臺灣警察專科學校警專學報，民國 105.04
第六卷第三期：51-80 頁

科技廠房消防共用水系統水錘作用分析之研究

Analysis of Water Hammer of Water-Based Fire Protection Systems in a Tech Plant

邱晨瑋[1]　　王義之[2]

Chen-Wei Chiu　　Yi-Jr Wang

摘要

近來科技廠房規模日益增大，一科技廠區內相關之建築群因防護任務不同，設置有不同之消防防護水系統，消防水系統常採用共用泵浦及主管路，以達到節省施工工期及材料成本之目的，而消防水系統操作時產生之水錘作用之壓力震盪也藉由共用管路於系統間傳遞。

本研究運用 SURGE 水力計算軟體進行消防共用水系統管路內處於紊流狀態之模擬情境，配合上從實際消防設備維護保養過程中，與現場實驗結果驗證，歸納出數種可能造成水槌作用的原因，以提出相關預防措施。

本文發於消防水系統平時保養時，分別以距離消防泵浦最近及最遠端不同動作水量水系統比較

（1）測試閥關閉時間越快，產生水錘壓力越大，應控制在 15 秒~30 秒間。

（2）測試水量越大，產生水錘壓力越大，應控制關閉時間更長。

採用共用消防水系統動作時之壓力影響，消防水系統動作時，水錘作用壓力會因共用主管路，傳遞影響其他系統，產生以下現象

（1）水錘作用壓力傳遞至其他非動作之系統時，會較動作系統壓力大

（2）距離動作系統越遠傳遞之壓力越大

關鍵字：消防共用水系統、水力計算、Surge、科技廠房、水錘作用

[1] Corresponding author at：台灣警察專科學校 消防安全科 副教授 E-mail:eswin.wei@gmail.com
[2] 台灣積體電路工程師

ABSTRACT

Due to the increasingly demand of high density usage of property space and cost /energy saving , it is getting common to install the simultaneous water supply requirements for fire protection equipmentsimultaneous system; namely, fire hydrants, automatic fire sprinklers, water mist system and fire hose reels served by the same water supply in semiconductor manufacturing plants. Based on the conservative but reasonable observation that a fire event is likely to activate an automatic sprinkler system or water mist system, occupants may use fire hose reels and the responding fire agency is likely to use the fire hydrant system whilst the sprinklers continue to operate the minimum performance of each system will be demanded simultaneously. However, some actions cause rapid change of water demand such as valve open/close, outlet open/close. Based on observations, water hammer occurs when continuous ,rapid or irregular changes happen in simultaneous system . There are several transient analysis methods, but this work employed only the computer model (SURGE software) to construct models to calculate and simulate transients in a pipeline. Many scenarios and different valve closure operations were applied to the models (with a pump and without a pump in the pipeline) to study the transients. The analysis shows that the routine fire flow pump tests would cause a frequent failure during fire flow testing. The fact that these failures occurinfrequently can be attributed to some careless operation of fire fighting personal for surge protection such as rapid turn off/on. The occurrence of transients can introduce large pressure forces and damage the whole pipe system.

Note that the hydraulic model of (simultaneous system) which is required to design the system can be used to perform a transient analysis and provide the risk evaluation , the standard of operations (SOP) . Therefore, little additional effort is required to perform this critical step and assure safety environment.

Key word:hydraulic calculation , Surge,pressure reducing valve , semiconductor manufacturing plants,water hammer,Preventive Maintenance

壹、緒論

一、研究動機與目的

（一）研究動機

以高科技產業而言，過去幾年因火災而損失之金額即高達約數百億台

幣以上，面對如此高額之損失，對高科技產業業者與產險業者而言，都是慘痛的經驗。現有高科技產業都是應用有限的土地設置精密而昂貴的設備，製程中處處可見可燃性及易燃性之氣體與液體，因此單位面積的火載量與投資成本皆高於一般產業，一旦發生意外，損失勢必相當嚴重；另導致周遭環境重大影響、產業營運中斷及客戶轉單等之間接損失，將直接影響產業競爭力；若是災害過程中發生人員傷亡時，更將對數個家庭造成永遠的傷害。

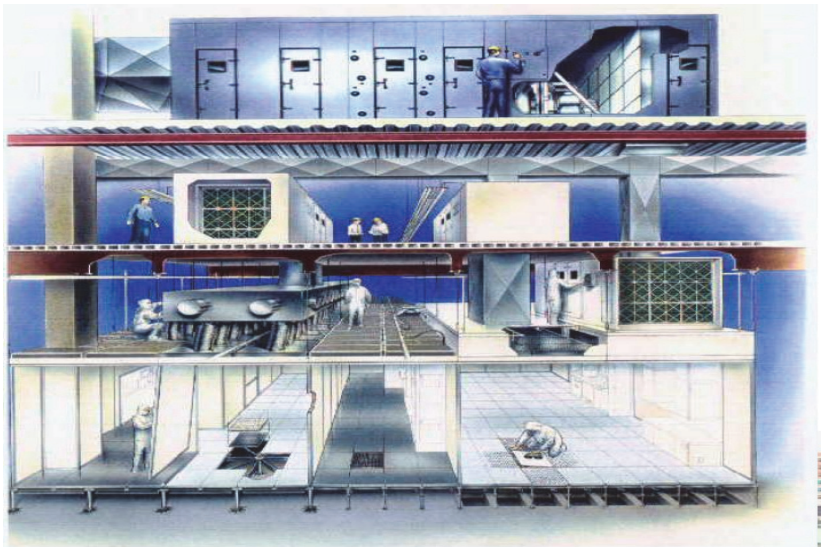


圖 1　科技廠房樓層剖面圖

圖片來源：http://web.tiit.edu.tw/

而高科技產業的快速發展，無塵室已是其不可或缺的重要設施。但在無塵室的環境中，由於場所的特殊性，在生產過程中有許多因子的危害，以火災對於機器設備的影響最大，火災不僅直接損壞機器設備，煙的蔓延更是無塵室重大損失的原因， 且影響公司的營運及人員的安全。

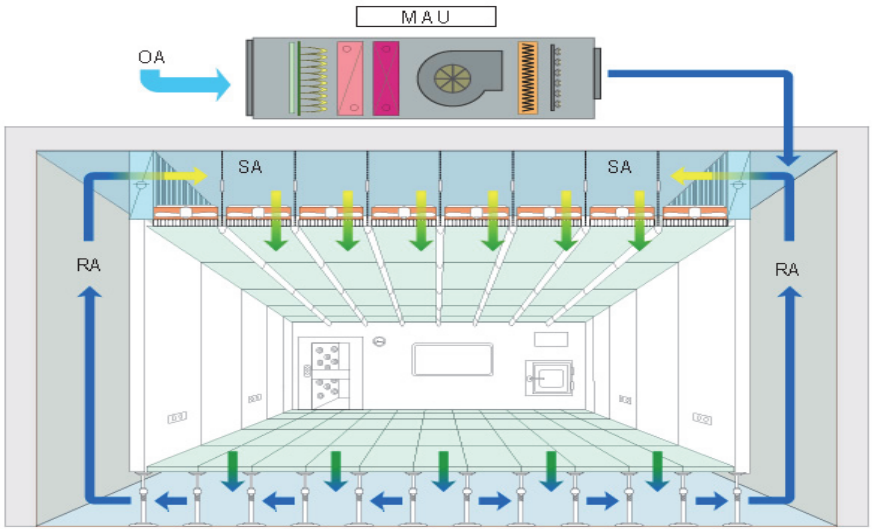


圖 2　無塵室氣流循環過濾系統示意圖

圖片來源：www.gem-tech.net

現階段國內在消防管理法令對於科技廠房不斷推陳出新的製程危害及預防管理工作上有提供部分的法令依據，但各高科技廠房業者對於消防安全管理、預防災損的努力，皆優於國內相關法令要求，並參考國外諸如美國國家防火協會（National Fire Protection Association, NFPA）、美國工廠互助保協會（Factory Mutual Insurance Company）及 SEMI 設備安全基準等相關規範，亦或有再保產險公司對科技廠房消防安全主動管理要求，而朝向本質安全設計、損害防阻等管理作為。

為降低高科技廠房火災所造成的損失，於廠房中設置適當之消防安全設備係必要的，一般國內高科技產業在興建廠房時，消防安全設備之設置除必須符合國內現行「各類場所消防安全設備設置標準」的要求外，通常均會再採用國際間先進的規範，例如：NFPA 318、FM 7-7/17-12 等規定。

利用水進行滅火是既經濟且有效率之滅火方法，而設置消防系統中水系統作為防護高科技廠房，有其絕對之必要性，凡以水作為控制火勢或滅火介質者，均可納入水系統之範圍，其滅火原理主要因利用水將火場溫度降低至燃點以下，在半導體廠中設置的水系統滅火設施主要有下列數種：

◆消防栓：此為消防法規所定義設置之高水量及高流量滅火系統。在消防策略上，大量的水澆淋在半導體廠之設備上，通常即造成無法復原的損失，在高電壓系統的滅火上更有其危險性，因此在設定使用時機時，必須先行建立一套完整之消防計劃再行使用，如未經規劃使用則

