

关于粉尘爆炸实验的文献综述

万雨喆

(碧波中学, 江苏苏州 215128)

摘要: 通过分析相关文献, 建立实验模型, 从粉尘种类、点火方式等 8 个方面总结了进行密闭空间粉尘爆炸实验需要注意的问题与值得参考的做法, 同时介绍了若干开放空间爆炸实验的案例。另外, 对粉尘爆炸实验的进一步研究提出了建议。

关键词: 粉尘爆炸; 爆炸实验; 粉尘种类; 点火方式; 文献综述

文章编号: 1005-6629(2018)6-0087-05

中图分类号: G633.8

文献标识码: B

粉尘爆炸是初中化学最具吸引力的实验之一, 该实验的准备较烦琐, 装置可改进的空间大, 不少一线教师都对此提出了自己的想法。

本文以 CNKI 中小学数字图书馆为检索平台, 以“粉尘爆炸”、“面粉爆炸”、“爆炸实验”等为关键词进行文献检索, 筛选后得到关于初中粉尘爆炸实验的 52 篇文献, 对现有的各种改进方案进行了总结。

1 理论依据

初中的爆炸实验可分为密闭空间和开放空间两类。前者是由于“急速的燃烧发生在有限空间内, 短时间聚积大量的热, 使气体的体积迅速膨胀, 引起爆炸”, 后者是因为“氧气的浓度较高, 或可燃物与氧气的接触面积很大, 周围的空气迅速猛烈膨胀, 发生爆炸”^[1]。密闭空间的爆炸实验装置复杂、效果震撼, 是教师研究、改进的重点。

2 构建模型

密闭空间发生爆炸的要素可归纳为四个: 构成封闭空间、可燃物、氧气/粉尘浓度和温度。

四个要素又可细分为容器主体、密封方式、粉尘种类、加工方式、容尘器皿、扬尘方式、火源种类和点火方式 8 个方面(表 1)。据此可以构建装置的

基本模型(图 1)。下文将从这 8 个方面进行总结。

表 1 密闭空间爆炸的要素

要素	内容
封闭空间	容器主体、密封方式
可燃物	粉尘种类、加工方式
氧气/粉尘浓度	容尘器皿、扬尘方式
温度	火源种类、点火方式

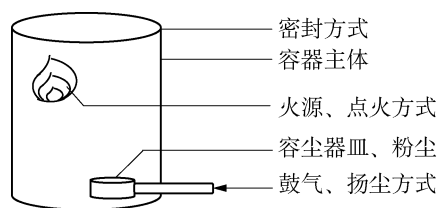


图 1 密闭空间爆炸装置模型

3 要素分析

3.1 容器主体

3.1.1 材质

常见容器的选择有两种(表 2): 一是透明、便于观察现象的塑料瓶, 二是不透明但耐用的金属罐, 前者使用率更高。用玻璃钟罩做容器是一个折衷的方案^[2], 缺点是装置较笨重。

表 2 关于容器主体的选择

材质	来源	常见规格	透明程度	耐用性	可扩展性	选择率
塑料	色拉油瓶	5 L	透明	不耐高温	加工易	63.4%
	大桶矿泉水瓶	2~3 L	透明	不耐高温	加工易	
	可乐瓶	1.5 L	透明	不耐高温	加工易	
	乐扣类保鲜杯	0.5~1 L	透明	较耐高温	加工较难	

续表

材质	来源	常见规格	透明程度	耐用性	可扩展性	选择率
金属	油漆桶	2 L 以上	不透明	耐高温	加工困难	26.8%
	奶粉罐	1.5 L	不透明	耐高温	加工困难	
	茶酒铁质包装罐	1 ~ 1.5 L	不透明	耐高温	加工困难	
	八宝粥等易拉罐	约 0.5 L	不透明	耐高温	加工困难	
纸	茶叶纸罐	1 ~ 1.5 L	不透明	不耐高温	加工易	7.3%
	硬纸板自制	任意	不透明	不耐高温	加工易	
玻璃	玻璃钟罩	约 3 L	透明	耐高温	加工困难	2.4%

3.1.2 体积

小体积的容器(1 L 以下)主要存在两方面问题:一是采用蜡烛作为火源时,若密封容器和扬尘的操作不迅速,容器内氧气浓度会下降过快而使实验失败^[3];二是体积小的容器爆炸火光小,反应现象不震撼^[4]。

