

甲烷与氯气反应装置的新设计*

舒有良

(曲靖市第一中学, 云南曲靖 655000)

摘要: 甲烷与氯气反应,光照能否使氯气($\text{Cl}-\text{Cl}$)形成氯自由基($\text{Cl}\cdot$)是关键。用波长为 365 nm 的紫光灯珠制作光源,能满足实验要求。新设计的装置用 1.5 W 的紫光灯作光源、注射器作反应容器、大烧杯盛放饱和氯化钠溶液。装置既小巧节能,又减少药品用量,实验现象明显。新实验在成功率、操作性、经济性和安全性上良好,适合课堂演示和学生分组实验。

关键词: 甲烷与氯气反应; 反应装置设计; 条件优化; 实验探究

文章编号: 1005-6629(2025)12-0076-03 **中图分类号:** G633.8 **文献标识码:** B

1 研究背景

“有机化合物”章节的学习开启了学生学习有机化学的大门。甲烷作为最简单的有机化合物,其性质也作为该章节的第一个演示实验。教材通过甲烷与氯气的取代反应来体现有机反应具有“反应机理复杂、反应速率较慢、产物较复杂、副产物较多、反应条件影响较显著”等特点^[1]。在现行的人教版、鲁科版和苏教版的高中化学教科书中,该实验反应条件模糊,导致在教学过程中难以达到预期效果。该实验在不同版本教科书中的阐述见表 1^[2]。实验时轻微的氯气泄漏都会让周围人员感到不适,严重污染环境,导致大部分教师只喜欢“讲实验”而不喜欢“做实验”^[3]。

表 1 氯气与甲烷反应实验在不同版本教科书中的阐述

教材	反应容器	$V_{\text{甲烷}}:V_{\text{氯气}}$	反应条件	反应用时
人教版	试管	1:1	光亮处(不要放在日光直射的地方)	未说明
鲁科版	试管	1:4	光亮的地方(不要放在日光直射的地方)	一定时间后
苏教版	集气瓶	1:4	灯光照射	未说明

杨茵^[4]、李琼^[5]及刘英杰^[6]等对光照条件进行了研究,对比了不同功率的节能灯、高压汞灯、自镇流高压汞灯、紫外线高压汞灯、LED 强光手电和镁条燃烧等光源对实验的影响,发现只有部分光源能满足实验条件。

结合教学实际,笔者重新设计了一套实验装置进行实验,能显著提高甲烷与氯气反应的速率,实验现象明显,方便在教学中推广使用。

2 设计思路

2.1 光源的选择

甲烷与氯气反应是一个光化学反应,氯气通过光照获得能量,使氯气分子中的键($\text{Cl}-\text{Cl}$)断裂,形成氯自由基($\text{Cl}\cdot$),进而引发后续反应^[7]。查阅资料可知,要使氯气形成氯自由基,至少需要从外界获取 242.58 kJ/mol 的能量,波长为 475 nm 的蓝光能提供该能量。在实验中,我们还要考虑反应容器的透光性、光的散射、周围环境对光的阻碍和吸收等因素的影响,根据“波长越短,能量越高”可知,实验需选用波长更短的光作为光源,本实验选用波长为 365 nm 的紫光灯作

* 曲靖市教育体育局·曲靖师范学院教育科学规划联合项目(2025 年度)课题“STEAM 理念下高中化学课外探究活动主题设计与实践研究”(课题编号:QJQSKT2025YB15)阶段研究成果。

光源。

2.2 反应速率的优化

实验的反应速率决定了反应用时,用时过长不利于课堂教学,用时过短容易导致反应太剧烈,甚至爆炸等。反应速率与光照强度和温度有关。光照强度又与光源功率、光照距离和反应容器的透光性等因素有关。本实验选用透明的塑料注射器作反应容器。用额定功率为 1.5 W、光功率为 700 ~ 800 mW 的紫光灯作光源,光照距离设置为 2 cm。