必定對廠房設備造成重大損失。

◆自動撒水設施：撒水設施為利用定壓及定量的水來進行控制火勢之「自動」設備，其重點在其火災發生時之自動性，誤動機率必須低於百萬分之一。在國外法規中，自動撒水裝置是建築物的必要選用設施，國內科技園區的單行法規也已將自動撒水裝置列為必備的建築物設施。自動撒水裝置在風險控制上是最後一道保護,在撒水裝置作動的同時，在潔淨室中其周圍的機台設施將等於放棄的狀態，也就是該區劃的機台設施將無法進行災後復原。在潔淨室下吹層流的冷卻特性之下，NFPA 將潔淨室中之自動撒水裝置要求定為 QR(Quick Response)等級，其 RTI（反應時間指標）必須在 50 以下。一般撒水系統可分為溼式、乾式、預反應式以及一齊開放式。國內半導體廠一般都以溼式作為撒水系統的配置。

◆水霧滅火設施：使用於電器設備時，為使水霧粒子更細微，以達隔絕滅火及絕緣之功能，水霧滅火系統由水源、供水設備、管道、一齊開放閥、過濾器和水霧噴頭等組成，向保護對象噴射水霧滅火或防護冷卻的滅火系統。

◆泡沫滅火設施：泡沫滅火設備是利用泡沫滅火劑和適合比例之水予以混合，將混合液體送到泡沫撒水頭或泡沫噴頭等發泡器，和空氣混合後，將產生之泡沫向燃燒物噴灑，利用泡沫之冷卻和窒息作來達成滅火效果。

為減少建廠費用及縮短工期，常會依據法規規定「…水系統得共用配管及消防幫浦…」減少主管件及泵浦配置，而不同水壓、水量之消防水系統共用配管及幫浦，在日常保養或是緊急應變時系統是否可承受？當時原本設置用來做初期滅火或控制火勢的消防設備；如自動撒水滅火設備或室內消防栓設備等，若管線系統遭到破壞或斷裂，將完全無法發揮其應有的功效，消防管線內的高壓水就可能從破損、斷裂處滲漏，造成倉庫、廠房等內部的水損慘狀，生產線也可能會被迫無法繼續再生產，如此結果，同樣是造成公司、業主的嚴重財產損失，此水損現象之預防，對高科技廠商甚至有潔淨室區域的廠房而言，更是不可輕忽。

水鎚係指管路內流動的液體遭到阻檔、方向改變或管內的流體受到壓縮，造成壓力上升，此上升的壓力形成壓力波，與水流相反方向回到系統源頭再反彈回至閥栓處，此種管內流體運動狀態急速變化而產生之異常壓力現象。

逢甲大學土木及水利工程研究所陳安國[3]在建築物抽水系統之設計、調查與評估中，對於水鎚的防止提出下列三種方式：

1.在抽水機上方裝設緩閉式逆止閥，避免逆止閥的閥門突然關閉，以防止正負壓於揚水管內產生摩擦與撞擊。

2.在緩閉式逆止閥上方裝設水鎚防止（吸收）器，以吸收閥門關閉瞬間所產生的不穩定壓力，緩和揚水管內水流的衝擊。

3.水鎚作用產生之壓力過大時，可以加裝洩壓閥，釋放抽水機關機時過大的水壓力。

臺北市電機技師吳德憲[4]提出五種水鎚防止的方式：

1.緩慢關閉閥門，延長操作時間。

2.不要安裝過多的彎頭。

3.幫浦出口端使用彈簧活塞式逆止閥。

4.幫浦之啟動／停止控制箱加裝緩啟動裝置。

5.正確選用與安裝水鎚吸收器吸收水鎚衝擊波能量。

上述水鎚防止方式雖是為解決建築物內一般給排水系統之管路所提出，但對於消防搶救用連結送水管系統仍有相當參考價值。

華夏技術學院資產與物業管理系林文興教授[5]定義水鎚作用係指密閉導管中，因動力改變、泵突然起動、停止或閥門快速關閉引起流量急劇變化，形成不穩定流，管系中之動能快速轉換成壓力能，致使導管中壓力亦隨之發生急劇變化，造成管系產生噪音、震動、泵出入口受損，嚴重時甚至造成管路受到應力變形而破壞之現象。

防止水鎚作用之方法有下列兩個原則：

1.延長流速變化時間（T），降低流速變化率

2.於水壓上升之瞬間設法予以放水降壓

常用之方法如下：

1.增加泵之慣性矩，例如加裝飛輪。

2.降低管內水流速度，經常產生水鎚之處，流速通常定在 1m/s 左右。

3.在動力阻斷，管路發生負壓力波處吸入空氣，形成緩衝作用。

---

[3] 陳安國，「建築物抽水系統之設計、調查與評估」，逢甲大學土木及水利工程研究所，碩士論文，民國 92 年 6 月。

[4] 台灣區水管工程工業同業公會產業資訊網，http://www.waterpipe-net.org.tw，民國 101 年 1 月。

[5] 林文興，全方位水系統消防安全設備，初版，吉淞出版社，民國 90 年 12 月

4.裝設空氣室或緩衝槽。

5.設自動水壓調整閥：停電瞬間開啟引水至水槽降低壓力。

6.裝設旁通閥或安全閥。

7.調整閥門關閉時間。

8.裝設減震裝置。

有鑑於此，本研究將針對科技廠房的共用消防水系統之水錘作用作進一步之研究探討，並選用電腦水力計算軟體加以模擬驗證，期所提結論與建議作為消防人員操作使用、系統測試、維護管理及消防專技人員設計時之參考。

（二）研究目的

依據上開研究動機，本文遂以「科技廠房消防共用水系統水錘作用分析之研究」為研究主題，以期望達到下列之研究目的：

1.歸納消防共用水系統各系統之特性及相關規範，加強維護保養人員對此系統的了解。

2.解析水鎚作用於消防共用水系統內風險分析，提出適當預防措施，提高系統可靠度。

3.運用電腦水力計算軟體量化消防共用水系統內可能造成水鎚作用影響最大之位置，消防專技人員系統設計階段參考並研訂風險控管策略。

二、研究範圍與限制

（一）研究範圍

1.本論文研究以高科技產業中的半導體廠房為對象，但相關模擬案例則可以作為其它適用廠房營運時的防災規劃考量。

2.消防共用水系統就僅用本案例中之高科技廠房所運用之消防水系統作為研究分析對象來探討。

（二）研究限制

1.本研究採用電腦軟體無法模擬幫浦零件故障或管路施工不當等情形。

2.本研究採用電腦軟體 Surge 中裝置壓力調整閥或水鎚防止裝置，只能連接兩條管線，例如不允許同時有兩條管接進壓力調整閥一次側，再有一根管接二次側的狀況，釋氣閥也必須遵循同樣條件。

3.本研究採用電腦軟體 Surge 只能同時模擬 99 個變化狀況，例如最多只能同時設定 99 顆撒水頭一齊動作，但可以設定一組一齊開放閥同時啟動 100 顆

水霧噴頭。

4.本研究不考慮兩區以上發生火災，此狀況已為縱火行為，不在消防系統考慮設計滅火範圍內。

5.本研究僅研究保養狀態下之消防水系統之動作，緊急應變之動作未在本研究範圍內。

三、研究方法

（一）文獻分析法

文獻分析是透過文獻的蒐集、分析、研究來提取所需資料的方法，並且對文獻作客觀而有系統的描述的一種研究方法。文獻分析在方法上是注重客觀、系統及量化的一種研究方法；在範圍上，不僅分析文獻內容，並且是分析整個文獻的學術傳播過程；在價值上，不只是針對文獻內容作敘述性的解說，並且是在推論文獻內容對整個學術傳播過程所發生的影響。文獻分析[6]可以幫助研究者釐清研究的背景事實、理論的發展狀況、研究的具體方向、適當的研究設計方式及研究工具的使用方式[7]。

本研究透過蒐集國內外有關消防水系統之基本原理、設置規範等相關文獻，進行系統性之整理及探討分析研究來提取所需的資料，介以釐清研究的背景事實、理論的發展狀況、研究的具體方向、適當的研究設計方式及研究工具的使用方式[1]，以作為本研究各項工作之參考依據及基礎研究資料。

（二）電腦軟體模擬法

實際上真實的世界裡，各種系統組成相當複雜，無法利用簡單的解析法直接獲得答案，必須借助模擬技巧，並於模擬的過程，利用電腦的快速運算能力，以數值法獲得答案。這種電腦產生的數值仍必須取得相當的資料相互印證，以便評估模式的正確性及其實際特性。目前因為有許多相關軟體可以處理一些模擬的程序，甚至可以自動完成程式的寫作，大大減輕模擬工作的負擔。其次是電腦模擬需要在電腦系統中進行，而其所需之大量電腦執行時間已因電腦技術的進步及作業速度的加快而大為減少[8]。

---

[6] 楊國樞、文崇一、吳聰賢等，社會及行為科學研究法，臺灣東華，頁 904-906，民 78 年。

[7] 朱家榮，國立成功大學圖書館建築用後評估之研究，http://nccur. lib.nccu.edu.tw/handle/140.119/33506，民 94 年

[8] 馮丁樹，基本模擬原理，www.bime.ntu.edu.tw，民 103 年

本研究選用紊流水力計算軟體（SURGE, PIPE）[9]，針對主要導致共用消防水系統管內壓力變化進行評估與分析，並驗證解決方案之效能，以提出結論與較佳設計建議。

貳、科技廠消防系統及分析軟體

一、高科技廠房環境介紹

何謂高科技廠房，其定義有很多，有許多的專家學者與研究者以各自不同的建廠經驗與思考觀點，對高科技廠房做了不同的解釋與詮釋，本研究蒐集相關文獻說明如下：

（一）根據[10]「高科技廠房無塵室防火工程性能式設計」及執行「新竹科學園區光電及半導體廠安全衛生評核計畫」的經驗提到，高科技廠房多設有無塵室，我國目前半導體和光電大廠之無塵室呈三明治式的設計，主要原因為土地資源缺乏。三明治式的設計具下列特性：

