

饱和蒸气压测定实验中气流量调控装置的改进

陈云华*, 龚楚清, 张海波, 邓立志, 夏春兰

武汉大学化学与分子科学学院, 化学国家级实验教学示范中心(武汉大学), 武汉 430072

摘要: 在静态法测量液体的饱和蒸气压实验中, 关键操作是调压控制。由于气体的不可见性会导致气流量控制较困难, 使得在等压调节过程中经常发生因气流量过大而使空气倒灌入系统的问题。通过设计一种微小气流量调控装置, 使调控操作可视化, 可较好地解决操控问题, 减少空气倒灌的发生, 而且可避免反复调节, 大大缩短了实验时间。

关键词: 物理化学实验; 饱和蒸气压; 等压调节

中图分类号: G64; O64

Improvement of Gas Flow Control Device for Saturated Vapor Pressure Measurements

CHEN Yunhua*, GONG Chuqing, ZHANG Haibo, DENG Lizhi, XIA Chunlan

National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education, College of Chemistry and Molecular Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, P. R. China.

Abstract: In the static method of saturated vapor pressure measurements, the key operation is to adjust the pressure of the system. Because of the invisibility of the gas, it is difficult to control the air flow, which often results in air pouring into the system due to excessive air flow in the constant pressure adjustment process. By designing a mini gas flow control device, the control operation is visualized; thus, problems associated with controlling the air flow can be avoided. Furthermore, frequent adjustment of the air flow becomes unnecessary, greatly reducing the lab hour.

Key Words: Physical chemistry experiment; Saturated vapor pressure; Isopiestic adjustment

饱和蒸气压是液体物质的基本性质参数, 是很多科研和生产过程中经常需要了解的基础数据, 在大学物理化学实验课中普遍开设了液体蒸气压的测定实验。其测定方法有静态法和动态法^[1]。静态法是通过调节外压与液体蒸气压相等来进行的, 其测量原理如图 1 所示^[2]。

待测液体装在等压平衡管中, 用恒温槽控制一定温度, 调压系统往往会采用一个较大的储气缓冲罐, 这是为了减小调节过程中的气流冲击。在缓冲罐上设一出气口, 通过活塞控制连接真空泵; 设一进气口, 通过活塞连通大气。测定过程是通过调节活塞 6 抽真空减压和活塞 5 进空气增压使缓冲瓶 4 中气压变化以达到平衡管中的 b 和 c 管的 U 型液面相平, 则平衡管 a 球液面上的蒸气压与缓冲瓶中的压力相等, 通过连接于其上的真空压力计就可得出液体在该温度下的饱和蒸气压。

1 实验中进行等压调节时存在的问题

在上述装置中, 由于气体的不可见性, 通过活塞调节抽真空和进大气时存在盲目性, 完全靠手

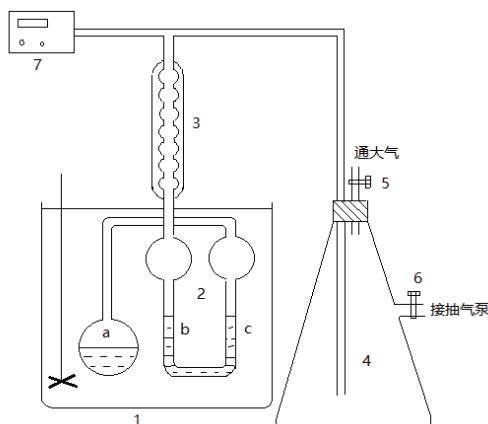


图1 静态法测液体饱和蒸气压装置示意图

1.恒温槽; 2.等压平衡管; 3.冷凝管; 4.缓冲瓶; 5、6.活塞; 7.数字真空压力计

感, 容易控制不好, 使得抽气量或进气量过大, 等压管中的液面往往会调过头, 需要反复调节才能至 U 型管两液面相平, 完成实验的时间较长。虽然实验装置中设有缓冲罐, 也较难控制, 过大的进气量甚至会导致缓冲罐中的空气倒灌入平衡管中, 使得 a 球液面上的蒸气不纯, 则所得数据准确性差, 不得不重新抽气。次数一多, a 球中液体容易被抽干致使实验失败, 不得不重新装测量液体再开始实验, 而重新装液麻烦费时。鉴于以上原因, 许多人从等压平衡管结构、压力显示与调控方面对该实验装置进行了改进^[3-7]。

