

饱和蒸气压力温度及超临界相态实验

一、实验目的

1. 通过不同工质的饱和蒸气压力和温度关系实验，加深对饱和状态的理解；
2. 通过不同工质的亚临界和超临界流态观测及压力和温度关系实验，加深对临界乳光现象和超临界状态流体的理解；
3. 通过对实验数据的整理，掌握不同工质饱和蒸气 p - T 关系图表的编制方法。

二、实验装置及原理

本实验系统(如图 1)由蒸气发生系统和数据采集系统两部分组成，蒸气发生系统包括可视高压蒸气发生器、加热器、冷却水套、半导体制冷、排液阀、实验工质，数据采集系统包括温度传感器、压力传感器、调压器、上位机。

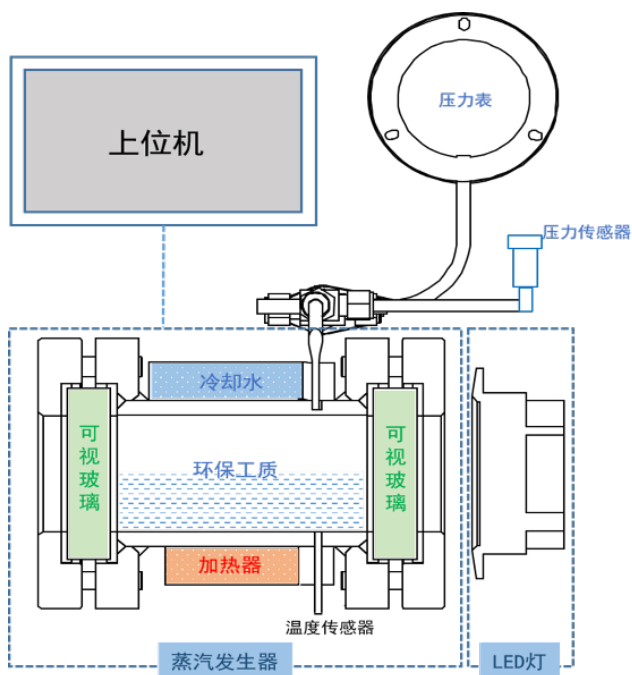


图 1 实验系统图

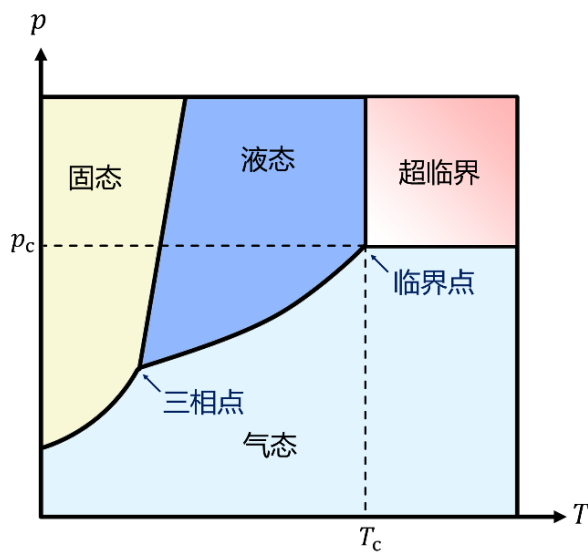


图 2 常见物质 p - T 图

物质由液态转变为蒸气的过程称为汽化过程。汽化过程总是伴随着物质分子回到液体中的凝结过程。到一定程度时，虽然汽化和凝结都在进行，但汽化的分子数与凝结的分子数处于动态平衡，这种状态称为饱和态，在这一状态下的温度称为饱和温度。此时蒸气分子动能和分子总数保持不变，因此压力也确定不变，称为饱和压力。饱和温度和饱和压力的关系一一对应(如图 2)。

临界乳光是当物质处在临界点时，密度涨落很大，光线照射在其上会发生强烈的分子散射的现象。当处于亚临界的物质被加热达到临界点时，气液界面消失，气液混浊发黑，温度压力超过临界点后，混浊现

象消失，变为清亮的单一超临界状态。停止加热后，温度下降到临界点同样会出现临界乳光现象，由超临界状态变回亚临界状态，气液界面重新出现。

本实验台可做多种不同工质（R600A、R410A、R245fa、水等）的饱和蒸气压力和温度关系实验，加热温度最高可达 150℃，系统承压最高可达 10MPa。

三、实验方法及步骤

- 1. 熟悉实验装置及使用仪表的工作原理和性能；
- 2. 接通电源，观测可视窗口内工质的状态和液位高度，进入“pT 实验”界面（如图 3）；
- 3. 在触摸屏上选择控制方式，输入加热电压（推荐 80-100 V）或设定温度，使工质温度升高到某温度（30℃～临界压力附近）（本步骤由指导教师完成）。达到这个温度后，将加热电压降低到 20V 左右，恒定 5-15 分钟，待汽、液相温差小于设定值，点击“采集数据”，作为当前温度下的稳定工况数据；
- 4. 重复步骤 3，在亚临界温度和压力范围内实验不少于 6 次，且实验点应尽量分布均匀；
- 5. 在触摸屏上将加热电压不断调整（推荐 20-60 V），待工质压力逐渐升高到临界压力附近时，观测临界状态，超过临界压力后，观测超临界现象（实际并未进行这一操作，无实际使用）
- 6. 工质达到超临界以后，在触摸屏上开启冷却水降温开关，把工质温度降低到亚临界，观测降温过程临界现象并记录临界压力和温度；
- 7. 实验完毕后，将触摸屏上冷却开关打开 10 分钟，将工质冷却到 40-60℃；
- 8. 关机，断开电源。

