

國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

碩士論文

細水霧系統運用於大型風力發電機
火災防護之實驗及模擬

Experimental and simulations study on water mist
suppression system on wind turbines fire protection

研究生：林保文

指導教授：陳俊勳 教授

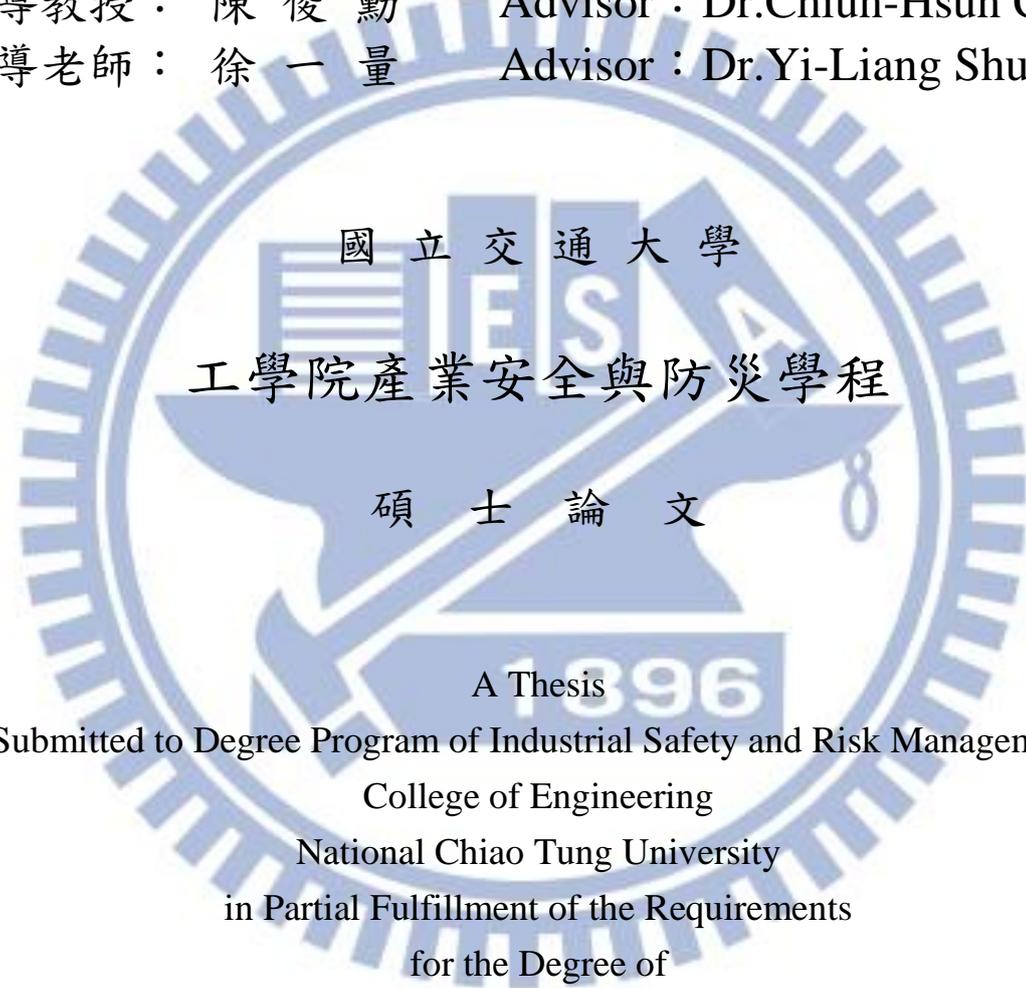
指導教授：徐一量 博士

中華民國壹零壹年二月

細水霧系統運用於大型風力發電機火災防護之實驗及
模擬

**Experimental and simulations study on water mist
suppression system on wind turbines fire protection**

研究生：林保文 Student：Pao-Wen Lin
指導教授：陳俊勳 Advisor：Dr.Chiun-Hsun Chen
指導老師：徐一量 Advisor：Dr.Yi-Liang Shu



國立交通大學
工學院產業安全與防災學程
碩士論文

A Thesis

Submitted to Degree Program of Industrial Safety and Risk Management

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science In

Industrial Safety and Risk Management

February 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國壹零壹年二月

細水霧系統運用於大型風力發電機火災防護之實驗及模擬

學生：林保文

指導教授：陳俊勳、徐一量

國立交通大學工學院產業安全與防災學程

摘 要

本論文之目的主要針對細水霧系統運用於大型風力發電機火災防護之實驗及模擬研究。由於核能發電之成本雖然較其他能源廉價但在 311 日本大地震引發福島核事故後，更能讓大家認清核電的「災難成本」，台灣已面臨核能災害及再生能源不足之窘境，風力發電機之風能開發將是台灣目前面臨之重大挑戰。但目前台灣對於風力發電機之消防防護系統並無任何設置規定，通常僅放置幾具手提滅火器作為防災應變之用，所以並無法針對火災做有效抑制或控制，且風力發電機通常設於偏遠地區，消防單位應變時效備受考驗，另外風力發電機設置高度過高，消防救援車輛及機具無法深入火場來撲滅火勢，最後則由投資者承受巨額財物損失及營運中斷損失。

本研究首先探討風力發電機火災危害風險，了解其火災損失的原因、損失案例、財產損失及後續成本、防護的目的及概念與防護措施的種類。其次探討細水霧防護系統可行性實驗，研究其效益與特性，分為實驗室設計、火源種類及尺寸選擇與配置、消防防護系統架設、感測元件設備架設、實驗結果及討論等。最後探討細水霧防護系統數值模擬，建立模擬情境並針對模擬結果提出討論並分析比較實驗與電腦模擬之差異。

最後希望藉由本研究能作為提升風力發電機火災防護及救災水準之參考，提高風能開發投資者及政府對於風力能源之防災應變信心，希望最後由全體民眾享受風力能源所帶來之環保經濟的低碳生活。

關鍵字：風力發電機、細水霧、電腦數值模擬

The study on Using Water Mist System for Wind Generator Fire Protection

Student : Pao-Wen Lin

Advisor : Chiun-Hsun Chen · Yi-Liang Shu

Degree program of Industrial Safety and Risk Management
College of Engineering

National Chiao Tung University

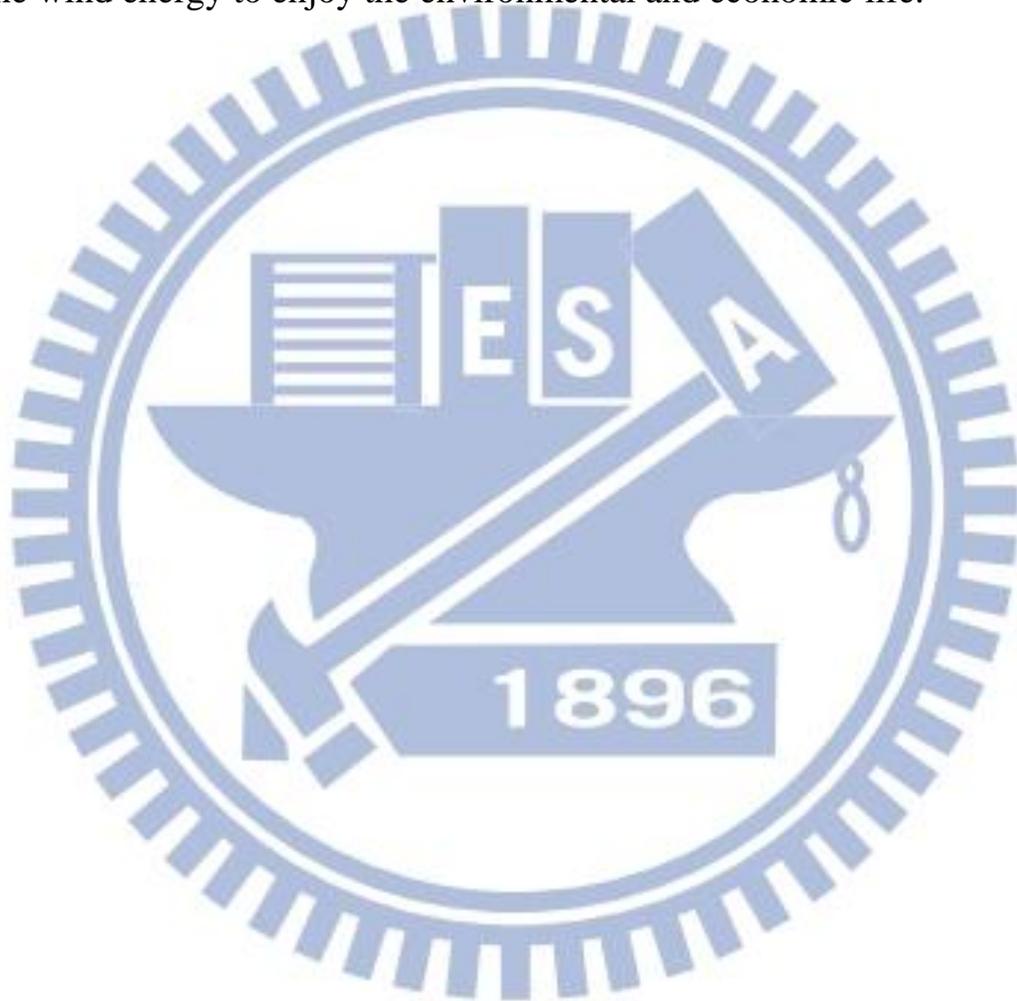
ABSTRACT

The purpose of this study focused on the development of water mist systems used in fire protection of large wind turbines and the simulation experiment. Although the cost of nuclear power cheaper than other energy sources, but caused a major earthquake in Fukushima, Japan 311 after a nuclear accident, nuclear power and allow the people recognize the "cost of disaster," Taiwan has been facing shortage of nuclear disaster and the dilemma of renewable energy, wind power generator The wind energy development will be the major challenges currently facing Taiwan. However, in Taiwan for fire protection systems for wind turbines did not have any set requirements, usually with only a few portable fire extinguishers put the fire disaster prevention and response as used, and therefore it can not be done for effective fire suppression or control, and wind turbines are usually located in remote Area, fire department response time the test, a high-fat high power generator set, fire brigades to put out the fire can not be in-depth fire, and finally by the investors bear the huge loss of property damage and business interruption.

First we study the wind turbine fire hazard risks, understanding the reasons for its fire losses, loss cases, property damage and subsequent costs, protection of the purpose and concept of the types of protective measures. Secondly, to explore the feasibility of water mist protection systems experiments to study the benefits and characteristics, divided into laboratory design, fire type and size selection and configuration, fire protection system set up, equipment set up sensors, experimental results and discussions. Finally, we discuss numerical simulation of water mist protection systems, to build a

simulation scenario and simulation results presented for discussion and analysis and comparison of the difference between experiment and computer simulation.

Lastly, I hope that this study can be used as wind turbine upgrade the standard of fire protection and rescue of reference, to improve wind energy development for wind energy investors and government confidence in the disaster prevention and response, and finally by all the people brought about by the wind energy to enjoy the environmental and economic life.



Keywords: Wind turbines, Water mist, Simulations.

誌 謝

自從大學畢業後多年，從沒想到重返校園攻讀碩士，感謝交大提供機會，亦感謝碩士專班的老師及口試評審教授的賞識，使我有機會進入此學習殿堂，再重啟修業之門，實現多年的夢想。

論文撰寫期間，由衷感謝引領我的指導教授 陳院長俊勳，在百忙之中仍抽空悉心指導及惇惇教誨，提供寶貴的建議及方向，在此謹致最高的敬意與謝意。最感謝徐博士一量無時不刻栽培與教導，不論從研究或做人處事上的觀念啟發、研究方向的導正、實驗與模擬的經驗傳承，讓我受用無窮，並感謝計畫書口試與畢業口試時，邱教授晨瑋費心力的對本論文提出非常精闢的見解，惠蒙賜予寶貴意見使論文更臻完美，在此對所有教授過我的恩師們致上由衷的謝忱。

感謝本屆所有產安專班的同學，尤其是高李新、鄭堯鴻於各方面的鼓勵、幫忙與協助，提供論文撰寫期間的知識與建議及上課時的相互支持。還有感謝中臺科技大學研究生蔡立祥、陳建民兩位實驗室的夥伴所提供的寶貴資料與協助。要感謝的人太多太多，有大家的鼎力幫忙，才能使論文研究能夠順利完成，在此致十二萬分的謝意。

感謝深愛我的太太 美芬需照顧兩個小孩身兼工作，使我的事業與學業能無後顧之憂。感謝父母親的栽培以及家人的關心與支持，使我一路走來都能順心如意。再次感恩所有幫助過我的人，僅將此成果與大家共享，祝福大家永遠健康快樂、幸福美滿。

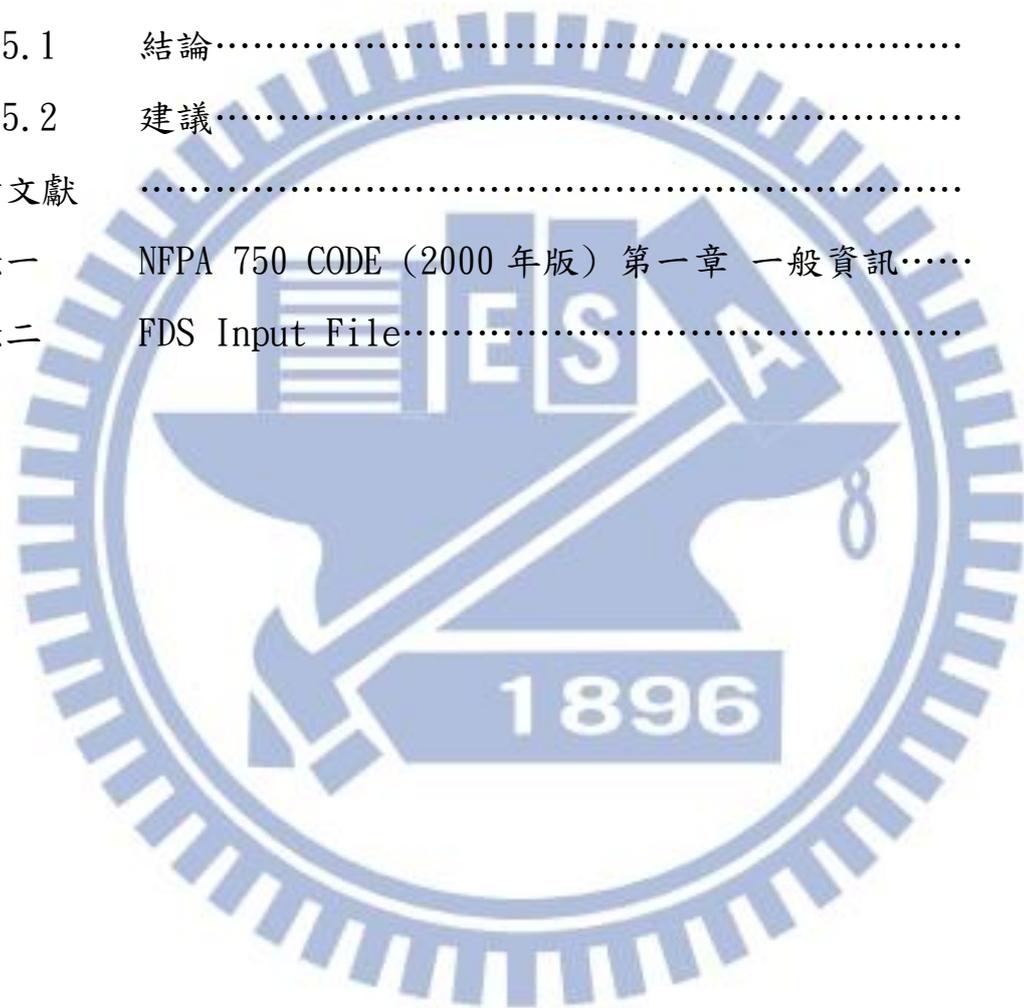
林保文 僅誌於交通大學

中華民國壹零壹年二月

目 錄

中文提要	.....	i
英文提要	.....	ii
誌謝	.....	iv
目錄	.....	v
表目錄	.....	vii
圖目錄	.....	ix
第一章	緒論.....	1
1.1	研究動機與目的.....	1
1.2	文獻回顧.....	3
1.3	研究範圍與限制.....	4
1.4	研究方法與流程.....	4
第二章	風力發電機火災危害風險探討.....	6
2.1	財產損失及後續成本.....	7
2.2	損失案例.....	8
2.3	火災損失的原因.....	11
2.4	防護的目的及概念.....	13
2.5	防護措施的種類.....	14
第三章	細水霧防護系統可行性實驗.....	21
3.1	細水霧系統發展與運用回顧.....	21
3.2	研究方法與流程.....	23
3.3	實驗場與儀器設備說明.....	25
3.4	細水霧實驗測試.....	31
3.5	實驗結果及討論.....	40

第四章	細水霧防護系統數值模擬·····	74
4.1	實驗目的·····	74
4.2	FDS 背景·····	74
4.3	模擬情境的建立·····	77
4.4	模擬結果及討論·····	81
第五章	結論與建議·····	114
5.1	結論·····	114
5.2	建議·····	114
參考文獻	·····	115
附錄一	NFPA 750 CODE (2000 年版) 第一章 一般資訊·····	117
附錄二	FDS Input File·····	122



表目錄

	頁次
表 1 世界風力發電機安全事故統計表 (2009.12.31-英國)	7
表 2 風力發電機滅火設備比較表	20
表 3 Date for Pool Burning Rate Calculation 【33】	24
表 4 油盆大小及所使用的油量表	31
表 5 火源無遮蔽測試模型無開口情境表	32
表 6 火源無遮蔽測試模型開口情境表	33
表 7 火源角落無遮蔽測試情境表	34
表 8 火源遮蔽測試情境表	36
表 9 火源角落遮蔽測試情境表	38
表 10 油盆尺寸影響比較情境表	40
表 11 油盆大小比較火源燃燒測試數據表	41
表 12 火源置中無遮蔽燃燒情境表	47
表 13 火源置中無遮蔽燃燒數據表	49
表 14 火源偏移無遮蔽燃燒情境表	54
表 15 火源偏移無遮蔽燃燒數據表	55
表 16 火源置中遮蔽燃燒情境表	61
表 17 火源置中遮蔽燃燒測試數據表	62
表 18 火源偏移遮蔽燃燒情境表	67
表 19 火源偏移遮蔽燃燒測試數據表	69
表 20 APL 20 呎標準貨櫃尺寸表	78
表 21 FDS 火災情境設定表	81

圖目錄

	頁次
圖 1 2003 年 9 月日本風力發電機火災後照片-----	2
圖 2 正隆紙廠風力發電機火災後照片-----	2
圖 3 新竹香山台電風力發電機火災救災照片-----	3
圖 4 研究流程圖-----	5
圖 5 Fire after lightning struck a 2 MW wind turbine in 2004 9	9
圖 6 Power switch of a 1 MW wind turbine - destroyed by fire-	10
圖 7 Burst pressure vessel of a line filter capacitor -----	10
圖 8 全區排放式二氧化碳滅火設備系統構成圖-----	14
圖 9 乾粉滅火設備系統構成圖-----	15
圖 10 泡沫滅火設備-----	16
圖 11 撒水滅火設備-----	17
圖 12 Firetrace 氣體鋼瓶-----	18
圖 13 實施流程圖-----	23
圖 14 風力發電機尺寸-----	26
圖 15 以貨櫃模擬風力發電機機艙-----	26
圖 16 貨櫃上方架設細水霧噴頭-----	27
圖 17 高壓幫浦-----	27
圖 18 TRM-20 資料擷取器-----	28
圖 19 水洗式洗滌塔-----	30
圖 20 衝突式水洗機內部結構圖-----	30
圖 21 細水霧實驗流程圖-----	31
圖 22 火場的熱電偶、噴頭及油盆位置圖-----	33
圖 23 火源放置角落火場的熱電偶、噴頭及油盆位置圖-----	35
圖 24 遮蔽物模型-----	36
圖 25 遮蔽物尺寸及熱電偶、噴頭及油盆位置圖-----	37

圖 26	火源在貨櫃後方遮蔽物下方圖	39
圖 27	遮蔽物尺寸及熱電偶、噴頭及油盆位置圖	39
圖 28	情境一 B1 油盆模擬情境無防護數據圖	42
圖 29	情境二 B1 油盆模擬情境有防護數據圖(1)	42
圖 30	情境二 B1 油盆模擬情境有防護數據圖(2)	43
圖 31	情境三 B2 油盆模擬情境無防護數據圖	43
圖 32	情境四 B2 油盆模擬情境有防護數據圖(1)	44
圖 33	情境四 B2 油盆模擬情境有防護數據圖(2)	44
圖 34	情境五 B3 油盆模擬情境無防護數據圖	45
圖 35	情境六 B3 油盆模擬情境有防護數據圖(1)	45
圖 36	情境六 B3 油盆模擬情境有防護數據圖(2)	46
圖 37	情境七 2 顆噴頭火源貨櫃正中間封閉數據圖(1)	49
圖 38	情境七 2 顆噴頭火源貨櫃正中間封閉數據圖	50
圖 39	情境八 2 顆噴頭火源貨櫃正中間開口數據圖(1)	50
圖 40	情境八 2 顆噴頭火源貨櫃正中間開口數據圖(1)	51
圖 41	情境九 3 顆噴頭火源貨櫃正中間封閉數據圖	51
圖 42	情境九 3 顆噴頭火源貨櫃正中間封閉數據圖(2)	52
圖 43	情境十 3 顆噴頭火源貨櫃正中間開口數據圖(1)	52
圖 44	情境十 3 顆噴頭火源貨櫃正中間開口數據圖(2)	53
圖 45	情境十一 B2 油盆無防護火源貨櫃角落開口數據圖	56
圖 46	情境十二 2 顆噴頭火源貨櫃角落封閉數據圖(1)	56
圖 47	情境十二 2 顆噴頭火源貨櫃角落封閉數據圖(2)	57
圖 48	情境十三 2 顆噴頭火源貨櫃角落開口數據圖(1)	57
圖 49	情境十三 2 顆噴頭火源貨櫃角落開口數據圖(2)	58
圖 50	情境十四 3 顆噴頭火源貨櫃角落封閉數據圖(1)	58
圖 51	情境十四 3 顆噴頭火源貨櫃角落封閉數據圖(2)	59
圖 52	情境十五 3 顆噴頭火源貨櫃角落開口數據圖(1)	59

圖 53	情境十五	3 顆噴頭火源貨櫃角落開口數據圖(2)	60
圖 54	情境十六	2 顆噴頭火源中間遮蔽下方封閉數據圖(1)	63
圖 55	情境十六	2 顆噴頭火源中間遮蔽下方封閉數據圖(2)	63
圖 56	情境十七	2 顆噴頭火源中間遮蔽下方開口數據圖(1)	64
圖 57	情境十七	2 顆噴頭火源中間遮蔽下方開口數據圖(2)	64
圖 58	情境十八	3 顆噴頭火源中間遮蔽下方封閉數據圖(1)	65
圖 59	情境十八	3 顆噴頭火源中間遮蔽下方封閉數據圖(2)	65
圖 60	情境十九	3 顆噴頭火源中間遮蔽下方開口數據圖(1)	66
圖 61	情境十九	3 顆噴頭火源中間遮蔽下方開口數據圖(2)	66
圖 62	情境二十	2 顆噴頭火源後方遮蔽封閉數據圖(1)	69
圖 63	情境二十	2 顆噴頭火源後方遮蔽封閉數據圖(2)	70
圖 64	情境二十一	2 顆噴頭火源後方遮蔽開口數據圖(1)	70
圖 65	情境二十一	2 顆噴頭火源後方遮蔽開口數據圖(2)	71
圖 66	情境二十二	3 顆噴頭火源後方遮蔽封閉數據圖(1)	71
圖 67	情境二十二	3 顆噴頭火源後方遮蔽封閉數據圖(2)	72
圖 68	情境二十三	3 顆噴頭火源後方遮蔽開口數據圖(1)	72
圖 69	情境二十三	3 顆噴頭火源後方遮蔽開口數據圖(2)	73
圖 70	美國軍方貨櫃介紹		78
圖 71	模擬貨櫃中央封閉空燒		79
圖 72	模擬遮蔽物中央下面封閉燃燒		79
圖 73	模擬貨櫃角落開放空燒		79
圖 74	模擬遮蔽物後方開放燃燒		80
圖 75	情境 3	模擬 60sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	82
圖 76	情境 3	模擬 100sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	82
圖 77	情境 3	模擬 200sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	82
圖 78	情境 3	模擬 60sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	83
圖 79	情境 3	模擬 100sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	83

圖 80 情境 3 模擬 200sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	83
圖 81 情境 4 模擬 60sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	84
圖 82 情境 4 模擬 100sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	84
圖 83 情境 4 模擬 200sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	84
圖 84 情境 4 模擬 60sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	85
圖 85 情境 4 模擬 100sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	85
圖 86 情境 4 模擬 200sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	85
圖 87 情境 8 模擬 60sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	86
圖 88 情境 8 模擬 100sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	86
圖 89 情境 8 模擬 180sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	86
圖 90 情境 8 模擬 60sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	87
圖 91 情境 8 模擬 100sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	87
圖 92 情境 8 模擬 180sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	87
圖 93 情境 11 模擬 60sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	88
圖 94 情境 11 模擬 100sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	88
圖 95 情境 11 模擬 200sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	88
圖 96 情境 11 模擬 60sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	89
圖 97 情境 11 模擬 100sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	89
圖 98 情境 11 模擬 200sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	89
圖 99 情境 12 模擬 60sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	90
圖 100 情境 12 模擬 100sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	90
圖 101 情境 12 模擬 200sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	90
圖 102 情境 12 模擬 60sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	91
圖 103 情境 12 模擬 100sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	91
圖 104 情境 12 模擬 200sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	91
圖 105 情境 13 模擬 60sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	92
圖 106 情境 13 模擬 100sec 時, Y=1.2 溫度切面圖	92

圖 107 情境 13 模擬 200sec 時, Y=1.2 溫度切面圖-----	92
圖 108 情境 13 模擬 60sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	93
圖 109 情境 13 模擬 100sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	93
圖 110 情境 13 模擬 200sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	93
圖 111 情境 16 模擬 60sec 時, Y=1.2 溫度切面圖-----	94
圖 112 情境 16 模擬 100sec 時, Y=1.2 溫度切面圖-----	94
圖 113 情境 16 模擬 170sec 時, Y=1.2 溫度切面圖-----	94
圖 114 情境 16 模擬 60sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	95
圖 115 情境 16 模擬 100sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	95
圖 116 情境 16 模擬 170sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	95
圖 117 情境 17 模擬 60sec 時, Y=1.2 溫度切面圖-----	96
圖 118 情境 17 模擬 100sec 時, Y=1.2 溫度切面圖-----	96
圖 119 情境 17 模擬 170sec 時, Y=1.2 溫度切面圖-----	96
圖 120 情境 17 模擬 60sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	97
圖 121 情境 17 模擬 100sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	97
圖 122 情境 17 模擬 170sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	97
圖 123 情境 20 模擬 60sec 時, Y=1.2 溫度切面圖-----	98
圖 124 情境 20 模擬 100sec 時, Y=1.2 溫度切面圖-----	98
圖 125 情境 20 模擬 200sec 時, Y=1.2 溫度切面圖-----	98
圖 126 情境 20 模擬 60sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	99
圖 127 情境 20 模擬 100sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	99
圖 128 情境 20 模擬 200sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	99
圖 129 情境 21 模擬 60sec 時, Y=1.2 溫度切面圖-----	100
圖 130 情境 21 模擬 100sec 時, Y=1.2 溫度切面圖-----	100
圖 131 情境 21 模擬 200sec 時, Y=1.2 溫度切面圖-----	100
圖 132 情境 21 模擬 60sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	101
圖 133 情境 21 模擬 100sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖-----	101

圖 134 情境 21 模擬 200sec 時, Y=1.2 流場速度向量圖	101
圖 135 情境 3 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖	104
圖 136 情境 4 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖	104
圖 137 情境 7 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖	105
圖 138 情境 8 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖	105
圖 139 情境 11 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖	106
圖 140 情境 12 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖	106
圖 141 情境 13 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖	107
圖 142 情境 14 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖	107
圖 143 情境 16 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖	108
圖 144 情境 17 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖	108
圖 145 情境 20 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖	109
圖 146 情境 21 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖	109
圖 147 情境 12 模擬 100sec 時, Z=1.0 水密度分布圖	110
圖 148 情境 13 模擬 100sec 時, Z=1.0 水密度分布圖	111
圖 149 情境 16 模擬 100sec 時, Z=1.0 水密度分布圖	111
圖 150 情境 17 模擬 100sec 時, Z=1.0 水密度分布圖	111
圖 151 情境 04 模擬 100sec 時, Z=1.0 水密度分布圖	112
圖 152 情境 08 模擬 100sec 時, Z=1.0 水密度分布圖	112
圖 153 實驗細水霧噴放水花狀態	113
圖 154 模擬細水霧噴放水花狀態	113

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

風能是因空氣流動做功而提供給人類的一種可利用的能量。根據世界風力協會(World Wind Energy Association)於 2010 年 3 月發布「2009 年世界風力報告」(World Wind Energy Report2009)指出,2009 年全球風力機組總設備容量業達 159.213GW(億瓦),並提供 3,400 億度電力,約滿足全球 2%的電力需求。風能雖然對大多數國家而言還不是主要的能源,但在 1999 年到 2005 年之間已經成長了四倍以上。台灣的風力發電能量密度含量居全球排名第二(第一是紐西蘭),特別為桃園-雲林沿海一帶,由於有強勁的夏季西南氣流與冬季東北季風吹襲,且可建置地點亦不少,因此成為台灣發展風力發電之最佳地點。

國內風力發電機(主機)高度約在 60 至 75 公尺,假若發生火災事故,將因高度限制導致難以救災,也就是說一旦火災產生,機組內部若無主動滅火設備,火勢將一發不可收拾,最終的結果將是眼睜睜的看著整座風力機組燃燒殆盡。2003 年 9 月 30 日日本風力發電機火災後(如圖 1)所示,由圖中同樣可發現,整個發電機組燃燒幾近全毀,據此可推測,日本同樣有救災困難的問題存在。國內發生在新竹香山的某電力公司風力發電機及某紙廠的風力發電機二起火災,即為外部救災無法到達起火高度,無法發揮救災功能,二座機組全毀,導致極大的財產損失,(如圖 2)為 2007 年 8 月 8 日新竹竹北正隆紙廠風力發電機(塔高 60 公尺,扇徑 66 公尺)火災後的照片,由圖中可看出,整個機組燃燒完全,應已達到全損的程度。(如圖 3)為新竹香山某電力公司風力發電機火災救災的照片,因為雲梯車無法達到此一高度,消防隊臨時調用民用吊車將水帶送到起火位置,但成效不彰,整個機組亦幾近完全燃燒。

隨著技術的演進,科技的日新月異,更多先進防災設備推陳出新,因此,計畫針對風力發電機之先進防災應變系統,進行探討。本研究欲達成之目的如下:

- (1)建立風力發電機組的火災特性及消防安全防護系統應用類比試驗研究裝置。
- (2)對於風力發電機組的火災特性和消防安全防護系統應用進行類比

試驗研究。

(3)對於風力發電機組的火災特性和消防安全防護應用進行模擬軟體提供比對及驗證研究。

(4)提出適合風力發電機組運行環境和技術條件的專用細水霧滅火系統方案。



圖 1 2003 年 9 月日本風力發電機火災後照片



圖 2 正隆紙廠風力發電機火災後照片



圖 3 新竹香山台電風力發電機火災救災照片

1.2 文獻回顧

國內消防法規【1】對於風力發電機組之消防安全設備並無明確基本規範，對於細水霧滅火系統亦無明確規範。

德國國家標準 DIN EN 50308-2005《風力發電機組防護措施的設計、操作和維修要求》【2】包含機組的消防安全防護。隸屬於德國保險業聯合會（GDV）的安防認證機構 VdS 於 2007 年制訂了風力發電機消防系統測試認證標準 VdS-3523《風力發電機組消防指南》【3】。

美國 NFPA 850《發電廠和高壓直流轉換站的防火推薦規程》【4】，在 2009 年的修訂版中增加了 3 個章節：風力發電、太陽能發電、地熱能發電。FM Global Property Loss Prevention Data Sheets 13-10《美國工廠互助保險聯盟損害防阻資料表》【5】，在 2010 年增加了風力發電規範。

NFPA750【6】說明細水霧滅火設備相關規範標準，並提供相關分類用途、設置場所規定與保養標準。陳俊勳規劃研發細水霧滅火系統技術，建立實際模型進行細水霧滅火效能分析。鄭維金研究半導體製程排氣風管細水霧防火效能，將細水霧用於製程排氣風管的損害防阻【7】。松大資訊【8】及川圓科技【9】，分別引進與研發高效能移動式細水霧設備，

使其更輕便、更實用、用水量少，使其能夠普遍用於一般消防搶救。

1.3 研究範圍

1. 範圍：

本研究主題為細水霧系統運用於大型風力發電機火災防護之實驗及模擬，大型風力發電機主要由葉輪、機艙、塔架、控制及電力系統之基本結構組合而成。其中以機艙內之環境因裝設主要設備並具有易燃性為本研究重點。且歷年來發生之重大事故皆造成機艙毀損。

本研究以細水霧系統為主要研究對象，其特性為優良之海龍替代品，無公害在國際上已廣泛應用，用水量少等多項特點，希望透過本研究再度驗證其用於風力發電機之滅火功效及特性。

1.4 研究方法與流程

1. 研究方法：

- (1)文獻回顧：確立研究目標，並依此目標廣泛收集資料，包括設備資料、政府出版品、國內外法規、論文、書籍、雜誌…等。
- (2)系統整合與架設：以貨櫃取代風力發電機組之機艙，並架設油盤、細水霧噴頭、熱電偶等設備收集火災資訊。
- (3)根據火災情境實驗：就風力發電機組的火災特性，使用不同尺寸油盤、燃料、燃燒位置、火源遮蔽性、開口等實際燃燒測試。
- (4)比較分析：依燃燒測試收集之資料加以分類比較分析，隨後加以篩選整理，並使用照片、圖表說明。
- (5)軟體驗證：使用火災模擬軟體來驗證及比對實際燃燒測試與模擬結果之差異。
- (6)推論：從研究結果，推論未來改善發展方向。

2. 研究流程：

如圖 4 所示。

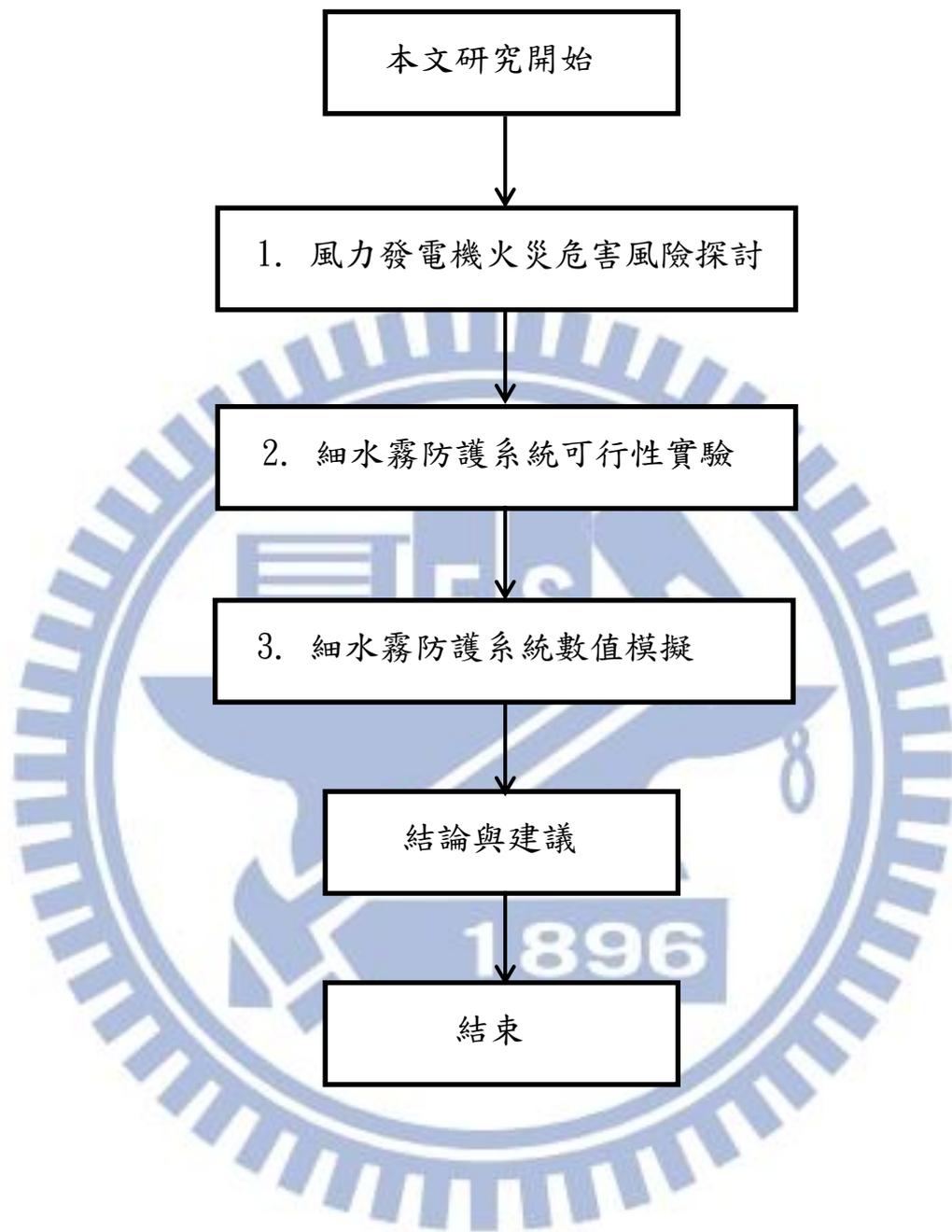


圖 4 研究流程圖

第二章 風力發電機火災危害風險探討

近幾年來，世界各地發生了數起的風力發電機火災事故，造成相當大的財物損失。在2006年10月16日，台電香山風力發電機發生火災，當地的消防隊因為沒有超高的雲梯可以灌救，使得標高76公尺的風力發電成為名副其實的風火輪；事實上，這次火災更是燒出台灣風力發電缺乏相關安全規範的問題。在缺乏良性政策與管理制度的引導之下，盲目的推動風力發電，實令人擔心風能是否會重蹈電動機車的覆轍——因為政策發展方向的設定不當，造成劣幣逐良幣的現象，把一個風光一時、前景看好的再生能源產業，又再一次推入走不出的黑洞。

風力發電的設置與安全標準，至今依然尚未訂定。因此，風力發電的安全與環評審查，是否有模式可循？還是憑著專家學者、環評委員或相關利益團體的專業和喜好而定？著實令人好奇。以風力發電目前的發展和規模來看，提出申請環評的風力機組就超過兩百多組；很快的，台灣沿海也將會遍佈風力機組，這也透露出業者準備插旗西海岸的企圖。但是，在再生能源政治正確的口號下，即使缺乏相關管理規範，通過環評審查的風機已超過一百多組。雖說不上盲目任憑廠商設置風力發電場，但沒有可以遵循的標準和緊急應變的後勤，也讓人對於未來西部海岸有一、二百部的風力發電機而憂心。這樣的窘況，不能不歸咎於主管與推動風力發電相關機關的忽視。

此外，安全規範的訂定，更是刻不容緩的工作。目前的風力發電機的最佳發電條件是在風速每秒25公尺左右，過快或過慢，都不是好的風場。台灣的夏天剛好是颱風季節，風力發電是否有設置因應颱風的急強風速的裝置？另外，台灣的地震天然災害，在設定風力發電設置的評估範疇，更是要納入考量；因為地震將會牽涉到風力基礎建設的硬體結構，此外，西部海岸有些地方是填土造路的陸塊，土基的穩定性也應列為風力發電建設的考量因素。總而言之，建立相關管理規範，精確評估風力發電功能的經濟效率、生態環境影響、操作的安全、以及組裝維修除役等機制實有其緊迫性。

香山風力發電機的風火輪其實燒出再生能源在政策面與執行面的不足與粗造。以目前風力發電的熱度和規模，應該需要有相對嚴謹的審核標準和管理措施，而不是等到西部海岸線都已佈滿風機，主管機關才開始討論設置發電機組與訂定相關管理規範，究竟孰先熟後的問題。但是，目前的實情卻只有硬體的建設，沒有軟體的管理。【10】

2.1 財產損失及後續成本

根據保險公司的損失經驗，風力發電機可以在火災造成重大財產損失和非常高的後續成本。

事故類別	發生次數	比例 (%)	備註
死亡事故	60	8.4%	死亡66人
傷害事故	38	5.3%	
葉片事故	167	23.4%	葉片損壞、脫落
火災事故	138	19.3%	毀滅性
結構損壞事故	84	11.7%	主要部件和塔架
結冰拋擊事故 (ice throw)	27	3.8%	結冰墜落和 拋出擊打
運輸事故	45	6.3%	運輸和裝卸
破壞環境事故	60	8.4%	含珍稀動植物 和鳥類死亡
其它事故	96	13.4%	
總數	715	100.0%	

表 1 世界風力發電機安全事故統計表 (2009.12.31-英國)

2.1.1 財產風險

可能發生在風力發電機的火災損失包含以下：

- 在機艙
- 在塔內
- 在電力變電站

現今，在大多數風力發電機開關、逆變器、控制櫃和變壓器被放置在機艙內。因此，火災風險有顯著增加。由於高密度的技術設備和可燃材料在機艙，火力可以迅速蔓延。在機艙的損失案例，修復費用有可能達到風力發電機組的初設費用成本一樣高。

關於架設於海上的風力發電機，所需的特殊船舶，如浮式起重機或電纜層顯著高於一般成本這是可以預料的。

2.1.2 營運中斷損失

在風力發電機的損壞及營運中斷，通常需要一些時間甚至中斷數個

月。在損失案例中如傷害到機艙，營運中斷的時間可能會持續 9 到 12 個月，其中變速箱、發電機和變壓器組件交貨時間最長。

2.1.3 森林火災

風力發電機的燃燒情況特殊，在傾倒時，可能導致二次火災在原本地面上的位置。這些情況可能導致森林大火，在某些情況下難以被撲滅。因為與消防隊之間的距離很長及強風盛行，這些都是可以導致森林火災迅速蔓延的因素。在這種情況下，損失的不僅是森林被燒毀，重要的是無法恢復的大自然環境。

2.2 損失案例

造價一億元、年發電量六百萬度的台電「香山二號風力發電機」，十六日下午不明原因起火，發電機高達七十六公尺，消防車「望火莫及」。後來靠民間升降起吊機掛水線，勉強灌救才撲滅火勢。全台第一起風力發電機火警也燒出潛在的消防安全問題。

位在新竹市香山地區海山漁港旁的「香山風力發電站」二號發電機，昨天下午二時十分後，突然故障跳電並起火燃燒，火勢自發電機座引燃，風勢助長下，迅速往三片葉片燃燒。這座高七十六公尺無法灌救新竹市消防局獲報立即趕至現場，但因風力發電機座高達七十六公尺，加上旋轉葉片，更高達一〇七公尺，一般消防車根本沒辦法灌救，消防弟兄眼睜睜的看它燃燒，偶而撲滅掉落地面的殘火。眼見無法灌救，消防局立即向多次參與高樓火警演練的啟德重機公司求助，派出可升高至近一百公尺的升降起吊機及動員近三十名工作人員，吊掛水線灌救，二個多小時後才完全撲滅火勢，發電機幾乎全毀。

風力發電機採電腦控管方式運轉，現場並無人員，所以沒有人員傷亡。台電風力發電工程處指出，該發電機二年前由民間廠商承包動工，使用西班牙進口機具，單機總工程款一億元，上個月底完工後開始運轉試車，原預計本月底驗收後正式供電，沒想到在此一節骨眼出問題。將拆卸比對電腦紀錄查原因由於發電機內有潤滑運轉的機油，加上材質是易燃的玻璃纖維，又在新竹風助長下，導致火勢一發不可收拾。

台電表示，香山風力發電站六部發電機目前都尚未驗收且有保險，台電沒有損失。不過，這是全國第一起風力發電機火警，加上位置太高，灌救確有困難。台電方面將審慎評估，將發電機拆卸後，與電腦工作紀錄比對，初步研判起火原因可能與發電機受損、過熱有關，需進一步調查釐清。**【11】**

2.2.1 由雷擊造成的火災損害

在一場夏天午後雷雨期間，一台 2 兆瓦風輪機的葉片被閃電擊中。渦輪機被自動保護關閉，燃燒的葉片在垂直位置停止並且一點點完全燒去。燃燒後倒下的葉片的零件在機艙引起一場二次火災。調查研究表示其所造成的損失，火災是由於在葉片由螺栓連接的雷電保護系統，沒有被正確固定。電弧避雷器之間的電纜和連接點的融合，導致在電纜接線頭，並點火殘留的液壓油在轉子葉片。機艙，包括轉子葉片，不得被稱為是全部損失。由於高溫上部的塔架也被摧毀，操作被中斷了大約 150 天，總損失金額約為 200 萬歐元。避雷器安裝的缺陷在風力發電機已造成數起類似火災。(如圖 5)



圖 5 Fire after lightning struck a 2 MW wind turbine in 2004 (Image source: HDI/Gerling)

2.2.2 電氣設備故障造成的火災損害

一組 1 兆瓦風力發電機組機的機艙內安裝了一個低壓開關設備。低電壓電源開關連接輸入接點的螺栓不夠緊。交界處產生了高接觸電阻及明顯的溫度上升，並把鄰近的開關櫃可燃材料引燃。上游一次側電源保險絲沒有回應，直到火災產生之熱造成的損傷非常嚴重，火勢機艙的金

屬外殼燒毀，控制器、逆變器和開關櫃亦遭受了損失。整體財務損失達 50 萬歐元。(如圖 6)



圖 6: Power switch of a 1 MW wind turbine - destroyed by fire (Image source: Allianz)

2.2.3 電力諧波造成的火災損害

某些區域所造成的損害是由現有的並聯諧振電路之電容(功因補償或濾波器)和電感(發電機、變壓器、電力電抗器等)，因設計時沒有考慮到諧波抑制。故共振現象所產生的高電流因而損壞電容器。(如圖 7)



圖 7: Burst pressure vessel of a line filter capacitor (Image source: Allianz)

2.3 火災損失的原因

根據保險公司的損失經驗，以下各節將提供一些基本的原因。然而，由於暴露在嚴苛的環境條件，及目前還相當有限的救災經驗，海上風力發電機比陸上風力發電機火災的風險比較高。

2.3.1 遭雷擊引起的火災風險

很多的案例說明，雷擊是風力發電機發生火災最常見的原因。特別是暴露位置（通常位於一個較高的高度）和大高度的結構，尤其在雷擊保護系統失效時候。如果接觸電阻增加是因為避雷針路徑太長，這幾乎是完全無法避免雷擊事件發生。

2.3.2 電氣裝置引起的火災風險

雷擊之外，風力發電機的電氣設備故障是最常見的火災原因。火災是由於以下超載過熱，接地故障、短路以及電弧熱。典型故障包括以下內容：技術缺陷或在電力電子元器件（例如，開關櫃，變頻櫃，變壓器）的尺寸有錯及下列因素：

- 電源開關故障
- 控制電路或線路故障
- 接觸電阻增加
- 缺少突波保護器
- 共振內 RC（電阻電容）電路（線路濾波器，無功補償）

2.3.3 熱表面引起的火災風險

如果因氣動剎車失靈，而機械剎車而減慢轉子，溫度可以達到可燃材料引火能量。如果這樣的緊急制動機制，機械剎車所造成火花風險性也不高，因為火花飛行構成點燃可燃物質也可能是在更遠的地方。缺陷在渦輪機或零件，例如，洩漏的類石油物質，會增加火災風險。其他在發電機超載和變速箱潤滑不良。在這種情況下，框架可能過熱。當他們接觸熱表面時可以點燃可燃材料和潤滑劑。例如，如果一個安裝在旋轉部件摩擦如果導致故障，產生的火花可能會導致飛火傳播。

2.3.4 施工動火作業引起的火災風險

有關明火作業，涉及維修、組裝和拆卸工作，例如焊接、研磨切割，焊接及火焰切割，是一種常見的引起火災原因。由於高溫會出現在這些活動中，在工作現場環境的可燃材料可能會起火。焊接、切割和研磨火花是特別危險的，因為他們可以點燃在 10 米距離內的可燃材料。許多火災爆炸事故案例都是發生在完工後幾個小時。

2.3.5 火載量

各種各樣的易燃及可燃材料，可以引起並導致火災迅速蔓延成大火的原因如：

- 機艙內部隔音泡棉
- 機艙外殼的塑料(如玻璃纖維 Glass Reinforced Plastic 簡稱 GRP)
- 液壓系統，例如對葉片角度調整的制動系統，如果有任何損壞造成溫度過高，高壓力的液壓管路可能會導致液壓油外洩及細霧化，這可能導致火災傳播
- 變速箱油和其他潤滑劑，例如發電機軸承油
- 變壓器絕緣油
- 電氣設備電纜等

沾有油脂的廢棄物，維修更換後的機油或潤滑油，這是儲存在機艙額外的火災荷載，不僅增加了不必要的火災風險，也增加了造成火災的蔓延因子之一。

2.3.6 高度挑戰的消防搶救

到目前為止消防隊面對風力發電機目前並無有效的消防戰略，只能遠離 100 米之外的上風方向，見機撲滅掉落殘片之火焰，避免引起草原大火。雲梯車也沒有達到必要的高度。

2.3.7 維修方面的限制

由於空間有限在狹小局限的風力發電機內工作是相當困難的，尤其對於檢查及維修人須進行週期性的測試及保養維護作業。常因維修困難而檢查及維修作業品質無法達到水平，無法預估的災害就會發生。

2.4 防護的目的及概念

經驗說明，為了確保所需的消防防護永遠是最充分的準備，防火安全的概念與各方協商後所涉及到的，保險人更應該如此。根據這一概念，所有的風力發電機結構及具體保護措施應相互有補充條款的風險和保護目標，而任何一種相互保護之功能障礙，皆應排除在外。針對火災風險應有的損害防阻措施應包括以下：

- 使用非可燃或難燃材料
- 及早期火災預警/火警自動警報系統
- 頻繁以及專業的維修
- 在被確定火災危險時應自動關機和完整的電源斷開保護系統
- 培訓員工防災教育訓練，對於動火作業須列入公司標準規定及作業程序，例如焊接許可證程序等
- 消防自動滅火系統

此外，規劃緊急應變計劃以限制潛在的損失應做好準備。該計劃必須不斷更新。並確保及實施在每個工作人員。

2.5 防護措施的種類

風力發電機組火災都設置在沿海地區、高山和離島地區，如發生火災在通報上也須一段時間，加上風力發電機高度過高在搶救上困難且容易損失慘重，由美國國家消防協會所制定法規標準 National Fire Protection Association, NFPA750【6】，火災類別分為 A、B、C、D 四種火災類別，其中 A 類是普通火災 B 類和 C 類分別是指由油脂和電器所引起之火災，而 D 類是活性金屬如鈉、鉀、鎂、鋰、鋅等可燃性金屬物質及禁水性物質引起之金屬火災，另外與瓦斯所引起之瓦斯火災，兩種火災合併稱之為特殊火災。而已風力發電機危害辨識中可以得知，風力發電機火災類型可能是內部的電氣設備火災、潤滑油等油類火災。為防止類似事故再發生，不能全部依賴外部救援，若能在機組內部設置主動式防火設備，當偵測到火災時，主動(自動或確認後手動)啟動滅火系統進行滅火，有較高的機會

將火災抑制，且所使用的滅火設備應能針對火災類型進行有效滅火。滅火設備一般有下列幾種，說明如下：

2.5.1 氣體滅火設備

氣體滅火的原理是用窒息作用以大量二氧化碳或其他惰性氣體稀釋空氣中氧氣，阻止氧氣供應達到滅火，氣體滅火設備一般利用二氧化碳、海龍替代品或其他惰性氣體為滅火介質，利用蓄壓鋼瓶將這些滅火介質噴射出，進行滅火。一般氣體滅火設備都用於油類火災和電氣類火災，此類滅火設備一般滅火迅速，但氣體滅火設備必須在密閉空間較能發揮功能，(如圖8)為全區排放式二氧化碳滅火設備系統構成，且因降溫效果不佳，不適用於易復燃的火災類型，此類氣體滅火設備可用於風力發電機組的電氣火災，但因風力發電機組位於高空，風速強，很難成為密閉空間，滅火效果將大打折扣，且風力發電機組內空間有限，不利於鋼瓶置放，影響到藥劑量，也縮短可滅火的時間，不利滅火。

