

廢棄物處理

廢潤滑油再煉製回收技術評估

華 健*、吳怡萱**

摘 要

台灣所回收的廢潤滑油選擇以再煉製處理者所佔百分比偏低，無論從環境保護或資源保存的角度來看，再煉製之比例亟待提昇。以國外經驗來看，就經濟與技術可行性而言，廢潤滑油再煉製在台灣存有相當大的開發空間，而不論採行何種回收方式都必須考量技術可行性、經濟與能源效率、以及其副產物對環境可能造成的損害。本文分別討論幾種不同的廢潤滑油回收處理技術及其對環境所可能造成的衝擊，並介紹再煉製產物之性質。

過去廢潤滑油再煉製，技術上最大的挑戰即在於從油中去除添加物及污染物，然此困境已可望隨著甫問世的新技術完全改觀。其所需投資成本僅為傳統再煉製廠的六成到七成，操作成本亦較低，卻能獲致具有與從原生油所得相同品質的產物。因此未來我國廢潤滑油回收體系之運作是否能達到原先建立的初衷，除了提供誘因鼓勵引進先進再煉製技術外，建議政府考慮視所選擇回收處理方式及所得產品採差別補貼，鼓勵再煉製。

【關鍵字】

1. 廢潤滑油(waste lubricating oil, used oil)
2. 資源回收(resources recycle)

*海洋大學輪機工程系副教授

**海洋大學研究助理

一、前　　言

潤滑油在使用過後若任意棄置於環境中，可能危及地下水與公共供水、污染土壤、破壞生態、並威脅人體健康；不當積存的廢潤滑油尚可能引起火災、爆炸，造成生命、財產損失。此外，不當處置廢潤滑油更不啻浪費珍貴資源。

每一公升廢潤滑油能回收而不回收，即徒增石油鑽採或進口之需求，事實上當今全世界所產的原油當中具有作為潤滑油用途的特殊碳氫鍵化合物已極為有限。結果使提煉原油產生潤滑油成為一繁複且昂貴的過程，所需耗費能源大約為從廢潤滑油再煉製的三倍。反之，若使用過的潤滑油能經過適當程序與管理加以回收，不僅可避免前述危害，尚可節約可觀的潤滑油及燃料等資源，誠可謂一舉數得。簡言之，妥善管理廢潤滑油的重要性可歸納成以下四點：

1. 保護環境；
2. 保護人體健康；
3. 確保能追究因破壞環境所須承擔的清除工作與賠償責任；
4. 重複使用而不浪費自然資源。

政策上，台灣對廢潤滑油採回收策略^[1]。行政院環保署於民國 79 年公告廢潤滑油為應回收之廢棄物，並發布「廢潤滑油回收清除處理辦法」。基於整頓資源回收市場，環保署於民國 86 年公布施行修訂廢棄物清理法部份條文，改將應回收物品或容器的製造、輸入、販賣業者需繳交之回收清除處理費，作為資源回收管理基金，設置基金管理委員會，其業務自民國 87 年 7 月 1 日起由環保署概括承受。自此資源回收管理基金納入政府預算體系正式運作，並接受國會及各界監督^[2]。

廢潤滑油再煉製 (re-refine) 迄今已有超過 80 年的歷史，發展至今堪稱最能同時達到資源保存與環境保護的一種廢潤滑油回收技術。藉由再煉製，廢潤滑油經過充分而廣泛的物理與化學處理，得以去除其中雜質，所產生之再煉油產物，品質可如原生油產物一樣優良。惟基於技術與成本效益的考量，在台灣經此途徑回收的廢潤滑油所佔比例一直偏低。目前台灣大部分廢潤滑油採燃燒途徑回收，再煉製僅佔極小百分比，無論從環境保護或資源保存的角度來看再煉製之比例亟待提昇。而以國外經驗來看，就經濟與技術可行性而言，再煉製在台灣存有相當大的開發空間^[3]。

本文旨在介紹當今廢潤滑油回收再煉製的技術並略述所涉及的成本問題，藉以作為台灣今後實施廢潤滑油回收與選擇回收技術的參考。

二、廢潤滑油之來源

「廢潤滑油（waste oil）」一詞於 1970 年代初期以前一直為世界各國所沿用，之後歐美先進國家基於認定其實際上並非廢棄物，而為具高度回收價值的資源，乃逐漸改稱其為舊潤滑油(used lubricating oil)或簡稱舊油 (used oil)，迄今已相當普及。基於台灣相關法規與文獻絕大部分仍以「廢潤滑油」稱之，本文仍採「廢潤滑油」一詞。惟文中所討論主要著眼於使用過的潤滑油，包括齒輪箱油、傳動油、液壓系統油、微量溶劑等等各種工業用潤滑油，以及由汽車保養廠、機車行、加油站、以及零售商所送出處理從汽機車及卡車的曲軸箱中疏漏出來的潤滑油。

潤滑油的性質在使用過程中主要經由四個可能途徑引起變化：

- 1.引擎的熱可使油中組成成分與添加劑分解，此作用可能產生酸及其他物質以致污染潤滑油。
- 2.灰塵、土、及鎊可進入曲軸箱而滲入油中，而來自引擎磨耗的金屬粉屑亦可直接污染潤滑油。
- 3.引擎內燃燒所產生的廢氣或殘渣亦可經由引擎的活塞環漏入潤滑油中。此所謂引擎氣缸吹氣（engine blow-by）可隨同汽油與燃燒產物一同污染潤滑油。
- 4.於引擎運轉中，水與抗凍劑等液體亦可能漏入潤滑油中。

在可預見的未來，廢潤滑油的特性會隨著機動車輛潤滑油中增添不少新的添加物而改變，同時亦將使廢潤滑油中此等添加物濃度大增。而無鉛汽油的普及亦將減低廢潤滑油中鉛化合物的存在機會。

三、廢潤滑油的回收途徑

廢潤滑油經過妥善管理體系加以回收，不僅可避免上述污染物對環境所可能造成危害，尚可節省數量可觀的潤滑油。大致上經過適當管理的廢潤滑油可：

- 加工或混入燃油中作為燃料，

- 重新煉製成潤滑劑，
- 用作石化業的提煉原料，
- 鋪路施工時上油，
- 用於土木工程模板塗覆。

利用廢潤滑油來當作舖設馬路時的灰塵抑制劑是相當普遍的一種廢油再利用選擇，但採用本法時首須注意的卻是對地面及地下水可能造成的污染。例如一遇雨天，地表逕流將很快沖走這些廢油，而在逕流水中可測得廢油中所含污染物。將廢潤滑油用來塗覆土木建設模板也是相當普遍的一種選擇。至於採用此法是否會如預期使廢油隨著逕流或土壤滲透進入地面水、土壤、或地下水中，值得進一步研究。因而，從環境保護的觀點而言，此二種回收管道並不值得鼓勵。反之，在妥善管理下，作為燃料或再煉製成潤滑油則成為較可行的廢潤滑油回收途徑。

