

双液系的气液平衡相图

曹嘉祺 PB18030874 化学与材料科学学院有机化学系¹

December 22, 2020

¹中国安徽合肥中国科学技术大学 Email: mkq@mail.ustc.edu.cn

Contents

I 前言	1
1 实验原理	2
1.1 露茎校正	3
1.2 压力校正	3
II 实验部分	4
2 实验仪器与试剂	5
2.1 仪器	5
3 实验步骤	6
3.1 安装沸点仪	6
3.2 测正丙醇的沸点	6
3.3 取样并测定折光率	6
3.4 加入水后进行测量	7
3.5 查出组成	7
4 实验数据及数据处理 (见附件)	8
5 结果分析与讨论	9
5.1 实验结果	9
5.2 实验讨论	13

III	参考文献	14
IV	附录: 数据处理过程	16
6	原始数据	17
6.1	压强记录	17
6.2	标准曲线的标定	17
6.3	醇加水的数据	18
6.4	水加醇的数据	18
7	数据处理	20
7.1	标准曲线的绘制	20
7.2	根据标准曲线和折光率推算摩尔分数	25
7.3	摩尔分数沸点曲线	27

Abstract

正丙醇-水是完全互溶体系, 在本实验中用沸点仪测定出在一个大气压下, 不同浓度的正丙醇-水双液体体系的沸点, 并且用数字阿贝折射仪确定双液体体系的恒沸混合物的组成, 得到正丙醇-水双液体体系的气液平衡相图。

- 关键词: 气液平衡 相图 最低恒沸点

Abstract

This experiment measured the phase diagram of a two-component system, the n-polyalcohol-water system in a certain press. Then uses refractometer to draw the phase diagram, and according to the phase diagram to work out the minimum constant boiling point. Master how to use refractometer.

- key words: phase diagram of the binary liquid system, refractive index, water-n-propyl alcohol system, the lowest boiling temperature

Part I

前言

Chapter 1

实验原理

常温下的双液系有的只能部分互溶, 有的则能完全互溶。本实验所用的水-正丙醇双液系是完全互溶的。双液系的沸点与外压和其组成有关, 且其气相和液相的组成一般不同。通常用几何作图的方法将双液系的沸点对其气相和液相的组成作图, 得到双液系的 T - x 相图。完全互溶双液系在恒定压力下的气液平衡相图可分为三类, Fig 1.1 :

- 理想溶液, 满足拉乌尔定律。
- 实际溶液, 偏离拉乌尔定律较远, 具有最低恒沸点。
- 实际溶液, 偏离拉乌尔定律较远, 具有最高恒沸点。

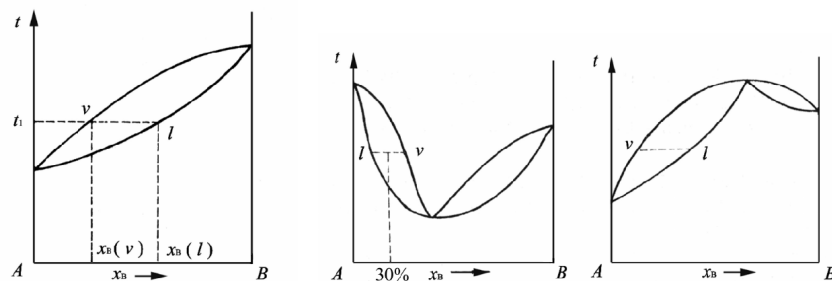


Figure 1.1: 三种溶液的相图

正丙醇-水等体系具有最低恒沸点, 为第二类。

本实验两相中的成分分析均采用折射率法, 通过测折光率的大小在工作曲线上找出未知溶液的浓度与组成, 从而画出体系的相图。

沸点的测定: 用玻璃水银温度计测量溶液的沸点, 需作两种校正:

1.1 露茎校正

这是由于温度计未能完全置于被测体系中而引起的。根据玻璃与水银膨胀系数的差异, 校正值的计算式是:

$$\Delta t_{\text{露}} = 1.6 \times 10^{-4} \cdot n \cdot (t_{\text{观}} - t_{\text{环}})$$

式中的 n 是露出的那段水银柱的长以温度差作为单位, 1.6×10^{-4} 是水银对玻璃的相对膨胀系数。但本次实验所用温度计是数显的电子温度计, 所以以上操作实际上并没有做

1.2 压力校正

标准大气压下 ($P=760\text{mmHg}$, 即 101325Pa) 测得的沸点为正常沸点。应用特鲁顿规则及克劳修斯-克拉贝龙公式, 可得溶液沸点随大气压变动而变动的近似值为:

$$\Delta t_{\text{压}} = \frac{273.15 + t_{\text{观}}}{10} \cdot \frac{101325 - P}{101325}$$

校正后, 溶液的正常沸点为:

$$t_{\text{沸}} = t_{\text{观}} + \Delta t_{\text{压}} + \Delta t_{\text{露}}$$

Part II

实验部分

Chapter 2

实验仪器与试剂

2.1 仪器

实验所用的仪器如 Tab 2.1 所示

Table 2.1: 实验仪器		
仪器	数目	备注
沸点仪	1 套	
阿贝折射仪	1 台	上海申光仪器仪表有限公司 南大万和
精密稳流电源调压变压器	1 支	
加热套	1 台	
加热电阻丝	1 支	
电子温度计	1 台	
移液管	3 支	20mL, 50mL, 10mL
干燥吸管	若干	包含长短两种
擦镜纸	一包	
正丙醇	一瓶	
蒸馏水		

