

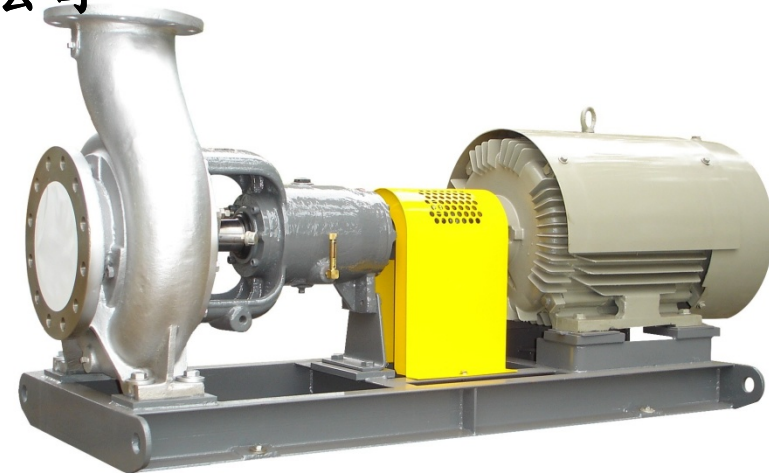


離心泵與管路節能實務



簡煥然 顧問

煜然有限公司



2012. 10. 31

資料來源：工研院高效率馬達計畫、自來水、Grundfos泵浦、三錦泵浦、萬事興泵浦、協磁泵浦



大綱

1. 離心泵效率標準
 2. 馬達效率標準
 3. 泵浦性能曲線、流功、耗電功與耗能比
 4. 管路阻抗曲線與流功
 5. 如何用耗能比檢查泵浦運轉狀況
 6. 變頻離心泵節能的實務做法
 7. 結論與建議
- 附件A 泵浦相關重要參數
- 附件B 陸上泵耗能比資料



1. 離心泵效率標準

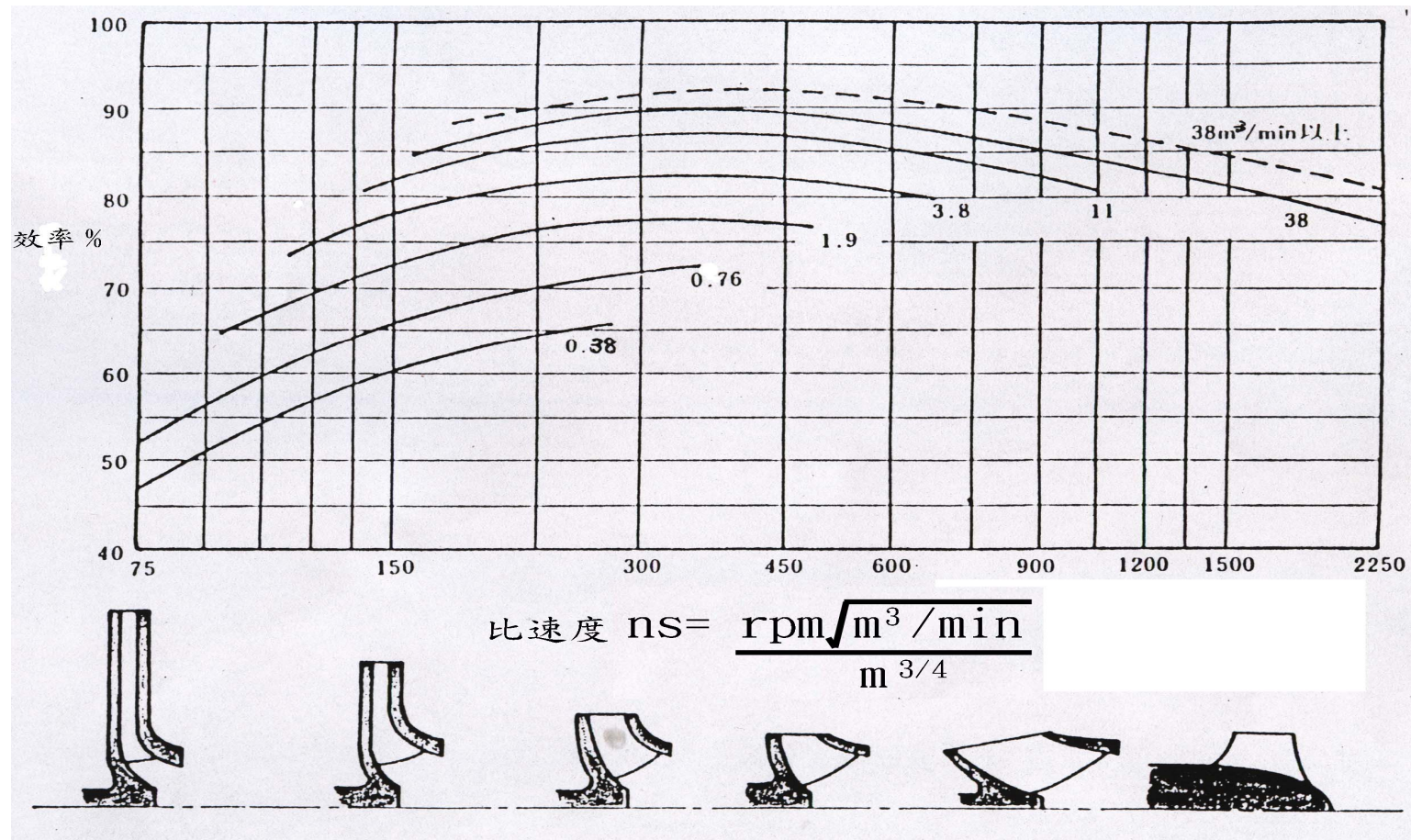
1.1 Eup/Erp指令與泵浦耗能

1. 耗能包含泵浦、馬達、驅動器等及管路系統
2. 以單位輸出流功與輸入電功做為耗能評價的基準
3. 泵浦耗能計算也必須反映管路系統負載變動
4. 泵浦的操作範圍必須與管路系統負載變動匹配，並且位於較佳效率區
5. 標準馬達效率會由IE2提高到IE3，但沉水深井三相馬達尚未列入管制
6. 變轉速驅動被納入能耗問題的解決方案之一
7. 管路系統不再以傳統的壓損觀點看待，進一步追求低耗能的使用成本



1.2 Stepanoff額定點效率圖

評比泵浦額定點效能最佳工具。





1.3 單級離心式泵浦可獲得的最高效率

Attainable efficiencies of volute casing pumps, **Europump Guide No. 2, 1999**

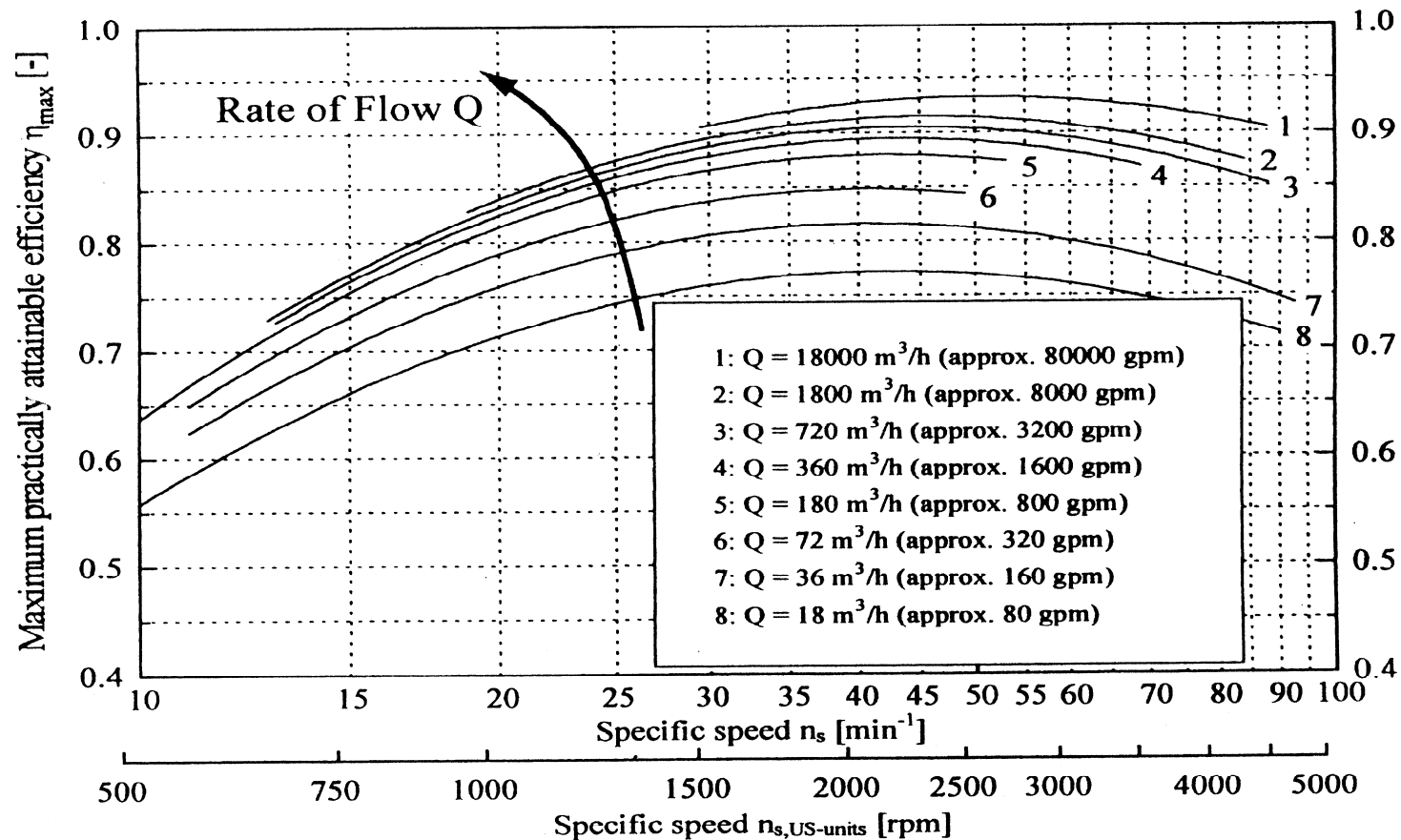
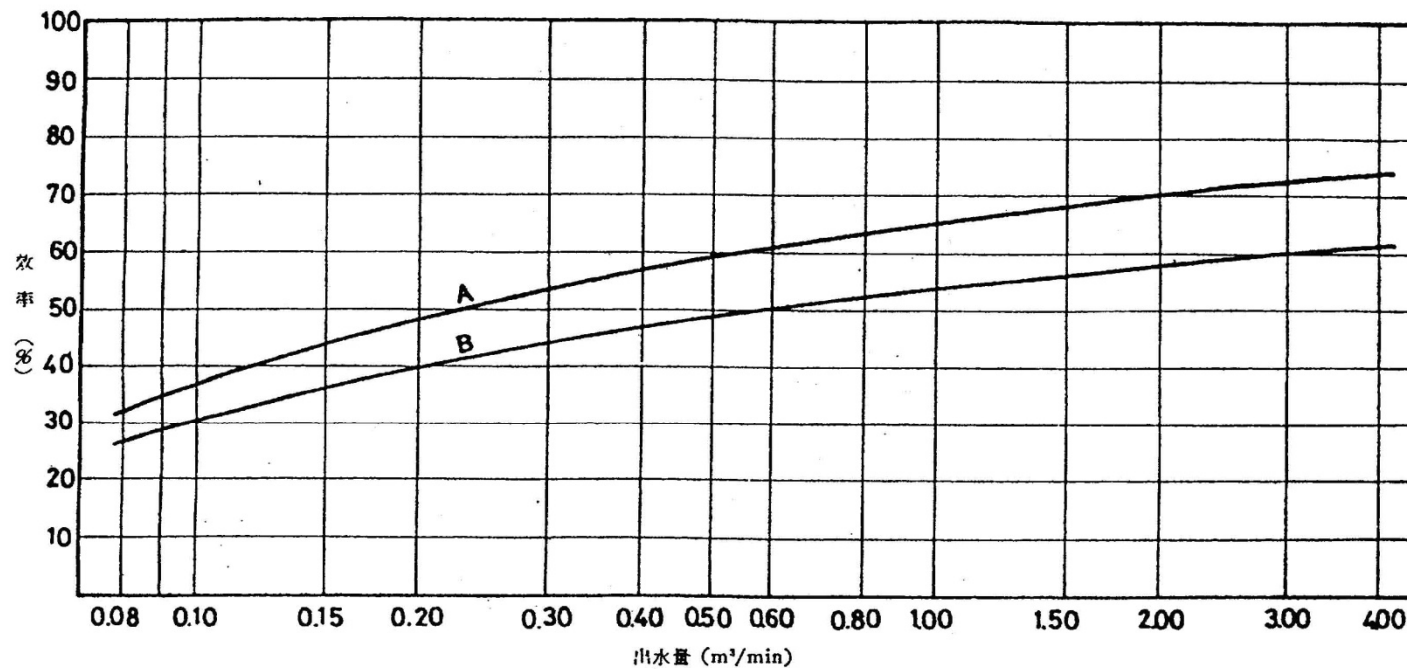


Figure 6 Maximum practically attainable efficiencies of single-stage, single-suction volute casing pumps dependent on specific speeds and rates of flow. (The curves are limited to the range of n_s which is covered by the database received from the questionnaires.)



1.4 CNS 2138/B4004 小型渦卷泵

圖 5 泵效率



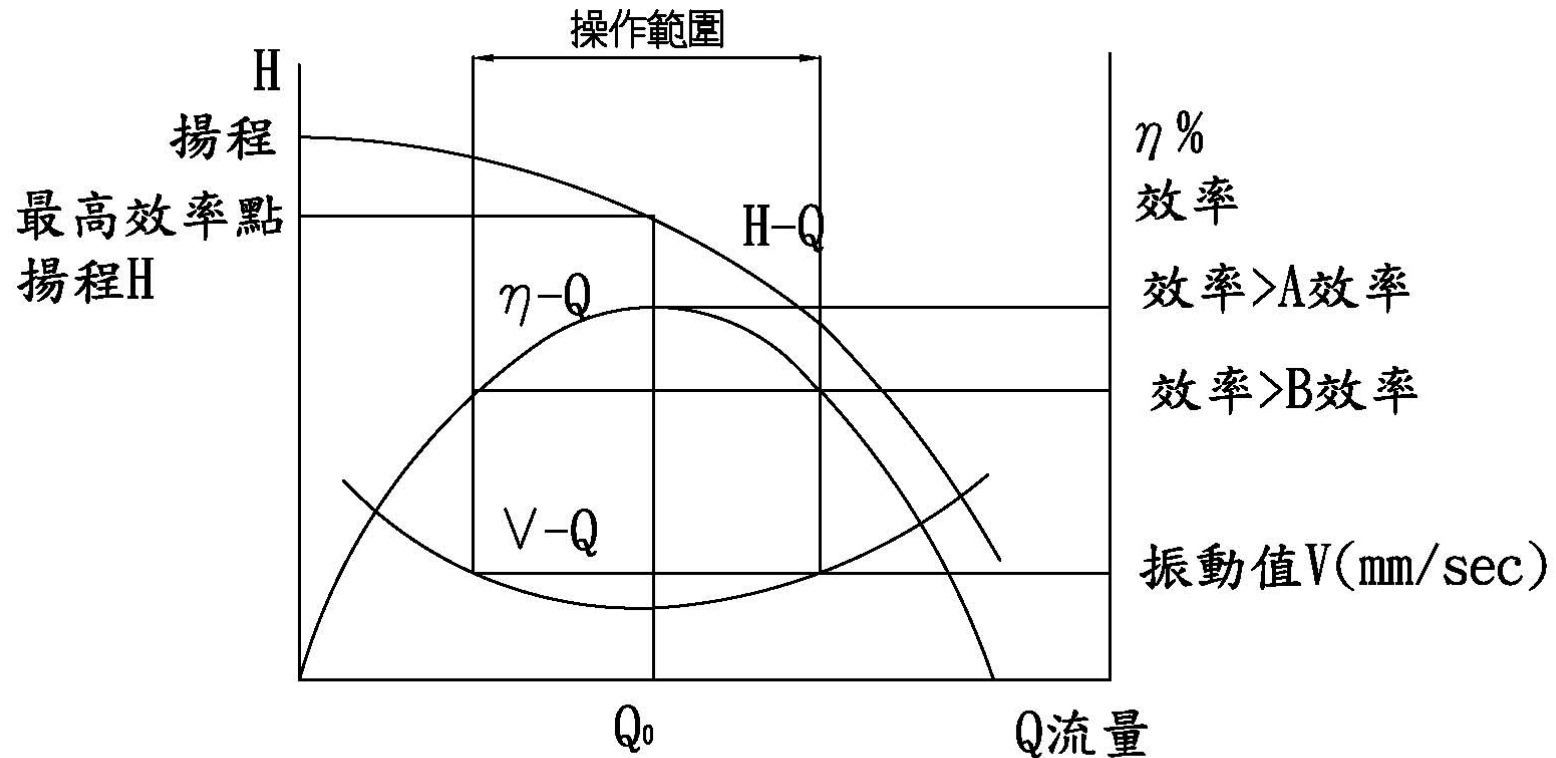
出水量 m ³ /min	0.08	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
A 效率%	32.0	37.0	44.0	48.0	53.5	57.0	59.0	60.5	63.5	65.5	68.5	70.5	73.0	74.0
B 效率%	26.3	30.3	36.2	39.4	43.9	46.7	48.4	49.6	52.1	53.7	56.2	57.8	60.0	60.7



1.4.1 離心泵的A/B效率

A效率代表泵浦的額定點效率必須高於A效率

B效率代表泵浦的操作範圍效率必須高於B效率





1.5 泵浦效率-比速率-流量曲線計算公式

A method to define a minimum level for pumps efficiencies based on statistical evaluations

Technical University Darmstadt, 17, 09, 2007

The efficiency of the pump shall be tested as described in this Annex and in accordance with EN ISO 9906-1999 class 2.

The mathematical description of the efficiency levels is based on the following equation¹:

$$\eta_{BOT} = -11.48 x^2 - 0.85 y^2 - 0.38 xy + 88.59 x + 13.46 y - C$$

with

$x = \ln(n_s)$ with n_s in $[\text{min}^{-1}]$

$y = \ln(Q)$ with Q in $[\text{m}^3/\text{h}]$

$$Ns = \text{rpm} * (\text{m}^3/\text{sec})^{0.5} / (\text{m})^{0.75}$$

上式中的比速率之流量計算單位= m^3/sec
但在計算效率時的流量計算單位= m^3/hr

1.5.1 目前推動C40%的產品效率-只有40%達不到要求

a) First staged minimum energy efficiency requirement

One year after the proposed implementing measure comes into force, the C = 10% value will apply for the measurement of energy efficiency of a pump. Values of C for each type of pump are shown in table 1.

單級端吸(ES)/立式多級(MS)/沉水深井(MSS)

Table 1: Values for pump energy efficiency levels

	Quantity cut-off									
	5%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
C (ESOB 1450)	134.38	132.58	131.70	130.68	129.35	128.07	126.97	126.10	124.85	122.94
C (ESOB 2900)	137.28	135.60	134.54	133.43	131.61	130.27	129.18	128.12	127.06	125.34
C (ESCC 1450)	134.39	132.74	132.07	131.20	129.77	128.46	127.38	126.57	125.46	124.07
C (ESCC 2900)	137.32	135.93	134.86	133.82	132.23	130.77	129.86	128.80	127.75	126.54
C (ESCCI 1450)	138.13	136.67	135.40	134.60	133.44	132.30	131.00	130.32	128.98	127.30
C (ESCCI 2900)	141.71	139.45	137.73	136.53	134.91	133.69	132.65	131.34	129.83	128.14
C (MS 1450)	134.83	134.45	133.89	132.97	132.40	130.38	130.04	127.22	125.48	123.93
C (MS 2900)	139.52	138.19	136.95	135.41	134.89	133.95	133.43	131.87	130.37	127.75
C (MSS 2900)	137.08	134.31	132.89	132.43	130.94	128.79	127.27	125.22	123.84	122.05



1.5.2 最終目標C80%—提升效率至現有最佳效率的前20%

b) Second staged minimum energy efficiency requirement

Four years after the proposed implementing measure comes into force, the C=40% cut-off values indicated in Table 1 will apply for the measurement of energy efficiency of a pump.

c) Product information requirement

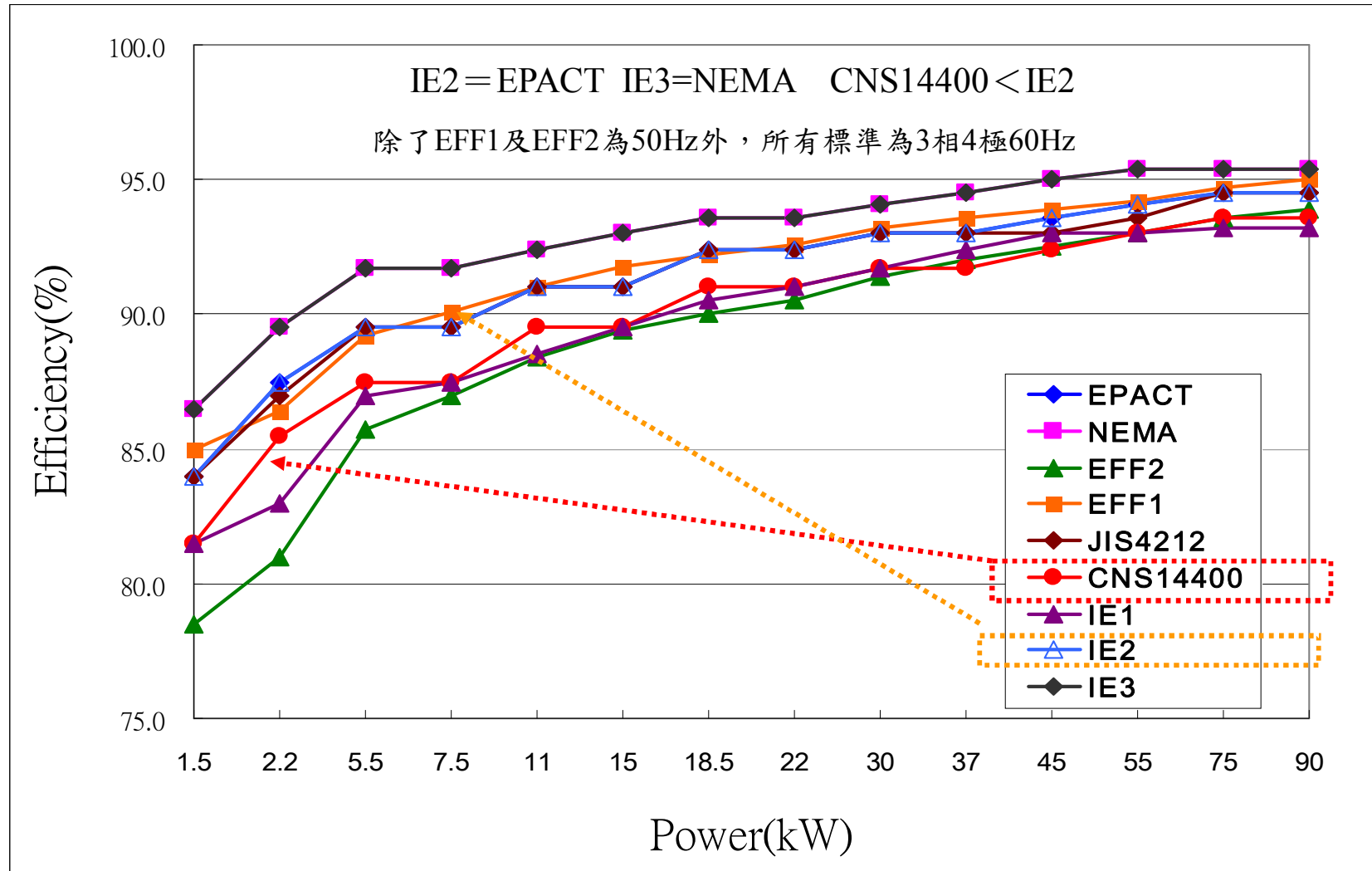
One year after the proposed implementing measure comes into force, labelling of the top 20% efficiency pumps must be proposed as a basis for a one-level 'best in class' efficiency label based on the corresponding C values.

d) Benchmark for best products

The benchmark for best product in terms of energy efficiency is the C=80% values.

