

# 鈦白粉的環境污染探討

施 增 惠 \*

## 一、前 言

二氧化鈦 ( $TiO_2$ )，俗稱「鈦白粉」。美商杜邦公司 ( Du Pont ) 曾有意在彰化鹿港設廠製造該產品，但由於地方人士反對而終於在 1987 年 3 月 12 日正式宣告放棄在該地設廠的計劃。到底二氧化鈦的製造程序是否會產生環境污染問題？美國化工雜誌 ( Chemical Engineering Magazine ) 在 1989 年 1 月 16 日特別對二氧化鈦製造過程所發生的污染問題提出報導。當年杜邦在台設廠製造二氧化鈦的計劃相當龐大，對國內相關工業可能有相當的影響。當時的環境保護專家所提出之「環境影響評估報告」，依據新聞媒介的報導說：該報告對此計劃之可行性有較正面 ( Positive ) 的評價。儘管如此，在當地居民的強烈反對聲中，杜邦最後還是撤消其幾乎要執行的生產計劃。由於筆者未能一睹該評估報告的內容，對杜邦所提之製程及其對污染解決之辦法無法一窺其全貌。在此僅就該雜誌對此一問題之報導內容並參考該雜誌近年來所發表之有關資料，將其整理後介紹給關心環境保護的國人。

## 二、二氧化鈦的供需

依據美國化工雜誌的報導，二氧化鈦本身並無毒性，是項非常重要的化工原料，多被用於從事製造塗料、紙類、肥皂、食品及塑膠等產品。二氧化鈦的市場需求在近廿年有戲劇化的發展，1970 年代末期到 1980 年代初期，由於二氧化鈦的產量過剩，加上逐漸修正的環保法規，以及投資報酬率的低迷等三個主要因素，造成八個生產二氧化鈦的工廠停止生產，其結果使得全球年產量減少了 336,000 噸。截至 1987 年為止全世界年產量仍然沒有增加。而全球目前二氧化鈦的年需求量約三百萬公噸 ( 美國佔了  $1/3$ ，約一百萬公噸 / 年 ) 。

目前全世界二氧化鈦產量的 41% 採用氯塩法製造。1980 年時該製法產品只有 29%，20 年以前僅佔 5%。因此杜邦公司預計於 1989 年底在密西西比州建立年產十萬噸二氧化鈦的生產線，1990 年底將可擴大該廠之生產規模達到 27 萬噸。在 1990 年底，杜邦一年之二氧化鈦產量將達八十萬噸。為針對亞洲地區的需求，該公司有意在 1993 年以前於遠東地區設立年產六萬噸二氧化鈦的氯塩法製造工廠。該公司也計劃與巴西政府合作，利用當地的廉價原

\* 美國阿拉巴馬大學環工博士候選人

料製造二氧化鈦。

N L 化工公司在今年初將投資兩億美元破土興建採用氯鹽法製程生產的二氧化鈦工廠，年產量九萬噸。該廠位於路易斯安那州 Charles，預計於 1991 年完工。同時，該公司在比利時 Langor Brugge 的工廠將變更其硫酸塩製程而改以氯鹽法製造，年產四萬噸二氧化鈦。1987 年，N L 公司將其位於加拿大 Varennes 的工廠增加一條氯化塩法製程，年產四萬噸二氧化鈦的新生產線。該地區的工廠目前仍使用硫酸塩法製造二氧化鈦。

SCM 化工公司目前與 Minproc Holding Ltd (主要業務為礦物開採與冶煉)，共同計劃在西澳大利亞興建以氯化塩法製程年產五萬四千公噸的二氧化鈦工廠。該工廠預計在 1991 年開始投入生產行列。

全世界主要的二氧化鈦生產業者，其 1987 年之年產量及市場佔有率，如表 1。由該表可看出杜邦等四大主要生產業者供給全世界二氧化鈦所需的 50%。1987 年全世界二氧化鈦之主要用途及消費地區資料如表 2。該表顯示美國佔有全世界二氧化鈦消耗量的 1/3 強，二氧化鈦主要還是用在塗料 (Coating) 製造方面。

