

7. 運轉不當造成的效損：圖49變速不當造成的泵殼損壞



- 長期運轉低於 min flow 狀態
- 有時運轉於泵正轉水倒流狀

圖49 變速不當造成的泵殼損壞

8. 運轉不當造成的效損：圖50變速不當造成的泵殼損壞



1. 低於 min flow 運轉或正轉水倒流，磨損環回流出口處造成 erosion
2. 低於 min flow 運轉泵殼易受損，葉輪狀況良好

圖50 變速不當造成的泵殼損壞

(四)翻砂葉輪的介紹

各工廠對於泵浦葉輪的管理方式極為分歧，有的單位使用同一個碳鋼葉輪、銅質葉輪直達30年之久仍未更新，葉輪效損可能在第5年開始就從10%開始遞增，但是工廠管理者因為沒有流量計，從未質疑也從未檢驗過它的效損已經多少了，有的單位使用的泵浦，由於運轉點或流程的不當，每3、5年就必須更新一個，因此而產生了省錢的想法，自行繪製葉輪圖形，送交翻砂廠商鑄造完成後，就納入



運轉，舉例如530BHP原廠葉片一個20萬元，自行製作只要12萬元，但是經過實際驗證，自行翻砂的葉輪效率較原廠的低10%，站在維護單位的立場，表面上是替公司省了8萬元，但是站在公司實質的立場，魚目混珠混進來的此一葉輪，效率較原廠差10%，在系統中平時是很難再將它挑出來的，以20年壽命估計，維護單位省了8萬元，公司卻因高能耗翻砂葉輪而損失的金額達1,350萬元，真是得不償失，希望閱讀本文後，於更新葉輪時一定要能夠慎重其事，事實上自行翻砂葉輪的缺失是品質比較不穩定，因為它並未經過專業人員的檢查及認證，翻砂葉輪只是一個半成品，還必須經過修整及效率驗證才能使用

1. 翻砂葉輪的介紹：如圖51翻砂葉輪葉片入口緣未研磨就納入系統運轉



圖51 翻砂葉輪葉片入口緣未研磨

2. 翻砂葉輪的介紹：如圖52翻砂葉輪未經整修及研磨的缺失

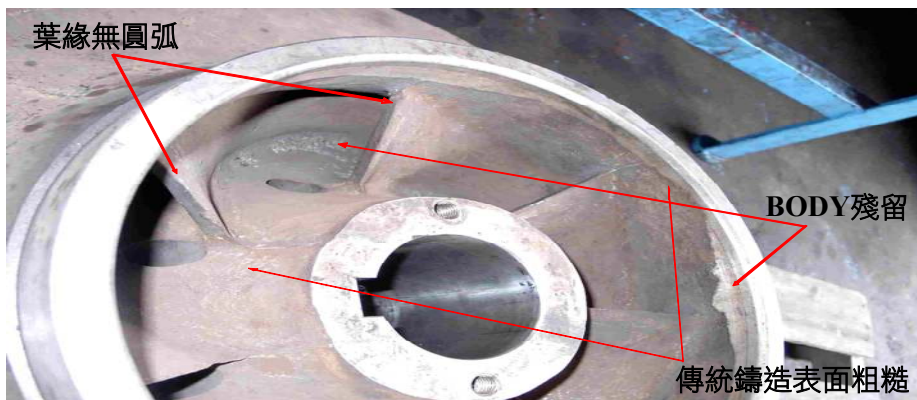


圖52 翻砂葉輪的缺失



3. 翻砂葉輪的介紹：如圖53半成品必須經過效率驗證合格後才能使用



1. 可看出 BODY、毛邊
2. 葉緣未加工
3. 直角粗糙
4. 是模鑄廠製作的半成品
5. 實測效率只有 69%

圖53 半成品須經效率驗證才能使用

4. 翻砂葉輪的介紹：圖54鑄件毛邊未清除



圖54 鑄件毛邊未清除



5. 翻砂葉輪的介紹：圖55表面粗糙，鐵渣未除



圖55 表面粗糙，鐵渣未除

(五)一般工廠泵浦維護時容易疏漏事項

綜合上述的介紹，我們得知現階段一般工廠泵浦的清潔維護技術是沒有問題的，發生較嚴重失誤之處，是我們的運轉單位、維護單位過去比較疏忽單機能源效率方面的管理，以致於沒有抓到泵浦能源管理的核心價值在那裡？沒有發現重點也就容易發生此方面的疏失，謹將一般工廠泵浦維護時，和能源管理方面容易發生疏漏之處，摘要如下：

1. 泵浦未採用定期的大修，轉壞了才修(葉片損壞浪費更多錢)。
2. 大修前，不知道該泵浦目前的效損是多少。
3. 大修時，僅針對機械性的檢查，導致大修後還是效損20%。
4. 大修時，感覺磨損環間隙0.5mm與0.9mm差不多，因此未更換。
5. 大修前，泵浦流量減少10%，不知道與磨損環間隙變大有關，導致效損13%於大修期間沒有徹底改善。
6. 大修前，泵浦全關揚程減少5%，不知道與磨損環間隙變大有關，導致效損10%於大修期間沒有徹底改善。
7. 泵浦單機流量減少，未檢討磨損環間隙，再增加一台納入系統運轉，導致多耗能100%。



8. 泵浦單機流量減少，未檢討磨損環間隙，再換成大一號的新泵運轉，導致多耗能43%。
9. 有的泵浦運轉20~30年也未更新過磨損環，導致效損10~15%。
10. 有的泵浦運轉20~30年也未更新過葉片，導致效損20~30%。
11. 更新磨損環但間隙值管制太大，沒有節能效果，導致效損5~10%。
12. 更新過葉片，但是改用自行翻砂、低效率的葉片，導致效損10%。
13. 大修時，除非葉片破損，幾乎從不更新，導致效損20~30%。
14. 大修時，不知道葉片粗糙度影響效損很大，幾乎從未改善，導致效損20%。
15. 破孔葉片做局部焊補，整體葉片粗糙度並未改善，導致效損20%。
16. 一般碳鋼葉輪需要每5年定期實施thermal plastic coating，七年以上保護層將剝落，逐漸導致效損20%。
17. 運轉三年以上無coating的葉輪，銹蝕的表面將導致效損20%。
18. 一般銅質葉輪運轉5年以上，須定期實施績效驗證，七年以上均無績效驗證的泵浦，將可能發生效損15%的狀況。
19. 一般不銹鋼葉輪運轉5年以內，效損1~3%，運轉七年以上，應該開始實施績效驗證，未實施者，將可能發生效損5~10%的狀況。
20. 將過濾器裝置在泵浦入口側，造成泵浦流量減少，發生效損10%。
21. 變速泵浦轉速設定不當，造成泵浦運轉於不安全區或正轉水倒流，泵殼嚴重偏蝕破孔造成效損10~20%的狀況。
22. 自行大修或外包大修時，未執行「性能保證維修」，也未追蹤成效。

(六) 泵浦能源管理的核心價值

泵浦能源管理的核心價值是定期的『績效驗證』，安排泵浦大修時，應該要求執行「性能維修保證」制度，避免於大修後，發生泵浦的效損完全沒有改善的窘境，事實上檢視目前各工廠許多的大風車、空壓機、泵浦、等轉動設備，經常發生大修前後的單位能耗值是相同的，但是與新機FAT值卻相差15~30%，等於是大修時僅做到了清潔、潤滑、更換軸承的保養工作，並沒有做到機組效率下降的改善工作；在各工廠供水系統上，因無法每台泵浦均裝置流量計，無法測試出單機



泵浦的效率值，外送泵浦廠商測試，又因為性能測試費用高，產線連續生產的要求，備機數量的不足，拆裝外送太費時費事，制度上以前又沒有此項要求，何必多此一舉？所以數十年來多數工廠實施泵浦績效驗證的個案幾乎為零，在不知道泵浦目前的效損是多少的情況下，維持著盲目的運轉與檢修，檢修後泵浦性能的好壞？檢修後泵浦效損的改善幅度？檢修後泵浦效率是不是變的更差？檢修後泵浦效率接近至FAT值的程度是多少？因為沒有定量的數據，沒有體制上的要求，大修前後運轉、維護人員都變成瞎子摸象，大家都不知道結果如何就又納入系統中運轉。

高階管理者雖曾多次在「能源技術研討會」中提出此領域有待突破，但總是被基層主管人員以無流量計，無法去檢驗的理由給擋駕下來，筆者就是在此種矛盾衝突之中，利用本身二十多年來對泵浦領域的專精與經驗的累積，構思如何去研究改善此種衝突，終於尋求出一個創新、簡單又容易執行的『泵浦效損替代檢查技術』，將定期的『績效驗證』與大修時的『性能維修保證』機制相結合，大修前後測試泵浦的全關電流與全關揚程，判知大修前葉輪粗糙度與磨損環間隙已經造成的效損是多少？各元件影響效損的程度是多少？大修時特別針對影響效損的元件予以改善，大修後檢視效損改善的幅度是多少？依照此種檢視技術，我們發現雖然已運轉20多年的泵浦，原先是隱藏著不被查知效損20%的泵浦，也可以很快地被恢復至新機時的效率，我們發現影響泵浦能耗、泵浦效率的核心元件就是「葉輪表面粗糙度」與「磨損環間隙值大小」，只要適當的改善，可以恢復該泵浦效損20%之中的97%，也表示馬達在一、二十年的運轉中，效率下降幅度很小，效率下降幅度很大的是被轉動體的效率，依此檢視技術，很快地可以強化運轉人員對泵浦效率的監視、判斷能力，強化維護人員對泵浦能耗、效損改善的檢修能力，對公司、對國家整體能源成本的降低、減少二氧化碳的排放、增加全球的競爭力，都會有很大的幫助。

泵浦效損的分析及改善案例

1. 磨損環間隙的演變

我們發現全國工廠每年均會對員工打考績，制度上卻沒有安排對設備打考績，這是一項嚴重的疏失，因為定期對設備打考績所獲得的效益可能遠比對員工打考績還要高出千百倍，我們也發現全國九成九以上的工廠，單元設備大修時未與能耗掛勾，以我們公司的案例，可以發現轉動設備運轉3~5年之後，效率下降是一定的趨勢，是否能夠及時的予以恢復失去的效損，才是未來能源管理上的重點，在泵浦效損的分析中，我們發現磨損環的控管及更新，真的是小兵立大功，因為磨損環的定期控管更新是恢復效損最便宜又好執行的方式，如圖56是磨損環間隙增加導致特性曲線、效率曲線下降。

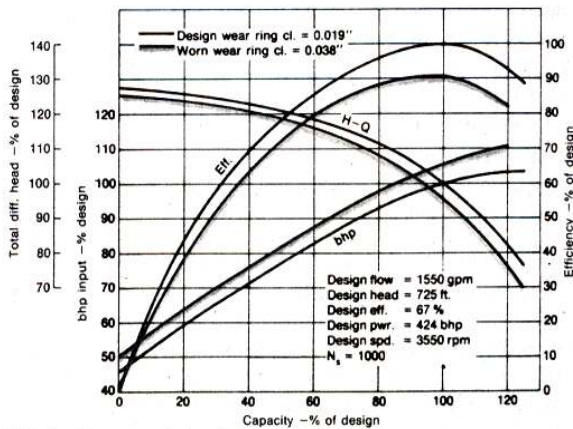


Fig. 2—Pump performance curves.

