

文章编号: 1671-6612 (2023) 04-593-05

某转子式压缩机机内回油异常浅析

王喜成

(珠海格力电器股份有限公司 珠海 519070)

【摘要】 压缩机是空调系统运行的核心零部件,决定着空调的运行寿命。压缩机中的冷冻油起到润滑、冷却和密封等作用,在静置状态下,冷冻油主要集中在压缩机的底部,压缩机开启运行后,部分冷冻油被制冷剂带走及通过曲轴的油路离开油池,导致油面降低,当过多的冷冻油被带离而没有及时返回时,将出现润滑失效,压缩机的运动部件将出现磨损。通过分析压缩机系统的排油、回油方式,结合实际产品开发中遇到的问题进行综合分析,并给出了解决方案,为行业同类问题的解决提供经验借鉴。

【关键词】 转子式压缩机;机内回油;平衡块

中图分类号 TU83 文献标识码 B

Analysis of Abnormal Oil Return in a Rotor Compressor

Wang Xicheng

(GREE Electric Appliances, Inc. of Zhuhai, Zhuhai, 519070)

【Abstract】 The compressor is the core component of the operation of the air conditioning system and determines the operating life of the air conditioner. The refrigeration oil in the compressor plays a role in lubrication, cooling and sealing, etc., in the static state, the refrigeration oil is mainly concentrated at the bottom of the compressor, after the compressor is turned on and running, part of the refrigeration oil is taken away by the refrigerant and leaves the oil pool through the crankshaft oil circuit, resulting in a decrease in the oil level, when too much refrigeration oil is taken away and not returned in time, there will be lubrication failure, and the moving parts of the compressor will be worn. This paper analyzes the oil discharge and oil return methods of the compressor system, comprehensively analyzes the problems encountered in actual product development, and gives solutions to provide experience for solving similar problems in the industry.

【Keywords】 Rolling rotor compressor compressor; in-flight oil return; Balance block

0 引言

冷冻油是保障转子式压缩机安全稳定工作的关键因素,冷冻油除润滑运动部件,还有带走热量、形成油膜密封汽缸间隙的作用。当过多的冷冻油被排出压缩机,剩余冷冻油无法满足润滑需求时,压缩机会发生磨损,影响其使用寿命。静止状态下,压缩机的冷冻油积存在压缩机底部的油池中,淹没运动摩擦部件,一旦开启后,冷冻油会随着高速制冷剂以及曲轴的通油孔离开油池,达到压缩机的上

腔,一部分通过高速的离心场分离出来,再流回到油池,未分离出来的油蒸汽随制冷剂排出压缩机,进入空调的系统循环,并附着于热交换器管道内壁上,从而增加了热交换器的传热阻力和压力损失,降低热交换器的效率^[1]。杨传波等^[2]从性能角度指出压缩机汽缸内最佳油气质量分数范围,韩润虎^[3]指出压缩机缺油的各种影响因素,杨国麟等^[4]和李晓文等^[5]提出降低压缩机排油率的方法以及压缩机最低注油量计算方法,但均是基于压缩机单体试

验；何林等^[6]指出回油试验应在高负荷、高油温条件下进行，但只研究空调系统的系统循环回油。龚英^[7]、黄允棋等^[8]结合冷冻油与冷媒特性，对系统回油回液的产生原因和控制要点进行了分析，何佳璟^[9]等给出定频空调器和变频空调器回油试验验证方法。以上研究都是从空调外部系统循环的角度分析导致回油失效的因素，未涉足压缩机内部的回油分析，本文通过在实际的产品开发过程中遇到的问题进行剖析，从原理上解释原因，给出了改善措施，并通过实验验证说明压缩机内部结构设计的差异对压缩机机内回油的影响。

1 回油实验异常现象

1.1 实验样机配置

实验样机配置如表 1 所示。

表1 实验样机配置表

Table 1 Experimental, Prototip, Conphigation

试验样机配置表		
室内机	管径 ϕ /mm	7
	排数	2
	蒸发器 U 管数	16
	U 管长度/mm	630
	翅片片型	开窗
	外电机	直流
	风叶	贯流
室外机	压缩机排量/cc	9.8
	管径 ϕ /mm	7
	排数	2
	冷凝器 U 管数	24
	U 管长度/mm	796
	翅片片型	波纹