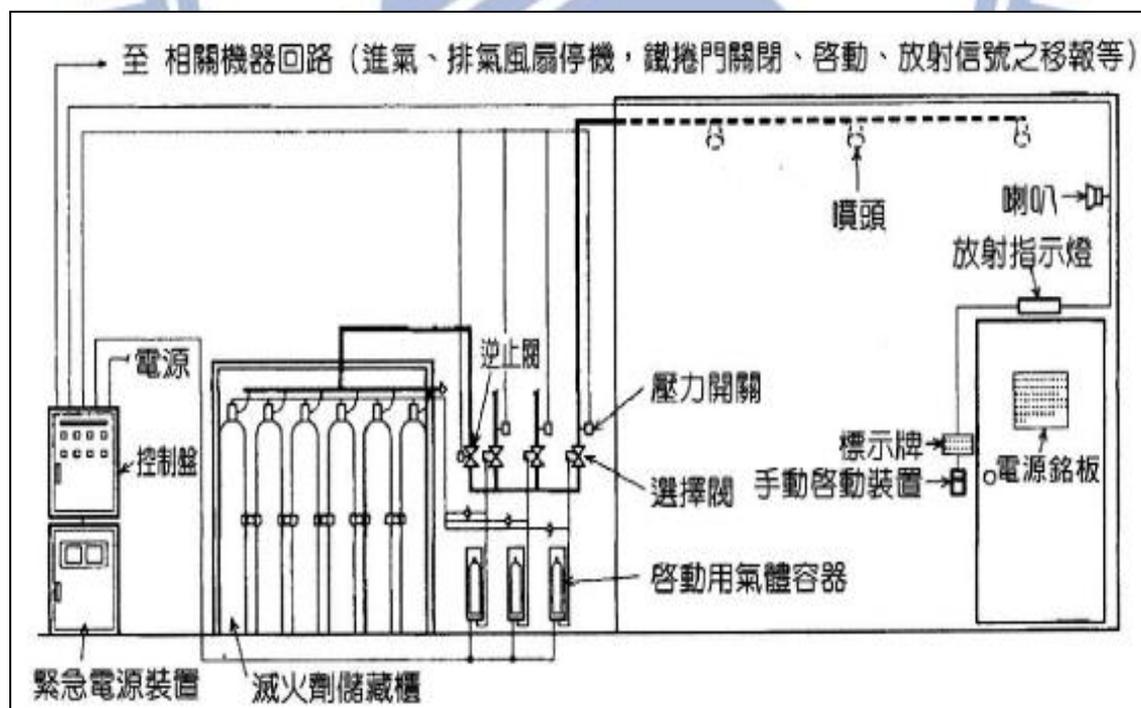


圖 8 全區排放式二氧化碳滅火設備系統構成圖

2.5.2 乾粉滅火設備

乾粉滅火設備可以用於A、B、C、D 火災。滅火原理有仰制作用、冷卻作用、窒息作用、遮斷作用及稀釋作用。仰制作用是乾粉滅火主要作用，因乾粉受熱分解可產生金屬及銨根離子，這些離子可與燃燒連鎖反應產生的活化基作用，使連鎖反應無法繼續進行。乾粉滅火的冷卻作用很小，而窒息作用是因乾粉加熱後會分解產生CO₂，因此具有CO₂一樣作用。遮斷作用是在液體與火焰間噴撒一層粉粒子，這層粒子會遮斷火焰輻射回可燃物的能量，即可仰制燃燒。稀釋作用是因NaHCO₃等乾粉遇熱會分解並釋放出大量之CO₂、水及較空氣重之不燃性氣體。

此類滅火設備亦利用蓄壓鋼瓶將乾粉藥劑噴射出以進行滅火，此類滅火設備對密閉要求較低，(如圖9)為乾粉滅火設備系統構成，可用於電氣設備，但因乾粉易溶於油中，不適用於大量的油類火災，降溫效果亦不佳，同樣有鋼瓶空間置放的問題。

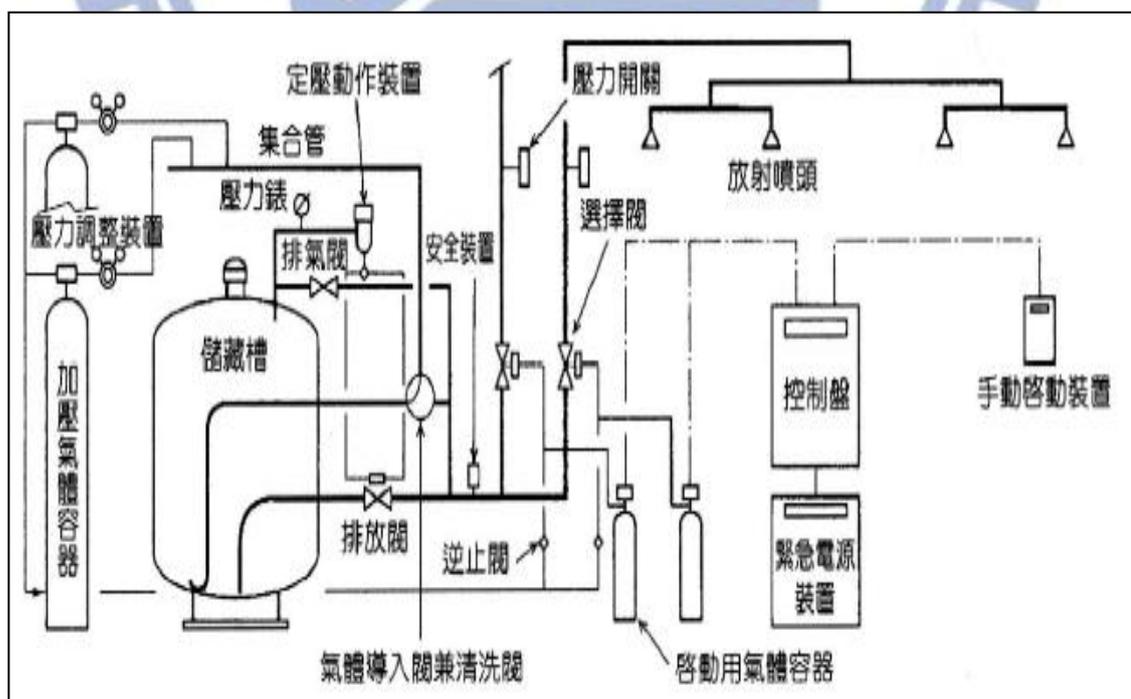


圖 9 乾粉滅火設備系統構成圖

2.5.3 泡沫滅火設備

泡沫滅火主要用於A、B 火災，滅火原理有冷卻作用、隔離作用、窒息作用及附著作用。泡沫內含有大量之水分，可達到吸收熱量，冷卻燃燒之效果，泡沫附著燃燒物表面使燃燒物與火焰隔離，避免燃燒繼續進行。泡沫會在油類表面形成乳化層，阻隔周圍氧氣的繼續供應及仰制可燃性氣體蒸發，而產生窒息效果，且泡沫具有黏著性，可附著在燃燒物表面，兼具保濕及流動性兩種效果。一般以3-6% 泡沫原液混合水成泡沫水溶液來放射使用。

此類設備以水為主要滅火介質，加入化學藥劑進行滅火，對油類火災有效，但不適用於電氣火災。泡沫設備需要大空間擺放(如圖10)為泡沫滅火設備，且因高度問題，會有輸送壓力的問題。

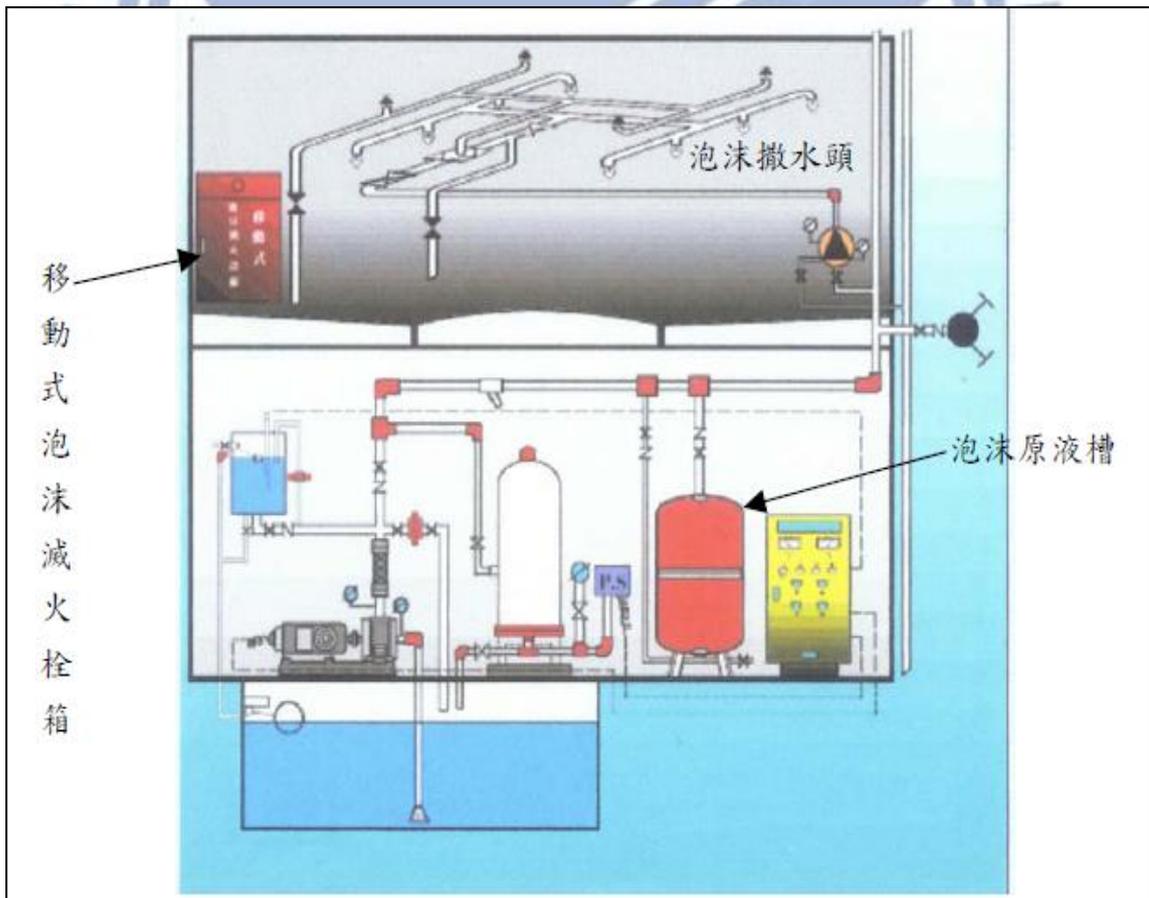


圖 10 泡沫滅火設備

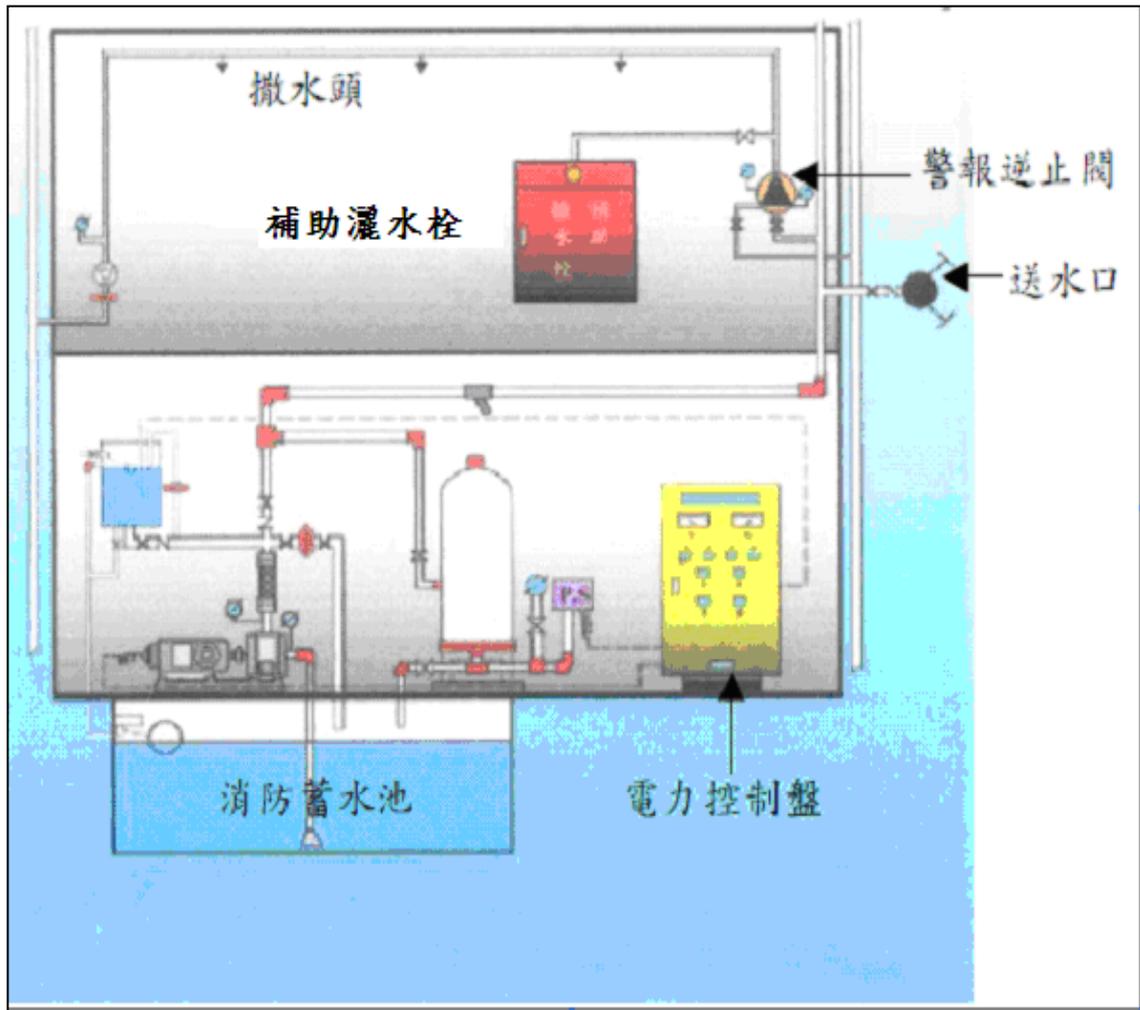


圖11 撒水滅火設備

2.5.4 撒水滅火設備

此類設備以水為主要滅火介質，主要功用是在於冷卻火場，不適用於油類火災及電氣火災，且因高度問題設備過大(如圖11)為撒水滅火設備，同樣會有輸送壓力的問題，同時有水源取得不易的問題【12】。

2.5.5 細水霧滅火設備

細水霧滅火設備除了禁水物物質以外都可以用來滅火，滅火原理有冷卻作用、窒息作用、乳化作用、稀釋作用及稀釋作用。細水霧滅火設備主要是用水滅火，因噴出霧狀微小水粒子能均勻分布在燃燒表面，使水蒸發時吸收大量蒸發潛熱，使燃燒表面溫度降低，水霧接觸

高溫時，快速形成大量水蒸氣，當水蒸氣遇到火焰，使體積急速膨脹1700倍，氧氣濃度降低，達到窒息目的。

此類設備同樣以水為主要滅火介質，細水霧滅火設備跟水霧滅火設備很類是，但細水霧滅火設備壓力比較大，而水粒子粒徑通常小於 $1000\ \mu\text{m}$ ，因將水高度霧化，可應用於油類火災及電氣火災，降溫效果佳。且因操作壓力高，並不會有高度產生的輸送壓力問題，同時因細水霧使用水量在傳統撒水的1/10以下，因此不會有水源取得不易的問題。【13】

2.5.6 Firetrace系統滅火設備

Firetrace系統是國外正在研究的系統，此系統不需要藉由電力或外部電源，不需要手動控制或監測，此系統為可自動啟動的系統，利用小型惰性氣體鋼瓶連接紅色的Firetrace檢測管，以檢測管來偵測到火災，檢測管遇火破裂來啟動系統(如圖12)所示，並由破裂處噴出滅火介質以抑制火災。Firetrace系統可安裝在狹小的空間，較不會影響到維修工作的進行。此系統檢測管破裂進行滅火要達到一定的溫度且小型惰性氣體鋼瓶容量有限，並需要在密閉空間使用，是本系統必須加以考慮的地分【14】。將各系統的優缺點比較如表5



圖 12 Firetrace 氣體鋼瓶

滅火設備分類	應用於風力發電機 優點	應用於風力發電機缺點	適用 性等 級
氣體滅火設備	1. 滅火迅速 2. 適用於電氣火災 3. 適用於油類火災	1. 需為密閉空間 2. 降溫效果不佳 3. 防止潤滑油復燃能力弱 4. 鋼瓶置放空間問題	佳
乾粉滅火設備	1. 滅火迅速 2. 適用於電氣火災 3. 適用於少量油類 火災	1. 降溫效果不佳 2. 不適用於大量油類火災 3. 防止潤滑油復燃能力弱 4. 鋼瓶置放空間問題	劣
泡沫滅火設備	1. 油類火災有效 2. 具降溫效果	1. 不適用於電氣火災 2. 高度產生輸送壓力問題 3. 大量用水水源問題	劣
撒水滅火設備	1. 具降溫效果	1. 不適用於電氣火災 2. 不適用於油類火災 3. 高度產生輸送壓力問題 4. 大量用水水源問題	劣

細水霧滅火設備	<ol style="list-style-type: none"> 1. 適用於電氣火災 2. 適用於油類火災 3. 具降溫效果 4. 防止潤滑油復燃 5. 長時間進行滅火 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有導電疑慮 2. 需有加壓幫浦設備 	優
Firetrace 系統滅	<ol style="list-style-type: none"> 1. 自動啟動 2. 安全方便 3. 適用於電氣火災 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 滅火能力有限 2. 啟動時間較晚 3. 需為密閉空間 4. 降溫效果不佳 	佳

表 2 風力發電機滅火設備比較表【15】



第三章 細水霧防護系統可行性實驗

3.1 細水霧系統發展與運用回顧

3.1.1 細水霧系統發展

細水霧系統已發展了將近五十餘年，早期因海龍產品掘起，侷限了細水霧系統的發展，近來在環保意識高漲及對生命財產安全保護日益重視的全球趨勢下，尤其在蒙特婁公約限制氟氯碳化物的製造、銷售及使用，細水霧系統成為一理想的海龍替代品，再加上國際海事組織強制規範在船艙上須安裝自動水系統滅火設備後，雖然海龍系列滅火系統只佔了整體氟氯化合物使用量的極小比例，但仍因環保的要求須進行滅火設備替代方案的全面檢討，替代方案不但要有滅火效果佳、無殘留物及適用電器火災等海龍系統的優點，也要有環保、安全及價廉的特性，細水霧滅火系統兼具以上的特點，是一種理想的海龍替代品，可取代海龍系列滅火系統達到抑制與環保、安全之功效。

但環顧國內現有的細水霧系統均為國外的產品，細水霧系統設計、效能評估的技術並未在國內生根，由於技術未生根，導致國內細水霧市場的不健全，無法確保國內裝設的系統發揮預期的效能，為建立產業的自主性及系統的有效性確保生命安全，細水霧系統經火場測試驗證對噴射氣體火災、可燃性及易燃性液體、一般可燃物、電器火災及精密電器設備均能發揮其滅火效果。

目前國際上許多機構都在發展細水霧滅火系統測試協定，目的在進行細水霧滅火系統效能驗證，確保系統有效性。根據 NFPA750 在設計規範中對細水霧滅火系統的說明，細水霧滅火系統係一種噴撒滅火系統，在系統中設置有一個或數個噴頭，可放射細微水霧用以控制、壓制、撲滅火源，噴頭在最小設計工作壓力下，噴出水之水滴直徑尺寸 99% 應小於 1000 microns ($Dv0.99 \leq 1000 \mu\text{m}$)。細水霧滅火系統是應用噴撒極微小的細水霧（直徑小於 0.1 公分），用來冷卻火焰及煙層的溫度、以細水霧分子來隔絕及減少氧氣的持續供應、減少熱輻射效應等，以控制或消滅火源。故細水霧系統達成了火源的控制 (Fire Control)、抑制 (Fire Suppression) 及撲滅 (Fire Extinguishment)、溫度控制 (Temperature Control) 及物件防護 (Exposure Protection) 等目標。上述的這些滅火機制是一般撒水系統、二氧化碳系統或其他系統很難同時達成的性能。除此之外，細水霧系統同時能吸附煙粒子或其他有毒氣體，使之隨著細

水霧分子下降，可減少火場中各種有害氣細體對生命安全或機台設備的危害。【16】

3.1.2 水霧滅火系統之分類

細水霧滅火系統可分為以下二種流體系統:單流系統(Single Fluid System)僅供應一種流體(水)，藉高壓由單一管路輸送至噴頭，由精細的孔徑放射出微細之水滴。雙流系統(Twin Fluid System)以兩種流體供應，一組管系輸送液體(通常為水)，另一組管系輸送氣體(通常為氮氣或空氣)，兩組配管在噴頭前端匯集，氣液混合後輸送至噴頭，以氣體幫助水滴霧化。【16】

細水霧滅火系統依操作壓力可分為:滅火系統管路壓力大於或等於500psi(34.5bars)之高壓系統，滅火系統管路壓力，小於500psi(34.5bars)，大於175psi(12.1bars)之中壓系統。及滅火系統管路壓力小於或等於175psi(12.1bars)低壓系統。

3.1.3 細水霧滅火系統原理

細水霧滅火系統，主要是以水滅火為主，但細水霧滅火可以運用在 A、B、C、D 火災。最早敘述細水霧滅火機制的論述是由 Braidech【17】在1955年提出的，後經 Rasbash【18】等人証實其觀點，Braidech 提出細水霧滅火機制主要為空氣稀釋及冷卻效果，這些細水霧遇到火災的熱源後，蒸發為水蒸汽排擠了新鮮且源源不斷供應的氧氣，使得燃燒區域內的氧氣大為減少，同時這些細水霧粒子也提供了降低火場溫度的冷卻效果。在 Yi-Liang Shu 及 Ping-Kun Fug 等人研究中，把細水霧系統作為半導體廠濕式機台的滅火裝置，因細水霧是微小粒子，在火災清理作業時，比其他滅火系統更快速復原，也不會破壞濕式機台【19】。在 H. Barrow 和 C.W. Pope 研究中提到把細水霧運用在鐵路隧道冷卻方法【20】，可以降低鐵路隧道內溫度。在 Z. Liu, D. Carpenter, A.K. Kim 研究中提到把細水霧運用在滅大型食用油池火災是可行性【21】，因霧化之壓力水噴出時，並攪拌油面層，使油氣擴散於水霧中，在可燃性油類表面形成不燃性乳化層，阻止可燃氣體釋出，達到滅火目的。因細水霧霧狀後溶於可燃性液體，使液體濃度降低，燃點提高，造成燃燒無法繼續，達到滅火目的。在 Yi-Liang Shu 及 Wen-Yao Chang 等人，研究以攜便式係水霧添加藥劑，使滅火更迅速，增加細水霧在滅火的乳化機制【22】。在 Yi-Liang Shu 及 Chiun-Hsun 等人，研究以細水霧系統裝置在高科技

廠排氣風管作為火災防護【23】

3.2 研究方法與流程

3.2.1 研究方法

以本文事故分析探討部分可得知風力發電機內部大多為電氣設備火災及易燃油類火災，由表 5 防護措施比較各項滅火設備，其中細水霧系統可以用於電氣設備火災及易燃油類火災可以長時間滅火，具降溫效果良好，也可以防止油類復燃，根據 NFPA750【6】在設計規範中對細水霧滅火系統的說明，細水霧滅火系統係一種噴撒滅火系統，在系統中設置有一個或數個噴頭，可放射細微水霧用以控制、壓制、撲滅火源，噴頭在最小設計工作壓力下，噴出水之水滴直徑尺寸 99% 應小於 1000 microns ($Dv0.99 \leq 1000 \mu m$)，細水霧的滅火機制可分為主要及次要兩類，主要滅火機制包括熱移除、氧氣排擠效應與降低熱輻射效應；次要滅火機制包括因水蒸汽將空氣稀釋與流場的動態效【24】。

3.2.2 實驗流程

本文欲透過實驗驗證細水霧系統用於風力發電機之有效性與可行性。論文架構流程(如圖 13)，驗證細水霧系統滅火效能。

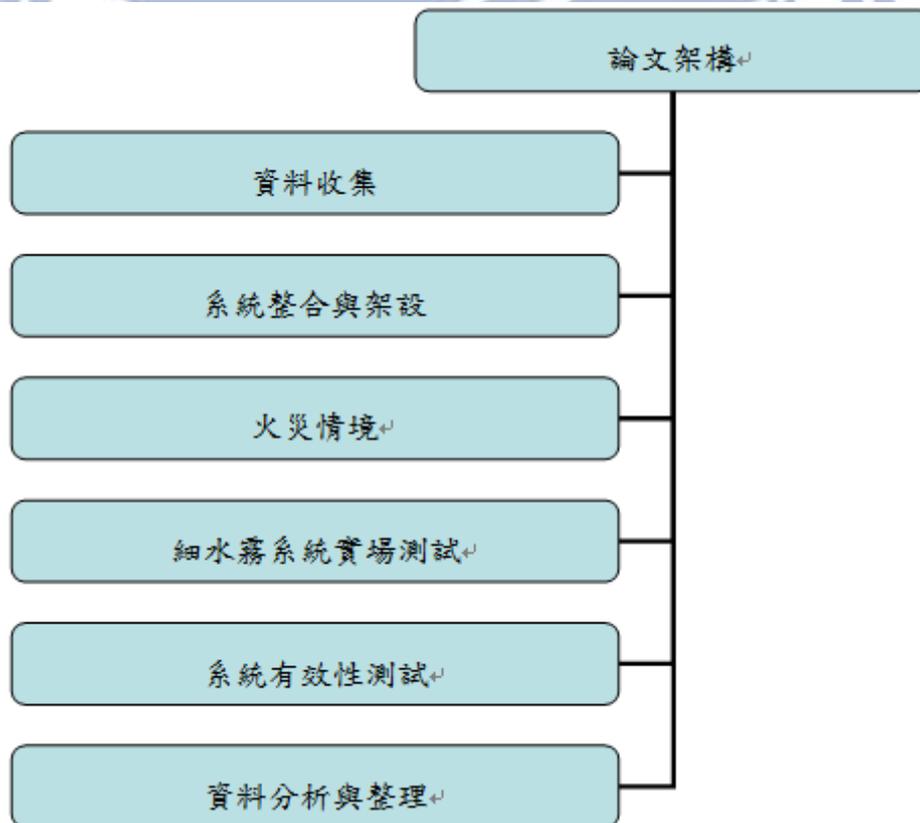


圖 13 實施流程圖

3.2.3 燃燒率計算

由表 3 可查得各油料之 \dot{m} 值和 ΔH 值【25】，計算汽油、柴油及潤滑油的燃燒率。

燃燒率計算公式：

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2 \quad \text{圓形面積計算公式}$$

$$A = \text{長} \times \text{寬} \quad \text{方形面積計算公式}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}A\Delta H \quad \text{燃燒熱計算公式}$$

Material	Density (kg/m ³)	Δh_2 (kJ/kg ⁻¹)	Δh_c (MJ/kg ⁻¹)	\dot{m}^* (kg/m ² s ⁻¹)	k (m ⁻¹)
Cryogenics					
Liquid H ₂	70	442	120.0	0.017 (± 0.001)	6.1 (± 0.4)
LNG (most CH ₄)	415	619	50.0	0.078 (± 0.018)	1.1 (± 0.8)
LPG (mostly C ₃ H ₈)	585	426	46.0	0.099 (± 0.009)	1.4 (± 0.5)
Alcohols					
Methanol (CH ₃ OH)	796	1195	20.0	See text	See text
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	794	891	26.8	See text	See text
Simple organic fuels					
Butane (C ₄ H ₁₀)	573	362	45.7	0.078 (± 0.003)	2.7 (± 0.3)
Benzene (C ₆ H ₆)	874	484	40.1	0.085 (± 0.002)	2.7 (± 0.3)
Hexane (C ₆ H ₁₄)	650	433	44.7	0.074 (± 0.005)	1.9 (± 0.4)
Heptane (C ₇ H ₁₆)	675	448	44.6	0.101 (± 0.009)	1.1 (± 0.3)
Xylenes (C ₈ H ₁₀)	870	543	40.8	0.090 (± 0.007)	1.4 (± 0.3)
Acetone (C ₃ H ₆ O)	791	668	25.8	0.041 (± 0.003)	1.9 (± 0.3)
Dioxane (C ₄ H ₈ O ₂)	1035	552	26.2	0.018	5.4
Diethyl ether (C ₄ H ₁₀ O)	714	382	34.2	0.085 (± 0.018)	0.7 (± 0.3)
Petroleum products					
Benzine	740	—	44.7	0.048 (± 0.002)	3.6 (± 0.4)
Gasoline	740	330	43.7	0.055 (± 0.002)	2.1 (± 0.3)
Kerosene	820	670	43.2	0.039 (± 0.003)	3.5 (± 0.8)
JP-4	760	—	43.5	0.051 (± 0.002)	3.6 (± 0.1)
JP-5	810	700	43.0	0.054 (± 0.002)	1.6 (± 0.3)
Transformer oil, hydrocarbon	760	—	46.4	0.039	0.7
Fuel oil, heavy	940–1000	—	39.7	0.035 (± 0.003)	1.7 (± 0.6)
Crude oil	830–880	—	42.5–42.7	0.022–0.045	2.8 (± 0.4)
Solids					
Polymethylmethacrylate	1184	1611	24.9	0.020 (± 0.002)	3.3 (± 0.8)
Polyoxymethylene (CH ₂ O) _n	1425	2430	15.7		
Polypropylene (C ₃ H ₆) _n	905	2030	43.2		
Polystyrene (C ₈ H ₈) _n	1050	1720	39.7		

表 3 Date for Pool Burning Rate Calculation【25】

(1) 汽油燃燒率計算

汽油燃燒熱由表 3 可查得知燃燒熱 $\dot{m} = 0.055(\text{kg}/\text{m}^2\text{s})$ 及燃燒熱 $\Delta H = 43.7(\text{MJ}/\text{kg})$ ，可計算出得知汽油的燃燒率為 962 kW，計算如下：

$$\text{面積} A = 0.633 \times 0.633 = 0.4006$$

$$\dot{Q} = \dot{m}A\Delta H$$

$$\dot{m} = 0.055$$

$$\Delta H = 43.7$$

$$\dot{Q} = 0.055 \times 0.4006 \times 43.7 = 962 \text{ (kW)}$$

(2) 柴油燃燒率計算

柴油和重油比較相近，所以用重油來計算燃燒率，由表 7 可查得知燃燒熱 $\dot{m} = 0.035(\text{kg}/\text{m}^2\text{s})$ 及燃燒熱 $\Delta H = 39.7(\text{MJ}/\text{kg})$ ，可計算出得知重油的燃燒率為 556 kW，計算如下：

$$\text{面積} A = 0.633 \times 0.633 = 0.4006$$

$$\dot{Q} = \dot{m} A \Delta H$$

$$\dot{m} = 0.035$$

$$\Delta H = 39.7$$

$$\dot{Q} = 0.035 \times 0.4006 \times 39.7 = 556 \text{ (kW)}$$

(3) 潤滑油燃燒率計算

潤滑油是燃燒熱由表 3 可查得知燃燒熱 $\dot{m} = 0.039(\text{kg}/\text{m}^2\text{s})$ 及燃燒熱 $\Delta H = 46.4(\text{MJ}/\text{kg})$ ，可計算出得知潤滑油的燃燒率為 724 kW，計算如下：

$$\text{面積} A = 0.633 \times 0.633 = 0.4006$$

$$\dot{Q} = \dot{m} A \Delta H$$

$$\dot{m} = 0.039$$

$$\Delta H = 46.4$$

$$\dot{Q} = 0.039 \times 0.4006 \times 46.4 = 724 \text{ (kW)}$$

3.3 實驗場與儀器設備說明

3.3.1 實驗場設備

本實驗是針對風力發電機火災以水霧測試滅火能力，(如圖 14)為大型風力發電機此尺寸，因風力發電機體積過於龐大，所以用 6.05m、寬 2.43m、高 2.5m 的 20 呎貨櫃長模擬風力發電機的機艙(如圖 15)，內部上

方裝有細水霧噴頭(如圖 16)以實施滅火，以高壓水管連接高壓幫浦加壓(如圖 17)使水經由細水霧噴頭噴出時並霧化。

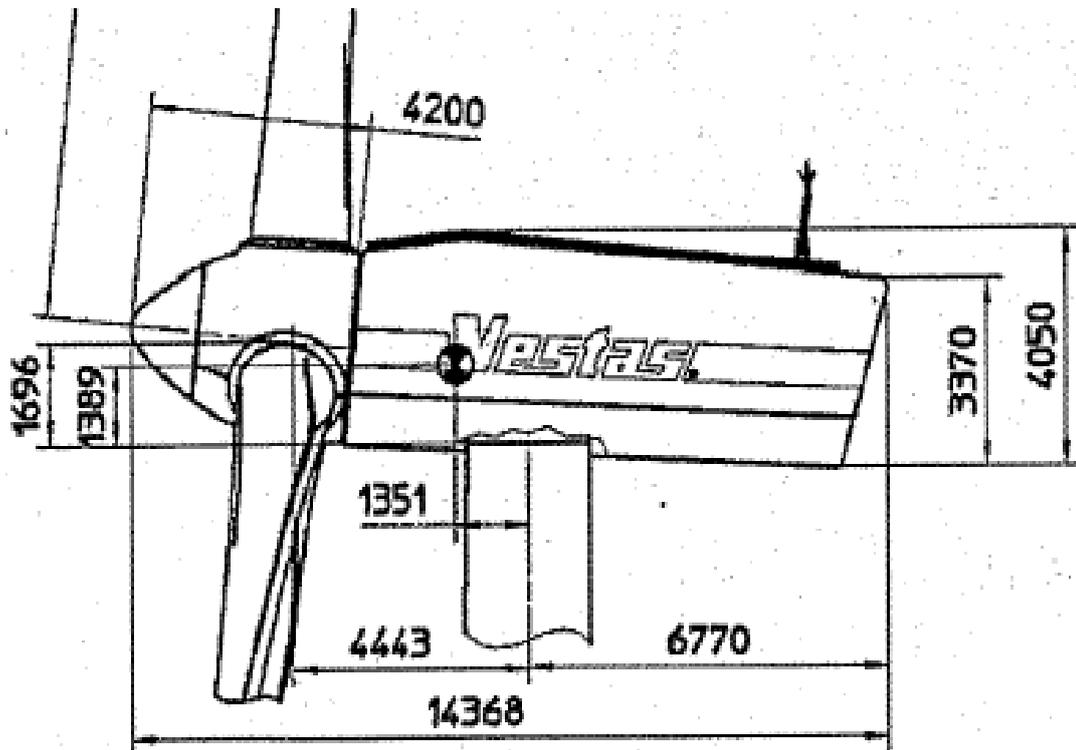


圖 14 風力發電機尺寸



圖 15 以貨櫃模擬風力發電機機艙



圖 16 貨櫃上方架設細水霧噴頭



圖 17 高壓幫浦

3.3.2 實驗儀器設備

貨櫃內部為了偵測火場溫度，在內部架設K-type的熱電偶量測火場溫度內部，輸出到 TRM-20資料擷取器(如圖18)。進行實驗數據紀錄TRM-20資料擷取器有12個通道可以連接，可以測試電壓、電流及熱電偶，而熱電偶可測試K、E、J、T、C、N、PLII、U、L、R、S、B、PR40-20、AU-Fe..等種類的熱電偶，內建螢幕可顯示以進行水平/垂直曲線、數據顯示、柱狀圖...等，再以SD記憶卡存取紀錄，紀錄週期為1秒到60分。



圖 18 TRM-20 資料擷取器

因進行實驗燃燒後會產生廢氣造成空氣污染疑慮，因而裝有水洗式洗滌塔(如圖 19)，使廢氣經由水洗式洗滌塔過濾排出。水洗式洗滌塔是以衝突式水洗機，衝突式水洗機之原理排除如下：

- 1.黑煙產生時利用風機將黑煙吸入洗滌塔內(如圖 20)。
- 2.再由風壓帶起水層與多孔板接觸時產生之水泡，將黑煙洗滌下來。
- 3.含水分的空氣則經由濾水板摺痕碰撞板壁留下水分，乾淨的空氣再由上方經風機排出至大氣。
- 4.一般由於煙粒子顆粒較細，所以洗滌效率約在 80-90%左右，較洗滌油氣時的 95%為低。
- 5.其效果重點在控制多孔板與水層間之距離，因為距離與風壓搭配產生之氣泡越多洗滌效果越好。



圖 19 水洗式洗滌塔

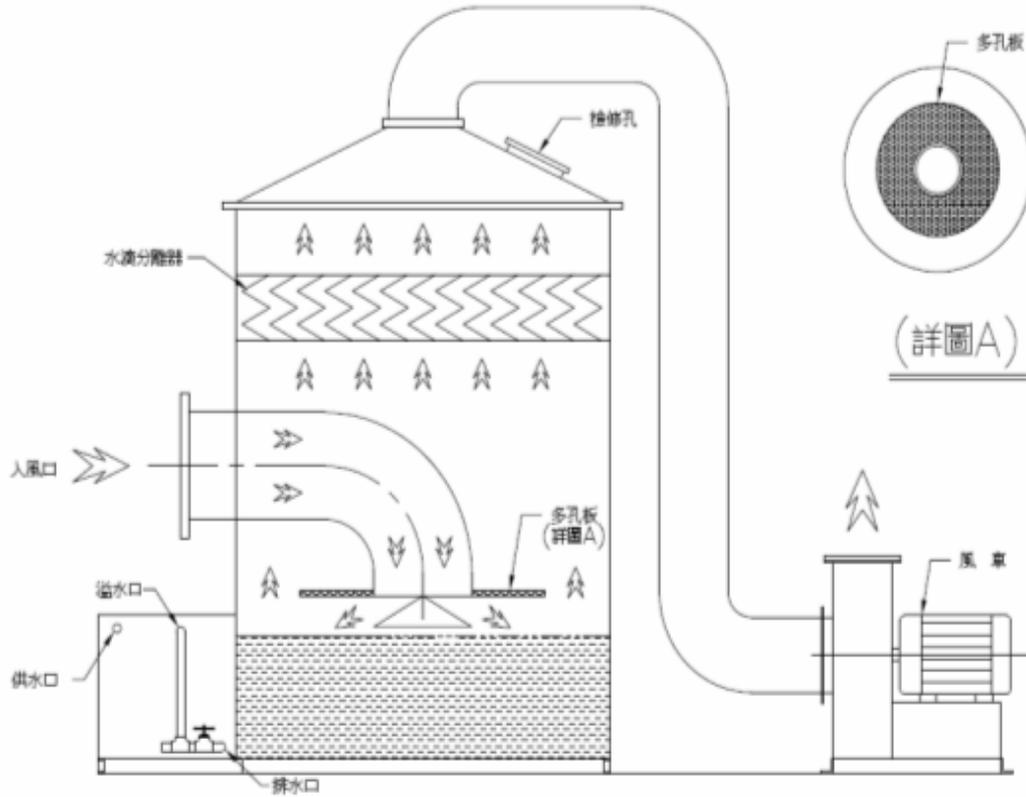


圖 20 衝突式水洗機內部結構圖

3.4 細水霧實驗測試

(如圖21)為細水霧實驗流程圖，實驗模擬以CNS規範B1、B2、B3的油盆進行測試，因柴油燃點和機械用潤滑油類似，所以用柴油當作實驗用燃燒油，以汽油當作引火，(表4)為各個油盆所使用的油量，測試模擬情境為火源無遮蔽、火源遮蔽、模型無開口、模型開口、無添加劑、操作壓力100bar並運用二顆噴頭及三顆噴頭的測試為基本測試，探討各細水霧系統效能，實驗過程如下：

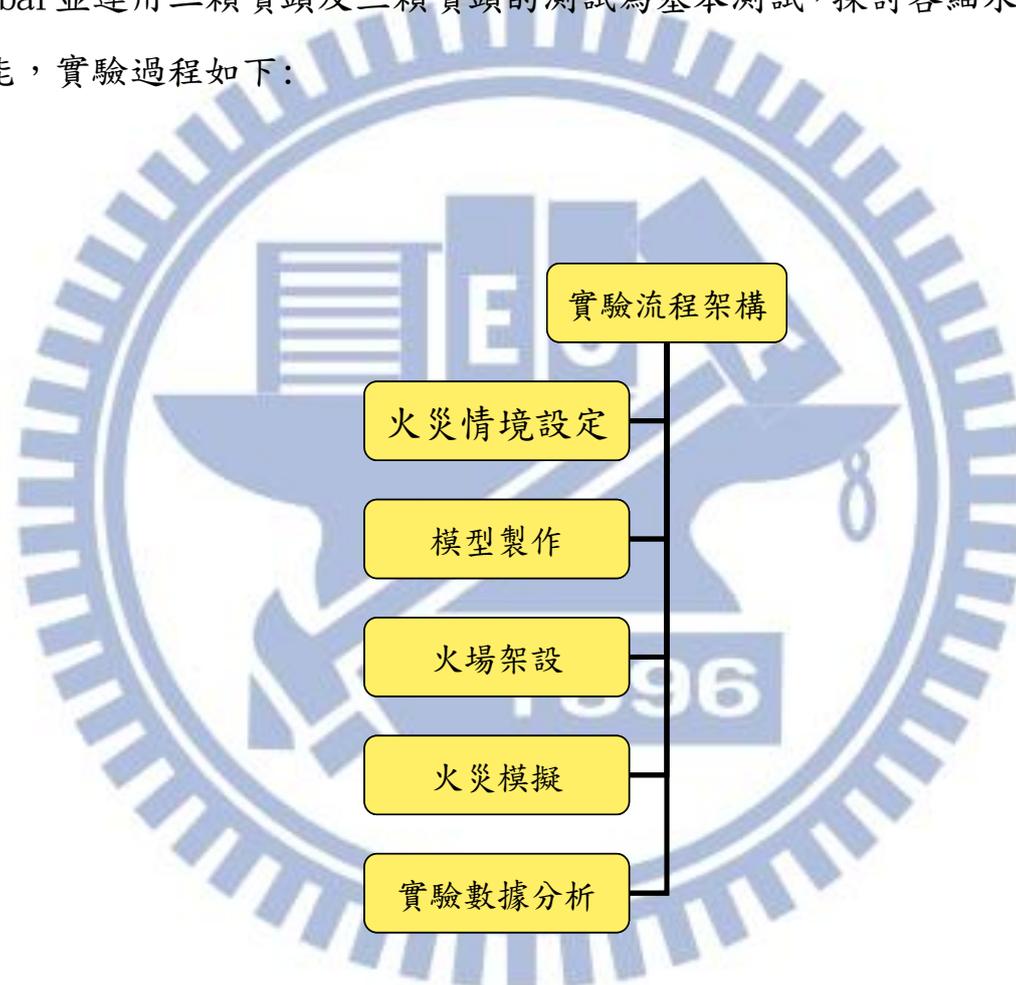


圖 21 細水霧實驗流程圖

油盆型號	油盆尺寸 長、寬、高(cm)	柴油油量	汽油油量
B1	44.7×44.7×30	1000 ml	50 ml
B2	63.3×63.3×30	2000 ml	50 ml
B3	77.5×77.5×30	3000 ml	100 ml

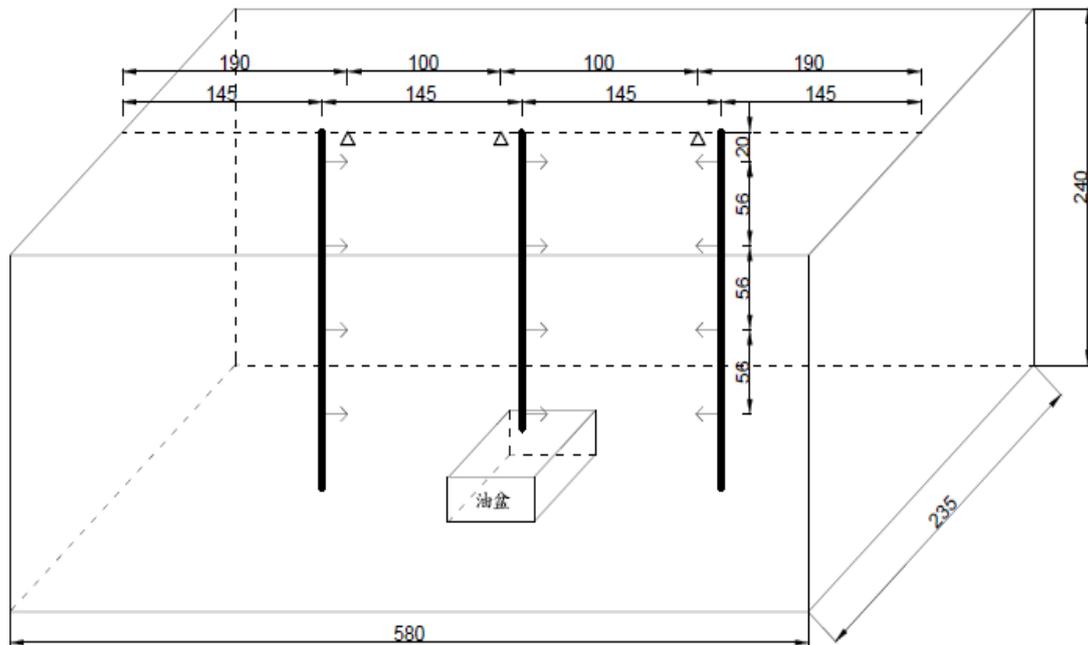
表 4 油盆大小及所使用的油量表

3.4.1 火源無遮蔽測試模型無開口實驗

實驗方法是以CNS規範B1、B2、B3的油盆進行測試，測試模擬情境(如表5)為火源無遮蔽、測試模型無開口、操作壓力100bar並運用二顆噴頭的測試為基本測試，並於測試期間同時紀錄滅火時間、溫度及滅火影像，其中空燒的火場溫度將由12個測試點的熱電偶(如圖22)進行偵測並記錄，以評估滅火效能。

噴頭數量	油料	油盆大小	油盆位置	情境模式
無防護空燒	高級 柴油	CNS 型號 B-1	貨櫃正中間	情境一
2 顆細水霧噴頭	高級 柴油	CNS 型號 B-1	貨櫃正中間	情境二
無防護空燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃正中間	情境三
2 顆細水霧噴頭	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃正中間	情境四
無防護空燒	高級 柴油	CNS 型號 B-3	貨櫃正中間	情境五
2 顆細水霧噴頭	高級 柴油	CNS 型號 B-3	貨櫃正中間	情境六

表5 火源無遮蔽測試模型無開口情境表



螺桿 △ 噴頭 → 熱電偶

圖 22 火場的熱電偶、噴頭及油盆位置圖

3.4.2 火源無遮蔽測試模型開口實驗

實驗方法是以CNS規範B2的油盆進行測試，測試模擬情境如(表6)為火源無遮蔽、測試模型開口、操作壓力100bar並運用二顆噴頭及三顆噴頭的測試為基本測試，並於測試期間同時紀錄滅火時間、溫度及滅火影像，其中空燒的火場溫度將由12個測試點的熱電偶(如圖22)進行偵測並記錄，以評估滅火效能。

噴頭數量	油料	油盆大小	油盆位置	情境模式
2顆細水霧噴頭模型 開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃正中間	情境七
3顆細水霧噴頭模型 開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃正中間	情境八

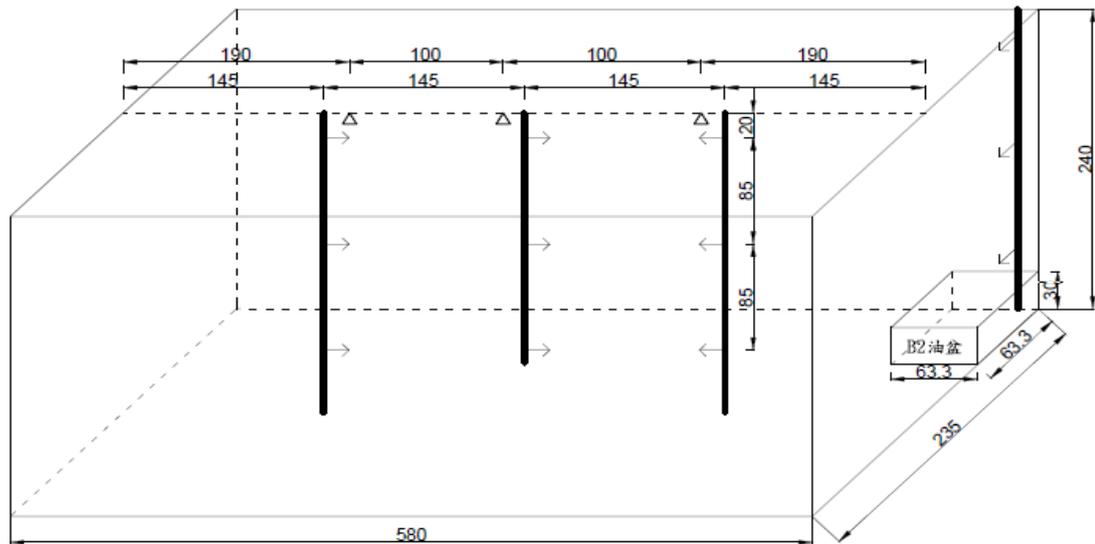
表 6 火源無遮蔽測試模型開口情境表

3.4.3 火源無遮蔽偏移燃燒實驗

實驗方法是以CNS規範B2的油盆進行測試，測試模擬情境(如表7) 為火源無遮蔽、測試模型開口、測試模型無開口、火源擺放角落、操作壓力100bar並運用二顆噴頭及三顆噴頭的測試為基本測試，並於測試期間同時紀錄滅火時間、溫度及滅火影像，其中空燒的火場溫度將由12個測試點的熱電偶(如圖23)進行偵測並記錄，以評估滅火效能。

噴頭數量	油料	油盆大小	油盆位置	情境模式
無防護開口空燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃角落	情境九
2 顆細水霧噴頭模型開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃角落	情境十
2 個細水霧噴頭模型無開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃角落	情境十一
3 個細水霧噴頭模型開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃角落	情境十二
3 顆細水霧噴頭模型無開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃角落	情境十三

