

同步回转式制冷压缩机的运动分析

杨骅, 屈宗长, 周慧, 俞炳丰

(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 为了解决目前小型全封闭制冷压缩机由于运动部件之间相对运动速度较高而引起的摩擦磨损严重和零部件使用寿命短的问题, 开发研制了一种新型的全封闭同步回转式制冷压缩机. 介绍了同步回转式制冷压缩机的工作原理和结构特点, 对关键零部件的运动规律以及相互之间的运动关系进行了分析推导, 并对一台同步回转式制冷压缩机样机进行了数值计算. 结果表明: 样机的转子与气缸之间的平均相对运动速度为 2.62 m/s, 比同规格的滚动活塞式压缩机和滑片式压缩机的分别降低了 79.16% 和 76.83%; 样机的滑板与转子之间的平均相对运动速度只有 0.80 m/s, 比同规格滚动活塞式压缩机的降低了 92.93%, 比滑片式压缩机的滑片与气缸之间的平均相对运动速度降低了 93.64%; 同步回转式制冷压缩机转子与气缸以及滑板与转子之间的相对运动速度非常小, 可以大大降低相互之间的摩擦磨损, 提高压缩机的性能及零部件的使用寿命.

关键词: 同步回转式压缩机; 相对运动速度; 摩擦磨损; 数值计算

中图分类号: TB652 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)05-0565-04

Kinetic Characteristics Analysis for a Synchronal Rotary Refrigerating Compressor

YANG Hua, QU Zongchang, ZHOU Hui, YU Bingfeng

(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The operating principle and structure characteristics of an innovative synchronal rotary refrigerating compressor developed were analyzed, and the moving law of the key parts of the compressor was deduced. Moreover, numerical calculation was performed for a refrigeration prototype on the basis of the motion analysis. The calculation results show that the average relative velocity between the cylinder and the rotor is 2.62 m/s, which is decreased by 79.16% and 76.83% respectively compared with that of a rolling piston compressor and a vane compressor with the same parameters. The average relative velocity between the vane and the rotor is 0.80 m/s, which is decreased by 92.93% and 93.64% respectively compared with that of the rolling piston compressor and the average relative velocity between the vane and the cylinder of the vane compressor. The relative velocity between the moving parts of the synchronal rotary refrigerating compressor is very small, leading to less frictional wear of the moving parts, higher efficiency of the compressor and longer operating life of the parts.

Keywords: synchronal rotary compressor; relative velocity; frictional wear; numerical calculation

以滑片式制冷压缩机和滚动活塞式制冷压缩机为代表的旋转式制冷压缩机因其体积小、质量轻、零部件少、结构紧凑、运行平稳等优点在家用冰箱和汽

车空调中得到了广泛的应用, 其市场占有率逐年增高, 对往复活塞式制冷压缩机形成了较大的冲击. 然而, 无论是滑片式制冷压缩机还是滚动活塞式制冷

压缩机都存在不足:传统的滑片式制冷压缩机的滑片与气缸之间较大的相对运动速度使机械摩擦极为严重,会在滑片顶部和气缸内表面之间产生严重的磨损,带来使用寿命以及效率的降低等一系列问题;与滑片式制冷压缩机相同,滚动活塞式制冷压缩机的各个运动副之间也存在较大的相对运动速度,因此同样也存在着较大的摩擦与磨损。另外,滚动活塞式制冷压缩机的滚动活塞或转子是以偏心运转的方式工作,因此会产生较大的旋转惯性力,这是造成压缩机振动及噪声大的一个主要原因,虽然可以通过配装平衡块的方法来加以消除,但会增加轴承的载荷以及压缩机的质量和体积^[1]。为了克服上述2种机型的不足,本文研制了一种全新结构和全新运动方式的同步回转式制冷压缩机。

1 结构特点及工作原理

如图1所示,同步回转式制冷压缩机的主要零部件有主轴、转子、滑板和气缸等。滑板一端嵌入开有滑板槽的转子中,在滑板槽中做相对于转子的往复滑动。另一端与气缸相连,随气缸做旋转运动,并相对于气缸做小角度旋转摆动。转子与气缸偏心安装,可保证转子侧面与气缸内壁处于相切状态,这样它们之间就形成了一条密封线。该密封线与滑板共同将转子和气缸之间的月牙形封闭空间分隔成2个可周期变化的工作腔,一个为进气腔,另一个为排气腔。主轴旋转中心与转子旋转中心重合,由主轴驱动转子做完全的回转运动,转子同时带动滑板旋转从而驱动气缸做围绕气缸旋转中心的同步回转运动。转子、滑板和气缸的旋转运动使得工作腔随着主轴转角实现由小变大、由大变小的过程,从而达到压缩气体的目的。对于单个工作腔来说,气体的吸入、压缩和排气是在2周内完成的,吸气与压缩过程在滑

