

電鍍廢水化學沉降處理法之比較

曾 廷 華*

摘要

電鍍廢水中一般含有高濃度的有毒重金屬，而去除廢水中重金屬最普遍使用的方法便是化學沉降法，包括氫氧化物沉降法，碳酸鹽沉降法，和硫化物沉降法。本文將對此三種化學沉降法的原理與特性加以介紹，並根據文獻資料，比較此三種化學沉降法的處理效果和優缺點。

一、前　　言

電鍍廢水性質視電鍍種類、電鍍藥液及電鍍設備之不同而異，一般而言，含有高濃度之酸鹼、有毒重金屬（如鉻、鎘、鎳、鋅、銅等）及劇毒之氰化物。根據美國 EPA 調查結果，一般電鍍工廠排放之廢水，其性質如表 1 所示 [1]。國內電鍍工廠排放廢水，經本文作者 [2] 依省環保局資料整理結果如表 2 所示。

表 1 電鍍廢水之一般性質 [1]

成 分	濃 度 範 圍 (mg/l)
銅	0.032—272.5
鎳	0.019—2,954
鉻 (總)	0.088—525.9
鉻 (六價)	0.005—334.5
鋅	0.112—252.0
氰化物	0.005—150.0
鎘	0.007—21.60
鉛	0.663—25.39
鐵	0.410—1,482
錫	0.060—103.4
懸浮固體量	0.150—9,970

*國立中央大學土木工程學研究所副教授。

表 2 國內電鍍工廠排放廢水水質資料 [2]

種類	最 小 值	最 大 值	平 均 值	標 準 偏 差
COD(mg/l)	1	6840	149	532
SS(mg/l)	1	5680	105	386
Cu(mg/l)	0	125	11	17.4
Fe(mg/l)	0.4	14310	216	1306
Pb(mg/l)	0.1	38.4	39.5	6.5
Zn(mg/l)	0.1	2270	21	232
Cr ⁶⁺ (mg/l)	0	375	109	46
Cl ⁻ (mg/l)	0.34	6700	252	1473
CN ⁻ (mg/l)	0	152	20	28
Ni(mg/l)	0.5	49.4	13.3	13.3
Cd(mg/l)	0.01	6	1.15	2.55
pH	1	12.4	—	—

電鍍廢水之處理目的，在於去除廢水中之有毒氯化物及重金屬，並調整 pH 值至符合放流水標準規定，再行排放。完整之處理程序至少應包括：

- (1)六價鉻之還原及沉澱。
- (2)氯化物之氧化破壞。
- (3)重金屬去除。
- (4)中和反應處理。
- (5)污泥處理和處置。

圖 1 所示即為一典型電鍍廢水的處理流程[3]。

電鍍廢水中六價鉻及氯化物可分別以還原及氧化處理之，六價鉻還原為三價鉻後，三價鉻之毒性較低（約為六價鉻之5/1000），可以用化學沉降法除去，而氯化物則用氧化劑將之氧化為較無毒之 CNO^- ，或進一步氧化為 CO_2 及 N_2 。

電鍍廢水中重金屬去除的方法很多，包括有：稀釋後排入下水道[4]，蒸發法 (evaporation) [5]，電透析法 (electrodialysis) [6]，反滲透法 (reverse osmosis) [7]，離子交換法 (ion exchange) [8]，和化學沉降法 (chemical precipitation) [9]。其中以化學沉降法操作最為簡單，設備費用最低，故普遍為大眾使用，而蒸發、電透析、反滲透和離子交換兼具有回收有用物質之利，不過僅適合大規模之電鍍工廠使用。臺灣地區一般電鍍工廠規模都很小，少數工廠設有電鍍液回收裝置，唯所花成本甚大且不經濟，仍以化學沉降法為主。國外調查資料亦指出，大約有75%之電鍍廠使用化學沉降法來去除廢水中重金屬[10]。

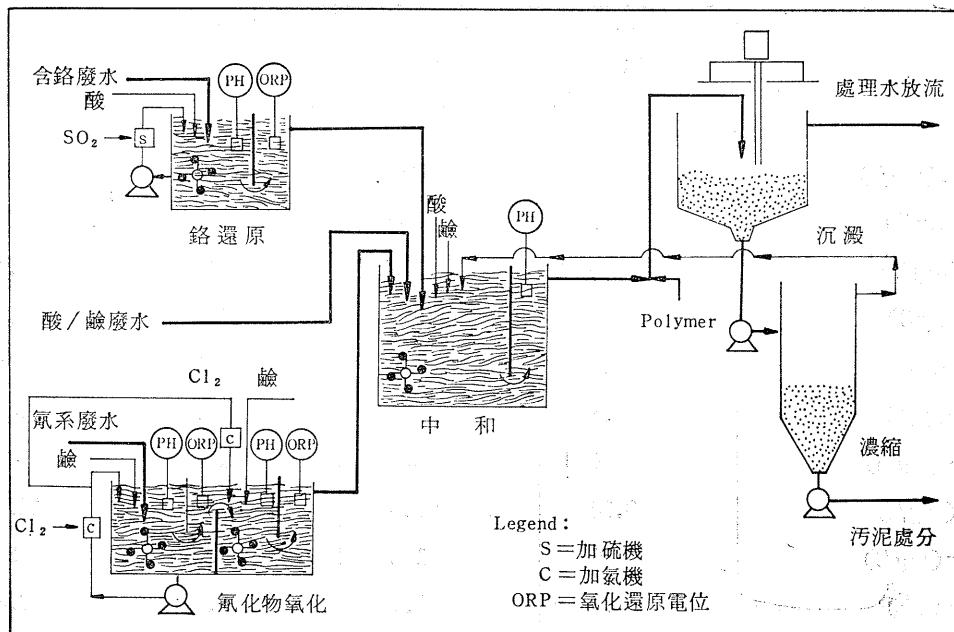
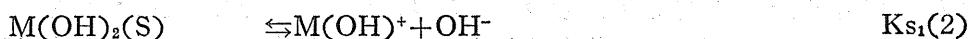


