

毒性物質污染防治

有機溶劑作業環境控制及其回收效益之探討

郭淑金* 林進基**

一、前言

有機溶劑因其具有溶解他種物質之特殊化學性質而廣泛的使用於各行各業；例如油、脂之萃取（extraction）；油漆、塗料、鞋油、地板臘、塑膠、橡膠製品、紡織品及合成纖維之製造；布料、衣服之除污乾洗，零件、材料之清洗等。目前廣被使用之有機溶劑約有二百多種(1)，由於有機溶劑之製造、處置、使用過程中可能因為不當的接觸而引起皮膚炎（Dermatitis）；吸入作業過程中所產生的蒸氣而造成中毒或罹患職業病；甚至由於蒸發之有機溶劑蒸氣的滯留蓄積於作業場所而引起火災爆炸，造成生產資材、設備的損失，人員的傷亡，甚至產業的停頓。政府有鑑於此把國內常用之有機溶劑五十五種依據其毒性的大小分為三類，訂定有機溶劑中毒預防規則予以管制，促使業者採取必要之控制設施及加強作業管理，以維護勞工之安全與健康(2)。

1-1 有機溶劑可能引起之危害(1)

一、引起皮膚炎（Dermatitis）

即使是惰性的溶劑與皮膚接觸亦會溶解皮膚外層的油脂保護層，使皮膚失去了防止受傷害、刺激及疾病感染之能力，有些溶劑會造成刺激皮膚、破壞皮膚組織甚至使皮膚產生過敏，因此不斷的和溶劑接觸可能罹患皮膚炎。

二、影響健康（Health）

使用有機溶劑對健康之危害視溶劑如何使用、勞工暴露情形、曝露時間、濃度、個人感受性及有機溶劑之相對毒性而定，其他如工作形態（Patterns）、溫度、濕度等環境條件，通風換氣情形、溶劑蒸發速度等亦影響中毒之產生。

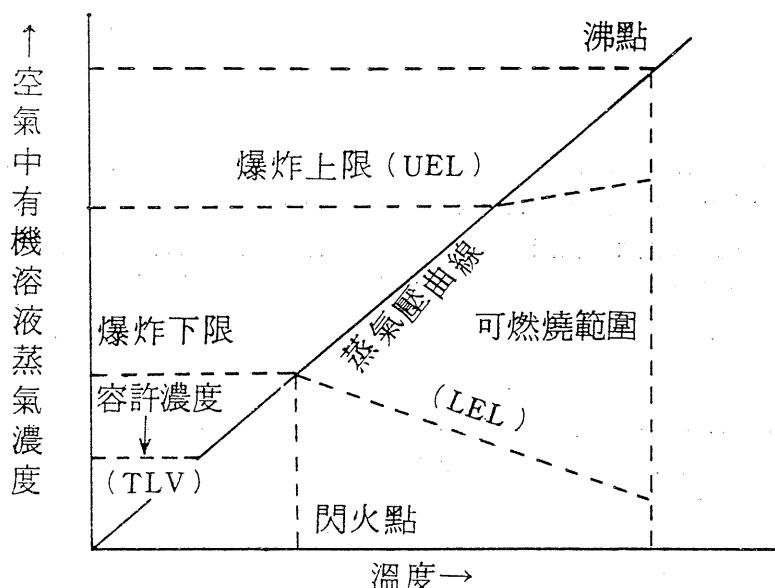
有機溶劑在低濃度時可能僅為其味道讓人不喜歡，然而高濃度的曝露可能會造成勞工之死亡；一般而言大部分有機溶劑對神經系統會造成不良的影響，產生如神經抑制劑（depressants）和麻醉劑（anesthetics）般的麻醉作用，有些溶劑甚至會造成血液、肺、腎、及腸胃系統的損害。雖然有些溶劑不致對身體造成明顯之影響，但會引起昏眩及運動失調（Lack of coordination），增加事故之發生率。

* 信雄工業股份有限公司

**臺灣省勞工檢查委員會

三、引起火災及爆炸：

許多工業上使用之溶劑具有可燃性，因此須小心處置及使用，以免此等可燃性液體之蒸氣與空氣混合遇到着火源 (source of ignition) 而引起火災或爆炸。因此必須控制作業場所可燃性有機溶劑蒸氣濃度在爆炸下限或燃燒下限 (lower explosion limit) 以下的濃度。惟應注意者溫度高時，燃燒下限亦隨著下降 (圖一)，危險性亦提高了。



圖一 蒸氣壓及溫度關係圖

1-2 國內曾發生之有機溶劑危害事例(3)

一、中毒及職業病：

- 1.電子工廠零件裝配使用三氯乙烯、四氯乙烯為去脂清潔劑 (degreaser)，由於通風換氣不良，有機溶劑作業管理不當，造成勞工五人中毒死亡，五人罹患肝炎及職業皮膚病送醫治療。
- 2.油漆工廠勞工以二甲苯洗滌染有油漆之衣服致吸入高濃度二甲苯蒸氣，造成急性中毒引起心臟麻痺死亡。
- 3.勞工於密閉之工廠浴室内利用三氯乙烷洗濯衣服，吸入蒸發之三氯乙烷蒸氣中毒死亡。
- 4.電器器材公司環氧樹脂調合房打開由廠房外移入，經日光曬熱之二氯甲烷桶，噴出二氯甲烷致十九人吸入噴散之有機溶劑蒸氣送醫治療。
- 5.印刷工廠平版印刷機房使用四氯化碳清洗幫浦漏油，而作業場所未裝設有效之換氣裝置，作業人員亦未使用合格之呼吸防護具，致勞工三人中毒送醫急救。

6. 碳纖維球拍製造工廠勞工因接觸有機溶劑、環氧樹脂、玻璃纖維等致臉部、頸部長滿密集丘疹之職業皮膚病。
7. 球類工廠使用正己烷從事調膠及貼合作業，加上作業場所空間通風換氣不良，致四位勞工罹患神經末稍多發性神經病變職業皮膚病。
8. 鞋類工廠使用粘着劑、硬化劑、表面處理劑等有機溶劑混存物從事作業，因通風換氣不良，導致多名女工暈倒。

二、火災爆炸事故

1. 化學工廠管路漏洩，致二氯乙烷及二氯乙烯等液體從管線內大量噴出，引火燃燒，致燒死一人，四人灼傷。
2. 石油精 (naphtha) 儲槽清洗作業過程中，因處理不當，致引起火災，燒死一人，灼傷一人。

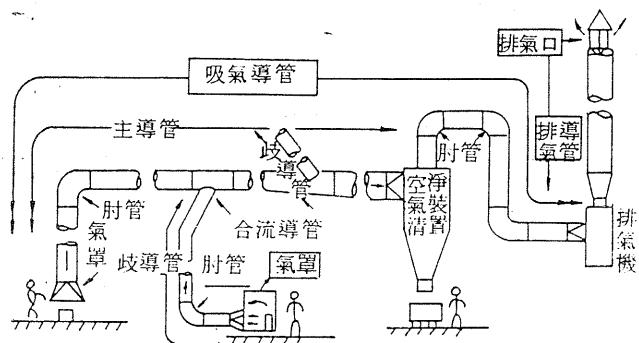
其他尚有儲水槽、化糞池之防水處理使用環氧樹脂（內含甲苯及正丁醇），曾發生勞工吸入有機溶劑蒸氣及缺氧死亡之事例，另地下工事施工中，因工廠排出含稀釋劑 (thinner) 之廢水流入，致地下工事施工中之作業人員中毒。總而言之，有機溶劑作業除作業人員可能因不當的接觸或吸入蒸氣造成皮膚炎，中毒或罹患職業病，亦可能因處置不慎或作業場所之措施、管理不佳而引起火災爆炸外，含有機溶劑廢液的處理不當或廢氣未處理逕行排出均可能造成空氣污染、水污染，甚至其他不幸之事件，因此含有機溶劑之廢液及局部排氣裝置等控制設施之排氣有必要加以回收處理，以避免原、物料不必要之浪費及公害污染案件之發生。

二、勞工安全衛生法令有關有機溶劑之廢氣、廢液應加以控制 處理及各事業單位控制設施設置情形

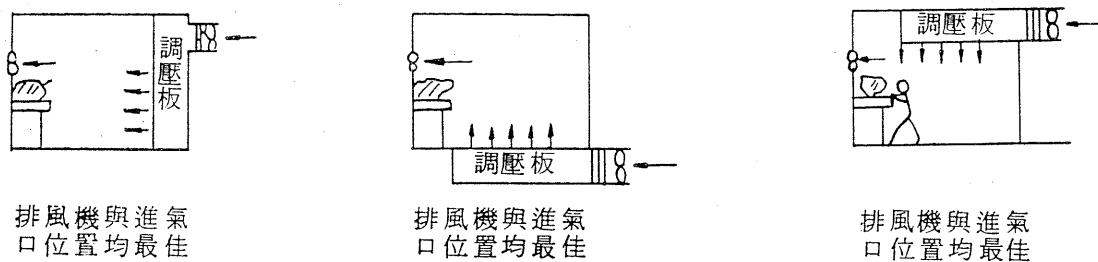
2-1 勞工安全衛生法令規定

有機溶劑廣泛的使用於電子、印刷、油漆塗料、石油化學、化學纖維、農藥、油脂、電氣製品及橡膠等行業，由於有機溶劑對人體健康具有不良之影響，故勞工安全衛生法第五條規定雇主應依有機溶劑中毒預防規則之規定設置防止溶劑、化學物品、蒸氣等引起危害之必要安全衛生設施；為預防有機溶劑中毒所必要之控制設施包括密閉設備、局部排氣裝置及整體換氣裝置。密閉設備係指密閉有機溶劑發生源使其蒸氣不致散布之設備；局部排氣裝置係指從發生源產生之有機溶劑蒸氣，在其未擴散前加以局限控制或吸引進入氣罩，並加以處理排除之設備，詳如圖二所示。整體換氣裝置則係指有機溶劑蒸氣從發生源產生在未達勞工呼吸帶之前利用未被污染的空氣加以稀釋，使其濃度維持在容許濃度以下者稱之。理想之整體換氣裝置如圖三所示。一般言之，有機溶劑作業無法避免其蒸氣之產生時最有效之處理方法為設置密閉設備或局部排氣裝置。

勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準規定雇主應規畫或改善作業環境措施使勞工每次曝露作業環境空氣中濃度不超過容許濃度，勞工安全衛生設施規則(2)第三百三十三條亦



圖二 局部排氣裝置(4)



圖三 理想之整體換氣裝置(4)

要求雇主對於有害氣體、蒸氣、塵埃之處理應依下列規定：

- 一、工作場所內發生有害氣體、蒸氣、煙霧、粉塵時，須視其性質根據勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準，加以收集處理之，使空氣中有害物質之含量不超過容許濃度之規定。如已發現超過最高容許濃度時，應即停止並作緊急措施。
- 二、勞工曝露於有害氣體、粉塵、蒸氣、煙霧或其他有害身體健康之場所作業，其空氣中濃度超過時量平均容許濃度，短時間曝露最高容許濃度時，應改善其作業方法或設施。
- 三、於發生有害氣體或粉塵、蒸氣、煙霧之室內作業場所，為防止其作業環境內空氣達到有害濃度，應使用密閉設備、局部排氣裝置整體換氣或以其他方法導入新鮮空氣等適當措施。

