特殊性無機製程廢 (污) 水處理概論練習題 (甲級)

貳、無機廢水的來源製程與行業別

2.1 簡介

1. 無機廢水如何以化學藥劑處理之？

   解答：對於無機污染物經常考慮加入化學藥劑使其產生沉澱而去除，但化學藥劑的種類與濃度均可能影響操作效率與成本。部分無機污染物則需考慮以氧化還原的方式處理，反應的 pH 經常是操作的重要參數之一。

2.4 含氟與硼離子廢水之主要行業

2. 含氟與硼離子廢水之主要行業有哪些？

   解答：大部分自於高科技產業。半導體製造業、光電業由於在製程中可能使用氫氟酸，因此在廢水中經常含有氟離子，在使用氫氟酸的過程中，氟離子可能與其他物質產生反應，進一步形成含氟的離子。在此所指之氟離子並非只有 F^-，只要含有 F 元素的離子如氟硼酸根、氟矽酸根皆可視為氟離子。印刷電路板業或電鍍業若使用氟硼酸為電鍍液，則廢水中可能含有氟硼酸離子，雖然氟硼酸離子也被歸類於氟離子，但其處理方式與 F^-間將有明顯的不同。

3. 硼在廢水中常見的形式為何？

   解答：硼在廢水中常見的形式為硼酸、BCl_3 與 BF_3，其中又以硼酸最為常見，而不同形式的硼離子需要考慮不同的處理方式，以獲得最大的處理效率。

2.5 含氰鹽、砷酸鹽與鉻酸鹽廢水之主要行業

4. 氰鹽由於可能形成具毒性的物質為何？

   解答：氰鹽與酸接觸而形成氰化氫 (HCN)。

5. 鉻酸鹽廢水之特性與處理原則為何？

   解答：鉻酸鹽主要以六價鉻的形式存在，為陰離子型的污染物，一般電鍍業與金屬表面處理業的廢水中有較高濃度鉻酸鹽，皮革廠進行鉻鞣程序也將使用鉻酸鹽，鉻鞣程序主要目的為使皮革軟化，因此也可能重複使用此程序。三價鉻可以調整廢水之 pH 使其形成不溶的氫氧化鉻沉澱，六價鉻無法直接經由調整 pH 值沉澱，因

此最常使用的去除方法為還原沉澱。

參、酸鹼廢水與高懸浮固體廢水處理

3.2 酸鹼廢水處理

6. 當水溶液中含有金屬離子或其他緩衝物質時，將對於 pH 調整有何影響？

   解答：當水溶液中含有金屬離子或其他緩衝物質時，將對 pH 調整所需化學藥劑添加量造成明顯之影響，進而影響反應所生成之污泥量。因此，於調整廢水之 pH 值時，須同時考量廢水與酸鹼劑之特性、加藥量、反應時間、操作之難易度、經濟性及可能產生之污泥量加以考量，並進行初步的實驗，以達有效處理的目的。

7. 酸性廢水常添加哪些鹼劑來調整 pH？特性為何？

   解答：氫氧化鈉 (NaOH) 或蘇打灰 (Na_2CO_3) 為常用鹼劑，此類鹼劑具有溶解度高、處理與供給便利、反應速度快、污泥生成量少等優點，但價格較高。其施加方式，於小廠可加於抽水機之吸入管，大流量時則需要比例裝置及變速泵浦直接加入廢水中。

8. 鹼性廢水常添加哪些酸劑來調整 pH？特性為何？

   解答：硫酸 (H_2SO_4) 為最常使用之酸劑，因其反應速度較快、作用完全、用量少。

9. 為便於控制酸鹼藥劑的投加量和掌握廢水 pH 值的變化規律，在用藥劑處理時，可先作出廢水的何種曲線為參考？其繪製過程為何？

   解答：可先作出廢水的中和曲線為參考。中和曲線可通過滴定法繪製，即為取一定量的酸、鹼廢水，不斷地滴加已知濃度的鹼或酸標準溶液，同時用 pH 計測定廢水的 pH 值。然後以 pH 值為縱座標，酸或鹼的投加量為橫座標作圖，所得曲線即為中和曲線。

10. 對於 pH 加藥控制方式可分成哪 3 種？其特點各為何？

    解答：1. 緩衝範圍設定的控制：為最傳統的控制方式，設定緩衝範圍，當測定值落於此範圍內則停止加藥，此緩衝時間使藥劑得以混合均勻。

2. 比例式脈衝控制：隨偵測之 pH 值距離設定點之遠近，而調整加藥機之啟動，當測定值愈趨近設定點，則加藥機停止愈久。
3. 比例式頻率控制：隨偵測之 pH 值距設定點之遠近，調整加藥機之運轉頻率，測定值離設定點愈遠，則加藥頻率愈高，優點是加藥不停止，只調整加藥的速度，對於水量較大，且 pH 值變化較快的程序，可以更快速地調節到穩定的狀況。