表 2 实测数据及实验现象

Table 2 Measured data and experimental phenomena

序号	测试项目	测试工况	冷媒灌注量	连接管	运行频率	视液镜	启动前	前 10min 最低油位									
								10min	0.5h	1h	1.5h	2h	2.5h	3h	3.5h	4h	
1	额定制热	内 20℃/—； 外 7℃/6℃	1.2 倍标称灌注量		92Hz	下视液镜	满	6min 下视液镜空	空	空	空	空	空	空	空	空	空
2	超低温制热	内 20℃/—； 外 -15℃/RH85%	1.2 倍标称灌注量	15 米	106Hz	下视液镜	满	1min 下视液镜空	空	空	空	空	空	/	/	/	/
3	超低温制热	内 20℃/—； 外 -15℃/RH85%	0.8 倍标称灌注量		106Hz	下视液镜	满	5min 下视液镜空	空	空	空	空	空	/	/	/	/

续表1 实验样机配置表

试验样机配置表		
室外机	外电机	直流
	风叶	轴流
	制冷剂	R32/850g
	节流装置	电子膨胀阀

1.2 压缩机视油镜位置

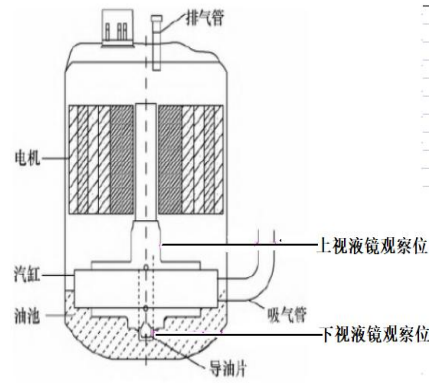


图 1 压缩机视液镜观察示意

Fig.1 Compressor sight glass observation schematic

1.3 实测数据及实验现象

依据企业标准规定的测试方法，机组在额定制热（压缩机中高频）、低温制热工况（高频）下，通过上视液镜观察位观察上法兰处的油位变化，通过下视液镜观察位观察下法兰及吸油口的油位变化。实验采用 1.2 倍标称灌注量、0.8 倍标称灌注量以及 15 米连接管测试，较大程度的恶化回油条件。

测试过程中当压缩机运行超过 90Hz 后，上、下位置均出现长时间空油现象，但是一旦停机，压缩机底部即刻满油，实测数据及实验现象如表 2 所示。

2 问题分析

2.1 理论分析

压缩机开启运行后，冷冻油随着高速的排气及曲轴的泵油通道流向压缩机的上腔，一部分油在压缩机的上腔被分离出来，通过内部的油路回到油池中（压缩机机内回油循环），一部分油蒸汽同制冷剂一起经过上盖排气管进入空调系统，空调系统通过提升制冷剂的流速将油从压缩机外系统带回到压缩机（空调系统循环夹带回油）。两种形式的回油的原理以及解决问题的方式完全不同，那么是哪一种回油失效导致上述的空油呢？

如前所述，有较多的文章研究空调系统对回油的影响，假如是空调系统参数设计不合理导致泵出压缩机的冷冻油滞留在空调系统中没有回到压缩机，如冷凝器、蒸发器以及连接管等，那么压缩机停止运行后，系统运行的动力源消失，系统中的油更加不会回到压缩机中，与实验现象矛盾，此推理不成立。

假如是压缩机机内回油出现异常，压缩机内部油循环为：通过压缩机曲轴高速旋转形成的离心力和油面上下的压差将底部油池中的冷冻油泵到曲轴的各个出油孔，进入压缩机泵体，从而对泵体零部件进行润滑、冷却和密封。当冷冻油通过曲轴油孔、转子端面及上下轴承进入气缸内部后，与制冷剂相溶，并在压缩过程中随制冷剂一起被排出泵体，通过电机的定、转子气隙、转子流通孔排到压缩机上部。研究表明，在压缩机油路内，向上的扰动阻力远远大于冷冻油油滴的质量，因此随制冷剂一起被排出泵体的冷冻油整体向上运行。压缩机在实际运行过程中，内部气压变化较为复杂，定、转子气隙与切边、定子通道可以为向上的油路，也可以作为向下的油路，这是因为排气口为断续排气，当排气阀关闭时或排气压力较小（压缩机转速较慢）时向上的扰动阻力小于油滴的重力，定、转子气隙与切边也可能有冷冻油流回；当排气压力较大（压缩机转速较快）时向上的扰动阻力非常大，油也会通过上述通道上升。一般情况下认为离排气口较近处压力相对较大，所以定、转子气隙与转子流通孔主要为向上的油路。由于转子高速旋转带来的离心作用，油气混和物在上腔经分离后，冷冻油被甩到壳壁附近，在重力作用下主要通过定子通道或者定子切边流回油池。如果在某些情况下，向下的

