

## 縱火劑殘跡鑑識

中央警察大學鑑識科學學系教授 張維敦

我國刑法將放火罪或稱縱火罪在公共危險罪章之中，因縱火所造成巨大生命與財產的損失經常難以估計，堪稱是損害社會成本最高的犯罪，而且據估計建築物火災中約有 30% 以上的火災原因涉及人為縱火。文獻上歸納縱火的犯罪動機，包括：(一) 詐領保險金 (insurance fraud)，(二) 尋仇報復 (revenge and prejudice)，(三) 自大、自負、虛榮心等英雄主義症候 (vanity)，(四) 青少年狂飆破壞公物行為 (vandalism)，(五) 湮滅犯罪證據 (crime concealment)，(六) 心理疾病之強迫性行為 (psychological compulsion)，(七) 群眾暴動行為 (mass civil disturbance)，(八) 恐怖主義行為 (terrorism)。縱火者所採用之縱火物包括固態物質如火藥、火柴、蠟燭等，液態物質如汽油、煤油、柴油、酒精等，氣態物質如瓦斯、殺蟲劑等。縱火者常因取得與使用方便，並為確定火勢的強度與延燒速度，而以液態縱火劑為最常見，比例上又以汽油為最多，煤油次之。

縱火容易但火場勘察、調查與鑑識均相當困難，此現象國內外情



形皆然。因為縱火所需器材簡單，一個菸蒂或一根火

柴，加上一罐汽油即可將一座高樓大廈付之一炬，各種物證破壞殆盡。縱火案件之破案率經常不到二成，堪稱所有重大刑案中，最難偵破的刑事案件。縱火案件難以偵辦的原因，在現場勘察方面，首先是由於在火場燃燒之高溫環境下，容易破壞縱火裝置、縱火者指紋及足跡或屍體(常見於殺人焚屍現場)；其次，消防人員利用高壓射水救火，當事人在火災初期為進入火場救人或物品，極易破壞現場縱火殘跡證物，造成起火點偵查不易，縱火劑殘跡難尋；第三，消防人員較不熟悉刑事偵查，刑事警察較不了解消防火災調查工作，常無法有效進行分工合作，也是當前縱火案件難破的主因之一。

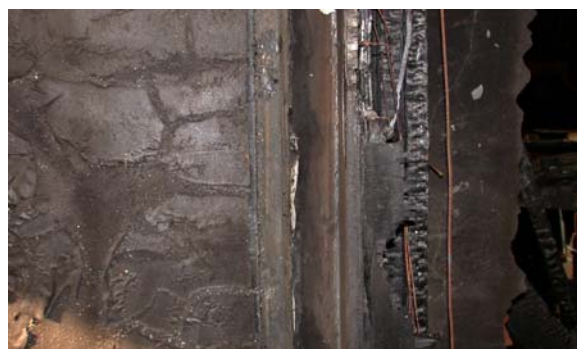
在殘跡鑑識方面，縱火現場中之建築物室內裝璜材料，原亦為石油化學合成的相關產物，燃燒後可生成無數的產物，地毯與塑膠類材料是縱火鑑定最常見的干擾來源，其分解物在高溫中發生連串重組反應，最後形成涵蓋整個縱火劑沸點範圍之干擾物，釀成縱火劑鑑析上的首要難題；其次，液態縱火劑殘跡在火場中因為受熱或燃燒，而造成不同程度的揮發現象，導致其分析圖譜與一般新鮮油品圖譜不完全相同，增加圖譜判讀上的困難。在濃度極低且干擾嚴重的縱火劑殘跡中，欲「萃取」出縱火劑的蹤影，則嚴格考驗檢驗者的分析技術。解決之道是採行適當的前處理濃縮方法，再應用氣相層析質譜法(GC/MS)從複雜圖譜中加以簡化，並萃取出具各類油品特徵性圖譜

作為比對的依據；另一方面亦應建立完整比對資料庫，包括新鮮可燃性液體與其他不同揮發程度的圖譜庫，作為解釋縱火劑圖譜經實際火場燃燒後成份變化的參考。

整個火災原因調查與鑑識之主要步驟，包括縱火現場勘察、火場縱火殘跡之偵檢、縱火殘跡之採樣與保存、液態縱火劑殘跡樣本前處理與實驗室之鑑定分析等。

### 縱火現場之勘察

火災發生初期消防人員在搶救滅火過程中，為搶救受害人員與財物，常必要拆卸破壞門窗，加上消防人員射水，大火本身燒燬等原因使現場遭受嚴重破壞，重要跡證常消失無蹤，導致現場勘察工作極為困難。現



