

# 細水霧系統應用於通風環境下之研究

學生：黃聖安

指導教授：陳俊勳教授、雷明遠博士

國立交通大學產業安全與防災學程

## 中文摘要

細水霧系統自船舶使用而發展以來，逐漸成為各種消防防護領域的新技術，隨著美國國家防火標準訂定 NFPA750 為細水霧標準，在 1996 年首版到 2006 年第四版頒行後，2007 年歐盟安全法規委員會也訂定 TS14972 為細水霧在歐盟設計標準，2008 年在中國大陸許多省或直轄市都已公告細水霧標準。雖然細水霧系統是重要的選項，但在通風或排煙環境中能否適用，水霧粒子是否會被排煙機所抽離，大空間中局部放射的水霧粒子，在沒有受到圍壁空間包覆時，會不會造成嚴重離散，造成因通風狀態而失效。透過國內外文獻收集分析後，本研究決定以高壓細水霧系統為主，進行實場驗證，實驗情境設為機械排煙與自然通風二種，機械排煙情境中選擇變化參數為火源種類、風量大小、撒水對照、排煙口位置等，實驗進行中將監測火場溫度、一氧化碳、二氧化碳、煙濃度等生命安全指數變化情形，除了確認滅火性能外，還可確認人員能否安全。在開放空間部份採用了 FM 及 IMO 中有關局部防護 Local Application 實驗設定，分別於室外及室內針對油類火源執行油盤及立體噴濺燃燒，過程中將確認在自然通風環境下，能否有效撲滅火源，實驗的過程與結果，令人十分滿意。研究結果顯示，細水霧在排煙的情況下，亦能有效的撲滅油盆火災。但滅火時間會受到排煙風量大小的影響，當排煙風量愈大，其滅火時間就愈長，並能有效降低火場的煙濃度、CO<sub>2</sub>、CO 和溫度，降低了火場內部的危害，可以延長火場內人員避難逃生的時間；在木堆火源的實驗中，細水霧對於火場的抑制能力和火場內部的降溫效果，以及對氣體濃度的影響，都比傳統撒水頭還要好，對於人員的避難逃生也較為有利。

# Assessment of Fire Suppression Performance of Water Mist System in Ventilation Condition

Student: Shang-An Huang

Advisor: Dr. Chiun-Hsun Chen

Dr. Alec M. -Y. Lei

Institute of Industrial Safety and Risk Management  
National Chiao Tung University

## Abstract

Since the water mist system has been developed and used in the watercraft fields, gradually it becomes a cutting-edge technology for the today's fire protection systems. Following with the 1996 edition of NFPA750 standard and its 4<sup>th</sup> revised version in 2006, European Union Safety Committee in 2007 also regarded TS14972 as a water mist design standard for European Union. In 2008, many China provinces and direct-controlled municipalities bulletined the water mist standards. These make the water mist system to become an important fire suppression option. However, could the water mist system be suitable in the ventilated environment or influenced by de-smoke system that the water mist granules could be pulled out and not reach the fire? Also could such system be capable of emitting water mist granules in a big space without fully walled that might be resulted in failure due to serious granule divergence in a ventilated situation? After intensive literature review, this research adopts the high-pressure water mist system as the primary target for the onsite fire tests. Experiments were designed for the mechanical de-smoke and the natural ventilation situations. The selected parameters in the former situation were various types of fire, exhaust capacity, comparison with traditional sprinkler, and smoke vent position, etc. In fire tests, the variations of safety index, such as temperature and concentrations of carbon monoxide, carbon dioxide and smoke, were measured to justify the fire extinguishment and also the occupant egress safety. In the natural ventilation situation, the Local Application experiment was set up by using FM and IMO standards, which focused in hazardous level of liquid fire in indoor and outdoor environments. They are carried out by using the pool fire and the jet fire as the fire sources. The purposes were to confirm whether these fires can be suppressed effectively under the natural ventilation environment. The experiment process and results were very quite satisfied.

