

管路阻抗曲線的應用 II - 空調水側系統IPLV能效評估
(課程時數：6小時，含CMVP的方法)
設備冷卻單迴路

編輯:簡煥然
煜然有限公司

節能量測:陳建龍CMVP
殷聖節能泵浦有限公司
2024-07-13

簡煥然 老師

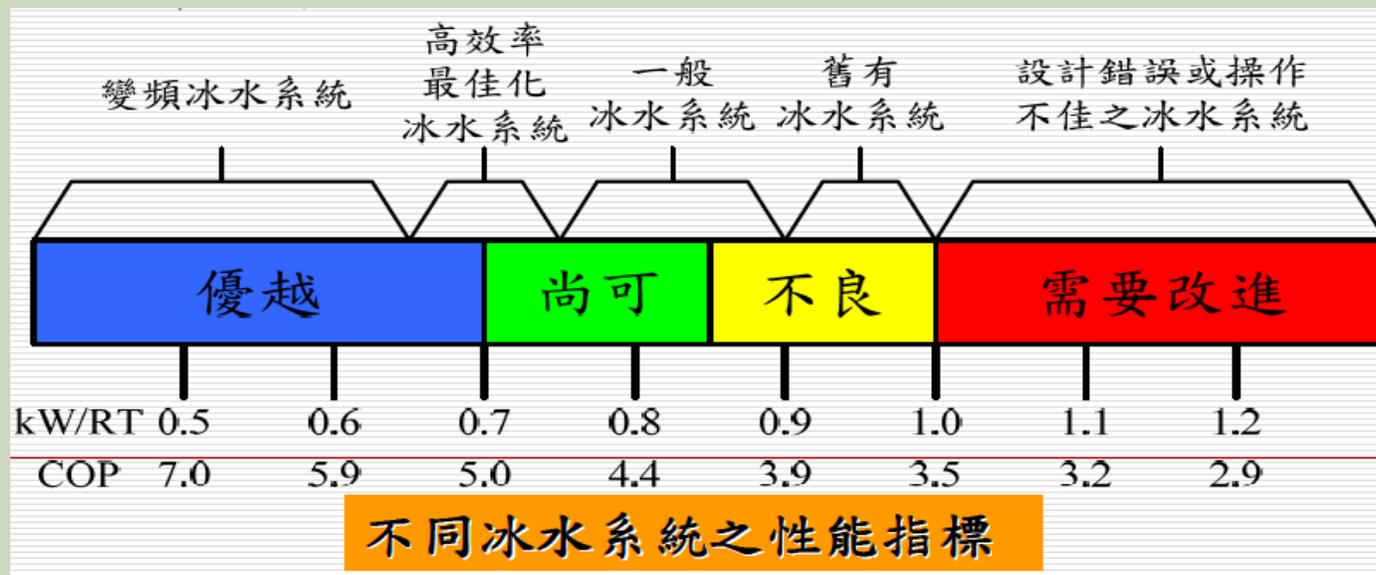
- 現職：
- 煜然有限公司總經理
- 產品開發、專利佈局、市場行銷、經營管理
- 泵浦公司專業顧問，產品發明專利

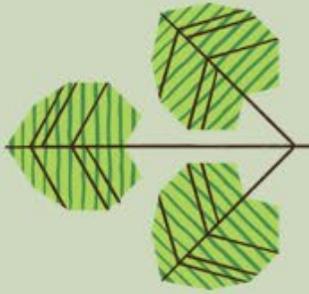
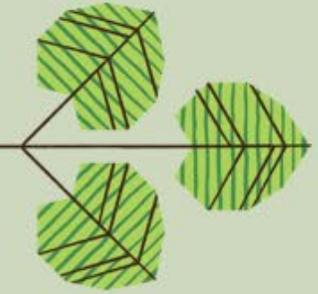
- 經歷：
- 工研院機械系統所專計畫顧問
- 勤益科技大學冷凍系 兼任講師
- 工研院機械所流體機械計畫 15年資歷
- 工研院機械所ITIS產業分析計畫
- 國立台灣大學機械所 碩士 76畢
- 私立逢甲大學機械系 71畢

- 節能領域：
- 空調水側系統節能，Ashrae90.1標準
- 高能效離心泵浦
- 高能效永磁馬達

Ashrae90.1

陳輝俊博士

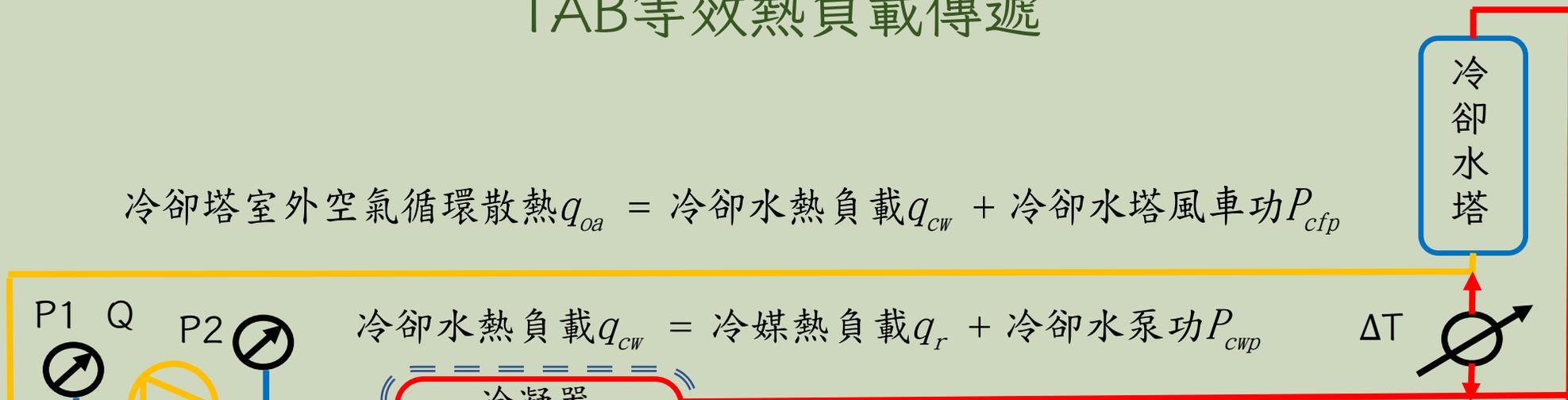




- a. 水側系統：設備冷卻用冰水系統，單一迴路，冷卻水泵配一個冷卻塔。
- b. 變頻系統：在部分負載時，流量正比於冰機負載容量，泵浦轉速也隨阻抗曲線移動。
- c. 現場量測：以超音波流量計與複數個差壓計進行量測。
- d. 量測時間：2021年8月。
- e. 量測地點：台灣南部XXX電子廠。
- f. 執行者：殷聖節能泵浦，陳建龍協理(CMVP量測驗證師)

TAB等效熱負載傳遞

$$\text{冷卻塔室外空氣循環散熱 } q_{oa} = \text{冷卻水熱負載 } q_{cw} + \text{冷卻水塔風車功 } P_{cfp}$$

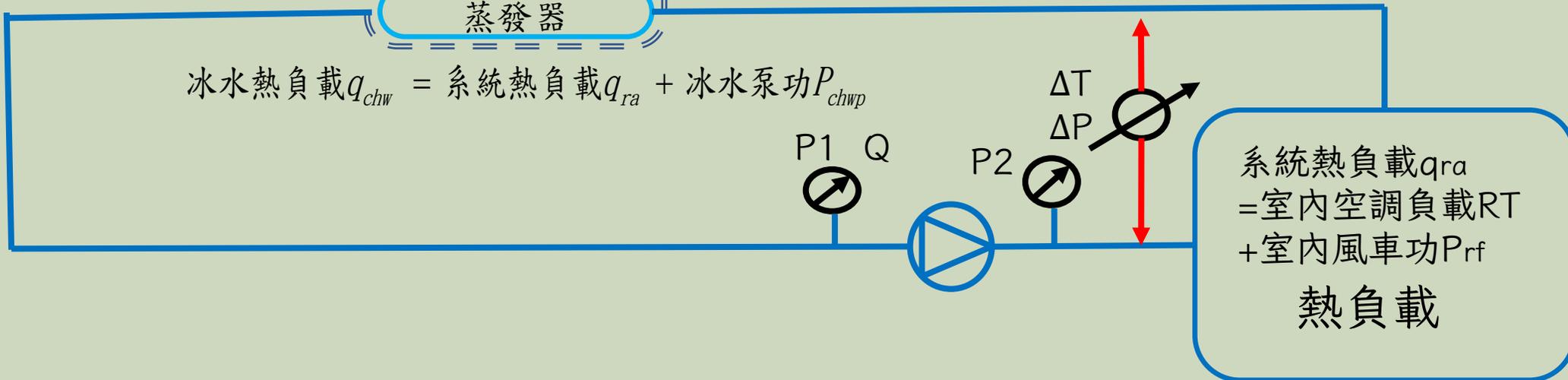


$$\text{冷卻水熱負載 } q_{cw} = \text{冷媒熱負載 } q_r + \text{冷卻水泵功 } P_{cwp}$$

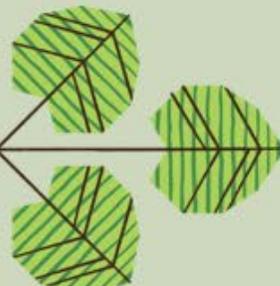


$$\text{冷媒熱負載 } q_r = \text{冰水熱負載 } q_{chw} + \text{壓縮機之壓縮功 } P_{comp}$$

$$\text{冰水熱負載 } q_{chw} = \text{系統熱負載 } q_{ra} + \text{冰水泵功 } P_{chwp}$$

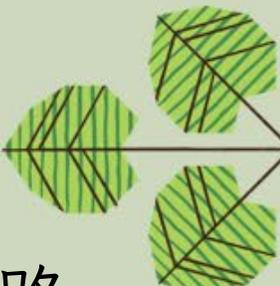


系統熱負載 q_{ra}
 = 室內空調負載 RT
 + 室內風車功 P_{rf}
熱負載



0.前言與基礎數據

本分講義的目標在有CMVP專業人士進行量測下，以利用管路阻抗曲線進行空調水側系統IPLV的能效計算，本份講義的內容有：

- a.水側系統各項耗電與冷凍能力的量測數據，泵浦出入口壓力，蒸發器與冷凝器出入口溫度。
 - b.水量係以冰水幹管與冷卻水幹管的流量量測。
 - c.計算冰水幹管之管路系統阻抗曲線，計算冷卻幹管之管路系統阻抗曲線。
 - d.計算100%、75%、50%、25%負載時的流量揚程。
 - e.計算IPLV部分負載時冰機能效、泵浦能效、冷卻塔能效。
- 

0.1. 冷凍能力計算公式

定壓比熱容 C_p (Specific Heat Capacity)：是單位品質的物質在壓力不變的條件下，溫度升高或下降 1°C 或 1K 所吸收或放出的能量。

以水為例，一千克(kg)重的水需要4184焦耳(J)來加熱一開爾文(K)。根據比熱容，便可得出：

$$C_p = \frac{H(\text{J})}{m(\text{kg}) \times \Delta T(^{\circ}\text{K})} = 4.184 \text{ kJ}/(\text{kg}^{\circ}\text{K})$$

$$1 \text{ 卡路里} = 4.1840(\text{J})$$

$$q(\text{kW}) = \dot{m}(\text{kg}/\text{sec}) \times C_p(\text{kJ}/(\text{kg}^{\circ}\text{K})) \times \Delta T(^{\circ}\text{K})$$

$$q(\text{kW}) = \rho(\text{kg}/\text{m}^3) \times Q(\text{m}^3/\text{sec}) \times C_p(\text{kJ}/(\text{kg}^{\circ}\text{K})) \times \Delta T(^{\circ}\text{K})$$

0.2. 冷凍噸單位換算

冷凍噸簡稱RT(Refrigeration Ton) 定義為在攝氏零度下將一短噸（2,000磅）的冰融化24小時的需求融化熱。

一冷凍噸約等於12,000 BTU/h=3024千卡/h=3.516kW。

公制冷凍噸，約等於3320 Kcal/hr，相當於1.1冷凍噸。

臺灣家電業常用的所謂“台制冷凍噸”則是8,000 BTU/h（2000千卡/h）。

以熱力學及化學使用的「熱化學卡路里」而言，1卡路里(cal)=4.184焦耳(J)

冷房能力的單位為 kW 或 kcal/h

$$1 \text{ 冷凍噸} = \frac{1000(\text{cal}) \times 4.184(\text{J/cal})}{1(\text{h}) \times 3600(\text{s/h})} \cong 1.1622 \text{ J/s} \cong 1.1622 \text{ W}$$

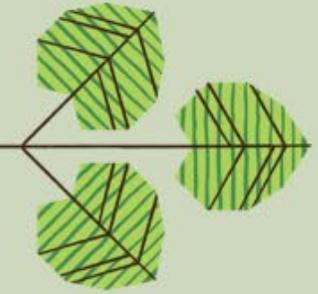
$$1 \text{ (W)} \cong \frac{1(\text{kcal/h})}{1.1622} \cong 0.8604 \text{ kcal/h}$$

冷氣能力用kW表示， $1 \text{ kW} = 860 \text{ kcal/h}$ ，而 1 kcal 約等於 4 Btu

公制 $1 \text{ R.T.} = 1.1 \text{ 美制} = 3320 \text{ kcal/h} = 13174.8 \text{ Btu} = 3861 \text{ W} = 3.861 \text{ kW}$

美制 $1 \text{ R.T.} = 12000 \text{ Btu/h} = 3024 \text{ kcal/h} = 3516 \text{ W} = 3.516 \text{ Kw}$

台制 $1 \text{ R.T.} = 0.66 \text{ 公制 R.T.} = 1992 \text{ kcal/h} \approx 2000 \text{ kcal/h} \approx 8000 \text{ Btu/h}$



0.3.冰水主機設計規格

蒸發器出水溫度：7°C

蒸發器入水溫度：12°C

蒸發器入出水溫差：5°C

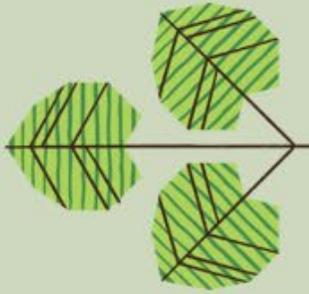
冷凝器出水溫度：35°C

冷凝器入水溫度：30°C

冷凝器入出水溫差：5°C

冰水循環量：10 LPM/RT

冷卻水循環量：12.5 LPM/RT



0.4. 請廠商提供冰機的測試報告

Output Type	Full Load	Part Load	Part Load	Part Load
Percent Load	100.00	75.00	50.00	25.00
Chiller Capacity	550 Tons	413 Tons	275 Tons	138 Tons
Chiller Input kW	312 kW	166 kW	78 kW	41 kW
Chiller Input Power	0.566 kW/Ton	0.402 kW/Ton	0.283 kW/Ton	0.298 kW/Ton
Chiller COP	6.2	8.7	12.4	11.8
NPLV	0.328 kW/Ton	N/A	N/A	N/A
Cooler				
Entering Temp.	12.00 C	10.74 C	9.50 C	8.25 C
Leaving Temp.	7.00 C	7.00 C	7.00 C	7.00 C
Flow Rate	1465.0 gpm	1465.0 gpm	1465.0 gpm	1465.0 gpm
Pressure Drop	55.9 kPa	56.1 kPa	56.3 kPa	56.5 kPa
Condenser				
Leaving Temp.	34.67 C	27.20 C	20.35 C	19.34 C
Entering Temp.	30.00 C	24.17 C	18.33 C	18.33 C
Flow Rate	1815.0 gpm	1815.0 gpm	1815.0 gpm	1815.0 gpm
Pressure Drop	49.8 kPa	51.1 kPa	52.5 kPa	52.6 kPa

0.5. 計算泵浦歐盟能效，COMMISSION REGULATION (EU) No 547/2012。

比速率 $N_s = \frac{rpm \times \sqrt{Q}}{H^{0.75}}$ ， $Q(\text{cms})$ 歐盟， $Q(\text{cmm})$ 日本， $H(\text{m})$

$$\eta_{PUMP,BEP} = 88.59X + 13.46Y - 11.48X^2 - 0.85Y^2 - 0.38XY - C$$

$X = \ln(N_s)$ ， $Y = \ln(Q_{100\%})$ ， $N_s \rightarrow Q(\text{cms})$ ， $Q_{100\%} \rightarrow Q(\text{cmh})$

End suction own bearing (ESOB) 連軸式泵浦

End suction close coupled (ESCC) 直結式泵浦

End suction close coupled inline (ESCCi) 管道泵

Vertical multistage (MS-V) 立式多級泵

Submersible multistage (MSS) 沉水多級泵

Part Load(PL)-75% of the flow at BEP, $(\eta_{PL})_{min,requ} = 0.947 \times (\eta_{BEP})_{min,requ}$

Over Load(OL)-110% of the flow at BEP, $(\eta_{OL})_{min,requ} = 0.985 \times (\eta_{BEP})_{min,requ}$