圖 1 電鍍工業廢水傳統之處理流程 [3]

電鍍廢水化學沉降處理法依所添加之沉降劑不同，可區分為氫氧化物沉降法(hydroxide precipitation)，碳酸鹽沉降法(carbonate precipitation)，和硫化物沉降法(sulfide precipitation)等三種。本文將對此三種化學沉降法的原理與特性分別加以介紹，並根據文獻資料，比較此三種化學沉降法的處理效果和優缺點，以供相關業界參考。

二、氫氧化物沉降法之原理與特性

氫氧化物沉降法以添加苛性鈉(NaOH)與石灰($\text{Ca}(\text{OH})_2$)，提升廢水之pH值於鹼性範圍，使重金屬在最小溶解度時，形成固體的金屬氫氧化物而被沉降去除。在反應達成平衡時，溶液中固體金屬氫氧化物與自由溶解性金屬離子，溶解性金屬氫氧化物之平衡反應式，如以二價金屬為例，可表示如下：



上面每一反應的平衡情況，若以溶解度積(K_s)表示，則如下：

$$K_{S_0} = [M^{2+}] [\text{OH}^-]^2 \quad (1a)$$

$$K_{S_1} = [M(\text{OH})^+] [\text{OH}^-] \quad (2a)$$

$$K_{S_2} = [M(\text{OH})_2^0] \quad (3a)$$

$$K_{S_3} = [M(\text{OH})_3^-]/[\text{OH}^-] \quad (4a)$$

$$K_{S_4} = [M(\text{OH})_4^{2-}]/[\text{OH}^-]^2 \quad (5a)$$

若將上式兩邊取對數，並從新整理，可得下列之方程式：

$$\log[M^{2+}] = \log K_{S_0} - 2\text{pH} + 28 \quad (1b)$$

$$\log[M(\text{OH})^+] = \log K_{S_1} - \text{pH} + 14 \quad (2b)$$

$$\log[M(\text{OH})_2^0] = \log K_{S_2} \quad (3b)$$

$$\log[M(\text{OH})_3^-] = \log K_{S_3} + \text{pH} - 14 \quad (4b)$$

$$\log[M(\text{OH})_4^{2-}] = \log K_{S_4} + 2\text{pH} - 28 \quad (5b)$$

若將金屬之溶解度積常數與溶液之 pH 代入 (1b)~(5b)，可以繪出理論之氫氧化物溶解度曲線，圖 2 所示為氫氧化鋅之理論溶解度曲線[11]。

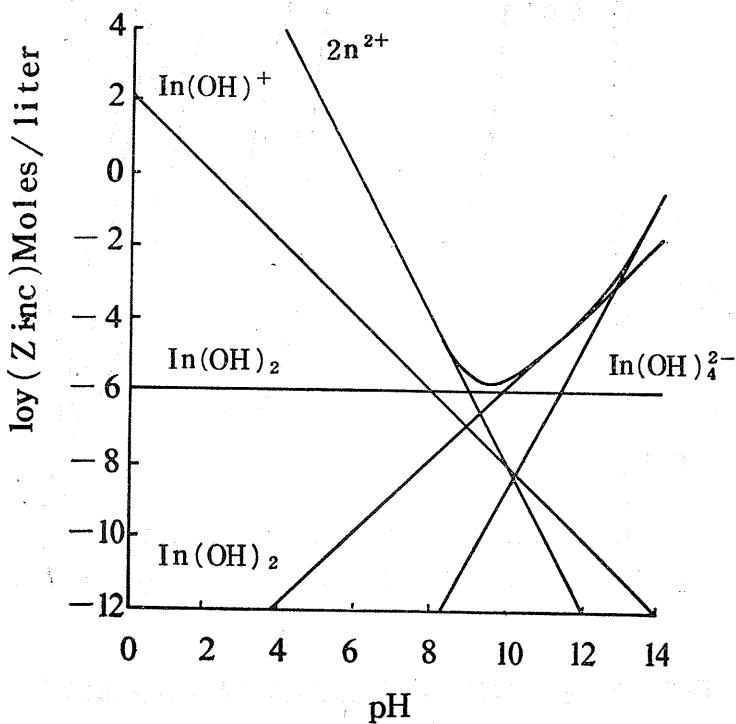


圖 2 氢氧化鋅之理論溶解度曲線[11]

由圖 2 可知，重金屬去除效率深受 pH 之影響。此外，在不同 pH 值時，重金屬沉降效果依下列因素而定[11,12]：

1. 金屬鹽類之溶解度。
2. 化學反應時間。
3. 廢水中出現如 ammonia, 檸檬酸 (citric acid) 及 EDTA 等錯鹽之影響。

圖 3 所示係以苛性鈉和石灰為沉澱劑之各種金屬氫氧化物污泥實際的溶解度曲線[10]，由圖中可知，各種金屬之最小溶解度，分別在不同之 pH 值，而且範圍極窄。當廢水中同時含有鉻、鎘、鋅等金屬時，若以較高 pH 操作，例如，pH=10，雖可去除鎘、鋅，但鉻會再溶解，因此必須以兩不同 pH 值，分段操作，首先將 pH 調整至 7~8，將鉻沉澱，再將 pH 提升至 10，以去除鎘、鋅。

