

相近。

从上面可以看出,3种空气压缩机的气体循环都为空气过滤器——主机——油气分离器——冷却器——水气分离器——排出,冷却油的循环为主机——油气分离器——冷却器——油过滤器——主机。这样,无论采用3种空气压缩机的哪一种,其油耗、空气过滤器、油过滤器都是相似的。由于空气和油的循环采用的方式相似,其控制系统也应为相似结构,只不过有的为微电脑控制,有的为PLC控制,其基础零部件、工作原理大同小异,此处就不再作对比了。

所以,当前3种空气压缩机的先进性、便于维修性、故障的主要发生部位,都集中到主机上面,下面就3种空气压缩机的主机进行对比分析。

3 双螺杆空气压缩机的主机特点

双螺杆压缩机工作原理与结构特点如图3所示。双螺杆压缩机由一对阴、阳螺杆,一个壳体与一对端盖组成。图中当阳螺杆转动时,驱动阴螺杆也旋转,空气便从进气口吸入,经压缩后由排气口输出。应用喷油内冷却,使一级压缩排气压力可达0.7~12 MPa,而排气温度不超过120。

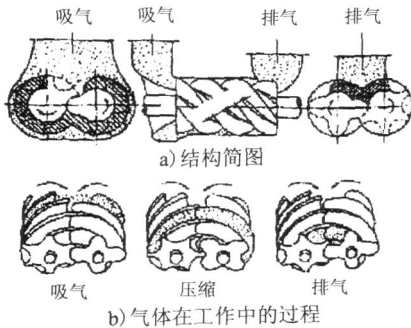


图3 双螺杆压缩机结构与工作示意图

双螺杆压缩机的结构特点:

(1)所有工作腔的转子与转子间,以及阳转子与壳体间理论上都依靠接触线进行密封;而实际上考虑到制造误差等原因,均存在间隙,一般为0.05~0.08mm。

(2)每个工作腔的下边均与进气室相连,因此接触线长度以及两转子之间实际存在着的间隙,便构成了每个压缩腔中气体向进气室泄漏的一个通道。

(3)在垂直于螺杆轴线方向上,前后两工作腔之间存在一个三角形泄漏面积。这是因为在壳体

“8”字孔的尖点要求阴、阳转子的型线在那里都同时接触,而实际上难以办到,如图4所示^[1]。

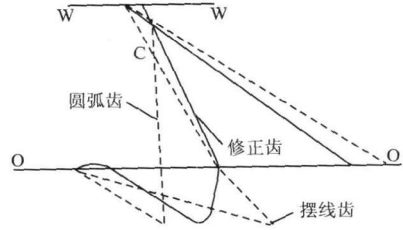


图4 泄漏三角形与不同齿型接触线示意图

(4)阴、阳转子在排气终了可能出现封闭容积(也即余隙容积),这部分气体排不出去,并随着转子旋转而把封闭其中的高压气体释放到进气室。

(5)阴、阳螺杆上存在纵向与横向的作用力(如图5所示),因此轴承作用力较大。中齿面间产生冲击声,摩擦产生高频振动声。这些特点实际上也是双螺杆压缩机的缺点,人们为克服这些缺点进行了不断的改进。已知,原始对称圆弧型线的接触线最短,并且无封闭容积,但泄漏三角形的面积最大,标准的单边不对称摆线型线接触线最长,无泄漏三角,但封闭容积最大。这是两种极端,许多齿形型线的研究差不多都是在两者之间围绕接触线长度、泄漏三角形面积、封闭余隙容积这三者进行,以期获得最佳的协调,或称最优化设计。实际上泄漏三角的影响相对较小,因此,许多修正都以圆弧型线基础进行。再者,速度愈快泄漏时间愈短,也即泄漏量愈小,故阳、阴螺杆从一般的4:6齿配合改为5:6齿配合,见图6。一方面可以增加一转中的排量,另一方面也减少了气体在齿槽内的时间,两者都有益于提高效率,降低比功率。实际上,在诸多影响效率的因素中,提高转子以及壳体的精度对性能的影响十分显著。

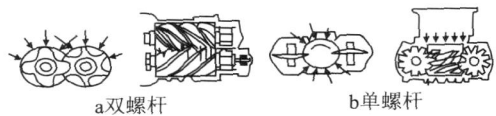


图5 转子纵向与横向作用力示意图

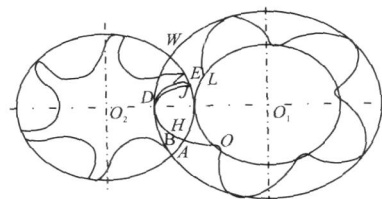


图6 5:6齿数双螺杆

4 单螺杆空气压缩机的特点

单螺杆压缩机由一个螺杆,两个星轮与壳体、端盖组成,转子、两个星轮与机壳构成两个同时工作的腔。当转子旋转时驱动星轮一起旋转,空气则从图中右端吸入(见图 7a),在转子齿槽中由星轮叶片进行压缩后,由左端壳体排出(见图 7c)。