表7 火源角落無遮蔽測試情境表



┆ 螺桿 △ 噴頭 → 熱電偶

圖23 火源放置角落火場的熱電偶、噴頭及油盆位置圖

3.4.4 火源遮蔽燃燒實驗

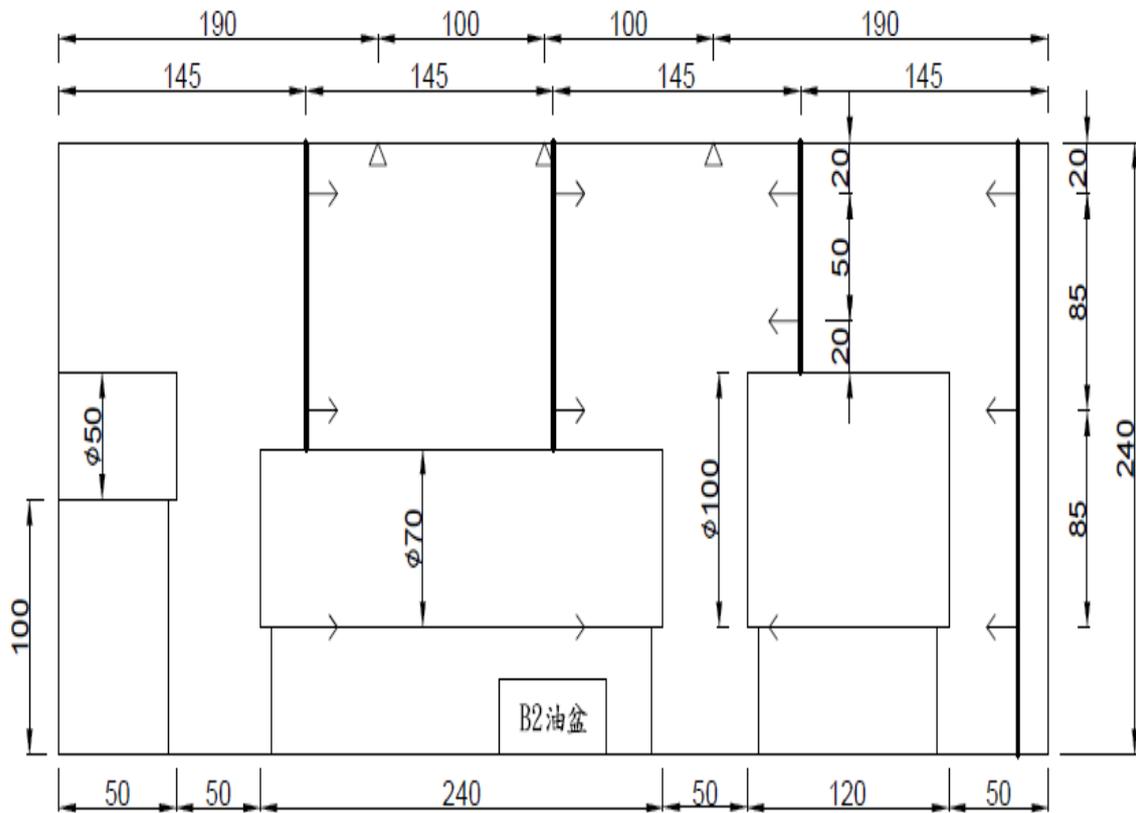
實驗方法是以CNS規範B2的油盆進行測試，測試模擬情境(如表8)為火源遮蔽(如圖24)為遮蔽物模型、測試模型開口、測試模型無開口、火源擺放貨過正中間遮蔽物下方、操作壓力100bar並運用二顆噴頭及三顆噴頭的測試為基本測試，並於測試期間同時紀錄滅火時間、溫度及滅火影像，其中空燒的火場溫度將由12個測試點的熱電偶(如圖25)進行偵測並記錄，以評估滅火效能。



圖 24 遮蔽物模型

噴頭數量	油料	油盆大小	油盆位置	情境模式
2 顆細水霧噴頭模型 無開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃正中間	情境十四
2 個細水霧噴頭模型 開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃正中間	情境十五
3 個細水霧噴頭模型 無開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃正中間	情境十六
3 顆細水霧噴頭模型 開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃正中間	情境十七

表8 火源遮蔽測試情境表



螺桿 △ 噴頭 → 熱電偶

圖 25 遮蔽物尺寸及熱電偶、噴頭及油盆位置圖

3.4.5 火源偏移遮蔽燃燒實驗

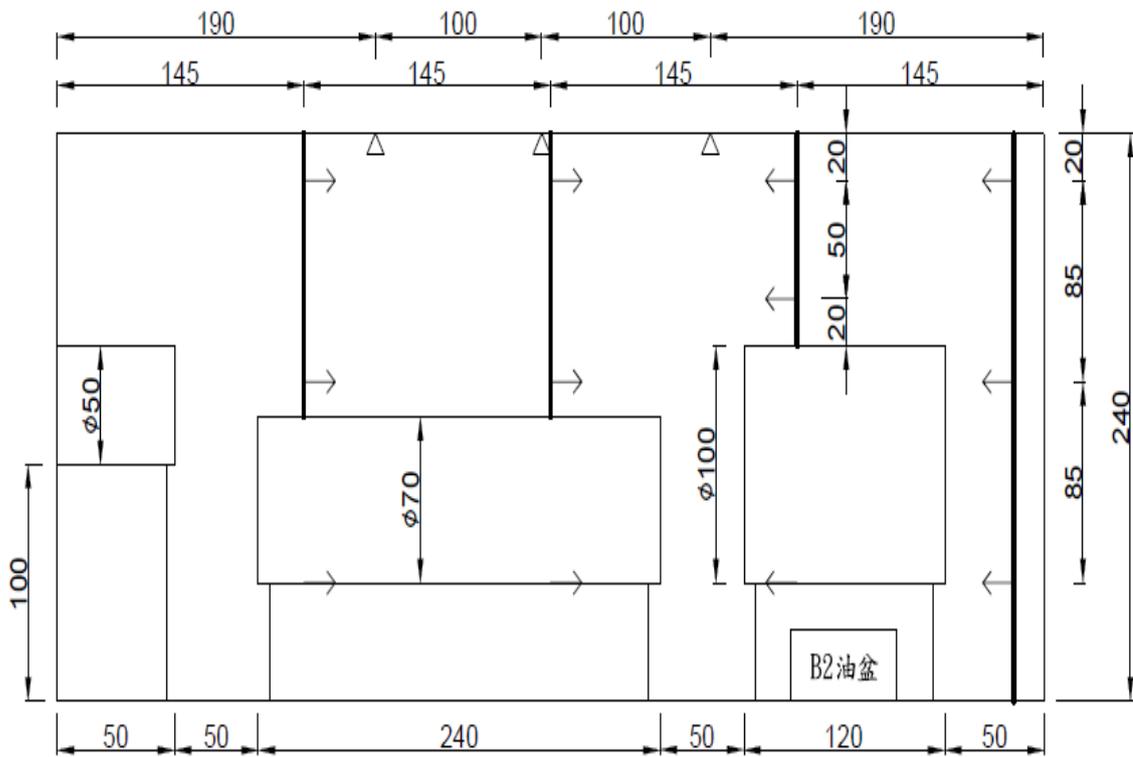
實驗方法是以CNS規範B2的油盆進行測試，測試模擬情境(如表9)為火源遮蔽(如圖26)、測試模型開口、測試模型無開口、火原擺放角落、操作壓力100bar並運用二顆噴頭及三顆噴頭的測試為基本測試，並於測試期間同時紀錄滅火時間、溫度及滅火影像，其中空燒的火場溫度將由12個測試點的熱電偶(如圖27)進行偵測並記錄，以評估滅火效能。

噴頭數量	油料	油盆大小	油盆位置	情境模式
2 顆細水霧噴頭模型 開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃後方	情境十八
2 個細水霧噴頭模型 開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃後方	情境十九
3 個細水霧噴頭模型 無開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃後方	情境二十
3 顆細水霧噴頭模型 開口燃燒	高級 柴油	CNS 型號 B-2	貨櫃後方	情境二十一

表9 火源角落遮蔽測試情境表



圖 26 火源在貨櫃後方遮蔽物下方圖



| 螺桿 △ 噴頭 → 熱電偶

圖 27 遮蔽物尺寸及熱電偶、噴頭及油盆位置圖

3.5 實驗結果

3.5.1 油盆尺寸影響測試

細水霧系統防護測試固定參數為火源擺放貨櫃正中間、火源無遮蔽、無開口、無添加劑、操作壓力 100bar、單顆噴頭流量為 13.5 LPM，並運用二顆噴頭境行測試。細水霧系統防護測試，操作參數:油盆尺寸使用 CNS 規範 B1、B2、B3 的油盆進行測試，以情境(表 10)評估滅火效能。

情境模式	噴頭數量	油盆大小
情境一	無防護空燒	CNS 型號 B-1
情境二	2 顆細水霧噴頭	CNS 型號 B-1
情境三	無防護空燒	CNS 型號 B-2
情境四	2 顆細水霧噴頭	CNS 型號 B-2
情境五	無防護空燒	CNS 型號 B-3
情境六	2 顆細水霧噴頭	CNS 型號 B-3

表 10 油盆尺寸影響比較情境表

3.5.1.1 油盆尺寸影響比較測試數據

油盆尺寸影響比較結果如(表 11)，圖 28 是實驗情境一溫度歷程圖使用 B1 油盆無防護空燒實驗，其溫度量測紀錄最高溫度 725°C，燃燒總時間共 6 分 16 秒，而火場最終溫度 175°C。圖 29 及圖 30 是實驗情境二溫度歷程圖，使用 B1 油盆放置貨櫃正中間，以 2 顆細水霧噴頭防護封閉式測試，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 798°C 和 694°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，

滅火時間 2 分 34 秒和 2 分 47 秒，且滅火後火場溫度降至大約 47°C 左右。

圖 31 是實驗情境三為溫度歷程圖，使用 B2 油盆為無防護空燒實驗其溫度量測紀錄最高溫度 833°C，燃燒總時間共 5 分 05 秒，而火場最終溫度 155°C，圖 32 及圖 33 是實驗情境四溫度歷程圖，使用 B2 油盆放置貨櫃正中間以 2 顆細水霧噴頭防護封閉式實驗，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 756°C 和 784°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火總時間為 2 分 14 秒和 2 分 07 秒，且滅火後火場溫度降至大約 45°C 左右。

圖 34 是實驗情境五溫度歷程圖，使用 B3 油盆為無防護空燒實驗其溫度量測紀錄最高溫度 820°C，燃燒總時間共 7 分 31 秒，而火場最終溫度 182°C，圖 35 及圖 36 是實驗情境六溫度歷程圖，使用 B3 油盆放置貨櫃正中間以 2 顆細水霧噴頭防護封閉式實驗，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度為 758°C 和 814°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火總時間為 1 分 40 秒和 1 分 36 秒，且滅火後火場溫度降至大約 47°C 左右。

情境模式	最高溫度	滅火後溫度	滅火時間
情境一	725°C	175°C	6 分 16 秒
情境二	(1) 798°C	46°C	2 分 34 秒*
	(2) 694°C	48°C	2 分 47 秒*
情境三	833°C	155°C	5 分 05 秒
情境四	(1) 756°C	47°C	2 分 14 秒*
	(2) 784°C	48°C	2 分 07 秒*
情境五	820°C	182°C	7 分 31 秒
情境六	(1) 758°C	47°C	1 分 40 秒*
	(2) 814°C	53°C	1 分 36 秒*

註*: 油盆內尚有油料點火可復燃

表11 油盆大小比較火源燃燒測試數據表

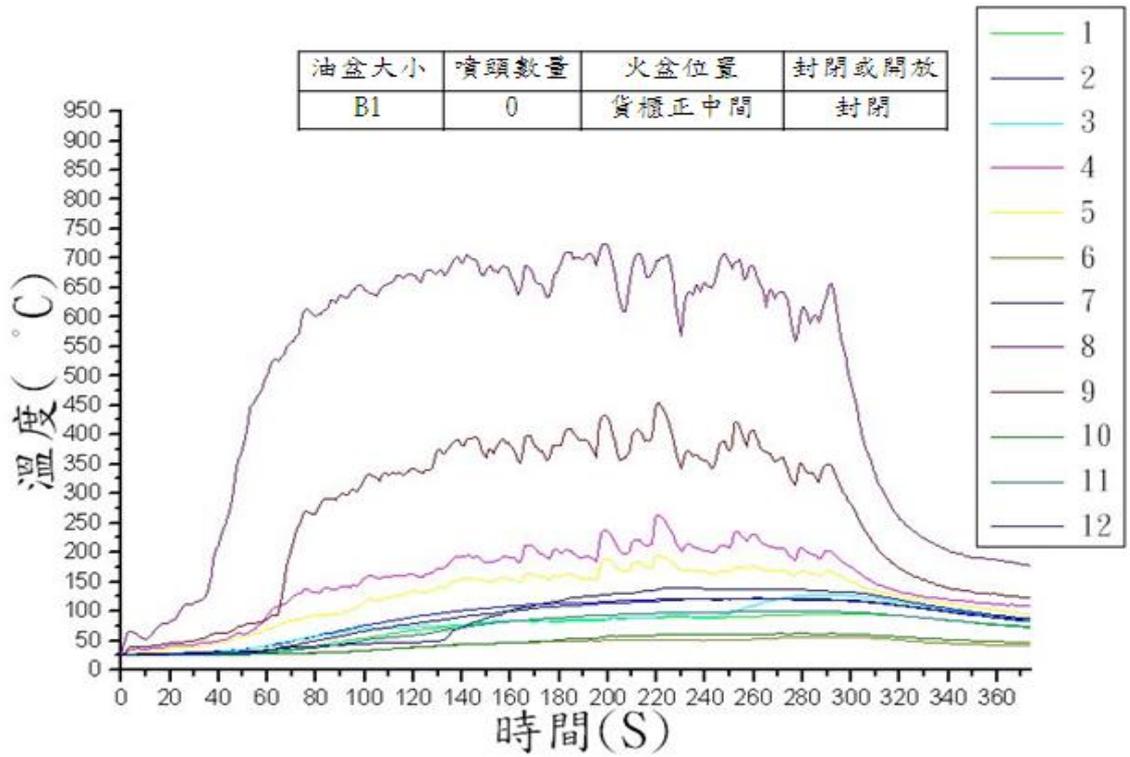


圖 28 情境一 B1 油盆模擬情境無防護數據圖

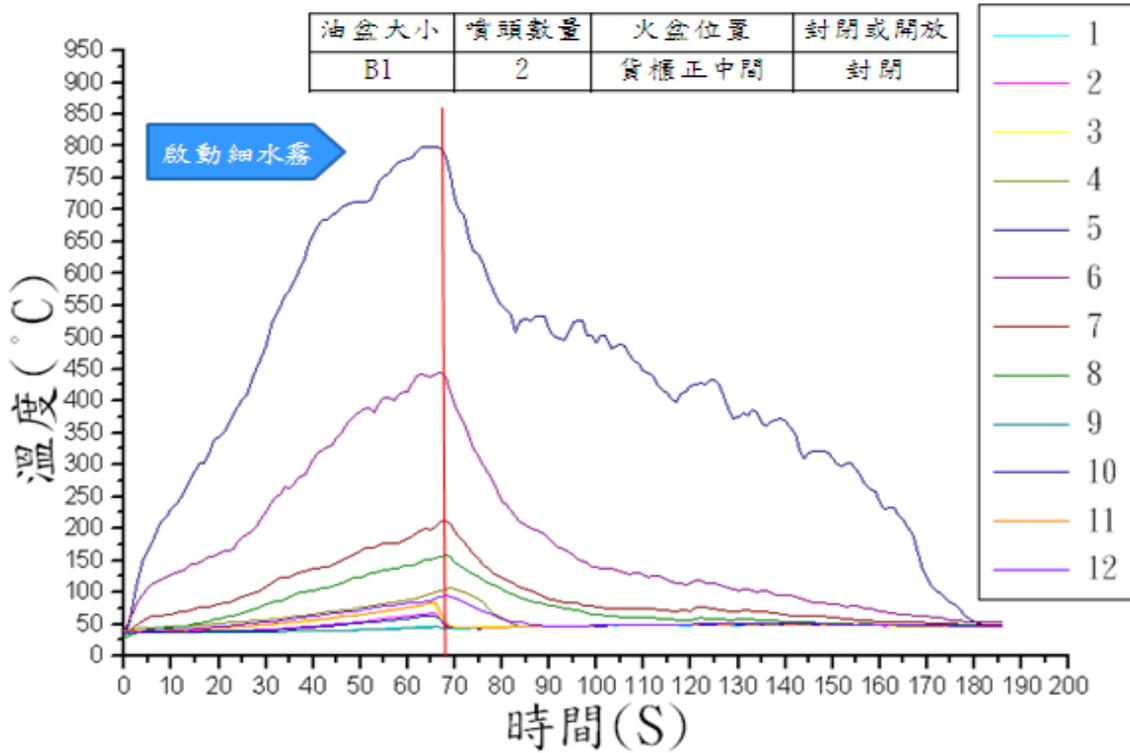


圖 29 情境二 B1 油盆模擬情境有防護數據圖(1)

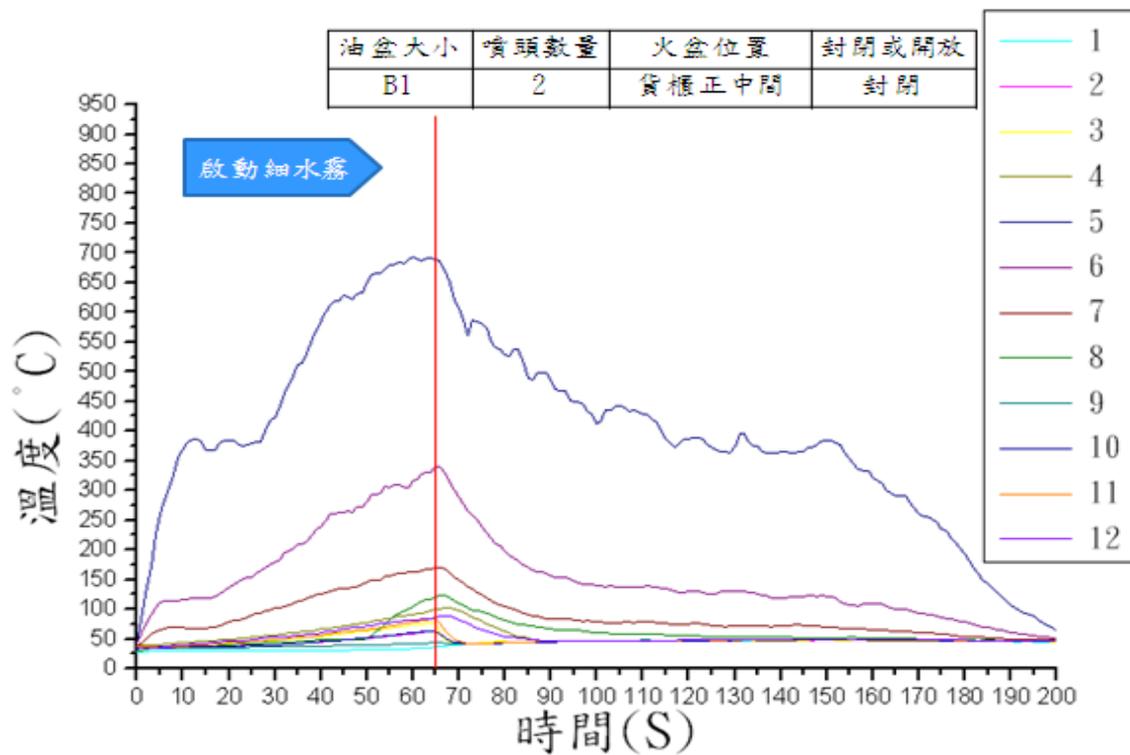


圖 30 情境二 B1 油盆模擬情境有防護數據圖(2)

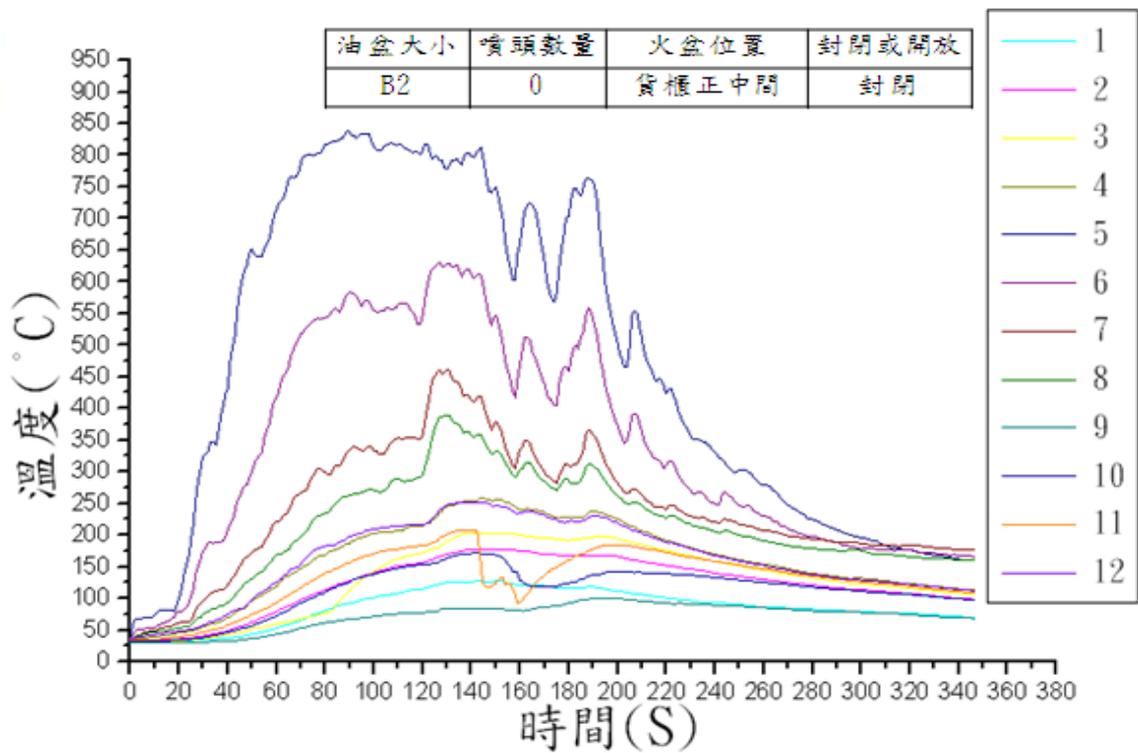


圖 31 情境三 B2 油盆模擬情境無防護數據圖

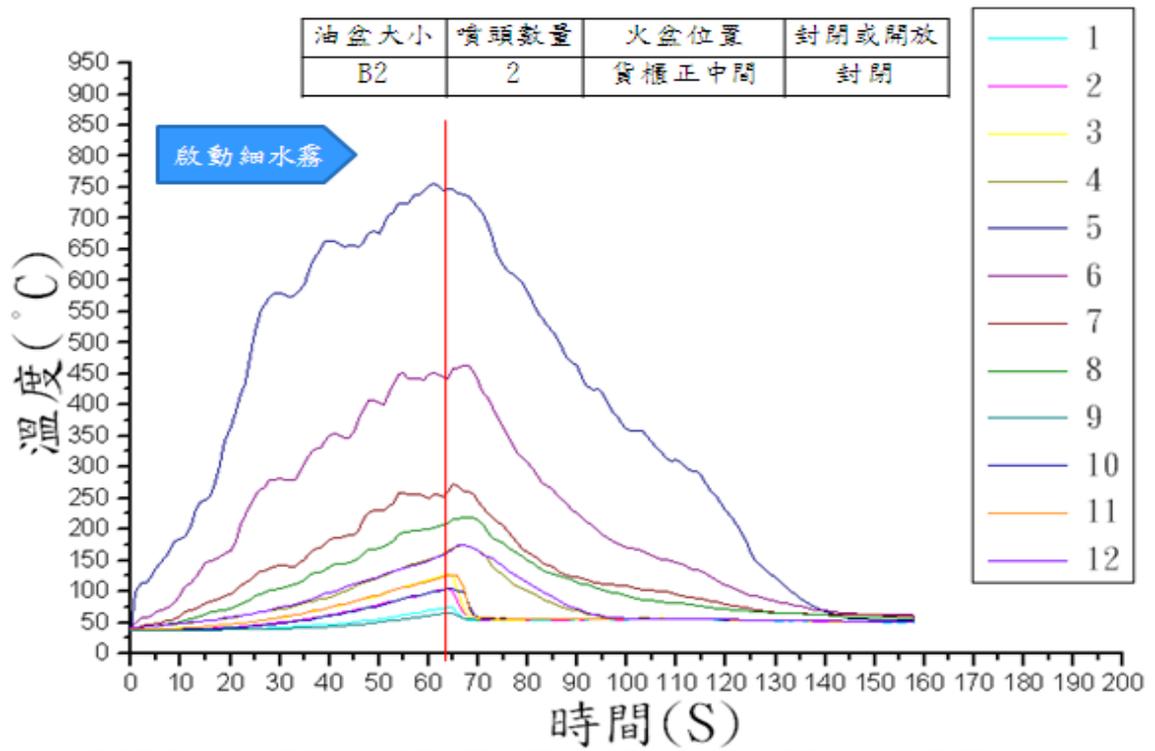


圖 32 情境四 B2 油盆模擬情境有防護數據圖(1)

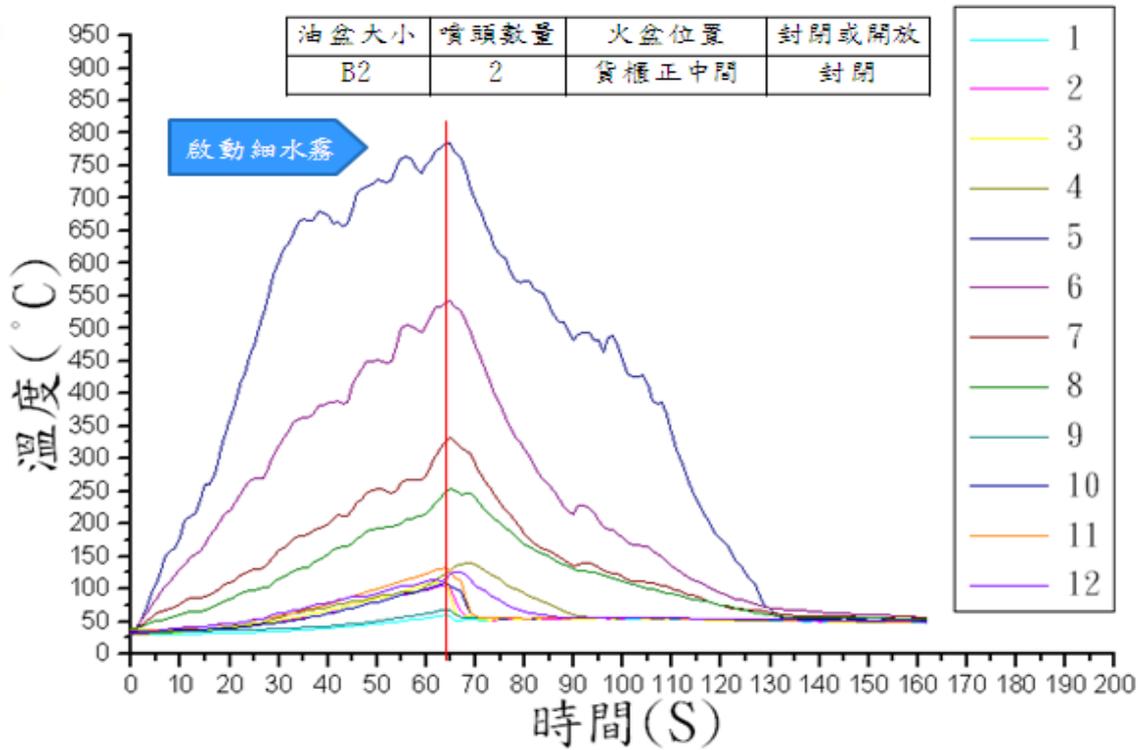


圖 33 情境四 B2 油盆模擬情境有防護數據圖(2)

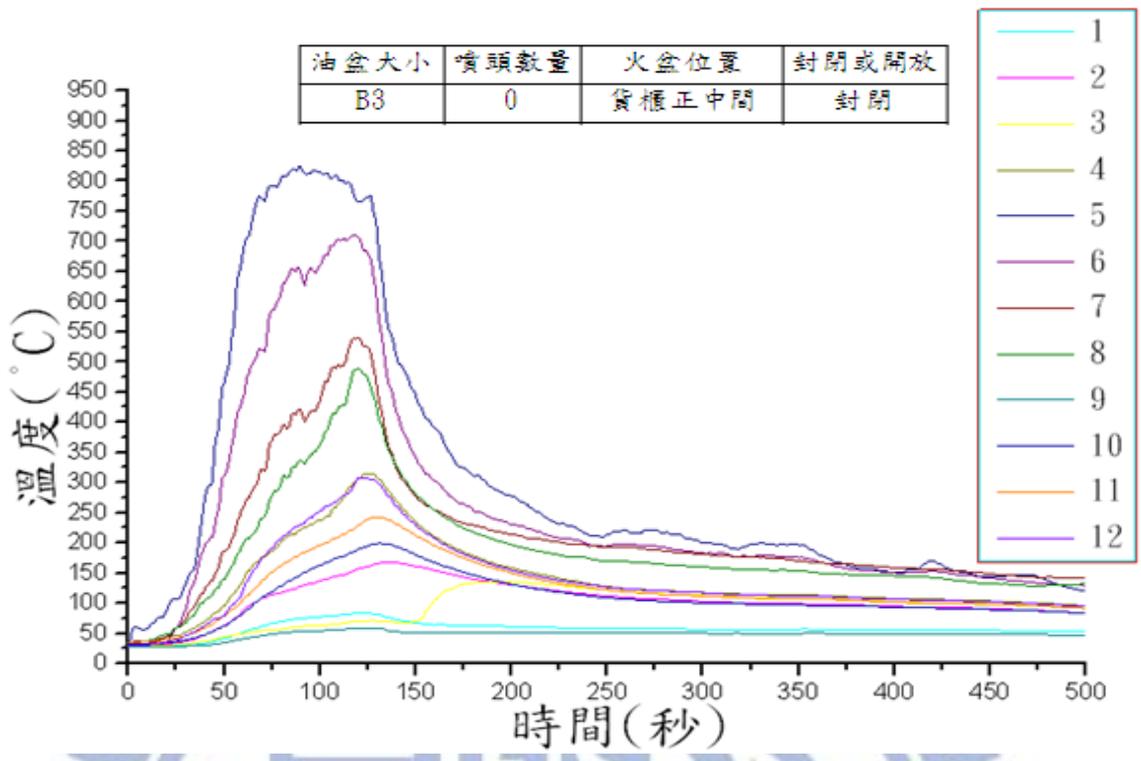


圖 34 情境五 B3 油盆模擬情境無防護數據圖

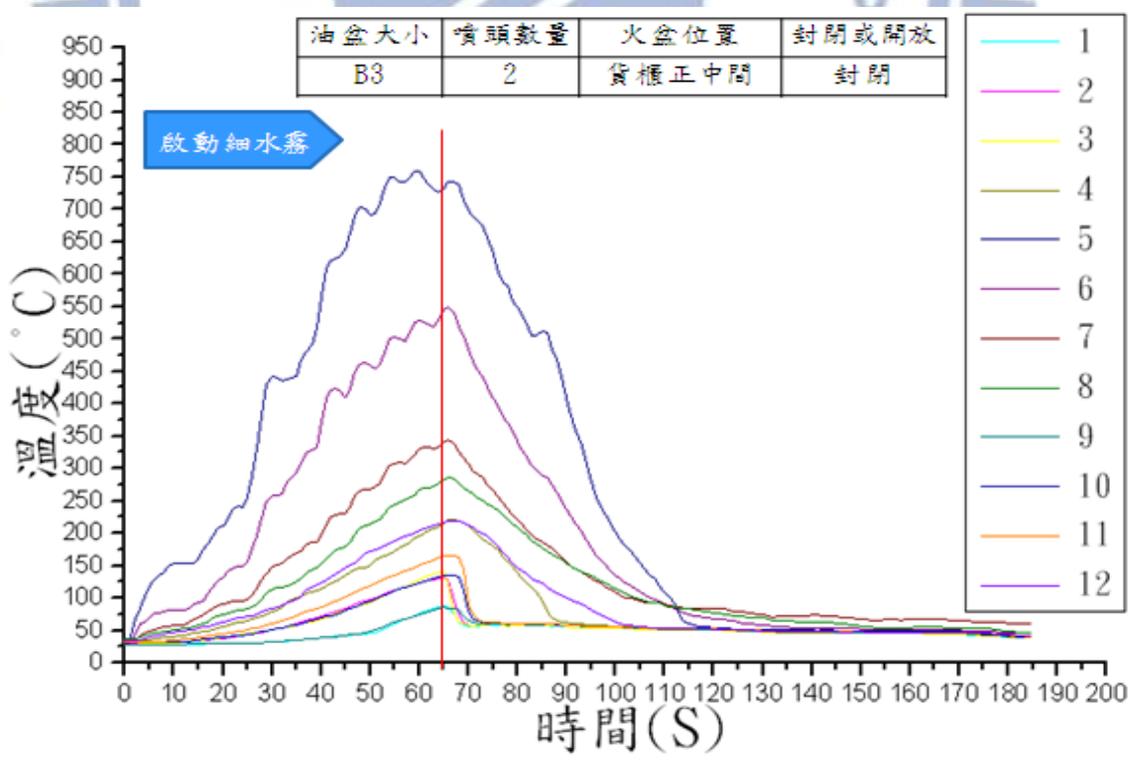


圖 35 情境六 B3 油盆模擬情境有防護數據圖(1)

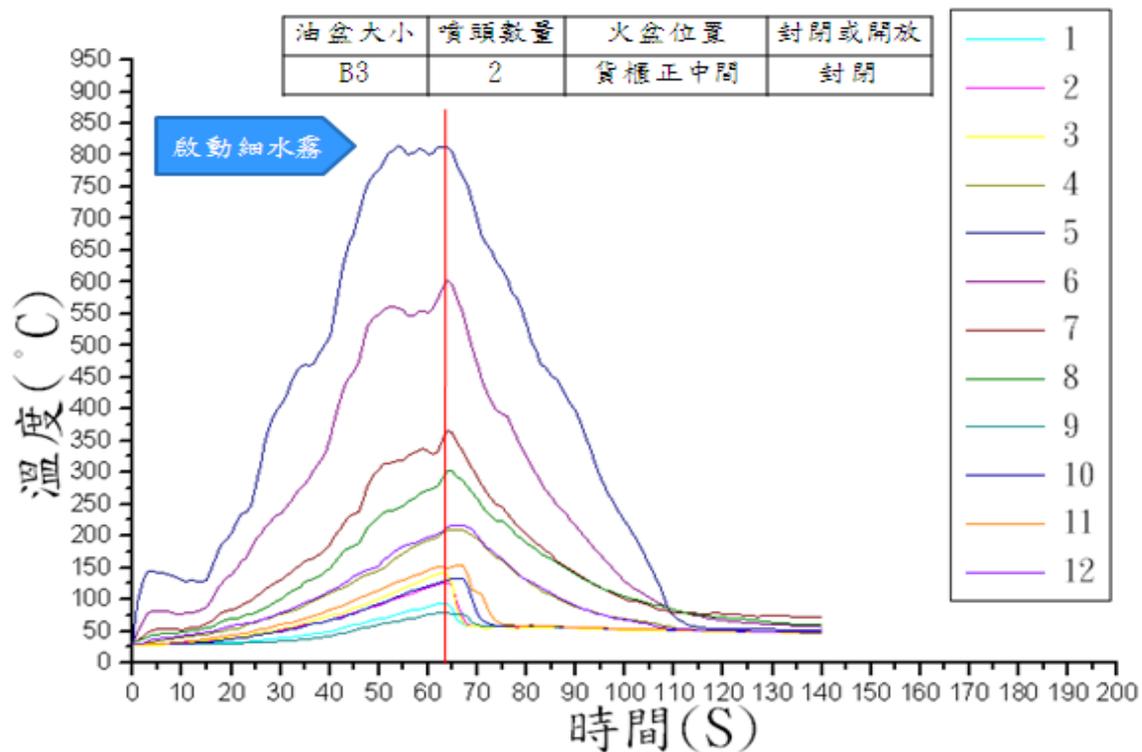


圖 36 情境六 B3 油盆模擬情境有防護數據圖(2)



3.5.1.2 小結-油盆尺寸影響比較測試

本系列實驗(如圖 28~圖 36)以柴油進行測試，火源放置貨櫃正中間，無遮蔽，測試火源尺寸會不會影響滅火時間，測試空燒無防護及進行 2 顆細水霧噴頭滅火測試的實驗。情境一、情境三和情境五為空燒沒有進行細水霧防護測試，均燃燒 5 分鐘以上，溫度最高可以達到 800。C 以上，燃燒結束時火場溫度仍高於 150。C 以上。而情境二、情境四和情境六有進行細水霧滅火釋放的實驗，滅火時間都在 2 分鐘左右，且滅火後火場溫度降至大約 45。C 左右，由滅火時間比較發現油盆面積越大，細水霧能覆蓋進入火源的面積也就越大，使得滅火時間越短。

3.5.2 火源置中無遮蔽燃燒測試

細水霧系統防護測試固定參數為使用 B2 油盆進行測試，火源擺放貨櫃正中間、火源無遮蔽、無添加劑、操作壓力 100bar、單顆噴頭流量為 13.5 LPM。細水霧系統防護測試操作參數為有無開口並運用二顆及三顆噴頭境行測試，以情境(表 12)評估滅火效能。

情境模式	噴頭數量	油盆大小
情境七	2 顆細水霧噴頭 無開口燃燒	CNS 型號 B-2
情境八	2 顆細水霧噴頭 開口燃燒	CNS 型號 B-2
情境九	3 顆細水霧噴頭 無開口燃燒	CNS 型號 B-2
情境十	3 顆細水霧噴頭 開口燃燒	CNS 型號 B-2

表 12 火源置中無遮蔽燃燒情境表

3.5.2.1 火源置中無遮蔽燃燒測試數據

火源置中無遮蔽燃燒測試結果如(表 13)，圖 37 及圖 38 是模擬情境七溫度歷程圖，使用 B2 油盆火源放置貨櫃正中間，無開口，以 2 顆細水霧噴頭進行防護，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 771°C 和 756°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 2 分 10 秒和 2 分 14 秒，且滅火後火場溫度降至大約 45°C 左右。

圖 39 及圖 40 是模擬情境八溫度歷程圖，使用 B2 油盆火源放置貨櫃正中間，開口，以 2 顆細水霧噴頭進行防護，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 851°C 和 788°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 2 分 33 秒和 2 分 19 秒，且滅火後火場溫度降至大約 47°C 左右。

圖 41 及圖 42 是模擬情境九溫度歷程圖，使用 B2 油盆火源放置貨櫃正中間，無開口，以 3 顆細水霧噴頭進行防護，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 895°C 和 873°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 1 分 03 秒和 1 分 04 秒，且滅火後火場溫度降至大約 46°C 左右。

圖 43 及圖 44 是模擬情境十溫度歷程圖，使用 B2 油盆火源放置貨櫃正中間，開口，以 3 顆細水霧噴頭進行防護，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 730°C 和 815°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 1 分 04 秒和 1 分 05 秒，且滅火後火場溫度降至大約 41°C 左右。

情境模式	最高溫度	滅火後溫度	滅火時間
情境七	(1) 771°C	45°C	2 分 10 秒*
	(2) 756°C	47°C	2 分 14 秒*
情境八	(1) 851°C	47°C	2 分 33 秒*
	(2) 788°C	46°C	2 分 19 秒*
情境九	(1) 895°C	46°C	1 分 03 秒*
	(2) 873°C	45°C	1 分 04 秒*

情境十	(1)	730 °C	38 °C	1 分 04 秒*
	(2)	815 °C	39 °C	1 分 05 秒*

註*: 油盆內尚有油料點火可復燃

表 13 火源置中無遮蔽燃燒數據表

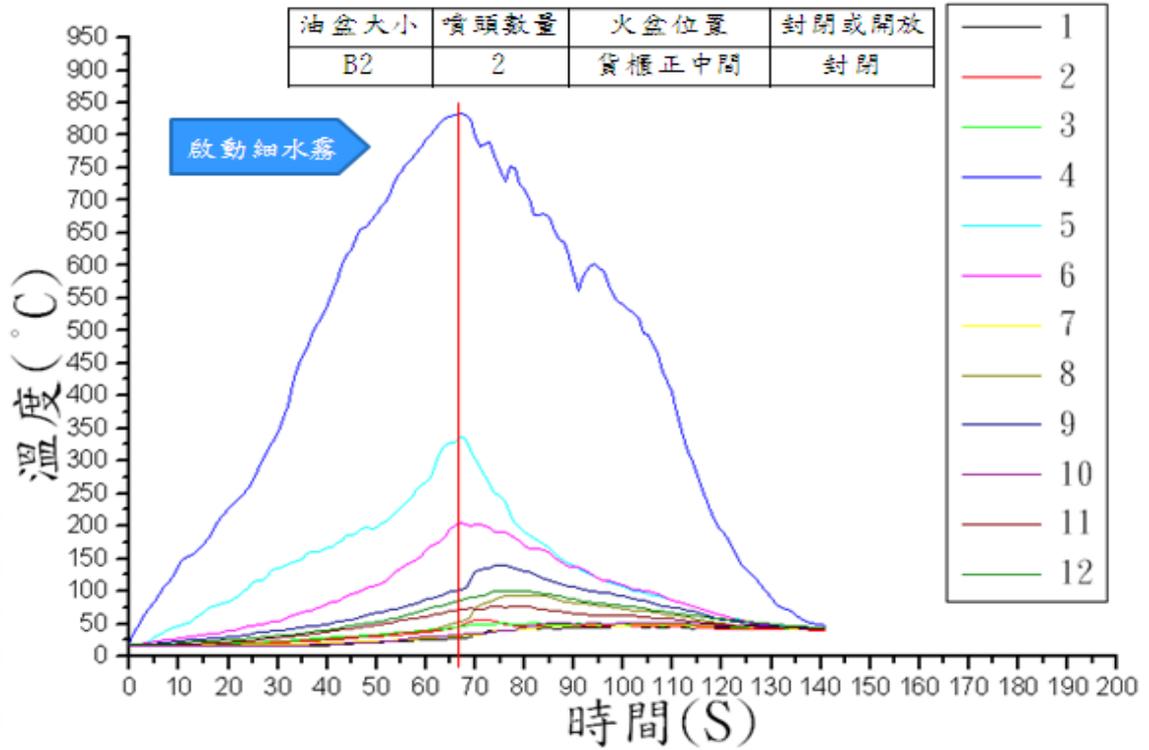


圖 37 情境七 2 顆噴頭火源貨櫃正中間封閉數據圖(1)

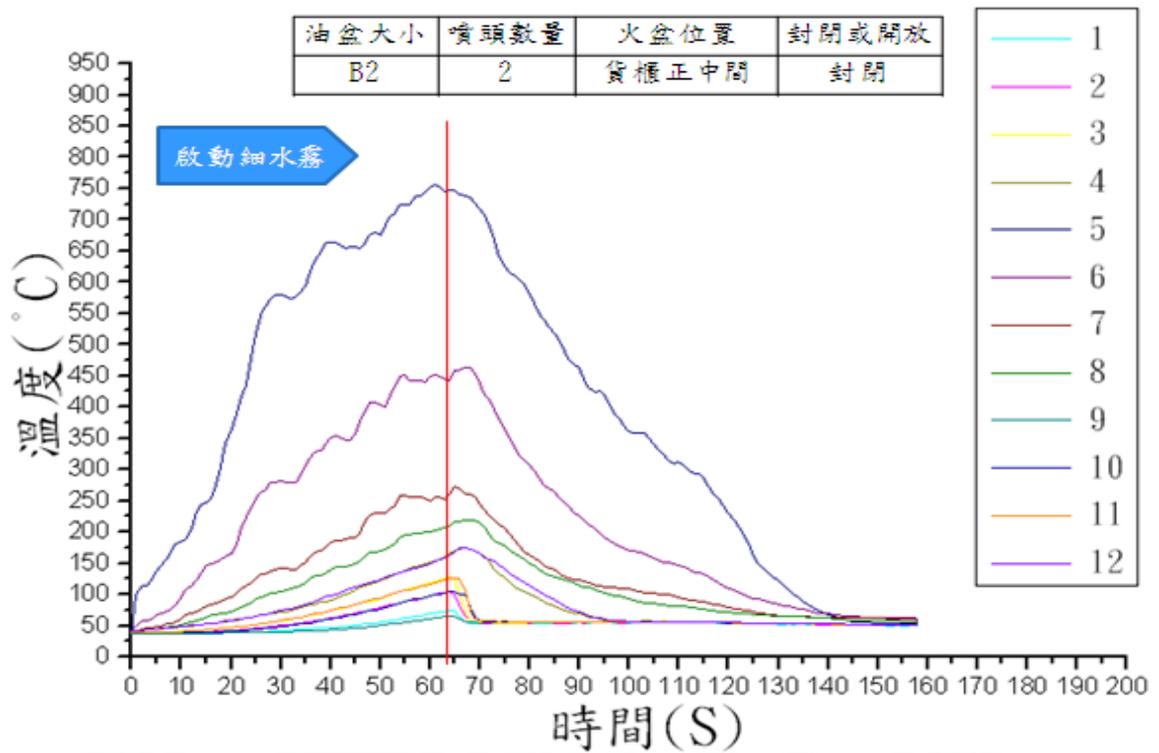


圖 38 情境七 2 顆噴頭火源貨櫃正中間封閉數據圖(2)

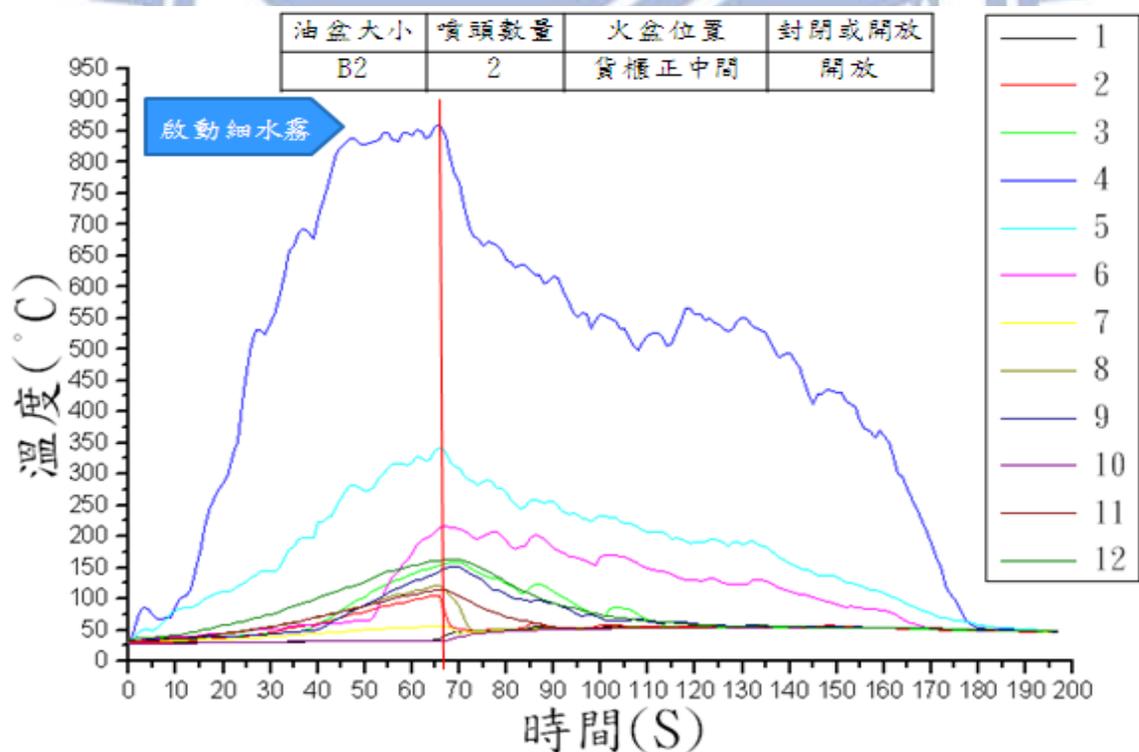


圖 39 情境八 2 顆噴頭火源貨櫃正中間開口數據圖(1)

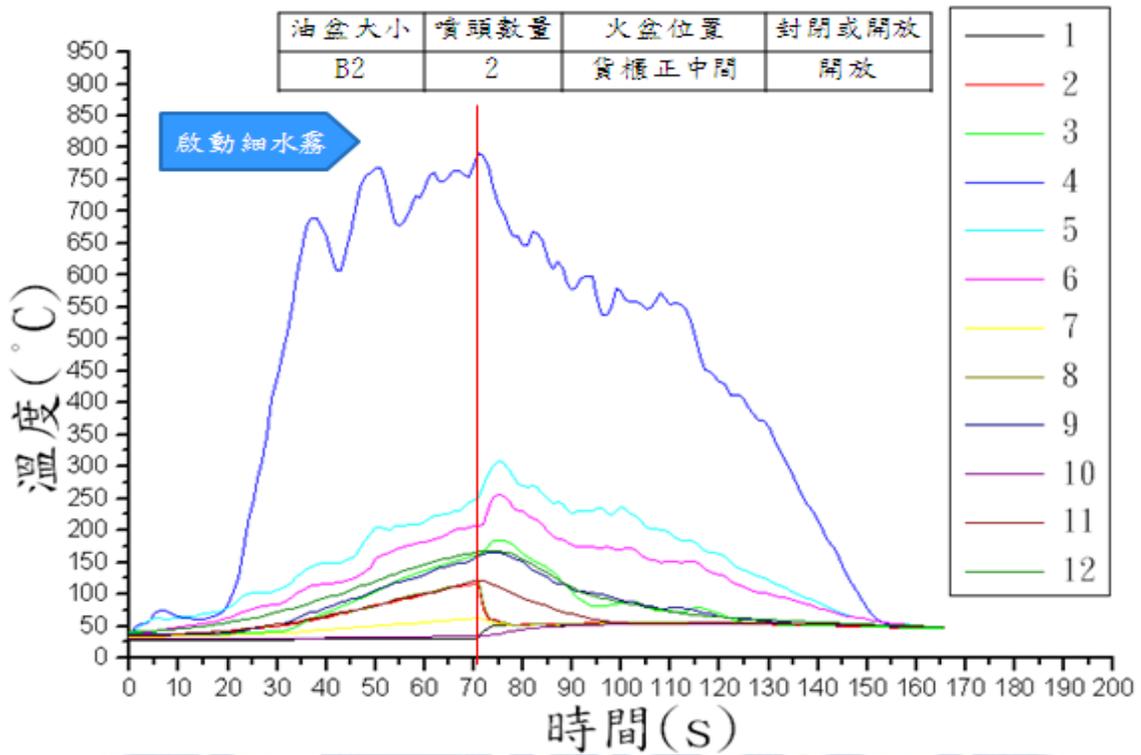


圖 40 情境八 2 顆噴頭火源貨櫃正中間開口數據圖(2)

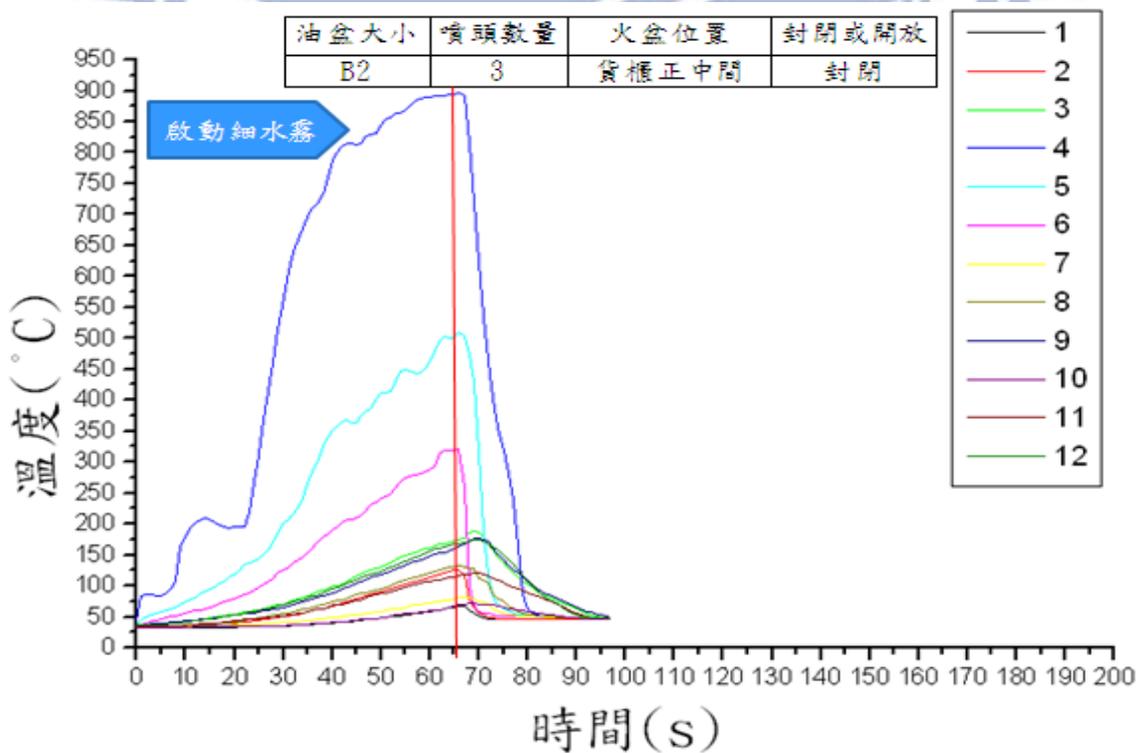


圖 41 情境九 3 顆噴頭火源貨櫃正中間封閉數據圖(1)