2. 馬達效率標準 Lot11_Motors_FinalReport 2008

2.1 標準馬達效率比較

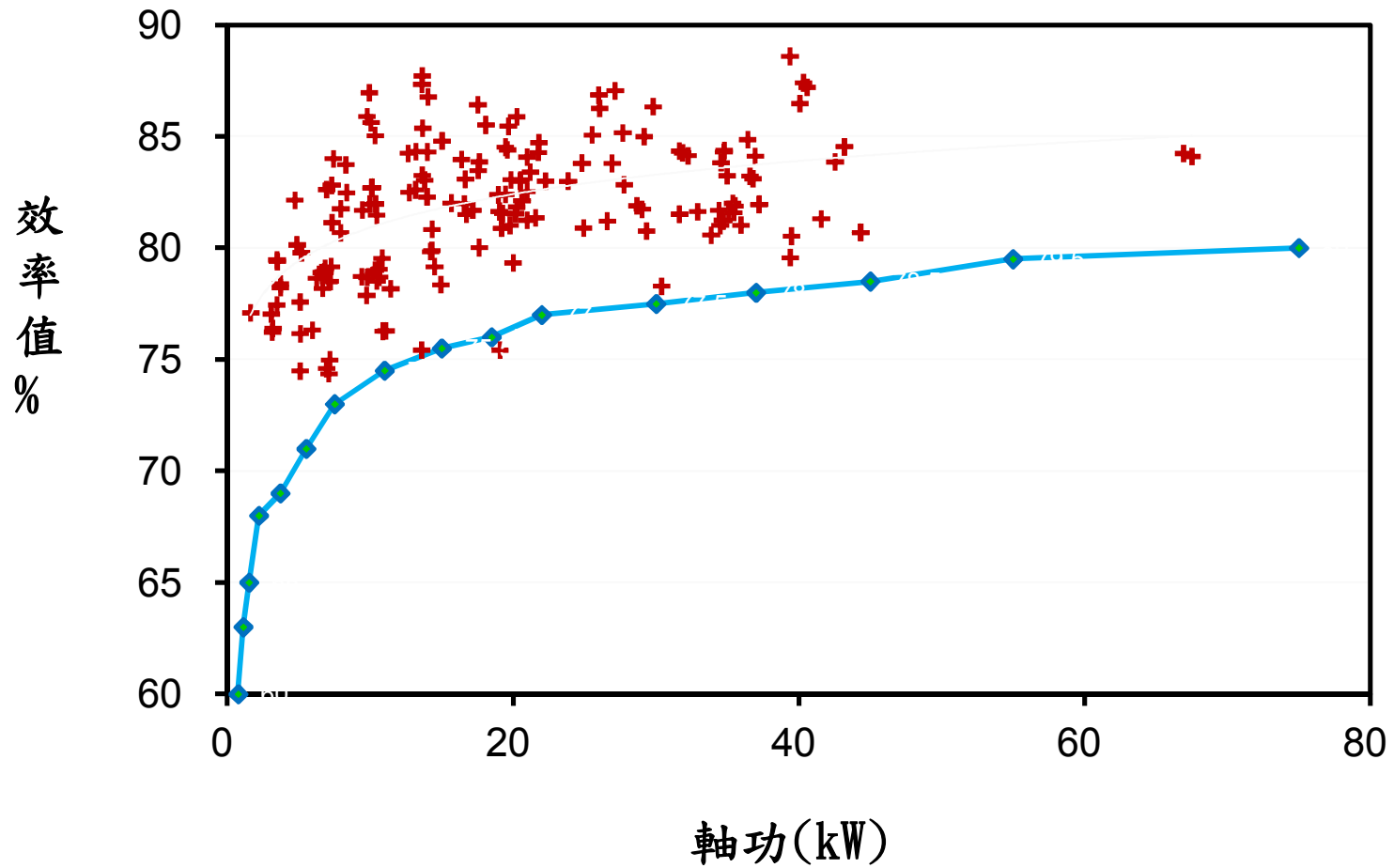




2.2 沉水深井馬達效率比較

+ 八區效率-水線馬達

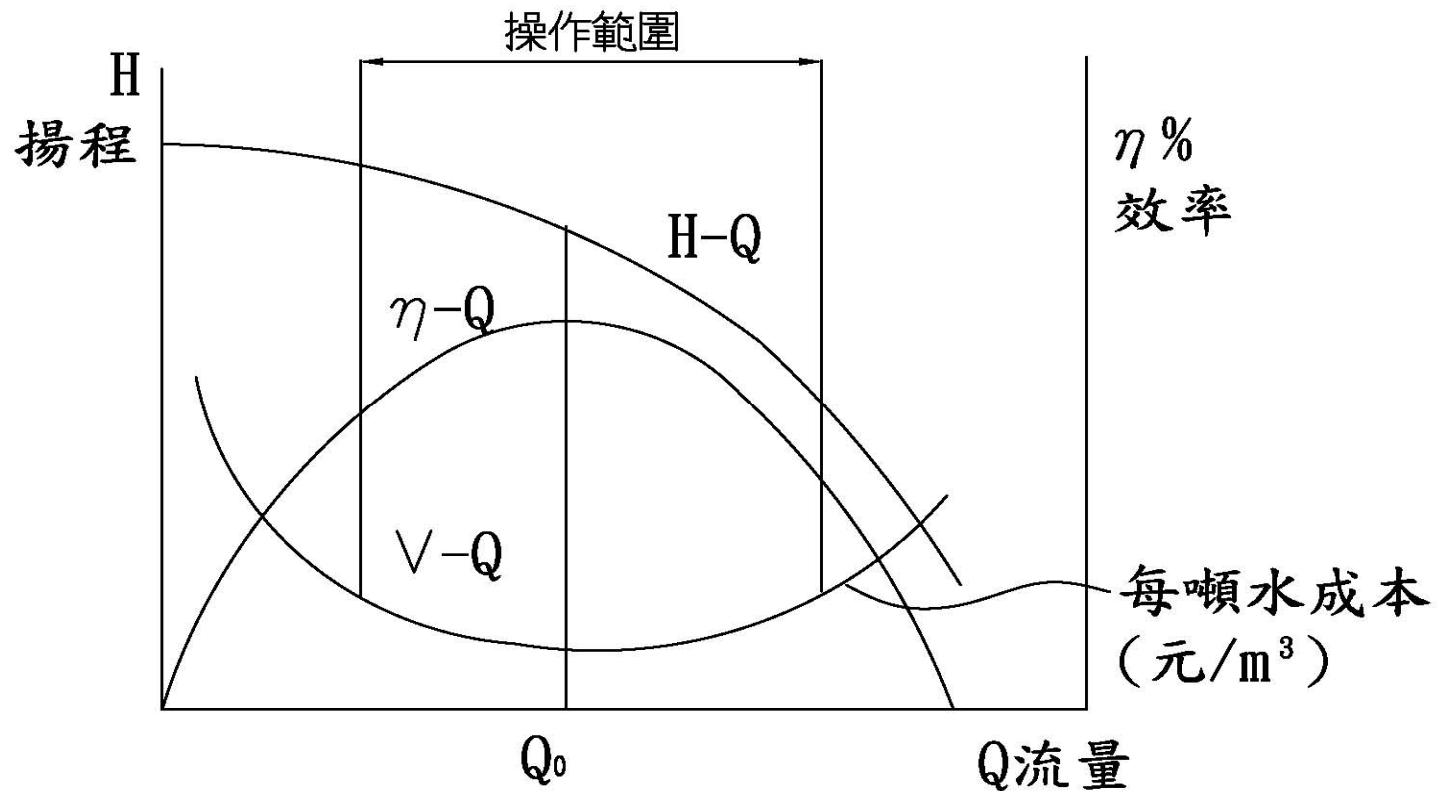
◆ CNS11330效率





3. 泵浦性能曲線、流功、耗電功與耗能比

3.1 離心泵的性能與單位成本

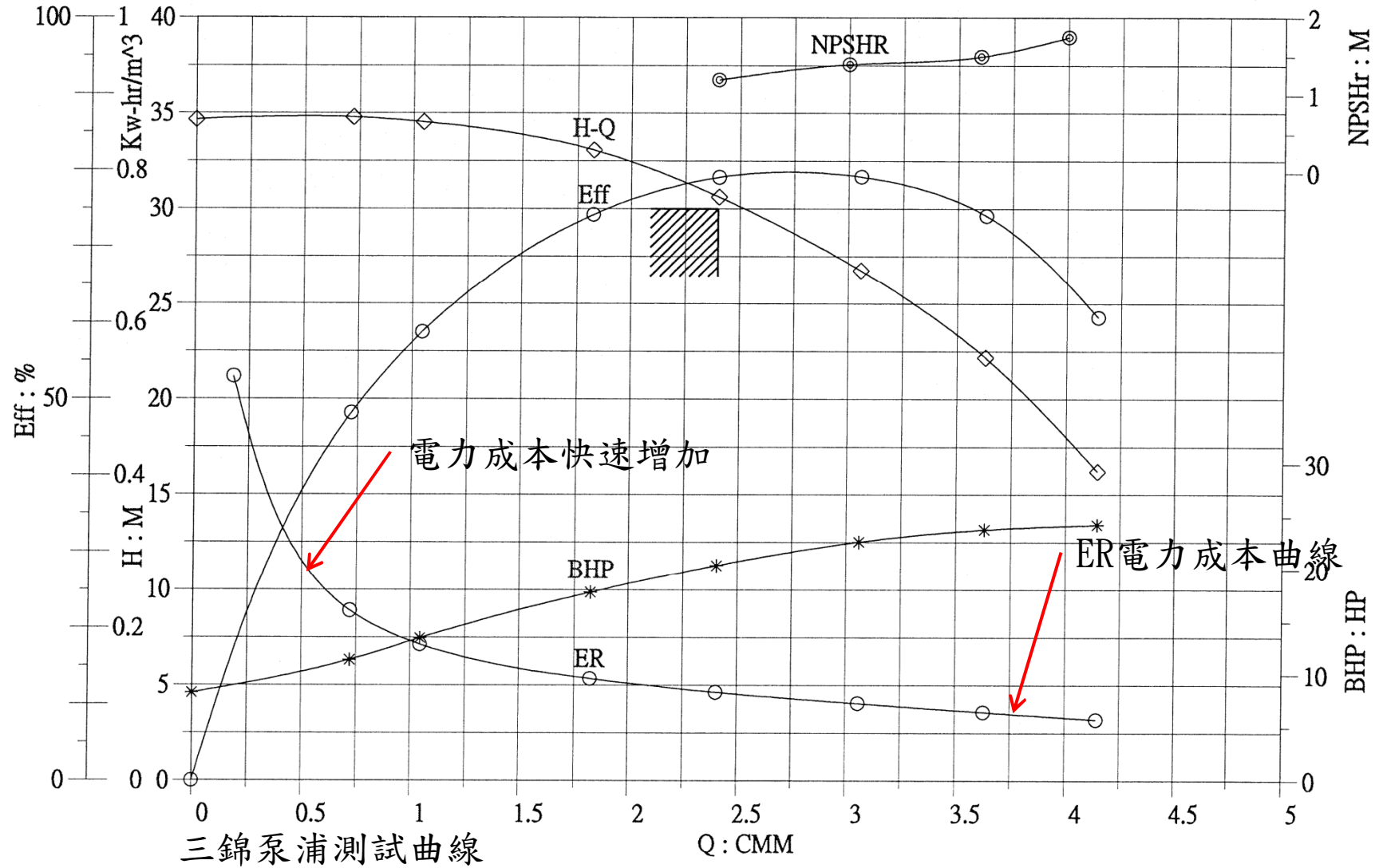




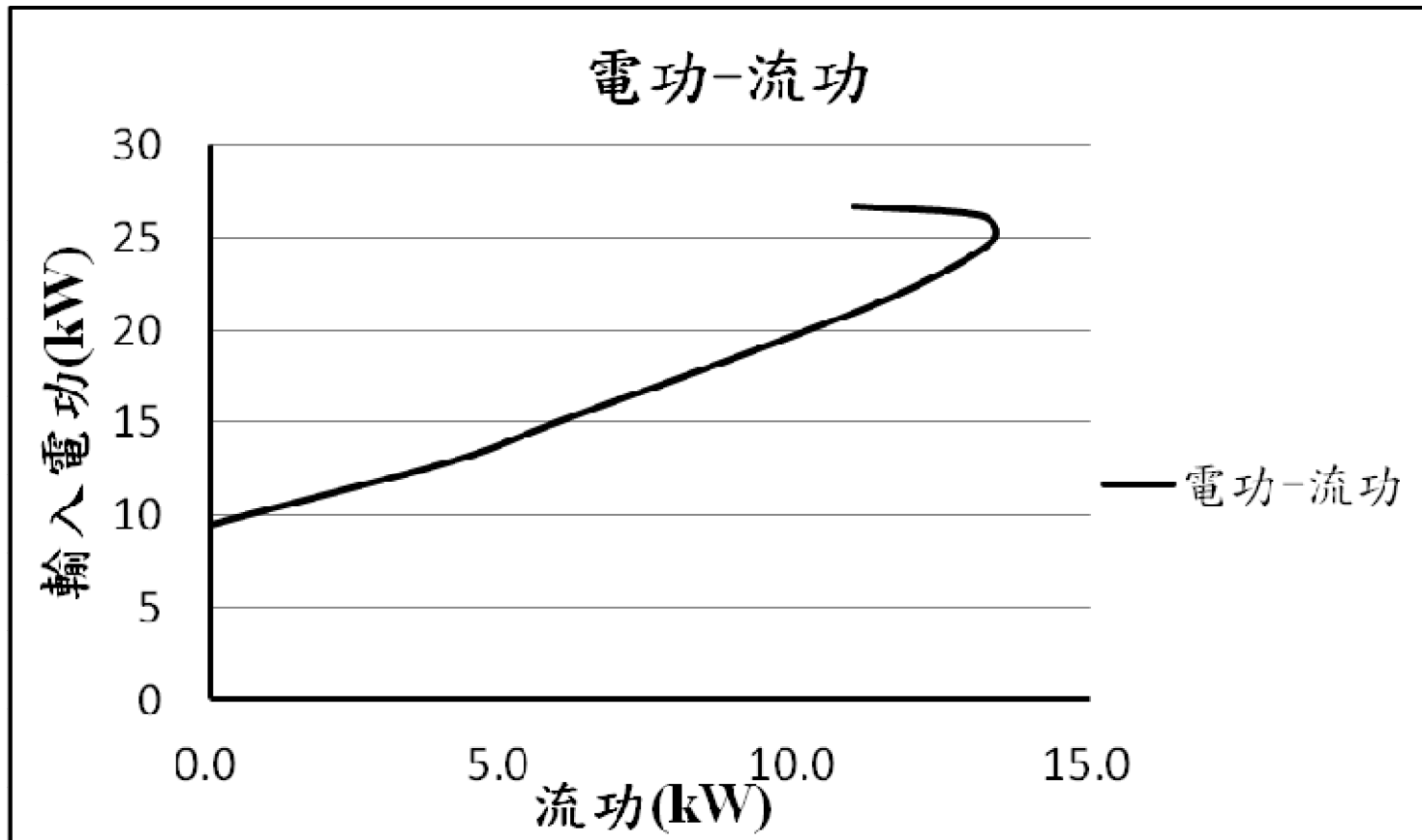
3.2 泵浦性能曲線與每噸水成本(範例-三錦泵浦)

項次	轉速 rpm	流量 cmm	揚程 m	流功 kW	效率 %	輸入 電功 kW	軸馬力 hp	耗能比	單位 體積 耗電 kWh/m ³
1	1750	0	34.66	0.0	0.00%	9.5	8.297		
2	1750	0.721	34.785	4.1	48.19%	12.9	11.415	3.1	0.30
3	1750	1.047	34.527	5.9	58.78%	15	13.486	2.5	0.24
4	1750	1.825	33.064	9.9	74.21%	19.6	17.834	2.0	0.18
5	1750	2.405	30.61	12.0	79.11%	22.4	20.403	1.9	0.16
6	1750	3.057	26.749	13.4	79.16%	24.9	22.656	1.9	0.14
7	1750	3.629	22.172	13.1	74.07%	26.2	23.821	2.0	0.12
8	1750	4.145	16.206	11.0	60.68%	26.7	24.277	2.4	0.11

最高效率點比速率 $n_s=260$

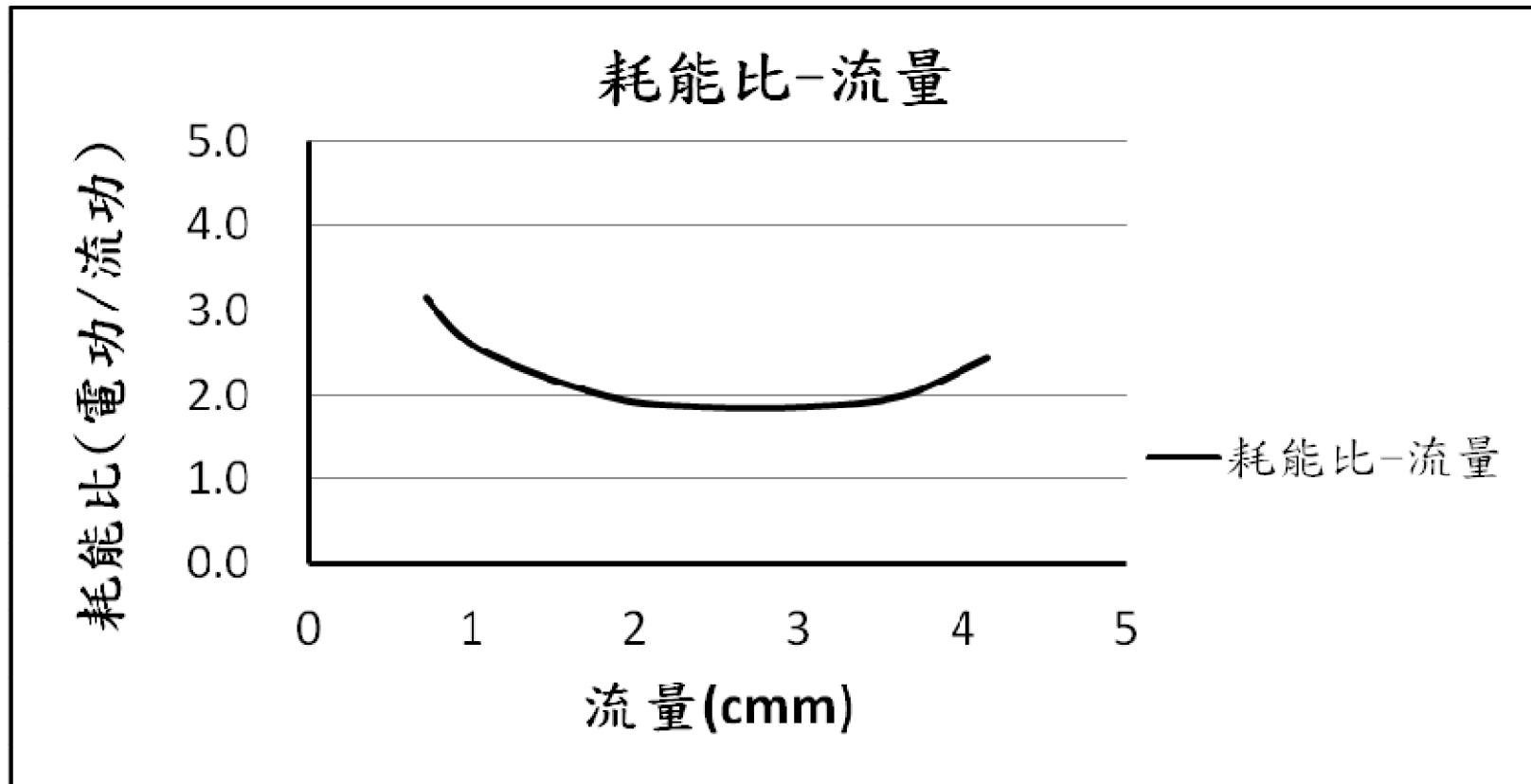


3.2.1 泵浦電功-流功曲線(範例-三錦泵浦)



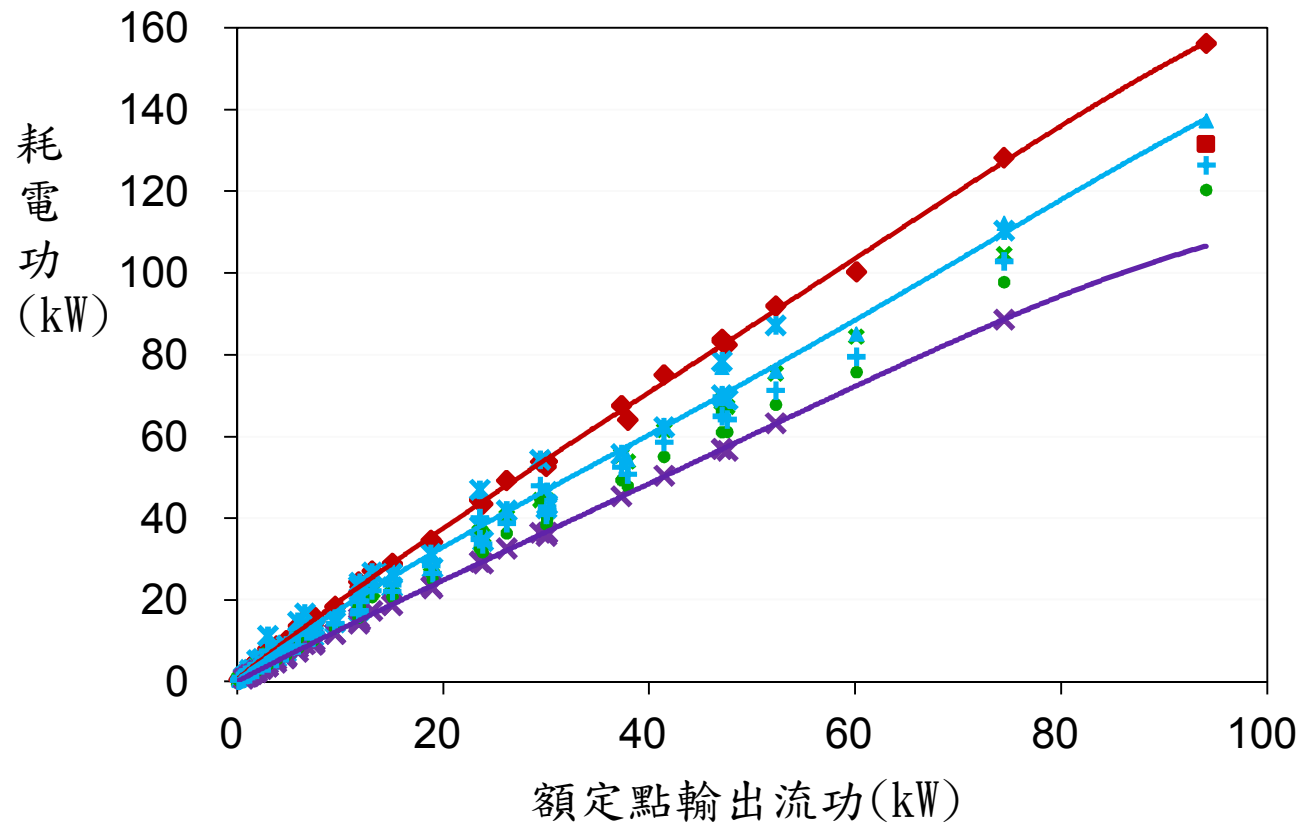


3.2.2 泵浦耗能比-流量曲線(範例-三錦泵浦)



