

碘化鉛的生成

魏蘊聰

國立臺灣師範大學化學系

國中化學實驗中，多半只談到操作步驟，只講如何使實驗完成，很少論及實驗完成之後，廢棄物該如何處理，因此，一般處理的方式，大約只有兩種，那就是固體廢棄物當一般垃圾丟棄，沉澱和液體廢棄物一併倒入水槽，隨水排放。這樣的處理方式，容易養成同學的錯誤觀念，認為化學實驗本來就是製造污染的。實際上，做實驗當然不能說一點污染都沒有，若能經過適當的設計和安排，可以使污染情況降到最低。好像人活着每天都會製造一些污染，但若處處留意，就可以將污染減少一樣。茲以現行國中理化第二冊實驗 8-1『碘化鉛的生成』為例（實驗敘文從略），說明實驗廢棄物的降毒、減量的簡易處理情形。

一、藥品性質的探討

要減少實驗廢棄物對環境的污染，必須先明瞭實驗中使用那些藥品，發生什麼反應，生成何種產物，它們的性質如何，那些物質有毒，那些無害。即使國中同學所知不多，最少老師要先告訴他們，那些是有害物質，使用時不要過量，或是在實驗完成之後，不能任意丟棄，應該用什麼方法，放置何處。現將『碘化鉛的生成』實驗所用藥品及產物的性質，表列於下（見次頁）：

二、實驗內容概述及理論探討

A 組以一定量的碘化鉀溶液與不同量的硝酸鉛溶液反應，B 組以一定量的硝酸鉛溶液與不同量的碘化鉀溶液反應，以產生的黃色碘化鉛在試管中的高度，來探討反應物之間量與量的關係，並進一步了解化學平衡方程式中，各物質前面的係數，和參與反應各物質莫耳數的關係。

本實驗之優點：產物為金黃色晶體，容易觀察。結晶之密度為 6.16 g/cc ，或說結晶粒大而重，容易沉於試管底部，測量容易。唯一的缺點是，鉛是有毒的重金屬，依行政院環保署民國 76 年發布的放流水標準，鉛在放流水中的最大限量為 1.0 ppm ，若以 B 組

藥品名稱	類別	一般性質	危險性	毒性	中毒症狀	急救方法	廢棄物處理法
碘化鉀 KI	反應物	無色或白色的晶體或粉末，長期暴露於空氣中時，則因產生 I_2 而呈黃色。 $d = 3.12$ ，m.p. $680^{\circ}C$ ，易溶於水。	光與濕氣會加速分解。	LD. i.v. 鼠 285 mg/kg。			加入大量水稀釋排放。
硝酸鉛 $Pb(NO_3)_2$	反應物	分子量 331.23， $d = 4.53$ ，m.p. $470^{\circ}C$ (分解) 白色或無色有氧化作用的半透明晶體，溶於水。	(1)助燃，與有機物接觸危險。 (2)受熱分解並放出氧化氮。	(1)安全限量： 0.32 mg/m ³ 。 (2)吸入、食入均有毒。血液中鉛含量0.7~1.0ppm為急性中毒。尿液中0.2ppm為安全限界。	(1)吸入微塵或吞下鉛化合物會產生嚴重的內部損害、嘔吐、腹痛和虛脫。 (2)長期暴露會引起食慾不振、貧血、便秘、牙齦上出現藍線。	尚無普遍接受之急救法，應立即送醫。	鉛(II)以矽酸鈉溶液處理，使生成矽酸鉛沉澱，收集後安全掩埋或固化處理。
碘化鉛 PbI_2	產物	分子量 461.05， $d = 6.16$ ，m.p. $402^{\circ}C$ ， b.p. $954^{\circ}C$ 。 金黃色晶體或粉末，無味。可溶於濃的碘化鉀溶液。		鉛鹽有毒，空氣中容許量以鉛計 0.15 mg/m ³			保存留用或安全掩埋或固化處理。

中第一管B 1 (溶液體積 4.0 mL) 試管而言, 其中鉛之濃度為 0.5 M, 相當於 103.6 g/L, 近於 1.036×10^5 ppm, 如果你把這一試管內的溶液稀釋排放, 則需水 $4 \times (1.036 \times 10^5)$ mL, 大約是 400 L 的水, 是不是太浪費了呢? 當然這是最壞的情況, 因其他各試管中, 多少都有碘化鉛沉澱, 溶液中鉛離子就比較少了。

要想使廢液中鉛離子減少, 最好的辦法是使它生成難溶的鹽類沉澱; 但如何做呢? 第一步是將廢液收集。先以 A 組為例, 其中 A 1、A 2、及 A 3 是碘化鉀過量, 而 A 5 及 A 6 為硝酸鉛過量, 如果我們將這幾支試管中的溶液倒在一起, 它們會再生成一些碘化鉛。由理論上看, A 組共用 0.5 M 的碘化鉀溶液 36 mL, 硝酸鉛溶液 15 mL, 算起來碘化鉀過量, 如果將各試管內的溶液完全混合, 生成碘化鉛之後, 廢液中 (暫不考慮洗液) 碘離子的濃度

$$[I^-] = 0.5 \text{ mol/L} \times \frac{(36 - 15 \times 2)}{(36 + 15)} = 0.06 \text{ mol/L}$$

碘化鉛的溶度積為 1.05×10^{-9} , 鉛離子的濃度約為

$$[Pb^{2+}] = \frac{1.05 \times 10^{-9}}{(0.06)^2} \approx 3.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$$