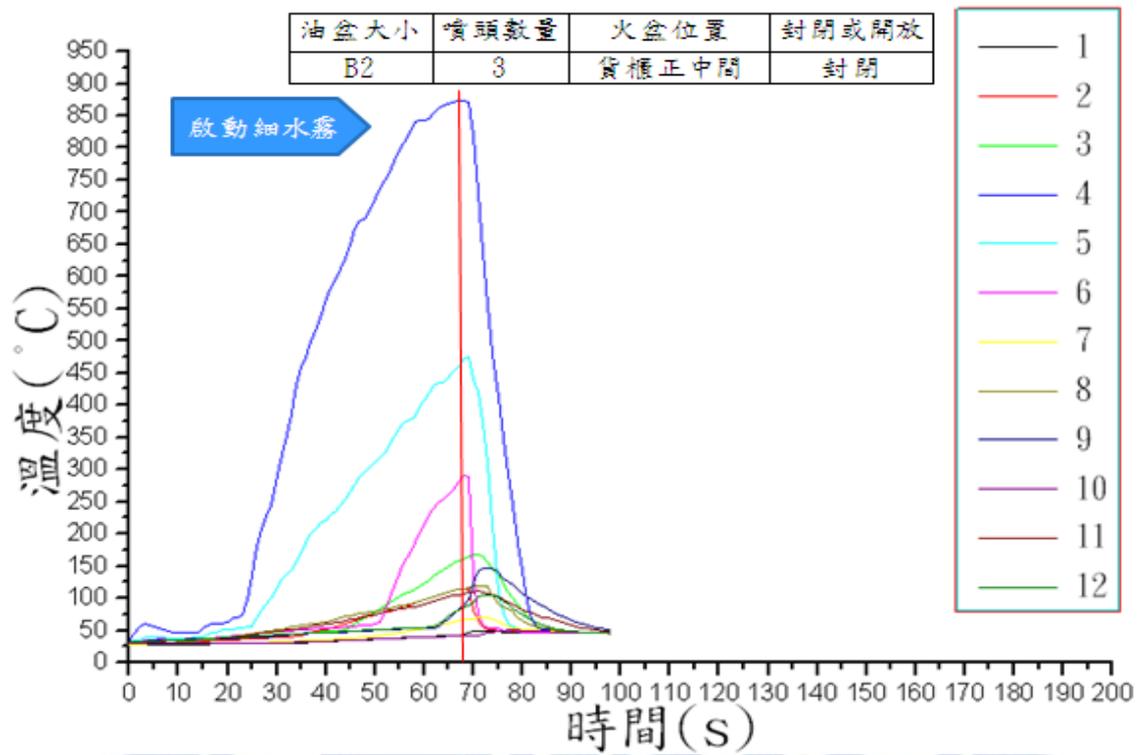


圖 42 情境九 3 顆噴頭火源貨櫃正中間封閉數據圖(2)

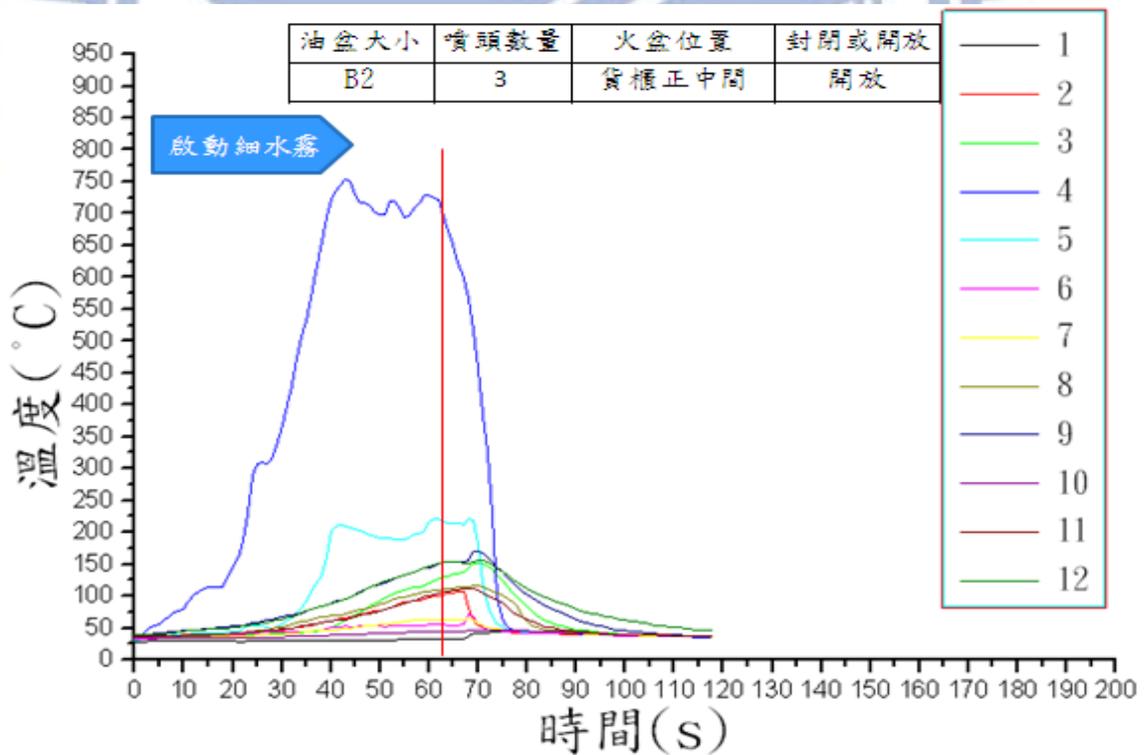


圖 43 情境十 3 顆噴頭火源貨櫃正中間開口數據圖(1)

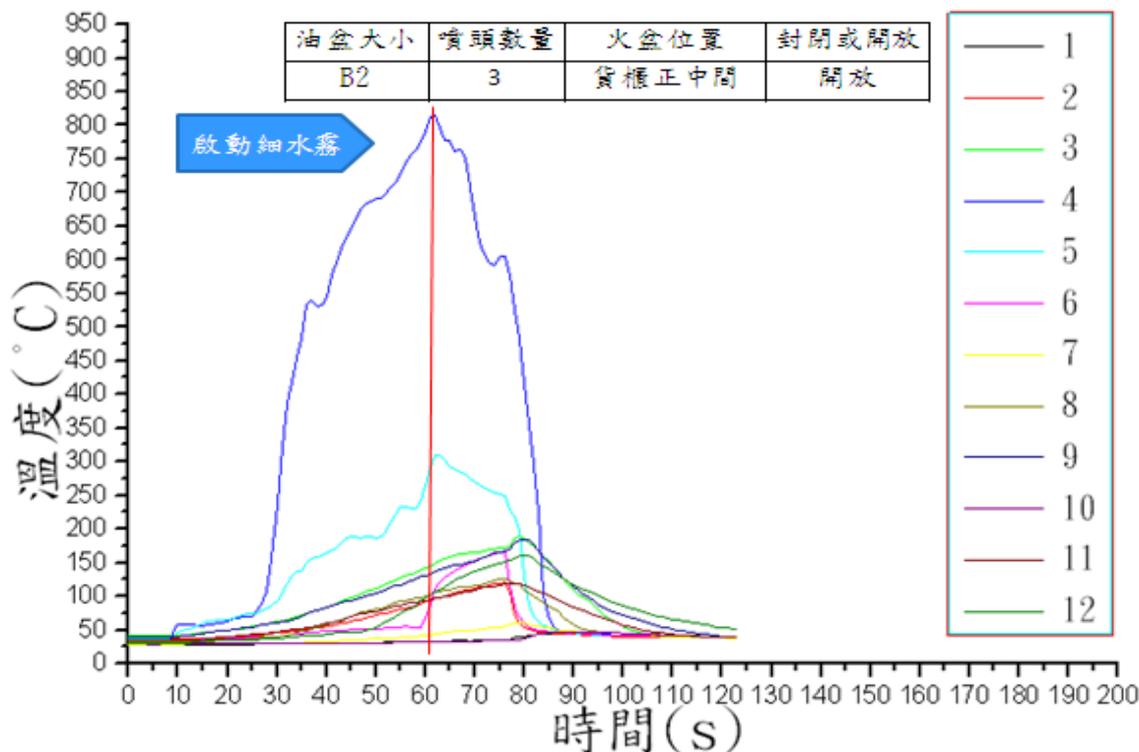


圖 44 情境十 3 顆噴頭火源貨櫃正中間開口數據圖(2)

3.5.2.2 小結-火源置中無遮蔽燃燒測試

本節一系列實驗 (如圖 37~圖 44) 以柴油進行測試，溫度最高值可以達到 700°C 以上，而火源放置貨櫃正中間，是在 2 顆噴頭和 3 顆噴頭的防護半徑內，進行細水霧滅火測試實驗，2 顆噴頭滅火時間都在 2 分鐘左右，且滅火後火場溫度降至大約 45°C 左右，3 顆噴頭滅火時間都在 1 分鐘左右，且滅火後火場溫度降至大約 42°C 左右，噴頭數越多越能覆蓋火源面積滅火時間越短，而開口或無開口會干擾細水霧滅火的效率，開口會使細水霧的水氣被氣流往外帶出，並引入氧氣增加滅火時間。

3.5.3 火源偏移無遮蔽燃燒測試

細水霧系統防護測試固定參數為使用 B2 油盆進行測試，火源擺放貨櫃角落、火源無遮蔽、無添加劑、操作壓力 100bar、單顆噴頭流量為 13.5 LPM。細水霧系統防護測試操作參數為有無開口並運用二顆及三顆噴頭境行測試，以情境(表 14)評估滅火效能。

情境模式	噴頭數量	油盆大小
情境十一	無防護開口空燒	CNS 型號 B-2
情境十二	2 顆細水霧噴頭 無開口	CNS 型號 B-2
情境十三	2 顆細水霧噴頭 開口	CNS 型號 B-2
情境十四	3 顆細水霧噴頭 無開口	CNS 型號 B-2
情境十五	3 顆細水霧噴頭 開口	CNS 型號 B-2

表 14 火源偏移無遮蔽燃燒情境表

3.5.3.1 火源偏移無遮蔽測試數據

火源偏移無遮蔽燃燒測試結果如(表 15)，圖 45 是模擬情境十一溫度歷程圖，使用 B2 油盆為無防護空燒火源放置貨櫃角落，有開口，實驗其溫度量測紀錄最高溫度 909°C，燃燒總時間共 7 分 41 秒，而火場最終溫度 106°C，

圖 46 及圖 47 是模擬情境十二溫度歷程圖，使用 B2 油盆放置貨櫃角落，以 2 顆細水霧噴頭進行防護，無開口，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 881°C 和 746°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 3 分 12 秒和 3 分 14 秒，且滅火後火場溫度降至大約 40°C 左右。

圖 48 及圖 49 是模擬情境十三溫度歷程圖，使用 B2 油盆放置貨櫃角落，以 2 顆細水霧噴頭進行防護，開口，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 875°C 和 871°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 5 分 09 秒和 4 分 15 秒，且滅

火後火場溫度降至大約 38°C 左右。

圖 50 及圖 51 是模擬情境十四溫度歷程圖，使用 B2 油盆放置貨櫃角落，以 3 顆細水霧噴頭進行防護，無開口，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 832°C 和 844°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 2 分 43 秒和 2 分 51 秒，且滅火後火場溫度降至大約 46°C 左右。

圖 52 及圖 53 是模擬情境十五溫度歷程圖，使用 B2 油盆放置貨櫃角落，以 3 顆細水霧噴頭進行防護，開口，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄分，最高溫度 812°C 和 731°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 4 分 21 秒和 4 分 17 秒，且滅火後火場溫度降至大約 35°C 左右。

情境模式		最高溫度	滅火後溫度	滅火總時間
情境十一		909°C	106°C	7 分 41 秒
情境十二	(1)	881°C	39°C	3 分 12 秒*
	(2)	746°C	42°C	3 分 14 秒*
情境十三	(1)	875°C	35°C	5 分 09 秒*
	(2)	871°C	38°C	4 分 15 秒*
情境十四	(1)	832°C	46°C	2 分 43 秒*
	(2)	844°C	47°C	2 分 51 秒*
情境十五	(1)	812°C	36°C	4 分 21 秒*
	(2)	731°C	32°C	4 分 17 秒*

註*:油盆內尚有油料點火可復燃

表 15 火源偏移無遮蔽燃燒數據表

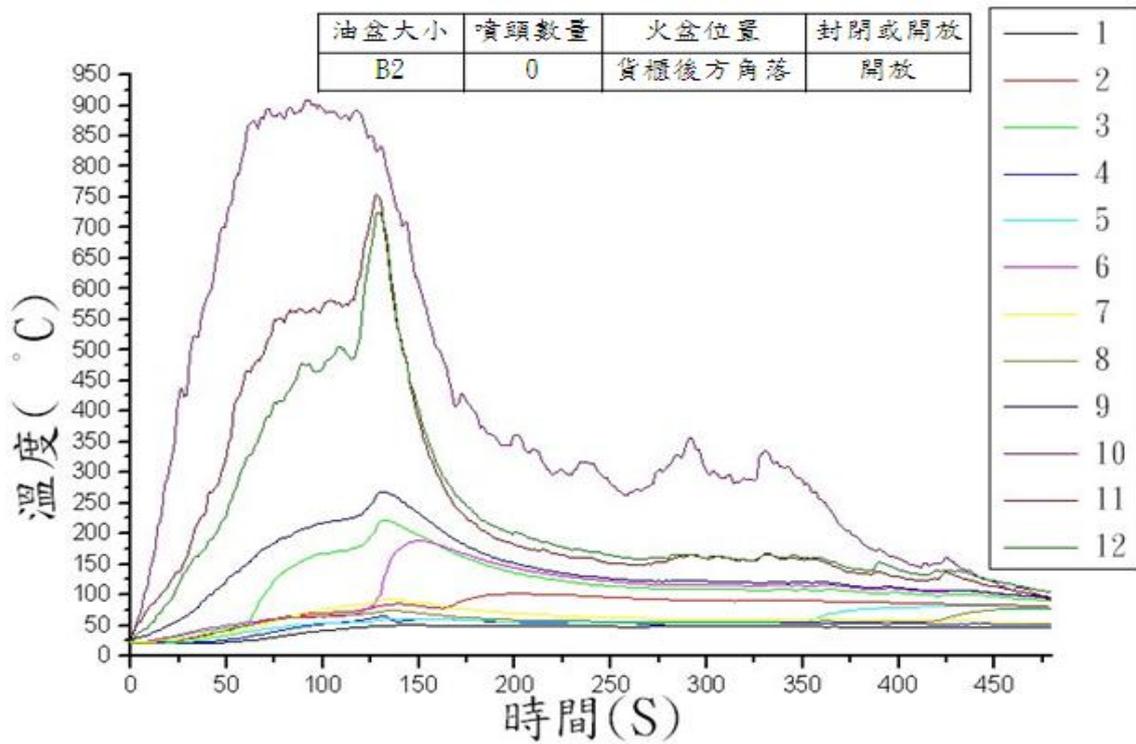


圖 45 情境十一 B2 油盆無防護火源貨櫃角落開口數據圖

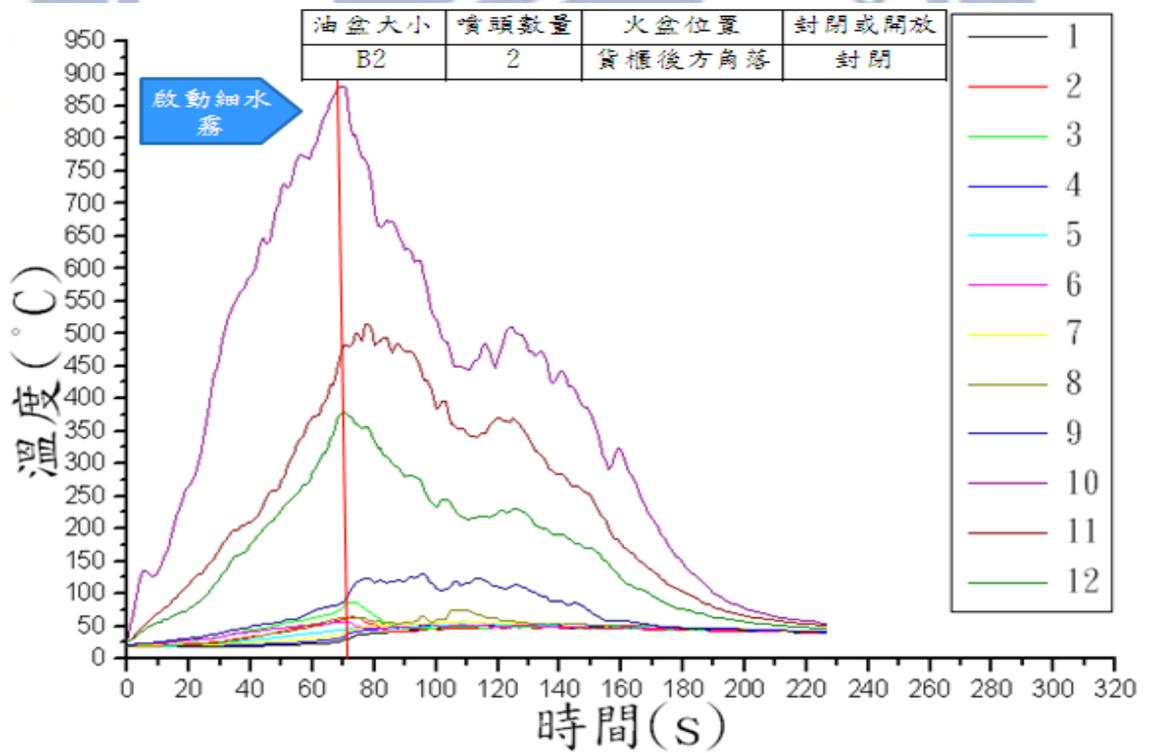


圖 46 情境十二 2 顆噴頭火源貨櫃角落封閉數據圖(1)

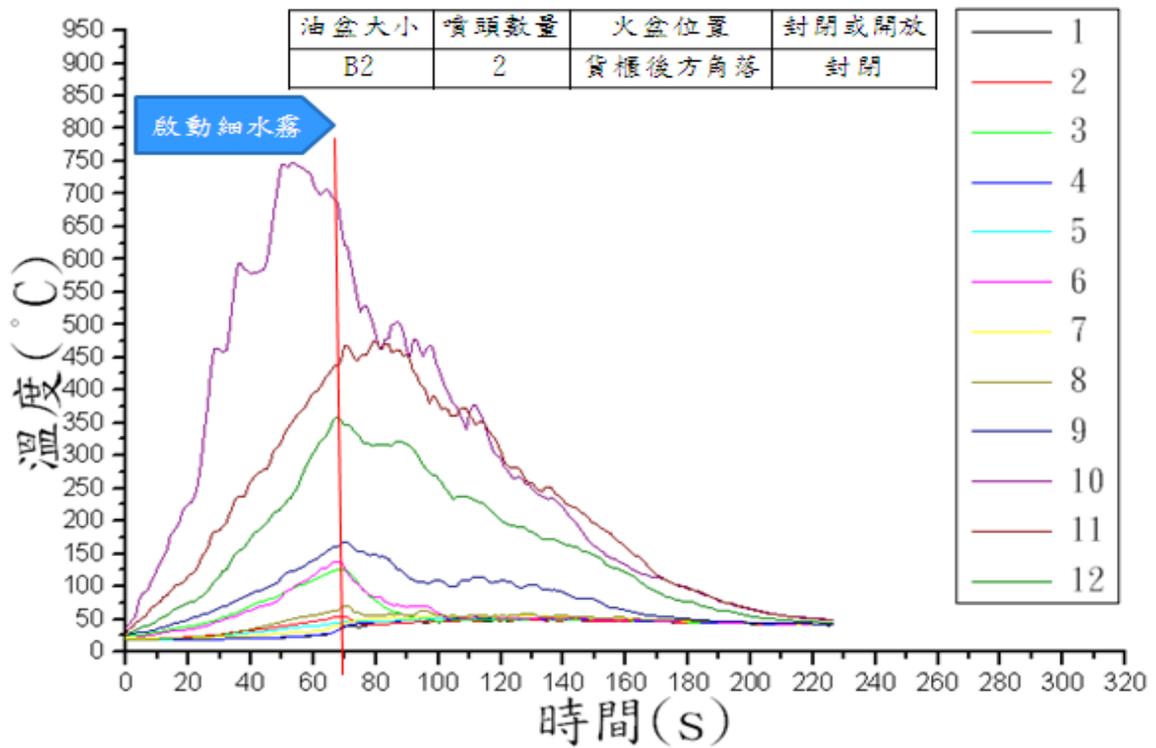


圖 47 情境十二 2 顆噴頭火源貨櫃角落封閉數據圖(2)

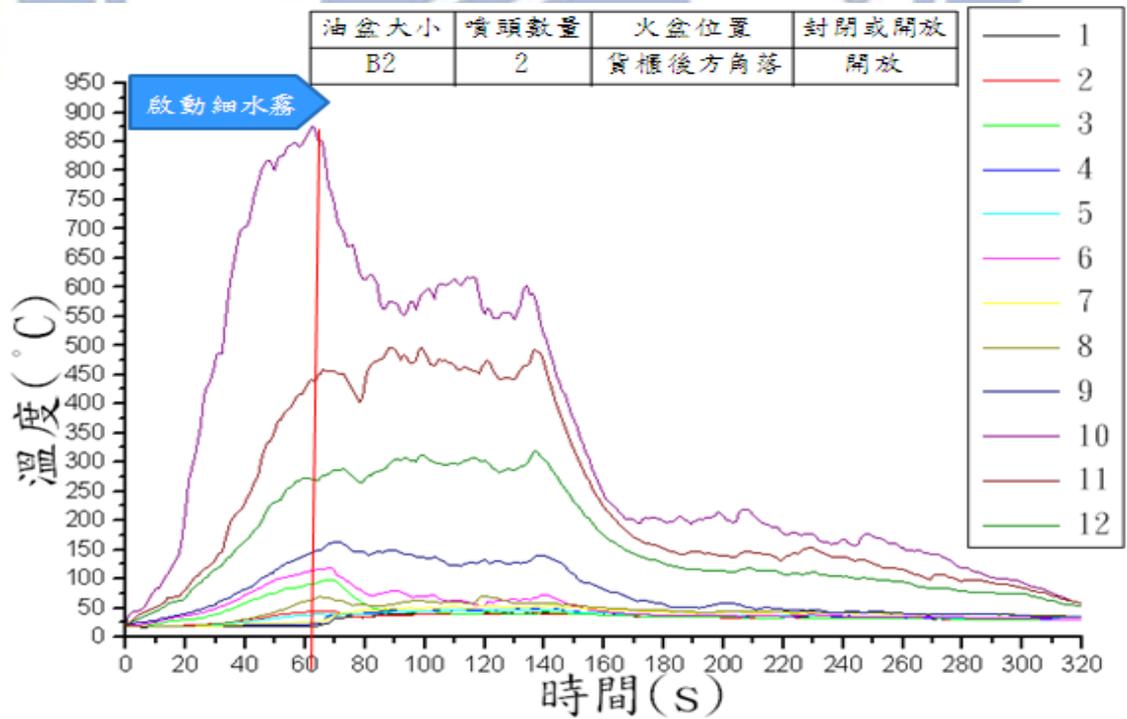


圖 48 情境十三 2 顆噴頭火源貨櫃角落開口數據圖(1)

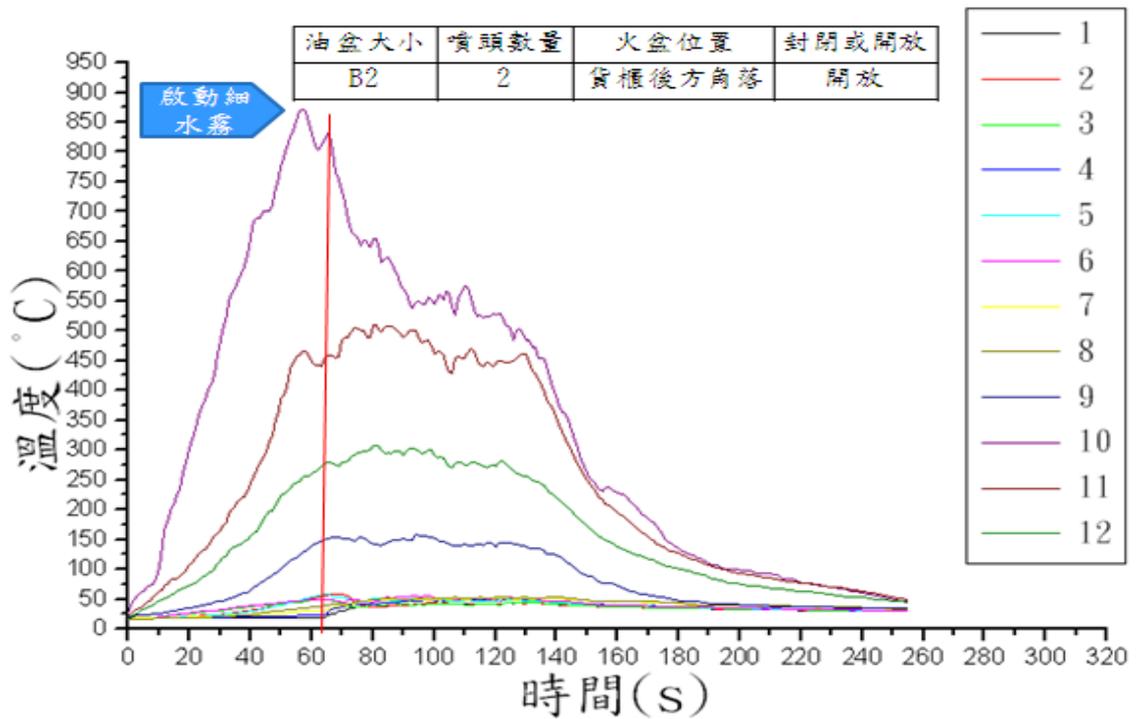


圖 49 情境十三 2 顆噴頭火源貨櫃角落開口數據圖(2)

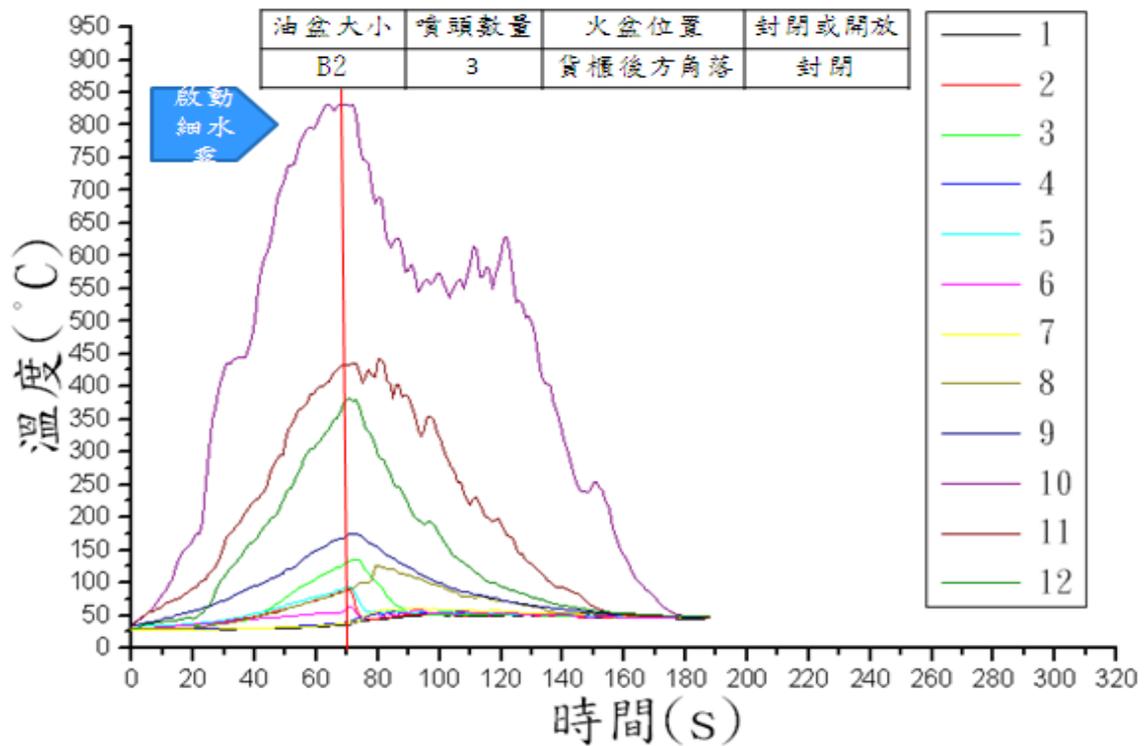


圖 50 情境十四 3 顆噴頭火源貨櫃角落封閉數據圖(1)

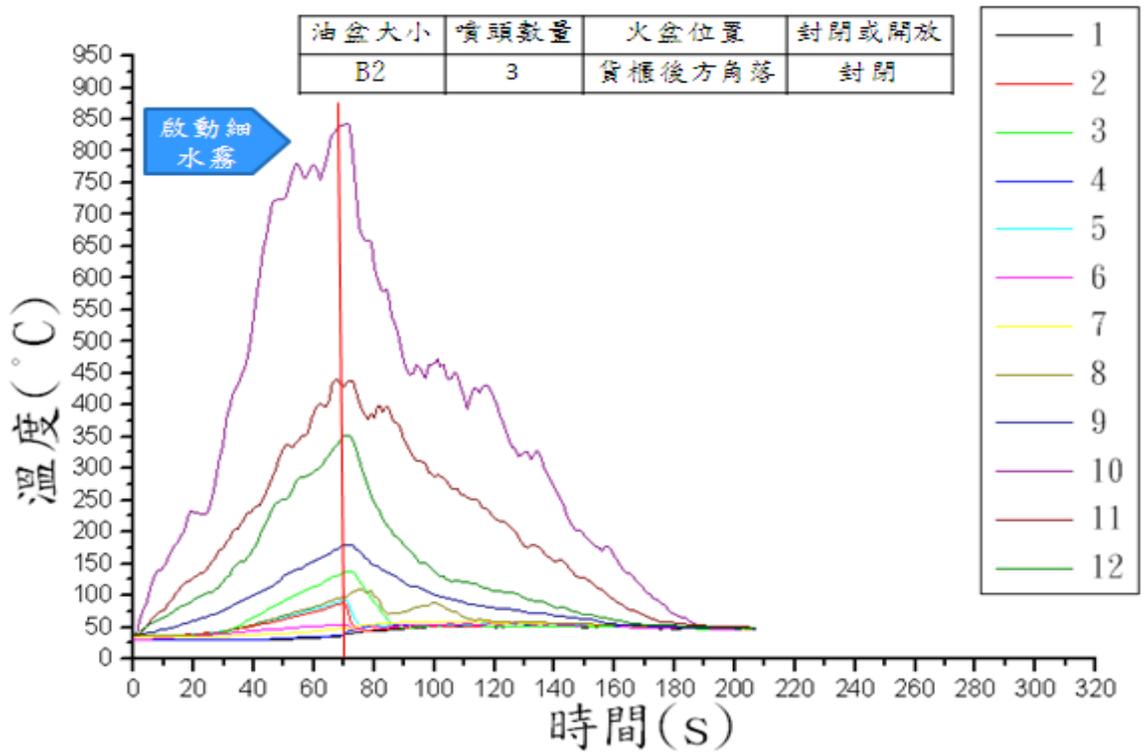


圖 51 情境十四 3顆噴頭火源貨櫃角落封閉數據圖(2)

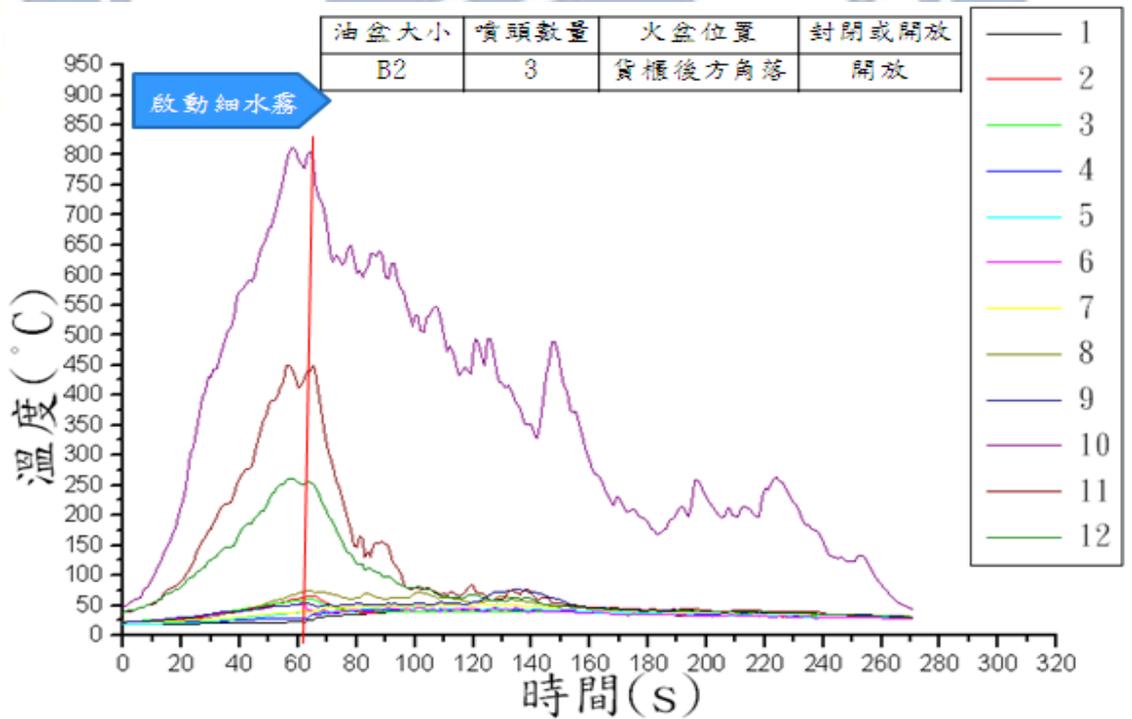


圖 52 情境十五 3顆噴頭火源貨櫃角落開口數據圖(1)

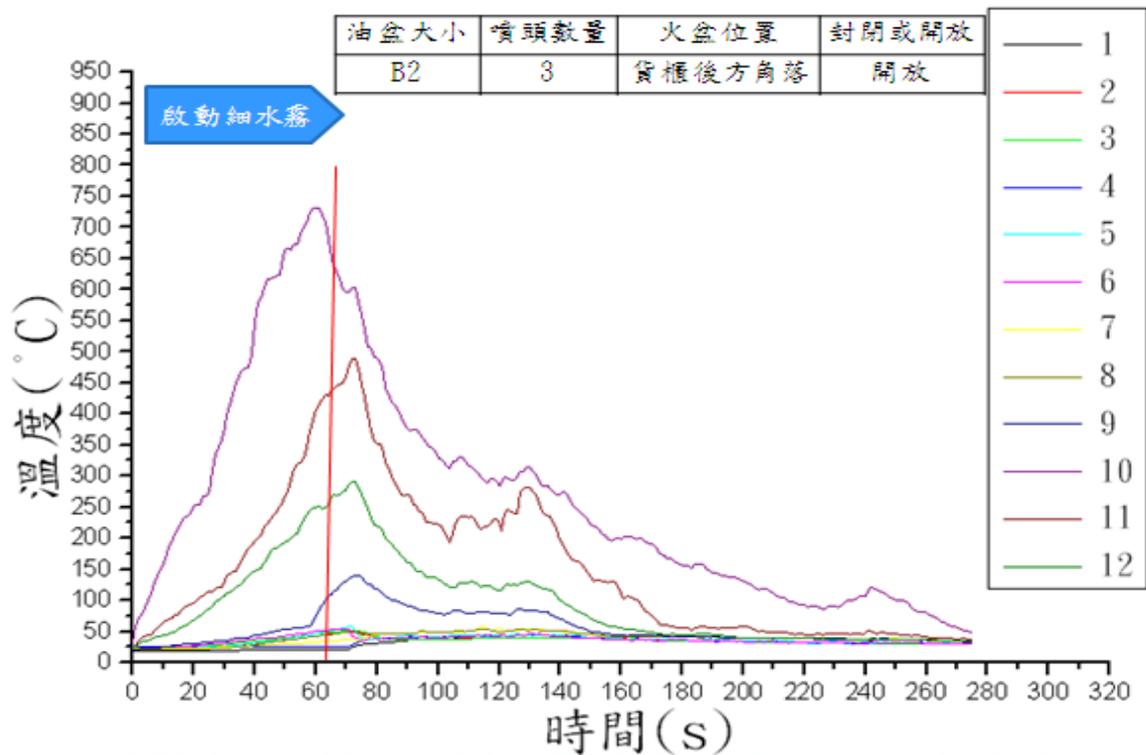


圖 53 情境十五 3 顆噴頭火源貨櫃角落開口數據圖(2)

3.5.3.2 小結-火源偏移無遮蔽燃燒測試

本實驗數據(如圖 45~圖 53)以柴油進行測試，而火源放置貨櫃角落，測試空燒無防護及進行 2 顆和 3 顆細水霧噴頭滅火測試的實驗，溫度最高值可以達到 800°C 以上，情境十一是無細水霧防護，因角落的熱回饋較大，點火時溫度上升很快，約在 2 分鐘後溫度降低，火源不會很大而是慢慢燃燒，情境十二至情境十五是以細水霧系統滅火測試，因油盆放置貨櫃角落，沒有在細水霧噴頭的防護半徑內，能滅火是以細水霧系統帶動氣流的特性，使細水霧的水氣進入火源而滅火，以 2 顆和 3 顆細水霧噴頭比較，3 顆噴頭滅火時間會比較短，而開口的時間會比封閉的時間長，因開口會把水氣往外帶出，並引入氧氣造成不易滅火，滅火時間會拉長，但細水霧系統在開口的測試仍有一定的滅火效能。

3.5.4 火源置中遮蔽燃燒測試

細水霧系統防護測試固定參數為使用 B2 油盆進行測試，火源擺放貨櫃正中間、火源遮蔽、無添加劑、操作壓力 100bar、單顆噴頭流量為 13.5 LPM，細水霧系統防護實驗操作參數為有無開口並運用二顆及三顆噴頭境行測試，以情境表(16)評估滅火效能。

情境模式	噴頭數量	油盆大小
情境十六	2 顆細水霧噴頭 無開口	CNS 型號 B-2
情境十七	2 顆細水霧噴頭 開口	CNS 型號 B-2
情境十八	3 顆細水霧噴頭 無開口	CNS 型號 B-2

表 16 火源置中遮蔽燃燒情境表

3.5.4.1 火源置中遮蔽燃燒測試數據

(表 17)為情境十六至情境十九為火源置中遮蔽燃燒測試數據表，情境十六和情境十七是以 2 顆細水霧噴頭作為防護，而情境十八和情境十九是以 3 顆細水霧噴頭作為防護。

圖 54 及圖 55 是模擬情境十六溫度歷程圖，使用 B2 油盆放置中間遮蔽物下方，以 2 顆細水霧噴頭進行防護，無開口，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 836°C 和 833°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 2 分 05 秒和 1 分 51 秒，且滅火後火場溫度降至大約 42°C 左右。

圖 56 及圖 57 是模擬情境十七溫度歷程圖，使用 B2 油盆放置中間遮蔽物下方，以 2 顆細水霧噴頭進行防護，開口，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 797°C 和 777°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 2 分 37 秒和 2 分 45 秒，且滅火後火場溫度降至大約 40°C 左右。

圖 58 及圖 59 是模擬情境十八溫度歷程圖，使用 B2 油盆放置中間遮蔽物下方，以 3 顆細水霧噴頭進行防護，無開口，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 831°C 和 837°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 1 分 13 秒和 1 分 08 秒，且滅火後火場溫度降至大約 36°C 左右。

圖 60 及圖 61 是模擬情境十九溫度歷程圖，使用 B2 油盆放置中間遮蔽物下方，以 3 顆細水霧噴頭進行防護，開口，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 830°C 和 813°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 2 分 22 秒和 2 分 12 秒，且滅火後火場溫度降至大約 33°C 左右。

情境模式		最高溫度	滅火後溫度	滅火總時間
情境十六	(1)	836°C	41°C	2 分 05 秒*
	(2)	833°C	42°C	1 分 51 秒*
情境十七	(1)	797°C	40°C	2 分 37 秒*
	(2)	777°C	32°C	2 分 45 秒*
情境十八	(1)	831°C	36°C	1 分 13 秒*
	(2)	837°C	35°C	1 分 08 秒*
情境十九	(1)	830°C	36°C	2 分 22 秒*
	(2)	813°C	33°C	2 分 12 秒*

註*: 油盆內尚有油料點火可復燃

表17 火源置中遮蔽燃燒測試數據表

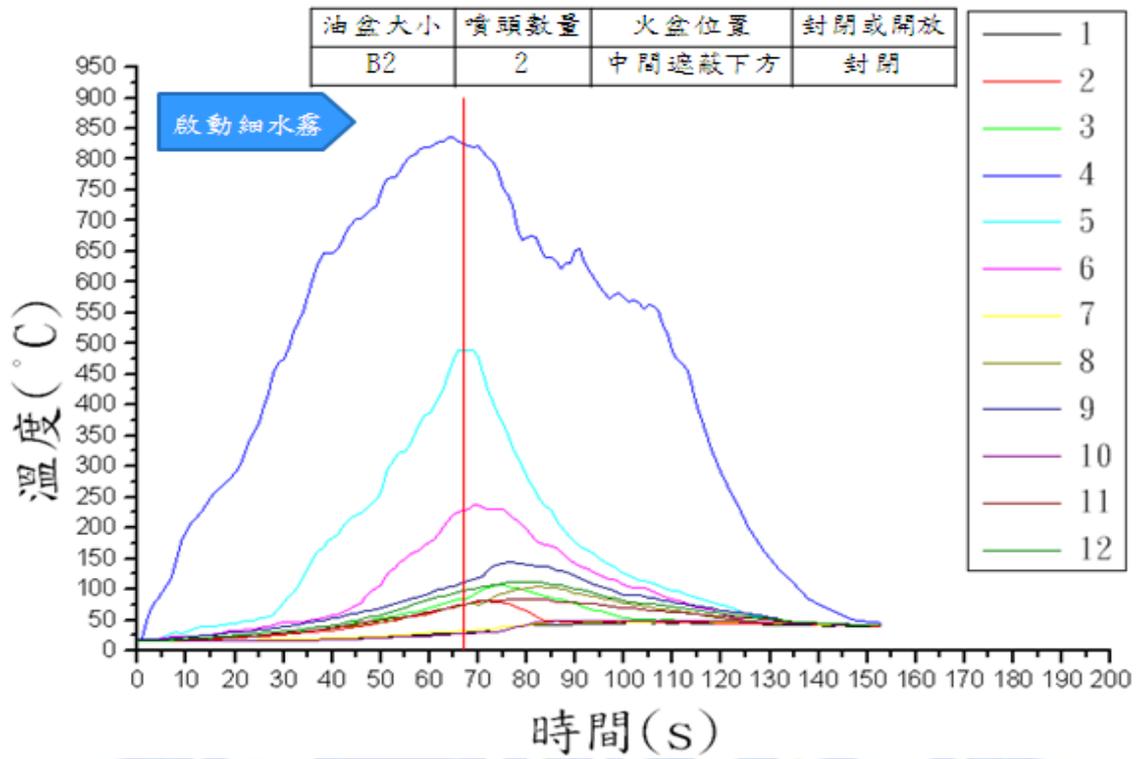


圖 54 情境十六 2 顆噴頭火源中間遮蔽下方封閉數據圖(1)

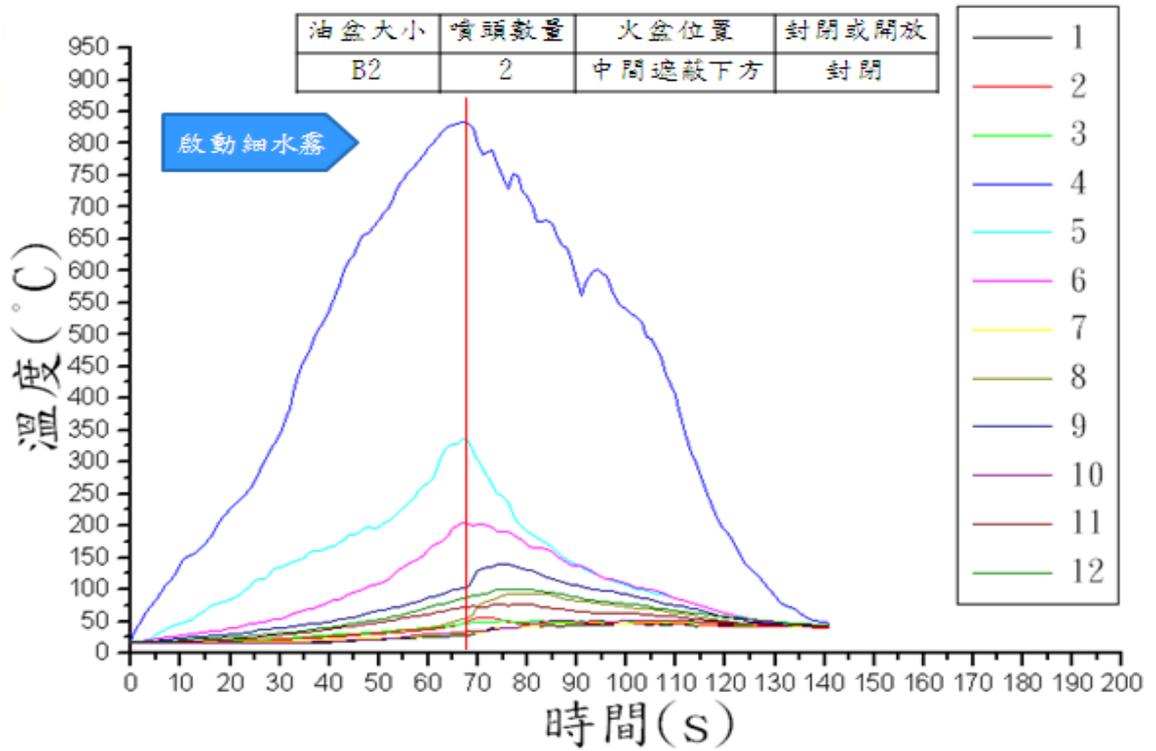


圖 55 情境十六 2 顆噴頭火源中間遮蔽下方封閉數據圖(2)

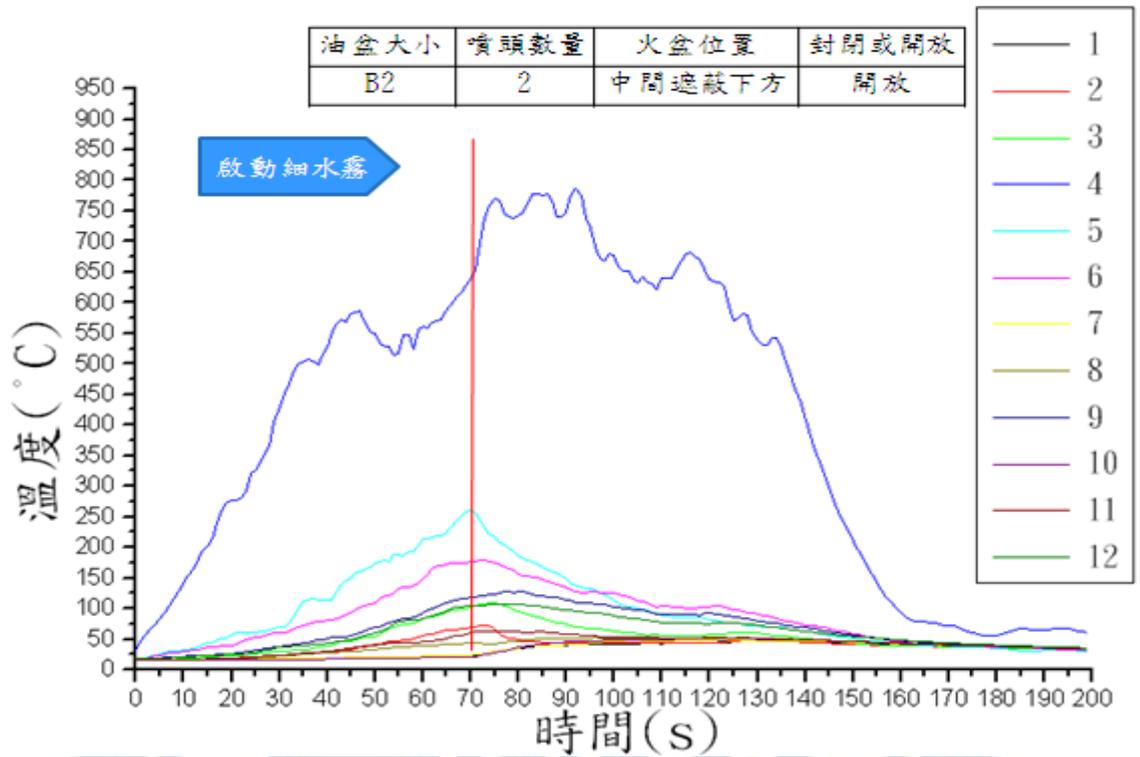


圖 56 情境十七 2 顆噴頭火源中間遮蔽下方開口數據圖(1)

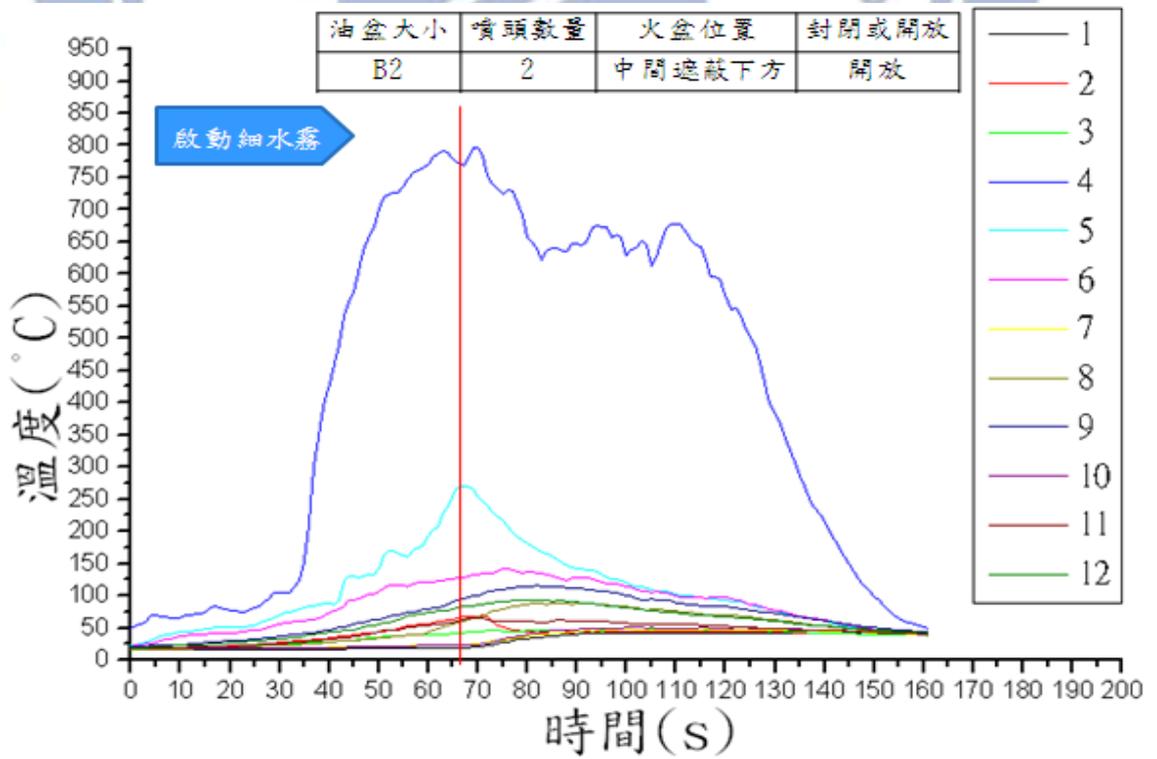


圖 57 情境十七 2 顆噴頭火源中間遮蔽下方開口數據圖(2)

