



## 中華民國自來水協會 113 年度研究計畫

### 自來水用高壓沉水式抽水機效能應用探討

委 託 單 位：中華民國自來水協會

研 究 單 位：臺北自來水事業處

計 畫 主 持 人：許登發

協同計畫主持人：李育樟

研 究 人 員：廖芳麟、陳德記、黃耀賢、梅英昌、  
李家裕、張國馨

執 行 期 間：113 年 3 月 1 日至 113 年 11 月 30 日

中華民國 113 年 11 月



## 委員審查意見及意見回復

委員審查意見	意見回復
<b>駱尚廉主任委員</b>	
1.研究單位請修正為臺北自來水事業處。	謝謝委員建議，已修正。
2.參考文獻格式請修正。	謝謝委員建議，已依貴協會提供之參考文獻格式修正。
3.報告中除抽水機一詞外，另有泵浦、幫浦、泵等名詞，請修正一致為抽水機或幫浦。	謝謝委員建議，已修正。
4.期末報告予以通過，但請依委員意見修正或補充說明，於限期內完成修正的期末報告送主任委員簽核後，接續進行核銷結案。	謝謝委員建議，期末報告均已依委員意見修正或補充說明完成，待主任委員簽核後，將接續進行核銷結案。
<b>吳振榮副主任委員</b>	
北水處近幾年來在高壓沉水式抽水機使用操作下配合電能管理監控、設備功率改善已具成效；建議若能補充電量或單位供水耗能的降低數據，更可彰顯本研究成果。	謝謝委員建議，已於 5.1.5 節「抽水機搭配變頻操作節能成效」補充修正。
<b>張添晉委員</b>	
1.期中報告所提的意見已有具體之回覆。	謝謝委員指教。
2.本期末報告提出相關抽水機規範，達到最適化設計考量，使抽水機能發揮最佳運轉效力，降低供水耗能，對未來抽水機選用及操作應用極具參考價值。	謝謝委員指教。

<p>3.第六章結論與建議 149 頁第 11 點建議修正為提出較清晰實用的使用資訊供同仁工作參考依據，本期末報告跟使用手冊仍有差別。</p>	<p>謝謝委員指教，已配合修正。</p>
<p>4.目前北水處大部分皆已改為沉水式抽水機，建議後續的研究可聚焦於高壓沉水式抽水機設置環境、操作維護、所需投入資源，教育訓練以及衍生效益等持續研究。</p>	<p>謝謝委員指教，後續將參考委員意見評估辦理。</p>
<p>徐俊雄委員</p>	
<p>1.高壓沉水式抽水機採購方式為重點，以最有利標評選優良產品可降低後續維修之困難，而台水均以最低標採購，常面臨品質不佳修不勝修之問題。</p>	<p>謝謝委員指教，北水處高壓沉水式抽水機採購方式採用最有利標評選，選用市場優規且有良好口碑和長期信譽的品牌產品。</p>
<p>2.北水處已建置「加壓站抽水機運轉效率及用電監控」系統，主要在監測運轉效率，未來計畫納入保修系統，數據做為 AI 模型資料來源。</p>	<p>謝謝委員指教，未來將參考委員意見評估辦理。</p>
<p>朱撼湘委員</p>	
<p>本案研究內容豐富，建議結論與建議章節，分為抽水機選用、設計施工、維護管理等不同階段，彙整提升抽水機效能之關鍵因素、造成影響及具體作法，以更有系統展現研究成果。</p>	<p>謝謝委員指教，第六章「結論與建議」已配合修改。</p>
<p>謝張浩委員</p>	
<p>本次研究從規設、監測、維運及相關附屬設備均有相當詳細之彙整與分類分析，甚而優化操作策略的推動，內容十分充實</p>	<p>謝謝委員指教，另有關進出水管路與角度問題探討，已於 2.5 節「北水處使用高壓沉水式抽水機實際案例」補充說明。</p>

<p>與實用，可為自來水界實體操作的規範。惟建議日後可再深入抽水機進出水水管的管路、位置與角度問題探討，除減少共振雜訊外，對輸出節能成效可更進一步提昇。</p>	
<p>邱福利委員</p>	
<p>1.目前環境永續與 AI 科技為國內外最熱門議題，本研究雖有簡單提及藉由耗能及效能分析之「抽水機效率監測管理程式」，可找出抽水機最佳節能運轉模式，然並未介紹相關節能減碳作為，例如:設備選用、耗能監測、節能操作等項目，建議可再補強此部分之論述。另外，本研究可再探討未來如何藉由 AI 應用，導入「抽水機健康度評測」，以即時監測抽水機現況並避免異常狀況及潛在問題發生。(P136、P148)。</p>	<p>謝謝委員建議，已於 5.1.5 節「抽水機搭配變頻操作節能成效」及 5.3 節「導入抽水機效率監測管理程式」補充說明，另有關 AI 應用方面，已於第六章「結論與建議」補充說明。</p>
<p>2.自來水清水用抽水機主要包括泵浦及電動機二部分，第二章應針對抽水機、泵浦及電動機等三項各別進行分類探討，建議重新編排、勿混在一起。(P17)。</p>	<p>已依委員意見重新排序修正，詳 2.1 節「自來水清水用抽水機分類及比較」。</p>
<p>范川江委員</p>	
<p>1.本研究彙整了臺北自來水事業處過去在加壓站加壓系統上的努力與貢獻，具體落實運用，相當具有參考價值。</p>	<p>謝謝委員指教。</p>

<p>2.以此次日本神戶水道展的論文研究方向來看，大量運用人工智慧，並有專章介紹脫碳技術。建議未來台灣自來水事業應在此方向多所著墨，以符合世界趨勢。</p>	<p>謝謝委員指教，參照辦理。</p>
<p>3.在整體能源使用效率方面，臺北自來水事業處在計劃層面除滿足供水需求外，早期高水壓政策已調整時間和空間均壓性，並且不斷優化新設廠站及既有場站的機電設備。後續在可行條件下，研究設置水池加壓、管中加壓及重力旁通供水等組合方式，以提升能源使用效率；此部分也建議在研究報告中加以說明。</p>	<p>謝謝委員指教，有關場站設置水池加壓、管中加壓及重力旁通供水等組合方式為水資源系統面運用之探討，後續將評估納入研究。</p>
<p>4.對於結論與建議部分，有關再生能源的整合以及主動降噪的實務可行性，建議亦可提出說明。</p>	<p>謝謝委員指教，已於第六章「結論與建議」補充說明。。</p>
<p>陳文祥委員</p>	
<p>1.本研究計劃實務經驗的敘述非常的充實，而且由各個問題的面向也都很好的處置的經驗及建議，但是如果能以案例的方式做一個前置的問題解析以及後續的處理及效益，將有助於未來引用本報告的實場同仁的理解，建議予以酌修。</p>	<p>謝謝委員指教，已於 4.7.1 節「抽水機噪音」補充問題解析、處理及效益等說明。</p>

<p>2.透過科學化的抽水機資料及效能收集可以很清楚的了解抽水機的狀態，並且還可以提供有效的預測與設備優化的分析，建議可以導入EMMS 保修資訊系統將上開的資料與規格化，將有助於資訊的分享及推動。</p>	<p>謝謝委員指教，後續將參考委員意見評估辦理。</p>
<p>3.以多年的抽水機使用的經驗與回饋，與現有的標規進行檢討及修正，將有助於優化標規採購，以能真正符合現場的使用。</p>	<p>謝謝委員指教。</p>
<p>4.本計劃是以抽水機的效能來進行能源的分析，不過抽水機所佔的可能是一個點，未來若可以以供水系統來進行檢討，再輔以抽水機的優化如變頻等，使用將可以讓整體的效能大幅提升。</p>	<p>謝謝委員指教，有關抽水機搭配變頻器採供水管網遠端壓力回受控制之應用及效益，已於第五章「周邊設備匹配度探討」說明。</p>
<p>吳陽龍委員</p>	
<p>1.本研究為高壓式抽水機效能應用探討，建議能將研究成果能更明確的以節能效益、維護管理效率或節省經費等來展示。</p>	<p>謝謝委員建議，已於 5.1.5 節「抽水機搭配變頻操作節能成效」及第六章「結論與建議」補充修正。</p>
<p>2.對各廠牌之使用維修紀錄或經驗，可否回應未來採購之參考。</p>	<p>謝謝委員指教，北水處高壓沉水式抽水機採購方式採用最有利標評選，選用市場優規且有良好口碑和長期信譽的品牌產品。</p>
<p>3.抽水機銀行的概念，可否將現行使用之抽水機直接規劃出相當的群組，以供利用。</p>	<p>謝謝委員指教，已於 5.4 節「建構抽水機備援機制」補充修正。</p>



# 目錄

第一章 前言 .....	19
1.1 背景介紹 .....	19
1.2 研究動機及目的 .....	19
第二章 文獻回顧 .....	21
2.1 自來水清水用抽水機分類及比較 .....	21
2.2 國內外抽水機相關標準 .....	30
2.2.1 國內相關抽水機之 CNS 標準： .....	30
2.2.2 電動機的分級標準 .....	31
2.2.3 電動機效率標準 .....	32
2.2.4 絕緣系統溫升標準 .....	39
2.2.5 電氣絕緣耐熱等級標準 .....	40
2.3 高壓沉水式抽水機基本構造及型式 .....	40
2.3.1 廠牌：INDAR .....	41
2.3.2 廠牌：PLEUGER .....	43
2.3.3 廠牌：ANDRITZ .....	46
2.3.4 廠牌：井寶 .....	48
2.3.5 各家廠牌沉水式抽水機差異比較 .....	49
2.4 高壓沉水式抽水機與豎軸抽水機差異比較 .....	51
2.5 北水處使用高壓沉水式抽水機實際案例 .....	54
第三章 現況應用實例及遭遇困難 .....	58
3.1 高壓沉水式抽水機統計 .....	58
3.1.1 數量統計 .....	58

3.1.2 使用分類.....	58
3.2 抽水機故障態樣.....	60
3.2.1 抽水機故障情形.....	60
3.2.2 抽水機故障原因.....	61
3.2.3 抽水機主要損壞構件.....	62
3.2.4 孔蝕現象.....	63
3.2.5 抽水機運轉產生之噪音.....	64
3.2.6 抽水機馬達線圈散熱.....	65
3.2.7 抽水機效率比較.....	66
3.2.8 抽水機購置維修檢查.....	68
3.3 不同場域下的實際案例.....	70
3.3.1 抽水機水力性能選用.....	70
3.3.2 抽水機搭配變頻器運轉機制.....	71
3.3.3 抽水機搭配逆止閥運轉機制.....	72
3.3.4 現場設置條件.....	73
3.3.5 工廠性能測試與現場差異.....	74
3.3.6 抽水機維修狀況.....	75
第四章 問題分析與對策.....	81
4.1 抽水機組容量過大.....	81
4.1.1 振動與噪音.....	81
4.1.2 停、開機操作頻繁.....	82
4.1.3 解決對策.....	83
4.2 電動機裕度不足.....	84
4.2.1 絕緣損壞.....	84

4.2.2 效率降低 .....	85
4.2.3 振動 .....	86
4.2.4 解決對策 .....	87
4.3 系統阻力變動 .....	88
4.3.1 多機並聯運轉 .....	88
4.3.2 變頻運轉 .....	90
4.3.3 解決對策 .....	91
4.4 電壓變動 .....	92
4.4.1 負載變動 .....	92
4.4.2 電力系統 .....	92
4.4.3 自然環境 .....	92
4.4.4 解決對策 .....	95
4.5 抽水機孔蝕 .....	96
4.5.1 孔蝕發生的原因 .....	96
4.5.2 抽水機抗孔蝕可採行的措施.....	101
4.6 水錘現象之發生 .....	102
4.6.1 水錘現象之危害 .....	102
4.6.2 水錘現象之防止 .....	103
4.7 維護管理 .....	104
4.7.1 抽水機噪音 .....	104
4.7.2 沉水式抽水機安裝後維護管理.....	107
4.7.3 沉水式抽水機使用時間對操作性能變化之探討.....	110
第五章 周邊設備匹配度探討 .....	111
5.1 高壓變頻器 .....	111

5.1.1 變頻器容量的裕度匹配.....	112
5.1.2 變頻器操作限制條件.....	113
5.1.3 變頻控制回受點選擇.....	126
5.1.4 多部抽水機並聯變頻操作情況下之操作方式建議.....	131
5.1.5 抽水機搭配變頻操作節能成效.....	139
5.2 控制閥的選用及限制(管中加壓及水池加壓).....	140
5.3 導入抽水機效率監測管理程式.....	141
5.4 建構抽水機備援機制.....	146
第六章 結論與建議.....	149
附錄 1 全封閉型以外之特種鼠籠式感應電動機.....	159
附錄 2 全封閉型特種鼠籠式感應電動機.....	165
參考文獻.....	171

## 圖目錄

圖 2-1 陸上型(左)及沉水式(右)抽水機.....	22
圖 2-2 橫軸式抽水機 .....	22
圖 2-3 豎軸式抽水機 .....	23
圖 2-4 中吸式(左)及低吸式(右)沉水式抽水機外型構造圖.....	24
圖 2-5 比速度與葉輪型式關係圖.....	25
圖 2-6 不同葉輪型式構造圖 .....	26
圖 2-7 單級(左)及多級(右)抽水機型式構造.....	27
圖 2-8 開放型(左)、半開放型(中)及封閉型葉輪(右)構造圖....	28
圖 2-9 鼠籠式及繞線式電動機轉子.....	28
圖 2-10 永磁同步電動機內部配置架構圖.....	29
圖 2-11 電動機效率-功率曲線圖.....	32
圖 2-12 INDAR/SP UGP 沉水中吸式抽水機剖面圖 .....	42
圖 2-13 INDAR/SP UGP-M 沉水低吸式抽水機剖面圖 .....	43
圖 2-14 PLEUGER 沉水中吸式抽水機剖面圖 .....	44
圖 2-15 PLEUGER 水封式電動機剖面圖 .....	45
圖 2-16 ANDRITZ 沉水式抽水機剖面圖 .....	46
圖 2-17 ANDRITZ 永磁式電動機剖面圖 .....	47
圖 2-18 井寶低吸式高壓沉水式抽水機剖面圖.....	49
圖 2-19 ANDRITZ 永磁式電動機與非永磁式效率差異圖 .....	51
圖 2-20 沉水式抽水機與豎軸抽水機外觀差異圖.....	54
圖 2-21 沉水低吸式抽水機安裝示意圖.....	55
圖 2-22 立式抽水桶內設沉水中吸式抽水機安裝示意圖.....	56
圖 2-23 橫置式抽水桶及沉水低吸式抽水機安裝示意圖.....	56
圖 3-1 馬達線圈燒毀 .....	60
圖 3-2 泵浦葉輪孔蝕現象 .....	60
圖 3-3 軸承及機械軸封磨損 .....	61
圖 3-4 馬達室外循環冷卻水管.....	66

圖 3-5 瘦長及矮胖型沉水式抽水機.....	74
圖 3-6 馬達線圈有燒毀熔珠現象.....	76
圖 3-7 馬達線圈部分燒毀 .....	77
圖 4-1 泵浦特性曲線 .....	82
圖 4-2 STRIBECK 曲線.....	83
圖 4-3 電動機轉矩-速度曲線.....	85
圖 4-4 電能轉換機械能過程中損耗.....	85
圖 4-5 轉子環、定子環及彈性元件.....	86
圖 4-6 軸頸軸承構造及水膜 .....	87
圖 4-7 尖、離峰時段下之系統阻力曲線變化.....	88
圖 4-8 平緩系統曲線下併聯運轉.....	89
圖 4-9 陡峭系統曲線下併聯運轉.....	89
圖 4-10 不同型式抽水機併聯特性曲線.....	90
圖 4-11 降低抽水機轉速改變出水量.....	91
圖 4-12 電壓變動對於交流感應電動機性能綜合影響.....	93
圖 4-13 工作電壓變動對於繞組溫升的影響.....	94
圖 4-14 工作電壓變動對於繞組溫升的影響.....	95
圖 4-15 NPSHA 示意圖 .....	98
圖 4-16 泵浦之 NPSHR 曲線 .....	100
圖 4-17 減震氣墊.....	106
圖 4-18 避震器.....	107
圖 4-19 變頻器.....	107
圖 4-20 北水處加壓站抽水機運轉效率及用電監控系統.....	109
圖 5-1 變頻器架構圖 .....	112
圖 5-2 VFD OUTPUT SQUARE WAVEFORM WITH VOLTAGE SPIKING .....	114
圖 5-3 VFD 搭配正弦波濾波器 .....	115
圖 5-4 電動機扭力曲線 .....	120
圖 5-5 電動機啟動及運轉時 .....	120

圖 5-6 變頻啟動之啟動電流 .....	123
圖 5-7 抽水機之 Q-H 特性相對效率曲線圖.....	126
圖 5-8 抽水機定壓力運轉時轉速與軸功率之關係.....	127
圖 5-9 遠端壓力回授及出口壓力回授控制架構圖.....	128
圖 5-10 抽水機出口/遠端壓力回授比較.....	129
圖 5-11 抽水機並聯運轉曲線.....	132
圖 5-12 松山加壓站抽水機特性曲線.....	133
圖 5-13 松山加壓站抽水機不同轉速性能曲線.....	134
圖 5-14 採定速及變頻各 1 台運轉效率曲線.....	135
圖 5-15 松山加壓站抽水機採 2 台變頻運轉效率曲線.....	136
圖 5-16 變頻器採 1 對 2 電力單線圖.....	138
圖 5-17 變頻器採 1 對 3 電力單線圖.....	139
圖 5-18 北水處歷年耗電量及單位供水耗能.....	139
圖 5-19 逆止閥水頭損失曲線圖.....	140
圖 5-20 抽水機運轉效率趨勢圖.....	143
圖 5-21 大型加壓站抽水機即時運轉效率監控畫面.....	145
圖 5-22 抽水機效率監測報表.....	146



## 表目錄

表 2-1 IEC 60034-30 電動機額定效率等級表_1.....	34
表 2-2 IEC 60034-30-1 電動機額定效率等級表_2.....	35
表 2-3 NEMA MG-1 電動機額定效率等級表_1.....	36
表 2-4 NEMA MG-1 電動機額定效率等級表_2.....	37
表 2-5 電動機效率比較差異表 .....	38
表 2-6 NEMA MG 1 溫升表.....	39
表 2-7 CNS 1373 C4040 高壓 3.3kV 三相感應電動機之最大溫升 ..	39
表 2-8 IEC 60085 電氣絕緣耐熱等級表.....	40
表 2-9 高壓沉水式抽水機廠商主要項目差異表 .....	50
表 2-10 高壓沉水式與陸上型豎軸抽水機差異比較 .....	52
表 3-1 北水處 3.3kV 高壓沉水式抽水機採購統計表 .....	77
表 3-2 北水處 3.3kV 高壓沉水式抽水機故障維修記錄統計表.....	78
表 3-3 台灣自來水公司高壓 3.3kV 沉水式抽水機故障維修紀錄...	79
表 4-1 抽水池承受的大氣壓與所處位置標高及氣壓有關 .....	98
表 4-2 運轉溫度對應的飽和蒸氣壓.....	98
表 5-1 加壓站抽水機規格.....	113
表 5-2 電力系統諧波管制暫行標準(3.3~22.8kV 系統).....	117
表 5-3 高壓電動機之起動電流規定.....	121
表 5-4 遠端壓力回授及出口壓力回授控制優缺點比較 .....	129
表 5-5 大型加壓站遠端壓力回授參考點一覽表 .....	130
表 5-6 最佳抽水機運轉台數配置.....	133
表 5-7 大型加壓站抽水機運轉模式建議一覽表 .....	137
表 5-8 大型加壓站控制閥型式一覽表.....	141
表 5-9 近期採購高壓抽水機規格.....	147
表 5-10 大型加壓站抽水機備援一覽表 .....	147



# 第一章 前言

## 1.1 背景介紹

北水處供水系統係依臺北盆地地勢建構，盆地的東面和南面是西部麓山帶，北面有大屯火山群，位於盆地南端的南、北勢溪匯流為新店溪為北水處重要之取水水源，直潭、長興及公館淨水場為北水處主要的三大淨水場，其原水均取自新店溪，其中直潭淨水場位於盆地南端，高程約 35 公尺，設備容量 340 萬 CMD，平均日出水量約 200 萬 CMD，經處理後之清水經第一及第二清水幹管以大同加壓站(高程約 4m)為目的地，以重力流方式往北輸送，高度順著地形而下，進入臺北盆地的核心市區管網。在第一及第二清水幹管輸送沿線分別設置分區之重要大型加壓站，如：安康、安華、中和、公館、民生、松山及大同等加壓站，相關加壓站再進行加壓供水調配市區管網。在臺北盆地北方區域，大同加壓站除有新、舊市區線外，另有北投線、大直線、關渡線往北方供水，盆地北部設有北投、大度、天母等加壓站加壓供水調配區域管網。

長興及公館淨水場取水口為青潭堰，位於新店溪直潭壩下游，經青潭原水路分別進入二座淨水場，淨水設備容量分別為 64 萬及 41.6 萬 CMD，二座淨水場均設置加壓站，處理後的清水經各場加壓站加壓進入市區管網。

## 1.2 研究動機及目的

北水處大型場站之抽水機在 400HP 以上均採用 3,300V 高壓驅動，以往高壓抽水機大部分採用豎軸式，但因近二、三十年來環保意

識抬頭，豎軸式抽水機噪音問題經常造成民眾抗議，目前既有抽水機大部分皆已改為沉水式（沉水式共計 84 台，豎軸式僅占 7 台），故高壓沉水式抽水機為北水處極為重要之供水設備。

本研究案將經由探討高壓沉水式抽水機效能裕度及運轉操作限制等相關問題，進而延長機組之使用週期，以提高機組運轉穩定度。另藉由探討抽水機相關規範，進而達到最適化之設計考量，期使北水處相關場站抽水機能發揮最佳運轉效率、降低供水耗能。

北水處使用高壓沉水式抽水機至今已二十餘年，冀望藉由本研究探討該抽水機效能和實際應用的經驗及成果，能提供國內自來水事業單位於抽水機之選用及操作應用上之相關參考。

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 自來水清水用抽水機分類及比較

自來水清水用抽水機一般由泵浦及電動機二部分組合而成，泵浦本身無法運轉，利用電動機帶動泵浦對流體做功，將電能轉為機械能，並讓流體之高度水頭、壓力水頭及速度水頭產生變化。而電動機又稱馬達，在線圈通電後產生磁場，利用磁力在定子與轉子間產生旋轉運動，轉換成為機械能用來驅動泵浦。

抽水機依其性質或特性作為分類之種類十分繁多，並有各種區分，如依抽水機擺放位置，分陸上型及沉水式，依抽水機擺放的狀態可區分臥式(橫式)或立式(豎軸式)等等各類不同之分類，以下僅就自來水抽水機常用的分類方式作說明。

(1)以抽水機安裝位置可區分陸上型抽水機(Surface pump)及沉水式抽水機 (Submersible pump)

從字義上即可明瞭其區分差別，以北水處所使用的自來水抽水機而言，因近二、三十年來，環保意識抬頭，加壓站設置經常靠近住宅，抽水機之噪音問題經常造成民眾抗議，故目前抽水機已大部分改為沉水式抽水機，抽水機所產生的噪音問題，大部分可藉由放置於水中而大幅降低。但沉水式抽水機之電動機多為水封式，與陸上型電動機比較效率偏低。另沉水式抽水機多為客製品或批量生產，製造也較為複雜，售價相對較高。

一般陸上型抽水機在泵浦與電動機是由聯軸器或傳動軸來進行動力傳遞，泵浦與電動機可分別由專業製造商製造生產，在專業分工

下，除製造技術上可提升亦可降低售價。圖 2-1 為陸上型及沉水式抽水機之差異圖片。



圖 2-1 陸上型(左)及沉水式(右)抽水機

(2) 依照抽水機機軸方向分為橫軸式 (Horizontal shaft) 及豎軸式 (Vertical shaft) 二類。

橫軸式 (Horizontal shaft)，又稱為臥式，指抽水機裝配完成後，傳動軸軸心方向與水平面平行，如圖 2-2 所示。

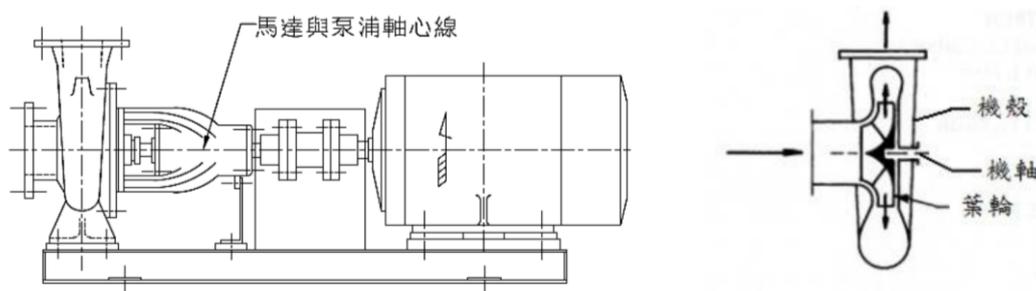


圖 2-2 橫軸式抽水機

豎軸式 (Vertical shaft)，又稱為立式，指抽水機裝配完成後，傳動軸軸心與水平面垂直，如圖 2-3 所示。

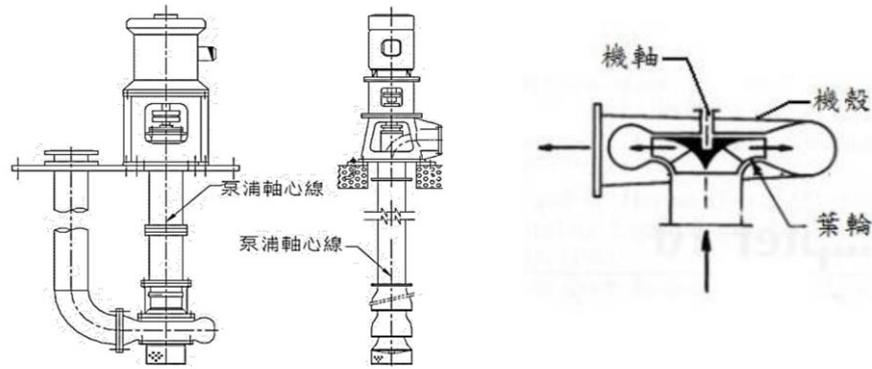


圖 2-3 豎軸式抽水機

(3)沉水式抽水機因電動機及泵浦的相對位置不同，依其吸水口的位置區分為中吸式(Center suction)或低吸式(Low suction；Bottom intake)抽水機

以立式沉水式抽水機而言，中吸沉水式抽水機其電動機安裝於泵浦下方，而吸水口在泵浦的下方，但以整組抽水機而言，吸水口位置位於中間，如圖 2-4 左邊所示。另以低吸沉水式抽水機而言，電動機安裝在泵浦上方，泵浦吸入口位於整組抽水機的下部，泵浦將液體加壓輸出後會經過電動機外部之旁通水流通道(水套)，再從抽水機上方出口送出，如圖 2-4 右邊所示。

以低吸沉水式抽水機而言，經常用於未設有抽水區的配水池，可發揮配水池最大的有效容量；另因其電動機外部有水套，整組抽水機的外徑將變大，設計時應考量抽水機基座開口問題。而中吸沉水式抽水機而言，經常用於有較深抽水區的配水池，或是橫式抽水桶管中加壓使用。

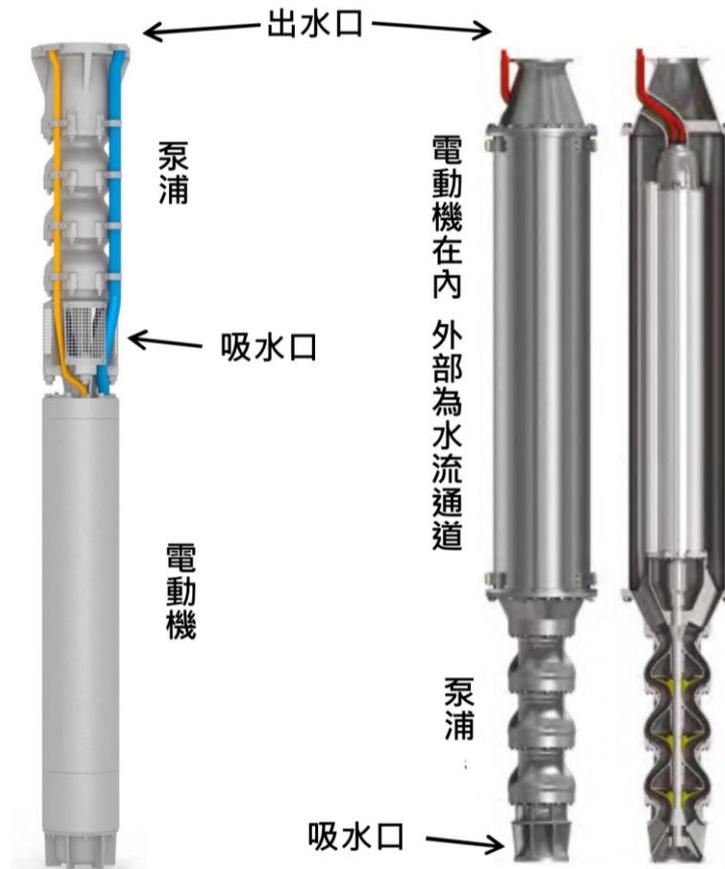


圖 2-4 中吸式(左)及低吸式(右)沉水式抽水機外型構造圖

(4)在泵浦方面以液體流經葉片方向區分徑流型抽水機（Centrifugal Pump）、混流型抽水機（Mixed Flow Pump）及軸流型抽水機（Axial Flow Pump）

首先須先談到抽水機的比速度（Ns）是一個重要的性能參數，它提供了關於泵浦的運行狀態和幾何特性的信息。比速度與泵浦的設計特性密切相關，通常可以用來對泵浦進行分類，了解其適用範圍和性能特點。

比速度的計算公式為：
$$Ns = \frac{N \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

其中 N 是轉速，Q 是流量，H 是揚程。比速度是一個無量綱數，根據比速度的大小，通常可以將泵浦分類如下：

A、徑流型抽水機：這些抽水機通常為高揚程，低流量，比速度較低，液體從泵浦吸入口進入後通過葉輪旋轉運動，然後利用離心力將液體從出口端甩出，葉片出口端流向為徑向設計以提高揚程，適用於輸送高壓流體或克服高揚程的應用，例如深井用抽水機。

B、混流型抽水機：這類抽水機其揚程、流量及比速度介於徑流型和軸流型之間，廣泛應用於工業領域的類型，例如自來水加壓常用的離心泵浦。

C、軸流型抽水機：通常為低揚程，大流量，比速度較高，液體沿葉輪軸向流動，它們的設計偏向於高流量和低壓力，適用於需要大量流體處理的應用，如防洪抽水機等。

圖 2-5 為比速度與葉輪型式關係圖；圖 2-6 為不同葉輪型式構造圖，抽水機製造商依所需要的揚程及流量，並確定選用電動機的極數及轉速、即可確認選用的葉輪型式，從徑流型、混流型及軸流型抽水機的分類上即可得知可能應用的範圍。

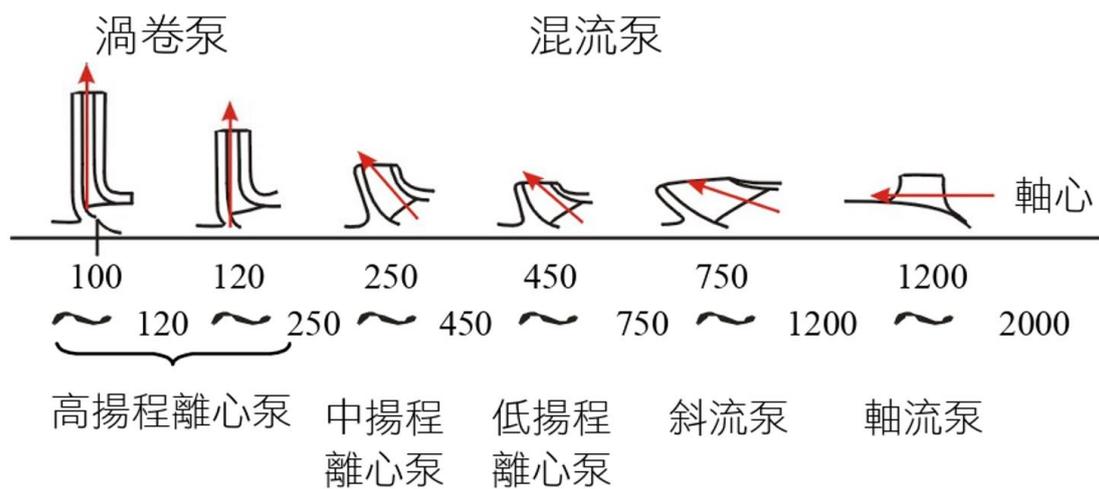


圖 2-5 比速度與葉輪型式關係圖

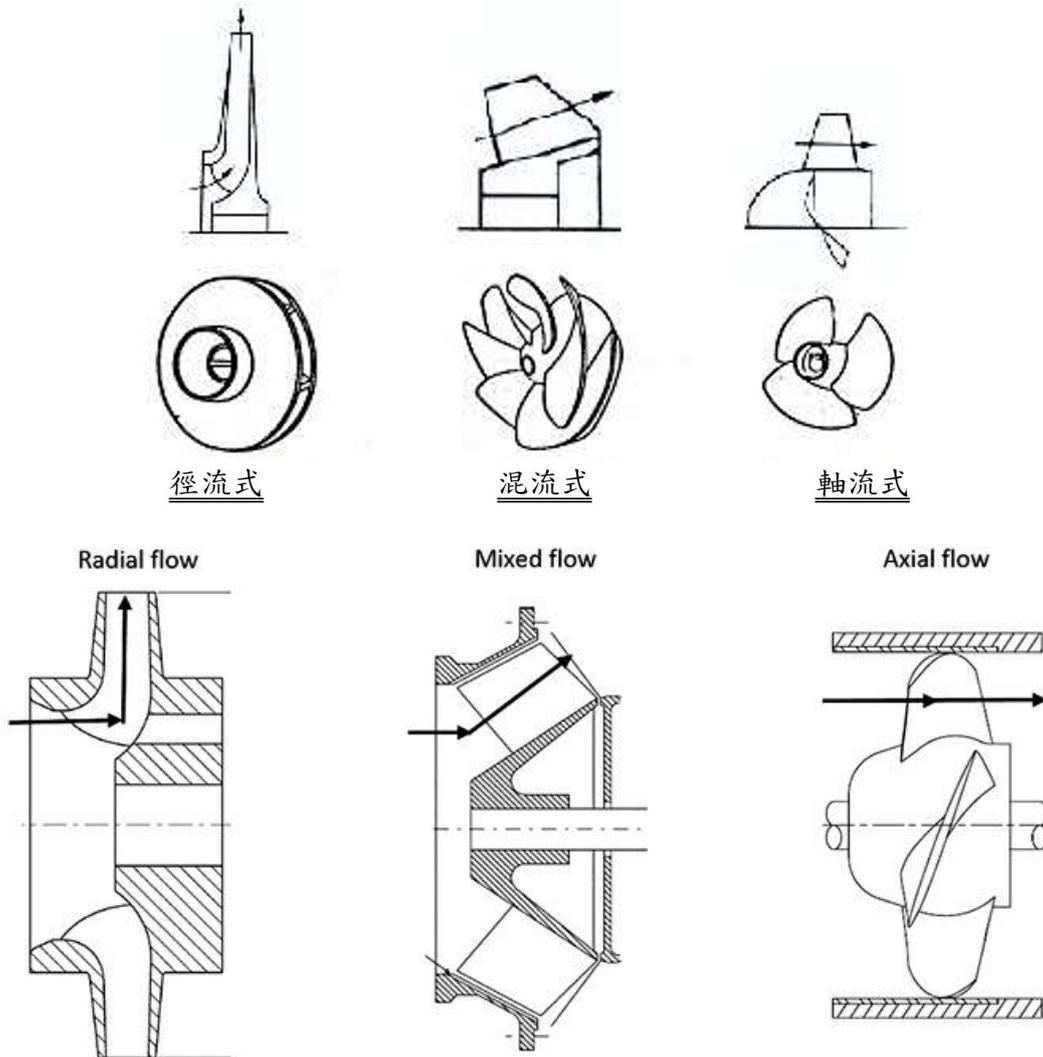


圖 2-6 不同葉輪型式構造圖

(5)以泵浦葉輪安裝數量區分為單段(級)抽水機 (Single-stage pump) 及多段(級)抽水機 (multi-stage pump)

單段抽水機只有一組葉輪，水流只經過一次加壓，出水壓力受限，多段抽水機具有多組葉輪，每個葉輪都可以增加液體的壓力，液體會依次通過多個葉輪進行多次加壓，適用於要求較高揚程和壓力的場合。北水處在抽水機使用上大部分屬區域性的自來水調配，揚程要求不高，故多為單段(級)抽水機。在多段抽水機的應用較少，僅在郊區高地區需要較高壓力時有採用多段抽水機的可能，但相關配合的管線也須注

意使用壓力，二者差異詳如圖 2-7。

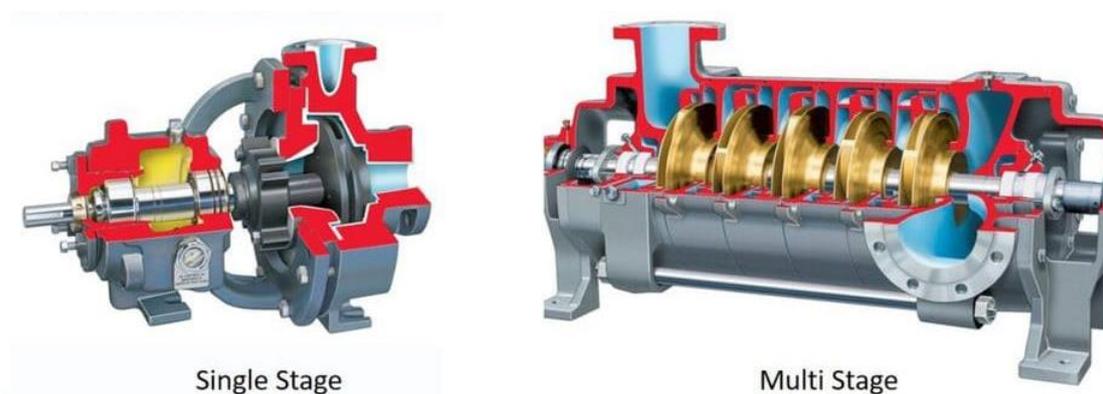


圖 2-7 單級(左)及多級(右)抽水機型式構造

(6)依照葉輪有無側板(是否封閉)區分封閉型葉輪 (Closed impeller) 、開放型葉輪 (Open impeller)及半開放型葉輪 (Semi-open impeller)

A、封閉型：葉輪之葉片(blade)前後二端具有側板(shroud)，如圖 2-8 右邊所示，一般而言，封閉型葉輪可以減少泄漏流量，其效率通常比開放型葉輪高，但須應用於不含固型物的場合，如：清水泵浦，油泵浦等。

B、開放型：葉輪之葉片上游端沒有前側板，下游端沒有或僅有小面積的後側板，如圖 2-7 左邊所示，通常為考量更容易清潔和維護而設計，但因會有更大的泄漏流量，泵浦的效率較封閉型葉輪為低，常用於泵浦液中混有固型物的場合，可用於污水泵浦，紙漿泵浦。

C、半開放型：葉輪之葉片上游端沒有前側板，下游端具有大面積之後側板，如圖 2-8 中間所示，亦適用於泵浦液中混有固型物的場合，可用於污水泵浦。



圖 2-8 開放型葉輪(左)、半開放型葉輪(中)及封閉型葉輪(右)構造圖

(7)電動機依轉子型式，可區分為鼠籠式、繞線式及永磁式。

A、鼠籠式：鼠籠式電動機轉子為籠式的導條，導條通常為銅條，如圖 2-9 左邊所示。其優點為結構簡單、運行可靠、體積小、堅固耐用、便於維護、檢修和安裝、成本低等。缺點為啟動轉矩較小、功率因數較低、直接啟動時啟動電流大。鼠籠式電動機通常為北水處所採購抽水機所指定電動機之型式。

B、繞線式：繞線式轉子的繞組和定子繞組相似，三相繞組連接成星形，三根端線連接到裝在轉軸上的三個銅滑環上，通過一組電刷與外電路相連接，如圖 2-9 右邊所示。優點為通過在轉子迴路中串入外加電阻，降低了啟動電流和轉速，增加了啟動轉矩。缺點為結構複雜，維護較麻煩，運行可靠性較差，價格較貴。

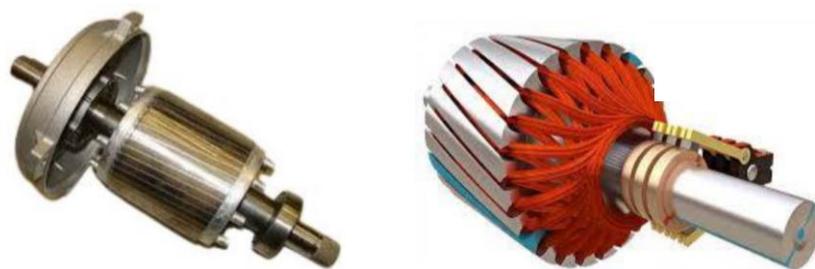


圖 2-9 鼠籠式及繞線式電動機轉子

C、永磁式：永磁同步電動機的轉子自帶磁場，是使用永久磁鐵製成，不需要通電就帶有磁場的磁鐵，轉子部分沒有銅損及鐵損，耗能更少，效率更高，也有助於縮小電動機體積，電動機出力更直接快速。但轉子上的永磁磁鐵材料需要稀土金屬，屬於稀缺資源，相對成本較高。轉子依永磁磁鐵放置方式分表面式(SPM)及內置式(IPM)，如圖 2-10 所示，內置式的磁鐵可以受到轉子的保護，在高速運轉時不會有磁鐵脫落的問題。

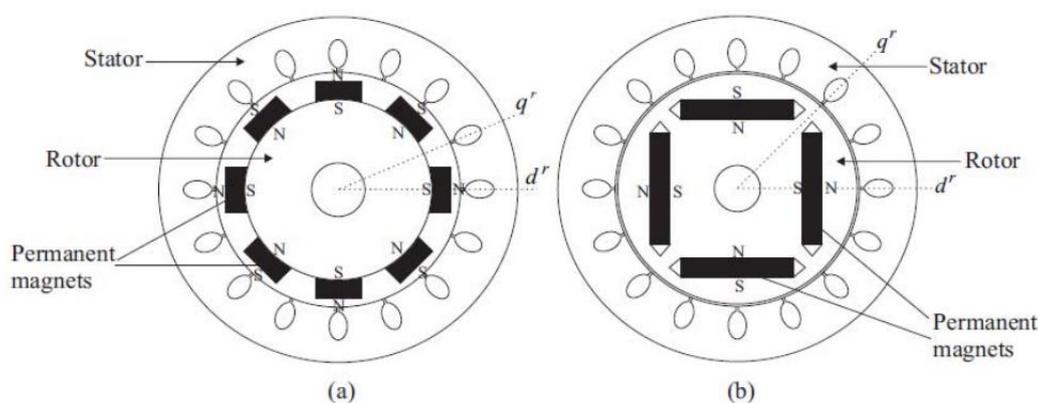


圖 2-10 永磁同步電動機內部配置架構圖

(8)抽水機依電動機注入內部作為封密的介質，可區分為水封式、油封式及乾式。

A、水封式：將電動機內部以水注滿，此種方式軸承是用水作為潤滑劑。線圈使用耐水之絕緣電線，能夠直接與水接觸。或以不銹鋼薄板隔離再注入不凍液或清水。

B、油封式：電動機內部注入機油，內部構造為耐油性的材料，與在陸地上使用大致相同。但要注意水份浸入而使絕緣劣化，所以軸封在防水的設置上要求較為嚴格。

C、乾式：與用在陸地上的電動機的油封完全一樣，外部的水份絕對不能浸入電動機內，因侵入內部的水份會使絕緣不良，所以油封的設

置與上述油封式電動機的要求完全相同。

以上分類為北水處依其性質或特性常用之抽水機分類方式，惟抽水機組成元件非常多元，分類之種類亦十分繁多，受限於篇幅，僅以常用之分類作說明。

## 2.2 國內外抽水機相關標準

抽水機由泵浦及電動機二部分組合而成，在低壓抽水機部分因工業需求量大，為求一定品質，相關之泵浦及電動機標準較多，但自來水用高壓沉水式抽水機因數量少大部分為訂製品，且製造需求隨客戶要求而有不同，難有一定之標準，但參考相關的標準，可幫助訂定高壓沉水式抽水機的規範。以下例舉為規範訂定時常會參考使用之標準。