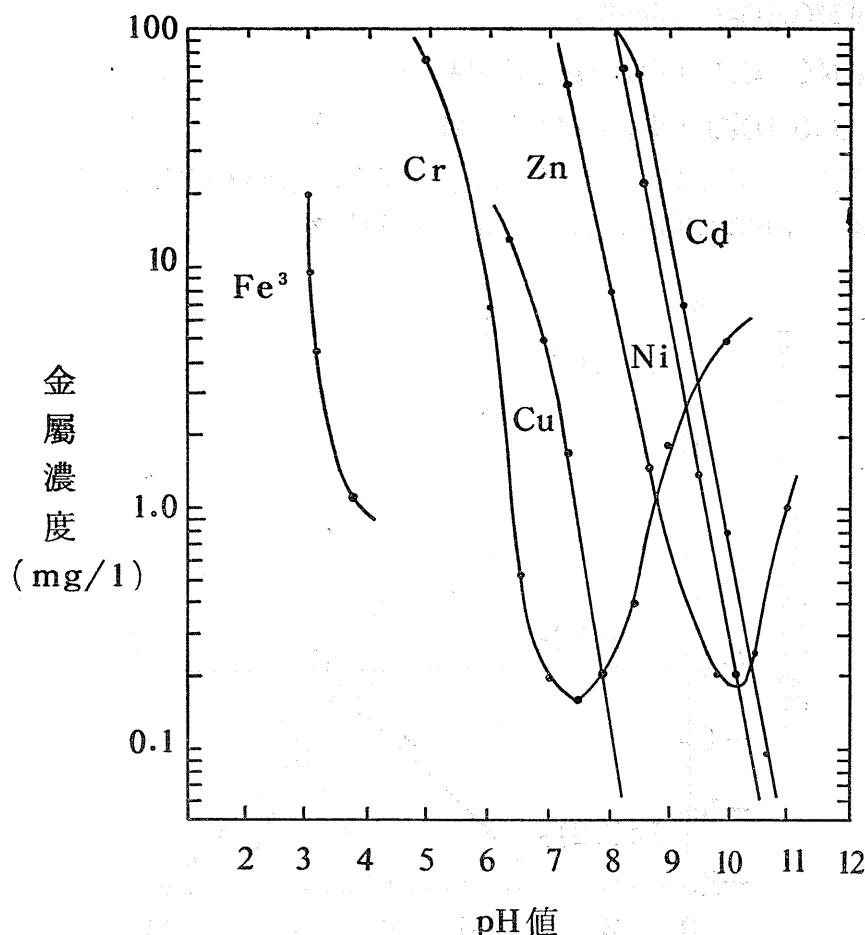


圖 3 各種金屬氫氧化物污泥之典型的溶解度曲線[10]

三、碳酸鹽沉降法之原理與特性

碳酸鹽沉降法是以碳酸鈉 (Na_2CO_3) 或碳酸氫鈉 (NaHCO_3) 為沉降劑，產生金屬碳酸鹽的化學沉降處理方法。

當碳酸鹽存在水溶液中時，二價金屬碳酸鹽的溶解度，可以下列平衡式表示：



$$[\text{M}^{2+}] = K_{\text{sp}} / [\text{CO}_3^{2-}] \quad (7)$$

(7)式中， K_{sp} 為金屬碳酸鹽的溶解度積常數，其數值可由文獻資料獲得，但 $[\text{CO}_3^{2-}]$ 的濃度，則隨水溶液中總碳酸鹽濃度 (Total Carbonate Concentration, C_T) 和 pH 值而異。一般而言，pH 值愈大， $[\text{CO}_3^{2-}]$ 占總碳酸鹽濃度的百分率愈大，故由(7)式得知， $[\text{M}^{2+}]$ 的溶解度愈小，亦即重金屬愈容易以碳酸鹽的形式沉降。

不過，在一碳酸鹽系統，因水溶液中的碳酸 (H_2CO_3) 會與大氣中的 CO_2 保持一平衡關係，使得反應系統可能獲得 CO_2 或失去 CO_2 ，故在一開放式系統 (Open system)，重金屬的溶解度，將依反應系統周圍環境之 CO_2 分壓 (Partial Pressure) 而異：

$$[\text{M}^{2+}] = [K_{\text{sp}} / K_{\text{H}} P_{\text{CO}_2}] [\alpha_0 / \alpha_2] \quad (8)$$

式中 $K_{\text{H}} = \text{CO}_2(\text{g})$ 的亨利常數

P_{CO_2} = $\text{CO}_2(\text{g})$ 之分壓

$\alpha_0 = \text{H}_2\text{CO}_3^*$ 佔總碳酸鹽濃度的百分比

$$= \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3^*]}{C_T}$$

$\alpha_2 = \text{CO}_3^{2-}$ 佔總碳酸鹽濃度的百分比

$$= \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{C_T}$$

$$C_T = [\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \quad (9)$$

在一關閉式系統 (Closed system)，因不與大氣接觸，故重金屬的溶解度，直接受廢水中總碳酸鹽濃度而異：

$$[\text{M}^{2+}] = K_{\text{sp}} / (C_T \alpha_2) \quad (10)$$

若將水解反應 (hydrolysis) 所產生溶解性金屬氫氧化物，一併考慮在金屬碳酸鹽的平衡系統中，則重金屬最小的溶解度，將發生在一狹小的 pH 值範圍，亦即當 pH 值上升，重金屬的溶解度逐漸減小，直至最小飽合溶解度，而後隨 pH 值繼續上升，因金屬氫氧化物反應，使得重金屬濃度增加。