油道被向上的制冷剂气体堵塞时，回油油路就会封闭，导致压缩机底部出现缺油，推理与实验现象相符，理论上存在发生概率。通过仿真分析，如图 2，仿真结果的特点是定子切边持续上流，基本不从定子切边回油，证实了上述推理的正确性。那么是什么原因导致上述结果的出现呢？

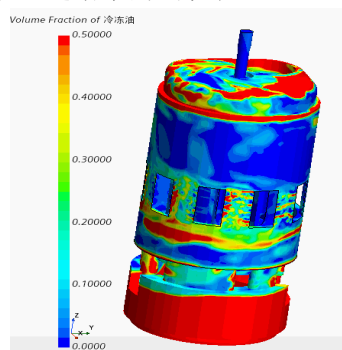


图 2 压缩机内部油分布图

Fig.2 Compressor internal oil distribution diagram

2.2 压缩机关键结构分析及改善措施

2.2.1 结构分析

此款压缩机的排气方式为顶部直排，排气口的正上方为旋转电机（见图 3）。此排气形式决定了转子流通孔、气隙通道、定子槽为主要排气通道（见图 4），带有油的高速制冷剂蒸汽从这些通道流向上腔。

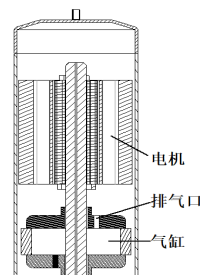


图 3 压缩机排气结构示意图（剖视图）

Fig.3 Schematic diagram of compressor exhaust structure (cross-sectional view)

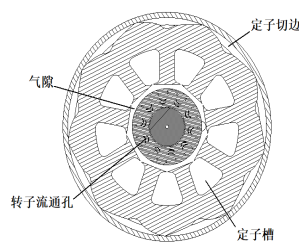


图 4 主排气通道示意（俯视截面图）

Fig.4 Illustration of main exhaust channel (cross-sectional view)

(1) 电机转子上端安装有副平衡块，下端安装有主平衡块（见图 5）。由于平衡块的作用，电机在高速旋转时，在电机上、下端部附近形成一个离心场，中心压力较小，制冷剂蒸汽排出后，一部分直接沿着流通孔、气隙以及定子槽通孔向上流动，一部分则由于主平衡块的旋转扰流带动作用，使部分排气向周边扩散，再通过切边空隙向上流动，堵塞通道，造成顶部分离出来的油回不来，问题与平衡块的设计相关。

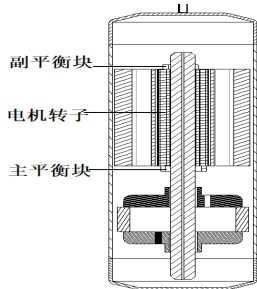


图 5 电机转子结构图（剖视图）

Fig.5 Motor rotor structure diagram (cross-sectional view)

2.2.2 改善措施

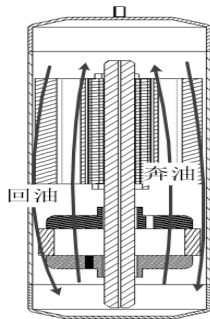


图 6 压缩机内部油路循环

Fig.6 The internal oil circuit of the compressor is circulated

根据压缩机内部顶部直排的结构特点以及上述的分析，改善的方向应为减少排气口上方排气向周边的外溢，同时降低旋转中心的压力，使其主要通过主排气通道排气，构成大循环（见图 6）。因此，本次的改善方案为：（1）降低主平衡块的厚度，取消平衡块上面的凸起部分，增加排气口与平衡块的距离，减小扰流涉及的面积，减少排气外溢；（2）降低副平衡块的厚度，取消平衡块上的凸起部分，同时减小其宽度和长度，一方面减小其对转子流通孔的覆盖面积，增加通流量，另一方面加强电机上

方的扰流（减小宽度相当于外移，增加了副平衡块的旋转半径），增强电机上腔旋转中心的负压效果，进而增强旋转中心处向上的流通效果，减少排气外溢。平衡块更改前后对比如表 3 所示。

