

出國報告（出國類別：開會）

## 赴美國參加國際縱火調查協會年會

服務機關：內政部消防署

姓名職稱：技正 呂文村

派赴國家：美國

出國期間：107年5月19日至107年5月27日

報告日期：107年8月9日



## 摘 要

國際縱火調查協會(International Association of Arson Investigators, IAAI)於 107 年 5 月 20 日至 107 年 5 月 25 日假美國德克薩斯州弗里斯科市大使飯店會議中心舉行 2018 年年度大會及研討會，本次年會及研討會計有美國、加拿大、英國、法國、澳洲、紐西蘭、馬來西亞及臺灣等國將近 500 位專業人員出席與會，並邀請火災調查相關領域學者專家發表各項創新技術、新知、規範、研究及案例探討，為當今全世界最大的火災調查盛會。本次研討會共分為 A、B、C、D 等 4 個會場辦理，其中 C 會場有 12 小時由 IAAI 及縱火防制保險委員會(Insurance committee for Arson Control, ICAC)合辦的火險理賠及調查訓練課程，另有 8 小時以荒野火災調查為主題的研討訓練。D 會場則有 32 小時的火災調查基礎訓練課程，經考試通過後可取得 IAAI 火災調查員的認證。而 A 會場及 B 會場則有各項火災調查相關主題的發表。今年研討會主講人均為火災調查領域學有專精、經驗豐富的專家學者，包括柯克火災調查(Kirk's Fire Investigation)作者國際知名火災調查專家 John DeHaan 博士；火災行為原理(Principles of Fire Behavior)作者 James Quintiere 博士；火災和爆炸鑑定專家 Andrew Armstrong 博士等講座，研討內容精彩豐富。

本署由火災調查組技正呂文村代表出席本次年會及參加年會舉辦為期 1 週之研討會課程，藉以參與國際活動，接觸世界各地火災調查專家進行經驗交流，並與國際組織會員充分互動，除汲取最新火災調查鑑定技術與專業知識外，更能深入了解各國火災調查相關制度與經驗，以作為我國精進火災調查工作之借鏡及參考。

## 目次

壹、目的.....	3
貳、過程.....	4
參、心得.....	11
肆、建議事項.....	29

## 壹、目的

國際縱火調查協會(International Association of Arson Investigators, IAAI)在 1949 年成立於肯塔基州路易斯維爾市(Louisville Kentucky)，為非營利性的民間組織，其有超過 9000 名會員遍佈全世界各國，為目前全世界最大之火災調查專業組織及領導者。該協會宗旨乃致力於火災調查相關人員專業技能之提升，透過研討會、教育培訓、資格認證、出版刊物等方式，不斷提供及精進火災調查相關資源，以推動全球的消防安全和預防工作為使命，達到保障民眾生命財產安全的目標。尤其故意行為的縱火犯罪案件，往往造成巨大的損失及傷亡，嚴重威脅民眾生命財產安全，故有效防制縱火乃該協會另一主要宗旨。因此，該協會每年均會針對縱火相關議題進行專題演講，藉以提升各國縱火案件之調查能力。就我國而言，近 3 年(104-106 年)發生縱火案件共計 869 件，更造成 69 人死亡，財物損失超過 1 億元，期透過本次國際性研討會，增進技術及經驗交流，做為我國訂定「縱火防制策略」及「消防機關執行防制縱火作業要點」等相關策進作為之參考，以達到防範縱火案件發生之目的。

國際縱火調查協會 (IAAI) 每年召集全球會員舉辦會員大會及選舉下屆之主席、副主席及委員代表，並辦理為期 1 週的研討會，本署每年亦派員參與盛會，希望藉由參與年會之機會，除學習當今世界最新的火災調查知識及技術外，更可與世界各國頂尖的火災調查專家進行經驗交流，吸收最新的火災調查制度與研究成果等資訊，做為我國火災調查技術提升及制度改善之參考，以期我國火災調查技術能與國際接軌，同時達到促進國民外交之目的。

## 貳、過程

國際縱火調查協會 (IAAI) 2018 年年會及研討會於 107 年 5 月 20 日至 107 年 5 月 25 日假美國德克薩斯州弗里斯科市大使飯店會議中心舉行，並於 107 年 5 月 20 日開始受理參加人員之報到手續，計有世界各國將近 500 位專業人員出席與會，會議期間進行年會開幕典禮、新任主席選舉及研討會等，並於 107 年 5 月 25 日圓滿閉幕。

本署出席人員呂文村於 107 年 5 月 19 日由桃園國際機場搭機出發經美國加州洛杉磯市轉機前往會議地點，並於當地時間 107 年 5 月 19 日下午 3 時 20 分抵達德克薩斯州達拉斯國際機場，隨即搭乘計程車前往弗里斯科市 (Frisco) 之住宿旅館辦理入住事宜。5 月 20 日即前往 IAAI 年會會場 (大使飯店會議中心) 辦理報到手續，領取會議資料及識別證等，同時拜訪國際縱火調查協會人員，並與其他與會人員寒暄及交流。接著參加 5 月 21 日至 5 月 25 日包括年會開幕典禮、會員大會及研討會等，5 月 25 日會議結束後由達拉斯國際機場搭機經轉機返回桃園國際機場，並於 5 月 27 日上午 5 時 30 分抵達。

本次年會於 5 月 21 日上午 8 時舉行年會開幕典禮 (如圖 1、圖 2)，首先由現任主席 Scott Bennett 先生致歡迎詞，隨後主席一一介紹與會貴賓，並由與會貴賓作簡短致詞，接下來講臺螢幕出現過去 1 年因公殉職或已故重要會員之生平介紹，以悼念緬懷他們對火災調查工作的特殊貢獻。開幕典禮於上午 9 時 15 分結束，研討會隨即於上午 9 時 30 分正式開始，首先登場的研討會專題採用互動式小組討論方式，探討起火原因研判 4 個重要觀點，包括證人筆錄、火災模式、電弧分析及火災動力學，由主持人 David Bridges 及小組成員 Vyto Babrauskas、James Quintiere、Mark Svare、Greg Gorbett 共同回應與會人員針對上述 4 個觀點之相關問題並進行討論。接下來研討會共分為 A、B、C、D 等 4 個會場辦理，其中 C 會場有 12 小時的火險理賠及調查訓練課程，另有 8 小時以荒野火災調查為主題的研討訓練；D 會場則有 32 小時的火災調查基礎訓練課程；而 A 會場及 B 會場則有各項火災調查相關主題的發表 (如圖 3)，包括「明日的火災調查-智能家居、電動汽車和網路世界」、

「記錄火災現場-了解專業攝影相機的使用」、「火災調查人員的技術、工具和技巧」、「瓦斯爆炸和行為」、「閃燃的介紹」、「火災調查人員需要了解的化學知識」、「揮發物在火場殘跡證物中究竟意味著什麼」及「臺灣八仙樂園暴燃案例研究」等，值得一提的是本次研討會主辦單位首次邀請本署火災調查組葉金梅科長特別發表臺灣在八仙樂園暴燃案例中寶貴的調查經驗及研究成果，並回答與會人員相關問題，以防止各國有類似事件再度發生，除了充分展現我國火災調查的堅強實力與精神外，更成功作了一次完美的國民外交。

5月22日下午在B會場則有IAAI年度會員大會，並由會員投票選舉下屆之主席、副主席及委員代表，選舉結果2018年IAAI主席由美國佛羅里達州的Bumper Moylan先生當選，第一副主席由美國紐澤西州的Barry M. Grimm先生當選，第二副主席則由美國路易斯安那州的Rick Jones先生當選(如圖4)。研討會期間於會場展覽區另有安排火災調查相關器材之展示，提供與會人員參觀詢問(如圖5)。由於每日同一時段議程有安排不同主題之研討，故同一時段僅能選擇其一有興趣的主題參加研討，惟有部分主題會重複在不同日發表，讓未能出席該項主題研討的人員有機會參加，全場研討會議程內容綜整如表1：

表1. 國際縱火調查協會2018年研討會議程

日期	時段	組別	主題名稱
5月21日	08:00~09:15		開幕典禮
	09:30~12:00		起火原因研判 4 個重要觀點-證人筆錄、火災模式、電弧分析及火災動力學
	13:00~17:00	A	明日的火災調查-智能家居、電動汽車和網路世界
		B	波紋不銹鋼管(CSST)瓦斯洩漏火災事件-這10年我們學到了什麼
		C	重大損失火災現場之逐步調查程序(火險理賠及調查訓練)
D		火災調查基礎訓練	

5月22日	08:00~12:00	A	波紋不銹鋼管(CSST)瓦斯洩漏火災事件-這10年我們學到了什麼
		B	明日的火災調查-智能家居、電動汽車和網路世界
		C	起火原因之外針對保險欺詐之火災調查(火險理賠及調查訓練)
	13:00~15:00	A	記錄火災現場-了解專業攝影相機的使用
		C	監視技術法規及其對火災損失的影響(火險理賠及調查訓練)
	15:15~17:00	A	瓦斯爆炸和行為
		C	火災調查的合作關鍵(火險理賠及調查訓練)
13:00~17:00	B	IAAI 年度會員大會	
08:00~17:00	D	火災調查基礎訓練	
5月23日	09:00~11:00	A	火災調查人員的技術、工具和技巧
		B	智能儀表無線射頻導致電氣配線火災的發現
5月23日	13:00~15:00	A	火災調查人員需要了解的化學知識
		B	從火災損壞的電子設備中恢復數據資料
		C	記錄火災現場-了解專業攝影相機的使用
	15:15~17:00	A	閃燃的介紹
		B	揮發物在火場殘跡證物中究竟意味著什麼
		C	瓦斯爆炸和行為
	08:00~17:00	D	火災調查基礎訓練
5月24日	08:00~12:00	A	商業廚房火災的調查-系統設計、評估和文件



