

脈衝式滅火槍械火性能研究

張枝成* 陳仕松* 林志明**

*國防大學中正理工學院機械工程學系

**國防大學中正理工學院兵研所

摘 要

因環保需求，德國已發展出一種脈衝式新式滅火器—以高壓推送滅火藥劑(以水為主)，產生高速、大量之微小液滴直接衝擊火源，以達到滅火之效果；本文乃採用脈衝式滅火槍 (IFEX 3000) 來探討其滅火效能，並利用影像擷取技巧紀錄實驗過程。經實驗得知，以水為滅火劑的脈衝式滅火槍可撲滅 A、B 兩類火災，撲滅 A 類火災(一般的可燃物)不足為奇，重要的是可以撲滅一定範圍的 B 類 (油類) 火災，突破了水不能使用於油類火災之傳統觀念，本研究更找出了脈衝式滅火槍之滅火機制為高速水霧引進的氣流改變了燃氣的空燃比，進而造成火焰熄滅，且利用微小液滴的瞬間吸熱，降低火場溫度，進而控制火場。

關鍵詞：脈衝，液滴，滅火器

The Experimental Study on Fire Extinction by High Speed Water Spray

Jy-Cheng Chang*, Shi-Song Chen*, and Chih-Ming Lin**

*Department of Mechanical Engineering, Chung Cheng Institute of Technology

**Department of Weapon System Engineering, Chung Cheng Institute of Technology

ABSTRACT

For reason of environmental protection, a newest fire-fighting tool named IFEX (Impulse Fire Extinguisher) is developed successfully in Germany. The extinguisher releases high-pressure air to force the agent (usually plain water) out from the gun with very high discharged velocity. Water is atomized and a cloud of tiny water drops impulse on the flame and put out a fire. In this article the IFEX 3000 was used to exam the efficiency of impulse fire extinguisher and the results show that the extinguisher can extinguish fire types 'A' and 'B' with plain water. Nothing remarkable about fire type 'A' (ordinary combustibles),but plain water can extinguish certain range of fire type 'B' (liquids or liquefiable solids) is a good progress on the fire fighting technology. This study confirms that the IFEX 3000 works as follows : The main factor for fire extinction is changing the air/fuel ratio of the firing mixture by inducing the air current. A cloud of water droplets extract heat from the flames in a split second, reducing the temperature of the scene of a fire, then the phase is changed from liquid water to steam and evaporated. These behaviors minimized the range of a fire and extinguish it finally.

Key Words: impulse, droplet, extinguisher

文稿收件日期 91.9.4；文稿修正後接受日期 92.6.10.

Manuscript received Sept. 4, 2002; revised June 10, 2003.

一、前言

在環保意識高漲之情況下，傳統之海龍滅火器將漸次遭到淘汰，而近年來德國已成功開發出脈衝式滅火器 (Impulse Fire Extinguisher, IFEX) [1]等相關產品上市，目前在國內僅部分消防單位使用進口之該式滅火器，至於此滅火器所採用的滅火原理方面之相關研究剛起步。

火災種類分為A (普通)、B (油類)、C (電器)與D (金屬)等四類，而市售的滅火裝備有乾粉滅火器、泡沫滅火器、二氧化碳滅火器、海龍滅火器甚至滅火彈等，都有其適用的火災種類，但其共通點就是受限於滅火的藥劑特性，使得滅火的適用種類也跟著受限，因此對於一般滅火還是以水為主，但常常發生用水量大大效果卻不彰，且經常造成滅火對象大量泡水之情形。

「脈衝式高壓滅火」為德國與亞洲之日本所投入開發之新型水霧滅火器，在商業行銷上其宣稱比一般滅火方式優越，但並未詳細說明滅火原理，且國內在水霧滅火領域的研究不多，因此本研究預定探討水霧滅火的機制外，亦將一般水氣霧滅火與高速水霧滅火做一比較，以利吾人對滅火觀念的釐清。

二、文獻回顧

噴霧衝擊火場行為之研究，可由德、日兩國之產品宣傳可獲得幾個訊息：對相同的火場(廢棄輪胎著火)而言，採用脈衝式高壓噴霧滅火的速度要比傳統式壓力水管噴水滅火快得多，分別為8秒及45秒[1]；就一般壓力水管滅火和脈衝式高壓噴霧滅火用水量之比較而言，撲滅相同之火場，一般壓力水管用水量為300公升，而脈衝式高壓噴霧滅火僅需5公升。

