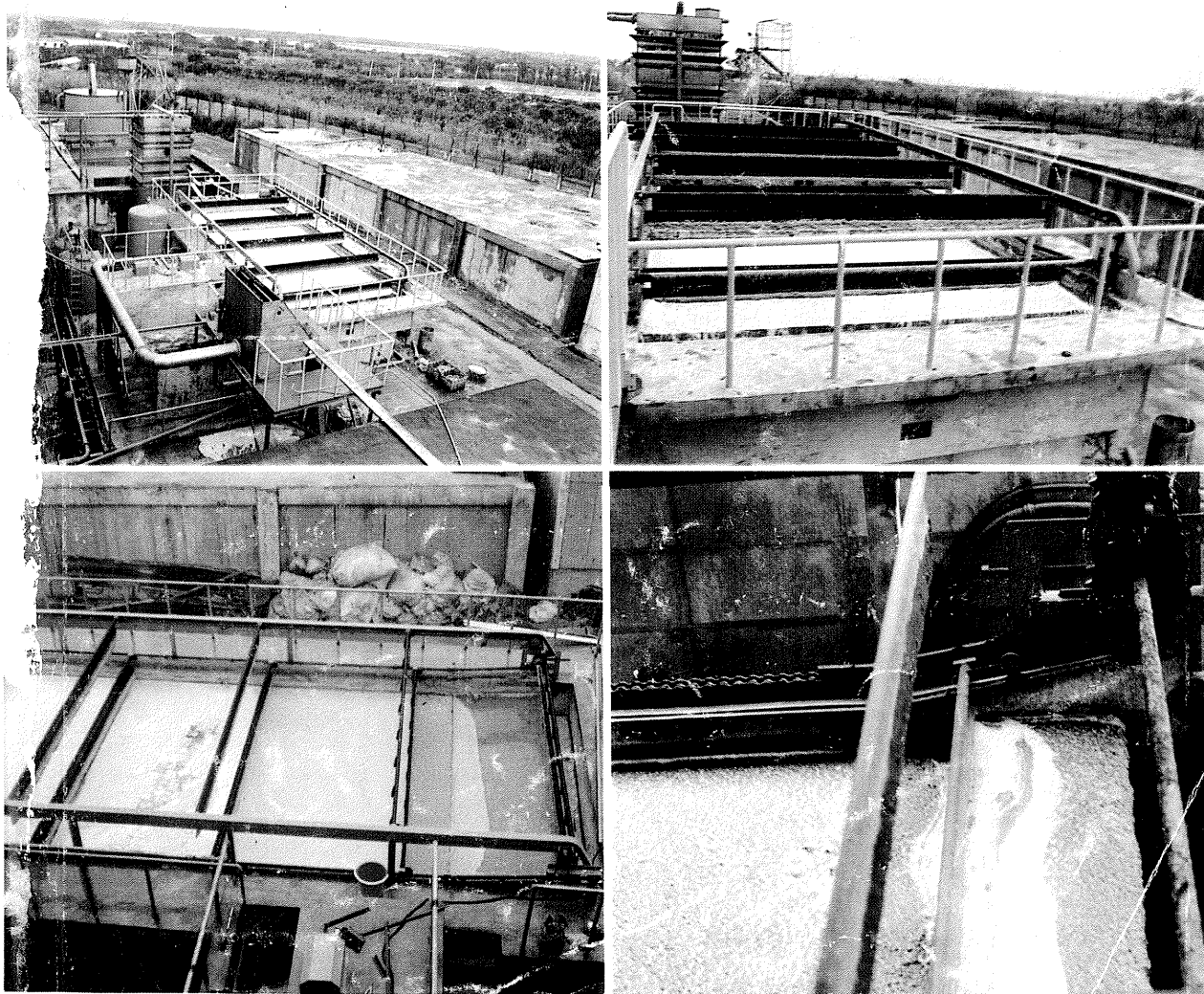


# 工業污染防治

光隆羽毛廠3,000CMD加壓浮上分離法處理場全景



經濟部

工業污染防治技術輔導小組編印

9

中華民國七十三年一月

# 「工業污染防治」

第九期

中華民國七十三年一月出版

出版者：經濟部工業污染防治技術輔導小組

發行人：徐兼召集人國安

主編：林兼執行秘書家雄

編輯委員：朱德熙、李公哲、李俊德、胡世昌、徐永錢、陳秋楊、

梁文傑、曾聰智、黃金旺、張柏成、鄭福田、歐陽嶠暉

助編人員：林志森、吳興渝、楊義榮、林宏端、黃振隆

地址：臺北市漢口街一段一〇九號

電話：(02) 311—4638 (02)312—2262轉42

行政院新聞局出版事業登記證  
局版臺誌第三一四七號

## 徵稿說明

- 1.本刊對有關污染防治之報告，技術新知等稿件均極歡迎，詳細徵稿內容附於底頁，來稿如係外文稿件請附中文摘要，內容中如有專業名詞請附註英文名稱，一經錄用酌酬稿費，茲為宣導工業污染防治作業，改善工業環境，請踴躍賜稿。
- 2.來稿請附真實姓名，服務或任教單位，以示稿源及對讀者負責。
- 3.引用文獻請按作者、題目名稱、文章、頁數、發刊年份等之順序書寫。如為參考書籍，請註明作者、書名、出版單位或書局名稱、頁數、發刊年份以便讀者可進一步研考。
- 4.投稿請寄臺北市漢口街一段一〇九號，經濟部工業污染防治技術輔導小組收。凡需詢問本刊有關事宜，請電 (02) 311—4638

# 目 錄

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 目錄                    | 1  |
| 環境保護                  | 1  |
| 工業局對工業污染防治所採措施及今後努力方向 | 1  |
| 環境保護莫遲疑               | 9  |
| 噪音與無線電頻率輻射對心臟血管系統之影響  | 26 |
| 酸雨研究報導                | 29 |
| 空氣中的懸浮微粒與落塵量之關係       | 43 |
| 利用海埔地做為垃圾掩埋場應考慮事項     | 53 |

|                       |         |    |
|-----------------------|---------|----|
| 工業局對工業污染防治所採措施及今後努力方向 | 林家雄     | 1  |
| 環境保護莫遲疑               | 王若葦     | 9  |
| 噪音與無線電頻率輻射對心臟血管系統之影響  | 吳聰能     | 26 |
| 酸雨研究報導                | 陳錫金、李春齡 | 29 |
| 空氣中的懸浮微粒與落塵量之關係       | 張柏成     | 43 |
| 利用海埔地做為垃圾掩埋場應考慮事項     | 林秋國     | 53 |

## 污 染 防 治 技 術

### 廠 內 改 善

|                 |     |    |
|-----------------|-----|----|
| 酸性絮灰之生成機構及其防制方法 | 詹玉勳 | 55 |
|-----------------|-----|----|

### 處 理 技 術

|                   |         |     |
|-------------------|---------|-----|
| 空氣污染防治技術(九)——臭味問題 | 鄭福田     | 59  |
| 工業廢水處理技術(九)       | 李公哲     | 65  |
| 日本橫濱市特定廢棄物的處分     | 李清岳、王若葦 | 68  |
| 以厭氣生物技術處理工業廢水     | 李志源     | 80  |
| 氯化物電鍍廢水處理之探討      | 薛少俊     | 101 |
| 活性炭之生物再生作用探討      | 黃振隆     | 113 |

### 工 程 實 務

|                   |         |     |
|-------------------|---------|-----|
| 污水處理廠設備之起動運轉作業(續) | 張訓中     | 122 |
| 加壓浮上分離法處理廢水運轉報告   | 薛良坪、林澤洲 | 135 |

### 操 作 管 理

|               |      |     |
|---------------|------|-----|
| ✓廢水處理廠操作管理(五) | 歐陽嶠暉 | 138 |
| 廢水取樣須知        | 曾聰智  | 149 |

## 工業廢水、廢氣處理輔導申請表格

# 環境保護

## 工業局對工業污染防治所採措施及今後努力方向

林家雄\*

近年來，隨着工業之快速發展，工業污染問題日見嚴重，工業污染防治工作亦日愈重要，爲期工業發展之成果，不爲工業污染所腐蝕，本局基於工業輔導立場，依據(一)工業發展必須兼顧環境保護，(二)污染防治必須事先防患重於事後補救，(三)從廠內改善，提高資源利用及副產品回收控制污染源，(四)管制取締需配合輔導嚴格執行等四項之基本指導原則，積極推動辦理各項工業污染防治工作，使污染減輕至最低限度或不致發生污染爲目標，茲將辦理各項工業污染防治重要措施分述如后：

### 壹、關於污染管制方面

#### 一、嚴重污染性工業：禁止或限制設廠；

##### (一)禁止新設或擴建：

- 1.水銀法碱氣工廠：六十三年十月十八日起公告禁止該類工廠新設及擴建；舊廠則必須建立「密閉系統」處理技術，設置水銀回收設備，逐年降低水銀損耗量。復於六十八年再規定至八十年必須將水銀電解槽全面廢止，最近經邀業者共同會同決定加速提前於七十七年底全部淘汰廢止。
- 2.五氯酚（PCP）及其鹽類（如五氯酚鈉）農藥工廠，七十二年十月十八日公告禁止該類工廠新設或擴建，原有舊廠一律同時停止生產。

##### (二)限制設廠：（有條件限制者）

- 1.紙漿工廠：六十八年三月十二日起公告，新設或擴建工廠應設置廢液回收設備，且不得在自來水水源上游建廠。
- 2.農藥工廠：農藥原體製造廠，新設或擴建必須設置廢液蒸餾回收設備，且不得在自來水水源上游設廠。（已於修正農藥工廠設廠標準中明訂。）
- 3.硬脂酸鎘工廠：本（七十三）年三月底起規定製造硬脂酸鎘工廠一律改採氧化鎘（CdO）爲原料，並採用較無污染之製程「融熔法」代替過去以鎘條爲原料採高污染性之「複分解法」。

#### 二、一般污染性工廠：新設或擴建；

- (一)有污染性之工廠申請新設，規定必須設置妥善污染防治設施，在完成建廠開工時，其排放污染物，須經環境保護機關查驗符合規定標準後，始發給工廠登記證，以防止新污染源之發生；對已頒證既有工廠申請變更登記時，如有可能擴大污染之虞者，比照新設工廠之規定辦理。

\*經濟部工業局第七組組長  
本小組執行秘書

(二)為加強新污染源之控制，本局研擬「加強輔導新設或擴建工廠污染防治方案」草案，並已邀請行政院衛生署環保局、省（市）環保局、省（市）建設廳局、臺灣區水處理工程工業同業公會、會員廠商及有關業者共同研討，獲致初步決議，正就各與會機關提供之書面意見彙研修正中；該草案主要構想如次：

- 1.興辦工業人於申請新設或擴建工廠，應事先提出由相關開業技師（以環境工程、化學工程……）或登記有案之水處理工程業或登記有案之空氣污染處理工程公司規劃、設計並具名負責之污染防治規劃設計書。
- 2.於建廠及試車完成，申請核發工廠登記證時，應檢具原規劃設計開業技師或其所屬水處理或空氣污染處理工程業同業公會出具已按原規劃、設計施工完竣之妥善污染防治設施完工證明文件，經查屬實後始准發給工廠登記證。

三、訂定「污染性或危險性工業類別及其設廠地點之選定」，並廣開工業區：

- (一)誘導污染性工業集中設立於工業區，並設置共同污水處理廠，俾利集中處理，共同管理，以減少污染範圍，並防止污染擴大。
- (二)目前已開發完成工業區，設有共同污水處理廠者計有十六處，施工或設計中者已達十三處，並正積極籌建同類工業專業區，設置共同污水處理廠，集中處理，以有效控制水污染之蔓延。

四、華僑及外人投資污染性工業之限制：

依據「外僑投資污染工業審核準則」嚴格審核外僑投資工業：

- (一)對嚴重污染而難以處理之工業投資案不准投資。例如部分有機染料中間體、廢金屬冶煉等工業。
- (二)對一般性污染工業，則規定應預先規劃設置妥善防治污染設施，並嚴加審核，以防止「公害輸入」。

## 貳、關於輔導改善方面

一、從廠內改善，提高資源有效利用及副產品回收以控制污染源：一般而言，工廠排放之污染物，多屬原料、半製品、產品、水資源或能源等有價資源，與其在排放口安裝污染處理設備，支付費用來處理有價資源之流失，造成雙重損失，不如先從廠內改善，加強生產管理，改變生產方法或製造程序，提高資源有效利用，或回收有價資源避免流失，減少損失，非但可解決污染問題，復可節省污染防治設備之投資與操作維護費用，以減輕損耗，降低生產成本。

(一)協助輔導改採無污染或低污染性之生產方法或製造程序：

- 1.金屬表面處理：以密閉式「噴砂」方式處理金屬表面代替傳統式高污染性之「酸洗作業」，現計有金榮鋼鐵公司等六家採用「噴砂」方式，成效甚佳，已無廢水排放。
- 2.碱氯工廠：改採非水銀法之「離子薄膜電槽」代替污染性之「水銀電解槽」，解決水銀排放問題，目前已有臺塑仁武廠，積極辦理汰舊更新中。
- 3.電鍍工廠：以「自動連續式電鍍」代替傳統式高廢水量之「手工逐匹電鍍法」；以「無

「氰電鍍法」代替排放氰化物污染之「氰溶電鍍法」，現已採用自動連續式電鍍者計有三陽公司等十餘家工廠。

4.紙廠：以「廢紙」代替「木材、蔗渣、稻草」為原料造紙，停止「煮漿」作業，不但減輕造紙成本，而且減輕污染源廢水部份約95%以上，現國內造紙工廠90%以上已停止煮漿。

5.水泥及電石工廠：以新型「密閉式」生產方法代替傳統式污染性之「半密閉式」。

6.羊毛洗滌工廠：利用有機溶劑以「乾洗」代替傳統高污染性之「水洗」、「鹼洗」作業，溶劑回收再循環利用，不但完全無廢水排放，且可回收有價值之羊毛脂等副產品，現有利華羊毛工廠已完成安裝試車。

7.麵粉工廠：以「氣流式」乾洗小麥代替「水洗」不但無廢水，尚可提高產品品質。

8.濕式作業過程，利用逆流清洗法 (Counter Current) 不但節省用水量，尚可減少廢水排放量，依據清洗程度及逆流方式之不同，可節省廢水量約在50%至95%之間，例如紙漿之洗滌、羊毛洗滌、金屬製品經表面處理後之洗滌、皮革作業之逐匹洗滌及食品業之洗滌等。

9.硬脂酸鎘：以氧化鎘 (CdO) 為原料，採用無廢水製程之「熔融法」代替以鎘條為原料之高污染性「複分解法」，以解決廢水污染問題。

10.廢電線電纜：以粉碎剝離及氣流分離法代替露天燃燒，避免造成空氣污染。

(二)協助輔導設置有價資源回收設備，減少資源流失並防止污染之發生：

1.水銀電解槽鹼氯工廠：舊有水銀電解槽鹼氯工廠規定必須設置「密閉系統」處理技術，設置水銀回收設備，逐年降低水銀損耗量，六十八年起進一步全面限制水銀進口量，目前全省鹼氯工廠，水銀單位損耗量已由管制前生產每噸燒鹼 (100% NaOH) 損耗450公克降至30公克，雖無法徹底防治水銀污染，但已有效控制並降低水銀之污染源排放量。

2.紙漿工廠：積極督導紙漿工廠設置廢液回收設備，回收化學原料並節省能源，目前已有五家工廠設置完成，平均以2億元投資廢液回收設備計算，約二年內收回投資成本，經濟效益甚高。

3.電鍍工廠：協助電鍍工廠設置鉻酸液或重金屬回收設備，其回收率高達98%其投資額估計約需一年可以回收。

4.合成皮工廠：濕式合成皮工廠設置回收「二甲基甲醯胺」(DMF) 設備，目前已有三芳化學、南亞塑膠公司完成設施，尚有普大興業公司及雅藝公司等二家正在設置中。DMF回收率可達99%，回收 DMF 純度高達99.97%，回收之 DMF 可再使用，經濟效益甚高。

例如三芳化學公司以月產50萬碼，濕式柔麗塑膠皮，設置每小時處理5噸(含10% DMF) 之廢水，每月可回收純 DMF 平均約240噸，每噸暫按新臺幣4萬元計算，可獲得960萬元扣除回收設備投資之利息，折舊及操作，維護費用，估計每月淨利約240萬元，以總投資額約新臺幣8,000萬元計，約需2.8年即可回收前述投資成本。

再如普大興業公司，以月產25萬碼濕式柔麗皮，最近引進日本回收 DMF 處理設施，預計設置每小時處理3噸(含10% DMF) 之廢水，則每月估計可回收125噸純 DMF，約

可獲利 375萬元。按總投資預估計約需一年左右即可回收前項投資成本。

- 5.電弧爐煉鋼廠：輔導設置廢鐵預熱及除塵設備，非但可回收能源，尚可有效防治污染，其優點有：(1)節省電力，縮短煉鋼時間，減少電極損耗，提高生產力，降低生產成本，(2)減少煙塵排放量，減低空氣污染除塵處理費用，例如目前推動示範之金山鋼鐵工廠，設置日產25噸電弧爐，投資新台幣 1,800萬，設置廢鐵預熱及除塵設備，預估每生產 1 噸鋼鐵可節省電力約41度 (KWH)，電極損耗減少約0.5至0.7公斤，縮短煉鋼時間約20餘分鐘，且灰塵排放量減少約30%，預計每年節省金額約1,300萬元，約需1.3年即可回收該項設施之投資額。

## 二、其他配合輔導事項：

### (一)獎勵購置或更新污染防治設備：

- 1.辦理中美基金中小型民營工廠購置污染防治設備專案貸款：對中小型工廠購置或更新污染設備予以低利貸款（按照中央銀行核定銀行業中長期放款最低利率降低兩個百分點即降低年息 2 厘為準計息），其貸款期限自撥款日起最長不得超出八年，並自撥款日後一年起開始償還，每隔三個月償還一次，貸款利息，自撥款日起算，每隔三個月償付一次。辦理貸款之擔保條件為由所購置之機器設備設定動產擔保，必要時由中小企業信用保證基金提供信用保證即授權金融機構先行貸放，事後追認之額度為新臺幣 1 千萬元，該基金保證八成，保證期間以每筆實際貸款起訖日期計算。
- 2.至於大型企業工廠則規定不論技術密集工業或主要出口工業，進口國外防治公害設備，均予 6 億美元之外匯貸款。
- 3.進口空氣污染防治設備，廢水或廢棄物處理設備（零配件在內），生產事業經本局證明其用途屬實者，按10%徵稅，如經本局證明為國內尚無產製者免稅。
- 4.營利事業設置污染防治設備得申請本局核發證明後，按二年加速折舊，但在二年內未能折舊足額時，得於以後年度繼續折舊，至折足為止。
- 5.生產事業以未分配盈餘增值或更新供該事業從事防治污染，節省能源，或提高工業安全衛生標準等用之機器、設備，其股東因而取得之新發行記名股票，免予計入股東當年度綜合所得額或營利事業所得額課稅。
- 6.生產事業為節約能源，防治污染，促進廢物利用或改進製造方法，經本局核發證明，進口專供研究發展實驗或品質檢驗用之儀器設備，在國內尚無製造者，免徵進口稅捐。
- 7.工廠如因污染或其他問題，經主管機關輔導遷廠，如有遷移全部或一部份電力設備時，可向臺灣電力公司申請免收擴建補助費，至於新建補助費仍按實耗工程費計收。
- 8.為使工廠興建之廢水處理設備，切實有效處理並提高廢水處理廠商之處理能力與技術，訂定「水處理工程業管理規則」。此外將製造「空氣或水污染處理設備之工業」列入生產事業獎勵類目及標準暨策略性工業輔導範圍，給予減免營利事業所得稅四年或五年，以鼓勵國內工廠新設或擴建自製污染防治設備，減低業者購置成本。

### (二)舉辦工業污染防治技術及政令宣導研討會：

經常分業分區舉辦工業污染防治講習、訓練及研討會，以增進工廠對污染防治法令及污染處理技術之認識與瞭解，從而有助於推動其污染防治，迄目前為止，已接受講習訓練之工

廠技術人員逾五千餘人次。此外並經常聘請國內、外污染防治專家。

(三)成立「工業污染防治技術輔導小組」：

- 1.為加強工業污染防治，協助及輔導改善污染處理，已於七十年十月聘請學者、專家成立「工業污染防治技術輔導小組」，其主要任務如左：
  - (1)有關工業污染防治技術之協助輔導改善及建議事項。
  - (2)有關工業污染處理技術之諮詢服務事項。
  - (3)有關工業污染防治技術專案研究計畫之研擬及委託研究事項。
  - (4)辦理有關工業污染防治技術研討會及污染防治人員之養成訓練。
  - (5)編印有關工業污染防治指導手冊及專業技術新知。
  - (6)其他有關工業污染防治技術之輔導與推動事項。
- 2.該小組七十二年全年協助輔導業者辦理工作詳如附件一。

(四)成立「工業污染防治技術服務團」：

自本年十月邀集國內學者專家成立「工業污染防治技術輔導小組」以來對有關工業污染防治技術之協助輔導改善及諮詢服務事項，雖受限於人力、財力支援，惟尚具相當成效。惟此項輔導工作多半仍處於業者請求始給予協助，難期發揮主動，推進輔導改善，且前項輔導改善工作，除在「廠內改善」方面較能提供具體可行建議，獲得實質上之效益外，對污染處理技術或操作維護技術多半僅能提供原則性建議，無法進一步協助規劃、設計，此外，對經協助、輔導改善之個案，實際績效無法追蹤掌握，因此為獲取具體輔導績效及擴大協助輔導範圍，於去（七十二）年十月委託財團法人中國技術服務社成立「工業污染防治技術服務團」而以該社及其附屬中鼎工程公司環境工程等有部門為中心，並延聘學者、專家及工程技術人員強化專技人員陣容，在小組督導下擴大對工廠之輔導工作，充實服務內容，提升服務品質，藉主動與業者之接觸，以協助業者掌握有關工業污染防治之可行技術方案或改善方法，以期經濟有效解決污染問題及建立具代表性之工業污染防治範例，以為業者間之參考，為配合實際需要及客觀條件，服務團優先選擇下列三類工廠

1.服務對象：

- (1)嚴重污染性工業。
- (2)發生污染損害糾紛工廠。
- (3)受環境保護單位取締處罰工廠。

2.至於服務內容，將視個案之問題本質，以現場輔導改善或整體服務之方式，就下列各項之一點或數點，提供服務：

- (1)協助工廠主管人員了解其廠內之污染問題及政府有關之污染防治法令與措施。
- (2)廠內改善方案或措施之規劃與建議。
- (3)管末處理設施之規劃與設計。
- (4)操作維護制度之建議。
- (5)現有污染處理設備操作功能之評估與改善建議。
- (6)協助審核公害防治設備規劃、設計書。
- (7)配合小組舉辦之有關研討會、討論會或座談會與業者交換意見，以促進全面推動污染

防治。

(8)對於各項服務成果，協助小組進行追蹤並建立資料。

3.目前服務團已完成硬脂酸鎘安定劑製造工廠鎘污染防治問題，及合成皮製造工廠水污染及有關空氣污染防治問題。

### 叁、推行輔導改善污染防治遭遇之困難

- 一、一般廠商對於工業污染防治與維護環境品質，仍未建立應有的共識，宜從社會教育、輿論報導及大眾傳播貫輸正確的觀念，樹立對環境保護應有的責任感。
  - 二、一般而言，污染防治設備多數屬於非生產性之投資，自然會使業者增加費用支出，影響產銷營運成本。
  - 三、工廠於污染防治技術之運用，管末處理設備之操作，維護及污染源成份之分析與檢驗普通缺乏專業知識與能力，尤其是佔生產事業百分之九十五以上的中小企業工廠，既缺乏資金，又缺專技人員，影響工作推展至鉅。
  - 四、從事規劃、設計及承建工業污染防治設備之工程公司，限於資金，專技人員及技術水準，良莠不齊而未趨健全。
  - 五、對於事業廢棄物例如有毒性化學物質，有害重金屬以及污水處理廠沉澱之有毒、有害污泥，國內尚未開闢適宜之公共衛生掩埋場或焚化爐，以利處理。
  - 六、政府有關單位推動輔導防治或改善污染措施所需人力、經費及設施均感不足、不易普遍實施。
- 綜上所述，推動輔導防治、改善及執行管制污染，遭遇之困難較多，亦不易立竿見影，而造成污染防治工作績效不彰，甚至影響業者對政府執行污染防治工作之信心。

### 肆、今後努力方向

- 一、檢討法令規章，配合國內實際需要，擬訂「環境保護政策」，修訂各種公害防治法令，釐訂切實可行的管制標準，逐步加強改善，法令暨標準既定之，應充實人力、財力及設備，嚴格執行。
- 二、繼續選擇無污染性或低污染性工業列為策略性工業或生產事業獎勵對象，以獎勵手段誘導工業走上低污染或無污染工業之發展方向。
- 三、新設或擴建之工廠，在投資設廠規劃時盡量選擇無污染或低污染之生產方法或製程，如有污染之可能，應將污染防治設備及操作、維護費用納入生產成本。
- 四、既存工廠，如已發生污染，宜從廠內改善，生產管理，製程改變等方法提高資源有效利用或副產品回收等着手，盡量避免有價資源之流失，以增強管末處理之效果。
- 五、獎勵業者投資設廠在國內開發製造防治廢氣、廢水、廢棄物及噪音等公害防治儀器及設備，降低售價，嘉惠國內工業界，減輕管末處理設備之投資成本與操作費用。
- 六、鼓勵國內學術研究機構及從事公害防治處理工程公司，共同研究開發或引進經濟有效之處理

技術，協助業者以低廉代價澈底解決污染防治問題。

最後再呼籲工業界的負責人應發揮高度的責任感，積極研究經濟而有效的方法，將廢水、廢氣、廢棄物及噪音等污染問題減至最低程度，達到改善環境維護國民健康之目的，同時亦提醒一般民衆，如非污染嚴重、傷害人民身體健康，或不適於生活應給予企業界或工廠一段改善的限期，以免影響工業的發展，與國民的就業，真正做到兼顧工業發展與環境保護之目標。因為環境保護之目的，在維護生活環境，促進國民健康，而經濟發展的目的也在改善國民生活，提高生活品質，所以環境保護與經濟發展兩者，殊途同歸其最終目標是相同的。

## 七十二年度工業污染防治技術輔導小組工作檢討報告

一、工業污染防治技術之協助、輔導改善及建議事項，經常受理廠商之申請輔導案件，並派小組委員前往輔導，自七十二年一月一日至七十二年十二月三十一日共受理 126 件，其中包括如下：

(1)工廠主動函請輔導者約計78件。

(2)聘請留美學人返國協助水泥廠各種污染防治設備操作維護。(五家)

(3)協助本部工業局第五組及臺灣省政府建設廳對所轄污水處理廠之操作維護進行評估，協助改善。(十廠)

(4)會同各有關單位瞭解協助廢電線、電纜污染改善。(十六家)

(5)對國內製造硬脂酸鎘工廠(塑膠安定劑等工廠)主動進行瞭解其污染情形，並委由工業污染防治服務團提供改善建議。(七家)

(6)廢壓克力再回收之工廠空氣污染改善。(十家)

(7)臺金禮樂煉銅廠之廢氣、廢水改善建議及新竹化工廠之廢氣改善等重大污染案之輔導。

(8)李長榮化工廠水污染改善建議。

二、辦理工業污染防治技術研討會事項：

舉辦研討會的係為期經濟有效防治工業污染及促進污染防治技術升級，以維護生活環境及確保水資源之清潔，參加人員為各有關業者、同業公會、污染防治主管機關、污染處理工程公司等專家學者。

|                      |           |                |
|----------------------|-----------|----------------|
| (1)水泥業空氣污染防治研討會      | 1、26~1、27 | 本小組主辦 工業局七組協辦  |
| (2)工業區污水處理廠操作人員訓練講習班 | 4、11~4、25 | "              |
| (3)現行工廠、礦場放水排放標準研討會  | 6、16      | "              |
| (4)現行空氣污染物排放標準研討會    | 6、17      | "              |
| (5)水處理工程業工業廢水處理技術講習  | 6、20~7、1  | 工業局第七組主辦，本小組協辦 |
| (6)空氣污染控制技術講習會       | 8、23~8、28 | 中興大學主辦，本小組協辦   |
| (7)有害物質焚化技術講習會       | 8、30~9、2  | "              |

### 三、編印工業污染防治刊物：

- 1.編印「工業污染防治」，以季刊發行於七十一年元月創刊，並自第四期起對特定業別發行專刊，由於內容充實，深受各界重視，索閱者日衆(目前已發行至第八期，每期發行2,000本。)
- 2.編印「工業污染防治有關法令暨各種獎勵措施」之資料，分送各單位及工廠，廣為宣導政府政令，並鼓勵工廠設置污染防治設備。
- 3.編印「水泥業空氣污染防治研討會資料專輯」。
- 4.編印「近年水泥工業靜電收塵技術之發展」。
- 5.大理石加工廠廢水處理研究計畫(中期報告)。

### 四、工業污染防治技術專案研究計畫之研擬及委託研究事項：

- 1.委託臺大環境工程研究所教授鄭福田對「水泥業污染防治設備效能評估」之研究。
- 2.委託中國技術服務社對大理石加工廠廢水處理研究及沉澱污泥之再利用進行研究。
- 3.委託中國技術服務社、中鼎工程公司及專家學者共同組成工業污染防治服務團

### 五、對於水處理工程公司評估：

目前國內水處理工程公司已列入公會名單者計有六十二家，各公司對承攬工程規劃設計及施工之品質高低不齊，且部份水處理公司對承包設計完工之污染防治設備，尚難達到預期防治污染之效果，致使工廠雖花費鉅額投資污染防治設備，却無法有效解決其污染問題。爲期瞭解其癥結問題所在，及加強水處理工程業之權利及義務之履行，擬對水處理公司過去承包工程，作一實績調查研究，評估其績效，以供嗣後工廠設置污染防治設施選擇之參考。

# 環境保護莫遲疑

王若葦\*

本文原刊載於國際獅子會刊中文版七十二年九月號及十月號，距今雖已有一段時間，仍極具參考價值，故特予轉載，又本文重點在於籲請各界人士加速環境保護，故商得作者同意，更名為環境保護莫遲疑，併予說明。

## 一、努力創造出來的奇蹟

我國經濟發展的奇蹟，不僅國人引為欣慰甚至足以自傲，就是在國際社會中亦享有崇高的地位。

這樣奇蹟的出現，不是隨手得來，更不是不勞而獲。年紀在四十歲以上的人，總該記得起光復初期的困境。當時經濟的構架以農業為主，工業生產僅佔總生產毛額百分之二十三左右，在工業生產中，製造業生產又祇佔百分之十六，到了七十一年，農業生產增加不到兩倍，而工業生產却增加了四十餘倍，其中製造業的增加甚至超過五十倍之多。這樣高幅度的成長，絕非是偶然的，而是三十多年來我們辛辛苦苦一點一滴的累積。在這一段漫長的歲月裏，我們登記有案的工廠，從三十五年的六千多家增加到了七十一年底的五萬五千家，直接投入工廠的人力高達二百萬人以上。如果把尚未登記的小型製造業也計算在內，其數字當更為龐大。

單就前面提到的數字，大家恐怕還不能瞭解事實的真相。茲再分就各類工廠的家數，重要工業產品產銷量，工業產品輸出價值，我國在國際貿易中的地位以及對美國貿易，予以說明：

一、在工廠方面，據經濟部工業局統計資料，七十一年底止，臺灣地區共有工廠五四、六六九家，其詳細情形如後（單位家）：

| 行業別    | 臺北市 | 高雄市 | 臺灣省   | 合計    |
|--------|-----|-----|-------|-------|
| 食品業    | 197 | 191 | 5,920 | 6,308 |
| 飲料及菸草業 | 10  | 7   | 142   | 159   |
| 紡織業    | 172 | 42  | 3,282 | 3,596 |
| 服飾業    | 198 | 30  | 1,745 | 1,973 |
| 木業及傢具業 | 44  | 96  | 4,031 | 4,171 |
| 製紙及印刷業 | 459 | 66  | 1,684 | 2,209 |
| 製革業    | 18  | 11  | 385   | 414   |
| 橡膠業    | 38  | 23  | 950   | 1,011 |
| 化學業    | 241 | 175 | 2,494 | 2,910 |

\* 經濟部工業局第七組副組長

|         |     |     |       |       |
|---------|-----|-----|-------|-------|
| 塑膠業     | 188 | 106 | 5,707 | 6,001 |
| 煉油業     | 4   | 2   | 50    | 56    |
| 非金屬礦物製品 | 71  | 44  | 2,697 | 2,812 |
| 金屬基本工業  | 46  | 98  | 712   | 856   |
| 金屬製品業   | 373 | 206 | 6,160 | 6,639 |
| 機械業     | 299 | 360 | 5,639 | 6,298 |
| 電器業     | 718 | 158 | 3,116 | 3,992 |
| 運輸工具業   | 88  | 234 | 2,006 | 2,328 |
| 其他業     | 289 | 96  | 2,251 | 2,636 |

二、在重要工業產品產銷量方面，據經濟部工業局統計資料，七十一年有十六項輕工業產品，三十五項重工業產品，產銷情形如後：

| 產品名稱  | 單位               | 生產量     | 內銷量     | 外銷量     |
|-------|------------------|---------|---------|---------|
| 鳳梨罐頭  | 千標準箱             | 116     | 48      | 268     |
| 蘆筍罐頭  | 千標準箱             | 1,493   | 5       | 2,567   |
| 洋菇罐頭  | 千標準箱             | 2,398   | 3       | 2,661   |
| 聚丙烯纖維 | 公噸               | 116,193 | 8,866   | 113,678 |
| 聚胺纖維  | 公噸               | 99,137  | 6,658   | 74,250  |
| 聚酯纖維  | 公噸               | 422,537 | 24,744  | 321,819 |
| 棉紗    | 件                | 887,707 | 167,172 | 777,594 |
| 縐縐棉   | 公噸               | 90,699  | 11,532  | 64,222  |
| 縐縐絲   | 公噸               | 3,114   | 1,858   | 841     |
| 棉布    | 千公尺              | 773,351 | 50,654  | 757,888 |
| 一般成衣  | 千打               | 34,740  | 7,914   | 26,177  |
| 針織成衣  | 千打               | 48,699  | 9,420   | 37,708  |
| 毛衣    | 千打               | 9,961   | 60      | 9,943   |
| 合板    | 百萬m <sup>3</sup> | 401     | 202     | 205     |
| 木製傢具  | 百萬元              | 4,935   | 567     | 4,388   |
| 紙漿    | 千公噸              | 292     | 233     | 72      |
| 紙張及紙板 | 千公噸              | 1,557   | 1,177   | 146     |
| 燒碱    | 千公噸              | 359     | 306     | 20      |
| 聚氯乙烯  | 千公噸              | 458     | 119     | 241     |
| 汽車外胎  | 千條               | 2,220   | 1,933   | 245     |
| 機車外胎  | 千條               | 10,107  | 3,190   | 6,909   |
| 塑膠鞋   | 百萬雙              | 276     | 1.3     | 264     |
| 平板玻璃  | 千標準箱             | 3,339   | 2,794   | 528     |
| 水泥    | 千公噸              | 13,466  | 10,804  | 2,666   |
| 耐火磚   | 公噸               | 63,362  | 51,687  | 5,797   |
| 型鋼    | 千公噸              | 558     | 449     | 111     |
| 鉛錠    | 公噸               | 10,120  | 9,461   | 546     |
| 工具機   | 千台               | 369     | 14      | 354     |

|        |     |         |         |        |
|--------|-----|---------|---------|--------|
| 縫衣機    | 千台  | 2,384   | 21      | 2,430  |
| 電動機    | 千台  | 910     | 808     | 164    |
| 電話機    | 千台  | 2,781   | 288     | 2,456  |
| 對講機    | 千台  | 415     | 1.3     | 464    |
| 冷氣機    | 千台  | 170,480 | 195,629 | 3,694  |
| 洗衣機    | 千台  | 315     | 312     | 6      |
| 電冰箱    | 千台  | 488     | 313     | 187    |
| 電風扇    | 千台  | 3,300   | 301     | 2,261  |
| 電線電纜   | 公噸  | 111,449 | 77,653  | 32,923 |
| 日光燈    | 千支  | 44,308  | 21,540  | 22,061 |
| 彩色電視機  | 千台  | 1,198   | 447     | 781    |
| 黑白電視機  | 千台  | 4,554   | 50      | 3,571  |
| 電唱機    | 千台  | 2,115   | 47      | 1,152  |
| 電晶體收音機 | 千台  | 6,775   | 97      | 6,962  |
| 錄音機    | 千台  | 18,685  | 217     | 18,542 |
| 電子計算機  | 千台  | 19,884  | 506     | 19,223 |
| 電子零組件  | 百萬元 | 52,508  | 8,378   | 43,851 |
| 船舶     | 千總噸 | 927     | 411     | 514    |
| 機車     | 千輛  | 601     | 584     | 16     |
| 自行車    | 千輛  | 2,761   | 155     | 2,382  |
| 照相機    | 千台  | 2,878   | 57      | 2,607  |
| 電子錶    | 千只  | 15,615  | 297     | 14,523 |
| 聚苯乙烯   | 公噸  | 83,839  | 60,383  | 21,021 |

三、在工業產品輸出價值方面，根據我國海關統計資料，七十一年我國工業產品輸出總值達21,782.9百萬美元，茲將其詳細情形分別說明如後：

| 產品類別    | 單位   | 輸出總值     |
|---------|------|----------|
| 重工業產品   | 百萬美元 | 8,926.8  |
| 電氣機械器材  | 百萬美元 | 3,911.5  |
| 機械及金屬製品 | 百萬美元 | 1,836.8  |
| 基本金屬    | 百萬美元 | 662.9    |
| 石油煉製品   | 百萬美元 | 417.8    |
| 運輸工具    | 百萬美元 | 1,086.7  |
| 塑膠原料    | 百萬美元 | 107.1    |
| 水泥及平板玻璃 | 百萬美元 | 146.1    |
| 紙漿及紙    | 百萬美元 | 140.6    |
| 橡膠製品    | 百萬美元 | 157.3    |
| 鐘錶及光學儀器 | 百萬美元 | 433.0    |
| 輕工業產品   | 百萬美元 | 12,856.1 |
| 糖及糖製品   | 百萬美元 | 105.9    |

|      |      |         |
|------|------|---------|
| 洋菇罐頭 | 百萬美元 | 64.8    |
| 蘆筍罐頭 | 百萬美元 | 90.3    |
| 其他食品 | 百萬美元 | 999.4   |
| 紡織品  | 百萬美元 | 4,455.2 |
| 木業製品 | 百萬美元 | 1,049.2 |
| 水泥製品 | 百萬美元 | 0.4     |
| 玻璃製品 | 百萬美元 | 70.0    |
| 塑膠製品 | 百萬美元 | 2,209.7 |
|      | 百萬美元 | 3,811.2 |

四、在國際貿易地位方面，根據國際貨幣基金(IMF)本年六月之統計資料顯示，一九八二年（七十一年）我國出口額領先亞洲諸國（日本除外），而為自由世界之第十三大出口國，較一九八一年之第十四名晉升一名；進口額則維持一九八一年佔自由世界第二十二名之水準；進出口貿易總額合計，亦維持第十九名，與一九八一年相同。茲將有關資料列表說明如後：（單位：百萬美元）

#### 一 九 八 二 年 出 口 額

| 名 次 | 國 名     | 金 額     |
|-----|---------|---------|
| 1   | 美 國     | 212,276 |
| 2   | 西 德     | 176,435 |
| 3   | 日 本     | 138,403 |
| 4   | 英 國     | 96,980  |
| 5   | 法 國     | 96,688  |
| 6   | 沙烏地阿拉伯  | 75,838  |
| 7   | 義 大 利   | 73,487  |
| 8   | 加 拿 大   | 71,130  |
| 9   | 荷 蘭     | 66,314  |
| 10  | 比 利 時   | 52,381  |
| 11  | 瑞 典     | 26,807  |
| 12  | 瑞 士     | 26,019  |
| 13  | 中 華 民 國 | 22,204  |
| 14  | 澳 洲     | 21,981  |
| 15  | 中 國 大 陸 | 21,936  |
| 16  | 韓 國     | 21,761  |
| 17  | 墨 西 哥   | 21,580  |
| 18  | 香 港     | 20,984  |
| 19  | 新 加 坡   | 20,788  |
| 20  | 西 班 牙   | 20,498  |
| 21  | 巴 西     | 20,175  |
| 22  | 印 尼     | 19,859  |
| 23  | 委 內 瑞 拉 | 18,694  |

|    |   |   |        |
|----|---|---|--------|
| 24 | 伊 | 朗 | 17,848 |
| 25 | 南 | 非 | 17,694 |

一 九 八 二 年 進 口 額

| 名 次 | 國 名     | 金 額     |
|-----|---------|---------|
| 1   | 美 國     | 254,884 |
| 2   | 西 德     | 155,370 |
| 3   | 日 本     | 131,516 |
| 4   | 法 國     | 115,708 |
| 5   | 英 國     | 99,645  |
| 6   | 義 大 利   | 86,217  |
| 7   | 荷 蘭     | 64,243  |
| 8   | 加 拿 大   | 58,163  |
| 9   | 比 利 時   | 57,993  |
| 10  | 沙烏地阿拉伯  | 39,777  |
| 11  | 西 班 牙   | 31,466  |
| 12  | 瑞 士     | 28,678  |
| 13  | 新 加 坡   | 28,167  |
| 14  | 瑞 典     | 27,571  |
| 15  | 澳 洲     | 26,663  |
| 16  | 韓 國     | 24,319  |
| 17  | 香 港     | 23,553  |
| 18  | 巴 西     | 21,069  |
| 19  | 伊 拉 克   | 19,936  |
| 20  | 奧 國     | 19,503  |
| 21  | 中 國 大 陸 | 18,939  |
| 22  | 中 華 民 國 | 18,888  |
| 23  | 南 非     | 18,532  |
| 24  | 印 尼     | 17,625  |
| 25  | 丹 麥     | 16,858  |

一 九 八 二 年 貿 易 總 額

| 名 次 | 國 名   | 金 額     |
|-----|-------|---------|
| 1   | 美 國   | 467,160 |
| 2   | 西 德   | 331,805 |
| 3   | 日 本   | 269,919 |
| 4   | 法 國   | 212,396 |
| 5   | 英 國   | 196,625 |
| 6   | 義 大 利 | 159,704 |
| 7   | 荷 蘭   | 130,557 |
| 8   | 加 拿 大 | 129,293 |

|    |         |         |
|----|---------|---------|
| 9  | 沙烏地阿拉伯  | 115,615 |
| 10 | 比 利 時   | 110,374 |
| 11 | 瑞 士     | 54,697  |
| 12 | 瑞 典     | 54,378  |
| 13 | 西 班 牙   | 51,964  |
| 14 | 新 加 坡   | 48,955  |
| 15 | 澳 洲     | 48,644  |
| 16 | 韓 國     | 46,080  |
| 17 | 香 港     | 44,537  |
| 18 | 巴 西     | 41,244  |
| 19 | 中 華 民 國 | 41,092  |
| 20 | 中 國 大 陸 | 40,875  |
| 21 | 印 尼     | 37,484  |
| 22 | 南 非     | 36,220  |
| 23 | 墨 西 哥   | 36,139  |
| 24 | 奧 國     | 35,145  |
| 25 | 挪 威     | 33,011  |

五、在對美國貿易方面，根據七十一年六月卅日美國商務部發佈的貿易統計，今年一至五月份美國與我國雙邊貿易總額為五十六億六千七百萬美元，較去年同期增加百分之十點二〇在首五月，美國自我國進口金額為二十九億八千七百萬美元，較去年同期增加百分之二十。美國對我國出口為十六億八千三百萬美元，較去年同期減少百分之七。由於我國對美國出口顯著成長，而進口減退，是以我國對美國順差在首五月已達到二十三億零四百萬美元。在美國的貿易伙伴中，我國名列第七位。

值得一提的，據美國商務部同天發佈的消息，美國與中國大陸之雙邊貿易在今年頭五個月僅十七億零六百萬美元，其中中國大陸對美國出口為八億四千二百萬美元，美國對中國大陸出口為八億六千五百萬美元。

## 二、帶來了富裕的生活

我們經濟發展所創造的奇蹟，直接給國民帶來了富裕的生活。三十多年來，不但國民所得不斷地提高，國民物質生活不斷地改善，而且國民文化生活及旅遊活動也與日俱增。在亞洲，甚至全世界，我們的生活水準，雖不敢說名列前茅，但却是一流的。

現在，分別就各個不同的角落，來探討我們國民生活的內涵。

一、在國民所得方面：臺灣地區平均每人國民所得，以四十年為基期，按各年市價計算，到七十年為止，計增加62.4倍。茲將歷年變動數字分列如後：

| 年 份   | 金 額 (新臺幣元) | 年 份     | 金 額 (新臺幣元) |
|-------|------------|---------|------------|
| 四 十 年 | 1,407      | 五 十 七 年 | 11,316     |

|      |       |      |        |
|------|-------|------|--------|
| 四十一年 | 1,913 | 五十八年 | 12,804 |
| 四十二年 | 2,471 | 五十九年 | 14,417 |
| 四十三年 | 2,608 | 六十年  | 16,407 |
| 四十四年 | 2,989 | 六十一年 | 19,272 |
| 四十五年 | 3,296 | 六十二年 | 24,540 |
| 四十六年 | 3,704 | 六十三年 | 32,357 |
| 四十七年 | 4,004 | 六十四年 | 33,753 |
| 四十八年 | 4,454 | 六十五年 | 39,468 |
| 四十九年 | 5,209 | 六十六年 | 44,920 |
| 五十年  | 5,666 | 六十七年 | 52,485 |
| 五十一年 | 6,056 | 六十八年 | 61,986 |
| 五十二年 | 6,657 | 六十九年 | 75,629 |
| 五十三年 | 7,563 | 七十年  | 87,770 |
| 五十四年 | 8,110 |      |        |
| 五十五年 | 8,848 |      |        |
| 五十六年 | 9,957 |      |        |

以上每人平均國民所得，雖然增加得很快，但因人口也增加得很快，所以每年增加的國民所得有一大部份為新增加之人口所抵銷。但是，儘管如此，在亞洲除了日本及新加坡外，我們還是國民所得最高的國家。

二、在國民生活方面：臺灣省政府最近完成的七十一年家庭收支調查顯示，省民所得依舊繼續增加，農家與非農家所得的差距逐漸縮小，省民消費的內容已於物質生活的追求之外，轉而注重環境的改善與精神生活的充實。

據調查臺灣省七十一年平均每戶家庭全年所得為新臺幣二十九萬五千零五十一元，比七十年的二十八萬五千八百三十一元，增加百分之三點二；其中農家平均每戶全年所得為二十三萬五千五百七十一元，比七十年的二十二萬二千四百五十八元，增加百分之五點九；非農家平均每戶全年所得為三十一萬二千零十四元，比七十年的三十萬四千一百七十六元，增加百分之二點六。

近年來民衆的消費水準，隨着所得水準的提高，也在質的方面起了很大的變化。一般說來，大家於物質生活的追求外，逐漸注重於環境的改善，與包括文化生活、旅遊活動在內的精神生活的充實。比如食品費支出在整個消費支出中，所佔比例賡續降低，衣着、居住、交通、育樂等支出所佔比率則相對提高。民國七十一年消費支出總額中，用於食品費的比例為百分之三十六點三，較五十三年之百分之五十一點八減少了很多；居住費由五十三年之百分之二十點六，升高為七十一年之百分之二十六點六；保健費由百分之三點九，升高為百分之五點五；交通費由百分之二，升高為百分之七；育樂費由百分之四點七，升高為百分之八點四。

省民家庭現代化設備，以六十二年與七十一年資料相比較，也是大幅度的增加，比如彩色電視機由十八點九戶擁有一台，增加到每一點二戶一台；電冰箱由每二點四戶擁有一台，增加到每一點一戶一台；洗衣機由每五點六戶擁有一台，增加到每一點五戶一台；電話由每十七點六戶擁有一部，增加到每一點六戶一部。

作為大眾交通工具的機車自六十二年每二點八戶擁有一輛，增加到七十一年每一戶一輛。

更加可喜的現象，由六十二年及七十一年資料顯示，鋼琴由每六十三點五戶擁有一架，增加到每二十四點四戶一架；報紙由每三點七戶訂閱一份，增加到每一點七戶一份；書刊雜誌由每十三點二戶訂閱一份，增加到每八點五戶一份。

另以六十四年與七十一年調查結果相比較，冷暖氣機由每七十點六戶擁有一台，增加到每八戶一台；小汽車由每一百零二戶擁有一輛，增加到每十七戶一輛。

三、在出國活動方面：反映在國民富裕生活的另一層面，却為旅遊活動的增加。在國內，遊樂事業的興起，觀光資源的開發，以及個人、團體旅遊活動的頻繁，正如日中天，方興未艾；在國外，自政府開放觀光護照後，出國旅遊的人也逐年增加，自由世界的每一個角落，可以說都有我們同胞的足跡，他（她）們不是觀光、洽辦業務、提親、就是求學。凡此活動，非錢莫屬。

根據交通部觀光局印行的觀光統計年報資料顯示，最近三年來，我國國民出國的紀錄如後：

#### (一)以出國的事由分：

| 事由別 | 六九年      | 七〇年      | 七一年      |
|-----|----------|----------|----------|
| 觀光  | 217,971人 | 279,506人 | 299,994人 |
| 業務  | 163,544人 | 191,515人 | 209,663人 |
| 探親  | 39,129人  | 39,959人  | 52,120人  |
| 求學  | 23,444人  | 24,372人  | 27,909人  |
| 其他  | 20,558人  | 18,768人  | 21,183人  |
| 未列明 | 20,255人  | 21,417人  | 30,430人  |
| 合計  | 484,901人 | 575,537人 | 640,669人 |

#### (二)以出國首站抵達地或主要目的地分：

| 目的地別 | 六九年      | 七〇年      | 七一年      |
|------|----------|----------|----------|
| 亞洲地區 |          |          |          |
| 香港   | 63,812人  | 72,418人  | 81,588人  |
| 日本   | 173,581人 | 218,486人 | 260,414人 |
| 韓國   | 76,995人  | 98,241人  | 67,002人  |
| 新加坡  | 19,563人  | 20,251人  | 24,124人  |
| 馬來西亞 | 4,418人   | 5,035人   | 8,996人   |
| 泰國   | 14,956人  | 15,919人  | 21,726人  |
| 菲律賓  | 35,718人  | 35,170人  | 42,274人  |
| 印尼   | 4,507人   | 5,694人   | 6,985人   |
| 印度   | 87人      | 128人     | 125人     |
| 中東   | 8,438人   | 9,076人   | 8,870人   |
| 其他   | 169人     | 255人     | 360人     |
| 小計   | 402,244人 | 480,673人 | 522,434人 |
| 美洲地區 |          |          |          |
| 美國   | 69,448人  | 76,399人  | 98,995人  |
| 加拿大  | 1,548人   | 1,741人   | 2,046人   |

|      |          |          |          |
|------|----------|----------|----------|
| 阿根廷  | 339人     | 719人     | 656人     |
| 巴西   | 85人      | 251人     | 394人     |
| 其他   | 2,134人   | 1,791人   | 2,047人   |
| 小計   | 73,754人  | 80,901人  | 104,135人 |
| 歐洲地區 |          |          |          |
| 比利時  | 138人     | 183人     | 193人     |
| 法國   | 586人     | 877人     | 1,427人   |
| 德國   | 1,239人   | 1,345人   | 1,275人   |
| 義大利  | 461人     | 683人     | 974人     |
| 荷蘭   | 206人     | 264人     | 297人     |
| 瑞士   | 207人     | 321人     | 325人     |
| 西班牙  | 246人     | 367人     | 294人     |
| 英國   | 898人     | 1,499人   | 1,261人   |
| 其他   | 849人     | 1,238人   | 1,740人   |
| 小計   | 4,830人   | 6,777人   | 7,786人   |
| 大洋洲  |          |          |          |
| 澳大利亞 | 999人     | 1,368人   | 1,041人   |
| 紐西蘭  | 75人      | 123人     | 1,182人   |
| 其他   | 226人     | 288人     | 221人     |
| 小計   | 1,300人   | 1,799人   | 2,444人   |
| 非洲地區 |          |          |          |
| 奈及利亞 | 177人     | 239人     | 267人     |
| 南非   | 946人     | 2,186人   | 2,441人   |
| 其他   | 1,650人   | 2,982人   | 2,162人   |
| 小計   | 2,773人   | 5,407人   | 4,870人   |
| 合計   | 484,901人 | 575,537人 | 640,669人 |

### 三、也帶來了污染的環境

在創造經濟發展奇蹟的過程中，雖然給我們帶來了富裕的生活，但也給我們帶來了污染的環境。

經濟發展固與環境污染有着不可分割的關係，不過話說回來，追求經濟發展的主要目標，無非是為着生活品質的改善，而清潔的，免於危害人體健康的生態環境，正是提高生活品質之所需，如果我們生活的環境，正是提高生活品質之所需，如果我們生活的環境因此而被污染破壞，豈非違反我們發展經濟的初衷！

不幸的是，在以往發展經濟的過程中，我們賴以生活、生存的環境，遭受到了相當嚴重的污染，茲分別就工業、農業、交通、河川及垃圾處理等方面，探討說明如後：

一、在工業方面：為數五萬多家的大小工廠中，有的依其作業性質的不同，分別排放出各種各樣、或多或少的污染物質，包括廢水、廢氣及固狀物，其主要在有耗氧物質、可沉降物質、漂

浮物、影響外觀物質、懸浮固體物、油脂、生物難分解物質、植物氧分、產生臭味物質、有毒物質、酸、碱、微生物、熱、放射性物質、有害氣體、煙塵等等。不少的廠家，儘管為污染防治而投下資金，工業主管機關儘管為協助廠家污染防治也採取了許多的鼓勵措施，但距離有效控制污染的境地還有相當長的一段里程。以近年來陸續發生、轟動一時的幾件公害事件為例，可以說明我們工業污染問題，千萬不可掉以輕心。

(一)大社工業區中毒事件：六十七年十一月二十四日，位於高雄縣的大社工業區突然發生氰酸中毒事件。案經有關主管機關調查結果，此次中毒係由工廠排出含有氰化物的廢水所引起，中毒人數多達四百多人，且有一人因中毒過深而死亡。除此之外，亦有鷄、鴨、狗、豬、老鼠、鳥、魚等動物的死亡報告。

(二)頭份工業區氯氣外洩事件：六十八年四月二十日下午一時半左右，頭份工業區有家氯乙炔公司和塑膠公司，因兩者間的送料管線破裂，導致氯氣外洩，使得附近蘆竹里五、六鄰的居民一百餘遭人侵襲，眩暈、喉痛、嘔吐、眼睛痛……。

(三)多氯聯苯中毒事件：六十八年夏，臺中、彰化地區居民先後發生食油中毒情形，皮膚變黑生膿，手脚疼痛、全身倦怠，視力減退，估計罹患者數達一千一百多人，內中很多是學生及工廠員工。經追查食油來源，發現為多氯聯苯（PCB）污染所致。彰化一家生產米糠油的公司，涉嫌所產食油含有 PCB 而被提起公訴，遭受法律制裁。

(四)阿米諾酸公司事件：設於高雄縣林園鄉中門村的阿米諾酸公司，以禽類羽毛為原料產製胱胺酸，外銷日本。由於羽毛堆置露天，日晒雨淋易生臭味，以鹽酸處理羽毛過程排放刺激性氣體，萃取胱胺酸所餘殘渣曝曬過程發生臭味以及廢水貯池日久厭氣發酸產生臭味，造成與附近居民的糾紛，事經地方政府不斷協調及督導改善，並定於七十年十二月八日改善完成。可是到了七十一年春，廠方猶無改善或遷廠跡象，乃引起當地居民不滿，而於三月廿八日侵入工廠，搗毀門窗、設備，同年十月六日，該公司復發生一場無名大火，將其庫存原料燒掉大部份。十一月十日復又發生火爆場面，該公司運原料卡車，為村民擋駕，不准駛入廠內。這一糾紛不息的事件，一直到年底該公司遷到嘉太工業區設廠後才告平息。

(五)「世紀末日之毒」事件：多年來，高雄縣茄萣鄉及臺南市灣裏地區部份居民，一直不顧當地衛生主管機關的取締和處分，在露天燃燒廢電線電纜，造成空氣污染，影響所及，非但居民健康受損，且及飛航視線安全。最近由於行政院衛生署在當地取樣送往加拿大檢驗結果，證實燃燒廢電線電纜的濃煙裏已含有「戴奧辛」（Dioxin）成份，而雷撼全臺灣地區。所謂「戴奧辛」，是一種劇毒物質，在國外被稱為「世紀末日之毒」，吸入人體，可能造成氣管疾病、消化系統疾病、甚至癌症。政府有鑒於後果的可怕，已暫停廢電線電纜進口，並嚴格取締民間擅自於露天燃燒的行為。

二、在農業方面：農業公害日趨嚴重，土地因而污染，作物因而受損。根據調查，臺灣省農田遭受公害的面積，七十一年達四萬一千三百六十八公頃，同年發生糾紛的案件高達三千一百五十件，農民受損，為數可觀。據六月廿日聯合報消息，由於農業公害越來越嚴重，省府正積極辦理公害鑑定及損失估計試驗，製作公害圖鑑，替農民鑑定損失，作為訴訟時申請賠償的有力證據。為防止農業公害繼續擴大，省農林廳正進行下列公害問題的試驗研究：研訂空氣污染物對生物生長及產量的影響、實施煙害地區耕作方式改變的防治試驗、製作水泥煙灰對農作物損害標準及

毒害防治試驗、辦理稻作長期施灌豬隻排泄物對不同土壤劣化情形的研究、紡織廢水對水稻生長及產量產生影響的研究。

臺灣農業的成長，農藥和肥料分擔着不同的重要角色。但有的農藥使用不當，將對人體及水生物造成災害。據悉八種可能致癌致瘤的農藥，目前正被廣泛供用於農產作物，將予禁用或限制使用。這八種農藥分別為：

(一)貝芬替：可以引起肝癌，目前廣泛用於農作物及裝飾用作物。

(二)毒殺芬：可致癌。經由工作接觸及食物受污染而危及健康。目前正廣泛使用中。

(三)五氯酚及五氯酚鈉：可產生前述「世紀末日之毒」，致畸型胚胎、引起肝組織變化。廣泛用於農物。

(四)三福林：含致癌因子，並可導致基因突變、生殖系統影響及畸胎。用量較少。

(五)抑芽素：可致癌，及引起腫瘤。用量不少。

(六)免賴得：可引起遺傳基因突變、畸型胚胎、肺腫瘤及肝癌。廣泛使用。

(七)甲基多保淨：可致遺傳基因突變及肝癌。廣泛使用。

(八)巴拉刈：可致癌、畸胎。使用最多。

以上這些農藥，具備有共同的特色，即是經由使用而在環境中造成殘留，或污染水源、水生物。其中又以毒殺芳、五氯酚及五氯酚鈉、三福林更具毒性，傳即將優先被禁止使用。

又自六十七年至七十一年間，鹼氣、電器及玻璃儀器類工廠，進口水銀八萬餘公斤，以供製造燒碱、日光燈、水銀燈、溫度計、紅汞、昇汞等產品之用；六十九年至七十一年間，化學、金屬、色料等類工廠進口鎘及氧化鎘三十七萬多公斤，以供產製硬脂酸鎘（塑膠安定劑）之用；七十年至七十一年間，玻璃、陶瓷、農藥、化工等類工廠，進口砷及砷化物六十六萬多公斤，以供製造玻璃澄清劑、馬賽克、甲基砷酸鈉鐵（農藥用）之用。這些劇毒性化工原料，一經工廠使用，如無妥善污染防治設施以及操作管理，不論是以廢水或廢氣形態排放，均將對農田、農作物及人體造成極大的污染和傷害。

例如設於桃園縣觀音鄉的高銀化工廠，以鎘條或氧化鎘將原料生產塑膠安定劑，其排放含有毒性的廢水，影響附近稻田作物枯萎，嚴重危害當地居民。據六月下旬聯合報、臺灣日報等報導，「受高銀化工廠危害的部份居民，因不滿廠方不尋求根本解決之道，竟有意另尋他道，企圖「擺平」此事，極表不滿。六月十一日上午，不滿的居民羣集三十餘人，在高銀化工廠前，持抗議標語，向廠方提出抗議，經警方及地方人士斡旋、勸阻後，始暫時平息下來，亦未釀成任何衝突事故。」

三、在交通方面：隨着經濟的發展，交通成了重大的問題。為解決此一問題，除政府大量投資致力於基本設施如道路、橋樑、棧埠、碼頭、機場等建設外，民間亦購交通工具以為配合。在當前各種交通工具中，以大大小小的汽車及機車為最多，前者據說有一〇〇萬輛，後者有三五〇萬輛。從好處去看，顯示着國民生活的富裕；從壞處去看，給我們帶來嚴重的污染。

車輛排出的廢氣，含有重金屬、一氧化碳、氮氫化合物等等，其中一氧化碳會降低人類血液輸送氧氣的功能，氮氫化合物對眼睛、鼻粘膜有刺激作用，會麻痺中樞神經。這和近年來各地慢性支氣管炎、肺氣腫、氣喘、慢性呼吸阻塞症以及肺癌等患者的劇烈增加，有着密切的關係。

車輛造成的另一種污染，是被人稱着「無形殺手」的噪音。除此之外，噪音還與水污染、空

氣污染併列爲危害人類生活環境的「三雄」。它所帶給人類的精神緊張、怠倦、以致精神分裂，還有擾人清夢、阻人睡眠而陷人於神經衰弱終致疾病叢生，實在是罪大惡極，不可等閒視之。衛生主管機關在各地區訂有噪音最高容許量，但並不足以減低我們生活的「痛苦忍受」。據環境保護局主管官員表示：「據統計臺北火車站的噪音經常超過七十六分貝（商業區最高容許量），而且白天一半以上的時間或全天三分之一以上的時間均超過七十六分貝，更令人難以忍受。又由衛生署與師大合作之噪音普查顯示，臺北市有一半的地區其日平均噪音響度超過七十分貝，百分之二十的地區更達七十六分貝至八十分貝。」生活在如此的「鬧」市，我們的身心，何能忍受其干擾！

車輛排放出來的廢氣，不但污染空氣，而且造成「烏煙瘴氣」。丟開對人體的影響不講，卽就鄰市市容與觀瞻而言，已到了非徹底改善不可的程度。七十二年七月十五日中國時報以「公害再不消除，將無生存空間」爲題，刊出臺大鄭福田教授（環工專家）與臺北市環保局許整備局長的對話，其中一段是：

「鄭：根據臺大環境工程研究所最近所做的一項環境污染報告，臺北市空氣污染百分之八十是來自汽車、機車，不知貴局是否曾對污染來源、污染物排放量等問題，做過深入調查瞭解？」

許：我認爲中國石油公司是不容貸責的，目前汽、機車所使用的燃料，含硫都太高，同時據聞裏面還摻雜了不少髒油，當然造成臺北烏煙瘴氣。」

同月十七日聯合報以「有錢放屁」爲題，指出「臺灣汽車客運公司在過去一年中，因所屬車輛排放黑煙，遭到取締而繳付的罰款，共達三百六十萬元。平均每天一萬元。」事實上，車輛排放黑煙，何止臺汽公司一家！

看過上面所說的資料，我們可以清楚地想像得到（事實上也是如此），在臺北、高雄、臺中、臺南……的街頭，不少的大汽車、小汽車，爭先恐後，排放黑煙，發出吼聲。還有那些穿梭於汽車、行人之間，有如水銀瀉地的「屁驢子」（機車），猛鳴喇叭，大放黑屁。說真的，我們真不應該有這樣的「水準」！

#### 四、在河川方面：

地球表面三分之二是海洋。換句話說，到處充滿着水。但是，適合於人類飲用、灌溉、和種植的淡水，則僅佔總數的五千分之一。

水有溶解和輸送物質的能力，對一切的生物而言，比任何東西都要重要。動物的循環系統和植物的維管系統中，維持生命的物質，主要成份是水。一切生命離不開水。

河川爲承受水體，維護河川免予污染而源源不斷地供應我們飲用、灌溉和種植的水，比甚麼都重要。不幸的是，隨着經濟的發展，我們的河川多遭受到了污染。

以與臺北市市民息息相關的新店溪和基隆河爲例。新店溪不但是臺北市民飲水之源，而且是條美麗的河川。多年來，在政府機關疏於管理、不肖商人濫墾濫建的情形下，沿岸山坡地帶興建了不少的住宅和別墅，以致家庭污水排入或滲入溪裏，污染水源。另外設於它上游集水區內的垃圾場，也威脅到水源的安全。據臺北市自來水事業處資料顯示，新店溪原水的大腸菌含量，目前爲二、〇〇〇MPN，介乎水污染防治法施行細則規定五種河川水質的甲類與乙類之間，其水質遭受污染的程度仍令人頗爲擔憂。基隆河自猴洞、瑞芳、八堵、士林而出海，沿途歷經煤礦洗煤

和羊毛廠洗羊毛等浩劫，水質污染的程度，較之新店溪尤為嚴重。夏季天熱，如果一連多少天沒有下過雨，凡是經過圓山大飯店附近的人，都會聞到一種令人欲嘔的臭味，那便是基隆河的水因遭受污染，含氧量不足而引發出來的。

再談談臺灣省的河川。臺灣河川以中央山脈為主要分水嶺，東西分流入大海，小河川計有一五一條，其中主要河川十九條，次要河川三二條，普通河川一〇〇條。根據臺灣省水污染防治所調查報告，「主要河川除大安溪、濁水溪未受污染外，大甲溪、秀姑巒溪稍受污染，輕度污染的有卑南溪，中度污染的有花蓮溪，其餘大漢溪、後龍溪、烏溪、北港溪、朴子溪、八掌溪、急水溪、曾文溪、二仁溪等均嚴重污染，其中北港溪、朴子溪、烏溪、急水溪、二仁溪的污染特別嚴重。

「造成河川污染，工業廢水及家庭污水是主要原因。工業廢水中所含的毒物，大致可分為有機毒物及無機毒物二大類，前者如多氯聯苯、農藥、氯化苯類、硝基酚類等約有一一四種；後者約十五種，大部份為重金屬，如汞、鎘、鉛、鉻等，均為毒性極強的物質，這些物質已經證實會使人體致病。」

#### 四、危險的信號

環境污染的結果，直接影響國民生活，威脅國民健康。其具體的表現，乃為染患疾病和死亡原因的轉變。從這些轉變的數據裏，我們不難探討出疾病和死亡的來源。

美國行政當局曾在一九七六年二月底告訴國會說：「本世紀美國癌症的比率已增加兩倍多，而百分之六十到九十的這種世界性疾病是環境造成的，許多是人為的。」

水中的毒性物質如不妥予處理，可危害人體健康，比如：

##### 水中毒性物質

砷  
鉻  
銅  
鋅  
鉛  
鎘  
汞  
銀  
硒  
氟化物  
酚  
農藥  
放射性

##### 對人體健康影響

皮膚癌、癌症、烏腳病  
癌症  
肝  
腸胃  
癌、鉛中毒  
刺激腸胃、肝、腎、痛痛病  
水俣病  
心臟、血管、神經、肝、肺  
肝、腎、脾  
癌  
皮膚、粘膜、神經系統  
癌  
細胞變異、癌

空氣中的有毒氣體，如不妥予處理，亦可危害人體健康。比如：

##### 有毒氣體

##### 對人體健康影響

|          |                          |
|----------|--------------------------|
| 二氧化硫     | 危害呼吸器官                   |
| 多環性碳氫化合物 | 可能致癌                     |
| 二氧化氮     | 加重慢性支氣管炎及氣腫              |
| 一氧化碳     | 降低心臟收縮作用，減少肌肉和各器官所需之氧氣量。 |
| 臭氧       | 刺激鼻、喉嚨之粘膜，損害肺之正常功能。      |

臺灣地區人口死亡原因，隨着環境的污染，在百分比方面有着顯著的變化，像癌症之類的惡性贅瘤，近年來便一直在高升，且已躍居第一位。茲就近五年來十大死亡原因列後，以爲比較。

| 死亡原因／<br>年度百分比 | 六十七   | 六十八   | 六十九   | 七十    | 七十一   |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 腦血管疾病          | 16.80 | 16.13 | 15.93 | 16.47 | 16.50 |
| 惡性贅瘤           | 15.14 | 15.08 | 15.88 | 15.97 | 16.65 |
| 意外傷害           | 13.11 | 13.71 | 13.63 | 13.47 | 12.78 |
| 心臟疾病           | 8.34  | 8.68  | 9.17  | 8.94  | 9.27  |
| 肺炎             | 4.03  | 4.02  | 4.07  | 3.29  | 2.61  |
| 結核病            | 3.57  | 3.29  | 2.97  | 3.00  | 2.75  |
| 支氣管炎<br>肺氣腫、氣喘 | 3.29  | 3.30  | 3.11  | 3.30  | 3.16  |
| 肝硬化            | 3.71  | 3.64  | 3.58  | 3.57  | 3.59  |
| 高血壓性疾病         | 3.68  | 3.82  | 3.90  | 3.65  | 3.73  |
| 腎炎之類           | 1.94  | 1.67  | 1.60  | 2.70  | —     |
| 其他             | 26.19 | 26.17 | 25.75 | 25.64 | 26.36 |

事實上，前表死亡原因，像支氣管炎、肺氣腫、氣喘、高血壓性疾病，亦多與環境污染息息相關。

臺灣地區七十年因惡性腫瘤而死亡的人數，計男性八、七一九人，女性五、〇四五人，共一三、七六四人。七十一年計男性九、一〇九人，女性五、二八四人，共一四、三九三人。一年之間就增加六二九人，真是駭人聽聞！

環境污染對健康的影響，固不只前述因惡性贅瘤而致死亡之事例。這祇能說是具有代表性的危險信號，它告訴我們，該何去何從？

## 五、讓我們好好地生活下去

國內外從事環境保護的人士常說：我們祇有一個地球。容許我自私一點說：在目前，我們祇有一個臺灣。臺灣面積三六、〇〇〇平方公里，五分之三是山地，天然資源貧乏。我們一八、〇〇〇、〇〇〇人擁擠在這樣一個環境裏，原本有很多的困難，好不容易發展了經濟，改善了生活，可別讓污染破壞了我們生活的環境，危害我們的生存。

