

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

第三名

最佳(鄉土)教材獎

040202

解上上鉛

學校名稱：國立竹南高級中學

作者： 高三 鄧群姿 高三 蕭志宇 高三 歐建宏	指導老師： 楊桂芳
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：氯化鉛、溶度積、鉻酸鉛

摘要

在高中實驗課本中有[氯化鉛溶解度積]實驗，但不同課本所提供 PbCl_2 的 K_{sp} 值有相當大差異，故本研究除了將課本中所述的三種實驗方法驗證過，另加入四種不同實驗方法，一併作比較。

研究中的七種實驗方法分別為：由氯化鉛溶解量推求(溶解度法)、三種沉澱法(形成 PbSO_4 、形成 PbCO_3 、形成 PbCrO_4)、三種滴定法(莫爾法、間接柏哈法、法揚士法)，由實驗數據顯示，除了溶解度法數據有較大差異，其餘六種實驗方法所求得數據相當接近，故我們由實驗證實 PbCl_2 在 25°C 下的 K_{sp} 值為 5.6×10^{-4}

本研究也對所應用七種實驗方法的優缺點作一比較，又實驗過程中，溫度的改變會影響溶度積大小，因此實驗中我們改變數種不同溫度來測量氯化鉛溶度積，將所得數據一併作比較。

壹、研究動機

在高一的普通化學及高二的分析化學課中，我們學到有關難溶鹽的溶解度積計算，不僅想到這些溶解度積值是如何測定出來？就到圖書館查資料，看到[溶度積]實驗，內容介紹如何測定氯化鉛的溶度積，但不同課本上所列出的實驗值並不相同，在好奇心的驅使下，我們想動手做看看，也想到是否有更好的方法來測定氯化鉛的溶度積值，經向老師請教相關知識，並在老師指導下查詢到一些相關資料，我們設計了一系列實驗步驟來求證氯化鉛溶度積值，並比較不同方法及不同溫度下測出的實驗值是否有差異。

貳、研究目的

- 一、驗證所查到 PbCl_2 溶度積實驗的可行性
- 二、將定量 PbCl_2 固體溶於定量水中，由 PbCl_2 溶解度推求 PbCl_2 的溶度積值
- 三、使用三種不同沉澱法(形成 PbSO_4 、 PbCO_3 、 PbCrO_4)來推求 PbCl_2 的溶度積值並作比較
- 四、使用三種不同滴定法(莫爾法、間接柏哈法、法揚士法)來推求 PbCl_2 的溶度積值並作比較
- 五、比較七種不同方法所測出 PbCl_2 的溶度積值差異，並探討每一種方法的優缺點
- 六、學習自製恆溫槽來控制溫度，測定 PbCl_2 飽和液在不同溫度下的溶度積值差異
- 七、設計一種沉澱乾燥方式，並探討可行性
- 八、透過實驗操作，增進個人觀察力及團隊合作的默契培養

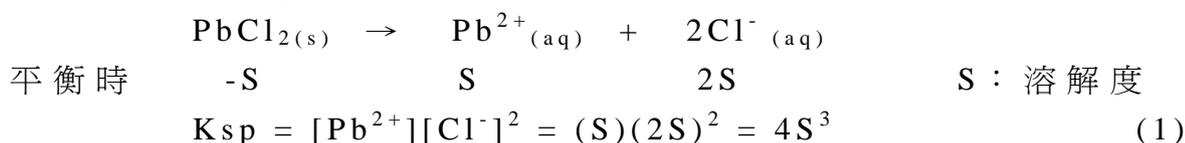
參、研究設備及器材

	名稱	規格	數量		名稱	規格	數量
1	PbCl ₂	EP 級	1 瓶	18	滴定管	50 mL	4 支
2	Na ₂ SO ₄	EP 級	1 瓶	19	燒杯	250 mL	20 個
3	(NH ₄) ₂ CO ₃	EP 級	1 瓶	20	燒杯	500 mL	4 個
4	K ₂ CrO ₄	EP 級	1 瓶	21	乳頭滴管		5 支
5	AgNO ₃	EP 級	1 瓶	22	布氏漏斗		3 個
6	KSCN	EP 級	1 瓶	23	抽濾瓶	500 mL	3 個
7	鐵明礬	EP 級	1 瓶	24	抽氣阱		3 個
8	濃硝酸	EP 級	1 瓶	25	玻棒		5 支
9	螢光黃	EP 級	1 瓶	26	藥勺		5 支
10	糊精	EP 級	1 瓶	27	濾紙	5C	2 盒
11	量筒	100 mL	5 支	28	加熱板		2 台
12	錐形瓶	250 mL	10 個	29	表玻璃		10 個
13	移液管	25 mL	3 支	30	試藥瓶	1000 mL	2 個
14	移液管	50 mL	2 支	31	試藥瓶	1000 mL	2 個
15	吸量管	10 mL	2 支	32	塑膠盆	25 cm x 30 cm	2 個
16	吸量管	5 mL	2 支	33	電子天平	可稱至 0.0001g	1 台
17	安全吸球		3 個	34	烘箱		1 台

肆、研究過程

一、原理探討

難溶鹽達溶解平衡時，溶液中各離子濃度乘積為一常數，稱溶度積常數，以 K_{sp} 表示。在本實驗中

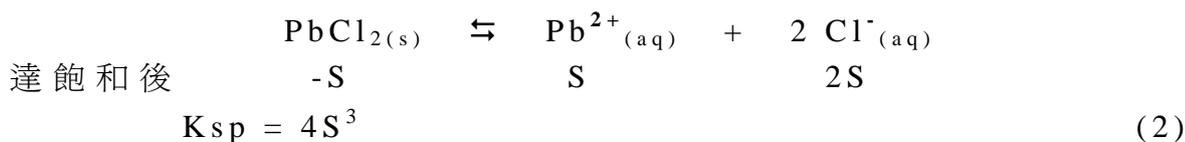


因此我們若能從實驗中得知 $\text{PbCl}_{2(s)}$ 在水中的溶解度，或 PbCl_2 飽和溶液中鉛離子或氯離子濃度，就可進一步計算氯化鉛的溶度積常數。

實驗中我們採用下列不同方式推求氯化鉛的溶度積常數 (K_{sp})：

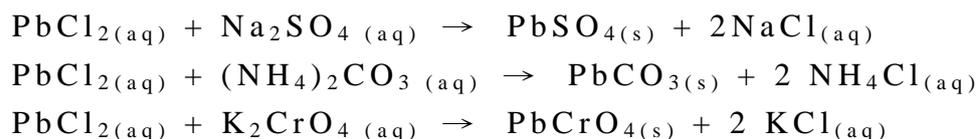
(一) 由 $\text{PbCl}_{2(s)}$ 溶解量求 K_{sp}

稱取定量的 $\text{PbCl}_{2(s)}$ 加入定量水中，氯化鉛溶解達飽和後，過濾出未溶解的氯化鉛，然後由氯化鉛溶解質量與所配製溶液之體積求其溶解度 (S)，再代入定義式求 PbCl_2 的 K_{sp} 值



(二) 將 PbCl_2 飽和液中 Pb^{2+} 形成沉澱，由沉澱量求 K_{sp}

PbCl_2 飽和溶液中有 Pb^{2+} ，若加入過量的沉澱劑如 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(aq)}$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_{3(aq)}$ 及 $\text{K}_2\text{CrO}_{4(aq)}$ ，可分別產生下列反應：

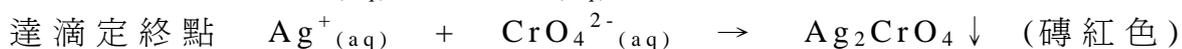


若將反應後生成的沉澱過濾出，乾燥、稱重，再由沉澱重可推算出 PbCl_2 飽和溶液中 $[\text{Pb}^{2+}]$ ，就可進而求出 PbCl_2 的 K_{sp} 值



(三) 利用莫爾法分析 PbCl_2 飽和液中 $[\text{Cl}^{-}]$ ，求 K_{sp}

PbCl_2 飽和溶液中有 Cl^{-} ，若以 $\text{K}_2\text{CrO}_{4(aq)}$ 為指示劑，然後以 AgNO_3 標準液滴定，當 PbCl_2 飽和溶液中的 Cl^{-} 作用完時，過量的 Ag^{+} 與 CrO_4^{2-} 生成磚紅色的鉻酸銀沉澱，滴定即達到終點

