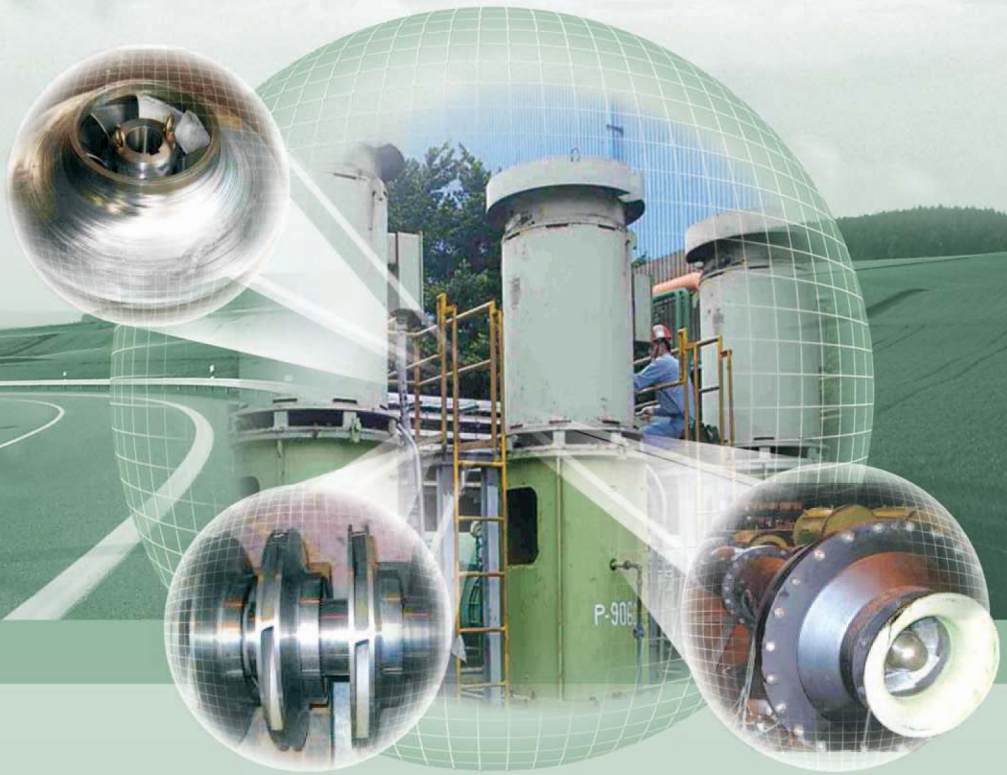


產業泵浦

效率管理節能技術手冊



委託單位：經濟部能源局
執行單位：工業技術研究院
綠能與環境研究所



目錄

一、泵浦原理及種類簡介	2
(一) 泵浦的身分證	2
(二) 泵浦的種類	4
(三) 定速泵浦節流時的省能分析	9
(四) 變速泵浦節流時的省能分析	15
(五) 定速、變速泵浦並聯時的管理	18
二、泵浦市場現況及核心價值	26
三、泵浦效損的分析及改善案例	44
(一) 台灣泵浦市場現況	26
(二) 好葉輪/不好葉輪的介紹	27
(三) 破損葉輪的介紹	35
(四) 翻砂葉輪的介紹	38
(五) 一般工廠泵浦維護時容易疏漏事項	41
(六) 泵浦能源管理的核心價值	42
四、泵浦設備的能源查核	52
(一) 查核泵浦型式、年份、材質	53
(二) 泵浦大修狀況確認	54
(三) 查核磨損環管制狀況	55
(四) 查核葉輪管制狀況	56





五、泵浦的效率管理	58
(一)水系統能源管理.....	58
(二)收集每台泵浦交貨時的性能測試資料.....	61
(三)建立每一水系統長期單位能耗資料.....	64
(四)大馬力轉動設備應建立單機能耗監視設施.....	65
(五)轉動設備應實施「績效驗證」制度.....	66
(六)轉動設備應實施「性能維修保證」制度.....	66
(七)建立泵浦「大修與能耗掛勾」的機制.....	67
六、泵浦效損替代檢查案例	69
測試分析結論：.....	73
後 序	75



摘要



現代社會中泵浦應用於工業、商業、農業、家庭、醫療、防洪等各種領域中，已成為不可或缺且使用極為普及的設備，全球泵浦市場每年的產值約為400億美元，每年因新增泵浦的消耗電力亦高達約800億美元，然而泵浦在運轉3~10年中，多數機組開始發生效率衰退5~20%是非常普遍的事實，可惜的是它被九成以上的工廠經營者及管理人員所疏忽，台灣產業界泵浦效率降低造成的金錢損失難以統計，您對泵浦系統面的能源管理是否已完全掌握？本報告將為您深入探討其中細節，帶引您瞭解泵浦的節能核心價值在那裡？以做為全國各工廠提高泵浦能源使用效率，提升節能管理技術之參考。

Pump is the most necessary and frequently applied equipment in the field of industries/commercial /agriculture/family /medical and flood control, Its globe product value per year is USD40billion,Hence we have an increase in power consumption per year is up to USD80billion,Due to the negligence by 90%managers, It is very popular with a 5~20%down of pump efficiency after running 3~10 years, Was the energy saving management of pump fully under your consideration? It will be deeply discussed in this report, The guidelines and suggestions of this report will be regarded as a reference for manager and plant engineers to improve the pump system energy efficiency management.





泵浦原理及種類簡介



(一) 泵浦的身分證

1. 比速率：比速率的定義 $NS=NQ^{1/2}/H^{3/4}$ ，它代表了泵浦的身分證，代表了葉輪的形狀，如表1， N_S 100與 N_S 250與 N_S 1200的葉輪形狀是不相同的，也表示具有不同的運轉特性曲線， N_S 相同的泵浦，雖然大小尺寸可能不同，但是運轉特性相同，節流時節能的比例也相同；一般公制使用的單位如下，若因單位不同而需換算時，請參考表1。

N：轉速rpm

Q：流量 M^3/min

H：揚程m

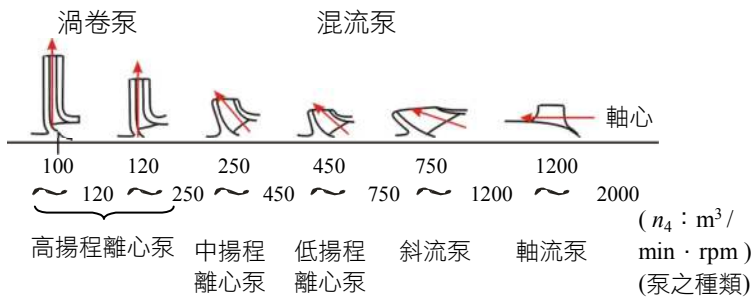




表1 換算比速率之k值

n.(各種場合之不同單位)			k
m.	m ³ /s	rpm	0.129
m.	l/s	rpm	4.08
ft.	ft ³ /min	rpm	2.44
ft.	ft ³ /s	rpm	0.314
ft.	U.S. gallon/min	rpm	6.67
ft.	ipm.U.S gallon/min	rpm	6.09

2. 全關揚程比值：全關揚程比值 = 全關揚程值/額定揚程，它和節流時是否可以節能有很大的關係，從泵浦公式 $BHP=Q \times H \times r / 4.56 \eta$ ：

$BHP=$ 軸馬力hp， $Q=$ 流量M³/min

$H=$ 揚程m， $r=$ 比重

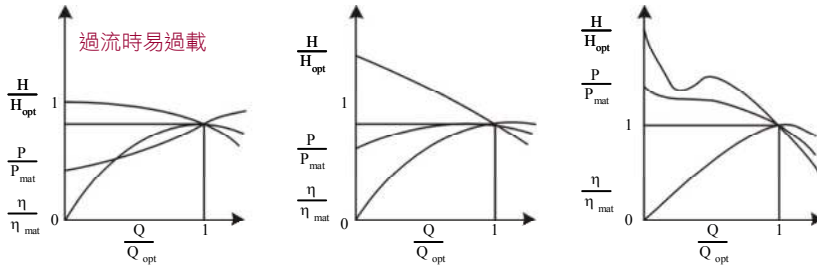
$\eta=$ 泵浦效率

如圖1當流量從100%節流至70%時，運轉點將隨著該泵浦揚程流量特性曲線向左偏移，向左偏移的過程中，如果揚程是愈爬愈高，從公式可以得知節流省下的30%能源，大都用於揚程的提升，導致BHP降低的比例很少，如果揚程曲線是趨近水平時，可以得知節流省下的30%能源，揚程並沒有增加多少，所以BHP的下降比例增加很多，從這裡我們得到下列結論：

- (1) 全關揚程比值低的泵浦，節流時節能的比例很大。
- (2) 全關揚程比值高的泵浦，節流時節能的比例將很少或甚至沒有。
- (3) 當泵浦自己節流省能能力已經50~70%時，不需要去考慮是否還要裝設變速設備？
- (4) 當泵浦本身沒有節流省能能力時，就需要去考慮是否要投資裝設變速設備。
- (5) 系統是多變水量的場所時，應選擇 N_s 小，全關揚程比值低的泵浦，20年壽命期間運轉所節省的能源，將大大提升貴公司的競爭力。
- (6) N_s 大，全關揚程比值高的泵浦，節流時泵浦本身並沒有省能的能力，必須靠變速設備或以大小台浮動運轉或以回流閥控制回流量運轉。