場勘察必須利用一些比較可靠的燃燒痕跡進行分析鑑識，所有關於燃燒痕跡鑑識的基礎必須能解讀火場中各種火災語言(fire language)，如煙燻痕跡 (smoke staining)、木材碳化深度(depth of char)、燃燒最低點(low point of burning)、熱分佈特徵(heat indicators)、混凝土破裂型態(spalling)、金屬與油漆等之變色(discoloration)特徵、玻璃裂痕 (glass fracture) 與縱火相關燃燒型態(burn patterns)等特徵，以進行研判火勢

蔓延的方向。整個勘察順序是先確定起火處所，再研判起火點，最後決定起火原因。

至於起火原因的研判，理論上應自燃燒三要素（可燃物、助燃物、熱）中加以分析，不同的火災因其燃燒條件不同而起火原因可能有異，例如對於裝有可燃性氣體的負壓裝置，當進入空氣就足以發生燃燒或爆炸時，空氣（或氧



氣)即是導致起火的主要原因。此外當部分氧化過程需控制濃度在爆炸下限，而不慎當可燃物增加濃度超過爆炸下限將立即爆炸起火，此情況下可燃物則成為其起火原因。然實務上則大多數研判起火原因多以分析各種熱源為主，明火或熱的本身並不是一種有形實物，它與具體的發熱設備或發火物不同，無法以明火或熱作為起火原因的證據。因此實際上多以提供熱源的物體或其燒痕與殘留物為研判的依據。能夠具體證明提供熱源或燒痕的常見物體有：爐具、燈具、電器、高溫物體，各種火種（如煙蒂、火柴、爆竹殘殼、焊花等），木材中形成的炭化塊、化學危險物品燒剩的包裝品、帶有自然火源（如雷擊）造成痕跡的物體等。現場在起火點附近找到可能發熱的物體，仍不應立即逕行判定為起火原因，必須結合現場其他情況條件，仔細分析此發

熱體在火災前是否發熱或發火，且其發熱的溫度或發火的能量能否造成附近的可燃物著火燃燒，這種熱或火係經過何種途徑而引發燃燒；換言之，必須分析並證明熱源、可燃物與著火燃燒間的聯接關係，才能認定這些發火或發熱物體成為起火原因的證據。理論上常將火災原因（fire cause）分為四大類：（一）自然因素，如雷極；（二）意外因素，非蓄意並可合理解釋之發火原因；（三）無法確定原因，原因不明無法獲致明確鑑識結果；（四）人為縱火、當起火點被判定為縱火之原因時，其他意外或自然因素必需加以排除其可能性。

#### 火場縱火殘跡之偵檢方法

縱火勘察人員在現場應在證明「何處為起火點？」、「如何點火？」、及「起火原因為人為縱火？」等三個偵查方向進行採證，除詢問消防人員有關火流方向的資訊外，需查明最嚴重的燒毀區域及多處起火點特徵，並依



上述現場勘察方法研判起火點；對點火方法的鑑識方面需檢視電線、打火機、火柴、蠟燭等殘跡特徵、縱火劑特殊燃燒型態（burning patterns）及其殘跡；對研判是否為人為縱火部分則需採取建築物被破壞之特徵、縱火劑殘跡、多處起火點特徵等。為偵檢現場是否遺留

液態縱火劑殘跡的蹤影，火場中可利用各項特徵資料或輔助工具，進行偵檢縱火劑可能之殘留位置，俾利迅速準確地加以採樣，以保存珍貴之物證。使用的方法包括（1）物理特徵辨識法（physical indicator examination）、（2）嗅覺分辨法（application of one's sense of smell）、（3）攜帶式氣體偵測法（hydrocarbon gas detection）、（4）警犬之應用（application of arson dog）、（5）攜帶式氣相層析法（portable gas chromatography）、（6）化學染色法（chemical color test）。

#### 縱火殘跡之採樣與保存

一旦選定縱火點區域時，該位置即需進行適當的保護，在未完成筆記、繪圖與攝影等紀錄之前，任何物體均不可移動。此外由於起火點和起火原因的認定，常需反覆勘察始能確定，因此勘察所發現之有關痕跡和物證，經紀錄與採樣後仍應保留其原始位置，並適當保護物證及其周圍環境。所有相關的痕跡和物證，必須釐清其形成過程及證明作用後，才能進行採樣。採證位置及證物編號應詳細記錄於火場平面繪圖內，至少由二人以上共同採取並於會封單上簽名，必要時需經見證人、當事人代表過目後會簽。



現場擬採樣的標的，應以多孔性具吸附能力的檢體為主，如混凝土地板、木質地板、舊布、

室內裝潢或地毯等，採取之材質應包括炭化、位炭化與中間部位，並盡量於三日內完成。現場除採取可疑標的位置檢體外，仍須採取非標的位置而在附近且與標的檢體相同材質之比對檢體。一般易燃性縱火劑多為高揮發性有機物，必須使用適當的容器加以包裝保存，俾供實驗室分析鑑識，如使用不當之容器將導致縱火劑漏失或污染，常用的容器有：聚酯類塑膠袋、耐龍類塑膠袋、乾淨鐵罐、玻璃罐等。