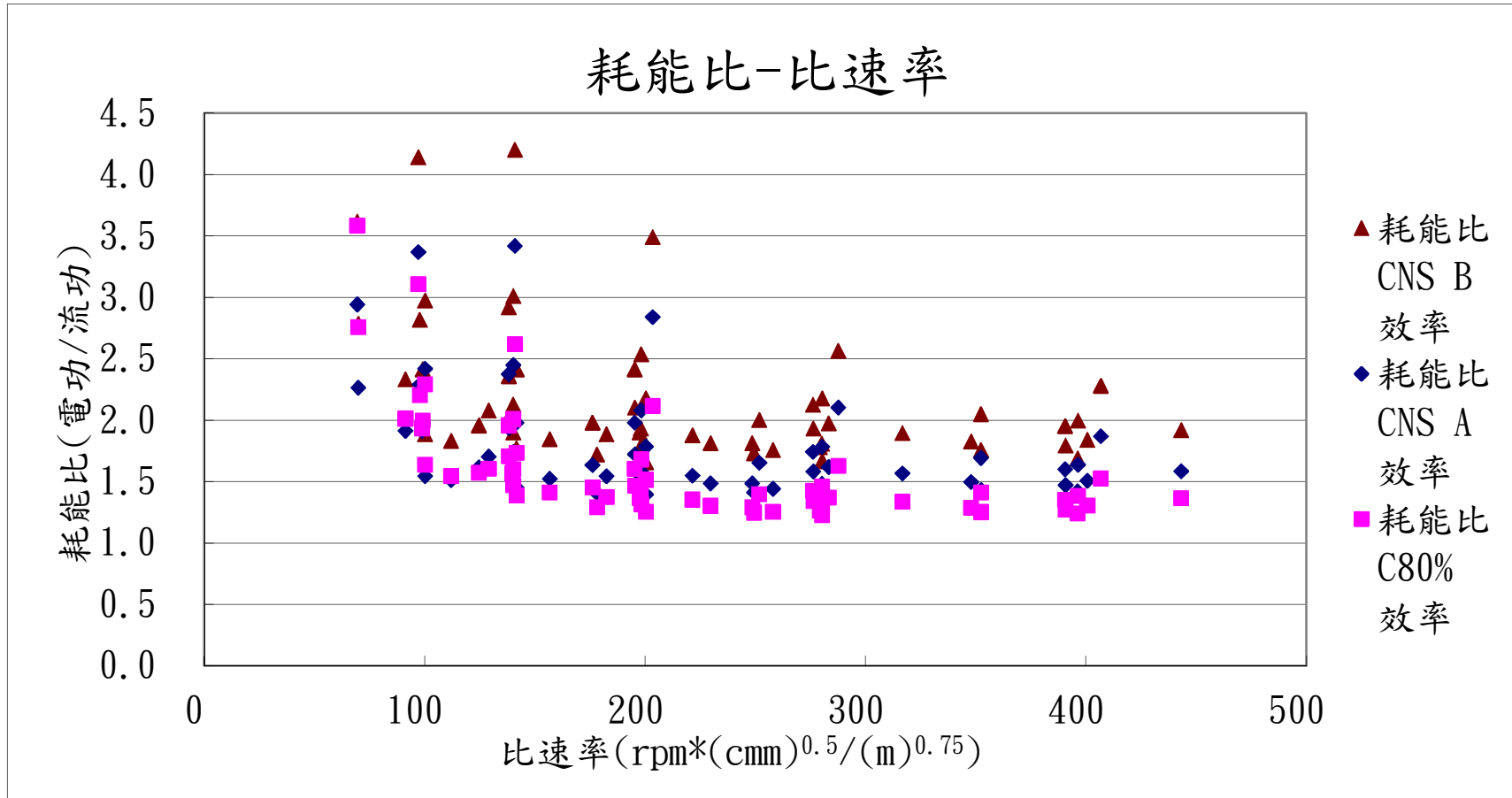
3.3 陸上泵各標準之流功-電功比較

- ◆ CNS B效率
- ✕ CNS A效率
- ▲ 歐盟C10%
- ✕ 歐盟B效率
- ✕ 歐盟A效率
- 中國 A效率
- + 中國B效率
- 多項式(CNS B效率)
- 多項式(歐盟C10%)
- 多項式(歐盟A效率)



3.3.1 泵浦耗能比-比速率曲線(ISO 2858)

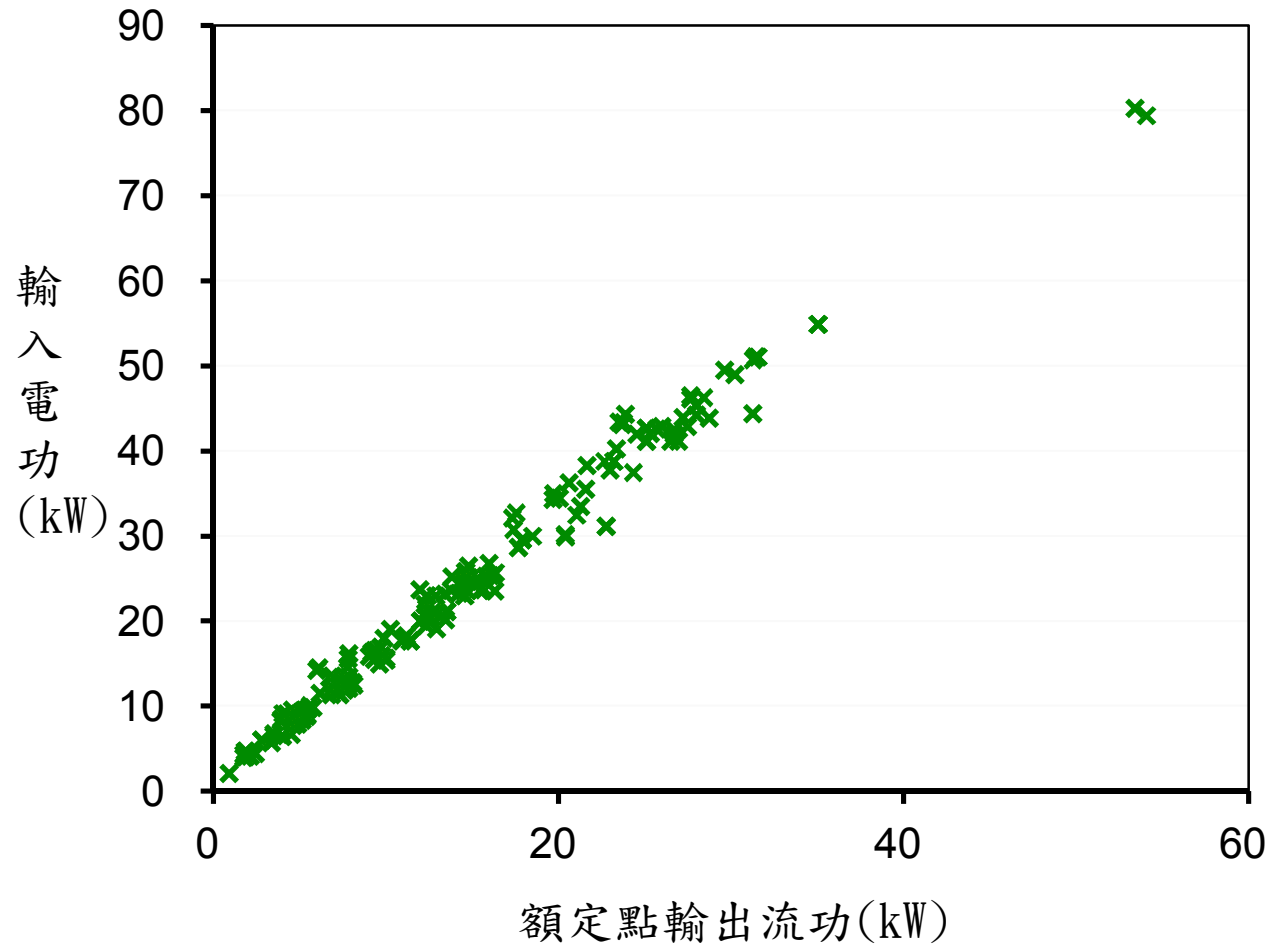
統計資料：以額定點之流功+CNS泵效率/歐盟泵效率+感應馬達CNS14400效率





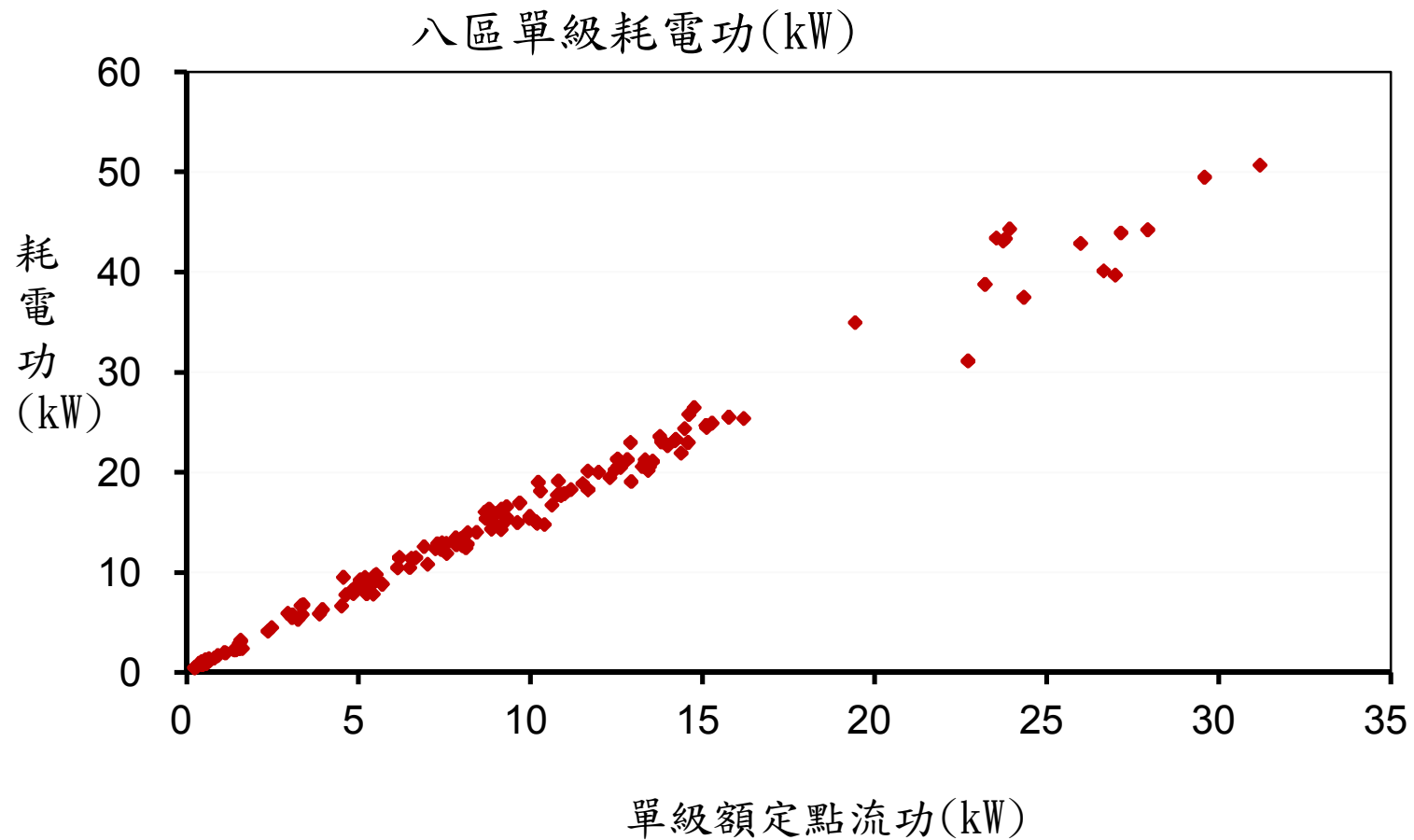
3.4 八區額定點流功-總輸入電功統計

總耗電功-流功(kW)- 八區202台深井泵統計值



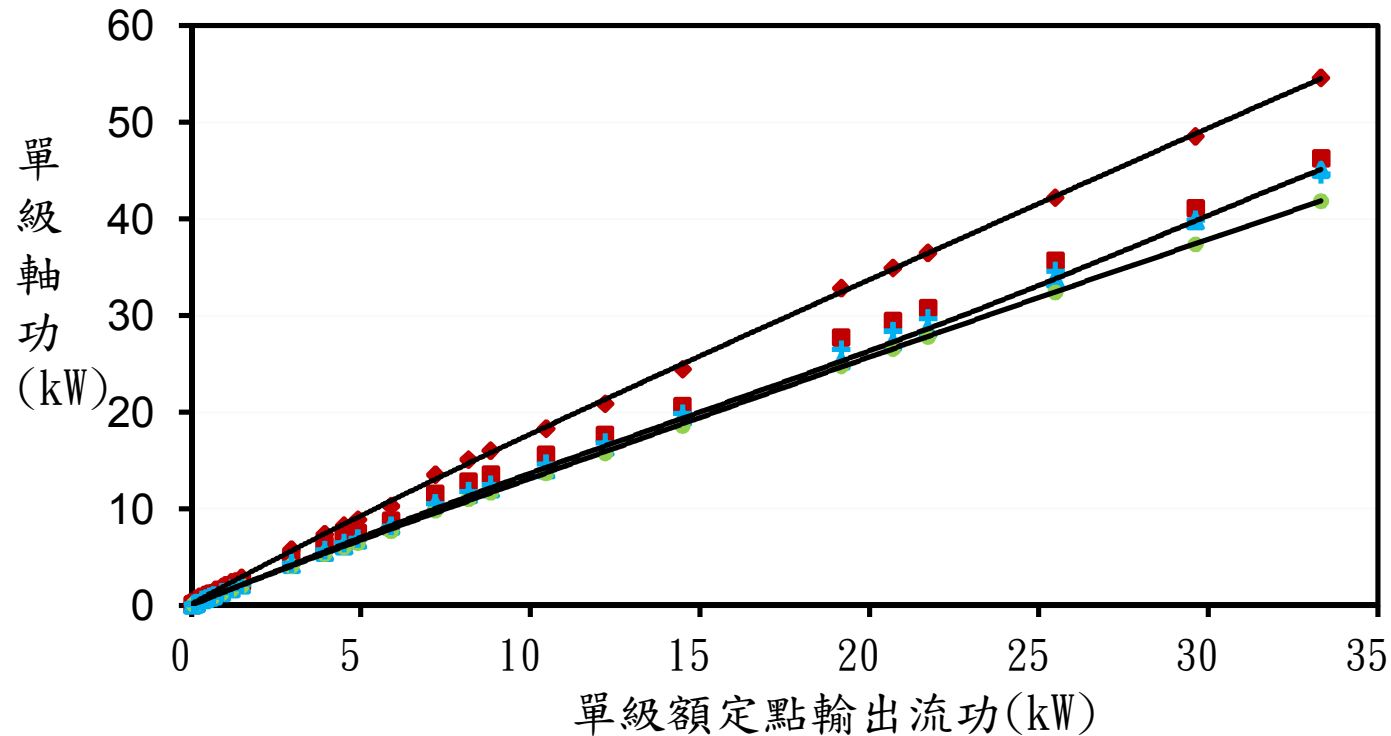
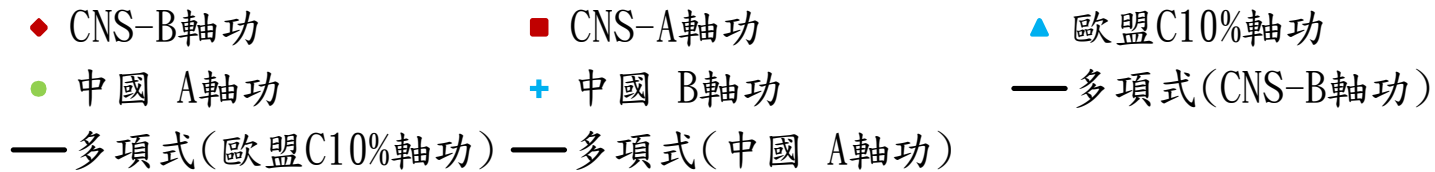
3.4.1 八區單級額定點流功-輸入電功統計

八區原始數據並沒有提供深井泵級數，其中級數係經驗判斷，藉以計算單級的流功與耗電功



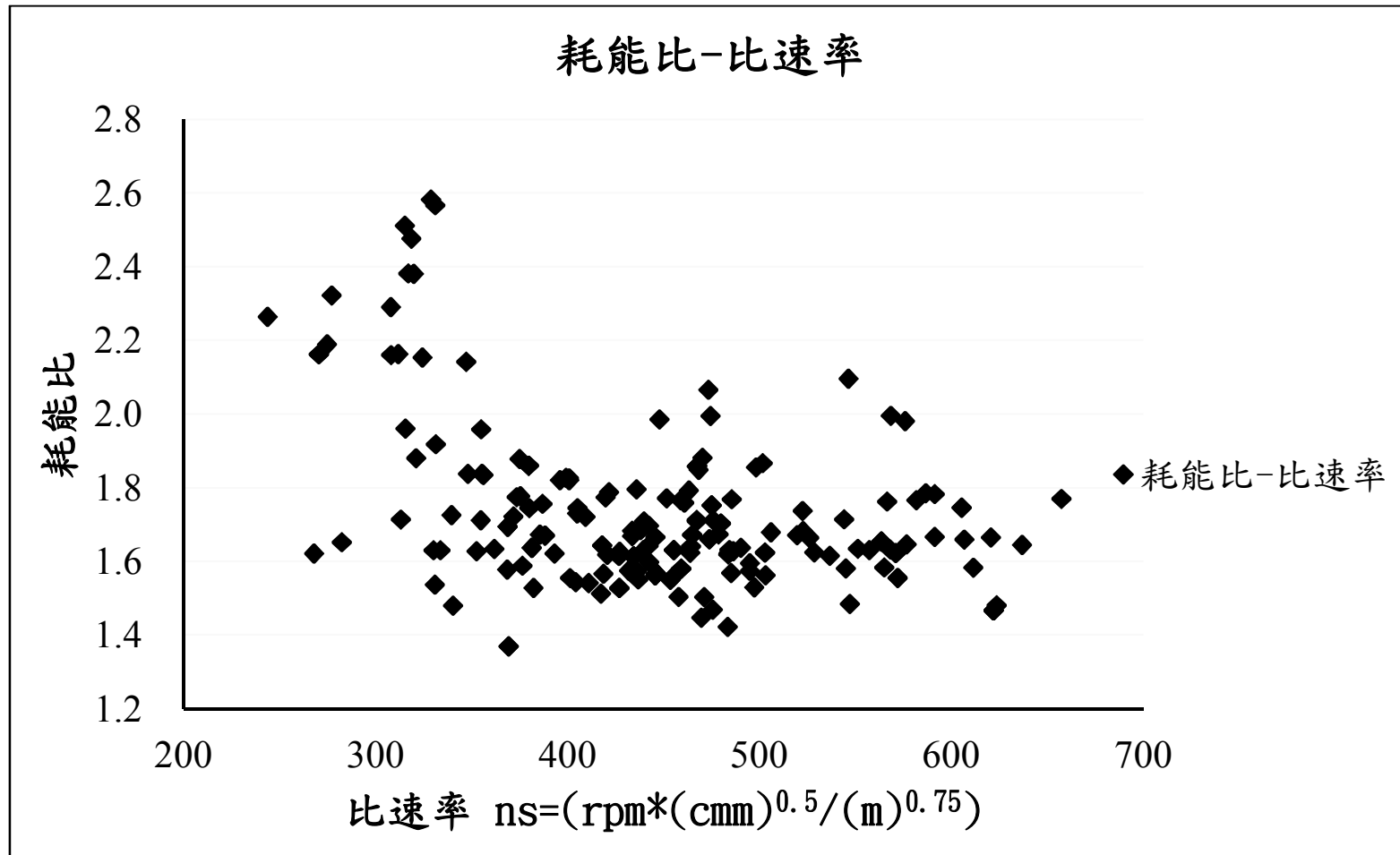
3.4.2 深井泵單級軸功比較

1. 單級流功係由單級揚程與流量計算
2. 深井泵是多級使用無法使用單一功率計算消耗電功



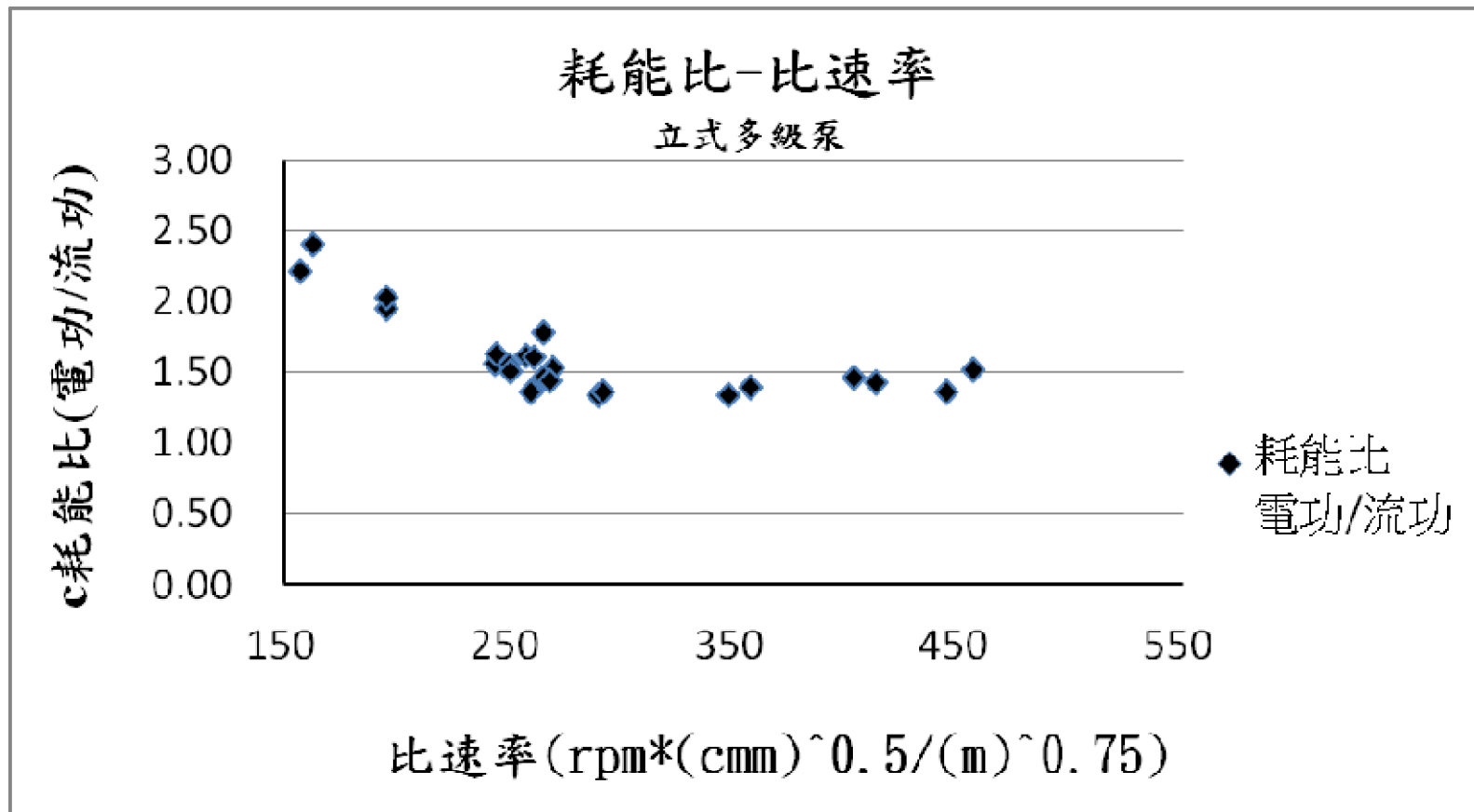


3.4.3 八區深井泵耗能比(僅供參考)



比速率的計算基礎為單級揚程

3.5 泵浦耗能比-比速率曲線(範例-Grundfos泵浦)





