

汽车空调压缩机高精度镶嵌式滑动轴承缸体研究

周惠龙 代宗权 沈泉

(浙江春晖空调压缩机有限公司 浙江 上虞 312300)

摘要: 汽车空调压缩机的设计、生产、使用各环节,最关注的是功能稳定性(耐久)和舒适性(噪声要小)。由于双向斜盘式压缩机的结构特点,必须由两个缸体零件组成缸体组件,前后轴承孔必须分开加工,两孔同轴度的加工在高精度的要求下难以得到保证,此外,由于缸体材质多采用高硅铝合金,在运动部位容易磨损。通过本方案的优化设计,能避免此两个弊端,在复杂工况下提高耐久性能和降低噪声。

关键词: 汽车空调;精密加工;耐久;耐磨损;缸体

0 引言

汽车空调压缩机是汽车制冷系统的核心部件,对制冷性能起着决定性作用,缸体组件又是汽车空调压缩机的关键零部件,承载着各个高速运动部件和制冷气体的流动分布。本文研究的双向斜盘式汽车空调压缩机的排量是167mL/r,适合于中型轿车、中型卡车的制冷空调系统,经过改进,具有结构紧凑、单位质量排量高、制冷效果好、可靠性高和噪声低等特点。尤其是产品所要达到的精度和加工合格率方面,通过本文方案,能在批量生产中达到较高的一致性,降低废品率并有效控制产品的加工成本,极大地降低了产品售后件,显著提高了企业的经济效益。

1 现有产品结构和加工工艺

1.1 缸体轴承孔结构和加工工艺

斜盘结构空调压缩机由前缸体、后缸体、前缸盖和后缸盖组成压缩机壳体部分,由斜盘、主轴和活塞等主要部件组成内部运动部件,离合器安装于前缸盖上由整车电源控制制冷压缩机的起停。发动机动力通过皮带传至压缩机离合器,再传到主轴,主轴与斜盘一起旋转,斜盘旋转后将力传递到活塞,使活塞完成往复运动,使发动机的旋转运动转换成压缩机需要的轴向往复运动,从未完成制冷剂压缩做功。

主轴的支撑主要是通过压装在前缸体、后缸体中心处的轴承来实现,两个轴承内孔尺寸和同轴度精度关系到主轴与轴承的接触面积和游隙大小,直接影响压缩机主轴耐久、噪声和功耗的表现。因轴承压装后要防止轴向窜动,所以轴承孔下方设计了一个台阶孔,此处轴承孔只能分2次加工完成,孔径尺寸精度得以保证,但前、后两孔同轴度难以实现较高精度的批量生产。

如图1所示,11和21两处为轴承孔,孔径 $\phi 23_{-0.017}^{+0.004}$ 、两

端孔的同轴度0.02,装配滚针轴承规格为外径 $\phi 23_{-0.009}^{+0}$ 、内径 $\phi 16_{+0.016}^{+0.021}$ 、长16mm。根据小批量跟踪测量,发现压装到缸体孔后轴承内径有4~5 μm 的缩小,轴承上安装的主轴外径尺寸 $\phi 16_{+0.003}^{+0.008}$,轴与孔的余隙在0.003~0.017mm之间。当轴承孔同轴度较大时,主轴会产生异常磨损,同时噪声加大。