(7) N_S 小，全關揚程比值低的泵浦，節流時泵浦本身具有50~70%省能的能力，建議停止使用回流閥控制回流量，以節省動力。

定壓阻抗下之狀況



N_S 155徑向泵浦

節流省能 50~70%
變頻區窄 5~8%

N_S 620斜流泵浦

節流省能 -10~2%
變頻區窄 10~15%

N_S 1550軸流泵浦

節流不省能
變頻區20%

圖1 「全關揚程比」規範泵浦節流時節能的潛力

(二) 泵浦的種類

1. 不當的規劃--早期建廠人員較未承受到地球上能源短缺的壓力，規劃出的水系統泵浦很少會有節能的思考，舉例如：

- a. 在變動流量的供水系統中，選用了 N_S 300~620，全關揚程比值160%的泵浦，泵浦本身完全沒有節流省能的空間
- b. 有的系統選用了 N_S 100~155，全關揚程比值110%的泵浦，本身已具有非常好的節流省能能力，卻又另行裝置變速設備，導致看不出可觀的省能改善績效
- c. 泵浦本身已具有非常好的節流省能能力，節流時仍使用回流閥來控制
- d. 泵浦買來是 $1300\text{m}^3/\text{hr}$ ，長期運轉在 $700\text{m}^3/\text{hr}$ 加回流
- e. 泵浦買來是 $4.5\text{kg}/\text{cm}^2$ ，長期運轉在 $2.5\text{kg}/\text{cm}^2$

這些案例經常反覆地在各工廠發生，都是由於管理者、規劃者疏忽於對泵浦原理的深入瞭解，所以建廠初期選對了適才適所的泵浦，節能與否真的是非常的重要，產生日後運轉成本的差異往往是數千萬元。

2. 泵浦的種類、口徑及揚程--如圖2，選擇同規格的泵浦時，通常水平臥式泵浦效率要較直立式高個1~2%，初期購置成本也低一些。



		(口徑mm)	(實際揚程m)
離心泵	臥式	輪機泵 (Turbine)	單吸口 { (單級) 50~150 20~90
			多級 38~250 20~1000
		雙吸口	125~800 20~120
			渦卷泵 (Volute)
	多級 50~200 20~1000		
	立式	輪機泵 (Turbine)	單吸口 { (單級) 50~150 20~90
			多級 38~300 20~300
		雙吸口	125~400 20~85
渦卷泵 (Volute)			單吸口 { 單級 75~1000 10~60
	多級 50~200 20~100		
雙吸口	250~800 4~60		
	斜流泵	臥式	200~1800 3~8
立式		單級 200~1800 5~15	
	多級*	50~400 10~150	
軸流泵		臥式	單級 300~2000 4 以下
	兩級 300~1200 8 以下		
	立式	單級 300~2000 8 以下	
		兩級 300~1200 15	

圖2 泵浦簡易的分類表

3. 離心泵、斜流泵、軸流泵示意圖--如圖3離心泵浦水流出口與入口形成直角，斜流泵浦水流出口與入口形成一斜角，軸流泵浦水流出口與入口形成同一方向。

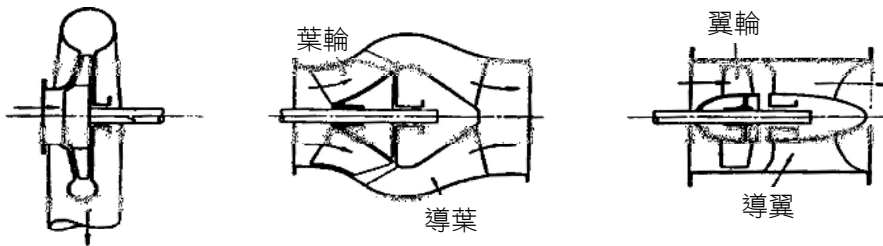


圖3 離心泵、斜流泵、軸流泵葉輪示意圖

4. 直立式泵浦相關圖形--如圖4直立式泵浦有節省土地面積的優點，但是其磨損環較水平式泵浦容易磨耗，效損增加的比較快。



圖4 直立式泵浦

5. 水平式泵浦相關圖形--如圖5雙吸式磨損環間隙的大小影響效損更大。

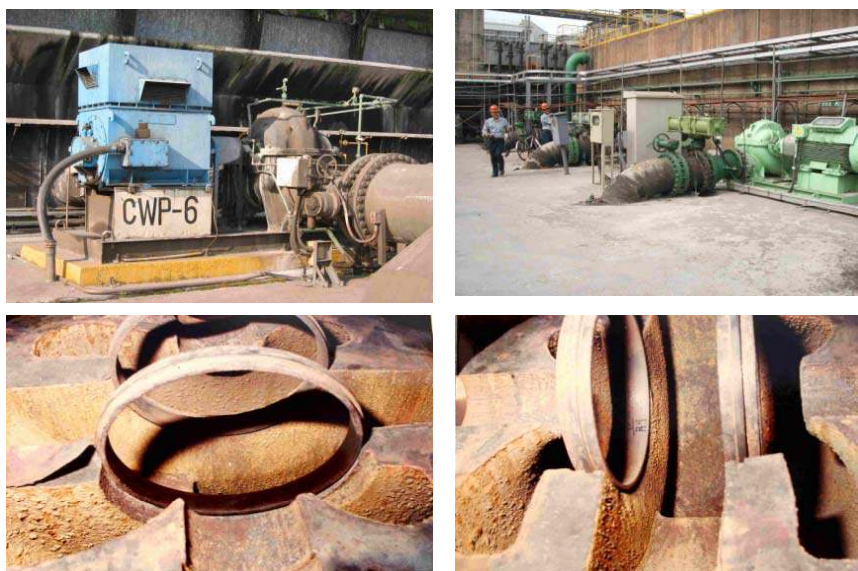


圖5 水平式泵浦及磨損環



6. 泵浦min flow要求基準--離心泵、斜流泵雖然可以節流運轉，但是不能無限制的節流運轉，如表2，長期運轉在Min flow要求基準以下時，泵浦泵殼將發生嚴重的偏蝕(erosion)現象；軸流泵則完全不能節流在100%以下運轉，會發生過載現象。

表2 泵浦min flow要求基準

泵浦型式口徑	Min flow要求基準
單吸泵3” 出口以下	10%
單吸泵4” 出口以上	25%
雙吸泵8” 出口以下	25%
雙吸泵8” 出口以上	40%

7. 離心式泵浦葉輪型式--如圖6，該型泵浦適合運轉在額定點流量的70~100%間，節流時省能能力一般約50~80%，不需要使用回流閥調節系統用量，定壓阻抗下裝置變速設備省能效益不多，但離心式泵浦若超過額定流量運轉時，又很容易發生過載、跳機現象；意謂該型泵浦適合運轉在特性曲線設計點的左側，但是能源查核時，發現各工廠經常發生運轉在特性曲線設計點的右側，發生錯誤的原因有：

(1) 設備採購時，規劃者往往在揚程上多加一些裕度，造成設計點揚程高於實際阻抗曲線，導致實際運轉時經常發生運轉在特性曲線設計點的右側，發生容易過載、跳機現象，建議在流量上可以加一些裕度，但是千萬不要在揚程上再多加裕度，可避免日後發生葉片孔蝕、機組過載、效率易下降等現象。

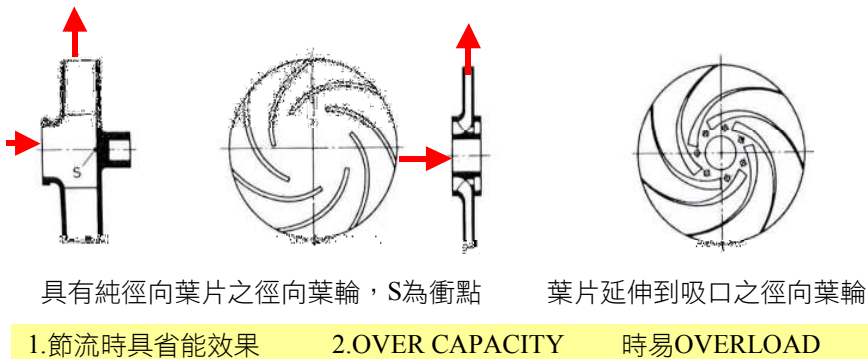
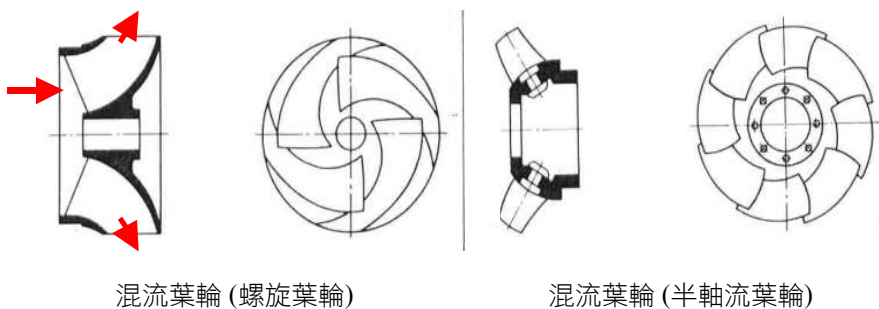


圖6 離心式泵浦葉輪型式



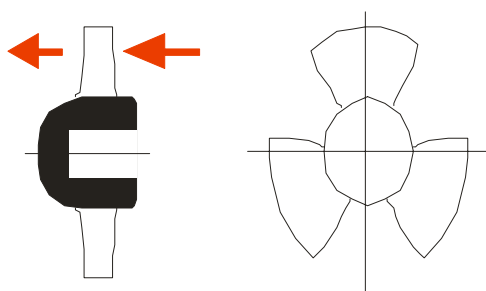
- (2) 在馬達的容量上再加大30~50%負載能力，使其不會再發生過載跳機現象，但是馬達變成長期輕載運轉，造成馬達的效率降低2~3%。
 - (3) 馬達容量加大後，泵浦壓力45M降壓運轉至25M供水，看起來是降壓運轉，實際上並無真正的省能，反而造成泵浦效率降低約8%，因為離心式泵浦愈降壓運轉，負載愈大，葉片產生孔蝕現象導致壽命大為縮短；省能根本之道是重新選用—25M×100%Q的葉輪替代之。
 - (4) 此型泵浦供水量減少與磨損環間隙變大有絕對的關係，能源查核時，發現各工廠經常發生泵浦供水量減少10~20%，管理者不知道應該去改善磨損環的間隙，反而大都是再多運轉一台來補充不足的量，舉例如動力場，發現700BHP鍋爐飼水泵運轉20多年均未更新過磨損環，泵浦供水量、壓力明顯不足時，以多運轉一台來改善，此時能源消耗是運轉一台的2倍，每年浪費能源達900萬元，泵浦供水量減少15%時，效率下跌約20%，負載電力並沒有降低，泵浦出口減少的量完全是因為磨損環內漏(internal recycle)增加所造成。
 - (5) 泵浦規格35M×100%Q，運轉3~5年或7年後發現流量不足，不知道要改善那裡？乾脆重新再去買40M×125%Q的泵浦，調查發現此種替代使用的現象，在各工廠中發生的機率非常多，尤其是維護單位，歸根究底就是管理者疏忽於泵浦的能源管理，不瞭解流量不足與磨損環間隙的關聯性，反而擴充泵浦的規格，希望待其性能下降時仍舊能符合系統的需求，造成原先只要100%能源就能達到供水目的，不去改善運轉中因磨耗而失去的效損，卻要求該泵浦終身用了143%的能源來替代之，以每台350萬元500BHP的泵浦做分析時，20年中多浪費的能源達5,490萬元，可知錯誤的決策對公司造成的損失是何等的巨大。
8. 混流式泵浦葉輪型式--如圖7，該型泵浦有的節流時省能能力約30~50%，有的卻是節流時完全沒有省能能力，有待管理者去辨認。
 9. 軸流式泵浦葉輪型式：如圖8。



