

# 廢潤滑油作為燃料回收之技術評估

華健\*、吳怡萱\*\*

## 摘要

保障人體健康與環境及成本有效性，皆為選擇廢潤滑油管理方式所不可忽視。廢潤滑油燃燒取熱，在台灣和世界各國皆為最普遍的一種回收選擇，可能衍生的技術性問題及對環境的不利影響，則可藉燃燒前嚴格的加工處理予以紓解。本文將廢潤滑油回收處理業者所必須承擔的廢潤滑油取得成本及其必須投入的資本支出與其他各項營運支出，二類成本分開討論。文中依能防杜二次污染的完整處理流程，換算引入國內所將發生的處理成本。估算各處理程序在台灣運作相關成本的結果顯示，若採包含沉澱、離心與真空蒸餾各程序之完整處理流程，每公秉廢潤滑油處理成本在 1,221 至 1,371 元之間；若結合沉澱、離心與溶劑萃取三程序，則每公秉處理成本為 1,353 至 1,499 元。

### 【關鍵字】

1. 廢潤滑油 2. 廢油回收 3. 回收成本 4. 加工處理

\*海洋大學輪機系副教授

\*\*海洋大學研究助理

## 一、前言

廢潤滑油乃指「任何從原油提煉出的油或任何合成油，經過使用而導致其受到物理或化學不純物污染的油」，包括了使用過的液壓油以及用於潤滑機動車輛和其它機器、冷卻引擎及工業製程者。用於這些目的的油會受到物理材料(例如引擎磨耗所產生金屬碎屑)或化學污染物(例如汽油燃燒產物，甲苯等)的污染。

據潤滑油業者估計，目前台灣每年整體潤滑油市場約 35 萬公秉，其中工業部分佔 14.1 萬公秉(約 40.3%)，餘為機動車輛之 20.9 萬公秉(約 59.7%)。若依據民國 88 年周明顯為行政院環保署執行的廢潤滑油產出率研究結果，機動車輛及工業來源所產生廢潤滑油比率分別為 90.6% 及 55.6% 估算，全年台灣自上述二主要來源所產出的廢潤滑油分別為 189,354 及 78,396 公秉，總共約為 267,750 公秉<sup>[7]</sup>。

台灣在政策上對廢潤滑油採回收策略，但在環境法令中並未將廢潤滑油納入有害廢棄物管理。廢潤滑油一旦釋入環境，危害後果難以避免，其所可能導致後果的例子包括：

- (1) 僅四公升的廢潤滑油(大約每次汽車換油的量)即可造成四百萬公升的淡水無法使用。而這四百萬公升的淡水即足以供應近百人整年所需。
- (2) 當將廢潤滑油倒入水溝而致進入污水處理廠時，僅僅很小的污水含油量(50 至 100ppm)即可對整個污水處理過程造成相當程度的危害。
- (3) 水面上的廢潤滑油油膜不僅阻止氧自大氣進入水中，尚且阻隔陽光穿透水層，使植物進行光合作用發生困難，以致減少水體中的動植物量。
- (4) 在淡水中，310ppm 以上的含油量，即可對各種淡水生態成長期而明顯的影響，而同樣的影響，對於海洋生物則僅需 1ppm 含油量。

廢潤滑油若處理不當，仍可能影響人體健康。大部份廢潤滑油都含有某些微量的物質，若是吸入或攝入即可導致癌症或其他健康上的問題。廢潤滑油若未經適當的管理措施或是環保裝置即加以燃燒，會使人吸入其中的污染物。例如若藉燃燒廢油取暖而又未加以通風，則等於是讓人在燃燒過程中曝露在毒性污染物之中。此外，若在溫度不足或不連續燃燒，而無法摧毀其中的有機化合物的裝置中燃燒廢油，皆

可能釋出毒性物質。

從另一個角度來看，廢潤滑油具有潤滑與熱能雙重價值，實屬珍貴資源。適當的回收與處理廢潤滑油事實上是一舉兩得；可以避免危害環境與人體健康，同時尚能促進資源再利用。儘管車用機油在使用過程中受到污染而使其對某些機件作適度潤滑之能力為之降低，但仍具有基本的潤滑能力，經過適當的處理以去除污染物後，廢潤滑油仍能作為生產新潤滑油之基礎原料，如此得以保存廢潤滑油的潤滑價值。重覆以廢潤滑油作為生產新油的基礎原料，同時還可節約原生油基礎原料。另一方面，廢潤滑油因具有熱值亦能當作燃料燃燒。燃燒廢潤滑油可免浪費其熱值，進而節約消耗原本用來生產加熱燃油的原生材料。

然而不論回收的是廢潤滑油的潤滑價值或者是熱值，為求降低人體健康與環境所承受的風險、降低回收成本、以及提昇回收價值，皆必須採用適當的回收與處理程序與設備，而整體妥善管理廢潤滑油更是重要。本文旨在介紹當今廢潤滑油作為燃料回收處理的技術與並略述所涉及的成本問題，藉以作為探討台灣未來實施廢潤滑油回收所採行策略選擇的參考。

## 二、廢潤滑油的回收方式

由於廢潤滑油成分的變異性大，加上地理上的分布，有時很難認定那一種處理方法最為適宜。而不論採行何種方法，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。例如，廢潤滑油產出者有時須為清除其所產出廢油付出代價，在此情況下，產出者無法從其廢潤滑油的價值中直接受惠。然當產出者利用油作為廠內加熱所用燃油時，其同時可減少清運支出及部分購買加熱用燃油的支出。因之，在產出廠內當場燒廢油取其熱，將得以確保產出者從其油中獲取經濟利益。

