

## 符号说明

$\rho$ : 介质密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$

$u$ : 介质流速,  $\text{m}/\text{s}$

$p$ : 介质压力,  $\text{Pa}$

$z$ : 沿流向毛细管的长度坐标,  $\text{m}$

$\tau_0$ : 介质在内壁面的剪切力,  $\text{Pa}$

$S$ : 毛细管内壁面的湿周,  $\text{m}$

$A$ : 毛细管内部横截面积,  $\text{m}^2$

$C_p$ : 比热,  $\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$

$d$ : 毛细管内径,  $\text{m}$

$T$ : 介质温度,  $^\circ\text{C}$

$T_{\text{wi}}$ : 毛细管内壁面温度,  $^\circ\text{C}$

$\alpha_0$ : 介质与内壁的换热系数,  $\text{W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$

$q$ : 毛细管内壁面的热流密度,  $\text{W}/\text{m}^2$

$f$ : 压缩机频率,  $\text{Hz}$

## 1 引言

在制冷系统中, 压缩机工作时, 必定有一少部分冷冻油会连续不断地从气缸中与制冷剂一起被压出, 进入制冷系统的管路及冷凝器和蒸发器中。当冷冻油不能连续地返回压缩机时, 一定会造成压缩机油面下降, 及至冷冻油枯竭, 出现压缩机缺油烧毁现象。所以保证冷冻源源不断地返回压缩机是制冷系统设计中最重要课题之一。

在只有一台压缩机的氟里昂制冷系统中，只要采用必要的措施，如采用合理的管路设计，系统各部位形成稳定的油量分布后，冷冻油会顺利地通过压缩机吸气管返回曲轴箱，使压缩机保持正常工作油面。而在负荷变化宽的氟里昂制冷系统中，使用单台压缩机仅采用启停控制作为能量调节措施往往不能适应负荷剧烈变化的需要。所以将多台压缩机并联使用在同一制冷系统中，不仅可以拓宽制冷系统的容量范围，降低启动电流，延长压缩机的使用寿命，还能大幅度地简化系统，降低投资成本。但是，在同一制冷系统中使用多台压缩机并联，存在着冷冻油能否顺利返回各台压缩机制的问题。为此，在制冷系统中，一般所采取的措施是在两台压缩机壳体间连接有管径较大的均油管和管径较小的均压管；或在此基础上在每台压缩机的排气管上增设一个油分离器，大部分冷冻油经油分离器分离后，通过减压毛细管流回压缩机吸气管，以减少进入系统管路及蒸发器的油量，而使各压缩机间均油<sup>[1]</sup>。这种均油方法一般适用于几何尺寸相同的两台压缩机并联使用的场合。当压缩机多于两台时，各压缩机间连接粗大的均油管和均压管，不仅会给生产、运输带来麻烦，维修、更换配件也极不方便，而且当两台压缩机体积不同时，为保证油面一致，要求压缩机的安装高度也不一致，这样给安装又带来困难。另一种方法是在各压缩机排气管上设置油分离器，油分离器再与设置的电磁阀相接而形成油路平衡管，再通过压缩机的内置油面传感器来的信息控制电磁阀的开闭，以控制冷冻油油面<sup>[2]</sup>。当压缩机富油时，对应电磁阀关闭，缺油时开启，前油分离器中的冷冻油将向后压缩机供油，反之亦然。但这

种方法需要对制造商提出压缩机内设置油面传感器要求后才能实现，同时需要与电磁阀配合使用，其可靠性取决于油面传感器和电磁阀的品质，因而使成本大幅度提高。针对上述现有技术中存在的缺点，本文提出了一种低成本的多台制冷压缩机均油自动均油回路。

## 2 自动均油回路的结构原理

多台制冷压缩机自动均油回路，由多台机壳内为高压油的压缩机及各压缩机所配带的油分离器、单向阀、节流器、节流器、贮油包等组成，如图 1 所示。其结构特点是，所述各压缩机的壳体上设有出油口并与所设贮油包进口相接，各贮油包的出口分别交错与所设均油管 A 和均油管 B 相接。各压缩机的排气口与油分离器相接，油分离器的上出口与单向阀进口相接，各单向阀的出口与去冷凝器的排气管相接，各油分离器的下出口与节流器进口相接，各节流器出口与来自蒸发器的吸气管相接后进入各自压缩机的吸气口并引出接管。各接管交错分别与均油管 B 和均油管 A 相接，均油管 B 设有充油口。各接管与均油管 A 或者均油管 B 连接段也设有节流器，对均油管 A 与均油管 B 的安装高度并无特殊要求。