能效標準MEI=0.4

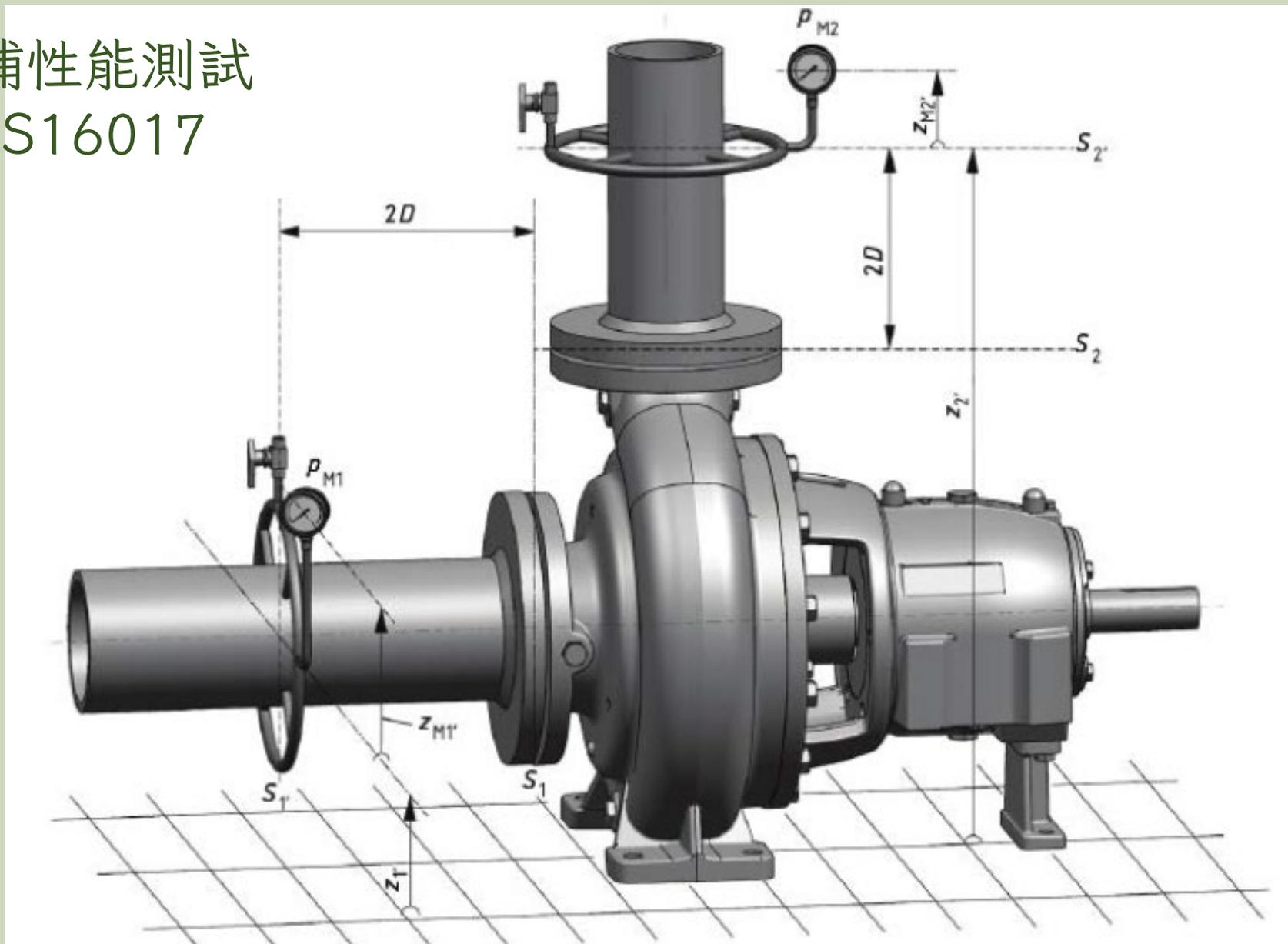
泵型式	轉速rpm	C
ESOB連軸式	1450	128.07
	2900	130.27
ESCC直結式	1450	128.46
	2900	130.77
ESCCI管道泵	1450	132.30
	2900	133.69
MS-V立式多級	2900	133.95
MSS沉水多級	2900	128.79

0.6.低壓三相鼠籠感應 電動機IE3能源效率基 準



額定輸出功率		2 極		4 極		6 極		實施日期			
		同步 轉速 (rpm)	額定滿載 效率 η (%)	同步 轉速 (rpm)	額定滿載 效率 η (%)	同步 轉速 (rpm)	額定滿載 效率 η (%)				
kW	HP (參考值)	60Hz	全 閉 型	保 護 型	60Hz	全 閉 型	保 護 型	60Hz	全 閉 型	保 護 型	自一百零 五年七月 一日起
			0.75	1		3600	77.0		77.0	1800	
1.1	1.5	84.0	84.0	86.5	86.5		87.5	86.5			
1.5	2	85.5	85.5	86.5	86.5		88.5	87.5			
2.2	3	86.5	85.5	89.5	89.5		89.5	88.5			
3.7	5	88.5	86.5	89.5	89.5		89.5	89.5			
5.5	7.5	89.5	88.5	91.7	91.0		91.0	90.2			
7.5	10	90.2	89.5	91.7	91.7		91.0	91.7			
11	15	91.0	90.2	92.4	93.0		91.7	91.7			
15	20	91.0	91.0	93.0	93.0		91.7	92.4			
18.5	25	91.7	91.7	93.6	93.6		93.0	93.0			
22	30	91.7	91.7	93.6	94.1		93.0	93.6			
30	40	92.4	92.4	94.1	94.1		94.1	94.1			
37	50	93.0	93.0	94.5	94.5		94.1	94.1			
45	60	93.6	93.6	95.0	95.0		94.5	94.5			
55	75	93.6	93.6	95.4	95.0		94.5	94.5			
75	100	94.1	93.6	95.4	95.4		95.0	95.0			
90	125	95.0	94.1	95.4	95.4		95.0	95.0			
110	150	95.0	94.1	95.8	95.8		95.8	95.4			
150	200	95.4	95.0	96.2	95.8		95.8	95.4			
185-200	250-270	95.8	95.4	96.2	96.0	95.8	95.8				

0.7. 泵浦性能測試 CNS16017



CNS16017 迴轉動力泵液壓性能允收試驗-1級、2級及3級

章節3.2.12 總揚程

任一截面之總能量，總揚程方程式表示：
$$H_x = Z_x + \frac{P_x}{\rho g} + \frac{U_x^2}{2g}$$

其中Z:橫截面中心在參考面的高度，P:所述橫截面中心的錶壓

章節3.2.13 入口總揚程

泵入口截面處的總能量，入口總揚程方程式表示：
$$H_1 = Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g}$$

章節3.2.14 出口總揚程

泵出口截面處的總能量，出口總揚程方程式表示：
$$H_2 = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g}$$

章節3.2.15 泵總揚程

出口總揚程 H_2 與入口總揚程 H_1 之代數差，總揚程方程式表示：

$$H = Z_2 - Z_1 + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g}$$

CNS16017-A.2節 量測原理的補充說明

3.2.7 小節

揚程定義中，規定的各種輸應在泵的入口節面 S_1 的上游及 S_2 的下游，一小段距離的 S_1 截面及 S_2 截面處進行量測，參照圖。因此應該考慮期間的管路摩擦損失，亦即 S_1 與 S_2 之間 H_{12} 及可能之局部揚程損失，亦即 S_1 與 $S_{1'}$ 之間的 H_{J1} 及面 S_2 與 $S_{2'}$ 之間的 H_{J2} ，而泵總揚程由下式計算之。

$$H = H_{2'} - H_{1'} + H_{J1} + H_{J2}$$

式中， $H_{1'}$ 及 $H_{2'}$ 為 $S_{1'}$ 及 $S_{2'}$ 處的總揚程

$$Z_1 = Z_{1'} + Z_{m1'} \quad Z_2 = Z_{2'} + Z_{m2'}$$

$$H = Z_{2'} - Z_{1'} + Z_{m2'} - Z_{m1'} + \frac{P_{m2'} - P_{m1'}}{\rho \times g} + \frac{U_{2'}^2 - U_{1'}^2}{2g} + H_{J2} + H_{J1}$$

差壓計量測

$$Z_1 = Z_{1'} + Z_{m1'}$$

$$Z_2 = Z_{2'} - Z_{m2'}$$

$$\Delta Z_m = Z_{2'} - Z_{1'} = Z_{m2'} + Z_{m1'}$$

$$\begin{aligned} \Delta Z &= (Z_{2'} - Z_{m2'}) - (Z_{1'} + Z_{m1'}) \\ &= (Z_{2'} - Z_{1'}) - (Z_{m1'} + Z_{m2'}) \end{aligned}$$

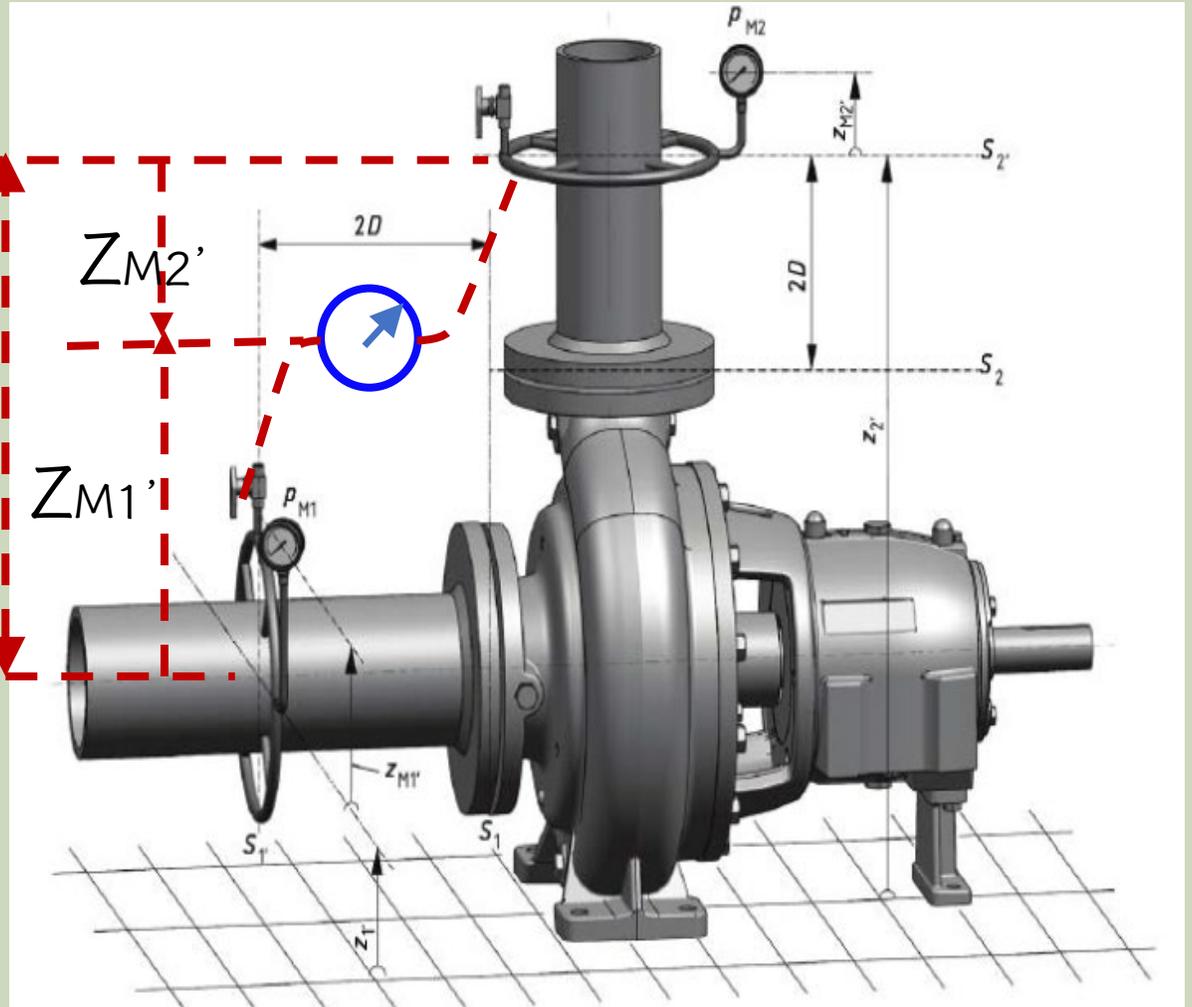
$$\Delta Z = \Delta Z_m - \Delta Z_m = 0$$

$$H = Z_{2'} - Z_{1'} - (Z_{m2'} + Z_{m1'}) + \frac{P_{m2'} - P_{m1'}}{\rho \square g} + \frac{U_{2'}^2 - U_{1'}^2}{2g} + (H_{J2} + H_{J1})$$

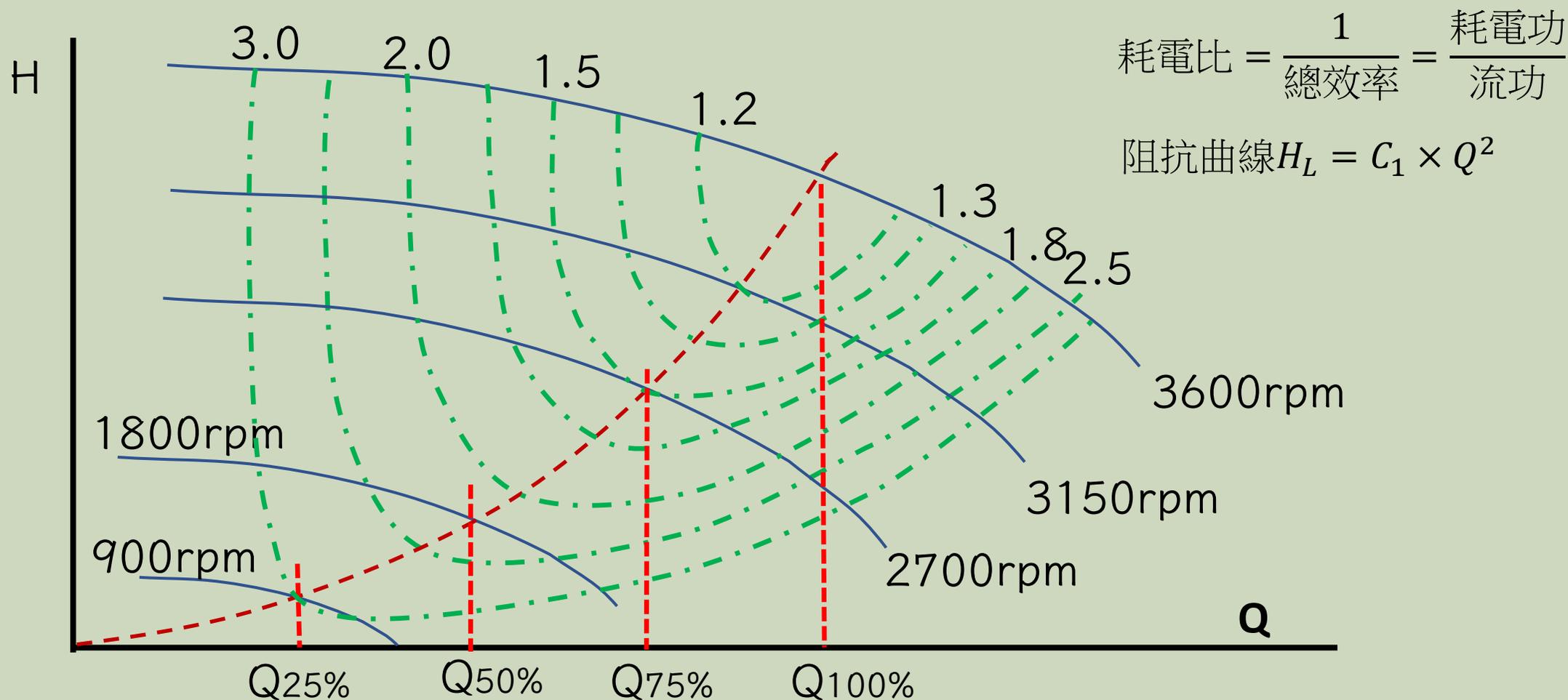
0多數忽略

$$H = \frac{P_{m2'} - P_{m1'}}{\rho \square g} + \frac{U_{2'}^2 - U_{1'}^2}{2g}$$