表 1 二氧化鈦主要生產業者、產能、及市場佔有率狀況  
(資料來源：SCM Chemicals 1987 年調查報告)

生 產 業 者	產能 (1,000 公噸 / 年)	市場佔有率 (%)
1. Du Pont	548	19.4
2. Tioxide	443	15.6
3. SCM Chemicals	341	12.0
4. NL	325	11.5
5. Kemira	180	6.4
6. Bayer	175	6.2
7. Ishihara	125	4.4
8. Rhone-Pouleme	108	3.8
9. Kerr - McGee	77	2.7
10. Sachtleben	68	2.4
11. 其它廠家	441	15.6
合 計	2,831	100

表 2 二氧化鈦需求地區及使用情形狀況  
 ( 資料來源 : SCM Chemicals 1987 年調查報告 )

使 用 情 形	美 國	西 歐	亞 洲 ( 含太平 洋地區 )	其 它	合 計
需求量 ( 1,000 公噸 )	951	780	494	547	2,772
所佔比例 (%)	34.3	28.1	17.8	19.8	100
使用情形 (%)					
塗 料 ( 不含墨水 )	49	58	58	66	56
紙 類	27	12	5	9	15
塑 膠	18	20	15	14	18
其 他 ( 含 墨 水 )	6	10	22	11	11
合 計	100	100	100	100	100

### 三、二氧化鈦的污染防治回顧

二氧化鈦生產業，自該產品被開發以來即一直不斷從事製造技術方面的革新。技術發展的方向主要著眼於環境保護和生產費用兩方面來考慮，以尋求它們的平衡點 ( Break-even Point )。業者在製造二氧化鈦的同時，仍繼續尋求任何可能方法來改進他們的製造過程。

二氧化鈦的製造過程可追溯至 1940 年代，當時製造二氧化鈦都採用硫酸鹽法 ( 唯一的方法 )。不幸，這種方法在製造過程中所產生的廢液引發了嚴重的環境污染問題。該法製造每磅二氧化鈦約會產生 15 磅低濃度的硫酸鹽廢液。大部份的廢液都未經過處理即傾入水道之中。漸漸的，由於環境保護法規的日益嚴格，二氧化鈦的製造業者便想盡了辦法來解決製程中的環境污染問題。研究的結果包括發展完全不同的生產技術—氯鹽法，以及回收硫酸鹽法之廢液等。雖然這兩種方法都比不經處理廢液直接放流花費多，但是修正後的製程對環境污染衝擊的降低，證明是非常具有功效的。

這項技術的革新以杜邦公司為例，一共花費了十年時間 ( 自 1940 年末期到 1950 年初期 ) 才使其在德拉瓦耳州 Edgemere 工廠氯鹽法製程的技術成熟。這項努力所得到的利益非常宏大。在初期發展時，氯鹽法每生產一磅二氧化鈦會產生一磅廢液。現在，每生產一磅二氧化鈦僅會產生 0.6 磅的廢液。同時這種改進使得氯鹽法較硫酸鹽法節省了 50 % 的能源消耗。

目前杜邦公司販賣它在 Edgemere 工廠所有的氯化鐵(  $FeCl_3$  )廢液，充作水處理之用( 筆者按應做為混凝劑 )。在該公司位於加州 Antioch 的工廠，氯化鐵廢液被轉變成固態的無害顆粒，可做為道路鋪設的骨材。\*

利用傳統硫酸塙法的工廠也致力於對環境污染的改善。1970年代中期，SCM 化工公司轉換其在馬利蘭州 Baltimore 工廠所有廢酸液成為硫酸鈣( Gypsum 為石膏之主成分 )。硫酸鈣可用來製造石板，做為建築材料之用。去年( 1988 )，SCM 也嘗試進行市場調查販賣其廢液中和所產生之二氧化碳(  $CO_2$  )的可能性。SCM 也從事一項酸液回收的模型廠實驗。假如這項實驗成功，該公司會將其擴大運用在英國的 Stalling Borough 工廠。假如這項實驗失敗，該公司將變換製程改用氯塙法。其它採用硫酸塙法的二氧化鈦製造業者也紛紛裝設硫酸回收及中和設備。例如，NL 公司的四個歐洲製造工廠也將於 1989 年底處理或減少它們二氧化鈦製程的廢酸液。

