

文章编号: 1005-8893 (2002) 01-0053-04

# 制冷综合实验装置研制<sup>\*</sup>

陈育平, 周根明

(华东船舶工业学院 机械工程系, 江苏 镇江 212003)

**摘要:** 介绍了一套试验用制冷装置的设计方案及部分试验结果。该装置采用了冷却水模拟热负荷的方法, 使系统简化且节约了成本; 控制部分使用了变频调节能量、PID 调节系统参数等现代化技术, 操作灵活、方便, 从而为教学和科研提供了良好的条件。其设计技术及试验结果可供制冷空调产品开发、技术改造及类似试验装置设计时参考。

**关键词:** 制冷; 实验装置/试验; 控制; 变频

**中图分类号:** TB 663      **文献标识码:** A

实验是理工科专业教学过程中的重要环节, 是提高在校学生实践和创新能力的主要手段。为满足我院制冷及低温专业学生教学实验、运行管理实习的需要, 同时也为科研提供条件, 我院自制了一套具有现代控制技术水平的活塞压缩式制冷综合实验装置。

## 1 实验装置

### 1.1 系统设计

实验装置以提供试验条件为目的, 同时夏季可为整个环境实验室提供空调冷冻水。装置空调工况设计制冷量为 30 kW, 采用单级压缩、水冷却系统。因压缩机、冷凝器及贮液器等均为适用于 R12 的旧设备, 考虑到安全性、经济性等因素, 制冷剂选用 R12。参照典型氟里昂制冷系统<sup>[1]</sup>, 设计的制冷综合实验装置系统如图 1 所示。

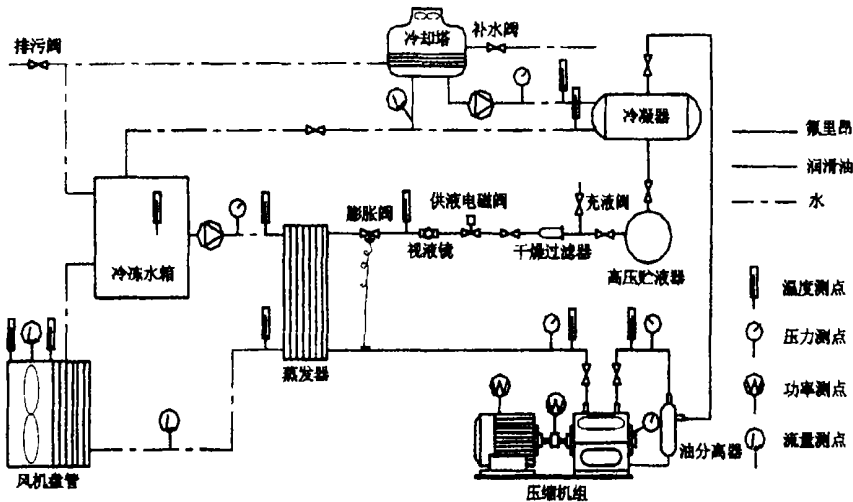


图 1 制冷综合实验装置系统图

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2001-10-23

作者简介: 陈育平 (1965-), 男, 江苏人, 工学硕士, 研究方向为热力过程及热工设备试验与研究。

活塞式压缩机压缩后的高温高压 R12 蒸汽经油分离后通入壳管式冷凝器中冷凝, 冷凝热由冷却水带走, 冷凝液排入贮液器。贮液器中液态 R12 依次流经干燥过滤器、供液阀、水分指示器等, 经热力膨胀阀节流后进入蒸发器中蒸发, 使冷冻水降温, R12 蒸汽则被压缩机吸入完成循环。

为保证装置在任何季节均能正常运行, 冷凝器至冷冻水箱间串接了一根旁通管。环境温度较低时, 风机盘管热负荷很小, 一方面会使冷冻水温度过低而保护性停机, 另一方面由于冷凝、蒸发压力差小易使膨胀阀工作不稳定, 此时可打开旁通管道上的节流阀, 将部分高温冷却水引入冷冻水箱模拟热负荷, 而冷冻水系统中过剩的冷冻水则通过水箱上的溢流管回流至冷却塔补充冷却水。与电加热模拟热负荷方法相比, 此方案结构简单, 运行成本大大降低。