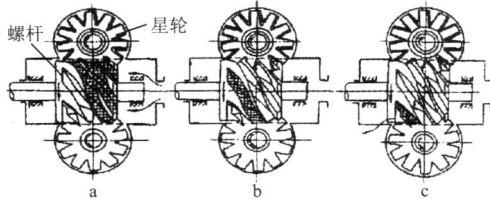


图 7 单螺杆压缩机结构与工作原理图

单螺杆压缩机工作的特点:

(1)两个星轮各密封一侧,齿槽两侧同时工作,故无转子垂直方向的作用力;在齿槽中被压缩气体所形成的轴向作用力自动平衡。因此,转子几乎不受力(见图 7b)。但是,星轮每一片都承受气体力,但此力很小,只有双螺杆受力的 $1/30$ 左右^[2]。

(2)齿槽一侧为压缩腔,另一侧为进气腔,其密封长度即为星轮每一叶片边长之和。但在此长度上并非线接触,而是能做到两条密封线^[3],并且按查谦与查世的理论可以做到 3 条线密封^[4],故密封性较双螺杆好。

(3)转子边缘与机壳,星轮端面与机壳是面密封,密封性也较好。

(4)转子与星轮驱动侧根部有微小的泄漏三角。

(5)星轮叶片一般由非金属材料制成,与螺杆的冲击声及相对运动摩擦声较小。

单、双螺杆压缩机性能与结构比较,见表 2。

表 2

	单螺杆	双螺杆
比功率	较低,顺德正力精密机械工业公司的产品小于 $5.4 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{min})$	较高,一般大于 $5.5 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{min})$
可靠性与寿命	取决于星轮磨损,顺德正力精密机械工业公司可达 $4 \sim 6$ 万 h	取决于轴承寿命,目前精良的轴承寿命可达 $2 \sim 4$ 万 h
噪声	较低,一般星轮为非金属,传动声低,泄漏情况较好,噪声低	较高,一般阴、阳螺杆均为金属,传动声较高,泄漏形成噪声
制造(见图 6)	机壳加工较困难,尤其中小批量生产时,星轮加工比较复杂,成本较高	壳体与阴、阳转子都较易加工,成本较低
尺寸与重量	较大	较小

根据国家权威机构测量双螺杆最佳比功率:国外某著名公司 $10 \text{ m}^3 / \text{min}$,比功率为 $552 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{min})$;国内某著名公司为 $556 \text{ kW} / (\text{m}^3 / \text{min})$ 。

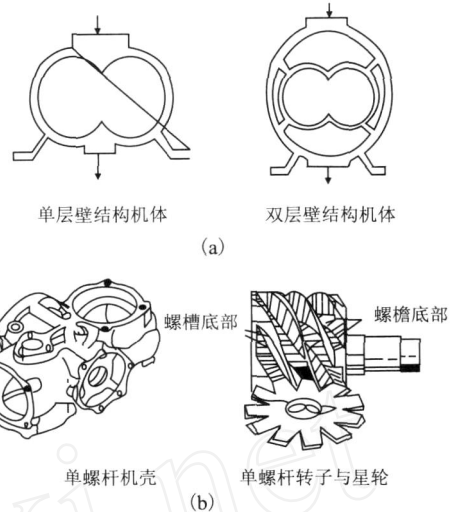
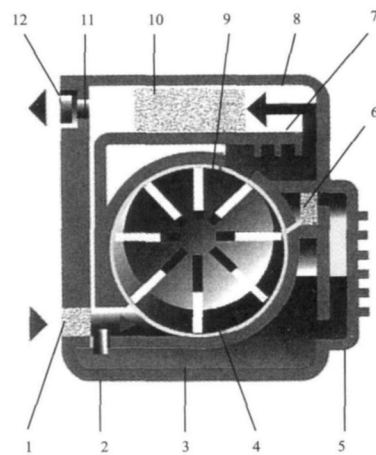