		B	應用 NFPA921 提供符合 NFPA1033 的專業資格標準
	08:00~10:00	C	荒野火災調查的工程工具-電力線路起火和安全的火災模式指標 (荒野火災調查研討)
	10:00~12:00	C	荒野火災現場發火源及起火原因的調查方法 (荒野火災調查研討)
	13:00~15:00	A	火災調查人員在縱火和火災警報系統的科學訓練
		C	荒野火災現場起火因素和來源 (荒野火災調查研討)
	15:15~17:00	A	掐緊繩索和過度驅動釘子對電纜故障的分析
		C	電力線路與荒野火災因果關係的調查分析 (荒野火災調查研討)
	13:00~17:00	B	案例研究: Carolina Beach 縱火兇殺案-好、壞、醜陋的情況
	08:00~17:00	D	火災調查基礎訓練
5月25日	08:00~10:00	A	兩種縮小尺寸模擬燃燒在火災調查和假設試驗中的應用
		B	臺灣八仙樂園暴燃案例研究
	10:15~12:00	A	縱火案件中的憲法挑戰-第 4、5、6 條修正案對於火災調查的影響
		B	天然氣洩漏在土壤中遷移引起火災和爆炸之研究
08:00~12:00	D	火災調查基礎訓練	



圖 1. 國際縱火調查協會 (IAAI) 2018 年年會開幕典禮



圖 2. 國際縱火調查協會 (IAAI) 2018 年年會開幕典禮



圖 3. 研討會上課情形



圖 4. 國際縱火調查協會 (IAAI) 年度會員大會



圖 5. 火災調查相關器材之展示

## 參、心得

火災調查是一門必須融合各種相關專業知識與實務經驗的特殊技術，才能從燃燒後倒塌、焦黑、熔化、燒失、碳化、雜亂的火災現場，抽絲剝繭找出起火原因，且攸關民眾權益甚巨，故本署每年派員參加國際縱火調查協會(IAAI)年會及研討會，藉以擴展視野及學習新知，尤其主講者皆為火災調查相關領域知名的學者專家，包括柯克火災調查(Kirk's Fire Investigation)作者國際知名火災調查專家 John DeHaan 博士；火災行為原理(Principles of Fire Behavior)作者 James Quintiere 博士；火災和爆炸鑑定專家 Andrew Armstrong 博士等講座，講授內容精彩豐富，除可蒐集了解國外各種火災案例及研究成果外，更可汲取到最新的火災調查鑑定技術與專業知識，以精進我國火災調查鑑定水準，建立火災原因調查公信力，給民眾一個「專業、公正、客觀」的火災調查結果。以下就參加本次年會及研討會之心得分述如下：

### 一、揮發物在火場殘跡證物中究竟意味著什麼

國際知名火災調查專家 John DeHaan 博士在火災和爆炸相關領域擁有超過 45 年的經驗，並且一直致力於改善火災調查鑑定技術，發表了許多火災調查鑑定相關論文。他自 1982 年以來已創作出版了七期柯克火災調查(Kirk's Fire Investigation)，並於 2004 年與 David Icove 博士共同撰寫了火場重建相關書籍，是一位同時兼具火災現場調查及實驗室鑑定技術的專家。John DeHaan 博士講述氣相層析質譜儀應(GC/MS)用於火場殘跡證物中揮發物之鑑析，並介紹可燃性液體的分類。

目前針對揮發性有機化合物之鑑析，以氣相層析質譜儀為最佳的鑑定儀器，故採用美國材料試驗協會(American Society for Testing and Materials, ASTM)之 ASTM E1618(氣相層析質譜法)乃最普遍使用之鑑析方法。氣相層析質譜儀係由兩部功能不同的儀器組成，其一為氣相層析儀(Gas Chromatography, GC)，是將混合物分離為純物質的設備，混合物待測樣品經加熱揮發後進入層

析管柱，由移動相(He 氣)攜帶通過管柱固定相後，利用各成份間因極性或沸點之不同，產生不同之滯留時間，而達到分離的效果。另一連結 GC 的儀器為質譜儀(Mass Spectrometer, MS)，經 GC 分離的待測物進入質譜儀後，在游離室內受離子源(Ion source)以高能量之電子束撞擊氣化之分子蒸氣，而形成帶正電荷的離子碎片，經過四極柱質量分析器(quadrupole mass analyzer)，依其不同之質量/電荷比(m/z)而被分離，最後到達偵測器(detector)被測得，紀錄一化合物在不同 m/z 之離子強度，即為該化合物之質譜圖(mass spectrum)，質譜圖為一化合物之特性，透過儀器圖譜庫搜尋比對，即可進一步分析各分離化合物之成分及結構。

另外針對火場殘跡之前處理方法，目前最常採用的前處理方法是靜態式頂空濃縮法(passive headspace concentration analysis, ASTM E1412)及固相微萃取法(solid Phase microextraction, SPME, ASTM E2154)，分述如下：

(一)靜態式頂空濃縮法(ASTM E1412)：

靜態式頂空濃縮法是以活性碳片將殘留於火場殘跡中之促燃劑吸附，再以溶劑(CS<sub>2</sub>)脫附後，注入氣相層析質譜儀進行分析。其優點為快速便利、操作簡單、節省人力、靈敏度高，可有效濃縮殘跡中之促燃劑成分，而其缺點則為對於高沸點之促燃劑成分吸附能力較差，且將現場裂解物同時吸附，易產生干擾。

(二)固相微萃取法(SPME, ASTM E2154)：

固相微萃取法是一種集採樣、萃取、濃縮及進樣於一體的無溶劑微萃取新技術，不但大幅縮短萃取濃縮所需之時間，也可以避免多步驟萃取導致分析物損失的可能，固相微萃取裝置類似針筒，其構造非常小巧，由手柄(Holder)和纖維頭(Fiber)兩部分組成(如圖 6)，纖維頭是以一根矽纖維塗上固相微萃取塗層，外套用細不銹鋼針以保護矽纖維不被折斷，纖維頭可在鋼針內伸縮，將纖維頭頂空萃取或直接插入火場殘跡一段時間，再利用氣相層析質譜儀進樣口之高溫熱脫附，將揮發性分析物導入層析管中進

行分離。其優點為攜帶方便、操作簡單、取樣時間短、靈敏度高、費用低廉、無溶劑污染，而其缺點則為吸附纖維若未沖提完全，易受污染。John DeHaan 博士同時介紹可攜式氣相層析質譜儀的實用性，乃利用固相微萃取(SPME)技術，輕巧簡單且價格便宜，可在現場採樣並精確快速的完成分析(如圖 7)。

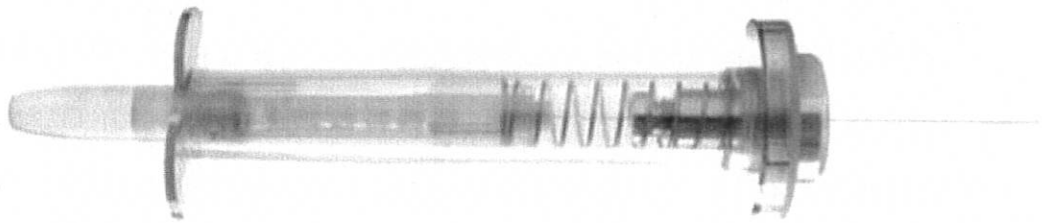
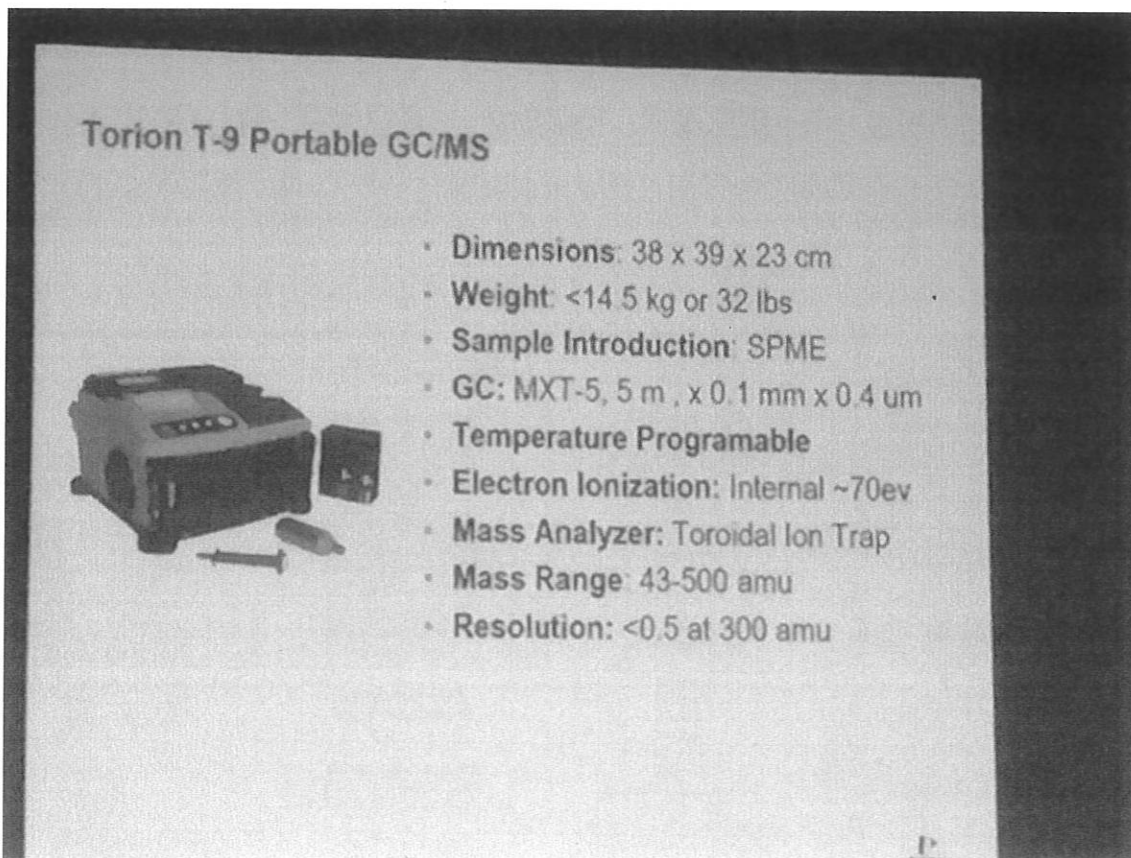


