

鋼鐵工廠之水污染及其處理

沈沛銓*

一、前　　言

在一貫作業的鋼鐵廠中，從原料的調配到成品軋製，都需大量用水以達各種不同的目的。例如加熱爐的冷卻，廢氣的洗塵及鋼品的除鏽、冷卻等等。據估計每製造一噸的粗鋼約需用水量在 $150\sim 200\text{ m}^3$ 左右，可以想見在鋼鐵廠中用水量之龐大與驚人。早期的鋼鐵廠多建於水資源或原料豐富的地區，由於水資源之豐富及環境污染問題較不嚴重，因而對廢水處理問題的要求也並不嚴格，爾後因為環境保護措施之逐漸嚴格及水資源之缺乏，鋼鐵工廠不得不將廠內用水作適當處理，供循環使用以減少耗水量，並且必須對排放水亦作適當的處理，以免造成水污染問題。

本文的目的，在對鋼鐵廠中下列幾種較嚴重的水污染源及其處理方式作一簡單介紹：1.自煉焦副產品工廠所排出含有氨、酚、及氰化物的廢水。2.自高爐洗塵器所排出的廢水。3.轉爐洗塵所排出的廢水。4.熱軋工廠所排出帶有鐵鏽及浮油的廢水。5.酸洗工廠所排出的廢酸液及清洗水。6.冷軋工廠所排出含油廢水。

二、水污染源及其處理

(一) 煉焦廢水：

1. 廢水來源：

煉焦廢水來自煉焦時副產品回收過程中之氨液及其排放水，其大部分來自氣體冷卻之冷凝水，小部分來自輕油分離器 (light oil decanter)，由於煉焦副產品回收工廠有多種不同型式及煤炭化學成份之不同與煉焦程序之差異，因此很難有效地估計廢水中各種酚類化合物的濃度。一般而言，氣體冷凝水中酚濃度約是 $1000\sim 2000\text{ ppm}$ ，輕油分離器排放水中之酚濃度約 $50\sim 150\text{ ppm}$ 。

2. 處理方法：

由於氣體冷凝水中含有大量的酚，因此可用萃取式除酚器 (dephenolizer) 來除去大部份的酚化合物。萃取式除酚器有兩種型式，一種是以液體對液體接觸的方式；另一種是以蒸氣循環的方式。一般除酚器的酚分離效率約在 $90\sim 99\%$ 之間。以除酚器的操作來回收酚並無經濟效益，並且分離液中之酚含量仍不可直接排放，但却可大大地減輕了二級處理設備的負荷，而減少了處理設施的容量及投資，因此在煉焦工廠內裝設除酚器仍有其必要性。

含酚量較低的廢水可用化學處理法，生物處理法或活性炭吸附法來處理。

(a) 化學處理法：

* 中鋼公司公用設施工程處工程師

酚可被強氧化劑如氯氣、二氧化氯及臭氧所氧化破壞。氯氣較易使用，其價格低廉但其操作運轉則較困難。因為當劑量過低時，酚可被轉變成氯酚而產生更麻煩的問題，並且加氯處理時，對 pH 及溫度也很敏感，若欲使酚濃度降到很低的濃度時需使用大量的氯氣，目前亦無單獨使用氯氣處理而達經濟目的之例。

(b)生物處理法：

生物處理法是以含酚的廢水導入具有吸收分解力的細菌微生物中，微生物可利用廢水中之酚及少量的氨，使其分解破壞成無污染的產物。一般可採用滴濾池法或活性污泥法來操作，但須注意輔助操作諸如進流水的化學調節，添加營養物及污泥之迴流等，若進流水含氮量過高時，須先予以分離或稀釋以免使系統癱瘓。生物處理法對廢水中酚的去除效果很好，當含酚量高的廢水經除酚器後再予這種方式的二級處理後，酚去除率效果可高達 99.5%。

(c)活性碳吸附法：

這種方法是以適量的活性碳與含酚廢水混合接觸後再以上浮設備分離活性碳以達去除酚的目的。另一種方式是以廢水流經活性碳床而以過濾方式去除。以上二種方法中，使用後的活性碳均須予以更換或再生，須注意的是廢水中其他的物質可能對活性碳有不良的影響。

