

力平衡法测量大气压强的实验研究

杨自强^a, 钟寿仙^b, 任团结^a, 夏亚康^a, 胡家晨^a, 林春丹^{b*}
(中国石油大学(北京) a. 化学工程学院; b. 理学院, 北京 102249)

摘要: 依据力平衡法原理, 重新构思、设计了测量大气压强的实验方案及装置, 力学传感器的使用, 提高了大气压强测量中的关键物理量的测量精度; 采用最小二乘法, 实现了大气压强的巧妙测量, 提高了实验测量结果的精度。

关键词: 力学传感器; 注射器; 压强; 体积; 力平衡; 最小二乘法

中图分类号: O 4-34

Experimental study on the measurement of atmospheric pressure based on force balance principle

Yang ziqiang^a, Zhong shouxian^b, Ren tuanjie^a, Xia yakang^a, Hu jiachen^a, Lin chundan^{b*}

(a. College of Chemical Engineering; b. College of science, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China)

Abstract: Based on the force balance principle we redesigned the experimental scheme and apparatus to measure the atmospheric pressure: the usage of mechanical sensor improved the measurement accuracy of the pulling force – the key physical quantity for the atmospheric pressure measurement; Due to the employment of the least square method the measurement of atmospheric pressure has been realized ingeniously and the accuracy of the experimental results have been improved.

Key words: Mechanical sensor; injector; atmospheric pressure; volume; force balance; least square method

1 引言

随着人们对大气压强越来越深入的研究, 大气压强及其相关仪器在越来越多的领域得到应用, 如: 大气压强测量高度^[1]、大气压强传感器在海拔高度测量中的应用^[2]、横向激励大气压激光器发展近况等。大气压强的物理变化涉及温度、湿度、海拔等多个因素, 为此人们提出了各种各样的精确计算大气压强的方法, 如: 利用遗传算法求大气压强精确公式^[3]、用改进的基因算法求大气压强公式^[4]、等温大气压强公式及其应用^[5]等。然而, 已有的测量大气压强的实验测量装置及其测量方法均存在一些不足之处, 例如, 经典的利用注射器测量大气压强的实验设备简单易于实现^[6], 但是实验中即便在注射器活塞上涂凡士林或其他润滑油等, 为了提高测量精度, 不仅要考虑推动活塞时所产生的摩擦阻力, 而且难以做到注射器的

活塞的缓慢匀速运动以及即时测得施加到活塞的拉力——测量大气压强的关键测量量。用玻意耳实验仪测量大气压强是通过测量力和气体体积而实现，但此法由于受施加在压缩器活塞上的砝码个数所限^[7]，测量的体积大小取决于施加的砝码的质量，所能读取的体积个数有限，这会影响到实验数据的精确度。因此我们提出精确测量当地大气压强的方案，并构思、设计了实验装置，提高了实验结果的精确度。

2 实验装置设计

在经典的利用注射器测量大气压强的简单实验设备和玻意耳实验仪测量大气压强的基础上，依据力平衡法原理，研究得出了等温过程中注射器活塞所受拉力与其内体积变化的线性函数关系式，重新构思、设计了实验方案及装置（如图 1 所示）：采用力学传感器，实现了大气压强测量中的关键物理量——拉力的精确测量；采用最小二乘法，避开了考虑实验测量中摩擦引起的误差，同时提高了大气压强实验测量结果的精度，实现了大气压强的巧妙测量^[8]。

如图 1 所示为设计的实验装置。整个实验装置由 S 型力学传感器、自制支架、定滑轮、注射器等构成。注射器一端与 S 型传感器连接，实验时用 10ml 注射器吸入适量空气，用蜡封住注射器针头，并将针头与细线粘固。为了保证作用于注射器活塞拉力与注射器始终保持水平方向减少由于拉力的方向会发生偏移所引起的误差，安装了定滑轮。自制铁架台上所安装的 S 型力传感器精度可达到 5g 量级，而且可通过传感器方便、准确地读出任意时刻的拉力，利用注射器上的刻度可测量出针管中的空气的体积。