### 液態縱火劑殘跡樣本前處理

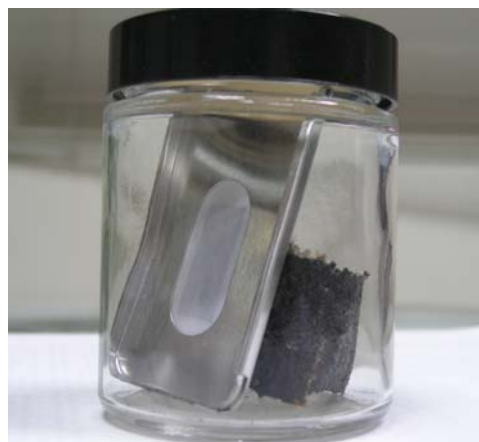
因送交實驗室鑑定的火場證物多為固態檢體，因燃燒與滅火過程



會造成許多含水雜質摻附在證物上，檢體通常必先進行前處理回收步驟，回收物再進行氣相層析法儀器分析。常見幾種縱火劑回收的前處理方式包括：(1) 直接頂空法 (direct headspace)，將容器

加溫至特定溫度後，直接以針筒抽取容器頂空處之氣體，再注入

GC/MS 分析。(2) 蒸汽蒸餾法 (steam distillation)，將火場證物放入蒸餾瓶，並視情況需要加入水、氯仿、酒精進行煮沸，再以冷凝管回收蒸發液體之冷凝液即可。(3) 溶劑萃取法

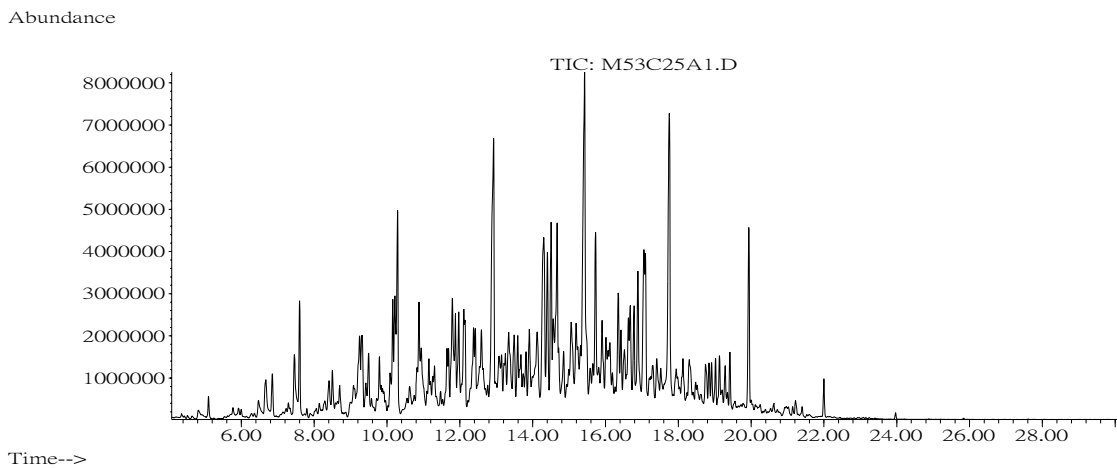
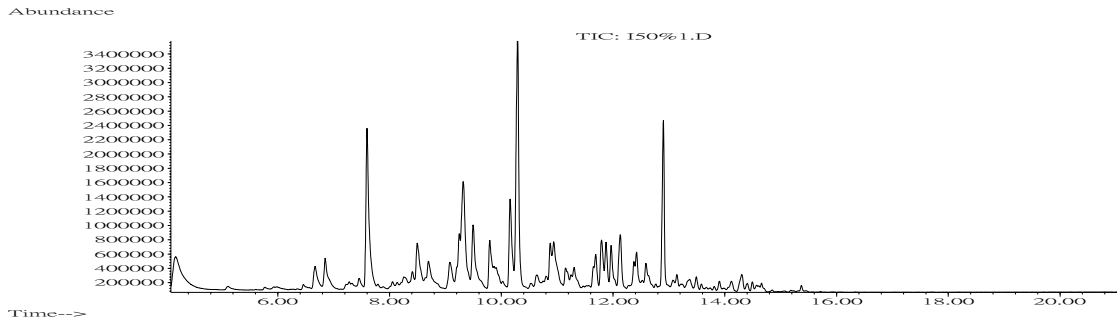