若對脈衝式噴霧液滴(IFEX Water Drops)和一般水管灑水液滴(Hose Water Drops)顆粒作一比較，一般水管灑水液滴的粒徑通常可達5mm[2]，而脈衝式噴霧液滴大小分佈的範圍，則有95%的液滴粒徑都分佈在236 μ m以內[1]，因此在相同的水量之下，脈衝式噴霧產生的微小液滴，其總表面積遠高於一般液滴，故依學理可迅速、大量的吸收火場中之

熱量，因此脈衝式滅火槍能有效的滅火是不難理解的。

國外學者從事滅火的基礎研究有Boubafid和Joulain [3]、Weckman和Sobiesiak [4]、Drysdale [5]、Hall [6]、Alpert [7]、Magee和Reitz [8]等等，另Grant [9]等人對水霧滅火有較詳細之綜整報告，由這些相關的研究與報告中吾人可綜其結果為：對於一個由液態燃油組成且呈水平狀之表面火燄的燃燒火場而言(事實上也就是所謂的池火)，是一個典型基礎且實用的例子，研究者通常觀察其燃燒率和火燄高度對池子直徑的相關性以及對火燄性質和輻射量進行詳細的量測。

Kim等人[10]認為大部份中尺度火場(Medium-Scale Fires)的火燄結構已被量測過，其理由在於這些實驗能夠在實驗室內進行，且不失火場的主要特徵。其他有關火場的主題研究則包含了藉噴霧對火場抑制現象的了解，為了改進使用水霧抑制火場的效應，對使用噴霧冷卻火場的周圍環境和火場的延展極限之了解是必需的。

另一重要觀點就是在複雜的火燄抑制過程中，發生在水霧中之液滴和混亂飄浮火燄的相互關係，因為交互作用的結果可能影響水霧原來的特徵，此特徵將進一步影響水霧穿透火燄而到達燃燒表面的效果。

Magee和Reitz[8]藉著給定一個表面熱通量來控制一個具有可塑性的著火，以燃燒比例來表示著火之強弱程度，其結果顯示出著火的強弱(Fire Intensity)決定於火的環境，不僅僅是火池和油量的規模，而且和周圍因素也有關係。

Jones和Nolan(1995)[11]整理以往的實驗結果對於各種不同火場使用的噴霧水量和時間以及壓力等作一個整理和探討，並指出一般水壓產生的液滴在90-100 μ m，所使用的操作壓力為5-6bar。要產生更小的液滴，就要使用雙流體噴嘴(twin-fluid nozzle)，它可產生30 μ m小的液滴，並且介紹了兩種滅火裝置，分別為BP twin-fluid nozzle與Marioff Hi-fog system。Knott(1992)[12]曾提出：BP twin-fluid nozzle之液滴要達到火源心臟部份以及吸熱並產生相變化到蒸氣狀態，其液滴的範圍為80-200 μ m。而Hi-fog system是提供高壓的水壓壓力設備，並且對各種火場進行測試(電腦

室、儲藏室、火盆、生活上的電器設備),滅火用水量都小於10 liters。

Jones和Nolan [11]更指出:就目前而言,產生細微水霧的技術仍未成熟,儘管雙流體噴嘴能產生 $30\mu\text{m}$ 的液滴,但是水壓噴嘴想要產生 $70\text{-}90\mu\text{m}$ 粒徑之水滴,在經驗上仍有困難,理想噴嘴產生噴霧的直徑範圍應在 $10\text{-}50\mu\text{m}$ 之間。

Kim等人[10]則觀察垂直向下噴霧對油盆之火苗燃燒率的影響,探討壓力對不同角度噴霧之有效水流量、水滴顆粒大小、火苗燃燒率的效應,並提出幾個觀點:(1)水霧和其所攜帶的空氣會呈放射狀地擴展火焰,並且相對應於自由燃燒而言,水霧反而更能增加了氧和燃油的混合。(2)水霧比自由燃燒更能增加燃油的燃燒比率。(3)呈放射狀的延展火焰卻使水滴更容易到達油的表面,這是因為水滴停留在呈放射狀之延展火焰內部時間減少之故。(4)在開放環境的滅火機制中,對於按比例的汽油盆火焰,藉水霧使表面冷卻將導致油的蒸發受到壓制,這比冷卻火焰本身其滅火效果更顯著。