1.一大型無開口樓層。

2.內為挑高大空間維持正壓空調。

3.使用大量可/易燃化學品。

4.各式毒化物與高精密機台設備。

5.氣流循環方式，空氣是由外氣與內部循環氣體混合，進入風車設備，再到空調箱而產生潔淨氣體，再供應到各潔淨區。

6.氣流供應方式為從較潔淨區域，流向潔淨度較差區域，以減少內部所需氣流量，達節能效果。

（二）根據[11]「建築物防火安全管理與風險分析之研究」提到，現行高科技廠房建築之空間特性及應用，具有下列幾點特性。

1.封閉式建築，危險性高：廠房多為封閉式外牆（帷幕式），以機械通風為主，廠內使用及儲存強酸、強氧化劑、助燃氣體及易燃物質等，燃燒情形比一般火災強烈且快速，易造成避難及搶救人員身體上的危害，更可能造成環境汙染。

2.平面寬廣空間高大，人員分佈密度小：廠房建造十分寬敞高大，運用高度

[9] PIPE，Examples Manual，2010

[10]邱晨瑋，「高科技廠無塵室防火工程性能式設計」，鼎茂圖書出版股份有限公司，民 98 年 12 月

[11]鄭宗敏，「建築物防火安全管理與風險分析之研究」，博士論文，國立台北科技大學工程學院工程科技研究所，民 96 年

自動化的儀器設備，使工廠人員分布密度變得極小，發生火災發生初期不易發現。

3.機械密集、長期連續運轉：機洩密度高造造成防護死角增加，製程設備 24 小時連續運轉，始發生機械故障、過熱、短路、靜電、電力不足等情形機率提高。

4.使用高溫檢測或製程及恆溫裝置：經常進行高溫檢測或高溫成型的步驟及烤箱等自動加熱溫控裝置，這些高溫的過程中稍有不慎或故障，極易引起災害。

5.各種管線錯綜複雜，易產生煙囪效應：試驗證明在火災初期階段，煙氣水平方向擴散速度為0.3m/s,在火災燃燒猛烈階段,煙氣擴散速度為0.5~0.8m/s；煙氣沿樓梯間等豎向管道的垂直擴散速度為 25~33 秒左右即能沿著垂直通道從低層擴散到高層，火勢蔓延迅速，使廠房行成火柱。

6.區劃設計特殊：無塵室為電子工廠必要且擺放貴重設備之處所，為一封閉之區劃空間，一旦起火，大量的煙、熱匯聚集在內，難以排除。

7.危險性化學物質多，火載量大：基於特殊製程需求，必須使用多樣少量之化學品，其中常具有毒性、易燃性、可燃性及自燃性之特殊氣體與強酸、強鹼及有機溶劑之液態化學品，若因操作或管理控制不當，可能立即產生災害，加上廠房多屬封閉模式，致災害事故發生後，隨之擴大延燒造成重大的損失。

（三）根據[12]「高科技廠房營建工程特性之調查與分析」綜合許多專家學者意見後，對於高科技廠房有概述性之定義：「廠房中所生產的產品其高科技含量較高，或製程需用較多高科技專業知識或專業技術，而製程中需較多高科技技術或設備，且周邊環境的控制條件亦較高」。其研究中對多位具有高科技建廠經驗之專家調查，所整理出高科技廠房之定義如下表所述：

[12]張書萍，「高科技廠房營建工程特性之調查與分析」，碩士論文，國立交通大學土木工程系，2000年。

表 1　高科技廠房之定義[13]

項目	定義
1.營建施工要求	●工程難度高、精準度高、規劃設計較為完整。 ●施工廠商多，界面複雜，為多界面整合工作。 ●以設備需求為導向之營建工程，設備是重點工程，而不在土木建築。 ●規模大、多樣化及重疊施工多之工業廠房建築。 ●品質要求較傳統營建工程高，進度、安衛皆優。
2.施工工期	工程趕、時程短。
3.無塵室部分	●基本需求：有無具有無塵室。 ●面積需求:需 8000 平方公尺以上或 C/R 區域面積佔主廠房 80%以上。 ●等級設定：具無塵室（等級需達 10-100 以下）。
4.避震性要求	●地震：較重視地震力，而具有防震功能之特殊設備。 ●微震：重視微震情況，能對應震動。
5.系統穩定	●能抵禦外在環境斷水斷電等之不良影響。 ●系統穩定（供電／供水／供氧），具有自動發電功能。 ●另含特殊設備（需防噪音）。
6.施工材料或工法	使用特殊施工材料或方法。
7.生產要求	●能夠掌握生產時機。 ●一專門生產高科技產品、另件、IC 晶片等生產或加工之廠房建築。 ●電子、網路、通訊光電等高獲利之廠房。 ●針對高科技產業特殊需求所設計之廠房。 ●多方面考慮其用途而事先規劃其所需設備及動線之廠房。 ●增加彈性、系統明確、其未來性因應各項變遷之可能性的廠房。

二、消防水系統之分析

（一）撒水系統

無塵室內之自動撒水系統依 NFPA13 安裝，如果設計面積大於 3000ft^2（278.8m^2），水力設計之密度為 0.2gpm/ft^2 （8.15 Lpm/m^2） 設計，且採用

[13]夏瑞郎，科技廠房全生命週期消防安全管理之研究—以 TFT-LCD 科技廠房為例，碩士論文，國立中央大學，2011 年 01 月

濕式（Wet type）撒水方式，水量設計多依照 NFPA 318 規定。無塵室之氣流為向下流式（down- flow）設計，所以除天花板上層區域可使用一般型撒水頭外，其餘皆採用 FM 認證快速反應型撒水頭，並外加防撞保護蓋。快速反應型撒水頭反應時間指標（RT I）則必須在五十以下，一般型撒水頭 RTI 為八十以上。

各撒水分區均設有獨立之警報逆止閥，並延伸至回風區、夾層區（Plenum）、可燃性材質結構（如 PP、PVC、FRP 等）之濕洗槽（使用易燃性溶劑或有熱源供應者）、晶元暫存倉內（stocker）等。為避免可燃性氣體於風管輸送時發生火災，風管自動撒水系統多設置於管路直徑大於 10 inch 且使用塑膠材質之可燃性排氣管內，以防止排氣管廢氣燃燒，另內裝易燃性氣體氣瓶櫃如放置於無塵室內者其內部也會裝設撒水頭。

（二）室內消防栓

第一種消防栓設備為半徑 25m 之方圓內；第二種消防栓設備則為半徑為消防栓設備為半徑為 15m 之方圓內，並且需包括所有的室內範圍內。

（三）室外消防栓

室外消防栓設備之系統構成圖。室外消防栓之要求性能有錨子前端之最低放水壓力需大於 0.25Mpa，放水量需大於 350 l/min。

（四）水霧滅火系統

火災探測裝置。發生火災時，撒水頭受到熱感應動作後，立即啟動一齊開放閥；使所有的撒水頭一齊動作。水霧撒水頭之放射壓力及放射量係依對象物和設置目的（抑制火勢、滅火）來決定。依消防法規定，對停車場等場所使用之水霧撒水設備，規定其放水量需為 20 l/min m^2 以上。

（五）泡沫滅火系統

泡沫滅火設備是利用泡沫滅火劑和適合比例之水予以混合，將混合液體送到泡沫撒水頭或泡沫噴頭等發泡器，和空氣混合後，將產生之泡沫向燃燒物噴灑，利用泡沫之冷卻和窒息作來達成滅火效果。像停車場、停機坪等不適宜水滅火之場所，可使用泡沫滅火設備來滅火。

三、共用管路及泵浦之系統分析

依據[14]內政部解釋令（88）內消字第 8876061 號函：有關室內、室外消防栓共用泵浦時，其出水量應為兩者最大出水量之合計，全揚程應為兩者中之較大者，且須無妨礙各設備之性能。

依據[15]各類場所消防安全設備設置標準第 37 條：室內消防栓放水壓力超過 7 KG /CM 2 時，應採取有效減壓裝置，採第一種消防栓，其泵浦全揚程及出水量不得小於下列計算值：

泵浦全揚程=消防水帶摩擦損失水頭+配管摩擦損失水頭+落差+17(計算單位：公尺）

H=h1+h2+h3+17m

泵浦出水量：採第一種消防栓其出水量每支不得少於 150 LPM，超過兩支以兩支出水量計算。

依據消防安全設備設置標準第 42 條:室外消防栓放水壓力超過 6 Kg/cm^2 時，應採取有效減壓裝置，其室外消防栓泵浦全揚程及出水量不得小於下列計算值：

（一）泵浦全揚程=消防水帶摩擦損失水頭+配管摩擦損失水頭+落差+25（計算單位：公尺）

H=h1+h2+h3+25m

（二）泵浦出水量：室外消防栓其出水量每支不得少於 400 LPM；超過兩支以兩支出水量計算。

依據各類場所消防安全設備設置標準第 58 條：1、自動撒水系統，其（3）泵浦全揚程及出水量不得小於下列計算值：

泵浦全揚程=配管摩擦損失水頭+落差+10（計算單位：公尺）

H=h1+h2+ 10m

四、共用管路及泵浦危害風險評估分析

共用水系統運作時可能的風險涉及下列現象：

（一）水鎚現象[16]

