

# 出國報告（出國類別：實習）

## 赴美國研習火災調查鑑定技術

服務機關：內政部消防署

姓名職稱：科長 周文智

派赴國家：美國

出國期間：99年8月1日至8月8日

報告日期：99年10月20日

## 摘要

本署於 99 年 8 月 1 日至 8 月 8 日派員參加美國火災調查人員協會於假佛州舉辦的火災調查鑑定訓練課程；研習重點包括火災調查人員應知悉的火災動力學簡介、火災燃燒型態分析、火災現場調查常見 10 種錯誤、電氣火災調查、爆炸現場調查、重大複雜火災調查管理等相關課程。透過研習心得，研提相關建議事項，包括 1.參考 NFPA921 適時修正我國「火災調查鑑定標準作業程序」相關規定及相關用語定義；2.落實火災現場紀錄－註明現場相關原有開口處是否開啓或關閉的重要；3.規劃設計本土化火災案件法庭交互詰問教學課程等。

# 目 次

摘要 .....	2
目 次 .....	3
壹、目的 .....	4
貳、過程 .....	4
參、心得 .....	6
一、美國火災調查人員協會 NAFI 簡介 .....	6
二、NFPA 921 的過去、現在及未來 .....	13
三、火災調查人員應知悉的火災動力學簡介 .....	20
四、火災現場最常見的 10 種錯誤 .....	45
五、重大複雜火災調查管理 .....	57
肆、建議事項 .....	61
一、參考 NFPA921 適時修正「火災調查鑑定標準作業程序」 .	61
二、參考 NFPA921 適時訂定「火災調查鑑定」相關用語定義 .	62
三、落實火災現場紀錄—註明現場開口開閉的重要 .....	63
四、規劃設計本土化火災案件法庭交互詰問教學課程 .....	63

## 壹、目的

美國為世界火災調查鑑定發展先驅，經常發表火災調查鑑定新技術方法，共辦理此類訓練課程；為能觀摩學習美國火災調查鑑定新技術，以提升我國火災調查鑑定技術，本署乃於 99 年編列出國經費赴美研習新的火災調查鑑定技術，並於 99 年 8 月 1 日至 8 月 8 日遴派科長周文智赴美研習，期可有效提升我國火災調查鑑定技術，提供我國更優質的火災調查鑑定品質。

## 貳、過程

美國火災調查人員協會（National Association of Fire Investigators 以下簡稱 NAFI）是一個非營利性質且專注於全球火災調查專業人員教育及訓練的協會。是美國 NFPA921-Guide for fire and explosion investigation（以下簡稱 NFPA921）發展趨勢的領導者，是將火災調查工作引入 21 世紀的先驅。NAFI 對於火災調查鑑定技術非常投入，常有新調查鑑定技術發表，並定期辦理美國火災調查鑑定人員訓練，該協會 2010 年火災調查鑑定訓練課程規劃於 99 年 8 月 2 日至 8 月 6 日假佛羅里達州沙拉索塔市(Sarasota, Florida)舉行。計有美國、加拿大、英國、南非及我國等約 1 百餘位實際從事火災調查工作或與火調有關人員參加研習；研習課程共計 5 天，從報到、開幕、研習主題內容包括 NAFI 火災調查訓練沿革、NFPA921 過去、現在及未來、火災調查人員應知悉的火災動力學簡介、火災燃燒型態分析、火災現場調查常見 10 種錯誤、電氣火災調查、爆炸現場調查、重大複雜火災調查管理等相關課程。

8月2日習研活動第一天的開幕式，著實令人感動，因為步入會場映入眼簾第一畫面是看到會中有一幅巨大的中華民國國旗與其他出席會議國家的國旗同時高掛在會場。

8月2日至8月6日研習課程如下：

日期	時間	課程題目
8月2日	7:00~8:15	報到、開幕
	8:15~9:15	火災現場調查最常見 10 種錯誤
	9:15~10:15	NFPA921 過去、現在及未來
	10:30~11:30	NFPA921 與 NFPA9211033 檢視
	13:00~17:00	火災調查人員應知悉的火災動力學簡介
8月3日	8:00~13:00	火災燃燒型態分析
	14:30~17:00	爆炸現場調查
8月4日	8:00~12:00	電氣火災調查
	13:00~17:00	火災案例介紹、火災調查人員資格考試
8月5日	8:00~12:00	重大複雜火災調查管理
	13:00~17:00	火災調查爆炸專家選任及運用
8月6日	8:00~12:00	法庭證詞證據力的探討



照片 1 NAFI 火災調查訓練活動會場



照片 2 NAFI 火災調查訓練活動會場



照片 3 NAFI 火調訓練參加國國旗



照片 4 NAFI 會場-高掛中華民國國旗

## 參、心得

本次研習內容多集中在火災調查相關基礎理論闡述及火災現場調查技術及運用，其內容應屬充實豐富，對於從事火災調查鑑定工作人員而言，是非常好的調查鑑定基礎科學理論及實務運用的參考教材；茲針對上課主題，包括：NAFI 火災調查訓練沿革、NFPA921 過去、現在及未來、火災調查人員應知悉的火災動力學簡介、火災燃燒型態分析、火災現場調查常見 10 種錯誤、電氣火災調查、爆炸現場調查、重大複雜火災調查管理等相關課程重點內容分述如下：

### 一、美國火災調查人員協會 NAFI 簡介

本次主辦單位為美國火災調查人員協會，為讓大家瞭解該協會成立宗旨、性質、運作功能及火災調查訓練能力等，茲針對該協會簡介如下：

美國火災調查人員協會(National Association of Fire Investigators 以下簡稱 NAFI，網址 [www.nafi.org](http://www.nafi.org).) 成立於 1961 年，是一個非營利性質且專注於全球火災調查專業人員教育及訓練的協會。是美國 NFPA921-Guide for fire and explosion investigation (以下簡稱 NFPA921) 發展趨勢的領導者，是將火災調查工作引入 21 世紀的先驅。NAFI 以 NFPA 921 完整內容當作火災調查基礎培訓課程在同樣領域內是無沒有人可以比的。

### **(一)NAFI 火災調查認證制度**

NAFI 長期以來一直是美國火災調查訓練認證領域的領導者。通過 NAFI 國家認證委員會，NAFI 提供了 3 項認證：

第一類、火災爆炸事故調查人員認證(Certified Fire and Explosion Investigator 簡稱 CFEI)：是對火災調查人員的基本認證。

第二類、火災調查講師認證 (Certified Fire Investigation Instructor 簡稱 CFII)：為進階班的認證。

第三類、車輛火災調查人員認證 (Certified Vehicle Fire Investigator 簡稱 CVFI)：亦屬進階班的認證。

NAFI 火災調查訓練認證的主體-國家認證委員會成立於 1982 年，自成立以來，一直為來自全世界各國參與受訓的火災調查專業人員進行考試、評估及認證。

### **(二)NFPA 921 對 NAFI 國家認證委員會的關係**

NFPA 已承認 NAFI 國家認證委員會具有辦理國家防火法規-NFPA 921 火災爆炸事故調查指南的訓練能力及資格。NFPA921 第 13.6.5.2 規定：「NAFI 也已成立國家認證委員會並加以啓用運作。該認證委員會每年會辦理火災爆炸事故調查人員及火災調查講師認證活動。透過這個訓練活動，所有參訓的火災調查人員取得的認證資格、知識、訓練、經驗及專長是被公開承認的。」

### (三)火災爆炸事故調查人員認證(CFEI)簡介

CFEI 的訓練認證自 1983 年開始辦理，並已成為世界最大的火災調查員認證課程。取得 CFEI 認證資格就表示您具火災調查人員的調查技能和經驗。CFEI 認證程序分為兩部分：1.完成 CFEI 訓練課程及申請證書的基本資格審查 2.成功通過 CFEI 考試。CFEI 必須一直是 NAFI 會員並每 5 年重新認證 1 次。

#### 1、CFEI 申請流程

每個 CFEI 候選人必須是信譽良好的 NAFI 會員或在第 1 年第 1 次提供一份完整的 NAFI 會員申請，而這些申請均應符合 NAFI 會員所有基本資格。CFEI 考生要仔細閱讀整份 CFEI 準則和申請表格，它包括申請和審查考試程序的詳細說明。並完整逐一填註所有表格後，通過郵件或特快專遞確認您提交的原始資料、申請費和監考人資訊。申請資料如有不完整時將會退回並要求再檢視無誤後再補件。所有處理程序會在 1 到 6 週完成。申請考試費用是美金 \$125。

#### 2.CFEI 考試程序

目前 CFEI 考試是以 2008 年版的 NFAP921 為內容，它包括 100 題選擇題和是非題，及格分數為 75 分。CFEI 考試通過或失敗成績都會記錄在資料庫。



未通過的 CFEI 考生不增加額外費用可以重考，但準備時間至少 6 個月但不超過 12 個月。超過 12 個月者，必須重新申請。

### **3. CFEI 考試可以在下列 4 個課程中舉辦**

- (1) 在 NAFI 官方主辦的培訓課程
- (2) 在指定的公家訓練機構辦理的培訓課程
- (3) 透過監考人確認的信件（包括群組測試）
- (4) 在佛羅里達州 Sarasota NAFI 本部會員服務處舉行的考試。

無論你用那種方式進行 CFEI 考試，考試模式都是一樣的。您將有 2 個小時來完成考試。不得使用任何外部參考教材或筆記，也不得尋求外界的幫助。

### **4. 考試結果**

CFEI 認證和考試結果以美國郵件正式通知。正式結果將於 6 星期內寄發。由於隱私問題，NAFI 無法通過電話告知考試結果。

考生參加 NAFI 本部辦公室或主辦的培訓課程後考試，可以在當天接到 1 份非官方的測試結果。

CFEI 考生以其他方法通過考試者，要先申請 NAFI 會員並確認有良好的信譽。而這些申請資料在考試日後 1-5 個星期內審查。

### **5. CFEI 申請人應有作為**

於申請表上簽名、繳申請費、完成申請程序、確認所有申請內容，包括：相關資料影印 1 份備份、不要忘了申請會籍、不要請監考人在您的申請表上簽名、不可以傳真或電子郵件申請、在還沒準備好參加考試前，不要寄送您的申請。

### **6. 現任 CFEI 應有作為**

請每 5 年重新認證 1 次、保持常新地址、請記得你現在可以作為其他 CFEI 候選人的監考人、保有 NAFI 會員資格！

#### **(四)火災調查講師認證 (CFII) 簡介**

CFII 培訓課程由 NAFI 主辦，每年辦理數次為期 1 天 8 小時課程；為期 1 天的課程旨在維持具有 CFEI 資格的參訓者基本技能，該 CFEI 應提供培訓和教育相關火災調查的訓練課程教材，或提供各種學員及沒有火災調查基礎背景的學員相關火災調查及爆炸相關教材的能力。

##### **1.訓練課程**

包括學習理論與方法、課程和教案開發、教學技巧、示範燃燒學相關示範教材

##### **2.CFII 認證程序**

分為 3 部分：1.完成 CFII 申請證書的基本資格審查 2.參加 NAFI 主辦的 CFII 訓練課程 3.成功通過 CFII 考試。CFII 必須一直是 NAFI 會員並具有 NFEI 身分。

##### **3.CFII 申請流程**

先決條件： CFII 考生必須是行為良好的 NAFI 會員且取得 CFEI 認證。如果沒有通過考試，就無法取得 CFII 證書。

CFII 考生要仔細閱讀整份 CFII 準則和申請表格，它包括申請和審查考試程序的詳細說明。並完整逐一填註所有表格後，通過郵件或特快專遞確認您提交的原始資料。

申請資料如有不完整時將會退回並要求再檢視無誤後再補件。所有處理程序會在 1 到 6 週完成。申請考試費用已含蓋在訓練課程中。

#### **4. CFII 認證過程**

NAFI 是 CFII 認證考試的惟一官方訓練機構；該認證無法透過複審或由監考考試取得。

#### **5. 考試結果**

CFII 認證和考試結果以美國郵件正式通知。正式結果將於 6 星期內寄發。由於隱私問題，NAFI 無法通過電話告知考試結果。

考生參加 NAFI 本部辦公室或主辦的培訓課程後考試，可以在當天接到 1 份非官方的測試結果。

#### **6. CFII 申請人應有作為**

於申請表上簽名、完成申請程序、確認所有申請內容，包括：相關資料影印 1 份備份、不可以傳真或電子郵件申請-原始資料在審查過程是需要的。

#### **7. 現任 CFII 應有作為**

請每 5 年重新認證 1 次、保持常新地址、保有 NAFI 會員資格！

### **(五)車輛火災調查人員認證（CVFI）簡介**

CVFI 培訓課程由 NAFI 主辦，每二年辦理 1 次為期 4 天 36 小時課程；旨在確認該等參訓者具有汽車火災與爆炸的調查分析能力或因應參與民事和刑事訴訟交互詰問的火災案件調查和分析能力。

#### **1. CVFI 認證程序分**

為 3 部分：1. 完成 CVFI 申請證書的基本資格審查 2. 參加 NAFI 主辦的 CVFI 訓練課程 3. 成功通過 CVFI 考試。CVFI 必須一直是 NAFI 會員並具有 NFEI 身分。

#### **2. CVFI 申請流程**

先決條件：**CVFI** 考生必須是行爲良好的 NAFI 會員且取得 NAFI CFEI 認證或 IAAI CFI 認證。如果沒有通過考試，就無法取得 CVFI 證書。

CVFI 考生要仔細閱讀整份 CVFI 準則和申請表格，它包括申請和審查考試程序的詳細說明。並完整逐一填註所有表格後，通過郵件或特快專遞確認您提交的原始資料。一個單獨的 CVFI 申請費是必要的。

申請資料如有不完整時將會退回並要求再檢視無誤後再補件。所有處理程序會在 1 到 6 週完成。

### **3. CVFI 認證過程**

NAFI 是 CVFI 認證考試的惟一指定訓練機構並使用 PATC 訓練課程；該認證無法透過複審或由監考考試取得。

該考試是 CVFI 管理只適用於指定官方以 NAFI 主辦的培訓方案和選定 PATC 課程。該認證不能得到恢復審查或由監考考試。

### **4. 考試結果**

CVFI 認證和考試結果以美國郵件正式通知。正式結果將於 6 星期內寄發。由於隱私問題，NAFI 無法通過電話告知考試結果。

考生參加 NAFI 本部辦公室或主辦的培訓課程後考試，可以在當天接到 1 份非官方的測試結果。CVFI 考生通過 PATC 考試，且已是 NAFI 會員，也許可以早點獲得非正式考試結果

### **5. CVFI 申請人應有作為**

於申請表上簽名、完成申請程序、確認所有申請內容，包括：相關資料影印 1 份備份、不可以傳真或電子郵件申請-原始資料在審查過程是需要的。

### **6. 現任 CVFI 應有作為**

請每 5 年重新認證 1 次、保持常新地址、保有 NAFI 會員資格！

## 二、NFPA 921 的過去、現在及未來

「NFPA 921-火災和爆炸指南調查」(以下簡稱 NFPA 921) 是美國防火協會 (National Fire Protection Association 以下簡稱 NFAP) 爲了協助負責火災或爆炸現場調查的火災調查人員調查起火戶、起火處及起火原因、責任歸屬或預防類似災害再次發生，而建立的指導方針與建議，並提供系統化調查與分析的標準作業程序。