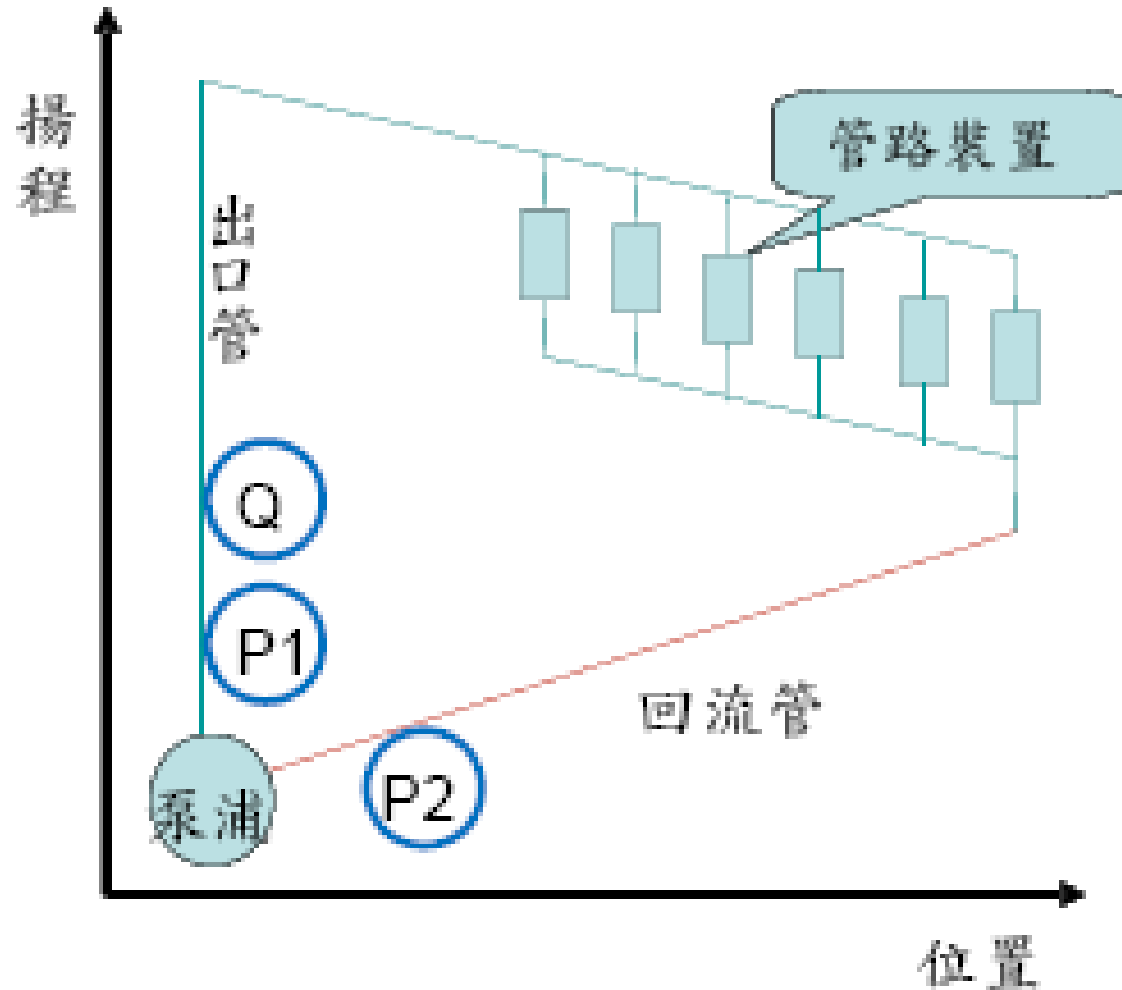
3.6 流功-電功曲線的建立

1. 陸上泵產品，使用者可以要求供應商增加流功-電功曲線，以方便比較不同產品間的性能差異，。
2. 流功-電功曲線可以讓使用者直接在現場量取並紀錄，經由統計數據分析泵浦耗能比就可以監控能源效率。
3. 馬達效率以CNS 14400(=IE1)計算消耗電功，未來隨著法規的實施將以IE3高效率馬達計算，將可以獲得更低的耗能比。
4. 泵浦測試報告把輸入電功一起紀錄在測試報告，將可以獲得耗能比、每噸水成本，元/m³或kWh/m³，更有助於現場監控參數的參考



4. 管路阻抗曲線與流功

認識管路系統阻抗曲線與泵浦操作點





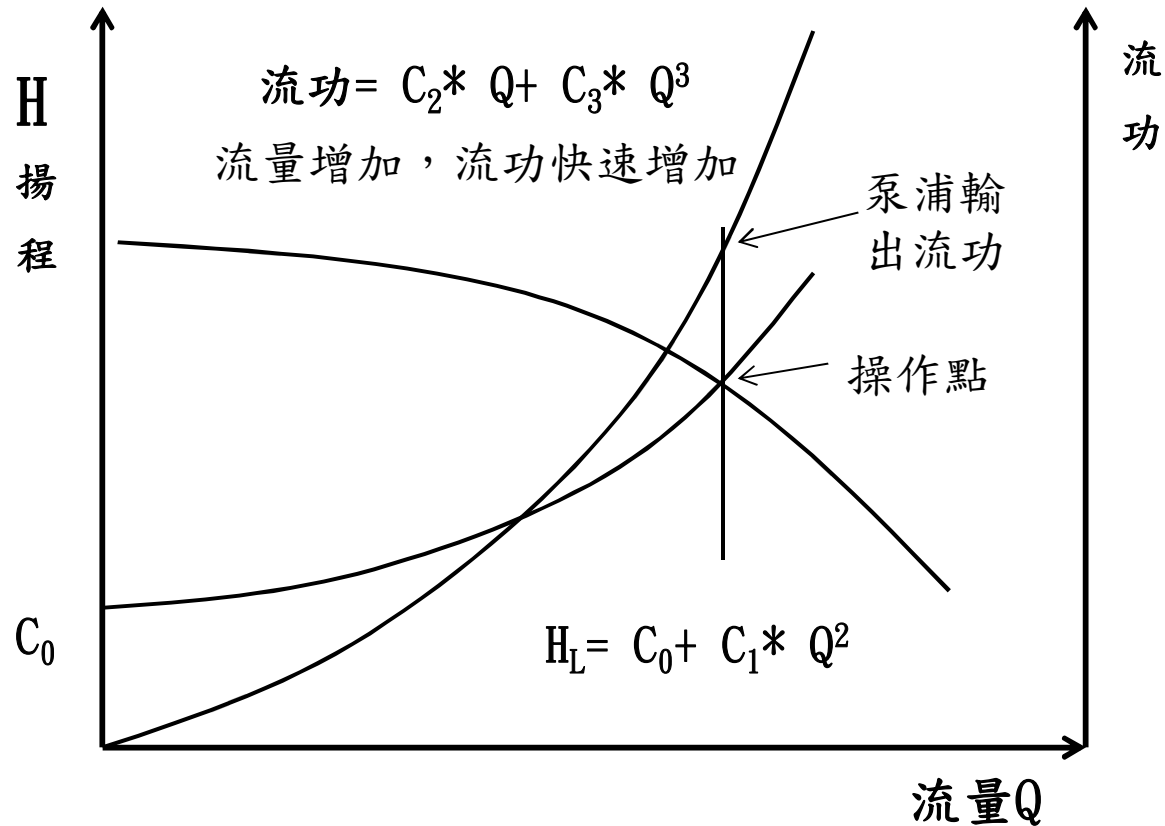
4.1 管路系統阻抗曲線測試與計算步驟

1. 量取出入口壓力、流量
2. 計算流量轉換成流速(m/sec)
3. 轉換壓力單位(Nt/m²)
錶壓力：P(kg/cm²)
4. 計算揚程損失 H_L =泵浦輸出揚程 H_t
5. 設定系統淨高 C_0 ，須考慮U形管效應
6. 帶入 H_L (m)、 C_0 與 Q (m³/min)，計算 C_1 值
7. 建立系統阻抗曲線，輸入 Q (m³/min)計算 H_L (m)
8. 依據 Q (m³/min)與 H_L (m)重新選擇泵浦規格

$$H_L(m) = C_0 + C_1 * Q(m^3/min)^2$$

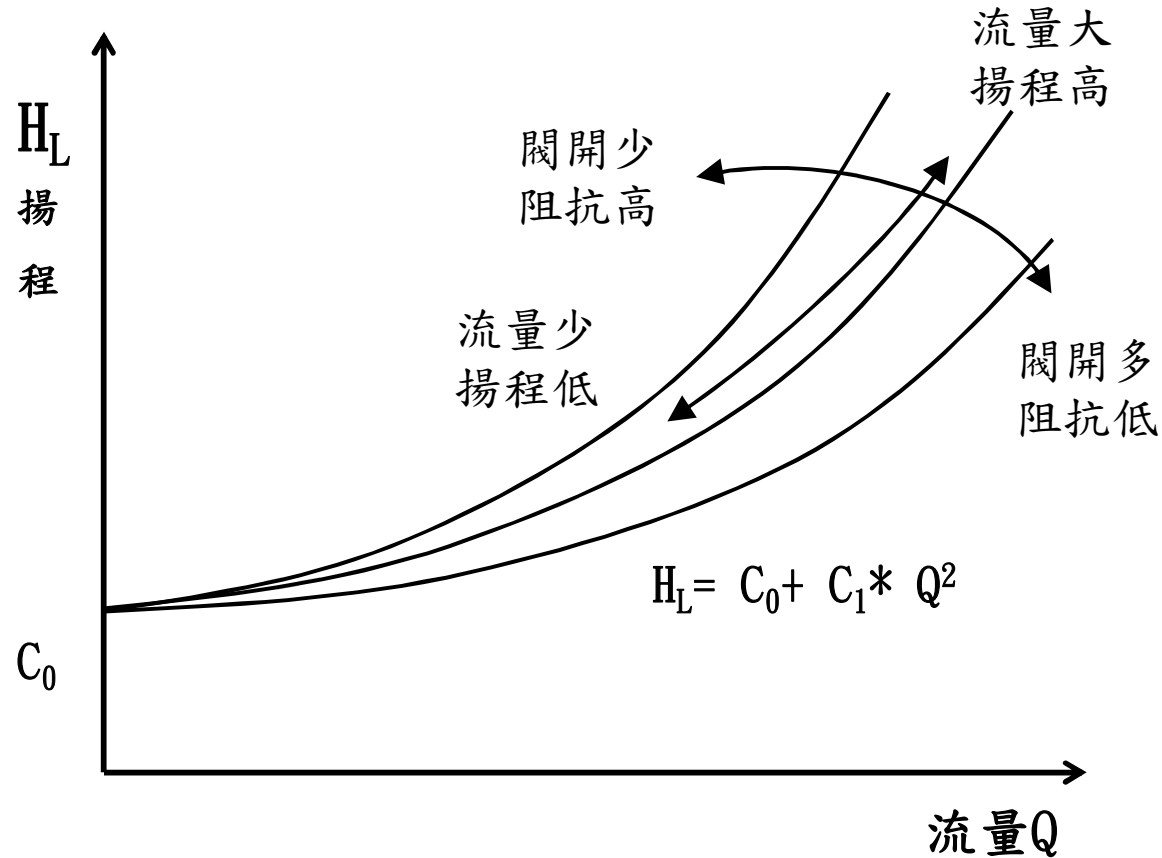


4.1.2 管路系統阻抗曲線與流功



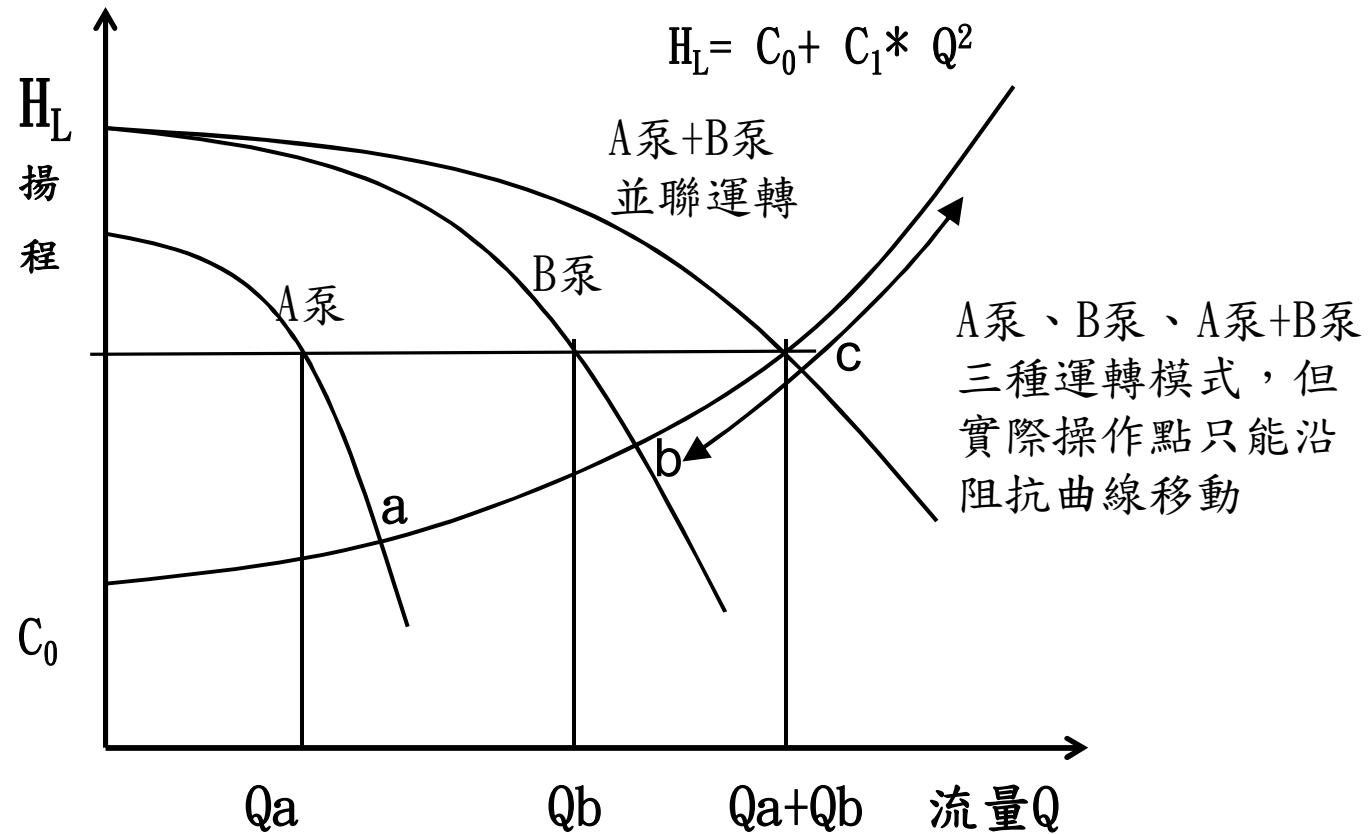
管路系統的流功曲線代表管路輸送所需要的能量，也就是泵浦需要輸出的流功，只要管路需求流量不變，就需要消耗固定的能量，所以，流功曲線會隨管路阻抗曲線降低而降低。

4.1.3 管路系統阻抗曲線變動



管路系統阻抗曲線會因管路中的閥門開關數量不同而變，但是若只有流量的大小變動時，則系統阻抗曲線不變，而輸送揚程會依照阻抗曲線而變，日常管理就是要把變動記錄下來，並注意變動範圍。

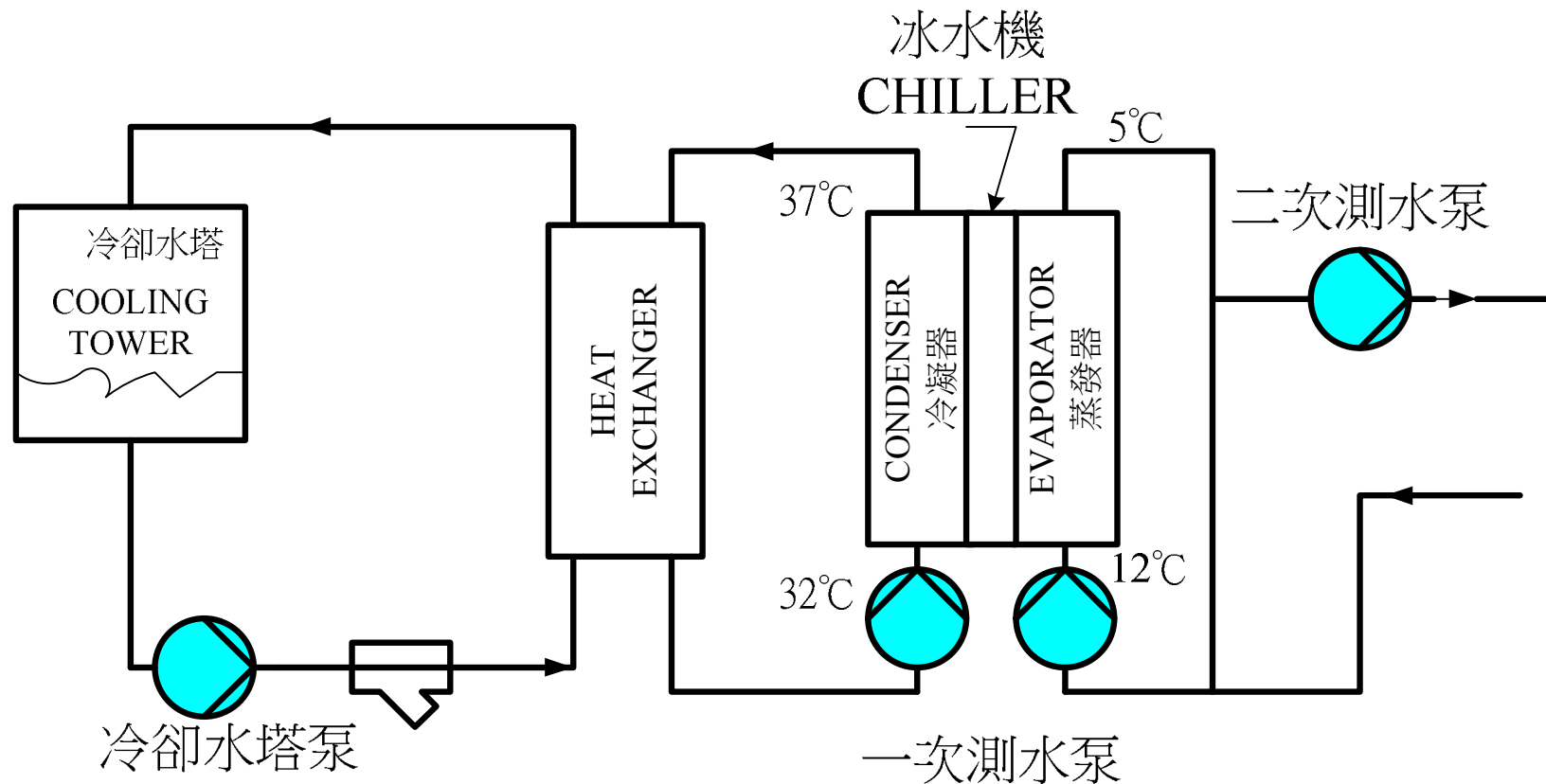
4.1.4 泵浦機組與管路系統阻抗曲線



A泵與B泵並聯運轉時，管路系統會在c點運轉，流量等於 Q_a 與 Q_b 的合，若只有A泵在運轉則操作點為a，若只有B泵在運轉則操作點為b，但須注意操作點a與操作點b是否會落入低效率、過載或空蝕區。

4.2 空調用水泵與管路系統

冰水機系統圖(開放式冷卻水塔)





4.2.1 管路阻抗曲線與流功

$$\text{管路損失揚程 } H_L(\text{m}) = C_0 + C_1 * Q(\text{m}^3/\text{min})^2$$

$$\begin{aligned} \text{流功(kW)} &= \rho(\text{kg}/\text{m}^3) * g(\text{m}/\text{sec}^2) * H_L(\text{m}) * Q(\text{m}^3/\text{min}) / 60 / 1000 \\ &= C_2 * Q(\text{m}^3/\text{min}) + C_3 * Q(\text{m}^3/\text{min})^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{熱負荷(kW)} &= 4.2 * \rho(\text{kg}/\text{m}^3) * Q(\text{m}^3/\text{min}) / 60 * 1000 * \\ &\Delta T(^{\circ}\text{C}) * C_p(\text{kcal}/(\text{kg} * ^{\circ}\text{C})) \end{aligned}$$