環境保護是公眾的事，不能完全依賴政府去做，也不能完全責成民間去辦。大家必需要先建立這樣正確的觀念，有了共識，才能共行，共信共行，問題才得解決。本於此，特提供幾點淺見

，以供各界人士參考。

## 一、徒法不足以自行

行政院衛生署主管全國環境保護事宜，先後制定空氣污染防治法、水污染防治法、廢棄物清理法及噪音管制法，對於廢水、廢氣、廢棄物等之管理，訂有一定規範，其不遵行者，最高可罰新臺幣三十萬元，並得連續處罰；除此之外，還可命令停工，吊銷執照。就法言法，可謂相當完備。惟施行以來，成效並不顯著，究其原因，人力、經費及設備，均有問題。試以檢查臺北市車輛排放黑煙為例，偶爾為之，根本起不了多大作用。又以工業污染而論，臺灣地區工廠大小數萬家，以水污染防治機關極為有限的人力和經費，實難就其污染行為逐一予以檢查、管制和追蹤。我們深知政府功能日益擴大，開支浩繁，惟為維護國民健康，對於防治污染保護環境的經費，仍希儘量予以寬籌。

對於廢水、廢氣及廢棄物的處理，應不以達到現行規定標準為已足。個人認為，在環境保護機關體系中，應積極籌設公害防治研究機構，專門負責污染防治新技術之開發，以及對於廢棄物處理之回收與再利用，並就研究開發成果，移轉各界利用。

## 二、業者有社會責任

經營工業、農業或交通事業者，對於污染防治常有一套託詞，即不是不做，而是會增加成本，影響營運。要說是業者的話毫無理由，實在也說不過去。不過，法律既有規定，自應全力從事，我國如此，外國亦復如此。再進而言之，污染防治所花費，應當作成本的一部份，如果大家都不致力污染防治，環境受到破壞，國民健康受到危害，業者又有甚麼前途可言？

就個人所瞭解，政府為鼓勵及協助業者購置設備防治污染，在工業方面，先後採取了下列措施：

- (一)工廠購置污染防治設備，依規定可於五年內抵減一定百分比之營利事業所得稅。
- (二)工廠購置技術密集及主要出口工業項下之污染防治設備，可以申請六億美元外匯貸款。
- (三)中小型工廠購置污染防治設備，可以申請最高額新臺幣五〇〇萬元之中美基金貸款，低利率，分八年償還。
- (四)工廠進口污染防治設備經工業局證明者可免徵或減徵進口稅捐。
- (五)工廠購置污染防治設備使用，經工業局證明者可享受所得稅法二年加速折舊。
- (六)工廠因污染遷廠或經主管機關輔導遷廠者，經主管機關證明者，可申請臺電公司免收擴建補助費。
- (七)工廠為擴充污染防治設備，主管機關可協助其增購毗連工業用地。
- (八)經濟部特別成立工業污染防治技術輔導小組，聘請專家學者，應工廠之申請，前往現場，提供技術服務。

照說，政府採取這一系列之措施，應有助於工業污染的防治，但結果並不理想，主要原因，還是在於業者的觀念問題，一言以蔽之，離不開生產成本。隨便舉例來說，基隆附近有兩家工廠，產製相同貨品，排放同性質污水，造成基隆河的嚴重污染。案經主管機關一再督促改善，其中之一添購污染防治設備久不操作，藉口為對方污染防治設備尚未建妥，如先行操作運轉，一定有

所花費，必然增加成本，在貨品行銷方面，將會處於劣勢。桃園縣政府有次舉辦工商座談會，一位工廠負責人坦誠表示，他自己的工廠有污染防治設備，但操作用電，費用可觀，故多讓其閒置，請協洽臺電公司，對污染防治用電，特予優待。臺電公司有這樣的義務嗎？

### 三、集羣力以爲之

正如前面所說污染防治是公眾的事，因此，要大家都參與此一工作，才能有所成就。茲提出幾點作法：

(一)由政府機關設立機構，處理廢水、廢氣、廢棄物等，如工業主管機關已設於工業區之污水處理廠。

(二)由業者自行設置污染防治設備，以處理自身排放之廢水、廢氣、廢棄物等。現在，有的工廠已經設置，有的工廠尚未設置。

(三)由政府與民間合作，共同投資，成立機構，負責處理廢水、廢氣、廢棄物等。現在尚無此類污染防治機構。

(四)由業者利用污染防治設備，兼代處理其他業者的廢水、廢氣、廢棄物等，據悉臺灣氰胺公司已利用其設備代人處理廢水，它是一個好的開始。

(五)由業者聯合出資，成立機構，處理其所產生的廢水、廢氣及廢棄物。現在尚無此類機構。據悉若干年前，工業主管機關有意推動三重市頂坎工業區部份工廠，成立聯合廢水處理場，由於業者以私利爲重，未成事實。

(六)以法令規定，鼓勵民間投資成立污染防治公司，或財團法人組織，經營污染防治業務。現有一家財團法人工業公害防治中心，但規模未具，人力、經費及設備均欠缺，應有更多的此機構設立。

### 四、讓大家都知道

污染防治，保護環境，與我們每一個人的健康、幸福都有密切的關係，要工作做得好，廣收成效，首先要讓大家有深切的認識。爲要達成此一目的，我們宜應從各個不同的角落，運用各種不同的手段去努力。

(一)環境保護機關多多利用大眾傳播工具，有系統的宣導污染防治常識，以及民衆應配合辦理的事情。

(二)環境保護機關多多印製一些精美的污染防治讀物，分送學校、家庭或別的公共場所。

(三)教育機關配合環境保護的需要，於中小學生教科書讀物和補助編入一些污染防治、環境保護的題材，俾從小喚起國民的注意。

(四)社會慈善團體如獅子會、扶輪社等，請一本熱心助人救人的崇高精神，分出一部份的人力財力，做一點污染防治、環境保護的宣傳工作，或者在學校設立獎學金，鼓勵同學們從事有關之研究。

(五)宗教團體，勸人爲善，助人爲善，不妨亦參與宣揚污染防治，環境保護的工作。事實上，與其勸人修茫茫的來生，不如爲現世千萬人的造福。

## 五、不要因循誤事

污染防治，環境保護，要做的事情很多，千萬不能拖延下去。比如垃圾處理問題，到今天為止，我們還沒有一座現代化的焚化爐，以大量的，安全的處理夜以繼日不斷產出的垃圾。像臺北市一天產出將近二〇〇〇噸的垃圾，衛生掩埋，用地有問題，隨意棄置，遭怨且多糾紛。君不見，內湖已有「垃圾山」？究竟如何辦？總不能說與你無關吧！你可能住在離「垃圾山」稍遠的地方，可是有一天「垃圾山」再也容納不下更多的垃圾時，可能拋棄到你住處的附近來，這不是危言聳聽，如果不即時設法，未來確有可能。何況垃圾不經處理，將會污染水質水源，惡臭冲天，無人可能逃避。誰說跟你、跟我、跟大家沒有關係？

在各地即時興建焚化爐，特別是大都市，實在是刻不容緩的事，有人認為在都市附近興建，可能造成另一次污染，危害居民安全。其實，這種顧慮是多餘的。以現代科技之進步，在外國，普遍都大事興建焚化爐，已為司空見慣的事。遠的不說，以鄰國日本來說，臺北議員先生們去參觀過的東京都足以清掃工場，四週即有成羣的住宅，從未聞有二次公害之爭。現代化的焚化爐，都為密閉式系統，電腦化操作，其清潔的程度，有如觀光旅社，你既看不見髒亂的垃圾，也聞不出嘔人的臭味。

# 噪音與無線電頻率輻射對心臟血管系統之影響

吳 聰 能\*

## 壹、噪音與心臟血管系統

雖然已有許多有關噪音對心臟血管影響的資料被發表過，但是大部分可應用於工業人口 (Industrial population) 的資料只是有關短效性作用 (Short-term effects) 方面的研究。對於工業人口而言，噪音的曝露一向是引人注目的。舉例來說，光是美國一地大概就有三千萬位以上的製造業及電氣設備業 (Manufacturing and electrical utilities industries) 勞工是曝露在規則性與間歇性噪音共同存在的環境中。而其中有好幾百萬位勞工是曝露在全部八小時工作時間均超過90分貝的噪音位準下，而且，也有好幾百萬勞工在一平常工作日內是曝露於85至90分貝噪音位準下。

有關噪音對於非工業人口之心臟血管方面作用的資料甚少；然而，却可由經過高度選擇的工業人口的資料中得到某些含意。

噪音對心臟血管系統的作用，可視為是全部 Stress 及應的一部分。大部分的研究者指出噪音對心臟血管系統之特定部位的影響，包括有血壓、血中內分泌水準，血小板凝集及血清膽固醇。如同前面所提，大部分的研究調查都只是短效性的影響而已。如果對任何的短效性研究繼續予較長時間的研究，則不論其是否會導致嚴重急性心臟血管性併發症，諸如心肌梗塞 (myocardial infraction)，還是腦血管意外事件危險性的增加，目前尚未可知。

### (一) 血壓反應

有些研究報告說曝露於較高(105~110dBA)或較低 (90~100 dBA) 噪音位準之後，血壓會稍有增加。Lehmann 及 Tamm 曾指出當人們曝露於噪音之下時，末梢血管阻力會增加，但仍不清楚的是，這些變化與血壓反應到底有何重要的關連性。大部分的研究都是報告短暫性及廣泛性 (transient and widely) 的不同變化；例如，Carlson 報告說在 2 小時的噪音曝露，只有最初的15分鐘中，血壓會有暫時性增加的現象，但是，隨後血壓並無法證實有進一步的升高。到目前為止，曝露於噪音的個體，不論是人或實驗動物，其有關血壓反應却有着很大的差異。Cartwright 及 Thowpson 強調足够的控制期間 (adequate control period) 的重要性，至少要 2 個小時，這可在實驗開始之前使心速穩定，並使收縮壓與舒張壓(systolic and diastolic blood pressure) 穩定，俾免導致錯誤的結果。依據此項建議的兩個研究計畫發現曝露於噪音之後，血壓並無顯著變化。

\* 高雄市工礦檢查所檢查員

### (二)內分泌激素

調查噪音與內分泌變化之間關係的實驗結果是令人混淆的。Cantrell 令工廠勞工曝露於幾星期的 tonal pulses，而報告說血清之腎上腺皮質內分泌激素 (Cortisol) 水準會增加。但 Brandenberger 却無法印證這些發現。而值得注意的是，報告指出曝露於噪音位準後，由腎上腺髓質 (adrenal medulla) 而來的內分泌激素反應的作用遠大於腎上腺皮質 (adrenal corticoid) 而來的。

有些研究指出，在整天曝露於 90-95 dBA 範圍的噪音之下，有25%的人會有尿中新腎上腺素程度 (urinary norepinephrine levels) 伴隨於血壓升高而增加的現象。其他的研究則需在不同的人口與不同程度的噪音曝露之間，詳細說明尿中新腎上腺素排泄增加之多寡。此些研究包括有低位準噪音影響及重覆性間歇曝露於高或低噪音位準。

### (三)血清膽固醇

Ortiz 曾證實人在高噪音位準之下；血清膽固醇程度會有所增加，而且 Cantrell 也報告說，人在 80-90 dBA tonal pulses 之下數週，有19%的人血清膽固醇程度增加，而此種變化的程度也為其他的研究者所證實。當然有需要依此途徑的更深入研究，尤其是除了動物實驗外，還得有人體方面之研究，以能證實以往發表的發現。

### (四)血小板凝集

在老鼠及兔子方面，曾報告於噪音曝露之後，會有不正常的血小板凝集現象。在體外，醫用 Doppler device 所產生之超音波能導致血小板凝集，但是，此一作用是需有特定的實驗條件。目前尚未瞭解此類設備的醫學用途是否即會構成危害，或是需將此些研究的特定實驗條件真正地呈現於體內才會有所作用。

## 貳、無線電周波輻射與心臟血管系統

無線電周波包括介於游離輻射與可聽性音波之間的電磁波譜 (electromagnetic spectrum) 部分，由於雷達設備 (Radar) 的拓展及家庭微波能量的使用增加，使得在最近的四十年內，電磁波輻射大量地增加。由於曝露在家庭用微波器具及雷達設施散射出的無線電周波輻射範圍之輻射，使得軍事設施或研究機構的人員更受到集中性的曝露。在有意地發出微波進入建築物內，使得一項引人注目及不尋常的高度曝露發生於美國大使館的人們。

大部分現有有關微波曝露影響的科學文獻，大都來自蘇聯、波蘭與捷克的研究者。有時很難於評估此些報告的意義性 (significance)，因為敘述術語學 (descriptive terminology) 及方法學的使用，在其他國家中並無較完善定義的類似研究。只有近來，美國科學家開始研究無線電周波輻射對人體及動物的影響。

無線電周波輻射的曝露影響，彼此之間可能相當不同，這完全視強度、時間及曝露的周期性 (periodicity of exposure)，發生源及甚至視建築物就曝露之位置而定。高強度電磁波 (10mw

cm<sup>2</sup>)的周期性輻射可能與自律血管系統 (autonomic vascular system) 的障礙，包括高血壓的發生，心跳徐緩 (bradycardia) 及神經性循環衰弱 (neurocirculatory asthenia) 的病狀有關。此種急性影響，包括血壓與心律之不安定性 (lability)，根據報告指出是為可逆性的；至於周期性或慢性低位準曝露對於心臟血管系統的影響目前所知有限。微波輻射已知可提高解剖組織內部分特殊結構的熱度。而頭部的曝露也可能使得自律神經性分泌改變而導致心臟血管方面的影響。至於急性曝露，除了文獻所提帶有暫時血壓增高的心跳徐緩外，在心電圖 (electro cardiogram)、心向量圖 (vectorcardiogram) 或心搏出量描記圖 (ballistocardiogram) 等並無伴隨而生的變化。

歐洲的研究工作者表示，在曝露於高強度輻射 5~15 年之後，會有血壓增加，持續性心跳徐緩及胸痛。而將個人由此種慢性、暫時性曝露中移除後，則該些徵候與症狀將會消失；但當再次恢復曝露在輻射下時，却可導致比以往症狀更嚴重的急性再現。

## 總 論

假若噪音為應力的誘因之前題是可行的，可經由中樞神經機序而引起廣泛性心臟血管作用。正如以往的文獻所報告，在血壓、循環性內分泌激素程度及尿中兒茶酚胺 (Catecholarine) 分泌、血清膽固醇及血小板凝集（在實驗動物體內）有可衡量性的變化。大部分的研究都是有關於對人及動物的短效性影響，而有關噪音對心臟血管系統長效性影響的資料則較為難得。

目前有關因短暫曝露於噪音引起的短效性生理變化的大小與動脈粥狀硬化 (atherosclerosis) 增加或高血壓形成的定量關係之資料極少，因此，更遑論任何促成心肌梗塞或中風的額外危險性之比例。未來研究可能的重點在於：(1) 噪音曝露而引起的心臟血管系統急性變化。(2) 不同人口的危險性，及(3) 可能導自於慢性短期高位準噪音曝露的長期性危害影響。

因此，更進一步地研究是需去決定在何種噪音環境下之曝露會引起血壓之增高，以及如何去定義易感性人在內。特定位準與周期性的噪音曝露與慢性高血壓及心臟血管疾病間之關係即可被加以探討。在過去，大部分噪音對生理作用的研究已認定噪音是一種職業性危害；此外，有關噪音對人體健康的整體影響之資料也是迫切需要的。

關於無線電周波輻射，尚缺乏足夠的動物或人體方面的資料以供描述一個有關心臟血管危險性的清晰狀況。而且，不同的曝露模式（急性、慢性、定期性、低位準）使得更難在科學的立場上決定不安全位準，此一範圍曾被西方的科學家們嚴重的忽略，或許這應該是值得去調查研究的。

（本文譯自 Circulation 63:264A, 1981，原文名為 Noise, radio frequency radiation and the cardiovascular system，作者 Leor Resnekov）

# 酸雨研究報導

陳錫金\*李春齡\*\*

## 內 容

本文分成(一)研究史(二)國外觀測情形：(1)水質觀測(2)大氣觀測(三)國內觀測情形(四)酸雨於對流層中氣相化學反應生成之探討(五)酸雨之影響：(1)對河川、湖泊水質之影響(2)對水生物之影響(3)對森林之影響(4)對土壤之影響(5)對作物之影響(6)對建築、物體之影響(7)對人體之影響(六)防範之對策(七)參考文獻。

## 一、研 究 史

在各別獨立排放源附近，有酸性雨的報導，此需追溯到1872年，但首次使用 pH 量測表示的，則是1939年在美國Maine州之 Brooklin，當時測得之 pH 值為5.9，其後1949年在 Washington D.C，8 個採樣點之 pH 量測值為4.2。

從1964至1966年，美國國家氣象研究中心(The National Center for Atmospheric Research)展開首次全國大規模性的酸雨沉降之 pH 量測，此發現東北地區之 pH 值低至4，西部中區之 pH 值在7以上，西北地區之 pH 值在6以下，由此可知1970年代中葉前，東北地區即顯示有酸雨的沉降，至1978年美國國家大氣沉降計畫中則已設立50個取樣站來偵測酸雨沉降的化學作用。

歐洲部份，從1950年代瑞典即開始一連串的研究。沉降化學之偵測網自 Scandinavia 建立後，立刻擴及西歐各國，偵測之 pH 值為5~6，而最低值則出現在挪威的南方。又自1950年代起亦有逐年酸化的現象，約從過去的6.0降至目前的4.0左右，但 pH 值達到4.0以下，亦是常有之事。

雨水通常存在大氣中，雖可因  $\text{CO}_2$  的溶解而稍受碳酸( $\text{H}_2\text{CO}_3$ )之微酸性的平衡影響，但硫酸、硝酸等氣體受大氣中雨水的沉降冲刷而導至生成 pH 值低於5.6之酸性雨水，即稱之為酸雨。

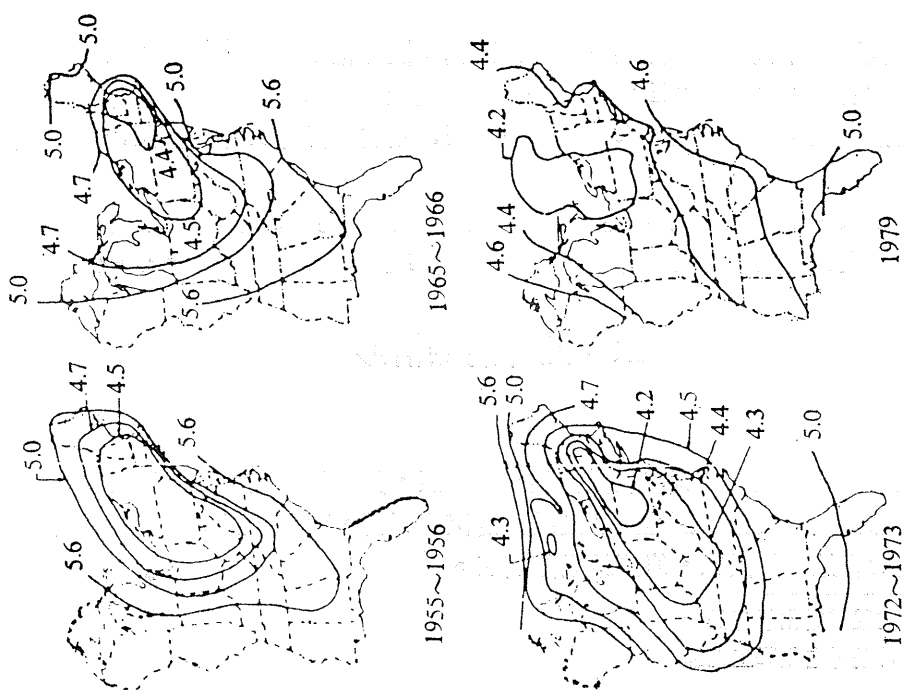
## 二、國外觀測情形

### 1. 水質觀測

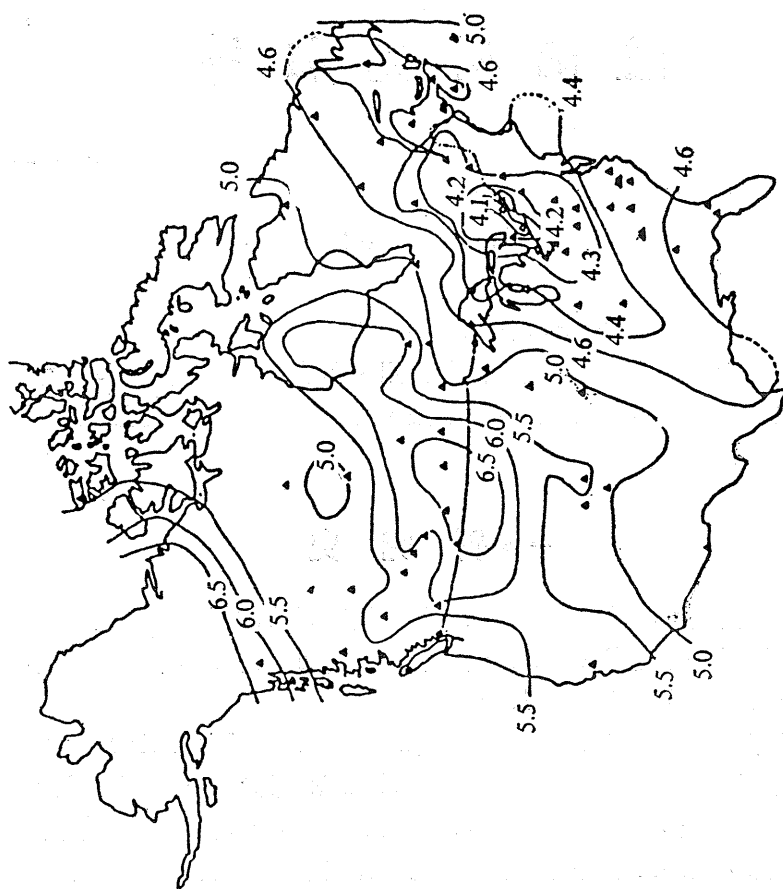
美國國家大氣沉降計畫研究調查包括整個北美地區，其結果如圖一，由此圖中可知北美洲東部，即美國東北部與加拿大東南部地區受到酸雨的沉降影響，歐洲地區；1955年開始在國際氣象研究所，遍及西歐設站，如圖二，偵測結果如圖三。

\* 臺灣電力公司發電處化學課長

\*\*臺灣電力公司發電處化學工程師

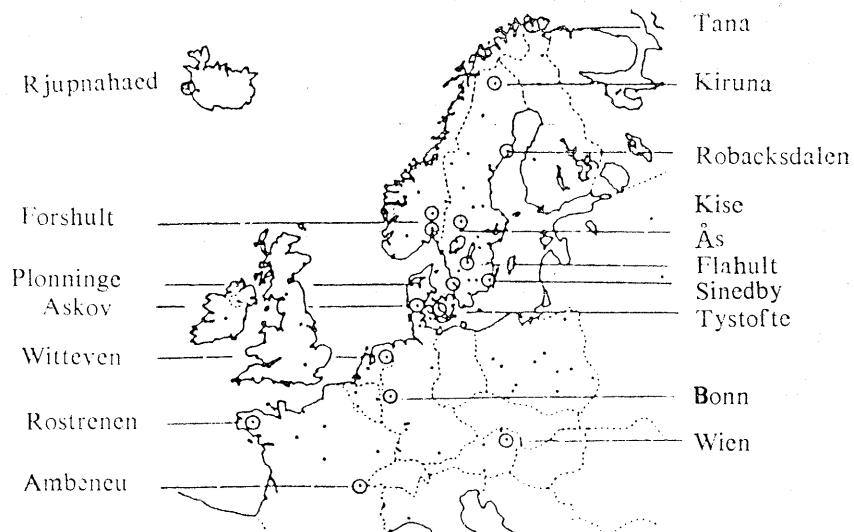


(a) 美國<sup>(3)</sup>

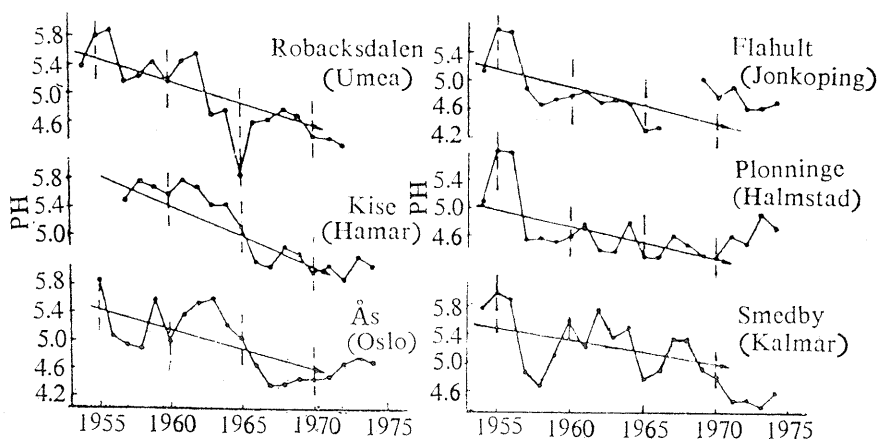


▲ (注) NADP (美國) 與 CANSAP (加拿大) 之降水偵測網  
(b) 1979年4月~1980年3月

圖一 北美洲降水之酸性化



圖二 歐洲大氣化學偵測網採樣站



圖三 降水之 pH 之經年變化

以上之研究，除了 pH 的量測外，亦包括雨水水質的化學成份分析，陽離子有  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ 、陰離子有  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ 、及鹼度、導電率等項目，同時發現一共同的現象，酸雨地區其雨水中的重金屬濃度，除鋁外，皆比非酸性雨域高，如表一。

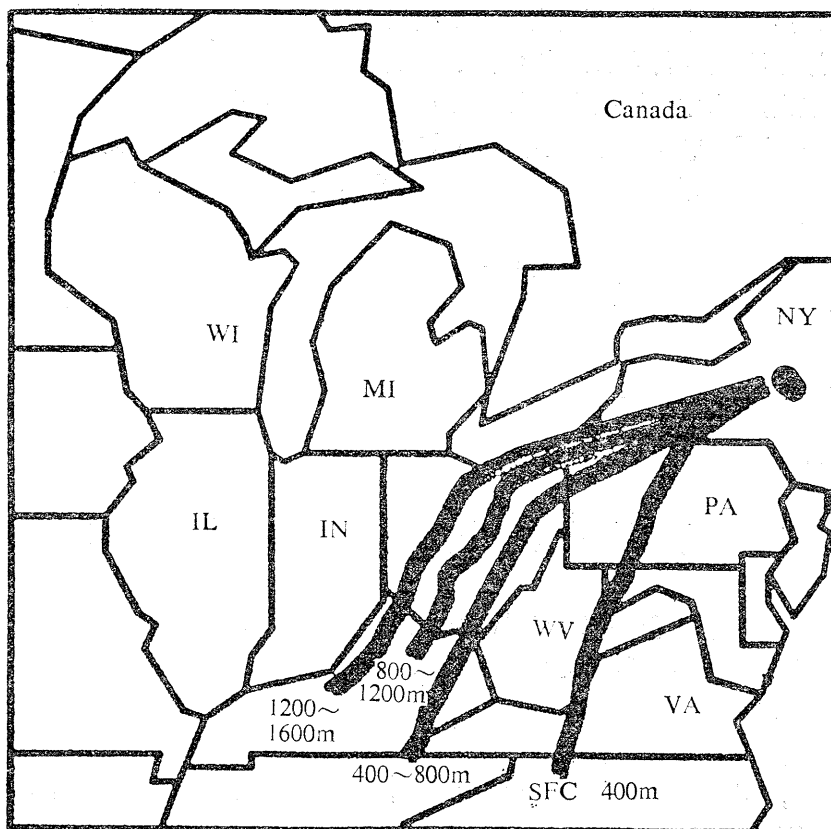
表一 酸性雨域與非酸性雨域降水中金屬類

| 降 水 之 種 類 與 地 域 | 金 屬   |      |     |       |      |     |    |     |       |
|-----------------|-------|------|-----|-------|------|-----|----|-----|-------|
|                 | Al    | Cd   | Cu  | Fe    | Hg   | Mn  | Ni | Pb  | Zn    |
| 濃 度 (μg/ℓ)      |       |      |     |       |      |     |    |     |       |
| 非酸性雨域           |       |      |     |       |      |     |    |     |       |
| 雪(マニトバ)         |       |      | <1  | <2    |      | <1  | <2 | <1  | <1    |
| 雨、雪(ネブラスカ)      | 350   | 0.3  | 4   |       |      | 5   |    | 5   | 10    |
| 雨(挪威北部)         |       | 0.4  |     |       |      | 4   |    | 3   | 38    |
| 年平均(挪威北部)       |       | 0.2  |     |       |      | 4   |    | 4   | 8     |
| 酸性雨域            |       |      |     |       |      |     |    |     |       |
| 年平均(挪威南部)       |       | 0.3  | 5.3 |       |      | 7   |    | 13  | 29    |
| 年平均(サドベリー)      |       | 0.6  | 11  | 36    |      | 30  | 7  | 21  | 26    |
| 雨、雪(minnesota)  | 56    | 0.2  | 4   | 38    |      | 3   | 1  | 7   | 93    |
| 雨(ニューハンプシャー)    |       | 0.6  |     |       | 0.06 |     |    | 13  |       |
| 年平均(マサチューセッツ)   | 49    | <0.5 |     | 27    |      | 3   | <5 | 26  | <75   |
| 年平均(歐洲中部)       | 190   | 1.2  | 21  | 150   | 0.04 | 20  | 1  | 38  | 370   |
| 雪(瑞典南部)         |       | 7    | 9   | 216   |      | 5   | 48 | 64  | 311   |
| 雪(挪威南部)         |       | 0.5  | 2   |       |      |     |    | 3   | 28    |
| 雪(ケバソク)         |       |      |     |       | 2.9  |     |    |     |       |
| 年間沉積量(g/ha)     |       |      |     |       |      |     |    |     |       |
| 非酸性雨域           |       |      |     |       |      |     |    |     |       |
| 美洲中北部 5 地點      |       |      | 5   | 7     |      | 26  | 7  | 22  | 58    |
| 酸性雨域            |       |      |     |       |      |     |    |     |       |
| 美洲東北 5 地點       |       |      |     | 293   |      | 190 | 60 | 703 | 1,154 |
| ニューハンプシャー       |       | 9    | 326 |       | 0.8  |     |    | 196 |       |
| 歐洲中部            | 2,000 | 13   | 224 | 1,600 | 0.4  | 200 | 15 | 405 | 3,900 |
| 紐 約             |       |      |     |       |      | 173 |    | 183 | 235   |

## 2. 大氣觀測

大氣中酸性污染物質、硫酸、硝酸等大量的增加，乃由於世界各國產業活動增加，大量使用化石燃料燃燒所排放廢氣造成之結果。因煙氣在沉降前，於大氣中飄送變化多端，對於排放污染源煙流傳送與酸雨形成地區之間究竟關係如何，此美國分別以物理、化學兩種傳送方式加以研究如下：

- (i) 物理傳送方式——以空氣質量，傳送途徑分析(Air mass trajectory analysis)與長距離傳送模式(long-range transport models)兩種程序加以研究，此與煙流的排放高度、風速、風向、地球、公轉等條件息息相關。美 Samson 及 Moody 曾於紐約市以此種方法，反推出 4 種來自北 Carolina 至西 Kentucky 州之傳送途徑，如圖四。



圖四 從選擇出不同高度之排放源，依風向而反推出四個可能來自的空氣質量擴散途徑（資料來源：Samson 及 Moody,1980）

- (ii) 化學轉化方式——酸性污染物質  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  等排放至大氣中，停留 1 ~ 4 天所可能發生光化學反應現象之探討。

### 三、國內觀測情形

1979年由臺大植物病蟲害學研究所孫岩章、吳瑞鈺展開臺灣地區酸雨的調查研究工作，其工作的範圍、項目，包括雨水的收集與雨水 pH 測定、化學成份 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  離子) 的定量分析等。詳述如下：

- (i) 雨水的收集，即樣品採樣——於 5 ~ 6 月間在臺北地區採得 57 個樣品，桃園、新竹地區 78 個樣品，高雄縣大社鄉採得 1 次雨水，嘉義市 4 次雨水。6 月以後，臺灣已進入夏季型有陣雨的氣候，在臺北地區採集 27 個樣品，8 月份在屏東南州鄉採集到 3 次雨水樣品

。颱風雨季節，約每 4 小時採雨 1 次，臺北地區共採集 25 個樣品，高雄縣大社鄉及屏東縣南州鄉則採集了 15 個樣品。

- (ii) 觀測結果顯示——1979 年 5 月及 6 月間發現臺灣北部地區雨水的平均酸鹼度為 pH4.4~4.8，同期間在嘉義與高雄採集 5 次雨水，亦測得相近之酸鹼度。隨後在夏季（6~10 月）期間，收集臺灣北部地區的雨水，測得其酸鹼度為 pH3.9~5.3，平均為 4.2。同期間自屏東南州鄉採得 3 次雨水，平均亦為 pH4.2，由此證明臺灣已處於酸雨的威脅之下。分析上述雨水中無機酸成份之結果，發現臺灣 5、6 月雨水約含有 4ppm 的  $\text{SO}_4^{2-}$ ，0.7ppm 的  $\text{NO}_3^-$ ，及檢定不出的  $\text{Cl}^-$ ，但桃園沿海地區的雨水則另含有 12.4ppm 的  $\text{Cl}^-$ 。臺灣的夏季雨發現含有 10ppm 的  $\text{SO}_4^{2-}$ ，2ppm 的  $\text{NO}_3^-$ ，亦檢查不出  $\text{Cl}^-$  的存在。另在夏季颱風來臨期間於臺北採得 25 次雨水樣品，發現其酸鹼度平均為 5.8，含  $\text{SO}_4^{2-}$  僅 1ppm， $\text{NO}_3^-$  為 0.4ppm， $\text{Cl}^-$  則達 8.7ppm，大部份不是酸雨。同期間自高雄、屏東採得的雨水 15 次，酸鹼度平均為 6.6，含  $\text{Cl}^-$  為 1.6ppm，顯示皆受到海水的污染，但皆非酸雨。

\* 目前國內（行政院環保局、臺電）僅止於水質方面的觀測；行政院環境保護局並草擬與亞洲各國合作進行酸雨的研究計畫。

#### 四、酸雨於對流層中氣相化學反應生成之探討

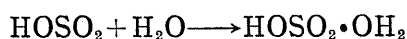
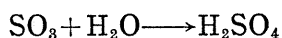
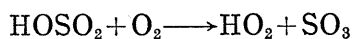
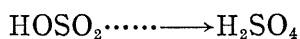
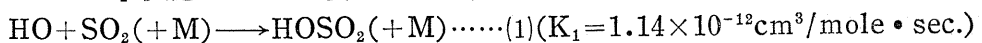
美國國家大氣研究中心 Jack G. Galvert 及 William R. Stockwell 所做之研究，最初在實驗室中模擬之化學反應約有 130 種，其中參與反應之因子，包括有陽光（照射引起刺激反應）、碳氫化物（HC）， $\text{RCHO}$ ， $\text{NO}_x$ ， $\text{SO}_x$  及其他人為之污染物質。而碳氫化物模擬之過程，為避免各種過多的反應數目、種類及不合理的計算反應後之時間，通常以 3 個步驟之 HC 代表之，即由最基本之 alkene, alkane 反應成為 propylene, propane, 再生成  $\text{RCHO}$ ， $\text{RO}$  類之化物，如  $\text{CH}_3\text{CHO}$ ， $\text{CH}_3\text{COCH}_3$  等，其研究結果顯示：

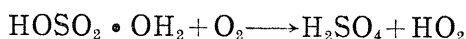
1. 目前使用 Computer 模擬對流層中，酸污染物質在此對流空氣質量裏之氣相化學反應愈來愈重要。在清澈的夏日時刻，酸在雲水中之反應，並不是最重要的。所選取之情況（Case）為在進行長程傳送空氣污染物質中，平均  $\text{SO}_2$  轉化成  $\text{H}_2\text{SO}_4$  之氣相氧化率為 13~24%/24 小時（50% 相對濕度），當相對濕度增加時，速率增加。

2. 酸污染物質排放分佈及反應產物之可能傳送程序

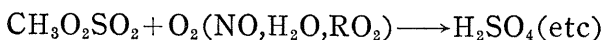
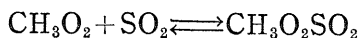
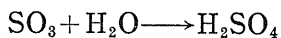
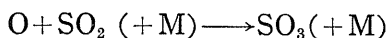
##### (A) $\text{SO}_x$ 部份

(i)  $\text{HO}-\text{SO}_2$  反應  $\text{HO}+\text{SO}_2(+\text{O}_2, \text{H}_2\text{O})\longrightarrow\text{H}_2\text{SO}_4+\text{HO}_2$  可能來自

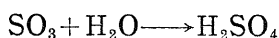
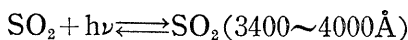




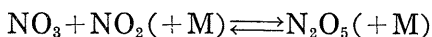
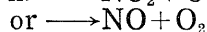
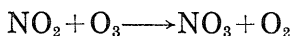
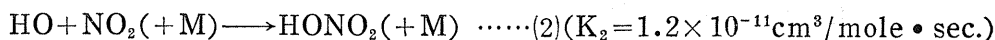
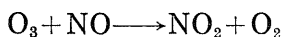
(ii) Criegee中間介質—— $\text{CH}_2\text{O}_2, \text{CH}_3\text{CHO}_2, \text{RCHO}_2$  等參與之反應式



(iii)  $\text{SO} + h\nu \rightleftharpoons \text{SO}_2 (2900 \sim 3400 \text{Å})$

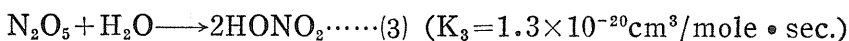
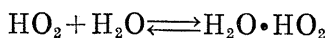
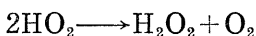


(B)  $\text{NO}_x$  部份

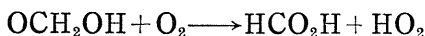
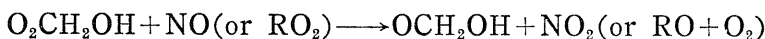
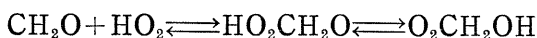
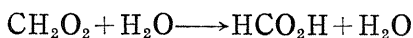
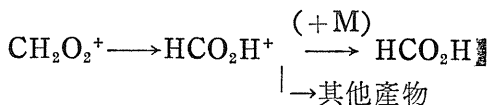


晚上易生成之反應  $\text{NO}_3 + \text{CH}_3\text{CHO} \longrightarrow \text{HONO}_2 + \text{CH}_3\text{CO}$

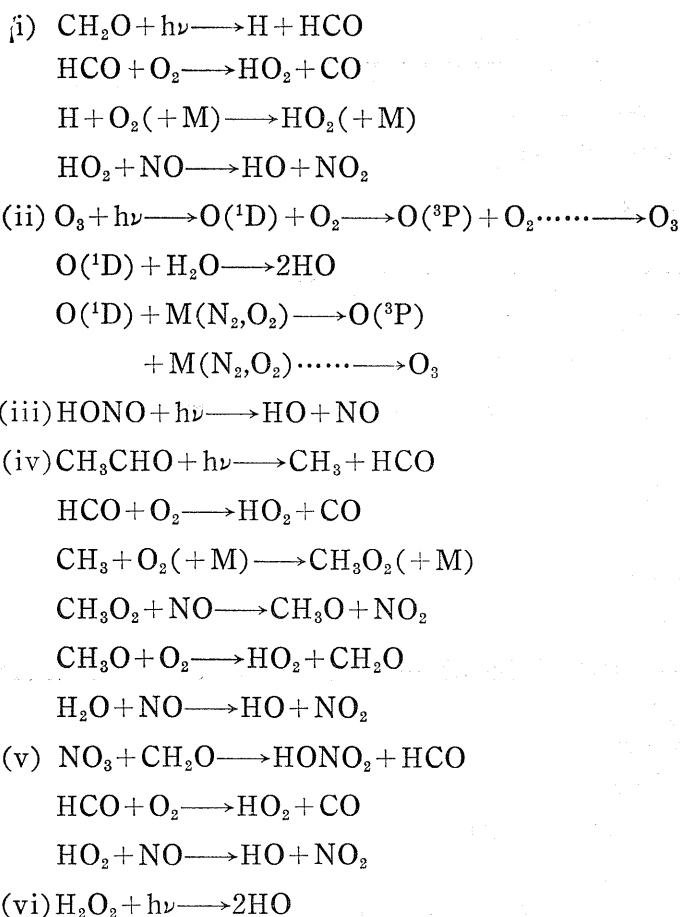
晚上易生成之反應  $\text{NO}_3 + \text{CH}_2\text{O} \longrightarrow \text{HONO}_2 + \text{HCO}$



(C) 其他



其中HO基之生成，來自



3. 理論上， $\text{NO}_2$  生成  $\text{HONO}_2$  之轉化率遠大於  $\text{SO}_2$ ，而  $\text{N}_2\text{O}_5 - \text{H}_2\text{O}$  反應速率常數依反應(3)式而定。 $K_3$  之最大值是在相當污染之對流層中平均每 24 小時多，為  $16 \sim 19\%/\text{h}^{-1}$  (50% 相對濕度)。替代性假設  $K_3 = 0$ ,  $\text{NO}_2 \longrightarrow \text{HONO}_2$  之 24 小時平均速率為  $6 \sim 11\%/\text{h}^{-1}$  (此情況在相當污染之空氣團中)。 $\text{NO}_2$  氧化率生成氣相  $\text{NO}_3$  與  $\text{N}_2\text{O}_5$  之程序，理論上不僅在白天，亦可連續在夜間生成。

4. 對流層中，觀測液相程序，至少需注重用氧化劑  $\text{H}_2\text{O}_2$  及  $\text{O}_3$  生成  $\text{HSO}_3^-$  之雲化學。雲層多，則  $\text{SO}_2$  經由  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  及其他氧化劑轉化成  $\text{H}_2\text{SO}_4$  之速率相當快，此即是實際上的生成之主要地方。

5. 氣相化學反應總生成酸中，約有 5 ~ 20% 是由有機酸組成，其他液相反應也可能為有機酸之加入者。

6. 目前為模擬控制酸生成實際影響之任何變數，而發展大氣傳送——運輸模式 (atmospheric transport and transformation model) 是必需的。Golomb 等研究酸雨模式動力分析，測定  $\text{SO}_2$  及  $\text{NO}_x$  之酸度為重要的因素，其認為正確的模擬必需包括時間與空間變數之氧化生成率常數。酸雨控制策略的成功與否完全尚建立在這仍未確知、非完全科學化、及推測之模式研究上。

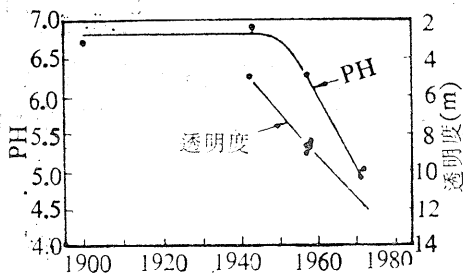
## 五、酸雨之影響

### 1. 對河川湖沼水質的影響

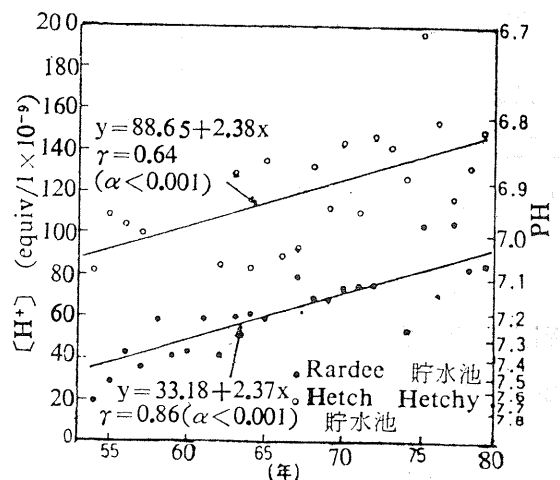
1-1 水質酸化——歐洲 Almer 於 Swedish 湖西岸地區 3,000 多湖沼中選取代表性湖沼約 400 個，調查研究結果如表二及圖五，美國 Mc Coll 1981 年於 San Francisco Bay 地區，貯水池調查結果，如圖六。

表二 Swedish 西岸地區中湖水之 pH

| pH         | 湖 泊 之 數 目        |                |             |
|------------|------------------|----------------|-------------|
|            | 1970年<br>11月~12月 | 1971年<br>4月~6月 | 1972年<br>8月 |
| $\leq 3.9$ | 15               | 4              | 3           |
| 4.0~4.9    | 97               | 79             | 17          |
| 5.0~5.9    | 67               | 129            | 35          |
| 6.0~6.9    | 116              | 124            | 63          |
| $\geq 7.0$ | 19               | 47             | 43          |
| 調查之湖數      | 314              | 383            | 161         |
| $< 5.0$    | 36%              | 22%            | 12%         |
| $< 6.0$    | 57%              | 55%            | 34%         |



圖五 Stora Skarsjon 湖水之 pH 與透明度之經年變化



圖六 Pardee 貯水池與 Hetch Hetchy 貯水池中  $H^+$  濃度之經年變化

1-2 酸性化同時伴存金屬類濃度的增加——酸性化湖沼之水質比非酸性化湖沼中之金屬濃度來

得高，如表三，此原因可能是酸雨中伴存的金屬類直接沉降到河川或湖沼，或酸雨使流域中土壤、底泥中之金屬類酸化溶出，而後流入河川、湖沼的結果。

表三 酸性度不同之湖沼之金屬濃度( $\mu\text{g}/\ell$ )

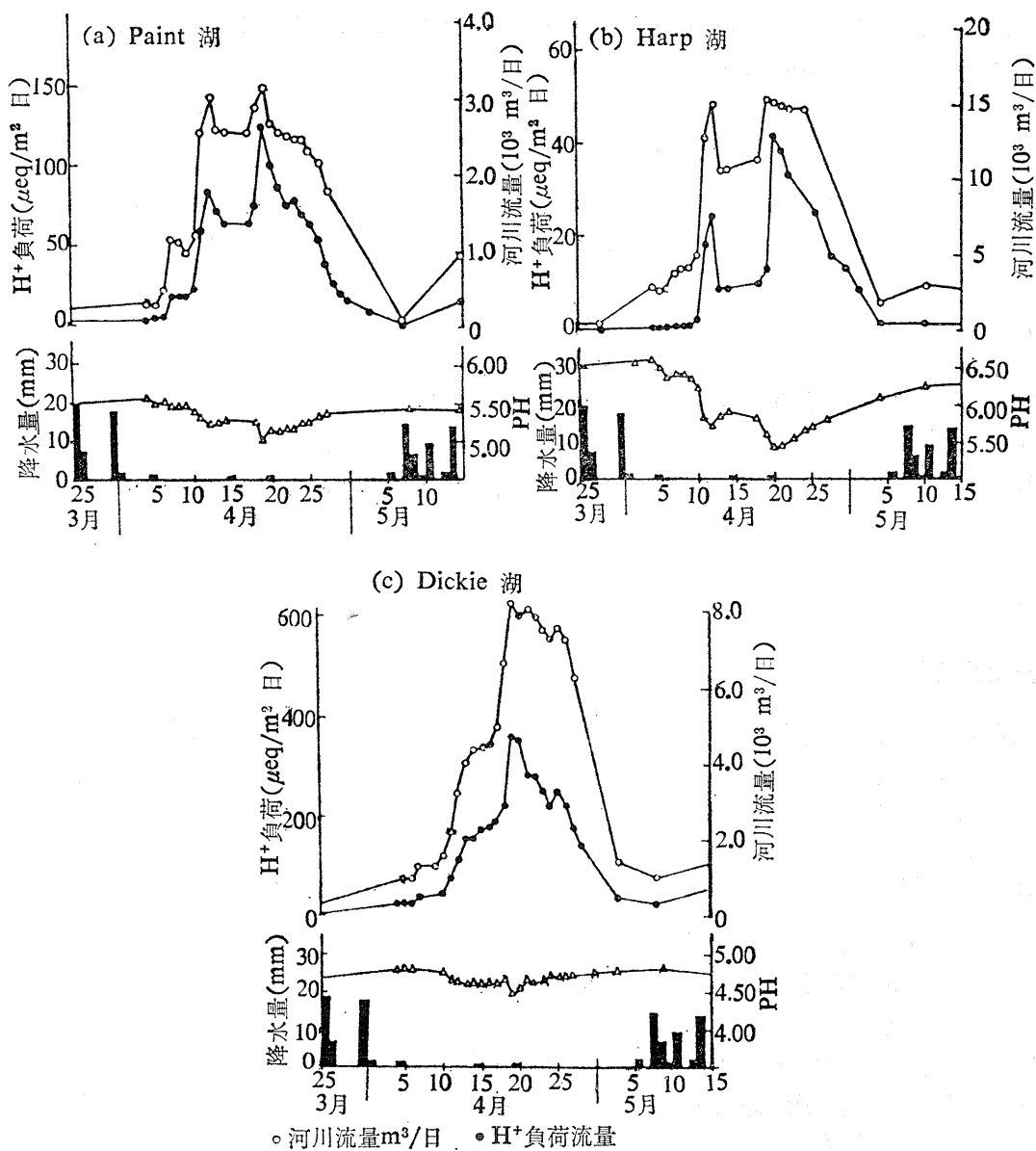
| 湖 沼                    | 金 屬          |      |           |         |     |      |        |
|------------------------|--------------|------|-----------|---------|-----|------|--------|
|                        | Al           | Cu   | Cd        | Mn      | Ni  | Pb   | Zn     |
| 非酸性湖                   | (pH 6.0~7.8) |      |           |         |     |      |        |
| Ontario 州 102湖沼之平均     |              | 2    | <0.1      | 3       | <3  | <1   | <1     |
| Blue Chalk湖 (Ontario州) | 13           | 8    |           | 40      | 3   |      | 9      |
| Panache北 (サドベリー)       |              | 6    |           |         | 28  |      | 6      |
| 瑞典北部                   | <50          |      | 0.05~0.23 | <100    |     |      | 10~30  |
| 挪威中央部                  |              | 1~10 | 0~0.5     |         |     | 0~5  | 1~17   |
| 北挪威北部                  | <20~65       |      |           |         |     |      |        |
| 非酸性湖與酸性湖中間之湖           | (pH 5.5~6.0) |      |           |         |     |      |        |
| Ontario南、中央部 14湖沼之平均   |              | 5.7  |           | 49      | 3.6 |      | 12.6   |
| ネルベン湖 (Ontario州)       | 13           | 13   |           | 18      | 10  |      | 16     |
| 酸性湖                    | (pH 4.1~5.3) |      |           |         |     |      |        |
| Ontario州 4湖沼之平均        |              | 3    | 0.4       | 239     | 10  | 2    | 30     |
| Clearwater 湖 (サドベリー)   | 453          | 97   |           | 300     | 215 |      | 46     |
| サドベリー中 4湖沼之平均          |              | 450  |           | 338     | 820 |      | 83     |
| 瑞典西岸                   | 200~600      |      | 0.08~0.63 | 300~400 |     | 1~5  | 30~122 |
| 挪威西南部                  |              | 1~10 | 0~0.6     |         |     | 1~10 | 3~35   |
| Langtjern 湖 (挪威)       | 218          | 6    | 0.21      |         |     | 2    | 15     |
| 挪威南部                   | 50~600       |      |           |         |     |      |        |
| アデイロンダッワ公園中湖之平均        | 286          |      |           | 45      |     |      | 23     |
| 挪威南部                   | 40~600       |      |           |         |     |      |        |
| 瑞典西部                   | 288          | 1    | 0.2       | 190     |     | 3    | 28     |

1-3 水質之 pH與季節變化——加拿大 Jeffries 研究流入湖沼之河川水質，其酸濃度在冬季末期，春季融雪之際，會將原蓄積在河川或湖沼中之酸性化屬或金屬類一舉宣洩出來，而致 pH 值低下，如圖七。

## 2. 對水生生物之影響

2-1 依據 Alabaster, J. S & Lloyd, R 研之究顯示，如下：

當 pH 為5.0~5.5時——魚類的數目受到抑制，但如水中含  $\text{CO}_2$  濃度不高過於 25ppm 以上，且不含鐵成份，則魚類不會迅速致死。而感受性強的魚類，其卵或幼苗也常會致死。底生無脊椎動物，如蚋蠅 (Simuliidae)、蜉蝣 (Ephemera)、搖蚊 (Chironomidae) 等之數目會產生變化，而蜉蝣之類，則會致死。細菌類的種類會減少，但酵母、硫酸菌、鐵菌變化則普通。藻類增多、高等植物也會生長。



圖七 雪融期間之河川流量 pH, H<sup>+</sup> 負荷與水量

當 pH 為 4.5~5.0 時——冷水魚不生育，鮭魚的卵及幼魚會致死。鮭魚也不會產卵，高濃度雖有害生存但不會致死。鮭魚 (*Salmo trutta*) 成魚能存活。底生動物相受抑制，蜉蝣之數目減少。數種典型之 (Plecoptera) 襉翅目類昆蟲會致死。主要存活的藻類為莖藻類。

當 pH 為 4.0~4.5 時——魚類之數目受限制，僅數種能生存，如鱸魚、數種之雜魚等。鱒魚於此環境下會致死。蜻蛉類則能存活。植物相受限定。當 pH 為 3.5~4.0 時——鮭魚

類等會致死。鯉科之 roach、tench、鱖科(perch)等，於馴化後或可耐受更高的酸度，但 pH 值接近3.5時，鯉科(roach)會致死。

當pH為 3.0~3.5時——魚類數小時以上生存希望皆不可能存在，僅一些無脊椎動物，數種的藻類存在，當pH更低時，有時亦可見其存在。

2-2 水質酸化後，致使底泥與水質之物質交換營養鹽之循環受妨礙，又土壤微生物分解葡萄糖及硝化能力受阻，植物浮游生物或細菌產生負的feedback作用，Grahn O., & Landner L. 等研究結果稱之為貧營養化現象 (Self-accelerating oligotrophication)。

### 3.對森林之影響

美國 Arthur H. Johnson及Thomas G. Siccama 研究調查東部森林樹木衰敗、枯死的因素，不外人為及天然因素所造成，天然因素即指樹木本身之樹齡等，人為因素，則可能受  $O_3$ 、 $SO_2$  酸雨沉降、土壤 Ca、Al 成份影響，外加天候變化乾旱或感染病毒等因子摧殘，致使併發衰敗死亡。森木枯死原因很多，是否全來自酸化雨，似難斷言，但調查顯示酸雨地區之森林土壤常含高 Al、Ca 成份，不利根組織細胞之生存，而衰敗之林木葉中含硫成份通常比健康的多約10%。

### 4.對土壤之影響

酸雨可能干擾生物分解營養物重貯回土壤中之程序，並且可能使 Ca、Mg 等元素很快地從土壤中被溶出，遠超過植物生長所需。瑞典的研究中森林中的土壤在酸雨影響下，受限制，僅低營養物質滲出而已。

### 5.對作物之影響

酸雨干擾作物的光合作用程序，使碳氫化物貯存功能破壞而造成碳氫化物產物減少。葉綠素為植物行光合作用轉化成碳氫化物之組織，但當 pH = 3 時，葉綠素被酸從植物體中移出，變白而失去應有的功能。此意即酸雨干擾光合成作用之反應機構。

實驗室所進行之研究，當 pH 值為 2~3 時，多葉植物，如菜豆、蕃茄、萵苣、蘿蔔、松樹等，葉片枯死、成長受到抑制，但天然環境中，酸雨對大宗農產物如大豆的影響，據某些研究結果，却反而光合成反應率增加、葉中葉綠素更多，惟缺乏作物產量明顯不同的統計資料。

此種，對作物產生有益的衝擊，對某些地區，如美國南方之松樹森林更益形重要，據估計氮肥中，約有40%來自大氣，沉降中的氮成份，再由植物轉化成營養物質。

### 6.對建築物體之影響

酸雨會侵蝕塗漆體表面，特別是對車輛。同時也會引起鋼料腐蝕、及暴露在大氣中之石像表面崩壞。希臘塑像歷經很多世紀，惟獨這個世紀崩壞最烈，美芝加哥現場天然歷史博物館也顯現具70年歷史的大理石已進一步崩壞。由於大理石做成的雕像，會與沉降雨中的硫酸反應，生成石膏，而形成黑色皮剝落下來，所造成嚴重的破壞性堪虞。

## 7. 對人體之影響

中度酸性雨，滴在人體皮膚、毛髮上，影響較少；當生成的硫酸、硝酸等酸霧，被人體吸入，附著在肺臟及鼻咽黏膜上的感受性比皮膚要大得多。人體直接暴露在酸雨下之忍限值(threshold levels) 與衝擊性如何，目前仍在研究中。

## 六、防範之對策

一般而言，燒煤與燒重油之工廠、機組等是  $\text{SO}_2$  及  $\text{NO}_x$  之最大來源，若能控制此些廢氣的排出，大抵便能減低雨水的酸度。故依 Likens(1972)的建議：酸雨的防治之道包括：(1)節約能源(2)工廠增設脫硫設備，使用低硫燃料(3)改變燃燒方法，減少廢氣排出(4)使用替代能源如核能等。美國國家酸雨沉降評估計畫(The National Acid Precipitation Assessment Program)所擬的對策，包括(1)酸雨沉降既有知識現狀及其影響評估(1)推薦有效管理酸沉降之政策或行動(3)改善受酸沉降傷害影響之策略。而此計畫，將有一般性的策略，如(1)依現有努力去發展聯邦之酸雨計畫(2)使用既有的科學知識(3)初期長程計畫研究(4)建立長程國家之趨勢工作偵測網(5)繼續評估酸雨方面的訊息及其影響。此計畫，必需由 EPA、國家海洋及大氣管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration)、及其他政府代理 (Government agency) 共同組成之代表通過始能推動。

未來美國酸雨的控制策略的採取，最主要的是依據現況與政治因素。從法規明定，要求執行最為可行，此雖必經國會同意，但已定或即將實施之法規，如美、加之 Memorandum of Intent on Transboundary Air Pollution; New York/Pennsylvania Interstate Pollution Petition; The Acid Precipitation Act of 1980; The Clean Air Act Amendments of 1981等對酸雨的減除，確有助益。

另有 Argonne National Laboratory之Darid G. Streets 等所研究之替代減除策略，如 BP5、CWM、CP2、STF、DAM 等，所謂：

BP5——為無特殊的酸沉降控制策略。

CWM——使用洗煤計畫。

CP2—— $\text{SO}_2$ 排放之總量限制在  $2\ell\text{b SO}_2/10^6\text{BTU}$ ，其餘與 BP5 類似。

STF——符合 The Stafford 法規 (S3041)，擬定於12年內減除  $\text{SO}_2$  之量為 8million tons/y.

DAM——符合The D'Amours 法規 (H. R. 4816)，在酸雨減除區50個大  $\text{SO}_2$  排放源之  $\text{SO}_2$  排放量，需減少85%。大於 100MW 之機組其  $\text{SO}_2$  排放總量需在  $1,2\ell\text{b}/10^6\text{BTU}$  以下。

其他，亦考慮使用低  $\text{NO}_x$  burners、低氮燃料，添加中和處理藥劑，如 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{CaO}$  等於分水嶺或湖沼中。

總之，酸雨之防範方法，不論治本或治標，不外：

1. 設立酸雨偵測站，分析污染成份與調查經年之變化情形。

2. 進行酸雨影響之評估。
  3. 研究空氣質量傳送途徑分析與長距離傳送模式。
  4. 阻斷污染物質轉化成酸雨前之可能進行的化學反應。
  5. 使用中和處理藥劑於受酸化地區之水質中，以資補救。
  6. 使用低硫、氮等燃料。
  7. 增設排煙脫硫、脫硝設備。
  8. 燃煤使用洗煤技術，去除污染之雜質。
  9. 改變燃燒方法，減少污染量。
  10. 採低  $\text{NO}_x$  燃燒器等之低污染設備。
  11. 使用替代能源，如核能、太陽能、風能、海洋溫差發電等。
  12. 明定環境保護有關之法規。
- 上項酸雨防範方法的選用，惟需經過經濟可行性之先行研究，始採行。

#### 參考文獻

1. George Nicholas and Richard R. Boyd, "Acid Rain", Engineering Bulletin 58/Dec. 1981.
2. 細見正明、須藤隆一，"陸水域にほす酸性雨之影響"，用水と廢水 Vol NO. 9、NO. 11.
3. 孫岩章、吳端鈺，"臺灣地區的酸雨"，科學發展月刊第 8 卷第五期抽印本，69.5.1 出版。
4. Arthur H. Johnson, Thomas G. Siccama, "Acid deposition and forest decline", Environ, Sci, Technol, Vol 17 NO. 7. 1983.
5. David G. Streets, Duane A. Knudson, Jack D. Shannon, "Selected Strategies to reduce acidic deposition in the U. S", Environ, Sci, Technol, Vol 17, NO. 10. 1983.
6. Jack G. Calvert, William R. Stockwell, "Acid generation in the troposphere by gas-phase chemistry", Environ, Sci. Technol. Vol 17, NO. 9, 1983.
7. 其他

# 空氣中的懸浮微粒與落塵量之關係

張柏成\*

## 一、前言

污染空氣的物質很多，但通常被看得到的就是懸浮在空中及落在家具或地面上的塵埃。所謂塵埃就是固體（大部份）或液體的微粒，從形成的地方經過空氣運動被帶到其他地方，這些微粒大小不一，因此輕重各異。它們可以大到  $100\sim 200\mu$ ，也可能小到連肉眼也看不到的微塵（小於  $1\mu$ ）。而較大的微粒，約在  $10\mu$  左右，因為本身的重量會慢慢沉降於地面或其他物體表面上，形成我們所謂之落塵，而比較小的微粒，約在  $2\mu$  左右，則會懸浮在空氣中，成為浮游塵。界乎兩者中間的微粒則視其重量及特性可能沉降亦有可能懸浮於空氣中，常見一些物理現象如碰撞或被黏着（如潮濕之表面）亦會令很小的微粒脫離懸浮之行列。衡量空氣中的微粒，常用之方法有三：（一）落塵量，即每平方公里土地，每個月之落塵總重量；（二）懸浮微粒，包括粒徑大於  $10\mu$  的微粒總重量；及（三）浮游塵，不包括粒徑大於  $10\mu$  之微粒總重量，因為成為落塵之微粒當然是粒徑比較大或較重的微粒，唯此項實驗需時甚長，而懸浮微粒實驗僅需24小時即有結果，而且是包括粒徑大於  $10\mu$  以上之微粒總重量，所以從懸浮微粒之測定，理論上可以推算每月之落塵量，因為粒徑大於  $10\mu$  之微粒因重力關係會自然沉降。本報告係引用臺灣省環境衛生實驗所出版之民國六十九年及七十年之年報（註一）及臺北市環境保護局之臺北市空氣及水污染測定結果報告（註二）之最近二年臺灣省及臺北市之落塵量及懸浮微粒之數據，經過統計學之分析，希望導出此兩者之關連。

## 二、數據分析及討論

臺灣省環境衛生實驗所（現已與臺灣省水污染防治所合併為臺灣省環境保護局）於全國十八個縣市（澎湖除外）設有110個測驗站其中98個祇做落塵量，懸浮微粒及黑煙測定。

落塵量採用落塵筒法（Dustfall Jar），每三十天採樣一次，以測定落塵量，其單位是噸／平方公里／月。

懸浮微粒則採用快速吸塵器（High Volume Sampler），以玻璃纖維濾低抽取空中微粒，24小時採樣一次，單位是微克／立方公尺。所採取到的微粒包括  $10\mu$  以上之粗粒。

臺北市則在各區設有16個（到72年2月增為17個）測定站，每月均有測定結果公報。高雄市68年十月改制院轄市，因缺高雄市之資料，所以本報告之分析祇包括高雄縣，而不包括高雄市。

因為懸浮微粒之測定比較省時間，所以在此嘗試以懸浮微粒為  $x$ ，落塵量為  $y$ ，透過直線迴歸法找出兩者之關係，以下式表示之：

\* 逢甲大學公害防治研究中心主任

本小組委員

$$y = ax + b$$

x：懸浮微粒， $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$

y = 落塵量， $\text{Ton}/\text{Km}^2/\text{month}$

a, b 為常數

如果相關係數接近 1，則上列關係式可資利用，接近 0 則表示兩者無上則之關係存在。

臺灣地區之各縣市之迴歸分析結果見圖一至圖廿。同時表一綜合所有結果，而臺北市各區之分析歸納於表二之中。

表一

月平均值

| 縣市名       | 迴歸直線                 | 相關係數   | 懸浮微粒<br>$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ | 落塵量<br>$\text{Ton}/\text{Km}^2/\text{month}$ |
|-----------|----------------------|--------|-----------------------------------|----------------------------------------------|
| 臺北縣       | $y = 0.0022x + 11.3$ | 0.024  | 280                               | 11.9                                         |
| 桃園縣       | $y = -0.007x + 8.6$  | 0.102  | 172                               | 7.5                                          |
| 新竹縣       | $y = 0.020x + 9.18$  | 0.247  | 230                               | 13.8                                         |
| 苗栗縣       | $y = 0.015x + 5.72$  | 0.282  | 150                               | 7.9                                          |
| 臺中縣       | $y = 0.014x + 7.3$   | 0.189  | 215                               | 10.4                                         |
| 彰化縣       | $y = 0.021x + 4.79$  | 0.588  | 223                               | 9.5                                          |
| 南投縣       | $y = -0.003x + 6.92$ | -0.093 | 168                               | 6.4                                          |
| 雲林縣       | $y = 0.05x - 0.13$   | 0.729  | 136                               | 6.7                                          |
| 嘉義縣       | $y = 0.013x + 5.86$  | 0.293  | 200                               | 8.4                                          |
| 臺南縣       | $y = 0.023x + 5.67$  | 0.51   | 174                               | 9.7                                          |
| 高雄縣       | $y = 0.016x + 6.54$  | 0.457  | 235                               | 10.4                                         |
| 屏東縣       | $y = -0.003x + 9.16$ | 0.052  | 187                               | 8.7                                          |
| 花蓮縣       | $y = 0.036x + 2.56$  | 0.551  | 177                               | 8.9                                          |
| 臺東縣       | $y = 0.013x + 3.59$  | 0.328  | 133                               | 5.3                                          |
| 基隆市       | $y = 0.021x + 9.56$  | 0.239  | 231                               | 14.4                                         |
| 臺中市       | $y = 0.001x + 7.52$  | 0.031  | 208                               | 7.7                                          |
| 臺南市       | $y = 0.009x + 7.55$  | 0.161  | 237                               | 9.6                                          |
| 宜蘭縣       | $y = 0.069x - 1.21$  | 0.573  | 171                               | 10.7                                         |
| 臺北市       | $y = 0.12x + 2.9$    | 0.699  | 103                               | 15.1                                         |
| 臺灣省 (年平均) | $y = 0.088x - 9.21$  | 0.883  | —                                 | —                                            |

表二

月平均值

| 測 定 站  | 迴歸直線                 | 相關係數   | 懸浮微粒<br>$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ | 落塵量<br>$\text{Ton}/\text{Km}^2/\text{month}$ |
|--------|----------------------|--------|-----------------------------------|----------------------------------------------|
| 康 定 路  | $y = 0.094x + 5.86$  | 0.729  | 125                               | 17.6                                         |
| 昆明街派出所 | $y = 0.0048x + 19.1$ | 0.025  | 154                               | 19.8                                         |
| 雙園分局   | $y = 0.083x + 7.76$  | 0.77   | 114                               | 17.2                                         |
| 古亭區公所  | $y = 0.018x + 13.9$  | 0.12   | 113                               | 15.9                                         |
| 景美分局   | $y = -0.003x + 14.7$ | -0.018 | 79                                | 14.5                                         |

|       |                      |        |     |      |
|-------|----------------------|--------|-----|------|
| 芳和國中  | $y = 0.078x + 8.5$   | 0.58   | 68  | 15   |
| 政大    | $y = 0.013x + 11.3$  | 0.14   | 65  | 12.2 |
| 松山分局  | $y = 0.03x + 11.7$   | 0.51   | 121 | 15.4 |
| 南港分局  | $y = -0.002x + 16.6$ | -0.022 | 174 | 16.2 |
| 大直派出所 | $y = -0.022x + 13.4$ | -0.15  | 83  | 11.5 |
| 士林分局  | $y = 0.024x + 13.6$  | 0.21   | 97  | 13.5 |
| 北投區公所 | $y = -0.067x + 17.5$ | -0.71  | 71  | 12.7 |
| 陽明山國小 | $y = 0.18x + 4.4$    | 0.518  | 40  | 11.5 |
| 建成分局  | $y = 0.082x + 14.2$  | 0.30   | 111 | 23.3 |
| 長春國小  | $y = -0.126x + 30.1$ | -0.242 | 97  | 17.8 |
| 內湖分局  | $y = 0.076x + 6.34$  | 0.591  | 89  | 13.1 |

上面已經提到，變數（懸浮微粒）及應變數（落塵量）的相互關係是否成立，可由相關係數來決定，相關係數越接近 1，表示所求得之迴歸直線可以代表兩者間之關係。從表一可以看出，臺灣地區各地之懸浮微粒與落塵量間之關係變化甚大，臺北縣之相關係數最低，祇有 0.024，而臺灣省之年平均值則最高為 0.883。如果以相關係數之大小來分組，大概可以有下列之意義：

表三 臺灣省之統計數字

| 相關係數    | 意義                  | 地區數   | 所佔百分比 |
|---------|---------------------|-------|-------|
| 0—0.2   | 落塵量與懸浮微粒無直線關係存在     | 7     | 35    |
| 0.2—0.5 | 兩者有直線關係存在，但可能有較大的偏差 | 5     | 25    |
| 0.5—1.0 | 兩者之關係可由迴歸直線估計偏差較少   | 8     | 40    |
|         |                     | 總數 20 | 100   |

從上列統計數字，可以看出，臺灣省各地區中有 40% 的地方其落塵量可以從懸浮微粒的數字予以估計。有 25% 的地方兩者的直線關係存在，但懸浮微粒數字經過迴歸直線的推算，落塵量的偏差可能比較大，但可以應用。有 35% 的地方兩者無直線關係存在，那就是說不管懸浮微粒如何變化，該地區的落塵量均維持在某一個範圍內，即此地區之落塵量變化不大。

臺灣地區佔地三萬多平方公里，而且有中央山脈阻隔，北部為丘陵區，南部平原區，而東部則為山區，所以上表顯示之地區性差異是可以理解的。臺北市佔地約 1000 平方公里，而且位處盆地，表一顯示各區之平均值所得的落塵量及懸浮微粒相關係數相當高，但此迴歸直線並不見得可以應用到臺北市每一地區，即各地區仍有區域性之差異存在。此現象可由表四得知。