530 bhp 泵浦 - 350 萬元，葉片 20 萬元，磨損環八千元

圖56 磨損環間隙增加導致特性曲線、效率曲線下降

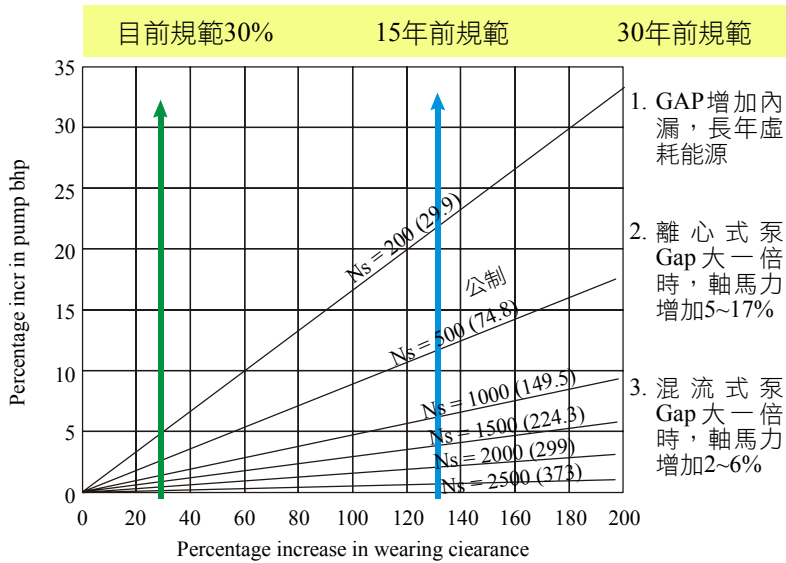
1. 磨損環定期更新是節能的第一步
2. Gap 變大時 H-Q 曲線下降 EFF 曲線下降
3. 葉輪表面粗糙時, BHP 曲線上升

磨損環定期更新是省能的要素之一，早期各工廠及泵浦廠商如HITACH、三太



公司的技術手冊上均敘述磨損環間隙不得大於原設計值的三倍，此規定從泵浦廠商的立場是沒有錯，磨損環間隙大三倍仍然可以安全運轉，但是從能源管理的角度而言，就不能如此管控，因為長年運轉浪費的金額非常大，大到令人驚訝，碳鋼磨損環，GAP變成原來值(0.5mm)的2~4倍，是2~3年內就很容易發生的事情，後來因材質選用的改進，逐漸使用不銹鋼環、銅環替代，演變成GAP不容易變至200%以上，從我們的測試得知粗糙葉輪及2mmGAP的情況下(效率58.6%)，僅將GAP改為0.5mm時，效率就可以提升10%，且發現直立式泵浦不銹鋼磨損環不論運轉5~15年，其磨損環均未更換而維持在0.9~1.0mm，不會再變大，維護單位原訂的更換標準是1.32mm，因材質的進步而不會加大，但也沒有縮小管控，導致2~3個大修輪迴均不用更換，僅更換有破損的磨損環，但是此種寬鬆的管制並沒有得到節能的好處，因為我們調查原廠磨損環設計值為0.5~0.6mm，予以測試線上舊泵浦及0.96 mmgap時，效率還是會下降20%，流量減少17.5%(葉片已吃蝕)，間隙變大加上粗糙的葉輪表面，將會加速效損的增加，舉例於530BHP泵浦大修時，因磨損環間隙值管控在較寬鬆的裕度0.9mm，導致大修時不用更換磨損環而省了八千元材料費，但是在五年期間，舊碳鋼葉輪因寬鬆裕度的磨損環，造成10%的效損，其總能源損失是338萬元。

以530BHP直立式泵浦為例，原設計值0.5~0.6mm，大修時0.70mm以上就建議更新，若使用雙不銹鋼材質，依技術資料須增加0.2 mm，將新品GAP設定在0.7~0.8 mm，磨損最終間隙值0.9~1.0mm，於能源管控上顯得有些不合理，日本已不因葉輪與磨損環同材質而加大0.2mm的間隙，而是使用銅磨損環或者不銹鋼環加退火處理(使一邊材質軟化)如此仍可維持間隙在0.5~0.6mm而保持高效率運轉，故維持磨損環在最小的間隙值已是一個省能的趨勢，如圖57可得知離心式泵浦對磨損環間隙的變動最為靈敏，當間隙變大一倍時，內漏造成軸馬力的增加達5~17%，尤其是雙吸式的泵浦，因為具有二個磨損環，效損會加倍



磨損環境規範在30%內可確保各型泵浦效損在5%內

圖57 離心式泵浦對磨損環間隙的變動最靈敏

我們實驗證明若縮小GAP及換新葉輪，可以恢復效損20%舊泵浦的97%部份，我們發現粗糙的葉輪是能耗增加的源頭，會增加泵浦GAP internal recycle的量及磨擦阻力，因而導致出口流量減少，調查目前各工廠泵浦大修時，每次更換的磨損環的比例僅屆於30~50%，意謂有一半以上的泵浦大修時，沒有更換磨損環，尤其是水平雙吸式的泵浦，大修花了十幾萬元的經費，卻沒有管制到磨損環間隙的改善，意謂效率下降的部分也沒有改善，大修後仍然每年因效損未改善而多消耗60萬元的電費，全因工廠管理者不瞭解磨損環與能耗的關係，而將管控值訂的較寬鬆或者疏忽於此領域的節能。

以530BHP立式泵為例，泵技術資料建議間隙值0.5~0.8mm，原廠設計值0.5~0.6mm，現場最終磨耗間隙值0.9~1.0mm，現場原訂更新時機1.3mm建議改為0.7mm，新控管值為0.5~0.7mm，目前市面上已有提倡使用PTFE的磨損環，該磨損環間隙值可管控在0.3~0.4mm，號稱有2~4%的效率改善，只是該產品間隙要求的愈小時，水質中的懸浮微粒更須注意防範，避免振動。

我們也實驗測試得知完全新的葉輪與泵殼時，GAP0.5和0.7mm只有1%的效率差，但葉輪、泵殼粗糙後，此效率差會激增至5~10%，當葉輪及泵殼內粗糙時，0.96mm的GAP也會造成20%的效率差，故管控較小的間隙值對5年大修一次，此運轉期間的泵浦能保有較高的效率，臥式離心雙吸式泵，磨損環GAP對效率的影響



更為敏感，但是調查各工廠每次大修時，更新磨損環的頻率真的是少之又少！有些甚至運轉了二、三十年也不知道要更換！希望日後大修時，我們對GAP是否需做管控？全廠磨損環更新的比率有多少？葉輪是否應該更新？大修前後泵浦的效損是多少？都應該逐漸的建立相關的技術及規範。

2. 泵浦效損案例分析一：新日本石油株式會社以ESCO(Energy Service Company)方式協助中國蘭州石油公司節能案例

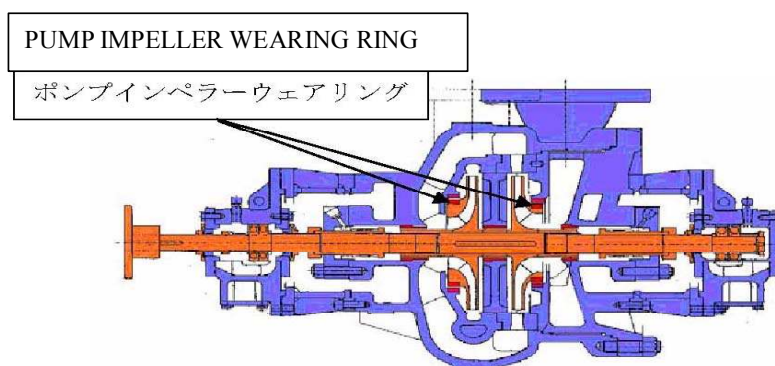


圖58 蘭州石油公司210台泵浦磨損環間隙改善案例

2004年11月25日新日本石油株式會社與中國蘭州石油公司簽訂節能合作，新日本石油株式會社規劃協助蘭州石油公司改善全廠210台泵浦的磨損環間隙，以達到節約能源的目的，如圖58新日本石油株式會社使用的是CFRP=Carbon Fiber Reinforced Plastic磨損環，替代傳統不銹鋼或銅質磨損環，此種新塑膠材料所容許的磨損環間隙是API-610規定基準值的一半以下，意謂泵浦P-3B原先0.75~0.80mm的間隙值，如今只要0.24mm就可以，泵浦P-6B原先0.75~0.92mm的間隙值，如今只要0.24mm就可以，實施結果在動力削減方面，P-3B的節能實績值是3.08kW比預測值2.00kW還要好；P-6B的節能實績值是3.55kW比預測值1.76kW還要好

實施磨損環改善後，針對單機改善前後運轉數據如表7，可看出有6~7%的節能成果，而實施磨損環改善後，針對單機改善前後的量測數據如表8，可得知磨損環間隙的管控，確實影響到泵浦的效率，尤其是多段式的影響力大於單段式的，雙吸式的影響力大於單吸式的，碳鋼葉輪的影響力大於銅質葉輪，銅質葉輪的影響力又大於不銹鋼葉輪，由本案例協助該廠210台泵浦磨損環改善案中，綜合提報的節能成果是2.204 MMkw/year，每年節能是新台幣437萬元。