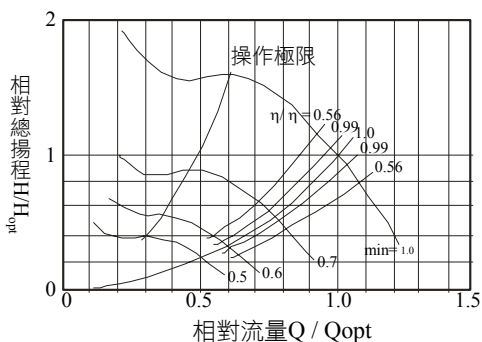
CLOSE TYPE MIX FLOW

OPEN TYPE MIX FLOW

圖7 混流式泵浦葉輪型式



軸流葉輪變速時特性曲線



比速率 $nq=200\text{min}^{-1}$ ，速率控制之離心泵的特性圖

1. 定壓阻抗曲線時變速區	80 ~ 100%
2. 水平阻抗曲線時變速區	30 ~ 100%

圖8 軸流式泵浦葉輪型式

(三)定速泵浦節流時的省能分析

- 三種系統阻抗曲線——如圖9，一般書籍、刊物中介紹的系統阻抗曲線多半是以水平阻抗曲線表示，水平阻抗曲線的環境中使用變速控制是非常有節能的潛力，但工廠中實際的系統阻抗曲線又多半是定壓阻抗曲線，所以討論到運轉特性曲線、節流控制、並聯運轉的分析時，一定要確認清楚是那一種系統阻抗曲線，避免分析時張冠李戴，規劃時失之毫米，結果則差以千里。

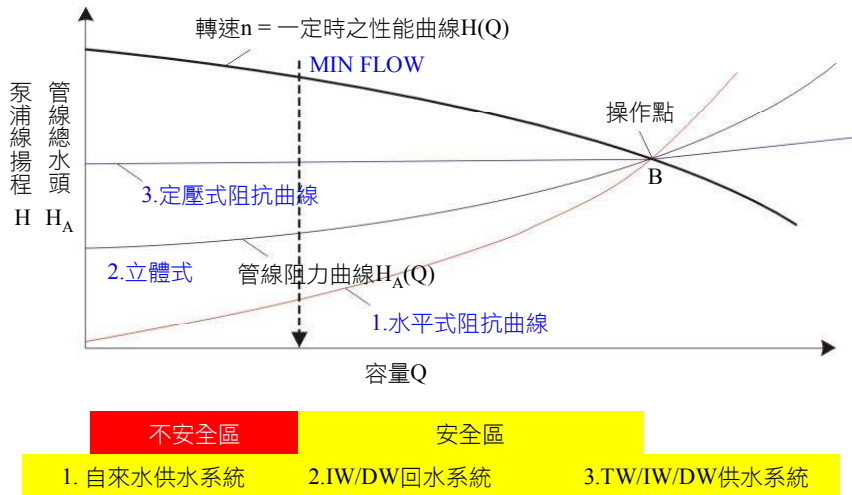


圖9 三種系統阻抗曲線

2. 定速泵浦並聯運轉時省能分析--如圖10，泵浦運轉時，不允許長期運轉在min flow以下，遇到性能測試或特殊特殊操作需要時，建議控制在3分鐘以內，以B-5泵浦做節流定量分析時，可以得知節流時省能的範圍是35~50%，我們也發現不同的泵浦，節流時有不同的省能能力，當泵浦趨近混流泵、軸流泵時，節流運轉已經沒有省能的空間，反而更耗能或過載跳機，此時需使用變速或回流閥來節流。

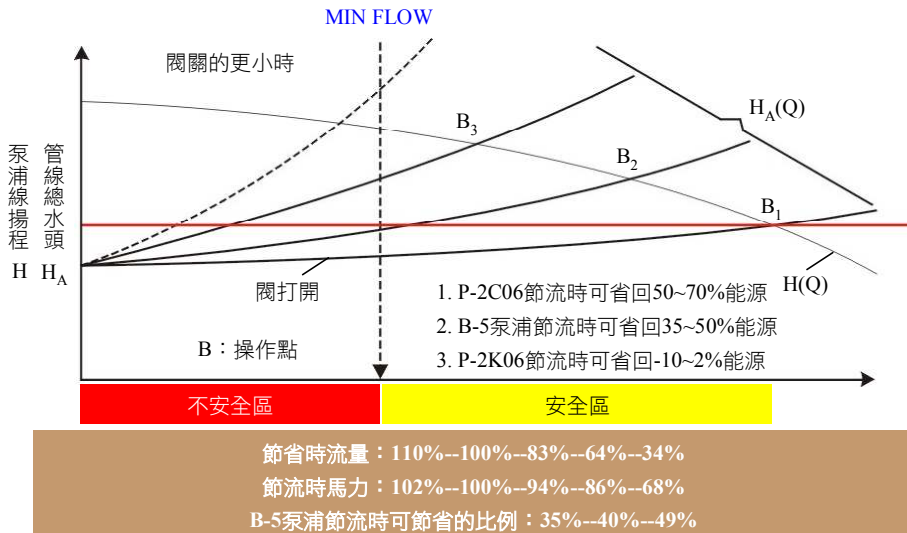


圖10 定速泵浦並聯運轉



3. 定速轉動設備節流時效率值——如表3，轉動設備偏離運轉點愈遠時，效率愈低，機組不宜長期偏離運轉點運轉，遇此現象時應修改設備規格

表3 轉動設備節流時效率值

離心式 空壓機	125 PSIA 8.85 kg/cm ²		111 PSIA 7.78 kg/cm ²		97.3 PSIA 6.84 kg/cm ²	
	80.6%		74.5%		68.8%	
螺旋式 空壓機	7.5 kg/cm ²		6.0 kg/cm ²			
	80.6%		68.8%			
直立式 泵浦	104%	100%	89%	73%	54%	0%
	72.4%	79.2%	78.6%	74%	68%	0%
水平式 泵浦	133%	100%	73%	49%	24%	0%
	87%	92%	84%	66%	39%	0%

4. 不同特性曲線泵浦節能比較--如表4，定量分析不同泵浦，其全關揚程比、NS值不同時，節流時節能的能力也有所不同。

表4 不同特性泵浦節能比較表

名 稱	關斷/額定	關斷馬力	節 能 比 率 P HP/P Q		
P-2C06	120%	58%	84%	64%	41%
		N _s 200	50%	50%	72%
P-2K06	162%	73%	90%	80%	62%
		N _s 200	-10%	2%	1%
P-3A01	148%	56%		82%	60%
		N _s 250		29%	43%
P-2D06	135%	58%	82%	60%	36%
	混流泵	N _s 300	24%	37%	45%



5. 轉動設備節流時節能比例——如表5為實際記錄分析轉動設備節流時節能的比
例，可以看出其間節能的優劣：
- (1) 水系統泵浦類以蝶閥做出口節流或用戶端依用水需求所造成的系統阻抗來
調節供水量，其省能的空間在30~50%，但仍需依泵浦的比速率及全關揚程
來判決，因為有的泵浦具有50~70%，有的卻完全沒有節流省能的能力。
 - (2) 鍋爐送風機FDF、引風機IDF、轉爐、加熱爐的引風機IDF等，以蝶閥做節流
調整的方式，可看出省能的空間只有40~50%，省能的效果最不理想，近年
來多改為變速控制，省能的空間增為80~95%。
 - (3) 空壓機以IGV(Inlet Guide Vane)節流的效果表現相當驚人，流量由100%節流
至75%時，節流省能的空間達92~120%，表示IGV最適合少量的節流，微調
時節能效果較全開還要好，節流量大時仍有92%的省能能力，幸好離心式空
壓機不適合以變速來運轉，否則誤導下再裝置變速控制的案例也可能發生。
 - (4) 空壓機以蝶閥節流省能的效果只有50~70%，螺旋式空壓機由蝶閥節流改為
變速控制仍具有改善的空間。
 - (5) 往復式壓縮機的節流省能的效果，在25-50-75-100%負荷運轉時，也有
60~80%的省能空間。

表5 轉動設備節流時節能比例

B-5泵浦	110	100	83%	64%	34%	
N _s 250			35%	40%	49%	
往復式		100	73%	50%	20%	
空壓機			78%	62%	65%	
1250 HP		100	94%	88%		
空壓機蝶閥			67%	58%		
1750 HP	100	97	95	92	85	75
空壓機IGV		100	120	113	100	92
1450 KW	100	90	78	67	53	40
IDF蝶閥		40%	41%	45%	47%	50%



