

# 氯气制备及性质实验一体化设计与研究\*

张晓艳<sup>1</sup> 孟子凯<sup>1</sup> 张峰<sup>1</sup> 马晓婷<sup>1</sup> 张懿欣<sup>1</sup> 唐万祥<sup>1</sup> 王振斌<sup>1</sup> 莫尊理<sup>2</sup> 郭珍<sup>1\*\*</sup>

(1 青海师范大学化学化工学院 青海 西宁 810008; 2 西北师范大学化学化工学院 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**氯气制备及性质实验是高中化学教学的重点内容,同时也是高中化学的经典实验,教材中氯气的制备与性质实验分步进行,氯气有泄漏的可能。为此,以高锰酸钾和浓盐酸为原料,设计了一套氯气制备与性质实验一体化装置。该装置现象明显、操作简单、药品用量小、符合绿色化学的理念,便于教师课堂演示或开展学生实验。而且,教材实验改进在强化宏观表征的同时,有利于提升学生的实验探究能力和创新意识。

**关键词:**氯气制备及性质实验;一体化设计

文章编号:1002-2201(2024)12-0051-03

中图分类号:G633.8

文献标识码:B

## 一、问题的提出

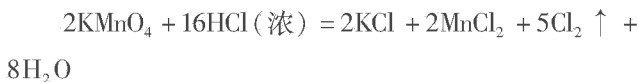
“氯及其化合物”是中学化学教材中非金属元素化合物的典型代表,通过氯气的制备及性质检验的教师演示实验或学生实验,促进学生高效掌握“氯及其化合物”知识以及元素化合物知识的认知规律,对学生后期理解主族元素性质递变规律,认知元素周期律,具有非常重要的铺垫作用。《普通高中化学课程标准(2017年版2020年修订)》<sup>[1]</sup>对氯及其化合物的内容要求是“结合真实情境中的应用实例或通过实验探究,了解氯及其重要化合物的主要性质”,在“学习活动建议”中提出通过“实验及探究活动”学习“氯气的制备及性质”,“学业要求”提出“能利用典型代表物的性质和反应,设计常见物质的制备、性质检验等简单任务方案,并能说明其对社会发展的价值、对环境的影响。”

人教版<sup>[2]</sup>、苏教版<sup>[3]</sup>、鲁科版<sup>[4]</sup>教材中“氯气制备及性质检验”实验设计如下:人教版和苏教版是在集气瓶中收集  $\text{Cl}_2$ ,将导气管通入装有  $\text{NaOH}$  溶液的烧杯中进行尾气处理,再单独进行  $\text{Cl}_2$  的性质实验( $\text{Cl}_2$  使有色鲜花褪色)。鲁科版则是在反应发生后依次通过饱和  $\text{NaCl}$  溶液和浓硫酸除去杂质

[ $\text{HCl}(\text{g})$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  等]后收集  $\text{Cl}_2$ ,再将导气管通入装有  $\text{NaOH}$  溶液的烧杯中进行尾气处理,然后单独进行  $\text{Cl}_2$  的性质实验(与干燥或湿润的有色纸条及不同金属的反应)。以上实验设计存在两点不足:一是  $\text{Cl}_2$  的制备(或除杂)和性质检验分步进行,药品消耗量相对较大,装置不连贯,使得实验连续性差,导致  $\text{Cl}_2$  可能泄漏到空气中,氯气剧毒,实验操作中氯气如果逸散,会污染环境,危害师生身体健康,严重时可使人中中毒;二是如果不除杂,制备出的  $\text{Cl}_2$  纯度不高,杂质 [ $\text{HCl}(\text{g})$ 、 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  等]对有色鲜花的褪色实验存在一定的干扰。尤其是涉及实验安全问题,教师会倾向于通过观看视频完成本实验的教学。鉴于此,需设计一套氯气制备与性质检验一体化装置,师生能够安全方便地进行课堂演示实验或开展学生实验。

## 二、氯气制备及性质检验一体化设计

### 1. 实验原理



### 2. 实验仪器与药品

仪器:洗耳球(1个)、气球(1个)、注射器(1支、

\* 中国化学会化学教育委员会“十四五”规划重点课题“新教育理念下化学课程资源开发与实践研究”(课题编号:HJ2021-0039)研究成果;青海师范大学大学生创新创业训练计划立项项目“氯气制备及性质检验一体化设计与研究”(课题编号:qhnuexcy2023007)研究成果。

\*\* 通讯作者, E-mail: 1245276820@qq.com。

10 mL)、具支试管(1支,10 mL)、硬质玻璃管(自制)、磨口锥形瓶(500 mL)、磨口具支锥形瓶(1个)、铁架台(2个)、止水夹(1个)、橡胶管、纱布。