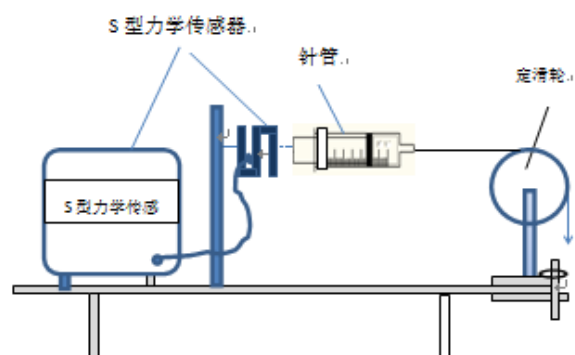


图 1 实验装置图

3. 实验原理

设注射器中的空气为理想气体（常温下压强变化不大时近似为理想气体），初始时注射器内的空气体积为 V_0 ，气体压强为大气压强 P_0 ，拉动注射器活塞改变后的体积为 V' ，此时对应的气体压强为 P' ，测得的相应拉力为 F 。

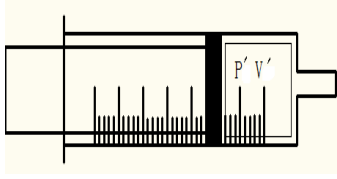


图2 体积测量图

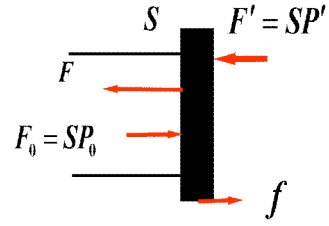


图3 活塞受力图

匀速缓慢拉动注射器的过程可近似为等温过程，则注射器内气体压强与体积变化满足：

$$P_0V_0 = P'V' = C \quad (1)$$

取注射器活塞作为研究对象，设活塞内表面受到注射器内气体压力为 F' ，注射器壁筒的摩擦力 f ，活塞外表面受到大气压力 F_0 ，S 型（号）力传感器对活塞的拉力 F ，（由于拉动过程缓慢，）则活塞上所受的作用力如图 3 所示，匀速缓慢拉动注射器的过程中，作用在活塞上的力达到平衡，因此有：

$$F + SP' = SP_0 + f$$

$$F = SP_0(1 - \frac{V_0}{V}) + f \quad (2)$$

联立（1）、（2），，对比线性方程 $y = kx + b$ 可得

$$P_0 = \frac{K}{S} \quad \text{③}$$

即大气压强 P_0 等于拟合直线斜率 k 与注射器活塞横截面积 S 之比，由此，我们可通过实验测量出（2）式中的拉力和空气体积为 V_0 以及注射器活塞在任意位置处体积 V ，利用最小二乘法拟合得到 F 与 $1 - \frac{V_0}{V}$ 关系曲线，从而得到曲线的斜率 k 带入（3）式即可得到大气压强值。

4. 实验步骤与结果

1) 测量当地大气压强步骤

(1) 将 S 型号力传感器调零，读出注射器中初始空气体积 V_0 ；

- (2) 缓慢匀速注射器，当注射器体积达到相应观测点时，记录下拉力传感器显示读数（力 F 值）和注射器体积 V 值，重复测 6~8 次。
- (3) 用游标卡尺测量注射器活塞的直径；
- (4) 利用最小二乘法进行数值分析，得出拟合直线斜率 k 及相关系数 r ，计算出当地大气压强 P_0 。

2) 数据及数据处理

实验测得的数据如表 1 所示

$V_0/(10^{-6}m^3)$	$V/(10^{-6}m^3)$	$1-V_0/V$	传感器读数 F/kg	F/N	斜率 k
2.00	3.00	0.33	0.725	7.11	20.876
2.00	4.00	0.50	1.105	10.83	
2.00	5.00	0.60	1.345	13.18	
2.00	6.00	0.67	1.485	14.56	
2.00	7.00	0.71	1.575	15.44	
2.00	8.00	0.75	1.650	16.17	
2.00	9.00	0.78	1.655	16.22	
2.00	10.00	0.80	1.735	17.01	
注射器截面积 $S = (2.0918 \pm 0.0059) \times 10^{-4} m^2$ 环境温度 $t = 11.5^\circ C$					

