孔(2)喷射进入旋流冷却腔(1),沿射流孔(2)所在靶面一侧流动,在弯曲靶面的作用下形成横向大尺度涡,与靶面进行强烈的热量交换,在流经球窝结构(4)时产生流动分离与再附,增强球窝局部传热,在气膜孔(5)抽吸作用下获得了更高的流体湍动能,消除了局部的传热恶化现象,完成换热后的冷却工质通过与射流孔(2)相邻的出流槽(3)排出;

出流槽(3)布置在相邻射流孔(2)之间区域的另一侧,其形状为矩形、直槽口形、圆形及椭圆形,结构尺寸及布置方式与射流孔(2)相同;

气膜孔(5)布置在相邻射流孔(2)之间的靶面区域,其截面形状为圆形或椭圆形,气膜孔(5)布置角度 α 在 $0\sim 180^\circ$ 范围内变化,气膜孔(5)的周向布置数量为 $1\sim 4$;

气膜孔(5)布置在球窝结构(4)表面,或者布置在球窝结构(4)附近的靶面区域。

2. 根据权利要求1所述的一种新型透平叶片旋流冷却结构,其特征在于,旋流冷却腔(1)的靶面形状采用圆弧、椭圆弧、抛物线或双曲线。

3. 根据权利要求1所述的一种新型透平叶片旋流冷却结构,其特征在于,射流孔(2)形状为矩形、直槽口形、圆形及椭圆形,射流孔(2)布置间距与射流孔宽度之比 S/w 在 $2\sim 5$ 范围内,射流孔宽度与厚度之比 w/t 在 $1\sim 6$ 范围内。

4. 根据权利要求1所述的一种新型透平叶片旋流冷却结构,其特征在于,球窝结构(4)布置在相邻射流孔(2)之间的靶面区域,球窝结构(4)的深度与直径比 e/D_d 在 $0.1\sim 0.3$ 范围内,其在靶面周向均匀布置,周向布置数量为 $1\sim 6$ 。

一种新型透平叶片旋流冷却结构

技术领域

[0001] 本发明属于透平叶片冷却技术领域,特别涉及一种新型透平叶片旋流冷却结构。

背景技术

[0002] 作为燃气轮机的核心部件之一,透平紧邻燃烧室下游,在运转过程时受到高温高压燃气的持续冲刷,工作环境极为恶劣,在进行透平设计时,除了考虑气动因素外,还需采用高效的冷却技术,将透平温度降至材料许可范围内,以保证燃气轮机的安全、稳定运行。从燃烧室输出的高温燃气在进入叶栅通道时直接冲击至透平叶片前缘,因此该区域,尤其是第一级导叶前缘区域具有极高的热负荷,是叶片冷却设计中重点关注的对象。

[0003] 为了提高透平叶片前缘的冷却性能,往往采用具有最高强化传热效果的冲击冷却方式,在前缘区的内衬板表面开设多个射流孔,从叶根供应的冷却空气通过射流孔冲击至前缘弯曲靶面,在冲击点附近区域产生强烈的热质交换,冷却空气从靶面吸收热量,从而有效降低前缘内、外表面温度。

[0004] 随着燃气轮机的发展,根据布雷顿循环的内在规律,其功率和效率的提升要求透平进气温度不断上升,这给透平各部件的冷却设计,尤其是透平第一级导叶前缘的冷却设计带来了巨大挑战。由于传统的冲击冷却在很多情况下已无法应对叶片前缘热负荷的快速上涨,相关专家和设计人员提出了旋流冷却结构,即将射流孔布置在顶面一侧区域,冷却工质进入通道后沿着圆弧靶面形成横向大尺度涡系,增强流体湍动能,从而获得明显优于传统冲击结构的冷却性能。

[0005] 然而,采用该旋流冷却结构会在射流孔之间产生局部的传热恶化,加剧了叶片前缘温度分布的不均匀性,同时,上游旋流工质聚集形成的横流会显著削弱下游射流的强化传热作用,无法充分发挥旋流结构的潜在冷却性能。因此,迫切需要一种新型的透平叶片旋流冷却结构,通过克服上述问题获得更优的旋流冷却性能,从而实现透平叶片前缘的高效热防护。

发明内容

[0006] 为解决上述问题,本发明提供了一种新型透平叶片旋流冷却结构,通过分布式出流槽消除了横流的影响,避免了旋流传热性能在流动方向的迅速衰减,提高了整体传热水平,同时减小了压力损失;靶面布置的球窝和气膜孔组合结构强化了局部传热,显著减小了传统旋流靶面的传热恶化区域,在提升传热性能的同时减小了靶面温差,从而提高了整体冷却性能。

