

空调压缩机低温工况油粘度分析和研究

史传民 王树涛

[海信(山东)空调有限公司,青岛 266100]

摘要: 空调压缩机在低温工况下睡眠启动和稳定运行时,经常发生油温过热度 Δt 不符合压机规格书要求的情况。本文通过测试低温工况下某款压缩机的油温和油粘度,根据压机厂家给定的参数来判断压缩机能否可靠运行。结果表明在油温过热度 Δt 不满足压缩机规格书要求的情况下,此压缩机依然能够满足可靠性运行要求,为后续开发产品提供了参考。

关键词: 压缩机 压下过热度 油粘度 可靠性

ANALYSIS AND STUDY ON VISCOSITY OF AIR

CONDITIONING COMPRESSOR AT LOW TEMPERATURE

Shi Chuanmin Wang Shutao

[Hisense (Shandong) Air-Conditioning Co. Ltd. Qingdao, 266100]

Abstract: It is often occurred that the oil temperature of superheat often does not meet the requirements of the compressor specification When the air-conditioner compressor is starting and running stable at low temperature conditions. In this paper, the reliability of the compressor is verified by testing the oil temperature and viscosity of the compressor under the low temperature condition. The results show that the requirements of reliability can be met when the oil temperature of superheat is not satisfied with the compressor specification. The result can be referred to the future product.

Keywords: Compressor; Oil temperature of superheat; Viscosity; Reliability

1 引言

空调系统的核心部件为压缩机,而润滑油在压缩机的可靠运行中起着润滑、密封、冷却、防腐等作用^[1]。空调用制冷剂与压缩机润滑油具有一定的互溶性,当润滑油被制冷剂稀释到一定低值,油膜厚度低于 $1\mu\text{m}$ 时,润滑油便失去对压缩机的有效润滑,长期运行容易损坏压缩机。

普通家用空调在我国工作范围内一般偏重于制冷运行,但轻商用空调一般应用在没有特殊供暖设施的场所,对于制热的需求相对偏大,特别是在低温工况下睡眠启动和稳定运行时,很容易出现压缩机因润滑油不足导致损坏,造成空调无法使用。为保证空调系统长期可靠运行,行业引入油温过热度 Δt 指标,该指标可反应出压缩机内部润滑油和冷媒的混合状态^[2]。其定义为压缩机底部油池温度减去压缩机排气压力所对应的饱和温度,压机厂家在压机规格书中明确 Δt 的大小,一般要求稳定运行时 $\Delta t \geq 5^\circ\text{C}$ 以上。

轻商用定速单元机产品一般为小型制冷系统,系统简单,为了成本最优,使用毛细管或是节流阀等节流方式。上述节流措施为满足名义制冷、制热工况的能效最优而设计,节流效果固定,在压缩机频率不可调整的情况下,经常发生实测压下过热度 Δt 不符合规格书要求的情况。本文作者在设计开发一款5P定速产品时,在低温工况下睡眠启动和稳定运行实测压下过热度 Δt 不符合规格书要求,见表1、表2、表3(启动阶段数值为启动阶段压下过热

度最低值，稳定阶段为稳定阶段的平均值，除霜阶段数值为除霜阶段压下过热度最低值），对此采取理论分析与实验相结合的方式研究判定压缩机是否可以保证可靠运行。

表 1 标准除霜（室内 20℃/-，室外 2℃/1℃）

测试参数	启动阶段	除霜阶段	稳定阶段
排气压力	1.78	1.44	2.53
排气压力对应饱和温度	29.68	22.16	43.22
压底温度（℃）	21.50	21.40	41.50
压下过热度 Δt （℃）	-8.18	-0.76	-1.72
是否低于压缩机规格书要求	是	是	是

表 2 最小运行制热（室内 20℃/15℃，室外-7℃/-8℃）

测试参数	启动阶段	稳定阶段
排气压力	1.74	2.34
排气压力对应饱和温度	28.86	40.10
压底温度（℃）	14.10	36.40
压下过热度 Δt （℃）	-14.76	-3.70
是否低于压缩机规格书要求	是	是