Chapter 3

实验步骤

3.1 安装沸点仪

将烘干的沸点仪安装好。

3.2 测正丙醇的沸点

用 50mL 的移液管从支管 L 中加入正丙醇溶液 50mL, 夹上电热丝夹, 打开冷却水, 插上电源, 调节变压器电压由零慢慢增加, 观察加热丝上是否有小气泡逸出, 电压控制在 15V 以内, 保温套电压控制在 150V 以内, 溶液会慢慢沸腾。体系中的蒸汽经冷凝管冷凝后, 聚于小球 D 中。冷凝液不断地冲刷 D 球, 必要时可将 D 球中的冷凝液吸入烧瓶中, 观察 B 温度计上的读数达到稳定, 此时体系处于平衡状态; 再稳定 5-7 分钟, 准确记下温度计示数, 测三次。切断电源。

3.3 取样并测定折光率

用干燥的滴定管自冷凝管中取出小球 D 内的全部气相冷凝液, 用另一支干燥吸管从 L 口中取液相液 1mL 左右, 分别放入小试管中, 并将试管置于一盛有冷水的小烧瓶中让其冷却。观察阿贝折射仪上的温度是否正确。用无尘纸擦拭镜面, 把待测的气相液, 液相液分别滴于镜面上迅速测量。每个样品测量 1 次。

3.4 加入水后进行测量

用 10mL 移液管移取 H_2O 0.5 mL, 从支管 L 加入烧瓶中, 以改变溶液的总组成, 按步骤 2 -3 测量新体系中的液相、气相的折光率和平衡时的 t 。依次向烧瓶中加入 1, 1.5, 2, 2.5, 4mL 的水, 仍按步骤 2-3 逐一进行测量, 分别得到不同组成时的气相、液相的折光率及各自的沸点。

3.5 查出组成

由以上测得的各个气相、液相样品的折光率, 从工作曲线上查找出其对应的组成。

Chapter 4

实验数据及数据处理 (见附件)

Chapter 5

结果分析与讨论

5.1 实验结果

1. 标准曲线 经过对标准曲线的绘制 Fig 5.1 , 我们利用对数函数拟合数据得到了摩尔分数和折光率之间的对应关系, 虽然也尝试了其他的拟合方式, 但只有对数函数的拟合效果最佳

$$y = 0.01464 \ln(1.5835x + 0.03743) + 1.3794$$

其中 y 表示折光率, x 表示正丙醇的摩尔分数

2. 气液相图绘制 利用特鲁顿规则及克劳修斯-克拉贝龙公式和前一节得到的关系式, 将所得的沸点数据根据大气压校正为标准值, 计算出气液组分的摩尔分数, 根据沸点和气液组分摩尔分数进行绘图 Fig 5.2

考虑到可能存在的坏点导致曲线并不平滑, 采用 bezier 方法进行了平滑化, 得到了 Fig 5.2 所示的结果, 可以明显地看出其中的共沸点, 数据处理效果良好

3. 结论 不难看出水—正丙醇体系是属于正偏差很大的体系, 可在 T~x 图上产生最低点, 该点即为最低恒沸点, 在该点, 体系的气液两相有共同的组成, 该混合物不能通过蒸馏加以分离。随着组成的不同, 双液系的沸点是不一样的; 正丙醇—水体系的液相与气相的 T-x 相图是不一样的, 证明了“一般情况下, 双液系的液相与气相组成是不一样的; 虽然随着组成的改变, 双液系的沸点也随着改变, 但是总有一个最低值存在, 如上所说, 即最低恒沸点。也说明了正丙醇—水体系属于第三类完全互溶体系。由图不难读出可见最低恒沸点为 87.98°C, 关于恒沸混合物含正丙醇的质量百分比为 71.82%。书中给出最低恒沸点为: 87°C 正丙醇的质量百分比为 69%-71%。实验值与理论值略有偏差。