Kim等人 [13]於噴霧對火的熄滅或火的延伸,則提出更有力的觀點如下:對於真實的應用方面,有效水量是一個好的參數,而且對燃油表面的冷卻勝於火燄表面的冷卻,而有效流量在這種狀況下就有實際的意義。另外燃燒比率一般隨著噴霧推力增強而升高。在同樣的情況下,超過臨界推力時火將被熄滅,這是因為汽油氣化將會有效地被噴霧壓制。

而國內在滅火的基礎研究方面有Liu等人[14],其主要探討受到流場拉伸的預混(水霧和油霧預混)火燄被熄滅之理論,並明確的提出:對於氣態火燄,受到正流場拉伸時,其氣態火燄的行為由路義氏數($Le=\alpha/D$, α 為熱擴散係數, D 為質量擴散係數)來決定:對於路義氏數小於1時:(1)當液滴起始半徑與路義氏數固定時,火燄燃燒速率將因水滴的總質量的增加而降低。(2)當水滴總質量為定值時,水滴起始半徑越小,其滅火能力越強,但火燄熄滅的現象只在水滴的起始半徑大於特定路義氏數發生。(3)火燄的熄滅現象是在正流場拉伸較小的情形下發生的。對於路義氏數大於1時:前述(1)、(2)兩項仍然成立,

但正流場拉伸本身就能將火熄滅。

張與于[15]利用液滴衝擊火苗之實驗觀察火苗抑制與滅火效果,並表示火苗被熄滅的原因可能是液滴對火苗四周的空氣冷卻及干擾,此效應與液滴大小、頻率及衝擊火苗速度有關。

Kondo等人 [16]在水霧滅火實驗中驗證液滴大小、速度及空氣對滅火的影響,其提出Blow off的滅火形式,主要就是發散的小水滴將火壓制且夾帶的空氣對火焰的擾動,造成火焰較不穩定,滅火時間較短。

本文的主要目的是利用簡易之A、B類火場,以脈衝角度、滅火距離、噴霧水量為參數,期獲得於不同狀況下的滅火效能及實際滅火機制,以作為日後研發、生產新一代滅火器材的重要依據。

三、實驗設備

(一)脈衝式滅火器材

本研究採用背負式12公升脈衝式高速滅火系統,針對其性能與原理作一實驗研究,而此系統可分為脈衝槍與背負組成等兩大部份,以下就對其零組件與性能作一說明。

1. 脈衝槍

如圖 1a 所示,脈衝槍為整套系統的靈魂組件,槍身以不銹鋼打造,包含了後膛的動力氣室、高速閥、具有釋放機構的握柄以及前膛(可以容納水或其他型式的滅火劑),動力氣室之空氣來源則是由 25bar 之壓縮空氣供給,當扣引板機時,高速閥即打開,使得處於氣室內之高壓空氣於極短的時間內,以高速將水或其他藥劑從槍管中強迫送出。圖 2 為脈衝式滅火槍之基本操作原理示意圖。



(a)脈衝槍

圖 1. 脈衝式滅火槍組成。

2. 背負組成

如圖 1b 所示具機動性的背負組成則與脈衝槍搭配使用，背負組成空重為 10.3 公斤，主要包括容量分別為 13 及 2 公升的水筒與氣筒；其中高壓氣筒可以承受高達 200 bar 的壓力，出口有減壓器，分別以高壓管連接脈衝槍後段之氣室與水筒，藉以提供所需之最低工作壓力(氣室與水筒的最低工作壓力分別為 25 bar 與 3~6 bar)。