6. 泵浦節流控制的方法—從圖11可以看出節流控制的方法有8種，理論上是愈往下面的控制方式愈有省能的空間，第1種是較常使用且最沒有省能效果的控制方式，就是傳統流程上，使用旁路回流閥控制系統；第2種是依用戶用水量變化，沒有回流閥控制，完全利用泵浦本身的偏移運轉點來供水，此方式節流省能最有效的就是離心式泵浦，混流泵浦有的有效，有的沒效，軸流泵浦則完全不可以如此操作；第3、4、5、6種因設施昂貴或原設備無此設計，並不是很通用；第7種修整葉輪是省能很有效，經費最低又值得鼓勵的方式，當設計點與運轉點偏差太多時，應該優先思考以修整葉輪的方式替代變速控制，其相關細節請參閱圖12；舉例如設計是 $30\text{M} \times 1,300\text{T}/\text{H} \times 200\text{BHP}$ 的泵浦，實際運轉時該系統只要 $30\text{M} \times 700\text{T}/\text{H}$ ，此時若修整葉輪將變成 $30\text{M} \times 700\text{T}/\text{H} \times 110\text{BHP}$ 的泵浦，只要投資15萬元，每年可以省能120萬元，若規劃成變速控制，就變成花大錢且省能效果比不上修整葉輪的方式，若系統供水是由700至1,300T/H反覆地變化，則必須就第1、2、8種控制方式來作取捨；第8種速度控制是目前愈來愈提倡的控制方式，是否選擇此方式必須思考。

- (1) 泵浦本身是否已具有節流省能的能力？
- (2) 系統阻抗曲線是那一種？
- (3) 可變速的範圍是多少？
- (4) 是否定速、變速泵浦並聯運轉？
- (5) 系統min flow值是多少？
- (6) 投資報酬率？



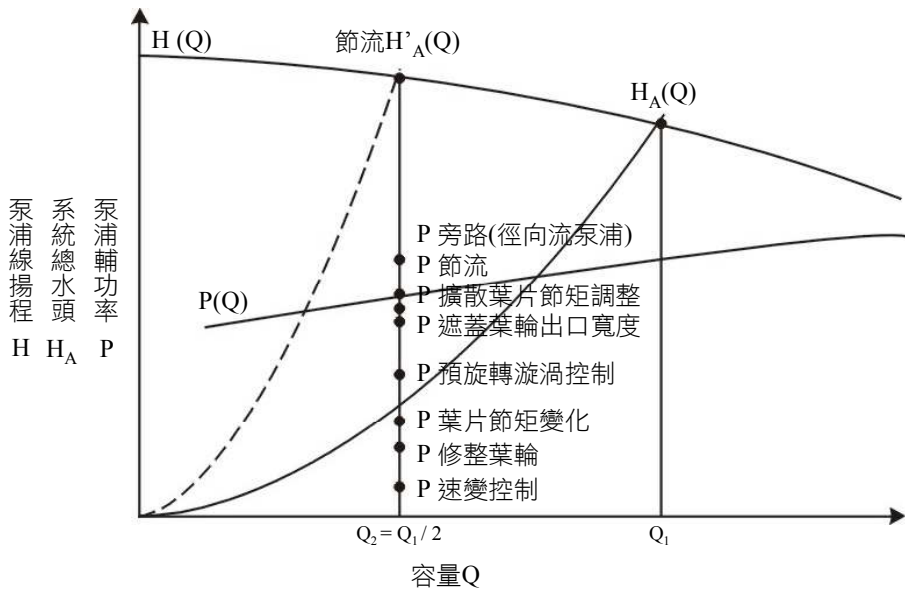
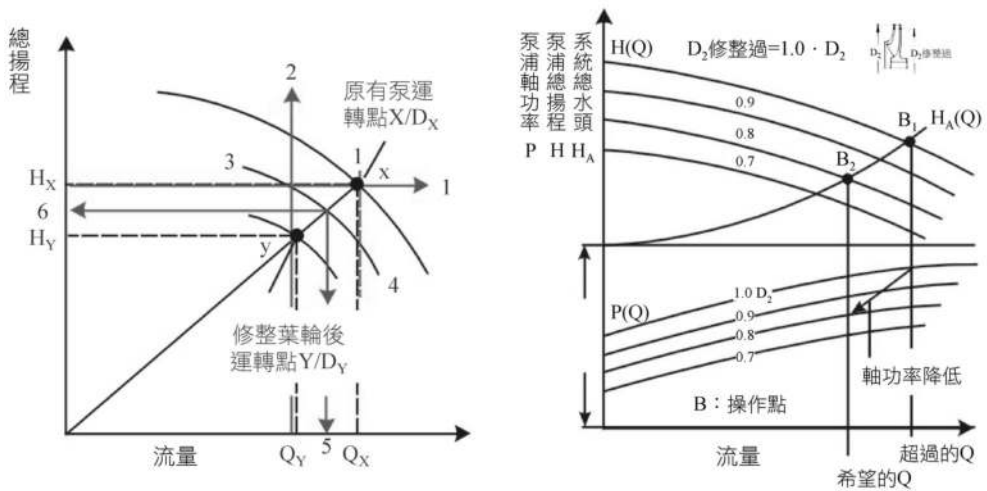


圖11 泵浦節流控制的方法

修整葉輪

永遠運轉在70% Q是不智的措施，應修整葉輪或換新葉輪



1. 降壓降流量Ns小離心式泵： $Q_X/Q_Y = H_X/H_Y = D_X^2/D_Y^2$, $BHP_1/BHP_2 = D_X^4/D_Y^4$
2. 降壓降流量Ns大混/斜流泵： $Q_X/Q_Y = D_X/D_Y$, $H_X/H_Y = D_X^2/D_Y^2$, $P_1/P_2 = D_X^3/D_Y^3$
3. 不降壓，降流量的場所：(1) $Q_X/Q_5 = D_X^2/D_Z^2$, (2) $Q_X/Q_5 = D_X/D_Z$

圖12 泵浦修整葉輪



(四)變速泵浦節流時的省能分析

1. N_s 值155、200離心泵浦變速節流時的省能分析——如圖13，在水平阻抗曲線時，該泵浦變速範圍可以很大，可達30~100%，在大變速範圍下，省能的空間變很大，但是若只能侷限於5~10%內的變速時，再加上此類型泵浦又正好是本身節流時，具有省能50~70%的效果，將導致變速運轉沒有很好的成就，圖13在定壓阻抗曲線時，可以發現該泵浦變速範圍很小，違反此範圍變速時，將因整個揚程流量特性曲線低於common head之揚程，導致下列結果：

- (1) 泵浦運轉在低於min flow的狀態下，長期造成元件的『Erosion』。
- (2) 單機供水的場所，造成壓力不足而跳機或無法達成生產需求。
- (3) 多機並聯供水的場所，變速泵浦將因其揚程流量特性曲線低於定速泵浦揚程，導致變速泵浦正轉水倒流，空轉耗能又加速泵浦元件的『Erosion』。

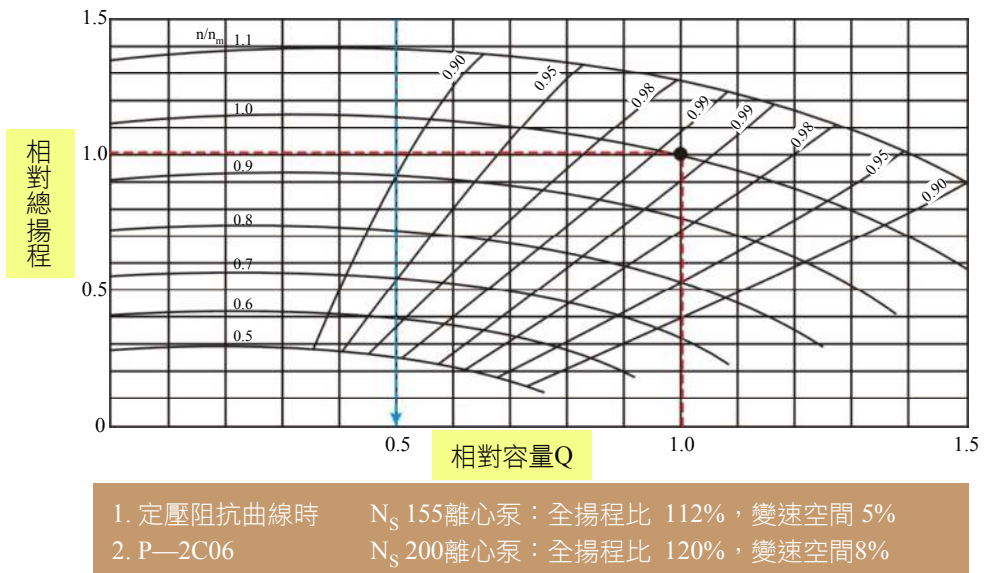


圖13 N_s 值155、200離心泵浦變速節流

2. N_s620 斜流泵浦變速節流時的省能分析——以圖14 N_s620 斜流泵浦，全關揚程164%做分析時，得知其本身節流沒有省能的空間，在水平阻抗曲線時，該泵浦變速範圍可達30~100%，具有很大的省能空間；在定壓阻抗曲線時，只有13.5%的變速空間，因此類型泵浦正好是本身沒有節流省能的效果，將導致變速運轉有一點的省能成就，當然全變速泵浦並聯運轉的省能優於單台變速加定速泵浦並聯運轉；另以P-2K06 N_s200 斜流泵浦，全關揚程163%做分析時，得知其本身節流沒有省能的空間，在定壓阻抗曲線時，該泵浦可變速範圍為12%。