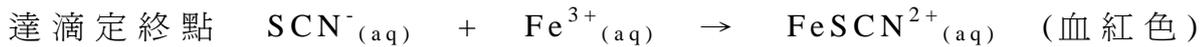


由 $\text{AgNO}_{3(aq)}$ 用量可推求出 PbCl_2 飽和溶液中 $[\text{Cl}^{-}]$ ，知道 $[\text{Cl}^{-}]$ 可進一步推求 PbCl_2 的 K_{sp} 值

$$K_{sp} = [Pb^{2+}][Cl^{-}]^2 = \left(\frac{[Cl^{-}]}{2}\right)[Cl^{-}]^2 = \frac{1}{2} [Cl^{-}]^3 \quad (4)$$

(四) 利用間接柏哈法分析 $PbCl_2$ 飽和液中 $[Cl^{-}]$ ，求 K_{sp}

若在定量 $PbCl_2$ 飽和溶液中，先加入過量 $AgNO_3$ 溶液與飽和液中 Cl^{-} 形成 $AgCl \downarrow$ ，過濾，取濾液以 $KSCN_{(aq)}$ 滴定，以鐵明礬為指示劑，當濾液中的 Ag^{+} 作用完時，過量的 SCN^{-} 與 Fe^{3+} 生成硫氰化鐵血紅色溶液，滴定即達到終點



由 $KSCN_{(aq)}$ 用量可推求出濾液中殘留的 Ag^{+} 量，再將全量 $AgNO_3$ 減去殘留的 Ag^{+} 量可求出 $PbCl_2$ 飽和溶液中 $[Cl^{-}]$ ，知道 $[Cl^{-}]$ 可進一步推求 $PbCl_2$ 的 K_{sp} 值。即

$$AgNO_3 \text{ 殘留量} = C_M, KSCN \times V_{KSCN} \quad (5)$$

$$AgNO_3 \text{ 全量} - AgNO_3 \text{ 殘留量} = PbCl_2 \text{ 飽和溶液中 } Cl^{-} \text{ 量} \\ = C_M, Cl^{-} \times V_{PbCl_2} \quad (6)$$

$$K_{sp} = \frac{1}{2} [Cl^{-}]^3 \quad (7)$$

(五) 利用法揚士法分析 $PbCl_2$ 飽和液中 $[Cl^{-}]$ ，求 K_{sp}

若在定量 $PbCl_2$ 的飽和溶液，以二氯螢光黃(FI^{-} ，或螢光黃)為指示劑，再以 $AgNO_3_{(aq)}$ 滴定，滴定終點前沉澱表面帶負電荷，螢光黃無法吸附到沉澱上，溶液呈黃色，當溶液中的 Cl^{-} 作用完時，過量的 Ag^{+} 會吸附在氯化銀沉澱表面，與螢光黃產生紅色沉澱，滴定即達到終點



由 $AgNO_3_{(aq)}$ 用量可推求出 $PbCl_2$ 飽和溶液中 $[Cl^{-}]$ ，知道 $[Cl^{-}]$ 可進一步

推求 $PbCl_2$ 的 K_{sp} 。 $K_{sp} = \frac{1}{2} [Cl^{-}]^3 \quad (7)$

實驗中除了採用上述多種不同方法求出 $PbCl_2$ 的 K_{sp} 值作一比較，我們也改變不同溫度條件去測定 $PbCl_2$ 的 K_{sp} 值，觀察溫度對 $PbCl_2$ 的 K_{sp} 值影響

二、溶液配製

- (一) 1 M $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ ：稱取 14.2 克 $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{s})$ 到 250 mL 燒杯中，加入 100 mL 水溶解
- (二) 1 M $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3(\text{aq})$ ：稱取 9.6 克 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3(\text{s})$ 到 250 mL 燒杯中，加入 100 mL 水溶解
- (三) 5 % $\text{K}_2\text{CrO}_4(\text{aq})$ ：稱取 5 g $\text{K}_2\text{CrO}_4(\text{s})$ 到 250 mL 燒杯中，加 95 mL 水溶解
- (四) 0.1 M $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ ：精秤 8.5 克 $\text{AgNO}_3(\text{s})$ 到 250 mL 燒杯中，加入約 100 mL 水溶解，將溶液移入 500 mL 量瓶，以蒸餾水沖洗燒杯數次到量瓶中，再以蒸餾水小心加到量瓶標線，蓋上量瓶蓋，上下混合均勻後，移入棕色瓶
- (五) 0.1 M $\text{KSCN}(\text{aq})$ ：稱取 3.88 克 $\text{KSCN}(\text{s})$ 到 500 mL 燒杯中，加入 400 mL 水溶解
- (六) 6 M $\text{HNO}_3(\text{aq})$ ：取 75 mL 濃硝酸加入 125 mL 蒸餾水中
- (七) 鐵明礬指示劑：稱取 $\text{KFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ 10 g，加入 100 mL 6 M $\text{HNO}_3(\text{aq})$ 溶解
- (八) 二氯螢光黃指示劑：稱取 Dichlorofluoresin 0.1 g 加入 70 % 100 mL 酒精溶液溶解

三、 $\text{KSCN}(\text{aq})$ 溶液標定

- (一) 取一滴定管，以少量配好的 $\text{KSCN}(\text{aq})$ 潤洗，然後將 $\text{KSCN}(\text{aq})$ 小心充入滴定管
- (二) 以 20 mL 移液管取 0.1 M $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 到 250 mL 錐形瓶中，在錐形瓶中再加入 6 M $\text{HNO}_3(\text{aq})$ 5 mL，1 mL 鐵明礬指示劑，以 $\text{KSCN}(\text{aq})$ 滴定錐形瓶中溶液，見到微紅色出現，記下 $\text{KSCN}(\text{aq})$ 的體積
- (三) 重複步驟(一) ~ (二)，再做二次

四、由氯化鉛溶解量求 K_{sp} (溶解度法)

- (一) 取一四方塑膠盆，放入適量水及五隻溫度計，以熱水及冰塊搭配，調整水溫在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，作為恆溫槽(圖 1)
- (二) 精稱 15 克的 $\text{PbCl}_2(\text{s})$ ，小心倒入 1000 mL 的燒杯中，量取 500 毫升的蒸餾水，倒入燒杯中，充分攪拌後，再將其加熱至 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右，放在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恆溫槽中 30 分鐘(要適度攪拌一下)(圖 2)
- (三) 控制溫度在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，將配好的氯化鉛飽和液以減壓過濾法過濾(使用 5C 濾紙)，一開始過濾出的 10 mL 濾液先丟棄，收集後面濾液，過濾快完成時，取濾液將燒杯內殘留的氯化鉛固體完全沖洗到濾紙上
- (四) 將所有濾液先倒入乾燥的燒杯中，保留於後面實驗使用
- (五) 將過濾後的氯化鉛固體與濾紙小心從白瓷漏斗取出，置於表玻璃上，放入烘箱中，以 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 溫度乾燥後放入乾燥器冷卻，稱重

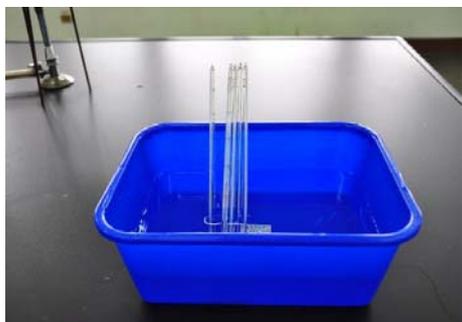


圖 1 自製恆溫槽



圖 2 放在恆溫槽內的 $\text{PbCl}_2(\text{aq})$ 要適度攪拌

五、由氯化鉛飽和溶液中的 $[\text{Pb}^{2+}]$ 求 K_{sp} (沉澱法)

(一) 將 Pb^{2+} 形成 PbSO_4

1. 以 50 mL 移液管取氯化鉛飽和液到一 250 mL 燒杯中，加入 1 M $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ 10 mL，小心攪拌 10 分鐘，蓋上表玻璃，加熱使沉澱顆粒變大後，放冷
2. 以減壓過濾法過濾，過濾快完成時，取濾液將燒杯內殘留的硫酸

鉛固體完全沖洗到濾紙上

3. 將過濾後的硫酸鉛固體與濾紙小心從白瓷漏斗取出，置於表玻璃上，放入烘箱中，以 60°C 溫度乾燥後放入乾燥器冷卻，稱重

(二) 將 Pb^{2+} 形成 PbCO_3

1. 以 50 mL 移液管取氯化鉛飽和液到一 250 mL 燒杯中，加入 1 M $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3(\text{aq})$ 10 mL，小心攪拌 10 分鐘，蓋上表玻璃，加熱使沉澱顆粒變大後，放冷
2. 以減壓過濾法過濾，過濾快完成時，取濾液將燒杯內殘留的碳酸鉛固體完全沖洗到濾紙上
3. 將過濾後的碳酸鉛固體與濾紙小心從白瓷漏斗取出，置於表玻璃上，放入烘箱中，以 60°C 溫度乾燥後放入乾燥器冷卻，稱重