### 2.1 回收方式的選擇

廢潤滑油回收後，不論是利用其潤滑或熱能價值，均得以對保護人體健康及環境有所貢獻。此外，從成本的角度來看，回收亦較妥當處置來得有效，因絕大部份

## 82 廢潤滑油作為燃料回收之技術評估

的廢潤滑油都是可回收的。因此廢潤滑油管理體系應強調的是回收。國際間回收廢潤滑油最常見的五種可能方式為：

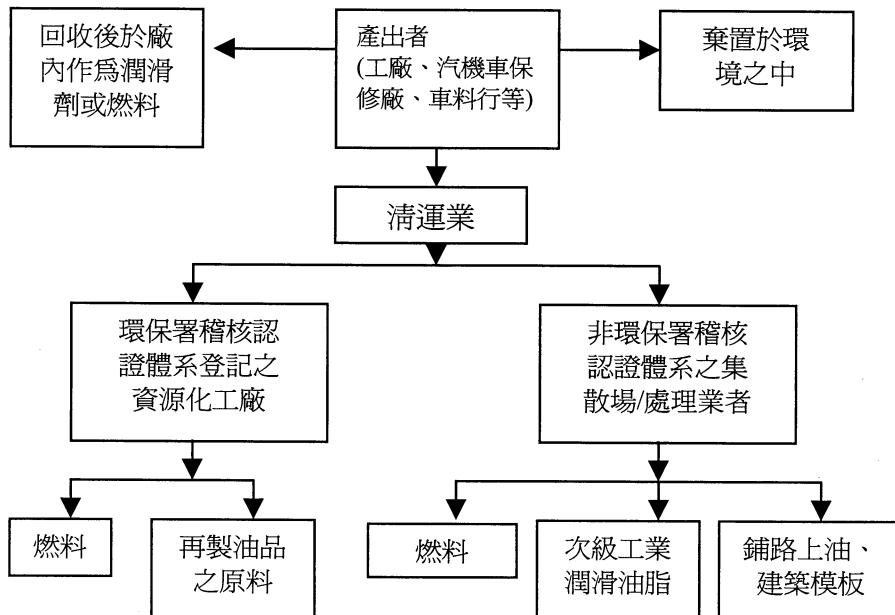
- (1)直接燃燒:意指將廢潤滑油燒掉以產生熱，或進一步作為工業運轉之動力。在一個健全管理體系下，廢潤滑油僅只在二種情形下，得以未加以預先處理即逕行直接燃燒，一種情形是該廢潤滑油符合不需另外增加設備，即可安全燃燒之規格，另一種情形是在具備了空氣污染防治裝置的場廠中燃燒。
- (2)加工處理:意指廢潤滑油經過處理除去其中污染物，以使其可用作燃料而不致危及人體健康與環境或損及設備。一般而言，不合乎規格的廢潤滑油須經過加工處理，以符合廢油管理標準中所訂的規格。最常用到的加工處理方法有重力沈澱、粗濾、離心、以及細濾，以去除其中固體污染物，藉化學處理以去除化學不純物質，熱分離/脫水以去除液態不純物，蒸餾以去除水份，以及混合不等品質的廢油以改進較差品質的廢油。
- (3)再煉製:意指處理廢油以去除其中不純物質，進而作為生產新潤滑油的基礎原料。再煉製方法比起加工處理方法較為高級、複雜、及有效，而再煉製的潤滑油在品質上幾乎可做到與原生潤滑油無異。幾種不同用來再煉製廢潤滑油的程序皆不外在於去除廢油中的水、添加劑、污泥、溶解碳氫化物與溶劑、以及不純物質。對此，本文作者於《工業污染防治》第七十六期(89年10月)中另有詳細介紹<sup>[8]</sup>。
- (4)分流:僅引入少量廢潤滑油至煉製過程。由於量少，廢油並未經過預處理，最後可轉換成汽油、加熱用油、或其他石化產品的原料。
- (5)補充柴油:在此，廢油經過細濾去除固體粒子後與柴油混合。一般情形下，一份廢油與九份柴油混合後的產物用於柴油引擎仍可得到令人滿意的運轉。縱然此為過去常用的作法，但基於環境考量如今在有些國家、地區已著手限制燃燒此類混合油。

儘管回收為廢潤滑油管理的最佳選擇，其倒不見得一律可行。有些廢油畢竟所受污染太過嚴重，產出點與回收場廠相距太遠，再加上產出量太少、回收不經濟，因之在特殊情形下，只要確定處分後還不致對人體健康或環境造成傷害，妥善處分

廢油仍不失為一適宜的選擇。就未被認定為有害廢棄物的廢潤滑油而言，其適宜的處分選擇包括：以用於處置工業液體設施加以焚化，以及置於經特殊設計、建造並合於接受工業廢棄物標準的掩埋場。至於被認定為有害廢棄物的廢油，其處置選擇包括置於合乎特殊要求的掩埋場，或藉由經認可的有害廢棄物焚化爐燒掉。

## 2.2 台灣廢潤滑油回收途徑

台灣目前廢潤滑油回收清除處理體系與流向如圖 1 所示。由於潤滑油不外用於機動車輛與工業生產機械，其主要來源亦不外汽機車保修廠與工廠。潤滑油經使用後，由於性質改變雜質含量增加，其原有功能逐漸喪失，須予以汰換，而產生廢潤滑油。汽機車保修廠與工廠等則通常採三種途徑之一，處理其所產出的廢潤滑油，即回收後於其廠內作為潤滑劑或燃料、委託清運業者轉送廠外處理，或是逕自棄置於環境之中。鑑於廢潤滑油的潛在污染性，後者自不為吾等所樂見，且亦非目前法令規範所允許。而委外處理的廢潤滑油一部份進入環保署稽核認證體系登記之資源化工廠，另一部份則流入非環保署稽核認證體系之集散場或處理業者。



■ 1 廢潤滑油回收清除處理體系與流向

目前於環保署基管會登記之廢潤滑油回收處理業約有五家，除其中二家外其餘僅限於本身廠內回收。而此二家當中又僅一家選擇再煉製回收潤滑價值，另一家則在加工後作為燃料販售或自行燃燒回收熱價值<sup>[7]</sup>。在台灣，大致上廢潤滑油的回收途徑不外：

- (1)與燃油混合作為燃料
- (2)重新煉製成潤滑劑
- (3)作為石化提煉原料
- (4)鋪路施工時上油
- (5)用於土木工程模板塗覆

其中，利用廢潤滑油來當做鋪設馬路的灰塵抑制劑時須注意的是，其對於地面及地下水所可能造成的污染。而以廢潤滑油塗覆土木建設模板，是否會使廢油隨著逕流或土壤滲透，進入地面水、土壤、或地下水中，則值得進一步研究。

