

# 大象牙膏实验喷射成形影响因素研究

董永瑞, 王 艳, 刘思成, 张子涵, 梁德强\*, 王宝玲, 李维莉

(昆明学院 化学科学与技术系, 云南 昆明 650214)

**摘要:** 作为最具观赏性的化学实验之一, “大象牙膏” 目前多数不能成形且喷射无力. 系统的反应条件优化表明, 过氧化氢质量分数、催化剂类别和用量、发泡剂类别和用量, 以及反应容器等因素共同决定 “大象牙膏” 实验能否喷射成形. 研究结果显示, 使用质量分数为 50% 的  $\text{H}_2\text{O}_2$  (50 mL), KI (7.47 g, 溶于 15 mL 水), 洗洁精 (12 mL), 食用色素 (5 滴) 的组合能够得到炫彩夺目、喷射力强且成形的 “大象牙膏”.

**关键词:** 大象牙膏; 科普实验; 趣味化学; 过氧化氢催化分解; 法老之蛇

**中图分类号:** G633.8; O643.32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674 - 5639 (2018) 03 - 0100 - 03

**DOI:** 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2018.03.020

## Study on Parameters Enabling Jetting and Shaping Elephants' Toothpaste

DONG Yongrui, WANG Yan, LIU Sicheng, ZHANG Zihan, LIANG Deqiang\*, WANG Baoling, LI Weili

(Department of Chemical Science and Technology, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214)

**Abstract:** Considered as one of the most amazing chemical experiments, “Elephants' Toothpaste” was infrequently presented as a jet with good shape. Systematic optimization of reaction conditions showed that the mass fraction of hydrogen peroxide, the catalyst and its loading, the foaming agent and its dosage, and the reaction vessel all exert significant effects on the gushing and shaping of the “Elephants' Toothpaste”. The result showed that the combination of 50%  $\text{H}_2\text{O}_2$  (50 mL), KI (7.47 g, dissolved in 15 mL water), dishwashing liquid (12 mL), and food coloring (5 drops) permits the formation of colored and well-shaped “Elephants' Toothpaste” gusher.

**Key words:** Elephants' Toothpaste; science-popularizing experiments; entertaining chemistry; catalytic decomposition of hydrogen peroxide; Pharaoh's serpent

昆明学院化学科学与技术系近年在建设科普实验基地期间引入和开发了大量已知和新型趣味科普实验, 其中 “大象牙膏” 实验<sup>[1-5]</sup> 是和 “法老之蛇”<sup>[6-7]</sup> 齐名的最具观赏性的化学实验之一, 该实验 2009 年经美国《连线》杂志网站介绍后被人们所熟知, 其原理是利用过氧化氢快速分解产生的氧气使得混有发泡剂的液体喷涌而出, 似挤出的巨大牙膏. 过氧化氢的分解速率主要取决于催化剂类别和用量, 多种金属盐及碘化物都可以催化过氧化氢分解<sup>[8]</sup> (图 1).

然而, 在向基地引入该实验的过程中发现, 目前国内视频和文字资料中的 “大象牙膏” 实验均不能成形且喷射无力, 而国外视频资料中虽有个别可



图1 双氧水催化分解

以喷射成形的介绍, 但没有提供具体配方. 为配合科普实验基地建设, 该实验不能满足于相对平淡的 “挤牙膏” 效果, 且希望获得更为壮观的景象. 因此, 决定对 “大象牙膏” 实验喷射成形的关键因素进行研究. 经过大量实验探索之后, 成功实现了目标



图2 喷射成形 “大象牙膏” 实验

(图 2). 实验结果表明, 过氧化氢质量分数、催化剂类别和用量、发泡剂类别和用量, 以及反应容器等因

收稿日期: 2018 - 03 - 19

基金项目: 昆明学院青年骨干教师培养工程资助项目.

作者简介: 董永瑞 (1997—), 女, 云南曲靖人, 2016 级化学 1 班学生, 主要从事化学研究.

\* 通讯作者: 梁德强 (1985—), 男, 江西瑞昌人, 教授, 博士, 主要从事有机合成研究, E-mail: lldq5871@126.com.

