



# 中華民國消防設備師公會全國聯合會

## 消防技術專刊

### 第一輯第2篇

發行人：曾順正 理事長 會址：台北市長安東路2段63號9樓之1  
TEL:(02)25064127 (06)2520909 E-mail:david@nafe.tw

# 細水霧系統之功能驗證與個案分析

文/消防設備師 黃鴻勳

## 摘要：

傳統撒水系統已有百年歷史，為早期人類最為仰賴之滅火系統，但撲滅火災後同時也帶來大量水損的傷害，因此造就氣體滅火系統逐漸蓬勃發展起來，因其使用後不殘留、復原時間短之特性。

然而氣體滅火系統也非完美無缺之滅火系統，鹵化烷氣體遇到高溫會分解產生其他化學物質，如氫氟酸(HF)等會造成電子儀器受損害，除此之外，並會造成地球暖化等影響，因此未來化學滅火藥劑逐一被禁用如海龍滅火藥劑之情形是可被預期的。

然而，由大氣中安定氣體組成之惰性氣體系統也非十全十美，雖然惰性氣體永不會被禁用，但惰性氣體系統屬於高壓滅火系統(大於200bar)，對於安裝操作人員及建築物之危險性相對較高，且大量儲存鋼瓶十分占室內空間。綜觀所有氣體滅火系統有其優點也有其缺點，因此人類又重新思考使用最原始的滅火藥劑——水。

## 一. 細水霧系統介紹

水霧系統一般可藉由水滴之粒徑大小與系統壓力來區分，如表一所示。第1級和第2級細水霧用於撲滅B類火災(油類火災)效果較佳，且不會攪動池內的液面而造成飛濺之虞，然而第1級細水霧對於A類深層火災之效果則較差，可能與其較不易穿透碳化層而浸濕燃燒物質有關，但在燃燒處於表面或於封閉空間內仍然可有效控制A類火災。若以系統壓力來區分，可分為低壓、中壓及高壓，依據NFPA750

## Abstract

Traditional sprinkler system has been used over a century, which is the fire suppression system people rely on the most, however it controls the fire and cause huge water damage at the same time.

Thus gas suppression system has gradually thrived because of no residue after use, and recovery time is very short. However gas suppression system is still not a perfect system, some decomposed chemicals, such as hydrofluoric acid (HF) are generated as alkyl halide gas contact with flame, which might cause damage to electronic equipment. In addition, it will lead to global warming and replacing with more environmentally friendly agent can be expected in the near future.

However, inert gas system is also not a perfect system, although it would not be prohibited to use forever, but since its pressure is very high (greater than 200bar), the risk for operating and installation personnel and structure of buildings are relatively high, and mass storage cylinders would occupy a lot of space. All gas suppression systems have its advantages and its disadvantages. Therefore, human rethink the most primitive extinguishing agent ---- water.

2003版(細水霧系統設計標準)：

小於12.1bar(175psi)為低壓系統；中壓系統工作壓力12.1~34.5bar(175~500psi)；34.5bar(500psi)以上則為高壓系統。若以細水霧系統放射型式區分，可分為單流低壓系統、單流高壓系統和雙流系統，如表二。然而，細水霧的滅火能力並不是完全取決於水滴粒徑大小與系統壓力，還與細水霧相對於火焰之噴射方向和放射密度等有密切關係，因此實際之滅火效果仍需藉由全尺寸實驗來予以驗證。

表一 細水霧系統分類 (NFPA 750 2003 年版)

水滴大小	第 1 級, $Dv99 \leq 200 \mu\text{m}$ 第 2 級, $Dv99 \leq 350 \mu\text{m}$ 第 3 級, $Dv99 \leq 1000 \mu\text{m}$	研究得知，撲滅油類火災水霧粒徑需小於 $400 \mu\text{m}$ ，低壓細水霧之粒徑為 $350 \mu\text{m}$ 因此能撲滅油類火災，且低壓細水霧之粒徑較高細水霧大，因此較不易受通風系統影響且對於 A 類深層火災之滅火效果更佳
系統壓力	低壓 < 12.1 bar (< 175psi) 中壓 12.1-34.5 bar (175-500psi) 高壓 > 34.5 bar (> 500psi)	低壓系統安全性較高，管配件價格相對較低