过大的容器(5 L 及以上)实验时,粉尘较难充满整个空间。在粉尘接触火焰时,粉尘浓度可能会不足,使爆炸成功率降低。

因此,教师普遍(73.2%)倾向于直接选择体积适中的容器(1.5 L 左右)或用稍大的(1.5 ~ 3 L)切除一部分。如塑料材质的可乐瓶(1.5 L)、大桶矿泉水瓶(3 L)或金属材质的奶粉罐(1.5 L)都是较为合适的选择。沪教版九年级化学上册教材就给出了用可乐瓶制作爆炸装置的范例^[5],教师可以将其中向上鼓气的玻璃管改成斜向下的玻璃弯管^[6],增加粉尘浓度,这是最简便的装置方案。

有教师对容器主体进行了趣味改进,将主体制作成大炮的形式^[7]或用南瓜为材料将容器制成了万圣节南瓜灯^[8],很有参考价值。

3.2 密封方式

依据容器形状不同——无颈部的广口容器(奶粉罐、茶叶罐等)或有颈部的细口容器(可乐瓶、玻璃钟罩等)——容器的密封方式可分为两种:盖式(图 2)和塞式(图 3 和表 3)。

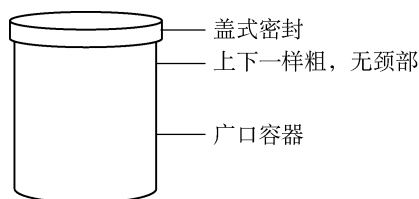


图 2 盖式密封方式

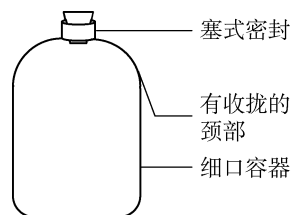


图 3 塞式密封方式

表 3 关于密封方式的选择

密封方式	材质	加工方法	耐用性	缺点
盖式	纸板	剪成圆形覆盖	不耐高温	易烧毁
	塑料	多为容器自带的杯盖	较耐高温	损坏后不易替代
	橡胶皮	剪成圆形,固定一半 ^[9]	耐高温	需寻材和加工
塞式	橡皮塞	现成,无需加工	耐高温	需加工
	易拉罐	剪开,罩在容器颈部 ^[10]	耐高温	

有教师提出密封物与主体是否有一定的吻合度,是决定爆炸实验成败的关键。良好的吻合度是指密封后能形成稳定的密闭空间(密封物不会

因鼓入的气流冲击而松动),且实验时爆炸效果明显(密封物可以被爆炸时的气流掀起)^[11]。

从实验现象看,塞式密封的实验效果更好。

因为细口容器的颈部有汇聚气流的作用,可以使密封物(如橡皮塞、易拉罐)得到更多的动能,弹射更远、效果更震撼^[12](图4)。



图4 细颈部对气流的汇聚作用

从实验操作看,盖式密封的容器可以进行扬尘方式的改进,将常规的鼓气扬尘改为粉尘固定在容器顶部的震落扬尘(图5),本文将在之后的扬尘方式环节介绍。

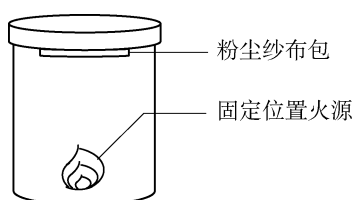


图5 震落粉尘模型

3.3 粉尘种类与加工方式

粉尘种类不是决定实验成败的关键,粉尘只要颗粒足够细小,就能悬浮在空气中并与空气混合均匀,实验就容易成功^[13]。常见的粉尘中(表4),玉米淀粉既容易买到,颗粒又最细小,是实验的最好选择。

表4 关于粉尘种类和加工方式的选择

粉尘种类	玉米淀粉、面粉、生粉、松香粉等
加工方式	过筛、烘烤、翻炒

有教师提出,粉尘颗粒的大小与干湿程度有关。面粉虽然易吸水结块,但只要能适当处理,也可顺利进行实验^[14]。作为实验室常备药品,在没有玉米淀粉的情况下,使用处理过面粉也是很好的选择。