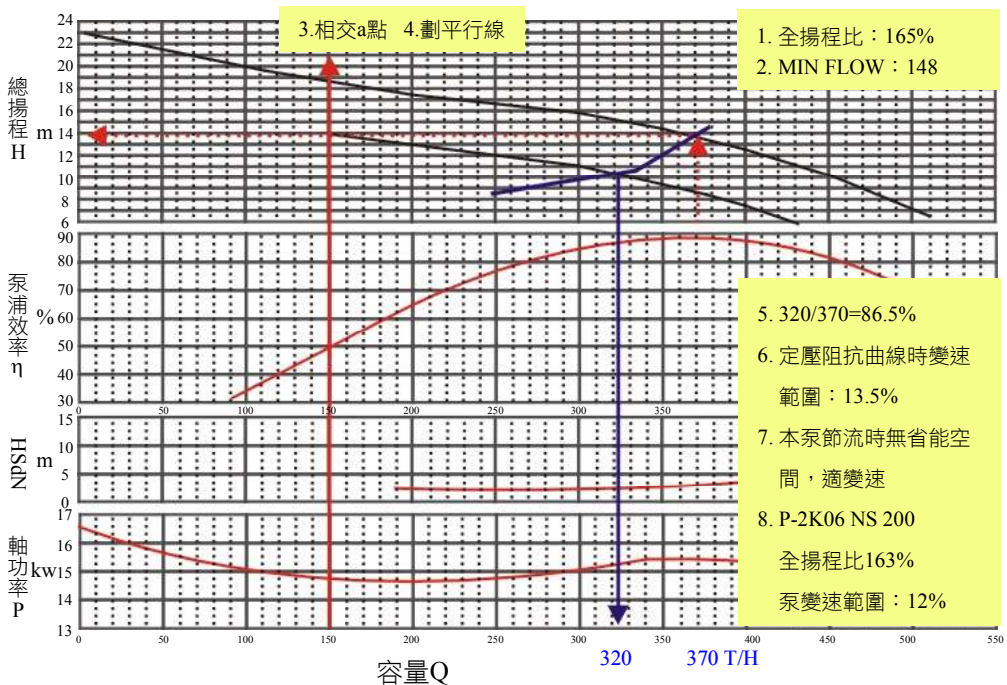


圖14 全關揚程比165% N_s 值200、620斜流泵浦變速節流

3. N_s1550 軸流泵浦變速節流時的省能分析——軸流泵浦全關揚程比大於200%以上，如圖15在水平阻抗曲線時可看出有非常好的省能效果，在定壓阻抗曲線時，也有20%的變速空間。

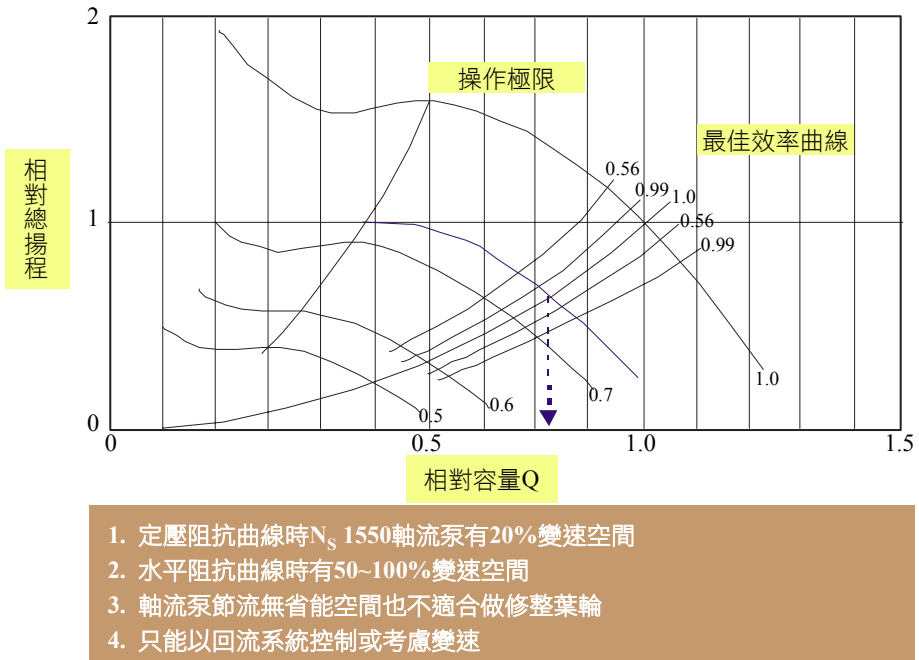


圖15 N_s1550軸流泵浦變速節流

4. 泵浦變速範圍檢查案例——如表6針對5個水系統變速範圍，檢查其設定是否合理？以P-2D06分析，變速泵浦匹配定速泵浦並聯運轉，發現該系統實際運轉變速範圍18%，大於安全值的10%，此情況將導致變速泵浦在某些時刻會發生運轉在『min flow』內及『泵浦正轉水倒流』的情況，2~3年後發生的結果如圖16。

表6 泵浦變速範圍檢查案例

變頻設備	最高/低轉速	變速範圍	適宜	全揚比/N _S
P-933 DW	1800/1500	16.5%	15	?/630
P-2K06 DW	880/733	16.5%	15%	162%/200
P-2D06 DW	1200/983	18%	10%	135%/300
P-935 DW	1180/800	32%	15	?/550
P-2C06 DW	1190/1000	16%	8%	120%/200

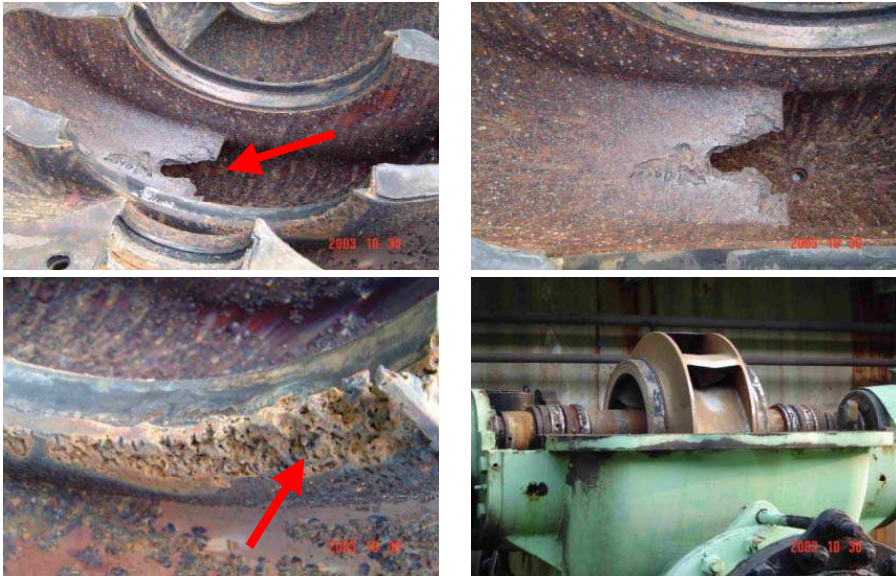
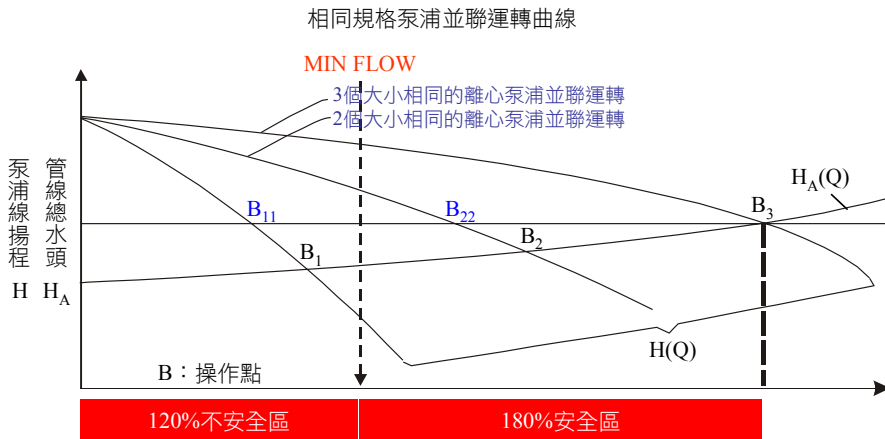


圖16 變速泵浦轉速設定不妥當的結果

(五)定速、變速泵浦並聯時的管理

1. 相同規格泵浦並聯運轉曲線—如圖17三台定速、相同規格泵浦並聯運轉時，流量仍然必須控制在120~300%Q的安全運轉範圍，0~120%Q運轉會發生嚴重的「erosion」現象。



1. 三台泵浦並聯時，可運轉範圍 $Q120-300\%$ ， $<120\%$ 時必須停一台或開回流閥
2. 管線阻抗曲線可由管線上源頭的流量計/壓力計予以描繪出

圖17 定速相同規格泵浦並聯運轉曲線



2. 相似規格泵浦並聯運轉曲線--如圖18二台定速、不同規格但是具有相同全關揚程的泵浦並聯運轉時，流量仍然必須控制在安全運轉範圍，運轉在不安全區時將會發生嚴重的「erosion」現象，如何將二條不同規格的特性曲線相加，成為綜合的特性曲線，請依照圖18底部的操作程序予以繪製出來。

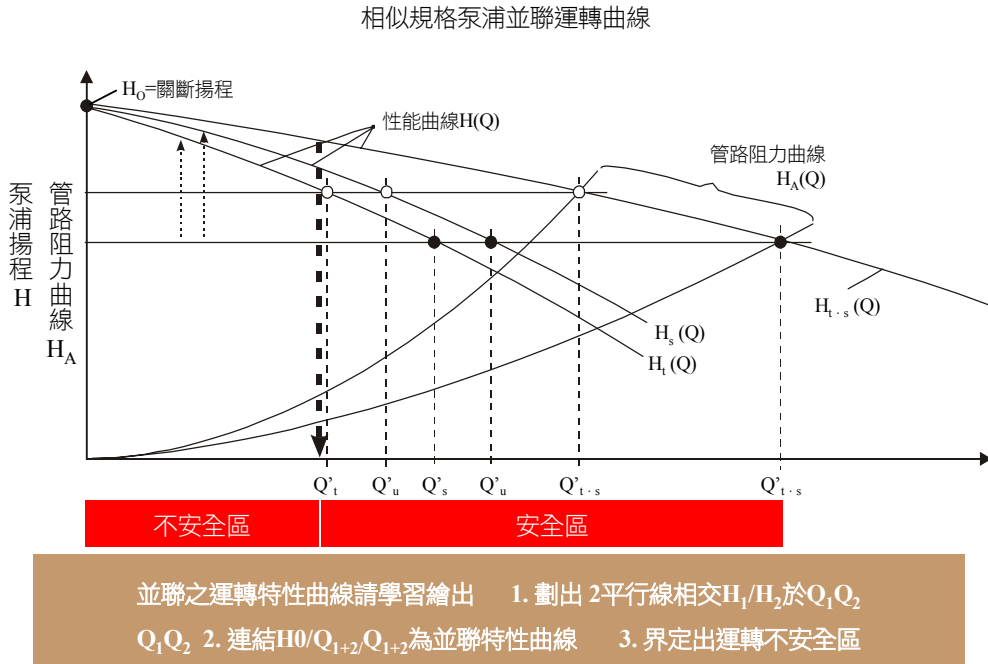


圖18 定速相同規格泵浦並聯運轉曲線

3. 不同揚程泵浦並聯運轉曲線--如圖19二台定速、不同全關揚程的泵浦並聯運轉時，複雜度增加許多，原則上盡量避免選用，但是必須使用時，我們也要有能力辨認出它的安全運轉區在那裡？系統min flow不安全運轉區在那裡？多少流量以下是會發生正轉水倒流的情況？流量仍然必須控制在安全運轉區內範圍，運轉在不安全區、倒流區時將會發生嚴重的「erosion」現象。

