

節能技術與案例分析--泵浦

主講人：顧問 簡坤煌

財團法人台灣產業服務基金會
財團法人台灣綠色生產力基金會

經歷

中鼎工程顧問有限公司

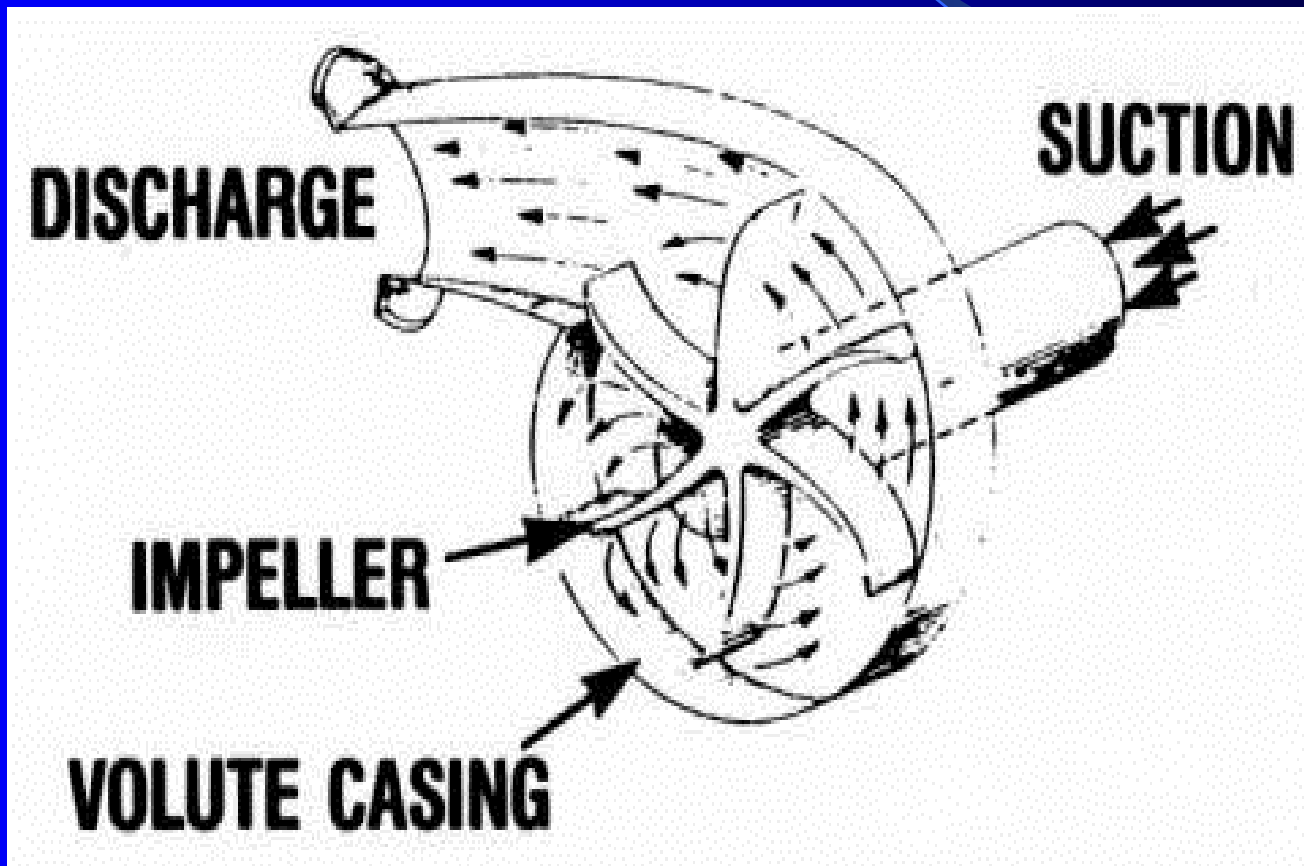
中技社節能技術中心

中華民國100 年10 月21日

大綱

- 1.前言
- 2.離心式泵浦簡介與基本說明
- 3.離心式泵浦系統介紹
- 4.泵浦的設計與採購注意事項
- 5.節能管理與做法
- 6.案例分析

離心式泵浦簡介



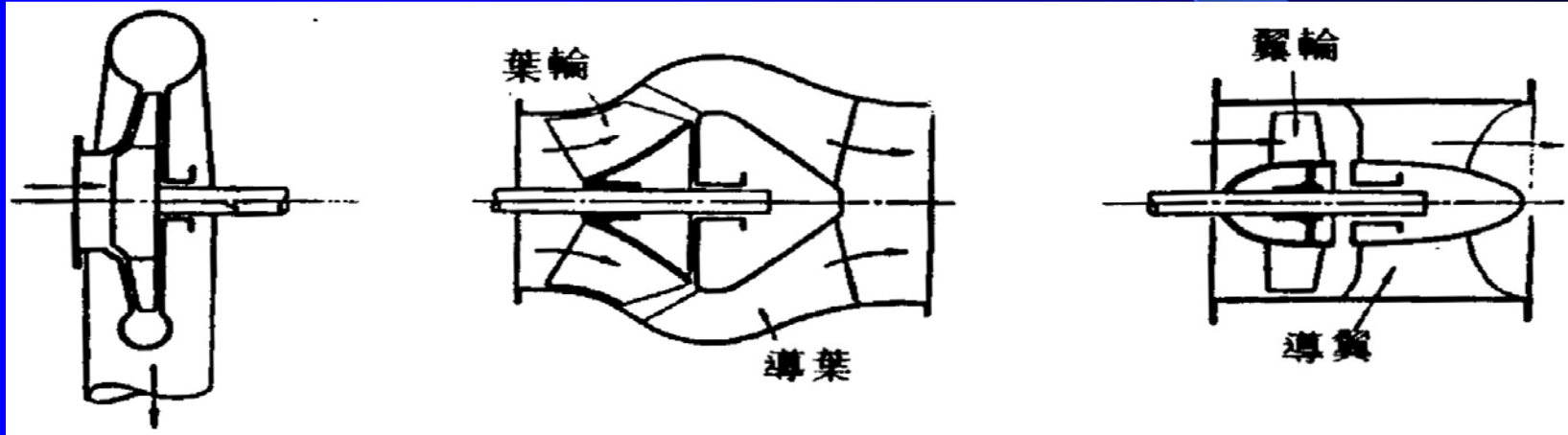
泵浦種類

- 容積式或稱排量式（**positive displacement type**）--往復式（**reciprocating type**）與旋轉式（**rotary type**）
- 動力式（**kinetic type**） --離心式（**centrifugal type**）。

泵浦型式

- 徑流 (radial flow) 式
- 混流/斜流 (mixed flow) 式
- 軸流 (axial flow) 式

徑流式泵 斜流泵 軸流泵葉輪



其他分類

- 臥式或立式
- 單吸（single suction）或雙吸（double suction）
- 自吸（self-priming）或非自吸
- 單級(<150psi)或多級（single or multistage）

渦卷泵

輪機泵(多段渦卷泵)



密閉式葉輪 開放式葉輪 半開放式葉輪



構造

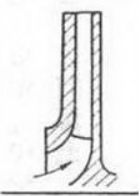
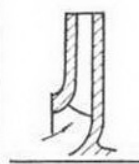




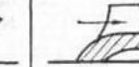
- 1. 泵殼：
- 2. 葉輪：
- 3. 軸承/軸承架：
- 4. 軸封：
- 5. 聯軸器與軸：
- 6. 馬達或渦輪機/引擎直接傳動：

基本說明

- 流量（**Capacity**）：泵浦每單位時間內排出之泵液體積。
- 水頭（**Head**）：泵浦的水頭，或稱為落差、揚程，代表由泵浦的吸引端法蘭至排出端法蘭間泵浦葉輪作用於單位泵液之淨力。



- 比速率，表示泵浦的性能，它會決定葉輪的型式，例如徑流式葉輪、混流式葉輪、斜流式葉輪、軸流式葉輪，形狀如下圖。

	1	2	3	4	5	6	7
葉輪 形狀							
Ns	80-120	120-250	250-450	450-700	700-1000	800-1200	1200-2200
分類	徑流式	徑流式	混流式	混流式	斜流式	斜流式	軸流式