(三) 將 Pb^{2+} 形成 PbCrO_4

1. 以 50 mL 移液管取氯化鉛飽和液到一 250 mL 燒杯中，加入 5 % $\text{K}_2\text{CrO}_4(\text{aq})$ 15 mL，小心攪拌 10 分鐘，蓋上表玻璃，加熱使沉澱顆粒變大後，放冷(圖 3)
2. 以減壓過濾法過濾，過濾快完成時，取濾液將燒杯內殘留的鉻酸鉛固體完全沖洗到濾紙上
3. 將過濾後的鉻酸鉛固體與濾紙小心從白瓷漏斗取出，置於表玻璃上，放入烘箱中，以 60°C 溫度乾燥後放入乾燥器冷卻，稱重

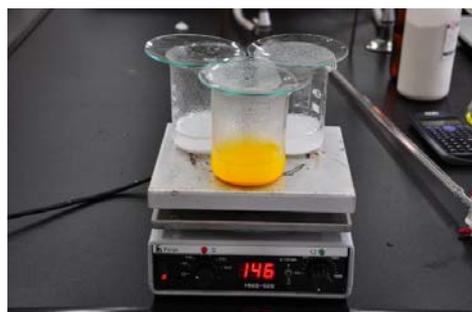


圖 3 生成的 PbSO_4 、 PbCO_3
 PbCrO_4 加熱使沉澱顆粒變大

六、由氯化鉛飽和溶液中的 $[Cl^-]$ 求 K_{sp} (滴定法)

(一) 以莫爾法求氯化鉛飽和溶液中的 $[Cl^-]$

1. 取一滴定管，以少量 0.1 M 的 $AgNO_{3(aq)}$ 潤洗，然後將 0.1 M 的 $AgNO_{3(aq)}$ 小心充入滴定管（注意！勿讓 $AgNO_{3(aq)}$ 接觸到皮膚表面）
2. 以 25 mL 移液管取氯化鉛飽和液到一 250 mL 燒杯中，加入 5% $K_2CrO_{4(aq)}$ 10 mL ，小心攪拌 5 分鐘，蓋上錶玻璃，加熱使沉澱顆粒變大後，放冷
3. 以減壓過濾法過濾，過濾快完成時，以少量水將燒杯內殘留的鉻酸鉛固體完全沖洗到濾紙上
4. 將過濾後的濾液倒入 250 mL 錐形瓶，再以少量水沖洗抽濾瓶到錐形瓶內(將抽濾瓶內殘留 Cl^- 洗出)
5. 以 0.1 M 的 $AgNO_{3(aq)}$ 滴定錐形瓶中溶液，見到微紅色沉澱出現，記下 $AgNO_{3(aq)}$ 的體積（圖 4）
6. 重複步驟 2~5，再做二次



圖 4 右邊錐形瓶是滴定前，左邊錐形瓶是達滴定終點

(二) 以間接柏哈法求氯化鉛飽和溶液中的 $[Cl^-]$

1. 以 25 mL 移液管取氯化鉛飽和液到一 250 mL 燒杯中，從滴定管加入 0.1 M $AgNO_{3(aq)}$ 40 mL ，小心攪拌 2 分鐘，蓋上表玻璃，加熱使沉澱顆粒變大後，放冷
2. 以減壓過濾法過濾，過濾快完成時，以少量水將燒杯內殘留的氯化銀固體完全沖洗到濾紙上，再以少量酸化蒸餾水洗沉澱

3. 將過濾後的濾液倒入 250 mL 錐形瓶，再以少量水沖洗抽濾瓶到錐形瓶內(將抽濾瓶內殘留 Ag^+ 洗出)
4. 在錐形瓶中加入 6 M $\text{HNO}_3(\text{aq})$ 5 mL，1 mL 鐵明礬溶液，再以 $\text{KSCN}(\text{aq})$ 滴定錐形瓶中溶液，見到微紅色出現，記下 $\text{KSCN}(\text{aq})$ 的體積(圖 5)
5. 重複步驟 1~4，再做二次



圖 5 右邊錐形瓶是滴定前，左邊錐形瓶是達滴定終點

(三) 以法揚士法求氯化鉛飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$

1. 以 25 mL 移液管取氯化鉛飽和液到一 250 mL 錐形瓶中，加入約 0.2 g 糊精，3 滴二氯螢光黃
2. 以 0.1 M 的 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 滴定錐形瓶中溶液，見到微紅色出現，記下 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 的體積 (圖 6)
3. 重複步驟 1~2，再做二次



圖 6 左邊錐形瓶是滴定前，右邊錐形瓶是達滴定終點

七、改變溫度對氯化鉛 K_{sp} 影響

重複以上一~六步驟，但將配製氯化鉛飽和溶液溫度分別控制在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，記下每一實驗數據，以便計算 PbCl_2 在不同溫度下的 K_{sp} 值

伍、研究結果

一、25 °C 實驗數據

(一) 溶液配製及標定

1. $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 配製 (表 1)

$\text{AgNO}_3(\text{s})$ 稱取重 (g)	配製體積 (mL)	$\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 濃度 (M)
8.4826	500	0.09985

計算式 AgNO_3 的 $M = 169.91 \text{ g/mol}$

$$\text{AgNO}_3(\text{aq}) \text{ 濃度} : C_M = \frac{8.4826}{500} \times 1000 = 0.09985 \text{ M}$$

2. $\text{KSCN}(\text{aq})$ 標定 (表 2)

次數	$\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 體積 (mL)	$\text{KSCN}(\text{aq})$ 體積 (mL)			$\text{KSCN}(\text{aq})$ 濃度 (M)
		初讀數	末讀數	用量	
1	20	0.00	20.55	20.55	0.09727
2	20	0.00	20.55	20.55	
3	20	0.00	20.50	20.50	

計算式：

$$\text{KSCN}(\text{aq}) \text{ 濃度} : C_M = \frac{0.09985 \times 20}{20.53} = 0.09727 \text{ M}$$

(二) 由氯化鉛溶解量求 K_{sp} (溶解度法)

(表 3)

PbCl_2 重量 (g) (溶解前)	加入蒸餾水 體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + PbCl_2 重 (g) (乾燥後)
15.0732	500	0.7295	2.6179
溶解的 PbCl_2 重量 (g)	PbCl_2 的 溶解度 (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值	
13.1848	0.09482	3.410×10^{-3}	

計算式： PbCl_2 的 $M = 278.10 \text{ g/mol}$

$$1. \text{ 氯化鉛的溶解度} : S = \frac{13.1848}{278.10} \times 1000 = 0.09482 \text{ M}$$

$$2. \text{ 氯化鉛的 } K_{sp} \text{ 值} : K_{sp} = 4S^3 = 4 \times (0.09482)^3 = 3.410 \times 10^{-3}$$

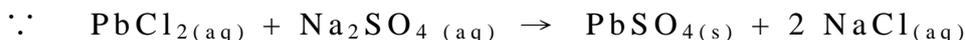
(三) 由氯化鉛飽和溶液中的 $[Pb^{2+}]$ 求 K_{sp} (沉澱法)

1. 將 Pb^{2+} 形成 $PbSO_4$ (表 4)

$PbCl_2$ 飽和液 體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + $PbSO_4$ 乾燥後重 (g)	$PbCl_2$ 的 溶解度 (M)	$PbCl_2$ 的 K_{sp} 值
50	0.7332	1.5250	0.05222	5.695×10^{-4}

計算式

$PbSO_4$ 的 $M = 303.27 \text{ g/mol}$



$\therefore PbSO_4$ 生成莫耳數 = $PbCl_2$ 溶解莫耳數

$$\frac{1.5250 - 0.7332}{303.27}$$

$$(1) PbCl_2 \text{ 飽和液中 } [Pb^{2+}] = \frac{303.27}{50} \times 1000 = 0.05222 \text{ M}$$

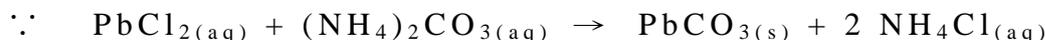
$$(2) PbCl_2 \text{ 的 } K_{sp} \text{ 值 : } K_{sp} = 4[Pb^{2+}]^3 = 4 \times (0.05222)^3 = 5.695 \times 10^{-4}$$

