

模块化多联机回油与均油问题探讨

银松 张文强 王志刚

(青岛海信日立空调系统有限公司)

摘要 模块化多联机中同时存在多压缩机并联与多室外机并联的情况,因此压缩机、室外机间的回油、均油是影响模块机可靠性的一个关键问题。通过对系统循环的详细分析,综合各回油、均油技术的研究,特别是二级油分离技术及自适应回油均油技术,从根本上有效地解决模块机间的回油及均油问题,对于多联机的研究具有重要的意义。

关键词 模块化多联机;二级油分离;自适应回油均油

Investigation of oil-return and oil-balance in modular VRF system

Yin Song Zhang Wenqiang Wang Zhigang

(Qingdao Hisense Hitachi Air-conditioning Systems Co., Ltd.)

ABSTRACT Compressors parallel connection and outdoor units parallel connection are designed in the modular VRF system, therefore good oil-return and oil-balance characteristics between compressors and outdoor units are crucial to system. Based on synthesized research on refrigeration cycle and oil-return, the detailed study is done on 2-stage oil separating technology and auto-adaptive oil-return and oil-balance technology, which basically resolves the oil-return and oil-balance of the modular VRF system. Meanwhile it has important significance for the research of the multi-split unit.

KEY WORDS modular VRF system; 2-stage oil separating; auto-adaptive oil-return and oil-balance

多联式空调(热泵)机组(简称多联机,也称变制冷剂流量空调系统)具有方便灵活、舒适节能的特点,体现了空调系统的人性化理念。多联机系统起源于日本,于20世纪90年代初被引入我国。变频技术、数码涡旋技术的应用、多元化室内机的形式、高可靠性能的设备、简捷的系统设计、人性化的系统控制、智能化技术的发展,使多联机技术日趋完善,在办公楼、医院、商业类建筑中得到广泛应用^[1]。

多联机按其系统组成可以分为模块化多联机(简称“模块机”)以及整装一体机。模块机包括室内机组、一个以上的室外机模块和连接室内机组与室外机模块的多条制冷剂管道(如图1所示),从而达到提高机组容量及自由组合的需求。

模块化结构的设计,使机组可以以标准的模

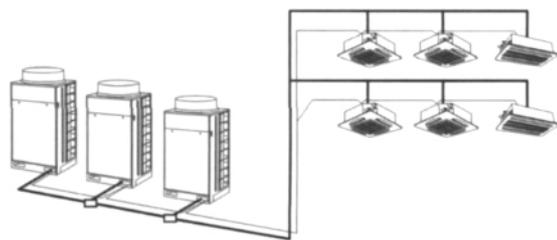


图1 模块化多联机系统图

块单元进行生产和运输,在安装现场组合成完整的机组。标准的模块单元质量轻、体积小,使机组运输、安装及调试与维护更加方便,节省吊运、安装与运行费用。模块化的空气源热泵机组,每一个单元的压缩、换热和控制部分是相对独立的,可以形成互为备用,即:任何一个单元发生异常时,都不会影响其他单元以及整个系统的正常运行,

收稿日期:2012-08-21

作者简介:银松,硕士研究生,制冷系统设计工程师,主要研究方向为多联机制冷系统设计及相关压力容器。

电脑会在某一回路发生故障时,发出指令由其他备用状态的回路接替故障回路运行,机组的制冷、制热量保持相对稳定。

在多联机系统中,润滑油主要起润滑、冷却、密封等作用,是影响多联机可靠性的关键因素之一。系统运行时,必定有一部分润滑油会从汽缸与制冷剂一起被排出,进入系统的管道、冷凝器和蒸发器。当润滑油不能及时返回压缩机时,会带来严重的后果:第一,影响压缩机的安全运行,导致压缩机运行过程中冷却和润滑恶化,缩短压缩机的寿命,严重的会使压缩机损毁;第二,降低冷凝器与蒸发器等换热设备的效率,润滑油进入换热设备,在换热表面形成油膜,增大制冷剂与换热器的换热热阻,使换热恶化,降低整机性能,且过多的油会降低系统的有效制冷剂循环量,降低运行效率。针对 5 mm 的换热器,3%~5%的油浓度会导致换热器制冷剂侧的换热系数下降 9.3%~36.5%^[2]。

