

散热对无油涡旋空气压缩机性能影响的实验研究

赵远扬, 李连生, 马丽强, 卜高选, 束鹏程

(西安交通大学流体机械及压缩机国家工程研究中心, 710049, 西安)

摘要: 针对小型家用制氧机用无油涡旋空气压缩机, 分析了散热对压缩机各方面性能的影响机理, 对研制样机进行了3种不同冷却方式下的实验研究. 研究表明: 散热是影响无油涡旋空气压缩机性能的一个重要因素; 随着排气压力的升高, 排气温度升高, 容积效率下降, 电功率升高; 自然冷却方式下压缩机的性能最差, 额定排气压力下压缩机的容积效率仅为20%, 而动盘强制冷却的效果最好, 静盘强制冷却的效果介于两者之间, 因此动盘背面的强制冷却是无油涡旋空气压缩机设计的首要考虑因素.

关键词: 涡旋空气压缩机; 无油; 散热; 实验研究

中图分类号: TH45 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)01-0005-04

Experimental Study of Heat Transfer Effect on Oil-Free Scroll Air Compressor

ZHAO Yuanyang, LI Liansheng, MA Liqiang, BU Gaoxuan, SHU Pengcheng

(National Engineering Research Center of Fluid Machinery and Compressors, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The effects of heat transfer on the performance of oil-free scroll air compressor were analyzed. A simulation model of compressor was established and experimental investigation to the developed prototype was carried out with three different cooling methods. The results show that heat transfer is a major factor affecting the performance of oil-free scroll air compressor. With rising of the discharge pressure, the discharge temperature and the electric power of the scroll compressor increase while the volumetric efficiency decreases. Under the situation of natural cooling, the performance of compressor is lowest and the volumetric efficiency gets only about 20% when the discharge pressure is at the rated discharge pressure. The scroll compressor under orbiting scroll forced cooling performs optimally. Hence the cooling of orbiting scroll is the major factor considered in the design of oil scroll air compressor.

Keywords: scroll air compressor; oil-free; heat transfer; experimental study

随着工业的发展, 一些场合常要求供应的高压气体不被润滑油污染, 此时无油压缩机就成为这些特殊场合压缩机的首选. 例如, 食品加工、医药卫生、贵重的稀有气体生产、燃料电池系统等场合都要使用无油压缩机. 涡旋压缩机作为一种容积式压缩机, 具有节能、高效、可靠的特点, 被广泛应用于制冷空调及气体压缩领域^[1], 而无油涡旋式空气压缩机是其新的发展方向之一. 由于无油润滑的涡旋式压缩

机较其他形式的无油压缩机在结构、工作效率、可靠性、振动、噪声等方面有着不可替代的优势, 因此对无油润滑的涡旋式压缩机的研究已成为当今涡旋压缩机研究领域的热点^[2-3]. 小型家用制氧机是一种使用分子筛技术分离空气中氧气的设备, 其核心部件就是微型无油空气压缩机, 本文针对应用于该系统的微型无油涡旋空气压缩机, 主要研究散热对压缩机性能的影响.

1 散热对压缩机性能的影响

散热是影响空气压缩机性能的主要因素之一。因为空气的绝热指数大,在压缩过程中会放出更多的热量,如果散热不好,就会造成排气温度过高。如果压缩过程散热充分,压缩过程就接近等温过程,压缩机功耗较小。反之,压缩过程就接近绝热过程,压缩机功耗较大。此外,当压缩机的转速不同时,机器内部的传热情况也不一样,转速越高,压缩机对外散热效果越差。文献[4-7]对涡旋压缩机压缩腔内的温度场和换热进行了研究,分析了不同温度分布对压缩机压缩过程的影响。正是基于以上原因,空气压缩机往往采用喷油(水)系统,通过喷入压缩腔的油(水)的吸热,对压缩过程进行冷却,即内部冷却。对于无油空气压缩机,上述方法是禁止使用的,因此只能采用外部冷却的方法,达到间接对压缩过程冷却的目的。外部冷却往往采用风扇等设备对压缩腔外部进行冷却。针对无油涡旋空气压缩机,就是对动静涡旋盘外表面进行冷却。

散热除了对压缩过程有重要影响,也对压缩机部件有一定的影响。对于微型无油涡旋压缩机,因其体积小,散热面积小,当压缩过程的热量不能及时传出时,压缩机整机温度就会升高,从而引起动静涡旋盘的热变形[8],涡旋盘不均匀的热变形会使压缩机出现密封效果降低、摩擦功耗增加,从而使压缩机的可靠性下降,压缩耗功上升。