表四 臺北市之統計數字

| 相 關 係 數 | 意 義                | 區 數   | 佔百分比 |
|---------|--------------------|-------|------|
| 0—0.2   | 落塵量與懸浮微粒無直線關係存在    | 6     | 37.5 |
| 0.2—0.5 | 兩者有直線關係存在但可能有較大的偏差 | 3     | 18.8 |
| 0.5—1.0 | 兩者之關係可由迴歸直線估計，偏差較少 | 7     | 43.7 |
|         |                    | 總數 16 | 100  |

從上表可以看出，雖然在臺北市，各區之差異仍相當大，能以迴歸直線估算落塵量之地區祇佔62%左右，而且約19%之地區可能有較大的偏差。約三分之一的地區常年落塵量比較穩定，與空氣中的懸浮微粒的濃度變化無關。

綜合臺灣省及臺北市之分析結果可以知道，不管在較廣闊之臺灣地區或較小的臺北市，區域性的差異仍然存在，而引起落塵量與懸浮微粒相關之差異可能與該地區的微粒的特性有關。如果懸浮微粒中比 $10\mu$ 大的微粒較多，則落塵量應該較大（風速等氣候因素不考慮時），而比 $10\mu$ 小的微粒多，則懸浮微粒與落塵量可能無直線關係存在。

一份由鄭福田及李俊璋（註三）提出之「論臺北市粒狀物空氣污染」論文中指出松山，南港，龍山及木柵等區之懸浮微粒分析中，比 $4.7\mu$ 小之微粒在四區中都超過總微粒重量之70%以上。從表二可知，除南港分局外，其他三區之迴歸直線相關係數都在0.022到0.15中間，南港區的相關係數為0.51，這可能與取樣時，懸浮微粒的變化有關。這也表示出從統計數字中導出的數據常會有偏差的原因。

下表歸納逢甲大學自行測定之逢甲大學不同地點空氣中懸浮微粒濃度之結果。

表五 逢甲大學空氣之懸浮微粒濃度 ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )

| 地 點     | 浮游塵 ( $10\mu$ 以下) | 懸浮微粒 (含 $10\mu$ 以上) |
|---------|-------------------|---------------------|
| 大 門 口   | 99                | 344                 |
| 圖 書 館   | 230               | 172                 |
| 男 生 宿 舍 | 392               | 440                 |
| 郵 局     | 80                | 192                 |
| 平 均 值   | 200               | 287                 |

數據中圖書館之浮游塵比懸浮微粒多，是因為取樣時間不同，空氣中的微粒，會有變化，男生三、四宿舍因為靠近運動場，故懸浮微粒之濃度較大。而各地點之平均值顯示 $10\mu$ 以下之微粒仍佔總量之70%，同理此處亦可解釋臺中市懸浮微粒與落塵量相關係數偏低（見表一， $r = 0.031$ ）的現象。

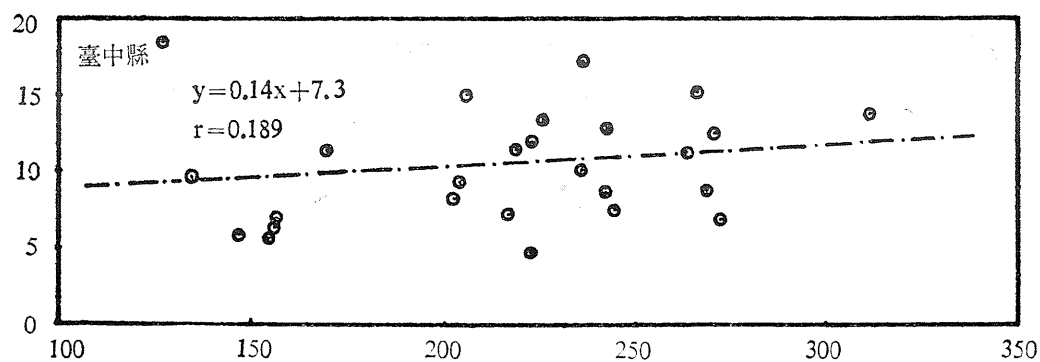
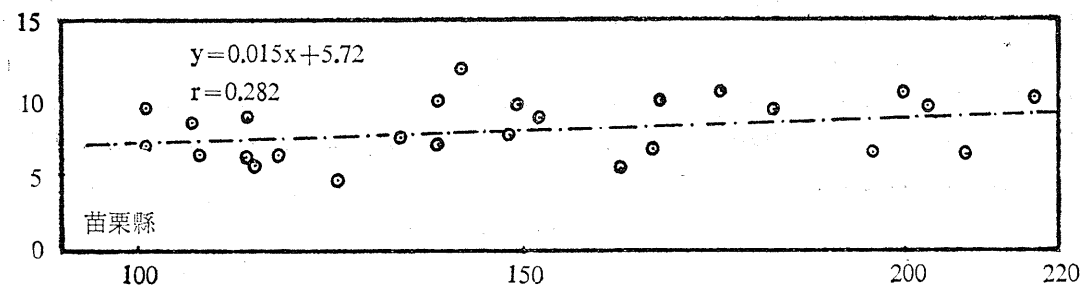
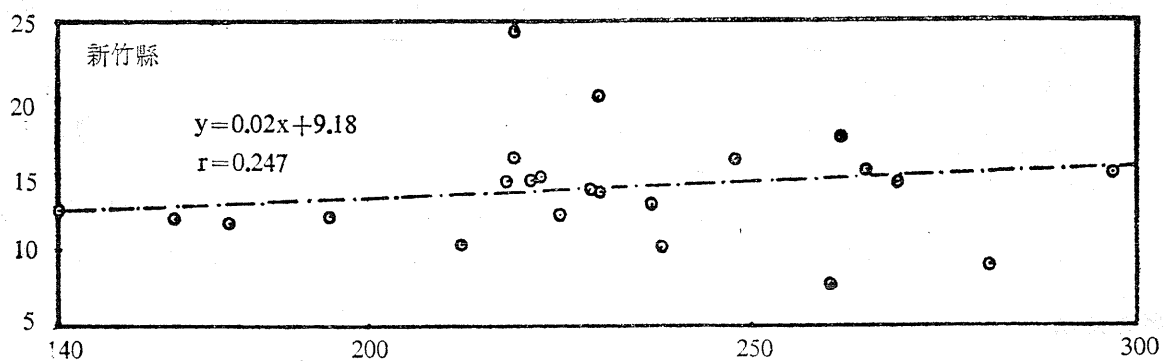
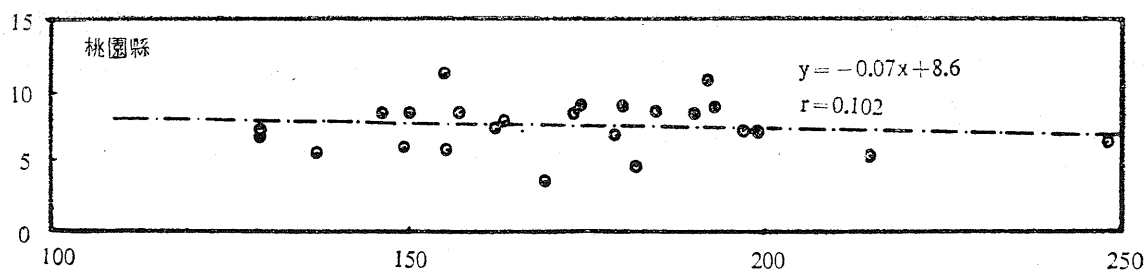
臺中市的落塵量不算高，祇有 7.7 噸／平方公里／月，屬輕度污染。但在逢甲大學測到之懸浮微粒（含  $10\mu$  以上）之濃度達  $287\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  已超過一般地區之月平均值限值  $260\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，及測到之浮游塵（ $10\mu$  以下）的濃度  $200\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ，很接近一般地區之月平均限值  $210\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ （註四），尤其是小於  $10\mu$  之微粒屬可以被吸入呼吸系統之微粒，影響至鉅，應該加以注意。

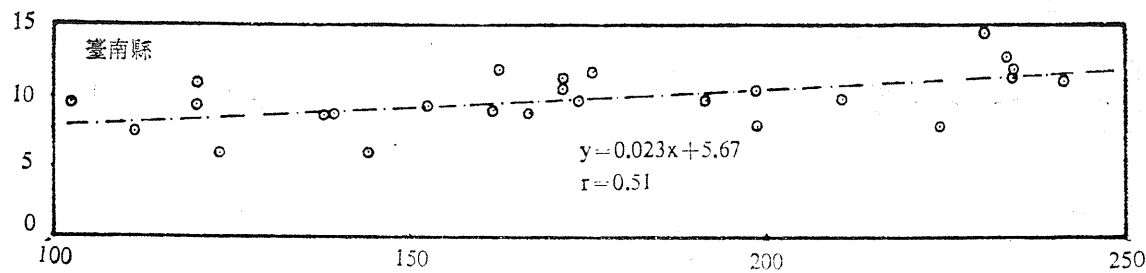
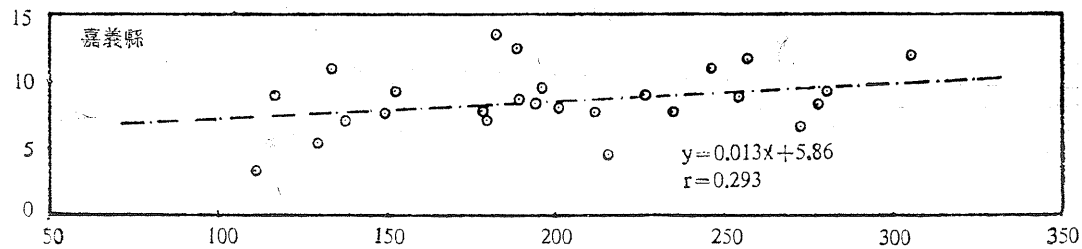
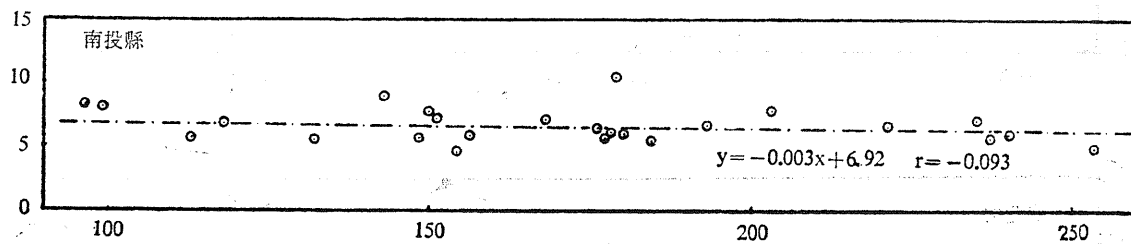
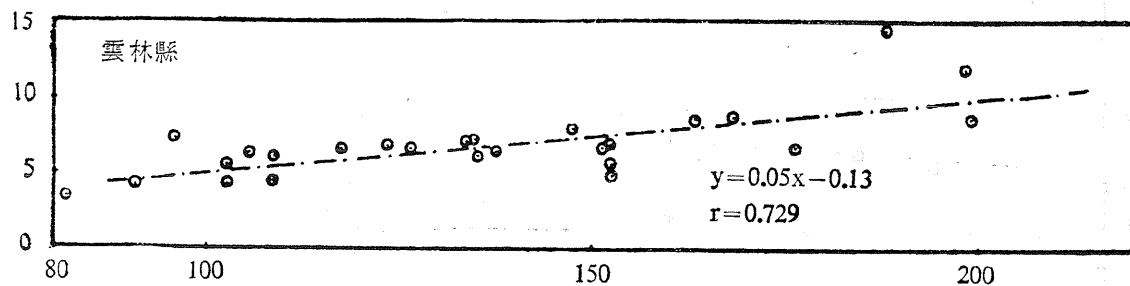
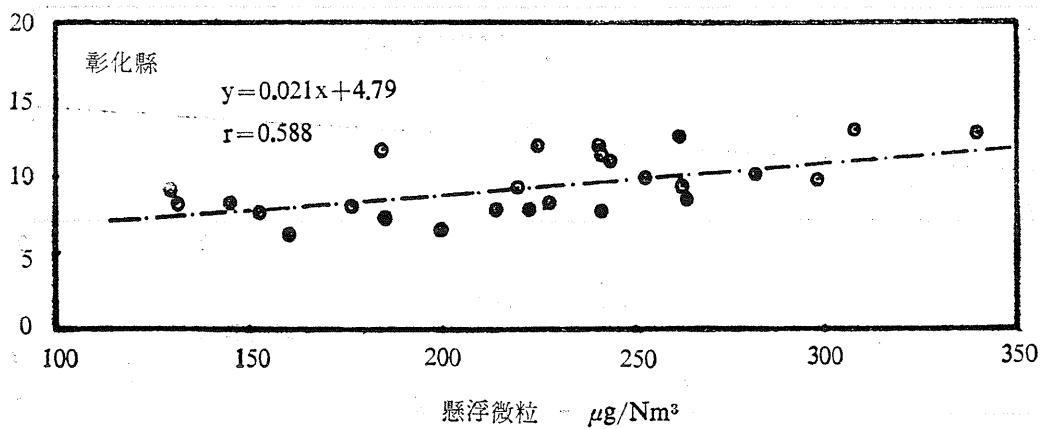
### 三、結 論

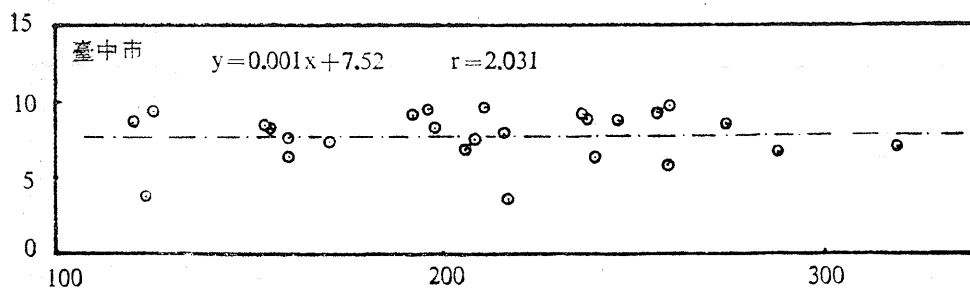
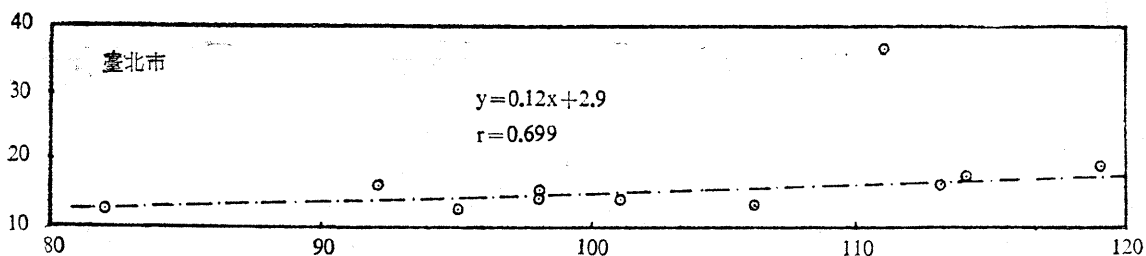
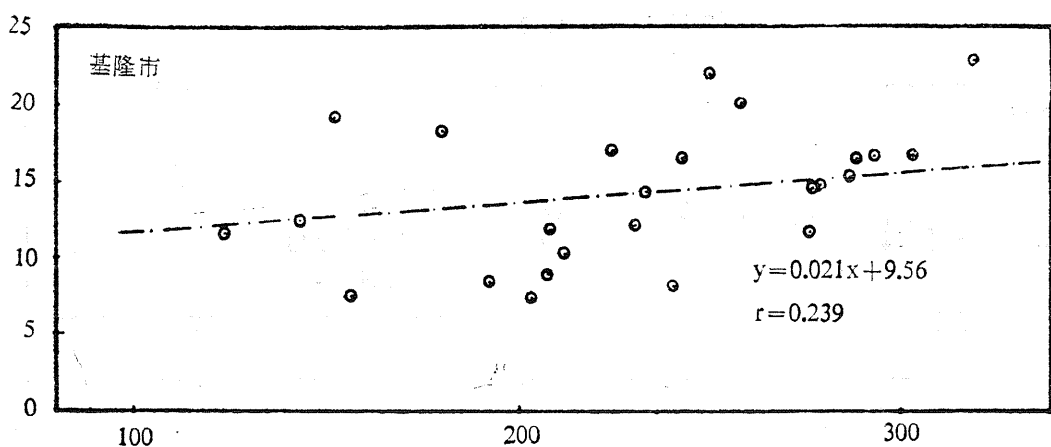
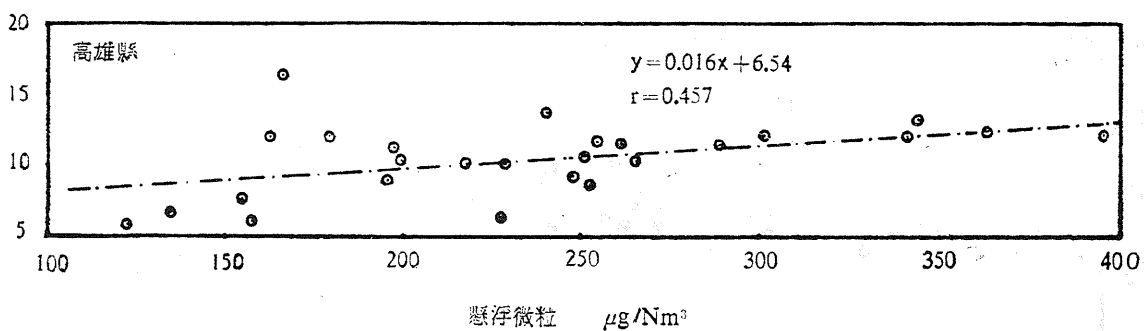
- (1) 從所收集到的二年數據中，可以利用統計分析方法導出臺灣各地區之懸浮微粒與落塵量之迴歸直線。
- (2) 約有 60% 的地區中，可以利用迴歸直線從懸浮微粒的濃度估計該地區之落塵量，但估計數字都會受較大（約 25% 地區）或較少（約 42% 地區）統計偏差的影響，而 35% 左右的地區，落塵量與懸浮微粒的濃度變化無關。
- (3) 以區平均值導出的較大地區（臺北市或臺灣省）之迴歸直線，其相關係數（0.699~0.883）相當高，但大地區下仍然不能避免有小區域之差異，因此應用迴歸直線時應該加以注意。

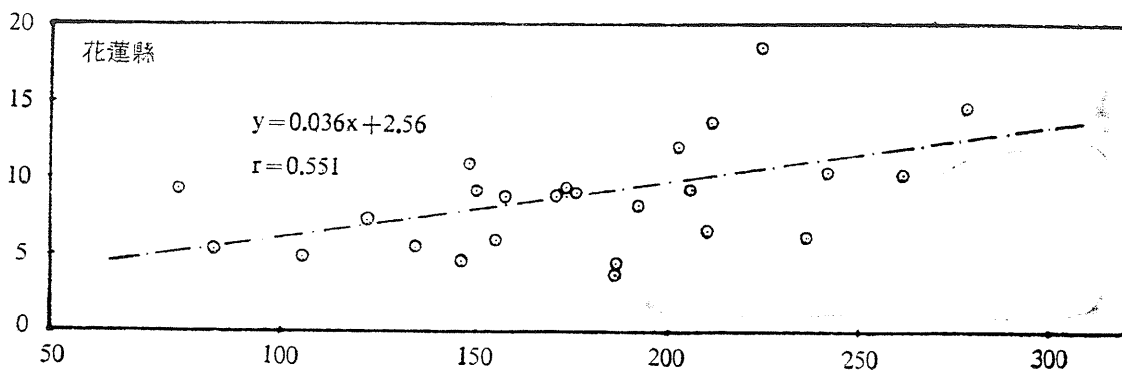
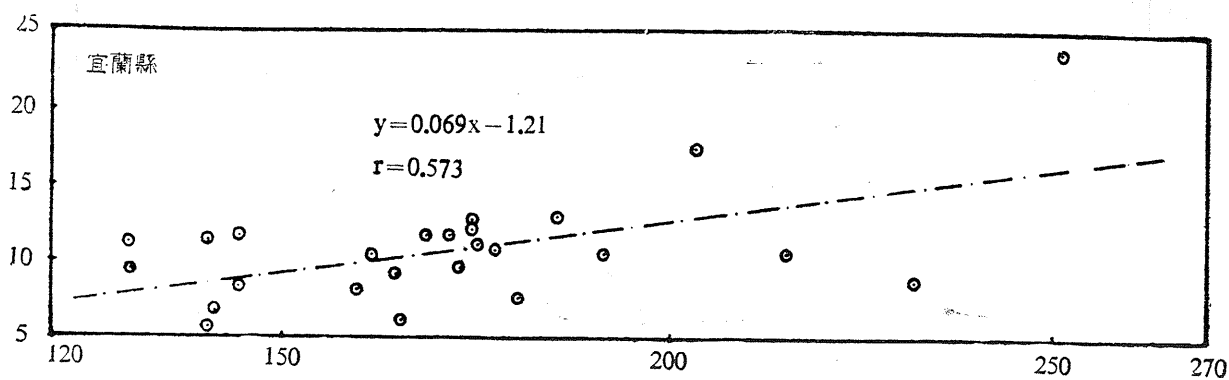
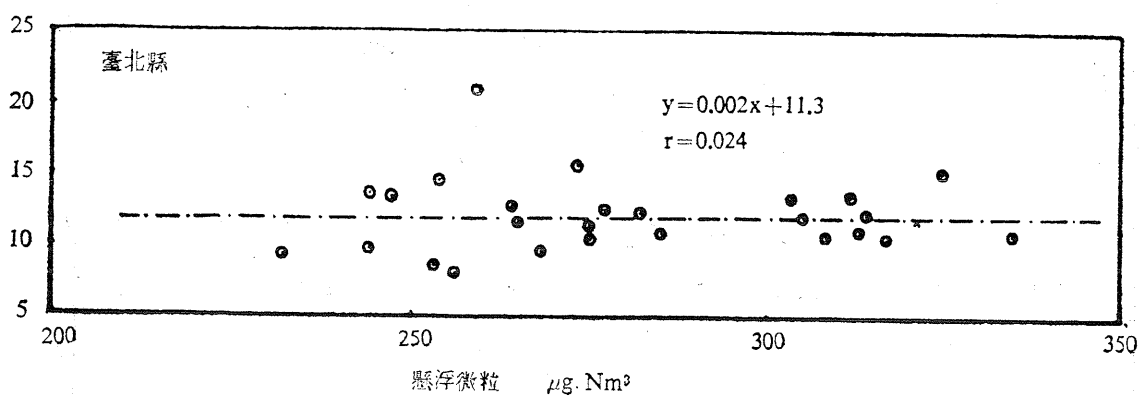
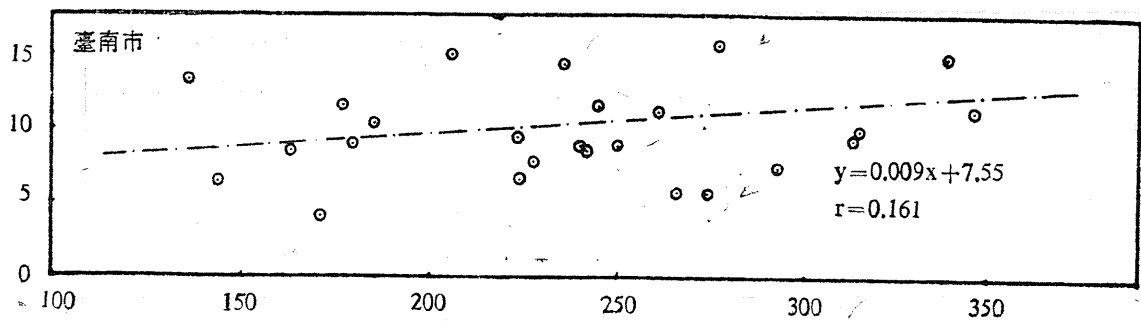
### 參考文獻

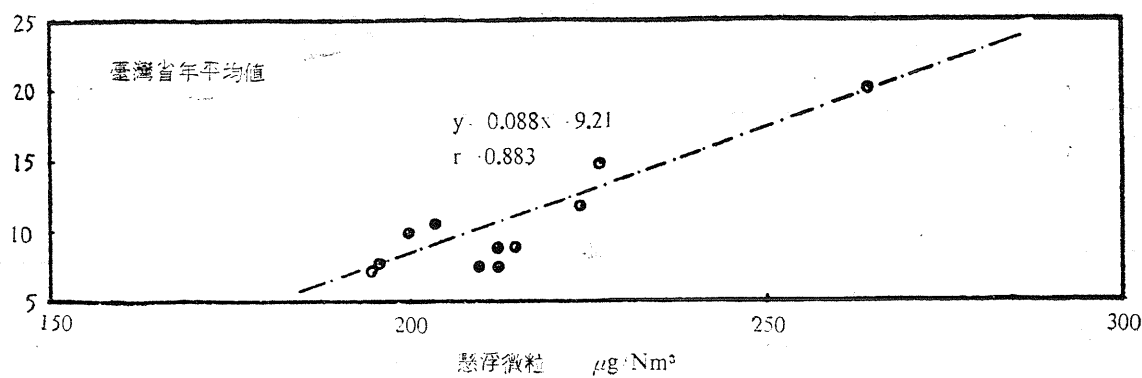
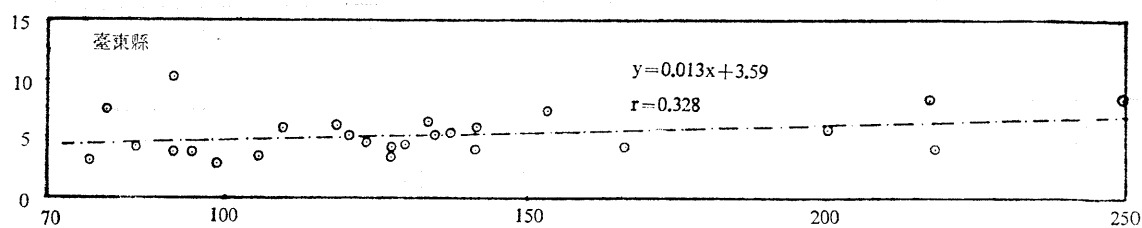
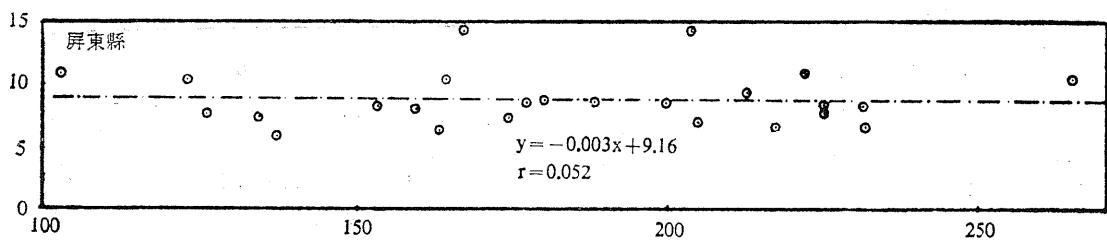
- （註一）臺灣省環境衛生實驗所：「臺灣省環境衛生實驗所年報，中華民國六十九年及七十年」，中華民國七十一年七月一日。
- （註二）臺北市政府環境保護局：「臺北市空氣，水污染測定結果報告」，中華民國七十一年五月至七十二年三月。
- （註三）鄭福田、李俊璋：「論臺北市粒狀物空氣污染」，中國工程學刊（編印中）
- （註四）行政院衛生署環字第 79818 號刊登公報：「中華民國臺灣地區環境空氣品質標準」，中華民國 64 年 10 月 1 日。











# 利用海埔地作為垃圾掩埋場應考慮事項

林 秋 國\*

## 一、前 言：

本省地窄人多，垃圾處理用地日益難求，若利用臺灣西海岸海埔地，開闢適當地點作為垃圾掩埋場地，輔以完善之公害防制設施，則可解決垃圾處理問題，亦可配合區域發展與港灣建設，增加國土資源。當實施海埔地垃圾掩埋時，必須考慮到：容量滿足性、環境保育性、技術可行性、經濟可行性及社會接納性，以確保環境衛生，並增加國土資源。

## 二、掩埋場考慮因素：

1. 容量滿足性：用海埔地作垃圾掩埋場所需工程較大，故須估計場地使用年限，一般須能使用十年以上。
2. 環境保育性：實施垃圾掩埋前，必須考慮到沿岸海岸線環境之保育與建立環境長期監視系統。
3. 技術可行性：選擇掩埋場地時，先考慮到地點之地理環境、海埔地地質、及有關資料，以確定在技術上可行性。
4. 經濟可行性：用作垃圾掩埋場的工程包括護堤、防滲設備、污水處理設備及有關公害防制設備，必須考慮經濟上之可行性。
5. 社會接納性：掩埋場地須要與區域發展、海運運輸系統、觀光遊憩區及漁業開發區配合，以減少到最小的阻力。

## 三、公害防制設備：

1. 污水處理設備：收集各滲出污水，並予曝氣經適當處理，以達到排放標準。
2. 防滲流設備：於掩埋場地作好不透水層設備，免除海水地下水滲入場地內與污水滲出場地外。
3. 防垃圾外流設備：建築護堤，免除遇颱風高潮位時，海水入侵場地或垃圾外流污染海岸。
4. 廢氣收集設備：於工程進行時，按裝廢氣收集系統，排出大氣中，若作回收系統，依沼氣量決定。
5. 鐵絲圍籬設備：沿海岸風大，防止輕浮物質到處飛揚，於掩埋場四周作好圍籬設備。
6. 蚊蠅臭味防患設備：實施衛生掩埋，即日覆土並定期噴灑適當藥劑免除蚊蠅衍生。

---

\*臺灣省環保局技正兼廢棄物處理規劃隊隊長

#### 四、結 論：

政府爲積極處理垃圾問題，研擬利用海埔新生地作爲垃圾掩埋場，是最根本的辦法。因爲日本與香港皆有先例，而且得作相當成功。雖然工程費很高，但是我們可利用臺灣天然的條件，使用河川出口處的新生地與海埔地連接地區，應用成本最低的圍墾方法。圍堵河川新生地與海埔地。採用海堤工程法圍堵海埔新生地，採用乾砌卵石堤工程法圍堵河川新生地，輔以公害防制設備，以降低到最低污染程度，如此一來可解決近程生垃圾掩埋用地的問題，與中長程由焚化爐所產灰渣處理之問題，更能增加國土資源。

# 污染防治技術

## 廠內改善

### 酸性絮灰之生成機構及其防制方法

詹玉勳\*

#### 一、前言

酸性絮灰 (Acid Smut) 係由多數粒子所聚集，並凝結有硫酸等物質而呈酸性。重油等液體燃料，經燃燒之後所產生之灰及未燃燒之碳 (Unburned Carbon) 等物質互相碰撞而凝聚成雪絮狀灰，其粒度不定，並依燃料中所含有硫份 (Sulfur Content) 之多寡而形成性狀不同之絮狀灰。通常未燃碳之粒徑大小皆在  $50\mu\text{m}$  以下，酸性絮灰則係聚合多數粒子而成，其粒徑大於  $125\mu\text{m}$ 。大氣中若有酸性絮灰之存在，降落地面後將污染吾人之生活環境，使建築物及農作物受到污損，並影響人畜之健康。

本文係摘自日本電力中央研究所之技術研究報告，其對於酸性絮灰生成過程及防制方法之探討，頗為深入，茲摘述如下，俾供參考應用。

#### 二、酸性絮灰之生成機構(Formation Mechanism of Acid Smut)

酸性絮灰為附着於煙流之路徑壁面或彎曲部之灰粒凝結硫酸之後，再剝離而呈雪絮狀酸性灰，然後隨煙流飛散進入環境大氣之中。

其生成機構分為煙囪入口前之煙道及煙囪等兩部份加以說明：

- (1)煙囪入口前之煙道中酸性絮灰之生成：此一部份的酸性絮灰係由於煙氣中之塵粒附着於空氣預熱器低溫部，再與煙氣中的硫酸凝結後又剝離而生成之酸性雪絮狀灰粒。至於由鍋爐傳熱面所產生者，如附着於空氣預熱器出口之灰斗或風門，以及煙道補強凸板上等之煙塵與煙氣中的硫酸凝結後再剝離而飛散於煙氣中的酸性灰粒。此兩種酸性灰的產生量約為總產生量之 20~30%。
- (2)煙囪內酸性絮灰之形成：此一部份的酸性絮灰，係由於附着煙囪內壁之煙塵凝結煙氣中的硫酸後，又剝離而飛散於煙氣中，而形成酸性之雪絮狀灰粒，其形成量約為總產生量之 70~80%。

#### 三、燒油鍋爐產生酸性絮灰之探討

茲以酸性絮灰之生成機構及其生成要因為依據，來探討燒油鍋爐產生酸性絮灰之條件及其生成部位等情況。

- (1)酸性絮灰之生成因素係受煙氣中之煙塵、硫酸、排氣溫度、煙囪壁面溫度及煙流等之影響，

\* 臺灣電力公司環境保護委員會工程師

其中尤其受硫酸成份之影響最為顯著。

- (2)在煙道直管部份，幾乎無酸性絮灰之存在，但若因煙道補強而有凸片或煙氣有亂流之處，則煙塵往往有增加堆積之可能性，所堆積的煙塵將與硫酸凝結而生成酸性絮灰。
- (3)關於煙道及煙囪等之壁面溫度，在再生型空氣預熱器(Wöngstrom Air Pre-heater)內，其熱交換元件的溫度於 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ 長度便已降至 $150^{\circ}\text{C}$ 以下，因此空氣預熱器至煙囪入口之煙道壁面溫度將較煙氣溫度降低約 $30^{\circ}\text{C}$ ，煙囪內壁溫度則依保溫方式之不同而異，其與煙溫之差約在 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 之間。至於煙氣的酸露點通常在空氣預熱器入口約為 $110 \sim 160^{\circ}\text{C}$ 之間，空氣預熱器出口則在 $100 \sim 140^{\circ}\text{C}$ 之間，因此在各部位之壁面將有硫酸凝結，而增加酸性絮灰之形成，其中在空氣預熱器元件及煙囪內壁所佔比例較大。
- (4)為探討產生酸性絮灰之主要部位，經測定煙囪入口與出口之酸性絮灰量結果，判定約有70%的酸性絮灰係在煙囪內生成，且與鍋爐運轉條件無關。
- (5)酸性絮灰量，並不因鍋爐省煤器(Economizer)出口 $\text{O}_2$ 在 $1 \sim 2\%$ 以下運轉時，煙塵遽增，反而有減少酸性絮灰之趨勢。 $\text{O}_2$ 在 $1 \sim 2\%$ 以上時，空氣預熱器出口的含塵量約呈一定，但因 $\text{SO}_3$ 增加之故酸性絮灰量則隨之增多。
- (6)鍋爐負載升高時，酸性絮灰量將較正常時增加一倍，此因低負載時，煙速較慢而在煙道壁面堆積較多的煙塵，負載一旦升高則煙速加快，以致原堆積之塵層，將隨之剝離而飛散逸出之故。
- (7)在煙道所生成的酸性絮灰，因呈塊狀，其重量較大之故，大部份的酸性絮灰皆降落於煙囪周圍100公尺以內，而最遠不會超過500公尺以外。

#### 四、影響形成酸性絮灰之因素

影響形成酸性絮灰之因素有 $\text{SO}_3$ 濃度、煙塵粒度、煙道壁面之構造及煙速等，茲分述如下：

- (1)煙氣中 $\text{SO}_3$ 之影響：在鍋爐燃燒中，其煙氣若不注入氨氣等物質以中和酸性物質，則煙氣中會有 $\text{SO}_3$ 之存在，並依煙道之保溫施工方式及保溫狀態，在煙道壁面將有硫酸凝結，或因煙氣溫度關係，尤其在溫度達酸露點以下時，煙塵粒子上亦會凝結液狀硫酸，則煙塵粒子對煙氣流徑壁面之附着力將大為增加而增加酸性絮灰之形成。
- (2)煙塵粒度之影響：重油在鍋爐中噴霧燃燒之後，其灰為多孔質之故，平均粒徑稍大，故其附着力將較弱。而在煙氣中有注氨中和時，其粒度較小，其對煙道壁面之附着力雖然稍大，但因煙氣中已無 $\text{SO}_3$ 之故，將無酸性絮灰之產生。
- (3)煙道壁面之影響：煙道壁面若因內襯表面粗糙，則接近壁面處煙氣會有亂流現象發生，而使煙塵粒子之附着力大為增加。
- (4)煙速之影響：鍋爐燃燒所產生的酸性絮灰，以長時間運轉之後，煙道壁之煙塵堆積達飽和，而開始剝落時，較為令人關切。該時單位面積單位時間之煙塵飽和剝離量為 $\Delta G_m$ ，由附着面飛散之煙塵量為 $\Delta G'$ ，則

$$\begin{aligned}\Delta G' &= A \cdot \rho \cdot \Delta V_m (\text{g/hr}) \\ &= A \cdot \Delta G_m\end{aligned}$$

由實驗得知

$$\Delta G_m = E n_m V_g^{-\frac{1}{2}} M (1 - e^{-P V_g}) (1 - e^{-\alpha Z})$$

E：煙塵絮灰表面狀況及其密度有關之係數。

$n_m$ ：單位面積煙塵最大剝離個數(個/ $m^2$ )

$V_g$ ：排煙流速(m/s)

M：煙氣含塵濃度(g/ $Nm^3$ )

P：煙塵粒子表面狀況有關之係數。

$\alpha$ ：煙塵粒子表面狀況、附着面狀況及溫度等相關之係數。

Z：時間(hr.)

由上式可知煙塵之飽和剝離量與排煙流速亦有密切關係，依據實驗，煙速在小於5m/s以下時，可能是附着之煙塵不易剝落之故，酸性絮灰量極小，當煙速約在15m/s時 $\Delta G_m$ 急遽增加，煙速再高則飽和剝離量反而降低，且剝離後會被吹散之故，在煙速為30m/s以上時，酸性絮灰量反而減少。

## 五、酸性絮灰之防制方法

目前燒油火力發電廠係採用低過剩空氣(Low Excess Air)運轉方式，以減低 $SO_3$ 之轉換量，併用注入中和添加劑方法防制酸性絮灰之產生。甚至有部份發電廠則增裝靜電集塵器把煙塵完全除去，以防制酸性絮灰之發生。茲將各種防制方法分述如下：

- (1)低過剩空氣運轉法：酸性絮灰之發生，受到 $SO_3$ 濃度及酸露點之影響極大，欲降低酸性絮灰之生成，由鍋爐運轉立場看來，以低過剩空氣運轉方法最為有效，此法主要是在減少 $SO_2$ 轉換為 $SO_3$ 之量，亦為目前採用最廣泛的方法。火力發電廠在運轉上必須控制到沒有黑煙的發生，要達成此一目標，除了改善燃燒裝置之外，其省煤器出口之 $O_2$ 含量皆控制在0.6~1.2%之低過剩空氣條件運轉，俾可減少 $SO_3$ 之產生。
- (2)注入添加劑法：以低過剩空氣方式運轉之鍋爐，仍有5~10ppm的 $SO_3$ 產生，若再注入 $SO_3$ 中和用添加劑，則可防制酸性絮灰之產生。此種添加劑的注入方法有二，①為燃料油中添加法，添加劑雖有粉末或液體等多種，但效果皆不甚明確，目前以添加氫氧化鎂 $[Mg(OH)_2]$ 最為普遍。②為煙道注入法，注入煙道之添加劑，以氣體最為普遍，近來在燒重油的鍋爐，大都皆有注氨，但氨氣與 $SO_3$ 在200°C以上時，則互相作用而生成 $NH_4HSO_4$ 而熔附爐壁，或附着於空氣預熱器低溫部，而可能產生堵塞作用，因此實施注氨方式，通常皆注入200°C以下之煙氣中。注氨之特徵是能够迅速擴散於煙氣中，氨之漏失較少。通常氨注入率與燃料之重量比為0.04%時，即可使 $SO_3$ 急遽下降，酸露點則近於水露點。在煙氣中注氨結果， $SO_3$ 會被中和，煙塵不易凝集，因此煙塵粒度呈為細小，則可使絮灰量減少。雖然在煙氣中注氨，但煙塵仍會附着於煙囪內壁，當其剝離後仍會形成絮灰而飛散於環境之中，只是此種絮灰已全無硫酸存在。
- (3)靜電集塵器法：為了保護環境，最近有一部份的全燒重油鍋爐，已增設靜電集塵器併用低過剩空氣法及注氨法，不但解決了酸性絮灰問題，同時亦將造成環境污染的煙塵除去，靜電集

塵器的集塵效率約在80%已足，餘下  $40\sim 60\text{mg}/\text{Nm}^3$  之煙塵濃度，且不含硫酸之故，對環境幾乎已不發生影響。

(4)煙道改善法：由煙道改善以減少酸性絮灰的方法有二，如能加以運用或與上述各種方法併用，則可收到更大的效果。①煙鹵內之煙速，由底部至頂部皆維持在  $30\text{m}/\text{s}$  以上，高速度煙流不但使絮灰再分散，且使煙塵不易附着煙道，則酸性絮灰生成量自可減少。②加強煙鹵之保溫工事，使煙鹵內壁溫度，不降至露點以下。煙鹵內壁必須盡量光滑，減少凸片等使煙塵不易附着於煙鹵內壁，亦可減少酸性絮灰之生成。

#### 參考文獻：

アシッド・スマットの生成機構およびその防止法

作者：小谷田一男、星澤欣二、小野哲夫

出版：（日本）電力中央研究所技術第一研究所

頁數、年份：共56頁1970年12月出版

## 空氣污染防治(九)——臭味問題

鄭 福 田\*

### 一、緒 言

臺灣之空氣污染管制工作，最早為燃燒生煤（無生煤許可證者）與冒黑煙之取締，其後為烟塵與有毒氣體之管制（包括排放口與工廠周界），自去年開始，則有所謂世紀性毒物「戴奧辛」（Dioxin）之防止，可說目前全面性推展之工作乃集中於烟塵與毒性氣體之管制與防止，由於烟塵及少數毒性氣體，可從排放口或工廠周界採樣測定，據以取締，較易執行，而工廠方面也大半均已採取措施，達到某種程度之改善，但對於氣體性污染物，尤其是多數具有臭味之物質所造成之糾紛，則仍然層出不窮，此乃由於臭味物質之主觀性與複雜性，兼以管制法令非盡善盡美，導致此項問題難以圓滿解決，有必要更進一步加以探討。

### 二、臭味之特性

Moncrieff 認為某種物質所以會產生臭味，應具備有下列三種特性：

- (一)可揮發性，藉此作用傳送到嗅覺器官。
- (二)可被嗅覺器官之上表皮細胞所吸附。
- (三)在嗅覺區（或嗅覺上表皮細胞）不常見之物質。

Moncrieff 曾提出62條臭味與化學組成之一般通則，其中較常見者為：

- (一)強烈味道之物質通常揮發性，化學反應性較高。
- (二)決定臭味之主要因素為該分子之組成架構（architectural type）。

(三)對環狀化合物而言，環數可決定其臭味，如五至六環者具有苦杏仁味，六至九環者為過渡性味道（transitional odor），九至十二環者為樟腦或薄荷味，十三至十六環者為木頭或香柏味（woody or cedar odor），十四至十六環者為泥土或桃味，十七和十八環者為麝香味，大於十八環者則味道甚輕，甚至於無味道。

除了以上之化學通則外，臭味物質亦具有下列幾種物理性質：

(一)蒸氣壓：由於臭味物質分子必須和味道感覺細胞接觸，因此蒸氣壓較高者其味道較濃，例如汽油比重油，樟腦比玻璃即是此例，但也有例外，如香猫酮（civetone），味道強烈但蒸氣壓僅為  $10^{-3}$  mm Hg，而水之蒸氣壓為 17.5 mm Hg，却不具味道。

(二)溶解性：由於臭味物質必須穿過油質之纖毛以及纖毛周圍之水性黏液，才能由感覺細胞感應，因此有些最強烈臭味之物質為可溶於水及油，但乙二醇則例外。

(三)吸收紅外線：有些證據顯示臭味物質可吸收紅外線，但石蠟油及二硫化碳例外。

\* 臺灣大學環境工程研究所副教授

本小組委員

(四)紫外線照射：把臭味物質如丁子香酚 (eugenol)，黃樟素 (safrol)，溶於水或石蠟油中，使紫外線通過，則產生散光現象 (scattered)，而使它變成乳白色光。

(五)拉曼效應 (Raman effect)：所謂拉曼效應乃單色光被純物質散光後，散射之光不再是均勻之光 (homogenons)，亦即含有波長不一之光，此種波長之差即稱為拉曼位移 (Raman Shift)，比較甲、乙、丙、丁、戊硫醇之拉曼光譜可見其拉曼位移都是2567到2580 $\text{cm}^{-1}$ ，也因為沒有其他之化合物具有此相同之位移，因此其他化合物就無法具有如同此五種之特殊硫醇味。

(六)吸附：活性炭可以有效吸附臭味物質，如苯、氯仿、氨等，但對氣體如氧、氮、氫等則效果差。通常臭味物質吸附在固體表面有三種方式，第一種為吸附在固體表面之濕氣上，第二種為直接吸附在固體表面，第三種則為和固體表面之異性電相吸引作用。

以上所提臭味物質之特性，只能視為臭味物質之部份因素，另外一重要影響因子為臭味接受者個人之感受，它通常含有強烈之主觀判斷，例如有些人甚至於認為汽油味道是香的，而相反地有人認為香水是臭味的，此完全依個人之意念與經驗而不同，不能不注意其重要性。

### 三、臭味之鑑定技術

(一)描述臭味強度方法：早在西元1920年，即開始使用數字來描述臭味之強弱，即0至5號，0號者代表感覺不出臭味 (no percetion)，1號代表臭味很輕微 (very faint perception)，2號表輕微 (faint perception)，3號表可輕易察覺 (easily noticeable)，4號表強烈 (strong)，5號表甚強烈 (over powering perception)。這種方法對臭味強度予以性質之描述，雖給以數字化，但卻無法預估此種臭味物質可以傳播多遠或需要多少無臭味之空氣才足以把它稀釋至1號或0號，而且對於某些強烈臭味物質之鑑定，往往使鑑定者之嗅覺疲乏，此時如不停下休息，則往後之鑑定會失其準確性。

(二)臭味單位 (odor unit, 簡寫 O.U.)。

所謂臭味單位乃指使一立方呎之乾淨空氣變成有臭味感之臭味物質所需之量，表一即為常見臭味物質之界閥濃度 (odor threshold)。

表一、常見臭味物質界閥濃度

| 化 合 物             | 界閥濃度 (ppm) |
|-------------------|------------|
| Acetaldehyde      | 0.21       |
| Acetic acid       | 1.00       |
| Acetone           | 100.00     |
| Acrolein          | 0.21       |
| Amine, dimethyl   | 0.047      |
| Amine, monomethyl | 0.021      |
| Amine, trimethyl  | 0.00021    |
| Butyric acid      | 0.001      |
| Carbon disulfide  | 0.21       |
| Chlorine          | 0.314      |

|                        |         |
|------------------------|---------|
| Diphenylsulfide        | 0.0047  |
| Ethyl acrylate         | 0.00047 |
| Ethyl mercaptan        | 0.001   |
| Formaldehyde           | 1.0     |
| Hydrogen sulfide (dry) | 0.00047 |
| Methyl mercaptan       | 0.0021  |
| Methyl methacrylate    | 0.21    |
| Methanol               | 100.0   |
| Methylene chloride     | 214.0   |
| Paracresol             | 0.001   |
| Phenol                 | 0.047   |
| Pyridine               | 0.021   |
| Toluene diisocyanate   | 2.14    |
| Trichloroethylene      | 21.4    |

假設有一臭味物質，其排放量為10 O.U./ft<sup>3</sup>，其廢氣量為 10cfm，則可知其臭味排放量為 10 O.U./ft<sup>3</sup>×10ft<sup>3</sup>/min=100 O.U./min 有此種數字化之排放率後，才可根據擴散模式推估不同下風距離臭味之強弱。

臭味之測定根據美國 ASTM 之規定使用稀釋法，如圖一所示，由煙囪所取得樣品後，用針筒經一連串無臭味空氣之稀釋，即1:1、2:1、5:1、20:1、50:1、100:1、500:1、1000:1、2000:1。組成一聞臭小組，此小組可由5個有經驗或11個無經驗者組成，將適量稀釋之臭味物質，由最高濃度起，打入聞臭者之鼻中，由其鑑定此種稀釋後之物質是否有臭味，在此一系列之聞臭過程中，有時要安排一特別高或特別低之濃度，使聞臭者無法預測結果，以減少誤差。此種稀釋聞臭一直進行到參加聞臭小組之委員無法聞到臭味為止，而後把每位委員對於不同倍數之稀釋用半對數坐標點劃如圖二，由圖二我們可以找到50%聞臭委員認為有味道之相對稀釋倍數為1440，即 1440 O.U./ft<sup>3</sup>，如同時測得煙囪之排氣量為 200 cfm，則該煙囪之臭味排放量為 319,000 O.U./min。

〔例題〕假設有一煙囪高 30公尺，每小時排放 400磅二硫化碳，在夏天晴朗之天氣下，風速每小時10哩，試問在下風1000公尺處是否可聞到此二硫化碳之臭味。

〔解〕風速  $u=10\text{mi/hr}=4.47\text{m/sec}$

$Q=400\text{LB/hr}=50.4\times 10^6\mu\text{g/sec}$

$H=30\text{m}$ ，

在夏天晴朗天氣下， $\sigma_y=160\text{m}$ ， $\sigma_z=120\text{m}$

根據高斯擴散模式

$$C = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) = \frac{50.4 \times 10^6}{3.14 \times 4.47 \times 160 \times 120} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{30}{120}\right)^2\right] = 180 \mu\text{g/m}^3$$

如以體積濃度表示， $C = \frac{180 \times 24.5}{176 \times 10^3} = 0.058\text{ppm}$

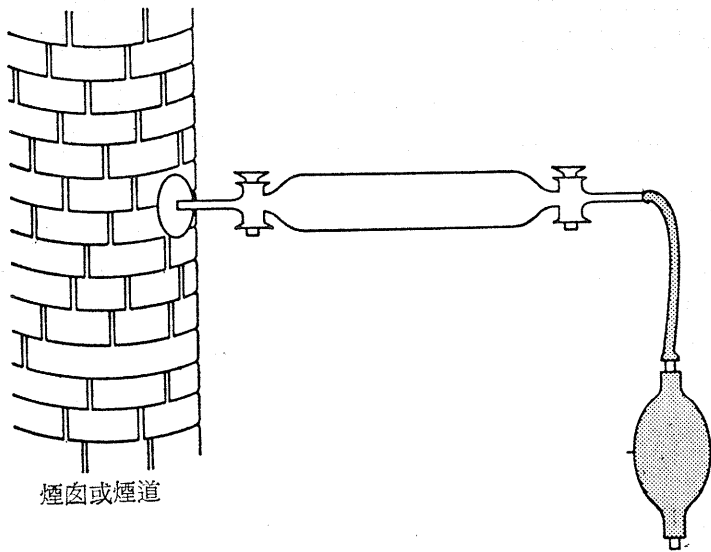
由表一知二硫化碳之界閥濃度為 0.21ppm，因此可知在下風1000m 處不會聞到其味道。

現如用臭味單位來表示，由於其界閥濃度為 0.21ppm，即表示 1ft<sup>3</sup> 之 CS<sub>2</sub> 可污染 1/0.00000021 ft<sup>3</sup>=4,750,000 ft<sup>3</sup> 之空氣，使其帶有CS<sub>2</sub> 之臭味，因此其臭味單位=4,750,000 O.U. CS<sub>2</sub> 之體積排放率為  $\frac{400 \text{ LB/hr}}{76 \text{ LB/LB. MOLE}} \times \frac{379 \text{ ft}^3}{\text{LB. MOLE}} = 2000 \text{ ft}^3/\text{hr}$  由定義知 1ft<sup>3</sup> 之 CS<sub>2</sub> 相當於 4,750,000 O.U. 故 CS<sub>2</sub> 之臭味單位排放量 = 2,000 × 4,750,000 = 9.5 × 10<sup>9</sup> O.U./hr = 2.64 × 10<sup>6</sup> O.U./sec 代入高斯擴散模式

$$C = \frac{2.64 \times 10^6}{3.14 \times 4.47 \times 160 \times 120} \times \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{30}{120} \right)^2 \right]$$

$$= 9.60 \text{ O.U./m}^3 = 0.28 \text{ O.U./ft}^3$$

因此我們也可以說在此種氣象條件和排放率下，在下風1000m 處，0.28 O.U./ft<sup>3</sup> 不致造成臭味。



圖一、臭味污染源採樣

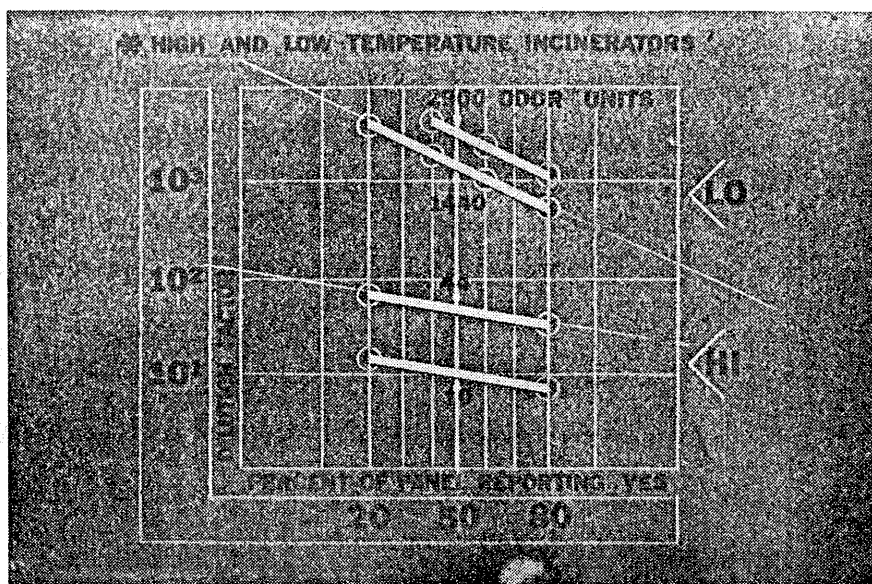
#### 四、排放源臭味控制方式

排放源臭味控制方法基本上有兩種，其中一種是減少臭味物質之排放，另一種是改變臭味物質之特性，使其可被接受，茲介紹如下：

##### (一)排氣通風方式

用强迫空氣——覆罩 (force-air hood) 方式，使臭味物質不致於四處外洩，並利用高煙囪使臭味物質藉大氣之擴散稀釋作用而不致於有臭味產生，其計算估計方法如上例所示，此外在分批式之化工程序中如會排放臭味物質，也可藉減壓排氣之方式，降低臭味物質之排放率，藉空氣充分稀釋之。

##### (二)吸附方式



圖二、嗅覺器官有臭味感百分比與稀釋倍數關係圖

最常用之吸附劑為活性炭，可用於(1)處理排到室外或煙囪之廢氣，(2)把室外空氣處理後引入室內，如開刀房、製藥廠等，(3)室內空氣之再循環。設計之風速 (face velocity) 為 375~520 ft/min。

#### (二)吸收方式

如臭味物質可用某種液體吸收或臭味物質可被冷凝，則可考慮使用吸收方式處理，如氨、氯用水吸收。

#### (三)火焰氧化 (flame oxidation)

用直接火焰，其燃燒溫度為 1100~1500°F，可有效控制臭味物質，燃燒所需之燃料一般使用天然氣，此法之缺點為補助燃料之費用，應防止不完全燃燒現象之發生，否則會造成更濃之臭味。

#### (四)觸媒氧化

較常用之觸媒為鉑、五氧化二鉬，其優點為燃燒溫度較低 (500~800°F)，應防止觸媒被毒化 (poisoning) 或粒狀物質沉積於觸媒床上。

#### (五)化學氧化

可用  $O_3$ ,  $KMnO_4$ ,  $HClO$ ,  $Cl_2$ ,  $ClO_2$  等氧化劑以氧化臭味物質，尤其是對於有機物更為有效。臭氧可氧化有機物，使其成為醛、酮或酸。高錳酸鉀可去除硫化物，胺、酚及不飽和之碳氫化合物。

#### (六)掩覆劑 (masking agent)

此乃把一種有味道 (可被人接受者，如香水) 加入臭味物質中，以掩後其原有之臭味，使用此法只是治標方式，應注意所加入之掩後劑應不致於造成健康之危害。

## 五、法令檢討

(一)過去之經驗：在我國空氣污染防治法頒布施行前，省市政府有其地方性單行法規據以執行空氣污染之管制。如臺北市空氣防污辦法第三條定有二十五種氣體，廠礦在其用地邊界上不得超過最高容許量，其中有關臭味之物質如氨 (30 ppm)、氯 (0.3 ppm)、硫化氫 (3 ppm)……等。另外第十二條：「市區禁止排放或堆置足以損害人體或財產或使人厭惡之氣體或物質。」此條則屬概括性之規定，執行較有彈性。

(二)美國有些州如明尼蘇打、伊利諾州，採取 O.U./ft<sup>3</sup> 之規定，如馬利蘭州則採控制設備標準，例如規定焚化爐之溫度應高於 1200°F，停留時間長於 0.3 秒等即是。

(三)如美國密蘇里州之聖路易郡則採客觀標準，即以民意調查方式，就不同之地區，分別訂定不同之稀釋倍數，臭味排放源在達到下列情況時，即予禁止：

- 1.在住宅、遊憩、機關、旅館、學校等區之空氣不經稀釋。
- 2.工業區之臭味物質用二十倍無臭味空氣稀釋。
- 3.以上所列以外之地區之臭味物質用四倍無臭味空氣稀釋。

照以上標準稀釋之空氣在受測人數至少20人時，如有30%認為有令人厭惡之味道，則應予以禁止，如受測人數少於50人，則如有75%以上受測人數認為厭惡也應予以禁止。

(四)我國目前法令之管制：目前臺灣地區空氣污染排放標準中有關臭味物質採列舉式，只有五種臭味物質和三種有機溶劑，另外還有數種氣體之規定，由於臭味物質種類繁多，而臭味之物理、化學性質雖有通則，但非一成不變，加以臺灣地狹人稠，住宅與工廠爭地，以目前之法令，實難以有效管制，實應採臭味排放單位或概括、列舉並行之方式，從速修訂法令，據以執行，才能有效管制臭味造成之空氣污染問題。

# 工業廢水處理技術(九)

李 公 哲\*

## 二十九、有機性工業廢水污泥之堆肥法<sup>(1)</sup>

堆肥 (composting) 可用來處理已脫水之有機性工業廢水污泥或污泥與固體廢棄物 (solid waste) 混合物。堆肥使有機物轉化為腐植質 (humus) 可作為土壤改善劑或營養源。堆肥為一種好氧，高溫 (thermophilic) 的分解。混合物之含水量為50至60%，且碳／氮比不得超過35。因高溫消化其消化溫度約45至 70°C，而產生殺菌作用可殺滅污泥中的致病菌。為了重新繼續消化，需要取用部分已消化物質。依其處理程度及排入物質種類，消化時間約從一天至三個星期，接着有一段後消化或成熟期。臭味的副產品可因土壤濾層而去除。pH 需維持在7附近，且需曝氣以便維持好氧狀態。

以堆肥作為前及後處置廢棄物，是將其作成堆狀處理（須攪動以便曝氣），或在成層的消化倉內有垂直旋轉軸或是在旋轉的圓鼓中處理。在這些情況下的前處理及後消化 (post digestion) 只須一至兩天的停留時間。

## 三十、含金屬之有機性污泥的土地處置法

許多有機性工業廢水污泥能够與土壤混合而不需機械脫水處理。地表處置 (surface application) 可藉卡車或噴撒器 (spaying) 散佈完成。污泥可藉動力系統 (mobile unit) 貫入地表下8至10吋。貫注法 (injection) 的優點是減少地表逕流量 (surface runoff) 及臭味問題。一個重要的考慮是污泥重金屬含量。在pH大於6時重金屬將與 $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  交換，土壤此種自然的重金屬交換能力謂之陽離子交換能力 (cation exchange capacity 簡稱CEC)，以 $\text{meq}/100\text{g}$ 乾土重表示。混入的污泥中重金屬被土壤保留下直到CEC量為止，但可能因pH，好氧或厭氧狀況等因子而受影響。砂土之CEC約0~5，黏土之CEC約5~20。污泥之營養分將維持植物的生長。土壤的有機物亦會攫取 (chelate) 重金屬。

在混入前，有機性污泥須作一最小程度的穩定作用 (stabilization)，通常以好氧消化15天，使揮發物含量低於55%。土壤能吸收的重金屬總量以鋅金屬當量 (Zinc equivalent) (ppm) 表示。

$$\text{鋅金屬當量 (ppm)} = [\text{Zn}] + 2 [\text{Cu}] + 8 [\text{Ni}]$$

上述中之Zn、Cu及Ni之濃度以ppm或 $\text{mg}/\text{kg}$ 表示。上式之係數所代表為一般銅 (Cu) 對植物之毒害為鋅 (Zn) 之二倍，而鎳 (Ni) 對植物之毒害則為鋅之八倍。

許多研究指出，在土壤 $\text{pH} > 6.5$ 時，污泥之土壤處置，所施加之污泥量對土壤造成之鋅金屬

\*臺灣大學環境工程研究所教授  
本小組委員

當量不可超過 250ppm。

當土壤 pH $\geq$ 6.5時，污泥土壤處置之最大允許污泥施加量可用下式計算：

總污泥施加量（乾污泥重）（英噸／英畝）

$$= \frac{16,300(\text{CEC})}{[\text{Zn}] + 2[\text{Cu}] + 8[\text{Ni}] - 300}$$

上式中之分母即為鋅金屬當量減去300；而減300之意義為考慮施加污泥中有機物所增加之額外陽離子交換能力。分子中之16,300為換算因子，並反應鋅金屬當量不超過百分之五之土壤CEC值。上式之基本依據為任何毒性重金屬加入土壤中，其鋅金屬當量不可超過百分之五之土壤CEC值。現舉例如下：

〔問題〕：茲有一污泥樣，其重金屬含量為：Zn=500mg/kg，Cu=600mg/kg，Ni=50mg/kg。假定該污泥將土壤處置在一具土壤 CEC值為 20之壤土上。現以重金屬為設計基準，該污泥在此壤土上之最大施加量為若干？

〔解〕：總污泥施加量（輕鋅泥量）（英噸／英畝）

$$= \frac{16,300(20)}{(500) + 2(600) + 8(50) - 300}$$
$$= 60 \text{ 英噸／英畝}$$

以有機性污泥中所含重金屬為設計基準之土地處置法，美國環境保護局則介紹下述之另一種污泥施加量計算法<sup>(9)</sup>。該法主要係經長期之研究，而得到含重金屬之有機性污泥，在進行土地處置時，每英畝土地上，如施加 100英噸之污泥，其該污泥中所含之重金屬限量如表三十五所示：

表三十五之應用，現舉二例如下：

〔問題〕：某一有機性污泥之金屬含量為：Boron=300mg/l，Cadmium=60mg/l，Chromium=700mg/l，Copper=600mg/l，Nickel=300mg/l，同時無其他金屬存在，試求其土地處置時污泥施加量？

〔解〕：首將該污泥之金屬含量與表三十五比較，可發覺 Cadmium含量超過可容許限值，故顯然Cadmium控制污泥之施加量，而可計算如下：

$$\frac{45\text{mg/l (可容許限值)}}{60\text{mg/l (污泥中含量)}} \times 100 \text{ 英噸／英畝} = 75 \text{ 英噸}$$

故每英畝之土地上，僅可施加75英噸之該污泥。

〔問題〕：同上之污泥，如欲每英畝上施加125英噸之污泥，則其金屬限值為若干？

〔解〕

$$\text{污泥中之可容許金屬限值} = \frac{100}{125} \times (\text{表三十五中之限值})$$

$$\text{例如，Cadmium應為 } 36\text{mg/l} (= \frac{100}{125} \times 45), \text{Chromium應為 } 800\text{mg/l} (= \frac{100}{125} \times 1,000)$$

〕等。

因目前對含金屬之有機性污泥，在土壤處置時之施加量仍無公認之設計準則，故本文特舉出現階段常用之二種方法，以供工業界處理其污泥時之參考。

表三十五 含金屬有機污泥土地處置時之金屬含量限值

| 金 屬 名 稱        | 每英畝土地可施加 100 英噸<br>有機性污泥所含金屬限值<br>( $\mu\text{g/g}$ ) | 備 註                                            |
|----------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 鋁 (Aluminum)   | 20,000                                                | 本表適用於土壤之<br>CEC 值在 5 至 15<br>meq/100g 乾土重<br>。 |
| 銻 (Antimony)   | 25                                                    |                                                |
| 砷 (Arsenic)    | 25                                                    |                                                |
| 鋇 (Barium)     | 3,000                                                 |                                                |
| 鈹 (Beryllium)  | 25                                                    |                                                |
| 硼 (Boron)      | 350                                                   |                                                |
| 鎘 (Cadmium)    | 45                                                    |                                                |
| 鉻 (Chromium)   | 1,000                                                 |                                                |
| 鈷 (Cobalt)     | 100                                                   |                                                |
| 銅 (Copper)     | 1,000                                                 |                                                |
| 鉛 (Lead)       | 4,400                                                 |                                                |
| 鋰 (Lithium)    | 10                                                    |                                                |
| 錳 (Manganese)  | 1,000                                                 |                                                |
| 汞 (Mercury)    | 10                                                    |                                                |
| 鉬 (Molybdenum) | 25                                                    |                                                |
| 鎳 (Nickel)     | 450                                                   |                                                |
| 硒 (Selenium)   | 10                                                    |                                                |
| 銀 (Silver)     | 40                                                    |                                                |
| 鈉 (Sodium)     | 10% of Calcium                                        |                                                |
| 銦 (Strontium)  | 150                                                   |                                                |
| 鉈 (Thallium)   | 5                                                     |                                                |
| 錫 (Tin)        | 100                                                   |                                                |
| 鈦 (Titanium)   | 200                                                   |                                                |
| 鎢 (Tungster)   | 100                                                   |                                                |
| 釩 (Vanadium)   | 500                                                   |                                                |
| 鋅 (Zinc)       | 2,000                                                 |                                                |

參 考 資 料

1. W. W. Eckenfelder, Jr., "Principles of Water Quality Management", CBI Publishing, 1980.
2. U. S. EPA, "The Disposal of Combined Municipal/Industrial Wastewater Desidues".

