

《热泵技术》

课程实验教学讲义

大连理工大学土木水利实验教学中心

建筑环境与设备工程实验室

2012 年 10 月

热泵制热性能实验

（一）实验目的

- 1) 掌握双级和单级空气源热泵压缩系统的工作原理
- 2) 掌握实际热泵循环效率的影响因素和变工况时系统性能变化规律
- 3) 了解变容量特性对双级压缩热泵性能影响
- 4) 了解节流机构开度对双级压缩热泵机组中间补气量以及系统性能的影响

（二）实验内容

- 1) 根据实验测得的参数绘制制冷剂循环的压焓图。
- 2) 观察室外环境温度对热泵机组制热量和性能的影响，分析空气源热泵低温适应性。
- 3) 节流装置的工作特性分析

（三）实验原理

热泵基础

热泵常采用电能驱动，从低温热源中吸取热量，并将其传输给高温热源以供使用，传输到高温热源中的热量不仅大于所消耗的能量，而且大于从低温热源中吸收的能量。在标准工况下，热泵系统消耗一个单位的能量，从低温热源中提取两个单位的能量，合在一起输出三个单位的能量（见图 1）。热泵机组主要由四部分构成，分别是压缩机，加热盘管（即冷凝器）、膨胀阀、吸热盘管（即蒸发器）（见图 2）。