### 2.2.1 國內相關抽水機之 CNS 標準：

- (1) CNS 8080 A4007 工程用沉水泵浦
- (2) CNS 9813 C4384 工程沉水泵浦用低壓三相感應電動機
- (3) CNS 9814 C4385 工程沉水泵浦用低壓三相感應電動機
- (4) CNS 11327 B4064 深井用沉水電動機泵浦
- (5) CNS 11330 C4428 低壓三相鼠籠型感應電動機(深井用沉水電動機泵浦用)
- (6) CNS 2138 B4004 小型渦卷泵浦(參考 ISO 2858)
- (7) CNS 10680 B4062 雙吸式渦卷泵浦效率規定
- (8) CNS 1373 C4040 高壓(3.3kV)三相感應電動機

- (9) CNS 14400 C4482 低壓三相鼠籠型高效率感應電動機(一般用)
- (10) CNS 659 B7015 水泵浦檢驗法(總則)
- (11) CNS 661 B7017 水泵浦出水量檢驗法
- (12) CNS663 B7019 水泵浦動力及效率檢驗法
- (13) CNS 16017 B7311 迴轉動力泵浦液壓性能允收試驗-1 級、2 級及 3 級

以上 CNS 標準，大部分均針對低壓設備，除第 H 項 CNS 1373 C4040 高壓(3.3kV)三相感應電動機，似乎與高壓沉水式抽水機略有相關，但 CNS 1373 C4040 標準在細究之下，電動機指一般工業用，參考該標準之表 6 其典型 IP 等級 IP22、IP23、IP44、IP55 等，與自來水用的沉水式電動機內部採用水封式，二者在效率上會有較大的差別，其效率是無法比照辦理的。

### 2.2.2 電動機的分級標準

一般而言，電動機效率分級是按照電動機轉換輸入功率與輸出功率的比例進行分級的。電動機效率越高，越少的能量被浪費。國際上通常使用 IE 系列效率等級來表示電動機效率，IE1、IE2、IE3、IE4、IE5 和 IE6 分別代表不同的效率等級。數字越大代表效率越高。

IE1 電動機是國際效率等級的最低等級，也稱為"常規效率"(Standard Efficiency) 電動機。IE2 電動機是國際效率等級的中等等級，也稱為"高效率"(High Efficiency) 電動機。IE3 電動機是國際效率等級的高等級，也稱為"超高效率"(Premium Efficiency) 電動機。IE4 電動機是指符合最高效率等級 (IE4) 的電動機，也稱為超優級效率電動機。它符合國際上對電動機效率的最高要求。IE1~IE4 電動機

的規範由 IEC 電工標準協會的 IEC 60034-30-1 定義，電動機效率及功率曲線圖如圖 2-11。另 IE5 之相關效率規範已於 2016 年在 IEC 60034-30-2 訂定。

雖然 IE 等級越高其效率越高，但更高等級電動機在製作難度上會更高，價格也相對大幅提升。但隨著能源價格上漲和環保意識增強，越來越多的公司正在選擇使用這種電動機，以節省能源消耗和降低使用成本。

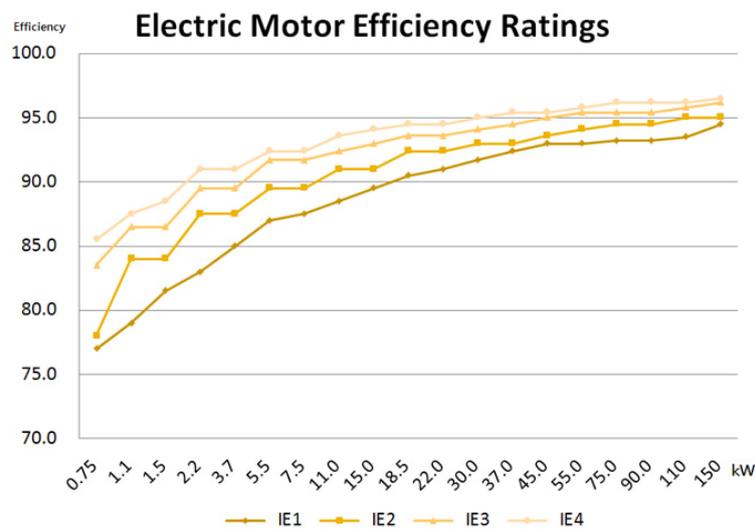


圖 2-11 電動機效率-功率曲線圖

### 2.2.3 電動機效率標準

#### (1) IEC60034-30-1

IEC 60034-30-1 是由國際電工委員會 ( International Electrotechnical Commission, IEC ) 制定的一個重要標準，包含三相交流電動機的效率等級和測試方法。該標準為 IEC 於 2014 年發布(IEC 60034-30 為 2008 年發布)，規範範圍為額定輸出功率 0.12 kW~1000 kW，額定電壓 50 V~1000 V，極數 2P、4P、6P、8P，電動機效率分

為 IE1 (Standard,標準)、IE2 (High,高)、IE3 (Premium,優級)及 IE4 (Super Premium,超優級)等級，另外 IE5 之相關效率於 2016 年在 IEC 60034-30-2 規範中規定，表 2-1 及表 2-2 為摘錄之效率等級表。

表 2- 1 IEC 60034-30 電動機額定效率等級表\_1

Table 1 Table with efficiency classes: IE 60034-30 (2008)

kW	HP	IE-1 - Standard efficiency						IE2 - High efficiency						IE3 - Premium efficiency					
		2 pole		4 pole		6 pole		2 pole		4 pole		6 pole		2 pole		4 pole		6 pole	
		50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
0.75	1	72.1	77.0	72.1	78.0	70.0	73.0	77.4	75.5	79.6	82.5	75.9	80.0	80.7	77.0	82.5	85.5	78.9	82.5
1.1	1.5	75.0	78.5	75.0	79.0	72.9	75.0	79.6	82.5	81.4	84.0	78.1	85.5	82.7	84.0	84.1	86.5	81.0	87.5
1.5	2	77.2	81.0	77.2	81.5	75.2	77.0	81.3	84.0	82.8	84.0	79.8	86.5	84.2	85.5	85.3	86.5	82.5	88.5
2.2	3	79.7	81.5	79.7	83.0	77.7	78.5	83.2	85.5	84.3	87.5	81.8	87.5	85.9	86.5	86.7	89.5	84.3	89.5
3		81.5	-	81.5	-	79.7	-	84.6	-	85.5	-	83.3	-	87.1	-	87.7	-	85.6	-
3.7	5	-	84.5	-	85.0	-	83.5	-	87.5	-	87.5	-	87.5	-	88.5	-	89.5	-	89.5
4		83.1	-	83.1	-	81.4	-	85.8	-	86.6	-	84.6	-	88.1	-	88.6	-	86.8	-
5.5	7.5	84.7	86.0	84.7	87.0	83.1	85.0	87.0	88.5	87.7	89.5	86.0	89.5	89.2	89.5	89.6	91.7	88.0	91.0
7.5	10	86.0	87.5	86.0	87.5	84.7	86.0	88.1	89.5	88.7	89.5	87.2	89.5	90.1	90.2	90.4	91.7	89.1	91.0
11	15	87.6	87.5	87.6	88.5	86.4	89.0	89.4	90.2	89.8	91.0	88.7	90.2	91.2	91.0	91.4	92.4	90.3	91.7
15	20	88.7	88.5	88.7	89.5	87.7	89.5	90.3	90.2	90.6	91.0	89.7	90.2	91.9	91.0	92.1	93.0	91.2	91.7
18.5	25	89.3	89.5	89.3	90.5	88.6	90.2	90.9	91.0	91.2	92.4	90.4	91.7	92.4	91.7	92.6	93.6	91.7	93.0
22	30	89.9	89.5	89.9	91.0	89.2	91.0	91.3	91.0	91.6	92.4	90.9	91.7	92.7	91.7	93.0	93.6	92.2	93.0
30	40	90.7	90.2	90.7	91.7	90.2	91.7	92.0	91.7	92.3	93.0	91.7	93.0	93.3	92.4	93.6	94.1	92.9	94.1
37	50	91.2	91.5	91.2	92.4	90.8	91.7	92.5	92.4	92.7	93.0	92.2	93.0	93.7	93.0	93.9	94.5	93.3	94.1
45	60	91.7	91.7	91.7	93.0	91.4	91.7	92.9	93.0	93.1	93.6	92.7	93.6	94.0	93.6	94.2	95.0	93.7	94.5
55	75	92.1	92.4	92.1	93.0	91.9	92.1	93.2	93.0	93.5	94.1	93.1	93.6	94.3	93.6	94.6	95.4	94.1	94.5
75	100	92.7	93.0	92.7	93.2	92.6	93.0	93.8	93.6	94.0	94.5	93.7	94.1	94.7	94.1	95.0	95.4	94.6	95.0
90	125	93.0	93.0	93.0	93.2	92.9	93.0	94.1	94.5	94.2	94.5	94.0	94.1	95.0	95.0	95.2	95.4	94.9	95.0
110	150	93.3	93.0	93.3	93.5	93.3	94.1	94.3	94.5	94.5	95.0	94.3	95.0	95.2	95.0	95.4	95.8	95.1	95.8
132		93.5		93.5	-	93.5	-	94.6	-	94.7	-	94.6	-	95.4	-	95.6	-	95.4	-
150	200	-	94.1	-	94.5	-	94.1	-	95.0	-	95.0	-	95.0	-	95.4	-	96.2	-	95.8
160		93.8		93.8	-	93.8	-	94.8	-	94.9	-	94.8	-	95.6	-	95.8	-	95.6	-
185	250	-	94.1	-	94.5	-	94.1	-	95.4	-	95.4	-	95.0	-	95.8	-	96.2	-	95.8
200		94.0	-	94.0	-	94.0	-	95.0	-	95.1	-	95.0	-	95.8	-	96.0	-	95.8	-
220	300	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
250	350	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
300	400	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
330	450	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
375	500	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8

表 2- 2 IEC 60034-30-1 電動機額定效率等級表\_2

**Table 1**

Minimum 50 Hz efficiency values defined in IEC/EN 60034-30-1:2014 (based on test methods specified in IEC 60034-2-1:2014)

Output kW	IE1				IE2				IE3				IE4			
	2 pole	4 pole	6 pole	8 pole	2 pole	4 pole	6 pole	8 pole	2 pole	4 pole	6 pole	8 pole	2 pole	4 pole	6 pole	8 pole
0.12	45.0	50.0	38.3	31.0	53.6	59.1	50.6	39.8	60.8	64.8	57.7	50.7	66.5	69.8	64.9	62.3
0.18	52.8	57.0	45.5	38.0	60.4	64.7	56.6	45.9	65.9	69.9	63.9	58.7	70.8	74.7	70.1	67.2
0.20	54.6	58.5	47.6	39.7	61.9	65.9	58.2	47.4	67.2	71.1	65.4	60.6	71.9	75.8	71.4	68.4
0.25	58.2	61.5	52.1	43.4	64.8	68.5	61.6	50.6	69.7	73.5	68.6	64.1	74.3	77.9	74.1	70.8
0.37	63.9	66.0	59.7	49.7	69.5	72.7	67.6	56.1	73.8	77.3	73.5	69.3	78.1	81.1	78.0	74.3
0.40	64.9	66.8	61.1	50.9	70.4	73.5	68.8	57.2	74.6	78.0	74.4	70.1	78.9	81.7	78.7	74.9
0.55	69.0	70.0	65.8	56.1	74.1	77.1	73.1	61.7	77.8	80.8	77.2	73.0	81.5	83.9	80.9	77.0
075	72.1	72.1	70.0	61.2	77.4	79.6	75.9	66.2	80.7	82.5	78.9	75.0	83.5	85.7	82.7	78.4
1.1	75.0	75.0	72.9	66.5	79.6	81.4	78.1	70.8	82.7	84.1	81.0	77.7	85.2	87.2	84.5	80.8
1.5	77.2	77.2	75.2	70.2	81.3	82.8	79.8	74.1	84.2	85.3	82.5	79.7	86.5	88.2	85.9	82.6
2.2	79.7	79.7	77.7	74.2	83.2	84.3	81.8	77.6	85.9	86.7	84.3	81.9	88.0	89.5	87.4	84.5
3	81.5	81.5	79.7	77.0	84.6	85.5	83.3	80.0	87.1	87.7	85.6	83.5	89.1	90.4	88.6	85.9
4	83.1	83.1	81.4	79.2	85.8	86.6	84.6	81.9	88.1	88.6	86.8	84.8	90.0	91.1	89.5	87.1
5.5	84.7	84.7	93.1	81.4	87.0	87.7	86.0	83.8	89.2	89.6	88.0	86.2	90.9	91.9	90.5	88.3
7.5	86.0	86.0	84.7	83.1	88.1	88.7	87.2	85.3	90.1	90.4	89.1	87.3	91.7	92.6	91.3	89.3
11	87.6	87.6	86.4	85.0	89.4	89.8	88.7	86.9	91.2	91.4	90.3	88.6	92.6	93.3	92.3	90.4
15	88.7	88.7	87.7	86.2	90.3	90.6	89.7	88.0	91.9	92.1	91.2	89.6	93.3	93.9	92.9	91.2
18.5	89.3	89.3	88.6	86.9	90.9	91.2	90.4	88.6	92.4	92.6	91.7	90.1	93.7	94.2	93.4	91.7
22	89.9	89.9	89.2	87.4	91.3	91.6	90.9	89.1	92.7	93.0	92.2	90.6	94.0	94.5	93.7	92.1
30	90.7	90.7	90.2	88.3	92.0	92.3	91.7	89.8	93.3	93.6	92.9	91.3	94.5	94.9	94.2	92.7
37	91.2	91.2	90.8	88.8	92.5	92.7	92.2	90.3	93.7	93.9	93.3	91.8	94.8	95.2	94.5	93.1
45	91.7	91.7	91.4	89.2	92.9	93.1	92.7	90.7	94.0	94.2	93.7	92.2	95.0	95.4	94.8	93.4
55	92.1	92.1	91.9	89.7	93.2	93.5	93.1	91.0	94.3	94.6	94.1	92.5	95.3	95.7	95.1	93.7
75	92.7	92.7	92.6	90.3	93.8	94.0	93.7	91.6	94.7	95.0	94.6	93.1	95.6	96.0	95.4	94.2
90	93.0	93.0	92.9	90.7	94.1	94.2	94.0	91.9	95.0	95.2	94.9	93.4	95.8	96.1	95.6	94.4
110	93.3	93.3	93.3	91.1	94.3	94.5	94.3	92.3	95.2	95.4	95.1	93.7	96.0	96.3	95.8	94.7
132	93.5	93.5	93.5	91.5	94.6	94.7	94.6	92.6	95.4	95.6	95.4	94.0	96.2	96.4	96.0	94.9
160	93.8	93.8	93.8	91.9	94.8	94.9	94.8	93.0	95.6	95.8	95.6	94.3	96.3	96.6	96.2	95.1
200	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.3	95.4
250	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.5	95.4
315	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.6	95.4
355	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.6	95.4
400	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.6	95.4
450	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.6	95.4
500-1000	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.6	95.4

(2) NEMA MG-1

NEMA MG-1 (National Electrical Manufacturers Association Motor and Generator, Part 1) 是由美國國家電氣製造商協會制定的標準，涵蓋了電動機和發電機的設計、性能和測試要求。該標準 Table 12-13 及 Table 20-C 規定了額定電壓 601~5,000V，極數 2P、4P、6P、8P 並區分開放型電動機(Open motors)及全封閉型電動機(Enclosed motors)等分類之效率標準，表內除將標示額定效率(Nominal Efficiency)列出，亦將最低效率(Minimum Efficiency)提供參考。詳如表 2- 3 及表 2- 4 NEMA MG-1 電動機額定效率等級表。

表 2- 3 NEMA MG-1 電動機額定效率等級表\_1

Table 12-13  
Full-Load Efficiencies for 60 Hz Premium Efficiency Electric Motors  
Rated 5000 Volts or Less (Form Wound)

Open Motors								
	2 Pole		4 Pole		6 Pole		8 Pole	
HP	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency						
250	94.5	93.6	95.0	94.1	95.0	94.1	93.6	92.4
300	94.5	93.6	95.0	94.1	95.0	94.1		
350	94.5	93.6	95.0	94.1	95.0	94.1		
400	94.5	93.6	95.0	94.1				
450	94.5	93.6	95.0	94.1				
500	94.5	93.6	95.0	94.1				
Enclosed Motors								
	2 Pole		4 Pole		6 Pole		8 Pole	
HP	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency						
250	95.0	94.1	95.0	94.1	95.0	94.1	94.1	93.0
300	95.0	94.1	95.0	94.1	95.0	94.1		
350	95.0	94.1	95.0	94.1	95.0	94.1		
400	95.0	94.1	95.0	94.1				
450	95.0	94.1	95.0	94.1				
500	95.0	94.1	95.0	94.1				

表 2-4 NEMA MG-1 電動機額定效率等級表\_2

Table 20-C  
Full-Load Efficiencies for 60 Hz Premium **Efficiency** Electric Motors  
Rated 5000 Volts or Less (Form Wound)

Open Motors								
HP	2 Pole		4 Pole		6 Pole		8 Pole	
	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency						
300	----	----	----	----	----	----	93.6	92.4
350	----	----	----	----	----	----	93.6	92.4
400	----	----	----	----	95.0	94.1	93.6	92.4
450	----	----	----	----	95.0	94.1	93.6	92.4
500	----	----	----	----	95.0	94.1	93.6	92.4
600	95.0	94.1	95.4	94.5	95.0	94.1	94.1	93.0
700	95.0	94.1	95.4	94.5	95.0	94.1	94.1	93.0
800	95.0	94.1	95.4	94.5	95.0	94.1	94.1	93.0
900	95.0	94.1	95.4	94.5	95.0	94.1	94.1	93.0
1000	95.0	94.1	95.4	94.5	95.0	94.1	94.1	93.0
1250	95.4	94.5	95.8	95.0	95.0	94.1	94.5	93.6
1500	95.4	94.5	95.8	95.0	95.0	94.1	94.5	93.6
1750	95.4	94.5	95.8	95.0	95.4	94.5	94.5	93.6
2000	95.4	94.5	95.8	95.0	95.4	94.5	94.5	93.6
2250	95.4	94.5	96.2	95.4	95.4	94.5	----	----
2500	95.4	94.5	96.2	95.4	95.8	95.0	----	----
Enclosed Motors								
HP	2 Pole		4 Pole		6 Pole		8 Pole	
	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency						
300	----	----	----	----	----	----	94.1	93.0
350	----	----	----	----	----	----	94.1	93.0
400	----	----	----	----	95.0	94.1	94.1	93.0
450	----	----	----	----	95.0	94.1	94.1	93.0
500	----	----	----	----	95.0	94.1	94.1	93.0
600	95.4	94.5	95.4	94.5	95.0	94.1	94.1	93.0
700	95.4	94.5	95.4	94.5	95.0	94.1	94.1	93.0
800	95.4	94.5	95.4	94.5	95.0	94.1	94.1	93.0
900	95.4	94.5	95.4	94.5	95.0	94.1	94.5	93.6
1000	95.4	94.5	95.4	94.5	95.0	94.1	94.5	93.6
1250	95.4	94.5	95.4	94.5	95.0	94.1	94.5	93.6
1500	95.4	94.5	95.4	94.5	95.0	94.1	94.5	93.6
1750	95.4	94.5	95.8	95.0	95.4	94.5	95.0	94.1
2000	95.4	94.5	95.8	95.0	95.4	94.5	95.0	94.1
2250	95.4	94.5	95.8	95.0	95.4	94.5	----	----
2500	95.4	94.5	96.2	95.4	95.8	95.0	----	----

(3) CNS 1373 C4040

在 CNS 1373 C4040 高壓(3.3kV)三相感應電動機標準內針對全封閉型以外之特種鼠籠式感應電動機(附錄 1)及全封閉型特種鼠籠式感

應電動機(附錄 2)區分不同功率、極數(2 極、4 極、6 極、8 極、10 極、12 極)等分類，規定電動機之最低效率及功率因素等。另表 4 為繞線轉子型電動機及表 5 繞線轉子型電動機(全封閉外扇型)，因該型式電動機結構複雜，運行可靠性較差等因素，北水處未曾有相關使用經驗，後續使用需求亦不高，故不納入後續討論。

有關 IEC60034-30-1、NEMA MG-1 及 CNS 1373 C4040 在電動機效率分析比較差異如表 2-5，其分類方式、輸出功率、額定電壓等均有很大之不同，另在電動機極數上 CNS 1373 C4040 則多了 10P 及 12P 的標準列表。

表 2-5 電動機效率比較差異表

差異說明	IEC60034-30-1	NEMA MG-1	CNS 1373 C4040
分類方式	以 IE 等級、供電頻率、輸出功率及極數分類	以電動機型式、供電頻率、輸出功率及極數分類。	以電動機型式、輸出功率及極數分類。
額定輸出功率	0.12 ~1000 kW	250~2500Hp	37~4480kW (50~6000Hp)
額定電壓	50 V~1000 V	601V~5,000V	3,300V
極數	2P、4P、6P、8P	2P、4P、6P、8P	2P、4P、6P、8P、10P、12P

若以 400Hp (300kW) 採用極數為 6 極之電動機為例，就 IEC60034-30 標準而言，IE1、IE2、IE3 之電動機效率標準分別為 94.1%、95%及 95.8%。經查 NEMA MG-1 電動機額定效率為 95%，最小效率為 94.1%。另查詢 CNS 1373 C4040 鼠籠型感應電動機之電動機效率標準僅為 90%，CNS 國家標準所要求之電動機效率相較 IEC 及 NEMA 等國際標準顯然偏低。電動機效率的要求對使用者而言，將影響後續運轉用電大小，尤其在長期使用上 5%的電量差距在 20 年的累

加後將是一筆不小的用電損失及費用的浪費，尤其在目前節能減碳上的推動及要求下，在採購規範上對電動機效率的要求是非常重要的選擇。

## 2.2.4 絕緣系統溫升標準

美國電氣製造商協會(NEMA)標準 MG 1-2009-12.43 定義了最高環境溫度為 40°C 的電動機溫升標準，在 A、B、F 及 H 等絕緣等級與各種不同繞組模式及使用係數情況下之最大允許溫升，如表 2-6。

表 2-6 NEMA MG 1 溫升表

Class of Insulation System (see 1.65) .....	A	B	F*	H*†
Time Rating (shall be continuous or any short-time rating given in 10.36)				
Temperature Rise (based on a maximum ambient temperature of 40°C), Degrees C				
a. Windings, by resistance method				
1. Motors with 1.0 service factor other than those given in items a.3 and a.4 .....	60	80	105	125
2. All motors with 1.15 or higher service factor .....	70	90	115	...
3. Totally-enclosed nonventilated motors with 1.0 service factor .....	65	85	110	130
4. Motors with encapsulated windings and with 1.0 service factor, all enclosures .....	65	85	110	...
b. The temperatures attained by cores, squirrel-cage windings, and miscellaneous parts (such as brushholders, brushes, pole tips, etc.) shall not injure the insulation or the machine in any respect				

另依 CNS 1373 C4040 高壓(3.3kV)三相感應電動機之 3.4 溫升試驗，依溫度計法或電阻法所測得之溫升需在表 2-7 規定數值以下。

表 2-7 CNS 1373 C4040 高壓 3.3kV 三相感應電動機之最大溫升

絕緣種類		A 類		E 類		B 類		F 類		H 類	
		溫度計法	電阻法	溫度計法	電阻法	溫度計法	電阻法	溫度計法	電阻法	溫度計法	電阻法
測定單位	定子繞組及繞	50	60	65	75	70	80	85	100	105	125
	線型轉子繞組										
靠近絕緣體之鐵心及其他部位		60		75		80		100		125	
滑環		金屬平面軸承者在表面測量時為 40°C，									
軸承(自冷式)		插入測量時為 45°C，滾動軸承者為 55°C。									

## 2.2.5 電氣絕緣耐熱等級標準

電氣設備的溫度往往是影響電氣絕緣系統中電氣絕緣材料劣化的主要因素，如果指定了耐熱等級，則它是指適當的絕緣材料組合的建議最大連續工作溫度。在高於規定耐熱等級的溫度下運轉的電氣絕緣系統的預期壽命會較短。表 2- 8 為 IEC 60085 的電氣絕緣的耐熱等級及最大連續工作溫度 (°C) 。目前高壓沉水式抽水機，經查 INDAR、PLEUGER、ANDRITZ 及井寶(國內廠商)等廠商在電動機線圈之電氣絕緣耐熱等級均採 Y 級，各廠牌間不具差異性。

表 2- 8 IEC 60085 電氣絕緣耐熱等級表

實際熱耐久性指數或相對熱耐久性指數(°C)		耐熱等級(°C)	代表字母
≥ 90	<105	90	Y
≥ 105	<120	105	A
≥ 120	<130	120	E
≥ 130	<155	130	B
≥ 155	<180	155	F
≥ 180	<200	180	H
≥ 200	<220	200	N
≥ 220	<250	220	R
≥ 250		250	—

## 2.3 高壓沉水式抽水機基本構造及型式

高壓沉水式抽水機依製造廠各自的專業設計及客戶需求，其內部會有不同，但重要運轉組件大致是相同的。本文針對北水處較有接觸及使用經驗的 INDAR、PLEUGER、ANDRITZ 及井寶(國內廠商，目前停業中)等 4 家廠商產品作一簡單構造說明。

### 2.3.1 廠牌：INDAR

#### (1) 型式：SP UGP(中吸式)

泵浦組成要件從圖 2-12 中有：葉輪(Impeller)、泵浦軸(Pump shaft)、泵浦殼(Pump bowl)、徑向軸承(Radial bearing)、吸水座(Suction body)、吸水口濾網(Suction strainer)。

電動機組成要件有：轉子(Rotor)、定子(Stator)、徑向軸承(Radial bearing)、磨擦碟(Friction disc)、機械軸封(Mechanical seal)、上軸承座(Upper bearing housing)、繞組(Windings)、電動機外殼(Motor case)、薄膜(Membrane)、內部冷卻葉輪(Internal cooling impeller)。

泵浦及電動機之間本體以法蘭(Flange)連結，傳動軸以聯軸器(Coupling)連結。另外在電動機內所裝設之內部冷卻葉輪為水封式電動機冷卻散熱使用，可降低運轉溫度增加使用壽命，而電動機底部薄膜空間提供因溫度及壓力造成體積變化之調整功能。

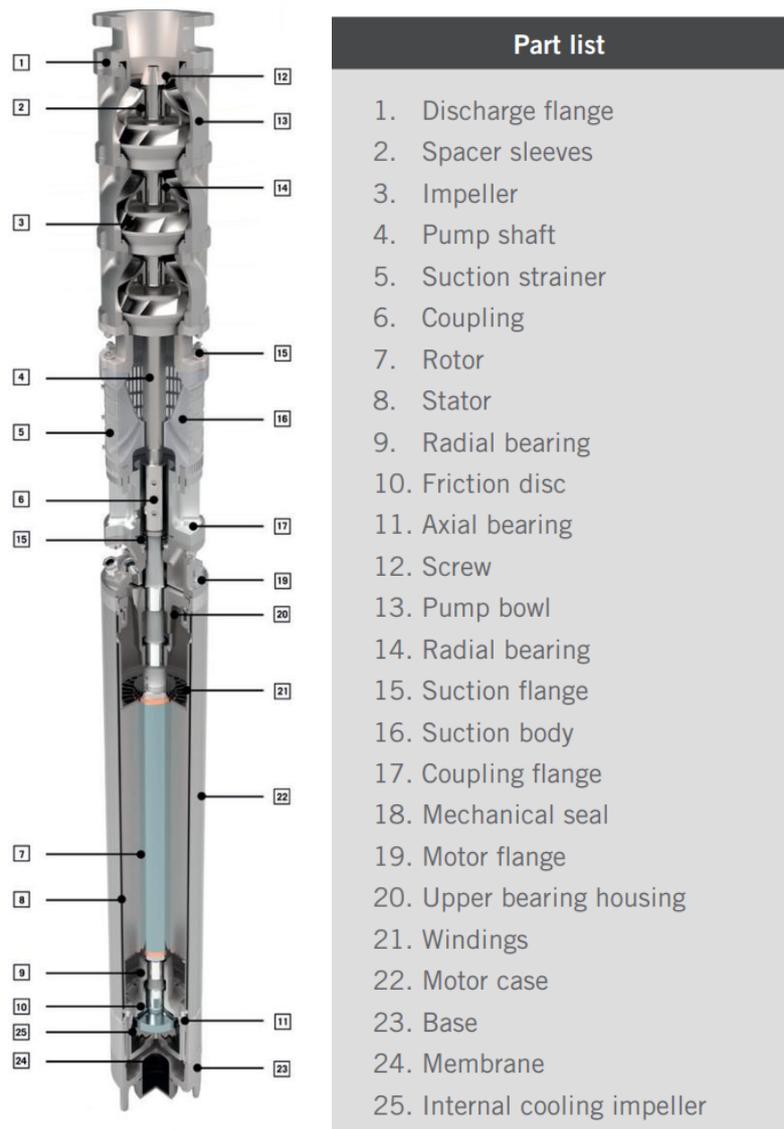


圖 2- 12 INDAR/SP UGP 沉水中吸式抽水機剖面圖

(2) 型式：SP UGP-M(低吸式)

從圖 2-13 中可看出在外型上與 SP UGP(中吸式)最明顯之差異就是電動機在上方，泵浦在下方，另電動機外部有旁通水流的冷卻罩 (Cooling shroud)，外部直徑較大，而電動機下部有聯結座(Union body) 上下方各與冷卻罩及泵浦接合。

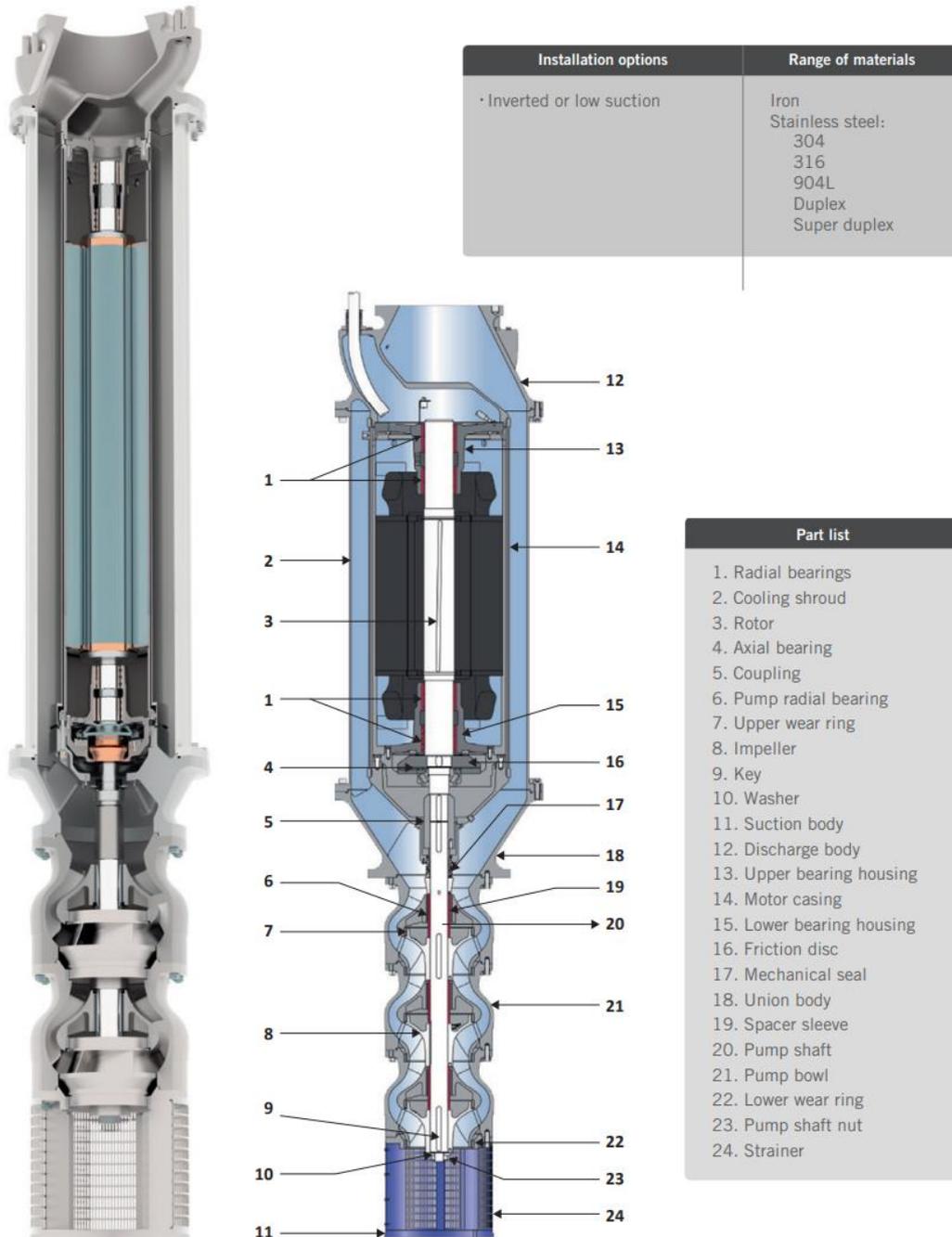


圖 2- 13 INDAR/SP UGP-M 沉水低吸式抽水機剖面圖

### 2.3.2 廠牌：PLEUGER

從圖 2- 14 中可看到該廠牌之沉水中吸式抽水機之泵浦殼(Pump bowl)、泵浦葉輪(Pump impeller)、泵浦軸(Pump shaft)、吸水口外殼(Suction casing)等均相似，但較 INDAR 沉水式抽水機在出口端多了 1

組逆止閥(Non-Return valve)，逆止閥的增設可降低抽水機停機時所產生的水錘現象，水錘可能造成推力軸承的加速磨損或損壞。另在徑向軸承處其標示(Highly wear-resistant Journal bearing)表示其材質選用高耐磨耗之軸承。

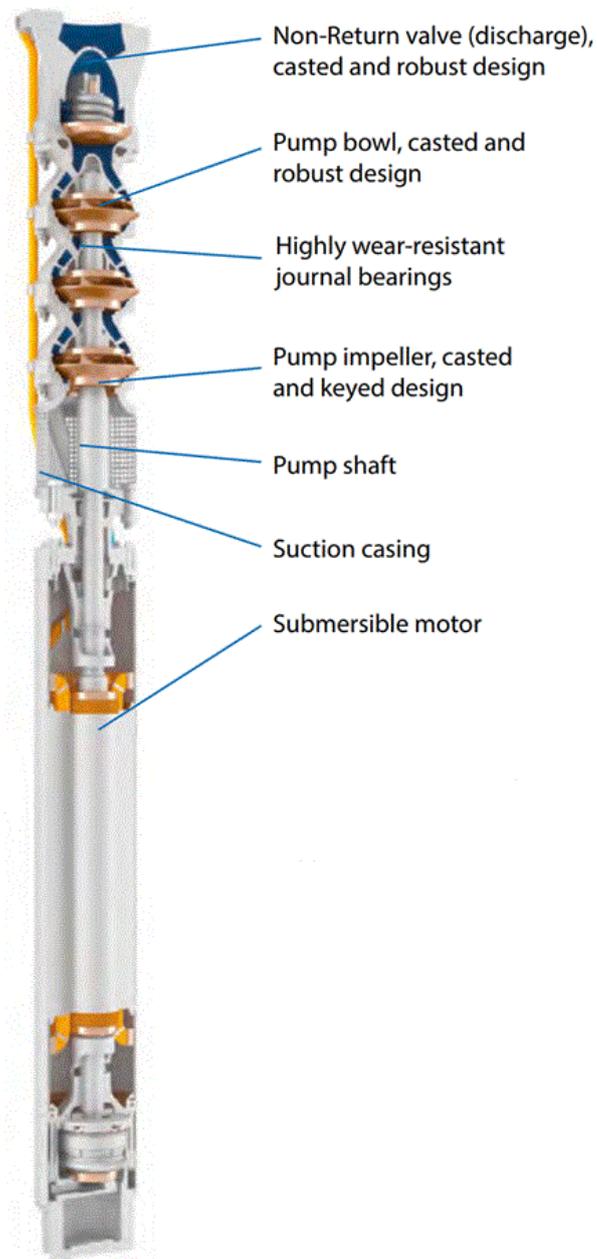


圖 2- 14 PLEUGER 沉水中吸式抽水機剖面圖

圖 2- 15 為 PLEUGER 水封式電動機剖面圖，與 INDAR 抽水機

之電動機相似，如：橡膠隔膜(Rubber diaphragm)與 INDAR 電動機內部之薄膜(Membrane)功能相同，提供因溫度及壓力造成體積變化之調整功能。另在在圖面標示可重繞式繞組(Rewindable Winding)可節省維修費用。另在電動機選用上在圖 2-16 左邊說明除了傳統的感應電動機(Induction motor)採用鼠籠式轉子(Squirrel cage rotor)外，另已將永磁同步電動機(Permanent magnet motor)列為採購之選項，以滿足客戶對於抽水機效率更高之要求。

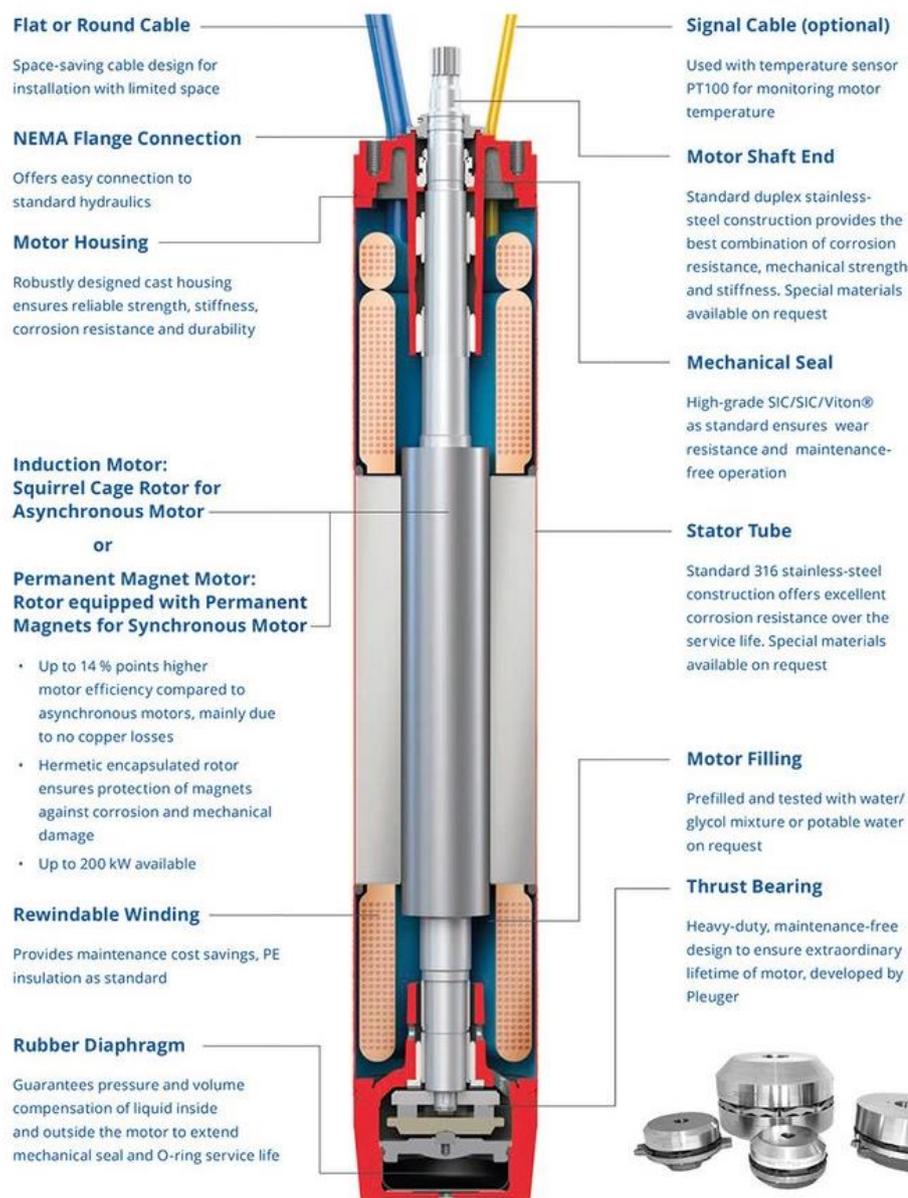


圖 2- 15 PLEUGER 水封式電動機剖面圖

### 2.3.3 廠牌：ANDRITZ

在產品型錄如圖 2- 16 上強調各段葉輪外殼間採用單螺紋連接 (Single-thread interstage casing) 可加快組裝及拆卸，另採用大型傳動軸直徑 (Large shaft diameter) 可有較高的傳動負載，再來有增量軸承 (Incremental bearing) 提供安靜運轉並保證使用壽命延長。傳動軸尾端採六角形 (Hexagon) 沒有缺口效應 (Notch effect) 有較高的扭力傳輸。