由於廢潤滑油成分的變異性大，加上地理分布的差異，有時很難認定何種處理方式最為適宜。惟不論採行何種方法都必須考量技術可行性、經濟與能源效率、以及其副產品對環境可能造成的損害。本文僅就廢潤滑油的再煉製處理進一步分析，以下即分別討論幾種不同的廢潤滑油再煉製回收處理技術，接著將討論不同回收處理技術對環境所可能造成的衝擊，並從產物方面討論各種不同之再煉製基礎油。最後，本文亦提供廢潤滑油再煉製製程的經營成本估算。

四、廢潤滑油的再煉製回收技術

再煉製油售予潤滑油生產者，是以再煉製油作為基礎原料再混以添加劑(有時是原生油)以產生新的潤滑油。再煉製有幾個主要的優點，首先，不同於其他廢潤滑油回收選擇，再煉製可使廢潤滑油得以一再重複使用。此外，再煉製得以節省能源。從廢潤滑油再煉製成潤滑油，比起從原生油煉製成潤滑油可減少 50-85%的能源消耗^[9]。

再煉製的一個缺點是其較之其他回收選擇為複雜且昂貴。然而，從廢潤滑油再煉製成潤滑油仍比從原油煉製來得容易，且不那麼昂貴。此外，從廢潤滑油再煉製成潤滑油所需消耗的成本，往往得以從出售再煉製成的潤滑油產品回收。

將廢潤滑油再煉製成原生基礎油的工業可追溯至 1915 年，當年美國使用潤滑油的成分簡單，非常容易進行再煉製，其程序是加熱去除揮發性物質，接著經由沉澱、離心等方法處理以去除雜質、水及底泥^[5]。但時至今日的潤滑油中增加了許多添加物，而今天的再煉製工業也已隨著發展出更進步的物理、化學程序以對汽車及工業用潤滑油進行再煉製。

4.1 現行再煉製技術

廢潤滑油再煉製於二次世界大戰時大幅增加，從此持續攀升直到 1970 年代末期。第二次石油危機造成燃燒與再煉製二種選擇之間的激烈競爭。目前在全世界約有 400 座再煉製廠，總共容量大約每年 1,800 千噸^[10]。這些廠大多位在東亞（印度、中國大陸及巴基斯坦），多屬小容量，平均每座每年只有 2 千噸產能^[11]。這些廠多半都採取傳統的酸/黏土法，只有少數在完全能讓環境接受的前提下產生良質再煉製基礎油。目前全球再煉製油佔歐洲全部基礎油需求尚不及 10%^[10]。此領域所研發出的技術已有好幾種正以工業規模運轉中，以歐洲為例，主要國家煉製基礎油的再煉製廠及其進料容量如表 1 所示，每年處理能力總共略超過 50 萬噸。以下介紹目前全世界最廣為接受並採用的技術。

表 1 目前歐洲各國再煉製基礎油的進料容量

| 國家 | 廠名 | 加工方式 | 進料容量 |
|-----|--------------------------------------|--|-------------------------------|
| 法國 | Lillebonne, Eco Huile | 酸/黏土 | 100 千噸/年 |
| 德國 | Dollebergen-Grasbrook | TFE 及煉製回收，DEA 加工 酸/黏土 Meinken 加工 酸/黏土 加工 | 60 千噸/年 40 千噸/年 40 千噸/年 |
| | Duisburg-RMV | | |
| | Esslingen, Sud Oil | | |
| | Horst Fuhse, Banfeld Oel, Hofinol | | |
| 希臘 | Aspropyrgos | TFE, KTI 加工 | 20 千噸/年 |
| 義大利 | Ceccano | PDA 二級，Snamprogetti 加工 | 60 千噸/年 |
| | Pieve Fissiraga | TDA, Agip Petroli/Viscolube 加工 | 80 千噸/年 |
| 西班牙 | Enprotec | Vaxon 加工 | 40 千噸/年 |
| 英國 | Orcol | | 9 千噸/年 |
| | Whelan Env | | 30 千噸/年 |
| | Evergreen | | 新廠 |

4.1.1 酸/黏土加工 (acid/clay process)

酸/黏土（白土）加工法（圖1）的廢潤滑油再煉製製程在大約二十幾年前即已發展出。其設計與操作甚為簡單，但卻產生大量酸性污泥等廢棄產物，致存有二次污染環境之問題。處置這些材料的成本，加上產出大量有害廢棄物所帶來的環境問題，促使廢潤滑油再煉製業者轉而採取新的再煉製方法。不過終究這是全世界第一個商業化的再煉製製程，目前仍是最為廣泛採用的，全球至少有60個採用此方法的再煉製廠正運轉中^[11]。此法包括以下步驟：

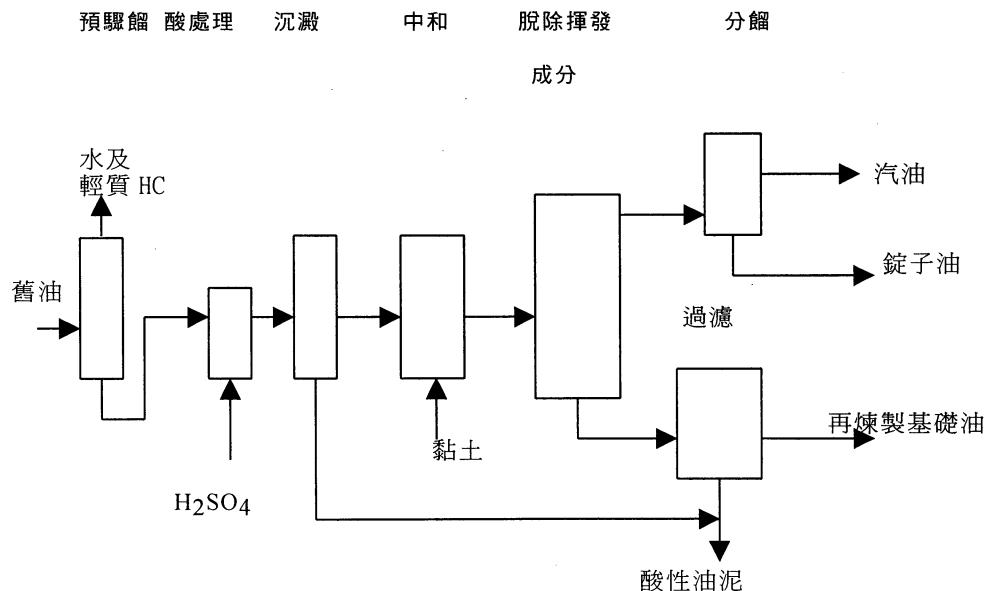


圖1 酸/黏土加工法

- 1.前驟餾(pre-flash) — 於此，廢潤滑油中所含水份、輕質產物、及微量燃油先在大氣下脫除。
- 2.加酸處理 — 添加劑、高分子、氧化產物及劣質產物藉著與硫酸接觸加以去除，所留下的污泥藉沈澱分離。
- 3.黏土處理及蒸餾 — 將清淨過的油與黏土混合，藉吸附作用去除極性和其它不允許存在的化合物。接著在蒸餾單元中蒸餾以回收二、三種產物及氣油（gas oil）。
- 4.中和及過濾 — 所得到的潤滑油與氣油接著再以氫氧化鈣中和後加以過濾。