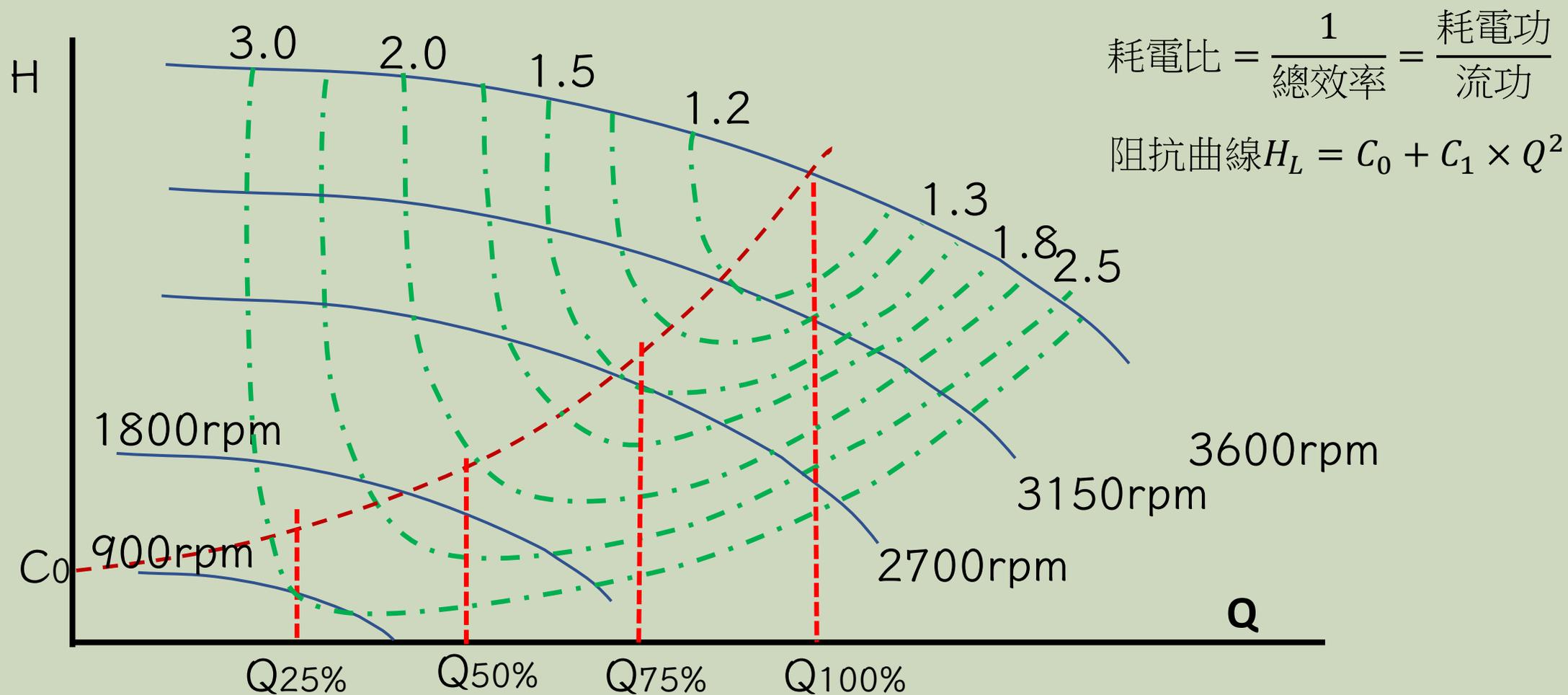
ΔZ_M



0.8 請泵廠提供冰水泵等耗電比(等總效率)性能曲線

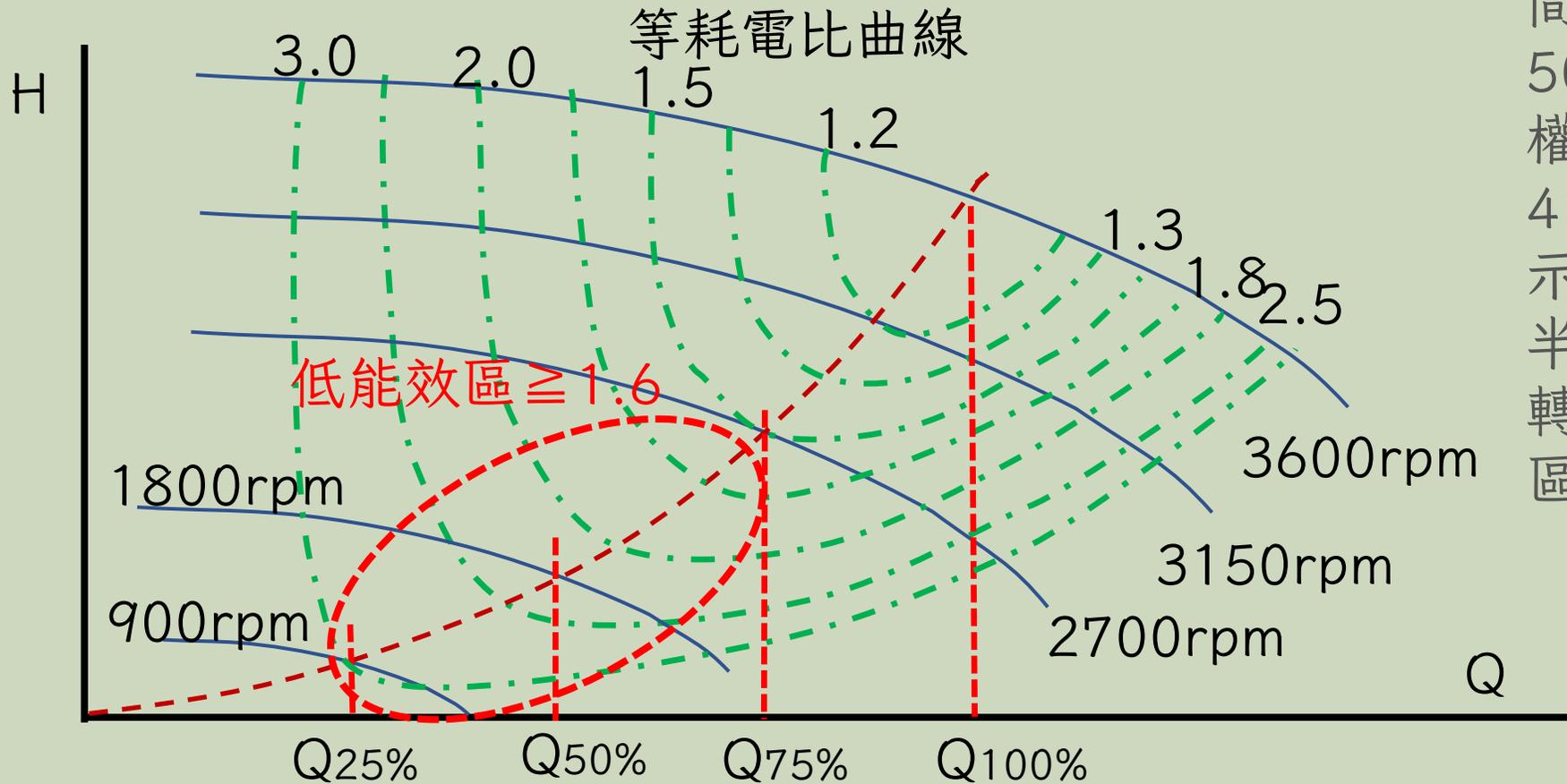


0.9 請泵廠提供冷卻泵等耗電比(等總效率)性能曲線



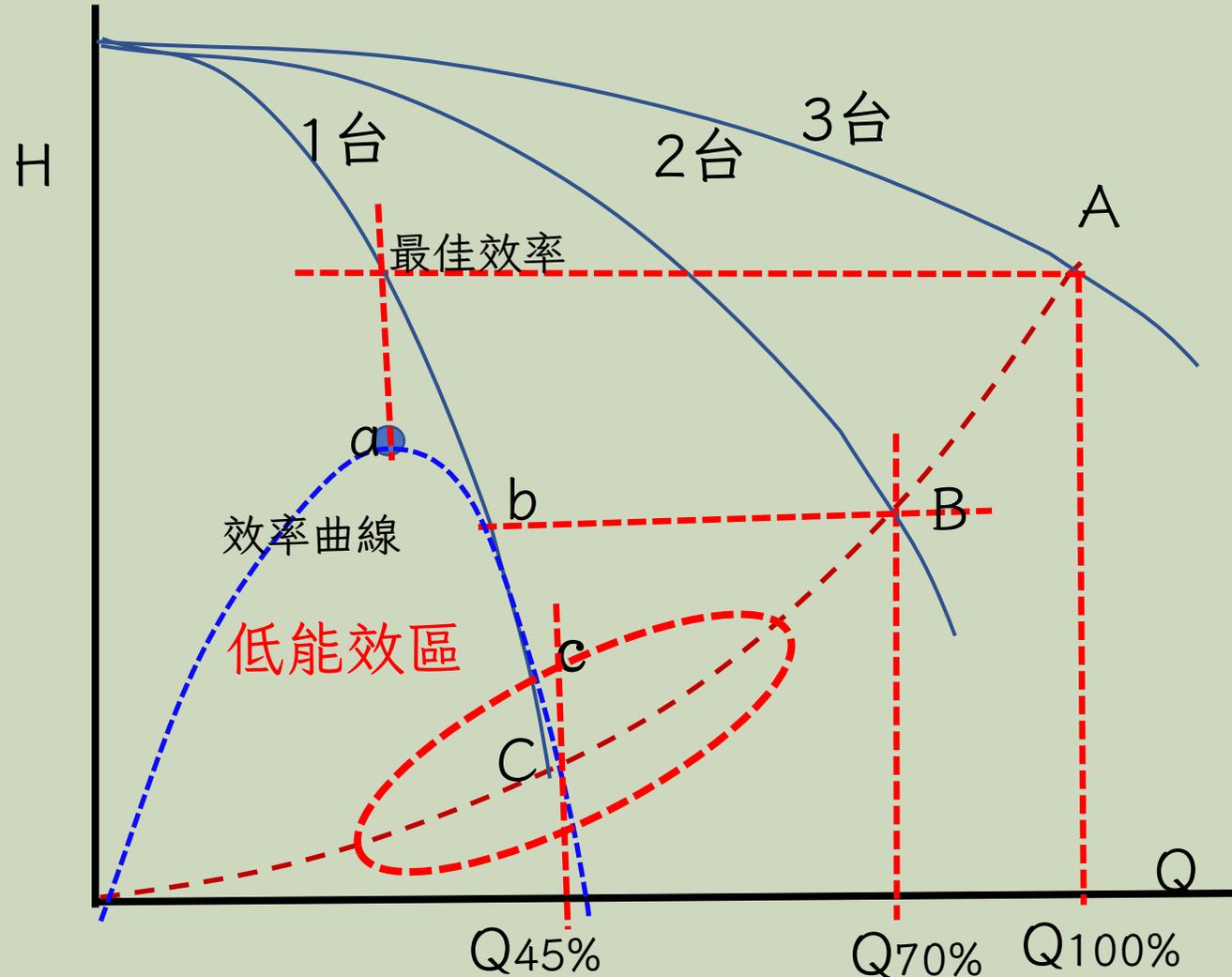
0.10 泵浦運轉在低能效區域的問題

$$\text{IPLV} = 2.3\% \times A + 41.5\% \times B + 46.1\% \times C + 10.1\% \times D$$



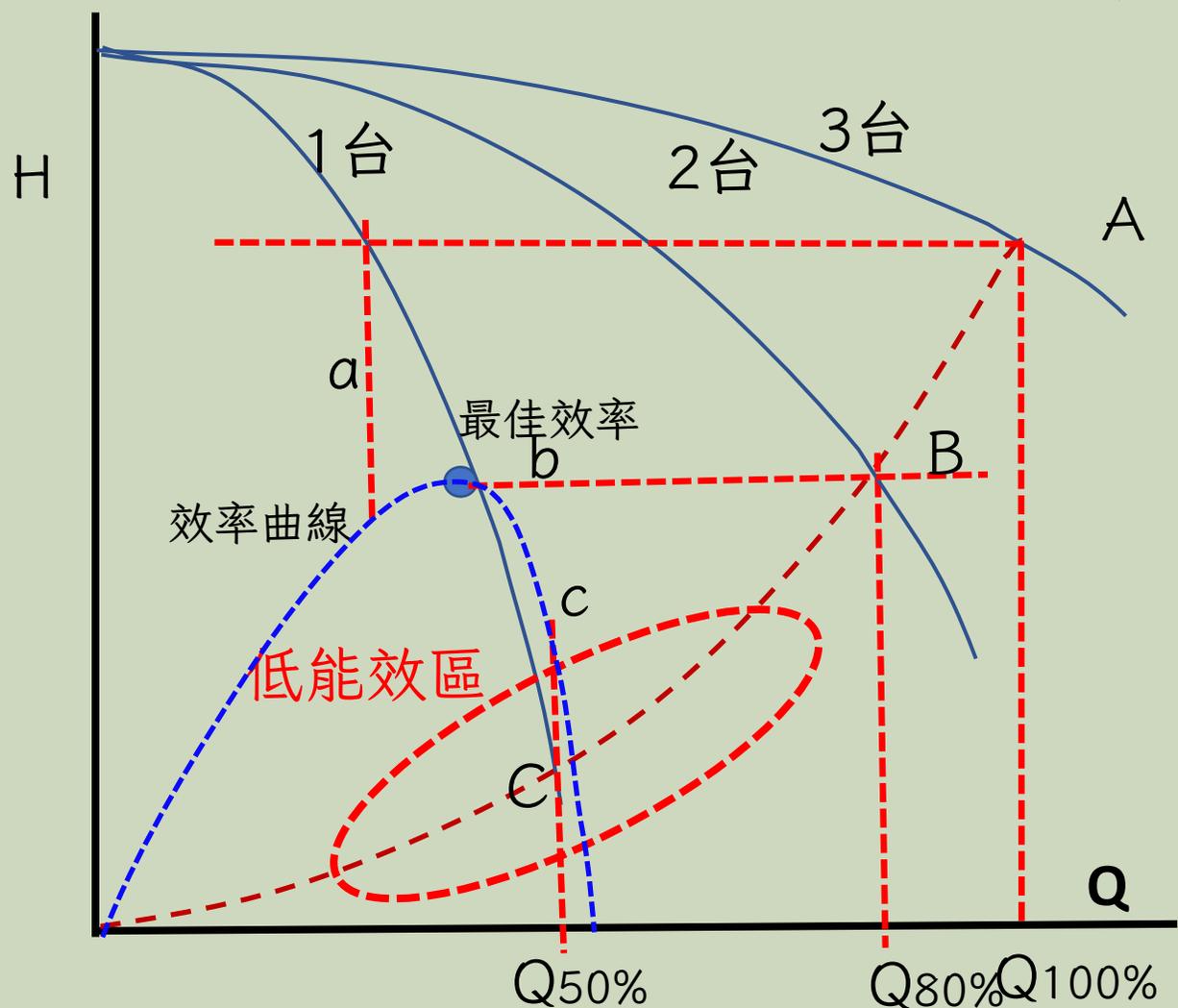
以IPLV的時間係數來說，50%負載的權重高達41.5%，表示有將近一半的時間運轉在低負載區域。

0.11 泵浦並聯運轉轉，案例一，效率變化示意圖1備3用



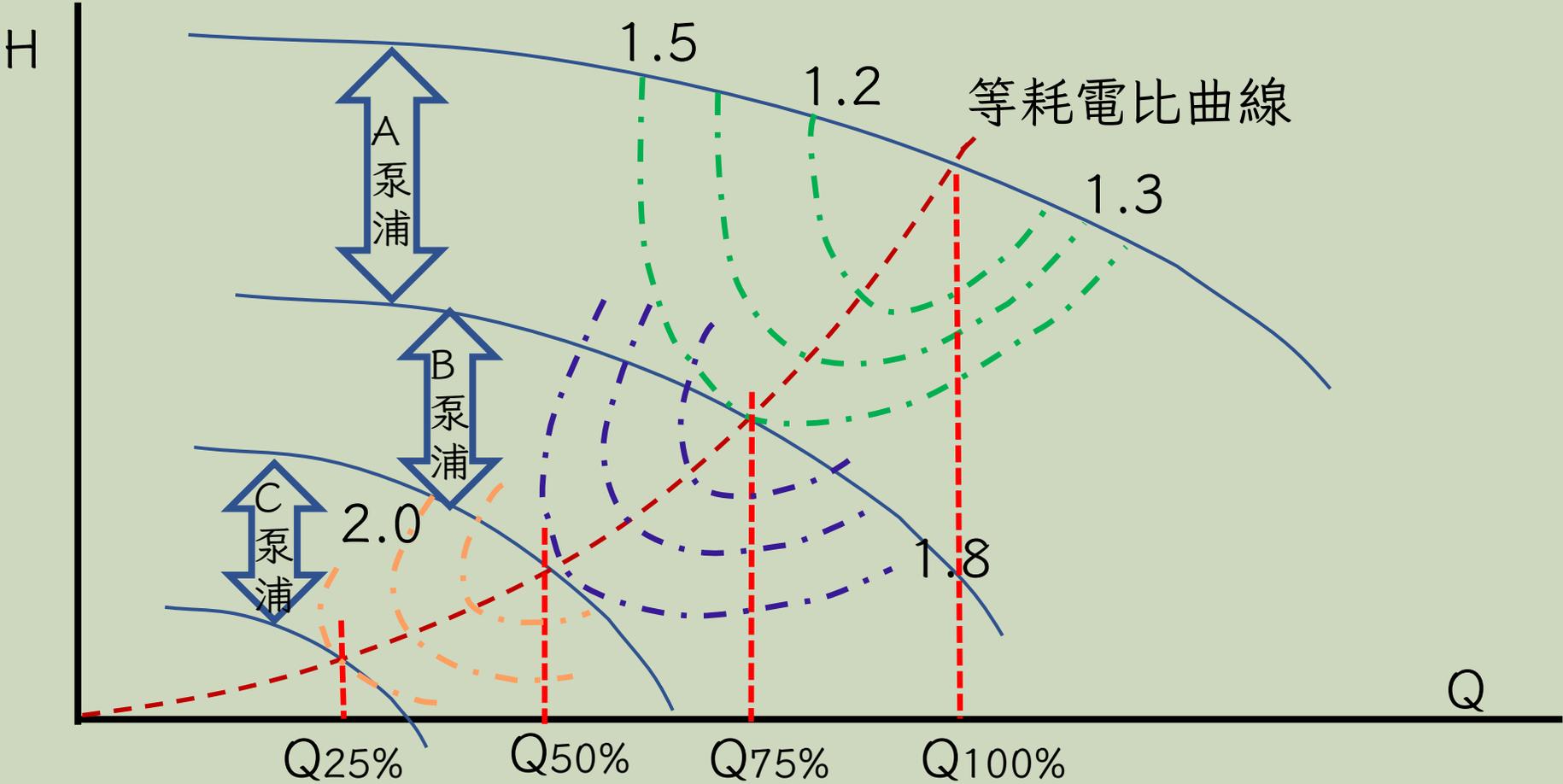
三台並聯泵浦機組在低流量下的低能效問題，A、B、C三個操作點，分別落在效率曲線上的a、b、c三點，如圖中的操作點A效率最佳，操作點B效率可能落在10%以外，操作點C的效率最差，最佳效率點的揚程太接近操作點A，操作點C的低能效問題會更惡化。

0.12 泵浦並聯運轉，案例二，效率變化示意圖1備3用

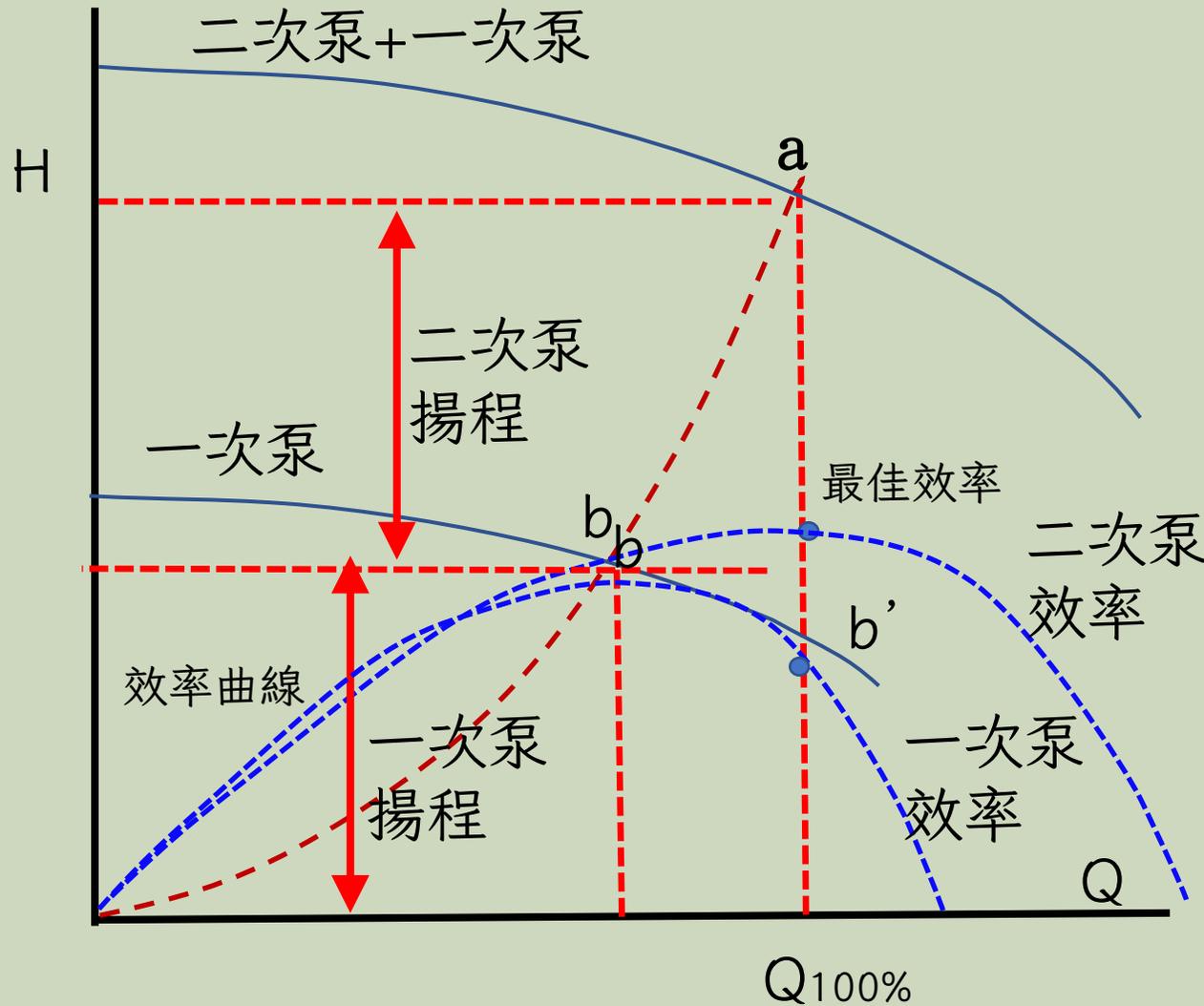


三台並聯泵浦機組在低流量下的低能效問題，A、B、C三個操作點，分別落在效率曲線上的a、b、c三點，如圖中的操作點A效率稍佳，操作點B效率最佳，操作點C的效率最差可能落在20%以外，單台泵浦的最高效率點的揚程應位於操作點A與操作點B之間，但仍無法解決操作點C的低能效問題。