$$\text{管路EER} = \text{熱負荷(kW)} / \text{流功(kW)}$$

管路損失揚程 H_L 代表流體流經管路所需的揚程。

管路的流功曲線代表流體流經管路所需的能量。

熱負荷(kW)包含實際熱負荷與流功的合。

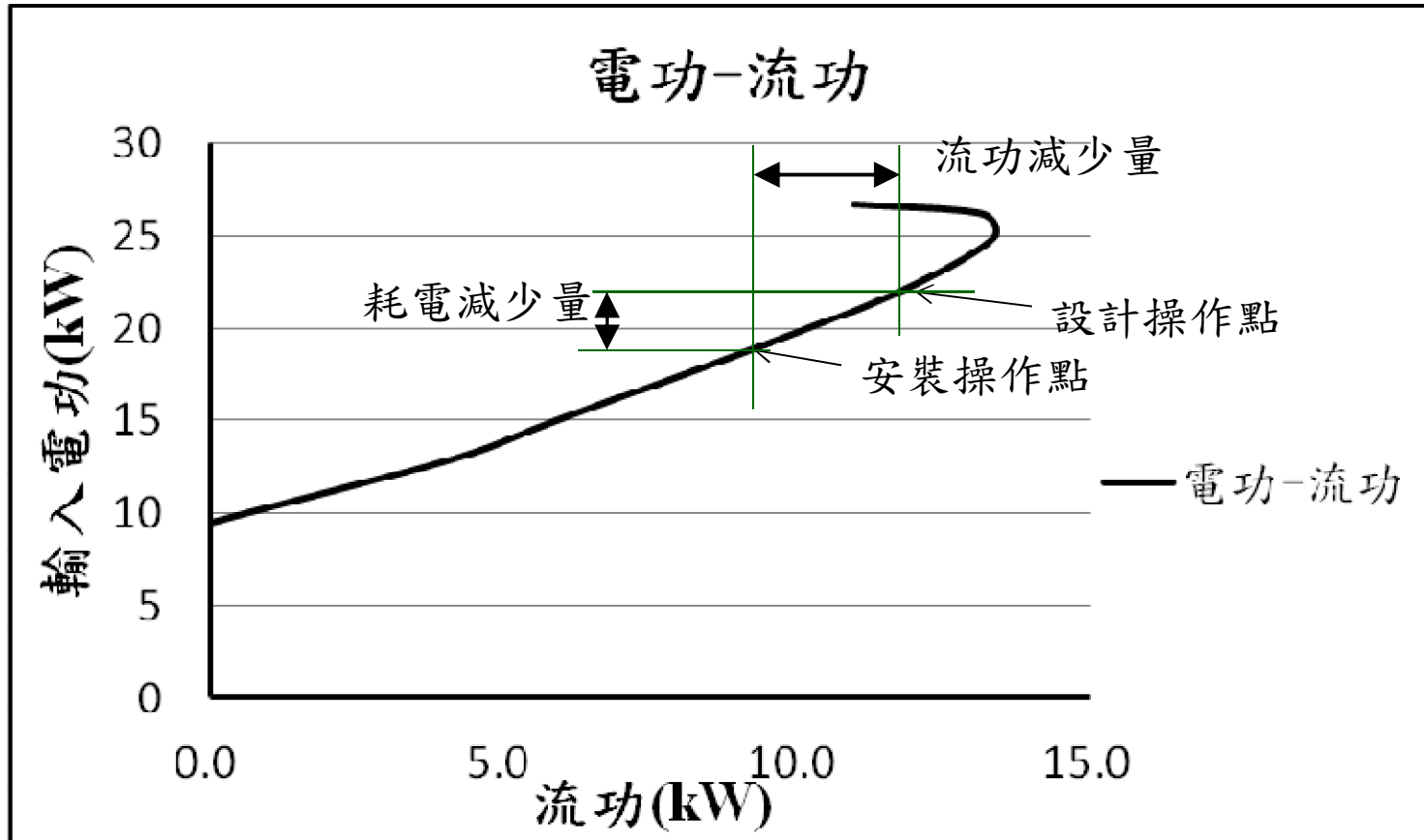
流功(kW)最後會因管路摩擦變成熱傳遞到循環水。

管路EER代表管路系統移動熱量的能力，EER愈高效率愈好。

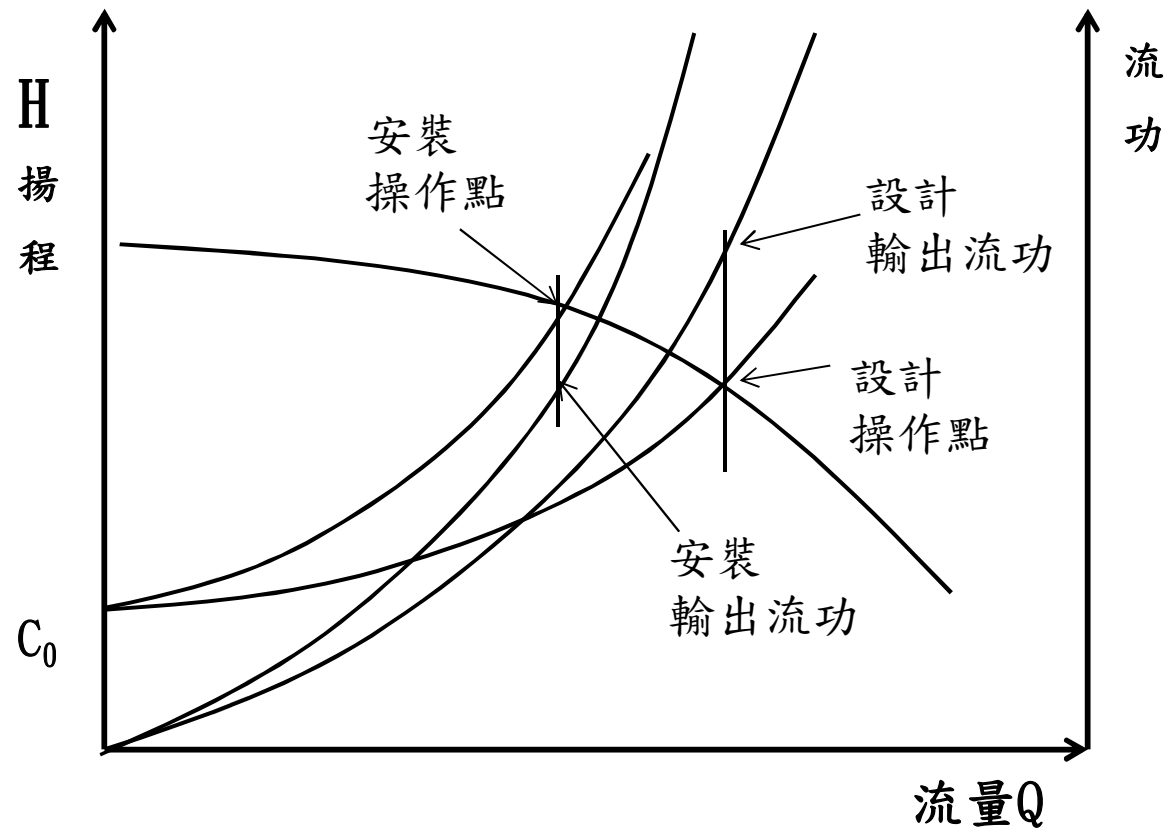


5. 如何用耗能比檢查泵浦運轉狀況

5.1 安裝運轉狀況量測比較-案例一

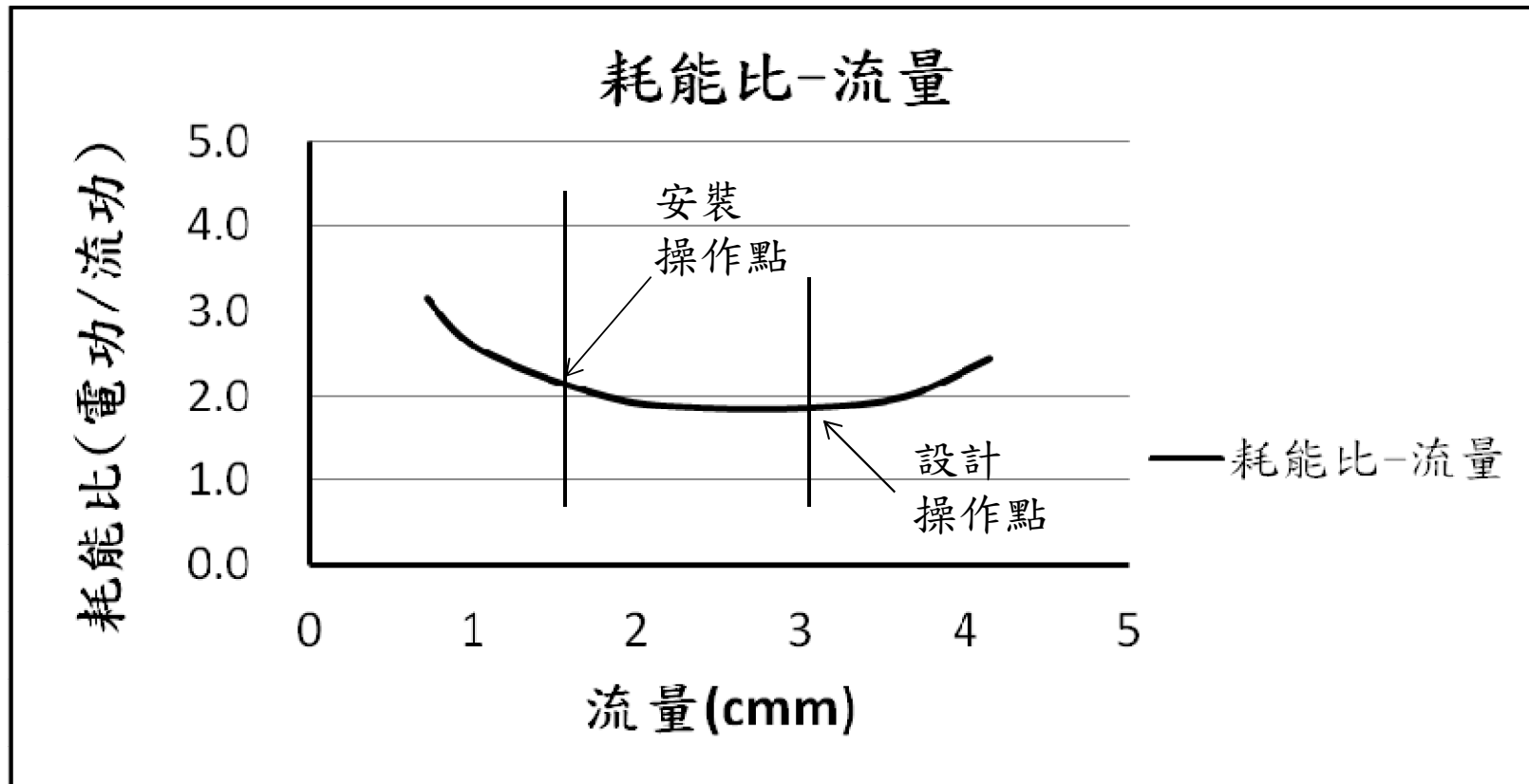


5.1.1 管路系統阻抗曲線估算誤差-過低-案例一



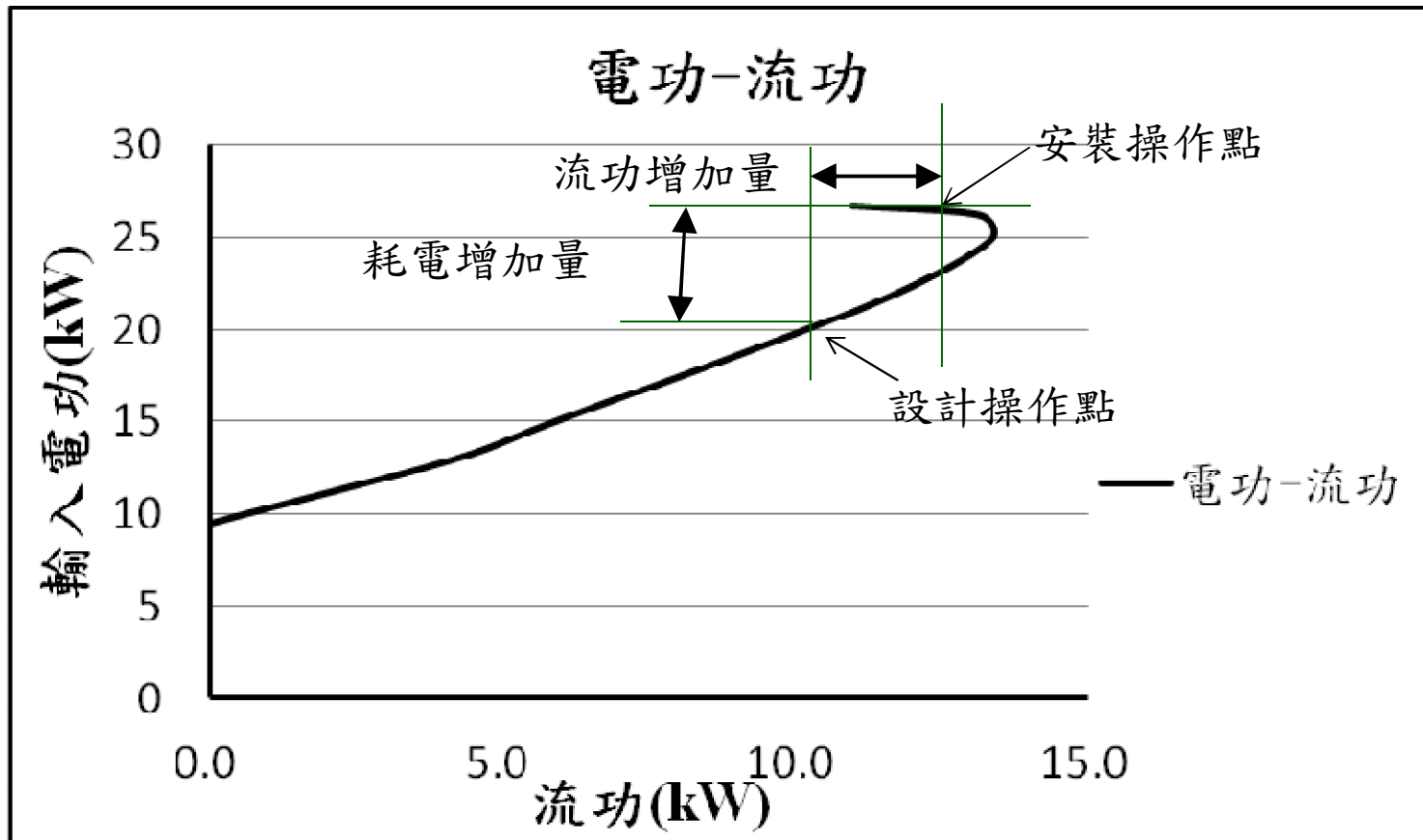
管路系統阻抗曲線估算太低，泵浦實際操作點偏向低流量位置。

5.1.2 耗能比增高-案例一

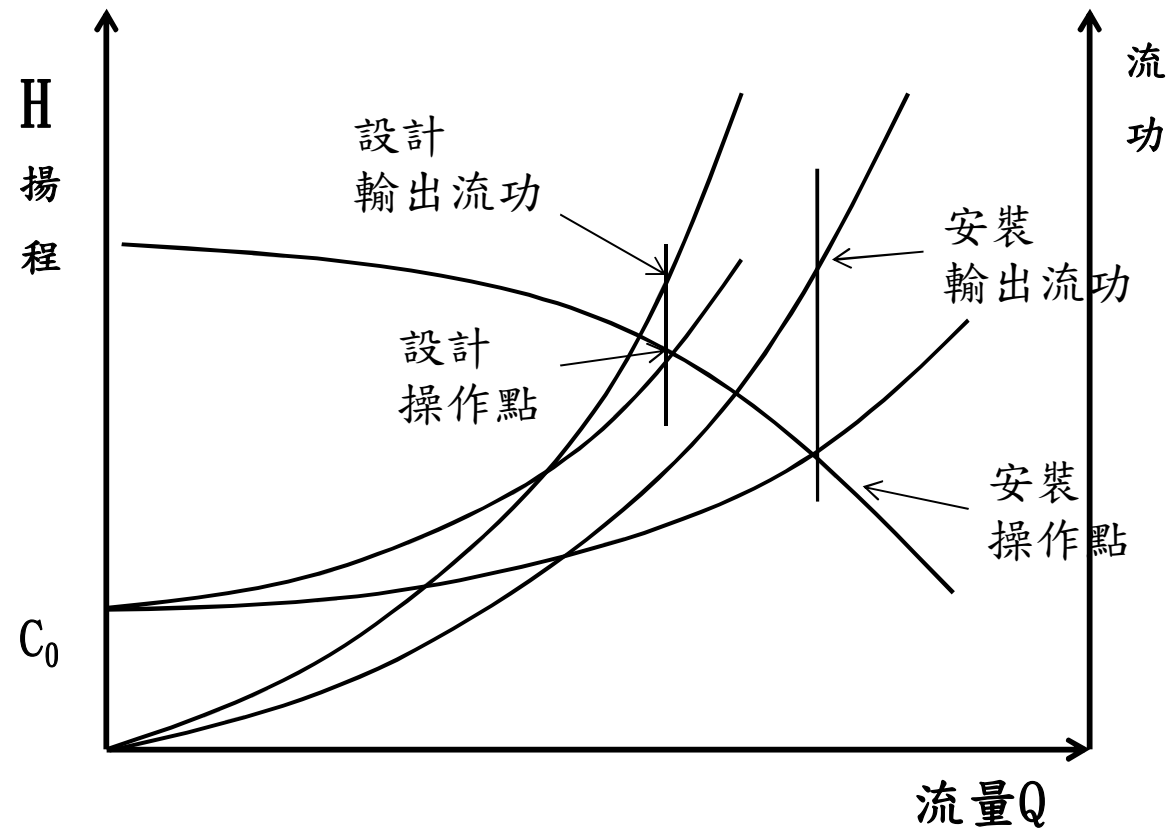


偏離設計點，耗能比升高。

5.2 安裝運轉狀況量測比較-案例二

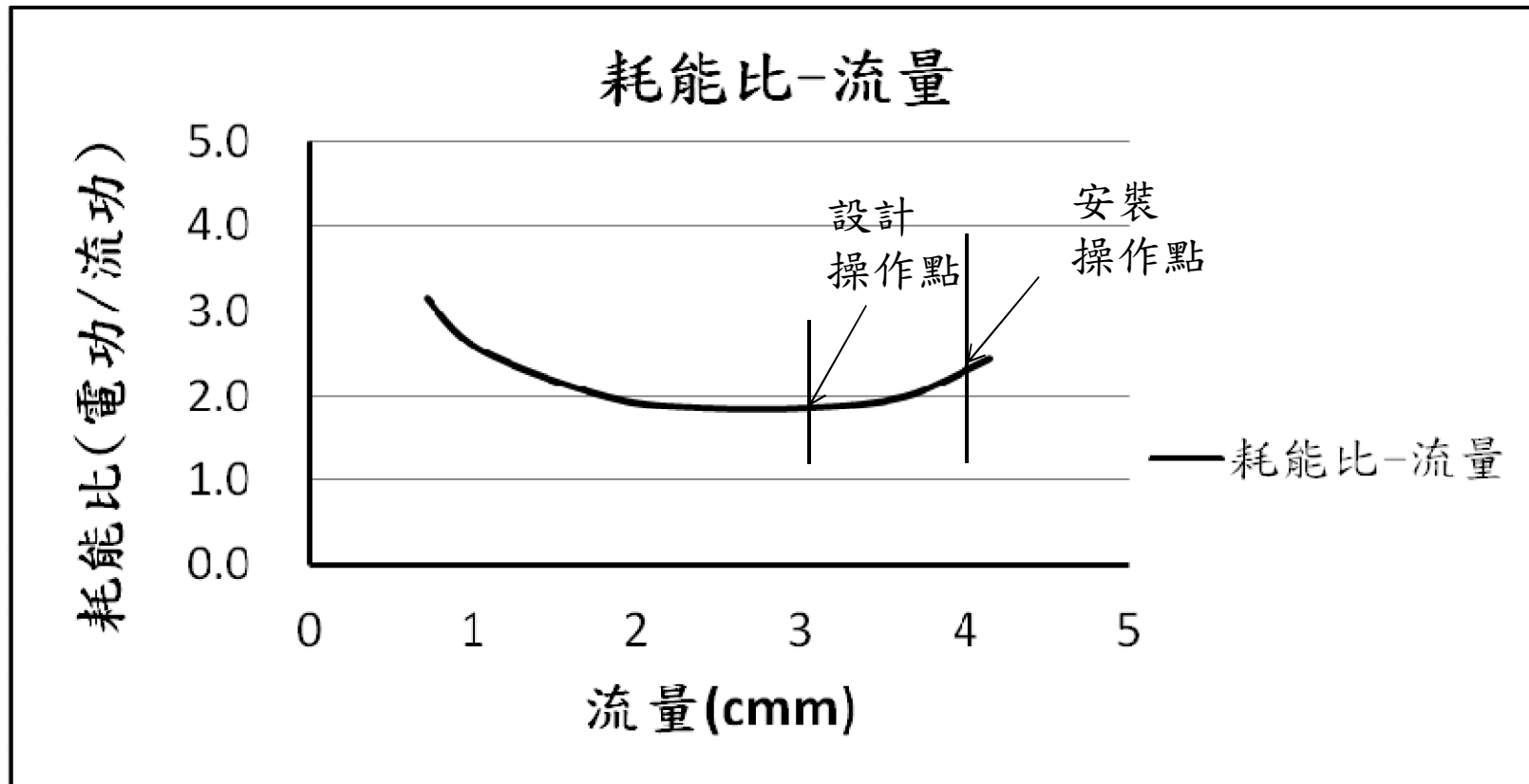


5.2.1 管路系統阻抗曲線估算誤差-過高-案例二



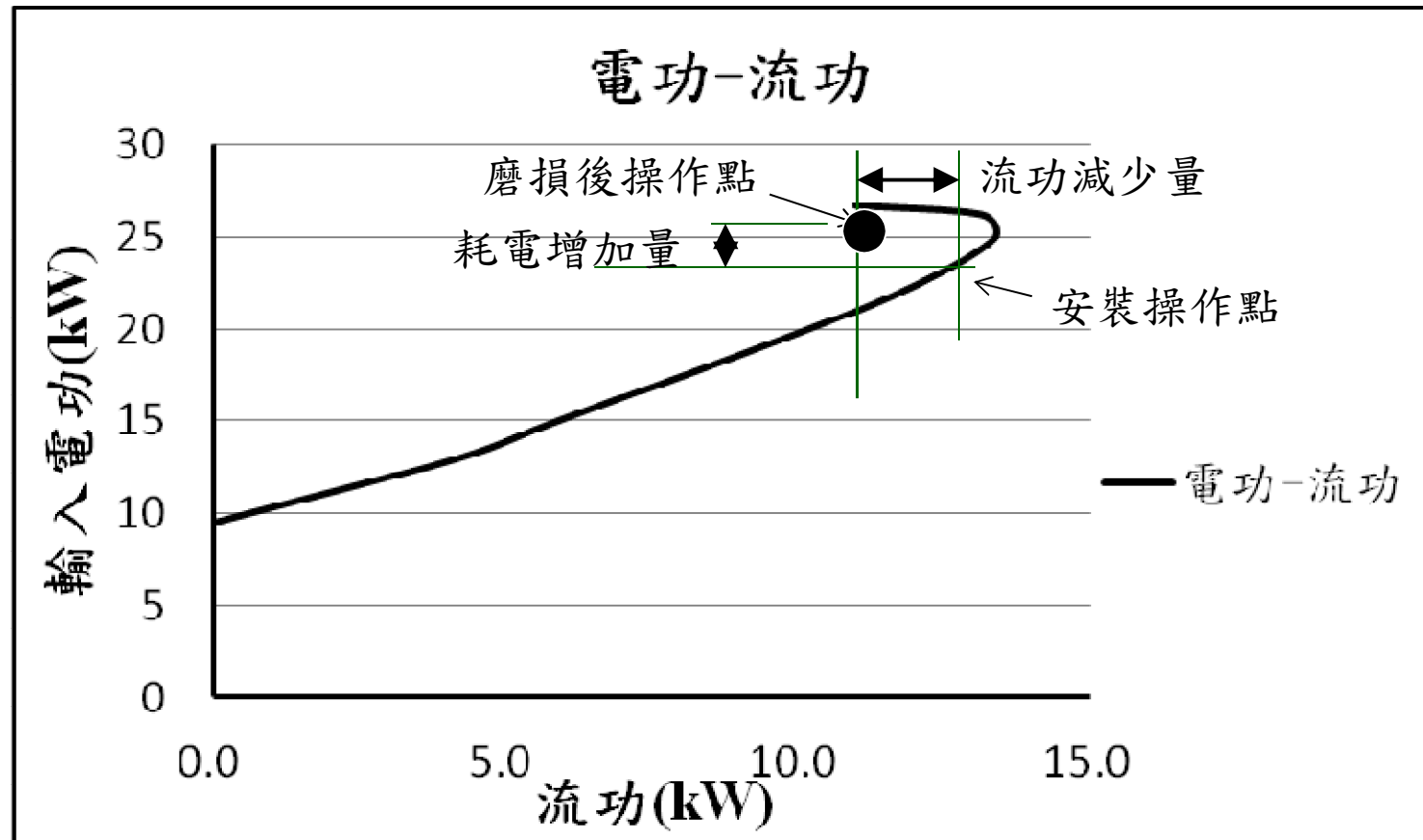
管路系統阻抗曲線估算太高，泵浦實際操作點偏向大流量位置。

5.2.2 耗能比增高-案例二

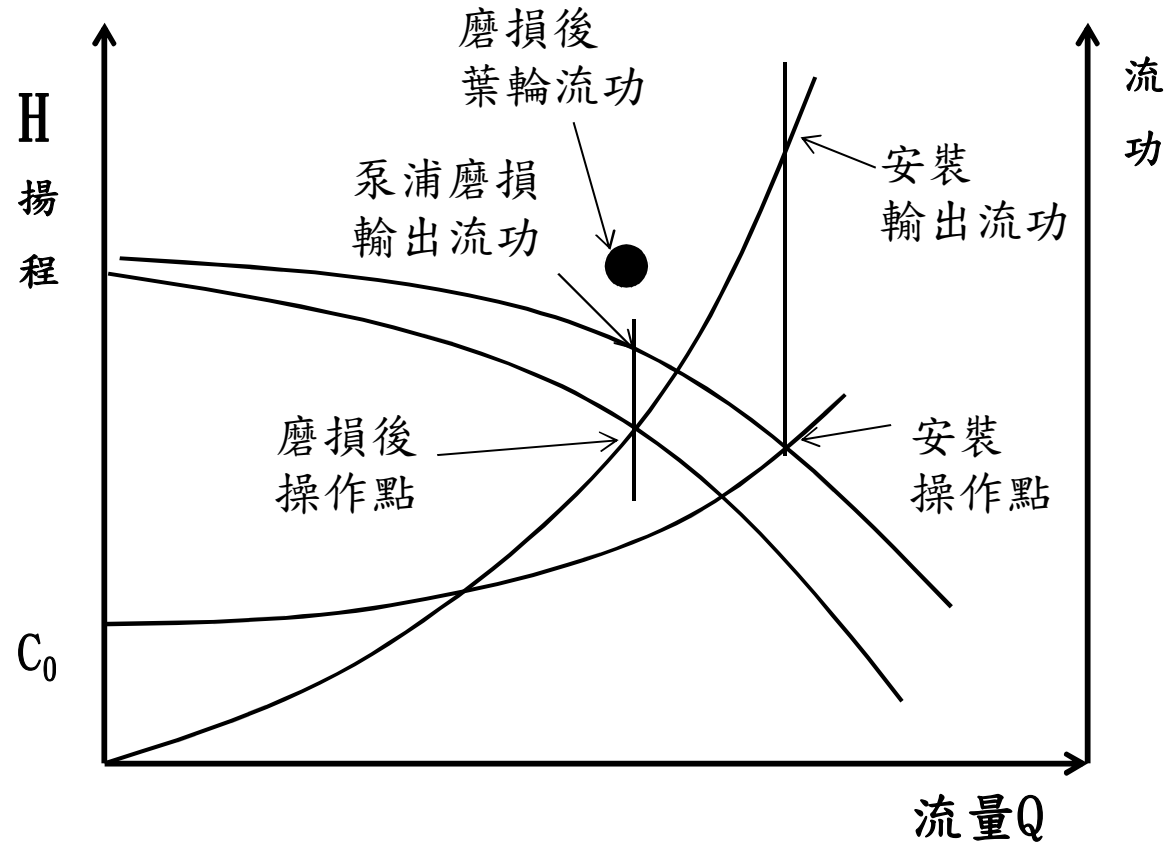


偏離設計點，耗能比升高。

5.3 現場運轉狀況量測比較-案例三

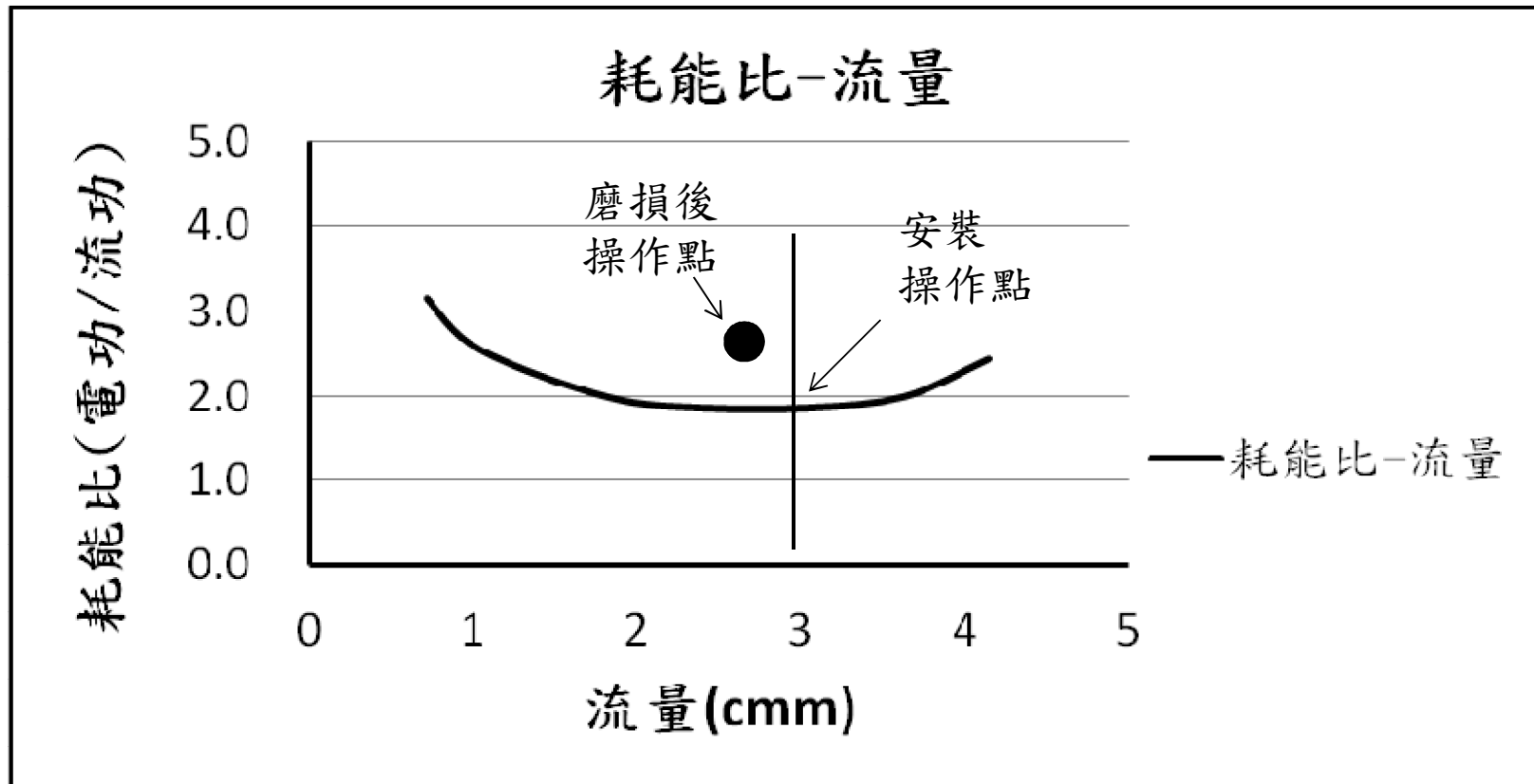


5.3.1 泵浦運轉磨損-案例三



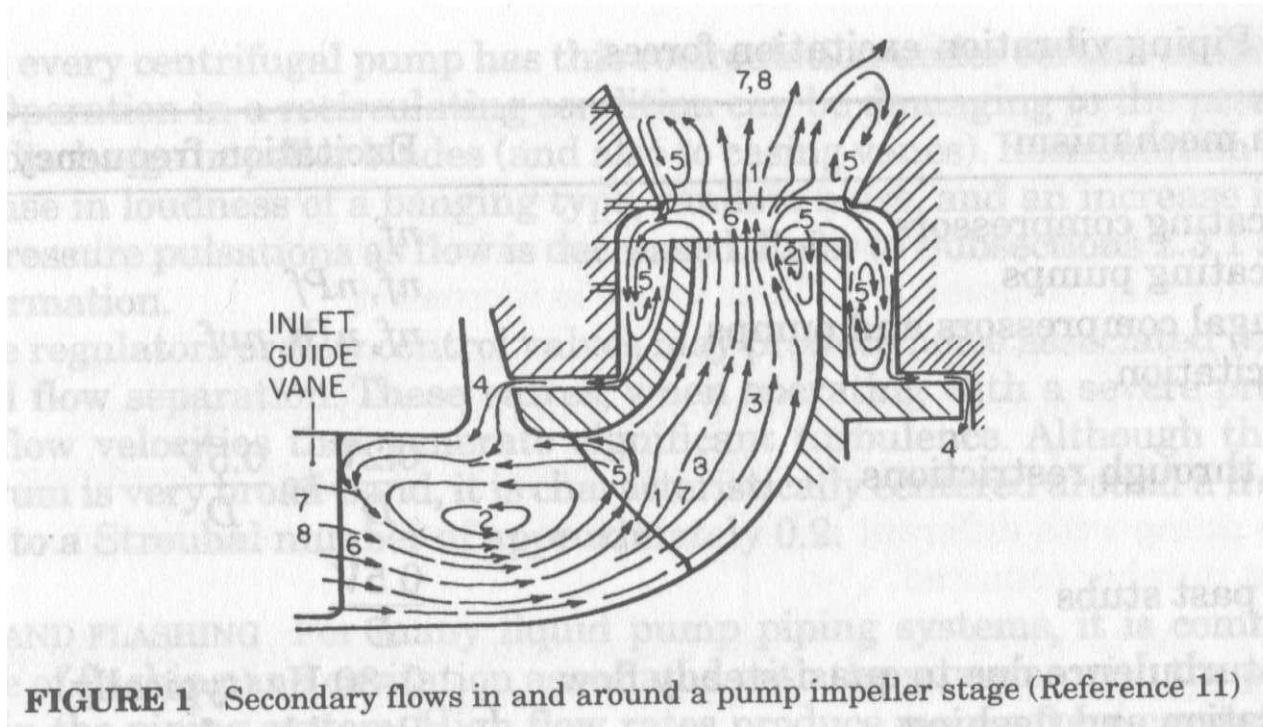
葉輪密封環磨損，內部洩漏循環量增加，葉輪實際輸出流量增加，泵浦實際輸出流量減少揚程降低。

5.3.2 耗能比增高-案例三

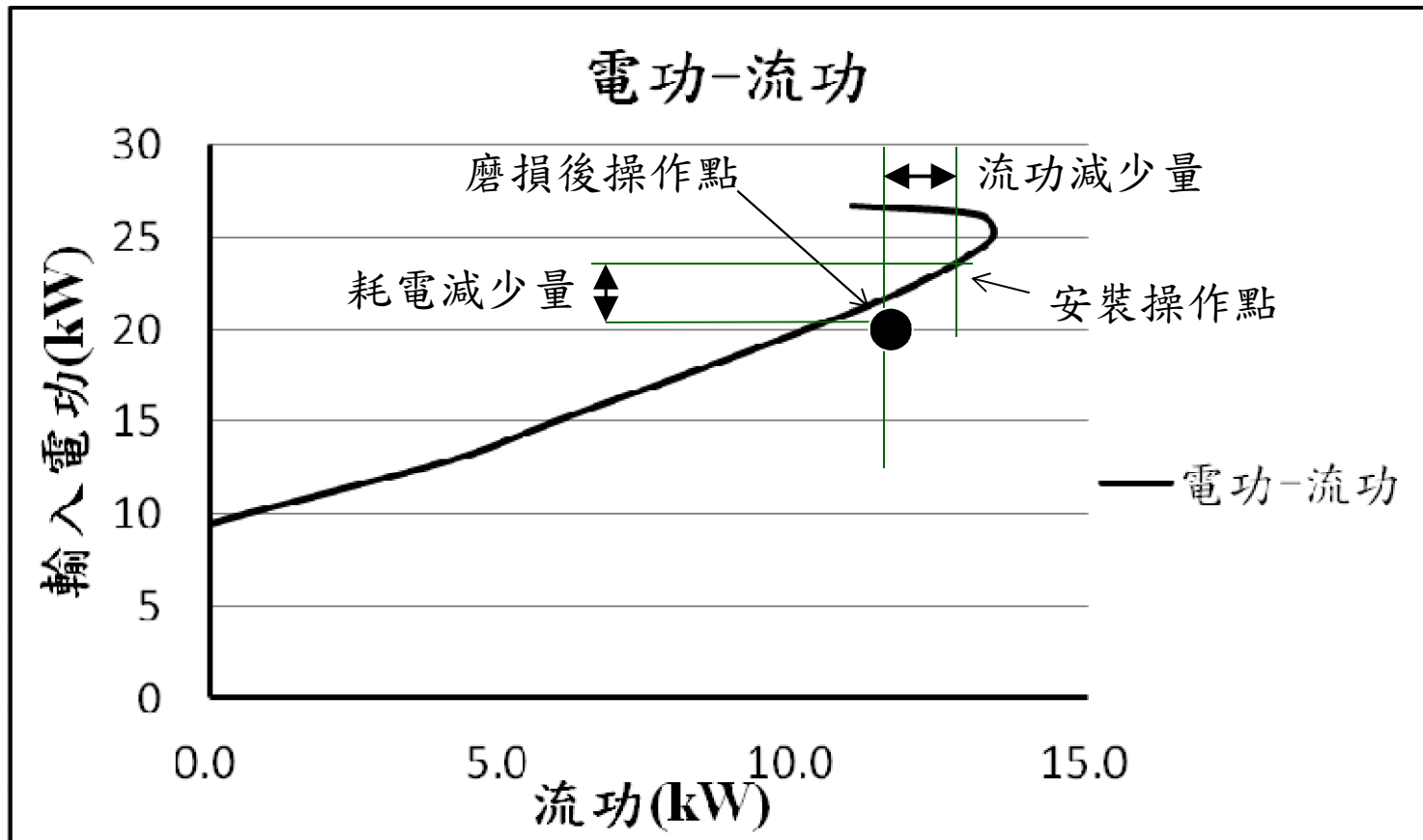


密封環磨損，耗能比升高。

