

簡介 API, PPI, CPI 除油設備

劉 恒 昌*

一、前 言

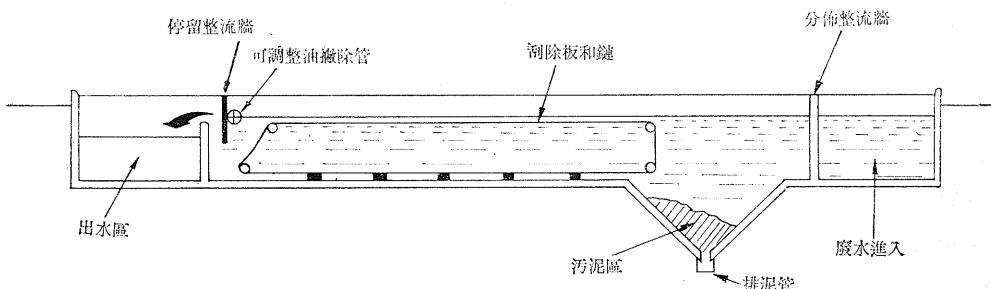
本文旨在介紹三種利用重力式分離浮油 (free oil) 的設備：美國石油協會之重力式分離器 (API American Petroleum Institute)、平板平行傾斜板 (PPI, Parallel Plate Interceptor)、浪板平行傾斜板 (CPI, Corrugated Plate Interceptor)。此三種設備主要在處理礦物油 (Mineral-oil)，尤其是煉油廠的浮油廢水。

油在廢水中存在之形式，最簡單可分為浮油 (free oil) 及乳化油 (emulsion) 兩種，浮油之處理較簡單，一般可用重力分離式或浮除法⁽¹⁾ (flootation)。而重力分離式也僅能用來處理浮油⁽²⁾⁽³⁾，若為乳化油，則重力分離式的效果不好⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾，因此重力分離式僅能當做是一種預處理⁽³⁾，其功用僅在節省後面處理單元之費用及負荷而已。例如，以空氣浮除法處理含油廢水，重力分離式可以節省浮除法中所需之空氣量及化學藥品之加藥量⁽⁶⁾。

二、構 造 與 功 能

以重力分離式處理浮油已有多年之歷史，但經改良而頗具效果的重力分離式却是近二十年的事。

早在1929年美國石油協會 (American Petroleum Institute) 即著手於油污染之工作⁽⁷⁾，於1930年出了第一版 “Manual on Disposal of Refinery Wastes” 一書⁽²⁾，且一直有新版問世⁽⁸⁾。其中提到處理浮油之方法是採用重力式，根據比重差 (Gravity Differential) 的原理，將油、懸浮固體物 (S.S.)、水分離，其影響去除率的因素中，溢流率為最重要。池中除整流牆 (Baffle)，刮除設備 (Skimming Devices) 外，無其他主要設備，水流方向為水平流，因這種方法是美國石油協會提出，故將此種設備命名為 API，其縱斷面圖如圖一。API 對油粒徑大於 150μ 者可完全去除⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾。