图 8 a)双螺杆机壳 b)单螺杆机壳与转子星轮

5 滑片式主机特点

滑片式空气压缩机工作原理为气体在大型腔内被吸入,通过转子的旋转改变转子、滑片和内壁之间的型腔大小压缩气体,其转速为 $1000 \sim 1480 \text{ r/min}$ 低转速(是螺旋式空压机的 $1/2 \sim 1/3$) (如图 8),无轴向负荷,径向负荷较小,合金滑片靠离心力在转子滑槽中作进出运动,运转时只有单纯的回转运动,在主轴的轴向位置没有负荷产生。转子与气缸之间,绝无咬死(束心)之可能,体积减小、重量减轻。管



1 进气口; 2 自动进气调节口; 3 存油腔; 4 压缩腔; 5 冷却器; 6 油口; 7 迷宫设置; 8 压缩空气; 9 转子; 10 过滤器; 11 回油路; 12 止回阀

图 9 滑片式主机工作原理及受力图

路比螺杆式空压机减少 95%，意味着泄漏机会减少 95%。容积效率更高，更节能。柔性直联无效率损失，主电机直接驱动冷却风扇，转速低，产热少，油量为螺杆机 1/2 ~ 1/3，可清洗，重复使用的油滤，加工、装配精度要求较低，95% 零部件内置，结构简单单一，转子永无抱死可能，而且可以任意互换。

6 滑片机与螺杆机技术比较

6.1 主机结构对比

滑片机和螺杆机的区别主要体现在主机结构上的差异上，见表 3。

表 3

		螺杆机	滑片机
工作形式	压缩形式:	阴阳螺杆旋转啮合	转子在定子中偏心旋转
	载荷形式:	轴向与径向	轴向
转子	形式:	阴阳螺杆	带有滑槽的圆柱
	数量:	一对	一个
	寿命:	设计寿命 100,000 h	使用寿命 100,000 h
	加工要求:	精度要求很高	精度要求不高
	装配要求:	精度要求很高	精度要求不高
	互换性:	成对更换,单个不可互换	任意部件均可互换
轴承	形式:	滚动轴承	滑动轴承
	寿命:	20,000 h 更换	100,000 h 内免维护

6.2 油气系统对比

滑片机和螺杆机的油气流程原理完全一致，但在油气系统的机结构上存在一定的差异，见表 4。

表 4

		螺杆机	滑片机
油气系统零部件	吸气口, 油分入口, 阀门, 管路	吸气调节器旋风式, 高速, 分离效果一般, 外置, 管路较多、较长	伺服阀控制吸气阀, 迷宫式, 速度小, 分离效果好, 95% 内置, 管路较少、较短
	耗材	空滤 较大, 4,000 h 更换 油滤 较大, 2,000 h 更换 油分芯 较大, 5,000 h 更换 润滑油 油量较多, 4,000 h 更换	较小, 2,000 h 更换 较小, 2,000 h 更换 较小, 10,000 h 更换 油量较少, 约为螺杆机的 1/2, 4,000 h 更换
排气	含油值	5×10^{-6}	3×10^{-6}

6.3 电动机与传动系统对比

工作原理的差别导致了螺杆机和滑片机转速相差一倍，相应的电机与传动部件的异同见表 5。

表 5

		螺杆机	滑片机
电动机	转速	3,000 r/min	1,000 ~ 1,500 r/min
	防护等级	IP23	IP54 ~ 55
传动系统	方式	齿轮, 皮带	柔性联轴器
	传动效率	98%, 96%	100%

6.4 冷却系统对比

两者的冷却系统主要差别在于风扇的驱动电机，见表 6。

表 6

		螺杆机	滑片机
冷却风扇	驱动电机	独立的风扇电机	主电机

7 结论

- (1) 就机器性能讲，滑片式比较好些；
- (2) 滑片式维修方便；
- (3) 双螺杆压缩机寿命取决于轴承寿命，而单螺杆则取决于星轮寿命，而滑片式取决于滑片的寿命；
- (4) 滑片式噪声比单螺杆和双螺杆低
- (5) 单螺杆制造工作量较大，尺寸与重量也比较大，这就导致制造成本增加；
- (6) 实际每一个具体生产企业，由于其技术水平与加工水平的不同，机器的质量有较大差别，制造成本也不尽相同。本文仅从 3 种机型的一些基本概念加以比较，不能作为选型或采购的依据。

参考文献：

- [1] 邢子文. 螺杆压缩机 [M]. 北京: 工业出版社, 2000.
- [2] 郁永章, 等. 容积式压缩机技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [3] 金光熹. 单螺杆压缩机啮合副型线研究进展 [J]. 西安: 西安交通大学学报, 1985(6): 1 - 9.
- [4] 查谦, 查世. 长寿节能单螺杆压缩机 [P]. 中国专利: ZL99122110 9, ZL200233516 6; 美国专利: US6, 398, 532B1.