药品:浓盐酸(6 mol/L)、 $\text{KMnO}_4$ 、无水  $\text{CaCl}_2$ 、无水  $\text{CuSO}_4$ 、饱和  $\text{NaCl}$  溶液、蓝色石蕊试纸、淀粉-KI 试纸、饱和  $\text{NaOH}$  溶液、薄铁片。

### 3. 实验装置

如图1、图2所示。本一体化实验装置由四大部分构成,分别是  $\text{Cl}_2$  的制备装置、除杂装置、性质检验装置、尾气处理装置。

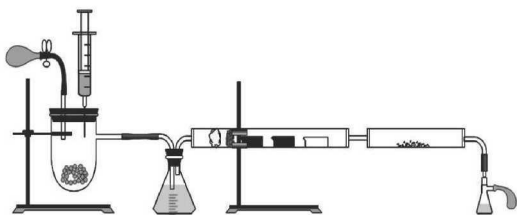


图1  $\text{Cl}_2$  制备和性质检验一体化实验装置示意图



图2  $\text{Cl}_2$  制备和性质检验一体化实验装置

### 4. 实验步骤

(1)实验仪器安装(见图2):反应前检查实验装置的气密性,用酒精灯稍微加热具支试管的底部,若具支锥形瓶右侧连接的气球变大,则表明装置气密性良好。

(2)氯气制备:在具支试管底部加入约 1.1 g 的  $\text{KMnO}_4$  固体,调节装有 6 mL 浓盐酸的注射器控制反应的进行,反应开始前避免  $\text{KMnO}_4$  接触浓盐酸;反应中将浓盐酸逐渐加入  $\text{KMnO}_4$  中。

表1  $\text{Cl}_2$  制备与性质检验及现象分析

| 仪器与试剂                                       | 待测性质 | 现象及分析                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\text{Cl}_2$ 制备:具支试管中 $\text{KMnO}_4$ 和浓盐酸 | 制备反应 | 有大量黄绿色气体生成, $\text{KMnO}_4$ 与浓盐酸接触后发生氧化还原反应制备出 $\text{Cl}_2$ : $2\text{KMnO}_4 + 16\text{HCl}(\text{浓}) = 2\text{KCl} + 2\text{MnCl}_2 + 5\text{Cl}_2 \uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$ |

(3)氯气除杂:在锥形洗气瓶中装有适量饱和  $\text{NaCl}$  溶液用于除掉  $\text{Cl}_2$  中夹杂的  $\text{HCl}$  气体,第一支硬质试管中依次放入包有无水  $\text{CaCl}_2$  和无水  $\text{CuSO}_4$  的纱布,分别用于除去  $\text{Cl}_2$  中夹杂的水分和检验水分是否除尽。

(4)氯气性质实验(见图3、图4):在第一支硬质玻璃管中放入干燥、湿润的蓝色石蕊试纸和湿润的淀粉-KI 试纸,在第二个硬质玻璃管中放入薄铁片,并在硬质玻璃管下面放置酒精灯。当黄绿色气体基本充满第二个硬质玻璃管时,立即停止滴加浓盐酸,使反应停止。然后点燃酒精灯,反应完成后,撤去酒精灯。

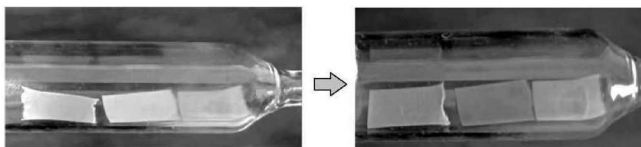


图3 反应前后蓝色石蕊试纸和淀粉-KI 试纸的颜色



图4  $\text{Cl}_2$  和薄铁片反应的现象

(5)尾气吸收装置:在右侧具支锥形瓶中加入适量的饱和  $\text{NaOH}$  溶液。

(6)反应结束后打开止水夹,将吸耳球中的空气缓慢注入装置后,立即关闭止水夹,待吸耳球再次充满空气后打开止水夹,继续向装置中鼓气,反复进行几次,直至装置中的黄绿色气体全部被赶到具支锥形瓶中的饱和  $\text{NaOH}$  溶液中,根据气球变瘪的程度还可以判断  $\text{Cl}_2$  的剩余量,若有剩余气体还可用气球收集,确保尾气处理完全。