表 3 平衡块更改前后对比

Table 3 Balance block before and after changes

	更改前	更改后
主平衡块		
副平衡块		

优化后仿真模拟回油如下，特点是定子切边回油明显，定子切边不会积油，回油通道顺畅（见图 7）。

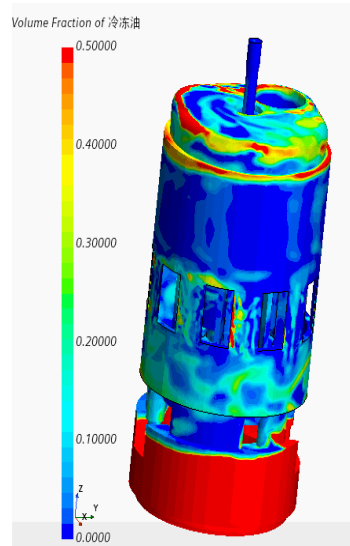


图 7 优化后压缩机内部油分布图

Fig.7 Optimized internal compressor oil distribution

2.3 实验验证

采用改善后压缩机方案，机组在额定制热（压缩机中高频）、低温制热工况（高频）下以及在极限高频下（120Hz）验证，均未出现空油现象。优化后实测数据及实验现象如表 4 所示。

表 4 优化后实测数据及实验现象

Table 4 Measured data and experimental phenomena after optimization

序号	测试项目	测试工况	冷媒灌注量	连接管	运行频率	视液镜	启动前	前 10min 最低油位	10min	0.5h	1h	1.5h	2h	2.5h	3h	3.5h	4h	
1	额定制热	内 20℃/-; 外 7℃/6℃	1.2 倍标称灌注量	15 米	92Hz	下视液镜	满	满(泡沫)	满	满	满	满	满	满	满	满	满	
2	超低温制热	内 20℃/-; 外 -15℃/RH85%	1.2 倍标称灌注量		106Hz	下视液镜	满	满(泡沫)	3/4	满	满	满	满	/	/	/	/	/
3	低温制热	内 20℃/-; 外 2℃/1℃	1.2 倍标称灌注量		120Hz	下视液镜	满	3/4	3/4	3/4	3/4	/	/	/	/	/	/	/
4	超低温制热	内 20℃/-; 外 -15℃/RH85%	0.8 倍标称灌注量		106Hz	下视液镜	满	满(泡沫)	满	满	满	满	满	/	/	/	/	/
5	额定制热	内 20℃/-; 外 7℃/6℃	0.8 倍标称灌注量		92Hz	下视液镜	满	满	满	满	满	满	满	满	满	满	满	满

3 结束语

压缩机作为空调系统的主要核心部件，决定着制冷空调系统的性能和使用寿命，压缩机中的冷冻油主要起到润滑、冷却和密封等作用，主要对轴承、滚子和滑片等运动部件进行润滑，减小零部件磨损；通过冷冻油的流动带走摩擦副产生的热量，并保证气缸工作腔的有效密封，决定着压缩机的运行寿命，缺油或者少油都会对压缩机产生不可逆的损害。

压缩机的回油分为机内循环回油和机外循环回油，不同的回油循环下，对应问题的原理不同，解决方式也不同；一般而言，压缩机的排气形式有顶部直排和侧排之分，排气形式不同，主流通道会发生变化，机内油路循环的方向也会变化，因此，在产品的开发过程中，需要根据实验现象，推断缺油的种类，结合压缩机内部的结构形式，再针对性的采取优化措施，有效解决问题。

参考文献：

[1] 刘蕴青,崔勇,陈引生.压缩机带油率对空调系统性能影

响研究[J].低温与超导,2019,(11):82-85.

[2] 杨传波,张薇,郭漪,等.制冷系统含油量对制冷压缩机工作性能影响的理论分析和实验研究[J].制冷学报,2005,(2):19-23.

[3] 韩润虎.美国谷轮公司压缩机应用技术讲座第 15 讲压缩机常见故障分析(3) 缺油与润滑不足[J].制冷技术,2004,(4):47-49.

[4] 杨国麟,邓丽颖,梁礼兵,等.基于 CFD 的滚动活塞压缩机吐油率优化分析[J].制冷,2015,(3):85-90.

[5] 李晓文,李旺宏,黎法运,等.压缩机最低注油量试验方法与研究[J].电器,2013,(S1):589-593.

[6] 何林,卢浩贤,肖彪,等.关于空调系统转子压缩机回油可靠性及优化的试验研究[J].2017,(3):39-44.

[7] 龚英.关于家用空调器回油回液问题分析及实验研究[J].家电科技,2020,(S1):15-18.

[8] 黄允棋,何林.关于房间空气调节器回油回液问题研究[J].家电科技,2014,(5):68-70.

[9] 何佳璟,朱占,庄晋文.房间空调器用转子式压缩机回油试验研究[J].制冷与空调,2021,21(12):86-90.