2. 將 Pb^{2+} 形成 $PbCO_3$ (表 5)

$PbCl_2$ 飽和液 體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + $PbCO_3$ 乾燥後重 (g)	$PbCl_2$ 的 溶解度 (M)	$PbCl_2$ 的 K_{sp} 值
50	0.7257	1.4002	0.05048	5.147×10^{-4}

計算式

$PbCO_3$ 的 $M = 267.21 \text{ g/mol}$



$\therefore PbCO_3$ 生成莫耳數 = $PbCl_2$ 溶解莫耳數

$$\frac{1.4002 - 0.7257}{267.21}$$

$$(1) PbCl_2 \text{ 飽和液中 } [Pb^{2+}] = \frac{267.21}{50} \times 1000 = 0.05048 \text{ M}$$

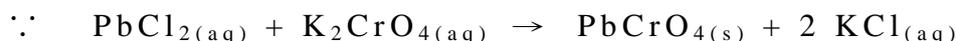
$$(2) PbCl_2 \text{ 的 } K_{sp} \text{ 值 : } K_{sp} = 4[Pb^{2+}]^3 = 4 \times (0.05048)^3 = 5.147 \times 10^{-4}$$

3. 將 Pb^{2+} 形成 $PbCrO_4$ (表 6)

$PbCl_2$ 飽和液 體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + $PbCrO_4$ 乾燥後重 (g)	$PbCl_2$ 的 溶解度 (M)	$PbCl_2$ 的 K_{sp} 值
50	0.7430	1.5774	0.05163	5.506×10^{-4}

計算式

$PbCrO_4$ 的 $M = 323.20 \text{ g/mol}$



$\therefore PbCrO_4$ 生成莫耳數 = $PbCl_2$ 溶解莫耳數

$$\frac{1.5774 - 0.7430}{323.20}$$

$$(1) PbCl_2 \text{ 飽和液中 } [Pb^{2+}] = \frac{323.20}{50} \times 1000 = 0.05163 \text{ M}$$

$$(2) PbCl_2 \text{ 的 } K_{sp} \text{ 值 : } K_{sp} = 4[Pb^{2+}]^3 = 4 \times (0.05163)^3 = 5.506 \times 10^{-4}$$

(四) 由 PbCl_2 飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ 求 K_{sp} (滴定法)

1. 以莫爾法求 PbCl_2 飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ (表 7)

次數	PbCl_2 飽和液體積 (mL)	$\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 體積 (mL)			飽和液中 $[\text{Cl}^-]$ (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值
		初讀數	末讀數	用量		
1	25	0.00	26.20	26.20	0.1046	5.722×10^{-4}
2	25	0.00	26.20	26.20		
3	25	0.00	26.20	26.20		

計算式

$$\therefore C_{\text{M},\text{Cl}^-} \times V_{\text{Cl}^-} = C_{\text{M},\text{AgNO}_3} \times V_{\text{AgNO}_3}$$

$$(1) \text{PbCl}_2 \text{ 飽和溶液中 } [\text{Cl}^-] = \frac{0.09985 \times 26.20}{25} = 0.1046 \text{ M}$$

$$(2) \text{PbCl}_2 \text{ 的 } K_{\text{sp}} \text{ 值 : } K_{\text{sp}} = \frac{1}{2} [\text{Cl}^-]^3 = \frac{1}{2} (0.1046)^3 = 5.722 \times 10^{-4}$$

2. 以間接柏哈法求 PbCl_2 飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ (表 8)

次數	PbCl_2 飽和液體積 (mL)	$\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 體積 (mL)			$\text{KSCN}(\text{aq})$ 體積 (mL)		
		初讀數	末讀數	用量	初讀數	末讀數	用量
1	25	0.00	40.10	40.10	0.00	14.15	14.15
2	25	0.00	40.00	40.00	0.00	14.15	14.15
3	25	0.00	40.00	40.00	0.00	14.10	14.10

計算式

$$\therefore C_{\text{M},\text{Cl}^-} \times V_{\text{Cl}^-} = C_{\text{M},\text{AgNO}_3} \times V_{\text{AgNO}_3} - C_{\text{M},\text{KSCN}} \times V_{\text{KSCN}}$$

(1) PbCl_2 飽和溶液中

$$[\text{Cl}^-] = \frac{0.09985 \times 40.03 - 0.09727 \times 14.13}{25} = 0.1049 \text{ M}$$

$$(2) \text{PbCl}_2 \text{ 的 } K_{\text{sp}} \text{ 值 : } K_{\text{sp}} = \frac{1}{2} [\text{Cl}^-]^3 = \frac{1}{2} (0.1049)^3 = 5.772 \times 10^{-4}$$

3. 以法揚士法求氯化鉛飽和溶液中的 $[Cl^-]$ (表 9)

次數	PbCl ₂ 飽和液體積 (mL)	AgNO _{3(aq)} 體積 (mL)			飽和液中 $[Cl^-]$ (M)	PbCl ₂ 的 K _{sp} 值
		初讀數	末讀數	用量		
1	25	0.00	25.80	25.80	0.1031	5.484×10^{-4}
2	25	0.00	25.85	25.85		
3	25	0.00	25.80	25.80		

計算式

$$\therefore C_{M,Cl^-} \times V_{Cl^-} = C_{M,AgNO_3} \times V_{AgNO_3}$$

(1) PbCl₂ 飽和溶液中 $[Cl^-] = \frac{0.09985 \times 25.82}{25} = 0.1031 \text{ M}$

(2) PbCl₂ 的 K_{sp} 值： $K_{sp} = \frac{1}{2} [Cl^-]^3 = \frac{1}{2} (0.1031)^3 = 5.484 \times 10^{-4}$

二、20 °C 實驗數據 (以下數據的計算方式與 25 °C 相同)

(一) 溶液配製及標定

1. AgNO_{3(aq)} 配製 (表 10)

AgNO _{3(s)} 秤取重 (g)	配製體積 (mL)	AgNO _{3(aq)} 濃度 (M)
34.2369	2000	0.1008

2. KSCN_(aq) 標定 (表 11)

次數	AgNO _{3(aq)} 體積 (mL)	KSCN _(aq) 體積 (mL)			KSCN _(aq) 濃度 (M)
		初讀數	末讀數	用量	
1	20	0.00	20.10	20.10	0.1003
2	20	0.00	20.10	20.10	0.1003
3	20	0.00	20.00	20.00	0.1008

$$KSCN_{(aq)} \text{ 濃度平均值} = \underline{0.1005} \text{ M}$$

※ 20 °C、15 °C、10 °C、5 °C 所使用的 AgNO_{3(aq)} 及 KSCN_(aq) 相同

(二) 由氯化鉛溶解度求 K_{sp}

(表 12)

PbCl ₂ 重量 (g) (溶解前)	加入蒸餾水 體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + PbCl ₂ 重 (g) (乾燥後)
15.4332	500	0.7352	3.3065
溶解的 PbCl ₂ 重量 (g)	PbCl ₂ 的 溶解度 (M)	PbCl ₂ 的 K_{sp} 值	
12.8619	0.09250	3.166 x 10 ⁻³	

(三) 由氯化鉛飽和溶液中的 [Pb²⁺] 求 K_{sp}

1. 將 Pb²⁺ 形成 PbSO₄ (表 13)

PbCl ₂ 飽和液 體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + PbSO ₄ 乾燥後重 (g)	PbCl ₂ 的 溶解度 (M)	PbCl ₂ 的 K_{sp} 值
50	0.7419	1.4394	0.04600	3.893 x 10 ⁻⁴

2. 將 Pb²⁺ 形成 PbCO₃ (表 14)

PbCl ₂ 飽和液 體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + PbCO ₃ 乾燥後重 (g)	PbCl ₂ 的 溶解度 (M)	PbCl ₂ 的 K_{sp} 值
50	0.7370	1.3113	0.04298	3.177 x 10 ⁻⁴

3. 將 Pb²⁺ 形成 PbCrO₄ (表 15)

PbCl ₂ 飽和液 體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + PbCrO ₄ 乾燥 後重 (g)	PbCl ₂ 的 溶解度 (M)	PbCl ₂ 的 K_{sp} 值
50	0.7353	1.4868	0.04650	4.023 x 10 ⁻⁴

(四) 由 PbCl₂ 飽和溶液中的 [Cl⁻] 求 K_{sp}

1. 以莫爾法求 PbCl₂ 飽和溶液中的 [Cl⁻] (表 16)

