

泡压式表面张力测定仪

魏彦林¹, 白云山^{1, 2*}, 李蕾², 李世荣¹

(1.陕西师范大学 基础实验教学中心, 西安 710062; 2.陕西师范大学 化学化工学院, 西安 710119)

摘要: 针对现有最大泡压法表面张力测定仪存在压力零点漂移、毛细管端面浸入样品深度和气泡速度难于精确控制等问题, 研制了一种新型的泡压式表面张力测定仪。该仪器的研制基于最大泡压法测定液体表面张力大小的原理, 以压力传感器为测压装置, 以两个内置潜水泵并通过回水管相联通的密闭水箱为正负压力产生装置, 同时, 增加新型的液位调节系统以及微量气速控制系统, 能更精确的控制产生泡压处的相切关系和稳定体系。该仪器实现了压力测量及控制的一体化, 具有设计合理、测量精度高、重现性好、灵敏可靠、操作简单等优点, 可满足物理化学实验及科研测量液体表面张力的要求。

关键词: 表面张力测定仪; 最大泡压法; 表面张力; 正丁醇

1 仪器研制背景

液体的表面张力是液体重要的物理化学参数。最大泡压法测定液体表面张力是经典的表面张力测定方法, 但目前国内依据该方法设计的实验装置普遍存在以下问题^[1, 2]: (1) 装置大都采用单一的增压或减压方式进行测定, 压力零点不稳定, 精确度不高, 实验数据误差大; (2) 操作过程复杂, 实验周期长; (3) 装置一般用玻璃材质加工而成, 在实验过程中容易破损, 存在安全隐患。这些问题导致该方法始终没有成为科学研究领域的主流实验方法, 但最大泡压法又拥有其他方法不能比拟的理论优势, 并可同时测定动静态表面张力, 这就为研制新型的基于最大泡压法的液体表面张力测定仪提供了一种需求。泡压式表面张力测定仪是基于最大泡压法的液体表面张力测定仪, 该仪器不仅能用于化学实验教学, 还可应用于科学研究, 其准确性、灵敏性、重现性、操作性和集成度均优于其他实验装置。

2 仪器结构组成

泡压式表面张力测定仪由压力源系统, 微压调节系统, 压力传感系统, 毛细管液面调节系统、温控系统和搅拌系统等组成, 其结构示意图如图 1 所示^[3], 图 2 为仪器外观图。

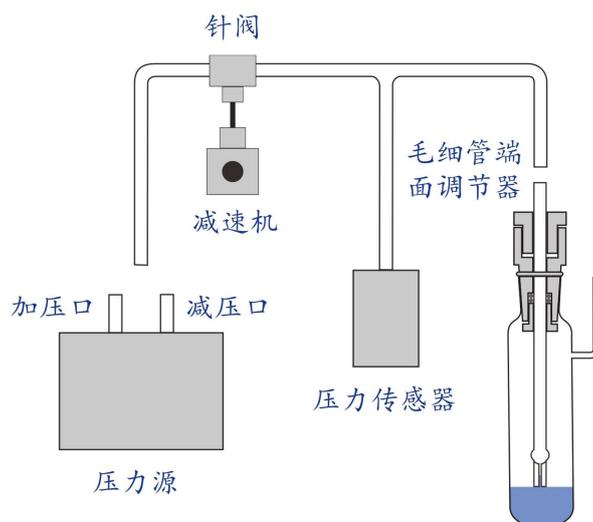


图1 仪器结构组成示意图



图2 仪器外观图

2.1 压力源系统

压力源系统是利用两个内置潜水泵的密闭水箱，通过相互改变水箱内水量造成压力差。既可实现增压操作又可实现减压操作，当以增压操作的测定值和减压操作的测定值之差作为计算液体表面张力的压力值时，可有效地消除仪器零点对测量的影响，极大地减少实验误差，提高了实验测量数据的准确性和精确度，设计原理如图3所示。需要的零部件包括潜水泵和回流管，可使两个密闭的水箱内产生恒定、持久的压差，这样的压力产生装置不仅简单、方便安装，且气速可控、恒定。

