

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.11.011

涡旋压缩机静盘外壁面强化传热研究*

周新华¹, 肖必宏¹, 戴 明¹, 邓 捷¹, 杨乃赞², 李海生³

(1. 合肥通用机械研究院有限公司, 安徽 合肥 230031; 2. 上海铁路局徐州供电段 工程科, 江苏 徐州 221000; 3. 中国矿业大学 化工学院, 江苏 徐州 221116)

摘要:针对涡旋压缩机静盘散热不佳、变形不均匀的问题,对静盘外壁面进行了强化传热的研究。提出了弧形和直形两种结构的散热翅片模型,运用有限元分析方法,开展了静盘外壁面传热的数值模拟研究;通过分析不同转角下的静盘传热温度场、轴向热变形以及热应变结果,对两种散热翅片结构进行了合理性评价。研究结果表明:两种散热翅片结构的传热性能存在差异,在相同的条件下,弧形翅片的静盘壁面不同温区温度场传热效果更好,传热过程更加均匀,轴向变形和热应变较小,能够实现静盘外壁面的强化传热;该结果有助于降低动静涡旋齿间摩擦磨损,延长涡旋压缩机的使用寿命,为静盘外壁面强化传热提供可行方案。

关键词:涡旋压缩机;有限元分析;弧形翅片;强化传热

中图分类号:TH457

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2020)11-1323-06

Heat transfer enhancement of outer surface of fixed scroll for scroll compressor

ZHOU Xin-hua¹, XIAO Bi-hong¹, DAI Ming¹, DENG Jie¹, YANG Nai-zan², LI Hai-sheng³

(1. Hefei General Machinery Research Institute Co. Ltd., Hefei 230031, China; 2. Engineering Department, Xuzhou Power Supply Section of Shanghai Railway Bureau, Xuzhou 221000, China; 3. School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Aiming at the problems of poor heat dissipation and uneven deformation of the fixed scroll of scroll compressor, the heat transfer of outer wall surface for the fixed scroll was studied. Two models with arc-shaped and straight-shaped cooling fins were designed to enhance the heat transfer of the fixed scroll. The finite element analysis method was used to realize the numerical simulation of heat transfer on the fixed scroll outer wall. According to the results of heat transfer temperature field, axial heat deformation and thermal strain at different rotation angles, the two cooling fins were evaluated reasonably. The results indicate that the differences of heat transfer performance for two models are obvious. Under the same condition, the cooling fin with arc-shaped is more suitable than straight-shaped because of the uniform heat transfer, less axial deformation and thermal strain. The cooling fin with arc-shaped can realized the heat transfer enhancement of fixed scroll. These can not only reduce the friction and wear of scroll teeth, but also extend the life of the scroll compressor. It will provide a feasible solution for enhancing the heat transfer on the outer wall surface of fixed scroll.

Key words: scroll compressor; finite element analysis; arc-shaped cooling fins; heat transfer enhancement

0 引 言

涡旋压缩机作为一种新型的容积式压缩机,因具

有结构简单紧凑、体积小、重量轻、可靠性高等优点,被广泛应用于各个领域^[1-2],尤其是在制冷和空调领域,涡旋压缩机的应用最为广泛和成熟^[3]。其应用主要

收稿日期:2019-11-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51105362)

作者简介:周新华(1979-),男,安徽安庆人,工程师,主要从事流体机械方面的研究。E-mail:45505724@qq.com

涉及柜式空调全封闭制冷压缩机、窗式空调小功率压缩机、汽车和列车空调系统中的压缩机等。

在涡旋压缩机的工作过程中,绝热压缩过程使得压缩腔内温度升高^[4-6],大量热量聚集在涡旋盘内,会直接导致动、静涡旋盘受热产生热变形^[7],进而引起压缩介质的泄漏量增大,压缩机工作效率及整体性能降低,动、静涡旋盘及涡旋齿之间的磨损加剧,降低压缩机的使用寿命^[8-9]。