不同揚程泵浦並聯運轉曲線

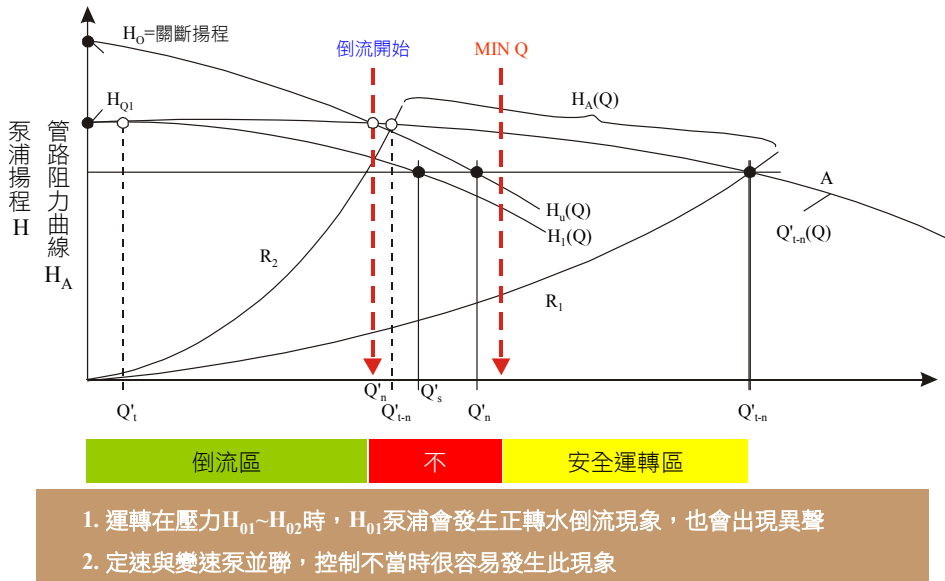


圖19 不同揚程泵浦並聯運轉曲線

4. 特性曲線不穩定泵浦並聯運轉——穩定的泵浦是應該一個揚程只能對應一個流量的，特性曲線不穩定的泵浦原則上是不要納入系統使用，萬一廠商送給你們一個如此的泵浦，應該予以退貨，若是不知道如何判斷而納入運轉，免不了日後可能發生許多未知的困擾，如圖20二台泵浦特性曲線上，同一個揚程值，對應在特性曲線上有2個運轉點時，此種發生對應2個或者3個流量的現象，稱之為不穩定泵浦，它運轉時會產生 hunting 現象，若再將之並聯運轉，複雜度增加更多，圖20的安全運轉區是4-5，在0-4的範圍中並聯運轉時，1個揚程值對應在特性曲線上有4個運轉點，可以想像多麼的不安全。

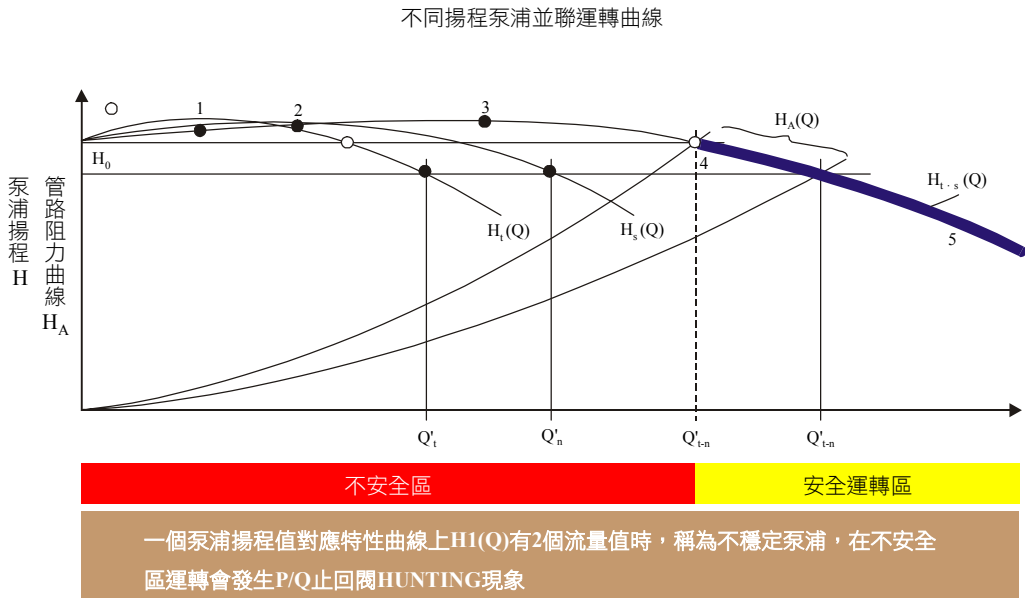
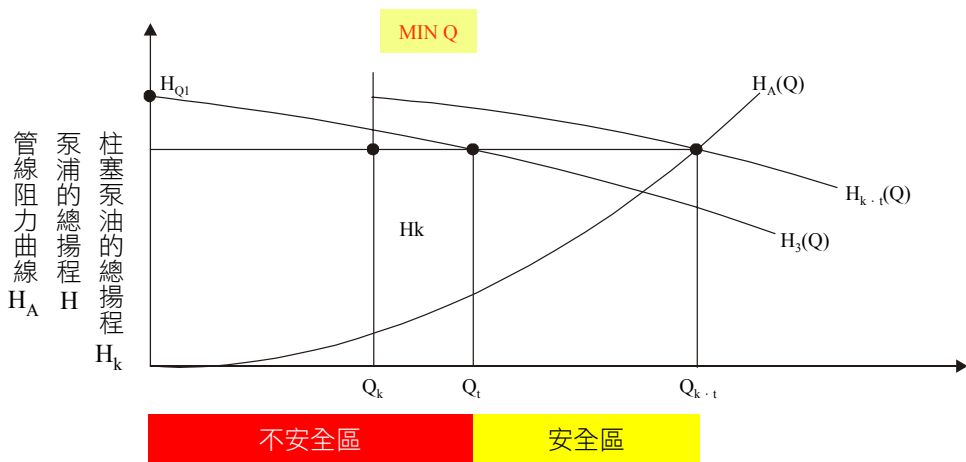


圖20 特性曲線不穩定泵浦並聯運轉

5. 不同性質泵浦並聯運轉曲線—圖21是一個柱塞泵浦與一個離心泵浦並聯的運轉曲線，可看出安全運轉區也不大。



塞柱泵浦和離心泵浦並聯運轉

圖21 不同性質泵浦並聯運轉曲線

6. 定速與變速泵浦並聯運轉曲線—先前介紹各種不同性質、揚程的泵浦並聯運轉，其最終的目的就是要開始導入介紹定速與變速泵浦並聯運轉時，我們所面臨的各種狀況，當供水系統是A：水平阻抗曲線時，流量在H2定速泵浦範圍以內時，此時建議只需要運轉單台H1變速泵浦就好，因為一定速一變速並聯運轉在Q2點時，H2定速泵壓力提升至B點壓力，H1變速泵會被逼迫運轉至min flow不安全區，圖22中可以看出一定速一變速並聯運轉時，不論是A：水平阻抗曲線或B：定壓阻抗曲線，其安全運轉範圍都很窄，如果二台都是變速泵時，安全運轉區範圍就會變大；當供水系統是B：定壓阻抗曲線時，可得知離心泵浦的變速安全區只有5~10%，混流泵浦的安全區只有15%，軸流泵浦的安全區只有20%左右，可變速範圍變窄，可省能的空間也就嚴重縮小。