第三百三十四條規定：

雇主對有害氣體、蒸氣、粉塵等有害物質及其廢液應予適當處理後，排出廢棄之。

前項之排放標準應符合各有關環境污染防治法令之規定。

綜上，有機溶劑蒸氣或廢液均應妥善處理後，始得排除。

2-2 各事業單位有機溶劑中毒預防設施情形

為避免勞工不必要之曝露，工檢會曾對省轄有機溶劑作業單位依據有機溶劑中毒預防規

則之規定實施檢查，要求事業單位設置必要之換氣裝置及作業管理人員，加強作業管理，實施勞工特殊健康檢查、定期檢點作業場所、測定作業場所空氣中有機溶劑蒸氣濃度、定期實施局部排氣裝置之自動檢查以維持設置之局部排氣裝置之有效運轉。七十四至七十六年度（當年七月至次年六月）檢查結果情形詳如附錄一。可知迄目前為止各事業單位對有機溶劑作業設置之控制設施及作業管理仍未十分理想有待繼續加強(6)。

2-3 有效控制有機溶劑中毒及防範公害污染對策

有機溶劑中毒預防規則規定各有機溶劑發生源均應設置必要之控制設施以維護勞工之健康。雖然已有部分事業單位裝設密閉設備或局部排氣裝置以控制有機溶劑蒸氣之發散，惟亦有不少事業單位裝設整體換氣裝置以稀釋產生之有機溶劑蒸氣濃度，如此受影響之勞工人數卻增加了。至於設置密閉設備或局部排氣裝置之事業單位亦大部僅將各發生源產生之蒸氣匯集未加處理即排出於廠外，此等控制方法不僅造成原、物料之損失和浪費，也造成了公害污染問題，尤其大量使用有機溶劑之行業，如甲苯之使用於聚乙烯 (PE)，聚氯乙烯 (PVC) 及延伸聚丙烯膜 (OPP) 等膠帶製造；二硫化碳之用於繩索製造；正己烷之用於油脂萃取；甲苯之用於布料防水處理；二甲基甲醯胺、丁酮、甲苯、乙酸乙酯等之用於聚脲合成皮製造；其他油漆塗料製造；汽車、機車、自行車及家電製品塗裝等亦均大量使用各種有機溶劑，此等製程之溶劑實有加以回收再利用之必要，加上近年來公害問題普受重視，環保意識日漸提高，為了解決污染問題，更何況回收的溶劑可降低成本，因此目前部分有機溶劑使用量較大的事業單位已注意到此等問題，逐步的於設置的密閉設備、局部排氣裝置後加裝溶劑回收設備，除可解決勞工之曝露於有害物質之問題外，排氣所造成之污染問題也一併解決了。

三、大量使用有機溶劑之製程及溶劑回收

目前大量使用有機溶劑之製程除正己烷之用於油脂萃取均已設置正己烷回收設備，以減少正己烷之溢失外，茲將目前國內已裝有溶劑回收設備之製程擇要說明。

3-1 PU 合成皮

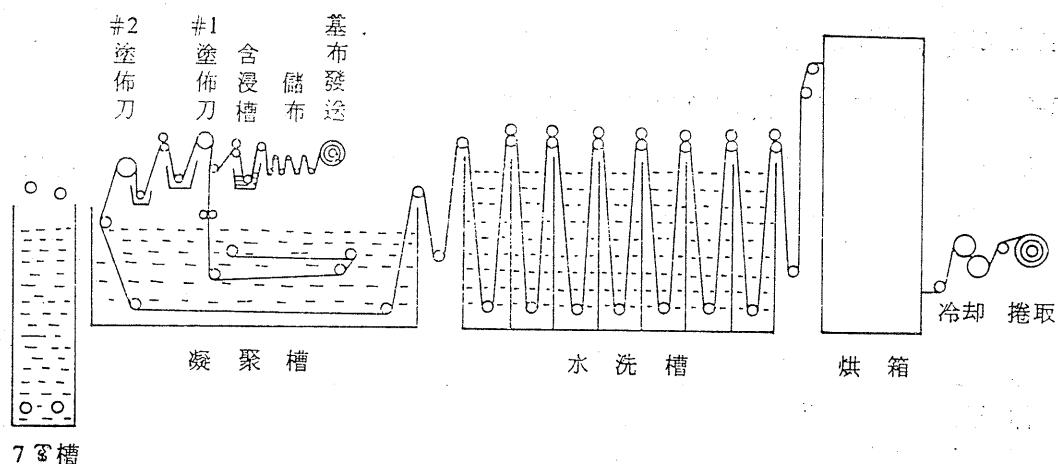
我國 PU 合成皮工業萌芽於民國五十八年，由永豐化學工業股份有限公司自日本引進，目前國內二十一家廠商中共有三十四條乾式生產線，十八條濕式生產線，PU 合成皮可用以製造皮包、皮鞋、夾克、傢俱，因具有類似真皮的性質且價格合理廣為消費者喜愛，其主要原料為 PU 樹脂、顏料、稀釋溶劑、架橋劑、促進劑、油墨、表面處理劑與基布等(7)，詳如附錄二。

一、PU 合成皮之製造方法

(一) 濕式製程：藉凝結方法使樹脂凝結固化，選用之溶劑為二甲基甲醯胺 (DMF) 因其不只能與樹脂親合，亦具親水性，且沸點高 (153°C)，在開放槽處理時可免作業人員吸入蒸發之 DMF 蒸氣。二甲基甲醯胺在凝結及水洗過程中會析出。一般又分二種(7)：

1. 浸漬凝結法：

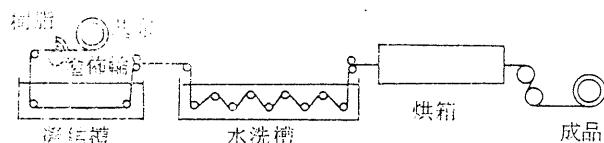
將底布經 DMF 溶劑稀釋之樹脂液浸漬後，再浸入水中將樹脂中之 DMF 溶劑析出，同時使製品凝結固化，使成透氣微孔性之 PU 製品。



圖四 濕式合成皮製造流程(一)

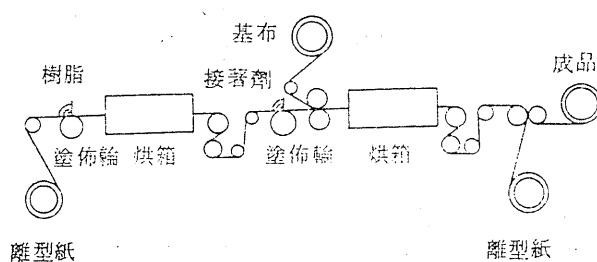
2. 直接塗佈凝結法：

將溶劑稀釋之 PU 樹脂液直接塗布於基布上，經媒體凝結作用和水洗處理使溶劑完全析出，最後經烘箱將水份去除。



圖五 濕式 PU 合成皮製造流程(二)

(二)乾式製程：係將 PU 樹脂以 DMF 甲苯、丁酮、乙酸乙酯溶劑稀釋，再塗佈於離型紙上經烘箱使 PU 樹脂熟成，再於熟成之 PU 膜上塗上接着劑與基布加壓粘合，再經烘箱加熱使 PU 膜與基布完全粘結，再將離型紙分離。



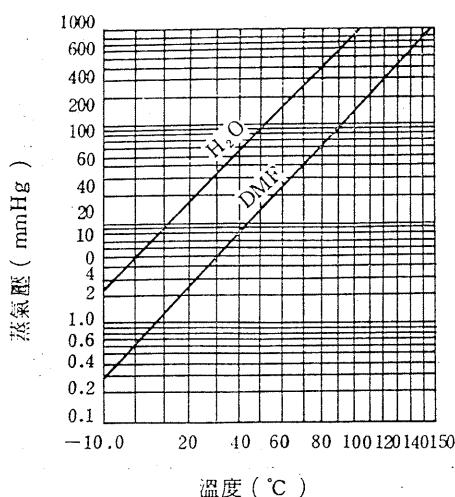
圖六 乾式合成皮製造流程

二、有機溶劑污染源及其回收技術

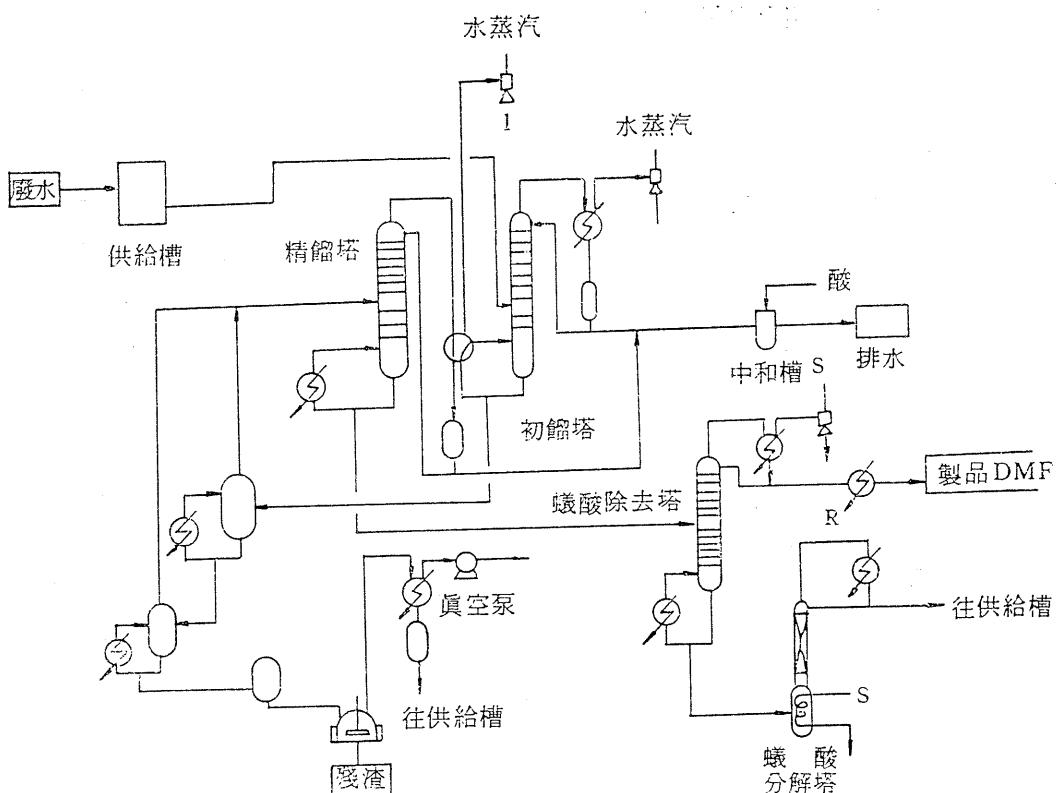
除膠液之調和及印刷係有機溶劑蒸氣發生源，一般均未回收外，茲將目前設置之溶劑回收設備情形略述如下：