此外,散热不良还会引起压缩机轴承负荷增加,轴承内润滑脂温度升高,使用寿命缩短。

2 数学模型

以涡旋压缩机的一个压缩腔为控制容积,应用能量守恒方程、连续性方程和气体状态方程[9-10],可以得到以下描述控制容积内工质参数在工作过程变化的基本方程

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp}{d\theta} &= \frac{c_p}{v} \frac{dt}{d\theta} - \frac{1}{V} \left\{ \left[\sum c_p (t_i - t) \frac{dm_i}{d\theta} \right] + \frac{dQ}{d\theta} \right\} \\ \frac{dm}{d\theta} &= \sum \frac{dm_i}{d\theta} + \sum \frac{dm_o}{d\theta} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

除了以上方程,计算工质的参数在工作过程任意时刻的变化还需要其他补充方程,如容积变化方程、泄漏方程和传热方程等。容积变化方程可以通过压缩机型线参数的计算得到,泄漏方程可以通过喷嘴泄漏模型导出[9]。对于传热方程,由于工质与涡盘

之间属于对流传热,故涡旋空气压缩机工作腔内的工质对流传热系数公式用 Johnson-Rebesine 公式较好[11],即

$$Nu = 0.029 \, 6 Re^{4/5} Pr^{2/3} \quad (2)$$

对于涡旋压缩机的一个工作腔来说,其中工质的传热量由4个部分组成:工作腔经静盘内壁面向外界环境的传热量 dQ_1 ;工作腔经动盘内壁面向机壳内、继而传向外界的传热量 dQ_2 ;前一循环工作腔向本工作腔的传热量 dQ_3 ;本工作腔传向下一循环工作腔的传热量 dQ_4 。其关系式为

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{dQ_1}{d\theta} + \frac{dQ_2}{d\theta} + \frac{dQ_3}{d\theta} + \frac{dQ_4}{d\theta} \quad (3)$$

综合以上方程,利用龙格-库塔数值方法可以求出不同时刻工作腔内工质的状态参数,进而求出排气量、功率等宏观性能。在求解过程中,各工作腔的初始参数用理想的绝热压缩过程代替,然后在下一循环计算过程中,用计算得到的新值代替旧值继续计算,从而在求解过程中反复迭代,逐渐逼近真值,直到相邻两次计算新值和旧值的误差小于某一指定误差为止。

3 样机及实验系统

3.1 样机

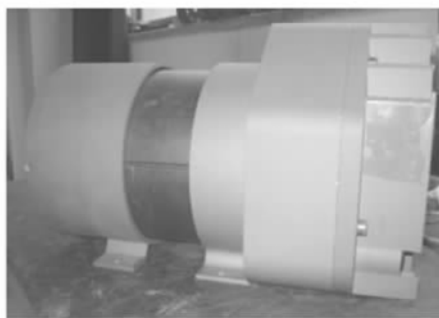
制氧机要求无油空气压缩机具有较高的工作效率,较低的噪声和振动,而涡旋压缩机具有这方面的优势,能够满足制氧机的要求。本文研制了用于小型家用制氧机用的微型无油涡旋式空气压缩机(如图1所示)。在压缩机的静盘和动盘之间均匀布置3个小曲柄销来替代传统涡旋压缩机的十字滑环,将需要油润滑的滑动转变为安装在小曲柄销上的滚动轴承的滚动,轴承采用脂润滑轴承,从而达到压缩腔无油的目的。小曲柄销除了完成防自转的功能外,同时还承受压缩机的轴向气体力。此外,在动静盘间布置防自转机构可以减小压缩机支架的结构尺寸,从而使整机结构紧凑。

为了研究散热对无油涡旋压缩机性能的影响,首先对不安装动盘冷却风扇的样机进行实验研究,然后在动盘背后的主轴上安装冷却风扇,主轴随电机转子转动,同时驱动压缩机和冷却风扇。

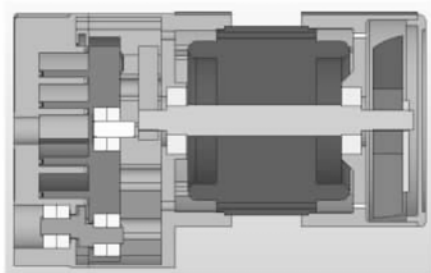
3.2 实验系统

实验样机的额定排气压力(表压) $p = 206.8$ kPa,每转排气量 $V = 64.28$ mL/r。针对不同的冷却方式,通过实验测量了样机在不同排气压力下的排气量、耗功和排气温度等性能参数。样机性能测试系

统如图2所示,各参数的测量按照国家标准 GB/T 3853—1998《一般用容积式空压机性能试验方法》进行。电功率测量采用电功率表,转速测量采用手持式红外转速仪。吸气温度、压力测量采用 mr3000 数据自动采集系统,环境温度、大气压力由相应传感器测得。排气压力采用压力表测量。排气温度由红外测温仪测量。



