•化学实验• doi: 10.3866/PKU.DXHX201712044 www.dxhx.pku.edu.cn

物理化学实验室真空与气路系统的改进

吴平平[1,*]，徐晓明[1]，夏文生[1,2,*]

[1] 厦门大学化学化工学院，化学国家级实验教学示范中心，福建 厦门 361005

[2] 厦门大学化学化工学院，福建省理论计算化学重点实验室，福建 厦门 361005

摘要：物理化学实验中，不少实验需要通气体，因此，物理化学实验室气路系统的设计安装具有极其重要的意义。本文针对物理化学实验中所出现的几种气路进行了说明并改进，提高了实验气路系统的可操作性，降低了气体泄漏的可能性，保障了实验室的安全。

关键词：物理化学实验；真空技术；气路设计

中图分类号：G64；O6

Optimization for Design on the Pipeline and Vacuum Systems in Physical Chemistry Laboratory

WU Pingping[1,*], XU Xiaoming[1], XIA Wensheng[1,2,*]

[1] National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education, College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, P. R. China.

[2] Fujian Province Key Laboratory of Theoretical and Computational Chemistry, College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, P. R. China.

Abstract: A number of experiments are involved into the use of gas in physical chemistry laboratory, and then design and installation of pipeline and vacuum systems are significant for many technicians. Here, taking the use of some typical gases in laboratory as examples we introduce our improvement on the pipeline and vacuum systems. This improvement brought the operability of these pipeline and vacuum systems, reduced the risk of gas leakage, and then enhanced the safety during experiments.

Key Words: Physical chemistry laboratory; Vacuum technique; Pipeline design

1 引言

物理化学实验中许多经典教学实验，如固体物质的热分解平衡常数测定、饱和蒸气压测定、燃烧热测定、H_2气析出或进入电解质溶液的电化学实验等，都或多或少的与真空抽气、气体存放使用及其流动控制技术等有关。由于气体的流动性、不易见性和某些气体的有毒、易燃、易爆性，气体的存放和使用会给实验的实施和设计带来一些无形的困难。因此，气路设计和真空系统技术的合理实施是实验教学完成和教学效果保障不可缺少的部分，也是物理化学教学实验室建设的一个重要组成部分，对实验室技术人员的素养提高有显著的增益作用。

收稿：2017-12-29；录用：2018-02-02；网络发表：2018-02-28

*通讯作者，Email: wuhua3@xmu.edu.cn; wsxia@xmu.edu.cn

基金资助：国家基础科学人才培养基金项目(J1310024)；2016 年度教育部“基础学科拔尖学生培养试验计划”研究课题；2017 年福建省本科高校教育教学改革研究项目(FBJG20170295)；2017 年度厦门大学教学改革研究项目(JG20170204)

基础化学实验(三)——物理化学实验里常用到的气体有氢气、空气、氮气、氧气等，其中氢气为易燃易爆气体。结合厦门大学 2015 年提出的实验室 6S (整理、整顿、清洁、素养、安全)管理理念[1]，我们着重对实验室中原有的气路设计和真空系统进行了重新布局和考虑[2]，以尽可能消除原有的气路设计和真空系统经多年使用后出现的一些问题和隐患(如硅橡胶管老化而致的气体泄漏，气体调压经缓冲储气罐后易发生气体冲开管道，真空系统气密性不够，安全和环保隐患等)。主要体现在如下几个方面。

1.1 气体的存放和安全性

气体钢瓶单独存放，并置于具有易燃易爆气体监测报警装置和排风系统的钢瓶柜中(图 1)，远离热源(阳光、暖气炉火、电火花、静电放电)。所在存放室必须配备必要的消防灭火器材。