### 5. 实验结果

实验结果见表1。

续表 1 Cl<sub>2</sub> 制备与性质检验及现象分析

| 仪器与试剂                                                                                                                                             | 待测性质          | 现象及分析                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cl <sub>2</sub> 洗气: 锥形洗气瓶中饱和 NaCl 溶液                                                                                                              | 除杂            | 锥形洗气瓶较长导管中有气泡逐个冒出, 说明生成的 Cl <sub>2</sub> 进入装有饱和 NaCl 溶液的洗气瓶中, 进行洗气(除去杂质 HCl 气体)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Cl <sub>2</sub> 性质实验: 第一支硬质试管中<br>(1) 无水 CaCl <sub>2</sub> ;<br>(2) 无水 CuSO <sub>4</sub> ;<br>(3) 干燥的蓝色石蕊试纸;<br>(4) 湿润的蓝色石蕊试纸;<br>(5) 湿润的淀粉-KI 试纸 | 酸性、漂白性、氧化性    | (1) 无水 CaCl <sub>2</sub> 是为了除去水蒸气, 无明显现象。<br>(2) 无水 CuSO <sub>4</sub> 没有变蓝, 说明水蒸气已被无水 CaCl <sub>2</sub> 除尽。<br>(3) 干燥的蓝色石蕊试纸无明显现象, 说明干燥的 Cl <sub>2</sub> 不具有酸性、漂白性。<br>(4) 湿润的蓝色石蕊试纸变红, 不久后褪色, 说明 Cl <sub>2</sub> 与水发生反应生成的产物具有酸性(HCl)、漂白性(HClO): $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HCl} + \text{HClO}$ 。<br>(5) 湿润的淀粉-KI 试纸先变蓝, 不久后褪色: $\text{Cl}_2 + 2\text{KI} = 2\text{KCl} + \text{I}_2$ (Cl <sub>2</sub> 和湿润的 KI 发生氧化还原反应后使 I <sup>-</sup> 转化为 I <sub>2</sub> , I <sub>2</sub> 遇淀粉显蓝色), $\text{I}_2 + 5\text{Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{HIO}_3 + 10\text{HCl}$ (水中的 Cl <sub>2</sub> 氧化 I <sub>2</sub> 为 IO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) |
| Cl <sub>2</sub> 性质实验: 第二支硬质试管中薄铁片                                                                                                                 | 与金属反应         | 加热后, 薄铁片燃烧并放出棕黄色的烟, 说明 Cl <sub>2</sub> 与铁片在加热条件下发生反应: $3\text{Cl}_2 + 2\text{Fe} \xrightarrow{\Delta} 2\text{FeCl}_3$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Cl <sub>2</sub> 尾气吸收: 末端具支锥形瓶中 NaOH 溶液                                                                                                            | 气体与 NaOH 溶液反应 | 气泡冒出不久后消失, 说明多余的 Cl <sub>2</sub> 与 NaOH 发生反应: $\text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} = \text{NaCl} + \text{NaClO} + \text{H}_2\text{O}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

### 三、结语

本研究基于实验装置一体化、实验过程绿色化和普适化的原则设计出一体化实验装置。该装置使得 Cl<sub>2</sub> 制备可控化、操作简化、现象明显、安全性高。相较于教材实验装置, 该装置有以下优点:

#### 1. 实验装置一体化

此装置仪器搭建好后, 调节注射器控制浓盐酸的滴加即可发生反应, 用注射器调控 Cl<sub>2</sub> 的生成量, 气体制备、除杂、性质检验、尾气吸收连续进行, 便于学生观察; 实验过程绿色环保, 该实验使用磨口仪器组装代替了教材实验装置中的橡胶塞, 利用洗耳球吹气和 NaOH 溶液吸收尾气的方法, 能够有效防止 Cl<sub>2</sub> 的泄漏, 有效避免环境污染, 便于教师课堂演示实验或开展学生实验。

#### 2. 教学效果好

选用的制备反应速度快, 无需加热, 操作简化, 与教材所用制备方法对比学习, 能够拓展学生的学习思路; 教材实验的改进在强化宏观表征的同时, 有利于

启发学生思考、发散学生思维、提升学生的探究能力, 激发学生的创新意识。

#### 3. 实验装置普适化

制备装置中的药品更换, 性质检验装置中的仪器适当改变, 能够用于 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>2</sub> 等气体的制取和性质实验。

最后, 需要说明的是, 本实验自制的硬质试管可做进一步改进, 放药品的位置可以做成凹状, 这样药品放置位置就可以固定。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(2017年版 2020 年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020: 15-17.
- [2] 王晶, 毕华林. 普通高中教科书·化学必修第一册[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019: 41-47.
- [3] 王祖浩. 普通高中教科书·化学1(必修)[M]. 南京: 江苏凤凰教育出版社, 2014: 40-44.
- [4] 王磊. 普通高中教科书·化学必修第一册[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2019: 13-16.