### 三、回收對環境的衝擊

回收廢潤滑油可能含有例如重金屬、高揮發性有機物等有害成分，致具毒性或爆炸的可能，並妨礙其資源化。表 1 比較全新潤滑油與廢潤滑油中所測得的有害成分，其中廢潤滑油部分並按其來源區分為在汽機車、柴油卡車曲軸箱、以及綜合車輛與工廠來源的廢潤滑油。表中數據分別取自<sup>[5]</sup>至<sup>[11]</sup>。從此表可看出車用潤滑油在使用過程中可能受到污染的類型與程度。

**表 1 相對於新油，各種來源廢潤滑油中可能的有害成份**

成份	新潤滑油 (ppm)	來自汽車曲軸 箱的廢油 (ppm)	來自柴油卡車曲 軸箱的廢油 (ppm)	來自機車曲軸 箱的廢油 (ppm)	來自車輛及工 廠的綜合廢油 (ppm)
鎘	0 <sup>b</sup>	0.5~3.4 <sup>b</sup>	0.7~3 <sup>b</sup>	--	--
鉻	0 <sup>b</sup>	0.8~2.3 <sup>b</sup> ; 3.2 <sup>a</sup>	1.8~3 <sup>b</sup>	12.9 <sup>a</sup>	3.49 <sup>a</sup>
鉛	0.3 <sup>b</sup>	5.5~150 <sup>b</sup> ; 40 <sup>a</sup>	2.9~19 <sup>b</sup>	13.3 <sup>a</sup>	56 <sup>a</sup>
鎳	--	0.47 <sup>a</sup>	--	0.47 <sup>a</sup>	2.55 <sup>a</sup>
鋅	--	1080 <sup>a</sup>	--	767 <sup>a</sup>	776 <sup>a</sup>
苯芘	0.03~0.28 <sup>b</sup>	25~86 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	--	--

資料來源：a: <sup>[5]</sup>; b: <sup>[11]</sup>。

在可預見的未來，廢潤滑油的特性會隨著機動車輛(指汽、機車)中的潤滑油增添不少新的添加物而改變，並使廢潤滑油中此等添加物濃度大增。而大量使用無鉛汽油，則可降低廢潤滑油中鉛化合物之存在。

很值得注意的一點是，各種不同廢潤滑油回收選擇對環境所造成的衝擊，及其

產物的品質，皆取決於所用廢潤滑油的品質。因此在考慮回收對環境的衝擊時，必須視各實際情況而定，而以下所述對於環境所造成的衝擊則僅在於指出可能，但卻不一定會發生的情況。

### 3.1 廢潤滑儲運的環境顧慮

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儲槽及其相關管路，都須針對控制其所釋至空氣之 VOC 加以設計。

為避免漏或溢至地上，以致污染土壤及地下水或讓油直接進入地面水，必須採取特別預防措施。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的標準。同時，由於分離出的燃料油及真空氣油亦需處置，此二需求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。將放流水與油一道送入加熱器，可燃燒掉其中有害成分。

### 3.2 採取燃燒回收對環境的負面影響

就技術可行性及經濟效益而言，燃燒以回收廢潤滑油不論從再利用和處置的觀點來看都相當合適，並已被廣泛地運用，且有逐年普及的趨勢。在熱值上廢潤滑油與未使用過的機油幾乎相等，甚且比煤多出 30%<sup>[10]</sup>，因此純粹就能源的觀點，燃燒一公升的廢潤滑油其實就等於節省了一公升燃料油。惟以廢潤滑油作為燃料會釋出鉛，漫佈在空氣中，且容易產生惡臭並在鍋爐內部結上硬渣。解決的方法便是採取低比例的廢潤滑油與其它輕油或柴油等燃料油混合使用。

未經處理的廢潤滑油直接燃燒除了容易引起上述一些問題外，尚會發生以下情況：

- (1)與輕油類混合，因比重不同，加上長期存放產生層化現象
- (2)燃料輸送管線結凍，且由於廢潤滑油中水份含量過高，致有熱值不均現象
- (3)貯存槽內因含有過高的粗粒而產生污泥，易堵塞過濾器
- (4)由於含高比例灰分，使鍋爐的熱傳表面容易腐蝕

(5)由於含有污染成分，因此藉廢潤滑油作為燃料油的製造業者，在製程中容易污染到產品。

有幾種方案可以減輕或消除以未經處理的廢潤滑油作為燃油，對環境所造成的衝擊，包括只摻入極小比例的廢潤滑油於燃油中、在燃燒前預作處理、或裝設空氣污染防治設備等。前兩種作法著重燃燒前的預防與紓解，而最後一種作法則是針對燃燒過程中或燃燒後的逸散物污染問題的減緩。燃燒前加工處理流程通常可委由獨立再加工處理業者，或事業單位之獨立部門從事，但逸散物排放防制設施，則必須於廢潤滑油燃料的使用者處加裝。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。因此不論採行何種方法，除必須考量技術可行性及經濟與能源效率外，其副產品對環境可能造成的損害亦不容忽視。

本文僅以燃燒前的預防與紓解措施，作為減輕回收廢潤滑油作為燃料對環境所造成的衝擊的因應方式。以下即分別討論幾種不同的廢潤滑油回收處理技術，接著討論這些不同回收處理技術所涉及的成本問題。

#### 四、廢潤滑油作為燃料的回收處理方式

燃燒以取其熱能，在台灣和世界各國皆為最普遍的一種廢潤滑油回收選擇。有些回收業者會在燃燒前先進行某種程度的加工，但也有直接燃燒的。在加工過程中，亦可將廢潤滑油與原生油相混，以調整其黏度或改善其燃燒性質。最簡單的加工則只濾掉大的顆粒，並讓其他污染物自廢潤滑油中沈澱而去除。較複雜的加工則將廢油離心再加上化學處理。

以下即按加工處理的程度，由簡至繁，依序就直接燃燒、燃料加工、經充分加工後燃燒分別討論其處理方式與環境考量。顧及氣候變遷等全球性環境議題，在比較各種加工選擇時，耗能平衡與二氧化碳排放本當是一項重要考量。然而，由於石油市場屬整體營運，針對各種不同的加工選擇個別做此考量誠屬不易。因此本文在討論各處理方式的環境考量時，將僅著重於一般空氣污染問題，輪船上直接燃燒廢油加以利用的情況，則不屬本文討論範圍。