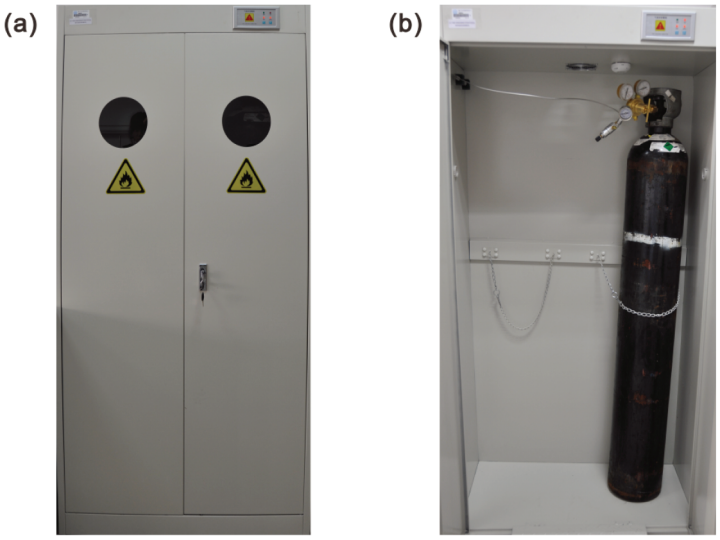

图 1 钢瓶柜及内部示意图

(a) 钢瓶柜；(b) 顶部为排风系统和气体检测报警装置，内部为钢链条固定的气体钢瓶

1.2 气体的管路和流动控制

气体管路采用横平竖直式设计(图 2)，确保实验室管路走向清晰可见，便于气体泄漏检查。因地处沿海地区，管路材质均采用耐腐蚀性能较好的 316 不锈钢管，并增设合理的压力或流动调节阀门以控制气体的流动。

图 2 横平竖直式气路

1.3 系统的气密性

改进实验装置，减少气路中转环节，采用气密性较好的部件，增强管路和实验装置的气密性，提高系统所达真空度。

下面我们即以物理化学实验室中常遇到的几种气路和真空系统的建设为实例着重说明改进的情况，具体包括燃烧热测定中的充氧气路、乙醇饱和蒸气压测定和碳酸钙热分解平衡常数测定中的真空系统、电动势法测定电解质溶液(HCl)的平均活度系数和 BET 流动吸附法测固体比表面实验中使用的通气和流动控制系统等[3]。

2 实例

2.1 实例一 燃烧热的测定中的充氧气路

燃烧热实验的充氧气路比较简单。氧气经钢瓶减压阀连接充氧器，将充氧器的压力调整至合适的压力值，以满足实验需求。由于不需为每人配置一台充氧器，故将其单独列于公用位置，供多套燃烧热实验装置中的氧弹充氧之用(图 3)。氧气在加压后经过充氧器充入氧弹内。用专用放气螺帽按压进出气孔，可放出氧弹中的气体。