本文作者对等压调节装置进行了改进, 设计了一种可视化的微小气流量调控装置, 可有效地减少气流量过调的发生, 较好地解决了操控难问题, 避免了反复调节, 也不易发生空气倒灌。

2 可视化微小气流量调控器的设计及应用

现在很多学校已经摒弃了原来的简易测量装置, 而采用南京桑力仪器公司改进后的成套实验装置, 我校也采用过。该成套装置中, 缓冲罐和调节阀被进行了改造, 其特制金属缓冲罐结实、密闭性好, 但在使用过程中发现其调节阀的密封圈容易被磨碎, 碎末经常堵塞了通气孔。本文作者对该成套装置进行了改进, 保留其结实的储气罐, 把它作为共用的一级缓冲罐, 加设可视化微小气流量调控装置, 这样就减少了真空泵和缓冲罐的台套数。

2.1 结构设计

具体做法就是采用使气体通过液体冒泡而出的方法, 这样就可以用肉眼观察冒泡速度, 了解气流速度, 从而指导调节活塞开度以实现可视气流调节, 并且可以通过开关活塞控制气泡个数以实现微小进出气量控制。如此, 就避免了盲目性操作而容易误将气流速度调节过大导致发生空气倒灌, 而且, 还可以实现进出气体量按一个一个的小气泡的数量进行调节, 对系统的减压或增压就很微小, 在 U 型等压管两液面快达到相平时不容易过调, 就避免了反复调节而造成的费时。

由于实验过程中需要配合进行减压和增压调节, 故改进装置设计了控制减压和控制增压的两个调节器。选用玻璃材质可使鼓泡速度和个数很好地用肉眼直观了解, 但同时又要保证调节器的耐真空度, 所以调节器采用玻璃管式结构。具体设计如图 2 所示。

将这两个竖管分上下结构连接成一个整体, 在两个竖管的顶端和顶部侧壁分别连接一进一出两个细玻璃管, 竖管内盛少量液体, 进气管下部尖嘴伸入液体底部, 使气体通过液体冒泡而出, 液体上面的空间起缓冲作用, 保证足够的管内高度和体积, 不致气体鼓泡时将液体带出。

根据实验特点, 减压调节缓冲体积大一些较好, 故将长大一些的第一竖管作为减压调节控制, 而将短小一些的第二竖管作为增压调解控制。本实验中设计的第一竖管约为第二竖管的 1/3-1/2 长, 第一竖管约 300-350 mm, 第二竖管约 100-150 mm, 管径约 30-35 mm。

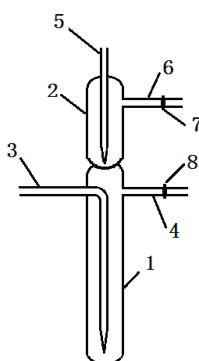


图2 可视微小气流量调控器的结构示意图

(1)第一竖管; (2)第二竖管; (3)第一进气管; (4)第一出气管; (5)第二进气管; (6)第二出气管; (7,8)真空活塞

2.2 操作说明

每个竖管内设有一个进气管，进气管从顶端或顶部侧壁插入，下端伸入竖管底部，为尖嘴管。出气管从竖管顶部侧壁引出。第一进气管连接待测液体系统，第一出气管连接真空系统，第一出气管与真空系统之间设有真空活塞。第二进气管连通大气，第二出气管连接待测液体系统，第二出气管与测液体系统之间设有真空活塞。