# 日本橫濱市特定廢棄物的處分

李清岳\*王若葦\*\*譯述

本文摘譯自昭和56年9月橫濱市環境事業局施設部産業廢棄物指導課編印之「汚でい等の処理処分について」。其中第肆部份，為訪問該局之簡報資料，特予說明。

本文所稱特定廢棄物，係指污泥、廢酸廢碱、爐渣、灰燼、粉塵、廢 PCB、及 PCB 污染物。

本文所稱有害物質，係指甲基水銀、總水銀、鎘、鉛、有機磷、六價鉻、砷、氰化物及多氯聯苯 (PCB)。

## 壹、含有有害物質的特定廢棄物判定基準

### 一、掩埋處理判定基準

(一)橫濱市指導基準：

| 有 害 物 質 | 基 準 值 (溶出試驗) |
|---------|--------------|
| 甲 基 水 銀 | 不 檢 出        |
| 總 水 銀   | 0.005mg/ℓ 以下 |
| 鎘       | 0.1 "        |
| 鉛       | 1 "          |
| 有 機 磷   | 0.2 "        |
| 六 價 鉻   | 0.5 "        |
| 砷       | 0.5 "        |
| 氰 化 物   | 1.0 "        |
| P C B   | 0.003 "      |

(二)昭和48年總理府第五號令：

\* 苗栗縣政府建設局工商課長

\*\*經濟部工業局第七組副組長

| 有 害 物 質 | 基 準 值 (溶出試驗) |
|---------|--------------|
| 甲 基 水 銀 | 不 檢 出        |
| 總 水 銀   | 0.005mg/ℓ 以下 |
| 鎘       | 0.3 "        |
| 鉛       | 3.0 "        |
| 有 機 磷   | 1.0 "        |
| 六 價 鉻   | 1.5 "        |
| 砷       | 1.5 "        |
| 氰 化 物   | 1.0 "        |
| P C B   | 0.003        |

## 二、海洋投入處分判定標準

(一) 沉降堆積性物質 (灰燼、粉塵、非水溶性無機性污泥、爐渣)

| 有 害 物 質 等 | 基 準 值 (溶出試驗)     |
|-----------|------------------|
| 甲 基 水 銀   | 不 檢 出            |
| 總 水 銀     | 0.005mg/ℓ 以下     |
| 鎘         | 0.1 "            |
| 鉛         | 1.0 "            |
| 有 機 磷     | 1.0 "            |
| 六 價 鉻     | 0.5 "            |
| 砷         | 0.5 "            |
| 氰 化 物     | 1.0 "            |
| P C B     | 0.003 "          |
| 銅         | 3.0 "            |
| 鋅         | 5.0 "            |
| 氟 化 物     | 15.0 "           |
| 有 機 氯     | 40mg/kg以下(含有量試驗) |

(二)擴散性污泥 (有機污泥、水溶性無機性污泥)

| 有 害 物 質 | 基 準 值 (含有量試驗) |
|---------|---------------|
| 甲 基 水 銀 | 不 檢 出         |
| 總 水 銀   | 2 mg/kg 以下    |
| 鎘       | 5 "           |
| 鉛       | 50 "          |
| 有 機 磷   | 5 "           |
| 六 價 鉻   | 25            |
| 砷       | 25            |
| 氰 化 物   | 5 "           |
| P C B   | 0.15          |
| 銅       | 70 "          |
| 鋅       | 450 "         |
| 氟 化 物   | 1000          |
| 有 機 氯   | 40 "          |

(三)廢酸廢碱

| 有 害 物 質 | 基 準 值 (含有量試驗) |
|---------|---------------|
| 甲 基 水 銀 | 不 檢 出         |
| 總 水 銀   | 0.05 mg/l 以下  |
| 鎘       | 1 "           |
| 鉛       | 10 "          |
| 有 機 磷   | 1 "           |
| 六 價 鉻   | 5 "           |
| 砷       | 5 "           |
| 氰 化 物   | 1 "           |
| P C B   | 0.03 "        |
| 銅       | 15 "          |
| 鋅       | 90 "          |
| 氟 化 物   | 200 "         |
| 有 機 氯   | 8 "           |

## 貳、特定廢棄物的處分

根據政令第六條及海洋污染及海上災害防止關係法施行令第七條規定，特定廢棄物處分的一般基準、掩埋處分、掩埋處分流程、海洋投入處分、以及海洋投入處分流程如下。

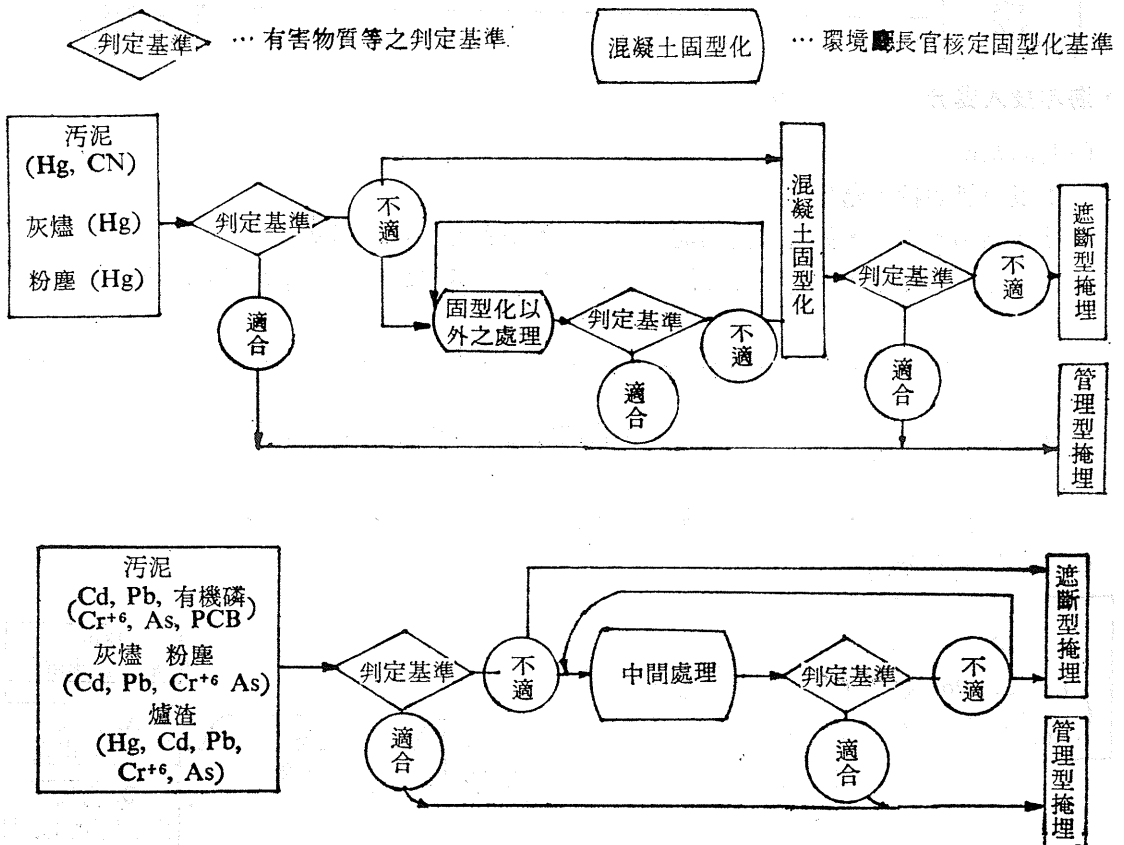
### 一、一般基準

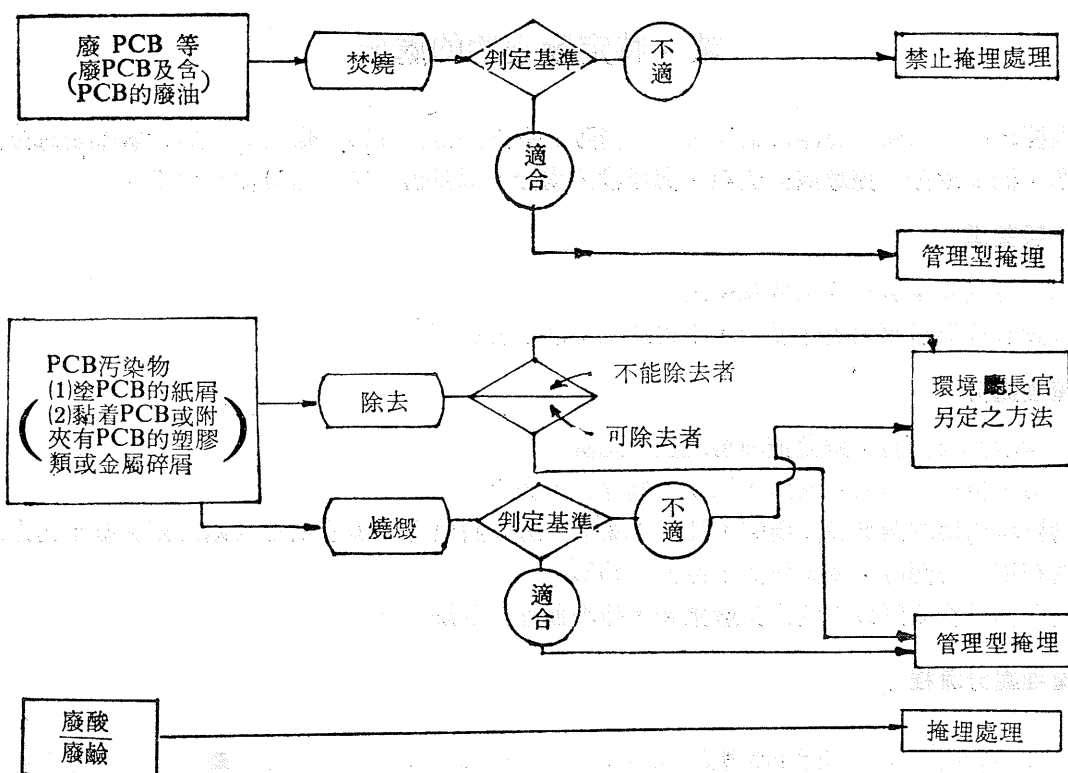
- (一)不得使產業廢棄物飛散及流出。
- (二)設置產業廢棄物處理設備，不得危及生活環境的安全。

### 二、掩埋處分

- (一)採取必要措施，避免掩埋場地發生惡臭。
- (二)防止掩埋場地鼠類繁殖，以及蚊蠅等蟲害發生。
- (三)掩埋場地四週應設置柵欄，且產業廢棄物處分的地方，要在有標明處理產業廢棄物之處。
- (四)在填埋污泥時，要先使其水份低於85%。
- (五)含油份在5%以上的產業廢棄物，掩埋前應先予燒燬。

### 三、掩埋處分流程



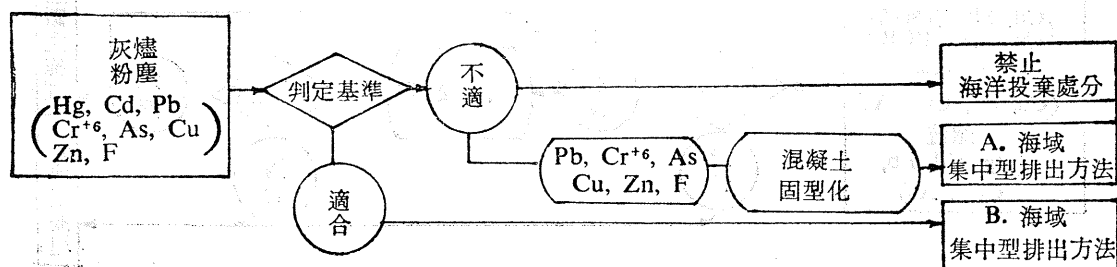


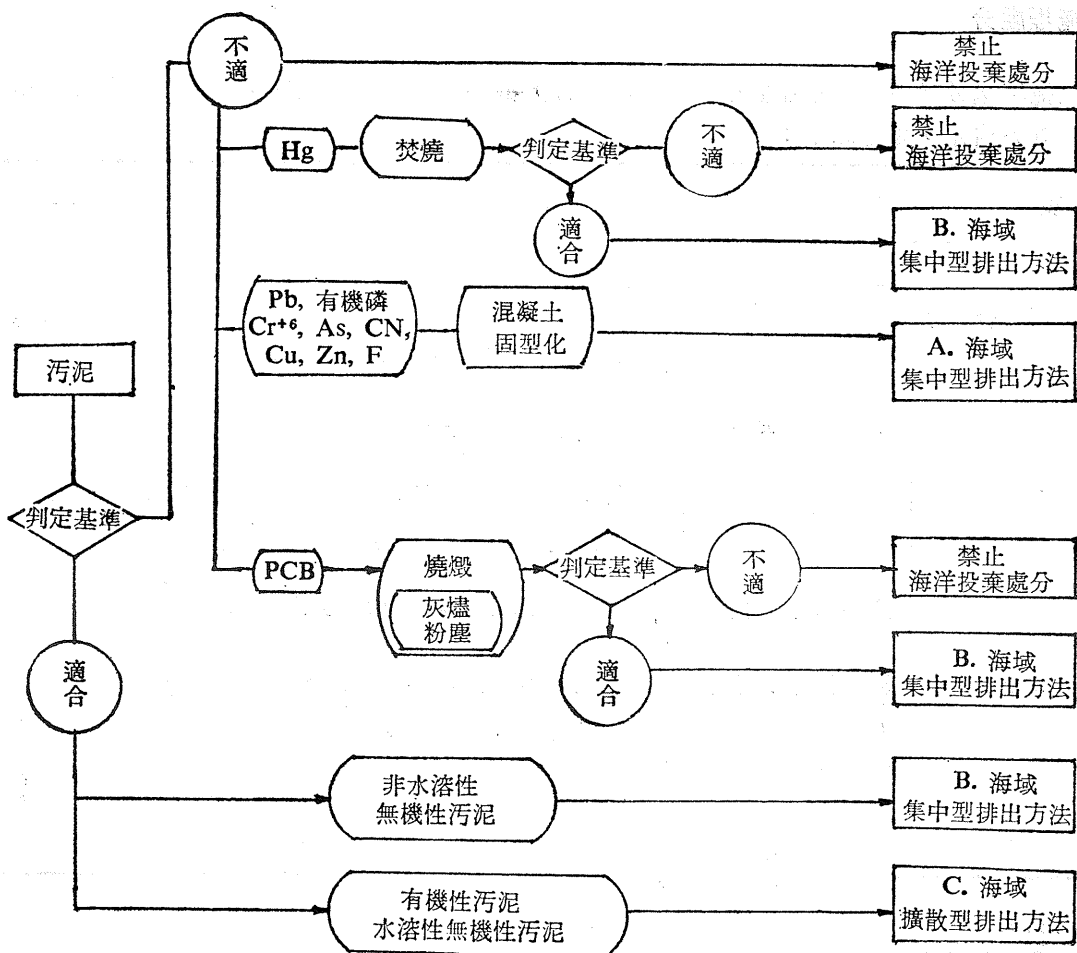
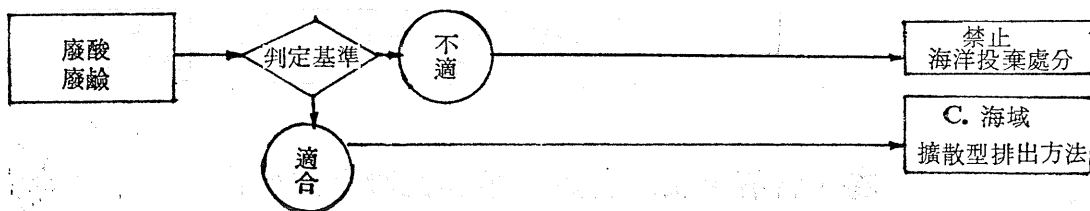
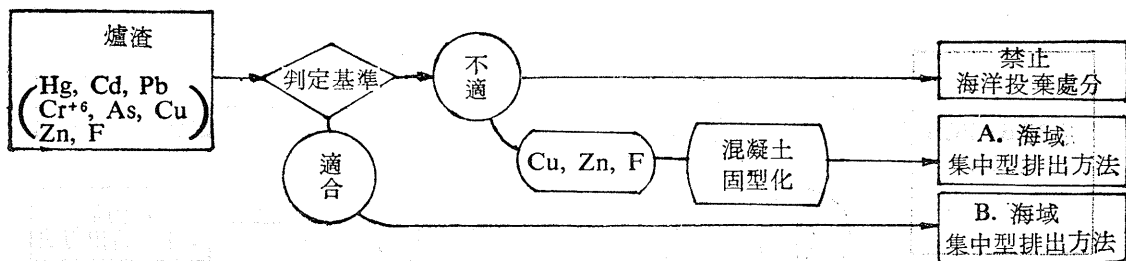
#### 四、海洋投入處分

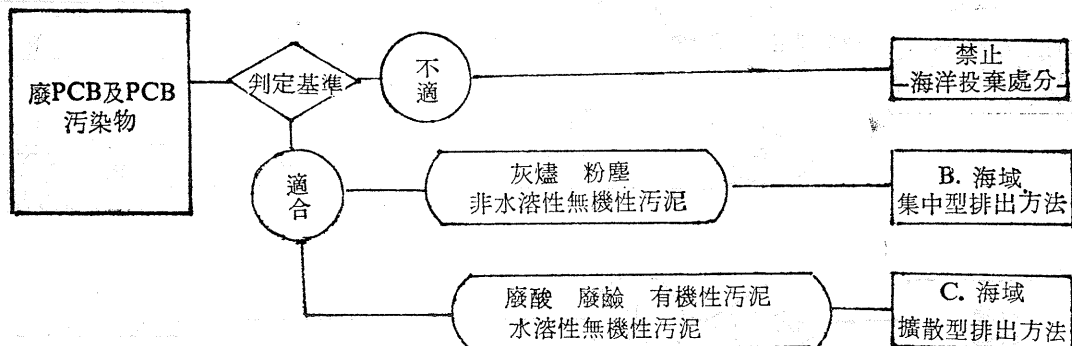
##### (一)共同基準

- ①限由船舶投入處分。
- ②下列物質之中，如認為掩埋處分無害時，不須海洋投入處分。
- ③海洋投入處分，必須注意海洋生態基準，如對水產動植物生態變化有妨礙時，務須避免。
- ④對於含有兩種以上不同廢棄物的海洋投入處分，必須依其不同的基準，併作適當的處理。
- ⑤對於污泥之類的處分，必需注意：含油份應在  $100\text{mg/l}$  以下；同時應不具油膜及引火性。
- ⑥廢酸廢鹼處分，如係用船舶載運時，其PH值必需在5.0以上，9.0以下。

##### (二)海洋投入處分流程







### 叁、含有金屬的特定廢棄物混凝土固型化

#### 一、掩埋處分

(一)掩埋處分（包含用船舶裝載海面掩埋處分）混凝土固型化的基準，依據昭和52年環境廳第五號告示，規定如下：

| 項 目 |                                    | 基 準                                                            |
|-----|------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1   | 結 合 材                              | 種 類 水硬性水泥                                                      |
|     |                                    | 配 合 量 混凝土固型化物每 1 立方公尺 150kg 以上                                 |
| 2   | 強 度                                | 一 軸 壓 縮 強 度 每 1 平方公尺 10kg 以上                                   |
|     |                                    | 測 定 方 法 以日本工業規格 A1132 規定方法作成直徑 5 公分高10公分的試物，再依同規格 A1108 規定方法測定 |
| 3   | 形狀及大小                              | 體 積／表 面 積 體積 (cm³) 與表面積 (cm²) 之比 1 以上                          |
|     |                                    | 最大寸法／最小寸法 最大寸法與最小寸法之比 2 以下                                     |
|     |                                    | 最 小 寸 法 5 公分以上                                                 |
| 4   | 關於基準內用語和其他事項，如非本基準內者，依日本工業規格規定之基準。 |                                                                |

#### (二)說明

##### ①關於結合材

對於含有水份的污泥，要使之容易固型化，要確實能達到固型化的必要強度，要能在長時間內保持它的強度。又從化學特性來說，水及海水不易使它溶化。同時還希望它能對有害物質具有吸收的效果。

水硬性水泥要用卜蘭特水泥、高爐水泥或其他類似物。

結合材料的配合量要能達到下列效果：確保固型化物的強度、確保對有害物質的化學吸收效果、防止固型化物內有害物質滲出。

## ②關於強度

實施掩埋處分時，混凝土固型化物縱使遇到風雨，也不致破損。

## ③關於形狀及大小

掩埋處分之後，萬一掩埋場地的遮斷機能不能確保，縱使風雨來臨，亦不致散失或容易破損。且須：

- 1.容易成型及搬運。
- 2.掩埋後確能保持適當的「地耐力」。
- 3.為減少破損及其有害物質的滲出，固型物以作成塊狀為佳。

## ④關於保養（維護）方法

有水中保養、空氣中保養、濕氣中保養及蒸汽中保養等。任何一種保養方法，必需使混凝土固型化物的強度達到標準以上，才可進行掩埋。

## 二、海洋投入處分

(一)昭和52年環境廳第五號告示規定海洋投入處分之混凝土固型化基準。

| 項 目 |                                   |             | 基 準                                                                                |
|-----|-----------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 結 合 材                             |             | 水硬性水泥                                                                              |
| 2   | 強 度                               | 一 軸 壓 縮 強 度 | 每 1 平方公分 100kg 以上                                                                  |
|     |                                   | 測 定 方 法     | 以日本工業規格 A1132 及 A1107 規定方法作成直徑 10cm，高20cm 及直徑15cm，高 30cm 的試物，再依日本工業規格 A1108規格方法測定。 |
| 3   | 形狀及大小                             | 體 積／表 面 積   | 體積 (cm <sup>3</sup> ) 與表面積 (cm <sup>2</sup> ) 之比 5 以上                              |
|     |                                   | 最大寸法／最小寸法   | 最大寸法與最小寸法之比 3 以下                                                                   |
|     |                                   | 最 小 寸 法     | 30公分以上                                                                             |
| 4   | 其 他                               |             | 廢棄物與水硬性水泥應混合均勻                                                                     |
| 5   | 關於基準內用語和其他事項，如非本基準內者，依日本工業規格規定之基準 |             |                                                                                    |

## (二)說明

### ①關於結合材

對於含有水份的污泥，要使之容易固型化，同時，要能在長時間內保持它的強度。又從化學特性來說，要使它不容易為海水所溶化。同時還希望對於有害物質具有吸收的效果。

水硬性水泥要用卜蘭特水泥、高爐水泥或其類似物。

結合材之配合量，要能使混凝土固型化物保持所須要的強度，確保對有害物質的化學吸收效果，防止固型化物內有害物質滲出。

### ②關於強度

海洋投入時，不致因衝擊力、壓力等因素而易破損。

### ③關於形狀及大小

搬運中及海洋投入之時，不能因風雨而飛散或容易破損。其形狀及大小要：

1.易於成型及搬運。

2.爲了儘量減少破損及防止有害物質的滲出，所以需作成塊狀。其體積之大小，在搬運許可的範圍內，不妨儘可能大一點。

### ④關於混合

未經充分攪拌而成的混凝土固型化物，其質地不均的部位，易受水的壓力作用而破損，所以在作成固型化物之前，必須要使攪拌均勻，不要使污泥之類結塊存在，形成不均質的固型化物。

### ⑤關於保養（維護）方法

有水中保養、空氣中保養、濕氣中保養及蒸汽中保養。無論採用那一種方法，在裝船載運時，混凝土固型化物要達到標準以上的強度，才能海洋投入處分。

## 肆、橫濱市環境事業局對廢棄物的處分

1982年9月27日，在日本環境衛生中心的安排下，筆者之一曾去橫濱市環境事務局訪問，並承該局產業廢棄物指導課負責人詳細介紹廢棄物處分的情形。茲摘要記述如下：

一、環境事務局經常派員前往事業單位取樣分析（分析調查報告書格式附後），看其排放廢棄物能否符合規定標準。此項取樣分析經費，當年度爲15,000,000日元。

二、廢棄物處理業者，可向橫濱市公害防止基金申請融資，其利息由市政府負擔，以示協助。除此之外，業者尚可向縣、通產省有關基金申請融資。

三、工廠申請設立，應先擬出廢棄物處分計畫，經審查核定，才予同意。其爲擴建者，亦同。工廠排出廢棄物標準，尚有須與附近居民協議情形。

四、家庭廢棄物由市政府收集處理。大廈、超級市場的廢棄物，應由其自身處理，包括委託中間處理業者處理。

五、對有害廢棄物之工廠，鼓勵其遷入新生地。有共同公害的工廠，指導其共同處理廢棄物。下水道之廢棄物，亦請廢棄物處理業者處理，並就處理所得之污泥、砂、石等，資源化爲建材

使用。

六、廢棄物處理業，有的聯合起來以公司組織型態經營。

七、由工商協會主持廢棄物交換處理的事務，受理廢棄物處理業者的申請案件。惟市政府負有監督的權責。凡屬有害的廢棄物，儘量避免交換處理，以防止弊端。1982年7月協會成立後，已經申請交換處理者有六件，其中一件已處理完畢。協會對交換處理廢棄物之類別，有一定的規定。

八、事業單位違反法令規定，照章處罰，不因景氣問題（當時日本經濟亦已陷於不景氣狀況）為藉口而不執行處分。如其為依規定處理廢棄物，市政府可協助其申請無息貸款。

九、事業單位因違反法令規定遭受停工處分，主管機關不考慮其員工工作問題。

# 附、產業廢棄物分析調查報告書

年 月 日

橫濱市長公鑒

住 址

姓 名

印

(如係法人，應填排出廢棄物事  
業單位地址、名稱及代表人)

以下為對產業廢棄物的分析調查結果及報告

## 〔事業單位登記欄〕

|                                 |               |                                                 |  |              |  |                |  |                 |  |
|---------------------------------|---------------|-------------------------------------------------|--|--------------|--|----------------|--|-----------------|--|
| 產業廢棄物處理責任者<br>或承辦人所屬・姓名         |               | 所屬                                              |  | TEL ( )      |  | 姓 名            |  | 印               |  |
| 廢 棄 物 名                         |               |                                                 |  | 業種           |  |                |  |                 |  |
| 試 料 之 性 狀                       |               | 1.液狀<br>色 ( )                                   |  | 2.粘稠狀<br>( ) |  | 3.泥狀<br>臭氣 ( ) |  | 4.粉體狀<br>其他 ( ) |  |
| 試 料 之 主 要 成 分                   |               |                                                 |  |              |  |                |  |                 |  |
| 試料採取者及採取年月日                     |               | 所屬 姓名                                           |  |              |  | 年 月 日採取        |  |                 |  |
| 試料採取場所及方法                       |               |                                                 |  |              |  |                |  |                 |  |
| 廢棄物之發生工程及<br>處 理 工 程<br>(流 程 圖) |               |                                                 |  |              |  |                |  |                 |  |
| 依法令規定已置設備名稱                     |               | 大氣污染防治法關係                                       |  |              |  |                |  |                 |  |
|                                 |               | 水質汚濁防止法關係                                       |  |              |  |                |  |                 |  |
|                                 |               | 廢棄物處理法關係                                        |  |              |  |                |  |                 |  |
| 處 理 處 分 方 法                     |               | 掩埋 (A・B・C海域) ( ) 海投 ( ) 中間處理 ( ) 資源化 ( ) 其他 ( ) |  |              |  |                |  |                 |  |
| 廢 棄 物 排 出 量                     |               | t / 月                                           |  | 處分次數         |  |                |  |                 |  |
| 處<br>理<br>處<br>分<br>狀<br>況      | 收 集・運 搬 者     | 住址<br>姓名                                        |  | TEL ( )      |  |                |  | 許可號碼            |  |
|                                 | 中 間 處 理 者     | 住址<br>姓名                                        |  | TEL ( )      |  |                |  | 許可號碼            |  |
|                                 | 最 終 處 分 者     | 住址<br>姓名                                        |  | TEL ( )      |  |                |  | 許可號碼            |  |
|                                 | 資 源 化・再 利 用 者 | 住址<br>姓名                                        |  |              |  |                |  |                 |  |

〔分析機關登記欄〕

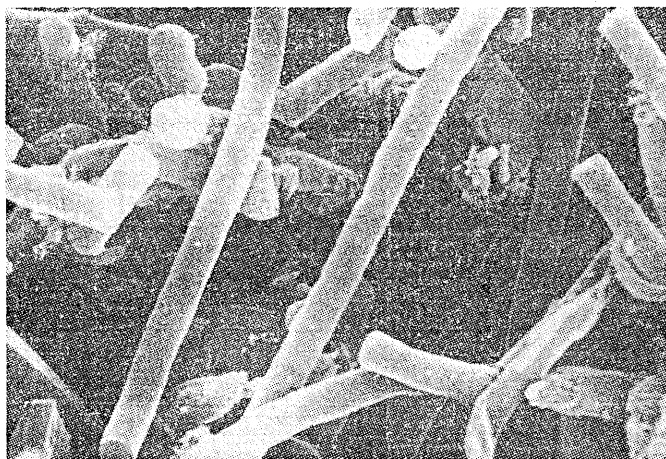
|               |               |       |                  |               |               |       |
|---------------|---------------|-------|------------------|---------------|---------------|-------|
| 水分            | %             | pH    | ( °C)            | 含油量           | 正己烷抽出物質量(掩埋等) | mg/kg |
| 固料分           | %             | 不溶成分  | %                | 固料分之熱灼減量      | 油分(海投)        | mg/l  |
| 有無油膜          | 有・無           | 有無引火性 | (40~60°C)<br>有・無 | 試驗方法          |               |       |
| 項目            | 含有量試驗值        | 溶出試驗值 | 試驗方法             |               |               |       |
| 甲基水銀          | mg/kg<br>mg/l | mg/l  | 含有量試驗<br>溶出試驗    |               |               |       |
| 總水銀           | "             | "     | "                |               |               |       |
| 銅             | "             | "     | "                |               |               |       |
| 鉛             | "             | "     | "                |               |               |       |
| 有機磷           | "             | "     | "                |               |               |       |
| 六價鉻           | "             | "     | "                |               |               |       |
| 砷             | "             | "     | "                |               |               |       |
| 氰化物           | "             | "     | "                |               |               |       |
| P C B         | "             | "     | "                |               |               |       |
| 銅             | "             | "     | "                |               |               |       |
| 鋅             | "             | "     | "                |               |               |       |
| 氟化物           | "             | "     | "                |               |               |       |
| 有機氯           | "             |       | "                |               |               |       |
| 備考            |               |       |                  |               |               |       |
| 分析機關          | 所在地           | 縣     | 分析期間             | 年 月 日 ~ 年 月 日 |               |       |
|               | 名稱            |       | 環境計量士            | TEL ( )       |               |       |
| 濃度計量證名事業所登記號碼 |               |       |                  |               |               |       |
| 橫濱市登記欄        |               |       |                  |               |               |       |

# 以厭氧生物技術處理工業廢水

李 志 源\*

本文檢視各種厭氧生物技術之科學原則及技術觀念，並描述若干處理設施。

微生物自然合成甲烷 (methane) 已進行了若干年代，分佈地點亦甚廣泛，例如在沼澤地、稻田裏、水底棲泥、深海溝、熱泉水、叢林裏，或豬、牛、蜥蜴、白蟻等動物棲所，甚或人類週遭均能發現甲烷之生成。過去十年，厭氧生物技術之研究廣受歡迎。研究興趣主要集中在如何有效控制工業廢水之處理流程及如何將農作物經由生化轉換過程變成甲烷。



圖一 甲烷製造者：用電子顯微鏡觀察之甲烷合成菌  
(methanogenic bacteria)

我們對厭氧生物技術的了解速度進展相當快。過去五年，分佈在歐美等地之微生物學家對甲烷菌的研究甚為熱衷，其成果亦屬可觀。濃厚的研究興趣加上進步的程序工程使得各類工業廢水之厭氧生物可處理性研究更為蓬勃發展。很明顯地，努力的成果，可從愈來愈多的厭氧處理設施——據統計歐美地區已超出60座（這當中尚不包括厭氧池塘）——看出來。

厭氧消化最初主要用來處理家庭污泥，其原因為此類污泥已含相當成分之營養物質及鹹度。另外，與家庭污泥成分相似之食品廢水如肉品包裝廢水或甜菜操作過程所生廢水亦曾引用厭氧處理，因為此類廢水所含有機物質可立即被消化，其無機離子亦如在地下水或地上水中者可馬上被

\* 東南工專土木工程科副教授

生物利用。現正被考慮應用在已去除離子之廢水處理，此等廢水大部分由蒸發之冷凝水而來，如蒸發紙漿黑液之冷凝水，煤碳氣化過程之冷凝水或經由各種工業製程所生者。要確知如何滿足此類廢水之各種無機營養物需求量還要從事更多的研究。

已有數據顯示使用厭氧處理，各種無機營養物需要情況以無機離子最為重要，特別是那些稀有金屬，因為它們能促進微生物之新陳代謝。回顧過去各類工業廢水之可處理性研究，其結果欠佳之原因，可推溯為原水中天生的缺乏鐵、鈷、鎳等重金屬所致。現在已明瞭稀有金屬在生物反應中非常重要，以致我們要重新檢討因為過去對稀有金屬之疏忽所得各類生物反應動力係數之正確性。因為這種疏忽使得厭氧生物技術應用於工業廢水延遲了十年以上。延誤之罪要歸因於多數人的反對，因為他們深信厭氧技術之無法使用乃是由於程序失敗，非缺乏稀有金屬之故。此外其他資料同時也顯示某些厭氧微生物對非離子型硫化氫需要程度相當高。

何類廢水最適合以厭氧處理如今需要重新檢討。現在的問題不再是這種工業廢水能被分解至甲烷否，因為絕大部分的有機物是可被厭氧分解的，主要的針點應是這種工業廢水其被分解的速率如何？以及它到底被分解至怎麼樣的程度？毒性物質是連續或偶發的進入廢水中？有否供應足夠營養物？這種流程能否恰當應變各種流量及有機負荷？為開發適當處理程序，上述之相關問題必須加以討論。

最近，大多數人之研究興趣已轉移至分離甲烷合成菌(Methanogens)之突變種，也有一些人利用基因工程合成甲烷合成菌(Methanogens)。McCarty 已提出警告：若能開發出一種微生物，它能直接將碳水化合物變成甲烷，其結果將相當淒慘。目前，這種微生物不存在，假若有一天被製造出來，且生存於牛胃之中，很可能地，它將轉化一部分牛之食物為甲烷。幸運的是，現在碳水化合物要轉化成甲烷，需要幾類微生物合作，因此，目前將動物之食物轉變成甲烷的機會相當微小。

厭氧生物技術的市場潛力非常大，不過須克服一些障礙始能爭取得到。必須要對涉及反應之微生物羣深入了解再輔以進展神速的反應器設計技術才是我們開發厭氧生物技術之基礎。此外，適切的工程設計及良好之污泥馴化不但可適應有毒廢水且能減低營養物質補充量，同時也可產生良好的放流水質。

## 厭氧與好氧生物技術之比較

工業廢水除用厭氧處理外，尚可用好氧方式處理。兩種方式之差異主要在用電量，甲烷氣體之生成量及過剩污泥之產生量——此即意味處置成本。表一是處理一噸 COD 之比較結果。

對淨操作成本言，厭氧處理大約比好氧方法便宜（美金）\$160元/噸至250元/噸間（假設電費為\$0.06/Kwh，甲烷價值 \$4.50/10<sup>6</sup>Btu，乾污泥處置費\$100/噸）。

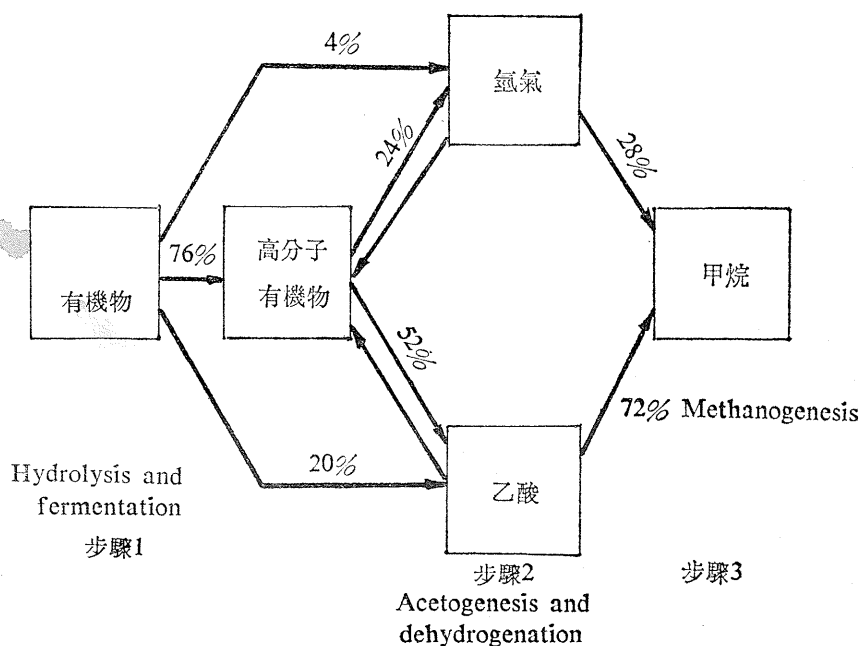
典型之石化廠，乳酪廠、麵條廠，與製藥廠之工業廢水，光用厭氧處理，每年即可得價值超過美金50萬元之甲烷。但是偏好厭氧生物處理技術，很少是單純基於有甲烷生成物之理由，大部分乃是由於應用此類技術所生成之過剩污泥其處置費用很省及其用電量較低之故。

表一 好氧與厭氧技術之比較(分解1,000kg COD)

|           | 厭 氧                   | 好 氧       |
|-----------|-----------------------|-----------|
| 用 電 量     | —                     | 1,100kw   |
| 甲 烷       | $1.1 \times 10^7$ Btu | —         |
| 污 泥 產 生 量 | 20—150kg              | 400—600kg |

## 厭氧的生物轉化程序

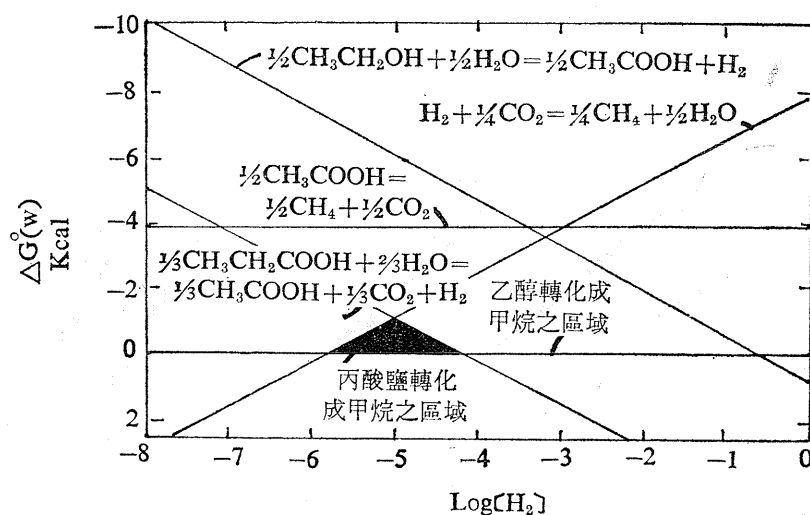
將工業廢水中之有機物轉變成甲烷須靠各種微生物來完成，這些微生物包括 Chemoheterophilic, nonmethanogenic bacteria 及 methanogenic bacteria。複雜之有機物首先被 Chemoheterophilic nonmethanogenic 菌水解成單醣、乙醇、有機酸、氫氣，及二氧化碳。接下來，碳元素超過兩個之乙醇及有機酸被醋酸生成菌(acetogens)氧化成醋酸鹽及氫氣。最後，醋酸鹽及氫氣經由甲烷合成菌(Methanogenic bacteria)之作用轉變成甲烷。McCarty 將上述之轉換過程示如圖二。



圖二 甲烷醱酵三步驟

醋酸生成菌 (acetogens) 與使用氫氣之甲烷合成菌 (Methanogens) 間存在有特殊關係。acetogens 菌能使較高分子之揮發酸轉化成醋酸鹽和氫氣。系統中氫氣分壓必須維持在相當低之

範圍以利有機酸及乙醇轉化為醋酸鹽。於標準狀態，氫氣壓為 1 atm 時，自由能 ( $\Delta G_0$ ) 為正值，因此，有機酸及乙醇之轉化過程無法進行。詳細言之，欲使丙酸鹽反應生成醋酸鹽及氫等物之自由能 ( $\Delta G_0$ ) 為負值，須將氫氣分壓降至  $10^4$  atm 以下。McCarty 已將  $\Delta G_0$  與  $\text{Log}H_2$  間關係示如圖三。Methanogens 消耗  $H_2$  並必須將之維持在相當低的範圍內，否則大量的高分子有機酸如丙酸及丁酸等將累積在系統中。幸運的是，由於 Methanogens 之生理特性甚易完成上述任務，於正常情況下它會很有效率地將  $H_2$  與醋酸鹽轉變成甲烷。上述  $H_2$  之生成與利用，兩者間之交互傳遞現象在厭氧生物技術中是很重要的課題，於 1967 年始由 Bryant 等人發現。



圖三 在甲烷醱酵過程，氫氣分壓對轉化乙醇、丙酸鹽、醋酸鹽及氫之自由能之效應

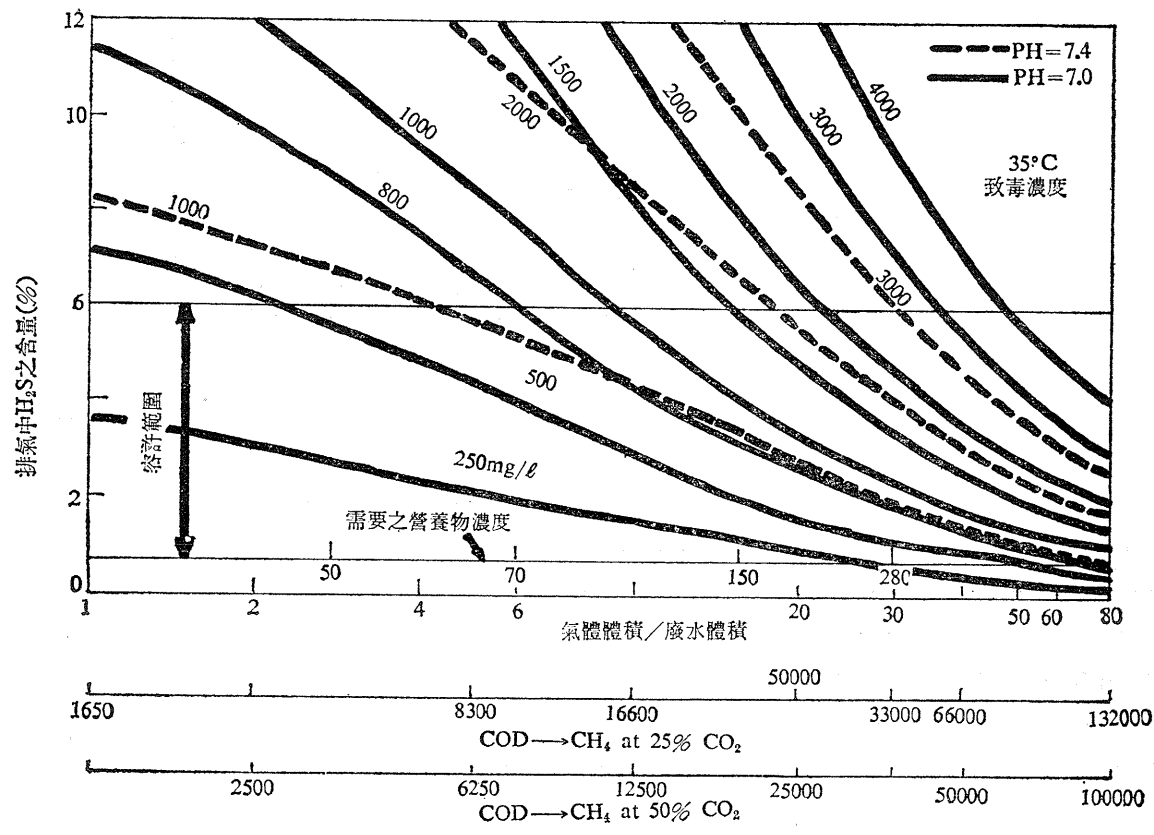
轉換醋酸鹽至甲烷之自由能須低至  $-28\text{KJ/mol}$ ，以致於許多年來很多人爭執醋酸鹽能否單獨做為甲烷生成反應 (Methanogenesis) 之基質。最後始被 Smith 與 Mah 證實為可能。先前懷疑的理由是低的自由能不適合生成 ATP (adenosine triphosphate) (ATP 為細菌體中能量之攜帶者)。目前有人認為甲烷合成菌體內之 ATP 生成是由於電子之轉移作用而非基質之 phosphorylation 作用。即使如此，產生甲烷及合成 ATP，兩者間之機構仍然是一團謎。

對氫及醋酸鹽兩類基質，於厭氧狀態，在能量方面，硫酸鹽被還原成硫化氫之情況比合成甲烷容易得多。對氫言，Methanogens 合成甲烷之半飽和常數 ( $K_s$ ，為代謝速率是最大值之一半時之基質濃度) 據研究所得為  $6.6\mu\text{M}$ ，而硫酸鹽被還原為硫化氫僅為  $1.3\mu\text{M}$ 。至於甲烷合成菌 (Methanogens) 利用醋酸鹽之反應其  $K_s$  值為  $3\text{mM}$ ；而硫酸鹽還原菌 (Sulfate reducers) 利用醋酸鹽之反應其  $K_s$  為  $0.2\text{mM}$ 。因此，氫及醋酸鹽含量受限廢水，硫酸鹽還原反應要比甲烷生成反應容易得多。基於此，可瞭解為什麼含高量硫化物之廢水厭氧處理時會遭到特別困難，即是硫化氫產量太高之故。廢水中 BOD 濃度與 pH 值是控制硫化氫之氣提的重要因素。(圖四

(對含高量硫酸鹽的廢水，為達到穩定水質之目的，利用厭氣處理程序將硫化氫做為反應最終產物以取代甲烷是可行的。

### methanogens 的獨特性

methanogens 是開發厭氧生物技術的關鑑性的菌類。近年來的研究顯示 methanogens 具有幾項特性。Balch 等人藉由 16 SrRNA oligonucleotide catalog比較得知 methanogens 與典型的原核菌很不相同。同時，methanogens 的細胞壁不含 muramic acid 也與大部分原核菌大異其趣。因此，methanogens 另外被分類歸屬於一種新的生物羣，稱為 Archaeobacteria。



圖四 排氣中 $H_2S$ 含量與 $V_g/V_w$ (或 $COD \rightarrow CH_4$ )之關係

所有細菌之輔因子 (Cofactor) 均有其獨特性。對 methanogens 言，至少三種輔因子是獨特的，而且，其數目還不斷地在增加中。最近發現的一種 methanogens 生長必須的輔因子，稱 2-mercaptoethanesulfonic acid，除了 Methanobacterium ruminantium 外，均可在其他 methanogens 的 pure culture 中找到。至於 nonmethanogenic, eucaryotic tissue 及原核菌之輔酶尚未作廣泛的研究。

methanogens 所獨特具有的另一種有機化合物是 factor 420 (記為 F420)。F420所扮演的是屬於電子轉換輔酶的角色。其結構已初步獲知。

最近另外一種輔酶 F430 亦被發現。證據顯示這種酶屬 nickel tetrapyrrol 結構。可能地，這種酶又是 methanogens所獨特具有之化合物。Whitman 與 Wolfe 已報告這種化合物包含多量的鎳而缺少一般生物所具有的金屬。

Diekert 等人發現鎳是 F430 重要的成分，成分中並不包括鐵、鈷，與 鋁。F430是低分子量之生物化合物中第一種被發現含鎳者。最近的證據指出 F430 可能是 2-methanoethane-sulfonic acid reductase。所有檢驗過之methanogens均含有F430；至於 nonmethanogens 到目前為止尚未發現含有此種物質。

總之，雖然其他菌類偶有鎳成分，但 methanogens 必定含有鎳却是相當不尋常的。此外，methanogens 細胞所含超高量硫，據報導約為細胞全部乾重之2.6%，亦甚為引人注意。

## 全程反應速率之控制步驟

程序設計最基本的課題是找出全程反應速率之控制步驟。於厭氣生物技術中，全程反應速率之控制步驟與基質本性，程序構架、溫度，及負荷率有關。

纖維物質如稻草、玉米葉，和木材等其水解程序是全程反應速率之控制步驟。木質素對厭氣生物分解的頑抗，限制了纖維質的水解速率。

某些工業廢水中之油脂類成分，其生物分解程序是速率的控制步驟。已經證實溫度降至20℃下，油脂分解作用停止，但甲烷合成反應仍會以較低反應速率繼續作用。

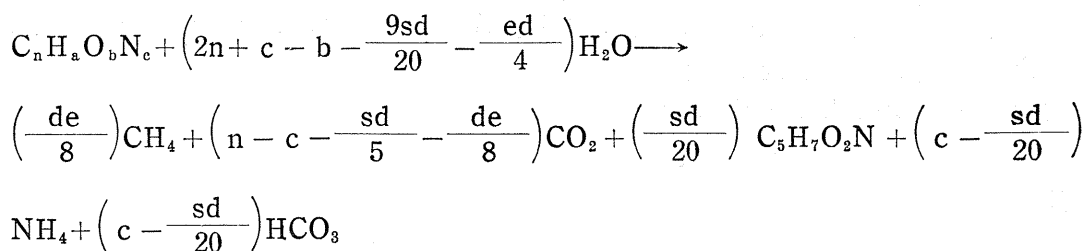
食品廢水通常有多量之澱粉與醣類，這些簡單的有機物很易發酵成為有機酸，因此，速率之控制步驟為機酸轉變為甲烷之程序。

因為廢水雜含各種分解率之有機物，在低負荷率狀態控制步驟是酸合成 (acid formation)，這可由反應系統中其低濃度有機酸得到證明。但當有機負荷率增加，甲烷合成反應 (methanogenesis)階段將逐漸成為控制步驟，這可由系統中所累積之有機酸得知。

## 營養物之需求

### 氮 與 磷

由 McCarty 所導得之公式，可輕易算出工業廢水中氮之需要量：



式中， $d = 4n + a - 2b - 3c$

$s$  = 廢水中合成之部分

$C_nH_aO_bN_c$  = 被消化有機物之假設式

厭氧處理所需要之氮僅為好氧法之小部分，磷之需要量亦僅為氮之10%。

### 稀有營養物

未能深入了解 methanogens 對稀有營養物之需要量為厭氧生物技術商業化之主要障礙。由於 methanogens 之獨特性，其對營養物之需求表現亦應獨特才對，而以往將需求重點僅放在傳統之氮與磷上顯然很不恰當。

過去厭氧可處理性研究指出效果不佳，如今可明顯看出來不是水質中有機物或毒性問題，而是缺少稀有營養物之故。處理效果不佳所顯示的現象是有機酸濃度突增，這樣的難題往往使我們判斷錯誤以至懷疑這類廢水能否適用厭氧生物技術。1960年代，曾經在加州聖荷茜市進行罐頭食品廢水之厭氧可行性處理，一般人均知食品廢水是最易為生物分解的，但試驗結果却不盡理想，因此，可能的原因就是缺乏稀有金屬了。

Stander 試驗酒廠廢水，得知須定期植種家庭污泥以保持系統穩定。van den Berg 等人亦指出高負荷率之食品廢水須不斷從外界植入活性污泥。一般經萃取過之酵母可用來當有機與無機營養補充物。van den Berg 等人為有效處理梨子廢水，發覺酵母之加入量至少應為  $1.5kg/m^3$ 。Mah 等人在1978年發現酵母中所含之礦物質明顯地具有激發反應作用，他們發覺萃取過之酵母其灰成分能刺激甲烷合成反應，此為稀有金屬之價值。

毫無疑問地各階段厭氧生物技術之營養需求仍將會有更多的發現。Iannotti 及他的工作伙伴發現醱酵細菌對營養物的需求甚為嚴苛。此外，他們亦注意到在操作不良系統中，高分子有機酸會增加。這種情形反映了 acetogens 轉換有機酸至醋酸鹽及氫過程營養物缺乏的可能性；當然也有可能是 methanogens 所需要之營養物不足，如此導至無法將氫維持在最低濃度以利高分子有機酸分解。若僅醋酸鹽濃度升高，則只是表示 methanogens 所需要之營養量不夠，無法將醋酸鹽轉變成甲烷。總之各微生物間存在着非常複雜的交互作用，必須通力合作始能完成反應。

四種元素——鐵、鈷、鎳，與硫化物——已經證明是 methanogens 轉換醋酸鹽為甲烷所必須之營養物質，我們知道由醋酸鹽生成甲烷是主要的轉換程序，其甲烷產量約佔全體之70%。此外，其他所需之稀有金屬為鉬 (molybdenum)，鎢 (tungsten)，及硒 (selenium)。

稀有金屬之硫化物，其溶解度積相當低。此即意謂稀有金屬與硫化物間是相互排斥的。不過

，細菌可製造某些物質，能有效地從週遭獲取生長所須之稀有金屬，從而將之輸進細胞內。在不同時間、交替添加稀有金屬及硫化物對細菌很有助益，因為如此可打破其平衡狀態，讓稀有金屬或硫化物之濃度提高至某種程度，足敷細菌吸收，或至少間歇滿足營養物需要量。

20年前即已記載 *methanogens* 需要鐵與鈷，不過當時尚未知道在溶液中供適量鐵之困難。近年來，Hoban 與 van den Berg 發現 *methanogens* 需鐵量異常高。Emery 寫道：雖然地殼上鐵的含量佔第四位，但所有的生物在其生長過程仍無法獲得足量的鐵。

即使含營養物相當充分的家庭污泥或牛畜廢污仍顯示對添加鐵之偏好。明顯的例子是當添加鐵後，有機酸的含量會迅速減少：添加前濃度為  $4,000\text{mg}/\ell$ ，添加後降為  $400\text{mg}/\ell$ 。最近，另外亦顯示，有一工業廢水之厭氧處理，當添加特定之鈷後，可以改善其漸趨失敗的流程。

*methanogens* 需要鎳亦是一特色，因為細菌一般不需此種物質。於培養基中不加鎳，但分析後不論在何地 *methanogens* 均含有鎳成分，以至產生鎳來自何處的問題。可能的來源是由其他鹽類或萃取酵母污染而來，或是沾污到各種不銹鋼工具。Diekert 等人指出經由污染過程而恰足以供應鎳是導致大家忽視 *methanogens* 需要鎳的原因。事實上添加鎳可使甲烷產量超過  $50\text{kg}/\text{m}^3\text{-d}$ ，大於文獻上任何記載數值。

通常工業廢水均會與不銹鋼接觸，如此可帶來適量的鎳。不過，此並不表示含鎳量足敷生長所需，因為溶液中大部分鎳會以硫化物型式沉澱下來。

鈷不論硫化物會沉澱稀有金屬減低甲烷產量及本身之毒性等事實，*methanogens* 確實需要硫化物。現已證實當補充硫化物至已用罄該物之某些 *methanogens* 菌種上，可發現顯著的刺激效果。

如上所述 *methanogens* 所含硫化物量若與好氧菌比較，顯得異常高，約佔 2.6%，比磷含量高 50%。所有硫含量中，4% 為 mercaptoethanesulfonic acid，其餘大部分，尤其是低分子量者，仍尚待研究發現。硫之來源有一部分是 2-氨基[4]-甲硫基丁酸 (methionine) 及胱氨酸 (cysteine)。據文獻報導，*methanogens* 生長最適之硫化物濃度為 1 至  $25\text{mg}/\ell$  間。

即使文獻曾報導使用 cysteine 及 methionine 做硫的來源，但最重要的還是硫化物。硫化物必須以非離子型態存在始能通過細胞壁。硫化氫之  $pK$  值為 6.85，與消化槽操作之  $pH$  值約略相等。因此，非離子型態硫化物是溶液中總溶解硫化物量之半。

氣壓（氣體與液體平衡時之壓力）是表示非離子型態硫化氫含量最好的指標。若最適生長之非離子型態硫化氫濃度為  $13\text{mg}/\ell$ ，則相當硫化氫氣壓為 0.5%。（此壓力比引擎燃燒所須壓力還高出許多）。證據顯示間歇添加硫化物可以滿足某些 *methanogens* 生長所需之硫量。

總之，厭氧系統內之水化學作用相當複雜；且硫化物稀有金屬間兩者有沉澱之傾向。若家庭污泥偶有營養物不足情況發生，則工業廢水更須保證營養物供應充分，因工業廢水一般對營養物需求最為嚴格，尤其是那些已離子化之冷凝廢水尤然。添加稀有金屬與硫化物所需費用微小，但其作用却很顯著。

## 毒 性

所有能在厭氧狀態中轉換有機物為甲烷之細菌，除一些例外，methanogens 對毒性是最敏感的。因為工業廢水很難找到一完全不具毒性者，故一般誤信厭氧生物技術不適於工業廢水處理，這樣的想法使得該項技術之應用受到相當大的阻礙。某些工業廢水可能具有的毒物如下：

- 化學工業之重金屬催化劑。
- 動物飼料所添加之藥劑（如 monensin）。
- 食物器皿清潔用之清潔劑及消毒劑。
- 製造過程之副產品如抑制劑。
- 毒性程序溢出之蒸汽（如 formaldehyde）。
- 處理及保存食物用之化學抑制劑（如 chlorophenyl isopropyl N-3 carbonate 用以抑制馬鈴薯發芽）。

但是，厭氧細菌仍像大多數微生物一樣可以忍受各類毒物，甚至還可分解一部分。其中最顯著的事實是細菌可以馴化及毒性之可逆等現象。

例如在芬蘭有兩座紙廠漂白廢水之處理，其流程主要是用以分解漂白過程所產生之 Chlorophenols 毒物。處理結果，放流水之 mutagenicity 減少85%以及有 50mg/l 之 Chloroform 被分解掉。

厭氧生物技術主要優點之一是過剩污泥生成緩慢；但在處理開始階段或污泥流失復原時期，細胞合成速率緩慢亦正是其主要缺點。由於毒性通常是可逆的，必須先預存生物污泥以減除生物致毒死亡而須再重新培養所需漫長時間。

methanogens 曾被試驗暴露在高劑量毒物中（致毒量約是抑制甲烷生成之 100 倍）48小時。當含毒上澄液遺棄後，於24至48小時內，甲烷氣又完全恢復產生。值得注意的是，當然如此高的毒劑量在工業廢水中通常不易碰到。

另外的試驗情況是，使用醋酸鹽為食物之 methanogens，當突然暴露於 2.5mg/l 濃度之 Chloroform 毒物時，需要兩週時間甲烷始能完全恢復生產。但若施毒過程採持續方式，不斷注入 2.5mg/l 之 Chloroform，則發現其對甲烷之生成毫無抑制作用。

另外的情形為用 monensin 試驗。已知 monensin 為一種飼料添加物，當加 1mg/l 於未馴化之菌種中，可完全抑制甲烷之生成。漸進馴化則可證明即使在 100mg/l 高濃度中仍無抑制現象。

毒物毒性還會隨濃度而改變。如甲醛或酚在高濃度時為通用之消毒劑；但當甲醛濃度降至 400mg/l，酚降至 1,000mg/l，則很容易以厭氧處理將之變為甲烷。另外焦炭操作過程所生廢水含酚 1,000mg/l，氨 2,000mg/l，氰鹽 5mg/l，此等廢水事先加鐵沉澱氰鹽後，可用厭氧系統處理。

很多類工業廢水適合以厭氧處理。很遺憾的是，一旦廢水含有有機毒物或含各種程度毒性，即使厭氧技術仍為可行，却常被認為不適使用。事實上，大多數有毒廢水已相當成功地用厭氧生物技術處理。不論如何，當使用厭氧處理後，須注意程序設計，以確保有足够的停留時間，正確的流程及污泥迴流等問題。

## 適於處理的基質

適合用厭氧生物技術的基質種類相當多。通常一般好氧能處理者，也能以厭氧方法處理。但亦有少數例外如 diacetone gulusonic acid，據報導它可以用厭氧分解但以好氧方式却不行。另外，monensin 可以以好氧分解但不適合厭氧方法。

表二是可能存在於工業廢水且已證明能為厭氧分解之有機物。表中所涵蓋範圍僅指能完全厭氧分解者，至於其分解速率如何並不論及。

表二 可用厭氧生物技術處理之有機物

|                          |   |                |   |                |   |   |                 |     |   |
|--------------------------|---|----------------|---|----------------|---|---|-----------------|-----|---|
| 乙                        | 醛 | 甲              | 酸 | 丙              | 酸 | 鹽 | 大               | 海   | 藻 |
| 乙                        | 酐 | 反 丁 烯 二        | 酸 | 丙              | 二 | 醇 | 動 物 排 泄 物       |     |   |
| 丙                        | 酮 | 麩              | 酸 | 單 兒 茶          | 酸 |   | 乳               |     | 漿 |
| 丙                        | 烯 | 戊              | 二 | 樹 脂            | 酸 |   | 梨 子             | 廢 水 |   |
| 己                        | 二 | 三              | 元 | 第 二 丁          | 醇 |   | 肉 品 包 裝         | 廢 水 |   |
| 茶                        | 胺 | 己              | 酸 | 清 涼 茶          | 酸 |   | 麵 粉             | 廢 水 |   |
| 1-胺 基 2-丙                | 醇 | 異              | 丁 | 英 珀            | 酸 |   | 牛               |     | 奶 |
| 4-胺 基(代)丁                | 酸 | 異              | 丙 | 第 三 丁          | 醇 |   | 啤               |     | 酒 |
| 苯 甲                      | 酸 | 乳              | 酸 | 香 菌            | 酸 |   | 蒸 餾             | 廢 水 |   |
| 丁                        | 醇 | 順 丁 烯 二        | 酸 | 醋 酸 乙 烯        | 脂 |   | 蒸 酒             | 廢 水 |   |
| 丁                        | 醛 | 甲              | 醇 | 麥              | 類 |   | 樹 脂             | 廢 水 |   |
| 丁                        | 三 | 乙              | 酸 | 馬 鈴            | 薯 |   | 水 溶 性 化 學 聚 合 物 |     |   |
| 完                        | 茶 | 甲              | 酯 | 蔗              |   | 糖 | 去 皮 之 豆 類       |     |   |
| 丁                        | 烯 | 丙 烯 酸 甲        | 酯 | 蔗              |   | 渣 | 紙 廠 蒸 煮 廢 液     |     |   |
| 丁                        | 烯 | 丁              | 酮 | 泥              |   | 炭 | 焦 炭             | 廢 水 |   |
| 乙                        | 醇 | 甲 酸 甲          | 酯 | 樹              |   | 木 | 熱 解 $H_2-CO$    |     |   |
| 乙 酸 乙                    | 酯 | 硝 基            | 苯 | 玉 蜀 黍          |   | 葉 | 羊 毛             | 廢 水 |   |
| 阿 魏                      | 酸 | 戊              | 醇 | 稻              |   | 草 | 罐 頭             | 廢 水 |   |
| 甲                        | 醛 |                | 酚 | 水              |   | 仙 | 酵               |     | 母 |
| Gresol                   |   | 苯 二 甲          | 酸 | Syringaldehyde |   |   | 加熱處理之活性污泥       |     |   |
| Diacetone gulusonic acid |   | 丙              | 醛 | Syringic acid  |   |   |                 |     |   |
| Dimethoxy benzoic acid   |   | 丙              | 醇 |                |   |   |                 |     |   |
| Ethyl acrylate           |   | Hydroquinone   |   |                |   |   |                 |     |   |
|                          |   | Petaerythritol |   |                |   |   |                 |     |   |

## 程 序 架 構

厭氧生物技術所涉及之微生物其反應作用可將之「包裝」在各種程序架構內進行。選擇正確的程序架構對操作成功及細部設計具有決定性影響因素。每一不同架構具有特別之固體停留時間／水力停留時間比值 (SRT/HRT)，式中 SRT 為生物系統主要設計參數。欲求程序穩定及污泥產量最少須使 SRT 極大；若使 HRT 極小則可使反應槽體積減小，因此得以降低成本。爲了避免污泥或廢水中不易分解物質阻塞反應槽，規畫之前須預防對策並妥善設計。

設計時，應考慮 methanogens 生長速率的緩慢，因此需要充分的固體停留時間。對生長速率較高之好氧生物系統言，當廢水之 BOD 爲 1,000 mg/l，且放流水懸浮固體量達 500mg/l 時，反應器內固體才會流失洩空。反之，厭氧系統之懸浮固體量只要達 30mg/l 時，固體便將流失洩盡。因之，使用厭氧生物技術，須提供更有效率的固液分離方法。

靜止狀態下所成長的微生物會聚集成叢，如絲狀物般累積於厭氧濾床上，形成所謂的逆流厭氧污泥層 (upflow anaerobic sludge blanket, UASB) 如圖五。欲使微生物累積成層，需時甚久，但若遭剪力破壞，如流經離心抽水機等，則會永久分散，無法再重新凝集，分散之固體物便很容易隨放流水流失系統外。因此，要成功操作上述的流程需要小心選擇迴流抽水機。爲克服此種困難，促使我們引用細胞固定法去開發新的流程。

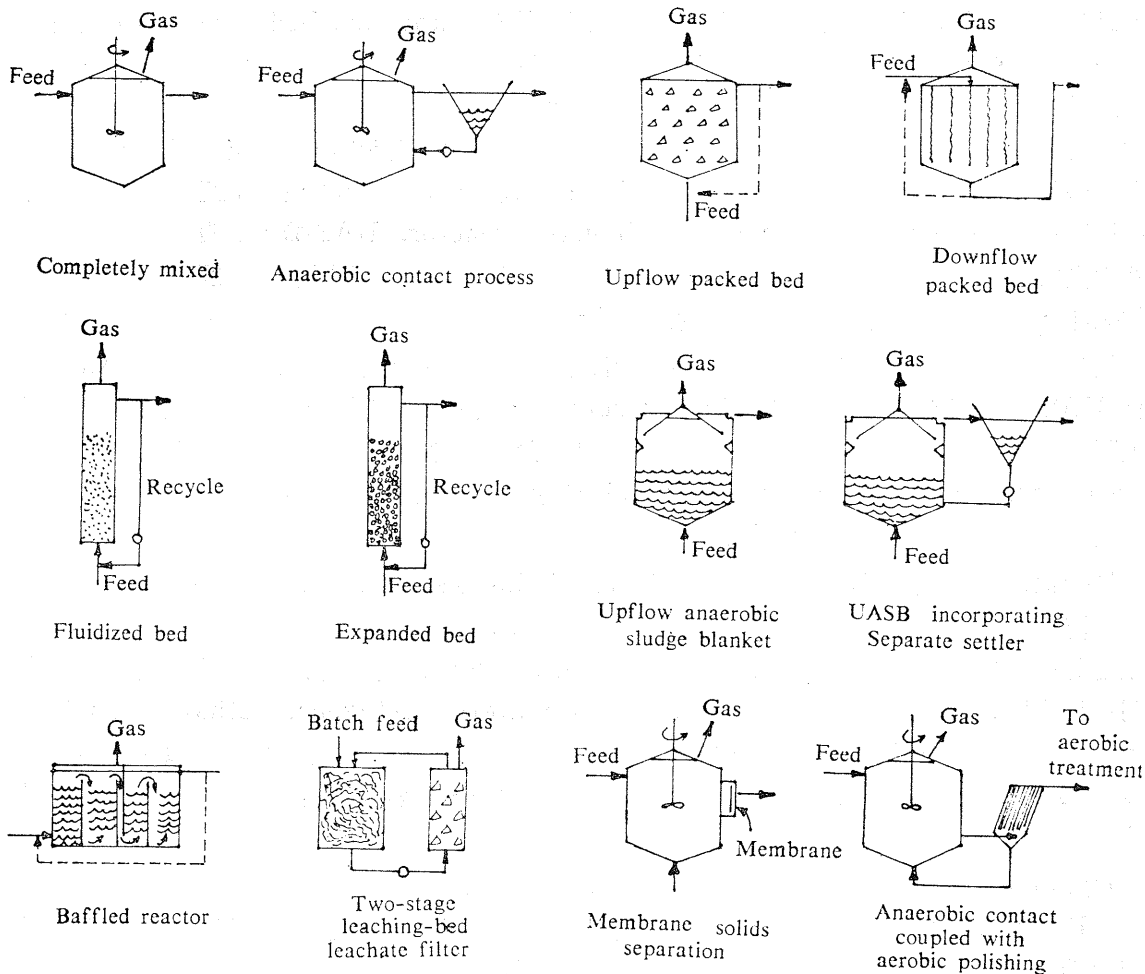
## 懸浮、流動成長法反應器

厭氧生物技術的第一代反應器是家庭污泥消化槽，屬於無污泥迴流，連續攪拌型式。這種型式的 SRT/HRT 比值爲一。後來，另增添污泥迴流以提高 SRT/HRT 比值，修改後的型式稱爲厭氧接觸流程 (anaerobic contact process)。對於很難分解必須排出處理系統外的顆粒，使用此種流程很有助益。肉品包裝廠廢水是第一種引用該類流程的主要工業廢水。

## 固定細胞法反應器

增大 SRT/HRT 比值，可以使處理程序穩定及獲得經濟效益，固定細胞法反應器便是針對此目標而發展的，目前已研究出多項流程。Coulter 等人利用逆流填充柱法 (upflow packed column)，將填充料裝於圓柱內以供生物膜成長之用；同時該法並可減少雷諾數使得水流均勻及沉澱良好，對未能附着在填充料上之生物膜也可保留在圓柱內，使不致流失。

美國第一個厭氧過濾法處理廠位於華盛頓州的 Spokane，主要用以處理澱粉廢水，屬於逆流填充法反應器 (upflow packed reactor)。操作結果，反應器內，約略一半的微生物無法固着在填充料上，而且大部分聚集成叢停留在填充料空隙中。



圖五厭氧生物技術之反應器架構

為避免廢水中無法分解的顆粒停留在反應器內，vanden Berg 等人提出順流填充法反應器 (Downflow packed reactor) 之概念。反應器內所有微生物均固着在填充料表面，一旦剝落則隨水流流出系統外。反應器內水流不管滿流與否均可適用。使用本流程對毒性氣體之氣提 (如 $H_2S$ ) 亦甚有助益，因為所產生毒氣可以經由進流水管溢出。

由 Jeris 所發展出的流動床法 (fluidized bed) 反應器係採逆流式且內部充砂組成。逆流之水流速度必須足夠大，能將砂衝高至反應器之75%範圍，並使成浮動狀態為止。反應器內的砂所提供的表面積相當大，生物膜得以均勻長在每個顆粒上。另外砂粒上附着生物膜還可加大比重增加沉降速度不使衝出反應器外，微生物因而有足夠停留時間。對於無法分解，可能阻塞空隙的

顆粒，本流程還可讓它通過流出反應器外。所用填充濾料除砂外，還可用無煙煤或塑膠等較輕物質，以省能源。Jewel 據此觀念發展出膨脹床法反應器 (expanded bed reactor)，該法較流動床法所需水流速度為小。

因為反應器內填充料的費用相當可觀，McDermott 估計填充料費與槽身費用相差無幾，其價錢約在美金 350元/m<sup>3</sup> 左右；再由於長時期運轉可能發生的阻塞問題，促使研究人員發展出他種不需填充但仍為固定細胞法的反應器。Lettinga 等人首先發展出來的處理流程稱逆流厭氧污泥層法反應器 (upflow anaerobic sludge blanket reactor, UASB)。該類處理設施位於荷蘭的中央製糖廠內。據 Lettinga 的實驗室研究結果指出，由甜菜廢水所形成的粒狀污泥層，沉澱效果非常良好，其負荷率可高達 30kg/m<sup>3</sup>-d。

粒狀污泥的機構尚未完全明顯，在某些情況下它為何急速分散也一知半解。最近，McCarty 改良 UASB 為迴流板反應器 (baffled reactor)，恰好可以克服上項缺點。這種反應器利用隔板隔成幾個流道，以增加微生物停留時間同時免除填充材料費用。另外一種改良方式亦由 IRIS (Research Institute for Sugar Industry) 在法國發展出來，主要處理蔗糖與蒸餾廢水，這種處理流程包括污泥床，厭氧接觸程序及沉澱池。

Dynatech 公司及 IGT 公司 (Institute of Gas Technology, IGT) 分別以模型廠方法試驗大海藻及家庭廢物等固體廢棄物之處理，發展出新的流程。這類流程包括兩個反應器，固體廢棄物先填裝於一反應器內，再以含營養物質的水流通過，將有機物溶解並濾出；過濾液然後流注另一反應器，此反應器內所含之各類 acid fermenters, acetogens, methanogens 等微生物，會將濾液轉變為甲烷。像這樣將有機物液化程序及甲烷合成程序分開成兩階段，可得到分別控制其 SRT 之好處。至於兩段處理廢水，已在研議當中，目前所知僅能用在甚易水解的簡單廢水中。

Dynatech 公司及 Dorr-Oliver 公司分別發展出 CSTR 反應器加上濾膜過濾系統的處理流程。Dynatech 公司所發展的系統是用以處理煤碳氣化廢水，此處理系統將廢水中所含氫氣、一氧化碳、二氧化碳轉化為甲烷。系統中之反應器乃操作在高壓狀態，濾膜則不斷以高壓水噴洗以避免阻塞。但是至目前為止，尚未有 CSTR- 濾膜處理設施建設完成。

van den Berg與Kennedy將上述各種反應器類型，以 COD 負荷率、COD 去除率為基礎，比較結果如表三。

表三 反應器型態、負荷率、去除率之比較

| 反 應 器 型 態                       | COD 負荷率 kg/m <sup>3</sup> | COD 去除率% |
|---------------------------------|---------------------------|----------|
| 接觸法 (Contact)                   | 1—6                       | 80—95    |
| 逆流濾床法 (Upflow filter)           | 1—10                      | 80—95    |
| 流動床 / 膨脹床法 (Fluid/expanded bed) | 1—20                      | 80—87    |
| 順流濾床法 (Downflow filter)         | 5—15                      | 75—88    |
| 污泥床法 (Suldge bed)               | 5—30                      | 85—95    |

## 各種處理設施

要將各種處理設施完全分類非常困難。當然，各廠商對他們所發展出各項處理設備，所獨具的專利特性會特別標出。但是因為基本的厭氧程序並非專利，因此許多已設計中、建造中或運轉中的處理設施並未登錄發表，致無法與已申請專利者核對，尤其是肉品包裝廠廢水尤然。Nyns 等人統計過去五年在歐洲地區與瑞士等地，大概有 500 座甲烷消化槽已建造完成。

目前市面上有幾項已具專利的厭氧生物技術相當流行。每個技術有其獨具特性，但基本上，都是應用厭氧消化，將有機物轉變為甲烷。表四是所知各種厭氧技術專利設施。

表四 厭氧技術之專利設施摘要

| 公 司                                             | 程 序 名 稱           | 處 理 設 施 數 目                          |
|-------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| AC-Biotechnical<br>(前之 Sorigona)<br>Dorr-Oliver | ANAMET<br>ANITRON | 美國—3 座，加拿大—1 座<br>全世界—27 座<br>美國—2 座 |
| Bacardi                                         | BACARDI           | 美國—1 座                               |
| Badger(前之Celanese)                              | CEL OBIC          | 美國—3 座                               |
| Biomechanics                                    | BIOENERGY         | 歐洲—7 座                               |
| Ecolotrol                                       | HY-FLO            | 美國—1 座                               |
| IRIS                                            | —                 | 歐洲—7 座                               |
| Jeseoph Oat and CSM                             | BIOTHANE          | 美國—3 座<br>歐洲—18 座                    |

ANNMET 係使用一不用填充料的反應器，後接一固液分離器（內置許多平行板，增加沉澱效率）以利污泥迴流，再後則接好氧生物精練處理。ANITRON 程序則屬流動砂床。BACARDI 程序是順流式滿流填充床法反應器。CELROBIC 程序則屬於逆流式填充床法反應器並附套裝儀錶及污泥控制設備。BIOENERGY 程序係應用厭氧接觸原理並冷却反應器之出水，以減低沉澱池產生氣體利於污泥沉澱。HY-FLD 程序則屬於流動砂床法。BIOTHANE程序乃使用逆流污泥層接觸池法。

90%ANAMET 處理設施用在食品工業廢水，其中 50% 用於蔗糖廢水，至於紙漿廢水僅有兩座。在荷蘭 Delft，有一座酵母廢水處理廠，屬於流動序法，至今已運轉一年，該廠直徑 1.4 米，高16米，最主要特色是高負荷率，氫氧產生量每天10—18m<sup>3</sup>。關於 CELROBIC 處理設施，三座中有兩座用以處理化工廠廢水，包括各類：甲醇、醋酸鹽、甲酸甲酯、乙醛、丙酸鹽、丁酸、丁酮、丙烷酸甲酯、甲醛、丁烷三元醇等，每年共可產生價值約美金65萬至90萬的甲烷。

此外，Hercules 公司有兩座厭氧處理設施分屬在西德與丹麥的工廠內，在法國的另外一座亦在規畫當中。

## 提高產品附加值

生物精煉(Biorefining)的概念由 Dynatech 公司提出。因為甲烷的商業價值低於其他有機化合物，因此該公司研究利用一種特別的抑制劑——bromothane sulfonic 抑制甲烷生成。如此處理會導至有機酸含量大增，必須用火油(kerosene)萃取。預計要萃取的物質是醋酸與丙酸。經萃取後的酸類利用 kolbe 電析法可以產生較甲烷商業價值高的各種有機化合物，如烷屬烴、烷屬烴、酯及乙醇等。太陽能研究所(Solar Energy Research Institute)也同時在進行若干相關的各種專題研究。

有機酸濃度至少要超過6,000 mg/l 才能生產各種有機化合物，如此，廢水 BOD 濃度至少要高於上述數值許多。此外，所產有機化合物必須高出某個產量始有商業規模。基於上述限制，適用的工業廢水便不多。最典型適用的莫過於穀類污水或乳酪廢水。但乳酪業界却對此興趣不高。其他工業界則對 kolbe 電析法的商業用途及有機物產品純度與商品價值產生懷疑。

加州聖地牙哥市最近宣稱將建造一套化學程序，用來轉變污泥消化後所產氣體成為附加價值較高的甲醇。

加州的另一城市 Modesto，則將消化槽所產氣體，先濾除離質，再予壓縮，以為市政車輛的燃料用，這種方法在第二次世界大戰期間，曾被德國使用做為大卡車燃料用。加州另一城市 Durare，則用掩埋所產氣體來產生電力。

## 全面的努力

目前，厭氧生物技術的研究均衡的分佈在三方面：基礎微生物學、模型廠試驗與處理設施評估。歷史上，從未有任何時期比現在對該項技術的研究更為熱衷，所投注的心血更為浩大。預期未來因為電費上漲，污泥處置費用增加，甲烷價值上升會更強化大家的研究興趣。

操作厭氧處理程序，若更注意供應充分的營養物質，特別是稀有金屬及硫化物，則由有機酸濃度增高所造成的失敗會減低至最小程度。此外，只要有毒工業廢水處理成功的個案增多，厭氧生物技術會更流行，一般所誤信的無法處理問題也將不攻自破。新程序的開發及反應器的架構設計應朝減低成本並增加系統穩定目標前進。事實上，即使現在，各種工業廢水的處理，厭氧生物技術仍是頗為合適的方法，它不僅具有堅實的科學與工程基礎，同時未來的市場潛力更不可限量。

## 譯者附識

本文譯自美國環境科技雜誌(Environmental Science & Technology— Vol. 17, No. 9, 1983) 第17卷，1983年9月出狀。原作者為 R.E. Speece 教授，他是 Drexel 大學的 Betz Chair 講座教授，一生從事有關厭氧生物技術、水質控制的氣體傳輸程序等研究工作。Speece 教授出身耶魯(Yale)大學的工程碩士，麻省理工學院(MIT)的博士。

當經濟部將能源、生物技術列為策略性工業，而環境保護工作者又感嘆環境品質日益低落，推展困難時，本文的譯述對當前國內爭議已久的經濟發展與環境保育孰重的問題，或許會提供一個較為整合的看法。目前臺灣地區的廢水處理取向，應是配合經濟政策，發展適合地區需要的處理方法。雖然厭氧生物技術離普遍商業化仍有一段距離，但不可否認的，它是最具潛力的處理方式之一，尤其適合像臺灣這種人口稠密，資源缺乏地區。本文綜論厭氧生物技術的學理背景，操作運轉難題，並簡介市場上各種處理設施，相信能提供國內各工業界對此技術的認識並有所助益。全文幾乎涵蓋所有厭氧生物技術最新發展，只可惜所提各主題僅點到為止，不夠深入，讀者欲窺全貌，須查文後所列參考資料。

### 參 考 資 料

1. Augenstein, D. C.; Wise, D. L.; Cooney, C. L. *Resource Recovery and Conservation* 1977, 2, 257-62.
2. Balch, W. E.; Fox, G. E.; Magrum, L. J.; Woese, G. R.; Wolfe, R. S. *Microbiol. Rev.* 1979, 43, 260-96.
3. Balch, W. E.; Wolfe, R. S. *J. Bacteriol.* 1979, 137, 264-73.
4. Balch, W. E.; Magrum, L. J.; Fox, G. E.; Wolfe, R. S.; Woese, C. R. *J. Mol. Evol.* 1977, 9, 305-11.
5. Baresi, L. "Study of methanogens by genetic techniques," Progress Report; Solar Energy Research Institute, 1983.
6. Bouwer, E. J.; McCarty, P. L. "Transformations of 1- and 2-carbon halogenated aliphatic organic compounds under methanogenic conditions," in press, 1983.
7. Brandl, James S. MS Thesis, Lehigh University, Bethlehem, Pa., 1980.
8. Bryant, M. P.; Wolin, E. A.; Wolin, M. J.; Wolfe, R. S. *Arch. Microbiol.* 1967, 59, 20-32.
9. Cheeseman, P.; Toms-Wood, A.; Wolfe, R. S. *J. Bacteriol.* 1972, 112, 527-31.
10. Chynoweth, D. P.; Srivastava, V. J. "Methane production from marine biomass," Int'l. Symp. on Biogas, Microalgae, and Livestock Wastes, Taipei, Taiwan, 1980.
11. Cohen, A. "Two phase digestion of liquid and solid wastes," Third Int'l. Symp. Anaerobic Digestion, Boston, 1983.
12. Coulter, J. B.; Soneda, S.; Ettinger, M. B. *Sewage Ind. Wastes* 1957, 29, 648.
13. Diekert, G.; Klee, B.; Thauer, R. *Arch. Microbiol.* 1980, 124, 103-106.
14. Diekert, G.; Weber, B.; Thauer, R. K. *Arch. Microbiol.* 1980a, 227, 273-78.