(二)高爐洗塵廢水

1. 廢水來源：

在煉鐵時高爐所排出的高爐氣中含有大量的塵粒，其中較大的塵粒可用乾式集塵器收集，而較小的塵粒必須以濕式洗塵器來去除。爐塵量的多寡及組成與下列因素有關：(a)加料之多寡與組成（尤其是礦砂之組成）。(b)高爐之大小及設計(c)高爐操作方法（加料、空氣量、頂壓等）(d)洗塵器之型式、大小與操作方法。一般而言，每生產一噸鐵水約須 4~8m³ 的洗塵水，而洗塵水中懸浮固體物之含量約在 1000~10000 ppm 之間（通常為 2000~3000 ppm）；其塵粒之比重約在 3.0~4.0 之間（平均 3.6），含鐵量約 40%~45%，含氧量約 20%~25%，含矽量約 10%~14%，含碳量 4%~14%，其他雜質約 10%。塵粒之粒徑分佈情況為小於 200 mesh 的約佔 70%~90%，在 100 mesh~200 mesh 之間的佔 7%~15%，大於 100 mesh 約佔 3%~10%。

2. 處理方法：

高爐洗塵水大多以圓形重力式沈澱池來處理，在正常情況下 (1.25~3.0 gpm/ft² 之溢流率及 40~80 min 之停留時間) 可處理到溢流水中懸浮固體物小於 150 ppm 之程度而可達放流標準。若放流水需要更好的水質或將放流水循環使用時，可使用兩個串聯的沈澱池或借重助凝劑的效果，亦可使用工業用深床過濾法 (10~20 gpm/ft²) 而使處理後水中的懸浮固體物減少到 15 ppm 以下。至於沈澱池底部的污泥，可用真空過濾器脫水後再將污泥餅送回燒結 (sinter) 使用。

(三)轉爐洗塵廢水

1. 廢水來源：

以轉爐煉鋼的過程，是以純氧吹入熔融的生鐵中以除去其中的雜質。在吹煉時有大量的

熱量及塵粒隨同廢氣排出。因此須用水來直接噴洗廢氣以除去塵粒並同時使廢氣冷卻。洗塵水中的主要污染物就是固體塵粒，主要為氧化鐵及石灰的粒子，其粒子大小範圍為， $0.002\sim 6\text{ mm}$ 一個 250噸的轉爐，在全能產量時，每天約可產生135噸的塵粒量。

2. 處理方法：轉爐洗塵水多採用重力式沈澱調稠池以分離懸浮固體物。但由於其水質特殊，在處理上往往遭遇困難，其原因为粒子大小分佈過廣，部分粒子比重較大（約為 5），粒子之磨蝕性（abrasiveness），溫度變化及流量的變化（由於轉爐吹煉的週期性），因此可能遭遇的問題為污泥管線的阻塞，調稠池機械設備的損壞及污泥泵的磨損等。溫度與水量的變化也經常導致處理效果不良而使放流水中仍帶水相當量的懸浮固體物。在沈澱調稠池之前增設一旋風器（cyclone）或粗砂器（classifier）以除去主要部分較大粒子將有助於調稠池的運轉操作，但同時將增加了粗砂器的維護保養工作。由於有部分石灰塵粒會溶於洗塵水中而使經沈澱處理後的放流水中之水質有較高的鹼度及鈣硬度。

在沈澱調稠池底部的污泥，須用泵輸送到真空過濾器或離心機予以脫水處理。由於含多量的微小粒子而使污泥餅之含水量約在30%左右。

(四) 热軋廢水

1. 廢水來源

在熱軋鋼品（如鋼胚、鋼板、鋼帶等）過程中，必須使用大量的高壓噴水來沖洗鋼品表面的銹皮並同時來冷卻鋼品及軋輥。因此熱軋鋼品後之排放水將為高溫、帶有鐵銹和油份的廢水。鐵銹的產生量約為鋼品軋製量（重量）的 $1.5\%\sim 3.5\%$ ，在組成方面，重要的為鐵氧化物，比重在 $4.5\sim 5.5$ 之間，由於含鐵量高，因此極具回收經濟效益。在正常情況時，廢水中的含油量並不多，只有當潤滑油管線洩漏或破裂，廠內維護保養工作，或設備沖洗時有含油量增高的情況，而必須在處理過程中除去，以免造成污染。至於廢水中所含的鐵銹量、濃度、粒徑分佈等，在任何時間之差異均相當大，其原因在於不同的生產線型式，不同的鋼品及用水量之多寡等，其差異情況，由下表中可見一斑。

| 鋼品 | 水量 (gal/min) | 鐵銹粒子 (ppm) 通過篩孔 (mesh) | | | |
|------|-----------------|------------------------|-------|-------|-------|
| | | 總量 | # 100 | # 200 | # 325 |
| 扁鋼胚 | 7,000 | 5,000 | 600 | 400 | 300 |
| 熱軋鋼帶 | 25,000 | 1,000 | 350 | 200 | 125 |
| 小鋼胚 | 2,500 | 2,500 | 1,000 | 600 | 400 |
| 條鋼 | 5,000 | 1,000 | 400 | 100 | 75 |
| 焰割 | 2,000 | 5,000 | 1,200 | 800 | 600 |