- 比速率：比速率的定義 $N_s = NQ^{1/2} / H^{3/4}$ ，它代表了泵浦的身分證，代表了葉輪的形狀， $N_s 100$ 與 $N_s 250$ 與 $N_s 1200$ 的葉輪形狀是不相同的，也表示具有不同的運轉特性曲線， N_s 相同的泵浦，雖然大小尺寸可能不同，但是運轉特性相同，節流時節能的比例也相同；

淨正吸入揚程 NPSH水頭

- 泵浦在其進口法蘭（**suction flange**）處，經扣減其操作溫度時之飽和蒸氣壓力（**vapor pressure**）後之淨餘正值吸入水頭
- 亦稱有效的**NPSH**

所需淨正吸水頭(NPSHR)

- 為抑制（或防止）汽蝕的發生，泵浦本體所應具有之淨正吸水頭的最低限值。

孔蝕現象

- 給水泵浦運轉時，吸入處因流動液體局部靜水壓力低於蒸發壓力，使液體蒸發為氣泡，當氣泡隨流體流入壓力較高處，則氣泡將因壓力增大產生急速破裂現象，會造成噪音、振動及侵蝕葉片等問題，稱之為孔蝕現象。
- 影響泵浦性能、效率、流量、壓力
- 損壞泵浦

入口比速率 N_{ss}

- 入口比速率 的定義 $N_{ss} = NQ^{1/2} / NPSHR^{3/4}$

泵浦公式

- 泵浦公式 $BHP = Q \times H \times r / 4.56 \eta$
- $BHP =$ 軸馬力 hp , $Q =$ 流量 M^3/min $H =$ 揚程 m , $r =$ 比重 $\eta =$ 泵浦效率

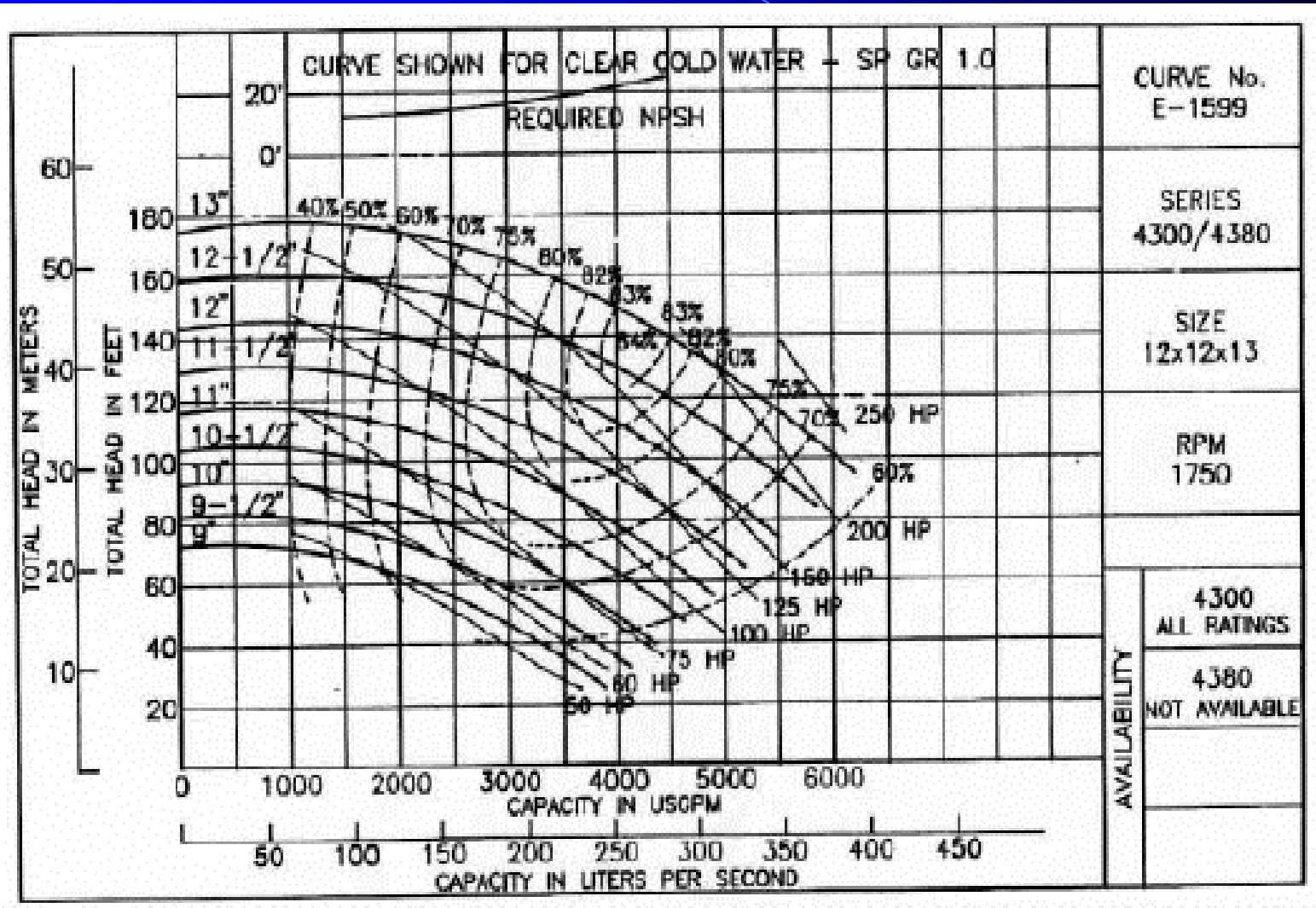
泵浦特性之影響

- 轉數
- 葉輪外徑尺寸
- 流體比重
- 黏度

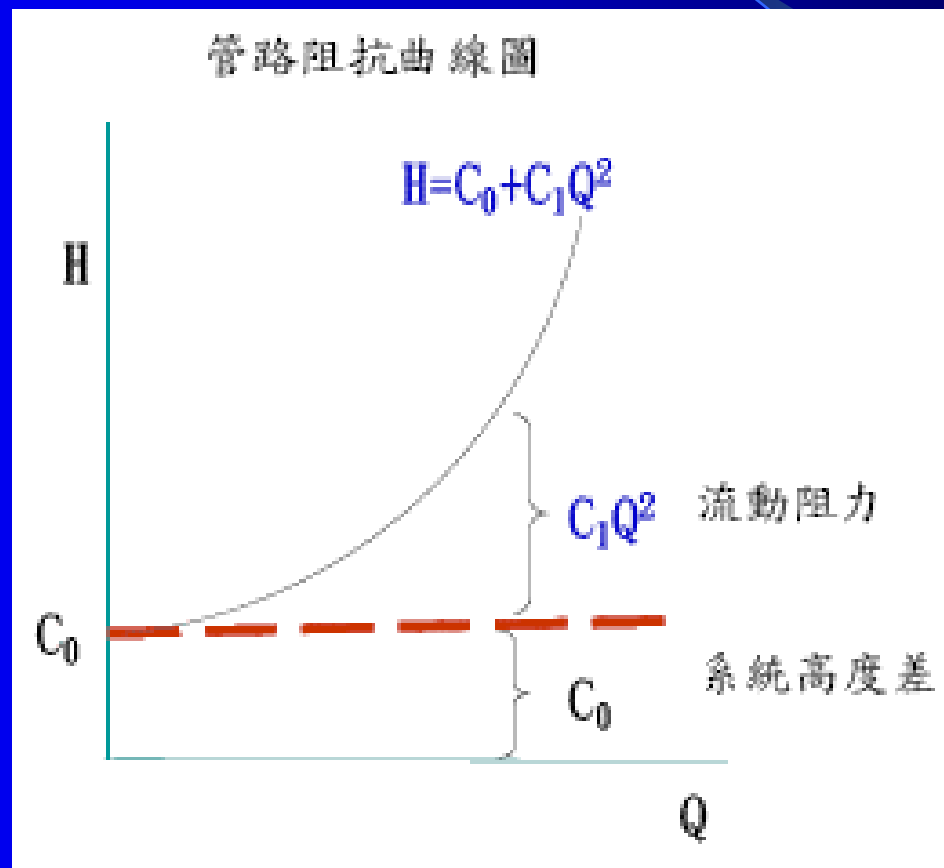
系統介紹

- 性能曲線
- 管路阻抗曲線
- 系統中的水泵總是與特定的管路相連，其操作點由水泵的性能曲線與管路的阻抗曲線共同決定。
- 因此，對於水泵操作人員來說，瞭解水泵特性曲線與並聯特性並正確操作是非常重要的。