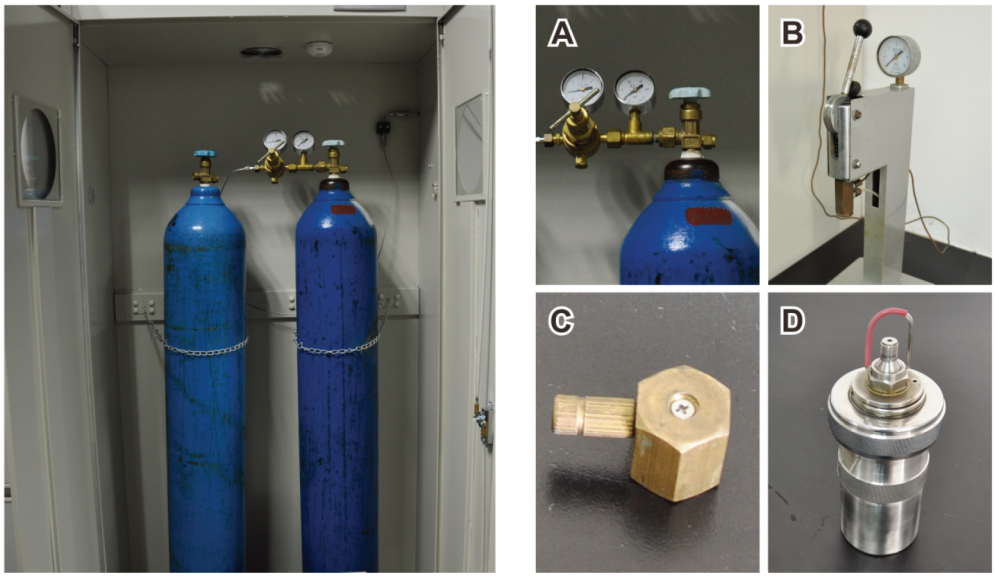

图 3 燃烧热的测定之充氧气路

(A) 减压阀；(B) 充氧器；(C) 放气螺帽；(D) 氧弹

2.2 实例二 乙醇饱和蒸气压的测定和碳酸钙分解常数的测定的真空系统

静态法测乙醇饱和蒸气压和碳酸钙热分解平衡常数的测定实验都须使用真空系统，且对真空度有一定的要求，因此，须配置无烟、噪音小而马力足够的真空泵，且以气密性较好的波纹管连接至实验管路(不锈钢质地气路)。为节省空间，我们将真空泵安置在水槽旁边的推拉式门柜中，使用时把门打开，使用后则将门推回。真空泵的操作规范置于旁边的操作台面上(图 4)。

饱和蒸气压测定整个实验所采用的玻璃仪器装置使用一体化设计，以减少连接处气体泄露的可能性。所涉真空系统装置主要由三部分构成：① 机械泵、缓冲瓶和储气罐部分，用以产生真空及调节体系内压力；② 真空计量部分(包括数字压力计)；③ 恒温槽、平衡管、冷凝管和冷阱部分，被测液体处于真空瓶内，利用自身的蒸气压以达到饱和。