調查過程如不符合該標準作業程序並不代表一定錯誤，但必須由現場相關證據證明。其內容除應用於火災調查領域，並可做爲 NFPA1033 的要求標準，自 2000 年以後更是美國所有火災調查人員出庭做證必備的聖經。在本次研習課程亦特別針對 NFPA 921 的過去、現在及未來加以介紹，所以茲就授課內容重點翻譯，提供我國火災調查制度及現職火災調查人員參考。

### (一)摘要

NFPA 針對 NFPA 921，自 1992 年以來每 3 年會修正 1 次，針對現行規定有疑慮內容加以修正並針對現行相關新的理論、技術及科技設備進行討論及增訂；到 2010 年爲止已修正了 6 次，包括 1992 年版、1995 年版、1998 年版、2001 年版、2004 年版及 2008 年版，目前正在進行 2011 年版相關內容的修正，本次相關修正內容包括第 4 章同行評議、第 12 章安全、第 18 章有關起火原因修正、第 21 章有關爆炸內容的修正、第 23 章有關火災死亡及受傷部分、第 25 章有關汽車火災，特別是汽車上新增設備及休旅車部分、第 26 章有關野火調查；相關內容已由專責委員會進行討論，目前已提出上開

修正主題及文件草案內容，預定於 2011 年 6 月完成技術部門的討論，2011 年 8 月完成文件內容的定稿後正式出版。

NFPA 921 每次的專案修正專案均由美國相關火災調查人員所組成的科技委員會專案小組負責主導。NFPA 921 於 1992 年發行第 1 版，爾後陸續於 1995 年、1998 年、2001 年和 2004 年進行改版工程。每次版本均針對火災調查團隊所遇到的困惑案例進行討論說明及增列相關火災調查內容。而這些修正也均要依循法務界共同要求的 Daubert and Kumho 案例模式（美國最高法院在 Kumho v Carmichael 的判決要求，2000 年後，美國所有火災調查工作必須以科學方法為基礎，火災調查人員並共同遵循 IAAI 正式簽署採用的 NFPA 921 內容，以進行火災及爆炸調查工作）。而這份判決更張顯了 NFPA 921 對火災調查方法不只是一份指導要領而更是一份「黃金標準」。

## (二)修正 NFPA 921 專案小組成員

1984 年，NFPA 標準委員會組成火災調查技術委員會(Technical Committee for Fire Investigation 簡稱 TCFI)進行 NFPA921 相關內容修正事宜。截至 1988 年，當時只有 16 個主要成員的 TCFI 與兩名候補委員。這些成員與第 1 版作者彼此並沒有相互關係，原本成員中也只有 3 位繼續擔任：Patrick M. Kennedy，現任 NAFI 主席、Richard L. P. Custer 原 NFPA 主席及 Daniel L. Churchward，現任 NFPA 主席。

2004 年修正專案小組的不記名投票成員有 28 位、後補委員 19 位和 1 位候補名譽委員，另有一些組織代表成員，包括縱火調查員國際協會 [IAAI]、火災調查司法人員協會[NAFM]、美國材料測試協會[ASTM]，美國國家標準與技術研究所[NIST]，汽車工程師協會[SAE]，國際消防培訓協會

[IFSTA]。除了上開成員外，並接及來自各界相關的建言，並可以在討論會議上共同討論，他們唯一不能做的就是投票。

### (三)修正 NFPA 921 背景與歷史

#### 1、1992 年版

NFPA 921 第 1 版於 1992 年 1 月 17 日在加拿大魁北克蒙特利爾正式出版，共 13 章，內容包括火災調查基本要領。這些章節有：1.行政管理 2.基本方法論 3.火災科學基礎 4.火災燃燒模式 5.法律考量 6.調查計畫 7.資訊來源 8.火災現場記錄 9.物證檢驗及測試 10.安全 11.起火處研判 12.原因研判 13.爆炸

#### 2、1995 年版

NFPA 921 第 2 版於 1995 年 1 月 13 日在加拿大安大略省多倫多修正公布，內容包括 19 章，新增章節有：14.電力及火災 15.汽車火災調查 16.重大案件管理 17.縱火火災 18.器具裝置 19.參考文獻

#### 3、1998 年版

NFPA 921 第 3 版於 1998 年 1 月 16 日在美國密蘇里州堪薩斯城修正公布，內容增加一章：19.建築物燃氣系統。此外，並明顯的修改和補充原有章節內容；另針對縱火犬“Canines.”可以協助火災現場縱火案件的調查能力進行討論，尤其是火災鑑定實驗室無法分析出來相關物證時，並確認縱火犬確有這種能力，也歡迎鼓勵火災調查人員善加運用。另針對火災調查中也可以就火災蔓延、人身傷害或死亡因素和火災發生的相關人證查詢等均在第 12 章增加相關內容提供火災調查人員可以進一步加以調查、分析的要領及方法。

#### 4、2001 年版

NFPA921 第 4 版發表於 2001 年 1 月 13 日美國佛羅里達州奧蘭多，內容相較於 98 年版有相當大的改變。整體章節分為基礎篇、現有篇及新增篇等三個部分。內容現已有以下順序：1. 行政管理 2. 基本方法論 3. 火災科學基礎 4. 火災燃燒模式 5. 建築物系統（※） 6. 電力及火災 7. 建築物燃氣系統 8. 人類行為（※） 9. 法律考量 10. 安全 11. 資訊來源 12. 火災調查計畫 13. 火災現場記錄 14. 物理證據 15. 起火處研判 16. 原因研判 17. 失效分析和分析工具（※） 18. 爆炸 19. 縱火火災 20. 火災和爆炸事故死亡和受傷（※） 21. 器具裝置 22. 汽車火災 23. 野火調查（※） 24. 重大火災案件管理 25. 參考文獻

NFPA921 2001 年第 3 版的前 9 章歸類為火災調查人員於進行火災調查應具備的基礎背景知識；第 10 章到第 17 章則是規範火災調查人員進行火災現場調查的專業內容；第 18 章到第 24 章則是規範火災調查人員可能遇到的相關特殊火災案件調查要領。此外，有 5 個章節（5、8、17、20、23 等章）則修正增加許多內容（有註記※者），第 10 章有關安全一章也有大幅度改寫。

#### 5、2004 年版

NFPA921 第 5 版於 2004 年 1 月 16 日在美國內華達州里諾市正式發表公布，針對 2001 年版內容再重新完成編撰。NFPA 針對所有 NFPA 公布的文件手冊開始要求使用統一格式。該格式要求 NFPA921 針對所有章節要重新排列並註明編號。

此外，新增一章：第 19 章. 災害事件原因及責任的分析；並針對幾個有爭議的問題亦加以討論達成共識後獲得解決而增列到相關章節內容。章節



內容重新修正及所有段落均加以編號實在是很棒的改變，因為在此之前要求所有段落編號實在是很難的工程。但隨著新的號碼，任何人都可以隨時找得到大家在討論的任何章節及內容。

原因 v 分類：新的一章確定起火原因和火災分類；起火原因要求調查確認三個因素：熱的來源及形式（發火源）、什麼東西先燒（著火物）和著火經過及路徑（火是如何燒起來的，如何從著火物燒到其他可燃物）。同時，對於起火原因的分類亦要敘明火災調查目的及這個火災為何會發生。傳統的火災分類包括人為意外、天然、縱火和原因不明等 4 類；此外，本章亦增列財產損失、人命傷亡原因調查及研判分析肇事責任。這些改變確實造成了消防界及司法界對這些火災原因及分類的混淆不清，所以對於不同原因的研判確實是需要加以解釋的。

## 6、2008 年版

NFPA 921 原本是每 3 年修正公布 1 次，也就是預定在 2007 年修正公布的，但為了讓相關修正內容更嚴謹，並廣納各界相關看法及意見，甚至於網路上公布相關草案供各界提供看法，所以延至 2008 年才正式出版。2008 年版共有 28 章，第 1-9 章是火災調查基本認知、第 10-20 章規範火災調查相關要領、第 21-28 章則是針對相關特殊火災加以分析。

2008 年版修訂內容包括：針對下列章節進行重新修正改寫、段落編號、及插圖說明

- (1) 第 5 章火災科學基礎。
- (2) 第 6 章火災燃燒模式，提出燃燒效應及燃燒痕跡觀念。
- (3) 第 12 章安全：參考 OSHA 訂定火災現場調查安全規範，有毒物質及危險的評估、再建立任務編組小組。

- (4)第 17 章起火處研判：將科學方法運用於起火處之研判。
- (5)第 25 章車輛火災調查：結合車輛技師協會（SAE）共同修正此章節，使內容專業用語更加精準。
- (6)第 27 章重大複雜火災調查管理：能更反應真實世界狀況。
- (7)第 28 章船舶火災調查：討論長度小於 65 呎的水中遊艇火災調查。
- (8)使用 NFPA 標準時，其並未規定須成爲其會員，但必須跟隨標準所訂規則，且須使用其相關文件。

## 7、2011 年版預告

目前正在進行 2011 年版相關內容的修正，本次相關修正內容包括第 4 章新增章節-檢視複審制度，包括行政管理面複審、技術面複審及同業人員複審、第 12 章安全、第 18 章有關起火原因研討修正、第 21 章有關爆炸內容的修正、第 23 章有關火災死亡及受傷部分、第 25 章有關汽車火災，特別是汽車上新增設備及休旅車部分、第 26 章有關野火調查；相關內容已由專責委員會進行討論，目前已提出上開修正主題及文件草案內容，預定於 2011 年 6 月完成技術部門的討論，2011 年 8 月完成文件內容的定稿後正式出版。

第 18 章修正重點包括：起火原因是只有在發火源研判無誤時才會認爲是可以信賴的、起火原因是針對會造成火災或爆炸的發火源、著火物、氧化物及著火順序均可以確認時，該起火原因才是有用的。

任何一個假設性的起火原因均應逐一以科學方法進行測試及說明加以排除時，如果排除後仍有二以上的起火可能原因，則該火災案件的起火原因就無法加以判定，而可能屬於原因不明。以科學方法進行測試及說明加以排除起火原因的要件包括：引用科學參考文獻、使用科學基本原理加以

印證、物理性的經驗法則或測試、實務上曾認知的經驗、時間表及失錯分析樹。

第 25 章有關汽車火災部分，修正重點包括休旅車、農業用機械工程車、以氫氣為燃燒的車輛。

#### (四)結論

NFPA 921 出版已有 18 年了。這些年來，它一直透過 NFPA 的技術委員會進行隨時的更新及討論；在這同時，我們也很欣慰樂見它已受到各州司法界的支持及引用；而該技術委員會亦不斷的更換它的成員及後補成員並持續維持它擁有的代表性。

所有火災調查人員均朝著完全接受及持續使用 NFPA 921 來提升自己的火災調查技能，並讓自己撰寫的調查鑑定書更加完整；而原本拒絕接受及使用 NFPA 921 的火災調查人員正在試圖的製作更好的調查鑑定書以避免被火災調查界及司法界逐漸淘汰。

所以，這些調查過程重點是什麼呢？從一開始，NFPA 一直被要求可以制定一個具體可行的文件好讓所有火災調查人員遵循；NFPA 921 就是這個實用的文件；此外，這個文件最重要的成果就是從 1992 年開始至今持續不斷的提升火災調查工作的品質。

#### (五)參考資料

1. Daniel L. Church ward /Kodiak Enterprises, Inc., USA
2. NFPA 921: Past Present and Future : 2010 Advanced National Fire, Arson & Explosion Investigation Training Program/2010.08.02-2010.08.04/由 National

Association of Fire Investigators(NAFI，網址 www.nafi.org.) 於美國佛羅里達州 Hytaa hotel Sarasota 舉行

### 三、火災調查人員應知悉的火災動力學簡介

火災動力學簡介－有關熱能轉換、火災動力學、熱釋放率及火羽動力學的簡單介紹。本份資料作者為 Gregory E. Gorbett, MScFPE, CFEI, CFI, CFPS；資料來源為 NAFI/NFPA Fire, Arson & Explosion Investigation Training Program August 2-4, 2010 教材