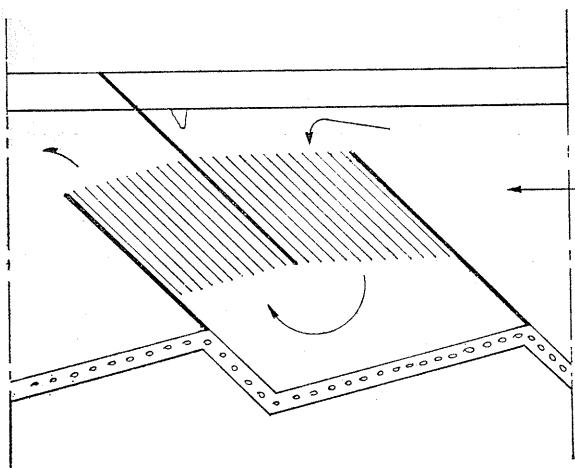


圖一、API 之縱斷面圖

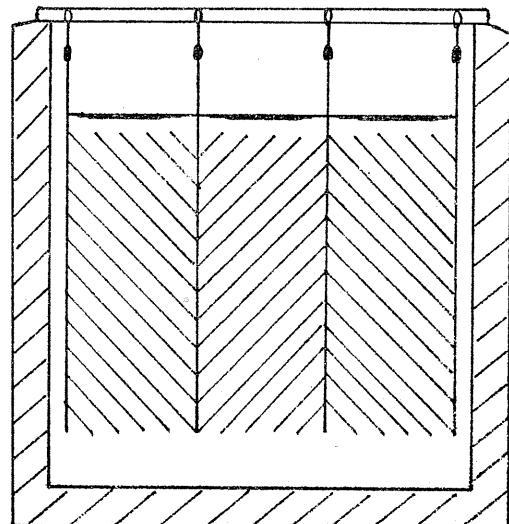
* 中興顧問社工程師

由於 API 對較小油粒徑的去除效果不好，所以 Brunsmann Cornelissen 和 Eilers 在 1962 年研究發展出平板平行傾斜板 (PPI)⁽¹⁰⁾，他們認為在 API 中，影響去除率的因素既以溢流率最為重要，於是從減少溢流率著手改進，將平行斜板加入 API 中，增加表面積（增加的是板的水平投影面積和）。如此，不僅可增加表面積，且廢水經過斜板間時會造成水力磨擦，提高了分佈 (Distribution) 效果，可省去入口處特殊的分佈設備，且因水力半徑比 API 的水力半徑小很多，所以雷諾數 (Reynold Number) 與福祿數 (Froude Number) 下降，減少了亂流及短流的程度⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾。

Brunsmann 等人所提出的 PPI 有兩種系統 (System)：A 系統 (System A)，又稱為橫向板 (Transverse Plates)，如圖二，與 B 系統 (System B)，又稱為縱向板 (Longitudinal Plates)，如圖三。



圖二 A 系統的縱斷面圖



圖三 B 系統的橫斷面圖

A 系統是由一組或多組板所組成，與池的長方向夾 45° 角，板與板間的距離為 1" (2.54 cm)，水流之方向被組與組間之延長板 (Extended Baffle) 所控制，而做上下之流動，斜板固定於池底。

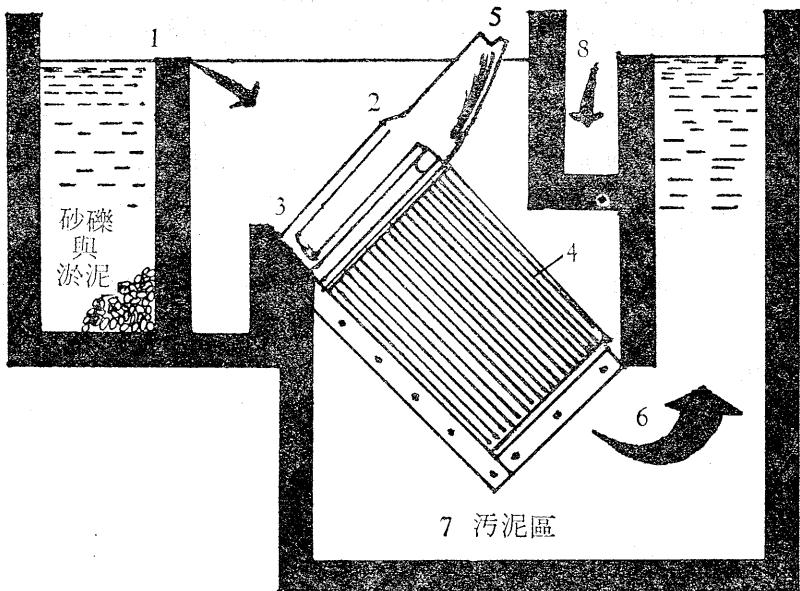
B 系統是由一組平行於池長方向的板組成，板與水平夾 45° 角，板間距為 4" (10 cm)，水流方向不變，為水平流，板清洗時可以拿起來。