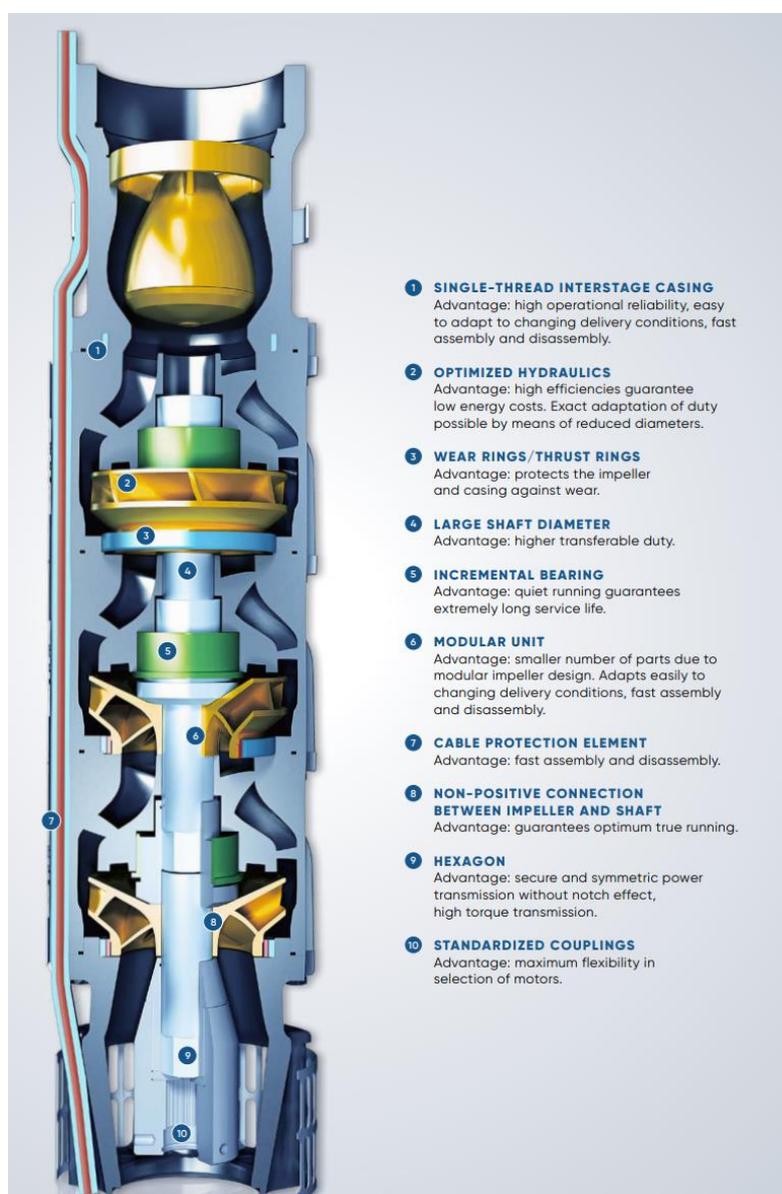


圖 2- 16 ANDRITZ 沉水式抽水機剖面圖

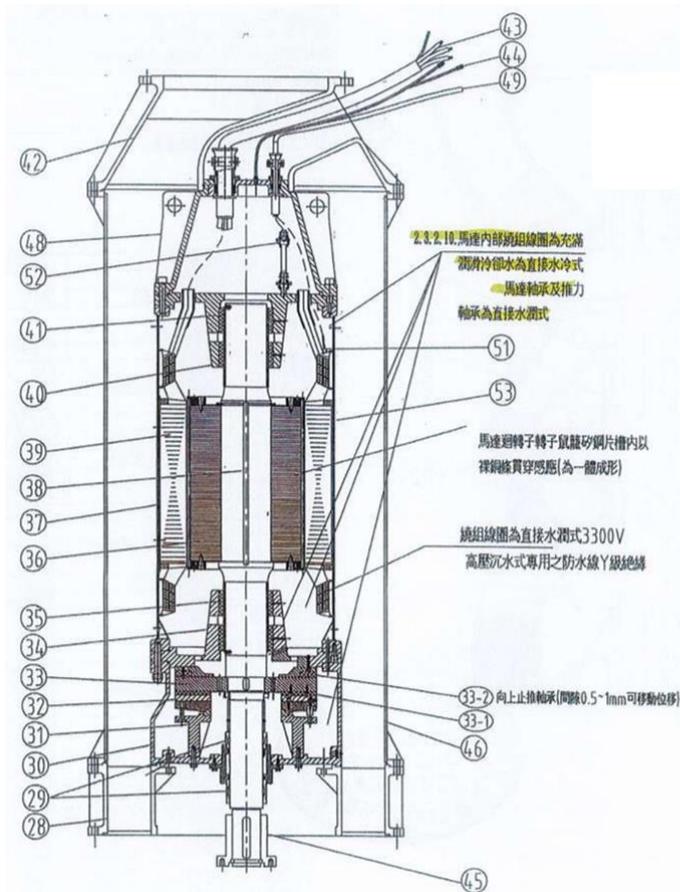
ANDRITZ 沉水式抽水機除了有傳統的鼠籠式感應電動機產品，也提供了永磁式電動機的選項如圖 2- 17，特點為極高的效率 (Extremely high efficiency)，與相同尺寸非同步電動機比較，能夠多出 100%以上的輸出功率，功率因數(Power factor)接近於 1，能耗更低；所需的電纜斷面積更小(Smaller cable cross-section)；模組化轉子 (Modular rotor)可針對故障模組進行更換；無需感應器技術(Sensorless motor technology)馬達內部轉子無需裝設感應器等等特性。



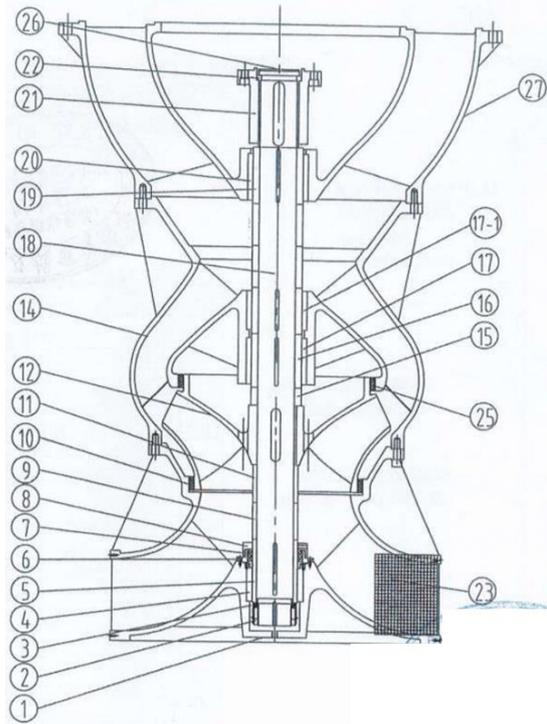
圖 2- 17 ANDRITZ 永磁式電動機剖面圖

### 2.3.4 廠牌：井寶

井寶產機企業股份有限公司是國內極少數能生產 3,300V 高壓沉水式抽水機的廠家，因為造價較外貨低廉，維修配合度佳，北水處曾有採購該公司高壓沉水式抽水機產品經驗，但目前該公司因故停業中，已不再生產相關產品。經由該公司產品剖面圖可了解馬達內部線圈為直接水冷式，馬達軸承及推力軸承等為水潤式，防水線圈採用 Y 級絕緣等，與前述外貨相比並無特別之處，詳如圖 2-18。



編號	名稱	材料
53	上、下循環水道	不銹鋼
2.3.3. 52	水位偵測器	防水感測器
2.3.3. 51	水溫度偵測器	RTD PT100
50		
49	控制線	橡膠絕緣防水電纜
48	馬達上蓋	CNS G3038 FC250I 鑄鐵鑄造
47		
46	迴流管(導流管)	SS4.00厚鋼板製成
45	馬達感測器	CNS-3828-S45C
44	抽水管及注入口	橡膠可抽高壓管
2.3.2.17. 43	動力電線(38mm <sup>2</sup> 含以上)	4/C 5kV(特種絕緣)防水電纜
42	馬達底座	CNS G3038 FC250I(或SS4.00)
41	馬達軸承(上部)	硬質合金軸承
40	馬達上部軸承座托架	CNS G3038 FC250I 鑄鐵鑄造
39	轉子鼠籠矽鋼片	50A600 高壓矽鋼片
38	馬達轉子軸心	SUS4.10 不銹鋼
2.3.2.12. 37	電刷刷架(馬達殼)	SUS304 不銹鋼(刷架)復原方式研製
36	定子矽鋼片	50A600 高壓矽鋼片
2.3.2.13. 35	馬達軸承(下部)水潤式	硬質合金
34	馬達下部軸承座托架	CNS G3038 FC250I 鑄鐵鑄造
33-2	向上止推軸承	橡膠基合金製品(直接水潤式)
33-1	推力軸承	橡膠基合金
33	推力板	SUS4.70(表面硬化工序)
32	自動調平扇形塊	SUS4.10
31	推力軸承座	CNS G3038 FC250I 鑄鐵鑄造
30	推力軸承底	CNS G3038 FC250I 鑄鐵鑄造
2.3.1.4. 29	機械密封	Sic/Sic(上、下各一)
28	馬達連接座	CNS G3038 FC250I 鑄鐵鑄造



	27	馬達連結座	CNS G3038 FC250(整體鑄造)
	26	軸心調節墊片	薄銅片
2.3.1.7	25	密封式耐磨環(葉輪)	銅合金
	24		
2.3.1.7	23	不銹鋼過濾網	SUS304 條製成並予補強
	22	聯軸器半剖環	不銹鋼SUS410
2.3.1.3	21	抽水機連結器	S45C
2.3.1.4	20	連接座軸承(中心軸軸承)	CNS-4125-BC6銅合金水中
	19	連接座襯套	不銹鋼SUS410
2.3.1.3	18	泵心軸(軸心)	SUS410(實心不銹鋼棒)
2.3.1.4	17-1	導水殼軸承(中心軸軸承)	CNS-4125-BC6銅合金水中套球軸承
2.3.1.4	17	導水殼軸承(葉輪軸承)	CNS-4125-BC6(水澆式)球軸承
	16	軸襯套(五)	不銹鋼SUS410
	15	軸襯套(四)	不銹鋼SUS410
2.3.1.7	14	導水殼(泵浦外殼)	CNS G3038 FC250(整體鑄造)
	13		
2.3.1.5	12	葉輪(法蘭西斯式)不銹鋼合金	CNS G3092 SCS13(整體鑄造)
	11	軸襯套(三)	不銹鋼SUS410
2.3.1.7	10	密封式耐磨環(外殼)	銅合金
	9	軸襯套(二)	不銹鋼SUS410
	8	防外帽	不銹鋼SUS410
	7	油封	市購 NEOPRENE
	6	油封座	不銹鋼SUS410
	5	軸襯套(一)	不銹鋼SUS410
2.3.1.4	4	吸入鎖口軸承(葉輪軸承)	CNS-4125-BC6(水澆式)球軸承
	3	有吉墊圈與螺帽墊片	CNS-2472-SS400
	2	螺帽	CNS-3828-S45C
2.3.1.7	1	吸入鎖口(泵浦外殼)	CNS G3038 FC250(整體鑄造)

圖 2-18 井寶低吸式高壓沉水式抽水機剖面圖

### 2.3.5 各家廠牌沉水式抽水機差異比較

綜理前述 4 家廠牌之產品之主要差異如表 2-9，而目前在電動機效率上最高之永磁式電動機，3 家外貨廠牌均可選購，以獲得較高運轉效率之抽水機。另外 PLEUGER 及 ANDRITZ 等 2 家廠牌有內建止回閥可有效保護停機水錘的問題。另外，3 家外貨廠牌在電動機內部均有強制循環冷卻系統，可有效減少線圈因電流及溫度產生之故障問題，可做為以後北水處選用參考。

表 2-9 高壓沉水式抽水機廠商主要項目差異表

主要差異項目	INDAR	PLEUGER	ANDRITZ	井寶
是否有永磁式電動機選項	有	有	有	無
內建止回閥	無	有	有	無
電動機內部是否有設置強制循環冷卻系統	有	有	有	無

前述 INDAR、PLEUGER 及 ANDRITZ 等沉水式抽水機製造商雖有永磁式電動機之選項。但經進一步查詢尚未實際應用在 3,300V 的電動機上，其中 ANDRITZ 目前在生產上最大只有做到 690V/450kW/2pole 之低壓電動機；PLEUGER 最大只有做到 200kW，INDAR 代理商則表示未生產 3,300V 的永磁式電動機。在 PLEUGER 相關資料中可見到效率上可高達 94%，ANDRITZ 的永磁式電動機最高亦可達到 93%，詳如圖 2-19，與傳統鼠籠式充水電動機(Water filled motor)效率提高約 3%以上，已接近豎軸非充水(沉水)式電動機之效率，期望後續永磁式電動機在 3,300V 的應用能有進一步的產品。

線圈燒毀為抽水機主要的故障原因之一，而電動機內部增加設置葉輪以強制循環冷卻方式降低線圈溫度，可降低線圈燒毀的機率及線圈老化的過程，在國外之 INDAR、PLEUGER 及 ANDRITZ 等沉水式抽水機製造商均已在大馬力沉水式電動機內部設有循環葉輪及通道，葉輪驅動冷卻水循環可降低線圈溫度並延長使用壽命。而國內井寶公司所製造的高壓沉水式抽水機卻未有該類循環葉輪之應用。在實際使用經驗上，北水處所採購國外製造高壓沉水式抽水機 INDAR 及 PLEUGER 等二家廠商產品之使用壽命確實較國內製造之抽水機為耐用。

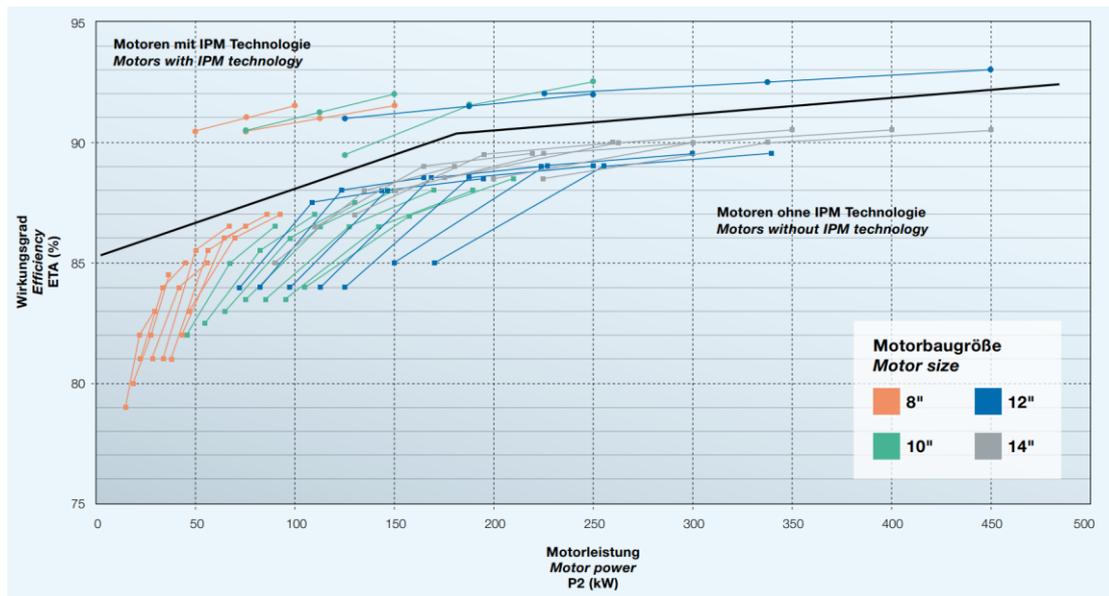


圖 2-19 ANDRITZ 永磁式電動機與非永磁式效率差異圖

## 2.4 高壓沉水式抽水機與豎軸抽水機差異比較

北水處各分區大型加壓站主要負責作為市區管網供水調配使用，裝設之抽水機在 400HP(含)以上均採用 3,300V 高壓供電運轉，以往高壓抽水機大部分採用豎軸式，分成電動機與泵浦二部分，電動機在基座上方，泵浦浸入水池內負責抽水，中間以傳動軸連結。但因近二、三十年來，環保意識抬頭，民意高漲，高壓抽水機之噪音問題經常造成民眾抗議，故北水處目前大部分高壓抽水機已改為沉水式抽水機。

高壓沉水式抽水機與豎軸抽水機的差異分析如表 2-10，在抽水機外觀差異詳如圖 2-20，以二者差異而言，豎軸抽水機在效率上較沉水式抽水機為佳，售價亦較低，但噪音問題是北水處目前最主要顧慮項目，若電動機在製造技術上能克服噪音問題，或採用目前盛行之主動式降噪(ANC ; Active noise Cancellation)技術使用消音系統來減少相關噪音，而不致擾鄰，可能為後續可研究精進的方式。

表 2-10 高壓沉水式與陸上型豎軸抽水機差異比較

	高壓沉水式抽水機	高壓陸上型豎軸抽水機
電動機效率	<p>國內製造 400Hp 以上 6 極電動機效率在 81% 以上，8 極電動機效率在 85% 以上，另隨馬力數增加，效率將略為提高(註 1)。若由國外製造之電動機效率一般會較國內製造電動機高約 2% 以上。</p> <p>國內外效率差異為經驗值，以國內廠商井寶公司而言，電動機線圈製造採人工方式繞線，而國外製造商經向代理商探詢其電動機之線圈係以繞線機進行繞線，故不同的線圈生產方式即有可能影響線圈產生之磁場，進而導致效率上之差異。另在矽鋼片選用上，國外抽水機生產廠商在材料採購上較為多元，選用較佳導磁性能之矽鋼片，能更有效地引導和增強磁場，也會造成效率上之差異。</p>	<p>400Hp 以上 6 極電動機效率在 95% 以上，8 極電動機效率在 94.1% 以上，另隨馬力數增加，效率將略為提高。(註 2)</p>
傳動方式及效率	<p>電動機及泵浦以聯軸器結合，動力直接傳遞，傳遞效率高。</p>	<p>若電動機及泵浦採聯軸器連結，傳遞效率與沉水式抽水機相同。若採傳動軸傳遞動力，效率會隨傳動軸長度降低。</p>
能耗(總效率)	<p>抽水機總效率為電動機及泵浦 2 部分效率之乘積，沉水式電動機一</p>	<p>若沉水式抽水機及豎軸抽水機在泵浦之精度及表面粗造度相同條件下，</p>

	<p>般效率偏低(如前電動機效率所述)。在泵浦部分目前常用生產方式為砂模鑄造及精密脫蠟鑄造2種，其製造方式將影響精度及表面粗造度，精密脫蠟鑄造生產之葉輪等組件表面較為光滑且精度較高，減少了表面摩擦阻力，有助於提高泵浦的效率。若泵浦部分在精度及表面粗造度相同條件下，將以電動機效率為比較基準。</p>	<p>將以電動機效率為比較基準，豎軸抽水機之總效率將較佳。</p>
採購費用	<p>高(以鼠籠式而言，外貨每馬力採購費用最少在1.8萬元以上，若選用永磁式電動機將更高。)</p>	<p>國內廠商有製造生產能力，一般較沉水式抽水機為低。</p>
日常維護	<p>自來水用沉水式抽水機相關軸承採水潤方式潤滑，依使用經驗及抽水機型錄資料無需日常保養。</p>	<p>電動機及傳動軸需定期檢點及維護保養。</p>
噪音	<p>水中運轉噪音低</p>	<p>電動機運轉噪音偏高，功率在220~550kW；額定轉速 <math>N_a \leq 960\text{rpm}</math>，依電動機冷卻方式，噪音標準在98~102dB(A)，之後隨轉速及輸出功率增加，噪音標準也隨之增加。(註3)</p>
國內生產製造評價	<p>國內生產廠家數極少，可靠性偏低。</p>	<p>國內可生產廠商家數較多，電動機專業廠商可製造IE4等級產品。</p>

註1：參考中華民國自來水協會112年11月23日國內大馬力沉水

式電動抽水機技術研討會資料 3-CP-C24 及 3-CP-C25 高壓三相電動機 6 極及 8 極(3.3kV)測試標準書。

註 2：參考 NEMA MG 1 標準。

註 3：參考 CNS 1373 C4040 表 6 最大容許 A 權值音能位準 LW。



圖 2-20 沉水式抽水機與豎軸抽水機外觀差異圖

## 2.5 北水處使用高壓沉水式抽水機實際案例

北水處各分區大型加壓站裝設之抽水機在 400HP(含)以上均採用 3,300V 高壓供電驅動，又依加壓站是否附屬配水池區分水池加壓及管中加壓，目前大部分配水池加壓站之高壓抽水機採用沉水低吸式抽

水機，如圖 2-21，安裝的場站有：大同、民生、三重、松山等加壓站、長興淨水場加壓站及公館淨水場加壓站等均採用此類抽水機，為北水處採用數量最多之高壓抽水機。

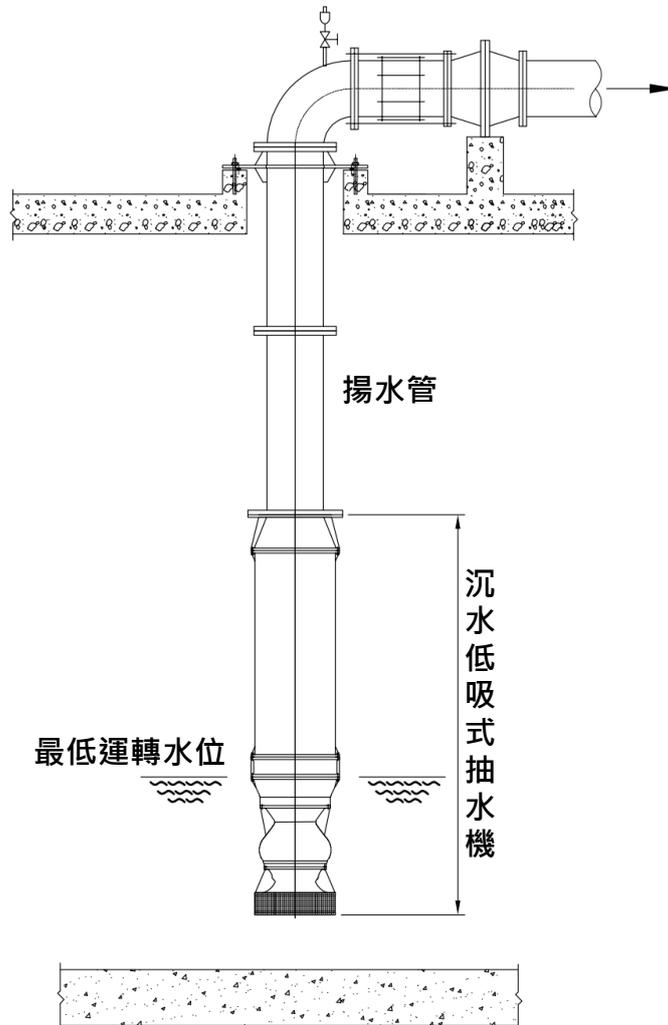


圖 2-21 沉水低吸式抽水機安裝示意圖

另外管中加壓系統受限於場地限制又區分立式抽水桶及橫置式抽水桶二種，抽水筒內部裝設沉水式抽水機，進水餘壓直接加壓，抽水機運轉揚程可降低並節省動力費用，如圖 2-22 為立式抽水桶，安裝的場站有天母、北投及大度加壓站。

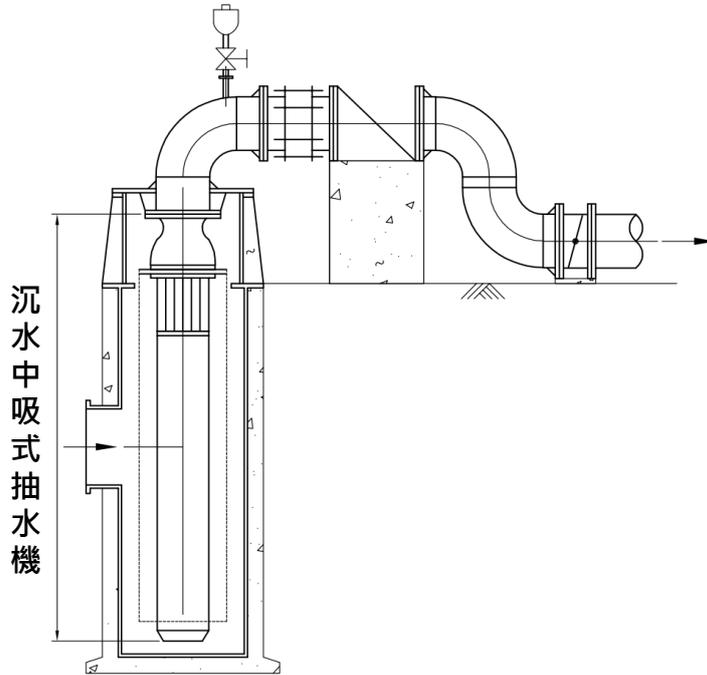


圖 2-22 立式抽水桶內設沉水中吸式抽水機安裝示意圖

北水處中和及安華加壓站為管中加壓站，二處加壓站之沉水式抽水機採低吸式，配置橫置式抽水桶，但抽水桶內部僅將抽水機泵浦部分裝設於桶內，電動機部份因原本外部即有水流旁通之外罩，且其外徑較大，不適於置入抽水桶內，以節省空間，如圖 2-23。以上三種高壓沉水式抽水機安裝方式為北水處目前運用的種類方式。

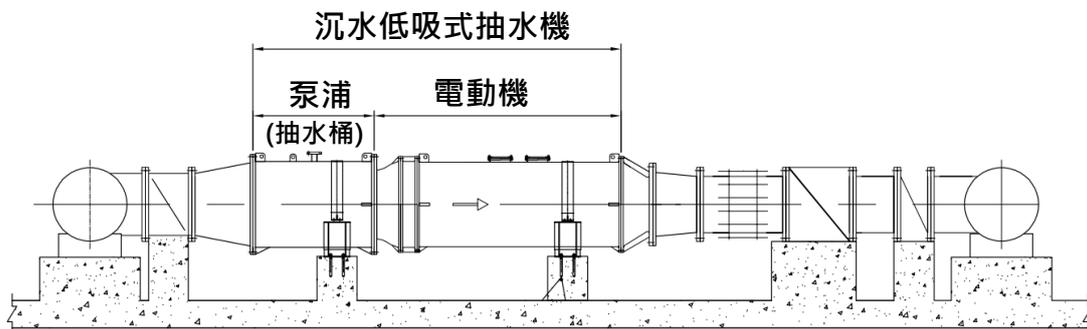


圖 2-23 橫置式抽水桶及沉水低吸式抽水機安裝示意圖

新建加壓站一般區分為土建、電氣、儀控、抽水機、閥類及管線等分項工程，雖為專業分工，但加壓站抽水機的選用與土建工程配置

有密切的關聯。一般為節能考量，可採用管中加壓模式，抽水機安裝於抽水桶內，抽水機以較低的耗能將有餘壓的進水加壓至所需水壓後出水，因進水餘壓充分利用，抽水機以較低的揚程運轉，所以相較於水池加壓，抽水機耗能會較低。而抽水桶的放置方式考量加壓站場地又可區分立式及橫置式抽水桶，土木工程則需配合抽水桶及相關管線之埋設及固定台設置等進行符合結構強度之設計及施作。

水池加壓在抽水機安裝上，土木工程又有其他需注意的配合問題，因高壓沉水式抽水機、揚水管及基座等整體重量可能高達約 10 噸重，並且通常以懸吊方式架設於樓板上，所以土建樓板承載問題必須特別考量，一般需搭配基座位置設置副樑，以克服負載問題。另抽水機有效吸水揚程 NPSH (Net Positive Suction Head，或稱淨正吸水頭) 的考量，且為有效利用配水池蓄水容量，土木工程在設計時宜設置低於配水池大底之抽水井區，除讓配水池能發揮最大之有效水位，並滿足抽水機 NPSHr 之需求及降低孔蝕(Cavitation)之產生機率。

另在新建加壓站管線配置規劃上應盡量減少大角度轉彎，若必須轉彎時，彎管曲率半徑越大，轉彎角度越小，水頭損失越小。另進出水主幹管與抽水機銜接之分支管管線配置應盡可能採 45 度斜插，而非 90 度垂直插入。雖然管線配置往往受限於場站空間大小，但仍宜盡量以流體力學之觀點減少無謂的水頭損失，畢竟看起來很小的水頭損失在乘上一個很大的時間參數，所浪費的電力及金錢是不可小覷的。

## 第三章 現況應用實例及遭遇困難

### 3.1 高壓沉水式抽水機統計

#### 3.1.1 數量統計

為解決北水處早期中大型場站設置之高壓陸地型抽水機運轉產生之噪音及機房過熱問題，北水處從 88 年開始引進使用高壓沉水式抽水機，迄 112 年已有 24 年之久。88 年至 112 年北水處高壓沉水式抽水機購案，計有 10 案，以下抽水機之相關統計係至 112 年底。

北水處各大型場站既有之高壓沉水式抽水機，計有大同加壓站 18 台，北投加壓站 5 台，天母加壓站 2 台，大度加壓站 4 台，松山加壓站 6 台，民生加壓站 7 台，三重加壓站 7 台，中和加壓站 10 台，安華加壓站 5 台，長興淨水場 9 台，公館淨水場 11 台，總計 12 座中大型場站 84 台。

北水處目前還設置有陸地型抽水機之場站，計有大同加壓站 1000 馬力 2 台，公館加壓加壓站 1000 馬力 5 台，總計 2 座加壓站 7 台，陸地型抽水機使用占比只剩約 9%。

#### 3.1.2 使用分類

北水處水池加壓之沉水式抽水機均為低吸式，管中加壓之沉水式抽水機抽水桶屬立式或橫式，則都有低吸式或中吸式。為避免立式抽水桶側面進水，造成中吸式抽水機馬達室外殼無法有效形成對流，造成散熱不良之問題，抽水機亦常有採用低吸式之情形。橫式抽水桶均

由底部進水，馬達室外殼可得到有效之對流散熱，較無一定要使用低吸型式之問題。

沉水式抽水機以吸水口位置做區分，計有低吸式 65 台，中吸式 15 台，以低吸式數量最多，占比達 80% 以上。

沉水式抽水機以馬力數做區分，計有 400~500 馬力 29 台，600~700 馬力計有 35 台，800 馬力計有 1 台，1000~1100 馬力計有 15 台，以 400~700 馬力計有 64 台數量最多，占比達 80%。設有 1000~1100 馬力抽水機之場站包含大同加壓站、民生加壓站及長興淨水場，都為動力出水量較大之場站。

北水處由於管網改善及供水管網水壓政策改變。管網水壓已由早期較高水壓調整為適度較低水壓，新採購之抽水機額定揚程也隨著有下降趨勢，近來採購抽水機額定揚程大多為 20~30m，更能契合現有管網實際需求，以可滿足管網供水為原則。

沉水式抽水機以額定揚程做區分，計有 20~30m 30 台，40~45m 計有 42 台，50~62m 計有 8 台，以 40~45m 數量最多，占比達 52% 以上。

以沉水式抽水機廠牌做區分，目前計有德國 PLEUGER 21 台、西班牙 INDAR 25 台、韓國大進 2 台及國內井寶 32 台，以國內井寶數量最多，近年來國造抽水機已有增多的趨勢。

## 3.2 抽水機故障態樣

### 3.2.1 抽水機故障情形

依損壞之構件進行分類：

第一類馬達部分：線圈絕緣電阻變差、線圈熔融及轉子與定子間相互摩擦(圖 3-1)

第二類泵浦部分：葉輪及吸水路元件發生孔蝕現象(圖 3-2)。

第三類轉動件部分：軸承及機械軸封磨損(圖 3-3)。

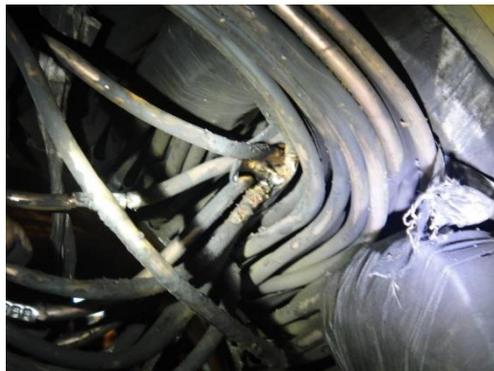


圖 3-1 馬達線圈燒毀



圖 3-2 泵浦葉輪孔蝕現象



徑向軸承摩耗(橡膠)



徑向軸承摩耗(合成樹脂)



徑向軸承摩耗(銅合金)



機械軸封摩耗

圖 3-3 軸承及機械軸封磨損

### 3.2.2 抽水機故障原因

依損壞之構件進行分類：

第一類馬達部分：機械軸封損壞造成馬達室冷卻水流失致線圈過熱、轉子偏心與定子互相摩擦、搭配變頻器使用電力突波線圈擊穿現象。

第二類泵浦部分：偏離額定點運轉，出水流量過大，造成吸水路水力磨損增加，發生孔蝕現象。

第三類轉動件部分：無法形成有效潤滑水膜之直接接觸磨損及轉動不平衡導致之過大振動等。

### 3.2.3 抽水機主要損壞構件

#### (1)馬達線圈

沉水式抽水機電動機之馬達線圈均浸沒於水中屬溼式線圈，陸地型抽水機之馬達線圈均外露於空氣中屬乾式線圈。在技術上及實務上，陸地型電動機在國內屬成熟產品，馬達線圈為乾式使用壽命較長，維修保養更簡單容易，價格更透明。而沉水式抽水機之電動機均屬各廠牌專有，原廠報價過高，維修更換時通常只能使用市面代品，無法保證完全修復至原有效能。

北水處曾經採購之高壓沉水式抽水機之廠牌計有德國 PLEUGER、西班牙 INDAR、韓國大進及國內井寶，其中韓國大進之沉水式抽水機用於三重加壓站，計有 7 台 700 馬力抽水機，幾乎每台抽水機都有馬達線圈絕緣問題，西班牙 INDAR 沉水式抽水機，少數幾台亦存有馬達線圈絕緣問題，德國 PLEUGER 及國內井寶，目前並無馬達線圈絕緣問題。馬達線圈是抽水機最難處理的部品，因長年浸沒在水中，隨使用年久老化，遇有絕緣電阻不良，抽水機無法啟動運轉時，並無法短時間內得到解決。

#### (2)機械軸封

設置於沉水式抽水機之馬達室底部，可將馬達室與外介隔開，讓馬達室之冷卻水保存不流失，以發揮馬達線圈冷卻效果。機械軸封磨損導致之馬達室冷卻水流失，將使馬達線圈無法得到充分足夠之冷卻，運轉時線圈溫度超過線圈設計等級，使線圈劣化及破壞。沉水式抽水機使用之機械軸封只有單對對摩面軸封，做基本之阻絕。不若中大污水型乾式沉式水抽水機，使用之機械軸封則有雙對對摩面軸封，經過

雙層把關，能更有效隔絕內外部，避免乾式線圈燒毀。對於水池水位會低於馬達室之沉水式抽水機，機械軸封也能採雙對對摩面軸封設計，也許是一種提供安全的另項選擇。機械軸封對摩面不論是固定面或轉動面，轉動面須具耐摩性，最常見之材質為碳化矽或碳化鎢。

### (3)水潤軸承

徑向軸承之材質包括銅合金、橡膠、合成樹脂及碳精等，早期都使用銅合金，近年來多有採用橡膠、合成樹脂及碳精種類，推力軸承則有不銹鋼及碳精種類。沉水式抽水機在啟動時會有較大之軸向力，因此推力軸承扮演很重要角色。徑向軸承在橫向裝置之抽水機將承受極大之抽水機重量，轉軸與軸承之間有效潤滑水膜形成極其重要，無法有效形成會造成轉動件直接對摩，很容易摩耗機件，讓抽水機產生振動。

馬達徑向軸承摩損不予處理，久而久之將使轉子偏心晃動加巨，而與定子互相摩擦，先是矽鋼片，再深入就是定子繞線及轉子銅棒。繞線之破皮，最終導致絕緣破壞，抽水機故障無法運轉。

泵浦葉輪徑向軸承摩損不予處理，久而久之將使葉輪偏心晃動加巨與泵浦外殼互相摩擦，造成泵浦耐摩環及葉輪葉片邊緣摩損，泵浦水力性能及運轉效率變差，甚致轉軸卡住，抽水機故障無法運轉。

隨著抽水機運轉時數增加，尤其是常態未在額定點運轉，對轉動件將產生異常摩耗，徑向軸承與轉軸間隙增加，轉子與定子間隙減小，葉輪與泵浦殼及轉子與定子互相摩擦，容易發生故障。

### 3.2.4 孔蝕現象

水在 1 大氣壓之環境下，加熱到達溫度攝氏 100 度時，即開始沸

騰產生水蒸氣，1 大氣壓即為攝氏 100 度水之飽和蒸氣壓。同理攝氏 25 度的水，在低於 0.323 大氣壓下，亦會產生沸騰現象，0.323 大氣壓即為攝氏 25 度水之飽和蒸氣壓。

水在密閉吸水路中流動，管閥之水力損失，會讓靜水壓降低，如靜水壓降低於當時溫度水之飽和蒸氣壓，氣泡就會大量產生。在經過泵浦葉輪對水做功加諸能量後，靜水壓回升，氣泡隨即破滅消失，該破滅消失點之壓力理論上為無限大，實際上可能也會達數十到上百大氣壓，如果該氣泡破滅消失點，剛好在吸水路或葉輪等金屬表面，該表面即會被擊傷，久而久之，會形成蜂窩狀組織，此即孔蝕現象。

孔蝕現象會讓葉輪失去動平衡，會有振動情形發生，連帶使徑向軸承等其他構件磨損，轉子與定子互磨受傷。構件材質的選用也很重要，不銹鋼抗孔蝕現象優於鑄鐵，不銹鋼材質葉輪較少有孔蝕現象發生。因此吸水鐘、葉輪及泵浦殼等吸水路流過之構件，在成本許可下應採用不銹鋼材質。

抽水機在遠低於額定揚程下之徧低揚程下運轉，由於水之流速加大，吸水路水之一部分靜水壓能量會轉換為速度能，導致吸水路靜水壓降低，更容易產生孔蝕現象。吸水路流過之構件之孔蝕現象開始變得嚴重時，會有振動異常之徵兆，平時之檢查應特別留意。

### 3.2.5 抽水機運轉產生之噪音

抽水機噪音主要來自泵浦的葉輪與水流的切割聲及機械聲，另加上抽水機泵浦內水路較複雜急轉折產生更大之噪音，整體噪音會更大。因此只要是出水管及抽水桶露出之部分，就會傳遞出很大之噪音。水池、半埋式管中加壓露出部分較小，而全露式管中加壓抽水機，整個

抽水桶均全露出，噪音最大。

在實務上可發現，有管閥夾層設計之抽水機室，大部分的噪音可封於夾層中，可減少噪音散逸到夾層，在夾層外噪音較不明顯，而夾層內卻是非常的大，如中和加壓站。沒有有管閥夾層設計之全露式管中加壓式抽水機室，噪音到處散逸，噪音明顯很大，如安華加壓站。三重加壓站、長興淨水場及民生加壓站等抽水機屬水池加壓式，加上抽水機房挑高空間大，噪音遠小於上述加壓站。

沉水式抽水機與陸地型抽水機比較起來，沉水式抽水機因整台均浸沒於水中，電動機產生之熱均可由抽送之水帶走，無熱排放至抽水機室是其優點。沉水式抽水機之電動機均浸沒於水中，而陸地型抽水機均外置於水面上，沉水式抽水之機電動機產生應會噪音較小，然而現在陸地型抽水機馬達均設有效果更佳防音罩，彼此電動機間產生之噪音差異已經不大。

### 3.2.6 抽水機馬達線圈散熱

有些廠牌之沉水式抽水機馬達室設有同軸循環冷卻小泵浦，有效帶動馬達室內冷卻水循環，以更有效進行散熱，另外也有於抽送水路設置循環冷卻水管(圖 3-4)，與馬達室連通，可進一步提升散熱能力。沒設同軸循環冷卻小泵浦之馬達線圈溫度約比外抽送水高約 25 度，有設同軸循環冷卻小泵浦之馬達線圈溫度約比外抽送水高約 10 度，如水路又有循環冷卻水管之馬達線圈溫度約比只比外抽送水高約 5 度。可見馬達室設有同軸循環冷卻小泵浦及水路又有循環冷卻水管，可更有效帶走馬達線圈產生之熱能，降低馬達室線圈溫度，讓馬達線圈使用壽命可更長。

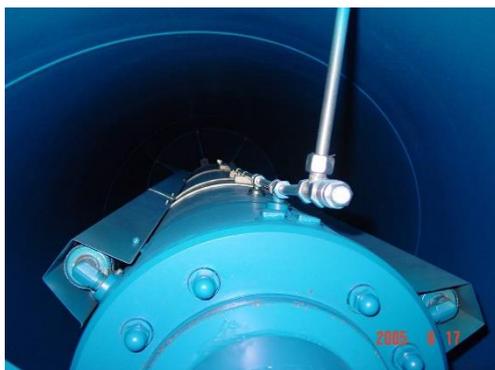


圖 3-4 馬達室外循環冷卻水管

### 3.2.7 抽水機效率比較

抽水機總效率由電動機效率及泵浦效率相乘而來，在電動機方面，影響效率因素眾多，如在相同馬力下，採用的型式，極數、電壓及加工精度等都會影響效率的表現，如在型式上採用沉水式抽水機，因為考量自來水用水安全，電動機一般採用水封式，其內部以水注滿，並以水作為軸承潤滑及冷卻作用，線圈採用耐水之絕緣電線，可直接與水接觸，但電動機內部的注水會對電動機的運轉造成較大的阻力，而陸上型電動機一般為氣冷式，內部為空氣，所以明顯的陸上型抽水機電動機效率會比沉水式抽水機高約 5% 以上。另在電動機極數上，從前述 NEMA MG-1 之效率列表 Table 12-13 及 Table 20-C 中，並以 400Hp 電動機為例，可發現 4 極及 6 極馬達效率 95% 最高，2 極馬達效率 94.5% 次之，8 極馬達效率僅有 93.6% 較低，隨功率數增加到 600Hp 以上後，4 極電動機效率又略高於 6 極電動機。但在自來水用之沉水式電動機方面，因為目前並未有相關國際或國內標準可供參考，但參考中華民國自來水協會 112 年 11 月 23 日國內大馬力沉水式電動抽水機技術研討會資料 3-CP-C24 及 3-CP-C25 高壓三相電動機 6 極及 8 極(3.3kV)測試標準書，可發現以相同 400Hp 之電動機參考標準 6 極電動機效率為 81%，8 極電動機效率則為 85%，與 NEMA MG-1

內之效率標準 6 極及 8 極電動機效率高低反而完全相反，其中所造成的差異尚待更進一步的深入研討。

在電壓對效率的差異性上，以 6 極 500Hp 電動機為例，在低壓部分參考 IEC 60034-30-1 電動機額定效率等級表可查到效率為 94%，在高壓部分 NEMA MG-1 之列表 Table 20-C 中效率可到達 95%，在相同功率上電壓不同對磁場及效率會有些微的影響。

在以往實際採購經驗，國內製造之抽水機效率普遍較歐美製造之抽水機效率為低，在陸上型電動機有相關效率標準之規定，可依標準訂定採購規範，但在沉水式抽水機之電動機效率上因為沒有相關標準規定，在電動機效率訂定上僅能依功率及極數等參數，參考 NEMA MG-1 所訂定之效率，再酌減一個經驗值，並與製造商或代理商洽詢產品可達到之效率值，綜合相關資訊而訂定電動機之效率值。但經驗上，由國外製造之電動機效率一般會較國內製造電動機高約 2% 左右，應為加工精度優劣所造成的影響。

在泵浦效率方面主要取決於流道設計的優劣及表面粗糙度等二大方面的影響，在流道設計上專業製造商大部份利用電腦輔助設計分析，在泵浦殼及葉輪組件已採模組化設計，效率上的差異不大。但在生產製造上，國內廠家大部份採砂模鑄造，而國外廠家則採用脫蠟精密鑄造，在表面粗糙度上則有顯著的差異，相對二者之間可造成 2% 以上的效率差異。

綜合前述各項因素對效率的影響，一般而言，高壓沉水式抽水機總效率可達 70% 以上，陸地型抽水機可達 78% 以上。

### 3.2.8 抽水機購置維修檢查

#### (1) 抽水機購置

北水處抽水機採購規格之訂定係參考工程會抽水機規範及多家廠商提供抽水機資料訂定，每一新採購並參考過去的實務經驗進行檢討，以期採購到合乎需求之抽水機。

北水處自民國 88 年開始辦理沉水式抽水機之購置，早期皆採規格審查最低標辦理，雖已要求投標廠商實績並進行規格審查，採購過程卻屢有爭議發生。自民國 112 年起改採最有利標辦理，由處內外委員共同評選，共同為採購品質把關，避免北水處同仁辦理類似採購之壓力及困擾。另外抽水機保固年限均定為 3 年，過長之年限並不適宜，而採最有利標評選時，在北水處合理預算編列內，投標廠商有意得標時，自會提供高品質之抽水機，並願意提供更長之保固年限。

抽水機設計技術水準、使用材料品質、加工及組裝工藝等均與抽水機產品良窳息息相關。不同廠牌抽水機的性能，縱使一開始不論在工廠或現場之檢驗及試車均能符合規範規定，並經驗收合格。但在經歷一段時間使用後，不同廠牌產品間之品質差異就會顯現出來，有的很耐用，有的卻是故障頻繁，造成使用上之困擾。因此採購時之把關，扮演很關鍵之角色，一定要了解抽水機在過去的使用評價及廠商實績。抽水機故障維修項目及頻度，以及抽水機實際使用壽命，都是很好的參考資料。

一般來說，採購之抽水機品質等級與購置成本，係成正比關係。沉水式抽水機之購置成本一般皆大於陸地型，以中上等級產品以過往經驗來做比較，沉水式抽水機 400~1100 馬力每馬力成本約為 1.5~2

萬，陸地型抽水機每馬力成本約為 1.0~1.5 萬，沉水式抽水機成本約比陸地型抽水機多 40~50%。

## (2)抽水機維修

北水處使用年久故障之高壓沉水式抽水機整修案，抽水機馬力數介於 400~1100 之間，最主要項目為馬達線圈，除年久老化造成之線圈絕緣電阻值不良外，還有各種原因造成之線圈燒毀及熔珠現象。在整修案另包括轉動件軸承更換及整修，其中徑向軸承摩耗會更換，推力軸承比較不會摩耗，只會進行整修。至於葉輪有輕微孔蝕現象，會進行冷焊修補，並進行平衡校正。原有抽水機之馬達線圈溼度及溫度保護功能元件，一定要換新。