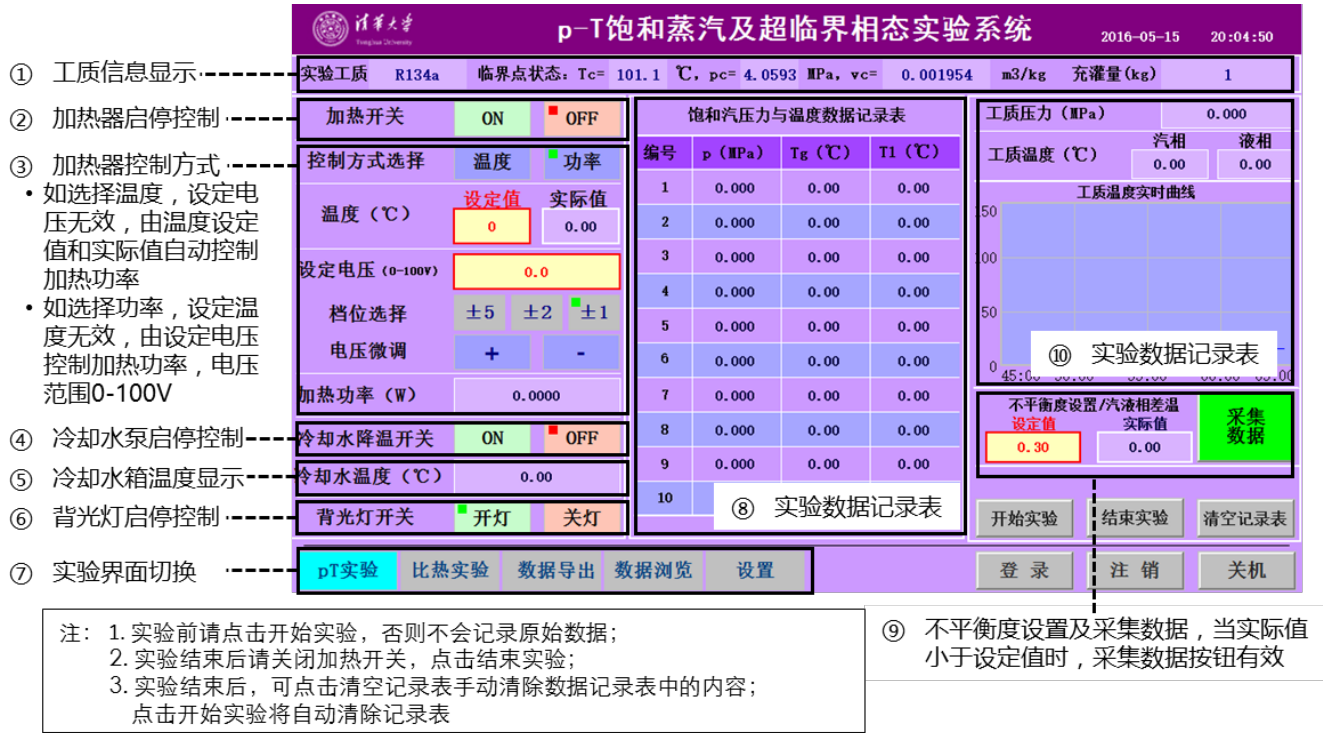


图 3 实验操作界面

四、数据记录

工质名称				大气压力/ MPa		0.10		室温 /°C			
实验 次数	饱和压力（绝压） MPa			饱和温度 ℃		误差					
	压力 传感器 读数 p'	绝对 压力 $p=p'$	温度读 数 t 对应 压力 p_1	温度 读数 t	绝对压 力 p 对 应温度 t_1	$\Delta t=t-t_1$	$\frac{\Delta t}{t+273.15}\times 100\%$	$\Delta p=p_1-p$	$\frac{\Delta p}{p_1}\times 100\%$		
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