PPI 中，油上升聚集在板的下面 (Underneath)，然後順著斜板往上升且一路形成較大的油粒而達水面，再以撇除設備將之去除，比重大於水的物質聚集在板的上面 (Top of The Plate)，而順著斜板往下滑到池底被去除。

A 系統與 B 系統的油去除率差不多⁽¹¹⁾，對油粒徑大於 90μ 者皆可去除， $60\mu \sim 90\mu$ 之油粒徑去除率約為 93%， $30 \sim 60\mu$ 之油粒徑去除率約為 80%⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

在 PPI 發展出後沒多久，Gray 在 1970 年，Farrell 和 Gray 在 1972 年繼續發表了浪板平行傾斜板 (CPI)⁽¹²⁾⁽¹³⁾，其剖面圖如圖四。

1. 可調整堰
 2. 分佈整流牆
 3. 上方導水設備
 4. 浪板傾斜板
 5. 油撇除設備
 6. 下方導水設備
 7. 污泥區
 8. 出水區
- 砂礫與淤泥



圖四 CPI 之剖面圖

CPI 是根據 PPI 做了一些改良，僅是將 PPI 中之平板換成浪板而已，其板與水平夾 45° 角。水流為向下流，含油廢水進入處理單元後，首先從可調整堰 1 溢流，通過分佈整流牆 2，然後從導水設備 3 進入浪板 4，其中導水設備 (gutter) 是在防止已被分離油的再進入 (re-entrainment) 現象，被分離的油經過一個寧靜區而到達撇除設備 5，比重大於水的物質通過下面之導水設備 6 而到達污泥區 7，處理過的水從出水區 8 流出。

CPI 優點為增大安置之彈性，節省了安置費用⁽¹¹⁾，及增大接觸表面積⁽⁹⁾。對油粒徑之去除，大於 60μ 之油粒徑可完全去除， $20\mu \sim 40\mu$ 之油粒徑去除率為 91%， $0 \sim 20\mu$ 之油粒徑去除率為 63%⁽⁹⁾。

三、原 理

(→) Stoke's Law

以重力分離式來處理浮油廢水，不僅可除去浮油，亦可兼除懸浮固體物 (S.S.)，其理論主要是根據油，S.S. 與所在介質（大多為水）之比重差，比重差愈大時，油或 S.S. 與水愈易分離，油上升（或 S.S. 下降）之速度也愈快，此間所提到的理論是 Stoke's Law.

一顆粒在一靜止的液體中自由的移動，最主要是靠重力，當它上升或下降的阻力與它在液體中之重量相等時，其上升或下降之速度會成為一定值，也就是說加速度因阻力之關係，而最後成為零，此時之速度稱為終端速度 (Terminal Velocity)。

本研究所討論為比重小於水的顆粒（如：油）之終端速度，至於比重大於水的顆粒（如：S.S.），祇要 S.S. 與水的比重差等於油與水的比重差時，S.S. 的沉降速度應與油的上升速度，大小相等，方向相反。

油在水中所受阻力的一般公式 (General Equation)，首先由 Newton 提出⁽¹⁰⁾。

$$D_f = CA \left(\frac{\rho_w V^2}{2} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

其中 D_f ：油粒在水中所受之阻力，達因 (Dynes)。

C : 牽引係數 (Coefficient of drag), 無因次。

A : 油粒之投影面積, cm^2

ρ_w : 水密度, g/cm³

V：油粒在水中之終端速度，cm/sec.

而油在水中之重量爲：

$$W = \left(\frac{\pi D^3}{6} \right) (\rho_w - \rho_o) g \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

其中 W ：油粒在水中之重量，達因 (Dynes)

D : 油粒直徑, cm.

ρ_o : 油粒密度, g/cm³.

g : 重力加速度, 981 cm/sec^2 .

(1)式與(2)式相等，所以

又設油粒爲一球體，所以

將(4)式代入(3)式，得

將(6)式代入(5)式，可得到油粒之上升速度

其中 μ : 水之 粘滯性, g/cm²·sec. (Poise)

(7)式即爲 Stoke's Law.