性能曲線



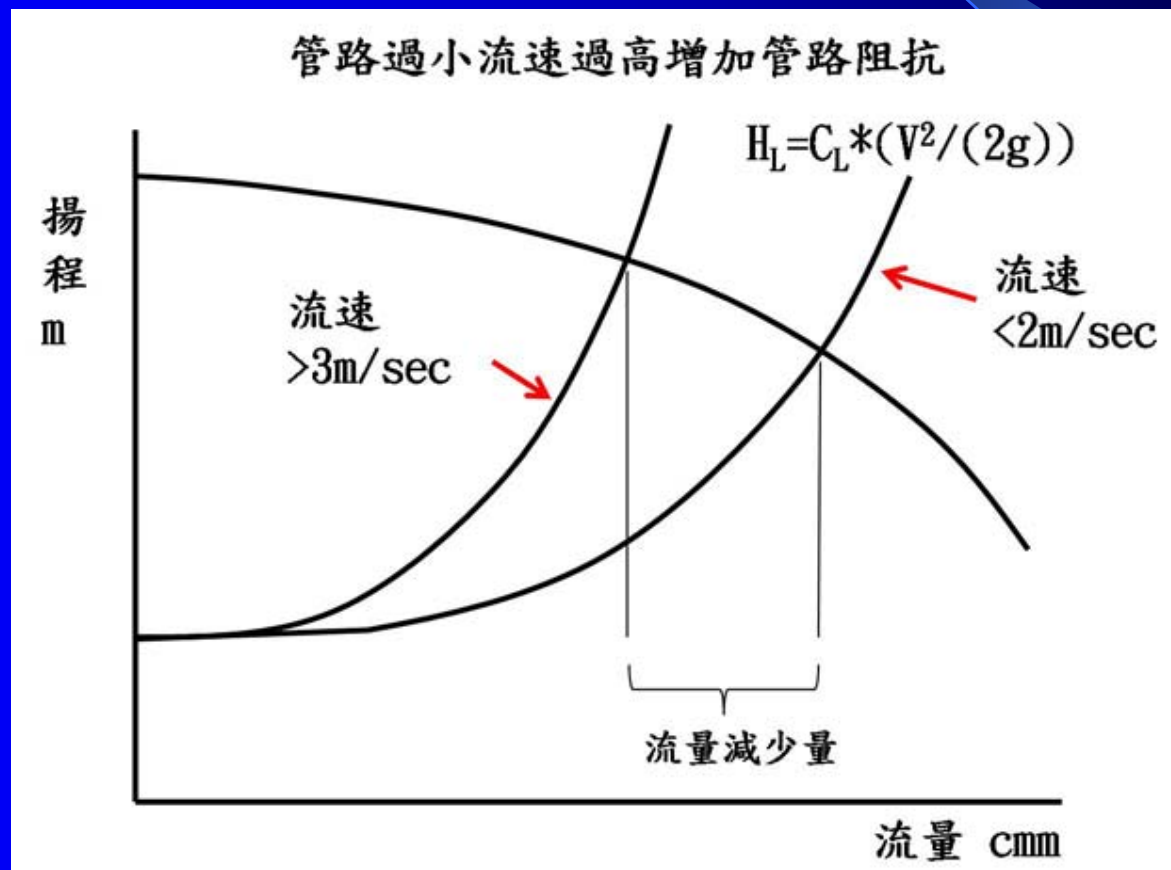
管路阻抗曲線



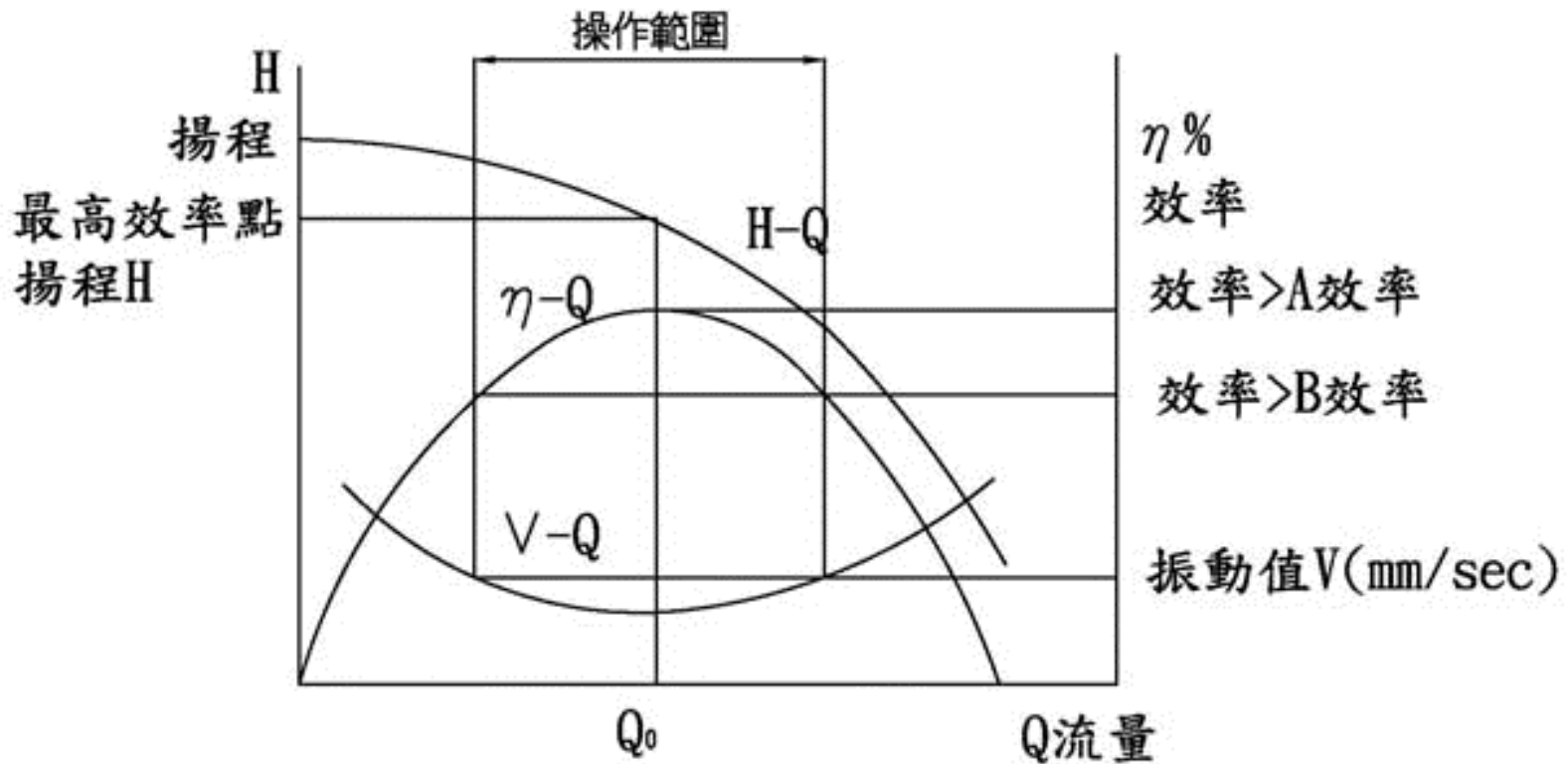
磨擦損失

- 設備磨擦損失
- 管路磨擦損失-管(pipe)/管件 (fitting)
- 控制閥磨擦損失
- 總磨擦損失

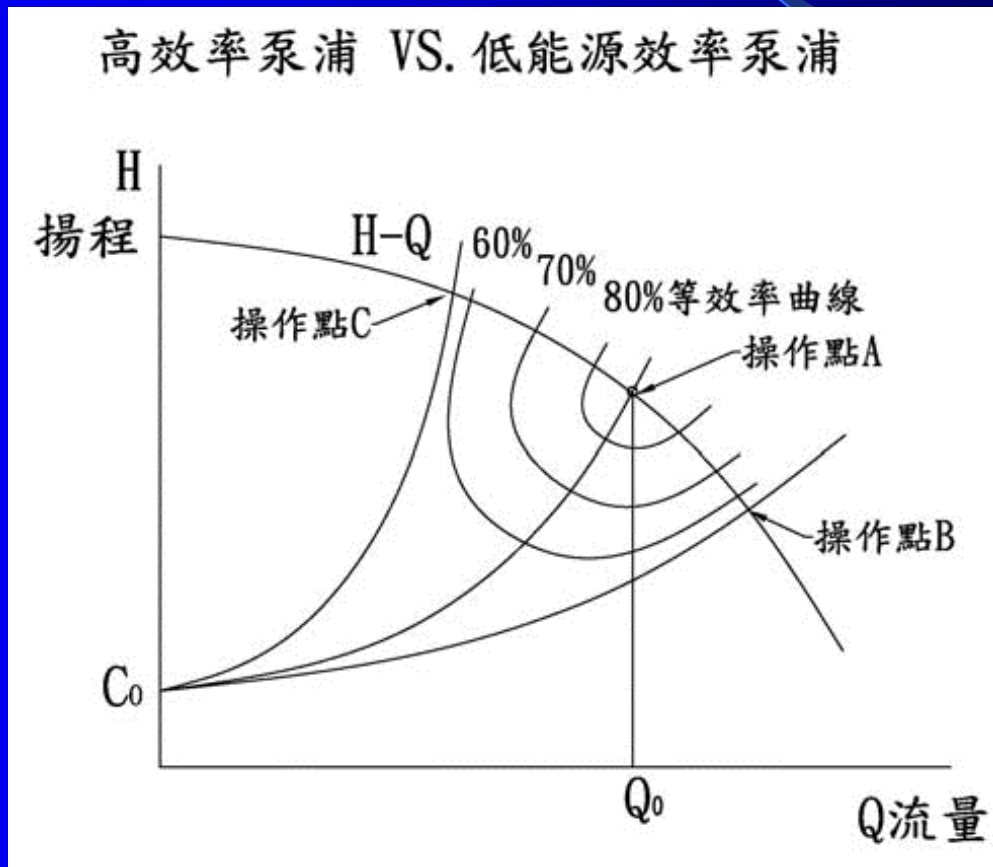
管路阻抗曲線會隨著系統的需求改變



離心泵的操作範圍



管路阻抗曲線與性能曲線匹配

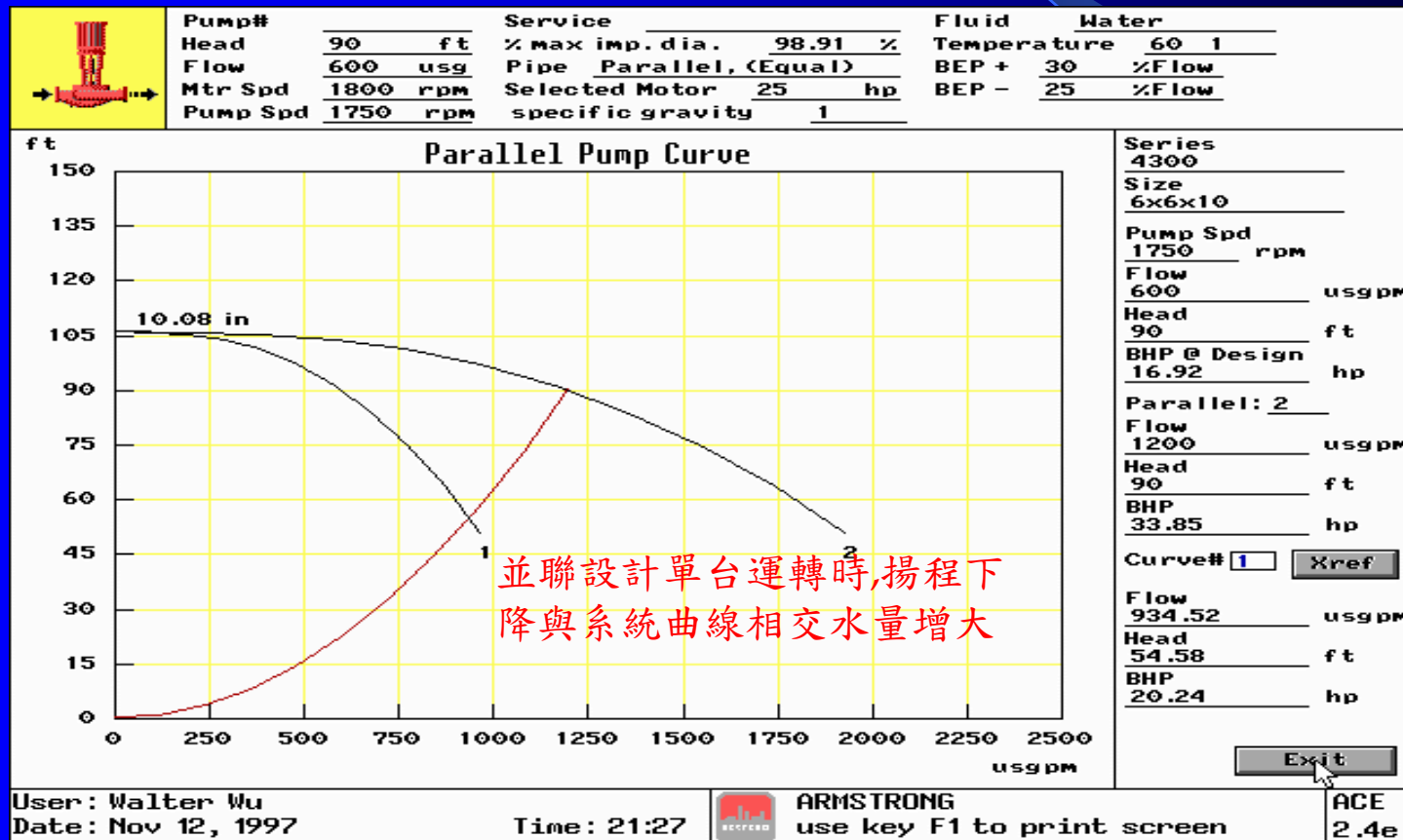


離心泵的運轉模式

- 單台運轉
- 並聯運轉
- 串聯運轉

並聯運轉

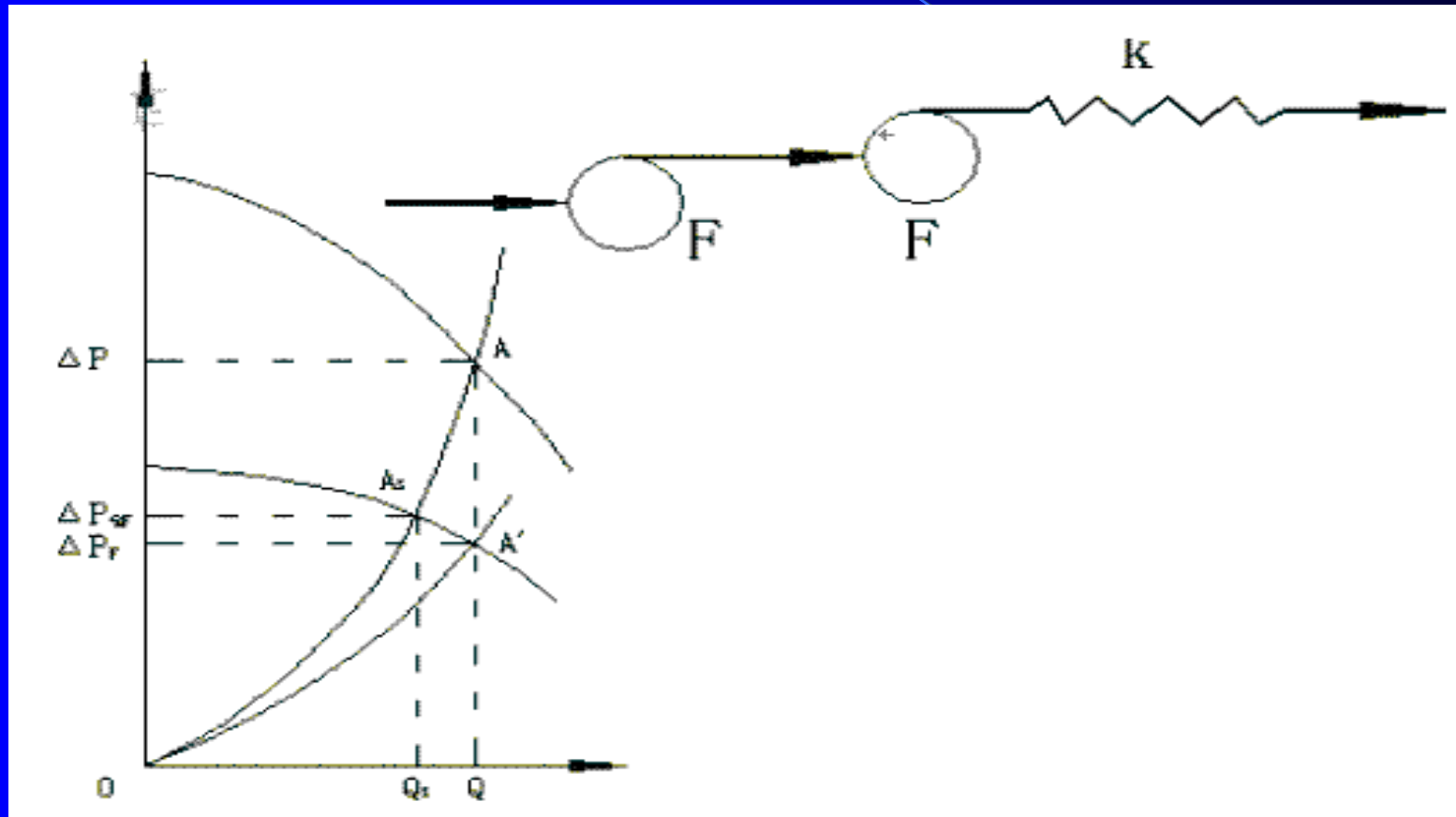
並聯：水量增加，揚程不變。



並聯設計單台運轉時,揚程下降與系統曲線相交水量增大

串聯運轉

● 串



泵浦的設計與採購注意事項

- 在設計水系統時應進行必要的水力計算，確保選用水泵的揚程合理。
- 使用國際標準，以達到最低的採購標準。
- 規格-使用壽命、材料、軸剛度、機械密封、軸承、輔助管路等方面
- 對於不易燃、無危險的介質，在使用壽命、材料、軸剛度、機械密封、軸承、輔助管路等方面應符合國際標準的有關要求

入口比速率 N_{ss}

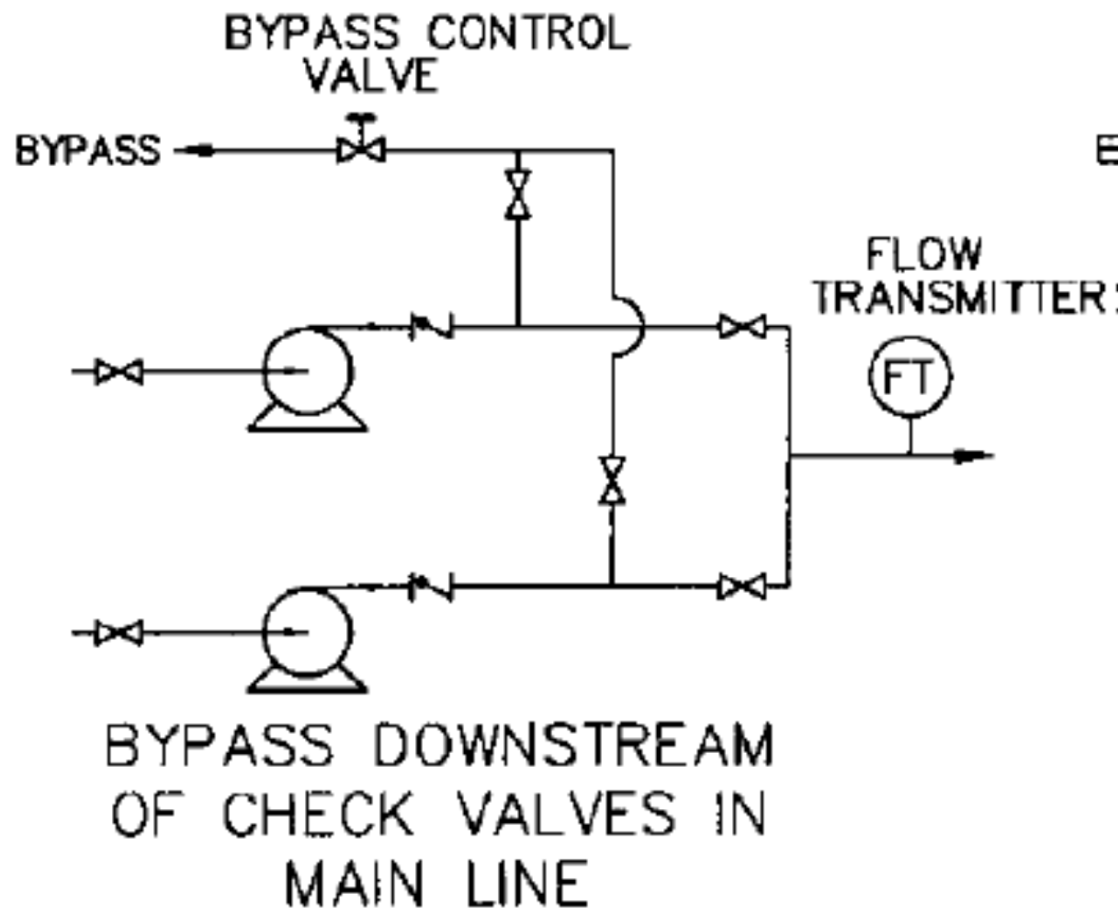
- 入口比速率的定義 $N_{ss} = NQ^{1/2} / \text{NPSHR}^{3/4}$