From the experimental results, it was found that water mist system even under the desmoking condition still can effectively put out the pool fire. However, the fire

extinction time is greatly affected by the mechanical de-smoke capacity. The extinction time becomes longer as the capacity is higher that also can reduce the smoke density, CO<sub>2</sub> and CO concentrations, and temperature simultaneously. In other words, it can mitigate the fire hazard and extend the occupant egress time. In the crib fire tests, water mist system was found to be able to control the fire and reduce the field temperature. It was also found that the toxic gas concentration is reduced comparing to that of regular sprinkler system so that the occupancy evacuation becomes safer.



## 誌 謝

自從 2005 年入學，到 2009 年畢業了，期間非常感謝陳俊勳教授及雷明遠博士的指導，過往的上課情境，彷彿歷歷在目，陳俊勳教授認真的教學，治學嚴謹的態度，是學生最好的學習對象；而雷博士多次午間指導，都是犧牲了他午修時間；感謝博班學長維義、文耀對論文提點，碩班學弟金輝對實驗克苦耐勞的付出；中台科技大學徐一量博士在台中，可以讓我就近請益，非常感謝他不吝分享許多寶貴資料；最後關頭感謝姐夫林佩民來自澳洲的支援；感謝堂哥雷德順提供我新竹住宿及多次熱情招待；感謝 93 級學長許炎邦在研究論文過程分享與協助；感謝專班助理戰小姐行政支援及協助。

隨時感受到父母親總是在背後默默為我祝福與祈禱著，心愛的老婆淑櫻是我的超級助理，協助論文進行外，家中同時孕育著三隻小豬，在這些年已從小朋友變成了青少年，當爸爸的我親自示範下，希望他們也好好加油。感謝事業夥伴老許，老弟聖芳在工作上的付出，在即將畢業前半年，他們和我一起共創台灣防災股份有限公司，在內外交迫的半年裡大家撐過來了，日後我們將共同面對更多的挑戰，相信不久將會鴻圖大展。

在 2008 這一年離開了工作了十年的工作崗位，非常感謝過去十年間的工作夥伴，也感謝前合夥人張禮賢、陳承聖在十年間給了我許多成長與學習的支持。感謝老天爺給了我許多，讓我順利的完成進修的目標，在這期間也取得了工安技師執照，完成鐵人三項比賽、日月潭橫渡挑戰。

眨眼間渡過 35 年的人生歲月，邁向另一個黃金十年的開始，期許自己持續奮起，朝向設定目標努力不懈，感謝生命中相遇的人。

# 目 錄

中文摘要	i
Abstract	ii
誌謝	iv
目錄	v
表目錄	viii
圖目錄	x
第一章 緒 論	1
1.1 前言	1
1.2 研究動機	1
1.3 文獻探討	2
1.3.1 細水霧系統之發展	2
1.3.2 國內法令規定探討	6
1.4 細水霧滅火系統國際相關測試規範介紹	8
1.4.1 細水霧滅火系統國際相關測試之測試空間需求	10
1.4.2 細水霧滅火系統相關測試規範之測試對象及項目說明	13
第二章 細水霧系統的構成探討	19
2.1 細水霧系統一般性規範應有的內容	20
2.2 子系統和組件細部規範	22
2.2.1 供壓系統介紹	22
2.2.2 各種供壓類型優缺點比較分析	23
2.2.3 高壓泵組常見的問題研究	24
2.2.4 標準化的細水霧泵浦介紹	27
2.2.5 細水霧噴頭探討	28
2.3 細水霧系統的水力計算	32
2.3.1 Darcy Weisbach 計算方法	33

