

## 可燃气-氧气-氮气三元系爆炸极限测定

班级：化工224

姓名：陈祎洋

学号：22010731

实验时间：2024/04/15

实验地点：实验四楼103

指导老师：贾艳艳

批阅人：贾艳艳

## 实验目的

1.测定丙酮蒸汽在氧氮混合气中的爆炸极限。

2.学会三元系组成图的制作。

2.深入了解与爆炸现象相关的化学动力学知识，进行真空技术的应用与泄漏检测、混合气体的配比、压力读数与调整、高频电火花操作、气相色谱分析，以及对未知数据的初步测定、精确测量和整理，规范作图等多方面的综合训练；

## 实验原理

许多可燃气体的氧化反应表现为链反应，一般链反应表示为下图：

链的引发： $A \xrightarrow{k_1} R\cdot$

链的传递： $R\cdot + A \xrightarrow{k_2} \alpha R\cdot + P$

链的终止： $R\cdot \xrightarrow{k_3} \text{销毁}$

式中 $R\cdot$ 是含有未成对电子的自由基，自由基是反应的传递者， $\alpha=1$ 为链反应 $\alpha>1$ 为支链反应。自由基的增长非常迅速，由一个自由基产生的新自由基即可达天文数字。如果要控制支链反应，使之不至于失控爆炸，必须及时销毁自由基。

自由基的销毁途径有两种：一种是由于自由基与容器碰撞而失去活性，称为墙面销毁；第二种情况是自由基在气相中互撞或与惰性气体相撞而失去活性，称为气相销毁。

正因为自由基可能在反应过程中销毁，所以可燃气体的氧化反应并不是在所有情况下都发生爆炸。当可燃气体含量较少时，自由基很容易扩散到器壁上销毁，此时墙面销毁速度大于支链产生速率，因此反应进行缓慢。可燃气体浓度越大，产生支链的速率越大，当支链产生速度大于墙面销毁速率时，就发生爆炸。进一步增大可燃气体的浓度会使自由基在气相中互撞而销毁的机会也增多。当浓度达到某一值后，自由基销毁率又超过支链产生速率，反应又进入慢速区。因此，可燃气体的氧化反应存在着两个爆炸极限：高限和低限。只有当可燃气体的浓度在两个极限之间时，才发生爆炸。

当系统中有惰性气体（不仅指惰性元素气体，也包括氮气等气体）存在时，爆炸极限也会有所改变。例如在氢、氧混合气中，氢气的爆炸低限为4%（体积百分数），高限为94%。而在氢气与空气的混合气中，分别为4%和74%。一般说来，低限变化不大，这是因为对于4%的氢气来说，即使在空气中氧气也是大大过量的。但对高限的影响较大，因为增加了自由基与惰性气体分子碰撞而销毁的可能性，从而降低了高限。测定试样气在氧气、各种比例的氧氮混合气中的爆炸极限后可绘成如图1所示的三元系组成图。图中ABC为等边三角形，边长均为单位长度，A点表示试样气，B点表示氧气，C点表示氮气。在三元组成图中规定，三角形内某一点向某一条边作平行于另二边中任一边的直线段的长度表示该边所对顶点组分的摩尔分数。也就是说，E'F表示试样气的摩尔分数，而E'G、E'H分别表示氧气、氮气的摩尔分数。