在光化学反应中,一般温度每升高 10℃,化学反应速率增加 0.1~1 倍^[8]。氯气与甲烷反应是教材第 2 册第七章的内容,估计到春季才能上到,此时室温多在 10~30℃ 之间。援引李琼团队^[9]的研究结论(40℃ 以上温度对反应速率影响才显著),可以认为室温对该实验的影响有限,在此不作过多讨论。

2.3 实验装置的优化

用水槽盛放饱和氯化钠溶液,其空间大,排出反应容器内的空气时方便操作。当把反应容器换成塑料注射器后,要排除注射器中空气只需连接上“注射器连接器”,再用另一支注射器抽取即可,因此,将水槽换成 250 mL 大烧杯,可以减少饱和氯化钠溶液的用量。在确保实验现象明显的前提下,氯气取 10 mL,甲烷取 10 mL 即可。3 节干电池可使 1.5 W 紫光灯工作,不再需要大功率的灯。

3 实验部分

3.1 实验用品

实验药品:饱和氯化钠溶液、新制氯气、新制甲烷气体、氢氧化钠溶液

实验仪器及用品:铁架台、250 mL 大烧杯、50 mL 塑料注射器、10 mL 塑料注射器、注射器三通连接器、365 nm 紫光灯珠(5 V, 300 mA, 700 ~ 800 mW, 网购)、1.5 V 干电池(3 节)、导线、铝片、双面胶、剪刀等

3.2 实验前期准备

甲烷的制取:在大试管中加入适量的无水醋酸钠、氢氧化钠和氧化钙,混合均匀后加热,待产生的气泡能燃烧后,再收集备用。

氯气的制取:用浓盐酸与高锰酸钾反应制取氯气,待有连续气泡产生后,再开始收集备用。

3.3 实验装置

实验装置见图 1。

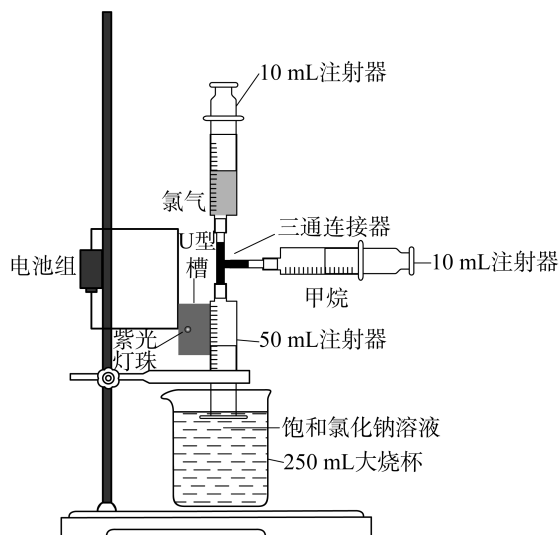


图 1 实验装置示意图

3.4 实验操作

(1) 组装实验装置。把 50 mL 注射器的活塞拔出,把注射器倒立过来伸入装有饱和氯化钠溶液的大烧杯中,用铁夹固定住,确保烧杯内溶液充满注射器后,注射器的下端仍没入液面中。然后在注射器针头位置连接上专用的三通连接器。如图 1 所示。

(2) 简易光源的制作。把铝片裁成 8 cm×7 cm 的长方形,然后把铝片做成两边高 3 cm、底部宽 2 cm 的 U 型槽,U 型槽可以使光沿着特定方向传播,减少对周围环境的危害。把紫光灯珠用双面胶固定在 U 形槽底部的中间位置,把 U 型槽固定在铁架台上,用导线把灯珠的正、负极延伸出来,调整灯珠与注射器外壁间的距离(2 cm)。把 3 节 1.5 V 的电池串联起来(可以用纸把电池组卷成圆筒状,再固定在铁架台上),使用时分别把灯珠的正负极和电池的正负极相连即可。