## 4.1 直接燃燒

廢潤滑油未經任何處理即燃燒，在各國是否普遍，端視當地的經濟與立法狀況而定。直接燃燒的優點在於省去了燃燒前加工所需的成本，即得以利用廢潤滑油的熱值。當廢潤滑油是在產出現場直接燃燒時，此一選擇更具優勢。其不僅得以省去處理成本，同時亦省去了運送廢潤滑油的成本。在台灣，整體而言，當今直接燃燒的另一優勢，在於有能力直接燃燒廢潤滑油的場廠已相當普遍。部分廢潤滑油產出量頗大的業者直接在廠內燃燒廢潤滑油，其主要優點在於可利用本身產出的廢油作為加熱燃料，尚且省下一筆能源支出。

目前國內外常見的直接燃燒方式為在水泥窯、暖爐、或廢棄物焚化爐燃燒。從環境觀點而言，這些直接燃燒方式的可接受度卻爭議互見，以下即分別說明之。

### 4.1.1 水泥業的燃料

水泥業為高耗能產業。水泥窯中的原料具高鹼性，而將原料轉換成水泥需要相當高的操作溫度，燃料與電力可佔其成本達 70%。採取此處理方法，廢潤滑油可單獨燃燒或與其他有機組成（如油漆、溶劑、及清潔劑）混合燃燒以供給熱。此種混合燃燒物一般稱為次級液體燃料(SLF)。據歐洲水泥業估計，其在 1994 年消耗 30 萬噸的廢潤滑油，並預期在未來幾年內可達近 40 萬噸<sup>[10]</sup>。目前用於水泥窯的燃料以煤和石油煤焦為主，但據水泥業宣稱在有些情形下 SLF 可以順利取代 50%以上的傳統燃料。

因此水泥窯提供了能在環境安全的前提下，回收廢潤滑油能源價值的理想狀況。正常情形下 PAH、氯化碳氫化合物、及重金屬等危險污染物在水泥製造過程中，要不是被摧毀，就是被轉化成為無害。就排氣溫度而言，在水泥窯的操作情況下，其符合歐盟(EU)的有害廢棄物焚化爐規範。EU 的有害廢棄物焚化爐要求爐膛中的燃氣溫度在 1200°C 維持二秒鐘以上，而在水泥窯中，一般的排氣溫度都在 1,500°C 維持三秒鐘以上。

窯中材料因有鹼性而得以留住硫化物、氮氧化物、及氯化氫，進而降低這類氣體的大氣排放，混在排氣中的微粒亦可藉由靜電集塵器或濾袋加以收集送回窯中。目前在歐洲有些國家接受在水泥窯中燃燒廢潤滑油（例如法國、德國、義大利、及

英國），有些國家卻加以禁止（例如丹麥、芬蘭、及荷蘭）。其關鍵在於不同國家對於燃燒之排放氣體中，主要如戴奧辛及重金屬等所定的允許排放限度。

#### **4.1.2 在暖爐中燃燒**

這種情況主要發生在某些歐洲國家，多屬小規模。其藉著特別的設計來燃燒廢潤滑油，作為汽車修理廠暖氣能源，例如在英國，據估計每年經此途徑所處置掉的廢潤滑油大約有 4 萬噸。一般這些油多半是在像是車庫、工廠、及溫室等的小型暖爐中燒掉的。此處置方法一方面提供了極經濟的能源，同時可使廢潤滑油得以在產生源即當場處置掉。然而，此法卻同時造成當地的空氣污染，具揮發性的金屬及氯化物可能自該燃燒器煙囪排出。由於如今在歐洲一部份地區燃燒廢潤滑油所排放的鉛濃度可高達 500ppm，鉛（來自含鉛汽油）乃成為最受關切的一種金屬，而在這類的燃燒器中，由於排氣未經洗滌，鉛將隨之排至大氣。然由於與從汽車排氣管直接排至大氣中的鉛相較可謂微不足道，此問題一般僅被視為屬於局部性的。

儘管歐洲自公元 2000 年起禁用含鉛燃料，鉛的問題似可從此消失，然上述設備的燃料恐仍難以有效監控。因此，一般並不建議採用上述處置途徑，其接受程度端視個別狀況而定。以上考量亦適用於其他類此形式的燃燒器。

#### **4.1.3 都市廢棄物與化學廢棄物焚化爐**

一般都市焚化爐因未必有完善的污染防治技術以留置燃燒所生成的所有污染物，而不宜接受大宗有害廢棄物及廢潤滑油，惟當廢潤滑油被有意或無意棄置於都市垃圾中時，其仍將進入都市垃圾焚化爐而構成問題。化學廢棄物焚化爐則因都具備精密的燃氣處理設備，而能接受遭嚴重污染無法回收再利用的廢潤滑油。所獲得的能源亦得以補充焚化爐本身操作所需。在此特殊情形下，以廢潤滑油作為所需輔助燃料是可行的。

### **4.2 簡單燃料加工**

廢潤滑油若要混在燃料中作進一步燃燒利用，須經過簡單的加工清淨過程。此處所謂加工，指的是對廢潤滑油加以處理，使成為較佳燃料。從廢潤滑油中去除水分即燃燒取熱，為最簡單的加工方法。其他一般在加工過程中從廢潤滑油中去除的污染物還有底泥、雜質沈澱顆粒、以及灰份等。一旦這些材料藉著加工自廢潤滑油

中去除，品質便可如同原生燃料油一般。而分離出的水與顆粒經過處理後須另加處置。

#### 4.2.1 燃燒前處理

廢潤滑油用作燃料的前處理可分成二類，即低標準的一般處理與高標準處理的嚴格處理。低標準處理僅去除揮發性污染物質(如水和汽油)與粗粒子，使燃燒時維持穩定熱值並使噴嘴、閥門及幫浦等的磨損降至最低。但即便如此，仍無法去除廢潤滑油中的金屬成分等污染物。而這正是高標準前處理的目標，其事實上與再煉製過程已極接近，惟因經濟可行性低，一般不予採用<sup>[11,15]</sup>。