面粉可以用两种方式进行处理:过筛或干燥,后者效果更好。干燥面粉可以使用烤箱烘烤(100℃20分钟)、阳光下暴晒(1~2小时)或在烧杯等容器内翻炒至面粉表面微黄几种办法,最后一种方式得到的面粉实验效果最好^[15]。

3.4 容尘器皿与扬尘方式

3.4.1 容尘器皿

容尘器皿即实验中存放粉尘的器皿,设置得好可以提高扬尘效率,增加粉尘浓度,但不是必要

的选择。通常侧面开孔的装置可以加上容尘器皿(因为侧面鼓入的气流较难让粉尘充分扬起),而底部开孔的装置则可省略,将粉尘直接堆放在底部开孔附近即可,鼓气时向上鼓入的气流较易在容器内形成一定的粉尘浓度。

容尘器皿可选的材料很多(表5)。推荐可用现成的普通漏斗放置粉尘,教师也可参考两种自制金属盒的方案^[16,17],提高扬尘效率。有教师尝试在容尘器皿上加装面粉筛,扬尘时能让面粉同时过筛^[18],此法意义不大,与实验前面粉过筛的效果一样。

表5 关于容尘器皿的选择

容尘器皿	眼药水瓶、倒置的饮料瓶颈部、塑料瓶盖、普通漏斗、自制金属盒
------	-------------------------------

3.4.2 扬尘方式

鼓气扬尘是该实验的常规扬尘方法(表6)。在容器主体与容尘器皿上同时开孔,用乳胶管连接后,通过洗耳球、打气筒等工具鼓入空气。

表6 关于扬尘方式的选择

扬尘方式	选用装置	特点
鼓气扬尘	洗耳球、气球、打气筒	材料易得,最易实现
	汽水瓶	可以收集氧气后鼓入,增加容器内氧气浓度
	玩具风扇	可以提供持续的气流,让粉尘均匀充满整个空间。适宜与电火花、点火枪等密封后点火的方式配合 ^[19]
震落粉尘	铁丝支架或纱布包	无需打孔、整体装置更简洁、美观

容器可以选择侧面开孔或底面开孔。前者外观简单,无需底座;后者可以省去容尘器皿,但底部要加装底座^[20](否则底部的乳胶管会使容器无法放置水平)(图6)。

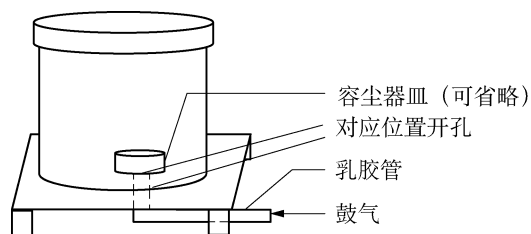


图6 底部开孔鼓气模型

较好的鼓气方式有两种：一是用饮料瓶收集氧气后鼓入，增加氧气浓度^[21]；二是利用玩具风扇提供均匀连续的气流，增加粉尘浓度^[22]。

震落粉尘是另一种独特的扬尘思路。教师利用纱布将粉尘包裹后固定在镂空的铁丝支架^[23]或贴在容器盖上^[24]，合上容器盖后对盖进行敲击，就可以使粉尘落下（图5）。震落粉尘的优势有两点：一是粉尘与火源间的距离远，粉尘在燃烧前能均匀充满容器，保证浓度；二是装置不外接鼓气设备，整体造型更美观。

3.5 火源种类与点火方式

火源种类与点火方式的选择有关联之处，归纳如下（表7）。最简单的点火方式是密封前点火，即先点燃蜡烛再密封、扬尘。采用这种方式需要注意两个问题：

表7 点火方式与火源种类的选择

点火方式	密封前点火	密封后点火
	火柴、酒精灯	电火花、电子点火枪、改装的打点计时器
火源种类	蜡烛、木炭条、酒精棉球	酒精棉球、自制火药

一是蜡烛的位置最好用支架固定在容器的上部^[25, 26]，即蜡烛需要与容尘器皿（或鼓气孔）拉开一定距离（图1），防止吹入的气流熄灭蜡烛或是粉尘没有充分扬起就接触火焰，燃烧时粉尘浓度不够。