#### (一)區劃空間火災動力學

##### A.原理學說

##### 1.基礎原則

身為一個火災調查人員，我們必須竭盡所能的調查（反覆調查），以確定火災是如何發生的以及真正的起火原因。如果不知道火災成長發展趨勢，是不可能做好火災調查工作的。



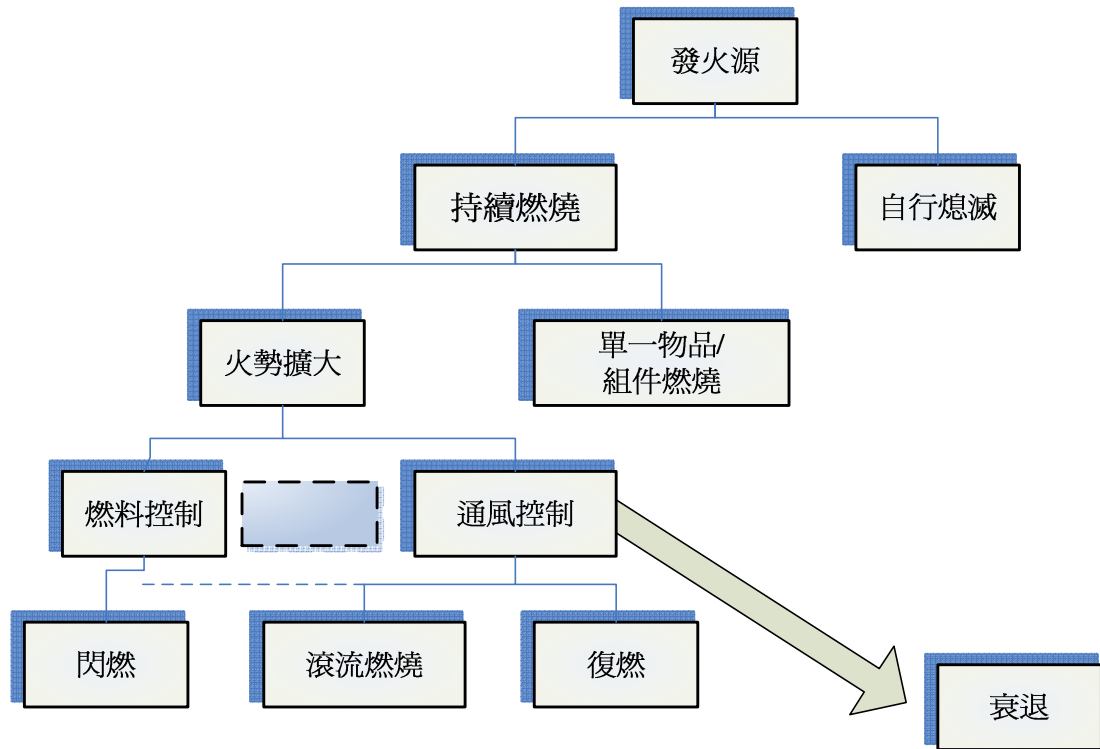
火災動力學

火災調查



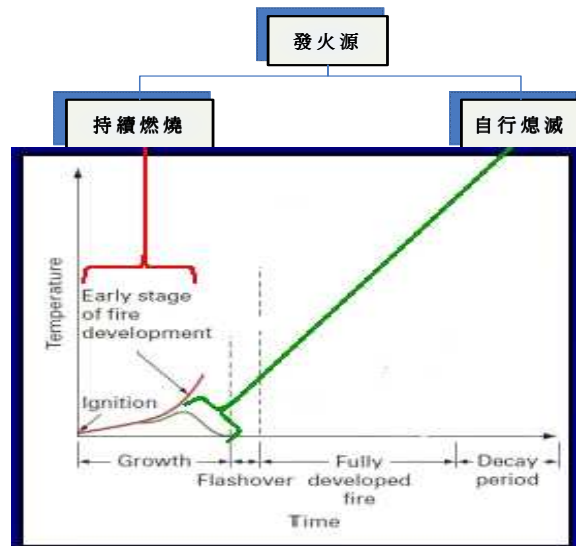
2.火災動力學是火災調查的基礎；而火災調查本身就是一門科學。

3.密閉空間火災動力學/一般火災發展步驟如下圖



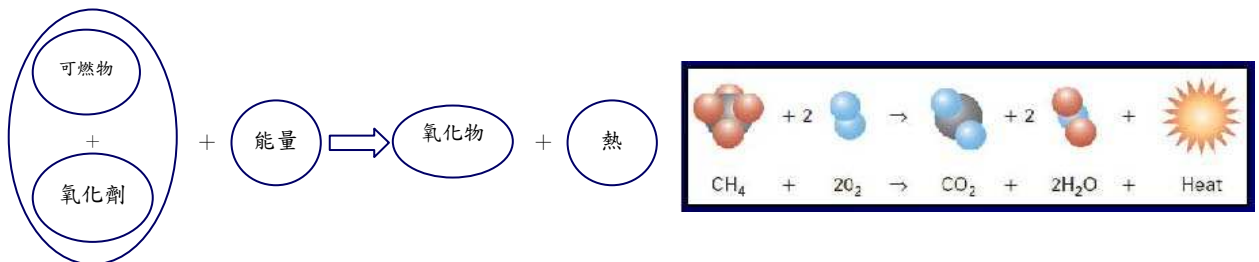
#### 4. 初期火災→成長期火災

初期火災：發火源持續維持自我燃燒的過程。

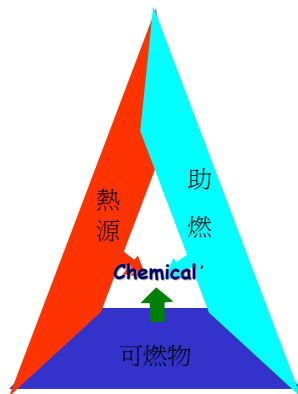


### B. 著火因素

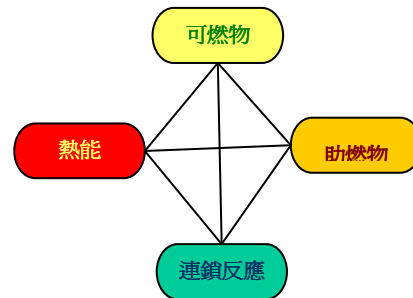
#### 1 燃燒化學反應



## 2. 燃燒三角形 (可燃物、助燃物、熱能)



燃燒四面體 (可燃物、助燃物、能量、連鎖反應)



## 3. 溫度與熱的關係

- (1) 「溫度」是指某個物體裡所有分子「平均動能」的「一個數字(數值)」，它只是一個數值!!!簡單來說就是，「溫度」是一個描述物體內分子動多快的數字。這裡的「動多快」，在固體裡是指分子的震動有多快(因為固體中的分子無法移動)，在液體及氣體中則同時指分子震動多快及移動多快。
- (2) 熱是從高溫物體傳到低溫物體的轉換能量。
- (3) 熱並不是溫度。
- (4) 熱是藉由物質溫度的高低不同而從一個較高溫物體轉移到較低溫物體的轉換能量。溫度只是物體能量的相對表徵。

## 4. 閃火點(Flashpoint)

易燃性或可燃性液體於某一最低溫度能釋放出足夠的可燃性蒸氣，並在表面或在容器內與空氣形成一種易燃性混合物，若接觸火源，即會快速的燃燒而產生一道閃火通過該液體表面上方。此一最低溫度稱為該液體之閃火點。

## 5. 最低著火能量

可燃性蒸氣與空氣之混合氣，即使在燃燒範圍，若無足夠之熱能亦無法發火，此種使其著火之最小能量，稱為最小著火能量。

## 6.發火溫度：(著火溫度)

引火性物質(易燃性液體)表面有充份空氣，遇到火源即刻燃燒，火焰持續不滅，此時，該物質之最低溫度，稱之為發火溫度(著火)。

## 7.著火溫度(Ignition Temperature)

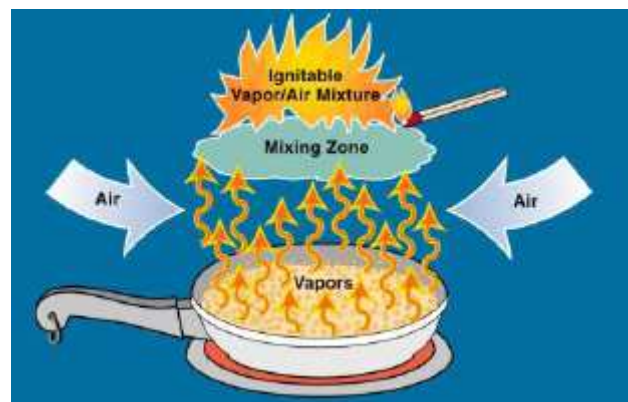
在特定的測試條件下，可以讓可燃性物體點燃的最低溫度；亦可認為可燃性瓦斯之濃度達到燃燒下限時之溫度。

## 8.引火點與發火點(Flash point and Auto ignition point)

接近於可燃性液體或固體之表面置一小火焰，將可燃性物緩慢加熱，此時自可燃性物產生之蒸氣(瓦斯)由小火焰能引燃之最低溫度稱為引火點。亦可認為可燃性瓦斯之濃度達到燃燒下限時之溫度。

發火點指可燃物受熱時不藉火焰或電器火花引火也能自燃之溫度，如容器中置有可燃物用加熱包

(Heating mantle)緩慢加熱至被加熱物由本身起燃所需最低溫度。發火點與著火點屬同意語，以化學立場稱為發火，以機械觀點則用著火。



瓦斯在燃燒時如氫氣或一氧化碳與氧氣之化學反應屬於最簡單之反應例。多種化合物之燃燒過程極為複雜，為進行燃燒該物質產生之可燃瓦斯需達到燃燒下限及在一定溫度下始可。一旦燃燒開始產生之熱將周圍之瓦斯及空氣加熱至能繼續維持反應時才有火焰存在。液體及固體易與氧氣反應者其發火溫度則低，對固體燃料而言受熱時不易產生易燃揮發性成分者只有表面燃燒、所以燃燒速度慢。

## 9. 燃燒界限

可燃性蒸氣或瓦斯在空氣中(氧氣中)其體積濃度在該物質特有之範圍內存在時始能起燃。濃度過低時因易燃性瓦斯之不足而無法燃燒，能點燃易燃性瓦斯所需最低濃度稱為燃燒下限(Lower limit)，但超出某一濃度時因氧氣之不足無法起燃，能被點燃之最高濃度稱為燃燒上限(Upper Limit)，燃燒下限與燃燒上限之間只要供應適當能量時則可起燃(或爆炸)，上下限之間稱為燃燒(或爆炸)範圍(Flammable Limit or Explosion Limit)。燃燒上下限依各危險物品而異。以氫氣為例其燃燒下限為4%上限為75%。

通常可燃性氣體在一定濃度下壓力上升時燃燒範圍變寬，理由為溫度上升反應速度變大，產生熱則大；一方面散熱速度小，下限變低，上限升高。燃燒範圍變寬。

可燃性氣體加入 $N_2$ 、 $H_2O$ (水蒸氣)、 $CO_2$ 等非燃性瓦斯時原有燃燒範圍變狹，再提高比例時，成為加入比熱大之不活性瓦斯愈能顯示混合氣之燃燒範圍變狹之效果。

### (二)熱傳導模式

無論是那一種類型的火災，在燃料(對火災的持續燃燒非常重要)附近和燃燒區域以外的空間，都存在熱量傳遞。熱傳遞的原理相對而言比較簡單，但對於理解火災本身就非常重要；熱量在可燃物表面(或穿越某一區域)的速成率叫做熱流通量，用 $W/cm^2$ 或 $kw/m^2$ ( $1 W/cm^2=10kw/m^2$ )來度量。熱流通量用符號 $q$ 表示。



熱傳遞有 3 種基本方式：(1)熱傳導(2)熱對流(3)熱輻射。在火災中，這 3 種方式都存在。然而，各自相對的重要性隨火災強度、規模、形狀及燃燒環境情況的不同而有所不同，每個都應單獨考量。

## 1. 熱傳導

熱傳導是物質運動分子之間由於互相接觸而產生的一種熱量傳遞方式。由於必須存在震動分子的互相接觸，所以對於大多部分局部作用的火災，熱傳導是有限的。這種傳熱方式在固體物質中最為明顯，因為其中分子之間的接觸頻繁，但在固體物質中不會發生熱對流。熱量總是通過熱傳導以固體物質的高溫區傳向低溫區。這很容易舉例說明，如以加熱金屬的一端觀察另一端的溫度，熱量通過棒的傳遞將引起另一端溫度的升高，但有相當長的時間待候。流過棒的總熱量與時間、橫截面積、兩端的溫度差成正比，與棒的長度成反比。

傳熱速率由熱傳導  $k$  來度量， $k$  的單位是  $W/(m \cdot K)$  (經單位面積傳遞的熱量用  $W/m^2$  表示，距離或厚度的單位是  $m$ ，溫度用  $^{\circ}C$  或  $K$  來表示)。研究人員發現，可用一個方程非常方便地表示它們之間的相互關係，方程表明了各因素之間的相互關係，並能對結果進行預測。熱傳導的關係式為

$$\dot{q} = kA(T_2 - T_1)/l$$

或整理為 
$$k = \dot{q}l/[A(T_2 - T_1)]$$

其中， $\dot{q}$  表示熱傳導的速率(單位  $kJ/s$  或  $kW$ )； $k$  為物質的熱導率； $A$  為熱傳導所經過的面積； $T_2 - T_1$  為冷熱區域的溫度差； $l$  為熱傳導的長度(距離)。給方程輸入不同的數值可以得出， $T_2$  比  $T_1$  大得越多、面積越大或熱傳導發生的距離越短，則熱傳導越快( $\dot{q}$  越大)。因為物質的熱傳導率隨溫度而變化，通常將其規定為  $0^{\circ}C$  或  $20^{\circ}C$  時的測定值。

熱導率的重要性可通過比較相同火災情況下一塊金屬(如電線或通電的金屬條)和一塊木頭的不同表現來說明。金屬的熱導率較高，當其被加熱時，熱量會向其他區域迅速傳撥。如果接觸部分的溫度超過與之接觸燃料的燃點，則與初始熱源比較遠的燃料也會被點燃。另外，木材是熱的不良導體，需要較長的時間強烈的加熱才能燃燒。熱量的傳導不通暢，當遠離加熱點時，木材根本就不能被點燃。火災中一塊簡單的木材一面呈現深度的碳化，另一面除非暴露在其他火源中，否則將不會發生碳化，外觀看上去跟正常的木材一樣。

火災發展和由此產生的後果中，物質的熱傳導極為重要。熱傳導不僅涉及到物質的點燃，再火災開始前熱量必須以熱源流進燃料，某種程度必須進入燃料，而且還涉及到火災的破壞程度。易燃的材料(如木材、發泡塑膠或紙張等)熱導率很低。這就意味著到傳表面的熱量逐漸聚集，引起局部溫度升高，有可能傳到燃料的點燃溫度。金屬的熱導率很高，意味著產生的熱量很快散失到金屬的各部分，因此局部溫度不能迅速傳到點燃溫度。銅傳導的熱量幾乎是木材的 2000 倍。火災後可以看到：銅電線絕緣處的熱損害，以實際的加熱點或電器故障位置延伸出相當一段距離。木材也許一面受到嚴重破壞，有時只是熱量直接作用區域受到破壞，其他沒有直接暴露在火災中的區域或許就沒有被破壞。熱的不良傳導(如油毯、發泡塑膠或絕緣類物質等)，在絕熱的同時也是電的不良導體。一些熱導率較高的金屬意味著對其局部實施加熱很難將其熔融。例如，銅的燃點(1082°C，1981°F)通常超過了燃燒區域的溫度。除高規格的銅導線在燃燒時有可能融化外，較大的橫截面積將使熱量迅速傳導而使整個金屬的溫度不會超過熔融溫度。

## 2. 熱對流

熱對流作為熱傳遞的另一種方式在火災中是極其重要的。它可以定義為通過流通介質而產生的熱量傳遞。同樣，熱對流將會在氣體和液體中發生，通常不會在固體中發生。但是，熱量從固體傳到液體或氣體(反之亦然)時，對流換熱也起作用。在大多數火災中，它是由溫度差(浮力羽流)引起的密度差驅動而產生的。

當水被加熱時，儘管其熱傳導率很低，溫度也會迅速升高。這是由於容器底部被加熱的水產生膨脹，密度減小，被密度大的冷水不斷置換加熱。另一個非常熟悉的例子是由爐子或取暖器加熱的建築物，房間內燃燒區域很小並受到控制，但室內的受熱空氣由於熱對流而進行不斷得循環。在強制對流的爐子中，會設置一個排風扇或鼓風機來增強熱對流。

火災中流動的熱物質是燃燒的氣態產物，與之在一起的環境中的空氣也被加熱，他們膨脹變輕，並以極快速度向上運動。火災中引起大多數熱運動的傳熱方式是熱對流。它也在很大程度上決定了火災的基本特性，包括火災的移動、蔓延以及最終的燃燒類型。

對流換熱由下列方程式來表示。

$$\dot{q} = h (T_2 - T_1) A$$

式中， $\dot{q}$  代表熱運動的速率； $A$  為熱對流所穿過的面積； $T_2$  和  $T_1$  分別為兩種材料的溫度； $h$  為兩種材料之間熱量交換效率的數值。對流換熱隨物質的組成方式、表面結構、運動速度的不同而變化。對於空氣中浮力羽流， $h$  在  $5 \sim 10 \text{ W/m}^2$  之間；對於溫度為  $800^\circ\text{C}$  的典型火焰，熱對流流向附近表面的熱量大約是  $4 \sim 8 \text{ kW/m}^2$ ，大大少於同樣的火焰產生的  $40 \sim 50 \text{ kW/m}^2$  的輻射熱。