吾人計算油粒在水中之上升速度即依 Stoke's Law，但須 $Re < 0.5$ 。

(一) PPI 及 CPI 的原理：

PPI 及 CPI 的原理除了 Stoke's Law 外，尚有有關傾斜板之原理，其導源於 A.E. Boycott 發現的傾斜板沈澱池原理，他發現試驗管由之血液，如把管傾斜，則可加快紅血球之沉降速度⁽¹⁵⁾。

水深H之分離池，油粒上升到池面所需之時間為 $\frac{H}{V}$ ，V為油粒上升速度，設置有傾斜板時

，上升距離減為 h ，理想情況下，上升效率可增加 $\frac{H}{h}$ 倍，設置傾斜板可減短上升距離，增加有效池表面積，減低溢流率。換句話說，即相對提高了油粒的上升速度，這是設置傾斜板之原理所在。

(三) 傾斜板之角度問題：

當板為水平時，油粒上升接觸到板的下面 (Underneath) 後，會以平衡之接觸角 (Contact Angle) 呈停止狀態不動，但當板傾斜時，浮力將作用在油粒上，當傾斜角度夠時，浮力將克服油粒在板上之粘附力而使油粒上升⁽⁷⁾。這就是板不採用水平放置的原因。至於傾斜之角度，Thipsnwan 在1976年提出的研究，顯示 45° 時，效果最好⁽⁹⁾。而一般也都採用 45° 角⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

四、影響油去除率的因素

影響油去除率之因素有：溢流率 (Overflow Rate)，入流油濃度，pH 及溫度，其中溢流率及入流油濃度為設計分離池之依據，而 pH 及溫度的效應主要在提高出水水質，使出流油濃度降低。

(一) 一般油去除率隨溢流率之增加而減少：

溢流率愈大，在池表面積固定下，亦即表示流量愈大，則理論停留時間愈短，而入流油濃度固定，則油粒上升之速度亦固定，即上升之時間固定。上升所需時間小於理論停留時間之油粒可被去除，當理論停留時間變小時，油粒上升時間小於理論停留時間之機會變小，被去除之機會也變小，因此在溢流率愈大時，油去除率愈小。

(二) 一般油去除率隨入流油濃度之增加而增加：

當入流油濃度增加時，油粒聚合之機會增大，而使油粒變大，加快了上升速度，因而增加了油去除率。

(三) 一般油去除率隨含大顆粒之油粒增加而增加：

當入流油濃度相同時，含大顆粒之油粒多者，其上升速度快，因此去除率會增加。

(四) 一般去除率在 pH 為中性 (pH=6.5~7.5) 時最低，當 pH 愈低或 pH 愈高時，油去除率亦愈高：

但在 pH>9 時，水呈淡黃色，輕微混濁，形成 OH⁻ 污泥 (Hydroxide sludge)，不易沉澱，所以 pH 在極低 (pH≈1) 時與 pH 在極高 (pH≈12) 時之情形下，對油之去除率，前者高於後者。

(五) 一般油去除率隨溫度之上升而增加：

當溫度增加時，會破壞圍在油粒四周的膜 (film)，減少了油的比重，油粒與水之比重差增大，加快了上升速度，所以油去除率也隨之上升。

從另一角度看，當溫度升高時，水的粘滯性 (viscosity) 會下降，這也增加了油的上升速度

(Stoke's law)，增加了油之去除率，但水之粘滯性下降時，會產生較高的雷諾數 (Reynold Number)，不過由於 PPI 與 CPI 有斜板的功用，因此仍能維持在層流 (Laminar flow) 狀態下。換言之，在 API 中因溫度之上升而增加之去除率有限，而 PPI 與 CPI 有顯著之增加。