表二 細水霧系統放射型式

單流低壓系統 (Single-Fluid Low-Pressure Systems)	單流低壓系統產生較大的水粒徑，在撲滅深層的 A 類火災時，表現出良好的效果。這是由於相對較大的流量產生了表面的浸濕作用。
單流高壓系統 (Single-Fluid High-Pressure Systems)	由於較小的水粒徑，提高了撲滅受遮擋火災的能力，而減弱了撲滅深層 A 類火災時之效果。
雙流系統 (Twin-Fluid Systems)	雙流介質噴霧系統，水及霧化介質由不同的管路分別供給，並在噴頭處混合、碰撞而產生水微粒子。

## 二. 低壓細水霧系統與其他滅火系統之比較:

細水霧系統應用範圍非常廣且已被多國消防主管機關同意能使用於傳統撒水防護之場所(辦公室、飯店等)也能應用於氣體滅火系統防護之場所(燃氣渦輪機、機械機房等)，其不但 100%環保外更能將多種滅火系統整合為單一種系統，以便能大幅降低未來之維修保養費用。

### (一) 低壓細水霧系統與其他水系統比較

細水霧系統相較於傳統撒水系統為較為科學且性能較優之系統，撒水系統已為百年產物，其僅以防護區域種類 (LH、OH1、OH2、OH3) 來決定所需之撒水密度，

但是實際滅火或控火效果如何實在不得而知，然而細水霧系統卻不然，除了依照測試標準須測試噴頭功能外，更對系統進行滅火性能測試(Performance Testing)，因此只要通過測試標準，即便水量遠小於撒水系統也已被知名認證單位認可。



表三 低壓細水霧系統與傳統撒水系統性能與規格比較表

	VID 低壓細水霧系統	傳統撒水系統
<b>測試標準</b>	<b>FM5560</b>	
	1. 裝配強度/框架強度	
	2. 熱感應元件強度試驗	
	3. 洩漏試驗	
	4. 靜壓強度試驗	
	5. 30 天洩漏試驗	
	6. 水錘試驗	
	7. 工作溫度試驗(液浴)	
	8. 空氣浴試驗	
	9. 操作元件阻礙試驗	
	10. 導流裝置強度試驗 (流體承受力)	
	11. 真空試驗	
	12. 高溫環境暴露試驗 (90 天測試)	
	13. 熱衝擊試驗	<b>密閉式撒水頭認可基準</b>
	14. 流量係數試驗，K-係數	1. 強度試驗
	15. 潮濕空氣試驗	2. 衝擊試驗
	16. 腐蝕試驗 - 鹽霧	3. 裝配載重試驗
	17. 腐蝕試驗 - 應力斷裂	4. 框架永久變形量試驗
	18. 腐蝕試驗 - 二氧化碳/二氧化硫	5. 易熔元件之強度試驗
	19. 腐蝕試驗 - 硫化氫	6. 玻璃球之強度試驗
	20. 振動試驗	7. 釋放機構之強度試驗
	21. 粗糙使用和濫用試驗	8. 振動試驗
	22. 高溫暴露試驗	9. 水鎚試驗
	23. 凍結試驗	10. 腐蝕試驗
	24. 最小工作壓力試驗	11. 動作試驗
	25. 剩餘試驗	12. 感度-熱氣流感應試驗
	26. 電導率試驗 (C 因子)	13. 放水量試驗
	27. 靈敏度試驗 - 反應時間指數 (RTI)	14. 撒水分布試驗
	28. 靈敏度試驗 (嵌入, 齊平, 和隱蔽型)	
	29. 靈敏度試驗 (烘箱)	
	30. 細水霧釋放特性試驗	
	31. 衝擊試驗	
	32. 保護帽試驗	
	33. G. 4. 1 小隔間, 燃料包 G-1 (雙層床)	
	34. G. 4. 2 大艙與燃料包 G-2 (角木堆)	
	35. G. 4. 3 開放空間與燃料包 G-3 (沙發), 在一個噴頭下	
	36. G. 4. 4 開放空間與燃料包 G-3 (沙發), 在兩個噴頭之間	
37. G. 4. 5 開放空間與燃料包 G-3 (沙發), 在四個噴頭之間		