在非常大的火災(尤其是室外火災)中，熱氣體向上運動極其強烈，以至於形成所謂的火災風暴。在這種形況下，通風設施將會把地面的輕質燃料吸

到火焰中，此時熱對流將燃燒生成的氣態物質和固體沉積物揚起數百英尺(1英尺=0.3048公尺)而進入到空氣中。隨風落下的沉積物將和其他燃料一起重新燃燒，火災產生的強烈輻射使得一定距離外的燃料被加熱到點燃溫度而起火。這就是那些造成巨大損失、眾所周知的重大火災的作用原理。例如，德國的 Dresden 火災和日本的東京火災(都是第二次世界大戰中空襲的後果)，還有美國伊利斯諾州的芝加哥火災和威斯康辛州的 Peshtigo 火災(偶發的火災，一處是在城市，其他兩處是在野外，都發生在 1871 年 10 月)。

### 3. 熱輻射

與導熱傳熱或對流傳熱相比，輻射傳熱受到的關注較少，但它在火勢發展和傳播中扮演著最為關鍵的角色，尤其是在大火災中。輻射有助於火勢沿表面蔓延，促進其他燃料被點燃，並會產生維持火勢的燃燒形式。所有處在絕對零度(0K,  $-273^{\circ}\text{C}$ ,  $-460^{\circ}\text{F}$ )以上的物體都可以以電磁能的形式輻射能量。熱輻射的能量可以不通過任何接觸導體或傳播介質轉移到其他物體上，輻射對火災的進一步發展有著重要影響。溫度低時，輻射方式主要是向外發射紅外線。當溫度上升到  $500^{\circ}\text{C}$  以上時，某些輻射在可見光範圍，看到的顏色取決於物體的溫度。除了不能用肉眼看到外，紅外線的作用與可見光幾乎一樣。源於太陽的紅外線輻射是地球上熱能的基本來源。太陽是可見的，它的輻射熱量是可以感受的，就如同觀察者可以感受到火產生的輻射熱量一樣。這種熱量之所以被感受到，是因為身體吸收熱量，並且吸收的熱能比身體向周圍環境輻射的能量要大。同樣，一個處在寒冷環境中的人感到冷，是因為他或她身體向外輻射的熱量比其從環境中吸收熱量要快。等溫條件下，所有的物體都以相同的速率吸收或是輻射能量，結果不引起溫度的變化。如

果溫度是以 K 來度量，總輻射強度( $E$ )就與溫度的 4 次冪(以 K 為單位)有關，就如斯蒂芬-玻爾茲曼關係式所表述的

$$E = \epsilon \sigma T^4 \text{ W/m}^2$$

式中， $\epsilon$  為輻射率； $\sigma$  為斯蒂芬-玻爾茲曼常數<sup>[5]</sup>。這就意味著表面溫度的適度增加，比如說房間溫度提高為 2 倍，從 300K(27°C)升到 600K(327°C)，輻射強度將上升為 16 倍(2 的 4 次方為 16)。熱輻射的作用是由它的大小決定的。下表列舉了幾個熱輻射作用的例子。這種作用有助於預測暴露表面的熱強度，對火災發生後重新確定火源的地點和接受輻射熱的表面起到輔助作用。

熱輻射效應表

輻射熱通量 $q/(\text{kW/m}^2)$	觀察到的效應	輻射熱通量 $q/(\text{kW/m}^2)$	觀察到的效應
1.0	皮膚暴露後可接受的最大極限	20	點燃某種纖維質
6.4	暴露 8 秒後皮膚產生疼痛	29	木材在長時間暴露後自燃
12.5	木材在長時間暴露後被引燃	52	5 秒點燃纖維板
16	5 秒後皮膚爆皮	100~150	閃燃後的燃燒

註：來源 Drysdale, D.D. *An Introduction to Fire Dynamics*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Chichester, United Kingdom, 1997, 61。

熱通量不是決定輻射傳熱的唯一因素，它還與角係數有關，即接受輻射熱的表面與輻射路徑是呈垂直還是平行的位置關係有關。點火源的輻射強度隨距離的平方成反比例下降。換言之，如果一個物體距離一個小廢品箱 3ft 遠，並且接受到 6  $\text{kW/m}^2$  的輻射熱強度(熱通量)，物體移動 2 倍的距離(到 6ft 遠)，輻射熱強度就下降為 1.5  $\text{kW/m}^2$ ，即為原來的 1/4。離火源一定距離的物體表面接受的熱通量可以表示為

$$\dot{q}'' = X_{\text{rad}} \dot{Q} / (4\pi r^2)$$

式中， $\dot{Q}$  為廢品箱燃燒的總釋熱速率； $X_{\text{rad}}$  為輻射熱份數(對垃圾火來說，可取為 0.4)。從此式可以看出， $r$  越大， $\dot{q}''$  下降越快。

如果一個物體離大火很近，火就不能再被看成是一個點火源，來自大火的各個部分對輻射的貢獻不再符合輻射強度隨距離的平方而下降的規律。此時，關係式變成：

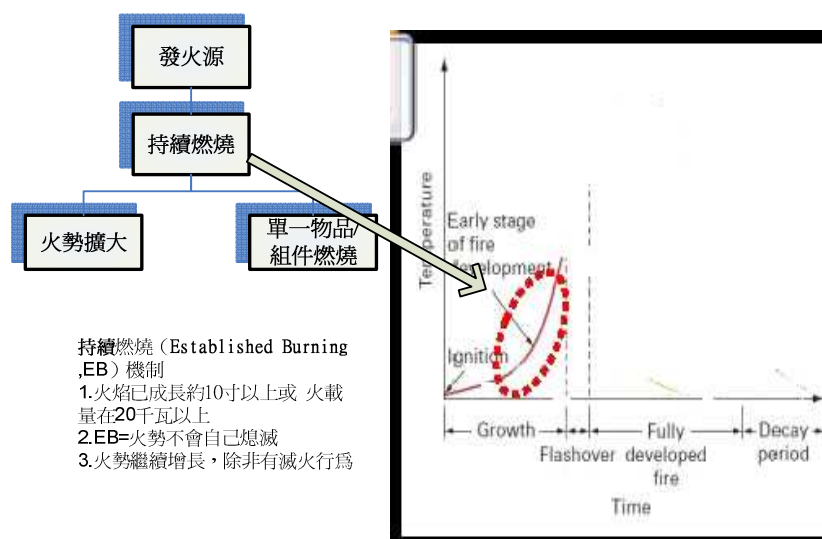
$$\dot{q}'' = \varepsilon \sigma T_2^4 F_{12}$$

式中， $F_{12}$  代表了輻射源(溫度  $T_2$ ) 與被輻射表面或目標表面間的角係數； $\dot{q}''$  是目標表面接受的輻射熱通量。

這種輻射表面間角係數的計算非常複雜，讀者可以參考其他書籍，但要注意，距離不再是唯一的需要考慮的因素。例如，房間內被點燃後形成了熱煙氣層，整個頂棚層都是輻射熱源。如果我們測定距頂棚層分別為 4ft 和 8ft 物體的輻射熱通量，則發現二者相近。這就是為什麼輻射熱幾乎使得房間內大多數物質同時燃燒，因為是這些係數控制者被輻射表面可以接受多少熱通量。熱通量的作用大小同時也受被輻射物體表面的性質影響，特別是它們對熱或紅外線的反射程度。到達表面的熱(或是可見光)可以被吸收也可以被反射，輻射體也很容易吸收熱。一般來說，深顏色物體要比淺顏色物體的輻射和吸收能力強，但是一些淺顏色物體會非常有效地吸收紅外線(熱)。此外，拋光物體表面，如鍍鉻平板，既能抵抗吸收，也能抵抗發射。一面鏡子在反射可見光的同時，也以同樣的方式反射紅外線和其他熱線，但製作鏡子的玻璃會吸收紅外線，並使其溫度上升。火災調查人員在火災過後所關注的許多能表明火勢發展趨勢和強度的殘留物都是熱輻射的結果，因此對造成這種情況的各種因素進行了解是非常重要的。

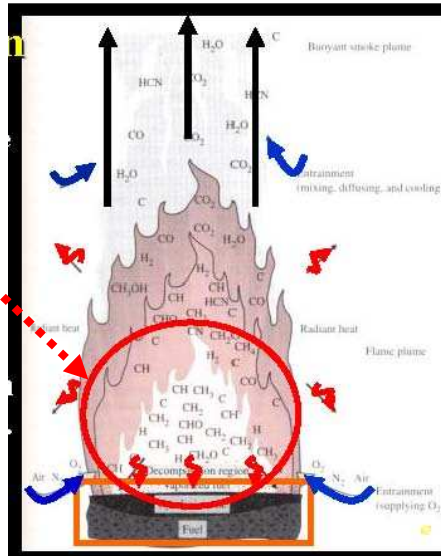
熱輻射是使消防救援變得困難的一個主要因素，因為近距離會使設備和消防人員接受大量輻射熱，使可能的救援活動難度增加。當火災在建築物內一個部分燃燒時，面向火災的所有表面都會被輻射加熱，當表面溫度到達物質本身的自燃點時，將會著火。在非常大的火災中，輻射熱使處在一定距離處的建築和車輛被點燃的情況是很常見的。在一個分區內，輻射點燃是火災發展的主要因素，與火災從一處漫延到另一處不同的燒焦區域一般都是由於熱輻射造成的，火災調查員應當了解，一般來說，他們不會像火焰直接衝擊那樣可以明顯地確定出損壞的碳層，而是出現一些陰影效應，因為該處存在的中間物質阻擋了一部分輻射熱。當沒有中間物質或覆蓋物，或是發生閃燃後的燃燒時，輻射燒焦的形式在碳化度上是一樣的，它們會使尋找起火點變得更為複雜。因為即使房間內產生輻射熱的火災不在低處，但產生的熱輻射會使處於房間低點處的物質產生碳化。熱輻射引起地板覆蓋物被點燃也會導致地板碳層的損壞，但不像直接輻射產生的碳層那麼均勻。

### (三)持續燃燒機制



## 燃燒過程

- 1這時火焰和火羽流將形成。
- 2空氣會持續補充
- 3燃燒熱會生成更多可燃性氣體，而這些氣體受熱後又再產生更多的熱量 ...



本圖在描述固體及液體有焰燃燒的動力學過程。從圖可以看出，由於在燃燒表面產生了火焰輻射熱，升高了燃料表面的溫度，如果是液體將促使其汽化，如果是固體將促使其裂解。從液體沸騰或固體裂解中產生的蒸汽分子，在火焰中發生化學鍵斷裂，它們更容易與來自外部的氧氣混合。熱煙羽（來自不完全燃燒產物的固體煙灰或者液體煙霧）隨著對流漂浮上升（氣體變熱會使其比房間內周圍的空氣密度小），這種對流把周圍的空氣和氧氣捲入火焰中，和氣體燃料混合，維持燃燒持續進行的機制。

## (四)火焰(Flame plume)與火羽(Fire plume)

### 1. 火焰

正在燃燒的可燃氣體（蒸氣）所佔據的發光、放熱的空間範圍，稱火焰。火焰是可燃物產生有焰燃燒的基本特徵。氣體燃料燃燒時直接形成火焰，有預混合火焰和擴散火焰兩種；液體燃料和固體燃料燃燒時由分解或蒸發出的氣體形成火焰，一般為擴散火焰。

### 2. 火羽



在未發生火災前，居室內部是呈現低溫的平衡狀態，但是當火災發生時，由於燃燒作用所生成的大量熱及能量釋放，會導致居室內部溫度及壓力變化，進而產生向上推升的浮力作用，同時將燃燒所生的各種生成物一起混和往上擠壓的現象，此種情形稱為火災熱流中的火羽現象。

### 3. 火焰特性

- (1) 含有發光氣體
- (2) 含有顆粒物質
- (3) 平均火焰溫度約2200°F (1200°C)
- (4) 產生各類型火災燃燒模式的主要因素。

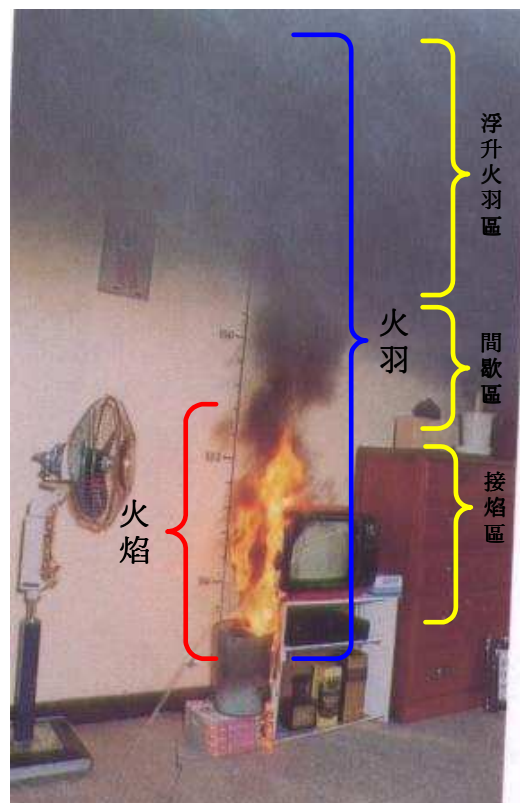
### 4. 火羽的特性

#### (1) 組成成份

火羽為燃燒生成物及大量空氣所組成，含有大量的煙及有毒氣體，為火場主要的致命因素。

#### (2) 明顯介面

火羽受熱後，因溫度升高、密度變小而向上竄升，當火羽到達天花板時便開始像水平擴散，若遇到垂直阻礙物(如牆或垂壁)阻擋，或有冷空氣進入降溫的結果，煙層開始下降；因此，在室內形成 "有煙上層區" 與 "無煙下層區"的明顯介面。



### (3)煙囪效應

火羽將由開口部及管道間等間隙向上擴散，外界冷空氣則由下方進入室內；建築物內部形成煙囪效應，並於內外壓差合力為零之處形成中性帶。

火羽結構包括：(1)接焰區(the near field zone)，此區域接近火源附近，為持續火焰區，高溫氣體處於加速狀態；(2)間歇火焰區域(the intermittent zone)，此區域流體處於等速狀態；(3)浮升火羽區域(the buoyant plume zone)，此區域流體速度和溫度隨高度增加而遞減，有關於火羽在火災發展過程中的熱流變化，是火災學中非常重要的研究課題，舉凡撒水頭與火警探測器動作、煙氣蓄積、建築結構與內裝材料受熱、排煙與滅火設備設計上種種問題，都必須涉及火羽的相關理論。