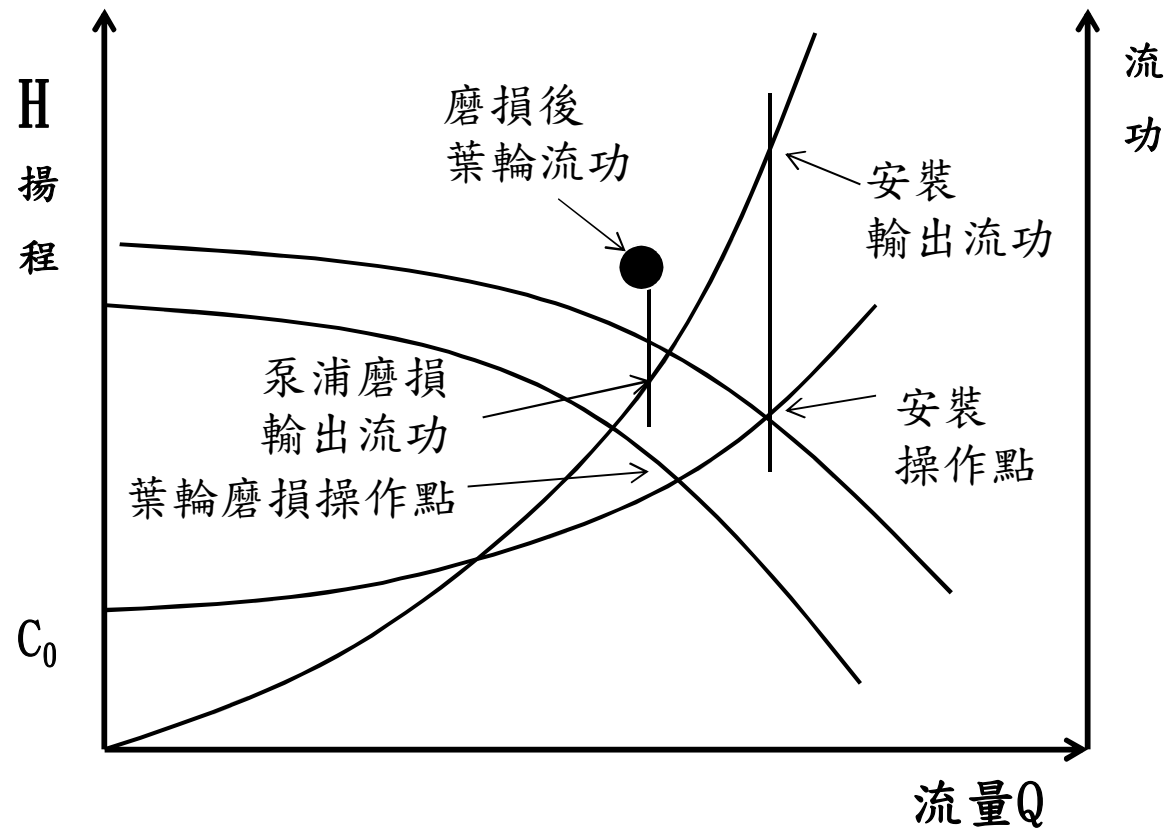
5.3.3 密封環內部洩漏增高-案例三



5.4 現場運轉狀況量測比較-案例四

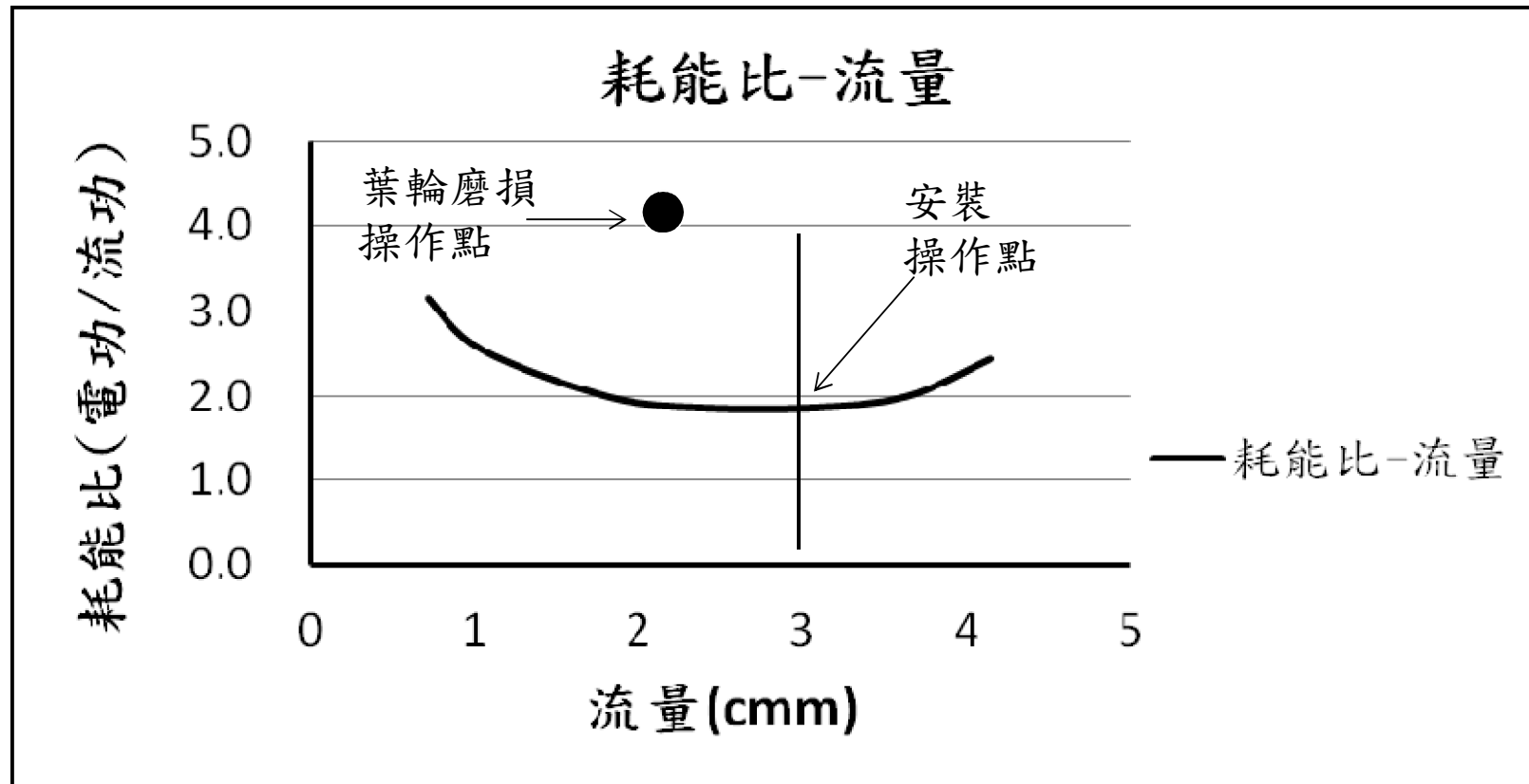


5.4.1 泵浦運轉磨損-案例四



葉輪頁片磨損，內部洩漏循環量增加，葉輪作功量減少，泵浦實際輸出流量減少揚程降低。

5.4.2 耗能比增高-案例四



葉輪葉片磨損，耗能比升高。



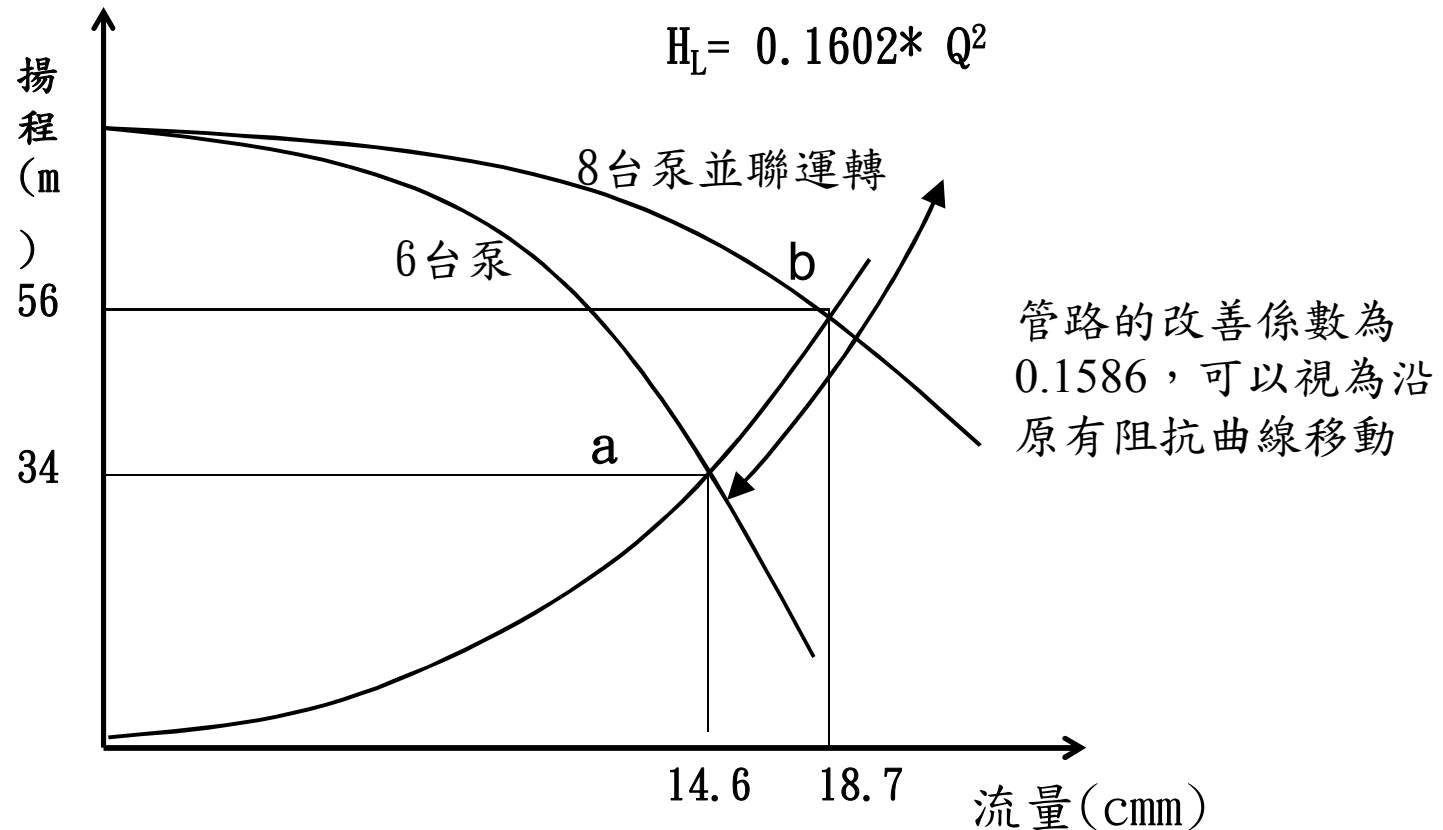
5.5 LCD廠改善案例探討-案例五(節能案例解析)

泵組台	揚程 m	流量 cmm	流功 kW	溫升 °C	冷凍 Kcal/hr	美制RT =3024kCal/hr	冷凍 kW	日耗電 kWh	管路阻抗係數 C=H/Q ²			
8	56.0	18.7	171.0	3.20	3,590,080.0	1,187.2	4188	10733	0.1602			
6	34.0	14.6	81.3	4.00	3,513,600.0	1,161.9	4099	6816	0.1586			
輸入電功 kW	耗能比 電功/流功	泵組效率 %	單台流功 kW	單台耗電功 kW	管路修改節省電功 kW	合理耗能比 電功/流功	合理單台輸入電功 kW	合理泵機組電功 kW	合理可節省電功 kW	管路 EER 冷凍/流功	泵組 EER 冷凍/電功	合理泵組 EER 冷凍/電功
447.2	2.6	38.2%	21.4	55.9	163.2	1.6	34.2	273.6	173.6	24.5	9.4	15.3
284.0	3.5	28.6%	13.6	47.3			21.7	130.1	153.9	50.4	14.4	31.5

說明：原有泵機組為8台泵浦組成，修改管路後用6台泵浦，但由阻抗係數得知效益不佳。主要效益是來自回水溫度升高，由3.2°C提高到4°C，讓循環水流量降低揚程降低。



LCD廠泵浦機組與管路系統改善解析

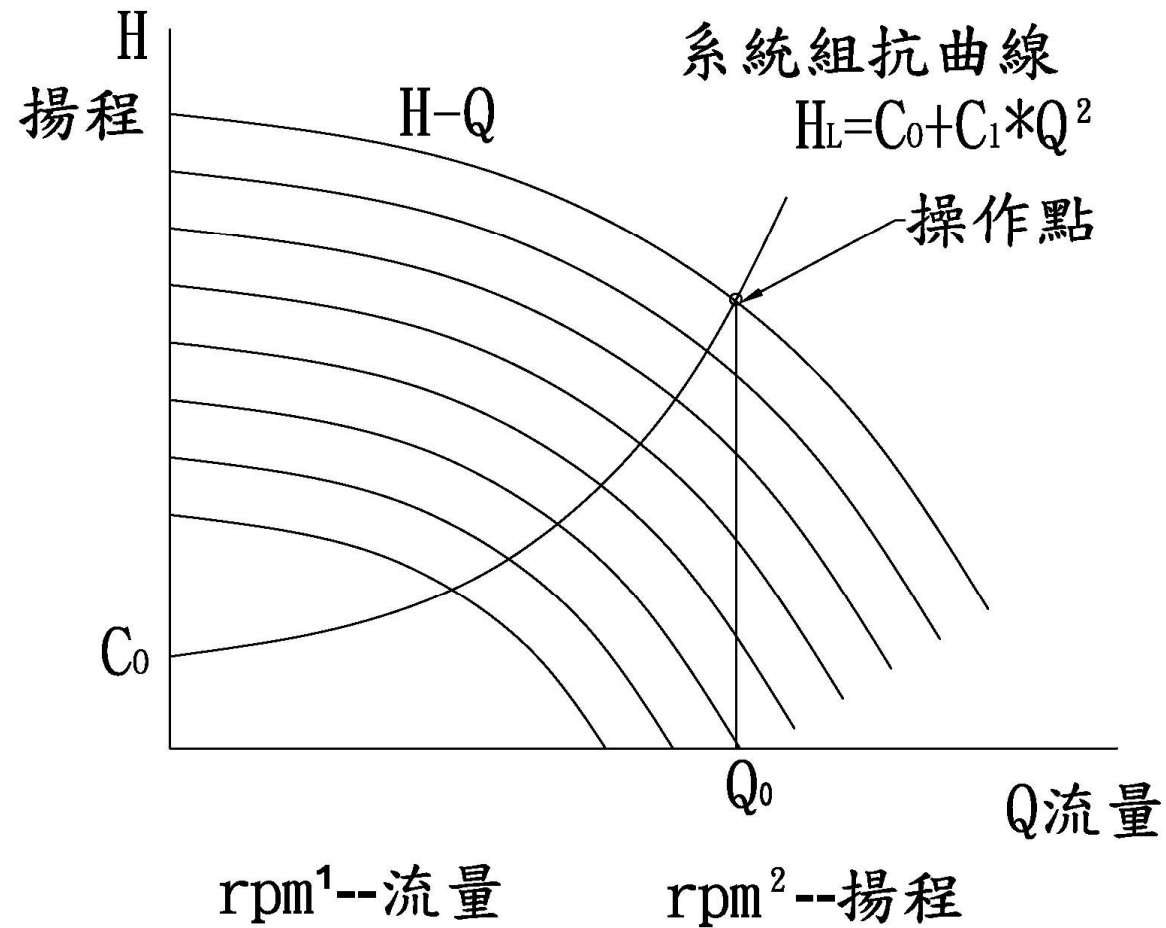


8台泵同時啟動時，管路系統會在b點運轉，但其流量等於 Q_b ，6台泵同時啟動時，管路系統會在a點運轉，但其流量等於 Q_a ，也就是阻抗曲線不變，但泵浦運轉於更大流量且更遠離高效率區。