表7 改善磨損環間隙前後單機動力比較

撈揮膺							流量		電流				動力	
	Mpa		Mpa		Mpa		m ³ /hr		A		V		Kw	
	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後
P-3B	0.14	0.14	0.92	0.95	0.78	0.81	65.61	58.97	80.9	75.7	360	360	47.92	44.84
P-6B	0.14	0.06	0.88	0.93	0.74	0.87	100.48	91.81	90.0	84.0	360	360	53.31	49.76

表8 改善磨損環間隙前後單機量測資料比較

撈揮膺	Case Wear Ring (mm)				Impeller Wear Ring (mm)				Clearance (mm)			
	Front ID		Rear ID		Front ID		Rear ID		Front ID		Rear ID	
	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後
P-3B	185.15		185.20		184.40	184.81	184.40	184.96	0.75	0.24	0.80	0.24
P-6B	180.05		180.12		179.30	179.78	179.20	178.96	0.75	0.34	0.92	0.24

3. 泵浦效損案例分析二：4年單吸碳鋼葉輪效損案例

新工廠開工生產已經三年，供水系統以6台泵浦1891T/hr×55M×530BHP並聯供水運轉，三年來，只發覺馬達的線圈溫度有些時候會偏高，曾經發生過馬達線圈燒毀現象，量測單機電流有的會超過額定值約3~10%現象，此過電流現象在供水系統中發生的因素很多，很難有所定論，該系統單位能耗與其它同揚程系統比



較，有些偏高，雖然有這些怪異點，但是很難說出確實的原因來改善，於是向公司申請送至泵浦廠商做細部性能測試，經由多次的測試分析，條列結果如下：

- (1) 購入新泵浦效率78.4%。
- (2) 運轉3年後效率58.6%，效損達20%。
- (3) GAP由2mm改為0.5mm時，測試效率68.5%，效率提升10%。
- (4) 將葉輪粗糙表面切削磨平時，測試效率77%，提升8.5%，雜項損失1.4%。
- (5) 第一個備品葉輪裝在四年資歷的泵浦上，測試效率76.9%，雜項損失1.5%。
- (6) 第二個備品葉輪裝在四年資歷的P-2B06A上，效率為77.3%，雜項損失1.1%。
- (7) 七年運轉資歷的HPC葉輪裝在三年資歷的P-2B06A上，效率為75.8%，表示COATING功不可沒。
- (8) 運轉七年的HPC葉輪裝在七年資歷的泵浦上，效率為78.3%，表示有coating的葉輪，運轉七年效損僅2.7%。
- (9) 當時HPC新泵效率較三太新泵效率高約2-3%，但價格貴2-3倍。
- (10) 當時逐漸發展出以不銹鋼葉輪替代碳鋼葉輪，少了腐蝕COATING問題。

經由如此詳細的逐項測試分析，並將摘要列入圖59中，本次測試可看出泵浦的2個元件「葉輪」及「磨損環」，粗糙葉輪及磨損環間隙影響效損的變化是多麼的嚴重，且占了絕對的比例，細部運轉資訊詳細列入如表9，藉由多次此類型的分析，終於建立了『泵浦效損替代檢查技術』，本次案例分析及改善後，針對該系統前後耗電比較如下

針對該系統PUMP大修及葉輪改善共35台

改善案節省電費： $(0.43525 - 0.37425) \text{KWH/TON} \times 8220408 \text{TONS/月} \times 1.674 \text{元/KWH} \times 12 \text{月/年} = 10,073,024 \text{元/年}$



1. 泵(530HP)無coating 碳鋼葉輪
2. 運轉3年效率下降 值達20%
3. 粗糙吃掉8.5%
4. GAP×4吃掉10%
5. 葉輪效損佔18.5%
6. 雜項損失佔1.5%(含 馬達效損，管損casing diffuser等效損)

圖59 粗糙葉輪與磨損環間隙影響效損定量資料

表9 全關揚程與全關電流與效率的關係

名稱	狀況說明	全關揚程	全關BHP	多耗能源	額定點Q、BHP
P-26A 葉輪粗糙 葉片未吃	$\eta = 78.4\%$, GAP=0.5 mm, 全新泵浦	78.3M	307HP 53A	0.0%	500BHP 1935T/H
	$1\eta = 77\%$, GAP=0.5 mm, 4年葉輪車成光滑面	78.6M	283HP 50A	0.0%	494BHP 1938T/H
	$2\eta = 59\%$, GAP=2.0 mm, 4年葉輪粗糙面	69.5M 12% ↓	372HP 61.7A	A=24% ↑ BHP=32%	530BHP, 1564T/H Q=19.3% ↓ BHP = 7.3% ↑
	$3\eta = 69\%$, GAP = 0.5mm, 4年葉輪粗糙面	78.2M 0.5% ↓	318HP 55A	A=10% ↑ BHP=13%	546BHP, 1906T/H Q=1.6% ↓ BHP = 10% ↑

4. 泵浦效損案例分析三

本案例是測試併入系統運轉已20年的直立式泵浦，它們目前的效率狀況如何？經由維護人員大修後，泵浦的效率值如何？現有的維修流程中，雖然沒有將



泵浦能源、效率的指標列入管理流程中，但是已有二、三十年經驗的維護人員，是否有能力於大修時將泵浦失去的效率予以恢復？一般維護人員觀念中認為磨損環間隙的大小，對泵浦效率似乎沒有太大的差異？直接使用鑄造工廠的翻砂葉輪是否可以？效率是多少？本案例針對上述需求而展開一系列的測試。

該系統共有64台已運轉20年的泵浦，購入新泵浦時效率是78.6%，葉輪使用高鉻鉬鋼材質，磨損環使用不銹鋼環，新間隙是0.5~0.6mm，維護單位管制間隙是1.3mm更新，我們選擇維護單位剛大修後的泵浦，送至泵浦廠商進行效率測試

- (1) 大修完泵浦經測試效率只有58.9%，效損19.7%，雙不銹鋼環間隙為0.96mm。
- (2) 裝置委外製作葉輪時效率69.8%，效損8.8%，雙不銹鋼環間隙為0.50mm。
- (3) 裝置新葉輪時效率76.7%，效損1.9%，雙不銹鋼環間隙為0.73mm。
- (4) 裝置新葉輪時效率76.1%，效損2.5%，雙不銹鋼環間隙為1.25mm。
- (5) 裝置新葉輪時效率77.6%，效損1.0%，不銹鋼環加PTFE環間隙為0.50mm。

本測試表示：

- a. 泵浦雖然運轉20年，效損達20%，只要更新葉輪及合乎間隙要求的磨損環，仍然可以恢復效損之98.7%。
- b. 磨損環間隙大小對新泵浦葉輪效損影響力比較小，但在舊泵浦表面變粗糙表面時，影響力卻變成很大。
- c. 馬達運轉20年，效損在1.3%以內，顯示出長期運轉下，馬達的損失很少，被轉動體的效率損失卻很大。
- d. 直接使用鑄造工廠的翻砂葉輪是不可以的，效損達10%，除非經過效率驗證沒有問題後才可使用。

針對該系統直立式泵浦64台葉輪及磨損環更新改善效益達4,266萬元/年。



四

泵浦設備的能源查核



目前台灣各工廠轉動設備的大修流程中，在效率管理方面，仍然存在著很大的缺失，過去20年間因設計、製造技術的提升，目前新設備的效率可能較舊設備提升了3~5%，因此也發生了許多節能改善案例，如舊馬達更新為高效率馬達，螺旋式空壓機更新為離心式空壓機，舊葉片換新葉片等節能案例，追求的是3~5%的效率提升，但是往往忽略了在工廠中，仍有百分之九十五連續運轉的轉動設備，它們的效率降低了5~20%，效損影響程度是前者的好幾倍卻乏人問津！我們應該如何的改善它？失去的效損是否可以恢復之？多年來我們都疏忽了它，而且不知道是否有能力可以恢復之？被轉動體在運轉了5年、10年、20年之後，效率是一定會降低的，我們應該如何的建立制度，正視它、改善它，將其納入公司的管理體制中，將是未來我們努力的目標；在現有體制上，公司每年均會針對員工安排績效考核，並給予一定報酬的績效獎金，又默默地允許讓轉動設備運轉了二、三十年，卻從來沒有實施過『績效考核』，大修時也沒有規範維護單位實施『性能維修保證』，導致大修時發生偏向是清潔性、機械性的大修，並未檢視到大修前後效損的狀況，導致多數工廠設備大修後其效損依然存在，公司內低效率運轉浪費的能源，往往大於元件更新費用數十倍之多，大修一次花費十幾萬元拆裝修理，卻疏忽管制和能耗有關的重要元件，顯得非常可惜，以530BHP泵浦為例：每年運轉費用677萬元，5年大修一次，5年期間總運轉成本3385萬元，20年期間總運轉成本1.35億元，磨損環成本八千元，葉輪成本20萬元，疏忽效率損失10%將造成338萬元的損失，疏忽20%將造成676萬元的損失。

僅針對一台530BHP泵浦做分析，現況各工廠容易發生的疏失有：

1. 大修花費12萬元，未管制好磨損環間隙，雖然少花費八千元，導致下一個5年期間，該泵效損達10%，5年總損失金額達338萬元，能耗損失的成本是更新磨損環成本的420倍。
2. 使用自行翻砂的葉輪卻未管制能耗，省了6萬元的葉輪成本，導致下一個5年期該泵效損達10%，每5年總損失金額達338萬元，20年損失金額達1,352萬元。



3. 葉輪太粗糙但未破損，每5年雖花費12萬元安排大修，但未更新葉輪也未更新磨損環，少投資了20.8萬元，但5年總損失金額達676萬元，5年內公司等於損失了32組葉輪及磨損環的成本。
4. 有的公司在三十年間均未針對530BHP泵浦的效損執行檢修，
 - (1) 如果是碳鋼葉輪最終效損大於20%，25年期間效損20%造成的損失金額達3383萬元。
 - (2) 如果是銅葉輪最終效損20%，20年期間效損20%造成的損失金額達2700萬元。
 - (3) 如果是不銹鋼葉輪效損10%，10年期間效損10%運轉造成的損失金額達676萬元。

由上述分析可以看出公司內轉動設備因效損所損失的運轉成本真是驚人，也發現使用長效型泵浦與短效型泵浦運轉成本的差異性，單機績效驗證費用或元件更新費用與其相比，根本顯得微不足道，所以此一區塊的節能已是刻不容緩，急待推廣至全國各公司、各工廠，你們工廠對轉動設備是否有定期的「績效驗證」機制？大修時是否有執行「性能保證維修」？或者將二者合而為一，成為「建立大修與能耗掛勾」的機制，大修前後建立量測機制，逐漸的掌握核心價值，確保每次的大修與能源管理是有效果的，能夠恢復舊機組失去的效率，下列謹提供一些經驗數據，說明大修前後，如何建立與能耗、效率改善有關的作法