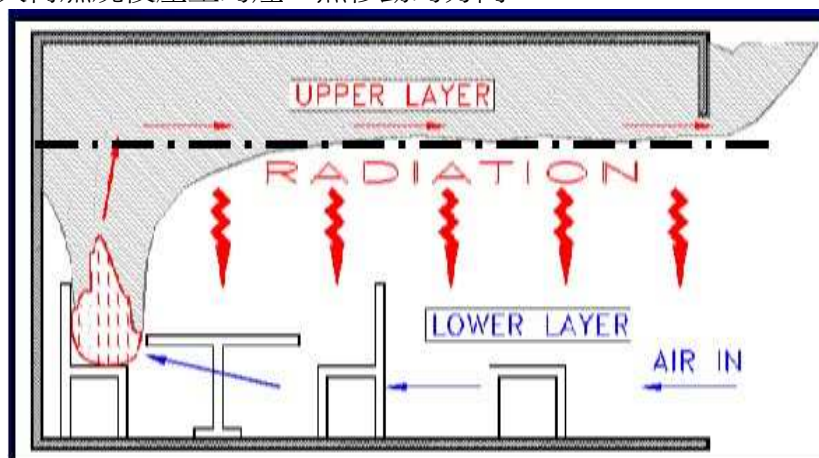
典型的區劃內火災是由一個區塊（或區域）的可燃物起火燃燒開始，這會產生一種浮升火羽區（buoyant fire plume），這時熱能傳遞剛開始是藉由隨火羽上昇的空氣對流。火在這個時間點，熱能藉由對流及輻射傳遞到區劃內其他區塊、牆壁、地板及天花板的作用相對而言是最小的，當熱氣及其他可燃物燃燒後的生成物開始在天花板下方橫向的聚集，上層（the upper layer）便開始形成。火災從這個時間點開始，輻射熱同時在原有的燃燒區塊及不斷累積的上層中產生，隨著上層不斷變厚同時不斷增加熱能，區劃內的熱傳遞輻射的部分遞增；相對的，對流方式傳遞的比率遞減，大約閃燃發生的時候，輻射熱成為熱能轉換的主要機制。至於鄰近區劃外的其他空間，直到同樣的火災「擴及全室」的過程在下一個空間發生前，對流仍然是主要的熱能傳遞機制。

火災學家用一種最簡單的形式，來觀察區劃空間內火災的發展過程一將區劃分成 2 個區塊，由最初燃燒產生的熱氣體、煙、微粒以及液化氣體的上

層 (upper layer) 由天花板逐漸累積；另一端則是溫度較低的下層 (lower layer)。上層的燃燒產物與受傳導、對流加熱的天花板及圍牆上部相互交替作用，持續增加可燃物和燃燒後的氧化物。這個不斷囤積變厚的上層底部在上下兩層之間形成一個近乎水平的介面，而下層因為未經加熱的空氣持續進 (吸) 入原來的燃燒區塊而溫度相對是低的 (如下圖)。

高溫的上層底部水平介面的輻射熱讓區劃內處於低層的可燃物加熱，這些可燃物通常包含區劃內的擺設物、內容物 (家具)、牆面還有地板覆蓋物；隨著火持續擴大，燃燒所釋放熱的速率增加，上層的溫度也快速升高；而後上層的溫度增加使得上層的厚度越來越厚，上層便逐漸往下降，造成上層底部的介面與下層區劃內的可燃物距離不斷的拉近，輻射熱流對於下層未燃燒的所有可燃物產生熱分解的程度以指數 (等比級數) 般的速度成長，熱傳遞如此上下回饋，火災持續成長同時輻射流不斷增加直到下層的所有可燃物幾乎同時著火的情形發生。這就是閃燃的現象。

在下圖中，粗箭頭代表來自上層底部的輻射熱能；在下層的細箭頭代表由房門底部進入區劃並被起火處 (椅子) 吸入的空氣；上層的細箭頭代表左側起火椅燃燒後產生的煙、熱移動的方向。



## (五)中性帶

建築物上下層所受的外力方向相反，且於某一高度其所受力量為零，此一高度水平橫切面即稱之為中性帶。

中性帶特性：

- 1.有煙層及無煙層之上下層明確分開。
- 2.有煙之上層區發現有被加熱的不完全燃燒產物、煙霧、煙塵等燃燒產物（氣體）。
- 3.外部空氣會由下層區吸進來接近火源根部。

## (六)室內火災成長趨勢

以下內容係以發生在一般房間內的火災—也就是廣義的室內火災，這樣的火災發展過程中的每一個階段都可以預測。每個階段都有不同的特徵，且燃料的作用在每一個階段都不相同。火災調查人員必須清楚這些作用，才能對災後現場進行正確的判斷。每個階段所用的時間隨點燃環境、燃料和通風條件而變化(某些情況下，變化劇烈)，但是在初期階段或反應開始到衰減階段，本質是相同的。

### 1.初始階段-初期火災

這是點燃後火災發展的第一階段，火焰處在起始燃料被點燃位置，並呈現典型的敞開式自由燃燒特徵。房間內氧氣濃度處在正常值(21%)，且總體溫度還沒有開始上升，來自火焰的熱煙羽開始上升，其組分取決於正在燃燒的燃料，通常包括碳煙粒子(碳和其他固體)、水蒸氣、二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫和微量的其他有毒氣體(也有來自周圍空氣中被加熱的氮氣)。對流將這些產物和熱量攜帶到房間的上部，並以火焰的底部捲吸氧氣以維持燃燒。如果在火焰之上有固體燃燒，對流和直接的火焰接觸使得火焰向上向外

蔓延，產生典型的垂直形式的碳痕(可燃性或燃料的火焰蔓延決定著這種形式的特點)。如果火焰之上沒有燃料，煙羽中的氣體將上升，通過輻射和對流(常為亂流)將熱量散失到房間空氣中。

## 2. 自由燃燒階段-成長期火災

隨著更多燃料參與燃燒，火災強度增大。對流和輻射使火焰從初始燃料燃燒處向上向外蔓延，直到附近的燃料到達燃點並開始燃燒。火焰的熱輻射可能會使其他燃料到達燃點，使火災橫向蔓延。橫向蔓延的速度，大多程度上取決於其他燃料所處的位置及其物理分布，它們與其他物質離的越近，火災蔓延和熱釋放速率的增加就越快。火災產生的熱氣體在頂棚形成熱氣層，隨著火災持續進行和蔓延，這個熱氣層的溫度會不斷上升(上升速率取決於火災的熱釋放速率、房間大小以及頂棚和牆壁的絕熱程度)。

房間中這種向上的氣體層氧氣含量低、溫度高，碳、煙以及部分燃燒分解產物(包括有毒氣體如一氧化碳、氫氰酸、氯化氫、丙烯醛和不完全反應產生自由基的化學物質)與處於地板附近的氣體有很大的不同。地板附近氣體層溫度較低並含有新鮮空氣(氧氣濃度接近於正常)，空氣和處於反應產物層下的火焰相混合。如果人們處於較冷的低溫層中，不會呼吸到上層的氣體，房間內的人還有存活的可能。如果房間的通風受到限制，火焰會產生更多的不完全燃燒產物，包括分解產物、一氧化碳及固體燃料，他們以煙炱和煙氣的形式存在。隨著火勢的持續和火焰的增長，富燃料層的高度越來越低，溫度越來越高。大量的可燃氣體、液滴、煙炱和煙種類，直到煙氣層中存在的一種或多種燃料到達燃點。溫度升至燃點可能是由於火焰的輻射作用，也可能是敞開火焰的直接加熱作用所致。而後，空中的燃燒層開始著火且火焰擴展到整個房間的頂棚，這個過程常被稱為火勢翻滾。在燃料和空氣

形成的滾動雲團前端的火焰能達到 3~5m/s 的速度。隨著煙氣層燃燒的繼續，頂棚層的溫度上升的更快。

即使沒有被火焰點燃，頂棚處熱煙氣層的輻射熱量也會對房間內其他物質造成極大威脅，其輻射強度取決於溫度的高低。當熱煙氣層達到約 600°C (1100°F) 的臨界溫度時，在正常比例的房間內，地板上輻射的熱量為 20kW/m<sup>2</sup> (2W/cm<sup>2</sup>)，它足以使房間內的其他纖維質燃燒(如家具和地板覆蓋物)達到燃點。此時，房間內所有的燃料迅速轉變為火焰燃燒，以而進入閃燃狀態。一旦滾燃發生，房間內所有暴露的燃料都會捲入燃燒，整個房間內的溫度達到最高，數秒鐘內幾乎沒有倖免於難的可能。一旦地板或其覆蓋物被點燃，火焰在地板附近產生高溫，這個溫度就會達到且常超過閃燃前頂棚層的高溫。隨著兩種形式破壞作用的同時出現，火焰產生的巨大湍流使房間充滿熱煙氣，穿越房間熱煙氣層的噴出火焰迅速擴張。這一時刻常常被消防隊員認為是閃燃時刻，它意味著全面點燃即將來臨。因此，對於研究火災的科學家而言，閃燃是指房間內或分割區內所有燃料擴張、輻射和點燃的過程。

火勢的增長：隨著分割區內的燃料被點燃，燃燒為室內提供了大量的熱，其供熱速率與室內存放燃料的種類、分布以及點燃方式有關。

隨著每件物品(凳子、沙發、地毯等)被點燃，它們都將會促使熱煙氣層形成。熱煙氣層在通過頂棚和牆時存在導熱、輻射和對流損失，大量的熱煙氣會從門、窗戶或通風口逸出。只有當足夠多的熱量快速釋放給房間時，才有可能發生閃燃。很明顯，房間內主要燃料的熱釋放速率越高，就越有可能發展到閃燃階段。如果使用家具熱量計來測定各種燃料熱釋放速率，我們就可以估計出各自在火災中的作用。美國國家技術與標準研究院的火災研究中心和加利福尼亞的家用設備局已經測定了數以百計物質的熱釋放速率。沙發

椅的最高放熱速率：150~700Kw；沙發：250~3000Kw；床墊：510~2800kw。  
 其他燃料對火災發展也起很大作用，聖誕樹：800~1600Kw；裝有 100 個錄影帶的木書架為 800Kw；1.9L 露營用燃料：900~1000kw。如果一種熱釋放速率大(700kw)的燃料同幾種熱釋放速率小(每個 150~250kw)的燃料組合體同時或幾乎同時到達熱釋放速率最大值，通常尺寸的房間會發生閃燃。出現其他複雜情況是由於外部的輻射熱增加了典型燃料的熱釋放速率，因此火會以更快的速率增長，這時就不能用簡單的加法來解釋或說明閃燃現象。

### 3. 閃燃後階段—最盛期火災

#### (1) 進入最盛期燃燒的條件

任何火災都是燃料、空氣、熱量和燃料消耗速率之間進行的化學平衡過程。如果通風受到限制，火災將會以較慢的速率進行，溫度緩慢上升，產生的煙氣會增加，空中漂浮的燃料(煙層)點燃會被延遲。當獲得足量的空氣以滿足敞開式火焰點燃的條件時，燃燒可能不完全在房間內發生，富含燃料的煙氣從門、窗等開口處逸出，這種形式的燃燒就可以持續進行。如果燃料燃燒並不迅速，不能產生足夠的熱，對流和傳導的熱損失將會阻止火災進入全面發展階段。發生閃燃時，需要燃料具備的臨界熱量(每秒鐘)( $\dot{Q}_{fo}$ )是可以計算的，他取決於房間的體積、絕熱性及通風口的高度和寬度。Lawson 和 Quintiere 得出的關係式為

$$\dot{Q}_{fo} = 610(h_k A_w A_o H_o)^{0.5}$$

式中， $h_k$  為有效傳熱係數； $A_w$  為牆壁的總面積( $m^2$ )； $A_o$  為房間開口的總面積( $m^2$ )； $H_o$  為房間開口高度(m)。

$$h_k = \frac{k_{\text{熱導率}}}{\delta_{\text{厚度(m)}}}$$

絕熱性良好的房間與牆壁和頂棚熱導率高的房間相比，前者更可能蓄積足夠的熱量，使火災進入全面發展階段。並不是所有的室內火災都能到達閃燃階段。如果通風口太小，就不可能有足夠的通風強度使火勢增長以致發生閃燃；如果通風口太大，火勢必須猛烈以克服能量損失，並能形成發生閃燃所需要的熱煙氣層。如果熱煙氣層沒有到達臨界溫度，將不會產生足夠的輻射熱使室內其他物質開始燃燒。閃燃並不是一個特殊時刻或特殊事件，而是燃料一個接一個進行燃燒到房間內暴露的所有燃料都起火的過度狀態。一旦燃燒進入閃燃後階段，所有參與燃燒的燃料將會隨著氧氣供應充足而快速燃燒，直到所有的燃料燒盡。這個過程是不可能循環往復的。閃燃後的火災可以被認為是通風控制火災，因為暴露燃料都已起火燃燒，火災的熱釋放速率不再受暴露燃料的數量所控制，火勢的大小可能取決於進入房間空氣的數量。熱釋放速率通常由房間通風口的面積、高度和分布所決定，關係式如下。