使用时，将本装置用夹子固定于铁架台上或恒温槽所带的架杆上，向第一竖管和第二竖管中加入少量待测液体，使液体刚好没过第一进气管和第二进气管的尖嘴少许；将第一竖管上的第一出气管连接真空活塞 5，活塞另一侧连接真空系统，第一进气管连接待测液体系统；将第二竖管上的第二出气管连接真空活塞 4，活塞另一侧连接待测液体系统，第二进气管直接通大气。同时，连接好测量系统的其他管路，组装好的实验装置如图 3 所示。

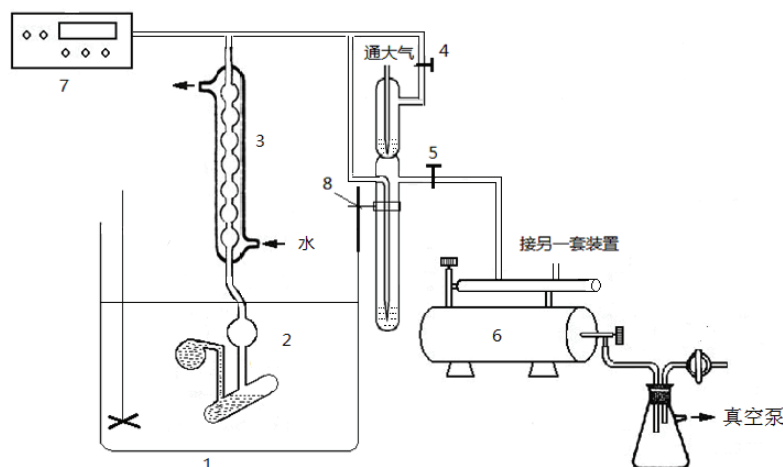


图3 静态法测液体饱和蒸气压装置示意图

(1)恒温槽; (2)等压平衡管^[5]; (3)冷凝管; (4,5)真空活塞; (6)不锈钢缓冲罐; (7)数字真空压力计; (8)架杆及铁夹

开始实验前先对系统抽真空，以测试系统有无漏气。抽完真空后关闭真空活塞 4 和 5，若真空压力计读数不变，则说明系统密封良好，可以开始测定工作。若有漏气，则将两个真空活塞涂抹真空脂。

测量乙醇的饱和蒸气压时，设定好第一个温度点 30℃，打开真空活塞 5，关闭真空活塞 4，开

启真空泵至真空气压表到 -95 kPa 后,此时乙醇在低气压状况下会自发产生气泡,让液体沸腾约 1 min 去除溶解空气。关闭真空活塞 5,小心缓慢地打开真空活塞 4,使空气进入系统,直至等压平衡管 U 形液柱相平,读取此时的真空气压表压力值和温度值,获得一组实验数据。在调压过程中,注意通过观察本装置中尖嘴处的冒泡速度和个数以控制气速和气量。改变恒温槽的温度,同样操作可获得一系列实验数据,完成液体饱和蒸气压的测定。

2.3 实验结果

该调控器整体结构为细长型,结构小巧,方便用铁夹安装,可直接安装在恒温槽所带的架杆上,不占实验台面空间,且改进后,因真空泵和缓冲罐的台套数减少,实验台面显得宽阔简洁。

用该调控器组装成的实验系统中,因真空橡皮管套接玻璃管处不易漏气,则可能的漏气点只有两个真空活塞处,当真空活塞处于关闭状态,抽气停止后若仍发现该调控器的第一进气管和第二进气管的尖嘴处有气泡冒出,就对相应活塞涂好真空脂即可。而在原来的简易装置中,大都采用抽滤瓶作为缓冲罐,除了活塞处可能漏气外,瓶口的橡皮塞经常因老化变硬而漏气,很难发现漏气点,处理也较难。

改进后的实验装置操控性变好,缩短了实验时间,学生的实验数据准确性也提高了。表 1 是一组测试实验数据,

表 1 乙醇在不同温度下的饱和蒸气压测量结果

T^{A}/K	真空表值/ kPa		p_{g}/kPa
	p_1	p_2	
303.15	-91.74	-91.82	10.58
308.15	-88.44	-88.48	13.9
313.15	-84.33	-84.35	18.02
318.15	-79.21	-79.18	23.165
323.15	-72.78	-72.86	29.54
328.15	-64.98	-64.95	37.395
333.15	-55.46	-55.41	46.925
338.15	-43.90	-43.96	58.43
343.15	-30.07	-30.11	72.27