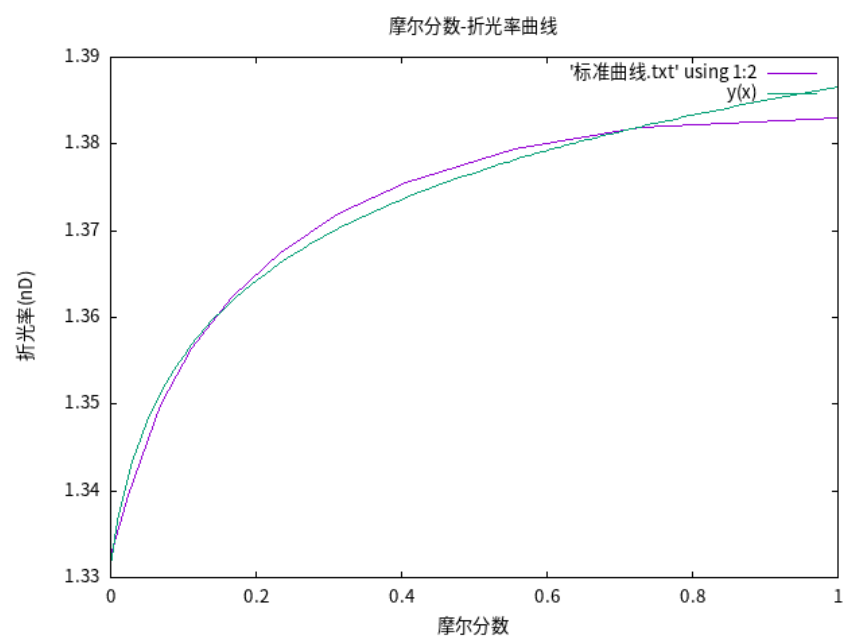


Figure 5.1: 对数曲线拟合结果

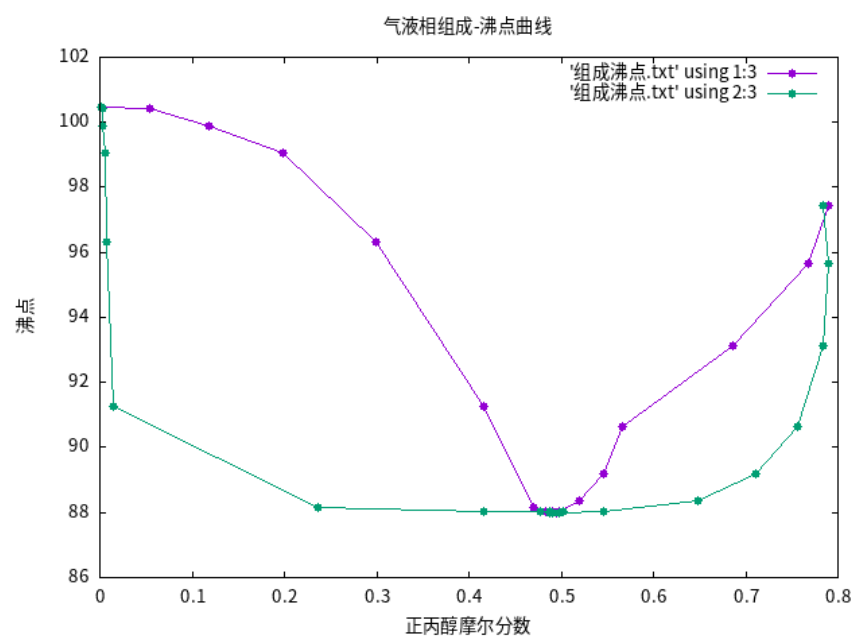


Figure 5.2: 水-正丙醇体系气液相图

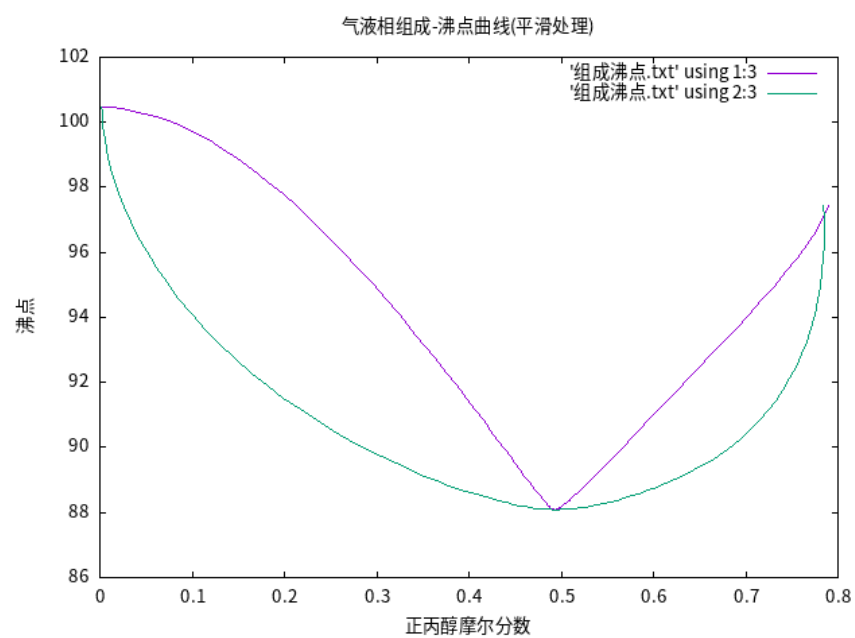


Figure 5.3: 水-正丙醇体系气液相图 (平滑处理)

