

制冷并联机组的集管设计

刘群生¹, 张雪岭², 马越峰³, 车福亮⁴

(1. 河南牧业经济学院能源与动力工程学院, 郑州 450011; 2. 郑州轻工业学院能源与动力工程学院, 郑州 450002;
3. 北京市京科伦冷冻设备有限公司, 北京 101302; 4. 河南亿鑫工程科技有限公司, 郑州 450053)

摘要: 从产品设计的角度出发, 给出了制冷领域并联机组的排气集管、回气集管和供液集管的设计方法和要点, 为并联机组的设计、制造和推广应用提供了依据。

关键词: 制冷; 并联机组; 集管; 设计; 排气集管; 回气集管; 供液集管

DOI: 10.16711/j.1001-7100.2016.09.017

Design of manifolds of a refrigeration parallel compressor unit

Liu Qunsheng¹, Zhang Xueling², Ma Yuefeng³, Che Fuliang⁴

(1. School of Energy and Power Engineering, Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450011, China;
2. School of Energy and Power Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China;
3. Beijing Jingkelun Refrigeration Equipment Co., Ltd, Beijing 210004, China;
4. Henan Yixin Engineering Technology Co., Ltd, Zhengzhou 450053, China)

Abstract: From the view of product design, methods and key points of manifolds design for a refrigeration parallel compressor unit were proposed, such as a discharge manifold, a suction manifold and a liquid supply manifold. The study may provide the basis of design, manufacture and application of parallel compressor units.

Keywords: Refrigeration, Parallel compressor unit, Manifold, Design, Discharge manifold, Suction manifold, Liquid supply manifold

1 引言

制冷领域的并联机组, 能根据制冷系统负荷自动进行能量调节, 能实现压缩机的均匀磨损, 并有占地面积小、压缩机逐台启动对电网冲击小、易于实现集中控制及远程控制、运行可靠等优点^[1]。近年来其在商业、工业制冷系统中的应用越来越广泛。

目前对制冷压缩机并联技术方面的研究, 主要集中在空调领域, 且多以涡旋压缩机的两台并联为研究对象^[2-6]。在制冷领域的工程应用方面, 熊克非^[7]等对半封螺杆并联机组、半封活塞并联机组和半封双级活塞并联机组的能效进行了对比, 认为半封螺杆并联机组在大型制冷项目中有更广阔的前景; 黄劲松^[8]介绍了双级活塞压缩

机并联机组在冻结系统中应用及设计中应注意的问题。在并联机组的产品设计方面, 杨萍^[9]等用有限元数值模拟对四台活塞压缩机组成的并联机组的振动情况进行了定性分析; 于世涛^[10]用有限元数值分析对并联机组振动的研究表明, 双层框架结构可有效减少振动的产生和传递; 文献[1]在分析制冷并联机组节能原理的基础上, 比较了同型号与不同型号压缩机并联方案的特点, 认为前者是并联机组产品设计的优先考虑方案, 且压缩机的台数以3台~6为宜; 文献[11]在分析不同类型压缩机的润滑油控制要求的基础上, 给出了涡旋并联机组、活塞并联机组和螺杆并联机组的油平衡设计方案。