H₂定速與H₁變速泵並聯運轉曲線

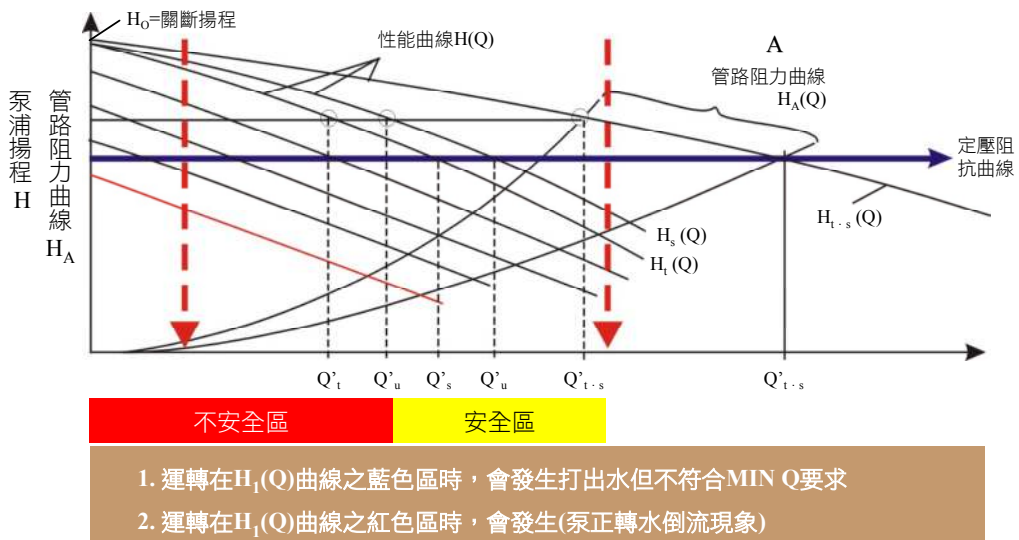


圖22 定速與變速泵浦並聯運轉曲線

7. 三台變速泵並聯運轉曲線—請參考圖23同質性變速泵浦並聯運轉，安全運轉區較大，定速與變速並聯運轉安全運轉區較小。



三台變速並聯運轉曲線

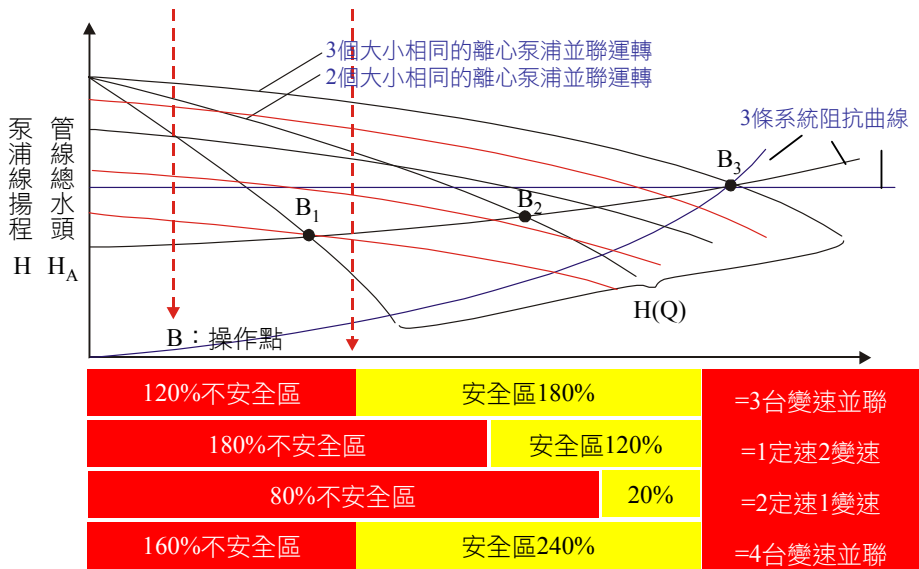


圖23 三台變速泵並聯運轉曲線

8. 案例分析—P-2C06供水系統變速檢驗10步驟：請參考圖24。

- (1) 劃出運轉壓力線56M；
- (2) 查出目前設定變速範圍是1,190/1,000 RPM；
- (3) 以設計點 $Q=21.5 \times 1,000/1,190 = 18.1\text{T/min}$ ， $H=55 \times (1,000/1,190)^2$ ，劃出與定速曲線之平行線，得到1000RPM的特性曲線，從圖24看出該特性曲線已埋沒在在定壓阻抗曲線56M之下，將會發生變速泵違反min flow要求及正轉水倒流現象；
- (4) 劃出設計點變速時，移動曲線 $y=x^2$ ；
- (5) 定出min flow line，得知不能運轉在8.6t/min內；
- (6) 從a點劃出平行曲線相交設計點變速曲線於b；
- (7) 求出 $Q=19.8, \text{RPM}=19.8/21.5 \times 1,190=1096$ ；
- (8) 得知定壓56M時，該泵浦變速範圍只有8%，允許在92~100% 範圍變速；
- (9) 設定壓力50M時，相交e點，可允許變速至1,012RPM，變速範圍15%；
- (10) 從c點劃出平行特性曲線交4線於d點， $(19.2/21.5) \times 1190=1,063\text{RPM}$ ，1,000~1,063RPM發生水倒流現象，1,063~1,096RPM不符合MIN Q。

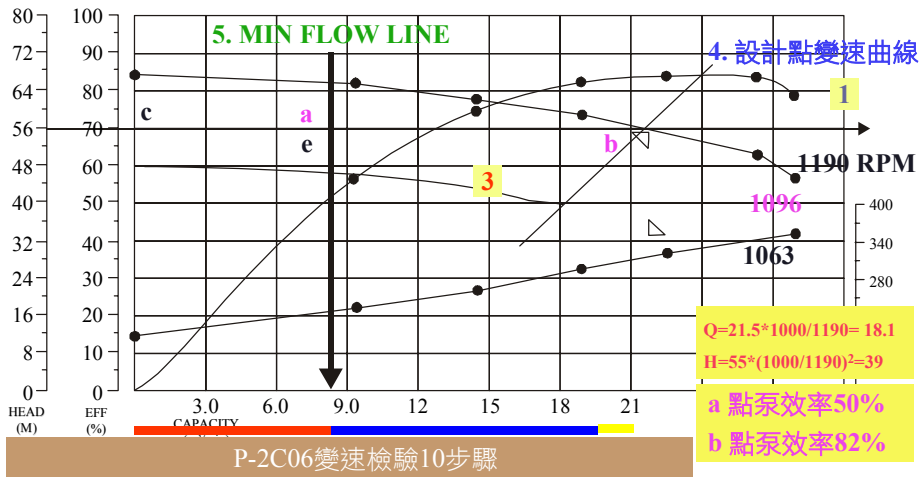


圖24 P-2C06供水系統變速檢驗10步驟

9. 案例分析二P-2C06供水系統分析：請參考圖25。

P-2C06(1300T/H)供水系統分析

- 全揚程比120N₃ 200離心泵很適合節流運轉，可省回50~70%節流能源
- 變頻運轉，定點分析於64%Q時，可省回75%的節流能源(24萬元/年台)
- 定壓運轉在56M時，轉速須拉高至1096，定壓在50M時，可維持1012rpm
- 降壓運轉可省電10%(88萬元/年)
- 回流閥在600~1640T/H必須要開

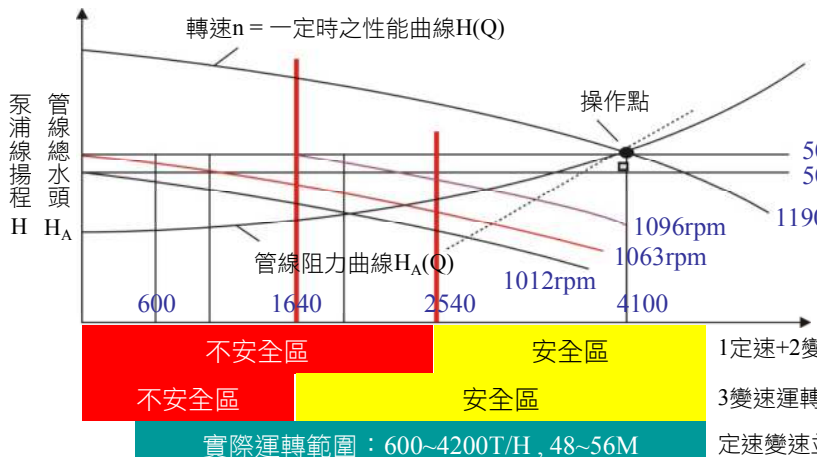


圖25 P-2C06供水系統分析



10. 案例分析三--請參考圖26，P-2D06(3200T/H*4台)供水系統分析：

- (1) 目前運轉區已在安全範圍內，再增加1台變頻僅擴大安全區但無實效；
- (2) 現況流量 $<7040\text{T/H}$ 時，回流閥必須開，4台變頻時流量 $<5,120\text{T/H}$ 時，回流閥必須開未增設變頻每年換輓時多打 $1,920\text{T/H}$ 浪費的電費是19萬元/年，投資變頻費用要500萬元；
- (3) CASING損壞是因轉速設定不當及回流閥故障多年未使用造成與再增設變頻無關；
- (4) 本系統設計供水揚程是55米，#1HSM供水壓力是50米，目前設定成57米，建議降低；
- (5) 轉速 $983\sim 1,040\text{rpm}$ 打不出水且倒流， $1,040\sim 1,080$ 不符合MIN Q， $1,080\sim 1,200\text{rpm}$ 才符合安全運轉。

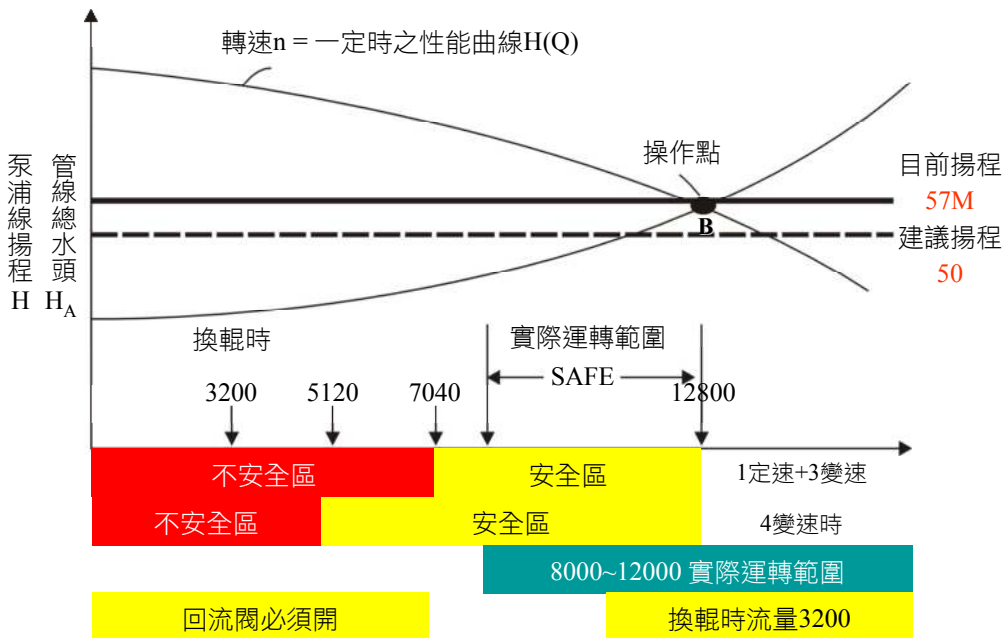


圖26 P-2D06(3,200T/H*4台)供水系統分析



泵浦市場現況及核心價值



(一) 台灣泵浦市場現況

地球工業化後，泵浦的設計、製作至今已經流傳百年之久，其設計技術能力已經相當成熟，在各種行業之中，它是屬於必備的、消耗性的、一般性的基礎工業用品，全球泵浦市場的產值每年約為四百億美元，而台灣泵浦市場的需求則為每年約新台幣130億元，其中台灣自行生產的泵浦產值達新台幣50億元，國外進口的泵浦的產值達新台幣80億元，因近年來台灣優秀的泵浦廠商，其製作水準已經與國外名廠泵浦旗鼓相當，而進口的泵浦價格又較國內產品貴了2~3倍，故善加採用台灣優秀泵浦廠商的製品，替代國外產品也是降低成本的絕佳方案之一。

