

論 解 決 工 業 廢 水 問 題 之 捷 徑
ON SHORT-CUT SOLUTIONS TO
INDUSTRIAL WASTE PROBLEMS

蔡 國 鈞

K. C. Tsai

原載於工業汙染防治第 29 期，
1989 年 1 月，32 - 43 頁

Reprinted from Industrial Pollution Control,
No. 29,
January 1989,
pp. 32 - 43

污染防治技術

廠內改善

論解決工業廢水問題之捷徑

蔡國鈞*

1. 前言

至目前為止，所有工業廢水之處理法，無論在學理上或操作上均屬可行，其所應考慮者，厥為成本與效率之問題，尤以成本問題最為重要。本省廢水處理之所以時至今日仍未見實施，最主要之原因乃是，任何方法之廢水處理，無論其為簡單或複雜，均必將增加廠方之支出，而使其產品之成本因而提高，此當為各廠方之所以不樂於處理其廢水之主要關鍵所在。據此，吾人可知，任何足以降低廢水處理成本之方法或途徑，必將為廠方所樂於接受，因此當可減少廢水處理在執行上之困難與阻力，而使水污染防治之目標，得以早日實現。

一般言之，影響廢水處理成本最重要之三項因素為，廢水量，廢水之污染濃度及河川自淨作用之能力。因此，吾人如欲降低廢水處理之成本，最有效之辦法不外，先設法由減少廢水量，降低廢水之污染濃度，及充分利用河川自淨作用之能力等三方面着手，否則廢水處理之成本，必將甚為龐大，實遠非在本省數目佔絕大多數之小規模工廠所能負擔者，如此將使日趨嚴重之水污問題久懸不決。且上述三項辦法簡便易行，如經各廠方全面實施後，再去考慮廢水處理廠之設立問題，應為處理廢水最經濟而有效之途徑。茲就此三項辦法評予討論於下列各節，以供各工業界之參考。

2. 廢水量之減少

1. 廢水之分離 (Segregation of wastes) (註一)

通常工廠廢水之種類不外有三種：

(1)由製造程序所排出之廢水；(2)冷卻廢水；(3)員工之污水。

此三種廢水，僅第一種廢水須加以較為複雜之處理；第二種廢水，因污染度甚低（但數量卻甚多），故一般均無需任何處理，即可排出廠外，或予再用；而第三種廢水雖其污染度

* 現任亞新工程顧問公司主任工程師兼環境保護工程部經理

(註一)：廢水之分離，常可兼具減少廢水量與降低廢水污染濃度之效，此處所論者係針對前者而言，至後者則將於本篇第 3.3 節中討論之。

不低，須加處理，但因其量均甚少，故可與第一種廢水合併處理即可。因此，吾人如能設法將三種廢水加以分離，然後僅使第一、三兩種廢水流入廢水處理廠。如此，當可大量減少處理廠之水量負荷，因此使廢水處理之成本大為降低。

又通常在一工廠中，濃廢水（常為量少而污染度高者）與稀廢水（常為量多而污染度低者），不論其性質相同與否（註二），均係先加以分離，然後再給予不同程度之處理，如此當可節省處理之費用。例如，若設法將冷卻廢水及雨水（稀廢水）與製造程序所排出之廢水，予以分離，則因前者常無需處理即可直接排出，而僅將後者之廢水加以處理，如此當可因廢水處理廠水量負荷之大量減少，而大量節省廢水之處理費用，此或可認為係廢水分離最大之優點所在。

又濃稀廢水之分離除可因減少處理廠之水量負荷而節省處理費用外，尚有另一優點，即高濃度廢水之處理，其效率常遠高於低濃度之廢水，且在操作上亦常較為便利。

2. 廢水之再用 (Reuse of wastes)

由於工業製造程序中之用水量常甚龐大，故對工廠本身而言，水實為一種頗為貴重之原料，因此，工廠對污染度甚稀之廢水，如能不即予排出，而將其再用於做為水質要求不高之次一級用水，則一方面可節省用水量，而廢水量同時亦必將因廢水之再用而大量減少，故具有兼收節省用水費及降低處理成本之效，可謂一舉兩得，故廢水之再用，常具有甚大之經濟價值。至其經濟價值之大小，則隨再用程度之不同而異，例如，就造紙廠而言，其所排出之廢水，有多至每噸產品高達 100,000 加侖 (378.5 噸) 者，亦有少至每噸產品，僅有 1,000 加侖 (3.8 噸) 之廢水者，廢水量相差如此之巨（高達 100 倍），主要關鍵即在廢水再用程度之不同所致。