(一) 濕式 PU 合成皮製程 DMF 之回收：

使用之有機溶劑二甲基甲醯胺 (DMF) 會在凝結及水洗過程中析出，析出率與凝結槽、水洗槽之二甲基甲醯胺濃度成反比，為求產品品質之易於控制凝結槽內之二甲基甲醯胺濃度如含量超過30% 則凝結速度漸緩且表面粗糙，因此一般維持在20WT% 以下，而水洗槽的二甲基甲醯胺濃度則比凝結槽低，製造過程中二甲基甲醯胺不斷的被水析出濃度會逐漸上升，為維持凝結槽二甲基甲醯胺在某一特定濃度 (7至20WT%)，唯有將高濃度之二甲基甲醯胺水溶液排出，並補充水，排出水中的二甲基甲醯胺為污染之原因，目前採用之回收方法為蒸餾脫水再行精煉以得純度較高之二甲基甲醯胺，亦即含 DMF 之廢液由袋濾機過濾雜質，經預熱後使 DMF 水溶液溫度昇高送入廢液初餾塔蒸濃，再經精餾塔利用沸點不同 (DMF : 153°C, 水 : 100°C) 且水之蒸氣壓大於 DMF 之蒸氣壓(8)詳如圖七)，將不同沸點成分分離，沸點較低之水先變成水蒸氣由塔頂排出經冷凝器冷凝，因其中尚含有約0.1% 之DMF，故送至循環流液槽做為製程水洗槽補充水使用；沸點較高之 DMF 及微量混合雜質由塔底轉送至脫甲酸塔，將 DMF 因酸、鹼或加熱分解形成之甲酸 (蟻酸, HCOOH)，利用低溫高真空蒸餾分離蟻酸及回流控制 DMF 之酸度，以避免 DMF 分解成蟻酸 (BP=163°C) 或蟻酸分解產生水，增加 DMF 分解成蟻酸。雜質由塔底排出送至渣液蒸罐，而由塔頂蒸餾出高純度 DMF，必要時再經離子交換器利用離子交換樹脂去除 DMF 溶液中因 DMF 分解所生成之二甲基胺 (DMA)；至於脫甲酸塔排出之渣液送至渣液



圖七 水及二甲基甲醯胺蒸氣壓



圖八 濕式 PU 合成皮製造溶劑回收流程

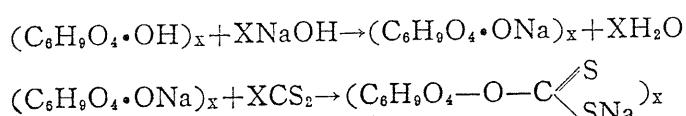
蒸餾罐，利用蒸發原理經真空蒸餾分離後將沸點較低之 DMF 回收，而沸點較高之殘渣由塔底排出。

(二)乾式 PU 製程 DMF、甲苯、丁酮、乙酸乙酯溶劑之回收

PU 底料 (Binder) 及面料 (Skin) 配方中所含大量之有機溶劑，經過塗佈機烘箱烘乾，揮發成蒸氣後以抽風機將其收集，並以水吸收及活性碳吸附及水蒸氣脫附的方法，使氣態溶劑回收為液態溶劑再經分餾塔將其分餾精製成純的溶劑，再供配料室使用，亦可不經分餾塔分餾精製，而依據配方再添加必要之成份溶劑供配料室使用。

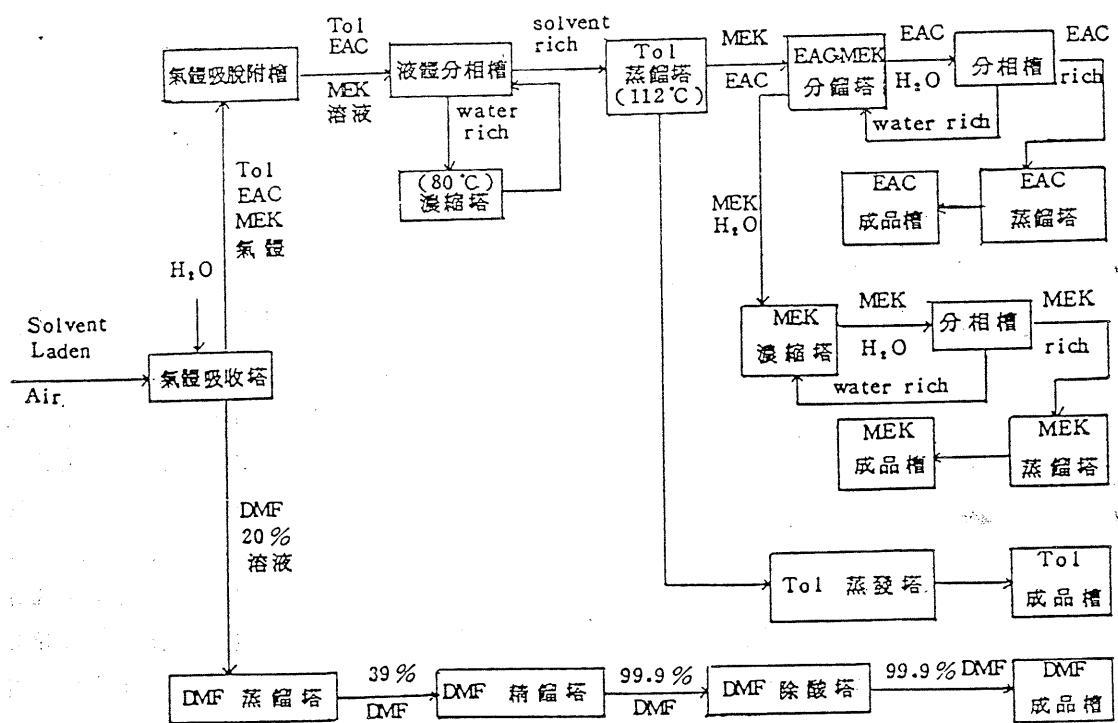
3-2 繩織之製造(9)

木漿經驗化後與二硫化碳反應，生成黃酸纖維素，經老化成熟再與硫酸作用生成再生纖維來，其反應過程如下：

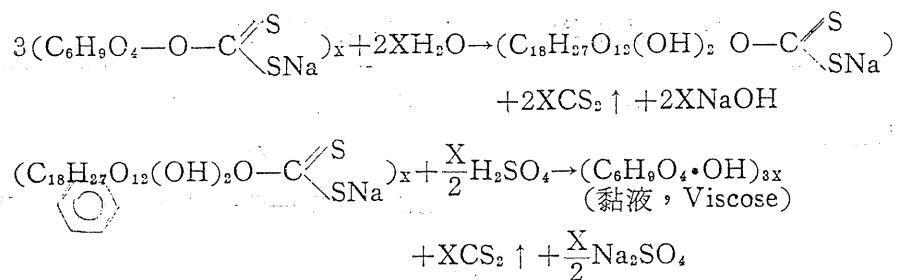


表一 濕式 PU 合成皮排氣中之溶劑特性(1)

項 類 別 目	二甲基甲醯胺	丁 酮	乙 酸 乙 酯	甲 苯
分 子 式	$\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{N}(\text{CH}_3)_2$	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_2\text{H}_5$	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{OC}_2\text{H}_5$	-CH ₃
分 子 量	73.09	72.11	88.07	92.14
沸 點 (°C)	153	80	77	111
比 重	0.94	0.8	0.89	0.9
閃 點 (°F) (Flash point)	136	16	24	40
容 許 濃 度 (PPM)	10	200	400	100
爆 炸 範 圍 (vol%)	2.2~15.2	1.7~11.4	2.2~11.0	1.2~7.1

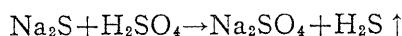
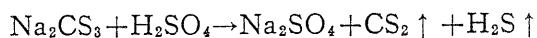


圖九 濕式 PU 合成皮製程溶劑回收流程圖



一、有害氣體來源：

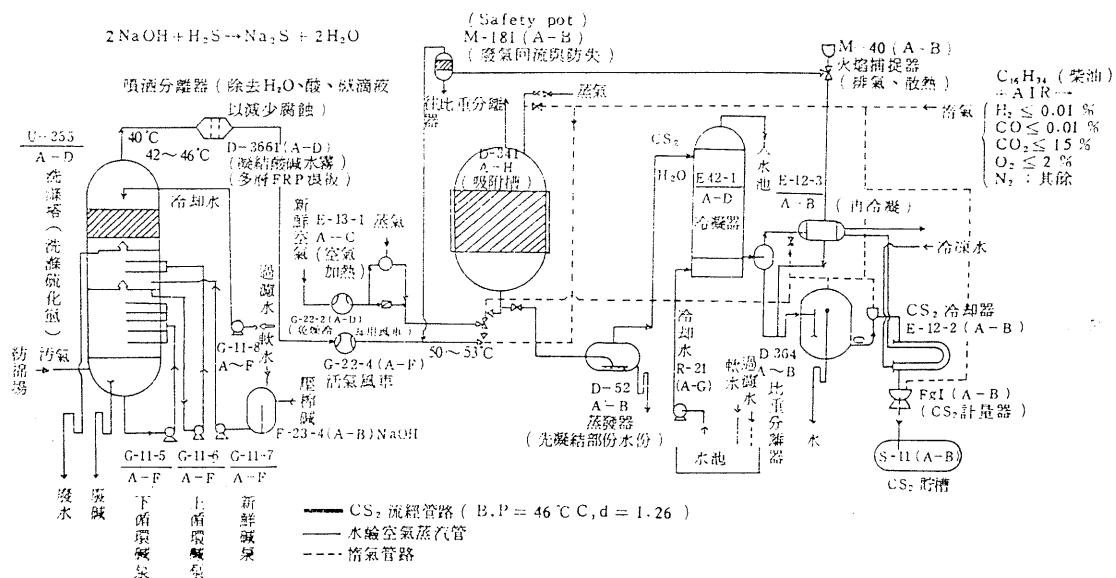
在再生纖維製造過程中，噴絲口（紡口）噴出之棉束（Tow），經過導絲輪進入二浴牽伸機，切棉機至成絨槽，在此過程中粘液所含之二硫化碳（CS₂）於深水浴中完全分離，約有15至20%加入的二硫化碳於紡浴中形成硫化氫、硫化鈉，約有40至55%含於導絲輪出來的棉束中另有部份於下列纖維素再生副反應中變為硫化氫（H₂S）：