15. Diekert, G.; Jaenchen, R.; Thauer, R. K. *FEBS Lett.* 1980b, 119, 118-20.
16. Diekert, G.; Konheiser, U.; Peichulla, K.; Thauer, R. K. *J. Bacteriol.* 1981, 148, 459-64.
17. Elrich, L. D.; Vogels, G. D.; Wolfe, R. S. *Biochemistry* 1978, 17, 4583-593.  
Emery, T. *Am. Sci.* 1982, 70, 626-32.
18. *Environ. Sci. Technol.* 1982, 16, 641A.
19. Fannin, K. F.; Srivastava, V. J.; Chynoweth, D. P.; Bird, K. T. "Effects of the interaction between biomass composition and reactor design on anaerobic digestion process performance," *Symp. on Energy from Biomass and Wastes VII*, Florida, 1983.
20. Hakulinen, R.; Salkinoja-Salonen, M. "Treatment of Kraft bleaching effluents: Comparison of results obtained by Enso-Fenox and alternative methods"; in "Proc. Tech. Assoc. Pulp and Paper"; *Int'l Pulp Bleaching Conference*, 1982; pp. 97-106.
21. Heidinger, S.; Braun, V.; Pecoraro, V. L.; Raymond, K. N. *J. Bacteriol.* 1983, 153, 109-115.
22. Hoban, D. J.; van den Berg, L. J. *Appl. Bacteriol.* 1979, 47, 153-59.
23. Hobson, P. N.; Bousfield, S.; Summers, R. "Methane Production from Agricultural and Domestic Wastes"; John Wiley & Sons: New York, 1981; pp. 19-25.
24. Iannotti, E. L.; Fischer, J. R.; Sievers, D. M. *Appl. Envir. Microbiol.* 1978, 36, 555-66.
25. *International Petrochemical Developments* 1982, 3, 15.
26. Jeris, J. S. "Industrial wastewater treatment using anaerobic fluidized bed reactors," *IAWPR Specialized Sem. Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors*, Copenhagen, 1982.
27. Jeris, J. S.; McCarty, P. L. *J. Water Pollt. Control Fed.* 1965, 37, 178-92.
28. Jewell, W. J. "Anaerobic attached film expanded bed fundamentals"; In "Proc. First Int'l. Conf. Fixed Film Biol. Proc."; 1982; pp. 17-42.
29. Jones, J. B.; Stadtman, T. C. *J. Bacteriol.* 1977, 130, 1404-406.
30. Kandler, O.; Konig, H. *Arch. Microbiol.* 1978 118(2), 141-52.
31. Kristjansson, J. K.; Schonheit, P.; Thauer, R. K. *Arch. Microbiol.* 1982, 131, 278-82.
32. Lettinga, G.; van Velsen, A.F.M.; Hobma, S. W.; de Zeeuw, W.; Klapwijk, A. *Biotechnol. Bioeng.* 1980, 22, 699-734.
33. Levy, P. F.; Sanderson, J. E.; Kispert, R. G.; Wise, D. L. *Enzyme Microb. Tech.* 1981, 3, 207-15.

34. Li, A.; Sutton, P. M. Dorr-Oliver's membrane anaerobic reactor system. Report #49, January 1982.
35. Mah, R. A. The methanogenic bacteria, their ecology and physiology. "Trends in the Biology of Fermentations for Fuels and Chemicals"; Hollaender et al. Eds.; Plenum; pp. 357-73.
36. Mah, R. A. *Philos. Trans. R. Soc. London* 1982, 297, 599-616.
37. Mah, R. A., and Smith, M. R. "The methanogenic bacteria"; In "The Prokaryotes"; Starr et al., Eds.; Springer-Verlag: New York, 1981; pp. 948-77.
38. Mah, R. A.; Smith, M. R.; Baresi, L. *Appl. Environ. Microbiol.* 1978, 35, 1174-184.
39. Mah, R.; Hungate, R.; Ohwaki, "Acetate, a key intermediate in methanogenesis"; In "Seminar on Microbial Energy Conversion"; Schlegel, H. G., Ed.; E. Goitz KG: Gottingen, Germany, 1976; pp. 97-106.
40. McCarty, P. L. "Stoichiometry of biological reactions," Int'l. Conf. "Toward a Unified Concept of Biological Waste Treatment Design"; Atlanta, Ga., 1972.
41. McCarty, P. L. "Anaerobic processes," Birmingham Short Course on Design Aspects of Biological Treatment, IAWPR, 1974.
42. McCarty, P. L. "History and overview of anaerobic digestion," Second Int'l. Symp. on An. Dig., Travemünde, Germany, 1981.
43. McCarty, P. L.; personal communications, 1982.
44. McDermott, G. N. "Assessing anaerobic treatment potential," Symp. Anaerobic Biotechnology: Reducing the Cost of Industrial Wastewater Treatment, Argonne Labs, Washington, D. C., April 14, 1983.
45. McInerney, M. J.; Bryant, M. P.; Pfennig, N. *Arch. Microbiol.* 1979, 122, 129-35.
46. Nyns, E. J.; Naveau, H. P.; Demuyne, M. "Biogas plants in the European Community and Switzerland: Status, bottlenecks, future prospects" Third Int'l Symp. Anaerobic Digestion, Boston, 1983.
47. Olthof, M.; Oleszkiewicz, J. *Chem. Eng.* November 1982, pp. 121-26.
48. O'Rourke, J. T. Kinetics of anaerobic treatment at reduced temperature. PhD Dissert., Stanford University, Calif., 1968.
49. Owen, W. F., personal communication, 1981.
50. Parkin, G. F.; Speece, R. E. *J. Am. Soc. Civil Eng. EE* 3 June 1982, pp. 515-31.
51. Parkin, G. F.; Speece, R. E.; Yang, C. H. J.; Kocher, W. M. *J. Water Pollut. Control Fed.* 1983, 55, 44-53.
52. Prins, R. A. *Antonie van Leeuwenhoek* 1979, 45, 335-45.

53. Ronnow, P. H.; Gunnarsson, L. A. H. *Appl. Envir. Microbiol.* 1981, 42, 580-84.
54. Ronnow, P. H.; Gunnarsson, L. A. H. *FEMS Microbiol. Lett.* 1982, 14, 311-15.
55. Salkinoja-Salonen, M.; Hakulinen, R.; Vallo, R.; Apajalanti, J. "Biodegradation of recalcitrant organochlorine compounds in fixed film reactors"; In "IAWPR Specialized Seminar Anaerobic Treatment of Wastewaters in Fixed Film Reactors"; Copenhagen, Denmark, 1982; pp. 149-62.
56. Scherer, P.; Sahm, H. *Acta Biotechnologica* 1981a, 1, 57-65.
57. Scherer, P.; Sahm, H. *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1981b, 12, 28-35.
58. Schonheit, P.; Kristjansson, J. K.; Thauer, R. K. *Arch. Microbiol.* 1982, 132, 285-88.
59. Schonheit, P.; Moll, J.; Thauer, R. K. *Arch. Microbiol.* 1979, 123, 105-107.
60. Schroepfer, G. S.; Ziemke, N. R. *Sew. Ind. Wastes* 1959, 31, 164.
61. Sheridan, R. P. "The evolution of anaerobic treatment of industrial wastewaters," *Am. Inst. Chem. Eng. Nat'l. Mtg.*, Cleveland, Ohio, 1982.
62. Smith, M. R.; Mah, R. A. *Appl. Envir. Microbiol.* 1980, 39, 993-99.
63. Speece, R. E. "Review—environmental requirements for anaerobic digestion of biomass"; In "Adv. in Solar Energy—An Annual Review of R & D"; in press, 1983.
64. Speece, R. E.; Yang, C. H. J.; Parkin, G. F. "Recovery of anaerobic digestion after exposure to toxicants," Final Report, U. S. Dept. of Energy EC-77-S-02-4391, Drexel University.
65. Speece, R. E.; Parkin, G. F. "The response of methane bacteria to toxicity," Third Int'l Symp. on Anaerobic Digestion, Boston, 1983.
66. Speece, R. E.; Parkin, G. F.; Gallagher, D. *Water Res.* 1983, 17, 677-83.
67. Speece, R. E.; McCarty, P. L. *Adv. Water Poll. Res.* 1964, 2, 305-22.
68. Stander, G. S. *Inst. of Sew. Purif.* 1950, p. 438.
69. Steffen, A. J.; Bedker, M. "Operation of full scale anaerobic contact treatment plant for meat packing wastes"; In "Proc. 16th Purdue Ind. Wastes Conf."; 1961; p. 423.
70. Steggerda, F. R.; Dimmick, J. F. *Am. J. Clin. Nutr.* 1966, 19, 120.
71. Stuckey, D. C.; Owen, W. F.; McCarty, P. L. *J. Water. Pollut. Control Fed.* 1980, 52, 720-29.
72. Sutton, P. M.; Li, A. "Single phase and two phase anaerobic stabilization in fluidized bed reactors," IAWPR Specialized Sem.; Anaerobic Treatment of Wastewaters in Fixed Film Reactors, Copenhagen, 1982.
73. Szendrey, L. M. "The Bacardi Corp. anaerobic treatment system," "Anaerobic Biotechnology: Reducing the Cost of Industrial Wastewater Trea-

- tment"; Argonne Labs., Washington, D. C., April 14, 1983.
74. Taylor, G. T.; Pirt, S. J. *Arch. Microbiol.* 1977, 113, 172.
  75. Thauer, R. K.; Jungerman, K.; Decker, K. *Bacteriol. Rev.* 1977, 41, 514-41.
  76. Torpey, W. N.; Melbinger, N. R. J. *Water Pollut. Control Fed.* 1967, 39, 1414-74.
  77. Tracey, C. A.; Ashare, E. "Biomethanation of biomass pyrolysis gases," In "Fuel Gas Developments in Bioenergy Systems"; Wise, D. L., Ed.; CRC Press; Vol. 2, in press.
  78. Tzeng, S. F.; Wolfe, R. S.; Bryant, M. P. J. *Bacteriol.* 1975, 121, 154-91.
  79. van den Berg, L.; Lamb, K. A.; Murray, W. D.; Armstrong, D. W. J. *Appl. Bacteriol.* 1980, 48, 437-47.
  80. van den Berg, L.; Lentz, C. P. Food processing waste treatment by anaerobic digestion. Nat'l Res. Council of Canada #15981, 1970.
  81. van den Berg, L.; Lentz, C. P. "Comparison between up- and downflow anaerobic fixed film reactors of varying surface-to-volume ratios for the treatment of bean blanching wasts"; In "34th Purdue Ind. Waste Conf.," 1979, pp. 319-25.
  82. van den Berg, L.; Lentz, P. "Performance and stability of the anaerobic contact process as affected by waste composition, inoculation and solids retention time"; In "Proc. Purdue Ind. Wastes Conf.," 1980; app. 496-501,
  83. van den Berg, L.; Lentz, C. P. *Can. Inst. Food Technol. J.* 1971, 4, 159-65.
  84. van den Berg, L.; Kennedy, K. J. "Comparison of advanced anaerobic reactors"; Third Int'l Symp. on Anaerobic Digestion, Boston, 1983.
  85. Varel, V. H.; Hashimoto, A. C. *Appl. Environ. Micro biol.* 1982, 44, 1415-20.
  86. Verrier, D.; Moletta, R.; Albagnac, G. "Anaerobic digestion of vegetable canning wastewaters by the anaerobic contact process: Operational experience"; Third Int'l Symp. on Anaerobic Digestion, Boston, 1983.
  87. Ware, P. J. "Ref COM(Refuse Conversion to Methane)—A project review"; In "Proc. 3rd Annual Biomass Energy Systems Conference"; Solar Energy Resesearch Institute. Golden, Colo. June 1979; pp. 393-400.
  88. Whitman, W. B.; Wolfe, R. S. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1980, 92, 1196-1201.
  89. Woese, C. R; Fox, G. E. *Proc Nat'l. Aced. Sci.* 1977, 74, 5088-090.
  90. Yang, J.; Speece, R. E.; Parkin, G. R.; Gosset, J.; Kocher, W. *Prog. Water Technol.* 1980, 12, 977-89.
  91. Young, J. C.; Dahab, M. F. "Effect of media design on the performance of fixed bed anaerobic reactors"; In "Proc. IAWPR Spec. Sem. Anaerobic

Treatment of Waste Water in Fixed Film Reactors"; Copenhagen, Denmark, 1982.

92. Young, J. C.; McCarty, P. L. J. Water. Pollut. Control 1969 41, 5.
93. Zeikus, J. G. Bacteriol. R, ev. 1977, 41, 514-41.
94. Zeikus, J. G.; Fuchs, G.; Kenealy, W.; Thauer, R. K. J. Bacteriol. 1977, 132, 604-13.
95. Zeikus, J. G.; Weimer, P. J.; Nelson, D. R.; Daniels, L. Arch. Microbiol. 1975, 104, 129-34.

# 氰化物電鍍廢水處理之探討

薛少俊\*

## 壹、前言

在電鍍作業中，氰化物最為廣泛使用，每年全世界的消耗量無以計數，主要原因是容易獲得良好的電鍍品質和易於維護電鍍液。但其缺點則易產生廢水污染問題，必須使用昂貴的藥品來破壞其劇毒性。

傳統鹼性氰化處理法在技術或成本上，雖較臭氧氧化法、過氧化氫和電解氧化法為優<sup>(8)</sup>，但溶液的 pH 值需要維持在 11，才能完全反應及降低氯氣的消耗，而且經處理後之水須再添加酸類來中和。此外，若處理不當，可能產生高度劇毒之氰化氫氣體，危害處理廠中人員的安全<sup>(2)</sup>。另外廢水中鐵氰化物 (Ferricyanide) 和亞鐵氰化物 (Ferrocyanide)，很難藉傳統氰化法來完全除去<sup>(11)</sup>。但氰離子濃度低於 3,000ppm 時，則傳統鹼性氰化處理法之費用較為低廉<sup>(2)</sup>。

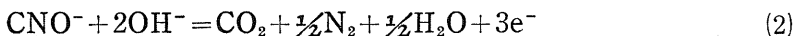
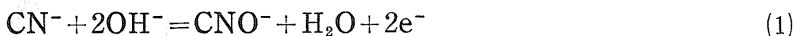
本文首先介紹改善傳統鹼性氰化法之各種處理方法，然後再介紹非氰化物鍍鋅法<sup>(3)</sup>，以作為電鍍工廠作業參考。

## 貳、氰化物處理方法之探討

目前處理氰化物的方法除了傳統鹼性氰化處理法外尚有填充床電極電解氧化法<sup>(1)</sup>、熱分解法<sup>(2)</sup>、鹼性氰化處理後續還原法<sup>(7)</sup>和高溫水解法<sup>(4)</sup>等四種，茲將其應用原理和使用狀況分別說明如下：

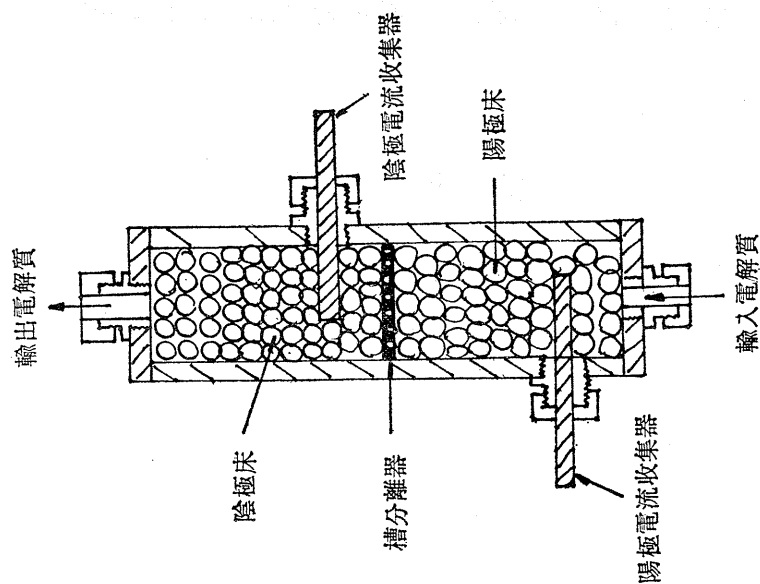
### 一、填充床電極電解氧化法

一般電解處理所需的能量比化學處理低，其主要特點為可完全除去含有難以化學破壞之氰復合物，並且不會形成毒性泥漿和沉積物。以填充床電極取代板式電極，由於有較大的表面積可提供更快的反應速率，而且易於裝設，因此操作和維護費用低，其裝置見圖一。有關氰化物電解氧化步驟，如下列式子表示<sup>(6)</sup>

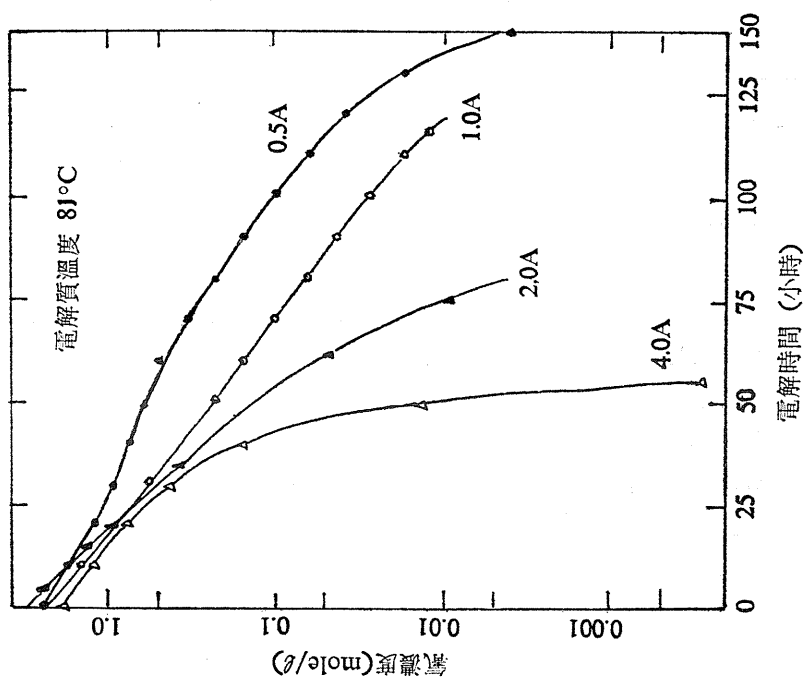


氰化物的去除率與電流、電解時間、電量、電功率消耗和操作溫度有極大的關係，如圖二、三、四、五所示。在相同去除率下，電流愈大，所需電解時間愈短，電量和電功率消耗愈大。但溫度愈高時，電量損耗愈小，見圖五。而氰化物去除率與電解時間的關係，如圖六所示，為一次分解反應，其反應速率常數由圖中斜率得 0.067 秒。至於操作結果；可參考表一。

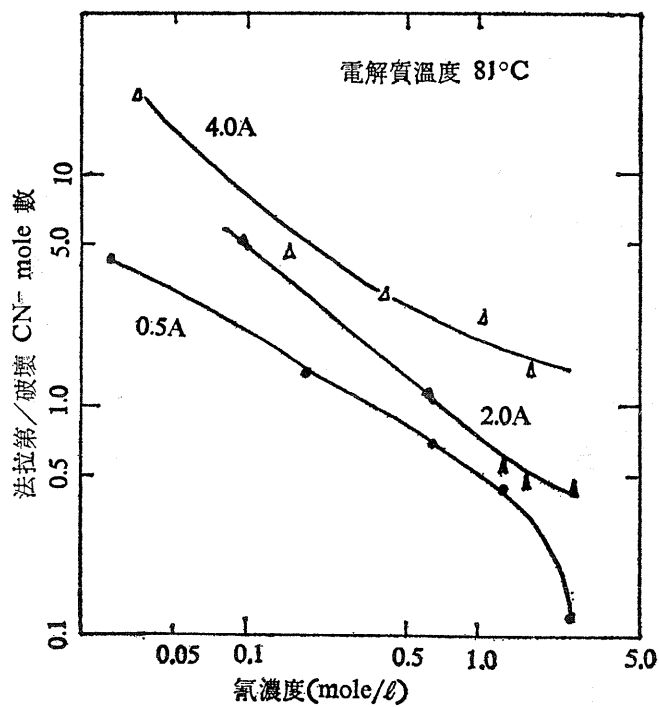
\* 聯勤二〇二廠化學工程師



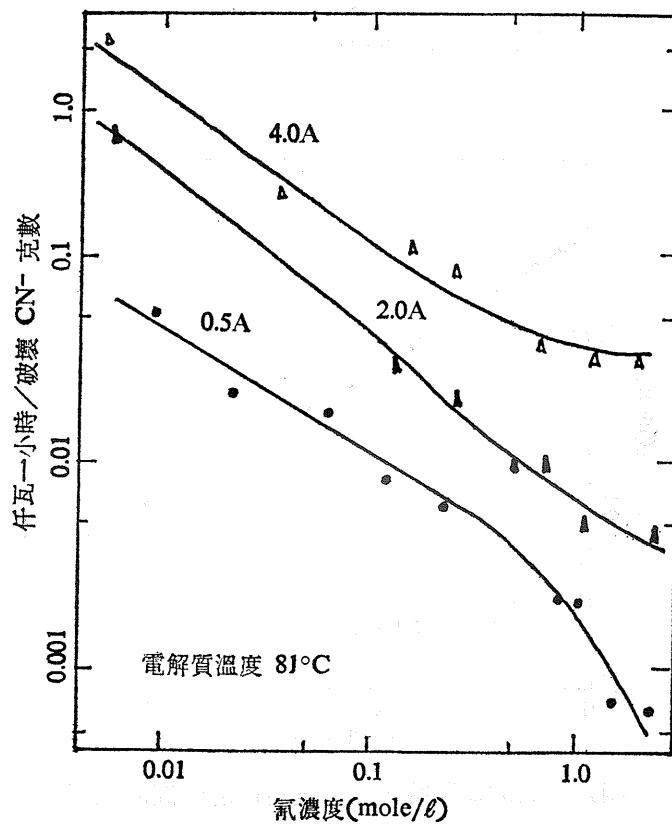
圖一 填充床電化槽裝置



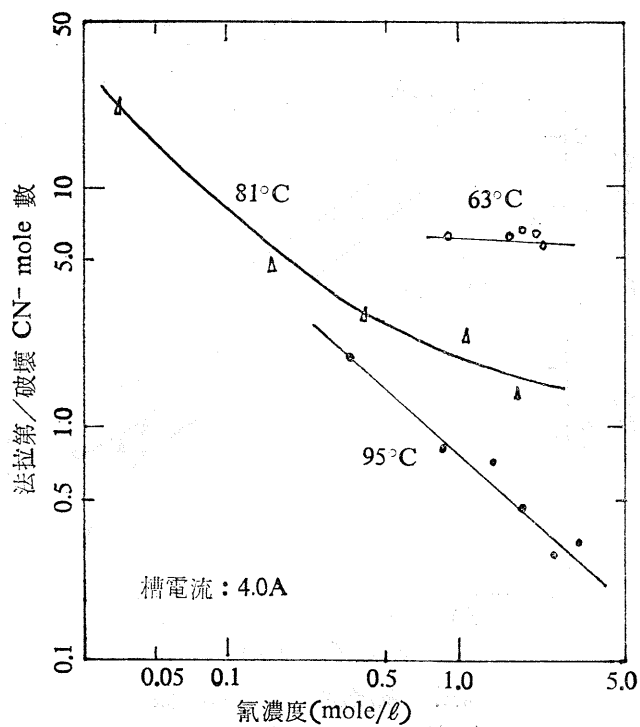
圖二 氣濃度與電解時間的關係



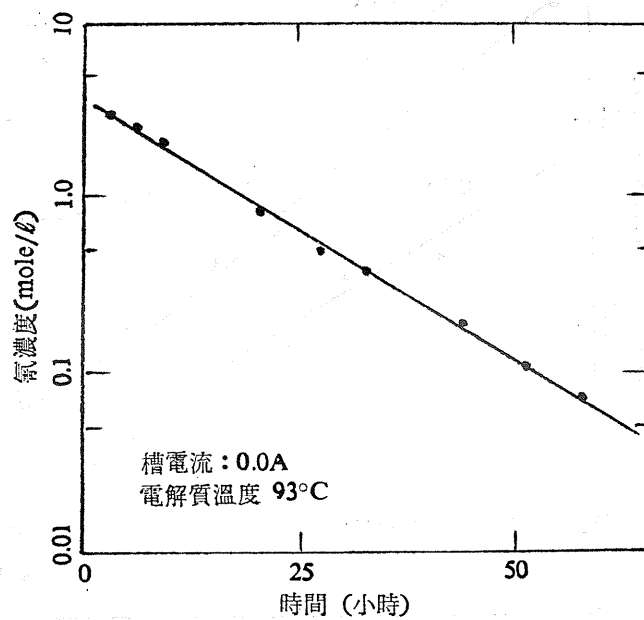
圖三 氰濃度與電量的關係



圖四 氰濃度與電功率消耗的關係



圖五 氰濃度與操作溫度的關係



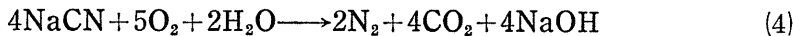
圖六 開放電路時，氰濃度與電解時間的關係

表一 填充床電化槽的平均功率消耗

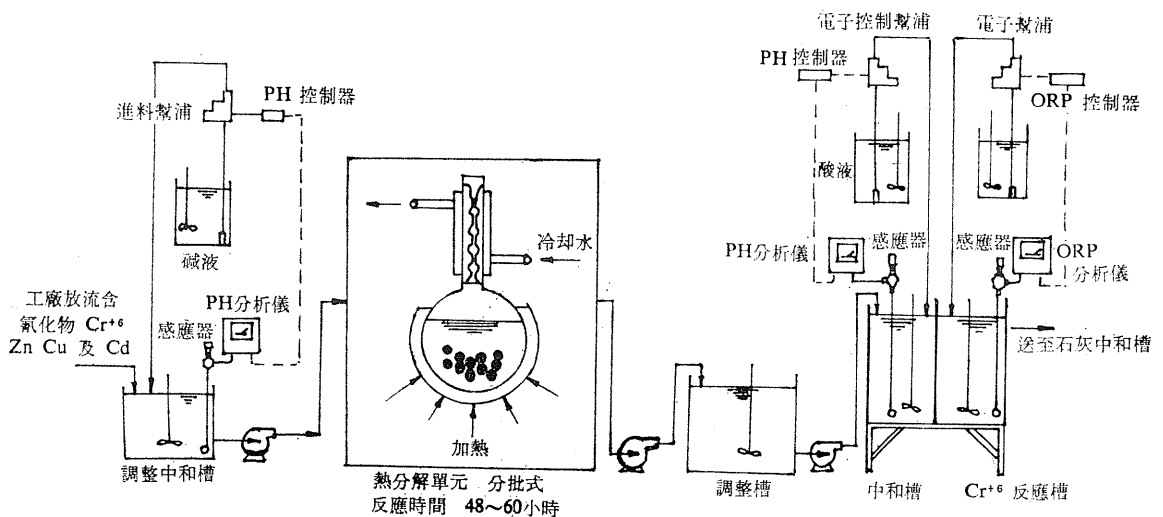
| 電解質溫度(°C) | 槽電流(安培) | 運轉時間(小時) | CN <sup>-</sup> 初濃度(mole/L) | CN <sup>-</sup> 最終濃度(mole/L) | 仟瓦一小時/破壞CN <sup>-</sup> 克數 |
|-----------|---------|----------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 81        | 0.5     | 140      | 2.5                         | 0.004                        | 0.0025                     |
|           | 1.0     | 124      | 2.5                         | 0.01                         | 0.006                      |
|           | 2.0     | 75       | 3.0                         | 0.01                         | 0.0106                     |
|           | 4.0     | 54       | 2.0                         | 0.0003                       | 0.050                      |
| 95        | 4.0     | 49       | 3.7                         | 0.27                         | 0.025                      |

## 二、熱分解法

氰化處理氰化合物溶液，其中 pH 值必須維持在 11，否則仍要添加酸類來中和，但有可能產生氰化氫劇毒氣體。基於此項問題，以具有回流冷却器之蒸餾設備來加熱分解，可以獲得解決，其裝置如圖七所示，而規模放大之操作見圖八。氮和二氧化碳為氧化分解之最終產物，以下列式子示之

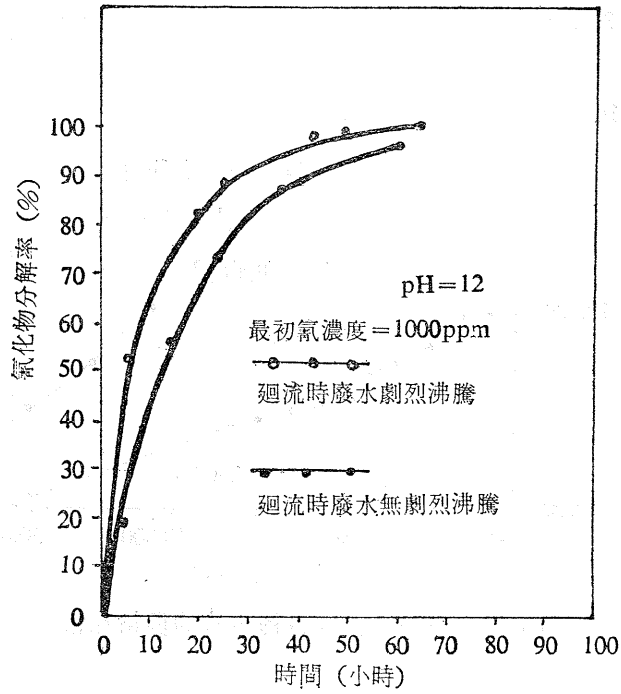


此種反應在 pH 值 9 以上，受 pH 值影響並不大，Moussavi 等人建議 pH 值在 11 以上操作較為適合，如圖九所示。而在激烈沸騰及具有六價鉻操作下，其分解效率較高，見圖十、十一。由圖十二可知，氰濃度從 5,000 ppm 至 10,000 ppm 使用熱分解法較有經濟價值，依此項限制，對於低氰濃度需加以濃縮或在電鍍過程中減小水洗容積，方能採用此法。

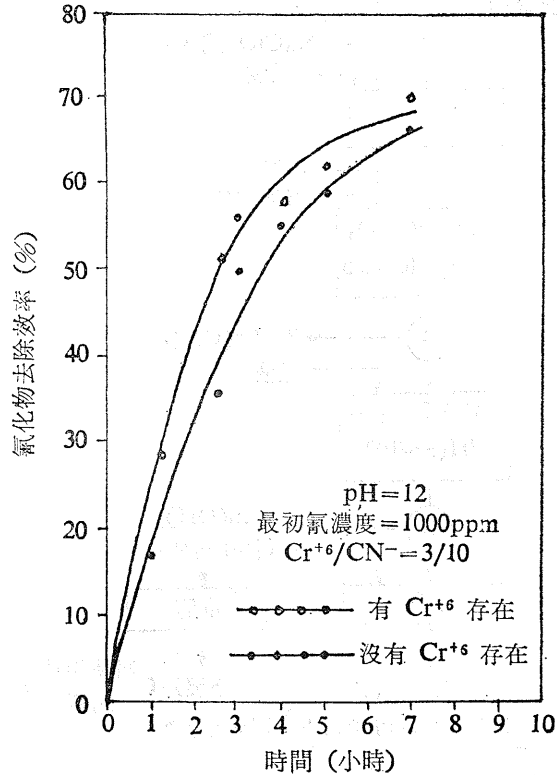


圖七 熱分解實驗裝置流程圖

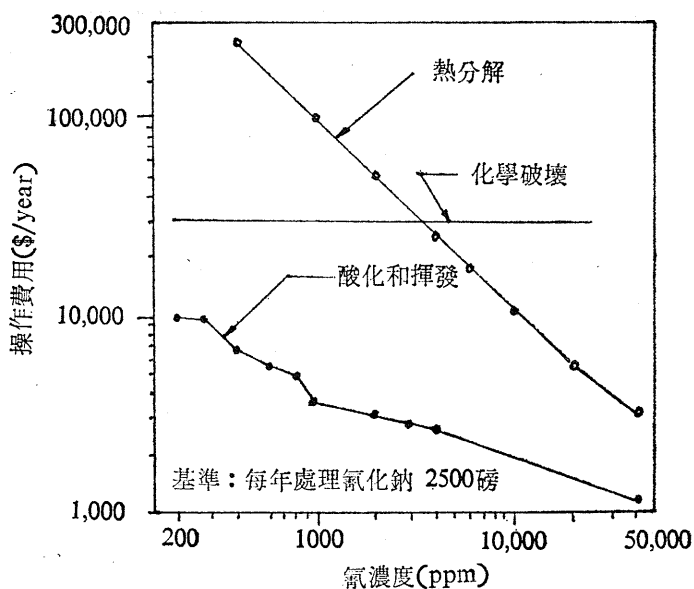




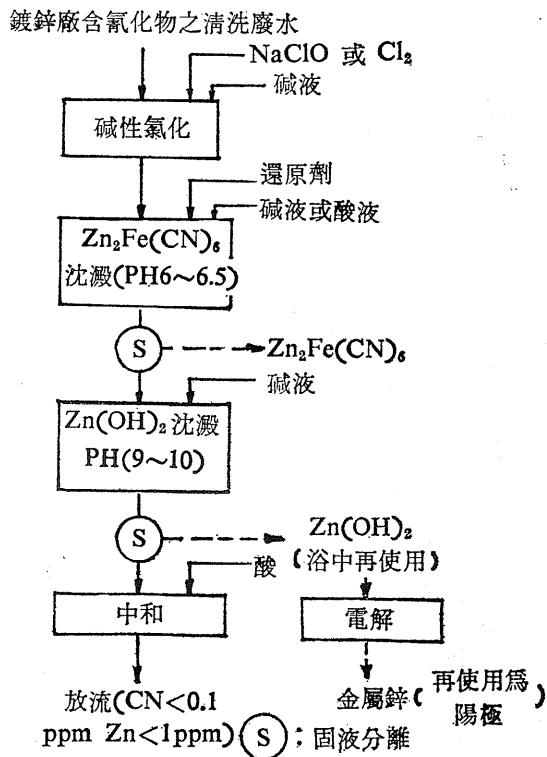
圖十 氰化物分解率與加熱速率的關係



圖十一 氰化物去除率所受  $\text{Cr}^{+6}$  時影響與加熱速率之關係



圖十二 去除氰化物各種方法的價格比較

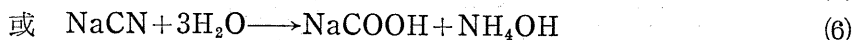
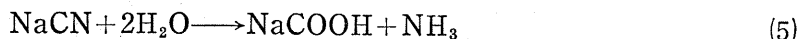


### 三、後續還原法

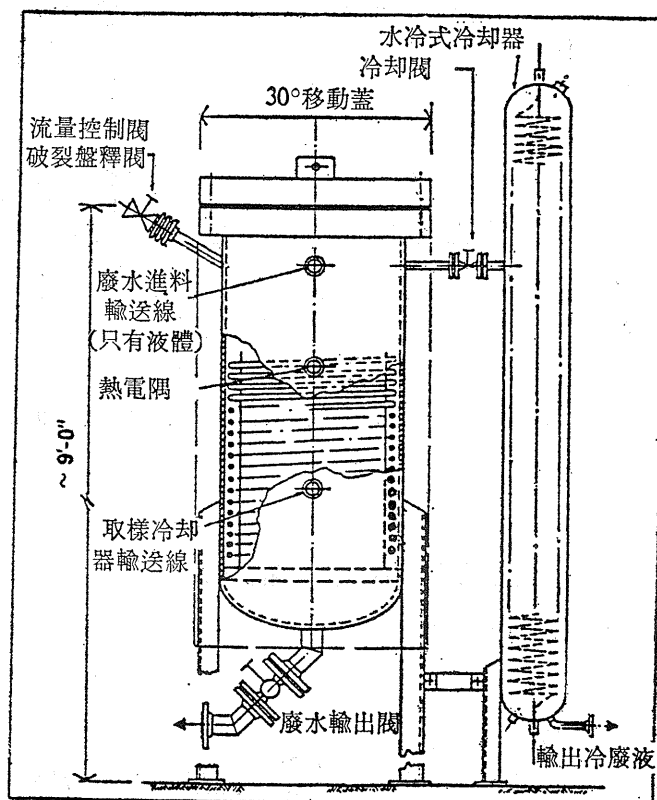
通常鐵氰化物和亞鐵氰化物不易由傳統鹼性氯化法完全清除，以鍍鋅為例，Sakai 等人<sup>(5)</sup> 使用亞硫酸鈉還原劑，在鹼性範圍內作還原及沉澱處理。由圖十三可知，鐵氰化物和金屬鋅被移去，同時也除去不溶性亞鐵氰化鋅和氫氧化金屬，以便達到水質標準。Tanihara 等人<sup>(7)</sup> 藉此製程及考慮影響還原鐵氰化物離子之不同變數，求得最佳條件，目前仍在進行更深入的探討。

### 四、高溫水解法

氰化銅和鐵氰化鉀是最具抗性之氰化合物，可在適合溫度、壓力的合理時間水解。此水解製程為介於氰和水的化學反應，其流程見圖十四。由於氰廢物含有百分之九十至九十五的水，添加化學反應劑是不需要的，只要加熱至需求滯留時間之假定反應溫度即可。反應產物為氨或氫氧化銨和甲酸金屬，以氰化鈉化學式述之如下



基於能源因素，本法對於低氰濃度亦需加以濃縮或在電鍍過程減小其容積。



圖十四 高溫水解法流程圖

### 叁、非氰化物鍍鋅法

鍍鋅工業到現在已有一百五十年以上的歷史，而且幾乎所有均採用含氰化物製程。由於污染問題日趨嚴重，逐有發展出降低氰含量之中氰浴和低氰浴，及目前正積極廣泛研究的鹼性非氰化物和酸性鋅製程，此兩者製程性能比較見表二。

表二 非氰化物鍍鋅製程性能比較

| 性 能           | 鹼 性 鋅 浴       | 酸 性 鋅 浴             |
|---------------|---------------|---------------------|
| 光 澤 性         | 不及酸性鋅浴光澤      | 現出光澤銀鉻外表            |
| 電 鍍 速 度       | 比酸性鋅浴慢        | 95—98%陰極電流效率        |
| 槽 液 控 制 性     | 比酸性鋅浴容易       | 須多變化控制和維護           |
| 設 備           | 與氰浴比較，無多大變化   | 需要輸送槽、過濾機、鈦陽極掛架和冷凍機 |
| 鍍 層           | 比酸性鋅浴更均勻鍍     | 不及鹼性鋅浴均勻            |
| 包 覆 性         | 與酸性鋅浴相同       | 與鹼性鋅浴相同             |
| 溫 度 穩 定 性     | 與酸性鋅浴相同       | 與鹼性鋅浴相同             |
| 鍍 層 剝 落 性     | 比酸性鋅浴佳        | 剝落較多                |
| 鉻 酸 鹽 承 受 性   | 優 良           | 優 良                 |
| 抗 腐 蝕 性       | 相 同           | 相 同                 |
| 拙 劣 清 洗 敏 感 性 | 敏 感           | 敏 感                 |
| 鋅 含 量 保 持 性   | 較 困 難         | 較 容 易               |
|               | 由於陰極效率變化，較為困難 | 由於陰極效率固定超過鋅的範圍，較為容易 |

在早期，鹼性非氰化物和酸性鋅製程有許多缺點。前者使用錯化劑 (Complexing agents)，由於鐵污染會產生銹的問題，而且會造成廢水處理問題和引起電鍍後之腐蝕，因此大部分採用具有三種添加劑：淨化劑、傳遞劑和光澤劑之製程，其配方如表三所示。後者最初採行硫酸鹽浴，稍遲有含氨酸性鋅浴，到今天正推展的游離氨氯化鉀酸性鋅浴，表四即為其配方。這兩種製程的優點分別說明如下：

#### 一、鹼性非氰浴

- 1.廢水處理容易：無氰化物較易破壞，不需使用錯化劑。
- 2.相同的設備：鹼性鋅浴所用的設備與氰化鋅浴相同。

#### 二、游離氨酸性鋅浴

- 1.最低量的廢水處理：與鹼性非氰浴類同。
- 2.高陰極效率：酸性鋅浴的正常陰極效率約為氰化鋅浴之1.1至1.7倍。
- 3.光亮的鍍層：在正常操作條件下，由酸性鋅溶液之鍍層比自氰浴及鹼性非氰浴來得光亮，外表上非常接近光亮銀／鉻鍍物，可以加以取代，節省電鍍費用。
- 4.特別零件易於電鍍，諸如鑄鐵、腈化零件等。

表三 典型碱性非氰浴組成

| 成 份     | 組 成                       |
|---------|---------------------------|
| 金 屬 鋅   | 7.5-15g/L (1-2oz/gal)     |
| 氫 氧 化 鈉 | 75.0-150g/L (10-20oz/gal) |
| 碳 酸 鈉   | 15g/L min (2oz/gal)       |
| 添 加 劑   | 視 需 求                     |

表四 典型酸性鋅浴組成

| 成 份      | 組 成                                             |
|----------|-------------------------------------------------|
| 掛 鍍      |                                                 |
| 金 屬 鋅    | 37.5-45g/L (5-6oz/gal)                          |
| 氯 化 鋅    | 75-90g/L (10-12oz/gal)                          |
| 氯 化 鉀    | 210-240g/L (28-32oz/gal)                        |
| 硼 酸      | 22.5-26.25g/L (3-3.5oz/gal)                     |
| pH 值     | 5.0                                             |
| 溫 度      | 23°C (72°F)                                     |
| 陰極平均電流密度 | 2.7A/dm <sup>2</sup> (25A/ft <sup>2</sup> )     |
| 陽極平均電流密度 | 2.7A/dm <sup>2</sup> max (25A/ft <sup>2</sup> ) |
| 攪 拌 方 式  | 微 風                                             |
| 滾 鍍      |                                                 |
| 金 屬 鋅    | 26.25g/L (3.5oz/gal)                            |
| 氯 化 鋅    | 52.5g/L (7.0oz/gal)                             |
| 氯 化 鉀    | 210-240g/L (28-30oz/gal)                        |
| 硼 酸      | 22.5-26.25g/L (3-3.5oz/gal)                     |
| pH 值     | 5.0                                             |
| 溫 度      | 23°C (72°F)                                     |
| 陰極平均電流密度 | 0.76A/dm <sup>2</sup> (7A/ft <sup>2</sup> )     |
| 陽極平均電流密度 | 2.7A/dm <sup>2</sup> max (25A/ft <sup>2</sup> ) |

## 肆、結 論

氰化物電鍍作業之廢水處理雖然有許多方法，但必須考慮經濟原則，注意其限制範圍及能源回收，尤其非氰化物鍍鋅法在防止公害污染的今天，更是值得大力倡導。

## 參 考 文 獻

1. Chin, D.T., Eckert B. "Destruction of cyanide wastes with a Packed-bed

- Electrode" Plating and surface finishing P. 38-41, October (1976).
2. Moussavi M., Sundaram Shanmuga S. "Thermal decomposition of cyanide waste" Plating and surface finishing P. 67-71, July (1982).
  3. Paul J. Hancharik "Non-cyanide zinc plating" Plating and surface finishing P. 28-31, November (1983).
  4. Robey H. L. "Cyanide destruction in a commercial-scale hydrolysis reactor" "Plating and surface finishing" P. 79-82, June (1983).
  5. Sakai T., Shimizu T., Bull Kure Ind Res Inst Hiroshima Prefectural Government No. 17, P. 73, (1974).
  6. Tamura H., Arikado T., Yoneyama H., Matsuda Y., Electrochim Acta Vol 19, P. 273, (1974).
  7. Tanihara Koichi, Yasuda Seiji, Tamai Keiko "Treatment of wastewater from cyanide zinc electroplating" Meta Finishing P. 53-55, January(1983).
  8. 吳興渝、王宏敏「皮革、染整、電鍍等工業廢水污染防治工業污染防治，第二卷第一期，第五十四頁。

# 活性炭之生物再生作用探討

黃 振 隆\*

## 一、前 言

活性炭在淨水工程上早被廣為利用，如飲用水軟化、餘氯去除、脫鹽、脫臭等。在廢污水處理上，許多工業廢水含低濃度之溶解有機物或有毒物質，用一般生物處理法，甚難去除，如色素、臭氣物質、殺蟲劑、殺菌劑、ABS 及其他雜環有機物等，這些物質可藉活性炭之表面吸咐作用去除。

雖然活性炭在水處理工程上頗具神效，惟其處理費用甚高，以目前國內價格，進口粒狀活性炭每公斤約 100元左右，國內自製者每公斤亦需70~80元。惟生活水準日愈提高，人們對環境品質要求亦日愈嚴格，較高級的水處理設施將是不可避免的。由於活性炭的應用與需求日增，所以尋求一較經濟可行之活性炭運轉成本乃成爲一重要課題。除了在製程方面尋求製造成本的降低外，如何延長活性炭使用壽命亦是可行途徑。美國化學協會(American Chemical Society)出版的「環境科學與科技」月刊(ES &T-ENVIROMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY) 1984年1月份這一期內，介紹關於粒狀活性炭之生物再生作用之研究論文，故特摘譯以供參考。

## 二、簡 介

在國內外這是第一篇有關顆粒狀活性炭 GAC (Granular Activated Carbon)之生物再生作用(Bioregeneration)的研究報告。

在一個以酚預飽 (presaturated) 的GAC 吸咐塔試驗模型 (bench-scale) 中，我們發現由於活性炭濾床表面所吸咐的物質被細菌移除，而導致活性炭濾床的吸咐量增加，此時，進流水質pH值爲7.5、DO爲9mg/l、酚濃度2mg/l且含有如表一所示的無機觸媒(mineral medium)，但當DO降至 4mg/l 時，生物再生作用則不發生。

表一、PH 值爲7.5之無機觸媒成份

| g/L   | component                                       | source          |
|-------|-------------------------------------------------|-----------------|
| 0.5   | K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>                 | Mallinckrodt    |
| 0.005 | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Baker & Adamsen |
| 0.007 | CaCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O             | Mallinckrodt    |
| 0.02  | MgCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O             | Mallinckrodt    |
| 0.005 | NaCl                                            | J. T. Baker     |
| 0.001 | FeCl <sub>3</sub>                               | Matheson        |

\*經濟部工業污染防治技術輔導小組研究員

在一可變負荷試驗 (Transient Loading Test) 中，先通以  $0.8\text{mg}/\ell$  的酚溶液使吸附塔飽和，再加以植種，把植種吸附塔與一未經植種吸附塔並聯，通以 pH 值為 7.5、DO 為  $9\text{mg}/\ell$  及含  $0.8\text{mg}/\ell$  的酚溶液運轉一段時間後，提高進流液濃度至  $150\text{mg}/\ell$  1 小時。由比較兩對比式吸附塔放流液中酚濃度，發現植種吸附塔放流液中酚濃度要比非植種吸附塔放流液之酚濃度要明顯的低很多。由這套對比試驗可證實生物再生作用確實在植種吸附塔中發生。

雖然 GAC 在水處理工程上的功效是衆所皆知<sup>(8\*, 10\*)</sup>，但在水處理廠正常操作運轉下，GAC 之生物再生作用從未被探討與確認<sup>(1\*, 2\*)</sup>。在這裏我們把生物再生作用定義為：由於活性炭表面所吸附的物質被細菌移除，而導致活性炭吸附量增加的作用。但在具有生物活性 (Bioactive) 的 GAC 吸附塔中，因生物分解反應 (Biodegradation) 的發生，未被吸附的物質亦可能被分解，而延長吸附塔的壽命。生物再生作用經常被錯誤的引用來解釋這個現象，而被分解物質有部份已先被 GAC 所吸附，例如此類經常使人混淆不清。<sup>(6\*, 8\*, 11\*)</sup>

本文的主要目的，是在研究及證明 GAC 表面是否確有生物再生作用產生。在本研究中證實這兩種生物性的反應都存在，在某些情況下，當濾床表面生物再生作用進行時於進流液中的化合物也因生物分解作用而進行分解反應。由生物活性吸附塔與非生物活性吸附塔的對比式操作 (Parallel Operation)，可計算出酚被氧化所需的氧量及 GAC 反應所需的氧量，並由可變酚濃度試驗可看出生物再生作用所產生的效益。

### 三、材料與原理

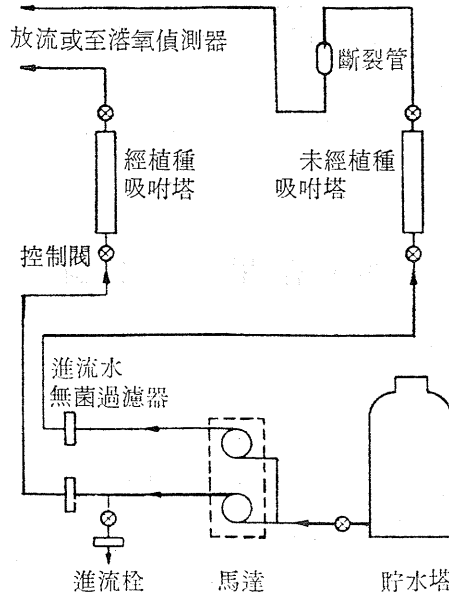
#### (一) 材料準備與分析步驟

在本實驗裏採用酚為試驗用物質 (mallinckrodt 公司出品)，並採 4-氨基安替比林直測光度計法 (4-aminoantipyrine direct photometric method) 測定酚濃度<sup>(12\*)</sup>。活性炭採用 Calgon 公司 F-400 型，使用前先加以篩濾後，再以去離子水 (deionized water) 洗滌，以去除粉末活性炭，再於  $100^{\circ}\text{C}$  高溫下烘乾備用。至於溶氧量的測定，採用一粗密閉的連續流式氧量和溫度探測器連接一溶氧測定表測定 (Yellow Springs 儀器公司)。最後，採用標準計數片 (SPC-standard plant count) 計算細菌數。<sup>(12\*)</sup>

#### (二) GAC 吸附塔

實驗流程如圖一所示。吸附塔高 22cm 直徑 1.5cm，為使壁效應 (wall effects) 減至最小，於塔內採用 30~40 網目的篩網 (美國標準  $0.42\sim 0.59\text{mm}$ )<sup>(13\*)</sup>。活性炭經高溫加壓消毒後，在無菌狀態下加入酚結晶與無菌的去離子蒸餾水調勻後，密封貯放 14 天，以 SPC 檢驗，若受細菌感染即棄置。然後將這些經酚預飽和的 GAC 以無菌技術放入塔中。採取廢水處理廠排水渠下游河水 1 ml，加入酚至  $2\text{mg}/\ell$ ，於無機性觸媒上加以培養 (成份見表一)，而植種所用的有機體便取自無機觸媒上受感染的營養基上。可分解酚的有機體須先以孔徑  $0.45\mu\text{m}$  的無菌過濾器加以過濾濃縮後，沖刷炭泥，再將這些炭泥充填於第一個植種吸附塔。經過這個吸附試驗後，將這些炭泥貯存於  $1^{\circ}\text{C}$  下，若下一個吸附塔需植種，則取 0.2 g 炭泥投入於進流末端。而非植種吸附塔則於進流管線上裝設一個 4.7cm 長  $0.2\mu\text{m}$  的硝化纖維過濾器 (nitrocellulose filters) 和一 P 40

型的前過濾器 (prefilters)，放流管線上裝設一個阻管 (Break tube)，藉由這些裝置以防止吸咐塔受細菌感染。(8\*)



圖一 GAC 對比式實驗流程

酚溶液貯在一個12升的貯水塔中，並裝設一接頭以連接管線。如此，除了Buchler蠕動式馬達(peristaltic pump)中一段30cm 長的泰龍管(Tygon) 外，溶液所接觸的祇有玻璃、特氟龍(Teflon) 和不銹鋼。實驗所用的溶液含有酚和無機性觸媒，其溶氧量以液面上的大氣變動來控制。空氣以 $9\text{mg}/\ell$ 計， $\text{O}_2\text{-N}_2$ 混合率則以 $4\text{mg}/\ell$ 計。

#### (三)吸咐塔操作：可變溶氧量試驗

在本節實驗中，塔中10 g 無菌GAC以濃度  $2\text{mg}/\ell$  的酚溶液預先調勻後，採流量  $2\text{ml}/\text{min}$  ( $0.68\text{m}/\text{h}$ ,  $0.28\text{gal}/(\text{min}\cdot\text{ft}^2)$ ) 向上流運轉，以保持空濾床之停留時間 14min。這些步驟都完成後，在無菌狀況下運轉12小時，以便檢查放流液中酚濃度及運轉系統是否正常。然後選取兩者之一吸咐塔加以植種。在實驗期間對兩吸咐塔加以偵測，以便追蹤在兩吸咐塔內氧的消耗情形及在植種吸咐塔中酚被去除情形。如此，實驗初期活性炭濾床所吸附的氧量即可偵測並計算出來。

#### (四)吸咐塔操作：可變酚濃度進流試驗

在這節實驗中，吸咐塔中總量計3.1 g 的無菌 GAC以濃度  $0.8\text{mg}/\ell$  的酚溶液預先調勻，流量則採用  $10\text{ml}/\text{min}$  ( $3.4\text{m}/\text{h}$ ,  $1.4\text{gal}/(\text{min}\cdot\text{ft}^2)$ )。在本節一連串連續性的實驗步驟中，祇採用一個吸咐塔，這一連串的實驗包括：最初的無菌操作，接着是植種後運轉試驗與最後的低 pH 值對生物活性的抑制作用。

在初期無菌狀況操作下，先後投入兩個酚脈波 (pulses of phenol：由於酚濃度的驟增在濃

度對時間圖形上呈現一個波形故稱脈波），當進流量約達濾床體積 1,000倍時投入第一個脈波，達 7,500倍時再投入第二個脈波，達13,500倍時加以植種，在進流量達17,000倍與20,000倍時分別投入第三、第四個脈波，因第三、第四波通過吸咐塔時，吸咐塔經植種故具有生物活性，所以這兩波我們稱之為「植種波」(seeded pulse)。隨後，當進流量約達濾床 26,000倍時，使進流液pH值降至 3，再投入第五個脈波。

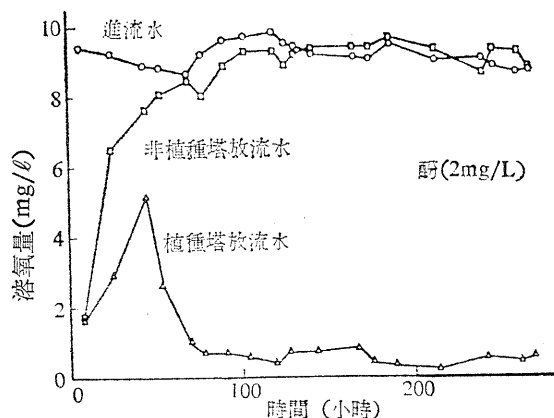
在全部過程中，進流液是無菌溶液，所以每個脈波投入時系統內所不同的為吸咐塔內的生物活性狀態而已。

## 四、結果與討論

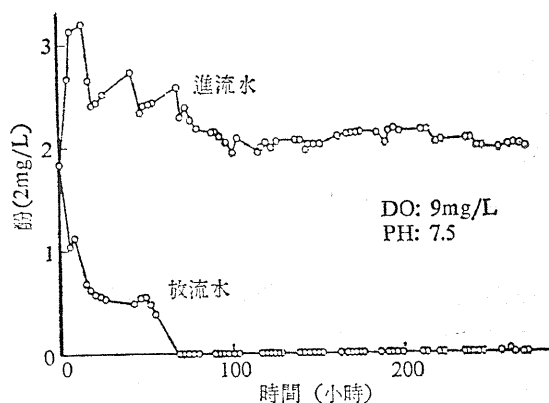
### (一)溶氧量對生物再生作用的影響

第一階段的實驗用來判斷酚被吸咐後是否能被分解而產生新的吸咐位置而增加對新進分子的吸咐，並藉以判斷溶氧量對處理效果所產生的影響，在本試驗中以4mg/L和9mg/L兩種DO值來探討。圖二、三分別表示當 DO值為 9mg/L時流程中DO值與酚濃度變化情形，圖四、五則代表DO值為4mg/L時流程中DO值與酚濃度變化圖形。

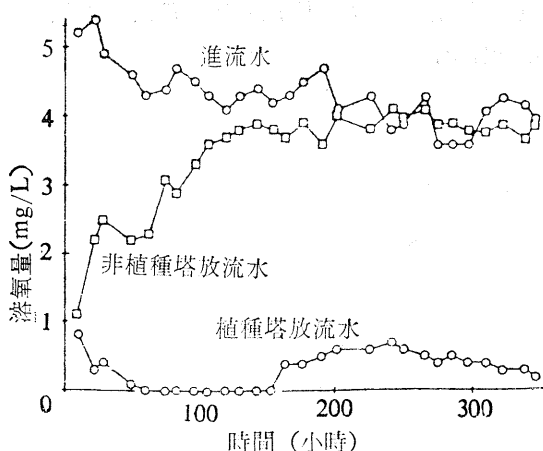
由圖二可以看出，在運轉初期不論經植種或未經植種吸咐塔之放流水 DO 值要比進流水降低許多，活性炭對水溶液中氧的吸咐作用<sup>(14\*)</sup>，正如我們所預期的在吸咐塔中發揮效應。另一點與我們預期結果相同的，就是在非植種吸咐塔中如果祇有化學吸咐作用產生，則經過一段時間之後，放流水中酚濃度將逐漸回昇至與進流水中酚濃度相差不多。以SPC法測定放流水中所含的細菌數，發現放流水中的細菌數每毫升從未起過數百個，且通常每毫升少於一百個。相對的，經植種的吸咐塔其放流水中細菌數漸增至一穩定狀態約在 $10^5 \sim 10^6$ 個/ml 左右，與自來水處理廠活性炭濾床之放流水水質相似<sup>(15\*)</sup>。且在未經植種吸咐塔中，當化學吸咐量飽和後，氧量消耗停止，放流水與進流水中酚濃度相同，由以上幾點臆測在塔內並無生物分解反應發生，而植種吸咐塔比未



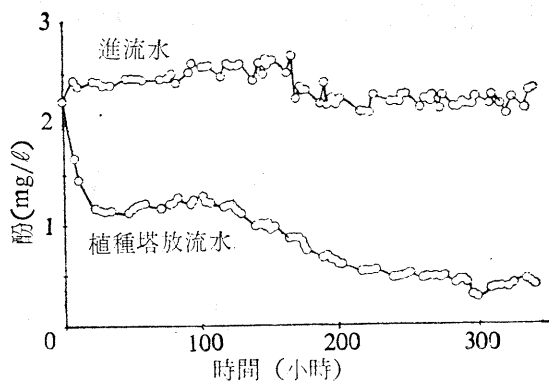
圖二 溶氧量 9mg/L 試驗中溶氧量隨時間變化情形



圖三 溶氧量 9mg/L 試驗中酚濃度隨時間變化情形



圖四 溶氧量 4mg/L 試驗中溶氧量隨時間變化情形

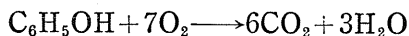


圖五 溶氧量 4mg/L 試驗中酚濃度隨時間變化情形

經植種吸附塔多消耗的氧量乃被用於生物分解反應上。

由圖二、三相對照下，可知在運轉60至80小時這一階段，氧的化學吸附作用及生物分解作用均發生。在植種前，因在運轉前兩塔以酚預飽和所以兩塔進流水與放流水中酚濃度皆相同，經植種其中之一吸附塔後，因生物分解作用導致酚濃度明顯降低。隨着氧的化學吸附作用漸趨於完全，酚濃度亦逐漸降至零，但氧量並未完全消耗。

至於流程中的生物分解量可藉由耗氧量來估算，酚的完全氧化作用以下列反應式表示：



假如酚完全氧化為  $\text{CO}_2$  與  $\text{H}_2\text{O}$ ，則一莫耳酚需七莫耳氧或者 0.42mg 的酚需 1 mg 的氧方能完全氧化，若所需氧量少於這個比例時，生物反應將停止。根據上述原因對生物分解量的計算定義一個生物分解率的最小值。如果氧化作用不完全，預測反應中將有隣苯二酚 (Catechol)、順己二烯-[2,4]-二酸 (cis;muconic acid)、及 2 羥基己二烯-[2,4]-二酸 (2-hydroxy muconic acid) 等產物出現，但在濾床上或放流水中並未發現這些化合物。相同的，也無法以放流水中所測得的 TOC 與 SS 值來估算酚轉化為  $\text{CO}_2$  以外化合物的數量。最小生物再生率以下列方程式估算：

$$M = [0.420(\text{DO}_{\text{in}} - \text{DO}_{\text{out}}) - (\text{Phenol}_{\text{in}} - \text{Phenol}_{\text{out}})] \left( \frac{0.68 \text{ m/h}}{0.161 \text{ m}} \right) \left( \frac{0.766 \text{ g of TOC}}{\text{g of Phenol}} \right)$$

M：活性炭濾床表面所吸附酚的最小分解率。

單位：g of TOC/m<sup>3</sup> of Carbon • h

( $\text{Phenol}_{\text{in}} - \text{Phenol}_{\text{out}}$ )：進流液中被生物分解作用所移除的酚量。

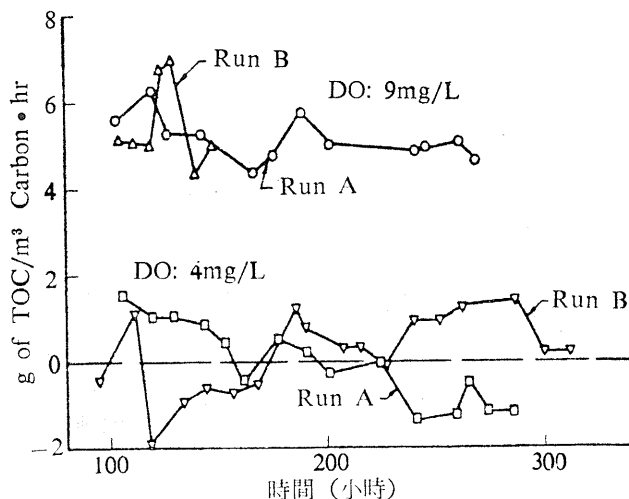
單位：mg/ℓ

0.68m/h：進流水在濾床中的流速

0.161m：GAC吸附塔的高度

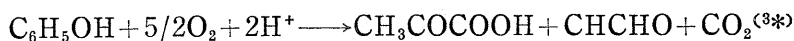
圖六表示在兩種不同DO值試驗中，最小生物再生率對時間關係圖形。圖中的“Run A”相對於圖二至五各種實驗。由這圖形可看出當進流水之 DO 值為 4mg/ℓ 時，全部的氧量用於分解進流液中所含的酚，所以生物再生作用可略而不計，然當 DO 值增為 9mg/ℓ 時，多餘的氧分子可完

全滲入濾床內且去除率可達  $5.0 \text{ g of TOC/m}^3 \text{ of Carbon}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ 。(在EPA的研究報告中指出在模型試驗中分解率可達  $1 \sim 4 \text{ g of TOC/(m}^3 \text{ of Carbon}^{-1} \text{ hr}^{-1})$  )。



圖六 最小生物再生率與時間之關係

圖六是表示酚最小去除率與時間關係，而這些數據則是以吸附塔中所消耗的氧量為依據加以定義所計算出來的一個下限值 (lower boundary values)，此一下限值是假設被去除的酚完全轉化為  $\text{CO}_2$ ，但由計數片的資料發現已有細菌成長，所以此一假設並不成立。若有酚轉化為生物質 (biomass) 則如焦葡萄酸 (pyruvic acid) 和乙醛 (acetaldehyde) 等中間產物將與  $\text{CO}_2$  同時產生，則少於 7 莫耳的氧分子即可與 1 莫耳的酚發生反應：

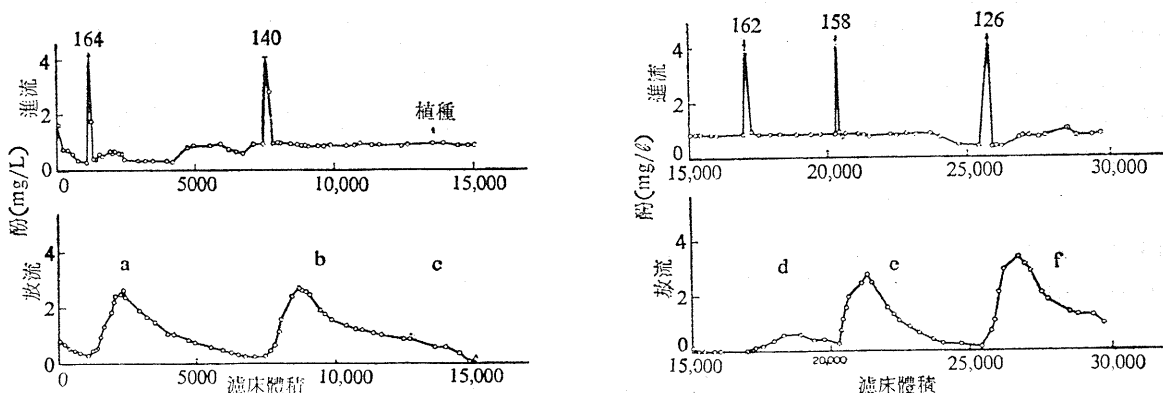


在任何情況下，若反應後除了  $\text{CO}_2$  外還有其他產物出現，則每莫耳酚氧化所需的氧量可減少且生物再生量將大於圖六所示的值。生物分解反應隨着氧量的使用而變，其變化與氧濃度及酚濃度大小有關。

### (二) 突增負荷對生物再生作用的影響

在以下一連串的試驗中，比較不具生物再生能力的吸附塔之運轉情形，可看出突增負荷對吸附塔中活性炭的生物再生作用所發生的影響。由圖七可看出整個流程中進流水與放流水中酚濃度的變化情形。進流液之溶氧量與 pH 值各保持在  $9 \text{ mg/l}$  和  $7.5$ ，酚濃度除了投入酚脈波時濃度高達  $150 \text{ mg/l}$  外維持在  $0.8 \text{ mg/l}$  左右。在第一個和第二個無菌酚脈波輸進之後，其放流液中酚濃度變化情形如圖七之 a、b 所示。這兩個脈波除了投入時間不同外，實際上是完全相同的，在這一階段證實在缺乏生物活性時吸附塔仍有能力一再的吸附進流液中突增的高負荷酚量。同時亦可做為下一階段具有生物活性吸附塔運轉的參考。

下一階段，在其他因素保持不變下植種，植種後放流水中酚濃度變化情形如 c 點所示。當細菌羣建立後圖形類似圖二、三，酚濃度逐漸下降漸趨於零，藉由酚與氧的質量平衡方程式可計算出這階段的最小生物再生量。



圖七 可變負荷試驗

當吸附塔內濾床所吸附的酚之最小去除量達50mg 與175mg 時，分別投入第三、第四個脈波，其放流水酚濃度變化情形如 d、e 兩點。這兩個脈波與上一階段中第一、第二脈波不同之處在於其投入時間及塔中細菌之活狀況不同。在這階段中，當第三、四波進入吸附塔時，生物再生作用已把濾床表面所吸附的酚移除了大部份，因此濾床的吸附量幾乎增至足夠吸附所有進流中的酚。由比較 d 點與 a、b 兩點的圖形可看出生物再生作用所造成的戲劇性效果，由這階段的試驗可證實生物再生作用確能增加活性炭的吸附量。在第三脈波投入生物活性塔後，其放流液中酚濃度與進流液的差不多，這表示在此被吸附的酚量與植種前所吸附的相差不多。e 點則表示植種後第二個脈波被引進的後放流液酚濃度變化圖形，圖形的形狀和大小與 a、b 兩無菌脈波圖形較相似，與 d 圖形全然不同。這些圖形與觀察所得結果相同，我們可以這麼說：在這一階段，由於前一個脈波被引進後，並沒有足夠的時間來產生大量的生物再生作用，所以那些因生物再生作用而可再用的吸附位置仍被酚所佔據。且酚脈波被引進之後，在進流液中酚的生物分解作用，亦可能影響放流液的濃度曲線。

在第二個脈波通過吸附塔後，把進流液 pH 值降低至 3.0 以便停止所有的生物性活動，再引進一個新脈波，加圖七 f 點其圖形與 a、b 點圖形相似，正如我們所預期的，酚濃度稍為的升高，因為在 pH 值為 3 時炭對酚的吸附容量要比 pH 為 7 時低。由觀察所得，對吸附塔中的細菌並沒有顯著的影響，如果有的話就是使細菌較不活潑吧。在這種進流負荷下；低的表面生物處理是可能的。

## 五、結 論

(1) 在模型實驗塔中，活性炭以酚預飽和後，通以 pH 值 7.5 含有無機觸媒及 2mg/l 酚的進流液，當進流液之溶氧量為 9mg/l 時，塔中有生物再生作用發生，當溶氧量為 4mg/l 時，則沒有生物再生作用產生，但進流液中的酚仍可被分解。

(2)當活性炭吸附塔先以  $0.8\text{mg}/\ell$  的酚溶液飽和後，再加以植種，通以 pH 為 7.5、溶氧量  $9\text{mg}/\ell$ 、酚濃度  $0.8\text{mg}/\ell$  的進流液運轉一段時間後，突增酚濃度至  $150\text{mg}/\ell$  連續 1 小時，我們發現放流液中酚濃度明顯的降低。所以，當一個具有生物活性的吸附塔，除分解進流液中化合物外含有多餘的氧量時，將可吸收同一化合物的突增量。進一步來說，因為生物的再生作用產生吸附位置，有助於無法被分解化合物的去除。

(3)對於生物活性吸附塔，實有必要做更進一步的探討與研究，以便全盤瞭解其詳細過程。例如：改變菌種對於分解速率的影響，在不同的狀況下，吸附塔生物分解反應生成物的本質及進流液中混合有機化合物對於放流濃度曲線的影響均需再加以研討與調查研究。

### 參 考 文 獻

- (1) AWWA Research and Technical Practice Committee on Organic Contaminants J.—Am. Water Works Assoc. 1981, 73, 447-454.
- (2) McShane, S. F.; Rao, P. B. V. J. N. Engl. Water Pollut. Control Fed. 1981, 15, 87-104.
- (3) Klotz, M.; Werner, P.; Schweisfurth, R. Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, USEPA, Cincinnati, OH, 1976, Report No. EPA-600/9-76-030, pp 312-330.
- (4) van der Kooij, D. Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, USEPA, Cincinnati, OH, 1976, Report No. EPA-600/9-76-030, pp 348-354.
- (5) McCreary, J. J.; Snoeyink, V. L. J.—Am. Water Works Assoc. 1977, 69, 437-444.
- (6) Safe Drinking Water Committee "Drinking Water and Health"; National Academy of Sciences: Washington, DC, 1980; Vol. 2.
- (7) den Blanken, J. G. "Research on the Bacterial Population and Its Activity in Activated Carbon Filters and Its Influences on Drinking Water Quality"; Laboratory of Sanitary Engineering of the Delft University: The Netherlands, 1978.
- (8) Sontheimer, H.; Heilker, E.; Jekel, M. R.; Noite, H.; Vollmer, F. H. J.—Am. Water Works Assoc. 1978, 70, 393-396.
- (9) Symons, J. M., Ed. "Interim Treatment Guide for Controlling Organic Contaminants in Drinking Water Using Activated Carbon"; Water Supply Research Division, USEPA MERL: Cincinnati, OH, 1978.
- (10) Taylor, R. H.; Allen, M. J.; Geldreich, E. E. J.—Am. Water Works Assoc. 1979, 71, 577-579.
- (11) Schulhof, P. J.—Am. Water Works Assoc. 1979, 71, 648-659.