Patterson 等人 [11] 曾分別計算碳酸鹽和氫氧化物平衡反應系統之理論溶解度曲線，並將其重疊繪製在同一金屬溶解度曲線圖上，如圖 4 所示。圖中分別表示出在不同 pH 值時，碳酸鹽或氫氧化物沉降反應之主要控制區域 (predominance area)，明顯地，圖中資料指出，碳酸鹽沉降理論上可在較低的 pH 值，獲得比氫氧化物沉降更低的溶解度，如此碳酸鹽

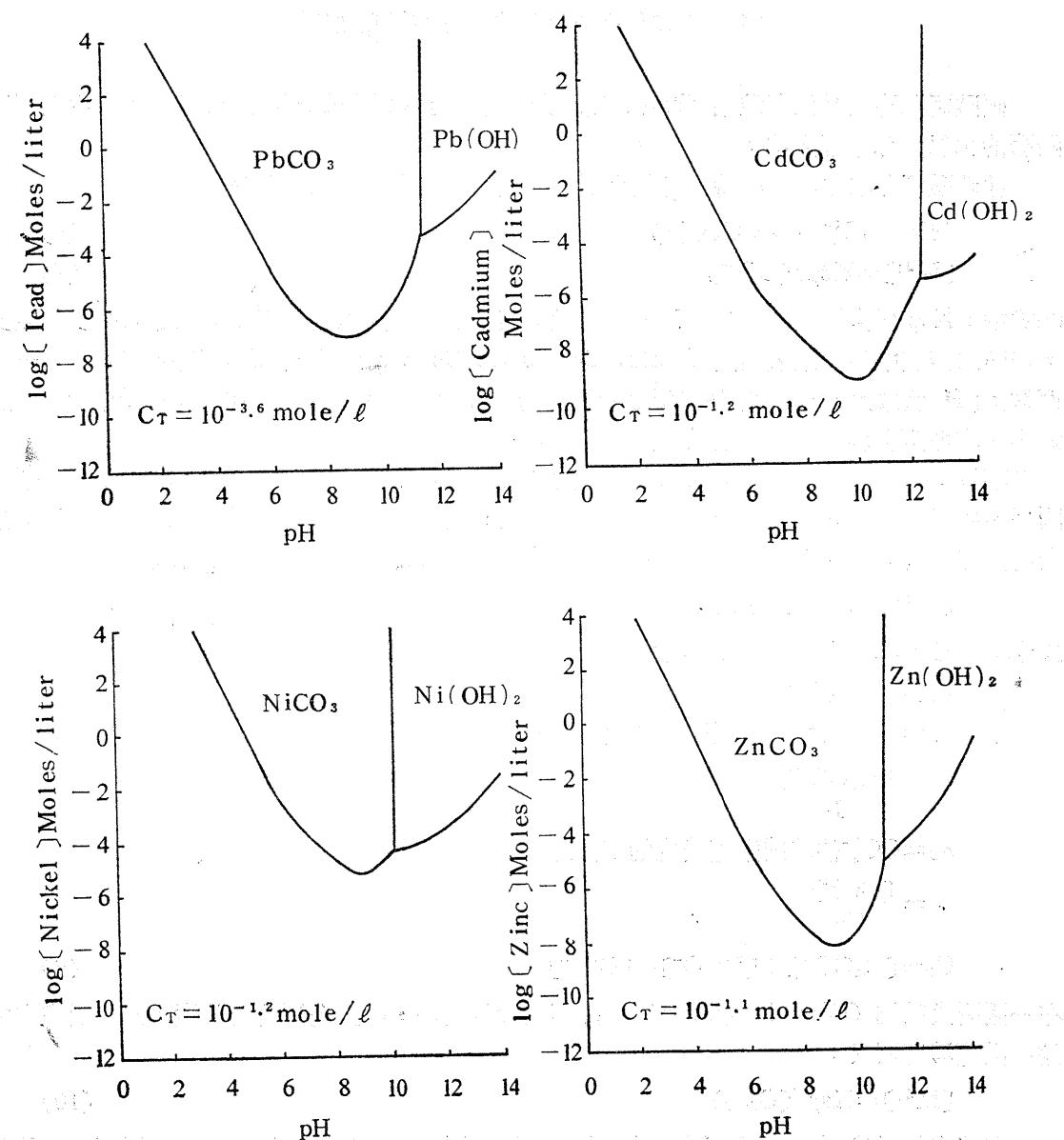
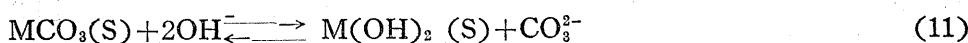


圖 4 理論之金屬碳酸鹽—氫氧化物平衡關係圖[11]

沉降法不僅對重金屬的處理效果好，且可節省中和處理水之 pH (使符合放流水 pH 標準) 所需藥費。另外，圖 4 中之兩主要控制區域的分界線，其 pH 值可由下列關係求得：



$$\alpha_2 C_T / [OH^-]^2 = K_{sp} / K_{s0} \quad (12)$$

四、硫化物沉降法之原理與特性

硫化物沉降法為新近發展之另一種有效去除電鍍廢水中重金屬的方法。由於硫化物離子 (S^{2-} , HS^-) 之活性高，以及大多數金屬硫化物之溶解度小於金屬氫氧化物甚多，是以硫化物沉降法比氫氧化物沉降法更能有效地去除廢水中重金屬。圖 5 所示為金屬硫化物與氫氧化物的溶解度之比較[13]，由圖可知，金屬硫化物不但溶解度小於金屬氫氧化物，而且能在較寬廣之 pH 範圍下操作。當廢水中含有錯鹽或螯合劑時，硫化物沉降法亦能有效地去除廢水中重金屬[13]。