此處理方法的最大優點在於其僅需相當低的投資成本與相當簡單的操作過程。但另一方面，此加工所能獲得的基礎油比率(約 63%)，相較於其他技術卻相當低，並有不少環境上的問題^[10]。所獲基礎油的品質雖大致能被接受，但有時卻不如原生基礎油。

美國軍事當局和少數歐洲大汽車製造廠都曾對某些完全為酸/黏土再煉製基礎油的實例發給正式的認可。然而，此一直持續操作的加工方法，從產品的品質到其酸性泥渣與黏土對環境所造成的負面衝擊，仍受到相當大的質疑^[10]。

4.1.2 蒸餾/黏土加工

蒸餾/黏土加工法亦為最早發展的廢潤滑油再煉製技術之一，迄今亦為最簡單再煉製製程的代表。基本上，其包括一標準前驟餾單元，接著與大量黏土接觸。此加工所產生的再煉油，在未被安定化並以蒸餾法分餾之前，就黏性與揮發性來看性質甚差，只適用於製成少數工業用潤滑劑。尤其該過程所產出大量已吸附油的黏土的處置，對於環境更是一大衝擊。

而經高溫活化的黏土，可得到較低的黏土/油比值，增加整體收穫率（約 50%乾基）並減少需加以處置的含油黏土量。經過研究改良，此法之泥渣量已得以進一步降低，以焚化或掩埋方式處置，所提煉出來潤滑油品質也已通過美國 API/SAE 的規格要求。惟目前只有少數商業廠仍採用此加工方法，例如美國 Meinken 將其酸/黏土處理廠中的加酸處理改由蒸餾/黏土處理取代。加上由於其產品基礎油品質太差，目前還難以看出此加工法有什麼光明前景。

4.1.3 蒸餾/化學處理或溶劑萃取

蒸餾/化學處理或溶劑萃取加工製程（圖 2）乃由 ENPROTEC 所研發建立，並以威克森（Vaxon）再煉加工為名取得授權。其加工過程以隔離的操作進行化學處理，接著再藉蒸餾脫除以改正其揮發性及閃火點。在化學反應器中，污染物和幾乎所有的氯可被去除到 5ppm 以下^[5]。

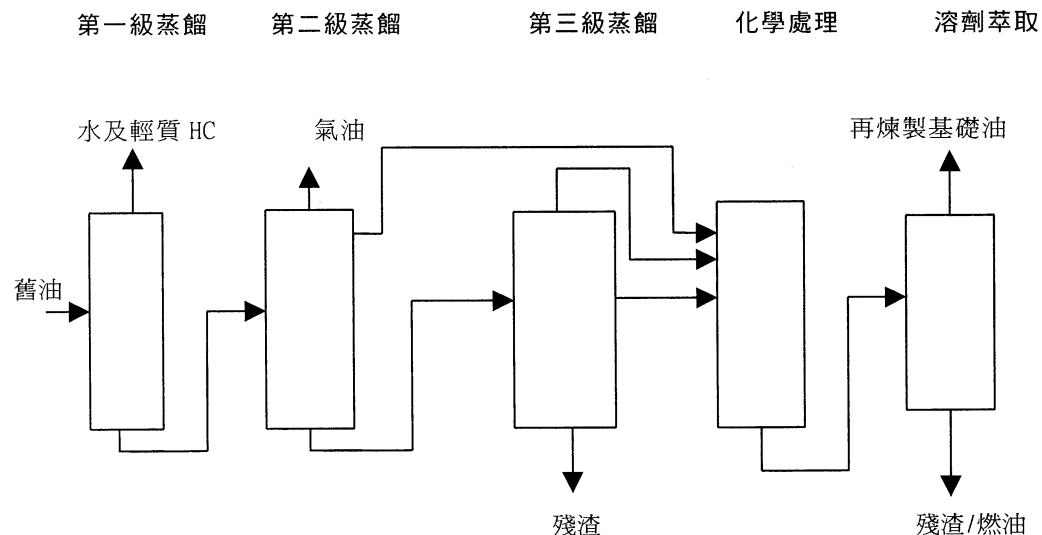


圖 2 蒸餾/化學處理或溶劑萃取

另外的選擇則是以一溶劑萃取單元將幾乎所有的多環芳香碳氫化合物（PAH）去除，使具有致癌潛力的 PAH 在基礎油中含量甚低，溶劑與油的比例亦可降到最低。而採用此法就成本而言亦頗具吸引力。以此加工方法所能獲取的潤滑油大約在 65-70% 乾基之間^[5]。

一般較現代化的再煉製業者採用的是真空蒸餾/加氫處理過程。在真空蒸餾/加氫處理再煉製系統中，首先利用過濾、加熱、及沈澱以從廢潤滑油中除去水及較大的固體顆粒。接著利用真空抽除與真空蒸餾，去除其他污染物。此方法藉由在廢潤滑油團中建立的真空將其中的污染物抽除或將其分解，接著再將廢潤滑油加氫處理。氫先與廢潤滑油中某些特定污染物鍵合，藉此去除進而沈澱。最後，較輕的潤滑油再從較輕的燃油中分離。藉此再煉製過程，有害廢棄物可減至最少甚至得以免除，而過程中所產出的殘餘物可當作燃料燒掉或用以產出瀝青。

4.1.4丙烷加工去瀝青（propane deasphalting process）

此技術以液態丙烷萃取，分離殘餘瀝青部份（金屬、添加劑、高分子、及劣質產物）。其包括以下步驟：

—一如前面酸/黏土法，廢潤滑油中所含水份、輕質產物、及微量燃油藉由大氣壓或少許真空加以分流去除。

(PDA) — 於此步驟中以液態丙烷萃取廢潤滑油中可去除部份將瀝青分開，有二種作法：

(1) 單級（圖 3）：在 PDA 萃取單元的下游，經過清淨的廢潤滑油從丙烷中被分離出，接著送入加氫處理段。最後在真空塔中分餾後，可得到需要的潤滑油產物。

IFP 於 1968 年在義大利首先應用此技術。

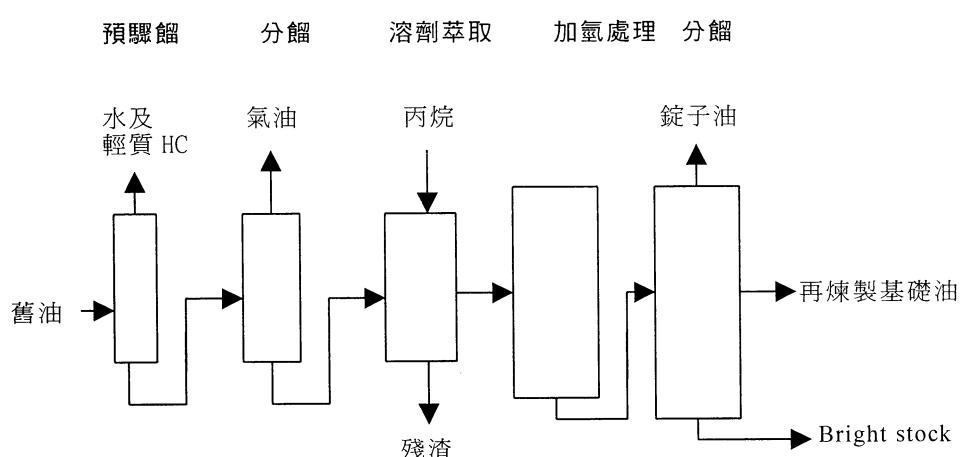


圖 3 分餾及加氫-IFP 加工法

(2) 雙級（圖 4）：來自第一個 PDA 單元的清淨油在一真空塔中蒸餾並分餾。位於塔底的部份因仍含有雜質，接著被送入第二個 PDA 單元，所產生瀝青部分則被送回到第一個 PDA 單元。從真空塔側流過來的油，部份與在第二個 PDA 階段所產生重質流在加氫處理段分別加氫。位於義大利的 Snamprogetti 於 1982 年建立了此技術。雙級加工與單級相較，雖得以延長加氫觸媒的壽命，但卻需較高的投資與操作成本。如此加工能獲得大約 80% 乾基的潤滑油^[3]。

