

國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

碩士論文

高樓連結送水管風險管理

**Analysis of Risk Management of Standpipe and Hose
System in High-Rise Building**

研究生：黃美芳

指導教授：陳俊勳 教授

中華民國 102 年 7 月

高樓連結送水管風險管理
Analysis of Risk Management of Standpipe and Hose System in
High-Rise Building

研究生：黃美芳

Student : Mei-Fang Hung


指導教授：陳俊勳

Advisor : Chiun-Hsun Chen

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

The logo of National Chiao Tung University is a circular emblem with a gear-like border. Inside the circle, there is a stylized building and the letters 'ES' and 'A'. The year '1936' is at the bottom. The text is centered over the logo.

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

July 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 102 年 7 月

高樓連結送水管風險管理

學生：黃美芳

指導教授：陳俊勳

國立交通大學工學院產業安全與防災學程

摘要

失效模式影響與關鍵性分析 (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis, FMECA) 屬於預防式的風險分析方法，透過檢討分析系統各元件應有的功能與要求，逐步偵測系統中的流程、設備、訊息或人為所造成的潛在失效模式及可能的影響結果。

本研究運用FMECA風險分析方法識別並解析高樓連結送水管系統各種失效模式，篩選出系統可能失效模式較為關鍵指標項目，續而選用水力計算軟體Surge進行連結送水管系統處於紊流狀態之模擬驗證，量化失效模式發生時之可能結果，以提出相關預防措施。

上述風險分析結果顯示，連結送水管系統較為關鍵的失效模式包括消防人員操作中繼幫浦之啟動順序錯誤、連接消防車至送水口之送水管(水帶)使用中破裂、送水口附近的止水閥關閉、壓力調整閥控制器阻塞(管內雜質或本身鏽蝕)、擾流影響壓力調整閥調壓、中繼幫浦吸入空氣及使用中部分瞄子開啟與關閉等。

經選取適當失效模式作為情境假設，並運用水力計算軟體Surge驗證結果得出，低層壓力調整閥若於系統使用中突然閥門無法開啟，將於低層幫浦二次側產生落差約 26kgf/cm^2 的壓力變化，此壓力振盪對於系統管路可能造成相當大的破壞。此外，當低層幫浦突然故障時，將於低層幫浦吐出側產生落差約 $2\sim 12\text{kgf/cm}^2$ 不等的壓力振盪，相較於模擬情境六(高層幫浦突然故障)，低層幫浦故障較高層幫浦故障所產生之破壞性較大。

最後提出連結送水管系統設計時之風險控管建議、操作使用建議及維護管理重點、法令修改建議等事項，以作為設計者、審查者、地方消防機關參考，期望能大符提昇建築物連結送水管之可靠度，增加消防搶救使用率，最終確實發揮系統效能。

關鍵字：失效模式影響與關鍵性分析、風險分析、連結送水管、水力計算、Surge、中繼幫浦、消防車、壓力調整閥

Analysis of Risk Management of Standpipe and Hose System in High-Rise Building

student : Mei-Fang Hung

Advisors : Dr. Chiun-Hsun Chen

Degree program of Industrial Safety and Risk Management
College of Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

FMECA, Failure Modes , Effects and Criticality Analysis, is a method of risk analysis with a type of anticipating reaction. Through examining and analyzing function and requirement of every system component, FMECA detects and examines potential failure modes and possible influence results progressively, which caused by the system, procedure, apparatus, message or human behavior.

This study adopted FMECA method to analyze various failure modes of standpipe and hose system and selected key factors of failure modes in the system. Furthermore, this study utilized Surge, hydraulic calculation software, to simulate and evaluate standpipe and hose system with turbulent state, and quantify the possible result of failure modes in order to conduct some appropriate precaution measures.

The above-mentioned risk analysis shows that failure modes of higher risk in the standpipe and hose system as follows:

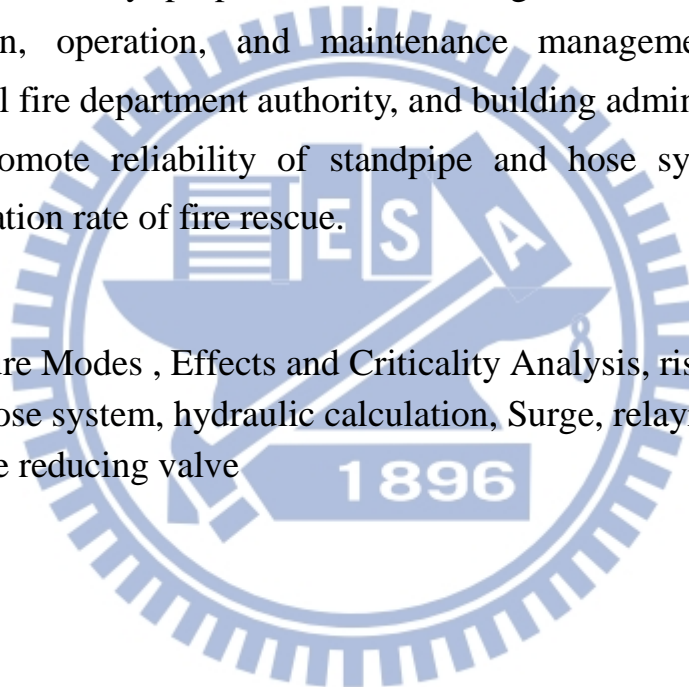
1. Startup sequence error of fire fighter's operation related relaying pump,
2. Hosepipe rupture between fire vehicle and water inlet of fire department connection,
3. Stop valve closed in water inlet of fire department connection,
4. Controller block in pressure reducing valve due to impurities or corrosion of the pipe itself,
5. Disturbing flow influences pressure control in pressure reducing valve,
6. Relaying pump suck air,

7. Impurity in the standpipe,
8. Nozzles turn on and off by fire fighters.

According to assessment analysis results, while pressure reducing valve was unable to open in the lower floors, it produced the pressure drop around 26 kgf/cm^2 at the secondary side of pumps in lower floors, the pressure concussion may cause great destruction to the pipeline. While pumps failed in the lower floors, pump outlet sides produced pressure concussion about $2\sim 12 \text{ kgf/cm}^2$. Compared with scenario 6 (pump failures in higher floors), the pumps in the lower floors produced more destructive than pumps the higher floors.

Finally, this study proposed better strategies of Standpipe and Hose System design, operation, and maintenance management for designer, examiner, local fire department authority, and building administrator. Also, it is hopeful to promote reliability of standpipe and hose system in building, increase utilization rate of fire rescue.

Key word: Failure Modes , Effects and Criticality Analysis, risk analysis, standpipe and hose system, hydraulic calculation, Surge, relaying pump, fire vehicle, pressure reducing valve



誌謝

就讀研究所三年期間歷經結婚、懷孕及生子，感謝主使我經歷祂豐盛的恩典與祝福！

回顧在撰寫及修改論文的過程常常是白天工作已精疲力盡，或者趁孩子睡了，半夜起來挑燈夜戰，真的是相當煎熬與辛苦，感謝神，如今讓我覺得甘甜，過程中學習收穫良多。

感謝我先生的扶持與體諒，還有我的母親、姐姐及疼愛我的公婆，以及我的朋友Grodon Xu協助與鼓勵，更感謝指導教授陳俊勳老師、邱晨瑋老師及徐一量老師給我的寶貴意見，讓我得以順利完成論文。

最後期許我可愛的女兒以婕，在神的保守中平安健康長大。

「耶和華是我的牧者，我必不至缺乏。他使我躺臥在青草地上，領我在可安歇的水邊。他使我的靈魂甦醒，為自己的名引導我走義路。我雖然行過死蔭的幽谷，也不怕遭害，因為你與我同在，你的杖，你的竿，都安慰我。在我敵人面前，你為我擺設筵席，你用油膏了我的頭，使我的福杯滿溢。我一生一世必有恩惠慈愛隨著我，我且要住在耶和華的殿中，直到永遠。」（詩篇23篇）

美芳 謹誌
102.7.29

目錄

第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.研究動機.....	1
1.2 研究範圍與限制.....	5
1.3 研究方法與流程.....	6
第二章 文獻探討.....	9
2.1 風險管理.....	9
2.1.1 定義.....	9
2.1.2 連結送水管系統特性與風險.....	11
2.1.3 失效模式與效應分析(Failure Mode and Effect Analysis,FMEA)介紹.....	20
2.1.4 運用 FMEA 之相關研究現況.....	23
2.1.5 運用水力計算軟體之相關研究現況.....	29
2.2 連結送水管系統主要構件與功能.....	30
2.2.1 中繼幫浦與立管.....	30
2.2.2 水源與中繼水箱.....	35
2.2.3 壓力調整閥.....	35
2.2.4 送水口及出水口.....	36
2.3 連結送水管系統配置與設計.....	37
2.3.1 國內外設置規範.....	37
2.3.2 系統配置方式.....	42
2.3.3 水力設計.....	44
2.3.4 水錘壓力計算.....	51

2.3.5 實務設計案件統計與分析-以臺北市 98 年~100 年為例.....	53
2.4 小結.....	55
第三章 連結送水管系統之失效模式與效應分析.....	56
3.1 FMEA 分析的主要工作及步驟.....	56
3.2 定義系統與元件拆解.....	57
3.3 識別和分析各元件的失效模式及可能產生後果.....	60
3.4 各失效模式之可能性、嚴重性分級與可預防性分級.....	65
3.5 小結.....	74
第四章 案例分析.....	77
4.1 相關水力計算軟體簡介.....	77
4.2 Surge 軟體之構成要素與參數設定.....	79
4.2.1 管網系統.....	79
4.2.2 水力分析必須數據.....	80
4.3 模型解說與情境假設.....	84
4.3.1 模型解說.....	84
4.3.2 情境說明.....	88
4.4 模擬結果比較.....	89
第五章 結論與建議.....	108
5.1 結論.....	108
5.1.1 風險分析成果.....	108
5.1.2 模擬驗證及量化成果.....	110
5.2 建議.....	114
5.2.1 系統設計時之風險控管建議.....	114
5.2.2 系統設計階段審查重點建議.....	116
5.2.3 系統竣工測試重點建議.....	117
5.2.4 消防人員使用系統之操作原則建議.....	117

5.2.5 系統維護管理建議.....	118
5.2.6 相關法令修訂建議.....	118
5.2.7 未來研究建議.....	119



符號說明

D	管子的直徑
v	流體的流速
ρ	流體的密度
μ	流體的動態黏性係數
G	流體的質流速度
f	直管的摩擦損失
Q	流量
d_i	管內徑
C	管內壁的光滑度
h_f	水頭損失
L	直管的長度或相當直管長度
g	重力加速度
ϵ	管內壁的光滑度或粗糙度
Re	雷諾系數
F	摩擦損失係數
d	管內徑
s	能量坡線的斜率；即每單位長度的能量損失
c	管壁平滑度的摩擦係數
H	配管摩擦損失水頭
I'_K	標稱管徑 K 值管長之合計
I''_K	標稱管徑 K 接頭、閥等價管長之合計
d	管壁厚度
E	材料的縱彈性係數
L	平管路之長度與垂直管長
P _m	最大震波壓力
P _l	閥全開時流體通過的壓力
P _o	水鎚吸收器之預填壓力

表目錄

表 1 幫浦附屬裝置及功能說明.....	32
表 2 流體流動分類表.....	45
表 3 壓力流體管路摩擦損失及使用條件表.....	46
表 4 Hazen-Williams Equation 的 C 值一覽表.....	47
表 5 Colebrook-White Equation 的 ϵ 及 e 值一覽表.....	49
表 6 新建建築物消防安全設備設計案件統計表.....	53
表 7 連結送水管設計方式統計表.....	54
表 8 採水力計算法建物樓層統計表.....	54
表 9 連結送水管元件拆解及編號.....	59
表 10 失效模式可能性分級.....	66
表 11 失效模式之後果嚴重度分級.....	66
表 12 失效模式可預防性分級.....	67
表 13 失效模式影響及關鍵性分析列表.....	68
表 14 各元件失效模式可能的預防方法.....	75
表 15 主要水力計算軟體.....	78
表 16 主要使用單位表.....	80
表 17 模型建築物基本資料.....	84
表 18 模擬情境一覽表.....	89
表 19 各情境模擬結果一覽表.....	106

圖目錄

圖 1 連結送水管運用示意圖.....	1
圖 2 連結送水管系統圖.....	3
圖 3 研究流程圖.....	8
圖 4 風險管理架構圖.....	10
圖 5 消防幫浦機組照片.....	32
圖 6 幫浦構造及附屬裝置說明.....	34
圖 7 壓力調整閥構造及位置示意圖.....	36
圖 8 傳統連結送水管系統配置方式.....	42
圖 9 新式連結送水管系統配置方式.....	44
圖 10 隔膜型水鎚吸收器.....	53
圖 11 FMECA 主要工作與步驟.....	57
圖 12 連結送水管新式配置昇位圖.....	59

圖 13 系統拆解編號位置示意圖	60
圖 14 系統拆解編號位置示意圖	61
圖 15 壓力調整閥工作原理示意	63
圖 16 壓力調整閥裝置位置示意圖	64
圖 17 模擬幫浦正常與不正常中止之壓力時間關係圖	78
圖 18 系統數據清單	81
圖 19 管數據清單	81
圖 20 配管類型清單	82
圖 21 端節點設定清單	82
圖 22 幫浦設定清單	83
圖 23 水箱設定清單	83
圖 24 水池設定清單	84
圖 25 模型示意圖	85
圖 26 模型昇位簡圖	86
圖 27 軟體繪製之模型圖	87
圖 28 壓力調整閥一次側及二次側調壓變化圖	88
圖 29 情境一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)一樓送水口處之時間-壓力圖	90
圖 30 情境一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)低層壓力調整閥處之時間-壓力圖	90
圖 31 情境一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)低層幫浦處之時間-壓力圖	91
圖 32 情境一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)高層壓力調整閥處之時間-壓力圖	91
圖 33 情境一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)高層幫浦處之時間-壓力圖	92
圖 34 情境一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)瞄子處之時間-壓力圖	92
圖 35 情境二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)一樓送水口處之時間-壓力圖	93
圖 36 情境二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)低層壓力調整閥處之時間-壓力圖	93
圖 37 情境二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)低層幫浦處之時間-壓力圖	94
圖 38 情境二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)高層壓力調整閥處之時間-壓力圖	94
圖 39 情境二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)高層幫浦處之時間-壓力圖	95
圖 40 情境二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)瞄子處之時間-壓力圖	95
圖 41 情境三(中繼幫浦吸入空氣)低層壓力調整閥處之時間-壓力圖	96
圖 42 情境三(中繼幫浦吸入空氣)低層幫浦處之時間-壓力圖	96

圖 43 情境三(中繼幫浦吸入空氣)高層壓力調整閥處之時間-壓力圖	97
圖 44 情境三(中繼幫浦吸入空氣)高層幫浦處之時間-壓力圖	97
圖 45 情境三(中繼幫浦吸入空氣)瞄子處之時間-壓力圖.....	98
圖 46 情境四(瞄子快速關閉及開啟)低層壓力調整閥處之時間-壓力圖	98
圖 47 情境四(瞄子快速關閉及開啟)低層幫浦處之時間-壓力圖	99
圖 48 情境四(瞄子快速關閉及開啟)高層壓力調整閥處之時間-壓力圖	99
圖 49 情境四(瞄子快速關閉及開啟)高層幫浦處之時間-壓力圖	100
圖 50 情境四(瞄子快速關閉及開啟)瞄子處之時間-壓力圖.....	100
圖 51 情境五(低層幫浦突然故障)低層壓力調整閥處之時間-壓力圖	101
圖 52 情境五(低層幫浦突然故障)低層幫浦處之時間-壓力圖	101
圖 53 情境五(低層幫浦突然故障)高層壓力調整閥處之時間-壓力圖	102
圖 54 情境五(低層幫浦突然故障)高層幫浦處之時間-壓力圖	102
圖 55 情境五(低層幫浦突然故障)瞄子處之時間-壓力圖.....	103
圖 56 情境六(高層幫浦突然故障)低層壓力調整閥處之時間-壓力圖	103
圖 57 情境六(高層幫浦突然故障)低層幫浦處之時間-壓力圖	104
圖 58 情境六(高層幫浦突然故障)高層壓力調整閥處之時間-壓力圖	104
圖 59 情境六(高層幫浦突然故障)高層幫浦處之時間-壓力圖	105
圖 60 情境六(高層幫浦突然故障)瞄子處之時間-壓力圖.....	105
圖 61 模擬一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)示意圖.....	111
圖 62 模擬二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)示意圖.....	111
圖 63 模擬三(兩台幫浦吸入空氣)示意圖.....	112
圖 64 模擬四(使用中 1 線瞄子快速關閉再開)示意圖.....	112
圖 65 模擬五(低層幫浦突然故障)示意圖	113
圖 66 模擬六(高層幫浦突然故障)示意圖	113
圖 67 壓力調整閥建議相關裝置示意圖.....	114
圖 68 止水閥型式.....	115
圖 69 釋氣閥裝置建議示意圖.....	115
圖 70 關鍵失效模式與預防對策示意圖.....	118

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

1.研究動機

「連結送水管」為消防搶救必要設備之一，預設於建築物內部，於一旦發生火災時作為消防搶救用水供應及傳遞之管道，應該是消防人員運用救災之利器，尤以近年來建築物往高層化發展，消防人員進行高樓層部分滅火射水時，不再能以傳統方式將水帶自水箱車由地面直接串接延伸進行救災，而是必須仰賴建築物預設之連結送水管深入搶救，配合動態送水與出水運作，在消防力(人員、車輛、水源)有限及時間迫切的狀態下，發揮連結送水管系統最大效能。

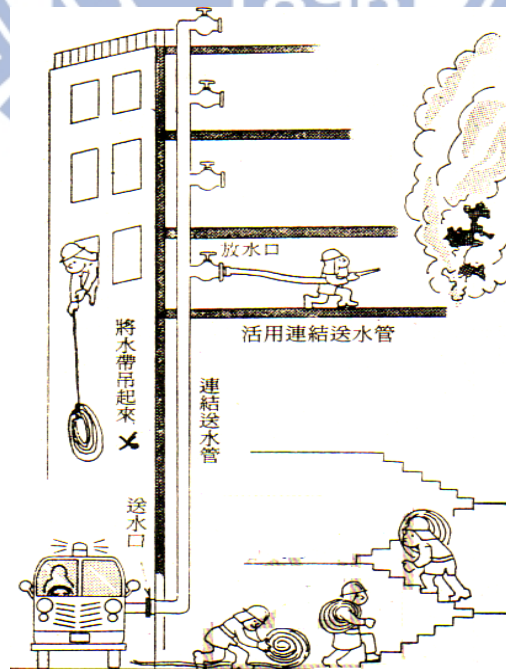


圖 1 連結送水管運用示意圖

中央警察大學消防科學研究所陳祐康¹，針對現今消防人員對於高樓火災搶救以攜帶移動式消防幫浦，並以水帶逐層連接的方式，而不在第一時間內以建築物內部之連結送水管來撲滅火勢，提出以下幾點因素：

(1)對於大樓之連結送水管運用的不了解

(2)對於送水立管之不信任

(3)中繼幫浦之損壞

(4)電動機之損壞

(5)無法推估送水之壓力

(6)在高樓火災演練中，甚少將建築物本身所設之連結送水管列為演練之項目

由上述研究可窺見消防人員不使用連結送水管救災的原因主要為對系統本身有諸多的疑慮，因此在連結送水管設計階段時，便必須考量多種靜態及動態因素，包括配管耐壓能力、放水壓力及流量範圍、消防車送水壓力限制、中繼幫浦連動控制與運轉、移動式幫浦介入加壓等，並且管路系統不得因瞬間供水變化而停擺等，其具備高流量、高壓力及多樣壓力變換的特性，構成複雜度甚高之計算系統。

綜觀在國內傳統消防設計上，水系統多以管徑規格法（Pipe Schedule）計算，即所謂的手算方式，並採取幫浦串聯接力加壓的方式維持各層出水

¹ 陳祐康，「高樓火災連結送水管運用之研究」，中央警察大學消防科學研究所，碩士論文，民國 93 年

壓力，以致越高層建築物須配置多台中繼消防幫浦、中繼水箱及相關閥配件，亦即中間樓層須耗費空間設置中繼機房，不僅投入大量建置成本，亦佔用建築物許多使用空間，尤其中間樓層多為提供集合住宅或辦公場所使用，至於機房、水箱室或變電室等非居室空間使用通常規劃於地下層或屋突層，然上述傳統設計往往使得中繼機房臨接住辦用居室，影響整體居住空間品質及建築規劃。目前台灣業界為減少中繼層(中繼機房所在樓層)對建築設計所造成之衝擊，已開始採取電腦水力計算方式 (Hydraulic Calculation)，驗證將中繼層改設在屋突層或是較低樓層亦能符合國內外法規相關規定及消防隊救災需求，期用最小之建置成本達到相同或更佳之效果；許多消防安全設備設計者長期以來已習慣使用管徑規格法，對於水力計算法較不熟悉，因此電腦水力計算法之推廣，將有助於消防專業技術人員在連結送水管系統設計上，有更多的設計選擇方案。

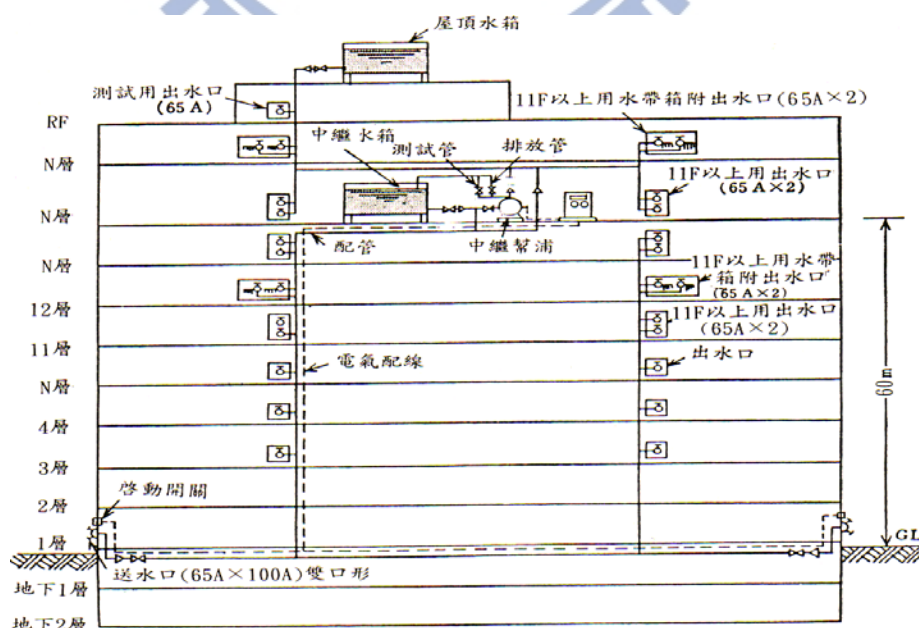


圖 2 連結送水管系統圖

在2010年發布的美國NFPA 14: Standard for the installation of standpipes and hose systems Edition: 2010²已刪除使用管徑規格計算法之規定，而全面改以水力計算為之，此乃在於傳統手算法(或稱概算法)並無法評估各種連結送水管實際運作時可能遭遇失效之情形；依據林弘崧³氏於消防射水與中繼送水建議方案文中指出，救災時消防隊送水壓力的調整多倚靠瞄子手與司機間的溝通及經驗推算，搶救過程中因戰術變換或火勢消長，隨時可能中斷射水、變更2線中繼送水、3線中繼送水等壓力變換狀況，連結送水管整體設計必須能夠承受上述多種因素而不停擺，才能提昇設備本身之可靠度，增加消防搶救使用率，其規劃複雜度遠高於其他滅火系統，故在實務界因設計不良導致使用時管路爆裂、嚴重影響幫浦及管路壽命或幫浦啟動頻繁擾民而關閉電源者不在少數。

連結送水為能全盤考量各種造成管路壓力驟變之情形，應該以紊流模型進行電腦水力計算，而非以穩流模型設計，否則實際使用多處於供水不穩定狀態，連結送水管可能經常面臨流體突然停止或供水中止，此時動能將轉變為彈性能，產生一連串之正負壓力波在管線中來回振盪，直到能量因磨擦受阻而停止，產生所謂的水錘效應，當發生水錘時輕則影響幫浦及管路系統配件，重則導致管線爆裂甚至危害消防人員的生命安全。

有鑑於此，本研究將針對連結送水管的特性、設置及設計時風險控管

²美國防火協會，<http://www.nfpa.org>，2012

³林弘崧，「消防射水與中繼送水建議方案」，消防與防災科技雜誌，45，34-38頁，民國99年6月

等作進一步之研究探討，運用失效模式影響與關鍵性分析(FMECA)找出影響連結送水管系統失效之關鍵指標及可能預防方案，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。

2.研究目的

依據上開研究動機，本文遂以「高樓連結送水管風險管理」為研究主題，以期望達到下列之研究目的：

- (1)歸納連結送水管之特性及相關規範，加強消防人員對此設備的了解。
- (2)解析連結送水管各元件及風險分析，提出適當預防措施，供消防人員教育訓練及消防專技人員系統設計階段參考，提高系統可靠度。
- (3)運用電腦水力計算軟體量化連結送水管系統可能失效模式的後果，並研訂風險控管策略。
- (4)檢視系統相關現行法規及制度較為不足之處，提出具體建議供中央修法或地方消防機關執行消防管理之參考。

1.2研究範圍與限制

1.研究範圍

- (1)本研究對象為高層建築物(建築物高度60m以上或16層以上者)採用濕式連結送水管系統(設有中繼幫浦)者。
- (2)本研究統計新建建築物設有連結送水管者，係以臺北市政府消防局安

全管理系統審查案件資料庫內容作為依據。

2.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錘防止裝置，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台幫浦失效。
- (4)本研究模擬所設定有關消防人員搶救作為(消防車停供水、瞄子啟閉、佈水線)及消防車幫浦性能之參數，係以經驗值或平均值為準。

1.3研究方法與流程

1.研究方法

(1)文獻分析法

蒐集國內外有關連結送水管系統之設置規範、搶救運用及安裝實例、水力計算軟體及驗證分析資料等相關文獻，進行系統性之整理及探討分析，作為本研究各項工作之參考依據及基礎研究資料。

(2)專家討論法

與實際從業之消防專業人員進行討論，整理其於連結送水管系統設計、監造或測市時之常見問題，作為本研究之重要參考依據。

(3)失效模式影響與關鍵性分析(FMECA)方法

FMECA為一種提高系統可靠度的風險分析方法，本研究藉此方法解析連結送水管系統各元件可能的失效模式，並找到關鍵指標，作為研訂風險控管策略的基礎。

(4)電腦軟體模擬法

選用紊流水力計算軟體，針對主要導致連結送水管系統失效之因素進行評估與分析，並驗證解決方案之效能，以提出結論與較佳設計建議。

2.研究流程

研究流程如下圖所示：





圖 3 研究流程圖

第二章 文獻探討

2.1 風險管理

2.1.1 定義

- 1.風險：危害之發生機率（Probability）或頻率（Frequency）與嚴重程度（Consequence）的組合。
- 2.風險分析：風險分析是一種結構化程序，幫助辨識系統本身或附屬設施破壞造成之後果影響範圍與可能性。
- 3.風險評估：風險評估主要是在產生決策準則，而在該準則下，風險分析之結果可被評估出來。
- 4.風險評鑑：整合風險分析與風險評估結果，作出建議以降低風險。
- 5.風險控管：風險控管目的主要在(1)藉由適當之處置措施，達到避免風險發生；(2)藉由系統安全管理與監控，降低風險發生機率；(3)定期性評估系統安全是否如預期之狀況。
- 6.風險管理：包含風險評估與風險控管，以風險評估結果作為決策依據，並據以採取降低風險之行動，以控制風險所造成之損害。風險管理架構如下：

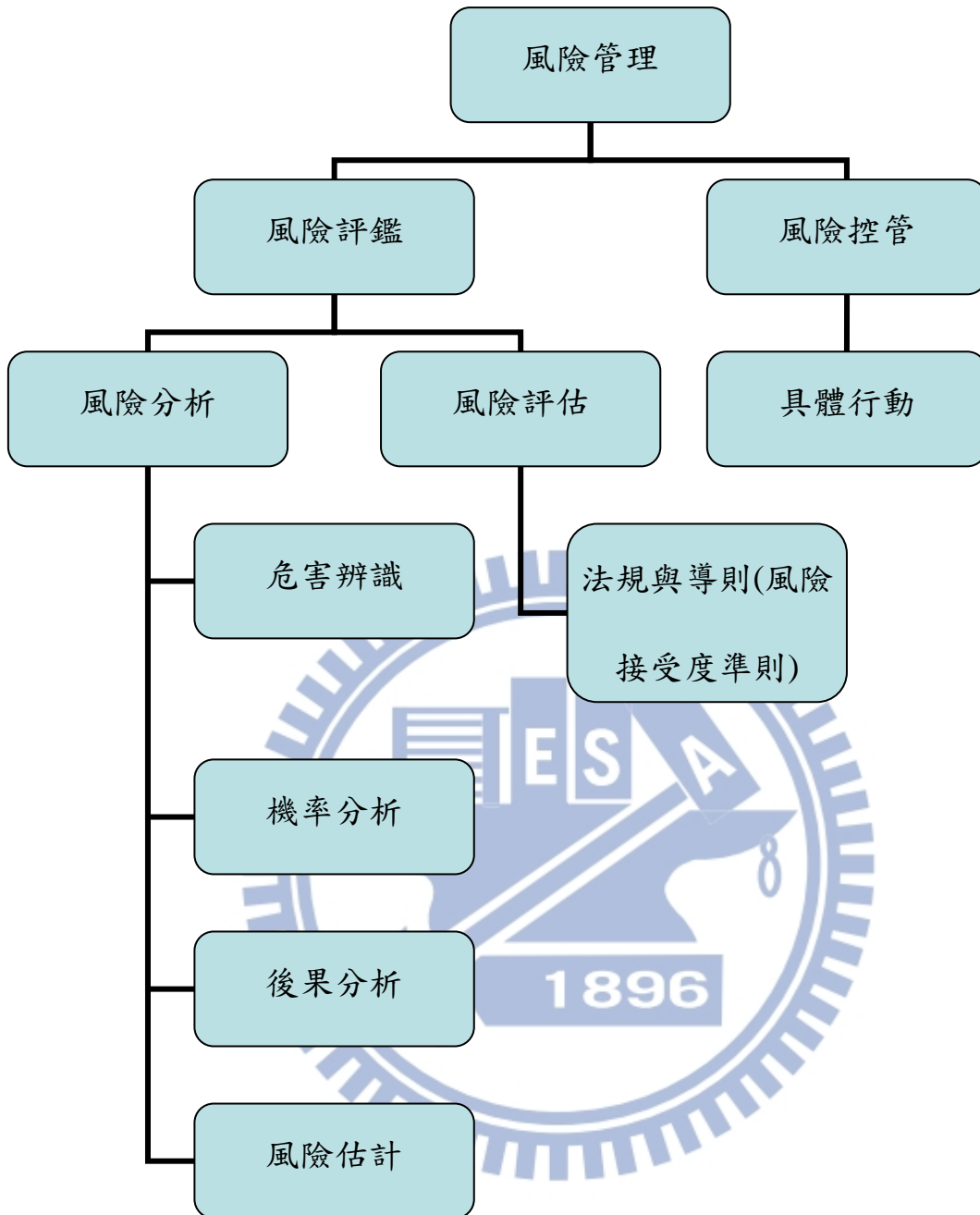


圖 4 風險管理架構圖

風險管理係將系統之所有的不確定因素或風險加以確認、分析其可能產生的衝擊，並且擬定有效處理方法來達成系統目標的一種科學與藝術。透過系統化分析方法，可更瞭解面臨的問題，以及採用更有效方法來規避或處理風險問題。

風險管理技術可在規劃設計階段確認風險因子、進行風險分析、研訂風險處置方法；在運作階段進行風險監視、控制與應變；在資料回饋階段進行風險情報收集彙整、風險知識擷取等。

依據風險辨識與分析結果所擬定之風險處置對策可區分為：

- (1)風險避免：迴避或預防風險發生的可能性，使得風險潛在的損失不會產生；但風險避免的同時，也可能失去因為風險發生而獲利的機會。
- (2)風險降低：降低風險通常係採取主動方式以預防損失，識別及分析已發生或預測即將要發生之風險，採用風險控制措施來降低預期損失或使這種損失更具有可測性，從而改變風險，例如採用風險分隔以避免發生連鎖反應或互相牽連，將風險侷限在一定的範圍內，以達到減少損失的目的。
- (3)風險承擔：以風險承擔方式處置風險者，必須同時具有風險降低或預測的能力，才能將需要承擔的風險以適當的措施降低或規避。
- (4)風險移轉：例如將工程風險由原承擔者經契約的訂定，轉嫁於其他參與者。

2.1.2 連結送水管系統特性與風險

連結送水管由字面上定義⁴為:建築物內為供給消防用水所設之送水

⁴ 陳弘毅，「連結送水管之研究」，警學叢刊，98-106 頁，民國 78 年 12 月

管，所謂連結二字，乃因其具有送水口，用以連結消防幫浦車，接受送水，在各層並設有出水口，用以在建築物內部連結消防水帶，從事放水之故。尤以高層建築物具有濃煙密佈且高溫灼熱、延燒快速導致火災蔓延擴大及人員疏散困難、逃生不易等三大特性⁵，連結送水管更是現代滅火活動上必要利器之一，如建築物內部預先設有該系統，則火災時即使消防隊未能從地面延伸水帶至所需樓層，也可藉由該送水管而自所需樓層之出水口取得消防用水。其特性如下：

1.使建築物具備自救能力的消防設備：

現今建築物越往高樓發展，也代表越挑戰消防力搶救之極限，按「各類場所消防安全設備設置標準」⁶第 26 條規定，五層或六層建築物總樓地板面積在 6,000 平方公尺以上及七層以上建築物、總樓地板面積在 1,000 平方公尺以上之地下建築物應設置連結送水管，顯示出一定規模以上或地下空間之建築物不能只依賴外部救援能力，尚必須具備有自救能力的消防設備，以因應不時之需。

當建築物之高層或大規模地下建築物發生火災時，除由消防幫浦車自外部供水進行滅火活動外，消防人員進入內部射水進行滅火搶救行動也同樣重要，此時如採取由地面將水帶直接延伸至各樓層，則所需水帶數勢必相當可觀而不易進行，除佈署水線相當耗費時間，也可能將因放

⁵ 陳弘毅，火災學，七版，鼎茂，民國 97 年 12 月

⁶ 各類場所消防安全設備設置標準，內政部，民國 101 年 1 月

水性能不佳，致效果大打折扣；如能使用建築物本身預設之連結送水管，將可容易由各層出水口取得消防水源，提昇滅火活動效果。若連結送水管於緊急需用時系統失效，將可能延誤救災，導致人命或財產上的重大損失。

2.於建築物起造之際預做規劃設置：

建築物管道間應預留足夠空間，各立管閥件必須先經規劃與計算，連結送水管才得以納入整體建築結構當中，因此連結送水管的設計規劃甚為重要，如待建築物建造完成才發現閥組件或立管須修改或增減，則屆時恐怕是將造成建物重工損失或成本加增。另國內法規亦規定，立管應裝置於不受外來損傷及火災不易殃及之位置，故絕大部分立管均設置於防火區劃⁷之管道間，少數架設於建築物外牆者，則有因常年日曬雨淋致配管嚴重鏽蝕之情形，嚴重影響連結送水管之使用壽命。

3.竣工後系統構件更換或檢修度低：

連結送水管並非提供建築物本身內部人員火災時用以進行初期滅火之設施，而是提供消防隊實施滅火活動時之專用設施，其使用者為消防人員，而日常維護者卻是建築物之管理權人。

連結送水管一旦設置後維修度很低，一方面是涉及建築結構體，另一方面則因該項設備是屬消防人員救災才會使用，非提供給一般民眾或

⁷ 建築技術規則建築設計施工編第 79 條之 2，內政部，民國 101 年 3 月

住戶緊急應變用，必須由消防人員及水箱車至現場，並配合中繼幫浦連動運作才得進行實際測試。

經比較我國連結送水管之審勘查作業基準⁸測試報告及檢修申報作業基準⁹檢查表(如附錄四、五)，可發現連結送水管僅於新建完工時規定必須實施放水測試，包括送水壓力、放水壓力及放水量，至於年度檢修時則主要做外觀檢查及靜態之性能檢查，亦即大多數建築物在未曾發生火災之情形下，其連結送水管終其壽命可能僅做過一次之放水測試。

4.須符合消防隊救災使用需求

連結送水管送水口為利於消防水箱車加壓送水，並於各樓層佈水線滅火，應依下列規定設置：

- (1)出水口設於建築物第三層以上各層樓梯間或緊急升降機間等(含該處 5 公尺以內之處所)消防人員易於施行救火之位置，且各層任一點至出水口之水平距離在 50 公尺以下。
- (2)出水口為雙口形，接裝口徑 63mm 快速接頭，距樓地板面之高度在 0.5 公尺以上 1.5 公尺以下，並設於厚度在 1.6mm 以上之鋼板或同等性能以上之不燃材料製箱內，其箱面短邊在 40 公分以上，長邊在 50 公分以上，並標明出水口字樣，每字在 20 平方公分以上。但設於第十層以下之樓層，得用單口形。

⁸消防機關辦理建築物消防安全設備審勘查作業基準，內政部消防署，91 年 7 月

⁹各類場所消防安全設備檢修申報作業基準，內政部消防署，100 年 10 月

- (3)在屋頂上適當位置至少設置一個測試用出水口。
- (4)送水口設於消防車易於接近，且無送水障礙處，其數量在立管數以上。
- (5)送水口為雙口形，接裝口徑 63mm 陰式快速接頭，距基地地面之高度在 1 公尺以下 0.5 公尺以上，且標明連結送水管送水口字樣。
- (6)送水口在其附近便於檢查確認處，裝設逆止閥及止水閥。
- (7)十一層以上之樓層，各層應於距出水口 5 公尺範圍內設置水帶箱，箱內備有直線水霧兩用瞄子一具，長 20 公尺水帶二條以上，且具有足夠裝置水帶及瞄子之深度，其箱面表面積應在 0.8 平方公尺以上，並標明水帶箱字樣，每字應在 20 平方公分以上。水帶箱之材質應為厚度在 1.6mm 以上之鋼板或同等性能以上之不燃材料。
- (8)於送水口附近設手動啟動裝置及紅色啟動表示燈。但設有能由防災中心遙控啟動，且送水口與防災中心間設有通話裝置者，得免設。
- (9)設置中繼幫浦之機械室及連結送水管送水口處，設有能與防災中心通話之裝置。
- (10)中繼幫浦放水測試時，應從送水口以送水設計壓力送水，並以口徑 21mm 瞄子在最頂層測試，其放水壓力在每平方公分 6 公斤以上或 0.6MPa 以上，且放水量在每分鐘 600 公升以上，送水設計壓力應標明於送水口附近明顯易見處。

上述有關出水口及送水口位置、數量及附屬裝備規格、標示牌、遙控及通話裝置、送水設計壓力等規定，主要是提供消防人員在使用此系統的便利性，並有明確的指示與提醒，以滿足救災需求。

5.配管及閥組件須耐壓並有相關防護措施

在國內，連結送水管的配管除材質本身必須具有一定以上強度、耐腐蝕性及耐熱性者，並要求能承受送水設計壓力 1.5 倍以上之水壓，且持續 30 分鐘，設有中繼幫浦時，幫浦二次側配管，應能承受幫浦全閉揚程 1.5 倍以上之水壓。

另有關配管種類，則分為平時配管內無水之乾式型及平時配管內充滿水之濕式型兩種，建築物高度在 50 公尺以下時，得與室內消防栓共用立管，其管徑在 100mm 以上，支管管徑在 65mm 以上，但建築物高度超過 60 公尺以上者，則依規定強制採濕式立管，以減少水鎚作用的產生。

此外，國內法規亦規定中繼幫浦一次側必須設有壓力調整閥，並附設旁通管，此目的在於緩解當送水壓力過大時對閥類及幫浦的衝擊，並在中繼幫浦二次側大流量輸出時，維持其一次側壓力的穩定性，使的系統發揮最大的效能。

中央警察大學消防科學研究所簡賢文¹⁰教授亦指出，連結送水管於送水口處附設之逆止閥，具有當幫浦加壓送水停止時，防止加壓水逆流

¹⁰ 簡賢文，水系統消防安全設備，二版，鼎茂，民國 87 年 8 月

之功能，也同時因具有此種功能致配管內之加壓水不能正常排出，因此須另設排水閥。至於在「雙口式送水口」之各個送水口均應設逆止閥，如此之設計方式才能避免下列現象發生：

(1)由其中一口送水時，加壓水從另一口噴出。

(2)其中一口送水未中止時，另一口不能進行送水。

連結送水管系統運作時可能的風險尚涉及下列現象：

1.水錘現象

水錘係指管路內流動的液體遭到阻擋、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閘栓處，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¹¹在建築物抽水系統之設計、調查與評估中，對於水錘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，避免逆止閥的閘門突然關閉，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錘防止（吸收）器，以吸收閘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)水錘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