(一) 查核泵浦型式、年份、材質

1. 離心式泵浦葉輪的粗糙度對效損的影響非常大，混流式的較小，軸流式則幾乎沒有影響。
2. 離心式泵浦依用戶用水量偏移運轉的節流對省能非常有效，混流式的較小，軸流式則幾乎沒有效果。
3. 離心式泵浦超過設計額定點供水，非常容易過載，混流式的較小，軸流式則完全不會過載。
4. 年份愈早的泵浦，長期運轉所造成的效損愈多，除非貴公司已經建立好「大修與能耗掛勾」的機制，並且管控良好。



5. 泵浦各元件的材質選用中，以葉輪及磨損環材質與能源管理最有關鍵性，其他元件在5年一次的大修中，予以除銹、油漆，更新消耗品，就可以達到目的，其他元件影響效損的比例很小，葉輪及磨損環影響效損的比例達九成五以上。
6. 離心式泵浦碳鋼葉輪屬「短效型泵浦」，除非定期實際coating或更新，一般經驗3年以上效損容易達到10~20%。
7. 離心式泵浦銅質葉輪，一般經驗5年以上就需開始檢視其效損，十年以上就需開始檢視其壽命是否已到？管理不好時效損達10~20%。
8. 離心式泵浦不銹鋼葉輪屬「長效型泵浦」，一般經驗7年以上需檢視其效損，磨損環間隙管理不好時效損達5~12%。
9. 混流式泵浦葉輪材質與上述三項說明相同。
10. 軸流式泵浦葉輪變粗糙與磨損環間隙變大時，對效損的影響力比離心式、混流式泵浦小很多，就沒有上述四項說明那麼嚴重，但是該型泵浦多是一~二千大馬力設備，效損動輒300~500BHP，在大修時仍應實施管控。
11. 愈小型的泵浦效率較低，集中換成大型的泵浦效率較高。
12. 沒有磨損環的泵浦，效率較不易管制，長期運轉效損較大。
13. 近年來製造的葉輪，效率較15年前高約5%。

(二) 泵浦大修狀況確認

1. 一定要建立泵浦新機時的FAT「Final Acceptance Test」資料，以供日後參考。
2. 檢查系統單位能耗增長情況。
3. 檢查單機大修前性能測試情況。
4. 無第二項執行能力時，測試單機全關電流、全關揚程值。
5. 大修前性能測試或全關電流、全關揚程值與FAT值非常接近時，若振動值也合格，表示泵浦幾乎無效損，可以考慮安排延後大修。
6. 如果發現全關電流較FAT值大30%時，表示有2種因素造成效損增加，「葉輪、泵殼已變粗糙」及「磨損環間隙變大」。



7. 大修前效損增加的泵浦，一般測試全關電流會高出FAT值的10~30%。
8. 如果發現全關揚程值與FAT值非常接近時，表示有磨損環間隙沒有變大。
9. 如果發現全關揚程值比FAT值小3%以上時，表示有磨損環間隙已經變大，大修時應該予以更新磨損環。
10. 如果發現全關電流值比FAT值小時，表示有葉輪已經磨損，大修時待安排更新葉輪。
11. 如果是完美的檢修，大修後全關電流、全關揚程值應該與新機時FAT值相同。
12. 大修後測試全關電流應管控在FAT值的108%以內，確保效損在4%以內。
13. 大修後測試全關揚程應管控在FAT值的97~100%以內，確保效損在4%以內。
14. 大修後全關電流、全關揚程值均偏離上二項要求甚遠時，表示此次大修能耗管控失敗，應該重新點檢更新，若直接納入系統運轉時，5年內公司將可能發生等於損失了32組葉輪及磨損環的電力處罰(power penalty)成本。

(三)查核磨損環管制狀況

1. 建議各工廠不可以依照早期泵浦廠商所敘述的「管制磨損環間隙在新機值的3倍以內仍可安全運轉」，而真如此浪費能源的運轉。
2. 泵浦供水流量減少了10%，通常是表示該泵浦磨損環間隙已經變大所導致的結果。
3. 泵浦供水流量減少了10%，通常是表示該泵浦效率下降了約13%。
4. 改善磨損環間隙後，泵浦供水流量應該會恢復至設計值。
5. 查核許多工廠泵浦大修時，更新磨損環的比例都小於3~50%。
6. 大修時應該管制磨損環間隙在新機值的130%以內，如新機值0.5mm，則管控在0.5~0.65mm，超過則予以更新。
7. 泵浦磨損環間隙變大時，該泵浦全關揚程會降低，供水流量會減少。
8. 單吸式泵浦建議全關揚程應管控在FAT值的97~100%以內，確保效損在4%以內。
9. 雙吸式泵浦建議全關揚程應管控在FAT值的98~100%以內，確保效損在4%以內。



10. 碳鋼材質磨損環磨損的很快，使用3年以上間隙值可能變大至4倍。
11. 銅質磨損環使用5年以上應開始點檢是否需更新。
12. 銅質磨損環間隙也容易磨損，全關揚程值降低3%、間隙值變大30%以上時，需考慮更新。
13. 銅質磨損環較碳鋼材質磨損環耐用。
14. 不銹鋼磨損環磨損的較慢，使用7年以上應開始點檢是否需更新。
15. 目前市面上已經有廠商提供新合成塑膠材質的磨損環，如PTFE、CFRP磨損環，其允許的間隙值約為傳統金屬的二分之一。

(四) 查核葉輪管制狀況

1. 碳鋼材質葉輪3年以上應點檢其粗糙度，由全關電流值決定是否更新？
2. 碳鋼材質葉輪應有coating保護，每5年必須再實施一次。
3. 碳鋼材質葉輪運轉3年以上，其表面形成的粗糙度足以造成效率損失達20%。
4. 有coating的碳鋼材質葉輪運轉十年以上，coating材質幾乎全剝落，粗糙度足以造成效率損失達20%。
5. 使用碳鋼材質葉輪時，磨損環間隙值的管制更需要注意。
6. 水系統中使用碳鋼材質葉輪時，葉輪會變成犧牲陽極，發生pitting及corrosion加速葉輪的腐蝕。
7. 水系統中使用有coating碳鋼材質葉輪時，葉輪會變成陰極，於葉輪表面形成碳酸鈣結垢，需予以定期清理。
8. 碳鋼材質葉輪被認定為「短效型泵浦」，盡可能以不銹鋼葉輪替代之。
9. 銅質葉輪長期於水中會發生鋅的析出，最終變成空洞化，銅葉輪的腐蝕與碳鋼葉輪不一樣，碳鋼葉輪的腐蝕導致約1~5mm凹凸不平的表面，銅葉輪的腐蝕則是<1mm的凹陷紋路。
10. 銅質葉輪使用七年以上，需點檢其全關電流、全關揚程值，決定是否需要更新葉輪？



11. 銅質葉輪多為雙吸式磨損環場所，磨損環間隙值變大時，影響效率下降的程度非常的嚴重。
12. 銅質葉輪的粗糙度、磨損環間隙值不容易以目視、觸摸方式判斷出結果，應該以全關電流、全關揚程值比較FAT值，判斷何者待更新。
13. 不銹鋼葉輪屬「長效型泵浦」，正常運轉時葉輪壽命達20年以上，此時只剩下管制磨損環的間隙，就可以於20年內確保效損在3%內。
14. 測試不銹鋼葉輪效損案例，5年內效損約2%，20年效損約8%。
15. 不銹鋼磨損環間隙不容易變大一倍以上，間隙變大30%時請考慮更新。





五

泵浦的效率管理



(一)水系統能源管理

台灣一般公司可能有小於10個的水系統，可能有30個水系統，最大者也可能達到70多個水系統，許多工廠大都沒有針對每個水系統建立單位供水耗電量的能源管理，大多數都是以單位產品耗電量、單位產品耗能來做能源管理，三者之間是有很大的差異，如圖60可觀察A公司長期的單位產品耗電量有上升的趨勢，但是在圖61，A公司長期的單位產品耗能卻是持平的趨勢，完全看不出耗電量上升的趨勢，因為單位產品耗能涵蓋的範圍實在太大了，它是一個整體性的指標，正負之間代表了向上提升的力量或是向下沉淪的迷失，它只適合給高階管理者做一個全面性的參考，20年間轉動設備發生耗能指標下降的因素：有製程設備的改善、汰舊換新的改善、增產的改善、操作技術的精進、電能的下降、熱能的下降、熱回收、水回收、廢棄物再利用、節能管理的精進等，發生耗能指標上升的因素有單機效損增加、製程設備老舊、照明效損增加、空調效損增加、洩漏效損增加、雜項用電增加等，原本泵浦運轉20年間，效率是一定會下降的，但是用上述二種指標實在無法觀察出泵浦單機效損增加的幅度，必須使用該水系統單位供水耗電量的指標，才能判斷出該系統中泵浦平均單機效損增加的幅度，因為我們不可能每台泵浦均裝置錶計，監視出該泵浦的目前效率，基層管理者需要的是系統單位供水耗電量的指標，它可以以最低的成本，監視出該系統泵浦的目前均值效損是多少？