細水霧系統與撒水系統相比不但能大幅降低水損，除此之外還具有吸收火場中輻射能、排除火源附近氧氣供應、降低可燃物發煙量與吸附濃煙粒子等特性，不若撒水系統僅能降低燃燒物溫度與潤濕周圍可燃物。

當火災進入最盛期之前一般會發生閃燃現象(Flashover)，人員必須在閃燃現象發生之前逃離火場，根據國外實驗結果發現當天花板下方熱氣流溫度達 600°C，地板熱通量達 20kW/m<sup>2</sup>時，閃燃現象可能會發生，細水霧因為能大幅吸收火場輻射熱

能因此能避免或延緩閃燃現象發生之時間，以提供人員更充足之逃生時間。

低壓細水霧與其他水系統之定量與定性分析請參閱表四與表五，由表四可知因低壓細水霧系統之工作壓力與撒水系統相近，因此 NFPA750 (細水霧系統設計標準)說明低壓細水霧系統不同於中高壓系統須依據 ASME B31.1, Power Piping Code，其可比照 NFPA13(撒水系統安裝標準)，因此系統之安裝費用相對於中高壓系統可大幅降低，但其仍保有細水霧之諸多優點，遂造就低壓細水霧系統於近年來蓬勃發展中。

表四 低壓細水霧系統與其他系統之比較表-1

	撒水系統	低壓細水霧系統	高壓細水霧系統
工作壓力 (bar)	1 - 10	7.7 - 16	60 - 200
放水密度(l/min/m <sup>2</sup> )	10	1.7 ~3.3	1~2.5
管材種類選擇	鍍鋅鋼管	鍍鋅鋼管 銅管 不銹鋼管 304 不銹鋼管 316 PVC 管	不銹鋼管 316L(Sch80)
泵浦	離心幫浦		正相容積式幫浦
水質處理裝置	Y型過濾器		特殊過濾裝置

表五 低壓細水霧系統與其他系統之比較表-2

	撒水系統	低壓細水霧系統	高壓細水霧系統
能否使用鋼瓶組系統	否	否	可
電力耗能 (幫浦功率大小正比於水壓和水流量)	高	低	高
因噴頭內之孔口大小所導致之過濾設備要求等級及造成噴頭阻塞之風險	低	低	高
幫浦和水源空間	差	優	優
管材成本	低	低	高
安裝成本	低	低	高
維保成本	低	低	高

## (二)低壓細水霧系統與氣體滅火系統比較

與氣體滅火系統相比，細水霧系統不若氣體滅火系統需達一定氣密條件、釋放後須通風換氣、鋼瓶藥劑需要重新充填、系統釋放時人員需要撤離和消防隊不能立刻進入防護區域內等缺點。

另外，因水有很高之蒸發潛熱(2259 J/g)，因此較氣體能吸收更多的熱能，也較能避免閃燃和復燃之發生，但是研究發現細水霧對於大型火災效果較好，小型火災之滅火效果仍不如化學系統，因為小型火災之環境耗氧量和蒸發速度都較慢之故，其他各方面之比較請參閱表六。