一般若要使油去除率有顯著的增加，溫度應控制在 40°C 以上。

(六) 一般上升之浮油，其溢流量對去除率無影響：

因此浮上的油可以不必馬上溢流（溢流量為零），等到達一厚度時再將之溢流或刮除，如此得到的回收浮油亦較純。

(七) 加入 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 混凝劑後對油去除無助益：

加入 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 或 FeCl_3 後，油粒徑雖會增大，從油粒徑愈大，上升速度愈快的觀點來看是有利的，但却會造成很高的濁度。加入 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 後所形成之膠羽 (floc) 小且分散，因而大大影響了油上升速度，以致於油去除率有時反而比不加混凝劑者差。加入 FeCl_3 後，所形成之膠羽大且結實，沉降速度快，油粒的上升速度雖會受影響，但大部分被膠羽帶下，而不浮上，因此油去除率比不加混凝劑者略高。

所以以 PPI 或 CPI 來處理浮油廢水，於其前面加入混凝劑是一不智之舉，若加了混凝劑，則後面之處理單元應改為空氣浮除法 (Air Flotation)。

五、API, PPI, CPI 之比較

(一) 去除率方面：

API 效果最差，PPI 與 CPI 因加了斜板，所以效果大增，PPI 或 CPI 在油去除率上約比 API 高出 30~50%。在溢流率相同之情況上，PPI 及 CPI 的油去除率相近（因 CPI 的浪板僅增加接觸表面積，並不增加水平投影面積，平板與浪板尺寸一樣時，其水平投影面積是一樣的，即溢流率一樣）。

(二) 佔地方面：

同樣的表面積，API 的溢流率比 PPI, CPI 大，因為 PPI, CPI 加有斜板，增加表面積之故。所以若要得到相同之溢流率（可說成去除率），則 API 所需之用地面積最大，PPI 與 CPI 較小。

PPI 在安裝上因板是一塊接一塊排列，緊而密，而 CPI 在安裝上皆為獨立之單元（多為一組板為一單元），因此在佔地面積上，PPI 比 CPI 略小。CPI 在安排上較不受地形限制，較具彈性，而 PPI 在安排上須在一長直線上，較不具彈性，所以在分期擴建之計劃上，以 CPI 為宜。但若地形為狹長形時，以 PPI 為宜。

六、結語

(一) 因為對油去除率，PPI, CPI 比 API 多出約 30~50%，又 API 通常所需之面積大，所以 API 已漸漸被淘汰掉。

- (2) 因為油粒徑的大小對油去除率有很大的影響，所以設計 PPI 或 CPI 時，除了要考慮溢流率外，應對欲處理之浮油廢水做粒徑觀察，以供為設計參考之用。
- (3) 實地建廠操作時，入流水以重力式者為佳，不要使用抽水機⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽¹¹⁾⁽¹⁴⁾，以免產生油之乳化現象，減低 PPI 或 CPI 之處理效用，若要用抽水機，則應儘量使用剪力低的抽水機，如 (Positive Displacement Pump)⁽⁵⁾⁽⁶⁾，如以重力式流入時，廢水於管中之速度不可大於 3 ft/sec⁽¹¹⁾。
- (4) PPI 或 CPI 之池深愈深愈好，因板可較長，增加有效池表面積，一般池寬與池深比為 1 : 2⁽¹⁸⁾，而 API 一般池寬與池深比為 (2 ~ 3.3) : 1⁽⁸⁾。
- (5) 以 PPI 或 CPI 處理後之出流油濃度一般仍不能達到排放標準，若欲達到標準，須更進一步處理，PPI 或 CPI 一般僅能做為一種預處理⁽⁸⁾，其後面可加上其他單元，以提高出水水質，其他單元有下列幾種⁽¹²⁾。

- (A) 砂濾 (Sand Filter)。
- (B) 乾草過濾 (Hay Filter)。
- (C) 聚合床 (Coalescing Bed)。
- (D) 真空預附過濾 (Vaccum Pre-coat Filter)。
- (E) 化學混凝、膠凝、沈澱、過濾。

(6) 分離之浮油，其回收方式是先將之刮除到 PPI 池或 CPI 池旁之一個儲存槽及分離油與水之設備，然後將得到之純油送回製造程序中，水則排入 PPI 或 CPI 中再處理。

刮除浮油之設備有⁽¹⁶⁾：

- (A) 可旋轉有細溝的管 (Rotatable Slitted Pipe)。
- (B) 旋轉滾輪 (Revolving Roll)。
- (C) 轉動帶 (Belt)。
- (D) 刮除板 (Flight Scrapers)。
- (E) 浮水式抽水機 (Floating Pump)。