圖 6. 固相微萃取(SPME)裝置



**Torion T-9 Portable GC/MS**

- Dimensions: 38 x 39 x 23 cm
- Weight: <14.5 kg or 32 lbs
- Sample Introduction: SPME
- GC: MXT-5, 5 m, x 0.1 mm x 0.4  $\mu$ m
- Temperature Programmable
- Electron Ionization: Internal ~70eV
- Mass Analyzer: Toroidal Ion Trap
- Mass Range: 43-500 amu
- Resolution: <0.5 at 300 amu

圖 7. 可攜式氣相層析質譜儀

促燃劑(Accelerants)顧名思義是用於火災現場可引起快速燃燒之物質，在縱火殘跡中最常見的化學證物即是促燃劑，促燃劑種類繁多，惟大致上可分為 3 類：第 1 類為氣態促燃劑，如天然氣、丙烷、丁烷等；第 2 類為液態促燃劑，如汽油、煤油、溶劑等；第 3 類為固態促燃劑，如火藥、炸藥、過氧化物等。但依其便利性及普遍性，大多數的縱火案件所使用的都是液態促燃劑，且大部分都是屬於石油系促燃劑的可燃性液體，而其中又以汽油之比例最高。由於縱火案件常造成嚴重的傷亡與財產損失，是威脅社會的一顆不定時炸彈，因此火調人員對於各類促燃劑的性質需有相當的了解，據以找出可疑的跡證，並做出正確的研判，尤其鑑定人員更需清楚了解各類促燃劑的特徵，方能迅速、準確、客觀及公正的鑑析促燃劑。因此 John DeHaan 博士為使與會人員了解火場殘跡中常見的揮發物種類及成分，特介紹可燃性液體的分類，乃依據美國材料試驗協會 ASTM E1618 技術標準之分類，包括汽油、石油分餾液、異烷烴、芳香烴、環烷烴、正烷烴、含氧溶劑及其他等。除汽油及含氧溶劑外，其他各主類別均再區分為 3 個次類別，即輕質類、中質類及重質類，輕質類主要成分之碳數在 C<sub>4</sub> 至 C<sub>9</sub> 間；中質類主要成分之碳數在 C<sub>8</sub> 至 C<sub>13</sub> 間；重質類主要成分之碳數則在 C<sub>9</sub> 至 C<sub>20+</sub> (如圖 8 至圖 11)：

Class	Light (C <sub>4</sub> -C <sub>9</sub> )	Medium (C <sub>8</sub> -C <sub>14</sub> ) Fresh gasoline is typically in the range C <sub>4</sub> -C <sub>12</sub>	Heavy (C <sub>9</sub> -C <sub>20+</sub> )
Gasoline-all brands, including gasohol and E85			
Petroleum Distillates (including De-Aromatized)	Petroleum Ether Some Cigarette Lighter Fluids Some Camping Fuels	Some Charcoal Starters <sup>B</sup> Some Paint Thinners Some Dry Cleaning Solvents	Kerosene Diesel Fuel Some Jet Fuels Some Charcoal Starters
Isoparaffinic Products	Aviation Gas Some Specialty Solvents	Some Charcoal Starters Some Paint Thinners Some Copier Toners	Some Commercial Specialty Solvents
Aromatic Products	Some Paint and Varnish Removers Some Automotive Parts Cleaners Xylenes, Toluene-based products.	Some Automotive Parts Cleaners Specialty Cleaning Solvents Some Insecticide Vehicles Fuel Additives	Some Insecticide Vehicles Industrial Cleaning Solvents
Naphthenic-Paraffinic Products	Cyclohexane based solvents/products	Some Charcoal Starters Some Insecticide Vehicles Some Lamp Oils	Some Insecticide Vehicles Some Lamp Oils Industrial Solvents
Normal-Alkanes Products	Solvents Pentane Hexane Heptane	Some Candle Oils Some Copier Toners	Some Candle Oils Carbonless Forms Some Copier Toners
Oxygenated Solvents	Alcohols Ketones Some Lacquer Thinners Fuel Additives	Some Lacquer Thinners Some Industrial Solvents Metal Cleaners/Gloss Removers	
Others-Miscellaneous	Surface Preparation Solvents Single Component Products Some Blended Products Some Enamel Reducers	Turpentine Products Some Blended Products Some Specialty Products	Some Blended Products Some Specialty Products

圖 8. ASTM E1618 可燃性液體的分類



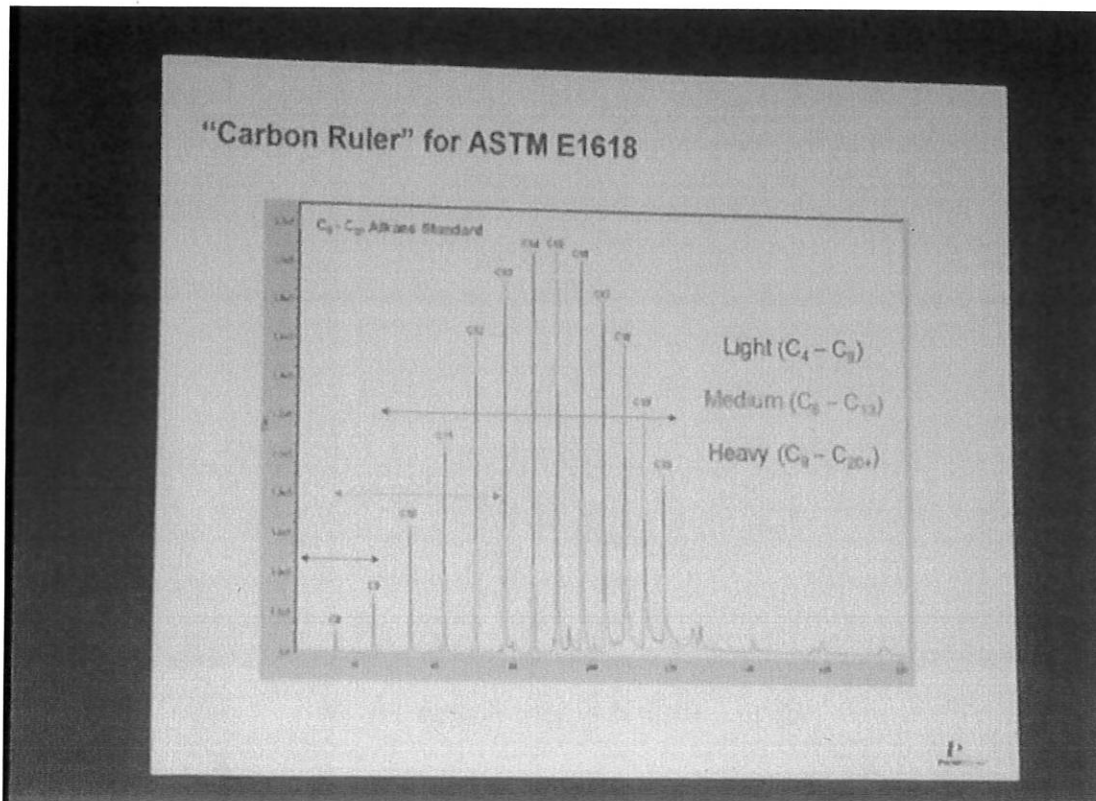


圖 9. ASTM E1618 可燃性液體輕質類、中質類及重質類之碳數分佈

- ### Laboratory Analysis of Fire Debris Outlined by ASTM E1618
- Samples are collected and analyzed by GC/MS
  - Post-run data analysis identifies chemical compounds found.
  - The carbon number range determined by alkane test mixture
    - Low: C<sub>4</sub> to C<sub>9</sub>
    - Medium: C<sub>9</sub> to C<sub>13</sub>
    - High: C<sub>9</sub> to C<sub>20+</sub>
  - Total Ion Chromatogram (TIC) for major functional groups are evaluated against known reference ignitable liquids.
    - Alkanes, branched alkanes, cycloalkanes, aromatics, polynuclear aromatics and oxygenates