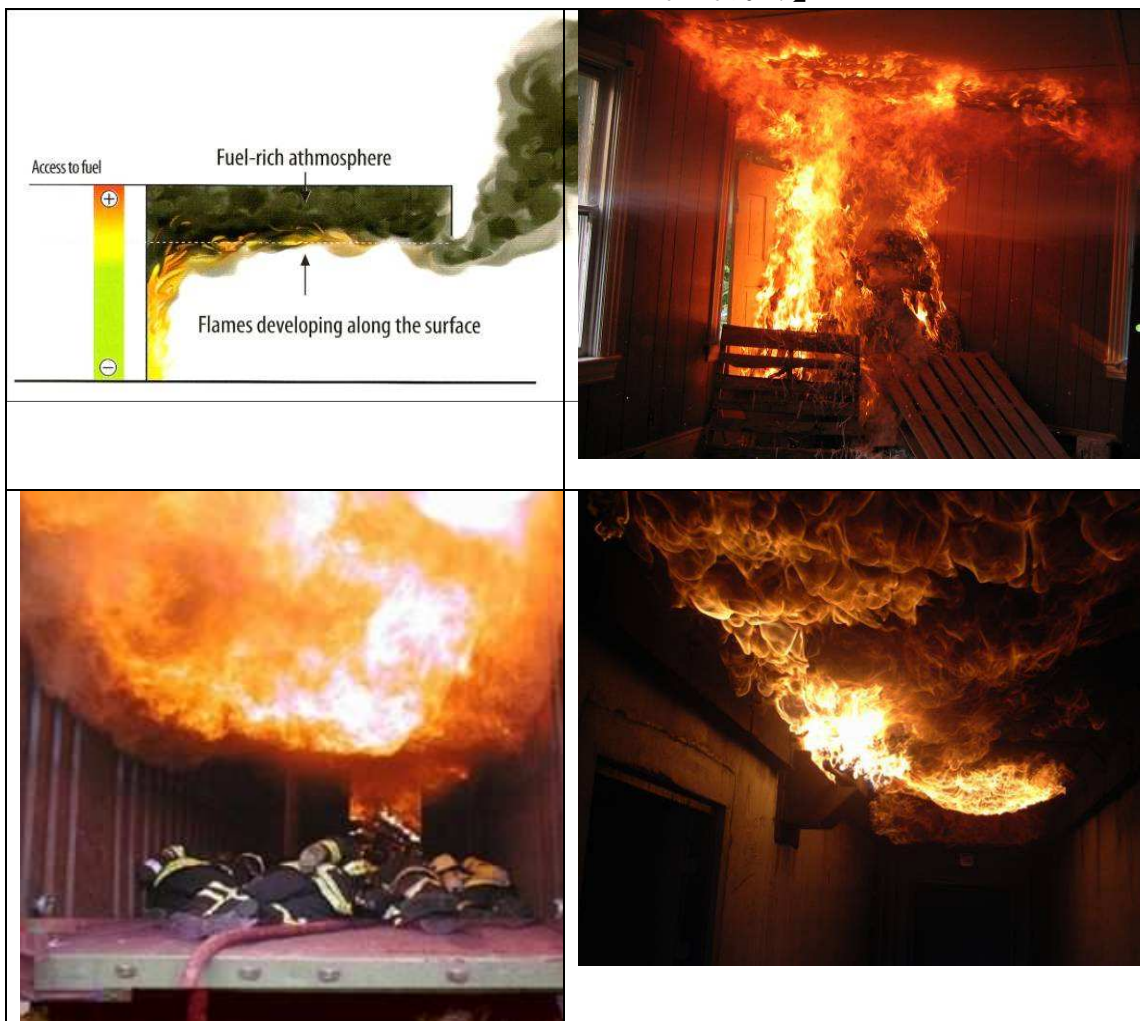
$$\dot{Q} = 1500A_o H_o^{0.5}$$

一個單門房間(0.8m 寬, 2m 高)可以支持房間內 3MW 火災所需空氣的進入(和廢氣的流出)。在牆上部的窗戶充滿了大量漂浮的燃燒廢氣，但在牆下部低處的窗戶並不能有效將新鮮空氣引進來。火災閃燃發生後，燃燒最劇烈(伴隨著熱效應)的位置不在燃料所在處，而在通風最好地方。氧氣進入房間並與燃燒氣體相混合的區域會發生最猛烈的燃燒，混合過程是不穩定的紊流過程，火焰也不向火炬那樣穩定，而是以一種混亂無序的形式移動。這會在附近表面造成無規律的熱效應。如果閃燃發生後的火災突然缺氧(如結構倒塌)，燃燒火焰會迅速減小。只有當更多的空氣進入時，火勢才能增大，但閃燃不會再出現。



(2)區劃火災進入最盛期的快速轉換燃燒現象：包括有Flameover(火勢翻滾)、閃燃及爆燃

A.Flameover：由原始火災生成的未燃燒燃料（熱分解產物）累積在天花板下方，其燃燒濃度（即等於或高於燃燒下限）足以引起燃燒時，不用點火或事先點燃其他原始燃料就可以燃燒的現象，稱為 Flameover。另因其燃燒現象看起來就像是火焰在天花板下方滾動的感覺，所以又稱為 rollover（火勢翻滾）【NFPA 921Guide for Fire and Explosion Investigations 2004 Edition 3.3.65 Flameover. &3.3.128 Rollover.】



B. Flashover(NFPA921 2008 版)

一個區劃內火災發展過程的轉換階段，當區劃內暴露於輻射熱的可燃物同時著火，火勢迅速遍佈整個空間，並導致整個區劃或侷限的區域全面燃燒。

#### ※閃燃指標 (Indicators of Flashover)

經過多年的區劃火災實體 (full-scale) 和模型 (model) 的燃燒試驗，加上隨之產生的數據資料及數學運算，火災學研究學者已經發展出數個區劃空間可能發生閃燃現象的具體指標和建議。

##### (1) 技術性指標 (Technical Indicators)

科學家或工程師做專業研究時，為求確實，必須獲得定量的數據資料。因此，要研究閃燃發生的指標，閃燃就必須能受被「定量的」測量。平常用於閃燃的定義性元素，包括燃燒快速、造成「全面燃燒」的熱轉換現象、表面著火和火勢擴大，這些用語因為太過主觀也太過未定量化，同時無法使用於數學和純科學上作分析。

「溫度」和「輻射熱通量」是普遍被接受的技術性閃燃指標，分別是火災空間上層平均溫度  $\geq 600^{\circ}\text{C}$ ；以及地板平面的輻射熱通量  $\geq 20\text{kW}/\text{m}^2$  (千瓦/平方公尺)。

##### (2) 非技術性指標 (Non-technical Indicators)

在閃燃或接近閃燃時有一些其他的實體觀察現象經常被目擊者指出，包含：火勢在區劃空間中爆炸；或火勢非常快速的橫向貫穿區劃空間；整個地板平面燃燒起來；外部的玻璃窗爆裂；火勢跳躍到區劃的門或窗；或是整個陷入火海的「全面燃燒」等等各種狀況。

外部窗戶爆裂的狀況經常伴隨閃燃發生，或經常被指稱於「全面燃燒」後不久即發生，因此，這種經常被觀察者描述的“破窗現象

(window-breaking phenomenon)”，經過審慎的科學辯證後成為閃

燃已經發生的一個指標。之前，大家普遍相信是因為發生閃燃的區劃空間壓力快速的增加造成窗戶的損毀，但是分別在 1980 年由 Fang 和 Breese(NBS)兩個人；以及 1990 年 Skally (NIST) 所主導的試驗中，指出並非是閃燃後由 0.014kPa 提升到 0.028kPa (0.002psi 到 0.004psi) 這種相對微小的壓力變化所造成，而是因為暴露於閃燃下的玻璃表面及未暴露的部分（玻璃內層）其溫度差達到 70°C (158°F) 左右所造成。目前普遍為科學界所接受的居家用窗玻璃損毀的最小壓力為 0.689kPa 到 3.447kPa (0.1 psi 到 0.5 psi) 之間，遠高於 NIST 的壓力測試報告，所以，閃燃發生時或發生前後快速的溫度提昇才是“破窗現象”發生的原因。

#### C.Backdraft(NFPA921-2008 版 3.3.14)

在一個不完全燃燒而含有缺氧生成物的密閉空間突然引入空氣而造成爆燃的現象。

爆燃是火災燃燒過程最危險的狀況。在密閉空間中，燃燒進行到一個階段，室內空氣將近耗盡，火焰漸小溫度漸低，但此時如突然有大量新鮮空氣從一開口進入供給，而與室內可燃性氣體結合，則會有含有壓力波之火焰快速爆衝而出，且其通常會循著空氣供給方向衝出開口，此即為「爆燃」現象，其特徵如下：

- a、爆燃形成前會突然產生大量的濃煙，故建築物的窗戶會被濃煙完全燻黑，無法透視。
- b、火災現場空氣的進入與濃煙的釋出，就好像火場在呼吸的情形。
- c、門縫等處會有濃煙逸出。

故火災調查人員在第一時間到達火災現場時，如果看到火場有以上幾點

特徵時，即可作為火災原因調查時重要的研判參考資訊。且在爆燃發生之前，搶救人員進入室內發現濃煙密佈，而無火焰，此時將在迅雷不及掩耳的狀況下發生爆燃，亦因爆燃之壓力將入口門窗關閉，而造成搶救人員水線被切(夾)斷，無法順利供水降溫，造成人員傷亡。

#### 4. 衰減階段

最終，燃料被耗盡，敞開式的有焰燃燒逐漸變小(如果火災過程中，氧氣濃度降低至 16%，即使存在未燃燃料，敞開式火焰燃燒速率也會降低；氧氣濃度低於 5%時，燃燒可能會完全停止)。隨著通風控制火災逐漸減弱，從固體燃料中分解的燃料蒸氣減少，有焰燃燒趨於結束。最後，餘燼燃燒成為燃燒的主要形式。只要燃料滿足一定條件，餘燼燃燒就會繼續進行，房間內的高溫可能會維持下去，而這取決於通風和隔熱條件。一些產物繼續分解形成一氧化碳、其它氣體燃料、固體煙灰、液滴及其他以煙形式存在的可以繼續燒的物質。

如果房間通風不充分，這些分解產物會形成可燃的氣體混合物。當存在點火源並供有新鮮空氣時，形成的蒸氣雲會爆燃並形成二次火災。這種現象有時被稱為複燃、回火或煙氣爆炸。這種方式的點燃過程是以爆炸速度進行的，與燃料直接產生的蒸氣和空氣混合產生的爆燃相比，產生的壓力 [ $\geq 0.5 \sim 1.5 \text{psi}$  ( $3 \sim 10 \text{kPa}$ ,  $30 \sim 100 \text{mbar}$ )] 較低，但這樣的壓力也足以造成結構損壞並威脅生命安全。儘管這種方式的煙氣爆炸很少見，但當發煙量大的燃料(如橡膠或聚氨酯泡沫橡膠等)存在時，是有可能發生的，對此，Fleischmann 做了深入研究，並進行了動力學方面的分析。結果顯示：即使在控制條件下，也不能保證煙層一定被點燃，因為它要求燃料與空氣混合物的比例適當並與合適的點火源接觸。最近的一個例子是火勢相對較小、發煙

量大的火災，它使房間內充滿了富含燃料的熱煙氣，當煙氣被排出房間時，在樓梯間被點燃，使 3 個消防員受困，滅火中使用的正壓通風會給高溫、富含燃料的環境帶入足夠新鮮的空氣，從而也可能導致上述現象發生。

上述總結的情況並不是在每一場火災中都會發生，整個火災的點燃過程可能一直就伴隨著餘燼燃燒過程，如果這一過程發展到一定程度，使熱釋放率增至足夠高，就可能引起並維持有焰燃燒。因此，餘燼燃燒不能只被看成是火災最終階段的產物。隨著有焰燃燒的進行，熾熱燃燒也同時存在。以木材為例，如果木材的分解發揮發速度與氧氣到達熾熱木炭表面的速度一致，熾熱燃燒就會發生。在強送風條件下，強制的空氣流會推開木材表面流動的氣流，熾熱燃燒進一步增強。直至火災後期，由於燃料的耗盡，燃料速率下降。

## 四、火災現場最常見的 10 種錯誤

### (一) 主講人簡介

主講人 PAKKENEDY(這位講座自己承認他在火災現場犯的錯誤比其他人更多更長，而可以在國際研習會議上如此誠懇的承認自己曾犯的錯誤，這是很不容易的)有 49 年以上的火災調查經驗；近 50 年來-自 1961 年開始就一直不斷的發現勘查火災現場的錯誤，但每次錯誤都只有一次；這次授課內容是設計給聽講者避免不要再發生類似的錯誤行為而造成不方便。

### (二)火災現場調查-火災調查人員的人生哲學

火災現場是非常重要的資料蒐集現場；火災現場是所有火災調查的心臟；當您完成火災現場調查後，將不會再有第二次調查的機會。

1. 調查前的準備－在心理面、生理面及法律面均應準備好。
2. 要有持續不斷的訓練及教育。
3. 正確的心理態度－「勘查前，我們從不曾想出解決方案」、調查的詳細目標、計畫及注意事項
4. 火災現場調查是科學性的、科技性的、要有熟稔的技巧
5. 火災現場調查要充分運用系統化的調查方法

(三)NFPA921-火災現場調查標準，您可以不用使用它，但您一定要知道它，因為NFPA921 將會被要求落實使用它。

#### (四)主講人第一次顯然的火災調查錯誤

很久以前，約在 60 年代左右，在每一人均有單一鏡頭反光式照相機（S L R-single-lens reflex）之前，主講人曾使用一台相機針對三次火災現場進行照相並共照了 10 捲底片，一個星期後這些沖洗的照片從實驗室被送回來後，主講人才發現了主講人的錯誤－所有照片都是空白的；當主講者再重回火災現場時，現場景物多已消失不見了。

#### ※綜合延伸閱讀

NFPA921（2001 版）第 13 章火災現場記錄 13.2.6 有關攝影訣竅更提供現行注意事項，其內容包括：調查人員可採行下列部分或所有攝影訣竅以協助自身拍照。

1. 於抵達火災現場時，拍攝 18% 反射灰卡之後，拍攝一書面之「標題頁」以顯示鑑識之資訊（亦即位置、日期或情境資訊）。
2. 每次使用後於底片盒貼上標籤以避免混淆或遺失。
3. 倘若調查人員之預算允許購買大量底片並裝入個別底片盒內，則可允許使

用多種張數之底片以符合特定需求，而且在特定情況下較不昂貴。

4. 攜帶三腳架將允許拍攝更具一致性之馬賽克照片形式、減少移動與模糊不清之照片，並協助保持相機免於接觸殘骸。快速伸展之三腳架將節省時間。
5. 請勿將多件火災意外結合在同一卷底片。完成各火災現場並於離開火災現場前移走最後一卷底片。此舉將消除可能之混淆與後續問題。
6. 攜帶多餘電池，尤其是在天氣寒冷時電池可能快速耗盡。較大型且使用期限較長之電池組與電池類型可供使用。
7. 記住勿將電池遺留在攝影器材一段長時間。電池漏電可能導致電力與機械零件發生許多問題。
8. 避免以手、相機皮帶或火災現場部分阻擋閃光燈或鏡頭。此外，當照相機聚焦並準備拍攝時，雙眼應張開以確定閃光燈是否作用。

## (五)火災現場最常見的 10 種錯誤

包括：1 目標、2 系統化的計畫、3 詳細的注意事項、4 現場調查所需設備及物品、5 照相、6 火災現場記錄及示意圖、7 火災現場與證物的偽造或毀棄、8 堅持自己的專業看法、9 安全、10 最後的審視檢查等 10 種火災現場最常見的錯誤；茲分述如下：

### 1、目標

- (1)打開心胸－不是開放到讓自己的腦袋掉下來
- (2)要使用科學調查方法
- (3)避免直接跳到結論
- (4)避免專業偏見－事實支持理論，理論支持事實；
- (5)避免選擇性分析－引用已經有經驗的事前意見，而沒有全面考量；例：

物證鑑定方法有很多種，但每次要使用這些方法之前，應有一定的資料支持您使用這個方法

- (6)充分掌握第一時間所見並加以靈活運用
- (7)避免使用可能含有否定意見的文獻資料
- (8)不好的目標包括：只是跟著感覺走、順從其他火災調查人員的意見、同業壓力、透過投票表決的火災調查等；所以每次完成火調查後，一定要針對調查過程所有的看法及最後結合提出問題並要說服自己說沒問題了。

## 2、系統化的計畫

- (1)計畫會失敗是因為一開始的計畫就是失敗的
- (2)沒有系統化的計畫
- (3)證明文件資料及證物的蒐集一定要齊全
- (4)現場相關物證的碎片已被移動二次以上了
- (5)相關細節可能被覆蓋了
- (6)遵循現場勘查檢核表進行勘查並逐一加以審核
- (7)調查過程應適時修正自己的火災現場勘查檢核表