素共同决定“大象牙膏”实验能否喷射成形。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器与试剂

先行者™CP1502 电子天平; 500 mL 平底长颈烧瓶; 100 mL 量筒; 20 mL 注射器; 50 mL 烧杯; 玻璃棒; 橡胶防护手套。

30%  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{KI}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  和甘油均为分析纯(均购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司);  $\text{KMnO}_4$ (成都科龙化工试剂厂), 分析纯; 50%  $\text{H}_2\text{O}_2$ (昆明福海达化玻仪器有限公司), 工业级; 立白洗洁精、蓝月亮芦荟洗手液、立白洗衣液、雕牌皂液和舒可曼食品级水油两用色素(均购超市)。

### 1.2 实验步骤

手套防护下, 向 500 mL 平底长颈烧瓶中依次加入质量分数为 50% 的  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液(50 mL)、洗洁精(12 mL)、食用色素(5 滴, 颜色根据个人喜好), 摇匀。向 50 mL 小烧杯中加入  $\text{KI}$ (7.47 g)和水(15 mL), 用玻璃棒搅拌使  $\text{KI}$  充分溶解。将配制好的  $\text{KI}$  溶液迅速倒入前述长颈烧瓶中, 远离。

应该注意的是, 高质量分数  $\text{H}_2\text{O}_2$  腐蚀性极强, 清理“牙膏”时也必须全程戴手套进行防护, 避免皮肤接触。

## 2 结果与讨论

市售  $\text{H}_2\text{O}_2$  主要有 2 种, 医用 3% 双氧水和分析纯 30% 双氧水。因为 3% 双氧水在“大象牙膏”实验中只能产生少量泡沫, 所以选择 30% 双氧水进行本研究。然而, 大量测试表明, 在经典催化剂  $\text{KI}$  的作用下, 实验只能达到类似《连线》杂志网站视频中的效果, 虽有大量“牙膏”涌出, 但喷射无力, 最终只得到一滩铺在实验台上的巨型彩色泡沫。调整  $\text{KI}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  或洗洁精用量, 都不能改进喷射效果(未列入表 1)。因此, 对以下几种催化剂进行研究: 1)  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  催化能力极强, 使得  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解速度过快, 但反应液来不及充分形成泡沫即被猛烈喷出。该反应大量放热甚至使烧瓶中的残留物焦化。2) 使用  $\text{MnO}_2$  作催化剂时“牙膏”可以成形, 但反应过程较慢导致喷射无力。此外,  $\text{MnO}_2$  粉末不溶于水, 其随牙膏喷出时自身浓重的黑色导致食用色素不能对“牙膏”进行着色, 观赏性下降。3)  $\text{KMnO}_4$  作催化剂也常见于国外视频, 但它的反应需颠倒加样顺序, 即将  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液倒入到  $\text{KMnO}_4$  溶液

中, 否则会由于反应速度过快,  $\text{H}_2\text{O}_2$  未全部消耗催化剂即被全部喷出。该过程同样受到  $\text{KMnO}_4$  自身颜色的困扰, 只能得到不均匀的紫红色“牙膏”, 不能使用食用色素进行视觉美化。4)  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  则不能催化双氧水分解。由此可知, 上述催化剂筛选过程没有找到更优的催化剂。因此, 本研究继续使用虽价格较昂贵, 但催化能力相对温和的经典催化剂  $\text{KI}$  进行后续优化。但  $\text{H}_2\text{O}_2$  质量分数不得不进一步提升。研究初始并没有考虑质量分数为 50% 的  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 一方面因为  $\text{H}_2\text{O}_2$  质量分数越高则腐蚀性越强, 遇金属或强热可能发生爆炸, 另一方面市售分析纯  $\text{H}_2\text{O}_2$  没有质量分数为 50% 的规格, 而工业级 50%  $\text{H}_2\text{O}_2$  没有 500 mL 包装, 通常需要一次购买 25 L 以上, 会增加储存的风险。不过研究发现, 50%  $\text{H}_2\text{O}_2$  仅 50 mL 便能使“大象牙膏”实验达到喷射成形的效果。洗洁精用量为 20 mL 时, 喷射力度略有不足。为提高喷射力度和高度, 将反应容器替换为小容积、窄口的 275 mL RIO 鸡尾酒瓶, 结果却观察不到喷射效果, “牙膏”也不成形。这些结果表明, 使用大肚、长颈的反应容器也是一个关键因素, 1~2 s 的喷射诱导期有助于  $\text{KI}$  与  $\text{H}_2\text{O}_2$  充分接触。降低洗洁精用量至 10 mL, 发现“牙膏”虽喷很高, 但局部出现断裂, “膏体”不连续。最终, 使用 12 mL 洗洁精得到了喷射力强、喷射时间长且连续的炫彩“大象牙膏”。需要注意的是, 由于洗洁精粘度大, 量取难以准确, 当更换洗洁精量取器具时, 需对洗洁精用量重新进行优化才能达到理想效果。详见下表 1。此外, 食用色素品牌也要稍作关注, 部分市售食用色素质量浓度不达标, 若实验中“牙膏”着色困难, 增加色素用量不能明显改善效果, 此时更换色素品牌即可。