板两侧的工作腔同时进行,因此对整机而言仍然是每转完成一个工作循环。由于同步回转式制冷压缩机的进、排气持续时间长,这样使得进、排气都较为连续平稳^[2]。图1还给出了工质气体的流动方向,当压缩机工作时,制冷剂气体从机壳进气管道进入到低压腔,再通过压缩机轴向进气口进入压缩机基元容积,压缩完成后由径向排气阀排入高压腔,最后通过机壳上的排气管道排出,完成一个工作循环。

2 运动分析

在同步回转式制冷压缩机中,气缸和滑板的运动十分关键,分析其运动状态对深入研究运动件的摩擦磨损、气体的泄露以及运转的平稳性都具有重要的意义。

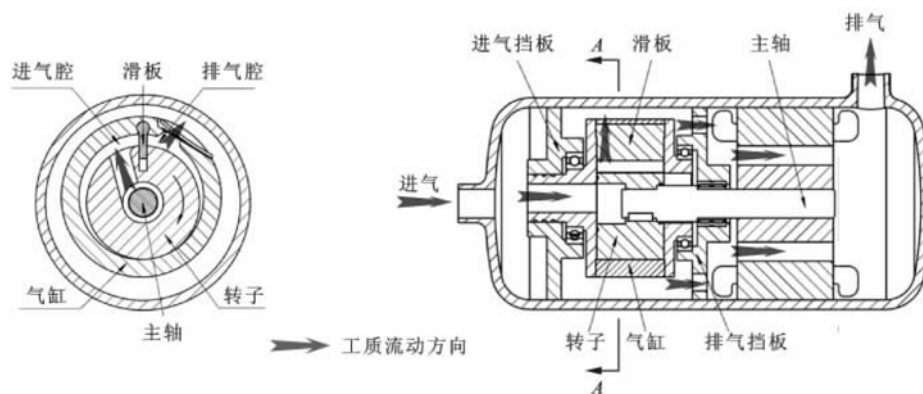
2.1 气缸的运动分析

同步回转式制冷压缩机与传统旋转式制冷压缩机的主要区别在于其气缸不是固定静止,而是在滑板的驱动下围绕自己的旋转中心和转子一起做同步回转运动。为了详细分析气缸的运动特性,建立了固结在转子上随转子一起做旋转运动的动坐标系 $O_R X'Y'$ 和静坐标系 $O_C XY$ 。气缸的运动如图2所示,气缸上滑板槽中心与滑板中心重合,令该点为 O_S ,可知气缸上 O_S 点的速度 v_C 和滑板上 O_S 点的速度 v_S 相同,因此可以通过计算滑板头部 O_S 点的速度来间接得到气缸的运动速度。滑板上 O_S 点的运动为平面复合运动,令 v_{Se} 为 O_S 点的牵连运动速度, v_{Sr} 为 O_S 点的相对运动速度,所以任意主轴转角 β 下的 O_S 点的绝对运动速度可表示为

$$v_C = v_S = v_{Se} + v_{Sr} \quad (1)$$

其中

$$v_{Se} = \omega \rho \quad (2)$$



(a) 横向剖面图 A-A

(b) 纵向剖面图

图1 全封闭同步回转式制冷压缩机结构简图

$$v_{Sr} = d\rho/dt \quad (3)$$

式中: $\rho = O_S O_R$; ω 为主轴旋转角速度. 根据图 2 的几何关系, 矢径由下式确定

$$\rho = -e \cos \beta + [(R_C + R_S)^2 - e^2 \sin^2 \beta]^{1/2} \quad (4)$$

式中: R_C 为气缸半径; R_S 为转子半径; $e = O_C O_R$ 为偏心距.