^A 恒温槽温度; p_{g} : 平均饱和蒸气压; 室温: 294K ; 大气压: 102.36 kPa

液体饱和蒸气压与温度的关系符合克劳修斯-克拉贝龙方程^[8]:

$$\frac{\mathrm{d}\ln p}{\mathrm{d}T} = \frac{\Delta_{\text{vap}}H_{\text{m}}}{RT^2}$$

式中, $\Delta_{\text{vap}}H_{\text{m}}$ 是液体的摩尔蒸发焓, 在温度变化范围不大时, 近似作为常数, 积分得:

$$\ln p = -\frac{\Delta_{\text{vap}}H_{\text{m}}}{R} \times \frac{1}{T} + B$$

B 为积分常数。可以看出, $\ln p$ 与 $1/T$ 成线性关系。将表 1 数据作图结果见图 4。

得到的线性方程为:

$$\ln p_{\text{g}} = -4994.344 \times \frac{1}{T} + 25.75 \quad R^2 = 0.99998$$

根据其斜率求得乙醇的摩尔蒸发焓为:

$$\Delta_{\text{vap}}H_{\text{m}} = 4994.344 \times 8.314 \approx 41.523 (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$$

计算结果与化学手册查阅值^[9]非常接近。

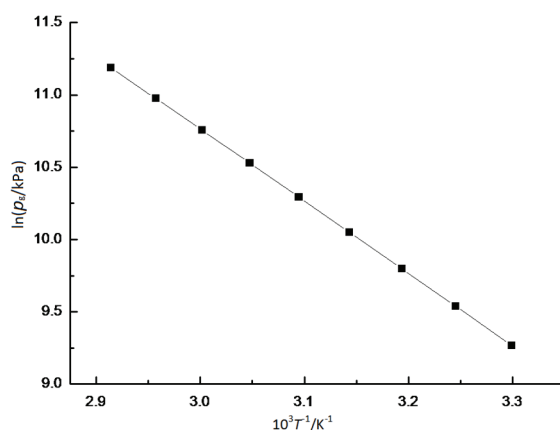


图4 测量乙醇的蒸气压与温度的关系

3 结语

设计的微小气流量调控器因为其可视性,可很好地辅助调节活塞以便控制微小气流和气量,大大提高了实验的可操作性,避免了调节过程中的盲目性,可有效防止空气倒灌,调压操作简便,缩短了实验时间。而且,本装置为细长型密闭结构,耐真空度高,方便用铁夹安装,可直接安装在恒温槽所带的架杆上,不占用实验台面空间。

其设计思想可推广应用于科研及生产的相似方面。

参考文献

- [1] 武汉大学化学与分子科学学院实验中心. 物理化学实验.第2版. 武汉大学出版社, 2012.
- [2] 复旦大学等, 合编. 庄继华等, 修订. 物理化学实验. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [3] 应柳枝, 薛茗月. 实验科学与技术, **2009**, 7(3), 156.
- [4] 陈顺玉, 董金雄, 陈古榕. 福建师范大学福清分校学报, **2008**, No.5, 15.
- [5] 龚楚清, 邓媛, 邓立志, 夏春兰. 化学通报(印刷版), **2015**, 78(10), 956.
- [6] 何北菁, 于建忠, 于振琪, 陈国勇, 杨元良. 大学化学, **2003**, 18 (1), 42.
- [7] 龚楚清, 邓媛, 邓立志, 夏春兰. 大学化学, **2016**, 31(3), 49.
- [8] 傅献彩, 沈文霞, 姚天扬. 物理化学. 第5版. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [9] 迪安, J. A., 主编. 兰氏化学手册. 第2版. 北京: 科学出版社, 2003.