圖 10. ASTM E1618 火場殘跡之分析

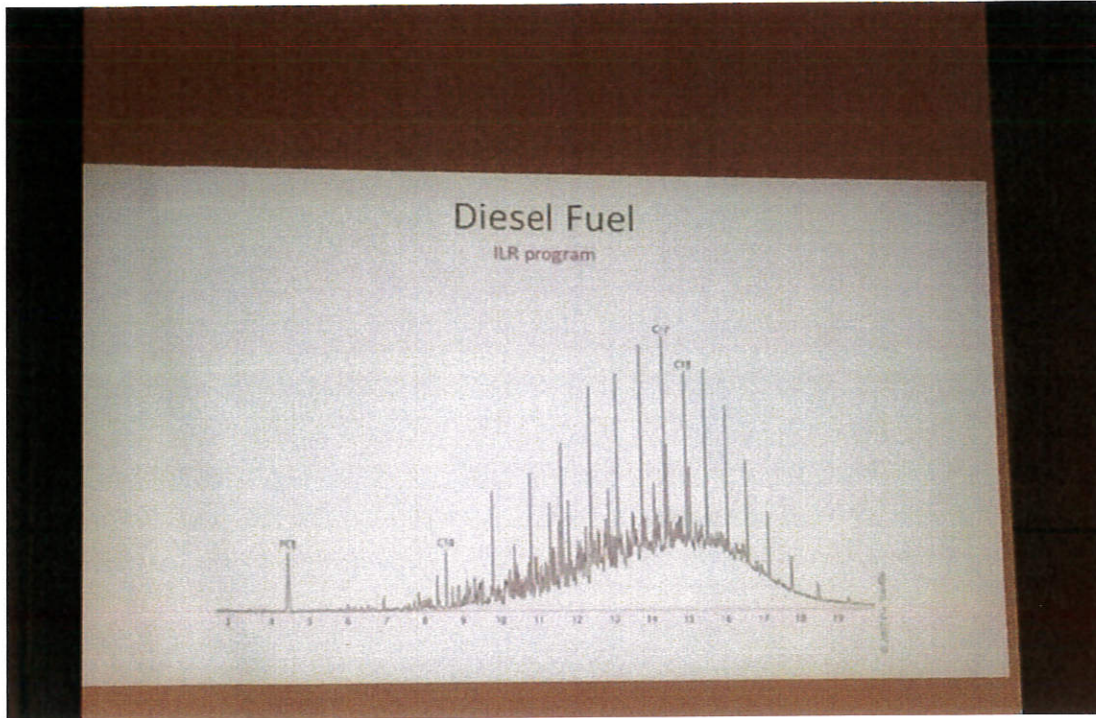


圖 11. 柴油氣相層析質譜儀 TIC 圖

由於高分子聚合物材料應用於建築、裝潢、傢俱、電器、塗料及日常用品等種類繁多不勝枚舉，隨處可見高分子聚合物製品，若發生火災，這些高分子產品受到火災現場高溫熱裂解及不完全燃燒後，易生成各種成分相當複雜的衍生物，這些衍生物往往與促燃劑組成成分相同或滯留時間重疊，而造成促燃劑圖譜鑑析上之干擾與影響，增加判定上之困難，甚至產生誤判之情形(如圖 12)。所以在促燃劑鑑析上必需針對這些衍生物的背景干擾，進行更深入之瞭解與探討，才能正確有效的分析，建立更專業、更具公信力的鑑定技術。

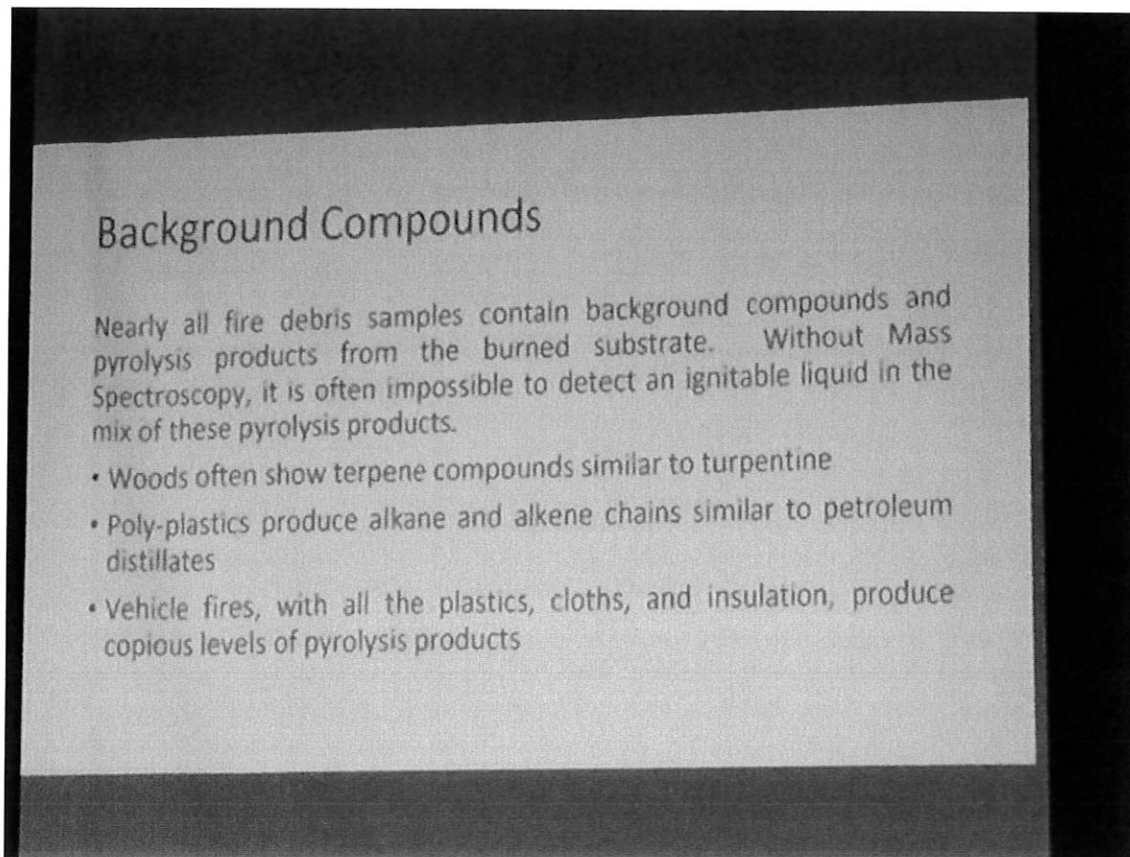


圖 12. 火場殘跡鑑析之背景干擾

## 二、火災調查人員需要了解的化學知識

火災和爆炸鑑定專家 Andrew Armstrong 博士是 ASTM 科學委員會的委員，經常受邀在許多涉嫌縱火犯罪案件中擔任專家證人，其致力於製定可燃性液體的實驗室鑑定、證據處理、報告準備及其他技術領域的要求。Andrew Armstrong 博士主要講述燃燒的定義、悶燒的定義及自然發火等。

### (一) 燃燒的定義：

依據 NFPA921 定義：一種化學反應以快速的氧化過程產生不同強度的光和熱(如圖 13)。鋁的燃燒是鋁失去電子的快速氧化反應，並可產生大量的熱和亮光，鋁常用於爆竹煙火中的金屬燃料，因放熱量大可增加火藥爆速與燃燒溫度(如圖 14)。