此等硫化氫氣體除由紡浴槽溢出外，部分含於棉束中，因此從二浴至成絨槽所收集的廢氣除含有大量的二硫化碳外亦含有大量之硫化氫氣體。

二、溶劑回收

從牽伸槽至成絨槽回收之廢氣（含 H₂S 及 CS₂）。由碱洗塔下方進入，經過各層碱液噴灑洗滌，再經冷卻水冷卻後，從頂部排出至噴灑分離器，經過多層的FRP 浪板，除去污氣中之水、酸、碱滴液，以免風車及風道之腐蝕，再經污氣風車送入吸附槽，利用活性碳吸附廢氣中之二硫化碳。再利用蒸汽加熱活性碳，使二硫化碳揮發為氣態，再經冷卻為液態貯存。惟因二硫化碳具有易燃性及發火性，空氣中含量如超過 0.063g/l，則會著火，其自燃溫度為 102°C 詳如附錄三，因此在以蒸氣加熱脫附前須先以惰性氣體取代槽內之空氣。減少含氧量，否則安全堪慮。脫附後之活性碳含有相當量之水蒸氣，且活性碳吸水性甚強，因此須將此潮濕之活性碳乾燥，以恢復其原有之吸附能力，亦即使其含水率在 5% 至 7% 間，乾燥時以新鮮空氣經過蒸汽加熱器熱交換至 100°C 左右進入吸收槽，由脫附後吸收槽溫度下降至一最低點後再開始回升可知乾燥情況已符要求。乾燥後活性碳應再冷卻降至 50°C 以下始可再進氣吸收，否則易生危險。脫附後之蒸汽及二硫化碳經冷凝及再冷凝後利用比重不同分離水及二硫化碳，未完全冷凝之氣體，重新經過安全罐（safety pot）而入污氣風道重行吸收。詳細回收流程如下：



圖十 繸織紗棉二硫化碳回收流程圖

3-3 膠帶製造

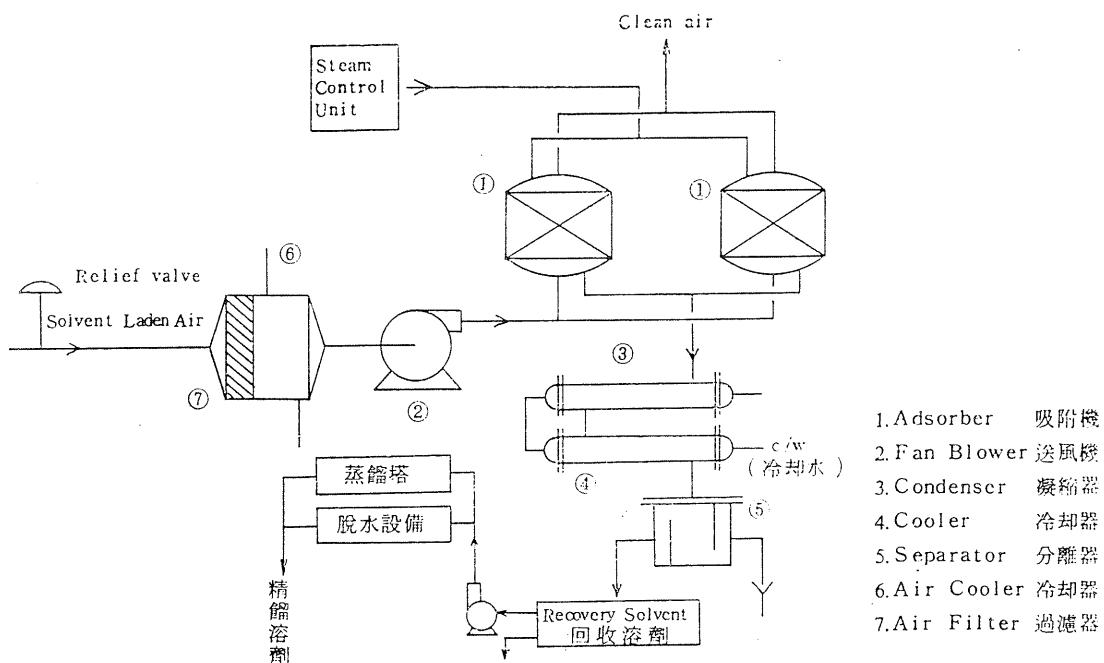
將紙張、聚氯乙烯、玻璃紙、聚乙稀、延伸聚丙烯膜，經塗膠機將粘膠均勻塗佈後經乾燥即得。使用之原料粘膠包括天然橡膠 (NR)，苯乙烯丁二烯橡膠、樹脂及溶劑等配成之粘膠，部分則另加塗敷離型劑 (releasing agent)。除甲苯溶劑外，尚使用甲醇、異丙醇、乙酸乙酯、丁酮、正己烷。

一、有機溶劑發生源及其回收設備：

一般粘膠膠液之製備如混合、攪拌、研磨及印刷未設置理想之局部排氣裝置或密閉設備且未將排氣回收處理外，有機溶劑蒸發量較大之塗佈機及烘箱則均設有局部排氣裝置或密閉設備，且其排氣亦均加以處理回收，而混料、捏合作業目前仍未納入回收系統內。

(一)聚氯乙烯膠帶製程甲苯溶劑回收設備：

塗膠機及烘箱排氣經排氣風車收集送至過濾設備，濾除其中之雜質粉塵，並經冷卻後經加壓送風機，將含甲苯溶劑之氣體經過活性碳吸附槽吸收其中溶劑成分，而排放清潔空氣。至於吸附槽則以低壓水蒸汽作脫附，經脫附的溶劑與水蒸氣混合氣體則通過冷凝設備使水蒸汽及溶劑凝結，再利用水蒸汽與甲苯不互溶及比重不同而呈現不同之液相層加以分離，下層之溶劑再經過濾除其中之 DOP，如此所回收之甲苯溶劑可再行使用，其流程如下圖所示。



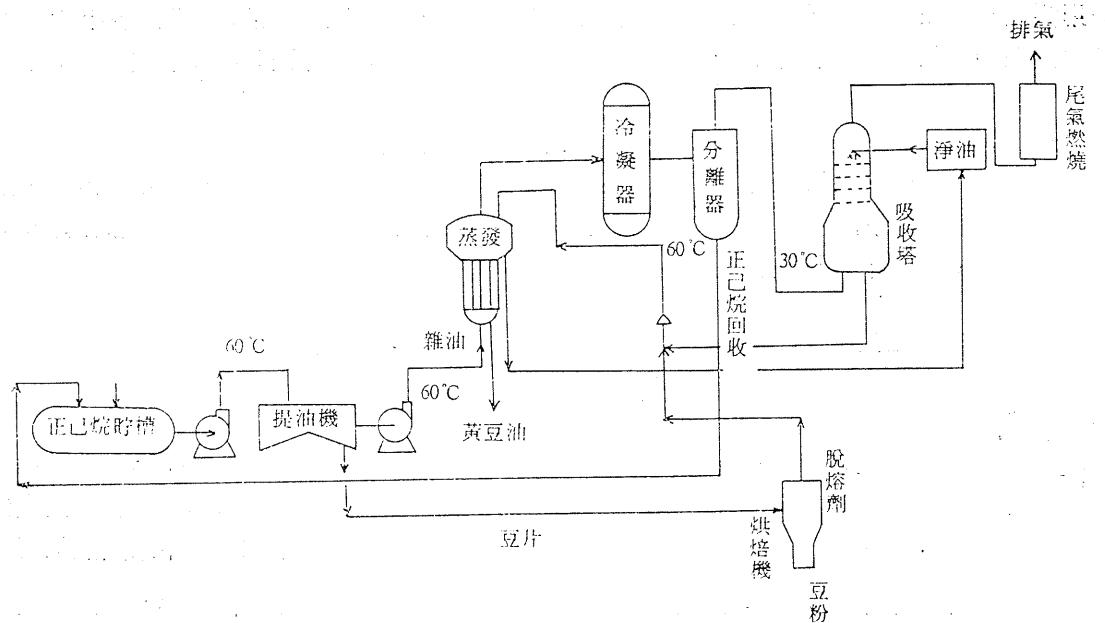
圖十一 PVC 膠帶製程溶劑回收流程

(二) 延伸聚丙烯膜 (OPP) 膠帶製程溶劑回收設備

OPP 膠帶膠液中所含之溶劑包括甲苯、丁酮 (MEK)、乙酸乙酯、正己烷，其塗膠機及烘箱所產生之含有機溶劑回收流程仍和 PVC 膠帶甲苯溶劑回收流程相同，僅有將顆粒狀之活性碳改以成捲之活性碳纖濾布，以增加吸附效率；冷凝回收之溶劑雖係混合溶劑亦不加以蒸餾分離，而僅將製程中需要之溶劑成分因回收過程溢失者加以補充。

3-4 黃豆之提油及其溶劑回收

黃豆中油份（沙拉油、黃豆油）之萃取係將黃豆豆片與正己烷（其特性詳如附錄四）加入提油機中，將黃豆中含有之油份溶解於正己烷溶劑中成為雜油，再將雜油和黃豆渣分離後，黃豆渣經烘焙設備將其中所含溶劑蒸發冷卻後進入汽提塔（雜油加熱蒸餾設備）上方與汽提塔上方之含正己烷、水蒸汽逸氣混合經冷凝設備將正己烷回收，未回收之含正己烷、水蒸氣逸氣則利用礦物油在吸收塔吸收正己烷蒸氣，未能吸收之尾氣則經過燃燒器加以燃燒處理，避免污染空氣，含正己烷之礦物油則經與烘焙機之逸氣行熱交換再經汽提塔回收正己烷蒸氣，而礦物油則再循環供吸收塔使用。黃豆原油則經過脫臭、脫色製成黃豆油、沙拉油，豆渣則經脫溶劑烘焙機脫除正己烷後再經乾燥、粉碎製成黃豆粉。



圖十二 豆油製程及其回收設備

3-5 防水布之製造及溶劑回收

防水布之製造係將防水樹脂用甲苯溶劑溶解後再行塗佈於尼龍布上後經烘箱乾燥即得，因此溶劑回收係將防水膠液中之甲苯於烘箱內揮發之甲苯蒸氣匯集，送至活性碳吸附槽，將其中之甲苯吸着，經一定時間後再利用水蒸氣脫附，後經冷凝設備將甲苯及水蒸汽冷凝為液相，而後利用甲苯和水不互溶及甲苯比重比水小而浮在上層，水在下層加以分離，其回收設備流程和圖十一膠帶製程甲苯溶劑回收設備流程圖同，惟此種製程目前仍未將攪拌、混合及塗佈作業所發散之有機溶劑蒸氣收集回收為其缺點。

3-6 橡膠工業輸送帶三角皮帶之製造及其溶劑回收

輸送帶及三角皮帶之製造，係先將橡膠經甲苯溶解成為膠液後再塗佈於底布上經烘箱乾燥後再行塗佈乾燥，如此共塗佈三次並乾燥即為成品以為平面輸送帶、三角皮帶原料，目前此種製程已將塗佈及乾燥所產生之溶劑蒸氣回收處理，其原理仍和膠帶、防水布製造甲苯溶劑回收流程相同，將塗布機及烘箱產生之有機溶劑蒸氣加以匯集回收處理，惟調合、攪拌仍未納入回收系統內為其缺點。

四、溶劑回收應特別注意事項

有機溶劑大部分具可燃性，因此含有機溶劑廢氣在回收處理之過程中尤應注意其在管路中輸送濃度應在最低可能引起火災或爆炸之濃度下 (LEL, Lower Explosion Limit)，如

使用活性碳為吸附劑亦應注意吸附過程中放熱或脫附時不致使吸附槽活性碳及溶劑自燃，另外共沸點物質如丁酮與水之分離及吸附、脫附所需之操作時間亦應列入考慮以避免逸氣之濃度過高及脫附不完全等問題發生。