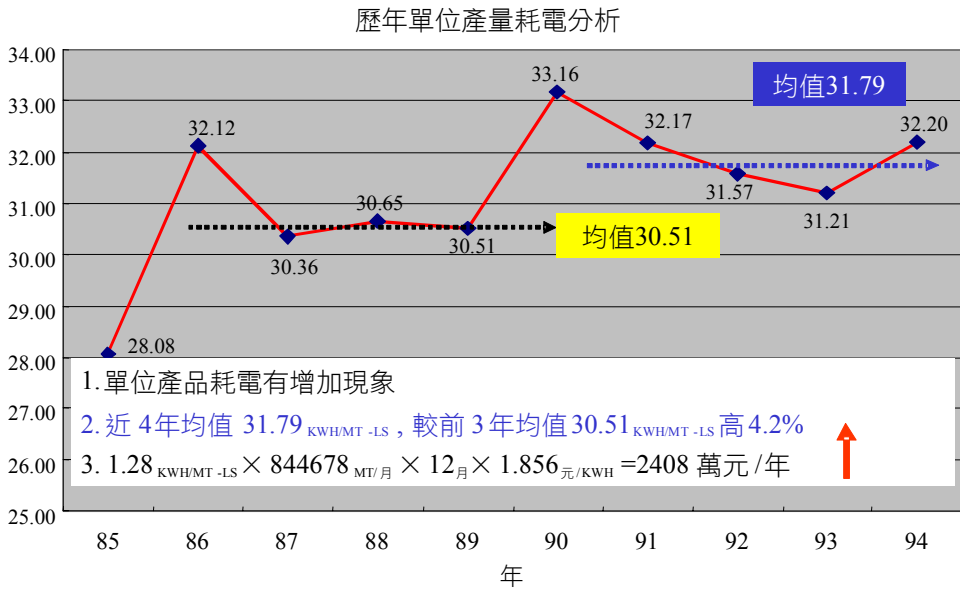


圖60 A公司歷年單位產品耗電量有上升的趨勢

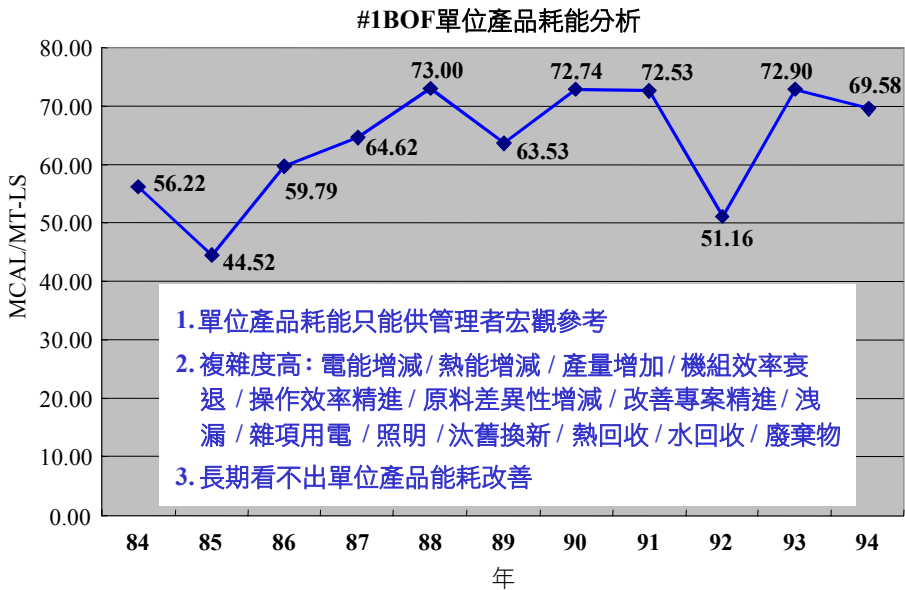


圖61 A公司歷年單位產品耗能是持平的趨勢

將單位產品耗電量與單位供水耗電量來比也是會發生風、馬、牛不相關的事情，舉例如A公司有10個水系統，20年內單位產品耗電量增加的因素有1.產線的變動2.機組效損增加3.照明效損增加4.操作條件變更5.產品的變更6.空調效損增加7.洩漏增加8.加工層次增加9.產線廢棄物增加10.產品產量減少等，而機組效損增加僅是其中之一而已，機組中又分空壓機、水泵浦、油泵浦、大風車、十個水系統、鼓風機、軋延機、冷卻水塔、冰水主機等，可以得知單位產品耗電量根本無法做為某一水系統泵浦效損增減幅度的指標，如圖62觀察B公司長期的單一水系統單位供水耗電量，可以看出該水系統泵浦效損與日俱增的幅度，新機前5年單位供水耗電量 $0.3861\text{KWH}/\text{M}^3$ ，近5年單位供水耗電量 $0.4131\text{KWH}/\text{M}^3$ ，水系統供水量 $10,000\text{M}^3/\text{HR}$ ，每年能源差異達： $(0.4131 - 0.3861)\text{KWH}/\text{M}^3 \times 10,000\text{M}^3/\text{HR} \times 24 \times 365 \times 1.856\text{元}/\text{KWH} = 439\text{萬元}/\text{年}$ ，此訊息告訴我們a. 單位供水能耗增加了7% b. 能耗增加的原因有泵浦效率降低或調控損失增加 c.若調控方式不變時，則原因是泵浦能耗增加7% d. 泵浦能耗增加7%表示效率降低7% e.表示5台運轉中的泵浦平均效率降低7%，圖63則為B公司泵浦經過改善後，該水系統單位供水耗電量逐年下降的趨勢。

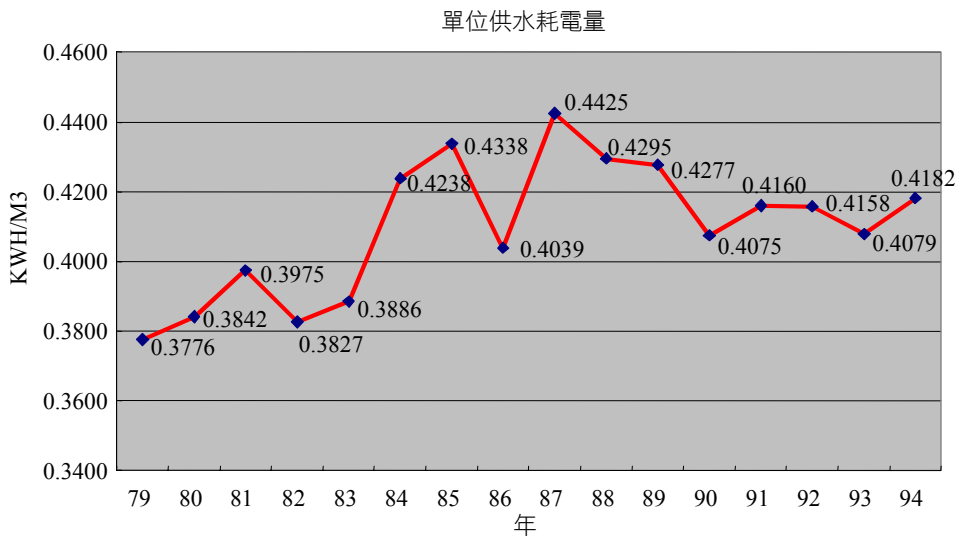


圖62 B公司單一水系統單位能耗趨勢

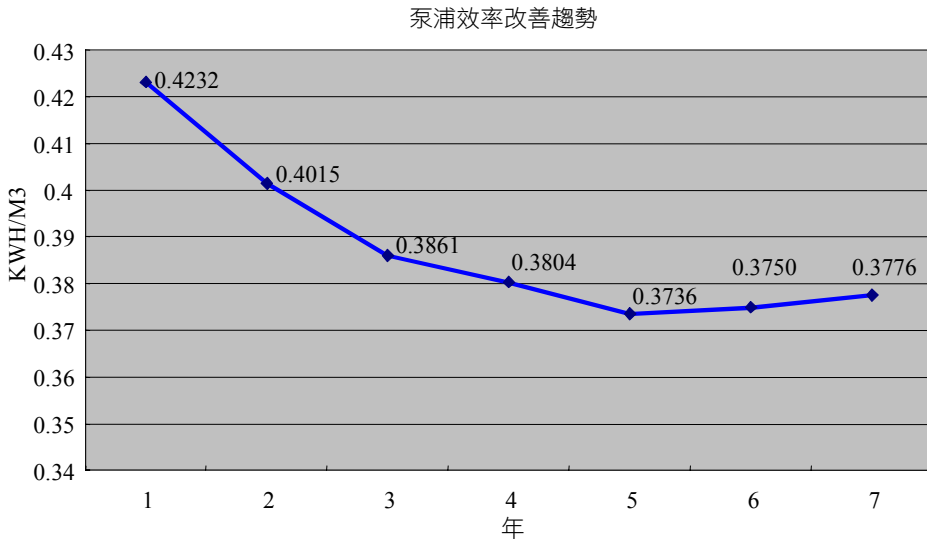


圖63 B公司泵浦效損改善後水系統單位能耗下降趨勢

(二)收集每台泵浦交貨時的性能測試資料

新工廠成立時，建議要求擴建單位將轄區內所有泵浦的性能測試資料，予以集中建立於一個檔案中或電子檔案中，分別送交運轉、維護單位，此份資料有助於做為日後恢復泵浦效率的指標參考，運轉十年的泵浦如果沒有此份性能測試資料，將無法執行與新機基準的比較，效損替代檢查技術就變成只能判斷大修前後改善程度的指標，失去了與新機基準比較及恢復至新機標準的指標，將會造成很大的損失；舉例如C公司#2大風車：大修前測試單位能耗0.0067 KWH/M³，大修後測試單位能耗0.0067 KWH/M³，大修前後雖然有執行單位能耗的比較，也發現單位能耗差異不大，但是因為未執行與新機能耗差異的比較，也表示喪失了利用大修來做能耗改善的機會，若能將單機大修前運轉資料0.0067 KWH/M³與新機FAT值(0.0051 KWH/M³)先做比較時，預先發現偏高30%的能耗，可使基層人員先有個改善目標，而非盲目的大修，亦可洽詢原廠瞭解20年老機組大修時，應該針對那些元件做改善才可以恢復失去的效率？檢視改善後是非常相近FAT值還是仍偏高30%以上？

傳統的方式將泵浦送交原廠執行效率測試，或者於現場自行裝置電錶、水錶，執行泵浦的效率測試，工作將變成比較費工、費時、費錢又複雜，泵浦的性能測試資料如表10，它是新機FAT測試資料，若執行泵浦廠商的效率測試，則舊泵浦目



前運轉點的效率值與FAT相同運轉點的效率值比較，可得知其效率待改善的幅度，若是執行泵浦效損替代檢查技術，則可參考二者的全關揚程、全關電流的偏離程度，而判斷出a.葉片是否已粗糙待改善b.葉片是否已磨耗待更新c.磨損環間隙是否已變大待更新d.舊泵浦目前的效率是多少？e.舊泵浦大修後的效率是多少？f.大修後的泵浦能耗管制是否不合格而需再次拆修？g.大修後的泵浦能耗管制已合格可以納入運轉。