(a)样机



(b)结构示意图

图1 实验样机和结构示意图

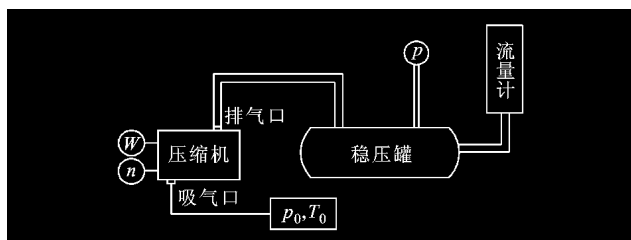


图2 测试系统

4 结果分析

4.1 结果比较

为了研究散热对无油涡旋压缩机性能的影响,本文针对研发样机做了以下3组对比实验。

(1)自然冷却:对样机压缩部分不作任何强制冷却,靠自然对流对样机进行冷却;

(2)静盘强制冷却:使用独立风扇对静盘的背面进行强制对流冷却;

(3)动盘强制冷却:在动盘背面设置轴流风扇,对其进行强制对流冷却。

研究结果如图3~图6所示。从图3和图5的数值计算结果和实验测量结果的比较可以看出,计算和测试结果的变化趋势基本一致。计算的排气温度低于测试温度,这主要是由于计算过程中没有计算由于机械摩擦产生的热量,而机械摩擦损失随着排气压力的上升大幅增加,导致模拟值与测试值有一定的偏差。容积效率的模拟值大于测试值,这主要是由于压缩机在实际运行过程中,不均匀的温度分布会导致涡旋盘变形,从而影响动盘和静盘间的配合间隙,降低了压缩机的容积效率。

4.2 冷却方式的影响

从图3可以看出,随着排气压力的升高,压缩机的排气温度随之升高,但针对3种不同的冷却方式,排气温度上升的幅度是不同的。其中,自然冷却方式下排气温度最高,在额定排气压力下达到 155.7℃,而静盘强制冷却方式下最高排气温度为 101℃,冷却效果最好。

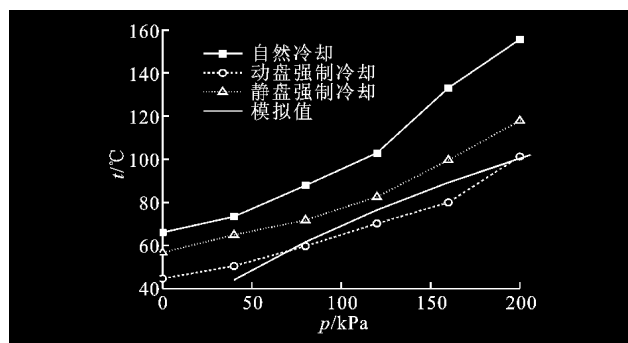


图3 3种不同冷却方式下排气温度的变化

从图4可以看出,随着排气压力的升高,不同冷却方式下的样机排气量都随之下降,但自然冷却条件下的样机排气量下降速度最快,动盘强制冷却条件下的排气量下降速度最慢。从图5所示的容积效率与排气压力的关系可以看出,在自然冷却条件下,样机的最低容积效率下降到20%左右,这样低容积效率的压缩机是不能使用的。通过强制冷却,容积效率升高,其中通过动盘强制冷却后压缩机的容积效率在额定排气压力下达到70%。