台灣泵浦市場因規模小，缺少大企業團隊的經營與研發，小廠商近百家，短打競爭激烈，拼價錢捨品質，形成廠商間的惡性競爭循環，蒙受其害的反而是全國的各工廠與國民，舉例以轉動設備530BHP的泵浦為例，20年運轉成本達1.35億元，是其初置成本350萬元的25倍，意謂初置成本只佔4%內，採購規劃時，若只追求低成本，犧牲、忽略了元件品質之後，往往買進來的是一個短效型、犧牲打的泵浦，由於一般工廠人員對此方面的認知明顯不足，也無詳細的轉動設備定期「績效認證」，大修時沒有實施「性能保證維修」，造成機組長期運轉在低效率、高耗能的狀態下，發生的個案屢見不鮮，故各工廠開列規範時要明訂泵浦的詳細規格，審查時不能只要求價格的低廉，重點是應該著重選用長效型的泵浦，舉例如採購時因競價而分別使用長效型的不銹鋼葉輪泵浦(A1=350萬元=效率83%)與短效性碳鋼葉輪泵浦(B1=340萬元=效率83%)，實驗驗證在加入供水系統3年後，A1仍然維持在82%左右，但是B1已跌至63%，B1泵浦效率下跌達20%，電流並沒有因效率下跌而降低，反而增加10%，大多數工廠又缺乏流量計及績效認證的制度，造成持續盲目的運轉20年，此時再驗證A1的效損達7%，B1的效損仍持續在20~30%，B1泵浦合計20年間因效損管理不佳而造成的能源損失達2,300萬元，長效型的不銹鋼葉輪泵浦20年間因效損管理不佳而造成的能源損失達400萬元，許多



人不禁懷疑難道大修時都沒有針對效損做改善嗎？事實上；能源查核台灣的許多大工廠，發現此方面確實是一個嚴重的疏失，台灣傳統的維修技術早已相當成熟且沒有問題，但是問題出在數十年來，各工廠僅著重在機械方面的大修，著重在元件的拆裝、清潔、上漆、換油等工作，忘記了大修時應該與能耗改善的掛勾，在台灣它確實是許多工廠嚴重疏忽的問題，希望在您閱讀了本文後，能夠給貴公司一個嶄新的開創，帶引您的公司至一個新節能技術的領域

(二)好葉輪/不好葉輪的介紹

本文將以圖文引導方式為您介紹其關鍵點

1. 好葉輪形成的條件：圖27國外及中鋼公司早期碳鋼葉輪實施COATING



圖27 國外及中鋼公司早期碳鋼葉輪實施COATING

2. 好葉輪形成的條件：圖28日本KUBOTA葉輪



圖28 日本KUBOTA葉輪



3. 好葉輪形成的條件：圖29台灣三太葉輪



圖29 台灣三太葉輪

4. 好葉輪形成的條件：圖30直接水增壓葉輪



圖30 直接水增壓葉輪



5. 好葉輪形成的條件：圖31葉輪吸入口端



圖31 葉輪吸入口端

6. 好葉輪形成的條件：圖32美國BJ泵浦

5000TON/H×55M
GAP:0.78~0.89mm
GAP管控1~1.14倍
製作比台灣細緻
直角處1/4圓弧

表面光滑

葉末斜角

葉緣圓弧狀
效率高達90.4%

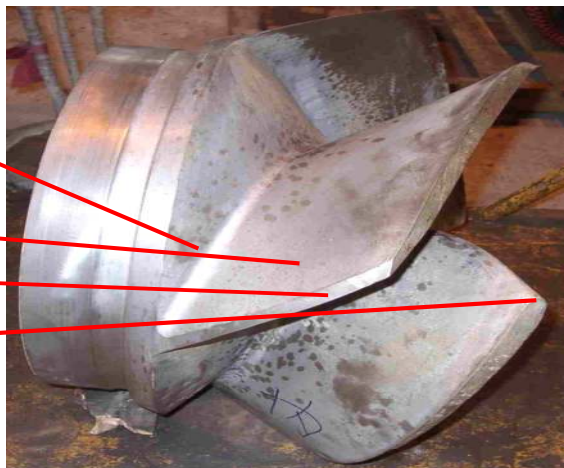


圖32 美國BJ泵浦





7. 好葉輪形成的條件：參考圖33葉片多使用傳統及精密鑄造

精密鑄造：	葉片製作方法：	
1 脫蠟鑄造法	1 切削成型	2 鍛造成型
2 陶模鑄造法	3 壓鑄成型	4 傳統鑄造
3 石膏模鑄造	5 精密鑄造	6 五軸加工

圖33 葉片使用精密鑄造

8. 不好葉輪的原因：圖34葉片凹陷、葉片點蝕仍然繼續使用



葉片凹陷



葉片點蝕

圖34 葉片凹陷、葉片點蝕仍然繼續使用



9. 不好葉輪的原因：圖35運轉19年仍然繼續使用。原有coating已剝落，未定期5年coating一次，導致葉片銹蝕非常嚴重，效損達20%。

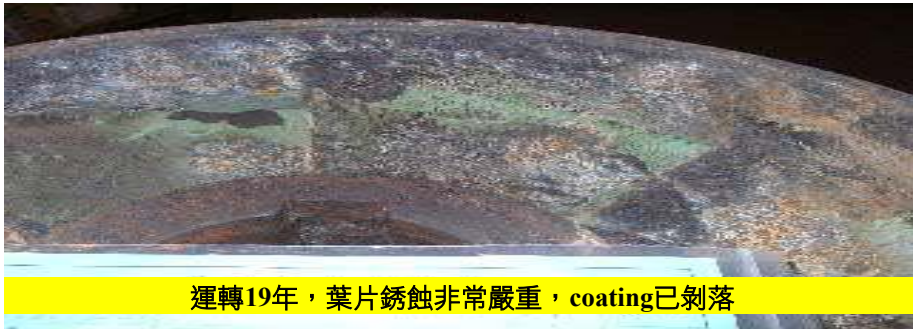


圖35 運轉19年仍然繼續使用

10. 不好葉輪的原因：圖36碳鋼葉輪無coating，運轉4年就變成這樣，效損20%，運轉20年仍然繼續使用，葉片銹蝕非常嚴重，效損達20~30%



圖36 無coating碳鋼葉輪，運轉4~20年仍然繼續使用



11. 不好葉輪的原因：圖37運轉20年，葉片銹蝕穿孔嚴重



圖37 運轉20年，葉片銹蝕穿孔嚴重

12. 不好葉輪的原因：如圖38葉輪鑄造水準不佳，應換新而非表面做動平衡



圖38 葉輪鑄造水準不佳，動平衡不宜做在表面



13. 不好葉輪的原因：圖39泵殼內部生銹形成的粗糙度也影響效率



圖39 泵殼內部生銹形成的粗糙度也影響效率

14. 不好葉輪的原因：如圖40葉片施工焊接品質不佳，葉緣不平整



圖40 葉片施工品質不佳





15. 不好葉輪的原因：如圖41表面已銹蝕/孔蝕的葉片應該更新



圖41 表面已銹蝕/孔蝕的葉片應該更新

16. 不好葉輪的原因：如圖42碳鋼葉輪運轉4~20年，效率下跌20%



圖42 碳鋼葉輪運轉4~20年，效率下跌20%大修後仍持續使用中



(三)破損葉輪的介紹

破損葉輪在現有維修體制上是沒有甚麼大問題存在，維護單位一定會安排更新，但是流程失常造成的葉輪破損、運轉不當造成的葉輪破損，應該即時反應給權責單位查明故障原因，減少重複發生破損葉輪的現象，未及時反應給運轉單位要求尋求系統流程的改善，很可能會發生連續4~5台泵浦葉輪陸續損壞的案例。

1. 破損葉輪的追蹤：如圖43流程失常造成scale的carry over，導致葉片破損



圖43 有scale時要反應至運轉體系，追查系統流程問題

2. 破損葉輪的追蹤：圖44流程失常造成砂石的carry over導致葉片破損



圖44 有破損時要反應至運轉體系，追查系統流程問題



3. 破損葉輪的追蹤：圖45供水系統有鐵砂、木頭時，要反應至運轉體系，追查系統流程的改善



圖45 有鐵砂、木頭時要反應至運轉體系，追查系統流程的改善

4. 破損葉輪的追蹤：如圖46，系統未及時改善時，會反覆發生此現象



圖46 有砂石未及時改善，會反覆發生葉輪破裂問題



5. 運轉不當造成的效損：如圖47木頭卡在擴散器上，大修時不要求拆掉時，很可能發生再油漆回裝的不當處置



圖47 木頭卡在擴散器已重新油漆

6. 運轉不當造成的效損：圖48水平雙吸式泵浦磨損環的管理很重要



1. 雙吸式銅葉輪EFF跌14%
2. 銅磨損環使用6年未更換
3. 銅磨損環已變形
4. 入口裝過濾器造成限流

圖48 水平雙吸式泵浦磨損環的管理很重要