

GRUNDFOS INDUSTRY



GRUNDFOS 
INDUSTRIAL SOLUTIONS™

泵浦手冊

BE > THINK > INNOVATE >

GRUNDFOS 

泵浦手冊

葛蘭富管理公司(GRUNDFOS Management A/S) 2004年版權所有

本資料受版權法及國際條約保護。未經葛蘭富管理公司書面允許，不得以任何形式或方式複製本資料的任何部分。

免責聲明

本資料內容具有相當高的正確性，但對於因採用本資料的內容而引起的任何直接、間接或伴隨產生的損失，葛蘭富管理公司不負任何責任。

前言

製造業在面對最佳化操作、高可靠性和低耗能的問題時，對泵浦的要求和期望越來越高。因此葛蘭富(Grundfos)編著了這本簡單明瞭且實用的泵浦手冊，當客戶選擇泵浦和設計泵浦系統時，可根據本手冊迅速取得處理各種考量因素的方法。本手冊特別針對從事泵浦和泵浦系統設計與安裝的工程師和技師而精心製作，其中包含諸多有關泵浦專業問題的回答。使用者使用本手冊時，可完整閱讀手冊中的內容，也可查閱其中的任何章節。

本手冊共分5章，分別討論泵浦系統設計的不同階段。

第1章主要概述泵浦的不同類型和組件，並說明泵浦輸送黏性液體時的注意事項，其中更進一步介紹最常用的材質和不同類型的腐蝕；第2章提供關於泵浦性能等有關資料的重要術語。第3章講解系統水力學，以及泵浦系統最佳化運行所需考慮的重要因素。調節泵浦的性能，通常須要透過不同的調節方法，第4章將討論此方面的問題。節能在當今的泵浦和泵浦系統中扮演著越來越重要的角色，第5章將描述有關生命週期成本的內容。

我們真誠地希望這本手冊對您的日常工作有所裨益。

部門處長

Allan Skovgaard

事業發展經理

Claus Bærnholdt Nielsen

第1章 泵浦及馬達的設計7

第1.1節 泵浦結構8

1.1.1 離心泵浦	8
1.1.2 泵浦曲線	9
1.1.3 離心泵浦的特性	11
1.1.4 最常見的端吸泵和線上型(In-line)泵浦類型	12
1.1.5 葉輪類型(軸向力)	14
1.1.6 泵殼類型(徑向力)	15
1.1.7 單段式泵浦	15
1.1.8 多段式泵浦	16
1.1.9 聯軸式泵浦和直結式泵浦	16

第1.2節 泵浦類型17

1.2.1 標準泵浦	17
1.2.2 分件式泵浦	17
1.2.3 密封泵浦	18
1.2.4 衛生泵浦	20
1.2.5 污廢水泵浦	21
1.2.6 浸水式泵浦	22
1.2.7 深井泵浦	23
1.2.8 正排量泵浦	24

第1.3節 機械軸封27

1.3.1 機械軸封的元件和功能	29
1.3.2 平衡型軸封及非平衡型軸封	30
1.3.3 機械軸封的類型	31
1.3.4 軸封面材料組合	34
1.3.5 影響軸封性能的因素	36

第1.4節 馬達39

1.4.1 標準規範	40
1.4.2 馬達啟動	46
1.4.3 電源電壓	47
1.4.4 變頻器	47
1.4.5 馬達保護	49

第1.5節 液體53

1.5.1 黏性液體	54
------------	----

1.5.2 非牛頓液體	55
1.5.3 黏性液體對離心泵性能的影響	55
1.5.4 輸送含防凍劑液體之泵浦選型	56
1.5.5 計算實例	58
1.5.6 黏稠液體的電腦輔助泵浦選機	58

第1.6節 材料59

1.6.1 何謂腐蝕?	60
1.6.2 腐蝕類型	61
1.6.3 金屬和金屬合金	65
1.6.4 陶瓷	71
1.6.5 塑膠	71
1.6.6 橡膠	72
1.6.7 塗層	73

第2章 泵浦安裝及性能解讀75

第2.1節 泵浦安裝76

2.1.1 全新安裝	76
2.1.2 既有設備的更新	76
2.1.3 單台泵浦安裝的管流	77
2.1.4 噪音和振動的限制	78
2.1.5 噪音值(L)	81

第2.2節 泵浦性能83

2.2.1 水力條件	83
2.2.2 電氣條件	90
2.2.3 液體特性	93

第3章 系統水力學 95

第3.1節 系統特性 96

3.1.1 單一阻抗 97

3.1.2 封閉式與開放式系統 98

第3.2節 泵浦串聯與並聯 101

3.2.1 泵浦並聯 101

3.2.2 泵浦串聯 103

第4章 泵浦的性能調節 105

第4.1節 調節泵浦性能 106

4.1.1 節流控制 107

4.1.2 旁路控制 107

4.1.3 修改葉輪直徑 108

4.1.4 轉速控制 108

4.1.5 調節方法的比較 110

4.1.6 泵浦系統的整體效率 111

4.1.7 實例：流量減小20%時的相應功率消耗 111

第4.2節 變速泵浦解決方案 114

4.2.1 恆壓控制 114

4.2.2 恆溫控制 115

4.2.3 循環系統的定壓差 115

4.2.4 流量補償壓差控制 116

第4.3節 轉速控制的優點 117

第4.4節 泵浦內建變頻器的優點 118

4.4.1 變速泵浦的性能曲線 119

4.4.2 不同系統中的變速泵浦 119

第4.5節 變頻器 122

4.5.1 基本功能及特性 122

4.5.2 變頻器的元件 122

4.5.3 關於變頻器的特殊條件 124

第5章 生命週期成本計算 127

第5.1節 生命週期成本計算公式 128

5.1.1 初始成本、購買價格 (C_{ic}) 129

5.1.2 安裝及試車成本 (C_{in}) 129

5.1.3 能源成本 (C_e) 130

5.1.4 操作成本 (C_o) 130

5.1.5 環保成本 (C_{env}) 130

5.1.6 維修保養成本 (C_m) 131

5.1.7 故障時間成本、生產損失 (C_s) 131

5.1.8 廢棄及處理成本 (C_d) 131

第5.2節 生命週期成本計算實例 132

附錄 133

A) 符號及單位 134

B) 單位換算表 135

C) 國際單位SI字首與希臘字母表 136

D) 在不同溫度下，水的蒸氣壓和密度 137

E) 孔板(orifice) 138

F) 管徑變化引起之靜壓變化 139

G) 噴嘴 140

H) 彎頭、閥件等的揚程損失列線圖 141

I) 20°C清水的管路損失列線圖 142

J) 元素週期表 143

K) 泵浦標準 144

L) 各種液體黏度為溫度變化之函數 145

索引 151

第一章 泵浦和馬達的設計

第1.1節 泵浦結構

- 1.1.1 離心泵浦
- 1.1.2 泵浦曲線
- 1.1.3 離心泵浦的特性
- 1.1.4 最常見的端吸泵浦和線上型 (In-line) 泵浦類型
- 1.1.5 葉輪類型 (軸向力)
- 1.1.6 泵殼類型 (徑向力)
- 1.1.7 單段式泵浦
- 1.1.8 多段式泵浦
- 1.1.9 聯軸式泵浦和直結式泵浦

第1.2節 泵浦類型

- 1.2.1 標準泵浦
- 1.2.2 分件式泵浦
- 1.2.3 密封泵浦
- 1.2.4 衛生泵浦
- 1.2.5 污廢水泵浦
- 1.2.6 浸水式泵浦
- 1.2.7 深井泵浦
- 1.2.8 正排量泵浦