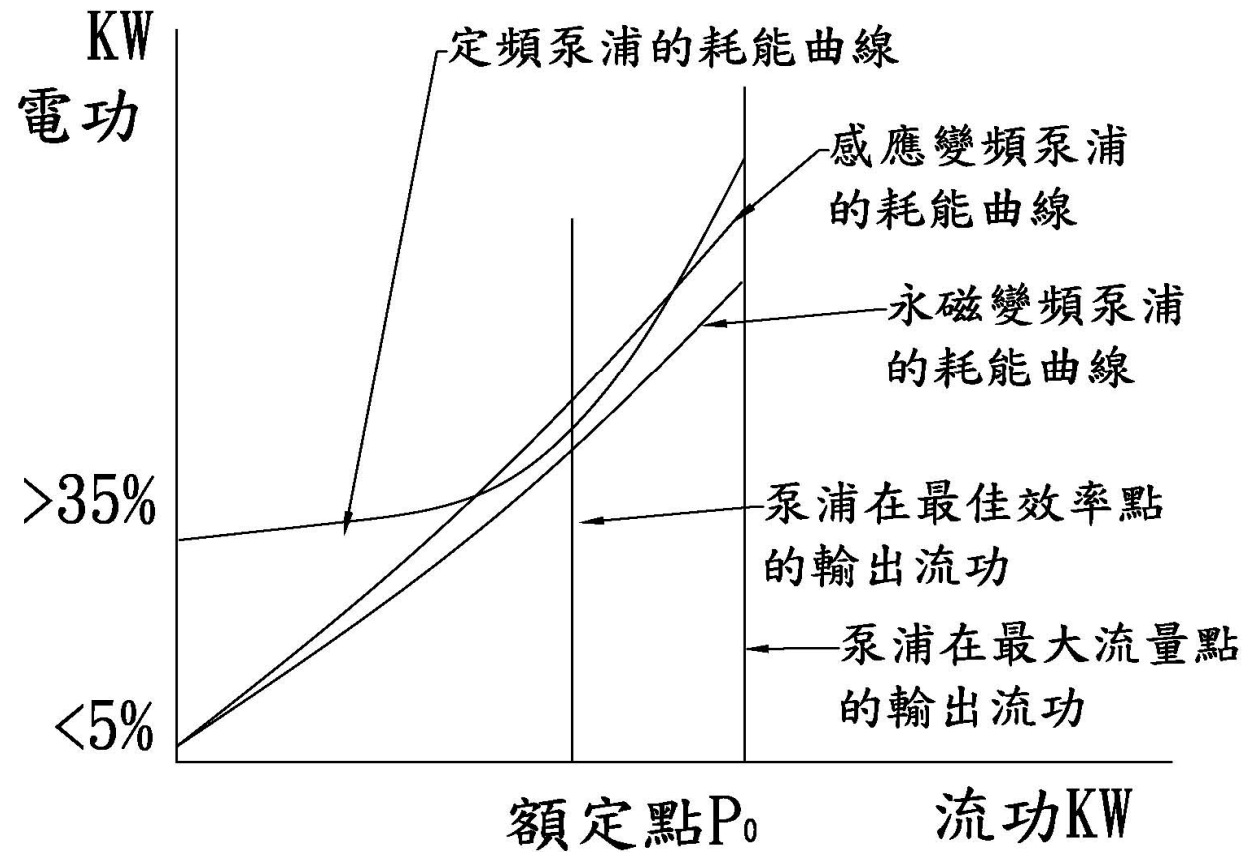
6. 變頻離心泵節能的實務做法

不同轉速下的流量揚程曲線



6.1 變頻泵浦運轉耗能特性

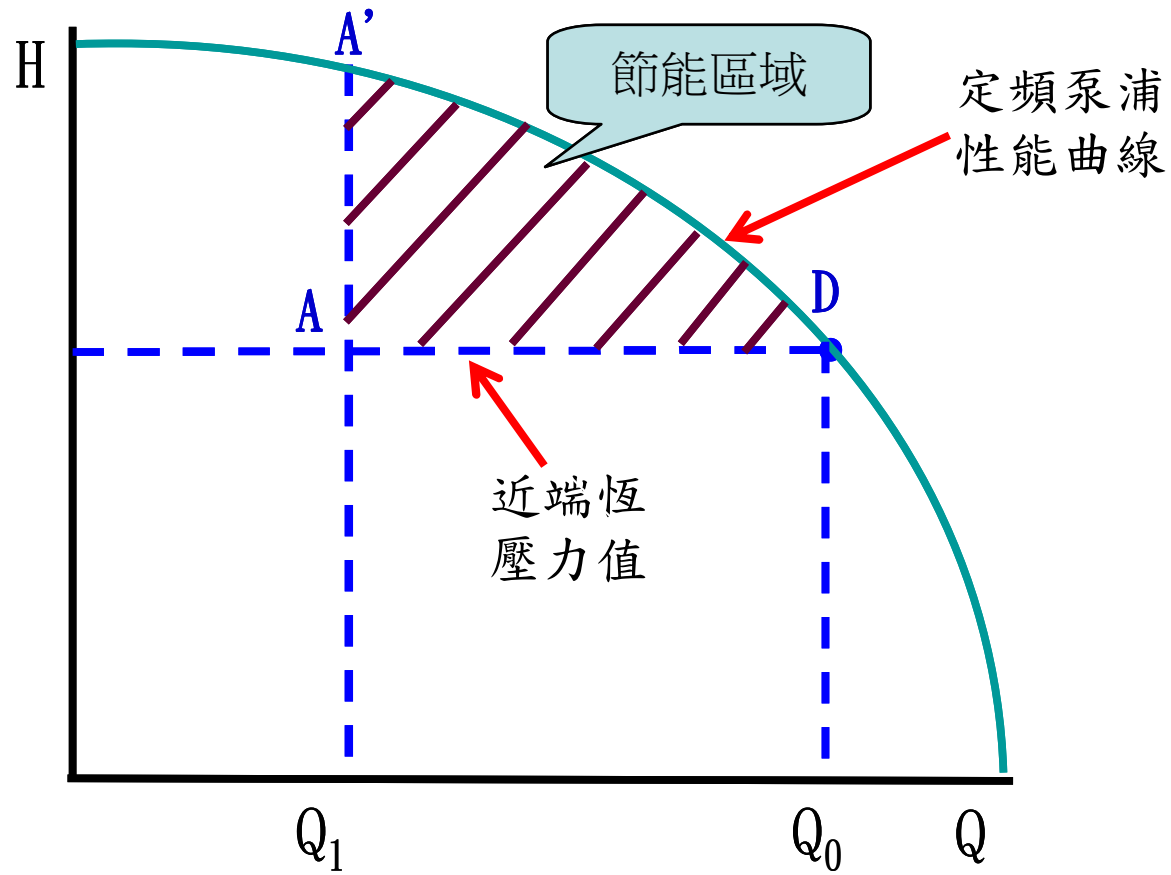
定頻與變頻泵浦節能比較



資料來源：AVF 永磁罐裝無軸封泵技術手冊，協磁公司，2009



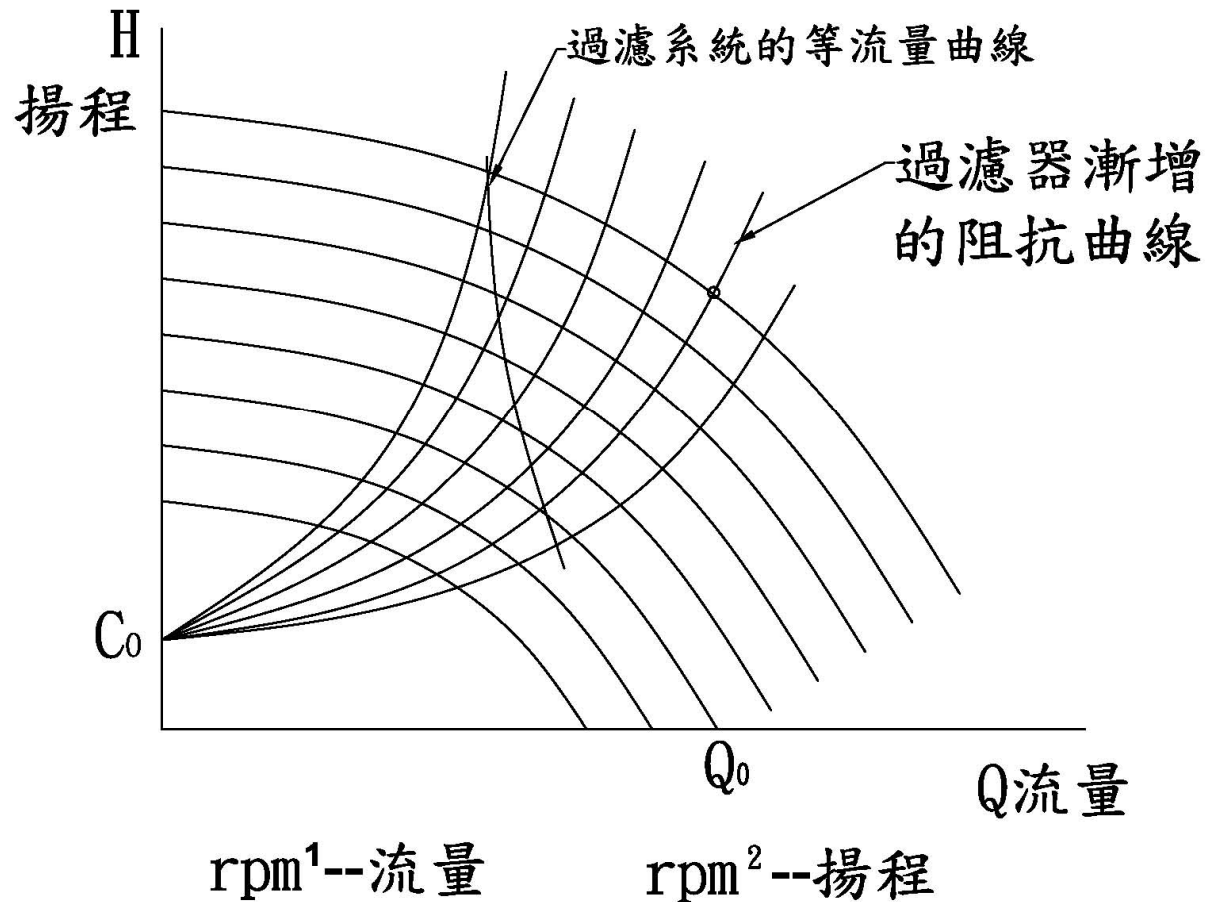
6.2 恆壓變頻之節能效果





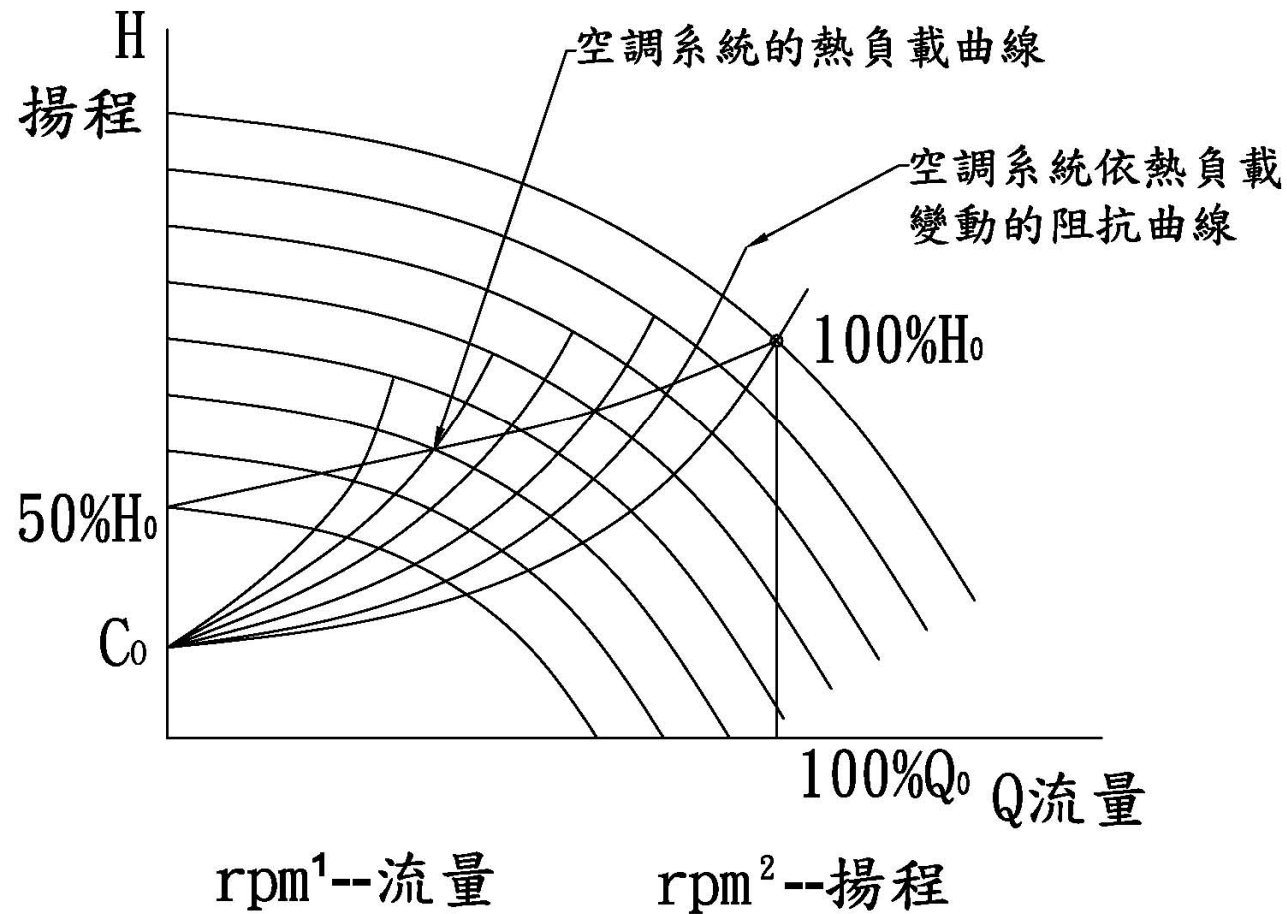
6.3 系統負載變動最佳對策-變頻泵浦

不同的負載曲線(1)





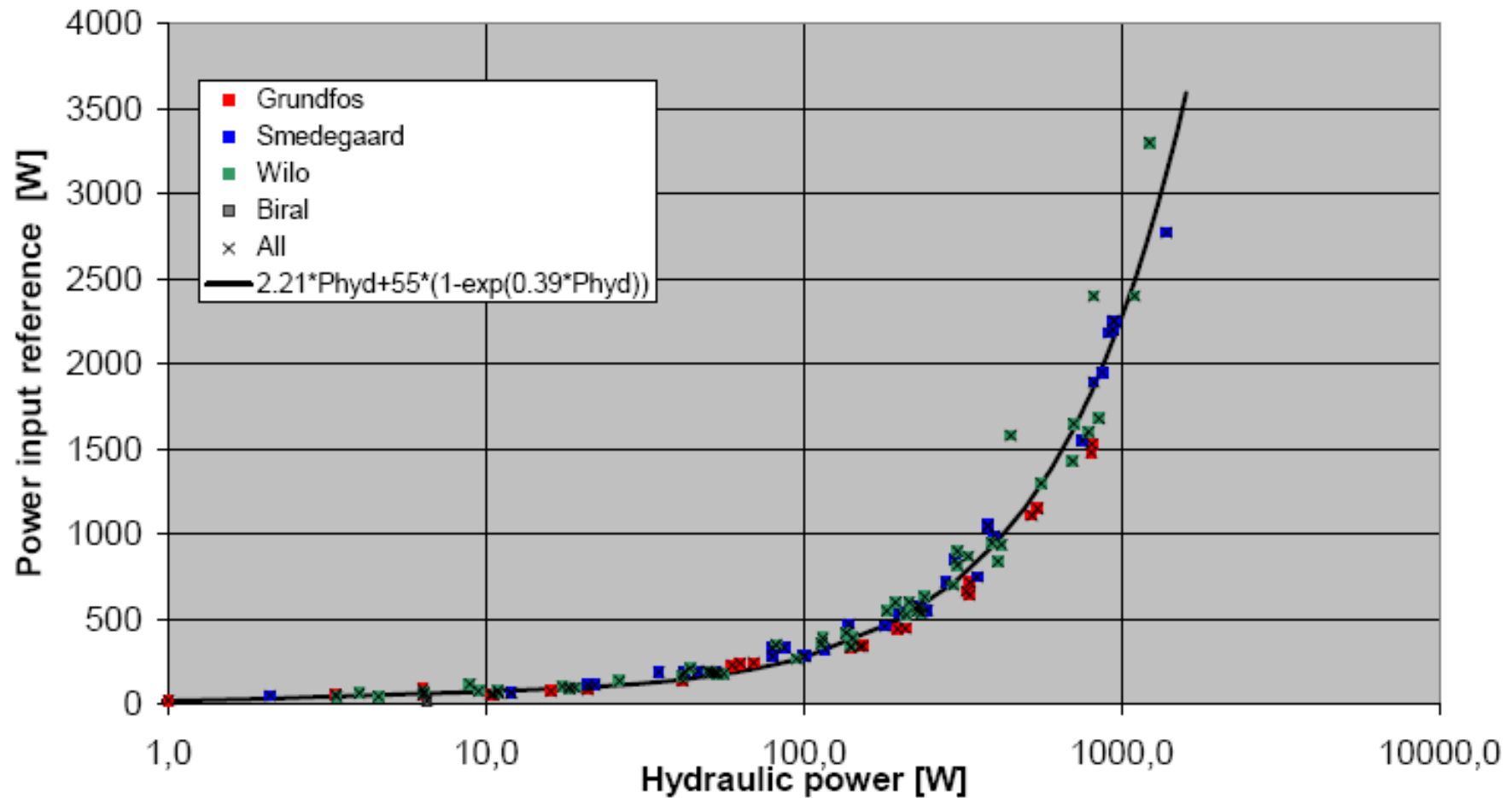
不同的負載曲線(2)



6.4 變頻泵能源效率指標建立---以家用熱水循環泵為例

6.4.1 耗能基準線建立---以家用熱水循環泵為例

Power input reference vs. hydraulic power





6.4.2 變頻熱水循環泵可達到的節能指標

Class	Energy Efficiency Index (EEI)
A**	$EEI < 0.20$
A*	$0.20 \leq EEI < 0.30$
A	$0.30 \leq EEI < 0.40$
B	$0.40 \leq EEI < 0.60$
C	$0.60 \leq EEI < 0.80$
D	$0.80 \leq EEI < 1.00$
E	$1.00 \leq EEI < 1.20$
F	$1.20 \leq EEI < 1.40$
G	$EEI \geq 1.40$



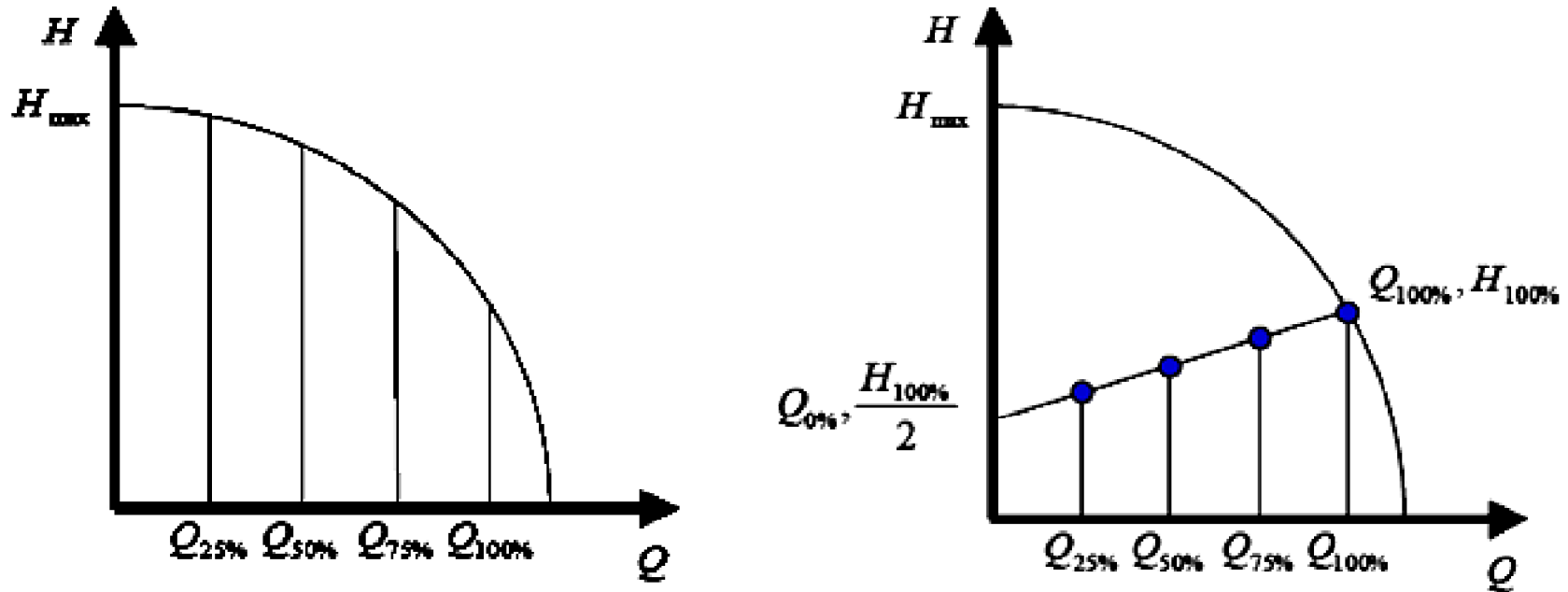
6.4.3 泵浦變頻運轉之系統耗能計算

(a) 系統運行時間與負載(依據用途而異)

負載Q	時間t
100%	t_{100%}
75%	t_{75%}
50%	t_{50%}
25%	t_{25%}

- $t_{100\%} + t_{75\%} + t_{50\%} + t_{25\%} = 100\%$
- 運行時間比例與應用系統相關
- 負載Q的比例次系統應用時的最大流量為100%

(b) 系統耗能指標計算



$$P_{ave} = P_{100\%} t_{100\%} + P_{75\%} t_{75\%} + P_{50\%} t_{50\%} + P_{25\%} t_{25\%}$$

P_{ref} = 以 $(H_{100\%} \cdot Q_{100\%})$ 以流功為基準取得耗能曲線之消耗電力功。

$$\text{耗能指標} = P_{ave} / P_{ref}$$

註：測試點的揚程必須大於負載曲線的揚程（使用相似定律換算法）



6.5 變頻泵之EEI計算案例-協磁AVF永磁裝罐裝泵

6.5.1 計算步驟- AVF-221(變頻)與AMX221(定頻)比較

步驟1 - 辨認最高輸出流功點($\text{Max } H_{100\%} * Q_{100\%}$)

步驟2 - 計算 $Q_{25\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{75\%}$, $Q_{100\%}$

步驟3 - 計算 $Q_{25\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{75\%}$, $Q_{100\%}$ 各流量的揚程 H

步驟4 - 計算 $Q_{25\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{75\%}$ 各流量的轉速rpm

步驟5 - 計算 $Q_{25\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{75\%}$ 各流量的輸入功 P_L

步驟6 - 計算 EEI



6.5.2 步驟1-辨認最高輸出流功點(Max H100%*Q100%)

