

# A Series of Investigative Experiments on the Catalytic Thermal Decomposition of Potassium Chlorate to Produce Oxygen

Zhiyong Peng

Chongqing Qiuqing Middle School, Chongqing, 400015, China

## Abstract

In this paper, based on the previous studies on the thermal decomposition reaction of  $\text{KClO}_3$  which was catalyzed by  $\text{MnO}_2$ , combined with some findings of our own in the experimental exploration, we found a series of general laws of the reaction between metal oxides with intermediate valence state and molten  $\text{KClO}_3$ , which provided strong experimental evidence for us to reveal the reaction process of catalytic decomposition of  $\text{KClO}_3$  to  $\text{O}_2$  catalyzed by  $\text{MnO}_2$  and other substances. The experiments designed in this paper were easy to observe and analyze, which helped to cultivate students' ability of macro identification and micro analysis.

## Keywords

reaction course; intermediate product; experimental evidence

## 一系列催化氯酸钾热分解反应制取氧气的探究实验

彭志勇

重庆市求精中学, 中国 · 重庆 400015

## 摘 要

论文在前人研究  $\text{MnO}_2$  催化  $\text{KClO}_3$  热分解反应的基础上, 结合自己在实验探究中的一些发现, 从而寻找到一系列中间价态的金属氧化物与熔融的  $\text{KClO}_3$  之间反应的一般规律, 这为我们揭示  $\text{MnO}_2$  等物质催化  $\text{KClO}_3$  热分解制取  $\text{O}_2$  的反应历程提供了更有力的实验证据。论文所设计的实验皆易于观察与分析, 且有助于培养学生的宏观辨识与微观探析的能力。

## 关键词

反应历程; 中间产物; 实验证据

## 1 引言

自从 1820 年德国化学家 Dobernien 首次利用  $\text{MnO}_2$  催化  $\text{KClO}_3$  热分解反应的方法制取  $\text{O}_2$ , 距今已有两百年历史。然而, 对这样一个基础而又重要的化学实验, 至今仍有许多问题困惑着我们的化学教学。例如, 为什么在熔融的  $\text{KClO}_3$  中加入极少量的  $\text{MnO}_2$  粉末, 熔体中立即会有紫红色的物质产生? 这种紫红色的物质能是  $\text{KMnO}_4$  吗<sup>[1]</sup>? 再如, 在  $\text{MnO}_2$  催化  $\text{KClO}_3$  热分解反应制得的  $\text{O}_2$  中, 为什么会含有少量的  $\text{Cl}_2$  和  $\text{ClO}_2$  等杂质<sup>[2]</sup>? 又如, 除  $\text{MnO}_2$  外, 还有哪些物质适合作为  $\text{KClO}_3$  热分解反应制取  $\text{O}_2$  的催化剂?

【基金项目】论文系重庆市普通高中教育教学改革研究课题“创客教育引领下高中化学实验创新与实践研究”(项目编号: 2019CQJWGGZ2008)的研究成果。

为了回答像这样的一些问题, 由此而设计了一系列催化  $\text{KClO}_3$  热分解反应制取  $\text{O}_2$  的探究性实验。将有助于我们找到化学反应具有的一般规律, 并有助于培养学生的宏观辨识与微观探析的能力。

已知  $\text{KClO}_3$  的熔点为  $356^\circ\text{C}$ , 而催化  $\text{KClO}_3$  热分解反应的温度一般不低于  $380^\circ\text{C}$ 。于是通过一系列金属元素中间价态的氧化物(如  $\text{VO}_2$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}_2$  以及  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等)分别与熔融的  $\text{KClO}_3$  进行反应, 由此而发现这类金属氧化物与熔融的  $\text{KClO}_3$  反应的一般规律。

## 2 $\text{VO}_2$ 与熔融的 $\text{KClO}_3$ 进行反应

在 1g 熔融的  $\text{KClO}_3$  中加入大约 0.5g  $\text{VO}_2$  粉末, 可明显地观察到深蓝色的  $\text{VO}_2$  粉末迅速转变为砖红色的固体物质, 经检验为  $\text{V}_2\text{O}_5$ , 该物质的热稳定性较好; 经继续加热后, 砖红色的  $\text{V}_2\text{O}_5$  则与熔融的  $\text{KClO}_3$  进一步反应生成热稳定性更



物, 我们还有以下实验证据。在  $\text{MnO}_2$  与  $\text{KClO}_3$  的混合物中加入适量的  $\text{K}_2\text{CO}_3$  粉末, 加热反应后一定有墨绿色的  $\text{K}_2\text{MnO}_4$  和  $\text{CO}_2$  气体产生, 这是因为:  $\text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 = \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{CO}_2 \uparrow$  [4]。

顺便提及, 曾有一种反应机理认为  $\text{MnO}_2$  能被  $\text{KClO}_3$  氧化为  $\text{Mn}_2\text{O}_7$ 。查阅化学手册可知  $\text{Mn}_2\text{O}_7$  是一种暗绿色的油状液体,  $55^\circ\text{C}$  分解,  $95^\circ\text{C}$  爆炸式分解。试想一下, 在  $\text{MnO}_2$  催化  $\text{KClO}_3$  热分解的反应历程中能生成这样的中间产物吗?