硫化物沉降法因介入廢水中沉降劑溶解性的不同，而有兩種不同的方法，一為溶解性硫化物沉降法 (soluble sulfide precipitation process, SSP process)，主要為添加水溶性之

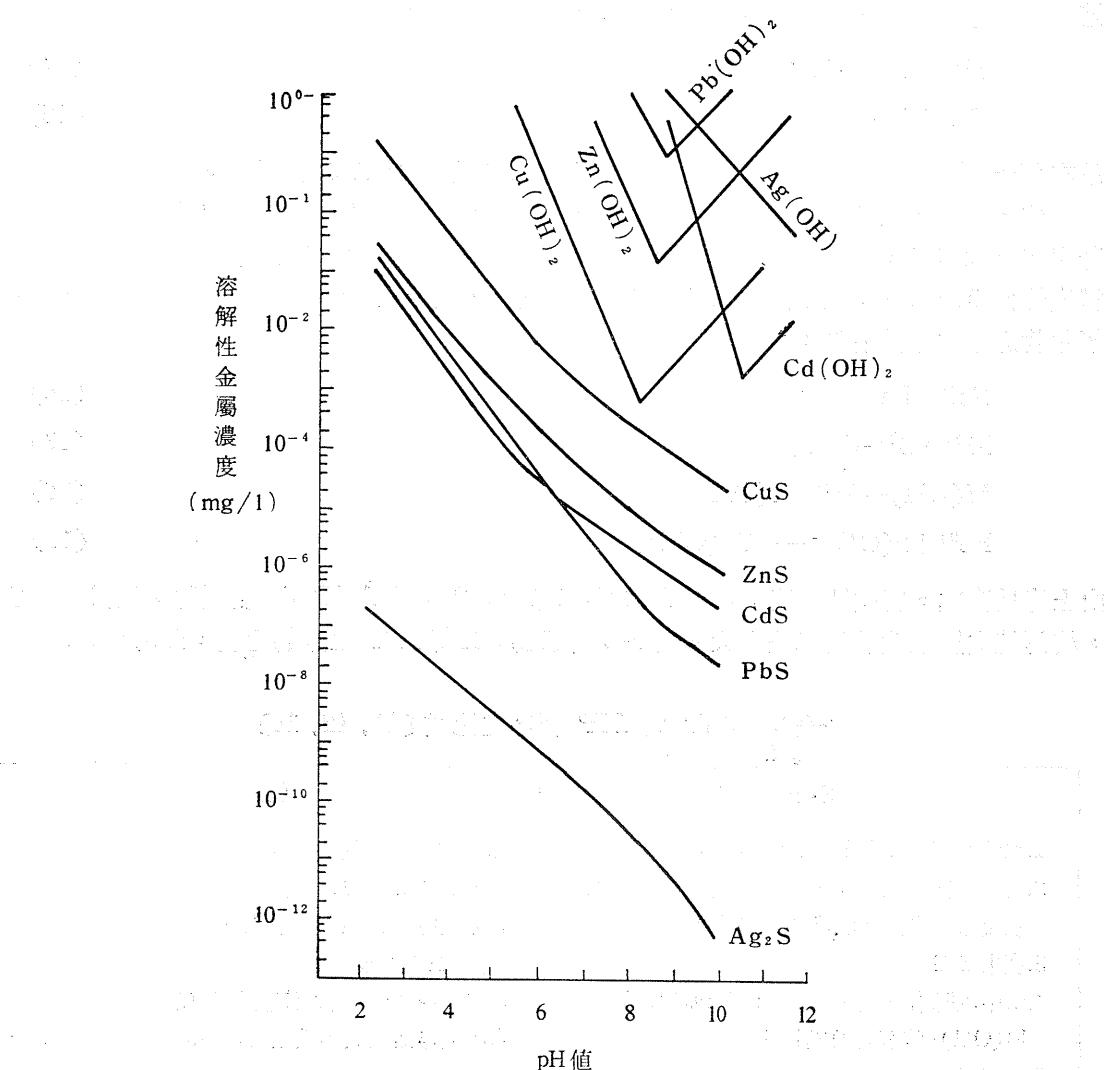


圖 5 金屬氫氧化物與硫化物之溶解度比較[13]

硫化鈉 (Na_2S) 或硫化氫鈉 (NaHS) 為沉降劑，另一為不溶解性硫化物沉降法 (insoluble sulfide precipitation process, ISP process)，其係添加微溶性之硫化亞鐵 (FeS) 為沉降劑。SSP 程序因硫化物之高溶解度，反應快，當其加入廢水中迅速產生下列反應：



在電鍍廢水中除了三價鉻和鐵外，大部分的金屬均能形成穩定的金屬硫化物顆粒，但因產生的顆粒細小，具水合膠體顆粒性質，使得快速的沉降反應趨向單顆粒沉降 (discrete particle precipitation)，此種結果導致沉降性或過濾性差的顆粒很難從廢水中分離，故一般均需藉助混凝劑 (coagulants) 或膠凝劑 (flocculants)，以形成較大沉降快的顆粒。

另外，SSP 程序最大的缺點，是會產生具惡臭有毒性的 H_2S 氣體。一般而言， H_2S 形成速率與水中之 pH 和硫化物離子濃度有關，其反應如下：



故在 SSP 程序，應避免添加過量的硫化物和在酸性狀態 ($\text{pH} < 7$) 操作。

ISP 程序，雖然硫化亞鐵之溶解性低，但其溶解度仍較大部分的金屬硫化物為高，故可釋出硫化物離子，以滿足其它金屬硫化物的溶解度積，而殘存在廢水中的溶解性硫化物離子濃度約僅 0.02ppb，很難造成 H_2S 毒害。下列反應，為加入 FeS 於含有溶解性金屬和金屬氫氧化物之廢水中的情形：