[0007] 本发明采用如下技术方案来实现的:

[0008] 一种新型透平叶片旋流冷却结构,包括旋流冷却腔、射流孔、出流槽、球窝结构和气膜孔;其中,旋流冷却腔的顶部为平面结构,靶面为曲面结构;若干射流孔等间距布置在旋流冷却腔顶面一侧,若干出流槽等间距布置在旋流冷却腔顶面且与射流孔相对的另一侧,且出流槽和射流孔之间呈错排布置;若干球窝结构和气膜孔布置在旋流冷却腔靶面;

[0009] 工作时,冷却工质从射流孔喷射进入旋流冷却腔,沿射流孔所在靶面一侧流动,在弯曲靶面的作用下形成横向大尺度涡,与靶面进行强烈的热量交换,在流经球窝结构时产生流动分离与再附,增强球窝局部传热,在气膜孔抽吸作用下获得了更高的流体湍动能,消除了局部的传热恶化现象,完成换热后的冷却工质通过与射流孔相邻的出流槽排出。

[0010] 本发明进一步的改进在于,旋流冷却腔的靶面形状采用圆弧、椭圆弧、抛物线或双曲线。

[0011] 本发明进一步的改进在于,射流孔形状为矩形、直槽口形、圆形及椭圆形,射流孔布置间距与射流孔宽度之比 S/w 在2~5范围内,射流孔宽度与厚度之比 w/t 在1~6范围内。

[0012] 本发明进一步的改进在于,出流槽布置在相邻射流孔之间区域的另一侧,其形状为矩形、直槽口形、圆形及椭圆形,结构尺寸及布置方式与射流孔相同。

[0013] 本发明进一步的改进在于,球窝结构布置在相邻射流孔之间的靶面区域,球窝结构(4)的深度与直径比 e/D_0 在0.1~0.3范围内,其在靶面周向均匀布置,周向布置数量为1~6。

[0014] 本发明进一步的改进在于,气膜孔布置在相邻射流孔之间的靶面区域,其截面形状为圆形或椭圆形,气膜孔布置角度 α 在 $0\sim 180^\circ$ 范围内变化,气膜孔的周向布置数量为1~4。

[0015] 本发明进一步的改进在于,气膜孔布置在球窝结构表面,或者布置在球窝结构附近的靶面区域。

[0016] 本发明至少具有如下有益的技术效果:

[0017] 本发明提供一种透平叶片旋流冷却结构,其引入了多个分布式出流槽,射流孔射入通道的冷却工质在完成换热后可通过这些出流槽排出,不会形成传统旋流通道中普遍存在的横流流动,因此可以消除横流对下游传热的削弱作用,使得冲击旋流可以在径向保持较好的强化传热效果,从而显著提高靶面的整体传热性能。

[0018] 进一步,灵活可变的靶面形状可以适应不同叶片前缘型线,实现与透平叶片前缘结构的高度适配,射流孔和出流槽的形状及结构尺寸可根据透平运行时前缘所受热负荷来选取,以最大程度地提升该新型旋流结构的适应性和冷却性能;

[0019] 进一步,球窝结构具有高传热、低流阻的优越特性,在强化传热的同时仅产生较小的阻力损失,同时可以增大传热面积,将其布置在旋流冷却腔靶面可以实现局部流动传热控制,从而消除传热恶化区域,在提升传热水平的同时实现更均匀的温度分布;

[0020] 进一步,气膜孔的抽吸作用可以增强其附近区域的流体湍动能,破坏流动边界层,促进壁面附近的热质交换,此外气膜孔出流还可在叶片外表面形成保护气膜,减弱高温燃气与叶片间的换热,实现高效的内外耦合冷却。

[0021] 由上述内容可知,本发明建立了一种新型透平叶片旋流冷却结构,通过分布式出流槽消除了传统旋流通道中横流对传热的消极影响,使得高传热水平在整个通道得以保持,同时球窝结构和气膜孔的布置实现了局部流动控制,在提升传热性能的同时能够获得更加均匀的温度分布,从而实现更优的综合冷却性能。

附图说明

[0022] 图1是透平叶片旋流冷却结构三维图;

[0023] 图2是射流孔和出流槽在通道顶面的布置方式示意图；

[0024] 图3是射流孔和出流槽形状示意图,其中图3(a)是矩形射流孔/出流槽,图3(b)是直槽口形射流孔/出流槽,图3(c)是圆形射流孔/出流槽,图3(d)是椭圆形射流孔/出流槽；