表六 低壓細水霧系統與氣體滅火系統之比較

	惰性氣體	鹵化烷氣體	低壓細水霧
藥劑價格/充填費用	☆	X	☆☆
綠能環保	☆☆	X	☆☆
設備安全	☆☆	☆	☆
人員安全	☆☆	☆	☆☆
釋放時能見度	☆☆	☆	☆☆
滅火效能	☆	☆☆	☆(對大火特別有效)
氣密性要求	X	X	☆
藥劑被禁用可能性	☆☆	X X	☆☆
產生有毒氣體(HF)	☆☆	X	☆☆
經濟效應	☆	☆	☆☆
保護建築物結構體	X	☆	☆☆
深層火災效果	☆	☆	☆☆
吸附濃煙	X	X	☆☆
吸收遮蔽輻射能	X	☆	☆☆
避免火災復燃	X	X	☆☆
降低火場溫度	☆	☆	☆☆
放射方式	全區放射	全區放射	局部放射/全區放射
建築物耐壓等級需求	X	☆	☆☆
配管管徑大小	X	☆	☆☆
撲滅火災種類	A、B、C	A、B、C	A、B、C
改裝便利度	X	X	☆☆
洩壓口	需要	不需要	不需要
應用範圍	☆	☆	☆☆

### (三)低壓細水霧系統之應用規劃

細水霧系統於目前有分為標準型細水霧系統與性能式細水霧系統，標準型細水霧系統為已通過知名檢測機關認可之系統，因此若應用場所與被認可之應用範圍相符合，則可直接應用而不需再次經全尺寸試驗。反之，性能式細水霧系統則須先由知名第三公正單位(DFL、VTT、CNPP、SINTEFF、VdS、DNV)進行火災測試並提供測試報告後方能應用於欲設置之場所內。

#### 1. 標準型細水霧系統之測試標準與應用

目前全世界有很多標準型細水霧系統之測試標準：

如 FM5560:US light Hazard (EU OH1)、machinery rooms/turbines; UL2167: Residential areas、LH、OH1; VdS: Hotels、Offices、car parks、cable tunnels; LPS1283: Hotel、offices; CEN/TS14972 annex A: Offices、atriums、cable tunnels、fat fryers 等，採用標準型細水霧系統之優點為因已經過測試標準測試通過，因此較易被當地主管機關(AHJ)所接受，而缺點為使

用之高度、空間大小與場所類型受到限制。舉測試標準 FM5560 Approval Standard for Water Mist Systems APPENDIX G: Fire Tests for Water Mist Systems for the Protection of Non-Storage Occupancies, Hazard Category 1 (HC-1)來說，經過以上標準測試通過的系統即可應用於 FM 定義之 HC-1 類場所：

如公寓、中庭、教堂、隱蔽空間、健身房、醫院及醫院實驗室、旅館房間、學院、廚房、圖書館、會議中心及旅館的會客室、無液壓切割操作的金屬加工廠、礦物加工如玻璃，水泥，礦石處理，石膏加工等、博物館、護理之家、辦公室、餐廳座位區、學校及大學教室、未使用的閣樓，但若使用空間高度超過 5m 時則無法適用之。

#### 2. 標準型細水霧系統之實績：

##### (1)英國 Wyvern 學校等：

目前已許多場所使用標準型細水霧系統，舉英國 Wyvern 學校之案例，其即安裝經 FM5560 測試通過之細水霧噴頭來取代傳統撒水系，因低壓細水霧系統不但滅火效能較傳統撒水系統佳外，無論直接與間接損失程度、災後復原之速度、系統耐用度、節省室內空間等皆遠遠優於傳統撒水系統。



使用國家	英國	學校名稱	Wyvern
系統類型	低壓細水霧系統	完工日	2012
測試標準	FM5560 APPENDIX G		

圖一 英國 Wyvern 學校之標準型細水霧系統安裝圖



## (2) 泵浦室：

丹麥 Koppers 之泵浦室也使用標準型細水霧系統來取代氣體火系統，因為若使用氣體滅火系統來防護，造價需較高且需要良好之氣密性，再者系統動作後，鋼瓶須運回工廠充填，因此復歸期較長，然而細水霧系統則不需要全密閉空間也能發揮功

效，就滅火效能而言，其不但能撲滅油類火災外，更能大幅降低火場溫度，以有效保護人員及消防隊員之安全，其他優勢還包括，系統不但 100%環保、動作後之復歸更是沒有空窗期等，因此若以整體經濟效應考量，低壓細水霧系統遠遠優於氣體滅火系統。