第 1.1 節 泵浦結構

1.1.1 離心泵浦

1689 年，物理學家 Denis Papin 發明了離心泵浦，是目前世界各地最常用的一種泵浦。離心泵浦基於一個非常簡單的原理：液體被導入葉輪輪殼，並在離心力的作用下，被拋向葉輪的邊緣。

離心泵浦的製造成本不高，構造堅固耐用且十分簡單。此外，較高的轉速使得泵浦可直接與非同步馬達相聯。離心泵浦可提供較穩定的液體流量，並可在對泵浦不造成任何損害的情況下，輕易地對其進行節流。

圖 1.1.1 為液體流過泵浦的過程：泵浦的入口將液體導入旋轉葉輪的中心，並由此處被拋向葉輪的邊緣。這種結構效率很高，並且適合於處理純液體。對於如污廢水泵浦等必須處理不純液體的泵浦而言，所安裝的葉輪結構較為特別，可防止泵浦內發生堵塞，詳見第 1.2.5 小節。

離心泵浦為開放式設計，當系統內出現壓差，泵浦不運轉時仍可流過液體。

如圖 1.1.2 所示，離心泵浦可分為以下不同種類：徑流泵、混流泵和軸流泵。徑流泵和混流泵是最常用的兩種類型，因此在以下的篇幅中，我們只講述這兩種類型的泵浦。

然而，我們在第 1.2.8 小節將概括地介紹正排量泵浦。

對泵浦的性能，特別是揚程 (head)、流量及安裝等不同需求，以及操作經濟上的要求，使泵浦分為各種類型。圖 1.1.3 顯示不同類型離心泵浦與流量和壓力的關係。

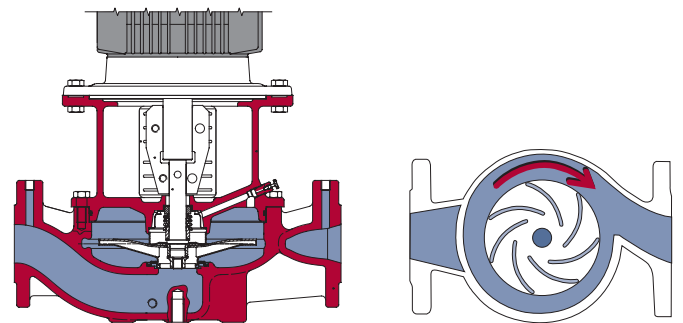


圖 1.1.1: 液體流過泵浦

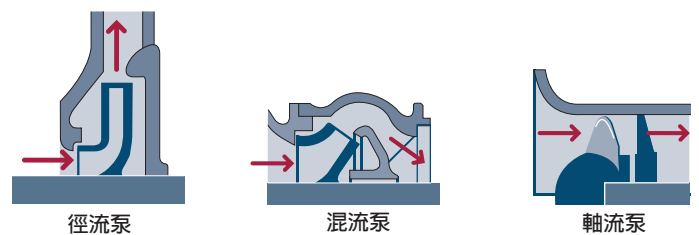


圖 1.1.2: 不同種類的離心泵浦

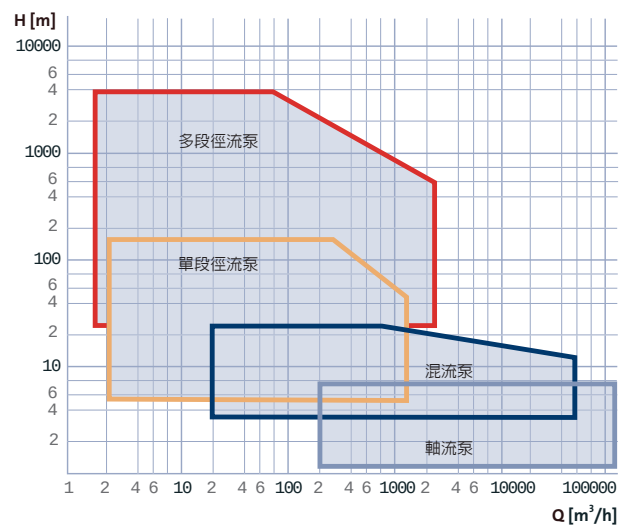


圖 1.1.3: 不同類型離心泵浦與流量和壓力的關係



1.1.2 泵浦曲線

在深入瞭解各種泵浦結構和類型之前，我們先介紹一下泵浦性能曲線的基本特徵。離心泵浦的性能可由性能曲線表示，圖 1.1.4 顯示一台離心泵浦的性能曲線。如圖所示，揚程、功率消耗、效率及淨正吸入揚程 (NPSH) 均是流量的函數。

一般而言，廠家型錄中的泵浦曲線僅包含泵浦部分。因此型錄中列出的功率消耗- P_2 值，僅包括泵浦的輸入功率—見圖 1.1.4。對於效率值 η 也一樣，僅包含泵浦部分 ($\eta=\eta_p$)。

配有整合馬達及可能內建變頻器的泵浦類型，例如：罐裝馬達泵浦 (canned motor pump) (詳見第 1.2.3 小節)，功率消耗曲線和 η 曲線則包含了馬達和泵浦一整體。在此情況下，為 P_1 值。

通常泵浦曲線的設計應依照國際標準組織 ISO 9906 附錄 A，該規範規定了曲線的公差：

- 流量 $Q \pm 9\%$
- 揚程 $H \pm 7\%$
- 功率 $P \pm 9\%$
- $\eta \pm 7\%$

以下簡要說明各種泵浦的性能曲線。

揚程，QH曲線

QH 曲線顯示了泵浦在一定流量下的揚程。揚程的測量單位為米液柱高 [meter liquid column]，通常採用單位為米 [m]。採用米 [m] 作為泵浦揚程測量單位的優點是 QH 曲線不受泵浦所泵送液體類型的影響，如果您想瞭解更多資訊，請參閱第 2.2 節。