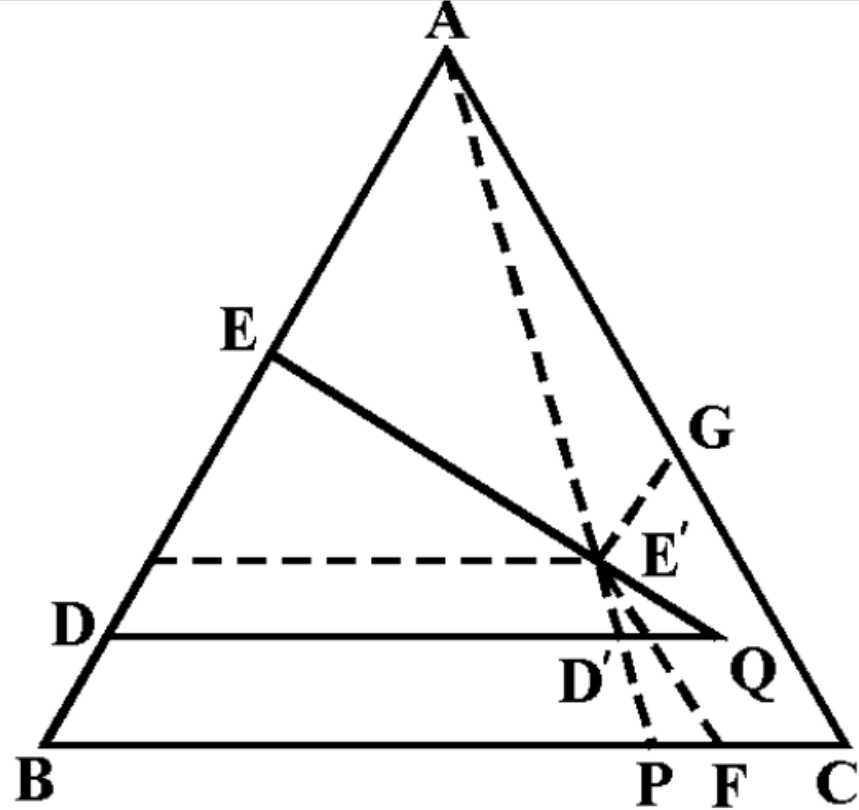
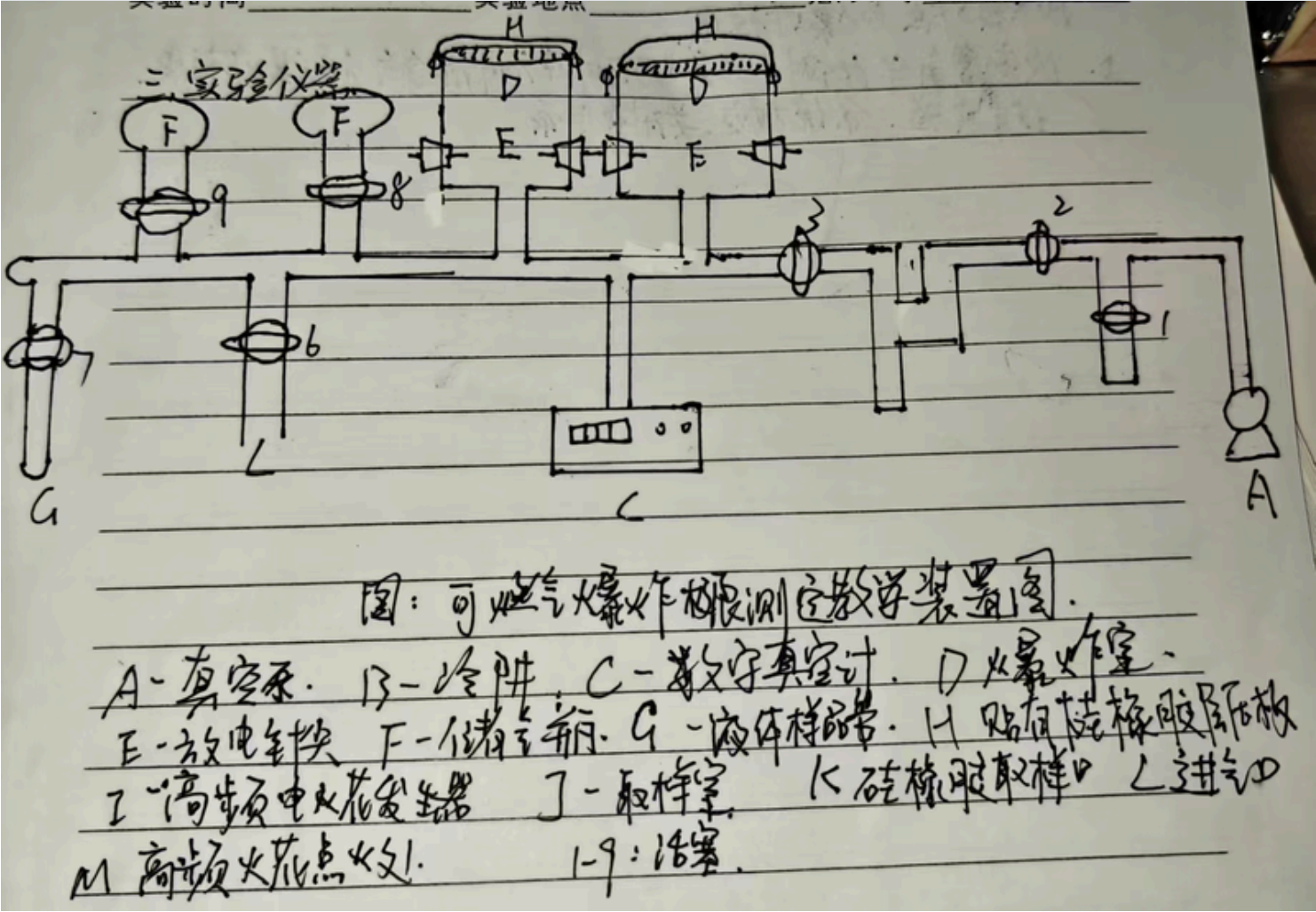