李海生等^[10]借助红外热成像原理,研究了涡旋盘的温度场实时变化规律。梁高林^[11]对涡旋压缩机中间补气进行了研究,提高了压缩机的排气量。王俊亭等人用热电阻测量了各孔中不同齿高处的温度,并用最小二乘法进行了线性拟合,用 Gnielinski 公式和 Dittus-Boelter 公式进行了换热系数的计算。刘强等人^[12]在考虑温度载荷的情况下,对涡旋压缩机渐变壁厚涡旋齿进行了研究与设计,获得了其工作特性,有利于指导压缩机的工程设计。彭斌等人^[13]开展了无油涡旋压缩机涡旋盘的研究,获得了涡旋盘热载荷作用下的应变,并通过试验对此进行了验证。陈玉坤^[14]在考虑喷水的工况下,对涡旋压缩机气液流动与传热特性进行了研究,获得了气液流动传热过程的机理。

由上述文献可以看出,涡旋压缩机传热受到了广泛关注,研究者们通过计算或实验的手段,力图掌握压缩机温度场的分布规律。但目前针对散热翅片结构方面的研究较少。由于涡旋压缩机动盘位于机壳内部^[15],且组件结构较为复杂,无论测量、改装及优化都较难实现,并且可能会对涡旋压缩机的结构精度造成一定程度的破坏。散热翅片是静盘端面向外传热的主要方式,其结构形状将会影响传热过程^[16-17]。因此,在涡旋压缩机静盘进行强化传热,可以考虑优化静盘外散热翅片的结构,实现压缩腔内温度的快速传出,从而达到降低动、静盘、压缩腔内温度的目的,以便减小动、静盘啮合处的间隙变化,提高涡旋压缩机工作效率,延长其使用寿命。

笔者使用有限元分析的方法,对各压缩角度下不同形状翅片的静盘进行分析,获得不同情况下涡旋压缩机静盘在温度载荷下的温度场、热应变及热变形,从而得出涡旋压缩机静盘外壁面强化传热较优的翅片结构方案。

1 模型的建立

考虑到对静盘温度载荷的加载方式,笔者在建立

模型时,增加了动涡旋齿分割线以及压缩腔内等角度分割线,便于将压缩腔内温度细化后加载于所建立静盘模型上,能够获得更加精确的计算结果。

另外,在划分动涡旋齿分割线时,由于动静涡旋齿啮合各角度不同,需对动涡旋齿型线的角度进行对应变更,按主轴转角生成 0°、180° 角度下的动涡旋齿型线分割线。

在实际生产中,涡旋压缩机静盘外壁面散热翅片均为直线型散热翅片。增大散热翅片的散热面积能够有效地强化传热,而增大散热翅片的弧度能尽可能地增加传热面积。因此,根据翅片传热理论,笔者采用圆弧形散热翅片。

1.1 模型参数

弧形散热翅片以静盘外壁面中心排气口中心部位为起点,弧形翅片外廓所在正圆以静盘外壁面半径为直径,截取所需圆弧段为弧形翅片外廓,做厚度为 4 mm 的圆弧形散热翅片。

笔者以商用的涡旋压缩机 AEW15A-0.8 为研究对象。该压缩机的动齿与静齿的几何参数相同,通过测量和计算获得的参数如表 1 所示。

表 1 涡旋压缩机模型的基本尺寸

测量对象/单位	测量结果
齿节距/mm	26.0
涡旋齿壁厚/mm	4.5
涡旋齿高/mm	44
进气口直径/mm	30
排气口直径/mm	7.0
涡旋齿的最终展开角/(°)	1 172.272
基圆半径/mm	4.138
偏心圆半径/mm	8.500
圆渐开线发生角/(°)	31.169

根据实际测量的涡旋压缩机动静盘部件的基本尺寸,笔者建立等翅片数的直形翅片模型。建立好的弧形、直形翅片静盘模型如图 1 所示。

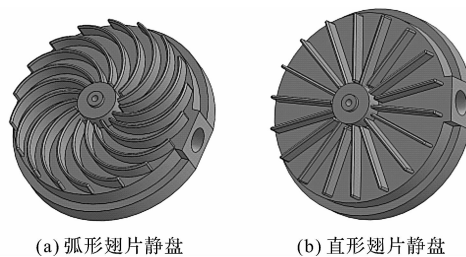


图 1 静盘几何模型

1.2 网格划分

笔者采用 ANSYS Workbench 作为涡旋压缩机静盘传热的有限元分析软件,根据所建立的模型的几何尺寸,结合实际情况,手动将网格尺寸设置为边长 4 mm 的三角形网格,再利用 Workbench 自动网格生成功能生成网格。网格数为 180 752,节点数为 192 013,齿根到齿顶方向为坐标轴 z 轴正方向。