次 數	PbCl ₂ 飽和 液體積 (mL)	AgNO _{3(aq)} 體積 (mL)			飽和液中 [Cl ⁻] (M)	PbCl ₂ 的 K_{sp} 值
		初讀數	末讀數	用量		
1	20	0.00	18.35	18.35	0.09248	3.955 x 10 ⁻⁴
2	20	0.00	18.35	18.35		
3	20	0.00	18.35	18.35		

2. 以柏哈法求 PbCl_2 飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ (表 17)

次數	PbCl_2 飽和液體積 (mL)	$\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 體積 (mL)			$\text{KSCN}(\text{aq})$ 體積 (mL)		
		初讀數	末讀數	用量	初讀數	末讀數	用量
1	20	0.00	30.00	30.00	0.00	11.85	11.85
2	20	0.00	30.00	30.00	0.00	11.85	11.85
3	20	0.00	30.00	30.00	0.00	11.90	11.90

PbCl_2 的 K_{sp} 值 = 3.837×10^{-4}

3. 以法揚士法求氯化鉛飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ (表 18)

次數	PbCl_2 飽和液體積 (mL)	$\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 體積 (mL)			飽和液中 $[\text{Cl}^-]$ (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值
		初讀數	末讀數	用量		
1	20	0.00	18.30	18.30	0.09223	3.923×10^{-4}
2	20	0.00	18.30	18.30		
3	20	0.00	18.30	18.30		

三、 15°C 實驗數據 (以下數據的計算方式與 25°C 相同)

(一) 由氯化鉛溶解度求 K_{sp} (表 19)

PbCl_2 重量 (g) (溶解前)	加入蒸餾水體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + PbCl_2 重 (g) (乾燥後)
15.2417	500	0.7470	3.6324
溶解的 PbCl_2 重量 (g)	PbCl_2 的溶解度 (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值	
12.3563	0.08886	2.807×10^{-3}	

(二) 由氯化鉛飽和溶液中的 $[\text{Pb}^{2+}]$ 求 K_{sp}

1. 將 Pb^{2+} 形成 PbSO_4 (表 20)

PbCl_2 飽和液體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + PbSO_4 乾燥後重 (g)	PbCl_2 的溶解度 (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值
50	0.7379	1.3581	0.04090	2.737×10^{-4}

2. 將 Pb^{2+} 形成 PbCO_3 (表 21)

PbCl_2 飽和液體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + PbCO_3 乾燥後重 (g)	PbCl_2 的溶解度 (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值
50	0.7319	1.2427	0.03823	2.235×10^{-4}

3. 將 Pb^{2+} 形成 PbCrO_4 (表 22)

PbCl_2 飽和液體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + PbCrO_4 乾燥後重 (g)	PbCl_2 的溶解度 (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值
50	0.7406	1.3759	0.03931	2.430×10^{-4}

(三) 由 PbCl_2 飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ 求 K_{sp}

1. 以莫爾法求 PbCl_2 飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ (表 23)

次數	PbCl_2 飽和液體積 (mL)	$\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 體積 (mL)			飽和液中 $[\text{Cl}^-]$ (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值
		初讀數	末讀數	用量		
1	20	0.00	16.45	16.45	0.08300	2.859×10^{-4}
2	20	0.00	16.50	16.50		
3	20	0.00	16.45	16.45		

2. 以柏哈法求 PbCl_2 飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ (表 24)

次數	PbCl_2 飽和液體積 (mL)	$\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 體積 (mL)			$\text{KSCN}(\text{aq})$ 體積 (mL)		
		初讀數	末讀數	用量	初讀數	末讀數	用量
1	20	0.00	30.00	30.00	0.00	13.80	13.80
2	20	0.00	30.00	30.00	0.00	13.60	13.60
3	20	0.00	30.00	30.00	0.00	13.55	13.55

PbCl_2 的 K_{sp} 值 = 2.819×10^{-4}

3. 以法揚士法求氯化鉛飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ (表 25)

次數	PbCl_2 飽和液體積 (mL)	$\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 體積 (mL)			飽和液中 $[\text{Cl}^-]$ (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值
		初讀數	末讀數	用量		
1	20	0.00	16.50	16.50	0.08408	2.972×10^{-4}
2	20	0.00	16.80	16.80		
3	20	0.00	16.75	16.75		

四、 10°C 實驗數據(以下數據的計算方式與 25°C 相同)

(一) 由氯化鉛溶解度求 K_{sp} (表 26)

PbCl ₂ 重量(g) (溶解前)	加入蒸餾水 體積(mL)	濾紙重(g)	濾紙 + PbCl ₂ 重(g) (乾燥後)
14.7712	500	0.7492	4.2188
溶解的 PbCl ₂ 重量(g)	PbCl ₂ 的 溶解度(M)	PbCl ₂ 的 K_{sp} 值	
11.3016	0.08128	2.148×10^{-3}	

(二) 由氯化鉛飽和溶液中的 $[\text{Pb}^{2+}]$ 求 K_{sp}

1. 將 Pb^{2+} 形成 PbSO_4 (表 27)

PbCl ₂ 飽和液 體積(mL)	濾紙重(g)	濾紙 + PbSO ₄ 乾燥後重(g)	PbCl ₂ 的 溶解度(M)	PbCl ₂ 的 K_{sp} 值
50	0.7433	1.3349	0.03901	2.375×10^{-4}

2. 將 Pb^{2+} 形成 PbCO_3 (表 28)

PbCl ₂ 飽和液 體積(mL)	濾紙重(g)	濾紙 + PbCO ₃ 乾燥後重(g)	PbCl ₂ 的 溶解度(M)	PbCl ₂ 的 K_{sp} 值
50	0.7419	1.2375	0.03709	2.042×10^{-4}

3. 將 Pb^{2+} 形成 PbCrO_4 (表 29)

PbCl ₂ 飽和液 體積(mL)	濾紙重(g)	濾紙 + PbCrO ₄ 乾燥後重(g)	PbCl ₂ 的 溶解度(M)	PbCl ₂ 的 K_{sp} 值
50	0.7545	1.3892	0.03928	2.423×10^{-4}

(三) 由 PbCl_2 飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ 求 K_{sp}

1. 以莫爾法求 PbCl_2 飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ (表 30)

次 數	PbCl ₂ 飽和液 體積(mL)	AgNO _{3(aq)} 體積(mL)			飽和液中 [Cl ⁻] (M)	PbCl ₂ 的 K_{sp} 值
		初讀數	末讀數	用量		
1	20	0.00	15.35	15.35	0.07736	2.315×10^{-4}
2	20	0.00	15.35	15.35		
3	20	0.00	15.35	15.35		

2. 以柏哈法求 PbCl_2 飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ (表 31)

次數	PbCl_2 飽和液 體積 (mL)	$\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 體積 (mL)			$\text{KSCN}(\text{aq})$ 體積 (mL)		
		初讀數	末讀數	用量	初讀數	末讀數	用量
1	20	0.00	30.00	30.00	0.00	14.95	14.95
2	20	0.00	30.00	30.00	0.00	15.05	15.05
3	20	0.00	30.00	30.00	0.00	15.00	15.00

PbCl_2 的 K_{sp} 值 = 2.180×10^{-4}

3. 以法揚士法求氯化鉛飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ (表 32)

次數	PbCl_2 飽和液 體積 (mL)	$\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 體積 (mL)			飽和液中 $[\text{Cl}^-]$ (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值
		初讀數	末讀數	用量		
1	20	0.00	15.30	15.30	0.07736	2.315×10^{-4}
2	20	0.00	15.40	15.40		
3	20	0.00	15.35	15.35		

五、 5°C 實驗數據 (以下數據的計算方式與 25°C 相同)

(一) 由氯化鉛溶解度求 K_{sp} (表 33)

PbCl_2 重量 (g) (溶解前)	加入蒸餾水 體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + PbCl_2 重 (g) (乾燥後)
15.1614	500	0.7420	5.2119
溶解的 PbCl_2 重量 (g)	PbCl_2 的 溶解度 (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值	
10.6915	0.07689	1.818×10^{-3}	

(二) 由氯化鉛飽和溶液中的 $[\text{Pb}^{2+}]$ 求 K_{sp}

1. 將 Pb^{2+} 形成 PbSO_4 (表 34)

PbCl_2 飽和液 體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + PbSO_4 乾燥後重 (g)	PbCl_2 的 溶解度 (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值
50	0.7319	1.2430	0.03371	1.532×10^{-4}

2. 將 Pb^{2+} 形成 PbCO_3 (表 35)

