

# 空调用无刷直流调速滚动转子压缩机的实验研究

张华俊 蒲亮 李洪峻 刘勇 陈林 卢洁 王俊

(西安交通大学能动学院)

宋红涛 孙民

(西安庆安冷机有限公司)

**摘要** 变频空调器因为具有节能效果明显的特点而倍受市场的关注。空调用压缩机作为空调器的核心,更值得深入研究。本文从产品系列化出发,结合工厂已有的生产条件,开发设计具有良好的工艺继承性的以无刷直流电动机为驱动源的速度可变型空调压缩机。实际的测试结果表明,该压缩机工作可靠、性能指标达到设计要求,已具有商业生产价值和广阔的应用前景。

**关键词** 空调 调速 滚动转子压缩机 实验研究

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF BRUSHLESS DC ROLLING ROTOR COMPRESSOR WITH REGULATING SPEED ON AIR CONDITIONING

**ABSTRACT** Because of saving on energy and improving comfort ,air conditioner with regulating speed is used widely. As the compressor on air conditioning is the best importance part of air conditioner ,it is worth doing all - round research. In this paper ,the product series and production instance of the factory have been considered ,and brushless DC rolling rotor compressor with regulating speed has been developed. The testing results indicate that the compressor is reliable and its property index have reached the requirement of the design ,there is wide applying value.

**KEY WORDS** Air conditioning ,Regulating speed ,Rolling rotor compressor ,Experimental research

### 1 前言

随着世界范围内能源危机的到来,各国政府都在为经济可持续发展而积极推广节能降耗技术。作为家庭用电的主要设备,传统空调器由于其运行效率低下正在逐渐退出市场。新一代的变频空调器因为具有节能效果明显的特点而大受市场的关注。

目前国产的以交流变频调速为主的变频空调器已批量进入市场,以无刷直流调速型电动机为主的空调器的研发工作也已起步,作为空调的核心器件的压缩机更应首先展开研究。

本文将从产品系列化出发,结合工厂已有的生产条件,开发设计具有良好的工艺继承性的以无刷

直流电动机为驱动源的速度可变型空调压缩机。

### 2 压缩机结构参数

本课题设计的速度可变型空调压缩机,命名为 YZDB - 22R,设计输入功率为 600W (3000rpm 时)。压缩机的机芯部分采用工厂引进日本技术生产的同容量交流变频压缩机的机芯,目的有两个可以缩短开发周期;可以和开发出的直流变速压缩机的性能在同样的实验条件下进行比较,直观地反映出开发的價值。

压缩机的一些基本指标拟定为:

工作频率:60 ~ 200Hz;制冷量:1300 ~ 4400W;  
输入功率:410 ~ 1400W;能效比:3.1 ~ 3.3W/W;  
噪声:55 ~ 65dB(A) 以下

压缩机的结构参数为:(单位:mm)

气缸内径:<44;气缸高度:25;

转子内径:<26.7;转子外径:<35.6;

滑片厚度:4;滑片高度:25;

轴径:<16;偏心量:4.2

除了电动机采用新开发的 ZLB - 0.6 外,对压缩机的动平衡进行了重新计算,并且重新设计了上外罩。

### 3 实验系统

#### 3.1 工况条件:

蒸发温度	吸气温度	冷凝温度	过冷温度	环境温度
/	/	/	/	/
7.2 ±0.2	35 ±0.3	54.4 ±0.3	46.1	35

#### 3.2 测试系统

YZDB - 22R 型压缩机及其它压缩机测试均是在西安庆安制冷设备有限公司的进口大西热量计上进行。该热量计的性能测试方法根据 GB5773 - 86 n 容积式制冷压缩机性能测试 m 中规定的实验方法进行测试,采用二次冷媒法和液体冷媒流量测定法同时测定,两者的差在 4 % 以内。

### 4 实验结果

本次共制作样机 3 台,其实验结果如下表:

1 # 样机试验数据表

频率/Hz	电机转速/rpm	输入功率/W	制冷量/W	能效比
60	1801	417	1289	3.09
90	2700	616.5	1958	3.18
120.5	3615	865.5	2709	3.13
152	4560	1197	3670	3.07
181.6	5448	1461	4309	2.95
200	6000	1684.5	4829	2.87

2 # 样机试验数据表

频率/Hz	电机转速/rpm	输入功率/W	制冷量/W	能效比
62	1860	424.5	1260	2.97
91.85	2755	628.5	1958	3.11
121.1	3633	858	2656	3.09
149.8	4494	1149	3529	3.07
180.6	5418	1416	4215	2.98
201.61	6048	1638	4788	2.92

3 # 样机试验数据表

频率/Hz	电机转速/rpm	输入功率/W	制冷量/W	能效比
61.6	1818	417	1308	3.14
91.61	2748	624	2033	3.26
121.3	3639	861	2784	3.23
150.27	4508	1144.5	3631	3.17
180	5400	1419	4377	3.08
200.71	6021	1626	4810	2.96
213.79	6413	1789.5	5238	2.93

三台压缩机的 YZDB - 22R 的平均值如下:

频率/Hz	电机转速/rpm	输入功率/W	制冷量/W	能效比
60	1800	419	1285	3.06
90	2700	623	1983	3.18
120	3600	861	2716	3.15
150	4500	1163	3610	3.17
180	5400	1419	4300	3.10
200	6000	1649	4813	2.92
213	6413	1789.5	5238	2.93

### 5 实验分析

根据本次实验的结果,与采用同种机构的交流变频样机 YZB - 20R 进行比较,其结果如图 1 ~ 图 3 所示。

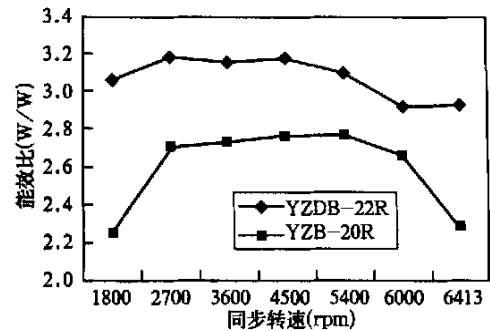


图 1 能效比对比曲线

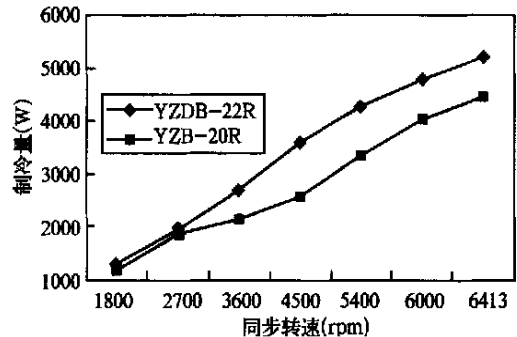


图 2 制冷量对比曲线

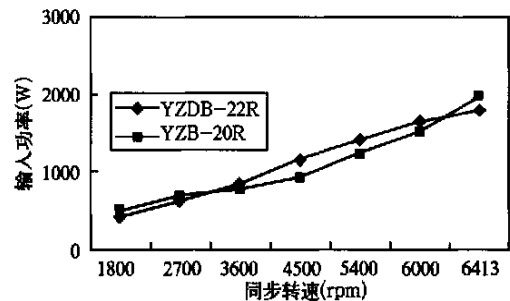


图 3 输入功率对比曲线

从上述实验数据可以看出稀土永磁压缩机 YZDB - 22R 和使用相同压缩机机构的交流变频压缩机 YZB - 20R 相比有如下特点:

能效比高。如图 1 在 1800 ~ 6000rpm 范围内平均高 15 % 左右;在低速和高速时 (< 1800rpm、> 6000rpm) 高出 25 % 左右。这是因为 ZLB - 0.6 电动机比 YZB - 20 压缩机使用的异步机的电机效率平均高出 15 % 左右;异步电动机的效率在整个速度范围内的效率波动大,而永磁同步电动机的效率在整个速度范围内的效率波动小所致。

制冷量大。从图 2 可以得出,在 1800 ~ 2700rpm 同步转速范围内相差不大,在同步转速高于 3600rpm 时,两者相差 10 % 左右。因为同步机的转速在相同的频率下比感应电机高出 n. S (S - 异步电动机的转差率),在压缩机低速运行时,n. S 的值相对较小;而在高速时 n. S 的值相差较大所致。

电机效率高。由于选用的压缩机机构部分相同,即可以认为压缩机的容积效率在相同转速下是相同的,故可以推断出压缩机电机的效率比变频压缩机在同等转速下高 15 % 左右;这与有关理论计算结果相符合。

另外,国内外制冷量在 2000 ~ 5000W 的定频压缩机的能效比为 3.0 左右,见下表。YZDB - 22R 在相同转速下与之相比,能效比平均提高 3 ~ 17 %。

表 5.1 各压缩机厂家产品性能对比

压缩机生产厂家及型号	制冷量 (W)	输入功率 (W)	能效比 (W/W)	噪音 dB (A)
松下 2P15	2472	804	3.08	48.4
松下 2P17	2672	935	2.86	/
松下 2P19	3058	1034	2.96	50.0
松下 2P20	3215	1075	2.99	46.6
松下 2K22	3713	1276	2.91	53.8
松下 2K23	3855	1329	2.90	55.3
松下 2K25	4150	1396	2.97	54.0
日立 SH933	4225	1439	2.94	57.6
日立 HY33	5131	1741	2.95	59.5
东芝 PH165	2717	947	2.87	49.6
三洋 C - R110	3874	1309	2.96	51.8
三洋 C - R112	3843	1337	2.87	56.9
三洋 C - R132	4263	1432	2.98	55.5
三洋 C - 1R62	2295	786	2.92	52.1
三洋 C - 1R75	2374	807	2.94	/
三星 44B080	2346	832	2.82	55.6
华润 QX - 23E	3784	1353	2.80	54.5
华润 QXR - 18A	3038	1037	2.93	/
三菱电 RH247	4183	1439	2.91	57.0
无厂家 QX - 23	3928	1358	2.89	60(热量计)
东芝 PH330	5503	2029	2.71	54.7

国内标准规定:变速压缩机的能效比、输入功率都是在剔除了变频损耗之后的数据;但在实际的空调器应用之中,空调器的能效比是考虑变频器的损耗的,故对 YZDB - 22R 压缩机的变频器在额定工况下不同频率段的效率进行测试,其结果如图 4。

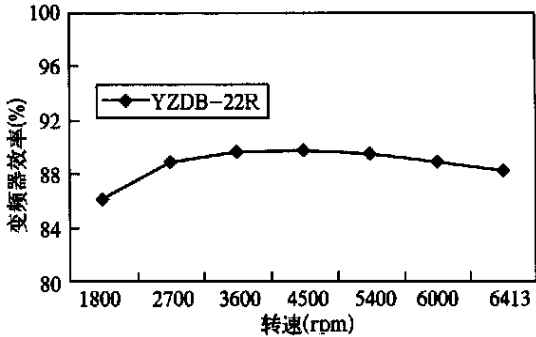


图 4 变频器效率曲线

从图 4 可知,变频器的效率在 3000 ~ 5000rpm 时最高,在低速和高速时偏低。这是由于此次制作的变频器考虑实验的条件,为了确保方案的成功率,特意选取体积较大、耐电流冲击值高的器件(如 IGBT 的耐电流值选用的是 200A),在低速运行时由于斩波频率较高,功率变换器上的斩波损耗较大,导致系统效率有所降低;高频时由于功率变换器自身的损耗所占的比重加大,所以效率有所降低。