¹¹ 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。

過大的水壓力。

臺北市電機技師吳德憲¹²提出五種水錘防止的方式：

- (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) 正確選用與安裝水錘吸收器吸收水錘衝擊波能量。

上述水錘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¹³定義水錘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。

防止水錘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：

¹² 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。

¹³ 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

- (1)增加泵之慣性矩，例如加裝飛輪。
- (2)降低管內水流速度，經常產生水錘之處，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。
- (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)設法降低管長及揚程($\frac{2L}{a}$ 及 H_0)。
- (8)調整閥門關閉時間。
- (9)裝設減震裝置。

2. 氣蝕現象¹⁴(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

¹⁴田蒙潔、趙清德，自動抽水系統，初版，詹氏書局，民國 98 年 4 月

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。

2.1.3 失效模式影響與關鍵性分析 (Failure Modes , Effects and Criticality Analysis , FMECA) 介紹

FMECA 為國外工程界應用相當廣泛的一種風險評估方法，為失效模式影響分析(Failure Mode and Effects Analysis , FMEA)及關鍵性分析(Criticality Analysis,CA)所組成，其中 FMEA 係於 1950 年由 Gruman 航空器公司提出，用於飛機主操縱系統失效分析，由於效用獲得極大認同，隨後被美國太空總署 (NASA)、國防部等單位在發展武器系統或安全程序時引用，並漸漸推廣至其他相關軍需用品、電子設備等。

FMEA 尚擴及產品開發領域，美國克萊斯勒（Chrysler）、福特（Ford）、通用汽車（GM）三大汽車廠，與數千家供應商所共同組合而成的汽車工業策進會（Auto Industry Action Group, AIAG），於 1992 年提出 QS9000 品質管理系統，1993 年將 FMEA 納入產品開發管理體系的一環，三大汽車廠並以其做為合格供應商的一項能力與資格憑證的基準，藉以提高安全性並滿足客戶的要求並以持續改善為目標，強調事先的預防，降低品質差異與保有產品的再現性及穩定性，同時減少製程中所造成的浪費、不良品、及廢棄物。

FMECA 為國外工程界應用相當廣泛的一種風險評估方法屬於預防式的風險分析，透過檢討分析系統各元件應有的功能與要求，逐步偵測系統中的流程、設備、訊息或人為所造成的潛在失效模式及可能的影響結果。

1. FMECA 分析流程

FMECA 屬於半定量風險分析，係採用類似定性風險辨識與分析之方法，以工作表的方式來呈現結果，針對可能性或後果嚴重性予以等級並給定數值，使分析結果更為直觀，風險等級更為細緻，有利於管理機關針對失效模式影響進行排序，並建議更新與修復工作的優先順序。此方法涵蓋敘述性或定性尺度，但以級距式的數值量化各等級。

失效模式發生的可能性(可能性因子)、導致後果的嚴重性(後果因子)

與失效模式的可偵測干預性(D/I因子)三者均可劃分為三個或五個等級，例如劃分為五個等級，則分別賦予1~5的數值，FMECA之關鍵性指標則界於1~125，從定性描述到依級距量化值的過程中，考慮到不同的分析者，對同一等級可能性的定義可能不同。所以採用半定量的方式，事先確立同一個標準。

2. FMECA的特性

半定量風險分析之結果比純定性分析更為直觀，可彌補定性分析在實務應用上的不足，並避免因系統複雜度以及不確定性因素導致定量分析不準確的問題，亦可為後續聚焦於顯著風險之詳細定量分析提供依據。

FMECA由於具有系統化、全面性及介於定量與定性間的特性，因此其優點包括：

- (1)廣泛識別所有的子系統及元件
- (2)發掘系統所仍需偵測或加強巡檢的項目及位置
- (3)正常狀況下的危害和風險可藉此分析辨識出來
- (4)可凸顯關鍵的元件及失效模式
- (5)欠缺的條件、數據及資料可由此分析發掘
- (6)其結果可提供有用的基準供後續的風險評估

由於FMECA分析著眼於子系統和元件的功能，故為落實FMECA的執行成效，其執行過程中需要對系統廣泛且透徹的瞭解，亦即相關資料

需儘量充足。

相對的，FMECA也有若干執行上的限制，一般需要配合其他的分析才能完全了解系統的風險，需要足夠的資料、時間及有經驗的分析人員來識別所有的風險。FMECA為針對系統及其附屬設施等硬體的風險分析，是風險分析方法中的一種，一般需要其他的分析才能了解系統整體之風險，故其僅屬於風險管理的一部分，並非全部。

2.1.4 運用 FMECA 及 FMEA 之相關研究現況

1. 國立臺灣科技大學自動化及控制研究所李政儒¹⁵，於「應用FMEA在建築物中央空調與煙控併用系統風險評估之研究」中，針對某一建築物中央空調系統與煙控併用系統進行風險評估與分析驗證。其研究方式以三個方向著手：

(1) 應用失效模式與效應分析 (FMEA) 對煙控系統各項設備進行風險評估，及在發生失效時解析對系統造成何種影響，提出建議改善對策，也藉由風險優先指數的評估，決定對系統失效要因採取對策時的順位，以改善系統的效能及可靠度。

(2) 應用火災模擬軟體(Fire Dynamics Simulator, FDS)針對煙控系統改善前後進行火災後果模擬及量化分析，經模擬火場後，可以得到火場中煙流的危害特性，進而運用其數據來分析討論火場中煙層下降

¹⁵ 李政儒，應用 FMEA 在建築物中央空調與煙控併用系統風險評估之研究，國立臺灣科技大學自動化及控制研究所，碩士論文，民國 94 年

的情形。

(3)應用我國內政部建築研究所出版之建築物防火避難安全性能驗證

規範，以樓層避難安全性能驗證進行煙控系統改善前後煙層下降時間分析比較，驗證室內人員是否可於安全時間內完成避難行動，以降低火災發生後對人員造成的傷害。

2.國立清華大學工業工程與工程管理學系碩士在職專班吳建輝¹⁶，於「應

用FMEA於氣化供應系統風險評估之研究-以某半導體廠矽甲烷為例」研究中，以半導體廠為例，特別是以矽甲烷供應系統設計的角度，去建立系統設置時應注意或遵守的設計屬性與規範，並建立矽甲烷供應系統危害分析參考指標，藉此降低矽甲烷洩漏風險的適當控制。其利用FMEA來分析問題點，以追蹤因設備故障所導致洩漏的問題點，並增加矽甲烷供應系統的穩定性、提升人員作業的安全性、提高供應氣體的品質、減少意外災害發生機率。該研究結果顯示，該氣體供應系統在導入FMEA分析方法後，可明顯獲得失效改善之重點，並經由改善措施使得風險優先指數降低。並藉此不斷的改善系統，以提昇系統之可靠度。

3.國立交通大學工學院產業安全與防災研究所邱木全¹⁷，於「整合性火災

¹⁶吳建輝，應用 FMEA 於氣化供應系統風險評估之研究-以某半導體廠矽甲烷為例，國立清華大學工業工程與工程管理學系，碩士論文，民國 98 年

¹⁷邱木全，整合性火災風險評估分析在通信行動電話廠之應用與探討，國立交通大學工學院產業安全與防災研究所，碩士論文，民國 93 年

風險評估分析在通信行動電話廠之應用與探討」研究中，從四個方向著手，第一為風險評估技術之建立，利用危害樹分析及作業安全分析與應用之風險評估軟體(RAMS)，針對廠內各項作業進行風險評估、控制與追蹤；第二為企業火災保險風險分析，係參考國際知名再保公司火災保險相關之風險評估方法，進行火災等級的分析，並尋找高火災風險製程單元與區域；第三為火災後果量化分析，利用NIST發展之場模式FDS來模擬高火災風險製程單元與區域所造成之溫度、煙濃度、殘氧濃度與二氧化碳之危害特性；之後為人員安全分析，利用IES所發展之人員避難逃生軟體分析人員避難模式與時間。最後歸納整體風險分析結果以了解通信產業之火災風險程度。

4. 中興工程顧問社大地工程研究中心冀樹勇、蔡明欣、高憲彰¹⁸等人，於「運用FMEA針對蓄水壩風險管理進行研究」中，蒐集彙整先進國家蓄水壩風險管理方式及經驗，探討各種風險分析方法，並以實際土石壩風險分析案例，展示其執行流程與結果。其中風險分析方法採破壞模式與關鍵性分析，該法係以系統化與歸納方式，決定影響壩功能元件之失效模式及其可能性、其偵測與干預可能性，並決定該模式影響壩功能之可能性及後果的嚴重性，組合為元件或元件失效模式的相對關鍵性，最後找出壩的主要與次要缺陷，以提供後續改善參考。

¹⁸ 冀樹勇、蔡明欣、高憲彰、邱士恩、趙昌虎、樓漸，運用 FMEA 針對蓄水壩風險管理進行研究，地工技術第 119 期，41-52 頁，民國 98 年 3 月

- 5.國立成功大學工學院工程管理專班陳鴻儀¹⁹，於「運用FMEA方法對半導體晶圓廠製程設備維護之探討」，應用FMEA在半導體晶圓廠製造工廠之中，針對失效風險影響性高的製程設備，以系統化管理方式，建立實際個案模型成果，分析與累積工程知識經驗，提出具體有效措施，企圖建立半導體晶圓廠之製程設備之風險管理與提升可靠度的改善機制，以期能達到事先預防與控制那些關鍵性的失效因素數目的目的。
- 6.國立台北科技大學土木與防災研究所黃利民²⁰，於「以失效模式與效應分析 (FMEA) 評估防洪抽水站管理模式之研究」中，利用FMEA擬建立一套客觀評量系統，以衡量防洪抽水站於不同管理模式下之作業績效。該研究係以臺灣北部地區三個抽水機組型式相同，但管理模式不同之防洪抽水站為例，從中收集可能導致抽水機能失效的問題點(失效模式)及其關鍵成因，包括耗材損耗、操作方法、機組設備維修及設備本體等，設計FMEA檢核表並建置評量系統，以評量於不同管理模式下各防洪抽水站之作業績效。利用各站最近一年期之例行作業檢查書面紀錄資料，匯入建置完成之評量系統，進行實證分析以獲取研究之結論。
- 7.國立台北科技大學電腦與通訊研究所薛旭欽²¹，於「故障模式與影響分

¹⁹ 陳鴻儀，運用 FMEA 方法對半導體晶圓廠製程設備維護之探討，國立成功大學工學院工程管理專班，碩士論文，民國 97 年

²⁰ 黃利民，以失效模式與效應分析 (FMEA) 評估防洪抽水站管理模式之研究，國立台北科技大學土木與防災研究所，碩士論文，民國 97 年

²¹ 薛旭欽，故障模式與影響分析(FMEA)應用於移動式心電圖機之設計，國立台北科技大學電腦與通訊研

析(FMEA)應用於移動式心電圖機之設計」研究中，以安全面來探討使用Holter的風險，並導入故障模式與影響分析(FMEA)來探索造成Holter使用時量測失效或引起Holter故障的原因，並提出保護電路及警示系統二個風險處理對策，以及利用FMEA的風險優先指數(RPN)值來作為風險評估指數，用以評量風險處理對策實施前後的差異性，以驗證風險處理對策的有效性。

8.國立交通大學工學院碩士在職專班產業安全與防災組張榮哲²²，於

「FMEA應用於降低廠務監控系統運轉風險之探討 - 以半導體廠氣體化學系統為例」研究中，以某晶圓廠來說明整個 FMEA 於 FMCS系統的分析流程。並藉由分析之過程，讓該廠之廠務運轉人員重新檢視系統，並讓系統負責工程師們了解到該系統究竟存在有哪些失效風險；一旦發生失效後，其影響的層面、範圍有多廣，衝擊有多大，其因應、預防策略為何。而分析之結果及改善建議，則提供該廠務部門運轉及建廠小組，於未來在擬定系統檢修維護、保養計劃、改善措施時，及建廠系統設計計劃時之重要參考依據。並據此不斷地修改系統，以提昇系統之可靠度，提供達到系統穩定運轉之目標。經由研究結果顯示，該個案廠在導入 FMEA分析方法後，可明確解析出重要失效模式並據以提出改善措施並執行，使異常損失明顯減少，達到提升監控系統可

究所，碩士論文，民國 95 年

²² 張榮哲，FMEA 應用於降低廠務監控系統運轉風險之探討 - 以半導體廠氣體化學系統為例，國立交通大學工學院碩士在職專班產業安全與防災組，碩士論文，民國 95 年

靠度及可用度之要求。

9.國立成功大學資源工程學系碩博士班陳俊維²³，於「FMEA應用於提昇潔淨室H.V.A.C.系統可靠度之研究」中，以一實例廠商來說明整個FMEA於H.V.A.C.系統的分析流程。藉由分析之過程，讓該廠之廠務工程人員重新檢視系統。並讓系統工程師們了解到該系統究竟存在有有哪些失效風險；一旦發生失效後，其影響的層面、範圍有多廣，衝擊有多大。其因應、預防策略為何。而分析之結果，則提供該廠廠務部門，於未來在擬定系統檢修、維護、保養計劃；設備、元件更新（採購）計劃時之重要參考依據。並據此不斷地修改系統，以提昇系統之可靠度，達到系統穩定運轉之目標。經由研究結果顯示，該個案廠商在導入FMEA分析方法後，可明確獲得失效改善之重點，並經由改善措施使得風險優先指數（RPN）降低，損失明顯減少。

10.國立成功大學建築學系專班曾俊達²⁴，於「失效模式與效應分析應用於工程問題之評估」研究中，以文獻探討及專家訪談，制定出165項失效模式(設計規劃階段122項、施工階段43項)，並據以擬定手術室工程之失效模式與效應分析表，以FMEA風險優先指數計算與分析，訂定出38項為重點管制項目及43項管制項目。上述管制項目中其設計規

²³ 陳俊維，FMEA 應用於提昇潔淨室 H.V.A.C.系統可靠度之研究，國立成功大學資源工程學系碩博士班，碩士論文，民國 92 年

²⁴ 曾俊達，失效模式與效應分析應用於工程問題之評估，國立成功大學建築學系專班，碩士論文，民國 100 年

劃階段佔65.4%，顯示手術室工程其工程品質管制重點在於其規劃設計階段。案例檢核其手術室工程問題計有重點管制項目8項、管制項目5項，工程規劃設計階段之事先檢討及問題檢核，為手術室工程品質管制重點。

11. 國立中央大學環境工程研究所碩士在職專班黃文基²⁵，於「印刷電路板製程高溫烘烤設備失效模式與效應分析研究」中，探討印刷電路板製程容易引起重大災害的因子，利用某個案PCB製程高溫烘烤設備之直立式烤箱為例，運用失效模式與效應分析技術，經由專家小組的討論，將風險評估項目區分為危險物與有害物控制與防護、安全管理與維修保養、火災偵測與防護以及防火區劃等，分別分析失效模式及影響效應，並由風險優先係數的排序結果，認為高溫烘烤設備應就人員操作訓練、通風系統保養、易燃物儲存管理與緊急系統設置方面，提出應優先處理的預防因應對策，以做為業界之參考。

2.1.5 運用水力計算軟體之相關研究現況

1. 中央警察大學消防科學研究所碩士莊國士²⁶於「古蹟歷史建築之性能式防火設計-以總督府鐵道部為例」中，運用GoFlow水力計算軟體驗證自動撒水設備之設計。

²⁵ 黃文基，印刷電路板製程高溫烘烤設備失效模式與效應分析研究，國立中央大學環境工程研究所，碩士論文，民國 100 年

²⁶ 莊國士，古蹟歷史建築之性能式防火設計-以總督府鐵道部為例，中央警察大學消防科學研究所，碩士論文，民國 100 年

- 2.國立台北科技大學土木與防災研究所碩士李東霖²⁷於「消防自動撒水系統管路配置之研究」中，運用水力計算軟體（HASS）驗證設計值是否在符合規範的基礎上構成經濟化之設計。
- 3.中央警察大學消防科學研究所碩士王證雄²⁸於「自動撒水設備性能法規之應用--以CPVC管之配管形式及水力計算為例」中，運用GoFlow水力計算軟體驗證自動撒水設備之設計。

2.2 連結送水管系統主要構件與功能

2.2.1 中繼幫浦與立管

建築物高度60公尺以上者依規定必須採用濕式配管，亦即管內平常是充滿水的狀態，配管除了應具防腐蝕之特性外，其耐壓必須能夠承受系統所可能產生之最大壓力。

加壓送水裝置是水系統(在使用混合有以水或水為主體的滅火劑)最重要構件之一，可將滅火所專用水從水槽送至其適當出水位置，依據所規定的壓力進行連續性的放水或放射。加壓送水裝置分為幫浦、重力水箱及壓力水箱方式等，相關構造、材質、機能、性能等方面於消防法規有基本規定，為內政部公告應實施認可品目。

消防幫浦工作原理為將水源吸入幫浦內部，再由幫浦加入回轉後，

²⁷李東霖，消防自動撒水系統管路配置之研究，國立台北科技大學土木與防災研究所，碩士論文，民國94年

²⁸王證雄，自動撒水設備性能法規之應用--以CPVC管之配管形式及水力計算為例，中央警察大學消防科學研究所，碩士論文，民國89年

將速度能量轉換成壓力能量。

幫浦的種類大致分為離心幫浦、回轉幫浦及往返幫浦等，其他分類尚包括回轉軸的分類(橫軸型/縱軸型)、吸入口數的分類(單吸入型/雙吸入型)、葉輪段數的分類(單段型/多段型)等，在各個產業領域中依據目的及用途來選用不同種類的幫浦。

建築物消防系統所使用的消防幫浦多數是屬於離心幫浦中的回轉軸成水平的橫軸型，揚水量少時採用單吸入型，揚水量多時則採用雙吸入型，螺旋幫浦作為低揚程用，渦輪幫浦則作為高揚程來使用。

連結送水管加壓使用之消防幫浦及其附屬裝置，其構造、材質、性能等技術上之規範及試驗方法，應符合「消防幫浦認可基準」之規定。幫浦效率值定義如下：

幫浦效率以試驗轉速在額定出水量之測定點，依下列公式計算。

$$\eta = \frac{0.0163\gamma Q H}{L}$$

式中， η ：幫浦效率(%)

γ ：揚液每單位體積之質量(kg/l)

Q：出水量(l/min)

H：全揚程(m)

L：幫浦軸動力(kW) (實測值)

消防幫浦係指由幫浦、電動機，及控制盤、呼水裝置、防止水溫上

升用排放裝置、幫浦性能試驗裝置、啟動用水壓開關裝置與底閥等全部或部分附屬裝置所構成。幫浦，簡單地說，是一種能夠使液體從低處流到高處，或從一處輸送至遠處，或由低壓變成高壓的機械。



圖 5 消防幫浦機組照片

資料來源：<http://www.tzu-serng.com.tw>

幫浦是連結送水管系統的心臟，其揚程及水量須經過水力計算評估以滿足出水端有足夠供消防救災的能量。主要附屬裝置如下：

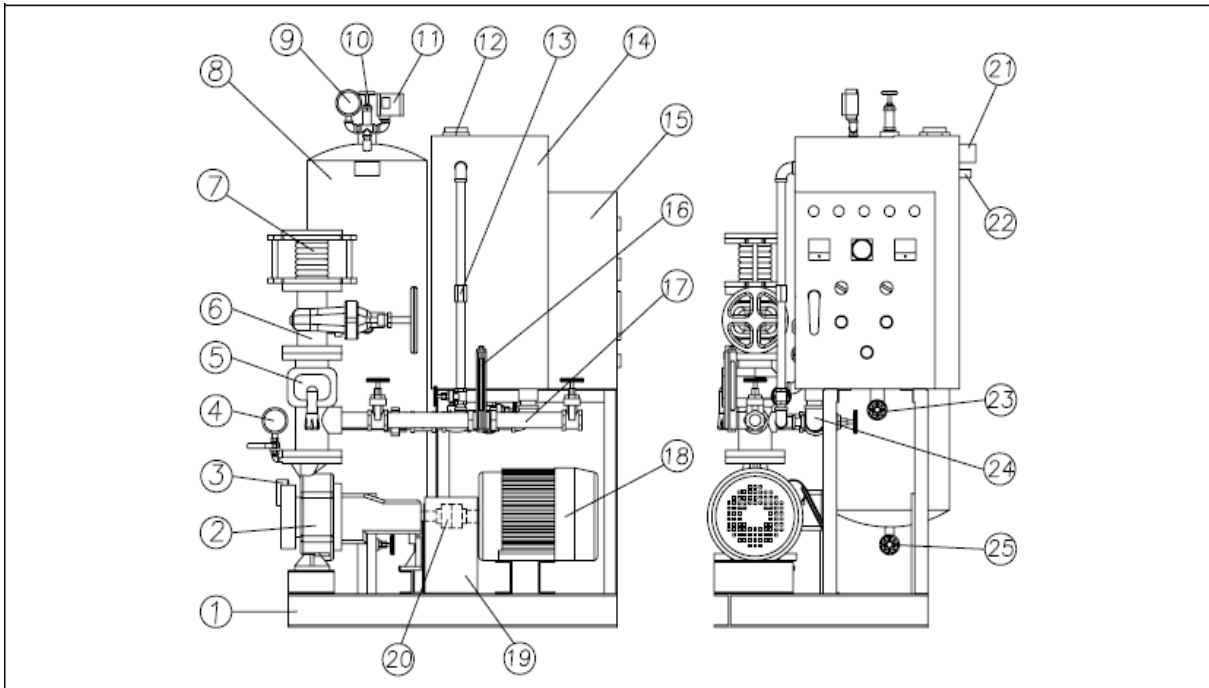
表 1 幫浦附屬裝置及功能說明

附屬裝置	功能
控制盤	係指對消防幫浦及其附屬裝置之監視或操作之裝置。
呼水裝置	係指水源之水位低於幫浦位置時，常時充水於幫浦及配管之裝置。
防止水溫上升用排放	係指幫浦全閉運轉時，防止幫浦水溫上升之裝置。

裝置	
幫浦性能試驗裝置	係指確認幫浦之全揚程及出水量之試驗裝置。
啟動用水壓開關裝置	係指因配管內水壓降低而自動啟動幫浦之裝置。
底閥	係指水源之水位低於幫浦之位置時，設於吸水管前端之逆止閥，具有過濾裝置，且使幫浦具有再吸水之能力者。

資料來源：本研究整理





項次	名稱	說明
1	基座	承載消防機組的底座，並提供與地面連接固定的基孔（材質：鋼製）
2	水泵	聯軸端吸式離心幫浦（材質：FC200）
3	連成計	顯示機組於運轉中之幫浦吸入真空度
4	壓力錶	顯示機組於運轉中之幫浦管路中的壓力
5	出口逆止閥	防止水泵於停機時的水錘現象以及保持管內壓力
6	出口開閥	控制水泵的出水量及開關
7	防震軟管	防止幫浦的震動波沿著管路向外傳送造成共振
8	壓力桶	容量：100公升 耐壓：25kg/cm ² T=3.0 mm（材質：鋼製）（可因壓力不同而改變本體厚度）
9	壓力錶	顯示機組於運轉或停止的管路壓力
10	洩壓安全閥	(1/2") 可避免壓力桶內壓力異常提高，確保安全
11	壓力控制器	可設定水泵的停機壓力點及啟動壓力點
12	水位檢測器	使用電極式，檢測補充水槽內水位，若過低時，促使警報器作用
13	熱逃溢管	此裝置是防止水泵所有出口均關閉時，水泵空轉產生高溫
14	補充水槽	容量：100公升 提供水泵補充水位，以利啟動 T=1.6 mm（材質：鋼製）
15	控制箱	ISO 認證合格正廠零件。警報、消防故障顯示等全自動回路主控裝置 T=1.6mm（材質：鋼製）
16	流量計	台製品 配合連成計、壓力計，可測知幫浦的流量與壓力（揚程）
17	流量測試管	用於平時檢測消防機組時使用，方向可依機房空間調整
18	電動馬達	採用國際知名的“東元”或“大同”
19	保護蓋	防止人員誤觸，並避免連軸器受外力破壞
20	連軸器	傳動馬達輸出之動力
21	溢水管	維持水槽內的水位，使之不致滿溢（50A）
22	補充水管	外接水源至補充水槽，並採用浮球開關控制（15A）
23	排水閥	供補充水槽於保養，清洗時排水用
24	水泵補充水管	連接水泵出口與補充水槽之間，免除水泵外部灌水之困擾（25A）
25	洩水閥	壓力桶內滿水時，可用來洩水或測試自動啟動時洩壓用

圖 6 幫浦構造及附屬裝置說明

資料來源：<http://www.tzu-serng.com.tw>

幫浦使用注意事項：

- (1)幫浦於使用前要先檢查液體是否注滿吸入管及泵體後，方可啟動，否則一經缺水將造成機械軸封之損壞亦無法吸水。
- (2)幫浦本體注水補充時，應將幫浦上方之排氣閥打開，待補充水位從排氣閥流出後方可關閉，以確保幫浦能正常發揮功能。
- (3)底閥因長期浸泡在水中，若使用易生鏽之鑄鐵金屬製品，應加強定期之檢查，以免底閥因鏽蝕後喪失功能，影響幫浦汲水。
- (4)防震軟管應時常檢查其橡膠部份，是否有腐蝕或龜裂現象，應立即更換。

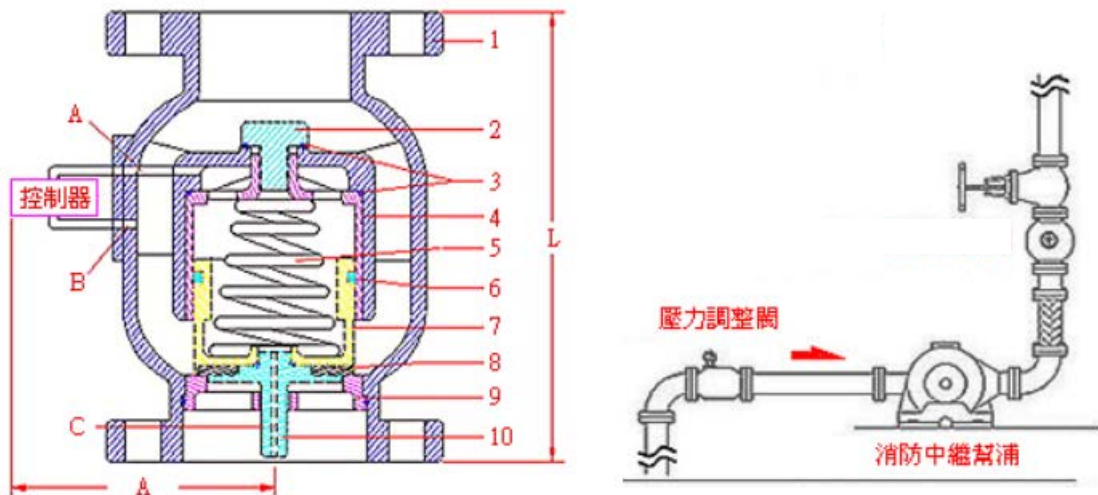
2.2.2 水源與中繼水箱

連結送水管系統係供消防隊救災使用，其水源必須靠消防車佔路面消防栓，並運用車組作戰，以水箱車或水庫車相互中繼方式使水源供應不絕。

中繼水箱並非作為水源，主要作用僅為補水功能。

2.2.3 壓力調整閥

壓力調整閥係設置於幫浦一次側，主要作用在於減低對幫浦的高壓衝擊，避免送水壓力或兩台以上幫浦串聯運轉時對於幫浦吸入端的損害。惟壓力調整閥容易因水流中雜質或污物阻塞影響，導致閥件無法正常發揮其調壓功能。



編號	零件項目	材質			
		鑄鐵	石墨鑄鐵	砲金銅	不銹鋼
1	本體	鑄鐵	石墨鑄鐵	砲金銅	不銹鋼
2	活塞固定螺栓	黃銅	黃銅	黃銅	不銹鋼
3	○型環	NBR	NBR	NBR	NBR
4	活塞缸	砲銅	砲銅	砲銅	不銹鋼
5	彈簧	不銹鋼	不銹鋼	不銹鋼	不銹鋼
6	U型環	NBR	NBR	NBR	NBR
7	活塞閥門	砲銅	砲銅	砲銅	不銹鋼
8	止水墊片	NBR	NBR	NBR	NBR
9	閥座	砲銅	砲銅	砲銅	不銹鋼
10	閥門導桿	砲銅	砲銅	砲銅	不銹鋼
A	控制器進水孔				
B	控制器出口孔				
C	背壓室導水孔 (進水端導引孔)				

圖 7 壓力調整閥構造及位置示意圖

資料來源：www.z-tide.com.tw

2.2.4 送水口及出水口

送水口係供消防車以進水管銜接送水之入口，出水口則為設置於建築物內各樓層之水源出口，以利火災時水源能透過連結送水管之輸送直

接運用於撲滅火勢。

2.3 連結送水管系統配置與設計

2.3.1 國內外設置規範

美國NFPA14 Standard for the Installation of Standpipes and Hose Systems Edition水力設計準則重點如下：

- 1.NFPA 14 2010年版允許建築物高層部使用之連結送水管，管壓高於350psi(24bar)，所謂之高層部與低層部於章節中加以明確定義。
- 2.NFPA 14 2010年版刪除使用管線規格計算法(Pipe Schedule Design)之規定，全面改以水力計算(Hydraulically Calculation)為之。
- 3.NFPA定義之水力計算Hydraulically Design System為管徑之選擇乃是基於系統所需之流量、壓力產生的阻力損耗，管路的分佈在計算區域內應維持合理的一致性。
- 4.NFPA定義之電腦模擬產生之水力計算報告Computer Generated Hydraulic Report應包括完整報告(摘要表、圖表、供水分析、節點分析以及詳細的工作表)。
- 5.壓力限制：
 - (1)管內壓力任何時刻時皆不應超過350 psi (24bar)
 - (2)高層部使用之連結送水管設置，在使用足以耐壓之管材、管件的前提下，系統管內壓力可以達到350psi(約24公斤)；唯管內壓力達到

350psi(24公斤)以上的部位，不得設置出水口。

(3)連結出水口最大揚程:

a.額定揚程(出水狀態): 出水口使用1¹/₂ 英吋瞄子放水壓力超過

100psi(6.9公斤)之出水口應設置壓力調整閥，將壓力調整至100psi(6.9公斤)。

b.全閉揚程(閉水狀態): 出水口處壓力超過175psi(12.1公斤) 應設置壓

力調整閥，調整至使用1¹/₂ 英吋瞄子放水壓力100psi(6.9公斤)。

(4)工作壓力:壓力調整閥的一次側壓力應在壓力調整閥設備出廠標示的工作壓力範圍內。

(5)當使用單一幫浦搭配壓力調整閥同時供應高層部與低層部或是兩套以上之連結立管時，必須符合以下條件：

a.用壓力調整閥調降低層部立管內壓力

b.系統內所有壓力調整閥皆可隔離以作維修與替換

c.完成失誤分析即任一壓力調整閥故障時，不得使兩處以上之出水口壓力超過175 psi(12.1公斤)。

d.系統內所有壓力調整閥應設置旁通管以及常閉式閘閥

e.壓力調整閥高度應在地面2.31公尺以內

f.系統內所有壓力調整閥進、出水側應設置壓力表

g.連結送水口附近設置逆止閥與止水閥

h.所有壓力調整裝置安裝時應依照原廠的建議安裝釋壓閥

i.依照NFPA72之規定安裝遠端遙測設備以確保壓力調整裝置運作正常

6.最小管徑規定

(1)至少4英吋

(2)設置為高低層系統時，至少6英吋

(3)當建築物同時受到依照NFPA13或是NFPA13R規定設計的撒水系統保

護時，而且系統符合7.8.1水力設計要求時，最小管徑可以為4英吋

(4)支管應不小於2 1/2英吋，且符合NFPA14 7.8及7.10水力設計規範。

由於國內之消防法規是參考日本之消防法規所制訂，而依日本消防法施行規則第31條七款一目之規定高度超過70m之建築要設置中繼幫浦，其中繼幫浦在高層建築物設有自動撒水設備之樓層，其中繼幫浦可以設置在高度超過70m以上之屋頂層或中間樓層，至日本關於連結送水管配管的設置以及維持的技術標準的細目如下：

(1)必須是專用的。但是，在使用連結送水管的場合時，對於該連結送水

管的性能不會產生妨礙的場合時則不在此限。

(2)必須要使用符合日本工業規格的G 3442、G 3448、G 3452、G 3454或

G 3459 的水管或是具有同等以上的強度、耐腐蝕性以及耐熱性的水

管。但是，配管的設計送水壓力（稱呼在噴嘴前端的送水壓力是在0.6

百萬帕（MPa）（在消防長或消防署長所指定的防火對象物裡所使用的

物品如消防水槍等，該消防水槍等的有效作動出水壓力由消防長或消防署長所指定的壓力為之。) 以上的情況送水時在送水口的壓力。以下的稱呼亦同) 在超過1 百萬帕 (MPa) 的場合時，必須要使用符合日本工業規格的 G 3448 或是 G 3454 的水管之中的厚度規格40 以上的物品或是符合 G 3459 的水管之中的厚度規格10 以上的物品或是具有同等以上的強度、耐腐蝕性以及耐熱性的水管。

(3)接頭必須要遵照下表左欄所列出的種類、符合下表右欄所規定的日本工業規格，或是以符合消防廳長官所規定的標準的具有同等以上強度、耐腐蝕性以及耐熱性的物品為之。但是，在配管的設計送水壓力在超過1 百萬帕 (MPa) 的場合時所使用的接頭方面，凸緣接頭必須符合日本工業規格 B 2239 或 B 2220 的水管接頭中符合壓力規格為16 K 以上的物品，凸緣接頭以外的接頭必須要是符合日本工業規格的 2312 或 B 2313 (以 G 3468 為材料的物品除外。) 的水管連接器之中符合厚度規格40 以上 (使用 G 3459 為材料的物品其厚度規格是10 以上的) 的物品或是具有同等以上的強度、耐腐蝕性以及耐熱性的水管接頭。

種類		日本工業規格
凸緣接頭	螺紋接合	B 2220 或是 B 2239
	焊接接合	B 2220
凸緣接頭以外的接頭	螺紋接合	B 2301、B 2302 或是 B 2308 之中使用 G 3214 (限於 S U S F 304 或是 S U S F 316) 或是 G

		5121 (限於 S C S 13 或是 S C S 14。) 為材料的物品
	焊接接合	B 2311、B 2312 或是 B 2313(以 G 3468 為材料的物品除外)

(4) 閥類的規定事項

a. 材質必須要是符合日本工業規格的 G 5101、G 5501、G 5502、G 5705

(限於黑鍛鑄鐵件。)、H 5120 或是 H 5121 的物品，或者是符合消防廳長官所規定的標準的具有同等以上強度、耐腐蝕性以及耐熱性的物品。

b. 開關閥、止水閥以及逆止閥必須要是符合日本工業規格的 B 2011、B

2031 或是 B 2051，或者是符合消防廳長官所規定的標準的具有同等以上性能的物品。

c. 開關閥或是止水閥的開關方向，以及逆止閥的水流方向必須要在閥上

標示出來。

(5) 配管的管徑必須要是依據水力的計算算出的管徑規格。

(6) 在緊鄰加壓送水裝置的吐出側部分的配管必須要設置逆止閥以及止水閥。

(7) 在緊鄰加壓送水裝置的吸水側部分的配管必須要設置止水閥。

(8) 配管的耐壓力必須要是能夠承受該當配管的設計送水壓力的 1.5 倍以

上的水壓。但是，在根據下一款的 (一) 的規定所設置的加壓送水裝置的場合時的該當加壓送水裝置的吐出側的配管的耐壓力必須要是能

夠承受加壓送水裝置的閉鎖壓力的1.5倍以上的水壓。

2.3.2 系統配置方式

傳統的連結送水管系統配置方式，是在建築物的中間樓層設置中繼幫浦，以串連地面之消防車幫浦接續將水源送往建築物高層部，並確保出水壓力、出水量及水帶有效防護範圍，以達到消防救災可及性。配置情形示意如圖。

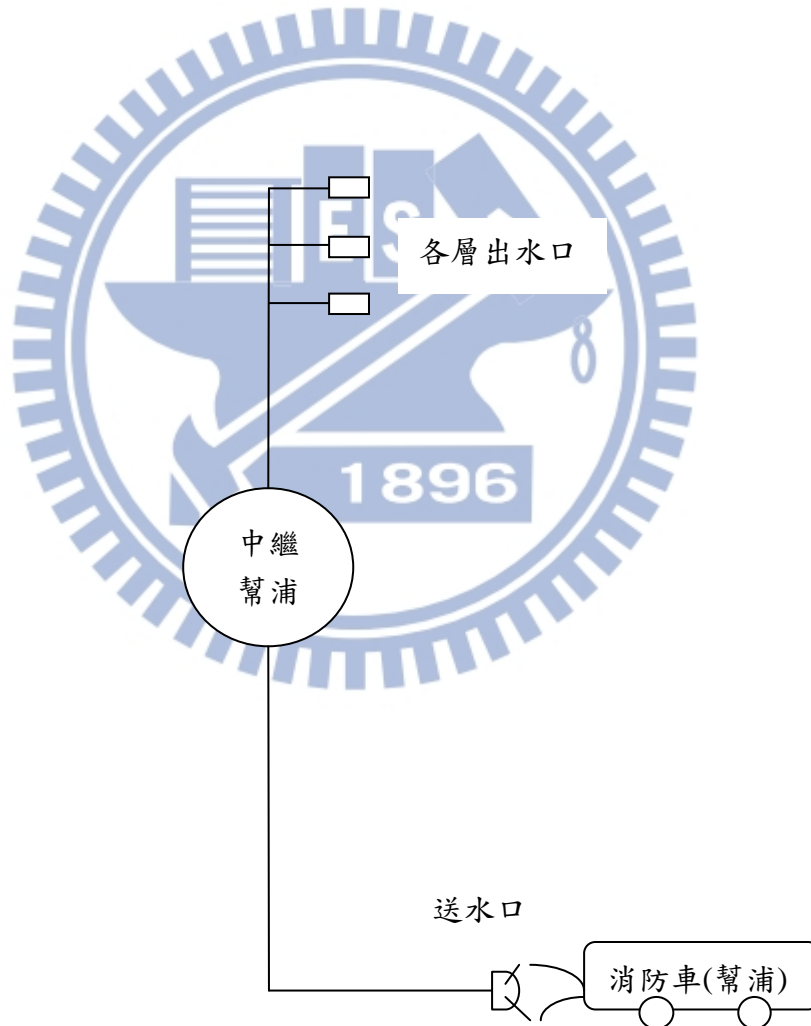


圖 8 傳統連結送水管系統配置方式

資料來源：本研究整理

近年國內較新的連結送水管系統配置方式，其中繼幫浦係改採高、低層幫浦分別設置於屋頂層及地下層，低層幫浦負責低樓層之出水，高層幫浦則負責高層部的出水，由於水本身的重力壓，高層幫浦往下打(下行管)時只能設計到某個樓層，否則出水壓力將過高，而低層幫浦往上打(上行管)至高層幫浦一次側，則僅須有押入揚程 $1\text{kgf}/\text{cm}^2$ 即可。與上述傳統配置方式相較，由於兩台(高層及低層)幫浦間之落差距離提高，故低層幫浦揚水能力須採用較高揚程者，配置情形示意如圖。