一、管線輸送之廢氣濃度應保持在爆炸下限以下之濃度：

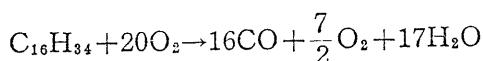
一般安全係數取 3 至 10，亦即管線內含有機溶劑蒸氣之濃度最好不超過三分之一的爆炸下限濃度，最高亦不得超過爆炸下限之二分之一。如為混合有機溶劑蒸氣廢氣其爆炸下限可以下式求得⁽¹⁰⁾：

$$\text{LEL 混合氣體} = \frac{1}{\frac{n_1}{\text{LEL}_1} + \frac{n_2}{\text{LEL}_2} + \dots + \frac{n_n}{\text{LEL}_n}}$$

其中 n_1, n_2, \dots, n_n 為各別可燃性氣體在管路內之混合摩爾比 $\sum n_i = 1$ ，可由實際測定或由蒸發量及排氣中濃度測定估算； $\text{LEL}_1, \text{LEL}_2, \dots, \text{LEL}_n$ 則為各個成份之爆炸下限。如甲苯之爆炸下限為 1.2%，則匯集之廢氣中如僅有甲苯蒸氣係可燃物質則其濃度應維持在 $\frac{1.2\%}{3} = 4000\text{PPM}$ 以下，惟濃度亦不能過低、否則回收的效益不夠支付水蒸汽及冷凍水泵浦電力之成本。

二、脫附前吸附槽之溫度或氧氣濃度應予控制，以防止溶劑蒸氣溫度超過自然溫度，引起活性碳吸附槽燃燒甚至爆炸危害。

例如以活性碳吸附回收二硫化碳時，因空氣中二硫化碳濃度如超過 0.063g/1，如以蒸汽加熱脫附 (100 至 150°C) 則可能造成二硫化碳之自燃 (CS_2 自燃溫度為 100°C 左右)，因此溶劑脫附前吸附槽應先以惰性氣體取代槽內之空氣，減少氧氣含量。惰性氣體可以燃燒柴油後之氣體使用。



燃燒所生成之惰性氣體氫氣約在 0.01 vol% 以下，一氧化碳在 0.01 vol% 以下，二氧化碳濃度在 15 vol% 以下，氧氣則在 2 vol% 以下，其餘則為氮氣。

三、進入吸附槽之含有機溶劑蒸氣溫度、吸附時間、脫附時間及廢氣流經吸附劑填充層之速度應妥善控制。

活性碳係一種非極性物質 (non-polar)，因此對非極性之有機溶劑之吸附能力極佳 (極性化合物可用分子篩 molecules sieve)，即使在有水蒸汽存在之氣流中亦具有優先吸附有機溶劑蒸氣之能力，惟其吸附能力係由於活性碳具有極大的吸附表面積及孔體積，詳如表二⁽¹¹⁾。至於其吸附能力及可脫附性則如表三所示⁽¹¹⁾。

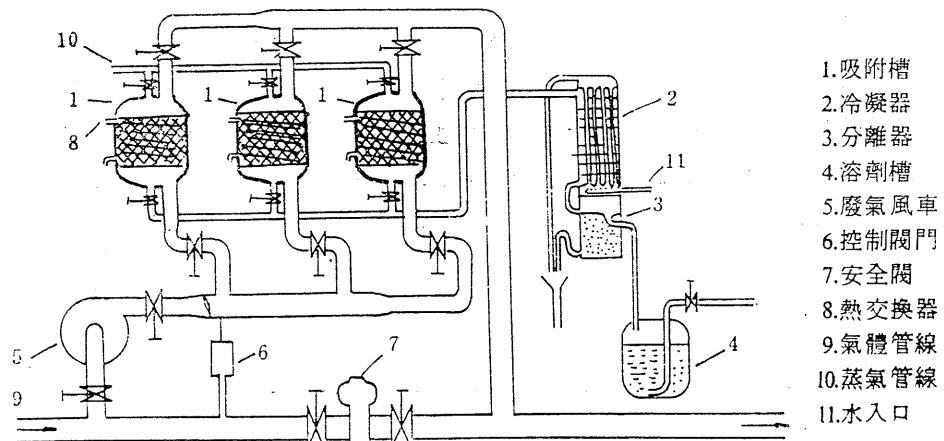
表二 各種吸附劑之吸附表面積、孔體積 (pore volume)

吸附物質	吸附面積(m ² /g)	孔體積(cm ³ /g)	平均孔徑(10m ⁻¹)
活性碳(activated carbon)	500~1500	0.6~0.8	20~40
矽膠(silica gels)	200~600	0.4	30~200
活性鋁(activated alumina)	175	0.39	90

表三 活性碳之吸附能力及其可脫附性

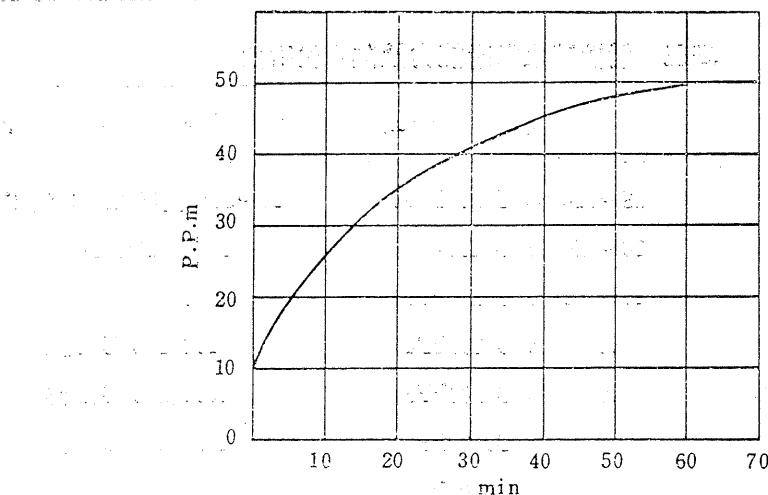
物質名稱	吸附能力(w.t%)	脫附後餘存量(w.t%)
四氯化碳	88~110(25°C, 100kPa)	27~30(用空氣, 25°C, 6小時)
汽油	10~20(25°C, 100kPa)	2~3(25°C, 6小時)
苯	45~55(25°C, 100kPa)	5.9(蒸汽脫附)
甲醇	50 (25°C, 100kPa)	1.2(150°C, 1小時)
乙醇	50 (25°C, 100kPa)	1.05(150°C, 1小時)
異丙醇	50 (25°C, 100kPa)	1.15(150°C, 1小時)
乙酸乙酯	57.5 (25°C, 100kPa)	4.87(150°C, 1小時)
丙酮	51 (25°C, 100kPa)	3.0(150°C, 1小時)
醋酸	70 (25°C, 100kPa)	2.5(150°C, 1小時)

一般活性碳吸附槽之填充層高度約為30至90公分，通過填充層之氣體線性流速約為0.15至0.60m/s；且吸着能力與壓力成正比，與溫度成反比，因此吸附槽之



圖十三 油性溶劑利用活性碳回收設備(12)

溫度應控制適當⁽¹⁸⁾，如二硫化碳、甲苯等之吸附槽應控制在 35°C 左右，以維持活性碳之最大吸着能力，又如甲苯活性碳吸附槽若溫度達 140°C 以上時，槽內活性碳可能發火發生爆炸。壓力雖增大可增加吸附能力，但亦可能引起吸附槽之急劇變化均應注意防止。活性碳之吸附能力與被吸附之物質種類之不同，吸着能力亦不同，因此可服務之時間 (service time) 應事先試驗決定某種濃度時可吸附之時間以控制何時應實施脫附，並應試驗脫附之時間，以能有效控制操作不同溶劑之破過時間⁽¹⁴⁾。



圖十四 入氣甲苯濃度 2200 PPM 時，排放尾氣甲苯之濃度隨吸附時間而變化，可決定何時應開始脫附

脫着後之活性碳一般含有相當的水氣，且活性碳本身吸水性亦甚強，因此潮濕之活性碳最好通以加熱之新鮮空氣乾燥以恢復其原有之吸附能力，通常活性碳含水率在 5 % 至 7 % 時吸着能力最好。

四、回收設備（除濕式 PU 製程 DMF 之回收外）均應設置安全閥或釋壓設備，以保障作業安全，且所有系統應有良好接地，以防靜電荷之蓄積。

為避免吸附槽內因溫度驟增，壓力驟增，加上接地設施不良靜電荷累積引起火災或爆炸影響生產設備，或加壓風車、廢氣風車等運轉故障、釋壓閥或安全閥之裝設如圖十一及圖十三均屬必要，且該回收設備整個系統均應有良好之連接及系統接地，和避雷設備。

五、共沸點物質之分離可添加另一種溶劑為第三種物質再行分離純化；有機溶劑間或其與水之混合物常有共沸點現象，致不能純化如：

表三 部分共沸點 (Azeotropic) 物質⁽¹⁵⁾

1. H₂O(2.8w.t%) + CS₂(97.2w.t%), B.P=42.6°C
2. H₂O(12.6w.t%) + IPA(87.4w.t%), B.P=80.3°C
3. H₂O(5.6w.t%) + n-hexane(94.4w.t%), B.P=61.6°C

4. H₂O(60w.t%) + MEK(40w.t%), B.P=73.4°C
5. MEK(11.8w.t%) + EAC(88.2w.t%), B.P=77.05°C
6. EAC(38w.t%) + n-hexane(62w.t%), B.P=65.15°C

如丁酮及水所形成之共沸點物質可添加正己烷或正戊烷溶劑加以萃取乾燥其中之水份以達成丁酮及水之分離⁽¹⁷⁾。

五、溶劑回收設備成本回收效益

溶劑回收設備主要將局部排氣裝置或密閉設備匯集之廢氣加以處理以回收其中所含之溶劑蒸氣，如有必要時再將各種溶劑一一蒸餾分離，分離溶劑之方法不外利用部份溶劑不互溶之特性分離及利用沸點不同加以蒸餾分離。

濕式 PU 合成皮製程溶劑 DMF 之回收需要用水為媒介，惟其可循環使用，須補充之量不多，但水溶液須經過濾、預熱、蒸餾、脫甲酸或經離子樹脂交換純化，因此需要加裝過濾設備、熱交換設備、蒸餾設備、脫甲酸設備或離子交換樹脂設備及泵浦等；黃豆油之萃取則須加設吸收塔及使用礦物油；至於其他之製程回收設備有機溶劑之回收大部分使用活性碳，由於灰化及使用過久吸着能力降低，須加以篩選、添加或更換（一般約二至三年），除活性碳吸附劑外，加壓風車、吸附槽、脫附用水蒸汽、冷卻水泵浦、蒸餾設備、分相分離設備、過濾設備、熱交換器及中間貯槽等均係增加之投資，各種不同之製程回收設備概要詳如附錄五，經分析其固定支出、折舊費用及回收價值，仍有利可圖，詳如表四：