二是点燃火源后必须迅速密封容器并扬尘，防止蜡烛燃烧消耗过多氧气，氧气浓度不够^[27]。

针对这两个问题，有三种不同角度的改进方案。

一是在火源种类上，将蜡烛改为酒精棉球。因为酒精含碳量低于石蜡，相同时间内燃烧消耗氧气更少，持续时间更长。

二是在扬尘方式上，将鼓气扬尘改为震落粉尘。此时粉尘和火源间的距离最远，粉尘在接触到火焰之前能均匀地分布在容器内（图5）。

三是在点火方式上，使用电火花^[28]或电子点火枪^[29]等工具密封后点火。优点是有充分的时间进行扬尘操作，实验成功率高。缺点是点火装置制作复杂，高压产生的电火花也不太安全^[30]。有教师对此提出了用改装的打点计时器点火的方案^[31]和具体案例^[32]，避免了安全隐患，是最值得参考的点火改进方式。也有教师使用自制火药、引线引燃的方式点火，极富创意^[33]。

4 开放空间的粉尘爆炸案例介绍

开放空间的爆炸实验仪器准备与操作都很简单，只要火源和某种扬尘方式就能完成（图7），方法总结如下（表8）。

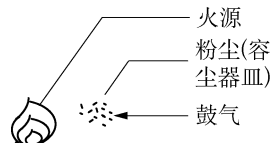


图7 开放空间粉尘爆炸模型

表8 开放空间粉尘爆炸装置选择

火源	酒精灯、丁烷灯、自制火把
容尘器皿	纸槽、玻璃导管、漏斗接橡皮管
扬尘方式	吹气、洗耳球鼓气

这里介绍一种趣味做法。教师用丁烷喷火枪作为火源，用勺子将玉米淀粉倒入口中，然后喷向火源，形成“口中喷火”的奇景。

丁烷喷火枪是焊接和烘焙所用到的一种器具，没有该器材的教师可以参考笔者以下的做法，自制火把，趣味性更强。

在体操棒（初中体育器械）一端包裹纱布，并用细铁丝扎紧固定，浸入含有适量氯化钠的酒精溶液后点燃作为火源。酒精溶液燃烧时的淡蓝色火焰不便于观察，加入氯化钠后可看到明亮的黄色火焰，也可选择加入其他离子形成不同的焰色效果。

5 结语

目前关于爆炸实验本身的研究已经趋于完善，但大多数文章都将问题聚焦在如何提高成功率、改善实验效果等方面，重复率高。文章间的差异可能仅在于部分环节材质和工具的选择不同，并没有本质的区别，仅有少数文章能在密封、扬尘、点火等环节有创造性的改进，或是在理论层面对实验进行研究^[34]，具有参考价值。

初中化学安排粉尘爆炸内容的目的是让学生认识到粉尘爆炸的威力，重视生活中相关的安全问题。因此，如何将实验设计趣味化、生活化，或是与先进的硬件技术相结合，量化体现爆炸威力是较有意义的。

化学中已有不少实验都开发有现成的装置，如水电解器、量热计等。期待能设计出可批量生产的粉尘爆炸实验演示装置，一定能对广大初中教师和实验教学有巨大的帮助。

参考文献:

- [1][5] 课程教材研究所. 义务教育教科书·化学(上册)[M]. 上海:上海教育出版社, 2016.
- [2][10] 苏立荣. 粉尘爆炸实验的改进[J]. 器材实验室, 2010, (12): 19.
- [3][27] 蒋前进. 面粉爆炸实验的改进[J]. 实验教学与仪器, 2006, (4): 31.
- [4][15] 任志峰, 李曙敏等. 面粉爆炸实验探究[J]. 教学仪器与实验, 2008, (3): 30~31.
- [6] 张欣荣, 王彦昌等. “面粉爆炸”实验的改进[J]. 中学化学教学参考, 2009, (3): 29.
- [7] 王美志. “面粉大炮”趣味实验[J]. 化学教育, 2014, (5): 68~69.
- [8] 张志辉. 初中化学中爆炸实验的趣味化设计[J]. 化学教育, 2015, (15): 60~61.
- [11] 向凤武. 粉尘爆炸演示仪的改进[J]. 中小学实验与设备, 2009, (1): 4.
- [9][19][22] 王发应, 邓明非等. 粉尘爆炸实验的创新设计[J]. 化学教学, 2017, (2): 59~61.
- [12][18] 文献晖, 黄宇光等. 粉尘爆炸实验演示器的创新设计[J]. 实验教学与仪器, 2007, (10): 27~28.
- [13] 乔金锁. 粉尘爆炸实验的改进[J]. 化学教学, 2016, (2): 67~69.
- [14][16][25] 张国锋. 粉尘爆炸实验的最佳实验条件探究[J]. 化学教学, 2010, (1): 18~19.