另外,在多机并联的模块机系统中,各个室外机的吐油量及回油量各不相同,在运行过程中很容易导致各个室外机间的油量分布失衡,单元模块机缺油运行,造成机器故障或损毁。在变频多联机系统中,室内机负荷时刻变化,机组负荷的变化会引起室外机吐油量与回油量的巨大波动,这也是多联机——特别是模块机系统回油和均油设计的难点之一。因此,提高系统油分的分离效率以及优化系统回油及均油设计,对模块机系统有着重要的意义。

1 系统循环过程中油的分布

在多联机系统中,系统循环主要分为制冷循环与制热循环,制冷剂与油的运行及分布受管路中流体的流速、温度、状态的影响,所以机组内润滑油的分布与回油量在 2 个循环下也各不相同。针对模块机系统(见图 2)内润滑油的运行及分布、各个环节的回油设计进行分析说明。

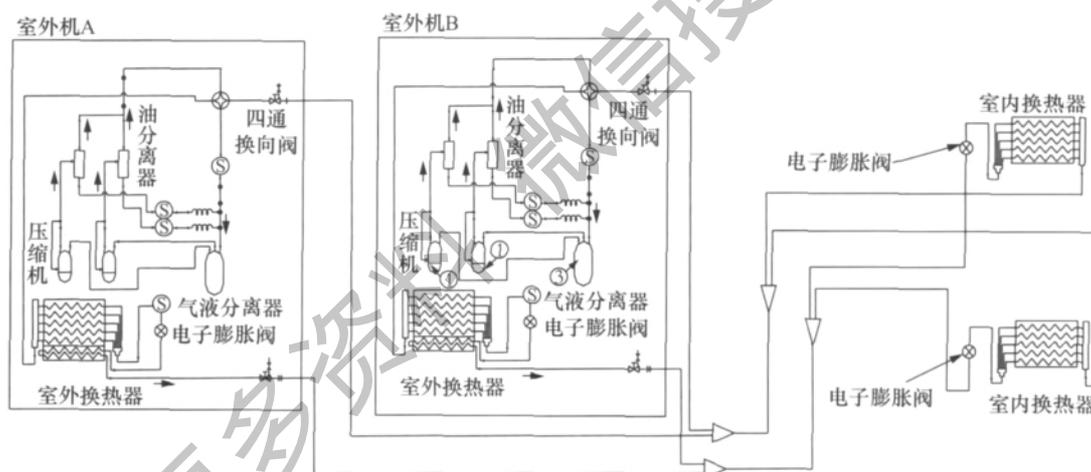


图 2 模块化多联机系统循环图

1.1 制冷循环

制冷模式运行时(见图 3),从压缩机到冷凝器这一段管路中,制冷剂是高温高压的气体,润滑油呈雾状,流动速度较大,润滑油与高温高压的制冷剂蒸气一同进入冷凝器。由于流速大,管路短,故在管路中积存很少。在冷凝器中,制冷剂冷凝成高温高压液体,润滑油也冷凝成液态,形成具有一定过冷度的制冷剂与润滑油的混合液体,混合液体在一段直径较小的管路中经过节流装置高速流入蒸发器。