全新之抽水機整體效率一般為 70%，整修後之抽水機整體效率一般定為原有 85%做參考，履約期限為 150~180 日曆天。一般整修案之保固年限為 1 年，高壓沉水式抽水機保固年限則為 2 年，以確保整修案抽水機之品質。整修後之抽水機整體效率，在目前國內沉水式抽水機之生態下，並無法定得太高，廠商縱使有整修能力，也不願做承諾，認為並無法完全掌控所有變數。

沉水式抽水機整體維修成本以過往經驗包含馬達線圈、泵浦葉輪及轉動件軸等整修，400~500 馬力每台約為 250 萬，600~800 馬力每台約為 350 萬，1000~1100 馬力每台約為 450 萬，每馬力成本約為 5 仟元。陸地型抽水機整體維修本包含馬達線圈、泵浦葉輪及轉動件軸等整修及更換，400~500 馬力每台約為 150 萬，600~800 馬力每台約為 250 萬，1000~1100 馬力每台約為 350 萬，每馬力成本約為 3 仟元。

沉水式抽水機及陸地型抽水機整體維修成本均約為購置成本 25%，惟實務上陸地型抽水機之馬達線圈幾乎不會燒毀，扣掉後之陸

地型抽水機維修成本更可降至購置成本 10%，明顯沉水式抽水機維修成本大於陸地型抽水機，長期維修成本較高，另沉水式抽水機所需維修時間，亦明顯大於陸地型抽水機，須列入比較。

### (3)抽水機檢查

在實務上北水處使用中之沉水式抽水機平時之日常檢查，主要包括觀察運轉電流是否正常、量測馬達線圈絕緣電阻值是否正常及人員感受有異常振動發生等基本項目，並無定期進行拆解檢查保養及更換相關摩耗零組件，屬被動式管理，有問題徵兆發生，才會採取行動。以目前沉水式抽水機之數量，進行分級保養，將有很大數量之抽水機無法使用，備載量更明顯不足。目前北水處針對陸地型抽水機均有進行定期檢查保養，除了定期更換馬達軸承潤滑油更換外，並進行振動量測追蹤，跟沉水式抽水機相比，具有故障率低及維修容易之優點。

## 3.3 不同場域下的實際案例

### 3.3.1 抽水機水力性能選用

除水力性能須契合管網需求外，運轉亦應能搭配場站現場的環境及設備，讓抽水機發揮最佳化效能。北水處抽水機之使用年限為 8 年，如妥善使用，狀況良好，一般亦可使用達 20 年以上。抽水機之馬力數大小及水力性能，攸關未來場站之長期運轉。北水處抽水機之水力性能並非由各場站自行決定，而是由北水處供水科依管網之現在及未來需求進行整體評估。

不論，否有或無搭配變頻器運轉，單台抽水機運轉，抽水機額定揚程的訂定應大於管網尖峰時段壓力 0.5~1kg/cm<sup>2</sup>，多台抽水機並聯

運轉，抽水機並聯揚程亦應大於管網尖峰時段壓力 0.5~1kg/cm<sup>2</sup>。抽水機之出水與管網之供水阻力曲線息息相關，在無搭配變頻器運轉的情況下並無完全契合管網需求，常都有超供之現象，形成無法避免之電力及供水浪費，在有搭配變頻器運轉的情況下，抽水機運轉轉速由變頻器依據管網需求進行行調變，並不會有超供之現象，能有效發揮節電及減少漏水的效益。

### 3.3.2 抽水機搭配變頻器運轉機制

早期北水處場站為滿足管網不同時段之壓力及出水量需求，因無設置變頻器，抽水機須頻繁進行啟停。在現今北水處場站廣設變頻器後，由變頻器控制抽水機轉速變頻運轉，不用再頻繁操作抽水機啟停，讓場站抽水機運轉管理更簡單。

供水管網阻力曲線在供水離峰時間，用戶關閉更多水籠頭讓管網阻力變大，供水阻力曲線變得較陡峭，出水量減少，出水壓力變高，造成過度滿足供水管網需求，此時變頻器調變減低抽水機轉速，減少出水量及降低出水壓力，管網供水再次得到滿足。此即變頻器調變抽水機轉速，滿足管網需求，適時適量供應供水管網用水需求。供水管網阻力曲線在供水尖峰時間，用戶打開更多水籠頭讓整個供水管網阻力變小，供水管網阻力曲線變得較平緩，出水量增加，出水壓力變低，造成無法完全滿足供水管網供水需求，此時變頻器調變增加抽水機轉速，增加出水量及提升出水壓力，供水管網得到滿足。

抽水機的選用，須考量是否有或無搭配變頻器運轉。如有搭配變頻器運轉，就須考量低頻率轉速對馬達線圈散熱及轉動件潤滑之影響，變頻電流突波更須特別留意。抽水機搭配變頻器運轉匹配及限制條件

詳 4.3.2 及 5.1 節。

### 3.3.3 抽水機搭配逆止閥運轉機制

抽水機出水管上設置使用之逆止閥型式，亦會影響啟動是否順利。逆止閥型式可分為不可控制式(水力差壓式)及可控制式(外部機構)，差壓式逆止閥上游壓力大於下游時閥門即會迅速自動打開，如抽水機出水壓力無法有效建立，無法與管中壓力對抗，閥門旋又關閉，一再反復，將造成啟動失敗。控制式逆止閥可在抽水機啟動後，讓出水壓力有效建立後，可控制式逆止閥閥門再慢慢打開，不會產生出水倒流現象，造成抽水機啟動電流過大而跳機。然在瞬間跳機時不可控制式逆止閥，卻可即時關閉防止水倒流，避免水流沖擊葉輪，帶動抽水機倒轉，對抽水機產生傷害。

松山加壓站早期除管閥間設有水壓缸水力斜盤泵浦控制閥，做為可控制式逆止閥功能使用外，另於抽水機出口亦設有雙瓣式逆止閥，由於水池深度有 12 米，抽水機位於水池底部，關機造成之逆流水回沖，讓閥瓣脫落掉至葉輪，並於啟動時造成葉輪破毀，加裝不必要且型式不對之逆止閥，亦會造成抽水機不必要的損壞故障。有些抽水機出口設有雙瓣式逆止閥，是一種相當常見的標準設計，卻也潛藏著危險。過深的水池，抽水機停機回沖的水流，是否沖擊雙瓣式逆止閥、泵浦葉輪及機械軸承，造成之破壞及瞬間振動移位應特別觀察留意。

不同廠牌之抽水機其馬達及泵浦之設計理念皆不會相同，其整體抽水機特性亦不會相同。抽水機馬達本身起動之特性及起動轉矩，會影響抽水機能否順利啟動。抽水機須與裝設現場搭配，如使用環向噴流逆止閥時，有些抽水機無法正常完成啟動。長興淨水場之 600 馬力

抽水機，前置蝶閥置於全開位置，並無法完成定速啟動。在往復測試後發現，要將前置蝶閥關至 30 度才能順利完成啟動，而且運轉時蝶閥開度須為 55 度，開度也不可過大，增加了水力摩損。採購抽水機時一定要把現場搭配使用之逆止閥型式及運轉模式列出，讓抽水機製造廠商充分了解，提供正確適宜現場之抽水機。

### 3.3.4 現場設置條件

沉水式抽水機搭配變頻器設備使用時，應依抽水機廠商操作手冊說明，設定啟動程序時間，讓抽水機運轉到定速，再降到運轉頻率，迅速由低轉速區至高轉速區以提供足夠之起動轉矩，帶動抽水機運轉。另離峰時段之最低運轉頻率亦應遵從廠商操作手冊說明及參考場站出水壓力特性，絕不可使抽水機處於無法有效出水之狀況下持續運轉，讓抽水機馬達線圈無法得足夠散熱而受損。

沉水式抽水機就外型來分可分為瘦長型(圖 3-5 左)及矮胖型(圖 3-5 右)二種，如果水池運轉深度足夠，採瘦長型抽水機，可避免馬達室因軸封壞掉失水，造成馬達線圈無法冷卻過熱燒毀現象。如果水池運轉深度不夠，宥於現場環境，只能採用矮胖型抽水機，並應做好馬達室低液位及溫度保護，有效保護馬達線圈。管中加壓式抽水機，如採瘦長型，所需抽水桶長度亦較長，場站之現況須能搭配。從北水處各大場站沉水式抽水機之使用狀況做比較，瘦長型因安裝之現場水池深度及抽水桶長度，都比矮胖型好，故障機率明顯較低。



圖 3-5 瘦長及矮胖型沉水式抽水機

配水池場站，其配水池深度有 6 米以上，並設有 2~3 米以之抽水井，對沉水式抽水機來說，是非常適宜設置的環境。如松山加壓站、民生加壓站及長興淨水場等場站，機械軸封磨損引起之馬達室失水及葉輪前水路靜水壓過低引起之孔蝕現象，可減少發生。因此除非機房吊掛高度受限制，瘦長型抽水機是較佳選擇。

大同加壓站一及二座水池抽水井之高度為 4.8 米，一座沉水式抽水機採用瘦長型，二座沉水式抽水機採用矮胖型，正常水池水位為 3.6 米，尖峰時間水池水位更會低到 3 米，尖峰時間抽水機時馬達室已大部露出於水面上，在停機後之重新啟動，要特別注意馬達室是否有失水現象，啟動後線圈溫度要持續觀察一段時間。否則抽水機之馬達線圈很易發生過熱燒毀。二座沉水式抽水機設置開始後，確實最常遇見的問題就是機械軸封漏水，馬達室無法保留冷卻水，經常須要進行補水。對抽水機的運轉狀況的關注力，要花的更大，也是一種無形人力成本。

### 3.3.5 工廠性能測試與現場差異

在進行工廠性能測試時，其出水管並無設置逆止閥，通常只設有

蝶閥。除非全閉壓力非常大，在抽水機啟動前蝶閥會微開外，一般都在啟動後才慢慢打開，蝶閥形同可控制式逆止閥，在有效建立出水壓力，才開始打開蝶閥進行出水，且蝶閥管後並不若管網存有背壓。因此性能測試與實際現場狀況並不一樣，才會有在現場無法完成正常啟動之情況發生。判斷抽水機之起動轉矩特性，明顯可能低於實際需求。要完成抽水機啟動，須採用類似工廠性能測試的方式來解決。工廠測試與現場測試間，因所設置管閥客觀條件不同，二者可說並不是完全相同條件下的測試。起動瞬間與啟動後二階段之運轉，所須轉矩是截然不同的。不同廠牌之抽水機其馬達的轉矩特性絕不會完全相同，馬達的轉矩特性須都能完全滿足二階段完整之需求，不僅是啟動後，起動瞬間亦非常關鍵。現場裝置的逆止閥型式，採購規範一定要明確提供。

### 3.3.6 抽水機維修狀況

北水處公館淨水場 90 年及 92 年計採購有台北線 8 台沉抽水機及新店線 4 台抽水機，使用至 112 年底約有 22 年，只有 1 台抽水機因吸水鐘發生孔蝕現象產生異常振動，以及 1 台抽水機因徑向軸承磨損卡死，進行換新更換外，其餘 10 台均能正常使用運轉，而無發生故障過。而大家最關心的馬達線圈絕緣電阻值均可達 500MΩ 以上，不銹鋼泵浦葉輪毫無孔蝕現象，推力軸承及機械軸封備品均無使用到。

在操作面上，如啟停過度頻繁、搭配變頻器或電抗器使用完成啟動時間過長，除無法完成啟動，亦會使馬達線圈燒毀，造成抽水機故障。民國 99 年北投加壓站之 1 號抽水機，因控制電驛故障，經委管人員發現時，已在短時間內進行連續定速啟停動作，次數已多達一百多次，經拆解檢查，發現馬達線圈有燒毀熔珠現象(圖 3-6)。



圖 3-6 馬達線圈有燒毀熔珠現象

民國 101 年北水處中和加壓站 4 及 5 號橫式管中加壓沉水式抽水機馬達室馬達線圈受損時，線圈絕緣電阻值雖降為零，定速並無法啟動，但搭配變頻器卻還可運轉 20~30 分鐘，進行馬達室線圈溫度量測，溫度可達攝氏 80~90 度。最後進行工廠拆解檢查，發現馬達線圈部分燒毀(圖 3-7)，雖進行局部線圈抽換，在運回安裝運轉後，同樣情形還是繼續發生，可見整體馬達線圈應都有受損，原廠認為搭配變頻器啟動應在秒內就完成啟動程序，過長時間的啟動程序，讓馬達線圈時間處於過電流，造成受損。

北水處長興淨水場於民國 101 年及 108 年分別發生第 4 及第 1 號沉水式抽水機故障，經分拆解檢查，主要都是馬達線圈絕緣電阻不良及葉輪有孔蝕現象發生，民國 102 年 4 號抽水機故障時有請原廠報價，惟維修費用在包含葉輪換新之情況下高達 800 萬元，因考量常態只運轉 1100 馬力 3 台，還有備用 1100 馬力 2 台及 600 馬力 3 台可用，而暫緩整修。108 年時又發生第 4 號抽水機故障，考量 1100 馬力主力抽水機只剩 1 台可備用，再加上在國內廠商沉水式抽水機之製造及維修技術已益趨成熟，在泵浦葉輪只進行冷焊修補並進行平衡校正之方向改變前提下，單台維修費用降至 280 萬元，完成 2 台 1100 馬力沉水式抽水機整修。

北水處松山、大同及中和等加壓站於 112 年進行計進行 5 台高壓沉水式抽水機整修，經分拆解檢查，主要亦都是馬達線圈絕緣電阻不良，整修更換項目主要為馬達線圈、徑向軸承及機械軸承更新，推力軸承及葉輪整修，馬達保護元件及電力出線更換等，整修及更換項目，與其他整修案大致相同。

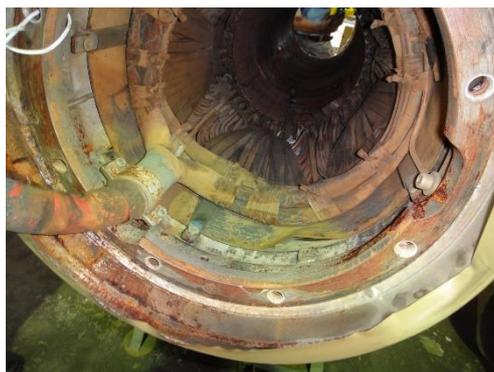


圖 3-7 馬達線圈部分燒毀

抽水機之維修如以運輸成本及時效做考量，根本就不可能於國外原廠實施，最多只是採用原廠部件。

國內外抽水機維修成本做比較，國外抽水機如全採原廠產品，約為購置成本之 50%，如採用替代品，約為購置成本之 25%，表 3-1 及表 3-2 分別為北水處 3.3kV 高壓沉水式抽水機採購統計表及故障維修記錄統計表；表 3-3 為台灣自來水公司高壓 3.3kV 沉水式抽水機故障維修紀錄統計表。

表 3-1 北水處 3.3kV 高壓沉水式抽水機採購統計表

採購年度	INDAR	井寶	PLEUGER	大進精工株式會社
90	-	-	600HP*4	-
92	-	-	400HP*4 500HP*4	-

93	400HP*1 600HP*3 1000HP*3	-	-	-
94	-	-	400HP*7 500HP*5 600HP*3	-
96	600HP*3 1100HP*6		1100HP*4	700HP*7
99	-	700HP*3	-	-
100	700HP*6 1000HP*3	-	-	-
104	-	400HP*5 500HP*5 600HP*3	-	-
106	-	600HP*4	-	-
108	-	600HP*4	-	-
109	-	400HP*1 500HP*2 600HP*2	-	-
110	-	500HP*1 600HP*2	-	-

表 3-2 北水處 3.3kV 高壓沉水式抽水機故障維修記錄統計表

維修年份	設置年份	設置場站	廠牌	馬力及數量	更換部件
99	94	北投加壓站	PLEUGER	400HP*1	(1)(2)(3)
104	100	中和加壓站	INDAR	800HP*1	(1)(2)(3)
109	96	長興淨水場	INDAR	1100HP*2	(1)(2)(3)
109	90	公館淨水場	PLEUGER	600HP*1	(2)(3)
109	92	公館淨水場	PLEUGER	400HP*1	(2)(3)

111	93	大同加壓站	INDAR	600HP*2	(1)(2)(3)
111	100	松山加壓站	INDAR	700HP*1	(1)(2)(3)
111	94	中和加壓站	PLEUGER	600HP*1	(1)(2)(3)
待修	108	大同加壓站	井寶	600HP*1	(1)
待修	104	中和加壓站	井寶	600HP*1	(1)

註：主要更換部件代號：馬達線圈(1)，徑向軸承(2)，機械軸承(3)。

表 3-3 台灣自來水公司高壓 3.3kV 沉水式抽水機故障維修紀錄

統計表

維修年份	設置年份	設置場站	廠牌	馬力及數量	更換部件
107	107	寶山淨水場	永順	600HP*2	(1)(2)(3)
112	104	頂山腳加壓站	井寶	1500HP*1	(1)(2)(3)
113	104	頂山腳加壓站	井寶	1500HP*1	(1)(2)(3)

註：主要更換部件代號：馬達線圈(1)，徑向軸承(2)，機械軸承(3)。

北水處沉水式抽水機依設置完成年份來做區分，依序為德國 PLEUGER(90 年)、西班牙 INDAR(93 年)、德國 PLEUGER(94 年)、韓國大進(96 年)、西班牙 INDAR(96 年)、德國 PLEUGER(96 年)、國內井寶(99 年)、西班牙 INDAR(100 年)、國內井寶(104 年)及國內井寶(107~111 年)。早期採購之抽水機因已使用年久，開始有故障情形

發生，須進行維修。從維修記錄可統計表可發現，德國 PLEUGER 品質較優。德國 PLEUGER 之抽水機雖屬最早採購產品，並無馬達線圈之問題，西班牙 INDAR 主要都是馬達線圈之問題，韓國大進全都是馬達線圈之問題。

北水處沉水式抽水機之維修廠商 109 年之前均為井寶公司，111 年之後因井寶公司結束營業，維修廠商轉為泉溢公司，二家公司均有進行沉水式抽水機製造及維修之技術能力。經後續追蹤，維修過後之抽水機，目前並無損壞之情形發生。

抽水機主要維修換新之部件為馬達線圈、水中軸承及機械軸封，泵浦葉輪則會進行焊補及平衡校正，吸水鐘遇有嚴重孔蝕亦須加以換新。其中除馬達線圈需進口外，水中軸承及機械軸封等均可由國內廠商供應。國內沉水式抽水機由於裝置數量有限，加上每台沉水式抽水機之馬達線圈規格並不盡相同，維修廠商因成本考量，並不會預先備料，只有在有維修使用需求時，才會進行採購。採購時間往往需四個月以上，整個維修期並無法縮短。而國內陸地型抽水機裝置數量遠大於沉水式抽水機，其馬達線圈為成熟產品，在國內取得容易，維修期可大大縮短。

## 第四章 問題分析與對策

從抽水機組完成設置開始運作，組件之磨耗也同時展開，這也意味著機組之運轉，在到達其元件之磨耗周期時，必須完成維修保養程序，以確保其後續之正常運作。即便機組之設計適當且安裝正確，磨耗也是無法避免的，但抽水機效能裕度及運轉操作限制，可提高機組運轉穩定度，藉此降低元件之磨耗程度，進而延長機組之使用週期。此外，因機組之設計係就其當時實際供水情形進行分析及選用，因此當供水服務區域改變、或因備援需求進行調整時，其系統阻力之改變，亦會導致機組運轉偏離其最佳操作點。

根據使用經驗，將進一步深入分析現況問題可能原因並建議可行對策，來改善既有機組運轉效能穩定度及做為後續規劃之參考，問題分析如下：

### 4.1 抽水機組容量過大

在不考慮外部操作變數中關於設備或管件安裝不當所導致之振動前提下，抽水機組運轉時偏離最佳操作點之程度，實為影響振動大小之最主要變數。當選用抽水機額定容量大於系統實際需求時，可能會出現一些不利運轉情形如下：

#### 4.1.1 振動與噪音

為了抑制過大之輸出流量，必須限縮出口閘開度，然而此舉會使機組操作於備壓較高之環境，因而使其運轉向左偏離最佳操作點。此時軸心會受到軸向力之作用而偏移，甚至會造成其餘支撐組件接觸面

之金屬摩擦(Boundary Lubrication)。另外，為了減少過高之輸出揚程，減台操作是經常的作法，但因為減台所降低之輸出揚程，卻會導致另一部運轉中機組往右偏離最佳操作點，甚至有可能會接近到其運轉脫出點(Run-out Point)，此時孔蝕現象可能發生，進而造成機件之損壞。前揭兩種情況均會產生很大的振動及噪音，進而加劇機組組件之磨耗，如圖 4-1。

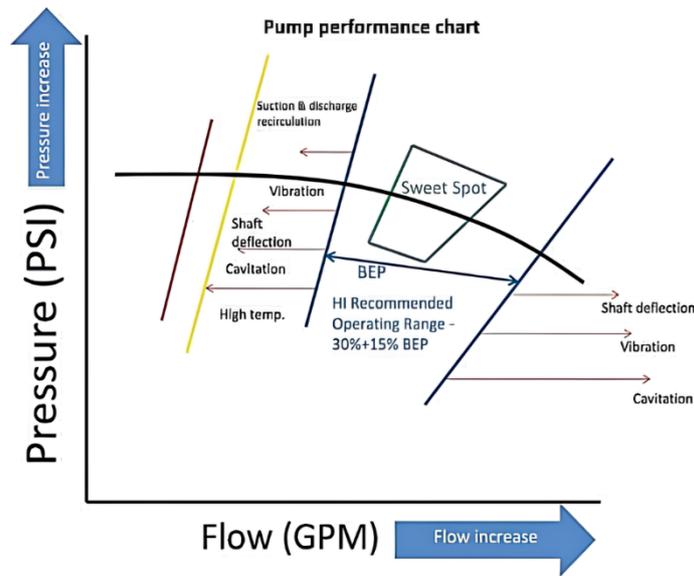


圖 4-1 泵浦特性曲線

#### 4.1.2 停、開機操作頻繁

機組過大，常避免不了配合實際供水需求之停、開機。根據圖 4.1 泵浦特性曲線 Osborne Reynolds 的研究以及 Stribeck 曲線，因摩擦特性原因，抽水機組並不適合進行太頻繁地停、開機。Stribeck 曲線以三個階段描述了摩擦力與滑動速度的關係如下：

低速階段（乾摩擦）：摩擦力主要由固體之間的直接接觸引起，並隨著速度的增加而線性增加。

中速階段（混合潤滑）：有固體接觸，也有液體潤滑，此時摩擦力相

對穩定。

高速階段（完全潤滑）：液體潤滑層完全阻隔了固體表面的接觸，摩擦力隨速度的增加而減小，趨向於一個極小值。

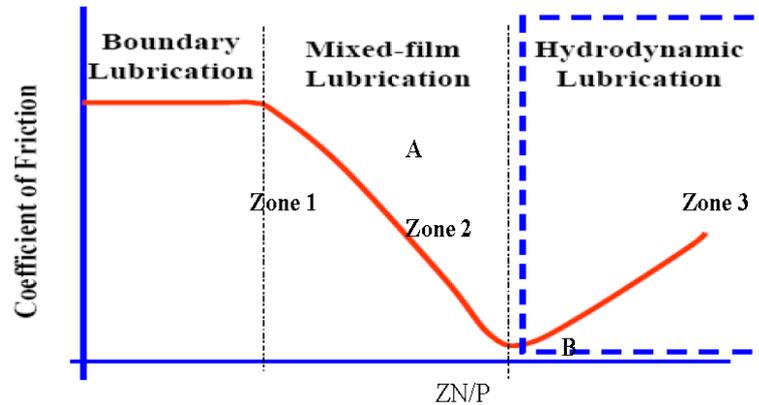


圖 4-2 Stribeck 曲線

從 Stribeck 曲線可知（圖 4-2），當機器運行時，摩擦力會產生熱量，這可能導致機器部件過熱和損壞。抽水機組軸封或軸承之磨耗程度，與水膜(Hydrodynamic Lubrication)是否穩定有直接的關聯，而水膜要建立且產生足夠的壓力去分離軸心與軸承或軸封之接觸面，則是在需要一定的轉速之下。因此，從高速、低速到停止，或從停止、低速到高速，在低速啟停階段，是抽水機轉動組件磨耗最嚴重的時候。因此，為了最大程度地減少摩擦和熱量的產生，最好讓機器在較長的運行時間內保持穩定運轉，以減少能源消耗和機器部件的磨損。如果機器頻繁地停止和啟動，摩擦力會在每次重新啟動時會重新生成，可能會影響機器的性能和壽命。此外，頻繁啟、停也會增加能源消耗，因為在啟動過程中需要額外的能量來克服靜止摩擦。

#### 4.1.3 解決對策

1. 重新評估設備選型：根據實際需求重新選擇抽水機的額定容量，

確保其與系統需求相匹配。

2. 優化操作策略：減少頻繁的停、開機操作，建議在較長時間內保持機組穩定運行，以降低摩擦和熱量產生。
3. 安裝變頻器：使用變頻器調節抽水機的轉速，以適應不同的流量需求，避免過度偏離最佳操作點。
4. 重新評估實際供水需求，選用合適容量的抽水機組。
5. 採用變頻控制，調整抽水機運轉點以接近最佳效率點。
6. 改善操作策略，減少不必要的停、開機頻率。

## 4.2 電動機裕度不足

大多認為電動機在全載運行時將達到最大效率，實際上幾乎所有符合 NEMA 標準的電動機最大效率約在全載的 65%至 80%之間。若將電動機額定訂為全載的 80%，實務上可降低線圈溫度、增加絕緣壽命而不犧牲效率，還可確保電動機可於較高環境溫度、電壓下降和輕微相位不平衡的情況下正常運轉。相反的，當電動機的額定容量小於實際所需的負載時，將導致過熱、增加磨損並縮短馬達的壽命，其原因如下：

### 4.2.1 絕緣損壞

當電動機容量不足以應對所需的負荷時，電動機將處於過度負荷的狀態，導致過電流，造成其線圈過熱、絕緣材料老化，進而增加絕緣損壞的風險，如圖 4-3。

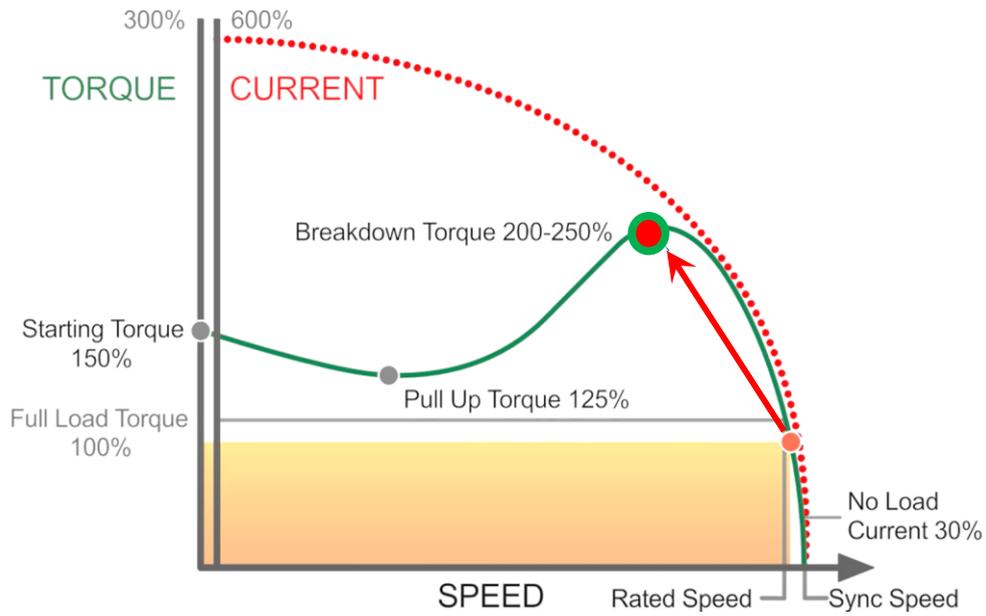


圖 4-3 電動機轉矩-速度曲線

#### 4.2.2 效率降低

電動機在過負荷運轉時的效率通常會降低，這意味著更多的電能將轉化為熱能而不是機械能，導致電動機過熱，如圖 4-4。

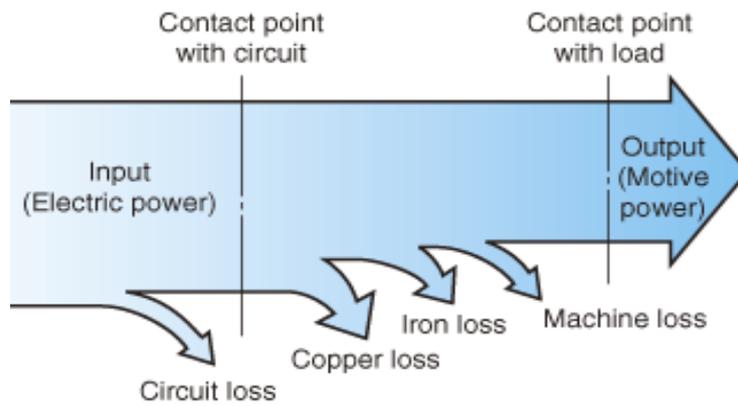


圖 4-4 電能轉換機械能過程中損耗

### 4.2.3 振動

過度負荷運轉會增加電動機內部的振動，除了造成電能之浪費，損失的效率又會以另一種能量(例如振動及噪音)形式，進而加速對機組組件之磨耗。這些組件關乎機組是否能穩定運轉，其主要包含機械軸封及軸承。機械軸封係指用於轉動設備之密封元件，其主要功能是要防止軸心內或軸心外的流體互相流動，其主要組件包含轉子環、定子環及彈性元件，構造如圖 4-5 所示。

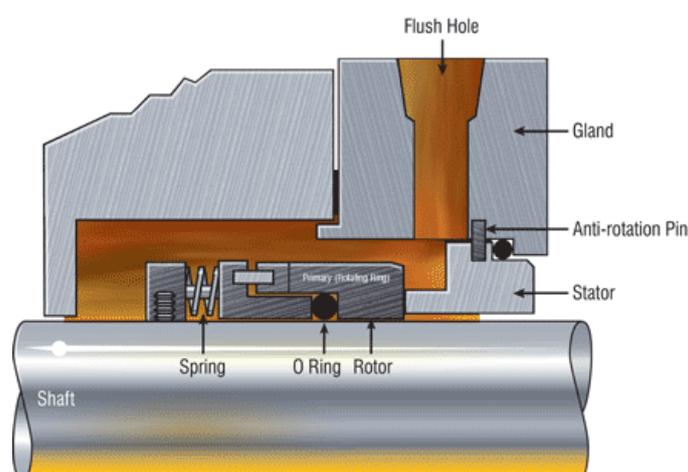


圖 4-5 轉子環、定子環及彈性元件

軸承為機械中的固定組件，其功能係當其他機件在軸上彼此產生相對運動時，用來保持位置及降低摩擦係數。在沉水式抽水機中，經常使用無滾動介質(例如滾珠或滾柱)之軸頸軸承，其構造如圖 4-6 所示。



圖 4-6 軸頸軸承構造及水膜

根據 Osborne Reynolds 研究，當軸心在軸封或軸承中轉動時，其接觸面間會形成厚度約  $1\mu\text{m}$  之水膜，如圖 4-6 所示。在理想狀況下，水膜將產生足夠之壓力避免金屬表面直接接觸。但若機組運轉中產生振動，會破壞水膜之穩定狀態，因而造成金屬表面之直接接觸，其因接觸磨擦產生的熱，將進一步抑制水膜的建立。

#### 4.2.4 解決對策

1. 適當增大電動機容量：確保電動機的額定容量能夠滿足實際負載需求，避免超載運行。
2. 定期維護與檢查：定期檢查電動機的絕緣狀態和運行效率，及時發現並處理潛在問題。
3. 使用高效電動機：考慮使用高效能電動機，以提高整體效率並降低熱損失。
4. 選用額定容量為實際負載 80% 左右的電動機。
5. 定期檢查電動機負載情況，必要時更換更大容量電動機。
6. 加強預防性維護，及時更換磨損部件。

### 4.3 系統阻力變動

北水處管網複雜，開放系統(有水池系統)與封閉系統(無水池系統)混合運轉，系統阻力曲線受尖、離峰用水時段及水池有無進水情形之影響會產生劇烈波動，如圖 4-7 所示(橫軸代表流量，縱軸代表水頭)。這也代表著系統阻力曲線的改變，其與既設機組特性曲線之交點將偏離既有規劃之運轉點。

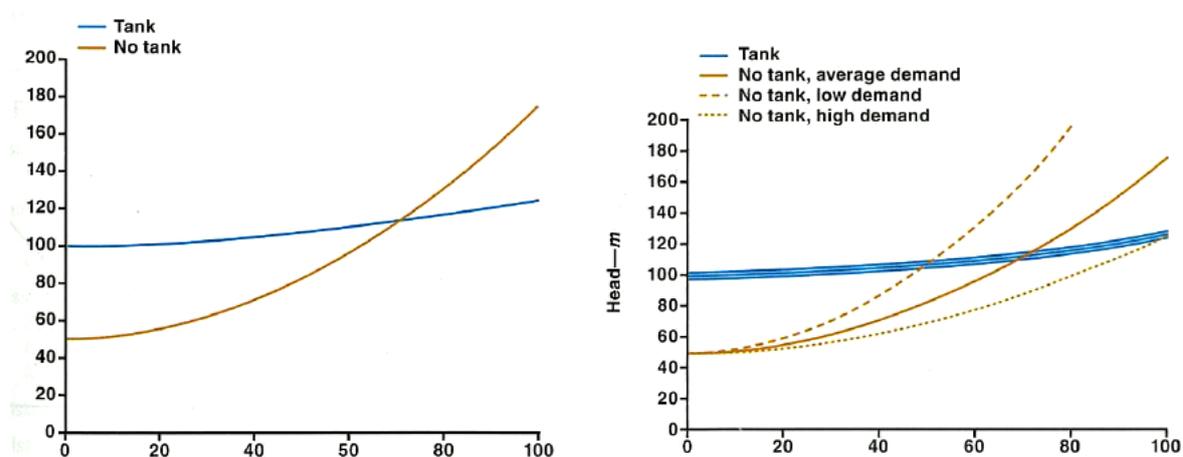


圖 4-7 尖、離峰時段下之系統阻力曲線變化

因此，需要以改變抽水機組特性曲線方式來滿足系統變化需求，茲就不同操作方式說明如下：

#### 4.3.1 多機並聯運轉

併聯運轉的目的是做為流量調變用途，系統曲線的型態將明顯影響併聯運轉的成效。舉例來說，管線長度較短、管損較小之系統曲線會較為平緩。例如，高地社區揚水至上水池之加壓站，其大部分是靜水頭，同時有較小之管損。如圖 4-8 所示，在此種條件下，抽水機組併聯運轉可達成很高之流量調變效果。

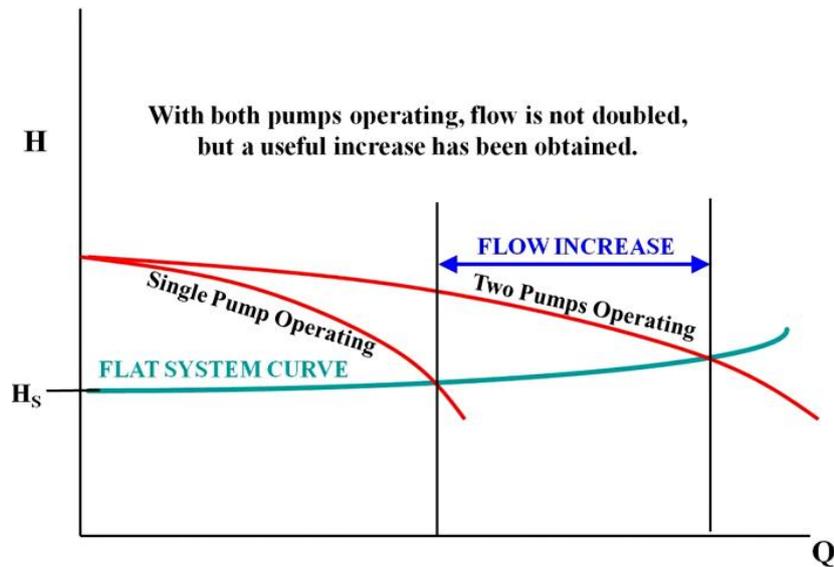


圖 4-8 平緩系統曲線下併聯運轉

相反的，管線長度長、管損較大之系統曲線會呈現陡斜之線形。例如，中繼加壓至管網的加壓站，其靜水頭較低，大部分是管損。如圖 4-9 所示，在此種條件下，抽水機組併聯運轉對流量調變效果很低。但若是以備載率觀點考量，此種系統曲線下之併聯運轉將大幅提升系統運轉之整體可靠度。因為當 1 部機組遭遇故障停機時，其對整體輸出能量不致造成太大之影響。

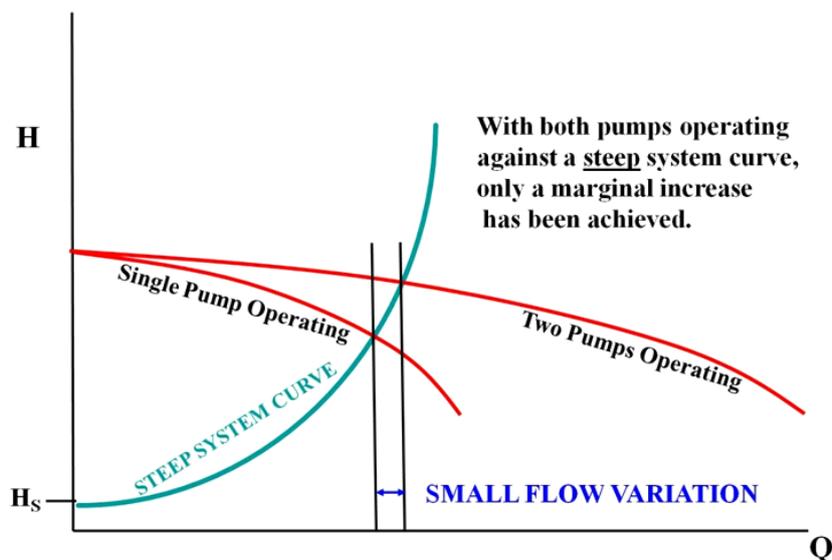


圖 4-9 陡峭系統曲線下併聯運轉

不同特性的抽水機組併聯運轉並不適當，因為在高揚程低流量區段，較小機組可能會有運轉於全閉揚程(Shut-off head)的情形。這會導致機組運轉振動、噪音及加速組件之磨耗(bearing and seal)，進而降低其應有之使用年限。如圖 4-10 所示，不同大小型式的抽水機組併聯運轉情形下，在呈現陰影這個區域內的輸出全是由 P1 抽水機貢獻的，而此時 P2 抽水機則是運轉在全閉揚程下。這個情況會一直持續到揚程 H 降到 P2 機組最高揚程以下，輸出特性曲線才會是 P1+P2 的合成曲線。

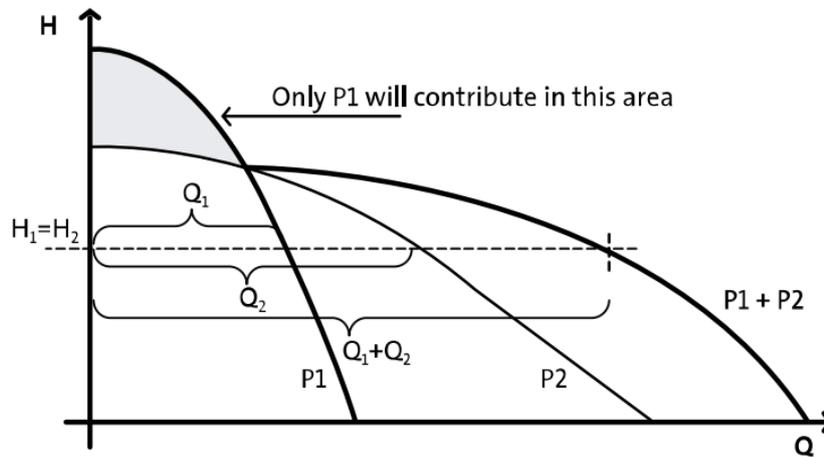


圖 4-10 不同型式抽水機併聯特性曲線

#### 4.3.2 變頻運轉

變頻設備廣泛使用於北水處加壓站，除具備調變管網壓力之功能外，因抽水機負載屬於變動轉矩型態，故其在滿足相似定理(Affinity Laws)前提下，功率會正比於轉速 3 次方。也就是說，原動機轉速降低 1/2，所需功率只剩額定轉速時之 1/8，可大幅降低抽水機耗能。如圖 4-11 所示，在不增加系統阻力條件下，降低抽水機轉速，其特性曲線往左下方平移，其流量由原本之 160gpm 降低至 80gpm，圖中灰色區塊代表所需功率。

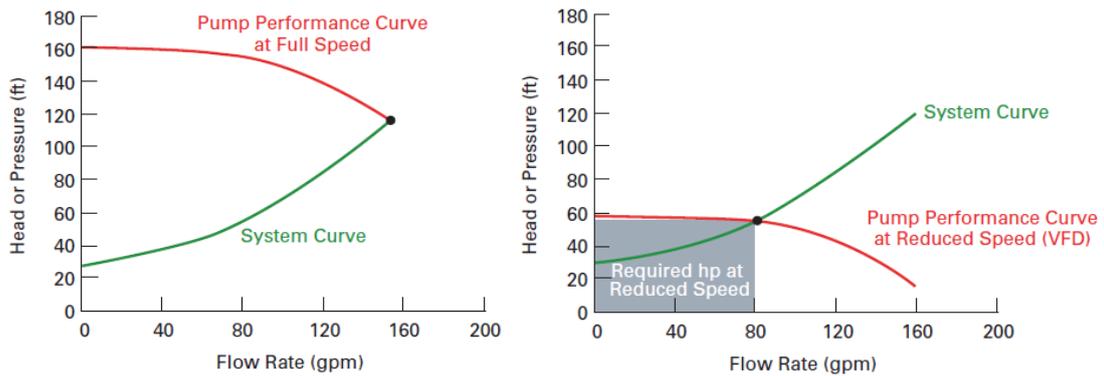


圖 4-11 降低抽水機轉速改變出水量

前面兩種方式都可達成調節流量的目的，但以變頻方式來改變抽水機特性曲線除能節省可觀的動力費外，抽水機也不會過度偏離其最佳操作點(BEP)。另外，並非所有加壓站都適合以變頻設備來調節流量。因為，相似定理僅適用於以損失水頭為主的系統曲線。如果於以淨水頭為主(例如高地社區打至上水池之加壓站)的系統中以變頻器來調變流量，其運轉效率及節能成效與使用調整出口閥的做法並不會有很明顯的差異。

#### 4.3.3 解決對策

1. 優化管網設計：對管網進行評估和優化，減少不必要的阻力損失，確保流量穩定。
2. 多機並聯運行：根據需求進行多台抽水機並聯運行，以提高系統的靈活性和可靠性。
3. 根據系統特性選擇適當的運轉模式(並聯運轉或變頻運轉)。
4. 優化系統設計，分離開放系統和封閉系統。
5. 選用相同特性的抽水機組進行並聯運轉。

## 4.4 電壓變動

電壓變動是指電力系統中電壓水平的變化，可能是瞬時的，也可能是持續的，可以是周期性的或不規則的。電壓變動通常以百分比形式表示，即電壓相對於額定值的變化程度，可能由以下幾點因素引起：