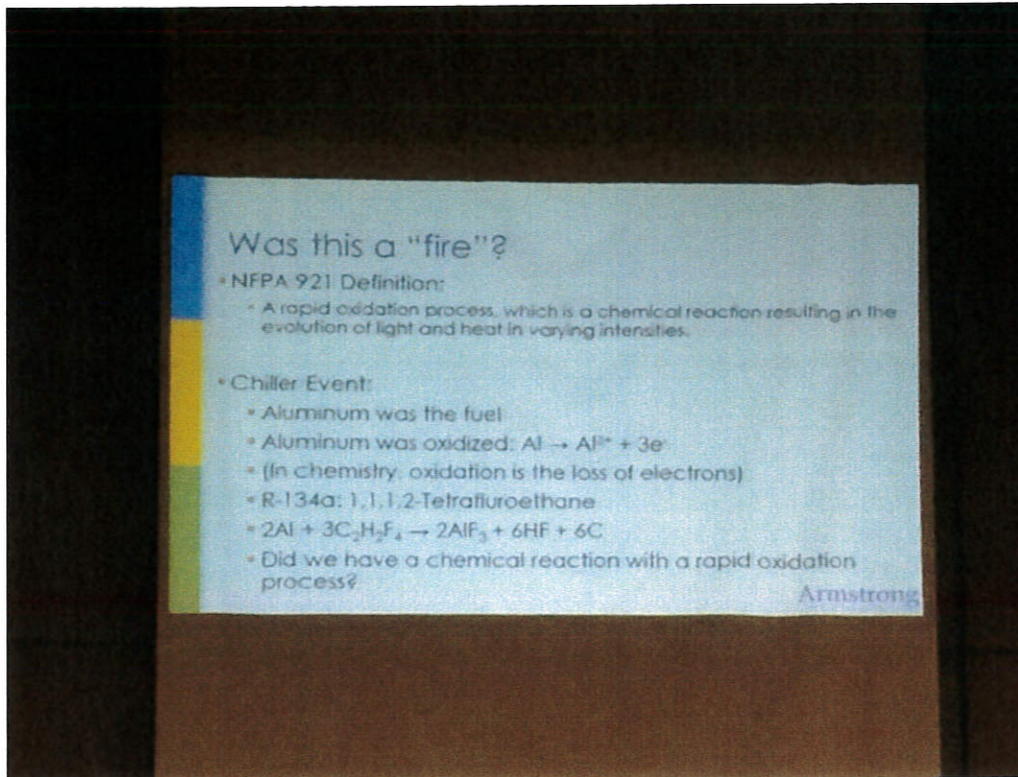


圖 13. NFPA921 燃燒的定義

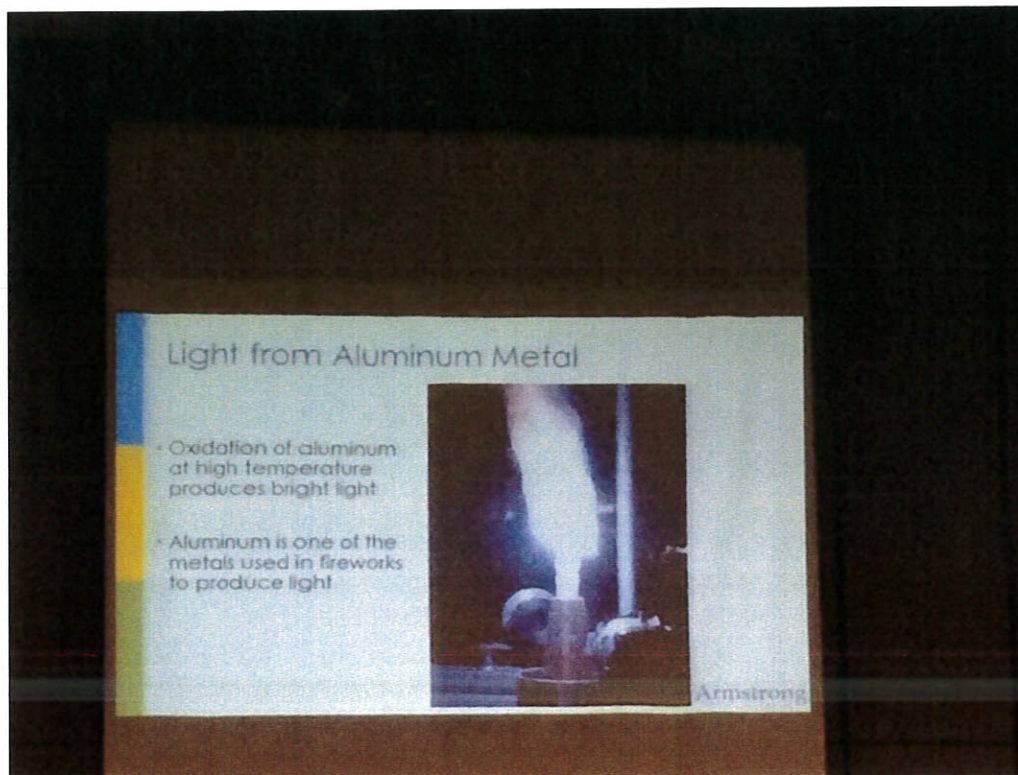


圖 14. 鋁的燃燒

## (二)悶燒的定義：

依據 NFPA921 定義：沒有火焰的燃燒，通常具有白熱光和煙(如圖 15)。單位質量悶燒過程比有焰燃燒會產生更多的有毒化合物，而熱裂解乃是物質受熱分解或裂解成更簡單分子化合物的過程(如圖 16)，抽菸即是悶燒常見的形式(如圖 17)。香菸外圍溫度約 100~300°C，內部中心溫度更高約 775~900°C(如圖 18)，以香菸為點火源有一些因素要考量，包括燃燒極限、溫度及淬火距離等(如圖 19)，根據實驗以點燃香菸接觸汽油無法點燃。吸菸人士若隨意丟棄菸蒂於所經過地方，倘丟棄處所恰有儲放雜草、紙類或木屑等，或於家中不經意棄置於垃圾桶、沙發或床墊上等，若香菸未完全熄滅，且菸頭在有利環境下經長時間之醞釀蓄熱，極易因悶燒現象進而起火燃燒，這是香菸引燃火災最常見之情形。