0.13 泵浦並聯運，案例三，A泵x2台一備一用，B泵x1台，C泵x1台

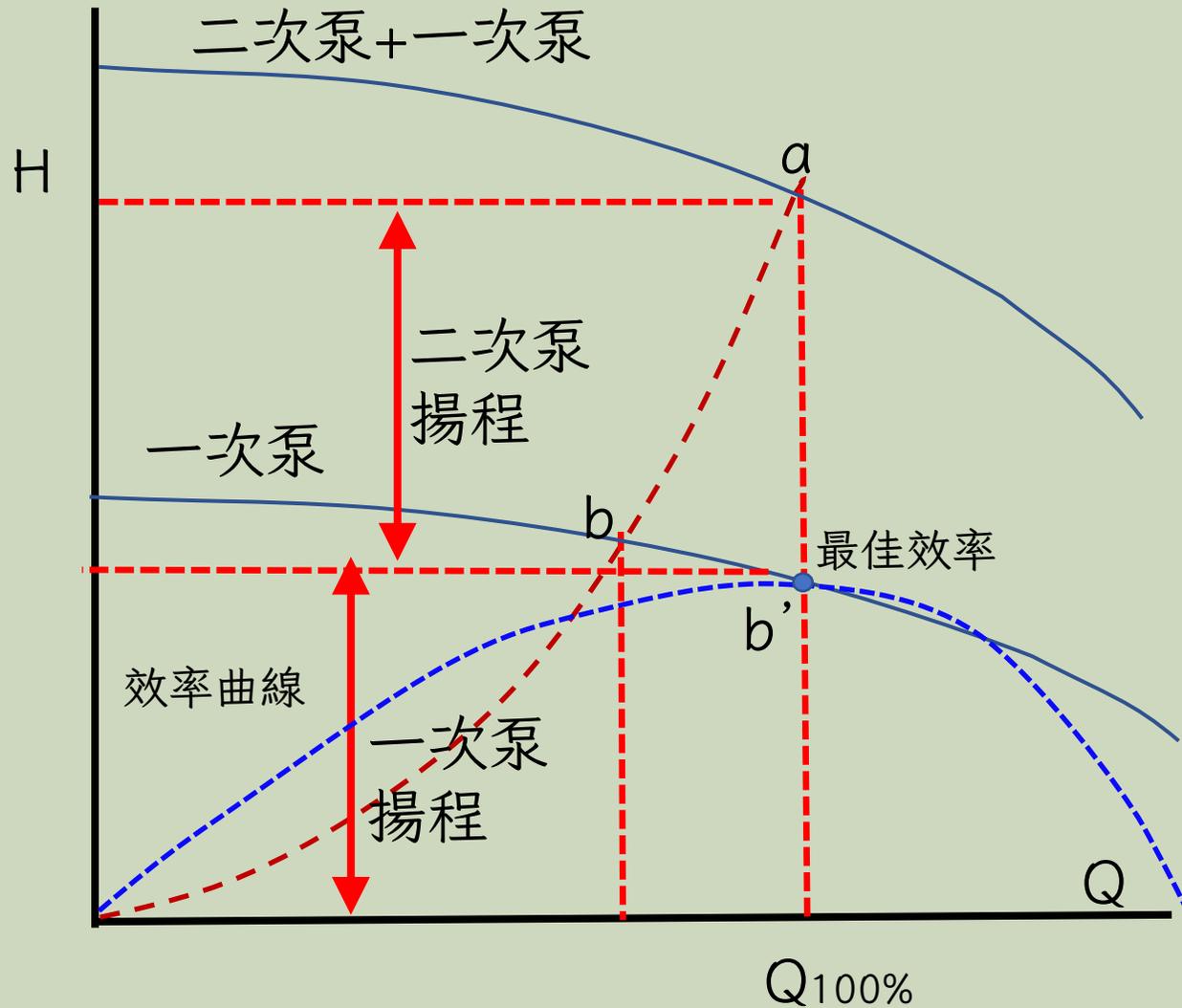


0.14 泵浦串聯，案例一，運轉效率變化示意圖



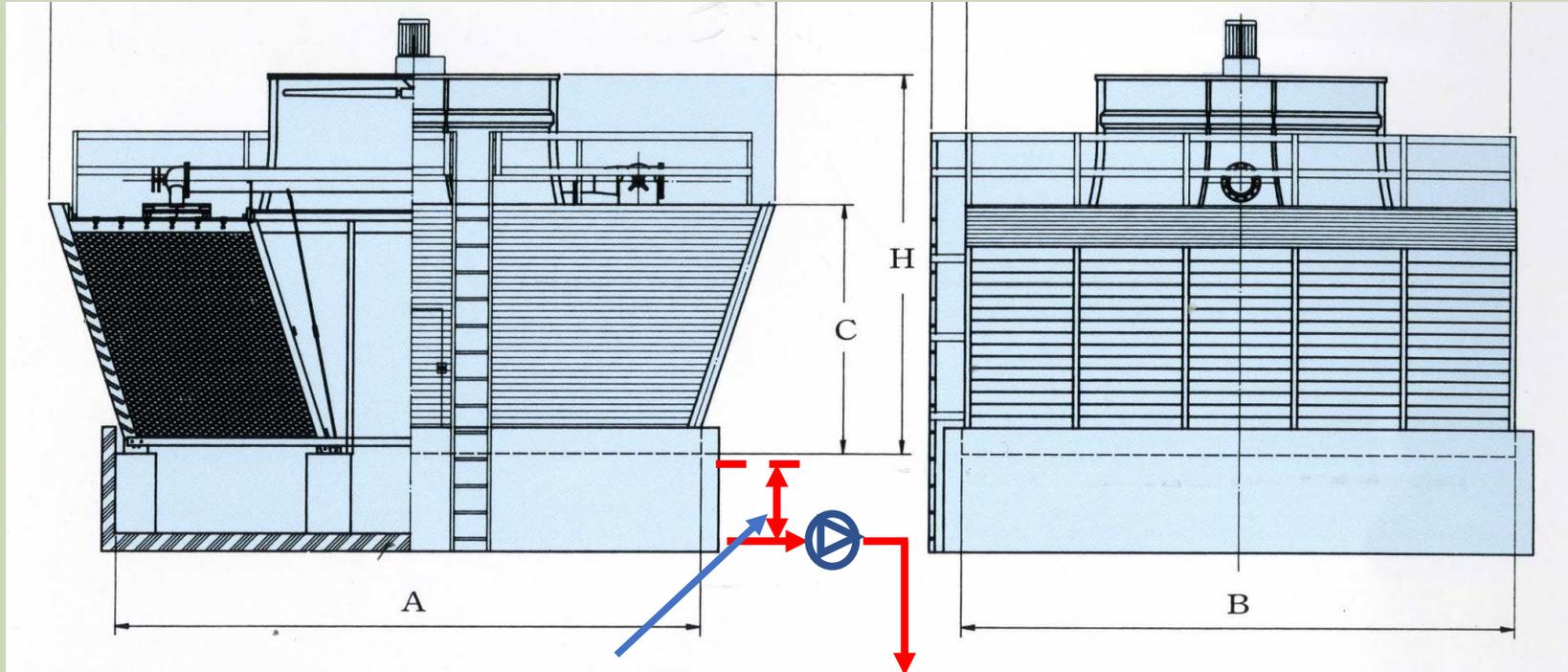
一次泵與二次泵的選用，不能只考慮個別泵浦的操作點，因為二個泵浦串連起來之後必須等同於一顆泵浦來測試，二者流量相同，如圖中的一次泵與管路阻抗曲線的操作點為b，但串聯後的操作點b'，而一次泵的實際運轉效率會落在b'的低效率區。

0.15 泵浦串聯， 案例二， 運轉效率變化示意圖



一次泵與二次泵的最高效率點都必須位在 $Q_{100\%}$ ，因為如圖中的一次泵與管路阻抗曲線的操作點為b，但串聯後的操作點b'，這樣一次泵的實際運轉點會落在b'的高效率區，也就是一次泵與二次泵都運轉在最佳效率點。

0.17 冷卻泵與冷卻塔安裝在屋頂時注意事項



液位差=水槽液面高-冷卻
泵入口中心高
液位差必須大於出水管動
壓再加0.5m，才能避免
吸到空氣。

$$\text{液位差 (m)} \geq \frac{V^2}{2 \times g} + 0.5(m)$$

V：水槽出口流速(m/s)

g：重力加速度9.81(m/s²)

1. 實施方法

1.1. 基本資料與量測資料

步驟1. 蒐集數據：冰機/泵浦/冷卻塔耗電功紀錄表(kW)、冷凍容量(RT)、蒸發器/冷凝器/冷卻塔/室外環境/濕球/出入口溫度(°C)、泵出入口壓力(bar)、壓力錶對基準面位差(m)、冰水流速(m/s)、冷卻水流速(m/s)、泵浦轉速(rpm)、冷卻塔位差(m)等。

步驟2. 流量Q(cms, cmm, cmh)計算：剝開保溫棉用皮尺量測管外週長，再換算為外側直徑，再用厚度計量取管道壁厚(+積垢厚)，計算管內側直徑與截面積(m^2)，再乘以流速(m/s)，最後得到流量，冰水流量與冷卻水流量。

步驟3. 計算泵浦的揚程H(m)：用泵出入口壓力差、壓力錶對基準面位差與管路流速，計算泵浦揚程H，操作點(Q,H)。

步驟4. 計算冷卻塔近似效率：冷卻水塔效率 50~70%；趨近溫度 $\Delta T = 3^{\circ}\text{C}$ (或 5°F) 以下。

$$\text{冷卻塔近似效率} = \frac{(T_i - T_o)}{(T_i - T_w)} \times 100\%$$

$$\text{趨近溫度} \quad \Delta T = T_o - T_w$$

T_i ：入口水溫； T_o ：出口水溫； T_w ：大氣濕球溫度

1.2.系統量測數據計算

- 步驟5.蒸發器冷凍量計算(kW, RT)：用量測的溫差 $^{\circ}\text{C}$ 與量測流量(m^3/s)推算冷凍容量(kW, RT)，稱為系統熱負載，其實是冰水熱負載(kW)，等於系統熱負載+冰水泵的馬達輸出熱量(軸功kW)，若冰水泵也在室內，那就是耗電功。
- 步驟6.凝器散熱量計算(kW, RT)：用量測的溫差 $^{\circ}\text{C}$ 與量測流量(m^3/s)推算冷凝器散熱量(kW, RT)，這散熱量為冷卻塔的散熱負載(kW)的一部份，稱為冷卻水熱負載(kW)，等於冷媒熱負載+冷卻泵的馬達輸出熱量(軸功kW)，冷媒熱負載等於冰水熱負載+壓縮機耗電，若冷卻泵也在室內，那就是耗電功。
- 步驟7.冷卻塔散熱量計算(kW, RT)：冷凝器散熱量(kW, RT)，這散熱量為冷卻塔的散熱負載(kW)的一部份，稱為冷卻水熱負載(kW)，再加上冷卻塔的馬達耗電功(軸功kW)，等於室外循環空氣的散熱量。



冰水熱負荷(kW) = 系統熱負荷(kW) + 冰水泵軸功(kW)或耗電功(kW)

冷媒熱負荷(kW) = 冰水熱負荷(kW) + 壓縮機耗電功(kW)

冷卻水熱負荷(kW) = 冷媒熱負荷(kW) + 冷卻泵軸功(kW)或耗電功(kW)

冷卻塔散熱量(kW) = 冷卻水熱負荷(kW) + 風扇軸功(kW)或耗電功(kW)



步驟8.計算水側系統與各項裝置之能效，量測值：

$$\text{系統能效}(kW/RT) = \frac{(\text{冰機耗電功} + \text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功}) (kW)}{\text{系統熱負荷 (冰水熱負荷)} (RT)}$$

$$\text{附屬設備能效}(kW/RT) = \frac{(\text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功}) (kW)}{\text{系統熱負荷 (冰水熱負荷)} (RT)} \leq 0.12 (kW/RT)$$

$$\text{冰機能效}(kW/RT) = \frac{\text{冰機耗電功}(kW)}{\text{系統熱負荷 (冰水熱負荷)} (RT)}$$

$$\text{冰水泵能效}(kW/RT) = \frac{\text{冰水泵耗電功}(kW)}{\text{系統熱負荷 (冰水熱負荷)} (RT)}$$

$$\text{冷卻泵能效}(kW/RT) = \frac{\text{冷卻泵耗電功}(kW)}{\text{系統熱負荷 (冰水熱負荷)} (RT)}$$

$$\text{冷卻塔能效}(kW/RT) = \frac{\text{冷卻塔耗電功}(kW)}{\text{系統熱負荷 (冰水熱負荷)} (RT)}$$

步驟9.計算冰機電功負載比例%：冰機耗電功(kW)/冰機額定點耗電功(kW)，代表冰機電功部分負載比率。

步驟10.計算冰機冷凍負載比例%：冰機熱負載(RT)/冰機額定點冷凍容量(RT)，代表冰機冷凍部分負載比率。

$$\text{冰機冷凍負載比}_{@量測值} = \frac{\text{冷凍噸 (RT)}_{@量測值}}{\text{冷凍噸 (RT)}_{@額定值}}$$

$$\text{冰機耗電負載比}_{@量測值} = \frac{\text{耗電功 (kW)}_{@量測值}}{\text{耗電功 (kW)}_{@額定值}}$$

指標計算

步驟11. 計算冰水泵耗電搬運效率(kW/kW)：冰水熱負載(kW)/耗電功(kW)，代表經由馬達單位電功(kW)馱運出來的熱量(kW)，其比值代表系統的蒸發器+管路+內部洩漏的熱交換能力。

$$\text{搬運效率}_{\text{@冰水泵@耗電}} (kW / kW) = \frac{\text{冰水熱負載}(kW)}{\text{冰水泵耗電功}(kW)}$$

步驟12. 計算冷卻水泵耗電搬運效率(kW/kW)：冷卻水熱負載(kW)/耗電功(kW)，代表經由馬達單位電功(kW)能由冷凝器馱運出來的熱量(kW)，其比值代表系統的冷凝器+管路+冷卻水塔的熱交換能力。

$$\text{搬運效率}_{\text{@冷卻泵@耗電}} (kW / kW) = \frac{\text{冷卻水熱負載}(kW)}{\text{冷卻泵耗電功}(kW)}$$

指標計算

步驟13.冷卻塔搬運效率 (kW/kW)：等於冷卻塔散熱量(kW)/冷卻風扇耗電量(kW)。

$$\text{搬運效率}_{\text{冷卻塔}}_{\text{耗電}} (\text{kW} / \text{kW}) = \frac{\text{冷卻塔散熱量}(\text{kW})}{\text{風扇耗電功}(\text{kW})}$$

步驟14.計算冷卻塔水量耗電比：耗電功(kW) /流量(L/min) @溫差℃，每單位水量(L/min)所需的耗電功(kW)，冷卻水量會與溫差成反比。

$$\text{水量耗電功} (\text{kW} / \text{LPM}) = \frac{\text{風扇耗電功}(\text{kW})}{\text{冷卻水量}(\text{LPM})}$$

指標計算



步驟15. 計算泵浦的耗電比：耗電比(kW/kW) = 耗電功(kW)/流功(kW)，每一台冰水泵與冷卻泵分別計算，另一種能效形式。

$$\text{耗電比} = \frac{1}{\text{總效率}(\%)} = \frac{1}{\text{泵浦效率}(\%) \times \text{馬達效率}(\%)}$$

$$\text{耗電比}_{\text{冰水泵}}(\text{kW}/\text{kW}) = \frac{\text{耗電功}_{\text{冰水泵}}(\text{kW})}{\text{流功}_{\text{冰水泵}}(\text{kW})}$$

$$\text{耗電比}_{\text{冷卻泵}}(\text{kW}/\text{kW}) = \frac{\text{耗電功}_{\text{冷卻泵}}(\text{kW})}{\text{流功}_{\text{冷卻泵}}(\text{kW})}$$

指標計算

步驟16.由歐盟泵浦能效與IE3馬達計算泵浦的耗電比：

$$\text{耗電比} = \frac{1}{\text{泵浦效率}_{\text{歐盟}} \times \text{馬達效率}_{\text{IE3}}} = \frac{1}{\text{總效率}_{\text{歐盟}}} = \frac{\text{耗電功}(kW)}{\text{流功}(kW)}$$