### 4.4.1 負載變動

突然的負載變化（例如大型機器突然啟動時），電力系統可能無法立即調節應對，電壓可能會出現暫時性的變動。此外，線路阻抗亦會導致電力系統中的電壓降。

### 4.4.2 電力系統

電力系統中的故障（例如短路或斷路）可能會導致電壓的急劇下降或不穩定。此外，電網容量不足情況下，也可能導致電壓的短暫變動。

### 4.4.3 自然環境

打雷或閃電可能引起短暫過電壓，強風或其他天然災害也可能損壞電力線路造成電壓不平衡或欠相。

電壓變化對交流感應電動機性能參數會造成顯著影響(圖 4- 12)，列舉說明如下：

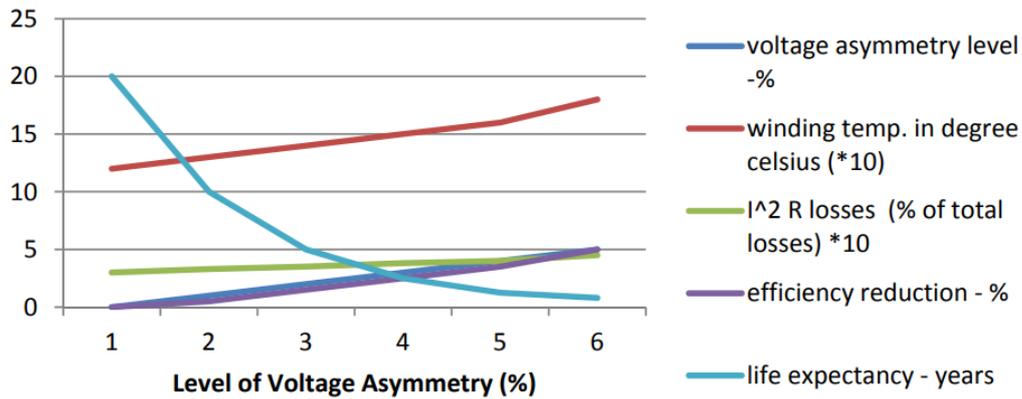


圖 4-12 電壓變動對於交流感應電動機性能綜合影響

- (1) 啟動和運行轉矩：電壓下降會減少電機的啟動和最大運行轉矩，這可能會影響電機啟動和負載運行的能力。
- (2) 效率：電壓的減少都會導致效率低下，特別是在電壓不平衡的情況下，由於繞組溫度增加和轉子損失增加，電機效率會顯著下降。
- (3) 功率因數：電壓增加通常會提高功率因數，而減少則會產生相反的效果。然而，變化可能會導致不理想的功率因數水平，影響整體系統效率。
- (4) 溫升：對感應電動機施加不平衡電壓將導致不平衡電流的流動，電流最大的相位中的溫升大約是電壓不平衡百分比平方的兩倍，電壓不平衡會導致繞組溫度顯著增加，造成繞組絕緣的熱壽命減少。換句或說，繞組溫度每增加 10°C，繞組的預期熱壽命就會減半，如圖 4-13 所示。

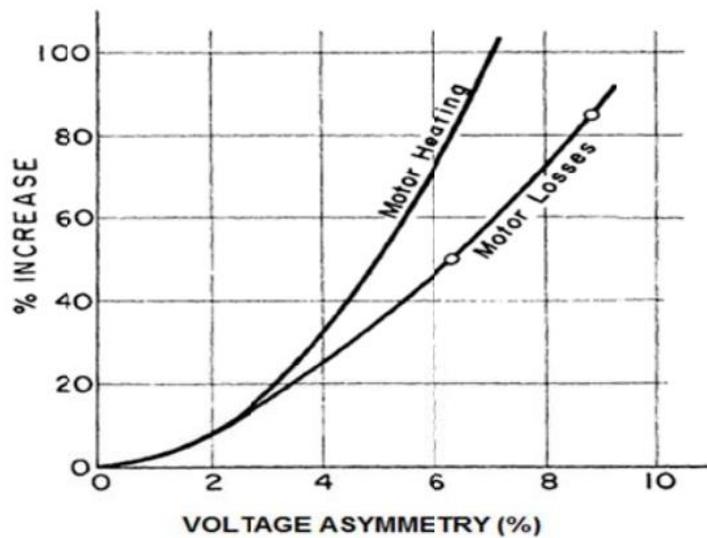


圖 4-13 工作電壓變動對於繞組溫升的影響

- (5) 振動和噪音：電壓不平衡還會增加電機的振動和噪音水平，這可能會導致機械應力和電機壽命減少。
- (6) 壽命預期：電壓變化條件下運行會加速電機絕緣系統和軸承的老化，導致早發性故障。
- (7) 鎖定轉子和崩潰轉矩(breakdown torque)：電壓不平衡會減少鎖定轉子扭矩和崩潰轉矩，可能使電機不適合某些應用，特別是在需要高啟動扭矩的情況下。

電壓變化會對交流感應電機產生多種負面影響，包括其效率、性能和壽命，建議與電力公用事業反應，要求提升供電品質，降低電壓不平衡率。惟本國電業供電電壓及頻率標準對電壓變動率要求寬鬆，供電電壓變動率不可超過 10%就符合規定。在這種情況下，提升馬達餘裕容量可納為一個選擇，作為馬達在供電電壓不平衡狀態運行情況下，減緩對馬達線圈所致負面影響。電壓不平衡對馬達容量影響如圖 4-14 所示。

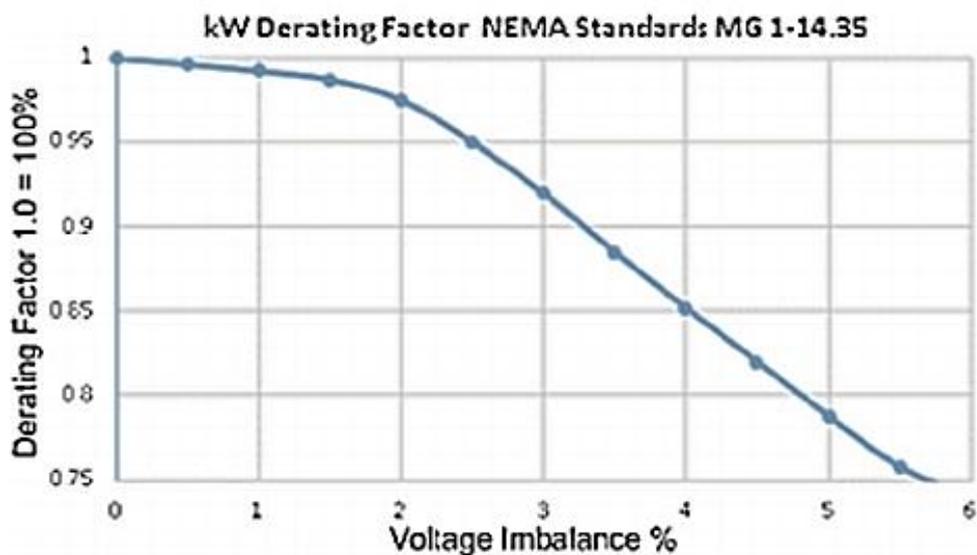


圖 4-14 工作電壓變動對於繞組溫升的影響

#### 4.4.4 解決對策

1. 安裝電壓監測設備：即時監測電壓水準，及時發現並處理電壓波動問題。
2. 改善電力供應系統：與電力公司協調，確保電力供應的穩定性，減少因電力故障導致的影響。
3. 使用穩壓設備：考慮使用穩壓器或不斷電供應系統（UPS）來保護電動機和其他設備免受電壓波動的影響。
4. 與電力公司溝通，要求改善供電品質。
5. 選用具有更高電壓裕度的電動機。
6. 安裝電壓穩定裝置或無功補償裝置。
7. 定期監測電壓變化情況,及時調整運行參數。

## 4.5 抽水機孔蝕

除上述因抽水機組容量過大造成抽水機組運轉時偏離最佳操作點會發生孔蝕之外，因抽水機安裝位置不適當或葉輪及管線設計不良等因素，也有可能造成抽水機發生孔蝕的現象。

### 4.5.1 孔蝕發生的原因

孔蝕(Cavitation)又稱為汽蝕、空蝕或穴蝕，這是泵浦在使用上時常會遇到的一種現象。泵浦發生孔蝕的主要原因，是泵浦在運轉輸送液體的過程中，當泵浦內部的流場有某處的壓力低於該液體在當時溫度下所具有的飽和蒸汽壓時，此時所輸送的液體將會在該處產生局部汽化(沸騰)的現象進而形成蒸汽泡，此形成的蒸汽泡，在液體中像是一個個的空洞，隨著液體的流動，蒸汽泡也就被帶離此低壓處。

當蒸汽泡在離開低壓處後，由於受到周邊壓力迅速上升的影響(高於液體的飽和蒸汽壓)，此時蒸汽泡會被急劇的壓縮而破滅。當蒸汽泡在破滅的瞬間，蒸汽泡邊緣的液體為填補空缺會突然衝入原由蒸汽泡所產生的空洞內，此時液體因而會被迫瞬間加速。

而就在這瞬間衝入的過程中，液體會激烈的撞擊(此壓力波可能高達數千至 104atm)該破滅處的泵浦組件表面，例如像泵浦殼、葉輪上的葉片…等，由於蒸汽泡的生成與破滅兩者均各自在泵浦內部的某處陸陸續續的進行，因此在蒸汽泡破滅處的泵浦組件表面將會連續遭受高壓力波的撞擊(此現象稱之為局部水錘效應)，而針對此種撞擊現象，就如同有無數支的小尖錐以極高的頻率持續的點擊泵浦的組件表面，在長期遭受這樣的點擊下，將會在泵浦的組件表面引發疲勞性的

破壞，進而讓這些組件表面發生粒狀形的脫落，最後導致泵浦組件的損壞。

孔蝕在抽水機葉輪進口處，如有局部性真空發生，水中的空氣會蒸發產生氣泡，當氣泡隨水流進入葉輪高壓處時，在瞬間會被高壓壓破而消失，如此氣泡循環壓破消失。使抽水機產生噪音、震動、葉輪被浸蝕，一般稱為穴蝕現象，致使抽水效率降低，甚或不能抽水。

在討論抽水機的孔蝕現象時，必須先了解何謂有效吸水揚程 NPSH (Net Positive Suction Head，或稱淨正吸水頭)。在抽水機選用上，有二種有效吸水揚程 NPSH，一種稱為可用有效吸入口揚程 NPSHa，另一種稱為需用有效吸入口揚程 NPSHr。

1. 可用有效吸入口揚程 NPSHa(available Net Positive Suction Head，可利用之基本實際吸水揚程)：

當抽水機實際安裝在系統管路進行運轉時，於吸入口處所生成的可用有效的吸入口揚程；也就是抽水機的吸入口處液體所具有的壓力，在扣除液體本身的飽和蒸汽壓（在該溫度下）後所具有的多餘能量。此值的大小與管線系統的布置及液體的性質有關，與泵浦的設計無關。

NPSHa=液面之大氣壓力+吸入口與液面之壓力差(吸入口高於液面時壓力差用「-」的，若吸入口低於液面時則壓力差用「+」的)-管路損失(額定流量時)-液體本身的飽和蒸汽壓(在該溫度下)

$$NPSHa = H_{at} + H_s - H_L - H_{vp}$$

，如圖 4-15 所示

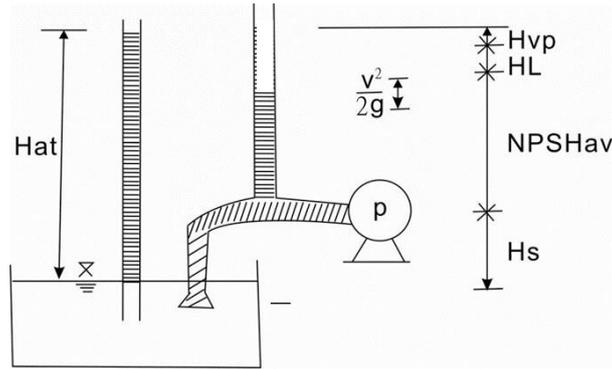


圖 4- 15 NPSHa 示意圖

定義：

Hat＝抽水池承受的大氣壓，以水頭 m 表示，與所處位置標高及氣壓有關，如表 4- 1：

表 4- 1 抽水池承受的大氣壓與所處位置標高及氣壓有關

標高(m)	0	100	200	300	400	500
絕對氣壓(m)	10.33	10.21	10.09	9.97	9.85	9.75
大氣壓 Hat	10.33	10.13	9.93	9.73	9.53	9.35

Hs＝吸水揚程(m)。當抽水機位置高於抽水池水位，抽水時把水吸昇時，其值為負。

當抽水機位置低於抽水池水位，抽水時把水吸降時其值為正。

HL＝吸水管中各種摩擦損失 m

Hvp＝操作運轉溫度對應的飽和蒸氣壓 m，如表 4- 2：

表 4- 2 運轉溫度對應的飽和蒸氣壓

溫度℃	0	10	20	30	40
水溫蒸氣壓	0.06	0.13	0.24	0.43	0.75

舉例：

水池標高為 0m，抽水機承受的大氣壓  $H_{at}=10.33\text{m}$

溫度  $20^{\circ}\text{C}$ ，飽和蒸汽壓  $H_{vp}=0.24\text{m}$

假設吸水管中各種摩擦損失太小忽略不計  $HL=0$

抽水機吸入口距水面 1.6m， $H_s=1.6\text{m}$

則  $NPSH_a = H_{at} + H_s - HL - H_{vp} = 10.33 + H_s - 0 - 0.24 = 10.09 + H_s$

範例 A. 當使用沉水式抽水機時，因吸入口在水面下 ( $H_s=1.6$ )，所以  $NPSH_a = 10.09 + 1.6 = 11.69\text{m}$

範例 B. 當使用吸入口在水面上的抽水機時，因吸入口在水面上 ( $H_s=-1.6$ )，所以  $NPSH_a = 10.09 - 1.6 = 8.49\text{m}$

2. 需用有效吸入口揚程  $NPSH_r$  (required Net Positive Suction Head，必須之基本實際吸水揚程)：

所謂的需用有效吸入口揚程是指為抑制（或防止）孔蝕的發生，抽水機本身所應具有之有效吸水揚程的最低值。此值的大小與泵浦的結構設計有關，而與管路布置無關，抽水機本身所需有效吸水揚程  $NPSH_r$ ，可由抽水機製造廠商的抽水機之性能曲線或技術型錄查得，值愈小愈好。

$$NPSH_r = (N \cdot Q^{1/2} / NSS)^{4/3}$$

定義

$NSS$ ：泵浦入口比速 ( $\text{m}^3/\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{rpm}$ )，一般介於  $900 \sim 1800 \text{m}^3/\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{rpm}$  之間， $\sigma$  相同葉輪或相似葉輪泵浦入口比速  $NSS$  值相同

$N$ ：泵浦轉速

Q：出水流量

以北水處近期採購的沉水式高壓抽水機為例，北水處規定的額定點流量 $\geq 83,000\text{CMD}$ 、額定點揚程為 $35\text{m}$ 。A 廠商所提送的抽水機其 NPSHr 約為 $8.7\sim 8.9\text{m}$ ，而 B 廠商所提送的泵浦其 NPSHr 約為 $9\text{m}$ ，如圖 4-16。

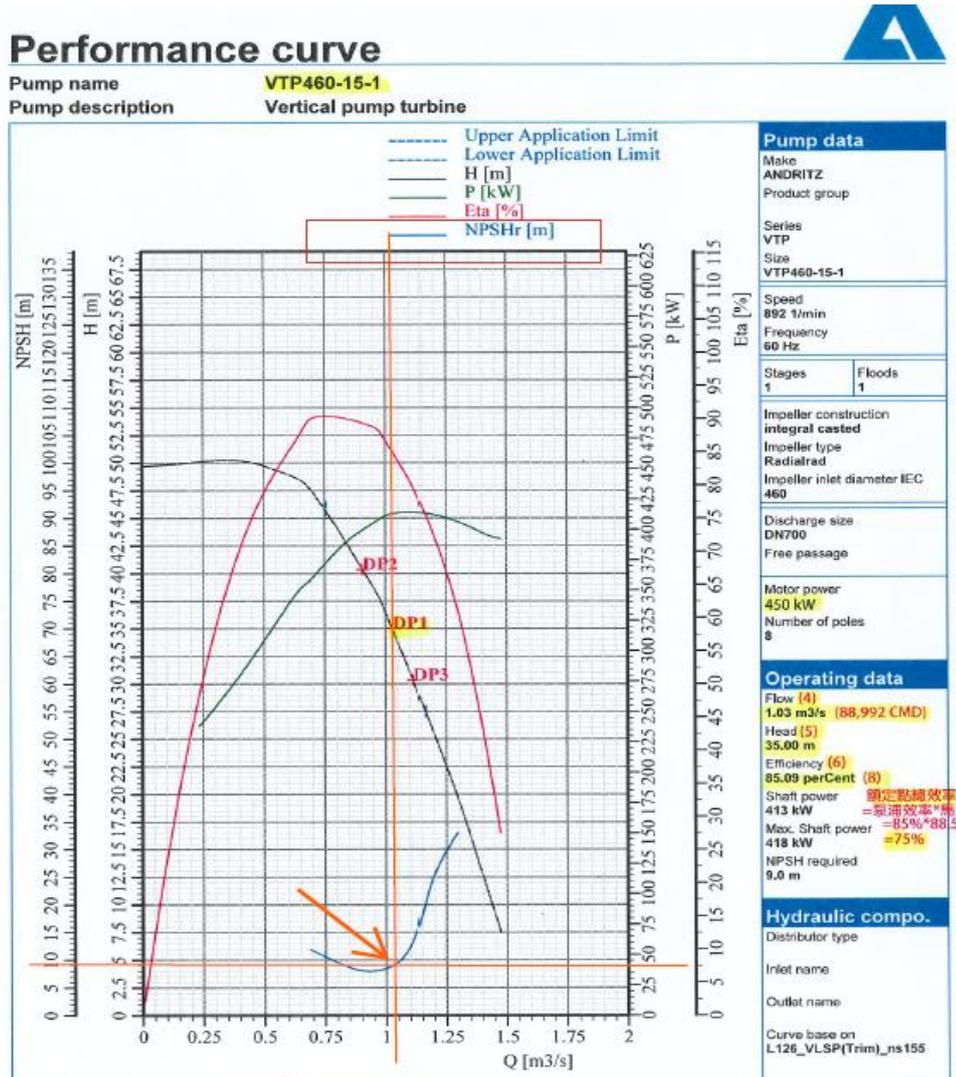


圖 4-16 泵浦之 NPSHr 曲線

#### 4.5.2 抽水機抗孔蝕可採行的措施

當  $NPSHa$  小於  $NPSHr$  時，會造成孔蝕現象，因此，設計時抽水機之安裝及操作必須使  $NPSHa$  大於  $NPSHr$ 。理論上  $NPSHa - NPSHr > 0$  即可避免發生孔蝕現象，但實務上應至少大於 3M 以上。

為避免發生孔蝕現象， $NPSHa - NPSHr$  必須大於 0，且儘可能大於 3M，相關抗孔蝕可採以下方式進行

##### 1. 提高 $NPSHa$ :

因為  $Hat$ 、 $Hvp$  在抽水機位置選定時即已決定海拔高度，故  $Hat$ 、 $Hvp$  皆為定值，所以可行的方式如下

- (1) 增加  $Hs$ ，採用吸入口在液面下之抽水機以增加  $Hs$  且吸入口越低於液面（低吸型、水池深）越好。

假設廠商提送  $NPSHr=9m$  之抽水機，以上述範例而言：

範例 A 因抽水機吸入口在水面下， $Hs = 「+1.6」$ ，

所以  $NPSHa = 10.09 + 1.6 = 11.69m$ ，

故  $NPSHa - NPSHr = 11.69m - 9m = 2.69m > 0$ ，

因此範例 A 不會產生孔蝕效應。

而範例 B 因抽水機吸入口在水面上方， $Hs = 「-1.6」$

所以  $NPSHa = 10.09 - 1.6 = 8.49m$ ，

故  $NPSHa - NPSHr = 8.49m - 9m = -0.51m < 0$ ，

因此範例 B 會產生孔蝕效應。

- (2) 減少  $HL$ ，即降低入水管段的流阻，所以可行的方式為

- 泵浦的入水段要儘量「粗、短、直」。
- 入水管口改為「鐘形口」，或以「大小頭」擴大至可能的最大口徑，避免縮小吸入側之進水量(不可調節進水閥)。
- 若需彎頭，應採用「大半徑的彎頭」。
- 若需裝設底閥(Foot Valve)，應選用低流阻者。

## 2. 降低 NPSHr

因泵浦入口比速 (NSS) 在泵浦製造時即已決定、為定值不會改變，所以可行的方式為

- (1) 降低泵浦轉速 (N)，如採用極數較大的抽水機以降低轉數。
- (2) 減少出水流量 (Q)，運轉範圍儘量靠近最高效率點，避免高估總揚程造成抽水機實際出水量增加，或增加台數並聯運轉使每台的揚水量減少。

3. 另外亦可提升葉輪材質以增加葉輪本體之抗孔蝕能力，如採用不銹鋼、鈦鋼等材質之葉輪。

## 4.6 水錘現象之發生

抽水機運轉中如發生停電、停機或其他原因，造成動力突然被切斷，或出水閥啟閉過快，使出水管上產生巨大之壓力變化，這種水壓急劇變化現象稱為「水錘」。

### 4.6.1 水錘現象之危害

水錘現象所引起之危害有下列幾種情形：

1. 壓力下降使管路被外壓壓毀。
2. 因壓力下降，部分管路產生蒸汽壓以下之壓力而使水柱分離，分離之水柱再結合時所產生之巨大上升壓力，使管路被壓破。
3. 抽水機、制水閥、管路等受正壓力毀損。
4. 抽水機及原動機如未考慮可以逆轉，致造成逆轉損壞。

另外，在發生水錘的過程中容易將水管內管垢瞬間沖出，可能會造成短時間的水質混濁情形，故抽水機其出水管線應有防止或減輕水錘(Water hammer)發生之裝置。

#### 4.6.2 水錘現象之防止

##### 1. 防止壓力上升

- (1) 抽水機加裝變頻器，應用變頻器緩啟閉之特性起、停抽水機，以降低起動扭力及緩慢減速停機。
- (2) 抽水機出口處設置急閉式逆止閥(如環向噴流靜音式逆止閥)，當抽水機停止時逆止閥會自動地或由彈簧之力量而急速關閉，以避免逆流產生。此種方法適用於背壓較低之管路系統，但不適用於管中加壓系統。
- (3) 抽水機出口裝置緩慢開、閉式泵浦控制閥，使用油壓緩衝或水力操作來作緩慢關閉。
- (4) 配管時要以混凝土固定(固定台)，以防備水錘的發生，必要時在抽水機與配管之間設置伸縮接頭。

##### 2. 防止壓力下降

- (1) 抽水機裝設變頻器驅動，具緩降速停機，使壓力緩慢下降。

- (2) 抽水機出水管路裝置壓力水槽，當管路壓力下降時，供給補充水以防止發生負壓。
- (3) 在負壓發生管路裝設吸氣閥，於負壓發生時吸入空氣。
- (4) 加大出水管徑，以減少管內流速。

## 4.7 維護管理

### 4.7.1 抽水機噪音

#### 1. 噪音的發生

加壓站抽水機運轉時，機體的振動會產生低頻的嗡嗡聲，這種低頻的音量會透過建築體傳遞，若無妥善降低抽水機低頻噪音，則經常造成加壓站附近住戶的陳情及檢舉。

若民眾檢舉經環保局現場測量，一旦抽水機運轉音量超過「管制標準」，環保局會寄發「執行違反噪音管制法案件通知書」，請機關限期改善（依規定不得超過 90 日，通常為 30 日），等噪音改善期限過後若再被檢舉，環保局會進行噪音複查，複查不合格得依規定按次或按日連續處罰（開立「執行違反噪音管制法案件裁處書」，罰單），或令其停工、停業或停止使用，至符合噪音管制標準為止。故抽水機若運轉音量過大超過「管制標準」，不僅機關要被罰款甚至面臨加壓站停工、停業或停止使用抽水機之困擾。

#### 2. 沉水式抽水機噪音改善對策

沉水式抽水機與陸地型抽水機比較起來，沉水式抽水機因整台均浸沒於水中，而陸地型抽水機均外置於水面上，一般而言沉水式抽水之電動機產生噪音應會較小。然而現在陸地型抽水機馬達均設有效果

更佳防音罩，彼此電動機間產生之噪音差異已經不大。

所以不論是沉水式或陸地型抽水機，要防止抽水機運轉噪音干擾民宅，應優先考慮儘量遠離民宅，否則就要設法隔離抽水機與民宅(如設置夾層或隔音罩)。若受限於加壓站現場環境無法做到上述隔音方式，那就必須積極進行抽水機安裝現場的減震及降噪措施。

抽水機安裝現場會出現的明管共振噪音問題可能是由於管道震動或共振引起的，以下是解決此問題的幾種方法：

- (1) 增加支撐或固定：確保出水管和支架之間有足夠的支撐和固定。使用合適的管夾或支架將出水管牢固地固定在牆壁或地面上，以減少出水管的震動和振動。
- (2) 減震措施：在抽水機承座與地面之間以及出水管與固定台之間添加減震材料，如減震氣墊等，以吸收振動和減少共振噪音。
- (3) 調整管路：調整明管的位置或角度，以減少共振雜訊的產生。有時，更改管道的方向或位置可以改善雜訊問題。
- (4) 使用隔音材料：在明管周圍添加隔音材料，如泡沫隔音板或隔音泡沫，以減少噪音傳播和共振效應。
- (5) 檢查管路條件：定期檢查明管的條件，確保它們沒有損壞或阻塞。損壞或堵塞的管道可能會增加振動和噪音。
- (6) 增加阻尼：在明管的某些部位增加阻尼材料，如阻尼貼片或阻尼塊，以減少振動和共振效應。

以北水處台北小城加壓站為例，現場使用沉水式抽水機，因抽水機安裝位置與民宅僅一牆之隔，當時居民反映抽水機運轉聲音過大，經環保局測量確實超過噪音標準。故北水處除安裝隔音牆、氣密門等

隔音設備外，另外再加裝抽水機減震承座、減震支撐及使用變頻啟動，以致改善後抽水機全頻及低頻音量皆符合噪音管制標準。

問題解析：本加壓站是一棟獨立的建物，一樓是水池、二樓是抽水機機房，是北水處代替社區管理的高地社區加壓站。由於在我們管理之前建商就先把二樓作分割只留約 5 分之 1 作為抽水機房、另外的 5 分之 4 拿來賣，當買主進入屋內發現有抽水機運轉聲音後便檢舉北水處製造噪音。因為一般的全頻噪音是有方向性的，在牆壁加裝隔音板確實可降低一些音量，但抽水機的低頻躁音通常是震動引起的它會經由地板傳遞到隔壁，因此我們除了加裝隔音板外，必須設法降低抽水機震動所引起的低頻噪音。

相關的減震及降噪方式處理說明如下：

- (1) 每台承座使用 8 只減震氣墊(圖 4-17)，加強抽水機承座與地面之間的防震效果，以降低抽水機震動噪音。



圖 4-17 減震氣墊

- (2) 出水管與固定台之間使用 2 只避震器(圖 4-18)，加強出水管與固定台之間的防震效果，以降低出水管震動噪音。



圖 4-18 避震器

(3) 加裝變頻器(圖 4-19)，可降低抽水機轉速並達到緩啟動效果，以降低震動及噪音。



圖 4-19 變頻器

效益說明：經由加裝承座減震氣墊及出水管避震器，可有效阻隔抽水機震動噪音經由地面傳遞至隔壁民宅。另外加裝變頻器後我們將抽水機轉速降低約 10%、因此運轉音量亦隨之降低，而且加裝變頻器還能達到緩啟動的效果能有效降低抽水機啟動瞬間的極大噪音，是本案例能有效改善抽水機低頻噪音的關鍵因素。

#### 4.7.2 沉水式抽水機安裝後維護管理

北水處對沉水式抽水機安裝後的維護管理，除檢視運轉電流、出水流量的情形外，並定期測量抽水機的絕緣電阻，以作為抽水機維修

時機之參考。

另外北水處已建置「加壓站抽水機運轉效率及用電監控」系統，區分為抽水機運轉效率監控及用電監控 2 部分，然後再細分為大型加壓站及小型加壓站等以方便維護及管理，如圖 4-20 所示。

# 加壓站抽水機運轉效率及用電監控系統



圖 4-20 北水處加壓站抽水機運轉效率及用電監控系統

其中抽水機運轉效率監控部分，不僅可監測抽水機即時運轉效率

並可設定效率異常警報，當抽水機運轉中發生效率異常時，監控電腦將跳出警報窗格，即時通報操作管理人員，以採取應變作為，可降低供水風險及耗能。相關內容詳如「5.3 抽水機效率監測的作法」

#### 4.7.3 沉水式抽水機使用時間對操作性能變化之探討

抽水機使用時間對其特性曲線的影響是一個複雜的問題，取決於抽水機本身的設計、製造品質、使用環境以及維護情況等因素。然而，一般來說，隨著抽水機使用時間的增加，可能會出現以下幾種影響：

**性能變化：**長時間的使用可能會導致抽水機內部零件的磨損和老化，進而影響其性能。例如，水泵浦的密封件可能會磨損，導致洩漏增加，從而降低了抽水效率。在這種情況下，抽水機的性能曲線可能會發生變化，可能表現為抽水效率下降或抽水功率需求增加。

**能耗變化：**隨著時間的推移，抽水機的能耗可能會改變。由於零件磨損或老化，抽水機可能需要消耗更多的能量來維持相同的抽水效率，因此能耗可能會增加。這會導致特性曲線在能耗方面發生變化，可能表現為消耗更多的電力或其他能源來實現相同的抽水效果。

總體而言，抽水機使用時間對其特性曲線的影響是一個綜合性的問題，需要考慮多種因素。為實際監測抽水機運轉效率，北水處已建置「加壓站抽水機運轉效率及用電監控」系統，其中加壓站運轉效率值即為紀錄出水量、出水壓及用電量的相關值，可依據歷年加壓站運轉效率值的變化情形，作為後續抽水機維護管理及汰換時機的參考。

## 第五章 周邊設備匹配度探討

依 AWWA 研究報告指出，美國水處理與配送成本中，電力使用佔 75%，且將近 91-99% 電力使用於抽水機加壓，其中高壓沉水式抽水機之用電高達總用電量的 85% 以上，抽水機須肩負維持供水系統壓力與水量穩定之任務，為最主要之能耗設備。隨著市場經濟的發展和自動化，智慧型化程度的提高，採用高壓變頻器對抽水機進行速度控制，是可持續發展的必然趨勢，不但可降低能源消耗，且可降低管網壓力，減少了滲漏、爆管，可延長設備使用壽命。

### 5.1 高壓變頻器

高壓變頻器是運用變頻技術與微電子技術，透過改變電機工作電源頻率方式來控制交流電動機的電力控制設備，隨著工業自動化程度的不斷提高，變頻器也得到了非常廣泛的運用。

變頻器架構如圖 5-1，變頻器主要單元包含整流（交流變直流）、濾波、逆變（直流變交流）、制動單元、驅動單元、檢測單元微處理單元等。變頻器輸入電源經過二極體整流與濾波器轉換為直流電源，經由高壓開極雙極性電晶體(IGBT)透過脈衝寬度調變(PWM)技術根據負載實際需求，將直流電源轉換成不同交流電壓與頻率，除此之外還有很多的保護功能，如過流、過壓、過載保護等，另高壓變頻器比低壓變頻器更複雜、更昂貴，並且需要針對絕緣、冷卻和高壓保護進行專門的設計考慮。

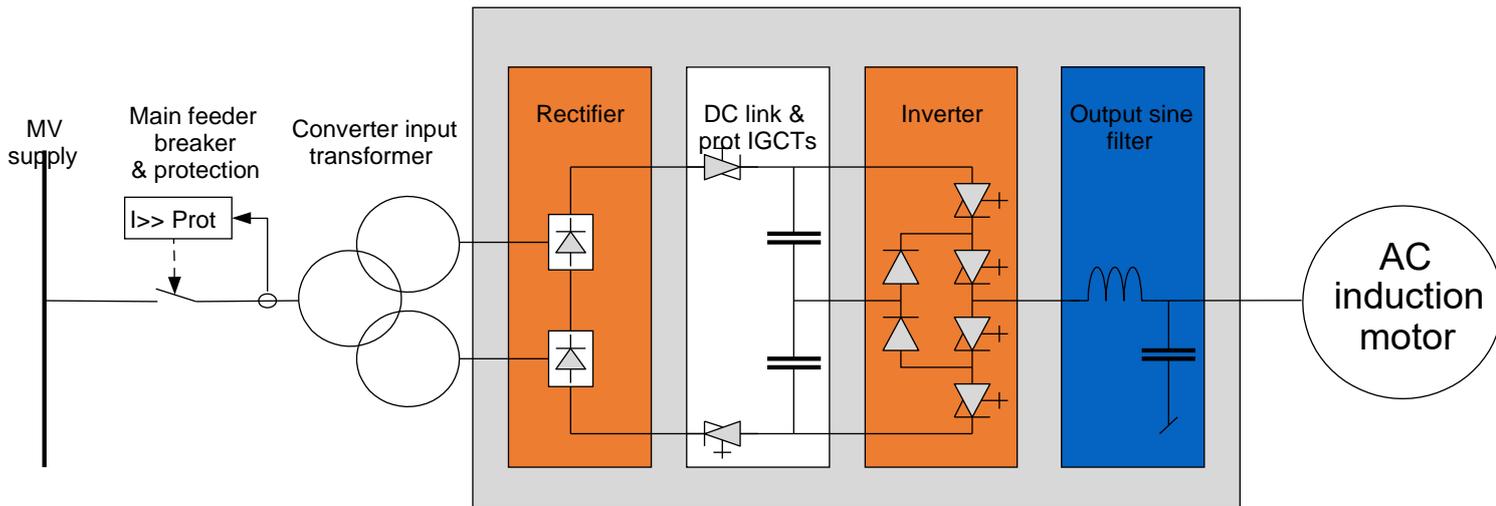


圖 5-1 變頻器架構圖

### 5.1.1 變頻器容量的裕度匹配

變頻器的裕度為變頻器容量與負載需求的比值，裕度的目的是確保變頻器在不同工況下能夠穩定運行，並應對突然負載變化或未來的系統擴展。適當的裕度可以提高系統的穩定性、可靠性和安全性，並延長設備的使用壽命。

裕度的大小取決於多個因素，包括系統的工作環境、負載特性、變頻器的控制方式等。一般來說，裕度通常設定為負載需求的一定百分比，例如 10%至 20%。這意味著變頻器的容量將比負載需求高出 10%至 20%，以應對負載變化和不確定性。

在選擇變頻器時，尚需要考慮系統的實際運行情況和未來的擴展計劃，並根據這些因素來確定適當的裕度。過小的裕度可能導致變頻器在負載波動時無法穩定運行，而過大的裕度則可能增加設備成本並降低系統效率。因此，裕度的選擇需要充分考慮各種因素，以確保系統的正常運行和性能。

根據表 5-1 中加壓站抽水機的規格得知，廠商會根據額定點流量、揚程、效率及電動機功率限制等要求計算出最大軸馬力，並選購或挑選所生產之電動機能符合設計值之馬力數，這將造成不同廠商電動機裕度(電動機容量/最大軸馬力)大小不一，若變頻器容量以電動機額定輸出計算將會大於實際抽水機額定容量恐增加建置費用，北水處目前採用方式分為新購置變頻器安裝於既有抽水機，以抽水機最大運轉電流 1.1~1.15 倍選擇變頻器容量，若抽水機及變頻器皆為新購則以抽水機之電動機額定輸出 1.1~1.15 倍選擇變頻器容量。

表 5-1 加壓站抽水機規格

	設計需求	A 廠牌規格	B 廠牌規格
額定點流量(CMD)	$\geq 83,000$	88,992	86,400
額定點揚程(m)	35	35	35
額定點效率(%)	$\geq 78$	85	86.6
額定點總效率(%)	$\geq 70$	75.5	78.6
額定點軸馬力/最大值 (HP)	-	554/560	531/552
抽水機最大運轉電流(A)	-	120	104
電動機額定輸出馬力 (HP)	$\leq 650$	603	650
電動機裕度	-	1.09/1.08	1.22/1.18
電動機額定電流(A)	-	129	121
變頻器容量建議值(A)	-	148	139

### 5.1.2 變頻器操作限制條件

#### 1. 變頻器干擾與防治

變頻器透過有脈波寬度調變(PWM：Pulse Width Modulation)控制或脈波振幅調變(PAM：Pulse Amplitude Modulation)控制，將整流後之直流電壓(DC)變換成可變的交流電壓(AC)，此交流電壓可分解為只含正弦波的基波和其他各次諧波的信號，這些諧波除了能構成電源無功

損耗的較低次諧波外，還有許多頻率很高的諧波成分，會對變頻器本身以及電力系統中的其他設備的干擾信號。

另外需注意部分，由於變頻器的輸出含有高頻諧波，伴隨極高的  $dv/dt$  諧波電壓(圖 5-2)，增加了電力電纜及抽水機損耗。如果變頻器與抽水機間電纜長度過長時，電纜組抗與抽水機組抗差異所造成之行進反射波將於抽水機端線圈疊加，造成電機線圈絕緣破壞，甚至使電纜爆裂。

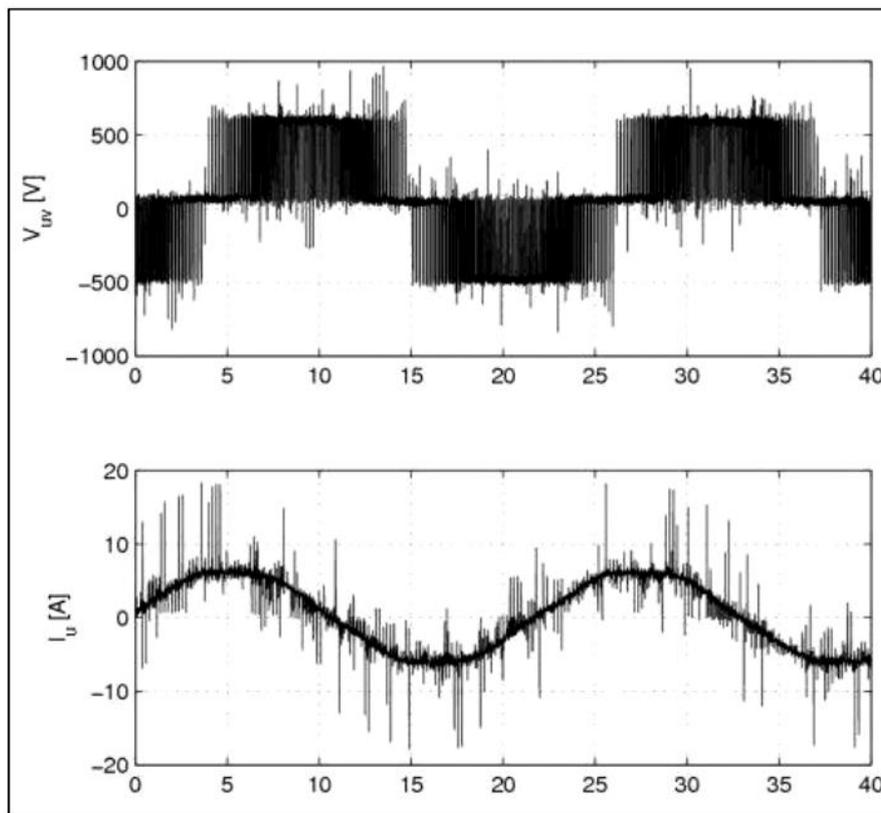


圖 5-2 VFD output square waveform with voltage spiking

抽水機組搭配變頻器 (VFD) 使用時，由於電纜長度阻抗和電機沖擊阻抗之間的差異所致電壓尖峰可能會超出電機絕緣保護，導致電機過早故障。這種被稱為反射波現象的電壓尖峰在 VFD 和電機之間很常見，因此搭配正弦波濾波器(圖 5-3)提供理想的平滑正弦波 VFD 輸出，可有效減少電纜和電機之間因阻抗差異於電機繞組、絕緣組件

上產生的電壓尖峰。

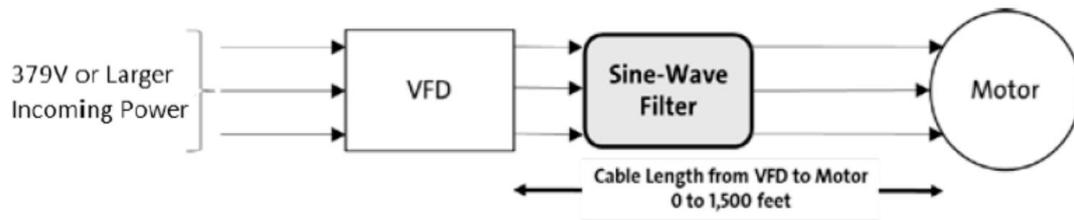


圖 5-3 VFD 搭配正弦波濾波器

變頻諧波其干擾訊號包含：

- (1) 諧波干擾：諧波電流通過供電系統的阻抗，造成電壓波形變形，對許多儀器產生干擾。主要表現為正弦波頂部變平，特別是在弱電源下諧波電流更為明顯，而且這種干擾會影響使用同一電網的其他設備。
- (2) 射頻傳導發射干擾：變頻器從電網吸取脈衝狀電流時產生的高頻成分，形成射頻干擾，這種干擾會影響同一電網上其他儀表。
- (3) 射頻輻射干擾：變頻器的輸入和輸出電纜存在射頻干擾電流時，由於電纜相當於天線，會產生電磁波輻射，這種輻射干擾會影響靠近變頻器的其他電子設備，且越靠近變頻器干擾現象會變得更嚴重。

如何抑制諧波、輻射及供電系統干擾，可採用下列等方式進行改善：

- (1) 安裝電抗器：在變頻器的輸入和輸出端串接合適的電抗器，以吸收諧波並增大電源或負載的阻抗，從而抑制諧波並減少電磁輻射，同時提高功率因數。
- (2) 安裝隔離變壓器：在變頻器和其他用電設備的輸入側安裝隔離變壓器，以切斷諧波電流的傳播。

- (3) 安裝主動式濾波器：在變頻器的輸入側安裝主動式濾波器可以根據需要主動地調整補償電流的大小和相位，從而更有效地抑制諧波。
- (4) 變頻器接地：使用專用接地線，將變頻器正確接地，並與其他設備的地線分開，線路應短且粗，能有效抑制諧波電流對其他設備的干擾和輻射干擾。
- (5) 電源線和信號線分別鋪設：將電源線和信號線單獨鋪設避免交叉，且信號線接地應接到控制線接地網，不可與變頻器地網共接。
- (6) 採購多脈波變頻器：變頻器整流器多為六脈波整流器，其 5、7 次諧波較大，如採購 12 或 24 脈波整流器，能有效減小低次諧波電流，達到諧波抑制作用。

## 2. 諧波管制

變頻器產生之諧波源屬於公用電力系統的污染源之一，除造成供電系統內用電設備性能及壽命降低之外，對相關通信系統及電子設備也會產生干擾，其相關危害包含：

- (1) 隨著諧波源頻率的增加，供電線路的阻抗也會增加，導致了傳輸過程中的能量損失增加以及供電能力的降低，進而造成能源的浪費。為了供應相同的電力，必須增加電纜線的直徑以滿足需求。
- (2) 變壓器的損耗包括鐵損(磁滯損、渦流損)及銅損，其中磁滯損與最大磁通密度有關，通常與平均電壓值成正比，而渦流損和銅損則與負載電流的二次方成正比，故諧波源會增加變壓器損耗，使變壓器的溫度上升。
- (3) 電動機繞組間存在雜散電容，受到諧波的影響會產生額外的發熱，導致電動機的效率下降和溫度升高，同時會導致繞組不均勻處的

過熱，進而造成絕緣層的損壞。

台電為了抑制諧波污染擴大，確保電力品質，參考美國 IEEE/Std 519-1992，完成「電力系統諧波管制暫行標準」(表 5-2)，諧波標準草擬完成「電力系統諧波管制暫行標準」，經呈核後於 81 年 11 月 25 日公告實施，並於 82 年 6 月 4 日完成第一次修訂。諧波電流之管制精神在限制用戶注入電力系統之諧波電流量，以確保諧波電壓不致於受污染，影響電力品質。

表 5-2 電力系統諧波管制暫行標準(3.3~22.8kV 系統)

諧波電流失真率(%)限制值						
ISC /IL	n<1	11 ≤	17 ≤	23 ≤	35 ≤	總和諧波 THD%
*<20		2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20~50		3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50~100	10	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100~1000	12	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

註：

- (1) 偶次諧波為上述限制值之 25%。
- (2) \*：自備發電機用戶一律採用 ISC/IL 小於 20 之限制值。
- (3) ISC：用戶責任分界點短路電流。
- (4) IL：對既設用戶取 12 個月最大負載電流平均值。
- (5) 對新設或增設用戶，取主變額定電流值。
- (6) 對於 34.5~161kV 系統為上述限制值之 50%。
- (7) 有關自備發電機用戶採用小於 20 之限制值依 IEEE 519 原文係指