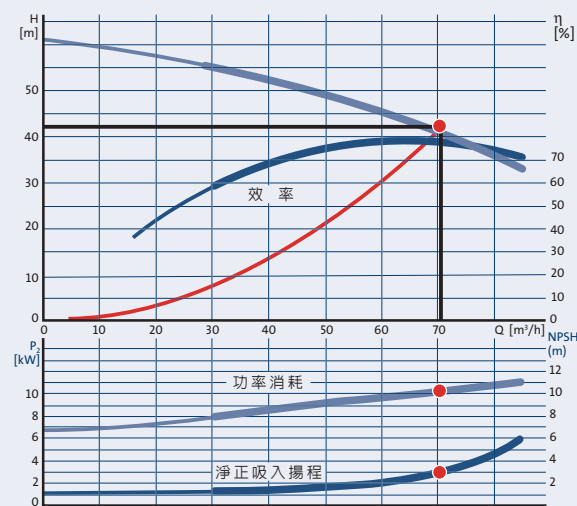


圖 1.1.4: 離心泵浦的典型性能曲線。如圖所示，揚程、功率消耗、效率及淨正吸入揚程均是流量的函數。

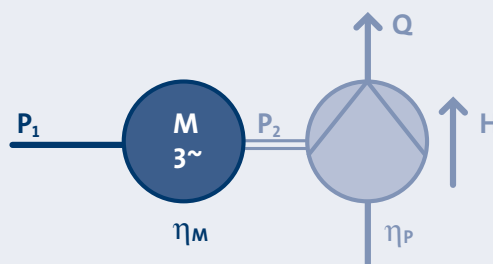


圖 1.1.5: 功率消耗和效率的曲線通常僅包含泵浦部分—即 P_2 和 η_p 。

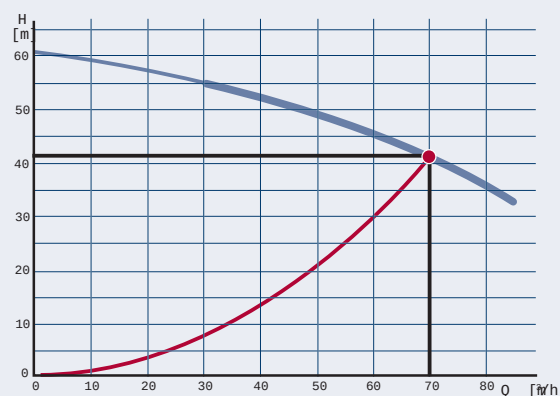


圖 1.1.6: 典型的離心泵浦 QH 曲線（流量小揚程高，流量大揚程低）。

第 1.1 節 泵浦結構

效率， η -曲線

效率是輸入功率與消耗功率之間的關係。對泵浦而言，效率 η_p 是泵浦傳遞給水的功率-水馬力 (P_H) 與輸入泵浦軸功率-軸馬力 (P_2) 之間的關係：

$$\eta_p = \frac{P_H}{P_2} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{P_2 \times 3600}$$

其中：

ρ — 液體密度， kg/m^3
 g — 重力加速度， m/s^2
 Q — 流量， m^3/s
 H — 揚程， m

對於 20°C 的水而言，可利用下列公式計算水馬力，其中 Q 的單位為 m^3/h 、 H 的單位為 m 。

$$P_H = 2.72 \cdot Q \cdot H [\text{W}]$$

如效率曲線所示，效率取決於泵浦的工作點。因此選擇一台符合流量要求的泵浦，並確保泵浦在最高效率的流量區內運作極為重要。

功率消耗， P_2 曲線

泵浦的功率消耗與流量之間的關係如圖 1.1.8 所示。徑流式離心泵浦的 P_2 曲線與圖 1.1.8 的曲線相近，其中 P_2 值隨流量的增大而增加。

淨正吸入揚程，NPSH 曲線

泵浦的 NPSH 值就是泵浦吸入端條件、避免發生氣蝕 (cavitation) 所需的最低絕對壓力（詳見第 2.2.1 小節）。

NPSH 值的量測單位為 $[\text{m}]$ ，並取決於流量大小。當流量增大時，NPSH 值也隨之增加，如圖 1.1.9。若您想瞭解更多有關氣蝕和 NPSH 的資訊，請參閱第 2.2.1 小節。