當系統能效需要更新時，必須引入高能效泵浦，而歐盟的泵浦能效是非常有用的參考。

步驟17.部分負載時，必須運用阻抗曲線進行新的揚程計算，冰水機的部分負載與流量成正比，而泵浦的流量與轉速成正比，但須跟阻抗曲線配合算出真正的變頻轉速下的揚程。

系統特性

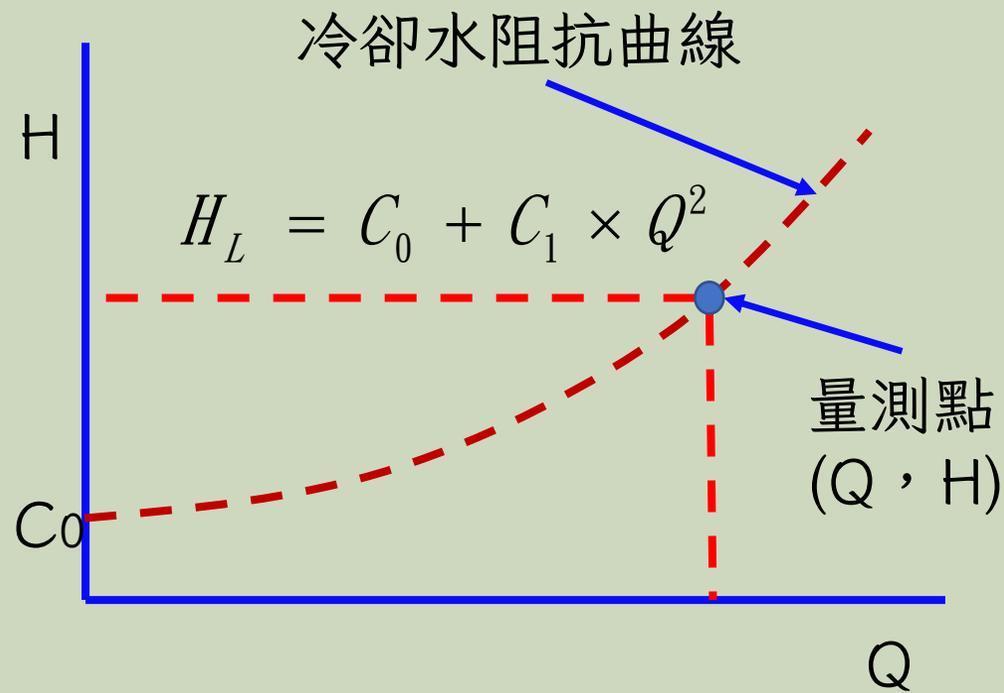
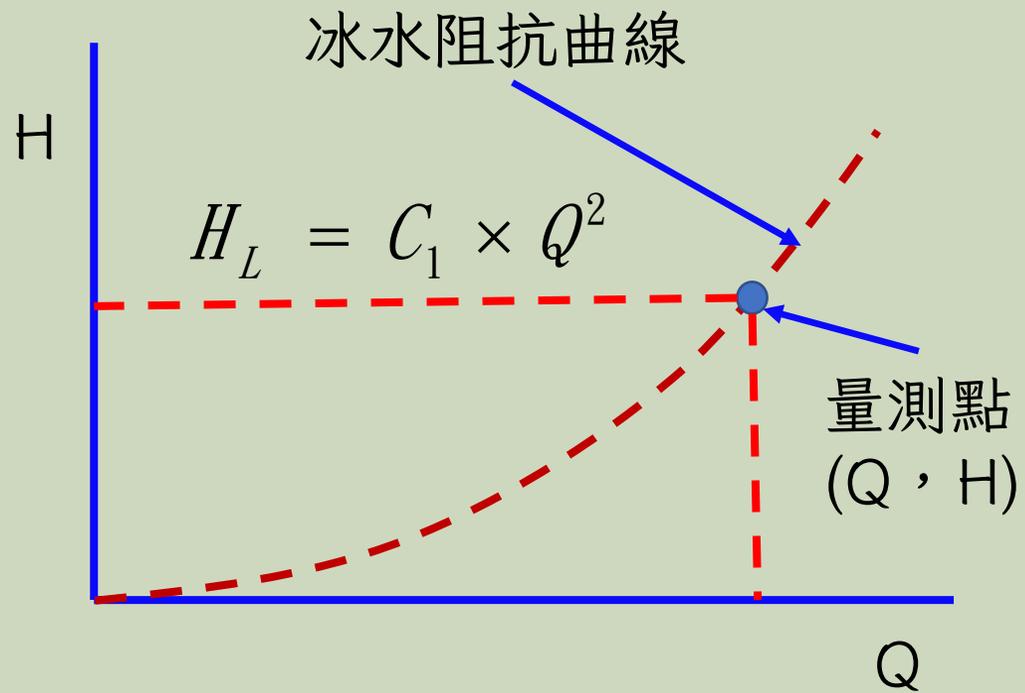
步驟18.計算冰水管路阻抗曲線：冰水管路為閉迴路的O形閉迴管路，係數 C_0 為0，只有係數 C_1 需要計算，有固定管路負載計算或變動負載曲線計算，並繪製曲線。

$$H_L = C_1 \times Q^2$$

步驟19.計算冷卻水管路阻抗曲線：冷卻水管路多數為開口向上的U形管路，有係數 C_0 與 C_1 需要計算，係數 C_0 為冷卻塔散水盤與盛水盤的位差(m)，多數以固定管路負載來計算，計算阻抗曲線的係數 C_0 與 C_1 ，並繪製曲線。

$$H_L = C_0 + C_1 \times Q^2$$

系統特性



系統特性

步驟20. 計算輸出流功(kW)： $\rho(kg/m^3) \times g(m/s^2) \times H(m) \times Q(m^3/s)/1000$

清水密度 $\rho(kg/m^3) = 1000 (kg/m^3)$

重力加速度 $g(m/s^2) = 9.81 (m/s^2)$

步驟21. 計算冰水流功搬運效率(kW/kW)：冰水熱負載(kW)/冰水流功(kW)，代表經由單位流功(kW)能由蒸發器馱運出來的熱負載(kW)，跟馬達能效無關，其比值代表系統的蒸發器+管路+內部洩漏的熱交換能力。

$$\text{搬運效率}_{\text{@冰水泵流功}} (kW / kW) = \frac{\text{熱負荷冰水} (kW)}{\text{流功冰水泵} (kW)}$$

系統特性

步驟22. 計算冷卻水流功搬運效率(kW/kW)：冷卻水熱負載(kW)/冷卻水流功(kW)，代表經由單位流功(kW)能由冷凝器馱運出來的熱負載(kW)，跟馬達能效無關，其比值代表系統的冷凝器+管路+冷卻塔的熱交換能力。

$$\text{搬運效率@冷卻泵流功 (kW / kW)} = \frac{\text{熱負荷冷卻水 (kW)}}{\text{流功冷卻泵 (kW)}}$$

2. 現況修正回溫差5°C

回歸溫差@5°C標準狀況，重新計算系統能效，在蒸發器熱負載、冷凝器熱負載與冰水機耗電量不變下，冰機能效不變、泵浦耗電比不變，重新計算溫差5°C下流量及其他指標。

$$\text{系統熱負載(冰水熱負載)}_{@5^{\circ}\text{C}}(RT) = \text{系統熱負載(冰水熱負載)}_{@量測值}(RT)$$

步驟23. 溫差@5°C時的流量(cmm)：修正回溫差為5°C時的流量(m³/min)，流量Q與溫差ΔT成反比，含蒸發器與冷凝器的溫差修正。

$$Q_{@5^{\circ}\text{C}冰水} = Q_{冰水} \times \frac{\Delta T_{蒸發器}}{5}$$

$$Q_{@5^{\circ}\text{C}冷卻水} = Q_{冷卻水} \times \frac{\Delta T_{冷凝器}}{5}$$

步驟24. 溫差5°C 計算泵浦流功(kW)：用阻抗曲線計算泵浦在溫差@5°C時的揚程(m)並計算出流功(kW)，冰水泵與冷卻泵，溫差@5°C的操作點($Q_{@5^\circ\text{C}}$ ， $H_{@5^\circ\text{C}}$)。

$$H_{@5^\circ\text{C冰水泵}} = C_1 \times Q_{@5^\circ\text{C冰水泵}}^2$$

$$H_{@5^\circ\text{C冷卻泵}} = C_0 + C_1 \times Q_{@5^\circ\text{C冷卻泵}}^2$$

$$\text{流功}_{@5^\circ\text{C冰水泵}} = \rho(\text{kg/m}^3) \times g(\text{m/s}^2) \times H_{@5^\circ\text{C冰水泵}}(\text{m}) \times Q_{@5^\circ\text{C冰水泵}}(\text{m}^3/\text{s})/1000$$

$$\text{流功}_{@5^\circ\text{C冷卻泵}} = \rho(\text{kg/m}^3) \times g(\text{m/s}^2) \times H_{@5^\circ\text{C冷卻泵}}(\text{m}) \times Q_{@5^\circ\text{C冷卻泵}}(\text{m}^3/\text{s})/1000$$

冰水泵耗電比測試報告，冷卻水泵耗電比測試報告

步驟25. 泵浦耗電功@溫差5°C：請由0.8節到0.16節考慮泵浦機組之性能組合並由泵浦等耗電比曲線取得耗電比的值，並由泵浦耗電比乘以流功來獲得馬達@溫差5°C的耗電功，含冰水泵與冷卻泵。

若無法得到泵廠提供的等耗電比曲線，可以假設泵浦的耗電比等同於量測值而直接引用。

$$\text{耗電功}_{@冰水泵@5^{\circ}C冰水} = \text{流功}_{@5^{\circ}C冰水} \times \text{耗電比}_{@冰水泵}$$

$$\text{耗電功}_{@冷卻泵@5^{\circ}C冷卻水} = \text{流功}_{@5^{\circ}C冷卻水} \times \text{耗電比}_{@冷卻泵}$$

冰機測試報告

步驟26.冰機冷凍容量(RT)@溫差5°C：可以假設冰機@溫差5°C的能效等同於量測值而直接引用其冰機耗電功，因為在做溫度轉換時冰機的能效(kW/RT)並沒有改變。

$$\text{冰機能效}(kW/RT)_{@5^{\circ}\text{C}} = \text{冰機能效}(kW/RT)_{@量測值}$$

$$\text{冰機冷凍噸}(RT)_{@5^{\circ}\text{C}} = \text{冰機冷凍噸}(RT)_{@量測值}$$

$$\text{冰機耗電功}_{@5^{\circ}\text{C}} = \text{冰機耗電功}_{@量測值}$$

步驟27.冷卻塔耗電功@溫差5°C：用步驟14計算冷卻塔的能效，耗電量/水量，來估計冷卻風扇的耗電值，因為溫差大時用更少的外部循環空氣之風量就可以散去相同的熱量，也就是風扇耗用更少的電量，在溫差加大時散熱效率會稍微提高，在橫流式冷卻塔因為有效換熱面積大，但在相同的散熱需求下散熱塔的能效不變。

$$\text{水量耗電功@5°C (kW/LPM)} = \text{水量耗電功@量測值 (kW/LPM)}$$

$$\text{風扇耗電功@5°C (kW)} = \text{冷卻塔水量 (LPM)@5°C} \times \text{水量耗電功@5°C (kW/LPM)}$$

步驟28.指標計算-耗電搬運效率

$$\text{搬運效率}_{@冰水泵@耗電@溫差5^{\circ}\text{C}}(\text{kW} / \text{kW}) = \frac{\text{冰水熱負載}(\text{kW})}{\text{冰水泵耗電功}(\text{kW})}$$

$$\text{搬運效率}_{@冷卻泵@耗電@溫差5^{\circ}\text{C}}(\text{kW} / \text{kW}) = \frac{\text{冷卻水熱負載}(\text{kW})}{\text{冷卻泵耗電功}(\text{kW})}$$

$$\text{搬運效率}_{@冷卻塔@耗電@溫差5^{\circ}\text{C}}(\text{kW} / \text{kW}) = \frac{\text{冷卻塔散熱量}(\text{kW})}{\text{風扇耗電功}(\text{kW})}$$

步驟29. 參考**步驟8**，計算水側系統與各項裝置@溫差5°C之能效。

$$\text{系統能效}_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{kW}/\text{RT}) = \frac{(\text{冰機耗電功} + \text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{kW})}{\text{系統熱負荷}(\text{冰水熱負荷})_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{RT})}$$

$$\text{附屬設備能效}_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{kW}/\text{RT}) = \frac{(\text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{kW})}{\text{系統熱負荷}(\text{冰水熱負荷})_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{RT})} \leq 0.12(\text{kW}/\text{RT})$$

$$\text{冰機能效}_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{kW}/\text{RT}) = \frac{\text{冰機耗電功}_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{kW})}{\text{系統熱負荷}(\text{冰水熱負荷})_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{RT})}$$

$$\text{冰水泵能效}_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{kW}/\text{RT}) = \frac{\text{冰水泵耗電功}_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{kW})}{\text{系統熱負荷}(\text{冰水熱負荷})_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{RT})}$$

$$\text{冷卻泵能效}_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{kW}/\text{RT}) = \frac{\text{冷卻泵耗電功}_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{kW})}{\text{系統熱負荷}(\text{冰水熱負荷})_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{RT})}$$

$$\text{冷卻塔能效}_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{kW}/\text{RT}) = \frac{\text{冷卻塔耗電功}_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{kW})}{\text{系統熱負荷}(\text{冰水熱負荷})_{@5^{\circ}\text{C}}(\text{RT})}$$

3. 修回溫差5°C+功率100%

回歸冰機額定點耗電功@電功100%、溫差@5°C標準狀況

步驟30. 計算冰機電功100%負載時壓縮機冷凍容量(RT)：用冰水機能效測試報告，計算出冰機功率100%時冰水機的冷凍容量。

方法一、用線性內插法

1. 冰機在負載100%、75%、50%、25%時的出廠測試數據，冷凍噸(RT)、耗電功(kW)
2. 冰機在現場量測時耗電功(kW)與冷凍噸(RT)
3. 取相同耗電功下的冷凍噸比(RT/RT)

$$\text{冰水機冷凍噸}_{@電功100\%}(RT) = \frac{\text{冷凍噸}(RT)_{@5^{\circ}\text{C}}}{\text{冷凍噸}(RT)_{@出廠值@相同電功}} \times \text{冷凍噸}(RT)_{@電功100\%@出廠測試值}$$



- 方法二、假設冰機能效相同或近似(缺乏數據下才使用，一般不建議)
1. 冰機在現場量測時之冰機能效(kW/RT) = 耗電功(kW) / 冷凍噸(RT)
 2. 假設在馬達100%、75%、50%、25%負載下，冰機的能效相同

$$\text{冰水機冷凍噸}_{@電功100\%} (RT) = \frac{\text{馬達耗電功}(kW)_{@電功100\%} @ \text{出廠測試值}}{\text{冰機能效}(kW/RT)}$$



步驟31.計算壓縮機@電功100%時的流量：以冰水主機的設計規格計算相對流量。

引用冰機設計規格@功率100%

1.蒸發器入出水溫差：5°C

2.冷凝器入出水溫差：5°C

3.冰水循環量：10 LPM/RT

4.冷卻水循環量：12.5 LPM/RT

冰水泵流量@電功100% = 10(LPM) × 冷凍噸(RT)@電功100%

冷卻泵流量@電功100% = 12.5(LPM) × 冷凍噸(RT)@電功100%

步驟32. 壓縮機耗電功100%計算泵浦流功(kW)：用阻抗曲線計算泵浦在壓縮機耗電功100%且溫差5°C時的揚程(m)並計算出流功(kW)，冰水泵與冷卻泵。

$$Q_{@電功100%@5^{\circ}C冰水泵} = 冰水機冷凍噸_{@電功100%@5^{\circ}C} (RT) \times 10 (LPM/RT)$$

$$Q_{@電功100%@5^{\circ}C冷卻泵} = 冰水機冷凍噸_{@電功100%@5^{\circ}C} (RT) \times 12.5 (LPM/RT)$$

$$H_{@5^{\circ}C冰水泵@電功100\%} = C_1 \times Q_{@5^{\circ}C冰水泵@電功100\%}^2$$

$$H_{@5^{\circ}C冷卻泵@電功100\%} = C_0 + C_1 \times Q_{@5^{\circ}C冷卻泵@電功100\%}^2$$

$$流功_{@5^{\circ}C冰水泵@電功100\%} = \rho (kg/m^3) \times g (m/s^2) \times H_{@5^{\circ}C冰水泵@電功100\%} (m) \times Q_{@5^{\circ}C冰水泵@電功100\%} (m^3/s) / 1000$$

$$流功_{@5^{\circ}C冷卻泵@電功100\%} = \rho (kg/m^3) \times g (m/s^2) \times H_{@5^{\circ}C冷卻泵@電功100\%} (m) \times Q_{@5^{\circ}C冷卻泵@電功100\%} (m^3/s) / 1000$$

冰水泵耗電比測試報告，冷卻水泵耗電比測試報告

步驟33. 泵浦耗電功@溫差5°C@功率100%：請由0.8節到0.16節考慮泵浦機組之性能組合並由泵浦等耗電比曲線取得耗電比的值，並由泵浦耗電比乘以流功來獲得馬達@溫差5°C功率@100%的耗電功，含冰水泵與冷卻泵。
若無法得到泵廠提供的等耗電比曲線，可以假設泵浦的耗電比等同於量測值而直接引用。

$$\text{耗電功}_{@5^{\circ}\text{C冰水泵@電功100\%}} = \text{流功}_{@5^{\circ}\text{C冰水泵@電功100\%}} \times \text{耗電比}_{@5^{\circ}\text{C冰水泵@電功100\%}}$$

$$\text{耗電功}_{@5^{\circ}\text{C冷卻泵@電功100\%}} = \text{流功}_{@5^{\circ}\text{C冷卻泵@電功100\%}} \times \text{耗電比}_{@5^{\circ}\text{C冷卻泵@電功100\%}}$$

步驟34.指標計算-耗電搬運效率

$$\text{搬運效率}_{\text{@冰水泵@耗電@功率100\%}} (kW / kW) = \frac{\text{冰水熱負載}(kW)}{\text{冰水泵耗電功}(kW)}$$

$$\text{搬運效率}_{\text{@冷卻泵@耗電@功率100\%}} (kW / kW) = \frac{\text{冷卻水熱負載}(kW)}{\text{冷卻泵耗電功}(kW)}$$

$$\text{搬運效率}_{\text{@冷卻塔@耗電@功率100\%}} (kW / kW) = \frac{\text{冷卻塔散熱量}(kW)}{\text{風扇耗電功}(kW)}$$

步驟35.冷卻塔耗電功@溫差5°C@電功100%：用步驟14計算冷卻塔的能效，耗電量/水量，來估計冷卻風扇的耗電值，因為@電功100%時需要散熱的負載更多而冷卻水的流量也更大，也就是風扇耗用更多的電量才能維持@溫差5°C的條件，在橫流式冷卻塔因為有效換熱面積大，但在@電功100%下的散熱需求下仍然假設散熱塔的水量耗電比不變。

$$\text{水量耗電功}_{@5^{\circ}\text{C}@電功100\%} (\text{kW}/\text{LPM}) = \text{水量耗電功}_{@量測值} (\text{kW}/\text{LPM})$$

$$\text{風扇耗電功}_{@5^{\circ}\text{C}@電功100\%} (\text{kW}) = \text{水量耗電比}_{@電功100\%@5^{\circ}\text{C}} (\text{kW}/\text{LPM}) \times \text{冷卻水量} (\text{LPM})_{@5^{\circ}\text{C}@電功100\%}$$

步驟36.@溫差5°C@功率100%水側系統與各項裝置能效。

$$\text{系統能效}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{kW}/\text{RT}) = \frac{(\text{冰機耗電功} + \text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{kW})}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{RT})}$$

$$\text{附屬設備能效}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{kW}/\text{RT}) = \frac{(\text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{kW})}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{RT})} \leq 0.12 (\text{kW}/\text{RT})$$

$$\text{冰機能效}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{kW}/\text{RT}) = \frac{\text{冰機耗電功}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{kW})}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{RT})}$$

$$\text{冰水泵能效}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{kW}/\text{RT}) = \frac{\text{冰水泵耗電功}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{kW})}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{RT})}$$

$$\text{冷卻泵能效}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{kW}/\text{RT}) = \frac{\text{冷卻泵耗電功}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{kW})}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{RT})}$$

$$\text{冷卻塔能效}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{kW}/\text{RT}) = \frac{\text{冷卻塔耗電功}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{kW})}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@5^{\circ}\text{C}@功率100\%} (\text{RT})}$$