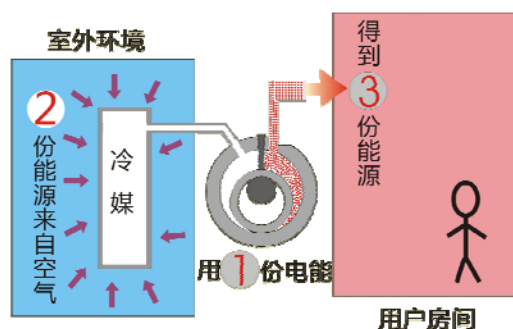


图 1 热泵原理示意图

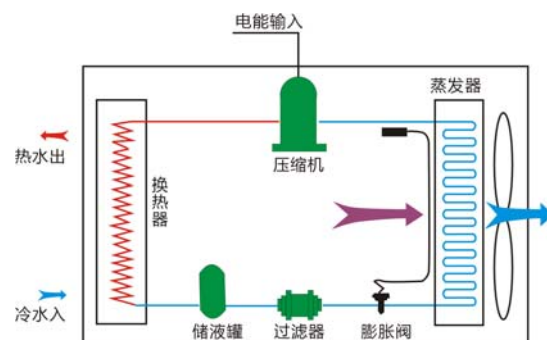


图 2 热泵机组基本构成

双级压缩热泵循环

本实验台采用的一次节流不完全中间冷却的双级压缩制冷/热泵循环如图 3 所示。

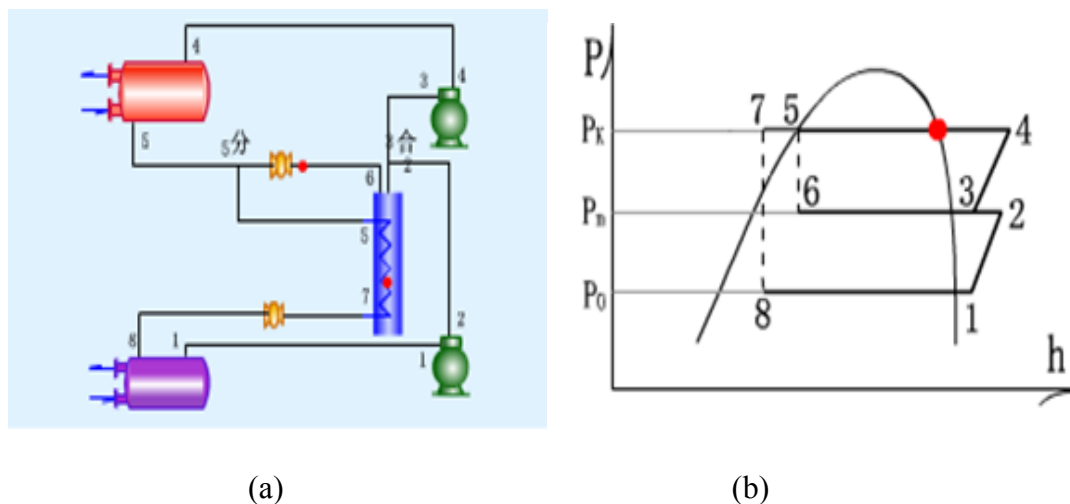


图 3 一次节流不完全中间冷却的双级压缩制冷/热泵循环

压缩过程分两阶段进行：



1. 来自蒸发器的低温制冷剂蒸气（压力为 P_0 ）先进入低压级压缩机，在其中压缩到中间压力 P_m

2. 经过中间冷却器冷却，冷却为过热蒸气

3. 再进入高压级压缩机，将其压缩为冷凝压力 P_k ，排入冷凝器中

1) 单位质量制冷量： $q_0 = h_1 - h_8$ kJ/kg

2) 单位容积制冷量： $q_v = q_0 / v_1$ kJ/m³

3) 单位冷凝热负荷： $q_k = h_4 - h_5$ kJ/kg

4) 低压级单位理论压缩功： $w_{0d} = h_2 - h_1$ kJ/kg

5) 高压级单位理论压缩功： $w_{0g} = h_4 - h_3$ kJ/kg

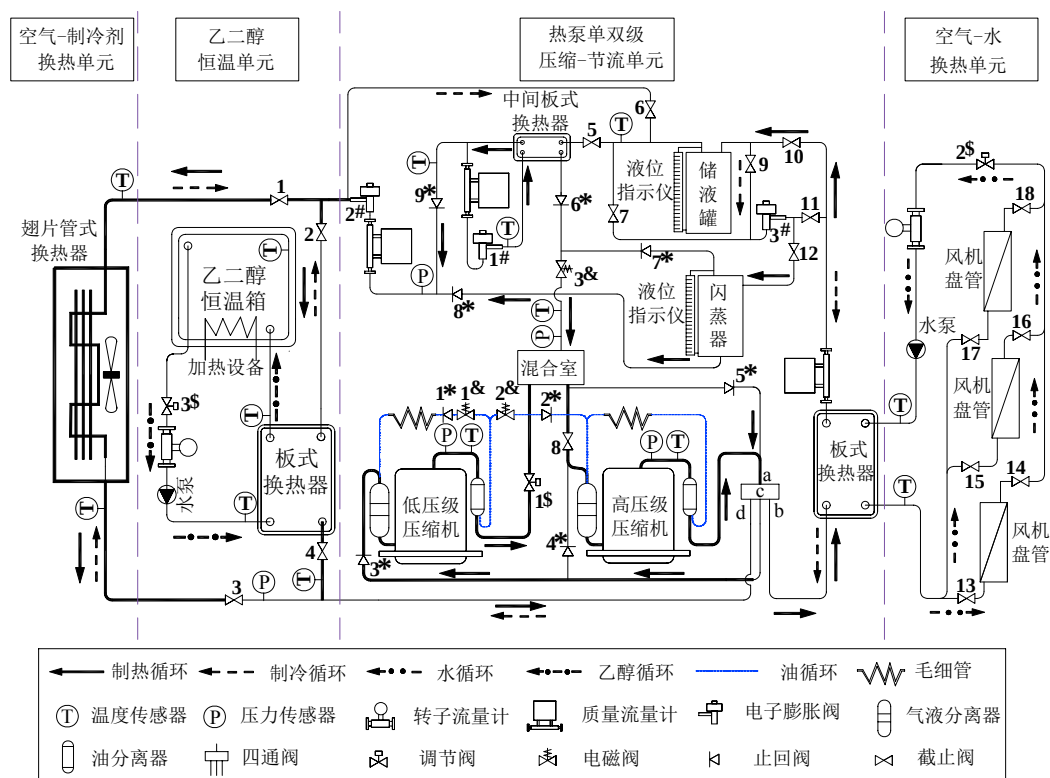
6) 低压级制冷剂的质量流量： $M_{Rd} = Q_0 / q_0$ kg/s