發電機設備，台電原文之自備發電機用戶未定義，但根據相關文獻內容，其應指有併入電網之發、售電用戶(如汽電共生用戶)，非指裝置有緊急發電機之用戶。

### 3. 起動時間

電動機起動時間是指電動機通電後從靜止加速到額定轉速所需的時間，起動時間是電動機應用中的重要考慮因素，因為它會影響電動機在啟動過程中的性能、效率和機械應力，而影響電動機的起動時間包含：

- (1) 慣量：電動機和連接負載的慣量對啟動時間有重要作用，較高慣性負載，例如大型風扇、泵浦或壓縮機，需要更多時間加速到額定速度。
- (2) 啟動扭力：電動機的啟動扭力決定了其克服初始靜摩擦力和慣性負載的能力，具有較高啟動扭矩的電機，例如電容啟動或分相電機，可以更快地加速。
- (3) 供電電壓：啟動時的施加電壓也會影響啟動時間，較低的電壓會導致較低的啟動扭力和較長的加速時間。
- (4) 電動機設計：電動機設計，包括轉子結構和繞組佈置，會影響啟動特性，進而影響啟動時間。
- (5) 負載特性：所連接負載的性質，例如其扭力-速度特性，會影響馬達的加速和啟動時間。

典型的起動時間範圍可以從小型輕負載馬達的幾分之一秒到大型高慣量負載的幾秒甚至幾分鐘，起動時間過長可能會導致過熱、機械應力以及對馬達或連接設備的潛在損壞等問題，下圖為電動機扭矩

速度曲線得知，電動機啟動時間與電動機扭矩 $C_M$ 及負載扭矩 $C_L$ 差值息息相關，其加速扭矩 $C_a$ 可以表示為： $C_a = (C_M - C_L)$ ，

$$C_a = (C_M - C_L) = 0.45 \times (C_S + C_{max}) - K_L \times C_L$$

用於加速的任何扭矩都需要克服馬達和負載的慣性，透過使用這一點並了解一些機械工程知識，可以推導出從零加速到運行速度的時啟動時間：

$$t_a = \frac{2\pi n_r (J_M + J_L)}{60 \times C_a}$$

式中，

$n_r$ ：電動機滿載速度

$J_M$ ：電機慣性，通常可以直接從電機製造商處獲得，因為該參數用於設計電機。泵浦供應商也可以提供此資訊

$C_S$ ：電動機突波扭力

$C_{max}$ ：電動機最大扭力

$J_L$ ：負載慣量

$C_L$ ：負載扭矩

$K_L$ ：負載係數，泵浦採 0.5 計算

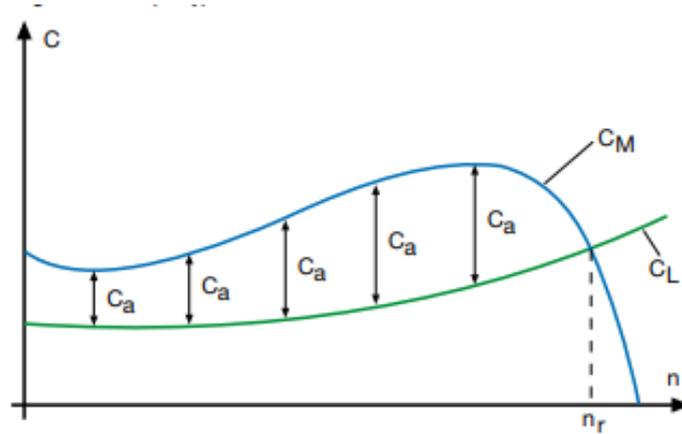


圖 5-4 電動機扭力曲線

電機慣量—通常可以直接從電機製造商處獲得，因為該參數用於設計電機。泵浦供應商也可以提供此資訊。

泵浦葉輪慣量—通常可從泵浦製造商的銷售或工程團隊獲得，因為慣量用於設計泵浦。

#### 4. 啟動方式

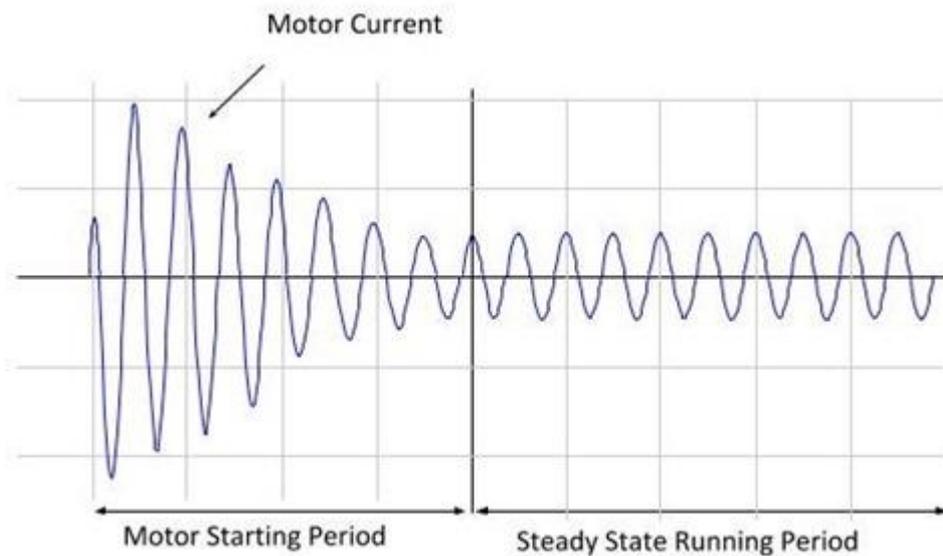


圖 5-5 電動機啟動及運轉時

電動機在啟動期間瞬間，啟動電流可高達滿載電流的 5~8 滿載運

轉電流，而高壓沉水式抽水機因電動機功率較大，在啟動期間電壓降太大，抽水機可能無法產生足夠的扭力來加速機械負載。此外，電氣系統內的電壓下降可能會影響其他設備，甚至導致故障，隨著電動機的使用越來越廣泛，克服電動機啟動問題成為工程師關心的問題。多年來，人們開發了許多方法和技術來解決電動機啟動問題，每種方法和技術都有自己的優點和限制，較常用的高壓電動機啟動方法有：

(1) 直接啟動

表 5-3 為高壓電動機之起動電流規定，直接啟動是在全電壓條件下直接啟動抽水機的方式。然而，直接啟動時由於啟動電流大可能導致電壓急劇下降，因此用戶應依據台電用戶用電設備裝置規定，自行評估是否適合採用此啟動方式。北水處長興、公館淨水場及中和、公館加壓站由台電 69kV 供電，依此規定，抽水機可採取定速直接啟動。

表 5-3 高壓電動機之起動電流規定

電壓等級		馬力數限制 (HP)	備註
高壓供電	3kV	$\leq 200$	每台容量超過所列之容量限制者，以不超過該電動機額定電流之 3.5 倍。
	11kV	$\leq 400$	
	22kV	$\leq 600$	
特高壓供電	33kV	$\leq 2000$	每台容量超過所列之容量限制者，以不超過該電動機額定電流之 3.5 倍為原則。但用戶契約容量在 5、000 千瓦以上，並經電機技師據有關資料計算一台最大電動機之直接全壓啟動時，在分界點處所造成之瞬時壓降不超過之 5 者，得不受此之限制。

## (2) 串聯電抗器啟動

串聯電抗器啟動是將電抗器串聯至抽水機供電迴路中，一般有 80%、65%、50% 三個分接頭，以選擇不同電壓等級來降低啟動電流，當抽水機運行穩定並且電流達到一定值時，切除電抗器恢復正常供電，在這個切換轉換過程中，由於電壓下降可能會影響轉矩，因此須注意啟轉轉距是否能帶動負載。

於啟動時串聯電抗器（或電阻器）來降壓，以限制啟動電流。而電抗器一般有 80%、65%、50% 三個分接頭，以供選擇不同電源電壓來啟動，使用時由最小分接頭調到適當分接頭。

這種方法的主要目的是降低起動時的電流衝擊，從而減少對電力系統和電動機本身的影響。但同時，由於電壓下降可能會影響轉矩，因此在切除電抗器時需要注意，以確保抽水機可以正常且順利地轉換到直接啟動模式。

## (3) 變頻啟動

變頻器是一種電子設備，通過將固定頻率的交流電轉換為可調節的頻率和電壓輸出來控制馬達。它包含了整流器、逆變器和控制電路等部分，能夠根據設置的參數實現對電源的精確調節，利用變頻啟動，可設置啟動曲線來實現平穩啟動可降低啟動電流及避免管網擾動，惟過長啟動時間會造成抽水機機械磨損及過熱問題產商，我們可依據抽水機廠商建議之啟動時間設定加速時間，目前北水處高壓抽水機 0~60HZ 加速時間亦參考廠商建議值設定在 10 秒以內，變頻啟動之啟動電流如圖 5-6 所示。

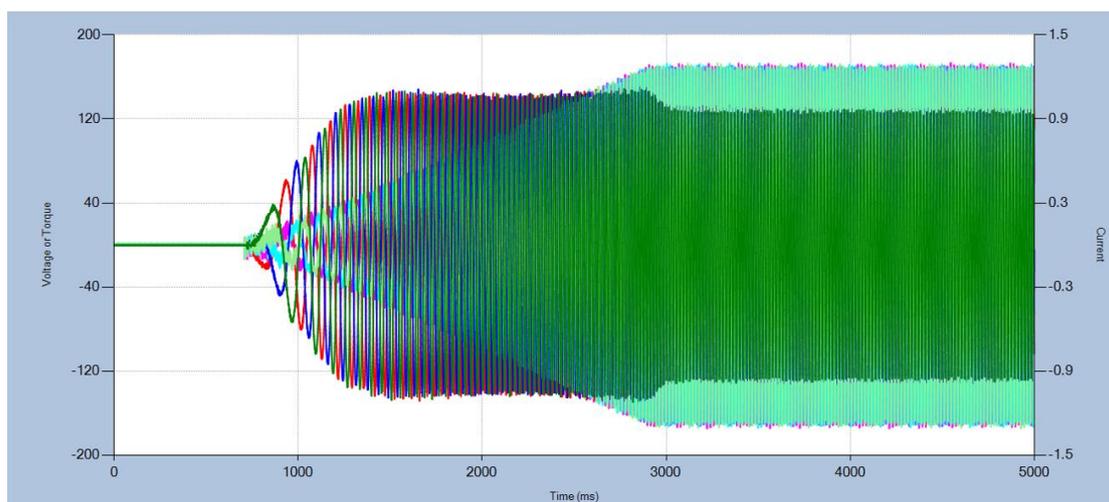


圖 5-6 變頻啟動之啟動電流

變頻器在運作的前兩秒左右逐漸提高其輸出頻率。可以看到電壓（淺綠色三角形）與頻率成正比增加。電流（深綠色、紅色和藍色跡線）逐漸增大，最大電流僅比穩態電流高約 10%。因此，變頻器為解決啟動突波電流所帶來的問題提供了三個優勢：

- A. 它們允許以較低的速度運行，避免了重複啟動和停止的需要。
- B. 它們允許逐漸加速，從而減少部件上的機械負載；和逐漸增加速度還可以避免電流達到高水平，因此確實發生的啟動產生的熱應力要小得多。

另外，變頻器與傳統馬達控制方法相比具有多種優勢：

- A. 節能高效：變頻器可以根據實際需求調節電動機的轉速，避免了常規方法中始終以額定轉速運行的浪費。通過降低轉速，可以有效節省能源消耗，提高能效。
- B. 精確控制：變頻器可以精確調節電動機的轉速和扭矩，可以根據實際工況需求靈活調整，提高生產效率和產品質量。
- C. 啟動平穩：傳統的啟動方法可能會對電動機和設備造成衝擊和壓

力，而變頻器可以實現平穩啟動和停止，延長設備的使用壽命。

- D. 減少機械損壞：由於變頻器可以控制電動機的啟動和停止過程，避免了傳統方法中由於頻繁啟停造成的機械衝擊和損壞。
- E. 多功能性：變頻器可以適應不同工況下的需求，具有多種控制模式和功能，如定壓、定流、定功率等，可以滿足不同應用場景的要求。
- F. 提高設備可靠性：通過變頻器的運行監測和故障診斷功能，可以及時發現並處理設備運行中的問題，提高設備的可靠性和穩定性。

北水處目前抽水機主要採用變頻驅動作為主要運行模式，並輔以定速運轉作為備用方案。這種運行策略的實施對抽水機的選型和採購提出了特定要求。在採購過程中，我們要求供應商提供具備雙重啟動能力的電動機：即變頻啟動和電抗啟動。

變頻驅動技術的應用使得系統能夠根據實際需求動態調節抽水機的運行速度，從而優化能源利用效率，減少機械磨損，並延長設備使用壽命。這種運行模式特別適用於負載變化較大的場景，能夠顯著提高系統的整體效能和可靠性。電抗啟動作為輔助啟動方式，則為系統提供了額外的可靠性和靈活性。在特定情況下，如變頻器故障或需要快速達到全功率輸出時，電抗啟動可以確保系統的持續運行。

## 5. 最低運轉頻率

為了降低供水耗能並滿足管網的最佳壓力需求，加壓站通常會使用變頻抽水機，透過出口端或遠端監視點的壓力回授控制，以自動調配轄區供水系統之水壓水量，進而達到減少管線漏水和節能的目的。然而，這種系統也存在一些缺點，特別是在離峰用水時段，因為出水量減少且會調降管網壓力，變頻器運轉頻率將隨之降低。當加壓站使

用豎軸式抽水機進行變頻運轉時，因電動機放置於抽水機外，廠商可以採用專用變頻器馬達，抽水機即使運轉於最小流量時也能正常運轉，而使用沉水式抽水機進行變頻運轉，由於電動機放置在抽水機內部，當運轉頻率降低時可能會導致熱效果不佳的情況發生，因此需要特別注意確保運轉頻率在廠商建議的最低運轉頻率以上。

由抽水機之 Q-H 特性相對效率曲線(圖 5-7)得知，假設抽水機之定速(N)額定點效率( $\eta$ )約為 65%，使用變頻抽水機採定壓力回授控制以調節尖、離峰之出水量，當轉速降至 90%(0.9N)時，泵浦效率將提高至 76%，又當轉速降至 80%(0.8N)時，泵浦效率仍可維持在 60%以上，當使用變頻抽水機以壓力回授控制調節供水需求時，若其轉速在 0.8~1.0N 變化，其相對之效率均較定速運轉時有提高之現象，使用變頻抽水機運轉確實可提高抽水機運轉效率，惟抽水機因型式及規格不同，其 Q-H 特性相對效率曲線亦會所差異，目前北水處設定變頻器之頻率運轉範圍為 42~60Hz(70~100%N)，最低頻率設為 42Hz，除考量泵浦控制閥為克服管線背壓所需之最低開啟動力要求及避免電動機及軸承運轉溫度無法有效冷卻，另抽水機廠商操作維護手冊亦建議抽水機採變頻運轉時最低運轉頻率需在 40 Hz 以上。

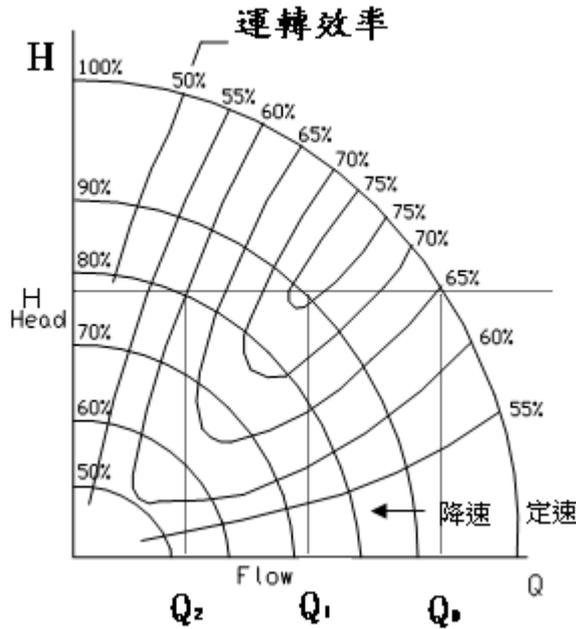


圖 5-7 抽水機之 Q-H 特性相對效率曲線圖

### 5.1.3 變頻控制回受點選擇

抽水機特性曲線圖與其轉速函數關係可由相似定律(Affinity Law)來說明，所謂相似定律是指當抽水機的轉速改變時，抽水機的輸出流量、揚程及軸功率，具有以下之關係式：

$$\text{(流量)} \quad \frac{Q}{Q_0} = \frac{N}{N_0}$$

$$\text{(揚程)} \quad \frac{H}{H_0} = \frac{Q}{Q_0} \times \frac{N}{N_0} = \left(\frac{N}{N_0}\right)^2$$

$$\text{(軸功率)} \quad \frac{P}{P_0} = \frac{Q}{Q_0} \times \frac{H}{H_0} = \left(\frac{N}{N_0}\right)^3$$

式中，

$N_0$ ：額定轉速

$N$ ：實際運轉速度

$Q_0$ ：在  $N_0$  時之流量

$Q$ ：在  $N$  時之流量

$H_0$  : 在  $N_0$  時之揚程

$H$  : 在  $N$  時之揚程

$P_0$  : 在  $N_0$  時之軸功率

$P$  : 在  $N$  時之軸功率

根據相似定律抽水機轉速的變化對於輸出流量、揚程及軸功率分別為線性、平方與立方的函數關係，因此，轉速的降低將可有效降低軸功率的需求。

利用變頻器來改變抽水機之轉速，依據相似定律其所輸出之軸功率與轉速的 3 次方成正比，所以利用變頻器由額定轉速  $N_0$  降低至  $N_1$  來調節適當之流量、壓力所需軸功率為  $P_1$ ，與額定軸功率  $P_0$  比較，理論上可節省之電能(軸功率)如下式：

$$P_0 - P_2 = P_0 \left[ 1 - \left( \frac{N_1}{N_0} \right)^3 \right]$$

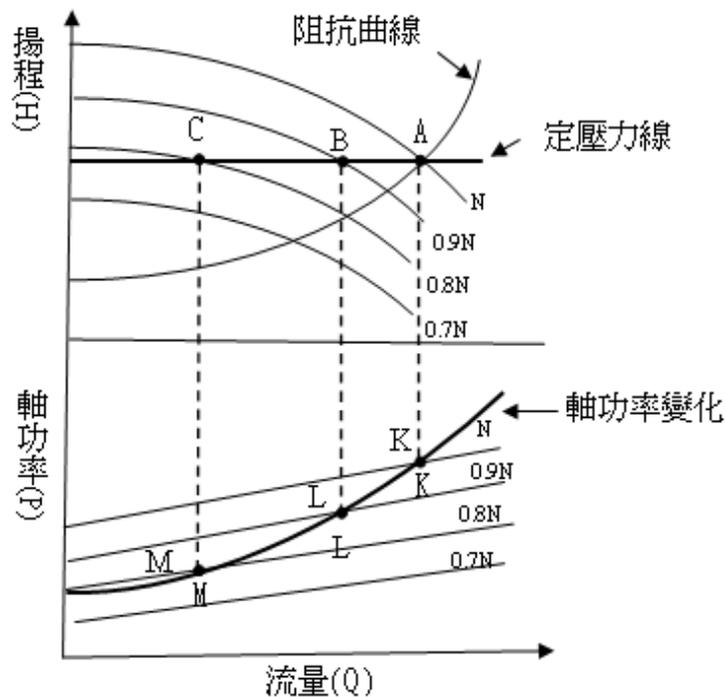


圖 5-8 抽水機定壓力運轉時轉速與軸功率之關係

圖 5-8 為抽水機之運轉特性曲線，依據供水系統之負載需求，使

用變頻器改變抽水機之轉速時，以定壓力回授控制模式可維持固定之輸出壓力(為目前北水處採用之模式)，當抽水機運轉之操作點位於 A-C 線上移動且連續變化下，則軸功率將會在 K-M 曲線上作連續之對應變化。我們可以利用變頻器來控制抽水機進行無段變速運轉，隨著轉速減少而降低軸功率，即達到省能運轉之功能。

北水處變頻器控制模式以遠端壓力回授控制為主及出口壓力回授控制為輔，其 2 種控制方式說明如下：

1. 遠端壓力回授控制：

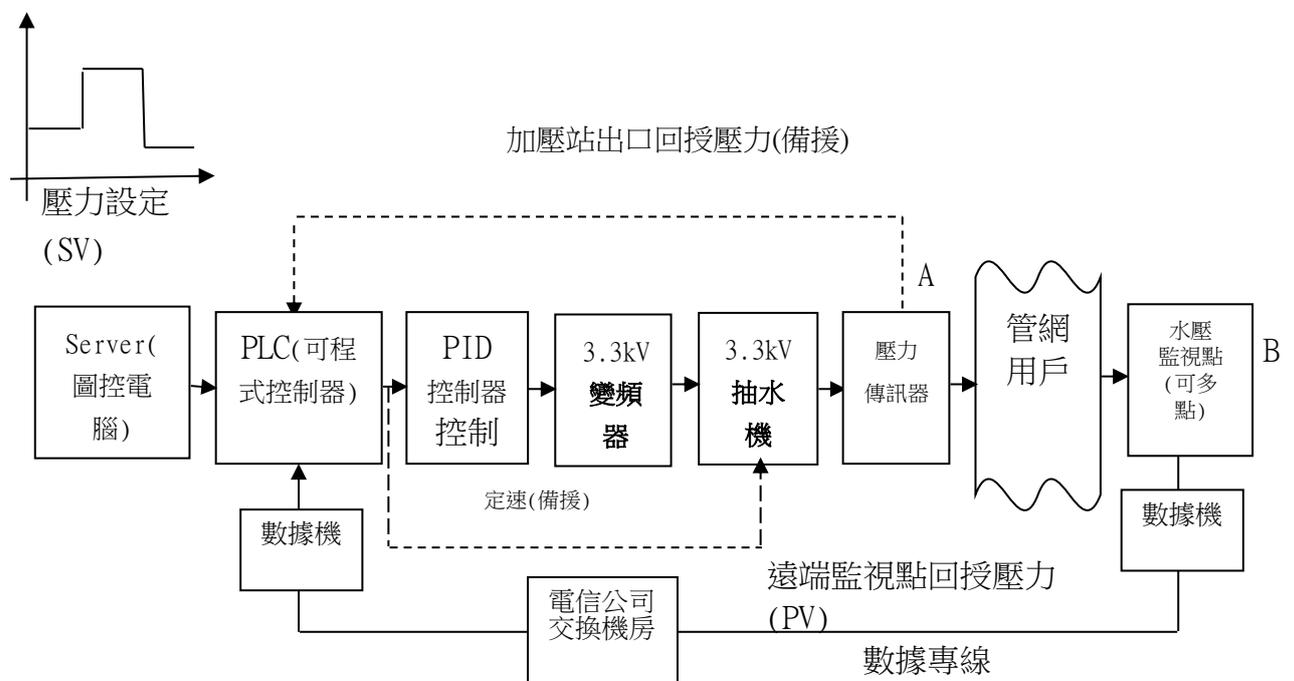


圖 5-9 遠端壓力回授及出口壓力回授控制架構圖

變頻器 PID 控制器讀取管網末端壓力點 B 為回授值(PV)，與設定值(SV)比較後，即調整變頻器輸出能量以改變抽水機轉速，其抽水機出口端之壓力為變動值而非固定，而管網末端壓力 B 則維持一定，可滿足所有用戶之需求，圖 5-9 為遠端壓力回授及出口壓力回授控制架構圖。

## 2. 出口壓力回授控制

變頻器以加壓站出口端 A 點(傳統)為壓力回授點，PID 控制器讀取靠近抽水機端之出口壓力 A 為回授值(PV)，與設定值(SV)比較後，即調整變頻器輸出能量以改變抽水機轉速，圖 5-10 為抽水機出口/遠端壓力回授比較；表 5-4 為遠端壓力回授及出口壓力回授控制優缺點比較。

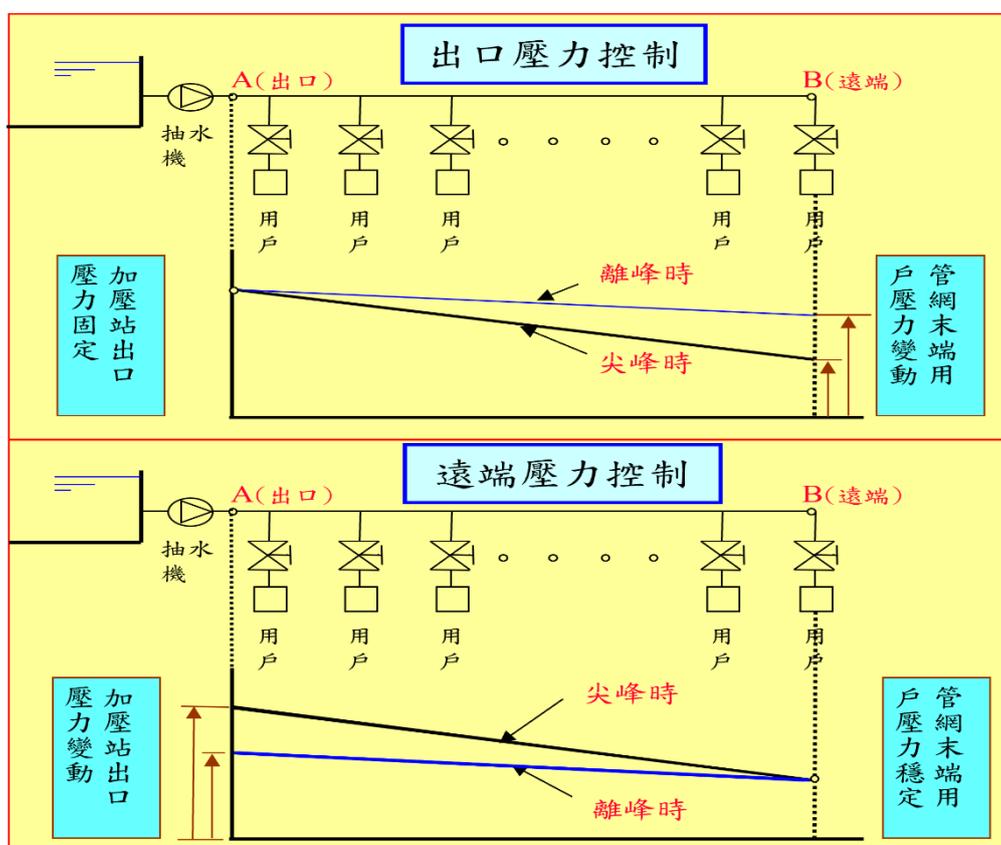


圖 5-10 抽水機出口/遠端壓力回授比較

表 5-4 遠端壓力回授及出口壓力回授控制優缺點比較

	遠端壓力回授控制	出口壓力回授控制
優點	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 抽水機滿足遠端用水最低需求，可降低抽水機運轉用電量，節能之效果十分顯著。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 控制簡單，無須加裝設備</li> <li>● 無遠端通訊易發生斷訊之問題</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 自動調配轄區供水系統之水壓水量，減少管線漏水</li> </ul>	
缺點	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 遠端監視點在通訊斷線時造成的供水異常風險，需增加備援操考點或切換成出口壓力回授控制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 離峰比尖峰時管網壓力普遍偏高，無法完全滿足管末用水之實際需求，節能之效果有限</li> <li>● 管線漏水量將隨水壓之提高而增加</li> </ul>

表 5-5 為大型加壓站遠端壓力回授參考點一覽表，大型加壓站變頻器採管網末端水壓回授控制抽水機之操作模式，可依尖離峰時段及不同季節預設或隨時改變壓力設定值，以滿足管網最佳壓力需求，提供穩定之供水品質，並有效降低管線漏水。小型加壓站因供水區域穩定且屬於較封閉性管網，多屬無人駐守之加壓站，故變頻器運轉控制皆採出口端定壓力且以 1 台抽水機控制 1 台變頻器的控制模式，力求控制簡單、穩定及標準化，藉以滿足尖離峰用戶用水需求，並調節抽水機之輸出能量達節能之目的。大型場站高壓抽水機使用變頻器之無段變速特性，搭配電腦監控管理，改變傳統之出口壓力回授控制方式，改採管網末端壓力回授控制可有效精緻管理尖、離峰管網之水壓，節能成效大，且對於供水管網最佳化之操作，發揮更具即時性的自動調配功能。

表 5-5 大型加壓站遠端壓力回授參考點一覽表

項次	站名		壓力設定範圍 kg/cm <sup>2</sup>	遠方參考點
	名稱	支線		
1	長興淨水場		0.95~1.0	S126
			1.7~2	S142
			1.6~2.2	出口壓
2	公館淨水場	新店線	1.8~2	S422
			1.8~2	S424
			2.2~2.8	出口壓

		市區線	0.9~1.1	S135
			0.9~1.1	S137
			1.4~1.6	出口壓
3	大同加壓站	大直線	2.1~2.3	S311
			1.7~1.8	S317
			2.0~2.5	出口壓
		北投線	0.45	天母進壓
			1.75~2.05	出口壓
		大同三期	0.45	天母進壓
1.8~2.2	出口壓			
4	北投加壓站		1.0~1.1	S249
			2.7~3.5	S257
			2.8~3.2	出口壓
5	天母加壓站		0.8~1.0	出口壓
			3.9~4.0	S248
6	松山加壓站	內湖線	0.3	大湖進壓
			2.15~2.65	出口壓
7	民生加壓站	南港線	0.9	S146
			0.9	S152
			1.5~1.9	出口壓
8	中和加壓站	中和線	1.0~1.2	S436
			0.7~0.8	S434
			1.3~2.5	出口壓
		新店線	1.6~1.7	S423
			1.7~1.9	S425
			2.2~2.7	出口壓
9	三重加壓站		0.6~0.75	S514
			1.0~1.25	S517

#### 5.1.4 多部抽水機並聯變頻操作情況下之操作方式建議

圖 5-11 為抽水機並聯運轉曲線，當加壓站出水量 ( $Q$ ) 在 ( $0 < Q < Q_{b1}$ ) 範圍內時，1 台抽水機以  $N$  轉速提供流量需求，以遵循設定點曲線，其中  $N$  的值可以為 ( $0 < N < N_0$ ) 且  $N_0$  對應於標稱轉速。當流量 ( $Q$ ) 處於第二範圍 ( $Q_{b1} < Q < Q_{b2}$ ) 時，加壓站抽

水機運轉模式可分為 1 台定速運轉 1 台變頻運轉或 2 台同時變頻運轉。當流量 (Q) 在 ( $Q_{b2} < Q < Q_{b3}$ ) 範圍內時，加壓站抽水機運轉模式主要可分為 1 台定速運轉 2 台變頻運轉、2 台定速運轉 1 台變頻運轉或 3 台變頻運轉。

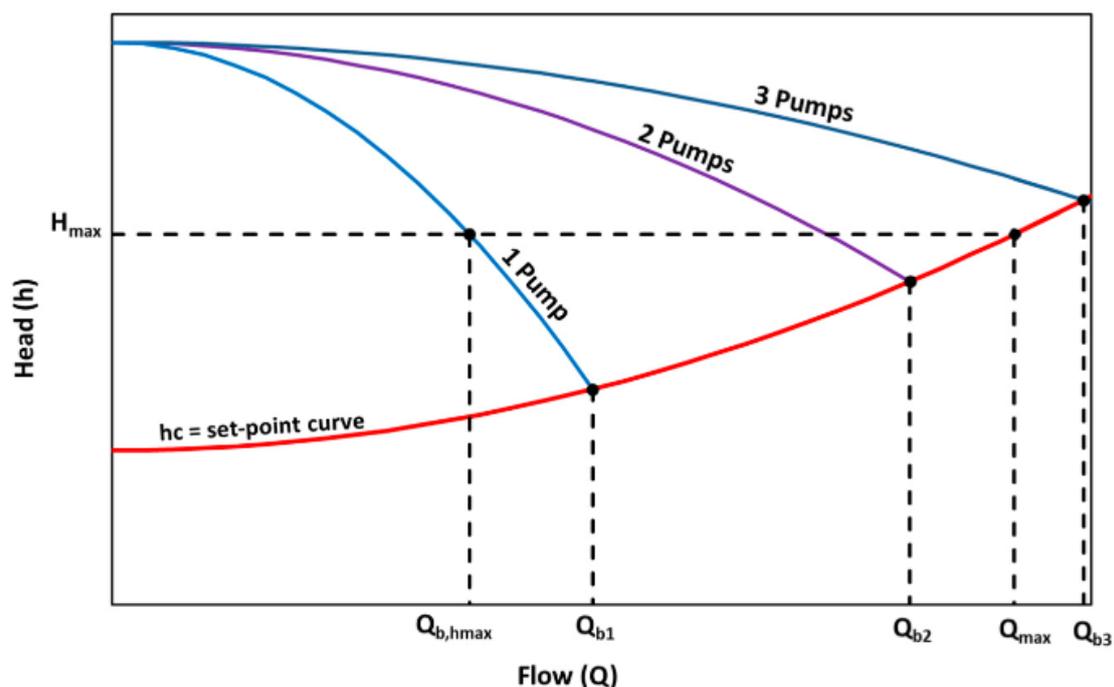


圖 5-11 抽水機並聯運轉曲線

隨著管網用水需求增加，加壓站抽水機由 1 台變頻運轉變為 1 台定速運轉 1 台變頻運轉或 2 台同時變頻運轉時，加壓站用電量會跳躍增加，當啟動第 3 台時，又會產生另一次用電跳躍。產生這些跳躍的原因是為抽水機開始工作時 ( $q = 0$ )，抽水機消耗的能量不為零，即使抽水機效率為零，機械扭力也會消耗能量，我們可由下表得知抽水機運轉在 3 台以下且水量變化不大時採 3 台變頻運轉節電效果較佳。而北水處各加壓站因尖離峰時段出水量變化量大，且抽水機啟停時出水壓會劇烈變化，目前加壓站抽水機多台並聯運轉主要採取多台變頻器並聯運轉或定速搭配變頻器聯運轉，表 5-6 為最佳抽水機運轉台數配置。

表 5-6 最佳抽水機運轉台數配置

流量範圍	定速運轉台數	變頻運轉台數	抽水機運轉台數
$0 < q < 1.01$	0	1	1
$1.01 < q < 1.99$	0	2	2
$1.99 < q < 2.92$	0	3	3
$2.92 < q < 3.03$	1	2	3
$3.03 < q < 3.16$	2	1	3

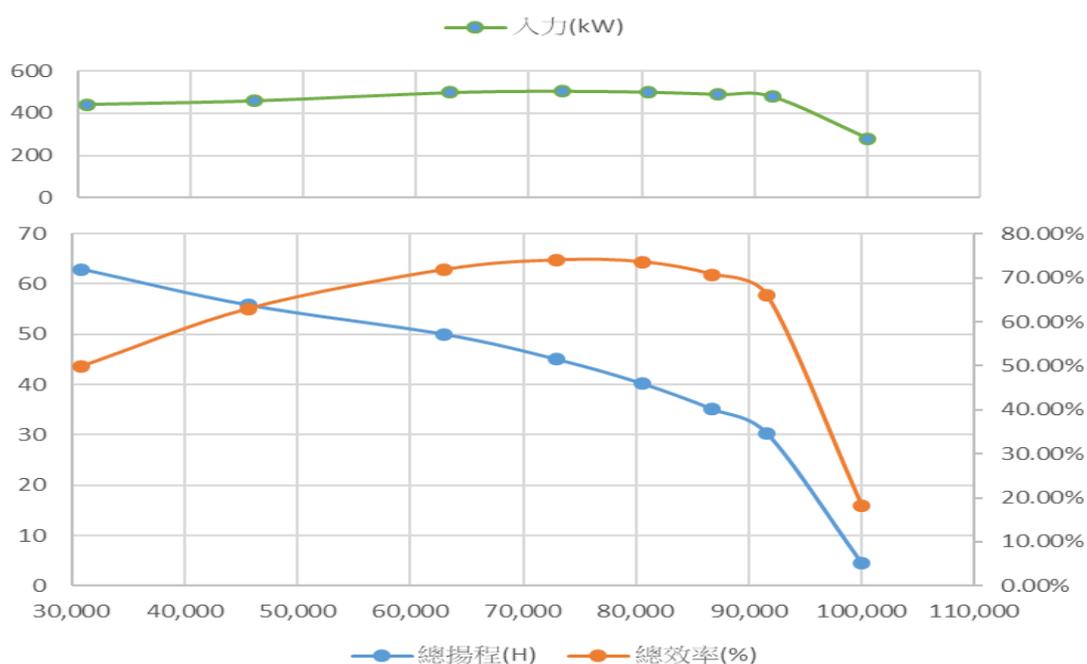


圖 5-12 松山加壓站抽水機特性曲線

### 1. 抽水機並聯運轉不同運轉模式測試

松山加壓站有松山線及內湖線二出水線，供應松山地區及內湖地區用水，松山加壓站計有內湖線設置 3 台 700 HP 抽水機(其中 2 台變頻器)及松山線設置 3 台 700 HP 抽水機(其中 1 台變頻器)，6 台抽水機皆於 99 年購置其額定揚成為 45M；額定流量為 72,000CMD，抽水機特性曲線如圖 5-13 所示。

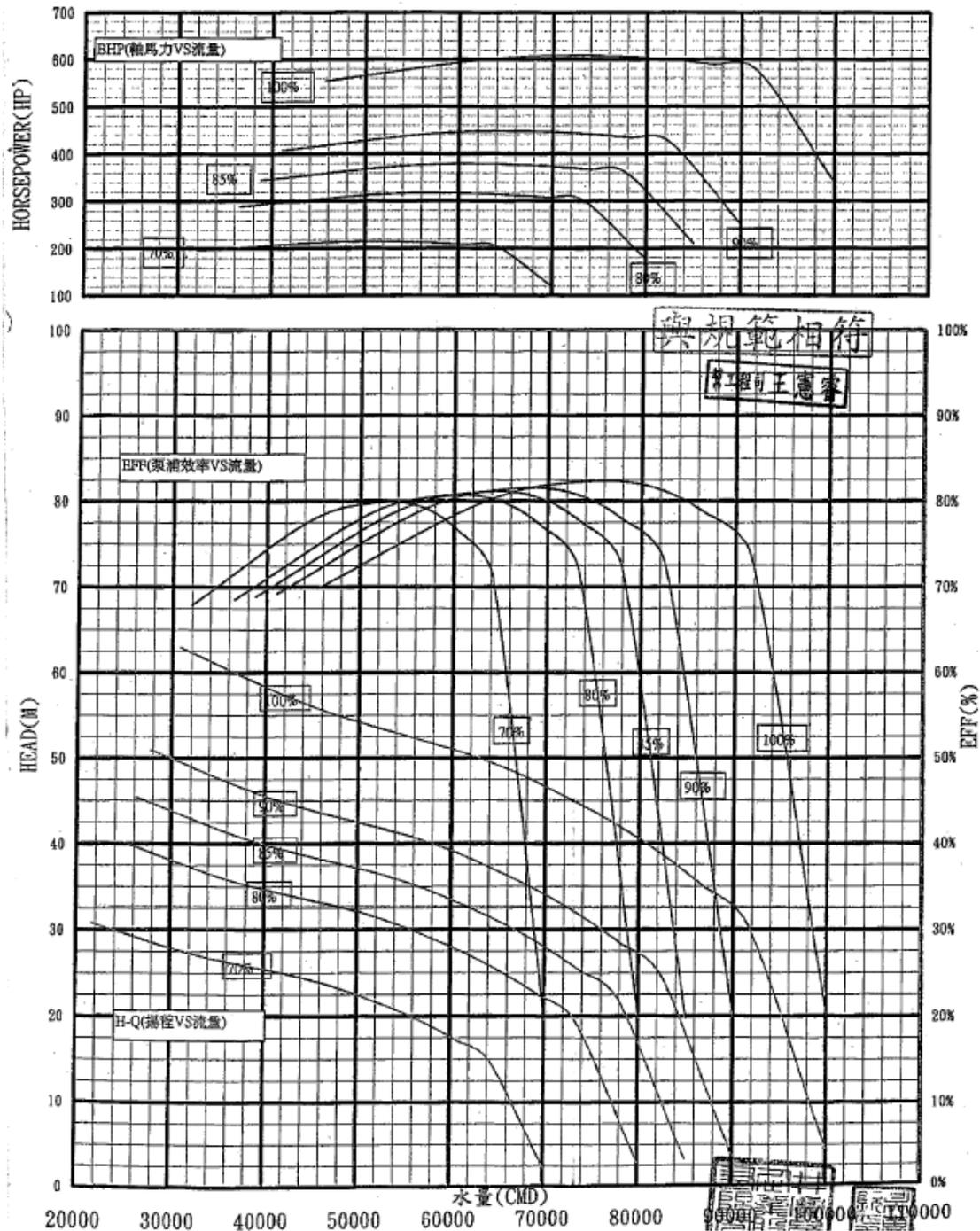


圖 5-13 松山加壓站抽水機不同轉速性能曲線

松山加壓站松山線目前採重力供水，原松山線抽水機與內湖線抽水機每月交替運轉，每日供應內湖地區約 10~17 萬 CMD 用水，抽水機運轉模式採 1 台定速及 1 台變頻運轉，主要以大湖進水壓力為壓力回授點作尖、離峰時段壓力調控，經測試抽水機採 1 台定速(6 號機)、

1 台變頻運轉(5 號機)時運效率約 54.68~61.37%，單位供水耗能約為 0.134(度/噸)，而採 2 台變頻運轉(5、6 號機)時效率約 58.87~66.21%，單位供水耗能約為 0.126(度/噸)，經測試以 2 台變頻運轉時運轉效率較佳，其原因說明如下：

- (1) 抽水機運轉偏離額定揚程:內湖線尖離峰全揚程介於 28~34M 與抽水機額定揚程 45M 相差 10M 以上，由抽水機不同轉速性能曲線得知泵浦定速運轉時效率由 82%下降至 63~77%以下，而內湖線採 2 台變頻運轉時其運轉頻運轉時主要集中在 50~55HZ 約占 60%以上，其效率可在 75%以上。
- (2) 抽水機運轉頻率限制：為免抽水機運轉頻率過低造成抽水機損壞，會將抽水機運轉頻率設定在 42~60HZ，而內湖線用水需求為 10~17 萬 CMD，若採 1 台定速及 1 台變頻運轉時，受限於變頻器最低運轉頻率限制，每日約 30%時間抽水機會在 42HZ 怠速運轉，將造成出水壓會增加，造成抽水機整體效率變差及增加用電量。