1 回油

管

2 单向

管

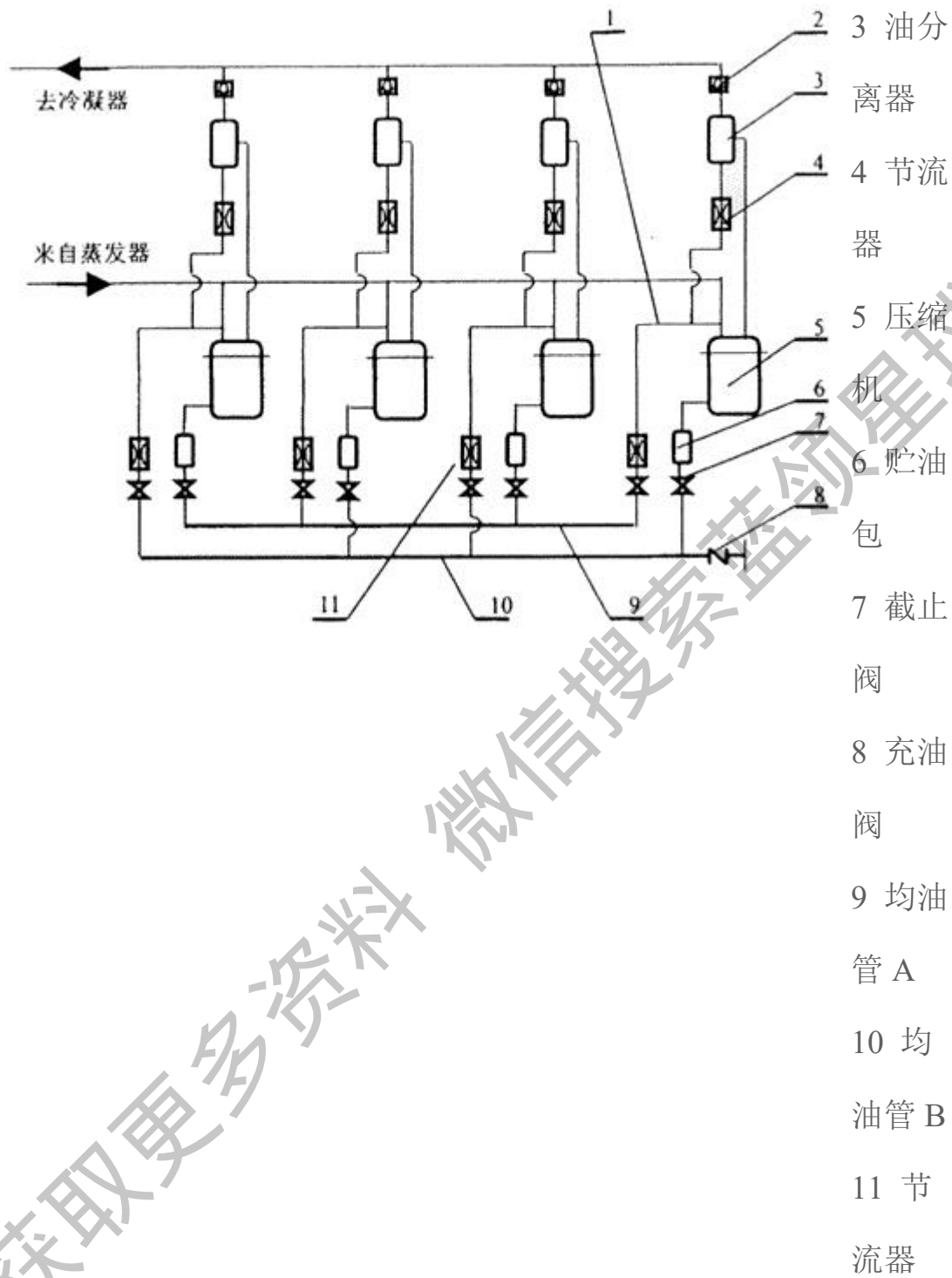


图 1 多台制冷压缩机均油自控装置原理图

由于采用上述各元件、部件的组合结构及连接关系，在不增设

油面传感器、电磁阀的情况下，仅有管道、节流器等无运动部件，可使多台制冷压缩机自动均油。与现有技术相比，它不仅具有结构简单，性能可靠，维修、运输、更换配件方便，对压缩机安装无特殊要求的特点，而且几乎不增加成本。适用于多台、不同形式、不同大小的制冷压缩机之间的均油。

在油分离器（3）中被分离出的冷冻油，经节流器（4）降压后返回各自压缩机（5）中。未被油分离器（3）分离出的油经单向阀（2）随制冷剂一同进入冷凝器、蒸发器和系统管路中。当系统各部位存在一个均匀油量分布后，来自蒸发器的油，经吸气管返回各压缩机。由于返回各台压缩机的油量不可能均匀，即出现某压缩机富油或者缺油的现象。当某台压缩机富油，即超过其正常工作油位时，冷冻油则沿其壳体上所设出油口流入贮油包（6）和与之相连的均油管 A（9）或者均油管 B（10）中。在均油管 A 或 B 中贮存的冷冻油，其压力近似为压缩机的排气压力，在压差的作用下，又经节流器（11）回到缺油压缩机的吸气管中，缺油的压缩机连续不断地回收到富油压缩机多余的冷冻油，使其油位回升到正常的工作油位范围，保证每台压缩机正常工作。在整个均油自控装置中，如果仅有部分压缩机工作时，系统中存留的油，将会回到运转的压缩机中。当出现富油现象，多余的油将会存贮在贮油包（6）和与之相连的均油管 A 或者 B 中。原来停止工作的压缩机启动后，短时间内会出现缺油现象，此时由于吸气管的低压抽吸，从富油压缩机的贮油包和均油管 A 或者 B 中补足所需的冷冻油。