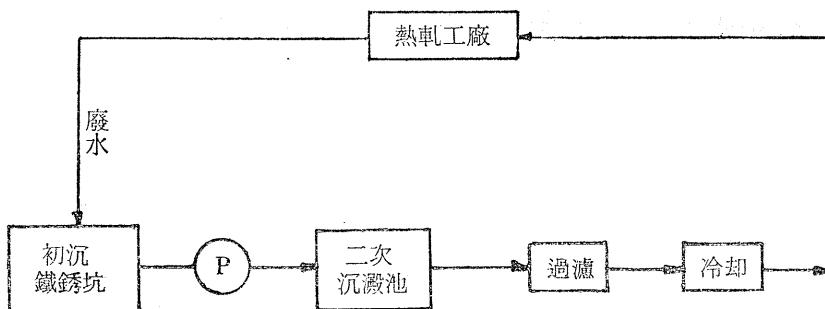
2. 處理方法：

熱軋廢水之處理多採用二段式沉澱法。自廠內軋機排出的廢水以渠道藉重力流排到初沉鐵銹坑（scale pit）渠道底部必須具有相當坡度以防止鐵銹在渠道內沉積因此初沉鐵銹坑之深度必須深入地下而需要昂貴的建造費用。一般在初沉鐵銹坑中約有 $3\sim 6$ 分鐘的停留時間，以便使大於 200 mesh 的鐵銹粒子沉澱。在坑底的鐵銹可用連續刮渣機移除或定時以抓斗

移除。

經初沉鐵銹坑的廢水，再用泵提升到地面上的二次沉澱池作進一步的沉澱處理。在進流口應裝設整流板以控制水流，並在出口處裝有擋板及刮油設備以除去表面浮油，同時並裝設連續刮泥設備以移除池底的沉積鐵銹。一般二次沉澱池均有 2 ~ 3 個水池，停留時間可長達 1 小時，溢流率約為 $2 \sim 5 \text{ gpm/ft}^2$ 。自精軋機或自動焰削機所排出的廢水中帶有極細小的鐵銹而無法以單純的沉澱移除。這種廢水可能需加入化學藥品使之混凝沉澱或作過濾處理以除去細小的鐵銹粒子。

一般熱軋廢水經二次沉澱處理後，其水質已可放流而不致造成污染問題。但在水資源缺乏的壓力下，最好的辦法就是將二次沉澱後的水再經過濾處理以便懸浮固體含量及含油量均達 10 ppm 以下，然後再經冷卻後在廠內循環使用。其主要流程圖如下圖所示：



(五) 酸洗廢水

1. 廢水來源：

酸洗的目的是以酸液來溶解去除鋼帶表面的銹皮。早期的鋼鐵廠多使用硫酸，近年則多以鹽酸來酸洗。酸洗廢水有兩種，一種是當酸液濃度降低，酸液中溶解鐵及雜質過多而必須更換時所排出的廢酸洗水 (waste pickle liquor)；另一種是清洗酸洗後之鋼帶的清洗廢水 (rinse water)。廢酸與清洗廢水的濃度與成份，與酸洗線的型式及運轉操作有關，一般廢酸中的含酸量約 $2 \sim 8\%$ ，含鐵量約 $3 \sim 10\%$ ，溫度約 90°C 左右；清洗廢水的 pH 約 $1 \sim 3$ ，含鐵量約 $200 \sim 500 \text{ ppm}$ 。

2. 處理方法：

傳統的廢酸處理法是加入石灰直接中和，但生成的污泥含大量的水分使脫水極為困難而必須以佔地廣大的污水塘來儲放污泥，改良後的中和處理法是在控制 pH 及溫度下中和，並且加以曝氣使水中的亞鐵離子氧化成鐵離子，如此生成的污泥體積可大量減少而可用真空過濾或離心方式予以脫水。

目前較新式鋼鐵廠中之酸洗線均設有廢酸再生設備，將廢硫酸或廢鹽酸作再生處理，同時有硫酸亞鐵為副產品。如此不但可回收酸液再使用，同時也解決了廢酸的處理問題。廢鹽酸的再生方式有兩種型式，一種是噴酒烘烤方式 (spray roasting process)，另一種是流動床烘烤方式 (fluidized bed roasting process)。兩者的化學原理相同，都是利用廢酸液中氯化亞鐵在高溫下水解產生氯化氫及氧化鐵的原理，經再生後的鹽酸，濃度約在 20% 左右。