气缸的加速度可表示为

$$a_C = dv_C/dt \quad (5)$$

气缸在 O_S 点的速度沿气缸的切向方向, 即 $v_C \perp O_C O_S$, 所以由气缸速度的大小 v_C 可得到气缸角速度 ω_C 的大小为

$$\omega_C = v_C/R_C \quad (6)$$

气缸角加速度为

$$\varepsilon_C = d\omega_C/dt \quad (7)$$

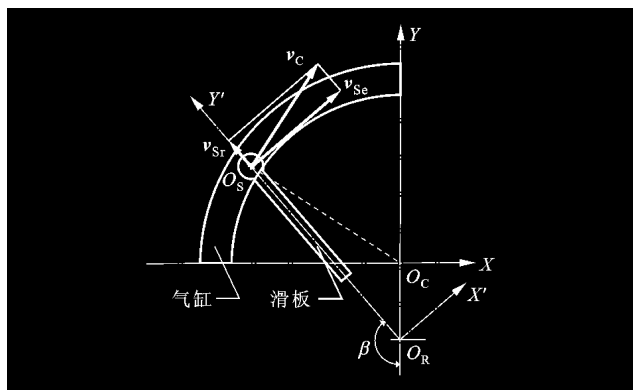


图2 气缸运动示意图

2.2 滑板的运动分析

滑板由转子驱动做复合平面运动, 同时驱动气缸做同步旋转运动. 滑板一方面随转子匀速转动(牵连运动), 一方面在转子上的滑板槽内作往复直线运动(相对运动). 为分析滑板的运动特性, 建立了固结在转子上随转子一起做旋转运动的动坐标系 $O_R X' Y'$ 和静坐标系 $O_R X Y$. 图 3 为滑板的运动示意图, 图中 G 为滑板质心. 质心 G 点的绝对运动速度 v_{SG} 等于 G 点的牵连运动速度 v_{SGe} 和相对运动速度

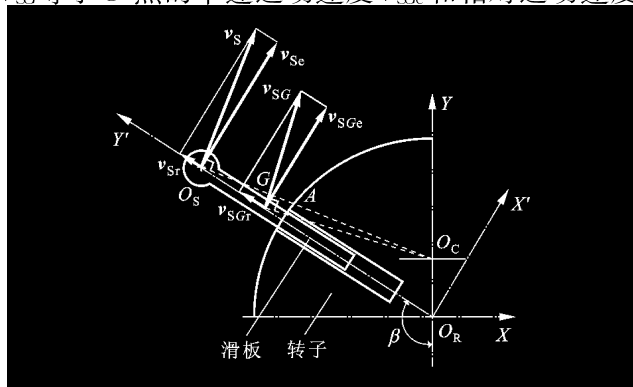


图3 滑板运动示意图

v_{SGr} 的矢量和^[3], 即

$$v_{SG} = v_{SGe} + v_{SGr} \quad (8)$$

其中

$$v_{SGr} = v_{Sr} = d\rho/dt \quad (9)$$

$$v_{SGe} = \omega \rho_G; \quad \rho_G = O_R G \quad (10)$$

可以近似得到

$$\rho_G = \rho + R_S - \frac{L}{2} \quad (11)$$

式中: L 为滑板长度, 这里忽略了滑板头部对滑板质心的影响.

由点的平面复合运动定理可知, 滑板质心 G 点的绝对加速度 a_{SG} 等于牵连加速度 a_{SGe} 和相对加速度 a_{SGr} 以及科氏加速度 a_{SGk} 的矢量和, 即

$$a_{SG} = a_{SGe} + a_{SGr} + a_{SGk} \quad (12)$$

其中

$$a_{SGe} = \omega^2 \rho_G \quad (13)$$

$$a_{SGr} = dv_{SGr}/dt = d^2\rho/dt^2 \quad (14)$$

$$a_{SGk} = 2\omega \times v_{SGr} \quad (15)$$

2.3 数值计算及分析

本文以一台同步回转式制冷压缩机样机为例, 在以上运动分析的基础上, 对其关键零部件的运动参数进行了计算, 并与相同规格的滚动活塞式制冷压缩机和滑片式制冷压缩机进行了比较. 表 1 给出了样机的结构和运行参数.

表1 同步回转式制冷压缩机样机设计参数

D/mm	d/mm	H/mm	δ/mm	L/mm	e/mm
120	108	70	8	29	6
$Q/\text{cm}^3 \cdot \text{r}^{-1}$	p_1/MPa	p_2/MPa	$n/r \cdot \text{min}^{-1}$		
150	0.3	1.5	2 000		

注: D 为气缸的直径; d 为转子的直径; H 为气缸的高度; δ 为滑板的厚度; L 为滑板的长度; Q 为排气量; p_1 、 p_2 为进、排气压力.

从图 4 可以看出, 同步回转式制冷压缩机滑板与转子之间的相对运动速度很小, 以正弦函数的方式变化, 其幅值为 1.26 m/s, 其平均值为 0.80 m/s. 同规格的滚动活塞式制冷压缩机的滑片与转子之间的平均相对运动速度大于 12 m/s, 同规格的滑片式制冷压缩机滑片与气缸之间的平均相对运动速度大于 11 m/s, 而同步回转式制冷压缩机滑板相对于气缸做小幅度旋转摆动, 其平均相对运动速度只有 0.084 m/s. 由此可见, 同步回转式制冷压缩机滑板与转子以及滑板与气缸之间的相对运动速度远小于相同规格的滚动活塞式制冷压缩机和滑片式制冷压