自动均油回路中的节流器在通常情况下采用毛细管，其结构简单，成本低，运行可靠。

### 3 回油毛细管的数学模型

在压缩机吸收、排气压力差的作用下，液态冷冻油通过毛细管自动地从油分离器返回压缩机吸气管，或从富油压缩机高压壳体内流向欠油压缩机吸气管内。当油面低于毛细管出口时，高压制冷剂蒸气将会经毛细管旁通至压缩机吸气管，过多的高压气体返回压缩机将造成系统的制冷能力下降，压缩机排气温度升高，所以毛细管的内径和长度的确定至关重要。由于回油毛细管内流动的介质是冷冻油或高压制冷剂蒸气，均属于单相流动。但因流动介质与外部空气进行对流换热，使介质沿流方向温度逐渐降低，且油和制冷剂蒸气的密度和粘度随温度变化显著，故不可忽视换热对流动的影响。

对毛细管内介质单相流动建模之前作如下的假设：（1）介质流动为一维流动；（2）在管路流动断面上物性均一；（3）物性仅沿流动方向上发生变化；（4）不考虑重力对流动的影响。故：

质量守恒方程：

$$\frac{d}{dz}(\rho u) = 0 \quad (1)$$

动量守恒方程：

$$\frac{d}{dz}(\rho u^2) = -\frac{dp}{dz} - \frac{\tau_0 S_0}{A} \quad (2)$$

能量守恒方程：

$$\frac{d}{dz}(\rho u C_p T) = -\frac{\pi d}{A} q \quad (3)$$

若油分离器的毛细管设置在其内部，那么油与制冷剂蒸气的温度变化很小，而将毛细管设置在外部的室外机机箱内，则因油与制冷剂蒸气与外界空气换热引起温度降低，对介质粘度和密度有较大的影响。