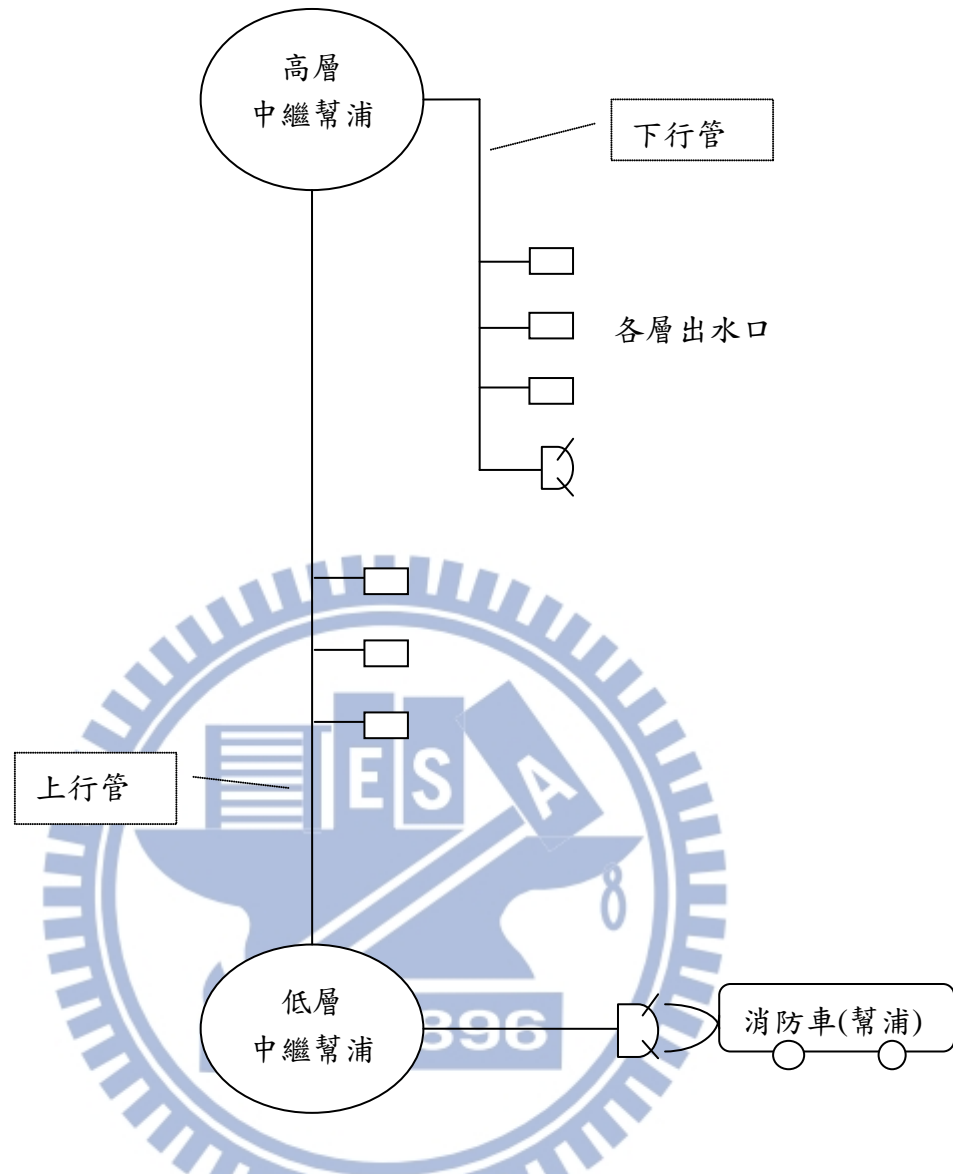


圖 9 新式連結送水管系統配置方式

資料來源：本研究整理

2.3.3 水力設計

中繼幫浦全揚程在下列計算值以上：

全揚程 $H = h_1$ 消防水帶摩擦損失水頭 + h_2 配管摩擦損失水頭 + h_3 落差 +
60m放水壓力

所謂「摩擦損失」，即為管道中的水流由於摩擦力的作用產生阻力，

消耗了水流動的能力，而造成的壓力損失。

1. 管道內的流體流動之類別²⁹

管道內的流體流動之類別，係以雷諾係數(Reynold's Number)做為判別，分為層流、穩流及紊流三大類別。

表 2 流體流動分類表

類別	判別區隔
層流 (laminar flow)	Re < 2000
穩流(transition flow)	2000 < Re < 4000
紊流 (turbulent flow)	Re > 4000

資料來源：本研究整理

雷諾係數Re 是一個沒有單位的係數，定義如下：

Re = 64/f f：摩擦係數(friction factor)

$$Re = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} \equiv \frac{D \times G}{\mu} \quad (1)$$

D：管子的直徑(m)

v：流體的流速(m/s)

ρ ：流體的密度(kg/m³)

μ ：流體的動態黏性係數(Ns/m²，kg/ms)

G：流體的質流速度(kg/sm²)

$$Re = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} \equiv \frac{D \times G}{\mu} = \frac{Kg \times m \times m \times m}{m^3 \times s \times 1 \times Kg} = 1 \quad (2)$$

²⁹ 張蓉台，「水在管路中的阻力計算(上)(下)」，中華水電冷凍空調，272、273，92-100、79-87頁，民國95年6月、95年7月

2.一般壓力流體管路的摩擦損失計算公式及使用條件

表 3 壓力流體管路摩擦損失及使用條件表

類別	使用條件
Hazen-Williams Equation	<ul style="list-style-type: none"> ● 穩流 ● 穩流與亂流共存 ● 不可壓縮流體 ● 4°C – 25°C ● 管線上有許多分歧管或分支管
Darcy-Weisbach Equation	<ul style="list-style-type: none"> ● 層流 ● 不可壓縮流體，管子內部呈現滿載的水流量 ● 可壓縮流體，壓力在1Kg/cm² 以下。 ● 直管部份，沒有分歧管或異徑接頭的管路。
Colebrook-White Equation	<ul style="list-style-type: none"> ● 亂流 ● 不可壓縮流體 ● 可壓縮流體 ● 直管部份

(1)Hazen-Williams 公式

英制單位

$$f = 0.2083 \left[\frac{100}{C} \right]^{1.85} \frac{Q^{1.852}}{di^{4.8655}} \quad (3)$$

公制單位

$$f = 0.010666C^{-1.085} \cdot di^{-4.8655} \cdot Q^{1.852} \quad (4)$$

f : 直管的摩擦損失(ft水柱/100 ft、mm 水柱/m)

Q : 流量(gpm、 m^3/s)

d_i : 管內徑(in、m)

C : 管內壁的光滑度

上述公式 C 值如下表：

表 4 Hazen-Williams Equation 的 C 值一覽表

管材類別	Hazen-Williams Equation 的 C 值
ABS 熱塑性塑膠管	160
使用 10 年的 ABS 熱塑性塑膠管	160
使用 20 年的 ABS 熱塑性塑膠管	160
使用 30 年的 ABS 熱塑性塑膠管	160
使用 40 年的 ABS 熱塑性塑膠管	160
PVC/CPVC 熱塑性塑膠管	150
使用 10 年的 PVC/CPVC 熱塑性塑膠管	130
使用 20 年的 PVC/CPVC 熱塑性塑膠管	110
PE/PP 其他 熱塑性塑膠管	140
銅管、玻璃管	140
新的光滑直管(金屬類)	140
新的一般直管(金屬類)	130
新的鍍鋅鐵管(GIP)	120
新的鑄鐵管(CIP)	120
使用 10 年的鍍鋅鐵管(GIP)	110
使用 20 年的鍍鋅鐵管(GIP)	90
使用 30 年的鍍鋅鐵管(GIP)	70
使用 10 年的鑄鐵管(CIP)	107
使用 20 年的鑄鐵管(CIP)	95
使用 30 年的鑄鐵管(CIP)	80
使用 40 年的鑄鐵管(CIP)	65
新的水泥管	110
很老舊的鐵管、金屬管類	80
很粗糙的管材	60
造成嚴重的亂流現象	40

(2)Darcy-Weisbach 公式

英制單位

$$h_f = f \frac{L}{di} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

公制單位

$$h_f = 4f \frac{L}{di} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

$$f = \frac{0.25}{\left\{ \log \left[\frac{1}{3.7D} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right] \right\}^2} \quad (7)$$

h_f ：水頭損失(*ft* 水柱/100 *ft*、*mm* 水柱 / *m*)

f ：直管的摩擦損失係數

L ：直管的長度或相當直管長度(*呎*、*m*)

di ：管內徑(*in*、*m*)

v ：流速(*ft/s*、*m/s*)

g ：重力加速度(*ft/s²*、*m/s²*)

(3) Colebrook-White 公式

英制單位

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log_{10} \left[\frac{\varepsilon}{di} + \frac{9.35}{\text{Re} \sqrt{f}} \right] \quad (8)$$

公制單位

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log_{10} \left[\frac{e}{3.7di} + \frac{1.225}{\text{Re} \sqrt{f}} \right] \quad (9)$$

f ：直管的摩擦損失(*ft* 水柱/100 *ft mm*、水柱 / *m*)

ϵ, e : 管內壁的光滑度或粗糙度(ft,ft)

d_i : 管內徑(in、m)

Re : 雷諾系數

F : 摩擦損失係數

表 5 Colebrook-White Equation 的 ϵ 及 e 值一覽表

管材類別	管子內壁的粗糙度或光滑度	
	ϵ 值	e 值
ABS 熱塑性塑膠管	0.5×10^{-5}	0.0015
使用10年的ABS 熱塑性塑膠管	0.5×10^{-5}	0.0015
使用20年的ABS 熱塑性塑膠管	0.5×10^{-5}	0.0015
使用30年的ABS 熱塑性塑膠管	0.5×10^{-5}	0.0015
使用40年的ABS 熱塑性塑膠管	0.5×10^{-5}	0.0015
PVC/CPVC熱塑性塑膠管	0.6×10^{-5}	0.0018
使用10年的PVC/CPVC熱塑性塑膠管	0.8×10^{-5}	0.0026
使用20年的PVC/CPVC熱塑性塑膠管	1.0×10^{-5}	0.0032
PE/PP 其他 熱塑性塑膠管	0.6×10^{-5}	0.0021
銅管、玻璃管	0.52×10^{-5}	0.0016
新的光滑直管(金屬類)	5.0×10^{-5}	0.015
新的一般直管(金屬類)	5.9×10^{-5}	0.018
新的鍍鋅鐵管(GIP)	5.0×10^{-4}	0.15
新的鑄鐵管(CIP)	16×10^{-4}	0.5
使用10年的鍍鋅鐵管(GIP)	26×10^{-4}	0.8
使用20年的鍍鋅鐵管(GIP)	59×10^{-4}	1.8
使用30年的鍍鋅鐵管(GIP)	85×10^{-4}	2.6
使用10年的鑄鐵管(CIP)	39×10^{-4}	1.2
使用20年的鑄鐵管(CIP)	59×10^{-4}	1.8
使用30年的鑄鐵管(CIP)	72×10^{-4}	2.2
使用40年的鑄鐵管(CIP)	82×10^{-4}	2.5
新的水泥管	29×10^{-4}	0.9
很老舊的鐵管、金屬管類	39×10^{-4}	1.2

很粗糙的管材	114 10 ⁻⁴	3.5
造成嚴重的亂流現象	164 10 ⁻⁵	5.0

3.Hazen-Williams公式簡化表示方式

$$v = 0.113cd^{0.63}s^{0.54} \quad (10)$$

v :管流速(ft/sec)

d :管內徑(inch)

s :能量坡線的斜率；即每單位長度的能量損失

c :管壁平滑度的摩擦係數。其值由50~150均有。

而上式亦可表為：

$$Q = 0.285cd^{2.63}s^{0.54} \quad (11)$$

Q :流量(gpm)

如將上式代入管系中，其壓力差可用下列式子表示：

$$\Delta P = \frac{4.52Q^{1.85}}{c^{1.85}d^{4.87}} \times 10^5 \quad (12)$$

ΔP :管線每ft之壓降(psi)

Q :流量(gpm)

d :管內徑(inch)

c :管壁平滑度的摩擦係數

$$\text{或 } \Delta P = \frac{6.05Q^{1.85}}{c^{1.85}d^{4.87}} \times 10^5 \quad (13)$$

ΔP :管線每公尺之壓降(kgf/cm²)

Q : 流量(l/min)

d : 管內徑(mm)

c : 管壁平滑度的摩擦係數

當管內徑單位轉化為cm時，可整理為：

$$H = \frac{8.16Q^{1.85}}{C^{1.85}D^{4.87}} \times \left(\frac{I'_K + I''_K}{100} \right) \quad (14)$$

當 $C=120$ 時，上式如下：

$$H = 1.2 \times \frac{Q^{1.85}}{D^{4.87}} \times \left(\frac{I'_K + I''_K}{100} \right) \quad (15)$$

H : 配管摩擦損失水頭(m)

Q : 流量(LPM)

C : 摩擦損失係數

D : 管內徑(cm) (以SCH40鋼管為基準)

I'_K : 標稱管徑K值管長之合計(m)

I''_K : 標稱管徑K接頭、閘等價管長之合計(m)

2.3.4 水錘壓力計算

1. 水錘壓力波的最大值 H ，可以Joukowski equation³⁰公式求得：

$$H = av/g \quad (16)$$

v : 流速(m/s)

g : 重力加速度(m/s²)

³⁰ A Review of Water Hammer Theory and Practice

其中a，為15°C水的壓力波傳播速度：

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{2.07 \times 10^8}{E} \cdot \frac{D}{d}}} [m/s] \quad (17)$$

D：管內徑(m)

d：管壁厚度(m)

E：材料的縱彈性係數(kg/m²)

2.水錘吸收器依緩衝構造大致分類為氣缸式、氣囊式、隔膜式等，設置時須選擇適當之空氣室(Air Chamber)容量者，可依據下列公式計算評估：

$$V = \frac{1.44 \times Q^2 \times L \times \rho \times 10^{-5}}{P_o \left[\left(\frac{P_m}{P_l} \right)^{0.286} - 1 \right] \times d^2} = c.c \quad (18)$$

v：空氣室容量(c.c)

L：平管路之長度與垂直管長(m)

Q：流量(LPM)

ρ：流體密度

d：管的公稱直徑

P_m：最大震波壓力(kg/cm²)

P_l：閥全開時流體通過的壓力(kg/cm²)

P_o：水錘吸收器之預填壓力(kg/cm²)

利用隔膜片形成壓縮氣室，運用壓縮氣室原理吸收水錘現象。

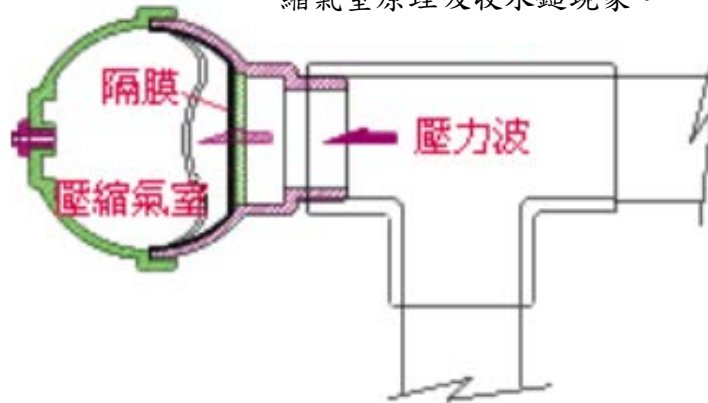


圖 10 隔膜型水錘吸收器

資料來源：www.z-tide.com.tw

2.3.5 實務設計案件統計與分析-以臺北市 98 年~100 年為例

1.經統計臺北市98年~100年新建建築物消防安全設備設計案件，設有連結送水管者之件數及比率如下：

表 6 新建建築物消防安全設備設計案件統計表

項目 年度	新建設計案(件)	設有連結送水管(件)	比率
98	407	255	62.65%
99	420	253	60.24%
100	304	189	62.17%
總計	1,131	697	61.63%

(資料來源：本研究整理)

2.連結送水管設計方式分為管徑規格法及水力計算法，統計情形如下：

表 7 連結送水管設計方式統計表

項目 年度	設有連結送 水管(件)	管徑規格法 設計(件)	水力計算法 設計(件)	水力計算法 設計比率
98	255	250	5	1.96%
99	253	246	7	2.77%
100	189	167	22	11.64%
總計	697	663	34	4.88%

(資料來源：本研究整理)

3.上述34件以水力計算法設計者，建築物之樓層分佈情形：

表 8 採水力計算法建物樓層統計表

樓層數 年度	17-20層	21-30層	30層以上	合計
98	2	3	0	5
99	0	7	0	7
100	2	17	3	22
總計	4	27	3	34

(資料來源：本研究整理)

由以上近三年統計可以窺見，臺北市新建建築物中設有連結送水管者，98年為62.65%、99年為60.24%、100年為62.17%，每年平均約有61.63%的比率，佔該年度總新建案數一半以上。

以水力計算法設計者，98年5件、99年7件、100年22件，總計34件，佔該年度設有連結送水管者比率，98年度為1.96%、99年度為2.77%、100

年度11.64%，比例逐年上昇。

總計34件採水力計算法設計者，建築物17-20層樓以下者4件、21-30層樓者27件、30層樓以上者3件，全數均為一定規模以上之高層建築物，其中21、22層樓之建築物各9件為最多。

4.近三年設計發展趨勢

查臺北市自97年開始有設計者採用電腦水力計算法驗證連結送水管之設計，該案件為地上27層、地下4層建築物，臺北市政府消防局以邀請產官學界之學者專家共同召開委員會方式審查，於是開展了相關議題之熱烈討論，97年審查之初主要針對落實監造制度及管系穩流驗證結果作為審查主軸，99年則開始探討各閥組件之選用，並且將消防隊所使用之移動式小幫浦及消防車送水壓力限制納入設計時之考量，100年更開始提出水錘現象分析及相關防護措施，各發展時期雖形成不同的議題主軸，惟審查時均是以建築物個案條件加以探討及要求，尚未有系統整體之研究報告。

2.4 小結

綜觀以上連結送水管系統之系統配置、元件功能、特性、設置規範、相關公式與設計案件統計，本研究擬採用FMEA方法找出系統之失效模式、後果嚴重性及改善系統功能之可能性。目前國內連結送水管已趨向性能化設計，設計者及業主勇於挑戰傳統法條式規範提出不同設計方

案，突顯重視實際使用需求及相關限制條件之重要性，本研究後續將運用相關軟體實際模擬驗證，期提出有助於系統可靠度相關建議，達到所投資消防設備成本能確實發揮效用之目的。

第三章 連結送水管系統之失效模式與效應分析

3.1 FMECA 分析的主要工作及步驟

FMECA分析的主要工作及步驟包括：

- (1)確定系統的範圍
- (2)詳細了解系統
- (3)分解系統為元件
- (4)識別和分析各元件的失效模式
- (5)評估各元件失效模式的起因
- (6)評估各失效模式的可能性和關鍵值
- (7)評估失效後果對系統的嚴重性和關鍵值
- (8)評估探測和干預(或改善)的可能性和關鍵值
- (9)以表格方式顯示成果
- (10)綜合分析及撰寫報告

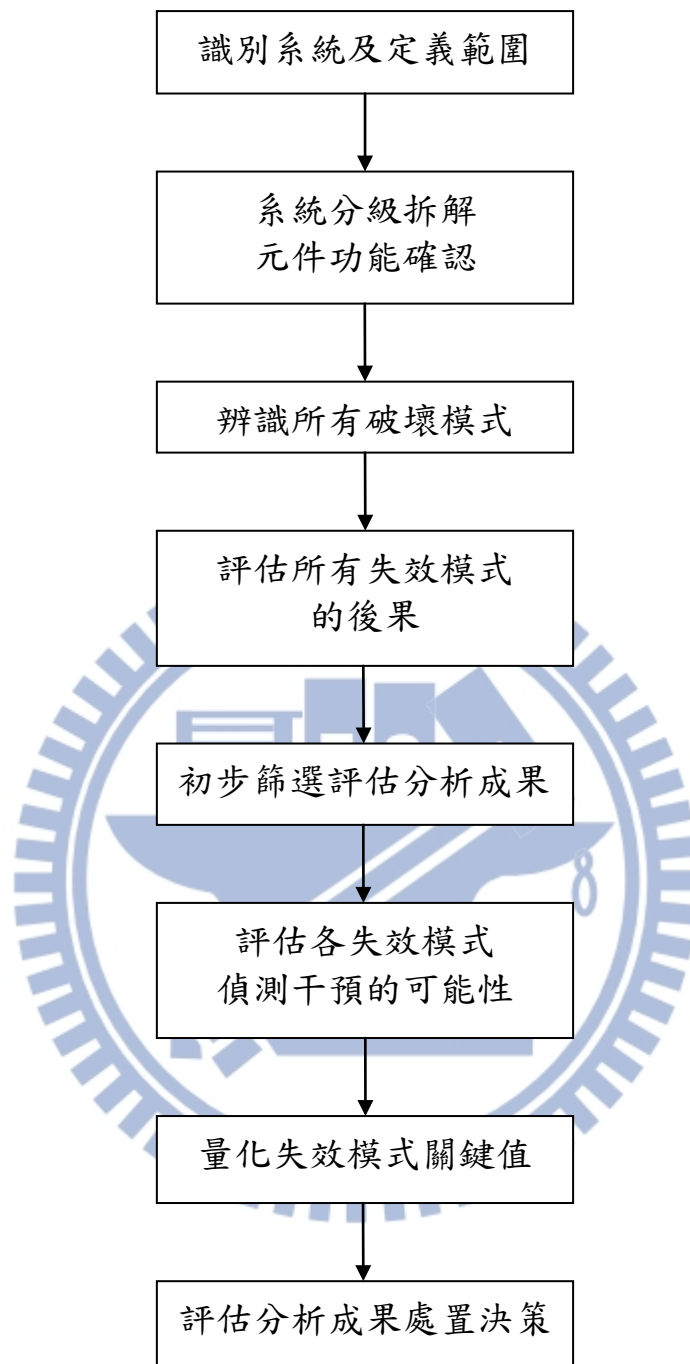


圖 11FMECA 主要工作與步驟

3.2 定義系統與元件拆解

1. 識別分析系統

本研究係從系統設計者角度進行風險分析，無法達到原設計功能稱

之為失效，原設計功能範疇包括系統運作正常、出水壓力足夠、系統達一定安全性、符合救災人員需求、顧及救災人員安全等。

連結送水管新式配置作為分析範圍，分為高、低層兩台中繼幫浦，一樓連結送水口供消防車，故本分析系統定義範圍包括消防人員、消防車、送水管、送水口、壓力調整閥、中繼幫浦、立管及配管、中繼幫浦二次側之逆止閥、中繼水箱二次側之逆止閥、出水口及水帶與瞄子等。



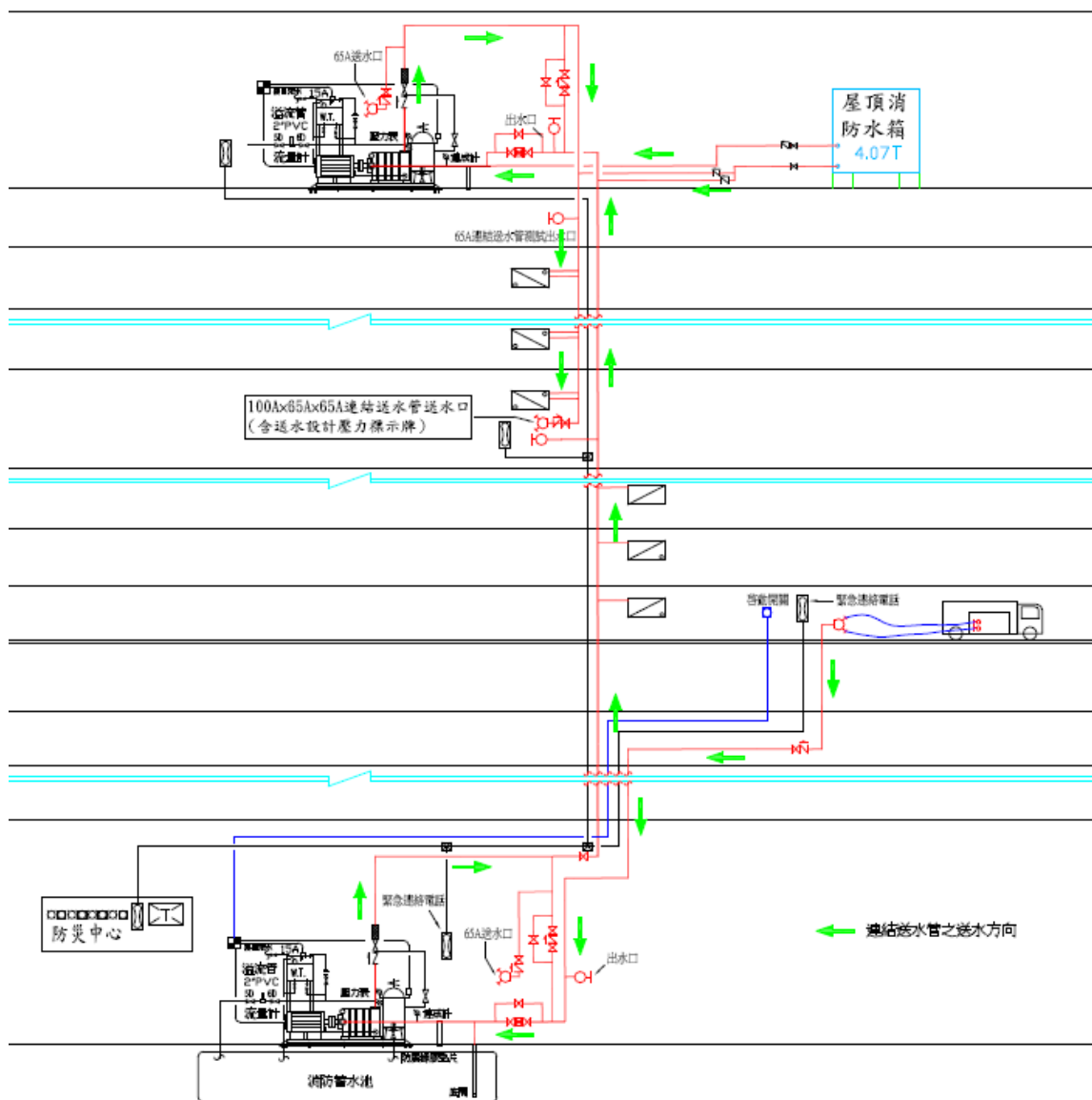


圖 12 連結送水管新式配置昇位圖

2. 元件拆解

本分析系統拆解為下列12項主要元件：

表 9 連結送水管元件拆解及編號

編號	元件名稱
A	消防人員
B	消防車
C	送水管(水帶)

D	送水口
E	送水口附近的止水閥
F	壓力調整閥
G	中繼幫浦
H	立管及配管
I	中繼幫浦二次側之逆止閥
J	中繼水箱二次側之逆止閥
K	出水口
L	水帶與瞄子

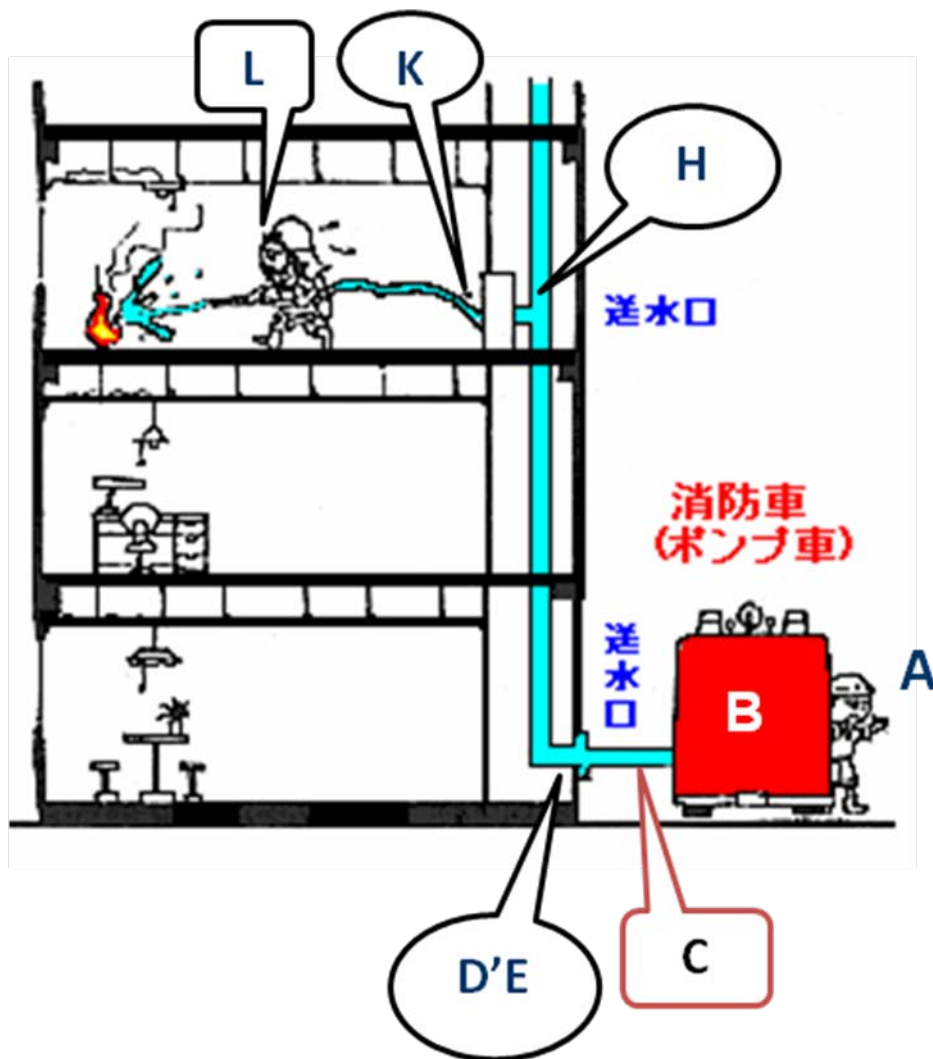


圖 13 系統拆解編號位置示意圖

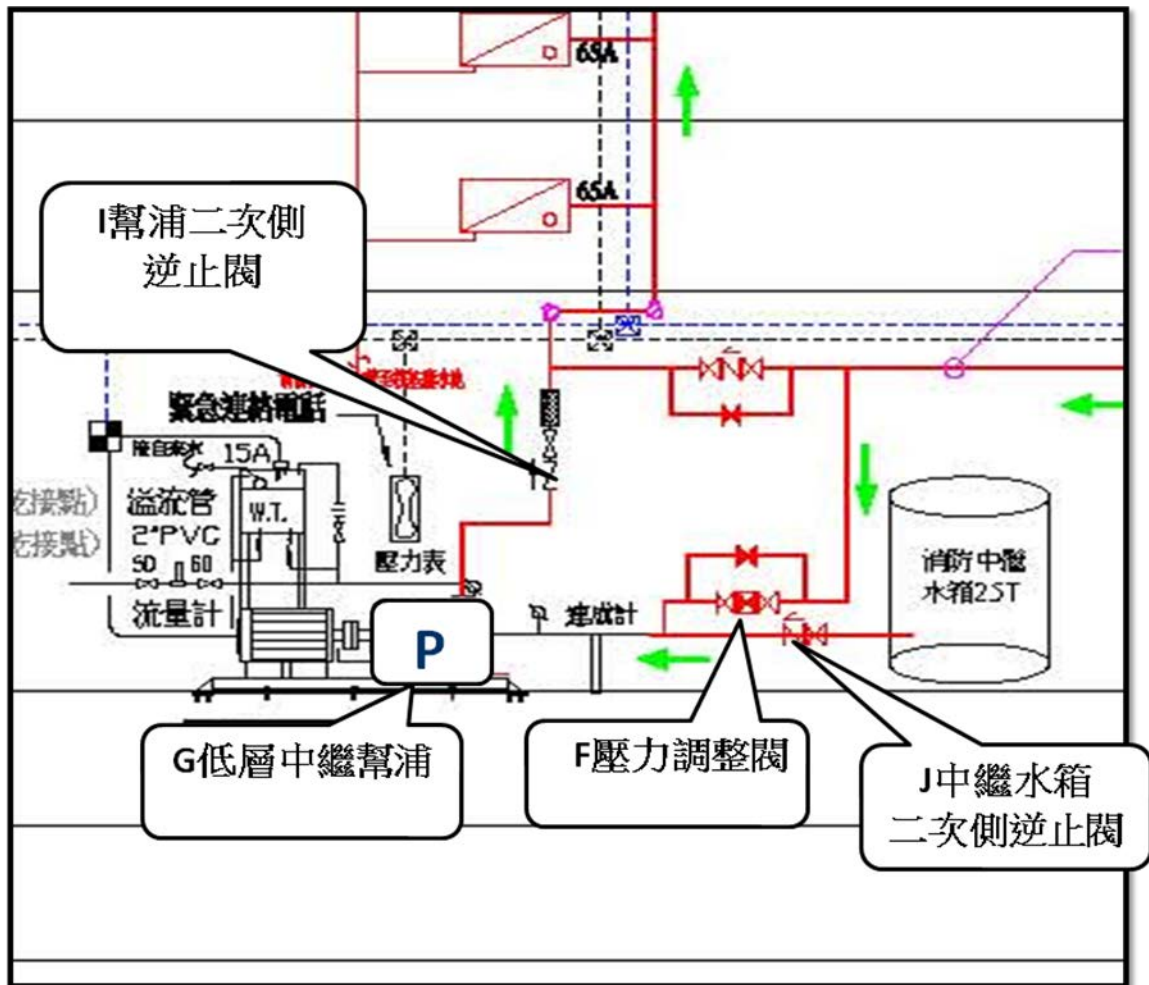


圖 14 系統拆解編號位置示意圖

3.3 識別和分析各元件的失效模式及可能產生後果

本步驟係識別系統各元件哪裡可能會出錯，一旦出錯會導致何種結果，探討內容涉及人、物、方法及行為，亦即包括人為錯誤、設備本身問題、溝通困難或元件老舊之必然發展等。

1. 消防人員

使用連結送水管時，於建築物一樓送水口處負責將水源由消防車輸送至連結送水管通常為消防車司機，該消防人員必須能夠正確研判送水壓力、幫浦啟動順序及察覺送水中系統故障或緊急狀況，做適當之處置，

使得連結送水管系統發揮應有救災功能。

若消防人員(司機)操作送水壓力低於設計值，將導致出水壓力不足，若高於設計值，則出水壓力將高於設計值；若啟動兩台中繼幫浦操作順序錯誤，則可能導致中繼幫浦吸入空氣；若指揮官或第一梯到達現場之救災人員已使用系統救災卻因研判錯誤需變更出水樓層，則可能要耗費更多時間調整而影響救災效能。

2.消防車

連結送水管系統之所以能夠源源不絕供應救災水源，必須靠建築物預設之中繼幫浦與消防車幫浦串聯運轉，因此消防車應持續提供必要之送水壓力，不得任意中斷。

若公設消防栓水源供應不足，將導致系統在中繼水箱補供應完後，中繼幫浦將吸入空氣，若消防車本身幫浦效能不足，未能提供足夠水量，亦將導致中繼幫浦吸入空氣。

3.送水管(水帶)

送水管為銜接消防車與送水口之水帶，在連結送水管系統使用中，水帶必須能承受長時間送水壓力且不得脫落或爆管，否則恐造成系統中斷，須耗費時間更換水帶。

4.送水口

送水口為2 1/2”雙口型，距基地地面之高度在1公尺以下0.5公尺以

上，且標明連結送水管送水口字樣，係水源輸入連結送水管系統的入口，供銜接兩條63mm之水帶。

5.送水口附近的止水閥

送水口附近依法應設一組逆止閥與止水閥，該止水閥目的是供後續逆止閥維修時使用，惟在系統竣工查驗測試時常見送水後才發現此止水閥遭關閉，以致無法於第一時間將水輸送進立管。

6.壓力調整閥

壓力調整閥包括減壓閥、背壓閥、持壓閥等均屬之，主要利用控制器來調節流量大小，閥的精確度取決於一設定點在最小流量時與最大流量時之壓力下降比率，惟其最怕的是管路雜質阻塞問題，將導致壓力調整閥故障。

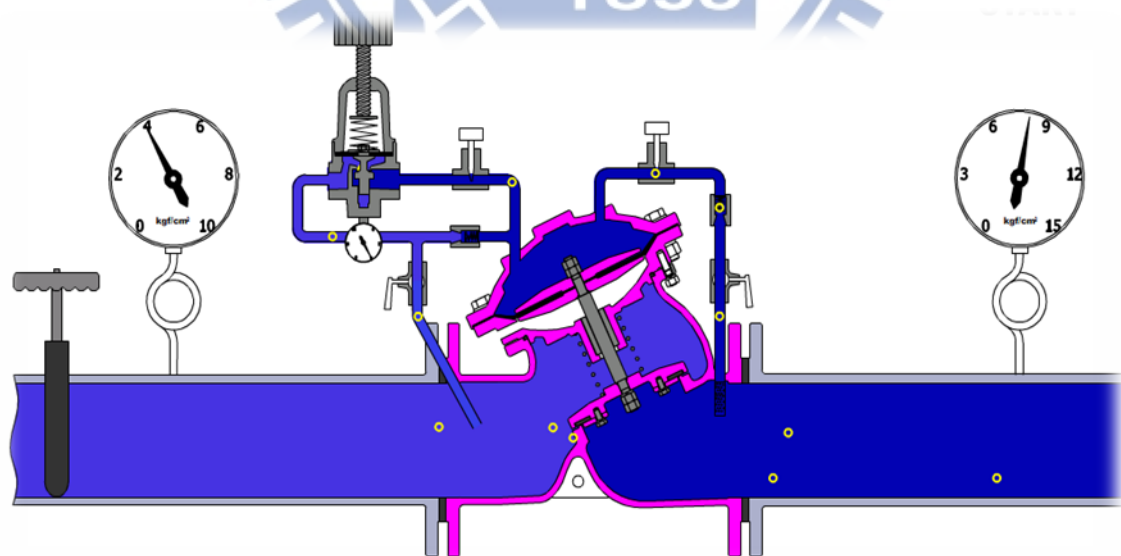


圖 15 壓力調整閥工作原理示意

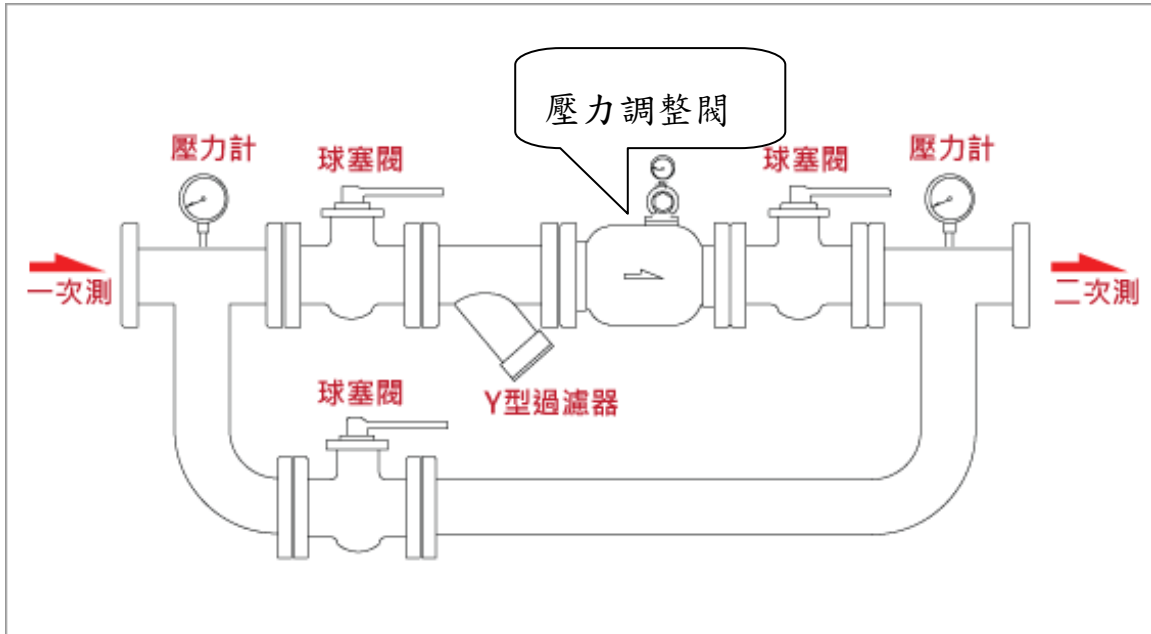


圖 16 壓力調整閥裝置位置示意圖

7. 中繼幫浦

本分析對象之中繼幫浦分為低層幫浦及高層幫浦，兩台幫浦不同的故障模式可能對系統產生不同的影響後果。

8. 立管及配管

立管及配管為系統輸送管道，必須能承受連結送水管系統使用中各種壓力變化，因此系統設計時必須審慎評估考量。

9. 中繼幫浦二次側之逆止閥

中繼幫浦二次側之逆止閥主要作用為防止管路內水逆流，並防止水錘效應損壞幫浦。

10. 中繼水箱二次側之逆止閥

中繼水箱二次側之逆止閥主要為防止管路內水源逆流如中繼水箱，

確保水源補給流向。

11.出水口

為系統水源出口，連接水帶以供消防人員救災使用。

12.水帶與瞄子

水帶與瞄子為提供消防人員銜接出水口以深入火場救災使用。

3.4 各失效模式之可能性、嚴重性分級與可預防性分級

茲將連結送水管系統失效模式之可能性分為5個等級，分別賦予1~5的數值，並以測試時發生之狀況為輔助判斷原則：



表 10 失效模式可能性分級

失效模式之可能性(定性)	輔助判斷原則	可能性
系統使用中或使用年限內很不可能發生	測試時幾乎未發生過	1
系統使用中或使用年限內不容易發生但是可能	測試時很少發生	2
系統使用中或使用年限內很可能發生	測試時容易出現或救災時有可能發生	3
系統使用中或使用年限內預期會發生	測試時常見，且大多數的案件都發生過	4
正在發展中，或可以確定系統使用中或使用年限內一定會發生	測試時一定發生，且該次測試狀況排除後，於下次測試仍然會發生或救災時無可避免會發生	5

有關失效模式後果嚴重性，主要研判是否造成中繼幫浦無法運作、是否造成管系壓力劇變及是否影響出水壓力等程度，分為5個等級，分別賦予1~5的數值：

表 11 失效模式之後果嚴重度分級

失效模式後果嚴重性分級(定性)	輔助判斷原則	嚴重性
無顯著立即的後果，對於系統效能及救災人員安全較不重要者	與幫浦運轉及水鎚產生較無相關	1
可能影響系統效能但尚能持續運作	一定情況下才可能影響幫浦運轉、出水壓力或可能產生水鎚，或造成救災上的不便	2
預期可能造成系統顯著效能減低或可能影響救災人員安全	很可能影響幫浦運轉、出水壓力或產生水鎚	3