不含污染物質之廢水，如冷卻水，常無須加以任何處理，即可再予使用。即污染度較小之廢水，經簡單之處理後，亦常可做為較次級之用途，如將紙廠內之白水送回做為黑液之沖洗水或做為工廠之熄煤水，即其二例；高溫度廢水排入河川後，常影響細菌之繁殖，因而降低河川自淨作用之能力，如能裝設熱交換器 (Heat exchanger)，以充分利用其所含之熱量，此亦可視為廢水再用之一例，祇不過其所利用者為廢水中所含之熱量而已。

廢水之再用，常可大量減少廢水處理廠之水量負荷，故其處理設備如沉澱池，曝氣池 (Aeration tank)，滴濾池之容量亦將隨之大為減小。雖然廢水中之全部污染物質，並不因廢水之再用而減少，但廢水之再用，可使其濃度隨再用次數之增加而逐漸增高，而高濃度之廢水，其回收副產物之可能性，常遠較低濃度者為大，此即為廢水再用之所以有助於副產物回收之理由也。

3. 操作方法之改變 (Changes in operation methods)

工廠操作方法之改變，通常亦可收減少廢水量之效。但製造部門之人員常不願僅為減少廢水量而改變其業已熟悉之操作方法，且操作方法之改變，常會增加工廠之支出，故此法付

(註二)：如濃廢水與稀廢水之性質恰好相反時，則是否採用本節所述之分離法，抑或本篇 2.4 節所述之貯留混合法，端視濃稀廢水量之比例，其性質相差之程度及混合後自行中和作用之效果而決定之。一般而言，如濃稀廢水量相等，而其性質恰好相反時，則以採用混合法較為適宜，而不應將其分離。但前已言之濃稀廢水量常相差甚大，其廢水量相等之實例甚少。

之實行事實上常有所困難。然則製造部門人員與廢水處理部門人員亦常可獲致一致之目標而不發生衝突。例如在染色時，減少亞硫酸鈉 (Sodium sulfite) 之用量，電鍍工廠內減少氰化鈉 (Sodium cyanide) 之用量，盡可能使用等量之酸鹼藥品等⁽¹⁾，如此既可節省藥品之開支，同時亦可減少廢水量及其污染度。

又如在電鍍工廠中，如將第一桶洗滌槽之體積予以縮小，以增加其洗滌水之濃度，則經一段時間後，可將其再用以做為電鍍槽之補充液，如此將可減少排出之廢水量（因第一桶之洗滌水不予捨棄而排出）及降低廢水之污染度（因第一桶洗滌水之濃度最高），且亦可節省化學藥品之用量；再者如將桶式靜水洗滌法改為噴射式洗滌法時，則因洗滌效率之增加，可節省洗滌用水量，而減少須排出之洗滌廢水量；此外，應用一連串逆流式洗滌槽，亦可減少排出之廢水量並濃縮其廢水之濃度，而增高回收化學藥品之可能性⁽²⁾。凡此均為因操作方法之改變而達到減少廢水量目的之範例。

4. 污水或廢水處理廠流出水之再用 (Reuse of treatment plant effluents) (註三)

冷卻用水通常均為工廠用水量最多之一種，若工廠所在地，水源缺乏而水價昂貴時，即可考慮直接利用污水或廢水處理廠流出水，做為工廠之冷卻用水（因冷卻用水所要求之水質並不高）。又因冷卻廢水之污染度甚低，故有時吾人甚或可將未經任何處理或僅經簡單處理之冷卻廢水，再予循環使用，如此，一方面可為工廠節省大量之用水，而工廠排出之廢水量，將必可隨冷卻廢水之再用而減少。

又將污水或廢水處理廠之流出水，行簡單之處理後，再將其用於水質要求程度不高之製造程序用水，亦為節省工廠用水量及減少廢水量之一法。例如，Wolman⁽⁴⁾ 曾用明礬將污水處理廠流出水，行以普通之混凝沉澱後，再用氯氣加以消毒，而將其流出水用以做為一鋼鐵工廠用水之原水。據稱，其操作費用每百萬加侖 (3785噸) 僅為美金1.75元，如該鋼鐵工廠之用水係取自都市自來水，則其用水費將高達每百萬加侖美金 50 元至250元。再者如吾人假設生活污水之處理費用，為每百萬加侖美金15~50元，則工廠直接將污水加以處理，再加上其流出水之處理操作費用，則其所費者亦不過每百萬加侖美金17~52元，與自來水水費相較，將可為工廠節省為數相當可觀之支出。