3.3 高懸浮固體廢水處理

11. 沉澱程序由懸浮固體物質之濃度及顆粒凝聚性而分成哪幾種？

解答：1. 單顆粒沉澱 (Discrete settling)：係保持單顆粒之沉降性，其大小、形狀、密度不變，沉砂池屬於此種。
2. 膠凝沉澱 (Flocculants settling)：其特點為顆粒有凝聚作用，沉降速度隨之變化。
3. 層沉澱 (Zone settling)：層沉澱大都使顆粒成塊狀沉降，上澄液與沉澱固體物出現明顯之界面。
4. 壓密沉澱 (Compression settling)：壓密係固體物向下壓縮，孔隙中液體被壓出，減少固體物體積。

12. 傳統過濾法原理為何？特點為何？

解答：傳統過濾為流體穿過多孔質濾料，使懸浮物與液體分離的方法。一般較沉澱池價高，但占地小且操作迅速，去除之固體物質易於乾燥。

13. 傳統過濾法分成哪幾種？

解答：1. 重力過濾：利用重力使廢水中的水穿過濾材，而固體物被濾材攔截，因而造成固液離之過濾法。
2. 壓力過濾：利用加壓設備加壓於待過濾液，使水穿過濾材而固體物被濾材攔截而導致固液分離的過濾法。
3. 真空過濾：利用抽真空設備使濾材兩面產生壓力差，因而使水穿過濾材而使固體物留在另外一面的過濾法。
4. 離心過濾：利用離心力，使廢水中的固體物因為與水比重不同而與水分離，最終廢水通過濾材，而固體物被攔截的過濾方法。

14. 對於化學研磨廢水所產生之高濃度懸浮固體，應如何處理？

解答：可以使用化學混凝作為預處理，再以微孔過濾 (MF) 膜去除懸浮微粒，最後使用逆滲透 (RO) 膜將處理水回收。

15. 請簡述使用電聚浮除法處理高濁度廢水之特性與優點。

解答：電聚浮除法是將電化學與化學混凝結合之技術，利用電場誘導使粒子重新排列，再利用犧牲電極產生鐵離子，即可達到不加混凝劑就可產生化學混凝之作用。由於電解作用陽極將產生氧氣，陰極產生氫氣，此時將產生大量氣泡，在不需要加入空氣的條件下，使懸浮微粒與氣泡結合，並且藉此加速上浮與水分離。電聚浮除法的特點為不需添加任何藥劑，即可達到浮除作用之效果，因此相較於傳統的化學混凝所產生污泥量較少。電聚浮除的另一項特點為必須藉由渠道設計使顆粒快速碰撞，因此反應時間較快，相對所占之面積較少，可以節省操作空間。

16. 電聚混凝法原理為何？特點為何？

解答：電聚混凝法可以用於處理廢水中極細微的粒子，如化學研磨所產生的廢水可以考慮以電聚混凝方式處理。電聚混凝所使用之原理與電聚浮除接近，為結合電化學與化學混凝的處理程序所產生之處理方法。電聚混凝法也可以被用於處理廢水中的陰離子如氟離子、砷酸鹽等。

肆、含重金屬製程廢水處理

4.1 簡介

17. 廢水中具有較高金屬離子濃度大部分將以沉澱方式處理，其原理為何？並要考慮何常數？

解答：主要利用調整廢水之 pH 值使其形成不溶的氫氧化物沉澱。在使用此方法時必須考慮所形成氫氧化物之溶解度積常數 (K_{sp})。

18. 使用沉澱法去除重金屬離子，若形成的顆粒較小，如何處理？

解答：使用沉澱法去除重金屬離子，若形成的顆粒較小，要採伴隨化學混凝一同進行，為考慮適合混凝劑的 pH，氯化鐵為較常使用之混凝劑。

4.2 處理概念與原則

19. 廢水中含有較高金屬濃度時大部分會選擇何種方式處理？
    解答：陽離子重金屬最常使用的方法為調整 pH 值使其沉澱，因使用此方法處理較為節省成本。

20. 當廢水中的重金屬與其他物質形成螯合物時，可能無法藉由調整 pH 使其形成金屬氫氧化物沉澱，此時可考慮如何解決此問題？
    解答：使用硫化物或破壞螯合物後再調整 pH 使其沉澱。

4.3 重金屬沉澱去除

21. 可使重金屬產生沉澱的離子有哪些？以對重金屬的沉澱效率排序為何？
    解答：可使重金屬產生沉澱的離子包括，OH^-、S^{2-}與 CO_3^{2-}。以對重金屬的沉澱效率而言，大致呈現 $S^{2-}>OH^->CO_3^{2-}$。

22. 加鹼使重金屬產生沉澱的方法，其反應式如何表示？
    解答：$M^{z+}+zOH^- \Leftrightarrow M(OH)_{z(s)}\downarrow$
    $K_{sp}=[M^{z+}][OH^-]^z$