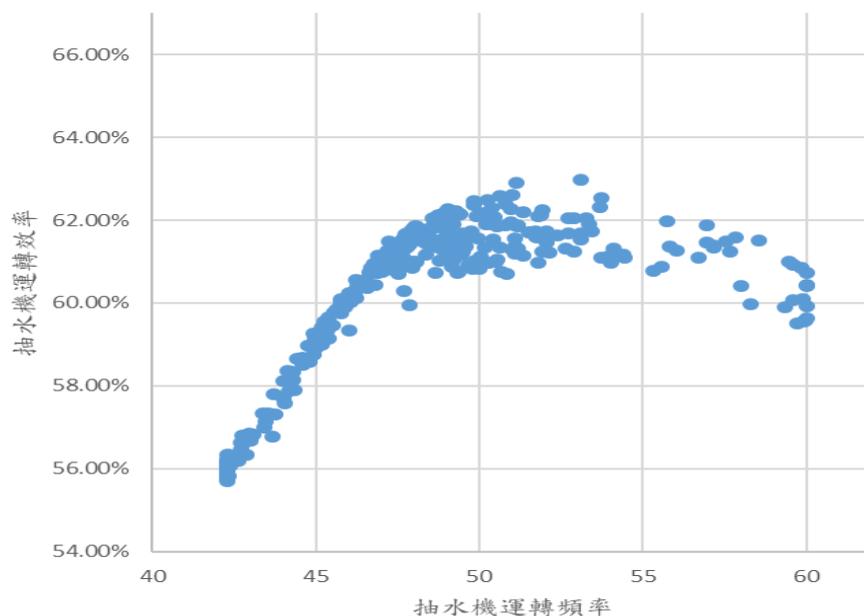


圖 5-14 採定速及變頻各 1 台運轉效率曲線

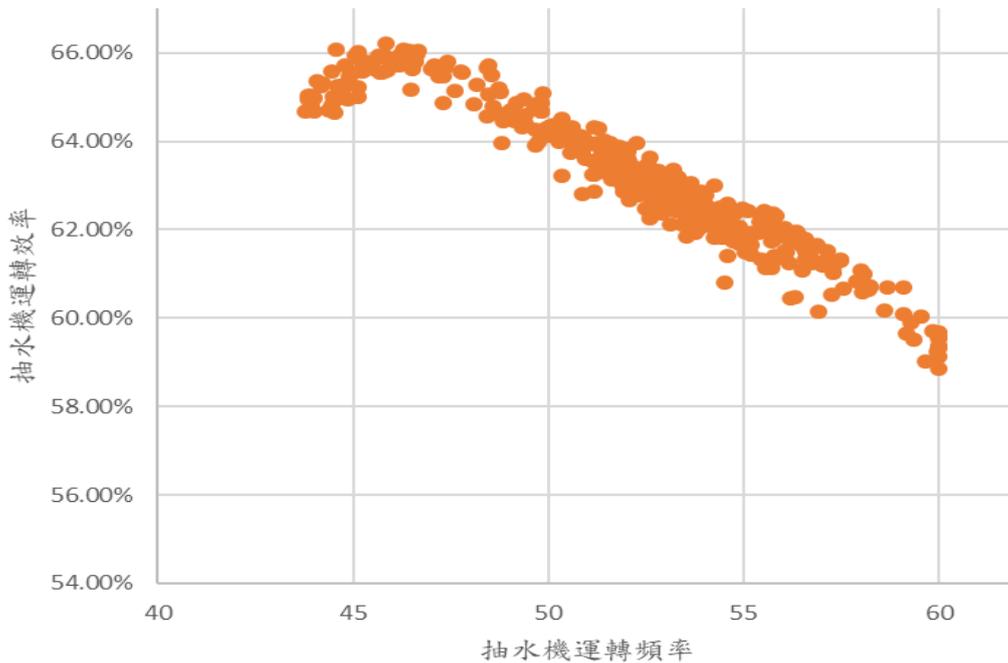


圖 5-15 松山加壓站抽水機採 2 台變頻運轉效率曲線

## 2. 變頻器 1 對多操作模式

採用變頻運轉雖可降低供水耗能、減低管線漏水、提升控制精確度及供水品質、改善抽水機起動持性及降低緊急電力設置容量等諸多好處，惟考量初期建置成本高昂及場地面積限制，並不會每台抽水機接安裝變頻器，造成有安裝變頻器之抽水機長時間在運轉，未搭配變頻器之抽水機則利用率長期偏低，北水處目前改善方案主要是將變頻器以 1 對 2 或 1 對 3 搭配抽水機，將可輪流運轉各台抽水機。

3. 大型加壓站抽水機運轉模式建議：

大型加壓站抽水機運轉模式建議一覽表如表 5-7。

表 5-7 大型加壓站抽水機運轉模式建議一覽表

站名		抽水機數量	變頻器數量	目前操作模式	建議操作模式說明
中和加壓站	新店線	5	2(1對2)	1台變頻運轉	1.維持1台變頻運轉 2.與安華加壓站新店線互為備援，當安華安加站無法供水時，可增加1台抽水機運轉
	中和線	5	2(1對2)	1~2台變頻運轉	平時運轉1~2台抽水機，夜間離峰時改由重力供水
大同加壓站	大直線	2	2	1台變頻運轉	維持1台變頻運轉
	北投線	6	2	1~2台變頻運轉	北投線與關渡線可互相支援，北投線平時運轉1台抽水機定頻運轉，其餘由關渡線依管網需求加減台抽水機
	關渡線	6	2	1~2台變頻+1~2台定速運轉	
北投加壓站		5	2	2台變頻運轉	1.維持2台變頻運轉 2.經測試分析離峰時段，採2台變頻運轉其效率優於1台定速運轉
天母加壓站		2	2	1台變頻運轉	維持1台變頻運轉
	南港線	4	2	1台變頻運轉	維持1台變頻運轉

民生加壓站	市區線	3	2	1台變頻運轉	維持1台變頻運轉
松山加壓站	市區線	3	1	1台變頻+1台定速運轉	改由2台變頻運轉
	內湖線	3	2		
三重加壓站		5	2	1台變頻運轉	維持1台變頻運轉
安華加壓站	新店線	5	3	1台變頻運轉	1.維持1台變頻運轉 2.與中和加壓站新店線互為備援，當中和加壓站無法供水時，可增加1台抽水機運轉

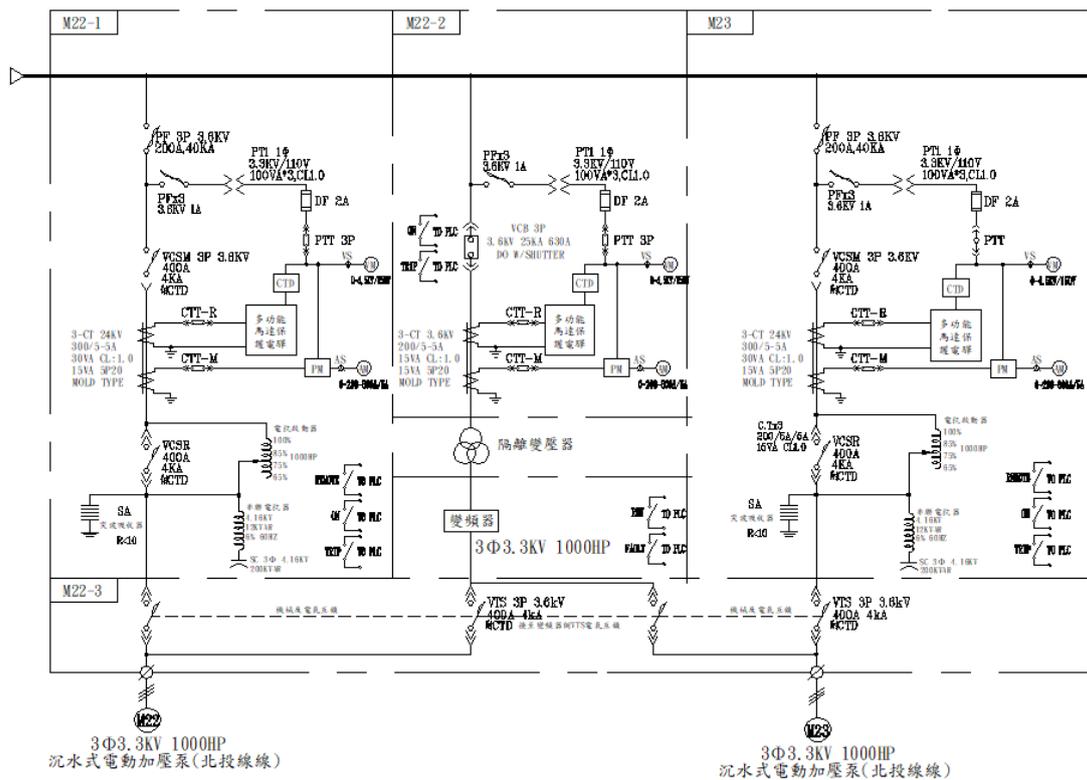


圖 5-16 變頻器採 1 對 2 電力單線圖

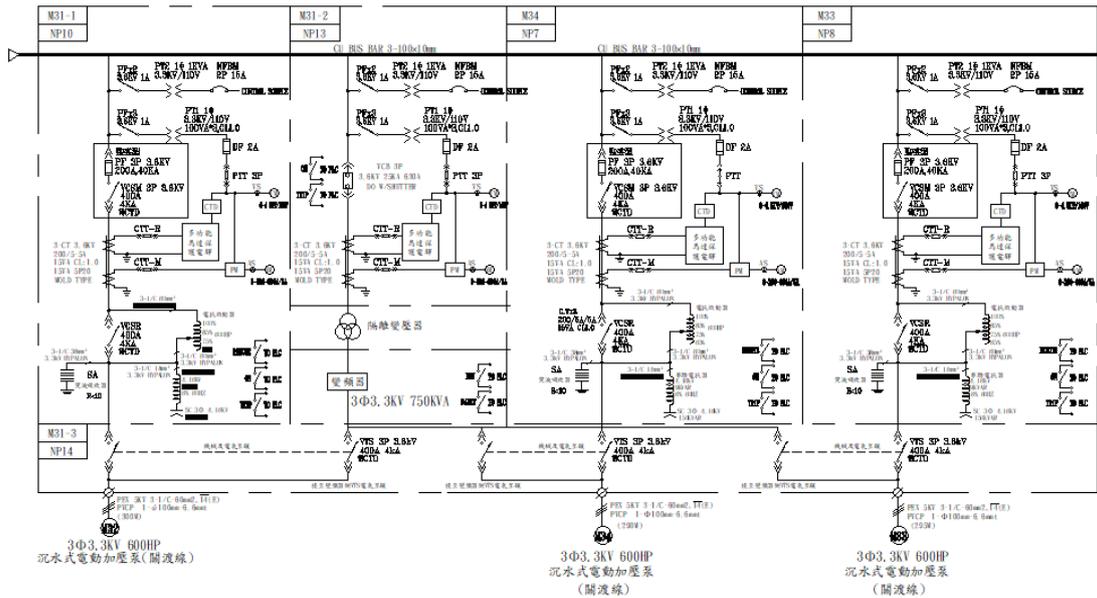


圖 5-17 變頻器採 1 對 3 電力單線圖

### 5.1.5 抽水機搭配變頻操作節能成效

北水處自 95 年起為降低供水能耗陸續汰換採用高效率抽水機及增設變頻器並透過場站操作管理優化，包含高壓沉水式抽水機以變頻遠端壓力回授控制維持管網最適水壓、加壓站視幹管進水餘壓狀況改由重力供水等方式，單位供水耗能(圖 5-18)由 95 年 0.164(度/噸)降至 112 年 0.107(度/噸)，降幅達 34.47%；場站用電量由 157,334,357 度降至 95,918,143 度，降幅達 39%，與 95 年比較年約可減少 2.15 億元電費支出。



圖 5-18 北水處歷年耗電量及單位供水耗能

## 5.2 控制閥的選用及限制(管中加壓及水池加壓)

抽水機控制閥主要分為逆止閥及泵浦控制閥兩大類，以作為防止泵浦逆轉、降低水錘效應等功用。逆止閥是利用流體壓力來開啟和關閉，防止流體倒流，具有維持系統壓力和防止水錘現象產生，逆止閥有多種類型包括擺動式、蝶式、橡膠閥瓣式、斜盤式、單瓣、雙瓣和球式，每種都有其獨特的設計和適用場合，例如，斜盤式逆止閥及環狀噴流式逆止閥因其水損較低而被廣泛應用於加壓站。泵浦控制閥則用於調節泵浦的啟動和停止，以及控制流量和壓力，主要分為球型、斜盤型或隔膜型，具體選擇取決於特定應用的需求。

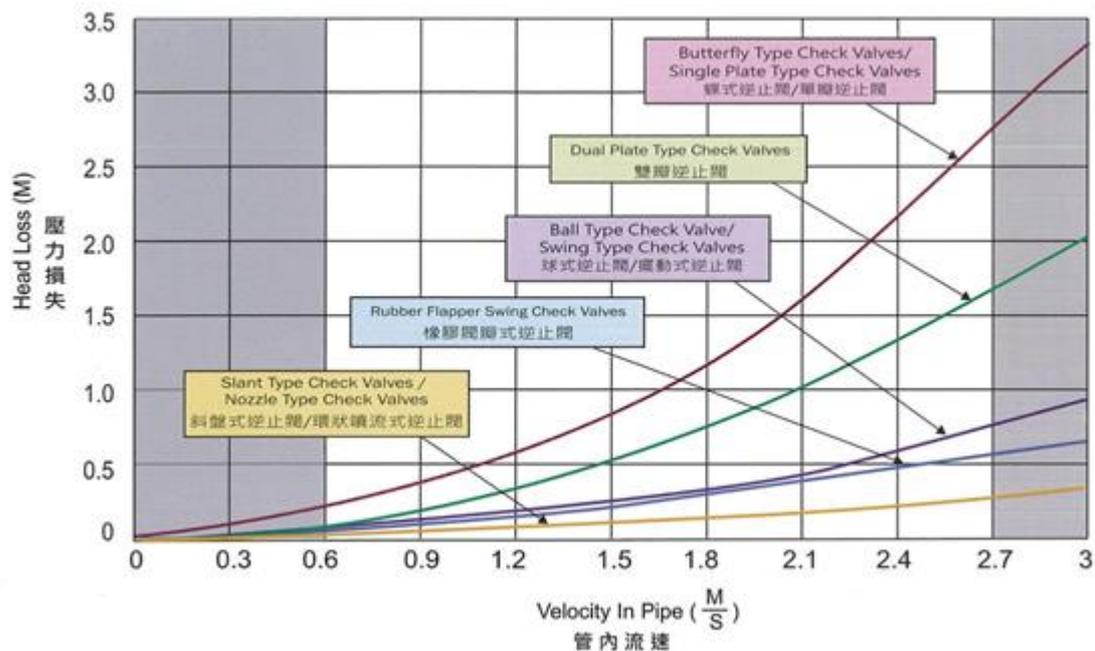


圖 5-19 逆止閥水頭損失曲線圖

大型加壓站控制閥型式一覽表如表 5-8 所示，抽水機控制閥採用逆止閥及泵浦控制閥可依據加壓站加壓模式、抽水機安裝方式及進水壓力進行評估規劃，北水處大型加壓站若為水池加壓目前主要採用環狀噴流式逆止閥、斜盤水壓缸泵浦控制閥、斜盤底部油壓緩衝式逆止

閥，若為管中加壓為避免抽水機停機或台電停電時，因上游壓力較高會經由抽水機及控制閥直接流至下游主要採用球型水壓缸泵浦控制閥或斜盤水壓缸泵浦控制閥。

表 5-8 大型加壓站控制閥型式一覽表

場站名稱	加壓模式	型式	控制閥型式
大同加壓站	水池加壓	直立低吸	環狀噴流式逆止閥、斜盤水壓缸泵浦控制閥
長興淨水場加壓站	水池加壓	直立低吸	環狀噴流式逆止閥
民生加壓站	水池加壓	直立低吸	斜盤水壓缸泵浦控制閥
松山加壓站	水池加壓	直立低吸	斜盤底部油壓緩衝式逆止閥
公館淨水場加壓站	水池加壓	直立低吸	斜盤底部油壓緩衝式逆止閥
三重加壓站	水池加壓	直立低吸	斜盤底部油壓緩衝式逆止閥
大度加壓站	水池加壓	直立低吸	環狀噴流式逆止閥
大度加壓站	管中加壓	直立低吸	球型水壓缸泵浦控制閥
北投加壓站	管中加壓	直立中吸	球型水壓缸泵浦控制閥
公館加壓站	管中加壓	豎軸	球型水壓缸泵浦控制閥
天母加壓站	管中加壓	直立中吸	斜盤水壓缸泵浦控制閥
中和加壓站	管中加壓	橫臥低吸	斜盤水壓缸泵浦控制閥
安華加壓站	管中加壓	中吸	斜盤水壓缸泵浦控制閥

### 5.3 導入抽水機效率監測管理程式

抽水機效率管理主要目的，係藉由耗能及效能分析，找出抽水機運轉效率之高低排序，以便調整抽水機於最佳省能模式運轉，並早期

發現設備異常及作為後續汰換設備之參考，以降低設備耗能及供水風險，同時精進設備管理面。但傳統抽水機耗能分析作法因採人工作業，經發現有資料數據取樣數不足、取樣標準不一、無條件式篩選功能等，故耗時耗力且對於分析結果之準確度存疑，本次所提出之改善策略，係以整合既有資源為主軸，北水處結合供水監控系統(SCADA)，在不增加硬體設備及在既有系統架構平台之下，開發抽水機效率監測管理程式並導入供水加壓系統，可用於單台及多台抽水機組合運轉之場合，以便即時及長期監控抽水機運轉效率，作為抽水機「績效驗證」之有利工具。

建置並整合於既設供水監控系統(SCADA)平台上，以不增加任何硬體設備之下，完全由既設可程式控制器(PLC)及監控電腦擷取加壓站設備運轉之相關訊號參數，自動作資料處理運算，以每分鐘取樣記錄存取 1 筆運轉資訊，提高效率運算參數及其取樣之準確性，且監控系統亦將自動產生報表，其報表具有條件式篩選功能，使用者可依日期、時間、總(組合)效率、運轉台數、全揚程、流量、頻率..等參數作條件式篩選，即可依不同運轉需求來設定參數及篩選，再排定抽水機運轉效率之優劣順序，同時圖控畫面兼具即時運轉效率顯示、提供歷史運轉趨勢圖查詢及設定效率異常警報等功能，藉由本系統程式之建置，取代傳統以人工隨機取樣參數並代入公式計算抽水機效率之作業方式，顯然地，將可避免抽水機耗能排序結果之錯誤，可大幅提高效率監測之精確度，及降低人力成本，茲將耗能監測管理程式之相關做法說明如下：

#### 1. 抽水機效率計算方式

抽水機效率計算所用之參數包含加壓站進出水壓、水池水位、水池深度、流量及各台抽水輸入功率、變頻器運轉頻率等，由 PLC 讀

取現場儀錶之實際數值，並由 PLC 即時計算抽水機效率，並透過 SCADA 圖控系統即時顯示抽水機運轉效率。

## 2. 資料儲存及數據分析

圖 5- 20 為抽水機運轉效率趨勢圖，SCADA 圖控系統除即時顯示抽水機運轉效率外，也會每分鐘擷取 1 筆相抽水機運轉之台數排列組合、全揚程、流量、變頻器頻率及入力變化等運轉資訊儲存至資料庫，俾利後續數據分析。

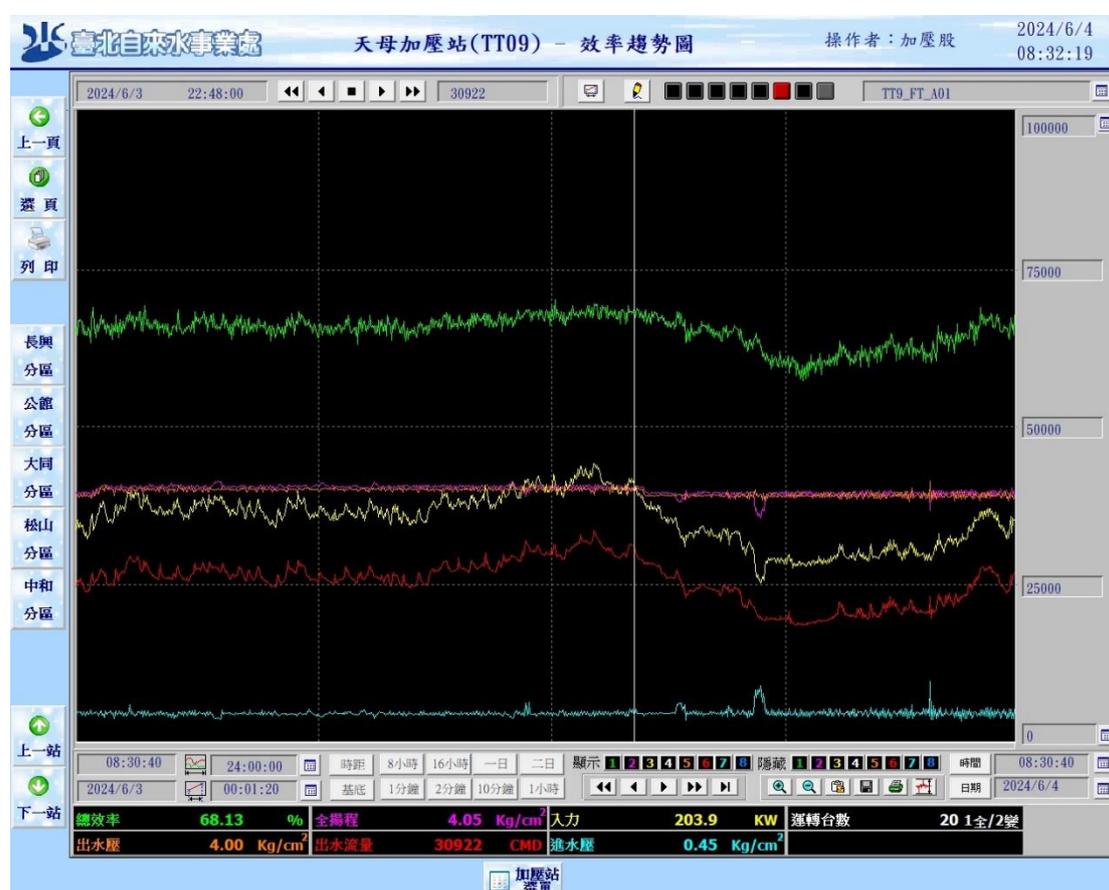


圖 5- 20 抽水機運轉效率趨勢圖

## 3. 設定效率異常警報功能

操作管理人員可由監控電腦依歷史尖、離峰時段運轉趨勢，設定運轉效率低限值，當抽水機運轉中發生效率異常時，監控電腦將跳出警報窗格，即時通報操作管理人員，以採取應變作為，可降低供水風

險及耗能。

#### 4. 效率監測效益

效率監測程式可應用於單台及多台組合運轉之場合，並可分析各大型加壓站抽水機效率排序，對於抽水機組合運轉效率排序落差值若超過 $\pm 2\%$ ，將調配抽水機之最佳運轉組合，以達節能省電目的，另抽水機組合效率排序落差值在 $\pm 2\%$ 以內者，考量在儀表量測誤差之範圍，仍需持續追蹤後續效率之變化，隨時掌握抽水機運轉狀態，以便於抽水機出現異常徵兆尚未故障時，得以及早發現並採取應變措施，減少無謂的能源耗損與降低供水風險。

在建立即時預警機制方面，全程監控抽水機效率之變化，當設備效率異常時可即時產生警報，及時告知操作管理人員，俾利及時之處理及後續追蹤，以提高應變速度，降低供水能耗。尤其藉由本效率管理程式的建立，除可隨時掌控抽水機效率之變化，以作為預防保養之依據外；亦可於抽水機整修完成裝機後，利用本程式比對維修前、後運轉效率之變化，故藉由本程式比對承商對設備汰換或維修前、後性能改善之情形，可作為履約管理之輔助工具，圖 5-21 為大型加壓站抽水機即時運轉效率監控畫面；圖 5-22 為抽水機效率監測報表。

站名	效率 %	低限 %	警報延遲時間(分)	全揚程 kg/cm <sup>2</sup>	入力 kW	運算入力	出水壓 Kg/cm <sup>2</sup>	進水壓 Kg/cm <sup>2</sup>	水位 M	流量 CMD	頻率 Hz	抽水機運轉組合	
中和加壓站	中和線	34.74	30	-1	1.22	859	859	2.01	2.11	—	216800	58.8	00202
	新店線	30.51	25	-1	1.22	295	295	2.42		—	66100	59.6	02000
大同加壓站	北投線	60.22	40.00	30	2.76	479	478	1.86	2.96	—	91800	52.3	0000000
	大直線	51.47	45.00	30	3.19	210	200	2.29		—	28000	46.6	00
	新市區線	0.00	40.00	30	1.60	0	0	0.70		—	0	—	#BAD
	舊市區線	0.00	40.00	30	3.23	0	0	2.15	3.20	0	0.0	0000	
	關渡線	55.97	—	—	2.65	1003	1003	1.87	4.19	188151	50.7	111000	
北投加壓站	44.11	45.00	30	1.45	188	186	2.70	1.75	—	49200	40.2	11000	
天母加壓站	64.73	45.00	1	3.86	178	178	3.93	0.57	—	26410	47.8	10	
民生加壓站	南港線	0.00	0	-1	0.00	0	0	1.62	4.51	51200	0.2	0000	
松山加壓站	市區線	0.00	—	—	3.23	0	0	2.48	7.10	0	0.0	000	
	內湖線	65.50	—	—	3.20	836	836	2.46		—	151100	52.3	021
	市區內湖	65.50	50	非警報伺服器	3.20	836	836	2.46		—	151100	52.3	000021
公館加壓站	0.00	0.00	-1	0.06	0	0.00	1.32	2.21	—	175616	0.9	00000	
三重加壓站	0.00	0.00	-1	1.29	0	0	0.89	—	6.50	0	0.1	0000000	
安華加壓站	新店線	45.11	40	非警報伺服器	1.03	370	370	1.58	1.05	—	143152	59.9	10000

圖 5-21 大型加壓站抽水機即時運轉效率監控畫面

補充說明:

1. 效率：經由出水量、出水壓及總消耗功率即時換算各線抽水機組整體即時效率
2. 抽水機運轉組合：加壓站各線設置抽水機台數，0 表示未運轉、1 表示定速運轉、2 表示變頻運轉
3. 北水處中和加壓站中和線、民生加壓站南港線、大同加壓站北投線及關渡線，其出水量包含旁通重力供水量，故旁通重力供水時段效率將超過 100%

## (S301)松山加壓站 - 內湖線

2024年5月

日期	時間	總效率 (%)	運轉組	流量 (超吉流)	流量 (過河文)	出水壓 (kg/c)	水位 (M)	入力 (kW)	全揚程 (kg/c)	#4定速 kw	#5定速 kw	#5變速 kw	#6定速 kw	#6變速 kw	#5頻率 (Hz)	#6頻率 (Hz)
2024/5/20	00:00	65.37	000021	73400	87000	2.62	6.47	946	3.42	0.0	0.0	447.0	499.0	0.0	57.60	0.00
2024/5/20	00:01	64.29	000021	72800	86600	2.61	6.47	942	3.41	0.0	0.0	444.0	498.0	0.0	57.40	0.00
2024/5/20	00:02	65.46	000021	72400	86400	2.60	6.48	938	3.40	0.0	0.0	440.0	498.0	0.0	57.00	0.00
2024/5/20	00:03	65.22	000021	72000	85800	2.58	6.47	925	3.38	0.0	0.0	428.0	497.0	0.0	56.40	0.00
2024/5/20	00:04	65.64	000021	71600	85600	2.59	6.48	918	3.39	0.0	0.0	422.0	496.0	0.0	56.20	0.00
2024/5/20	00:05	65.04	000021	71800	86000	2.59	6.47	937	3.39	0.0	0.0	438.0	499.0	0.0	56.50	0.00
2024/5/20	00:06	65.54	000021	71800	86200	2.58	6.46	927	3.38	0.0	0.0	429.0	498.0	0.0	56.40	0.00
2024/5/20	00:07	65.54	000021	72200	87200	2.59	6.45	933	3.40	0.0	0.0	435.0	498.0	0.0	56.30	0.00
2024/5/20	00:08	65.26	000021	72400	87400	2.58	6.46	934	3.38	0.0	0.0	437.0	497.0	0.0	56.70	0.00
2024/5/20	00:09	64.47	000021	73100	87000	2.57	6.45	947	3.38	0.0	0.0	450.0	497.0	0.0	57.40	0.00
2024/5/20	00:10	64.23	000021	73100	88100	2.58	6.46	953	3.38	0.0	0.0	454.0	499.0	0.0	57.40	0.00
2024/5/20	00:11	64.23	000021	72700	87200	2.57	6.44	949	3.38	0.0	0.0	451.0	498.0	0.0	57.30	0.00
2024/5/20	00:12	64.77	000021	72200	86600	2.54	6.45	936	3.35	0.0	0.0	438.0	498.0	0.0	56.40	0.00
2024/5/20	00:13	64.94	000021	72200	86900	2.54	6.43	925	3.35	0.0	0.0	428.0	497.0	0.0	56.20	0.00
2024/5/20	00:14	64.95	000021	72000	86300	2.53	6.45	915	3.34	0.0	0.0	419.0	496.0	0.0	55.90	0.00
2024/5/20	00:15	65.33	000021	71500	85200	2.52	6.44	905	3.33	0.0	0.0	407.0	498.0	0.0	55.60	0.00
2024/5/20	00:16	65.28	000021	71100	85400	2.50	6.45	890	3.31	0.0	0.0	395.0	495.0	0.0	55.10	0.00
2024/5/20	00:17	65.76	000021	70600	85100	2.53	6.44	885	3.34	0.0	0.0	388.0	497.0	0.0	54.80	0.00
2024/5/20	00:18	65.06	000021	70200	83800	2.50	6.42	887	3.31	0.0	0.0	390.0	497.0	0.0	54.20	0.00
2024/5/20	00:19	65.72	000021	69600	83700	2.50	6.43	870	3.31	0.0	0.0	373.0	497.0	0.0	53.90	0.00
2024/5/20	00:20	65.98	000021	69900	82600	2.50	6.44	861	3.31	0.0	0.0	365.0	496.0	0.0	53.50	0.00
2024/5/20	00:21	65.44	000021	69000	82000	2.48	6.44	855	3.29	0.0	0.0	359.0	496.0	0.0	53.10	0.00

圖 5-22 抽水機效率監測報表

## 5.4 建構抽水機備援機制

北水處負大臺北地區每日約 240 萬噸用水需求，從原水取水、淨水處理到管網輸配供水完整供應鏈之中，加壓站每日不中斷將乾淨自來水源源不絕送到用戶，其中北水處 12 個大型加壓站既 84 台高壓沉水式抽水機負責 65% 用水需求，惟大型加壓站設置之抽水機皆採用高壓 3.3kV400HP 大馬力抽水機，若發生故障影響供水範圍大，且有維修耗時及費用高的問題，為因應上述問題北水處建構一套抽水機備援機制包含：

## 1. 採購近似相同符合供水需求且揚程近似之抽水機：

配合早期水壓政策，加壓站主要採購高揚程之抽水機，隨著近年來為降低管網漏水及節能加壓站陸續已陸續揚程介於 25~35M 之抽水機，並會將汰換下來之抽水機依其狀況評估是否可整修後納入備援機組，表 5-9 為北水處近期採購高壓抽水機規格。

表 5-9 近期採購高壓抽水機規格

場站	馬力數 (HP)	型式	額定揚程 (M)	額定流量 (CMD)
大同加壓站	600	直立低吸	35	88,992
三重加壓站	600	直立低吸	35	88,992
三重第二加壓站	500	直立低吸	35	55,000
中和加壓站	600	橫臥低吸	25	125,280
公館淨水場	500	直立低吸	30	75,000
公館淨水場	400	直立低吸	35	50,000

2. 建立相互備援機制：

表 5-10 為大型加壓站抽水機備援一覽表，檢視各加壓站抽水機馬力數、出水壓力、流量及出水管口徑予以歸納分組並在不影響既有加壓站運轉情況下建立可相互支援之抽水機清冊，以利抽水機發生異常時可隨時吊拆機組支援。大多數加壓站礙於裝設空間不足，並不是每站都可增設固定備載機組，將藉由供水操作條件相近(水壓、水量)抽水機群組歸納，並利用維修時建立相關機組尺寸資料，納入加壓站互援評估，於後續汰換或增設時，將規格統一化，包含(1)電氣規格：電壓等級及馬力數(Hp)；(2)抽水機型式：中吸或低吸、抽水桶為直立式或橫臥式；(3)法蘭規格口徑：7.5K、10K、16K 或出口口徑等。

表 5-10 大型加壓站抽水機備援一覽表

場站			相互備援場站		
站名	出水 壓範 圍	抽水機規格	站名	出水 壓範 圍	抽水機規格
中和加壓 站中和線	1.2- 2.3	600HP、中吸、 20M 700mm、 135000CDM	安華加壓 新店線	2	500HP、中吸、25M 700mm、95000CDM

北投加壓站	2.6-3.3	400HP、中吸、30M 500mm、61000CDM	天母加壓站	1.9-2.5	400HP、中吸、40M 500mm、46000CDM
大同加壓站關渡線	1.9-2.2	600HP、低吸、30M 700mm、95000CDM	大度加壓站 淡海線	2.5-3.4	600HP、低吸、30M 700mm、95000CDM
大同加壓站大直線	1.69-2.14	600HP、低吸、40M 500mm、74000CDM	長興淨水場	1.6-2.2	600HP、低吸、40M 600mm、64800CDM
公館淨水場市區線	1-1.35	500HP、低吸、40M 600mm、74000CDM			
松山加壓站內湖線	2.2-2.5	700HP、低吸、45M 700mm、72000CDM	民生加壓站市區線	1.5-2.5	700HP、低吸、40M 700mm、80000CDM

## 第六章 結論與建議

根據 AWWA 最新研究報告指出，美國自來水事業平均 80-90 % 碳足跡歸因於電力使用，且將近 91-99% 電力使用於加壓抽水機，經統計分析，北水處加壓抽水機用電量佔總用電之 91% 以上，其中高壓沉水式抽水機之用電高達總用電量的 85% 以上，抽水機須肩負維持供水系統壓力與水量穩定之任務，為最主要之能耗設備。北水處自 95 年起為降低供水能耗陸續汰換採用高效率抽水機及增設變頻器並透過場站操作管理優化，包含高壓沉水式抽水機以變頻遠端壓力回授控制維持管網最適水壓、加壓站視幹管進水餘壓狀況改由重力供水等方式，單位供水耗能由 95 年 0.164(度/噸) 降至 112 年 0.107(度/噸)，降幅達 34.47%；場站用電量由 157,334,357 度降至 95,918,143 度，降幅達 39%，與 95 年比較年約可減少 2.15 億元電費支出。

淨零碳排已是各級政府機關及企業目前推動的重點工作，北水處推行 ESG 在降低供水耗能為重要的 KPI 指標，降低供水耗能必須從改善抽水機之效能著手。當在購置高壓沉水式抽水機時，除了應考慮購置高效效、長效型之抽水機之外，如何透過提高抽水機之運轉效能及節能對策之採用，以提高能源使用效率及整體水資源的利用率，從抽水機之選用、操作，維護及管理等層面，使設備發揮最佳之效能，以降低供水耗能、提升供水品質及精進設備維護管理，並建立一套科

學化的抽水機效能管理機制，為本研究案探討之主軸。

本研究以高壓沉水式抽水機效能應用為出發點，探討北水處這幾年高壓沉水式抽水機在使用操作及效能管理最佳化上取得的成果與效益，及如何精進改善使用經驗上遭遇的問題及更有效建立一套科學化之抽水機效能管理機制，本次研究結論及建議事項如下：

1. 設備選用：

- (1) 場站於規劃汰換抽水機時，除需從成本效益、適用性、穩定性、耐用性、安全性、維護管理等方面進行評估之外，應將未來之供水計劃、節水政策之推動及水壓政策納入需求評估，以使抽水機容量(流量、揚程)最適化，並搭配變頻器運轉使契合管網實際供水需求，提升運轉效能，並維持合理之備載台數，因應緊急異常事故或維修時，備載抽水機持續加壓供水，確保供水品質。
- (2) 抽水機運轉時偏離最佳操作點、入水管設計不良或水池加壓用的抽水機安裝深度不足時，皆容易於抽水機葉輪或泵浦殼等處造成孔蝕現象。建議採用吸入口在液面下之抽水機且吸入口越低於液面(低吸型、水池深)越好，或可降低入水管段的流阻、降低抽水機轉數等，另外亦可採用不銹鋼、鈦鋼等材質之葉輪以增加葉輪本體之抗

孔蝕能力。

- (3) 建立定期維護和監測計劃，確保控制系統的穩定性和正常運行，預防性檢測可預防潛在的問題，提前發現和解決系統運行中的異常情況，研討未來可精進的可行做法，如沉水式抽水機可以內建壓力補償器，於最低運轉水位時，可以自動壓差補償使軸承能持續冷卻持續運轉供水；沉水式抽水機振動加速度儀，以內建方式整合在泵浦軸承處，提供 24 小時偵測軸承運轉振動，達到預知、預測、延壽的運轉管理。這些作法仍須與廠商研討是否可行。
- (4) 高壓電動機起動方式考量因子如電源容量、起動電流以及與起動、加速轉矩之調和及起動時間、對機械的衝擊等，提出適合自來水高壓沉水式抽水機的起動方式。
- (5) 建議設備廠商應建立有效的用戶調查和反饋機制，以深入了解用戶的實際需求和使用經驗。定期收集用戶反饋，並根據這些反饋進行產品改進，以確保新產品更好地滿足用戶期望。

## 2. 維護管理：

- (1) 因高壓沉水式抽水機維修技術門檻較高且維修期較長，為避免維修空窗期影響供水穩定，建議導入抽水機銀行的概

念，評估將操作條件接近的機組予以群組化，在後續機組之規劃選用上，儘可能統一規格(流量、揚程、連接法蘭)俾利遭遇不可預期之機組故障時，能隨時從相同群組內吊拆機組支援，提高機動性及應變能力。

(2)綜觀成功的漏水管理對策，包含管線汰換、水壓管理、積極主動的漏水控制、修漏的效率及品質四大主軸，供水加壓站之水壓管理，必須依賴抽水機之穩定運轉及變頻系統之水壓調控，水壓管控最適化可節約水資源及能源，具備碳足跡及水足跡之管理概念，提出中大型加壓站採變頻器以管網末端壓力回授控制高壓沉水式抽水機之創新操作模式作法，可隨時依尖離峰時段及不同季節預設水壓設定值，以滿足管網最佳壓力需求，提供穩定之供水品質，並有效降低管線漏水。抽水機與變頻器匹配操作運轉須注意以下問題並提出建議：

(3)選定遠方之最佳回授點亟其重要，其將影響供水系統之穩定性及變頻器之節能成效。

(4)變頻器與抽水機容量匹配上，應確保選擇的變頻器容量能夠滿足抽水機在最大工作需求時的功率要求。並考慮到啟動時所需的高啟動電流，確保變頻器能夠處理這種瞬態負

載，防止過電流造成損壞。亦須考慮變頻器的穩定性和效能，確保其在不同工作條件下均能提供可靠的控制。

(5)抽水機搭配變頻器運轉，抽水機廠商應提供在不同轉速時(100%~70%)之實測性能特性曲線供操作參考。

(6)避免造成出水回流、控制閥無法順利開啟及保護抽水機，應設定變頻抽水機最低臨界運轉頻率。

(7)變頻啟動加速上升時間可能對抽水機的機械衝擊及要克服啟動的變頻器功率容量，過快或過慢的加速上升時間都可能對抽水機的機械部件產生不利影響。過快的啟動可能增加機械磨損，而過慢的啟動則可能導致機械應力過大，變頻啟動抽水機時間應適當，以保護電動機在低頻時線圈絕緣及軸承潤滑，建議變頻抽水機從 0Hz 至 60Hz 啟動時間不超過 10sec，此時間亦須考量變頻器克服抽水機啟動高電流的容量裕度。

(8)變頻器為節能及水壓管理利器，往往搭配變頻器的抽水機經常長時運轉，未搭配變頻器的定速啟動抽水機久久才運轉可能影響水質，本案提出 1 對 2 或 1 對 3 的配置作法，讓每台抽水機輪替搭配變頻器運轉，有效提升抽水機運轉的靈活度。

(9)應考慮變頻器的電磁兼容性 (EMC)，以防止產生干擾影響其它系統及產生噪音。

(10)變頻器之最低運轉頻率應參考抽水機在不同頻率之實測性能特性曲線圖及該加壓站之運轉出水總揚程兩項數據來參考進行設定，當頻率設定偏低，降頻將導致出水量低於原廠建議之最小流以下，有可能造成抽水機運轉震動將增大，磨耗增加，壽命縮短等問題。

3. 電壓、頻率變動之對於高壓電動機特性包含轉矩、起動電流、額定電流、額定功率、線圈溫昇及效率皆會造成影響，對抽水機之壽命亦會有明顯變化。
4. 北水處近年來在供水監控系統功能之改善及提升方面，建立加壓站抽水機操控模式標準化，將可降低設備異常機率、及節省能源之浪費及縮短維護查修時間，並使操作管理作業朝效率化及省力化精進，未來對於新設或接管之加壓站，亦應循此模式辦理。另提升轄區供水監控數據質量及可及性，即時掌握供水轄區狀況，導入物聯網(IIoT)應用於既有供水監控管理系統(SCADA)已是目前趨勢，如管網壓力、水位、流量等即時監測；並應用虛擬桌面架構(Virtual Desktop Infrastructure, VDI)於既有供水 SCADA 搭配警報 line 推播，

工程師可直接透過手機或平板即時監測場站異常情形，即時主動介入排除異常事件，對於穩定供水有相當助益。

5. 為精進用電管理，北水處雖已建置「抽水機效率管理程」式於 SCADA 系統，整合相關運轉趨勢圖、報表及警報訊息，隨時監控抽水機的即時運轉效率，使操作管理人員可善用相關資訊，作為設備或用電異常判斷分析之有利工具。唯鑑於早期加壓站建置時，因受限於空間而無法每台抽水機設置流量計，而無法取得個別抽水機之流量以計算其個別效率，在多台抽水機並聯組合運轉之場合，只能取得其組合運轉效率，故本案預計擇一加壓站於每台抽水機分支管裝設管夾式流量計，以即時監控分析比較每台抽水機的效率狀況，並調查篩選可裝設的場站提供未來增設以精進個台機組效能管理。
6. 北水處各加壓站抽水機運轉數據會由圖控系統每分鐘記錄一次，包括運轉電流、出水壓、流量及頻率等參數。而抽水機的保養維護項目則儲存在年度保養紀錄中，考慮目前相關數據尚未整合，我們計劃在明年直潭場資產管理系統中納入抽水機保修系統，將有助於工程師在故障發生時，迅速獲取歷史運轉數據和保養記錄，從而做出更準確的故障判斷。此外，整合後的數據將成為後續 AI 數據模型的基礎資料來源，這將進

一步提升我們的預測能力和設備管理效率。透過這樣的系統，我們期望能及早識別潛在問題，降低維修成本，並延長設備的使用壽命。

7. 不論沉水式或陸地型抽水機，要防止抽水機噪音，應優先考慮將抽水機安裝地點設計於遠離民宅的地方，否則就要設法阻隔抽水機的運轉聲音傳遞至民宅（如設置夾層或隔音罩等）。若受限於場地限制則必須積極進行抽水機安裝時的減震及降噪措施。以北水處經驗而言可在承座與地面之間加裝減震氣墊以及在出水管與固定台之間使用避震器，即避免（或減緩）抽水機及出水管之震動噪音經由地面傳遞至民宅。另外也可加裝變頻器降低抽水機轉速，以達到減震及降噪的效果，而且變頻器有緩啟動的功能，能有效降低抽水機啟動時的運轉音量。
8. 「工欲善其事，必先利其器」，針對本研究案對於高壓沉水式抽水機(含泵浦及電動機)的選用及使用限制，包括可能的問題和相應的解決方案，提出較提出較清晰實用的使用資訊以經驗傳承供同仁之工作參考依據。
9. 建議未來可進一步探討之研究方向如下：
  - (1)智慧化應用：為提升自來水系統關鍵設施運轉的穩定與管

理效能，抽水機的健康度檢測將納入後續資產效能評估專案，以強化維修決策。本專案將透過智慧化監測系統的導入，收集並分析抽水機的振動、溫度、電流等運轉數據，藉由 AI 模型持續學習及優化數據，以動態評估設備健康狀態，提前預警異常情況，以利制定更精準的維護計畫，減少不必要的停機維護次數和成本。同時，也可藉由設備的健康度評估，協助判斷資產更替時機，延長設備使用壽命、確保資產效能的最大化。後續研究方向的核心目標將利用智慧化監測和 AI 的結合，打造一個更加穩定、可持續且具預測性維護能力的系統，以確保供水系統的長期穩定與可靠性。

- (2)可靠性和安全性：深入研究提高抽水機可靠性和安全性的方法，包括強化自動安全功能、防護系統的優化，以及應對極端環境的性能改進。
- (3)多能源整合：探索多能源整合技術，將抽水機等設備與再生能源系統結合，以實現更為節能環保的運行。
- (4)水資源管理：研究與水資源管理系統的整合，如場站水池加壓與管中加壓及重力供水的聯合運作，協助場站實現智慧供水、減少浪費，並在節水、節能方面提供更多解決方

