

乙烯制取和性质实验装置改进及试剂微量化探究

彭小平^{1,2}, 李建强³

(1. 上海市古美高级中学, 上海 201101; 2. 上海师范大学附属喀什实验中学, 新疆喀什 844000;
3. 上海市第三女子中学, 上海 200050)

摘要: 从乙烯气体制备实验改进切入, 在参阅相关文献基础上, 选用乙烯利和氢氧化钠为主要试剂, 以鲁尔四通阀、针筒与一些常规仪器相结合, 对乙烯制取及其性质实验的装置及操作进行系统改进, 促进试剂微量化, 根据实验现象从化学键角度阐释乙烯与溴反应可能产物的分子结构模型, 且拓展了部分实验内容。改进实验具有操作简便、环保节约、可行性高等特点。

关键词: 乙烯制取; 乙烯性质; 实验装置改进; 试剂微量化

文章编号: 1005-6629(2025)03-0077-04 **中图分类号:** G633.8 **文献标识码:** B

1 问题的提出

乙烯是最简单的烯烃, 是烯烃和不饱和烃的代表物, 对乙烯结构和性质的学习在不饱和烃乃至有机物的学习中有着至关重要的意义^[1]。化学是一门实验科学, 实验事实是理解结构和性质的最佳途径。传统教材中乙烯的制备及化学性质实验为演示实验, 用浓硫酸和 95% 乙醇在 170~178℃ 的条件下发生消除反应制得乙烯^[2](见图 1)。装置偏复杂, 操作难度大, 有副产物乙醚生成, 乙醚易燃, 操作不当会引发事故; 实验中试剂用量偏大, 没作尾气处理, 不符合环保理念。基于此, 创设系列试剂微量化实验, 不但简化实验流程, 减少实验材料消耗, 实现资源节约, 还可将演示实验改为学生实验, 增强学生的动手能力, 培养学生的科学态

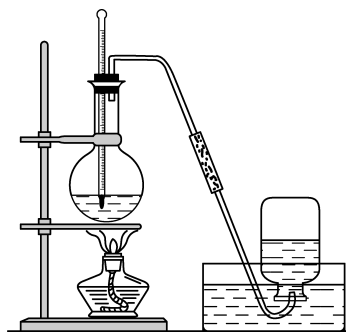


图 1 乙烯制备实验装置示意图

度、环保意识及创新能力。

在乙烯加成反应的性质实验中, 教材根据乙烯使溴的 CCl_4 溶液退色检验不出溴离子从而排除取代反应得出加成反应的结论缺乏说服力, 基于此, 本文设计先让学生用分子模型搭建可能的产物分子结构(满足碳四键的前提下)作为猜想基础, 然后设计一个反应后气体体积减小导致的倒吸实验(用红墨水代替水, 现象非常明显), 得出唯一可能的产物结构。最后再从微观结构佐证, 从而引出加成反应的本质。

2 相关文献概述

在乙烯制备实验中, 有研究者已提出过一些改进方法。任有良等以固体粉末为吸附剂, 将醇酸混合液用一定量的固体(分别选用锅炉煤渣、红砖块、无水硫酸镁等)混合成“固态状”, 减少了硫酸的用量, 降低了无水乙醇的碳化率^[3]。杨玉峰从分子筛催化乙醇脱水制乙烯的反应出发, 采用廉价、易得的活性白土-石棉作催化剂, 催化乙醇高温气相脱水制备乙烯^[4]。这两个方法在装置复杂程度上跟教材实验相当, 实验用品处理上也比较复杂。黄勇良研究用乙烯利制备乙烯的方法^[5], 虽试剂易得、操作简便, 但在装置的简化与性质实验的集成上还存在不足。