- (12) American Public Health Association "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 14th ed.; American Public Health Association: Washington, DC, 1975.
- (13) Smith, J. M. "Chemical Engineering Kinetics", 2nd ed.; McGraw-Hill: New York, 1970.
- (14) Prober, R.; Pyeha, J. J.; Kindon, W. E. J. Am. Inst. Chem. Eng. 1975, 21, 1200-1204.
- (15) Cairo, P. R.; McElhaney, J.; Suffet, I. H. J.—Am. Water Works Assoc. 1979, 71, 660-673.
- (16) Ornston, L. N. Bacteriol. Rev. 1971, 25, 87-116.
- (17) Chudyk, W. A.; Snoeyink, V. L. Water Resources Center, University of Illinois, Urbana, IL, 1981, Research Report No. 154.
- (18) Eberhardt, M. Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, USEPA, Cincinnati, OH 1976, Report No. EPA-600/9-76-030, pp 331-347.
- (19) Chapman, P. J. In "Degradation of Synthetic Organic Molecules in the Biosphere"; National Academy of Sciences: Washington, DC' 1972; pp 17-55.
- (20) Snoeyink, V. L.; Weber, W. J., Jr.; Mark, H. B. Environ. Sci. Technol. 1969, 3, 1918.
- (21) Weber, W. J., Jr.; Pirabazari, M.; Melson, G. L. Environ. Sci. Technol. 1978, 12, 817-819.

# 污水處理廠設備之起動運轉作業(續)

張訓中\*

## (肆) 污泥處理設備之起動運轉

### 污泥厭氧分解系統

污泥處理工作是污水處理廠中很重要的一環，其所需之設備及處理操作費用在全廠費用上佔很大的比例，這些設備也必需適當的進行起動操作，以確保污泥處理之成效。本部份主要將說明污泥厭氧消化系統的操作起動，所列舉之原則可以適用於不同型式及尺寸之設備；當然基本上設備製造商所提供之安裝操作說明需完全明瞭及遵守，在進行本部份之起動運轉時，需確定有關之前段作業準備均已完成，而本部份之處理設備經檢視試驗後即可進行起動。

在污泥厭氧分解的過程中，細菌在無氧狀態下分解有機物質，這些微生物將複雜的有機質或分子物質分解，而釋出其中之結合水，並取得分子氧及食物以維持其新陳代謝，這種分解作用可以減少污泥中的固體物量及臭味，並增加其脫水性。污泥厭氧分解可以分為兩個階段，第一階段為酸性醱酵期，在此期中有機固體物被液態化，系統中產生大量揮發性之有機酸，致使污泥 PH 值及鹼度降低，當鹼度緩衝能力減至某一程度，污泥急速酸化，而無法轉化為第二階段之甲烷醱酵期，由於甲烷產生菌數量較少且對環境較敏感，故需採取適當之防止酸化措施如攪拌、加溫、添加化學藥劑等，以控制及維持系統 PH 值在 6.5 至 7.5 之間，這是甲烷菌生長及活動之最佳 PH 範圍，甲烷生成菌之作用結果，將有機酸轉化為甲烷氣體及二氧化碳。

由於厭氧分解過程中之生物分解速率固定，故在系統分類及設計上係以生物負荷率而定，而非以反應速率為基礎，操作時之最佳溫度約在 32—35°C 之間，在較寒冷地區需以熱交換系統供應所需熱量以維持系統溫度，保持甲烷菌生長之適宜條件。

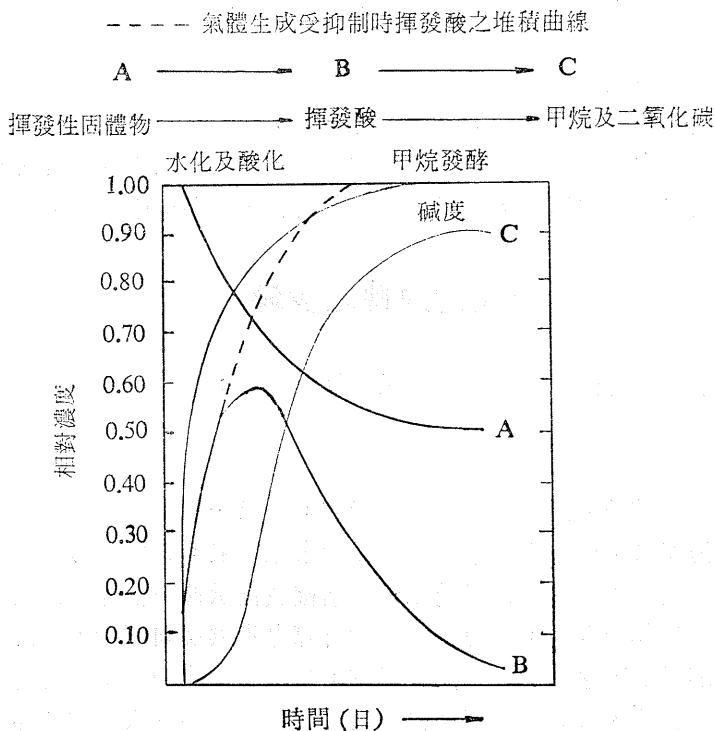
傳統式之厭氧消化池係採兩段式，包括污泥分解池及泥水分離池兩部份，在傳統式中第一池之污泥處理若異常而失敗時，第二池可以供給所需之殖種污泥，而迅速再起動操作第一段分解池其設計有機負荷每天每立方公尺池體積約在 2.0—5.2 公斤之間，停留時間約 15 天左右。

低率式或稱標準式之厭氧消化系統，其每天每立方公尺池體積之有機負荷約在 0.5—0.9 公斤左右，平均停留時間為 40 天，且通常只有一池，池底為污泥層，進行厭氧分解作用，上部則為懸浮固體物及上澄液層。

污泥厭氧分解系統之起動運轉重點為要能在最短期間內培養出適量之合適菌種，及維持適合於其生長之環境，早日發揮處理成效，包括控制污泥加入量，有機酸濃度、總鹼度、溫度、混合

\* 中興工程顧問社環境工程部工程師

攪拌等方法來加速及達成這項目的；在起動運轉時，若不用接種污泥，不添加化學品，而系統操作也沒有異常現象，則分解過程中之各項有關成份變化，應如下圖所示：



圖二、污泥厭氧分解有關成份變化示意圖

由圖中可以看出在起動運轉的初期幾天內，有機酸、甲烷之生成及總鹼度之成份並不穩定；若以殖種污泥加入，則這些成份之變化將可較早趨於穩定，故污泥厭氧系統之試運轉仍以加入污泥殖種之方式為佳，加入適量經良好消化之污泥作為殖種污泥，可以使處理較早穩定平衡而達處理成效。

## 設備檢視及預試驗

污泥消化設備的檢視及試驗工作較為複雜，因為它的主要設備包括了污泥之抽送、攪拌、污泥懸浮液或上澄液回抽設施，及氣體之抽出等應用之機械設施。所以操作負責人必需確實詳細檢視所有設備、管線、控制閥是否均已按設計圖，或設備供應商之指示及說明完成正確適當之安裝。

通常需要檢視及確定之項目包括：

1. 消化池中及管線內之雜物均已清除。
2. 所有控制閥均能緊密關閉，且能操作平順。
3. 安全保護裝置如火焰捕捉器，釋壓閥均已正確安裝，並能操作。

4. 污泥抽泥泵已經正確之校正調整，無異常之振動及噪音，已經適當之潤滑，泵內有礙葉片操作之雜物均已去除。
5. 如果裝設有熱交換器，則必需檢查所有之水、污泥，及加熱管線的連接是否正確及是否有漏水之情形。
6. 所有儀錶均已經調整校正。
7. 確定攪拌器之安裝及潤滑均合格，並能順利轉動。

與污泥消化操作有關之加藥設備，如石灰添加系統，亦必需檢查其各部份安裝是否完善，確定其系統功能正常，同時所需之石灰，亦已購備貯存於石灰貯存槽中備用。

## 起動運轉之步驟

本部份可分為(1)有殖種污泥及(2)無殖種污泥來分別說明：

### 1. 有殖種污泥

污泥消化系統若以有殖種污泥方式進行起動操作，則第一步需先依消化池在起動初期之有機負荷估計所需之殖種污泥量，但若可供殖種之污泥量來源有限，則應以可用之污泥量來估計消化池可負擔之有機負荷。例五中說明如何以消化池之有機負荷數據來估算所需之殖種污泥量；若所算出之污泥量太大而無法如數取得，則可依例五中計算之步驟反向而行，以計算在可用污泥量下消化池之有機負荷，即以有限之污泥進行殖種操作，分解消化池中適量之污泥，再逐漸增加污泥量，一直到污泥充滿消化池，且系統之操作已趨向於穩定平衡而進入正常操作狀態為止。

例五、殖種所需污泥量之估計（以初步沉澱池之污泥為添加污泥）

假設污水處理廠初步沉澱池中污水之特性為：

進流污水之懸浮固體物濃度 (SS) = 250 毫克 / 公升

出水之懸浮固體物濃度 (SS) 為 = 150 毫克 / 公升

污水進流量 = 37,850 立方公尺 / 日 ÷ 流出量

(1) 計算污泥之堆積量

$$\begin{aligned} \text{進流之懸浮固體物量} &= 250 \text{ 毫克 / 公升} \times 37,850 \text{ 立方公尺 / 日} \times 10^{-3} \frac{\text{公斤 / 立方公尺}}{\text{毫克 / 公升}} \\ &= 9,460 \text{ 公斤 / 日} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{流出水中之懸浮固體物量} &= 150 \text{ 毫克 / 公升} \times 37,850 \text{ 立方公尺 / 日} \times 10^{-3} \\ &\quad \frac{\text{公斤 / 立方公尺}}{\text{毫克 / 公升}} = 5,680 \text{ 公斤 / 日} \end{aligned}$$

$$\text{沉積污泥量} = 9,460 - 5,680 = 3,780 \text{ 公斤 (每日抽送至污泥消化池之污泥量) / 日}$$

(2) 假設殖種污泥及初步沉澱池之污泥經分析後結果如下：

初步沉澱池污泥——含有 5 % 之總固體量 (70 % 揮發性固體物)，殖種污泥——含有 10 % 之總固體量 (60 % 之揮發性固體物) 而其比重為 1.08

估計每日抽送至污泥消化池之污泥流量

$$\begin{aligned}
 \text{污泥流量 (立方公尺/日)} &= \frac{\text{抽送至消化池之污泥量, 公斤}}{\text{污泥濃度} \times 10^{-3} \frac{\text{公斤/立方公尺}}{\text{毫克/公升}}} \\
 &= \frac{3,780 \text{ 公斤}}{50,000 \text{ 毫克/公升} \times 10^{-3} \frac{\text{公斤/立方公尺}}{\text{毫克/公升}}} \\
 &= 76 \text{ 立方公尺/日 或 } 76,000 \text{ 公升/日}
 \end{aligned}$$

而污泥之抽送時間則可依廠內污泥泵浦之容量而決定；例如其容量為 380 公升/分鐘則需要之抽泥時間為：

$$\frac{76,000 \text{ 公升/日}}{380 \text{ 公升/分鐘}} = 200 \text{ 分鐘/日}$$

則每日必需操作 200 分鐘以抽送生污泥入消化池中，但污泥之添加以愈平穩愈少量為佳，以避免系統之突增負荷及環境改變。

(3) 計算每日進入污泥消化池中之揮發性固體物量

揮發性固體物量 (公斤/日)

$$\begin{aligned}
 &= \text{污泥之體積 (立方公尺/日)} \times \text{污泥之固體濃度 (以小數表示)} \times \text{污泥中揮發性固體物之濃度 (以小數表示)} \times 10^3 \text{ 公斤/立方公尺} \\
 &= 76 \text{ 立方公尺/日} \times (0.05) \times (0.70) \times 10^3 \text{ 公斤/立方公尺} \\
 &= 2,660 \text{ 公斤/日}
 \end{aligned}$$

(4) 經由設計工程師之協助，選取一適當之揮發性固體負荷率通常進行正常之污泥消化系統其揮發性固體負荷率約為 0.03—0.10 公斤 VS/日/公斤消化池中之 VS

假設經由協助而選取之值為 0.05

(5) 估計所需之殖種污泥量

$$\text{由於 } \frac{0.05 \text{ 公斤 VS/日}}{1 \text{ 消化池中之 VS}} = \frac{2,660 \text{ 公斤/日}}{\text{殖種污泥量 (VS)}}$$

故殖種污泥量 (VS) = 53,200 公斤

$$\begin{aligned}
 \text{實際所需污泥量} &= \frac{53,200 \text{ 公斤}}{(\% \text{ 殖種污泥之 TS}) \times (\% \text{ 殖種污泥之 VS}) \times \text{污泥密度}} \\
 &= \frac{53,200 \text{ 公斤}}{(0.10) \times (0.60) \times (1.08)} \\
 &= 821,000 \text{ 公升 或 } 821 \text{ 立方公尺之殖種污泥}
 \end{aligned}$$

依計算所需殖種污泥量數取得足量之污泥加入於污泥消化池中，再將未經消化之生污泥抽入池中，至充滿消化池為止；以適當之熱交換設施將池中污泥加熱，提高其溫度至 32—35°C，並使溫度變化範圍保持在 ± 0.5°C 左右，因為較突然或劇烈之溫度變化環境不利於甲烷生成菌之生長，且溫度應維持不得低於 32°C。當溫度達到平穩之狀態後，以小於預先設定的速率平穩而連續的加入生污泥，並保持消化池之攪拌及循環操作。如果原設計是使用消化池本身所產生之甲烷及二氧化碳氣體作為攪拌之用，則攪拌操作只有等到甲烷氣體生成後方能開始，在此之前必需設法使用熱交換系統中之設備進行攪拌；污泥攪拌能使進入池中之生污泥與殖種污泥完全接觸混合

，並使供應之熱量平均的分散傳播至消化池中，由初步沉澱池加入之生污泥濃度亦必需控制在 4 % 左右；初期加入之污泥量必需量少而避免間斷，以免造成殖種污泥系統之超負荷現象。

在進行殖種污泥操作的第二天，必需開始決定消化系統的操作控制參數值；假設操作人員或化驗人員具有較充份之經驗，則從事污泥中揮發酸之分析工作需時約 2—3 小時，鹼度分析 15 分鐘，PH 量測 5 分鐘，氣體分析 30 分鐘，及揮發性固體物分析約 1 個小時。若殖種進行順利，則揮發酸、鹼度、PH 及氣體應每日作三次分析，而揮發性固體分析則每日做一次即可，在每一個 8 小時時段中，這些控制參數數值，不能有太大的變化，每一輪值班次分析化驗之結果均應與前班次之數值對照及研判，以採取適當之操作或改善步驟。

在起動運轉之初期，污泥之鹼度及 PH 值將會下降，但在第四或第五日甲烷生成菌開始生長繁衍時則其數值會趨於穩定；由於甲烷生成菌之生長速率小於酸性生成菌之生長速率，所以如果污泥添加太快或量太大，則酸性生成菌會大量生長，導致系統中有機酸堆積，並使甲烷生成菌之生長受到抑制，而使消化作用中斷或停止。如果揮發酸之濃度開始增加，同時其分析量值超過污泥鹼度的兩倍，則甲烷氣體之產生率很快下降，PH 值亦會降低，此時需再另外加入殖種污泥於消化池中，同時降低生污泥之加入速率。以和緩有機酸之生成速率如果此時沒有殖種污泥可供再加入，則必需加入適量之化學藥品如石灰等以提高污泥之鹼度，增加污泥之緩衝能力，加入藥品之同時需小心控制系統之 PH 值，使其介於 7.0—7.5 之間，其溫度也需維持在 32—35°C 左右，而鹼度值約為揮發酸量之兩倍。化學藥品或緩衝劑之添加量可由試驗分析決定；先選取適量之污泥樣品，再在化驗室中加入鹼性緩衝劑使其 PH 值提昇至 7.0 時為止，再以此試驗結果計算決定應加入消化池中之化學品數量。

由於此項化學劑之添加可能引致污泥中正離子量濃度之增加產生致毒性而抑制污泥消化菌之生長，故操作人員在進行改正操作時必需小心進行，同時仔細分析正離子物質累積之情形，表 2 中列出有關正離子會產生抑制或毒性作用時之濃度值以供參考。

表 2. 正離子濃度值（產生抑制性）

| 正離子 | 濃度值              | 抑制濃度 (毫克/公升) |        |
|-----|------------------|--------------|--------|
|     |                  | 中等抑制性        | 嚴重抑制性  |
| 鈣   | Ca <sup>+2</sup> | 3,500—5,500  | 8,000  |
| 鈉   | Na <sup>+</sup>  | 2,500—4,500  | 12,000 |
| 鉀   | K <sup>+</sup>   | 2,500—4,500  | 8,000  |
| 鎂   | Mg <sup>+2</sup> | 1,000—1,500  | 3,000  |

以殖種方式進行運轉操作之污泥消化系統，亦可以氣體分析及揮發性固體物之檢驗結果來作為控制操作之參考。由於消化分解產生氣體中甲烷及二氧化碳之比例及分解揮發性固體物之體積在起動運轉一段時間後，不應有急劇之改變，否則即為系統不穩定或處理失敗之前兆，應即採補救改正措施；另外揮發酸量亦會在甲烷氣體產生量降低後逐漸增加，故亦為可供參考之重要參數之一。

## 2. 無殖種污泥方式

如果以無殖種污泥方式開始操作消化系統，則必需先將污泥消化池注滿生污泥，加熱至32—35°C，同時以混有緩衝鹼液之污泥加入池中，在進行運轉操作的第二天開始化驗分析揮發酸、鹼度、PH 及揮發性固體物成份，並作氣體分析（有氣體產生後），由分析所得之揮發酸量及鹼度值可用來計算所需加入之鹼性緩衝劑量，而使揮發酸對鹼度量之比為 0.5(VA/A1k)。在正常操作下，VA/A1k 之比約為0.3—0.4，但在起動運轉初期，此值需維持在0.5左右以避免加入過量之正離子而產生抑制毒性作用。由於消化池中之揮發酸量及鹼性成份變化甚快，故每一班次之操作均需依實驗分析結果調整必需加入之鹼性物劑量，以維持系統之正常功能，下列例題即為計算所需鹼性藥品加入量之例子：

### 例六、消化池調整控制用鹼性藥品加藥量之計算

假設下列情況於消化系統開始操作後三天發生：

揮發酸(VA)=1,000毫克/公升

鹼 度(A1k)=500毫克/公升

甲烷生成菌生長所需之鹼度

$$= \frac{\text{污泥中揮發酸之濃度}}{0.5}$$

$$= \frac{1,000 \text{ 毫克/公升}}{0.5} = 2,000 \text{ 毫克/公升}$$

需要加入鹼量=2,000—500=1,500毫克/公升

由於消化池中之總污泥量為已知，故所需加入藥品量為：

設消化池中污泥量為850立方公尺，則所需藥品量（公斤）

=消化池中之污泥體積（立方公尺）×所需加入鹼度濃度（毫克/公升）

$$\times 10^{-3} \frac{\text{公斤/立方公尺}}{\text{毫克/公升}}$$

$$= 850 \text{ 立方公尺} \times 1,500 \text{ 毫克/公升} \times 10^{-3} \frac{\text{公斤/立方公尺}}{\text{毫克/公升}}$$

$$= 1,275 \text{ 公斤}$$

故需加入1,275公斤之碳酸鹽鹼度。

由例題中所算出之加藥量非常的大，且費用亦十分高，但在例中第三天之揮發酸為 1,000毫克/公升，而鹼度只有 500 毫克/公升，如果在第二天即開始小心進行化驗分析，則不必於第三天加入如此大量之藥品，此例僅為反應單一之特殊情況，而非指示正式運轉操作所必需遵守之日程。

當污泥中有機酸之濃度開始降低時（約開始操作後7天），甲烷氣體之產生量亦開始大量增加，此時化學品之加入量亦可相對大量減少。此時甲烷生成菌已大量再生繁殖，故減少揮發酸之堆積，由於產生甲烷，亦產生其所需之鹼度。如果在起動後之10—14天時，消化作用仍未達穩定則降低生污泥之加入速率及停止加入化學藥品，此時必需分析加入污泥及消化池中污泥所含正離子之濃度或其他毒性因素如重金屬、酚、甲醛等含量，同時分析有關之操作控制參數，以瞭解消

化作用是否已漸回復或正常，如果沒有毒性抑制現象發生，則可將第二階段消化池中之污泥抽送至第一階段之消化池中，以增加其甲烷生成菌數量及提供鹼度。從另一方面來說，若加入生污泥後揮發酸之量並未增加或相反的急劇的減少，同時鹼度亦增加，PH 不再下降，揮發酸更進一步繼續的減少，此時需作氣體分析，以確定甲烷氣體產生量確實增加，通常以無殖種污泥方式進行起動運轉約需30—40天左右可達正常操作，此時甲烷氣體在總產生氣體中之含量約60—70%左右。如果有泡沫發生情形，則減少生污泥之加入速率，或加入完全消化之消化污泥以抑制之，若系統使用機械攪拌設備，則可反向運轉使攪拌葉將泡沫再攪拌入污泥中。

## 污泥厭氧分解系統起動運轉操作檢查程序

### 1. 參考及研討有關厭氧消化系統之資料，以熟悉原理及操作程序，包括：

- (1)設備製造商所提供之文件及說明資料。
- (2)污水處理設備之操作及維護手冊。
- (3)美國環境保護局出版之“Operation of Wastewater Treatment plants”。
- (4)美國水污染防治協會出版之“Operation of Wastewater Treatment plants”及“Anaerobic Sludge Digestion”。
- (5)其他如水質標準檢驗法等之資料。

### 2. 起動運轉之準備作業：

- (1)與顧問工程公司之設計人員及起動運轉有關專家進行研究討論，並取得系統之設計參數值，包括污泥消化池之體積，揮發性固體負荷及抽送入消化池之污泥濃度等。
- (2)估計實際起動操作之狀況，如進入污泥消化池之揮發性固體物量，總固體物量等。

### 3. 起動運轉步驟

以有殖種方式起動運轉，所必須依循之程序如下：

- (1)估計殖種污泥之總固體量，揮發性固體量之百分比及其濃度。
- (2)依估計之負荷計算所需殖種污泥量。
- (3)將殖種污泥送入消化池中，並加入生污泥，直到池滿為止。
- (4)將消化池中之污泥加熱至 32—35°C，同時使池中溫度維持在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 之間。
- (5)以合適之方法如機械攪拌或氣體攪拌使池中污泥充份接觸及混合。
- (6)依所概估之污泥固體負荷率，將未經消化之生污泥連續而穩定的送入污泥消化池中。
- (7)取樣及化驗有關控制操作需用之參數。
  - (a)每天分析污泥揮發酸含量三次。
  - (b)分析污泥鹼度每天三次。
  - (c)量測污泥 PH 值。
  - (d)進行氣體層析，以檢查甲烷及二氧化碳之含量，每天三次。
  - (e)分析污泥揮發性固體含量，每天一次。

- (f)計算揮發酸對鹼度之比值 (VA/Alk)。
- (8)進行必要之調整操作
  - (a)如果揮發性固體物含量太少，則增加污泥之送入速率。
  - (b)如果揮發性固體物含量太多，則減少污泥之送入速率。
- (9)維持正常操作，並作一切必要之記錄。

### 以無殖種污泥方式起動運轉則必需遵循下列之程序：

- (1)將未經消化之生污泥抽注入污泥消化池中。
- (2)以加熱設施將污泥加熱至32—35°C，並使污泥溫度維持在±0.5°C左右。
- (3)完全混合及攪拌污泥。
- (4)以設計容量之百分之十之速率將污泥穩定的抽入消化池內。
- (5)取樣及化驗有關控制操作需用之參數。
  - (a)每天分析池中污泥揮發酸之含量三次。
  - (b)化驗污泥之鹼度值每天三次。
  - (c)量測污泥之PH值。
  - (d)進行產生氣體之氣體層析，以檢查甲烷及二氧化碳之含量，每天三次。
  - (e)分析化驗污泥揮發性固體含量，每天一次。
  - (f)計算污泥中揮發酸對鹼度之比值 (VA/Alk)。
- (6)進行必需之操作修正及調整
  - (a)計算所需之緩衝鹼性劑加入量。
  - (b)加入經計算所得之藥品量以維持甲烷生成菌生長所需之PH範圍及VA/Alk之比值。
  - (c)當污泥消化過程由化驗分析顯示漸趨穩定時，減少藥品之加入量。
  - (d)以百分之十之速率逐漸增加污泥消化系統之負荷。
- (7)正常操作
  - (a)取樣分析以量測有關之操作控制參數，如PH值，揮發性固體量含物，揮發酸值、鹼度含量及作氣體層析以判斷甲烷之產生狀況。
  - (b)調整生污泥之送入速率，直到消化作用達穩定平衡。

## (伍) 污泥脫水設備之起動運轉

### 污泥濃縮 (Sludge concentration)

污泥濃縮是將初級污泥及二級污泥中之部份水份以物理或化學方法移除，其主要目的為增加污泥之濃度減少其體積，如此可以減少其後續處理設施如污泥消化池之體積等，減少熱交換所需能量，相對則可增加消化設備之處理容量，及提高消化系統之操作效率；基本上污泥濃縮處理可

以重力沉降及浮上濃縮兩種方法來達成。

重力濃縮池濃縮污泥的方法與一般沉澱池之操作類似，但是由二級沉澱池排除之生物污泥，則不容易以重力濃縮法將之有效的濃縮；在重力濃縮池上加裝轉動攪拌葉片，可以增加污泥脫水的效果，主要原因乃因粒子沉降壓縮含有大量結合水，若以攪拌設備緩慢轉動操作則可攪破泥氈層，使結合水溢出，則污泥可壓縮性增大濃度可以增加，這是濃縮二級污泥常用之方式。

浮上濃縮係將空氣注入污泥濃縮池，使與污泥團結合而上浮，上浮後再以污泥撇除設備將污泥刮入污泥斗及連接管中，送至另外處理地點。

### 1.設備檢視及初步試驗

污泥濃縮設備在起動操作前必需檢視濃縮池體及管線以確定池中無留存雜物，管線中亦無淤塞其他任何物件。如果裝置有攪動設備則需確定其驅動馬達之轉動方向正確，所有接軸孔隙均已調整校正，初步試驗無噪音，振動及異常過熱現象。池邊溢流堰之高程亦必需檢查其是否恰當，並將其調整至水平。在浮上濃縮法中，若裝置有鼓風機，則必需詳細檢視其安裝是否牢固，空氣管線有否洩漏情形，馬達轉動有否噪音及異常振動現象，在裝設有空氣擴散管時，則必需檢查管線是否有堵塞或裂縫，設備有轉動需潤滑部份均需經適當之潤滑，所有設備之檢視及初步基本試驗，均需依照設備製造商之指示或說明書之說明及步驟進行。

### 2.起動試運轉

當污泥在濃縮池中開始形成污泥氈時，必需取樣分析污泥之懸浮性固體物（S.S.）之含量及污泥容積指數（Sludge Volum Index, SVI），因為污泥懸浮固體物含量之測定可以用來判斷污泥濃縮之效果，而污泥容積指數，則可以之確認污泥是否有鬆化（Sludge Bulking）之情形發生及採取必需之改正措施。當進入污泥濃縮池之污泥濃度轉為稀薄時，污泥泵應停止再抽送；通常在二沉池中會發生之問題，在污泥濃縮池中亦有可能會發生；部份污水處理廠使用化學混凝劑以增加污泥沉降及與水分離之效果，此種經混凝濃縮後之污泥，其乾燥污泥重約佔總重之4—8%左右。

## 污泥之淘洗（Sludge Elutriation）

污泥淘洗具有調理（Conditioning）及濃縮污泥之功用，其方式係加水於經消化處理過之污泥中以清洗去除污泥中之鹼度，經清洗後污泥，若以混凝脫水方式再處理，則可減少化學混凝劑之添加量，提高污泥調理功效及脫水之效果，本項處理可去除80%之鹼度，並減少污泥調理時氯化鐵之使用量約65—80%左右。

污泥以水進行淘洗時，可以機械設備或空氣擴散設備輔助攪拌，需時約1—2分鐘，經攪拌後之泥水混合液導入沉澱池，再次進行泥水分離，由於此項處理可以增加污泥之濃度，故也可視為污泥濃縮方法之一。

### 1.設備檢視及預試驗

污泥淘洗設備池中及管內之雜物在檢視試驗時均需先行去除，設備之驅動馬達必需檢視其是

否經安全安裝，接軸間隙調整是否恰當，轉動時是否有噪音、振動及過熱現象，轉動部份是否均已適當潤滑，如果使用空氣鼓風設備，也必需如上述檢視其安裝及確定空氣及擴散管線沒有洩漏之情形，同時也必需依設備製造商之說明及建議檢視及試驗這些設備。

## 2. 起動試運轉

污泥淘洗設備之起動運轉較為單純容易，唯污泥之鹼度含量在進行淘洗前後均需檢驗分析，此項分析可以指示出污泥中鹼度之移除效果，同時亦可用以估計化學調理時可節省之化學藥品之添加量。

## 化學品添加調理 (Chemical Conditioning)

污泥以真空過濾或離心方式進行脫水之前常採用化學品加入調理方式以增加污泥之脫水效果，這些化學品可以單獨或混合方式加入污泥或混合污泥之中，使污泥放出結合水及較不溶性之膠羽，據經驗曾使用之化學藥品包括硫酸鋁、氯化銅、硫鐵化物、高分子聚合物、氯化鎂及石灰等。氯化鐵及石灰通常在污泥未經淘洗時使用，可以減低污泥中之鹼度含量，石灰之加入可因沉降部份碳酸鹼度而減少氯化鐵之使用量，各種化學品之添加量均必需在實驗室中試驗決定，藥品於加入於污泥中後，均需以攪拌機械進行1—2分鐘之攪拌，使其充份混合接觸，增加脫水作用。

### 1. 檢視及預試驗

攪拌機械及管線設施必需檢查其中是否有雜物尚未清除，馬達驅動部份需檢視其安裝及校正是否恰當，是否有噪音、振動及過熱現象，轉動部份需經合適潤滑，攪拌設備能否順利轉動，是否能正常操作，化學品添加設備亦需予以校正調整，以確定加藥量能適量控制。

### 2. 起動運轉

加藥攪拌設備及藥品貯存量需不時檢視，藥品加入量必需詳細記錄，同時注意加藥系統之操作功能是否正常，加藥機是否依設定加藥量送出需用之化學品量。

## 污泥脫水 (Sludge Dewatering)

污泥脫水常用的方法有：污泥乾燥砂床法，真空過濾法及離心式脫水方法三種，茲分別說明如下：

### 污泥乾燥砂床

本法係將經消化後之污泥平均引入於過濾砂床之砂層上至一定之厚度，藉著污泥泥面之蒸發作用及泥下砂層之過濾作用，達成脫水之目的，污泥乾燥砂床包括有底部之排水收集系統，上鋪

壓碎之礫石及20至30公分厚之砂層，有些地方爲了減少環境對污泥乾燥之影響，以透明覆蓋蓋於其上方，並增加乾燥設備，如此則可減少需要之污泥乾燥床面積及所需之乾燥時間。

### 1. 檢視及預試驗

污泥及乾燥砂床設備很少有轉動之機械設施，故在進行檢查時只需注意排水系統中是否有雜物，爲避免堵塞及使污水溢流，這些雜物均需去除，砂床表面需檢視其是否平均鋪設，進泥板擋板及墊板是否已安置於適當位置，控制閥之操作是否平順，手提閘門是否緊密及容易操作。

### 2. 設備開始操作

在引入污泥之前必需以耙齒耙平突起砂面或鬆化有硬結部份，砂床面必需整至水平，引進污泥之厚度約30公分左右；由污泥消化池引進污泥之速率不可過快，以免在消化池中形成渦流及破壞砂床。

當污泥經乾燥時段後，表面因脫水漸乾而呈現裂紋，直到污泥裂紋加大至底部砂床面露出，即表示污泥已適度乾燥脫水，此時可以用人工，手鏟或其他合適之設備將污泥由乾燥砂床中移除；當移去污泥時，有時會損失部份濾砂而必需視狀況加以補充，卡車、手推車或其他機械設備其行走於砂床上會破壞砂床者，不應允許其進入砂床內，除非原設計已有考慮及這些因素而做妥當佈置者，方能直接駛入，以免破壞濾床。

## 真空過濾法

以真空過濾法從事污泥脫水時，必需先將污泥予以化學調理，經化學加藥攪拌具有較佳之脫水性後，再以本法進行脫水工作。

真空過濾法有許多種型式，較常用者爲鼓型真空過濾器，設備本身係圓鼓型，以濾布罩於外側，圓鼓之20—40%左右面積浸沒於水中，當圓鼓轉動時，內部之真空吸力將污泥吸住於罩外，污水則經濾布被吸進鼓內之排水分隔內而流至排水系統，當圓鼓繼續轉動時，污泥之真空吸水仍繼續進行，最後經完成脫水之污泥則可因釋去其真空及加入輕微之空氣壓力，迫使污泥餅脫離濾布，或以刮泥板協助將污泥自濾布會剝離，脫水剝出後之污泥，則傾倒於漏斗或輸送帶中，再裝置於卡車內，作最後之運棄及處置，此種真空過濾設備若操作維護得當，且其負荷在20—25公斤／平方公尺／小時時，污泥經脫水後，其濃度約在20—40%之間。

### 1. 檢視及預試驗

當設備安裝時，施工監督者需在場，以確使承包商，依製造商之指示進行安裝，安裝完成後必需檢視其安裝是否牢固，檢查空氣及污水管線是否有漏氣及漏水之現象，控制閥能否緊密關閉及平順操作，有關轉軸接點是否已經適當潤滑，並小心檢查其間隙及調整是否恰當，馬達之轉動方向均爲正常，且無噪音，振動及異常高溫之情形發生，刮泥板之間隙亦需經校正，污泥濾過水之回流管線有否堵塞，濾布之安裝必需平穩且沒有凹凸情形，以避免負荷不均及部份過度磨損。

## 2. 起動運轉

當污泥開始進入污泥槽時，真空過濾器即需準備操作，當污泥達到恰當之深度時，設備開始轉動，此時需再檢查其運轉是否正常，在正常連續運轉後，每天必需檢查其污泥產生量，有機固體物含量，其他必需經常檢查之項目包括，總固體物含量，鹼度及PH值等，這些項目需在污泥脫水前進行分析，以作為系統操作及控制之參考。

## 離心式脫水

污泥之離心脫水，係以沉澱作用及離心力達成，為了增加污泥之脫水性，有時必需加入化學品助劑；離心式脫水機本身係一組高速旋轉之圓筒，污泥首先被送入脫水機之內部，當圓筒旋轉離心作用開始時，污泥之液體部份及較重之固體部份遂被分離開來，藉著圓筒內一組螺旋式輸送設備將這些分離之固體部份輸送出來，而液體部份則由另一端中心部排出，如果操作得當，使用本法脫水後之污泥，其濃度應在30—35%左右。

### 1. 檢視及預試驗

離心式脫水機係高速旋轉之機械裝置，在安裝時需依製造商之指示及說明進行，在檢視時必需注意所有栓鎖部份均牢固，所有間隙均經正確調整，馬達接軸需適當校正，確定其旋轉方向正確，各部份均已經適當潤滑，馬達在轉動時無異常之噪音，振動及溫度過高之現象。

### 2. 起動操作

當污泥進入離心式脫水機後，在啓動前必需再檢查一次設備，而在污泥脫水前後均需取樣作含水試驗，以評核污泥脫水之效率。

## 污泥之運棄及最終處置

污泥之最終處置方法有：焚燒，污泥塘棄置，掩埋，海洋投棄及作為土壤改良材料等；經過焚燒後之污泥化成灰燼，可再以掩埋或作為改良土壤之用處置，在污泥塘中，污泥以自然水份蒸發及滲漏而乾燥，經乾燥後之污泥仍需取出，再以掩埋或作為土壤改良材處置之，掩埋法在其他各法均不適用時為常用的處置方式，有時可以混合垃圾進行掩埋，唯需依標準之衛生掩埋法為之。

## 後 記

污水處理廠設備之起動運轉作業是全廠開始操作之前期作業，其目的如前言所述，是使污水處理廠的設備於安裝完成後，能順利的運轉，並使整廠操作早日達到穩定正常狀態，發揮其應有之處理功能。國內工業區及一般污水處理廠之設置已有多處，唯在設計施工完成後，並未擬有完整之訓練及起動運轉作業計畫，致使設備檢查、起動操作等工作未能循序進行，如此不唯浪費人

力、物力，影響設備之可用性，且威脅操作人員之安全，甚而就誤工作日程，無法達到處理成效，致污染承受水體，造成公害糾紛：有鑑於此，有關單位目前已逐漸重視初期試運轉計畫工作，俾由充份之計畫及詳細作業步驟之擬定，有助益於處理廠接收後，操作及維護制度之建立，而兼有系統設備補正及人員訓練之成效，本文之提出，雖有厥漏，唯若供有關人員參考，盼仍有助於試運轉工作之推行，而達前述之目的。

# 加壓浮上分離法處理廢水運轉報告

薛良坪\* 林澤洲\*\*

## 一、前言

加壓浮上分離法(D.A.F.)有三種形式，無迴流全部加壓法、部份迴流加壓法及誘導空氣浮上法三種，其中以部份迴流加壓法較實用且應用最廣。除砂石類比重較大之廢水外，D.A.F.幾乎可完全取代單純沉澱、凝集沉澱、二級沉澱、重力濃縮等。

D.A.F.之優點為佔地省（約為沉澱法之 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$ ）、操作簡單、保養容易、啓動性佳、污泥體積少（約為沉澱法 $\frac{1}{3}$ ）、造價便宜。而且只要設計正確，處理水質比沉澱法良好。至於動力方面，若考慮 D.A.F. 兼具污泥濃縮作用，則 D.A.F. 之動力應不大於沉澱法。

對於有機廢水，除非有機污染物以 coarse particle 或 floc 形式存在，則可由 D.A.F. 處理，否則溶解性(Dissolved)有機污染物必須使用生物處理。

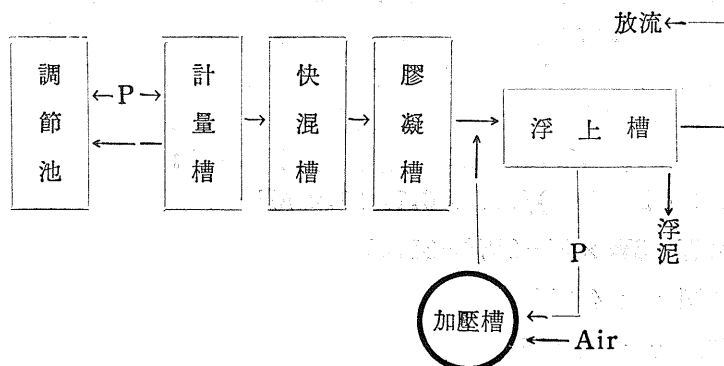
## 二、設計因素

前處理考慮因素：調整池大小、是否需要加藥、快混時間、膠凝時間、PH 調節或化學反應時間。

D.A.F. 考慮因素：污染物性質、上昇速率、操作壓力、迴流比例、所需空氣量、溫度、水力負荷、固體負荷、停留時間、污泥量等。

一般造紙廢水、染整廢水、電鍍重金屬廢水、化學纖維廢水、羽毛廠廢水、皮革及染顏料廢水等之設計因素均有所不同，必須經過簡單之浮上實驗做設計根據，方可確保處理效果，例如重金屬處理比染色廢水處理之停留時間、迴流量要加大許多。

## 三、一般處理程序



\*三崎公害處理工程股份有限公司 技術經理  
\*\*三崎公害處理工程股份有限公司 業務經理

#### 四、設計實例

其抄紙廠：

$$Q=125\text{M}^3/\text{Hr}(3000\text{CMD 或 } 0.795\text{MGD})$$

$$\text{SS}=600\text{mg/l}$$

$$\text{temp}:20^\circ\text{C}$$

$$\text{設計公式：}\frac{A^*}{S}=\frac{R\cdot C_s}{Q\cdot X_0}[f(p/14.7+1)-1](\text{with recycle})$$

$$\frac{A^*}{S}=\text{air/solids}$$

$X_0$  : average influent S.S. mg/l

$Q$  : influent flow, mgd.

$R$  : recycle flow, mgd.

$C_s$  : saturation (atm condition), mg/l.

$f$  : fraction of saturation air-dissolved

$P$  : gauge pressure. psig

$A^*/S$ : use 0.03, total solid= $0.6\times 3000=1800\text{kg/day}$

空氣量 $A^*=0.03\times 1800=54\text{kg/day}\div 31.2\text{ l/min}$

$f$  : use 0.8  $P$  : use 50psi

$$\begin{aligned}\text{迴流量 } R &= \frac{Q(A/S)\cdot X_0}{C_s[f(p/14.7+1)-1]} = \frac{0.795\times 0.03\times 600}{18.7[0.8(50/14.7+1)-1]} \\ &= 0.3035\text{ MGD}\end{aligned}$$

$$\text{迴流比}(\%)=0.3035/0.795=38\%$$

此為不加任何chemical 之迴流比，亦即單純部份加壓迴流之處理方式。但若欲得到較佳處理水質，則必須依 Jar Test 選擇最佳加藥量，再依浮除實驗做修正。依本實例，若 PAC dosing 150mg/l, polymer dosing 1 mg/l，則迴流比需增加 30% 之修正係數，亦即實際迴流比為  $38\%\times (1+0.3)\div 50\%$ ，此時空氣量( $A^*$ )亦應隨之作增加30%之修正。

根據實驗上升速率為 0.1 M/MIN，則表面積計算如下：

$$A=3000\times (1+50\%)/1440\times 0.1=31.25\text{M}^2$$

$$A=L\times W=3W\times W=3W^2=31.25$$

$$W=3.23\text{M use } 4.0\text{M}$$

$$L=9.68\text{M use } 11.0\text{M}$$

根據實驗  $D.T.=30\text{MIN}=0.5\text{Hr}$

$$\text{則 Depth}=125\times (1+50\%)\times 0.5/11\times 4=2.13\text{M}(\text{eff.})$$

## 五、處理結果

|             | 原 廢 水   | 處 理 水   |
|-------------|---------|---------|
| PH          | 6.2~6.9 | 5.9~6.6 |
| COD(mg/l)   | 650~750 | 12~40   |
| BOD(mg/l)   | 160~185 | 5~18    |
| S.S. (mg/l) | 600~800 | 10~42   |

本處理結果顯示，以廢紙作原料之抄紙白水，其COD、BOD主要均為 S.S. 造成，亦即溶解性污染物成份極少，以致處理去除效率極佳，是故工廠均將處理水回收使用。目前已有三家抄紙工廠均將處理水回收使用。

## 六、結 語

本公司已將 D.A.F. 應用於各類廢水，並正研究代替二級沉澱池，若有機會將繼續提供本公司之處理實例。

D.A.F. 只要設計正確，效果絕對優於沉澱方式。

## 廢水處理廠操作管理(五)

### 閘門・欄污設備

歐陽 嶠暉\*

#### 一、閘 門

閘門設備在廢水處理廠之沉砂池、抽水井、初步沉澱池、曝氣槽及最後沉澱池等之流入、流出及放流口等處皆設置之，藉以遮斷水流、控制流量、改變水流流向之用，尤其是進水抽水設施及處理廠之重要設備之一。

閘門設備依其使用頻率、操作之難易、開閉之緊急性等而異，又依其操作方式可分為人工操作、電動操作、油（水）壓操作等三種。

閘門設備由於其維護狀況影響其性能及使用壽命至大，故應經常維持於最適操作狀態。

#### 1.1. 一般性操作管理

閘門設備依其使用條件、使用期間、重要性等而有鑄鐵製、鋼製、木製等。

##### 1.1.1. 一般檢查及維修

- (1) 閘門係藉楔形之力及水壓使其與門框保持水密性，故不宜逆壓使用。
- (2) 平常不關閉之閘門設備，於關閉後常有無法閉緊而漏水之現象，故平常應定期加以閉緊，以瞭解其可能漏水之情形。
- (3) 長時間未加開閉者，閘門會卡住門框而無法起動，因之應定期予以開閉，以防卡住。
- (4) 閘門設備在水體內或水中部份，由於不易檢視，而不容易察覺其是否有故障，故應定期放空檢查其是否有銹蝕、破損及操作狀態，以便使用時能順利操作。
- (5) 木製疊板閘門，應避免雨淋、日晒，以防發生彎曲，必要時應塗以防腐劑。又淹在水中部份應防其流失。
- (6) 設置位置若位於道路附近，因容易被損害，應有防護設施。
- (7) 為防止外人擅加開動，應有防止措置或操作盤加鎖固定之。
- (8) 閘門設備因浸於廢水中或受腐蝕性氣體之作用，容易銹蝕，應加定期塗刷。塗刷時原塗刷層、銹、油脂類應充分去除至原材料表面為止。每次塗刷時應施做兩次。塗料應選用良好者

\* 國立中央大學土木工程學研究所教授兼所長  
本小組委員

並依水中部份及水面上部份分別選用不同塗料，水面上部份需對硫化氫具耐蝕性者。

### 1.1.2. 操作

操作依下進行之：

- (1) 閘門有時無法完全關閉或漏水多時或無法關緊時，可上下升降 2～3 次各 10～20 公分，使附着於門框或閘門上的雜物掉落，而達完全關閉。
- (2) 手動式旋轉操作盤應有關閉之方向標誌，以免錯誤操作。倘不正確操作，會導致線軸(spindle)彎曲，不易操作，甚至使驅動部破損。

### 1.1.3. 異常時之對策

- (1) 閘門設備之漏水，主要為閘門的破損、基礎固定栓不均勻固定致門框變形、附着雜物、內側壁面粉光不良等原因，應查明其原因修護改善之。
- (2) 門框下部制止器(stopper)用螺栓調節不良，會導致無法完全緊閉，若因螺栓裝設得過低致閘門陷落而無法開啓，就必須調節該制止器。

## 1.2. 人工（手動）操作閘門

手動式閘門可區分為開栓器式、直捲式、齒輪式及疊板式。多使用於開閉頻率不大，緊急性少者使用之。

### 1.2.1. 檢查及維修

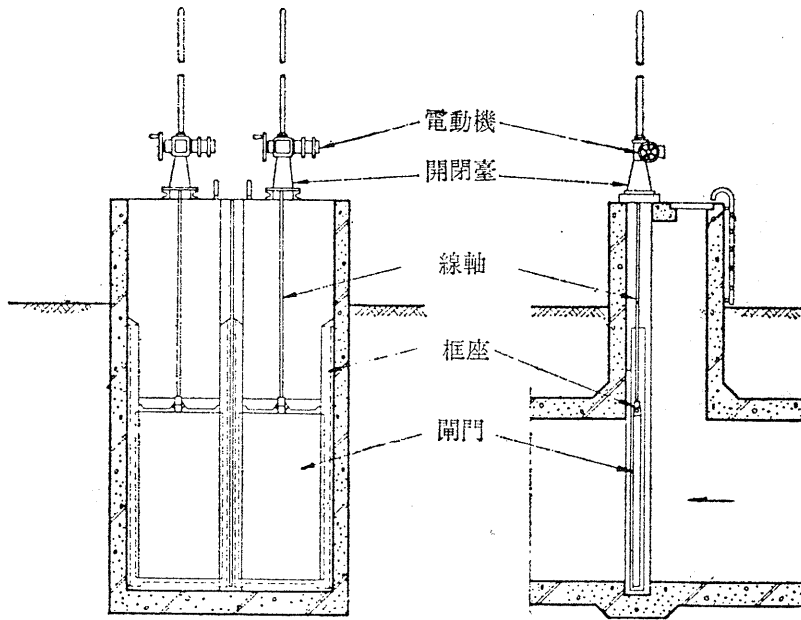
- (1) 齒輪、線軸等露出部份，由於附着雜物、磨損或銹蝕，會影響操作，應定期檢查清理、塗佈油脂。若齒輪位於密閉之齒輪箱內者，雖可數年不必更換油脂但於定期分解檢查修護時，應予以更換油脂。又於定期補給油脂杯油脂時，應試將閘門上下開動之。
- (2) 閘門線軸過長者，由於雜物容易附着於其上致增加重量造成操作困難，應定期檢查、清掃之。
- (3) 對於操作頻率很少者，應定時在不影響其功能之範圍內起動之，以確認其可順利操作。若發現開閉裝置之外周有所破損、銹蝕時，應儘速補修或塗刷之。
- (4) 疊板式裝脫裝置，對於其承凹部若因附着銹蝕，致不易裝拆時，除應定期予以給油外，使用前最少應先作動，確認無問題後始疊置或拆除之。

### 1.2.2. 操作

- (1) 開閉操作時應注意水位差，確認現在之開口度及開閉之操作方向，並於全開或全閉之處停止操作。若開動至中間開口度而感到有阻力時，應即停止操作，查明並排除其原因後再操作之。
- (2) 操作中突然感到有阻力，其可能原因包括斷油、銹蝕、閘門關閉過緊、附着雜物、操作台傾斜等，應先查明其原因並維修後再操作之。又開口度刻度之故障，致閘門開口度及刻度不符時，也應加注意。

### 1.3. 電動式閘門

電動式閘門為利用電動機之迴轉以減速機予以減速後與線軸相連結運轉，以開閉閘門者，同時併設有手動旋轉盤以應停電時操作之用。其開閉速度以  $0.3\sim 0.5\text{m}/\text{分}$  為宜，並多使用遙控操作，如圖一。



圖一 電動式閘門例

#### 1.3.1. 檢查及維修

- (1) 定期檢查潤滑油之油面及油量，水分浸入之乳化現象等，做必要的補給或更換油脂。
- (2) 操作頻率較少者，在不影響水流之下，每月應起動一次，包括電動及手動以確認其正常狀態。
- (3) 線軸上附着雜物或毛髮等，常為導致故障之原因，應適時清理並塗佈油脂。
- (4) 設置於室外或地下者，由於雨淋、濕氣侵入油內，常易銹蝕，應特加時常維修。
- (5) 於開閉時或至少每月一次施做限制開關 (limit switch) 之接點起動試驗。
- (6) 調節限制開關之位置時，先以電動開閉至閘門開閉位置之限界左右，再改以手動開閉之。經確認到達限界位置後，設定限制開關之起動點。
- (7) 附有輪掣 (brake) 者，有時由於輪掣裝置銹蝕致無法起動操作，開閉時應加注意。又輪掣之夾鉗 (clamp) 磨耗致控制不良時，也必須加以調節。

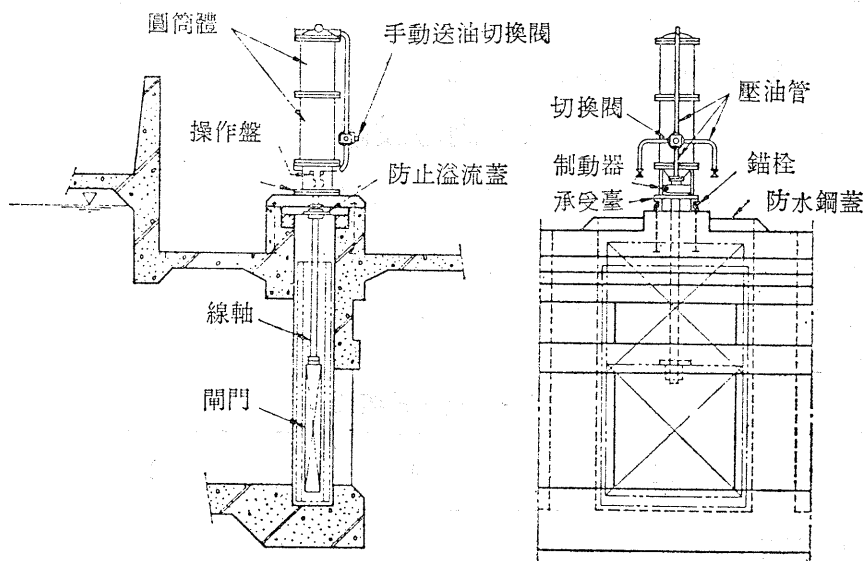
#### 1.3.2. 操 作

- (1) 開閉時以開度計或全開、全閉指示燈，或觀察電流計之同時操作之，若有異常應即停止操作，予以排除後始續行操作。

- (2)開閉中電流值應為緩慢上升，若過大時應即調查異音、開關台發生振動狀況、線軸彎曲、螺釘外傷等可能原因，若仍查不出，則即分解減速機檢查有否異常。
- (3)開閉中若發現開關及其保護裝置發生作動時，應即查看開門及線軸等之故障狀況，予以排除後操作之。
- (4)操作不良除為開閉裝置之可能故障原因外，操作盤內電氣設備之故障也可能是原因之一，如有異常時，應即檢查操作盤。
- (5)其他有關細部之故障，應參考設備維修說明書為之。

#### 1.4.油（水）壓開門

油（水）壓開門之開閉裝置，包括油（水）壓源及控制閥所組成之油壓裝置、操作盤、油壓圓筒體等所組成。比起其他方式其開閉時間可較短。可利用蓄電池等小電源，藉開門的自重及蓄壓器，於停電時仍可操作為其特性，尤其多用在沉砂池之流入開門。（如圖二）



圖二 油壓式開門例

##### 1.4.1.檢查及維修

- (1)配管系統及操作閥有否漏油應特加注意，有漏失時應即加修理，為容易發現其有否漏失其配管以露出為宜。
- (2)油（水）槽內之油（水）量，為防止泵將空氣吸入，應經常保持規定油（水）面以上。
- (3)油槽之下部常會積水，應定期排除之。定期檢查操作用油以防品質劣化，隨時保持使用良好的油質。
- (4)各閥之確實可操作及上下限之設定值，應每 3 個月檢查一次，以維持正常狀態。
- (5)活塞襯墊部及活塞座外殼漏油（水）多時，應即更換襯墊。活塞襯墊漏油之量測，可於開門

全開或中間開度之狀態下，關閉圓筒體上下配管之閥，經數分鐘後量測其降下量。

(6)安全閥壓力之設定，有時會影響圓筒體、基座及閘門，應依適合開閉所需之壓力設定之，以防發生事故。

#### 1.4.2. 操 作

(1)裝設有夾鉗者，於操作時應確認閘門開度之位置，使夾鉗緩鬆後操作之。又於全開或中間開度停止時，應確認夾鉗是否有作動。

(2)關閉時，應觀察開度計，或全開、全閉指示燈之同時行之，有異常時應即停止操作，原因排除後始再操作之。

(3)於開閉途中停止時，應即檢查閘門及油（水）壓裝置、配管、圓筒等可能故障原因，原因排除後再操作之。閘門無法全閉之原因，大多為閘門上附着雜物之故，應將閘門上下升降 2～3 次，使雜物掉落之。

(4)開閉中如發生震動或異音，應即停止操作，查明其原因，依設備維修說明書分解機器加以修護。

(5)故障原因有油（水）壓機器作動之操作盤、電氣系統，必須檢查該電氣系統。

(6)其他細部故障之維修，應依維修說明書行之。

## 二、欄污設備

欄污設備通常設置於廢水處理設施之前，藉以去除廢水中所含粗固體物，以避免抽水機、配管、閥類等受到阻塞並減輕廢水處理負荷為目的。

欄污柵在廢水處理設施通常設於沉砂池前，以去除粗固體物。欄污柵的種類很多，依用途、形式、方式等有各種分類，概要整理之如表一。該表係依欄污柵之形狀加以分類，廢水都依其特性選用之。

表一 欄污柵概要

| 形式分類 |   | 構 造 及 特 徵                                           | 備 註                                           |
|------|---|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 棒 狀  | 豎 | ①棒間隔<br>極粗欄污柵間隔 50mm 以上，粗欄污柵 50-20 mm，細欄污柵 20mm 以下。 | ①機械式自動清理篩渣者大多處理量在1000m <sup>3</sup> /hr以上者較多。 |
| 欄    | 立 | ②篩渣去除方法<br>大型處理設施大都採用機械或自動除渣機。而固定式小型者則以人工清理。        |                                               |
| 污    |   | ③傾斜角度：人工清理者45～60度，機械式70度前後。                         |                                               |
| 柵    | 型 | ④水流流過速度：40cm/s 左右。<br>強度：水位差 60cm 左右之強度。            |                                               |

|       |      |                                                                                                                                                  |                                                                                |
|-------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|       | 橫向型  | ①棒間隔：0.5-2.0cm<br>②去除方法：廢水自上部流入去除渣物，因之必須提升水位。<br>③除渣方法：有自動式及人工式。                                                                                 | ①大都使用於小規模設施<br>②必須揚水                                                           |
|       | 弧狀型  | ①棒間隔：1.5-10mm<br>②除渣方法：機械式除渣為主。<br>③可去除較小的固體物。                                                                                                   | ①大都使用於小規模設施                                                                    |
|       | 筒狀型  | ①棒間隔<br>篩棒排列於圓筒內，其間隔與其他相同。<br>②除渣方式<br>被篩離之固體物於圓筒內呈塊狀，而自動排出之，同時具有自行清掃的功效，不像其他形式有阻塞現象。                                                            | ①可變更回轉速度，調整處理量。<br>②大小規模皆可設置。<br>③水肥處理廠、食品加工廢水處理廠使用者頗多。                        |
| 網狀污設備 | 金屬網型 | ①間隔<br>與棒狀豎立型相同，有粗欄污柵、細欄污柵。<br>②除渣方法<br>粗欄污柵大都採用機械自動清理。<br>③構造簡單，可輕易拆下清掃。                                                                        | ①粗、細固體物欲分別去除時可以粗細網並列配置。<br>②大都使用於魚貝加工、罐頭工廠、工廠廢水在 50-100m <sup>3</sup> /d之規模工廠。 |
|       | 移動型  | ①間隔：視廢水性質及擬去除固體之大小可任意設定。<br>②除渣方法：被篩離物積於篩網上，當篩網移動至下側即行自動掉落去除。<br>③為呈水平裝置之篩網，向流下方向約上升 5 度的角度。<br>④為防止阻塞，可自內側加壓空氣或水使其脫離。                           | ①適合於小規模工廠廢水處理。<br>②大多使用於豆腐工廠、醬菜工廠及造紙工廠。                                        |
|       | 圓筒形  | ①間隔：依欲去除物設定間隔。<br>②除渣方法：固體物殘留於篩網上，當篩網回轉至下側時即行自動掉下，為防止篩網阻塞可自外部噴以 1~3 kg/cm <sup>2</sup> 之加壓水。<br>③傾斜角度：3 度左右。<br>④由於係一種圓筒回轉裝置，一般又稱 rotary screen。 | ①大都使用於小規模食品工廠之廢水處理、醬菜、食肉加工。<br>②也有稱 microstrainer 或 micro-filter。              |

|                                     |                      |                                                          |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------|
| 振<br><br><br><br>動<br><br><br><br>篩 | ①間隔<br>與金屬網相同        | ①依廢水中所含固體物之性質，有1段、2段及3段式裝置。<br>②使用於食品加工廠、古紙生產工廠、豬舍廢水等處理。 |
|                                     | ②除渣方法<br>裝有振動篩，以篩落之。 |                                                          |
|                                     | ③有整機振動方式及以空氣局部振動者。   |                                                          |
|                                     | ④大多使用多段篩離機。          |                                                          |

## 2.1. 欄污柵之選定

欄污柵必須依據廢水中懸浮物質選定之，選定時應考慮：

### 1. 構造上

- (1)目的要明確，是以防止抽水機或水閥或配管阻塞、抑或為減少處理上之負荷為目的，再據以決定篩棒或網狀。
- (2)必先瞭解所欲去除之物質，再據以選定。
- (3)篩渣擬用何種方法去除，也應先加決定，尤其含有肉片或油污者，因具粘性且容易阻塞篩網或棒上。
- (4)處理能力要明確把握，尤其有變更生產計畫之工廠，有時因變更生產廢水性質亦異。
- (5)除渣方式有人工清理式或機械式，視處理水量及操作管理而定。

### 2. 操作管理上

- (1)構造簡單、修護容易、故障少者為佳。
- (2)篩渣分離容易。
- (3)拆裝、拆換容易。
- (4)具耐銹蝕、耐磨損之材質，且耐振動及水壓之強度。
- (5)操作管理容易。

## 2.2. 操作維護

欄污柵之分類雖多，但仍以使用豎立型者較為普遍，故就豎立型之人工清理式和機械清理式之雙鏈式及鋼索捲揚式，討論其操作、維修及管理有關事項。

### 2.2.1. 一般檢查及維修

#### (1)經常性檢查及維護

- ①欄污柵應經常維修，使其能充分捕捉、分離篩渣。
- ②機械式除渣欄污設備，由於其構造種類眾多應各依其維修說明書定期檢查保養。又各部份應依其磨損標準，做定期的補修和更換。

- ③平常不使用時，每日至少一次，每次10~15分鐘予以調節運轉之。
- ④塗刷有剝落之處，應於銹蝕之前補修之。
- ⑤操作中有異音、振動應加注意，並查明其來源和原因。
- ⑥由於係容易發生惡臭之處，應經常清理其附屬設備，需要時施以防臭劑、殺蟲劑等。

#### (2)操作

- ①附着於欄污柵上之篩渣，會導致前後水位差加大，應隨時注意去除之。
- ②欄污柵在抽水機連續抽水時，以能連續操作除渣為宜。
- ③篩渣若未能適時去除，會導致其上游淹水或從陰井濺出。
- ④當沉砂池水位下降或大型抽水機起動操作時，會有多量貯積於管內的雜物流入，此時更應注意篩渣的附着及清除。

#### (3)異常時之對策

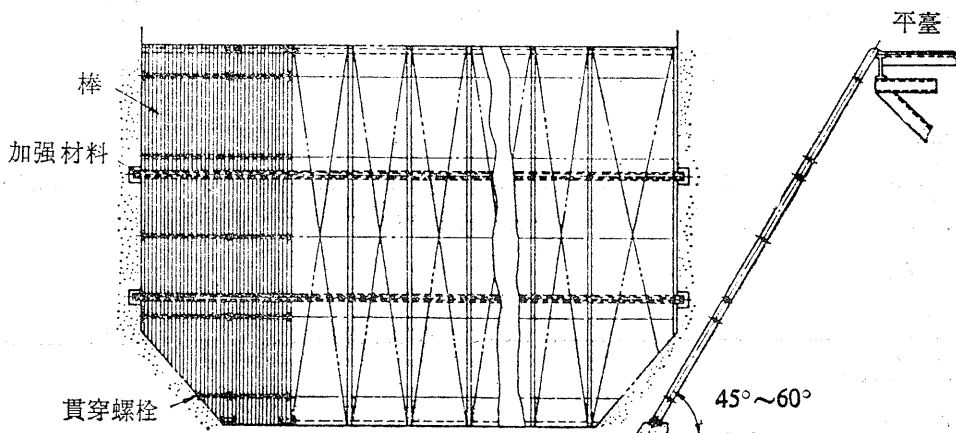
- ①各種安全裝置正常運轉，但機械除渣停止操作時，應即查明其原因並排除後續操作之。
- ②粗大雜物卡住欄污柵之間隙時，若耙 (rake) 可逆轉者，可使其稍許逆轉去除之。
- ③應防止閒人擅自進入操作。

## 2.3.人工清理式欄污柵

人工清理式欄污柵，為利用熊手型扒具、鳶口型抓具等，以人工去除篩渣之方式，如圖二。

### 2.3.1.篩渣之清除

- (1)小規模的處理設施，應定時清理之。
- (2)倘篩渣未能適時清理，致上游水位積高時，由於水壓力益增扒除之不易。



圖三 人工清理式欄污柵例

### 2.3.2.操作

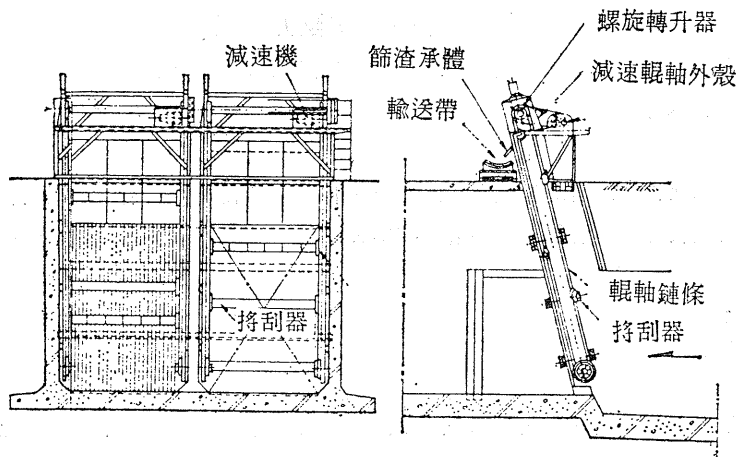
- (1)篩渣之清理應備有熊手型扒具或鳶口型抓具。
- (2)為防工作人員作業中滑倒，應有工作平台。

(3)工作時要有適當之照明設備。

(4)清理時應將欄污柵表面之篩渣平均清除之。

## 2.4.雙鏈式欄污柵

雙鏈式欄污柵為於軋軸鏈條上裝設直接捋刮器，利用其上下之接榘（sproket）鎖用齒輪的旋轉，連續將附着於欄污柵上的篩渣予以清除之方式。（如圖四）



圖四 雙鏈式欄污柵例

### 2.4.1.檢查及維修

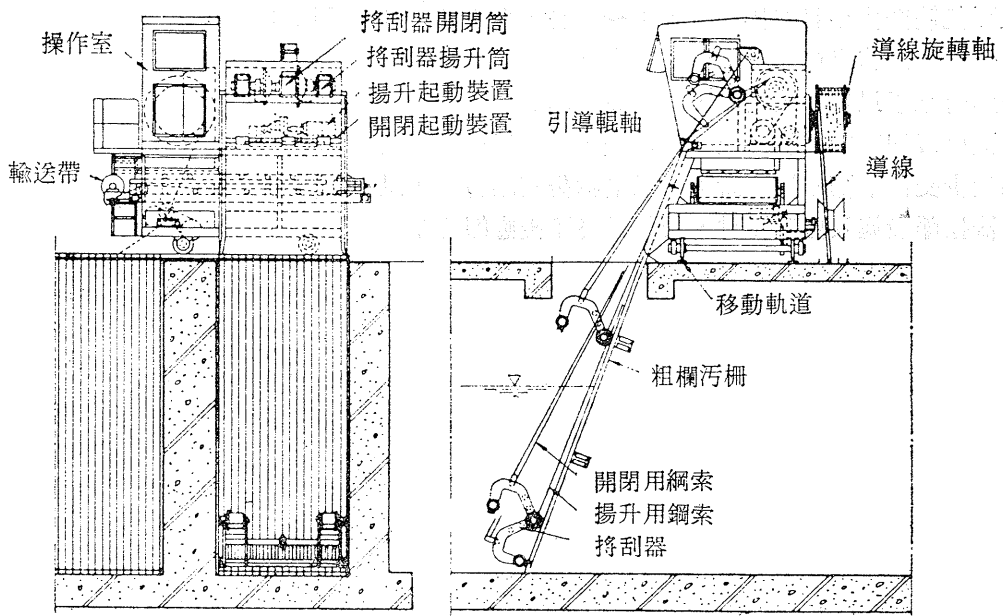
- (1)依據設備維護說明書，定期給回轉力連接器、減速機、緩衝機等補給潤滑油及起動用油。油脂配管之漏油會導致斷油，縮短機械使用壽命，此點應加注意。
- (2)保持鏈條適當之鬆緊度及捋刮器之水平狀態，必要時應做張力調節或將過鬆之鏈條環節切除以調整之。
- (3)鏈條及接榘之磨損，會導致運轉中之鏈條折斷、接榘之滑落（空轉）等，應加注意。
- (4)接榘及棒之接合狀況，鏈條之運轉狀況，應加注意。

### 2.4.2.操作

粗大雜物對欄污柵面造成過負荷而停止耙除時，可將捋刮器逆轉，惟需加注意避免因逆轉動力導致機具遭破損。

## 2.5.鋼索捲揚式欄污柵

本式為藉鋼索連結捋刮器上下移動以搔集去除篩渣之方法。本式又可分為欄污柵過篩面上裝置一部捋刮器之固定式，及移動式兩種。移動式又有懸垂式及地上式。小型之地上式，其橫向移動需賴人工為之。如圖五。



圖五 鋼索捲揚式欄污柵例

### 2.5.1. 檢查及維修

- (1)兩側之垂索若不平均，會使撈刮器發生傾斜，必須調節鋼索。
- (2)鋼索如有磨損，應即修護。
- (3)應隨時檢查撈刮器、輥軸、移動軌道及軌道夾鉗之操作狀態。
- (4)依設備維護說明書，定期塗油輥軸或補給油壓作動油。
- (5)隨時確認撈刮器之開閉及停止位置，以及其連動是否正常，不適當時應即調節限制裝置。

### 2.5.2. 操 作

- (1)移動式撈集揚升作業，應於揚升裝置充分固定時行之。
- (2)應避免因引導輥軸之自重經由撈刮器過份壓住欄污柵面，由於粗大固體物會使撈刮器脫離柵棒而橫向移動，自柵棒上端之落物口處脫線，則需加調整。
- (3)左右各輥軸，有時因被雜物卡住致撈刮器發生傾斜，造成折住，有時撈刮器突然恢復至水平所造成的衝擊，致鋼索斷裂，尤其是小型者應加注意。

## 2.6. 附屬設備

附屬設備有輸送帶、傾卸吊車 (skiphoist) 及漏斗。

## 2.7. 篩渣之處理和處分

- (1)搬出之前，應充分去除水分，有時應先加壓榨脫水。

- (2)在可能範圍內早日搬出。夏天1～2日，冬天2～3日為原則。
- (3)視需要施以防臭劑、防腐劑及殺蟲劑。
- (4)搬運時應予以覆蓋或密閉，以防發散臭氣。
- (5)篩渣直接埋棄時，於搬至埋置地後，應即用土覆蓋之。
- (6)如量少交由清潔車搬運時，應以塑膠袋密閉包妥，以防破漏。
- (7)篩渣搬離設施及搬運器材，於作業終了後應即洗淨。

# 廢水取樣須知

## 一、前言

取樣是廢水處理廠處理程序之控制、監視、操作，首先必需完成的步驟。適當的取樣是非常重要的。如果所取得之水樣不具代表性，縱然水質分析極為準確亦無意義，不正確的取樣甚至可能造成操作策略的錯誤決定。處理廠操作人員除必需了解各處理單元及設備之功能外，亦需藉着各類數據來研判採用何種操作方法，而數據的正確性首先依據的是取樣的適當與否。

本報告提出有關取樣方面的各項建議，第二章介紹取樣方式、地點、頻率及一般注意事項。第三章敘述選擇取樣器及流量計之要領。第四章逐項的建議，在實驗之前或運送中如何保存水樣，使水樣不因時間而變質；另外，提供一些數據記錄之格式，供取樣人員參考。第五章介紹一些簡易整理數據的方法致於有關分析方法之詳細步驟可參考：A.P.H.A. & A.W.W.A. & W.P.C.F., "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater", 15th Edition, 1980.