由上表得知各種不同的製程所設置的溶劑回收設備極具投資價值，不僅可以避免有機溶劑蒸氣污染物不必要的排放，解決空氣污染問題，二甲基甲醯胺的回收可減少廢水中之生物需氧量 (BOD) 及化學需氧量，且水可循環使用減少排出水所造成之污染問題，回收的溶劑又可再行使用，降低生產成本，增加市場之競爭能力，雖然回收設備需要投資亦相當龐大，惟投資費用於半年左右即可回收，回收利益具投資價值，以工廠長遠利益著想應積極設置，以解決勞工曝露於有害物質的問題及排氣、廢水所造成之公害污染問題。

六、檢討與建議

國內使用之有機溶劑事業單位數目相當多，惟不僅作業環境改善方面存在極大之缺失有待改善，而空氣污染防治設施之設置亦亟須加強。

一、綜合檢討：

(一) 事業單位作業環境改善仍有待加以輔導協助

使用有機溶劑從事作業須設置符合規定控制風速之局部排氣裝置，或密閉設備或整體換氣裝置等控制設施，惟一般事業單位均認為設置此等控制設施僅屬消費性投資，而躊躇不前，致許多勞工仍天天曝露於有機溶劑蒸氣彌漫之作業環境下，飽受有機溶劑中毒及職業病的威脅，不只仍有許多有機溶劑發生源未設置必要之控制設施以預防勞工作業時之吸入，而部分事業單位則仍以最簡陋之壁扇或屋頂型排氣扇等當作整體換氣裝置

表四 不同回收設備之成本及回收效益

項 目	事業單位別 A (膠帶製造)	B (膠帶製造)	C (合成皮製造)	D (繩索、紡棉製程)	E (黃豆提油)	F (輸送帶等製造)	G (防水布製造)
操作設施及回收設備投資 (萬元), C	6,600	400	8,000	11,000	100	270	750
每年賺銷 (萬元) $P = \frac{C \times 0.08}{1 - (\frac{1}{1.08})^7}$	1268	77	1537	2113	19.2	52	288
年利率以 8% 計,七年折舊 完畢,剩餘價值=0							
每年所需固定新資(萬元)	16×12=192	電費以外： 10×12=120	25×12=300	4×8人×12 =384	2.5×0.2×12 =6	(包含於維護 費用內)	(包含於維護 費用內)
每年所需蒸氣費用(萬元)	29×12=348		113×12=1356	600元×4800 ton/月×12M/ y/10000=3456	—	(包含於維護 費用內)	90×12=1080
每年所需求維護費用(萬元) (包括電費、活性碳、零 件更換、保養費)(萬元)	維護費：192 零部件： 50 活性碳： 10 電費：17.5×12 =219	電費：3×12 =36	13×12=156	41×12=492	維護費 1×12=12	活性燈：4.4 電費及維護費 12×12=144	維護費用 1.6×12=19.2 電費：11×12 =132
每年平均成本支出(萬元)	2270	233	3769	7781	55.2	200.4	1519.2
每年回收價值(萬元)	$\frac{(2.1+3.5)/ton}{2}$ $\times 14tons/day$ $\times 26d/m \times 12 =$ 1223	21×17850×12 10000 =450	DMF=3.5×700 ton/月×12= 29400 MEK=2.1×80 EAC ton/月 ×12=2016 Ton=2.0×40 ton/月×12=960	1.6/ton×800 ton/月×12= 15360 10000=1078	16×270kg/hr ×8×26×12 10000=1078 518	$16 \times 30000 \times 0.9$ /10000×12= 4608	$15 / \theta \times 256000\theta$ /1000×12= 4608
每年回收利益(萬元)	9960	217	28607	7579	1022.8	317.6	2988.8

(電費1kw.h=1.6元, 1kg steam=0.6元計)

稀釋產生之有機溶劑蒸氣，雖然可降低勞工曝露之程度，但亦增加了曝露勞工的人數，且排氣經過作業者呼吸帶增加了勞工不必要的曝露，造成了溶劑的擴散逸失，如膠帶、合成皮製造膠液之混合、攪拌約漏失百分之二十的溶劑使用量造成極大之溶劑損失。至於設置局部排氣裝置事業單位所設置之氣罩不只未儘量接近發生源或包圍有機溶劑發生源，且未達必要之控制風速，以有效捕集、控制有機溶劑蒸氣，甚至有些氣罩設置不當，妨害作業及維護、保養，遭作業勞工破壞、移動、拆除，影響局部排氣裝置設置之目的及效能，致目前具有回收設備事業單位回收溶劑僅佔使用溶劑之百分之五十至六十，其餘則漏失掉了。因此如何設置符合需要，不影響作業及保養，並儘量增加匯集氣體中有機溶劑蒸氣之濃度，減少排氣量以降低所需輸送動力及冷凝所需之冷卻能力，而待處理廢氣仍在安全的濃度下，提高回收處理之有利條件實屬目前最重要之工作。此均有待加強檢查人員之工業通風設計及輔導設置能力，提供事業單位必要之諮詢建議，一方面亦應加強事業單位維護管理人員檢點，測定及管理能力，以維持設置之換氣設備在良好性能及有效運轉。

(二) 有機溶劑蒸氣之排放標準尚欠周延有待依據實際需要制訂

有機溶劑大量使用受目前勞工安全衛生法令管制者已達五十五種，惟目前訂有排放標準者僅有甲苯(5)，確有必要依實際情況予以增定，以約束事業單位未經處理逕行排放造成空氣污染問題，影響附近社區居民環境與健康，勞工檢查機構亦可據以要求事業單位於各該訂有排放標準之局部排氣裝置附設空氣清淨裝置，再由環保單位管制排放口濃度。

(三) 溶劑回收技術亟待加以研究開發、技術移轉業者採行設置。

目前除法令之缺陷外，回收設備之運轉效果仍未能獲得業者的認同，加上初期之投資數額仍屬龐大，因此不同溶劑廢氣之最佳回收方法，最有效之吸附劑，吸附槽結構，進氣速度、吸附槽之操作條件如吸附、脫附之溫度、壓力、時間(16)等及設定破過濃度之自動監測設備等均有待研究，並搜集目前國內已裝設業者之經驗，提供業者，以為業者實際需要裝設時之依據參考，並配合目前政府低利貸款協助業者改善污染環境設施，輔導業者裝設，以免資源之浪費及設置之回收設備能達到預期之空氣清淨效果。

(四) 溶劑回收處理服務公司有待輔導設立，以服務業者。

小量溶劑使用之事業單位，仍有必要將含有機溶劑蒸氣回收，惟回收須要熱交換設備、蒸氣、冷凝設備。因此投資可能不符經濟效益，如此種情形可由製造、使用單位將廢氣吸附清淨後排除，而吸附劑由專業回收公司以收費方式搜集蒸餾回收服務廠商，如此可避免業者不當之排放，服務公司也才有相當的技術發展其為實施某項溶劑回收或分離之技術，此服務公司有待政府的輔導設置。

(五) 具空氣調節裝置廠房含有有害氣體排氣經處理後循環使用之可行性應加以研究。

一般電子工廠均係中央系統空氣調節廠房，在寶島臺灣夏季室外溫度常高達攝氏三十多度，為維持作業場所之舒適須有相當大之冷凍能力，而作業場所因使用有機溶劑及從事焊錫作業，作業環境產生之廢氣含鉛、錫、粉塵、有機溶劑經局部排氣裝置匯集並經過濾、吸附處理後，業者迭有反應是否可用作為新鮮空氣導入作業場所循環使用，以

減少因導入熱空氣調溫所需冷卻設備之花費，此種處理方式誠屬可行，惟如何處理始可達新鮮空氣之要求，有待加以研究試驗發展，以爲業者依據，及檢查人員認定之準繩。

(六)溶劑回收設備之操作管理有待加強訓練

有機溶劑蒸氣大部係屬可燃性氣體，而吸附槽之吸附過程又屬放熱反應，廢氣及溶劑液體在管內輸送時又極易產生靜電，脫附時又需使用高溫且具壓力之水蒸氣，因此如何避免火災，爆炸實屬重要。一般此等設備除排氣機電氣設備等須使用防爆設備，整個回收設備應連接並系統接地，並設置避雷設施外，仍須小心操作，管理、監測，否則發生火災爆炸不只回收設備之遭受破壞亦可能波及整個廠房及生產設備，不可不慎。因此各回收設備除標準操作方法應訂定外，各操作條件仍應嚴密訂定，不得有些微疏忽，因此回收設備之操作人員之安全意識及操作純熟度和故障排除能力是維持作業系統安全不可或缺的，此有賴事業單位雇主或政府機關施以必要之訓練以達成。

(七)建議事項

爲求作業勞工從事有機溶劑作業之安全與健康，維護社區居民生活環境之良好品質，下列事項有賴各有關單位配合辦理以達成。

1.建議環境保護單位：

- (1)依據實際需要訂定各種有機溶劑蒸氣排放標準，並加強追蹤檢查管制，以保護大部分社區民衆之環境與健康。
- (2)加強進行或委託進行溶劑回收方法之研究，提供業者必要之諮詢技術資料和協助。
- (3)輔導各 PU 合成皮、膠帶、繯縫、塑膠皮印刷、塑膠布印刷、輸送帶製造、鞋廠等有機溶劑使用量較大事業單位設置必要之空氣污染防治設備及溶劑回收設備，以減少焚化處理 (incineration) 資源之浪費。
- (4)加強宣導溶劑回收之可行性及實施回收設備操作管理員之訓練，以提高業者設置之意願及確保回收設備之操作安全。
- (5)輔導設立溶劑回收代處理公司，以收費方式服務廠商，提高業者共同維護環境及處理廢氣之意願。

2.建議勞工檢查機構：

中央主管機關：

- (1)加強檢查人員及事業單位工業通風設計能力訓練，並編印相關資料提供業者及檢查人員以爲設置必要有機溶劑控制設施或輔導設置時之參考。

(2)反映教育主管機關加強工業通風人才之培育，強化各界作業環境控制及改善能力。

各級勞工檢查機構：

- (1)落實有機溶劑作業中毒預防檢查要求各事業單位設置必要之控制設置並協助輔導事業單位依據當地空氣污染法令之規定設置必要之控制設施。
- (2)加強與環境保護單位之連繫，提供環境保護單位有機溶劑使用廠商資料列管追蹤，以免事業單位不當之排放、污染環境。