雖然污水或廢水處理廠之流出水與通常之地面水或地下水水源相較有①高色度，②高氮量，③高 BOD，④高溶解固體物，⑤可能含有磷酸鹽，（工廠廢水處理廠之流出水須再加上⑥高溫度一項）。但在美國操作情況正常之二級處理廠流出水之水質，常優於某些可資利用之地面水或地下水，因此，將污水或污水處理廠流出水經簡單之處理後，再予利用，當可大量減少排入河川之廢水量，而緩和其污染河川之程度。

5. 工廠管理之改善 (Improved plant housekeeping)

某些工廠所排出之廢水，其中有一部分係由於工廠操作工人之不慎，或監督人員之疏忽而流出者。此項意外或額外排出之廢水，常可以加強工廠之管理而避免之。此種利用工廠管理之改善，以減少排出之廢水量，不但簡便易行，且甚為經濟，故不失為緩和廢水問題之一

(註三)：嚴格言之，處理廠流出水之再用，僅能減少排入河川之廢水量，其在減少流入處理廠廢水量方面之功效並不大。

種理想辦法，甚值吾人加以提倡效法。通常良好之廠內管理，須賴管理人員，保養人員以及操作人員等之真誠合作，始能奏效，而教導廠內有關人員，使其瞭然於此項廠內管理之改善，於解決由廢水所引起之污染問題方面所具有之功效，乃為求得其合作之最有效辦法也。

3. 廢水污染濃度之降低

1. 製造程序之改變

改變製造程序，通常均可兼收減少廢水量及其污染濃度之效。此項製造程序之改變，對某些污染性質特高且無回收價值之廢水而言，不但可避免該項廢水之污染河川，有時對於工廠本身亦甚具經濟價值。經改變製造程序後所排出之廢水，其本質常與未改變前迥然不同，不僅其量減少且其濃度亦變稀，如再經簡單處理後，通常即可直接排入河海或下水道而無礙，如此，工廠方面既可大量減少其處理廢水之費用，而對有關方面而言，廢水污染問題之嚴重性亦可因而大為減輕。

茲將改變製造程序後，效果較佳之工業列述如後：

(1) 亞硫酸鹽法紙漿廢液

亞硫酸鹽法紙漿廢液為構成河川污染最主要廢水之一，此種廢水不但量多（約佔所用原料重量之半），且因大部份為溶解物或膠狀物，故其 BOD 亦相當高。目前所採用之亞硫酸鹽法大部均為鈣基亞硫酸鹽法，其廢液大部分為溶解性木質磺酸之鈣鹽（Calcium salt of lignosulfonic acid），截至目前為止，尚無實用之方法可用以回收此項鈣鹽，故最後此項甚具污染性質之鈣鹽，均將全部以廢水之形式排出廠外。

自1930年以後，即有人研究以其他物質代替鈣鹽，做為亞硫酸鹽法之蒸餾液。結果證明鎂基法，蘇打基法，銨基法均有實用之價值。其中蘇打基法及鎂基法均有回收藥品之可能。所有上述三法均有節省熱量及完全滅除河川污染之功用。

(2) 金屬浸漬廢水

所有金屬在上漆，電鍍等處理以前，其表面均須加以清洗，最常見之浸洗法為酸浸漬法。酸浸漬法所排出之浸漬廢水，常常引起甚大之污染，此外金屬浸漬後之洗滌水，雖然強度不如浸漬水之高，但因數量甚多，故亦常常發生污染之問題。

由於酸浸漬法之廢水具有嚴重之污染性，故已有某些金屬工廠改以氫化鈉（NaH）代替酸做為浸漬液。此法係將金屬浸於一含有少量氫化鈉之熔融金屬鈉浸漬盞中，利用融溶之氫化鈉溶液在高溫時具有強烈之還元力，而去除金屬表面之氧化物及其他污垢。因浸漬盞中所含有者僅為融溶之金屬而非為須排出之水溶液（必要時可將沉在盞底或浮在表面之雜質，予以去除即可）故廢水之處理已不構成問題。浸漬盞本身可連續使用無需排出。此項浸漬法之洗滌液，通常均為鹼性或僅具微弱之酸性而已，故其處理當較酸浸漬法者為簡便。

(3) 羊毛洗滌廢水

生羊毛因含有大量之油脂，垢物及乾汗，故在製成成品以前，均須用清潔劑洗滌，以去除此等雜物。最常用之洗滌劑為鹼類與肥皂之溫水混合液，排除此種強鹼性之洗滌液於河川中，常將引起嚴重之污染。