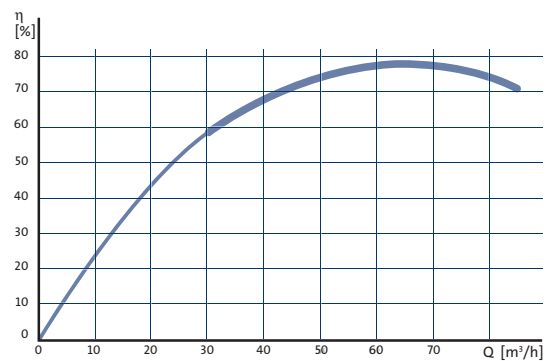


圖 1.1.7: 典型離心泵浦的效率曲線

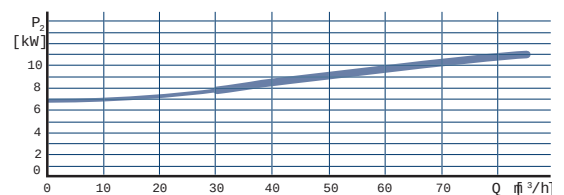


圖 1.1.8: 典型離心泵浦的功率消耗曲線

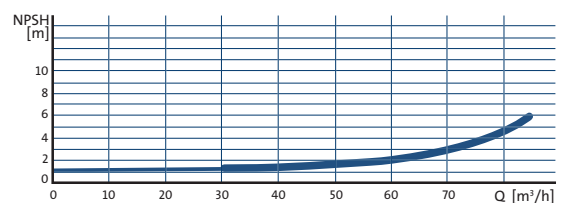


圖 1.1.9: 典型離心泵浦的 NPSH 曲線



1.1.3 離心泵浦的特性

離心泵浦有幾方面特性，在本小節中，我們將講述最重要的幾個特性。在本章的最後，我們將對不同泵浦類型進行更深入的說明。

- 泵浦的段(stage)數

泵浦的段數取決於泵浦內葉輪的數量，一台離心泵浦可以是單段泵浦或多段泵浦。

- 泵軸的方向

單段泵浦和多段泵浦的泵軸可以是水平或直立；這些泵浦通常被設計為臥式泵浦或立式泵浦。若您想瞭解更多資訊，請參閱第 1.1.4 小節。

- 單吸或雙吸葉輪

根據葉輪的結構，泵浦可裝配單吸葉輪或雙吸葉輪。若您想瞭解更多資訊，請參閱第 1.1.5 小節。

- 段的聯接

泵浦段的聯接方式有兩種：串聯和並聯，見圖 1.1.10。

- 泵殼的結構

泵殼可分兩類：渦卷泵殼與回流通道帶導流葉片的泵殼。若您想瞭解更多資訊，請參閱第 1.1.6 小節。

泵軸的方向

單段泵浦和多段泵浦的泵軸可以是水平或直立；這些泵浦通常被設計為臥式泵浦或立式泵浦。若您想瞭解更多資訊，請參閱第 1.1.4 小節。

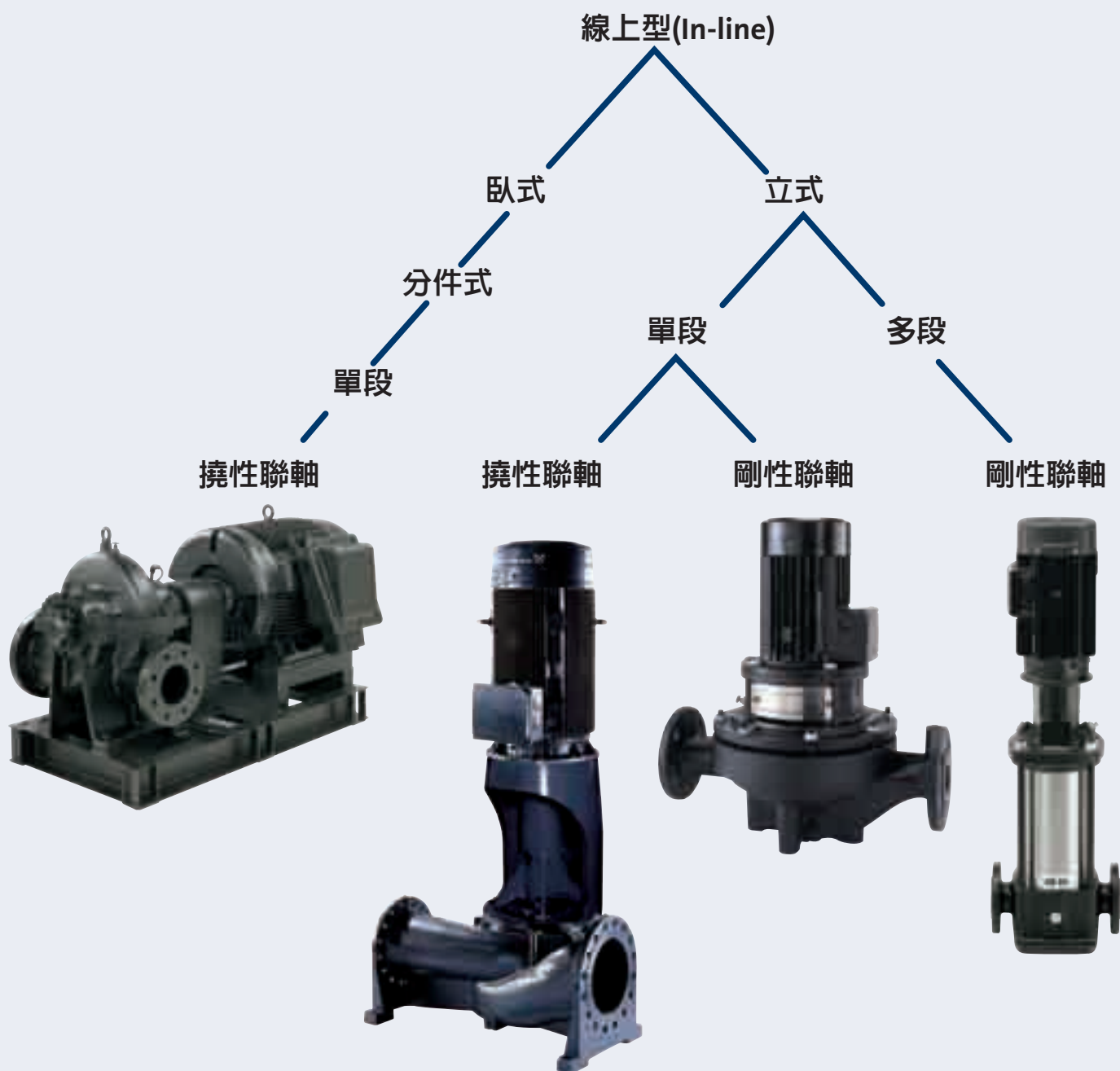


圖 1.1.10: 並聯葉輪的雙聯泵浦

1.1.4 最常見的端吸泵浦和線上型 (In-line) 泵浦類型



- 端吸泵浦 = 液體直接流入葉輪，側吸上揚，入口與出口成 90° 角，詳見第 1.1.9 小節。
- 線上型 (In-line) 泵浦 = 液體直接流過管道上的泵浦。泵浦的兩端各接有吸入管和排出管，可直接安裝在管道系統上。
- 分件式泵浦 = 泵浦採用一個軸向分開的泵殼，詳見第 1.2.2 小節。
- 臥式泵浦 = 具有水平泵軸的泵浦。
- 立式泵浦 = 具有直立泵軸的泵浦。
- 單段泵浦 = 具有單個葉輪的泵浦，詳見第 1.1.7 小節。
- 多段泵浦 = 具有多個串聯葉輪的泵浦，詳見第 1.1.8 小節。
- 聯軸式泵浦 = 泵浦藉由一個撓性聯軸器與馬達相連的泵浦，馬達和泵浦具有分離的軸承結構，詳見第 1.1.9 小節。
- 直結式泵浦 = 泵浦藉由一個剛性聯軸器與馬達相連的泵浦，詳見第 1.1.9 小節。



第 1.1 節

泵浦結構

1.1.5 葉輪類型（軸向力）

離心泵浦產生的壓力會對泵浦的靜止部件與旋轉部件施加力道，泵浦部件的構造必須能承受這些外力。如果泵浦內的軸向力和徑向力無法平衡，泵浦選擇驅動電動機時必須考慮這些外力（馬達使用角接觸軸承）。在單吸葉輪的泵浦，會出現較大的軸向力，如圖 1.1.11 和 1.1.12。可採用下列其中一種方法平衡這些外力：

- 採用止推軸承的機械方法，這類軸承特別針對使用於吸收來自葉輪的軸向力而設計。
- 藉由葉輪上的平衡孔，見圖 1.1.13。
- 藉由安裝在葉輪背面的密封環作節流調節，見圖 1.1.14。
- 葉輪背面輪葉的動態衝力，見圖 1.1.15。
- 可使用雙吸葉輪保持泵浦的軸向力平衡（見圖 1.1.16）。

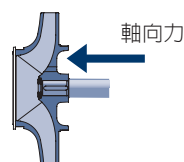


圖 1.1.11: 單吸葉輪

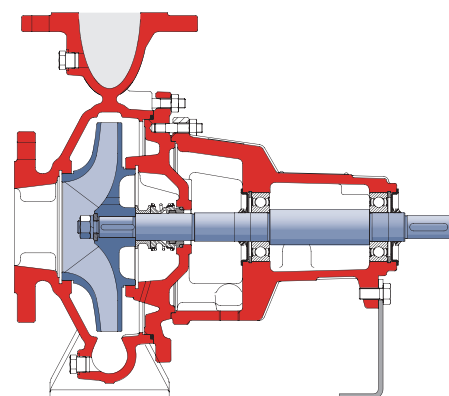


圖 1.1.12: 配有單吸葉輪的標準泵浦

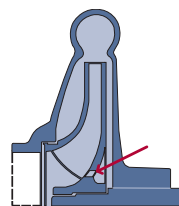


圖 1.1.13: 採用平衡孔平衡單段離心泵浦內的軸向力

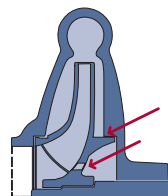


圖 1.1.14: 採用排出側的密封環間隙和平衡孔平衡單段離心泵浦內的軸向力

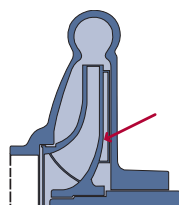


圖 1.1.15: 採用葉輪背面的輪葉平衡單段離心泵浦內的軸向力

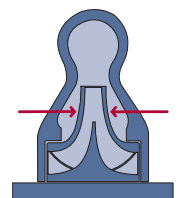


圖 1.1.16: 利用雙吸葉輪結構方式平衡泵浦內軸向力



1.1.6 泵殼類型（徑向力）

徑向力源自泵殼內的靜壓力，因此可能造成軸向偏移，並導致葉輪與泵殼的相互干擾。徑向力的大小和方向取決於流量和揚程。

設計泵殼時，有方法可控制徑向力。值得一提的兩種泵殼類型分別是：單渦卷泵殼和雙渦卷泵殼。如圖 1.1.18 所示，這兩種泵殼形狀都像一個渦卷，兩者不同之處在於雙渦卷泵殼中有一導流輪葉 (guide vane)。

單渦卷泵浦的特徵是在最佳效率點時渦卷內的系統壓力可使徑向負載為零。在所有其他工作點上，葉輪周圍的壓力不均勻，通常會導致徑向力的產生。

如圖 1.1.19 所示，相較於單渦卷泵殼，雙渦卷泵殼可使任何流量下的徑向反作用力均相對較低。

回流道 (return channel) (圖 1.1.20) 被用於多段泵浦，並具有與渦卷泵殼相同的基本功能。液體從一個葉輪被導向另一個葉輪，同時削弱水的旋轉性，並將動壓力轉變為靜壓力。由於回流道的循環設計，因此不會出現徑向力。