在蒸发器内制冷剂逐渐蒸发,在蒸发器出口变成具有一定过热的低温低压气体,此时润滑油仍是液态。从蒸发器过热区到气液分离器出口,

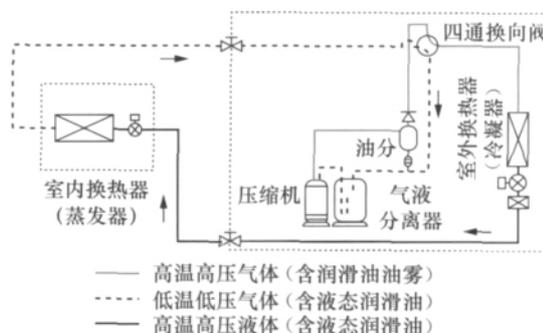


图 3 制冷循环示意图

这一区域内制冷剂气体流动速度较小,管路长,润滑油流动阻力较大,因此这一段管路内会积存大量的润滑油。

在气液分离器中,润滑油通过 U 形管上的回油孔进入吸气管,回到压缩机。制冷循环中容易积油的部分是从蒸发器过热区经气液分离器出口到压缩机进口这段管路。

1.2 制热循环

制热模式运行时(见图 4),高温高压的制冷剂气体与油雾混合物通过气侧配管进入室内冷凝器,在冷凝器中制冷剂冷凝成高温高压液体。液态制冷剂通过室内机与室外机间的制冷剂配管与室外机膨胀节流后进入蒸发器。液态制冷剂在蒸发器中蒸发成低温低压气体,而大部分润滑油仍然是液态,润滑油和制冷剂分离,液态润滑油开始滞留于蒸发器的底部。室外蒸发器到压缩机的一段管路中低温制冷剂的流动速率较小,很容易积存润滑油,但由于管路很短,所以积存的润滑油量不大,对整个系统影响较小。在气液分离器中,油滴与低温的制冷剂蒸气分离,积留在气液分离器的底部,通过 U 形管上的回油孔进入吸气管,回到压缩机。因此,制热循环过程中,润滑油主要积留在气液分离器内,有少部分存于室外机的换热器内。

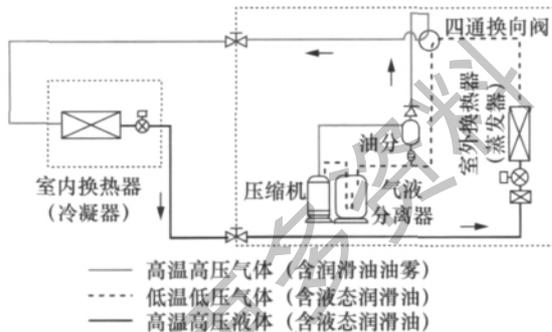


图 4 制热循环示意图

制冷剂在制冷系统各部件中以不同的相态存在,在压缩机到冷凝器的前段制冷剂为气态,从冷凝器的后段到蒸发器进口为液态,而蒸发器中基本为气液两相,正常运行时,出口制冷剂一般为具有一定过热的气体。在制冷系统内,少量润滑油会随压缩机排出气体一起进入系统,若要保持整个系统的正常运行,必须使这部分油与制冷剂一起以一定的比例返回压缩机,保持系统的运转效率和各台机器曲轴箱的正常油位^[3]。

2 多联机系统回油设计

通过上述分析,控制制冷系统的回油主要在以下几点:

2.1 排气侧的回油设计

在图 2 所示的模块机系统中,为了减少进入循环系统中的润滑油量,采用了二次油分离的技术,在系统的设计中采用具有内部油分离功能的高压腔涡旋式压缩机,并在压缩机的排气口处设置高效率的油分离器(如图 5 所示),实现二次油分离,有效降低系统中制冷剂的含油量。

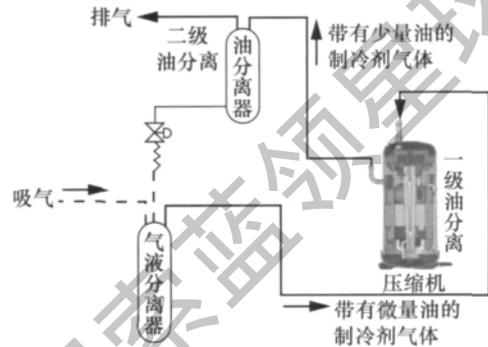


图 5 二级油分离系统示意图

1) 在压缩机内部,润滑油通过油泵进入压缩腔完成润滑及冷却作用后,随着制冷剂气体一起通过定涡盘的排气口排入高背压腔,在压缩机内部形成一次油分离,而后通过排气管排出压缩机,进入循环系统管路。分离出来的油直接沉降到压缩机底部的油池中,形成一个压缩机内部的油循环过程。经过第一次油分离后,制冷剂气体的含油量大大降低,并且使压缩机的油面被控制在合理范围之内。

2) 采用高效率的旋风式油分离器实现润滑油的第二次分离。旋风式油分离器利用离心、重力沉降原理,在油分离器中通过进气管的特殊设计,制冷剂气体从容器的上部管道沿切线方向进入分离器,利用旋转运动时产生的离心力将密度较大的液滴与气流分开。分离出来的油积存在油分离器的底部,通过回油管路回到压缩机。旋风式油分离器具有结构简单、制造成本低、分离效率高特点,因此在多联机中得到广泛应用。

2.2 吸气侧的回油控制

吸气侧的回油控制主要是在压缩机的吸气前增加一个气液分离器,通过优化气液分离器的回油设计达到预期回油效果。

近年来,制冷系统中气液分离器的不断发展成为系统的高效率和高可靠性的有利保障。制冷系统在压缩机吸气管处设置气液分离器的初衷是防止液击(见图 6)。其 U 形管进气口位于容器