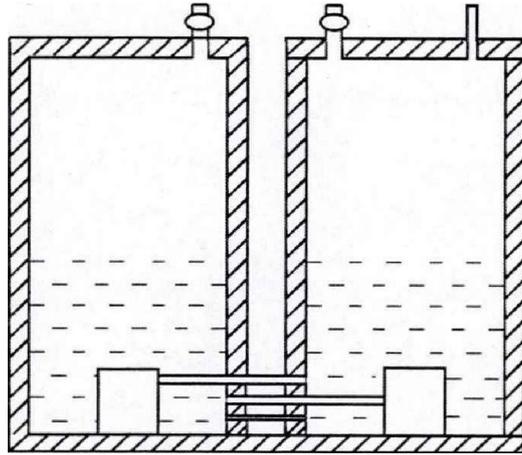


图3 压力源原理图

2.2 微压调节系统

微压调节系统采用以减速机带动针阀的方式，通过增加针阀的旋转周数，达到缓慢微量可控的目的。该系统不仅可以调节控制气速，而且可以缓慢改变压力的增长以及减小幅度，保持压力恒定。图4为铝合金减速机。



图4 铝合金减速机

2.3 压力传感系统

基于最大泡压法的原理以及常测溶液体系的性质，压力传感系统选择风压变送器，数显表的量程范围为 ± 900.0 Pa，其主要来源于所测数据具体范围以及精度。图6为仪器设备中的风压变送器，与微压传感器相比，精度相似、数据传输快，通过相关实验比对，在相似精确度的条件下，风压变送器精度适合、安装方便，能达到测定需求。



图6 风压变送器

2.4 毛细管液面调节系统

样品管上口以带有丝扣旋转的聚四氟塞子密封，通过旋转丝扣来垂直升降毛细管，用以直接调节毛细管端面与样品液面的相切程度。图7 为毛细管液面调节系统。

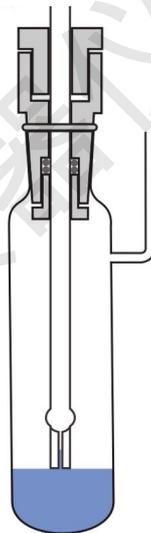


图7 毛细管液面调节系统

2.5 温控系统

最大泡压法测定液体表面张力时要准确控制所测液体体系的温度，因此所需温控表在符合仪器美观设计的同时，精度须达到 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。本仪器选用 AI-518 型温控表，配合 200 W 功率的加热棒，可以精确控制体系温度在 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，图8 为温控表。



图8 温控表

2.6 搅拌系统

搅拌系统选择调速电机带动旋转系统，旋转系统上安装能够产生磁场的磁条，制成电磁搅拌系统，可产生平稳、恒定的搅拌速度，如图9所示。



图9 调速电机

3 仪器性能测试

3.1 蒸馏水表面张力的测定

以蒸馏水为测试样品，测定其在不同温度下的表面张力，并与文献值比较。表1列出了蒸馏水在 25 °C、30 °C、35 °C时的表面张力测量值^[4]。

表 1 不同温度下蒸馏水表面张力测量值

| 温度 (°C) | | 压力数据 (Pa) | | | | | Δp (Pa) | 表面张力 (N/m) | 文献值 (N/m) | 相对误差 (%) |
|------------|----|-----------|--------|--------|--------|--------|--------------------|---------------|--------------|-------------|
| 25 | 增压 | 1436.2 | 1436.2 | 1436.3 | 1436.3 | 1436.1 | 1397.9 | 0.07199 | 0.07197 | 0.0278 |
| | 减压 | 38.5 | 38.1 | 38.3 | 38.3 | 38.3 | | | | |
| 30 | 增压 | 1432 | 1432.6 | 1432.6 | 1432.8 | 1432.9 | 1382.2 | 0.07118 | 0.07118 | |
| | 减压 | 50 | 50 | 50.6 | 50.6 | 50.7 | | | | |
| 35 | 增压 | 1426 | 1426.3 | 1426.7 | 1426.6 | 1426.4 | 1336.2 | 0.07036 | 0.07038 | -0.0284 |
| | 减压 | 60.3 | 60.1 | 60 | 60.4 | 60.2 | | | | |

从表 1 中可以看出，该仪器测定的蒸馏水压力值稳定，温度和操作对表面张力测量的平均误差为 0.02%左右，若消除温度对测量的影响，测量精度会有进一步的提高，表明该仪器适用于液体表面张力的测定。

3.2 乙醇—水溶液体系表面张力的测定

分别配置不同浓度的乙醇—水溶液体系，利用泡压式表面张力测定仪测量不同体系在 30 °C时的压力值，如表 2 所示。根据表格中结果用浓度对表面张力作图，表面张力与浓度的拟合曲线如图 10 所示，由此计算得到的乙醇的分子横截面积为 $S_{乙醇}=3.22 \times 10^{-19} \text{ m}^2$ 。