表10 泵浦性能測試資料

DATE 07-19-1985

PUMP TEST RECORDS

MANUFACTURER: 中國
 ADDRESS: 臺灣省 屏東縣 麟蹄鄉 麟蹄村 麟蹄路 100 號

HEAVY MAKE: FM
 MODEL: S2000
 PUMP DIA.: 400 S2000

85010

PUMP										MOTOR					
DISCH. PRESS. (PSI)	DISCH. PRESS. (BAR)	DISCH. PRESS. (M)	DISCH. PRESS. (FT)	DISCH. PRESS. (MM HG)	DISCH. PRESS. (MM WC)	DISCH. PRESS. (MM H ₂ O)	DISCH. PRESS. (MM H ₂ O)	DISCH. PRESS. (MM H ₂ O)	DISCH. PRESS. (MM H ₂ O)	DISCH. PRESS. (MM H ₂ O)	P.F.	INPUT POWER (KW)	OUTPUT POWER (KW)	EFF.	B.H.P.
10.0	0.68	1.0	3.28	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	87.0	245.4	230.7	93.8	329.3	
15.0	1.03	1.5	4.92	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	87.0	305.8	294.4	96.3	424.7	
20.0	1.38	2.0	6.56	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	87.0	366.2	345.0	94.2	520.1	
25.0	1.73	2.5	8.20	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	87.0	426.6	395.4	92.7	615.5	
30.0	2.08	3.0	9.84	43.9	43.9	43.9	43.9	43.9	43.9	87.0	487.0	455.8	93.6	710.9	
35.0	2.43	3.5	11.48	51.2	51.2	51.2	51.2	51.2	51.2	87.0	547.4	516.2	94.3	806.3	
40.0	2.78	4.0	13.12	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	87.0	607.8	577.0	95.1	901.7	
45.0	3.13	4.5	14.76	65.8	65.8	65.8	65.8	65.8	65.8	87.0	668.2	637.8	95.4	1000.1	
50.0	3.48	5.0	16.40	73.1	73.1	73.1	73.1	73.1	73.1	87.0	728.6	698.6	95.8	1104.5	
55.0	3.83	5.5	18.04	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	87.0	789.0	759.4	96.2	1218.9	
60.0	4.18	6.0	19.68	87.7	87.7	87.7	87.7	87.7	87.7	87.0	849.4	820.0	96.5	1333.3	
65.0	4.53	6.5	21.32	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	87.0	909.8	880.6	96.8	1447.7	
70.0	4.88	7.0	22.96	102.3	102.3	102.3	102.3	102.3	102.3	87.0	970.2	941.4	97.1	1562.1	
75.0	5.23	7.5	24.60	109.6	109.6	109.6	109.6	109.6	109.6	87.0	1030.6	1012.2	97.2	1676.5	
80.0	5.58	8.0	26.24	116.9	116.9	116.9	116.9	116.9	116.9	87.0	1091.0	1072.8	97.4	1790.9	
85.0	5.93	8.5	27.88	124.2	124.2	124.2	124.2	124.2	124.2	87.0	1151.4	1133.6	97.6	1905.3	
90.0	6.28	9.0	29.52	131.5	131.5	131.5	131.5	131.5	131.5	87.0	1211.8	1194.4	97.7	2019.7	
95.0	6.63	9.5	31.16	138.8	138.8	138.8	138.8	138.8	138.8	87.0	1272.2	1255.2	97.8	2134.1	
100.0	6.98	10.0	32.80	146.1	146.1	146.1	146.1	146.1	146.1	87.0	1332.6	1316.0	97.9	2248.5	

TESTER: [Signature]
 CHECKER: [Signature]
 DATE: 07-19-1985

SAN TAI MACHINERY MFG. CO., LTD.

(三)建立每一水系統長期單位能耗資料

在台灣比較新的工廠，或是能源管理比較完善的公司，均會規劃建立每一水系統的總電錶與總水錶，但是發現有些工廠的缺點是「萬事具備只欠東風」，雖然已經有執行用水、用電的統計，卻沒有建立長期的、每年的單一系統單位供水能耗資料，不知道此監視指標就代表該系統泵浦的效損程度是多少！變成裝了錶計也沒有良好的能源管理；另外約有百分之八十的工廠，是沒有如此的規劃，有的有總電錶但不包括全部，絕大多數都沒有裝置水系統出口總水錶，或是僅有部分分錶而無總錶，造成日後數十年都沒有監視泵浦效損的能力，省了儀表二十萬元的費用，卻損失公司數百萬、上千萬元的泵浦效損管理金額，謹以表11顯示D公司水系統的能源管理供業界參考。

表11 D公司水系統的能源管理

年份	水系統 歷年 運轉 數據											
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12
單位	KWH/M3	KWH/M3	KWH/M3	KWH/M3	KWH/M3	KWH/M3	KWH/M3	KWH/M3	KWH/M3	KWH/M3	KWH/M3	KWH/M3
73						0.4232						
74						0.4015						
75	0.2824		0.6900		0.0728	0.3861		0.3447				
76	0.2875		0.6938		0.0981	0.3804		0.3274				
77	0.2905		0.6721		0.1097	0.3736		0.3036				
78	0.2994	0.3885	0.6855	0.5342	0.1146	0.3750		0.2675				
79	0.2884	0.3336	0.7152	0.8328	0.1221	0.3776		0.3164		0.3874		
80	0.2105	0.3469	0.8935	0.7456	0.1174	0.3842		0.2914		0.2556		
81	0.1903	0.3624	0.9336	0.8380	0.1212	0.3975		0.2935		0.5926		
82	0.2102	0.3599	0.9544	0.8735	0.1164	0.3827		0.2906	0.1471	0.5056	0.3142	
83	0.2211	0.3518	0.9397	0.8502	0.1203	0.3886		0.2919	0.1528	0.5102	0.5083	
84	0.2538	0.3231	0.8319	0.7445	0.0914	0.4238		0.3185	0.1604	0.5349	0.7417	
85	0.2602	0.3367	0.8481	0.6530	0.1182	0.4338		0.3222	0.1620	0.4341	0.6562	
86	0.2579	0.3192	0.8184	0.5822	0.1274	0.4039	0.3043	0.3100	0.1660	0.5278	2.3573	0.8514
87	0.2570	0.3105	0.8445	0.6231	0.1145	0.4425	0.2852	0.3405	0.1372	0.6839	1.3128	0.9093
88	0.2590	0.3113	0.8123	0.6979	0.1187	0.4295	0.2561	0.3713	0.1507	0.6281	1.1758	0.7463
89	0.2592	0.3283	0.7815	0.6833	0.1183	0.4277	0.2743	0.3718	0.1509	0.6502	1.2737	0.7844
90	0.2392	0.3143	0.6906	0.5609	0.1191	0.4075	0.2611	0.3700	0.1490	0.6827	1.1688	0.8672
91	0.2361	0.2913	0.7411	0.5694	0.1059	0.4160	0.2830	0.3745	0.1487	0.6160	1.1938	0.8661
92	0.2238	0.2638	0.7247	0.5382	0.0721	0.4158	0.2757	0.3810	0.1502	0.6364	1.1693	0.8569
93	0.1991	0.2450	0.6986	0.5462	0.0596	0.4079	0.2858	0.3668	0.1399	0.6886	1.1519	0.8042
94	0.2092	0.2920	0.7468	0.5590	0.0499	0.4182	0.2943	0.4039	0.1334	0.8095	1.1468	0.8659



(四)大馬力轉動設備應建立單機能耗監視設施

考察日本鋼廠，如表12全廠水、電、油、氣各個系統的源頭端、大小用戶端裝置錶計的比例，均達70至90%以上，具有完善的錶計來分析系統中出現的問題，工廠中才可以查出該系統a.機組能耗趨勢b.系統調控損失c.管理用戶用量差異d.改善用戶假性需求等現象，再進行各項因素細部的改善，也才會有實質的機組效損改善，台灣現況各工廠錶計管理的程度仍然偏低，錶計裝置率也非常的低，觀察有百分之九十的工廠均達不到上述的要求，日本自1973年至今能源消耗量維持不變，但是30年來工業產值卻增加為原來的三倍，可看得出來日本人的節約能源意識非常的強烈，其專研的成果也相當豐碩，若以日本的工業產值由大陸來生產時，其能耗是日本的9倍，由台灣、美國來生產時，能耗是日本的3倍；由此可以看出日本、台灣、大陸三者之間的能源管理技術仍有相當的梯度，值得台灣、大陸學習。

表12 日本鋼廠能源計量管理狀況

種 類	電力	BFG	COG	STM	O ₂	N ₂	PA	CW
使用點數	504	14	73	66	21	35	75	72
計量點數	504	14	70	46	21	25	58	67
計量比例	100%	100%	96%	70%	100%	71%	77%	93%

每個工廠均應針對廠內大馬力轉動設備，規劃建立單機能耗監視設施，依馬力及數量自行決定在500BHP或1,000BHP或1,500BHP以上的機組，予以規劃裝置單機瓦特計及流量計，並轉換成單位能耗來監視其每年的單位能耗趨勢，比較單位能耗時，應該以相同的揚程值對應出的單位能耗做比較，並與FAT值比較，才能完整顯示出大修前後的差異及與新機偏離的程度。

(五)轉動設備應實施「績效驗證」制度

拜訪A公司，運轉9年7000BHP的大馬力空壓機，也裝置有電流錶、電壓錶、出口流量計等，卻發現疏忽於管理統計其歷年來單機的單位供氣能耗趨勢，造成有能力管理機組效損，卻沒有執行的缺失；拜訪D公司，運轉30年9300BHP的大風車，也裝置有電流錶、電壓錶、出口流量計等，大修前後均有紀錄單位能耗 0.0067KWH/NM^3 ，卻發現也是疏忽於與新機FAT值單位能耗 0.0051KWH/NM^3 進行比較，導致大修時沒有針對30%的效損偏差，設定目標進行改善規劃，大修後往往也就沒有實質的改善成效，更多的公司則是錶計不全，運轉20年的大馬力機組完全不知道目前的單位能耗，所以各公司如果能夠在系統結構中列入此項管理制度，對公司的節能監視及改善將是事半功倍，過去我們疏忽於此方面的能源管理，是制度面、教育面的不完整，是情有可原的，但是面對地球日漸升高的氣溫、日漸增加的天災、日益增加的 CO_2 ，地球臭氧層日漸減少、日漸高漲的油價、日漸枯竭的油源，如果各工廠還沒有為地球盡一份應盡的義務，那就是我們的不對了；「能源可以消費，但是絕不可以浪費」，已經變成地球成員的共同道德規範，節能也變成是為地球行善、做功德的一項因果，所以各工廠對設備定期的「績效驗證」有如對員工的績效考核，況且轉動設備的定期績效考核，其效益往往遠勝過員工的績效考核，何樂而不為？請大家開始將它列入我們的管理體系中吧。