该装置的控制方案如下:

(1) 运行控制: 在冷冻水温控器上设定冷冻水温度, 将冷冻水温实测值与之比较后进行 PID 运算(温控器自带), 输出的标准信号送入变频器, 产生相应频率的交流电驱动压缩机电机, 从而使装置能针对负荷的变化进行能量的无级调节, 保持冷冻水温的恒定, 同时为适应试验和教学需要, 还可人工直接设定频率; 类似地, 冷凝压力由冷凝温度控制器和冷却塔风机变频器控制; 蒸发压力由压力调节器和冷冻水管路上的电动调节阀控制; 制冷剂流量由外平衡式热力膨胀阀自动调节; 油分离器、冷却塔及冷冻水箱液位由浮球阀调节。

(2) 启停控制: 由可编程控制器执行。冷冻水温度降至设定下限值时(为保证油压, 变频器下限频率设定为 20 Hz), 关闭供液阀, 待吸气压力降至低压继电器设定下限值时, 切断压缩机电机电源停机, 随后关闭冷却水泵、冷却塔风机; 冷冻水温度高于设定上限值时, 供液阀开启, 同时冷却水泵、冷却塔风机启动, 待吸气压力升至低压继电器设定上限值时, 主接触器接通开机。在试验过程中应避免自动停机, 负荷过低时可适当引入冷却水模拟热负荷(见上); 若试验结束时未达到停机温度,

可按下控制柜上停机按钮。

(3) 保护及故障处理: 实验装置配置了多种安全保护措施一吸、排气压力保护、油压差保护、冷却水和冷媒水断流保护、冷媒水低温保护、电机过流保护等。将这些控制元件的信号分别接至 PLC 的输入端, 当其中任何一项出现故障时立即切断压缩机电源, 停止制冷装置运行, 并发出声光报警信号。控制柜上的多个故障批示灯对应显示出故障原因, 帮助维护人员迅速排除故障。此外, 任何紧急情况下操作人员均可通过急停按钮强制紧急停车, 并在总供电线路中装有漏电保护器。

除采用 PLC 自动控制方式外, 该装置还可手动控制, 以便于直观教学和培训。当旋钮旋至手动方式时, 操作控制柜上多对按钮通过继电器、接触器控制系统各设备的启停, 压缩机能量由多缸机传统的启动—卸载能量调节机构调节, 设备启停逻辑顺序的设计可有效防止反序操作可能引起的设备损坏事故。

## 1. 2 设备选型及安装调试

设备选型时综合考虑到先进性、可靠性等因素, 蒸发器选用波纹板式, 冷却塔采用低噪声逆流式, 供液电磁阀选用隔膜式, 变频器、PLC 选用三菱系列产品, 膨胀阀、水分指示器、压力继电器等为 Danfoss 产品。温度用高精度温度巡检仪测量, 压力用压力传感器通过二次仪表显示, 电机功率、效率使用便携式电机经济运行测试仪在线测量, 用差压式流量计测量水流量, 热球风速仪测量风速。

安装调试严格按照产品说明书及施工规范进行。

## 1. 3 性能参数

实验装置安装调试结束后进行了全面测试, 其中性能测试数据及结果见表 1 至表 3。

### 1. 3. 1 实验数据

实验装置热惯性较大, 取连续测量几组数据的平均值, 见表 1。

表 1 实验装置性能测试数据

温度/℃

冷冻水			冷却水			压缩机吸气		压缩机排气		阀前温度	压缩机轴功率 / kW
进口温度	出口温度	流量/ (m <sup>3</sup> /h)	进口温度	出口温度	流量/ (m <sup>3</sup> /h)	温度	压力/MPa	温度	压力/MPa		
16.5	9.5	3.28	26.2	39.2	2.24	10.0	0.315	68.0	1.061	28	7.934