水鎚係指在管流系統的操作中，流動的液體遭到阻檔、方向改變或管內的流體受到壓縮，如閥門的快速開啟與關閉、幫浦啟動、儲槽水位瞬間

[14]內政部，消防安全法令法疑義研討會會議紀錄解釋函令彙編，91 年 12 月

[15]內政部，各類場所消防安全設備設置標準，85 年

[16]蕭輔洲，控制管路水鎚效應之最佳閥門關閉行程研究，臺灣大學機械工程學研究所，碩士論文，民國 91 年 6 月。

的改變等，管路內造成壓力上升，此上升的壓力形成壓力波，與水流相反方向回到系統源頭再反彈回至閥栓處，皆會造成流場瞬間變化的暫態現象（transient），如流速的改變、壓力的突昇或突降。而其中壓力的突然改變會以波的形式不斷來回震盪於整個系統中，直到其能量因種種損失而耗盡為止，此種管內流體運動狀態急速變化而產生之異常壓力現象，此即所謂的水鎚效應（waterhammer effect）。

（二）氣蝕現象[17]（cavitation）

當幫浦運轉時，其吸水側吸水高度大於幫浦之吸水能力時，當水經由吸水管進入離心幫浦的葉輪眼，而離心幫浦內的壓力下降至當時水溫所對應的飽和蒸氣壓力，將使液體開始氣化，也就是液體的一部分開始由液體轉變為氣體而形成氣泡（vapor bubbles,gas pockets 或 air bags）。當氣泡隨著水流動至壓力較高的位置時，氣泡因受壓而破裂，產生的瞬間高壓有如子彈將葉輪（或外殼）打擊成千瘡百孔般的凹洞或孔洞，造成離心幫浦發出噪音、震動，這種現象稱為氣蝕現象。長時間在氣蝕現象下運轉的離心幫浦，輕者會造成噪音或震動，重者會降低離心幫浦的效能，甚至不能運轉，因此使用離心幫浦時應嚴防氣蝕現象。

為避免氣蝕現象，幫浦吸水口的絕對壓力（表壓力與大氣壓力的和）絕對不能下降至水的飽和蒸氣壓力以下。會造成吸水口絕對壓力大幅下降的原因很多，比較重要的是幫浦的吸水高度大於幫浦之吸入全揚程或動葉輪轉速過快。

一般防止氣蝕現象的方式包括儘量減小幫浦的吸水高度、降低管路的摩擦損失、避免底閥阻塞、避免水溫過高產生大量的水蒸氣等。此外，消防幫浦外殼的頂部可設置自動或遙控式的釋放（氣）閥，必要時能將積在幫浦內的空氣排放出來，在第一次運轉消防幫浦時，需先注水在幫浦的外殼內以排除氣體，幫浦出現噪音、震動或氣蝕現象時，要降低幫浦的轉速。

五、水力計算軟體介紹[18]

電腦水力計算軟體是一種新的概率風險評估方法，使用於大型複雜的分析，適合描述複雜的系統構造、建立模型和進行水力計算分析，可繪製幫浦性能曲線、

[17]田蒙潔、趙清德，自動撒水系統，初版，詹氏書局，民國 98 年 4 月

[18]黃美芳，「高樓連結送水管風險管理」，碩士論文，國立交通大學產業安全與防災組，民國 102 年

水力計算摘要報告及需求能力分析等。

目前國外紊流水力計算方式，多以波浪場特徵方法（或稱波特征法）（wave characteristic method）以及固定格點法（fixed grid method）為之，兩個方法都是在 1960 年代發展出來的，但是因為需要龐大的高階運算，因此幾乎無法運用於較複雜的水系統，直到 1990 年代因為電腦運算能力提升，美國國家研究院（national research council）、美國供水系統研究基金會（water research foundation）等大型機構相繼投入研究，民間也陸續開發出相關運用軟體，紊流水力計算才逐漸成為大管徑水系統設計時，應當要考量的因素之一。

參、案例分析

一、模型解說

本研究模型為一晶圓代工高科技廠房，依國內法規及國外保險公司建議配置之消防滅火水系統有室內消防栓、室外消防栓、自動撒水系統、水霧滅火系統、泡沫滅火系統，相關資訊如表 2 及圖 3 所示：

表 2　晶圓代工高科技廠房各層消防設計

防護區域	樓層數	樓層高度	設置之水系統
氣體儲存區	地上 1 層	地上 6.6m	室內消防栓、自動撒水、水霧
支援棟	地上 3 層 地下 2 層	地上 18.2m 地下 8m	室內消防栓、自動撒水、水霧
生產區	地上 4 層 地下 2 層	地上 32.8m 地下 8.8m	室內消防栓、自動撒水
辦公棟	地上 10 層 地下 4 層	地上 49.05m 地下 14.05m	室內消防栓、自動撒水、泡沫
室外	地面	地面	室外消防栓

依據消防法規規定「…水系統得共用配管及消防幫浦…」減少管件及泵浦配置，於支援棟設置消防主 pump，以 10 吋環管環繞氣體儲存區、支援棟、生產區、辦公棟。

二、情境介紹

以水力計算軟體對於兩種情境進行模擬，一為單一系統例行保養時測試閥以不同時間關閉，觀察該系統一次側所產生之水錘作用之壓力變化；另一為共用水系統水錘作用傳遞壓力對於生產區一樓自動撒水系統警報逆止閥之壓力變化觀察，並與案例實際保養狀況進行比較。

系統於正常狀況下進行例行保養，模擬情境說明如表 3 所式：

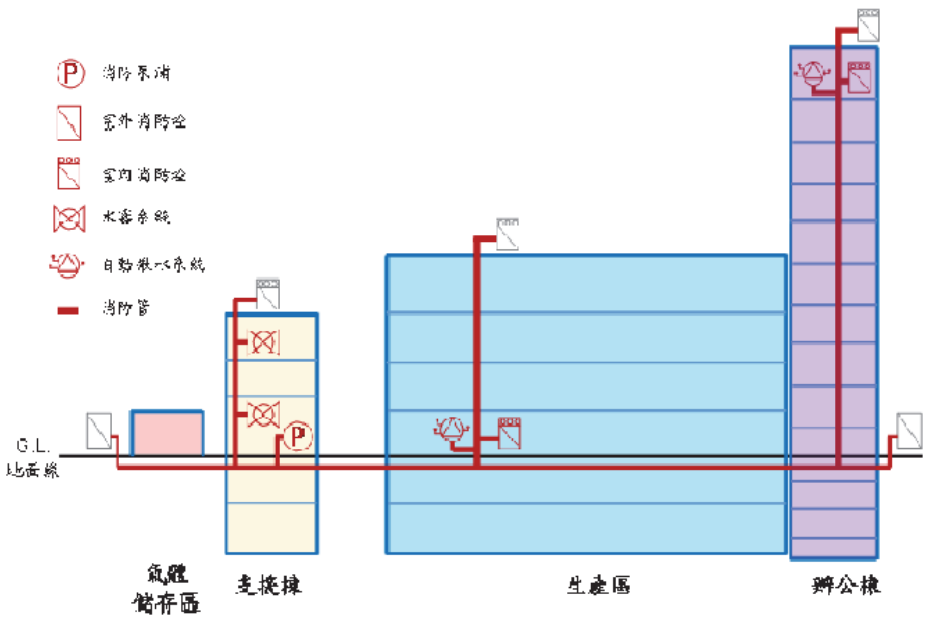


圖 3　科技廠房消防系統設計示意圖

表 3　模擬情境及參數設定

項目	情境	參數
情境一	距離泵浦最遠端辦公棟 10 樓平時自動撒水系統保養	末端查驗閥第 0 秒處於關閉狀態 末端查驗閥第 5 秒處於開啟狀態（5 秒內） 幫浦第 7 秒處於啟動狀態 末端查驗閥第 30 秒開始關閉 末端查驗閥第 30+X 秒處於關閉完成 第 30+X+2 秒關閉幫浦
情境二	距離泵浦最近端支援棟平時水霧滅火系統保養狀況	2 吋測試閥第 0 秒處於關閉狀態 2 吋測試閥第 5 秒處於開啟狀態（5 秒內）

		幫浦第 7 秒處於啟動狀態 2 吋測試閥第 30 秒開始關閉 2 吋測試閥第 30+X 秒處於關閉完成 第 30+X+2 秒關閉幫浦
情境三	辦公棟 10 樓室內消防栓系統保養，生產區 1 樓撒水系統誤動作	2 吋測試用排水閥第 0 秒處於關閉狀態 2 吋測試用排水閥第 5 秒處於開啟狀態（5 秒內開啟） 幫浦第 7 秒處於啟動狀態 第 30 秒關閉幫浦 2 吋測試用排水閥第 32 秒關閉
情境四	支援棟 3 樓水霧系統保養，工廠區 1 樓消防栓系統誤動作	2 吋測試用排水閥第 0 秒處於關閉狀態 2 吋測試用排水閥第 5 秒處於開啟狀態（5 秒內開啟） 幫浦第 7 秒處於啟動狀態 第 30 秒關閉幫浦 4 吋一次測主閘閥第 32 秒關閉
X 分別為 3 秒、5 秒、15 秒、30 秒		