現今已有兩種新之羊毛洗滌法，在實驗室中研究成功，以避免使用鹼性洗滌劑。一種為冰凍法，其法係將原羊毛冷卻至能使油脂固體化之溫度，因達到此溫度時，油脂變成甚為脆弱之固體物，再用機械之震動法，即可將大部分之油脂與垢物去除，而所剩下之其他雜物，則用較溫和之藥品清洗之即可。故採用此法，其最後排出之廢水之污染物質將大為減少。

另一法為溶劑抽取法 (Solvent extraction)，其法係用有機溶劑溶解羊毛中之油脂，使之與羊毛分離而淨化之。經淨化後之油脂，可做為副產物出售。使用後之溶劑可予回收而再用之。

(4)亞麻浸漬廢水

通常亞麻之浸漬，係利用厭氣分解之方法，以將纖維從植物之連結組織中分離而出，故其浸漬後之液體，不但色甚黑，味甚臭，且 BOD 亦甚高。因亞麻之浸漬具有季節性，故事實上處理常甚困難。

為此，英國校斯吉 (Southgate) 乃發明一種喜氣之浸漬法以代之。鑒於厭氣分解之浸漬液污染度甚大，故該法係用不斷輸氣之方式，使整池之亞麻浸漬液，始終保持在喜氣狀態下。喜氣浸漬法之化學變化與細菌分解，雖與厭氣法完全不同，但其所發生之亞麻，其品質卻並無二致。喜氣浸漬液可反復使用，至浸漬季節結束時，再以灌溉法排除之。由此吾人可知亞麻之浸漬，如改用喜氣分解時，廢水之問題即可完全獲得解決。

2. 工業廢水副產物之回收

處理工業廢水最主要目的之一，乃在去除或減少廢水對河川之污染，俾使在該河下游之居民得以安全而經濟地使用該河川之河水，做各種合理而有益之用途，如做為自來水之水源，娛樂設施，漁業或其他等用途。處理工業廢水之另一主要目的，乃在減少廢水之污染性質，俾使其得以排入都市下水道而不致妨害污水處理系統之操作，以節省工廠內之處理費用。

上述之兩項目標，固可在廠內設置廢水處理設備而達到之，然在某些情況下，回收廢水中有用之副產物，常較設立處理設備為經濟而實用。

雖然在理論上，所有之工業廢水中均有或多或少之副產物可資回收，但在實用上吾人所感興趣者，僅限於具有經濟價值之副產物而已。如果副產物之實用價值，遠小於為回收該項副產物所花費之設備及操作費用時，則該項副產物之回收，只有更增加工廠之支出，實已無經濟價值可言，於此有一點例外需加說明，即當副產物之回收可大量減少廢水之污染性質且其回收費用又小於另設處理設備之費用時，則不管該項副產物有無經濟價值，回收法仍值得採用。

由此可知，回收副產物其作用有二；①為獲得利潤而回收副產物，②為減少廢水之污染性質而回收副產物，故計算副產物之價值時，亦應由此兩方面兼籌並顧方為合理。

下列所述者，為各種工業中利用回收法而得到甚佳效果之實例。

(1)羊毛洗滌廢水：

羊毛洗滌水中，通常均含有大量之油脂，約有 900 ppm 之多，回收此項油脂常可獲得相當之利潤。在美國有種商品名叫「拉諾林」(Lanolin) 之羊毛油脂，已被廣泛應用於油漆，擦鞋油，擦皮油，髮油，肥皂及製藥等工業。

回收油脂之方法甚多，現今最常用者為加硫酸於廢水中以使油脂產生沉澱，然後將沉澱之油脂再加以酸化，最後利用壓榨過濾機 (Filter press) 去除其水份而回收之。

(2) 蒸餾及酒精製造廠之廢水：

於第二次世界大戰前，蒸餾及酒精工業未採用回收副產物時，其廢水為河川污染之主要來源之一。自採用回收法後，不但污染問題可得解決，且可增加工廠之收入。蒸餾工業所回收之副產物大部為動物飼料。其回收法係將蒸餾廢物用細欄柵 (Fine Screen) 篩過後，放進離心機中去除部分之水分，然後再用多效應真空乾燥爐 (Multiple-effect vacuum pans) 乾燥之，最後之成品為如豆餅形之牛馬飼料。

(3) 穀物製造廠廢水

此種工廠所排出之廢物，其 BOD 相當高，其人口當量 (Population equivalent) 約為每英斛 (bushel) 5.6人。如用沉澱池使其中之麥麩質 (Gluten) 沉澱後，則排出物之 BOD 其人口當量即可減至 4.0人，如再將沉澱後濃度較高之溶解物質，用迴流方式反復操作，則最後排出之廢物，其 BOD 之人口當量僅剩 1.0人。此種回收法所得之固體物，可再與其他穀物混合而製成飼料。