嚴重影響系統效能，或顯著影響救災人員安全	必定會影響幫浦運轉、出水壓力或產生水錘	4
系統立即無法運作，或嚴重影響救災人員安全	會立即導致系統無法出水或出水壓力劇變	5

由於救災現場十萬火急，本研究假設當系統失效時，並無法於緊急時做有效干預，故本分析系統針對失效模式是否能夠預防進行分級：

表 12 失效模式可預防性分級

有效預防(定性)	判斷原則	可預防性
問題的進展非常漸進，於一般維護程序或正確的處置即可直接預防	肉眼可見，或具有有效預防措施	1
問題將漸進發展，但於早期預防成功較不確定	可採取措施但不確定有效	2
問題成功的預防處置不太可能	無有效的預防措施	3
失效很可能無預警發生	使用中肉眼不易見也不易測，但預防的技術門檻較低	4
失效將無任何預警，也無法預防	使用中肉眼不可見也不可測，或預防的技術門檻高，相關作業基準亦無規範	5

本研究經與消防工程實務界專家討論研析，連結送水管系統運用失效模式影響及關鍵性分析結果如下：

表 13 失效模式影響及關鍵性分析列表

連結送水管系統之失效模式影響與關鍵性分析列表(FMECA)							
編號	元件名稱	失效模式	可能性因子	後果描述	後果因子	預防因子	關鍵指標
A	消防人員	A 1 送水壓力不足 (低於設計值)	系統使用中不容易發生但是可能 2	出水壓力不足	很可能影響幫浦運轉、出水壓力 3	具有效預防措施 1	6
		A 2 送水壓力過大 (高於設計值)	系統使用中很可能發生 3	出水壓力增加	很可能影響出水壓力 3	具有效預防措施 1	9
		A 3 啟動中繼幫浦 操作順序錯誤	系統使用中很可能發生 3	導致中繼幫浦吸入空氣	系統立即無法運作，或嚴重影響救災人員安全 5	可採取措施但不確定有效 2	30
		A 4 研判出水樓層 錯誤	系統使用中很不可能發生 1	水線(出水口或瞄子)必須中斷 關閉調整樓層，影響救災效能	可能影響系統效能 2	具有效預防措施 1	2
B	消防車	B 1 水源供應不足	系統使用中不容易發生但是可能 2	中繼幫浦一次側送水供應不足，一開始會由中繼水箱補供應(出水端需求未變)，俟中繼水箱水用完，則幫浦吸入空氣。	必定會影響幫浦運轉、出水壓力 4	可採取措施但不確定有效 2	16
		B 2 消防車幫浦效能不足	系統使用中不容易發生但是	若消防車幫浦效能不足，將導致未能供應足夠送水壓力，中	很可能影響幫浦運轉、出水壓力	具有效預防措施	6

連結送水管系統之失效模式影響與關鍵性分析列表(FMECA)

編號	元件名稱	失效模式	可能性因子	後果描述	後果因子	預防因子	關鍵指標
			可能 2	繼幫浦一次側送水供應不足，一開始會由中繼水箱補供應，俟中繼水箱水用完，出水端需求未變，則幫浦吸入空氣。	3	1	
		B3 消防車幫浦無法運轉	系統使用中很不可能發生 1	無法將水源送入系統，導致系統無法出水。	會立即導致系統無法出水 5	具有效預防措施 1	5
		B4 消防車壓力表故障	系統使用中很不可能發生 1	救災人員無法識別消防車幫浦之送水壓力，造成系統操作不便，可能影響救災效能。	可能影響系統效能但尚能持續運作 2	肉眼可見，且具有有效預防措施 1	2
C	送水管 (水帶)	C1 水帶破裂	系統使用中很可能發生 3	送水中斷導致水源立即供應不足	必定會影響幫浦運轉、出水壓力 4	使用中肉眼不易見也不易測 4	48
		C2 水帶使用中脫落	系統使用中不容易發生但是可能 2	消防車很可能必須暫停送水才能將送水管接回，可能因此影響救災效能	必定會影響幫浦運轉、出水壓力 4	肉眼可見，且具有有效預防措施 1	8
D	送水口	D1 送水口阻塞	系統使用中不容易發生但是可能 2	必須先將污物清除後才能送水，但不致影響救災效能	無顯著立即的後果，對於系統效能及救災人員安全較不重要者 2	肉眼可見，且具有有效預防措施 1	4

連結送水管系統之失效模式影響與關鍵性分析列表(FMECA)

編號	元件名稱	失效模式	可能性因子	後果描述	後果因子	預防因子	關鍵指標
		D2 送水口接頭損壞	系統使用中不容易發生但是可能 2	可能會造成送水管無法銜接而無法送水	很可能影響出水壓力 3	肉眼可見，且具有效預防措施 1	6
E	送水口附近的止水閥	E1 止水閥關閉	系統使用中很可能發生 3	第一時間發現消防車送水時無法加壓，若此時中繼幫浦也已啟動，必須迅速查覺並將止水閥開啟，否則中繼水箱補供應完後即呈現缺水狀態。	必定會影響幫浦運轉、出水壓力 4	使用中肉眼不易見也不易測 4	48
F	壓力調整閥	F1 壓力調整閥控制器阻塞(管內雜質或本身鏽蝕)	系統使用中或使用年限內預期會發生 4	壓力調整閥無法有效調壓、控壓不穩或使得閥門關閉	必定會影響幫浦運轉、出水壓力 4	使用中肉眼不可見也不可測 5	80
		F2 擾流影響壓力調整閥調壓	系統使用中很可能發生 3	控制器受干擾後高估壓力調整閥二次側壓力，減少壓力調整閥一次側水壓供應	很可能影響出水壓力 3	使用中肉眼不可見也不可測 5	45
G	中繼幫浦	G1 中繼幫浦無法啟動 G11 低層幫浦×(故障) 高層幫浦○(正常)	系統使用中不容易發生但是	當低層幫浦無法啟動、高層幫浦正常運轉，消防車必須提高送水壓力，以維持系統原設定之出水壓力。若起火層是在高樓層，當超過消防車送水壓力的極限，有可能造成出水壓力	必定會影響幫浦運轉、出水壓力 4	可採取措施但不確定有效 2	16

連結送水管系統之失效模式影響與關鍵性分析列表(FMECA)

編號	元件名稱	失效模式	可能性因子	後果描述	後果因子	預防因子	關鍵指標
		G12 低層幫浦○ 高層幫浦×	可能 2	不足。 當高層幫浦無法啟動、低層幫浦正常運轉，若起火層是在高樓層，又超過消防車送水壓力的極限，則造成出水壓力不足。	必定會影響幫浦運轉、出水壓力 4	可採取措施但不確定有效 2	16
		G13 低層幫浦× 高層幫浦×		系統僅能靠消防車幫浦揚水，消防車送水壓力有限，造成出水壓力不足。	會立即導致系統無法出水 5	可採取措施但不確定有效 2	20
		G 2 中繼幫浦吸入空氣	系統使用中或使用年限內預期會發生 4	幫浦無法有效揚水，出水壓力降低	必定會影響幫浦運轉、出水壓力 4	使用中肉眼不易見也不易測，預防的技術門檻較低 4	64
H	立管及配管	H1 耐壓不足	系統使用中不容易發生但是可能 2	當管內發生水錘現象時可能導致爆管	一定情況下才可能影響出水壓力 2	使用中肉眼不易見也不易測，預防的技術門檻較低 4	16
		H2 管內有雜質	系統使用中或使用年限內預	壓力調整閥無法有效調壓、控壓不穩或使得閥門關閉	必定會影響幫浦運轉、出水壓力	使用中肉眼不可見也不可測	80

連結送水管系統之失效模式影響與關鍵性分析列表(FMECA)

編號	元件名稱	失效模式	可能性因子	後果描述	後果因子	預防因子	關鍵指標
			期會發生 4		4	5	
		H3 漏水	系統使用中不容易發生但是可能 2	當系統發生水銹現象時可能導致爆管 當漏水量大到某種程度才會影響放水壓力	一定情況下才可能影響出水壓力 2	肉眼可見，且具有效預防措施 1	4
I	中繼幫浦二次側之逆止閥	I1 閥門關閉鎖死	系統使用中很不可能發生 1	送水口持續送水，中繼幫浦二次側至逆止閥前管內壓力劇增	必定會影響幫浦運轉、出水壓力 4	使用中肉眼不可見也不可測 5	20
		I2 閥門密封不全	系統使用中不容易發生但是可能 2	當管內發生水銹現象時，造成多處擾流	影響系統效能但尚能持續運作 2	使用中肉眼不可見也不可測 5	20
J	中繼水箱二次側之逆止閥	J1 閥門鎖死	系統使用中很不可能發生 1	中繼水箱無法適時補水，若中繼幫浦一次側送水供應不足時，出水端需求未變，則幫浦吸入空氣。	一定情況下才影響出水壓力 2	使用中肉眼不可見也不可測 5	10
		J2 閥門密封不全	系統使用中不容易發生但是可能 2	送水時管內水流倒灌入水箱	一定情況下才影響出水壓力 2	使用中肉眼不可見也不可測 5	20
K	出水口	K1 出水口阻塞	系統使用中很不可能發生	該出水口須清除後才能有效出水	與幫浦運轉及水銹產生較無相關	肉眼可見，且具有效預防措施	1

連結送水管系統之失效模式影響與關鍵性分析列表(FMECA)

編號	元件名稱	失效模式	可能性因子	後果描述	後果因子	預防因子	關鍵指標
			1		1	1	
		K2 出水口接頭損壞	系統使用中很不可能發生 1	該出水口無法銜接水帶救災	會立即導致系統無法出水 5	肉眼可見，且具有效預防措施 1	5
		K3 出水口閘閥無法開啟	系統使用中很不可能發生 1	該出水口無法出水	會立即導致系統無法出水 5	肉眼可見，且具有效預防措施 1	5
L	水帶與瞄子	L1 水帶接頭壞損	系統使用中很不可能發生 1	無法銜接瞄子或出水口	會立即導致系統無法出水 5	肉眼可見，且具有效預防措施 1	5
		L2 使用中瞄子故障	系統使用中很不可能發生 1	須更換瞄子或關閉出水口，過程中可能發生水錘現象	很可能影響出水壓力 3	肉眼可見，且具有效預防措施 1	3
		L3 使用中部分瞄子開啟與關閉	系統使用中很可能發生 3	導致使用中瞄子出水壓力增加	導致出水壓力增加 4	使用中肉眼不可見也不可測 5	60

3.5 小結

由3.4FMECA分析篩選出影響連結送水管系統效能之關鍵如下：

- 1.消防人員操作中繼幫浦之啟動順序錯誤
- 2.連接消防車至送水口之送水管(水帶)使用中破裂
- 3.送水口附近的止水閥關閉
- 4.壓力調整閥控制器阻塞(管內雜質或本身鏽蝕)
- 5.擾流影響壓力調整閥調壓
- 6.中繼幫浦吸入空氣
- 7.管內有雜質
- 8.使用中部分瞄子開啟與關閉

經查訪連結送水管系統於新建初完工階段，測試過程中最常出現狀況如下：

- 1.送水管(水帶)破裂：運用建築物之撒水幫浦或採水幫浦進行測試，持續一段時間的大流量輸出，水帶容易破裂。
- 2.壓力調整閥容易因雜質影響調壓功能：建築物消防工程施工品質不一，管系雜質未清洗乾淨，容易導致壓力調整閥無法有效調壓。
- 3.中繼幫浦吸入空氣：研判可能因為管路局部高點或操作失當所造成。

上述問題主要出現在系統新建案件，若為既有建築物因系統老舊或缺乏維護，則影響系統因素更多元複雜。

涉及水錘現象的部分，由分析表及文獻資料篩選出中繼幫浦瞬停及使用中部分瞄子關閉兩項，將於第四章納入模擬情境，以量化了解風險。

針對表13各元件失效模式提出可能的預防方法如下：

表 14 各元件失效模式可能的預防方法

編號	元件名稱	失效模式	預防方法
A	消防人員 (司機)	A1送水壓力不足(低於設計值)	加強送水口標示及消防人員教育訓練
		A2送水壓力過大(高於設計值)	
		A3(手動)啟動中繼幫浦操作順序錯誤	
		A4研判出水樓層錯誤	
B	消防車	B1消防車水源(公設消防栓)供應不足	落實平時水源調查、維護消防栓，及車輛維護保養
		B2消防車幫浦效能不足	
		B3消防車幫浦無法運轉	
		B4消防車壓力表故障	
C	送水管	C1送水管破裂	1.產品應符合消防用水帶認可基準 2.水帶平時保養維護 3.使用時，鋪設儘量避免彎曲、扭轉，避免在地面上強行拖拉，避免接觸尖銳物、腐蝕性化學品 4.水帶之工作壓力為9~13 kgf/cm ² 不等，若救災時需長時間超載送水使用，勢必容易造成水帶破裂，應以備用水帶預作因應。
		C2送水管使用中脫落	接頭處以繩索加強，防止使用中脫落
D	送水口	D1送水口阻塞	設備維護管理(檢修申報)
		D2送水口接頭損壞	
E	送水口附近的止水閥	止水閥關閉	設備維護管理(檢修申報)
F	壓力調整閥	F1 壓力調整閥控制器阻塞(管內雜質或本身鏽蝕)	1.設備維護管理(檢修申報) 2.壓力調整閥應定期清理
		F2 擾流影響壓力調整閥調壓	設備維護管理(檢修申報)
G	中繼幫浦	G 2中繼幫浦無法啟動	設備維護管理(檢修申報)
		G 2中繼幫浦吸入空氣	1.管路設計及裝置避免高高低低

編號	元件名稱	失效模式	預防方法
			2.排除措施：局部高點裝置釋氣閥
H	立管及配管	H1耐壓不足	提昇設計評估
		H2鏽蝕	1.管材質選用 2.設備維護管理(檢修申報)
		H3管內有雜物	1.措施排除：裝置適當過濾器 2.設備維護管理(檢修申報)
		H4漏水	設備維護管理(檢修申報)
I	中繼幫浦二次側之逆止閥	I1閥門關閉鎖死	設備維護管理(檢修申報)
		I2閥門失效無法導流	
J	中繼水箱二次側之逆止閥	J1閥門鎖死	設備維護管理(檢修申報)
		J2閥門密封不全	
K	出水口	K1出水口阻塞	設備維護管理(檢修申報)
		K2出水口接頭損壞	
		K3出水口閘閥無法開啟	
L	水帶與瞄子	L1水帶接頭壞損	設備維護管理(檢修申報)
		L2使用中瞄子故障	
		L3使用中瞄子開啟與關閉	救災可能之行為

第四章 案例分析

4.1 相關水力計算軟體簡介

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、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(或稱波特徵法)(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，以下茲就兩個方法加以比較。

1. 波浪場特徵方法 (wave characteristic method)

其基本概念是壓力波的產生代表系統內的某一點壓力以及流速的瞬間改變，這樣的改變將以音速在整個系統內傳播，期間因為流體的黏性及亂流而產生能量消耗造成摩擦損失，最後壓力波將到達系統各個點，並造成各個點不同程度的影響。

波特徵法由兩個主要因素的分析構成，一為機械組件分析，一為接頭分析；組件分析要處理的是壓力波在經過組件時產生的傳遞與反射，接頭分析則是處理在接頭、系統末端發生的變化；管路的摩擦損失則以平均管徑的摩擦係數計算。

目前國內廣泛使用KY PIPE所研發的PIPE2010便是採用波特徵法推導各點因喘振而產生的壓力變化，下圖為利用PIPE2010模擬幫浦不正常終止以及正常終止時之管路末端壓力變化圖，由圖可知當幫浦不正常終止時(紅色線)正負壓力波的差異高達120psi，當幫浦正常終止時(0~32秒緩慢終止)正負壓力波的差異僅25psi。

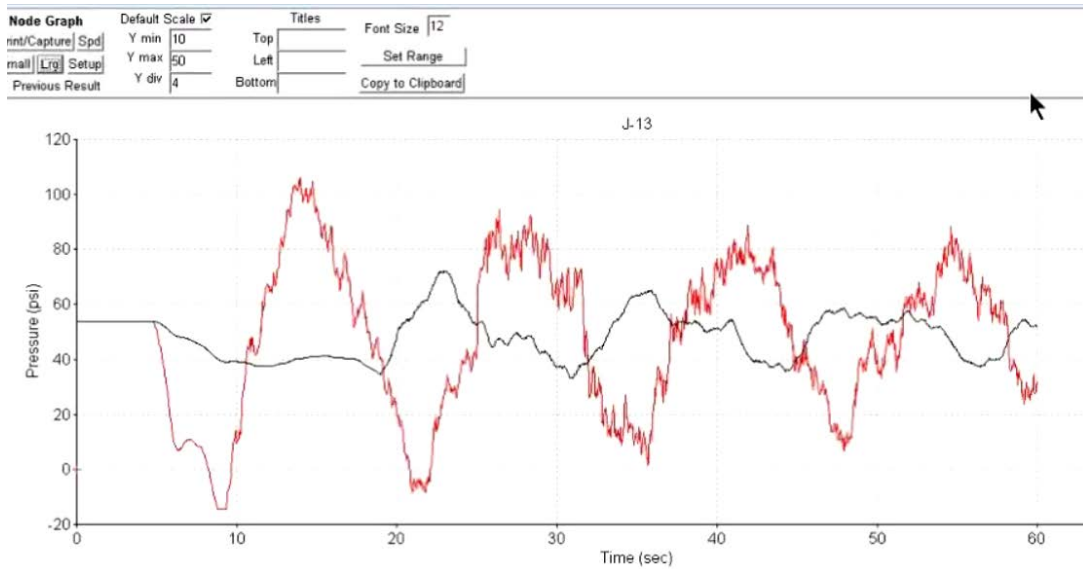


圖 17 模擬幫浦正常與不正常中止之壓力時間關係圖

2. 固定格點法(fixed grid method)

其基本概念是將整個管路系統切割成預定的數個等分，再列出各個等分的特徵方程式與諧和方程式 (compatibility equation)，利用電腦的運算能力求解，計算出各個等分的壓力與流速，與波特徵法不同的是，管路的摩擦損失則是在各個等分中計算，機械組件與接頭的位置，該等分的特徵方程式以及邊界條件因此而改變。固定格點法可分為一階求解以及二階求解兩種，其中二階求解的準確度較高，隨著電腦的普遍應用，目前皆是以二階求解的固定格點法進行計算。

目前國內較少使用，由美商賓特利系統所研發的HAMMER便是採用固定格點法推導各點因喘振而產生的壓力變化。

波特徵法以及固定格點法主要的差別在於壓力波的追蹤方法，固定格點方法在時間軸與空間軸畫出的格點中利用數值方法追蹤擾動，而波浪場特徵方法則利用波動原理追蹤擾動。兩種方法雖然有些許相似之處，但是兩者的差異會顯著影響計算結果的準確性以及電腦的運算消耗量。

表 15 主要水力計算軟體

軟體公司	穩態分析	水錘分析
KYPIPE	GOFLOW	SURGE
BENTLY	WATERCAD	HAMMER

4.2 Surge 軟體之構成要素與參數設定

Surge是PIPE2010³¹軟體用於分析水鎚之模型(簡稱水鎚模型)，PIPE2010是一種佈設複雜管道系統模型軟體，結合工程分析手段進行運算和分析，並具有多種顯示結果的方法，建立的模型完全由管線、末端結點和內部結點組成，使用者可以創建和調整管道系統並定義相關數據。在創建管線時，可以使用比例網格線或比例背景圖，以精確地確定它們的尺寸(計算長度)，並支援管道系統中各式各樣的設備，提供了大量的相關數據表和記錄表，允許使用者進行設置。

PIPE 2010包含KYPIPE、GoFlow、Steam、Gas、SWMM和Surge等六大模型，其中KYPIPE為管網模型，是PIPE 2010背後強大的水力計算引擎，GoFlow為消防模型，常用於自動撒水系統之水力分析，Steam為蒸氣模型，Gas用為氣體模型，SWMM為暴雨模型，主要用於衛生管道系統。

4.2.1 管網系統

- 1.管線:管線為沿任意路徑，具有相同基本性質的管，一條管線可能包含一條或多條管段。管段為一條直線走向的管，且無內部節點。
- 2.節點:節點位於管段的兩端，它包括所模擬的全部管網系統設備，分為內部節點、末端節點及文本節點等三大部分。
- 3.內部節點位於具有相同性質的兩個管段之間。通常情況下，中間節點是會發生方向變化的內部節點，而其它內部節點(閘門、消防栓)則是位於管線上的設備或模型元件。從建模的角度來看，雖然內部節點提供了附加的建模功能，但是基本上是一種被動的節點，他們不會直接影響計算。內部節點的類型可以變化，他們隨時可以變成末端節點。內部節點的常用元件包括止水閘、逆止閘。
- 4.末端節點位於所有管線的兩端，末端節點既可表示被動連接，如交點以及給水裝置的連接；也可表示主動元件，如水泵。一條或多條管線可以連接至共同的末端節點。對於非定向末端節點(交點、水池、水箱)，管線可以以任意方式連接。對於定向末端節點(水泵、損失元件以及調節閘)，進出口連接點會有所顯示，管線必須與元件兩側適當連接，只有這樣，顯示的方向才是正確的。常用的末端節點包括:
(1)Junction(聯接節點)一條或多條管線的連接點。

³¹ PIPE, 2010, Examples Manual

- (2)Reservoir(水池)：一條或多條管線連接至恆定水位的水池。在模擬過程中，水池的水位保持不變，除非輸入不同的數據。
- (3)Tanks(水箱)：一條或多條管道連接至具有可變水位的儲水節點。
- (4)Pump(幫浦)：幫浦是有方向的，一條或多條管線連接至泵。必須設置泵的方向和並確保管線的連接正確。

4.2.2 水力分析必須數據

1.單位(Units)

表 16 主要使用單位表

流量	長度	直徑	高程	壓力
Cms	m		m	kPa
L/s		mm	m	kPa
Cfs		in	ft	psi
Mgd	ft		ft	psi
Gpm	ft		ft	psi

(1)閥門係數：每1psi壓降（或千帕）所對應的流量gpm（或升/秒）。例如：流量= 1000gpm @壓降1 psi，則Cv = 1000

(2)閥門阻力係數：水頭下降值，英尺（或米）/（流量，cfs或cms）²。例如：流量=1000gpm（2.228cfs），壓力降=15英尺

$$R = 15\text{ft}/(2.228\text{cfs})^2 = 3.022$$

2.系統數據(System data)

在系統數據清單可選擇流量單位包括：CFS（立方英尺/秒）、GPM（加侖/分鐘）、MGD（萬加侖/日）、Liters/Sec（升/秒）、CMS（立方米/秒）、Liters/Min（升/分鐘）、Lb/s（磅/秒）、BPH（桶/小時）、kg/s（公斤/秒）、USER（用戶自定義單位）

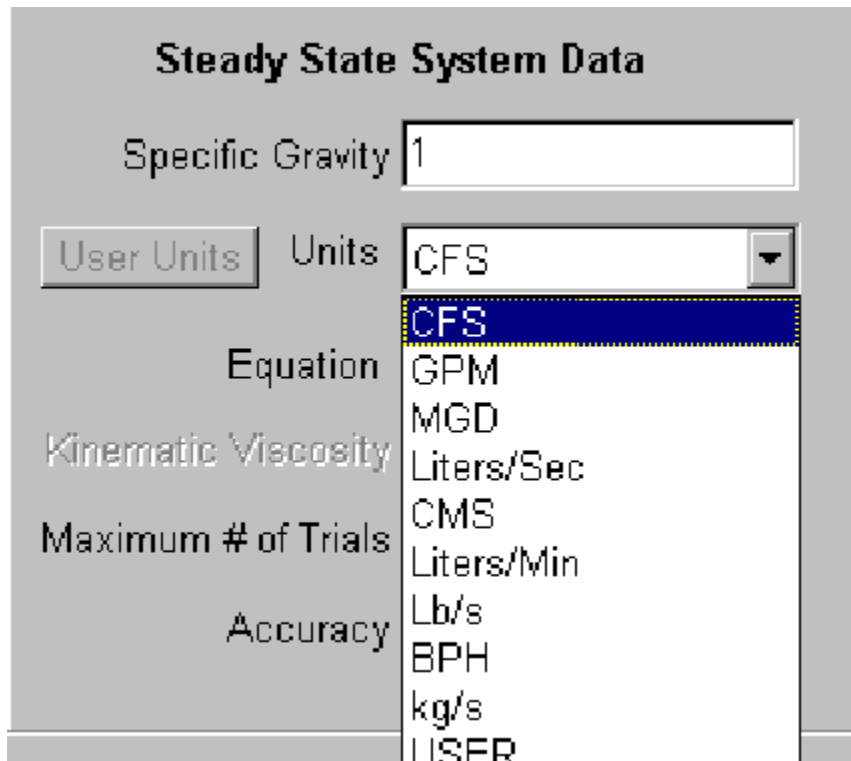


圖 18 系統數據清單

3. 管數據(Pipe data)

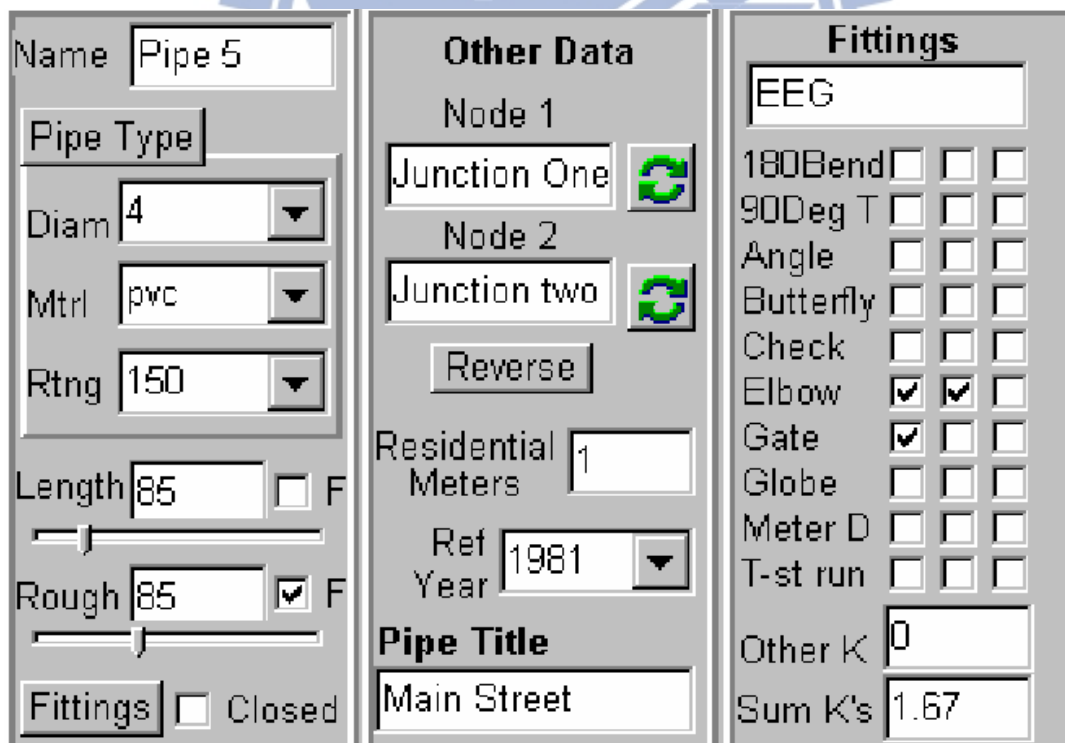


圖 19 管數據清單

對於已經選定的管段，在上面管段屬性框內輸入數據，如上圖所示。點選pipe data按鈕會出現如下圖所示的select pipe type(管類型選擇)選單，該清單在列表中選擇任意一項，該項目裡包括了管徑、管材壓

力等級和粗糙度係數。

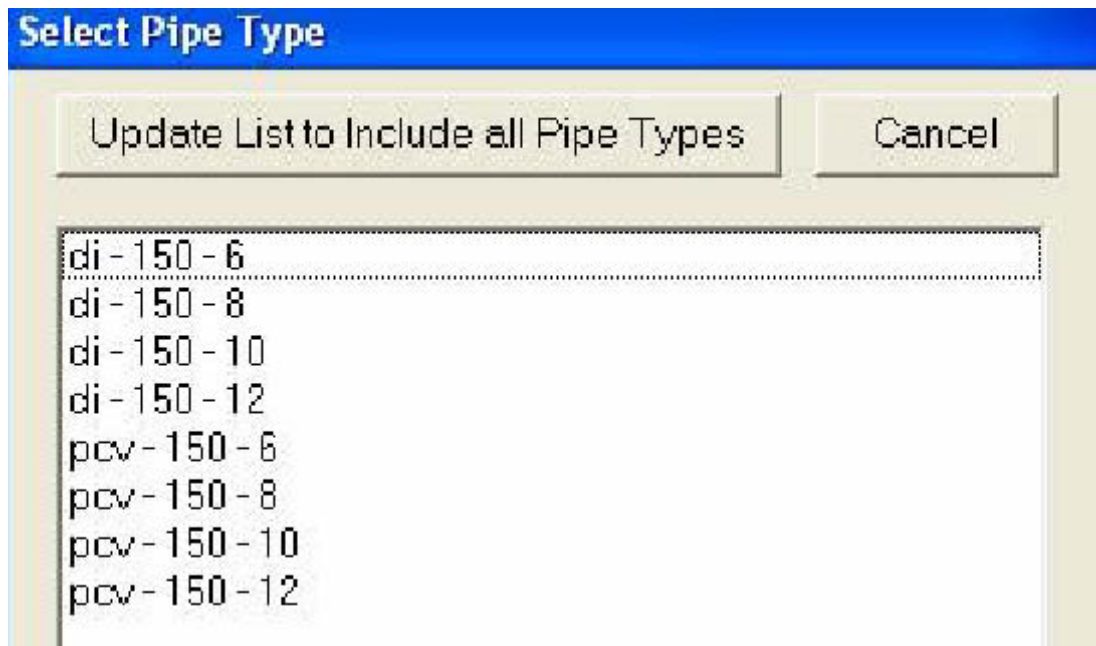


圖 20 配管類型清單

4.端節點數據(End node data)

所有的節點（端節點和內部節點）至少有下列所示的兩個數據框。左邊的數據框用來輸入高程，還包括基於不同節點類型的附加數據。

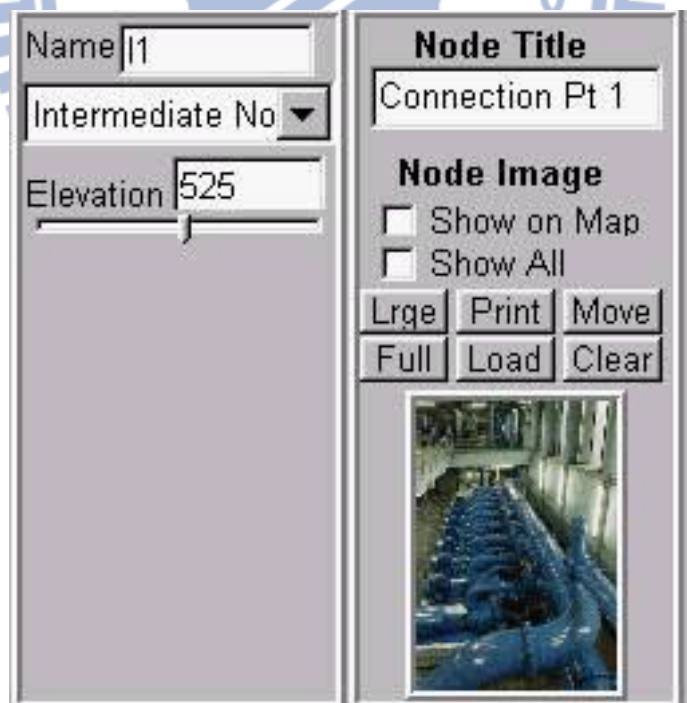


圖 21 端節點設定清單

5.交叉點數據

聯接節點是與一個或多個管段連接的端節點。對於連接兩個管徑或粗糙度不同或者設置了流量的節點必須設置成聯接節點。

6. 幫浦數據

選擇泵類型時，您可以選擇通過數據表格來描述的泵，恆功率工作的泵，給出額定工況的泵或者由泵文件描述的泵。

Head	Flow	Eff
220	0	68
200	600	77
160	1200	70
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0

圖 22 幫浦設定清單

7. 水箱數據

水箱節點表示連接到儲水水箱的端節點。水箱的水位在長周期模擬中是變化的。對於常規模擬，水箱模型被設計成一個按水箱數據框中所定義水位且保持不變的水池。

D/DT	V/VT
.1	0.0800
.2	0.1900
.3	0.3000
.4	0.4099
.5	0.5100
.6	0.6099

圖 23 水箱設定清單

8. 水池數據

水池節點是一個水頭穩定的節點，像湖泊或者水位穩定的蓄水池。

圖 24 水池設定清單

9.調節裝置數據

為調壓閥提供壓力設定(psi或kpa)，流量調節閥提供了流量設定（用指定流量單位）

本研究採用Surge軟體主要係由於其操作介面較簡明，操作者僅須依系統之清單視窗輸入設計案例之相關資料，並可直接繪製連結送水管昇位系統圖，具自動檢查錯誤功能，防止操作者輸入錯誤或誤植相關參數，且其計算單位有公制及英制等多種不同單位別之選擇，對國內初學者及審查者而言，可謂相當便利。

4.3 模型解說與情境假設

4.3.1 模型解說

本研究模型建築物為地上 22 層、地下 4 層，總樓高 83.5 公尺，相關資訊如下：

表 17 模型建築物基本資料

樓層	高度	備註
B4F	3.0	
B3F	3.0	
B2F	3.0	
B1F	3.5	中繼機房 低層幫浦 H：146M，Q：2400LPM
1F	7.0	
2~22F	3.5*20=73.5	上行管 3F~11F 設出水口

		下行管 12F~R2F 設出水口
R1F	3.5	
R2F	3.5	中繼機房 高層幫浦 H：83M，Q：2400LPM
總樓高	83.5M	向上立管 150mm 向下立管 150mm(至 12F)

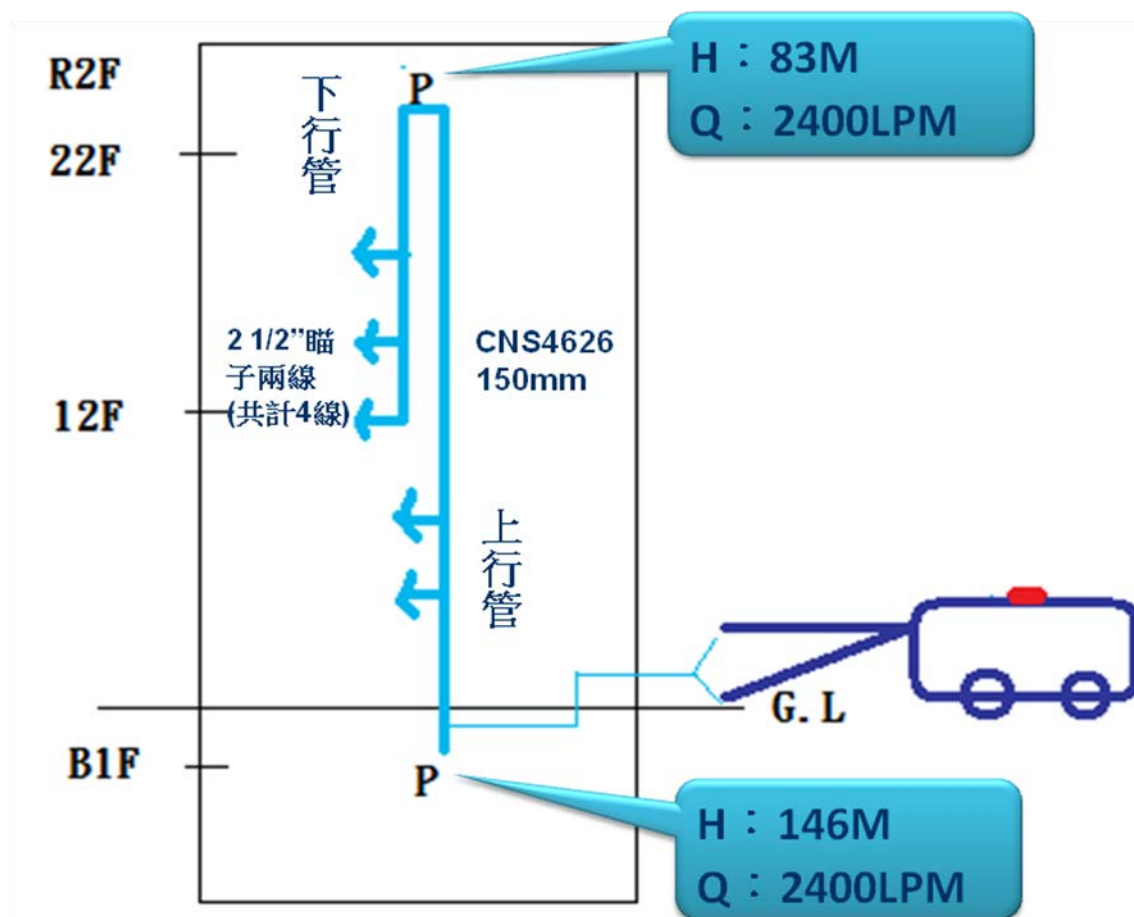


圖 25 模型示意圖

建築物之連結送水管於建造時預設置於建築物內，立管管徑 150mm，為符合 CNS4626 之碳鋼鋼管，位於 B1F(低層幫浦)與 R2F(高層幫浦)各設有一台中繼幫浦，立管頂端連接屋頂水箱(與中繼水箱兼用)，一台消防水箱車以兩條水帶連接送水口進行送水，消防車內置幫浦(出水量可達 2400LPM)加壓送水，消防搶救人員於第 12、13 層各佈 2 1/2" 瞄子兩線(兩層共計 4 線)進行救災，系統昇位簡圖如下：

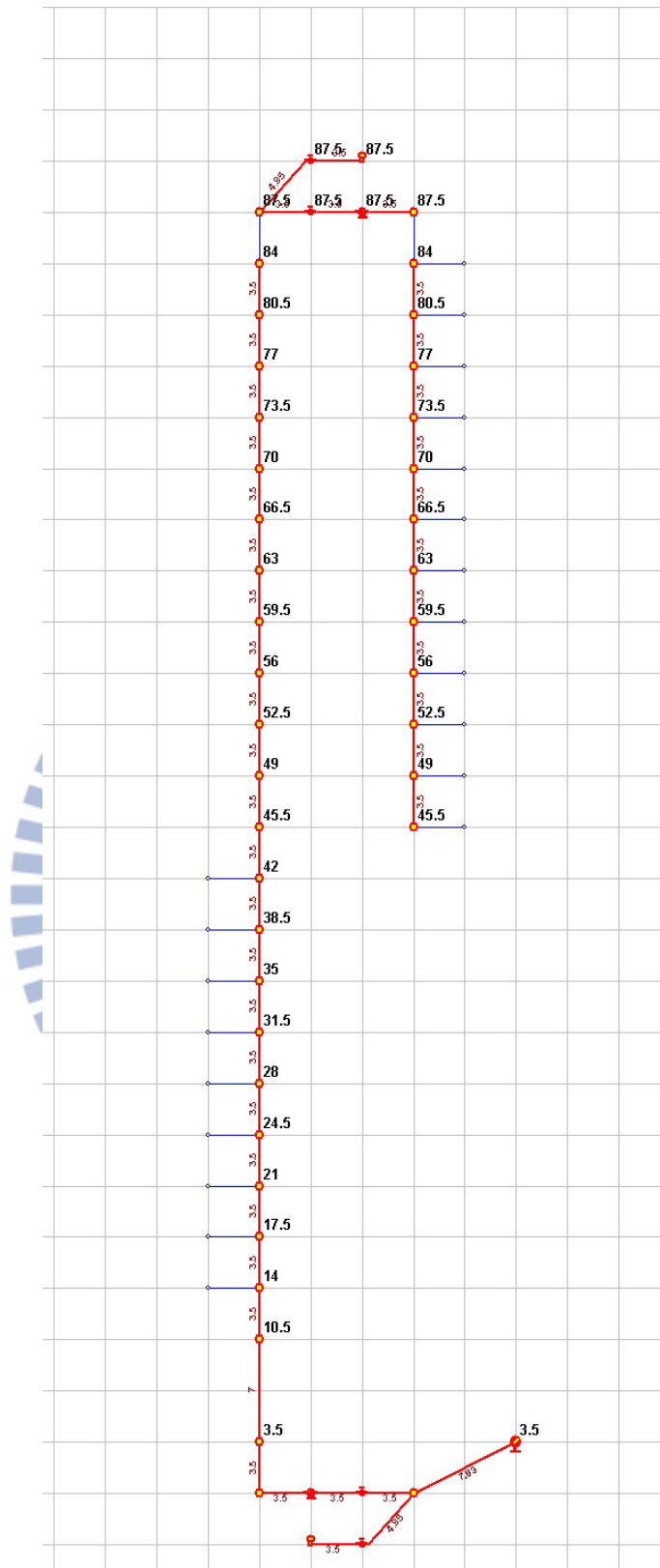


圖 27 軟體繪製之模型圖

系統基本裝置包括壓力調整閥、中繼水箱以及屋頂水箱，設定條件如下：

(1) 壓力調整閥

目前國內法規「各類場所消防安全設備設置標準」規範於連結送水管中繼幫浦一次側應加裝壓力調整閥，係為避免送水壓力過大造成中繼幫浦損壞之預防措施。本研究模型在穩態分析時，壓力調整閥一次側為 276.7KPA，二次側為 100KPA。