### ※綜合延伸閱讀

NFPA921(2001版)第12章調查工作前之準備事項 12.3 組織調查工作，其內容包括：

經常執行之各調查工作有其基本功能存在，分別是領導/合作功能；照相、記筆記、繪圖以及圖解；訪談證人；發掘現場；證據收集與保全；以及安全性評估。

此外，特別領域之專門知識，像是電力、加熱與空氣狀態或其他工程領域通



常均有所需求。倘若可能時，調查人員應以可取得之人力滿足這些功能。分配工作時，擁有特殊才幹或受過特殊訓練之個人成員應善加利用。

### 3、要有詳細的注意事項

- (1)眼見為憑——一定要親自參與
- (2)避免隔靴搔癢的檢查
- (3)愈大案件愈應謹慎而不要匆忙
- (4)避免直接進入起火範圍，而宜四處均觀察後再決定
- (5)應勘查所有火災範圍內區劃空間、附近的財物及附屬建築物
- (6)要緩慢的、實質的而且是精明的進行調查

### 4、現場調查所需設備及物品

- (1)設備包括：攝影機、記憶卡、電池及電池充電器或備用電池、照明設備、手持工具、照相機及適當鏡頭
- (2)示意圖繪製及測量工具：捲尺、皮尺、腰尺、雷射尺、法學比例尺、指南針、束線、測繪旗、測繪尺、磁鐵、測量規、望遠鏡、電線標籤、放大鏡、檢核用鏡子、近照背景布
- (3)證物蒐集及保全工具
- (4)攜帶一份照相機操作說明手冊
- (5)物證標籤簡易卡：磁鐵白板容易移動；相關卡亦可使用可以吸附在白板上的功能、號碼：1 – 5 6、文字：A – Z、指南針方向、定向箭頭（東南西北前後左右上下）、起火點使用 X 標籤；於現場標示後，再加以照相，效果可以更明顯。

#### ※綜合延伸閱讀

NFPA921（2001 版）第 12 章調查工作前之準備事項 12.4.1 設備與設施

火災現場之每個人員應穿戴及攜裝有要求之適當安全設備。基本工具之補充亦可取得。下列工具與設備可能並非各個現場所需，但規劃調查工作時，調查人員應知道倘若調查人員並未攜帶相關工具與設備時，可於何處取得。

- a. 個人安全設備：1 護目鏡 2 手電筒 3 手套 4 鋼盔或安全帽 5 呼吸保護（種類依暴露程度而定） 6 安全靴或鞋 7 消防衣或工作服
- b. 工具與設備：1 吸收物質（Absorption material） 2 斧頭 3 掃帚 4 照相機與底片 5 爪型鐵鎚 6 指南針 7 蒐集證據之容器 8 證據標籤（塗有黏膠） 9 手巾 10 短柄小斧 11 碳氫化合物偵測器 12 梯子 13 照明 14 磁鐵 15 記號筆 16 油漆刷 17 紙巾/擦拭布 18 筆刀 19 鉗子/電線切割器 20 撬桿 21 耙 22 繩索 23 尺 24 鋸子 25 螺絲起子（多種類型） 26 鐵鏟 27 過濾器 28 肥皂與洗手乳 29 聚苯乙烯泡沫塑料杯 30 捲尺 31 錄音機 32 鉗子 33 鑷子 34 細繩 35 伏特計/歐姆計 36 水 37 書寫/繪圖設備。

## 5、照相

- (1)最大的錯誤－照太少照片
- (2)最重要的照相－在任何一個火災現場應照而忘記照的照片
- (3)現在已是數位相機時代，應再也沒有照太少照片的理由了
- (4)照相機設備
- (5)熟悉自己的設備
- (6)瞭解自己設備的功能及限制
- (7)建議使用最好最先進的設備
- (8)要有二台照相機，因為您不知使用的照相機何時會故障，照相機總有一天會壞掉
- (9)攝影機：不必要的聲音在攝影過程中應該是避免的及限制的－當然旁白

是除外的；攝影過程背景不可以聊天、對話；也不宜表示意見；不可以大及開玩笑，也不宜有外星語出現

(10)移動攝影機時太快或太多

(11)移動攝影機鏡頭時太快或太多

(12)不可以使用曝光照片、充滿閃光的照片、太遠的照片、太近的照片、倒轉的照片、馬賽克合成照片、不可以使用加工照片

(13)使用沒曝光照片、沒有閃光照片

#### ※綜合延伸閱讀

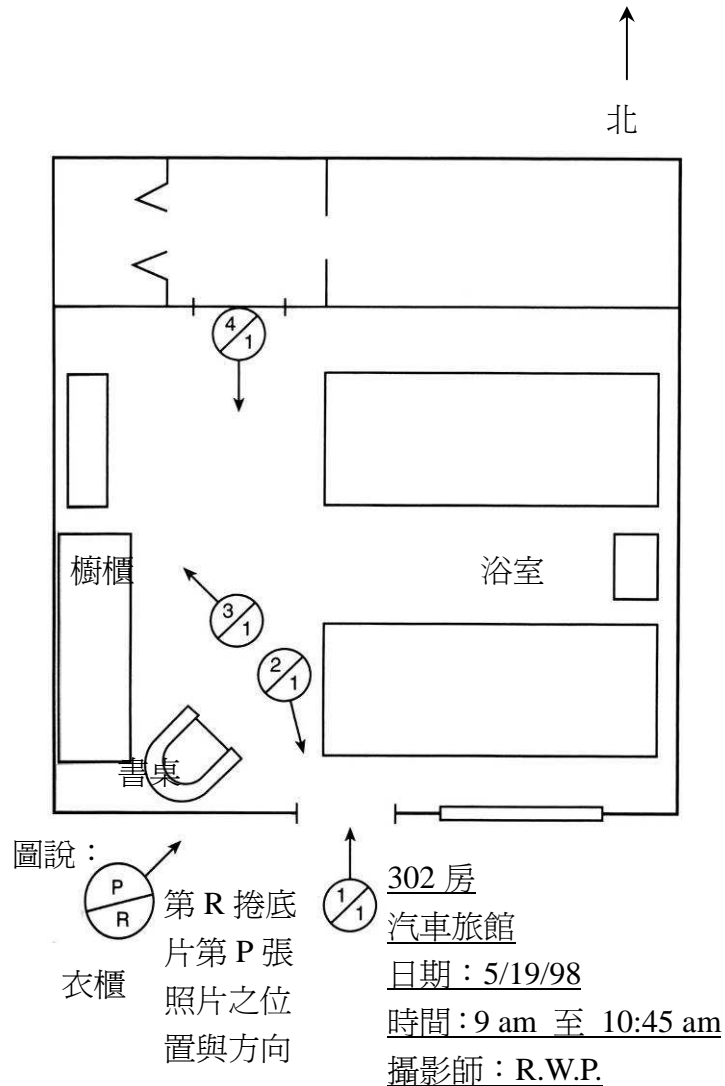
NFPA921 (2001 版) 第 13 章火災現場記錄 13.2.3.3 有關照片圖示更提供相關規定，內容包括：照片圖示對於調查人員有所助益。當樓層平面圖之完成品齊全時，可以複製並從拍攝之各張照片劃上箭頭指出方向。對應之編號隨後將置於照片上。此圖示將協助引導對火災現場不熟悉之觀眾。準備就緒以標示照片組之圖示可能如下圖所示。

建議之紀錄文件可包括攝影者之識別、火災現場之鑑識（亦即地址或意外編號）以及拍照之日期。

拍照之確實時間並非總是需要予以紀錄。然而，有些案例則指出拍照之時間經過對於瞭解照片所描繪之事物非常重要。拍攝同一物體，存在於正午時間之自然光可能導致與黃昏時存在之自然光顯著不同之照片影像。當照明為因素之一時，應注意大約時間或一天之某個時期。同時，在滅火前拍攝之照片應註明特定時間，因為通常有助於建立火勢發展之時間經過。

13.2.3.4 協助之攝影師：倘若拍攝照片者並非火災調查人員，則應由調查人員監控角度與構圖，以確保文件紀錄所需之拍攝鏡頭均已取得。調查人員應與攝影師溝通需求，因為他們可能沒有機會重回火災現場。調查人員

不應假設攝影師瞭解所需要之必要照片，而不與攝影師討論每張照片之內容。



13.2.3.5 攝影與法庭之關係：調查人員於法庭中結合照片與證詞時，所有司法管轄區之要求之一為該照片應與證詞具相關性。其他要求可能存在於其他司法管轄區，包括非可燃性內容物、照片之清晰或不扭曲。在某些法庭內，倘若相關性存在時，則照片通常能對抗異議。自從第一張彩色照片引進作為火災審判之證據起，倘若照片符合所有其他轄區標準時，多數司法管轄區並未區分彩色或黑白照片之差異。

## 6、火災現場記錄及示意圖

(1)有什麼理由可以不用做呢？

- (2)應寫下來或錄音下來時就要落實去執行。
- (3)保全最原始火災現場記錄及示意圖
- (4)繪製現場示意圖時應使用比例尺，而且應實際測量。
- (5)相關可能的錯誤事項：沒有火災現場記錄或製作現場示意圖；在火災現場記錄及製作現場示意圖時不仔細；示意圖沒標示指南分方向、天花板沒有註明高度、沒有註明門及窗戶位置及比例、沒有註明通風口的開及關情形、沒有內襯物品、沒有註明地毯種類形式、牆及天花板覆蓋物、沒有顯示牆及天花板的厚度。

※綜合延伸閱讀

NFPA921（2001版）第13章火災現場記錄 13.4.6 建築與工程繪圖

可取得之繪圖種類有很多，但對於繪圖展示之火災調查人員而言，有許多可供額外閱讀之參考資訊。對於嚐試以文件紀錄現場之調查人員而言，更重要的是認知繪圖之一般名稱以及各種繪圖之詳細程度。建築與工程社群通常於設計與建築程序中使用下列繪圖種類，從最不詳細之繪圖種類列起。

- (a)速寫（Sketches）概念之徒手繪圖。
- (b)概要設計繪圖（Schematic Design Drawings）顯示初步設計安排與少許細節之草圖。
- (c)設計發展繪圖（Design Development Drawings）定義與描繪概要繪圖細節之草圖。
- (d)建築繪圖（Construction Drawings）以廣泛細節顯示包商建造建築物所使用之草圖。
- (e)實際建造繪圖（As-Built Drawings）顯示任何建築繪圖之任何區域修改並反映完工建築之草圖。

在設計與建築程序內，調查人員應熟悉幾種繪圖類型。最常見之繪圖以及一般準備所需之訓練，如下表所示。

可能取得之設計與建築繪圖

種類	資訊	訓練
地形圖	顯示土地等級之改變	調查員
地點平面圖	顯示產業內建築物與下水道，及配送至建築物之水、電力	土木工程師
建築平面圖	顯示俯視時之建築物牆壁與房間	建築師
管線圖	乾淨供水與廢水之管線配置與尺寸	機械工程師
電力圖	服務入口、開關與插座、固定電力裝置之安排與尺寸	電力工程師
機械圖	HVAC 系統	機械工程師
灑水器/火災警報	自行解釋	防火工程師
結構圖	建築物之骨架	建築工程師
立視圖	顯示內/外牆	建築師
剖面圖	顯示當切割穿過時之零件內部情形	建築師
詳細圖	顯示複雜區域之特寫	所有訓練

## 7、火災現場與證物的偽造或毀棄

- (1)一定要謹慎的遵循 NFAP921 詳細規定
- (2)避免造成後來才到的調查人員錯誤的偽證資料
- (3)現場應落實清理
- (4)知道什麼時候要停止
- (5)蒐集知道第一時間救護的相關情形包括打電話給當時急救的醫師確認實情
- (6)不宜使用大型機具進行火災現場破壞工作

※綜合延伸閱讀

參考內政部消防署 98 年 11 月 17 日消署調字第 09809004451 號函修正之「火災調查鑑定標準作業程序」八、現場觀察(七)研判為起火戶、起火處者應力求保全；若因火災搶救而需要破壞現場時，火災調查指揮官應協調救火指揮官將第一梯次救災單位到達前已受燒區域加以保全，避免破壞；其餘區域破壞過程應紀錄或攝影，以利後續勘查。

## 8、堅持自己的專業看法

- (1)閉上嘴巴、專注用心
- (2)不表達不成熟意見
- (3)告訴您的雇主為什麼您不討論您的工作及結論
- (4)平衡雇主的期待及騷擾

## 9、安全

- (1)如果可以的話，一定不要一個人獨自前往調查；
- (2)著裝一定要安全
- (3)太累時一定要休息，調查人員於火災現場調查時，投入長時間之人力精神是十分常見的。這可能造成疲累，因此對調查人員的身體協調、力量或對於危險狀況或情境之認知或反應造成負面影響。記住使用厚重之安全服裝與呼吸保護將導致疲累之增加。定期休息、液體補充以及營養品應於距離火災現場遙遠但方便之安全大氣環境下提供。在重大意外現場，此預防尤其必要。

### ※綜合延伸閱讀

#### 1.NFPA921（2001 版）第 10 章 10.1.2 安全服裝與設備：

適當安全設備，包括安全鞋或靴子、手套、安全鋼盔與防護衣，應在調查火災現場時全程穿戴。防護衣之種類依危險存在之種類與程度而異。當可

能因掉落物品或遭尖銳物品割傷或刮傷時，則消防衣或類似提供此種保護之服裝可能是最佳選擇。當調查人員處理可能暴露之毒性物質與廢棄物時，則某些安全相關法規要求之用過即丟防護衣可能是必要的。在高危險之大氣環境下，可能需要危險環境套件（hazardous environmental suits）。當穿著 PPE 以提供危險環境之保護時，應正確淨化或丟棄以避免隨後之殘餘暴露。即使當選擇穿著標準工作服或消防衣時，仍應考量服裝之安全處置，以使其不至產生額外暴露。

在某些火災現場可能必須使用適當過濾裝置或空氣呼吸器（SCBA）。火勢撲滅後不久，可能有燃燒氣體與煙霧、低氧氣濃度、毒性或致癌空氣微粒以及高熱狀態存在。在這些大氣環境下，調查人員應利用 SCBA 以及其他適合之 PPE。攪動火災廢棄物之行動可能製造煙塵（應視為危險物質），而調查人員應考慮穿戴過濾面罩以及適當補充物。穿戴全遮式面罩或半遮式面罩之選擇依穿戴者與危險情況而定。在口罩選擇過程中，應考量眼睛之保護，因為許多毒性物質可能穿透鞏膜而吸收。倘若選擇半遮式口罩，則配戴不透風之護目鏡將提供此種危險之保護。

正確選擇手套亦應予以考量。倘若選擇滅火手套或較輕皮質手套，則應提供毒性物質之過濾保護。在許多案例中，在皮質手套下方配戴乳膠（或類似）手套可能提供所需保護，或調查人員可能需要選擇更適合存在危險之手套。