除各政府機關應加強檢查、輔導外，各事業單位亦應：

- (1)加強回收設備操作人員之訓練管理及強化各項安全措施，以保障回收設備之安全。

(2)未設置回收設備者應參考同業設置以減低生產成本，提高市場競爭能力或先行吸附後委託代處理服務公司回收，以免污染環境。

參考文獻

1. Alliance of American Insurers, "Handbook of Organic Solvents", 5th edd, 1980.
2. 臺灣省工礦檢查委員會，「勞工檢查法規解釋彙編」，pp. 653~pp. 681, pp. 320~321，中華民國七十五年六月。
3. 臺灣省勞工檢查委員會，「職業病與化學災害實例」，勞工檢查宣導資料編號：02—03，中華民國七十六年六月，pp. 1~pp. 16, pp. 78。
4. 臺灣省工礦檢查委員會，「有機溶劑危害預防」，勞工檢查宣導資料編號：02—14，中華民國七十五年六月，pp.9, pp.13。
5. 臺灣省環境保護局，「環境保護重要法規彙編」，中華民國七十三年九月，pp.27~pp.28。
6. 臺灣省勞工檢查委員會七十四、七十五、七十六年度，有機溶劑作業檢查結果統計。
7. 工業技術研究院化學工業研究所，「世界第一的臺灣合成皮工業技術及市場資訊」資023，中華民國七十四年十二月，pp.1~pp.13。
8. 陳志明等「PU 合成皮業污染防治發展現況」，工業污染防治第五卷第一期，中華民國七十五年元月，pp.144~pp.157。
9. R. Norris Shreve, "Chemical Process Industries", 3rd. edd. pp.702~pp.708。
10. 北川徹三原著，林熾昌譯，李文元校訂，「化學安全工學」，pp.66.
11. W. Strauss, "Industrial Gas Cleaning", Pergamon, New York, 2nd. edd. pp.133~pp.140.
12. Milan Smisek, "Active Carbon-Manufacture, Properties, and Applications," Elsevier publishing Company, 1970.
13. 保利，田中，秋山，「活性炭固定層における混合有機溶剤の破過時間的簡易推算法」，日本化學會誌，1985, No.11, pp.2087~2093。
14. 保利，田中，秋山，「活性炭固定層吸着裝置破過時間的簡易推算法」，日本化學會誌，1985, No.5, The Chemical Society of Japan, pp. 961~969.
15. Robert C. Weast, Melvin J. Astle and William H. Beyer, "CRC Hand book: of Chemistry and Physics," CRC Press Inc, Florida, 66th. edd., 1986 D—1 ~D—33.
16. N.J.Desai and D. D. Do, "Adsorption of Organic Solutes into Activated Carbons-Batch Studies," Chem. Eng. Commun. Vol. 39, pp. 101~126, 1985.
17. Charles D. Holland, "Fundamentals of multicomponent Distillation", McGraw-Hill, 1981, pp.216~pp.247.
18. Arthur W. Adamson, "Physical Chemistry of Surface", John Wiley and Sons N.Y., 4th. edd., 1982, pp.517~pp.523.

附錄一：三年來有機溶劑作業檢查結果統計(6)

74年度

檢 查 情 形 內 容	作業環境類別	有機溶劑作業環境檢查 1145 廠							
		初 查			複 查				
		檢查 廠 數	730	廠	檢查 廠 數	415	廠	已 改 善 項 數	改 善 率 %
		廠 數	不 合 格 廠 數	不 合 格 項 數	廠 數	不 合 格 廠 數	上 次 通 知 改 善 項 數	已 改 善 項 數	改 善 率 %
1.乙類物質報核		—	—	—	—	—	—	—	—
2.防範危害設備之設置	730	378	390	415	183	209	54	25.8	
3.防範危害設備之構造性能	730	306	383	415	213	254	54	21.3	
4.防範危害設備之管理	730	610	970	415	283	516	135	26.2	
5.清潔設備及衛生	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.公告、通告	730	567	1057	415	200	356	109	30.6	
7.標示	730	576	576	415	219	264	93	35.2	
8.測定	730	620	620	415	298	321	46	14.3	
9.管理員設置及工作	730	553	593	415	183	225	88	39.1	
10.進入設備之措施	730	2	2	415	1	1	0	0	0
11.特殊健康檢查	730	632	632	415	267	310	67	21.6	
12.防護具、避難設備	730	5	5	415	3	5	3	60.0	
13.儲存與空容器之處理	730	110	131	415	60	68	29	42.6	
14.有關設施報核及報備	730	707	707	415	394	397	4	1.0	
15.其他		0							

75年度

檢 查 情 形 內 容	作業環境類別	有機溶劑作業環境檢查 997 廠							
		初 查			複 查				
		檢查	688	廠	檢查	309	廠	已改善項數	改善率%
		廠	不 合 格 數	不 合 格 廠 數	廠	不 合 格 數	上次通知改善項數	已改善項數	改善率%
1.乙類物質報核		—	—	—	—	—	—	—	—
2.防範危害設備之設置	688	453	462	309	113	113	35	31.0	
3.防範危害設備之構造性能	688	274	330	309	133	178	72	40.4	
4.防範危害設備之管理	688	648	939	309	174	307	108	35.2	
5.清潔設備及衛生	—	—	—	—	—	—	—	—	
6.公告、通告	688	603	1001	309	92	245	126	51.4	
7.標示	688	631	631	309	109	157	58	36.9	
8.測定	688	616	616	309	173	188	37	19.7	
9.管理員設置及工作	688	583	583	309	102	155	61	39.4	
10.進入設備之措施	688	0	0	309	0	0	0	0	0
11.特殊健康檢查	688	643	655	309	157	233	76	32.6	
12.防護具、避難設備	688	1	1	309	0	0	0	0	0
13.儲存與空容器之處理	688	111	118	309	29	59	32	54.2	
14.有關設施報核及報備	688	664	664	309	303	306	4	1.3	
15.其他									

76年度

檢 查 容 內 形 狀 情 查 檢 查	作業環境類別		有機溶劑作業環境檢查 1331 廠						
	初 查		複 查						
	檢查	廠	不 合 格 數	不 合 格 廠 數	廠	不 合 格 數	上次 通知 改善 項 數	已 改 善 項 數	改 善 率 %
1.乙 類 物 質 報 核	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.防 範 危 害 設 備 之 設 置	1220	763	811	111	53	64	17	26.6	
3.防 範 危 害 設 備 之 構 造 性 能	1220	499	600	111	70	64	12	18.8	
4.防 範 危 害 設 備 之 管 理	1220	1175	1838	111	86	165	52	31.5	
5.清 潔 設 備 及 衛 生	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.公 告 、 通 告	1220	1123	2097	111	56	137	62	45.2	
7.標 示	1220	1151	1151	111	66	80	30	37.5	
8.測 定	1220	1136	1136	111	92	92	12	13.0	
9.管 球 設 置 及 工 作	1220	1065	1065	111	60	68	17	25.0	
10.進 入 設 備 之 措 施	1220	2	2	111	1	0	0	0	0
11.特 殊 健 康 檢 查	1220	1165	1200	111	84	101	20	19.8	
12.防 護 具 、 避 難 設 備	1220	0	0	111	0	0	0	0	0
13.儲 存 與 空 容 器 之 處 理	1220	379	442	111	24	32	19	59.3	
14.有 關 設 施 報 核 及 報 備	1220	1214	1214	111	108	107	4	3.7	
15.其 他									

附錄二 PU 合成皮之原料

一、濕式 PU 合成皮製程 (舒麗皮)

- (一) PU 樹脂膠液：由一液型 PU 樹脂 (one component PU resin) 與 DMF 互溶之膠液，PU 樹脂分為聚酯型及聚醚型 (耐水解 PU 樹脂)，一般與填充劑及助劑混合使用。
- (二) 填充劑：微細之木質纖維素粉末分散於 PU 配合液，有助於成品表面之平坦及增進水洗效果。
- (三) 二甲基甲醯胺 (DMF)：當有機溶劑，能與水互溶。
- (四) 助劑 (GPG)：礦化琥珀酸二酯型陰離子界面活性劑，可溶於有機溶劑，親水性佳。
- (五) 其他具有改質舒麗皮之少量樹脂。
- (六) 起毛布及不織布。
- (七) 色料。

二、乾式 PU 合成皮製程 (優麗皮)

- (一) 一液型 PU 樹脂：為一線性結構高分子，不需經過架橋、熟成而經乾燥後便具有可塑性之彈性體，一般用作面料 (skin)。主要為二異氰酸鹽與多醇類化合物聚合而成，溶劑為 DMF 及丁酮，並以丁酮為稀釋劑。
- (二) 二液型 PU 樹脂：為 TDI (二異氰酸甲苯) 與聚醚類或聚酯類反應生成需經過架橋劑架橋及熟成後方具彈性體物性之 PU 樹脂，一般用作底料 (Binder) 以接着基布及面料 (Skin) 層。
- (三) 架橋劑：三異氰酸鹽及二異氰酸鹽。
- (四) 促進劑：包括有機金屬類以促進-OH 基與-NCO 基之反應，及有機銨類以促進-NHC₂O-NCO 基及-NCO 基之反應。
- (五) 顏料：包括無機顏料及有機顏料。
- (六) 溶劑：包括二甲基甲醯胺、丁酮、乙酸乙酯、甲苯。
- (七) 助劑及添加劑：包括助離型劑 (Anti-blocking agent)，針孔防止劑，亮光劑 (wax feeling agent)，CaCO₃ 及滑石等。
- (八) 處理劑：包括霧面、亮面，及臘霧、臘亮等處理劑。
- (九) 基布及離型紙。
- (十) 油墨。

附錄三 二硫化碳之性質

(一)物理性質

- (1)分子量：76.13
- (2)沸點：46°C
- (3)閃火點：-22°C(8°F)
- (4)自燃點：100~130°C
- (5)比重：1.261
- (6)對光易變黃，在強烈輻射時分解為固態之CS，故應於暗處保存。
- (7)共沸點物：CS₂:H₂O=97:3 wt/wt
- (8)對水溶解度：0.2%wt/wt(20°C)

(二)化學性質

- (1)易與氯反應：
- (2)氫化： $\text{CS}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{S} + \text{C}$
 $\text{CS}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{S} + \text{CH}_4$
- (3)與碱反應： $3\text{CS}_2 + 6\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{Na}_2\text{CS}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- (4)爆炸範圍：1.3~50% (by volume)
或 30~1900g/m³
- (5)具易燃性及發火性，空氣中如含 0.063g/l 則會着火。

(三)毒性：對神經組織具強烈麻醉毒性。

對肝臟及腎臟具中度毒性。

對皮膚粘膜具輕微毒性。

急性中毒症狀為皮膚發紅起泡、頭痛、暈眩、噁心、嘔吐、腹痛、普通疼痛、麻痺、結膜炎、角膜炎、食慾不振、痙攣、木僵或失去知覺及呼吸中樞神經麻痺而死。

慢性中毒症狀有（曝露10~15年）

- ①中樞神經系統：頭痛、多發性神經炎、情緒不安及精神病、動脈粥樣硬化腦病、帕金森氏病。
- ②視力：中心暗點、色彩視野同心性收縮、實體視像紊亂。
- ③腸胃：食慾缺乏、慢性胃炎、游離鹽酸降低、肝損害。
- ④泌尿：血尿、蛋白尿、高血壓腎硬化症。
- ⑤一般：虛弱、疲倦、貧血、皮炎。

附錄四 正己烷之性質

一、分子式： C_6H_{14}

二、外觀：無色易揮發之可燃性氣體，具有汽油味。

三、沸點：69°C

四、融點：-95.3°C

五、比重：0.66(20°C)

六、蒸氣密度：2.97(Rel. to air)

七、閃點：-7°C

八、引火點：-21.97°C

九、爆炸範圍：1.1 vol%~7.5 vol%

十、蒸氣壓：124mmHg (20°C)