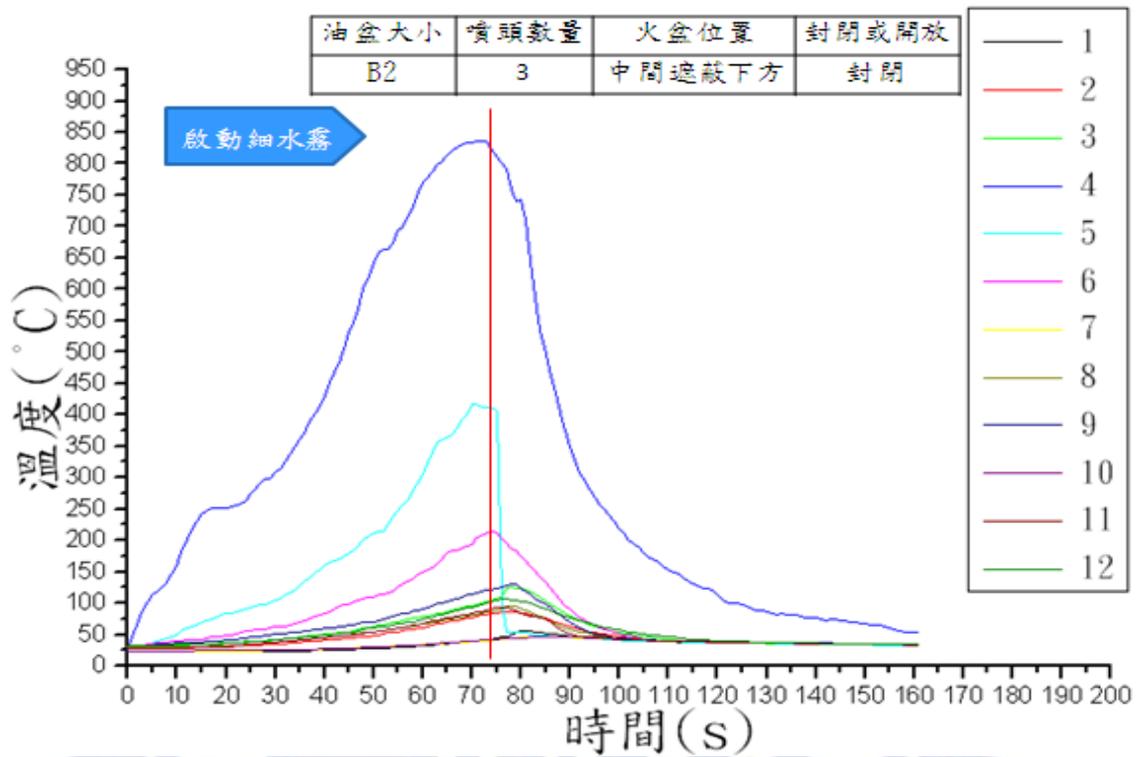


圖 58 情境十八 3 顆噴頭火源中間遮蔽下方封閉數據圖(1)

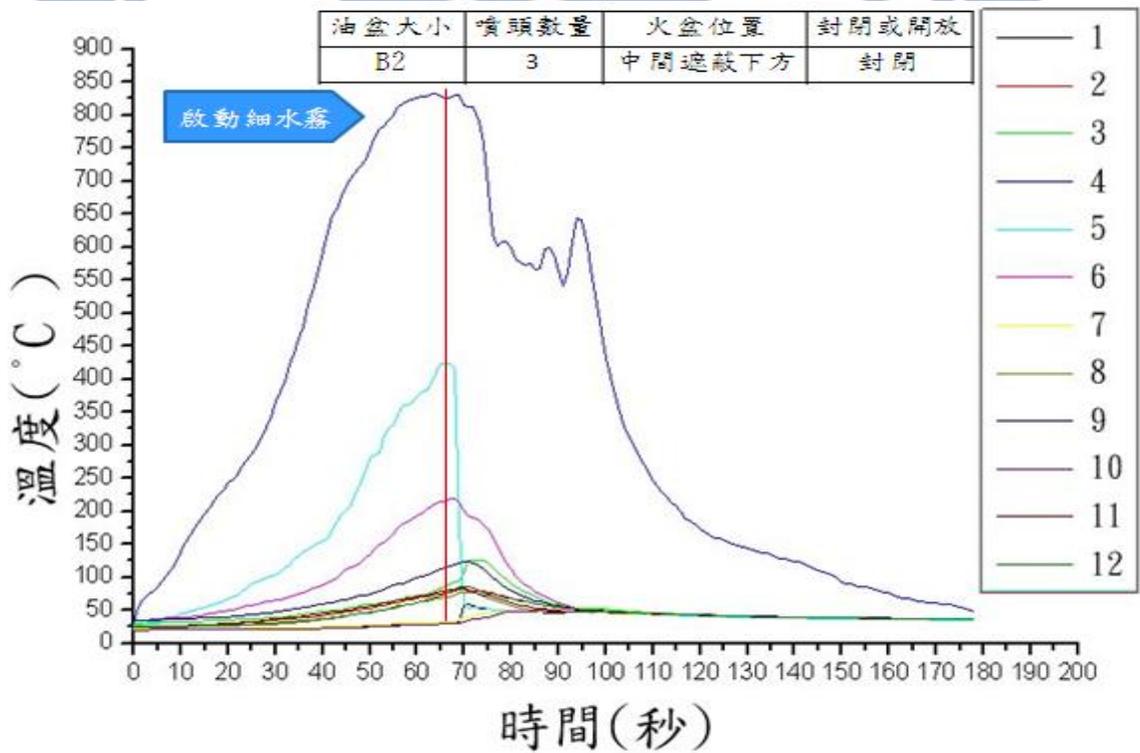


圖 59 情境十八 3 顆噴頭火源中間遮蔽下方封閉數據圖(2)

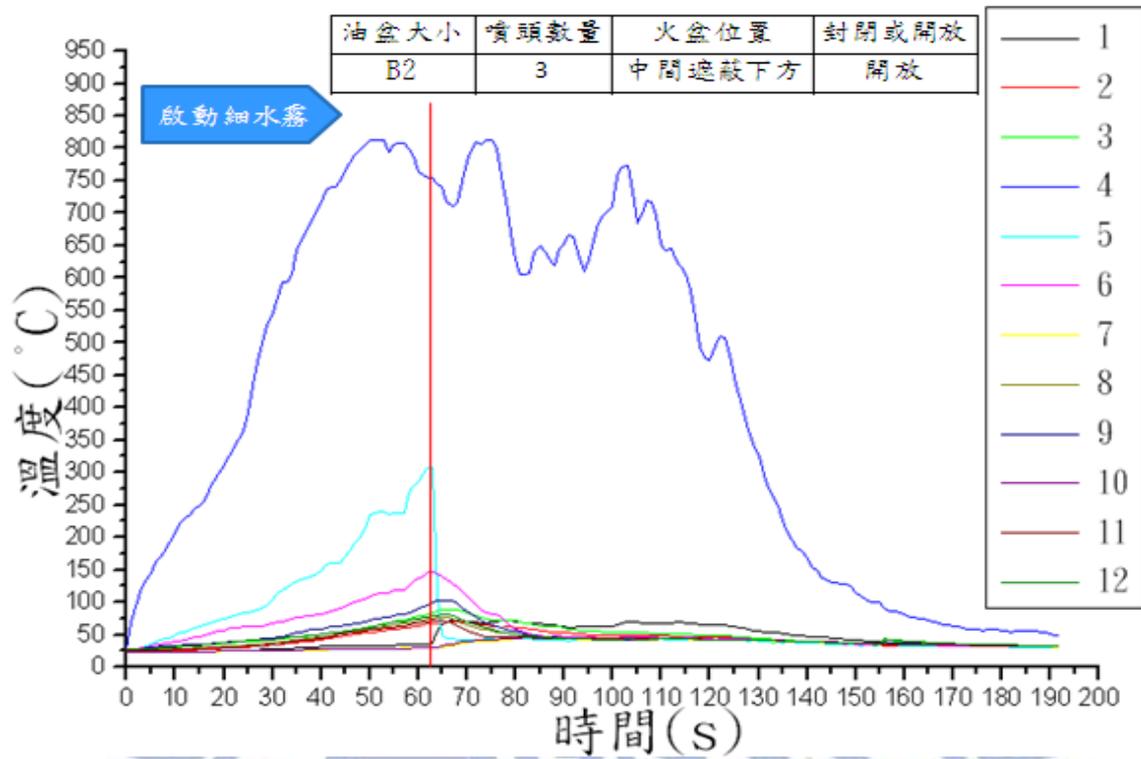


圖 60 情境十九 3 顆噴頭火源中間遮蔽下方開口數據圖(1)

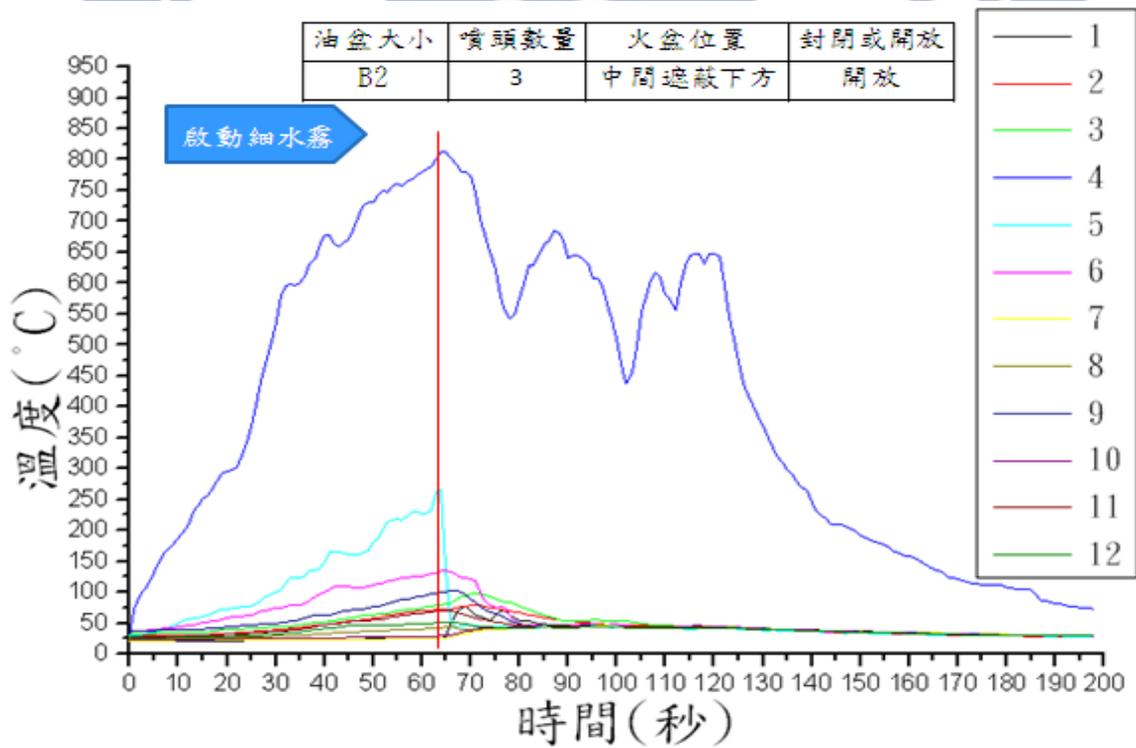


圖 61 情境十九 3 顆噴頭火源中間遮蔽下方開口數據圖(2)

3.5.4.2 小結-火源置中遮蔽燃燒測試

本一系列驗數據(如圖 54~圖 61)以柴油進行測試，而火源置中遮蔽燃燒測試，以 3 顆細水霧噴頭及 2 顆細水霧噴頭比較滅火時間，3 顆細水霧噴頭測試中有 1 顆噴頭在火源遮蔽物上方，但無法直接進入火源，但 3 顆噴頭比 2 顆噴頭在空氣中對流加快水量較大，使得 3 顆噴頭滅火時間較短。模擬開口及無開口比較滅火時間，以細水霧防護會帶動空氣流動而滅火，開口測試會使空氣對流往外，也會把水氣往外帶出引入氧氣，加上遮蔽物阻擋水粒子直接到達火源，使滅火時間拉長。

3.5.5 火源偏移遮蔽燃燒測試

細水霧系統防護測試固定參數為使用 B2 油盆進行測試，火源擺放貨櫃後方遮蔽物下、無添加劑、操作壓力 100bar、單顆噴頭流量為 13.5 LPM。細水霧系統防護測試操作參數為有無開口並運用二顆及三顆噴頭境行測試，以情境表(18)評估滅火效能。

情境模式	噴頭數量	油盆大小
情境二十	2 顆細水霧噴頭 無開口	CNS 型號 B-2
情境二十一	2 顆細水霧噴頭 開口	CNS 型號 B-2
情境二十二	3 顆細水霧噴頭 無開口	CNS 型號 B-2
情境二十三	3 顆細水霧噴頭 開口	CNS 型號 B-2

表 18 火源偏移遮蔽燃燒情境表

3.5.5.1 火源偏移遮蔽燃燒測試數據

(表 19)為情境二十至情境二十三為火源偏移遮蔽燃燒測試數據表，以

B2 油盆為測試，火源位置為後方遮蔽物下方，以細水霧防護實驗，情境二十和情境二十一是以 2 顆細水霧噴頭作為防護，而情境二十二和情境二十三是以 3 顆細水霧噴頭作為防護。

圖 62 及圖 63 是情境二十溫度歷程圖，使用 B2 油盆為測試火，火源位置為後方遮蔽物下方，以 2 顆細水霧噴頭進行防護，無開口，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 860°C 和 862°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 4 分 36 秒和 4 分 50 秒，且滅火後火場溫度降至大約 40°C 左右。

圖 64 及圖 65 是情境二十一溫度歷程圖，使用 B2 油盆為測試火，火源位置為後方遮蔽物下方，以 2 顆細水霧噴頭進行防護，開口，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 797°C 和 790°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 6 分 33 秒和 6 分 48 秒，且滅火後火場溫度降至大約 30°C 左右。

圖 66 及圖 67 是情境二十二溫度歷程圖，使用 B2 油盆為測試火，火源位置為後方遮蔽物下方，以 3 顆細水霧噴頭進行防護，無開口，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 843°C 和 844°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 4 分 44 秒和 4 分 24 秒，且滅火後火場溫度降至大約 36°C 左右。

圖 68 及圖 69 是情境二十三溫度歷程圖，使用 B2 油盆為測試火，火源位置為後方遮蔽物下方，以 3 顆細水霧噴頭進行防護，開口，引燃約 60(+10)秒以手動啟動細水霧防護，共進行兩次，其溫度量測紀錄，最高溫度 836°C 和 848°C，實施滅火時只有火源上方溫度較高，滅火時間 5 分 43 秒和 5 分 14 秒，且滅火後火場溫度降至大約 29°C 左右。

情境模式		最高溫度	滅火後溫度	滅火時間
情境二十	(1)	860°C	38°C	4 分 36 秒*
	(2)	862°C	40°C	4 分 50 秒*
情境二十一	(1)	797°C	30°C	6 分 33 秒
	(2)	790°C	26°C	6 分 48 秒
情境二十二	(1)	843°C	36°C	4 分 44 秒*

	(2)	844 °C	36 °C	4 分 24 秒*
情境二十三	(1)	836 °C	29 °C	5 分 43 秒
	(2)	848 °C	29 °C	5 分 14 秒

註*: 油盆內尚有油料點火可復燃

表 19 火源偏移遮蔽燃燒測試數據表

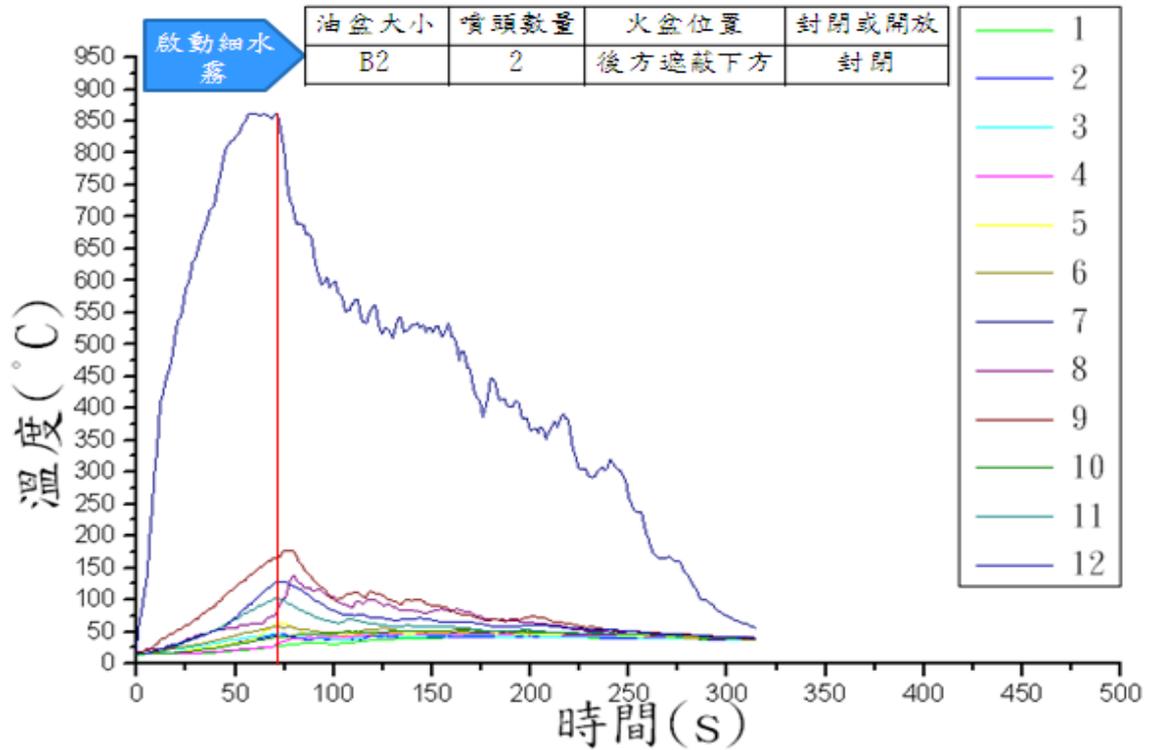


圖 62 情境二十 2 顆噴頭火源後方遮蔽封閉數據圖(1)

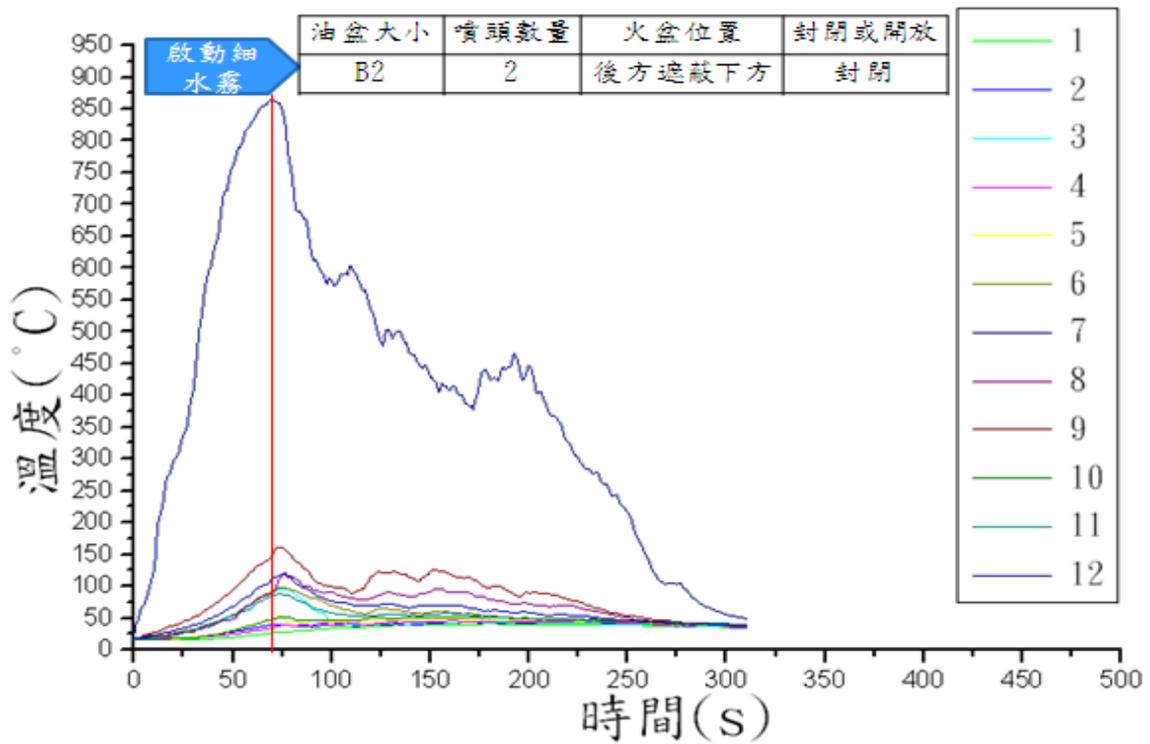


圖 63 情境二十 2 顆噴頭火源後方遮蔽封閉數據圖(2)

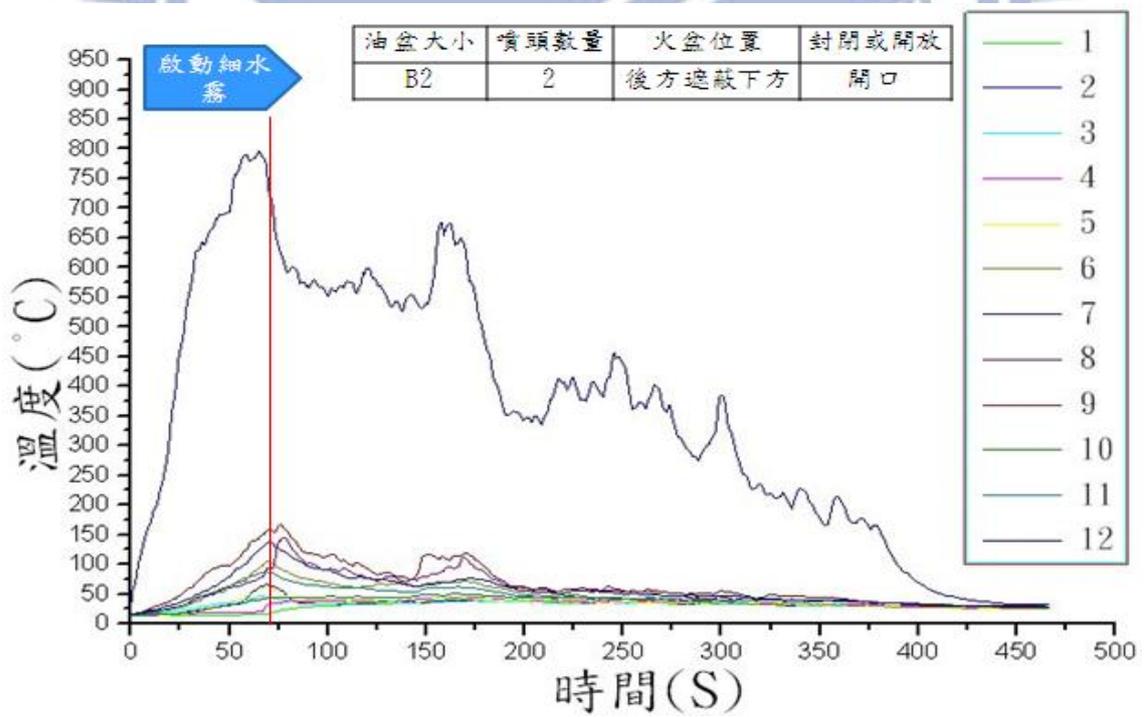


圖 64 情境二十一 2 顆噴頭火源後方遮蔽開口數據圖(1)

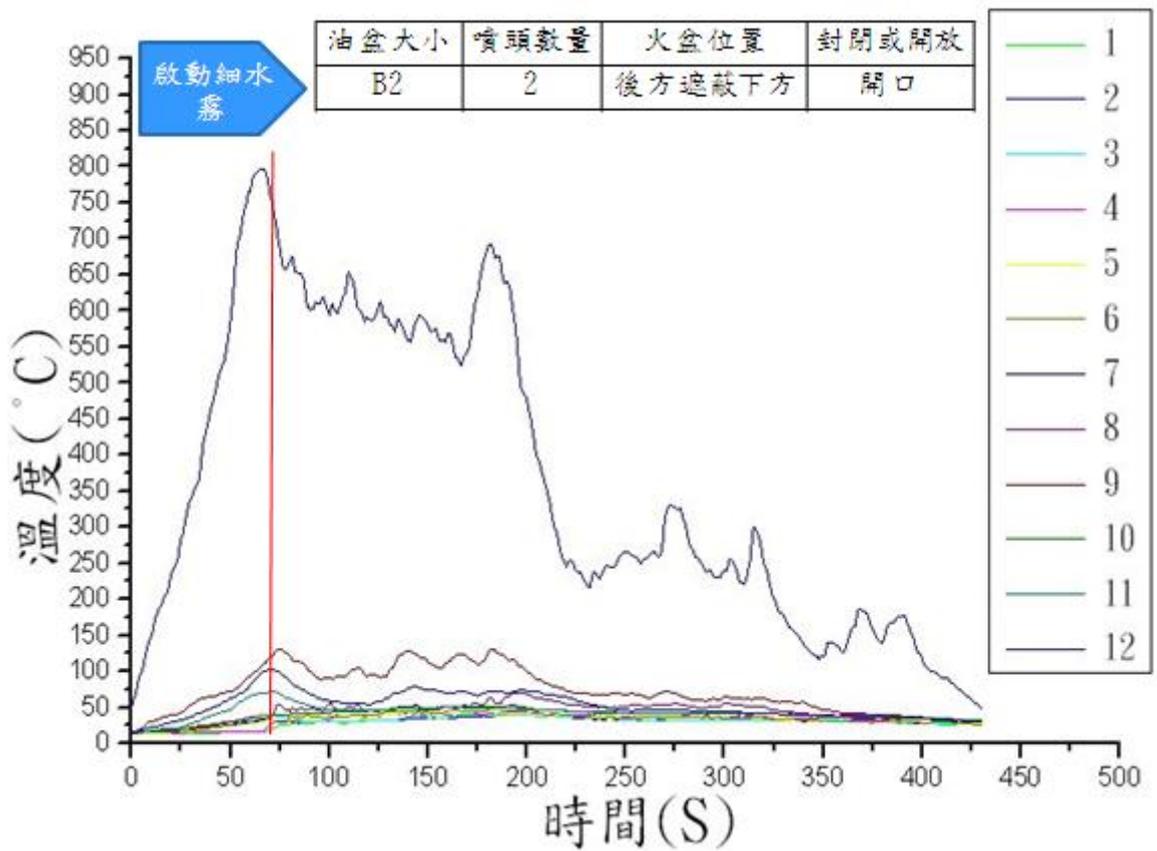


圖 65 情境二十一 2 顆噴頭火源後方遮蔽開口數據圖(2)

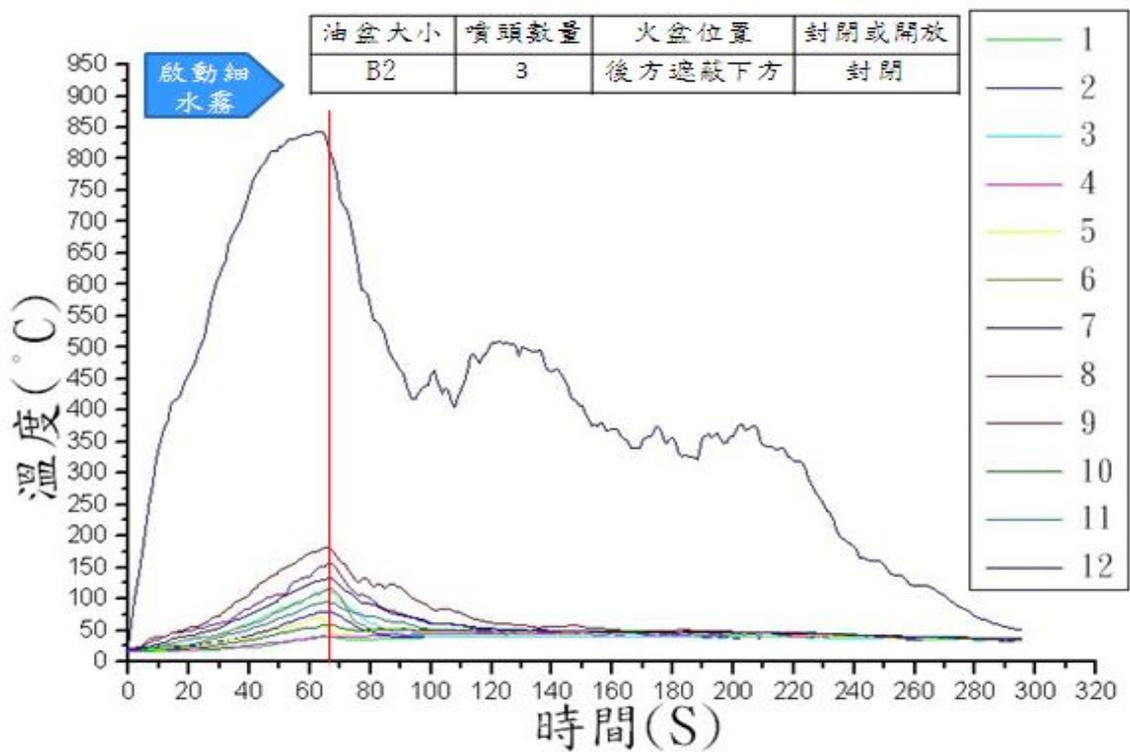


圖 66 情境二十二 3 顆噴頭火源後方遮蔽封閉數據圖(1)

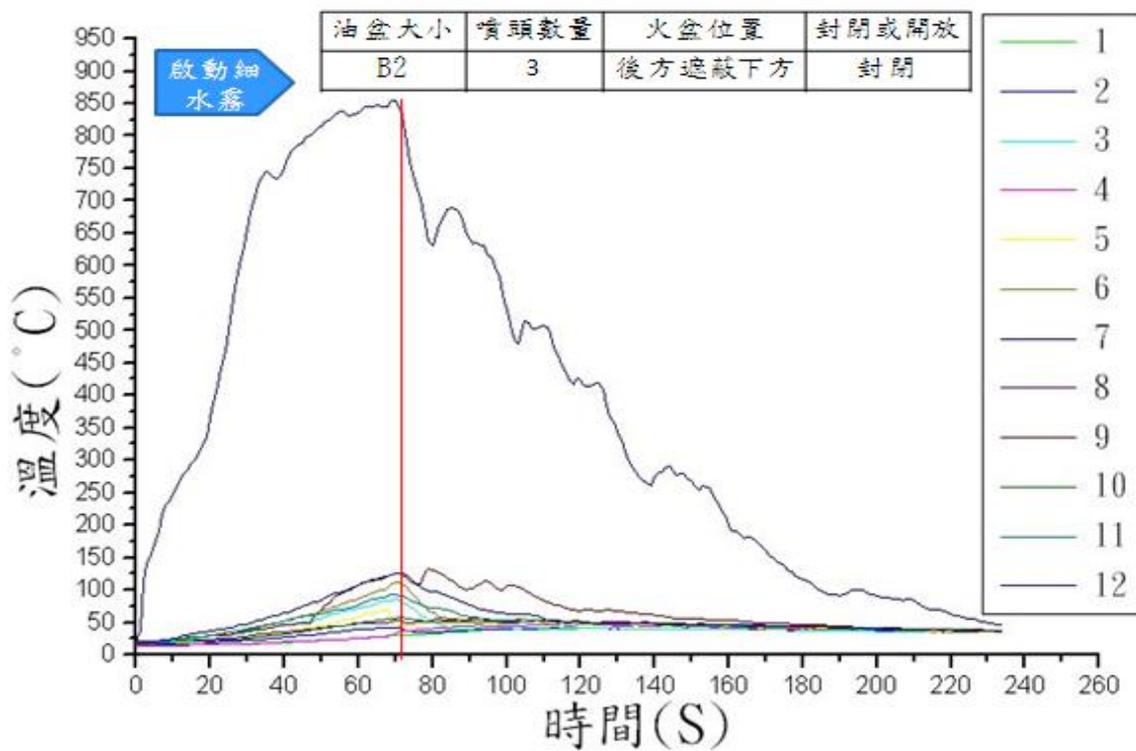


圖 67 情境二十二 3 顆噴頭火源後方遮蔽封閉數據圖(2)

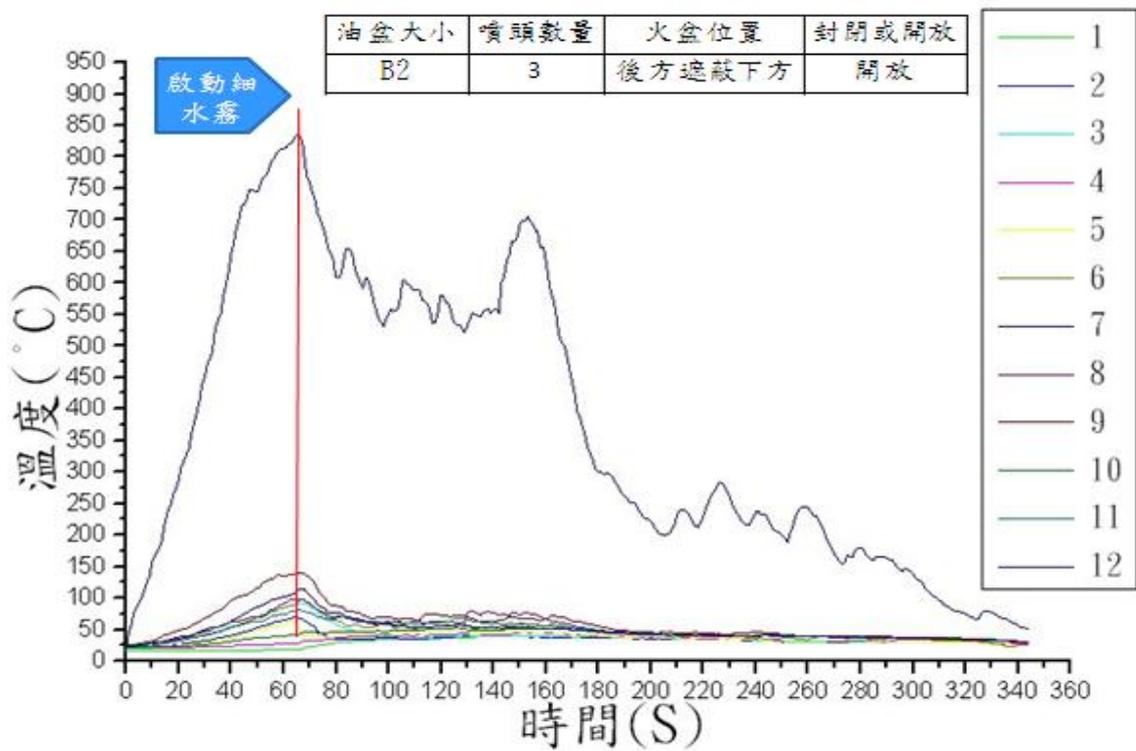


圖 68 情境二十三 3 顆噴頭火源後方遮蔽開口數據圖(1)

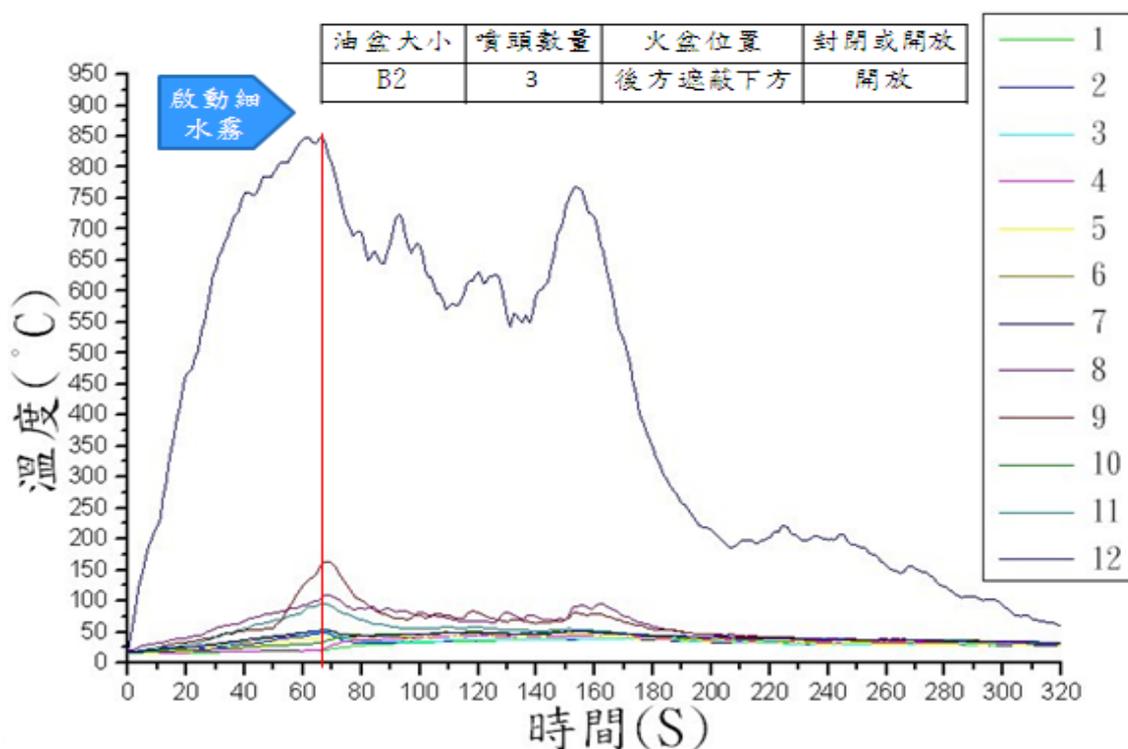


圖 69 情境二十三 3 顆噴頭火源後方遮蔽開口數據圖(2)

3.5.5.2 小結-火源偏移遮蔽燃燒測試

本節一系列驗數據(如圖 62~圖 69)以柴油進行測試，而火源偏移遮蔽燃燒測試，細水霧防護效果不佳，無開口燃燒測試 3 顆細水霧噴頭及 2 顆細水霧噴頭滅火時間相差不大，起因於火盆擺放位置不在噴頭下方，加上後方遮蔽物寬度為 100 公分而油盆寬度為 63.3 公分完全遮住油盆，使滅火受到阻無法直接進入火源，細水霧系統以空氣對流帶動水氣滅火，但效果不佳。開口的情況下滅火時間比較長，因水氣會被空氣往外帶出，並引入氧氣造成不易滅火，所以滅火時間比無開口時間長。

第四章 細水霧防護系統數值模擬

一般而言，研發單位對於進行動輒花費鉅額預算的全尺寸燃燒實驗較無法接受，故為求獲得細水霧滅火系統抑制火災之效能評析資料，必須依賴其他方法，其中計算流體力學(CFD)便是其中一種極佳的選項，它僅需花費較少的經費，便可達到迅速獲得詳細數據而又符合經濟效益之目的。此外，近年由於電腦硬體的運算速度快速提升與價格下滑、模擬技術漸趨成熟，以及防火設計由傳統的「規格式設計」轉變為「性能式設計法」等因素，使得台灣對於火場電腦模擬技術的應用，有逐漸升高的趨勢。例如高鐵車站、捷運、京華城等工程，於建造前即採用電腦數值模擬方法分析評估設計是否可行，並發展完備且適當的火災緊急應變程序，藉以提升火災安全防護能力。

火場數值模擬係採用數學模式描述場景相關資訊，並將之離散化轉換為低階程式語言後，利用電腦執行運算、模擬火災成長、燃燒、煙流擴散等火場情境，最後將產出的數位化資料輸入圖形解析程式，進行所謂之「後處理」程序，便可將火災情境以圖形介面方式呈現於研究者面前，進而依據模擬趨勢分析資料評估火災可能造成的危害。惟因現今電腦輔助火場模擬軟體尚處於發展階段，使用時除應深入瞭解軟體操作與應用範圍的限制，亦須對火場具有豐富的經驗；另為避免模擬期間發生不正常的物理現象，所有的結果均需加以驗證、判斷是否符合真實現象【26】。

4.1 實驗目的

本次實驗藉由操作FDS電腦模擬軟體來完成以下目標：

- 分析比較實驗與電腦模擬之差異。
- 提供實驗中無法藉由影像或記錄器之所呈現之數值參考。
- 探討FDS模擬細水霧之可行性。

4.2 FDS背景

FDS軟體是一個關於火災動力流體學的計算的流體動力模型。FDS從計算上解決了適用於低速，熱動力流(側重於火災所產生的煙霧和熱量轉移)的Navier-Stokes方程的一種形式。公式的形成與運算規則在FDS技術參考指導中^[1]。Smokeview是一個視覺化的程式，用來顯示FDS的類比結果。以下將針對FDS的理論基礎作簡單的介紹，其中包含熱流模型、燃燒模型以及熱輻射模型等。詳細的內容可參考FDS技術手冊【27】。

4.2.1 熱流模型

常見的計算流體力學(Computational Fluid Dynamics)求解紊流的方式有直接數值模擬法(Direct Numerical Simulation, DNS)、大渦流模擬法(Large Eddy Simulation, LES)及平均化紊流模式(Reynolds-Averaged Navier-Stokes, RANS)，而FDS所提供的計算方式採用前兩種方法。整體流場模型是由數個基本守恆方程式所架構，包含質量守恆、動量守恆、能量守恆以及狀態方程式。

質量守恆方程式：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = \dot{m} b \quad (4-1)$$

動量守恆方程式：

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \mathbf{u}) + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} \mathbf{u} + \nabla p = \rho \mathbf{g} + \mathbf{f}_b + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}_{ij} \quad (4-2)$$

能量守恆方程式：

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h_s) + \nabla \cdot \rho h_s \mathbf{u} = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}''' - \dot{q}_b''' - \nabla \cdot \mathbf{q}'' + \varepsilon \quad (4-3)$$

狀態方程式：

$$\rho = \frac{\rho R T}{\bar{w}} \quad (4-4)$$

其中， ρ 為密度， \mathbf{u} 為速度向量， \dot{m}_b''' 為液體的生成或消耗率， \mathbf{f}_x 為重力項外的各類外力項， h_s 為熱焓值， $\boldsymbol{\tau}_{ij}$ 是壓力張量， \dot{q}''' 是化學反應中單位體積產生的熱釋放率， \dot{q}_b''' 是液滴蒸發所消耗的熱釋放率， $\nabla \cdot \mathbf{q}''$ 代表傳導與輻射熱通量， ε 則為動能因為黏滯力轉換成熱能的逸散項。

4.2.2 燃燒模型

在燃燒模型中主要是以混合分率(mixture fraction)為基礎所建立。燃燒反應的一般通式為：



其中， ν 為化學當量係數，下標O 代表氧氣，F 代表燃料，P 則代表生成物。而混合分率Z 的定義為：

$$Z = \frac{S Y_F - (Y_O - Y_O^\infty)}{S Y_F + Y_O^\infty}, \quad S = \frac{\nu_o W_o}{\nu_f W_f}, \quad \nu_f = 1 \quad (4-6)$$

其中， Y 為質量分率， W 為分子量；而混合分率也遵守質量守恆定律：

$$\rho \frac{DZ}{Dt} = \nabla \cdot \rho D \nabla Z \quad (4-7)$$

因為假設化學反應為無窮快，所以表示燃料與氧氣在反應時的速率很快，

因此燃料與氧氣無法同時存在。火焰面的位置就是發生在燃料與氧氣濃度皆為零的位置，

$$Z(X, t) = Z_f, Z_f = \frac{Y_0^\infty}{SY_F^I + Y_0^\infty} \quad (4-8)$$

但以上模型僅適用於通風良好處，即未發生局部熄滅時。當通風條件較差時，即使燃料與氧氣混合，亦可能不反應，故可將混合分率 Z 分為不反應項 Z_1 與反應項 Z_2 ，而 $Z = Z_1 + Z_2$

$$Z_1 = \frac{Y_F}{Y_F^I} \quad (4-9)$$

$$Z_2 = \frac{1}{Y_F^I} \left[\frac{W_F}{xW_{CO_2}} Y_{CO_2} + \frac{W_F}{xW_{CO}} Y_{CO} + \frac{W_F}{xW_S} Y_S \right] \quad (4-10)$$

其中，若 Z_2 為零時，即代表燃料與氧氣混合但未燃燒(局部熄滅)而無燃燒產物生成。而燃料和氧氣混合物的燃燒與否則由圖3-1中的氧氣分率與溫度間的關係決定，若發生反應， Z_1 便轉變為 Z_2 而生成燃燒產物。

單位體積的熱釋放率是以所消耗的燃料質量為基準，

$$q''' = \dot{m}_F''' \Delta H_F \quad (4-11)$$

中， ΔH_F 為單位質量的燃料燃燒熱， \dot{m}_F''' 為燃料質量消耗率，單一格點中的燃料與氧氣分率可分別由 Z_1 與狀態方程式得到。若此格點可燃燒(由圖4-1決定)，則發生無窮快的化學反應直到燃料或氧氣完全耗盡，而由其燃料消耗率換算為熱釋放率。

4.2.3 熱輻射模型

氣體的輻射傳遞方程式(Radiative Transport Equation)為：

$$\mathbf{s} \cdot \nabla I_\lambda(\mathbf{x}, \mathbf{s}) = \kappa(\mathbf{x}, \lambda) [\square I_b(\mathbf{x}) - I_\lambda(\mathbf{x}, \mathbf{s})] \quad (4-12)$$

其中， \mathbf{s} 為 $\nabla I_\lambda(\mathbf{x}, \mathbf{s})$ 的單位向量強度，而 $\nabla I_\lambda(\mathbf{x}, \mathbf{s})$ 是波長等於 λ 時的輻射強度， $\kappa(\mathbf{x}, \lambda)$ 代表吸收係數， $I_b(\mathbf{x})$ 則為黑體的輻射強度。能量方程式中的輻射損失項為：

$$-\nabla \cdot \mathbf{q}_r(X) = \mathcal{K}(X) \cdot [U(x) - 4\pi I_b(x)], U(x) = \int_{4\pi} I(x, S) d\Omega \quad (4-13)$$

格點所獲得的輻射能量是發射量與吸收量的差值。輻射源強度的定義為：

$$\kappa I_b = \begin{cases} \kappa \sigma T^4 / \pi \\ \max(X_{q_r}''' / 4\pi, \kappa \sigma T^4 / \pi) \end{cases} \quad (4-14)$$

其中， q_r''' 代表單位體積的熱釋放率， X_r 代表熱輻射所佔能量的比例。而輻射熱通量 q_{rI} 為：

$$q_r(X) = \int_{4\pi} I(x, S) d\Omega \quad (4-15)$$

4.2.3 熱邊界條件

固體表面熱損失考慮對流及輻射兩種模式，而計算對流熱傳模式則根據紊流模式不同而有所改變。在DNS 模擬中，對流熱傳模式是藉由邊界附近的氣體溫度梯度來達成：

$$\dot{q}_c'' = -k \frac{\partial T}{\partial n} \quad (4-16)$$

其中 \dot{q}_c'' ，為對流的熱傳量， k 為氣體熱傳導係數。在LES 模擬中，經由對流傳遞至固體表面則同時考慮自然對流及強制對流兩種模式，

$$\dot{q}_c'' = h \Delta T; h = \max \left[C |\Delta T|^{\frac{1}{3}}, \frac{k}{L} 0.037 Re^{\frac{4}{3}} Pr^{\frac{1}{3}} \right] \quad (4-17)$$

其中， ΔT 為固體與氣體的溫度差， C 為自然對流係數， L 為固體的特徵長度。若固體邊界材料為燃料，FDS 將燃料分為三大類，分別為熱塑性燃料、液體燃料與碳化燃料。Atreya【28】及Ritchie 等人【29】已經將碳化材料的熱傳及熱裂解現象有詳細的研究。FDS 將碳化材料模型分成材料內部熱傳遞、水分蒸發及材料本身氣化為氣體燃料與碳化現象等部份分析，其能量統御方程式可表示為：

$$\begin{aligned} \overline{\rho c} \frac{\partial T_s}{\partial t} = & \frac{\partial}{\partial x} k_s \frac{\partial T_s}{\partial t} + \frac{\partial p_s}{\partial t} [\Delta H_{pyr} - C(T - T_0)] \\ & + \frac{\partial p_m}{\partial t} [\Delta H_{ev} - D(T - T_0)] \end{aligned} \quad (4-18)$$

其中， ρ_s 為平均固體密度， ρ_m 為水分密度， $_{pyr} \Delta H$ 及 $_{ev} \Delta H$ 為材料裂解熱與水分蒸發熱。而其材料熱裂解與反應速率則以Arrhenius 化學反應做為模型：

$$\dot{m}'' = A(p_{s0} - p_{char}) e^{-E_A/RT} \quad (4-19)$$

其中， p_{s0} 為原材料密度， p_{char} 而則代表碳化物的密度， E_A 為活化能。

4.3 模擬情境的建立

數值模擬採用由NIST 發展的FDS 第五版。其第五版在材料由固態轉變為氣態而後進行的燃燒化學反應建構上較前版完善。模擬中將貨櫃大小、開口尺寸與固定式火載量配置設定與實驗相同，但數值模擬中仍有部分條件無法與實驗完全相同，以下將詳細說明。

4.3.1 模擬對象說明

實際貨櫃大小為標準20尺普通鐵製貨櫃，內部尺寸為5.90m 長×2.35m 寬×2.39m高(如圖70)所示，貨櫃的結構由以下各部組成(1)櫃角單元(2)

端框單元(3)側框單元(4)底盤(5)櫃壁單元(6)櫃頂單元(如圖31)所示，除冷凍貨櫃須要求氣密外，其餘各種貨櫃並無氣密之需求。區劃空間中有一個 2.0 m × 0.9 m 的門及貨櫃壁下方開設一個 2.15 m × 0.2 m 進氣口於櫃頂上方開設排氣口，排氣口連接水洗式洗滌塔平時不開啟

容量	最大裝載量	淨重	
1,172 cubic feet	48,170Lb	4,740 Lb	
33.20 cubic meters	21,850 Kg	2,150 Kg	
貨櫃尺寸	長	寬	高
內部尺寸	19'4"	7'8"	7'10"
	5.90 m	2.35 m	2.39 m
外部尺寸	19'10"	8'0"	8'6"
	6.06 m	2.44 m	2.59 m
門 徑	無資料	7'8"	7'6"
		2.35 m	2.27 m

表20 APL 20呎標準貨櫃尺寸表

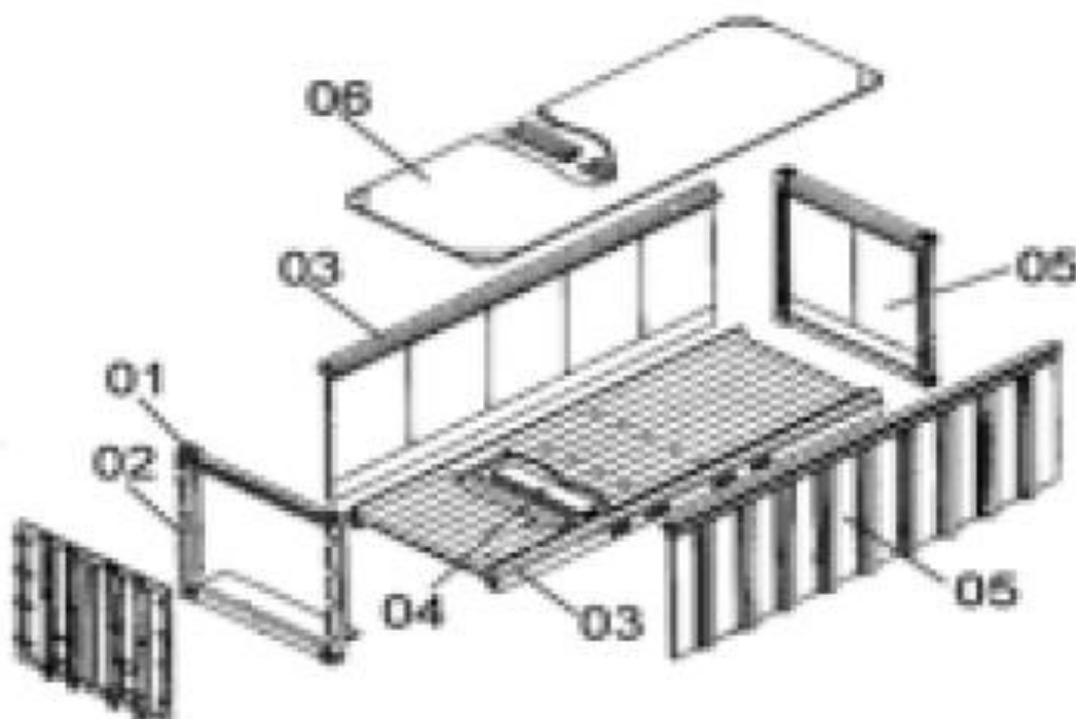


圖70美國軍方貨櫃介紹

4.3.2 火災情境設定

11個火災情境編號如情境3(模擬空燒此為本研究之Base Case)(如圖71)、情境11(模擬貨櫃角落開放空燒)(如圖73)、情境16(配置遮蔽物模擬實際風力發電機之火災)(如圖72)、情境20(模擬遮蔽物後方開放燃燒)並設置一個 0.63 m × 0.63m 的油盤火災，熱釋放速率(Heat Release Rate, HRR)為556KW，模擬時間為400秒，主要設定條件(如表21)。