(b)背負組成
圖 1. 脈衝式滅火槍組成。

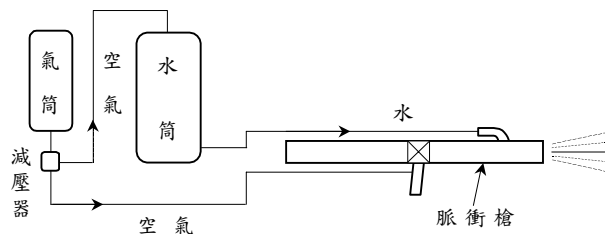


圖 2. 脈衝式滅火槍操作原理示意圖。

(二)攝影器材

本實驗以兩架數位攝影機共同紀錄整個實驗動態過程，再利用電腦以 1/30 秒逐格播放方式進行影像擷取及分析，以了解整個滅火實況。

四、研究方法與步驟

(一)火場之建立

為驗證脈衝式滅火槍滅火之性能，首先

需模擬相近之火場，本實驗為考慮空間、火場控制及安全因素，滅火實驗之全程均於室外空曠處進行之，簡易火場之建立分別說明於後。

1. 油類火災

本實驗中是以矩形、平底、深約 2 公分的耐熱淺盤為火盆，注入 92 無鉛汽油至一定高度，點燃之後作為滅火實驗之火場，並依不同尺寸之火盆所賦予的編號如表 1 所示。

表 1. 火盆編號與尺寸。

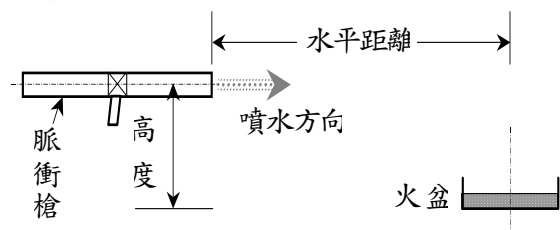
編號	尺寸(長 寬, cm)	面積(cm ²)	備考
1	22 18	396	火盆深度 約為 2 公分
2	30 23	690	
3	40 30	1200	
4	50 32	1600	

2. 普通火災

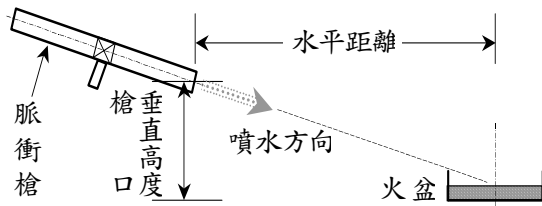
普通火災實驗時則選擇以紙張為燃料，紙張先以碎紙機處理，放入防潮箱中除濕降低至 60% 的相對溼度，實驗時再將碎紙均勻的置入事先備妥的網狀立方體容器之中(此容器之尺寸為：長 寬 高 = 45cm 45cm 30cm)，點燃後即為火場，並依不同用紙量(300 ~1000 公克)當成不同大小之火場。

(二)滅火槍與火源相關位置

簡易火場完成之後即可進行滅火實驗，本實驗於油類火災中分別以槍口與火場中心之水平距離、用水量之多寡、水霧衝擊火場中心之角度為變換之參數，其配置關係如圖 3 所示；至於紙類的滅火實驗，則依不同紙量，以滅火距離與用水量兩個參數來比較其滅火效能。



(a)水霧從火盆正上方通過
圖 3. 滅火槍與火盆相關位置示意圖。



(b)以某一角度衝擊火盆(即立姿)
 圖 3. 滅火槍與火盆相關位置示意圖。

(三)滅火定義

當火場被水霧衝擊後不再有覆燃的現象，則稱火場已被熄滅。

五、結果與討論

由參考文獻[1]可知脈衝式滅火槍的槍口

噴水初速度達 120m/s 以上，但我們所感興趣的重點則在於：滅火劑噴出之後，因空氣阻力之作用而產生水霧(故有一展開之幅度)，在與火場接觸之前的這段距離內，水霧到底發生了什麼樣的變化？這段距離內的平均速度將降至多少？而其有效之噴水距離又是多少？以上的了解將有助於在面對實際火場時如何掌握有效之噴水距離達到迅速滅火與安全防護之目的。

(一)水霧前進速度之量測實驗

實驗前，先於水霧脈衝方向延伸線上的地面上，以槍口正下方為起點，每隔 50 公分放置一標示牌，分析即可得知噴霧頭端的前進平均速度，圖 4 為其噴霧連續圖，經計算噴霧前端的平均前進速度約為 45 m/s。