五、实验报告

1. 绘制实验装置简图。
2. 绘制 p - t 关系曲线，将实验结果绘在坐标纸上，清除偏离点，绘制曲线。

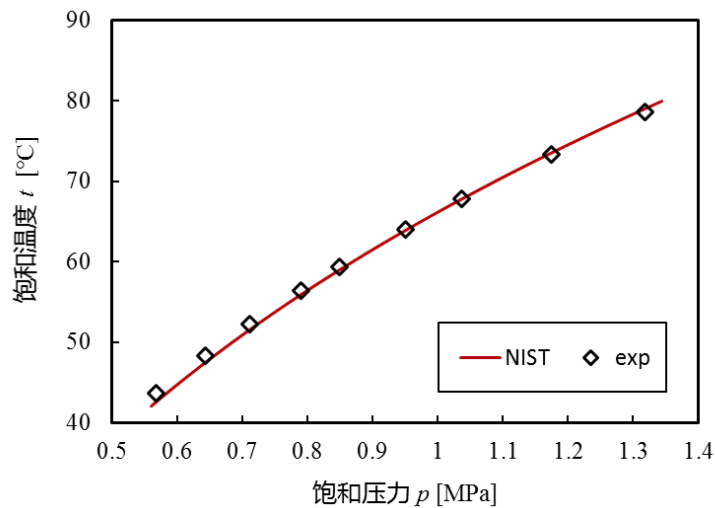


图4 R600a 饱和蒸气温度与压力曲线

3. 拟合经验关联式

在对数坐标下，饱和蒸气压力和温度近似满足线性关系，饱和蒸气压力和温度的关系可近似用以下经验公式进行关联拟合：

$$t = m \cdot p^n$$

$$\ln t = n \ln p + \ln m$$

式中， t 为温度，单位 $^{\circ}\text{C}$ ， p 为绝对压力，单位 MPa， m 和 n 为由实验数据得到的拟合参数。

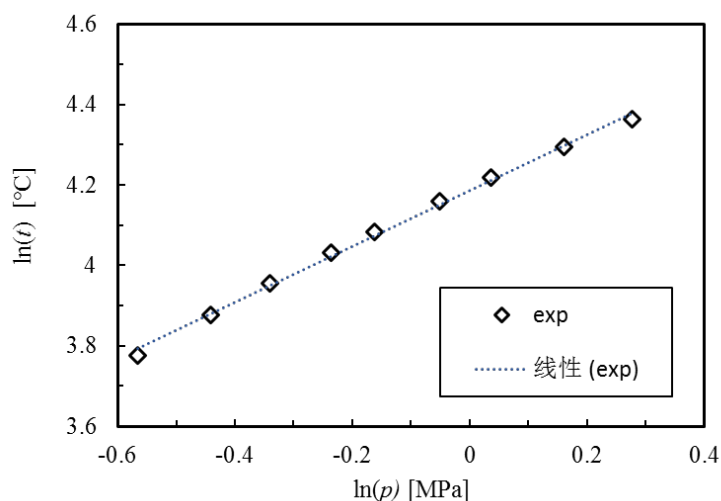


图 5 R600 饱和蒸气温度与压力曲线（对数值）

4. 误差分析。以温度测量值 t 为基准，查表（实验工质热力性质图表）得测量值 t 对应的饱和压力值 p_1 ，计算 p_1 与实测压力值 p 的绝对偏差和相对偏差；以压力测量值 p 为基准，查表（水和水蒸气热力性质图表）得测量值 p 对应的饱和温度值 t_1 ，计算 t_1 与实测温度值 t 的绝对偏差和相对偏差。
5. 完成思考题。

- 1) 不同工质（R134a、R600a、R236fa、R410A、R245fa）的饱和蒸气压测量的不确定度来源有哪些？
- 2) 查找实验对应的工质的饱和蒸气压状态方程，与实验所做的数据进行对比误差分析。

为方便同自行计算工质饱和蒸气压的参考值，同时给出 R134a、R600a、R236fa 的 Wagner 25 型饱和蒸气压方程，该方程并非国际采用的标准方程，只是为方便同学计算，给出的显式形式。该方程的参数值使用文献数据拟合获得。

Wagner25 型饱和蒸气压方程形式如下：

$$\ln(p / p_c) = T_c / T (A_1 \tau + A_2 \tau^{1.5} + A_3 \tau^{2.5} + A_4 \tau^5)$$

其中， $\tau = 1 - T/T_c$ ， T_c 为临界温度， p_c 为临界压力。参数值见下表

	R134a	R600a	R236fa
T_c / K	374.183	407.854	398.070
P_c / kPa	4057.21	3637.49	3180.77
A_1	-7.66804	-6.87455	-7.85758
A_2	1.84376	1.42077	1.82555
A_3	-2.70786	-1.46627	-3.04877

A4	-3.23384	-2.77223	-3.50977
----	----------	----------	----------

请用上述方程计算所做实验压力下的饱和工质温度，简述计算程序或计算原理，计算结果保留 6 位有效数字。

3) 临界乳光产生的原因是什么？可能应用到哪些地方？

六、注意事项

1. 实验装置通电后不得离开。
2. 实验台罐体内部均存在高压，若超压报警，应及时通水冷却，以免发生爆炸。
3. 实验不能补做，请安排好实验时间。有问题请联系李辉老师：13910997103。