一台制冷并联机组(以下称“并联机组”)通常有排气集管、回气集管和供液集管, 集管设计是

收稿日期: 2016-05-12

基金项目: 2015年度河南省重点科技攻关项目(152102310332)、2015年度河南省高等学校重点科研项目(15A470016)资助。

作者简介: 刘群生(1974-), 男, 硕士/讲师, 研究方向为制冷与食品冷链技术。

并联机组产品设计的的关键问题之一,本文就此进行讨论,为并联机组的产品设计、制造和推广应用提供参考。

2 支路型和总管型并联机组

根据并联机组的制冷系统管路的特点,可将其分为支路型和总管型两大类,前者区别于后者

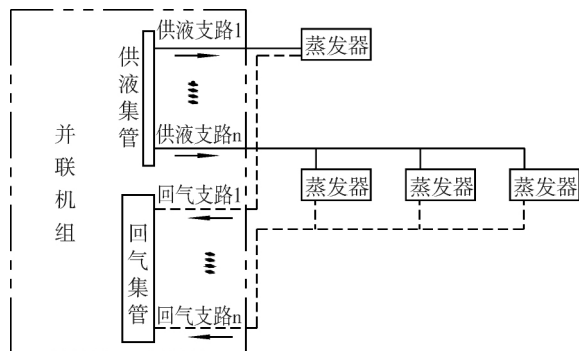


图1 支路型并联机组制冷系统示意图

Fig.1 Schematic illustration of the refrigeration system with a parallel compressor unit for the branching type

的典型特征是并联机组本身配置有带多条并列的供液支路的供液集管,且回气集管上有多条回气支路与供液支路一一对应,支路型并联机组的制

冷系统示意图如图1所示^[12]。总管型并联机组制冷系统只有一路总供液,总供液管到各个(或各组)蒸发器处分出支路,来自各个(或各组)蒸发器的回气汇集成一路,回到并联机组的回气集管。总管型并联机组的集管设计相对简单,在此以支路型为例说明集管的设计方法及要点。

3 集管设计

支路型并联机组的集管共有三种,分别为排气集管、回气集管和供液集管,它们一般采用壁厚较厚的紫铜管(下称“铜管”)或无缝钢管制作。铜管有良好的焊接性能、韧性和抗冲击性能,但价格较高。为了降低成本,较大规格的集管也可用无缝钢管制作。采用无缝钢管制作集管时,无缝钢管应彻底除锈至表面露出金属光泽,以保证制冷系统内部的清洁度。

选定材质后,接下来要确定集管的外径、壁厚和长度,集管的长度主要根据并联机组的整体外形尺寸来确定,壁厚则与直径相关,往往直径越大壁厚越厚。制作并联机组集管常用的铜管、无缝钢管的规格分别如表1、2所示。

表1 铜管规格

Tab.1 Specifications of copper pipes

铜管外径 $\varnothing$ /mm	22	25	28	32	35	42	54	67
壁厚/mm	1.2~1.5	1.5~1.8	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~3.5		

表2 无缝钢管规格

Tab.2 Specifications of seamless steel tubes

公称直径 DN/mm	50	65	80	100	125	150	200	250
外径 $\varnothing$ /mm	57	76	89	108	133	159	219	273
壁厚/mm	3.0~4.0	3.5~4.0	4.0~4.5	4.5~5.0	6.0~6.5	6.5~7.0		

3.1 排气集管

排气集管的作用是将多台压缩机的排气汇集到一起引入油分离器。

制冷管道的内径,可根据管内制冷剂的流速及管道总压力损失的许可值计算得出,压缩机排气管中的制冷剂流速一般取10m/s~18m/s,总压力损失的许可值相当于饱和温度升高1℃~2℃^[13]。排气集管内制冷剂流速选定后,集管内

$$\text{径按下式计算: } d_i = \sqrt{\frac{4v \sum_{j=1}^n (q_m)_j}{\pi u}} \quad (1)$$

其中: d_i 为集管内径, m; v 为制冷剂在工作压力和工作温度下的比容, m^3/kg ; q_m 为单台压缩机的制冷剂质量流量, kg/s ; n 为压缩机的台数; u 为制冷剂流速, m/s 。

按上述公式算出排气集管的内径后,还要核算排气管路(从压缩机排气口至冷凝器入口)的压力损失是否超过许可值。压力损失按下式计算: Δp

$$= \sum \Delta p_m + \sum \Delta p_l = \frac{\rho u^2}{2} \sum \left(\zeta_s \frac{l}{d} + \zeta \right) \quad (2)$$