由上述反應式，明顯地看出，當以 FeS 為沉降劑，會形成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 沉澱物，使得污泥產量，較傳統式氫氧化物沉降法為大。表 2-3 所示為 SSP 和 ISP 程序的比較。^[10, 12, 13]

表 3 SSP 與 ISP 程序之比較 [10, 12, 13]

SSP	ISP
1.水溶性沉降劑如 Na_2S , NaHS 。 2.高溶解度之沉降劑，快速反應，產生細小顆粒及水合膠體，沉降性，過濾性差。 3.產生 H_2S 。 4.水中沉降有氫氧化物時，添加沉降劑會使 M(OH)_2 溶解替換成 MS 。 5.需密封反應槽及排氣系統。	1.微溶性沉降劑 FeS 。 2.pH 在 8.5~9.5 操作。 3.可以將 Cr^{6+} 還原成 Cr^{3+} 。 4.無 H_2S 逸出。 5.需 2~4 倍化學劑量之沉降劑。 6.產生包括氫氧化鐵之大量污泥。

五、各種化學沉降法之比較

最普遍使用的化學沉降法為氫氧化物沉降法，因其操作簡單，費用便宜，pH 自動控制容易。Dean 等人[14]指出，以氫氧化物沉降法幾乎可完全去除銅、鋅、鐵、錳、鎳及鉛等金屬，然而沉降鎘、鉛、汞，不但耗時而且反應不完全，當廢水中含有鉻(VI)時，必需先還原成三價鉻(III)。Lanouette[15]認為氫氧化物沉降法主要在提升廢水的 pH 值，使達到金屬氫氧化物最小溶解度，其 pH 值通常介於 8 至 11 之間，所需反應沉降時間，一般約需二至四小時，若廢水中同時含有數種金屬時，而每一種金屬之最佳 pH 值又不相同，必需考慮是否以逐段調整 pH 值來沉降不同之重金屬，亦或是選定一 pH 以沉降所有金屬，而仍能滿足所要求放流水質。此外，表 2-4 所示為一般較常使用的化學沉降法，對各種金屬所獲致之處理程度[16]。

表 4 常用化學沉降法可獲致之處理程度[16]

重 金 屬	可獲致之殘餘濃度, mg/l	沉 降 劑
六 價 鉻	0.3	蘇打灰
總 鉻	0.05	—
銅	0.5	苛性鈉, 石灰
鐵	0.5	苛性鈉, 石灰
錳	1.0	苛性鈉, 石灰
鋅	0.5	蘇打灰
	0.5	苛性鈉, 石灰

Bewers 等人[17]以添加石灰於廢水中，去除鉻、銅、鐵、鉛、錳及鋅等金屬，由於石灰與 SO_4^{2-} , F^- 結合，減少金屬錯鹽之形成，提升去除效率；當廢水中同時含有有機物時，會增加金屬之溶解度，使溶解性金屬濃度大於理論預測之濃度。

Peters 和 Ku[18]兩人以分批式試驗，針對鋅、鎘、錳等金屬，在不同 pH 值，反應時間，及不同錯合劑形式和濃度等情況，比較氫氧化物和硫化物沉降法的效果。結果指出金屬氫氧化物沉澱物易具有膠體 (colloidal) 和非結晶形 (amorphous) 的性質，使得產生的污泥體積龐大，同時錯合劑的存在嚴重的抑制金屬氫氧化物的沉降效果。一般而言，pH 值愈高，愈能增進核化速率 (nucleation rate) 和增進污泥顆粒的粒徑大小分佈。在沒有錯合劑存在的情況，氫氧化物沉澱法所能獲致之最小鋅和鎘殘餘濃度分別是 <0.5mg/l 和 <0.3mg/l，而硫化物沉降法，能獲致更低的金屬殘餘濃度。

Patterson 等人[11]研究以碳酸鹽沉降法去除鋅、錳、鎘與鉛等金屬。認為以碳酸鹽沉降法沉降鋅，錳之效益 (benefit) 不比氫氧化物沉降法好，主要是操作 pH 值兩者大約相同

，同時碳酸鋅與碳酸鎳污泥不會比氫氧化鋅，氫氧化鎳污泥更密重，更易於過濾脫水。但是以碳酸鹽沉降法處理鎘與鉛，碳酸鹽沉降法所獲得之最小殘餘鎘濃度的 pH 值，較氫氧化物沉降法約小 2 個 pH 單位，同時碳酸鎘沉澱物的過濾性為氫氧化鎘沉澱物的兩倍。而碳酸鉛在 pH=7.5，總碳酸鹽濃度為 $10^{-1.1}$ moles/l 和在 pH=10，總碳酸鹽濃度為 $10^{-2.7}$ moles/l 時，其處理效果與氫氧化鉛在 pH=10.5 時相等，此外碳酸鉛系統所產生之污泥較氫氧化鉛污泥為密重，過濾性亦佳。表 5 所示，為 Patterson 等人研究所獲致之結論。

表 5 氢氧化物和碳酸鹽沉降法之處理效果[11]

金屬	處理方法	殘餘濃度, mg/l	最佳 pH
鋅	氫氧化物	0.25	9.5
鎳	氫氧化物	0.30	11.0
鎘	氫氧化物	0.20	10.4
	碳酸鹽 ($10^{-2.7}$)	0.35	10.7
	碳酸鹽 ($10^{-1.2}$)	0.25	10.0
鉛	氫氧化物	0.60	10.5
	碳酸鹽 ($10^{-2.7}$)	0.60	10.1
	碳酸鹽 ($10^{-1.1}$)	1.00	7.5