(a) $t = 0$



(d) $t = 3/30$ 秒



(b) $t = 1/30$ 秒



(e) $t = 4/30$ 秒



(c) $t = 2/30$ 秒



(f) $t = 5/30$ 秒

圖 4. 水霧離開槍口之連續圖，t 表示開始擊發後之時間。

(二)油類火災滅火實驗

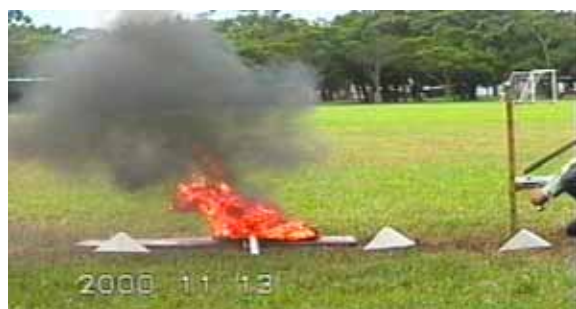
以 92 無鉛汽油為火源，因忌於滅火槍之強大噴霧推力，故先以較小的 1 號火盆作實驗，且沿火盆長軸方向滅火，確定可以滅火之後，再分別改變其用水量、滅火距離，或更換使用其它編號之火盆，以獲得其可滅火之臨界值。

1. 水霧平行火盆

火苗引燃整個油面之後，滅火槍距火源中心水平距離為 1~2m，垂直高度為 0.35m，依不同之火盆面積使用不同水量進行滅火實驗，其結果如表 2 所示(僅列出成功滅火情況者)，其滅火實況如圖 5 所示。

表 2. 油類滅火效能(水霧平行火盆，沿長軸方向)。

火盆編號	水平距離 (m)	垂直高度 (m)	用水量 (cc)	汽油量 (cc)
1	2.0	0.35	100	500
	2.0	0.35	200	500
3	1.0	0.35	400	300
	1.0	0.35	600	300
	1.0	0.35	800	300
4	1.0	0.35	1000	300



(a) $t = 0$



(b) $t = 1/30$ 秒



(c) $t = 2/30$ 秒



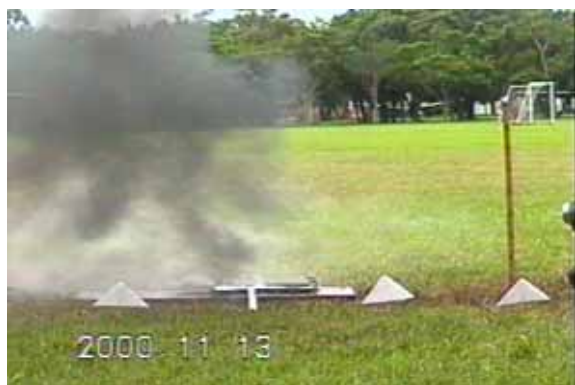
(d) $t = 3/30$ 秒



(e) $t = 4/30$ 秒



(f) $t = 5/30$ 秒



(g) $t = 7/30$ 秒



(h) $t = 9/30$ 秒

圖 5. 油類滅火實況(水霧從火盆正上方通過)。

由結果可知，對油類火災而言，當火盆面積較小時(396 cm^2)，滅火槍擊發一次(用水量 100 cc)即可將火熄滅；當火盆面積較大時(1600 cm^2)，滅火效果將會因此而有所影響；因此在滅火實驗中，水霧沿長軸方向衝擊火源，其目的在使水霧於滅火過程中，以有限之展開幅度來有效的隔絕火燄與空氣，並瞬間帶走熱量、降低火源溫度而獲致滅火之效果。

歸納而言，對於口徑 62mm 、操作壓力為 25bar 的滅火槍而言，火盆面積為 396 cm^2 ，燃燒油量 500 cc 時，水平距離 2m ，可滅火之最小用水量為 100 cc ；當火盆面積為 1200 cm^2 ，燃燒油量 300 cc 時，水平距離 1m ，可滅火之最小用水量為 400 cc ；但當火盆面積為 1600 cm^2 ，燃燒油量 600 cc 時，水平距離 1m ，可滅火之最小用水量則需 600 cc ，由以上結果可知：使用水是可以有效的撲滅 B 類火災，且隨著火盆變大，滅火所需水量亦增加。