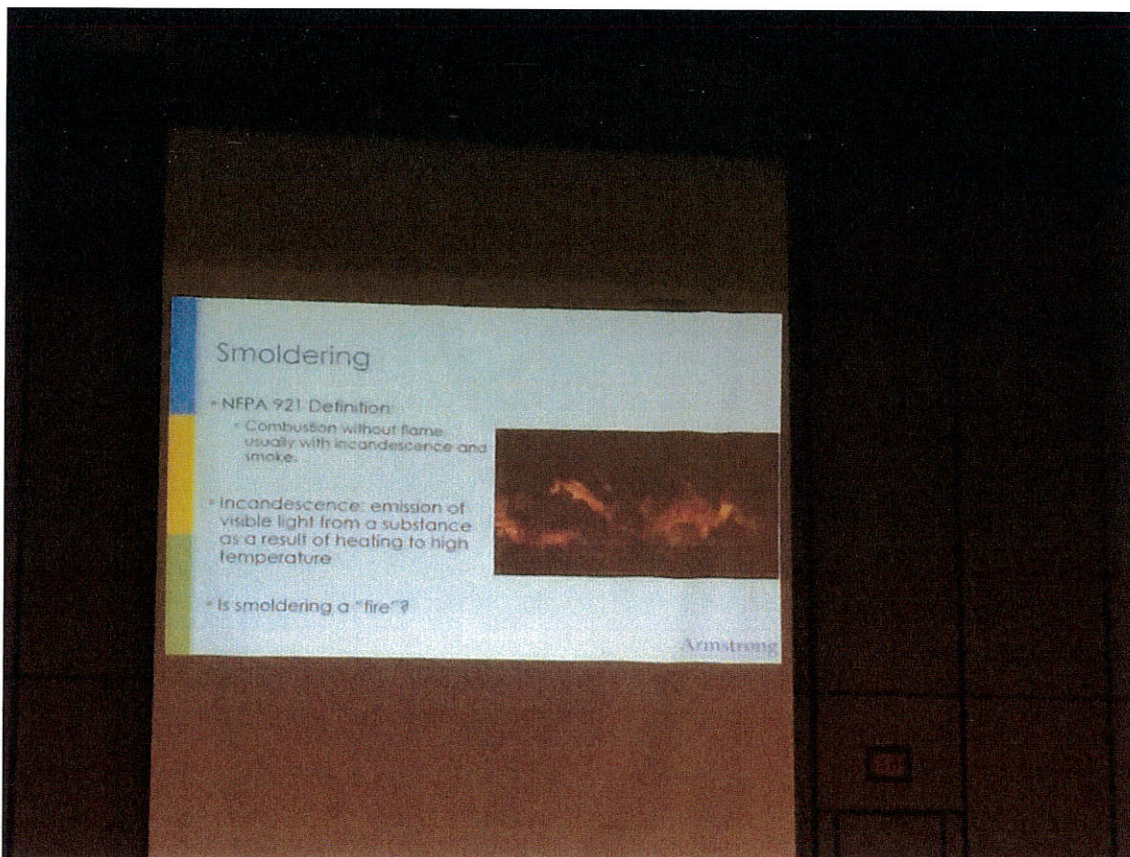


圖 15. NFPA921 悶燒的定義

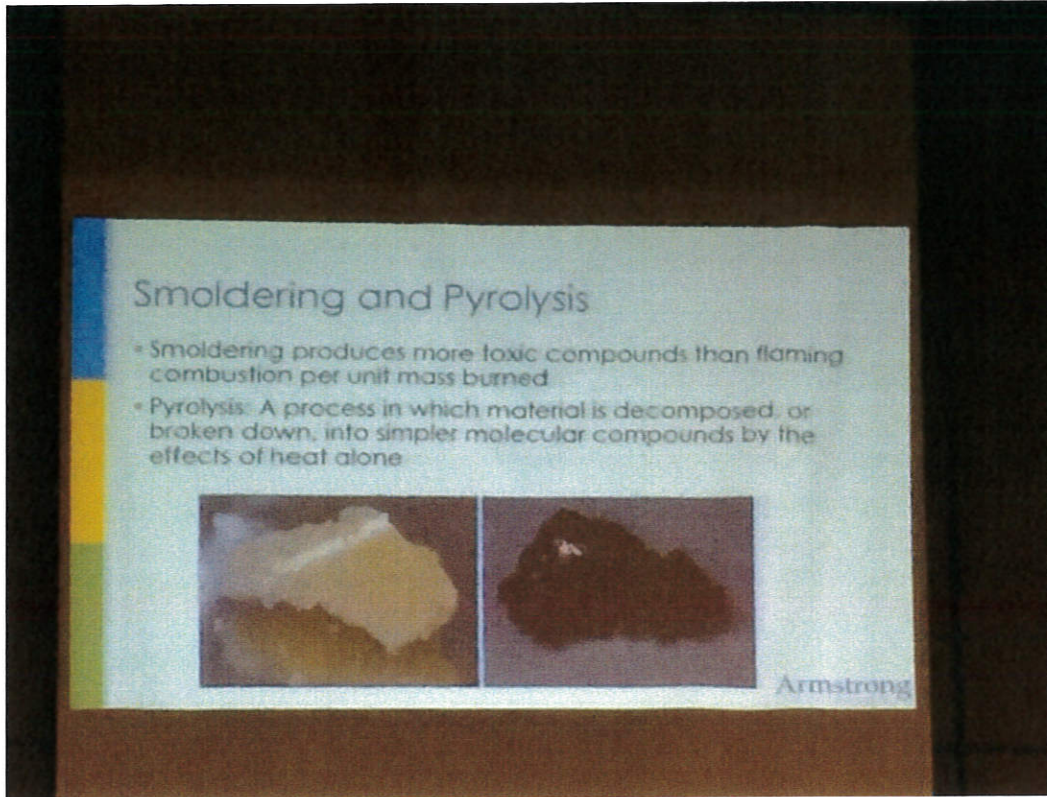


圖 16. 悶燒和熱裂解

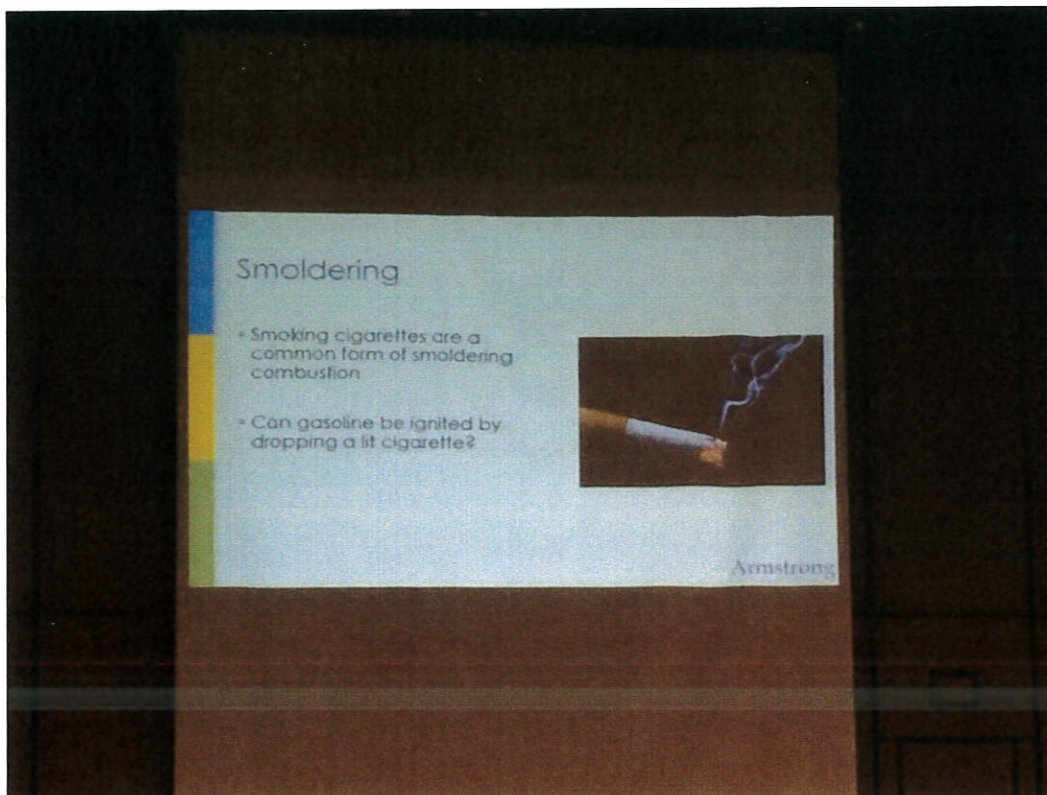


圖 17. 抽菸是悶燒常見的形式

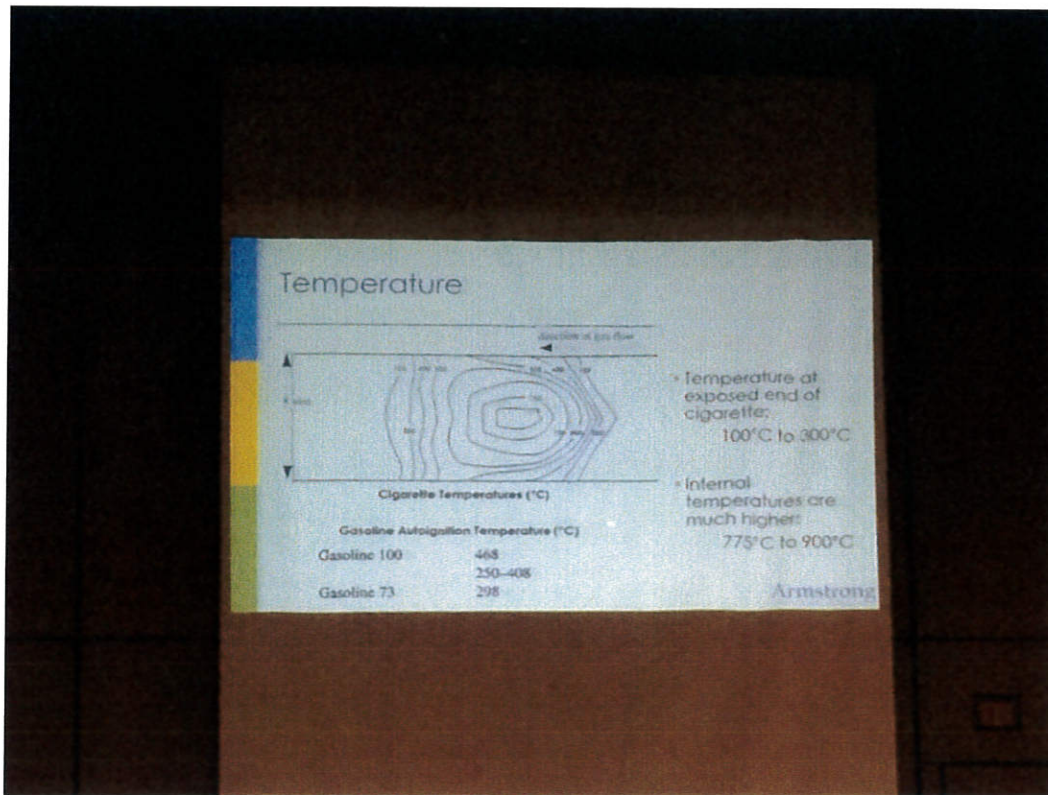


圖 18. 香菸的溫度

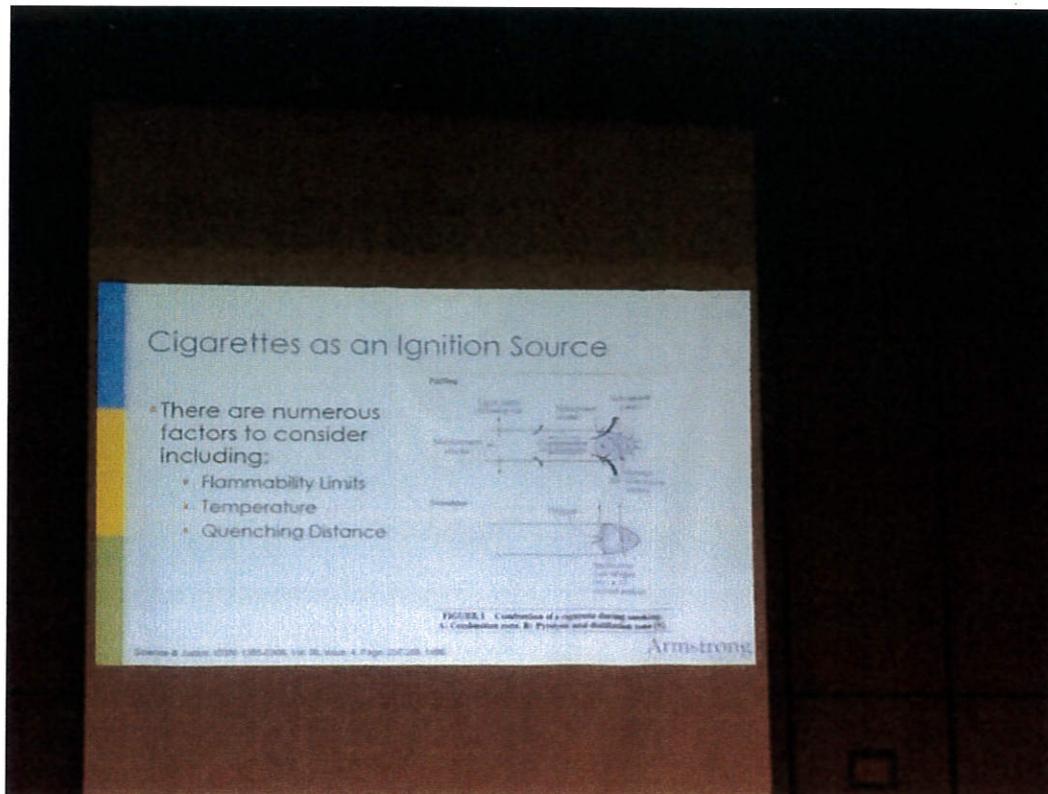


圖 19. 香菸為點火源之考量因素

### (三)自然發火：

自然發火係指物質在沒有火源情況下，因內部長期蓄熱而自行發火之結果，自然發火火災案件經統計多是因乾性油引起，所謂乾性油係指含有較多不飽和脂肪酸之油脂，其碘價大於 130，例如亞麻仁油、葡萄籽油、桐油等，其常見於日常生活中，除了食品產業應用外，尚可用於油漆或塗料工業等。而乾性油具有容易氧化之化學性質，當附著於乾布、乾草、木屑、棉花或紙類等多孔性材質時，因表面積大極易與空氣接觸而加速產生氧化放熱反應，且若存在於不易散熱之環境下，經長時間之蓄熱升溫，就會自然發火而造成火災(如圖 20 至圖 24)。