(4) 焦煤與煤氣工廠廢水

焦煤與煤氣工廠所排出之酚 (Phenol)，對河川具有嚴重之污染性，特別是如果河水中有氯存在時，則情形更為嚴重。蓋酚與氯氣化合而成具有強烈臭味之氯酚 (Chlorophenol)。煤氣工廠中之氨液 (Ammonia liquor)，可利用溶劑抽取法 (Solvent extraction) 回收其中之酚，同時亦可去除具有強烈臭味之氯酚。據估計生產 1,750 噸煤氣之工廠，可回收 1,500磅之酚。雖然回收之效率可高達 98%，但由於其 BOD 甚高，故 BOD 之去除率僅能達到 77%。回收後廢水之 BOD 尚有高達 4600 ppm 者。

(5) 金屬浸漬廢水

由於金屬浸漬廢水中含有可資回收之硫酸鐵，此項物質為一效果甚佳之混凝劑，常被廣泛應用於污水及給水處理廠中。硫酸鐵之回收，依將浸漬銅及黃銅之廢液中，加入鐵屑或碎鐵片處理之，即可產生硫酸鐵。此項回收法所費不高，如有相當之銷路時，頗有利潤可得。

又現代之去金屬法 (Deminerization process) 中，已可利用合成樹脂 (Synthetic resin) 以回收銅浸漬液中之銅金屬，然由於此法之設備費用及再生 (Regeneration) 費用均相當高，故尚未被廣泛採用。

由金屬浸漬液中可資回收之另一種副產物為建築用之磚塊。此項磚塊之回收法，係加石灰於浸漬廢液中，以中和其酸性，並使硫酸鐵與消石灰 (Hydrated calcium hydroxide) 之混和物沉澱，然後將此項沉澱物用過濾法去除其水份，再以模板塑成一定大小之塊狀物，最後再放入 175°F 之窖中烘燒，即可得紅色塊狀之固體物。

此項廢水有價副產物之回收，已詳述於本篇 3.1 節中，故不贅。

3. 廢水之分離 (Segregation of wastes) (註四)

於一大規模之工廠內，常有數種數量、濃度或毒性均不相同之廢水。例如，某些廢水可立即排入下水道與家庭污水一齊處理而無礙；某些廢水具有毒性，無法接受廢水處理廠中之生物處理；某些廢水除數量較多外，根本未含有任何之污染物，故可直接排入河川，或再予利用，此外尚有某些廢水，具有回收之價值。凡此種種性質各不相同之廢水，如能加以分離，予以個別處置，則常可得到甚大之益處，尤其對於具有毒性之廢水，更有加以分離之必要。例如在羊毛氈製造廠中，羊毛洗滌廢水具有回收油脂之價值，故在回收前，不宜與他種無回收價值之廢水，如染色廢水等混合，是為一例。

又例如下表為一織布工廠所排出之各種廢水及其污染度⁽¹⁾：

表 8-1 某織布工廠之廢水及其污染度

廢水種類 污染性質	Grey water	White water	Dye waste	Kier waste	Combined waste
pH	4.0	7.3	11.0	11.8	9.4
Total solids, ppm	2,680	420	2,880	18,880	1,560
Suspended solids, ppm	224	67	148	218	156
Oxygen consumed, ppm	1,560	31	556	4,900	460

由上表知混合之廢水濃度相當高，處理甚為困難而昂貴，但如將煮煉工程之廢水 (Kiering waste) 與其他三項輔稀之廢水分離，先將其加酸中和沉澱之，其上澄液即可與其他三項廢水混合，其混合液之濃度將大為降低，如再用化學法或生物法處理，當可獲得品質較佳之流出水。

廢水分離法亦可應用於同時產生含鉻 (Chromium) 及含氰化物 (Cyanide) 廢水之金屬加工廠 (Metal-finishing plants)，此時應將含氰化物之廢水與別種廢水分離，先予鹼化而氧化之 (註五)；另一方面則將含鉻之廢水，加以酸化而還元之 (註六)，然後將經氧化與經

(註四)：本處所論之廢水分離，其主要之目的，係在降低廢水之污濃度，與本篇第 2.1 節所論者，目的略有不同。但前已言之，廢水之分離，常可兼收減少廢水量與降低廢水污染濃度之效。

(註五)：加氯以處理含氰化物之廢水，早經認為可行，但如在酸性狀態下加氯時，將有氯化氰 (CNCl) 之有毒氣體產生，但如在鹼性狀態下加氯時，則形生之 CNCl 有毒氣體，將即刻變成無毒之氰酸鹽 (Cyanate)，如將此氰酸鹽再於鹼性溶液中，進一步予以加氯氧化，則其最後之生成物為 CO₂ 及 N₂ 等無害氣體，此即為吾人處理含氰化物廢水時，必須先將其鹼化後，再予氧化之原理。