- [17] 赵宜学, 王寿红. 一个粉尘爆炸实验装置的创意[J]. 化学教育, 2006, (9): 51~54.
- [20] 丁昭兰. 粉尘爆炸演示器[J]. 实验教学与仪器, 2009, (7~8): 103.
- [21] 甘丽艳, 郑立忠. 粉尘爆炸实验成功改进方法[J]. 化学教育, 2012, (12): 74.
- [23] 张琳. 面粉爆炸实验的再改进[J]. 化学教学, 2012, (7): 44~45.
- [24] 万莉, 王萍等. 粉尘爆炸实验的简单易行的2种改进[J]. 化学教育, 2014, (17): 52~53.
- [26] 丁荣兵. 对“粉尘爆炸实验”的探究[J]. 广西教育, 2014, (8): 89~90.
- [28] 喻国贞, 黄丽蓉等. 易燃、易爆物安全实验研究——论粉尘爆炸[J]. 九江师专学报, 2003, (6): 45.
- [29] 徐宁. 对粉尘爆炸实验的改进[J]. 中学化学教学参考, 2010, (5): 45.
- [30][31] 陈国清. 粉尘爆炸实验引爆方式的改进[J]. 实验方法与实验设计, 2005, (11): 20.
- [32] 陈锐彬. 粉尘爆炸实验装置的优化[J]. 实验教学与仪器, 2016, (2): 53~54.
- [33] 尚广斗, 高万松等. 粉尘爆炸演示实验的创新设计[J]. 教学仪器与实验, 2013, (7): 38.
- [34] 郜永琴. 粉尘爆炸影响因素的实验研究[J]. 实验教学与仪器, 2009, (2): 76~78.

(上接第86页)

的作用下克服胶体吸附的力量, 穿透阴离子交换膜迁移到阳极室, 由于溶液酸性的增强使得 $2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ (很多学生忽视该转化过程, 它出现在人教版选修4第26页) 平衡向右移动, 分离后含铬元素的粒子有 CrO_4^{2-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 两种; 阴极室分析与阳极室类同, 阴极室生成的物质为 NaOH 和 H_2 。

答案: 在直流电场作用下, CrO_4^{2-} 通过阴离子交换膜向阳极室移动, 脱离浆液; CrO_4^{2-} 和 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$; NaOH 和 H_2 。

总结: 胶体具有很高的比表面积, 因而具有很强的吸附能力, 以降低其表面能。该混合浆液具有胶体的性质, 其吸附作用使 CrO_4^{2-} 不易完全被水浸出, 这个从实践中遭遇到的“坑”是命制本题的背景和出发点。如何使离子从胶体的“怀抱”中脱出, 问题转向借助电化学的力量, 同时利用现代科技产品离子交换膜的选择透过性, 这不仅

告诉我们电渗析技术是一种离子分离的手段^[4], 同时还向我们展示了化工技术的不断进步和创新。

综上所述, 杂质离子的分离或除去不只限于传统的化学沉淀法、氧化还原转化法, 还有调节溶液 pH 法、离子交换法、萃取和反萃取法、电渗析法等等, 在具体实践操作中, 我们需要根据离子所处的物理化学环境, 选择简便易行、经济有效、绿色环保的方法才是科学和正确的。

参考文献:

- [1] 北京师范大学、华中师范大学、南京师范大学无机化学教研室. 无机化学(上册)(第四版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 343~344.
- [2] 李兵兵. 离子交换树脂的结构特点及应用[J]. 黑龙江科技信息, 2015, (11): 127.
- [3] 张大力, 卢立柱, 柯家骏. 金属离子反萃取[J]. 湿法冶金, 1995, (3): 1~3.
- [4] 李媛, 王立国. 电渗析技术的原理及应用[J]. 城镇供水, 2015, (5): 16~22.