1.1.7 單段泵浦

一般而言，單段泵浦應用於總揚程不會超過 150 m 的需求，操作範圍通常為 2~100 m。

如圖 1.1.3 所示，單段泵浦的特徵是相對於流量，所產生的揚程相對較低。如圖 1.1.21 和 1.1.22 所示，單段泵浦可採用立式和臥式兩種設計。

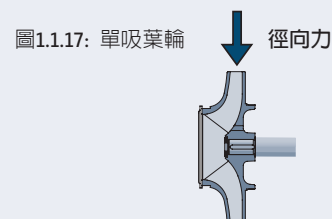


圖 1.1.18: 單渦卷泵殼

雙渦卷泵殼

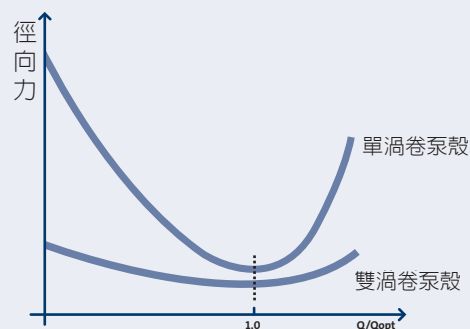


圖 1.1.19: 單渦卷泵殼和雙渦卷泵殼的徑向力

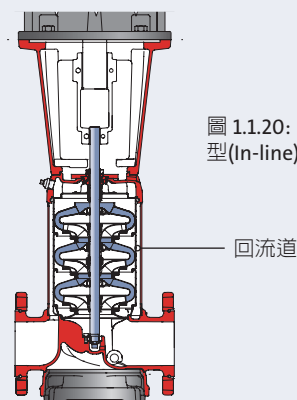


圖 1.1.20: 具有回流道的立式多段線上型(In-line)泵浦

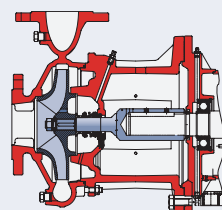


圖 1.1.21: 臥式單段端吸直結式泵浦

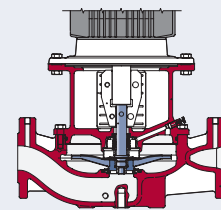


圖 1.1.22: 立式單段端吸直結式泵浦

第 1.1 節 泵浦結構

1.1.8 多段泵浦

多段泵浦常用於需要高揚程的場合。各段之間為串聯型式，液體依次流過每一段；多段泵浦最終提供的揚程等於每一段所提供壓力的總和。

多段泵浦的優點在於可提供相對較高的揚程。與單段泵浦一樣，多段泵浦也分立式和臥式兩種，見圖 1.1.23 和 1.1.24。

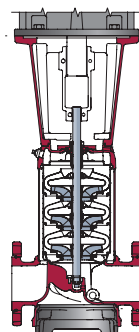


圖 1.1.23: 立式多段線上型泵浦

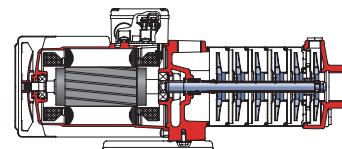


圖 1.1.24: 臥立式多段線上型泵浦

1.1.9 聯軸式泵浦和直結式泵浦

聯軸式 (long-coupled) 泵浦

聯軸式泵浦採用撓性聯軸器 (flexible coupling) 連接泵浦和馬達，這種聯軸器可以是基本型撓性聯軸器或間隔 (spacer) 型撓性聯軸器。

如果泵浦採用基本型聯軸器與馬達相連，當泵浦需要維修時，就必須拆除馬達，而且安裝時必須將泵浦-馬達嚴格對心，見圖 1.1.25。

另一方面，如果泵浦裝配的是間隔型聯軸器，維修泵浦時無需拆除馬達，見圖 1.1.26。

圖 1.1.25: 採用基本型聯軸器的聯軸式泵浦

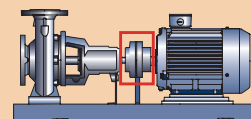


圖 1.1.26: 採用間隔型聯軸器的聯軸式泵浦

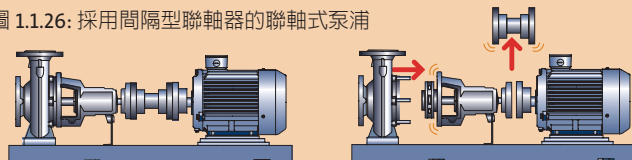


圖 1.1.27: 採用剛性聯軸器的直結式泵浦

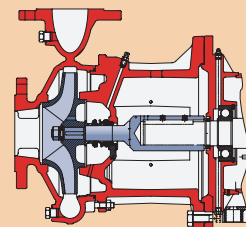


圖 1.1.28: 不同的聯軸器類型

直結式 (close-coupled) 泵浦

直結式泵浦的結構分為以下兩種：一種是泵浦的葉輪直接安裝在伸出的馬達軸上直接連結，另一種是採用基本型剛性或間隔型剛性聯軸器連接泵浦和馬達，見圖 1.1.27 和 1.1.28。

	基本型聯軸器	間隔型聯軸器 (選用)
採用撓性聯軸器的聯軸式泵浦		
採用剛性聯軸器的直結式泵浦		

第 1.2節 泵浦類型

1.2.1 標準泵浦

針對離心泵浦的國際標準比較少。事實上，許多國家都有其標準，彼此之間或多或少相互重疊。標準泵浦即符合國際標準正式規範的泵浦，例如關於泵浦工作點的規範。以下是兩個有關泵浦的國際標準實例：

- 歐洲標準 EN 733 (德國工業標準 DIN 24255) 適於端吸式離心泵浦，也就是額定壓力 (PN) 為 10bar 的標準泵浦。
- 歐洲標準 EN 22858 (國際標準組織 ISO 2858) 適用於離心泵浦，也就是額定壓力 (PN) 為 16bar 的化工泵浦，見附錄 K。

上述標準包含不同泵浦類型的安裝尺寸和工作點。至於這些泵浦類型的水力部件，不同的製造商設計各不相同，因此並無針對這些部件制訂相關的國際標準。

依據標準而設計的泵浦，可為最終用戶提供有關維修、零件和保養方面的便利性。

1.2.2 分件式 (Split-case) 泵浦

分件式泵浦的泵殼沿軸向分為兩半。圖 1.2.4 是一台配有一只雙吸葉輪的單段分件式泵浦。雙吸式葉輪結構可消除軸向力，並確保軸承的使用壽命更長。通常分件式泵浦具有相當高的效率和較易維修的特點，且性能範圍較廣。



圖 1.2.1: 聯軸式標準泵浦

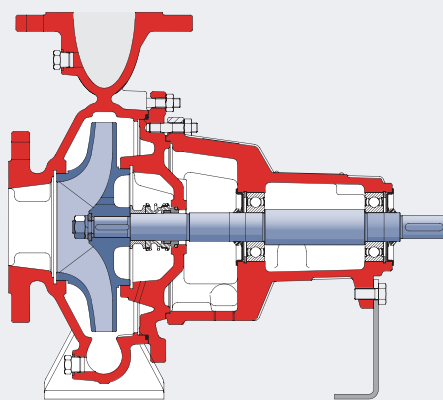


圖 1.2.2: 不含馬達之標準泵浦



圖 1.2.3: 聯軸式分件式泵浦

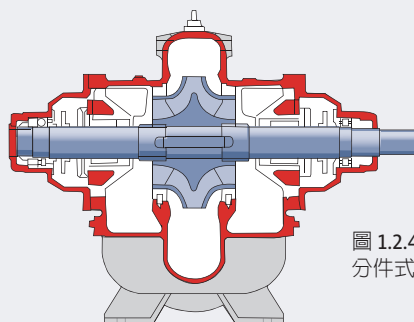


圖 1.2.4: 採用雙吸葉輪的分件式泵浦

第 1.2節 泵浦類型

1.2.3 密封 (Hermetically Sealed) 泵浦

泵軸的導入端必須加以密封，通常的作法是採用機械軸封，見圖 1.2.5。機械軸封的缺點是處理毒性和腐蝕性液體時效能較差，最後會導致洩漏；採用雙機械軸封可在一定程度上解決此類問題。另一解決方案是使用密封泵浦。