清洗廢水之含酸量較低，但水量較大，其處理方法多採用中和法，即以石灰中和，控制 pH 並將亞鐵離子氧化成鐵離子以形成污泥，將污泥分離後其處理水仍可回收使用。另外的處理方式為使清洗廢水與含油的冷軋廢水合併處理，當加入石灰與空氣後，清洗廢水中的鐵可生成氫氧化鐵而有助易於除去冷軋廢水中之油份。

(六) 冷軋廢水

1. 廢水來源：

鋼帶在冷軋時，須使用含乳化油溶液噴洒在鋼帶及軋輥上以達潤滑及冷卻的效果。乳化油溶液的噴洒方式有二種，一種是直接方式，以油和水自獨立系統噴洒在鋼帶和軋輥上隨即排走的方式，另一種是間接方式，以油水溶液噴洒後再收集循環使用。在間接噴洒方式中，一般是以水直接噴洒在第一道或最後一道軋機後排走，居中的軋機使用循環的乳化油液是經刮除浮油及過濾鐵屑後再使用，這種步驟可增長乳化油的使用壽命並可減少其耗用量。因此冷軋工廠所排出的廢水量變化差異頗大，主要取決於軋機道數（一般為五道或六道），鋼種品質，鋼帶軋製量，而最重要的則是軋輥的冷卻潤滑系統。

在較新的冷軋鋼鐵廠中，軋輥潤滑冷卻系統多採用間接的乳化油液循環使用方式以節省油料及水量。循環的乳化油液量約在 10000~20000 gal 之間，含油量約 2% 至 10%，根據使用處理情況，軋製鋼帶種類等條件作不定期的排放（可自每週一次到數月一次不等）。排出廢水中的含油量與操作運轉、維護保養及管理有密切的關係。廢水之酸鹼 pH 值在 6 ~ 10.5 之間，視其是否含有鹼性清洗劑而定。

2. 處理方法：

自冷軋工廠排出的廢水中，不但含有乳化油之外，還有浮油、鐵屑、及污泥等，因此在廢水處理的第一步是先利用自然上浮及沉澱方式移除表面及底部污泥。

由於廢水中乳化油不易與水分離，因此在處理上必須加入乳化破壞劑 (emulsion breaker) 以使乳化油與水易於分離，然後再以浮除的方式使油水分離。在加入乳化破壞劑時須對廢水之 pH 值加以控制以求較好的效果。經油水分離後，水中仍含少量油份而須再加入石灰及助凝劑等藥品以化學物理方法除去殘餘的油份。另一種可行的處理方式就是利用生物處理法，當廢水中含油量約在 100 ppm 以下時，可利用活性污泥的生化反應來處理少量的油份。但其缺點是其運轉操作必須是連續性的，並且要控制 pH、溫度及廢水中其他有毒物質，以免抑制微生物的生化作用。

冷軋廢水經乳化破壞油水分離後，含油污泥的體積約為原廢水量之 5% ~ 20%，實際上視原廢水中含油量及處理時所用的化學藥品而定。含油污泥的處理是非常令人頭痛的問題，常見的是焚燒處理方式，而將焚燒後的灰份作填土使用，但在焚燒時須加入輔助燃料而增加操作費用。較進步的處理方式是將含油污泥再作進一步的加酸處理以便分離出燃燒值更高的油料。

三、結論

鋼鐵廠中的用水系統多而且複雜，各用水系統的用水目的及水質要求也不盡相同，而且各種廢水排放的差異也相當大。面對這樣一個用水量龐大，水系統複雜的生產事業，就水處理方面而

言，應至少具有以下三點的認識，以求較高效率的排水系統及降低生產運轉成本：

1. 在建廠之前，應廣泛地收集各用水單位的用水資料，及廢水資料，以便對全廠的用水作全盤有系統的規劃。尤其應注重系統的循環使用及廢水的再利用，以節省耗水量，降低成本。
2. 對不同性質的廢水應予分別收集後再作處理。
3. 加強生產線上操作及維護人員的廠內管理及成本觀念以便使廢水量之排放降低到最低程度而節省廢水處理的費用。

四、參考資料

1. Ross Nebolsine, "The Treatment of Water-Borne Wastes from steel plants," Iron and Steel Engineer Year Book, 991-1957.
2. Ross Nebolsine, "Steel Plant Waste Water Treatment and Reuse," Iron and Steel Engineer, March 1967, p. 122.
3. Kurita Water Industries, LTD. (Tokyo, Japan), Water Treatment of Steel Works (Bulletin).
4. Ebara-Infilco Company, LTD. (Tokyo, Japan), Typical Process of Waste Water Treatment plants for Iron and Steel Foundry (Bulletin), June 1978.
5. USEPA, "Development Document for Advanced Notice of Proposed Rule Making for Effluent Limitations Guidelines and New Source Performance Standards for the Hot Forming and Cold Finishing" EPA-440/1-75/048, 1975