其中: ρ 为制冷剂的密度, kg/m^3 ; l 为管长, m; ζ_s 和 ζ 分别为沿程阻力系数和局部阻力系数,具体

数值可从有关手册中查得。若按上式求得的压力损失大于许可值,需另行选择较小的流速,重新计算管径和压力损失,直到符合要求为止。

上述方法适合于排气管路走向、总长都非常确定的场合,应用于并联机组排气集管和排气管路的计算有很多实际困难,因为在设计并联机组时,压缩机至冷凝器之间的排气管路走向、总长等往往不是完全确定的。

能满足制冷工程要求的并联机组排气集管规格简化计算方法,是将所有压缩机排气管的内流通面积(可由压缩机制造商的样本等资料查得)求和,把此总面积换算成直径,再加上壁厚即为集管的外径。算得的外径通常需圆整,如外径的计算值为 $\varnothing 26.8$,那么根据铜管的常用规格,选 $\varnothing 25$ 或 $\varnothing 28$ 均可。不过,并联机组常常处于部分负荷状态,即部分压缩机运行,此时按上述方法确定的排气集管规格会显得过大,因此在圆整时可取较小的规格,上例中可选 $\varnothing 25$;同时,集管外径圆整为较小规格,成本也较低。

取较小规格的情况下,并联机组满负荷运行时排气集管的阻力会略大,不过,由此引起冷凝温度的升高对制冷系统COP的影响并不明显(冷凝温度每升高 1°C ,COP减小约不到1%),因此是可行的方案。适当减小排气集管的规格,其有利之处是可增强制冷剂排气的带油能力,这在制冷系统处于低部分负荷时显得尤为重要,例如4台同型号压缩机并联,只有1台压缩机运行时,排气集管的制冷剂流量仅为满负荷时的 $1/4$ 。除此之外,还应合理设置油分离器的位置。与并联机组配套的冷凝器为空冷式或蒸发冷式时,冷凝器往往置于楼顶等高于压缩机的位置。此时,可将油分离器设置于排气管道立管的最低处,当并联机组处于较低的部分负荷运行时,即便排气制冷剂的流速较小而不足以把润滑油带走,润滑油也会落入油分离器中,从而不影响整个制冷系统的正常回油。

排气集管与压缩机排气管、油分离器的联接示意图如图2所示。压缩机的排气管应从排气集管的上部接入或从侧部接入,而不能从下部接入。否则,当制冷系统在部分负荷运行时,集管下游的压缩机若恰好处于停机状态,则上游压缩机排出的制冷剂中夹带的润滑油,可能积存于下游停机

的压缩机的排气管中。排气集管应按制冷剂流动的方向坡向油分离器,坡度一般为 $1/100$ ^[14]。

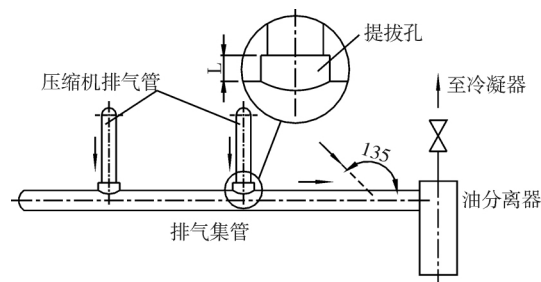


图2 排气集管联接示意图

Fig. 2 Schematic illustration of the connection of a discharge manifold

排气集管与压缩机排气管的联接处应采用“提拔钻”工艺,以保证紫铜管之间钎焊焊接的焊缝强度,因此,排气集管的壁厚不能太薄,以防提拔孔难以成型。推荐的提拔孔的高度 L 值如表3所示。较高的提拔孔(即 L 值较大)虽更利于焊缝强度,但会使加工工艺变得困难。压缩机排气管与排气集管联接处的焊缝有较高的强度、韧性及抗疲劳要求,应使用超银钎料FWL-2C或料303^[14]。