三、模擬結果比較

（一）情境一：距離泵浦最遠端辦公棟 10 樓平時自動撒水系統保養

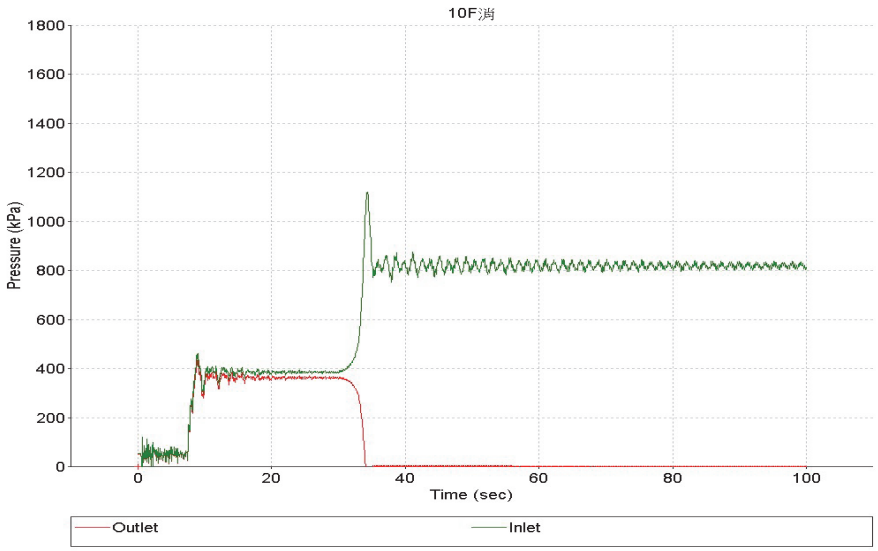


圖 4　情境一（自動撒水系統平時保養）

末端查驗閥 5 秒關閉完成之時間-壓力圖

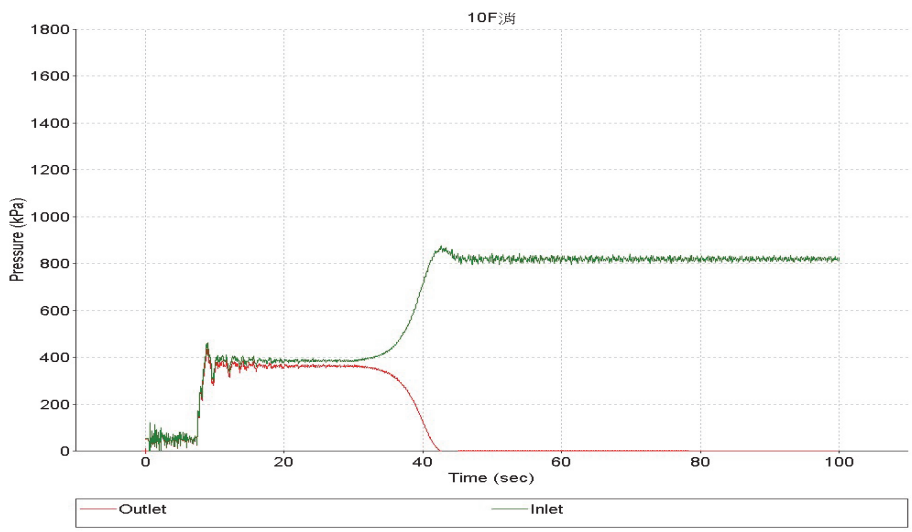


圖 5　情境一（自動撒水系統平時保養）

末端查驗閥 15 秒關閉完成之時間-壓力圖

（二）情境三：辦公棟 10 樓室內消防栓系統保養，生產區 1 樓撒水系統誤動作

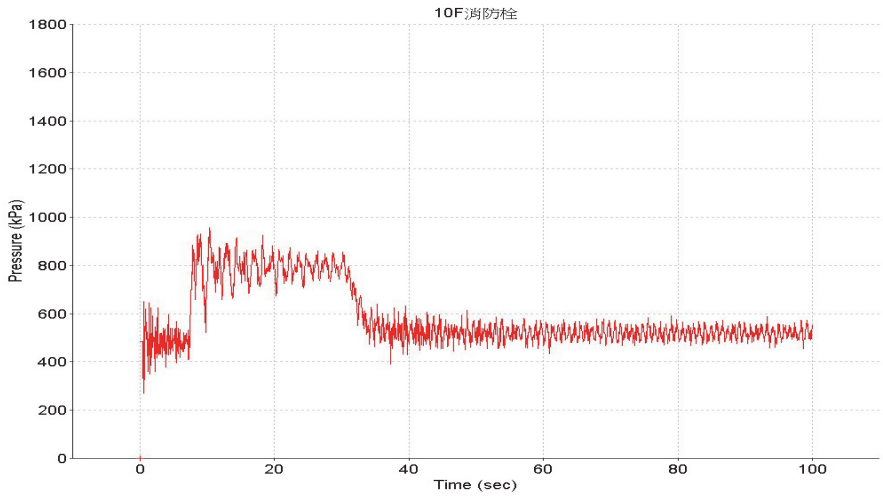


圖 6　情境三 辦公棟 10 樓室內消防栓動作之時間-壓力圖

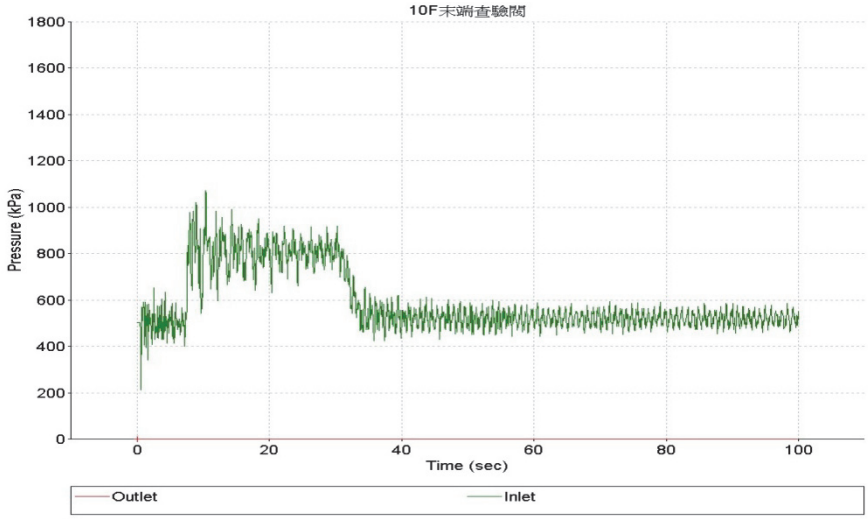


圖 7　情境三 辦公棟 10 樓撒水系統一次側之時間-壓力圖

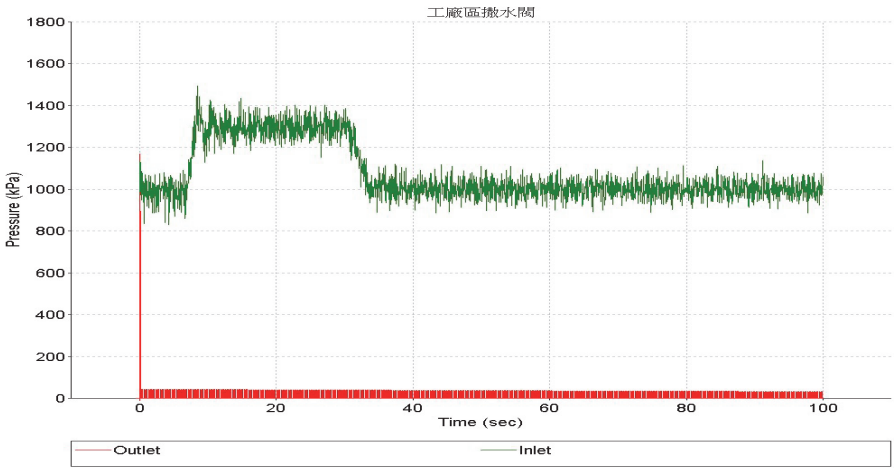


圖 8　情境三 生產區 1 樓撒水系統一次側之時間-壓力圖

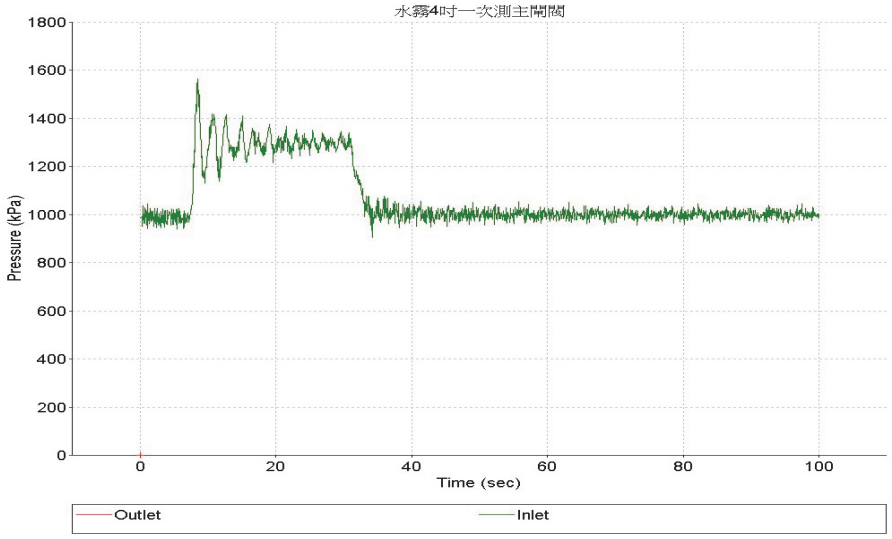


圖 9　情境三 支援棟 3 樓水霧系統一次側之時間-壓力圖

（三）情境四：支援棟 3 樓水霧系統保養，生產區 1 樓撒水系統誤動作

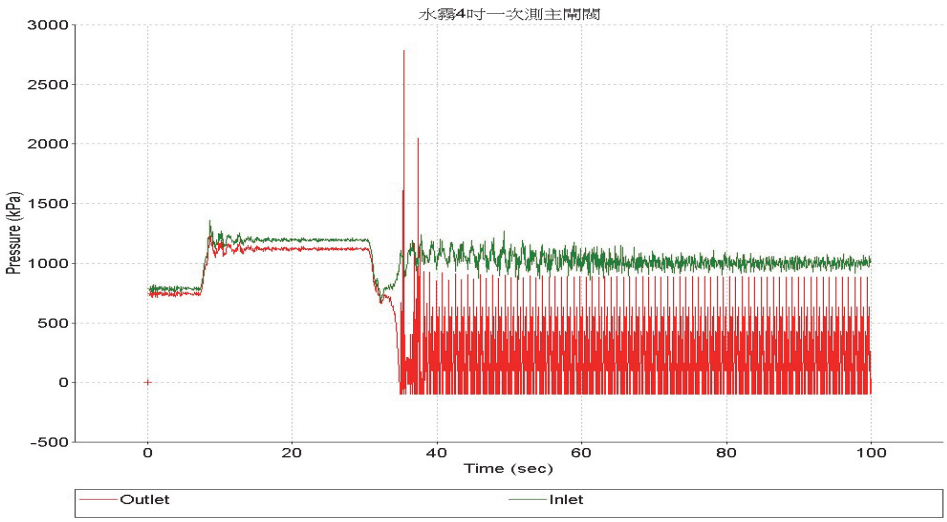