低標準前處理主要係經由沉澱、過濾、離心等程序，從廢潤滑油中去除水分或固體污染物（例如來自引擎磨耗的金屬屑），所採方法為物理處理。沉澱即為將廢油置於一大型櫃中，歷經相當長時間後，藉由重力將重質污染物沈至底部，輕質污染物浮至上層之方法。此法是分離固/液最簡單的方法。將廢潤滑油加熱有助於降低其粘滯性，並促進界面之形成而有利於沉澱，不過廢潤滑油中大部份的粒子與金屬污染物的大小皆小於微米沉降作用，尚無法減小其濃度。

過濾則用以篩除固體顆粒。過濾器、篩器或過濾介質皆可用來作為過濾之用，其對於在沈澱櫃中，未沈至底部的小而輕的顆粒特別有用。至於在離心過程中，廢油在高速下旋轉，產生的向心力造成廢油中具有不等密度的水及固態污染物等物質分離。離心可用以加速分離，而去乳化劑則可用來增加乳化水與粒子的混凝作用，以使在離心時更易於分離。然不利此類前處理的是，各類離心處理設備價格多半十分昂貴<sup>[11]</sup>。

此外，加工亦可能包含藉化學處理以去除化學污染物，改進其燃料特性，例如在廢潤滑油中加入化學品中和酸性，即屬之。

#### 4.2.2 高溫加工

經過所謂高溫度的加工，廢潤滑油可被轉變成品質較佳的燃料用油，且其燃燒後的排放情形應與其他燃油相近。此廢潤滑油的處理流程通常包括：

- (1) 在驟餾塔(flash column)中去除水份
- (2) 在低真空度的蒸餾塔中去除輕質產物及油氣

(3) 在高真空度的蒸餾塔中產生蒸餾物，含顆粒、重質碳氫化合物金屬、及添加劑的真空殘渣。

在效率夠高的真空塔內所生產出的蒸餾物所含金屬可以降至 1ppm 以下<sup>[17]</sup>。但有機氯化物則可能仍留存在蒸餾物當中。

#### 4.2.3 經過簡單加工後的燃燒選擇

廢潤滑油經簡單加工即可混入燃油中，作為重燃油燃燒，或取代輕油或柴油等燃料。目前國際間可見的運用實例，主要為混入燃油當作大型發電機及輪船的重燃料油，以及在鋪路用石灰石覆被廠替代輕油或柴油燃燒。以下即分述此二種燃燒方式的運用情形。

##### 1. 當作大型發電機及輪船的重燃料油

經簡單加工混入燃油中的廢潤滑油，其混入的最大百分比受到灰份（一般最大約為 0.1%）黏度範圍等規格的限制。所混出的燃料油可以當作大型發電機及輪船的重燃料油販售。在燃燒煤粉的發電廠，廢潤滑油主要用作點爐階段的燃料，但當燃料來源受限時，其亦可當作補充燃料。此途徑為美國環保署(US EPA)所接受。目前美國與歐洲廢潤滑油的主要差異為含鉛量（歐洲約為 500ppm 美國約為 50ppm）。同時在歐洲，汽油中的鉛正被大幅降低。因此，當所排放燃燒氣體受到嚴格控制，尤其再加上採用燃氣脫硫技術時，所排放之金屬與其他污染物，與單獨燃料油幾乎無異<sup>[15]</sup>。

一般而言，此一途徑在歐洲，除了一些用於海運燃油的情形外，都未被採用。廢潤滑油具有與燃油混合油相同，例如低硫含量及低黏度等具有相當價值的燃料性質。在煉油廠中混入燃料油，可確保其中的污染物在燃料油規格的接受限度之下，不失為一可行的選擇。

加入小比例的廢潤滑油，並不一定會明顯改變燃料的物理性質。例如在黏度方面，加入 10% 的廢潤滑油於 90% 的輕油中，黏度會達到原來輕油的三倍以上。而加入 10% 廉價油於 90% 的重燃料油中，其黏度卻無顯著的變化。在燃料油與廢潤滑油的混合成分中最值得注意的不同點是，後者有高含水性及高沉降性，即使在低混合比時亦然。

廢潤滑油與燃油的混合油中的灰分含量與混合油中的廢油含量成正比。而灰分形成的物質主要為灰塵、碳、金屬或金屬氧化物，燃燒後容易在鍋爐壁上結垢。惟 API 指出，廢潤滑油與殘餘油的混合燃油於燃燒後，並不至於會帶來維護上的問題。

#### 2. 在鋪路用石灰石覆被廠燃燒廢潤滑油

此過程在比利時與英國很常見到，在美國部分地區亦被採納。廢潤滑油取代了一部份柴油，提供石材廠用作為乾燥過程的經濟燃料。但義大利環保當局卻不允許此一利用方式。在英國，廢潤滑油經過沈澱去除水分及底泥後即可取代輕油，用作石灰石覆被廠的燃料。其每年檢查二次排放程度以確保符合前述環境法令。

根據 1996 年從歐洲 26 個廠所得排放觀測報告，從石材覆被廠排放的金屬高於水泥窯所排放的，但仍低於歐盟之限度值。在這類廠中，污染物，特別是金屬先被石材留住，接著再經覆被包圍後用於鋪路，而使滲出物得以避免。在這類燃燒室中的燃燒溫度不足以摧毀多氯聯苯(PCB)，且報告中亦未提及有關氯化物排放的資訊。藉由對氯及特別是廢潤滑油中所含 PCB 的合理控制，其排放程度應接近燃料油或煤等燃料，惟仍有待進一步確保其不超過歐盟之限度。若所用為類似石灰石之鹼性石材，則可預期其酸性化合物之排放應相當低。這類工廠可提供作為處置廢潤滑油的選擇途徑。

### 4.3 經過充分再加工後燃燒

威克森 (Vaxon) 和先鋒 (Trailblazer) 二種加工法皆能提供清淨的輕油，至於包含了廢潤滑油中大部分金屬的蒸餾殘餘物，則可用做瀝青的混合成分<sup>[16]</sup>。荷蘭政府對該加工產物氯含量設有最高為 50ppm 的規格限制。而此二種加工法皆合於此限。