(六)轉動設備應實施「性能維修保證」制度

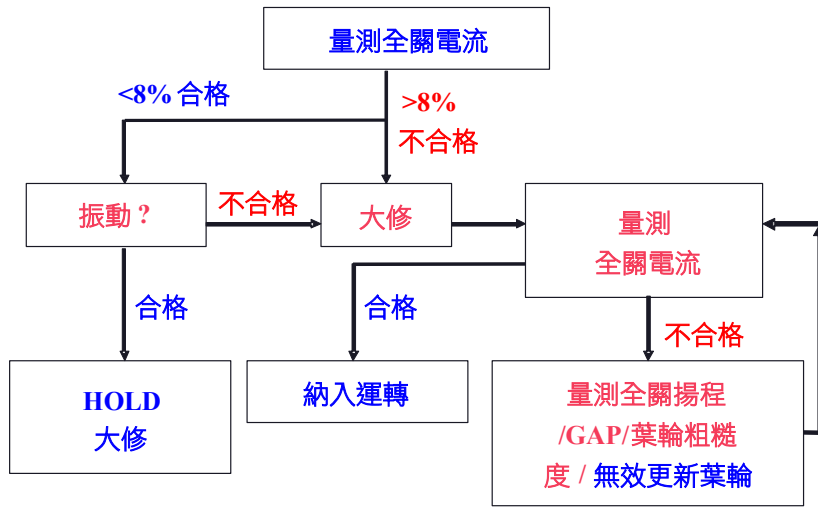
性能維修保證制度也是這幾年於世界潮流中開始提倡流行的，過去負責維護的老師父，可能做了30年，負責大修的工作也都得心應手，清潔、潤滑、上漆、組裝、換元件、做品管等工作都難不倒他，但是因為管理制度面上沒有被要求實施性能維修保證，沒有測試大修前後的單位能耗，老師父未被授予能耗改善的動機及目標，也就因此沒有節能改善的結果，檢討過去發生各種轉動設備缺少性能維修保證的案例，每個工廠到處都是、不勝枚舉，舉例如a.泵浦運轉10年，大修前效損20%，大修後效損還是20%，b.空壓機運轉18年大修前效損14%，大修後效損還是14%，因為以往的大修是完全針對機械性的整理，目前全球已開始著重到機能性的整理，這是一個新節能運動的開始，早期認為轉動設備除非更新，失去的效損可能是難以回復的，事實上由本報告中發現它是可以完全改善的，因為我們已經證實如上述a案例、b案例的效損是可以完全回復的，我們發現其中轉動元件及其上下游的元件是效損能源管理的核心，只要管制好就可以恢復至原來FAT值附近。



(七)建立泵浦「大修與能耗掛勾」的機制

能源管理是大家的責任，近年來也變成了全民運動，因為我們都必須面對全球社會的永續生存，負擔起個人應盡的義務，轉動設備能源管理從工廠中各系統的「錶計能源管理」分析開始，進展到轉動設備定期的「績效驗證」機制，再推動到大修時實施「性能維修保證」制度，在工廠的管理系統結構中，如何的將這些機制納入並且使它變成容易執行，我們尋找出一項最容易、簡化的執行方式，就是建立泵浦「大修與能耗掛勾」的機制，貴工廠有了此項機制，沒有前面的錶計管理也沒有關係，因為我們發展出的「泵浦效損替代檢查辦法」，就是以簡單、容易量測的「全關揚程」、「全關電流」來替代傳統方式較複雜、較困難的單機性能測試，其他的轉動設備因尚未發現如此簡易可行的效損檢測方式，仍必須依照大馬力設備，規劃裝置單機流量計及瓦特計，於大修前後量測固定揚程點的單位能耗，並與新機FAT值做比較，大修前瞭解到舊機組與新機時單位能耗的偏離程度，判知轉動元件的粗糙程度及間隙值偏離的程度、能耗增加程度(等於效率降低程度)，大修中針對轉動元件做適當的改善或更新，於大修後再做能耗比較，逐漸累積經驗之後，再利用此經驗、技術於小馬力設備的大修之中，或者是建構一套機動性的量測錶計，每次小馬力設備大修時安裝上去，待大修後能耗檢視合格後，再予以拆除。

泵浦效損替代檢查辦法列入大修管制流程請參考圖64，泵浦每四、五年安排一次的大修，花費公司經費約十萬元，對轉動設備的定期績效驗證而言，實在是千載難逢的機會，若是僅維持傳統維修方式來執行，漠視了機組效率降低的事實，大修後並沒有改善機組能耗增加的事實，將造成公司無辜的金錢損失，對地球日漸枯竭的能源而言，用在完全浪費的地方實在是非常的可惜，我們已經證實運轉20年的泵浦，效率也降低了20%，除了傳統方式的大修外，只要再增加管制好葉輪粗糙度及磨損環間隙，將可恢復效損20%中的98%，可算是真正的小兵立大功，請工廠中執行此項業務的基層管理人員一定要記得，以每台530BHP泵浦評估：葉輪及磨損環的成本只要約20萬元，但是因未管制好能耗造成的效損10~20%時，輪到下次大修時該台泵浦對公司造成的運轉成本損失，將達到300~600萬元之多，二者之間當可看出管理的重點在那裡。



建議單吸泵全關揚程<3%，雙吸泵全關揚程<2%

圖64 泵浦效損替代檢查辦法列入大修管制流程



六

泵浦效損替代檢查案例



1. 泵浦效損分析案例一

表13 運轉3年不銹鋼泵浦

	新機值	測試值	差異比例	要求值
全關電流	169.8A	178.7A	5% ↑	100~108%內
全關揚程	45.33M	44.56M	1.7% ↓	98~100%內
分析說明	1. 該泵運轉 3 年，水平式雙吸不銹鋼泵浦。 2. 新泵效率 87.3%，由全關電流研判現況效損約 2%。 3. 測試資料顯示該泵磨損環狀況仍良好 < 2%。			

2. 泵浦效損分析案例二

表14 運轉29年碳鋼泵浦

	新機值	測試值	差異比例	要求值
全關電流	53.4A	48.7A	9% ↓	100~130%內
全關揚程	78.3M	85.63M	錶計太舊	97~100%內
分析說明	1. 該泵運轉 29 年，直立式單吸碳鋼泵浦。 2. 葉輪弧度仍正常時，全關電流應介於新機值 100~130%。 3. 發生測試值低於新機值 9%時，表示葉輪弧度已被嚴重吃蝕掉。 4. 新泵效率 78.3%，現況效損約 20~30%。 5. 查出該泵民國 88 年大修至今，7 年來無大修記錄。 6. 測試全關揚程一定是小於新機值，該區錶計已使用 20 多年，內部生垢模糊，已經看不清楚、不準確了。 7. 測試資料顯示此泵浦狀況很差，表示該系統碳鋼泵浦尚未更新者，急待改善。			



3. 泵浦效損分析案例三

表15 運轉5年不銹鋼泵浦

	新機值	測試值	差異比例	要求值
全關電流	258.6KW× 53.7A	248.7KW× 52.0A	KW3.8% ↓ A3.2% ↓	100~108%內
全關揚程	75.1M	74.5M	0.8% ↓	98~100%內
分析說明	1. 該泵運轉 5 年，水平式雙吸不銹鋼泵浦。 2. 新泵效率 87.5%，分析現況磨損環間隙正常，效損不明確。 3. 全關電流測試值應大於新機值，懷疑因人員生疏或僅測量單相有誤差產生。			

4. 泵浦效損分析案例四

表16 運轉20年不銹鋼泵浦

	新機值	測試值	差異比例	要求值
全關電流	149.5KW× 30.8A	176.3KW× 34.8A	KW18% ↑ A13% ↑	100~108%內
全關揚程	67.43M	68.6M	錶計有誤差	98~100%內
分析說明	1. 該泵運轉 20 年，水平式雙吸不銹鋼泵浦。 2. 新泵效率 83.9%，分析現況因使用現場舊壓力錶，導致全關揚程不準確，無法評估。 3. 全關電流測試值大於新機值 13%，評估效損約有 4~7%。 4. 由全關電流測試值評估該泵磨損環間隙已變大，變大比例原本可由全關揚程來判斷。			



5. 泵浦大修前後效損測試案例五

P-803B：615M³/HR×80M×270HP(運轉30年不銹鋼泵浦)

表17 運轉30年不銹鋼泵浦

	新機值	大修前	大修後	大修前	大修後	要求值
		測試值		差異比例		
全關電流	21.9A	24.2A	24.3A	10% ↑	10% ↑	100~108%內
磨損環 gap	0.4 mm	0.51 mm	0.51 mm	未更新磨損環		
全關揚程	107.35M	110M	110M	錶有誤	錶有誤	98~100%內
分析說明	1. HPC 泵運轉約 30 年，水平式雙吸不銹鋼泵浦。 2. 新泵效率 79%，gap 量測未變大故未更新，但全關電流偏高 10%，評估效損約 4~5%， 大修前後並無改善能耗。 3. 壓力錶有誤，建議日後測試時裝臨時新錶計，避免浪費人力又無法參考。					

6. 泵浦大修前後效損測試案例六

P-803D：716M³/HR×80M×270HP(運轉20年不銹鋼泵浦)

表18 運轉20年不銹鋼泵浦

	新機值	大修前	大修後	大修前	大修後	要求值
		測試值		差異比例		
全關電流	26.5A	35A	27.5A	32% ↑	4% ↑	100~108%內
磨損環 gap	0.4 mm	0.78 mm ↑	0.78 mm ↑	未更新磨損環		
全關揚程	106.6M	100M ↓	100M ↓	5.2% ↓	5.2% ↓	98~100%內
分析說明	1. 三太泵運轉約 20 年，水平式雙吸不銹鋼泵浦。 2. 新泵效率 83.7%，設計 gap0.4 mm現況 0.78 mm(200%)，應該予以更新，但是未執行。 3. 大修前效損約 16% ，大修後全關電流值太漂亮，因未更換磨損環，又是不銹鋼葉片，令人懷疑大修後的全關電流值是否有誤(因為全關揚程的下降及磨損環 gap 未變，資料顯示應該仍有 16%的效損，本次大修並未更新磨損環，效損應該仍存在)。 4. 磨損環 gap 大於 130~150%時，建議予以更新。					