其中 (A)、(E) 所回收之油中含水量達 80% ~ 90%，(B)、(C) 所回收之油中含水量為 5% ~ 10%，用浮水式抽水機抽浮油會增加分離純油與水之困難，因此通常僅用於大量浮油（可處理 500 加侖／分）時。

刮除掉之浮油中含有水份，不能送回製造程序中再使用，所以將之先導入第一個坑 (pit)，使油浮上，流到第二個坑後再送到儲存槽做進一步的回收⁽¹¹⁾，而第一個坑中的水可流回 PPI 或 CPI 中處理，儲存槽一般可用加熱法使油更易上浮，然後將上浮的油以抽水機抽送到製造程序中再使用⁽¹⁷⁾。

也有將刮除掉之浮油送到池旁之分離設備，以離心方式，利用油、水比重差之原理將油、水分開⁽¹⁸⁾，然後將分開之純油抽到製造程序中再使用。

參 考 資 料

- (1) 高肇藩「水污染防治」p. 13-128。
- (2) H. F. Elkin & W. E. Soden., "Gravity Separation of Oil". Sewage and Industrial Wastes, 26, 7, p. 854, July (1954).
- (3) Mriganka M. Ghosh and William P. Brown., "Oil Removal by Carbon-Metal Granular Beds." Jour. WPCF, 47, 8, p. 2101 (1975).
- (4) Willem Rudolfs., "Industrial Wastes." Reinhold Publishing Corporation, p. 429 (1954).
- (5) R. N. Giles, F. W. Scheineman, C. T. Nicholson, and R. J. Austin., "Industrial Wastes." Sewage and Industrial Wastes, 23, 3, p. 281, March (1951).
- (6) Richard B. Tabakin, Richard Trattner & Paul N. Cheremisinoff, "Oil/Water Separation Technology: The Options Available Part 2." Water & Sewage Works, p. 72, August (1978).
- (7) Robert E. Sparks and I. D. Stafford., "Continuous Breaking of Emulsions by Coalescence on Supported Liquid Films. Proceedings of the 25th Industrial Waste Conference, Part 2, Purdue University, May 5, 6, and 7 (1970).
- (8) American Petroleum Institute., "Manual of Disposal Refinery Wastes." p. 5-3 (1969).
- (9) N. C. Thank & Thipsuwan., "Oil Separation from Oily Wastewater by Inclined Plates." Asian Institute of Technology, p. 553, 21-25 Feb. (1978).
- (10) J. J. Brunsmann, J. Cornelissen, and H. Eilers., "Improved Oil Separation in Gravity Separators." Jour. WPCF, 14, 1, p. 44 (1962).
- (11) A. W. W. Kirby, B. A., B. Sc., "The Separation of Petroleum Oils from Aqueous Effluent." The Chem. Eng. CE 76, April (1964).
- (12) T. W. Gray., "Oil-Water Separation in Pollution Control." Effluent and Water Treatment Jour., p. 207, April (1970).
- (13) F. C. Farrell and T. W. Gray., "The Corrugated Plate Interceptor." Effluent and Water Treatment Jour., p. 469, Sep. (1972).
- (14) Richard B. Tabakin, Richard Trattner & Paul N. Cheremisinoff, "Oil/Water Separation Technology: The Options Available Part 1." Water & Sewage Works, p. 74, July (1978).
- (15) 高肇藩「衛生工程給水篇(二)」p. 394。
- (16) "Environmental Engineer's Handbook." Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania. Vol. 1: Water Pollution, p. 759-p. 762. (1974).
- (17) A. A. Wigren and F. C. Burton., "Refinery Waste water Control." Jour. WPCF 44, 1, P. 117 (1972).
- (18) J. S. Franklin, MIM ech E, M. Inst. WPC., "Oil Reclamation-an Assessment of Current Techniques." Effluent and Water Treatment Jour., p. 665, Oct. (1973).