#### 4 计算

制冷剂蒸气被压缩时，也会带走一部分油，制冷剂的带油量很大程度取决于压缩机结构。对于全封闭压缩机而言，文献[3]指出，油在排气中的质量百分比不超过百分之零点几；比利时列日大学通过不同实验方法研究了压缩机排气的带油量，实验表明，油在排气中的质量百分比为 1%~2%，且各种测试方法的误差率在 20%~30%以内 [4]。当压缩机容量变化时，其排气量和带油量变化时，其排气量和带油量均随之变化。本文对两台压缩机并联使用的自动均油回路所采用的毛细管进行了理论分析，并通过了实验验证了其应用效果。

##### 4.1 压缩机参数

在计算和实验中，采用了两台压缩机，其一为变频压缩机，另一台为定速压缩机。其参数见表 1。

表 1

压缩机参数

	变频压缩机	定速压缩机
活塞排量 $V_h$ /(mL/rev)	23.3	41.6
频率 $f$ /Hz	15-120	50
充油量 $G_{oil}$ /mL	600	1350
机体高度/mm	312.5	374.3
机体直径/mm	129.6	158
制冷剂种类	HCFC22	
冷冻油种类	SUNISO 4GSD-T	

#### 4. 2 回油毛细管尺寸与可变因素的关系

以油在排气中的质量百分比 1.5% 为基准，计算在压缩机频率、吸排气压差和毛细管内径、入口油温度变化时欲将排气带油完全返回所必需的毛细管长度，其结果如图 2 所示。当压缩机频率、吸排气压差和毛细管内径为定值时，随着入口油温的升高，毛细管长度剧增，这主要是由于油在高温时粘度急剧降低所致；当其它因素不变时，压缩机频率降低，还油量相应减少，其毛细管长度减小；当压差或毛细管内径增大，在返回相同质量的油时所需毛细管亦将增长。



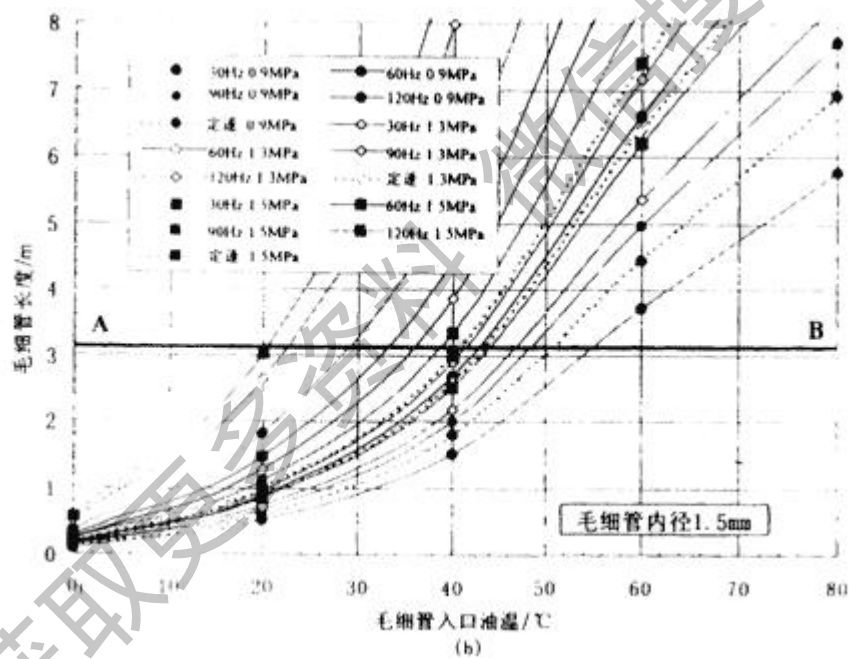
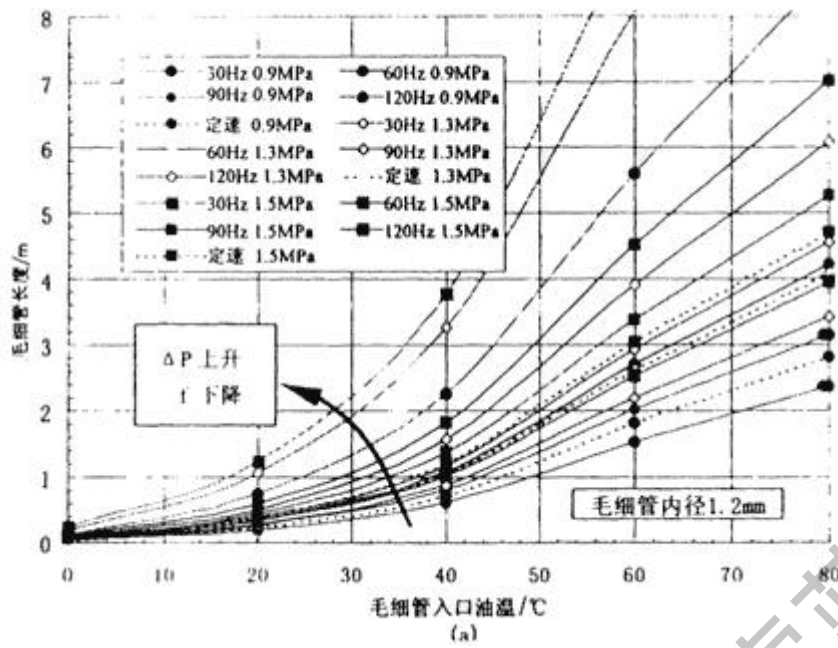