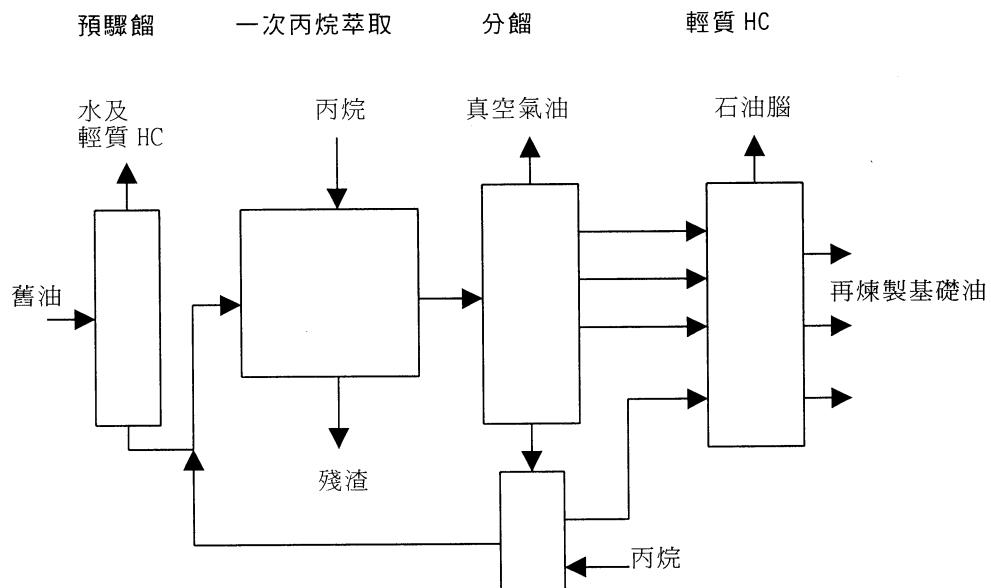


圖 4 二次丙烷萃取-Snamprogetti 加工法

4.1.5 Interline 加工

Interline 技術採用與 PDA 例子中相同的方法，以液態丙烷萃取分離瀝青部份。但二者最大的不同點在於 Interline 在上游即對未處理過的廢潤滑油採取此法。此加工包括以下步驟：

- 萃取 — 原始廢潤滑油與丙烷基溶劑混合，將可回收碳氫化合物部份萃取出來。殘渣與水的部份經過沈澱可進一步分離成水和固態殘渣。
- 分離 — 油從丙烷中分離出來之後在大氣壓下驟餾，去除所含輕質碳氫化合物。留下來的油接著在真空下蒸餾，以回收潤滑基礎油、柴油、以及殘餘產物。此殘餘物與從殘渣/水所導出的固態殘渣混合成為瀝青的副產物。

Interline 於 1993 年在美國猶他州的 Draper 開始此工業運轉，目前正大力促銷。值得一提的是，Interline 宣稱與其他再煉技術相較，投資與營運成本皆甚低，並宣稱能獲致 79% 乾基的再煉製潤滑油。

4.1.6 薄膜蒸發器與加氫加工（thin film evaporator (TFE) and hydrotreating）

KTI，CEP，Breslube/Safety Kleen，及 Buss Luwa 所採用技術皆屬薄膜蒸發器（TFE）與加氫加工製程（圖 5）。此製程包括以下步驟：

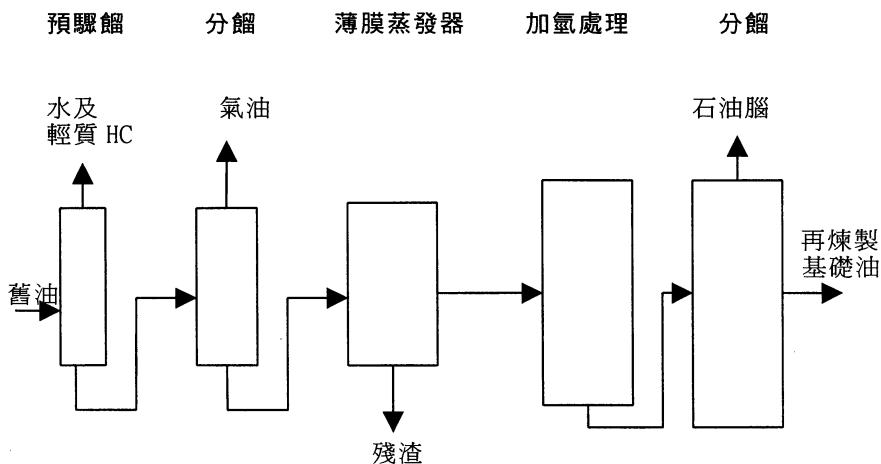


圖 5 薄膜蒸發器與加氫精煉加工法

- 前預驟餾及化學處理 — 廢潤滑油中所含水份、輕質產物、及微量燃料先在大氣壓或些微真空的情況下去除。在 CEP 的例子當中並加以化學處理，以減少對下游設備所造成的腐蝕與污損。
- TFE 及加氫處理 — TFE 是用來去瀝青的步驟。油加熱後，在極高的真空度與溫度下操作。重金屬、高分子、添加劑及其他劣質產物都隨著瀝青殘渣去除，產生的潤滑油部分接著採取加氫處理。
- 蒸餾 — 經過加氫處理後，潤滑油部分接著在真空塔中分離成不同油產物。據此加工業者宣稱其能獲致 72% 乾基產物[3]。

4.1.7 热去瀝青加工 (thermal deasphalting process, TDA)