上方,与含液气流管的出口形成一定的高度差,有利于改变气流方向,U形管底部的回油孔是保证一定量的油随气体返回压缩机,平衡孔在压缩机停机时防止发生分离器内的油从小孔返回压缩机而起平衡均压作用^[4]。

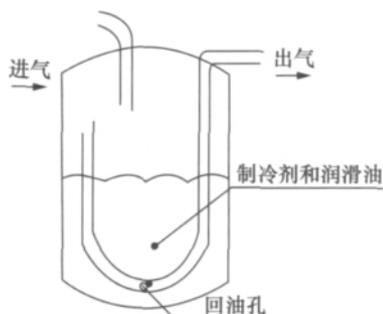


图 6 气液分离器示意图

以某空调设备公司的模块机的气液分离器结构及其回油测试数据为例,验证气液分离器的回油性能。制冷剂选用的是 R410A,润滑油主要成分是合成醇酯类。该气液分离器的设计压力是 2.21 MPa,设计温度是常温,容积是 24 L,油面设定高度为 100 mm(占总高的 20%)。在压缩机的不同转速及不同的吸气压力下,通过测试气液分离器出口处气体的干度间接反映气液分离器的回油性能。图 7 所示充分证明,在具有合适的回油孔设计情况下,气液分离器能够实现压缩机连续回油。

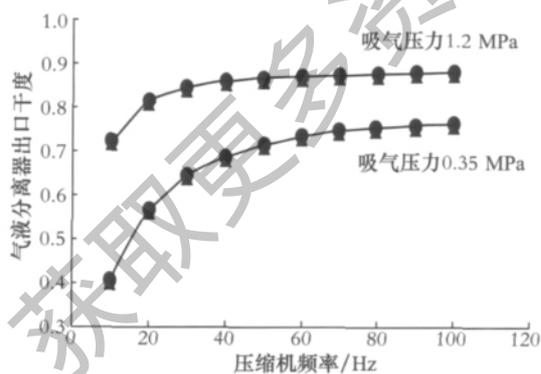


图 7 气液分离器回油特性

综上所述,在排气侧针对压缩机排油的控制,优化设计油分离器的各个性能参数,提高油分离器的效率,再通过二次油分离,能够使绝大部分润滑油有效返回压缩机,使系统循环过程中的含油量大大降低。而在压缩机吸气侧增加带有回油孔设计的气液分离器,通过压差和虹吸原理,使从系统中返回气液分离器并积存下来的润滑油有效回

到压缩机,继续发挥润滑和冷却作用,提高压缩机的运行可靠性。

3 模块化组合机组间的均油

上述方案有效解决了系统回油的问题,但在图 2 所示的多压缩机与多室外机并系统中,各压缩机的运行以及各室外机的运行状态与运行时间各不相同。因此,各室外机的吐油量与回油量不同,在机组运行过程中,很容易出现一台室外机(或压缩机)油量过多,而另一台缺油运行。这样,很容易造成单元模块机故障或者损毁。所以,解决各压缩机以及各室外机间的油量均衡问题,对大型多联机空调系统特别是模块化多联机系统的研究和发展有着至关重要的意义。

针对多压缩机并联时的均油问题,常采用下列几种方式:

1) 机械回油系统的可靠性取决于油分离器的高效和油位平衡器的可靠性,从经济性角度考虑,投资较大,且从目前试验结果分析,该回油方案不尽如人意^[5]。

2) 非平衡式回油系统核心技术具有合适的压降和良好的分油效果,在系统缺油或者润滑油过多时,比较容易出现个别压缩机缺油^[6]。

3) 自动均油回油系统是近年来比较推崇的回油方案,虽然控制精度比较高,但管路系统比较复杂,给制造加工带来困难,成本较高也是难以推广应用的障碍^[7]。

上述几种方式在多压缩机、多室外机同时并存的情况下回油效果并不理想,因此综合各种回油方案的特点,在模块机组组合的系统中,采用压缩机油平衡管设计(如图 8 所示)、多 U 形管-多回油孔设计的气液分离器(如图 9 所示),提出系统自适应回油技术。