#### 4.3.1 威克森加工法

威克森加工法由 ENPROTEC 開發，以威克森再煉製加工的名義授權。其包括一系列旋風式蒸發器，接著是將所得蒸餾產物進行以下化學處理：

- (1) 於第一階段去除水、石油腦、及輕質成品
- (2) 於第二階段自整個廢油中去除輕油、紡錘油或輕質燃油

(3)於第三、第四階段從殘餘物中分離出不同的蒸餾產物（同時使所有金屬、添加劑及劣質產物在此濃縮）。獲得的蒸餾產物得以作為工業界的優質燃料，而此過程可加以擴充以生產再煉製基礎油。

#### 4.3.2 先鋒加工法

在此 Texaco 所採行的加工過程中，廢潤滑油先在驟餾塔中脫水、加熱吸收後，接著藉真空蒸餾產出三股產物：

- (1)包括汽油、煤油等的輕質碳氫化物
- (2)真空蒸餾物，包括無灰、屬柴油範圍內的碳氫化合物，其具備好幾種用途包括船用柴油的規格
- (3)瀝青衍生產品，來自於真空塔底的次級產物，金屬、添加劑、及劣質產物皆包含在其中。包含在瀝青中的金屬產物，經過各種試驗證實具有很慢的滲透性。

此加工過程可從廢潤滑油轉換成為有價值的燃料，燃燒後不致產生有害大氣排放物。目前在美國路易斯安那州有一容量為每年 15 萬噸的廠正在運轉中，能獲得 80% 乾基的無灰蒸餾油。

## 五、廢潤滑油回收清除處理成本

保障人體健康與環境永遠是選擇廢潤滑油管理方式的首要考量，但成本有效性仍為一個不可忽視因素。換一個角度來看，加油站、保養廠、運輸業、DIY 換油收集站、以及零售業亦必須在對環境最有利的原則下管理廢油，才會真正具有經濟誘因。因為選擇對環境最有利的廢潤滑油管理方法可使潛在的責任成本降至最低，並得以免除因違反相關環境法規，所必須支付的罰鍰及其他相關成本。本文即以此思維作為出發點，在估計回收清除處理成本時，以達到不對環境造成二次污染的清除與處理所需程序，作為估算的依據。

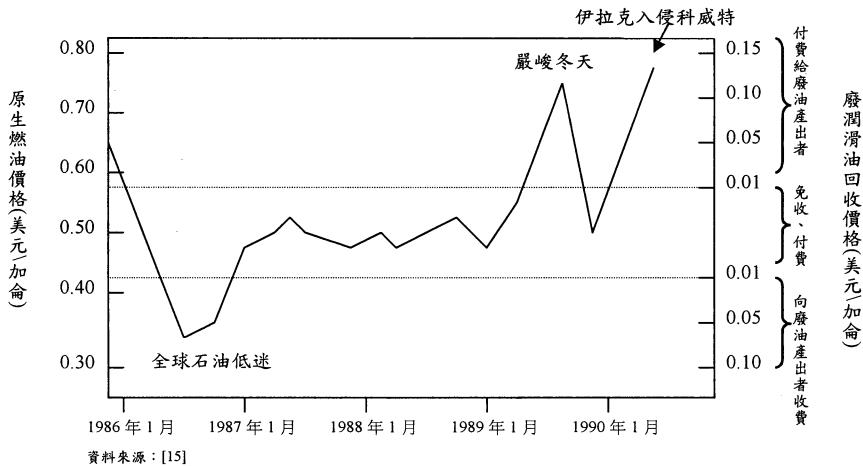
從事廢潤滑油回收處理的業者必須承擔的成本可以略分為兩大項，一為其取得廢潤滑油的成本，其中並應含須支付的清運成本等，另一則為其必須投入的資本支出與其他各項營運支出。以下即將此二大類成本分開討論，其中特別值得一提的是，

廢潤滑油取得價格隨原生燃油價格波動的現象。

### 5.1 廢潤滑油回收價格

廢潤滑油回收作為燃油，將成為原生燃油的不完全替代品。一如所有回收市場，為能競爭起見，回收油產品之價格必須低於原生油產品。因此當原生燃油的售價愈高，回收油之產品亦能因此售得較高價格。廢潤滑油回收業者必須能負擔收集與再生的成本，且必須能獲利才能持續經營。因此當原生油價居高不下時，回收油產品價格亦較高，廢油回收業者能從中獲得足夠的利潤，應足以支付產生者相當的取得價格。然而當原生燃油價格下跌時，由於其邊際利潤減少，廢油回收業者願意支付廢油產生者的取得價格也隨之降低。而當其產品售價隨原生燃油的價格跌，至低於「打平」的水平時，回收業者再也無法支付(甚至必須索取)自產出者收集廢油的費用。

圖 2 顯示過去美國原生燃油價格，如何對廢潤滑油回收價格造成影響。在 1990 年代初期，原生燃油價格跌至大約每加侖 0.40 美元以下時，回收業者對收集廢油收取一定的費用。而當原生燃油價格回升至每加侖 0.53 元時，回收業者反而須支付費用，以取得廢油。由圖中可看出，近年來原生燃油價格呈現大幅震盪，足可造成廢潤滑油市場的不穩定。



## ■ 2 原生油價格對美國舊油產出者付費之影響

當回收業者與清運業者願意支付廢油回收成本時，較能對汽機車保修車廠、通運公司、DIY 換油收集中心、及零售業者的非就地回收工作，提供經濟誘因。因而高原生油價足以鼓勵廢油的再處理與再煉製；反之，當原生油價格低落時，將助長就地以廢油作為取暖用燃料及柴油的補充原料。廢潤滑油價格隨原生油價格消長的這種現象，可能繼而對回收處理業者的廢油來源造成相程度的影響，就社會的廢潤滑油管理體系而言亦有重要意義。顯然管理廢油的方法，尚取決於所預測的原生油價格，而選擇一符合成本有效性的回收方式，亦必可增加保養廠、修車廠、修車行、運通公司、DIY 收集站以及零售商在妥善管理其廢油後所能獲取的利潤。