TDA 技術由 Agip Petroli/VISCOLUBE 在西班牙一個既有的再煉製廠中開發出。其加工包括以下步驟(圖 6)：

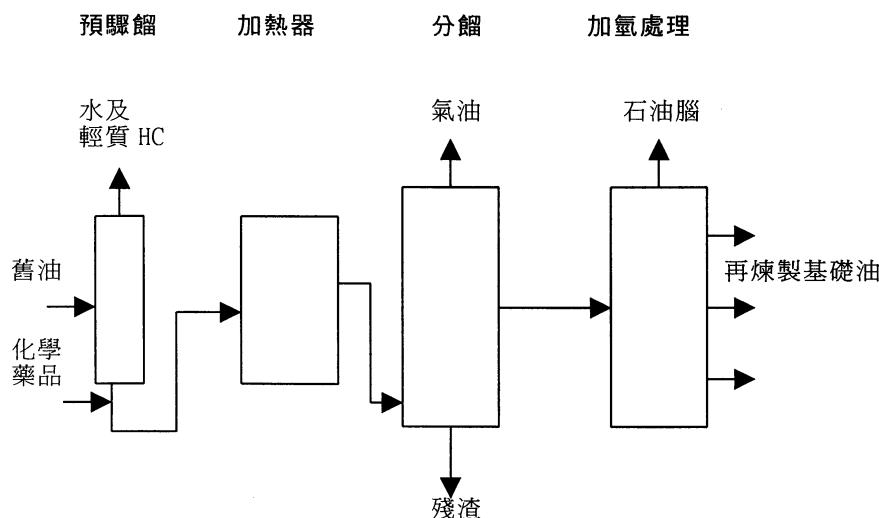


圖 6 热去瀝青-Agip Petro/VISCOLUBE 加工法

68 廢潤滑油再煉製回收技術評估

- 前預驟餾 — 如同前述其他加工。
- 化學處理 — 化學處理的目的主要在於使對下游設備所造成的腐蝕與污損減至最輕，並加速接下來的去瀝青步驟。
- 沈澱 — 經過前預驟餾的油在經特殊設計的油槽內，藉沈澱去除一部份瀝青。
- TDA — 藉著蒸餾塔底的驟餾分出不同的潤滑油並得以去除殘渣，最後再經過黏土處理與加氫處理即告完成，業者宣稱採取黏土處理可獲致 74%乾基，若採加氫處理則可獲致 77%乾基的潤滑油^[3]。

4.1.8 預處理及潤滑油煉製回收

此法在最近由德國的 DEA 加以商業化^[3]，包括二個連續步驟：(一)前處理，藉既有的煉製廠進行，及(二)回收，在一潤滑油再煉製廠進行。

- 前處理 — 在一蒸餾塔內前驟餾廢潤滑油，將水份、燃油及輕質產物分離。經過前驟餾的油接著在很高的溫度與真空度的 TFE 中去除瀝青。所產生的潤滑油部分，經過凝結與冷卻之後再送入潤滑油再煉廠。
- 煉製回收 — 經過上述前處理後的油接著在一隔離操作的芳香族萃取單元去除 PAH 及其他不要的化合物。遭氯污染的芳香族萃取物送至煉油廠外處置，至於回收過程最後的加氫精煉則進一步在顏色及熱與氧化穩定性上做最後升級。

DEA 宣稱採用此回收途徑，比起採用前驟餾、去瀝青、及黏土精煉所得再煉製油的品質為佳，在某些方面甚至超過了其同廠所生產的傳統礦物油。至於該加工所能獲致的潤滑油百分比則是在 65 至 70 乾基之間^[3]。

4.2 研發中的再煉製及再利用新技術

目前全世界各地有很多從事於改進既有再煉製油技術及研發新技術的活動。以下摘要介紹 UOP，ENTRA，及超嚴格萃取等幾種再煉製技術，同時並介紹如煉製回收及 Texaco 氯化加工等其他回收與處置技術^[3]。

4.2.1 UOP-DCH 加氫去瀝青/處理加工

在高溫下加氫驟餾是去瀝青的第一步，在該具濃厚氫的流體中接著以加氫處理，最後再加以脫水去燃及真空分餾^[7]。DCH 加工藉著將整體廢潤滑油進行加氫處理，所產生的排放流對環境的衝擊甚低^[11]。DCH 加工所產生的有：

- 1.潤滑油之基礎油，
- 2.脫硫且去氯的燃料氣體及燃料油，
- 3.低化學需氧量(COD)、無硫化物、無有機氯化物之液態排放物，以及
- 4.據稱適於作為瀝青伴合物的穩定重質殘渣。

另外尚須加以處置的副產物包括廢觸媒、氯化鈉、及硫酸鈉。

4.2.2 煉製回收

此選擇已在法國做過小規模的研究。假使能在廢潤滑油前處理時將水份與輕質產物去除，並降低有機氯含量，對於環境應屬安全。所有金屬污染物將留在瀝青之中，而金屬滲漏亦極低。

此選擇的最大誘因在於可利用既有的煉油加工單元，與單獨成立再煉製專用廠相比，顯然可節省投資。一預加工廠所需要的投資大致與一「高級」再加工廠所需相當。法國曾針對預加工廠所存潛在問題進行調查^[5]。其作法是將經過前驟餾的廢潤滑油直接送進一現成廠的真空塔中與一般大氣下的殘渣相混。所得到的主要產物為適用於催化裂解進料的真空氣油(VGO)或潤滑油產物。

該研究發現絕大部分廢潤滑油中的金屬都到了瀝青底層。VGO 除了氯含量略微升高外品質未改，本應適於催化裂解操作。然試驗顯示，由於在前驟餾操作中有許多有機氯化物無法去除，其有必要對經過前驟餾的廢潤滑油進行額外的前處理。否則，該氯化物將與輕質產物一起蒸餾出，造成塔頂及下游加氫處理設備的腐蝕^[3,5]。

4.2.3 Texaco 氣化加工

Texaco 氣化器是特別設計來加工重燃油及廣泛碳氫化合物廢棄物的，對環境應屬安全^[5]。該技術長期發展以來，在全世界各地已有超過 100 家廠用在廢潤滑油的再利用上。廢潤滑油可單獨或與其他進料一起送進氣化廠，將含碳材料轉換成合成氣體(H₂ 及 CO)。此加工過程亦可用在無法經濟地分離的混合廢料，例如油與塑膠同時存在的情形。硫化物先是被轉化成硫化氫，再接著以傳統洗滌法去除，並轉化成硫元素。在此氣化加工過程中，金屬及戴奧辛等的排放皆得以避免。該廠比起用來處置廢潤滑油所需的規模要大得多，因此不會單純只為此目的建廠。然若該廠主要是能以其他目的建廠，則等於提供了一個既安全又省能的廢油處置途徑^[3,5]。

無論選擇採用何種廢油處置與回收技術，首先必須是在環保考量上可以接受的。亦即不僅所有回收加工過程的產物皆須有良好與穩定的品質且所有過程的副產物也都必須適於使用或處分。從過去 10 至 15 年所做的許多研究可以看出，迄今大多數的技術只要採取妥善預防措施，在環保上都是可被接受的。惟其中有些技術的投資與操作成本相當可觀^[4,5]。

儘管經過再煉製所產生的基礎油產物，經過一些像加氫處理的加工，品質都已經獲致長足的進步，但迄今大致仍處討論階段。由於潤滑劑成品無論在品質或特性上都漸趨複雜，基礎油的品質也隨著有改進的空間。

4.2.4 ENTRA 製程

由前驟餾步驟導出來的舊油，加上鈉及漂白土一起進料到一特別設計的管狀反應器，在其中將不該存在的有機金屬化合物分解。而藉由進一步控制溫度與滯留時間，同時可使具潤滑油成份有機分子的分解程度減至最輕。如此可獲致相當高的潤滑油產品^[3]。