使用國家	丹麥	業主	Koppers
系統類型	低壓細水霧系統	完工日	2011
測試標準	FM5560 APPENDIX F		

圖二 丹麥 Koppers 泵浦室之標準型細水霧系統安裝圖

### 3. 性能式細水霧系統之測試標準與應用

性能式細水霧系統目前歐盟之認可標準為 CEN/TS 14972 Appendix B. Fire test demonstrations，其須針對個案需求進行

火災性能測試以便獲得充足資料與數據，驗證流程如圖三所示，系統因已於類似場所經過測試並通過驗證，因此滅火較能達預期效果，然而其缺點為需要花費之時間和經費成本較多。

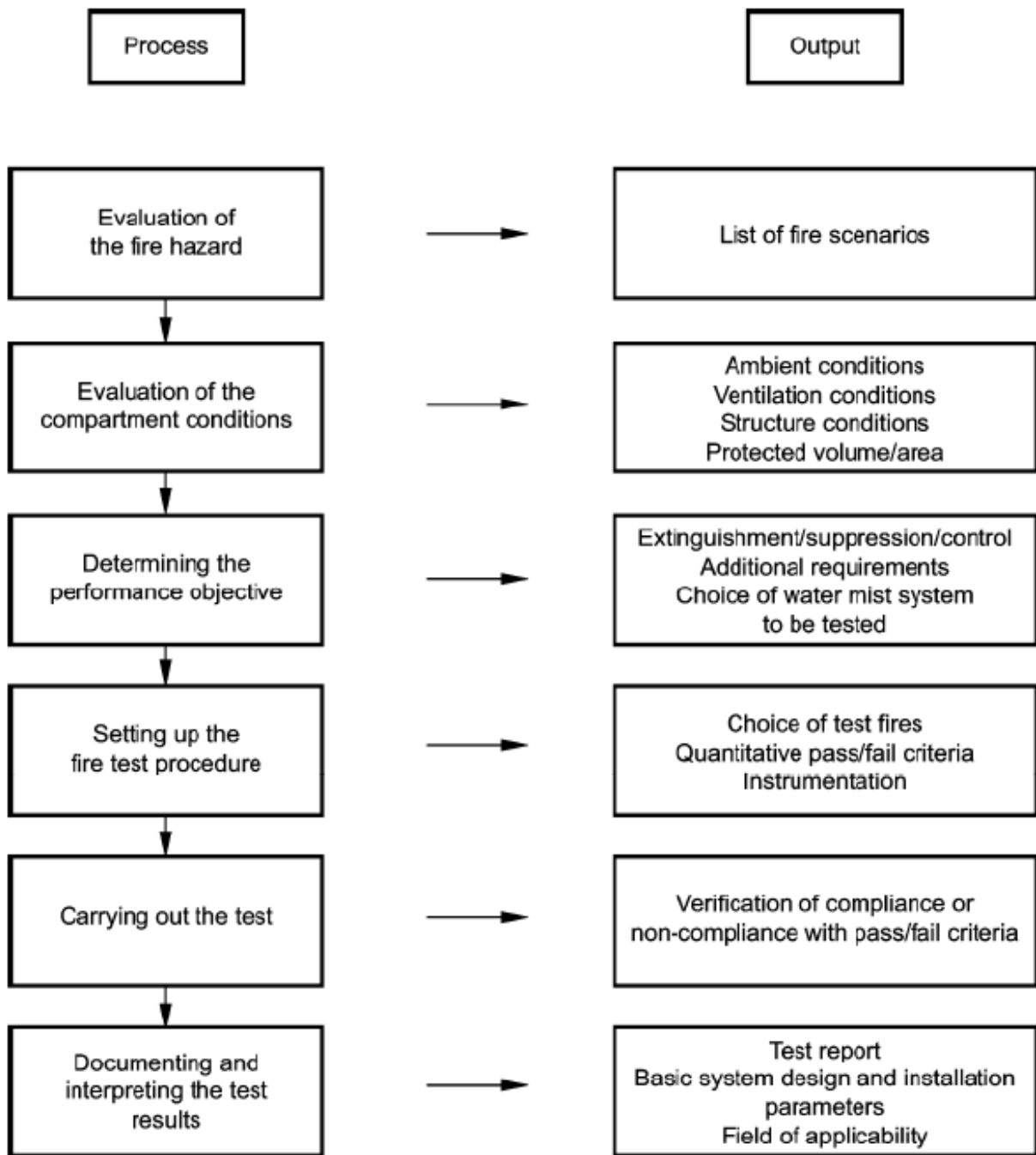


Figure B.1 — Process of developing a fire test procedure

圖三 性能式系統之全尺寸測試流程圖



#### 4. 性能式細水霧系統之實績

性能式細水霧系統之實績眾多，圖四為挪威飛機庫之案列，飛機庫一般使用傳統高膨脹泡沫系統來防護，然而其釋放後之清理相當費時費力，維保費用也高且較不環

保，再者泡沫放出口須安裝於飛機庫上方因此施工速度較慢，然而細水霧系統安裝與後續維修之時間與成本皆較低，且對於冷卻火場溫度之功效與災後復原速度更是遠優於高膨脹泡沫系統。



使用國家	挪威	完工日	2003
系統類型	低壓細水霧系統		

圖四 挪威飛機庫之性能式細水霧系統安裝圖

#### 5. 細水霧標準與系統未來趨勢

細水霧系統為新興之消防系統，但其發展也將近 30 年，早期主要應用於船舶上，國際海上組織（IMO）是制定細水霧系統測試協定之先驅，然而 IMO 火災測試協定不僅使細水霧僅能用於船舶上，後來許許多多之陸地標準亦沿襲 IMO 測試協定，內容幾乎八成相近。目前細水霧之測試標準和設計標準眾多，整理歸納於表七和表八。陸地上之標準逐漸形成之優點為不須再