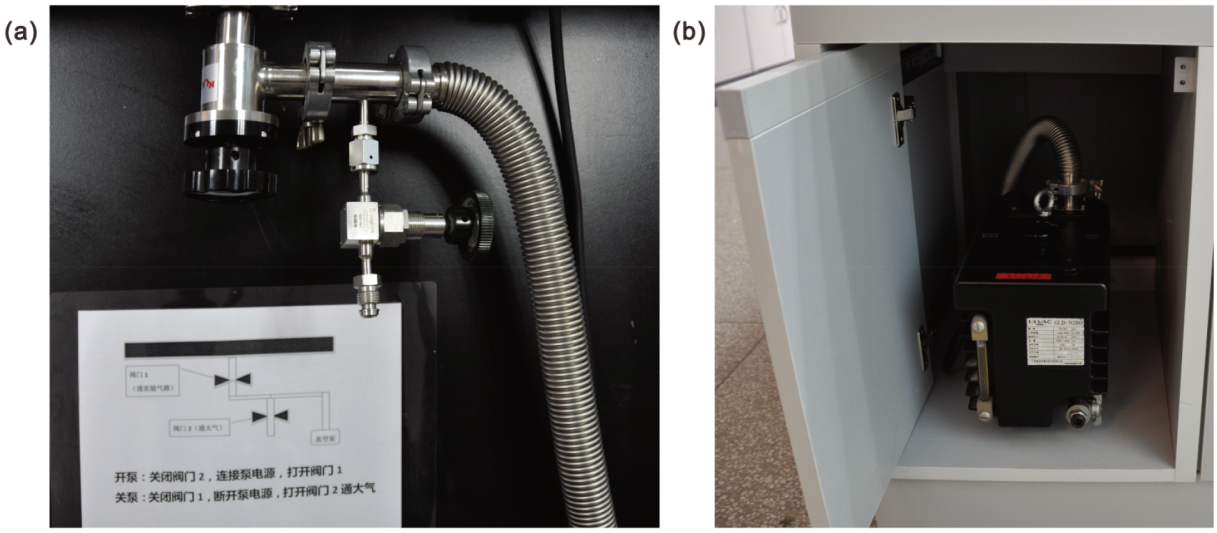

图 4　真空泵摆放及操作规范

(a) 波纹管连接实验气路与真空泵；(b) 真空泵摆放位置

碳酸钙热分解平衡常数的测定实验装置，改造前管路为 PVC 管路和普通的气阀门，反应管与气路接口中转衔接处较多，这种不合理的气路设计，加上 PVC 管的老化，极易影响系统的气密性，导致气路中的气体泄漏，使系统的真空度常无法达到实验教学的要求；改造后的气路设计为真空泵通过气密性较好的波纹管连接其负载的多套实验装置。各连接处设置真空角阀，以避免影响到各自的实验体系。不锈钢管路间的衔接则通过金属 O 形圈外缘之高密度耐压橡胶垫片连接金属法兰，以卡箍严密扣紧，金属与橡胶膜间产生气密膜，增加了整个真空系统的气密性。反应管则重新设计，减少气路接口的中转衔接，以确保实验能达到足够高的真空度，从而使实验测定可以顺利进行。如图 5 所示，改造后的气路系统主要由连通件、真空角阀、转接、卡箍、金属法兰、金属 O 形圈，以及波纹连接管等部件组成。采用新的气路设计后，实验系统真空度显著提升，气体泄漏现象显著减少。

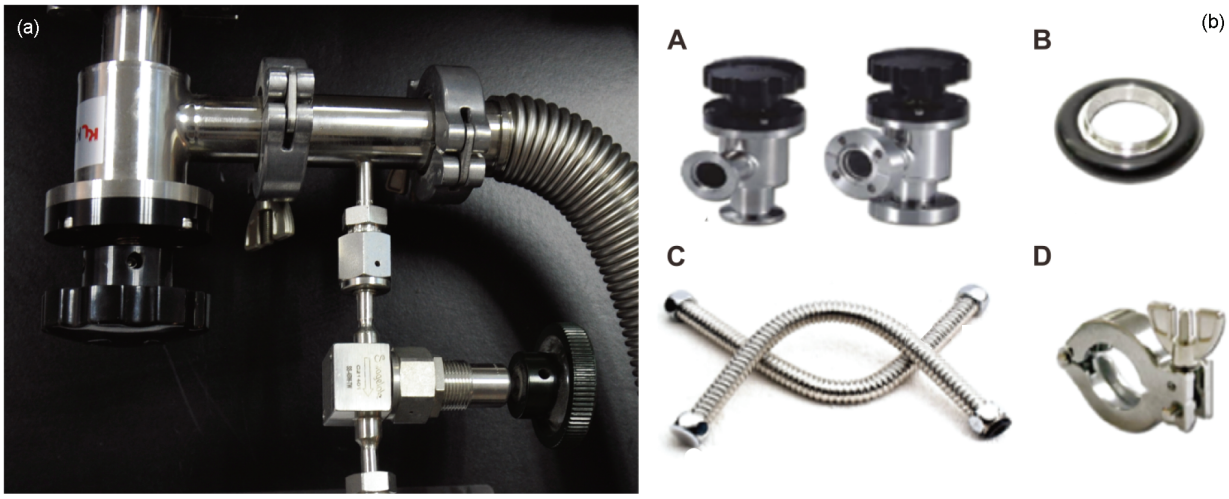

图 5　真空系统气路一角(a)和零配件(b)

(A) 真空角阀；(B) 金属 O 形圈；(C) 波纹管；(D) 角箍

2.3 实例三 电动势法测定电解质溶液(HCl)的平均活度系数和 BET 流动吸附法测定固体比表面的通气和流动控制系统

电动势法测定电解质溶液(HCl)的平均活度系数实验，需要构建由铂黑电极、银-氯化银电极组成的单液电池，其电池式为 Pt | H_2(g) | HCl(m) | AgCl(s)-Ag，即需要使用 H_2 气。由于 H_2 气为易燃易爆气体，安全性是这一气路设计考虑的重点，所以气路设计中的气体管路宜走明线，二级减压阀出口处要设置阻火器，实验室要设置氢气探测和报警装置，报警装置与防爆排风扇联动。详见图 1 和图 6。