23. 使用沉澱法去除重金屬離子，為何操作時大部分選擇氫氧化鈉為鹼劑？
    解答：由於 S^{2-}較容易產生具毒性的 H_2S，且成本遠高於 OH^-，因此在處理含重金屬廢水時，通常優先選擇使用 OH^-。氫氧化鈉與氫氧化鈣均為可被選擇的沉澱劑，但由於氫氧化鈣較容易導致管線阻塞，因操作時大部分選擇氫氧化鈉為鹼劑。

24. 何謂兩性金屬氫氧化物，請說明 Cu^{2+}之最佳沉澱 pH 範圍。
    解答：有最佳沉澱 pH 值範圍之金屬在 pH 8.5~9.5 範圍可以視為最佳沉澱的 pH 範圍。

25. 廢水中若含有汞離子，應以何種沉澱方式處理？
    解答：必須考慮使用硫化物使其沉澱。

4.4 螯合重金屬廢水處理

26. 常用的重金屬螯合劑有哪些？

解答：乙二胺四乙酸 (Ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)、三乙酸基胺 (Nitrilotriacetate, NTA) 或其他有機螯合劑。

27. 乙二胺四乙酸 (EDTA) 螯合重金屬離子之特性為何？

解答：許多二價陽性重金屬離子都可被 EDTA 螯合，而陰性金屬離子不會與 EDTA 螯合。螯合反應會因為金屬種類不同與不同 pH 值條件下產生不同的結果。

28. 何謂重金屬處理劑或重金屬捕集劑？

解答：重金屬捕集劑，多為有機高分子硫化物，主要係由多元醇、KOH、CS_2 合成之「黃原酸」鹽類，因係高分子硫化物，與重金屬凝集性極佳，且不會形成 H_2S 氣體。

29. 試比較人工合成高分子螯合樹脂與天然高分子螯合劑之差異？

解答：1. 人工合成高分子螯合樹脂：具有多樣性、製備方便、易於控制等優點，所以成為製備此類樹脂的主要方式。

2. 天然高分子螯合劑：如纖維素、海藻酸與甲殼質等，雖然價格較低，但在使用時粒徑大小與吸附容量等皆較不易控制。

30. 使用電化學法處理重金屬離子廢水，有何特點？

解答：電化學法主要為利用電解的方式處理廢水中的螯合重金屬，陰陽離子在電解質溶液中可自由移動，當由外加電場通入直流電時，陽離子向陰極移動，而陰離子往陽極移動。由於陰陽離子向兩極的移動，使電荷能橫越過兩電極而傳遞形成電流，此即為電解質溶液能導電的原因，而陰陽離子在兩電極處發生電子轉移的化學反應，此現象稱為電解。藉助電化學反應將使重金屬沉積於陰極，使廢水得到淨化並回收重金屬；廢水中有機物則於陽極氧化分解以降低 COD。

4.6 實際案例二電鍍廠 (特性、方法及優缺點)

31. 某電鍍廠廢水若含有酸性重金屬廢水、鉻系廢水與氰系廢水，應如何設計廢水處理流程？

解答：酸系重金屬廢水直接調整 pH 使重金屬沉澱；鉻系廢水先將六價鉻還原為三價鉻後再調整 pH 使其沉澱。氰系廢水則在鹼性的條件下加入氧化劑將氰鹽氧化成氮氣。

4.7 實際案例三印刷電路板廠 (特性、方法及優缺點)

32. 某印刷電路板廠螯合銅廢水處理流程中，加入氯化鐵之功能為何？

解答：先在收集槽調整廢水 pH 為酸性，然後在反應槽中加入氯化鐵，除了後續化學混凝可使用外，另一個重要的目的為部分螯合銅可被鐵離子置換。

伍、含氟與硼離子製程廢水處理

5.2 含氟製程廢水處理

33. 以離子交換法處理低濃度含氟硼酸離子 (BF_4^-) 或氟離子 (F^-) 之清洗廢水，其處理流程為何？

解答：處理程序可以分成 3 部分：

1. 由於廢水中尚含有 Pb^{2+}、Sn^{2+}，廢水抽至陽離子交換柱，先行去除 Pb^{2+}、Sn^{2+}等陽離子。
2. 再將廢水流入陰離子交換柱，以去除廢水中 BF_4^-及 F^-等陰離子。
3. 經陰、陽離子交換樹脂吸附後之處理水可回收作為製程清洗水循環再利用。

34. 對於以離子交換法處理氟離子，應注意哪些事項？

解答：1. 廢水流速控制在每小時 10~15 倍樹脂體積為宜。
2. 應盡可能選擇交換容量大的樹脂。
3. 處理過程中陰離子交換柱中樹脂顏色會由灰色變成白色，當出流水 pH 值降至 3~3.5 時，氟濃度接近 10 mg/L 時，應停止處理，進行樹脂再生。
4. 再生後之酸、鹼廢液合併收集處理，廢液中 BF_4^-、Pb^{2+}、Sn^{2+}與製程中廢棄之高濃度廢液共同收集，採用鋁鹽-石灰處理法處理。