1.3 边界条件的施加

研究涡旋压缩机静盘的温度场分布、热应变及热变形情况,需要先对静盘作热—结构耦合分析。笔者在 ANSYS 界面中,添加热分析模块与结构分析模块。对静盘的分析分为稳态分析和瞬态分析,因此,首先需要添加稳态热分析模块,并将其关联所建立模型;接着添加稳态结构分析模块与稳态分析模块相关联;然后再添加瞬态热分析模块与稳态热分析模块关联,共享其温度载荷;最后添加瞬态结构分析模块,关联瞬态热分析模块。

2 静盘的稳态温度场

涡旋压缩机工作过程中,动盘围绕静盘公转,使得压缩腔容积不断缩小,从而实现对气体的压缩。压缩过程导致气体温度上升,使涡旋盘温度升高,热变形增大。涡旋盘受热变形则会引起压缩腔内气体的泄漏、涡旋齿之间的磨损及碰撞,造成涡旋压缩机的工作效率降低和使用寿命减少。因此,降低涡旋盘变形对提高涡旋压缩机性能具有重要的意义。

由于动盘的结构及位置的特殊性,没有直接降温的措施,笔者采用对静盘强化散热的方式降低压缩腔内温度,使涡旋盘所受热应力减小,间接地实现对动盘的降温。不同的散热翅片形状对静盘强化散热的效果均不相同,笔者选取涡旋压缩机动盘公转一周中的 4 个角度作稳态热分析,对比得出较优的散热翅片结构。

直形翅片一直以来都是涡旋压缩机静盘外壁面强化散热的基本结构,具有结构简单、易铸造等优点。笔者所设计的弧形翅片具有散热面积大的优点,并且翅片能够连接温差更大的 2 个压缩腔,从而增大传热速率。同时,因为铸铁拥有较好的延展性以及可塑性,且其耐磨性和切削加工性能良好,一般被作为制造涡旋压缩机主要材料。

笔者对直形和弧形翅片的静盘进行稳态热分析。其中,材料选用铸铁作为实验材料,得到 0° 、 180° 角度下的温度场分布情况。

材料属性如表 2 所示。

表 2 材料属性

属性参数/单位	参数值
密度/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	7 220
杨氏模量/ (10^5 MPa)	1.2
泊松比	0.25
比热容/ $(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1})$	502
热膨胀系数/ (10^{-6} K^{-1})	11.8

0° 角时,弧形、直形两种散热翅片静盘的稳态温度场如图 2 所示。

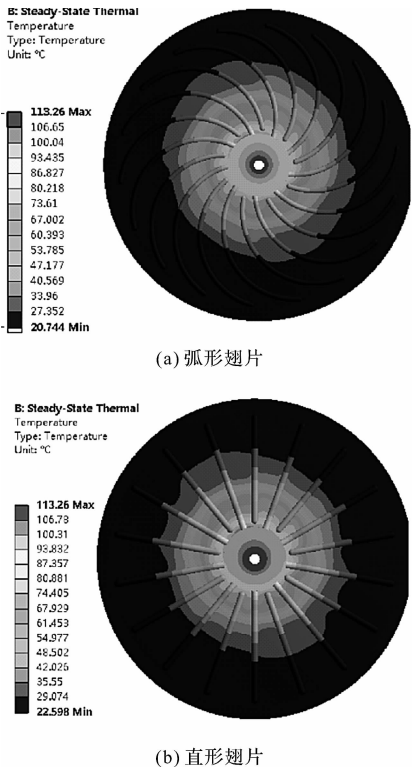


图 2 0° 角弧形和直形翅片静盘的稳态温度场

由图 2 的对比得知:弧形翅片高温区和低温区范围减小, $30^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$ 温度范围增大。由此可知,弧形翅片可以从中心排气口向静盘外围传递更多的热量,使得静盘中心与外围的温差减小,温度分布更加均匀,从而使热应力减小,中心与外围变形量减小。