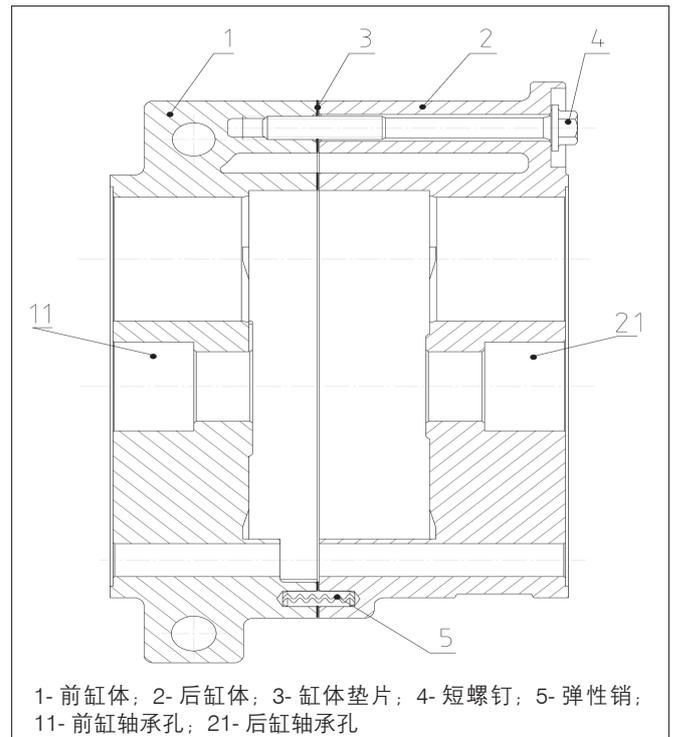


图1 现有前后缸体组合结构图

1.2 缸体推力轴承支撑端面结构

缸体中的2只滚针轴承是对主轴的径向起支撑作用,主轴的轴向支撑是通过压装在主轴上的斜盘,在斜盘端面各设置一组平面轴承并支撑于缸体斜盘腔的小端面上,由于平面轴承各半径位置的线速度不一致(即内圈

线速度小，外圈线速度快，但角速度一样)，导致滚针在转的同时也在滑动，使轴承推力片产生转动，当推力片转动时对缸体斜盘腔上的小端面产生磨损，当压缩机转速越高时轴承推力片的转速也跟着提高，缸体小端面的磨损加剧。轴承推力片的材质是 GCr15 轴承钢，硬度为 HRC60 左右，缸体小端面采用的材料是 ADC12 高硅铝合金，此处易被磨损，从而导致轴承推力片与缸体小端面的间隙变大，在高转速下压缩机的噪声将放大，使整车的舒适性大大降低，引起客户抱怨。

如图 2 所示，41 和 91 两处为缸体小端面，其中后缸体小端面与推力片接触的带是外径 $\phi 26\text{mm}$ 、内径 $\phi 19\text{mm}$ 的推力片环。当 14 推力片转动时，会对 41 和 91 缸体小端面产生磨损。

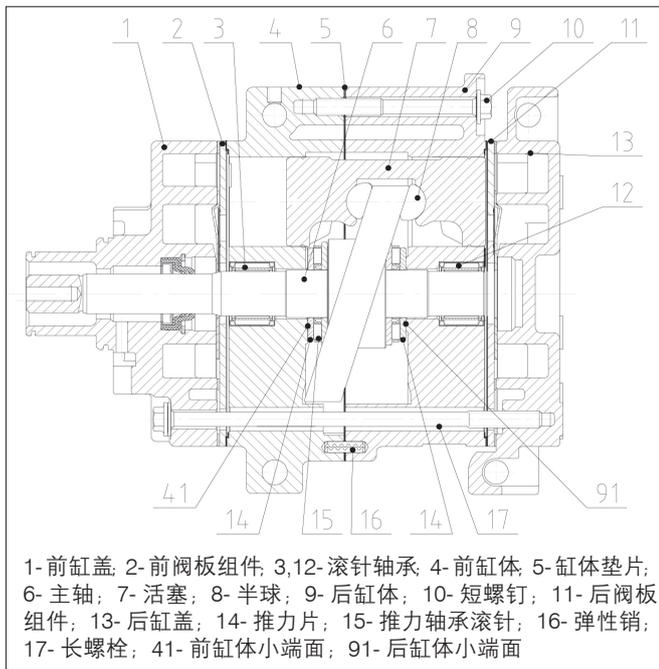


图 2 现有压缩机本体剖面图

2 提出新的设计方案

2.1 改进后的缸体轴承孔结构和加工工艺

前后缸体毛坯采用压铸完成，在前后缸体轴承孔位置，压铸时将轴承材料放进模具中同毛坯一次性压铸成型（如图 3 中序号 12 和 22）。压铸时，前缸体和后缸体采用分开压铸，目前在模腔压力达到 35MPa 时批量生产，合格率已接近 100%，机加工后的缸体通过在线氮气全检的检漏方式，统计泄漏不良率新模压铸在 2% 以下，稳定后压铸泄漏不良率在 1.5% 以下，在国内汽车空调压缩机缸体压铸行业中表现优秀。