35. 以化學混凝沉澱法處理氟離子，可以使用哪些鈣鹽？處理機制為何？

解答：常使用之鈣鹽包括 $Ca(OH)_2$、$CaSO_4$、$CaCl_2$ 等，產生非溶解性的氟化鈣沉澱。處理機制：$Ca^{2+}+2F^- \rightarrow CaF_{2(s)}\downarrow$。

36. 使用高溫鋁鹽-石灰處理高濃度之 BF_4^-，其處理流程為何？

解答：1. 必須先破壞安定的 BF_4^-螯合物，再使之形成 CaF_2 沉澱。安定之 BF_4^-可於高溫下以鋁鹽為觸媒進行水解，使形成 HF，再加入 Ca^{2+}以生成 CaF_2 沉澱。

2. 本法必須設置加溫設備且處理時必須投加大量鋁鹽、鈣鹽等藥劑，一般來說，此法僅適合用來處理少量的高濃度電鍍製程廢液及離子交換樹脂再生廢液。

37. 使用常溫鋁鹽-石灰處理高濃度之 BF_4^-，其處理特點為何？

解答：1. 無需加溫反應，需要較長的反應時間，反應時需投加較多量的鋁鹽始能獲得較佳的處理效果。

2. 僅適用於處理含 BF_4^-濃度較高的電鍍製程廢液及離子交換樹脂再生廢液。

38. 使用結晶法處理 F^-與鈣鹽沉澱法的差異為何？

解答:結晶法一般使用的採用流體化床進行結晶程序,可利用金屬鹽 (碳酸鹽、氟化物、磷酸鹽或硫化物) 具低溶解度及穩態晶體的特性，使晶體在流體化床中的擔體上成長，其所使用的原理與沉澱法類似，但由於結晶法可以得到較純的晶體，因而可以此方法回收。

5.3 含硼離子製程廢水處理

39. 若以加鹼沉澱法處理硼離子，其操作的特性為何？

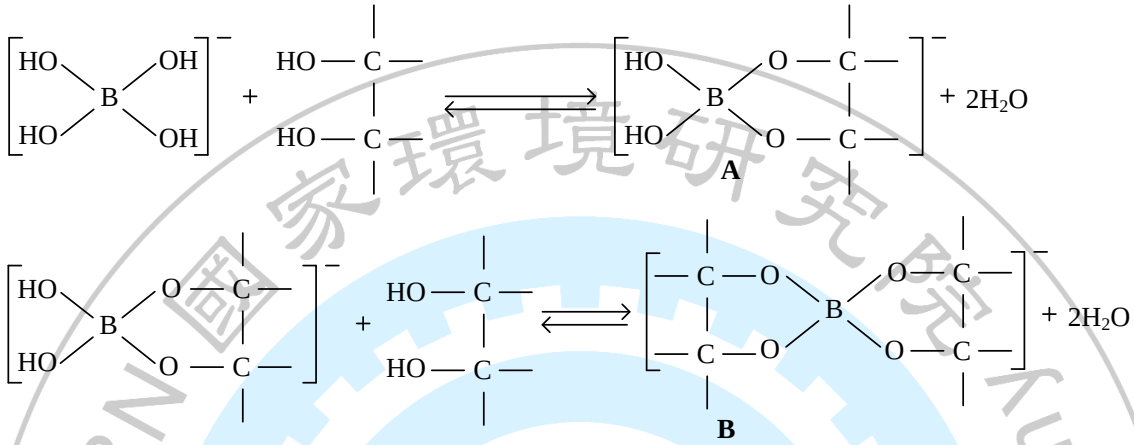
解答：利用在弱鹼性條件下，硼與金屬氧化物會反應生成難溶的硼酸鹽沉澱。使用石灰乳來沉澱滷水中的硼，先將原滷水濃縮，在濃縮液中加入一定量的石灰乳，便可得到硼酸鈣的沉澱產物 $CaO{\cdot}B_2O_3{\cdot}6H_2O$，沉澱效果會受氧化鈣的品質及用量、溫度及 pH 值的影響。

40. 使用加酸沉澱法處理硼離子，其操作的特性為何？使用時機為何？

解答：主要是利用硼酸在無機酸中溶解度小的特點來分離硼。即是在溶液中加入鹽酸或硫酸將硼轉化為溶解度較小的硼酸，從而分離出硼。通常廢水中所含 B_2O_3 的濃度達到 2~3%時，便可考慮使用此法。

41. 利用離子交換樹脂法使硼離子形成螯合物加以去除所使用的原理為何？

解答：利用硼的缺電子特性，易於與鄰二羥基官能基結合，先形成 1：1 的螯合物 (A)，之後再進一步結合成 1：2 的螯合物 (B)，而所形成的螯合物在酸的作用下又可以解離，得到原來的硼酸，反應如下所示：