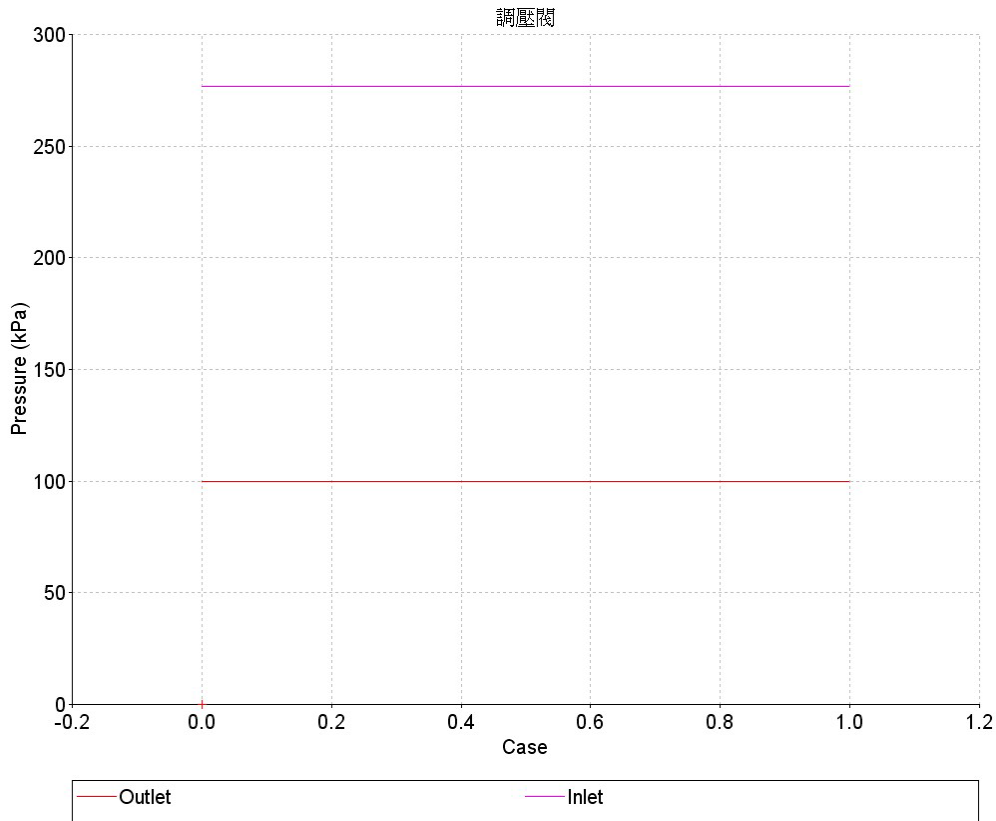


圖 28 壓力調整閥一次側及二次側調壓變化圖

(2) 屋頂水箱及中繼水箱

因水箱裝置有一般瞬閉逆止閥，對於壓力的瞬間變化無法即時反應，故本文假設模擬過程中水箱無出水及進水情況發生。

(3) 管材管徑 6 吋採用 KYPIPE 內鍵的 DI (無縫鋼管) 材質，管粗糙度 (Roughness) 採用 120。

4.3.2 情境說明

消防車於一樓送水口出進行送水，提供源源不絕之水源，救災人員於第 12 層及第 13 層各出兩線瞄子進行救災，模擬情境說明如下表：

表 18 模擬情境一覽表

項目	情境	參數
情境1	低層壓力調整閥閥門無法開啟	12、13層各2線出水，共4線 低層壓力調整閥第10秒開始關閉，第11秒完全關閉
情境2	高層壓力調整閥閥門無法開啟	12、13層各2線出水，共4線 低層壓力調整閥第10秒開始關閉，第11秒完全關閉
情境3	兩台幫浦吸入空氣	低層幫浦緩慢關閉(15秒) 第10秒開始關閉，第25秒完全關閉
情境4	使用中1線瞄子快速關閉再開啟	12、13層各2線出水，共4線 初始為開啟， 第5秒開始關閉， 第10秒完全關閉 第15秒開始開啟， 第20秒完全開啟
情境5	低層幫浦突然故障	12、13層各2線出水，共4線 高、低層幫浦初始狀態均為開啟，第10秒低層幫浦突然關閉(高層幫浦仍持續運轉，瞄子仍持續出水)
情境6	高層幫浦突然故障	12、13層各2線出水，共4線 高、低層幫浦初始狀態均為開啟，第10秒高層幫浦突然關閉(低層幫浦仍持續運轉，瞄子仍持續出水)
<ul style="list-style-type: none"> ● 出水流量4支瞄子共2400LPM ● 消防車幫浦皆為100%(開啟狀態) ● 中繼幫浦皆為100%(開啟狀態) 		