(註六)：此處所稱之含鉻廢水，主要係指含有六價之鉻金屬或其化合物而言，蓋六價之鉻金屬或其化合物對人體之毒性甚大，而三價之鉻金屬或其化合物對人體則不具毒性。通常處理含六價鉻金屬或其化合物時，均係先將其於酸性溶液加入還元劑 (如 ferrous sulfate, metallic iron tuings or borings, metallic zinc or brass, sulfides, sulfites, sulfur dioxide 等) 將其還元成三價之鉻金屬或其化合物，最後再加入石灰或苛性鈉等鹼性物質予以沉澱而析出。

還元後之兩種流出水予以混合，再將置於鹼性溶液中，而將鉻與氰化物沉澱而去除之。若不將鉻氰兩種廢水先行分離，加以分別處理，則氰化物將在酸化含鉻廢水之酸性溶液中，將產生 HCN 之有毒氣體而污染廠區附近之空氣。

4 廢水之貯留與混和 (Equalization and mixing of wastes)

工廠所排出之廢水，其數量或污染性質，在一日二十四小時中，常非均勻一致者。例如，有時排出之廢水為酸性廢水，有時卻為鹼性廢水；有些廢水含有還元物質，而有些廢水卻含有氧化物質。在此種情況下，常可將性質恰好相反之廢水，予以混合，以促進其自行中和之作用。自行中和作用 (Selfneutralization) 之應用，常可大量減少，甚或完全去除廢水中之污染物質，使廢水無需再做進一步之處理，即可直接排出廠外，而其所需者，不過僅造一容量足夠（常以工廠一日之廢水量為準）之貯留池 (Equalization basin) 即可（註七）。為求使各項廢水能充分混合，俾達到完全之反應起見，常須再加設機械攪拌器以攪拌之。攪拌器中以 diffused air aeration 者最為理想，因其不但具有優越之攪拌能力，以阻止懸浮固體物之沉澱，且可供給相當量之氧氣，而使廢水在貯留期間內，不致發生腐化作用。

除上述之自行中和作用外，廢水之貯留與攪拌，最後亦常可同時得到一流量平均，污染度穩定（亦即污染度在時間上無甚變化）之廢水，而使處理廠在操作上獲得甚大之便利。且一般言之，處理流量平均而污染度穩定之廢水，常遠較處理流量不平均且污染度不穩定之廢水為容易而有效，例如，在美國有一廢水屬於酸性之化學工廠，其廢水之酸度，隨工廠之操作狀態而變化甚大，其 pH 最低為 2.0，最高為 6.5。為節省廢水處理費用，該廠僅造一可容 24 小時廢水量之貯留池，廢水經貯留混合後，其 pH 變化之範圍已縮小至 4.5~5.5 之間，最後，該廠再將此貯留後之中等酸度廢水與隣近一產生中度鹼性廢水之工廠廢水混合，混合之廢水，pH 經平介於 6.8~7.2 之間，故無需再進行任何處理，即可直接排入附近之河川而無礙。設若該廠不設貯留池，而用化學法處理其廢水時，則當酸度甚低時，其所需用之中和藥品量當在不少。

又有一紡織加工廠⁽¹⁾，其廢水係直接排入該廠所在地之都市下水道，雖其廢水量僅佔污水處理廠總處理水量之 10%，但此污水處理廠之操作效率，卻常受到嚴重危害，究其原因，發現該紡織加工廠，所排出之廢水，其 pH 與 BOD 在一日之中，均有甚大之變化，此項 pH 與 BOD 分佈甚不平均（即時高時低）之廢水，排入污水處理廠後，雖其量僅佔總水量之十分之一，但亦常使該污水處理廠之處理效率，大受干擾。其補救之法，為在該廠造一足容一日廢水量之貯留池，經一日之貯留混合後，廢水之 pH 與 BOD，隨時間之變化情形，已大為減小，然後再排入污水廠即可無礙。

若廢水流入貯留池後，不加任何人工之攪拌混合，則貯留池可兼具有沉澱池之功用，而使廢水水中所含之各種固體物或重金屬得以沉澱而去除之。

（註七）：為避免貯留之廢水發生腐化作用，貯留時間不宜太長，通常均以一日為限；又貯留池一般均係連續流方式，如為非連續流方式，則池之數目至少應有兩個，或三個，以備隔日交替使用及清除池底沉澱物時之用。