42. 使用逆滲透膜技術處理水中硼離子，pH 值對處理之影響為何？

解答：當 pH<7.0 時，硼主要以 $B(OH)_3$ 的形式存在，而隨著 pH 的升高，$B(OH)_4^-$的比例也隨之升高，由於 $B(OH)_4^-$比 $B(OH)_3$ 更易於被逆滲透膜截留，因此硼的去除率將隨 pH 的升高而升高。高 pH 雖有利於硼的去除但不利於操作，同時也會產生 $CaCO_3$ 和 $Mg(OH)_2$ 沉澱，造成膜孔堵塞。

43. 使用逆滲透膜技術處理水中硼離子，優點與缺點各為何？

解答：1. 優點：硼分離效率高、無污染、節能、操作方便及可靠，可成為海水分離硼的首選處理技術。

2. 缺點：逆滲透膜壽命短 (3~5 年) 且價格昂貴，應用的關鍵是進一步降低設備及操作費用，技術方面之要求則在於開發性能好和耐久性高的逆滲透膜，使用有效的預處理系統和使用節能裝置。

44. 使用天然聚合物如 N-甲基葡萄糖胺的纖維素衍生物吸附硼離子有何優缺點？

解答：1. 優點：吸附容量與已商業化的 N-甲基葡萄糖胺聚苯乙烯樹脂相當，但其吸附速度比較快。

國家環境研究院 National Environmental Research Academy

2. 缺點：再生較為費時且長期使用會使吸附容量降低。

45. 使用金屬氫氧化物如 $Mg(OH)_2$、$Al(OH)_3$、$Fe(OH)_3$、$Zn(OH)_2$ 等，作為無機吸附劑來分離硼，有何特點？

解答：由於膠體吸附異電荷離子的能力與異電荷離子的價數、水合能力、極化性能等因素有密切關係對於價數愈高，水合程度愈低，極化率愈高的異電荷離子越易被吸附，而且吸附強度大的異電荷離子能夠置換吸附強度弱的離子溶液中的其他離子如鹼金屬離子對硼的吸附也會有影響，會干擾硼的分離。

46. 使用層狀複金屬氫氧化物 (Layer double hydroxides, LDHs) 作為吸附劑來分離硼吸附硼離子，有何優點？

解答：1. 有大的比表面積。
2. 可和陰離子交換樹脂相比的高陰離子交換容量 (2~3 meq/g)。
3. 好的熱穩定性。
4. 合成價格低廉，可以視為極具發展潛力之吸附劑。
5. 其具有可讓不同陰離子及極性分子進入的可調式層間區域，由於為層狀礦物，其層與層的間距可能因進入層間的化學物質而改變，當較大分子量的化學物質進入層間，層間距將加大。

47. 使用層狀複金屬氫氧化物 (Layer double hydroxides, LDHs) 作為吸附劑來分離硼吸附硼離子，其機制為何？

解答：1. 表面吸附：在污染物表面上形成分子或原子膜之附著作用，而 LDHs 所進行之陰離子交換主要會受到層間陰離子及層電荷密度所影響。
2 層間陰離子之交換。
3 煅燒後之 LDHs 經由記憶效應所進行之結構重建。
4 LDHs 有記憶效應，其吸附量影響因子包含有 pH 值、陰離子競爭吸附效應、吸附劑量、溫度、LDHs 本身之特性、層電荷和層間陰離子電荷、煅燒及記憶效應、顆粒大小等。

陸、含氰鹽、砷酸鹽與鉻酸鹽製程廢水處理

6.1 簡介

48. 一般工廠冷卻水使用何鹽類為腐蝕抑制劑？

解答：一般工廠冷卻水使用鉻酸鹽為腐蝕抑制劑，以致冷卻水排放水含有鉻酸根離子的污染等。

49. 廢水中六價鉻通常以何種形式存在？處理方法為何？

解答：廢水中六價鉻通常以鉻酸 (CrO_4^{2-}) 或重鉻酸 ($Cr_2O_7^{2-}$) 形式存在，毒性較高，因此處理方法通常先將其還原成三價鉻 (Cr^{3+})，再進一步處理。

50. 在光電製程廢水中，砷的型態為何？

解答：1. 溶解砷：化學氣相沉積 (CVD) 製程中，利用砷化氫 (AsH_3) 氣體在磊晶區進行表面有機合成處理，製程排氣洗滌塔排水為高濃度含砷廢水主要來源。

2. 固態砷：為基板研磨產生的砷化鎵顆粒。

6.2 氰鹽廢水處理

51. 氰鹽經常出現在電鍍業的原因為何？可能產生何種工安意外？

解答：為了維持電鍍液中重金屬濃度的穩定性，一般會加入氰化物與重金屬離子形成錯合物，使電鍍液中重金屬不會因為溶液 pH 值改變而使濃度產生變化。氰鹽與酸接觸可能產生毒性氣體 HCN 對生命與健康造成威脅。