2. 水霧以某一角度衝擊火盆

採立姿方式衝擊火盆，裝填用水量雖較少，但依然可以成功的滅火，不同火盆的最小用水量如表 3 所示，其滅火實況如圖 6 所示。

表 3. 油類滅火效能(採立姿, 用水量取其最低值)。

火盆編號	水平距離 (m)	垂直高度 (m)	用水量 (cc)	汽油量 (cc)
1	1.0	0.90	50	100
2	1.0	0.90	50	200
3	1.0	0.90	200	300



(a) $t = 0$



(b) $t = 1/30$ 秒



(c) $t = 2/30$ 秒



(d) $t = 3/30$ 秒



(e) $t = 4/30$ 秒



(f) $t = 5/30$ 秒

圖 6. 油類滅火實況(立姿)。

以立姿方式滅火，滅火槍距火源中心水平距離 1m，垂直高度為 0.90m 而言：以 396、690cm² 不同的火盆面積，分別加入 100、200 cc 的燃燒油量時，其可滅火之最小用水量均為 50 cc；但當火盆面積為 1200 cm²，燃燒油量 300 cc 時，其可滅火之最小用水量則需 200 cc，此情形與水霧平行火盆之滅火實驗是相同的，亦即隨著火盆變大，滅火所需水量亦增加。

必須注意的是，脈衝式滅火槍因挾其高速之水霧而具有強大之衝擊力，為降低較大用水量造成擴大火場的反效果，減少水量為方法之一。設若以較遠之距離滅火，雖可獲得較大的水霧展開面積且降低衝擊力，但較難準確的擊中火源。

(三) 紙類火災滅火實驗

室外的實驗環境或有風勢，故為控制一定之火場範圍，碎紙裝入網格狀之立方體容器，且紙類火災中，其擴展性較油類慢，因此實驗中加入不同的碎紙量(300、500 及 1000 公克)，待火苗點燃約 20~60 秒後，以立姿方式，水平距離 1~2m，垂直高度 0.90m，用水量均為 1000 cc 來進行滅火，其結果如表 4 所示。

表 4. 紙類滅火效能(採立姿)。

紙量(公克)	水平距離(m)	垂直高度(m)	用水量(cc)	備考
300	1.0~2.0	0.90	1000	火勢悶燒而擊完 復燃，再擊 發，即可全滅
500	1.0~2.0	0.90	1000	
1000	1.0~2.0	0.90	1000	

對於不同的碎紙量進行滅火實驗後，初次擊發雖均可將火熄滅，但限於紙堆前端快速的吸取水量，而後端紙堆較不易吸收水霧，內部未被均勻的降溫，而使紙堆後端或邊緣地帶仍然保有足以再度復燃的高溫，只須稍有風勢的助長，旋即悶燒而復燃，但只須再擊發一次，即可將火完全撲滅，其滅火之實況分別如圖 7 所示。



(a) $t = 0$



(b) $t = 1/30$ 秒



(c) $t = 2/30$ 秒



(g) $t = 8/30$ 秒



(d) $t = 3/30$ 秒



(h) $t = 12/30$ 秒

圖 7. 紙類滅火實況(立姿, 側面)。



(e) $t = 4/30$ 秒



(f) $t = 5/30$ 秒

(四) 紙類火場與油類火場滅火實驗探討

由以上的實驗可知，本研究所使用的脈衝式滅火槍是可運用於油類火災的滅火上，但對於開放空間及多阻礙(如本研究之紙類火場)之火場，其滅火效用則不如油類火場，推測其原因可能是水霧對紙類火災的滅火機制是靠對火場的潤濕及降溫，而在油類火災中，滅火的機制則是破壞燃氣的空燃比及降低火場溫度，所以對脈衝式滅火槍而言，在開放的空間中油類火場的滅火效用較紙類來的好。

(五) 液滴汽化現象之探討

由於本研究所使用的火場較實際火場來的小，因為熱能散失較快，故其溫度亦較實際火場來得低，由參考文獻[17]可知一般石油類蒸氣之理論火焰傳播溫度可視為 1450°C ，因此吾人假設真正火場溫度亦為 1450°C ，而以本實驗所使用的 4 號火盆(長 50 公分)及粒徑為 $200\mu\text{m}$ 、速度為 $45\text{m}/\text{sec}$ 之單一液滴