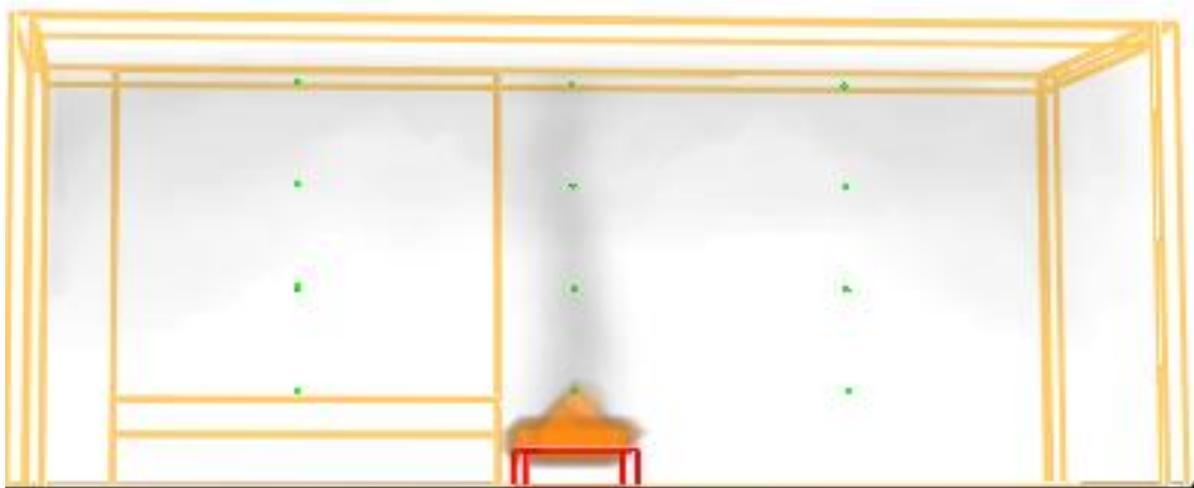


圖71 模擬貨櫃中央封閉空燒



圖72 模擬遮蔽物中央下面封閉燃燒

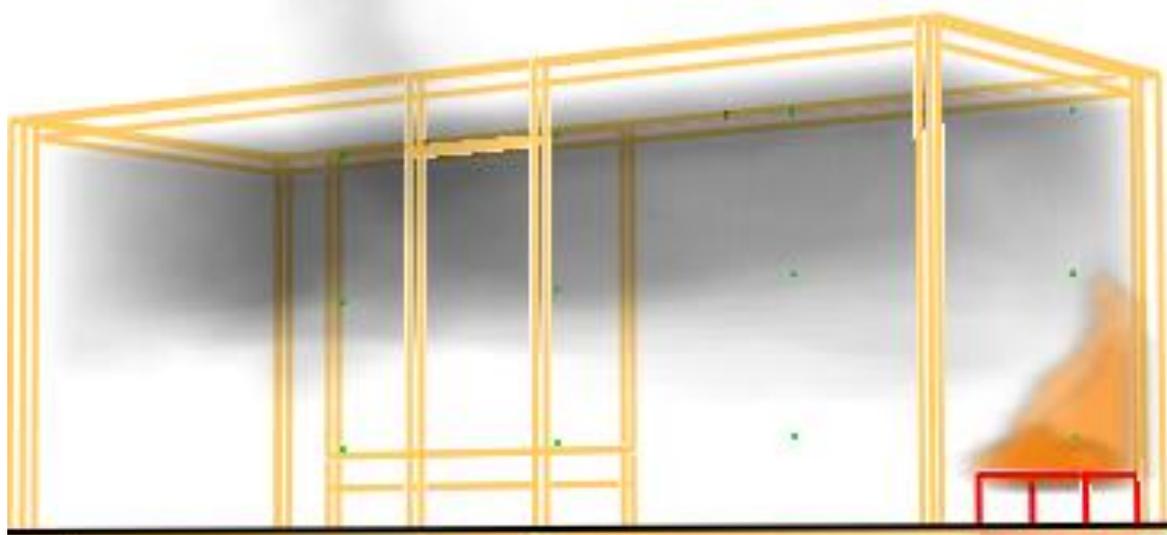


圖73 模擬貨櫃角落開放空燒



圖74模擬遮蔽物後方開放燃燒

情境	主要設定條件	備註
3	主火源 HRR 為 556 kW/m ² 網格數 120, 50, 40 模擬時間 400 秒 燃料種類為柴油 燃料容量為 2L 火盆尺寸為 63cm 長度*63cm 寬度*30cm 火盆位置於中央	此為本研究之 Base Case1
4	燃燒後 60 秒啟動兩顆細水霧滅火	其餘設定與情境 3 相同
8	燃燒後 60 秒啟動兩顆細水霧滅火 增加開口尺寸為 200cm 長度*90cm 寬度	其餘設定與情境 4 相同
11	主火源 HRR 為 556 kW/m ² 網格數 120, 50, 40 模擬時間 400 秒 燃料種類為柴油 燃料容量為 2L 火盆尺寸為 63cm 長度*63cm 寬度*30cm 火盆位置於角落	此為本研究之 Base Case2
12	燃燒後 60 秒啟動兩顆細水霧滅火	其餘設定與情境 11 相同
13	燃燒後 60 秒啟動兩顆細水霧滅火 增加開口尺寸為 200cm 長度*90cm 寬度	其餘設定與情境 4 相同

14	燃燒後 60 秒啟動三顆細水霧滅火	其餘設定與情境 12 相同
16	主火源 HRR 為 556kW/m ² 網格數 120, 50, 40 模擬時間 400 秒 燃燒後 60 秒啟動兩顆細水霧滅火 燃料種類為柴油 燃料容量為 2L 火盆尺寸為 63cm 長度*63cm 寬度*30cm 火盆位置於中央 遮蔽物一直徑 50cm*50cm 長度 遮蔽物二直徑 70cm*240cm 長度 遮蔽物三直徑 100cm*120cm 長度	配置遮蔽物模擬 實際風力發電機 之油類洩漏火災
17	燃燒後 60 秒啟動二顆細水霧滅火	其餘設定與情境 16 相同
20	主火源 HRR 為 556kW/m ² 網格數 120, 50, 40 模擬時間 400 秒 燃燒後 60 秒啟動兩顆細水霧滅火 燃料種類為柴油 燃料容量為 2L 火盆尺寸為 63cm 長度*63cm 寬度*30cm 火盆位置於後方 遮蔽物一直徑 50cm*50cm 長度 遮蔽物二直徑 70cm*240cm 長度 遮蔽物三直徑 100cm*120cm 長度	配置遮蔽物模擬 實際風力發電機 之油類洩漏火災
21	燃燒後 60 秒啟動二顆細水霧滅火 增加開口尺寸為 200cm 長度*90cm 寬度	其餘設定與情 20 境相同

表21 FDS火災情境設定表

4.4 模擬結果及討論

本次電腦模擬針對細水霧在流場速度及溫度向量之影響分析，並將模擬結果說明如下：

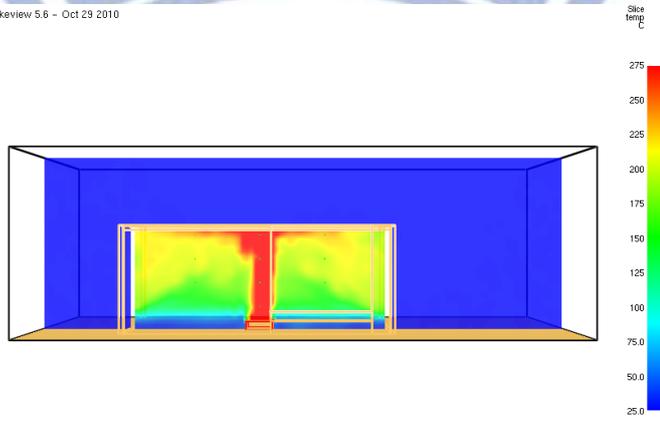
4.4.1

提供實驗中無法藉由影像或記錄器之所呈現之數值參考



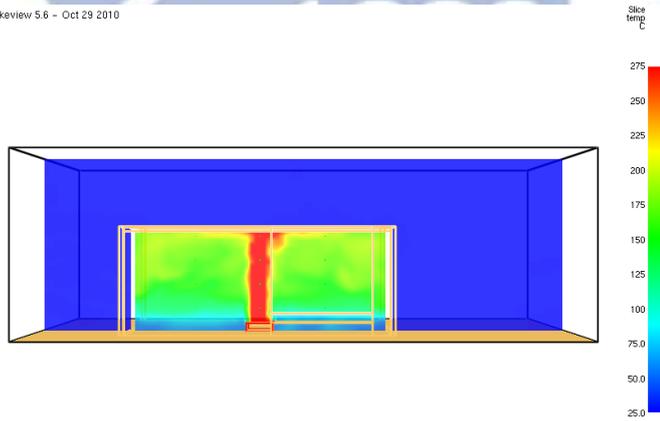
Frame: 154
Time: 60.5

圖75情境3模擬60sec時，Y=1.2溫度切面圖



Frame: 256
Time: 100.2

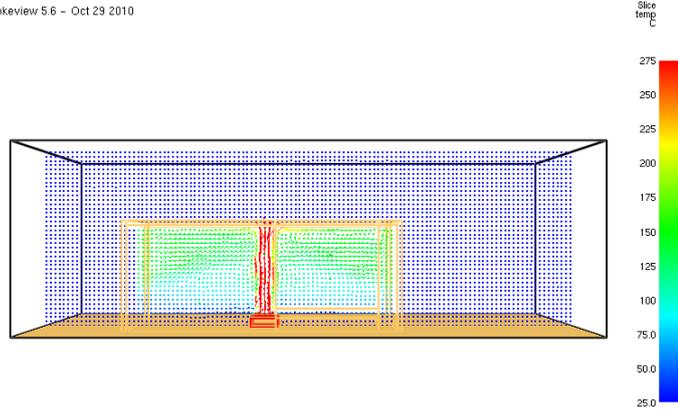
圖76情境3模擬100sec時，Y=1.2溫度切面圖



Frame: 512
Time: 200.1

圖77情境3模擬200sec時，Y=1.2溫度切面圖

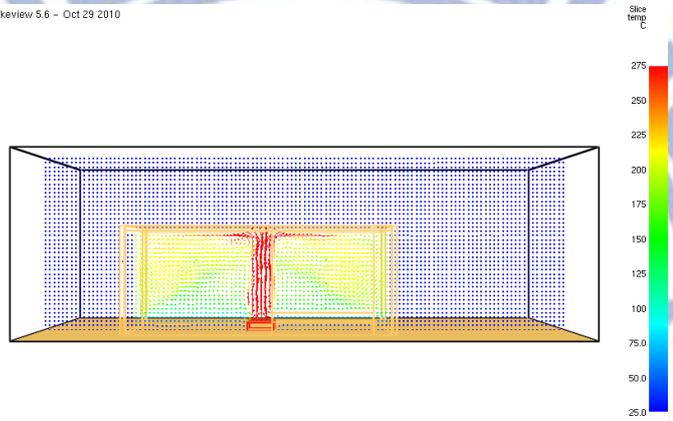
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 153
Time: 60.1

圖78情境3模擬60sec時，Y=1.2流場速度向量圖

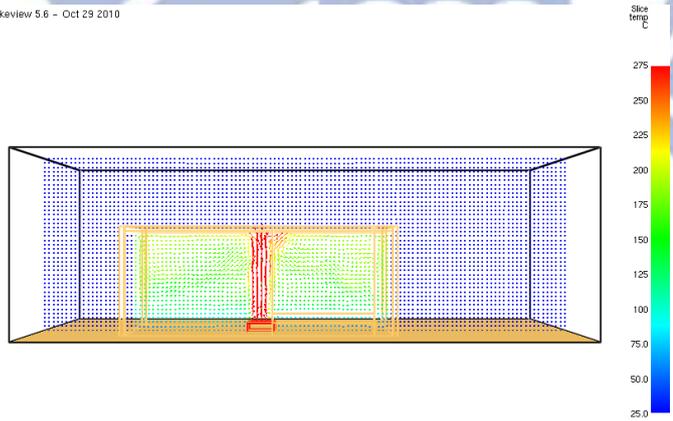
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 257
Time: 100.6

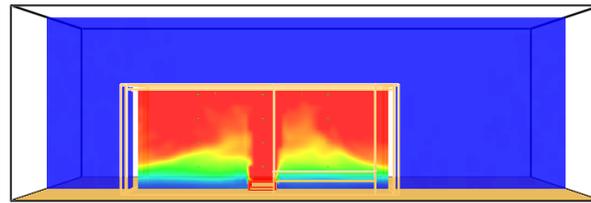
圖79情境3模擬100sec時，Y=1.2流場速度向量圖

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



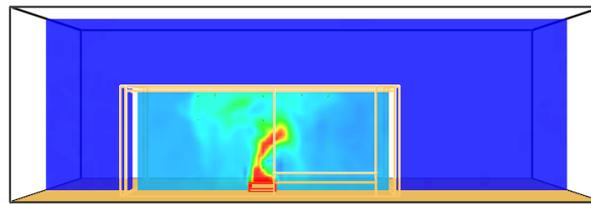
Frame: 512
Time: 200.1

圖 80 情境 3 模擬 200sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖



Frame: 149
Time: 60.0

圖 81 情境 4 模擬 60sec 時，Y=1.2 溫度切面圖



Frame: 250
Time: 100.4

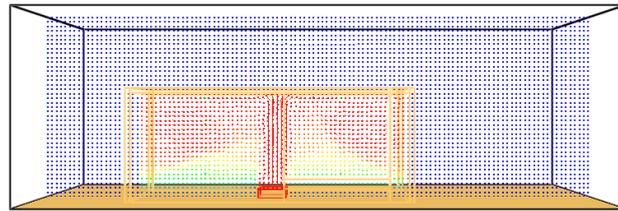
圖 82 情境 4 模擬 100sec 時，Y=1.2 溫度切面圖



Frame: 500
Time: 200.4

圖 83 情境 4 模擬 200sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

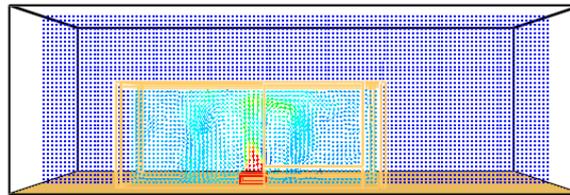
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 149
Time: 60.0

圖 84 情境 4 模擬 60sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

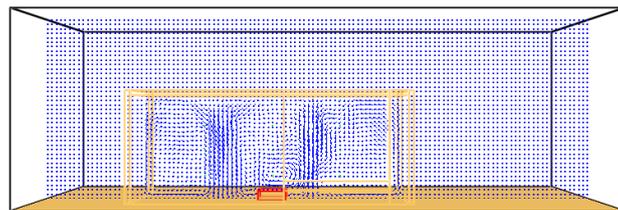
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 251
Time: 100.8

圖 85 情境 4 模擬 100sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

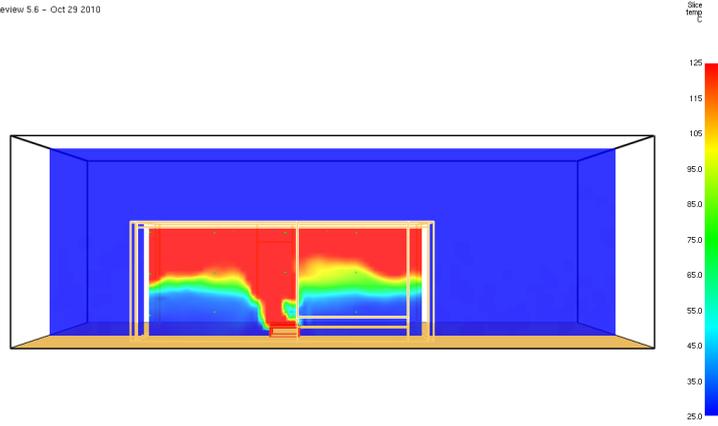
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 500
Time: 200.4

圖 86 情境 4 模擬 200sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

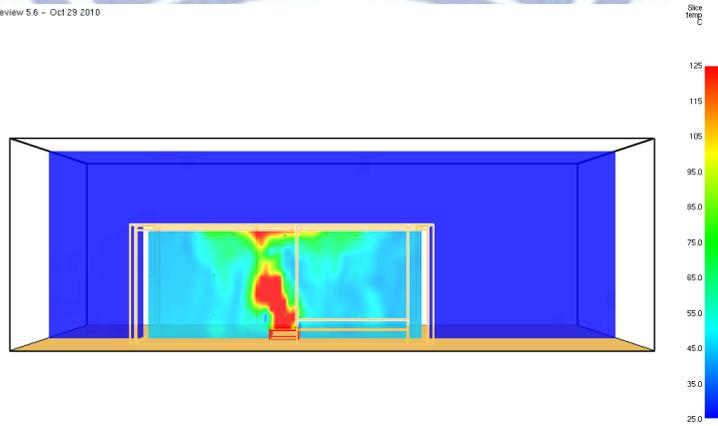
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 149
Time: 60.0

圖 87 情境 8 模擬 60sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

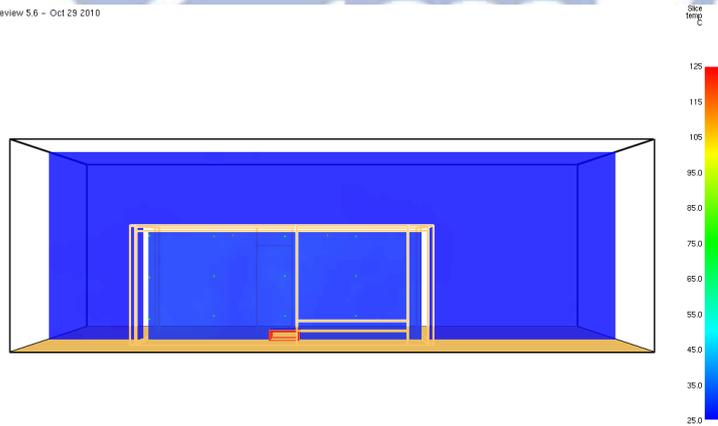
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 249
Time: 100.0

圖 88 情境 8 模擬 100sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

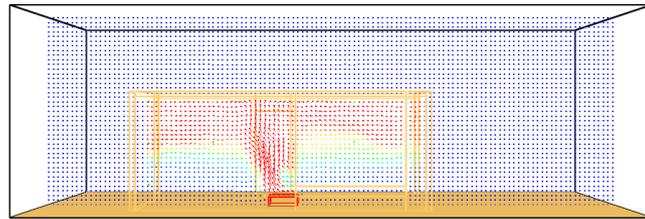
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 449
Time: 180.0

圖 89 情境 8 模擬 180sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

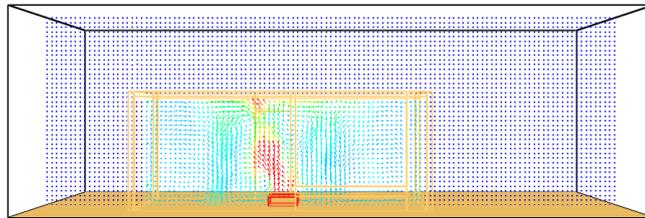
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 149
Time: 60.0

圖 90 情境 8 模擬 60sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

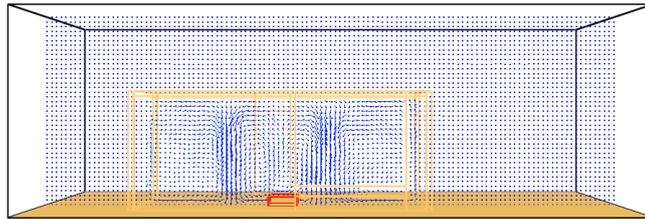
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 249
Time: 100.0

圖 91 情境 8 模擬 100sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

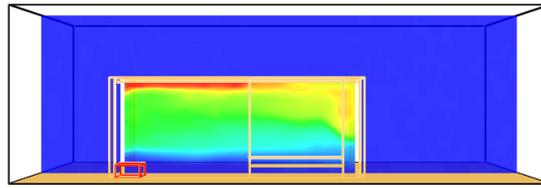
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 449
Time: 180.0

圖 92 情境 8 模擬 180sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

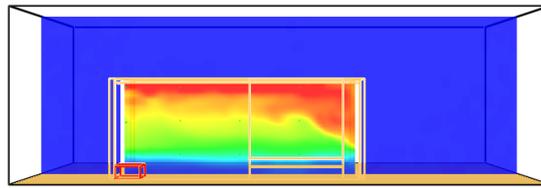
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 149
Time: 60.0

圖 93 情境 11 模擬 60sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

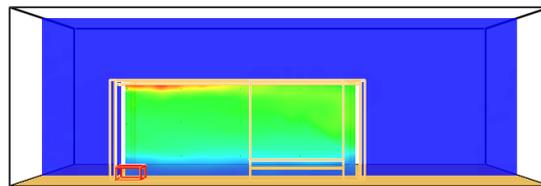
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 251
Time: 100.8

圖 94 情境 11 模擬 100sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

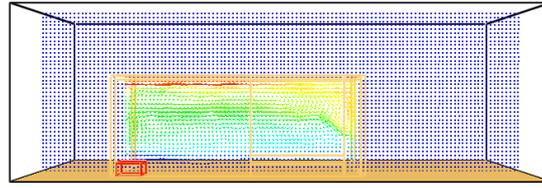
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 500
Time: 200.4

圖 95 情境 11 模擬 200sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

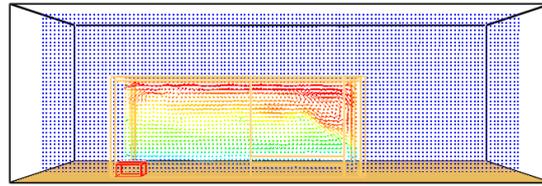
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 149
Time: 60.0

圖 96 情境 11 模擬 60sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

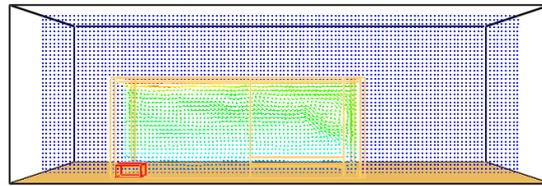
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 251
Time: 100.8

圖 97 情境 11 模擬 100sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

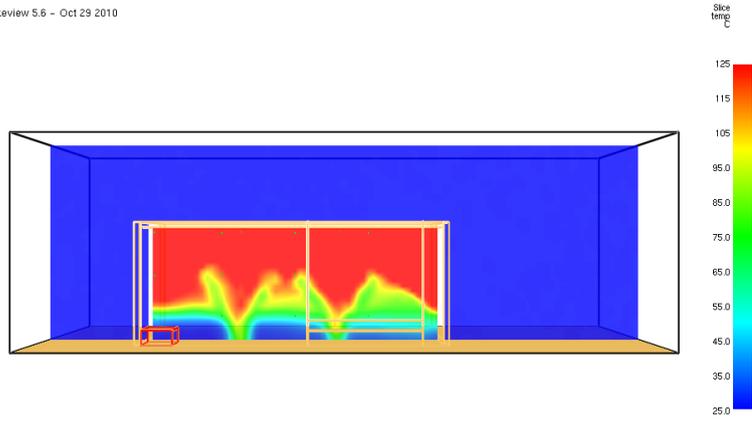
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 500
Time: 200.4

圖 98 情境 11 模擬 200sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

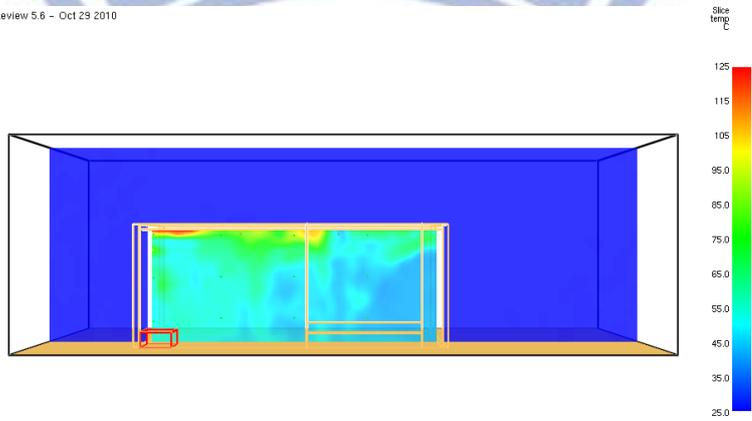
Smokeyview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 246
Time: 60.5

圖 99 情境 12 模擬 60sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

Smokeyview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 412
Time: 100.3

圖 100 情境 12 模擬 100sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

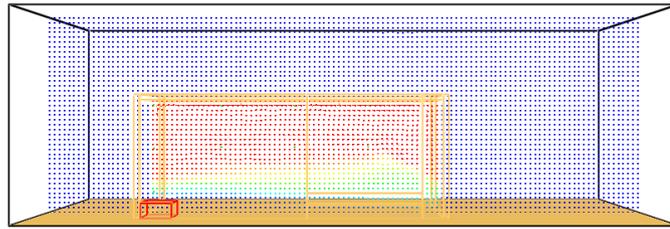
Smokeyview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 829
Time: 200.4

圖 101 情境 12 模擬 200sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

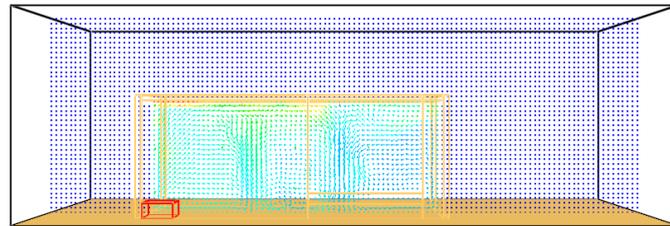
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 244
Time: 60.0

圖 102 情境 12 模擬 60sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

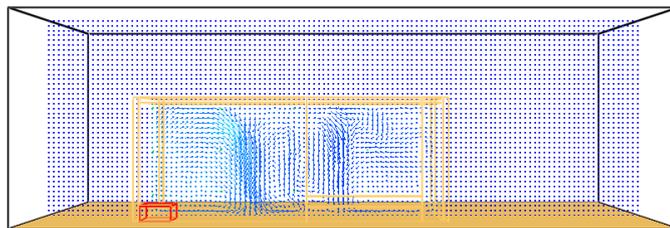
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 412
Time: 100.3

圖 103 情境 12 模擬 100sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

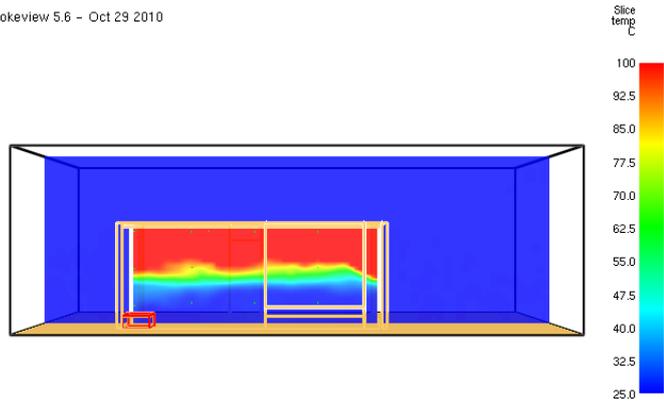
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 629
Time: 200.4

圖 104 情境 12 模擬 200sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

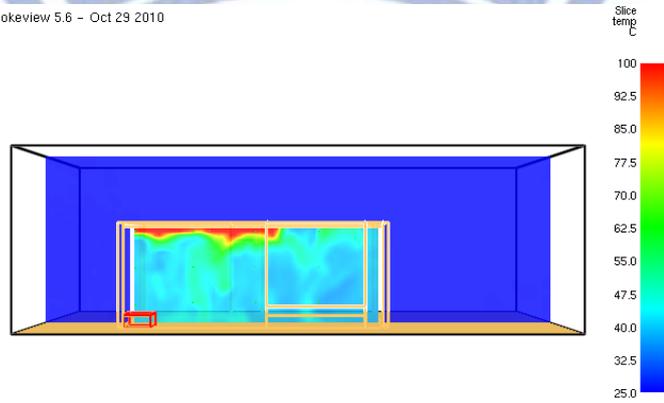
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 174
Time: 60.2

圖 105 情境 13 模擬 60sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

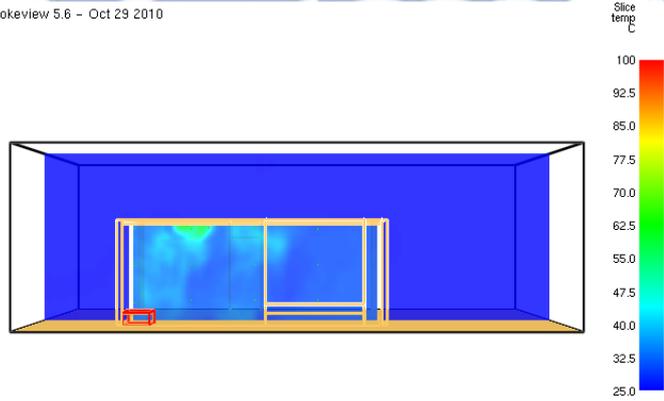
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 292
Time: 100.3

圖 106 情境 13 模擬 100sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

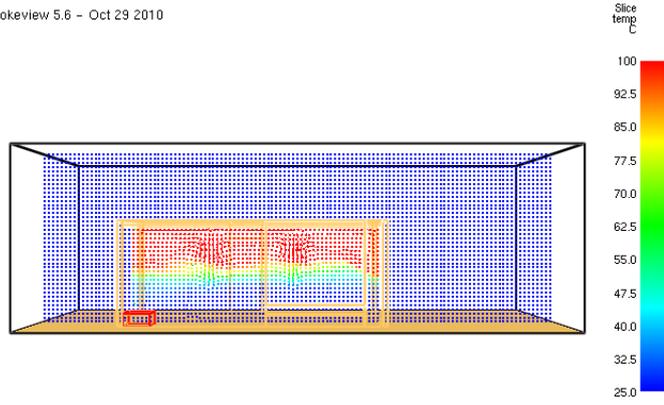
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 588
Time: 200.9

圖 107 情境 13 模擬 200sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

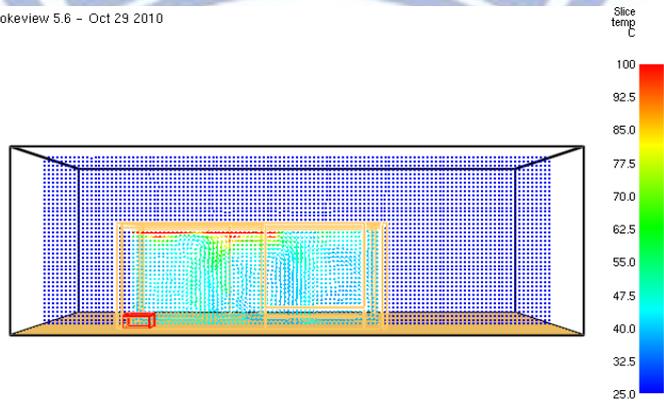
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 174
Time: 60.2

圖 108 情境 13 模擬 60sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

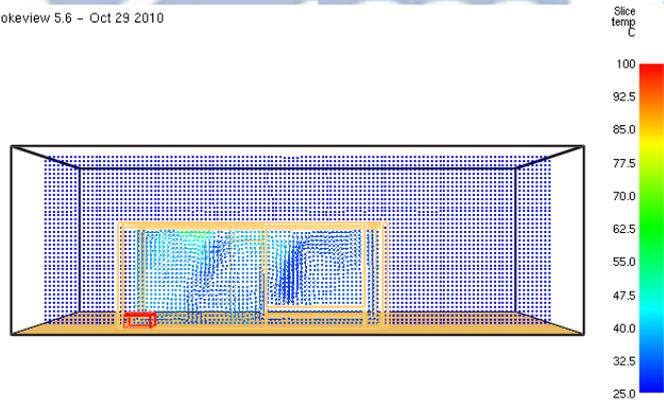
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 292
Time: 100.3

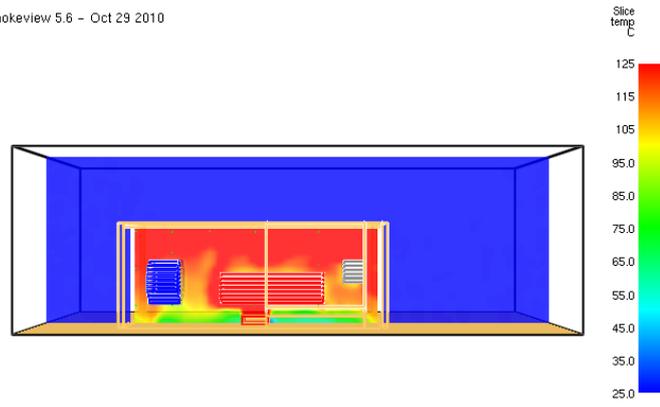
圖 109 情境 13 模擬 100sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



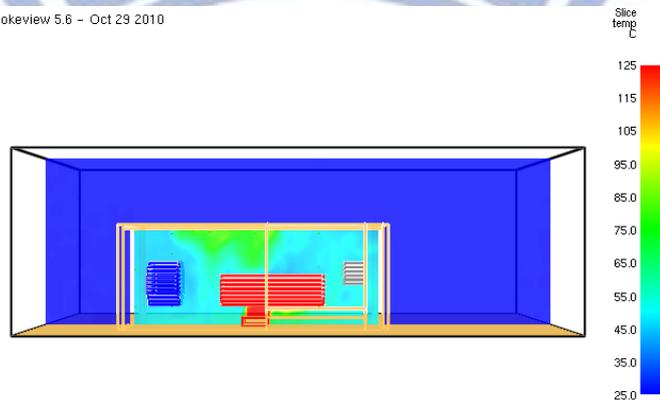
Frame: 588
Time: 200.9

圖 110 情境 13 模擬 200sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖



Frame: 342
Time: 60.0

圖 111 情境 16 模擬 60sec 時，Y=1.2 溫度切面圖



Frame: 577
Time: 100.0

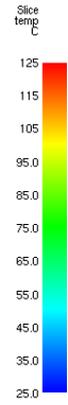
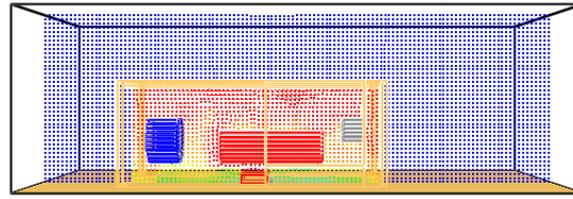
圖 112 情境 16 模擬 100sec 時，Y=1.2 溫度切面圖



Frame: 989
Time: 170.0

圖 113 情境 16 模擬 170sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

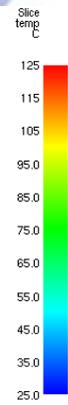
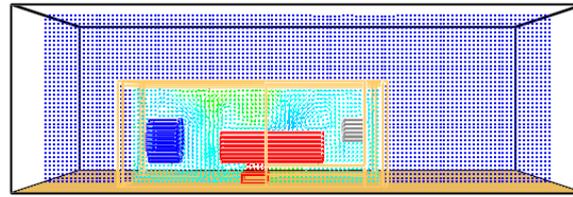
Smokeyview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 342
Time: 60.0

圖 114 情境 16 模擬 60sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

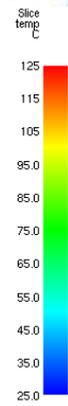
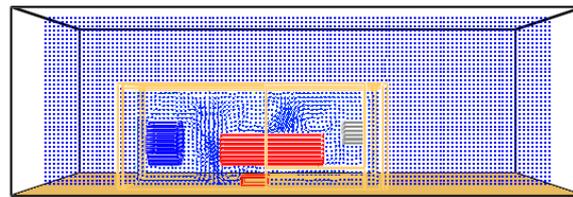
Smokeyview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 577
Time: 100.0

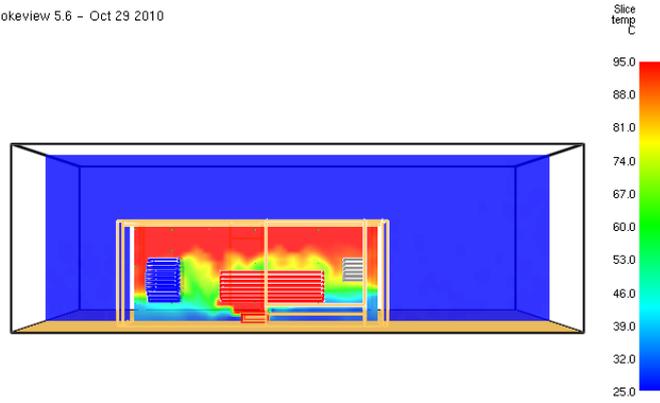
圖 115 情境 16 模擬 100sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

Smokeyview 5.6 - Oct 29 2010



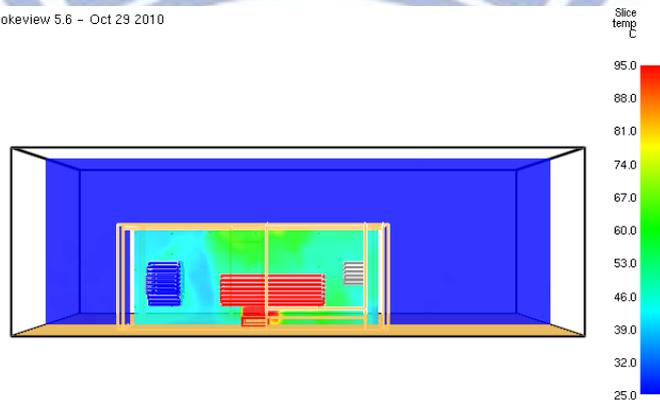
Frame: 989
Time: 170.0

圖 116 情境 16 模擬 170sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖



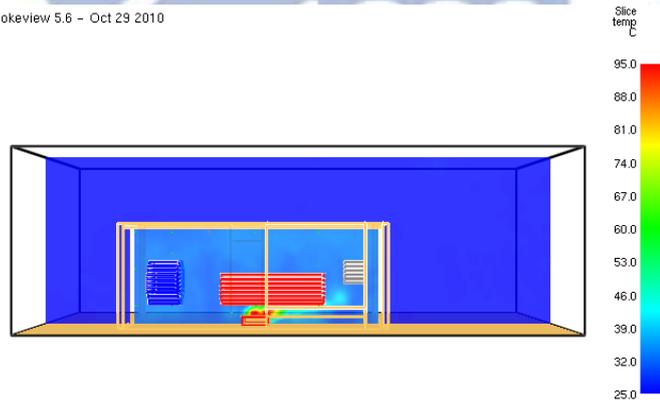
Frame: 268
Time: 60.5

圖 117 情境 17 模擬 60sec 時，Y=1.2 溫度切面圖



Frame: 448
Time: 100.1

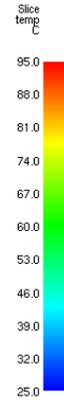
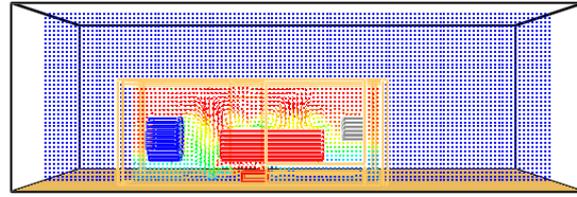
圖 118 情境 17 模擬 100sec 時，Y=1.2 溫度切面圖



Frame: 766
Time: 170.1

圖 119 情境 17 模擬 170sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

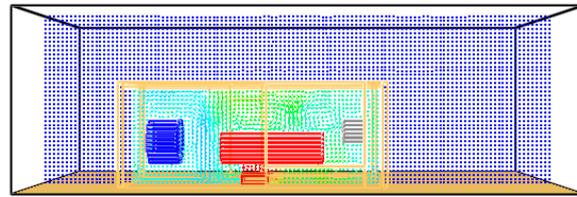
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 268
Time: 60.5

圖 120 情境 17 模擬 60sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

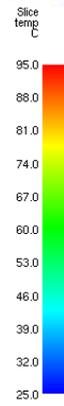
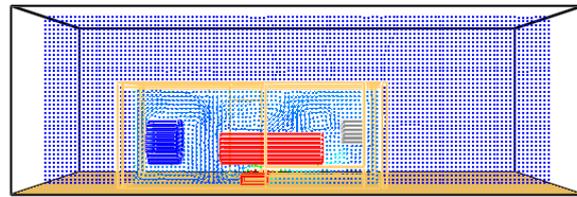
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 448
Time: 100.1

圖 121 情境 17 模擬 100sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

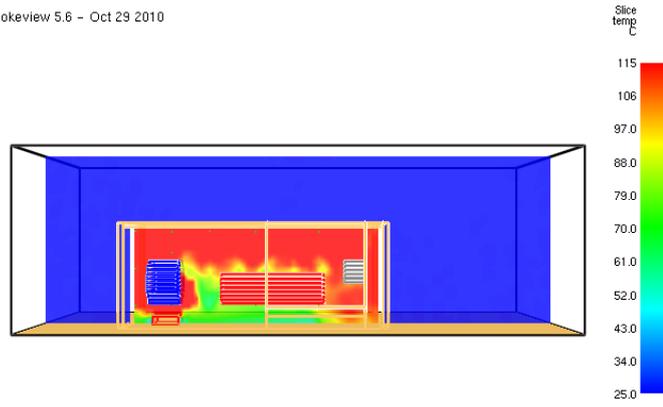
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 766
Time: 170.1

圖 122 情境 17 模擬 170sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

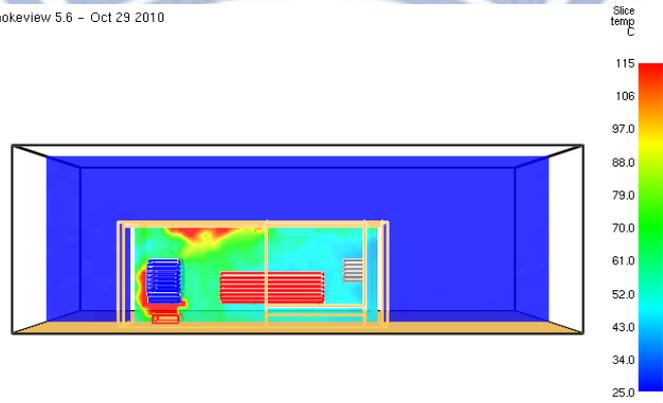
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 180
Time: 60.4

圖 123 情境 20 模擬 60sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

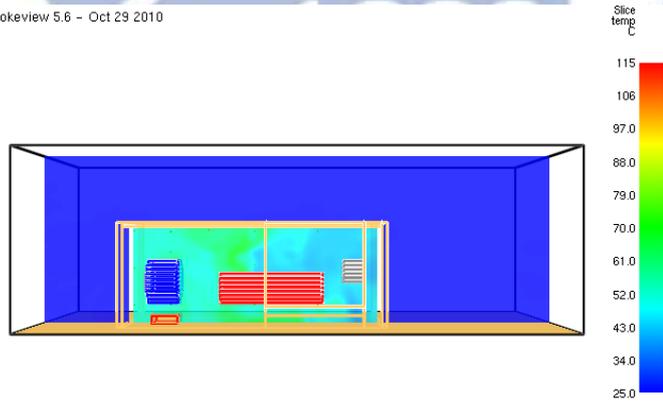
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 302
Time: 100.7

圖 124 情境 20 模擬 100sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

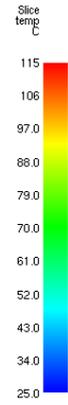
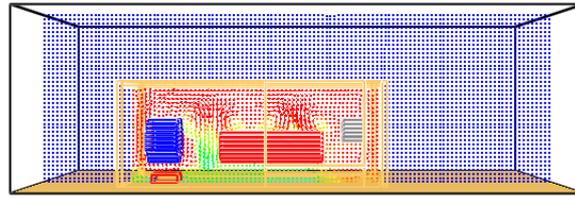
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 605
Time: 200.6

圖 125 情境 20 模擬 200sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

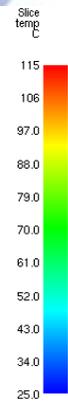
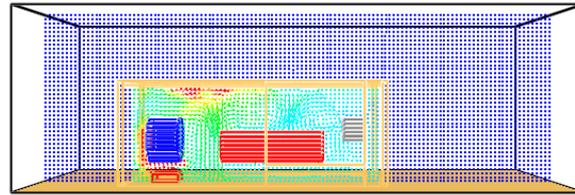
Smokeyview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 180
Time: 60.4

圖 126 情境 20 模擬 60sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

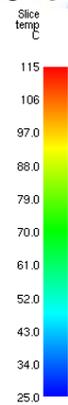
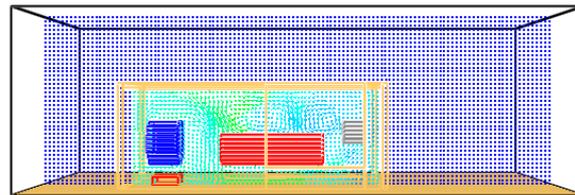
Smokeyview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 302
Time: 100.7

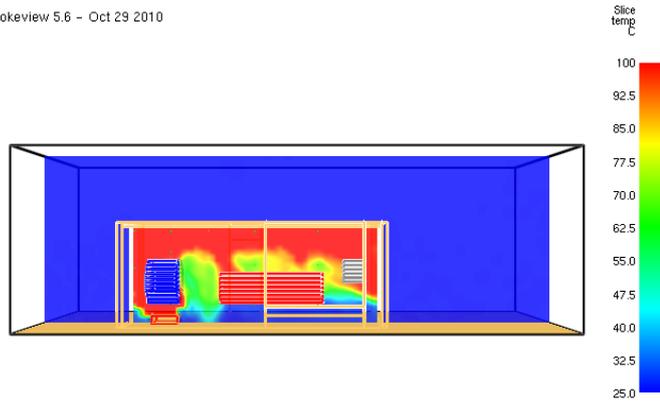
圖 127 情境 20 模擬 100sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

Smokeyview 5.6 - Oct 29 2010



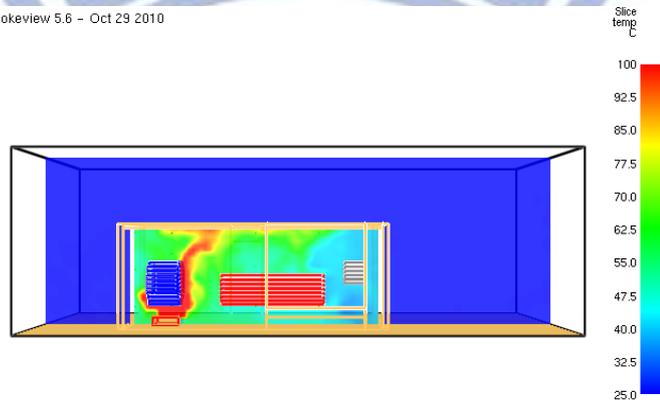
Frame: 605
Time: 200.6

圖 128 情境 20 模擬 200sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖



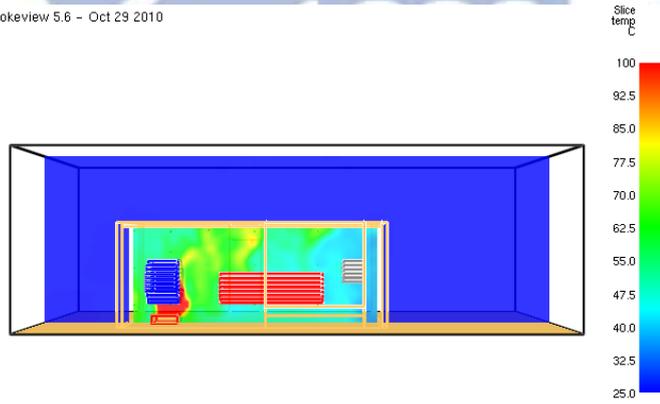
Frame: 141
Time: 60.6

圖 129 情境 21 模擬 60sec 時，Y=1.2 溫度切面圖



Frame: 234
Time: 100.6

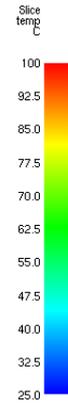
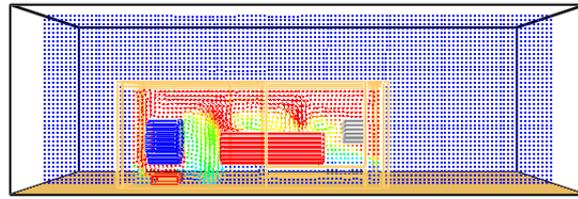
圖 130 情境 21 模擬 100sec 時，Y=1.2 溫度切面圖



Frame: 465
Time: 200.0

圖 131 情境 21 模擬 200sec 時，Y=1.2 溫度切面圖

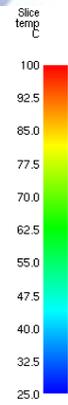
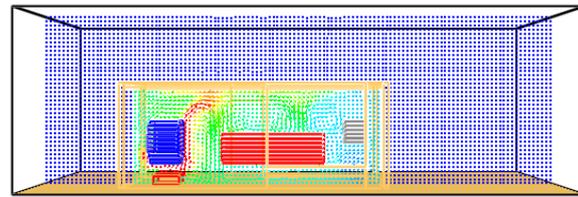
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 141
Time: 60.6

圖 132 情境 21 模擬 60sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

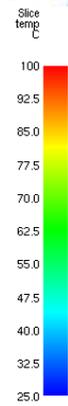
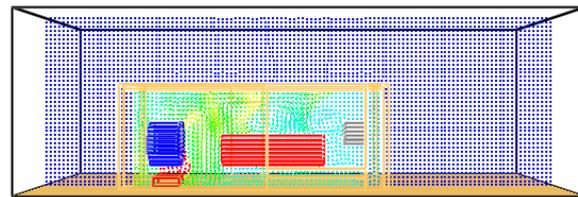
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 234
Time: 100.6

圖 133 情境 21 模擬 100sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 465
Time: 200.0

圖 134 情境 21 模擬 200sec 時，Y=1.2 流場速度向量圖

4.4.2 分析比較實驗與電腦模擬之差異

依照實測與 FDS 模擬溫度之曲線並堆疊比較圖分析如下：

圖 135 是情境 3 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖，實測溫度量測紀錄最高溫度 833°C ，而火場最終溫度 155°C ，FDS 模擬溫度最高溫度 873°C ，而火場最終溫度 115°C ，實測與 FDS 模擬結果差異不大。

圖 136 是情境 4 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖，實測溫度量測紀錄最高溫度 756°C ，而火場最終溫度 45°C ，FDS 模擬溫度最高溫度 883°C ，而火場最終溫度 25°C ，實測與 FDS 模擬結果為 FDS 模擬細水霧的冷卻效應較佳。

圖 137 是情境 7 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖，實測溫度量測紀錄最高溫度 771°C ，而火場最終溫度 45°C ，FDS 模擬溫度最高溫度 835°C ，而火場最終溫度 49°C ，實測與 FDS 模擬結果為 FDS 模擬細水霧的冷卻效應較佳。

圖 138 是情境 8 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖，實測溫度量測紀錄最高溫度 851°C ，而火場最終溫度 47°C ，FDS 模擬溫度最高溫度 510°C ，而火場最終溫度 52°C ，實測與 FDS 模擬結果為 FDS 模擬細水霧的冷卻效應較佳。

圖 139 是情境 11 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖，實測溫度量測紀錄最高溫度 909°C ，而火場最終溫度 106°C ，FDS 模擬溫度最高溫度 727°C ，而火場最終溫度 96°C ，實測與 FDS 模擬結果為 FDS 模擬的溫度較低，誤差為 182°C 。

圖 140 是情境 12 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖，實測溫度量測紀錄最高溫度 746°C ，而火場最終溫度 40°C ，FDS 模擬溫度最高溫度 590°C ，而火場最終溫度 29°C ，實測與 FDS 模擬結果為 FDS 模擬的溫度較低，誤差為 156°C 。