图 1 爆炸三元组成图

一般的可燃气体爆炸极限如图 1。D、E 为试样气在氧气中的爆炸低限、高限，D'、E' 为试样气在空气中的爆炸低限、高限。在测定了试样气在各种不同比例的氧、氮混合气中的爆炸低限、高限后，可得到如图中 DQE 的图形。DQE 内为爆炸区，DQE 外为非爆炸区。由此可见，可燃气体爆炸测定的关键是通过一定的配气程序，取得在一定空间内组分已知的可燃气体与氧气和其他气体的混合气，然后进行当量可控的爆炸试验，通过一系列的不同组分混合气的爆炸试验取得的数据进行分析，既可得到爆炸极限结果。对于混合气体组分分析，既可以通过各组分分压测得，也可以通过气相色谱仪精确测定。

仪器设备装置图



(上传清晰的仪器设备装置图)

实验步骤和原始数据记录

四. 实验步骤.

1. 准备: 通大气情况下将压力计置零, 进行系统抽真空以及检漏. 除将管路、爆炸室等抽空外, 还必须将样品管内液面以上活塞以下空间抽空 (样品管处于 0℃ 冷冻盐水).
2. 配气: 系统与真空泵断开, 记录初始读数. 打开上方管路活塞, 通入样品气, 压力计达到所需压力. 停止通气, 关闭爆炸室活塞. 再将管路抽空, 再次断开真空泵后, 打开通大气活塞, 施转爆炸室使其内气体充于室外大气压. 关闭爆炸室活塞.



四. 原始数据记录.

室温  $t=21.4^{\circ}\text{C}$  : 大气压  $P_t=101.67\text{ kPa}$  校正值  $\Delta=0.01\text{ kPa}$

编号

爆炸室内抽空后真空度  $X_1/\text{kPa}$

爆炸室内配入丙酮后真空度  $X_2/\text{kPa}$

观察情况

丙酮  $\text{kPa}$

1				
2	100.57	86.92	爆炸	13.65
3	100.55	87.46	爆炸	13.09
4	100.55	96.82	不爆炸	3.73
5	100.60	96.35	不爆炸	4.25
6	100.58	96.01	爆炸	4.57
7	100.59	96.16	不爆炸	4.43
8	100.65	86.89	爆炸	13.76
9	100.62	85.47	不爆炸	15.15
10	100.60	85.65	爆炸	14.95

实验结论: 由数据编号 5, 6 可知丙酮在空气中高限对应丙酮为 14.95  $\text{kPa}$   
由数据编号 9, 10 可知丙酮在空气中低限对应丙酮为 4.57  $\text{kPa}$

(上传有老师签名和全部实验步骤和原始数据记录的清晰图片)

数据处理

含图表制作、计算示例及实验结论。（可以使用下面的表格制作表，使用坐标系制图）

1.实验数据处理

根据原始数据记录，计算并将数据导入到Excel表格中，得到如下表格：（选取高限和低限附近的四个数据）

表1：三元爆炸极限测试的数据处理表格

	A	B	C	D	E	F
1	三元爆炸极限实验数据处理表格 t=21.4℃ Pt=101.67kPa ▲=0.01kPa P校正=101.31kPa					
2	编号	爆炸室内抽空后真空度 $X_1/\text{kPa}$	爆炸室内配入丙酮后真空度 $X_2/\text{kPa}$	爆炸室内的丙酮分压/ $\text{kPa}$	丙酮的摩尔分数 $\gamma/\%$	观察情况
3	1	100.6	96.35	4.25	4.20	不爆炸
4	2	100.58	96.01	4.57	4.51	爆炸（低限）
5	3	100.6	85.65	14.95	14.76	爆炸（高限）
6	4	100.62	85.47	15.15	14.95	不爆炸