### 5.2 廢潤滑油回收作為燃料之處理成本

廢潤滑油燃燒取其熱能，所可能衍生的技術性問題以及對環境的不利影響，可藉由燃燒前嚴格的加工處理加以紓解。此加工處理流程通常由獨立再加工處理業者所專營(以銷售處理後供作燃料(或混入燃料油)之廢潤滑油)，或為一事業單位的獨立部門。美國 G.C.A. 研究單位的 Technology Division (G.C.A.) 曾受 US EPA 的委託，針對廢潤滑油作為燃料燃燒，所應採行的污染防治措施，分析比較其資本支出與營運成本。

國內已有業者從事回收廢潤滑油的燃燒前處理，最近一次的調查發現國內業者的處理成本差距頗大，不含廢潤滑油回收價格的處理成本，每公秉可為 2,100 至 4,500 元不等，此成本差距應與各業者迥異的處理流程，與資本投入額度有極大關係<sup>[10]</sup>。本文因而依 G.C.A. 所提出成本資料，將其所提出能杜防二次污染的完整處理流程，換算引入國內所將發生的處理成本。以下即先就成本估算的方法與假設提出說明，然後始提出成本估算結果。

### 5.2.1 成本估計的方法與假設

為利於客觀比較不同處理方法的營運成本，成本的數據將依 G.C.A. 的資本支出及各項投入要素的消耗量，盡可能以國內價格水準統籌估計。進行成本估計時所採用的共通原則與假設如下：

#### 1. 資本支出

資本支出原始金額係依據 G.C.A. 的資料，依其報告所述，均為該製程技術的授權者所提供之<sup>[11]</sup>。本文的估算即依此原始金額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，依下列步驟估算：

(1)考慮物價變動。將原幣資本支出金額依當地生產者物價指數，調整為 1999 年 5 月價格，並依 1999 年 5 月匯率換算為台幣。

(2)附加進口運費成本、進口稅捐、以及國際貿易商業差距。進口運費假設為建場資本投入價值之 5%。國際貿易商業差距依 1991 年台灣地區產業關聯表<sup>[11]</sup>固定資本形成之國際貿易商業差距資料估算，約為 5%。進口稅捐則依固定資本形成之進口稅淨額佔進口總值(按 CIF 計值)之比率計算平均稅率，約為 8%。資料亦取自 1991 年台灣地區產業關聯表<sup>[11]</sup>。

#### 2. 折舊費用

資本支出的每年折舊費用係採複利法計算，亦即反應資金成本，以每年利率 6% 之折現率折算，使用年限以 10 年計算。

#### 3. 人力資源成本

人力資源成本係依各調查或蒐集對象提供之人力需求等級與員額，以台灣區

製造業的平均工資再加 20%職工福利估算。所謂職工福利係指包括勞健保、退休金、獎金及紅利等各項與人力資源有關之支出項目。操作員與領班薪資水準分別取自薪資與生產力統計月報<sup>[2]</sup>所公佈之 1999 年 5 月製造業平均員工薪資與職員薪資，工程師或經理級薪資則依前述薪資級距比例，自領班薪資加成調整。

#### 4.其他直接投入要素成本

各種處理程序的直接投入要素成本依調查或收集對象所提供之各項投入消耗量估計。為將國外處理程序的成本換算為台灣運轉所需成本，盡可能採用台灣價格計算投入成本。其中電力價格取自能源統計年報<sup>[10]</sup>之電力用電二段式尖峰時間夏月流動電費 1998 年價格。燃料油與天然氣價格分別取自能源統計年報公佈之低硫燃料油與中油公司進口液態天然氣工業用戶價格。冷卻水（自來水）與氮氣的價格係按 1999 年 5 月台灣地區銷售總金額除以銷售量平均計算，銷售金額與數量資料取自工業生產統計月報<sup>[9]</sup>。對無法取得公開與客觀的價格資料的投入項目，則採以下步驟，納入台灣與國外兩地所得差異與物價變動等因素，合理估計其單位價格。

- (1)按台灣與國外兩地平均每人 GDP 差異，調整國外價格為台灣價格（即資料年度之美元價格）。
- (2)台灣價格（資料年度美元價格）依資料年度美元匯率換算為台幣。
- (3)資料年度台幣價格再按躉售物價指數轉換為 1999 年 5 月價格。

#### 5.間接投入要素成本

除了上述直接投入成本外，廢潤滑油之清運與處理程序並將衍生必要之間接成本，包括維修、地方稅捐與規費、保險、營業稅與營業所得稅等。此類間接成本將優先採用調查或收集對象所提供的估計方法計算，若原始資料中並未提供則依表 2 所列其他程序下估計方法計算。唯其中營業稅與營業所得稅部分，由於涉及產品銷售價格，而目前國內產出之再煉製潤滑油基礎油品質與國外先進製程產出品質無法相比擬，因而亦難以估算先進製程產出之合理價格資料。因此本文亦暫不擬納入此二項成本。

**表 2 營運成本計算假設**

項目	計算基礎	假設條件
維修	占資本支出百分比	3.5
地方性稅捐與規費	占資本支出百分比	1.5
保險	占資本支出百分比	1
廠房設備成本折舊	以複利法分攤於使用年限	折現率 6% 使用年限 10 年

### 5.2.2 台灣引進 G.C.A 所分析的處理廠運作所需投入資本與營運成本計算

就燃燒前的加工處理而言，可採行的措施包括沉澱、離心、真空蒸餾與溶劑萃取。為保障加工處理後的廢潤滑油作為燃料燃燒時能確實避免二次污染，一般加工處理流程均應包含沉澱與離心程序，而對於真空蒸餾與溶劑萃取程序則可擇一採用。G.C.A.的成本分析係依據年處理能力達 1,500 萬加侖典型的廢潤滑油燃燒前再加工廠計算。若選擇溶劑萃取作為接續沉澱與離心後處理的流程，其整體產出比率約為 85%，即每年 1,275 萬加侖。而若選擇真空蒸餾作為接續程序，則沉澱與離心的產出比仍可維持 85%，但真空蒸餾步驟的產出比率則僅可達 70%，即每年 1,050 萬加侖。