5.2 实验讨论

1. 误差分析

- (a) 本实验实际为两个人合作完成。由于各人的操作习惯、读数习惯和实验所用仪器的不同, 因此不可避免产生了误差。在最后所得的相图上可以看出, 两部分的图像拟和得并不是很好。
- (b) 读温度时, 体系未达到气液平衡, 实验要求要平衡 6-7 分钟, 但实际操作中往往没有平衡那么久, 而且温度计读数在沸腾时总是有 0.01°C 左右的波动, 故读数上也会有一定的误差。
- (c) 实验中有过热和分馏作用, 且气相组分往往不能完全取出, 会影响气相的浓度, 造成误差。
- (d) 实验中所测量的数据偏少, 做出的图线就相对粗糙。
- (e) 实验中参照的折光率——正丙醇——水双液系百分比工作曲线图, 是手工绘制的, 本身就存在误差, 不可能很精确的读数。
- (f) 对于工作曲线拟合的函数选择也有一些问题, 对数函数在曲线后半部分的拟合结果较差, 如果有更加精确的拟合函数, 实验的精度应该会有所提升
- (g) 平衡时, 气液两相温度应该一样。但实际中, 由于体系中气相和液相跟环境的辐射和热对流的情况不同, 所以实际温度, 二者是不同的。这对测量将造成影响, 因为稳定时气相的温度比液相低, 以此做出的图比真实图偏瘦, 即气相部分下移。若出现过热, 则使所测量的温度高于实际沸点, 则相图上移。若有分馏作用, 由于正丙醇为一挥发组分, 则气相组分变高, 液相组分变低, 所以出现左半相图变胖, 右半相图变瘦。与实际情况符合。
- (h) 由于各组分的引力不同, 如水-正丙醇间的引力小于水-水或正丙醇-正丙醇间的引力, 则把正丙醇分子掺入后就会减少水分子或正丙醇分子所受的引力, 水和正丙醇都变得很容易逸出, 所以水或正丙醇分子的蒸汽压都产生正偏差, 如实验所得结果。

2. 实验反思

- (a) 由于在正丙醇的量相对来说很少的时候, 测量值与以后的各值在进行拟合时不容易拟合, 所以应当在开始加入正丙醇 (或水) 时适当多测量几组数据, 使得在做图时较为容易与准确
- (b) 在反应时拔出塞子的时候, 常因为冷却不充分导致有正丙醇蒸汽冒出, 导致液相的组分发生变化, 应当充分冷却后再取下塞子

Part III

参考文献

1. 崔献英, 柯燕雄, 单绍纯. 物理化学实验 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000.4
2. 傅献彩, 沈文霞, 姚天扬. 物理化学. 第四版. 北京: 高等教育出版社, 1990.10
3. 苏碧泉, 盛丽, 刘改兰. 气液平衡相图绘制实验的改进. 兰州: 化学教育, 2006.2
4. 刘一品, 唐晖. 双液系的气液平衡相图实验装置的改进. 武汉: 大学化学, 2003.12
5. 百度百科数据库.

Part IV

附录: 数据处理过程

Chapter 6

原始数据

6.1 压强记录

在实验的前中后分别读取室内的大气压 Tab 6.1

Table 6.1: 压强记录

序号	压强 (kPa)
1	103.30
2	103.34
3	103.33
平均	103.323

6.2 标准曲线的标定

测试一组不同浓度的正丙醇溶液的折光率 Tab 6.2

Table 6.2: 标准曲线数据

序号	空瓶 (g)	加水 (g)	加醇 (g)	水重 (g)	醇重 (g)	折光率 (nD)
1	24.1634	33.1235	33.8728	8.9601	0.7493	1.3395
2	24.0538	31.9971	33.9486	7.9433	1.9515	1.3499
3	24.8590	31.8049	34.6950	6.9459	2.8901	1.3564
4	24.4442	30.4160	34.3886	5.9718	3.9726	1.3623
5	23.2520	28.1099	33.0280	4.8579	4.9181	1.3674
6	24.4106	28.3518	34.3383	3.9412	5.9865	1.3719
7	23.1017	26.1164	33.0016	3.0147	6.8852	1.3756
8	27.4522	29.3480	37.2448	1.8958	7.8968	1.3795
9	25.5501	26.5443	35.4334	0.9942	8.8891	1.3819

6.3 醇加水的数据

向正丙醇中加水的气液相折光率数据 Tab 6.3

Table 6.3: 醇加水的数据

水 (ml)	t ₁ (°C)	t ₂ (°C)	t ₃ (°C)	t _均 (°C)	气相 (nD)	液相 (nD)
0.0	97.425	97.433	97.440	97.4327	1.3831	1.3830
0.5	95.667	95.671	95.680	95.6727	1.3827	1.3831
1.0	93.114	93.119	93.118	93.1170	1.3811	1.3830
1.5	90.666	90.650	90.659	90.6583	1.3784	1.3825
2.0	89.174	89.179	89.174	89.1757	1.3779	1.3816
2.5	88.349	88.355	88.356	88.3533	1.3772	1.3803
4.0	88.025	88.027	88.028	88.0267	1.3766	1.3779
2.0	88.004	88.007	88.008	88.0063	1.3765	1.3766
0.2	87.994	87.998	87.997	87.9963	1.3764	1.3764
0.2	87.977	87.984	87.987	87.9827	1.3764	1.3763

6.4 水加醇的数据

向水中加正丙醇的气液相折光率数据 Tab 6.4

Table 6.4: 水加醇的数据						
醇 (ml)	t ₁ (°C)	t ₂ (°C)	t ₃ (°C)	t _均 (°C)	气相 (nD)	液相 (nD)
0.0	100.462	100.464	100.471	100.4657	1.3325	1.3325
0.5	100.421	100.425	100.425	100.4237	1.3488	1.3326
1.0	100.000	99.860	99.831	99.8970	1.3575	1.3327
1.5	99.024	99.099	99.051	99.0580	1.3641	1.3344
2.0	96.331	96.307	96.350	96.3293	1.3696	1.3354
4.0	91.237	91.265	91.281	91.2610	1.3741	1.3381
20.0	88.142	88.156	88.169	88.1557	1.3758	1.3664
15.0	88.017	88.023	88.027	88.0223	1.3762	1.3741
10.0	88.039	88.046	88.048	88.0443	1.3764	1.3767
1.0	88.034	88.036	88.042	88.0373	1.3764	1.3760
1.0	88.036	88.037	88.040	88.0377	1.3764	1.3763