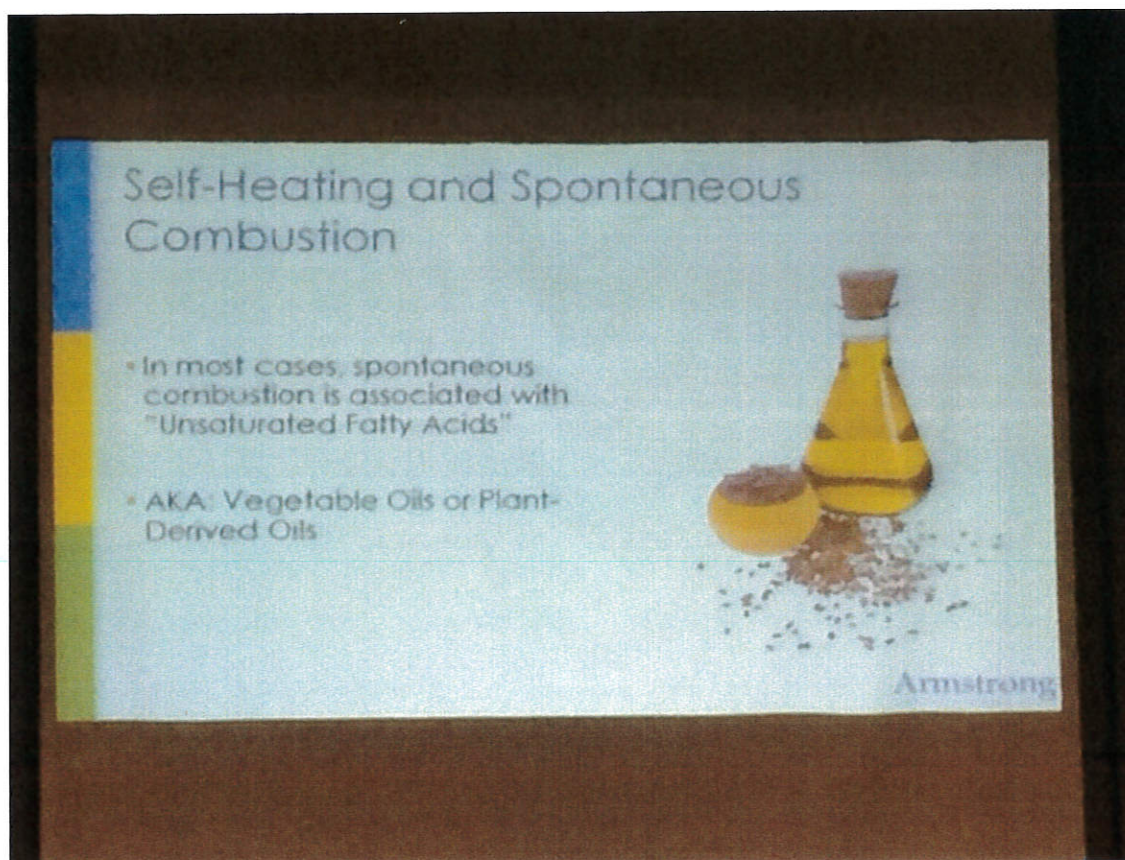




圖 20. 自然發火與不飽和脂肪酸有關



## Self-Heating and Spontaneous Combustion

- A self heating oil is stable in the liquid state in a container free of oxygen
- When dispersed to provide a large surface area, the oil can react with oxygen to produce heat.

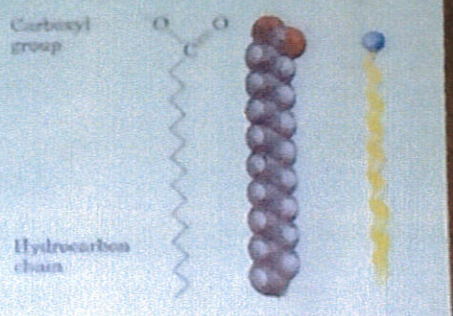
Armstrong

圖 21. 自然發火與氧氣接觸有關

## What's so special about vegetable oils?

- Both animal fats and vegetable oils are composed of fatty acids
- Fatty acids can be saturated or unsaturated
- Animal fats tend to be saturated (do not self-heat)
- Vegetable oils tend to be unsaturated (can self-heat)

### Fatty Acid Structure



Carboxyl group

Hydrocarbon chain

Armstrong

圖 22. 植物油傾向於含不飽和脂肪酸

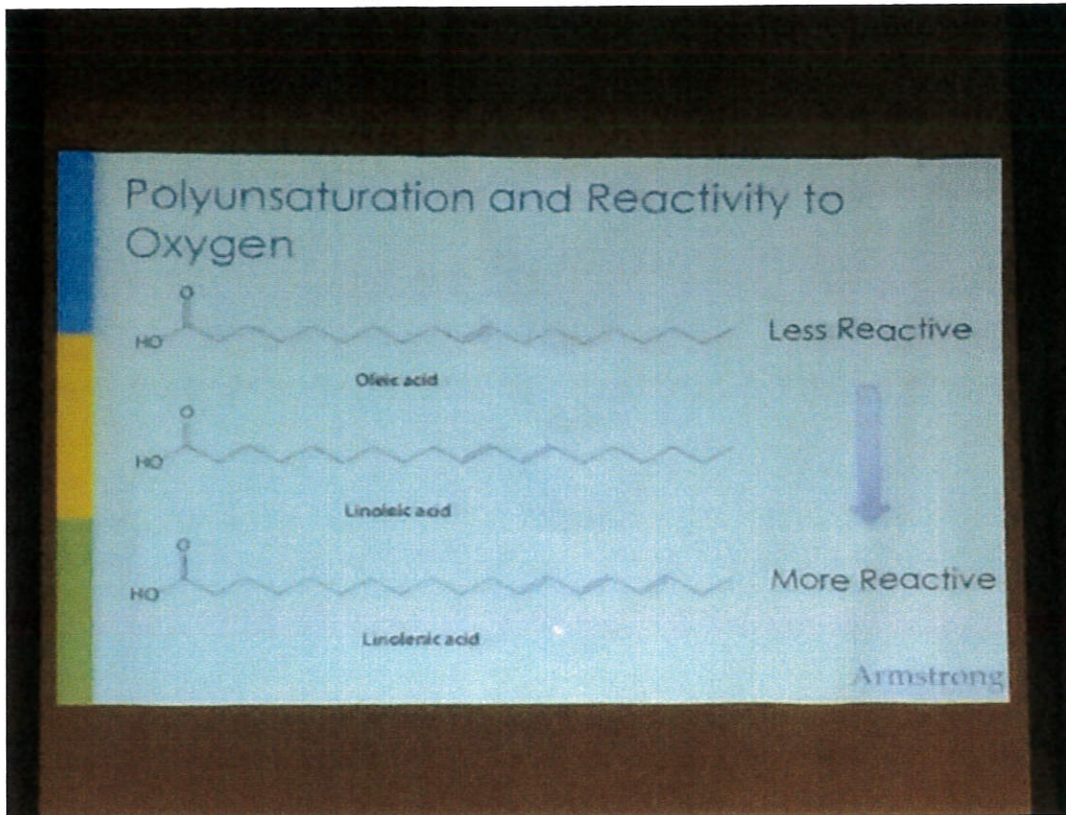


圖 23. 不飽和脂肪酸與氧的反應性

### Dryer Fires

- Heat of the dryer gives the reaction a "head start"
  - Cooking oils can cause spontaneous combustion in a dryer fire
  - Additional heat from the dryer plus the self-heating oil can lead to spontaneous combustion
- Requires interruption of the drying cycle
  - Tumbling action dissipates heat
  - "Cool-down" portion of the cycle is important

Armstrong

圖 24. 烘乾機火災

### 三、荒野火災調查

本次研討會在 C 會場有 8 小時以荒野火災調查為主題的研討訓練，包括荒野火災調查的工程工具-電力線路起火和安全的火災模式指標(2 小時)、荒野火災現場發火源及起火原因的調查方法(2 小時)、荒野火災現場起火因素和來源(2 小時)及電力線路與荒野火災因果關係的調查分析(2 小時)，分別由 Kevin Lewis、James Engel、Lucas Woolf 及 Don Russell 等專家學者負責主講，講授內容歸納綜整如下：

在過去 10 年，美國境內發生荒野火災的次數逐年增加，尤其是嚴重的森林大火，每年均得花費超過 10 億美元來撲救森林火災。森林火災不僅造成嚴重的生命與財產損失，也因為大面積林木遭受焚毀，林地失去植被覆蓋，喪失水土保持功能，生態系亦遭受到嚴重破壞，連帶使得生物多樣性受到摧毀，造成嚴重的生態浩劫。