[0025] 图4是靶面局部区域的球窝结构和气膜孔布置方式示意图；

[0026] 图5是球窝结构及布置方式的横截面示意图；

[0027] 图6是气膜孔结构及布置方式的横截面示意图。

[0028] 附图标记说明：

[0029] 1为旋流冷却腔,2为射流孔,3为出流槽,4为球窝结构,5为气膜孔,231为矩形射流孔/出流槽,232为直槽口形射流孔/出流槽,233为圆形射流孔/出流槽,234为椭圆形射流孔/出流槽。

具体实施方式

[0030] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0031] 参照图1和图2,本发明提供一种新型透平叶片旋流冷却结构,包括旋流冷却腔1、若干射流孔2、若干出流槽3、若干球窝结构4以及若干气膜孔5。旋流冷却腔1顶部为平面结构,靶面为曲面结构;射流孔2等间距布置在旋流冷却腔1顶面一侧,出流槽3等间距布置在旋流冷却腔1顶面与射流孔2相对的另一侧,且出流槽3和射流孔2之间呈错排布置方式;若干球窝结构4和气膜孔5布置在旋流冷却腔1靶面。整个流动传热过程为:冷却工质从射流孔2喷射进入旋流冷却腔1,沿射流孔2所在靶面一侧流动,在弯曲靶面的作用下形成横向大尺度涡,与靶面进行强烈的热量交换,在流经球窝结构4时产生流动分离与再附,增强球窝局部传热,在气膜孔5抽吸作用下获得了更高的流体湍动能,消除了局部的传热恶化现象,完成换热后的冷却工质通过与射流孔2相邻的出流槽3排出。

[0032] 靶面形状可以采用圆弧、椭圆弧、抛物线、双曲线或其它与透平叶片前缘结构相近的曲线形式。

[0033] 参照图2和图3,射流孔2形状可以为矩形、直槽口形、圆形及椭圆形等,射流孔2布置间距与射流孔2宽度之比 S/w 在2~5范围内为优,射流孔2宽度与厚度之比 w/t 在1~6范围内为优。出流槽3布置在相邻射流孔2之间区域的另一侧,其形状可以为矩形、直槽口形、圆形及椭圆形等,结构尺寸及布置方式与射流孔2相同。相应的,本发明具有矩形射流孔/出流槽231、直槽口形射流孔/出流槽232、圆形射流孔/出流槽233以及椭圆形射流孔/出流槽234。

[0034] 参照图1、图4、图5和图6,球窝结构4布置在相邻射流孔2之间的靶面区域,球窝结构4的深度与直径比 e/D_d 在0.1~0.3范围内为优,其在靶面周向均匀布置,周向布置数量以1~6为优。气膜孔5布置在相邻射流孔2之间的靶面区域,其截面形状可以为圆形、椭圆形等,气膜孔5布置角度 α 可在0~180°范围内变化,气膜孔5的周向布置数量以1~4为优。气膜孔5可布置在球窝结构4表面,也可布置在球窝附近的靶面区域。