4.2.5 超嚴格萃取

將此技術用在再煉製廠的去瀝青階段，並進一步用在分餾階段時，其在 PDA 單元的標準組成上並未在前驟餾及加氫處理階段上作任何改變。超嚴格去瀝青主要是藉著在極嚴格狀況下以輕質碳氫化合物 (C_2/C_3) 將瀝青部份分出。接著再從萃取介質中將清淨的油分出之後，於真空狀態下在一標準分餾塔中進行分餾。超嚴格分餾是將從超嚴格去瀝青單元出來仍混有萃取介質的清淨油，藉由改變該混合物的物理狀態將其直接分成二道以上的產物。與標準的 PDA 技術相比，超嚴格去瀝青與超嚴格分餾技術二者皆得以降低投資與操作成本^[3]。

五、再煉製的環境衝擊、健康影響與產出物性質

5.1 再煉製回收對環境的衝擊

藉由廢潤滑油的再煉製，廢潤滑油提供了生產基礎潤滑油的原料，潤滑油因而得以循環再利用。從促進資源再利用的觀點而言，尤其，考量另一種亦極受歡迎的回收方式，即以廢潤滑油為廉價燃油替代品，其燃燒後對環境所將造成的不容忽略

的衝擊，廢潤滑油再煉製實為值得鼓勵的回收方式。但再煉製回收仍有其二次污染的可能，早期酸/黏土製程所產出的有害廢棄物問題即常遭關心環保人士詬病，1980 年代的環保意識即曾對廢潤滑油回收技術的發展帶來以下後果^[5,6]：

1. 基於經濟與環保的雙重考量，以美國為主的許多酸 / 黏土再煉製廠陸續關閉。
2. 藉由一些改良過的設備，燃燒廢潤滑油所帶來的潛在污染得以降低，因而相對
3. 加了廢潤滑油以燃燒處理的競爭力。
4. 基於環保與產品品質的理由，改變了過去煉製技術。

很值得注意的一點是，各種不同再煉製選擇對環境所造成的衝擊以及產物的品質，尚取決於所用廢潤滑油的品質。因此顧及該衝擊，尚必須視各例子的情況而定，而以下所述對於環境所造成的衝擊僅在於指出可能的情況，但卻不代表一定會發生。

由於廢潤滑油中一般含有汽油等輕質產物，在各加工儲存過程中都可能存有揮發性有機化合物(VOC)。因此任何用來儲存含有具高蒸發壓產物材料的槽櫃及相關管路，都須針對控制其所釋至空氣之 VOC 加以設計。為避免漏或溢至地面以致污染土壤及地下水或讓油隨逕流直接進入地面水，必須採取特別防範措施。此應可藉一般工業儲油技術達到。從除水及從加工過程來的放流水在棄置之前必須處理至符合可接受標準。同時，由於分離出的燃料油及真空氣油亦須處置，可藉由在配備有洗氣器的加熱器中燃燒非潤滑劑回收油達到，同時可提高廠內的能源供應^[3]。將放流水與油一道送入加熱器，可燃燒掉其中有害成分。

應禁止任意將廢潤滑油棄置於地面或排水系統，因其將擴大水資源污染並妨礙污水處理。舖路時上廢油的做法亦應大力避免，因不論廢油或油中所含金屬都不能被有效防止進入環境。至於廢潤滑油掩埋亦應大力避免，因為其：

- 提升地下水污染的風險，
- 物理性質不適於掩埋處理，
- 在掩埋場的曝氣情況下不會分解。

以下選擇不同再煉製技術就其在環境層面所必須考慮的因素加以探討。

5.1.1 酸/黏土加工

此加工過程產生大量須加以處置的油泥及固體。這些油泥具高度酸性，並含有

高濃度的 PAH、硫酸與硫化物、以及廢潤滑油中所含之金屬。由於物理與化學性質，其不適於掩埋。雖然一部份問題可藉著將酸性油泥與油性黏土拌和成粒狀用於水泥廠等，但所費不貲^[13]。另外兩種處置方法則都極其複雜，成本又高。首先是焚化，排氣必須經過苛性蘇打處理，如此中和處理所產生非活性廢棄物的量與鹼性油膠經處理後所產生的相當。其次，其亦可加以處理產生硫酸或二氧化硫，惟加工成本甚高。

用過的黏土（進料重量的 4% + 吸附的油）亦須藉上述加工方法加以焚化。另一進一步考量是所產出基礎油的 PAH 相當高（比原生油所含高過 4 至 7 倍）^[6]，因此其對健康的影響亦有待評估。

5.1.2 真空蒸餾

從用以加工廢潤滑油的先進真空蒸餾設備產出蒸餾物金屬量可低於 1ppm，所有廢潤滑油中所含金屬物終將留在真空殘渣中。而這些殘渣可與原油真空殘渣以一定比例相混，得到符合良好鋪路瀝青平均特性的材料^[8]。此選擇尚待有關當局進一步鑑定與研究，並給予認可。

5.1.3 真空蒸餾 + 化學處理或黏土處理

經過此化學處理或黏土處理的基礎油金屬含量在 1ppm 以下。用過的黏土與化學品皆須加以處置，最好是在水泥窯或化學廢棄物焚化爐中燒掉。此加工無法像加氫處理，得以降低那麼多的油中 PAH 含量^[3]。

5.1.4 真空蒸餾及加氫處理

除了會有與任何其他廢潤滑油加工處理方法相同的排放之外，加氫處理所產生觸媒殘渣的處置必須仰賴熟悉這類問題的專家加以解決^[13]。

5.2 再煉製基礎油的產品性質

大多數取得再煉製加工授權的業者都會提供產品規格以證實其基礎油可用於摻配生產商業成品（例如汽油引擎潤滑油）。雖然有少數再煉製業者宣稱其油品用於嚴峻的引擎環境仍能表現穩健，然此類實際性態數據仍嫌不足。此外，根據第六屆國際舊油會議中提出的報導，「在許多情形下，再煉製油之性能經測試，比起大部分市面上同等級原生潤滑油，有過之而無不及。而在低溫的少數情況下，再煉製油則有待改進」^[4]。

目前引擎製造商對於再煉製基礎油的接受度已漸趨普遍。API 甚至對基礎油作成以下定義^[4]：

藉由煉製或再煉製過程將原油（產出為原生基礎油）或舊油（產出為再煉製基礎油）轉換成的礦物性基礎油料。再煉製基礎油料應幾乎不含來自製造、污染、或先前使用的材料。

上述最後一句話不很具體，因此 ASTM 目前正進行較為確切的規格化，並建立再煉製基礎油所應通過的試驗。

5.2.1 特性上的差異

收集的廢潤滑油品質隨收集來源與油之類別而異。該差異性會在經酸/黏土處理過的基礎油產物的密度、黏度、硫含量等方面反映出來。這些性質參數(除了硫含量以外)，在真空蒸餾/加氫處理單元的產物中則呈現較小的差異。Lubrizol 公司曾直接比較了從一再煉製廠所得基礎油與原生基礎油的差異性。很重要的一點是，二來源所得各種基礎油在特性上並無二致^[8]。