圖 141 是情境 13 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖，實測溫度量測紀錄最高溫度 875°C ，而火場最終溫度 38°C ，FDS 模擬溫度最高溫度 580°C ，而火場最終溫度 25°C ，實測與 FDS 模擬結果為 FDS 模擬的溫度較低，誤差為 295°C 。

圖 142 是情境 14 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖，實測溫度量測紀錄最高溫度 832°C ，而火場最終溫度 46°C ，FDS 模擬溫度最高溫度 617°C ，

而火場最終溫度 27°C，實測與 FDS 模擬結果為 FDS 模擬的溫度較低，誤差為 215°C。

圖 143 是情境 16 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖，實測溫度量測紀錄最高溫度 836°C，而火場最終溫度 42°C，FDS 模擬溫度最高溫度 1003°C，而火場最終溫度 28°C，實測與 FDS 模擬結果為 FDS 模擬的溫度較高，誤差 167°C。

圖 144 是情境 17 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖，實測溫度量測紀錄最高溫度 797°C，而火場最終溫度 40°C，FDS 模擬溫度最高溫度 917°C，而火場最終溫度 27°C，實測與 FDS 模擬結果為 FDS 模擬的溫度較高，誤差 120°C。

圖 145 是情境 20 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖，實測溫度量測紀錄最高溫度 862°C，而火場最終溫度 40°C，FDS 模擬溫度最高溫度 713°C，而火場最終溫度 29°C，實測與 FDS 模擬結果為 FDS 模擬的溫度較低，誤差為 149°C。

圖 146 是情境 21 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖，實測溫度量測紀錄最高溫度 797°C，而火場最終溫度 30°C，FDS 模擬溫度最高溫度 576°C，而火場最終溫度 44°C，實測與 FDS 模擬結果為 FDS 模擬的溫度較低，誤差為 221°C。

綜合實測與 FDS 模擬溫度之曲線並堆疊比較圖分析結果分析如下：

- 當空燒(細水霧噴頭不放射)及不論有無遮蔽物的情境下，實測與 FDS 模擬溫度之曲線大致相同。
- 當細水霧噴頭放射(discharge)的情境下，FDS 模擬結果溫度下降曲線較實測溫度下降曲線比較明顯，顯示 FDS 模擬細水霧的冷卻效應較佳。
- 實測與 FDS 模擬最高溫度時間大致相同。
- 實測與 FDS 模擬於所有情境在火場之最終溫度大致相同。
- 實測與 FDS 模擬所有情境之溫度差異在於 FDS 未計算單面靠牆及雙面靠牆包含遮蔽物本身之輻射熱回饋效應。

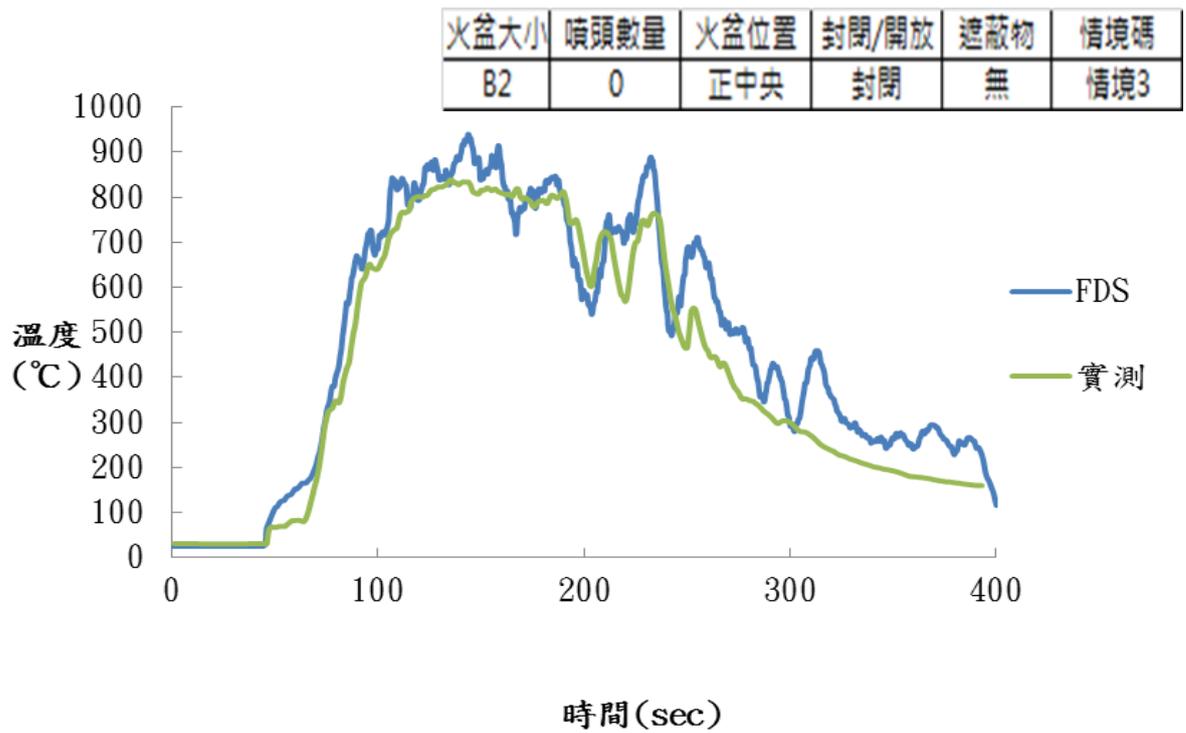


圖 135 情境 3 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖

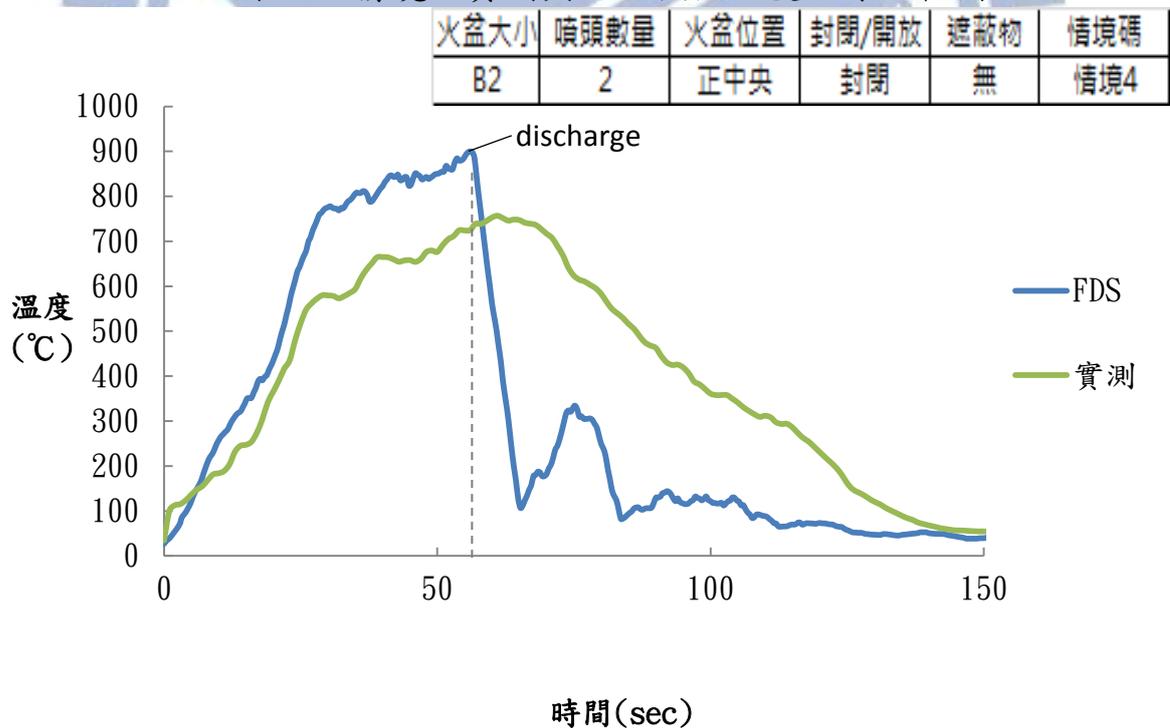


圖 136 情境 4 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖

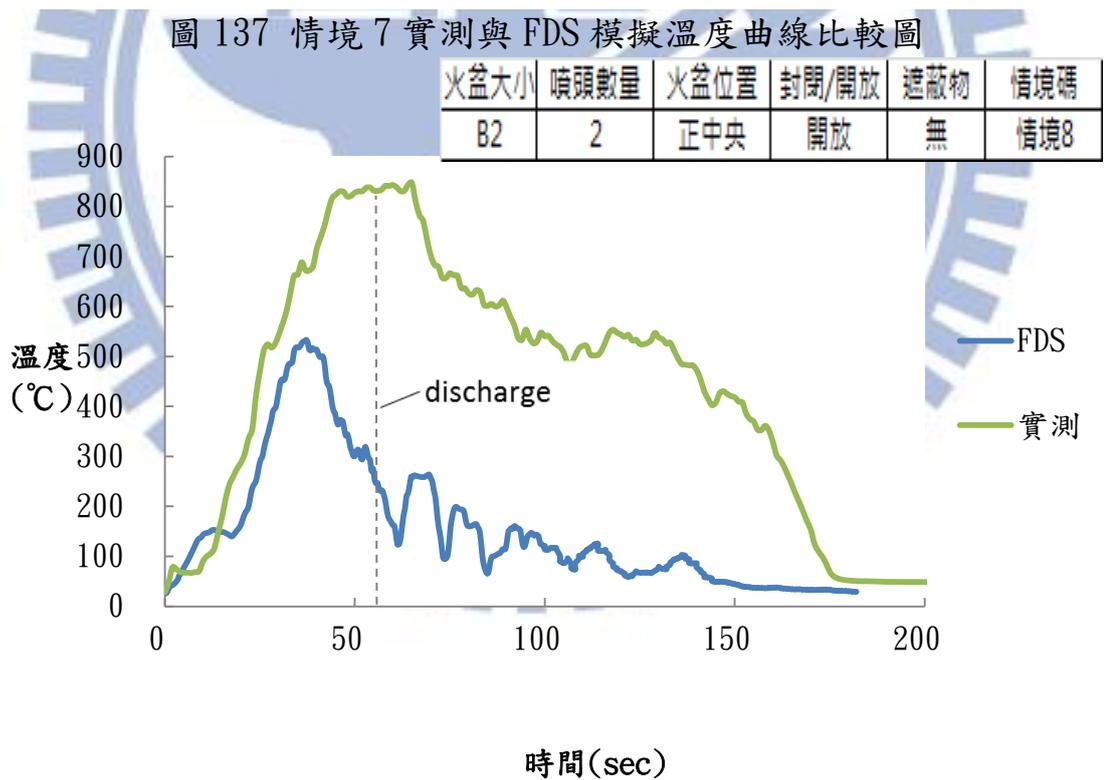
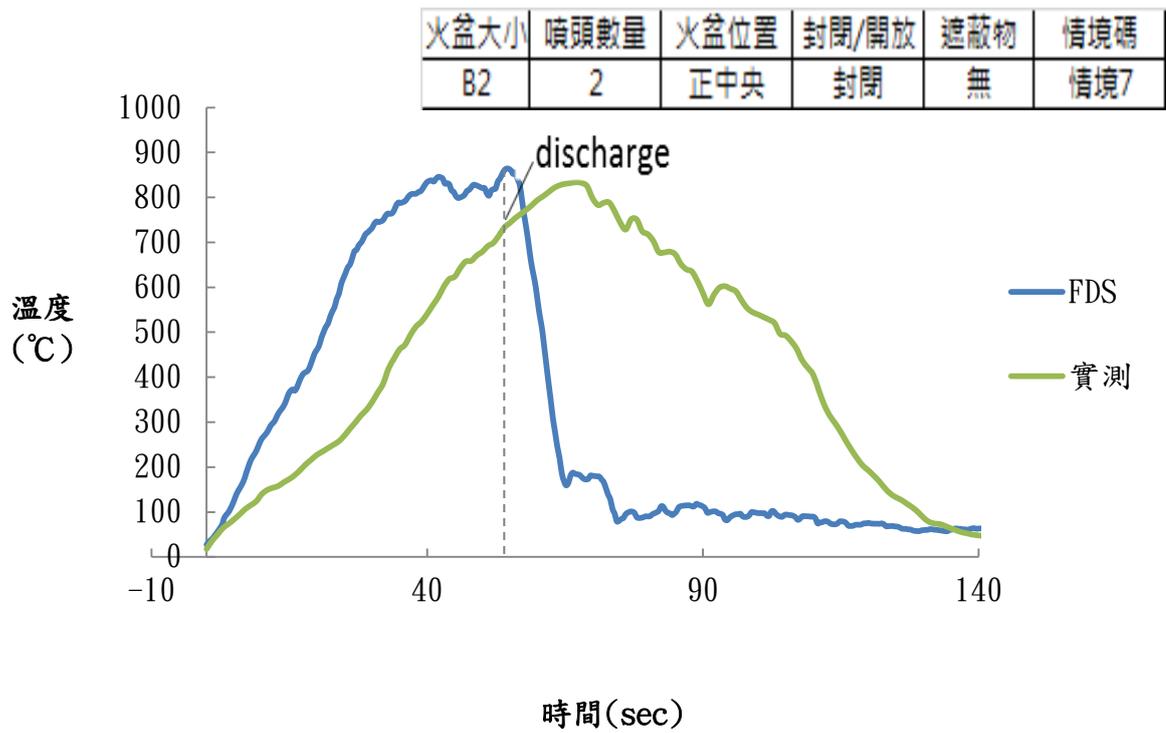


圖 138 情境 8 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖

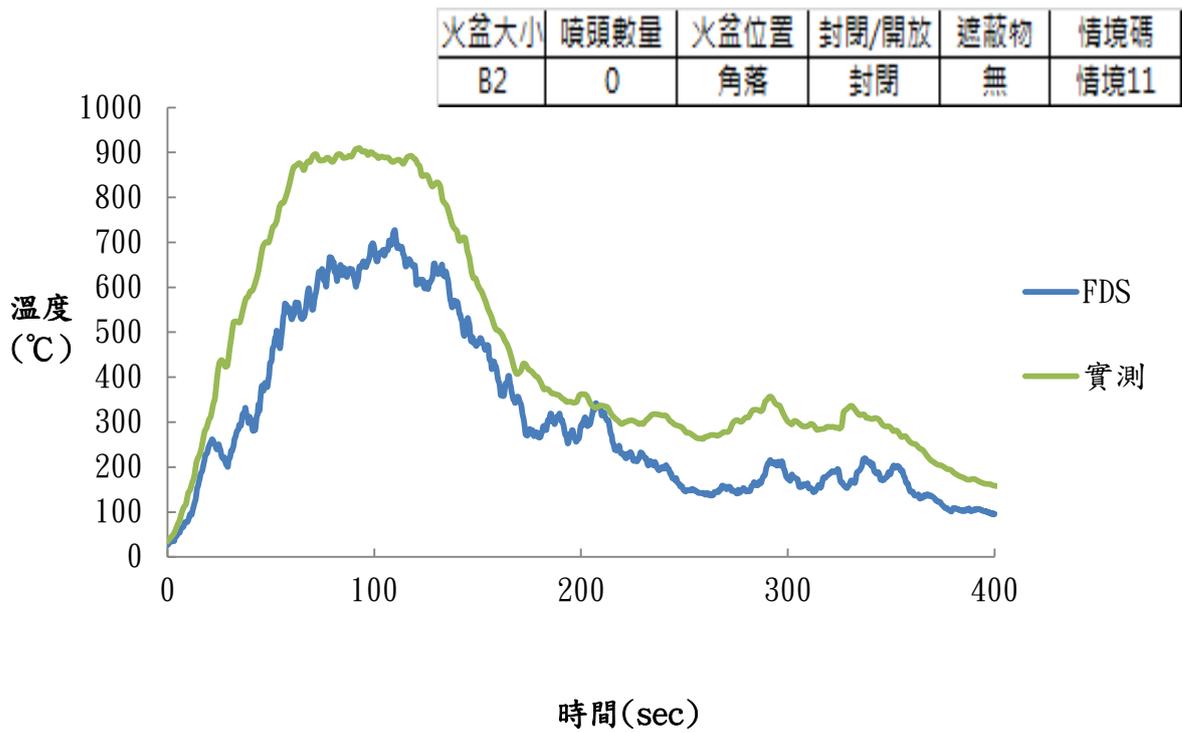


圖 139 情境 11 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖

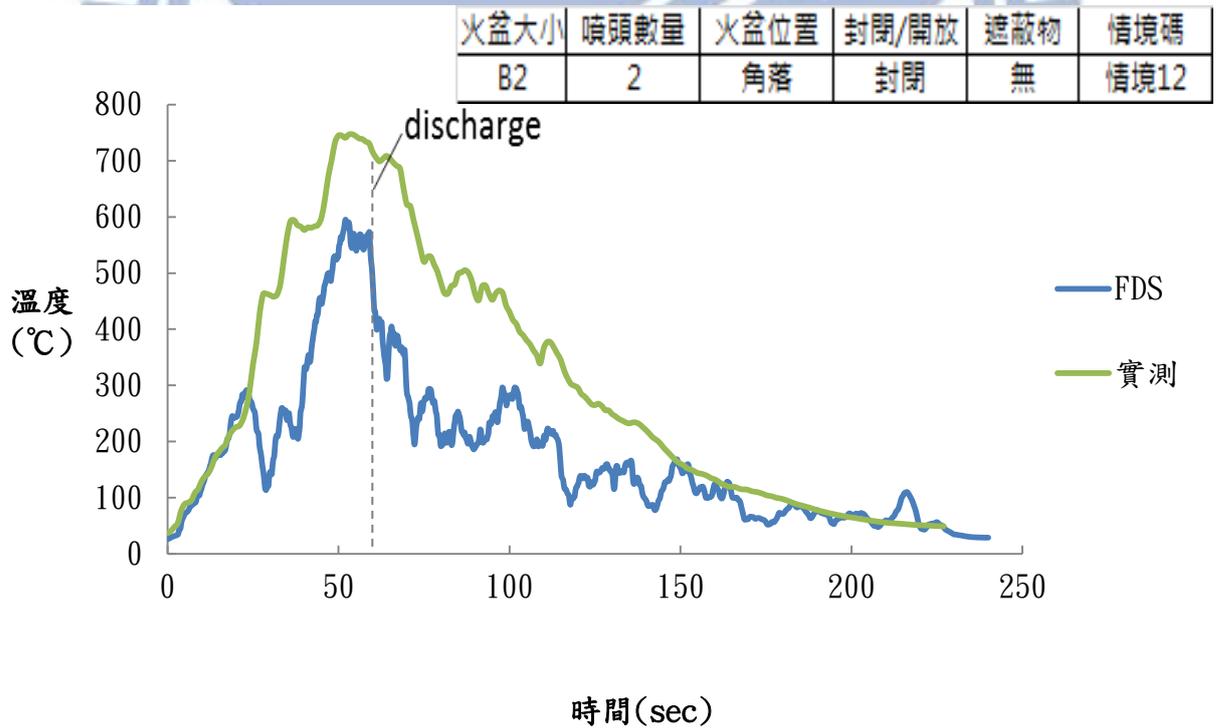


圖 140 情境 12 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖

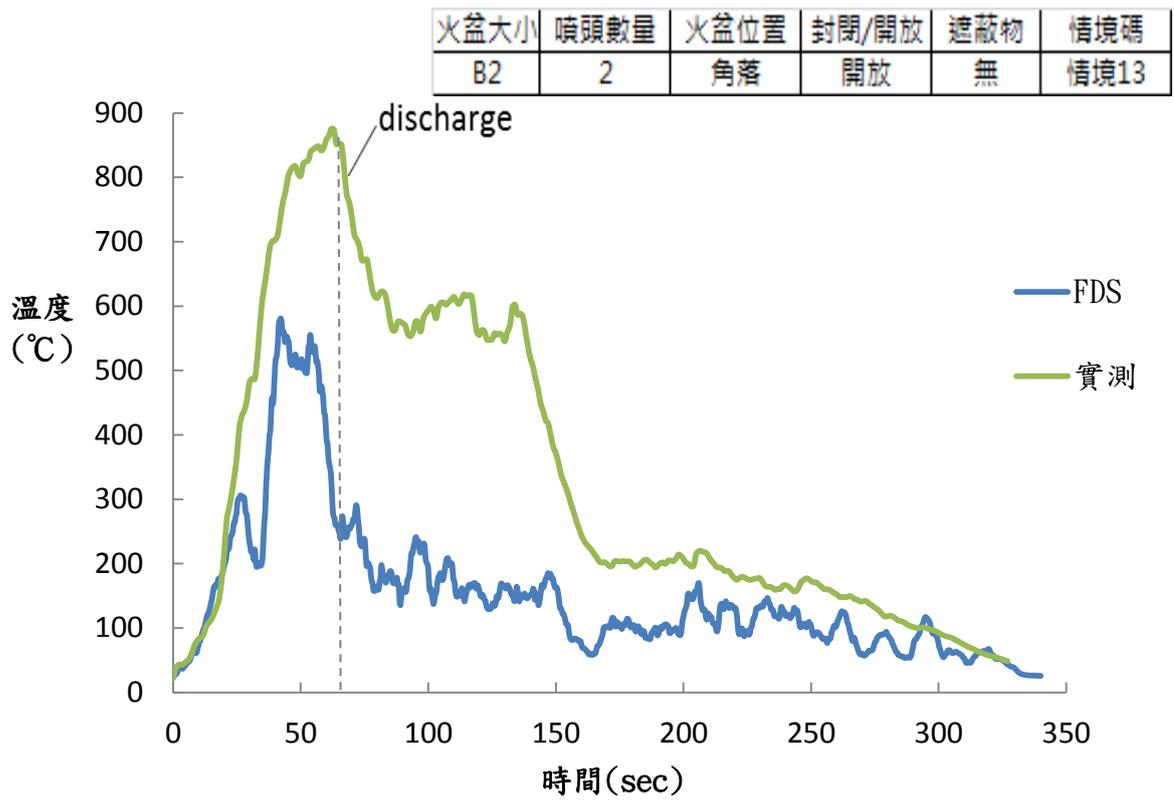


圖 141 情境 13 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖

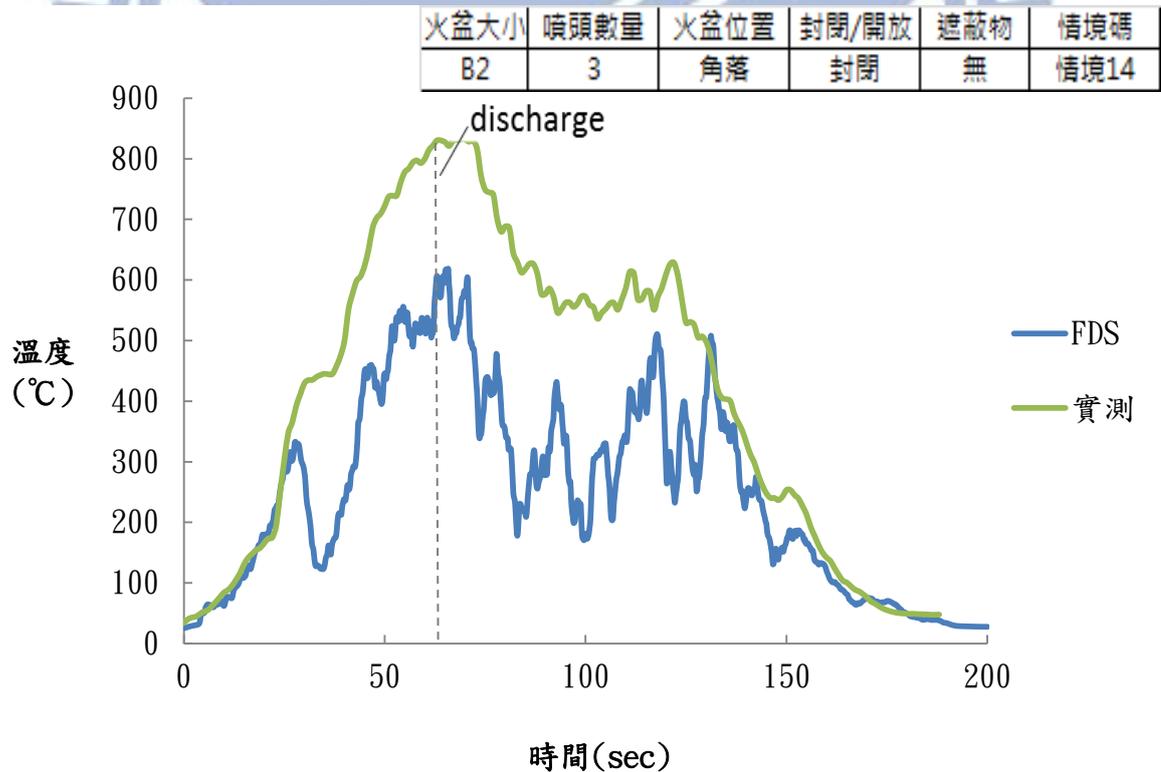


圖 142 情境 14 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖

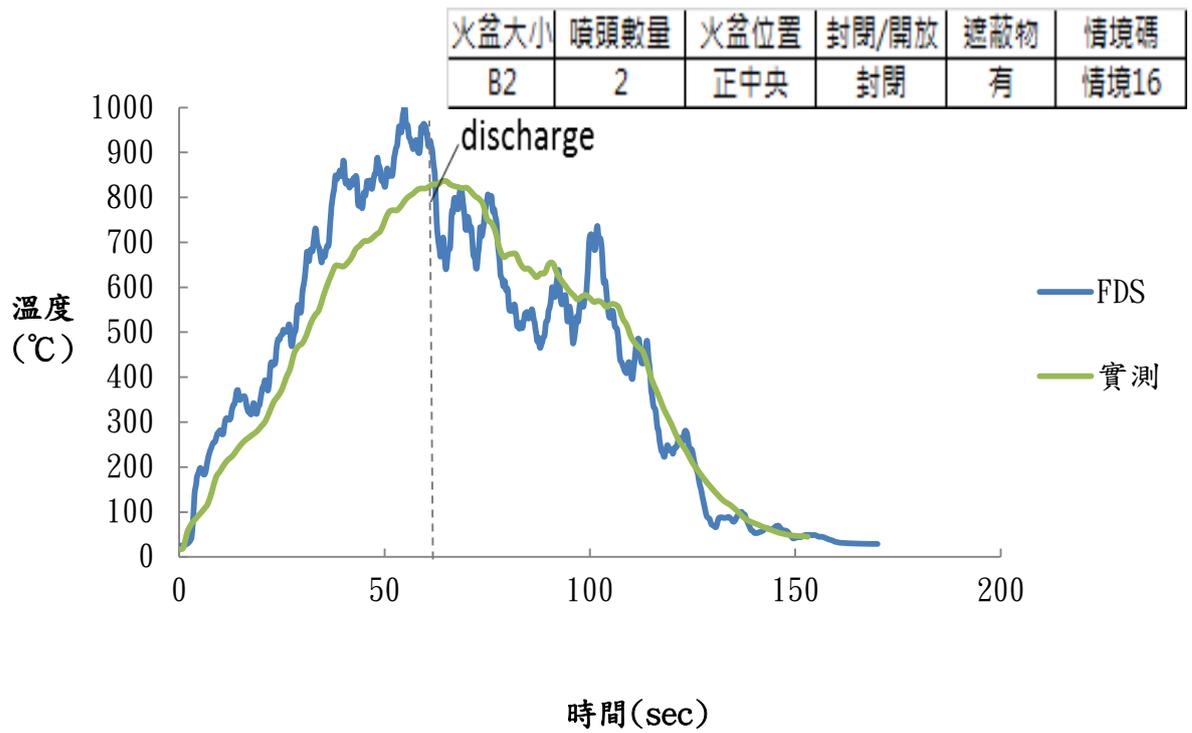


圖 143 情境 16 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖

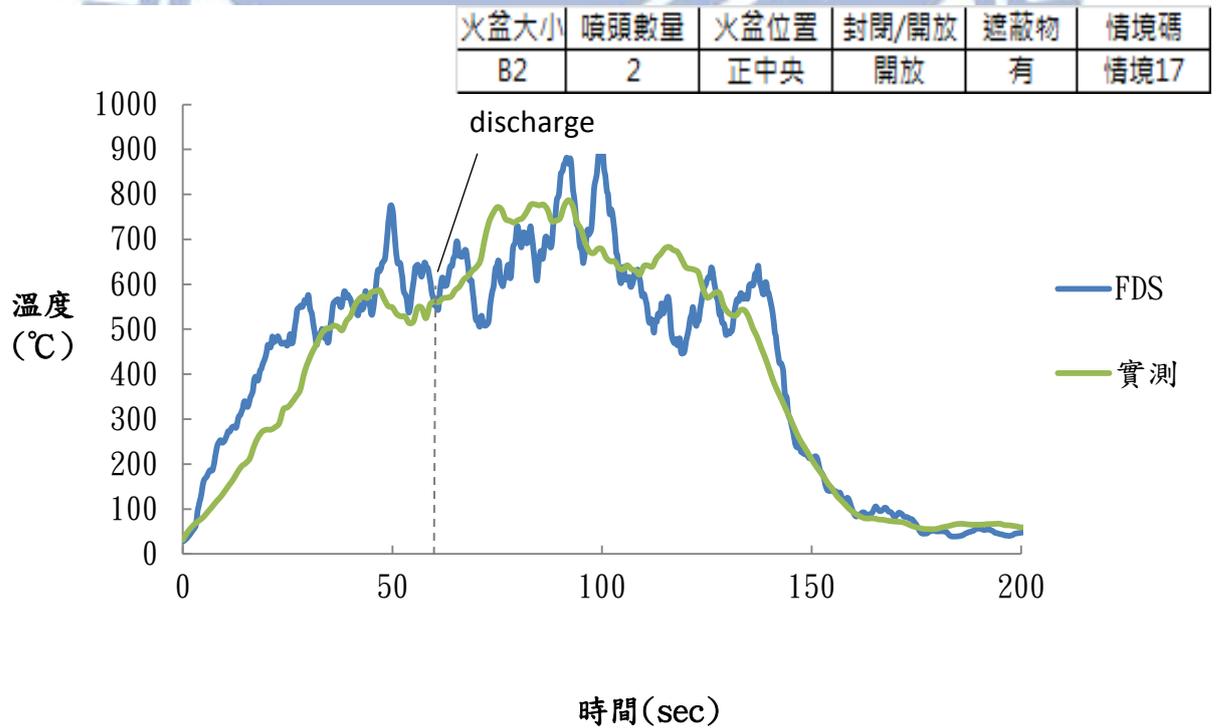


圖 144 情境 17 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖

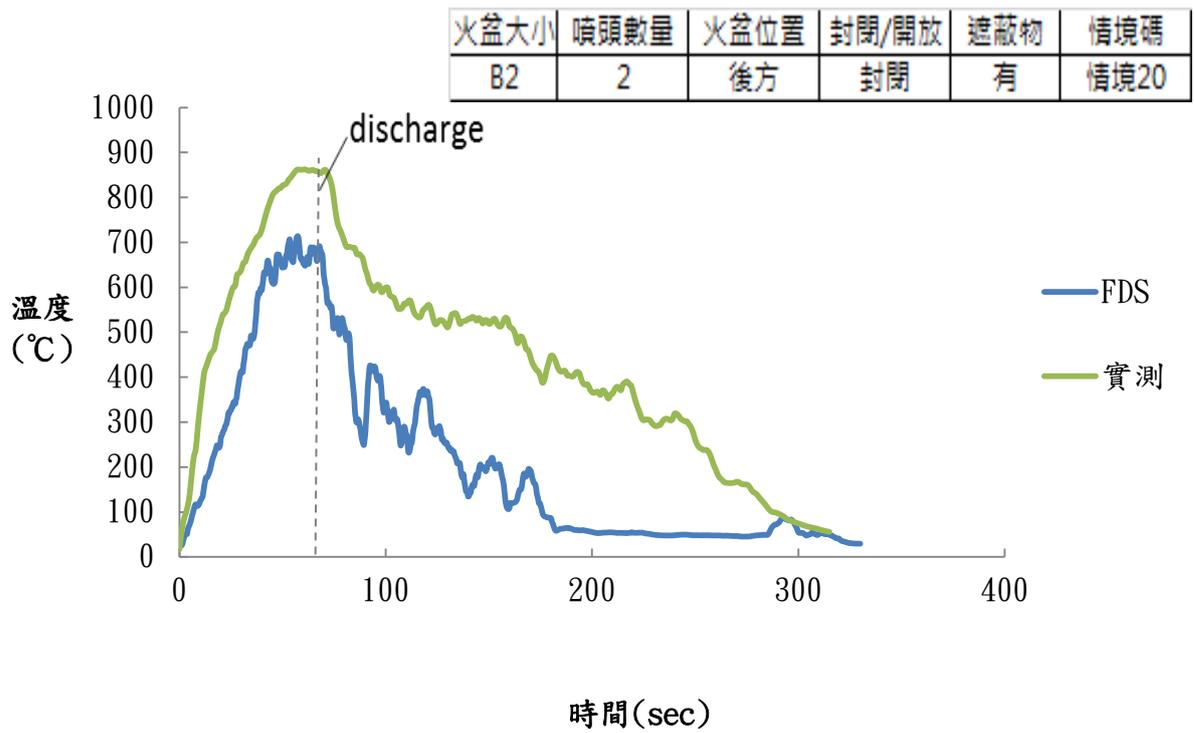


圖 145 情境 20 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖

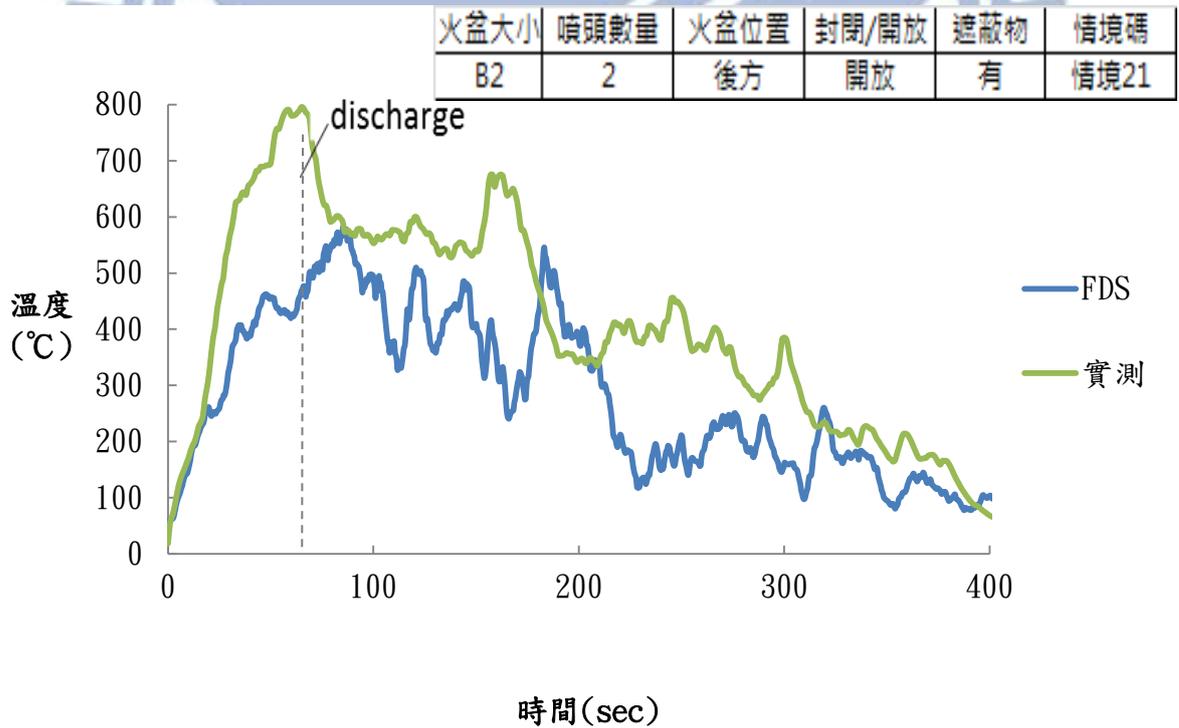


圖 146 情境 21 實測與 FDS 模擬溫度曲線比較圖

4.4.3 探討FDS模擬氣流場分析

細水霧動作時，水蒸氣及空氣會被帶入燃燒區域，稀釋原有可燃性蒸氣與空氣混合至燃燒下限，進而達到滅火。區劃內位於天花板的熱氣體，被水霧蒸汽冷卻擠至地面，降低燃燒效率。

FDS模擬氣流場分析如下：

- 相較情境12(角落封閉)及情境13(角落開口)，角落封閉時水量較多(圖147)，所以滅火效果較好，當角落開口的情境下水量往外部釋放，氣流場受外部干擾(圖148)，水氣較難進入燃燒區域。

- 相較情境8(2顆細水霧噴頭開口)及情境4(2顆細水霧噴頭封閉)，開口造成水量往外部釋放，氣流場受外部干擾(圖152)，所以滅火效果較差，封閉時水量較均勻(圖151)，水氣因氣流變化會被帶入燃燒區域，所以滅火效果較好。

- 相較情境16(遮蔽物封閉)及情境17(遮蔽物開口)，開口造成水量往外部釋放，氣流場受外部干擾(圖150)，所以滅火效果較差，封閉時水量較均勻(圖149)，水氣因氣流變化會被帶入燃燒區域，所以滅火效果較好。

- 相較情境12(角落)及情境4(中央)，角落的水量較少(圖147)，所以滅火效果較差，中央的水量較多(圖151)，所以滅火效果較好。

- 相較情境16(有遮蔽物)及情境4(無遮蔽物)，有遮蔽物的水量較少(圖149)所以滅火效果較差，無遮蔽物的水量較多(圖151)，所以滅火效果較好。

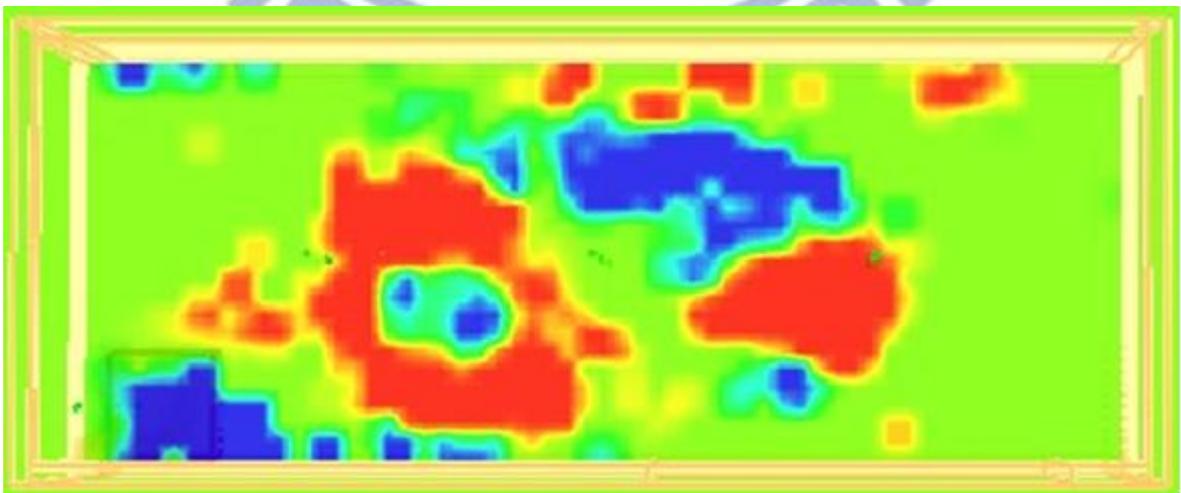


圖147情境12模擬100sec時，Z=1.0水密度分布圖

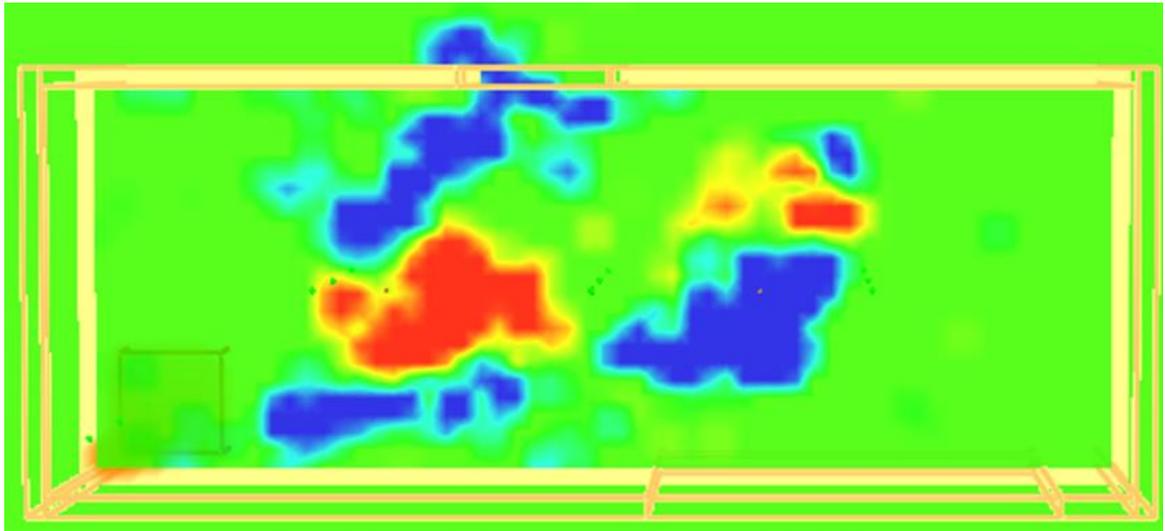


圖148情境13模擬100sec時， $Z=1.0$ 水密度分布圖

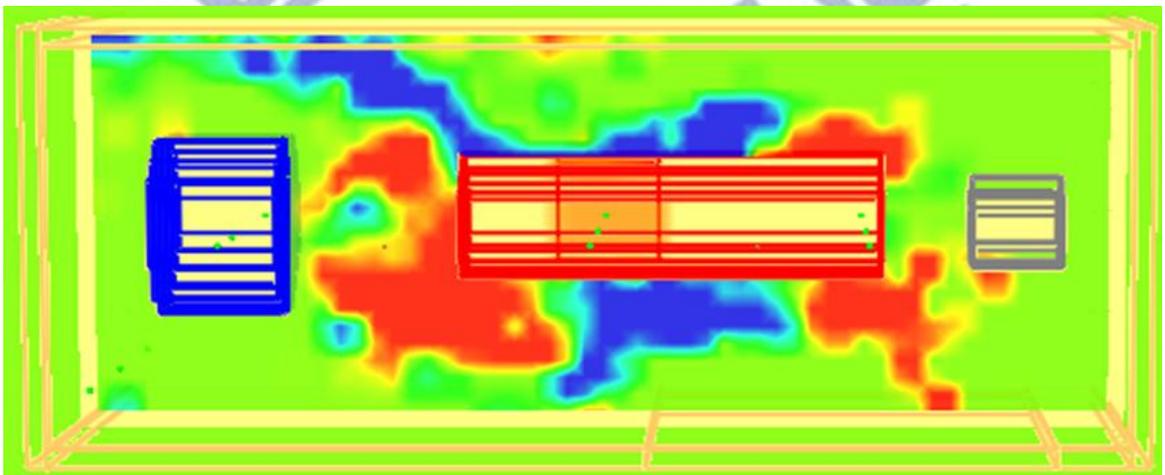


圖149情境16模擬100sec時， $Z=1.0$ 水密度分布圖

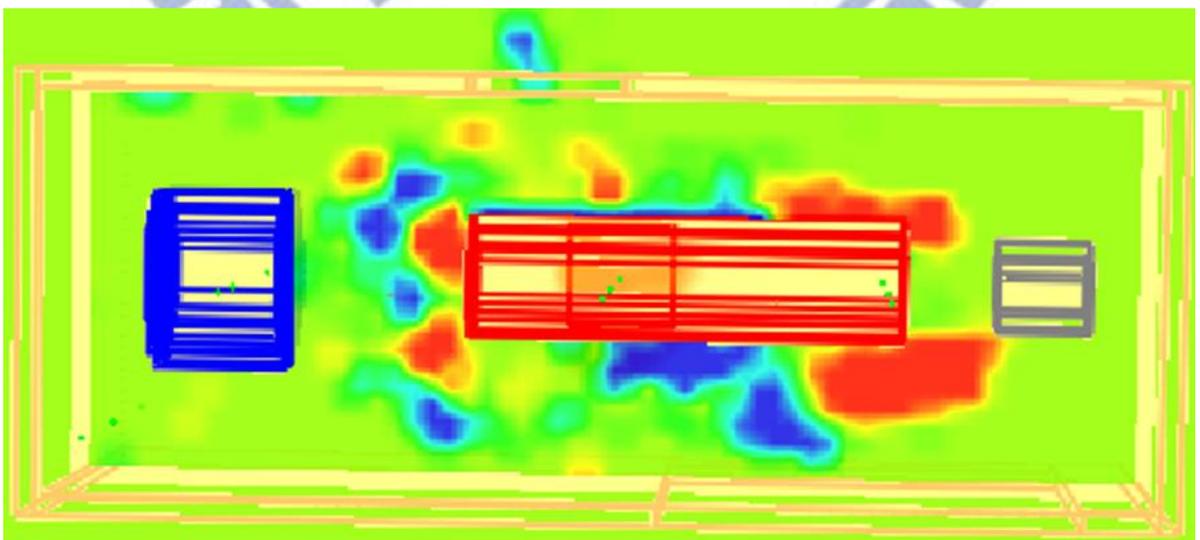


圖150情境17模擬100sec時， $Z=1.0$ 水密度分布圖

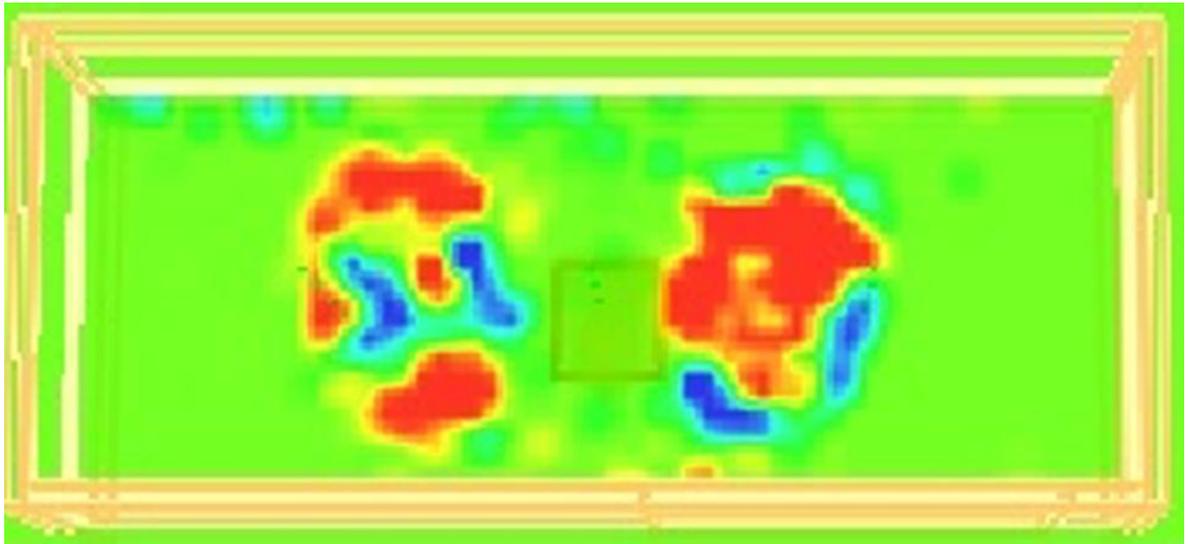


圖151情境4模擬100sec時，Z=1.0水密度分布圖

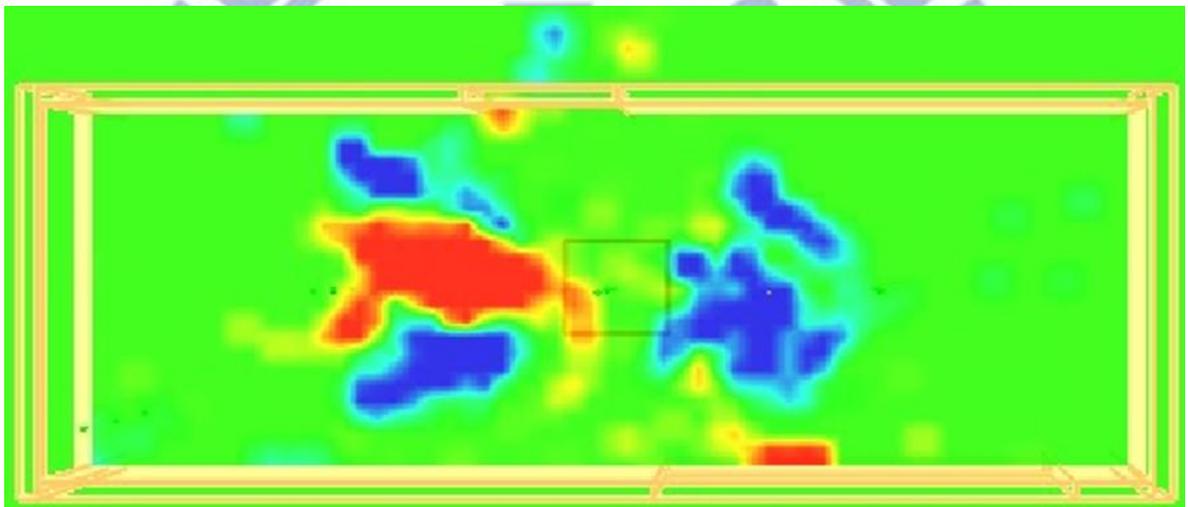


圖152情境8模擬100sec時，Z=1.0水密度分布圖

4.4.4 探討FDS模擬細水霧之可行性

依照模擬結果顯示，當細水霧系統於發生火災作動時，可迅速有效地移除火場大部分的熱量並達到抑制火勢的效果，避免對人員或是裝備產生危害。

本文採用FDS電腦模擬方法，針對風力發電機進行細水霧滅火系統之可行性評估，FDS5目前雖無細水霧的選項但實際以撒水頭的模式來模擬細水霧的滅火機制是具有參考價值的，本模擬結果顯示以下細水霧各項滅火特性且與實驗狀態吻合：

(1) 冷卻作用：

高壓水經由細水霧頭，激化為顆粒極小之水花(圖153、154)，因水霧粒子極小、密度高，增加了水分子接觸表面積質量體積比，使熱

能移轉速度加快，水分子蒸發吸熱汽化成氣體水蒸氣時又急速吸收熱量，降低火源周圍溫度，火焰的氣相溫度低於維持燃燒所需溫度，則燃燒過程因而停止。

(2)次要滅火機制：

次要滅火機制包括水蒸氣/空氣稀釋、流場動態效應(4.4.3 探討FDS模擬氣流場分析)。細水霧動作時，水蒸汽及空氣會被帶入燃燒區域，稀釋原有可燃性蒸氣與空氣混合至燃燒下限，進而達到滅火。區劃內位於天花板的熱氣體，被水霧蒸氣冷卻擠至地面，降低燃燒效率。



圖153實驗細水霧噴放水花狀態

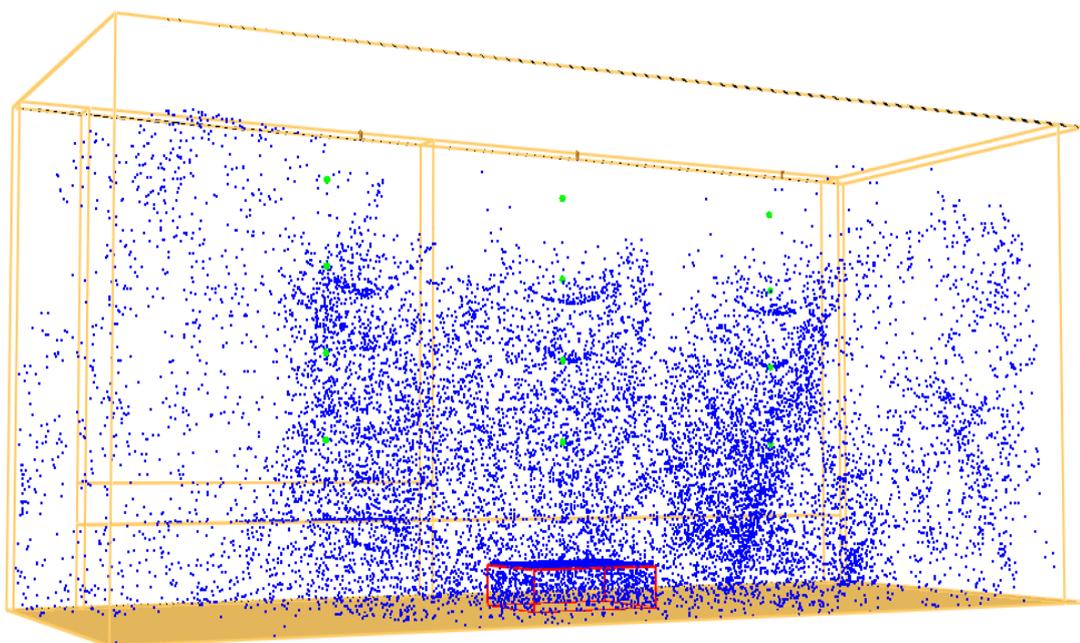


圖154模擬細水霧噴放水花狀態

第五章 結論與建議

5.1 結論

本文採用實驗及電腦模擬方法，針對風力發電機進行細水霧滅火系統之效益性評估，以瞭解其用於該領域中，做為火災抑制/滅火系統之可行性。

針對實驗結果可歸納出下列幾點結論：

- (一)、細水霧噴頭之裝設位置與油盆火焰是否被遮蔽，對於整體滅火效能有重要影響，研究發現遮蔽物若覆蓋住火源會導致細水霧滅火效能降低。
- (二)、當細水霧系統作動時可迅速有效地移除火場大部分的熱量、煙粒子並減少毒性氣體的產生，達到維護設備財產之主要目的。
- (三)、由結果顯示，一旦當火災迅速成長與擴展時，機艙內各角落的溫度、毒性氣體與煙塵將於短時間內快速上升並超出可承受的極限值，藉此結果評估機艙內應使用不燃化或防火材質之設備及材料來降低火載量。

針對電腦模擬結果可歸納出下列幾點結論：

- (一)、於溫度切面圖觀察得知，細水霧放射後對於火場的冷卻效果明顯，FDS 模擬結果溫度下降曲線較實測溫度下降曲線比較明顯，顯示 FDS 模擬細水霧的冷卻效應較佳。
- (二)、在細水霧無法直接打擊火源之情境，以 FDS 進行細水霧模擬，數值實驗與實場實驗之火場溫度下降趨勢相當接近，說明利用 FDS 進行細水霧火場模擬有其可用性。
- (三)、於模擬氣流場分析得知，開口造成水量往外部釋放，氣流場受外部干擾所以滅火效果較差，封閉時水量較均勻，水氣因氣流變化會被帶入燃燒區域所以滅火效果較好，角落的水量較少，所以滅火效果較差，中央的水量較多，所以滅火效果較好。有遮蔽物的水量較少所以滅火效果較差，無遮蔽物的水量較多，所以滅火效果較好。

5.2 建議

本文數值模擬採用由 NIST 發展的 FDS 第五版，該版本無細水霧滅火系統功能選項且缺少輻射熱回饋效應之計算，期待第六版有該功能選項可以使數值模擬更有改善及進步空間。

本次實驗及電腦模擬未針對氧濃度進行探討，期待下一次有相同研究先進可將此項目列入探討，使其更加完整。

參考文獻

1. 財團法人消防安全設備中心基金會，「消防安全法令彙編」，台北，中華民國九十二年五月。
2. Wind turbines; Protective measures - Requirements for design, operation and maintenance; German version EN 50308。
3. Brandschutz bei Windenergieanlagen (WEA)。
4. NFPA 850: Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations, 2010 Edition。
5. FM Global Property Loss Prevention Data Sheets 13-10: WIND TURBINES。
6. NFPA750, Standard on Water Mist Fire Protection Systems, 2000。
7. 鄭維金、陳俊勳、徐一量、雷明遠「半導體製程排氣風管細水霧防火效能評估之研究」，國立交通大學，碩士論文，民國93年1月。
8. 松大資訊工業股份有限公司，“Fotec 移動式細水霧滅火設備規範”，2004。
9. 川圓科技股份有限公司，“多功能移動式細水霧滅火設備”，2004。
10. “全台首例台電億元風力發電機起火全毀”，陳育賢中國時報，2006。
11. “勿因再生能源政策而疏忽風力發電的管理”，(地方/新竹縣)，文/綠色陣線，吳東傑，2007。
12. 田有松，“消防設備篇”，電機技師。
13. 徐一量，“風力發電機組細水霧滅火系統研發”，中臺科技大學，台中市，2010。
14. NICEIC “Firetrace System”。
15. 蔡立祥、陳建民、藍成陽、徐一量，“風力發電機火災危害分析與防護對策”，環境工程學會，2010。
16. 藍成陽、徐一量“高科技廠排氣風管火災防護之細水霧系統開發與驗證”，工業技術研究院，台北市，2004。
17. Braidech, M. M., J. A. Neale, A. F. Matson, and R. E. Dufour, “The mechanism of Extinguishment of Fire By Finely Divided Water,” Underwriter Laboratories Inc. for the national Board of Fire Underwriter, New York, 1955。

18. Rasbash, D. J., Z. W. Rogowski, and G. W. V. Stark, "Mechanisms of Extinction of Liquid Fuel Fires with Water Sprays," *Combustion and Flame*, 4, 1960, pp 223~224 .
19. Wen-Yao Chang , Ping-Kun Fu , Chiun-Hsun Chen , Yi-Liang Shu , "Performance evaluation of a water mist system in semiconductor wet bench fires" , 2008 .
20. H. Barrow , C.W. Pope , "Droplet evaporation with reference to the effectiveness of water-mist cooling" , 2006 .
21. Z. Liu, D. Carpenter, A.K. Kim "Characteristics of large cooking oil pool fires and their extinguishment by water mist" , 2005 .
22. Wen-Yao Chang , Ping-Kun Fu , Chiun-Hsun Chen and Yi-Liang Shu , "Evaluating the performance of a portable water - mist fire extinguishing system with additives" , 2008 .
23. Yi-Liang Shu, Wei-Jin Jeng, Chen-Wei Chiu and Chiun-Hsun Chen , "Assessment of fire protection performance of water mist applied in exhaust ducts for semiconductor fabrication process" , 2005 .
24. Mawhinney, J. r., B. Z. Dlugogorski and A. K. Kim, "A closer Look at the Extinguishing Properties of Water Mist," in *Proceedings: International Association for Fire Safety Science (IAFSS) Conference*, Ottawa, Canada, 1994 .
25. Babrauskas, V. , "Burning Rates , " *SFEP Handbook of Protection Engineering* , 3rd edition, National Fire Protection Association , Quincy , MA , 2002 .
26. 隋增輝、陳俊勳、徐一量 「海軍艦艇應用細水霧滅火效能之探討」國立交通大學碩士論文，2009 .
27. FDS_5_User_Guide .
28. Atreya. A. , "Pyrolysis, Ignition and Fire Spread on Horizontal Surfaces of Wood," NBS-GCR-83-449, National Bureau of Standards (now NIST), Gaithersburg, Maryland, 1983 .
29. Ritchie, S. J., Steckler, K. D., Hamins, A., Cleary, T. G., Yang, J. C. and Kashiwagi, T., "The Effect of Sample Size on the Heat Release Rate of Charring Materials," In *Fire Safety Science - Proceedings of the 5th International Symposium*, International Association For Fire Safety Science, pp. 177-188, March 1997 .