笔者经过静盘中心点作水平和竖直方向的路径,在此基础上提取出不同静盘水平、竖直方向上的温度值,并按照不同形状翅片静盘的温度差,绘制折线图。

0° 、 180° 旋转角时,静盘外壁面水平方向的稳态温度差折线如图 3 所示。

由铸铁弧形翅片静盘在水平路径上的温度与铸铁直形翅片静盘在水平路径上的温度之差,绘制的折线图如图 3(a)所示。图中显示,弧形翅片静盘与直形翅片静盘水平方向上的温度差基本分布在 0°C 以上,即在水平方向上。由此可见,弧形翅片静盘温度较相同位置的直形翅片静盘温度高。

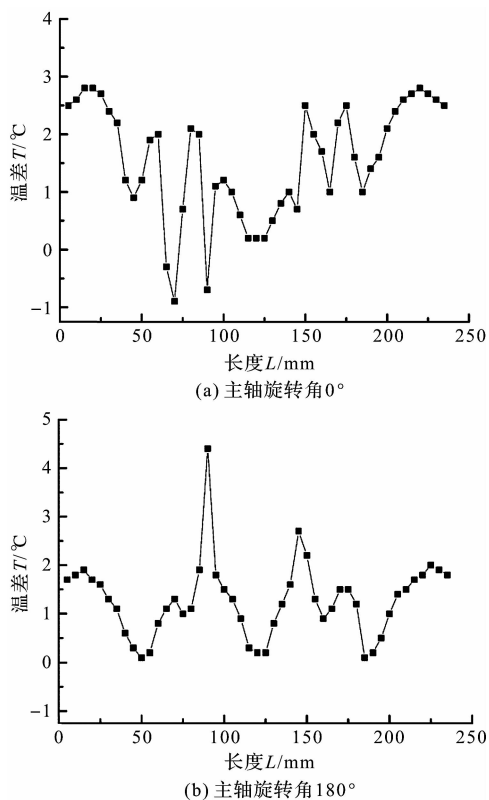


图3 静盘外壁面水平方向的稳态温度差

在静盘竖直方向相同位置处,两种翅片的温度差如图4所示。

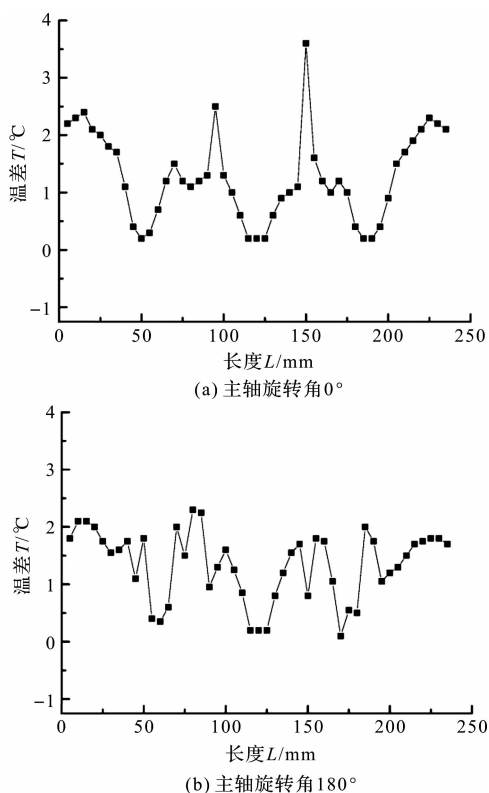


图4 静盘外壁面竖直方向的稳态温度差

同时在相同距离处,竖直方向的温度差要小于水

平方向的温度差,也就是说,在水平方向上,弧形翅片静盘传热速度较直形翅片静盘要快。

由图4可得:主轴旋转角在 0° 、 180° 角度下,弧形翅片静盘稳态的温度场分布均较直形翅片静盘稳态温度场均匀,并且弧形翅片静盘的中心黑色区域以及非中心黑色区域小于直形翅片静盘,从而可以推断,弧形翅片静盘的稳态温度场分布较直形翅片静盘稳态温度场分布均匀;