圖 10　情境三　支援棟 3 樓水霧系統一次側之時間-壓力圖

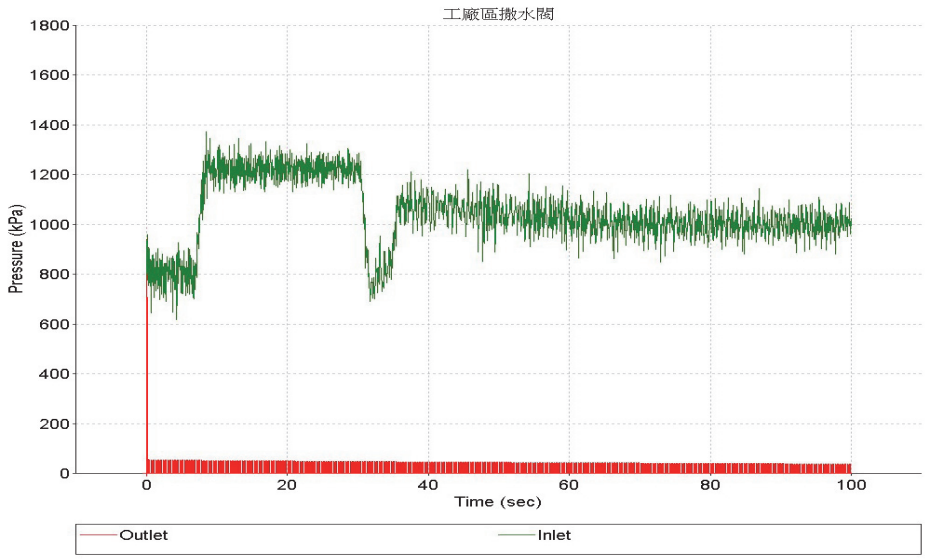


圖 11 情境三　生產區 1 樓撒水系統一次側之時間-壓力圖

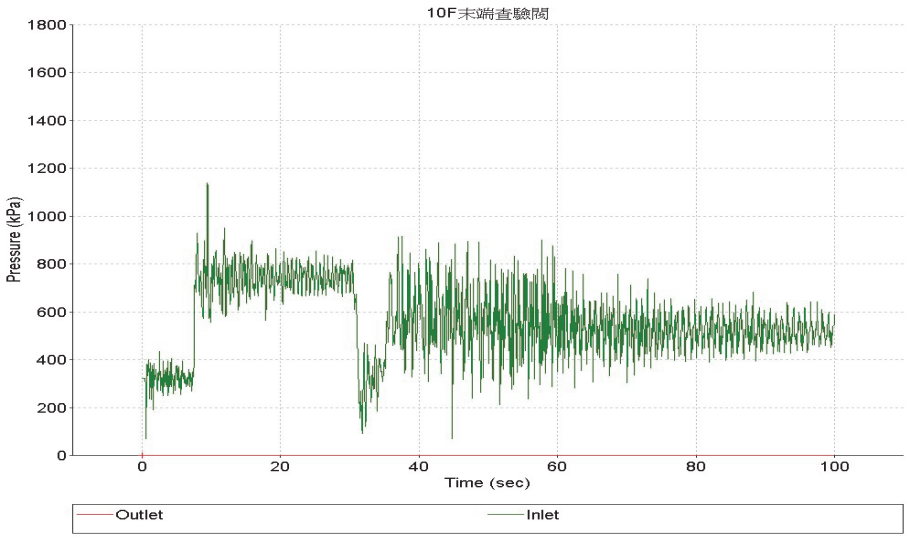


圖 12　辦公棟 10 樓撒水系統一次側之時間-壓力圖

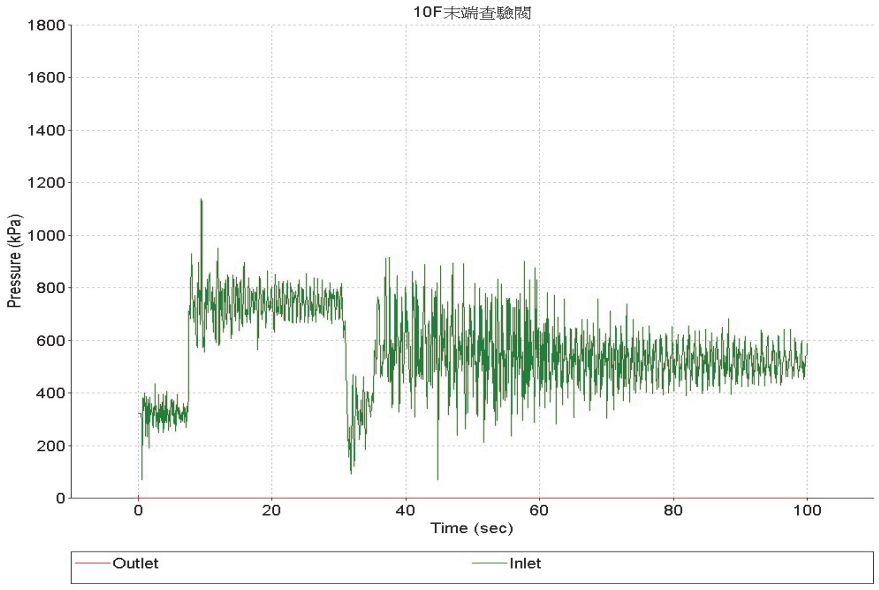


圖 13　辦公棟 10 樓消防栓系統一次側之時間-壓力圖

四、模擬結果判讀

由上述情境一模擬結果判讀如下：

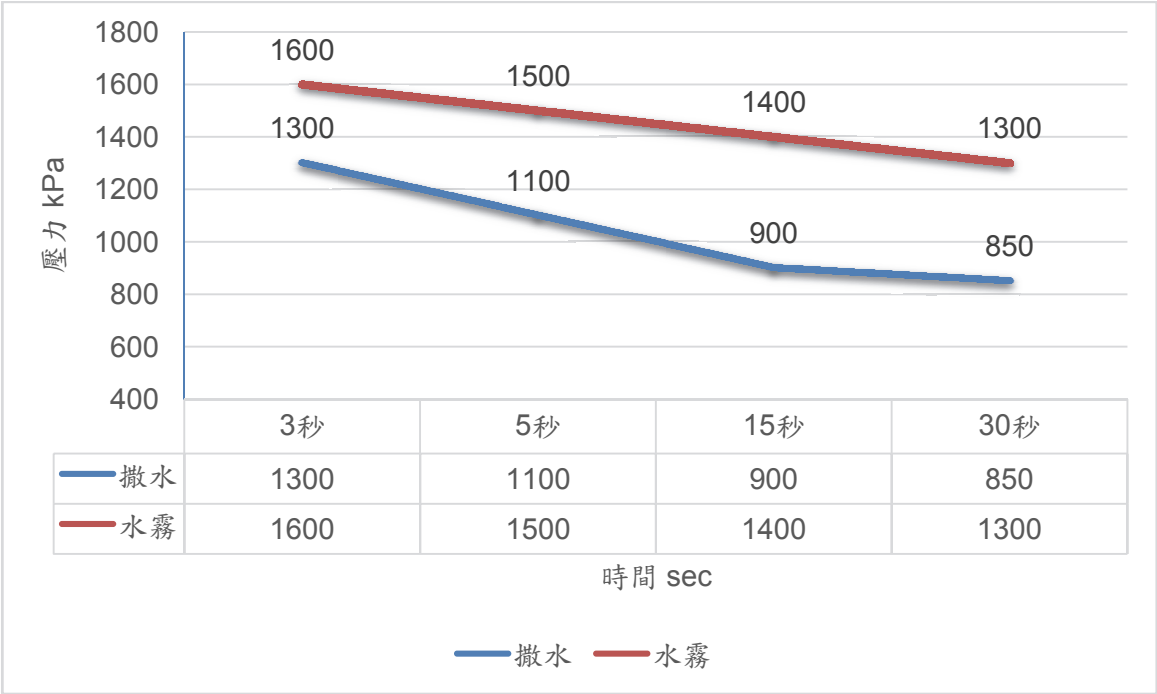


圖 14　情境一、二壓力-時間折線圖

表 2　模擬情境一、二判讀

模擬情境	判讀
情境 1： 距離泵浦最遠端辦公棟 10 樓平時自動撒水系統保養	自動撒水系統末端查驗閥自第 30 秒開始關閉，末端查驗閥分別以 3、5、15、30 秒關閉完成，所產生之水錘作用壓力分別不同，依關閉動作越短產生之水錘壓力越大。
情境 2： 距離泵浦最近端支援棟平時水霧滅火系統保養	水霧滅火系統測試閥自第 30 秒開始關閉，末端查驗閥分別以 3、5、15、30 秒關閉完成，所產生之水錘作用壓力分別不同，依關閉動作越短產生之水錘壓力越大，但無自動撒水系統為之明顯，因為出水量較大之原故。