2.3.2 Hazen-Williams 計算法	35
2.3.3 利用 Excel 表格化的水力計算	38
第三章 研究內容及方法	40
3.1 收集資料	41
3.2 實驗設備與系統架設	41
3.2.1 實驗空間介紹	41
3.2.2 實驗場儀器設備	43
3.2.3 火源設計	48
3.2.4 測試場週邊設備設置與系統整合	51
3.3 實驗操作步驟	53
3.3.1 機械通風情境	53
3.3.2 自然通風情境	53
3.4 細水霧噴霧液滴之粒徑量測	55
3.4.1 雷射量測系統	55
3.4.2 細水霧粒徑量測分析	57
第四章 火災實驗與結果探討	62
4.1 在機械排煙中的實場驗證	62
4.1.1 不同油量對細水霧火場抑制的影響	63
4.1.2 排煙與細水霧的影響	65
4.1.3 排煙口位置對細水霧火場抑制的影響	68
4.1.4 排煙風量對細水霧火場抑制的影響	71
4.1.5 細水霧與傳統撒水頭對火場抑制的影響	75
4.1.6 人員逃生的影響	85
4.2 自然通風情境下的測試	85
4.2.1 測試結果	88
4.2.2 測試過程和結果的觀察與定性分析	88
第五章 結論與建議	90

5.1 結論.....	90
5.2 建議.....	91
參考文獻 .....	92





## 表目錄

表 1.3.1 各類滅火系統之比較	3
表 1.3.2 各類消防滅火系統設置場所比較表	6
表 1.4.1 細水霧滅火系統測試協定及空間分類表	8
表 1.4.2 FM 之測試規範空間需求列表	10
表 1.4.3 UL2167 之測試規範空間需求列表	10
表 1.4.4 IMO MSC/Circ 668/728 A 類引擎室之測試規範空間需求表	11
表 1.4.5 船上 A 類引擎室的火災測試情境分類表	12
表 1.4.6 油料噴灑測試參數	13
表 1.4.7 FM 細水霧滅火系統測試規範測試對象及項目整理	14
表 1.4.8 UL2167 細水霧滅火系統測試規範測試對象及項目整理	17
表 2.2.1 各種供壓類型優缺點比較	24
表 2.2.2 高壓系統常見問題	25
表 2.2.3 密閉式噴頭的溫度等級、分類與顏色碼	32
表 2.3.1 Darcy Weisbach 及其相關公式在中高壓系統下的壓降計算	33
表 2.3.2 絕對粗糙度建議值或不規則管壁有效高度建議值	35
表 2.3.3 $\mu$ 的近似值, 絕對黏度, 淨水的密度, 溫度範圍 40°F 至 100°F	35
表 2.3.4 銅管管件與閥的等效管長值表	37
表 2.3.5 C 修正因子	38
表 2.3.6 海生威廉 C 值	38
表 2.3.7 Excel 表格化的水力計算	39
表 3.2.1 噴濺火災參數	50
表 3.4.1 SMD 計算樣本資料	60
表 3.4.2 DANFOSS 細水霧噴頭量測數據	61
表 4.1 實驗參數	62



表 4.1.1 汽油 1500C. C. 的滅火時間.....	63
表 4.1.2 汽油 3000C. C. 的滅火時間.....	64
表 4.1.3 細水霧與撒水噴頭特性比較.....	75
表 4.1.4 木堆在細水霧及撒水頭的滅火時間.....	76



## 圖目錄

圖 2.2.1 消防幫浦	22
圖 2.2.2 高壓鋼瓶	23
圖 2.2.3 標準化的消防泵浦	27
圖 2.2.4 噴頭材質規定為銅或不銹鋼	28
圖 2.2.5 用於高價值場所美觀型噴頭	28
圖 2.2.6 各種不同防護塗裝的噴頭式樣	31
圖 2.3.1 Moody Diagram	34
圖 3.1 本研究的實驗架構	40
圖 3.2.1 機械通風條件之實驗場地配置圖	42
圖 3.2.2 室外空間實驗場地 5mx5mx5m 管架	42
圖 3.2.3 室內空間實驗場地 5mx5mx5m 管架	43
圖 3.2.4 氣體分析器	44
圖 3.2.5 熱電偶樹	44
圖 3.2.6 數據處理器(a) DA-100 (b)DU-100	45
圖 3.2.7 煙遮蔽量測的訊號處理器	45
圖 3.2.8 雷射光源發射器	46
圖 3.2.9 木堆火源	48
圖 3.2.10 油盤火源	49
圖 3.2.11 不同油量高度示意圖	49
圖 3.2.12 燃料噴撒噴頭位置	51
圖 3.2.13 撒水變頻控制盤系統	51
圖 3.2.14 偵熱與偵煙探測回路	51
圖 3.2.15 排煙風管	52
圖 3.2.16 細水霧懸吊系統	52
圖 3.2.17 室外三度空間細水霧噴頭 2x2 間距 3 米放射實景	52