為例，以強迫對流熱傳遞之理論[18]加以推算，得知單一粒徑液滴經過本實驗的火場後溫度可由 25°C 上升至 100°C 後開始汽化，而其所吸收的熱量為 3.2×10^{-3} 卡，若要使液滴的溫度由室溫 (25°C) 上升至 100°C 所需的時間為 8.7×10^{-3} sec，而火場的長約 50 公分，經由上述理論的計算，吾人可了解到液滴在實際火場中應可以達到汽化效果，故本實驗之滅火機制應包含了液滴破壞火焰結構及瞬間吸熱之雙重效果。如此之認知，對於未來設計滅火槍時將有實質之助益。

六、與前人實驗比較

本實驗使用脈衝式高速滅火槍，當水霧離開槍口後，並非所有的水霧皆能衝入或落入火盆中，所以我們將本實驗的比較分為接觸火源式及非接觸火源式兩類。其中接觸式採用 Kim 等人[13]所作之實驗；而非接觸式則採用張和于[15]所作之實驗。

(一)接觸火源式

因為使用水量、滅火時間、距離及火盆大小為滅火效能的重要參數，故擷取 Kim 等人[13]之實驗結果，與本實驗條件較接近的部分進行比較，如表 5。表中可看出本實驗之滅火姿態及距離、火盆面積的條件，在滅火機制中屬於較 Kim 等人[13]不利的情況，但是滅火效率卻優於 Kim 等人[13]，由此可知脈衝式滅火的效果較一般水氣霧滅火效果好。

(二)非接觸火源式

由張和于 [15]的實驗結論：(1)由於液滴流使火苗及其四周溫度降低至燃點以下，且改變了煤油氣與空氣可燃比值才使火苗熄滅。(2)液滴流速度及顆粒越大，所帶動的空氣擾動越大，有助於熄滅火苗。可輔助說明本實驗在非接觸火源式的滅火機制，且 Kondo 等人[16]所提的 Blow off 理論，即水霧夾帶著空氣而往下噴會對火燄造成擾動，有助於滅火，顯示本實驗之結果與 Kondo 等人[16]者一致。

表 5. 與前人實驗比較。

樣本 參數	Kim 等人 [13]	本實驗樣 本一	本實驗樣 本二	本實驗樣 本三
操作壓力 (bar)	14	25	25	25
滅火姿態及 距離	垂直 向火 盆噴 灑。 距 0.5 公尺	水 平 噴 灑。與火 盆水平距 離 2 公 尺，高度 0.35 公尺	人 採 立 姿，將滅 火槍出水 口對向火 盆直接噴 灑。與火 盆水平距 離 1 公 尺，高度 0.9 公尺	人 採 立 姿，將滅 火槍出水 口對向火 盆直接噴 灑。與火 盆水平距 離 1 公 尺，高度 0.9 公尺
火盆面積 (cm ²)	177	396 (約 192×2.1)	396 (約 192×2.1)	690 (約 192×3.6)
滅火水量 (ml)	8.30	100	50	50
滅火時間 (sec)	0.3	3/30	1/30	1/30
粒徑 (μm)	平均 粒徑 30	2-200	2-200	2-200
有效水流通 量 (ml/m ² sec)	266. 7	159.2	380*	380*
滅火效率 (m ² /l*sec)	7.10	3.96	23.76	41.40
表粒徑散佈範圍，參考文獻[1]。 *本實驗之有效水流通量較 Kim 等人[13]大，但 Kim 等人[13]的實驗中水大部分落於火盆中，而本實驗的水卻少部分落於火盆中，由圖 7 及圖 8 可看出，若概算落於火盆中的水量，本實驗之有效水流通量將遠低於 Kim 等人[13]者。				

七、結論

從脈衝式快速滅火槍的實驗可以得知：此系統對 A、B 兩類火災，確實是有良好的滅火效果，除了可撲滅一定量紙張所形成之火場外，亦可以用水來撲滅小面積的油類燃燒，這足以讓我們對油類滅火方面的觀念有很大的改變。