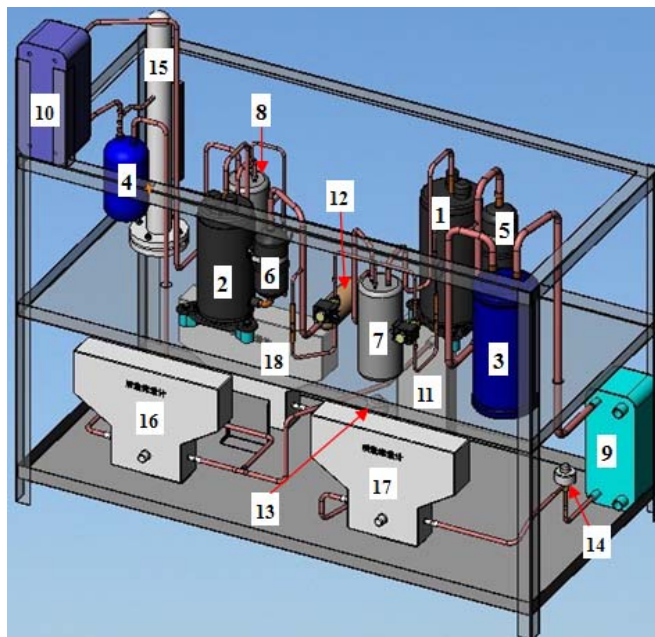
7) 高压级制冷剂的质量流量： $M_{Rg} = M_{Rd} \frac{h_{3'} - h_7}{h_{3'} - h_5}$ kg/s

$$8) \text{ 性能系数: } \varepsilon_0 = \frac{Q_0}{P_{od} + P_{og}} = \frac{M_{Rd} \cdot (h_1 - h_8)}{M_{Rd} (h_2 - h_1) + M_{Rg} (h_4 - h_3)}$$

(四) 试验装置

空气源热泵制热性能实验装置如图 4--图 7 所示。包括：双级压缩热泵机组，变频压缩控制系统，电子膨胀阀运行控制系统，湿度控制系统，温度、压力、质量流量、有用功率等运行参数显示系统，数据采集系统，乙二醇溶液箱模拟环境温度系统和冷热恒温室。热泵机组主要由低压压缩机、高压压缩机、中间换热器、室内外换热器、电子膨胀阀等主要部件、附件及制冷剂连接管道构成。在多可变参数下，能实现高低压压缩机耦合过程的制冷剂循环压焓图，工质循环量、节流阀的调节特性以及双级/单级压缩热泵系统性能测定等等。





- | | | | |
|-------------------------|-------------------------|------------|--------------|
| 1-低压级压缩机 | 2-高压级压缩机 | 3-低压侧储液器 | 4-高压侧储液器 |
| 5-低压机气液分离器 | 6-高压机气液分离器 | 7-低压机油分离器 | 8-高压机油分离器 |
| 9-蒸发板式换热器 | 10-冷凝板式换热器 | 11-中间板式换热器 | 12-中间混合室 |
| 13-1 [#] 电子膨胀阀 | 14-2 [#] 电子膨胀阀 | 15-液位计 | 16-冷凝器侧质量流量计 |
| 17-蒸发侧质量流量计 | 18-中间喷射侧质量流量计 | | |

图5 实验台虚拟连接图



图6 恒温恒湿室

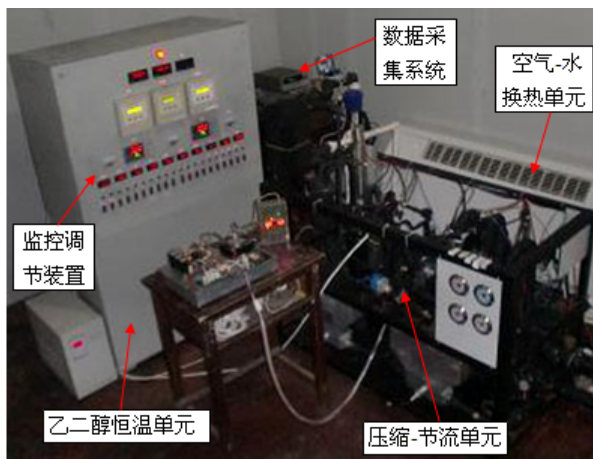


图7 实验台总体布置

实验台数据采集系统的主要作用是对工况恒定且运行平稳的实验台各运行参数进行采集和存储，以便于对实验系统性能进行数据分析（图7）。为此，本实验台的数据采集系统选用了具有较高精度的测试仪器以及具有6位半精度的KEITHLEY-2700数据采集仪和2块具有40A/D转换通道的7702数据采集卡对所有温度、压力和流量等参数进行采集，并通过RS232接口与计算机连接，实