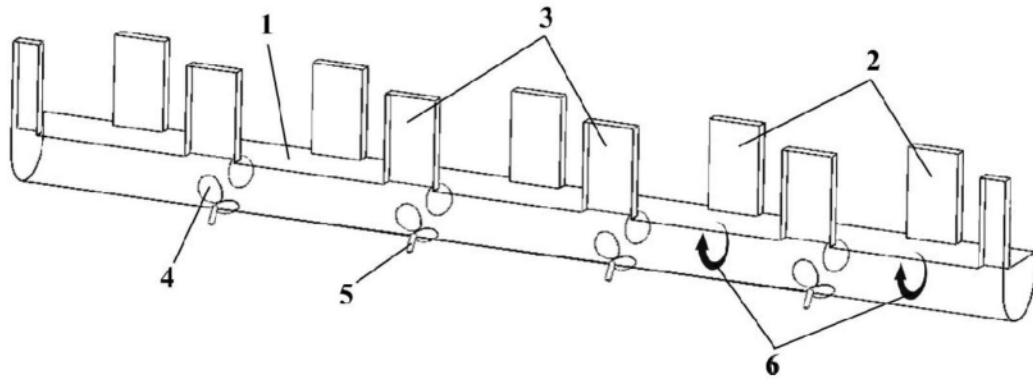


图1

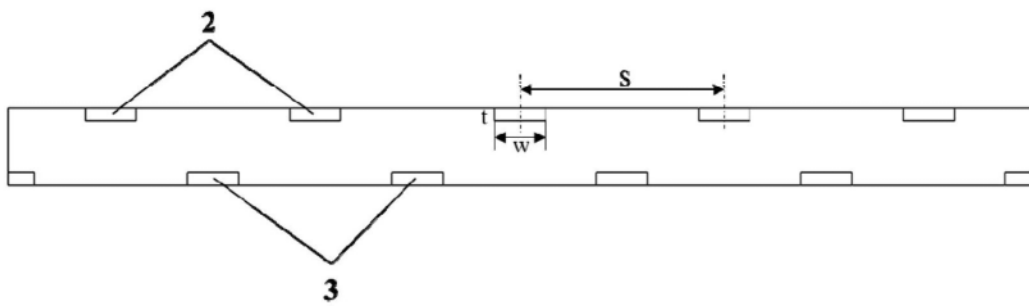


图2

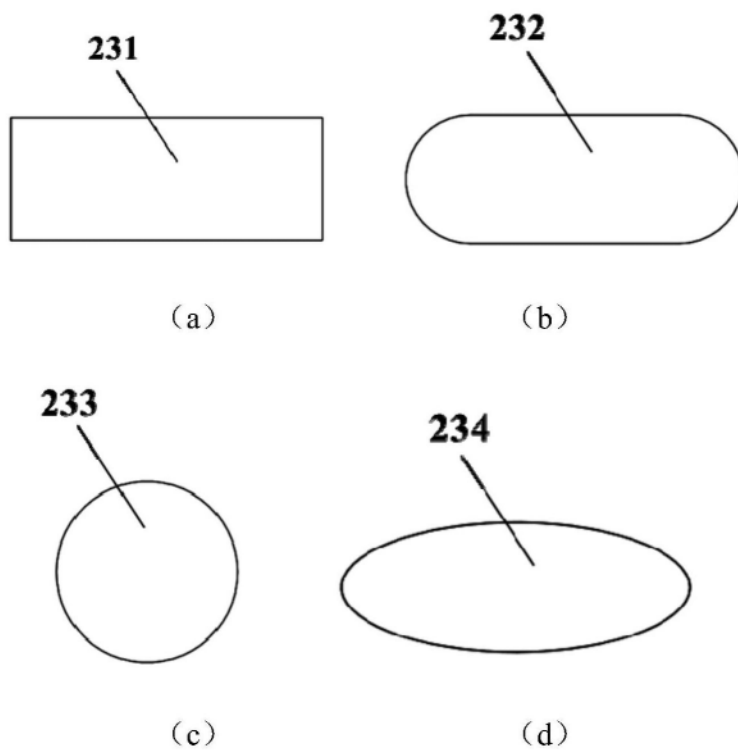


图3

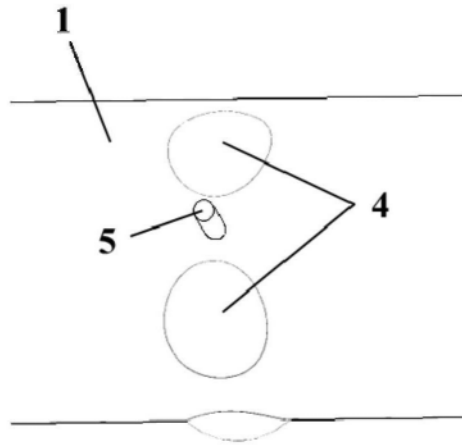


图4

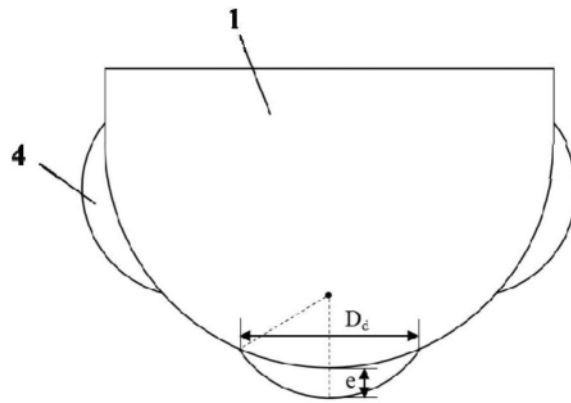


图5

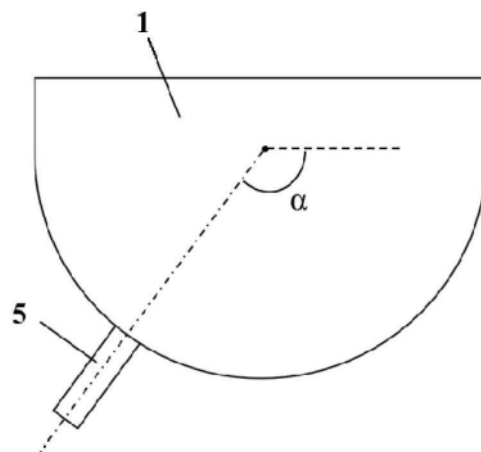


图6