由上述情境三、四模擬結果判讀如下：

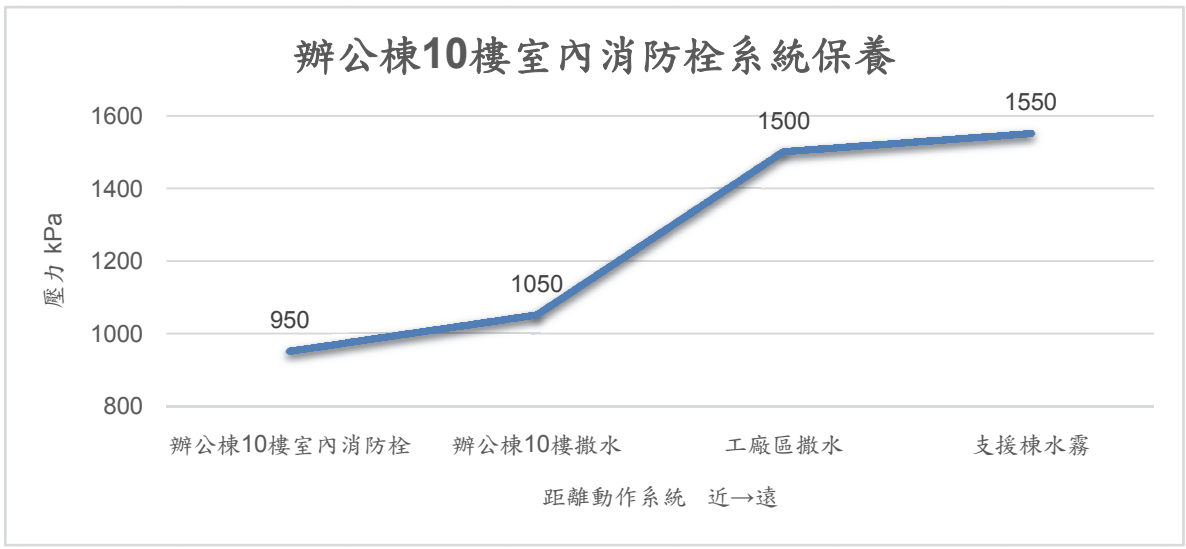


圖 15　情境三壓力-時間折線圖

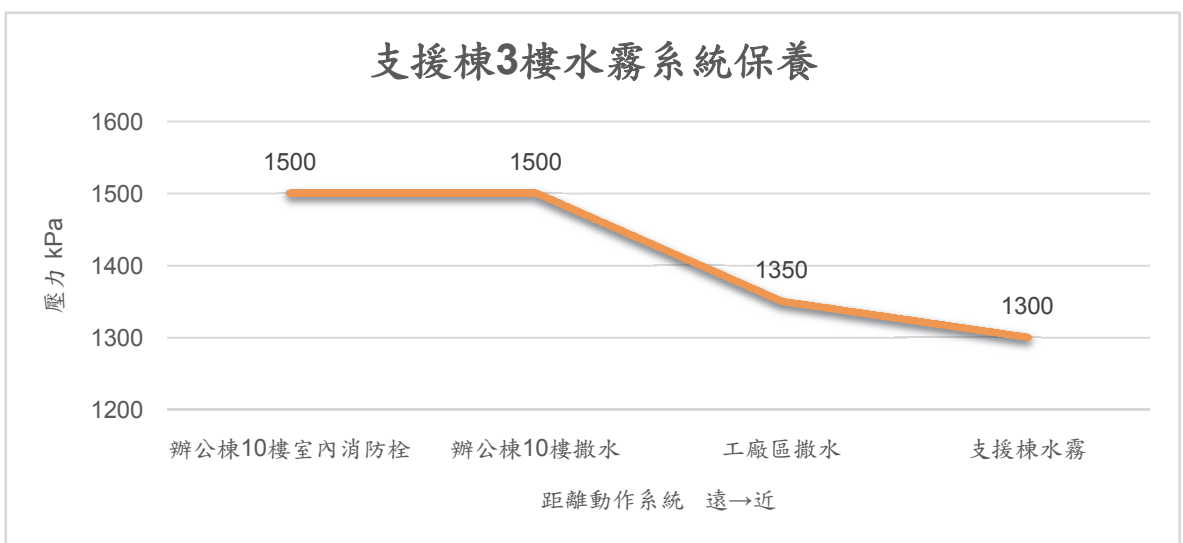


圖 16　情境四壓力-時間折線圖

表 3 模擬情境三、四判讀

模擬情境	判讀
情境三： 辦公棟 10 樓室內消防栓系統保養，生產區 1 樓撒水系統誤動作	辦公棟 10 樓室內消防栓系統保養，由近而遠分別以三個點觀察壓力值，為辦公棟 10 樓撒水、生產區撒水、支援棟水霧，所產生之傳遞壓力與距離動作系統越遠相較越來越大。
情境四： 支援棟 3 樓水霧系統保養，生產區 1 樓撒水系統誤動作	支援棟 3 樓水霧系統保養，由近而遠分別以三個點觀察壓力值，為辦公棟 10 樓撒水、辦公棟 10 樓消防栓、生產區撒水，所產生之傳遞壓力與距離動作系統越遠相較越來越大。

五、模擬結果與現況相對應

於長時間之觀察，生產區一樓之自動撒水警報逆止閥有不定期發生誤動作之情況，以及時壓力監控軟體觀察該組警報逆止閥，發生誤動作之撒水警報逆止閥一次側管內壓力，發現在其它共用管路水系統動作時壓力也有變化。