- 一般最高效率點(b.e.p)之泵浦入口比速率 N_{ss} 數值大約在 1200~1350 $\text{m}^3/\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{rpm}$ 之間(軸流式泵浦可能大於 1350)

NPSH

- NPSHA=淨吸入揚程餘裕 NPSHR=淨吸入揚程需求(即泵磨擦損失)
- NPSHA必須大於水泵的NPSHR才能抽到液體

流量控制

- 旁通迴路與節流閥門控制是流量控制上最常見的兩種控制方式，不過大量的使用此方式容易造成能源上之浪費



水側設計要求

	SI units	US Customary units
Velocity over heat exchange surfaces:	1,5 m/s to 2,5 m/s	(5 ft/s to 8 ft/s)
Maximum allowable working pressure (MAWP), gauge:	700 kPa	(7 bar) (100 psi)
Test pressure (>1,5 MAWP), gauge:	1 050 kPa	(10,5 bar) (150 psi)
Maximum pressure drop:	100 kPa	(1 bar) (15 psi)
Maximum inlet temperature:	30 °C	(90 °F)
Maximum outlet temperature:	50 °C	(120 °F)
Maximum temperature rise:	20 K	(30 °R)
Fouling factor on water side:	0,35 m ² -K/kW	(0,002 h-ft ² -°R/Btu)