附錄一

NFPA 750 CODE (2000 年版)

細水霧防火標準法規

第一章 一般資訊

1-1* 範圍

本標準包含細水霧防火系統對於設計、安裝、維護和測試的最小要求。本標準不提供決定性的火災執行準則，也不提供特定的指導方針用於設計一套系統來控制、抑制或撲滅火災。信任是寄託於細水霧設備或系統明細的獲得和設備裝置在火災上的論證，就如同詳列程序的一部份。

1-2* 目的

此標準的目的在於提供生命財產的保護，從過去火災的經驗訂定設計、安裝、維護和測試的標準化，以規定用水為沖淡劑的火災抑制系統使用水花(細水霧)來吸收熱量、消耗氧氣或隔絕發熱體的熱量，達到控制、抑制或撲滅火災，如同應用上的需要一樣。對於細水霧技術的最小需求，本標準應建立在音響工程原理、測試數據及廣泛的經驗基礎上。假如安全規定的等級不低於本標準，則本標準並不預期限制任何新的技術或可供替換運用的安排。本標準應該依據提供者所列明細的所有條件、必要條件和其本身的限制因素，而不明確的指示需要何種材質與裝置。

1-3 追溯效力條款

此文件的規定是考慮在火災中預防生命財產的損失而必要提供保護的一個合理等級。就人們反應的情況和預期發展中之科技的目前進步水準本標準已經發行。

除非用不同的著名規定，在本件有效日期之前，現行或被認可的建築物或裝置，則不預期應用本文件的規定於設施、設備、架構或裝置。

例外：在某些案例中由司法當局堅決認定現行狀況於生命財產牽涉明顯的危害，那應實施本標準的規定。

1-4 定義

1-4.1* 認證. 由具審查權之管理機構認定可接受的。

1-4.2 使成霧狀的媒介，細水霧. 壓縮空氣或其他氣體由機械與水混合產生水霧。

1-4.3* 具審查權的管理機構. 透過組織、辦公室或個人審查所送審之設備、材質、裝置或程序。

1-4.4 水系統. 水霧系統使用開放性噴嘴連結於管路系統，並連接給水系統。

統經過一閥件，用安裝與霧狀噴嘴相同區域的探測系統來開啟此閥。當閥開啟時，水流進入管路系統排經連結於系統的所有噴嘴。

- 1-4.5* 變數 f . 以每滴直徑的蓄積容積，從直徑 0 到個別的直徑，是所有分佈的總合，相當於一小部份“ f ”。
- 1-4.6 附件. 事實上，住家建築、分隔物或牆，大體上包含於細水霧系統鄰近危險區而有夠長的時間來達到防火的目標。
- 1-4.7 火災的控制. 控制火災成長的限制因素如火災前緊鄰可燃物的清除、控制天花板氣體的溫度來預防建築物上的損害。
- 1-4.8 火災的熄滅. 火災的完全抑制直到沒有可燃物燃燒。
- 1-4.9 火災的抑制. 急遽降低火災釋熱率和預防復燃。
- 1-4.10 高壓系統. 細水霧系統分佈區域的系統管路承受 500 psi (34.5 bar) 或更高的壓力。
- 1-4.11 中壓系統. 細水霧系統分佈區域的系統管路承受介於 175 psi (12.1 bar) 和 500 psi (34.5 bar) 的壓力。
- 1-4.12* 登記. 設備、材質或服務包含於一個由具審判權管理機構和有關於產品或服務的評估被認可之組織公開發行的目錄上，維持設備明細產品的定期檢驗、或材質、或服務的定期評估，和那些任一設備、材質或服務遇上合適選定的標準、或對於規定的目的已經經過測試和認為是適當的。
- 1-4.13 低壓系統. 細水霧系統分佈區域的系統管路承受 175 psi (12.1 bar) 或更低的壓力。
- 1-4.14 應該(Shall). 指示一個強制之規定。
- 1-4.15* 應該考慮的. 需要客觀的評估，那些是用文件證明來決定特定要素的範圍、準則、指導方針及標準等等的結果和基礎。是由設計的合併和符合標準。
- 1-4.16 應該(Should). 指示一個建議或深思熟慮，但不一定是必要的。
- 1-4.17 單流體系統. 細水霧系統利用單一管路系統供給水源到每一噴嘴。
- 1-4.18 標準. 文件中，那一些包含只是強制性的規定用於講授時的言辭來指明規定，和哪一些是在一般形式上適合於強制參考於其他標準、法規或正式通過的法律。非強制性規定應定位於附件、註腳或小字體的註釋，和不是被考慮成為標準規定的一部份。
- 1-4.19 全部隔間的應用系統. 系統設計在一個封閉區域內釋放細水霧保護所有危害物品。
- 1-4.20 雙流體系統. 細水霧系統的水和使其霧化的媒介，分別供給和混合於細水霧噴嘴中。
- 1-4.21* 細水霧. 水花之因變數 0.99，對於小水滴之加權蓄積體積之分佈，小於 1000 微米，為水霧噴嘴最小設計操作壓力。(See A-2-6.1.)

- 1-4.22 細水霧噴嘴. 特別目的之裝置，包含一個或多個孔，設計於產生和傳送水花符合任何一個細水霧的詮釋，或由被認可之細水霧防火測試協定符合一特別之必要條件。(See Appendix C.)
- 1-4.22.1 細水霧噴嘴，自動. 以探測/反應裝置建立於噴嘴內，而能獨立操作之噴嘴。
- 1-4.22.2* 細水霧噴嘴，混合. 噴嘴能夠使用自動或非自動兩種方式。
- 1-4.22.3 細水霧噴嘴(開放式)，非自動. 以獨立探測系統操作噴嘴，如同一整個噴嘴系統或組群，包含噴嘴的開放孔和放射水流。
- 1-4.23 細水霧系統. 分佈系統於一供水系統或水與使其霧化的媒介之供給，裝設一個或多個噴嘴具有傳送細水霧而達到預期控制、抑制或撲滅火災的能力，和本標準所列明細已經經過驗證符合執行上的規定。
- 1-4.23.1 細水霧系統，乾式管路. 細水霧系統使用連結於管路系統的自動噴嘴，包含空氣，氮氣或惰性氣體壓力之下，釋放那些允許由水壓起動的乾式管路閥件(就如自動噴嘴的孔洞)。水流同時流進管路和流出通過任何一個開放噴嘴。
- 1-4.23.2 細水霧系統，規劃. 這些系統需要個別的計算和設計，由每個噴嘴來決定水流率、噴嘴壓力、管徑尺寸、區域、或受保護體積，水霧的排放密度、噴嘴的種類和數量、特定系統噴嘴的佈置。
- 1-4.23.3 水霧系統，地區性的運用. 細水霧系統在封閉區域、非封閉區域或室外開放條件配置直接排放於目標或危害物上。
- 1-4.23.4 水霧系統，預動式. 細水霧系統使用連結於管路系統的自動噴嘴，包含空氣可不可能在壓力之下與細水霧噴嘴一樣，有一個增補的探測系統裝設於相同區域。在探測系統的驅動下開啟閥件，允許系統中水流進入管路系統和流出通過任何一個開放噴嘴。
- 1-4.23.5* 細水霧系統，預先規劃. 這些系統流量、噴嘴壓力和水量的決定。
- 1-4.23.6 細水霧系統，溼式管路. 細水霧系統使用連結於管路系統的自動噴嘴，包含水及連接供水系統，於火災中的熱能作用從噴嘴立刻排放。

1-5 單位

1-5.1*

量測的公制單位是在本標準中是依據所知國際單位系統的現代公制系統。Liter 和 bar 單位是國際單位系統的外部組織，和一般使用在國際防火保護。這些單位間之換算詳表 Table 1-5.1。

1-5.2

假如在本標準中量測數值的條件是依據其他單位相等的數值，那第一個指定的數值將視為必要條件。所給予的相等數值將視為一近似值。

Table 1-5.1 Metric Conversion Factors

Name of Unit	Unit Symbol	Conversion Factor
Millimeter	Mm	1 in. = 25.4 mm
Square meter	m ²	1 ft ² = 0.0929 m ²
Liter	L	1 gal = 3.785 L
Cubic decimeter	dm ³	1 gal = 3.785 dm ³
Cubic meter	m ³	1 ft ³ = 0.028317 m ³
Kilogram	Kg	1 lb = 0.4536 kg
Kilograms per cubic	kg/m ³	1 lb/ft ³ = 16.0183
Pascal	Pa	1 psi = 6895 Pa
Bar	Bar	1 psi = 0.0689 bar
Bar	Bar	1 bar = 105 Pa
Liter per minute	L/min/m ²	1 gpm = 40.746
Micron		1 mm = 1000(1000)

1-6* 一般說明.

1-6.1

細水霧系統在防火系統的使用上非常優於水霧系統(i.e., 細水霧), 非常小的小水滴成為水霧而冷卻火燄和火雲, 達到控制、抑制或撲滅火災, 水氣消耗氧氣, 和降低輻射熱的目的。

1-6.2 使用與限制因素.

1-6.2.1

細水霧系統是被實行目的廣泛運用, 包括下列所示:

- (1) 火災的撲滅。
- (2) 火災的抑制。
- (3) 火災的控制。
- (4) 溫度的控制。
- (5) 爆炸的防止。

1-6.2.2*

細水霧系統不應被直接應用的化學物質, 這些化學物質會使水作用而產生激烈反應, 或產生明顯數量的危害物質。這些材料如下列所示:

- (1) 易生反應的化學物質, 如: 鋰、鈉、鉀、鎂、鈦、鋳及鈾。
- (2) 氧化鹼金屬, 如: 甲氧基鈉。
- (3) 氨基化合金屬, 如: 氨基化鈉。
- (4) 碳化物, 如: 碳酸鈣。
- (5) 鹵化物, 如: 氯化苯, 氯化鋁。
- (6) 氫化物, 如: 氫化鋁鋰。

- (7) 酚化物，如：酚化磷。
- (8) (Silanes)，如：三氯乙烯。
- (9) 硫化物，如：五硫化磷。
- (10) 氰化物，如：氰基化物。

1-6.2.3

細水霧系統不應直接應用於低溫的液化氣體(如液化天然氣)，和激烈蒸發的水。

1-7 安全.

1-7.1* 人員的危害

假如發生火災，預防措施應確實實施，如下列所示：

- (1) 迅速撤離受困人員。
- (2) 預防人員觸及危害氣體。
- (3) 用任何方法迅速救援受困人員。

安全要素應考慮包括人員訓練、警告標示、施放警報、完備的換氣設備、緊急疏散計畫和消防演習。

1-7.2* 電氣的間隙

1-7.2.1*

所有系統的構成要件依據 NFPA 70 國家電氣法規，應位於在非封閉和供給非絕緣的電氣構成要件能量來維持最低限度的間隙。

1-7.2.2

設計基準的絕緣等級(BIL)不是已知，可使用名義上的電壓為設計準則，應使用此組群規定的最高等級中最低限度的間隙。

1-7.2.3

所選擇間隙的接地應符合打開開關時浪湧的較大值，或 BIL 功率，而不是以名義上的電壓為基礎。

1-7.2.4

此間隙介於供給非絕緣電氣系統設備的一部份和細水霧系統的任一部份之間，在任何個別的構成要件上不應低於別處電氣系統絕緣。

1-7.3* 可移動泵浦.

可移動泵浦可用於細水霧系統，適當的預防措施應用於預防產生超過系統的最大壓力等級。

1-8 環境的因素

選擇細水霧系統保護危險區域，應考慮環境上水溢流的影響。特別注意應考慮到水的添加物或在危險區域的任何化學物質能否被水帶離。

附錄二

FDS Input File case4.fds

&HEAD CHID='case4', TITLE='FDS EXAMPLE Container FDS'/

&TIME T_END=400.00, DT=0.50/

&DUMP RENDER_FILE='case1.ge1', DT_PL3D=30.00/

&MISC TMPA=25.00, SURF_DEFAULT='STEEL',

CO_PRODUCTION=.TRUE./

&MESH ID='Mesh', IJK=120,50,40, XB=-2.00,10.00,-1.00,4.00,0.00,4.00/

&PART ID='SMOKE',

MASSLESS=.TRUE.,

COLOR='BLACK'/

&REAC ID='DIESEL',

C=15.00,

H=25.00,

O=0.00,

N=0.00,

IDEAL=.TRUE.,

HEAT_OF_COMBUSTION=4.6064000E004/

&MATL ID='STEEL',

SPECIFIC_HEAT=0.4600,

CONDUCTIVITY=45.80,

DENSITY=7.8500000E003,

EMISSIVITY=1.00/

&SURF ID='STEEL',

MATL_ID(1,1)='STEEL',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,

THICKNESS(1)=0.1000/

&SURF ID='FIRE',

HRRPUA=556.00,

RAMP_Q='FIRE_RAMP_Q',

PART_ID='SMOKE'/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=0.00, F=0.00/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=10.00, F=0.22/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=20.00, F=0.46/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=30.00, F=0.77/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=40.00, F=0.85/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=50.00, F=0.92/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=60.00, F=1.0/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=70.00, F=0.89/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=80.00, F=0.73/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=90.00, F=0.60/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=100.00, F=0.57/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=110.00, F=0.44/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=120.00, F=0.22/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=130.00, F=0.09/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=140.00, F=0.08/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=150.00, F=0.06/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=160.00, F=0.06/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=170.00, F=0.00/

/*****Sprinkler*****/

&DEVC ID='SPRINKLER1',XYZ=1.9,1.2,2.2, PROP_ID='K-11',
QUANTITY='TIME', SETPOINT=60.00/

/&DEVC ID='SPRINKLER2',XYZ=2.9,1.2,2.2, PROP_ID='K-11',
QUANTITY='TIME', SETPOINT=60.00/

&DEVC ID='SPRINKLER3',XYZ=3.9,1.2,2.2, PROP_ID='K-11',
QUANTITY='TIME', SETPOINT=60.00/

&PART ID='water',

WATER=.TRUE.,
SAMPLING_FACTOR=1,
DIAMETER=200.00,
MONODISPERSE=.TRUE./

&PROP ID='K-11',

PART_ID='water',
FLOW_RATE=14.00,
ORIFICE_DIAMETER=0.00200,

SPRAY_ANGLE=0.00,45.00/

&DEVC ID='DEVC1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.50,1.20,1.08/
&DEVC ID='DEVC10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.50,1.20,0.52/
&DEVC ID='DEVC11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.50,1.20,1.08/
&DEVC ID='DEVC12', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.50,1.20,1.64/
&DEVC ID='DEVC2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.50,1.20,1.64/
&DEVC ID='DEVC3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.50,1.20,2.20/
&DEVC ID='DEVC4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.00,1.20,1.64/
&DEVC ID='DEVC5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.00,1.20,2.20/
&DEVC ID='DEVC6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.50,1.20,0.52/
&DEVC ID='DEVC7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.50,1.20,2.20/
&DEVC ID='DEVC8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.00,1.20,0.52/
&DEVC ID='DEVC9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=3.00,1.20,1.08/
&OBST XB=2.70,3.30,0.90,1.50,0.00,0.2000, COLOR='RED',
SURF_IDS='FIRE','INERT','INERT'/ Obstruction #1
&OBST XB=0.00,0.1000,0.00,2.40,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
#2
&OBST XB=5.90,6.00,0.00,2.40,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction #3
&OBST XB=0.1000,5.90,0.00,0.1000,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/
Obstruction #4
&OBST XB=0.1000,5.90,2.30,2.40,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
#5
&OBST XB=0.1000,5.90,0.1000,2.30,2.30,2.40, SURF_ID='STEEL'/
Obstruction #6
&HOLE
XB=3.3000000E000,5.5000000E000,-2.0000000E-001,2.0000000E-001,3.00000
00E-001,5.0000000E-001/ Hole #1
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,-2.00,-1.00,4.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent XMIN for Mesh
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,10.00,-1.00,-1.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent YMIN for Mesh
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=10.00,10.00,-1.00,4.00,0.00,4.00,

COLOR='INVISIBLE'/ Vent XMAX for Mesh
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,10.00,4.00,4.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent YMAX for Mesh
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,10.00,-1.00,4.00,4.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent ZMAX for Mesh

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=2.60/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.60/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=1.20/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=1.80/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='water vapor',
VECTOR=.TRUE., PBZ=0.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.50/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='water vapor',
VECTOR=.TRUE., PBZ=1.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.00/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='water vapor',
VECTOR=.TRUE., PBZ=1.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.50/
&SLCF PBZ=0.5,QUANTITY='DROPLET FLUX Z', PART_ID='water drops' /
&SLCF PBZ=1.0,QUANTITY='DROPLET FLUX Z', PART_ID='water drops' /
&SLCF PBZ=1.5,QUANTITY='DROPLET FLUX Z', PART_ID='water drops' /
&SLCF PBZ=1.0,QUANTITY='DROPLET FLUX X', PART_ID='water drops' /
&SLCF PBZ=1.0,QUANTITY='DROPLET FLUX Y', PART_ID='water drops' /

&TAIL /

FDS Input File case12.fds

&HEAD CHID='case12', TITLE='FDS EXAMPLE Container FDS'/
&TIME T_END=240.00, DT=0.50/
&DUMP RENDER_FILE='case1.ge1', DT_PL3D=30.00/

&MISC TMPA=25.00, SURF_DEFAULT='STEEL',
CO_PRODUCTION=.TRUE./

&MESH ID='Mesh', IJK=120,50,40, XB=-2.00,10.00,-1.00,4.00,0.00,4.00/

&PART ID='SMOKE',
MASSLESS=.TRUE.,
COLOR='BLACK'/

&REAC ID='DIESEL',
C=15.00,
H=25.00,
O=0.00,
N=0.00,
IDEAL=.TRUE.,
HEAT_OF_COMBUSTION=4.6064000E004/

&MATL ID='STEEL',
SPECIFIC_HEAT=0.4600,
CONDUCTIVITY=45.80,
DENSITY=7.8500000E003,
EMISSIVITY=1.00/

&SURF ID='STEEL',
MATL_ID(1,1)='STEEL',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
THICKNESS(1)=0.1000/

&SURF ID='FIRE',
HRRPUA=556.00,
RAMP_Q='FIRE_RAMP_Q',
PART_ID='SMOKE'/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=0.00, F=0.00/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=10.00, F=0.17/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=20.00, F=0.31/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=30.00, F=0.64/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=40.00, F=0.79/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=50.00, F=1.00/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=60.00, F=1.00/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=70.00, F=0.89/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=80.00, F=0.65/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=90.00, F=0.62/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=100.00, F=0.62/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=110.00, F=0.48/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=120.00, F=0.41/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=130.00, F=0.34/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=140.00, F=0.32/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=150.00, F=0.27/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=160.00, F=0.23/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=170.00, F=0.16/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=180.00, F=0.14/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=190.00, F=0.10/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=200.00, F=0.09/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=210.00, F=0.08/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=220.00, F=0.07/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=230.00, F=0.00/

/*****Sprinkler*****/

&DEVC ID='SPRINKLER1',XYZ=1.9,1.2,2.2, PROP_ID='K-11',
QUANTITY='TIME', SETPOINT=60.00/
/&DEVC ID='SPRINKLER2',XYZ=2.9,1.2,2.2, PROP_ID='K-11',
QUANTITY='TIME', SETPOINT=60.00/
&DEVC ID='SPRINKLER3',XYZ=3.9,1.2,2.2, PROP_ID='K-11',
QUANTITY='TIME', SETPOINT=60.00/
&PART ID='water',
 WATER=.TRUE.,
 SAMPLING_FACTOR=1,

```

DIAMETER=200.00,
MONODISPERSE=.TRUE./
&PROP ID='K-11',
PART_ID='water',
FLOW_RATE=14.00,
ORIFICE_DIAMETER=0.00200,
SPRAY_ANGLE=0.00,45.00/

/*****DEVC SECTION*****/
&DEVC XYZ=4.5,1.2,0.50,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC1'/
&DEVC XYZ=4.5,1.2,1.35,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC2'/
&DEVC XYZ=4.5,1.2,2.20,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC3'/

&DEVC XYZ=3,1.2,0.50,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC4'/
&DEVC XYZ=3,1.2,1.35,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC5'/
&DEVC XYZ=3,1.2,2.20,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC6'/

&DEVC XYZ=1.5,1.2,0.50,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC7'/
&DEVC XYZ=1.5,1.2,1.35,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC8'/
&DEVC XYZ=1.5,1.2,2.20,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC9'/

&DEVC XYZ=0.30,0.40,0.50,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC10'/
&DEVC XYZ=0.30,0.40,1.35,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC11'/
&DEVC XYZ=0.30,0.40,2.20,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC12'/

&OBST XB=0.1000,0.730,0.1000,0.730,0,0.3000, COLOR='RED',
SURF_IDS='FIRE','INERT','INERT'/ Obstruction #1
&OBST XB=0.00,0.1000,0.00,2.40,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
#2
&OBST XB=5.90,6.00,0.00,2.40,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction #3
&OBST XB=0.1000,5.90,0.00,0.1000,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/
Obstruction #4
&OBST XB=0.1000,5.90,2.30,2.40,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction

```

#5

&OBST XB=0.1000,5.90,0.1000,2.30,2.30,2.40, SURF_ID='STEEL'/

Obstruction #6

&HOLE

XB=3.3000000E000,5.5000000E000,-2.0000000E-001,2.0000000E-001,3.0000000E-001,5.0000000E-001/ Hole #1

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,-2.00,-1.00,4.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent XMIN for Mesh

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,10.00,-1.00,-1.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent YMIN for Mesh

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=10.00,10.00,-1.00,4.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent XMAX for Mesh

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,10.00,4.00,4.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent YMAX for Mesh

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,10.00,-1.00,4.00,4.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent ZMAX for Mesh

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=2.60/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=0.60/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=1.20/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=1.80/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='water vapor',
VECTOR=.TRUE., PBZ=0.50/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.50/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='water vapor',
VECTOR=.TRUE., PBZ=1.00/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.00/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='water vapor',

```
VECTOR=.TRUE., PBZ=1.50/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.50/  
&SLCF PBZ=0.5,QUANTITY='DROPLET FLUX Z', PART_ID='water drops' /  
&SLCF PBZ=1.0,QUANTITY='DROPLET FLUX Z', PART_ID='water drops' /  
&SLCF PBZ=1.5,QUANTITY='DROPLET FLUX Z', PART_ID='water drops' /  
&SLCF PBZ=1.0,QUANTITY='DROPLET FLUX X', PART_ID='water drops' /  
&SLCF PBZ=1.0,QUANTITY='DROPLET FLUX Y', PART_ID='water drops' /
```

```
&TAIL /
```

```
FDS Input File case16.fds
```

```
&HEAD CHID='case16', TITLE='FDS EXAMPLE Container FDS'/
```

```
&TIME T_END=170.00, DT=0.50/
```

```
&DUMP RENDER_FILE='case1.ge1', DT_PL3D=30.00/
```

```
&MISC TMPA=25.00, SURF_DEFAULT='STEEL',  
CO_PRODUCTION=.TRUE./
```

```
&MESH ID='Mesh', IJK=120,50,40, XB=-2.00,10.00,-1.00,4.00,0.00,4.00/
```

```
&PART ID='SMOKE',  
    MASSLESS=.TRUE.,  
    COLOR='BLACK'/
```

```
&REAC ID='DIESEL',  
    C=15.00,  
    H=25.00,  
    O=0.00,  
    N=0.00,  
    IDEAL=.TRUE.,  
    HEAT_OF_COMBUSTION=4.6064000E004/  
    X_O2_LL=18    CRITICAL_FLAME_TEMPERATURE=65/柴油
```

```
&MATL ID='STEEL',
```

SPECIFIC_HEAT=0.4600,
CONDUCTIVITY=45.80,
DENSITY=7.8500000E003,
EMISSIVITY=1.00/

&SURF ID='STEEL',

MATL_ID(1,1)='STEEL',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,

THICKNESS(1)=0.1000/

&SURF ID='FIRE',

HRRPUA=556.00,

RAMP_Q='FIRE_RAMP_Q',

PART_ID='SMOKE'/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=0.00, F=0.00/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=10.00, F=0.22/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=20.00, F=0.34/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=30.00, F=0.58/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=40.00, F=0.79/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=50.00, F=0.89/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=60.00, F=1.00/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=70.00, F=0.89/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=80.00, F=0.82/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=90.00, F=0.79/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=100.00, F=0.71/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=110.00, F=0.61/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=120.00, F=0.36/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=130.00, F=0.18/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=140.00, F=0.09/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=150.00, F=0.06/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=160.00, F=0.00/

/*****DEVC SECTION*****/

&DEVC XYZ=4.5,1.2,0.45,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC1'/

&DEVC XYZ=4.5,1.2,1.4,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC2'/
&DEVC XYZ=4.5,1.2,2.2,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC3'/

&DEVC XYZ=3.0,1.2,0.45,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC4'/
&DEVC XYZ=3.0,1.2,1.4,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC5'/
&DEVC XYZ=3.0,1.2,2.2,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC6'/

&DEVC XYZ=1.00,1.2,0.45,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC7'/
&DEVC XYZ=1.00,1.2,1.7,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC8'/
&DEVC XYZ=1.00,1.2,2.2,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC9'/

&DEVC XYZ=0.30,0.40,0.50,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC10'/
&DEVC XYZ=0.30,0.40,1.35,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC11'/
&DEVC XYZ=0.30,0.40,2.20,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC12'/

&OBST XB=2.70,3.30,0.90,1.50,0.00,0.2000, COLOR='RED',
SURF_IDS='FIRE','INERT','INERT'/ Obstruction #1

&OBST XB=0.00,0.1000,0.00,2.40,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
#2

&OBST XB=5.90,6.00,0.00,2.40,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction #3

&OBST XB=0.1000,5.90,0.00,0.1000,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/
Obstruction #4

&OBST XB=0.1000,5.90,2.30,2.40,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
#5

&OBST XB=0.1000,5.90,0.1000,2.30,2.30,2.40, SURF_ID='STEEL'/
Obstruction #6

&OBST XB=0.50,1.20,1.09,1.36,0.51,0.53, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 5

&OBST XB=2.20,4.60,1.09,1.34,0.51,0.53, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 5

&OBST XB=5.10,5.60,1.11,1.31,1.01,1.04, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 5

&OBST XB=0.50,1.20,0.99,1.41,0.53,0.56, COLOR='BLUE',

SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 6
&OBST XB=2.20,4.60,1.04,1.41,0.53,0.56, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 6
&OBST XB=5.10,5.60,1.06,1.36,1.04,1.06, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 6
&OBST XB=0.50,1.20,0.96,1.49,0.56,0.58, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 7
&OBST XB=2.20,4.60,0.99,1.41,0.56,0.58, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 7
&OBST XB=5.10,5.60,1.04,1.39,1.06,1.09, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 7
&OBST XB=0.50,1.20,0.91,1.51,0.58,0.61, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 8
&OBST XB=2.20,4.60,0.96,1.46,0.58,0.61, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 8
&OBST XB=5.10,5.60,1.01,1.41,1.09,1.11, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 8
&OBST XB=0.50,1.20,0.89,1.54,0.61,0.63, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 9
&OBST XB=2.20,4.60,0.96,1.49,0.61,0.63, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 9
&OBST XB=5.10,5.60,1.01,1.44,1.11,1.14, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 9
&OBST XB=0.50,1.20,0.86,1.56,0.63,0.66, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 10
&OBST XB=2.20,4.60,0.94,1.51,0.63,0.66, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 10
&OBST XB=5.10,5.60,0.99,1.44,1.14,1.16, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 10
&OBST XB=0.50,1.20,0.84,1.61,0.66,0.68, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 11
&OBST XB=2.20,4.60,0.91,1.51,0.66,0.68, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 11

&OBST XB=5.10,5.60,0.96,1.46,1.16,1.24, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 11
&OBST XB=0.50,1.20,0.81,1.61,0.68,0.71, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 12
&OBST XB=2.20,4.60,0.89,1.54,0.68,0.71, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 12
&OBST XB=5.10,5.60,0.96,1.49,1.24,1.31, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 12
&OBST XB=0.50,1.20,0.78,1.64,0.71,0.73, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 13
&OBST XB=2.20,4.60,0.89,1.56,0.71,0.73, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 13
&OBST XB=5.10,5.60,0.96,1.46,1.31,1.36, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 13
&OBST XB=0.50,1.20,0.78,1.66,0.73,0.76, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 14
&OBST XB=2.20,4.60,0.86,1.56,0.73,0.84, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 14
&OBST XB=5.10,5.60,0.99,1.46,1.36,1.39, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 14
&OBST XB=0.50,1.20,0.76,1.66,0.76,0.78, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 15
&OBST XB=2.20,4.60,0.86,1.59,0.84,0.91, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 15
&OBST XB=5.10,5.60,0.99,1.44,1.39,1.41, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 15
&OBST XB=0.50,1.20,0.76,1.69,0.78,0.81, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 16
&OBST XB=2.20,4.60,0.86,1.56,0.91,0.99, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 16
&OBST XB=5.10,5.60,1.01,1.41,1.41,1.46, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 16
&OBST XB=0.50,1.20,0.73,1.69,0.81,0.86, COLOR='BLUE',

SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 17
&OBST XB=2.20,4.60,0.89,1.54,0.99,1.06, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 17
&OBST XB=5.10,5.60,1.06,1.36,1.46,1.49, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 17
&OBST XB=0.50,1.20,0.71,1.71,0.86,0.99, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 18
&OBST XB=2.20,4.60,0.91,1.51,1.06,1.09, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 18
&OBST XB=5.10,5.60,1.09,1.34,1.49,1.51, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 18
&OBST XB=0.50,1.20,0.71,1.74,0.99,1.06, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 19
&OBST XB=2.20,4.60,0.94,1.49,1.09,1.11, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 19
&OBST XB=5.10,5.60,1.19,1.24,1.51,1.54, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 19
&OBST XB=0.50,1.20,0.71,1.71,1.06,1.16, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 20
&OBST XB=2.20,4.60,0.96,1.46,1.11,1.14, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 20
&OBST XB=0.50,1.20,0.73,1.71,1.16,1.19, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 21
&OBST XB=2.20,4.60,0.99,1.44,1.14,1.16, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 21
&OBST XB=0.50,1.20,0.73,1.69,1.19,1.24, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 22
&OBST XB=2.20,4.60,1.04,1.41,1.16,1.19, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 22
&OBST XB=0.50,1.20,0.76,1.66,1.24,1.29, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 23
&OBST XB=2.20,4.60,1.09,1.36,1.19,1.21, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 23

&OBST XB=0.50,1.20,0.78,1.64,1.29,1.31, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 24

&OBST XB=2.20,4.60,1.19,1.24,1.21,1.24, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 24

&OBST XB=0.50,1.20,0.81,1.61,1.31,1.34, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 25

&OBST XB=0.50,1.20,0.84,1.59,1.34,1.39, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 26

&OBST XB=0.50,1.20,0.89,1.56,1.39,1.41, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 27

&OBST XB=0.50,1.20,0.91,1.51,1.41,1.44, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 28

&OBST XB=0.50,1.20,0.96,1.49,1.44,1.46, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 29

&OBST XB=0.50,1.20,0.99,1.44,1.46,1.49, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 30

&OBST XB=0.50,1.20,1.04,1.36,1.49,1.51, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 31

&OBST XB=0.50,1.20,1.19,1.24,1.51,1.54, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 32

&HOLE

XB=3.3000000E000,5.5000000E000,-2.0000000E-001,2.0000000E-001,3.00000
00E-001,5.0000000E-001/ Hole #1

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,-2.00,-1.00,4.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent XMIN for Mesh

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,10.00,-1.00,-1.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent YMIN for Mesh

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=10.00,10.00,-1.00,4.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent XMAX for Mesh

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,10.00,4.00,4.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent YMAX for Mesh

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,10.00,-1.00,4.00,4.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent ZMAX for Mesh

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=2.60/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=2.60/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=0.60/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=1.20/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=1.80/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='water vapor',
VECTOR=.TRUE., PBZ=0.50/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.50/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='water vapor',
VECTOR=.TRUE., PBZ=1.00/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.00/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='water vapor',
VECTOR=.TRUE., PBZ=1.50/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.50/

&SLCF PBZ=0.5,QUANTITY='DROPLET FLUX Z', PART_ID='water drops' /

&SLCF PBZ=1.0,QUANTITY='DROPLET FLUX Z', PART_ID='water drops' /

&SLCF PBZ=1.5,QUANTITY='DROPLET FLUX Z', PART_ID='water drops' /

&SLCF PBZ=1.0,QUANTITY='DROPLET FLUX X', PART_ID='water drops' /

&SLCF PBZ=1.0,QUANTITY='DROPLET FLUX Y', PART_ID='water drops' /

&TAIL /

/*****Sprinkler*****/

&DEVC ID='SPRINKLER1',XYZ=1.9,1.2,2.2, PROP_ID='K-11',
QUANTITY='TIME', SETPOINT=60.00/

/&DEVC ID='SPRINKLER2',XYZ=2.9,1.2,2.2, PROP_ID='K-11',
QUANTITY='TIME', SETPOINT=60.00/

&DEVC ID='SPRINKLER3',XYZ=3.9,1.2,2.2, PROP_ID='K-11',
QUANTITY='TIME', SETPOINT=60.00/

&PART ID='water',

```

WATER=.TRUE.,
SAMPLING_FACTOR=1,
DIAMETER=200.00,
MONODISPERSE=.TRUE./
&PROP ID='K-11',
PART_ID='water',
FLOW_RATE=14.00,
ORIFICE_DIAMETER=0.00200,
SPRAY_ANGLE=0.00,45.00/
/*****OUTPUT*****/

FDS Input File case20.fds
&HEAD CHID='case20', TITLE='FDS EXAMPLE Container FDS'/
&TIME T_END=330.00, DT=0.50/
&DUMP RENDER_FILE='case1.ge1', DT_PL3D=30.00/
&MISC TMPA=25.00, SURF_DEFAULT='STEEL',
CO_PRODUCTION=.TRUE./

&MESH ID='Mesh', IJK=120,50,40, XB=-2.00,10.00,-1.00,4.00,0.00,4.00/

&PART ID='SMOKE',
MASSLESS=.TRUE.,
COLOR='BLACK'/

&REAC ID='DIESEL',
C=15.00,
H=25.00,
O=0.00,
N=0.00,
IDEAL=.TRUE.,
HEAT_OF_COMBUSTION=4.6064000E004/
X_O2_LL=18 CRITICAL_FLAME_TEMPERATURE=65/柴油

```

&MATL ID='STEEL',
SPECIFIC_HEAT=0.4600,
CONDUCTIVITY=45.80,
DENSITY=7.8500000E003,
EMISSIVITY=1.00/

&SURF ID='STEEL',
MATL_ID(1,1)='STEEL',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
THICKNESS(1)=0.1000/

&SURF ID='FIRE',
HRRPUA=556.00,
RAMP_Q='FIRE_RAMP_Q',
PART_ID='SMOKE'/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=0.00, F=0.00/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=10.00, F=0.10/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=20.00, F=0.32/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=30.00, F=0.53/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=40.00, F=0.78/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=50.00, F=0.88/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=60.00, F=1.00/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=70.00, F=1.00/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=80.00, F=0.82/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=90.00, F=0.71/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=100.00, F=0.71/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=110.00, F=0.74/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=120.00, F=0.64/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=130.00, F=0.59/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=140.00, F=0.56/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=150.00, F=0.50/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=160.00, F=0.49/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=170.00, F=0.44/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=180.00, F=0.50/

&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=190.00, F=0.53/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=200.00, F=0.51/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=210.00, F=0.44/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=220.00, F=0.41/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=230.00, F=0.32/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=240.00, F=0.29/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=250.00, F=0.26/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=260.00, F=0.18/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=270.00, F=0.12/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=280.00, F=0.09/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=290.00, F=0.08/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=300.00, F=0.06/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=310.00, F=0.06/
&RAMP ID='FIRE_RAMP_Q', T=320.00, F=0.00/

/******DEVC SECTION******/

&DEVC XYZ=4.5,1.2,0.45,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC1'/
&DEVC XYZ=4.5,1.2,1.4,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC2'/
&DEVC XYZ=4.5,1.2,2.2,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC3'/

&DEVC XYZ=3.0,1.2,0.45,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC4'/
&DEVC XYZ=3.0,1.2,1.4,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC5'/
&DEVC XYZ=3.0,1.2,2.2,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC6'/

&DEVC XYZ=1.00,1.2,0.45,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC7'/
&DEVC XYZ=1.00,1.2,1.7,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC8'/
&DEVC XYZ=1.00,1.2,2.2,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC9'/

&DEVC XYZ=0.30,0.40,0.50,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC10'/
&DEVC XYZ=0.30,0.40,1.35,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC11'/
&DEVC XYZ=0.30,0.40,2.20,QUANTITY='TEMPERATURE',ID='DEVC12'/

&OBST XB=0.55,1.15,0.90,1.50,0.00,0.2000, COLOR='RED',

SURF_IDS='FIRE','INERT','INERT'/ Obstruction #1
&OBST XB=0.00,0.1000,0.00,2.40,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
#2
&OBST XB=5.90,6.00,0.00,2.40,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction #3
&OBST XB=0.1000,5.90,0.00,0.1000,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/
Obstruction #4
&OBST XB=0.1000,5.90,2.30,2.40,0.00,2.40, SURF_ID='STEEL'/ Obstruction
#5
&OBST XB=0.1000,5.90,0.1000,2.30,2.30,2.40, SURF_ID='STEEL'/
Obstruction #6
&OBST XB=0.50,1.20,1.09,1.36,0.51,0.53, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 5
&OBST XB=2.20,4.60,1.09,1.34,0.51,0.53, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 5
&OBST XB=5.10,5.60,1.11,1.31,1.01,1.04, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 5
&OBST XB=0.50,1.20,0.99,1.41,0.53,0.56, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 6
&OBST XB=2.20,4.60,1.04,1.41,0.53,0.56, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 6
&OBST XB=5.10,5.60,1.06,1.36,1.04,1.06, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 6
&OBST XB=0.50,1.20,0.96,1.49,0.56,0.58, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 7
&OBST XB=2.20,4.60,0.99,1.41,0.56,0.58, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 7
&OBST XB=5.10,5.60,1.04,1.39,1.06,1.09, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 7
&OBST XB=0.50,1.20,0.91,1.51,0.58,0.61, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 8
&OBST XB=2.20,4.60,0.96,1.46,0.58,0.61, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 8
&OBST XB=5.10,5.60,1.01,1.41,1.09,1.11, COLOR='GRAY',

SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 8
&OBST XB=0.50,1.20,0.89,1.54,0.61,0.63, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 9
&OBST XB=2.20,4.60,0.96,1.49,0.61,0.63, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 9
&OBST XB=5.10,5.60,1.01,1.44,1.11,1.14, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 9
&OBST XB=0.50,1.20,0.86,1.56,0.63,0.66, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 10
&OBST XB=2.20,4.60,0.94,1.51,0.63,0.66, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 10
&OBST XB=5.10,5.60,0.99,1.44,1.14,1.16, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 10
&OBST XB=0.50,1.20,0.84,1.61,0.66,0.68, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 11
&OBST XB=2.20,4.60,0.91,1.51,0.66,0.68, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 11
&OBST XB=5.10,5.60,0.96,1.46,1.16,1.24, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 11
&OBST XB=0.50,1.20,0.81,1.61,0.68,0.71, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 12
&OBST XB=2.20,4.60,0.89,1.54,0.68,0.71, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 12
&OBST XB=5.10,5.60,0.96,1.49,1.24,1.31, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 12
&OBST XB=0.50,1.20,0.78,1.64,0.71,0.73, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 13
&OBST XB=2.20,4.60,0.89,1.56,0.71,0.73, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 13
&OBST XB=5.10,5.60,0.96,1.46,1.31,1.36, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 13
&OBST XB=0.50,1.20,0.78,1.66,0.73,0.76, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 14

&OBST XB=2.20,4.60,0.86,1.56,0.73,0.84, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 14
&OBST XB=5.10,5.60,0.99,1.46,1.36,1.39, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 14
&OBST XB=0.50,1.20,0.76,1.66,0.76,0.78, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 15
&OBST XB=2.20,4.60,0.86,1.59,0.84,0.91, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 15
&OBST XB=5.10,5.60,0.99,1.44,1.39,1.41, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 15
&OBST XB=0.50,1.20,0.76,1.69,0.78,0.81, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 16
&OBST XB=2.20,4.60,0.86,1.56,0.91,0.99, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 16
&OBST XB=5.10,5.60,1.01,1.41,1.41,1.46, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 16
&OBST XB=0.50,1.20,0.73,1.69,0.81,0.86, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 17
&OBST XB=2.20,4.60,0.89,1.54,0.99,1.06, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 17
&OBST XB=5.10,5.60,1.06,1.36,1.46,1.49, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 17
&OBST XB=0.50,1.20,0.71,1.71,0.86,0.99, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 18
&OBST XB=2.20,4.60,0.91,1.51,1.06,1.09, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 18
&OBST XB=5.10,5.60,1.09,1.34,1.49,1.51, COLOR='GRAY',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 18
&OBST XB=0.50,1.20,0.71,1.74,0.99,1.06, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 19
&OBST XB=2.20,4.60,0.94,1.49,1.09,1.11, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 19
&OBST XB=5.10,5.60,1.19,1.24,1.51,1.54, COLOR='GRAY',

SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 19
&OBST XB=0.50,1.20,0.71,1.71,1.06,1.16, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 20
&OBST XB=2.20,4.60,0.96,1.46,1.11,1.14, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 20
&OBST XB=0.50,1.20,0.73,1.71,1.16,1.19, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 21
&OBST XB=2.20,4.60,0.99,1.44,1.14,1.16, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 21
&OBST XB=0.50,1.20,0.73,1.69,1.19,1.24, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 22
&OBST XB=2.20,4.60,1.04,1.41,1.16,1.19, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 22
&OBST XB=0.50,1.20,0.76,1.66,1.24,1.29, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 23
&OBST XB=2.20,4.60,1.09,1.36,1.19,1.21, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 23
&OBST XB=0.50,1.20,0.78,1.64,1.29,1.31, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 24
&OBST XB=2.20,4.60,1.19,1.24,1.21,1.24, COLOR='RED',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 24
&OBST XB=0.50,1.20,0.81,1.61,1.31,1.34, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 25
&OBST XB=0.50,1.20,0.84,1.59,1.34,1.39, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 26
&OBST XB=0.50,1.20,0.89,1.56,1.39,1.41, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 27
&OBST XB=0.50,1.20,0.91,1.51,1.41,1.44, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 28
&OBST XB=0.50,1.20,0.96,1.49,1.44,1.46, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 29
&OBST XB=0.50,1.20,0.99,1.44,1.46,1.49, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 30

&OBST XB=0.50,1.20,1.04,1.36,1.49,1.51, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 31
&OBST XB=0.50,1.20,1.19,1.24,1.51,1.54, COLOR='BLUE',
SURF_ID='STEEL'/ BLOCK= 32

&HOLE

XB=3.3000000E000,5.5000000E000,-2.0000000E-001,2.0000000E-001,3.00000
00E-001,5.0000000E-001/ Hole #1

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,-2.00,-1.00,4.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent XMIN for Mesh

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,10.00,-1.00,-1.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent YMIN for Mesh

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=10.00,10.00,-1.00,4.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent XMAX for Mesh

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,10.00,4.00,4.00,0.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent YMAX for Mesh

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-2.00,10.00,-1.00,4.00,4.00,4.00,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent ZMAX for Mesh

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=2.60/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=0.60/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=1.20/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=1.80/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='water vapor',
VECTOR=.TRUE., PBZ=0.50/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.50/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='water vapor',
VECTOR=.TRUE., PBZ=1.00/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.00/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='water vapor',

```

VECTOR=.TRUE., PBZ=1.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.50/
&SLCF PBZ=0.5,QUANTITY='DROPLET FLUX Z', PART_ID='water drops' /
&SLCF PBZ=1.0,QUANTITY='DROPLET FLUX Z', PART_ID='water drops' /
&SLCF PBZ=1.5,QUANTITY='DROPLET FLUX Z', PART_ID='water drops' /
&SLCF PBZ=1.0,QUANTITY='DROPLET FLUX X', PART_ID='water drops' /
&SLCF PBZ=1.0,QUANTITY='DROPLET FLUX Y', PART_ID='water drops' /

&TAIL /
/*****Sprinkler*****/
&DEVC ID='SPRINKLER1',XYZ=1.9,1.2,2.2, PROP_ID='K-11',
QUANTITY='TIME', SETPOINT=60.00/
/&DEVC ID='SPRINKLER2',XYZ=2.9,1.2,2.2, PROP_ID='K-11',
QUANTITY='TIME', SETPOINT=60.00/
&DEVC ID='SPRINKLER3',XYZ=3.9,1.2,2.2, PROP_ID='K-11',
QUANTITY='TIME', SETPOINT=60.00/
&PART ID='water',
    WATER=.TRUE.,
    SAMPLING_FACTOR=1,
    DIAMETER=200.00,
    MONODISPERSE=.TRUE./
&PROP ID='K-11',
    PART_ID='water',
    FLOW_RATE=14.00,
    ORIFICE_DIAMETER=0.00200,
    SPRAY_ANGLE=0.00,45.00/
/*****OUTPUT*****/

```