图2 各因素变化时所必需的毛细管长度

一旦选定毛细管的几何尺寸（如图2（b）中的  $\overline{AB}$  线），压缩机在实际运行中能否顺利返油将取决于毛细管入口油温和压缩机频

率于吸排气压力差。在  $\overline{AB}$  线以下的区域不能顺利返油，多余的油将存贮在油分离器或另一台压缩机的贮油包内，若将油分离器的回油毛细管放置在其内部，将有利于压缩机顺利返油。反之，在  $\overline{AB}$  线以上的区域则能顺利返油，但毛细管相对于带油量所需长度短，故将会有部分排气夹带着油滴经此毛细管一同返回压缩机回气管，由于有部分排气被旁通返回，将会造成制冷系统能力下降。故合理选用毛细管几何尺寸至关重要。

#### 4. 3 制冷剂旁通率

当毛细管长度小于带油量所需长度时，部分排气将夹带着油滴返回压缩机。如果假想油与制冷剂蒸气间歇返回，则以制冷剂蒸气单相返回时的旁通率如图 3 所示。从图中可以看出，高低压差越大、压缩机频率越低、压缩机排气温度越高或毛细管短短，其旁通率越大；在压差小于 1.3Mpa、压缩机高频运行时，其旁通率随压差的变化有微小上升，但压差继续增大时，旁通率有明显上升趋势。