PbCl_2 飽和液 體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + PbCO_3 乾燥後重 (g)	PbCl_2 的 溶解度 (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值
50	0.7373	1.1805	0.03317	1.460×10^{-4}

3. 將 Pb^{2+} 形成 PbCrO_4 (表 36)

PbCl_2 飽和液 體積 (mL)	濾紙重 (g)	濾紙 + PbCrO_4 乾燥後重 (g)	PbCl_2 的 溶解度 (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值
50	0.7311	1.2523	0.03225	1.342×10^{-4}

(三) 由 PbCl_2 飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ 求 K_{sp}

1. 以莫爾法求 PbCl_2 飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ (表 37)

次數	PbCl_2 飽和液 體積 (mL)	$\text{AgNO}_{3(aq)}$ 體積 (mL)			飽和液中 $[\text{Cl}^-]$ (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值
		初讀數	末讀數	用量		
1	20	0.00	14.75	14.75	0.07426	2.047×10^{-4}
2	20	0.00	14.70	14.70		
3	20	0.00	14.75	14.75		

2. 以柏哈法求 PbCl_2 飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ (表 38)

次數	PbCl_2 飽和液 體積 (mL)	$\text{AgNO}_{3(aq)}$ 體積 (mL)			$\text{KSCN}_{(aq)}$ 體積 (mL)		
		初讀數	末讀數	用量	初讀數	末讀數	用量
1	20	0.00	30.00	30.00	0.00	16.30	16.30
2	20	0.00	30.00	30.00	0.00	16.20	16.20
3	20	0.00	30.00	30.00	0.00	16.20	16.20

PbCl_2 的 K_{sp} 值 = 1.688×10^{-4}

3. 以法揚士法求氯化鉛飽和溶液中的 $[\text{Cl}^-]$ (表 39)

次數	PbCl_2 飽和液 體積 (mL)	$\text{AgNO}_{3(aq)}$ 體積 (mL)			飽和液中 $[\text{Cl}^-]$ (M)	PbCl_2 的 K_{sp} 值
		初讀數	末讀數	用量		
1	20	0.00	13.95	13.95	0.07022	1.732×10^{-4}
2	20	0.00	13.95	13.95		
3	20	0.00	13.90	13.90		

六、在各溫度下，利用不同方法所求得 PbCl_2 的 K_{sp} 值，整理如下：

(表 40)

		25 °C PbCl ₂ 的 K_{sp} 值	20 °C PbCl ₂ 的 K_{sp} 值
溶解度法	由 PbCl ₂ 溶解量推求	3.410×10^{-3}	3.166×10^{-3}
沉澱法	形成 PbSO ₄	5.695×10^{-4}	3.893×10^{-4}
	形成 PbCO ₃	5.147×10^{-4}	3.177×10^{-4}
	形成 PbCrO ₄	5.506×10^{-4}	4.023×10^{-4}
滴定法	莫爾法	5.722×10^{-4}	3.955×10^{-4}
	間接柏哈法	5.772×10^{-4}	3.837×10^{-4}
	法揚士法	5.484×10^{-4}	3.923×10^{-4}

(表 41)

		15 °C PbCl ₂ 的 K_{sp} 值	10 °C PbCl ₂ 的 K_{sp} 值	5 °C PbCl ₂ 的 K_{sp} 值
溶解度法	由 PbCl ₂ 溶解量推求	2.807×10^{-3}	2.148×10^{-3}	1.818×10^{-3}
沉澱法	形成 PbSO ₄	2.737×10^{-4}	2.375×10^{-4}	1.532×10^{-4}
	形成 PbCO ₃	2.235×10^{-4}	2.042×10^{-4}	1.460×10^{-4}
	形成 PbCrO ₄	2.430×10^{-4}	2.423×10^{-4}	1.342×10^{-4}
滴定法	莫爾法	2.859×10^{-4}	2.315×10^{-4}	2.047×10^{-4}
	間接柏哈法	2.819×10^{-4}	2.180×10^{-4}	1.688×10^{-4}
	法揚士法	2.972×10^{-4}	2.315×10^{-4}	1.732×10^{-4}