密封泵浦可分為兩種類型：罐裝馬達泵浦和磁力驅動泵浦。您可在下列兩節內容中取得更多有關密封泵浦的資訊。

罐裝馬達泵浦

罐裝馬達泵浦是一種馬達和泵浦合 一體、無軸封的密封泵浦，見圖 1.2.6 和 1.2.7。泵送液體可進入以一細長轉子罐與定子隔開的轉子室中，轉子罐充當泵送液體和馬達之間的密封隔離物。化工泵浦所採用的材料，例如塑膠或不銹鋼，可耐受腐蝕性液體。

最常見的罐裝馬達泵浦類型是循環泵浦，這種泵浦主要用在熱水系統中，因 其結構具有低噪音和免維護的特點。

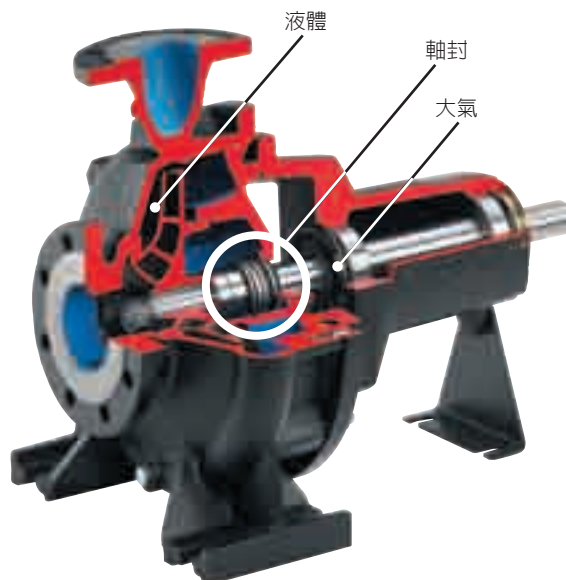


圖 1.2.5: 採用機械軸封的標準泵浦

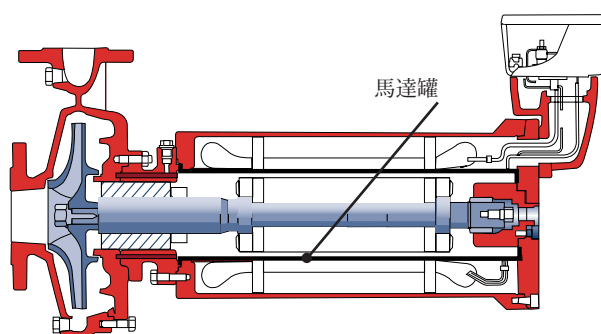


圖 1.2.6: 採用罐裝馬達的化工泵浦

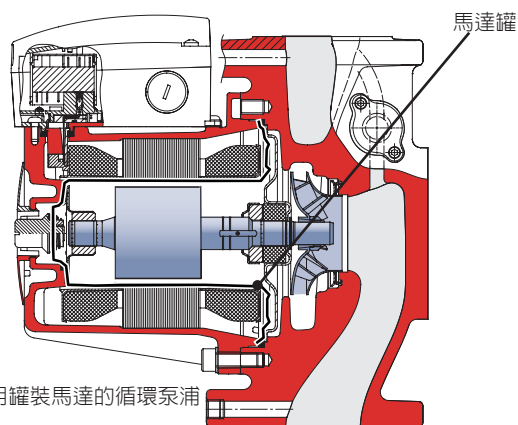


圖 1.2.7: 採用罐裝馬達的循環泵浦



磁力驅動泵浦

近年來，越來越多的磁力驅動泵浦被用來泵浦送腐蝕性和毒性液體。

如圖 1.2.8 所示，磁力驅動泵浦由兩組磁體組成，一組內磁體和一組外磁體。使用一個非磁性罐隔開兩組磁體，該罐充當液體和大氣之間的密封隔離物。如圖 1.2.9 所示，外磁體連接至泵浦驅動機，內磁體連接至泵軸，來自泵浦驅動機的力矩被傳遞至泵軸。泵送液體充當泵浦內軸承的潤滑劑，因此充分的排氣對軸承而言非常重要。

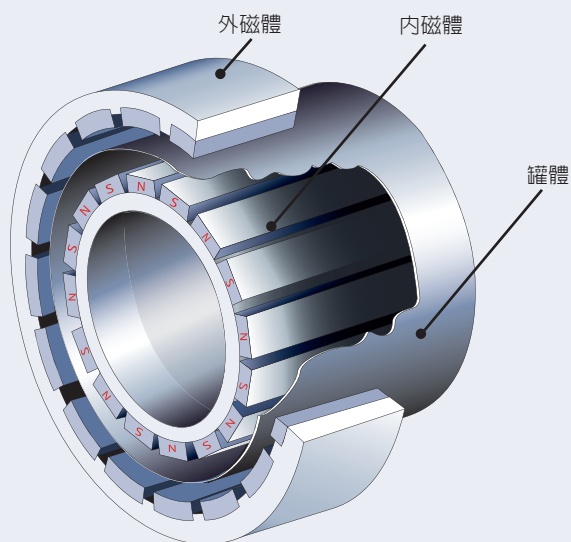


圖 1.2.8: 磁力驅動的結構

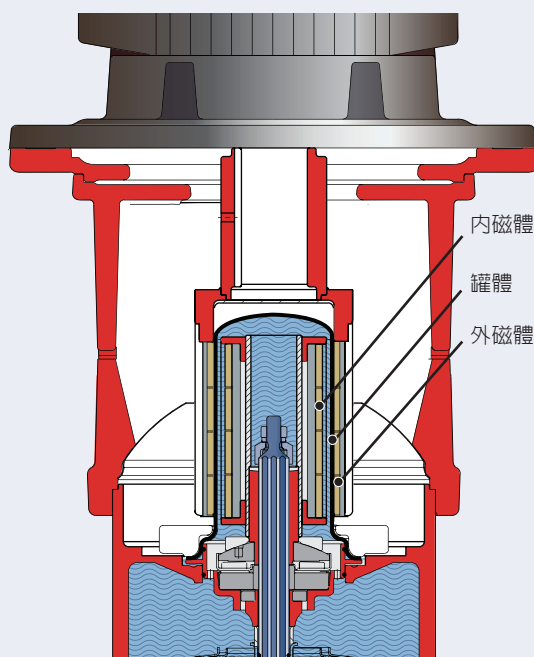


圖 1.2.9: 磁力驅動多段泵浦

第 1.2節

泵浦類型

1.2.4 衛生泵浦

衛生泵浦主要用於食品、飲料、製藥和生物技術等行業，因為對這些行業而言，液體在泵送時的潔淨度必須確保，且泵浦須易於清洗。

為了滿足這些行業的製程要求，泵浦表面的粗糙度應在 $0.4\sim 3.2\mu\text{m}$ Ra 的範圍內。最好採用鍛製不銹鋼或深沖軋不銹鋼作為結構材料，見圖 1.2.12。這些材料具有緊密無孔的表面光滑度，較易加工成為符合各種不同表面光滑的要求。