表 2 乙醇—水体系表面张力测量值 (30 °C)

| 浓度 | | 压力值 (Pa) | | | | | Δp (Pa) | 表面张力 |
|--------|----|----------|--------|--------|--------|--------|-----------------|--------|
| 蒸馏水 | 增压 | 1515.7 | 1515.9 | 1516.7 | 1516.2 | 1517.3 | 1408.6 | 0.0712 |
| | 减压 | 110.1 | 109.6 | 109.6 | 109.8 | 108.7 | | |
| 1.0913 | 增压 | 1359.1 | 1358.6 | 1358.8 | 1359.5 | 1358.9 | 1087.8 | 0.0550 |
| | 减压 | 271.6 | 271.6 | 271.1 | 271.0 | 271.0 | | |
| 2.1739 | 增压 | 1276.1 | 1275.9 | 1276.3 | 1276.1 | 1275.8 | 918.7 | 0.0464 |
| | 减压 | 357.3 | 357.3 | 357.2 | 357.1 | 357.8 | | |
| 3.2609 | 增压 | 1220.1 | 1220.2 | 1219.7 | 1219.6 | 1219.8 | 804.1 | 0.0406 |
| | 减压 | 414.9 | 415.7 | 415.0 | 415.1 | 415.7 | | |
| 4.3478 | 增压 | 1188.6 | 1188.6 | 1188.2 | 1188.5 | 1188.0 | 737.1 | 0.0373 |
| | 减压 | 451.9 | 450.5 | 451.8 | 450.4 | 452 | | |
| 5.8397 | 增压 | 1147.2 | 1147.4 | 1147.6 | 1147.7 | 1147.8 | 652.2 | 0.0330 |
| | 减压 | 495.4 | 495.0 | 495.0 | 494.8 | 496.3 | | |
| 7.3130 | 增压 | 1124.6 | 1124.7 | 1125.2 | 1125.1 | 1124.8 | 608.2 | 0.0307 |
| | 减压 | 516.8 | 516.7 | 516.9 | 516.3 | 516.9 | | |

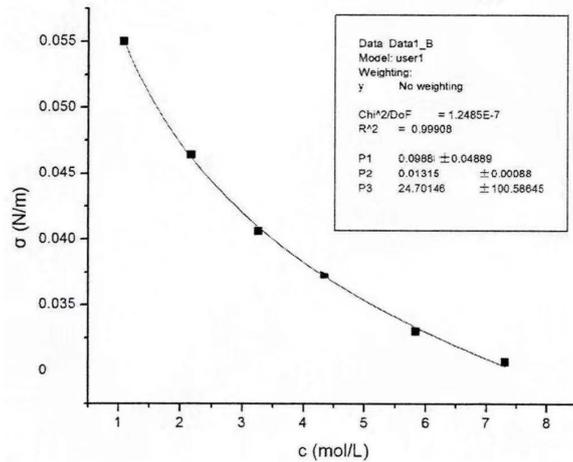


图 10 乙醇—水溶液体系浓度与表面张力拟合图 (30 °C)

3.3 正丁醇—水溶液体系表面张力的测定

分别配置不同浓度的正丁醇—水溶液体系,利用泡压式表面张力测定仪测量不同体系在 30 °C时的压力值,如表 3 所示。根据表格中结果用浓度对表面张力作图,表面张力与浓度的拟合曲线如图所示,由此计算得到的正丁醇的分子横截面积为 $S_{\text{正丁醇}}=2.72 \times 10^{-19} \text{ m}^2$ 。

表 3 正丁醇—水体系表面张力测量值 (30 °C)