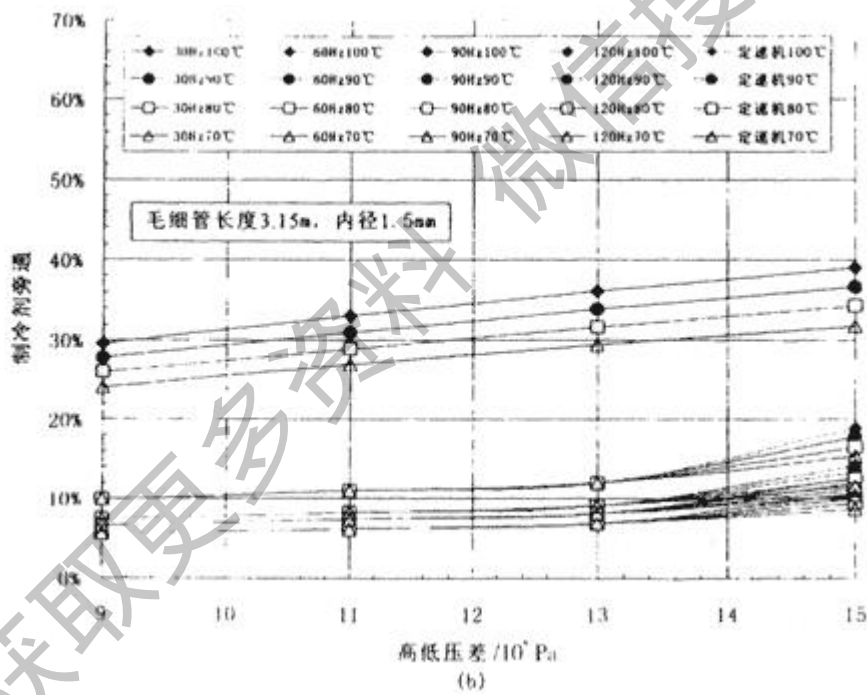
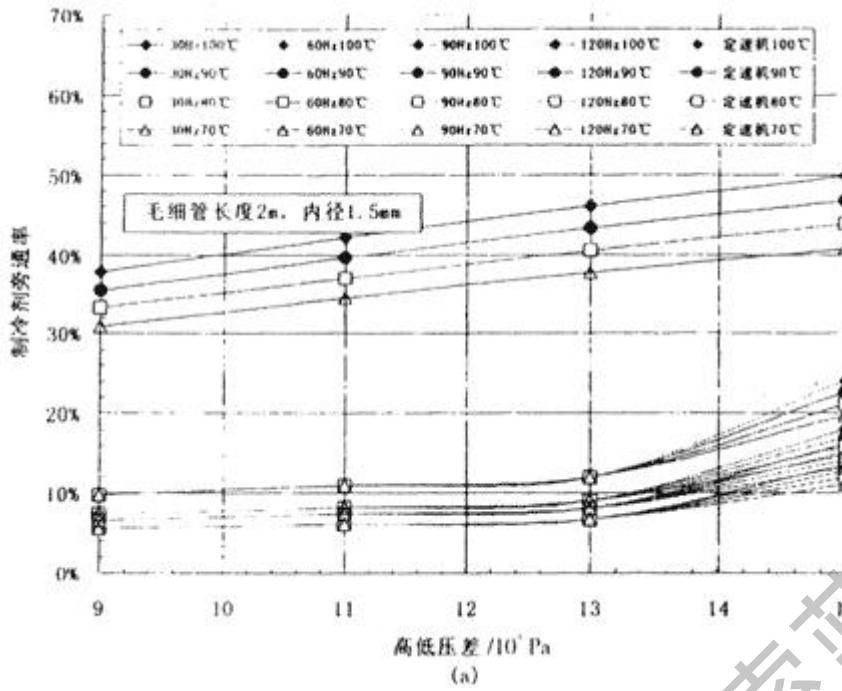


图3 回油毛细管的

排气旁通率

#### 4.4 应用效果

在空调用制冷装置中，压缩机运行时其油温通常高于  $60^{\circ}\text{C}$ ，工作压差为  $(1.0\sim 2.0)\text{ Mpa}$ 。从图 2 中的数据看，在油分离器内部及两台压缩机之间均选用内径为  $1.5\text{mm}$ ，长度为  $3.15\text{m}$  的毛细管作为回油自控装置的节流器使用时，系统运行的大部分能顺利返油。在返油的过程中，制冷剂蒸气与油呈气油两相状态在毛细管内部流动，由于存在临界流动现象，其排气旁通率应远远低于图 3 中的数据。

笔者在上述两台压缩机组成的变频一拖多空调系统中采用了此回油自控装置，实验中通过压缩机体上的油面镜观察油面变化情况，该装置能在压缩机的不同组合条件（①只开定速机，②不开定速机、变频器变频运行，③二者组合运行）下长时间、安全运行，使工作油面随时稳定在正常油位范围内。在室内负荷较小而压缩机长时间低频运行时，由于压差降低，油分离器及室内机内部的冷冻油不能顺利返回，需要在低频连续运行一段时间后进行高频短期运行，以保证系统安全回油。

## 5 结论

(1) 本文针对现有技术中存在的缺点，开发了一种低成本的多台制冷压缩机自动均油回路，它不仅生产制造容易，维修、更换配件方便，而且对压缩机安装无任何特殊要求。

(2) 建立毛细管内流动模型，计算并分析了此自动均油回路对变频空调系统回油性能，实验结果表明：此自控装置性能可靠，可用于大、中型变容量制冷系统。

(3) 由于顺利返油过程是一个气油两相流动过程，需仔细研究此流动过程以及排气旁通率，以便准确掌握回油毛细管对系统特性的影响。

获取更多资料 微信搜索蓝领星球