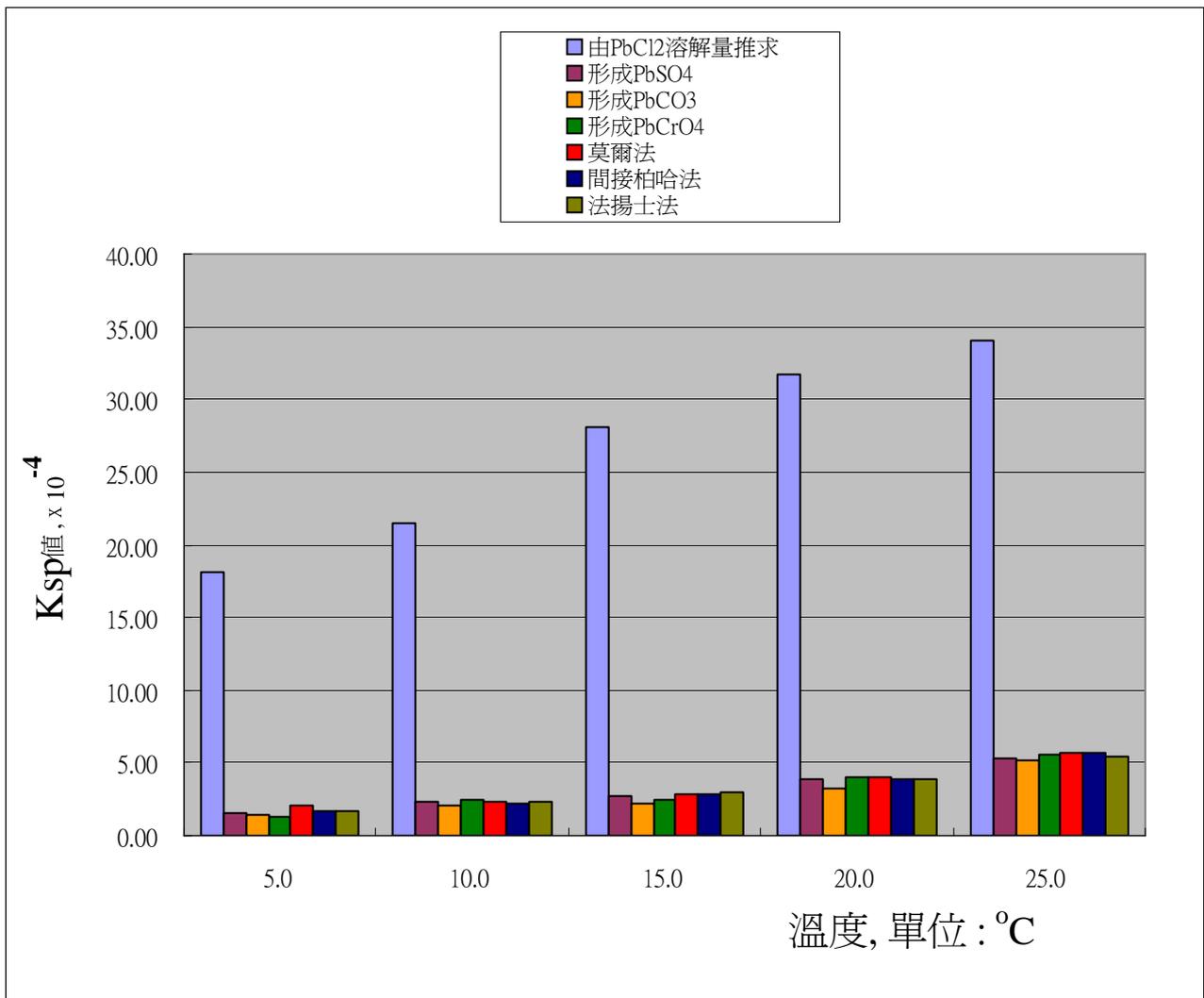


圖 7 七種不同方法求出的 $PbCl_2$ 的 K_{sp} 比較圖

不同溫度下，各分析法所求出 $PbCl_2$ 的 K_{sp} 值曲線圖

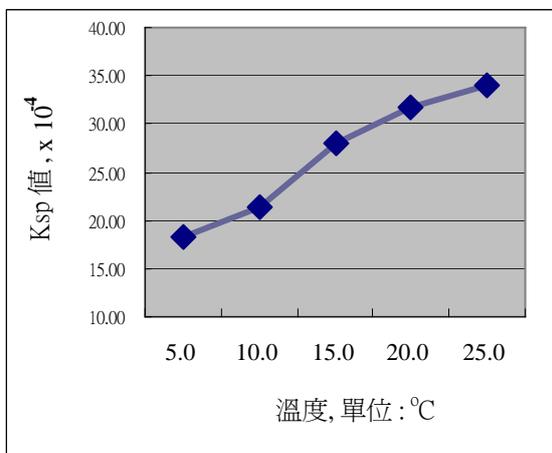


圖 8 由 $PbCl_2$ 溶解量推求

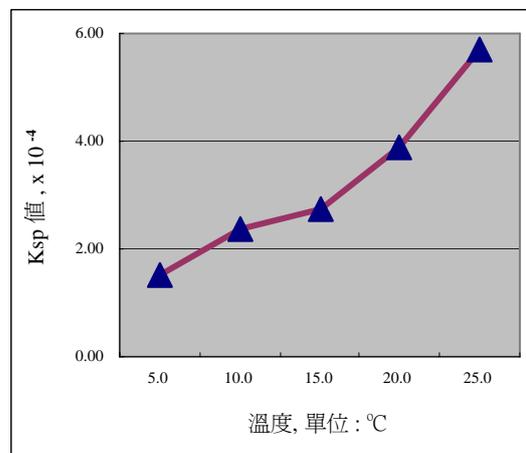


圖 9 形成 $PbSO_4$

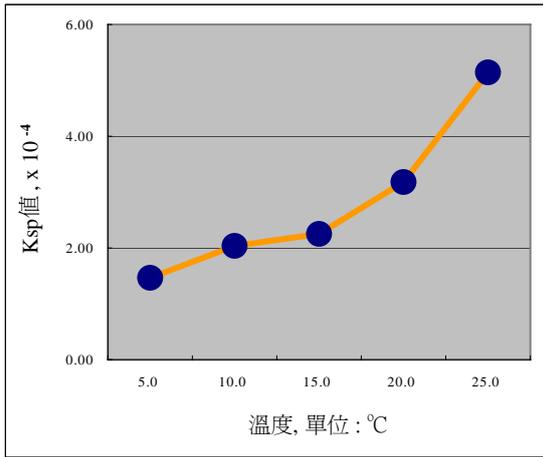


圖 10 形成 PbCO₃

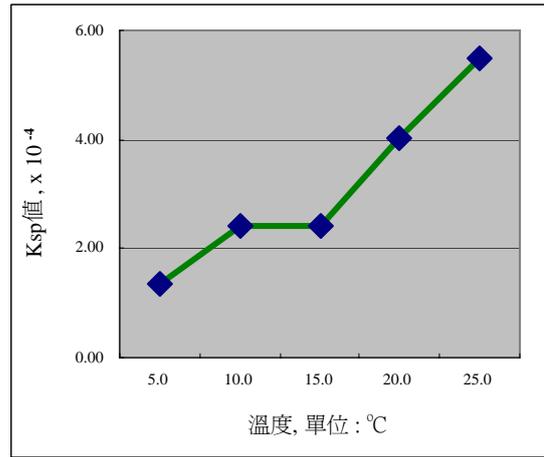


圖 11 形成 PbCrO₄

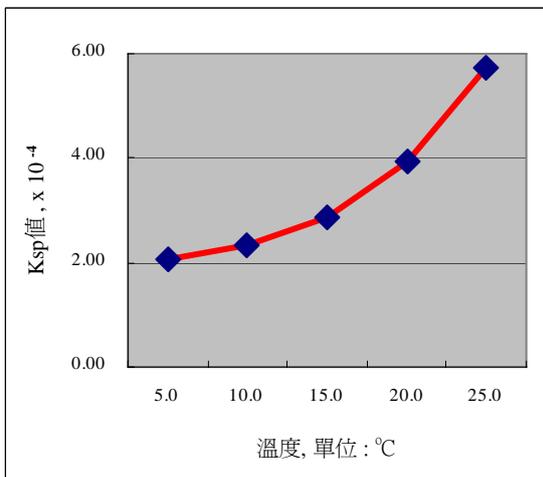


圖 12 莫爾法

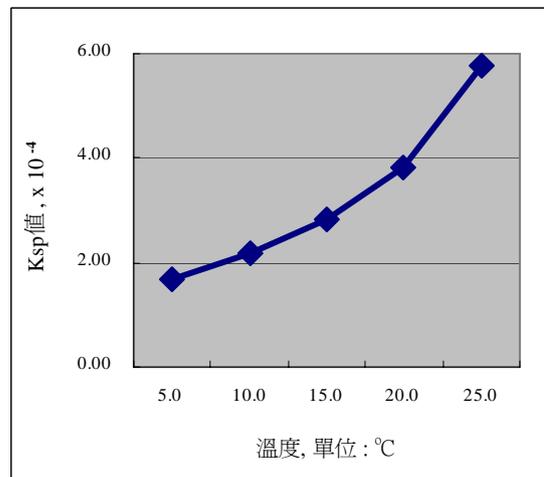


圖 13 間接柏哈法

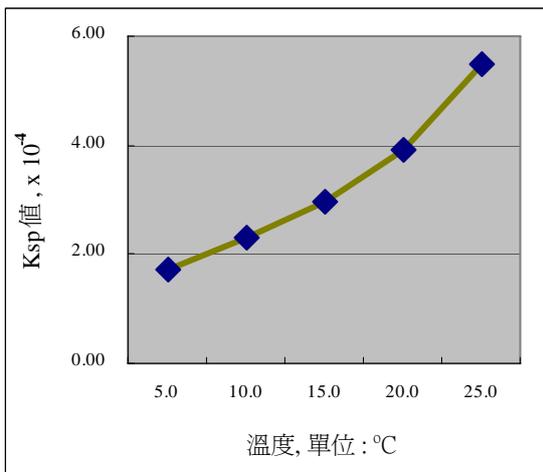


圖 14 法揚士法

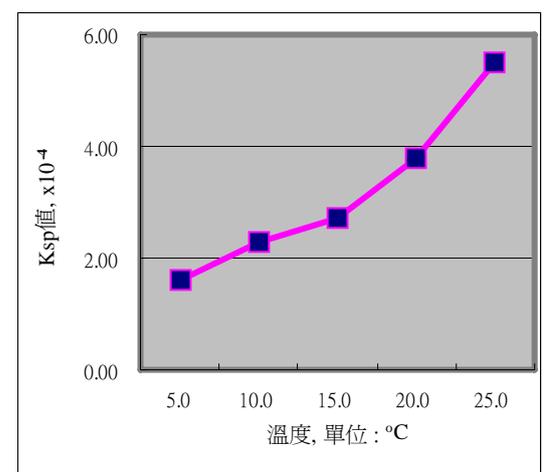


圖 15 各溫度下，六種實驗法
求出 K_{sp} 平均值

陸、討論

一、七種不同分析方法所求出 PbCl_2 的 K_{sp} 值是否不同？

由表 40 ~ 41 及圖 7 可看出，在不同溫度下，除了由 PbCl_2 溶解量(溶解度法)所求出的 K_{sp} 值比其他方法高許多，其他六種方法在同一溫度下求出 PbCl_2 的 K_{sp} 值相當接近。從實驗中我們觀察到，未溶解的 $\text{PbCl}_{2(s)}$ 很容易黏附在燒杯壁，要完全過濾出很困難，因此算 PbCl_2 溶解量時偏高，所推求出的 K_{sp} 值也偏高

二、由本實驗所求出的 K_{sp} 值與書上所查到的數據，是否不同？

我們從幾本課本上所看到 PbCl_2 在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 K_{sp} 值有 1.7×10^{-5} (參考資料一)、 1.6×10^{-5} (參考資料二)、 2.4×10^{-4} (參考資料三)、 1.2×10^{-4} (參考資料四)，這幾個數據彼此間差異很大，這也是我們想動手做此研究的動機，我們從六個不同實驗(扣除溶解度法)從表 40 數據可得知 PbCl_2 在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 K_{sp} 值大概是 5.6×10^{-4} 。此外課本所沒有記載的其他溫度 K_{sp} 值，我們也測出來