圖 3.3.1 室外三度空間噴撒燃燒預燃	53
圖 3.3.2 噴濺火熄滅後仍持續噴撒 15 秒實驗	54
圖 3.4.1 粒徑量測場地圖(a)細水霧開啟以及(b)細水霧關閉	57
圖 3.4.2 數位影像處理流程	57
圖 3.4.3 高壓細水霧系統噴嘴(a)正視圖以及(b)俯視圖	58
圖 3.4.4 噴頭噴撒角 135°	58
圖 3.4.5 粒徑個數分布直方圖	59
圖 3.4.6 相對累積體積百分比	60
圖 4.1.1 煙濃度百分比的比較圖	65
圖 4.1.2 CO <sub>2</sub> 濃度百分比的比較圖	66
圖 4.1.3 O <sub>2</sub> 濃度百分比的比較圖	66
圖 4.1.4 CO 濃度百分比的比較圖	68
圖 4.1.5 煙濃度百分比的比較圖	69
圖 4.1.6 CO <sub>2</sub> 濃度百分比的比較圖	69
圖 4.1.7 O <sub>2</sub> 濃度百分比的比較圖	70
圖 4.1.8 CO 濃度百分比的比較圖	70
圖 4.1.9 3000C. C. 的煙濃度百分比	71
圖 4.1.10 3000C. C. 的 CO <sub>2</sub> 濃度百分比	72
圖 4.1.11 3000C. C. 的 O <sub>2</sub> 濃度百分比	72
圖 4.1.12 3000C. C. 的 CO 濃度百分比	73
圖 4.1.13 #1 溫度圖	73
圖 4.1.14 #2 溫度圖	74
圖 4.1.15 #3 溫度圖	74
圖 4.1.16 細水霧木堆火源的煙濃度百分比	77
圖 4.1.17 撒水木堆火源的煙濃度百分比	78
圖 4.1.18 細水霧木堆火源的 CO <sub>2</sub> 濃度百分比	78
圖 4.1.19 撒水木堆火源的 CO <sub>2</sub> 濃度百分比	79
圖 4.1.20 細水霧木堆火源的 O <sub>2</sub> 濃度百分比	79

圖 4.1.21 撒水木堆火源的 O <sub>2</sub> 濃度百分比	80
圖 4.1.22 細水霧木堆火源的 CO 濃度百分比	80
圖 4.1.23 撒水木堆火源的 CO 濃度百分比	81
圖 4.1.24 細水霧木堆火源風量無#1 溫度圖	82
圖 4.1.25 撒水木堆火源風量無#1 溫度圖	82
圖 4.1.26 細水霧木堆火源風量 50m <sup>3</sup> /min#1 溫度圖	83
圖 4.1.27 撒水木堆火源風量 50m <sup>3</sup> /min#1 溫度圖	83
圖 4.1.28 細水霧木堆火源風量 120m <sup>3</sup> /min#1 溫度圖	84
圖 4.1.29 細水霧木堆火源風量 120m <sup>3</sup> /min#1 溫度圖	84
圖 4.2.1 室內大空間 60*60CM 二度空間油盤火實驗	86
圖 4.2.2 室外空間 60*60CM 二度空間油盤火實驗	86
圖 4.2.3 室外三度空間柴油噴濺火實驗	87
圖 4.2.4 室內三度空間噴濺火災實驗	87
圖 4.2.5 自然通風實驗用噴頭 K=12.8, 工作壓力為 100kg/cm <sup>2</sup>	88