本文並設算若引進 G.C.A 所分析的處理廠於台灣運作所需的資本投入與營運成本。表 3 即彙總比較各處理程序在台灣運作相關成本的估算結果，而表 4 則以沉澱步驟為例，詳細列示各成本項目的估計結果。其中資本支出部分仍依標準換算方式，附加國際運費進口稅捐及國際貿易商業差距。營運成本的調整主要在將燃料油與電力投入調整成以台灣價格計價。而折舊仍以全部資本支出採複利法以 6% 折現率分十年攤提。此外亦以美國與台灣兩地所得水準差異調整其他營運成本項目。調整後估算若在台灣採包含沉澱、離心與真空蒸餾各程序的完整處理流程，每公秉廢潤滑油的處理成本在 1,221 至 1,371 元之間。但若採另一種燃燒前再加工處理流程，即結合沉澱、離心與溶劑萃取三程序，則每公秉處理成本為 1,353 至 1,499 元，略高於另一

流程。

**表 3 我國運用國外廢潤滑油燃燒前再加工處理技術的成本估算**

燃燒前再加工處理程序	資本支出 (百萬台幣)	每年營運成本			
		每年支出總計 (百萬台幣)		單位處理成本 (台幣/公秉廢油)	
		下限	上限	下限	上限
<i>個別程序：</i>					
a.沈澱	79.14	23.73	27.03	418	476
b.離心	74.01	21.90	24.49	386	431
c.真空蒸餾	98.12	23.70	26.33	417	464
d.溶劑萃取	96.34	31.98	33.60	546	592
<i>完整流程：</i>					
(1)沈澱-離心-真空蒸餾(a+b+c)	251.27	69.33	77.85	1,221	1,371
(2)沈澱-離心-溶劑萃取(a+b+d)	249.49	76.61	84.12	1,353	1,499

資料來源：<sup>[7]</sup>。

## 七、結論與建議

保障人體健康與環境及成本有效性，皆為選擇廢潤滑油管理方式所不可忽視。廢潤滑油燃燒取熱，在台灣和世界各國皆為最普遍的一種廢潤滑油回收選擇，所可能衍生的技術性問題以及對環境的不利影響，可藉由燃燒前嚴格的加工處理加以紓解。

本文將廢潤滑油回收處理業者所必須承擔的廢潤滑油取得成本及其必須投入的資本支出與其他各項營運支出，二類成本分開討論。文中依能防杜二次污染的完整處理流程，換算引入國內所將發生的處理成本。經估算，若在台灣採包含沉澱、

## 100 廢潤滑油作為燃料回收之技術評估

離心與真空蒸餾各程序的完整處理流程，每公秉廢潤滑油的處理成本在 1221 至 1371 元之間。但若採結合沉澱、離心與溶劑萃取三程序之另一種燃燒前處理流程，則每公秉處理成本為 1,353 至 1,499 元。

表 4 壓潤滑油燃燒前加工處理個別加工步驟成本分析—沈灘步驟

處理能力 作業時數及日數 產出比率		15,000,000 加侖壓潤滑油/年 (或 56,780 公秉壓潤滑油/年) 24 時/日 - 31.3 日/年 85% (12,750,000 加侖成品/年, 或 48,263 公秉成品/年)		美國設廠成本 (台幣元)		台灣設廠成本 (台幣元)	
資本支出							
廠房、設備及裝置費		1,383,727 665,413		45,289,374 21,778,978		12,072,303	
間接資本支出							
輸入運費、進口稅捐及國際貿易 商業差距							
資本支出合計		2,049,140		79,140,656			
營運成本		每年營運成本總計 (美元)		單位處理成本 (美分/加侖廢油)		每年營運成本總計 (台幣元)	
營運成本		每年營運成本總量		下限		下限	
折舊(6%-10yr)		278,412		1.86		10,752,660	
保險及地方稅捐		61,474		0.41		887,552	
變動及半變動投入：							
燃料油		71,167		0.47		3,679,908	
電力		1,817		0.01		152,599	
人力資源		375,600		1.67		5,422,839	
製造費用 (人力之 50%)		125,200		0.83		2,711,420	
可性膠打		192		0.00		2,767	
脫硫劑		93,750		0.63		1,353,544	
維護費用		102,457		0.68		1,479,254	
變動投入合計		644,982		4.30		12,090,912	
營運成本合計		984,868		6.57		23,731,125	
						27,034,246	
						418	
						476	
						單位管理成本 (台幣元/公秉廢油)	
						189	
						16	
						16	
						189	

## 參考文獻

- 1.行政院主計處，1992。1991年台灣地區產業關聯表。
- 2.行政院主計處，1999。薪資與生產力統計月報。
- 3.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。
- 4.行政院環保署。1997。廢潤滑油回收清除處理辦法。
- 5.周明顯，1999a。廢潤滑油有害成分分析，行政院環保署委託研究計畫期末報告，中山大學環工所執行。
- 6.周明顯，1999b。廢潤滑油產生率之探討，行政院環保署委託研究計畫期末報告，中山大學環工所執行。
- 7.華 健等，1999。廢潤滑油回收處理體系之規畫與費率之訂定，行政院環保署委託研究計畫期末報告，海洋大學執行。
- 8.華 健、吳怡萱，2000。廢潤滑油再煉製回收技術評估，《工業污染防治》第七十六期，56-80 頁
- 9.經濟部統計處，1999。工業生產統計月報。
- 10.經濟部能源會，1998。能源統計年報。
- 11.API. 1991. Used oil recycling management in selected industrialized countries. Discussion Paper #064. Washington, D.C.
- 12.USEPA, Report to the Congress: Waste Oil Study.
- 13.USEPA, 1994. Collecting used oil for recycling/reuse: tips for consumers who change their own motor oil and oil filters, EPA530F94008.
- 14.USEPA, 1992. Environmental fact sheet: properly managing used oil-filter., EPA530F92010.
- 15.USEPA, 1994. Environmental regulations and technology: managing used motor oil, EPA62594010.

16. USEPA, 1990. Preliminary data summary for the used oil reclamation and re-refining industry, EPA440189014.
17. USEPA, 1996. Used oil analysis and waste oil furnace emissions study. EPA456R95001.
18. USEPA. 1991. Used oil recycling, Fall 1990. EPA530SW90068.
19. USEPA. 1992. Used oil recycling, Fall 1991, EPA530SW91071.
20. USEPA. 1989. Used oil recycling, November 1988, EPA530SW89006.
21. USEPA. 1992. Federal register: May 20, part 3, 40 CFR part 261. Hazardous waste management system.