案。

(5)主動式降噪(Active noise cancellation, ANC)：豎軸抽水機之電動機相較沉水式電動機在效率及售價上均較具優勢，但因豎軸抽水機之噪音問題經常造成民眾抗議，北水處才改採沉水式抽水機。若能利用主動式降噪系統改善噪音問題，其功用在偵測抽水機所產生之噪音，進而發出相等的反向聲波，將噪音中和，進而達到降噪的效果。目前相關應用已在降噪耳機使用上已有實際應用且效果良好，但對加壓站之抽水機的噪音降低應用尚未有所見，因原理簡單，預估所需費用不高，惟尚需實際進行裝設測試以確認降噪效果，若效果良好，將為後續考慮改採豎軸抽水機以提升運轉效率降低耗能的一個方向。

# 附錄 1 全封閉型以外之特種鼠籠式感應電動機

額定輸出功率		極數	同步轉數 每分鐘轉數 (rpm)	滿載特性		參考值			
kW	HP (參考值)			效率 $\eta$ (%)	功率 因數 pf (%)	起動電流	無載電流	滿載電流	滿載轉 差 率 s (%)
						$I_{st}$ (各相之 平均值) (A)	$I_0$ (各相之 平均值) (A)	$I$ (各相之 平均值) (A)	
37	50	2	3600	80.0 以上	79.0 以上	60 以下	4.5	10.0	5.0
45	60			81.5 以上	79.5 以上	72 以下	5.5	11.9	5.0
55	75			83.0 以上	80.0 以上	85 以下	6.2	14.2	4.5
75	100			87.0 以上	81.0 以上	110 以下	8.1	18.2	4.5
90	125			87.5 以上	81.5 以上	135 以下	9.2	21.5	4.0
110	150			88.0 以上	82.5 以上	162 以下	11.0	25.9	4.0
132	175			88.5 以上	83.0 以上	190 以下	12.5	30.7	3.5
150	200			89.0 以上	83.5 以上	217 以下	14.0	34.5	3.0
160	220			89.5 以上	83.5 以上	238 以下	15.0	36.8	3.0
185	250			89.5 以上	84.0 以上	270 以下	16.2	42.1	3.0
200	270			89.5 以上	84.0 以上	290 以下	17.8	45.2	3.0
220	300			90.0 以上	84.5 以上	320 以下	18.0	49.7	3.0
260	350			90.0 以上	85.0 以上	370 以下	18.5	58.1	2.5
300	400			90.5 以上	85.5 以上	430 以下	19.0	66.6	2.5
335	450			90.5 以上	85.5 以上	480 以下	19.2	74.0	2.5
370	500			90.5 以上	86.0 以上	540 以下	19.7	80.8	2.0
450	600			91.0 以上	86.5 以上	650 以下	22.0	97.7	2.0
520	700			91.0 以上	87.0 以上	760 以下	22.5	112.3	2.0
600	800			91.5 以上	87.0 以上	860 以下	29.0	128.8	2.0
670	900			91.5 以上	87.5 以上	970 以下	32.5	143.0	2.0
750	1000			92.0 以上	87.5 以上	1080 以下	36.5	159.0	2.0
1120	1500			92.5 以上	88.0 以上	1620 以下	53.9	235.2	1.8
1490	2000			93.0 以上	88.0 以上	2160 以下	68.1	311.2	1.8
1870	2500			93.5 以上	88.0 以上	2700 以下	81.1	388.5	1.8
2240	3000	94.0 以上	88.5 以上	3240 以下	96.1	460.3	1.8		
2610	3500	94.5 以上	88.5 以上	3790 以下	110.7	533.5	1.5		
2980	4000	94.5 以上	89.5 以上	4330 以下	121.8	609.1	1.5		
3360	4500	94.5 以上	89.0 以上	4870 以下	136.6	682.9	1.5		
3730	5000	95.0 以上	90.0 以上	5410 以下	150.0	745.7	1.5		
4480	6000	95.0 以上	90.0 以上	6490 以下	180.0	895.7	1.5		

額定輸出功率		極數	同步轉數 每分鐘轉數 (rpm)	滿載特性		參考值			
kW	HP (參考值)			效率 $\eta$	功率 因數 pf	起動電流 $I_{st}$ (各相之 平均值)	無載電流 $I_0$ (各相之 平均值)	滿載電流 $I$ (各相之 平均值)	滿載轉 差率 s
		數	60Hz	(%)	(%)	(A)	(A)	(A)	(%)
37	50	4	1800	85.0 以上	77.5 以上	59 以下	4.8	9.3	5.0
45	60			85.5 以上	78.0 以上	72 以下	5.8	11.4	5.0
55	75			87.0 以上	79.5 以上	85 以下	6.5	13.5	4.5
75	100			87.5 以上	80.5 以上	113 以下	8.4	18.3	4.5
90	125			88.0 以上	81.5 以上	132 以下	9.6	20.8	4.0
110	150			88.5 以上	82.0 以上	162 以下	11.3	26.0	4.0
132	175			89.0 以上	82.5 以上	189 以下	12.9	30.5	4.0
150	200			89.5 以上	83.0 以上	216 以下	14.3	34.5	3.5
160	220			89.5 以上	83.0 以上	230 以下	15.3	36.8	3.5
185	250			90.0 以上	83.5 以上	260 以下	16.7	42.1	3.5
200	270			90.0 以上	83.5 以上	284 以下	18.1	45.5	3.5
220	300			90.0 以上	84.0 以上	320 以下	19.7	49.7	3.0
260	350			90.5 以上	84.0 以上	360 以下	23.2	58.5	3.0
300	400			90.5 以上	84.5 以上	420 以下	25.0	67.1	3.0
335	450			91.0 以上	84.5 以上	480 以下	26.8	74.5	2.5
370	500			91.0 以上	85.0 以上	530 以下	28.6	81.8	2.5
450	600			91.5 以上	85.0 以上	650 以下	29.6	98.9	2.5
520	700			91.5 以上	85.5 以上	760 以下	34.1	113.6	2.5
600	800			92.0 以上	85.5 以上	850 以下	39.1	130.4	2.0
670	900			92.0 以上	86.0 以上	970 以下	43.4	144.8	2.0
750	1000	92.5 以上	86.5 以上	1080 以下	48.1	160.2	2.0		
1120	1500	93.0 以上	87.0 以上	1610 以下	68.6	236.6	2.0		
1490	2000	93.5 以上	87.5 以上	2150 以下	92.4	318.6	1.8		
1870	2500	94.0 以上	87.5 以上	2700 以下	108.8	388.6	1.8		
2240	3000	94.5 以上	88.0 以上	3230 以下	128.9	460.4	1.5		
2610	3500	94.5 以上	88.0 以上	3790 以下	144.9	536.5	1.5		
2980	4000	94.5 以上	88.0 以上	4320 以下	165.4	612.5	1.5		
3360	4500	94.5 以上	88.5 以上	4860 以下	178.5	686.7	1.5		
3730	5000	95.0 以上	89.0 以上	5400 以下	196.1	754.1	1.5		
4480	6000	95.0 以上	89.5 以上	6490 以下	225.1	900.7	1.5		

額定輸出功率		極數	同步轉數 每分鐘轉數 (rpm)	滿載特性		參考值				
kW	HP (參考值)			效率 $\eta$ (%)	功率 因數 pf (%)	起動電流 $I_{st}$ (各相之 平均值) (A)	無載電流 $I_0$ (各相之 平均值) (A)	滿載電流 I (各相之 平均值) (A)	滿載轉 差率 s (%)	
37	50	6	1200	60Hz	84.5 以上	76.0 以上	62 以下	5.3	9.9	5.0
45	60			85.5 以上	77.5 以上	72 以下	6.1	11.3	5.0	
55	75			86.5 以上	78.5 以上	86 以下	6.9	13.9	5.0	
75	100			87.0 以上	80.0 以上	117 以下	8.6	18.5	4.5	
90	125			87.5 以上	80.5 以上	138 以下	10.2	21.4	4.5	
110	150			88.0 以上	81.0 以上	166 以下	11.8	26.5	4.0	
132	175			88.5 以上	81.5 以上	193 以下	13.5	31.4	4.0	
150	200			89.0 以上	82.0 以上	220 以下	15.1	35.2	4.0	
160	220			89.0 以上	82.0 以上	234 以下	16.1	37.5	4.0	
185	250			89.5 以上	82.5 以上	264 以下	17.8	43.0	3.5	
200	270			89.5 以上	82.5 以上	288 以下	19.2	46.5	3.5	
220	300			89.5 以上	83.0 以上	320 以下	20.9	50.6	3.5	
260	350			89.5 以上	83.5 以上	360 以下	24.5	59.5	3.5	
300	400			90.0 以上	83.5 以上	420 以下	27.2	68.2	3.0	
335	450			90.0 以上	84.0 以上	480 以下	28.8	75.7	3.0	
370	500			90.5 以上	84.0 以上	530 以下	31.6	83.2	3.0	
450	600			90.5 以上	84.5 以上	650 以下	37.4	101.2	3.0	
520	700			91.0 以上	84.5 以上	760 以下	41.6	115.6	2.5	
600	800			91.0 以上	85.0 以上	840 以下	47.7	132.6	2.5	
670	900			91.5 以上	85.0 以上	960 以下	53.0	147.3	2.5	
750	1000			91.5 以上	85.5 以上	1070 以下	57.4	163.9	2.5	
1120	1500			92.0 以上	86.0 以上	1600 以下	79.9	242.0	2.0	
1490	2000			92.0 以上	86.5 以上	2150 以下	105.6	320.0	2.0	
1870	2500			92.5 以上	86.5 以上	2700 以下	127.8	399.5	2.0	
2240	3000	93.0 以上	87.0 以上	3230 以下	146.7	473.2	2.0			
2610	3500	93.0 以上	87.0 以上	3780 以下	169.3	564.4	2.0			
2980	4000	94.0 以上	87.5 以上	4320 以下	185.8	619.3	1.8			
3360	4500	94.0 以上	87.5 以上	4860 以下	202.5	698.3	1.8			
3730	5000	95.0 以上	88.0 以上	5400 以下	218.6	780.6	1.5			
4480	6000	95.0 以上	88.0 以上	6490 以下	256.5	916.0	1.5			

額定輸出功率		極數	同步轉數 每分鐘轉數 (rpm)	滿載特性		參考值			
kW	HP (參考值)			效率 $\eta$	功率 因數 pf	起動電流 $I_{st}$ (各相之 平均值)	無載電流 $I_0$ (各相之 平均值)	滿載電流 $I$ (各相之 平均值)	滿載轉 差率 s
			60Hz	(%)	(%)	(A)	(A)	(A)	(%)
37	50	8	900	84.0 以上	72.5 以上	62 以下	6.0	10.4	5.0
45	60			85.0 以上	74.0 以上	72 以下	7.3	12.6	5.0
55	75			86.0 以上	75.5 以上	86 以下	7.8	14.5	5.0
75	100			86.5 以上	77.0 以上	113 以下	9.9	19.3	4.5
90	125			87.0 以上	78.0 以上	132 以下	10.6	22.2	4.5
110	150			87.5 以上	79.0 以上	162 以下	13.0	27.3	4.5
132	175			88.0 以上	79.5 以上	189 以下	15.0	31.8	4.5
150	200			88.5 以上	80.0 以上	216 以下	16.6	35.5	4.0
160	220			88.5 以上	80.0 以上	230 以下	17.7	37.9	4.0
185	250			89.0 以上	80.5 以上	260 以下	19.6	44.2	4.0
200	270			89.0 以上	80.5 以上	284 以下	21.2	47.8	4.0
220	300			89.0 以上	81.0 以上	320 以下	23.0	52.2	4.0
260	350			89.5 以上	81.0 以上	360 以下	26.9	61.3	3.5
300	400			89.5 以上	81.5 以上	420 以下	30.2	70.3	3.5
335	450			90.0 以上	81.5 以上	480 以下	33.5	78.1	3.0
370	500			90.0 以上	82.0 以上	520 以下	36.0	85.7	3.0
450	600			90.5 以上	82.0 以上	640 以下	43.6	103.7	3.0
520	700			90.5 以上	82.5 以上	760 以下	50.0	119.1	3.0
600	800			91.0 以上	82.5 以上	840 以下	57.4	136.6	2.5
670	900			91.0 以上	83.0 以上	960 以下	63.7	151.6	2.5
750	1000			91.5 以上	83.0 以上	1020 以下	70.9	168.8	2.5
1120	1500			92.0 以上	83.5 以上	1600 以下	102.2	249.2	2.0
1490	2000			92.0 以上	84.0 以上	2150 以下	135.1	329.5	2.0
1870	2500			92.5 以上	84.5 以上	2700 以下	167.7	409.0	2.0
2240	3000	93.0 以上	85.0 以上	3220 以下	193.8	484.4	2.0		
2610	3500	93.0 以上	85.5 以上	3770 以下	224.4	561.1	2.0		
2980	4000	94.0 以上	85.5 以上	4300 以下	253.5	633.8	1.8		
3360	4500	94.0 以上	86.0 以上	4850 以下	284.2	710.5	1.8		
3730	5000	94.5 以上	86.0 以上	5400 以下	313.8	784.5	1.5		
4480	6000	94.5 以上	86.0 以上	6490 以下	376.9	942.3	1.5		

額定輸出功率		極數	同步轉數 每分鐘轉數 (rpm)	滿載特性		參考值			
kW	HP (參考值)			效率 $\eta$ (%)	功率 因數 pf (%)	起動電流 $I_{st}$ (各相之 平均值) (A)	無載電流 $I_0$ (各相之 平均值) (A)	滿載電流 $I$ (各相之 平均值) (A)	滿載轉 差率 s (%)
		數	60Hz						
37	50	10	720	83.5 以上	68.5 以上	66 以下	6.9	11.1	5.0
45	60			84.5 以上	70.0 以上	78 以下	8.2	13.6	5.0
55	75			85.5 以上	71.5 以上	90 以下	9.1	15.5	5.0
75	100			86.0 以上	73.5 以上	121 以下	11.4	20.4	5.0
90	125			86.5 以上	74.5 以上	146 以下	12.7	23.1	4.5
110	150			87.0 以上	75.5 以上	171 以下	15.1	26.3	4.5
132	175			87.5 以上	76.0 以上	203 以下	17.6	32.8	4.5
150	200			88.0 以上	76.5 以上	225 以下	19.5	38.2	4.0
160	220			88.0 以上	76.5 以上	240 以下	20.8	40.7	4.0
185	250			88.5 以上	77.5 以上	278 以下	22.6	46.2	4.0
200	270			88.5 以上	77.5 以上	300 以下	24.4	49.9	4.0
220	300			88.5 以上	78.0 以上	320 以下	26.7	54.5	4.0
260	350			88.5 以上	78.5 以上	360 以下	31.4	64.0	4.0
300	400			89.0 以上	79.0 以上	420 以下	35.0	72.9	4.0
335	450			89.0 以上	79.5 以上	480 以下	38.8	80.9	4.0
370	500			89.5 以上	79.5 以上	520 以下	41.8	88.9	3.5
450	600			89.5 以上	80.0 以上	640 以下	50.5	107.4	3.5
520	700			90.0 以上	80.0 以上	760 以下	58.0	123.5	3.0
600	800			90.0 以上	81.0 以上	840 以下	66.2	140.7	3.0
670	900			90.5 以上	81.0 以上	960 以下	73.4	156.2	3.0
750	1000	90.5 以上	81.5 以上	1020 以下	79.9	173.8	3.0		
1120	1500	91.0 以上	81.5 以上	1600 以下	118.7	258.1	2.5		
1490	2000	91.0 以上	82.0 以上	2150 以下	153.6	341.3	2.5		
1870	2500	91.5 以上	82.0 以上	2700 以下	191.7	426.0	2.5		
2240	3000	91.5 以上	82.5 以上	3220 以下	223.1	507.2	2.5		
2610	3500	92.0 以上	82.5 以上	3770 以下	258.6	587.8	2.0		
2980	4000	93.0 以上	83.0 以上	4300 以下	283.8	660.0	2.0		
3360	4500	93.5 以上	83.0 以上	4850 以下	318.2	740.1	2.0		
3730	5000	94.0 以上	83.5 以上	5400 以下	333.0	812.3	1.8		
4480	6000	94.5 以上	84.0 以上	6470 以下	385.9	964.7	1.5		

額定輸出功率		極數	同步轉數 每分鐘轉數 (rpm)	滿載特性		參考值				
kW	HP (參考值)			60Hz	效率	功率因數	起動電流	無載電流	滿載電流	滿載轉差率
					$\eta$	pf	$I_{st}$ (各相之 平均值)	$I_0$ (各相之 平均值)	$I$ (各相之 平均值)	S
37	50	12	600	83.0 以上	64.0 以上	71 以下	7.9	11.9	5.5	
45	60			84.0 以上	66.0 以上	85 以下	9.4	14.5	5.5	
55	75			85.0 以上	67.5 以上	100 以下	10.4	16.5	5.0	
75	100			85.5 以上	69.5 以上	130 以下	13.1	21.5	5.0	
90	125			86.0 以上	71.0 以上	147 以下	14.8	25.2	4.5	
110	150			86.5 以上	72.0 以上	180 以下	17.3	30.3	4.5	
132	175			87.0 以上	72.5 以上	216 以下	20.1	35.8	4.5	
150	200			87.5 以上	73.0 以上	238 以下	22.3	40.3	4.0	
160	220			87.5 以上	73.0 以上	248 以下	23.8	43.0	4.0	
185	250			88.0 以上	74.0 以上	287 以下	21.6	48.7	4.0	
200	270			88.0 以上	74.0 以上	310 以下	28.2	52.6	4.0	
220	300			88.5 以上	74.5 以上	320 以下	30.7	57.4	4.0	
260	350			88.5 以上	74.5 以上	360 以下	36.1	67.4	4.0	
300	400			89.0 以上	75.0 以上	420 以下	41.4	77.3	4.0	
335	450			89.0 以上	75.0 以上	480 以下	46.0	85.8	4.0	
370	500			89.5 以上	75.5 以上	520 以下	48.9	94.1	4.0	
450	600			89.5 以上	75.5 以上	640 以下	59.1	113.8	3.5	
520	700			89.5 以上	76.0 以上	760 以下	67.9	130.7	3.5	
600	800			90.0 以上	76.0 以上	840 以下	76.5	149.9	3.0	
670	900			90.0 以上	76.5 以上	960 以下	84.8	166.3	3.0	
750	1000			90.5 以上	76.5 以上	1020 以下	94.4	185.2	3.0	
1120	1500			90.5 以上	77.0 以上	1600 以下	137.4	274.7	3.0	
1490	2000			91.0 以上	77.0 以上	2150 以下	181.8	363.5	2.5	
1870	2500			91.0 以上	77.5 以上	2700 以下	226.6	453.2	2.5	
2240	3000			91.5 以上	77.5 以上	3220 以下	270.0	540.0	2.0	
2610	3500			91.5 以上	78.0 以上	3770 以下	306.3	625.1	2.0	
2980	4000			92.0 以上	78.0 以上	4300 以下	347.9	710.0	2.0	
3360	4500			92.5 以上	78.5 以上	4850 以下	387.6	791.0	2.0	
3730	5000	93.0 以上	79.0 以上	5400 以下	416.5	867.8	2.0			
4480	6000	93.5 以上	79.5 以上	6470 以下	484.2	1030.2	1.8			

註：上表所列之起動電流，無載電流及滿載電流係額定電壓為 3300V，如額定電壓 E (V) 時，其值應乘以 3300/E，效率、功因與 3300V 相同。

額定輸出功率未列表內時，效率、功率因數之檢驗標準以其較大一級之輸出做基準，例 4P、1250HP 之效率、功因以 1500HP 效率 93.0 以上，功因 87.0 以上做檢驗標準。

## 附錄 2 全封閉型特種鼠籠式感應電動機

額定輸出功率		極數	同步轉數 每分鐘轉數 (rpm)	滿載特性		參考值			
				效率 $\eta$ (%)	功率 因數 pf (%)	起動電流 $I_{st}$ (各相之 平均值) (A)	無載電流 $I_0$ (各相之 平均值) (A)	滿載電流 $I$ (各相之 平均值) (A)	滿載轉 差率 s (%)
kW	HP (參考值)	數	60Hz						
37	50	2	3600	80.0 以上	79.0 以上	67 以下	4.5	10.0	5.0
45	60			81.5 以上	79.5 以上	81 以下	5.5	11.9	5.0
55	75			83.0 以上	80.0 以上	95 以下	6.2	14.2	4.5
75	100			87.0 以上	81.0 以上	127 以下	8.1	18.2	4.5
90	125			87.5 以上	81.5 以上	148 以下	9.2	21.5	4.0
110	150			88.0 以上	82.5 以上	178 以下	11.0	25.9	4.0
132	175			88.5 以上	83.0 以上	211 以下	12.5	30.7	3.5
150	200			89.0 以上	83.5 以上	238 以下	14.0	34.5	3.0
160	220			89.0 以上	83.5 以上	250 以下	15.0	36.8	3.0
185	250			89.5 以上	84.0 以上	286 以下	16.2	42.1	3.0
200	270			89.5 以上	84.0 以上	307 以下	17.8	45.2	3.0
220	300			89.5 以上	84.5 以上	340 以下	18.0	49.7	3.0
260	350			90.0 以上	85.0 以上	370 以下	18.5	58.1	2.5
300	400			90.0 以上	85.5 以上	430 以下	19.0	66.6	2.5
335	450			90.5 以上	85.5 以上	486 以下	19.2	74.0	2.5
370	500			90.5 以上	86.0 以上	540 以下	19.7	80.8	2.0
450	600			91.0 以上	86.5 以上	650 以下	22.0	97.7	2.0
520	700			91.0 以上	87.0 以上	750 以下	25.5	112.3	2.0
600	800			91.5 以上	87.0 以上	860 以下	29.0	128.8	2.0
670	900			91.5 以上	87.5 以上	970 以下	32.5	143.0	2.0
750	1000			92.0 以上	87.5 以上	1080 以下	36.5	159.0	2.0
1120	1500			92.5 以上	88.0 以上	1620 以下	53.9	235.2	1.8
1490	2000			93.0 以上	88.0 以上	2160 以下	68.1	311.2	1.8
1870	2500			93.5 以上	88.0 以上	2700 以下	81.1	388.5	1.8
2240	3000	94.0 以上	88.5 以上	3250 以下	96.1	460.3	1.8		
2610	3500	94.5 以上	88.5 以上	3790 以下	110.7	533.5	1.5		
2980	4000	94.5 以上	88.5 以上	4330 以下	121.8	609.1	1.5		
3360	4500	94.5 以上	89.0 以上	4870 以下	136.6	682.9	1.5		
3730	5000	95.0 以上	90.0 以上	5410 以下	150.0	745.7	1.5		
4480	6000	95.0 以上	90.0 以上	6500 以下	180.0	895.7	1.5		

額定輸出功率		極數	同步轉數 每分鐘轉數 (rpm)	滿載特性		參考值			
kW	HP (參考值)			效率 $\eta$ (%)	功率 因數 pf (%)	起動電流 $I_{st}$ (各相之 平均值) (A)	無載電流 $I_0$ (各相之 平均值) (A)	滿載電流 $I$ (各相之 平均值) (A)	滿載轉 差 率 s (%)
		數	60Hz						
37	50	4	1800	85.0 以上	77.5 以上	63 以下	4.9	9.6	4.5
45	60			86.0 以上	78.5 以上	75 以下	5.7	11.4	4.5
55	75			87.0 以上	79.5 以上	90 以下	6.5	13.6	4.0
75	100			87.5 以上	80.5 以上	123 以下	8.5	18.3	4.0
90	125			88.0 以上	81.5 以上	144 以下	9.7	20.8	4.0
110	150			88.5 以上	82.0 以上	176 以下	11.4	26.0	4.0
132	175			89.0 以上	82.5 以上	206 以下	13.0	30.5	4.0
150	200			89.5 以上	83.0 以上	235 以下	14.3	34.5	3.5
160	220			89.5 以上	83.0 以上	250 以下	15.3	36.8	3.5
185	250			90.0 以上	83.5 以上	283 以下	16.8	42.1	3.5
200	270			90.0 以上	83.5 以上	309 以下	18.2	45.5	3.5
220	300			90.0 以上	84.0 以上	335 以下	19.7	49.7	3.0
260	350			90.5 以上	84.0 以上	388 以下	23.2	58.5	3.0
300	400			90.5 以上	84.5 以上	445 以下	25.0	67.1	3.0
335	450			91.0 以上	84.5 以上	490 以下	26.8	74.5	2.5
370	500			91.0 以上	84.5 以上	537 以下	28.6	81.8	2.5
450	600			91.5 以上	85.0 以上	644 以下	29.6	98.9	2.0
520	700			91.5 以上	85.0 以上	740 以下	34.1	113.6	2.0
600	800			92.0 以上	85.5 以上	850 以下	39.1	130.4	2.0
670	900			92.0 以上	85.5 以上	965 以下	43.4	144.8	2.0
750	1000			92.5 以上	86.0 以上	1070 以下	48.1	160.2	2.0
1120	1500			93.0 以上	86.5 以上	1600 以下	68.6	236.6	2.0
1490	2000			93.5 以上	87.0 以上	2150 以下	92.4	318.6	1.8
1870	2500			94.0 以上	87.5 以上	2700 以下	108.8	388.6	1.8
2240	3000	94.5 以上	88.0 以上	3250 以下	128.9	460.4	1.5		
2610	3500	94.5 以上	88.0 以上	3785 以下	144.9	536.5	1.5		
2980	4000	94.5 以上	88.0 以上	4330 以下	165.4	612.5	1.5		
3360	4500	94.5 以上	88.5 以上	4850 以下	178.5	686.7	1.5		
3730	5000	95.0 以上	89.0 以上	5400 以下	196.1	754.1	1.5		
4480	6000	95.0 以上	89.5 以上	6550 以下	225.1	900.7	1.5		

額定輸出功率		極數	同步轉數 每分鐘轉數 (rpm)	滿載特性		參考值			
kW	HP (參考值)			效率 $\eta$ (%)	功率 因數 pf (%)	起動電流	無載電流	滿載電流	滿載轉 差 率 s (%)
						$I_{st}$ (各相之 平均值) (A)	$I_0$ (各相之 平均值) (A)	$I$ (各相之 平均值) (A)	
37	50	6	1200	84.5 以上	75.0 以上	66 以下	5.5	10.0	4.5
45	60			85.5 以上	76.5 以上	77 以下	6.3	11.7	4.5
55	75			86.5 以上	77.5 以上	91 以下	7.2	14.1	4.5
75	100			87.0 以上	79.0 以上	123 以下	9.1	18.7	4.0
90	125			87.5 以上	79.5 以上	145 以下	10.4	22.1	4.0
110	150			88.0 以上	80.0 以上	176 以下	12.2	26.7	4.0
132	175			88.5 以上	80.5 以上	206 以下	14.0	31.7	4.0
150	200			89.0 以上	81.0 以上	235 以下	15.5	35.6	4.0
160	220			89.0 以上	81.0 以上	250 以下	16.6	38.8	4.0
185	250			89.5 以上	81.5 以上	283 以下	18.1	43.4	3.5
200	270			89.5 以上	81.5 以上	310 以下	19.6	46.9	3.5
220	300			89.5 以上	82.0 以上	335 以下	22.6	51.2	3.5
260	350			89.5 以上	82.5 以上	390 以下	26.5	60.2	3.5
300	400			90.0 以上	82.5 以上	450 以下	29.5	69.1	3.0
335	450			90.0 以上	83.0 以上	490 以下	31.2	76.7	3.0
370	500			90.5 以上	83.0 以上	540 以下	34.2	84.2	3.0
450	600			90.5 以上	83.0 以上	645 以下	40.5	102.4	3.0
520	700			91.0 以上	83.5 以上	740 以下	45.1	117.0	2.5
600	800			91.0 以上	84.0 以上	850 以下	51.7	134.2	2.5
670	900			91.5 以上	84.0 以上	965 以下	57.4	149.0	2.5
750	1000	91.5 以上	84.5 以上	1070 以下	62.2	165.8	2.5		
1120	1500	92.0 以上	85.0 以上	1600 以下	86.6	244.8	2.0		
1490	2000	92.0 以上	85.5 以上	2135 以下	114.4	323.8	2.0		
1870	2500	92.5 以上	85.5 以上	2700 以下	138.5	404.2	2.0		
2240	3000	93.0 以上	86.0 以上	3240 以下	158.9	478.7	2.0		
2610	3500	93.0 以上	86.0 以上	3780 以下	183.4	557.8	2.0		
2980	4000	94.0 以上	86.5 以上	4330 以下	201.3	626.5	1.8		
3360	4500	94.0 以上	86.5 以上	4840 以下	219.4	706.4	1.8		
3730	5000	95.0 以上	87.0 以上	5400 以下	236.8	771.4	1.5		
4480	6000	95.0 以上	87.0 以上	6500 以下	277.9	926.5	1.5		

額定輸出功率		極數	同步轉數 每分鐘轉數 (rpm)	滿載特性		參考值				
kW	HP (參考值)			效率 $\eta$ (%)	功率 因數 pf (%)	起動電流	無載電流	滿載電流	滿載轉 差 率 s (%)	
						$I_{st}$ (各相之 平均值) (A)	$I_0$ (各相之 平均值) (A)	$I$ (各相之 平均值) (A)		
37	50	8	900	60Hz	84.0 以上	71.5 以上	66 以下	6.2	10.5	4.5
45	60			85.0 以上	73.0 以上	77 以下	7.2	12.3	4.5	
55	75			86.0 以上	74.5 以上	91 以下	8.1	14.7	4.5	
75	100			86.5 以上	76.0 以上	123 以下	10.3	19.5	4.5	
90	125			87.0 以上	77.0 以上	144 以下	11.0	23.0	4.5	
110	150			87.5 以上	78.0 以上	176 以下	13.5	27.6	4.5	
132	175			88.0 以上	78.5 以上	206 以下	15.6	32.7	4.5	
150	200			88.5 以上	79.0 以上	235 以下	17.3	36.7	4.0	
160	220			88.5 以上	79.0 以上	250 以下	18.4	39.1	4.0	
185	250			89.0 以上	79.5 以上	283 以下	20.4	44.7	4.0	
200	270			89.0 以上	79.5 以上	309 以下	22.1	48.3	4.0	
220	300			89.0 以上	80.0 以上	335 以下	23.9	52.8	4.0	
260	350			89.5 以上	80.0 以上	390 以下	28.0	62.1	3.5	
300	400			89.5 以上	80.5 以上	450 以下	31.4	71.2	3.5	
335	450			90.0 以上	80.5 以上	490 以下	34.9	79.0	3.0	
370	500			90.0 以上	81.0 以上	540 以下	37.5	86.8	3.0	
450	600			90.5 以上	81.0 以上	645 以下	45.4	104.9	3.0	
520	700			90.5 以上	81.5 以上	740 以下	52.0	120.5	3.0	
600	800			91.0 以上	81.5 以上	840 以下	59.7	138.3	2.5	
670	900			91.0 以上	82.0 以上	960 以下	66.3	153.5	2.5	
750	1000			91.5 以上	82.0 以上	1060 以下	73.8	170.9	2.5	
1120	1500			92.0 以上	82.5 以上	1580 以下	106.3	252.2	2.0	
1490	2000			92.0 以上	83.0 以上	2130 以下	140.6	333.5	2.0	
1870	2500			92.5 以上	83.5 以上	2690 以下	174.5	413.9	2.0	
2240	3000			93.0 以上	84.0 以上	3230 以下	201.6	490.1	2.0	
2610	3500			93.0 以上	84.5 以上	3780 以下	233.5	567.7	2.0	
2980	4000			94.0 以上	84.5 以上	4330 以下	263.7	641.3	1.8	
3360	4500			94.0 以上	85.0 以上	4830 以下	295.7	718.8	1.8	
3730	5000	94.5 以上	85.0 以上	5380 以下	326.5	793.8	1.5			
4480	6000	94.5 以上	85.0 以上	6490 以下	392.1	953.4	1.5			

額定輸出功率		極數	同步轉數 每分鐘轉數 (rpm)	滿載特性		參考值			
kW	HP (參考值)			效率 $\eta$ (%)	功率 因數 pf (%)	起動電流 $I_{st}$ (各相之 平均值) (A)	無載電流 $I_0$ (各相之 平均值) (A)	滿載電流 $I$ (各相之 平均值) (A)	滿載轉 差率 s (%)
			60Hz						
37	50	10	720	83.5 以上	67.5 以上	66 以下	7.2	11.2	5.0
45	60			84.5 以上	69.0 以上	77 以下	8.5	13.2	5.0
55	75			85.5 以上	70.5 以上	91 以下	9.5	15.6	5.0
75	100			86.0 以上	72.5 以上	123 以下	11.9	20.6	5.0
90	125			86.5 以上	73.5 以上	144 以下	13.2	24.2	4.5
110	150			87.0 以上	74.5 以上	176 以下	15.7	29.0	4.5
132	175			87.5 以上	75.0 以上	206 以下	18.3	34.4	4.5
150	200			88.0 以上	75.5 以上	235 以下	20.3	38.6	4.0
160	220			88.0 以上	75.5 以上	250 以下	21.6	41.2	4.0
185	250			88.5 以上	76.5 以上	283 以下	23.5	46.7	4.0
200	270			88.5 以上	76.5 以上	309 以下	25.4	50.5	4.0
220	300			88.5 以上	77.0 以上	335 以下	27.8	55.5	4.0
260	350			88.5 以上	77.5 以上	390 以下	32.7	64.8	4.0
300	400			89.0 以上	78.0 以上	450 以下	36.4	73.9	4.0
335	450			89.0 以上	78.5 以上	490 以下	40.4	82.0	4.0
370	500			89.0 以上	78.5 以上	540 以下	43.5	90.0	3.5
450	600			89.5 以上	79.0 以上	645 以下	52.5	108.8	3.5
520	700			89.5 以上	79.0 以上	740 以下	60.3	125.0	3.0
600	800			90.0 以上	80.0 以上	845 以下	68.9	142.4	3.0
670	900			90.0 以上	80.0 以上	960 以下	76.4	158.2	3.0
750	1000	90.5 以上	80.5 以上	1060 以下	83.1	176.0	3.0		
1120	1500	91.0 以上	80.5 以上	1580 以下	123.5	261.3	3.0		
1490	2000	91.0 以上	81.0 以上	2130 以下	159.8	345.5	2.5		
1870	2500	91.5 以上	81.0 以上	2690 以下	199.4	431.2	2.5		
2240	3000	91.5 以上	81.5 以上	3210 以下	232.1	513.5	2.5		
2610	3500	92.0 以上	81.5 以上	3780 以下	269.0	595.0	2.0		
2980	4000	93.0 以上	82.0 以上	4300 以下	295.3	668.0	2.0		
3360	4500	93.5 以上	82.0 以上	4800 以下	331.1	749.1	1.8		
3730	5000	94.0 以上	82.5 以上	5360 以下	346.5	822.2	1.8		
4480	6000	94.5 以上	83.0 以上	6500 以下	401.5	976.3	1.5		

額定輸出功率		極數	同步轉數 每分鐘轉數 (rpm)	滿載特性		參考值			
kW	HP (參考值)			效率 $\eta$ (%)	功率 因數 pf (%)	起動電流 $I_{st}$ (各相之 平均值) (A)	無載電流 $I_0$ (各相之 平均值) (A)	滿載電流 I (各相之 平均值) (A)	滿載轉 差率 s (%)
		數	60Hz						
37	50	12	600	83.0 以上	63.0 以上	66 以下	8.2	12.1	5.5
45	60			84.0 以上	65.0 以上	77 以下	9.8	14.1	5.5
55	75			85.0 以上	66.5 以上	91 以下	10.8	16.6	5.0
75	100			85.5 以上	68.5 以上	123 以下	13.6	21.9	5.0
90	125			86.0 以上	70.0 以上	144 以下	15.4	25.6	4.5
110	150			86.5 以上	71.0 以上	176 以下	18.0	30.6	4.5
132	175			87.0 以上	71.5 以上	206 以下	20.9	36.3	4.5
150	200			87.5 以上	72.0 以上	235 以下	23.2	40.7	4.0
160	220			87.5 以上	72.0 以上	250 以下	24.8	43.4	4.0
185	250			88.0 以上	73.0 以上	283 以下	27.1	49.2	4.0
200	270			88.0 以上	73.0 以上	309 以下	29.3	53.2	4.0
220	300			88.0 以上	73.5 以上	335 以下	31.9	58.1	4.0
260	350			88.5 以上	73.5 以上	390 以下	37.5	68.7	4.0
300	400			88.5 以上	74.0 以上	450 以下	43.1	78.3	4.0
335	450			89.0 以上	74.0 以上	490 以下	47.8	86.9	4.0
370	500			89.0 以上	74.5 以上	540 以下	50.9	96.0	4.0
450	600			89.5 以上	74.5 以上	645 以下	61.5	115.4	3.5
520	700			89.5 以上	75.0 以上	740 以下	70.6	133.4	3.5
600	800			90.0 以上	75.0 以上	845 以下	79.6	151.9	3.0
670	900			90.0 以上	75.5 以上	960 以下	88.2	168.5	3.0
750	1000	90.5 以上	75.5 以上	1060 以下	98.3	187.6	3.0		
1120	1500	90.5 以上	76.0 以上	1580 以下	142.9	278.3	3.0		
1490	2000	91.0 以上	76.0 以上	2130 以下	189.1	368.3	2.5		
1870	2500	91.0 以上	76.5 以上	2680 以下	235.7	459.2	2.5		
2240	3000	91.5 以上	76.5 以上	3200 以下	280.8	550.0	2.0		
2610	3500	91.5 以上	77.0 以上	3780 以下	318.6	633.2	2.0		
2980	4000	92.0 以上	77.0 以上	4300 以下	361.8	719.1	2.0		
3360	4500	92.5 以上	77.5 以上	4800 以下	403.1	801.2	2.0		
3730	5000	93.0 以上	78.0 以上	5360 以下	433.2	878.9	2.0		
4480	6000	93.5 以上	78.5 以上	6500 以下	503.6	1043.3	1.8		

註：上表所列之起動電流，無載電流及滿載電流係額定電壓為 3300V，如額定電壓 E (V) 時，其值應乘以 3300/E、效率、功因與 3300V 相同。

額定輸出功率未列表內時，效率、功率因數之檢驗標準以其較大一級之輸出做基準，例 4P、1250HP 之效率、功率因數以 1500HP 效率 93.0 以上，功率因數 86.5 以上做檢驗標準。

## 參考文獻

1. 王建昌(2013)。高速永磁同步馬達驅動技術。臺灣能源期刊，第 1 卷第 1 期。
2. 王銘樽、楊境維、黃欽稜(2013)。供水管網水壓精緻操作與管理—以臺北地區為例。中華民國自來水協會會刊，第 32 卷第 1 期。
3. 李育樟(2011)。供水加壓抽水機耗能監測。水利期刊，第 21 期。
4. 陳慧珠，郭景宜(2023)。高效率馬達全球法規發展。機械工業雜誌，486 期。
5. 產業泵浦效率管理節能技術手冊。上網日期：2024 年 11 月 17 日，網址：<https://emis.itri.org.tw/Book/Content?ID=48&type=32>
6. 劉瑞琪(2018)。抽水機設計選用參考手冊。台灣自來水公司。
7. BH 豎軸泵。上網日期：2024 年 11 月 17 日，網址：<https://www.kaohong.com.tw/show-1064823.html>
8. Cavitation 與 NPSHa & NPSHr 之間的三角關係。上網日期：2024 年 11 月 17 日，網址：<http://www.fluxtek.com.tw/Cavitation%20%E8%88%87%20NPSHa%20&%20NPSHr%20%E4%B9%8B%E9%96%93%E7%9A%84%E4%B8%89%E8%A7%92%E9%97%9C%E4%BF%82.pdf>
9. IE3 與 IE4 馬達是什麼?馬達功率與效率大解析。上網日期：2024 年 11 月 17 日，網址：

- [https://www.ksmotor.tw/blog/what\\_are\\_IE3\\_motors](https://www.ksmotor.tw/blog/what_are_IE3_motors)
10. ABB. (2008). *Three-phase asynchronous motors. Generalities and ABB proposals for the coordination of protective devices*. Retrieved November 17, 2024, from <https://library.e.abb.com/public/451760e552194a239c7fec9ebde3fd4a/1SDC007106G0201.pdf>
  11. ABB. (2009). *IEC 60034-30 standard on efficiency classes for low voltage AC motors*. Retrieved November 17, 2024, from [https://library.e.abb.com/public/89ad4a97741590fbc1257b1300571aae/TM025%20EN%20RevB%202009\\_lowres.pdf?x-sign=8ukJMHSVCTHQAvROmvm7xl7K9gYJPHz1SNtG1+EDtzUEEiPhXrTbAq13XBBIUPD9](https://library.e.abb.com/public/89ad4a97741590fbc1257b1300571aae/TM025%20EN%20RevB%202009_lowres.pdf?x-sign=8ukJMHSVCTHQAvROmvm7xl7K9gYJPHz1SNtG1+EDtzUEEiPhXrTbAq13XBBIUPD9)
  12. Andritz. (2024). *Designed to save costs*. Retrieved November 17, 2024, from <https://www.andritz.com/resource/blob/34650/2394e221cd562d30e0a416c8f8db0c71/hy-andritz-ms-t-modular-shaft-technology-de-en-data.pdf>
  13. Andritz. (2024). *Interior Permanent Magnet Motor*. Retrieved November 17, 2024, from <https://www.andritz.com/resource/blob/35538/34e63a2c7d003e662126a720f0d81f62/hy-andritz-interior-permanent-magnet-motor-ipm-en-de-data.pdf>
  14. Andritz. (2024). *Maximum Operational Reliability and Exteremly Long Service Life*. Retrieved November 17, 2024, from <https://www.andritz.com/resource/blob/253080/ac17e7735f10c0e780>

[76d9b97c0c2f33/aagpumps-su-en-web-data.pdf](https://www.faradaypredictive.com/76d9b97c0c2f33/aagpumps-su-en-web-data.pdf)

15. Briceño-León, C.X., Iglesias-Rey, P.L., Martínez-Solano, F.J., Mora-Melia, D., & Fuertes-Miquel, V.S. (2021). Use of Fixed and Variable Speed Pumps in Water Distribution Networks with Different Control Strategies. *Water*, *13*(4), 479.
16. Faraday Predictive. (2024). *Condition monitoring and energy optimisation of rotating machinery*. Retrieved November 17, 2024, from <https://www.faradaypredictive.com>
17. Hydraulic Institute. (2019). *What is the Difference Between Centrifugal & Rotodynamic Pumps*. Retrieved November 17, 2024, from <https://www.pumpsandsystems.com/what-difference-between-centrifugal-rotodynamic-pumps>
18. Indar. (2024). *Submersible Pumps*. Retrieved November 17, 2024, from [https://www.ingeteam.com/Portals/0/Catalogo/Producto/Documento/PRD\\_2466\\_Archivo\\_sp-ugp-series.pdf?\\_gl=1\\*srp4ub\\*\\_up\\*MQ..\\*\\_ga\\*MTY1ODcwNDkzNi4xNzE0NzA0NzU4\\*\\_ga\\_1GVNP88GWM\\*MTcxNDcwNDc1OC4xLjAuMTcxNDcwNDc1OC4wLjAuMA..](https://www.ingeteam.com/Portals/0/Catalogo/Producto/Documento/PRD_2466_Archivo_sp-ugp-series.pdf?_gl=1*srp4ub*_up*MQ..*_ga*MTY1ODcwNDkzNi4xNzE0NzA0NzU4*_ga_1GVNP88GWM*MTcxNDcwNDc1OC4xLjAuMTcxNDcwNDc1OC4wLjAuMA..)
19. Pleuger. (2024). *Pleuger Permanent Magnet Motors*. Retrieved November 17, 2024, from <https://www.pleugerindustries.com/en/products/submersible-pumps#product-range>
20. Pleuger. (2024). *Submersible Pumps*. Retrieved November 17, 2024, from <https://www.pleugerindustries.com/en/products/submersible->

pumps

21. Study Job & Analysis. (2022). *Impeller & Types of Impeller*.

Retrieved November 17, 2024, from

[https://youtu.be/mwt8W2wLIyI?si=Rbqb6Zv\\_wW60dME7](https://youtu.be/mwt8W2wLIyI?si=Rbqb6Zv_wW60dME7)

22. Torishima. (2024). *Pumps*. Retrieved November 17, 2024, from

<https://www.torishima.co.jp/en/product/structure>