由于轴承材料与缸体形成一体，轴承不会产生轴向滑动，所以轴承孔加工时无须设置成台阶孔（如图 1 中的 11、21 处），将台阶孔改成一直通孔（如图 3 中的

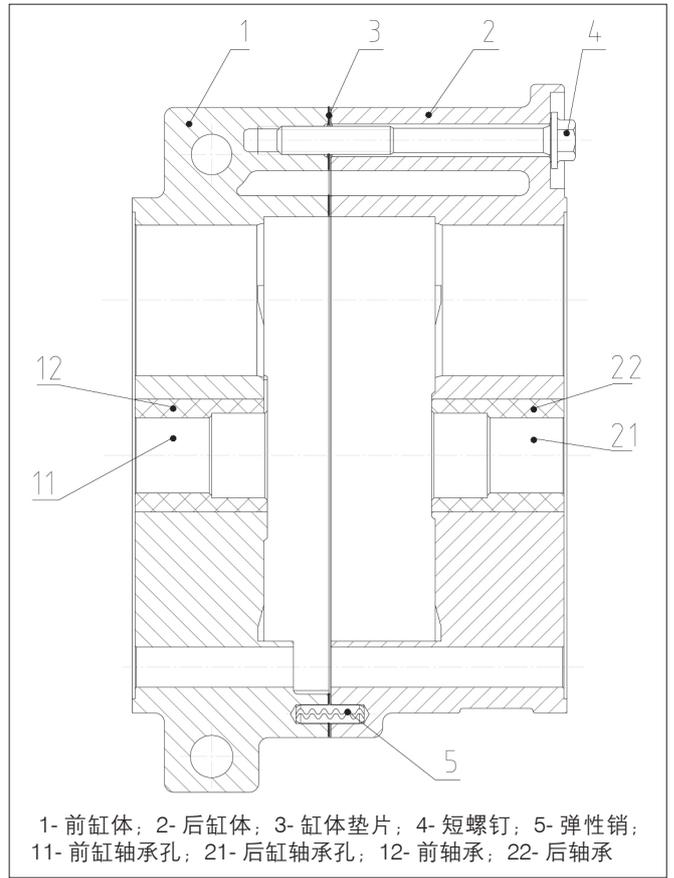


图 3 改进后的前后缸体组合结构图

11、21 处），前后缸体组合后两处轴承孔为同一直径的长通孔。先对孔进行粗车加工，精加工时可以在一次装夹下，通过长铰刀对两孔一次铰孔完成加工。两孔同轴度要求 $\leq 0.02\text{mm}$ ，通过长期跟踪实测可以达到 0.005mm 以下、轴承孔径波动在 0.005mm 以下、主轴与轴承孔的间隙可以控制在 0.005 ~ 0.01mm 以下，有效地保证关键尺寸的加工精度，压缩机运转时不会因两处轴孔的间隙不一致而导致多种异常噪声的产生，高精度的轴承孔尺寸使主轴与滑动轴承的接触面更平滑，有效地降低了噪声，并减少了无功功耗。同时，缸体上的 5 个缸孔也在精加工轴承孔的工序下一次装夹时完成加工，轴孔与 5 个缸孔的同轴度分布一并保证，使主轴在受到 5 个活塞推力时受力更加均衡，从而减少了轴承处的异常磨损。

2.2 改进后的缸体推力轴承支撑端面结构

为解决前、后缸体小端面的磨损问题，在毛坯压铸镶嵌轴承材料时，使轴承材料凸出在缸体小端面上，面积与原缸体小端面相当，即轴承材料和此处的小端面材料为同一块，在毛坯压铸时一并完成，如图 4 中序号 41 和 91。轴承材料的硬度比铝合金要高出很多，缸体小端面的耐磨性也随之增强，使推力轴承在运转过程中导致推力片转动引起缸体小端面异常磨损的问题得到改善，