并且从4个角度下水平/竖直方向的温度差可以看出,弧形翅片静盘在相同位置处的温度都高于直形翅片的温度,从而可以推断,弧形翅片静盘的传热效果较直形翅片静盘更优。

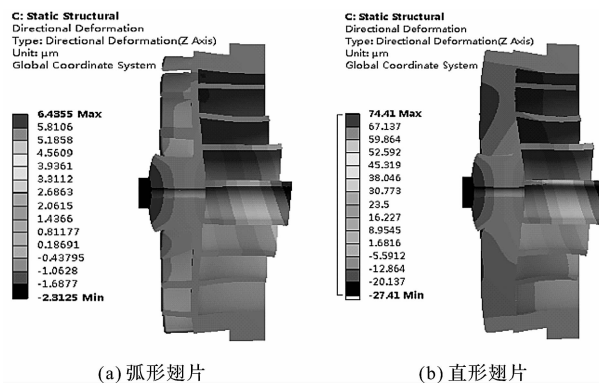
3 静盘的热变形与热应变

通常,在材料属性相同的情况下,温度场分布情况在一定程度上能够大致反映出变形的规律,这是由于热变形与材料的比热容和热膨胀系数有关。可是由于温度梯度较大,弧形翅片静盘与直形翅片静盘在相同位置处的温度差一般都在 2°C 内,温度场的分布情况无法清晰直观地反映出变形的规律。

因此,笔者在研究温度场分布的基础上,必须通过软件模拟来研究不同翅片规格静盘的变形情况。

3.1 静盘热变形

主轴旋转角 0° 角时,铸铁材料的直形、弧形两种散热翅片静盘的轴向热变形在静盘中心的截面,如图5所示。

图5 在 0° 角不同翅片静盘稳态热变形截面图

从图5可以看出:在热载荷下,静盘排气口处向内外两侧产生热变形,同时静盘向外围产生径向变形;静盘的最大热变形发生在中心排气口处,涡旋齿侧发生在齿顶位置。

为了更直观地体现各静盘模型在轴向和径向的变形量,可以采用折线图的方式表示变形量。

不同旋转角时,安装两种翅片静盘外壁面在水平方向路径的变形量如图 6 所示。

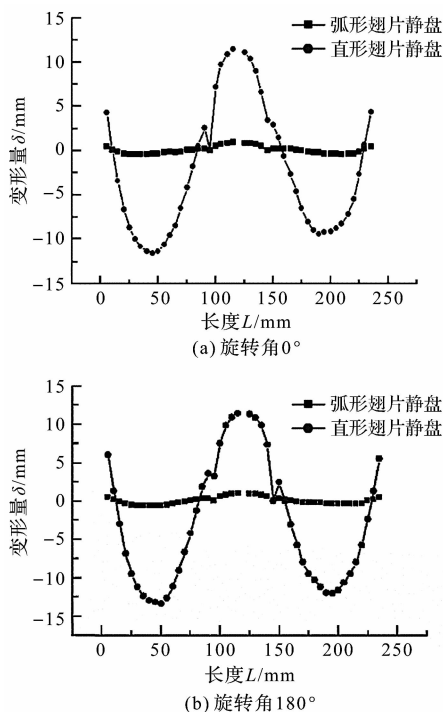


图 6 不同翅片静盘外壁径向稳态热变形

从图 6 可以看出:不同形状翅片静盘水平路径上的变形量都呈“几”形,安装弧形翅片静盘在外壁面径向方向上的变形较安装直形翅片静盘的变形平缓。

弧形翅片静盘的最大总变形量约为 $8.7 \mu\text{m}$,其中在涡旋齿侧的最大变形量约为 $6.4 \mu\text{m}$,在外壁面的最大变形量约为 $2.3 \mu\text{m}$;直形翅片静盘的最大总变形量约为 $98.8 \mu\text{m}$,其中在涡旋齿侧的最大变形量约为 $74.4 \mu\text{m}$,在外壁面的最大变形量约为 $27.4 \mu\text{m}$ 。