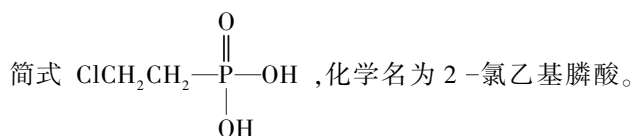
余静等利用鲁尔四通阀改进高中化学实验^[6], 给

我们以启发。并在中学实验中探究并实施试剂微量化将有利于从源头减少化学药品的耗费和减少对环境的污染,有利于开展学生动手的实验活动^[7]。

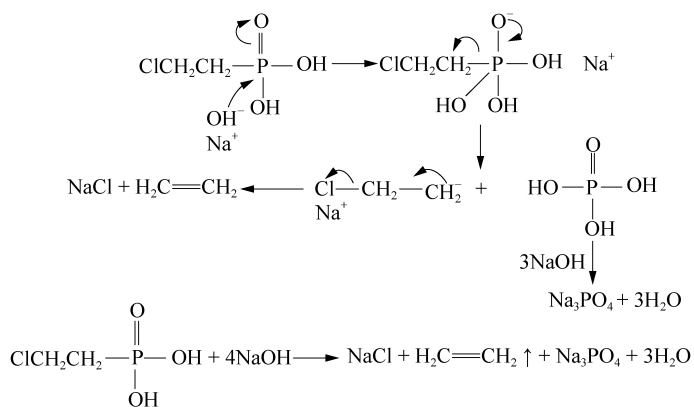
3 实验的改进

3.1 制备乙烯的实验新设计

查阅资料^[8,9]得知:乙烯利分子式 $C_2H_6ClO_3P$, 结构



乙烯利水溶液在碱性条件下, 无需加热即可迅速生成乙烯。反应机理如下:



实验用品: 四通阀、两支注射器 (20 mL)、氢氧化钠固体、40% 乙烯利溶液。

实验装置: 装置如图 2 所示。

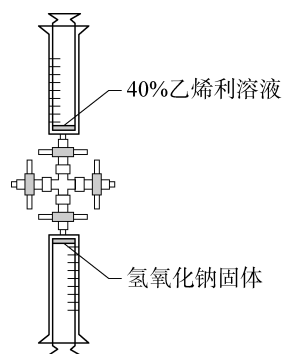


图2 制备乙烯的实验改进装置示意图

实验操作: 用四通阀连接两注射器, 检查装置气密性; 装入 2~3 mL 40% 乙烯利 (上) 和一小片氢氧化钠固体 (下), 打开上下阀门, 让两者混合, 即可快速产生乙烯气体。这样制得的乙烯较纯净, 不必除杂即可做后

续乙烯的性质实验。

3.2 乙烯性质实验的新设计

实验用品: 四通阀、二通阀、10 支注射器 (20 mL)、小试管、玻璃导管、火柴、针头、纸巾。氢氧化钠固体、40% 乙烯利溶液、酸性 $KMnO_4$ 稀溶液、溴的 CCl_4 溶液、澄清石灰水、 HNO_3 酸化的 $AgNO_3$ 溶液。

3.2.1 乙烯的燃烧

如图 2 所示, 装入仅 2~3 mL 40% 乙烯利 (上) 和一小片氢氧化钠固体 (下), 关左右阀开上下阀, 一次性将 40% 乙烯利推入装有氢氧化钠的针筒 (下管) 中, 轻轻摇动针筒, 待 $NaOH$ 溶解, 迅速产生乙烯气体, 反应完毕将气体推入上面针筒中, 关闭所有阀门, 取走下面针筒, 持平乙烯气体的针筒, 接上针头, 点火, 即可以观察到乙烯安静燃烧, 火焰明亮, 火焰外圈伴有黑烟。一边燃烧一边推压针筒, 直至气体完全燃烧掉。待火焰熄灭, 可以明显看到针头很黑, 用纸巾擦拭, 纸巾上会有黑色小颗粒, 说明乙烯含碳量高, 燃烧不充分。

3.2.2 乙烯和酸性 $KMnO_4$ 溶液反应

(1) 如图 3 所示, 关闭左右阀, 同上操作, 将产生的乙烯全部推入到乙烯利的针筒中, 关闭所有阀门。右针筒吸入酸性 $KMnO_4$ 稀溶液 3~5 mL。

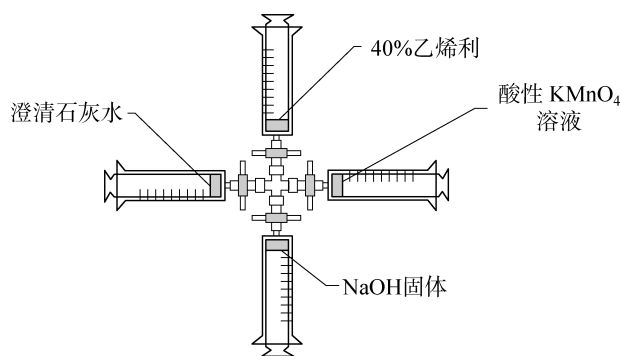


图3 乙烯的性质实验装置 a

(2) 将装置向左旋转 90 度, 如图 4 所示, 使装有酸性 $KMnO_4$ 溶液的针筒在上, 打开乙烯利和酸性 $KMnO_4$ 溶液的活塞, 将产生的乙烯慢慢推入到酸性 $KMnO_4$ 溶液中, 同时轻轻摇动针筒, 可以观察到酸性 $KMnO_4$ 溶液的紫红色退去, 同时, 针筒上的活塞明显上移, 酸性 $KMnO_4$ 溶液上方有无色气体产生, 根据元素守恒猜测气体可能是 CO_2 。关闭所有活塞。