## 二、採樣方法

### 一、採樣方式：

一般廢水之採樣方式可大分為兩種：(一)隨機取樣 (Grab Sampling)，(二)混合取樣 (Composite Sampling)

#### (一)隨機取樣

是在某一時間採取足夠的水樣，因此只代表特定一瞬間的情況，隨機取樣的場合：

- 廢水水質變化不大，不需採用混合取樣方式，已有足夠的代表性。
- 忽然有不尋常的廢水流進廢水處理廠，操作人員以隨機取樣方式取足夠的水樣，以了解廢水來源，種類及對處理廠功能的影響。
- 間斷性廢水。
- 工廠放流水水質檢定。
- 水質的測定必須在水樣採得後馬上施行，如餘氯、溶氧、溫度等。

#### (二)混合取樣

混合取樣是將一段時間內（通常是24小時），以隨機取樣方式採得之各水樣，全部混合起來成一個水樣，這水樣代表一段時間內廢水的平均情況。須採用混合取樣方式的情況如下：

- 處理廠程序控制之調整需要廢水及污泥一段時間內之平均狀況。
- 估計處理設備之功效。

——測定廢水之特性。

混合取樣又可分成兩類：(1)定容積 (fixe volume) 混合取樣，(2)流量比例 (Flow-proportioned) 混合取樣。

(1)定容積混合取樣：採樣的時間間隔及水樣體積均一定。其採用之場合為：

——廢水流量之變化量不超過平均流量的15%。

——曝氣槽中之活性污泥。

——消化槽中之污泥。

——處理廠中各處理設備中定量的水流。

——從污泥脫水設備出來的污泥餅。

每次採樣所需之水樣量，可計算如下：

$$\frac{\text{最後所需混合水樣量}}{\text{取樣次數}} = \text{每次定體積取樣之水量}$$

(2)流量比例混合取樣

流量比例混合取樣是每一水樣的採量和廢水流量成正比。採用的方法有：

• 每次採的水樣量相同，時間相隔不同。廢水流量愈大，每次採樣間時間隔愈長。

• 每次採樣的時間間隔相同，採樣量不同。廢水流量愈大，採樣量愈大。

下列情況採用流量比例混合取樣較為適宜：

——水質及水量變化均大的水流。

——處理廠進流及放流之懸浮固體物、生化需氧量測定。

——污泥輸送管線中總固體量測定。

——其他處理流程水質測定。

另外，在採樣時，最好也記錄流量。

## 二、採樣的地點和頻率：

廢水處理廠取樣地點及頻率視處理流程、水質、水量性質而異。若水質、水量之變化大則採用之頻率也大。處理的單元較穩定，則頻率小些，如化學處理所需取樣的頻率較生物處理為小，因化學處理不若生物處理敏感。附錄(一)例舉普通處理廠之單元程序及取樣地點、頻率與一般程序控制及監視所需的分析項目。

## 三、採樣準則：

(一)一般原則

——每次採樣要在同一地點，所得的分析數據才能互相比較，宜在取樣地點作標誌以固定之。

——最好每一取樣點均有專用取樣器，宜在器皿上標示，以減少被別處水樣污染的可能性。

——每次取樣完畢所用之器皿，宜清洗乾淨。

——宜在混合良好的地點取樣，避免在死角，有短流可能的地方取樣。

——注意特殊水質分析對水樣的要求。如用滴定法求溶氧，須在水面下取樣，避免氧因素流

而進入水樣中。

### (二) 污泥採樣

污泥樣品大都從初步沉澱池，活性污泥槽，消化槽進口，消化槽污泥出口，污泥脫水設備進液，脫水後之污泥餅取得。這些樣品大都採自輸送管及幫浦出口，且粘滯性高這是與廢水不同的地方。

- 爲了防止堵塞，濕度高於 4 %（重量比）的污泥，其取樣管之內徑應大於 3.8 公分。如採樣管長不超過 15 公分，內徑 2.5 公分即可。
- 樣品瓶瓶口要足夠大，以配合採樣品。
- 樣品瓶上部不要填滿，瓶蓋不要太緊，讓氣體能夠溢出。
- 流動性不佳者，如污染餅，不易混合均勻，應於出口處，不同時間，不同地點取樣，混合之。

### (三) 氣體

從厭氣處理槽採得之氣體，是爲了分析甲烷，二氧化碳、硫化氫含量。從截氣管（interceptor），加蓋之池槽及空的處理槽中採得的氣體，是爲了檢驗是否對檢修人員有危險。雖然氣體的採樣，在廢水處理廠內較少做，但仍需了解採樣的步驟及器具，選擇適當地點，避免空氣污染樣品。

## 三、採樣器具及流量計之選擇

### 一、採樣器之選擇：

採樣器有人工型及自動型兩種，決定的因素如下：

- 採樣地點：室內、室外、在人孔中或不易取樣的地點。
- 採樣器的裝設：永久或暫時性，可移動的儀器也是考慮因素。
- 對人及採樣器的影響：有爆炸、毒氣發生的地方，宜採自動型。有腐蝕性或潮濕的空氣，溫度太高或太低，自動型可能易受損。
- 採樣處之水利情況：連續或間斷性水流，是明渠或壓力管等。
- 廢水狀況：混合得均勻或會分層、含細或粗粒子、浮渣、髮、羽毛、腐蝕性、油脂及砂、PH 高或低、溫度高或低。
- 分析類別：是否需事前加藥貯存或當場分析，所需水樣體積大小及數目等。
- 採樣時間及頻率：是否需要連續 24 小時採樣，採樣頻率高低等。
- 保養問題：保養之難易及頻率等。

### 二、人工型取樣器：

- 取樣器及水樣瓶的容器，應該用惰性（inert）材料且使用前要完全清洗。
- 水樣瓶最好爲 1 公升的廣口玻璃瓶，口緣鑲有一層鐵弗龍（teflon），如水樣少可用 500cc 之廣口瓶。

——所有取樣器及水樣瓶，使用前後都要在化驗室清洗乾淨，不要在取樣現場清洗。

下面介紹二種人工取樣器：

1.重錘取樣器：此裝置除有一個瓶子外（通常是玻璃瓶），有重錘幫助下沉，瓶塞及繩子使瓶能下沉及拉上來，可用水槽，溝渠等取樣用。

2.塘取樣器：2節或3節伸縮鋁管前端連一可調的夾子，夾子可夾穩燒杯或瓶子，容易安裝，可用水坑、水塘的取樣。

### 三、自動型取樣器：

自動型取樣器之選擇要考慮的因素如下：

#### 1.引水器 (intake device)

——對溝渠水流阻礙越小越好，以減少損壞及故障。

——能抽取代表性的水樣（包括表面、中間及底部之水流）。

——引水器內徑最小需 1.5cm 以免堵塞。

#### 2.水樣傳送裝置：

——外層箱壳須水密性。

——水樣與金屬不會接觸。

——取含油脂的取樣管之材質，必須透明的惰性軟管，如鐵弗龍或泰龍 (tygon)。

——取樣前後輸送管需用水或空氣吹洗 (purge)。

#### 3.水樣的抽取

——水樣應用真空幫浦或高速蠕動 (peristaltic) 幫浦汲上。

——所用的幫浦應可吸水樣亦可吹洗輸送管。

——輸送管沒有任何阻礙物，使顆粒容易通行，易於操作、清洗。

——乾抽（沒抽到水）時，幫浦亦不會損壞。

——金屬與水樣不能接觸。

——幫浦流量可調節，若水中有大顆粒固體物，幫浦亦能抽取，使水樣具有高代表性。

——水樣的抽取量，不因吸送高度而變化。

#### 4.能源與控制

——交、直流兩用。

——如每小時取一次樣，電源至少能用五天以上，不需更換，或充電。

——電晶體邏輯，印刷電路板功能。

——定時器與控制系統需防潮濕。定時器用電晶體邏輯及一個晶體控制之振盪器。

——能控制流量比例取樣或定時取樣。

#### 5.水樣貯存

——每一水樣容器最少為 400cc，而混合水樣最少為 9.5 公升。

——最少有24個水樣容器。

——含溶解性油脂的水樣，需有 P.E. (polyethylene) 或硼砂玻璃之廣口容器。

——能用碎冰或冷凍裝置冷藏水樣。

——需有隔熱裝置。

#### 6.其他要求

——防損壞裝置。

——防爆裝置。

——需要防蝕材料。

——便於安裝。

自動型取樣器之使用及安裝要點：

——輸送管需要垂直或傾斜，不能成圈形或有凹部，避免水貯於管中。

——引水器需常檢視。安裝時應小心放置，以取得有代表性的含懸浮固體物之水樣。如只有一個引水器，應設於水深一半以下的位置。

——應根據廠商說明書，定期保養。

——引水器口應朝上游。

——取樣器安裝好後，要先試驗，以確保適當操作及取樣。

### 四、流量計的選擇：

流量計是廢水處理廠操作上，主要的儀錶之一，其傳送水力情況的資訊，左右操作的成功與失散。

流量計的選擇，其考慮的因子如下：

——構造儘量簡單，容易讀得數據。

——建設費及維護操作費少。

——水質情況：是否易於阻塞，損壞流量計。

——送水情況：明渠或密閉管。

——流量大小：以流量可能的範圍，選擇適當流量計。

——自動記錄，或人工記錄。

各式流量計的使用範圍等，於附錄(二)詳述。

## 四、水樣的貯存與數據記錄

### 一、水樣的貯存：

工業廢水水質成份複雜，往往在貯存時間發生各種反應而影響水質分析的正確性。通常污染性較高的廢水，貯存時間不超過12小時，污染性較低者不超過72小時，但貯存時間的長短亦因所欲分析的項目而異。倘若廢水於取樣後因實際之限制情況或因採樣地點太遠，無法即以分析時，則水樣須用特殊方法貯存。表一例舉一般分析項目所須水樣體積，貯存容器材質，貯存方法及最高貯存期。

表一 廢水水樣的貯存方法

| 分 析 項 目  | 水樣體積<br>(ml) | 容器材質    | 貯 存 方 法                                             | 最 高 貯<br>存 時 間   |
|----------|--------------|---------|-----------------------------------------------------|------------------|
| 色 度      | 50           | P, G    | 4°C 下冷藏                                             | 24小時             |
| 電 導 度    | 100          | P, G    | —                                                   | 28天              |
| 硬 度      | 100          | P, G    | —                                                   | 6個月              |
| 臭 味      | 200          | G       | 4°C 下冷藏                                             | 24小時             |
| P H      | 25           | P, G    | 當場測定                                                | 2 小時             |
| 可過濾殘留物   | 100          | P, G    | 4°C 下冷藏                                             | 7 天              |
| 不可過濾殘留物  | 100          | P, G    | 4°C 下冷藏                                             | 7 天              |
| 總殘留物     | 100          | P, G    | —                                                   | 7 天              |
| 揮發性殘留物   | 100          | P, G    | 4°C 下冷藏                                             | 7 天              |
| 懸浮物質     | 1,000        | P, G    | —                                                   | 24小時             |
| 溫 度      | 1,000        | P, G    | 當場測定                                                | —                |
| 濁 度      | 100          | P, G    | 4°C 下冷藏                                             | 48小時             |
| 溶解性金屬    | 200          | P, G    | 當場過濾，濾液加 $\text{HNO}_3$ 至 $\text{PH} < 2$           | 6 個月             |
| 懸浮性金屬    | 200          | —       | 當場過濾                                                | 6 個月             |
| 總金屬濃度    | 100          | P, G    | 加 $\text{HNO}_3$ 至 $\text{PH} < 2$                  | 6 個月             |
| 溶解性汞     | 100          | P, G    | 當場過濾，濾液加 $\text{HNO}_3$ 至 $\text{PH} < 2$           | 28天(G)<br>13天(P) |
| 總汞濃度     | 100          | P, G    | 加 $\text{HNO}_3$ 至 $\text{PH} < 2$                  | 28天(G)<br>13天(P) |
| 酸 度      | 100          | P (不透明) | —                                                   | 不限               |
| 鹼 度      | 100          | P, G    | —                                                   | 不限               |
| 溴 化 物    | 100          | P, G    | 4°C 下冷藏                                             | 24小時             |
| 氯 化 物    | 50           | P, G    | —                                                   | 不限               |
| 氯        | 200          | P, G    | 當場測定                                                | —                |
| 氰 化 物    | 100          | P, G    | 4°C 下冷藏，加 $\text{NaOH}$ 至 $\text{PH} = 12$          | 24小時             |
| 氟 化 物    | 300          | P       | —                                                   | 不限               |
| 碘 化 物    | 100          | P, G    | 4°C 下冷藏                                             | 24小時             |
| 氨 氮      | 400          | P, G    | 4°C 下冷藏，加 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 至 $\text{PH} < 2$ | 24小時             |
| 總凱氏氮     | 500          | P, G    | 4°C 下冷藏，加 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 至 $\text{PH} < 2$ | 24小時             |
| 硝酸鹽及亞硝酸鹽 | 100          | P, G    | 4°C 下冷藏                                             | 24小時             |
| 硝酸鹽      | 50           | P, G    | 4°C 下冷藏                                             | 24小時             |

|              |       |      |                                                 |       |
|--------------|-------|------|-------------------------------------------------|-------|
| 亞硝酸鹽         | 50    | P, G | 4°C 下冷藏                                         | 48小時  |
| 溶氧 (電極法)     | 300   | G    | 當場測定                                            | —     |
| 溶氧 (Winkler) | 300   | G    | 當場固定                                            | 4~8小時 |
| 溶解性正磷酸鹽      | 50    | P, G | 當場過濾，並4°C 下冷藏                                   | 24小時  |
| 可水解之正磷酸鹽     | 50    | P, G | 4°C 下冷藏，加 $H_2SO_4$ 至 $PH < 2$                  | 24小時  |
| 總 磷          | 50    | P, G | 4°C 下冷藏，加 $H_2SO_4$ 至 $PH < 2$                  | 24小時  |
| 總溶解磷         | 50    | P, G | 當場過濾，濾液4°C 下冷藏並加 $H_2SO_4$ 至 $PH < 2$           | 24小時  |
| 矽            | 50    | P    | 4°C 下冷藏                                         | 不限    |
| 硫 酸 鹽        | 50    | P, G | 4°C 下冷藏                                         | 7 天   |
| 硫 化 物        | 500   | P, G | 加 2cc 醋酸鋅                                       | 24小時  |
| 亞硫酸鹽         | 50    | P, G | 當場測定                                            | —     |
| ✓ 生化需氧量      | 1,000 | P, G | 4°C 下冷藏                                         | 24小時  |
| ✓ 化學需氧量      | 50    | P, G | 加 $H_2SO_4$ 至 $PH < 2$                          | 7 天   |
| ✓ 油 脂        | 1,000 | G    | 4°C 下冷藏，加 $H_2SO_4$ 或 $HCl$ 至 $PH < 2$          | 24小時  |
| 有 機 碳        | 25    | P, G | 4°C 下冷藏，加 $H_2SO_4$ 或 $HCl$ 至 $PH < 2$          | 24小時  |
| 酚 類          | 500   | G    | 4°C 下冷藏並加 $H_3PO_4$ 至 $PH < 4$ 及 1 g/l $CuSO_4$ | 24小時  |

\* 註：P代表塑膠材質；G代表玻璃材質

## 二、數據的記錄：

### 1. 取樣人員的訓練

一般而言，取樣地點，型式，頻率及水樣分析項目，貯存方法之決定，在於利用實驗數據的人，他必須安排所有取樣所須的用具及方法，並訓練取樣人員，了解下列諸項，俾能取得所需之水樣。

- 在什麼地點取樣及以什麼頻率取樣。
- 水樣將被分析的項目。
- 利用什麼取樣器具及如何應用這種取樣器具。
- 如何貯存水樣。
- 如何作完善的取樣記錄。
- 取樣時，應小心注意的地方。
- 水樣如何傳送至實驗室。

### 2. 水樣瓶的標示

水樣瓶需有標示，以免錯誤的實驗分析及實驗數據。一般水樣瓶的標示有二種：

- 永久標示：註明此水樣瓶是用於那一個取樣點等，標明時應用永久墨水，以免清洗時被洗去。

——特殊標示：此標示是傳送取樣現場的資料給實驗室人員。其應標示的資料包括取樣地點、型式、時間，貯存添加物，及現場特殊情況等。附錄(三)建議一個供參考的格式。

### 3. 現場的記錄

現場取樣人員，應將取樣現場的資料記錄下來，作為操作人員的參考及實驗數據的補充。附錄(四)是一個現場記錄的一般格式。

### 4. 實驗室記錄

實驗室人員分析完水樣後，不但需記錄數據及分析之項目，亦需將水樣瓶標示的資料抄入，另外尚需將實驗進行中的特殊情況記下，作為數據的取用與否及操作履行之根據。附錄(五)列有一些實驗室的記錄表。

## 五、數據的整理及表示

### 一、介紹：

水樣經化驗室分析後，希望能根據其數據做程序控制，及評估操作情況。但我們由實驗及自動記錄器所得的數據繁多，必須將之簡化整理，使便於閱覽及使用。本章介紹一作較為實用的方法，供整理數據之用。

### 二、平均值表示法：

平均值常被利用於同一條件或類似條件下，多量數據的代表值，茲將各種平均值概述如下：

#### 1. 算術平均值

如每一數據重要性均相等，則採用算術平均。

設數據有  $n$  個： $D_1, D_2, \dots, D_n$

$$\text{算術平均} = \frac{D_1 + D_2 + \dots + D_n}{n}$$

#### 2. 加權平均 (Weighted average)

數據重要性不同時，使用之。

設數據有  $n$  個： $D_1, D_2, \dots, D_n$

其加權因子  $W_1 + W_2 + \dots + W_n = 1$

加權平均  $= W_1 D_1 + W_2 D_2 + \dots + W_n D_n$

例：表列為每 6 小時取一次所得之生化需氧量，計算其一天生化需氧量之平均值：

| 項 目<br>時 間 | 流 量    | 加 權 因 子             | 生化需氧量 mg/l |
|------------|--------|---------------------|------------|
| 6 小 時      | 20.47  | $20.47/102.25=0.2$  | 156        |
| 12 小 時     | 30.34  | $30.34/102.25=0.3$  | 210        |
| 18 小 時     | 35.98  | $35.98/102.25=0.35$ | 192        |
| 24 小 時     | 15.46  | $15.46/102.25=0.15$ | 132        |
| 總 計        | 102.25 | 1.00                |            |

$$\begin{aligned}\text{加權平均} &= 156 \times 0.2 + 210 \times 0.3 + 192 \times 0.35 + 132 \times 0.15 \\ &= 177.9 \text{mg/l}\end{aligned}$$

### 3.幾何平均

如大腸菌數都是以10的次方來表示，用算術平均來表示不精確，故用幾何平均。

設有數據  $n$  個  $D_1, D_2, \dots, D_n$

$$\text{幾何平均} = \text{EXP} \left( \frac{\ln D_1 + \ln D_2 + \dots + \ln D_n}{n} \right)$$

### 4.移動平均 (moving average)

很多評估控制生物系統的參數，其反應 (Response) 時間須長至幾天，甚至幾個星期。例如活性污泥程序改變時，污泥沉降性質之變化很緩慢，需一星期後方有明顯的差異，故諸如此類之數據，均採用移動平均法，加以整理。

設有  $n$  天  $n$  個數據： $D_1, D_2, \dots, D_n$

我們採用 7 天的移動平均，則

$$\text{第一次平均} = \frac{D_1 + D_2 + \dots + D_7}{7}$$

$$\text{第二次平均} = \frac{D_2 + D_3 + \dots + D_8}{7}$$

$$\text{第 } n-6 \text{ 次平均} = \frac{D_{n-6} + D_{n-5} + \dots + D_n}{7}$$

## 三、範圍之表示法：

### 1.最大、最小的範圍

數據的表示若祇用平均值來表示，不能有效的反應全部數據的性質。故列出最大值及最小值，給操作人員數據變化的範圍，使便於決定操作的策略。

### 2.標準偏差 (Standard deviation)

數據的範圍，若祇用最大及最小值來表示，不能反應出數據出現的頻率。如果出現的數據其值相差不遠，則用最大、最小值範圍及平均值即可，甚至祇以平均值表示亦足已。在出現的數據差別很大的情況下，宜採用標準偏差來表示。茲將標準偏差的簡易求法，概述如下：

設有數據  $n$  個，由小而大排列： $D_1 < D_2 < D_3 \dots < D_n$

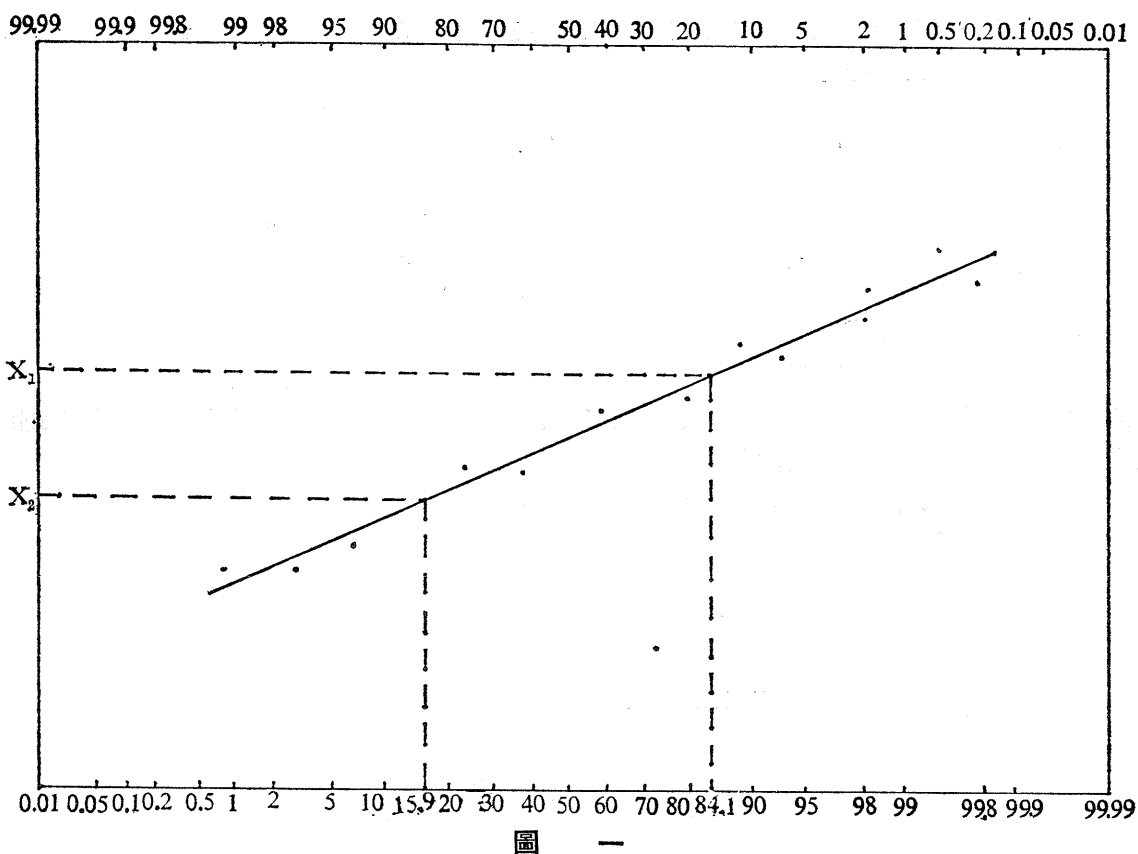
每一數據給予概率  $M/n+1$  且每個數據取對數，如

$$D_1 \longrightarrow 1/n+1 \longrightarrow \log D_1$$

$$D_2 \longrightarrow 2/n+1 \longrightarrow \log D_2$$

$$D_n \longrightarrow n/n+1 \longrightarrow \log D_n$$

將  $1/n+1$  值 (橫座標)， $\log D_n$  值 (縱座標)，點於或然率紙上，並劃出最具代表性的直線，取橫座標為 0.841 之縱座標值  $X_1$  及 0.159 為  $X_2$ ，如圖一，其標準偏差為  $\sqrt{10^{(X_1 - X_2)}}$



附錄(一) 廢水處理採樣點及分析項目

| 處 理 單 元                       | 取 樣 地 點 | 分 析 項 目 | 取 樣  |      |     |
|-------------------------------|---------|---------|------|------|-----|
|                               |         |         | 用 途  | 頻 率  | 方 式 |
| 穩定塘<br>(Stabilization lagoon) | 進 水 口   | 生化需氧量   | P.P. | 1/WK | C   |
|                               |         | 總懸浮物    | P.P. | 1/WK | C   |
|                               |         | pH 值    | P.C. | 1/WK | G   |
|                               | 塘內液體    | pH 值    | P.C. | 1/D  | G   |
|                               |         | 溶 氧     | P.C. | 1/D  | G   |
|                               |         | 溫 度     | P.C. | 1/D  | G   |
|                               |         | 生化需氧量   | P.P. | 1/D  | C   |
|                               | 放 流 口   | 總懸浮物    | P.P. | 1/WK | C   |
|                               |         | pH 值    | P.P. | 1/WK | G   |
|                               |         | 溶 氧     | P.P. | 1/D  | G   |

|                                                                     |     |       |      |      |   |
|---------------------------------------------------------------------|-----|-------|------|------|---|
| 初級處理<br>(Primary treatment)                                         | 進水口 | 大腸菌類  | P.P. | 1/D  | G |
|                                                                     |     | 餘氯    | P.P. | 1/WK | G |
|                                                                     |     | 生化需氧量 | P.P. | 1/D  | C |
|                                                                     |     | 總懸浮物  | P.P. | 1/WK | C |
|                                                                     |     | pH 值  | P.C. | 1/WK | G |
|                                                                     |     | 總凱氏氮  | P.P. | 1/D  | G |
|                                                                     |     | 氨氮    | P.P. | 1/WK | G |
|                                                                     |     | 生化需氧量 | P.P. | 1/WK | C |
|                                                                     |     | 總懸浮物  | P.P. | 1/WK | C |
|                                                                     |     | 溶氧    | P.P. | 1/WK | G |
| 滴濾池及生物盤<br>(Trickling filter and<br>rotating biological<br>reactor) | 放流口 | 大腸菌類  | P.P. | 1/D  | G |
|                                                                     |     | 餘氯    | P.P. | 1/WK | G |
|                                                                     |     | pH 值  | P.P. | 1/D  | G |
|                                                                     |     | 總固體物  | P.C. | 1/D  | C |
|                                                                     |     | 揮發性固體 | P.C. | 1/WK | C |
|                                                                     |     | 生化需氧量 | P.P. | 1/D  | C |
|                                                                     |     | 總懸浮物  | P.P. | 1/D  | C |
|                                                                     |     | pH 值  | P.C. | 1/D  | G |
|                                                                     |     | 溶氧    | P.C. | 1/D  | G |
|                                                                     |     | 溫度    | P.C. | 1/D  | G |
| 終沈池放流口                                                              | 放流口 | 氨氮    | P.C. | 1/WK | G |
|                                                                     |     | 硝酸鹽   | P.P. | 1/WK | G |
|                                                                     |     | 生化需氧量 | P.P. | 1/D  | C |
|                                                                     |     | 總懸浮物  | P.P. | 1/D  | C |
|                                                                     |     | 溶氧    | P.P. | 1/D  | G |
|                                                                     |     | 大腸菌類  | P.P. | 1/WK | G |
|                                                                     |     | 餘氯    | P.P. | 1/D  | G |
|                                                                     |     | pH 值  | P.P. | 1/D  | G |
|                                                                     |     | 硝酸鹽   | P.P. | 1/WK | G |
|                                                                     |     | 氨氮    | P.C. | 1/WK | G |
| 活性污泥法<br>(Activated sludge)                                         | 進水口 | 生化需氧量 | P.P. | 1/D  | C |
|                                                                     |     | 總懸浮物  | P.P. | 1/D  | C |

|                               |                        |        |      |      |   |
|-------------------------------|------------------------|--------|------|------|---|
| 厭氣消化<br>(Anaerobic digestion) | 槽內混合液                  | pH 值   | P.P. | 1/D  | C |
|                               |                        | 溶 氧    | P.P. | 1/D  | G |
|                               |                        | 溫 度    | P.C. | 1/D  | G |
|                               |                        | 總懸浮物   | P.C. | 1/D  | C |
|                               |                        | 揮發性懸浮物 | P.C. | 1/D  | C |
|                               |                        | 硝酸鹽    | P.C. | 1/WK | G |
|                               |                        | 總懸浮物   | P.C. | 1/D  | C |
|                               |                        | 生化需氧量  | P.P. | 1/D  | C |
|                               |                        | 總懸浮物   | P.P. | 1/D  | C |
|                               |                        | 溶 氧    | P.P. | 1/D  | C |
|                               | 迴流污泥<br>終沈池放流口         | 大腸菌類   | P.P. | 1/WK | G |
|                               |                        | 餘 氯    | P.P. | 1/D  | G |
|                               |                        | pH 值   | P.P. | 1/D  | G |
|                               |                        | 總凱氏氮   | P.P. | 1/WK | G |
|                               |                        | 氨 氮    | P.P. | 1/WK | G |
|                               |                        | 亞硝酸鹽   | P.P. | 1/WK | G |
|                               |                        | 硝酸鹽    | P.P. | 1/WK | G |
|                               |                        | 總固體物   | P.P. | 1/D  | C |
|                               |                        | 揮發性固體物 | P.P. | 1/D  | C |
|                               |                        | pH 值   | P.C. | 1/D  | G |
| 厭氣消化<br>(Anaerobic digestion) | 進 流 口                  | 溫 度    | P.C. | 1/D  | G |
|                               |                        | 揮發酸    | P.C. | 1/WK | G |
|                               |                        | 鹼 度    | P.C. | 1/WK | G |
|                               |                        | pH 值   | P.C. | 1/D  | G |
|                               |                        | 重金屬    | P.C. | 1/M  | G |
|                               | 槽內液體                   | 總固體物   | P.P. | 1/D  | G |
|                               |                        | 揮發性固體物 | P.P. | 1/D  | G |
|                               |                        | 總凱氏氮   | P.C. | 1/WK | G |
|                               |                        | 總固體物   | P.P. | 1/D  | G |
|                               |                        | 生化需氧量  | P.C. | 1/D  | G |
|                               | 消化污泥                   | 甲 烷    | P.C. | 1/D  | G |
|                               |                        | 二氧化碳   | P.C. | 1/D  | G |
|                               |                        | 總固體物   | P.P. | 1/D  | G |
|                               |                        | 揮發性固體物 | P.P. | 1/D  | G |
|                               |                        | 總凱氏氮   | P.C. | 1/WK | G |
|                               | 上 澄 液<br>(Supernatant) | 總固體物   | P.P. | 1/D  | G |
|                               |                        | 生化需氧量  | P.C. | 1/D  | G |
|                               |                        | 甲 烷    | P.C. | 1/D  | G |
|                               |                        | 二氧化碳   | P.C. | 1/D  | G |
|                               |                        | 總固體物   | P.P. | 1/D  | G |

|                                                  |           |        |      |      |   |
|--------------------------------------------------|-----------|--------|------|------|---|
| 喜氣消化<br>(Aerobic digestion)                      | 進水口       | 總固體物   | P.P. | 1/D  | C |
|                                                  |           | 揮發性固體物 | P.P. | 1/D  | C |
|                                                  |           | pH 值   | P.C. | 1/D  | G |
|                                                  |           | 氨 氮    | P.P. | 1/WK | G |
|                                                  |           | 硝酸鹽    | P.P. | 1/WK | G |
|                                                  |           | 鹼 度    | P.C. | 1/WK | G |
|                                                  | 槽內液體      | pH 值   | P.C. | 1/D  | G |
|                                                  |           | 溫 度    | P.C. | 1/D  | G |
|                                                  |           | 溶 氧    | P.C. | 1/D  | G |
|                                                  |           | 氨 氮    | P.P. | 1/WK | G |
|                                                  |           | 硝酸鹽    | P.P. | 1/WK | G |
|                                                  |           | 總固體物   | P.P. | 1/D  | C |
|                                                  |           | 揮發性固體物 | P.P. | 1/D  | C |
|                                                  |           | 鹼 度    | P.C. | 1/WK | G |
|                                                  | 沈降污泥      | 總固體物   | P.P. | 1/D  | C |
|                                                  |           | 揮發性固體物 | P.P. | 1/D  | C |
|                                                  |           | 氨 氮    | P.P. | 1/WK | G |
|                                                  |           | 硝酸鹽    | P.P. | 1/WK | G |
|                                                  |           | pH 值   | P.C. | 1/D  | G |
|                                                  | 上澄液       | 總固體物   | P.P. | 1/D  | C |
|                                                  |           | 氨 氮    | P.P. | 1/WK | G |
|                                                  |           | 硝酸鹽    | P.P. | 1/WK | G |
|                                                  |           | 生化需氧量  | P.C. | 1/D  | C |
| 污泥脫水及濃縮<br>(Sludge dewatering<br>and thickening) | 進流口       | 總固體物   | P.P. | 1/D  | C |
|                                                  |           | 揮發性固體物 | P.P. | 1/D  | C |
|                                                  |           | pH 值   | P.C. | 1/WK | G |
|                                                  | 濾液或脫水後之液體 | 總固體物   | P.C. | 1/D  | C |
|                                                  |           | 揮發性固體物 | P.C. | 1/D  | C |
|                                                  |           | pH 值   | P.C. | 1/WK | G |
|                                                  | 泥 餅       | 總固體物   | P.P. | 1/D  | C |
|                                                  |           | 揮發性固體  | P.P. | 1/D  | C |
|                                                  |           | 重金屬    | P.P. | 1/M  | C |

|                                   |      |        |             |      |      |
|-----------------------------------|------|--------|-------------|------|------|
| 浮除法<br>(Air flotation)            | 進水口  | 氨氮     | P.P.        | 1/M  | C    |
|                                   |      | 懸浮固體物  | P.P.        | 1/D  | G    |
|                                   |      | 油脂     | P.P.        | 1/D  | G    |
|                                   | 放流口  | 清潔劑    | P.P.        | 1/D  | G    |
|                                   |      | 濁度     | P.P.        | 1/D  | G    |
|                                   |      | 懸浮固體物  | P.C. & P.P. | 1/D  | G    |
| 中和法<br>(Neutralization)           | 進水口  | 油脂     | P.C. & P.P. | 1/D  | G    |
|                                   |      | 清潔劑    | P.C. & P.P. | 1/D  | G    |
|                                   |      | 濁度     | P.C. & P.P. | 1/D  | G    |
|                                   | 放流口  | pH 值   | P.P.        | 1/WK | G    |
|                                   |      | pH 值   | P.C. & P.P. | 1/WK | G    |
|                                   |      | 懸浮固體物  | P.P.        | 1/M  | C.S. |
| 調勻槽<br>(Equalization tank)        | 進水口  | 生化需氧量  | P.P.        | 1/M  | C.S. |
|                                   |      | 導電度    | P.P.        | 1/M  | C.S. |
|                                   |      | 色度     | P.P.        | 1/M  | C.S. |
|                                   | 放流口  | 懸浮固體物  | P.P.        | 1/M  | C.S. |
|                                   |      | 生化需氧量  | P.P.        | 1/M  | C.S. |
|                                   |      | 導電度    | P.P.        | 1/M  | C.S. |
| 混凝法<br>(Flocculation)             | 進水口  | 色度     | P.P.        | 1/M  | C.S. |
|                                   |      | 懸浮固體物  | P.P.        | 1/WK | G    |
|                                   |      | 濁度     | P.P.        | 1/WK | G    |
|                                   | 槽內液體 | 膠羽沉降速度 | P.C.        | 1/WK | G    |
|                                   |      | pH 值   | P.C.        | 1/WK | G    |
|                                   |      | 懸浮固體物  | P.P. & P.C. | 1/WK | G    |
| 化學沈降法<br>(Chemical precipitation) | 放流口  | 濁度     | P.P. & P.C. | 1/WK | G    |
|                                   |      | 溶解固體物  | P.P.        | 1/WK | G    |
|                                   |      | pH 值   | P.P.        | 1/WK | G    |
|                                   | 進水口  | 濁度     | P.P.        | 1/WK | G    |
|                                   |      | 導電度    | P.P.        | 1/WK | G    |
|                                   |      | 膠羽沉降速度 | P.C.        | 1/WK | G    |
| 槽液                                | 液    | 懸浮固體物  | P.C.        | 1/WK | G    |
|                                   |      | 濁度     | P.C.        | 1/WK | G    |

|                                    |      |        |             |      |   |
|------------------------------------|------|--------|-------------|------|---|
| 氧化還原法<br>(Oxidation-reduction)     | 沈澱池  | pH 值   | P.C.        | 1/WK | G |
|                                    | 放流水  | 導電度    | P.C.        | 1/WK | G |
|                                    |      | 溶解固體物  | P.P. & P.C. | 1/WK | G |
|                                    |      | pH 值   | P.P. & P.C. | 1/WK | G |
|                                    |      | 懸浮固體物  | P.P. & P.C. | 1/WK | G |
|                                    |      | 濁度     | P.P. & P.C. | 1/WK | G |
|                                    |      | 導電度    | P.P. & P.C. | 1/WK | G |
|                                    | 進水口  | 原物質    | P.P.        | 1/WK | G |
|                                    | 槽內液體 | pH 值   | P.P.        | 1/WK | G |
|                                    |      | 氧化還原電位 | P.C.        | 1/WK | G |
| 粒狀濾料過濾法<br>(Granular media filter) | 放流口  | pH 值   | P.C.        | 1/D  | G |
|                                    |      | 原物質    | P.P. & P.C. | 1/WK | G |
|                                    |      | 反應後物質  | P.P. & P.C. | 1/WK | G |
|                                    |      | 殘餘藥劑   | P.P. & P.C. | 1/WK | G |
|                                    |      | pH 值   | P.P. & P.C. | 1/WK | G |
|                                    | 進水口  | 懸浮固體物  | P.P.        | 1/D  | C |
|                                    |      | 濁度     | P.P.        | 1/D  | C |
|                                    | 放流口  | 懸浮固體物  | P.P. & P.C. | 1/D  | C |
|                                    |      | 濁度     | P.P. & P.C. | 1/D  | C |
|                                    | 進水口  | 生化需氧量  | P.P.        | 1/D  | C |
| 活性碳法<br>(Activated carbon)         |      | 化學需氧量  | P.P.        | 1/D  | C |
|                                    |      | 色度     | P.P.        | 1/D  | C |
|                                    |      | 臭味     | P.P.        | 1/D  | C |
|                                    | 放流口  | 生化需氧量  | P.P. & P.C. | 1/D  | C |
|                                    |      | 化學需氧量  | P.P. & P.C. | 1/D  | C |
|                                    |      | 色度     | P.P. & P.C. | 1/D  | C |
|                                    |      | 臭味     | P.P. & P.C. | 1/D  | C |
|                                    | 進水口  | 主要離子   | P.P.        | 1/D  | C |
|                                    |      | pH 值   | P.C.        | 1/D  | C |
|                                    | 放流口  | 主要離子   | P.P. & P.C. | 1/D  | C |
| 離子交換<br>(Ion exchange)             |      | pH 值   | P.C.        | 1/D  | C |
|                                    | 進水口  | 大腸菌類   | P.P.        | 1/D  | G |
| 加氯 (Chlorination)                  | 進水口  |        |             |      |   |

|                        |       |      |             |     |   |
|------------------------|-------|------|-------------|-----|---|
| 氣提法<br>(Air stripping) | 放 流 口 | 大腸菌類 | P.P. & P.C. | 1/D | G |
|                        |       | 餘 氯  | P.P. & P.C. | 1/D | G |
|                        | 進 水 口 | 氨    | P.P.        | 1/D | C |
|                        |       | 鹼 度  | P.C.        | 1/D | C |
|                        |       | 溫 度  | P.C.        | 1/D | C |
|                        | 放 流 口 | 氨    | P.P.        | 1/D | C |
|                        |       | 鹼 度  | P.C.        | 1/D | C |
|                        |       | 溫 度  | P.P.        | 1/D | C |

註：1/D 每取樣一次

1/WK 每星期取樣一次

1/M 每月取樣一次

C- 混合取樣

G- 隨機取樣

C.S. 連續取樣

P.P. 程序操作

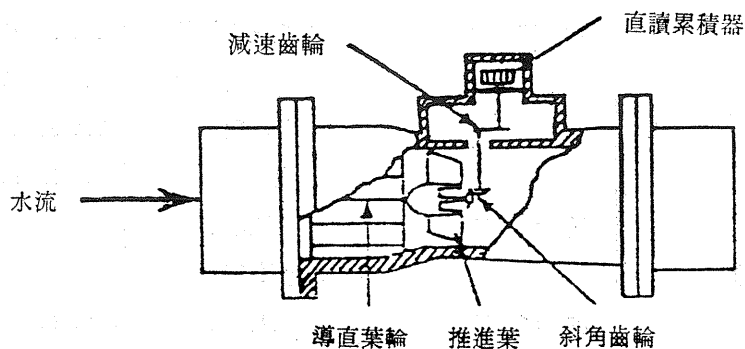
P.C. 程序控制

## 附錄(二) 常用之流量測計

### 一、推進葉流量計(Propeller meter)

推進葉流量計之原理為當水流流向葉片時，葉片因水之衝擊而旋轉，其轉速與流量成正比例，此種流量計所顯示之讀數為累積流量，加裝設備可將流量讀出，其訊號可以遠傳。

此種流量計在任何時間都需滿水，任何方向都可以按裝，不論水平或垂直。精確度在 $\pm 2\%$ ，含顆粒或油脂的廢水不適用。如圖二所示。



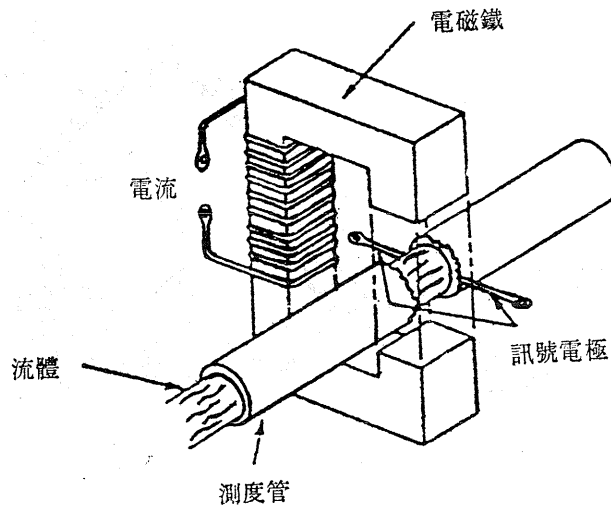
圖二 推進葉流量計

## 二、磁流量計 (Magnetic flow meter)

磁流量計之原理是於流體通過的截面上，建立一磁場，若有導電性之流體通過時，會產生電動勢，其大小與導體之速率成正比，而可轉換成流量。應用時，水管必須滿管，任何方向皆可按裝。如圖三所示。

若流體含顆粒性雜質，為免顆粒沉降，流速最小須1.5至2.4公尺／秒。裝置地點應避免有空氣積於流量計附近，若有空氣或油脂累積於電極上，會影響讀數。

在流速為0.9至8.1公尺／秒，時，其精確度為 $\pm 1\%$ ，流速0.9米／秒以下，其精確度將低於 $\pm 2\%$ 。

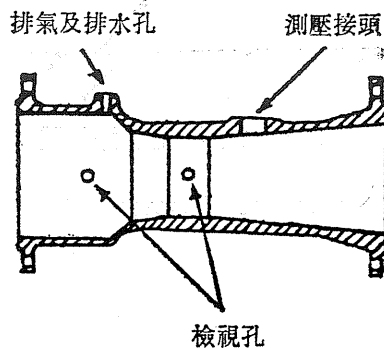


圖三 磁流量計

## 三、文氏管 (Venturic tube)

文氏管原理為當流體流經收縮段時，流速增加，壓力減小，進流與收縮部之壓差與流量之平方成正比。通常其精確度為0.75%。如圖四所示。

文氏管任何時間都需滿管，任何方向都可按裝。用於測廢水及污泥時，在測壓接頭須有冲洗裝置。



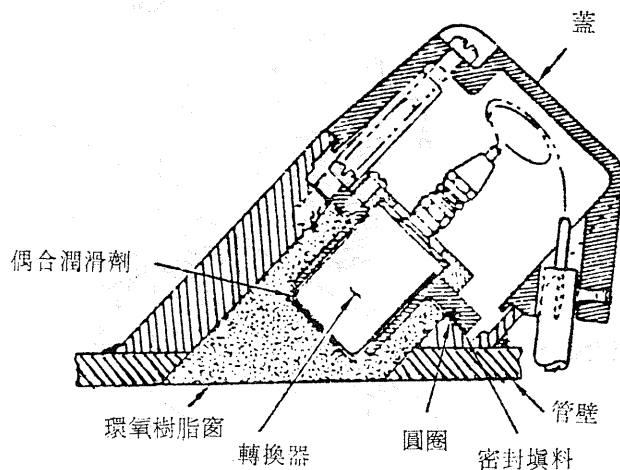
圖四 文氏管

#### 四、超音波流量計 (Ultrasonic flow meter)

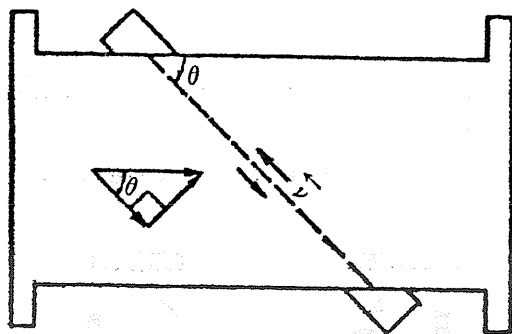
超音波流量計對液體流動沒有任何阻礙，其裝置可分為量測器 (Sensor) 及傳送器。量測器為一經校正好的管，內壁塗環氧樹脂。

在管外裝有一對斜對的超音波轉換器 (圖五為超音波流量轉換器側面圖)，這對超音波轉換器，能發出及接受超音波之壓力脈動，這脈波先與液流反向，然後同向運動。脈波運動時間與其頻率成反比。逆向與同向的傳送時間可測定。液體平均流量與兩脈波運動時間之差成正比。圖六為超音波流量計操作圖。

超音波流量計的精確度在流速大於 0.3 公尺／秒時為 1 %。



圖五 超音波流量計轉換器側面圖

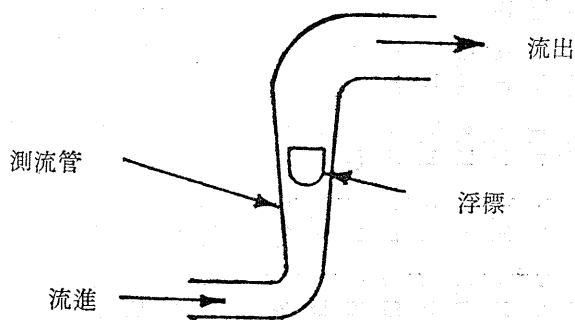


圖六 超音波流量計操作圖

#### 五、面積流量計 (Variable area meter or Rotameter)

面積流量計如圖七所示包括一垂直放大管及浮標，此浮標可在管中上下移動，流體為底部往上流，而從頂部流出。當流體流入管中，通過浮標時，由於斷面縮小，流速加快，而使浮標上升，至向上的力量與向下的浮標重量相等時，浮標就不再上升，流量越大，浮標上升越高。

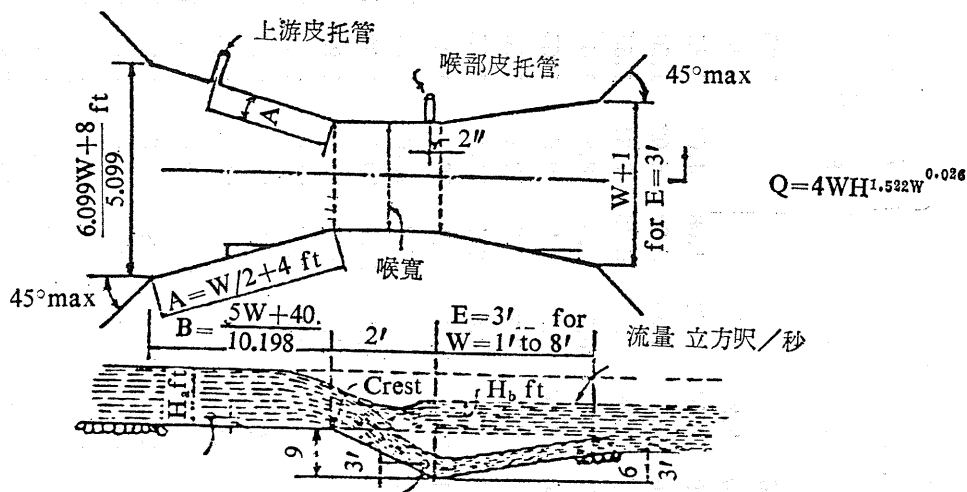
此計應用於不含顆粒之流體，其精確度為  $\pm 2\%$ 。



圖七 面積流量計

## 六、巴歇爾水槽 (Parshall flume)

巴歇爾水槽如圖八所示，係將文氏管，流量計原理應用到明溝上，



圖八 巴歇爾水槽

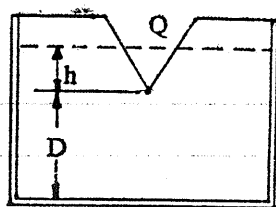
表二可查得巴歇爾水槽之喉寬 (throat width, W) ，上游水頭及流量之關係。

## 七、量水堰 (Weirs)

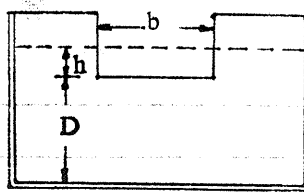
量水堰如圖九是測定廢水量最簡便而常用之方法，此法僅在排水溝之適當地點裝置一量水堰堤，使水越過堰口自由流出，流出水超過堰口之水頭高度，因流量而異，故由水頭高度可以計算流量。常用之量水堰為三角堰及矩形堰。

表二 巴歐爾水槽流量表

| 通過巴歌爾水槽之流量 |            |      |      |      |      |      |      |      |          |      |            |      |      |      |      |      |      |  |
|------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|----------|------|------------|------|------|------|------|------|------|--|
| 上游<br>水深   | 流量 (立方呎/秒) |      |      |      |      |      |      |      | 上游<br>水深 |      | 流量 (立方呎/秒) |      |      |      |      |      |      |  |
|            | 喉寬 (呎)     |      |      |      |      |      |      |      | 1        | 2    | 3          | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |      |  |
|            | 1          | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |          |      |            |      |      |      |      |      |      |  |
| 0.20       | 0.35       | 0.66 | 0.97 | 1.26 |      |      |      |      | 1.35     | 6.32 | 12.7       | 19.2 | 25.7 | 32.2 | 38.7 | 45.3 | 51.8 |  |
| 0.25       | 0.49       | 0.93 | 1.37 | 1.80 | 2.22 | 2.63 |      |      | 1.40     | 6.68 | 13.5       | 20.3 | 27.2 | 34.1 | 41.1 | 48.0 | 55.0 |  |
| 0.30       | 0.64       | 1.24 | 1.82 | 2.39 | 2.96 | 3.52 | 4.08 | 4.62 | 1.45     | 7.04 | 14.2       | 21.3 | 28.8 | 36.1 | 43.4 | 50.8 | 58.1 |  |
| 0.35       | 0.80       | 1.57 | 2.32 | 3.06 | 3.78 | 4.50 | 5.22 | 5.93 | 1.50     | 7.41 | 15.0       | 22.6 | 30.3 | 38.1 | 45.8 | 53.6 |      |  |
| 0.40       | 0.99       | 1.93 | 2.86 | 3.77 | 4.68 | 5.57 | 6.46 | 7.34 | 1.55     | 7.80 | 15.8       | 23.8 | 32.0 | 40.1 | 48.3 | 56.5 |      |  |
| 0.45       | 1.19       | 2.32 | 3.44 | 4.54 | 5.63 | 6.72 | 7.80 | 8.87 | 1.60     | 8.18 | 16.6       | 25.1 | 33.6 | 42.2 | 50.8 | 59.4 |      |  |
| 0.50       | 1.39       | 2.73 | 4.05 | 5.36 | 6.66 | 7.94 | 9.23 | 10.5 | 1.65     | 8.57 | 17.4       | 26.3 | 35.3 | 44.3 | 53.3 |      |      |  |
| 0.55       | 1.62       | 3.17 | 4.70 | 6.23 | 7.74 | 9.25 | 10.8 | 12.2 | 1.70     | 8.97 | 18.2       | 27.6 | 37.0 | 46.4 | 56.0 |      |      |  |
| 0.60       | 1.84       | 3.62 | 5.39 | 7.15 | 8.89 | 10.6 | 12.4 | 14.1 | 1.75     | 9.38 | 19.0       | 28.8 | 38.7 | 48.6 | 58.6 |      |      |  |
| 0.65       | 2.08       | 4.11 | 6.12 | 8.11 | 10.1 | 12.1 | 14.1 | 16.0 | 1.80     | 9.79 | 19.9       | 30.1 | 40.5 | 50.8 |      |      |      |  |
| 0.70       | 2.33       | 4.60 | 6.86 | 9.11 | 11.4 | 13.6 | 15.8 | 18.0 | 1.85     | 10.2 | 20.8       | 31.5 | 42.2 | 53.1 |      |      |      |  |
| 0.75       | 2.58       | 5.12 | 7.65 | 10.2 | 12.7 | 15.2 | 17.7 | 20.1 | 1.90     | 10.6 | 21.6       | 32.8 | 44.1 | 55.4 |      |      |      |  |
| 0.80       | 2.85       | 5.66 | 8.46 | 11.3 | 14.0 | 16.8 | 19.6 | 22.4 | 1.95     | 11.1 | 22.5       | 34.1 | 45.9 | 57.7 |      |      |      |  |
| 0.85       | 3.12       | 6.22 | 9.30 | 12.4 | 15.5 | 18.5 | 21.6 | 24.6 | 2.00     | 11.5 | 23.4       | 35.5 | 47.8 | 60.1 |      |      |      |  |
| 0.90       | 3.41       | 6.80 | 10.2 | 13.6 | 16.9 | 20.3 | 23.7 | 27.0 | 2.05     | 11.9 | 24.3       | 36.9 | 49.7 |      |      |      |      |  |
| 0.95       | 3.70       | 7.39 | 11.1 | 14.8 | 18.4 | 22.1 | 25.8 | 29.5 | 2.10     | 12.4 | 25.3       | 38.4 | 51.6 |      |      |      |      |  |
| 1.00       | 4.00       | 8.00 | 12.0 | 16.0 | 20.0 | 24.0 | 29.0 | 32.0 | 2.15     | 12.8 | 26.2       | 39.8 | 53.5 |      |      |      |      |  |
| 1.05       | 4.31       | 8.63 | 13.0 | 17.3 | 21.6 | 25.9 | 30.3 | 34.6 | 2.20     | 13.3 | 27.2       | 41.3 | 55.5 |      |      |      |      |  |
| 1.10       | 4.62       | 9.27 | 13.9 | 18.6 | 23.3 | 27.9 | 32.6 | 37.3 | 2.25     | 13.7 | 28.1       | 42.7 | 57.5 |      |      |      |      |  |
| 1.15       | 4.94       | 9.94 | 14.9 | 19.9 | 25.0 | 30.0 | 35.0 | 40.1 | 2.30     | 14.2 | 29.1       | 44.2 | 59.6 |      |      |      |      |  |
| 1.20       | 5.28       | 10.6 | 16.0 | 21.3 | 26.7 | 32.1 | 37.5 | 42.9 | 2.35     | 14.7 | 30.1       | 45.7 |      |      |      |      |      |  |
| 1.25       | 5.62       | 11.3 | 17.0 | 22.8 | 28.5 | 34.3 | 40.0 | 45.8 | 2.40     | 15.2 | 31.1       | 47.3 |      |      |      |      |      |  |
| 1.30       | 5.96       | 12.0 | 18.1 | 24.2 | 30.3 | 36.5 | 42.6 | 48.6 | 2.50     | 16.1 | 33.1       | 50.4 |      |      |      |      |      |  |



三角堰



矩形堰

圖九 量測水 堰

### 1.三角堰

適用最大流量 1 ~ 4 立方公尺／分鐘。其流量與水頭高度之關係為

$$Q = K(\tan \theta/2)h^{5/2} \text{ 或 } Q = Kh^{5/2}$$

其中 Q：流量（立方公尺／分鐘）

h：水頭（公尺）

k：流量係數

$\theta$ ：堰底夾角

### 2.矩形堰

其流量與水頭高度之關係為

$$Q : Kbh^{3/2}$$

Q：水量（立方公尺／分鐘）

b：堰缺口寬（公尺）

h：堰之水頭（公尺）

## 附錄(三) 水樣瓶特殊標示

特殊標示以標籤型式繫於水樣瓶上，傳達水樣的各種資料，給實驗室人員，以為辨認及分析工作之參考。

正 面

|         |  |    |  |
|---------|--|----|--|
| 水樣來源    |  |    |  |
| 取樣地點    |  |    |  |
| 取樣日期    |  |    |  |
| 取樣方法：隨機 |  | 混合 |  |
| 取樣方法：人工 |  | 機械 |  |
| 取樣人員    |  |    |  |
|         |  |    |  |

編 號 101 0.1.10000 and 0[illegible]

## 附錄(五) 實驗室記錄

實驗室應將所分析而得的數據之所有環境條件及特殊狀況詳細記錄。表三為實驗數據的記錄表，表四為以各處理單元為主的月報表，表五為以各參數為主的月報表。

### 表三 實驗室記錄表

[illegible]

月份： 報告者：

— 172 —

月份報告書

— 173 —

# 毒性物質污染防治

## 有機性含毒廢物掩埋後產生毒性

### 氣體的危害和管制

沈 鐸\*戚啓勳\*\*

#### 前 言

近世由於世界人口膨脹，並且向大都市集中，再加上工商業的發達，廢棄物處理問題顯得越來越嚴重。臺灣地窄人稠，已臨燃眉之急。「廢棄物」兼指固體的垃圾和液體的廢水。以垃圾來說，不外乎掩埋和焚化兩條途徑，堆肥法只能適用於農村，消化量不大，臺北每天垃圾產量多達2,600公噸，內湖垃圾場逾齡達十二年，早已經飽和，談不到衛生掩埋。現在政府決定在未來五年內，斥資三十九億臺幣規劃二十六處垃圾掩埋場，以解決日趨嚴重的垃圾處理問題。

這些掩埋場是否包括工業廢水在內，因未參與其事，不得而知。但無論如何，掩埋場的設計、建造和操作，並不像一般人想像那樣容易，作者\* 多年來在紐約州政府從事環境維護的策劃、管制和研究，不僅面對許多新問題的挑戰，而且還發現在觀念上也必須予以刷新。例如過去總是把環境污染分：空氣、水和陸地三方面來對付，其實三者相互影響，必須通盤籌劃。其中最嚴重的一個問題就是：以往各國政府對毒性化學廢料的處理很少加以管制，只知道在陸地上掩埋因為花錢最少，所以大部廢物都拋棄在荒地上，不去考慮由此導致的後果。這些年來，各先進國家大多體認陸上堆積廢物之不當，會造成許多不幸問題。因此，政府有關機構紛紛對廢物（含固態及液態）掩埋場的規劃、建造和操作，從嚴審核，因為掩埋場即使在將來，仍為解決廢棄物問題的主要途徑。

紐約州尼加拉城洛夫運河（Love Canal）的不幸事件，足以證明有毒廢物處理不當，足以釀成非常嚴重的環境污染問題，決不能予以忽視。掩埋場內的廢物，不單使土壤和地下水變髒，還能污染大氣（見圖一）。

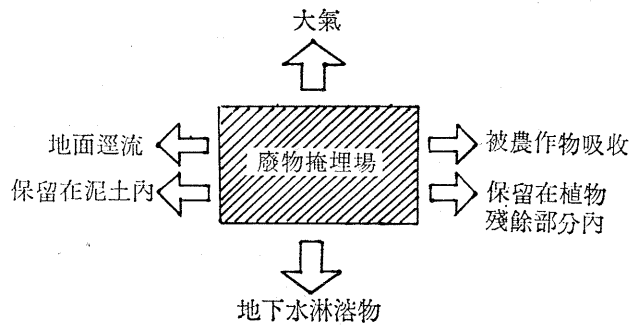
掩埋場內大多數毒性有機化合物，最後都會因揮發作用而成為蒸氣或氣體。這些蒸氣和氣體不斷產生，從土壤空隙排入大氣，再由擴散作用隨風向將毒氣自處理場帶到都市上空。掩埋的有機毒物腐化和氣化後，大部進入大氣中。但是也有一部份遺留在土壤或植物內，時間久暫不等。