利用表 1 实验数据，我们得到拉力 F (N) 与体积变化 $1 - \frac{V_0}{V}$ 的关系如图 4 所示

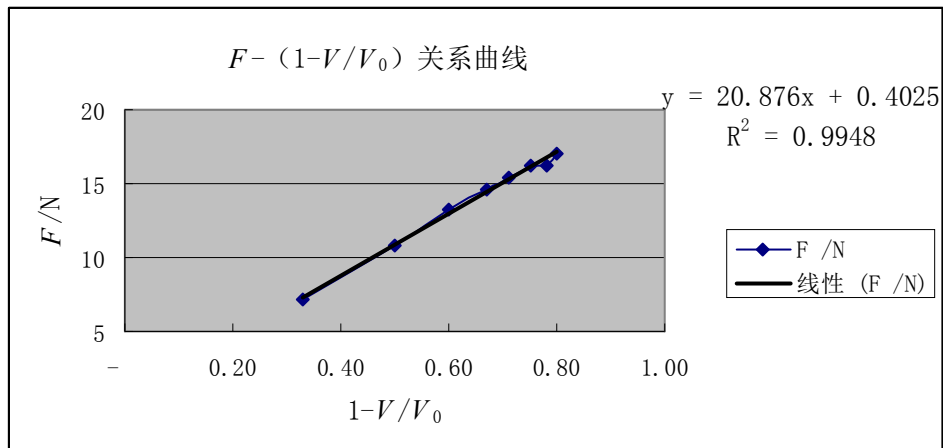


图 4 拉力与体积变化关系曲线

以上数据是在环境温度为 $t=11.5^\circ C$ 条件下得到的，拟合直线斜率为 $20.876 \pm 0.616^{[9]}$ 。经过计算大气压强实验结果

$$P_0 = (0.999 \pm 0.029) \times 10^5 \text{ pa}$$

北京在同等条件下公布的数据为 $1.016 \times 10^5 \text{ pa}$ ，因而我们认为，我们所设计的这一套实验装置和实验方法合理可靠。

5 结语

在大气压强的测量中有很多因素比如温度、海拔高度、湿度等自然因素会影响到实验结果之外，还会受到一些可控因素的影响，比如本实验中用到的注射器、s 型力传感器精度，实验中绕在滑轮上的细钢丝绳水平调节以及环境（如振动）等因素的影响。本实验用自组建的实验装置设计构思巧妙，操作简单，用 s 型力传感器、注射器和最小二乘法进行的直线拟合，巧妙地实现了当地大气压强的测量，解决了经典的利用注射器测量大气压强时因注射器活塞的摩擦力造成的实验误差以及用玻意耳实验仪测量大气压强因受施加在活塞上的砝码个数限制所造成的数据采集受限，从而影响测量精度等问题。今后拟用位移传感器提高体积的测量精度，以进一步提高实验测量结果的精确度。

参考文献:

- [1]方小兵. 大气压与高度关系的再讨论[J]. 安康师专学报, 2005, 17(1):96-97.
- [2]赖武刚, 郭勇, 詹鹏. 大气压强传感器 TP015P 在海拔高度测量中的应用[J]. 电子元器件应用, 2010, 12(8): 11-13.
- [3]王志军, 宋立军. 利用遗传算法求大气压强精确公式[J]. 长春大学学报, 2001, 11(5) : 31-33.
- [4]吕焄,王霞. 用改进的基因算法求大气压强公式[J]. 大学物理, 2004, 23(3): 55-58.
- [5]靳海芹, 吉紫娟. 等温大气压强公式及其应用[J]. 湖北第二师范学院学报, 2010, 27(2) : 18-19.
- [6]万贞贵. 关于“大气压的测量”实验的改进[J]. 物理通报, 2008, 6: 60-62.
- [7]苏成仁. 用玻意耳定律测量高海拔地区的大气压强[J]. 物理实验, 2011. 31(3): 31-32.
- [8]孙为, 唐军杰, 王爱军等. 大学物理实验[M]. 北京:中国石油大学出版社, 2007: 31-33.
- [9]刘渊, 建华, 王茂仁. 直线拟合中的不确定度计算[J]. 物理与工程, 2009, 19(2):25-27.

资助项目:

1. 中国石油大学（北京）2011 重大教改项目“基于石油石化数理素养教育教学平台的 CDIO 人才培养模式的创新与探索”（项目编号：**2012zdjgxm001**）
2. 中国石油大学（北京）2010 重点教改项目“教、学、研互动式大学物理教学体系建设研究与实践”（教改编号：**2010jgxm075**）