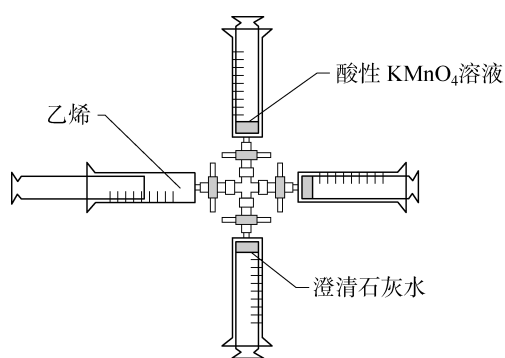
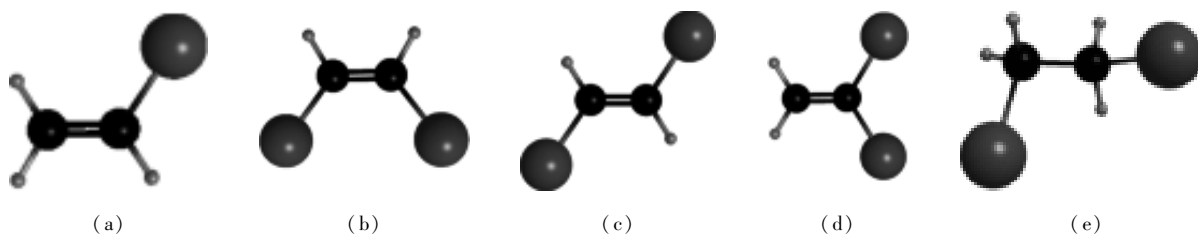


图4 乙烯的性质实验装置 b

(3) 再将装置向左旋转 180 度,使澄清石灰水的针筒在上面。打开酸性 KMnO_4 溶液和澄清石灰水的阀门,将酸性 KMnO_4 溶液针筒中的气体慢慢推入到澄清石灰水中,可以看到,澄清石灰水先浑浊(有白色小沉



说明:对于(a),另一产物为 HBr ;对于(b)、(c)、(d),另一产物为 H_2 ; (e) 为唯一产物。

图5 乙烯与溴反应可能产物的分子模型

(3) 设计验证实验。

探究实验一:将(1)所得乙烯气体接上针头,吸入 1~1.5 mL 溴的 CCl_4 溶液,振荡,直至彻底退为无色。退色后的液体注入到小试管中,加入 2 滴 HNO_3 酸化的 AgNO_3 溶液,观察实验现象。可以看到只是分层,并无浅黄色沉淀。说明无 Br^- 也就是无 HBr 生成,说明不是取代反应,从而排除(a)。因为是新授课,学生对加成反应一无所知,暂时不排除(b)、(c)、(d)。

探究实验二:将“滤”过的乙烯气体的针筒接上针头,吸入 1~1.5 mL 溴的 CCl_4 溶液,迅速接上与红墨水相连的导管。可以看到,红墨水明显倒吸,证明反应后体积减小。从而排除产物(b)、(c)、(d),确定 C_2H_4 与 Br_2 的反应产物只可能是产物(e)了。

(4) 理论推演:从化学键角度做出阐释。

淀漂浮在溶液中,这是因为推进去的 CO_2 气体生成了 CaCO_3) 后澄清,证明气体是 CO_2 。

3.2.3 乙烯和溴的 CCl_4 溶液反应原理探究

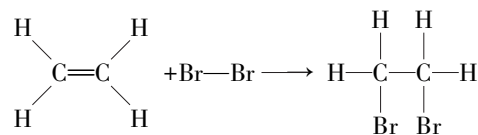
(1) 鉴于溴的 CCl_4 溶液对阀门材料的腐蚀性,装置改为用针头将溴的 CCl_4 溶液吸入到装有乙烯的针筒中。但是,针筒中残留的 NaOH 会干扰乙烯和溴的反应,所以,将制取的乙烯气体用干净的二通阀与干燥的针筒相连,气体在下,干燥的针筒在上,将乙烯气体推入到干燥的针筒中。这样操作,相当于除杂,可得到较纯净的乙烯(该操作相当于“滤”乙烯)。

(2) 经研究发现:反应时,是 1 分子 C_2H_4 与 1 分子 Br_2 发生反应生成新的物质,利用它们的分子模型搭建可能的产物分子模型(可能结果如图 5 所示),强调注意“碳的四键”规则。

表1 乙烷、乙烯的结构式和键能

分子式	乙烷	乙烯
结构式	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ & \text{C}=\text{C} & \\ & / & \diagdown \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$
碳碳键键能/ $(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	347	615

分析数据(见表 1 所示)推测碳碳双键中的一个键易断裂,和实验结论吻合。得出反应的方程式如下:



这类反应属于加成反应,本质是碳碳不饱和键断开形成两个键,其两端分别跟其他原子或原子团直接结合生成新的化合物的反应。

4 改进后的优点

(1) 装置简单,可操作性强。仪器一般都用标准接口,转接时只需简单旋转或按压即可。仪器材质为塑料,使用时比玻璃安全,更利于学生广泛参与操作。

(2) 药品用量少,正常情况下整套实验消耗40%乙烯利总量不超过10 mL,氢氧化钠固体不足1 g,消耗稀的 KMnO_4 溶液仅3~5 mL(该溶液物质的量浓度约为0.001 mol/L),消耗液溴不足0.3 mL(该溴溶液浓度约为0.04 mol/L,少量四氯化碳也可回收),使本制备实验及多个乙烯性质实验所耗试剂微量化。密闭体系不仅环保,加上试剂微量化后更符合绿色化学的理念,同时试剂的利用率高,为实验的有效观测提供了便利。

(3) 乙烯被高锰酸钾氧化生成二氧化碳,由于生成的量太少难以检测,目前还没有看到运用于课堂实验中。本实验拓展了实验内容,通过实验呈现取得了很好的教学效果。

(4) 乙烯的制备及其性质实验的整套装置设计体现在集成化和试剂微量化上,具有一定的灵活性。如装置内几乎没有空气,不需验纯即可直接进行点火实验;验证乙烯与溴加成反应的实验中,为了证实反应后气体物质的量减少,巧妙地设计了倒吸实验;新装置很好地与常规实验融合,放大了实验现象。

5 几点说明

(1) 乙烯利溶液与氢氧化钠固体混合反应放热明显,气体体积随温度升高变大,应严格控制药品用量。本实验选用的是20 mL针筒,只需要一小片氢氧化钠固体和2~3 mL 40%乙烯利即可。要防止气体体积超过针筒量程导致溢出的氢氧化钠溶液灼伤皮肤。若改用氢氧化钠溶液与稀释后的乙烯利也可以反应,但产生乙烯气体的速率较慢。

(2) 轻轻振荡时,双手握住四通阀部位,防止活塞松动引起脱落。

(3) 酸性 KMnO_4 稀溶液3~5 mL即可,不宜太多,否则产生比较多的 CO_2 超过针筒量程。酸性 KMnO_4 稀溶液可用2 mol/L硫酸来配制,取约50 mL 2 mol/L硫酸,

加入几粒 KMnO_4 颗粒,溶液呈透明状紫红色即可。如精确配制,该 KMnO_4 溶液物质的量浓度约为0.001 mol/L。

(4) 和溴的 CCl_4 溶液反应时,乙烯中不能混有水蒸气,否则很容易产生氢溴酸,使退色后的溶液含有 Br^- ,加入 HNO_3 酸化的 AgNO_3 溶液时有浅黄色沉淀产生。

(5) CCl_4 会腐蚀有机物导致针筒和活塞粘连,装过溴的 CCl_4 溶液的针筒要用热水和酒精洗涤以便重复使用。

(6) 乙烯和溴的 CCl_4 溶液退色较慢,故选用溴的 CCl_4 溶液浓度偏小为好。同时,可减少溴的挥发,更加环保。本文溴的 CCl_4 溶液中 CCl_4 与溴的体积比为5:1~6:1, CCl_4 中滴加溴至呈浅橙红色即可,该溴溶液浓度约为0.04 mol/L。

(7) 为防止试剂相互干扰,本实验所有针筒都只用一次。

(8) 补做的乙烯使溴水退色实验,退色后加 HNO_3 酸化的 AgNO_3 溶液时明显有沉淀产生。以此可引导有兴趣的学生查资料找原因。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国教育部制定. 普通高中化学课程标准(2017年版)[S]. 北京:人民教育出版社,2018.
- [2] 姚子鹏. 普通高中教科书·化学高二第二学期[M]. 上海:上海科学技术出版社,2007:21~22.
- [3] 任有良,周春生等. 用固态粉末改进乙烯的制备实验[J]. 化学教学,2019,(3):62~63.
- [4] 杨玉峰. 活性白土催化乙醇脱水制备乙烯的实验探究[J]. 化学教学,2017,(10):66~67.
- [5][8] 黄勇良. 用乙烯利制备乙烯的方法[J]. 化学教学,2012,(7):46~47.
- [6] 余静,杨怡. 鲁尔四通阀在高中化学实验改进中的应用[J]. 韶关学院学报,2023,44(8):98~101.
- [7] 曾茹芸,蓝丽微,张燕辉. 铜与硝酸反应实验试剂微量改进[J]. 化学教学,2023,(11):72~73.
- [9] 应春晓. 乙烯性质实验的再改进[J]. 化学教学,2019,(4):69~70.