1.3.2 计算模型

忽略跑冷损失及吸排气阀、换热器、管道内的流动阻力，节流过程视为等焓过程，压缩过程简化为从蒸发压力到冷凝压力的多变压缩过程<sup>[2]</sup>，则根据文献[2]中制冷剂热力性质计算程序或热力性质图表，循环过程各状态点参数见表2。

表2 循环各状态点参数

点号	$p/\text{MPa}$	$t/^{\circ}\text{C}$	$h/(\text{kJ/kg})$	$v/(\text{m}^3/\text{kg})$	备注
1	0.315	10.0	357.0	0.057 1	压缩机吸入状态点
2s	1.061	60.0	379.5	—	等熵压缩终点
2	1.061	68.0	388.5	—	实际压缩终点
3	1.061	28.0	227.1	—	节流前状态
4	0.315	0.6	227.1	—	节流后状态

1.3.3 数据处理及结果

数据处理及结果（部分）见表3。

表3 计算公式及结果<sup>[2,3]</sup>

项目	计算式	结果
装置净制冷量/ $\text{kW}$	$\dot{Q}'_0 = G_0 C \Delta t_{w1}$	26.71
冷却水带走热量/ $\text{kW}$	$\dot{Q}'_k = G_k C \Delta t_{w2}$	33.87
空调工况制冷量/ $\text{kW}$	$\dot{Q} = K \dot{Q}'_0$	31.52
冷冻水泵携入功/ $\text{kW}$	$W_e = G_w \Delta P_w / \eta_b$	0.18
冷却水泵携入功/ $\text{kW}$	$W_c = G_k \Delta P_k / \eta_b$	0.13
蒸发器总制冷量/ $\text{kW}$	$\dot{Q}_0 = \dot{Q}'_0 + W_e$	26.89
指示功率/ $(\text{kW/kg})$	$W_i = \dot{Q}_k - \dot{Q}_0$	6.85
单位制冷量/ $(\text{kJ/kg})$	$q_0 = h_1 - h_4$	129.9
单位冷凝负荷/ $(\text{kJ/kg})$	$q_k = h_2 - h_3$	161.4
理论比功/ $(\text{kW/kg})$	$w_0 = h_{2s} - h_1$	22.5
指示比功/ $(\text{kW/kg})$	$w_i = h_2 - h_1$	31.5
压缩机内计算流量/ $(\text{kg/s})$	$W / w_i$	0.217
冷凝器内计算流量/ $(\text{kg/s})$	$\dot{Q}_k / q_k$	0.209
蒸发器内计算流量/ $(\text{kg/s})$	$\dot{Q}_0 / q_0$	0.207
制冷剂流量计算误差		$< 5\%$
制冷剂冷凝热/ $\text{kW}$	$\dot{Q}_k = \dot{Q}'_k - W_c$	33.74
理论循环制冷系数	$\epsilon_0 = q_0 / w_0$	5.77
指示效率	$\eta_i = w_0 / w_i$	0.714
实际循环制冷系数	$\epsilon_s = \dot{Q}'_0 / N_s$	3.37
循环热力完善度	$\eta = \epsilon_s (T_g - T_l) / T_1$	0.232

说明： $G_w$ 、 $G_k$ 分别为冷冻水、冷却水容积流量； $G_0$ 、 $G_k$ 分别为冷冻水、冷却水质量流量。

计算表明：测量准确，实验装置制冷量达到设计要求。

1.4 试验项目

1.4.1 教学

①制冷机性能试验：测量蒸发器冷冻水进出口温度及流量，间接计算出机组制冷量。分别调节蒸发和冷凝压力可得到制冷量随工况变化的曲线。②制冷机组热平衡试验，测量蒸发器冷冻水、冷凝器