#### 四、西歐國家的政策

歐洲的環境保護專家對環境法規的加強，在 1986 年殺蟲劑污染萊茵河( Rhine River )事件及蘇聯柴諾比( Chernobyl )核能廠事件後達於最高點。近年來，北海的貝類大量死亡更造成了歐洲民眾對水污染的關心。這些因素使得歐洲各國政府特別加強了對環境污染的防治。

歐洲共同市場國家對二氧化鈦硫酸塙法製程規定在 1992 年時，每生產一公噸二氧化鈦所產生的硫酸塙廢液不可超過 800 公斤。同時廢液中的固體物在 1989 年底之前必需減少，空氣污染物排放量也需要降低。氯塙法二氧化鈦製程也要符合歐洲共同市場的規定。1992 年以前，每生產一噸二氧化鈦其廢液含氯量不可超過 130 — 450 公斤( 端視使用何種原料而定 )。廢液中之固體物在 1989 年以前也要減少，空氣污染物排放量也受到同樣的要求。

Lurgi 公司的經理 Michael Tacke 曾說「氯塙廢液的處置和硫酸鹽廢液一樣的複雜」。Tioxide 公司的發言人也說其在英國的工廠也將面臨氯塙廢液的處置問題。因為製程中使用的四氯化鈦( Titanium tetrachloride )和氯氣在英國都被視為有害物( hazards )對此一認定他們也相當苦惱。

使用硫酸塙法的廠家也要面臨必須使用回收法處理酸液的規定。加拿大政府規定在 1991 年 3 月以後，中和法不可再被使用做為二氧化鈦廢液的處理。事實上，大部份西歐的二氧化鈦製造業者已經開始去符合歐洲共同市場( European Economic Community )已公佈的最新且嚴格的二氧化鈦廢液法規。西德的拜耳化工公司( Bayer )，Kronos Titan 化工公司，及 Sachtleben 化工公司三者已集思共同謀求於 1989 年底之前減少他們每年 225,000 噸廢液量的 23%。義大利 Scarline Tioxide 化工公司所屬之工廠於去年( 1988 )年 11 月也終止其廢液海洋放流，改用中和法處理廢液，並貯存中和後之廢污泥( 硫酸鈣 )於陸上掩埋場。總公司在英國的 Tioxide，在其它地區的工廠將盡速自兩種廢液處理法( 一為西德 Frankfurt

的 Lurgi GmbH 公司所發展，一為加拿大 North York 的 Chemetics International Co. 所發展 ) 中選擇一種做為標準處理流程。

## 五、硫酸塩法之廢液回收

Lurgi 回收程序是將 20 ~ 23 % 濃度的廢酸液經由幾個濃縮過程。第一，廢酸液的濃度被蒸發至 50 ~ 65 %，此時 95 % 的金屬鹽類被沉澱下來。濃縮的酸液經過過濾之後，金屬鹽類無法濾過而成濾餅除去。

酸液再經真空蒸發罐提升濃度為 80 ~ 85 %。當原料中使用 Ilmenite 於硫酸塩製法時，該酸液此時的強度足敷再用於製程之中。如製造原料中的礦渣 ( Slag ) 含大量的鐵成份，採用硫酸塩製程時，酸液必須經過再度濃縮方可再用。Sachtleban 公司使用發煙硫酸 ( Oleum ) 加以濃縮。

如果不用發煙硫酸，酸液可再度蒸發於 200 °C，100 毫巴真空壓力下。由於腐蝕的情形非常嚴重，所有設備必須使用鉽 ( Tantalum ) 或玻璃杯料製造。對此步驟，Lurgi 目前正式進行模型廠實驗。Buss ( Platteln, 瑞典 )，Gebruder Sulzer ( Wiaterthu, 瑞典 ) 和 QUF Clastechnik ( Wiesbaden, 西德 ) 都致力於解決設備及材料的問題。