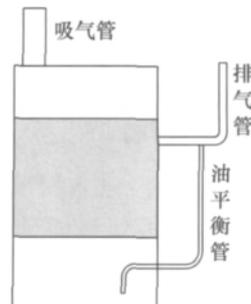


图 8 带油平衡管压缩机

在图 2 所示采用此自适应油平衡技术的制冷系统中,气液分离器的 U 形管数量与压缩机的

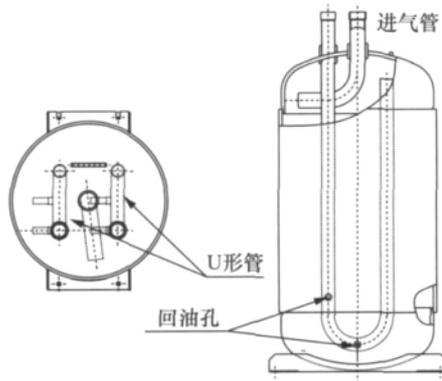


图 9 多 U 形管-多回油孔气液分离器

数量相等,这种采用多 U 形管设计的多压缩机并联的机组,能够保持系统的运转效率和曲轴箱的正常油位,不仅能解决多压缩机的回油,还能使各压缩机的回油机会均等;不但起到很好的回油及均油作用,而且使同时运行中各压缩机在比较接近的吸气压力下运行。这种回油方案,不但使得并联的压缩机实现均匀回油,而且消除了系统部分负荷运行时气管内制冷剂流速减小而造成系统回油能力的下降。

在有多个室外机组的情况下,系统运行时,如果出现各单元模块室外机吐油量和回油量不平衡时,回油过多的室外机组的润滑油积存在气液分离器中,打破回油孔回油与压缩机吐油的平衡,导致气液分离器中的油面不停地升高。当油面高过第 2 个回油孔时,第 2 个回油孔开始参与系统回油,使气液分离器中返回压缩机的油量大大增多,过多的油返回带油平衡管的压缩机;压缩机底部油池的油面也会逐渐升高,漫过油平衡管的底部管口。此时,在排气压力的压差下,多余的润滑油会通过油平衡管被排入排气中,随后进入系统循环,通过在系统循环中的再分配返回各室外机的气液分离器中。在气液分离器中,通过 U 形管底部的回油孔再次平均回到压缩机。在不停重复上述均油、回油的循环过程中,各室外机组内的润滑油逐渐再次趋近平衡态,从而达到各室外机间润滑油的自动均衡。

在多室外机以及多压缩机并联的系统中,上述设计很好地利用了系统循环中制冷剂分配也会导致润滑油分配的原理,通过系统在对制冷剂分配的过程中,实现润滑油的自动分配,具有分配的

自适应性,分配效果好。在制冷剂分配控制的精度下,实现高精度的润滑油分配。实现多压缩机、多室外机间的自动均匀回油,在经济性方面几乎不增加成本。通过实践验证,自适应油平衡技术从根本上很好地解决了模块机组组合系统的回油及均油问题。

4 结论与展望

现今,由于制造成本以及效率、能效的要求越来越高,模块机的设计研究已经成为各个厂家的重点方向。但由于模块机组组合系统中不仅存在多压缩机并联,同时存在不同的单元室外机的并联情况,在系统设计、控制上具有非常高的技术要求。而机组的回油及均油技术是诸多技术难题中比较突出的一个,笔者在对模块机系统循环过程中润滑油运行、分布的深入分析基础上,针对单机系统回油及多机系统的回油均油问题作了详细、深入的研究,重点针对二级油分离技术、多机间自适应回油均油技术作了详细的阐述,对模块化多联机间的回油及均油问题作了探讨研究。

高效油分离器的进气管、主体管径、出气管的参数设计会直接影响油分离器的效率,气液分离器的平衡孔和回油孔的大小及位置的设计也决定了气液分离器的回油及均油的成效。在这方面,目前需要依靠试验进行各个参数的设计,理论研究还比较缺乏,这会成为后续热泵系统研究的重要方向。

参考文献

- [1] 王志刚,徐秋生,俞炳丰.变频控制多联式空调系统[M].北京:化学工业出版社,2006:50.
- [2] 罗毅.空调多联系统制冷剂-油两相分离的数值模拟[D].西安:西安交通大学,2012.
- [3] 姜俊滨.变频多联机回油问题探讨[J].制冷与空调,2003,3(5):70-72.
- [4] 张贤德.制冷原理与装置[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [5] 黄东,袁秀玲.并联压缩机系统中的油平衡[J].压缩机技术,2000(4):13-15.
- [6] 韩润虎.非平衡式压缩机并联技术[J].制冷与空调,2006,6(5):83-85.
- [7] 石文星,邵双全.多台制冷压缩机并联使用的自动均油回路[J].压缩机技术,2000(6):3-6.