(3) 排空倒立注射器内的空气。另取 1 支 50 mL 的注射器,排除空气后插到三通连接器上,打开三通连接器,抽走倒立注射器内的空气,关闭三通连接器。

(4) 准备反应气体。用 2 支 10 mL 注射器分别抽取 10 mL 甲烷和 10 mL 氯气,然后分别插入到三通连接

器上,注意检查是否插紧实。

(5) 混合气体。打开连接器的开关,使装有甲烷气体的注射器与倒立注射器连通,注入甲烷气体。再调整连通器开关,向倒立注射器注入氯气,然后关闭连通器开关。利用密度差混合2种气体。

(6) 接通电源,点亮紫光灯珠,观察实验现象。

(7) 实验结束后,用50 mL的注射器抽走反应后的剩余气体。若不对尾气进行后续研究,可用注射器再注入适量氢氧化钠溶液进行无害化处理。

4 装置优点

4.1 实验条件明确,现象明显

氯气分子需要从光子中获取超过242.58 kJ/mol的能量才能使Cl—Cl键断裂,考虑到光的传播介质对光的吸收和阻碍,选用波长365 nm紫外光作为光源,可以大幅提高实验的成功率。接通电源后,能看到倒立注射器内液面的变化过程,也能看到注射器内白雾越来越多,注射器内壁上有液滴生成,在注射器内液面交界处有氯化钠晶体析出并不断坠落。

4.2 操作简便,反应速率适中

实验操作(1)~(4)可于课前完成,课堂上只需将两种反应气体注入倒立的注射器内混合,接通电源后即可观察实验现象。重复使用时,只需把大注射器内的实验尾气抽出,再次注入反应气体即可。用此装置进行实验,打开紫光灯后就能看到注射器内溶液液面发生变化,到液面不再变化用时约42 s,反应速率适中,可以在液面变化的过程中融入对实验细节的描述和解说,非常适合课堂演示。

4.3 装置小巧,节约药品

该实验装置把水槽换成250 mL的大烧杯,减少了饱和氯化钠溶液的用量;把大功率的高压汞灯换成1.5 W的紫光灯,用电池组供电,节能更高效。优化后的实验装置体积小巧、轻盈,密封性好,可以把整套装置固定到铁架台上。同时,用注射器作反应容器,减少了甲烷和氯气的用量,还可借助注射器上的刻度对实验过程中的体积变化进行定量分析。

4.4 安全性好,产物检验方便

塑料注射器韧性好,剧烈反应或发生爆炸时不易对周围人员造成伤害。注射器的密封性也较好,抽取或注入气体的操作,都不易导致气体泄露。产物检验、尾气无害化处理等操作简单、方便。

5 结束语

常温、常压下,氯气与甲烷反应光波的能量至关重要,只有一定能量的光使氯气分子形成氯自由基才能引发后续反应,在实验中,现象最明显的是体积的变化,最不明显的是氯气颜色的变化(可能是氯气用量较少)。曾尝试将干燥过的甲烷和氯气直接置于注射器内反应(纯气相反应),但由于氯气的腐蚀性较强,极短时间内即可腐蚀活塞,造成活塞卡顿,不能准确反映体积的变化过程。若换成玻璃注射器也会因活塞较重,体积变化也不明显。其他实验现象如颜色变浅、产生白雾和生成液滴等现象也不明显。

考虑到紫外线会对人体造成伤害,特别制作了铝皮U型槽,能有效控制光的传播方向。观察实验现象时,可以与光的传播方向垂直或同向去观察,这样可以避免紫光的照射。反应在2分钟内完成,紫光灯对周围环境的影响有限。

参考文献:

- [1] 王晶,郑长龙主编. 普通高中教科书·化学必修第二册[M]. 北京:人民教育出版社,2019:64.
- [2][4][7] 杨茵. 甲烷与氯气取代反应条件的选择[J]. 中学化学教学参考,2016,(12):53~55.
- [3][5][9] 李琼,李永红,姜建文. 甲烷与氯气的取代反应实验研究[J]. 化学教育(中英文),2018,39(23):65~70.
- [6] 刘英杰. 甲烷和氯气取代反应实验的改进[J]. 化学教学,2011,(1):42~43.
- [8] 天津大学物理化学教研室. 物理化学(下册)(3版)[M]. 北京:高等教育出版社,1993:352~353.