形成荒野火災的原因有很多，自然因素如天氣過於乾燥或樹木遭受雷擊，人為因素如縱火、隨意丟棄菸蒂、火柴、油燈等，或者引火燒壟不慎使之蔓延釀成野火。除了上述常見的起火原因外，由於野外輸電系統故障或電力線走火釀成的森林火災也是不容忽視的。在 2011 年，位於美國德州奧斯汀(Austin)南部的小鎮 Bastrop，發生了史上最嚴重的森林火災，根據德州林務局(Texas Forest Service)的調查，起火原因可能就是源於野外的電力線故障走火，加上當時正逢熱帶氣旋過境，強大風勢使野火迅速蔓延，造成約 1673 戶家園摧毀和超過 3 億美金的財物損失。在過去 3 年內，美國德州就發生了超過 4000 件因電力線走火導致的森林火災，因此針對電力線走火成因之荒野火災制定一套完整的防制策略已是德州林務局與消防單位共同的重要課題。

2013 年德州政府與 7 家電力公司合作，推行「德州電力線成因野火減災計畫(Texas Power Line-Caused Wildfire Mitigation Project)」，結合德州農工大學開發一套先進的技術「配電故障預測系統(Distribution Fault Anticipation，簡稱 DFA)」，以期達到預防荒野火災之目的。

以往電力線走火成因之火災通常是無法預先防制的，因為電力系統的損壞往往是微小、漸進而不可預測，通常要等到損壞累積到一定程度，造成如停電、跳電、走火等有感的事情發生，電力公司或消防單位接獲通報，才會採取進一步的修復或滅災行動。

近幾年來，配電系統邁入了智慧電網時代，在配電系統中引入了自動修復與保護裝置，可以即時使電線損壞所產生之異常電流恢復正常狀況，大大降低對電力系統的傷害。然而，這些裝置只能穩定電流，對於電力系統的損壞還是沒有被修復，因此異常電流還是會不斷的產生，每恢復 1 次異常電流就累積 1 次損害，直到配電線斷裂或電力系統裝置癱瘓，而導致災害發生。

配電故障預測系統 DFA(Distribution Fault Anticipation)是由德州農工大學所研發的電力故障偵測系統，如上所提到，電力系統的損壞往往是微小且漸進的，DFA 系統可以在損害累積至大災禍之前，藉由精密裝置與軟體計算模式，偵測異常電流並定位出確切的發生點，使相關人員可以即時趕赴配電系統的損壞地點，找出病灶並將其修復。

DFA 系統硬體架設其實非常簡單，就是在配電站(Substations)輸出的每條饋線(Feeder)上加裝一個診斷與監測硬體裝置(Advanced Diagnostic and Monitoring System)(如圖 25)，它可以偵測迴路上比流器(CT)與比壓器(PT)降壓後輸出的電流，並將電流的波型資料傳至電腦資料庫儲存。一般情況下均會是正常而穩定交流電波型，一旦電力系統發生損壞或小故障，便會產生高電流，此時斷電器(Breaker)或自動關閉裝置(Recloser)會啟動並切斷電流，隨後再關閉使電流回復正常狀態，上述的狀況會形成一個狹窄且高波峰的波型圖，乃最常見的電力故障波型圖。

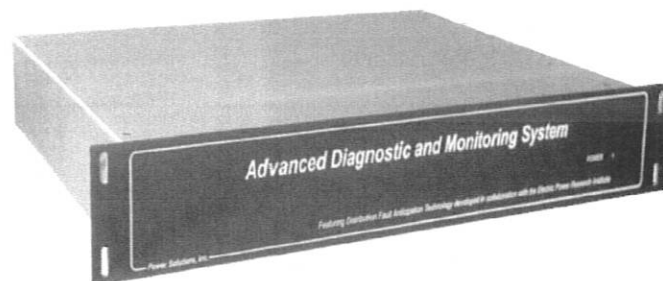


圖 25. DFA 之診斷與監測硬體裝置

當然不同類型的電力系統故障均會有不同的波型圖，在資料庫中形成龐大的比對資料，每一次回傳的異常狀況資料均會經過線上波型分析軟體進行比對，並分析可能的故障原因，最後結合軟體的位置模型(Model-based Location)，便可找出異常電流發生的確切位置。

DFA 系統的出現使美國德州在防制森林火災領域，邁入了一個新的里程碑，除了能降低森林火災造成的生命傷亡與財物損失，也大幅減輕消防單位的資源消耗與人力成本。

#### 四、閃燃的介紹

James Quintiere 博士是馬里蘭大學名譽教授，他在火災方面的研究相當廣泛，包括火災行為、火災延燒路徑、火災增長模型等，在 2016 年 8 月也出版了「火災行為原理(Principles of Fire Behavior) 第 2 版」。James Quintiere 博士介紹了閃燃(Flashover)的定義及機制等，並希望消防救災人員必需充分掌握現場「閃燃」與「爆燃」的發生時機，才能確保自身的生命安全。

閃燃(flashover)是火災成長過程的一種現象，指室內起火後，火勢逐漸擴大過程中，因燃燒所生之可燃性氣體，蓄積於天花板附近等密閉空間中，此種氣體與空氣混合，正進入燃燒範圍之際，一舉引火或在輻射熱加熱下達到燃點，因而迅速燃燒，並向外擴散形成巨大火苗，使室內頓時成為火海之現象。閃燃在建築物火災較常發生，其氧氣較足夠，濃度狀況接近燃燒下限，一旦進入燃燒下限時危險即將來臨，通常發生在火災成長期，可能在消防隊到達前就已發生。

爆燃(backdraft)通常發生於火災後期，產生之可燃性氣體(未完全燃燒及受熱輻射裂解生成)相對增加，當氧氣持續消耗後，空氣中氧氣含量低於可燃範圍之缺氧密閉空間中，若此時相關通風口(如門、窗等)如被打開或破壞，以致突然湧入大量新鮮空氣，導致高溫之可燃性氣體，再次產生瞬間劇烈的燃燒，火焰朝著空氣入口衝出室外之現象。

可見「閃燃」是火勢進入該燃燒範圍下限時即可能發生，而「爆燃」則是氣體濃度太濃厚，需藉由外來空氣稀釋至其燃燒範圍上限時才動作。

## 五、臺灣八仙樂園暴燃案例研究

本次研討會主辦單位亦邀請本署火災調查組葉金梅科長特別發表臺灣在八仙樂園暴燃案例中寶貴的調查經驗(如圖 26)。104 年 6 月 27 日新北市八里區八仙樂園彩色派對發生粉塵暴燃，造成 15 人死亡、484 人受傷之重大火災事故，係因大量的玉米澱粉被噴灑在空氣中，遇熱源而引發暴燃。本案調查過程使用 NFPA921 的科學方法進行研究，在火場收集相關證據來重建模擬暴燃過程，並透過多次再現實驗，測試證明玉米澱粉發火機制，從這個案例中我們學到了很多寶貴的經驗，希望藉由本次研討會將相關研究成果提供所有 IAAI 參與者。



圖 26. 臺灣八仙樂園暴燃案例研討情形

## 肆、建議事項

由於時代的進步，相對的民眾對自身之權益亦更加重視，火災調查工作事涉人民權益，除關係到起火戶責任歸屬與刑事責任的追究外，亦可將調查結果作為回饋法令制定、預防宣導、消防搶救等具體消防政策之參考，因此如何更加精進火災調查技術，實為消防工作一項重要的課題。本署為 IAAI 之會員，每年編列出國預算派員參加年會及其舉辦之訓練研討會，藉以汲取各國火災調查寶貴的經驗及知識，並互相交流回饋，提升我國火災調查技術能力。經由多年來參加年會及訓練課程之心得建議，對國內火災調查技術之提升已有相當的助益，就本次參加研討會之心得，所提建議如下：

### 一、建立「火災調查管理資訊系統」各項欄位之定義說明

NFPA921(火災和爆炸原因調查指南)是由美國防火協會 NFPA(National Fire Protection Association)所出版，其目的為調查火災和爆炸案件所製定之指導方針和建議，除提供系統化調查與分析的標準作業程序外，亦針對所提專有名詞均有建立定義說明。

火災案件資料為一寶貴資料，為消防搶救及預防政策制定之重要參考資料，為更完整記錄全國火災案件資料，本署於 105 年 9 月完成「火災調查管理資訊系統」建置，另為因應 106 年 1 月 1 日實施之擴大火災統計範圍等變革事項，於 106 年 11 月完成增修「火災調查管理資訊系統」相關功能，目前系統欄位項目已更臻完善，惟建議比照 NFPA921 針對各項欄位之專有名詞提供詳盡的定義說明，以利各縣市消防局正確填報相關資料，強化火災統計分析功能。

### 二、「火災調查管理資訊系統」之火災分類增列「電線桿」

形成荒野火災的原因雖然很多，在美國除了天候因素、人為因素外，許多案例是由於野外電線桿之輸電系統或電力線走火所造成，可能是短路形成的高能電弧、電力裝置或電線損毀造成的火星噴濺等，一旦附近有雜草、枯枝落葉或樹木分布，便會導致火勢延燒，甚至釀成嚴重的森林火災。而在台灣，不論市區、山區、鄉間田野之道路仍有許多電線桿與電力線的架設，也造成不少的

電線桿火災，故建議在「火災調查管理資訊系統」之火災分類中增列「電線桿」之欄位選項，以利針對電線桿所造成之火災進行統計分析，並了解台灣引進及發展美國 DFA 技術的可行性。

### 三、持續派員參加國際縱火調查協會年會及研討會

火災原因調查為消防政策制定之重要依據，且攸關民眾權益甚巨，是故火災調查工作是一項需要不斷學習、研究與經驗累積的工作，故建議賡續編列參加國際縱火調查協會年會之預算，除可汲取最新火災調查鑑定技術、精進專業水準外，更可參與國際活動、促進國民外交。