從文獻中可發現，藉由穩當的收集與選擇範圍，加上夠大的進料混合槽，來自某再煉製廠的基礎油產品可維持穩定的特性。然而，來自不同加工過程與生產廠的基礎油特性則差異甚鉅^[3]。

5.2.2 PCB 及其他氯化物含量

根據歐洲廢油指南，能夠處理並加以處置的舊油中所含 PCB 的最大含量為 50ppm^[13]。由於含 PCB 油之使用與處置都受到嚴格管制，故當今在歐洲一般都合於此規格，而對於舊油處置，PCB 含量也就不致是個大問題。

舊油中所含之氯包括有機氯在內皆可達很高的程度，但差異性很大。此對於所有處理選擇而言，不論是再煉製或燃燒，都會造成影響。這些氯化物的命運不僅會隨所採用之處理選擇而異，並且亦隨其所在於油中的型態而變。因此，吾人除了說燃燒途徑會增高形成戴奧辛的風險，以及說再加工選擇有腐蝕風險的問題、酸性氣體排放及產物與副產物的汙染以外，似乎也無法對氯的影響下一般的結論。而其亦只能視個別情況與其他來源之排放比較，加以評估。

5.3 對健康之影響

很少有研究針對廢潤滑油的毒性及潛在健康影響提出報告，即便有也只是針對

與再煉製過程有關的報導。儘管如此，再煉製油似乎並非具急性毒性亦不會對皮膚或眼睛造成刺激^[4,5]。有些特定再煉製油已經證實不會造成人體病變，但迄今所獲數據尚不足以對一般再煉製油下結論。為確保再煉製油之使用不會致癌，必須藉著像是極嚴格的加氫或萃取處理，將 PAH 程度大幅降低。

六、廢潤滑油再煉製回收的成本分析

6.1 廢潤滑油再煉製成本比較

依據國外研究報告或技術授權者所公佈之資料，已有運作實例提供廢潤滑油再煉製之資本投入與營運成本資訊。本文因而依此資料設算不同廢潤滑油再煉製製程在國內設廠所需之資本投入與營運成本，表 2 所示即為此設算結果之比較。各再煉製流程的乾量產出結構，則分別如表 3 所示。

由表 2 可以發現處理廠的規模固然對資本投入的大小有影響，規模越小投入越低，但資本投入的大小亦受非規模因素影響。例如 4.1.4 節中所介紹，義大利 Snamprogetti 丙烷萃取製程的資本投入即比其他製程高得不成比例。而如在美國加州的 CEP/Evergreen 這種較小規模，且資本投入與單位營運成本均較低的處理流程，則頗值得國內未來增設廢潤滑油處理廠時進一步評估。

僅從成本面分析，可能因而結論認為義大利 Snamprogetti 製程十分不符合成本有效性，而酸/黏土法為最符合成本有效性的製程。然而，如果考慮各製程投入產出比及產出物的品質與經濟價值潛在的差異性，僅以成本資料評斷各製程的優劣並不合理。依表 3 所示，儘管各製程多以產出潤滑油基礎油為主要目的，其產出結構卻有些微差距。只要產出物的價格並不一致，代表效益的每單位處理量的產出價值即可能不一致。另外，值得提醒的是，各再煉製製程的環境影響層面亦有所差距。而此處的成本分析僅著眼於再煉製製程的直接經營成本，對各製程對環境及社會可能造成的外部成本則並未納入量化。

表 2 不同廢潤滑油再煉製製程之成本比較

| 製 程 | 處理能力 (公秉/年) | 資本支出 (百萬台幣) | 使用年限 | 營 運 支 出 ³ (NT\$/公秉) | | | | |
|-------------------------------------|----------------------|----------------|------|--------------------------------|-------------|-----|----------|--------------|
| | | | | 合計 | 折舊與資 金成本 | 人力 | 變動投 入 | 維護、稅 捐與保險 |
| 酸/黏土製程 | 111,111 ¹ | 952.22 | 10 | 2,315 | 1,166 | 104 | 531 | 514 |
| 義大利 Snamprogetti 丙烷萃取製 程 | 111,111 ¹ | 2,155.24 | 10 | 4,295 | 2,638 | 104 | 389 | 1,164 |
| TFE 製程 | 111,111 ¹ | 1,489.07 | 10 | 3,070 | 1,823 | 104 | 339 | 804 |
| TDA 製程 | 111,111 ¹ | 1,038.43 | 10 | 2,598 | 1,271 | 104 | 662 | 561 |
| CEP/Evergre en "Sec- Feed" 製程 | 45,423 ² | 274.30 | 10 | 1,454 | 820 | 148 | 299 | 187 |
| CEP/Evergre en "Lube Base" 製程 | 45,423 ² | 391.86 | 10 | 2,028 | 1,172 | 148 | 441 | 266 |

¹ 約合 100,000 公噸/年。³ 营運支出不含廢潤滑油購入價格。² 約合 12,000,000 加侖/年。

資料來源：[3]

以下即說明各廢潤滑油再煉製成本的估算方法，並以義大利 Snamprogetti 丙烷萃取處理製程為例，介紹處理成本的分析結果。

表 3 廢潤滑油再煉製製程產出組合比較 - 按乾量重量百分比

| 再煉製產物 | UOP 製程 | 義大利 Snamprogetti 製程 | CEP Sec-Feed 製程 | CEP Lube Base 製程 | Interline 製程 | 其他 製程 |
|-----------------|-----------|---------------------------|-----------------------|--|-----------------|----------|
| Light Ends | | | 2 | 1 | | |
| Gas Oil | 18 | 9 | 3 | 6 | - | 9 |
| 燃料油 | 9 | 5 | - | - | 3 | 5 |
| 潤滑油 Sec-Feed 原料 | - | - | 79 | - | | |
| 潤滑油基礎油 | 68 | 80 | - | 100 Neutral : 41 300 Neutral : 36 | 78 | 72 |
| 殘渣(瀝青) | 5 | 6 | 16 | 16 | 19 | 14 |
| 合計 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

資料來源：[3]。

6.2 再煉製成本的估算依據與方法

本文所比較幾種不同的廢潤滑油再煉製製程的成本，包括酸/黏土處理、義大利 Snamprogetti 丙烷萃取處理、薄膜蒸發加氫精煉處理（TFE）、熱去瀝青處理法（TDA），以及 CEP/Evergreen 的二次進料（Sec-Feed）與潤滑油基礎油（Lube Base）製程。前四種製程成本乃依據歐洲油商環保聯盟組織（CONCAWE）的成本分析資料。在權衡產能規模的經濟效率性、運輸成本及運送過程中對所可能造成的環境衝擊等因素之下，CONCAWE 以每年 10 萬公噸（約合 111,111 公秉）為較可行的處理規模。而後兩種 CEP/Evergreen 的再煉製製程則依據位於美國加州的 Chemical Engineering Partners（CEP）公司所公佈之成本資料，其二次進料製程於增加資本投入後即可延伸為基礎油製程。CEP 為 Evergreen 公司規劃的實際運作規模為年處理 12,000,000 加侖（約合 45,423 公秉）廢潤滑油。