Shell corrosion allowance (not for tubes):	3,0 mm	(0,125 in)

電動機

Motor nameplate rating		Percentage of rated pump power
kW	(hp)	%
< 22	(< 30)	125
22 to 55	(30 to 75)	115
> 55	(> 75)	110

測試儀錶

- 只有經過檢驗及校核之儀錶始可使用於測試之中。
- 對壓力儀器之選用，須使其最大將指示的測試壓力在全部壓力錶範圍40%至60%之間。

廠內性能測試

- 必須詳細說明性能測試事宜及測試所用液體。

特性曲線測試

- 必須包括下列流量點的資料：
- 關斷水頭、最小連續穩定流量、最小流量與額定流量中間點流量，額定流量、125%之最佳效率點流量或特性曲線儘可能尾端之流量。
- 測試資料必須校正到設計狀況之溫度、黏度及比重。
- 校正後資料必須符合美國石油協會標準610號中保證特性之誤差值。
- 原始與經校正之資料均須送予業主。

性能試驗誤差值

Condition	Rated point %	Shutoff %
Rated differential head:		
— 0 m to 150 m (0 ft to 500 ft)	- 2 + 5	+ 10 - 10 ^a
— 151 m to 300 m (501 ft to 1 000 ft)	- 2 + 3	+ 8 - 8 ^a
— > 300 m (1 000 ft)	- 2 + 2	+ 5 - 5 ^a
Rated power	+ 4 ^b	—
Rated NPSH	0	—

NOTE Efficiency is not a rating value.