## 3 结论

综上所述, 系统的反应条件优化表明, 过氧化氢质量分数、催化剂类别和用量、发泡剂类别和用量, 以及反应容器等因素共同决定“大象牙膏”实验能否喷射成形。实验必须使用质量分数为 50% 的  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 而低质量分数  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解产生的氧气不足以使“牙膏”有力喷射且成形。不同催化剂的活性迥异:  $\text{KI}$  能使  $\text{H}_2\text{O}_2$  的分解平稳进行;  $\text{FeCl}_3$  的催化能力过强导致泡沫来不及形成; 使用异相催化剂  $\text{MnO}_2$  能得到黑色的成形“牙膏”, 但反应较慢, 喷射无力; 使用  $\text{KMnO}_4$  可以达到喷射且成形的效果, 但喷射时间较短, 且只能得到紫红

表 1 喷射成形的“大象牙膏”实验反应条件优化<sup>a</sup>

$w(\text{H}_2\text{O}_2)$ /%	$\text{H}_2\text{O}_2$ 用量/mL	催化剂	发泡剂/mL	是否 喷射	是否 成形	其他现象
30	80	KI	洗洁精 (20)	×	×	快速涌出 <sup>b</sup>
30	80	KI	洗手液 (20)	×	×	快速涌出,但泡沫松软
30	80	KI	洗衣液 (20)	×	×	缓慢流出,泡沫松软
30	80	KI	皂液 (20)	×	×	缓慢流出,泡沫松软
30	80	$\text{FeCl}_3$	洗洁精 (20)	√	×	激烈喷射,泡沫来不及形成, 且大量放热致使残留物焦化 <sup>c</sup>
30	80	$\text{MnO}_2$	洗洁精 (20)	×	√	喷射无力,且只能得到夹杂黑色 $\text{MnO}_2$ 的“牙膏”不能用色素美化 <sup>d</sup>
30	80	$\text{KMnO}_4$	洗洁精 (20)	√	√	反应过快,导致 $\text{H}_2\text{O}_2$ 未全部反应催化剂即被 全部喷出,且只能得到夹杂紫红色 $\text{KMnO}_4$ 的 “牙膏”,不能用色素美化
30	80	$\text{MnSO}_4$	洗洁精 (20)	×	×	不反应
30	80	$\text{CuSO}_4$	洗洁精 (20)	×	×	不反应
50	50	KI	洗洁精 (20)	√	√	喷射力度不足
50	50	KI	洗洁精 (20)	×	×	快速涌出 <sup>e</sup>
50	50	KI	洗洁精 (10)	√	√	喷射最高,但“牙膏”不连续
50	50	KI	洗洁精 (12)	√	√	最佳效果

注:1)<sup>a</sup> 反应条件:双氧水、催化剂(45 mmol,溶于 15 mL 水)、发泡剂、食用色素(5 滴)、室温、反应在平底长颈烧瓶(500 mL)中进行;2)<sup>b</sup> 加入 5 滴甘油后实验效果不变;3)<sup>c</sup> 催化剂用量减半不能明显改善实验效果;4)<sup>d</sup> 催化剂用量加倍不能明显改善实验效果;5)<sup>e</sup> 使用 275 mL RIO 3.8 度炫彩预调鸡尾酒瓶代替平底长颈烧瓶.

色“牙膏”. 而质量分数为 50%的  $\text{H}_2\text{O}_2$  (50 mL), KI (7.47 g,溶于15 mL水), 洗洁精 (12 mL), 食用色素 (5 滴) 的组合能够得到炫彩夺目且喷射成形的“大象牙膏”. 值得一提的是,其中洗洁精用量严重影响喷射高度和连续性. 此外,使用大肚、长颈的反应容器也是喷射成形的一个关键因素.

[参考文献]

[1] 侯柏杨. 对“大象牙膏”实验的探究[J]. 化学工程与装备, 2017 (12): 314 – 316.  
[2] 曹广雪. “大象牙膏”趣味实验的再改进[J]. 实验教学与仪器, 2014 (8): 54 – 55.  
[3] 廖超胜. “大象牙膏”趣味实验校本拓展及启示[J]. 中学化学教学参考, 2014 (13): 44 – 45.

[4] HERNANDO F, LAPERTA S, KUIJL J V, et al. Another twist of the foam: an effective test considering a quantitative approach to “Elephant’s Toothpaste” [J]. J Chem Educ, 2017, 94 (7): 907 – 910.  
[5] ELDRIDGE D S. Using elephant’s toothpaste as an engaging and flexible curriculum alignment project [J]. J Chem Educ, 2015, 92 (8): 1406 – 1408.  
[6] DAVIS T L. Pyrotechnic snakes [J]. J Chem Educ, 1940, 17 (6): 268 – 270.  
[7] ELSWORTH J F. Entertaining chemistry: part 1. a volcanic serpent; part 2. a homemade hydrogen rocket; [part 3. ] Johnny’s saga in chemistry [J]. J Chem Educ, 1995, 72 (12): 1128 – 1130.  
[8] 信云霞, 张帆, 贾学五, 等. 过氧化氢催化分解研究进展[J]. 石化技术, 2017, 24 (6): 50 – 51.