Chapter 7

数据处理

7.1 标准曲线的绘制

将 Tab 6.2 中的质量浓度换算成分子摩尔分数再加上纯物质的折光率数据得到 Tab 7.1

Table 7.1: 标准曲线计算				
序号	水重 (g)	醇重 (g)	醇摩尔分数	折光率 (nD)
0			0.0000	1.3325
1	8.9601	0.7493	0.0245	1.3395
2	7.9433	1.9515	0.0686	1.3499
3	6.9459	2.8901	0.1109	1.3564
4	5.9718	3.9726	0.1663	1.3623
5	4.8579	4.9181	0.2328	1.3674
6	3.9412	5.9865	0.3129	1.3719
7	3.0147	6.8852	0.4064	1.3756
8	1.8958	7.8968	0.5553	1.3795
9	0.9942	8.8891	0.7283	1.3819
10			1.0000	1.3830

1. 二次曲线拟合 拟合结果见 Fig 7.1 误差如下:

```
After 4 iterations the fit converged.  
final sum of squares of residuals : 0.000147385  
rel. change during last iteration : -3.6246e-08
```

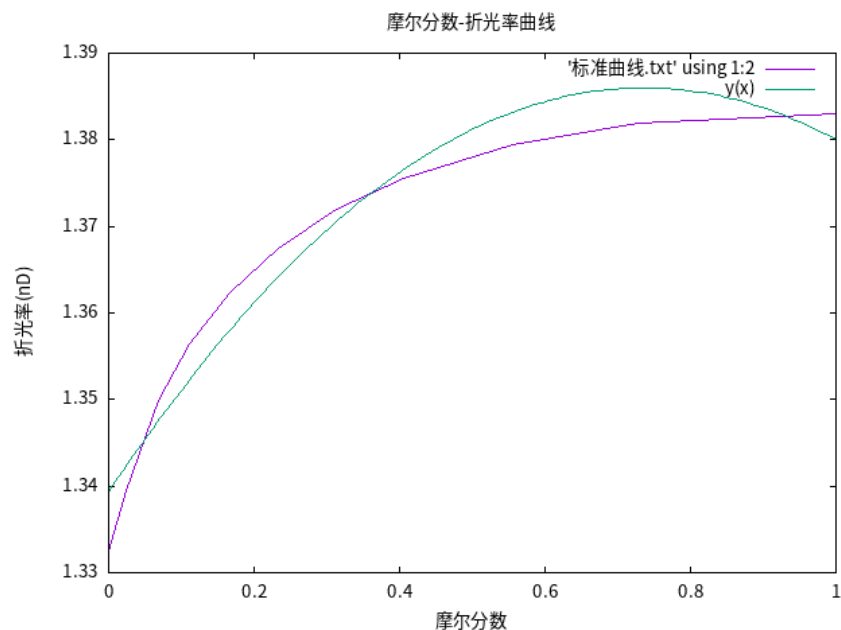


Figure 7.1: 二次曲线拟合结果

```
degrees of freedom      (FIT_NDF)                : 8
rms of residuals        (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf)    : 0.00429222
variance of residuals   (reduced chisquare) = WSSR/ndf   : 1.84232e-05
```

Final set of parameters		Asymptotic Standard Error	
=====		=====	
a	= -0.0861489	+/- 0.01461	(16.96%)
b	= 0.126901	+/- 0.0143	(11.27%)
c	= 1.33927	+/- 0.002455	(0.1833%)

correlation matrix of the fit parameters:

#	a	b	c
a	1.000		
b	-0.955	1.000	
c	0.632	-0.773	1.000

$$y = -0.08615x^2 + 0.1269x + 1.3393$$

拟合效果较好但仍有待提升

2. 对数曲线拟合 拟合结果见 Fig 7.2 误差如下:

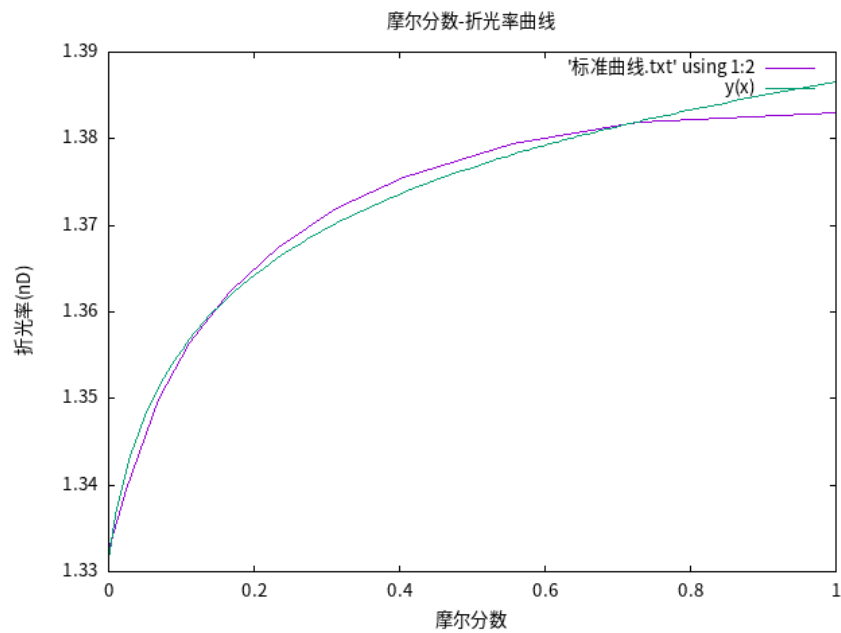


Figure 7.2: 对数曲线拟合结果

After 73 iterations the fit converged.

final sum of squares of residuals : 3.01193e-05

rel. change during last iteration : -1.25707e-06

degrees of freedom	(FIT_NDF)	:	7
rms of residuals	(FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf)	:	0.00207431
variance of residuals	(reduced chisquare) = WSSR/ndf	:	4.30275e-06

Final set of parameters		Asymptotic Standard Error	
=====		=====	
k	= 0.0146429	+/- 0.002306	(15.75%)
a	= 1.58346	+/- 1776	(1.121e+05%)
b	= 0.0374348	+/- 41.99	(1.122e+05%)
c	= 1.37943	+/- 16.41	(1190%)

```

correlation matrix of the fit parameters:
k      a      b      c
k      1.000
a      0.855  1.000
b      0.856  1.000  1.000
c     -0.855 -1.000 -1.000  1.000

```

$$y = 0.01464 \ln(1.5835x + 0.03743) + 1.3794$$

目前来看对数曲线拟合的结果是最好的

3. 根号曲线拟合 拟合结果见 Fig 7.3 误差计算如下:

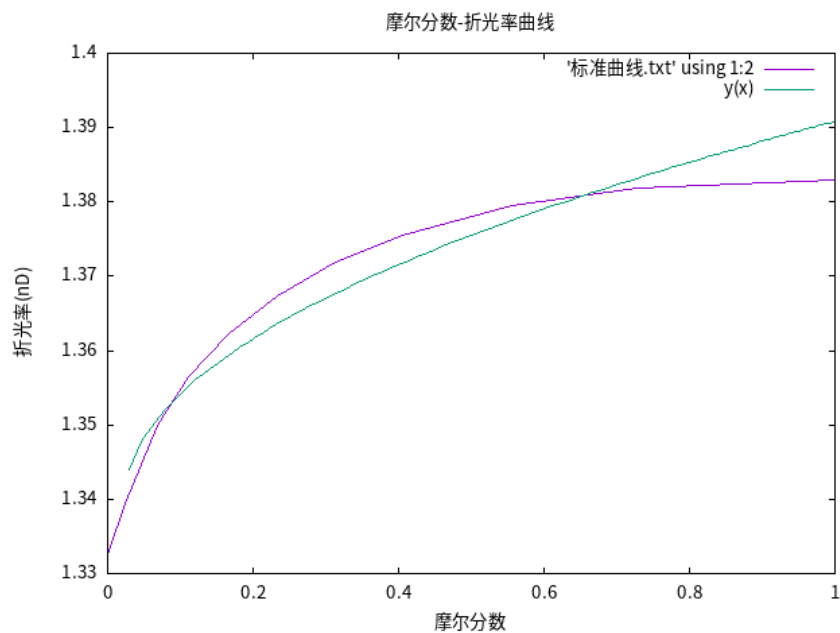


Figure 7.3: 根号曲线拟合结果

```

After 163 iterations the fit converged.
final sum of squares of residuals : 0.000182336
rel. change during last iteration : -5.88249e-07

```

```

degrees of freedom      (FIT_NDF)                : 7
rms of residuals        (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf) : 0.00510372

```

variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf : 2.60479e-05

Final set of parameters		Asymptotic Standard Error	
=====		=====	
k	= 0.0462516	+/- 0.005027	(10.87%)
a	= 1.23587	+/- 0.03517	(2.846%)
b	= -0.0302804	+/- 0.06359	(210%)
c	= 1.34005	+/- 0.004874	(0.3637%)

correlation matrix of the fit parameters:

#	k	a	b	c
k	1.000			
a	0.448	1.000		
b	0.259	0.501	1.000	
c	-0.747	-0.691	-0.735	1.000

$$y = 0.04625\sqrt{1.2359x - 0.03028} + 1.3401$$

拟合效果较差

4. 高 (四) 次曲线拟合 拟合结果见 Fig 7.4 误差计算如下:

After 6 iterations the fit converged.

final sum of squares of residuals : 5.55343e-06

rel. change during last iteration : -2.31074e-13

degrees of freedom	(FIT_NDF)	:	6
rms of residuals	(FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf)	:	0.000962066
variance of residuals (reduced chisquare)	= WSSR/ndf	:	9.25572e-07

Final set of parameters		Asymptotic Standard Error	
=====		=====	
a	= -0.312369	+/- 0.05993	(19.19%)
b	= 0.743501	+/- 0.1158	(15.57%)
c	= -0.645425	+/- 0.0697	(10.8%)
d	= 0.263831	+/- 0.01417	(5.373%)
e	= 1.33338	+/- 0.0007474	(0.05605%)

correlation matrix of the fit parameters:

#	a	b	c	d	e
---	---	---	---	---	---

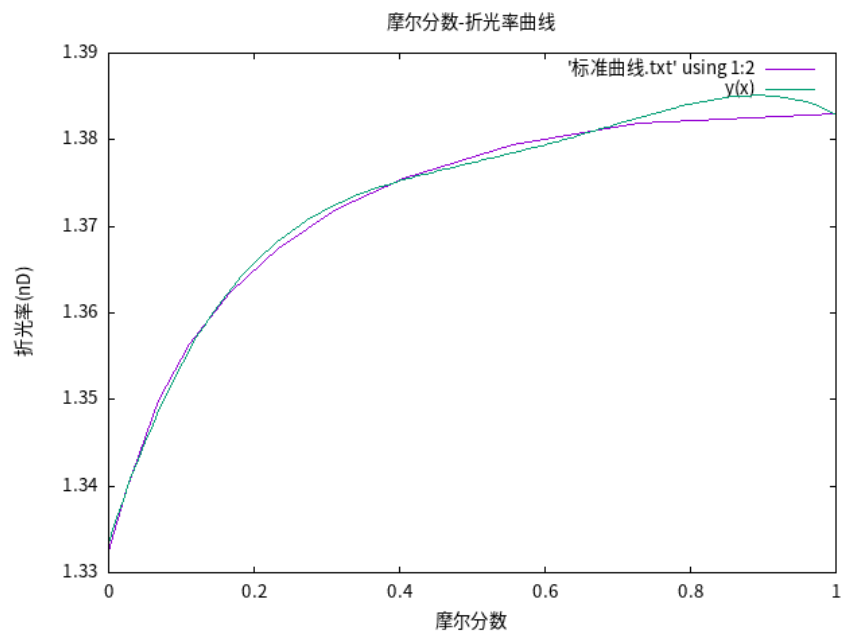


Figure 7.4: 四次曲线拟合结果

a	1.000				
b	-0.994	1.000			
c	0.962	-0.986	1.000		
d	-0.857	0.903	-0.959	1.000	
e	0.477	-0.527	0.610	-0.760	1.000

$$y = -0.3124x^4 + 0.7435x^3 - 0.6454x^2 + 0.2638x + 1.3334$$

拟合效果和对数曲线相近, 而这种方法引入的参数过多, 并不能反应其内部规律

7.2 根据标准曲线和折光率推算摩尔分数

根据以上的拟合结果我们采用对数曲线进行计算

$$y = 0.01464 \ln(1.5835x + 0.03743) + 1.3794$$

它的反函数为:

$$x = (\exp((y - 1.3794)/0.01464) - 0.03743)/1.5835$$

其中 x 为醇的摩尔分数,y 为折光率

1. 醇加水数据

Table 7.2: 醇加水数据计算

气相 (nD)	液相 (nD)	气相摩尔分数	液相摩尔分数	t _均 (°C)
1.3831	1.3830	0.7895	0.7839	97.4327
1.3827	1.3831	0.7675	0.7895	95.6727
1.3811	1.3830	0.6856	0.7839	93.1170
1.3784	1.3825	0.5662	0.7568	90.6583
1.3779	1.3816	0.5464	0.7103	89.1757
1.3772	1.3803	0.5198	0.6479	88.3533
1.3766	1.3779	0.4979	0.5464	88.0267
1.3765	1.3766	0.4944	0.4979	88.0063
1.3764	1.3764	0.4909	0.4909	87.9963
1.3764	1.3763	0.4909	0.4874	87.9827

2. 水加醇数据

Table 7.3: 水加醇数据计算

气相 (nD)	液相 (nD)	气相摩尔分数	液相摩尔分数	t _均 (°C)
1.3325	1.3325	0.0020	0.0020	100.4657
1.3488	1.3326	0.0545	0.0022	100.4237
1.3575	1.3327	0.1179	0.0024	99.8970
1.3641	1.3344	0.1984	0.0056	99.0580
1.3696	1.3354	0.2997	0.0076	96.3293
1.3741	1.3381	0.4161	0.0140	91.2610
1.3758	1.3664	0.4702	0.2362	88.1557
1.3762	1.3741	0.4839	0.4161	88.0223
1.3764	1.3767	0.4909	0.5015	88.0443
1.3764	1.3760	0.4909	0.4770	88.0373
1.3764	1.3763	0.4909	0.4874	88.0377

7.3 摩尔分数沸点曲线

如表格 7.4 所示, 我们将表 7.3 和表 7.2 的摩尔分数和沸点部分进行了合并, 之后使用特鲁顿规则及克劳修斯-克拉贝龙公式, 根据 Tab 6.1 进行校正, 并利用它作图得到图 7.5, 考虑到其中可能存在的坏点, 我对曲线利用 bezier 方法进行了平滑化, 得到了图 7.6 所示的结果, 可以明显地看出其中的共沸点, 数据处理效果良好