表 3 制热低温界限（室内 20℃/-，室外-10℃/-）

测试参数	启动阶段	稳定阶段
排气压力	1.74	2.05
排气压力对应饱和温度	28.86	34.96
压底温度（℃）	13.50	30.70
压下过热度 Δt （℃）	-15.36	-4.26
是否低于压缩机规格书要求	是	是

2 原因分析

2.1 理论分析

对于启动阶段，三种工况均出现在室外为低温工况，室外机长期置于室外低温环境，压缩机油池温度基本与室外环境温度一致，当室内开机时，随着压缩机的启动，空调系统迅速建立高低压差，但因室外环境较低，空调系统具有较低的蒸发温度，较低的吸气温度，油池温度较低，温度变化相对较慢，造成 Δt 较小。

制冷剂具有迁移功能，会从高温侧向低温侧迁移，当压缩机停机时，室外为低温工况，制冷剂会向压缩机侧迁移^[3]，导致油池具有较多制冷剂，油粘度较低，空调开机，会形成液压缩，油池较低的压力会导致制冷剂迁移，从而不满足 Δt 要求，长时间液压缩会损坏压缩机。

除霜过程为短时间低温制冷，此时室内外风机均不开，除霜阶段蒸发器蒸发能力不足，吸气过热度较低，会形成大量的回液，排气过热度较低，造成油池温度较低，继而不满足 Δt 要求。不管从舒适性考虑还是从压缩机可靠性考虑，除霜时间均不宜过长。

2.2 测试分析

空调所需压缩机均为压缩机厂家量产常规压缩机,无温度检测和油粘度检测预留口(点),所以实验室测试均采用热电偶布于压缩机底部进行数据采集。

1) 压缩机运转时,制冷剂与润滑油流速较快,进入压缩机底部时,会形成巨大的紊流,靠近压缩机吸气口侧温度较低,远离压缩机吸气口温度较高。油池温度不均匀,无法判定油池真实的温度。我司布点位置为靠近压缩机正底部(压缩机正底部与底板间隙过小,贴于正底部操作难度太大)、压缩机进口正对面两点。

2) 压缩机下壳体材料为板材,且压缩机厂家对压缩机外观进行涂装工艺处理,涂料以及板材存在换热差异,影响换热效率,热电偶测出值非油池真实温度,实际测出的值低于油池温度。

3) 热电偶贴于压缩机底部,保温措施是否得当直接影响实际测量值,热点偶受室外环境温度干扰比较大,检测实际温度会低于压缩机油池温度,造成 Δt 偏低。

3 实验方案及实验验证

针对前期的理论分析,我司选用日立提供的油粘度压缩机,针对上述不合格工况进行油粘度测试,现场测试照片如图 1,为保证测试的准确性,测试前做以下准备工作:

- 1) 选用压下过热度不合格产品的同一套室内机末端,室内机为我司开发一款高效风管机;
- 2) 热电偶贴于压缩机底部与压缩机正对面,用双层保温棉包裹,尽可能避免环境因素对热电偶测试值的干扰(前期测试热电偶仅采用铝箔粘贴在压缩机本体上);
- 3) 油粘度计通过压缩机接口深入油池底部中间位置,插入过程避免与压缩机泵体触碰;
- 4) 油粘度计选用 VP2100 高精度商用悬浮粘度计,实时在线检测,测试精度高,测量范围为 0-10CP,如图 2;
- 5) 经与压缩机厂家联系确认,判定此款压缩机可靠运行标准为:上述工况下,空调器稳定运行时压缩机粘度 $>0.5CP$ 。