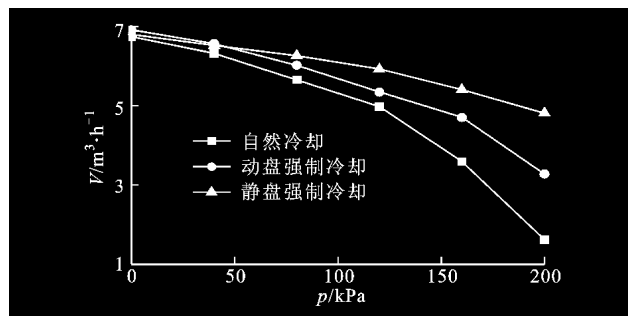


图4 3种不同冷却方式下排气量的变化

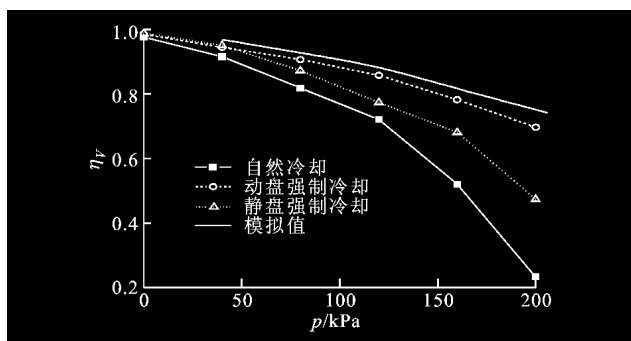


图5 容积效率

从图6中可以看出,在自然冷却条件下,随着排气压力的升高,压缩机的电功率急剧上升,而其他2种冷却方式下电功率的上升较为平缓。其中,静盘强制冷却由于采用的是独立风扇,风扇耗功不包含在测量电功率内,因此测量结果中静盘强制冷却条件下的电功率小于动盘强制冷却。

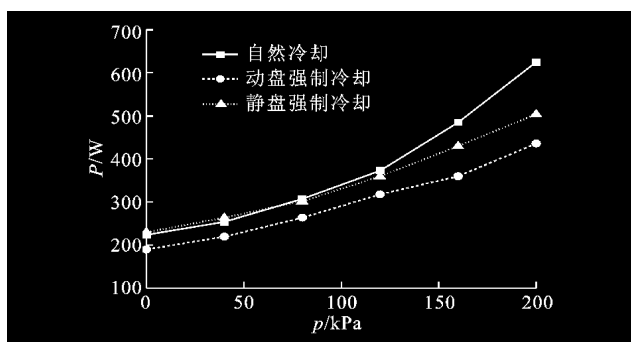


图6 输入电功率

由以上结果可以看出,强制冷却条件下微型无油涡旋空气压缩机的性能有明显提高。从电功率上看,虽然增加了一个轴流风扇从而增加了功耗,但无油涡旋空气压缩机在低排气压力下工作时,耗功与原来的相似,而在高排气压力时,消耗的电功率较改进之前也下降了不少。

5 结论

本文对微型无油涡旋空气压缩机进行了理论和实验研究,研究了自然冷却、静盘强制冷却和动盘强制冷却等3种冷却方式对压缩机排气温度、排气量、功率等性能参数的影响规律。研究结果表明,散热是无油涡旋空气压缩机性能的一个重要影响因素,其中自然冷却方式下压缩机的性能最差,动盘强制冷却的效果好于静盘强制冷却效果。因此,在设计无油涡旋空气压缩机时,首先要考虑动盘背面的冷却,在

条件许可的条件下进一步考虑静盘的冷却。

参考文献:

- [1] 李连生. 涡旋压缩机[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [2] 任乐, 周慧, 陈旭峰, 等. 涡旋式空气压缩机新展望[J]. 压缩机技术, 2003, 180(4): 25-27.
REN Le, ZHOU Hui, CHEN Xufeng, et al. New development of scroll air compressor [J]. Compressor Technology, 2003, 180(4): 25-27.
- [3] 房师毅, 李连生, 束鹏程, 等. 无油润滑涡旋式空气压缩机的工作过程研究[J]. 中国机械工程, 2005, 16(2): 123-127.
FANG Shiyi, LI Liansheng, SHU Pengcheng, et al. Study on working process of an oil-free scroll air compressor [J]. China Mechanical Engineering, 2005, 16(2): 123-127.
- [4] JANG K, JEONG S. Experimental investigation on convective heat transfer mechanism in a scroll compressor [J]. International Journal of Refrigeration, 2006, 29(5): 744-753.
- [5] OOI K T, ZHU J. Convective heat transfer in a scroll compressor chamber: a 2-D simulation [J]. International Journal of Thermal Sciences, 2004, 43(7): 677-688.
- [6] OOI K T. Heat transfer study of a hermetic refrigeration compressor [J]. Applied Thermal Engineering, 2003, 23(15): 1931-1945.
- [7] SUNDER S. Thermodynamic and heat transfer modeling of a scroll pump [D]. Cambridge, USA: Massachusetts Institute of Technology, 1997.
- [8] LIN C C, CHANG Y C, LIANG K Y, et al. Temperature and thermal deformation analysis on scrolls of scroll compressor [J]. Applied Thermal Engineering, 2005, 25: 1724-1739.
- [9] CHEN Y, HALM N P, GROLL E A, et al. Mathematical modeling of scroll compressors: compression process modeling [J]. International Journal of Refrigeration, 2002, 25(6): 731-750.
- [10] 束鹏程. 压缩机优化设计方法 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1985.
- [11] WAGNER T C, MARCHESE A J. Characterization of thermal process in scroll compressor [C]//Proceedings of International Compressor Engineering Conference. Purdue, USA: Purdue Univ., School of Mechanical Engineering, 1992: 97-106.

(编辑 王焕雪)