4. 河川自淨作用能力之利用

都市污水或工業廢水排入河川之後，經一連串複雜之物理，化學，生物及生物化學等作用後，河水常可逐漸回復至其原來澄清之水質，而所有之污染物質，最後終被去除，此種河水自行淨化之過程，稱為河川之自淨作用 (Self-purification of streams) 盡量利用此項河川自淨作用之能力，以吸收廢水，應被認為係最合理而經濟之廢水排除法，而絕不可一概被指為係在污染水源。

河川自淨作用所能去除之污染形態，主要為致病菌之污染，氧氣之缺乏以及毒性物質之毒害程度等三項，茲分述如下：

1 致病菌之去除

細菌之污染，在工業廢水中並不普遍，但如廢水係與污水混合處理而排入河川時，則細菌之污染仍難避免。吾人已知，天然河川實非致病菌生存之良好環境，故致病菌一經排入河川後，不但不致繁殖，且常有逐漸減少之趨勢。至於促使河川中細菌數目減少之因素不外：

(1) 沉澱：

細菌因本身體積甚小而重量亦輕，故不易沉澱，但由於細菌尋常聚簇成塊，或者附着於大顆粒上，因此當此項大顆粒沉澱時，常可因而除去大量之細菌。

(2) 原生蟲 (Protozoa) 之活動：

河川中之原生蟲常係以細菌或成塊之固體物為其食物，故河川中原生蟲之數量如甚多時，當可去除大量之細菌。

(3) 食物之缺乏：

即使在高度污染之河川中，供給細菌生活所需之食物，仍然不如實驗室中培養基之豐富，加以廢水中所含有機物質之性質，對細菌之生長通常均不大適合，即使此種不大適合細菌生長之有機物，其量亦往往因生物化學性之微生物分解作用而逐漸被減少，因此河川中細菌之數量，常可因食物供給之缺乏而逐漸減少。

(4) 溫度

通常細菌生存之最佳溫度約在 50°C 至 60°C 之間，而河水之溫度，即使在夏天亦無法達到此項最佳之溫度。吾人須知，高溫度必須在豐富之食物供給及有利之生活環境下，始有促進細菌生長之作用，若無豐富之食物與有利之生活環境，則溫度之增加，不但不能促進細菌之生長，反而可增加其死亡率。因此在夏天，河川中細菌之減少量，往往比冬天時為多，即係此故。

(5) 陽光

陽光具有殺菌之作用，係無可否認之事實。然而，因紫外線在清澈水中之穿透力已甚小，遑論均污濁之廢水中，故此項因素在河川之自淨作中並不重要。

2 溶解氧之補給

河川中之溶解氧，常因某些化學物品或有機性廢水之排入而被減少，此係由於有機物質在化學與細菌作用之過程中，往往需消耗大量氧氣之故，當河水中之溶解氧量，降低至飽和

度以下時，水表面即開始由空氣中吸收氧氣而加以補充溶解氧之不足，但此種氧氣補充之速度，卻遠較其消耗之速度為慢，且與其飽和度之不足量 (Saturation deficit) 成正比。雖然空氣可無限供給氧氣於河水中，但河水所能吸收或溶解之氧氣，卻有其限度。例如，純水在0°C時，所能溶解之氧氣最多不過約 14 ppm，如溫度升至 30°C時，則其溶解氧之飽和度，將僅剩約 7 ppm 左右。因此吾人可知，水中氧氣之溶解度，主要係隨溫度而變，且與溫度成反比。雖則其他因素如 pH 值，溶解性鹽類，鹽分 (Salinity) 以及大氣壓力等因素，對氧氣在水中之溶解度，均有影響，但因其影響甚微，常可不予計。按氧氣溶解於未飽和水之水面，為瞬時性之作用者，在靜水之狀態下，此種氧氣在水中之傳送，係僅靠其在水中之擴散作用而行之，由於此項擴散作用之速度，甚為緩慢，故在靜水中再氣化 (Reaeration) 作用 (即前述氧氣之重新補給) 亦甚為緩慢。此項緩慢之擴散速率，常可由風力，水之流速，熱流 (Thermal currents) 及河床之坡度與粗糙度 (Roughness) 等因素而增加之。

通常河川中氧氣補給之來源不外下列六項：

- (1)由於支流河水中，所含之溶解氧而補充者；
- (2)由於急流水花及瀑布式水花，所產生之氣化作用而補充者；
- (3)由於風力吹動水面，所產生之氣化作用而補給者；
- (4)由於靜止狀態中，由空氣中吸收之氧氣而補充者；
- (5)由於微生物在分解過程中，所產生之氧氣而補充者；
- (6)由於藻類或其他水生植物，在進行光合作用時，放出之氧氣而補充者。