缩机相应的相对运动速度,这意味着同步回转式制冷压缩机在很大程度上克服了滚动活塞式制冷压缩机和滑片式制冷压缩机存在的严重的滑片磨损以及由此带来的泄露、密封以及功耗增加等问题。

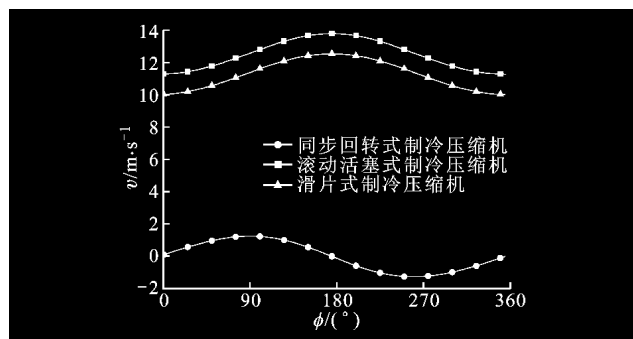


图4 滑板与转子、气缸的相对运动速度

如图5所示:同步回转式制冷压缩机转子与气缸之间啮合点处的相对运动速度在主轴转角为 0° 时最小,为 1.36 m/s ,在主轴转角为 180° 时达到最大值 3.87 m/s ,而同规格的滚动活塞式制冷压缩机和滑片式制冷压缩机的转子与气缸之间啮合点处的平均相对运动速度大于 11 m/s 。同步回转式制冷压缩机的转子与气缸之间较低的相对运动速度大大降低了转子与气缸啮合点处的摩擦磨损,使得啮合点处的密封更加容易,提高了压缩机的性能。

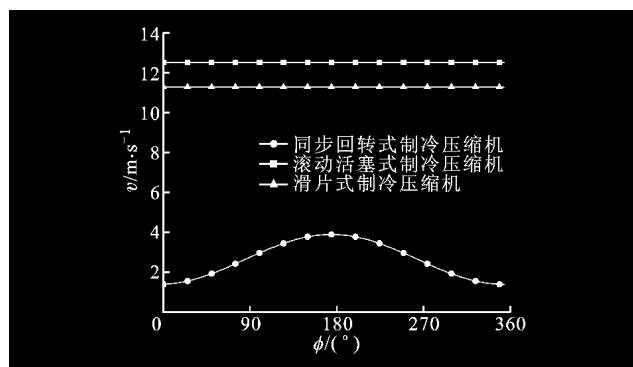


图5 转子与气缸啮合点处的相对运动速度

3 结 论

同步回转式制冷压缩机作为一种新型制冷压缩

机,比传统旋转式制冷压缩机有独特的优势。本文详细分析了滑板、气缸和转子的相对运动关系以及其运动速度、加速度随转角的计算公式,结合同步回转式制冷压缩机样机的设计参数,计算了样机的滑板与转子、滑板与气缸以及转子与气缸之间的相对运动速度,并与传统的旋转式制冷压缩机进行了比较。结果表明:样机的滑板与转子之间的相对运动速度最大值为 1.26 m/s ,平均相对运动速度只有 0.80 m/s ,与同规格滚动活塞式制冷压缩机相比降低了 92.93% ,与滑片式制冷压缩机滑片与气缸之间的平均相对运动速度相比降低了 93.64% ;样机的转子与气缸之间的平均相对运动速度为 2.62 m/s ,与相同规格的滚动活塞式制冷压缩机和滑片式制冷压缩机相比分别降低了 79.16% 和 76.83% ;样机的滑板与气缸之间的平均相对运动速度为 0.084 m/s 。这意味着新型同步回转式制冷压缩机有效地解决了传统旋转式制冷压缩机存在的严重的摩擦磨损问题,降低了压缩机的泄露,提高了零部件的使用寿命和压缩机的性能,有望成为一种具有较高竞争力的新型制冷压缩机。目前,我们正在对同步回转式制冷压缩机系统进行进一步的实验研究。

参考文献:

- [1] 马国远,李红旗. 旋转压缩机 [M]. 北京:机械工业出版社, 2001.
- [2] 屈宗长. 同步回转式压缩机的几何理论 [J]. 西安交通大学学报, 2003, 37(7):731-733.
QU Zongchang. Geometric theory for a synchronal rotary compressor [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2003, 37(7):731-733.
- [3] 周慧,屈宗长,冯健美,等. 同步回转式压缩机滑板运动分析 [J]. 西安交通大学学报, 2005, 39(9):982-984.
ZHOU Hui, QU Zongchang, FENG Jianmei, et al. Sliding vane kinetic characteristics analysis for a synchronal rotary compressor [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2005, 39(9):982-984.

(编辑 王焕雪)