现传感器与计算机之间的数据传输和存储。各仪器设备具体性能参数详见表 1。

表 1 数据采集系统各设备的性能参数

名称	型号	特征参数	运行范围	精度	实物
温度传感器	Pt100	4 线 A 级 不锈钢 5.2mm 标准型 $\Gamma_{0.9}$ 大约 10s	-50℃~200℃	$\pm(0.15+0.002 \cdot T)$	
压力传感器	MIDAS S05 401010-459	4~20mA 2 线 抗过载性-0.1~4MPa $\Gamma_{0.9}$ 大约≤5ms	0~1MPa	≤5kPa	
	MIDAS S05 401010-459	1~5V 3 线 抗过载性-0.1~10MPa $\Gamma_{0.9}$ 大约≤5ms	0~4MPa	≤20kPa	
转子流量计	LWGYA10	介质温度: -40~80℃ 介质粘度: $\leq 5 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 耐受压力: 32MPa 模拟量输出: 4~20mA	0.15~1.5m ³ h ⁻¹	±0.2%FS	
质量流量计	KLB-CMFI-DN3	流体温度: -40~200℃ 环境温度: 0~40℃	0~350kg h ⁻¹	±0.2% FS	
	KLB-CMFI-DN10	环境湿度: ≤90%RH 模拟量输出: 4~20mA	0~1200kg h ⁻¹	±0.2% FS	
磁翻板液位计	TQ-UHZ	流体温度: -50~200℃ 耐受压力: 4MPa 模拟量输出: 4~20mA	0~0.25m	±4% FS	
电功率变送器	ZW1603	最大电压: AC330V 最大电流: 15A	0~5kWh	±(0.4 示值+0.1 量程)	
数据采集仪	KEITHLEY-2700	2 个插槽 程控接口: RS-232	电压、电流、电阻和频率等进行测量	六位半采集精度	

注: $\Gamma_{0.9}$ 为到达最终读数 90%处所需的时间。

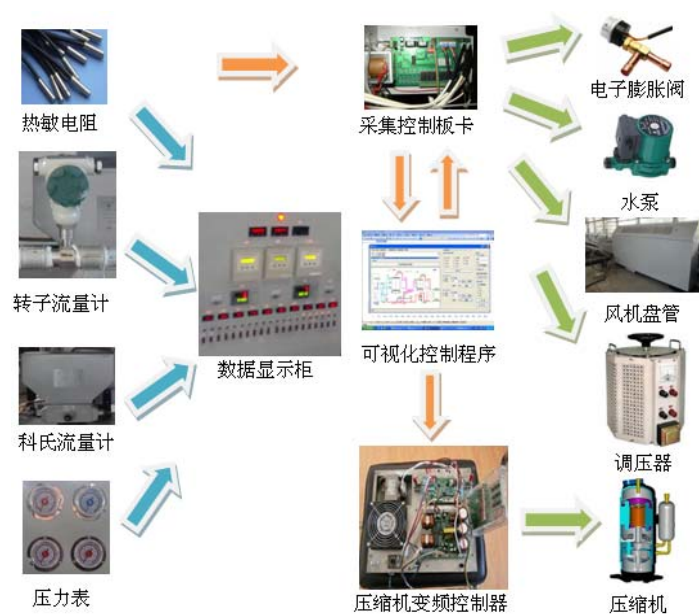


图 8 测试监控系统流程图

（五）试验步骤

- 1) 检查整个系统装置,若无异常各装置按顺序接通电源(需在老师指导下完成)。
- 2) 如需开冷库,将冷库温度调节并控制在预先设定温度上。
- 3) 冷库温度达到设定温度后开机组,系统稳定后记录数据。
- 4) 分析整理数据。
- 5) 试验完成后按指导老师要求关闭机组、电源。

（六）试验数据记录及处理

1) 实验概况记录

实验名称: _____; 试验时间: ____年____月____日;
 环境温度: _____℃; 机组型号: _____;
 机组铭牌制冷(热)量: _____kW; 机组铭牌功率: _____kW;
 泵铭牌功率: _____kW; 试验人员: _____;
 指导老师: _____。

2) 试验数据记录

表 2 热泵性能测试记录表

组号	P_1	P_2	P_3	P_4	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	W	COP
1												
2												
3												
4												
5												

P_1 、 t_1 为低压压缩机吸气压力温度；

P_2 、 t_2 为低压压缩机排气压力温度；

P_3 、 t_3 为高压压缩机吸气压力温度；

P_4 、 t_4 为高压压缩机排气压力温度；

T_5 、 t_6 为水泵进出口温度；

W 为机组总耗电量。

（七）思考题

- 1) 通过理论计算获得空气源热泵的理论制热性能 COP 值，比较实验值与理论值的差距，试指出导致这种差异的原因；
- 2) 低温环境下制热量及 COP 下降明显，试分析其原因；
- 3) 分析影响双级压缩热泵系统性能的因素；
- 4) 分析双级压缩热泵系统中两个节流机构开度关系。