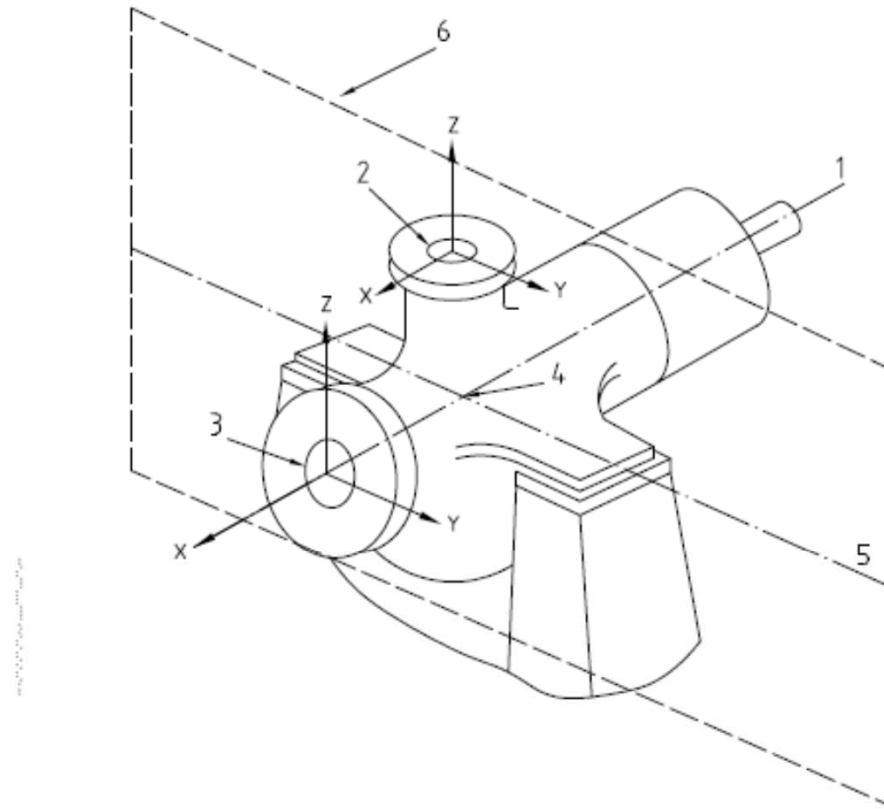
^a If a rising head flow curve is specified (see 5.1.13), the negative tolerance specified here shall be allowed only if the test curve still shows a rising characteristic.

^b Under any combination of the above (cumulative tolerances are not acceptable)

淨正吸水頭之測試

- 測試點最少包括下列流量點的資料：
- 最小連續穩定運轉流量、額定流量、最小流量與額定流量中間點流量、125%之最佳效率點流量或儘可能特性曲線尾端之流量。
- 所須靜正吸水頭可接受標準為水頭下降3%時所量測之值。

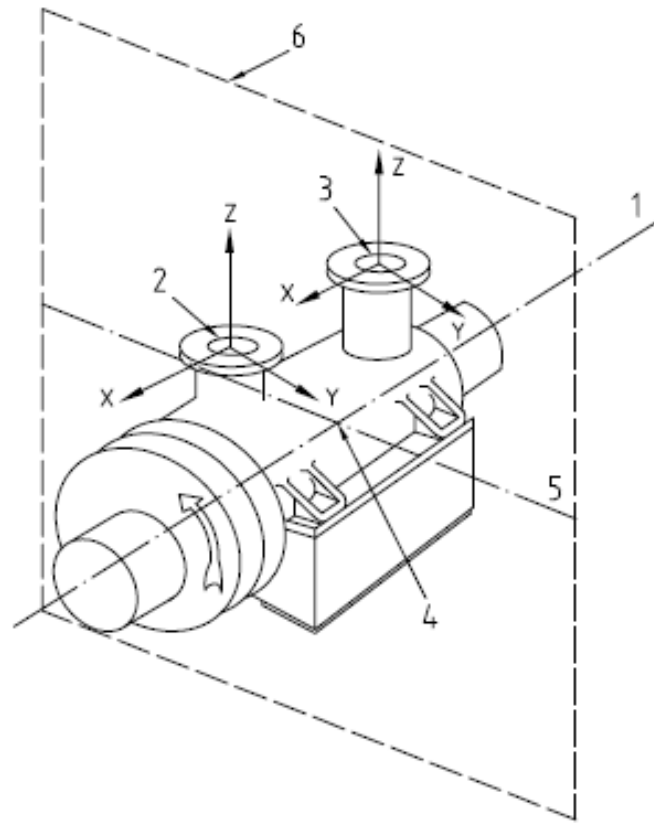
管嘴受力



Key

- 1 shaft centreline
- 2 discharge nozzle
- 3 suction nozzle
- 4 centre of pump
- 5 pedestal centreline
- 6 vertical plane

Figure 23 — Coordinate system for the forces and moments in Table 4 — Horizontal pumps with end suction and top discharge nozzles



Key

- 1 shaft centreline
- 2 discharge nozzle
- 3 suction nozzle
- 4 centre of pump
- 5 pedestal centreline
- 6 vertical plane

Figure 24 — Coordinate system for the forces and moments in Table 4 — Horizontal pumps with top nozzles

Table 4 — Nozzle loadings (continued)

	US Customary units								
	Nominal size of flange (NPS)								
	≤ 2	3	4	6	8	10	12	14	16
Forces (lbf)									
Each top nozzle									
F_X	180	240	320	560	850	1 200	1 500	1 800	1 900
F_Y	130	200	260	460	700	1 000	1 200	1 300	1 500
F_Z	200	300	400	700	1 100	1 500	1 800	2 000	2 300
F_R	290	430	570	1 010	1 560	2 200	2 600	2 900	3 300
Each side nozzle									
F_X	180	240	320	560	850	1 200	1 500	1 800	1 900
F_Y	200	300	400	700	1 100	1 500	1 800	2 000	2 300
F_Z	130	200	260	460	700	1 000	1 200	1 300	1 500
F_R	290	430	570	1 010	1 560	2 200	2 600	2 900	3 300
Each end nozzle									
F_X	200	300	400	700	1 100	1 500	1 800	2 000	2 300
F_Y	180	240	320	560	850	1 200	1 500	1 800	1 900
F_Z	130	200	260	460	700	1 000	1 200	1 300	1 500
F_R	290	430	570	1 010	1 560	2 200	2 600	2 900	3 300
Moments (ft-lbf)									
Each nozzle									
M_X	340	700	980	1 700	2 800	3 700	4 500	4 700	5 400
M_Y	170	350	500	870	1 300	1 800	2 200	2 300	2 700
M_Z	260	530	740	1 300	1 900	2 800	3 400	3 500	4 000
M_R	480	950	1 330	2 310	3 500	5 000	6 100	6 300	7 200
NOTE 1 See Figures 20 through 24 for orientation of nozzle loads (X, Y and Z).									
NOTE 2 Each value shown above indicates range from minus that value to plus that value; for example 180 indicates a range from -180 to +180.									

所有材質證明必須包含下列資料：

- a. 製造廠商名稱
- b. 採購合約與請購單編號及日期
- c. 製造廠商之工單編號
- d. 證明文件編號與出版日期
- e. 材質之規範標準
- f. 尺寸
- g. 貨號或批號或熱處理爐號
- h. 測試結果之化學成分

- i. 規範之機械性能
- j. 實際之機械性能
- k. 所應用到之非破壞檢驗方式及其結果
- l. 所應用到熱處理之熱處理程序、爐號及熱處理結果
- m. 補充或附增需求事項
- n. 見證之獨立檢驗機構人員之姓名
- o. 檢驗人員之認證符號；如無其他另外規定，則有關材料亦須具有認證符號之硬式戳記（低應力戳記）

戳記及標識

- 法蘭
- 管配件
- 閥
- 泵浦
- 壓力容器及其零組件

包括：

- a. 製造廠商之記號（戳記須有相同之記號，並且與證明文件同）
- b. 材質和產品之認證
- c. 貨或批號
- d. 熱處理圖表或參考爐號（如有做熱處理）
- e. 熱處理記號（如有做熱處理）
- f. 所應用到之非破壞檢驗其記號或應用法規
- g. 尺寸、厚度或其他諸元

節能管理與做法

- 能源浪費狀態的掌握
- 維持應有高效率的狀態
- 配管面的改善
- 系統面的改善
- 節能管理的運用

系統管理

- 掌握能源浪費狀態
- 掌握耗能實態與注意事項
- 計算總用水的費用與每噸水的成本
- 掌握系統單機效率與供水效率
- 比較新設基準值與實際值
- 檢討目標與差異