4.4 模擬結果比較

1. 情境一：低層壓力調整閥閥門無法開啟

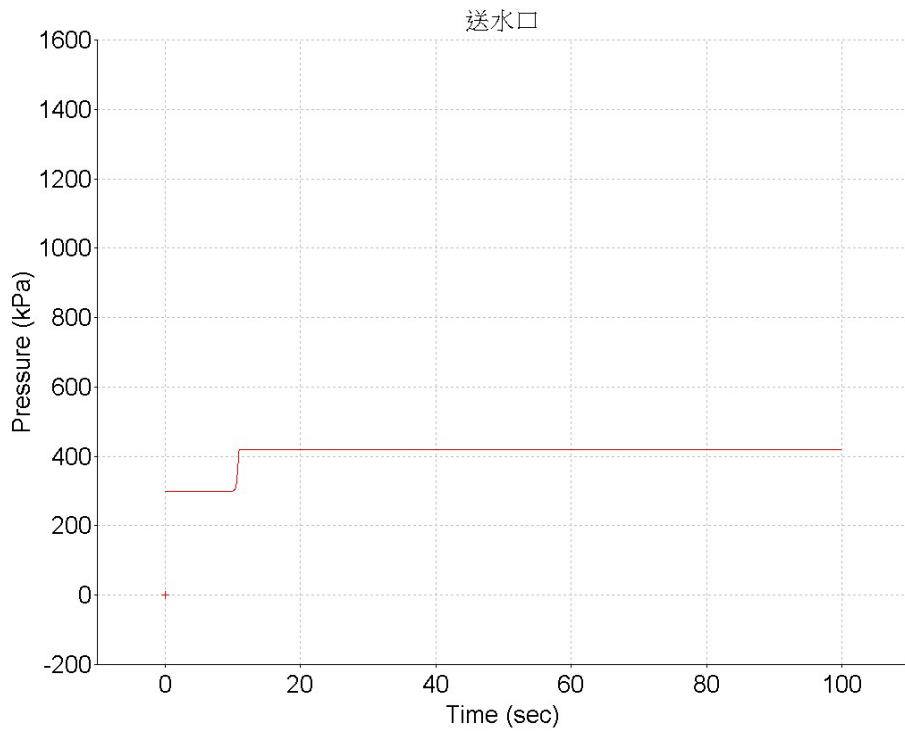


圖 29 情境一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)一樓送水口處之時間-壓力圖

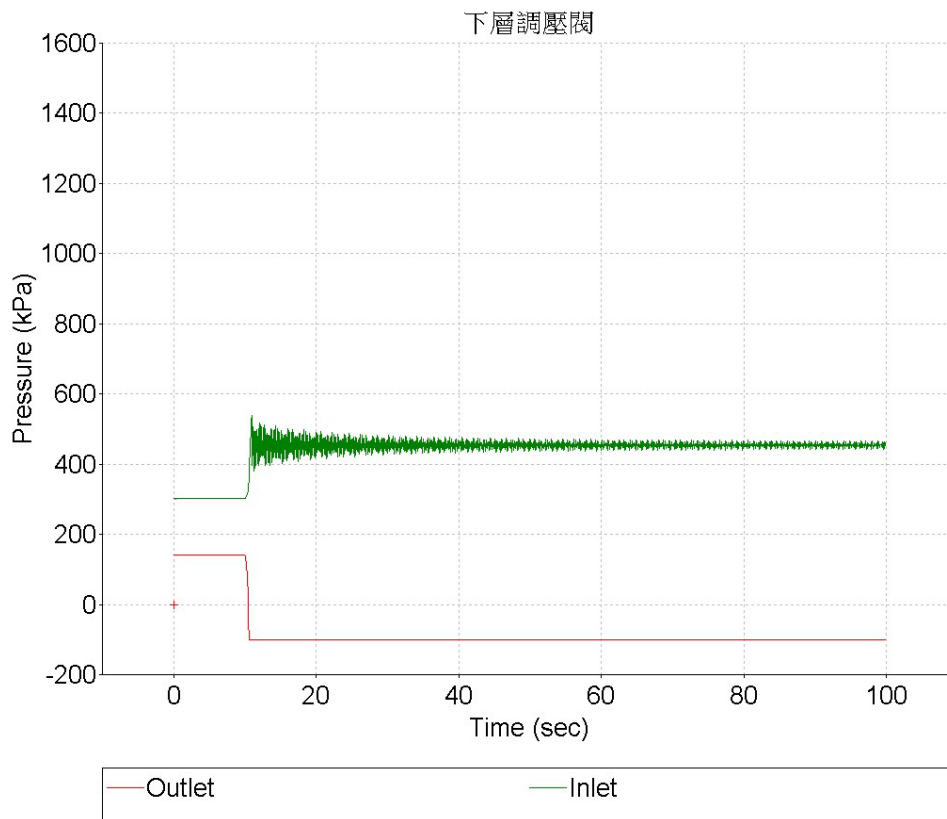


圖 30 情境一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)低層壓力調整閥處之時間-壓力圖

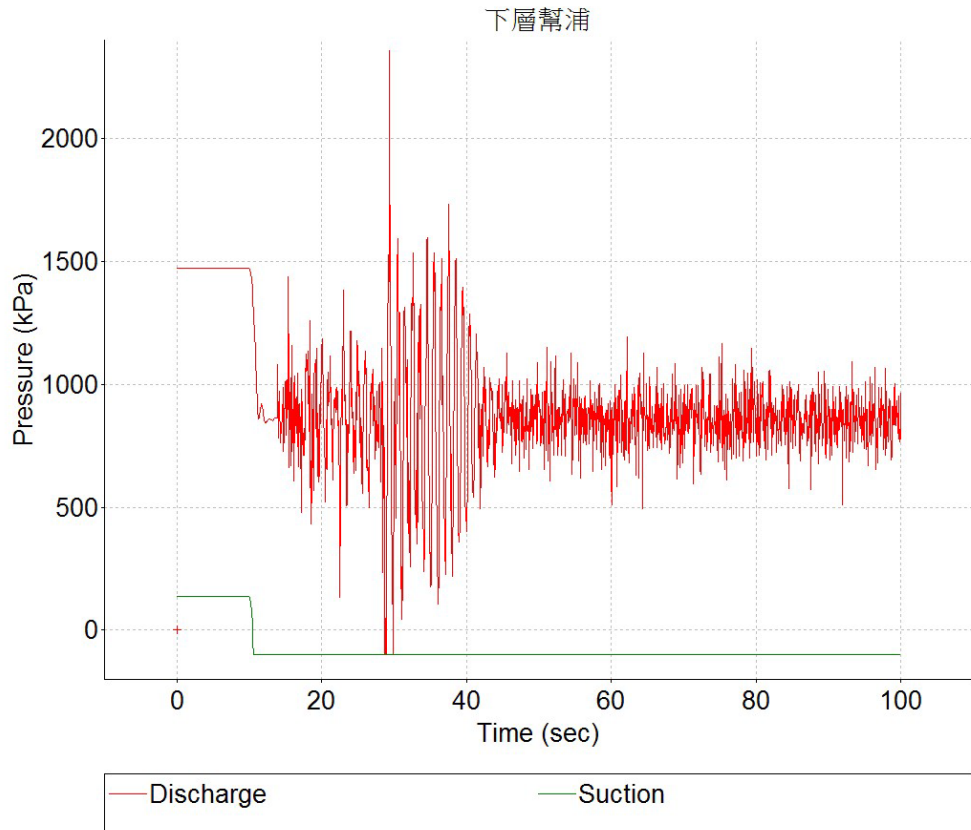


圖 31 情境一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)低層幫浦處之時間-壓力圖

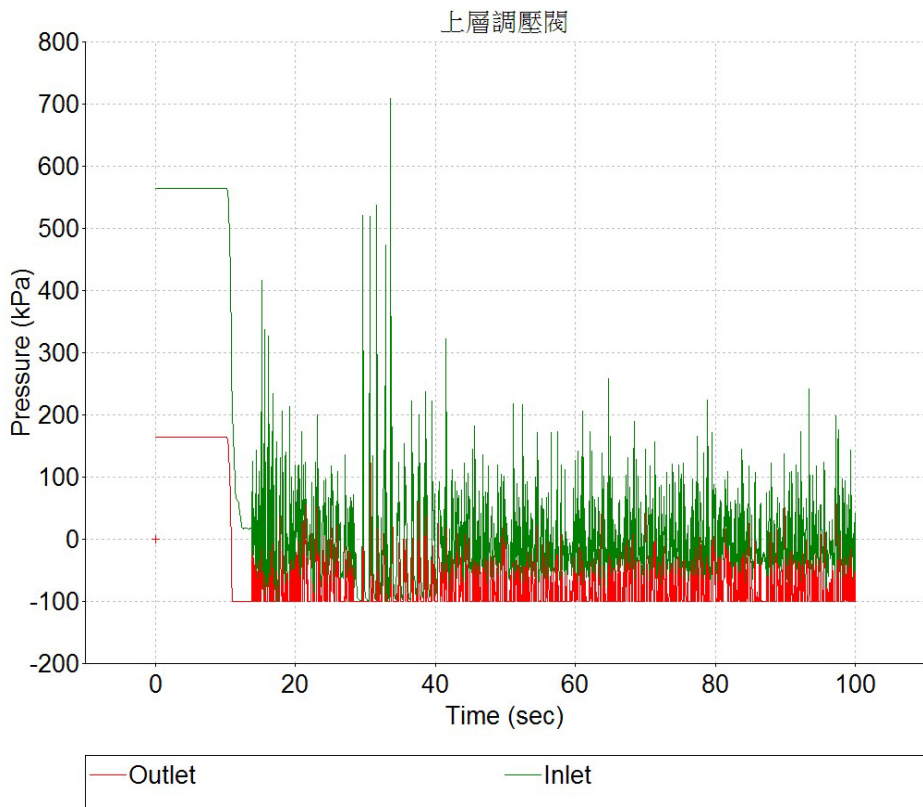


圖 32 情境一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)高層壓力調整閥處之時間-壓力圖

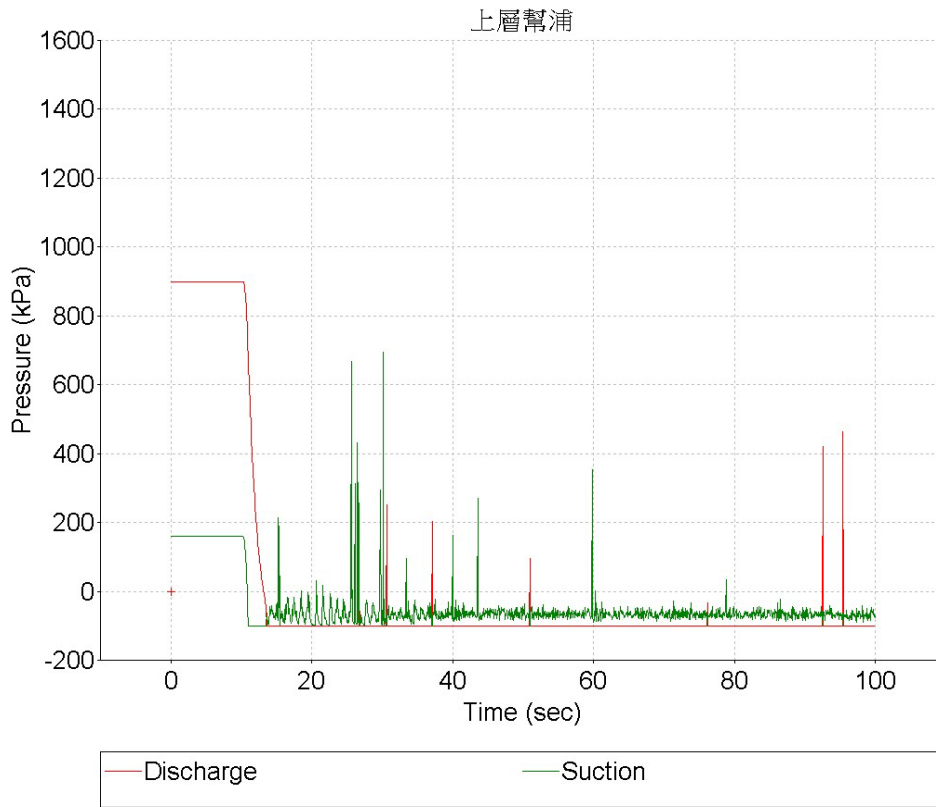


圖 33 情境一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)高層幫浦處之時間-壓力圖

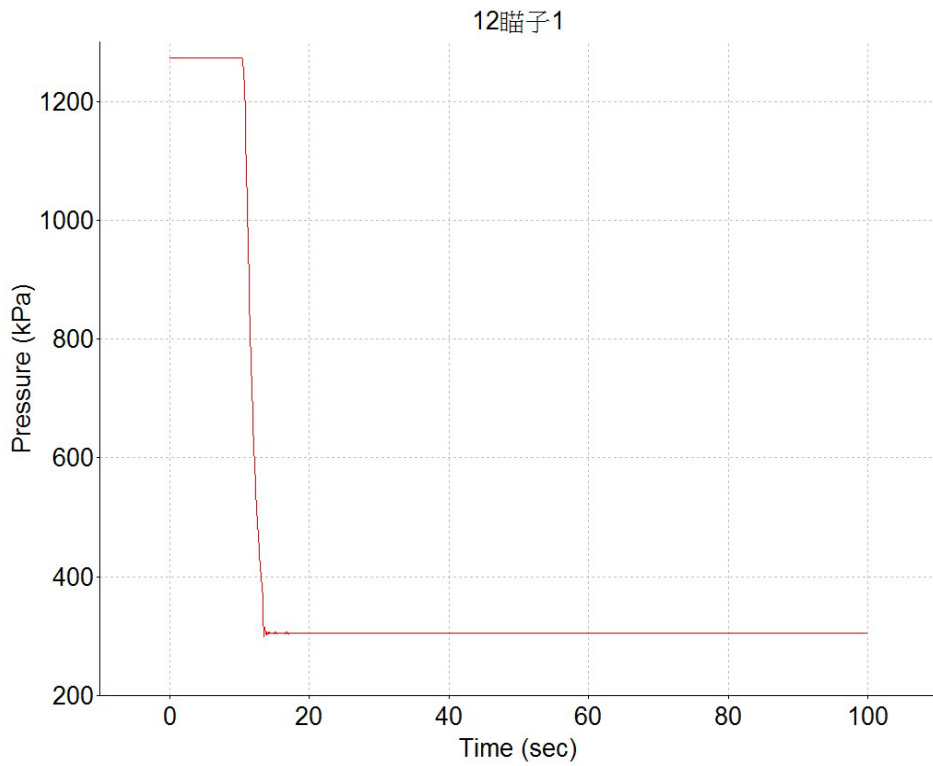


圖 34 情境一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)瞄子處之時間-壓力圖

2.情境二：高層壓力調整閥閥門無法開啟

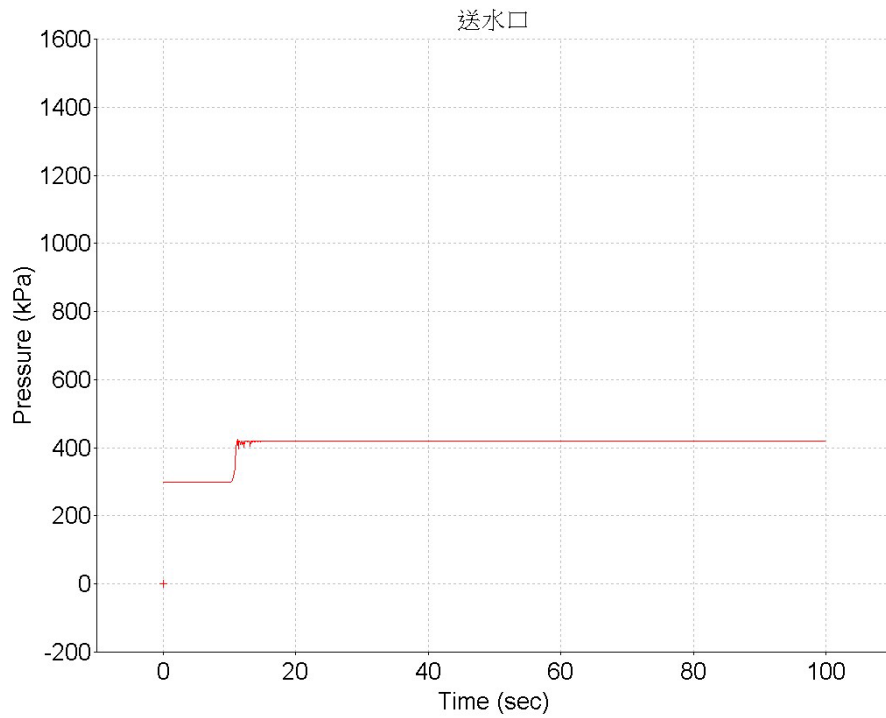


圖 35 情境二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)一樓送水口處之時間-壓力圖

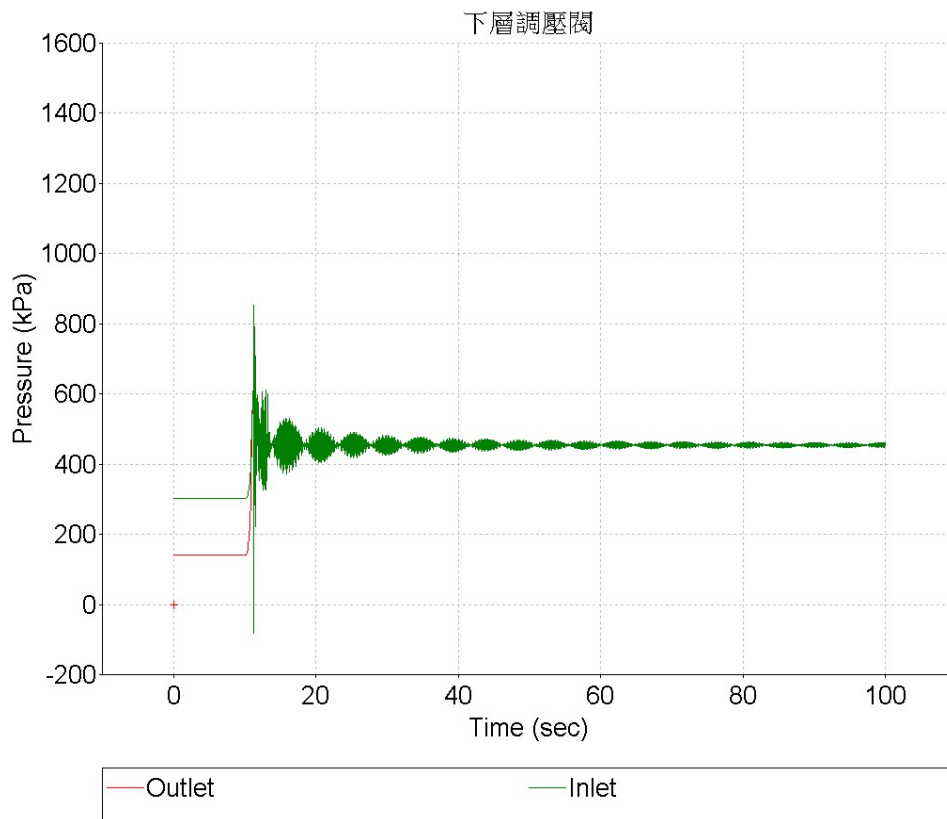


圖 36 情境二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)低層壓力調整閥處之時間-壓力圖

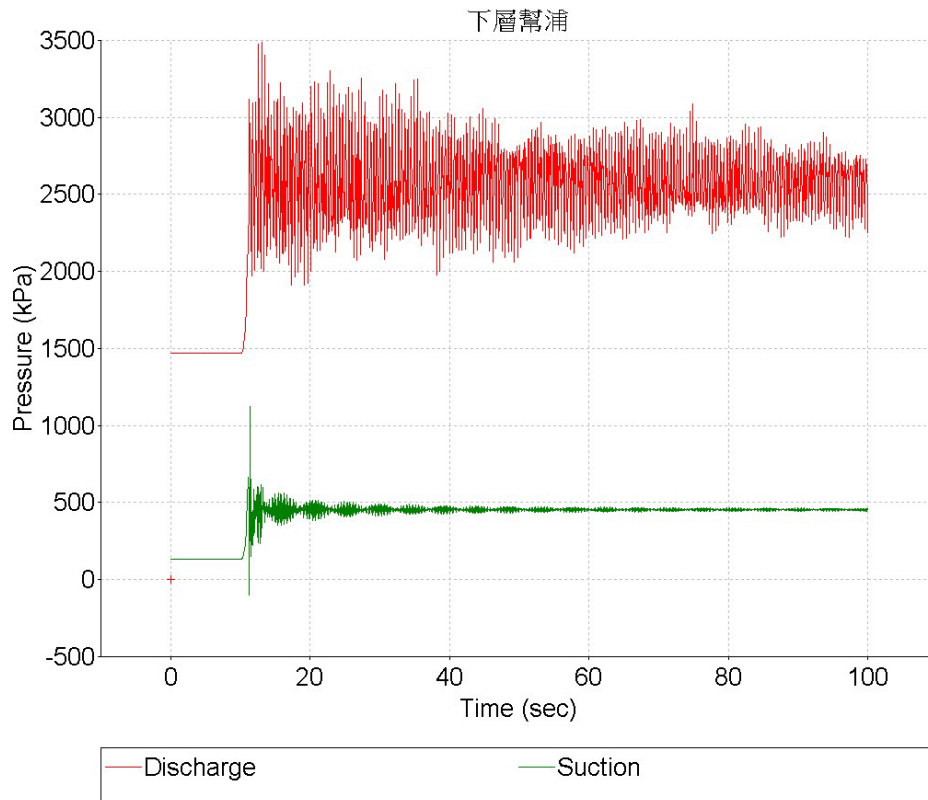


圖 37 情境二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)低層幫浦處之時間-壓力圖

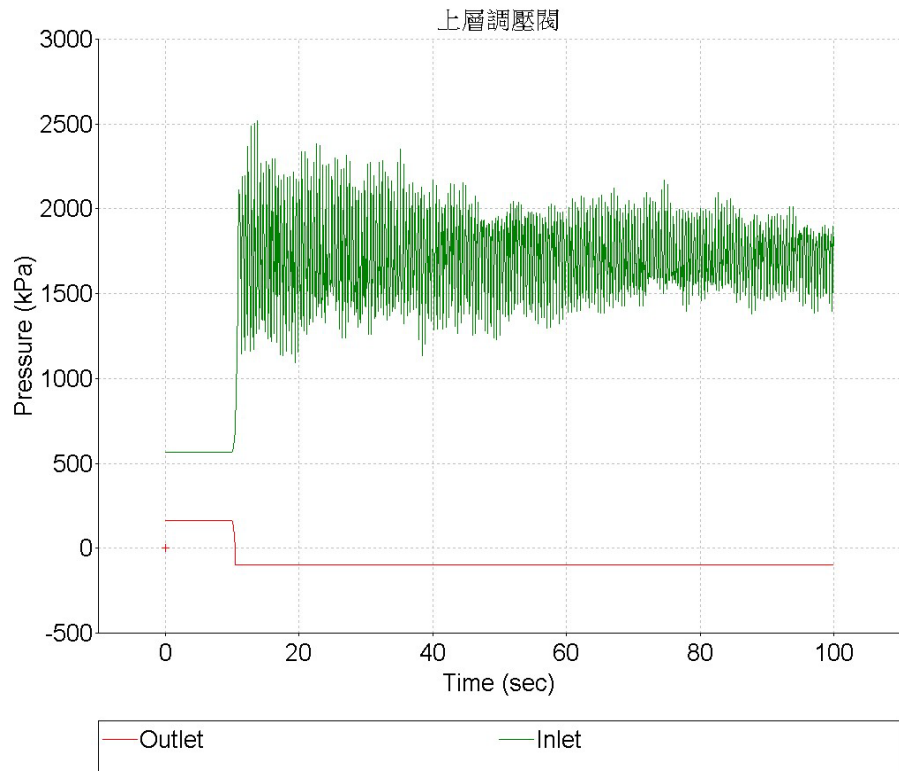


圖 38 情境二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)高層壓力調整閥處之時間-壓力圖

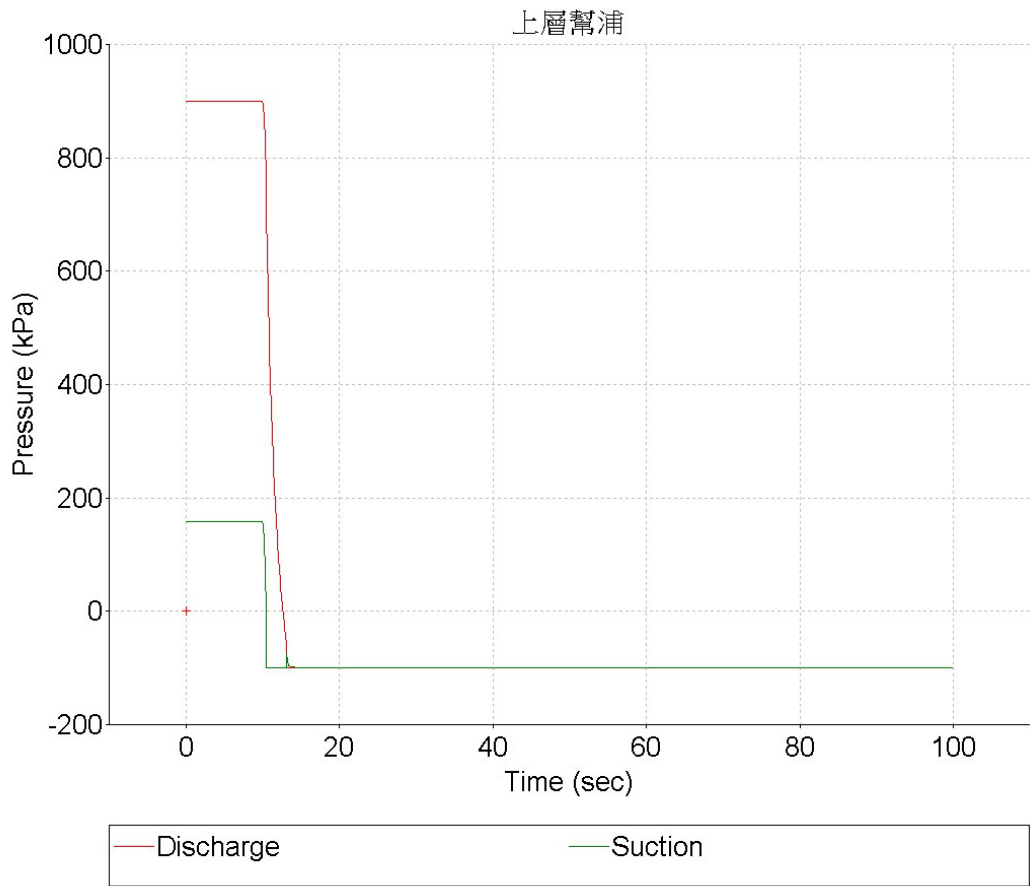


圖 39 情境二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)高層幫浦處之時間-壓力圖

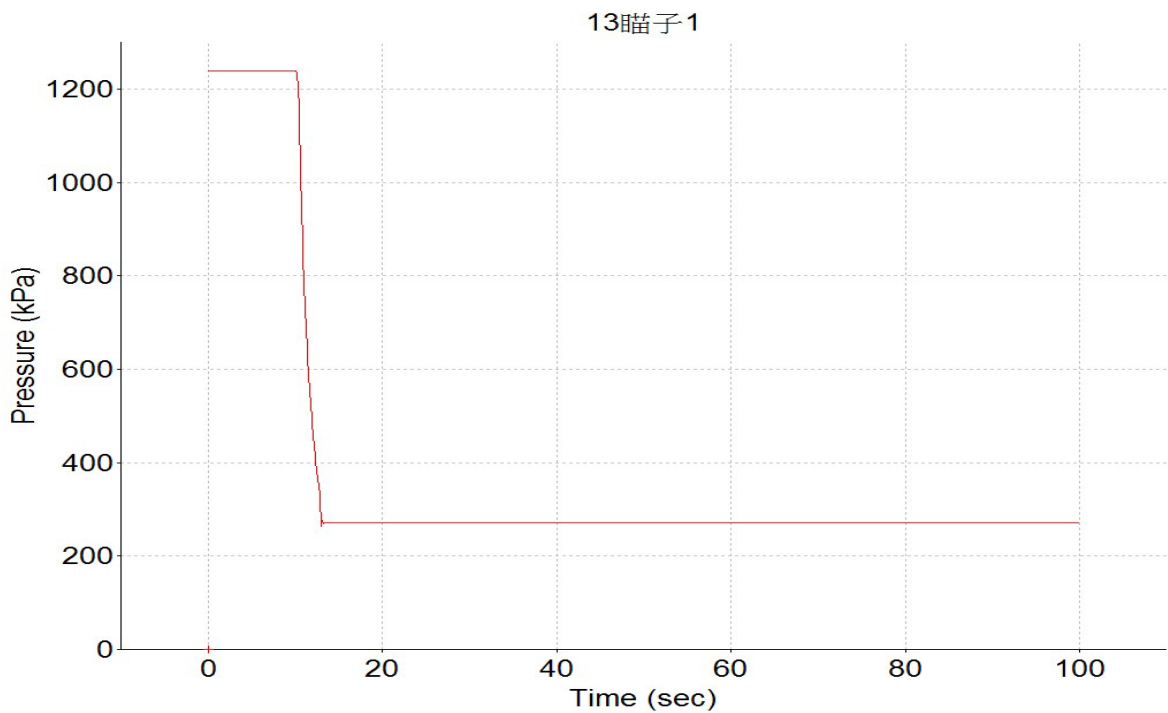


圖 40 情境二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)瞄子處之時間-壓力圖

3.情境三：中繼幫浦吸入空氣

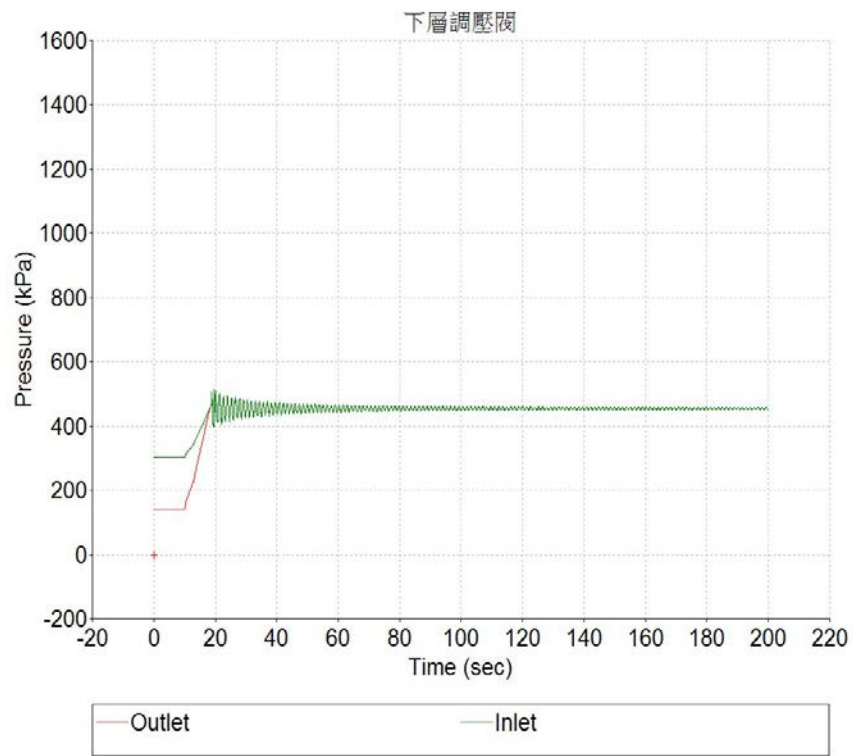


圖 41 情境三(中繼幫浦吸入空氣)低層壓力調整閥處之時間-壓力圖

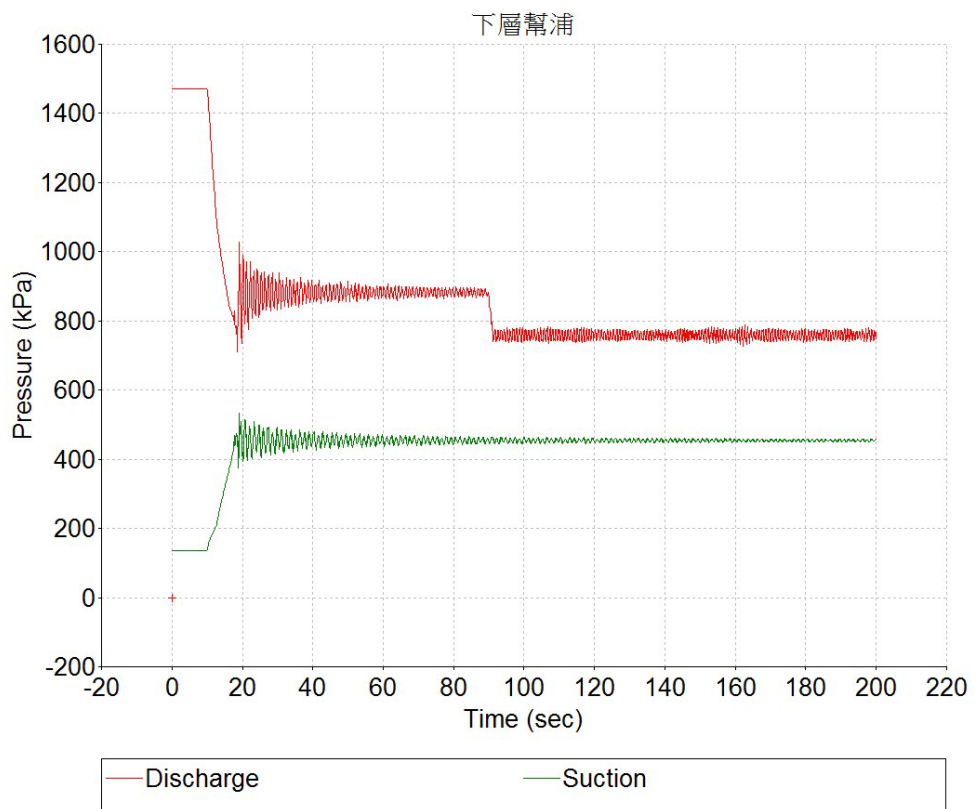


圖 42 情境三(中繼幫浦吸入空氣)低層幫浦處之時間-壓力圖

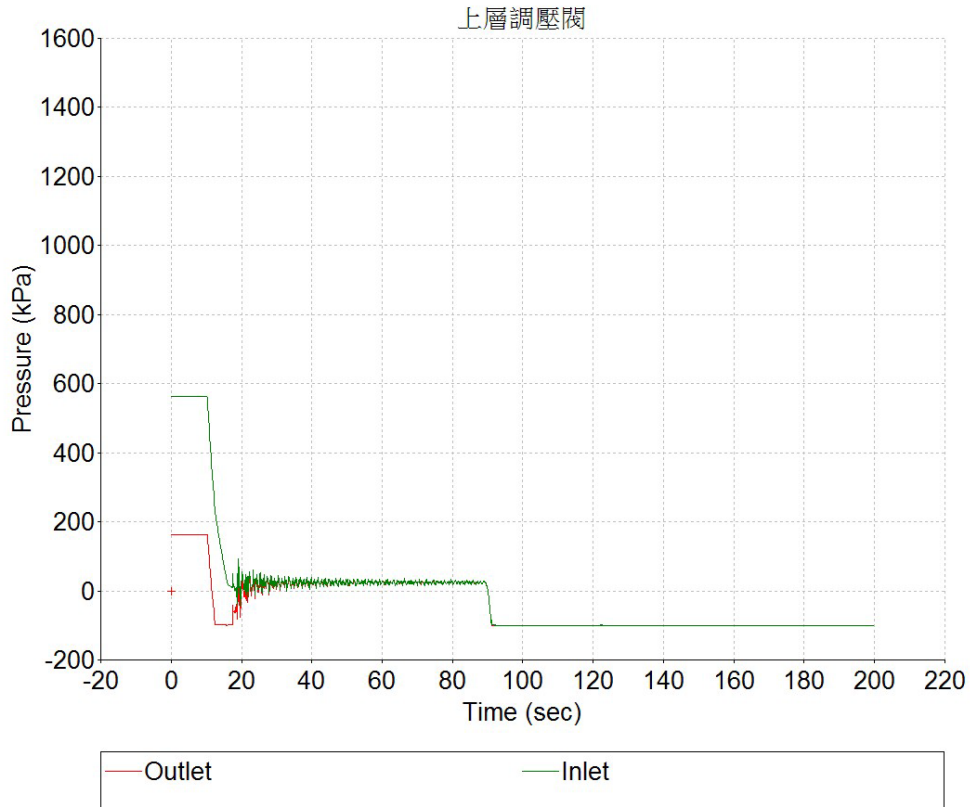


圖 43 情境三(中繼幫浦吸入空氣)高層壓力調整閥處之時間-壓力圖

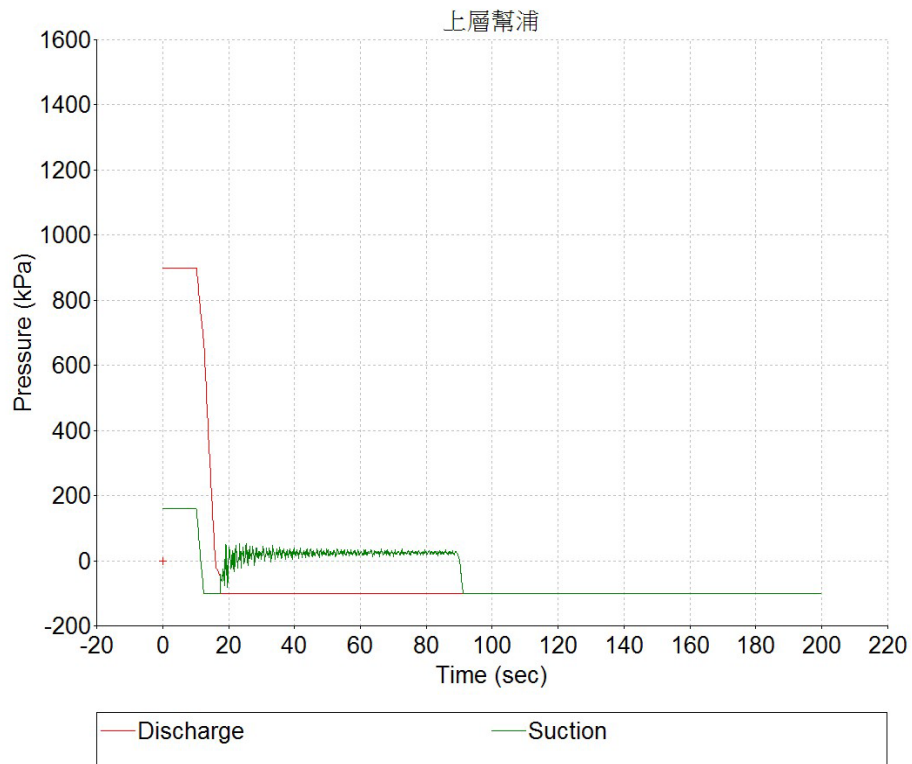


圖 44 情境三(中繼幫浦吸入空氣)高層幫浦處之時間-壓力圖

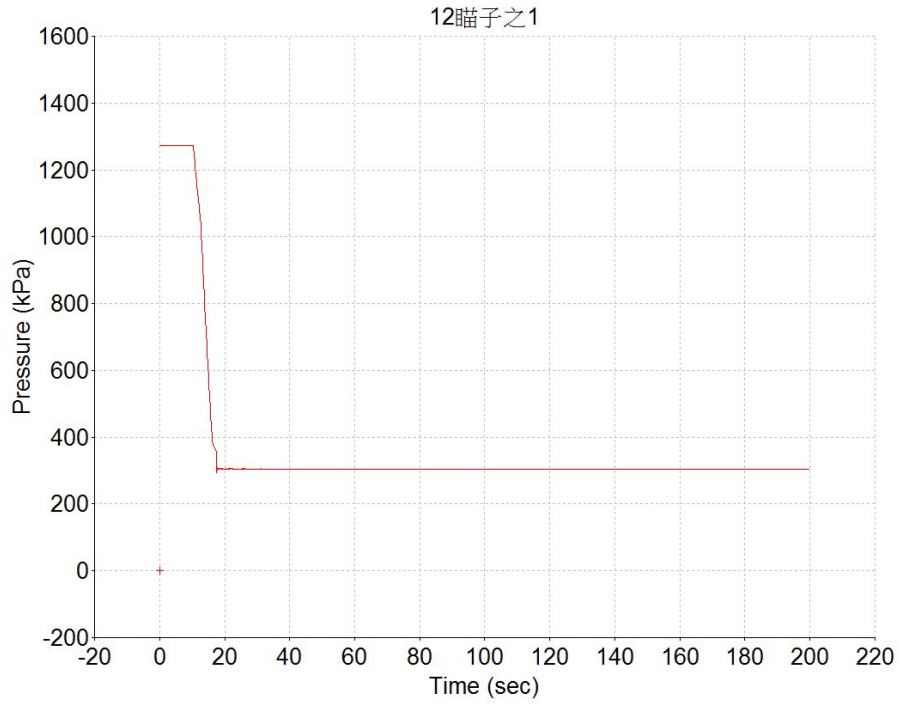


圖 45 情境三(中繼幫浦吸入空氣)瞄子處之時間-壓力圖

4.情境四：使用中一線瞄子快速關閉及開啟

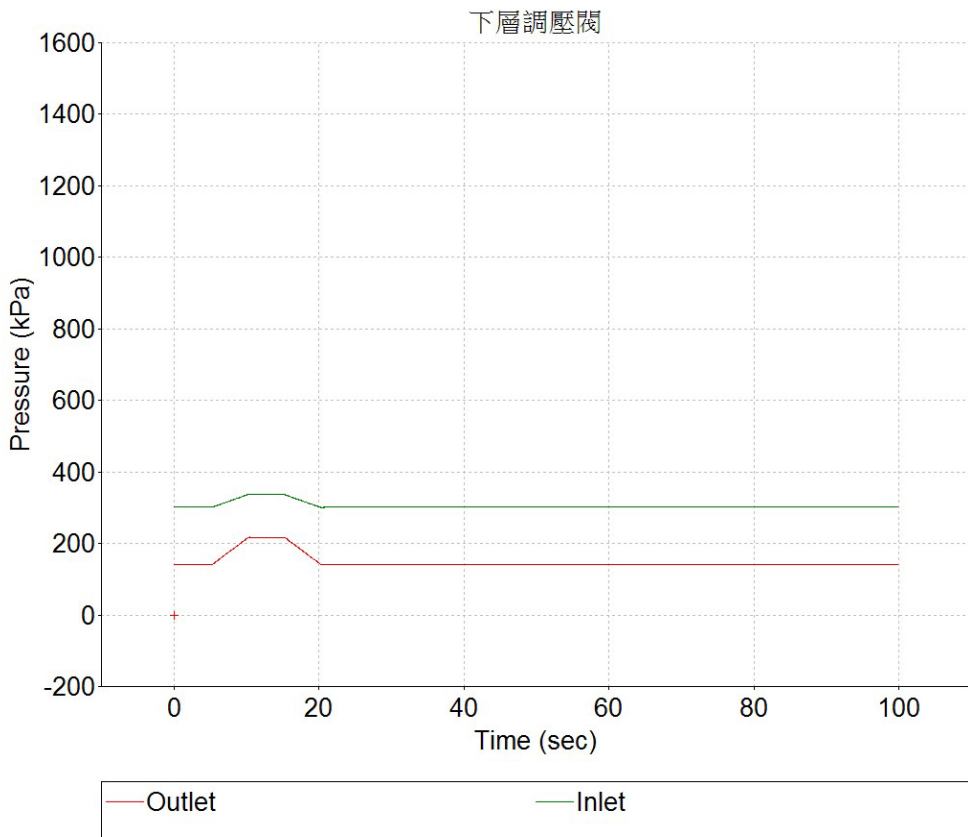


圖 46 情境四(瞄子快速關閉及開啟)低層壓力調整閥處之時間-壓力圖

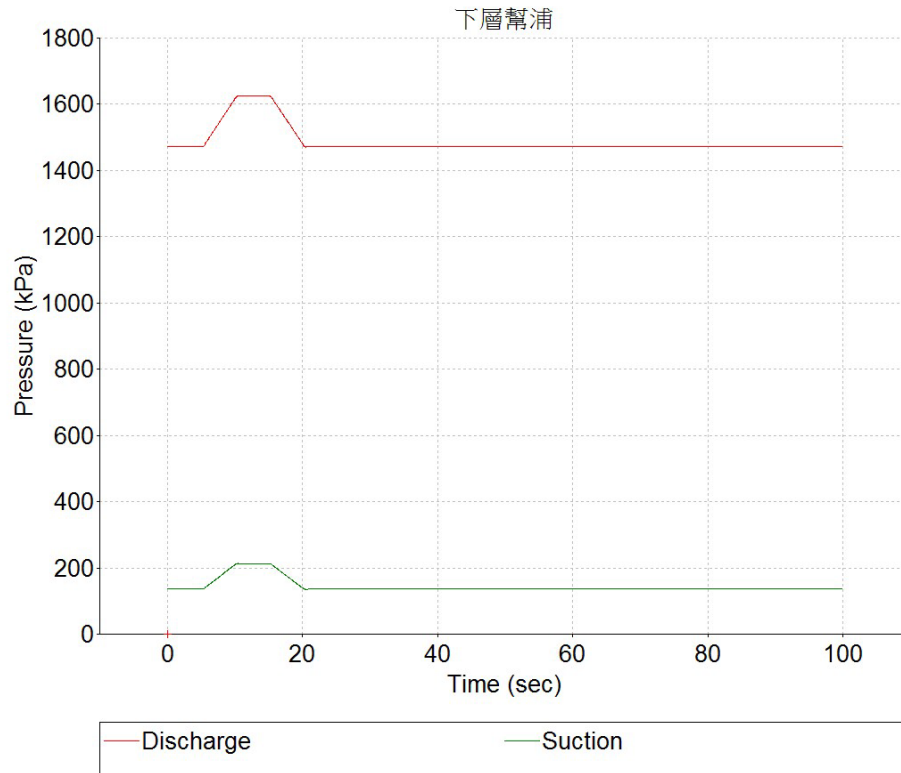


圖 47 情境四(瞄子快速關閉及開啟)低層幫浦處之時間-壓力圖

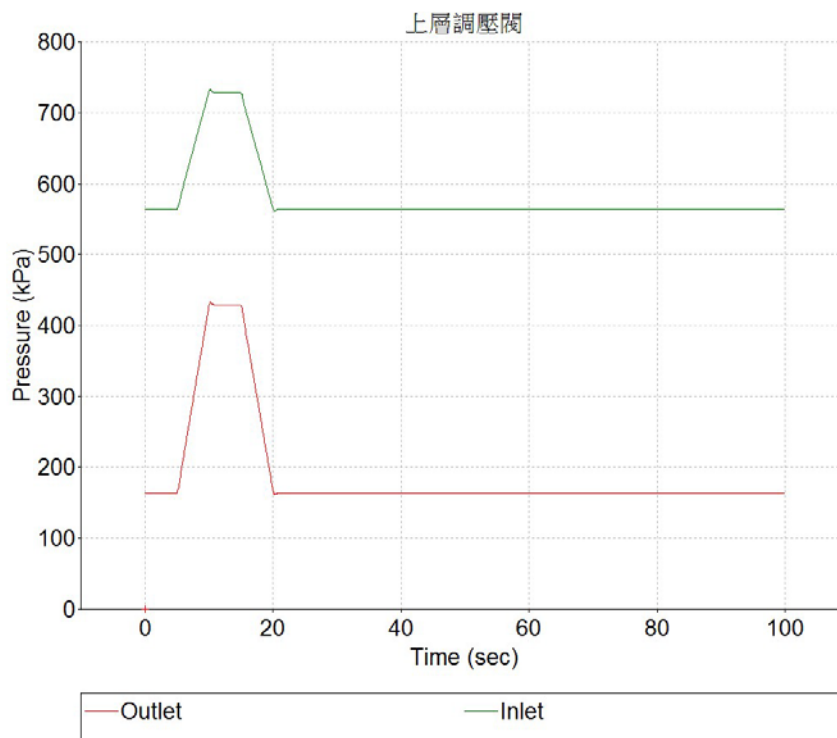


圖 48 情境四(瞄子快速關閉及開啟)高層壓力調整閥處之時間-壓力圖

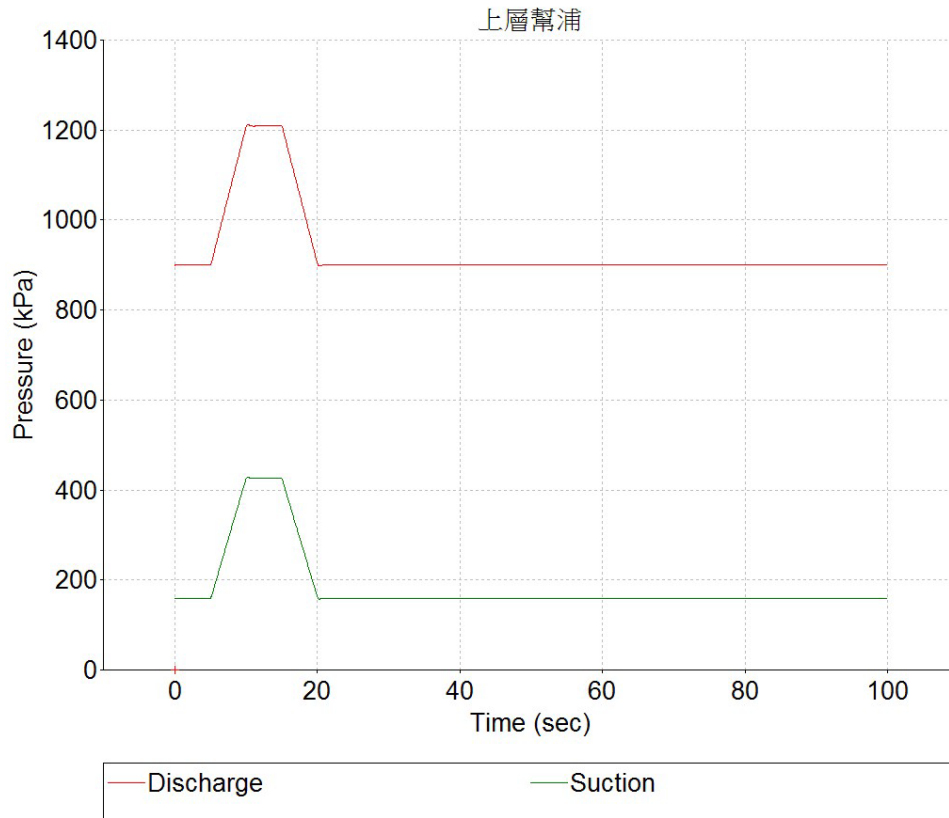


圖 49 情境四(瞄子快速關閉及開啟)高層幫浦處之時間-壓力圖

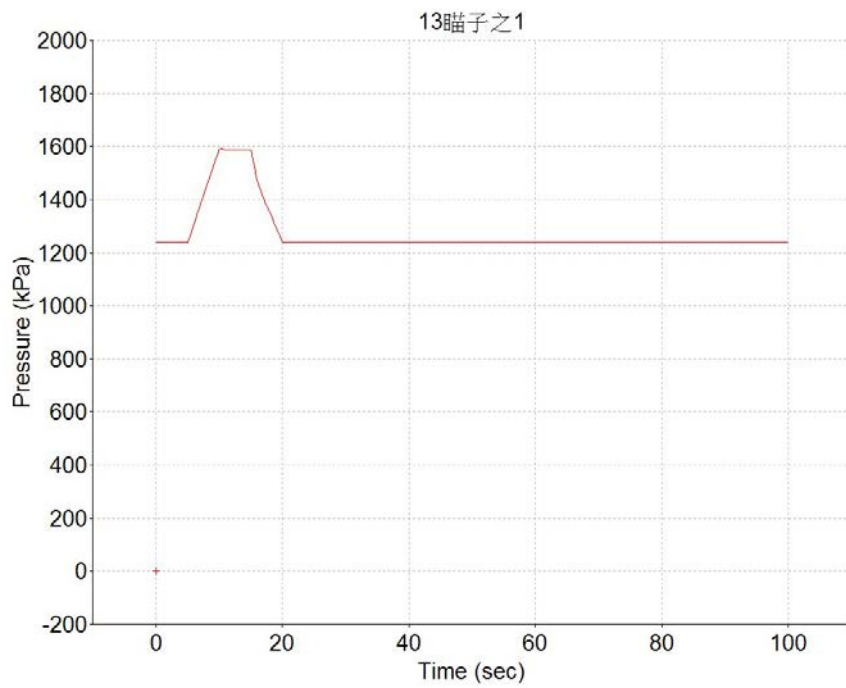


圖 50 情境四(瞄子快速關閉及開啟)瞄子處之時間-壓力圖

5.情境五：低層幫浦突然故障

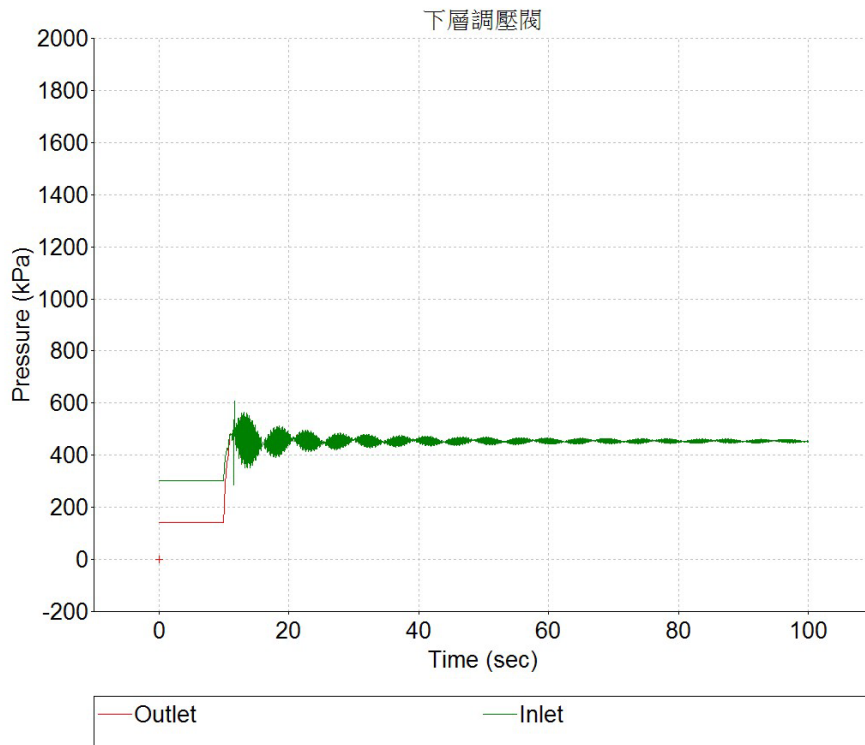


圖 51 情境五(低層幫浦突然故障)低層壓力調整閥處之時間-壓力圖

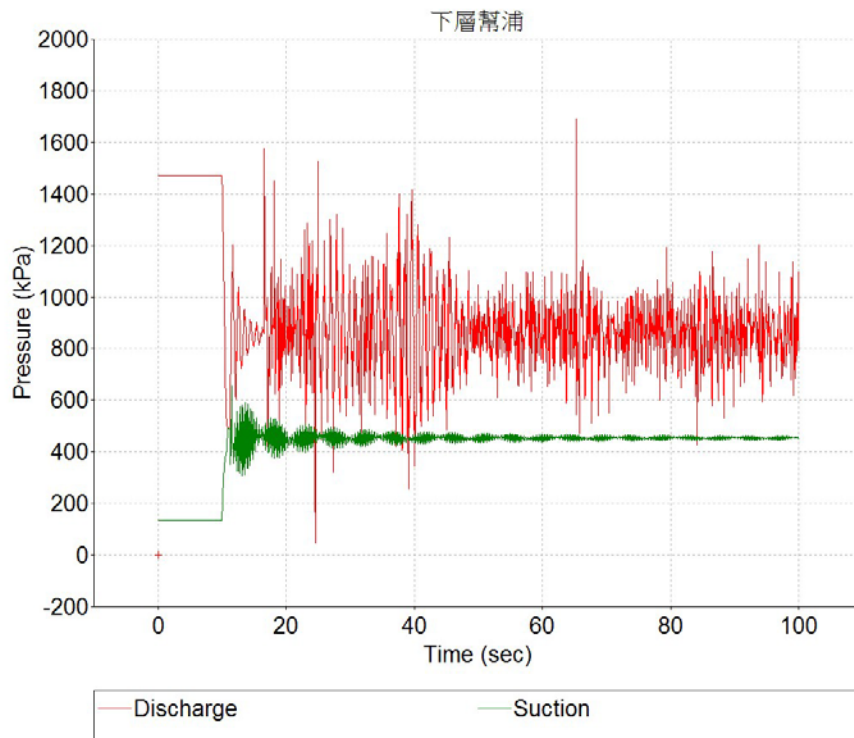


圖 52 情境五(低層幫浦突然故障)低層幫浦處之時間-壓力圖

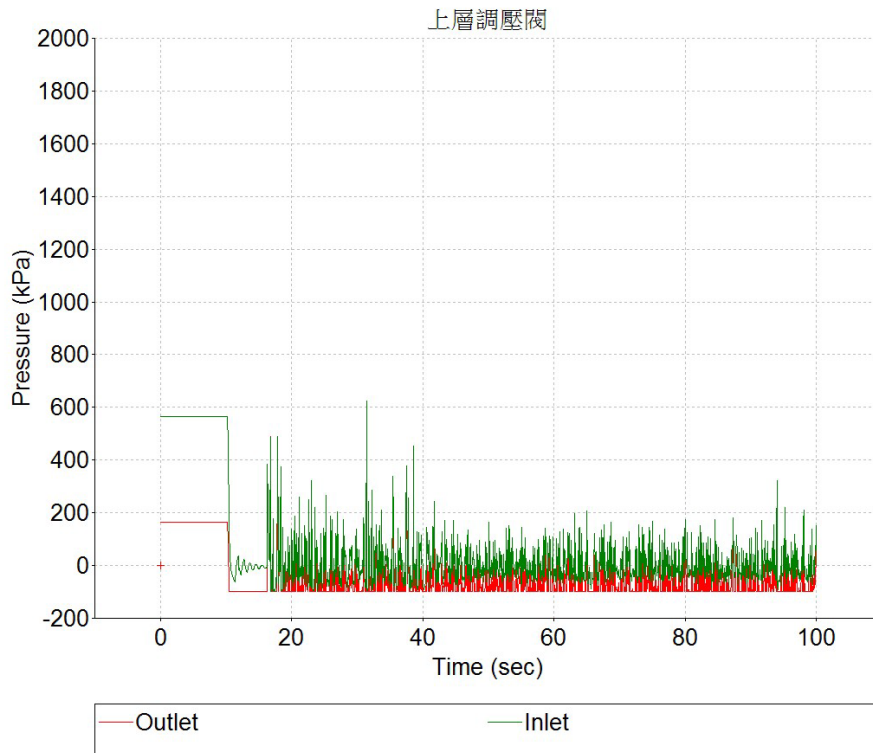


圖 53 情境五(低層幫浦突然故障)高層壓力調整閥處之時間-壓力圖

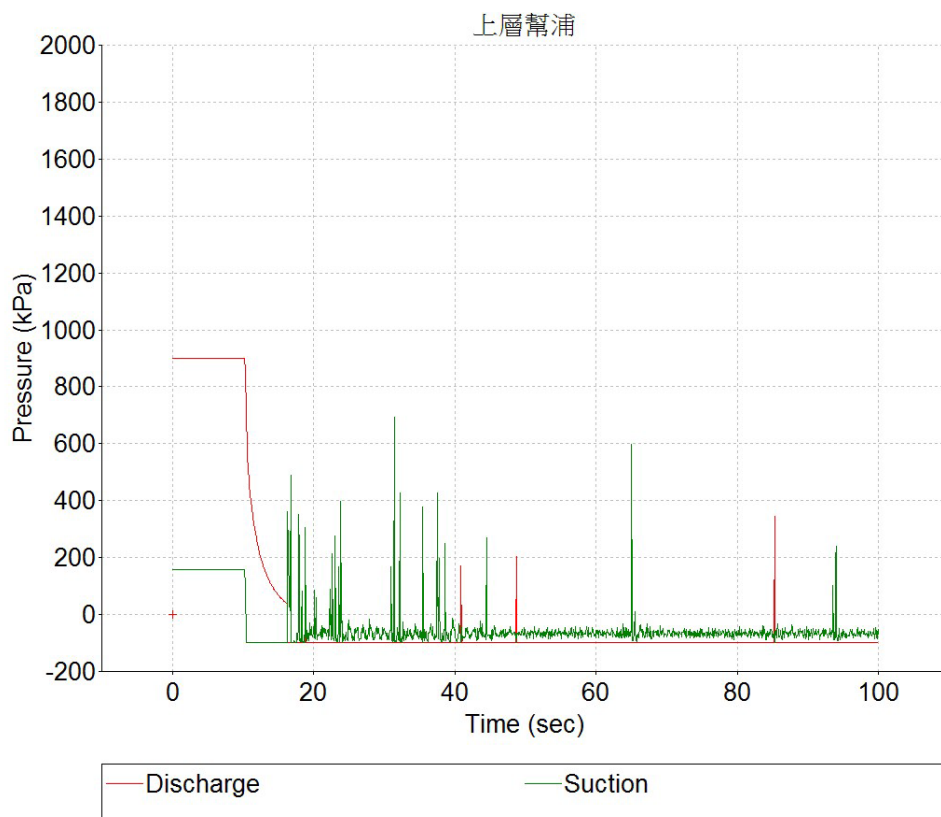


圖 54 情境五(低層幫浦突然故障)高層幫浦處之時間-壓力圖

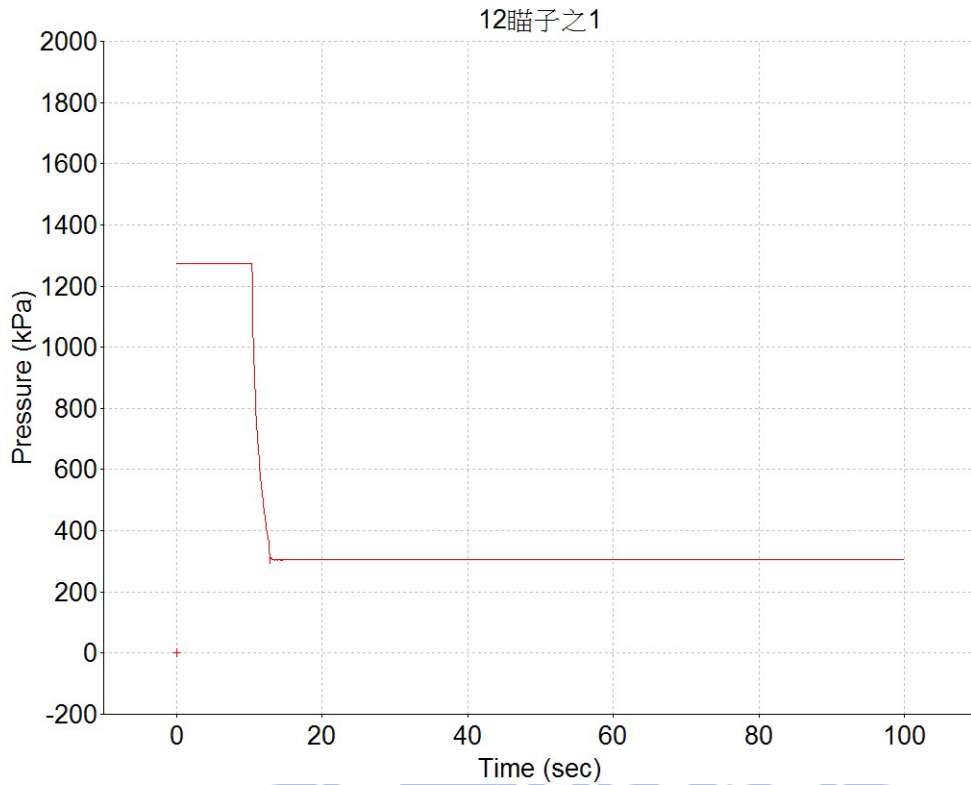


圖 55 情境五(低層幫浦突然故障)瞄子處之時間-壓力圖

6.情境六：高層幫浦突然故障

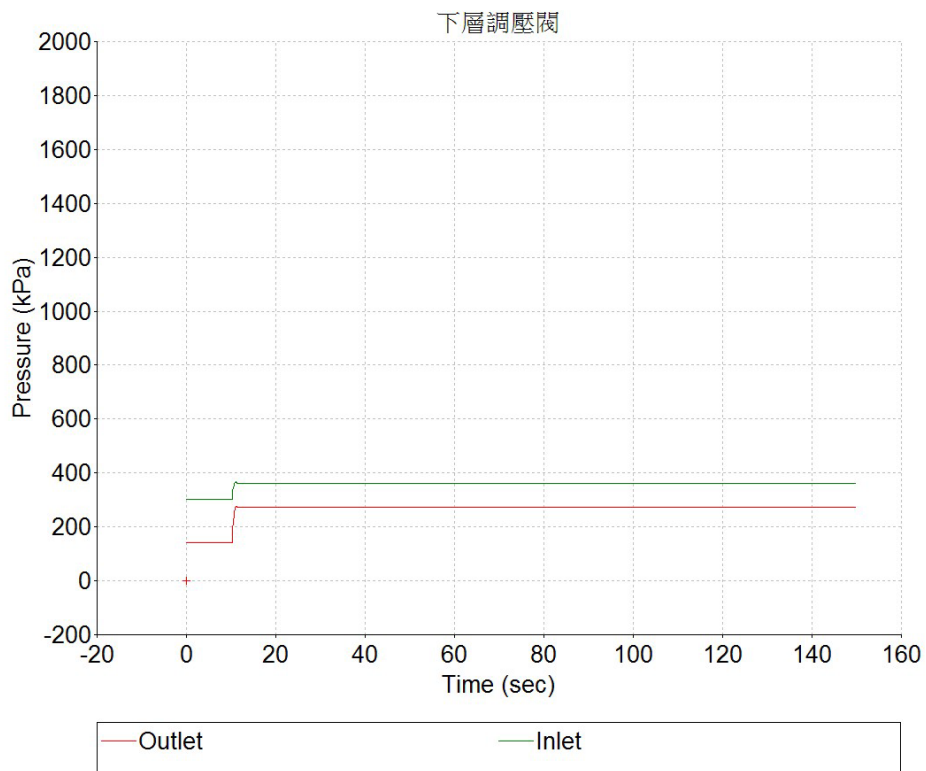


圖 56 情境六(高層幫浦突然故障)低層壓力調整閥處之時間-壓力圖

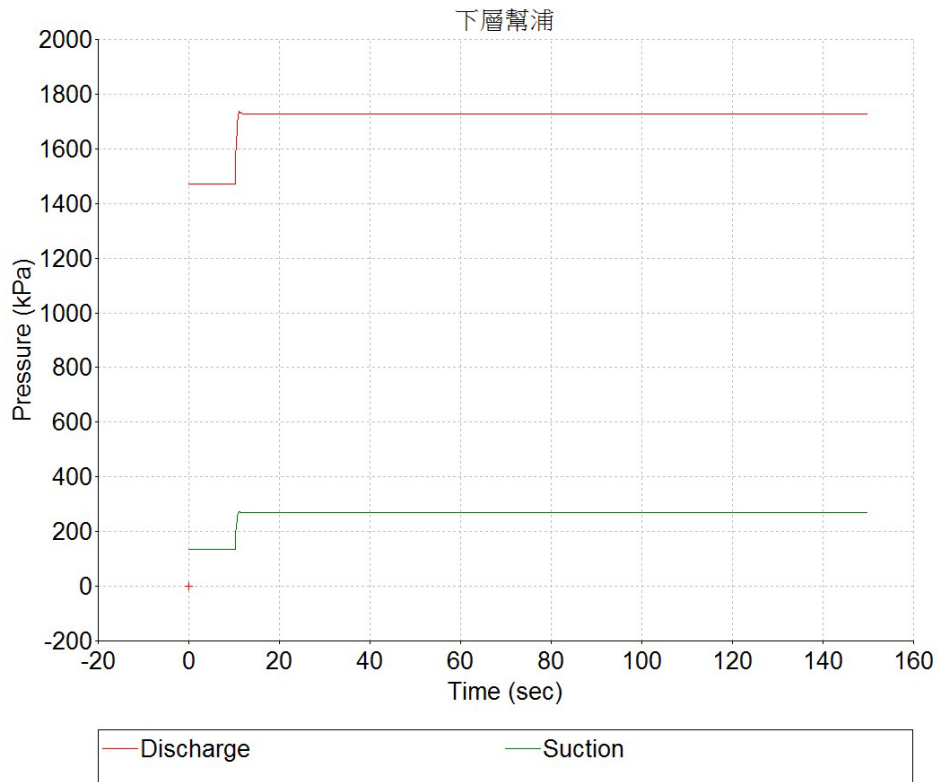


圖 57 情境六(高層幫浦突然故障)低層幫浦處之時間-壓力圖

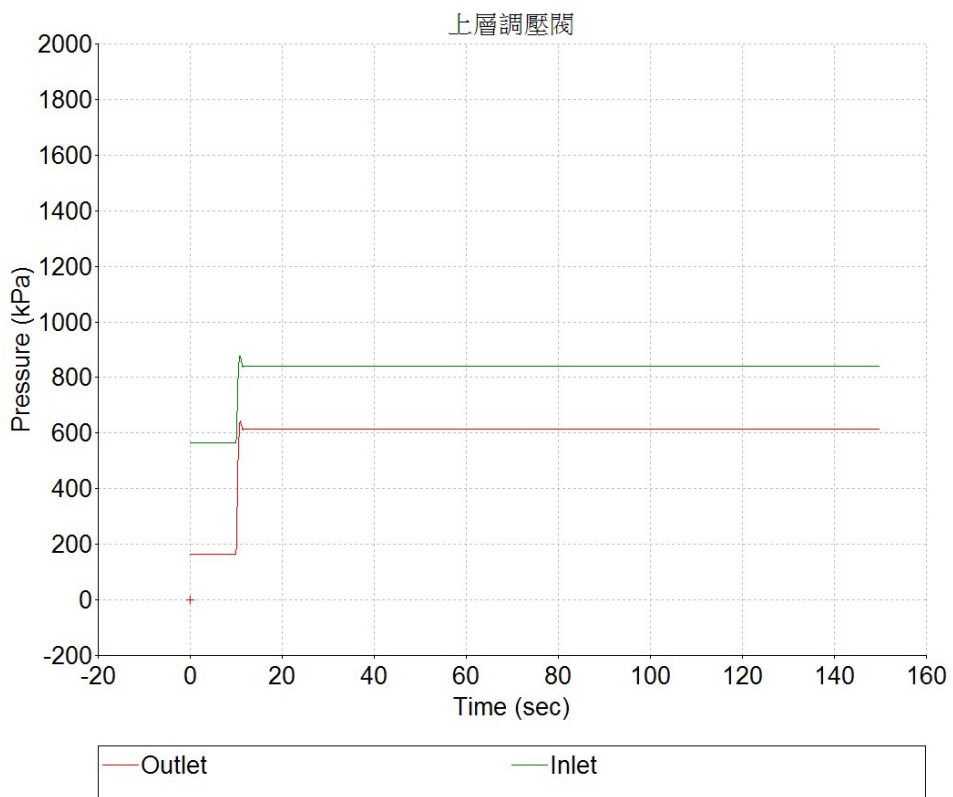


圖 58 情境六(高層幫浦突然故障)高層壓力調整閥處之時間-壓力圖

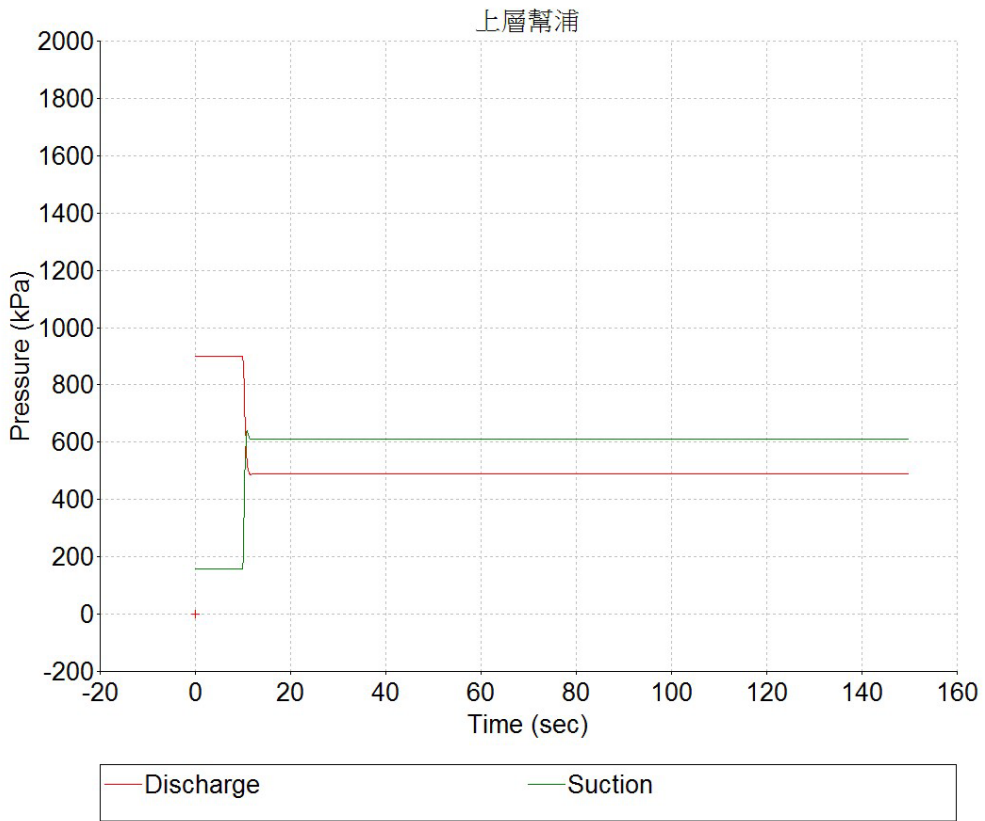


圖 59 情境六(高層幫浦突然故障)高層幫浦處之時間-壓力圖

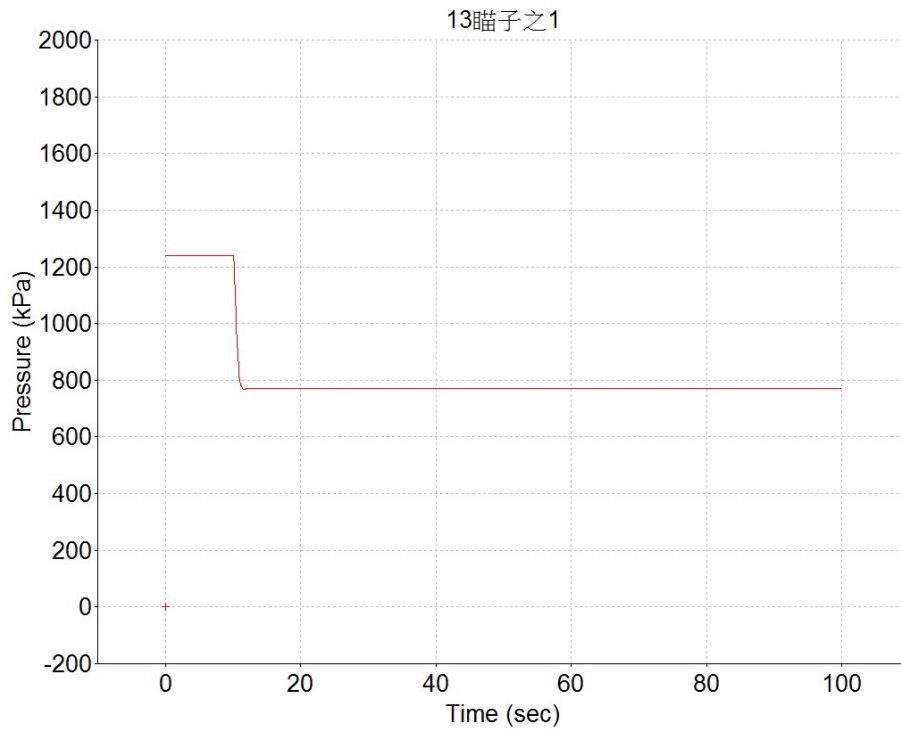


圖 60 情境六(高層幫浦突然故障)瞄子處之時間-壓力圖

由上述模擬結果判讀如下：

表 19 各情境模擬結果一覽表

模擬情境	判讀
<p>情境1： 低層壓力調整閥閥門 無法開啟</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.送水口處壓力由 3 kgf/cm² 增加為 4 kgf/cm² 2.低層壓力調整閥之吸入側壓力由 3 kgf/cm² 增加為 5 kgf/cm² 並持續小幅振盪；低層壓力調整閥之吐出側壓力由 1.5 kgf/cm² 下降為-1 kgf/cm² 3.低層幫浦處吸入側壓力由 1 kgf/cm² 下降為-1 kgf/cm²，吐出側壓力由 15kgf/cm² 下降至 9 kgf/cm²，並產生(最高 25~-1) 26kgf/cm² 的落差壓力振盪 4.高層壓力調整閥吸入側壓力由 5.5 kgf/cm² 下降為 0 kgf/cm²，並產生(最高 7~-1)8kgf/cm² 的落差壓力持續振盪，高層壓力調整閥吐出側壓力由 1.5 kgf/cm² 下降為-1 kgf/cm²，並產生(最高 1~-1)2kgf/cm² 的落差壓力持續振盪 5.高層幫浦吸入側壓力由 1.8 kgf/cm² 下降為 -1kgf/cm²，並產生(最高 7~-1)8kgf/cm² 的落差壓力持續振盪，高層幫浦吐出側壓力由 9 kgf/cm² 下降為-1 kgf/cm²，並於 100 秒時產生(最高 5~-1)6kgf/cm² 的落差壓力振盪 6.瞄子處壓力由 13 kgf/cm² 下降為 3kgf/cm²
<p>情境2： 高層壓力調整閥閥門 無法開啟</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.送水口處壓力由 3 kgf/cm² 增加為 4 kgf/cm² 2.低層壓力調整閥之吸入側壓力由 3 kgf/cm² 增加為 8.5 kgf/cm² 並持續小幅振盪；低層壓力調整閥之吐出側壓力由 1.5 kgf/cm² 增加為 5 kgf/cm² 3.低層幫浦處吸入側壓力由 1 kgf/cm² 增加為 11 kgf/cm²，吐出側壓力由 15kgf/cm² 增加為 35 kgf/cm²，並產生(最高 35~ 20)15kgf/cm² 的落差壓力振盪 4.高層壓力調整閥吸入側壓力由 5.5 kgf/cm² 增加