对比弧形翅片静盘和直形翅片静盘的热变形可知,弧形翅片静盘的变形量明显小于直形翅片静盘的变形量。由于图 6 横坐标为静盘外壁面的径向方向的长度,横坐标能够直观反映静盘外壁面的径向路径。

图 6 中, $100 \text{ mm} \sim 150 \text{ mm}$ 处为静盘中心排气口法兰位置,该部位变形量较大,直形翅片静盘与弧形翅片静盘变形差距小;在 50 mm 与 150 mm 处,弧形翅片静盘变形量明显小于直形翅片静盘变形量,二者相差约一个数量级,直形翅片静盘在 50 mm 与 150 mm 位置的相对变形量较大。

主轴在不同旋转角下,弧形翅片静盘的最大总变形量与涡旋齿侧和外壁面各部分的最大变形量,均明显小于直形翅片的变形量。

3.2 静盘热应变

因为静盘的热应变是静盘上各部分变形量与原尺

寸之比,能够反映出在热载荷下静盘各部分变形量的规律。

180° 角下,铸铁材料的弧形和直形翅片静盘的稳态热应变截面如图 7 所示。

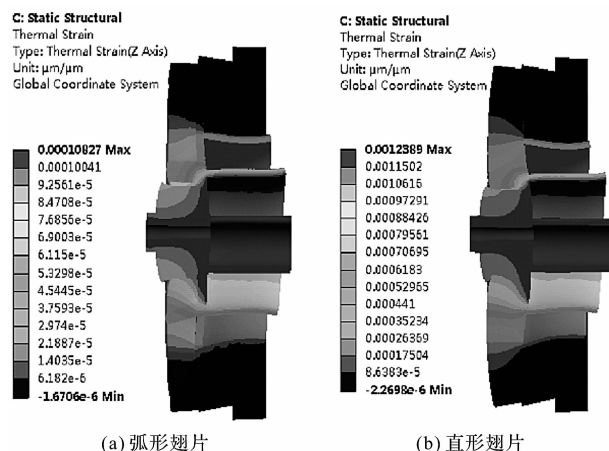


图 7 180° 角下铸铁材料的弧形和直形翅片静盘的稳态热应变截面

180° 角下,静盘外壁面径向稳态热应变如图 8 所示。

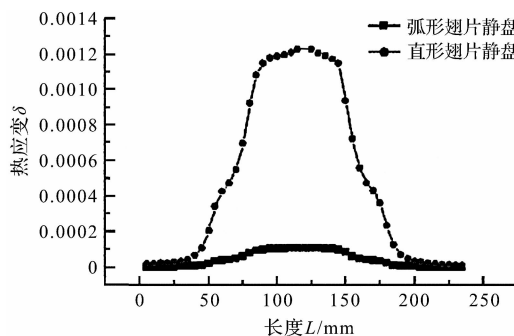


图 8 180° 角静盘外壁面径向稳态热应变

图 8 显示,弧形翅片静盘的热应变数值较直形翅片静盘的热应变数值小;同时,在相同数值热应变下,弧形翅片静盘范围较直形翅片热应变范围广,即弧形翅片静盘的热应变分布较直形翅片静盘均匀平缓。

在散热翅片规格方面,弧形翅片静盘的温度场较直形翅片温度场分布均匀,中心排气口高温区范围较直形翅片静盘大,静盘外围低温区范围较直形翅片静盘小,即静盘排气口高温能更高效地传导至静盘外围;弧形翅片静盘的热变形量小于直形翅片静盘热变形量。

由此可见,热应变计算结果与热变形计算结果一致。

综上所述,涡旋压缩机静盘稳态传热情况下,弧形翅片静盘的散热效果要优于直形翅片静盘。在散热翅片结构方面,弧形翅片静盘在传热效果、温度场分布及热变形方面均优于直形翅片静盘,具体表现在:

(1) 温度从中心排气口传到静盘外围速度快;

(2)同样时长的情况下,弧形翅片静盘的热量传递范围大于直形翅片静盘;

(3)弧形翅片静盘稳态温度场分布较直形翅片静盘均匀;

(4)弧形翅片受热轴向变形量在正反两方向上均小于直形翅片。

4 结束语

笔者使用有限元分析法,对涡旋压缩机各压缩角度下不同形状翅片的静盘进行了分析,得到了不同情况下,涡旋压缩机静盘在温度载荷下的温度场、热变形及热应变结果,主要结论如下:

(1)涡旋压缩机静盘内侧温度分布类似于线性分布,由静盘外围进气口处向静盘内侧排气口处温度近似呈线性升高,因此可利用涡旋压缩机温度计算理论求得各腔温度,然后将温度以线性的方式加载到模型中;

(2)在对不同规格涡旋压缩机静盘作模拟计算分析时,将温度线性加载后,先进行稳态热分析,可以得到不同规格静盘的稳态温度场分布以及其热变形与热应变结果,该结果能够反映出不同规格的涡旋压缩机静盘在温度场分布和热应变及热变形方面的差异,以便能够得到最优的结构选择;

(3)不同翅片形状的涡旋压缩机静盘,在传热效果、温度场分布以及热变形方面有着明显的差异。

参考文献(References):

- [1] 李海生. 无油润滑涡旋压缩机的研究[D]. 兰州:兰州理工大学石油化工大学,2005.
- [2] 李超,谢文君,赵嫚. 不同载荷及结构对涡旋齿强度影响的有限元分析[J]. 机械工程学报,2015,51(6):189-197.
- [3] 李海生,彭斌,刘振全,等. 无油润滑涡旋压缩机冷却系

- 统的研究[J]. 兰州理工大学学报,2006,32(2):55-57.
- [4] 王俊亭. 风冷无油涡旋空气压缩机热力学及涡旋盘变形研究[D]. 南昌:南昌大学机电工程学院,2014.
- [5] 李海生,吴开波,王建松,等. 无油涡旋压缩机密封条的有限元分析[J]. 流体机械,2015,43(5):19-23.
- [6] 杜文武. 组合型线涡旋压缩机型线设计与涡旋齿的有限元分析[D]. 兰州:兰州理工大学石油化工学院,2011.
- [7] 熊珊. 基于ANSYS组合涡旋型线参数化设计与涡旋齿温度场分析[D]. 兰州:兰州理工大学石油化工学院,2012.
- [8] 王君,查海滨,张晓慧,等. 一种渐变啮合间隙的变壁厚涡旋齿型线研究[J]. 工程热物理学报,2013,34(8):1453-1456.
- [9] LI H S, CHEN Y H, WU K B, et al. Experimental study on influencing factors of axial clearance for scroll compressor[J]. *International Journal of Refrigeration*, 2015, 54: 38-44.
- [10] 李海生,吴开波,陈英华,等. 基于红外的涡旋压缩机涡旋盘温度场实验[J]. 煤矿机械,2014,35(10):54-57.
- [11] 梁高林. 中间补气涡旋压缩机及其循环系统的研究[D]. 兰州:兰州理工大学石油化工学院,2007.
- [12] 刘强,曹晨燕,王君,等. 涡旋压缩机新型渐变壁厚涡旋齿的设计和特性研究[J]. 流体机械,2018,46(12):18-24.
- [13] 彭斌,李要红,赵生显. 无油涡旋压缩机涡旋盘的应变分析及试验验证[J]. 流体机械,2018,46(7):1-8.
- [14] 陈玉坤. 喷水涡旋压缩机气液流动与传热特性研究[D]. 徐州:中国矿业大学化工学院,2018.
- [15] 李永安. 一种射流加油阀的设计与流场数值分析[J]. 液压气动与密封,2018(8):27-29.
- [16] 王硕,阎凯,任智达,等. 波纹翅片传热与流动特性数值仿真分析[J]. 机电工程技术,2020,49(5):24-25,58.
- [17] 万长园,陈富强,马理强. 矩形翅片椭圆管流动与传热数值研究[J]. 压力容器,2019,36(8):38-43.

[编辑:冯黎雅]

本文引用格式:

周新华,肖必宏,戴明,等. 涡旋压缩机静盘外壁面强化传热研究[J]. 机电工程,2020,37(11):1323-1328.

ZHOU Xin-hua, XIAO Bi-hong, DAI Ming, et al. Heat transfer enhancement of outer surface of fixed scroll for scroll compressor[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2020, 37(11):1323-1328.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>