能源浪費狀態的掌握

- 隨著季節、時間差或其他因素導致的變化量超過某一範圍，或是實際使用量很可能遠低於購置設備前的估計值時
- 多台機組是否同時在部分負載下運轉
- 是否有定期作節能檢討
- 是否有定期作效率測試
- 是否有定期作分解量測

- 配管確定沒有漏水
- 配管內是否有雜碎物阻塞過濾器
- 定期檢查水質
- 泵浦吸入端配管的正確與否
- 注意冷卻水泵浦入口之正壓
- 安裝泵浦時應注意連軸器中心之校正並保持水平以避免不正常之噪音及振動。
- 泵浦進出口所接之水閥、水管等，均應加裝適當之支撐或吊架，以免泵浦受壓，發生變形、龜裂、軸心不正等現象

維持應有高效率的狀態

- 適時關閉不需要的泵浦
- 適時關閉不需要的泵浦支管路
- 出口閥要全開
- 管路阻抗曲線與性能曲線要適當匹配
- 依照需求流量更換合適之泵浦規格或換用合適之葉輪
- 換用高效率型之泵浦(搭配使用高效率馬達)與高效率之傳動方式
- 確認泵浦運轉在高效率區
- 密封環間隙的管理-定期整修磨損環與葉輪之間の間隙
- 依照需求流量運用變頻方式
- 節能管理的運用-整修管路、對心

配管的設計或施工不良問題

- 避免不合理的吸水狀況
- 吸入管線90°彎頭採用長彎頭
- 吸入管線盡可能的短
- 吸入管線之管件愈少愈好
- 吸入管線直管長度必須保持4~8D直管長度
- 吸入管線上大小頭的平端必須在上端
- 吸入管線要獨立設置不可從共通管接入
- 吸入管線不可有氣袋(air pocket)
- 出口止回閥要設置在關斷閥之前
- 避免在安裝和使用階段產生管線過大的力量至管嘴上

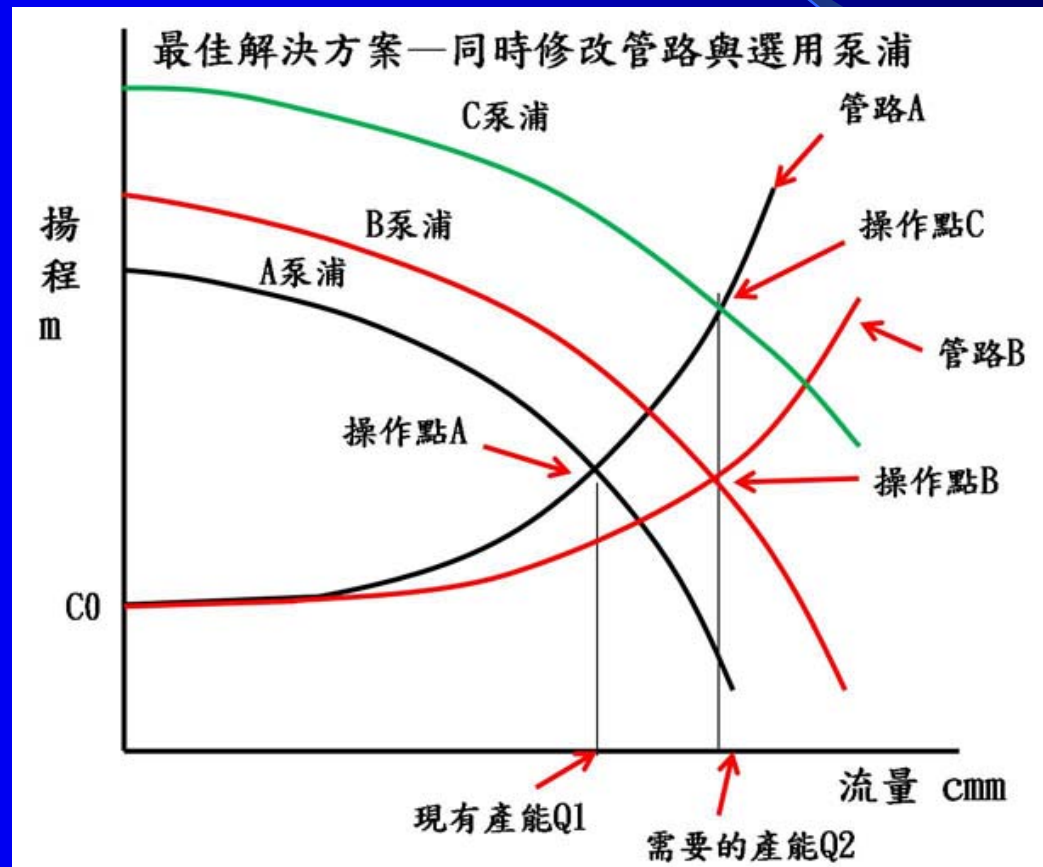
系統面的改善

- 採用高效率泵浦
- 確認運轉在高效率區
- 變頻的運用

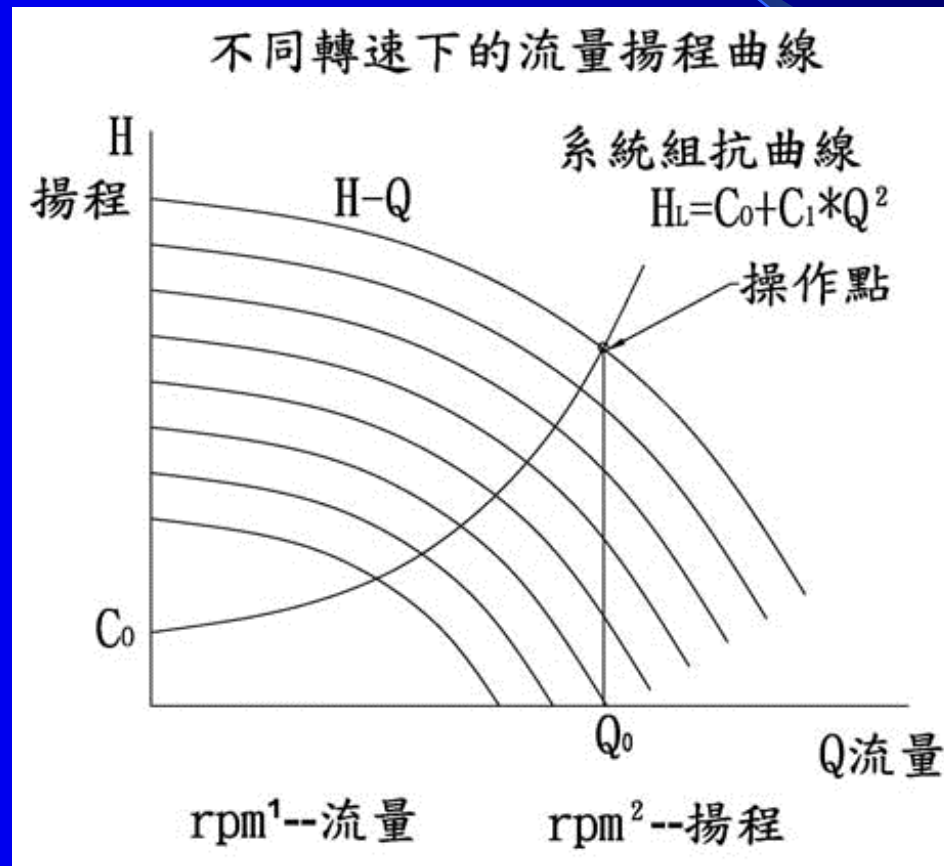
確認泵浦運轉在高效率區

- 1.操作點A是最佳的操作點
- 2.操作點B是在大流量低揚程區域
- 3.操作點B代表管路為低阻力管路系統
- 4.應重新選用以操作點B為高效率的泵浦
- 5.操作點C是在低流量高揚程區域
- 6.操作點B代表管路為高阻力管路系統
- 7.應重新選用以操作點C為高效率的泵浦
- 8.重新確認管路系統阻抗曲線