计算示例：1. 气压计的读数校正

① 温度校正：
$$\Delta t = \frac{(B - a) \cdot t}{1 + \beta t} \cdot P_t = \frac{0.0001631 \cdot t}{1 + 0.0001815 \cdot t} \cdot P_t$$
$$= \frac{0.0001631 \times 21.4^\circ\text{C}}{1 + 0.0001815 \times 21.4^\circ\text{C}} \times 0.67 \text{ kPa} = 0.35 \text{ kPa}$$

② 重力加速度及气压计本身误差校正： $\Delta = 0.01 \text{ kPa}$ .

$\therefore P_{\text{校正}} = (0.67 - 0.35 - 0.01) \text{ kPa} = 0.31 \text{ kPa}$

2. 以第二组的数据为例： $P_{\text{丙酮}} = X_1 - X_2 = (100.58 - 96.01) \text{ kPa}$

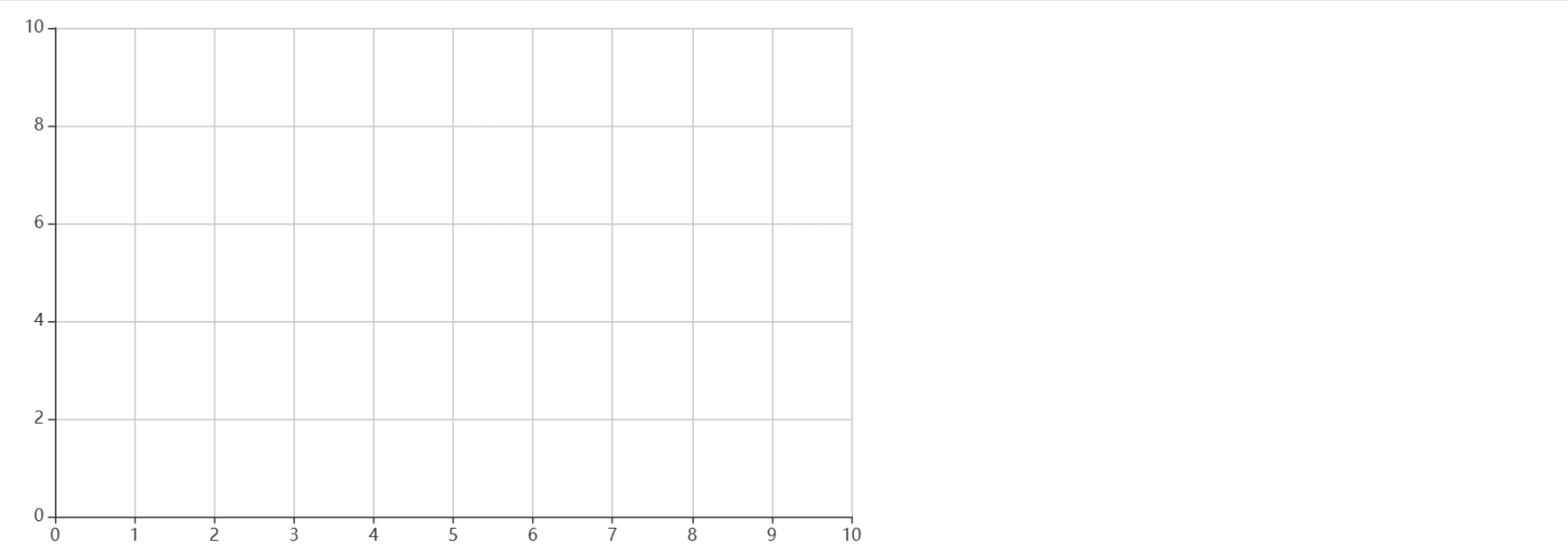
$\therefore \gamma_{\text{丙酮}} = \frac{P_{\text{丙酮}}}{P_{\text{校正}}} \times 100\% = \frac{4.57 \text{ kPa}}{101.31 \text{ kPa}} \times 100\% = 4.51\%$