\* 美國紐約州環保局高級研究員

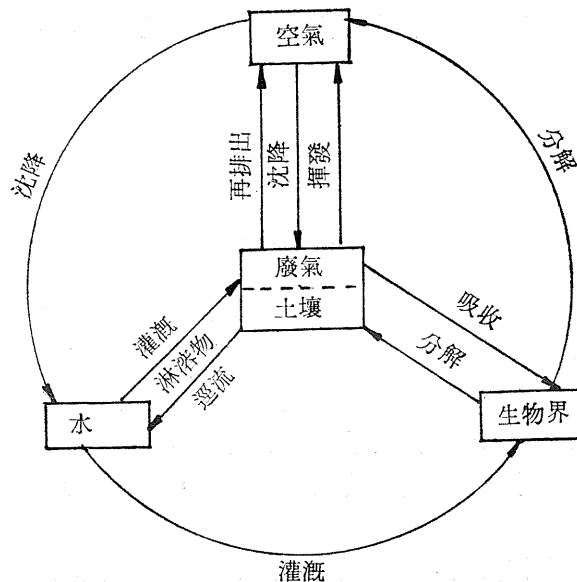
\*\*前中央氣象局簡任技正，現淡江大學兼任教授

另外還有一些可以溶解在水內，經由土壤而滲入地下水庫，廢物中並不揮發的無機部分，通常貯存在土壤內的時間較久。

毒性有機化合物一經釋入大氣內，就會凝成懸浮顆粒，或被空中顆粒所吸附，最後降落地面或水內。這些毒性有機化合物，除非能轉變為不大有害的物質（似乎不大可能），否則一定會經由分解、揮發、吸入，沉降和再排出而循環不已（見圖二）。



圖一、廢物掩埋場內有毒廢棄物的後果



圖二、有毒廢氣的循環

都市垃圾掩埋場內發生的氣體，問題並不很嚴重，因為這些氣體主要是二氧化碳和甲烷，還有少量的氫、氨、芳香族烴、含鹵素的有機物、和硫化氫<sup>(1)</sup>。然而含有毒性有機工業廢物的掩埋場，却能產生很多種有毒的氣體，成為大氣中的嚴重污染物<sup>(2)</sup>。

工程人員和科學家們已經注意到怎樣控制含毒性有機廢物的掩埋場排出地面逕流和地下水所引起的水污染，但是對這些掩埋場不斷將毒性空氣污染物輸入大氣卻沒有注意。有些人相信，土壤和黏土能夠吸收毒性有機廢物，因而不會有妨害；另外還有一些人認為掩埋場的氣體能夠擴散在空氣中，對空氣的品質不會有嚴重的影響。這些信念，最近由於發現有毒物質在生態環境中很難轉變為無毒物質而面臨挑戰。例如無機汞在土壤內轉變為甲汞，結果毒性更強，土壤吸收的能力很有限，而且吸收飽和後就會排出所吸的有毒物質。含毒性有機化合物的掩埋場內，不斷將有毒氣體給予大氣實在很危險，因為目前我們對於大氣中和或同化毒性有機物的能力所知極微。

不久前，美國紐約州洛夫運河掩埋場和 PCB（多氯二苯）廢物堆積場因為有關負責人員的疏忽，釀成對公眾健康和環境衛生的嚴重惡果，事後斥鉅資以謀救，根據各方醫學報告，癌症和嬰兒產後夭折只不過少數有記錄證明與毒性有機化合物確有關聯的例子，其他還有一些比較緩和的影響，包括：頭痛、嘔吐、皮膚疹和消化不良等等。

臺灣因為地方小，人口和工業都比較集中，更因為緯度偏低，溫度較高，日射強烈，毒性有機廢物的揮發性也高，工業區毗鄰大都市，更容易造成由此產生的惡果。因此，作者願就親身經驗以及研究之初步心得，提供國人參考，以為未雨綢繆之計。目前世界工業發達各國對危害性廢物掩埋場如何發生和逸出氣體，尚乏足夠資料，現正積極研究中，故而本文僅能提供一些有用的資料和研究成果。例如估計掩埋場氣體發生率的兩種新發展方法；兩項個例研究中顯示揮發氣體排洩對空氣品質的影響；以及管制氣候排洩的兩種基本措施。本文最主要目的則在提請國內工程人員、研究人員，教育界以及垃圾或廢水處理人員共同重視此一主題，謀求解決之道，以維大眾健康。

## 掩埋場中氣體的發生

所有掩埋場都會發生氣體。理論上，大多數有機廢物在有利的環境下，經過一段時間，最後都會轉換為氣體。掩埋場內發生氣體的過程涉及廢物的揮發，生物性的變質和化學反應，作者在另一文獻中曾加討論<sup>(3)</sup>。當一種液體或固體揮發氣化時，它的體積增大非常驚人。例如三氯甲烷完全揮發時，體積大約增大 182 倍，計算的方法很簡單，只要把分子量轉換為克分子容積，再與 20°C 時標準氣體克分子容積 24.04 公升相比較即得。液態三氯甲烷的克分子量為 88.58 克，液態三氯甲烷一克相當於 20°C 時 1.489 公撮（千分之一公升），即 131.9 公撮／克分子。24,040 公撮／131.9 公撮 = 182。廢物掩埋場中所含的毒性有機化合物內，可能還有更多的含鹵素有機物和其他有毒物質。

有機廢物揮發和氣化都非常緩慢，但是因為繼續不斷，所以掩埋場內產生的氣體可能會經常排出，直到所有有機物都氣化為止。據推測所產生毒氣之所以會上升入空氣中，其原因如下：

- (1) 由於氣壓差而產生地面的呼吸作用；掩埋場內如果氣體壓力超過大氣壓力，也會有這種吸收作用。

(2)掩埋場下面的地下水面和基岩，以及場周圍的無限厚度，使得氣體流動的方向，向上到達地面，因為廢物上面覆蓋土壤厚度有限，抗壓能力最低。

(3)由於堆放的不均勻，土壤溫度的季節性變化、土內含濕量的改變，以及動植物的活動等，經過一段時日之後，掩埋廢物上面的覆土一定會發生裂縫。

陸氏 (Lu) 和馬吐齊克(Matuszek) 研究大氣壓力和掩埋場內氣體壓力的相差，得出一經驗式和監視放射性氣體發生率的一種作業程序<sup>(4)</sup>。經驗式是由達西流率方程 (Darcy-flow equation) 導出：

$$Q = -\frac{KA}{\mu L}(p-P) = -k(p-P) \quad (1)$$

式中

Q = 容積流率，立方公分/秒

K = 滲透性

A = 有效面積，平方公分

$\mu$  = 黏度係數，克/公分一秒

L = 土壤層的有效厚度，公分

p = 掩埋場內氣體壓力，達因/平方公分

P = 大氣壓力，達因/平方公分

k = 滲透性係數

方程(1)可用來估計危害性廢物掩埋場的排放氣體。應用此方程時，先要找出滲透性係數 k，根據實地監測各設井點的 Q、p、P 值，用一種數值法即可決定。隨後只要監測 p 和 P 就能計算 Q，此種氣壓差通常都很小，所以在設井地點必須採用非常靈敏的監測儀器，例如電動的壓力差變能器，此法用於含毒性有機廢物的準確性和可靠程度猶待證實，因此需要實地試驗來加以鑑定。

真正想要測定像掩埋場中散發的空氣污染物，不僅費時花錢，而且不切實際。唯一可能的辦法，無非是根據理論上的計算來估計排放率。另外有一經驗式也許可以作為評估空氣品質的一項線索或基礎。。下面這個公式是從穩定狀態擴散的費克定律 (Fick's Law) 得出，可用來預測掩埋場有毒成分的排放率：

$$E_i = D_i C_{s,i} A P_t^{4/3} \frac{1}{L} \frac{W_i}{W} \quad (2)$$

式中

$E_i$  = 成分 i 的排放率 (克/秒)

$D_i$  = 成分 i 的擴散率 (平方公分/秒)

A = 露出面積 (平方公分)

$C_{s,i}$  = 成分 i 的飽和蒸氣濃度 (克/平方公分)

$P_t$  = 土壤的多孔性 (無單位值)

L = 土壤覆蓋的有效深度 (公分)

$W_i/W$  = 有毒成分 i 在廢物中的重量百分比 (克/克)

應用方程(2)，覆蓋土壤的有效深度必須大於1，D、P<sub>i</sub>和C等值也要求出。有關此方程用法的詳細說明，見參考文獻內的實例<sup>(5)</sup>。根據已經得到的方程，可以算出各種化合物的飽和蒸氣濃度和擴散係數<sup>(5)</sup>。從實地考察和測驗能夠獲得掩埋場的面積，土壤的多死性，覆蓋土壤的有效深度，以及有毒成分重量的百分比。估計的準確度主要看有無可靠的實地資料，譬如像廢物的總量和成分，土壤的性質，以及周圍的環境和氣候情況。如果沒有這些實地資料，估計排放率的任何嘗試都會失敗。不過新的掩埋場可以從廢物處理日報表，以及清潔人員搬運報表中找到廢物的數量和成分。由此可見排放率的估計，對空氣品質的評估也許很有用處。

## 個例研究之一

洛夫運河廢物掩埋場位於紐約州尼加拉瀑布城的東南角，長方形面積，占地約16畝。虎克工廠(Hooker Chemical Company)利用此地掩埋用圓筒裝的化學廢棄物。生產過程的污泥、飛塵和其他廢料，大約在廿五年內總共堆積約21,800噸，1978年夏季，在此掩埋場附近舉行空氣採樣測試分析，才知道當地空氣中至少有26種毒性有機化合物，其中濃度最高的10種化合物如表一。

表一、洛夫運河掩埋場上空氣取樣中10種濃度最高化合物的監測資料

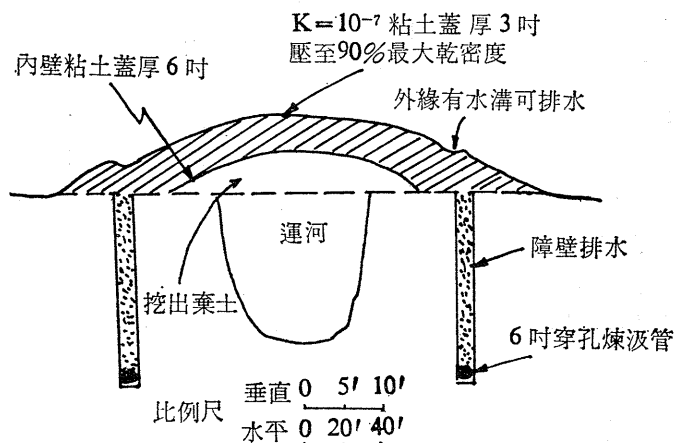
| 化合物      | 在房屋內找到次數 | 全部屋內取樣百分比 | 觀測得最高值               |
|----------|----------|-----------|----------------------|
| 三氯甲烷     | 23       | 26        | 24微克/公尺 <sup>3</sup> |
| 苯        | 20       | 23        | 270 "                |
| 三氯乙烷     | 74       | 84        | 73 "                 |
| 甲苯       | 54       | 61        | 570 "                |
| 四氯乙烷     | 82       | 93        | 1140 "               |
| 氯苯       | 6        | 7         | 240 "                |
| 氯甲苯      | 32       | 36        | 6700 "               |
| 間位及對位二甲苯 | 36       | 40        | 140 "                |
| 鄰二甲苯     | 17       | 19        | 73 "                 |
| 三氯苯      | 11       | 13        | 74 "                 |

資料來源：參考文獻(2)

洛夫運河掩埋場另外還找到一些重要的有毒化學品，包括：苯甲酸、三氯乙烯、二溴乙烷、二氯甲烷、以及四氯化碳<sup>(2)</sup>。其中有很多種化合物已經證明（或者推想）和人類的癌症，以及其他嚴重的慢性病有關。

該掩埋場所採取的補救措施，是建造一組3呎寬的瓦管蒐集系，和一個3.5呎厚的不透氣黏土蓋子，如圖三所示。由此降低該區的地下水面，並且防止降水流入掩埋場。此新製不透氣黏土蓋子是否能防止掩埋場內氣體的排出，目前還沒有足夠測驗資料來決定它的效能。該項洛夫運河污穢的清除，估計耗資超過二千三百萬美元；另外還應該加上損害賠償的要求超過20億美元。早

在1950年，如果能加以管制，花費僅約140萬美元<sup>(6)</sup>。顯而易見，不適當的掩埋場一旦問題發生，需要花費鉅資來清除。



圖三、洛夫運河的典型橫斷面

## 個例研究之二

卡布多露天廢物埋積場 (Caputo Open Dump) 位於紐州南格林斯瀑布 (South Glens Falls) 附近，使用到 1968 年才開始接受通用電器 (G.E.) 公司兩處電容器製造廠的多氯聯苯 (PCB) 廢料。1977年十一月初，政府環保人員開始在堆積場上面採集空氣，鑑定 PCB 的排出情況，由於受人力及財力限制，截止1979年六月只採集了23種環境空氣樣品。空氣監測結果如表二所示，1978年11月 PCB 的最高環境濃度為300微克/公尺<sup>3</sup>，1979年四月則為540微克/公尺<sup>3</sup>。

表二、卡布多的環境監測資料

| 日 期       | 取樣數 | 地面溫度°F | 最高 PCB 濃度，微克/公尺 <sup>3</sup> |
|-----------|-----|--------|------------------------------|
| 1977年11月  | 3   | 35-45  | 5.9                          |
| 1978年 8 月 | 3   | 75-85  | 300                          |
| 1978年 9 月 | 2   | 75     | 46                           |
| 1978年11月  | 2   | 35     | 18                           |
| 1979年 4 月 | 7   | 65-82  | 540                          |
| 1979年 5 月 | 3   | 60-85  | 44.5                         |
| 1979年 6 月 | 3   | 95     | 0.68*                        |

\* 經覆蓋家畜糞便、紙漿污泥和表土後

有限的環境空氣監測資料顯示，卡布多廢物場的確產生了 PCB 污染空氣品質的問題，因為按照美國國家工業安全及健康研究所（NIOSH）的建議，每週 40 小時的工場內最高暴露限度不能超過 1.0 微克/公尺<sup>3</sup>(7)。由於紐約州並無高溫焚化爐來處理含高濃度 PCB 廢料，加以當時必須立即採取措施，以免此廢物場在夏季 PCB 的揮發更強，造成重大危害，紐約州環境保護局（NYSDEC）才決定將 PCB 廢料暫時遮蓋起來。

當時的決策是：PCB 廢料以及業已污染的覆蓋材料將來必須搬走，以便隨時焚化。因此，將家畜糞便、紙漿污泥和表土都加在掩埋場上。選擇這些材料的理由如下：

- (1)堆積必須立即遮蓋，這些材料在附近可取得，不成問題，既經濟又便於施用。
- (2)這些遮蓋物都含有相當豐富的有機物，經由吸收作用降低有毒蒸氣的排放率。
- (3)它們都是比較容易燃燒的材料，如果最後用焚化法處理，遭遇的困難不大。

結果，從 1979 年五月底開始執行防污，採用 3、6 吋的家畜糞便，12 吋的紙漿污泥和 2 吋的表土。到了 1979 年六月，測得空氣中 PCB 的濃度已降至不足 1.0 微克/公尺<sup>3</sup> 以下。

紐約州政府環境保護局也知道，措施僅為暫時應變而已，所以計畫以後將此種高度污染的 PCB 廢料從掩埋場搬走，儘可能在高溫燃燒爐內燒掉。

## 揮發性排出氣體的控制

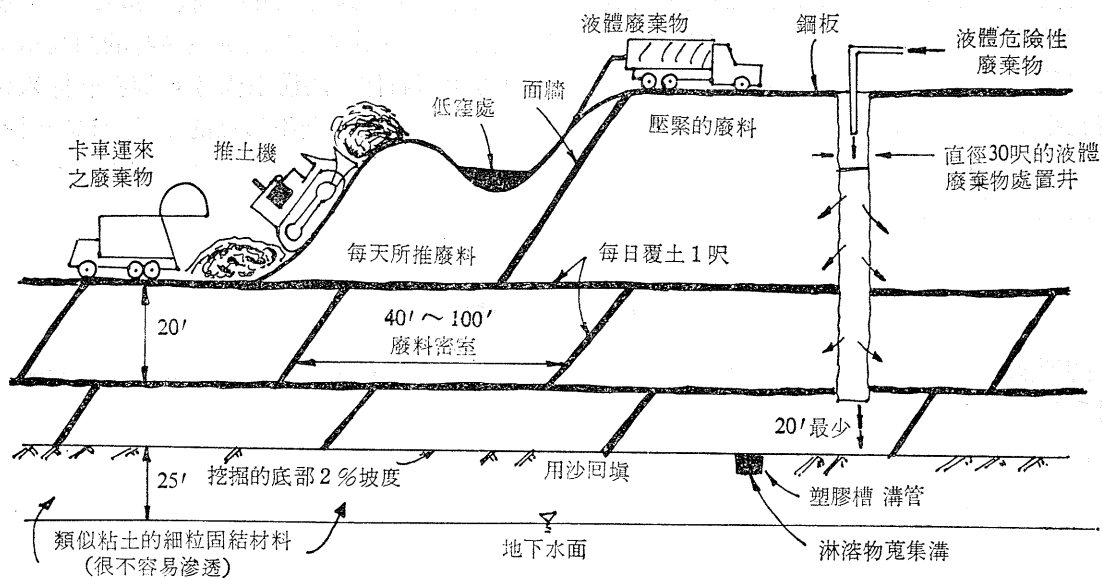
控制揮發性氣體從含有毒性有機廢料的掩埋場內排出，基本上不外乎兩種途徑：

(1)防止氣體的發生——主要在於減少掩埋場雨水的滲入，以及禁止掩埋污泥和揮發性有機化合物，此點對新設廢物場很重要。

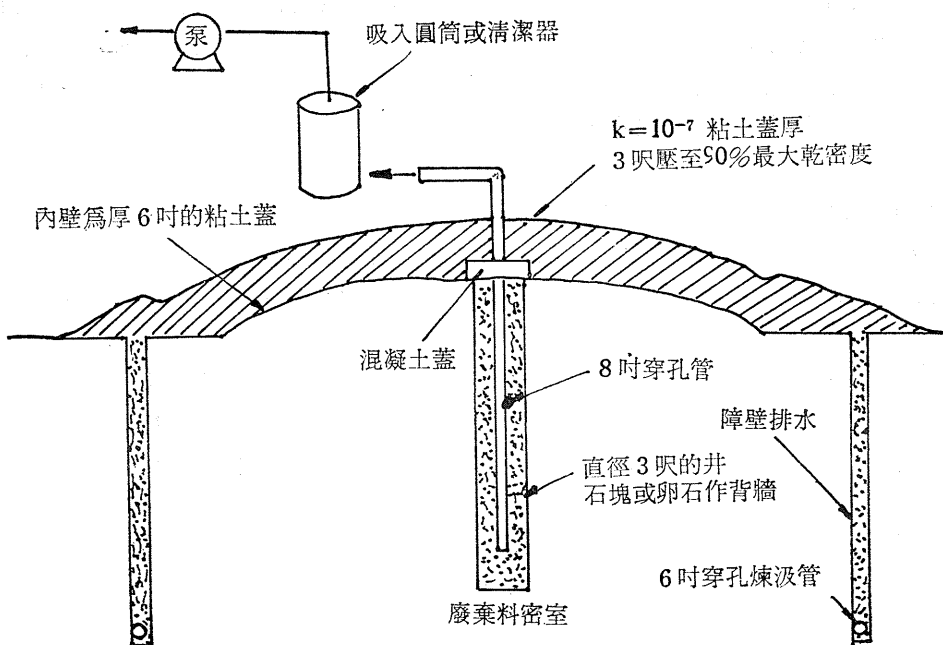
(2)採用封包法防止揮發性氣體的排入大氣中——封包法可用於原有廢物場的補救措施；也就是建造不透氣的蓋子和廢物場周圍的圍堤，例如洛夫運河掩埋場。

美國南加州常用的一種掩埋污泥和毒性有機廢料法，如圖四所示，圖中可以看出有一推土機正在推平垃圾，並且將它們壓緊，形成一堤埧，不讓液態危害性廢料排出。這些液體廢物用箱狀大卡車運到處理場，從坡頂倒入低窪處，隨後將固體廢物推進坡地邊緣，倒入窪地內來吸收液體，最後用固體廢料填滿壓緊。有時候，在一已壓緊的廢物內鑽井來存放工廠污泥，尤其是腐蝕性和酸性很高的液體廢料。據報導此種雙管齊下的掩埋場即使含有液體廢棄物一半重量，也沒有淋溶物產生，或相當份量的氣體<sup>(1)</sup>。這是因為南加州的天氣好，而且掩埋場並不含高度揮發性的廢物。至於其他經常下雨的地方，譬如像臺灣，即使將高度揮發性廢物另行處理，用這種方法是否會發生相當多的氯化物就很難說了。因為臺灣初夏有梅雨，仲夏有雷雨，秋季有颱風雨，北部冬季還有季風雨，都會造成廢物場嚴重的淋溶問題，值得我們注意。一般來說，掩埋的液體，污泥和低揮發廢棄物，都會慢慢地揮發成氣體。

廢物處理場控制揮發性氣體排出的一種理想封包設計，如圖五所示，不透氣的蓋子和圍堤用泥土或塑膠做建材都可以。為了防止內部氣體增多，必須採用氣體蒐集系把內部的氣體抽出，讓密封掩埋場內保持負壓力。此種蒐集系可由溝、井、穿孔管、不透氣蓋、連接管和泵組成。溝和井內填以卵石，截住側面逸出的氣體，讓溝和井內保持一種負壓力，提供一條氣壓很低的通路，



圖四、加州最佳危害性廢棄物處理場操作情形



圖五、防止氣體從危害性廢棄物掩埋場中洩出的一種設計

掩埋場內產生的氣體由地下管線從井和溝內抽出或自然流出，場邊外圍井的間隔約30公尺，場內的井間隔約60公尺，其準確間距要由廢棄物的性質來決定。外圍井的深度應與廢物的深度相當，但場內的井大約只需廢物深度的四分之三，外圍井也可用卵石作壁的溝來代替。穿孔管插入井和溝內蒐集氣體。井和溝都要卵石或石塊作壁，井和溝的頂必須用一種不透氣的蓋子加以密封。這些管子用一普通的管集箱和一泵相接，連到處理系。這些毒性有機氣體洩入大氣中之前，最好採用吸附法予以排除。

## 討 論

想要適當管制含毒性有機廢棄物掩埋場發生和排出的氣體，關鍵在於必須獲得可靠的廢棄物性質和氣體發生率等資料。很不幸，通常都沒有這些記錄，今後應設法建立。原有掩埋場倘有廢棄物性質及成分的實地記錄，即可用經驗式來估計掩埋場的氣體發生及排放率，如果沒有這些資料，經驗式也不會有用。因此，在一些具有代表性的有毒廢棄物掩埋場上，必須推行一項實地鑑定揮發性氣體的量和特性的計畫。此種計畫的結果，將可提供鑑定掩埋場氣體發生和排放率經驗式的基本資料，而且還可以進一步發展試驗順序和管制政策，這些資料也能用來評估對環境空氣品質的即時及潛在長期效應。

嚴格來說，我們不可能建造一處絕對安全的有毒廢物掩埋場，因為發展長久控制危害性淋溶物及氣體的技術非常困難，經過若干年後，掩埋場都會發生顯著的淋溶，並且排出揮發性氣體。話雖如此，空氣污染通常都不能下肯定的結論，除非有足夠資料而且用統計法證明有許多人受到影響，洛夫運河的不幸事件可以作為一個典型的例子。已有掩埋場想要控制揮發性氣體的外洩，通常要比新建規劃和設計更加困難，花錢也多。以目前來說，只有少數工程人員、研究人員和管理人員認識掩埋場洩出揮發性氣體的嚴重性。

現在最重要的，是在法令上嚴格規定，含危害性及（或）毒性的有機廢物，在掩埋前應先行處理，並分別堆放。廢物的前期處理，像中和法、化學穩定法、體積減縮法；固化法和脫毒法等都可以應用，有些具有很強蒸氣壓或爆炸性、復活性、有毒性廢棄物，絕對不能掩埋。例如三氯甲烷、三氯乙烷、二氯乙烷等，都有很高的蒸氣壓；鈉、鉀、鋰、氯化鉛、甲苯，遇水都有反應；氯酸鹽，高錳酸鹽和過氧化物，都是極強的氧化劑；苦味酸、三硝基甲苯，以及鎂金屬輪磨碎屑，都具有爆炸性，而且能發生火焰。很不幸，以往對這些廢棄物的處理很少加以注意。

緊急情況之下，加一適當的覆蓋，即能暫時減低揮發性氣體的排出率，蓋子越厚越不透氣，氣體的排出率越低，覆蓋物內含較多有機物，毒性有機蒸氣的吸收也較強，假定能夠刺激覆蓋內的特種微生物，較低分子量的有機物也許能夠經由生物作用而淡化。

在現實生活中，我們往往很少有選擇餘地，目前限於經費和時間，只好接受掩埋場作為處理危害性廢棄物的一種途徑。然而設計和操作危害性廢物掩埋場時，絕不可再劃分為三大類污染（水、空氣、土壤）分別處理，目前正演變為整體性環境維護的新觀念，土壤被污染後也會使空氣和水污染，如圖一及圖二所示。此種觀念顯示：廢棄物中的毒性有機化合物能引起慢性病（大部分還不清楚），必須予以控制和適當處理，決不可因為疏忽或者經費不足而建造不合標準也不適當的掩埋場，讓有毒化合物進入環境中循環不已。

## 結 論

1. 政府規定危害性廢棄物管制的法令中，對於含毒性有機化合物掩埋場排洩毒性氣體而引起空氣污染，是整個法令中最弱的一環。
2. 危害性廢棄物掩埋場的環境測驗，顯示潛在性空氣污染的問題相當嚴重，尤其是夏秋兩季空氣更易污染。
3. 廢棄物如果事先經過適當處理，並且分開來堆放，可以防止掩埋場的氣體發生，掩埋場揮發氣體的排出，倘能採用封包法和氣體蒐集及處理設備，可望減少污染。
4. 目前尚無足夠資料可用來設計及建造長時期經濟可靠的掩埋場，以防止有毒氣體的發生和排洩，因而需要實地試驗來確定這些氣體發生的量和發生率，以便鑑定經驗式是否有效；並且訂定管制政策，用以防止並管理含毒性有機廢物掩埋場的揮發氣體洩出。
5. 從長期健康冒險觀點來看，掩埋場內的氣體不管其量和質，直接散播入大氣，是維護環境衛生所難以接受的。凡是含毒性有機廢棄物的掩埋場，最好有一氣體蒐集和處理設備。
6. 現有掩埋場倘能用泥土覆蓋，或者加上其他材料的蓋子，暫時可以減少揮發性氣體的洩出，但却不能減少氣體的發生，掩埋場內的圓筒所裝液體廢物，或者用塑膠層間隔，未必發生效果，因為這些材料的壽命有限，將來想要謀求補救，可能花錢更多。
7. 掩埋場將來還會用下去，但是必須基於整體性環境維護的觀念，應用最佳控制科技來設計、建造和操作。

## 參 考 文 獻

1. DEWALL, F.B., E.S.K. CHAIN, and H. HAMMERBERG, "Gas Production from Solid Waste in Landfills", J. of ASCE Environmental Division, P. 415, June 1978.
2. "Love Canal" A Special Report to the Governor and Legislature prepared by New York State Health Department, September, 1978.
3. SHEN, T. T. and T.J. TOFFLEMIRE, "Air pollution Aspects of Land Disposal of Toxic Waste", J. of ASCE Environmental Division, P.211, February, 1980.
4. LU, A. H. and J.M. MATUSZEK, "Transport through a Trench Cover of Gaseous Tritiated Compounds from Buried Radioactive Wastes" Proceedings of the International Symposium on the Behaviour of Tritium in the Environment, held at San Francisco, Calif., October 1978.
5. SHEN, T.T.: "Estimation Emission of Toxic Pollutants from Hazardous Waste Disposal Sites", to be published in J. of ASCE Environmental Division.

6. Environmental Reporter, Vol. 9, No. 45, P. 2082, March 9, 1979.
7. Criteris for a recommended standard, Occupational Exposure to PCB's. USDHEW, NIOSH, September 1977.

# 水泥旋窯處理危害物可行性初步探討

鄭福田\* 蔡俊鴻\*\*

## 壹、概 說

危害物處理之方法甚多，針對危害物之特性以及所欲達成之處理程度，配合各種處理方法之原理及適合範圍，如何作最確切之選擇，達到安全而又經濟之處理實為最大之問題。

一般對於有機性之危害物處理均建議採用焚化法，利用高溫熱解、氧化之作用，使危害物轉化成安定無害之物質。基本上，若焚化之操作條件妥切，（如：足夠高之溫度，充分之停留，反應時間，以及適切之氧、燃料供應等），則其處理效率往往可達到 99.99% 以上，確實處理可能造成環境及公共安全威脅之危害物。但是，其費用及操作技術則為一甚大之問題，因此，如何減少處理危害物之費用，包括建設費及操作費，遂為一決定性之條件。

危害物焚化處理之基本原理為高溫氧化及熱解，因此，只要能達到此目的之任何操作均可用以焚化處理危害物。因而，水泥旋窯乃有用以共同處理焚化危害物之議。

將危害物送入水泥旋窯焚化處理之構想於1970年代便有人提及，並有一連串之實驗進行，而其結果亦令人滿意；但由於種種因素之顧慮，截至目前為止仍無大規模正式運轉操作者。

依目前一些實驗結果顯示<sup>(1)(2)(3)</sup>：水泥旋窯可用以處理固體狀態、液態及氣態之危害物，且經 1450°C 左右之高溫及10秒左右之停留（反應）時間，危害物之處理效率多在99.9%以上。而一般之焚化爐，其溫度僅約700~1000°C，且反應停留時間亦僅0.3~2秒而已，故其處理效率不及水泥旋窯者高。

基本上而言，利用水泥旋窯共同焚化處理危害物具有如下幾項特點：

- ① 高溫且停留時間長，處理效果在99.9%以上。
  - ② 危害物破壞、反應完全，無二次公害之虞。
  - ③ 對含氯化物之處理無HCl之問題，設備無腐蝕之虞（一般焚化爐處理含氯化物，將產生HCl廢氣之問題）。
  - ④  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  可處理部份伴隨產生之污染物，如 $\text{SO}_2$  等，減少其排放量。
  - ④ 對水泥產品品質沒有影響。
  - ⑤ 利用危害物之熱值可減少生產水泥之成本，且毋需負擔焚化爐建設成本，經濟效益大。
- 由此可知，以水泥旋窯焚化處理危害物乃一值得再加研究以便推廣之危害物處理對策。

## 貳、水泥旋窯之特性

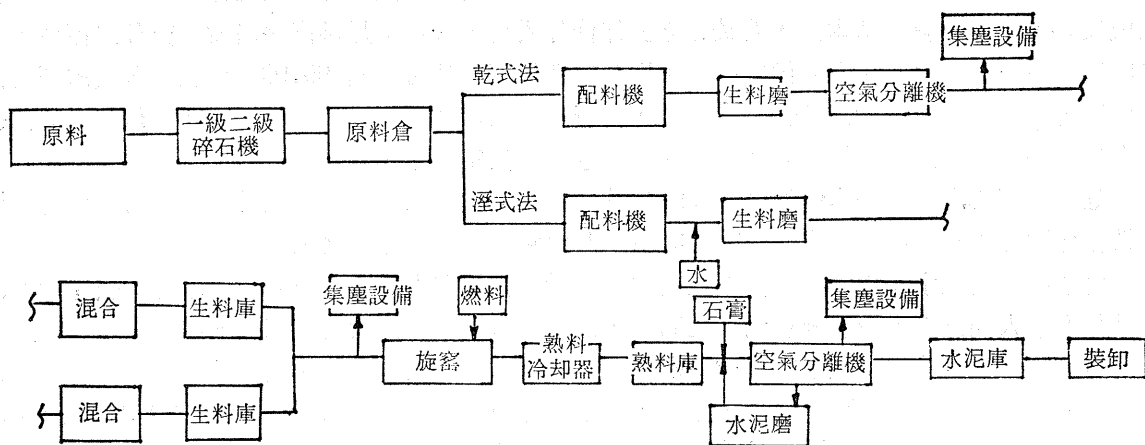
### 2-1 水泥製程

\*臺灣大學環境工程研究所副教授

\*\*臺灣大學土木工程研究所博士班研究生

水泥製造原理主要乃將各種配妥適當比例之原料，於高溫下燒結成熟料，其中含有各種礦相結晶物，達到其強度要求及其它各種目的，因此，水泥旋窯可謂水泥生產之最重要步驟，水泥之製程可見圖一<sup>(4)</sup>。

水泥之主要原料為氧化鈣、二氧化矽、三氧化二鋁及三氧化二鐵，其製造單元操作則包括粒度增減、分離、混合、熱交換及輸送。若以製造方法分類，主要可分濕式法（Wet Process）、半乾式法及乾式法。在三種方法中，以濕式法較適合於共同處理危害物，因其窯內之溫度較高，且含有較多水份，可提供更多之游離基（radicals），以一系列之連鎖反應（chain reaction），加速危害物之分解作用。



圖一、波特蘭水泥製造程序流程圖

表一及表二為水泥熟料之化學組成及晶相結構，由於其乃水泥強度之主要來源，故水泥製造過程中必需確保這些成份，亦即需維持足夠之溫度及停留時間，此條件恰可用以達到破壞危害物結構安定性之目的。由表三可知濕式法製程中，其溫度需維持在1400°C以上，一般多在1450°C左右，提供相當高溫之環境，足以使任何多環有機物裂解、氧化成無害之生成物。

表一 波特蘭水泥熟料約含有下列化學組成分子<sup>(5)</sup>

|                                |        |                                    |          |
|--------------------------------|--------|------------------------------------|----------|
| SiO <sub>2</sub>               | 1-26%  | CaO                                | 58-67%   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4-8%   | MgO                                | 1-5%     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2-5%   | K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O | 0-1%     |
| Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0-3%   | SO <sub>2</sub>                    | 0.1-2.5% |
| TiO <sub>2</sub>               | 0-0.5% | P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>      | 0-1.5%   |
| 燒失量                            |        | 0.5-3%                             |          |

表二 水泥熟料之晶相<sup>(5)</sup>

| 名 稱            | 有 效 範 圍                | 化 學 式                                  | 簡 式            |
|----------------|------------------------|----------------------------------------|----------------|
| 矽酸三鈣(Allte)'   | $Al_2O_3 \geq Fe_2O_3$ | $3CaO \cdot SiO_2$                     | $C_3S$         |
| 矽酸二鈣(Bellte)   |                        | $2CaO \cdot SiO_2$                     | $C_2S$         |
| 鋁酸三鈣           |                        | $3CaO \cdot Al_2O_3$                   | $C_3A$         |
| 鋁鐵酸四鈣          |                        | $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$     | $C_4AF$        |
| 鋁鉻酸鈣 (混合(結)晶相) | $Al_2O_3 < Fe_2O_3$    | $2CaO \cdot (Al_2O_3, Fe_2O_3)$        | $C_2(AF)$      |
| 游離石灰           | $K_2O + Na_2O < SO_2$  | $CaO$                                  | $(K, N)C_3A_3$ |
| 自由氧化鎂 (方鎂石)    |                        | $MgO$                                  |                |
| 含鹼鋁酸鹽          |                        | $(K, Na)_2O \cdot 8CaO \cdot 3Al_2O_3$ |                |
| 硫酸鹼            |                        | $(K, Na)_2SO_4$                        |                |
| 硫酸鈣            | $K_2O + Na_2O < SO_2$  | $CaSO_4$                               |                |

表三 旋窖內各種反應之溫度<sup>(6)</sup>

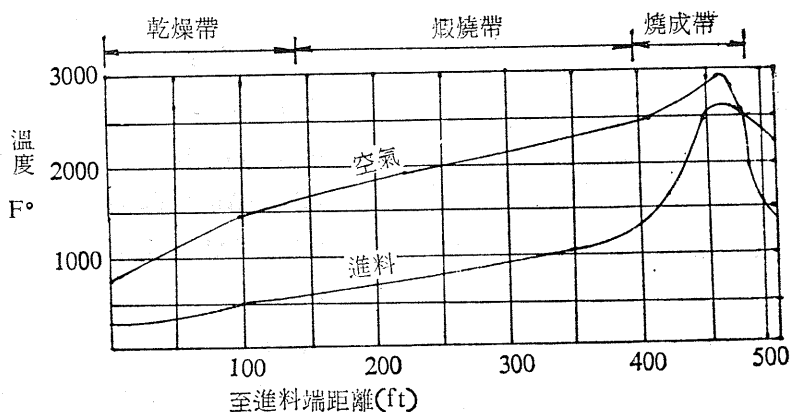
| 溫 度 約 值   |           | 窖 內 作 用             |
|-----------|-----------|---------------------|
| °F        | °C        |                     |
| 212       | 100       | 飼料內游離水份蒸發           |
| 930+      | 500+      | 粘土內結合水之釋出           |
| 1480+     | 805+      | 開始煅燒，石灰石內 $CO_2$ 釋出 |
| 1470—1650 | 800—900   | $C_2S$ 形成           |
| 2000—2200 | 1095—1205 | $C_3A$ 及 $C_4AF$ 形成 |
| 2300—2650 | 1260—1455 | $C_3S$ 形成，游離石灰漸次消失  |

此外，由於水泥在旋窖中之礦相甚為複雜，其中極大部份為鹼性物質 (alkali materials)，對於由有機物中所含硫氮成份因焚化而生成之酸性氣體如： $HCl$ 及 $SO_2$ 等，具有極大之吸附、吸收作用，且於窖排氣系統中，經多段之熱交換作用，其與懸浮態之鹼性水泥原料作用相當完全，故在最終排氣系統中不致有 $HCl$ 或 $SO_2$ 、 $H_2SO_4$ 等酸性氣體之問題。

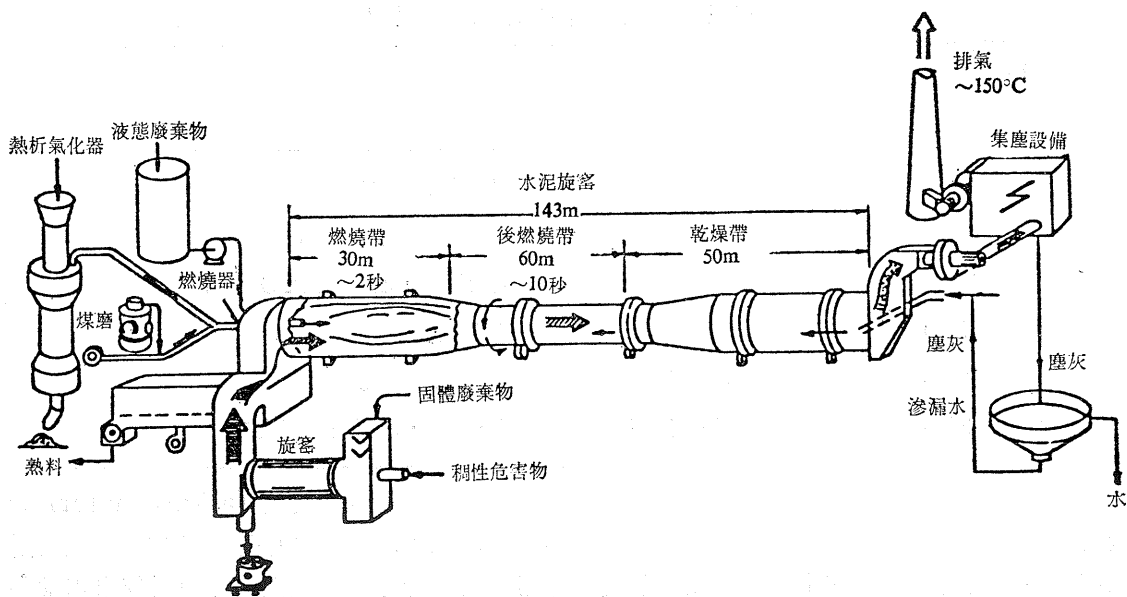
## 2-2 旋窖內之溫度分佈

水泥旋窖內之溫度極高，但其並非均勻一致。一般言之，水泥旋窖內之熱源來自於噴射燃料火焰，在水泥旋窖中，常用之燃料為粉煤或燃料油，其理論燒焰溫度可達  $2400 \sim 2600^\circ C$ ，視燃料成份而定，但一般實際僅約  $2100^\circ C$  左右<sup>(6)(7)</sup>，經由熱傳導作用，旋窖內空氣溫度及燒料溫度則多在  $500 \sim 1500^\circ C$  及  $300 \sim 1450^\circ C$  之間，視旋窖設計條件及火焰燃燒控制條件而異。

一般可將水泥旋窖分成三段：乾燥帶、煨燒帶及燒成帶，其中以燒成帶之溫度最高。其溫度分佈及原料，危害物流程可見圖二<sup>(6)</sup>、圖三<sup>(1)</sup>。



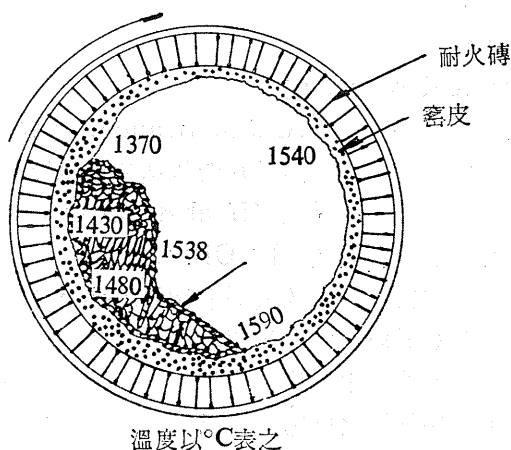
圖二、濕式製法之旋窖內部溫度分佈變化



圖三、水泥旋窖處理危害物流程圖

由圖二及圖三比較可知，燃燒空氣在燒成帶之溫度在  $1350^{\circ}\text{C}$  以上，停留時間約 2 秒；在煨燒帶之溫度則約  $800\sim 1300^{\circ}\text{C}$ ，停留時間則可長達 10 秒，於此條件下，有機危害物可充分氧化分解。縱使噴入火焰中之危害物若因操作不當而沾附於物料中，由於物料之溫度亦在  $600^{\circ}\text{C}$  以上（指煨燒帶後），且其停留時間在 1 小時左右，使危害物能充分進行氧化或熱解作用，故亦不致有反應不完全之情況。在燒成帶之溫度分佈可見圖四，由此可知其溫度均相當高，比一般焚化爐提

供更適合焚化有機物之高溫環境。據研究結果顯示：一般二槽式焚化爐，其溫度在 $920^{\circ}\text{C}$ ，停留時間為0.8秒之條件下，多氯聯苯(PCBs)之焚化處理效率即達99.99%<sup>(7)</sup>，故可確知水泥旋窯焚化危害物極高之效果。



圖四、燒成時窯內各點溫度分佈情形

### 叁、危害物在水泥旋窯內之分解作用<sup>(8)(9)(2)</sup>

危害物在旋窯中轉化成無害之安定物，主要乃藉三種機轉 (mechanism) 進行：

- ①氧化 (oxidation)
- ②熱解 (pyrolysis)
- ③吸收、吸附 (sorption)

其中氧化作用及熱解作用即構成常謂之「焚化作用」(combustion)。在焚化過程中，又以氧化作用最為重要，此乃由於氧化作用反應速度快，僅需毫秒量級 (m-sec,  $10^{-3}\text{sec}$ ) 之反應時間，而熱解作用則較長，有時甚至需達1~2秒<sup>(2)</sup>。

在旋窯內之燃燒反應，依其燃燒條件可分成二段：直接燃燒段 (direct burning) 及後燃燒段 (after burning)，其相當於燒成帶及煨燒帶之情況，主要之分別在於前者乃依空氣—燃料—危害物之反應情況作判斷之依據，後者則依水泥原料之反應情況而定。

#### 3-1 氧化作用

氧化作用為旋窯內危害物轉化為簡單小分子化而無害最終產物之主要作用機轉，利用燃燒之高溫使有害物與氧及其它物質作用而分解。

由化學反應平衡式(1)可知：

$$K_P = e^{-\Delta E/RT} \quad (1)$$

$K_P$ ：反應常數

$\Delta E$ ：化學物活化能

T：溫度

當溫度愈高，反應速率愈快，即危害物分解反應速率愈快。由(1)式可知，反應速率取決於該危害物之特性（活化能）及燃燒反應溫度，故旋客內之高溫可使危害物分解加速而完全。

就化學反應動力學觀點言之，危害物之安定化可藉以下三種作用進行<sup>(9)</sup>：

①分解 (decomposition)

②聚合 (polymerization)

③游離基反應 (free radical reaction)

其中游離基反應作用將發生「連鎖鍵反應」(Chain Branching Reaction)，加速危害物之分解。在燃燒火焰中（即燃燒段中），氧化作用乃藉游離基連鎖鍵反應發生。在高溫狀態下，大分子結構之碳氫化合物之分解作用乃由氫鍵破壞 (H-abstraction) 開始，此亦為一鍵連鎖反應作用，其所需之游離基則由燃料或水份而來（如 $H\cdot$ ,  $OH\cdot$ ）。

此外，在旋客內之燃燒作用主要藉「擴散火焰」(diffusion flame) 來進行，擴散火焰主要由擴散作用來控制，亦即由混合 (mixing) 作用決定其反應速率。一般又可將其分成分子擴散成紊流擴散（熱傳作用）兩種情況，故在水泥旋客內焚化危害物，其噴料條件及混合作用影響處理效率甚大。就一般條件而言，約10秒鐘之反應時間已足使複雜之危害物充分氧化、分解。

### 3-2 凝結態之燃燒 (condensed phase burning)

凝結態之燃燒主要係指氣態或液態危害物之燃燒。液態危害物（如：PCB廢液）需經妥慎設計之噴嘴加以霧化，直接噴入燃燒焰中，於高溫狀態下燃燒分解氧化其中所含之有機危害物。

基本上，凝結態之燃燒速率及反應時間由質量擴散 (mass diffusion) 及熱傳速率 (heat transfer rate) 所影響。因此，在凝結態燃燒中，危害物之粒徑大小、表面積（即霧化之程度）與混合程度為主要之控制要素。亦即在旋客內之焚化作用，不但受溫度高低、停留時間長短之影響，適切設計之噴料、霧化系統對危害物反應速率及分解、氧化程度亦影響甚大。

### 3-3 固態之燃燒

固態之燃燒主要指含有危害物之固體物（如：已耗竭之活性碳）於水泥旋客內焚化。一般言之，水泥旋客並不甚適於固態危害物之焚化處理，主要在避免影響水泥產品之品質。

固態燃燒之反應機轉主要如下：<sup>(10)</sup>

①物料受熱，並使含水份揮發。

②當物料達到熱解溫度時，揮發性物質產生，並於固態物表面形成一層阻隔使氧氣無法擴散進去。

③揮發性物質擴散進入燃燒焰氣流中而閃火燃燒。

④若微粒太大（即碎化不完全或噴料不均勻或結塊），則熱流與熱解流 (pyrolysis wave) 將進入固態物內部。

⑤部份外流之揮發物即於微粒內部受熱而發生熱解作用，高分子有機化合物分解成低分子化合物。

⑥當揮發物減少時，所形成之阻隔層效應消失，氧可擴散進入而抵固態物料之表面而使氧化作用進行。

⑦氧化作用，為一反應速率控制之反應。

由於微粒大小對其反應速率影響甚大，對其控制機轉 (control mechanism) 亦不相同。一般對於粒徑小於  $100\mu\text{m}$  之固體微粒，由於假設在其表面為平層流況 (laminar flow)，故其為化學反應速率控制之情況；至於大顆粒者，則可視為擴散控制之反應。一般言之，由於反應速率遠比擴散速率快，故小顆粒之燃燒時間遠比大顆粒者為短，亦即在相同溫度下，其反應之程度比較完全。由圖五可知燃燒時間與粒徑大小之關係，由此可知噴粒、霧化系統在危害物於水泥旋窖中焚化之重要性。

### 3-4 吸收、吸附作用<sup>(11)(12)</sup>

危害物於水泥旋窖中之吸收、吸附作用主要指含氯、含硫等危害物，於焚化產生酸性氣體（如： $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$ ）為水泥原料鹼性物質所中和。

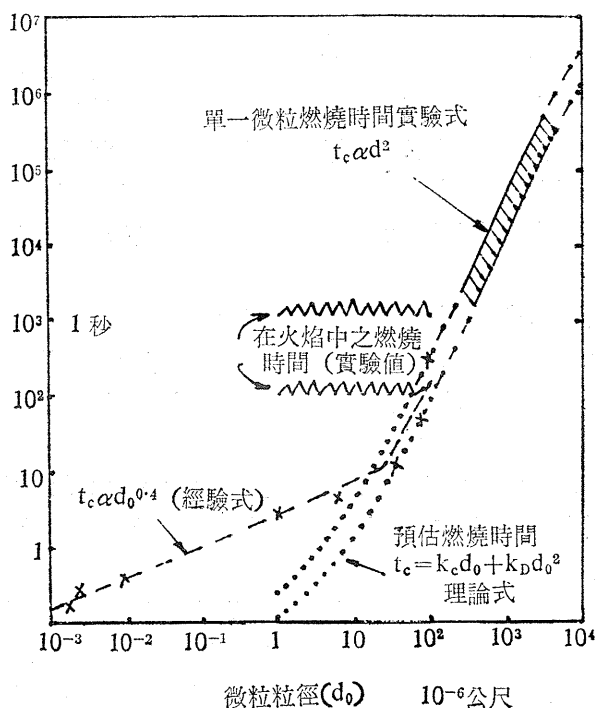
所產生之  $\text{SO}_2$  氣體可與  $\text{CaO}-\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  發生反應，其反應速率為氣體組成、溫度、鈣、鋁含量……等因素之函數，一般多與熟料共存而為水泥產品之一部份。

含氯危害物所產生之  $\text{HCl}$ ，則可能與水泥中之鹼性物質作用，形成  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$  等鹽類，隨原料而燒成熟料，或成微粒而隨窖氣而進入尾氣處理系統中。

此種吸附、吸收作用，在溫度高於  $850^\circ\text{C}$  時為由擴散控制之反應；但於低溫之環境中，則化學反應作用遂為控制因子。由於水泥旋窖之溫度分佈變化甚大，且於其後之尾氣處理系統中，廢氣之溫度並不甚高，故此兩種作用均有其重要性。

### 3-5 熱解作用

熱解作用主要發生於懸浮態之微粒、珠滴內部，亦可能發生於原料或融熔物料層內。由於熱



圖五 粒徑與燃燒時間之關係

解之速率比氧化作用慢，故在水泥旋窖中之作用不如氧化作用來得重要。

## 肆、實驗例之說明<sup>(1)(2)</sup>

目前世界上已有多個於水泥旋窖中共同處理危害物之實驗在進行中或已提出報告，較具體者有 Stora Vika 水泥廠，St. Lawrence 水泥廠，Peerless 水泥廠……等，茲分別說明其實驗結果如下。

### 4-1 Stora Vika 水泥廠

Stora Vika 水泥廠於 Canada 之 Stockholm 附近，於1978年進行一連串之實驗。

Stora Vika 水泥廠為燃煤之旋窖，日耗煤量620噸。實驗分別以四種不同危害物直接噴入火焰中燃燒，然後於窖排氣系統中檢查其濃度，以計算其去除率。

(一)含氯之脂肪族化合物 (chlorinated Aliphatics)

危害物包括：

①28%之二氯甲烷

②2%之三氯乙烯

③70%之2-丙醇

折合含氯量約24%

實驗之加料（危害物）率為水泥產量之0.4~0.79%

實驗結果顯示：在排氣系統中並無明顯之含氯化合物，所分析之項目包括二氯甲烷、四氯化碳、二氯乙烷、三氯乙烷、三氯乙烯、四氯乙烷及氯苯化合物。利用 GC/MS 來分析二氯甲烷及三氯乙烯，發現無法檢測，亦即其濃度低於測定之下限，據此可知其排放量分別在 50mg/50kg 加料量（指危害物）及 2mg/50kg 以下，亦即其去除效率均在 99.995% 以上及 99.9998% 以上。但三氯甲烷之排放濃度為  $340\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其經分析比較後，認為乃自水泥原料所排放。最終之結果顯示含氯碳氫化合物之排放濃度在 125mg/kg 危害物加量以下，但微粒之排放量則增加 20~100 mg/m<sup>3</sup>。

(二)含氯之芳香族化合物 (Chlorinated Aromatics)

危害物包括 PCB Arochlor 1242/1 與油之混合物，折算含氯量約 15.7%。

實驗結果顯示並無可檢出之含氯化合物（CCl<sub>4</sub> 除外），亦即其排放濃度低於 0.2mg/kg PCB 加入量，其去除效率大於 99.9998%。

(三)含氯酚 (chlorinated phenol) 及苯氧基酸 (phenoxy acids) 之危害物

實驗加入之物質包括有二氯酚、三氯酚、四氯酚、五氯酚、氯甲酚、MCPP、MCPA、2,4-DP、2,4-D 及 2,4,5-T 等。

實驗結果顯示在排氣中並無可檢出之氯酚或苯氧基酸，亦即排放濃度分別在 0.1mg/kg 加料量及 0.2mg/kg 以下。同時，並無可檢出之四氯或六氯之 dioxins 或 furans。但於實驗中有疑似 hepta-或 octachlorodibenzo-p-dioxin 與 octachlorodiben-zofuran 之反應，但無法確定其是否存在。

#### 四三氯三氟乙烷 (Trichlorotrifluoroethane, Freon TF)

實驗結果顯示在一次實驗中，曾於排氣中測得 Freon，其排放量為1.4mg/kg Freon 加入量。於實驗廠中，其溫度約 1050°C，停留時間為 4 秒，則排放量為15mg/kg，顯示水泥旋窯之處理效果較佳，至於一般焚化爐，其排放濃度則在800~4300mg/kg 之間。

最後在廢氣排放口之靜電集塵器中，分析其收集之微粒，發現有四氯苯存在。研究結論指出，以水泥旋窯處理危害物可有極佳之效果，而且若含氯量控制得宜（由加入危害物量控制在 0.7 %以下），則對生成熟料之品質沒有不良影響，顯示以水泥旋窯處理含氯危害物具技術上之可行性。

#### 4-2 St. Lawrence 水泥廠

St. Lawrence 水泥公司於1974~1976年間，分別於其 Mississauga 及 Ontario 之工廠進行危害物焚化之實驗。

實驗之危害物主要為含氯之碳氫化合物，包括45% PCB, 12%脂肪族碳氫化合物及33%含氯之芳香族碳氫化合物，實驗均在濕式水泥旋窯中進行。

實驗結果顯示，含氯碳氫化合物之去除率在99.986%以上。於窯排氣系統中分析其排放量，發現僅有揮發性之低分子量化合物存在（如CCl<sub>4</sub>），且濃度在50ppb以下。但經背景值分析比較，發現其並非由危害物焚化所致，而係於原料中之含氯量所致。此外，於排氣中及熟料中均無可檢出量之PCB。

至於所可能產生之酸性氣體（如HCl），濃度並不高。主要乃由於其已被石灰原料所中和，形成微粒之 KCl 或 NaCl，或存在熟料中。所生成之微粒由於粒徑小而比電阻變異大，使靜電集塵器無法有效收集，故排氣中之微粒濃度增加。

其它水泥廠之實驗結果均雷同於 St. Lawrence 水泥廠及 Stora Vika 水泥廠之實驗結果，顯示在審慎控制條件下，水泥旋窯可用以共同處理焚化危害物，並可得到令人滿意之結果。

### 伍、經濟效益與可行性之評估

#### 5-1 經濟效益

據國外之研究結果顯示<sup>(2)</sup>：若每天焚化20,000加侖之危害物，其熱值足以使水泥廠之旋窯能源消耗量減少約5噸每小時，顯見其經濟價值，以一現代化之水泥廠而言，若其年產能為240,000噸，並設：

(1)石化燃料成品為 \$9.76/10<sup>6</sup> 仟卡

(2)危害物之含氯飼料量<0.6%窯產能

(3)危害物之熱值為5550仟卡/公斤

以投資費用及15%折舊來計算，且若危害物含氯量為10%，其熱值之90%可利用，則於此情況下，旋窯之燃料可省下17.8%，若以危害物之處理支出為 \$2.52/10<sup>6</sup> 仟卡計算，則每噸水泥產品可節省\$1.37元。

目前臺灣地區之水泥廠，每產生 1 噸熟料所需之燃料費用在燃油旋窯者為 622 元，在燃煤旋

密者為405元（以72年之價格計算<sup>(13)</sup>），若以上述條件計算，則每噸熟料生產成本可減少約110~72元。

除上述直接減少水泥生產成本外，由於不需有另建焚化爐之費用，又不需另外之操作費用，以一般危害物處理焚化之費用約50~800美元／噸而言，兩者比較之後可顯示以水泥旋窯共同焚化有機危害物之經濟效益。

## 5-2 以水泥旋窯共同焚化危害物在臺灣地區可行性之分析

就熱值利用及其可減少處理費用之經濟效益觀點而言，以水泥旋窯共同處理危害物固然有其優點，但在評估其可行性時，尚需考慮其它限制條件，諸如：水泥旋窯之特性、操作條件、危害物特性及公共安全、作業環境安全等，確實避免二次污染之危害。

以臺灣地區而言，評估以水泥旋窯處理危害物之可行性，所需考慮之主要因素包括有三：

### 1. 安全性之考慮

就目前之研究結果尚無法確定危害物在水泥旋窯內之作用機轉，對於危害物是否可能存在於水泥成品中，或隨廢氣排出大氣中而造成二次污染仍無法確定，因此，在安全因素考慮下，不宜作冒然決定。

其次，由於目前國內尚未進行此類性質之研究或實驗工作，以國內目前各水泥旋窯之特性及操作條件，是否可達到安全處理且具經濟效益之目的猶有疑慮，因此，在獲致更具體結果之前，尚需作更進一步之研究。

### 2. 旋窯操作穩定性之考慮

危害物焚化處理必需考慮其操作處理之穩定性，如溫度需足夠高，停留時間需足夠長……等，以避免由於危害物分解、反應不完全而造成二次污染，因此，水泥旋窯操作之穩定性對危害物處理程度影響甚大。

以臺灣地區某水泥廠之故障分析<sup>(13)</sup>而言，旋窯停止操作之頻率相當高，每年約在30~70次，每次停窯之時間約4.4~12.9小時；分析其停窯之原因發現，有半數以上之停窯乃導因於旋窯系統、燃燒系統及收塵系統發生故障。由於旋窯之操作不穩定將難以確保危害物之焚化作用完全，且其可能存在於熟料中或隨廢氣排出而造成更複雜之影響，因此，在水泥旋窯操作穩定性獲致更確切之保證以前，以水泥旋窯共同處理危害物之構想猶待研議。

### 3. 危害物特性之考慮

以目前對危害物之管制情況，其是否可確保於旋窯內完全焚化，且可充份回收利用其熱值而達到減少水泥生產成本之目的不無疑慮，則利用危害物所含熱值以減少生產水泥所需燃料費用之經濟效益必需重新予以評估。

綜合以上所述，就危害物安全處理、旋窯操作穩定性及經濟效益等觀點言之，在臺灣地區欲以水泥旋窯共同處理危害物之前仍需作更進一步之研究。

## 陸、結 論

以水泥旋窯來共同處理焚化有機危害物，其主要原理乃利用旋窯內之高溫及充分之停留時間

。使危害物轉化成安定性較高之物質。依目前之研究結果顯示，其有相當程度之可行性及經濟效益，但仍有些問題尚待克服，而後始有大規模運轉之可能。

1.目前對危害物在水泥旋窯內之焚化機轉之研究仍屬有限，雖可以化學動力或熱力學、熱傳之原理加以解釋，但仍需作更進一步之研究，俾尋求其最適切之控制條件。

2.危害物在旋窯內主要藉氧化作用進行反應，為一擴散控制之反應。故霧化噴料，混合作用影響其燃燒效果甚大。

3.以目前之實驗結果顯示，對有機含氯危害物之除去效果甚佳，約在 99.99% 以上，且焚化後並無酸性氣體排放之虞。

4.若控制妥當，旋窯之熟料產品品質並不會受到影響，一般其控制標準訂在加氯量小於加料量之 0.6~0.7% 以下。

5.危害物在旋窯內焚化可取代部份燃料，節省燃料費用，每公噸水泥產品約節省 72~110 元，同時毋需負擔另建焚化爐之建設費及操作費。

6.以水泥旋窯處理危害物仍有諸多問題尚待解決：

- 水泥品質及安全性之確定
- 旋窯操作之穩定性
- 焚化作用之確定及加料系統之改進
- 公共安全之評估
- 工業安全之評估
- 危害物在運輸、貯存、管線及操作之安全性評估

若上述諸項可克服，則可以將危害物併入水泥旋窯中焚化之。

7.以臺灣目前之情況，是否可以將危害物送入水泥旋窯中焚化處理猶待更進一步之研究。

## 參 考 文 獻

- (1) Bengt Ahling, "Destruction of Chlorinated Hydrocarbons in Cement Kiln," Environmental Science & Technology, Vol. 13, No. 11, 1377~1379 Nov. 1979.
- (2) Jack D. Lauber, "Burning Chemical Wastes as Fuels in Cement Kilns," J. APCA, Vol. 32, No.7, 771~777, July, 1982.
- (3) Myron W. Black & Jon R. Swanson, "Destruction of PCB's in Cement Kilns," Pollution Engineering, 472~475, June, 1983.
- (4) U.S.E.P.A, "Compilation of Air Pollutants Emission Factors," EP-42, 1978.
- (5) 楊樹人譯，「最新水泥製造學」，臺灣區水泥同業公會，六十七年。
- (6) 程月初譯，「水泥旋窯」，臺灣區水泥工業同業公會，六十七年。
- (7) N.G.H. Guilford, "The incineration of PCB Containing Waste,"
- (8) Glassman, "Combustion", Academic Press, USA, 1977.
- (9) Y.H. Kiang & A.A. Metry, "Hazardous Waste Processing Technology", Ann Arbor Science Pub. Inc., USA, 1982.

- (10) H.S. Huang, "Coal Combustion Phenomena and Combustors: An Overview", 燃燒技術與污染控制研討會，臺北市，七十二年
- (11) B. Dellinger, G. Grotecloss & C. R. Fortune, "Sulfur Dioxide & Plume Formation at Cement Kilns", ES & T, Vol. 14, No. 10, 1244~1247, Oct, 1980.
- (12) R.B. Snyder etc al, "Synthetic SO<sub>2</sub> absorber for Fluidized-Bed Coal Combustors", J. APCA, Vol. 27, No. 10, 975~981, Oct. 1977.
- (13) 鄭福田等，「水泥業空氣污染防制設備效能調查之研究」，臺大環境工程研究所報告，七十二年。

# 濕式氧化法處理毒性工業廢水

林 宏 端\*

目前國內對於廢水處理大都以採用化學凝集沉澱法或生物處理法來處理工業廢水。然而這些方法對於某些特殊物質如毒性物質或高濃度的廢水等又將效果不理想或失去效用，因此本文將就一些不能以生物處理或化學凝集沉澱或因濃度過稀而無法應用焚化方式來處理的廢水，提供另一條處理的途徑——濕式氧化法（Wet Oxidation Process），此法特別對具有毒性，難為生物分解，產量不多的高濃度廢液尤為適用，同時還可產生高能量的蒸氣回收能源，在此源短缺及如何降低操作費用的今天，此法可提供給工業界於設置污染物處理設備時之參考。

濕式氧化法並非是一新的專利，在本世紀初就開始被應用於廢水處理，此程序最早起源於1888年獲得專利的 Baxer process。

Ontario Research Foundation 及 Michigan Technological University 經過九年花費百萬美元發展出來的濕式氧化程序，它能將液態的有機廢物轉變成對環境衝擊最小、無毒害的物質。經過深入研究發展，該程序已能適用於許多液態工業廢水及其他棘手問題。

濕式氧化係在高溫、高壓及有水狀態下，大的部分有機物質均能被強制輸入的空氣或氧氣所完全氧化。有機物與氧氣接觸後即被氧化，主要生成二氧化碳，並以高壓蒸氣的形式放出。這些蒸氣能被工廠再回收供給製造程序部門使用。濕式氧化法除了能將有害的廢物轉變成有用的燃料外，同時亦可利用生物質（biomass）或任何低級燃料如泥煤、褐煤及高硫份煤等產生蒸氣。

濕式氧化法最早應用於廢水處理者應為 R. W. streklenert, 他於1912年利用氧氣在高溫高壓下處理紙漿廢水而獲得專利，同時在世界各地對該程序的研究亦有進展，如瑞典、德國及美國等。廢水以高壓幫浦抽送經過熱交換器先行預熱，然後再進入一個高壓的反應器，在其中以壓縮空氣注入使與廢水混合。空氣中的氧氣與泥漿中的有機物質混合，在高溫高壓情況下，將破壞複雜的化學物質並產生二氧化碳和水。由於該反應為放熱反應，熱能的產生將提升反應器內之溫度。反應器中的流出液再經過前述之熱交換器與入流廢水作熱交換，而多餘之大量的能源可回收或再用。

幾乎任何可燃燒的物質在液相下均能被此種程序所氧化。不管是在高溫高壓下的濕式氧化或是經由濃縮、焚化，水中的有機污染物均可被破壞，而且兩者的最終產物都是相同的——二氧化碳，水及灰燼。然而濕式氧化的產物可全部自動地及完全地洗滌下來，且整個反應係在「有水」的情況下進行，因此空氣及臭味等二次污染問題可降至最低。

Uniroyals' Elmira 公司在加拿大 Ontario 州的工廠產生了難以處理且具毒性的廢液，這些廢液的比率與污染強度常有變化。約有40多種不同的物質，其化學需氧量（COD）從最低的3%到最高的25%不等。該廠採用濕式氧化程序來處理廢液。該程序的主要部分在於一個有數個隔間並裝置有攪拌的水平階式反應器，並且能够在較其他系統為低的溫度下操作。在階式隔間中隨著每一隔間內之燃燒產物及蒸氣被抽出，液體經連續的隔間後逐漸地被濃縮，經濃縮之液體

\* 經濟部工業污染防治技術輔導小組研究員

其COD亦增高，因此加速了反應速率。

較低的操作溫度將對建造該系統很有助益的，在系統中反應所產生的蒸氣壓力是相當的高，據瞭解在該狀態下壓力是隨溫度以指數方式增加的。目前已可在 230°C 及 600psig 的壓力下操作，較過去須在 260°C 的溫度及 1500~2000psig 壓力之操作為佳。

在設定之操作溫度下，進入溶液中之氧氣傳送速率受下列因素所控制：

1. 廢水中的氧溶解度與氧氣的部分分壓有關，因此增加程序中之壓力可增進質量傳送速率。
2. 氧氣與廢水間的混合程度。

由於增加程序中之壓力將導致反應器、熱交換器、壓縮機等之投資費用，同時也增加了操作費用。因此使系統能經濟地達到最佳狀態，有效的混合是最重要的。

濕式氧化法適合於廢液、泥漿及污泥等之氧化。對含有可氧化的物質在 2~20% 之間的廢液而言是最經濟的。在此範圍內定量的物質與氧作用生成的能量足夠維持系統中的溫度與壓力，而不須由外界供給能源，通常濃度高於 1.5%（以重量計）即可經濟有效地回收過剩的能源。而濃度在 20% 以上者，採用焚燒法是最有效的處置方法。因此濕式氧化法是針對那些以生物處理及化學處理太濃或以焚燒法而濃度太稀的廢水是最有效的方法。同時亦可應用到生物無法分解的物質如危險的，有毒性的或令人憎惡的廢物。尤其重要的是它可回收一些採用焚燒法所不能回收或再用的物質。例如從排出液中可回收有價值的無機物。

因為濕式氧化係在「有水」的狀態下發生，因此空氣及臭味的污染是最低的，潛在令人憎惡的物質諸如硫氧化物或氮氧化物仍以鹽類或酸類的形式留在液相中，然後再排出反應器外。最近該程序應用於：

- ① 將農產品的殘渣轉化成單細胞蛋白質或甲烷。
- ② 高硫份煤及焦炭的脫硫。
- ③ 低級燃料的燃燒如泥煤，低級煤炭，廢紙等作為能源。
- ④ 從廢液中回收有用的金屬如鉻、銀、錫等。

濕式氧化法的心臟為其反應器，其中有許多個小隔間，每一隔間都有攪拌及氧氣的注入，這種設計大大地增加了反應速率，使在 230°C 的溫度及 600psig 的壓力下能有效的操作成為事實，同時增加液體的停留時間及減少作為化學回收或處理的液體體積。COD 含量超過 1.5% 時則反應所需能量將能自給自足，而 COD 濃度超過 3% 時，該系統將是個能源的製造者。從費用比較，COD 濃度在 3~30% 之間，其濕式氧化所需之投資將較生物處理或焚化法為低；就操作費用而言，濕式氧化法常是較吸引人的，因為它是個能源的製造者。因此濕式氧化法將是被期望能經濟的用來處理 COD 濃度在 3%~40% 間之廢水（揮發性固體物濃度 1.5~20% 間），整個系統的費用（包括投資額及操作費用）為每處理 1 英加侖廢水（約為 4,546 公升）約須美金 0.5~5.0 分。

曾經對所有之濕式氧化程序做過的調查顯示，它對操作者而言是正回饋的，如處置費用的降低；蒸氣能源的回收；排出液中回收有價值的無機物質等。濕式氧化程序應用於工業廢水處理方面有三大優點：

1. 作為能源設施：使用煤炭、焦炭、重油、焦油砂、頁岩或泥煤作為燃料來產生蒸氣轉換成電力。高硫份煤也被使用，因其中的硫可被氧化、吸收下來做成硫酸。

2.作為生成或轉化某些化學中間體的反應器。與其完全氧化所有的COD，不如利用成份中不純物的不同濕式氧化溫度而加以清除。例如煤炭中的硫，在相當低之溫度下即可被濕式氧化而不使煤炭被氧化，此即自煤炭中脫硫。

3.與其全部的將之濕式氧化不如控制良好的條件，使它成為另一個新的反應器。

最近國外正有構想將濕式氧化系統裝置於卡車上，用以處理位於鄰近地區的中小型工廠所排出之廢水。工廠先行將排出之廢液裝於貯存槽中，俟處理的卡車來處理，甚至還可將回收之蒸氣反送回工廠使用。

本文係摘自 Water and pollution control, September/October 1982 P22~P23“Wet Oxidation for the treatment of Toxic Industrial Wastes”希望能提供給工業界在處理高濃度廢液或毒性物質時參考。