三、 PbCl_2 的溶解過程是吸熱還是放熱？

由表 40~41 及圖 7 可看出，溫度下降 PbCl_2 的溶解度也隨之下降，故 PbCl_2 的溶解過程是吸熱反應

四、沉澱法所採用的沉澱乾燥方法與課本方法有何不同？

在分析課本的重量分析單元內，教導我們要取得乾燥沉澱，可將沉澱連同濾紙，利用火焰法或高溫爐法讓水分及濾紙氣化，其中火焰法很費時，高溫爐法又有設備問題。因此，我們設計了另一種乾燥方法，將過濾後的沉澱放入烘箱乾燥，經過多次測試，溫度設定在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右，可避免濾紙焦化，另一方面我們也利用 CaCO_3 作測試，在濾紙上稱取定量 CaCO_3 (濾紙事先在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘乾， CaCO_3 事先在 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘乾)，然後在布克納漏斗上加水弄濕再抽乾(仿我們沉澱法取得沉澱方法)，然後放入 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱乾燥，數據如下(表 42)：

(表 42)

編號	CaCO ₃ + 濾紙重 (烘乾前) (g)	放入烘箱 3 小時後 (g)	放入烘箱 20 小時後 (g)	放入烘箱 25 小時後 (g)
A	1.4420	1.4517	1.4430	1.4427
B	1.4556	1.4590	1.4552	1.4569
C	1.4420	1.4441	1.4419	1.4426
D	1.4513	1.4620	1.4513	1.4514
E	1.4593	1.4672	1.4597	1.4596

由表可知，沉澱經此方法乾燥 20 小時以上，可將水分除去，但秤重時動作要快，因為空氣中濕氣很容易在秤重時造成干擾

五、本實驗所採用的方法與課本所用方法有何優點？

我們從三本課本(參考資料四、五、六)上所看到的方法，沉澱法都是採用形成 PbCrO₄，滴定法則採用莫爾法，兩者皆需使用到 K₂CrO₄，而 K₂CrO₄ 較毒，實驗過程產生的廢液處理較麻煩，因此我們在沉澱法增加形成 PbSO₄ 及 PbCO₃，滴定法增加間接柏哈法及法揚士法，結果證明這些取代方法的實驗數據與課本上採用方法很接近，但產生的廢液污染較小

六、七種不同分析方法各有何優缺點？

	分析方法	優點	缺點
溶解度法	由 PbCl ₂ 溶解量推求	操作時間較短	未溶解 PbCl _{2(s)} 易黏附在燒杯壁，不易全數取得，實驗誤差大
沉澱法	形成 PbSO ₄	操作時間較短，實驗過程產生廢液毒性低	需較長的烘乾時間，烘乾後稱重需小心，易受環境濕氣影響
	形成 PbCO ₃	操作時間較短，實驗過程產生廢液毒性低	與 PbSO ₄ 法缺點相同，同時有少部分 PbCO ₃ 易黏附在燒杯壁，不易全數取得，實驗數據易偏低
	形成 PbCrO ₄	操作時間較短	與 PbSO ₄ 法缺點相同，且實驗過程產生廢液毒性高，較易污染環境

滴定法	莫爾法	不受環境濕氣影響，當天可得知數據	滴定終點較間接柏哈法不易判斷(圖 4)，且實驗後產生廢液毒性高，較易汙染環境
	間接柏哈法	不受環境濕氣影響，當天可得知數據，廢液毒性較莫爾法低，滴定終點易判斷(圖 5)	實驗過程產生的 $\text{AgCl}_{(s)}$ 需小心清洗，才能將殘留 Ag^+ 洗出否則易造成誤差
	法揚士法	不受環境濕氣影響，當天可得知數據，廢液毒性較低，沒有過濾操作時間較莫爾法及間接柏哈法短	滴定終點較莫爾法及間接柏哈法不易判斷，需多練習，否則易造成誤差

七、沉澱法與滴定法，何者較佳？

從圖 8 ~ 圖 14 可知，滴定法在不同溫度下所測得的實驗數據線性較好，數據可靠性高。而沉澱法需隔夜烘乾後，才能得知數據，且秤重時常易受環境濕度影響而造成誤差。故滴定法是較佳選擇

八、實驗過程需注意哪些細節，以降低實驗誤差？

- (一) 在配製 PbCl_2 飽和液時，可稍微加熱增加 PbCl_2 溶解度，再降溫到欲測溫度(在恆溫槽中)，為避免溶液有過飽和，要時時的攪拌 PbCl_2 溶液三十分鐘以上，再過濾，且過濾時也需注意溫度控制
- (二) 在過濾 PbSO_4 、 PbCO_3 、 PbCrO_4 溶液時，我們需要的是濾餅，因此在沖洗沉澱時，應用過濾出的飽和濾液來沖洗燒杯內殘留的沉澱及濾餅，而不能使用蒸餾水，以避免濾紙上的沉澱再度溶解。
- (三) 在間接柏哈法及莫爾法過濾中，我們要取的是濾液，因此為了把吸附在沉澱上的氯離子沖洗乾淨，所以使用少量多次蒸餾水將沉澱沖洗乾淨。
- (四) 沉澱法所得到沉澱放入烘箱，溫度應保持在約 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，若溫度太高濾紙會有焦化現象，影響實驗結果。反之溫度太低則沉澱不易完全烘乾。此外，使用的濾紙應事前在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱乾燥兩小時才能使用。烘乾過程可將濾紙及沉澱放在錶玻璃上，上面附上一個

半開錶玻璃，可防止異物掉入及乾燥沉澱後飛散（圖 16）



圖 16

（五）法揚士法中，常會加入糊精來增加沉澱吸附 Ag^+ 的表面積，使得顏色的轉變較為明顯，但實際操作時發現終點顏色的轉變不夠明確，採用此法需多練習，才能正確判斷滴定終點

柒、結論

一、由六種不同的實驗方法驗證， PbCl_2 的 K_{sp} 值如下：

溫度	K_{sp} 值	溫度	K_{sp} 值	溫度	K_{sp} 值
25 °C	5.6×10^{-4}	20 °C	3.8×10^{-4}	15 °C	2.7×10^{-4}
10 °C	2.3×10^{-4}	5 °C	1.6×10^{-4}		

由圖 15 可看出，數據的線性尚稱良好

- 二、以沉澱法求得之 PbCl_2 的 K_{sp} 值，所需時間較長，且乾燥後雖置於乾燥器冷卻，仍易受環境濕度影響，造成秤重誤差
- 三、沉澱法中形成 PbSO_4 與形成 PbCrO_4 所測得數據相近，因此若要採用沉澱法來測定 PbCl_2 的 K_{sp} 值，採用形成 PbSO_4 是較佳方法，實驗後廢液毒性低
- 四、本實驗所設計的沉澱乾燥法(在 60 °C 烘箱乾燥 20 小時以上)是可行的
- 五、以滴定法所測定 PbCl_2 的 K_{sp} 值，是較快速方法，其中間接柏哈法是最佳選擇，此法滴定終點明確，且廢液較莫爾法好處理

捌、參考資料

- 一、鄭新讚、鄭茜如編著，分析化學 I，初版，台北市，東大圖書公司，第 101 頁(2007)
- 二、江孟鈴、蔡永昌編著，分析化學 I，初版，台北縣，台科大圖書股份有限公司，第 160 頁(2007)
- 三、楊永華、盧麗娟編著，普通化學 II，初版，台北市，東大圖書公司，第 303 頁(2007)
- 四、李義田、何鎮揚編著，活用高中化學實驗，修訂再版，台北市，建宏出版社，第 75~81 頁(1995)
- 五、楊永華編著，普通化學實驗 I，初版，台北市，東大圖書公司，第 175~178 頁(2000)
- 六、黃進添、黃旭村編著，普通化學實驗 I，初版，台南市，復文書局，第 103~107 頁(2000)
- 七、江孟鈴、蔡永昌編著，分析化學實驗 II，初版，台北縣，台科大圖書股份有限公司，第 95~109 頁(2007)
- 八、鄭新讚、鄭茜如編著，分析化學實驗 II，初版，台北市，東大圖書公司，第 52~65 頁(2007)
- 九、陳壽南編著，定量分析，初版，台北市，三民書局股份有限公司，第 231~256 頁(1972)
- 十、陳竹亭編著，化學，初版，台北縣，泰宇出版股份有限公司，第 84~90 頁(2003)
- 十一、張哲政編著，選修化學上，實驗活動手冊(教師用本)，台北縣，龍騰文化事業股份有限公司，第 37~40 頁(2008)
- 十二、洪瑋倫編著，高三選修化學上，再版，台北市，康寧泰順書坊有限公司，第 149~150 頁(2010)

【評語】 040202

本作品詳細地探討 PbCl_2 K_{sp} 在不同測量方法上產生的差異，並建議出最佳的測量方法，有學術上的參考價值，惟欠缺與現有文獻數據的完整比較，稍欠說服力，建議可以在溶解度法的準確性上，下功夫改善。