图 1 实验现场照片



图 2 油粘度计

试验验证结果见表 4-表 6

表 4 标准除霜（室内 20℃/-, 室外 2℃/1℃）

测试参数	启动阶段	除霜阶段	稳定阶段
油粘度 (CP)	0.64	3.95	3.52
传感器检测油温 (°C)	29.60	46.60	59.30
热电偶检测温度 (°C)	17.20	36.80	47.30
排气压力 (Mpa)	1.77	1.45	2.49
排气压力对应饱和温度 (°C)	29.48	22.39	42.57
传感器检测压下过热度 (°C)	0.12	24.21	16.73
热电偶检测压下过热度 (°C)	-12.28	14.41	4.73
是否低于规格书要求（按照传感器检测温度判定）	是	否	否
是否低于规格书要求（按照热电偶检测温度判定）	是	否	是

表 5 最小运行制热（室内 20℃/15℃, 室外-7℃/-8℃）

测试参数	启动阶段	稳定阶段
油粘度 (CP)	0.57	3.74
传感器检测油温 (°C)	29.8	53.50
热电偶检测温度 (°C)	18.50	40.70
排气压力(Mpa)	1.76	2.32
排气压力对应饱和温度 (°C)	29.27	39.76
传感器检测压下过热度 (°C)	0.53	13.74
热电偶检测压下过热度 (°C)	-10.77	0.94
是否低于规格书要求（按照检测温度判定）	是	否
是否低于规格书要求（按照热电偶检测温度判定）	是	是

表 6 制热低温界限（室内 20℃/-, 室外-10℃/-）

测试参数	启动阶段	稳定阶段
------	------	------

作者简介：史传民，（1988- ），男，工程师，从事商用空调性能设计工作

油粘度 (CP)	0.62	4.03
传感器检测油温 (°C)	29.30	45.30
热电偶检测温度 (°C)	19.20	34.10
排气压力 (Mpa)	1.75	2.10
排气压力对应饱和温度 (°C)	29.06	35.88
传感器检测压下过热度 (°C)	0.24	9.42
热电偶检测压下过热度 (°C)	-9.86	-1.78
是否低于规格书要求 (按照传感器检测温度判定)	是	否
是否低于规格书要求 (按照热电偶检测温度判定)	是	是

通过对比分析表 4、表 5、表 6 测试结果，得出以下结论：

- 1) 三种工况在启动阶段，当压下过热度最低时且压下过热度仍不满足压机规格书要求，油粘度值满足压缩机可靠性要求；
- 2) 三种工况在稳定阶段的油粘度值远大于压缩机厂家要求的最低值 0.5CP，满足压缩机可靠性要求；
- 3) 贴保温棉热电偶检测温度高于保温措施不严密热电偶检测温度，环境对热电偶温度检测影响较大；
- 4) 在排除环境因素影响热电偶数值的前提下，热电偶检测温度比实际油池温度低 10°C 左右，验证了前边猜想，壳体涂装材料影响热电偶温度检测；
- 5) 在启动和稳定过程中，热电偶和传感器检测的压下过热度不合格时，油粘度也是合格的。

4 结论

空调长期处于低温工况运行时，压缩机油池会具有一个较低的油粘度值，长时间低粘度值运行会降低空调使用寿命。本文通过理论分析及实验验证，压缩机在不满足油温过热度时，油粘度也可满足压缩机的可靠运行。在现有数据分析得出的结论，无法直接判定空调压缩机油粘度在低温工况下全都满足压缩机可靠运行，后期会通过长期批量实验、理论分析、理论计算总结出一套判定油粘度是否满足压缩机可靠运行的方法，省去特制压缩机的费用和等待时间，为项目开发节约成本和开发周期。

参考文献

- [1] 龙小丹 廖熠等. 旋转式压缩机用冷冻油低粘度化探讨和研究. 2011 年中国家用电器技术大会论文集. 北京: 中国轻工业出版社, 2011, 338~341
- [2] 魏会军 刘 靖. 空调压缩机油粘度与油温过热度的测试研究. 标准检测认证. 家用电器, 2015. 5, 26~29
- [3] 武滔 张桃 刘湍顺. 热泵转子式压缩机在-32°C 环境下可靠运行的研究. 家用电器, 2017 年第3期, 46~47