表3 推荐的 L 值

Tab. 3 L values recommended

铜管管径 $\varnothing/\text{mm}$	≤ 10	$(10, 16]$	$(16, 22]$	> 22
L/mm	5	6	8	10

排气集管的安装高度应不低于油分离器的入口,以防并联机组在最小负荷运行时排气集管中制冷剂流速较小而存油。

排气集管中制冷剂的流速较大,压缩机排气管按 135° 方向接入排气集管会明显减小局部流动阻力损失,如图2中虚线所示,但提拔孔的制作变得很困难,因此这种方案不适用于铜质的排气集管,而排气集管用无缝钢管制作时此方案是可行的。

3.2 回气集管

回气集管也称吸气集管,其作用是将来自各个回气支路的气体制冷剂均匀地分配给每台压缩机,并保证制冷剂中夹带的润滑油能均匀地返回每台压缩机。

实际工程中,并联机组的回气支路通常为水平或自上而下地进入回气集管,以使润滑油顺利返回回气集管,进而返回压缩机。回气支路中制

冷剂的流速一般取 $8\text{m/s} \sim 15\text{m/s}$ ^[13], 而回气集管中制冷剂的流速不应超过 0.5m/s ^[15] $\sim 0.75\text{m/s}$ ^[16], 据此按公式(1)即可计算出回气集管的规格。回气集管中制冷剂流速取值较小的原因, 一是更容易保证每台压缩机的均匀吸气, 再者是使回气集管兼具气液分离器的功能, 以保证良好的分油效果(当制冷系统设置有回油弯时, 短时间内会有较多的润滑油进入回气集管), 并在负荷剧烈变化时分离出制冷剂回气中可能夹带的制冷剂液滴。并联机组所使用的压缩机类型主要有涡旋、活塞和螺杆压缩机, 涡旋和螺杆压缩机有一定的耐液击能力, 取 0.75m/s 可适当减小回气集管的直径; 活塞并联机组宜按 0.5m/s 的制冷剂流速来确定回气集管的直径。

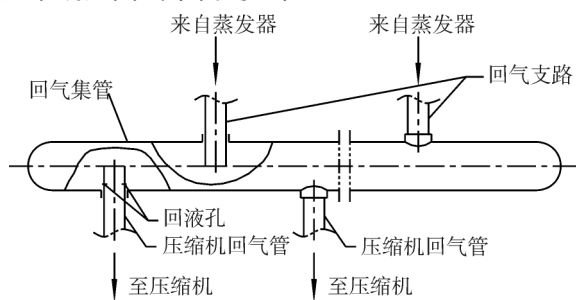


图3 回气集管结构示意图

Fig. 3 Schematic illustration of the structure of a suction manifold

兼具气液分离作用的回气集管的结构示意图如图3所示, 回气集管内径数倍于回气支管内径, 回气支路中来自蒸发器的制冷剂进入回气集管后流速迅速降低, 每台压缩机都能均匀吸气, 同时, 制冷剂气体中夹带的油滴及可能夹带的制冷剂液滴在重力作用下落入回气集管底部, 经由压缩机回气管上的回液孔返回压缩机。来自蒸发器的回气支路、压缩机回气管均应插入至回气集管的轴线或略超过轴线, 并尽量应均匀布置以防制冷剂气体“短路”。

与排气集管类似, 采用铜管制作时, 回气集管上的开孔都要采用提拔钻工艺, 且应使用超银钎料 FWL-2C 或料 303。

当并联机组的单台压缩机容量较大、压缩机台数较多时, 回气集管的管径可达 100mm , 甚至更大, 这种情况在名义输入功率较大的活塞并联机组、螺杆并联机组中非常普遍, 为了降低成本, 可用无缝钢管制作回气集管。来自蒸发器的回气

支路和压缩机的回气管通常为铜管或无缝钢管, 回气支路、压缩机回气管与碳钢材质的回气集管的焊接有以下两种情况:

(1) 紫铜与碳钢之间焊接。对于这类“铜-钢接头”, 不能将铜管直接插入无缝钢管(指集管)上对应的开孔进行焊接, 因为无缝钢管的壁厚相对较薄, 这种焊接工艺没法保证焊缝的强度。应在无缝钢管和铜管之间设联接管, 如图4所示。联接管一般使用无缝钢管制作, 插入铜管的一端加工为承口, 承口的内尺寸和深度 H 应满足相关的钎焊工艺要求。铜-钢接头钎焊时应采用银基钎料(料 302、料 303)^[14]。

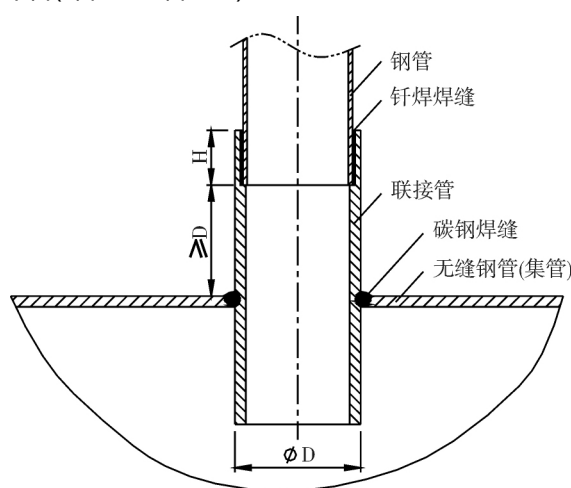


图4 联接管的结构与焊接示意图

Fig. 4 Schematic illustration of the structure and welding of the connecting tube

联接管和集管之间的焊接, 由于它们均为碳钢材质, 按下面(2)中所述的焊接工艺进行。

(2) 碳钢与碳钢之间焊接。“钢-钢接头”应采用氩弧焊封底、电弧焊盖面的焊接工艺^[17], 在有效提高焊缝质量的同时, 也能确保管道内部的清洁度。

上述的联接管的设置原则、制作方法、焊接工艺等, 同样适用于排气集管和供液集管。

3.3 供液集管

供液集管的作用是将液体制冷剂均匀地分配给每条供液支路。

供液支路中制冷剂流速的推荐值^[12, 13]为 $0.5\text{m/s} \sim 1.0\text{m/s}$, 最大不应超过 1.5m/s , 过大的流速易使液体制冷剂在到达节流机构之前产生闪发蒸气, 供液集管中制冷剂的流速不应超过 0.25m/s 。

s 据此按公式(1)即可计算出供液集管的规格。

供液集管为铜管时,其与供液支路的联接也应采用提拔孔。供液支路应从供液集管的侧部或下部引出,如图5所示。若从上部引出,在制冷系统负荷剧烈变化时,供液集管上部可能会有制冷剂气体,因而供给供液支路的是气态制冷剂或气液两相的制冷剂,而不是液态制冷剂。

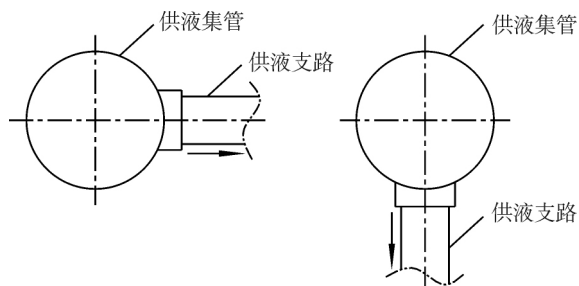


图5 供液支路与供液集管联接示意图

Fig.5 Schematic illustration of the connection between liquid branches and a liquid supply manifold

4 结论

关于并联机组的集管设计,综上所述可得到如下结论:

(1) 一台并联机组通常都配有排气集管、回气集管和供液集管。排气集管的作用是将多台压缩机的排气汇集到一起引入油分离器;回气集管的作用是将来自各个回气支路的气体制冷剂均匀地分配给每台压缩机,并保证制冷剂中夹带的润滑油能均匀地返回每台压缩机;供液集管的作用是将液体制冷剂均匀地分配给每条供液支路。