4.更新冰機+泵浦+舊管路+舊冷卻塔

步驟37.依據相同的冷凍容量選用新的離心冰機：冰機在100%負載@5°C下運轉，計算所需的流量。

步驟38.依據舊管路的系統特性計算泵浦所需揚程：依阻抗曲線輸入流量來獲得所需揚程。

步驟39.選用歐盟能效的高能效泵浦：請由0.5節輸入流量揚程來計算比速率 N_s ，再帶入公式計算可以獲得的泵浦效率，選用MEI=0.4的能效等級。

步驟40.選用IE3等級馬達：請由0.5節根據IE3感應馬達的規格
找出合適的高能效馬達並進一步計算耗電比與泵浦流功。

$$\text{耗電比}_{@容量100%@歐盟} = \frac{1}{\text{泵浦效率}_{@歐盟} (\%) \times \text{馬達效率}_{@IE3} (\%)}$$

$$\text{流功 (kW)} = \rho (\text{kg/m}^3) \times g (\text{m/s}^2) \times H (\text{m}) \times Q (\text{m}^3/\text{s}) / 1000$$

$$\text{清水密度 } \rho (\text{kg/m}^3) = 1000 (\text{kg/m}^3)$$

$$\text{重力加速度 } g (\text{m/s}^2) = 9.81 (\text{m/s}^2)$$

$$\text{耗電功}_{\text{冰水泵}@容量100\%} (\text{kW}) = \text{流功}_{\text{冰水泵}@容量100\%} (\text{kW}) \times \text{耗電比}_{\text{冰水泵}@容量100\%} (\text{kW/kW})$$

$$\text{耗電功}_{\text{冷卻泵}@容量100\%} (\text{kW}) = \text{流功}_{\text{冷卻泵}@容量100\%} (\text{kW}) \times \text{耗電比}_{\text{冷卻泵}@容量100\%} (\text{kW/kW})$$

步驟41.計算系統能效

$$\text{系統能效}_{@容量100\%@歐盟} (kW/RT) = \frac{(\text{冰機耗電功} + \text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@容量100\%@歐盟} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量100\%} (RT)}$$

$$\text{附屬設備能效}_{@容量100\%@歐盟} (kW/RT) = \frac{(\text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@容量100\%@歐盟} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量100\%} (RT)} \leq 0.12 (kW/RT)$$

$$\text{冰機能效}_{@容量100\%} (kW/RT) = \frac{\text{冰機耗電功}_{@容量100\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量100\%} (RT)}$$

$$\text{冰水泵能效}_{@容量100\%@歐盟} (kW/RT) = \frac{\text{冰水泵耗電功}_{@容量100\%@歐盟} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量100\%} (RT)}$$

$$\text{冷卻泵能效}_{@容量100\%@歐盟} (kW/RT) = \frac{\text{冷卻泵耗電功}_{@容量100\%@歐盟} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量100\%} (RT)}$$

$$\text{冷卻塔能效}_{@容量100\%} (kW/RT) = \frac{\text{冷卻塔耗電功}_{@容量100\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量100\%} (RT)}$$

步驟42.指標計算-耗電搬運效率

$$\text{搬運效率}_{\text{@冰水泵@耗電@新冰機}} (kW / kW) = \frac{\text{冰水熱負載}(kW)}{\text{冰水泵耗電功}(kW)}$$

$$\text{搬運效率}_{\text{@冷卻泵@耗電@新冰機}} (kW / kW) = \frac{\text{冷卻水熱負載}(kW)}{\text{冷卻泵耗電功}(kW)}$$

$$\text{搬運效率}_{\text{@冷卻塔@耗電@新冰機}} (kW / kW) = \frac{\text{冷卻塔散熱量}(kW)}{\text{風扇耗電功}(kW)}$$

5.全新系統

步驟43.依據相同的冷凍容量選用新的離心冰機：冰機在100%負載@5°C下運轉，計算所需的流量。

步驟44.依據新管路系統特性計算泵浦所需揚程：依管路各元件與裝置之揚程損失項計算管路損失來決定所需揚程，可以參考Ashrae90.1的建議，冰水管路總揚程 $\leq 22\text{m}$ 。

步驟45.選用歐盟能效的高能效泵浦：請由0.5節輸入流量揚程來計算比速率 N_s ，再帶入公式計算可以獲得的泵浦效率，選用MEI=0.4的能效等級。

系統特性

步驟46. 計算新管路之冰水管路阻抗曲線：冰水管路為閉迴路的O形閉迴管路，係數 C_0 為0，只有係數 C_1 需要計算，有固定管路負載計算或變動負載曲線計算，並繪製曲線。

$$H_L = C_1 \times Q^2$$

步驟47. 計算新管路之冷卻水管路阻抗曲線：冷卻水管路多數為開口向上的U形管路，有係數 C_0 與 C_1 需要計算，係數 C_0 為冷卻塔散水盤與盛水盤的位差(m)，多數以固定管路負載來計算，計算阻抗曲線的係數 C_0 與 C_1 ，並繪製曲線。

$$H_L = C_0 + C_1 \times Q^2$$

步驟48.選用IE3等級馬達：請由0.5節根據IE3感應馬達的規格
找出合適的高能效馬達並進一步計算耗電比與泵浦流功。

$$\text{耗電比}_{@全新} = \frac{1}{\text{泵浦效率}_{@歐盟} (\%) \times \text{馬達效率}_{@IE3} (\%)}$$

$$\text{流功 (kW)} = \rho (\text{kg/m}^3) \times g (\text{m/s}^2) \times H (\text{m}) \times Q (\text{m}^3/\text{s}) / 1000$$

$$\text{清水密度 } \rho (\text{kg/m}^3) = 1000 (\text{kg/m}^3)$$

$$\text{重力加速度 } g (\text{m/s}^2) = 9.81 (\text{m/s}^2)$$

$$\text{耗電功}_{@冰水@全新} (\text{kW}) = \text{流功}_{@冰水@全新} (\text{kW}) \times \text{耗電比}_{@冰水@全新} (\text{kW/kW})$$

$$\text{耗電功}_{@冷卻泵@全新} (\text{kW}) = \text{流功}_{@冷卻泵@全新} (\text{kW}) \times \text{耗電比}_{@冷卻泵@全新} (\text{kW/kW})$$

步驟49.計算系統能效

$$\text{系統能效}_{@全新} (kW/RT) = \frac{(\text{冰機耗電功} + \text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@全新} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@全新} (RT)}$$

$$\text{附屬設備能效}_{@全新} (kW/RT) = \frac{(\text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@全新} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@全新} (RT)} \leq 0.12 (kW/RT)$$

$$\text{冰機能效}_{@全新} (kW/RT) = \frac{\text{冰機耗電功}_{@全新} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@全新} (RT)}$$

$$\text{冰水泵能效}_{@全新} (kW/RT) = \frac{\text{冰水泵耗電功}_{@全新} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@全新} (RT)}$$

$$\text{冷卻泵能效}_{@全新} (kW/RT) = \frac{\text{冷卻泵耗電功}_{@全新} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@全新} (RT)}$$

$$\text{冷卻塔能效}_{@全新} (kW/RT) = \frac{\text{冷卻塔耗電功}_{@全新} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@全新} (RT)}$$

步驟50.指標計算-耗電搬運效率

$$\text{搬運效率@冰水泵@耗電@全新} (kW / kW) = \frac{\text{冰水熱負載}(kW)}{\text{冰水泵耗電功}(kW)}$$

$$\text{搬運效率@冷卻泵@耗電@全新} (kW / kW) = \frac{\text{冷卻水熱負載}(kW)}{\text{冷卻泵耗電功}(kW)}$$

$$\text{搬運效率@冷卻塔@耗電@全新} (kW / kW) = \frac{\text{冷卻塔散熱量}(kW)}{\text{風扇耗電功}(kW)}$$

6. 冰機部分負載性能效計算與IPLV計算

步驟51. 部分負載分別計算冷凍噸：針對全新冰機及管路系統進行IPLV計算，冰機在維持溫差5°C功率100%下，熱負載100%、75%、50%、25%的冷凍噸，若不是全新冰機系統，可以把冰機在電功維100%時的冷凍容量是為容量的100%。

$$\text{冰水機冷凍噸@容積100\% (RT)} = \text{冰水機冷凍噸@電功100\% (RT)}$$

$$\text{冰水機冷凍噸@容積75\% (RT)} = 75\% \times \text{冰水機冷凍噸@容量100\% (RT)}$$

$$\text{冰水機冷凍噸@容積50\% (RT)} = 50\% \times \text{冰水機冷凍噸@容量100\% (RT)}$$

$$\text{冰水機冷凍噸@容積25\% (RT)} = 25\% \times \text{冰水機冷凍噸@容量100\% (RT)}$$

步驟52.部分負載冰水泵流量計算：熱負載與流量成正比，熱負載100%、75%、50%、25%的流量計算，請由0.8節到0.16節考慮泵浦機組之性能組合並由泵浦等耗電比曲線取得耗電比的值，若不是全新冰機系統，可以把冰機在電功維100%時的流量是為容量的100%。

$$Q_{@容積100%@冰水泵(LPM)} = Q_{@電功100%@5^{\circ}C冰水泵(LPM)}$$

$$Q_{@容積75%@冰水泵(LPM)} = 75\% \times Q_{@容積100%@冰水泵(LPM)}$$

$$Q_{@容積50%@冰水泵(LPM)} = 50\% \times Q_{@容積100%@冰水泵(LPM)}$$

$$Q_{@容積25%@冰水泵(LPM)} = 25\% \times Q_{@容積100%@冰水泵(LPM)}$$

步驟53.部分負載冷卻泵流量計算：熱負載與流量成正比，熱負載100%、75%、50%、25%的流量計算，請由0.8節到0.16節考慮泵浦機組之性能組合並由泵浦等耗電比曲線取得耗電比的值，若不是全新冰機系統，可以把冰機在電功維100%時的流量是為容量的100%。

$$Q_{@容積100%@冷卻泵(LPM)} = Q_{@電功100%@5^{\circ}C冷卻泵(LPM)}$$

$$Q_{@容積75%@冷卻泵(LPM)} = 75\% \times Q_{@容積100%@冷卻泵(LPM)}$$

$$Q_{@容積50%@冷卻泵(LPM)} = 50\% \times Q_{@容積100%@冷卻泵(LPM)}$$

$$Q_{@容積25%@冷卻泵(LPM)} = 25\% \times Q_{@容積100%@冷卻泵(LPM)}$$

系統特性

步驟54. 計算冰水管路揚程：冰水管路為閉迴路的O形閉迴管路，係數 C_0 為0，只需輸入流量 Q 與係數 C_1 就可以得到揚程 H ，分別計算 $H_{100\%}$ 、 $H_{75\%}$ 、 $H_{50\%}$ 、 $H_{25\%}$ 。

$$H_L = C_1 \times Q^2$$

步驟55. 計算冷卻水管路阻抗曲線：冷卻水管路多數為開口向上的U形管路，只需輸入流量 Q 、 C_0 與係數 C_1 就可以得到揚程 H ，分別計算 $H_{100\%}$ 、 $H_{75\%}$ 、 $H_{50\%}$ 、 $H_{25\%}$ 。

$$H_L = C_0 + C_1 \times Q^2$$

步驟56.部分負載冰水泵流功計算：依照冰水泵在熱負載100%、75%、50%、25%的流量與揚程計算輸出流功。

$$\text{流功}_{@冰水泵@容量100\%}(\text{kW})=\rho(\text{kg}/\text{m}^3)\times g(\text{m}/\text{s}^2)\times H_{@冰水泵@容量100\%}(\text{m})\times Q_{@冰水泵@容量100\%}(\text{m}^3/\text{s})/1000$$

$$\text{流功}_{@冰水泵@容量75\%}(\text{kW})=\rho(\text{kg}/\text{m}^3)\times g(\text{m}/\text{s}^2)\times H_{@冰水泵@容量75\%}(\text{m})\times Q_{@冰水泵@容量75\%}(\text{m}^3/\text{s})/1000$$

$$\text{流功}_{@冰水泵@容量50\%}(\text{kW})=\rho(\text{kg}/\text{m}^3)\times g(\text{m}/\text{s}^2)\times H_{@冰水泵@容量50\%}(\text{m})\times Q_{@冰水泵@容量50\%}(\text{m}^3/\text{s})/1000$$

$$\text{流功}_{@冰水泵@容量25\%}(\text{kW})=\rho(\text{kg}/\text{m}^3)\times g(\text{m}/\text{s}^2)\times H_{@冰水泵@容量25\%}(\text{m})\times Q_{@冰水泵@容量25\%}(\text{m}^3/\text{s})/1000$$

步驟57.部分負載冷卻泵流功計算：依照冷卻泵在熱負載100%、75%、50%、25%的流量與揚程計算輸出流功。

$$\text{流功}_{\text{冷卻泵@容量100\%}}(\text{kW}) = \rho(\text{kg/m}^3) \times g(\text{m/s}^2) \times H_{\text{冷卻泵@容量100\%}}(\text{m}) \times Q_{\text{冷卻泵@容量100\%}}(\text{m}^3/\text{s})/1000$$

$$\text{流功}_{\text{冷卻泵@容量75\%}}(\text{kW}) = \rho(\text{kg/m}^3) \times g(\text{m/s}^2) \times H_{\text{冷卻泵@容量75\%}}(\text{m}) \times Q_{\text{冷卻泵@容量75\%}}(\text{m}^3/\text{s})/1000$$

$$\text{流功}_{\text{冷卻泵@容量50\%}}(\text{kW}) = \rho(\text{kg/m}^3) \times g(\text{m/s}^2) \times H_{\text{冷卻泵@容量50\%}}(\text{m}) \times Q_{\text{冷卻泵@容量50\%}}(\text{m}^3/\text{s})/1000$$

$$\text{流功}_{\text{冷卻泵@容量25\%}}(\text{kW}) = \rho(\text{kg/m}^3) \times g(\text{m/s}^2) \times H_{\text{冷卻泵@容量25\%}}(\text{m}) \times Q_{\text{冷卻泵@容量25\%}}(\text{m}^3/\text{s})/1000$$

步驟58.冰水泵在部分負載耗電功：冰水泵浦在不同部分負載之操作點，請由0.8節到0.16節考慮泵浦機組之性能組合並由泵浦等耗電比曲線取得耗電比的值，由等耗電比曲線取得個操作點的耗電比的值，並由泵浦耗電比乘以流功來獲得部分負載下的耗電功。若無法得到泵廠提供的等耗電比曲線，可以假設泵浦的耗電比等同於量測值而直接引用。

$$\text{耗電功}_{\text{冰水泵@容量100\%}}(kW) = \text{流功}_{\text{冰水泵@容量100\%}}(kW) \times \text{耗電比}_{\text{冰水泵@容量100\%}}(kW/kW)$$

$$\text{耗電功}_{\text{冰水泵@容量75\%}}(kW) = \text{流功}_{\text{冰水泵@容量75\%}}(kW) \times \text{耗電比}_{\text{冰水泵@容量75\%}}(kW/kW)$$

$$\text{耗電功}_{\text{冰水泵@容量50\%}}(kW) = \text{流功}_{\text{冰水泵@容量50\%}}(kW) \times \text{耗電比}_{\text{冰水泵@容量50\%}}(kW/kW)$$

$$\text{耗電功}_{\text{冰水泵@容量25\%}}(kW) = \text{流功}_{\text{冰水泵@容量25\%}}(kW) \times \text{耗電比}_{\text{冰水泵@容量25\%}}(kW/kW)$$

步驟59.冷卻泵在部分負載耗電功：冷卻泵浦在不同部分負載之操作點，請由0.8節到0.16節考慮泵浦機組之性能組合並由泵浦等耗電比曲線取得耗電比的值，由等耗電比曲線取得個操作點的耗電比的值，並由泵浦耗電比乘以流功來獲得部分負載下的耗電功。若無法得到泵廠提供的等耗電比曲線，可以假設泵浦的耗電比等同於量測值而直接引用。

$$\text{耗電功冷卻泵@容量100\% (kW)} = \text{流功冷卻泵@容量100\% (kW)} \times \text{耗電比冷卻泵@容量100\% (kW/kW)}$$

$$\text{耗電功冷卻泵@容量75\% (kW)} = \text{流功冷卻泵@容量75\% (kW)} \times \text{耗電比冷卻泵@容量75\% (kW/kW)}$$

$$\text{耗電功冷卻泵@容量50\% (kW)} = \text{流功冷卻泵@容量50\% (kW)} \times \text{耗電比冷卻泵@容量50\% (kW/kW)}$$

$$\text{耗電功冷卻泵@容量25\% (kW)} = \text{流功冷卻泵@容量25\% (kW)} \times \text{耗電比冷卻泵@容量25\% (kW/kW)}$$

步驟60.冷卻塔部分負載耗電功計算：用步驟13計算冷卻塔的水量耗電比，耗電量/冷卻水量，來估計冷卻風扇的耗電值，在橫流式冷卻塔因為有效換熱面積大，仍然假設散熱塔的能效不變。

$$\text{水量耗電功}_{@容量100\%} (kW/LPM) = \text{水量耗電功}_{@量測值} (kW/LPM)$$

$$\text{冷卻塔耗電功}_{@容量100\%} (kW) = \text{水量耗電比}_{@容量100\%} (kW/LPM) \times \text{冷卻水量}(LPM)_{@容量100\%}$$

$$\text{冷卻塔耗電功}_{@容量75\%} (kW) = \text{水量耗電比}_{@容量75\%} (kW/LPM) \times \text{冷卻水量}(LPM)_{@容量75\%}$$

$$\text{冷卻塔耗電功}_{@容量50\%} (kW) = \text{水量耗電比}_{@容量50\%} (kW/LPM) \times \text{冷卻水量}(LPM)_{@容量50\%}$$

$$\text{冷卻塔耗電功}_{@容量25\%} (kW) = \text{水量耗電比}_{@容量25\%} (kW/LPM) \times \text{冷卻水量}(LPM)_{@容量25\%}$$