衛生泵浦的重要特徵是易於清洗和維護。

在業界具有領導地位的衛生泵浦製造廠商採用下列標準設計產品：

EHEDG – 歐洲衛生設備設計集團
(European Hygienic Equipment Design Group)

QHD – 合格的衛生設計
(Qualified Hygienic Design)

3-A – 衛生標準：

3A0/3A1: 工業／衛生標準

(Industrial/Hygienic Standard)

$Ra \leq 3.2\mu\text{m}$

3A2: 無菌標準 (Sterile Standard)

$Ra \leq 0.8\mu\text{m}$

3A3: 無菌標準 (Sterile Standard)

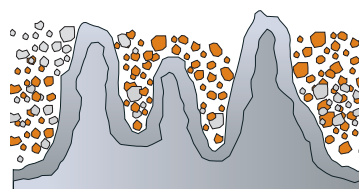
$Ra \leq 0.4\mu\text{m}$



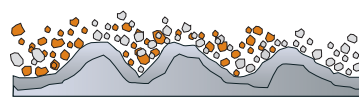
圖 1.2.10: 衛生泵浦



圖 1.2.11: 自吸式衛生泵浦



砂模鑄造



精密鑄造



軋鋼

圖 1.2.12: 材料表面粗糙度

1.2.5 污廢水泵浦

污廢水泵浦是一種含有泵浦和馬達的整組密閉泵浦。由於這種結構，污廢水泵浦適用於坑內沉水安裝。在具有自動著脫 (Auto-coupling) 系統的沉水安裝中，通常使用雙導軌系統。由於此類的泵浦結構無需進入濕井內進行維修，因此自動著脫系統使得泵浦的維護、修理和替換更加容易。事實上，沉水式污廢水泵浦亦可在乾井安裝泵浦。與常規泵浦一樣，污廢水泵浦可採取立式或臥式安裝。同樣的，這種安裝形式使維護和修理更加容易，並且當採用乾井安裝時，即使乾井淹水，泵浦依然可不間斷操作，見圖 1.2.14。

一般而言，污廢水泵浦應能泵送含大顆粒物之污水，因此它們配備特殊的葉輪，可避免發生堵塞。葉輪類型多樣，包括單通道葉輪、雙通道葉輪、三通道葉輪、四通道葉輪和渦流葉輪。圖 1.2.15 為這些葉輪的各種設計。

污廢水泵浦通常配備沉水馬達，該馬達的防護等級為 IP68 (如果您想瞭解更多有關 IP 等級的資訊，請詳見第 1.4.1 小節)。馬達和泵浦採同軸直結設計，該軸在中間油室內有一組雙機械軸封系統，中間油室提供冷卻潤滑之作用，見圖 1.2.13。

針對於不同的安裝情況，污廢水泵浦可間斷操作或連續操作。



圖 1.2.13: 沉水式安裝污廢水泵浦

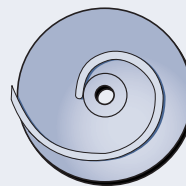


圖 1.2.14: 乾井安裝沉水式污廢水

渦流葉輪



單通道葉輪



雙通道葉輪

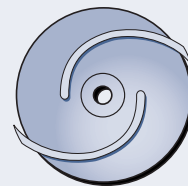


圖 1.2.15: 用於污廢水的葉輪類型

第 1.2節

泵浦類型

1.2.6 浸水式泵浦

浸水式泵浦是一種泵浦部分浸於輸送液體內，而馬達保持乾燥的泵浦類型，通常浸水式泵浦安裝在水箱或容器的頂部或側壁上。浸水式泵浦多用於工具機產業，例如放電加工機、磨床、綜合加工機和冷卻裝置。此外，還應用於其他工業產業，便於將泵浦安裝於水箱或容器上的場合，例如工業清洗和過濾系統。

用於工具機的泵浦可分為兩類：用於過濾器潔淨側的泵浦和過濾器髒污側的泵浦。採用封閉式葉輪的泵浦常用於過濾器的潔淨側，因為如果有必要，這種泵浦可提供高效率且高壓之性能。採用開放式或半開放式葉輪的泵浦常用於過濾器的髒污側，因為這種泵浦可處理金屬屑和金屬顆粒。

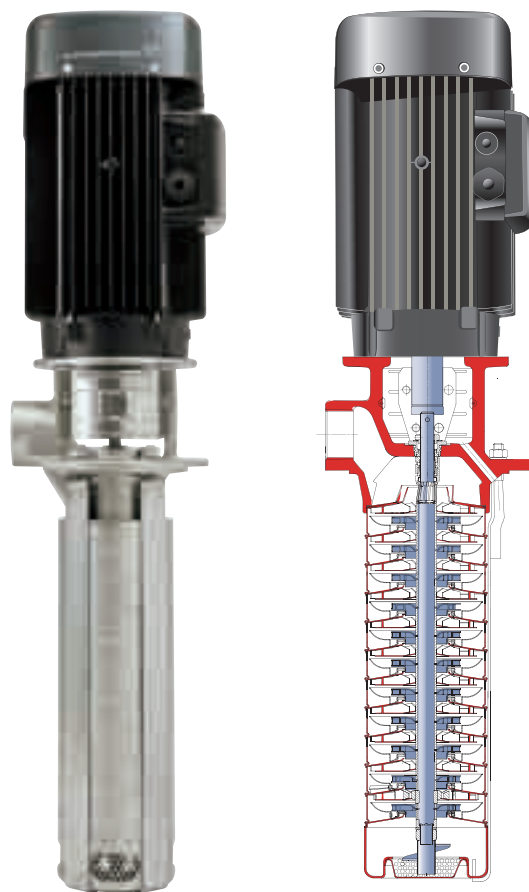


圖 1.2.16: 浸水式泵浦

1.2.7 深井泵浦

共有兩類深井泵浦：配備沉水式馬達的沉水式深井泵浦 (submersible borehole pump) 和配備乾式馬達，馬達與泵浦之間採用一支長軸連接的長軸深井 (deep-well) 泵浦。這類泵浦通常應用於給水和灌溉系統；兩種泵型均可裝入既深又窄的井孔中，因此直徑較小且長，使得它們比其他泵浦類型更長，見圖 1.2.17。

深井泵浦專門設計用於沉入液體中，因此需配備 IP68 防護等級的沉水馬達。這種泵浦有單段和多段型式，通常多段型式較為常見，並在泵頭內裝有一個逆止閥。

長軸深井泵浦已經漸漸被沉水式深井泵浦替代，因為長軸深井泵浦的長軸使得安裝和維修極為困難。由於長軸深井泵浦的馬達是氣冷的，因此常用於從開放的水槽中泵浦送熱水的工業應用。沉水泵浦不能用於輸送高溫液體，因為馬達沉入液體中，馬達冷卻是靠液體冷卻，容易造成馬達冷卻不足。