Barber [19] 以碳酸氫鈉 (NaHCO_3) 為沉降劑沉降重金屬發現，以碳酸氫鈉做沉降劑具有兩個優點，一是碳酸氫鈉能提供鹼度，而使得重金屬的沉降維持在最佳 pH 值，二是使廢水中具有緩衝能力，能中和過量之酸度。而且添加碳酸氫鈉操作簡單，費用適中，可適用於連續式處理系統。

Bhattacharyya 等人[20]以硫化鈉為沉降劑去除鎘、鋅、銅、鉛、砷與矽等金屬，不論是人工合成廢水或是實際廢水，在 $\text{pH} > 8.0$ 及添加 0.6 倍化學劑量之沉降劑時，沉降速率及分離效果最佳。鎘、鋅、銅等金屬的去除率大於 99%，殘餘濃度在 $0.05 \sim 0.1 \text{ mg/l}$ 范圍內。若以氫氧化物沉降法處理，其沉降速率及分離效果皆比硫化物沉降法差，即使 pH 值提升至 10.5 時，鋅、鎘與矽之去除效果仍是非常差，當 pH=8.5 時，鎘、鋅之殘餘濃度分別為 2 與 5 mg/l ，當 pH 提升至 10.5 時，鎘與鋅之殘餘濃度分別降低至 0.6 與 1.1 mg/l 。污泥的沉降速率與 pH 和硫化物加量有關，以氫氧化物和超量硫化物沉降，污泥沉降速度差，而添加 0.6 倍化學劑量之硫化物時，硫化物沉降速率為氫氧化物之兩倍。

Bhattacharyya 等人[21]研究發現，在 $\text{pH} > 4$ 以上，以 1.0X 化學劑量之硫化物沉降法，幾乎可完全去除 Zn，而 H_2S 氣體的產生幾乎沒有，因金屬硫化物的反應遠大於 H 與 S

間的反應。此外，以硫化物沉降法處理鎳時，在 $pH < 10$ 之開放系統，因氧的存在，使得 Ni 再溶解而形成 $Ni(SOH)_2$ 和 $NiSO$ ，影響其處理效果。至於 Cu、Cd、Pb、Zn 等金屬，在 $pH = 4 \sim 12$ 範圍內，硫化物沉降法可獲得金屬殘餘濃度小於 0.1mg/l 。

Peters 等人[22]研究指出，EDTA 對 ZnS 的沉降有抑制作用，但對 CuS 的去除則沒有影響，主要是因為 CuS 的溶解度積遠大於 Cu-EDTA 之穩定常數值，使得 CuS 的反應，在含有 EDTA 的廢水中為主要的反應，其它鉗合能力較弱的鉗合劑，例如 Citrate, gluconate and tartrate 等，不會影響金屬硫化物的形成，故在含有此類鉗合劑的廢水中，以硫化物沉澱法較氫氧化物沉澱法能更有效地去除重金屬。本文作者[23]亦曾獲得相同的結果。

綜合上述，一般而言以硫化物沉降法，可在較低的 pH 值範圍，達到相當高的重金屬去除效率，且其重金屬殘餘濃度，均較氫氧化物或碳酸鹽沉降法為低。此外，當廢水中有錯合劑或鉗合劑存在時，硫化物沉降法仍然相當有效。雖然，硫化物沉降法對重金屬的沉降效果最好，但是處理操作時，所需沉降劑藥費為最大，表 6 顯示， Na_2S 的藥劑費用約為石灰的十倍，故一般較大的廢水處理設施以石灰（每日使用量大於 $1/2$ 噸）為主要沉降劑；而小規模的廢水處理設施，則以苛性鈉為主；蘇打灰則使用在某些特殊情況，例如去除鎘與鎳，因其可產生較佳的化學反應[15]。此外，表 7 綜合比較前述各種化學沉降法的優缺點。

表 6 重金屬化學沉降各種沉降劑成本費用[15]

沉降劑種類	理論需藥量, mg/l	成本費用, \$/ton
生石灰, CaO	0.76	25
熟石灰, $Ca(OH)_2$	1.00	25
苛性鈉, 50% $NaOH$	1.08	140
蘇打灰, Na_2CO_3	1.42	50
硫化鈉, Na_2S	—	250

六、結論

根據本文的敘述，顯然地，不論是氫氧化物沉降法，碳酸鹽沉降法，或硫化物沉降法，各有其特點，故在選擇適當的電鍍廢水化學沉降處理法時，應依廢水的成份及處理目的，選擇適當的處理方法。例如，考慮到處理操作與費用時，小型的電鍍工廠因廢水量小，可選擇以苛性鈉為沉降劑的氫氧化物沉降法；但若考慮處理水質要求或廢水中含有其他螯合劑或錯合劑，重金屬去除困難時，硫化物沉降法應為適當的方法；此外，若考慮處理水 pH 值要求，則碳酸鹽沉降法將較氫氧化物沉降法理想，因其可在較低的 pH 值沉降重金屬，而節省中和處理水 pH 值所需費用。