(2) 常用铜管或无缝钢管制作集管,铜管有良好的韧性、抗冲击性能及良好的焊接性能,但价格较高,当集管规格较大时常采用无缝钢管代替铜管。采用无缝钢管制作集管时,无缝钢管应彻底除锈至表面露出金属光泽。

(3) 选取合适的管内制冷剂流速,按公式(1)计算集管的内径,进而得到集管的规格。

(4) 支路为铜管时,为确保钎焊焊缝的强度,紫铜材质的集管上应采用提拔孔,而碳钢材质的集管应通过联接管过渡,插入铜管的联接管的端口应加工成内尺寸和深度均能满足相关钎焊工艺要求的承口。

(5) 排气集管和回气集管上的焊缝,均有较高的强度、韧性和抗冲击性能要求,铜材与铜材之

间的钎焊应采用超银钎料(FWL-2C、料303),“铜-钢接头”的钎焊应采用银基钎料(料302、料303),钢材与钢材焊接时应采用氩弧焊封底、电弧焊盖面的焊接工艺。

参考文献

- [1] 刘群生,张冰,马越峰,等. 制冷并联机组压缩机台数的方案设计[J]. 低温与超导, 2016, 44(7): 67-73.
- [2] 严庆云,李栋梁. 涡旋压缩机的并联使用[J]. 制冷与空调, 2007, 7(4): 78-81.
- [3] 宋良勇. 并联式涡旋压缩机应用实例分析[J]. 制冷与空调, 2007, 7(5): 81-82, 77.
- [4] 徐虹玲. 并联涡旋式压缩机油平衡特性的试验研究[J]. 制冷与空调, 2013, 13(5): 55-57.
- [5] 吴伟军,钟建法,彭仟能. 并联涡旋式压缩机在空气源热泵机组中的应用分析[J]. 制冷与空调, 2013, 13(1): 55-58.
- [6] 彭雨,林创辉,欧阳惕,等. 双涡旋压缩机并联系统设计和应用研究[J]. 洁净与空调技术, 2015(1): 94-96, 100.
- [7] 熊克非,马越峰,李天社. 氟半封螺杆并联机组[J]. 冷藏技术, 2005(3): 42-44.
- [8] 黄劲松. 氟双级多机头并联机组在冻结中的应用及设计注意事项[J]. 冷藏技术, 2006(1): 45-47.
- [9] 杨萍,代小军,黄鑫,等. 活塞并联压缩机振动有限元分析的探讨[J]. 流体机械, 2014, 42(1): 51-53.
- [10] 于世涛. 活塞式并联机组振动特性分析[J]. 制冷与空调, 2014, 12(12): 33-35.
- [11] 刘群生,陈宇慧,马越峰. 制冷并联机组压缩机油平衡的方案设计[J]. 低温与超导, 2016, 44(8): 84-88.
- [12] 刘群生,隋继学. 氟里昂并联机组的制冷系统管路设计[J]. 制冷, 2008, 27(2): 76-79.
- [13] 吴业正,韩宝琦. 制冷原理及设备[M]. 第二版. 西安: 西安交通大学出版社, 1997.
- [14] SBJ 14-2007. 氢氟氟烃、氢氟氟烃制冷系统安装工程 施工及验收规范[S]. 2007.
- [15] 赵东,臧润清,吴腾飞. 重力再循环供液制冷系统气液分离器的试验研究[J]. 低温与超导, 2015, 43(1): 59-63.
- [16] 张早校,郁永章,刘颖,等. 高效热泵型空调压缩机的研究[J]. 压缩机技术, 1994(6): 24-27.
- [17] GB 50274-2010. 制冷设备、空气分离设备安装工程 施工及验收规范[S]. 2010.