52. 廢水中氰化物與鋅、鎘複合物，與鐵、鎳的氰複合物，穩定性與毒性各如何？

解答：廢水中氰化物與鋅、鎘複合物不穩定且毒性高；與鐵、鎳的氰複合物則相當穩定，毒性低。

53. 氰化物最常處理方式為加鹼氧化法，請寫出以氯加鹼氧化兩階段之反應方程式。

解答：第一階段：$CN^-+2OH^-+Cl_2 \rightarrow CNO^-+2Cl^-+H_2O$

(pH 為 9.0~10.0；溫度低於 50°C)

第二階段：$2CNO^-+4OH^-+3Cl_2 \rightarrow 2CO_2+6Cl^-+N_2+2H_2O$

(pH 為 7.5~8.0；溫度低於 50°C)

54. 試說明使用次氯酸根 (OCl^-) 氧化氰系廢水之過程，兩階段反應式各為何？

解答：用次氯酸根 (OCl^-) 氧化氰系廢水，常用次氯酸鈉 (NaOCl，俗稱漂白水) 進行。氧化過程亦分成二階段進行，最初反應將氰化物生成氰酸鹽，而最終則生成 CO_2 及 N_2 氣體。

第一階段：$CN^-+OCl^-\rightarrow CNO^-+Cl^-$

(pH 在 10 左右，ORP 在 350 mV，水力停留時間在 10 分鐘以上)

第二階段：$2CNO^-+3OCl^-+H_2O\rightarrow 3Cl^-+2CO_2+N_2+2OH^-$

(pH 在 8 左右，ORP 在 650 mV，水力停留時間在 30 分鐘以上)

55. 利用陽極電解氧化法處理含 CN^- 廢水之原理為何？適用情況為何？

解答：在陽極氧化時，陰極會沉積金屬離子，可加以回收。電解槽可使用一般碳鋼，陰極用鈦金屬、不鏽鋼或石墨，陽極則為金屬合金。陰極電流密度以 4 安培/dm^2 為宜。陽極面積為陰極面積 4 倍時效率最高，溫度維持在 50~90℃ 間可使氧化效率提高，同時減少電能之消耗量。電解氧化法適合含高濃度的氰化物廢液，用電解氧化法為一經濟有效的方法，若濃度太低則不適用。其最大特點乃在使安定之氰化物錯離子完全分解，包括一般化學方法無法處理之鐵氰化物及亞鐵氰化物離子在內，此外本法處理時間不長而沉澱物不具毒性。

56. 氰化物不具揮發性，如何回收 CN^- 廢水？

解答：氰化物不具揮發性，若想回收必須先轉變成為氰酸。其回收步驟如下：

1. 含氰化物廢水先予加熱。
2. 泵送到含有酸溶液的槽中，使其產生氰化氫氣體。
3. 此氣體經二段鹼吸收後，產生氰化鈉溶液再利用。

57. 氰化物污泥及特高濃度的氰化物廢液，如何處理？

解答：氰化物污泥及特高濃度的氰化物廢液適合用焚化爐焚化。先將氰化物廢液酸化，形成 HCN 後再用壓縮空氣吹出，經觸媒爐焚化。使用觸媒焚化可以降低燃燒溫度，減少氮氧化物產生。另外亦可利用溼式氧化法處理，其利用高溫高壓條件及高溶氧狀態下，有機物分解速度及化學反應動力會加快之特性，利用溶氧將有機物

質轉換成 H_2O 及 CO_2，而氮氧化物、硫化物、鹵化物通常轉換成 N_2、NH_3 或酸而被水吸收。然後殘餘液體先經壓濾機去除固體，濾液再經乾燥設備，產生含水率 25%以下的污泥。處理過程中所產生的蒸氣，經收集至餾出水槽，泵送至低濃度氰系廢水貯槽，再排至廢水處理場處理。

6.3 砷酸鹽廢水處理

58. 請比較使用鈣鹽、鐵鹽、鋇鹽去除水中砷酸鹽之優缺點。

解答：

添加劑	優點	缺點
鈣鹽	1.操作費用低 2.操作方式簡單	1.產生污泥量較高 2.對 As(III) 去除效率較差 3.pH 降低砷酸鹽可能再釋出
鐵鹽	1.操作簡便 2.Fe(III)/As(V) 比例提高可得高去除效率	藥劑價格較鈣鹽高
鋇鹽	1.各種形式之 As(V) 皆可去除 2.反應速度較快 3.產生污泥量較少	1.藥劑價格較貴 2.反應容易受到 CO_2 干擾

59. 廢水中的砷酸鹽以鈣鹽沉澱法處理時需考慮哪些操作參數？

解答：操作時必須注意 Ca/As 莫耳比與 pH，一般 Ca 的添加量將遠高於 As 且 pH 需控制在鹼性範圍。

60. 廢水中的砷酸鹽以鐵鹽沉澱法處理時需考慮哪些操作參數？

解答：若使用鐵鹽則以氯化鐵最常被使用，鐵鹽加入後可形成砷酸鐵沉澱。使用鐵鹽沉澱同樣受到 Fe/As 莫耳比以及 pH 影響，且對於 As(V) 或 As(III) 可能產生不同之去除效率。整體而言不論是 As(V) 或 As(III)，在高 Fe/As 且鹼性的條件下，皆可獲得較高之去除效率。在高 Fe(III)/As(V) 莫耳比為 6 的條件下，即使 pH 為 5 仍可獲得高去除效率。Fe(III)/As(III) 莫耳比超過 1 的條件下，且 pH 控制在 9，仍可獲得高過 99%的去除效率。