表 7 綜合比較各種化學沉降法的優缺點

	氫氧化物沉降法	碳酸鹽沉降法	硫化物沉降法
優點	1.操作簡便。 2.沉降劑費用低。 3.自動控制 pH 值容易。	1.碳酸鹽沉降之最佳 pH 值比氫氧化物沉降之最佳 pH 值為低。 2.據報導金屬碳酸鹽污泥比氫氧化物污泥更密重，使污泥更易於沉降而固液分離。 3.碳酸鹽污泥之過濾性較氫氧化物污泥為佳。 4.添加碳酸氫鈉具有緩衝能力。	1.即使在低 pH 值，亦能獲致高程度的金屬去除率。 2.沉降劑之活性高，反應之停留時間短。 3.選擇性的金屬去除和回收是可行的。 4.金屬硫化物污泥在 pH=5 時，其金屬的溶出量較金屬氫氧化物污泥小三倍，使得最終處置安全，容易。 5.金屬硫化物污泥之濃縮和脫水性較金屬氫氧化物為佳。
缺點	1.若溶液之 pH 值改變，將使氫氧化物再度溶解。 2.無法去除六價鉻。 3.混合金屬廢水之去除效果不佳，因各金屬的最小溶解度分別發生在不同 pH 值。 4.錯合劑的存在會影響重金屬之去除效果。 5.氯化物干擾重金屬之去除。 6.氫氧化物污泥量大，而且污泥性質為凝膠性及非結晶體顆粒結構而難以脫水。 7.去除鎳，鋅及其它金屬離子之理想 pH 值大於 10，若欲調整 pH 值符合放流水標準，增加處理費用及放流水總溶解固體物。 8.重金屬回收困難。	1.沉降劑費用較氫氧化物沉降法貴。 2.由於二氧化碳之釋出，可能產生泡沫問題。	1.需較高之化學劑藥費。 2.有 H ₂ S 逸出的可能。 3.反應槽需密閉及排氣設施。 4.溶解性硫化物沉降法污泥不易沉降。

不過，電鍍廢水因電鍍種類，電鍍藥液，電鍍設備不同，其廢水成份各廠不一，所含主要重金屬種類不同，此外，廢水經化學沉降處理後，所產生污泥的特性，及後續污泥處理與處置等問題，應一併考慮在選擇適當電鍍廢水化學沉降處理方法內。

七、參考文獻

1. U.S. EPA, "Development Document for Proposed Existing Source Pretreatment Standards for the Electroplating Point Source Category", EPA440/1-78-085, Feb. (1978).
2. 曾迺華等人, 「事業廢水單位污染量推估之研究——製革業、染整業、電鍍業、魚肉罐頭業」, 國立中央大學土木工程學研究所研究報告, 民國76年2月。
3. U.S. EPA, "Environmental Reegulations and Technology: The Electroplating Industry", Technology Transfer, EPA625/10-80-001, (1980).
4. Zievers, J. F., "Metal Finishing Wastes: Methods of Disposal," Plating, 57,56, (1970).
5. U. S. EPA, "Control and Treatment Technology for the Metal Finishing Industry: Evaporators," Technology Transfer, EPA625/8-79-002, (1979).
6. U. S. EPA, "Environmental Pollution Control Alternatives: Economics of Wastewater Treatment Alternatives for the Electroplating Industry," Technology Transfer, EPA 625/5-79-016, (1979).
7. Cartwright, P. S., "Reverse Osmosis and Ultrafiltration in the Plating Shop," Plating and Surface Finishing, 4, 40, (1981).
8. U.S. EPA, "Control and Treatment Technology for the Metal Finishing Industry: Ion Exchange," Technology Transfer, EPA 625/8-81-007, (1981).
9. "Pretreatment of Industrial Wastes, "Manual of Practice No. FD-3, WPCF, (1981).
10. Cherry, K. F., "Plating Waster Treatment", Ann Arbor Science Publishers, Inc. (1982).
11. Patterson, J. W., et al, "Carbonate Precipitation for Heavy Metals Pollutants", JWPCF, 49(12):2397-2410, (1977).
12. Peters, R. W. et al, "Separation of Heavy Metals and Other Trace Contaminants", AIChE Symposium Series, vol. 81, No. 243, (1985).
13. U.S.EPA, "Control and Treatment Technology for the Metal Finishing Industry: Sulfide Precipitation, "EPA625/8-80-003, (1980).
14. Dean, J. G. et al "Removing Heavy Metals from Waste-water", Environ. Sci. Technol., 6(60:518-522, (1972).
15. Lanouette, K. H., "Heavy Metals Removal," Chemical Eng., Oct. 17, (1977).

16. Lanouette, K. H., and Paulson, E. G., "Treatment of Heavy Metals in Wastewater," *Pollution Eng.*, Oct. (1976).
17. Bewers, A. F. et al, "Predicting the Performance of a Lime Neutralization Precipitation Process for the Treatment of Some Heavy Metal-Laden Industrial Waste waters," Proc. 13th Mid-Atlantic Industrial Waste Conference, 13:51-62, (1981).
18. Peters, R. W. and Y. Ku, "Batch Precipitation Studies for Heavy Metal Removal by Sulfide Precipitation," Paper presented at the Summer National AIChE Meeting, Philadelphia, PA, Aug. 19-22, (1984).
19. Barber, N. R., "Sodium Bicarbonate Helps Metal Plant Meet Federal Standards," *Ind. Wastes*, 24(1):26,29, (1978).
20. Bhattacharyya, D. et al, "Separation of Toxic Heavy Metals by Sulfide Precipitation" *Sep. Sci Technol.*, 14, (1979).
21. Bhattacharyya, D. et al, "Application of Sulfide Precipitation for the Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters," Proc. 2nd World Congress of Chem. Eng. VI:548-554, (1981).
22. Peters, R. W., Y. Ku, and Bhattacharyya, D. "The Effect of Chelating Agents on the Removal of Heavy Metals by Sulfide Precipitation," *Proc. 16th Mid-Atlantic Industrial Waste Conf.*, 16:289-317, (1984).
23. 曾迺華, 「化學沉澱池處理及再利用離子交換再生廢液之研究」, 中國土木水利工程學會第九屆廢水處理技術研討會論文集, 237-248, 民國73年9月。