Table 7.4: 摩尔分数-沸点曲线数据

气相摩尔分数	液相摩尔分数	$t_{\text{均}}(^{\circ}\text{C})$	$t_{\text{沸}}(^{\circ}\text{C})$
0.0020	0.0020	100.4657	100.4664
0.0545	0.0022	100.4237	100.4244
0.1179	0.0024	99.8970	99.8977
0.1984	0.0056	99.0580	99.0587
0.2997	0.0076	96.3293	96.3300
0.4161	0.0140	91.2610	91.2617
0.4702	0.2362	88.1557	88.1564
0.4839	0.4161	88.0223	88.0230
0.4909	0.5015	88.0443	88.0450
0.4909	0.4770	88.0373	88.0380
0.4909	0.4874	88.0377	88.0384
0.4909	0.4909	87.9963	87.9970
0.4909	0.4874	87.9827	87.9834
0.4944	0.4979	88.0063	88.0070
0.4979	0.5464	88.0267	88.0274
0.5198	0.6479	88.3533	88.3540
0.5464	0.7103	89.1757	89.1764
0.5662	0.7568	90.6583	90.6590
0.6856	0.7839	93.1170	93.1177
0.7675	0.7895	95.6727	95.6734
0.7895	0.7839	97.4327	97.4334

可以看出在正丙醇摩尔分数为 0.4331 时 (考虑到本实验所用的标准曲线拟合有一定的偏差, 这里的值用的是标准曲线折光度相近的两点线性拟合的结果, 见下), 达到了最低沸点 87.9827°C , 此时正丙醇的质量百分数为

$$w$$

$$(1.3763 - 1.3756)/(1.3795 - 1.3756) \times (0.5553 - 0.4064) + 0.4064 = 0.4331$$

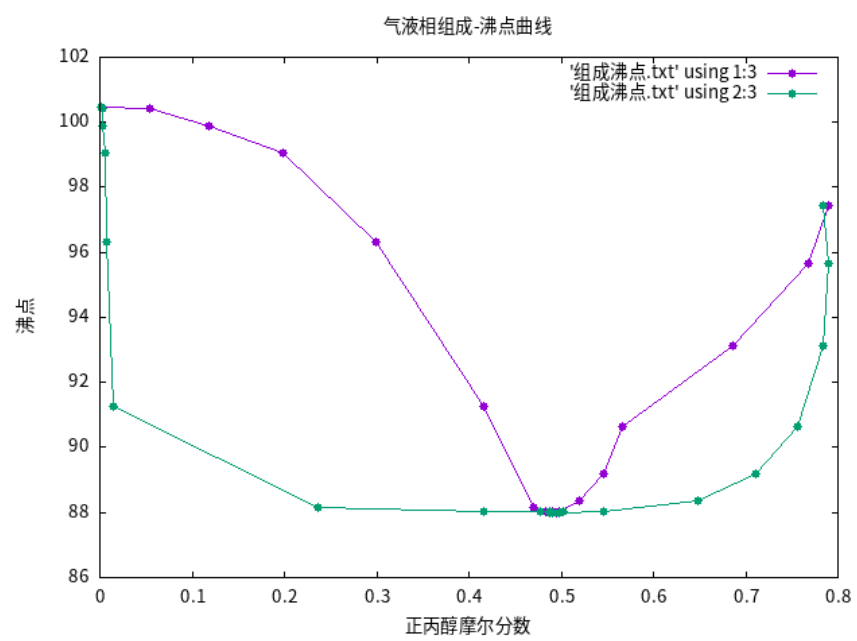


Figure 7.5: 水-正丙醇体系气液相图

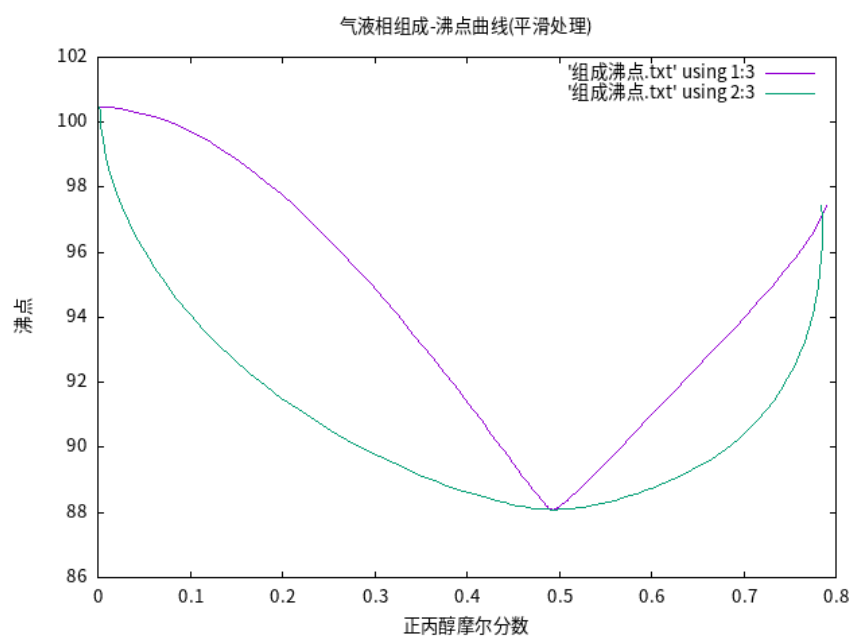


Figure 7.6: 水-正丙醇体系气液相图 (平滑处理)