2. 參考內政部消防署 98 年 11 月 17 日消署調字第 09809004451 號函修正之「火災調查鑑定標準作業程序」十二.(二).4、安全管理

A 避免勘查人員由火場高處摔落等措施。

B 避免火災現場上方物品掉落，擊中勘查人員等措施。



- C 勘查人員進入現場勘查時，應對頭、手、足等採取保護措施。
- D 注意防止火災現場有毒氣體、煙、塵對勘查人員造成危害。
- E 避免搬運重物發生危害。

#### 10、最後的審視檢查

- (1)在離開現場之前請再想想
- (2)坐下來並想想－但千萬不要靠近水邊
- (3)再檢核一下您的檢核表
- (4)最後走路－穿越回顧
- (5)帶著您所有的設備回家

### 五、重大複雜火災調查管理

參考依據：NFPA 921 2008 版第 11 章立法考量、第 12 章安全、第 14 章調查計畫、第 16 章物理證據及第 27 章：重大複雜火災調查管理。發表本文主要目的：針對火災現場封鎖、管制、證物保全及其他實際需要考量的調查活動提供一個具體可行的組織架構。

#### (一)重大複雜火災：包括高層建築物火災、造成多人傷亡或鉅大財物損失場

所火災、造成重大場所大面積燒毀場所火災、單一或複合式設備火災、同時發生的多起火災、有眾多火災受害人或利害關係人的火災、不是只有一個起火原因的火災...等。

#### (二)參與調查人員：可分為公部門機關及私部門單位；可能相關利害關係人包

括：法律授權人員、州政府機關、聯邦政府、保險公司、製造商、法定人員、研究團隊、可能被告者、可能原告者、所有人、承租者...等；這些相

關人員均可能於相關火災現場進行調查時組成不同的調查團隊至現場參與調查。

### **(三)該調查人員及團隊進行火災現場調查時會涉及到的議題包括：**

1. 安全因素：建築物受燒現況、用電安全、現場存在之危險物品現況、相關生物危害、其他使用的危害…等。
2. 現場警戒作為。
3. 火災現場封鎖及證物保全。
4. 火災現場調查步驟及經過。

### **(四)公部門機關及私部門單位的火災調查共同特徵：**

1. 相同處：目標相同，均是為了瞭解起火原因，提出防範之道，確保人民生命財產安全；調查決定發火源、起火原因及責任歸屬。
2. 不同處：調查的範圍也許會不同；管理模式不同、受委託對象不同

### **(五)火災現場調查順序**

先由公部門火災調查機關進行調查，火災調查人員於火災發生就可以至現場進行緊急應變及相關調查，俟調查告一段落後，再由民間火災調查相關人員進入及參予。

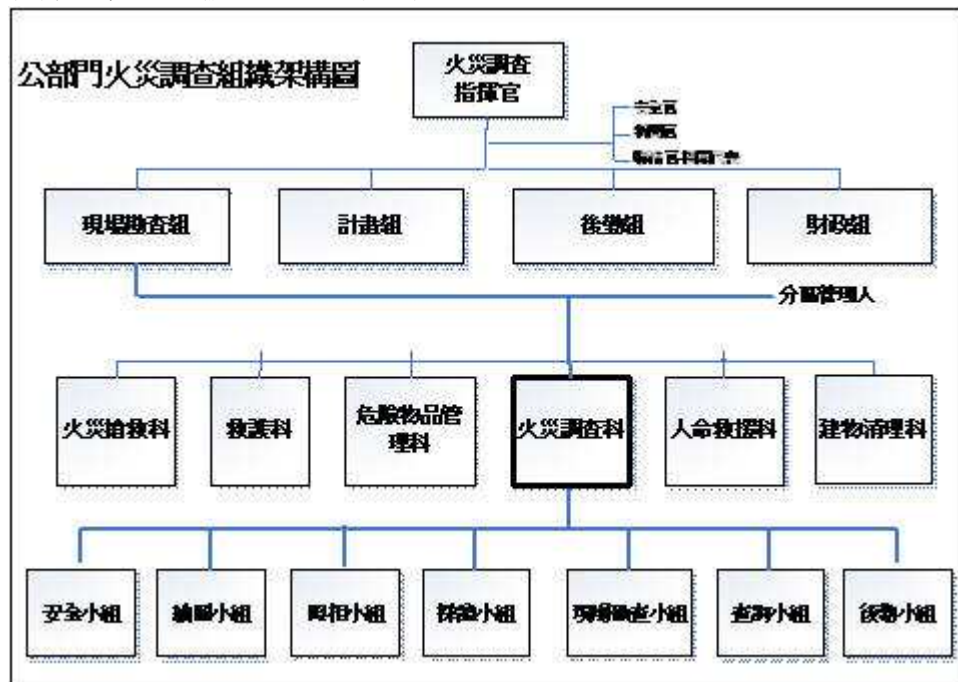
### **(六)現場調查管理**

原則：先確認指揮官、有獨立調查權、確認調查範圍、調查時間及資源均獨立。現場發現可能屬於犯罪現場，則初期現場調查權屬於消防機關，而於主要火災現場時，則由立法機關、州立政府、聯邦政府及其他相關私人專

業部門配合進行調查。現場如屬於沒有犯罪的火災現場，則於公部門火災調查人員完成調查後，開放由火場所有人、所有人保險公司或所有人的代理人、民間火災調查部門進行現場調查。

### (七)公部門火災調查組織架構圖

在調查一場大火或爆炸案對火調人員來說是嚴苛的挑戰，除了需要專業知識外，訂定證物蒐集程序、證物記錄等都必須符合法律規範，在火災發生前，就應針對大型火場或爆炸案擬定勘查計畫，加上有些案件涉及數個單位，使得火場的勘查協定顯得格外重要。在勘查火場前首先要評估火場的獨特性，再來遴選合格的專家進行勘驗，勘查計畫必須包括專家的背景需求、告知程序、後勤支援及完整應變計畫。

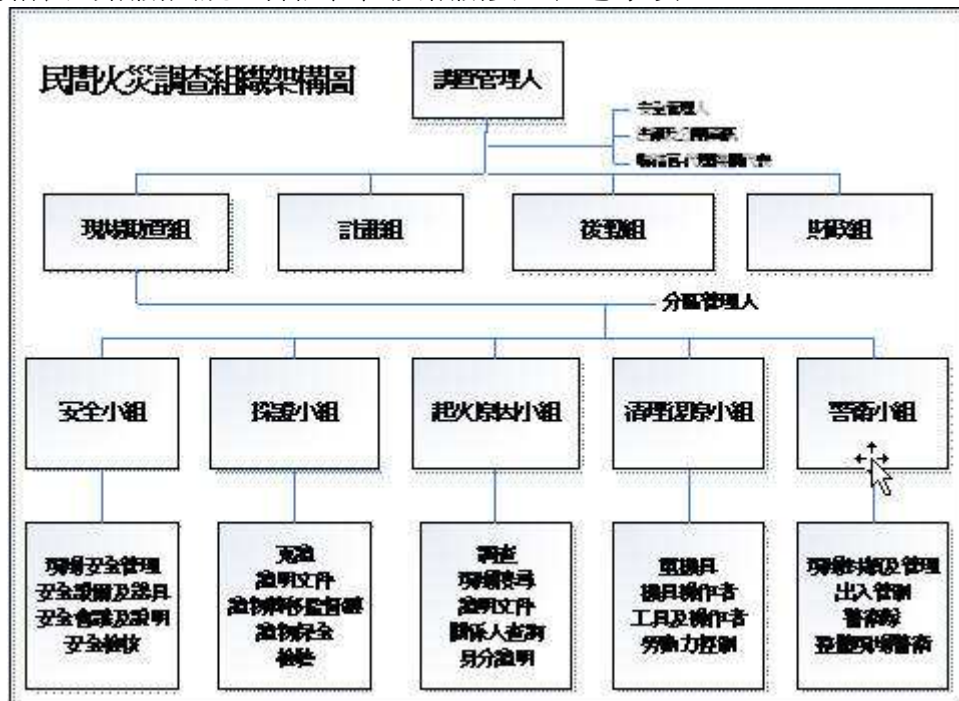


在接獲勘查大型火場時，初期火調人員或勘查小組必須預先評估有哪些重要項目應列為優先考量，到達火場更應審慎的保存火場的完整，因此平時

火調人員也必需與初期救災人員建立相關協定，就救災與火調兩者分工釐清，避免因救災任務的急迫而忽略了後事調查工作。

### (八)民間火災調查組織架構圖

當公部門火災調查組織完成相關調查工作後，可交由民間火災調查組織進行調查，二者交接轉換原則包括：調查資訊的分享，如現場拍攝的照片、現場繪製的相關圖說、採證位置及相關安全注意事項。



## 肆、建議事項

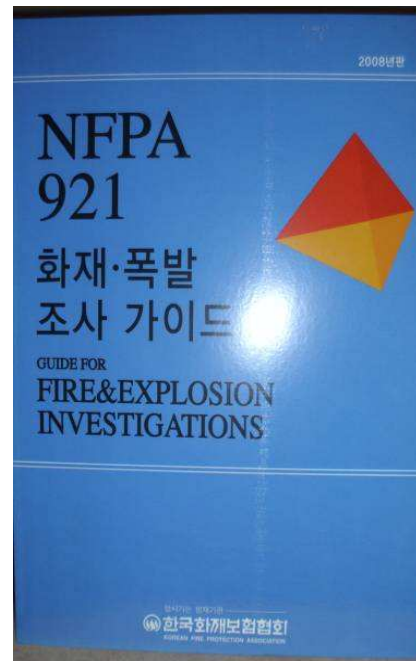
### 一、參考 NFPA921 適時修正「火災調查鑑定標準作業程序」

NFPA 921是美國火災或爆炸現場調查的現行火災調查人員在調查起火戶、起火處及起火原因、責任歸屬的指導方針，並提供系統化調查與分析的標準作業程序。自2000年以後更是美國所有火災調查人員出庭做證必備的聖經。其2008年版之內容共計28章，第1-9章是火災調查基本認知、第10-20章規範火災調查相關要領、第21-28章則是針對相關特殊火災加以分析。而目前正在進行2011年版相關內容的修正，包括第4章新增章節-調查鑑定書檢視複審制度、第12章現場調查安全規範、第18章起火原因研討修正、第21章爆炸內容的修正、第23章火災死亡及受傷注意事項、第25章針對汽車中新增設備及休旅車等汽車火災、第26章野火調查；相關內容已規定由專責委員會進行討論，目前已提出上開修正主題及文件草案內容，預定於2011年6月完成技術部門的討論，2011年8月完成文件內容的定稿後正式出版。

我國各消防機關現行火災調查人員共同遵循的標準作業程序係依據內政部消防署於98年11月17日消署調字第09809004451號修正函頒之「火災調查鑑定標準作業程序」，該標準作業程序僅多規範火災調查鑑定程序及基本原則，惟對於火災調查基礎科學（如火災科學基礎、火災燃燒模式、建築物結構分析、電力及火災關係、建築物助燃氣體系統、火災相關之人類行為、火災調查相關法令認知及運用等）、火災調查相關要領（如火災現場勘查安全考量、起火處研判、起火原因研判、失效分析和分析工具等）及相關特殊火災（如縱火火災、重大複雜火災調查管理、車輛火災、船舶火災、野火火災等）則較少分析；故建議參考NFPA921

於未來適時修正我國「火災調查鑑定標準作業程序」相關規定，盡量落實我國火災調查鑑定本土化工作，以強化我國火災調查鑑定相關嚴謹度及提升我國火災原因調查鑑定書於法庭審理的證據力。

另於研習會場發現NFPA921有韓文版（如圖），這是一件非常重要的事情；在韓國是授權由消防安全基金會翻譯，非常好；當然可以看出韓國對於國際火災調查相關制度及參考文獻的重視及肯定，更可以看出韓國對於該國內火災調查制度的期許及重視；故建議於NFPA921於2011年修正改版公布後，應規劃採購該最新版本內容，並適時規劃進行相關內容翻譯工作，以提供我國各級消防機關火災調查人員參考，並運用於實際調查的相關案件，以提升火災原因調查鑑定書的專業水準。



## 二、參考 NFPA921 適時訂定「火災調查鑑定」相關用語定義

NFPA921針對所有火災調查鑑定制度的相關用語有明確名詞定義；統一火災調查鑑定用語定義，可讓法庭法官、檢察官、律師、當事人及消防機關火災調查人員以及非消防機關的民間火災調查人員均有共同的統一認知；大家的認定標準一致，那麼火災調查鑑定的結果大家就比較可以有共識，那對任何一方均是非常重要的事情；故我國亦應可參考規劃進行相關火災調查鑑定工作的相關用語定義，相信對於未來於法庭進行相關火災案件審理時，不管是法官、檢察官、律師、當事人及消防機關火災調查人員等應有一定程度的幫助。但如何讓我國發展出這麼一套大家都可以共同遵

循的標準作業程序用語定義，還要考慮到相關問題，包括國內定義的理論基礎何在？國內相關研究文獻為何呢？引用標準及參考內容為何？如何能隨時加以修正？相關定義資料又該如何加以蒐集彙整並加以運用？可於我國相關學術機構進行相關火災燃燒實驗或消防署未來進行相關燃燒貨櫃屋火災燃燒實驗時，均應可以思考、設計、蒐集、印證及運用，當然這些本土化研究數據的產生，均有待更多的後續研究及努力。

### 三、落實火災現場紀錄－註明現場開口啓閉的重要

我國現行火災調查人員於第一時間到達現場後，均會依規定製作「火災現場紀錄」，爲了更確實瞭解火災當時火流延燒路徑及研判可能延燒原因，對於火災現場當時相關開口是否開啓或關閉，著實非常重要，尤其是在火災現場開口被破壞前後，火流燃燒路徑為何，更是提供研判起火戶及起火處的重要證明資料；所以未來應可適時規範於繪製火災現場相關圖說時，對於火災現場相關開口，如門、窗、通風口…當時開關情形加以查證確認，並適時在筆記及繪圖畫面上加以註記，以利提供更嚴謹的火災現場燃燒痕跡及合理解釋現場火流方向及熱流方向。

### 四、規劃設計本土化火災案件法庭交互詰問教學課程

未來在規劃相關火災調查訓練課程時，有關法庭交互詰問部分，宜設計相關教具供學員使用，相關課程內容建議包括：

1. 設計實際法庭教室：模擬法庭空間位置及實際現場氣氛。
2. 設計相關成熟、成功、合理且符合邏輯的火災調查案例，提供法庭交互詰問教學用。

3. 熟悉法庭相關情境感受-產生自信、產生力量、及強化本身論點。
4. 強化法庭現場答話技巧。
5. 設計規劃訓練時間：解說情境模擬 1 小時、實際情境演練 1 小時有演練空間及道具共分 6 組、成員包括法官 1 位、律師 1 位、被告 1 位、檢察官 1 位、火災調查人員 1 位、觀察員 1 位、每人均有自己的腳本，且不可以看到對方的腳本、每人均應有背心、拿到腳本後可以與同一方的人員共同進行討論及內容探討，自己可以增加擴寫腳本，並進行攻防戰；前一天使用抽籤方式決定角色；演練結論、進行報告及解說。