6.4 鉻酸鹽廢水處理

61. 廢水中鉻酸鹽的主要形態為何？

解答：廢水中鉻酸鹽的主要以陰離子的形態存在，且大部分為六價鉻，常見的鉻酸鹽包括 $Cr_2O_4^{2-}$、$HCr_2O_4^{-}$與 $Cr_2O_7^{2-}$。

62. 如何應用還原沉澱去除水中鉻酸鹽？

解答：六價鉻無法直接經由調整 pH 值沉澱，因此最常使用的去除方法為還原沉澱。加入還原劑將六價鉻還原為三價鉻，再調整 pH 值使其沉澱 SO_2、$Na_2S_2O_5$、$NaHSO_3$ 與 H_2SO_3。

63. 使用還原沉澱法去除鉻酸鹽時，還原時所控制的 pH 以及氫氧化鉻沉澱之最佳 pH 範圍各為何？

解答：六價鉻還原在酸性 (pH<3.0) 的條件下較適合，氫氧化鉻沉澱在 pH=7.5~10.0 為最適合之範圍。

64. 試說明使用離子交換法回收廢水中鉻酸鹽之過程？

解答：使用陰離子交換劑，此類樹脂對鉻酸鹽之親和性，較對重鉻酸鹽者為大，在 pH=4.5~5.0 時，鉻酸鹽離子為主要形式，故在此段 pH 範圍內效果較佳。樹脂常用 NaOH 再生，被交換之鉻則以鉻酸排出，然後可用陽離子交換樹脂除去此排出液中之鈉，餘下之鉻酸溶液即可適合再利用。若同時須處理陽離子與陰離子重金屬，可考慮先將六價鉻還原成三價鉻，再利用陽離子交換樹脂處理。

65. 試說明使用電化學還原法處理廢水中鉻酸鹽之過程？

解答：此方法為先利用電解反應產生二價亞鐵離子，再利用此亞鐵離子將六價鉻還原為三價，然後調整 pH 值使其沉澱。

柒、含無機氮、磷製程廢水處理

7.2 無機氮製程廢水處理

66. 何謂凱氏氮？一般微生物可利用的氮形式為何？

解答：一般微生物可利用的氮形式包含氨氮與有機氮轉化後的氨氮，兩者又合稱為凱氏氮。

67. 請解釋何謂硝化 (Nitrification) 與脫硝 (Denitrification)，並說明氧化 1 mg 氨氮至硝酸態氮需耗用多少溶氧與鹼度？

解答：1. 由氨氮轉變成為亞硝酸氮，再轉變成硝酸鹽氮的程序稱為硝化 (Nitrification)，而由硝酸鹽氮轉變成為亞硝酸鹽氮再轉換成為氮氣的過程則稱為脫硝 (Denitrification)。

2. 耗用 4.3 mg 溶氧及 8.64 mg HCO_3^- (相當於 7.08 mg $CaCO_3$ 鹼度)。

68. 何謂折點加氯去除無機氮法？其去除之無機氮為何？

解答：折點加氯為在廢水加入氯系氧化劑 (如氯氣與次氯酸鈉)，在適合之 pH 條件下，使氨氮被氧化成氮氣，整體的反應式可以表示如下：

$2NH_4^+ + 3HOCl \rightarrow N_2 + 3H_2O + 3HCl + 2H^+$

折點加氯僅能針對氨氮進行反應無法與亞硝酸鹽氮及硝酸鹽氮進行反應。

69. 請說明如何使用氣提法去除水中氨氮。

解答：由於氨在鹼性的條件下將以 NH_3 形式存在，因此可將廢水的 pH 調整至鹼性 (pH>9.0)，再利用空氣曝氣使 NH_3 由廢水中釋出。

70. 生物脫硝反應之微生物、鹼度、pH、溶氧之要求條件為何？

解答：生物脫硝反應由異營性脫硝菌促成：

$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$

脫硝反應產生鹼度，適當 pH 範圍為 7~8，溶氧可能抑制脫硝菌之酵素。

71. 生物脫硝作用之可利用的反應器為何？

解答：脫硝可在活性污泥之懸浮性生物反應器中進行，但因脫硝需額外有機碳源參與反應，故以柱塞流活性污泥池為佳，因柱塞流反應器出流端廢水中有機物濃度極低，系統可有效將氨氮硝化。脫硝亦可在生物膜中進行，由於生物膜累積至一定厚度後外層為好氧，內層為厭氧，可以增加 NO_2^- 與 NO_3^- 轉換成 N_2。