拆解該組撒水警報逆止閥內止水閥瓣檢查，有發現警報逆止閥閥瓣變型之狀況發生，據本研究推論可能為長期水錘作用壓力衝擊所導致閥瓣變型。

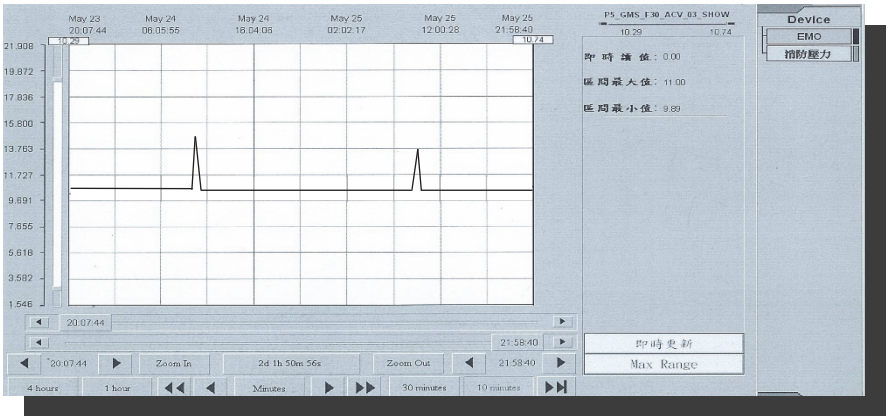


圖 17 誤動作之撒水警報逆止閥壓力

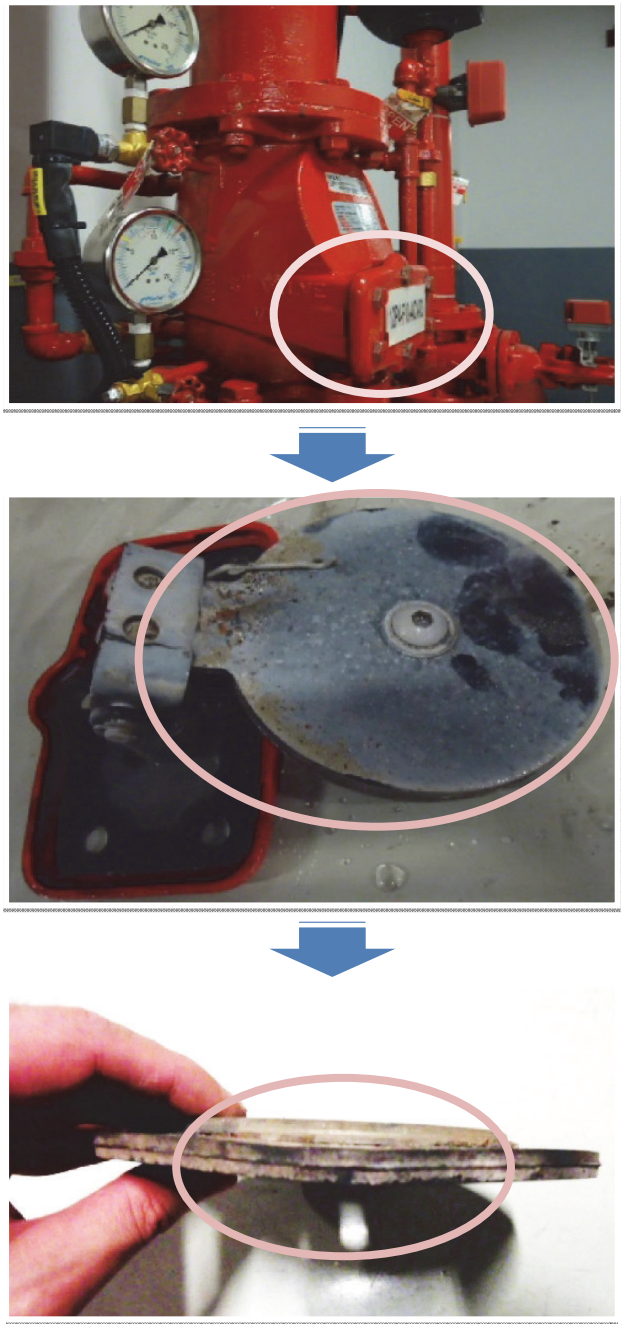


圖 18　拆解撒水警報逆止閥內止水閥瓣

肆、結論與建議

一、結論

本研究以軟體模擬結果與實際保養狀況結果分析顯示，本分析案例中消防水系統產生水鎚作用壓力大小與關閉測試閥時間有關，在測試閥操作關閉時間不同狀況下，壓力落差極大的壓力變化，並且本案例採用消防水系統共用主管路，故在水鎚壓力傳遞之下，對於其他非使用中之消防水系統，也會因管內壓力傳遞產生一定程度之破壞，此壓力振盪對於管路可能造成相當大的破壞，進而對於建築物內部設施設備產生沒必要之水損。

（一）分析成果

本研究以模擬軟體與現場實驗分析結果顯示：

1.消防水系統平時保養時，分別以距離消防泵浦最近及最遠端不同動作水量水系統比較

（1）測試閥關閉時間越快，產生水鎚壓力越大，應控制在 15 秒~30 秒間。

（2）測試水量越大，產生水鎚壓力越大，應控制關閉時間更長。

2.採用共用消防水系統動作時之壓力影響，消防水系統動作時，水鎚作用壓力會因共用主管路，傳遞影響其他系統，產生以下現象

（1）水鎚作用壓力傳遞至其他非動作之系統時，會較動作系統壓力大

（2）距離動作系統越遠傳遞之壓力越大

二、預防對策

1.消防設備維護保養人員操作之啟動順序錯誤：

在消防維護保養人員普遍對於系統不了解及實際操作訓練不足的情況之下，很容易在啟動消防設備的程序上誤判，系統一旦啟動順序錯誤，各幫浦及閥組件運作未能按照設計原理運作，管路水流紊亂並產生大量空氣，勢必影響系統效能。

消防維護保養人員對於消防設備之維護尚未訂定完整之標準，根本原因在於專業知識及教育訓練缺乏；因此，最佳之預防對策為針對消防維護保養人員加強消防設備系統各項構件及運作原理之教育。

2.消防水系統管路及配件之選用：

以「各類場所消防安全設備設置標準」規範消防立管管系竣工時，應做

加壓試驗，試驗壓力不得小於加壓送水裝置全閉揚程一點五倍以上之水壓。試驗壓力以繼續維持二小時無漏水現象為合格。使用設置時，應以選用加壓送水裝置之壓力進行計算，而非以各消防系統設計之壓力進行計算。故可採用較高耐壓等級（16~20 kgf/cm2 以上）之消防設備、配管及配件，以避免因無法負荷管內水系統內壓力變化，而造成防護對象物之水損。

3.消防設備的止水閥關閉：

消防設備的止水閥主要在提供鄰近之逆止閥維修時關斷使用，但是通常這個止水閥因其位置的關係，會設在建築物地下層的開放區域，且消防設備配置常常範圍廣闊、管系複雜，因此設於開放區域之止水閥便不易控管，可輕易遭人關閉或調轉。

消防設備的止水閥關閉亦為新建建築物消防安全設備竣工查驗時常見的缺失，而且是在驗收及測試時卻發現幫浦無法加壓、管路及配件受壓爆裂或屋頂測試出水口始終放水壓力不足等狀況時，才找出此被關閉之止水閥為系統失效原因。

預防對策為在止水閥位置「標示平時應為常開」之標示牌，並註明相關警語（例如關閉將導致無法進行消防防護、救災）提醒相關人員。

4.壓力調整閥控制器阻塞（管內雜質或本身鏽蝕）：

壓力調整閥為消防水管系統中相較屬精密之閥件，安裝於幫浦吸入端，將來自送水端之壓力調整為預設範圍內。

一般壓力調整閥之閥門控制主要靠控制器（或控制閥）進行偵測與反應，控制器為連通壓力調整閥一次側及二次側之小導管，偵測該一、二次側之壓力變化，進而決定閥門開大或開小，故如果管內有雜質將容易導致控制器小導管之阻塞，嚴重影響閥門控制中樞。預防對策包括在裝置時必須先將異物清除乾淨，並於壓力調整閥一次側設置過濾裝置，但若是因壓力調整閥本身內部日久鏽蝕所產生之雜質，則可能是無有效之預防對策。

5.幫浦吸入空氣：

送水口處部分管路非飽水管或系統管路有局部高點，容易於使用中產生空氣，故一旦吸入空氣將造成揚水效能降低，出水壓力不足。預防對策可於管路相對高點或幫浦外殼頂部設置釋氣閥，以即時排除管路或幫浦內的空氣。

6.管內有雜質：

系統管路內雜質通常為水源送入或管路、閥件本身年久鏽蝕的結果，惟此雜質為影響壓力調整閥是否能發揮正常功能的重要因素，預防對策為於壓

力調整閥一次側及泵浦吸水側裝置過濾裝置。

二、建議

（一）系統設計時之建議

1.管路相對高點規劃設置釋氣閥，以排除管路可能產生之空氣。

2.於泵浦高點規劃設置釋氣閥，以排除進入管路之空氣。

3.規劃系統管路末端設置水錘吸收器，吸收可能產生之水錘效應。

4.評估可能產生之水錘壓力，納入管路與閥件耐壓計算。

5.儘可能詳細的規劃並載明系統管段長度、高程、各閥組件規格及相關使用材料。

6.評估可用產品及材料適用性納入設計規劃，注意設備認可、最佳裝置位置（限制）、流量範圍、壓力限制、配套裝置及維護方式等。

7.規劃管路安全防護措施，如管路固定、管路吊裝、支撐或防震方式。

8.可於設計階段運用相關水力計算軟體，提昇水力計算與減壓裝置設置之精確度。

（二）系統竣工測試建議

1.消防立管管系竣工時，應做加壓試驗，試驗壓力不得小於送水設計壓力 1.5 倍以上且持續 30 分鐘無漏水現象為合格。

2.測試出水口壓力不僅在最遠端，系統的最近端仍要測試。

3.系統中之暗管部分應於竣工前特別進行加壓測試，以防止漏水。

4.每個壓力調整閥都必須要測試以確認裝置是正確並可正常運作，壓力調整閥一次側及二次側的壓力及流量必須原設計相符。

5.壓力調整閥一次側、二次側的靜態與動態壓力及流量，必須由承包商現場測試並記錄以茲證明。

6.系統所有手動的閥件必須操作或轉動測試過，包括全開到全閉，並恢復至系統待機狀態。

參考文獻

1.陳安國，「建築物抽水系統之設計、調查與評估」，逢甲大學土木及水利工程研究所，碩士論文，民國 92 年 6 月。
2.台灣區水管工程工業同業公會產業資訊網，http://www.waterpipe-net.org.tw，民國 101 年 1 月。
3.林文興，全方位水系統消防安全設備，初版，吉淞出版社，民國 90 年 12 月。
4.楊國樞、文崇一、吳聰賢等，社會及行為科學研究法，臺灣東華，頁 904-906，民 78 年。
5.朱家榮，國立成功大學圖書館建築用後評估之研究，http://nccur.lib.nccu.edu.tw/handle /140.119，民 94 年。
6.Ranjit Kumar 著；胡龍騰、黃瑋瑩、潘中道譯，研究方法：步驟化學習指南，學富文化，頁 130，民 89 年。
7.Benjamin Crabtree and William L. Miller 著；黃惠雯譯，質性方法與研究（Doing Qualitative Research），台北市韋伯文化，頁 97，民 91 年。
8.馮丁樹，基本模擬原理，www.bime.ntu.edu.tw，民 103 年。
9.PIPE，Examples Manual，2010。
10.邱晨瑋，「高科技廠無塵室防火工程性能式設計」，鼎茂圖書出版股份有限公司，民 98 年 12 月。
11.鄭宗敏，「建築物防火安全管理與風險分析之研究」，博士論文，國立台北科技大學工程學院工程科技研究所，民 96 年。
12.張書萍，「高科技廠房營建工程特性之調查與分析」，碩士論文，國立交通大學土木工程系，2000 年。
13.夏瑞郎，科技廠房全生命週期消防安全管理之研究——以 TFT-LCD 科技廠房為例，碩士論文，國立中央大學，2011 年 01 月。
14.內政部，消防安全法令法疑義研討會會議紀錄解釋函令彙編，91 年 12 月
15.內政部，各類場所消防安全設備設置標準，85 年
16.蕭輔洲，控制管路水錘效應之最佳閥門關閉行程研究，臺灣大學機械工程學研究所，碩士論文，民國 91 年 6 月。
17.田蒙潔、趙清德，自動撒水系統，初版，詹氏書局，民國 98 年 4 月。
18.黃美芳，「高樓連結送水管風險管理」，碩士論文，國立交通大學產業安全與防災組，民國 102 年。