由上可知，一被污染之河川，其河水中之溶解氧量，常可隨水流時間及水流距離之增加而獲得補充之，而使其逐漸回復至其在被污染前所含有之溶解氧量，此項作用稱為再氧化作用 (Reoxygenation) 或前述之再氣化作用 (Reaeration)，係河川自淨作用中，甚為重要之一環。

至於一被污染之河川，其河水再氧化之時間與距離，則隨上列六項作用程度之不同而異，一般言之，上列之六項作用愈激烈，其再氧化係數 (Coefficient of reoxygenation) 必愈大，故其再氧化所需之時間與距離必愈短。

下表 (表8-1) 所列者，係在各種不同之水流情況下，其再氧化係數之值。

表 8-1 各種不同水流情況之再氧化係數值

水 流 情 況	再氧化係數 (20°C)
小池塘及靜水塘	0.05~0.10
慢流之河流及大湖	0.10~0.15
低流速之大河	0.15~0.20
中等流速之大河	0.20~0.30
快速流動之河流	0.30~0.50
湍流及瀑布	大於 0.50

河川之河水經再氧化作用後，其微生物之生物化學分解作用，及河川所含還元物質之化學氧化作用，將隨之加速進行，因而使河水中之污染性質，如 BOD 及 COD 等亦隨之逐漸降低，而達自然淨化河水之目的。

3. 稀釋之能力

稀釋通常亦被認為係河川自淨作用中之一環。所謂稀釋者，係利用河川中可資利用之流量，將工作廢水中所含污染性質之濃度，加以沖淡，因而減少其為害之程度是也。通常河川稀釋水量之代源，除主流之水量外，尚可由支流之流入及地下水之滲入而獲得增加。在河川之流量足夠時，有時僅靠稀釋之作用，即常可除去河川中，由工業廢水所排入之有毒物質。此外對某些工業廢水而言，有時稀釋法為唯一可行之處理方法。如由油田所排出之鹽水 (Brine)，其化學性質至為穩定，幾乎對任何一種之化學或生物作用均不能感受，故化學處理或生物處理，對鹽水而言，實無任何效果可言，在此種情況下，只有採用稀釋一途，以緩和其致害性。因河川之稀釋作用，係全賴河川中之水量以行之，故工廠在乾季河川之稀釋能力不夠時，如欲將其廢水排入河川時，則應將其廢水在廠內先作適當之處理後，方可將其排入河川，以免產生嚴重之污染。至於處理之程度，係視河川流量之多寡而定，其原則為盡量利用河水之稀釋能力，然後始將稀釋法無法吸收之污染物質，再在廠內處理程序中，予以去除之。因廠內處理之費用，在某些情況下，常甚為高昂，故有些工廠為求減低處理成本，索性不設廠內之處理廠，而在乾季河川稀釋能力不夠時，即將其廢水儲存於另設之池塘 (Lagoon) 中，俟河川有足夠之流量，以資稀釋時，再行排入河中，此法在地價低廉處為一甚為經濟而可行之廢水處分法，值得加以提倡。又如能在此儲存廢水之池塘中，再加以人工之曝氣，使其廢水中之污染物質，更趨穩定，則當更可提高其流出水之水質，而緩和其污染河川之程度。

參 考 文 獻

1. Nemerow, N.L., Theories and Practices of Industrial Waste Treatment, Addison-Wesley Pub. Co., (1963).
2. Gurnham, C. F., Principles of Industrial Waste Treatment. John Wiley & Sons, Inc., (1955).
3. Gurnham, C. F. (Editor), Industrial Wastewater Control, Academic Press, Inc., (1965).
4. Wolman, A., "Industrial Water Supply from Processed Sewage Treatment Plant Effluent at Baltimore, Maryland," Sewage Works Jour., 20, 1, 15 (Jan. 1948).
5. Rudolfs, W. (Editor), Industrial Wastes, Their Disposal and Treatment, Reinhold Pub. Co., (1953).

6. Besselièvre, E. B., Industrial Waste Treatment, Mc Graw-Hill Book Co., (1952).
7. Babbit, H. E. and Baumann, E. R., Sewerage and Sewage Treatment, John Wiley & Sons, Inc. 8th edition, p. 379 (1958).
8. McKee, J. E. and Wolf, H.W., Water Quality Criteria, California State Water Quality Control Board, 2nd edition (1963).
9. Fair, C. M., Geyer, J. C. and Okun, D. A., Water and Wastewater Engineering, Vol. 2, Chap. 33 (1968).