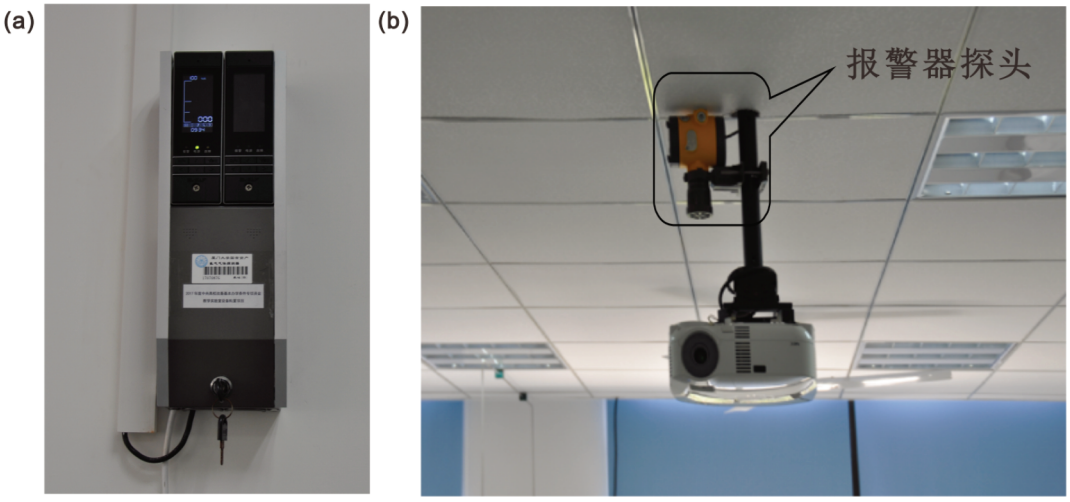

图 6 氢气报警器

(a) 报警器主机；(b) 报警器探头

气瓶柜的顶部和实验室的顶部须安置气体泄露报警装置。该装置由主机和探头构成。主机安放在易操作的明显位置；报警器探头则按安装在气瓶柜的顶部及利用原有的投影仪吊杆，装在吊杆上靠近吊顶处，以合理利用实验室空间。

BET 流动吸附法测固体比表面实验，从安全角度考虑，选用了空气作为载气(载气的选择依据是其不得与吸附剂、吸附质发生作用)。原实验气路中载气经钢瓶、减压阀到缓冲储气罐、带汞稳压装置、气体净化系统，再接入实验气路；改造后的实验气路设计则摒弃含汞稳压装置、气体净化系统，以高纯载气自专设钢瓶柜中的钢瓶、减压阀，通过不锈钢管路，接入实验气路。气体的流动由实验气路接入处增设的调节阀门控制。因此，改造后气路的使用，相对原气路，改善了环境，减少了气体泄漏隐患，节省了用气量，且实验中的气路流速更易调节，提高了可操作性。

综上所述，设计气路和真空系统时应在气体存放、使用安全性、环保性、气路布局、流动控制以及气密性等方面予以重点考虑，并将实验室 6S 管理理念融入其中，才能有效地构建实验室的气路系统和真空系统，提升实验安全和实验效果，使学生能够较清楚地理解气路和真空系统相关的实验原理、步骤及有关注意事项和技能。

参 考 文 献

[1] 张春艳, 翁玉华, 董志强, 欧阳小清, 阮婵姿, 潘蕊, 许振玲, 颜长明, 任艳平. 大学化学, **2017,** *32* (4), 40.

[2] 马智锟. 高校实验室气体钢瓶的安全使用规范. 高校实验室工作研究, **2016,** No. 3, 108.

[3] 韩国彬, 陈良坦, 李海燕, 袁汝明. 物理化学实验. 厦门: 厦门大学出版社, 2010.