	<p>為 25kgf/cm²，並產生(最高 25~ 11)4kgf/cm² 的落差壓力持續振盪，高層壓力調整閥吐出側壓力由 1.5 kgf/cm² 下降為-1 kgf/cm²</p> <p>5.高層幫浦吸入側壓力由 1.8 kgf/cm² 下降為 -1kgf/cm²，高層幫浦吐出側壓力由 9 kgf/cm² 下降為-1 kgf/cm²</p> <p>6.瞄子處壓力由 13 kgf/cm² 下降為 3kgf/cm²</p>
<p>情境3： 兩台幫浦吸入空氣</p>	<p>1.低層壓力調整閥吸入側壓力由 3kgf/cm² 增加為 5 kgf/cm²，並持續於 4 kgf/cm² 小幅振盪，低層壓力調整閥吐出側壓力由 1.8kgf/cm² 增加為 5 kgf/cm²</p> <p>2.低層幫浦吸入側壓力由 1.8 kgf/cm² 增加為 5 kgf/cm² 小幅振盪，低層幫浦吐出側壓力由 14.5 kgf/cm² 下降為 8kgf/cm²，於第 90 秒時再下降為 7kgf/cm²</p> <p>3.高層壓力調整閥吸入側壓力由 5.5kgf/cm² 下降為 0kgf/cm²，並於第 90 秒時再下降為 -1kgf/cm²，高層壓力調整閥吐出側壓力由 1.8 kgf/cm² 下降為-1kgf/cm²</p> <p>4.高層幫浦吸入側壓力由 1.8 kgf/cm² 下降為 -1kgf/cm² 再上升為 0 kgf/cm²，高層幫浦吐出側壓力由 8.5kgf/cm² 下降為-1kgf/cm²</p> <p>6.瞄子處壓力由 13 kgf/cm² 下降為 3 kgf/cm²</p>
<p>情境4： 使用中1線瞄子快速關閉再開啟</p>	<p>1.低層壓力調整閥吸入側與吐出側於 1 線瞄子關閉時壓力均增加 0.5kgf/cm²，當瞄子再度開啟時壓力恢復</p> <p>2.低層幫浦吸入側壓力增加 0.5 kgf/cm²，吐出側壓力增加 1kgf/cm²，當瞄子再度開啟時壓力恢復</p> <p>3.當 1 線瞄子關閉時，高層壓力調整閥吸入側增加 2kgf/cm²，吐出側增加 3kgf/cm²，當瞄子再度開啟時壓力恢復</p> <p>4.當 1 線瞄子關閉時，高層幫浦吸入側與吐出側</p>

	<p>均增加 3kgf/cm²，當瞄子再度開啟時壓力恢復</p> <p>5.當 1 線瞄子關閉時，其他仍在使用中的瞄子增加 3.5 kgf/cm²</p>
<p>情境5： 低層幫浦突然故障</p>	<p>1.於低層壓力調整閥吸入側產生 2 kgf/cm² 的壓力振盪，此振盪幅度隨時間遞減</p> <p>2.於低層幫浦吐出側產生 2~12 kgf/cm² 不等的壓力振盪</p> <p>3.於高層壓力調整閥吸入側產生 2~6 kgf/cm² 不等的壓力振盪，吐出側產生 1~2 kgf/cm² 不等的壓力振盪</p> <p>4.於高層幫浦吸入側產生 1~7 kgf/cm² 不等的壓力振盪</p> <p>5.於瞄子處壓力由 13 kgf/cm² 下降為 3 kgf/cm²</p>
<p>情境6： 高層幫浦突然故障</p>	<p>1.低層壓力調整閥吸入側增加 0.5 kgf/cm²，吐出側增加 1 kgf/cm²</p> <p>2.於低層幫浦吸入側增加 1kgf/cm²，吐出側增加 2kgf/cm²</p> <p>3.高層壓力調整閥吸入側增加 3kgf/cm²，吐出側增加 4.5kgf/cm²</p> <p>4.高層幫浦吸入側增加 4.5kgf/cm²，吐出側下降 4 kgf/cm²</p>

第五章 結論與建議

5.1 結論

5.1.1 風險分析成果

1.本研究以 FMEA 分析結果顯示，連結送水管系統風險性較高的失效模式與預防對策如下：

(1)消防人員操作中繼幫浦之啟動順序錯誤：

在消防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，很容易在啟動中繼幫浦的程序上誤判，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。

由於台灣現今消防人員對於高樓火災之搶救，尚未著重連結送水管之使用，根本原因在於專業知能及教育訓練缺乏，以致沒有把握使用連結送水管進行救災；因此，最佳之預防對策為針對外勤消防人員加強連結送水管系統各項構件及運作原理之教育，並納入搶救演練項目。

(2)連接消防車至送水口之送水管(水帶)使用中破裂：

以「各類場所消防安全設備設置標準」規範建築物高度 60 公尺以上應設置中繼幫浦之精神，消防車(幫浦)本身性能應必須獨立執行建築物高度 60 公尺以內之火災搶救，換算消防車幫浦應可負擔 13~14 kgf/cm² 之送水壓力。

查目前市面上一般消防救災水帶工作壓力約為 13~16 kgf/cm² 不等，故使用設置有中繼幫浦之連結送水管系統時，銜接送水口處之水帶可能需要長時間、高負載的情況下大流量送水以滿足高樓火災搶救需求，預防水帶破裂之對策除使用中避免水帶彎曲、拖行摩擦並落實平日維護保養等，亦可採用較高耐壓等級(16~20 kgf/cm² 以上)之水帶。

(3)送水口附近的止水閥關閉：

送水口附近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(一般為停車空間)，至於中繼幫浦、中繼水箱及相關閥組件均設置於中繼機房(為管理方便通常機房會上鎖)，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。

送水口附近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，而且是在消防車已進行送水卻發現消防車幫浦無法加壓、送水口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)：

壓力調整閥為連結送水管系統中相較屬精密之閥件，安裝於中繼幫浦吸入端，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)擾流影響壓力調整閥調壓：

依「各類場所消防安全設備設置標準」規定，中繼幫浦一次側設出水口、止水閥及壓力調整閥，並附設旁通管，此旁通管設有止水閥，平時保持關閉狀態(測試時才開啟使用)，若該止水閥關閉不全或因日久關斷效能不佳，此旁通管對於系統使用中時壓力調整閥二次側將產生擾流，影響壓力調整閥控制器之偵測與反應。預防對策為旁通管止水閥選用水流關斷效能較佳之閘閥。

(6)中繼幫浦吸入空氣：

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，由於中繼幫浦為真空幫浦，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。

(7)管內有雜質：

系統管路內雜質通常為消防車水源送入或管路、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裝置過濾裝置。

(8)使用中部分瞄子開啟與關閉：

消防系統平日備而不用，考量使用率及成本，中繼幫浦一般採定頻式，啟動後即全力運轉，不若變頻式幫浦可依出水需求自動調整其出力。

系統於救災使用中可能為多個出水口同時出水(瞄子)，若其中部分瞄子因突然的救災需求必須緊急關斷瞄子，會造成其他仍在使用的瞄子壓力增加。預防對策為救災人員在非有必要之下，儘可能不要於使用中關斷瞄子，若救災情況緊急無可避免，應以無線電通知其他使用中之瞄子手、副瞄子手預為因應。

5.1.2 模擬驗證及量化成果

- 1.低層壓力調整閥若於系統使用中突然閥門無法開啟，將於低層幫浦二次側產生落差約 26kgf/cm^2 的壓力變化，此壓力振盪對於管路可能造成相當大的破壞。

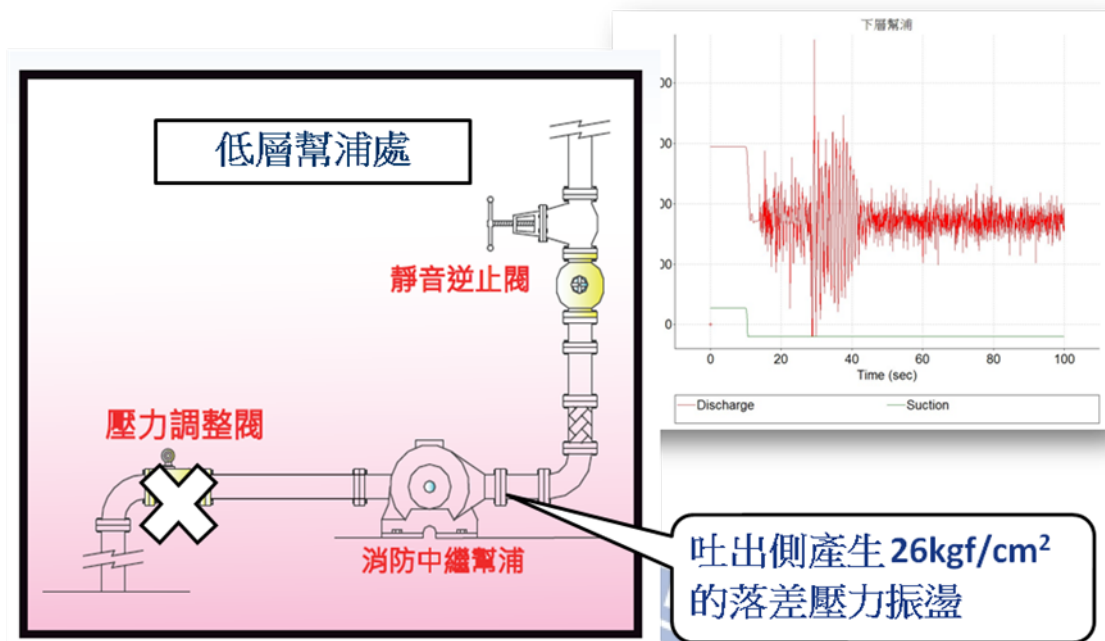


圖 61 模擬一(低層壓力調整閥閥門無法開啟)示意圖

2. 高層壓力調整閥若於系統使用中突然閥門無法開啟，低層幫浦處二次側壓力大增，並產生落差 15kgf/cm^2 的壓力振盪，高層壓力調整閥一次側壓力亦增加，此壓力突增及振盪對於管路(低層幫浦處二次側至高層壓力調整閥一次側之管段)可能造成極大的破壞。

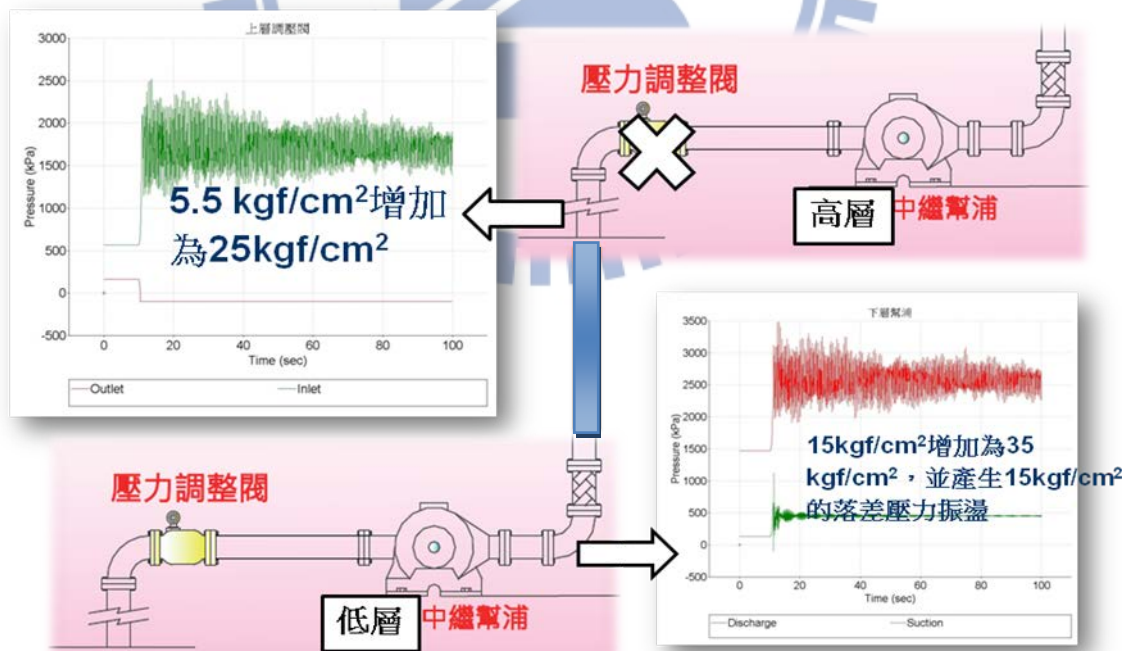


圖 62 模擬二(高層壓力調整閥閥門無法開啟)示意圖

3. 兩台幫浦一旦吸入空氣，將造成出水壓力不足(約降為 3kgf/cm^2)，影響救災效能。

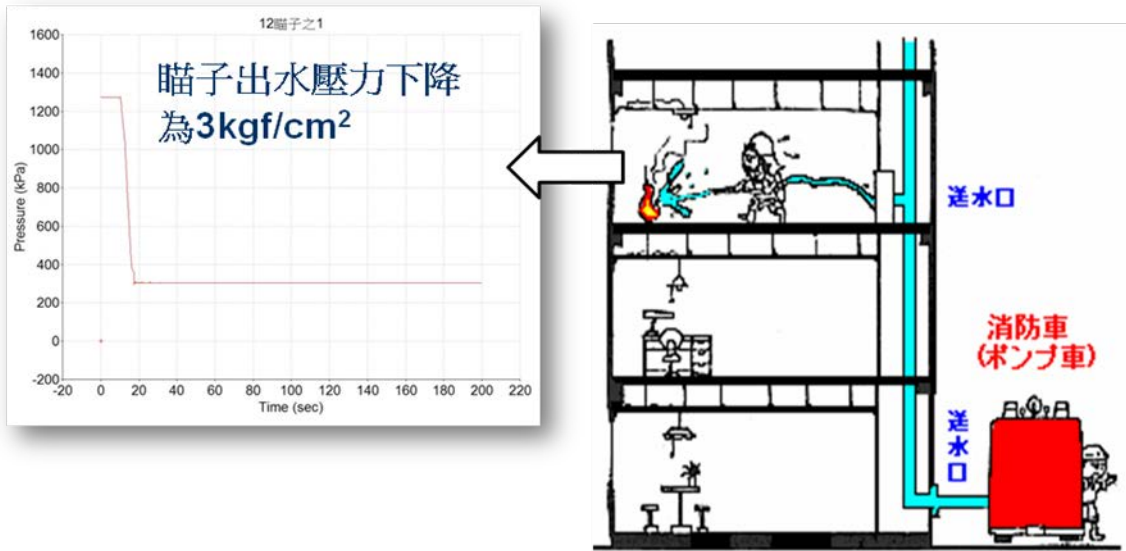


圖 63 模擬三(兩台幫浦吸入空氣)示意圖

4. 系統使用中為多個出水口同時出水(4 線瞄子)，當其中 1 線瞄子因救災需求需關閉再開啟時，其他仍在使用的瞄子約增加 3.5 kgf/cm^2 ，需注意使用中救災人員的安全。



圖 64 模擬四(使用中 1 線瞄子快速關閉再開啟)示意圖

5. 當低層幫浦突然故障時，將於低層幫浦吐出側產生落差約 $2 \sim 12 \text{ kgf/cm}^2$ 的壓力振盪，相較於情境六(高層幫浦突然故障)，低層幫浦故障較高層幫浦故障所產生之破壞性較大。

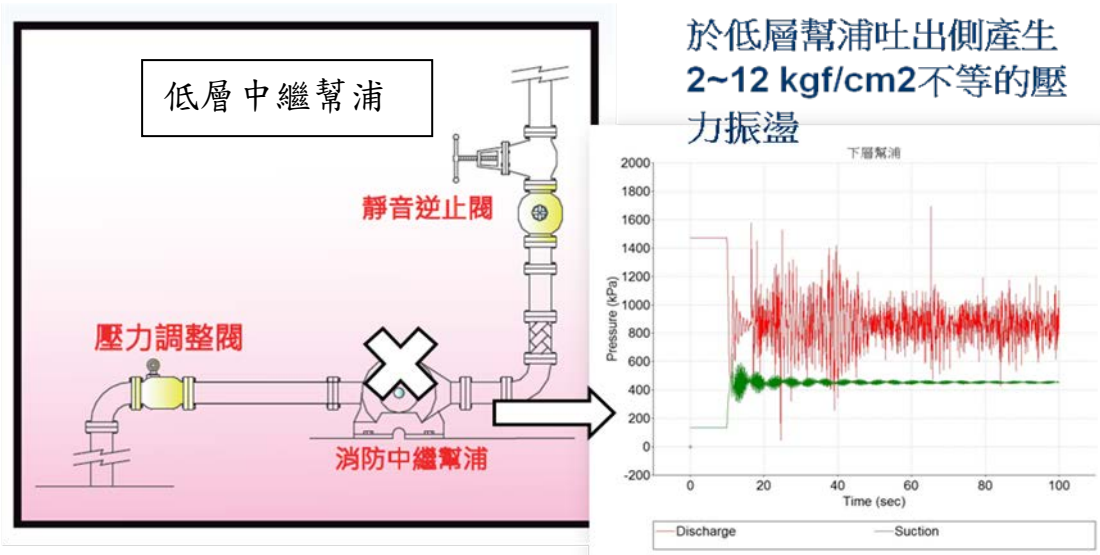


圖 65 模擬五(低層幫浦突然故障)示意圖

6. 當高層幫浦突然故障時，系統管路較顯著的壓力變化(增加 4.5kgf/cm^2) 會出現在高層幫浦一次側。

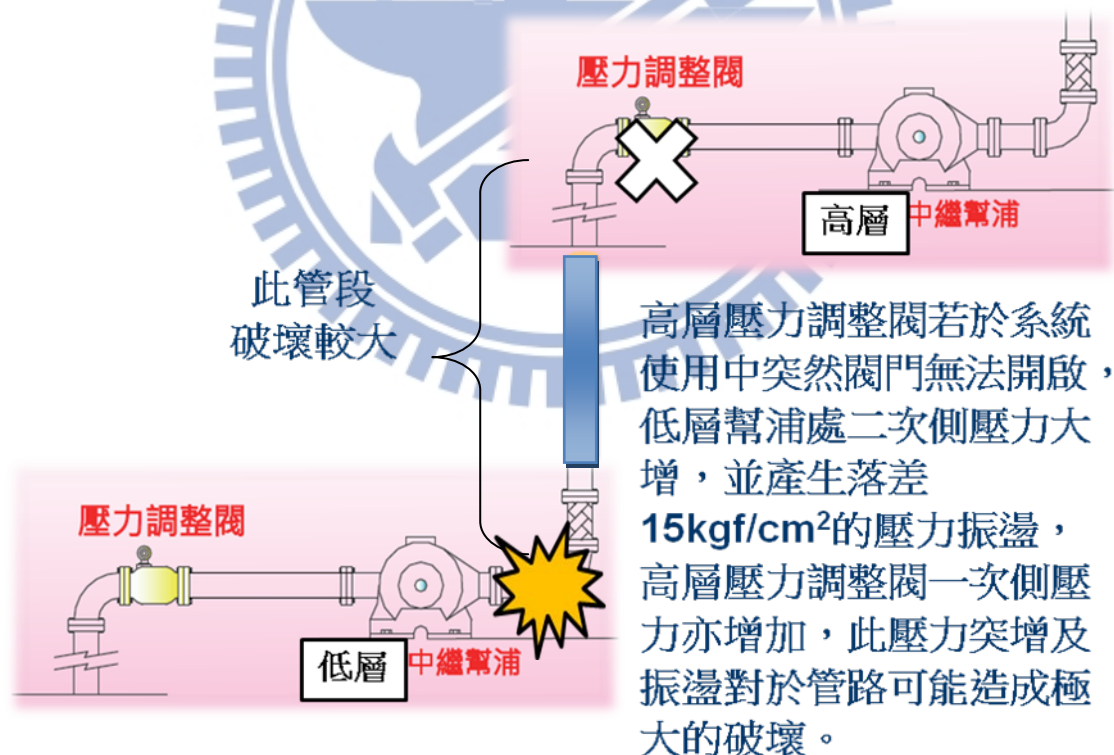


圖 66 模擬六(高層幫浦突然故障)示意圖

5.2 建議

5.2.1 系統設計時之風險控管建議

1. 於壓力調整閥一次側規劃設置過濾裝置，以預防壓力調整閥控制器阻塞或失效，另壓力調整閥一次側及二次側均應設置壓力表，其旁通管之止水閥建議採用閘閥。

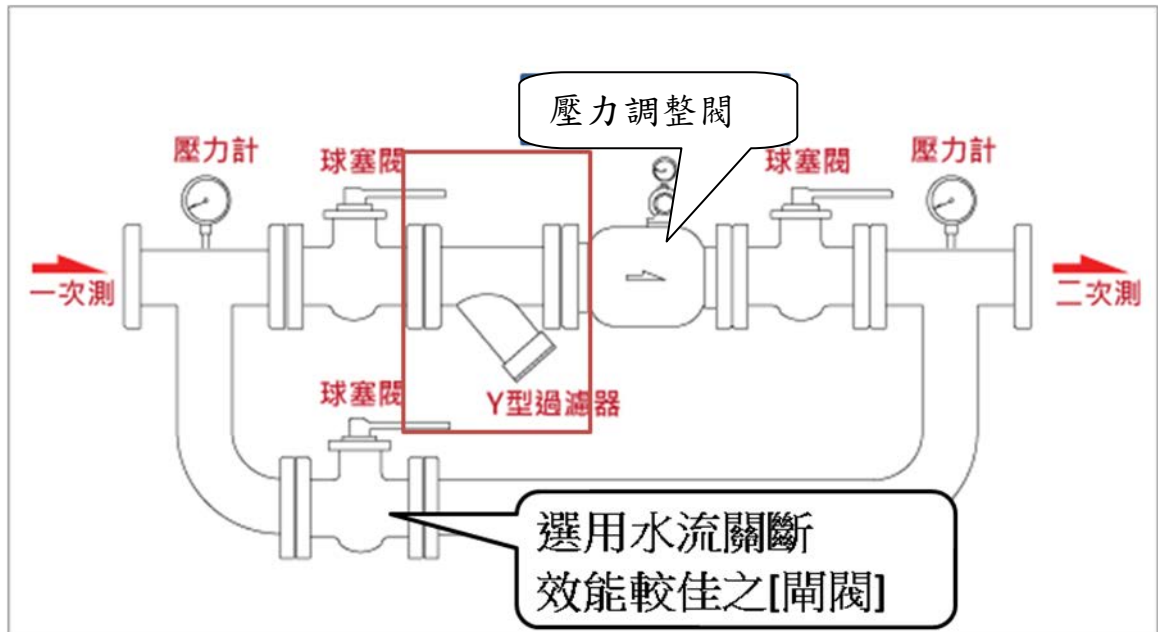


圖 67 壓力調整閥建議相關裝置示意圖

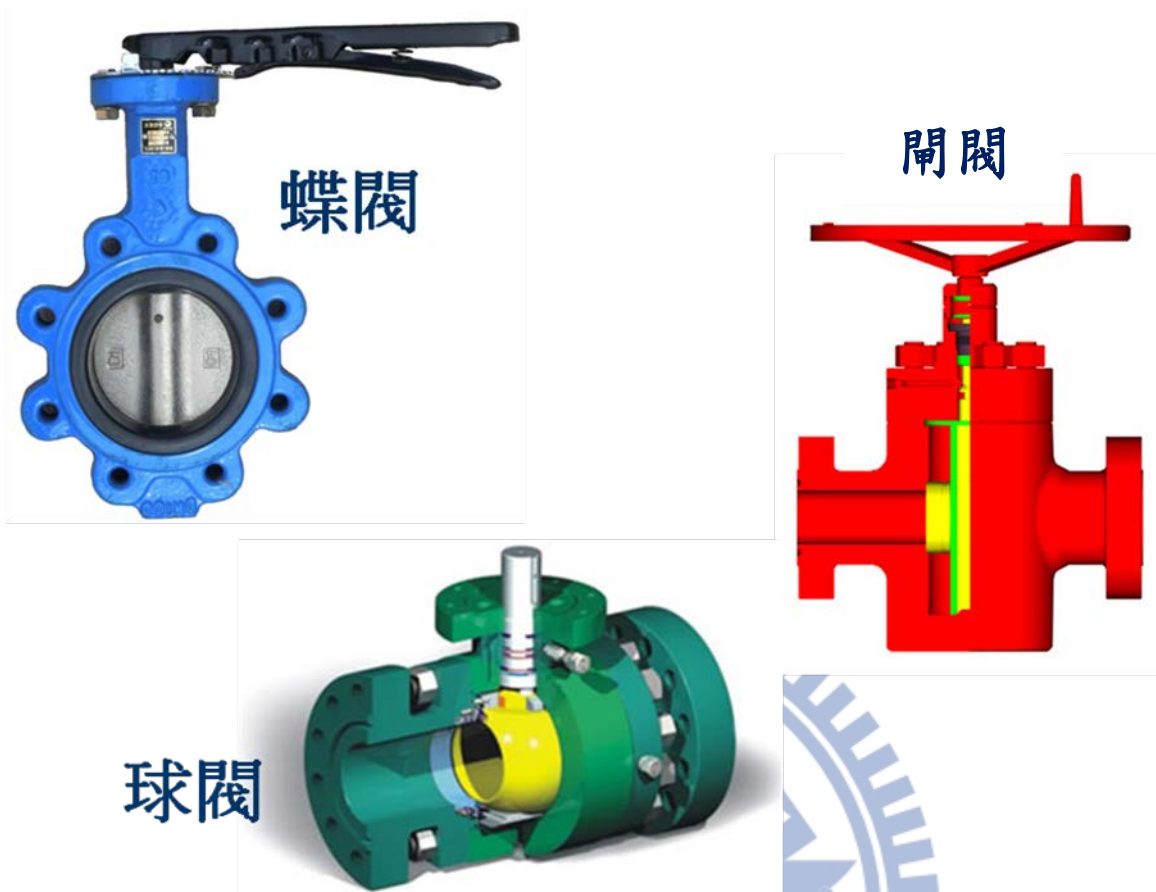


圖 68 止水閥型式

2. 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。
3. 中繼幫浦外殼頂部規劃設置釋氣閥，以排除進入幫浦之空氣。

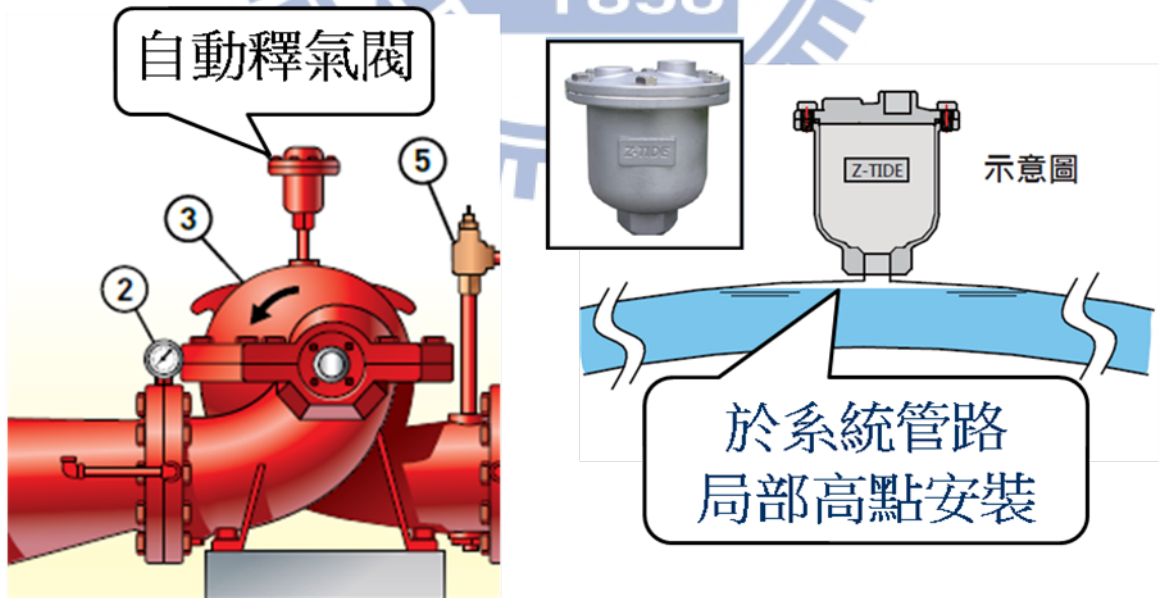


圖 69 釋氣閥裝置建議示意圖

4. 低層中繼幫浦二次側規劃設置洩壓閥，以防止水錘現象產生之壓力突增。

5. 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。
6. 加強規劃送水口處之操作標示，給予消防救災人員明確之判斷指示，送水口標示應包含下列內容：
 - (1) 標明系統昇位簡圖
 - (2) 說明手動啟動開關位置
 - (3) 簡明提供救災人員判別送水壓力值
 - (4) 依序標明操作步驟
 - (5) 標明故障排除方法
7. 出水口之放水壓力超過 10kgf/cm^2 以上位置規劃減壓裝置，以維護消防救災人員使用安全。
8. 評估可能產生之水錘壓力，納入管路與閥件耐壓計算。
9. 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。
10. 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。
11. 規劃考量人為誤操作的防範措施，及以後汰換及維護管理之適切措施。
12. 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。
13. 可於設計階段運用相關水力計算軟體，提昇水力計算與風險評估之精確度。

5.2.2 系統設計階段審查重點建議

1. 審查應備必要文件、圖說及產品規格資料。
2. 中繼機房位置、各樓層出水口位置與昇位圖所標高程一致。
3. 中繼機房構造防火時效要件與中繼水箱容量符合法規。
4. 各管段及節點應編號，中繼幫浦規格、出水壓力、幫浦一次側壓力及送水設計壓力均達法定標準。
5. 磨擦損失應依照海真-威廉公式計算，注意各系數及等價管長選用，計算中應包括管徑不超過 2in 的管道、管件及設備，例如閥件、壓力表、過濾器及計算標高等影響中繼幫浦工作壓力的因素，減壓閥的局部損失數據由製造商提供。
6. 確認各配管及閥件(逆止閥、止水閥、水錘吸收器、釋氣閥、洩氣閥等)位置、規格及耐壓之適當性，確認選用水錘吸收器規格(含氣室體積)之評估。
7. 注意全閉揚程與押入揚程合計在 170 公尺以上時，應增設幫浦使串聯運轉。
8. 確認幫浦啟動方式、啟動開關位置及通話裝置之規劃。

9. 確認出水口位置及有效水平防護距離。
10. 確認二支以上立管時，立管間有橫管連通。

5.2.3 系統竣工測試重點建議

1. 連結送水管之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，但設有中繼幫浦時，幫浦二次側配管，應能承受幫浦全閉揚程 1.5 倍以上之水压，並持續 30 分鐘無漏水現象。
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. 一樓送水口至逆止閥之管段(非飽水狀態)仍然要進行耐壓
5. 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。
6. 壓力調整閥一次側、二次側的靜態與動態壓力及流量，必須由承包商測試並記錄以茲證明。
7. 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。

5.2.4 消防人員使用系統之操作原則建議

1. 消防救災人員使用之操作順序：
 - (1) 啟動：消防車幫浦→低層中繼幫浦→高層中繼幫浦→出水口
 - (2) 復歸：高層中繼幫浦→低層中繼幫浦→消防車幫浦→出水口
2. 使用安全守則
 - (1) 到現場時應先確認起火層
 - (2) 了解系統配置，確認待機狀態及設計啟動方式
 - (3) 按照標示內容依序啟動或關閉幫浦
 - (4) 消防車應按照送水設計壓力值送水
 - (5) 非有必要，在幫浦運轉情況下勿直接快速關斷出水瞄子
 - (6) 遇無法出水或必須停止使用系統時，仍應依序關閉幫浦再故障排除
3. 連結送水管因為系統配置不同，使得消防人員在操作程序不同與以往(傳統式配置)，故建議地方消防機關應實施相關教育訓練及搶救演練，以提昇第一線救災人員系統操作及應變能力。

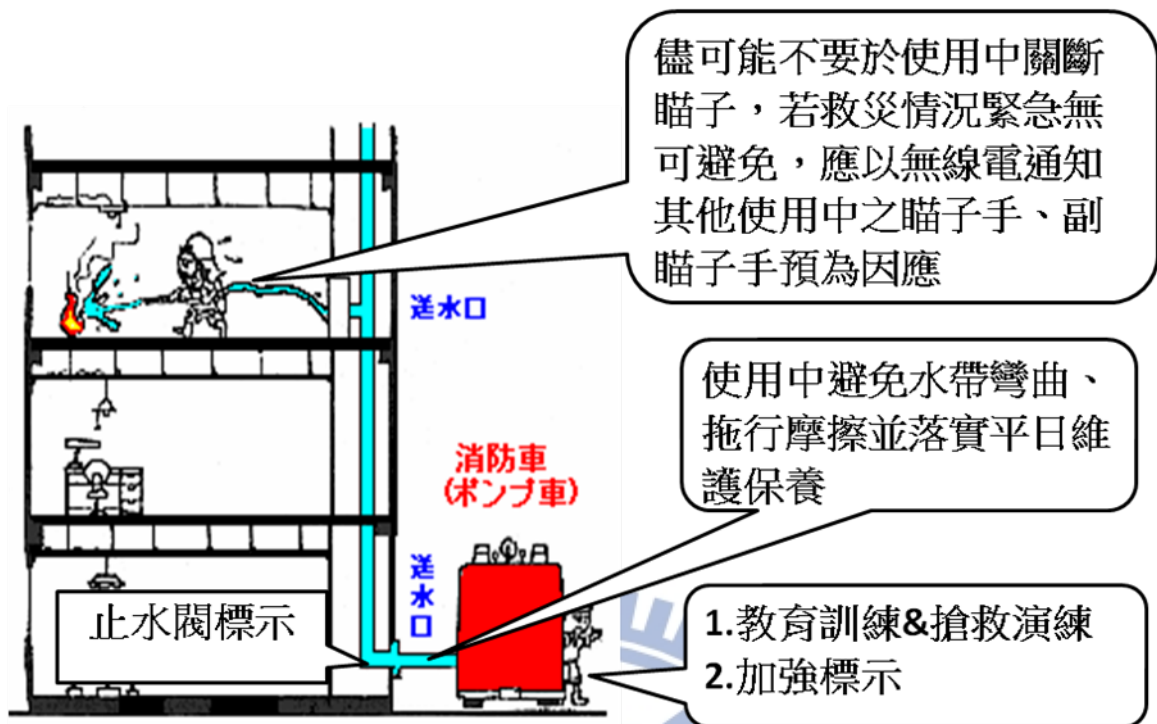


圖 70 關鍵失效模式與預防對策示意圖

5.2.5 系統維護管理建議

- 1.目前國內連結送水管系統相當缺乏維護管理，每年建築物消防安全設備檢修申報應落實系統各閥件之檢測及維修。
- 2.送水口附近的止水閥因容易遭關閉，平日應加強檢視抽查。
- 3.建議地方消防機關可研議提供設有連結送水管之建築物(一定年限以上者)由消防車(定期，如每隔三年)進行送水測試，以調查了解現存建築物連結送水管系統之堪用狀態及相關問題，防範高樓火災發生時系統失效。

5.2.6 相關法令修訂建議

- 1.建議「各類場所消防安全設備設置標準」有關連結送水管系統部分增訂下列規範：
 - (1)出水口最高出水壓力限制
 - (2)配管內工作壓力限制
 - (3)裝置釋氣閥、水錘吸收器、洩壓閥等
 - (4)於立管設置排水裝置，以便後續維修管理
- 2.國內閥件耐壓及性能未有檢驗機制，建議應訂定相關規範以提昇閥件品質，維持系統可靠度。

5.2.7 未來研究建議

1. 針對連結送水管系統不同之配置方式或設定不同出口水位置進行模擬，比較不同失效模式之風險差異。
2. 針對乾式與濕式連結送水管系統進行操作使用方式或風險分析上的探討。
3. 針對系統設置釋氣閥、水錘吸收器、洩壓閥等效能進行分析與評估。
4. 對於系統失效時由移動式幫浦介入救災之操作方式進行探討。