Tioxide 公司說，Lurgi 技術對含高鐵份的硫酸塩製程是最合適不過的了。當鐵的成份較低時，該公司認為 Chemetics International CO. 的回收程序 ( Recycle Process ) 較為合適。由於參考資料無法有效獲得，後者的回收程序無法介紹給讀者。

有關業者通力合作解決污染問題目前已成了趨勢。Tioxide, NL, 和 Q.I.T Fer et Titane 三公司曾合力在 Tioxide 公司加拿大魁北克省的二氧化鈦製造廠進行模型廠試驗，以探討其廢液回收技術之可行性。

## 六、結論與建議

全世界對二氧化鈦的需求已經使得其生產業者全力進行大量增產計劃。SCM 公司總裁 Donald Borst 曾說「廿年前，我們最大的挑戰是市場需求的供應，目前該產品的產能已達飽和了。」杜邦公司德拉瓦耳州二氧化鈦廠的 Charles Masten 也預測在 1990 年中期，新工廠投入生產之前，全球對二氧化鈦的需求將很迫切 ( Tight ) 。

雖然二氧化鈦未來的市場相當龐大，其生產業者同時也在與環境保護的壓力下博鬥。由於二氧化鈦仍有相當可獲得的利益存在，業者仍繼續對此行業加以投資。生產業者們也極願自行開發新的技術以求突破不可知的法令約束。西德化學協會 ( VCI ) 的 Hartmuth Skalicky 曾說「我們 ( 指業者 ) 寧願自行減少廢液的產生，而不願等待法令壓力的到來 ( Bureaucratic Pressure ) 」。SCM 公司的總裁 Donald Borst 說的更好，他說該公司的政策非常簡單明瞭：保護員工、大眾、環境、該公司利益和工廠附近居民對該公司的信譽 ( reputation ) 。

ation)。

由所得到的參考資料顯示，酸性廢液似乎是二氧化鈦製程中的主要污染源。是否仍有其它可能性污染源存在，事關生產業者的商業機密，加上非學者專家可能無法了解其中奧秘所在，筆者在此無法提供任何訊息 ( information )。化工業的生產對我國經濟有重大的影響。工業生產過程中無法達到「零」污染，事實上零污染的觀念目前已漸漸在修正之中，如何在生產事業與環境衝擊中找尋平衡點，有很大的困難度。政府機構所賴以督促生產業者確實執行生產廢棄物的污染防治必須依據法律。環保法令的制訂一定要有對環境保護方面學有專長的人士參與方會使法令落實。學者專家的意見較一般人士更有力的指出生產事業者對周遭環境的衝擊性，以及什麼是環境所有忍受的最大污染度？也們對所允許排放的廢液會造成何種生態環境影響也有較客觀的看法。區域性環境政策必須即早規劃公佈。這對受污染者的賠償有相當關係，而對生產業者及地區民衆也有保障與約束的力量。國內群衆的反對或支持環境保護運動與我國沒有詳盡的環保政策、民衆對環境保護的認識不夠，以及不肖的製造業者利用法令漏洞，不遵守職業道德（對環境污染擔負起責任）有相當的關係。民衆的包圍工廠或製造業者不採用 BACT ( Best Available Control Technology，即可獲得之最佳污染防治技術 ) 處理其製程廢污，均屬不可容許的行爲。類似杜邦公司的二氧化鈦設廠事件在往後可能有許多，國內應加快脚步尋求解決之道，否則二者交相害，對我們經濟發展將會有極負面的影響。

## 七、參考資料

1. "Chemical Engineering ", January 16, 1989, P 5.
2. "Chemical Engiueering ", January 16, 1989, PP . 37-41.
3. "Chemical Engineering ", October 24, 1988, PP. 35-37.
4. "Chemical Engineering ", February 3 , 1986, P. 44.
5. "Chemical Engineering ", November 25, 1985, P.18.
6. "Chemical Engineering ", September 5, 1983, P.30.