Pb^{2+} 的濃度已在 1 ppm 以下, 可以排放出去了。

再以 B 組為例, 就不那麼樂觀了。B 組共用硝酸鉛 24 mL, 碘化鉀 30 毫升, 即使將各試管內的溶液完全混合, 生成碘化鉛之後, 仍是鉛過量。 Pb^{2+} 的濃度約為:

$$[Pb^{2+}] \approx 0.5 \text{ mol/L} \left(\frac{24 - 30 \div 2}{24 + 30} \right) = 0.083 \text{ mol/L}$$

相當於 $207.2 \text{ g/mol} \times 0.083 \text{ mol/L} = 17.19 \text{ g/L}$ 或 $1.719 \times 10^4 \text{ mg/L}$

若欲稀釋到合於排放標準, 一組需水量約近於兩萬公升。因此, 用稀釋排放已不可行, 必須在廢液中加入矽酸鈉, 使鉛離子變為矽酸鉛沉澱。又增加一次操作過程, 甚為不便。

三、應變方法

由前面的理論計算, 我們已經明瞭, 若大家都做 A 組, 只要將各試管內的沉澱和溶液一起混合, 使它充分反應, 生成 PbI_2 沉澱, 靜置傾倒或過濾出碘化鉛, 廢液就可以排放了。做 B 組則需要再加處理, 才能排放。可是大家都做 A 組, 似乎又失去了安排 B 組的求證意義, 怎麼辦呢? 我們的建議是不論每班共分為幾組, 都只有一組為 B 組, 其他各組均為 A 組。

四、實作情形

實驗過程完全依國中理化第二冊，實驗 8-1 中指示進行。實驗完成之後，取下水浴杯（250 mL 燒杯），將其中的水倒掉，當做廢物收集杯。將 6 支試管的內容物（沉澱及溶液）一併倒入燒杯內，並將各試管內殘留物，也以水洗入收集杯中。得到的結果是：

A 組得 PbI_2 沉澱 3.422 克，濾液共計 80mL

B 組得 PbI_2 沉澱 3.292 克，濾液共計 120mL

設全班分為 8 組，將 8 組濾液混合，再生成沉澱，組別比與沉澱之關係如下：

A 組：B 組	沉澱 $\text{PbI}_2(\text{s})$ 量（全班）	殘留鉛離子質量
4：4	1.592 克	2.568 克
6：2	2.306 克	1.078 克
7：1	1.912 克	0.269 克

以上數據均以重量分析為依據。由數據可以看出若全班 8 組，其中 7 組為 A 組，1 組為 B 組，只要將全班廢液收集，令其充分反應，再予沉澱，濾出 PbI_2 固體後，可用大量水稀釋排放。其他組數比則需進一步處理。

五、建議

建議在實驗完畢之後，加上廢棄物處理一項，其內容擬定如下，提供參考修正。

（一）學生操作部分：

1. 實驗完畢取下水浴杯，將水倒掉，當做廢液收集杯。
2. 每人取試管一支（設每組為 6 人），以玻棒攪拌，盡可能將固體和溶液都倒入廢液收集杯內。
3. 以滴管取水 2～3 mL 沖洗試管，攪拌、再倒入杯內，繼續此項沖洗工作，至所有固體均洗入杯中為止。
4. 將廢液杯交到老師指定的地方。

（二）教師操作部分：

1. 將學生交來的廢液內物質（固體及液體）全部倒入一個適當的大容器內（以一班為例，大約 1 L 的燒杯即可），充分攪拌之後，令其靜置或直接過濾。
2. 濾出的固體 PbI_2 ，待乾燥後，裝入瓶內，貼標籤標明內容物的名稱、重量、

來源及裝入日期。

3. 濾液之處理，視組別比例不同而相異，若採A組七組、B組一組，可以用大量水稀釋放流，若B組增加則需用矽酸鈉使 Pb^{2+} 生成矽酸鉛 (PbSiO_3) 沉澱。

六、結 語

藉由實驗廢棄物的處理，希望訓練修習化學實驗的同學，養成不隨意亂丟東西的好習慣。每當要丟棄一樣東西時，都能想到這樣丟棄對不對，會不會造成環境污染，會不會造成別人的不便，久而久之，將環保和道德觀變成一種生活態度，步入社會之後，仍能在不知不覺中堅持下去。

七、參考資料

1. 國民中學理化第二冊，國立編譯館。
2. 歐陽嶠暉，實驗室污染特性與管理。
3. 毛高文，加強環境教育提升環境知識，環境教育第十一期，pp 3~4。
4. 學校實驗室環保安衛手冊，教育部印行。
5. Meack Index 10th ed. Merck & Co Inc. (1983)
6. M. A. Armour, Hazardous Laboratory Chemicals Disposal Guide, CRC Press(1991).

(上承第29頁)

口試題目

- 一、設凸多面體的頂點 A_k ($1 \leq k \leq v$) 處的各面角之和為 α_k ，把 $2\pi - \alpha_k = \beta_k$ 定義成此多面體在頂點 A_k 處的虧角，試求出 $\sum_{k=1}^v \beta_k$ 之總和 (即求凸多面體的各頂點處之虧角總和)。
- 二、若 a, b 都是實數且 $a-b, a^2-b^2, \dots, a^k-b^k, \dots$ 都是整數；問 a, b 是否皆為整數？