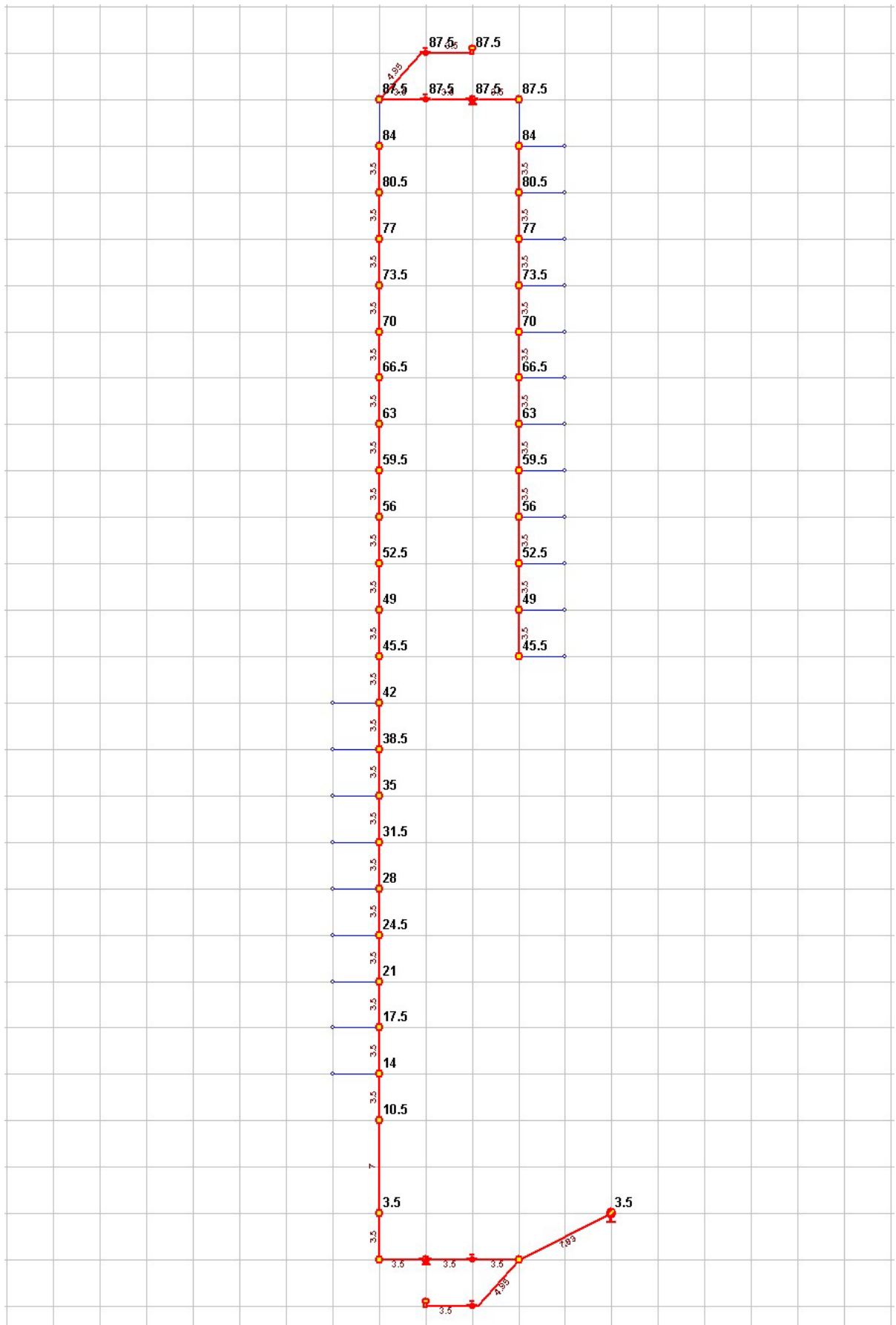


參考文獻

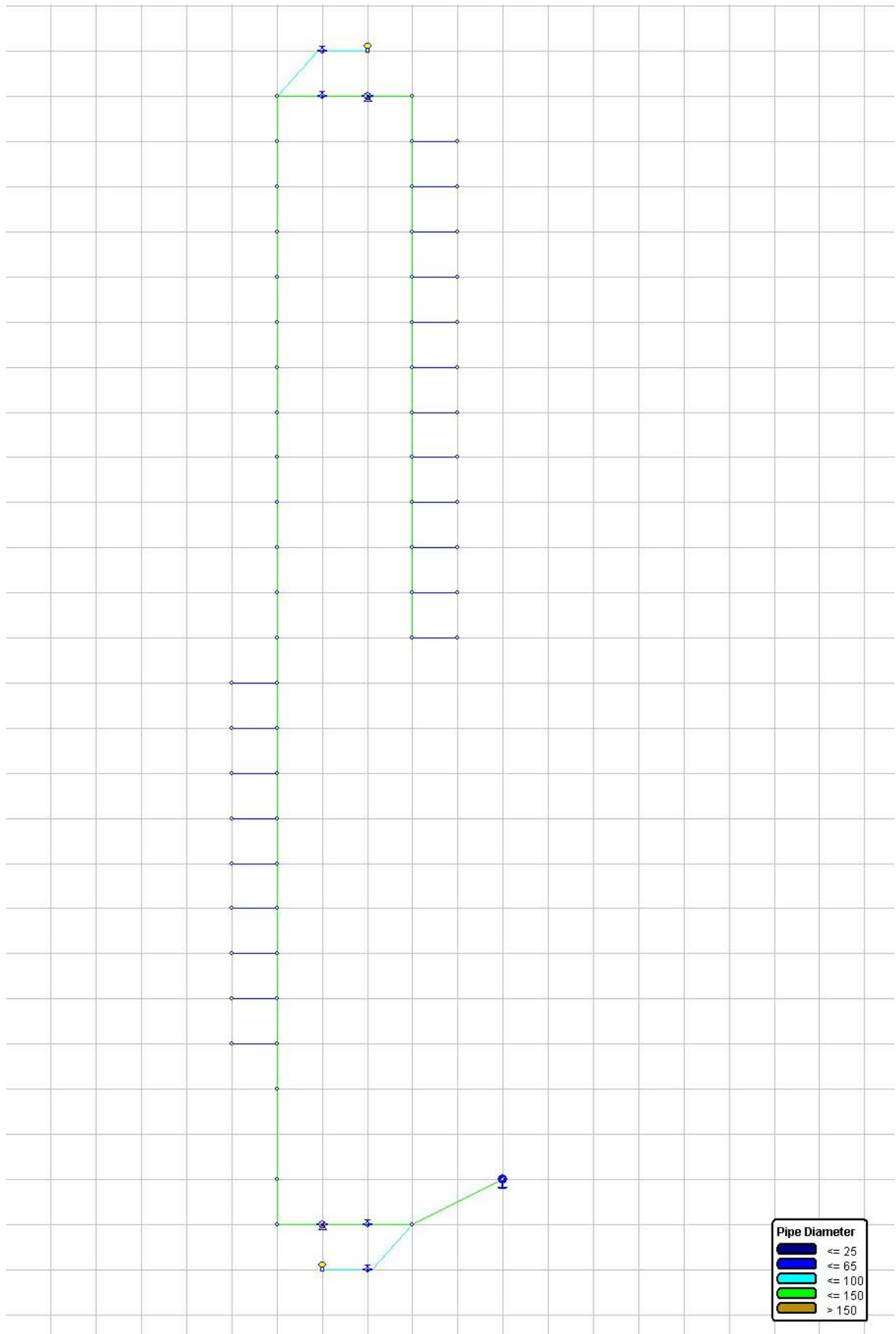
- 1.陳祐康，「高樓火災連結送水管運用之研究」，中央警察大學消防科學研究所，碩士論文，民國93年
- 2.美國防火協會，<http://www.nfpa.org>，2012
- 3.林弘崧，「消防射水與中繼送水建議方案」，消防與防災科技雜誌，45，34-38頁，民國99年6月
- 4.陳弘毅，「連結送水管之研究」，警學叢刊，98-106頁，民國78年12月
- 5.陳弘毅，火災學，七版，鼎茂，民國97年12月
- 6.各類場所消防安全設備設置標準，內政部，民國101年1月
- 7.建築技術規則建築設計施工編第79條之2，內政部，民國101年3月
- 8.消防機關辦理建築物消防安全設備審勘查作業基準，內政部消防署，91年7月
- 9.各類場所消防安全設備檢修申報作業基準，內政部消防署，100年10月
- 10.簡賢文，水系統消防安全設備，二版，鼎茂，民國87年8月
- 11.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
- 12.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
- 13.張蓉台，「水在管路中的阻力計算(上)(下)」，中華水電冷凍空調，272、273，92-100、79-87頁，民國95年6月、95年7月
- 14.田蒙潔、趙清德，自動撒水系統，初版，詹氏書局，民國98年4月
- 15.Mohamed S. Ghidaoui & Ming Zhao & Duncan A. McInnis & David H. Axworthy, A Review of Water Hammer Theory and Practice, 2005
- 16.Wood, Don J.; Lingireddy, Srinivasa; Boulos, Paul F.; Karney, 2005. Numerical Methods for Modeling Transient Flow in Distribution Systems. Journal AWWA, Vol. 97 :7:104
- 17.李政儒，應用FMEA在建築物中央空調與煙控併用系統風險評估之研究，國立臺灣科技大學自動化及控制研究所，碩士論文，民國94年
- 18.吳建輝，應用FMEA於氣化供應系統風險評估之研究-以某半導體廠矽甲烷為例，國立清華大學工業工程與工程管理學系，碩士論文，民國98年
- 19.邱木全，整合性火災風險評估分析在通信行動電話廠之應用與探討，國立交通大學工學院產業安全與防災研究所，碩士論文，民國93年
- 20.冀樹勇、蔡明欣、高憲彰、邱士恩、趙昌虎、樓漸，運用FMEA針對蓄水壩風險管理進行研究，地工技術第119期，41-52頁，民國98年3月
- 21.陳鴻儀，運用FMEA方法對半導體晶圓廠製程設備維護之探討，國立成

- 功大學工學院工程管理專班，碩士論文，民國97年
- 22.黃利民，以失效模式與效應分析 (FMEA) 評估防洪抽水站管理模式之研究，國立台北科技大學土木與防災研究所，碩士論文，民國97年
 - 23.薛旭欽，故障模式與影響分析(FMEA)應用於移動式心電圖機之設計，國立台北科技大學電腦與通訊研究所，碩士論文，民國95年
 - 24.張榮哲，FMEA應用於降低廠務監控系統運轉風險之探討 - 以半導體廠氣體化學系統為例，國立交通大學工學院碩士在職專班產業安全與防災組，碩士論文，民國95年
 - 25.陳俊維，FMEA應用於提昇潔淨室H.V.A.C.系統可靠度之研究，國立成功大學資源工程學系碩博士班，碩士論文，民國92年
 - 26.曾俊達，失效模式與效應分析應用於工程問題之評估，國立成功大學建築學系專班，碩士論文，民國年100年
 - 27.黃文基，印刷電路板製程高溫烘烤設備失效模式與效應分析研究，國立中央大學環境工程研究所，碩士論文，民國年100年
 - 28.莊國士，古蹟歷史建築之性能式防火設計-以總督府鐵道部為例，中央警察大學消防科學研究所，碩士論文，民國100年
 - 29.李東霖，消防自動撒水系統管路配置之研究，國立台北科技大學土木與防災研究所，碩士論文，民國94年
 - 30.王證雄，自動撒水設備性能法規之應用--以CPVC管之配管形式及水力計算為例，中央警察大學消防科學研究所，碩士論文，民國89年
 - 31.PIPE, 2010, Examples Manual

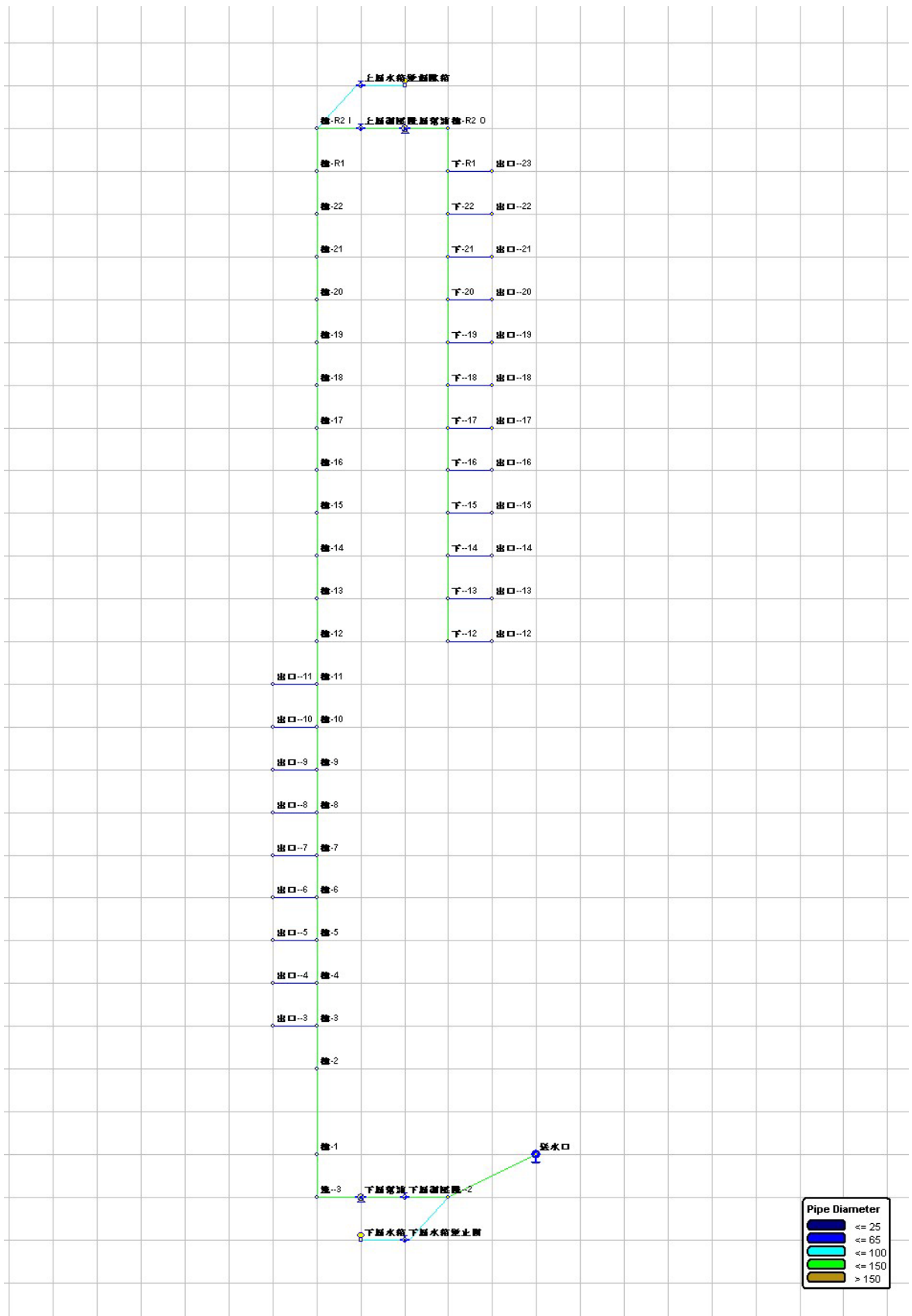
附錄一、模型圖 (落差高度、管長)



附錄二、模型圖(管徑圖)



附錄三、模型圖(點名稱圖)



附錄四、消防機關辦理建築物消防安全設備審查及查驗作業
基準-連結送水管設備測試報告書



連結送水管設備測試報告書

測試日期 年 月 日

測試人員

姓 名

簽章

地 址

用 途																
地下層總樓地板面積 m ²								樓 層 數								
送 水 口		設 置 位 置														
		種 類									設置數量		個			
試 驗 項 目		種 類 · 容 量 等 內 容						結 果								
外 送 水 口	設置場所等		設 置 場 所						_____							
			設 置 高 度						距基地地面高度 m							
			標 示						_____							
	送 水 口						_____									
	逆 止 閥						_____									
觀 出	出 水 口 設 置 數 量		樓 層												—	
			雙口形													
			單口形													
試 水 出 水 口	設 置 場 所						_____									
	周 圍 狀 況 · 操 作 性						_____									
	設 置 高 度						距 樓 地 板 面 高 度 m									
	構 造						_____									
	標 示						_____									
驗 口 等	設 置 場 所						_____									
	設 置 狀 況						_____									
	周 圍 狀 況						_____									
	材 質						_____									
	標 示						_____									

連結送水管設備

試		驗		項		目		種類・容量等內容		結果	
外 加 壓 觀 送 水 試 裝 置	出 水 口 等	水 帶 ・ 瞄 子	水	帶							
			瞄	子							
			結 合 狀 態								
	加 壓 觀 送 水 試 裝 置	設 置 場 所									
		幫 浦 規 格	製 造 廠			額 定 出 水 量		l/min			
						額 定 全 揚 程		m			
		電 動 機 規 格	製 造 廠			種 類		型 電 動 機			
			型 式			額 定 電 壓		V			
			製 造 號 碼			額 定 電 流		A			
						額 定 輸 出		kVA			
		幫 浦 ・ 電 動 機	設 置 狀 況		_____						
			接 地 工 程		_____		種 接 地				
			配 線		_____						
	潤 滑 油		_____								
	防 止 水 溫 上 昇 之 排 放 裝 置	配 管		管 徑		A					
		限 流 孔		流 過 口 徑		mm					
		設 在 中 繼 幫 浦 之 排 放 配 管 ・ 排 放 裝 置		排 放 配 管 高 度		m					
				排 放 裝 置 設 定 壓 力		kgf/cm ²					
	性 能 試 驗 裝 置 配 管 ・ 閥 類				_____						
	呼 水 裝 置	材 質		鋼 板 製 ・ 合 成 樹 脂 製							
水 量		l									
溢 水 用 排 水 管		管 徑		A							
呼 水 管		管 徑		A							
補 給 水 管		管 徑		A							
減 水 警 報 裝 置		浮 球 閥 ・ 電 極									
設 置 場 所		_____									
控 制 裝 置	控 制 盤		_____								
	預 備 品		_____								

		接 地 工 程	種 接 地	
--	--	---------	-------	--

連結送水管設備

試 驗 項 目		種 類 · 容 量 等 內 容		結 果
外	加 壓 送 水 裝 置	壓 力 計 · 耐 震 措 施	設 置 位 置	_____
			性 能	壓力計之精度等級 級
		耐 震 措 施		有 · 無
觀	啟 動 裝 置	直 接 操 作 部	設 置 場 所	_____
			表 示	_____
	遠 隔 操 作 部	設 置 場 所	_____	
		構 造	_____	
試	配 管 · 閥 類	設 置 狀 況		專用 · 兼用
		配 管		A
		材 質		_____
		閥 類		_____
		吸 水 管		_____
		耐 震 措 施		_____
電 源	常 用 電 源		V	
	緊 急 電 源 種 類		發電機設備 · 蓄電池設備	
驗	高 架 · 中 間 水 槽	構 造	_____	
		水 量	1	
		給 水 裝 置	_____	
		耐 震 措 施	_____	
性 能 試 驗	加 壓 送 水 裝 置 試 驗	呼 水 裝 置 動 作 試 驗	減 水 警 報 裝 置 動 作 狀 況	距底面之高度 cm
			自 動 給 水 裝 置 動 作 狀 況	_____
			由 呼 水 槽 補 給 水 狀 況	_____
	控 制 裝 置 試 驗	啟 動 · 停 止 操 作 時 狀 況		_____
		電 源 切 換 時 之 運 轉 狀 況		_____
	啟 動 裝 置 試 驗 · 啟 動 表 示 試 驗	幫 浦 啟 動 狀 況		_____
		啟 動 表 示 點 燈 狀 況		_____
		運 轉 狀 況		_____
	幫 浦 試 驗	關 閉 運 轉 時 狀 況	關 閉 揚 程	m
			電 壓	V
電 流			A	

連結送水管設備

試 驗 項 目				種 類 · 容 量 等 內 容	結 果	
能 裝 置 試 驗	加 壓 送 水	幫 浦 試 驗	額 定 負 荷	額 定 揚 程	m	
			運 轉 時 狀 況	電 壓	V	
				電 流	A	
	試 置	防 止 水 溫 上 昇 排 放 裝 置 試 驗		排 放 水 量	l/min	
		幫 浦 性 能 試 驗 裝 置 試 驗		標 示 值 的 差	l/min	
	試 驗	配 管 耐 壓 試 驗	不 用 加 壓 送 水 裝 置 之 配 管 部 分		試 驗 壓 力	kgf/cm ²
使 用 加 壓 送 水 裝 置 之 配 管 部 分			試 驗 壓 力	kgf/cm ²		
綜 合 試 驗	放 水 試 驗	送 水 壓 力		kgf/cm ²		
		放 水 壓 力		kgf/cm ²		
		放 水 量		l/min		
緊 急 電 源 切 換 試 驗	發 電 機 設 備		—————			
	蓄 電 池 設 備		—————			
備 註						

註：1.「種類·容量等內容」欄位部分之「——」畫線部分免填，其餘欄位則以圈選方式或填入適當內容。

2.測試人員應依本表實施外觀、性能及綜合試驗，測試結果符合規定者於「結果」欄位打「○」，不符合者打「×」，無該項試驗者打「／」。

附錄五、各類場所消防安全設備檢修及申報作業基準

第十六章 連結送水管

一、外觀檢查

(一) 送水口

1、檢查方法

(1) 周圍狀況

A、確認周圍有無使用上及消防車接近之障礙。

B、確認連結送水管送水口之標示是否適當。

(2) 外形

以目視確認如圖 16-1 所示之送水口有無漏水、變形、異物阻塞等。

2、判定方法

(1) 周圍狀況

A、應無消防車接近及送水作業上之障礙。

B、標示應無損傷、脫落、污損等。

(2) 外形

A、快速接頭應無生鏽之情形。

B、應無漏水及砂、小石等異物阻塞現象。

C、設有保護裝置者，該保護裝置應無變形、損傷。

(二) 水帶箱等

1、水帶箱

(1) 檢查方法

A、周圍狀況

確認周圍有無檢查上及使用上之障礙，及「水帶箱」之標示設置是否適當。

B、外形

以目視及開關操作確認有無變形、損傷，及箱門能否確實開關。

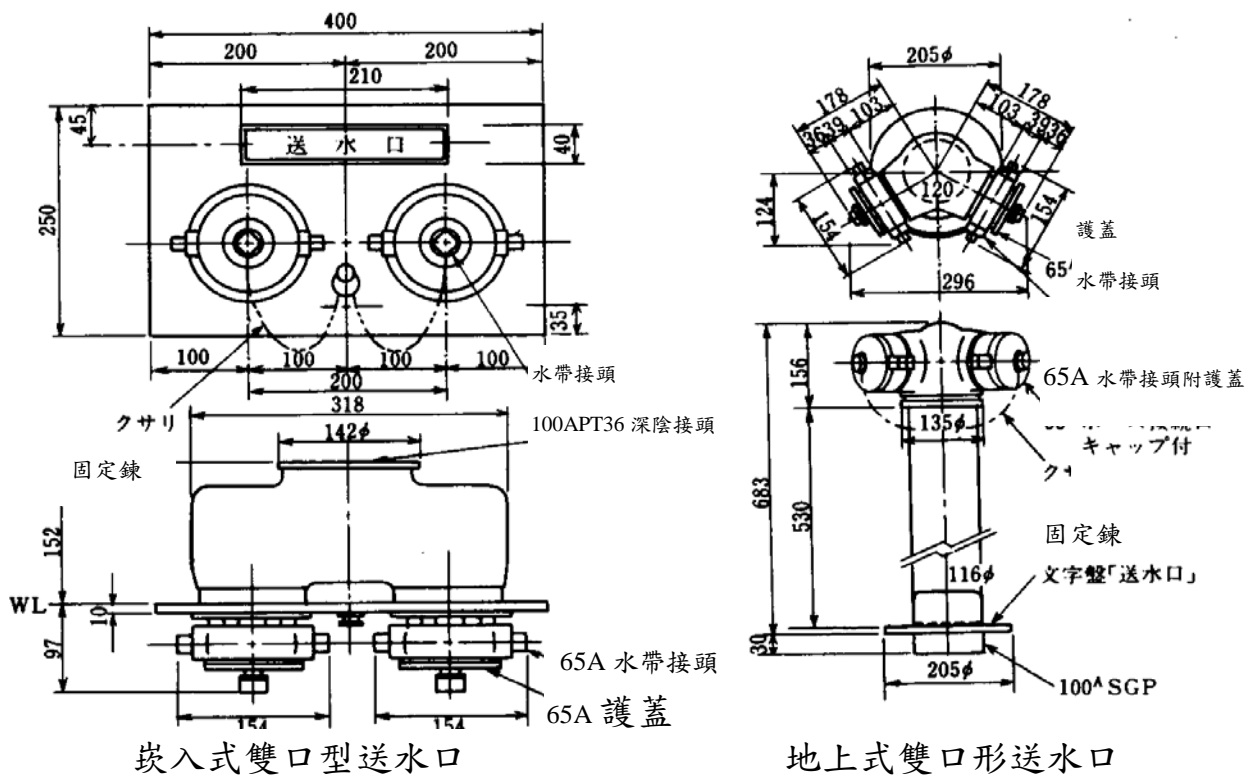


圖 16-1 送水口

(2) 判定方法

A、周圍狀況

- (A) 應無檢查上及使用上之障礙。
- (B) 標示應無污損、模糊不清部分。

B、外形

- (A) 應無變形、損傷等。
- (B) 箱門應能確實開關。

2、水帶及瞄子

(1) 檢查方法

以目視確認存放狀態之水帶及瞄子有無變形、損傷等，及有無依所需之數量設置於規定位置。

(2) 判定方法

- A、應無變形、損傷等。

B、應將所需之數量設置於規定位置。

3、出水口

(1) 檢查方法

A、周圍狀況

(A) 確認周圍有無檢查上及使用上之障礙。

(B) 確認「出水口」之標示是否正常。

B、外形

以目視確認圖 16-2 所示之出水口有無漏水、變形等情形，及無異物阻塞。

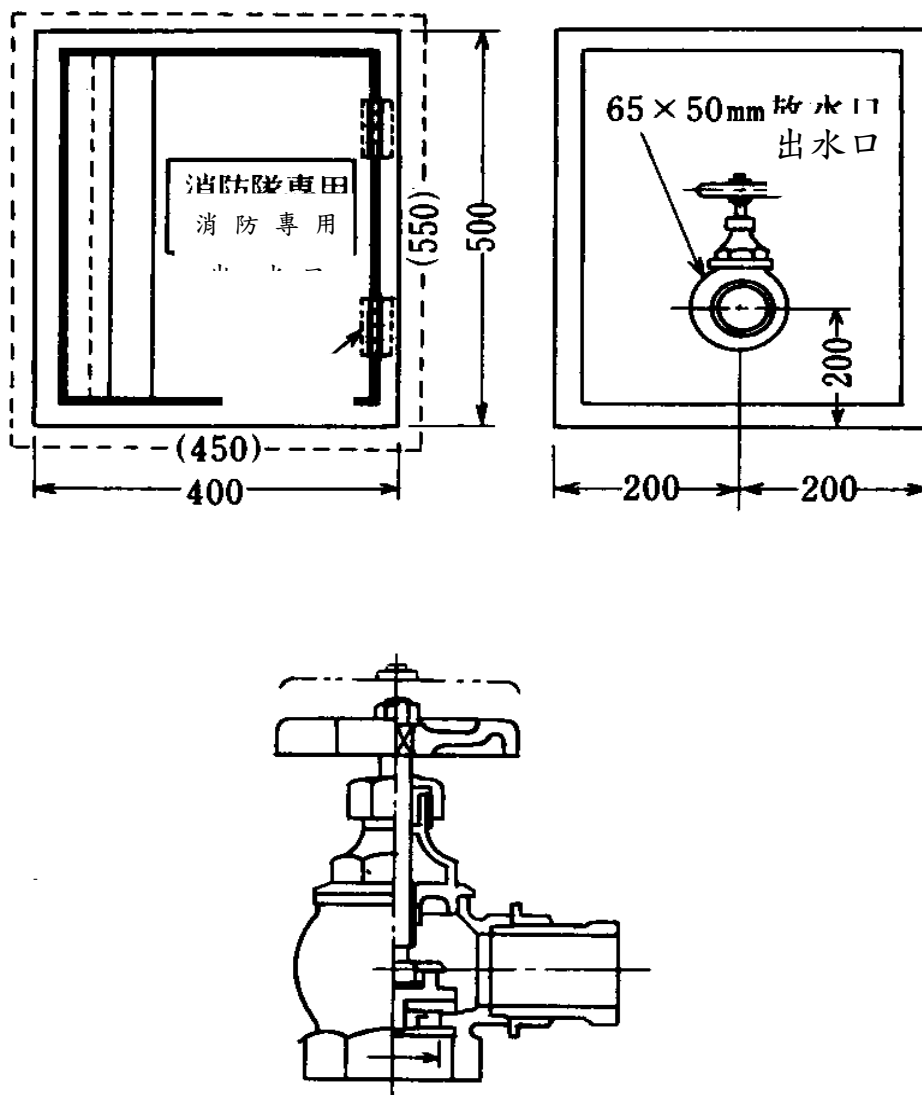
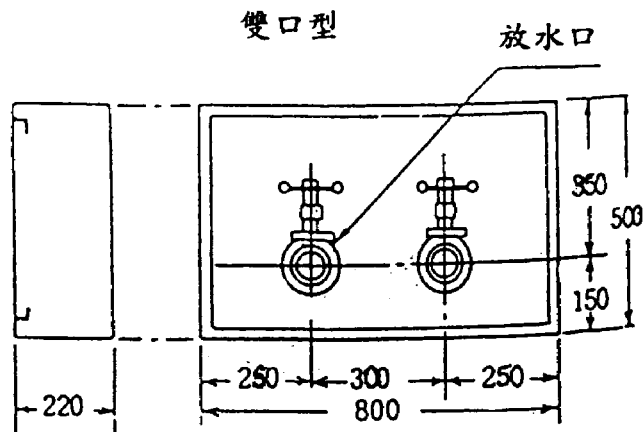


圖 16-2 出水口



(2) 判定方法

A、周圍狀況

- (A) 周圍應無造成檢查上及使用上之障礙。
- (B) 標示應無損傷、脫落及污損等情形。

B、外形

- (A) 出水口保護箱應無變形、損傷及顯著腐蝕等，且箱門之開關應無異常現象。
- (B) 出水口應無導致漏水及水帶連接障礙之變形、損傷及顯著腐蝕等情形。
- (C) 應無砂或小石塊等異物阻塞。
- (D) 回轉把手應確實固定於主軸，應無鬆動、脫落等情形。

(三) 電動機之控制裝置

1、檢查方法

(1) 控制盤

A、周圍狀況

確認周圍有無檢查上及使用上之障礙。

B、外形

以目測確認有無變形、腐蝕等。

(2) 電壓表

- A、以目視確認有無變形、損傷等。
- B、確認電源電壓是否正常。

(3) 各開關

以目視確認有無變形、損傷等，及開關位置是否正確。

(4) 標示

確認標示是否適當正常。

(5) 備用品等

確認是否備有保險絲、電燈泡等備用品及電氣回路圖等。

2、判定方法

(1) 控制盤

A、周圍狀況

應設置於火災不易波及之處所，且周圍應無造成檢查上及使用上之障礙。

B、外形

應無變形、損傷及顯著腐蝕等。

(2) 電壓計

A、應無變形、損傷等。

B、電壓表之指示值應在規定範圍內。

C、無電壓計者，電源表示燈應處於亮燈狀態。

(3) 各開關

應無變形、損傷及脫落等，且開關位置正常。

(4) 標示

A、各開關名稱標示應無污損、模糊不清之情形。

B、標示銘板應無脫落。

(5) 備用品

A、應備有保險絲、電燈泡等備用品。

B、應備有電氣回路圖及操作說明書等。

(四) 啟動裝置

1、檢查方法

(1) 周圍狀況

確認操作部周圍有無造成檢查上及使用上之障礙，及其標示是否適當。

(2) 外形

以目視確認直接操作部及遠隔操作部有無變形、損傷等。

2、判定方法

(1) 周圍狀況

A、周圍應無檢查上及使用上之障礙。

B、標示部份應無污損、模糊不清之情形。

(2) 外形

各開關應無變形、損傷之情形。

(五) 加壓送水裝置

1、檢查方法

以目視確認依圖 2-3 所示之幫浦及電動機等有無變形、腐蝕等。

2、判定方法

應無變形、損傷、顯著腐蝕及銘板剝落等。

(六) 呼水裝置

1、檢查方法

(1) 呼水槽

以目視確認依圖 2-4 所示之呼水槽有無變形、漏水或腐蝕等，及其水量是否在規定量以上。

(2) 閥類

以目視確認給水管等之閥類有無漏水、變形等，及其開、關之位置是否正常。

2、判定方法

(1) 呼水槽

應無變形、損傷、漏水或顯著腐蝕等，且其水量在規定量以上。

(2) 閥類

A、應無漏水、變形、損傷等。

B、「常時開」或「常時關」之標示及開、關位置應正常。

(七) 中繼水箱等

1、檢查方法

(1) 中繼水箱

由外部以目視確認有無變形、漏水、腐蝕等情形。

(2) 水位計

以目視確認有無變形、損傷等情形，及其指示值是否正常。

(3) 閥類

以目視確認排水管、補給水管等之閥類有無漏洩、變形等，及其開關位置是否正常。

2、判定方法

(1) 中繼水箱

應無變形、損傷、漏水、顯著腐蝕等。

(2) 水位計

應無變形、損傷等，且其指示值應正常。

(3) 閥類

A、應無漏洩、變形、損傷等。

B、「常時開」或「常時關」之標示及開、關位置應正常。

(八) 配管

1、檢查方法

(1) 配管及接頭

以目視確認有無漏洩、變形等，及有無被利用為其它物品之支撐、吊掛之用。

(2) 配管固定支架

以目視確認有無脫落、彎曲、鬆動等。

(3) 閥類

以目視確認有無漏洩、變形等，及其開、關位置是否正常。

2、判定方法

(1) 配管及接頭

A、應無漏洩、變形、損傷等。

B、應無被利用為其它物品之支撐及吊掛之用。

(2) 配管固定支架

應無脫落、彎曲、及鬆動等。

(3) 閥類

A、應無漏洩、變形、損傷等。

B、「常時開」及「常時關」之標示及開、關位置應正常。

二、性能檢查

(一) 送水口

1、檢查方法

(1) 確認墊圈有無老化等。

(2) 確認快速接頭與水帶是否容易接合及分開。

2、判定方法

(1) 墊圈應無老化、損傷等。

(2) 與水帶之接合及分開應能容易進行。

(二) 水帶箱等

1、檢查方法

(1) 水帶及瞄子

以目視及手操作確認有無損傷、腐蝕及是否容易接合、分開。

(2) 出水口之開關閥

以手操作確認是否容易開、關。

2、判定方法

- (1) 水帶及瞄子
 - A、應無損傷、顯著腐蝕等。
 - B、接合、分開應能容易進行。
- (2) 出水口之開關閥
 - 開、關操作應能容易進行。

(三) 電動機之控制裝置

1、檢查方法

- (1) 各開關
 - 以螺絲起子及開、關操作，檢查端子有無鬆動及開關性能是否正常。
- (2) 保險絲
 - 確認有無損傷、熔斷及是否為所規定之種類、容量。
- (3) 繼電器
 - 確認有無脫落、端子鬆動、接點燒損、灰塵附著等，並操作各開關使繼電器動作，確認其性能。
- (4) 表示燈
 - 操作各開關確認有無正常亮燈。
- (5) 結線接續
 - 以目視及螺絲起子，確認有無斷線、端子鬆動等。
- (6) 接地
 - 以目視或三用電表確認有無腐蝕、斷線等。

2、判定方法

- (1) 各開關
 - A、端子應無鬆動、發熱等。
 - B、開、關性能應正常。
- (2) 保險絲
 - A、應無損傷、熔斷等。
 - B、應依電氣回路圖所定之種類、容量設置。
- (3) 繼電器
 - A、應無脫落、端子鬆動、接點燒損、灰塵附著等。
 - B、動作應正常。
- (4) 表示燈
 - 應無顯著劣化等，且能正常亮燈。
- (5) 結線接續
 - 應無斷線、端子鬆動、脫落、損傷等。
- (6) 接地

應無顯著腐蝕、斷線等之損傷。

(四) 啟動裝置

1、檢查方法

操作直接操作部及遠隔操作部之開關，確認加壓送水裝置是否啟動。

2、判定方法

加壓送水裝置應確實啟動。

(五) 加壓送水裝置

1、電動機

(1) 檢查方法

A、回轉軸

以手轉動確認是否順暢回轉。

B、軸承部

確認潤滑油有無顯著污濁、變質及是否達必要量。

C、軸接頭

以扳手確認有無鬆動，及其性能是否正常。

D、本體

操作啟動裝置使其啟動，確認性能是否正常。

(2) 判定方法

A、回轉軸

應能順暢回轉。

B、軸承部

潤滑油應無顯著污濁、變質且充滿必要量。

C、軸接頭

應無鬆動、脫落，且接合狀態牢固。

D、本體

應無顯著發熱、異常振動、不規則或間斷之雜音，且回轉方向正確。

(3) 注意事項

除需操作啟動檢查性能外，其餘均需先切斷電源再進行檢查。

2、幫浦

(1) 檢查方法

A、回轉軸

以手轉動確認是否順暢回轉。

B、軸承部

確認潤滑油有無顯著污濁、變質及是否達必要量。

C、填料部

確認有無顯著之漏水。

D、連成表及壓力表

關閉表計之控制閥將水排出，確認指針有無歸零。然後再打開表計之控制閥，操作啟動裝置後，確認指針是否正常動作。

E、性能

先將幫浦吐出側之制水閥關閉之後，使幫浦啟動，然後緩緩的打開性能測試用配管之制水閥，由流量計及壓力表確認額定負荷運轉及全開點時之性能。

(2) 判定方法

A、回轉軸

應能順暢回轉。

B、軸承部

潤滑油應無污濁、變質或異物侵入等情形，且充滿必要量。

C、填料部

應無顯著漏水之情形。

D、連成計及壓力計

歸零之位置及指針動作應正常。

E、性能

應無異常振動、不規則或不連續的雜音，且於額定負荷運轉及全開點時之吐出壓力及吐水量均達規定值以上。

(3) 注意事項

除需操作啟動檢查外，其餘均需先切斷電源再進行檢查。

(六) 呼水裝置

1、檢查方法

(1) 閥類

以手操作確認開、關動作是否能容易進行。

(2) 自動給水裝置

A、確認有無變形、腐蝕等。

B、打開排水閥，確認自動給水功能是否正常。

(3) 減水警報裝置

A、確認有無變形、腐蝕等。

B、關閉補給水閥，再打開排水閥，確認其功能是否正常。

2、判定方法

(1) 閥類

開、關動作應能容易進行。

(2) 自動給水裝置

A、應無變形、損傷、顯著腐蝕等。

B、當呼水槽之水量減少時，應能自動給水。

(3) 減水警報裝置

A、應無變形、損傷、顯著腐蝕等。

B、當水量減少到二分之一時應發出警報。

(七) 中繼水箱等

1、檢查方法

(1) 水質

打開人孔蓋，以目視及水桶採水，確認有無腐敗、浮游物、沉澱物等。

(2) 給水裝置

以目視確認有無變形、腐蝕等，並操作排水閥，確認其功能是否正常。

(3) 水位計

打開人孔蓋，用檢尺測量水位，確認水位計之指示值。

(4) 閥類

以手操作確認開、關操作是否容易進行。

2、判定方法

(1) 水質

應無腐敗、浮游物、沉澱物等。

(2) 給水裝置

A、應無變形、損傷、顯著腐蝕等。

B、在減水狀態時應能供水，在滿水狀態下即停止供水。

(3) 水位計

指示值應正常。

(4) 閥類

開、關操作應能容易進行。

(八) 配管

1、檢查方法

(1) 閥類

以手操作確認開、關操作是否能容易進行。

(2) 排放管

使加壓送水裝置處於關閉運轉之狀態，確認其排水是否正常。

2、判定方法

(1) 閥類

開關操作應能容易進行。

(2) 排放管

排放水量應大於下列公式所求得之計算值。

$$q = \frac{L_s \cdot C}{60 \cdot \Delta t}$$

q：排放水量 (l/min)

L_s：幫浦關閉運轉時之出力 (KW)

C：860 kcal (1kw 時水之發熱量)

Δt：30°C (幫浦內水溫之上升限度)

3、注意事項

排放管之排放水量與設計時之量相比較，應無顯著之差異。

三、綜合檢查

(一) 檢查方法

- 1、有中繼幫浦者，將其切換至緊急電源狀態下，操作遠隔啟動裝置，確認該幫浦有無啟動。
- 2、由該幫浦電動機控制盤之電流表，確認運轉電流是否正常。
- 3、由該幫浦之壓力表，確認全閉壓力是否正常。
- 4、於幫浦及電動機運轉中，確認有無不規則之間斷聲音或異常振動之情形。

(二) 判定方法

- 1、由遠隔啟動裝置之操作，應能確實啟動加壓送水裝置。
- 2、電動機之運轉電流值應在容許範圍內。
- 3、幫浦之全閉壓力應滿足該幫浦性能曲線之全閉壓力。
- 4、電動機及幫浦運轉中應無不規則之間斷聲音或異常振動之情形。

(三) 注意事項

檢查醫院等場所，因切換成緊急電源可能會造成困擾時，得使用常用電源進行檢查。

連結送水管檢查表						
檢查設備名稱	電動機	製造廠：		幫浦	製造廠：	
		型式：			型式：	
檢修項目		檢修結果			處置措施	
		種別、容量等內容	判定	不良狀況		
外觀檢查						
送水口	周圍狀況					
	外形					
水帶箱等	水帶箱	周圍狀況				
		外形				
	水帶及瞄子					
	出水口	周圍狀況				
		外形				
電動機之控制裝置	控制盤	周圍狀況				
		外形				
	電壓表		V			
	各開關					
	標示					
備用品等						
啟動裝置						
加壓送水裝置						
呼水裝置	呼水槽					
	閥類					
中繼水箱等	中繼水箱					
	水位計					
	閥類					
配管						
性能檢查						
送水口						
水帶箱等	水帶瞄子					
	開關閥					
電動機之控制裝置	各開關					
	保險絲		A			
	繼電器					
	表示燈					
	結線接續					
接地						

		啟動裝置						
加壓送水裝置	電動機	回轉軸						
		軸承部						
		軸接頭						
		本體						
	幫浦	回轉軸						
		軸承部						
		底部						
		連成表及壓力表						
		性能	kgf/cm ²	l/min				
	呼水裝置	閥類						
自動給水裝置								
減水警報裝置								
中繼水箱	水質							
	給水裝置							
	水位計							
	閥類							
配管								
綜 合 檢 查								
加壓送水裝置								
運轉電流			A					
全閉壓力			kgf/cm ²					
運轉狀況								
備註								
檢查	機器名稱	型 式	校正年月日	製造廠商	機器名稱	型 式	校正年月日	製造廠商

器材							
檢查日期	自民國 年 月 日 至民國 年 月						
檢修人員	姓名		消防設備師 (士)	證書字 號		簽章	(簽 章)
	姓名		消防設備師 (士)	證書字 號		簽章	
	姓名		消防設備師 (士)	證書字 號		簽章	
	姓名		消防設備師 (士)	證書字 號		簽章	

- 1、應於「種別·容量等情形」欄內填入適當之項目。
- 2、檢查合格者於判定欄內打「○」；有不良情形時於判定欄內打「×」，並將不良情形填載於「不良狀況」欄。
- 3、對不良狀況所採取之處置情形應填載於「處置措施」欄。
- 4、欄內有選擇項目時應以「○」圈選之。