此外, 还有文献报道, 在熔融的  $\text{KClO}_3$  中投入极少量的  $\text{MnO}_2$  粉末, 熔体中立即有紫红色的物质产生。这种紫红色的物质与  $\text{KMnO}_4$  非常相似, 但热稳定性比  $\text{KMnO}_4$  好, 且溶于水易歧化而产生  $\text{MnO}_2$  和  $\text{MnO}_4^-$ 。这种紫红色的物质组成为  $\text{KMnO}_3$ , 目前已有文献物质报道了此物质的存在 [5]。现将  $\text{KMnO}_4$  与  $\text{KMnO}_3$  进行 XRD 的衍射实验对比结果如下:

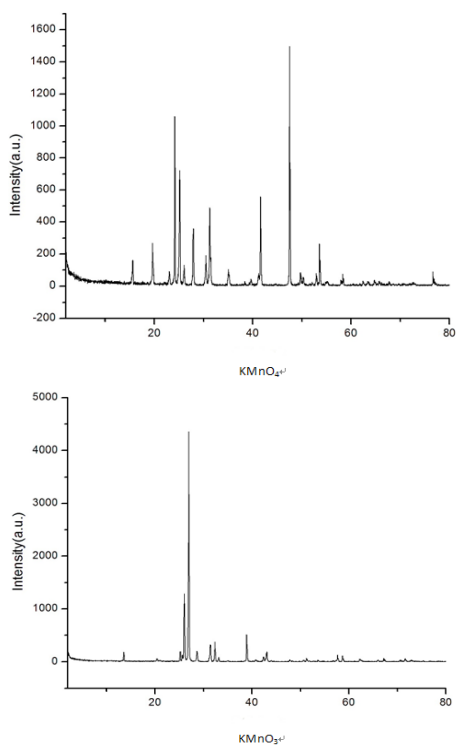
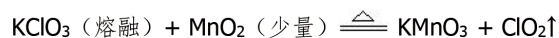


图 5  $\text{KMnO}_4$  (左图) 与  $\text{KMnO}_3$  (右图) 进行 XRD 的实验对比

于是, 在熔融的  $\text{KClO}_3$  与少量  $\text{MnO}_2$  之间发生了如下反应:



这应当是熔融的  $\text{KClO}_3$  与少量  $\text{MnO}_2$  之间发生的副反应, 由此可合理地解释在  $\text{MnO}_2$  催化  $\text{KClO}_3$  热分解反应制得的  $\text{O}_2$  中为什么会有少量的  $\text{Cl}_2$  和  $\text{ClO}_2$  存在。

## 5 其他金属氧化物与熔融的 $\text{KClO}_3$ 进行反应

实验证明, 其他的金属氧化物如  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CoO}$ 、 $\text{NiO}$  以及  $\text{CuO}$  也能作为  $\text{KClO}_3$  热分解反应制取  $\text{O}_2$  的催化剂, 其反应历程与  $\text{MnO}_2$  催化  $\text{KClO}_3$  热分解制取  $\text{O}_2$  的反应历程相似。

综上所述, 一些中间价态的金属氧化物 (如  $\text{MnO}_2$ ) 与熔融的  $\text{KClO}_3$  反应后生成不稳定的高价态金属氧化物 (如  $\text{MnO}_3$ ), 受热易分解释放出  $\text{O}_2$  并转化为中间价态的金属氧化物, 则这样的金属氧化物可以作为  $\text{KClO}_3$  热分解反应制取  $\text{O}_2$  的催化剂; 反之, 某些中间价态的金属氧化物 (如  $\text{VO}_2$  和  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) 与熔融的  $\text{KClO}_3$  反应生成较稳定的高价态金属氧化物, 这样的高价态金属氧化物还能与熔融的  $\text{KClO}_3$  进一步生成更稳定的盐, 则这样的金属氧化物不能作为  $\text{KClO}_3$  热分解反应制取  $\text{O}_2$  的催化剂。

## 参考文献

- [1] 刘怀乐. 中学化学实验与教学研究 [M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 1996.
- [2] 严宣申. 化学实验的启示与科学思维的训练 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1995.
- [3] 严宣申. 化学原理选讲 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2012.
- [4] 马世昌. 基础化学反应 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2003.
- [5] 邢其毅, 裴伟伟, 徐瑞秋, 等. 基础有机化学 [M]. 四版. 北京: 北京大学出版社, 2018.