十一、水中之溶解度：0.014g/100g H₂O(20°C)

十二、反應性：對熱呈不穩定，火災時釋出如一氧化碳之毒氣；與強氧化劑接觸可能引起火災或爆炸。

十三、正己烷之危害：

(一)皮膚接觸：與皮膚及粘膜接觸引起刺激，如起紅斑、水腫、水泡、有燒灼感。

(二)呼吸道吸入：

1.急性反應：吸入 5000PPM 正己烷蒸氣會產生眩暈，30,000PPM 產生痙攣。

2.慢性反應：長時間暴露會引起神經系統麻痺，尤其四肢等末梢神經炎和多發性神經病變如垂足病、麻痺、癱瘓、軟弱等，並引起腸胃症狀如胃口不好、體弱、體重減輕等，但如停止暴露，此等症狀會慢慢減輕或恢復。

有關正己烷引起之職業病在國外曾經在印刷工廠、製鞋工廠、強力膠、亮光漆、和溶劑製造工廠、傢俱窗框製造工廠、強化塑膠積層作業工廠等先後發生過。

正己烷係屬有機溶劑中毒預防規則所稱之第三種有機溶劑，勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準原規定之工作日時量平均容許濃度為 500PPM，發生多發性神經病變之國內幾家印刷工廠勞工工作日時量平均暴露有低至 52PPM 者，因此為避免作業勞工罹患職業病，作業環境空氣中正己烷之濃度應控制在修訂後之工作日時量平均容許濃度 50PPM 以下。

附錄五 各種溶劑回收設備概要

項目	事業單位代號	A (膠帶製造)	B (膠帶製造)	C (合成皮製造)	D (裸繩紡織製程)	E (黃豆提油)	F (輸送帶等製造)	G (防水布製造)
使用之有機溶劑 (KG/月)		甲苯：23000， 正己醇：2800， 乙酸乙酯：330	甲苯：8400， 異丙醇+丁酮+甲醇 =420	甲苯(20.8)H, MEK 二氯化碳： 900ton/月 DMF:94.1/H, EAc:73.8/H,	裸繩紗織： 900ton/月	正己烷：300tons/ hr	甲苯；450 T/M recycle:25500/ M	甲苯：320,000 1/M
製程	PVC塗佈機四系列 OPP塗佈機三系列	1.用苯回收設置一套 2.甲苯等混合溶劑 回收設置一套	1.用苯回收設置一套 2.乾式PU合成皮製造 程混合溶劑回收系統 離(3)。	濕式PU合成皮製造 式PU合成皮製造 1.D.M.F溶液蒸餾回 活性炭吸附、水蒸氣同 程混合溶劑回收系統二套	濕式PU合成皮製造 程混合溶劑回收二硫化 碳離(3)。	黃豆油抽油製程	帆布上膠處理	耐拖布防水處理
岐附前濃度 (PPM)	(1)PVC:1500~2000 (甲苯) (2)OPP:3000(混合 氣)~5000(EAc: 3750,Tol:1000, hexane:250)	2200~3000(甲苯)	4000以下	6000	25%	3000以下	3000	
尾氣濃度(PPM)	(1)PVC: 50 (甲苯) D.F. (2)OPP:20 (混合氣) 以下	50(甲苯)以下	50以下	10以下	300以下	50以下	50以下	
岐附劑(吸收)	顆粒狀活性碳及碳纖 維布	2	6	8	62.32	5.7	—	顆粒活性碳
吸收塔數 要附塔體積(m ³)	$\phi=2m,l=5m$ $V=15.7m^3$ 2tons/槽×3	1510/EA×2 (年產光漆100KG)	4000/EA×6	8500	—	1500Kg/槽×2	4500Kg/槽×4	2EA
活栓架數 活栓架體積(Kg)	50~60 6~8	60 60	90 90	145 72	—	60 60	60 30	60 30
吸附時間(分) 脫附時間(分)	PVC:35000 OPP:25220	7200(at 40°C)	24000	3866.7	5.3	—	4800	2700
每槽廢氣處理量 (m ³ /EA)	>100°C 2.0~2.3	120°C or kg/cm ² 0.46	160°C 1.5/EA	200°C 5.273	—	103~115°C —	110°C —	110°C —
於溫度(°C)	PVC:100HP OPP:100HP	30HP 600m ³ /min	25HP×2 120m ³ /min(at 40°C)	1245(馬力總數) static head=1100 mmH ₂ O	117.5HP×2 (210HP	— 20HP	— 100HP×2	1.035 —
蒸氣量(kons/h)	馬達規格(HP)	333m ³ /min	16000m ³ /h×6	5.3m ³ /min	80m ³ /min(30°C)	460m ³ /min(30°C)	460m ³ /min(30°C)	410mmH ₂ O
排氣機吸音排氣量 (m ² /min)	回收設備裝設時間 控制已破漏濃度(PPM) (break through)	1983 50	1986 50	1982 10	1969 300	1982 50	1985 50	1979,1985 50
回收比率 (佔所有加入量)	50% of used ≥95%之入氣甲苯濃 度	68% of used ≥90%入氣中之甲苯	50% of used ≥98%入氣濃度	63.9%紡絲製程 CS ₂ 發生量 ≥98%入氣濃度 ≥98.3%入氣濃度	— —	85% of input —	80% of input —	80% of input —
回收效率								

附錄六 「有機溶劑作業環境控制及回收效率」調查表

廠名：

廠址：

產品：PU 合成皮、PVC 塑膠皮、膠帶、繩索、防水布、輸送帶

有機溶劑種類名稱及用量：

甲苯： 丁酮： DMF： CS₂：
EAC： BAC： 正己烷：

製程概要：

控制設施及回收系統簡圖：

控制設施及回收系統之性能

位 置				
氣 罩 種 類				
排 氣 量				
控 制 風 速				
呼 吸 帶 濃 度				
氣 罩 開 口 面 濃 度				
吸 附 前 導 管 內 濃 度				
吸 附 後 導 管 內 濃 度				

有機溶劑質量平衡計算：

回收系統概況：

經濟效益分析：

折舊費用——控制設施及回收系統投資 _____ 元

年利率為 8 % 計算

七年折舊完畢時殘值為 0 元

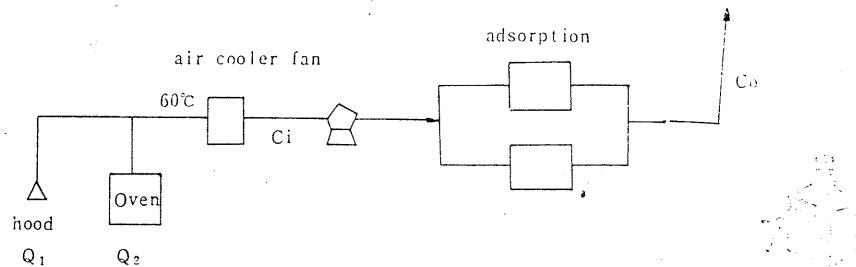
$$\text{每年攤銷 } P = \frac{() \times 0.08}{1 - [1/(1+0.08)]^7} \\ = \text{_____ 元}$$

固定成本——薪資 _____ 元
蒸汽 _____ 元
維護 _____ 元 } 合計 _____ 元

回收價值

回收利益

附錄七 回收設備之質量平衡計算例



$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q \text{ m}^3/\text{min} \times 60 \text{ min/h} \times 1 \text{ h/cycle} \times (C_i - C_o)/10^6 = X \text{ m}^3/\text{h}$$

假設理想氣體每個 batch 回收 Wg 溶劑

$$1 \text{ atm} \times X \times 1000 \text{ l} = \frac{W_g}{M} \times 0.082 \times (273 + 30)$$

$$\frac{W_g}{0.9 \text{ g/l}} \times 15 \text{ 元/l} = y \text{ 元}$$

每個 batch 回收價值 y 元

回收系統概況：

C_i 為廢氣處理前濃度 _____ PPM, 爆炸下限為 _____ PPM

C_o 為廢氣處理後濃度 _____ PPM,

活性碳為顆粒狀或粉末狀 (前者粒徑>0.1mm 後者小於 200mesh)

吸附塔數目為 _____ 個

吸附塔體積為 _____ m³, 內含活性碳 _____ Kg

吸附一塔槽需要 _____ 分, 處理廢氣 _____ m³

脫附一塔槽需要 _____ 分, 蒸汽溫度 _____ °C, 流量 _____ m³/min

吸附操作之破過濃度為 _____ PPM

馬達規格 _____ 馬力

排氣機規格全壓 _____ mmH₂O, 排氣量 _____ m³/min

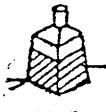
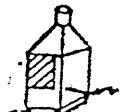
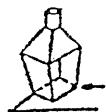
回收系統設置於民國 _____ 年

回收系統 _____ 套

回收效率 _____ % (以全廠有機溶劑之使用為基礎)

_____ % (以 C_i•Q 為基礎)

附錄八：有機溶劑作業必需達到之換氣能力

氣罩之型式	有機溶劑或其混存物之分類	控制風速 (公尺／每秒)
 Booth 包圍型單面開口氣罩	第一種有機溶劑或其混存物 第二種有機溶劑或其混存物 第三種有機溶劑或其混存物	0.4 0.3 0.25
 Two sides Draught Enclosing 包圍型雙面開口氣罩	第一種有機溶劑或其混存物 第二種有機溶劑或其混存物 第三種有機溶劑或其混存物	0.5 0.4 0.3
 Lateral 側邊型氣罩	第一種有機溶劑或其混存物 第二種有機溶劑或其混存物 第三種有機溶劑或其混存物	0.5 0.4 0.25
 Thressides Draught & Suspended 懸吊型三面開口氣罩	第一種有機溶劑或其混存物 第二種有機溶劑或其混存物 第三種有機溶劑或其混存物	0.6 0.5 0.4
 Open side Draught & Suspended 懸吊型全面開口氣罩	第一種有機溶劑或其混存物 第二種有機溶劑或其混存物 第三種有機溶劑或其混存物	1:0 0.8 0.6
 Down Draught 底邊型氣罩	第一種有機溶劑或其混存物 第二種有機溶劑或其混存物 第三種有機溶劑或其混存物	0.7 0.5 0.3

- 註：1.上表中之控制風速係指開放全部設置之氣罩時之控制風速。
 2.上表中之控制風速，包圍型者，係指氣罩開口面之最低風速。側邊型、懸吊型、底邊型者係指氣罩吸取有機溶劑蒸氣之範圍內，距離該氣罩最遠距離之作業位置之風速。

b、整體換氣裝置規定之換氣能力

有機溶劑或其混存物之種類	每分鐘換氣量
第一種	每分鐘換氣量(立方公尺／分鐘) = 作業時間內一小時有機溶劑或其混存物之消費量(公克／小時) × 0.2
第二種	每分鐘換氣量(立方公尺／分鐘) = 作業時間內一小時有機溶劑或其混存物之消費量(公克／小時) × 0.03
第三種	每分鐘換氣量(立方公尺／分鐘) = 作業時間內一小時有機溶劑或其混存物之消費量(公克／小時) × 0.008