\* 实验结论：由数据组1.2可知，丙酮在空气中的爆炸低限为4.51%  
由数据组3.4可知，丙酮在空气中爆炸高限为14.76%

表格

自定义列名	自定义列名

坐标系



### 分析讨论

含数据分析讨论和实验思考题。

一：实验结果以及误差分析：

1.实验结果：

通过本实验对丙酮-氮气-可燃气三元爆炸极限的测定，最终可以测得在室温为21.4℃，大气压为101.31kPa的条件下，丙酮在空气中的爆炸低限为4.51%，而爆炸高限为14.76%。

2.实验误差分析：

查阅数据手册得知:20℃时丙酮蒸气在空气中的爆炸极限理论值为2.55%~12.8%<sup>[1]</sup>，和本实验所测得的结果有一定的偏差，排除温度和气压的影响之外，在经过了合理的分析之后，我认为实验中可能存在的误差有如下几个方面：

（1）活塞漏气、无法完全抽真空：由于活塞上被均匀的涂抹了凡士林，并非绝对的密封，因此在实验时不可避免地产生漏气，而抽真空的真空泵是两组同学串联公用一个，实验的时候也会被另一组同学的影响，导致压差计示数扰动。

（2）通入丙酮装置时放气量过大：实验过程中发现，若旋转至全开，丙酮的放气量会在单位时间内大量增加不好控制，因此询问老师后，改为采用旋转小半圈的方法。但读数和关闭活塞肯定会有一定的时间差，这也是导致测不准的主要原因。

（3）实验在改变真空度的时候增加减少时没有使用内插法减小变化幅度，导致变化幅度过大。

二：实验思考题：

1、为什么氨气量的增加对爆炸高限影响较大而对低限则没有什么影响？

氮气浓度的增加，自由基的气相销毁速率增加，促进后的气相销毁导致爆炸高限有明显的降低；但氧气浓度的增加对自由基的墙面销毁影响不明显，因此对爆炸低限没有什么影响。

2、在抽空系统时，为什么要将丙酮冷冻？

丙酮为易挥发物质，系统抽空，压力降低，丙酮的沸点也降低，变得易沸腾。此时若不进行冷却，丙酮极易被抽空。 冷却是为了防止丙酮样品被抽去。

3、实验结束后，为什么必须将系统抽空？

如果不将系统抽空，丙酮蒸汽容易耗散到空气之中，导致达到爆炸低限从而引发爆炸。

## 感想感悟

针对此实验的研究背景、应用状况、思维方法、相关科学家的感想，或者通过文献学习对于实验方法的改进的设想等等。

在完成本实验时，我熟练掌握了实验装置——压差计的原理，发现在使用过程中，两人的配合应该默契且迅速，因为数值的变化往往就在一瞬间。同时，爆炸装置的小型化，实验装置的简单化让我们可以更清晰的了解物理化学之中化学动力学对于“爆炸”的定义。对本实验的展望是今后可以丰富实验的内容,比如研究温度、压力、惰性气体含量及点火能量对爆炸极限的影响和多元可燃性气体的最小点火能等，本实验也可以增加在纯氧体系下对爆炸极限的测定，或是测定多元可燃性气体的爆炸极限，

在学习了熊老师的文章<sup>[2]</sup>过后，我可以准确理解爆炸极限的物理意义及其影响因素，对测定方法也能融会贯通，应用到其他系统。通过实验使我对爆炸有了感性认识，也意识到了在今后的学习以及生产生活中安全的重要性。

参考文献：

[1]胡耀元,杨元法,李 勇,等.H<sub>2</sub>,CH<sub>4</sub>,CO多元爆炸性混合气体的爆炸极限及其容器因素[J].中国科学(B辑 化学),2002(01):35-39.

[2]熊焰,虞大红.可燃性气体爆炸极限测定基础教学型实验的开发[J].实验室研究与探索,2010,29(11):250-253.

[3]张增亮,蔡康旭.可燃气体(液体蒸气)的爆炸极限与最大允许氧含量的对比研究[J].中国安全科学学报,2005(12):64-68.DOI:10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2005.12.015.