72. 何謂 Anammox 厭氧氨氮氧化法？其特點為何？

解答：Anammox 厭氧氨氮氧化法為近年來新法展的除氮技術，主要為利用 Anammox 菌在厭氧的條件下，直接進行脫氮的程序。Anammox 菌為化學自營性菌，因此可以利用無機碳為碳源。其特點為可同時去除氨氮與亞硝酸鹽氮且產生之污泥量 (微生物量) 少，但仍會形成少量的硝酸鹽。

7.3 無機磷製程廢水處理

73. 請說明化學沉澱除磷常使用的藥劑包括哪些，並寫出其反應方程式。

解答：1. 常用化學藥劑為二價或三價的金屬離子，如 Ca^{2+}、Fe^{3+}、Al^{3+} 等。

2. $5Ca^{2+}+OH^{-}+3HPO_4^{2-}\rightarrow Ca_5OH(PO_4)_3+3H_2O$
$Fe^{3+}+PO_4^{3-}\rightarrow FePO_4$
$Al^{3+}+PO_4^{3-}\rightarrow AlPO_4$

74. 使用 Ca^{2+}與 Fe^{3+}使磷酸鹽沉澱，操作時的 pH 值有哪些注意事項？

解答：1. 加入鈣鹽可與磷酸鹽反應生成磷酸鈣，在 pH=9 的條件下對於磷酸鹽的去除率可達 99%，但在 pH 大於 10 以後，可能導致再溶解。

2. 鐵離子加入廢水中可磷酸鹽形成磷酸鐵沉澱，若鹼度足夠可能形成 $Fe(OH)_3$，將有助於磷酸鐵沉澱。磷酸鐵沉澱的最適合 pH 範圍在 4.5~5.0 之間，實際應用中 pH 值在 7 左右甚至超過 7，仍可產生良好的去除效果。

75. 試說明使用結晶法回收磷酸鹽之原理？

解答：若想回收水中的磷酸鹽時，可以使用結晶法回收磷酸鹽。結晶法所使用之原理與沉澱法接近，但沉澱與結晶最大的差異為結晶必須有擔體，使結晶物在擔體上成長。結晶所獲得的產物純度比沉澱高，因此適合回收使用。

76. 試說明使用結晶法回收磷酸鹽之反應器為何？其晶體特色為何？

解答：結晶法經常使用流體化床，水流由下而上，在適當的控制條件下，如流速與 pH 值，在反應槽內加入可與磷酸鹽沉澱物質，使結晶在擔體上成長。使用結晶法的特色為形成之晶體容易脫水且無污泥產生，因此無污泥廢棄之問題。

77. 試說明使用離子交換法處理磷酸鹽之原理？何物種之交換能力較強？

解答：由於磷酸鹽將以陰離子的型態存在，若使用離子交換樹脂將使用陰離子交換樹脂。由於離子交換脂對電荷較高的離子具備較高的交換能力，三價的正磷酸鹽 (PO_4^{3-}) 將容易將樹脂上一價或二價陰離子置換置溶液中。

78. 利用厭氧與好氧程序去除水中磷酸鹽，其所依據的原理為何？

解答：1. 厭氧狀態-磷蓄積菌代謝細胞內之聚磷酸鹽，轉化成 PHB 貯存，並釋出磷酸鹽。

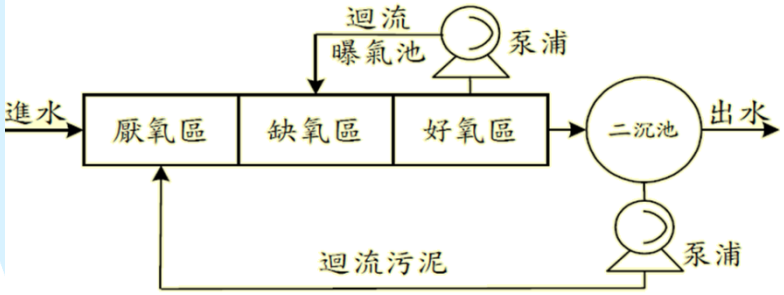
2. 好氧狀態-磷蓄積菌攝取水體中的磷酸鹽，以胞內貯存之 PHB 作為能量，成新細胞使用生物除磷可以連同氮一起去除。

79. 試說明使用 A_2O 生物除氮磷技術之特點？

解答：A_2O 程序為厭氧、缺氧與好氧 3 種程序的組合，好氧區的廢水必須迴流至缺氧區，以增加除氮效果，除了可以去除氮與磷之外，也可去除廢水中的 BOD，可以視為將前述硝化-脫硝程序與 AO 程序之組合。

80. A_2O 程序為厭氧、缺氧與好氧 3 種程序的組合，以去除水中氮磷，請畫出 A_2O 程序所使用之流程。

解答：



81. 試說明使用 Bardenpho 系統生物除氮磷技術之特點？

解答：其程序為厭氧、缺氧、好氧、缺氧與好氧 5 種程序組合，同樣為了增除氮效果，第三槽的好氧區廢水必須迴流至第二槽之缺氧區，整體的流程如下圖所示：