(solvent extraction)，以高純度的正戊烷、正己烷、丙酮、二硫化碳或四氯化碳萃取可疑檢體，再將萃取液蒸發濃縮以供分析之用。(4) 靜態頂空吸附法 (passive headspace)，利用活性碳或其他吸附片 (條) 置入容器頂空處進行吸附處理，一般將證物容器加熱適當溫度，吸附後以溶劑脫附溶離。(5) 動態頂空吸附法 (dynamic headspace)，將證物罐與氣體驅動裝置相連接，加熱證物罐後，再將氣體引入罐中，使罐內氣體被引導通過活性碳或其他吸附劑進行吸附。吸附後以溶劑溶離或以加熱脫附。(6) 超臨界點流體萃取法 (supercritical fluid extraction)，將樣品放置入萃取槽中，利用調整壓力與溫度方式使氣體成為超臨界流體狀態進行萃取，自萃取槽流出後流體氣化而萃取物溶於溶劑中。(7) 固相微萃取法 (solid-phase microextraction; SPME)，以固態的多孔性材質與氣體中的分析物進行分配，分配平衡後分析物即被吸附在固定相材質中，可依所需吸附物質選定不同之固定相纖維材質。固定相纖維平時縮於注射針內，萃取時只須將注射針刺入密封的火場證物容器中，再將固定相纖維伸出，待其與分析物達到分配平衡為止。最後將固定相纖維縮入針頭中，抽出後可直接將注射針注入氣相層析儀注入口，伸出固定相纖維加熱熱脫附進入 GC/MS 分析。

GC/MS 應用在液態縱火劑的鑑析方法



可供縱火的易燃性液體種類繁多，但大多數的成份來源都是由石油分餾過程中所產生。因此沸點範圍涵蓋甚為寬廣，將成份相似產品



進行歸類將有助於縱火劑分析鑑定流程的簡化，且易於辨識其商品名稱。縱火劑殘跡鑑識不只是分析層析圖中的化合物為何，並須自殘留的化合物組合內容中研判其油品名稱。為使易燃性液體能有效地分析與整理，美國材料與試驗協會（The American Society for Testing and Materials；簡稱 ASTM）依成分的滯留時間與直鏈正烷類（Alkane）碳數的分布範圍比對，建立易燃性液體油品的分類標準與鑑識程序。

關於液態縱火劑的鑑識，目前主要以 GC/MS 方法分析為主，在比對分析上干擾問題素來是縱火劑殘跡鑑定最主要的難題，最常用於解

決干擾問題的方法，可分為二大類。第一類為萃取離子層析圖比對法 (extracted ion profile, EIP)，火場檢體經前處理後，注入 GC/MS 進行分離與偵測，在全掃描模式下(full scan mode)獲取總離子層析圖 (total ion chromatogram; TIC) 資料，以及每一波峰之質譜，之後再根據各類縱火劑成份中之特徵離子碎片質量 (ion fragment mass)，通常較具代表性化合物及其主要特徵離子如下，Alkane (m/z 43, 57, 71, 85)，Cycloalkane 與 Alkene (m/z 55, 69)，n-Alkylcyclohexane (m/z 82, 83)，Alkylbenzenes (m/z 91, 92, 105, 106, 119, 120)，Aromatic-Indanes (m/z 117, 118, 131, 132)，Alkyl-naphthalenes (m/z 128, 142, 156, 170)，Alkylstyrenes (m/z 104, 117, 118, 132, 146)，Alkylbiphenyls/acenaphthenes (m/z 154, 168, 182, 196)，Terpenes (m/z 93, 136)，Ketones (m/z 43, 58)，Alcohols (m/z 31, 45)。依據各碎片質量在 TIC 中所佔波峰位置之標定與重建，可形成 EIP 圖，因而僅將含有該碎片質量之波峰標出，其餘可不必出現，EIP 已相當程度地簡化 TIC 之圖譜，如此依特徵碎片質量，重複自 TIC 中重建出一系列之特徵性 EIP 圖，所獲致之 EIP 圖譜再與標準檔案中之各類 EIP 圖譜進行比對分析。第二類為標的化合物層析圖比對法 (target compound chromatogram; TCC)，此方法利用縱火劑中之部份特徵性成份定為標的化合物，標定化合物為特徵性油品鑑識的基準，是在主

成分與次要成分中，選擇沸點較高不易於火場中揮發，且排除與火場中裂解物相互干擾之成分，每一支波峰的確認方法是比對標準物與分析物的滯留時間、質譜的基峰(base ion)與次基峰(secondary base ion)及其比值等參數，依標的化合物相互間之波峰面積比，建立低、中、高沸點範圍參考物之 TCC 圖資料庫，作為與可疑火場樣品之 TCC 比對之依據。理想的鑑識流程是以所得 TIC 圖及各波峰之質譜圖為基礎，再從不同揮發度資料庫中利用特徵性 EIP 圖譜與(或)利用 TCC 圖之比對確認。