一般的滅火系統無法在瞬間控制火勢，且燃燒的油會浮在水上，隨著水的流動會將火場擴大，造成更大的災害，但此滅火系統卻是利用微小的水粒子在瞬間將熱帶離火

源，降低火場溫度以撲滅火勢，且因是微小的水粒子，所以在接觸火源時就會蒸發為水蒸氣，所以不會發生隨著水的流動而將火場擴大的情況，因此可以將油類燃燒撲滅。

對油類火災而言，不論水霧平行火盆或採取立姿方式滅火，滅火所需水量會隨火盆面積變大而增加。而火之所以會熄滅，吾人推測是因為水霧衝擊火源使得火場溫度降低，且同時改變了燃氣的空燃比所致。

對紙類火災而言，在本實驗條件下，初次擊發雖均可將火熄滅，但限於紙堆前端快速的吸取水量，而後端紙堆較不易吸收水霧，內部未被均勻的降溫，而使紙堆後端或邊緣地帶仍然保有足以再度復燃的高溫，只須稍有風勢的助長，旋即悶燒而復燃，但只須再擊發一次，即可將火完全撲滅，所以火焰熄滅是因為水霧將只潤濕並使火場降溫所致。

致謝

本研究承蒙國科會計劃編號 NSC 89-2612-E-014-007 支援研究經費，特此致謝。

八、參考文獻

- [1] IFEX 3000滅火器材推廣影帶，丞均企業有限公司，台北，2000。
- [2] 衝擊快速滅火系統產品型錄，丞均企業有限公司，台北，2000。
- [3] Boubafid, A., Vantelon, J.P. & Joulain, P., "On the flame structure at the base of a pool fire," In 22nd mt. Symp. on Combustion. The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, pp. 1291-1298, 1988.
- [4] Weckman, F.J. and Sobiesiak, A.L., "The oscillatory behaviour of medium-scale pool fires," In 22nd mt. Symp. on Combustion. The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, pp. 1299-1310, 1988.
- [5] Drysdale, D., "An Introduction to Fire Dynamics," Wiley, New York, p.3, p.122, 1985.
- [6] Hall, A. R., " Pool burning: a review. In Oxidation and Combustion Reviews," Vol.6, ed. C. F. Tipper. Elsevier, New York, p.169, 1973.
- [7] Alpert, R L., "Numerical modeling of the interaction between automatic sprinkler sprays and fire plumes," Fire Safety J., Vol. 9, pp. 157-163, 1985.
- [8] Magee, R.S. and Reitz, R.D., "Extinguishment of radiation augmentation plastic fires by water sprays," In 15th Int. Symp. on Combustion. The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, pp. 337-347, 1975.
- [9] Grant, G, Brenton, J., and Drysdale, D., "Fire suppression by water sprays," progress in Energy and Combustion Science 26, pp. 79-130, 2000.
- [10] Kim, M.B., Jang, Y.J., and Kim, J.K., "Burning Rate of a pool Fire With Downward-directed Sprays," Fire Safety Journal, Vol. 27, pp. 37-48, 1996.
- [11] Jones, A. and Nolan, P. F. , "Discussions on the use of fine water spray or mists for fire suppression," J. Loss Prev. Ind., Vol. 8, No. 1, 1995.
- [12] Knott. T., Offshore Engineer, November 16, 1992.
- [13] Kim, M. B., Jang, Y. J., and Kim, J. K., "Extinction Limit of a pool Fire with a Water Mist," Fire Safety Journal, Vol. 28, pp. 295-306, 1997.
- [14] Liu, C. C., Lin, T. H. and Tien, J. H., "Extinction Theory of Stretched Pre-mixed Flames by Inert Sprays," Combustion Science and Technology, Vol., 91, pp. 309-327, 1993.
- [15] 張枝成、于連浩, "液滴衝擊煤油火苗之實驗研究", 中國航空太空學會學刊第 33 卷第一期, 第 47-52 頁, 2001。
- [16] Kondo, T., Mori, N., Noguchi, Y., and Tokuoka, N., "Fire Extinction by Water Spray," Proceedings of ILASS-Asia, pp. 34-38, 2001.
- [17] 京華書局編輯部編譯, 實用化學工業全書, 第七冊, 第 54-55 頁, 1973。
- [18] 張有雄、張枝成、戴昌賢譯, 熱傳遞學, 全華科技圖書股份有限公司, 第六版, 台北, 第 298-309、661 頁, 1988。