特别是在恶劣工况下，采用本方案后的耐磨损性能得到了更为明显的提高。

机加工工艺与原状态缸体没有差别，加工精度也保持一致，对批量生产几乎没有影响。

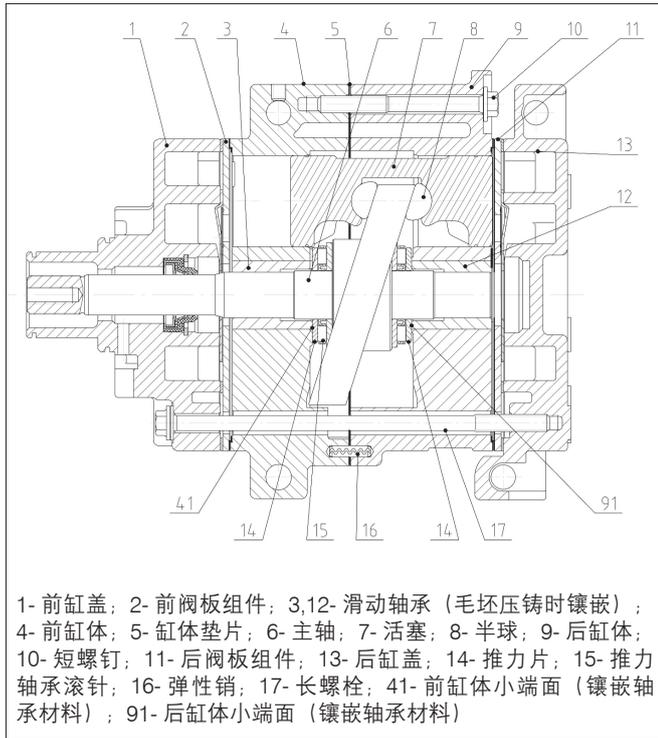


图4 改进后压缩机本体剖面图

3 采用新方案后的效果

根据 GB/T 21360-2018《汽车空调用制冷压缩机》中的要求，当压缩机的设计、材料、工艺有重大改变时应开展的型式试验项目，除外观、标志包装外总计有 13 项，经过 2 轮的验证全部合格。

耐久工况采用 GB/T 21360-2018《汽车空调用制冷压缩机》中第 6.2.3 条表 6 进行试验，完成全部工况，总试验时间 1002h 为 1 个循环（表 1）。

表 1 压缩机耐久工况

工况	转速 / (r/min)	排气压力 / MPaG	吸气压力 / MPaG	压缩机环境温度 / °C	开 / 停车时间 / s	总试验时间 / h
低速试验	900 ~ 1100	2.51 ~ 2.86	0.38 ~ 0.45	105 ~ 115	连续	300
高速试验	3500 ~ 4500	1.27 ~ 1.34	0.13 ~ 0.24	60 ~ 70	10/5	700
超高速试验	6000 ~ 6500	1.13 ~ 1.28	0.029 ~ 0.087	50 ~ 60	5/5	2

噪声工况采用 GB/T 21360-2018《汽车空调用制冷压缩机》中第 6.2.2 条表 5 进行试验（表 2）。

耐久后压缩机磨损和噪声变化数据见表 3。

从上述试验数据中可以看出，采用改进后方案，耐

表 2 测试压缩机噪声工况

压缩机转速 / (r/min)	蒸发温度 / °C	冷凝温度 / °C
1800	-1.0	63.0

表 3 耐久后压缩机磨损和噪声变化数据

序号	改进状态	压缩机排量 / (mL/r)	循环次数	样机数量	缸体小端面磨损量 / mm	噪声增加量 / dB(A)
1	改进前	167	1	2	0.002 ~ 0.004	2.0 ~ 2.4
2	改进前	167	2	2	0.011 ~ 0.015	6.9 ~ 7.6
3	改进后	167	1	2	0 ~ 0.002	1.7 ~ 2.2
4	改进后	167	2	2	0.004 ~ 0.007	2.6 ~ 3.1

久 2 个循环后缸体小端面磨损量变化非常小，只有改进前的 1/2 不到，在耐久性能中改善优良，长期使用基于此问题的噪声就不会明显加大。压缩机中各摩擦副表面被磨损后产生的细颗粒物会在空调系统中随制冷剂流动，会回流到压缩机中，对各摩擦副的磨损会产生加速效应，所以压缩机内一旦形成磨损颗粒物，各摩擦副的磨损速度会成倍数上涨。改进后的方案尤其适合商用车使用，乘用车一般年里程为 10000 ~ 20000km，商用车一般年里程为 200000 ~ 250000km，在工况更恶劣的商用车领域具有明显的优越性。

4 结语

通过对汽车空调压缩机前后缸体轴承孔和推力轴承支撑端面的结构优化，可以有效改善运动件异常磨损，提高了产品的使用寿命，并减少了资源的浪费，同时，降低了乘客舱内的异常噪声，提高了乘员的乘坐舒适性。随着节能减排政策的不断推进，延长产品使用寿命是机械工程、汽车行业满足政策的有效手段之一。

项目信息：本创新方案已获得浙江省科技信息研究院（国家一级科技查新单位）的科技查新通过报告，报告编号：202033B2117332。同时，本方案已备案浙江省新产品计划项目，并在当年通过验收获得浙江省科技厅的《科学技术成果登记证书》。

参考文献：

[1]GB/T 21360-2018, 汽车空调用制

冷压缩机[S].

作者简介：周惠龙（1985-），男，汉族，浙江遂昌人，本科，工程师，研究方向：工程机械、汽车空调。