冷却水进出口温度及流量，测量压缩机功率，进行热量和流量平衡验算，判断测量数据的可靠性，并进行分析。③风机盘管性能实验：测量冷冻水进出口温度及流量，计算换热量，改变风量（多级电机+调风门），测量风量（先用等面积法对风道截面平均速度点进行标定）、进出风温度（多点平均）及盘管压力损失，整理成传热特性关联式。④压缩机性能试验：测定压缩机的制冷量和轴功率随工况变化的曲线。⑤制冷负荷变频控制实验：测量不同频率下制冷量的变化，测定不同PID调节参数对调节性能的影响。⑥学生实习及空调机组操作、运行管理、维护培训（劳动局指定培训点）。

1.4.2 科研

①制冷设备性能试验研究：测试产品性能，进行分析研究。②制冷剂热力性质研究。③制冷系统仿真研究：通过试验缩小设备仿真模型偏差。

2 几点说明

（1）能量变频调节是制冷空调行业新技术之一。采用变频调节，压缩机启动性能良好，对电网冲击小，具有明显节能效果并可改善空调舒适性。考虑到活塞式压缩机易损件多、运转平稳性差、振动噪声大及润滑问题，新型变频制冷空调装置均选用回转式压缩机，但目前使用的装置中活塞式仍占很大份额，这些设备变频技术改革时主要关心的问题是：润滑和共振。经过试验，对开启活塞式压缩机（齿轮泵供油），当频率高于（20~25）Hz时，油压变化不大，完全能满足润滑要求，可将变频器下限频率设置为25 Hz左右。考虑到压缩机电机为普通电机及活塞式压缩机不平衡惯性力矩大等因素，变频器上限频率可设为65 Hz。

压缩机的共振发生在某个很小的频率段内，通过试验可找出共振点（本实验装置为40 Hz~43 Hz），然后设置变频器参数，屏蔽该频率段即可。

（2）氟里昂制冷系统通常采用热力膨胀阀作为节流元件，其调节性能较差，新型变频制冷空调装置多采用电子膨胀阀，将蒸发器出口过热度、蒸发压力、环境温度等参数输入调节器，对电子膨胀阀进行多参数模糊控制，有关技术国内正在研究之中。本实验装置仍使用热力膨胀阀，在设定频率范围内，其调节能力基本能适应，存在问题是调节滞后和蒸发器出口过热度随工况（蒸发温度）而变

化。

(3) 水系统热容量大, 参数调节过程时间长, PID 调节器的设定须进行大量长时间的试验, 单从这点看, 仿真技术研究对优化控制、现代化产品开发具有深远的意义。

### 3 结束语

实验装置建成后 3 年来运行稳定可靠, 在教学和科研中均发挥了重要作用, 同时通过对外技术培训创造了直接经济效益。由于装置系统设计合理,

控制灵活、先进, 测量手段可靠, 且利用率高、教学效果良好, 因而该自制项目荣获学院“实验技术成果一等奖”。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 吴业正. 小型制冷装置设计指导 [ M ] . 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [ 2 ] 陈光明, 陈国帮. 制冷与低温原理 [ M ] . 杭州: 浙江大学出版社, 2000.
- [ 3 ] 吴业正. 制冷原理与设备 [ M ] . 西安: 西安交通大学出版社, 1997.

## Development of the Integrative Refrigerating System Used for Experiments

CHEN Yu—ping, ZHOU Gen—ming

(Dept. of Mechanical Eng. East China Shipbuilding Institute, Zhenjiang 212003, China)

**Abstract:** The design of a refrigerating system used for experiments and parts of experimental results on it were introduced. In the system, the method of simulating heat load with the heat of cooling water was applied to simplify the system and to save the cost. And the modern technologies such as regulating the cooling amount by frequency converter, adjusting system parameters by PID governor, and etc, were used to improve operating and controlling performances. So it provided good conditions for teaching research. The designing techniques of it and experimental results on it could provide convenience for the development of refrigerating and air control products, the technical improvement of old products, and the design of similar experimental devices.

**Key words:** refrigerating; experimental system/test; control; frequency conversion