次經過性能測試即可應用於防護區域內，但是目前無單一標準能涵蓋所有應用場所，且標準種類太多常造成設計單位無所依從，不知該依循何種標準且不知何為最佳標準，因此早期細水霧系統並不為每一國家所接受，但因為近年來標準之發展日趨完整，因此細水霧系統已逐漸為大部分國家所接受，然而雖然細水霧標準眾多但可預期的是，因區域市場需求之因素，各國仍會以區域性標準為主。

表七 細水霧測試標準

測試標準	應用場所
FM5560	US light Hazard (EU OH1), machinery, turbines, special hazards, more
UL2167	Residential areas, LH, OH1 more
VDS	Car parks, cable tunnels, OH3, Offices, more
UK	LPS1283 Domestic & residential areas, LH & OH1 & DD8458 & DD8489
Scandinavia	INSTA 900: Domestic & residential areas
Europe	CEN/TS14972:Office, Fat fryers, special hazards
CNPP	Turbine tests
Marine	IMO Standard

表八 細水霧設計標準

國家	設計標準
USA, Middle East, Far East	NFPA750
Europe	CEN/TS14972
UK	DD8458、DD8489
Denmark	RETN. 254: LH & OH1
Scandinavia	INSTA 900:Domestic&residential areas
Marine	SOLAS
China	GB 50898-2013

### 三. 結語

目前細水霧系統中以低壓系統發展最為迅速，因低壓系統之造價較為便宜外，滅火性能卻不遜於高壓系統，其保留傳統撒水系統與高壓細水霧系統之各自優點，再者因細水霧系統逐漸標準化，遂系統之優

劣並非藉由水滴粒徑大小與系統壓力高低來判定，乃藉由性能測試來予以驗證佐證，因此可預期的是，此標準化過程將大促進壓細水霧系統之發展。

說明:本文作者黃鴻勛為英國愛丁堡結構與防火工程碩士