步驟61. 負載容量100%水側系統與各項裝置能效。

$$\text{系統能效}_{@容量100\%} (kW/RT) = \frac{(\text{冰機耗電功} + \text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@容量100\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量100\%} (RT)}$$

$$\text{附屬設備能效}_{@容量100\%} (kW/RT) = \frac{(\text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@容量100\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量100\%} (RT)} \leq 0.12 (kW/RT)$$

$$\text{冰機能效}_{@容量100\%} (kW/RT) = \frac{\text{冰機耗電功}_{@容量100\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量100\%} (RT)}$$

$$\text{冰水泵能效}_{@容量100\%} (kW/RT) = \frac{\text{冰水泵耗電功}_{@容量100\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量100\%} (RT)}$$

$$\text{冷卻泵能效}_{@容量100\%} (kW/RT) = \frac{\text{冷卻泵耗電功}_{@容量100\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量100\%} (RT)}$$

$$\text{冷卻塔能效}_{@容量100\%} (kW/RT) = \frac{\text{冷卻塔耗電功}_{@容量100\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量100\%} (RT)}$$

步驟62. 負載容量75%水側系統與各項裝置能效。

$$\text{系統能效}_{@容量75\%} (kW/RT) = \frac{(\text{冰機耗電功} + \text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@容量75\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量75\%} (RT)}$$

$$\text{附屬設備能效}_{@容量75\%} (kW/RT) = \frac{(\text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@容量75\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量75\%} (RT)} \leq 0.12 (kW/RT)$$

$$\text{冰機能效}_{@容量75\%} (kW/RT) = \frac{\text{冰機耗電功}_{@容量75\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量75\%} (RT)}$$

$$\text{冰水泵能效}_{@容量75\%} (kW/RT) = \frac{\text{冰水泵耗電功}_{@容量75\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量75\%} (RT)}$$

$$\text{冷卻泵能效}_{@容量75\%} (kW/RT) = \frac{\text{冷卻泵耗電功}_{@容量75\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量75\%} (RT)}$$

$$\text{冷卻塔能效}_{@容量75\%} (kW/RT) = \frac{\text{冷卻塔耗電功}_{@容量75\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量75\%} (RT)}$$

步驟63. 負載容量50%水側系統與各項裝置能效。

$$\text{系統能效}_{@容量50\%} (kW/RT) = \frac{(\text{冰機耗電功} + \text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@容量50\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量50\%} (RT)}$$

$$\text{附屬設備能效}_{@容量50\%} (kW/RT) = \frac{(\text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@容量50\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量50\%} (RT)} \leq 0.12 (kW/RT)$$

$$\text{冰機能效}_{@容量50\%} (kW/RT) = \frac{\text{冰機耗電功}_{@容量50\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量50\%} (RT)}$$

$$\text{冰水泵能效}_{@容量50\%} (kW/RT) = \frac{\text{冰水泵耗電功}_{@容量50\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量50\%} (RT)}$$

$$\text{冷卻泵能效}_{@容量50\%} (kW/RT) = \frac{\text{冷卻泵耗電功}_{@容量50\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量50\%} (RT)}$$

$$\text{冷卻塔能效}_{@容量50\%} (kW/RT) = \frac{\text{冷卻塔耗電功}_{@容量50\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量50\%} (RT)}$$

步驟64. 負載容量25%水側系統與各項裝置能效。

$$\text{系統能效}_{@容量25\%} (kW/RT) = \frac{(\text{冰機耗電功} + \text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@容量25\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量25\%} (RT)}$$

$$\text{附屬設備能效}_{@容量25\%} (kW/RT) = \frac{(\text{冰水泵耗電功} + \text{冷卻泵耗電功} + \text{冷卻塔耗電功})_{@容量25\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量25\%} (RT)} \leq 0.12 (kW/RT)$$

$$\text{冰機能效}_{@容量25\%} (kW/RT) = \frac{\text{冰機耗電功}_{@容量25\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量25\%} (RT)}$$

$$\text{冰水泵能效}_{@容量25\%} (kW/RT) = \frac{\text{冰水泵耗電功}_{@容量25\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量25\%} (RT)}$$

$$\text{冷卻泵能效}_{@容量25\%} (kW/RT) = \frac{\text{冷卻泵耗電功}_{@容量25\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量25\%} (RT)}$$

$$\text{冷卻塔能效}_{@容量25\%} (kW/RT) = \frac{\text{冷卻塔耗電功}_{@容量25\%} (kW)}{\text{系統熱負荷(冰水熱負荷)}_{@容量25\%} (RT)}$$

步驟65. IPLV (integrated part load value) 綜合部分負荷性能係數計算：在個冰水管路負載模型中分計算。

$IPLV = 2.3\% \times A + 41.5\% \times B + 46.1\% \times C + 10.1\% \times D$ ，A是100%運轉，B是75%運轉，C是50%運轉，D是25%運轉。

$$\begin{aligned} IPLV = & 2.3\% \times \text{系統能效}_{@容積100\%} (kW/RT) \\ & + 41.5\% \times \text{系統能效}_{@容積75\%} (kW/RT) \\ & + 46.1\% \times \text{系統能效}_{@容積50\%} (kW/RT) \\ & + 10.1\% \times \text{系統能效}_{@容積25\%} (kW/RT) \end{aligned}$$

其中2.3%、41.5%、46.1%、10.1%為運轉時的時間係數

7.更新水側系統與投資價值評估

步驟66.選用高能效冰水機：當水側系統能效無法滿足要求時，應該分別檢討冰水機能效與附屬設備能效，優先考慮更換磁浮離心機， $0.55\text{kW/RT}-0.6\text{kW/RT}$ ，或變頻螺旋機， $0.65\text{kW/RT}-0.7\text{kW/RT}$ ，並追求附屬設備能效 $\leq 0.12\text{kW/RT}$ 。

步驟67.檢討管路上的閥：當管路上裝設沒有必要的逆止閥時，冰水管路為O型閉迴路完全沒有防止水錘的需求，多數冷卻管路為開口向上的U行管路也沒有防止水錘的需求。當多台冰機並聯時，為防止冰水短路，應在各冰機出口裝設電動蝶閥來隔絕短路狀況，以免浪費多餘的冷凍噸。共通管應裝設電動蝶閥來隔絕回水與冰水的短路，讓泵浦操作在合理的操作點，不至於有過高的流量。

步驟68.修改泵浦出入口管：泵浦出入口管往往接1D長度的彎管或漸擴管，這是嚴重損害泵浦性能的管件，應該優先考慮採用長度至少2D以上的彎管或漸擴管，更佳的条件是使用3D或4D長度以上的管件應優先，而具漸擴的彎管更優先列入考慮，尤其管徑比大時更應該列入考慮。

步驟69.選用高能效泵浦：當附屬設備能效無法滿足要求時，應該優先考慮更換冰水泵與冷卻泵，由100%容量下的冰水泵操作點與冷卻泵操作點重新選用高效率的泵浦，請由0.5節輸入流量揚程來計算比速率 N_s ，再帶入能效公式計算可以獲得的泵浦效率，再根據IE3感應馬達的規格找出合適的高能效馬達，再由步驟21計算出耗電比，請泵浦廠根據這樣操作點規格提供等耗電比曲線，如步驟23與步驟24所示。

步驟70.重新計算管路阻抗：請把Ashrae90.1的低揚程與低流速列入考慮，請選用低管損的平衡閥，冰水管路總揚程 $\leq 22\text{m}$ ，冷卻水管路總揚程 $\leq 19\text{m}$ ， $0.4\text{m/s} \leq$ 冰水管路流速 $\leq 1.8\text{m/s}$ ， $0.4\text{m/s} \leq$ 冷卻水管路流速 $\leq 2.0\text{m/s}$ ，許多安裝冰機在屋頂的商業大樓，冰水管路總揚程 $\leq 12\text{m}$ ，冷卻水管路總揚程 $\leq 9\text{m}$ ，對系統能效有很大助益。

步驟71.泵浦運轉在低能效區的問題：請參考0.10節的說明，單台泵浦運轉在25%流量下必然遇到運轉在低能效的問題，並聯機組的運轉也會面臨類似的問題只是能效稍好而已，在規劃高能效泵浦機組時，必須把泵浦測試數據與管路阻抗曲線做仔細的規劃與比對，才能涵蓋把不同負載下的運作並取得更佳的系統能效。

- 步驟72.重新計算更新後的水側系統能效：請重新計算步驟43到步驟50，把高能效數據引入，把不同負載下的能效重新計算，再把IPLV的綜合能效值算出，這樣就可以比較出更新高能效系統的價值。
- 步驟73.計算節能電度值：系統能效的差值就會是耗電量的差值，若以每年的連續操作時間以8000小時來計算，就可以獲得系統每年可以節能的電度，再乘以每電度的金額/度就是節省的费用，尤其對大型的空調系統來說，這是一筆巨大的節約。
- 步驟74.計算節碳當量：「電力排碳係數」指「電力生產過程中，每單位發電量所產生之二氧化碳排放量」，2019年我國電力排碳係數為0.509公斤CO₂/度，把節能的年總電度值程以電力排碳係數，就可以獲得減少年碳排放的總量。

8. 案例-設備冰水機-水側系統

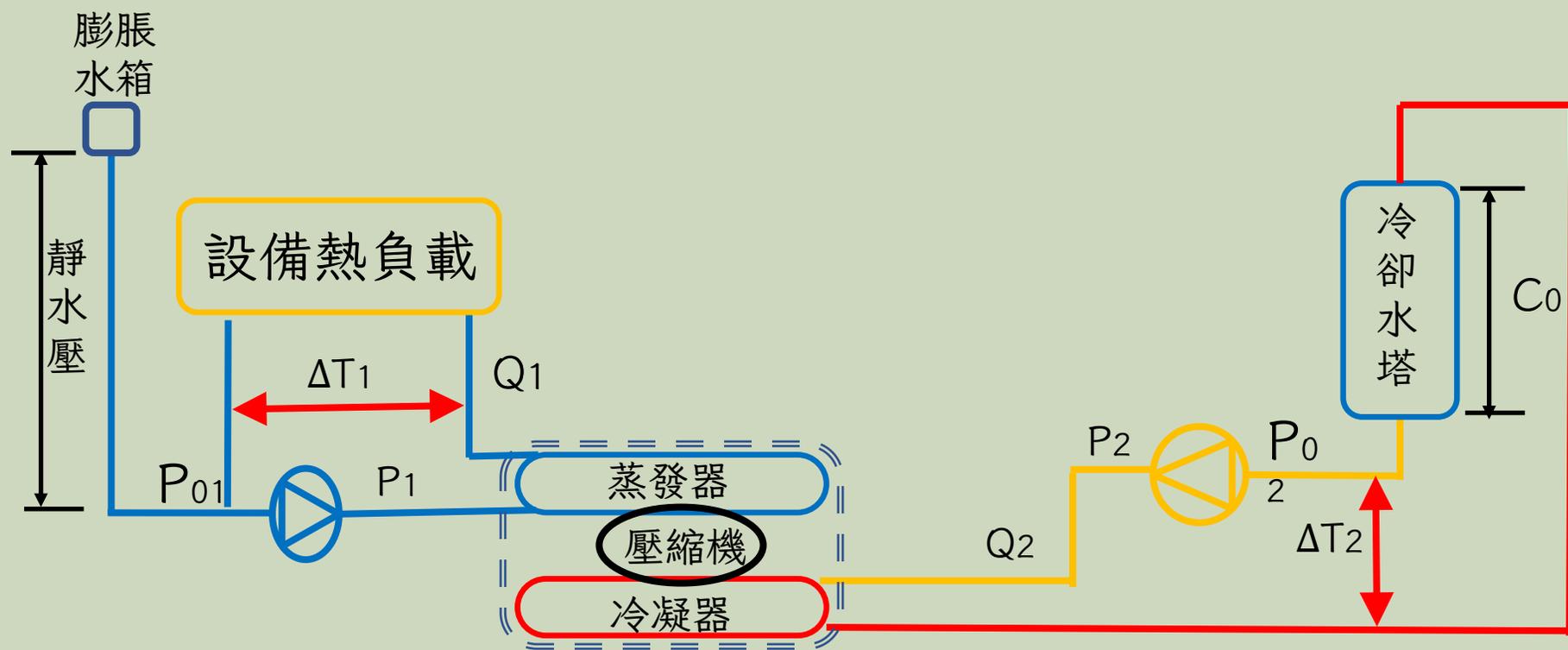


表. 1.1-基本資料與量測資料



量測點資料			
執行量測公司	殷聖節能泵浦	執行者姓名	陳建龍
量測日期	2021.08.17	執行者電話	08-7523006
公司名稱	台灣XX電池	室外環境溫度℃	34
量測地點	台南市永康區	室外濕球溫度℃	28@64%
聯絡人姓名	XXX	冰水機用途	製程用
聯絡人電話	06-XXXXXXX	冰水機型式	螺旋式

冰水機數據

額定值	壓縮機型式	容積式螺旋機	壓縮機並聯數(台)	1
	額定冷凍容量RT	120	運轉負載%	100
	額定耗電量kW	86		
	蒸發器出水溫度℃	7	冷凝器出水溫度℃	35
	蒸發器回水溫度℃	12	冷凝器回水溫度℃	30
	蒸發器溫差℃	5	冷凝器溫差℃	5
量測值	運轉耗電量kW	89.6	運轉容量RT	120
	蒸發器入口水溫℃	18.05	冷凝器出口水溫℃	31.4
	蒸發器出口水溫℃	12.2	冷凝器入口水溫℃	36
計算值	蒸發器出入口溫差℃	5.85	冷凝器出入口溫差℃	4.6

冰水泵數據(一次泵)

額定 值	膨脹水箱位高m			3.3
	額定揚程m	22.8	額定流量Lpm	2350
	額定馬力kW	30	額定轉速rpm	1750
	入口徑mm		出口徑mm	
	馬達效率%	92.4	閉迴路靜位差m	0
量測 值	泵入口壓力bar	1.2	泵出口壓力bar	3.45
	入口壓力錶離地板高 m	0	出口壓力錶離地板高 m	0.35
	運轉耗電量kW	7.193		
	管圓周長mm	358.14	管壁厚	6.6
	流速m/s			2.182
計算 值	管外徑mm	114.0	管截面積mm ²	7980.1
	泵浦揚程m	22.85	流量Lpm	1044.8

冷卻泵數據

泵入口與冷卻塔盛水盤液面位差m			0.5	
額定 值	額定揚程m	26.7	額定流量Lpm	2697
	額定馬力hp	40	額定轉速rpm	1750
	入口徑mm		出口徑mm	
	馬達效率%	94	運轉耗電量kW	26.36
量測 值	泵入口壓力bar	0.27	泵出口壓力bar	1.725
	入口壓力錶離地板高m	0.16	出口壓力錶離地板高 m	0.16
	運轉耗電量kW	11.043		
	管圓周長mm	439.2	管壁厚	6.60
	流速m/s			2.158
計算 值	管外徑mm	139.8	管截面積m ²	12588.4
	泵浦揚程m	14.55	流量Lpm	1630

冷卻塔數據

額定值	灑水盤與盛水盤位差m	2.6	盛水盤與冷卻泵位差m	0.7
	額定馬力hp	6	馬達效率%	88.5
量測值	濕球溫度℃	28	相對濕度%	64%
	乾球溫度℃	34	運轉耗電功kW	3.76
	入水溫度℃	36	出水溫度℃	31.4
計算值	冷卻塔入出口溫差℃	4.6	趨近溫度℃	3.4
	近似效率%	57.5%		

表. 1.2-系統量測數據計算

冰水機							
狀態	設備	耗電功kW	冷凍噸RT	一次泵hp	冷卻泵hp	冷卻塔hp	總耗電kW
量測值	額定值(kW、RT、hp)	86	120				
	額定溫差℃	5			5		
	耗電 kW	89.6		7.193	11.043	3.760	111.606
	流量 Lpm		1044.75		1629.94		
	揚程 m		22.85		14.55		
	量測溫差		5.85		4.60		
計算值	熱負載 kW		426.40		523.09	526.85	
	熱負載 RT		121.27		148.77	149.84	
	流功 kW			3.903	3.878		
	系統能效 kW/RT		0.739	0.059	0.091	0.031	0.889
指標計算	耗電搬運效率(kW/kW)			59.3	47.4	140.1	
	流功搬運效率(kW/kW)			109.2	134.9		
	負載比%	104.2%	101.1%				
	耗電比(耗電功/流功、耗電功/流量)			1.843	2.848	0.00231	
系統特性	流功搬運效率(kW/kW)			109.24	134.90		
	靜位差 m, C ₀		0.00		2.60		
	管路阻抗係數C ₁		0.00002093		0.00000450		
	Ashrae90.1(系統熱負載)			≤0.0582			
	Ashrae90.1(冷媒熱負載)				≤0.0465		

表.2-現況修正回溫差5°C

冰水機							
狀態	設備	耗電功 kW	冷凍噸 RT	一次泵 hp	冷卻泵 hp	冷卻塔hp	總耗電 kW
量測、 計算、 指標 及特性	額定值(kW、RT、hp)	86	120				
	負載比	104.2 %	101.1%				
	額定溫差°C		5.0		5.0		
	靜位差 m, C ₀		0.00		2.60		
	管路阻抗係數C ₁		0.00002093		0.00000450		
	耗電比			1.84	2.85	0.00231	
	熱負載 kW		426.4		523.1		
	熱負載 RT		121.3		148.8		
	量測溫差 °C		5.850		4.60		
	量測流量Lpm		1044.75		1629.94		
推估 溫差 5°C值	流量 Lpm@溫差5°C		1222.358279		1499.544948		
	揚程 m = C × Q ²		31.28		14.55		
	泵浦流功 kW			6.251	3.567		
	耗電 kW	89.61		11.52	10.16	3.46	114.75
	系統能效 kW/RT		0.739	0.095	0.084	0.029	0.946
指標 計算	耗電搬運效率(kW/kW)			37.0	51.5	151.2	
	流功搬運效率(kW/kW)			68.2	146.6		

表. 3-修回溫差5°C+功率100%

冰水機調整回5°C馬達功率100%							
狀態	設備	耗電功kW	冷凍噸RT	冰水泵 hp	冷卻泵hp	冷卻塔hp	總耗電kW
溫差 5°C 數值 指標 特性	額定kW，額定RT	86	120				
	標準溫差°C		5		5		
	負載比	104.2%	101.1%				
	靜位差 m, C ₀		0.00		2.60		
	管路阻抗係數C ₁		0.00002093		0.00000450		
	流量 Lpm@溫差5°C@104.2%		1222.36		1499.54		
	揚程 m @溫差5°C@104.2%		31.28		14.55		
	冰機能效 kW/RT		0.739				
	泵浦耗電比			1.84	2.85	0.00231	
溫差 5°C 負載 100%	負載比	100.0%					
	冰機耗電 kW @100%	86					
	熱負載RT		116.4				
	流量 Lpm@溫差5°C@100%		1163.88		1454.85		
	揚程 m @溫差5°C@100%			28.36	12.12		
	泵浦流功kW			5.40	2.88		
	熱負載kW		406.001		507.50		
	熱負載RT		115.473		144.34		
	耗電 kW		86.00	9.94	8.21	3.36	107.51
系統能效 kW/RT		0.739	0.085	0.071	0.029	0.924	
指標 計算	耗電搬運效率(kW/kW)			40.8	61.8	151.2	
	流功搬運效率(kW/kW)			75.2	176.0		