图 5 所示为 YZDB - 22R 与 YZB - 20R 在 1800 ~ 6400rpm 转速范围内噪音的对比曲线。从中可以看出此次实验的压缩机的噪音较 YZB - 20R 普遍高,特别在低频时较为明显。

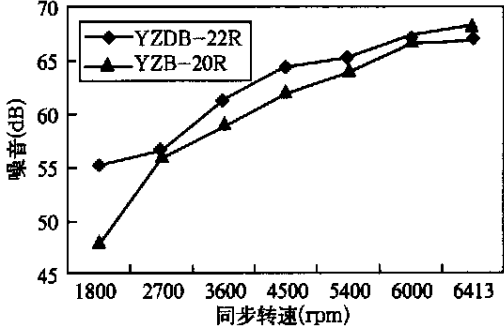


图 5 噪音对比曲线

全封闭滚动转子式压缩机在低频时的噪声主要来自电动机因气隙不均或磁力分布不均而产生  
(下转第 31 页)

霜积液顺利回流至积液集管内,完成冲霜过程。  
(其具体结构见图 3)

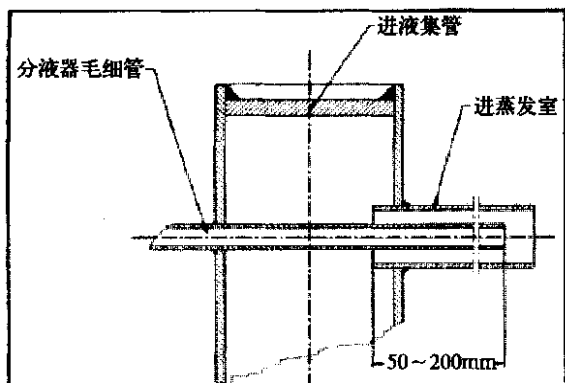


图 3 热氨融霜进液集管结构

## 7 结论

融霜效果的好坏直接影响到制冷效果,所以要根据系统的形式、自动控制程度、初投资等因素选择一种或多种切实有效的融霜形式。通过对几种融霜形式的分析、比较,总结如下:

- (1) 水冲霜是最常用的融霜方式,结构简单、效果较好;
- (2) 热氨—水融霜是效果最好的融霜方式,结构较复杂、初投资较高;
- (3) 电融霜是最易实现自动控制的融霜方式;
- (4) 热氟融霜现不太常用。

## 参考文献

- 1 冷藏库设计. 湖北工业建筑设计院《冷藏库设计》编写组. 中国建筑工业出版社, 1988.
- 2 吴业正. 制冷原理及设备. 西安交通大学出版社, 1998.

(上接第 27 页)

的不平衡电磁力、压缩机气体引起的转矩变动、电机上下压力差产生的不平衡力、滑块的往复运动产生的不平衡惯性力及合成矢量与平衡重量不完全相同、电机电磁力的不平衡(相位差)产生的转矩。

由于两种压缩机使用的是同种机构,所以产生压缩机噪声的差别基本可以判定为两种电机电磁转矩波动的不同。这与理论分析也是一致的:与其它电动机相比,无刷直流电动机的电枢电流是断续的,而且每一时刻并非全部绕组通电,因此无刷直

流电动机比其它电动机更容易产生电磁转矩的波动。

## 6 结论

(1) 本文根据工厂现有条件,设计并制作了性能满足要求的无刷直流电动机驱动的调速压缩机。

(2) 从样机测试结果来看,样机运行稳定,达到了系统各项技术指标要求。同时在能效比、冷量、调速特性等方面优于异步电动机驱动的变频变压调速压缩机和定速压缩机。

## 参考文献

- 1 宋红涛. 永磁无刷直流压缩机及其微机控制系统. 西安交通大学硕士学位论文, 2001 年