7. 泵浦大修前後效損測試案例七

P-802D：570M³/HR×100M×310HP(運轉30年不銹鋼泵浦)

表19 運轉30年不銹鋼泵浦

	新機值	大修前	大修後	大修前	大修後	要求值
		測試值		差異比例		
全關電流	28.2A	38A	37.2A	35% ↑	32% ↑	100~108%內
磨損環 gap	0.28~0.4 mm	0.85 mm ↑	0.85 mm ↑	243% ↑	243% ↑	>0.45 mm時更新磨損環
全關揚程	120M	170M	170M	錶計已壞		98~100%內
分析說明	1. HPC 泵運轉約 30 年，水平式雙吸不銹鋼泵浦。 2. 新泵效率 74%，設計 gap0.35 mm現況 0.85 mm(243%)，大修前效損約 17%， 大修時因未更換磨損環，導致效損 17%仍存在。 3. 壓力錶計已完全故障，建議要求更新後才測試較有意義。 4. 評估本泵浦流量已減至 495 M3/HR。					

8. 泵浦大修前後效損測試案例八

P-8C34A：1020M³/HR×85M×450HP(運轉20年不銹鋼泵浦)

表19 運轉20年不銹鋼泵浦

	新機值	大修前	大修後	大修前	大修後	要求值
		測試值		差異比例		
全關電流	46.8A	64A	53A	37% ↑	13% ↑	100~108%內
磨損環 gap	0.5 mm	1.25 mm	0.6 mm	250% ↑	120%	>0.7 mm時建議更新磨損環
全關揚程	96.23M	110M	105M	錶計已壞		98~100%內
分析說明	1. 三太泵運轉約 20 年，水平式雙吸不銹鋼泵浦。 2. 新泵效率 78%，設計 gap0.5 mm，現況 1.25 mm(250%)，大修前效損約 18%， 大修時有更換磨損環，導致效損減少至 6%，因更新磨損環造成的改善有 12%效率的提升，等於每年省能 450HP×0.746×24×365×12%×1.856÷ 0.9=73 萬元/年。 3. 執行磨損環更新可說是小兵立大功，投資不到一萬元，五年期間可替公司 省能 200~350 萬元。 4. 錶計已完全故障，建議日後維護單位使用一組全新的錶計供大修測試時使 用，記錄才有意義。 5. 評估本泵浦流量大修前是 836 M3/HR，大修後是 959 M3/HR。					



測試分析結論：

1. 測試得知不銹鋼泵浦運轉3~5年，效損約2%性能仍能維持相當良好，符合管制要求，運轉20年時，得知效損約15~20%，表示性能已下降，磨損環間隙應適時更新。
2. 碳鋼葉輪泵浦，若無COATING保護，3~5年效損就達20%，運轉20年以上時效損達20~30%，葉輪弧形都已被吃掉了。
3. 葉輪弧度仍正常時，全關電流應介於新機值100~130%，若測試值小於新機值表示葉輪已吃蝕或表示測試時儀器、人員量測方式有誤差。
4. 測試全關揚程值一定是介於新機值90~100%之間，舊機組是不可能高於新機的全關揚程值，有此現象時請檢查錶計。
5. 不銹鋼葉輪屬於『長效型泵浦』，運轉3~5年，性能仍能維持良好，長期運轉只要管制好磨損環gap的要求，運轉20年期間，均可掌控在效損2%內。
6. 碳鋼葉輪屬於『短效型泵浦』，運轉3~5年，性能就大幅下降，甚者效損達20%，除非實施定期THERMOPLASTIC COATING，長期運轉需要管制好磨損環gap外，葉輪粗糙度變成影響效損最大的一個變數。
7. 此階段檢視4台泵浦大修記錄，依量測GAP資料，有3台應該要更新磨損環，結果僅更新1台，執行磨損環更新率為33%，顯示現場人員對磨損環會影響運轉能源成本尚無深刻認知，約5年才輪到大修一次，未適時更新磨損環相當可惜。
8. 大修前後測試全關揚程時，建議能提供使用壹組全新的壓力錶，舊錶另行校正，此次的分析發現多數舊錶誤差太大，無法提供分析。
9. 分析時需具備原廠性能測試資料，沒有時請洽原廠列印完整一份。
10. 由P-8C34A發現有更新磨損環時，花費小於8,000元，但是每年節省能源達73萬元/年，在大修過程中加強此管制可說是「小兵立大功」。
11. 單吸泵浦光滑葉輪性能關係；全關揚程:全關電流:效損:流量降=1:1:1:1。
12. 單吸泵浦變粗葉輪性能關係；全關揚程:全關電流:效損:流量降=1:2:2:2。
13. 雙吸泵浦光滑葉輪性能關係；全關揚程:全關電流:效損:流量降=1:4:2:2。



14. 雙吸泵浦變粗葉輪性能關係；全關揚程:全關電流:效損:流量降=1:8:4:4。
15. 單吸泵浦相同Gap時，光滑葉輪變粗糙；全關揚程:全關電流:效損:流量降=0:1:1:0。
16. 單吸泵浦相同葉輪僅Gap變大時；全關揚程:全關電流:效損:流量降=1:1:1:1。
17. 各種型式泵浦及不同材質磨損環變化，造成日後全關揚程:全關電流:效損:流量降的比值可能千變萬化，但是整體衡量基礎以『全關電流』為指標，萬變不離其宗，當大修後的全關電流與FAT值相同時，表示效能完全一樣
18. 整體衡量基礎以『全關揚程』量測值為輔，利用它來判斷磨損環間隙磨耗的大小，再參考大修時實際量測的磨損環間隙值，超過新機值的1.3倍時予以更新(如新機值0.5mm，6.5mm以上時更新)。
19. 大修前量測單吸泵全關揚程降低10%，全關電流增加20%時，可推估為磨損環間隙變大及表面粗糙度增加，此時效率下降約20%，流量減少20%。
20. 大修前量測單吸泵全關揚程降低0%，全關電流增加10%時，可推估為磨損環間隙正常及表面粗糙度增加，此時效率下降約10%，流量減少0%。
21. 大修前、後量測全關揚程降低0%時，全關電流增加0%時，可推估為該泵能耗與新機一樣，完全正常。
22. 大修前量測雙吸泵全關揚程降低3%時，全關電流增加12%，可推估為磨損環間隙變大及表面粗糙度增加，此時效率下降約6~12%，流量減少6~12%。
23. 大修後建議控制全關揚程降低值在2%內，因為只要管控磨損環即可達成（若發現為5%未改善時，以530BHP計算5年損失達： $530\text{BHP} \div 0.9 \times 0.746 \times 5\% \times 24\text{HR} \times 365 \times 5 \times 1.856\text{元/KWH} \times 1.5\text{劣化係數} = 268\text{萬元}$ ，大修時更新磨損環成本 < 1萬元）。
24. 大修後建議控制全關電流增加值在8%內，若管控磨損環及葉輪粗糙度後，仍無法改善時，建議予以更新葉輪(< 20萬)。



後序



『泵浦效率管理節能技術手冊』是中鋼公司張尚武工程師著作，以累積二十多年的泵浦學理與運轉實務經驗，將創新、研發的精神應用於此領域的改善實驗中，從a.機組運轉與能耗增加的趨勢b.泵浦各元件與效損的關係c.泵浦數十次的性能測試等驗證中，尋求突破該領域能源查核的困境，進而發展出『泵浦效損替代檢查技術』，它是目前轉動設備單元機組績效驗證中最創新、最簡易而又容易執行的方法之一，在書籍中、國際技術刊物中是尚未發展出的技術，因此技術已申請專利中，謹以此獻給台灣各公司、各工廠的管理者，限於以工廠內自行使用為原則，非經中鋼公司授權不得用於商業用途。

1. 閱讀本手冊的核心價值有那些？

- (1) 希望我的轉動設備能夠長壽又節能。
- (2) 希望我能學會辨識泵浦葉輪的好壞。
- (3) 希望我能認知磨損環間隙管控的重要性。
- (4) 希望我能在無流量計的情況下，也能評鑑泵浦的效率損失。

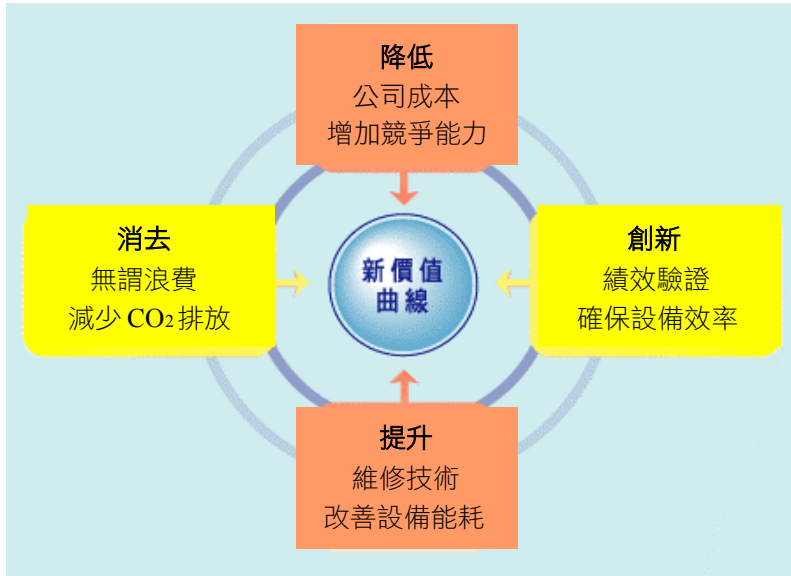
2. 閱讀本手冊的藍海策略在那裡？實踐新價值曲線，掌握制勝先機：

- (1) 選購「長效型的泵浦」，避免事倍功半，徒增日後檢驗、維修的困擾，消去廠內無謂的浪費，減少CO₂的排放。
- (2) 水系統調控選用「可以節流省能的泵浦」，降低公司的成本，強化全球競爭能力。
- (3) 參考員工考績，公司內的轉動設備也需建立「定期的績效驗證」，以恢復舊設備失去的效率。





- (4) 貫徹實施『性能維修保證』機制，將『泵浦效損替代檢查技術』與大修掛勾，提升維修技術能力，改善設備能耗。





經濟部能源局
BUREAU OF ENERGY, MOEA

<http://www.moeaboe.gov.tw>



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

能源資訊網

<http://emis.erl.itri.org.tw>

經濟部能源局廣告品