表. 4-更新(冰機+泵浦)+舊(管路+冷卻塔)

新冰水機+新泵浦，舊管路，舊冷卻塔							
狀態	設備	耗電功	冰水機	冰水泵	冷卻泵	冷卻塔	總耗電
系統特性	靜位差 m, C ₀		0.00		2.60		
	管路阻抗係數C ₁		0.00002093		0.00000450		
	冷卻塔耗電比(kW/Lpm)					0.00231	
更新冰機 泵浦 5°C 負載 100%	離心機，額定kW，額定RT	72	120				
	標準溫差°C		5		5	5	
	負載比	100.0%	100.0%				
	流量 Lpm@溫差5°C@100%			1200.0	1500.0		
	流量 m ³ /s@溫差5°C@100%			0.0200	0.0250		
	流量 m ³ /h@溫差5°C@100%			72.00	90.00		
	揚程 m @溫差5°C@100%			30.15	12.72		
	冰機能效 kW/RT		0.60				
	熱負載 kW		418.60		523.25		
	熱負載 RT		119.06		148.82		
	泵浦流功kW			5.91	3.12		
	轉速rpm			1750	1750		
	比速率Ns,cms			19	41		
	直結式C			128.46	128.46	128.46	
	歐盟泵浦能效mei=0.4			70.3	79.2		
	泵浦輸入軸功kW			8.4	3.9		
	馬達能效IE3			92.4	91.7		
	泵浦耗電比			1.54	1.38		
	耗電 kW		72.0	9.101	4.295	3.460	88.856
	系統能效 kW/RT		0.600	0.076	0.036	0.029	0.740
指標計算	耗電搬運效率(kW/kW)			46.0	121.8	151.2	
	流功搬運效率(kW/kW)			70.8	167.7		

表.5-全新系統

全新系統-新冰水機+新泵浦，新管路，新冷卻塔							
狀態	設備	馬達負載	冰水機	一次泵	冷卻泵	冷卻塔	總耗電
額定規格	額定kW，額定RT	72	120				
	能效 kW/RT	0.60				0.02	
	標準溫差℃		5		5	5	
	流量 Lpm		1200		1500		
	流量 m3/s		0.020		0.025		
	流量 m3/h		72.000		90.000		
	管路揚程m		16		9		
	靜位差 m, C0		0		2.6		
	管路阻抗係數C1			0.0000111		0.0000028	
指標計算	熱負載 kW		418.6		523.25		
	泵浦流功kW		3.14		2.21		
	泵浦轉速rpm		1750		1750		
	比速率Ns，cmm		30.9		53.3		
	直結式C		128.46				
	歐盟泵浦能效mei=0.4		76.8		78.9		
	泵浦輸入軸功kW		4.1		2.8		
	馬達能效IE3		91.7%		89.5%		
	馬達耗電 kW	72		4.5	3.1	2.4	82.0
	系統能效 kW/RT		0.60	0.04	0.03	0.020	0.683
	耗電比(kW/kW或 kW/Lpm)			1.420	1.417	0.00160	
	Ashrae90.1(系統熱負載)			≤0.0582			
	Ashrae90.1(冷媒熱負載)				≤0.0465		
指標計算	耗電搬運效率(kW/kW)			93.9	167.3	218.0	
	流功搬運效率(kW/kW)			133.3	237.1		

表. 6-IPLV-全新系統

IPLV-全新系統-新冰水機+新泵浦，新管路，新冷卻塔						
設備	負載	冰水機	冰水泵	冷卻泵	冷卻塔	總耗電
靜位差 m, C ₀	系統特性	0.00		2.60		
管路阻抗係數C ₁		0.0000111		0.00000284		
冷卻塔耗電比(kW/Lpm)					0.00160	
額定kW，額定RT	100%	72.0	120.00			
系統能效 kW/RT		0.6				
耗電比			1.42	1.42	0.00160	
溫差℃		5.00		5.00	5.00	
流量Lpm		1200.0		1500.0		
熱負載 kW@Δt 5℃		418.60		523.25		
揚程m		16.00		9.00		
流功 kW		3.14		2.207		
耗電 kW		72.00	4.46	3.128	2.400	81.98
系統能效 kW/RT		0.600	0.037	0.0261	0.020	0.6832
耗電搬運效率			93.9	167.3	218.0	
流功搬運效率			133.3	237.1		

設備	負載	冰水機	冰水泵	冷卻泵	冷卻塔	總耗電
溫差℃	75%	4.50		4.50	4.50	
熱負載 RT		90.00				
流量 Lpm		1000.00		1250.00		
熱負載 kW@ Δt 4.5℃		313.95		392.44		
揚程m		11.11		7.04		
流功 kW		1.82		1.440		
耗電比			1.66	1.660	0.00160	
耗電 kW		45.00	3.016	2.390	2.000	52.41
系統能效 kW/RT		0.500	0.0335	0.0266	0.0222	0.5823
耗電搬運效率			104.11	164.21		
流功搬運效率			172.82	272.58		

設備	負載	冰水機	冰水泵	冷卻泵	冷卻塔	總耗電
溫差 °C	50%	4.00		4.00	4.00	
熱負載 RT		60.00				
流量 Lpm		750.00		937.50		
熱負載 kW Δt 4°C		209.30		261.63		
揚程 m		6.25		5.10		
流功 kW		0.77		0.782		
耗電比			1.90	1.900	0.00160	
耗電 kW		26.00	1.456	1.485	1.500	30.44
系統能效 kW/RT		0.433	0.0243	0.0248	0.0167	0.50
耗電搬運效率			143.73	176.14		
流功搬運效率				273.09	334.67	

設備	負載	冰水機	冰水泵	冷卻泵	冷卻塔	總耗電
溫差℃	25%	3.50		3.50	3.50	
熱負載 RT		30.00				
流量 Lpm		428.57		535.71		
熱負載 kW Δ t 3.5℃		104.65		130.81		
揚程m		2.04		3.42		
流功 kW		0.14		0.299		
耗電比			2.35	2.350	0.00160	
耗電 kW		15.00	0.336	0.703	0.857	16.90
系統能效 kW/RT		0.500	0.0112	0.0234	0.0095	0.54
耗電搬運效率			311.41	186.02		
流功搬運效率			731.8	437.2		

IPLV 冰水機能效計算表

負載%	100%	75%	50%	25%	IPLV
時間係數	2.3%	41.5%	46.1%	10.1%	100.0%
冰機能效 kW/RT	0.600	0.500	0.433	0.500	0.472

IPLV 冰水泵能效計算表

負載%	100%	75%	50%	25%	IPLV
時間係數	2.3%	41.5%	46.1%	10.1%	100.0%
系統能效 kW/RT	0.037	0.034	0.024	0.011	0.027

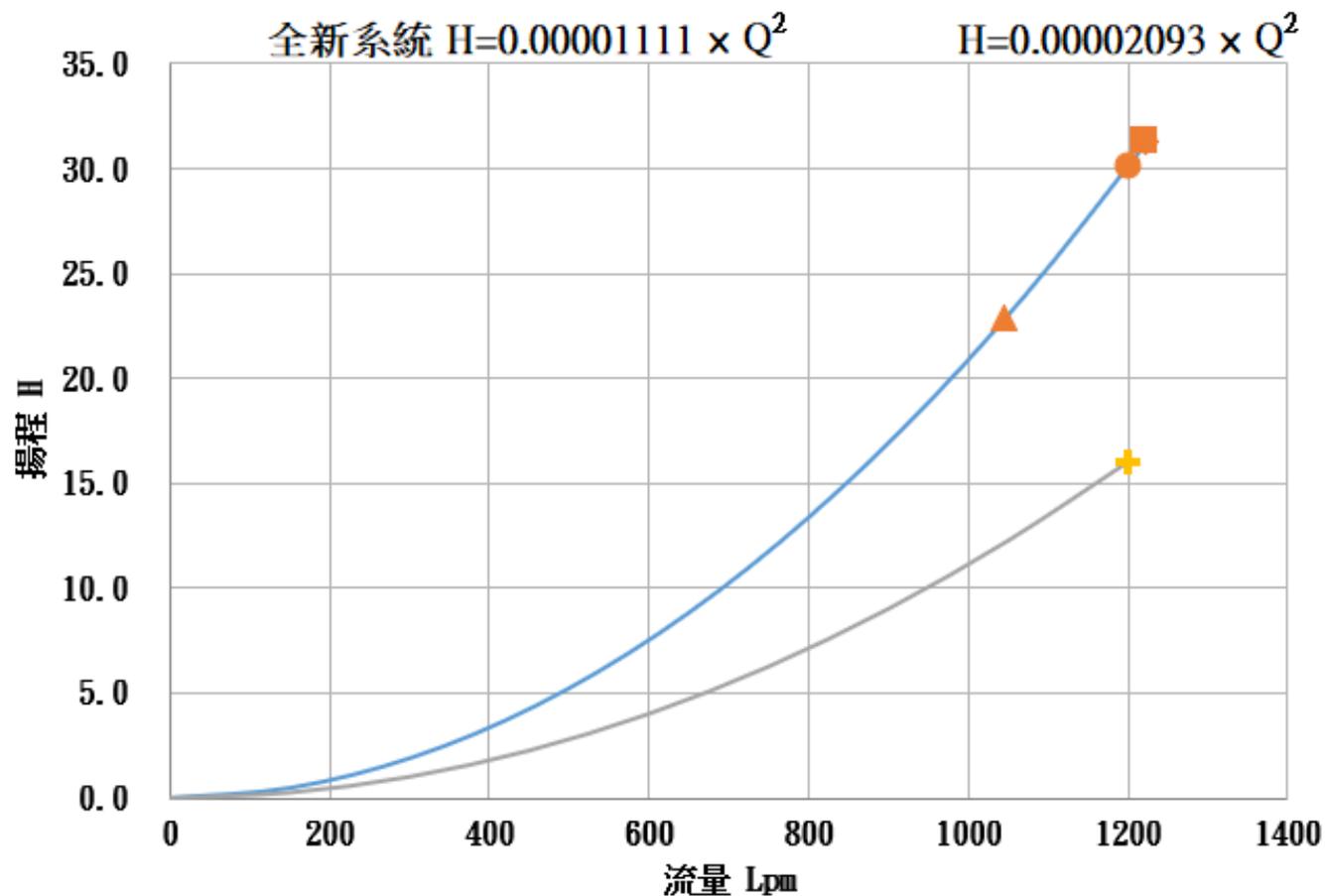
IPLV 冷卻泵能效計算表

負載%	100%	75%	50%	25%	IPLV
時間係數	2.3%	41.5%	46.1%	10.1%	100.0%
系統能效 kW/RT	0.026	0.027	0.025	0.023	0.025

IPLV 冷卻塔能效計算表					
負載%	100%	75%	50%	25%	IPLV
時間係數	2.3%	41.5%	46.1%	10.1%	100.0%
系統能效 kW/RT	0.020	0.022	0.017	0.010	0.018

IPLV 系統能效計算表					
負載%	100%	75%	50%	25%	IPLV
時間係數	2.3%	41.5%	46.1%	10.1%	100.0%
系統能效 kW/RT	0.683	0.582	0.499	0.544	0.542

冰機阻抗曲線



量測點現況 ▲
馬達運轉負載 104.2%, Δt=5.85°C
流量 1044.8LPM, 揚程 22.85m

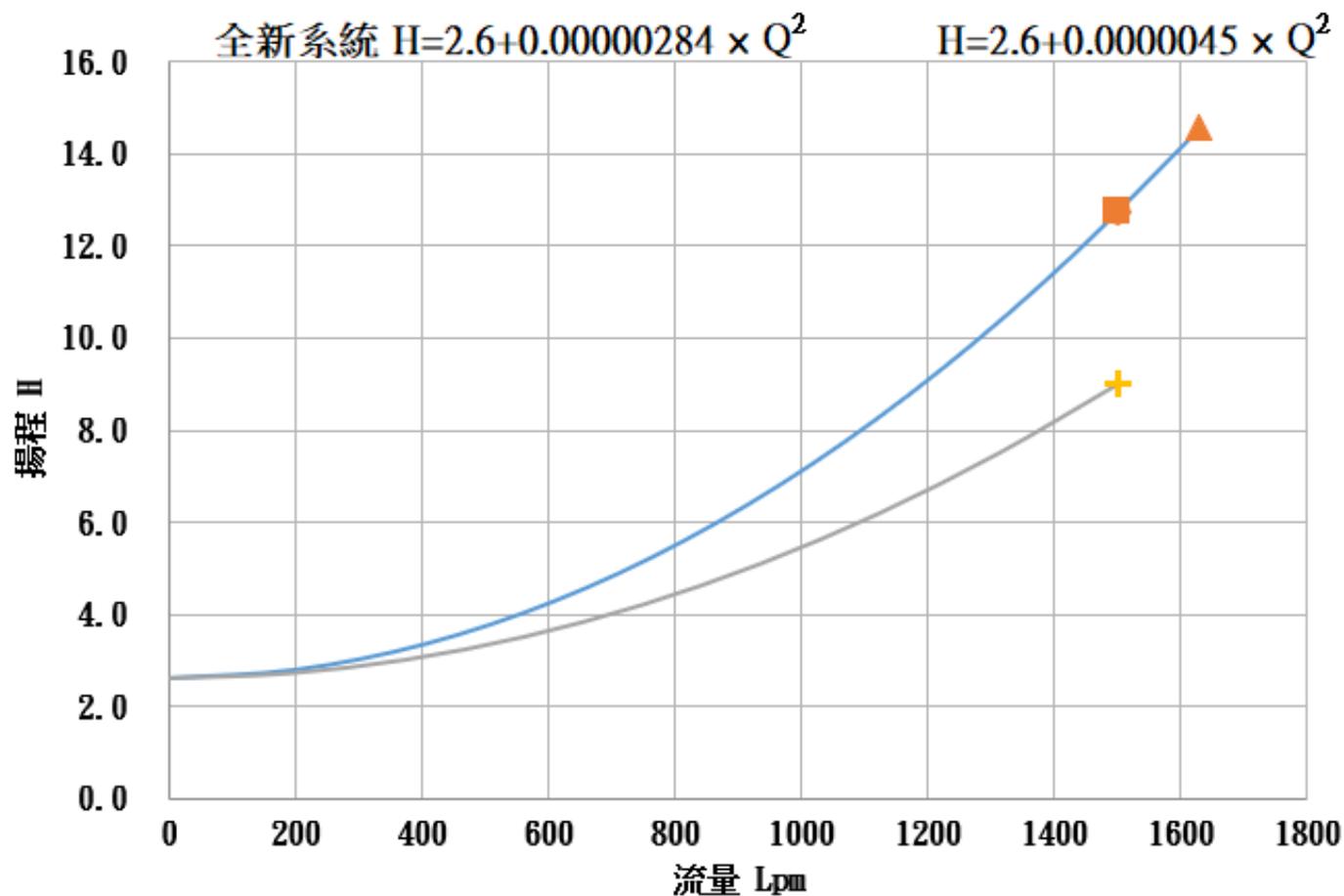
現況修正回溫差5°C ◆
馬達運轉負載 104.2%, Δt=5°C
流量 1222.4LPM, 揚程 31.28m

修正回溫差5°C+負載100% ■
馬達運轉負載 100%, Δt=5°C
流量 1222.4LPM, 揚程 31.28m

建議更新 100%, Δt=5°C ●
馬達運轉負載 100%, Δt=5°C
流量 1200LPM, 揚程 30.15m

全新系統 +
馬達運轉負載 100%, Δt=5°C
流量 1200LPM, 揚程 16m

冷卻水循環阻抗曲線



量測點現況 ▲
馬達運轉負載 104.2%, $\Delta t=4.6^{\circ}\text{C}$
流量 1629.9LPM, 揚程 14.55m

現況修正回溫差 5°C ◆
馬達運轉負載 104.2%, $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$
流量 1499.5LPM, 揚程 12.71m

修正回溫差 5°C +負載100% ■
馬達運轉負載100%, $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$
流量 1499.5LPM, 揚程 12.71m

建議更新 100%, $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ ●
馬達運轉負載100%, $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$
流量 1500LPM, 揚程 12.72m

全新系統 +
馬達運轉負載100%, $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$
流量 1500LPM, 揚程 9m

冰機測試報告(假設值)

額定規格	型式	離心機			
	冷凍噸RT	120			
	耗電功kW	86			
冰機	負載率%	100%	75%	50%	25%
	冷凍噸RT	120.0	90.0	60.0	30.0
	冷凍噸kW	421.9	316.4	211.0	105.5
	耗電功kW	72.0	45.0	26.0	15.0
	能效kW/RT	0.60	0.50	0.43	0.50
蒸發器	冰水流量Lpm	1200	1200	1200	1200
	出水溫度℃	7	7	7	7
	進水溫度℃	12	10.75	9.5	8.25
	溫差℃	5	3.75	2.5	1.25
冷凝器	冷卻水流量Lpm	1500	1500	1500	1500
	出水溫度℃	35	28.75	21.5	20.25
	進水溫度℃	30	25	19	19
	溫差℃	5	3.75	2.5	1.25

冰水泵耗電比測試報告(假設值)

C0	0		C1	0.000011		
流量比%	轉速rpm	流量Lpm	揚程m	流功kW	耗電比	耗電功kW
100.00%	1750	1200.00	16.00	3.14	1.42	4.46
83.33%	1458	999.96	11.11	1.82	1.66	3.02
75.00%	1313	900.00	9.00	1.32	1.7	2.25
62.50%	1094	750.00	6.25	0.77	1.9	1.46
50.00%	875	600.00	4.00	0.39	2	0.78
35.68%	624	428.16	2.04	0.14	2.35	0.34
25.00%	438	300.00	1.00	0.05	2.5	0.12

冷卻水泵耗電比測試報告(假設值)

C0	2.6		C1	0.00000284		
流量比%	轉速rpm	流量Lpm	揚程m	流功kW	耗電比	耗電功kW
100.00%	1750	1500.00	9.00	2.21	1.417	3.128
83.33%	1458	1249.95	7.04	1.44	1.660	2.390
75.00%	1313	1125.00	6.20	1.14	1.700	1.939
62.50%	1094	937.50	5.10	0.78	1.900	1.485
50.00%	875	750.00	4.20	0.52	2.000	1.030
35.68%	624	535.20	3.41	0.30	2.350	0.702
25.00%	438	375.00	3.00	0.18	2.500	0.460