設算在台灣設廠成本的基本精神，就資本支出而言在調整進口價差，而就各項直接投入營運費用部分則在盡可能反映台灣投入要素價格。惟對於難於取得本地價格的項目，則按國外與台灣兩地所得水準差異調整價格。進行成本估計時所採用的共通原則與假設如下：

| | |
|----------|--|
| • 資本支出 | 依據國外技術授權者所提供之資本支出金額，並經換算為本地設廠所需金額。換算時須考慮物價變動、國際運費、進口稅捐與國際貿易商業差距等因素。 |
| • 人力資源成本 | 依據依原始資料之員額配置，而以台灣製造業薪資水準計算 ¹ 。 |
| • 變動投入成本 | 依各該製程技術授權者提供之公共給水、能源等設施及化學品等之消耗量，適用本地價格估計。對於難於取得本地價格的投入項目，則按國外與台灣兩地所得水準差異調整價格。 |
| • 折舊費用 | 假設使用年限為 10 年，並納入資金成本採複利法以折現率 6% 計算。 |
| • 其他間接成本 | 優先採用製程技術授權者所提供的估計方法計算，若原始資料中並未提供則依本研究假設方法計算。未含營業稅與營業所得稅。 |

註 1：國內廢潤滑油清運處理業的薪資水準難與油品煉製業水準相比擬。若一如國外資料來源以油品煉製業平均工資計算廢油處理業之薪資，恐有高估之虞。因而本研究仍以製造業平均薪資水準作為人力資源成本估算依據。

6.3 義大利 Snamprogetti丙烷萃取處理製程成本估算

表 4 舉義大利 Snamprogetti 丙烷萃取處理為例，詳細列示處理流程的成本分析資料。其中歐洲設廠成本乃引用 CONCAWE 之分析結果，而表中亦提出台灣設廠成本之估計資料。

表 4 廢潤滑油再煉製成本分析 — 以義大利 Snamprogetti 內烷萃取製程為例

| 項目 | 單位 投入量 | 單位 | 歐洲設廠 成本 (百萬元美元) | 台灣設廠成本 (百萬元台幣) |
|---------------------|-----------|-------|-----------------------|-------------------|
| 資本支出 | | | | |
| 處理設備 | | | 45.00 | 1484.32 |
| 非廠區週邊設備(Off-Sites) | | | 10.00 | 329.85 |
| 輸入運費及國際貿易商業差距 | | | - | 181.42 |
| 進口稅捐(8%) | | | - | 159.65 |
| 資本支出合計 | | | 55.00 | 2,155.24 |
| 營運成本(不含廢油購入價格)： | | | (元美元/公秉) | (元台幣/公秉) |
| 折舊及資金成本 (6% - 10 年) | | | 67.32 | 2,638.01 |
| 水電燃氣、化學品等變動投入 | | | | |
| 電力 | 30.78 | kW/t | 1.85 | 64.64 |
| 燃料油 | 47.88 | kg/t | 3.35 | 228.77 |
| 蒸氣 | 273.60 | kg/t | 2.74 | 34.47 |
| 冷卻水 | 2.07 | m³/t | 0.27 | 20.60 |
| 天然氣 | 0.00 | Nm³/t | 0.00 | 0.00 |
| 氮 | 0.00 | kg/t | 0.00 | 0.00 |
| 氫 | 1.35 | kg/t | 1.35 | 17.01 |
| 溶劑 | 1.35 | kg/t | 0.41 | 5.10 |
| 化學品 | 0.04 | \$/t | 0.04 | 0.45 |
| 觸媒 | 0.18 | l/t | 1.39 | 17.46 |
| 黏土 | 0.00 | kg/t | 0.00 | 0.00 |
| 變動投入合計 | | | 11.38 | 388.50 |
| 人力資源 (24 人) | | | 11.52 | 104.20 |
| 廠內間接成本 | | | | |
| 維護費 | | | 17.33 | 678.90 |
| 地方稅捐 | | | 7.43 | 290.96 |
| 保險 (資本投入之 1%) | | | 4.95 | 193.97 |
| 廠內間接成本合計 | | | 29.70 | 1,163.83 |
| 營運成本合計 | | | 119.92 | 4,294.54 |

資料來源：單位投入量與歐洲設廠成本資料來自 CONCAWE(1996)；台灣設廠成本參見[3]估算。

七、結論

在各個廢潤滑油處置管道中，從廢潤滑油中所回收的經濟與熱價值的程度各不相同，對環境及人體健康可能之衝擊亦各有不同。唯有採用再煉製及充分加工後燃

燒兩種管道回收廢潤滑油才可能盡量避免其負面衝擊。過去廢潤滑油再煉製，技術上最大的挑戰即在於從油中去除添加物及污染物，然此困境已可望隨著甫問世的新技術完全改觀。其所需投資成本僅為傳統再煉製廠的六成到七成，操作成本亦較低，卻能獲致具有與從原生油所得相同品質的產物。

因此未來我國廢潤滑油回收體系之運作是否能達到原先建立的初衷，除了提供誘因鼓勵引進先進再煉製技術外，政府之當務之急應在於針對整個廢潤滑油自產出、清運、處理乃至回收產品之營業者，積極扮演輔導與管理的角色，建立並維持一健全之回收體系。對於目前回收管道中以加工後燃燒為大宗的現象，建議考慮以視回收後所選擇處理方式及所得產品採差別補貼，鼓勵再煉製。

參考文獻

- 1.行政院環保署。1997。一般廢棄物清除、處理、回收體系之市場制度建立，期末報告。
- 2.行政院環保署。1997。廢潤滑油回收清除處理辦法。
- 3.行政院環保署。1999。廢潤滑油回收處理體系之規畫與費率之訂定，期末報告。
- 4.API. 1991. Used oil recycling management in selected industrialized countries. Discussion Paper #064. Washington, D.C.
- 5.US Environmental Protection Agency. 1994. Collecting used oil for recycling/reuse: tips for consumers who change their own motor oil and oil filters, EPA530F94008.
- 6.US Environmental Protection Agency. 1992. Environmental fact sheet: properly managing used oil-filter., EPA530F92010.
- 7.US Environmental Protection Agency. 1994. Environmental regulations and technology: managing used motor oil, EPA62594010.
- 8.US Environmental Protection Agency. 1990. Preliminary data summary for the used oil reclamation and re-refining industry, EPA440189014.
- 9.US Environmental Protection Agency. 1996. Used oil analysis and waste oil furnace emissions study. EPA456R95001.

80 廢潤滑油再煉製回收技術評估

- 10.US Environmental Protection Agency. 1991. Used oil recycling, Fall 1990.
EPA530SW90068.
- 11.US Environmental Protection Agency. 1992. Used oil recycling, Fall 1991,
EPA530SW91071.
- 12.US Environmental Protection Agency. 1989. Used oil recycling, November 1988,
EPA530SW89006.
- 13.US Environmental Protection Agency. 1992. Federal register: May 20, part 3, 40 CFR
part 261. Hazardous waste management system.