AVF-221 190Hz					
流量 (l/min)	Q(m ³ /h)	全揚程(m)	H*Q	水功率(kW)	電功率(kW)
0	0	20.8	0	0	0.486
40	2.4	20.43	49.032	0.134	0.606
60	3.6	19.81	71.316	0.194	0.669
80	4.8	19.04	91.392	0.249	0.729
100	6	17.84	107.04	0.292	0.78
120	7.2	16.38	117.936	0.321	0.823
140	8.4	14.69	123.396	0.336	0.855
160	9.6	12.34	118.464	0.323	0.885
180	10.8	9.75	105.3	0.287	0.905



6.5.3 步驟2-計算 Q25%, Q50%, Q75%, Q100%

$$Q_{100\%} = 8.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

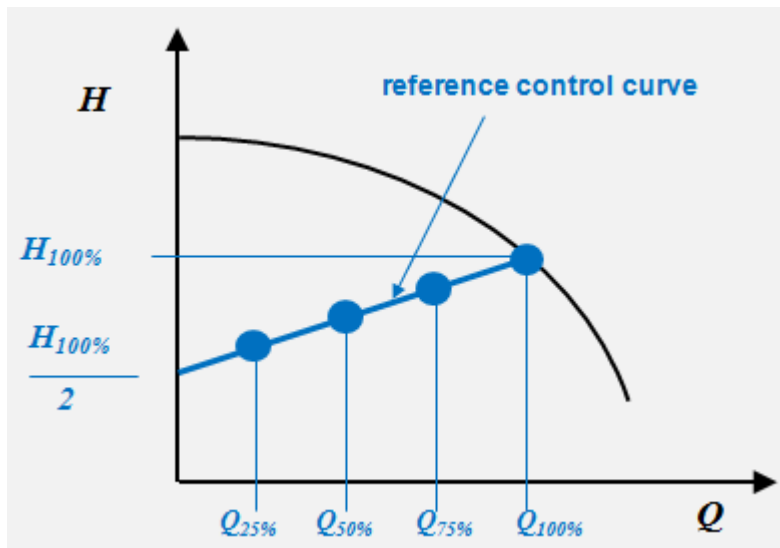
$$Q_{75\%} = 6.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{50\%} = 4.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{25\%} = 2.1 \text{ m}^3/\text{h}$$

6.5.4 步驟3-計算 $Q_{25\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{75\%}$, $Q_{100\%}$ 各流量的揚程 H

$$H \text{ at } Q_{0\%} = \frac{1}{2} H \text{ at } Q_{100\%} = 7.35 \text{ m}$$



$$H \text{ at } Q_{25\%} = 9.18 \text{ m}$$

$$H \text{ at } Q_{50\%} = 11.02 \text{ m}$$

$$H \text{ at } Q_{75\%} = 12.85 \text{ m}$$

$$H \text{ at } Q_{100\%} = 14.69 \text{ m}$$



6.5.5 步驟4-計算 Q25%, Q50%, Q75% 各流量的轉速rpm

$Q_{25\%}$ (2.1 m³/h , 9.18 m)

$Q_{50\%}$ (4.2 m³/h , 11.02 m)

$Q_{75\%}$ (6.3 m³/h , 12.85 m)

RPM at $Q_{25\%}$ = 127.512 Hz

RPM at $Q_{50\%}$ = 145.275 Hz

RPM at $Q_{75\%}$ = 167.831 Hz

$$H_H \propto \text{RPM}_H^2$$

$$H_Q \propto \text{RPM}_Q^2$$

$Q_{25\%}$	140Hz	120Hz
Q(m ³ /h)	H(m)	H(m)
1.2	11.15	8.14
2.4	10.84	7.73

$Q_{50\%}$	160Hz	140Hz
Q(m ³ /h)	H(m)	H(m)
3.6	13.74	10.22
4.8	12.86	9.34

$Q_{75\%}$	180Hz	160Hz
Q(m ³ /h)	H(m)	H(m)
6	15.72	11.7
7.2	14.24	10.17



6.5.6 步驟5 - 計算 Q25%, Q50%, Q75% 各流量的輸入功PL

$$P_L \text{ at } Q_{25\%} = 210 \text{ W}$$

$$P_L \text{ at } Q_{50\%} = 350 \text{ W}$$

$$P_L \text{ at } Q_{75\%} = 571 \text{ W}$$

$$P_L \propto \text{RPM}_L^3$$

$$P_H \propto \text{RPM}_H^3$$

$$P_Q \propto \text{RPM}_Q^3$$



6.5.7 步驟6-計算 EEI

	P (kW)	Time (%)	P _L (kW)
P _{L100}	0.8550	6%	0.051
P _{L75}	0.5714	15%	0.086
P _{L50}	0.3501	35%	0.123
P _{L25}	0.2103	44%	0.093
		P_{L,avg}	0.352

$$EEI = \frac{P_{L,avg}}{P_{ref}} = 36.14\%$$

		AVF-221		AMX-221		
		190 Hz		50 Hz		
Q(m ³ /h)	H (m)	P _{hyd} (kW)	P (kW)	H (m)	P _{hyd} (kW)	P (kW)
8.4	14.69	0.336	0.855	14.06	0.322	0.974



7. 結論與建議

- (1). 離心式泵效率標準與馬達IE3效率標準，未來在2015年開始在歐洲逐步實施。
- (2). 現場量測無法直接分別得到泵浦與馬達效率，而耗能比是目前檢討泵浦是否正確使用的最佳工具。
- (3). 採購合約的內容中應把產品的級數、消耗電功、耗能比列入，並且須包含操作範圍內的測試點的數據。
- (4). 建議統計各型大小泵浦的耗能比-比速率統計值，多級泵應把單級的比速率做正確計算，未來這些數據可以做為採購案規格的參考。
- (5). 建議增加流量、壓力與電功量測裝置，才能進行管路系統阻抗曲線計算，並獲得正確流功、輸入電功與耗能比。
- (6). 管路輸送系統改善必須進行管路系統阻抗曲線計算，並獲得正確流功、輸入電功與耗能比，方能確認所需的泵浦規格及其操作點是位於高效率區。



9. 結論與建議(續)

- (7). 採購合約中泵浦驗收工作必須包含現場管路系統阻抗曲線量測，作為確認泵浦操作點是否在高效率區的依據，並做為未來擴大產能時管路設計變更的參考依據。
- (8). 耗能管理應列入日常管理的一環，尤其管路系統負載變動時，必須記錄不同負載下的管路阻抗曲線，計算泵浦在變動負載下的流功-耗電功值並進行分析，才能達成節能目標。

附錄A 泵浦耗能的重要參數

1. 泵浦效率

泵浦效率是使用者最習慣於關注的焦點之一，由CNS標準到歐盟都有相關的泵浦效率值供參考，製造商在銷售泵浦時除了提供流量、揚程、功率等規格以外，也多半會提供效率值供客戶作為選擇比價依據。

2. 馬達效率

馬達軸供是使用者最習慣於關注的焦點之一，而馬達效率最近由於能源效率的推動而受到廣泛性重視，製造商在銷售馬達時除了提供電壓、電流、功率等規格以外，也會提供效率值供客戶作為選擇依據，IE2等級的馬達將自2011年起成為馬達效率標準。

3. 管路阻抗曲線

管路阻抗其實是泵浦耗能最根本的原因，泵浦所輸出的流功多數用於克服管路的摩擦阻力，也就是管路阻抗曲線代表管路系統對流功的需求。

使用者通常最無法關注到的焦點之一，管路阻抗曲線分別由管路高低位差與流動阻力所構成，高低位差牽涉到建築結構或地形高低位差，其可以改善的空間較少，但流動阻力卻可以在管路新裝設時選用較合理的管徑，就是合理的降低管路內的流速，並減少彎頭與伐或其他裝置的數量來獲得改善，現有的舊管路也常因為無法改變管路而無法改善。

4. 耗電功-流功曲線

管制泵浦的輸入電功與輸出流功，可以更明確掌握泵浦能源效率變化，尤其在泵浦驗收與現場安裝時做的測試所記錄的流功-耗電功曲線，最能提供未來使用時泵浦磨耗監控之參考，而且現場測試的曲線並可以用來確認泵浦是否運轉在高效率區域。



5 泵浦耗能計算公式

- 流功 (kW) = 壓力P (Nt/m²) × 流量Q (m³/sec) / 1000
- 壓力P (Nt/m²) = ρ gH = 密度 ρ (Kg/m³) × 加速度g(m/sec²) × 揚程H (m)
- CNSB4004/CNS11327列出泵浦額定規格，額定流量與揚程
- 流功 (kW) = ρ × g × H (m) × Q (m³/sec) / 1000
- CNSB4004/CNS11327 流量－效率 A/B曲線計算馬達軸功
馬達軸功=流功/泵浦效率
- CNS14400/CNS11330高效率馬達計算耗電功
馬達實際耗電功(kW) = 馬達軸功(kW) / 馬達效率(%)
- 泵浦耗能比
總效率(%) = 泵浦效率(%) × 馬達效率(%)
耗能比 = 耗電功(kW) / 流功(kW)
耗能比 = 1 / 總效率(%)



6 單位輸送成本計算

馬達輸入電力 (kW)：使用電力計在馬達電源側量得

每度電可獲得水量(m^3/kWh)= $\text{抽水量}(\text{m}^3/\text{h})/\text{輸入電力}(\text{kW})$

每噸水耗電力(kWh/m^3)= $\text{輸入電力}(\text{kW})/\text{抽水量}(\text{m}^3/\text{h})$

每噸水成本($\text{NT}\$/\text{m}^3$)

= $\text{每噸水耗電力}(\text{kWh}/\text{m}^3)*\text{電價}(\text{NT}\$/\text{kWh})$

當發現每噸水的輸送成本過高時：

1. 檢查管路阻抗曲線是否合理，是否能進一步降低管路阻抗
2. 檢查選用的泵浦與馬達的操作點是否合理，是否能與阻抗曲線變動範圍匹配，以避免在效率過低區域運轉



附錄B

- B.1 標準馬達效率等級(50Hz)
- B.2 標準馬達效率等級(60Hz)
- B.3 ISO 2858 泵浦規格、耗電功與耗能比(1)
- B.3 ISO 2858 泵浦規格、耗電功與耗能比(2)
- B.3 ISO 2858 泵浦規格、耗電功與耗能比(3)
- B.3 ISO 2858 泵浦規格、耗電功與耗能比(4)



B.1 標準馬達效率等級(50Hz)

功率 kW	50Hz馬達極數 ϕ /效率%等級								
	2			4			6		
	IE1	IE2	IE3	IE1	IE2	IE3	IE1	IE2	IE3
0.75	72.1%	78.9%	82.1%	72.1%	81.1%	84.0%	70.0%	75.9%	80.6%
1.1	75.0%	80.8%	83.8%	75.0%	82.7%	85.3%	72.9%	78.1%	82.4%
1.5	77.2%	82.3%	85.0%	77.2%	83.9%	86.3%	75.2%	79.8%	83.8%
2.2	79.7%	84.0%	86.4%	79.7%	85.3%	87.5%	77.7%	81.8%	85.4%
3	81.5%	85.3%	87.5%	81.5%	86.3%	88.4%	79.7%	83.3%	86.6%
4	83.1%	86.4%	88.4%	83.1%	87.3%	89.2%	81.4%	84.6%	87.7%
5.5	84.7%	87.5%	89.4%	84.7%	88.2%	90.0%	83.1%	86.0%	88.7%
7.5	86.0%	88.5%	90.3%	86.0%	89.1%	90.8%	84.7%	87.2%	89.7%
11	87.6%	89.6%	91.2%	87.6%	90.1%	91.7%	86.4%	88.7%	90.8%
15	88.7%	90.5%	91.9%	88.7%	90.9%	92.3%	87.7%	89.7%	91.6%
18.5	89.3%	91.0%	92.4%	89.3%	91.4%	92.7%	88.6%	90.4%	92.1%
22	89.9%	91.4%	92.7%	89.9%	91.7%	93.1%	89.2%	90.9%	92.5%
30	90.7%	92.1%	93.3%	90.7%	92.4%	93.6%	90.2%	91.7%	93.1%
37	91.2%	92.5%	93.7%	91.2%	92.8%	94.0%	90.8%	92.2%	93.5%
45	91.7%	92.9%	94.0%	91.7%	93.1%	94.3%	91.4%	92.7%	93.9%
55	92.1%	93.3%	94.3%	92.1%	93.5%	94.5%	91.9%	93.1%	94.2%
75	92.7%	93.8%	94.7%	92.7%	94.0%	95.0%	92.6%	93.7%	94.7%
90	93.0%	94.1%	95.0%	93.0%	94.2%	95.2%	92.9%	94.0%	94.9%
110	93.3%	94.3%	95.2%	93.3%	94.5%	95.4%	93.3%	94.3%	95.2%
132	93.5%	94.6%	95.4%	93.5%	94.7%	95.6%	93.5%	94.6%	95.4%
160	93.8%	94.8%	95.6%	93.8%	94.9%	95.8%	93.8%	94.8%	95.6%
≥ 200	94.0%	95.1%	95.8%	94.0%	95.1%	96.0%	94.0%	95.0%	95.8%



B.2 標準馬達效率等級(60Hz)

功率 kW	60Hz馬達極數 ϕ /效率%等級								
	2			4			6		
	IE1	IE2	IE3	IE1	IE2	IE3	IE1	IE2	IE3
0.75	77.0%	75.5%	77.0%	78.0%	82.5%	85.5%	73.0%	80.0%	82.5%
1.1	78.5%	82.5%	84.0%	79.0%	84.0%	86.5%	75.0%	85.5%	87.5%
1.5	81.0%	84.0%	85.5%	81.5%	84.0%	86.5%	77.0%	86.5%	88.5%
2.2	81.5%	85.5%	86.5%	83.0%	87.5%	89.5%	78.5%	87.5%	89.5%
3.7	84.5%	87.5%	88.5%	85.0%	87.5%	89.5%	83.5%	87.5%	89.5%
5.5	86.0%	88.5%	89.5%	87.0%	89.5%	91.7%	85.0%	89.5%	91.0%
7.5	87.5%	89.5%	90.2%	87.5%	89.5%	91.7%	86.0%	89.5%	91.0%
11	87.5%	90.2%	91.0%	88.5%	91.0%	92.4%	89.0%	90.2%	91.7%
15	88.5%	90.2%	91.0%	89.5%	91.0%	93.0%	89.5%	90.2%	91.7%
18.5	89.5%	91.0%	91.7%	90.5%	92.4%	93.6%	90.2%	91.7%	93.0%
22	89.5%	91.0%	91.7%	91.0%	92.4%	93.6%	91.0%	91.7%	93.0%
30	90.2%	91.7%	92.4%	91.7%	93.0%	94.1%	91.7%	93.0%	94.1%
37	91.5%	92.4%	93.0%	92.4%	93.0%	94.5%	91.7%	93.0%	94.1%
45	91.7%	93.0%	93.6%	93.0%	93.6%	95.0%	91.7%	93.6%	94.5%
55	92.4%	93.0%	93.6%	93.0%	94.1%	95.4%	92.1%	93.6%	94.5%
75	93.0%	93.6%	94.1%	93.2%	94.5%	95.4%	93.0%	94.1%	95.0%
90	93.0%	94.5%	95.0%	93.2%	94.5%	95.4%	93.0%	94.1%	95.0%
110	93.0%	94.5%	95.0%	93.5%	95.0%	95.8%	94.1%	95.0%	95.8%
150	94.1%	95.0%	95.4%	94.5%	95.0%	96.2%	94.1%	95.0%	95.8%
≥ 185	94.1%	95.4%	95.8%	94.5%	95.0%	96.2%	94.1%	95.0%	95.8%



B.3 ISO 2858 泵浦規格、耗電功與耗能比(1)

轉速 rpm	入口 mm	出口 mm	葉輪 mm	流量 cmm	揚程 m	流功 kW	比速率 Ns	CNS 馬達 效率 %	CNS B效率 電力 kW	CNS A效率 電力 kW	歐盟 C80% 電力 kW	耗能比 CNS B 效率	耗能比 CNS A 效率	耗能比 C80% 效率
1750	40	32	125	0.12	7	0.14	140.9	68.0%	0.58	0.47	0.36	4.2	3.4	2.6
1750	40	32	160	0.12	12	0.23	97.1	69.0%	0.93	0.76	0.70	4.1	3.4	3.1
1750	50	40	125	0.25	7	0.29	203.3	69.0%	1.00	0.81	0.61	3.5	2.8	2.1
1750	40	32	200	0.12	18	0.35	69.4	79.0%	1.28	1.04	1.26	3.6	2.9	3.6
1750	50	40	160	0.25	12	0.47	140.1	80.0%	1.41	1.15	0.94	3.0	2.5	2.0
1750	65	50	125	0.5	7	0.57	287.5	80.5%	1.47	1.20	0.93	2.6	2.1	1.6
1750	50	40	200	0.25	18	0.74	100.1	81.0%	2.19	1.78	1.69	3.0	2.4	2.3
1750	65	50	160	0.5	12	0.94	198.2	81.4%	2.38	1.96	1.58	2.5	2.1	1.7
1750	80	65	125	1	7	1.1	406.6	81.6%	2.61	2.14	1.75	2.3	1.9	1.5
3450	50	40	125	0.25	29	1.2	138.0	82.5%	3.46	2.81	2.32	2.9	2.4	2.0
1750	65	50	200	0.5	18	1.47	141.6	85.5%	3.55	2.91	2.55	2.4	2.0	1.7
3450	50	40	160	0.25	46	1.9	97.7	85.5%	5.29	4.31	4.14	2.8	2.3	2.2
1750	80	65	160	1	12	1.9	280.2	85.5%	4.09	3.35	2.75	2.2	1.8	1.5
1750	65	50	250	0.5	29	2.37	99.0	85.5%	5.72	4.69	4.73	2.4	2.0	2.0
3450	65	50	125	0.5	29	2.4	195.2	85.5%	5.72	4.69	3.81	2.4	2.0	1.6



B.3 ISO 2858 泵浦規格、耗電功與耗能比(2)

轉速 rpm	入口 mm	出口 mm	葉輪 mm	流量 cmm	揚程 m	流功 kW	比速率 Ns	CNS 馬達 效率 %	CNS B效率 電力 kW	CNS A效率 電力 kW	歐盟 C80% 電力 kW	耗能比 CNS B 效率	耗能比 CNS A 效率	耗能比 C80% 效率
3450	50	40	200	0.25	72	2.9	69.8	86.5%	8.19	6.66	8.11	2.8	2.3	2.8
1750	80	65	200	1	18	2.9	200.3	85.4%	6.41	5.26	4.46	2.2	1.8	1.5
1750	100	80	160	1.58	12	3.0	352.2	85.5%	6.09	5.03	4.20	2.1	1.7	1.4
3450	65	50	160	0.5	46	3.8	138.1	87.5%	8.87	7.28	6.42	2.4	1.9	1.7
1750	125	100	160	2	12	3.8	396.3	86.5%	7.51	6.16	5.21	2.0	1.6	1.4
1750	100	80	200	1.58	18	4.6	251.7	87.5%	9.31	7.69	6.51	2.0	1.7	1.4
1750	125	100	160	2.5	12	4.7	443.1	87.5%	9.02	7.45	6.42	1.9	1.6	1.4
1750	80	65	250	1	29	4.7	140.0	87.5%	10.08	8.26	7.60	2.1	1.7	1.6
3450	80	65	125	1	29	4.7	276.1	87.5%	10.08	8.26	6.77	2.1	1.7	1.4
3450	65	50	200	0.5	72	5.9	98.7	88.5%	13.73	11.26	11.37	2.3	1.9	1.9
1750	125	100	200	2	18	5.9	283.2	87.5%	11.63	9.53	8.08	2.0	1.6	1.4
3450	65	50	250	0.5	80	6.5	91.2	88.5%	15.25	12.51	13.17	2.3	1.9	2.0
1750	125	100	200	2.5	18	7.4	316.6	88.5%	13.96	11.53	9.85	1.9	1.6	1.3
1750	100	80	250	1.58	29	7.5	176.0	88.5%	14.84	12.26	10.89	2.0	1.6	1.5
3450	80	65	160	1	46	7.5	195.3	88.5%	15.81	12.96	11.05	2.1	1.7	1.5



B.3 ISO 2858 泵浦規格、耗電功與耗能比(3)

轉速 rpm	入口 mm	出口 mm	葉輪 mm	流量 cmm	揚程 m	流功 kW	比速率 Ns	CNS 馬達 效率 %	CNS B效率 電力 kW	CNS A效率 電力 kW	歐盟 C80% 電力 kW	耗能比 CNS B 效率	耗能比 CNS A 效率	耗能比 C80% 效率
1750	125	100	250	2	29	9.5	198.0	89.5%	18.31	15.01	13.19	1.9	1.6	1.4
3450	100	80	125	2	29	9.5	390.4	88.5%	18.52	15.18	12.84	2.0	1.6	1.4
3450	80	65	200	1	72	11.8	139.6	89.5%	24.47	20.06	18.46	2.1	1.7	1.6
1750	150	125	200	4	18	11.8	400.5	89.5%	21.65	17.76	15.37	1.8	1.5	1.3
1750	125	100	250	2.5	29	11.8	221.4	89.5%	22.24	18.38	16.07	1.9	1.6	1.4
1750	100	80	315	1.58	46	11.9	124.5	89.5%	23.27	19.22	18.68	2.0	1.6	1.6
3450	80	65	250	1	80	13.1	129.0	89.5%	27.19	22.29	21.01	2.1	1.7	1.6
3450	100	80	160	2	46	15.0	276.2	89.5%	29.05	23.81	20.20	1.9	1.6	1.3
1750	125	100	315	2	46	15.0	140.1	91.0%	28.57	23.42	22.13	1.9	1.6	1.5
1750	125	100	315	2.5	46	18.8	156.7	91.0%	34.69	28.67	26.59	1.8	1.5	1.4
1750	150	125	250	4	29	18.9	280.1	91.0%	34.30	28.14	24.35	1.8	1.5	1.3
3450	100	80	200	2	72	23.5	197.4	91.0%	44.72	36.66	32.22	1.9	1.6	1.4
1750	125	100	400	2	72	23.5	100.1	91.7%	44.38	36.38	38.57	1.9	1.5	1.6
3450	125	100	160	3.17	46	23.8	347.8	91.0%	43.55	35.71	30.73	1.8	1.5	1.3
3450	100	80	250	2	80	26.1	182.4	91.7%	49.31	40.42	36.00	1.9	1.5	1.4



B.3 ISO 2858 泵浦規格、耗電功與耗能比(4)

轉速 rpm	入口 mm	出口 mm	葉輪 mm	流量 cmm	揚程 m	流功 kW	比速率 Ns	CNS 馬達 效率 %	CNS B效率 電力 kW	CNS A效率 電力 kW	歐盟 C80% 電力 kW	耗能比 CNS B 效率	耗能比 CNS A 效率	耗能比 C80% 效率
1750	125	100	400	2.5	72	29.4	111.9	91.7%	53.88	44.53	45.54	1.8	1.5	1.5
1750	200	150	250	6.33	29	30.0	352.3	91.7%	52.74	43.02	37.63	1.8	1.4	1.3
3450	125	100	160	4	46	30.1	390.6	91.7%	53.99	44.29	38.29	1.8	1.5	1.3
1750	150	125	315	4	46	30.1	198.2	91.7%	53.99	44.29	39.63	1.8	1.5	1.3
3450	125	100	200	3.17	72	37.3	248.5	91.7%	67.64	55.46	48.32	1.8	1.5	1.3
1750	200	150	250	8	29	37.9	396.1	92.4%	64.08	53.96	47.15	1.7	1.4	1.2
3450	125	100	250	3.17	80	41.4	229.6	91.7%	75.16	61.62	54.09	1.8	1.5	1.3
3450	125	100	200	4	72	47.0	279.2	92.4%	83.87	68.80	59.56	1.8	1.5	1.3
1750	150	125	400	4	72	47.0	141.6	93.0%	83.33	68.35	65.40	1.8	1.5	1.4
1750	200	150	315	6.33	46	47.6	249.3	93.0%	82.48	67.29	59.48	1.7	1.4	1.3
3450	125	100	250	4	80	52.3	257.9	93.6%	91.99	75.46	65.63	1.8	1.4	1.3
1750	200	150	315	8	46	60.1	280.2	93.6%	100.34	84.50	73.80	1.7	1.4	1.2
1750	200	150	400	6.33	72	74.4	178.1	93.6%	128.28	104.65	96.46	1.7	1.4	1.3
1750	200	150	400	8	72	94.1	200.3	94.1%	156.22	131.55	118.42	1.7	1.4	1.3