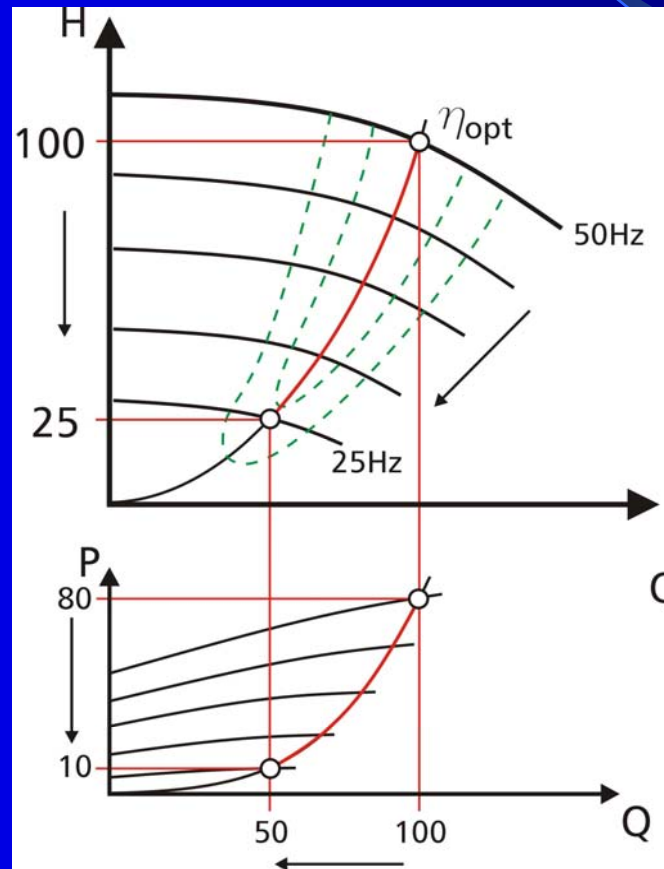
系統阻抗曲線



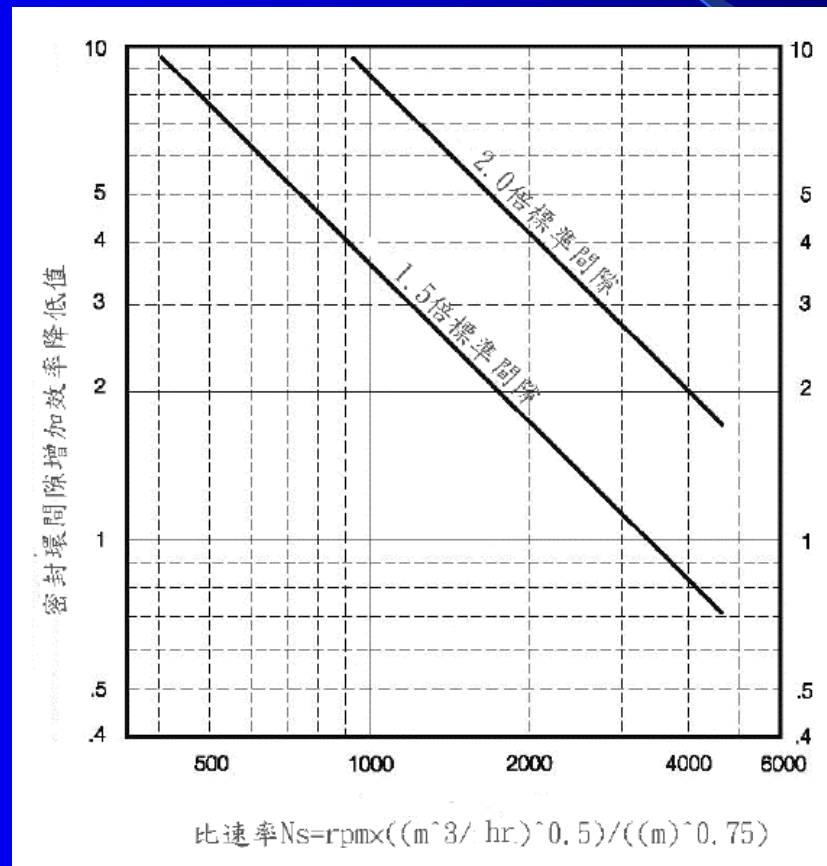
變頻離心泵的運轉



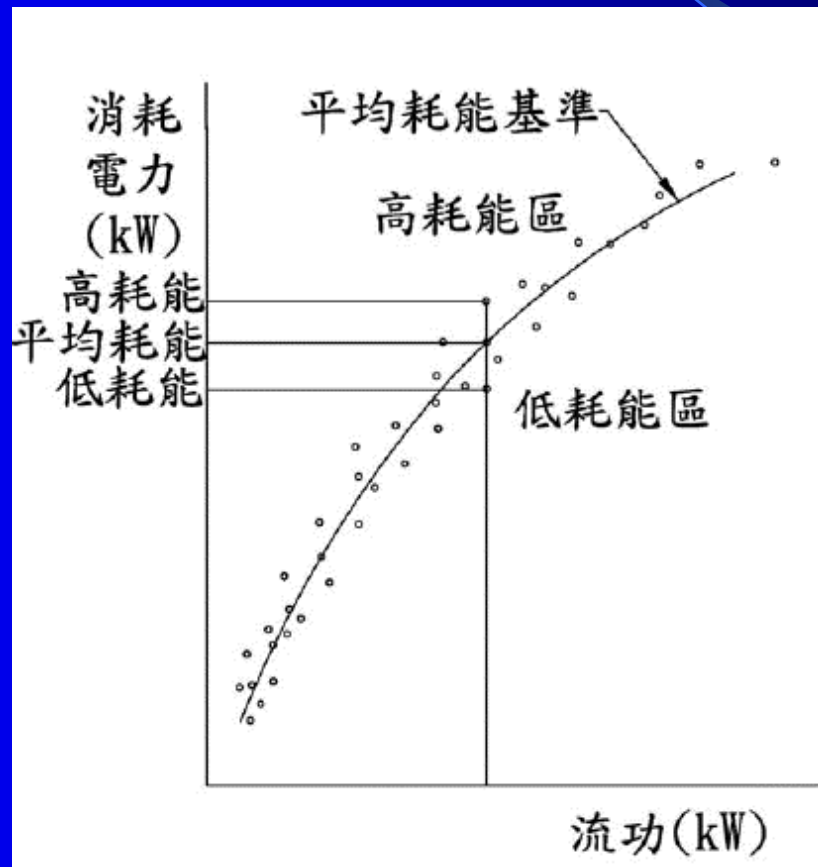
變頻離心泵的節能



節能管理的實務做法---管理密封環間隙



節能管理的實務做法---定期紀錄統計耗能



案例分析

- 背景：配合製程改善導致冷卻水實際需求量減少
- 改善措施：車修冷卻水循環泵浦葉輪直徑以降低運轉用電量

節能減碳

- 改善前--
冷卻水循環泵浦規格為 $900\text{M}^3/\text{HR}\times 70\text{M}$ ，一期設備因製程效能提升而停止運轉，冷卻水需求量減少，以原有泵浦規格運轉屬過量。
- 改善後--
配合泵浦性能曲線，將冷卻水循環泵浦葉輪直徑由 $15\ 3/8''$ 車修至 $15''$ 以調降泵浦輸出流量，降低運轉用電量。
改善後冷卻水流量符合製程生產需求，泵浦測量實際運轉電流由 42A 降為 38A 。

- 節省電力使用量:

$$\sqrt{3} \times (42-38) \text{A} \times 3,300 \text{V} / 1,000 \times 24 \text{HR} / \text{日} \times 20 \text{日} / \text{月} \times 12 \text{月} / \text{年} = 132 \text{仟度} / \text{年}$$

- 節能成效：

1. 減少電力用量：132仟度/年

2. 年效益: $132 \text{仟度} / \text{年} \times 2.1 \text{仟元} / \text{仟度} = 277 \text{仟元} / \text{年}$

3. 估算CO₂減排效益：

$$132 \text{仟度} / \text{年} \times 0.636 \text{公噸} \text{CO}_2 / \text{仟度} = 84 \text{公噸} \text{CO}_2 / \text{年}$$

結論

- 在日常使用中應降低用水量與提升系統運轉效率
- 在設計水系統時應進行必要的水力計算，確保選用水泵的揚程合理。對水泵揚程的選取不能認為越大越保險，而要重視運轉的經濟性，避免隨意加大揚程。
- 在水系統負載變化很大時，採用各節能方案，保證系統可靠高效率運轉以節約電力和運轉費用。
- 需診斷系統的主要問題對症下藥，方能有事半功倍效果
- 系統雖簡單，但需有效管理
- 加強改善使節能三支柱完整堅固

簡報完畢

敬請指教