| 浓度 (mol/m ³) | | 压力值 (Pa) | | | | | Δp (Pa) | 表面张力 (N/m) |
|-----------------------------|----|----------|--------|--------|--------|--------|-----------------|---------------|
| 蒸馏水 | 增压 | 620.2 | 620.7 | 621.9 | 622.1 | 623.1 | 1240.04 | 0.0712 |
| | 减压 | -617.2 | -619.0 | -619.3 | -618.8 | -617.9 | | |
| 0.0518 | 增压 | 533.1 | 533.6 | 532.9 | 535.2 | 535.0 | 1063.68 | 0.0611 |
| | 减压 | -528.7 | -528.9 | -529.1 | -530.4 | -531.5 | | |
| 0.0990 | 增压 | 478.8 | 477.7 | 478.9 | 480.4 | 480.7 | 951.20 | 0.0546 |
| | 减压 | -472.2 | -470.4 | -472.9 | -472.1 | -471.9 | | |
| 0.2034 | 增压 | 403.5 | 404.5 | 404.5 | 405.9 | 404.0 | 805.44 | 0.0462 |
| | 减压 | -401.8 | -402.4 | -400.4 | -400.4 | -399.8 | | |
| 0.3007 | 增压 | 362.9 | 362.1 | 361.5 | 361.6 | 363.4 | 717.44 | 0.0412 |
| | 减压 | -356.0 | -354.4 | -355.4 | -354.8 | -355.1 | | |
| 0.3468 | 增压 | 338.4 | 339.8 | 338.6 | 338.8 | 338.3 | 675.98 | 0.0388 |
| | 减压 | -337.7 | -337.8 | -337.8 | -336.0 | -336.7 | | |
| 0.4011 | 增压 | 323.2 | 322.6 | 323.6 | 323.5 | 323.2 | 642.86 | 0.0369 |
| | 减压 | -320.7 | -319.8 | -319.6 | -319.6 | -318.5 | | |

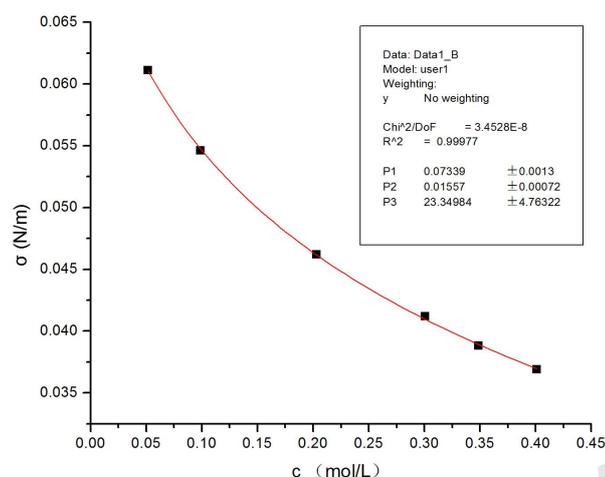


图 11 正丁醇—水溶液体系浓度与表面张力拟合图 (30 °C)

通过泡压式表面张力测定仪测得的乙醇—水溶液和正丁醇—水溶液的表面张力数据,计算的乙醇分子和正丁醇分子的横截面积的范围均为 $2.6\sim 3.0\times 10^{-19} \text{ m}^2$, 很好的与文献值 $2.4\sim 3.2\times 10^{-19} \text{ m}^2$ 相吻合, 该仪器的压力测量精度不低于 0.01 mN/m , 并且数据拟合相关系数均在以上 0.999 以上。达到科研教学的测定精度, 在数据结果上体现了良好的准确性、重现性、可控性等优势, 大大提升了现有最大泡压法表面张力测定仪测定能力, 实现了实验装置一体化。

4 仪器应用效果

研发的泡压式表面张力测定仪, 先后已面向本校 8 届化学、材料专业本科生开设了“最大泡压法测定溶液的表面张力”物理化学实验。同时, 该实验仪器和实验方法在复旦大学、陕西科技大学, 西北大学、西北工业大学、青海师范大学, 西安文理学院等诸多高等院校得到了应用, 受到了师生的广泛认可和充分肯定。

5 结论

研发的泡压式表面张力测定仪集微压产生装置、风速调节装置、样品液位调节装置、微压测定装置、恒温控制装置于一体, 可实现实验装置一体化测定。该仪器克服了现有仪器压力零点漂移、毛细管端面浸入样品深度难控、风速控制不易等影响液体表面张力测定结果的缺陷, 测量数据更加准确、图形拟合度高。

参考文献:

[1] 贡雪东, 张常山, 王大言, 等. 最大气泡法测液体表面张力的改进[J]. 大学化学, 2002,

19(5): 37-38.

- [2] 闫华, 金燕仙, 钟爱国, 等. 溶液表面张力测定的实验数据处理分析与改进[J]. 实验技术与管理, 2009, 26(5): 44-46.
- [3] 白云山, 李蕾, 王科旺, 等. 液体表面张力测定仪: CN201020643137.6[P]. 2011-08-10.
- [4] 史永臣, 王晓凯. 大学物理实验[M]. 长春吉林科学技术出版社, 1998, 88-90.

中国仪器仪表学会