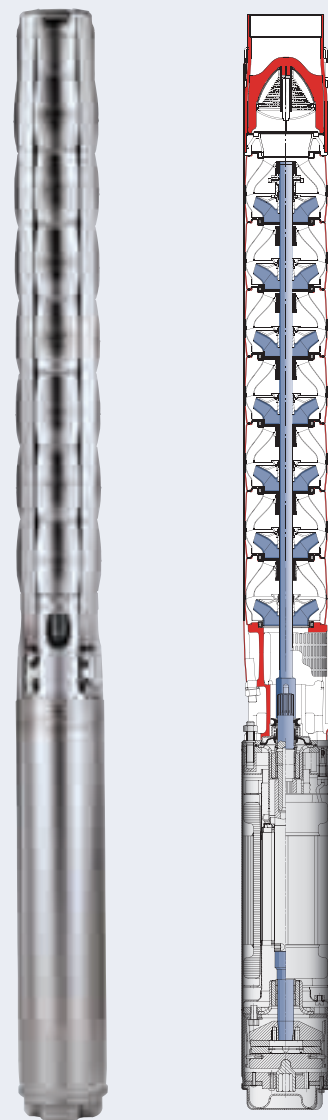


圖 1.2.17: 沉水深井泵浦

1.2.8 正排量泵浦

不論背壓如何變化，正排量泵浦可以固定的速度提供近乎恆定的流量。共有兩種主要類型的正排量泵浦：

- 旋轉式泵浦
- 往復泵浦

右側圖 1.2.18 顯示離心泵浦、旋轉式泵浦和往復泵浦的不同性能。視所使用泵浦的類型而定，小量的背壓變化會導致迥然不同的流量變化。離心泵浦的流量將產生顯著變化，但旋轉式泵浦的流量只略微變化，往復泵浦的流量則幾乎不變。但是為什麼往復泵浦和旋轉式泵浦的泵浦曲線不相同？這是因為旋轉式泵浦的實際密封面比往復泵浦大，因此雖然這兩種泵浦的設計採用同樣的公差，但是旋轉式泵浦的間隙損失較大。

為獲得更高的效率和抽吸能力，泵浦通常盡可能設計精密的公差。但在某些情況下，例如當泵浦輸送高黏度液體、含顆粒液體和高溫液體時，則有必要增大公差。

正排量泵浦是脈動的，意即在一個週期內，體積流量是不恆定的。
流量和轉速的變化導致管路系統和閥件因阻力而產生壓力變化。

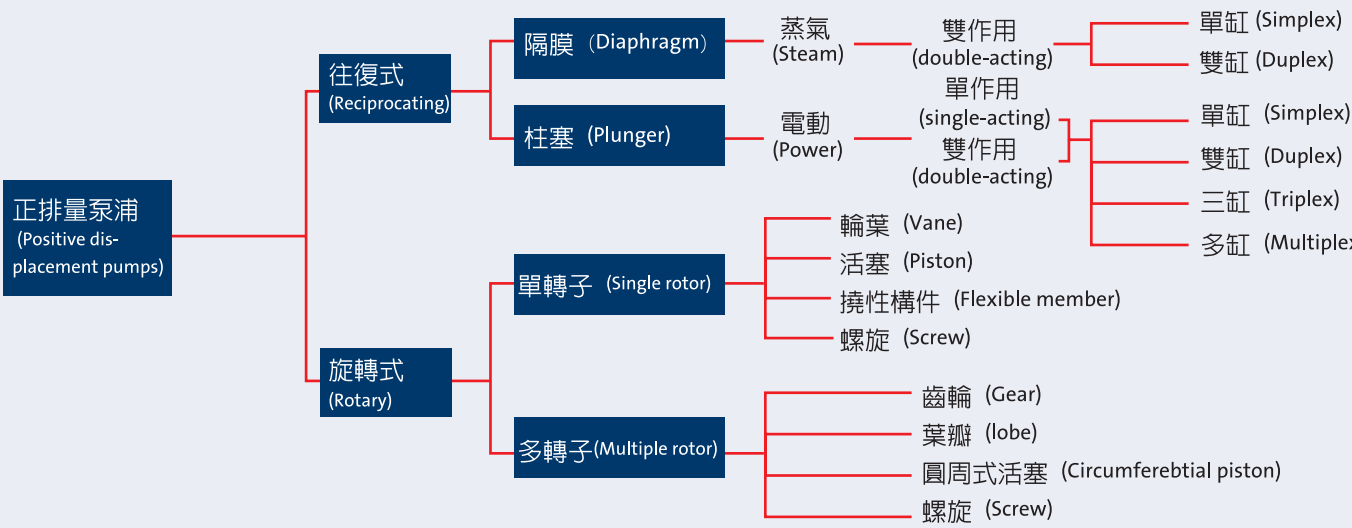
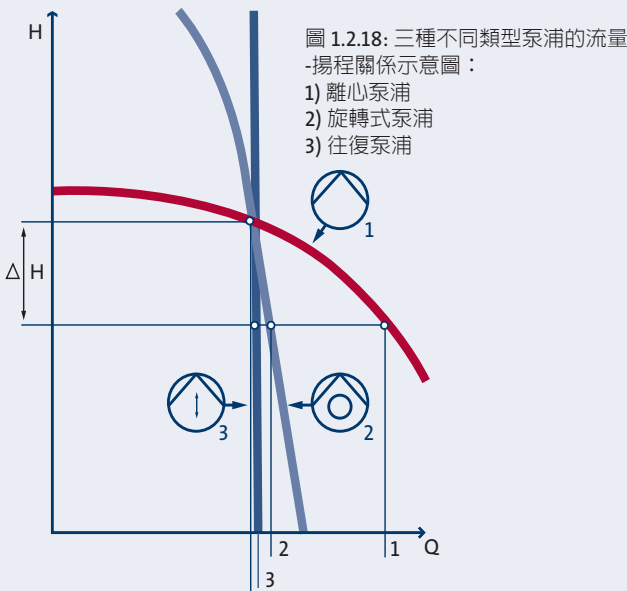


圖 1.2.19: 正排量泵浦之分類



定量泵浦

定量泵浦屬於正排量泵浦家族，通常是隔膜式。由於隔膜在液體和外界環境之間形成一道密封，因此隔膜泵浦不會發生洩漏。

隔膜泵浦裝有兩個逆止閥：一個在泵浦的吸入端，另一個在泵浦的排出端。較小的隔膜泵浦通常以連接在電磁鐵上的連桿帶動隔膜，因此線圈可精確地接收所需的衝程數量，見圖 1.2.21。

較大的隔膜泵浦的隔膜一般安裝在連桿上，連桿又由凸輪軸帶動。凸輪軸則由標準非同步馬達驅動，見圖 1.2.22。

藉由改變衝程長度和／或衝程頻率，可調節隔膜泵浦的流量。如果必須擴大操作區域，可使用變頻器連接較大的隔膜泵浦，見圖 1.2.22。

此外，還有另一種隔膜泵浦。如圖 1.2.20 和 1.2.23 所示，藉由偏心驅動的連桿帶動隔膜，該連桿則由步進馬達 (stepper motor) 或同步馬達驅動。採用步進馬達驅動，可增大泵浦的動態區域，並顯著提高其精度。這種結構不再需要調節泵浦的衝程長度，因為連桿是直接安裝在隔膜上；進而獲得最佳的吸入條件和極佳的運轉性能。

由此可知，控制泵浦的吸入端和排出端並不困難。與傳統電磁驅動隔膜泵浦產生的大脈衝相比，步進馬達驅動隔膜泵浦促成更穩定更精準的加藥劑定量性能。



圖 1.2.20: 定量泵浦

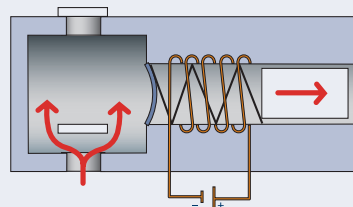


圖 1.2.21: 電磁驅動彈簧回彈

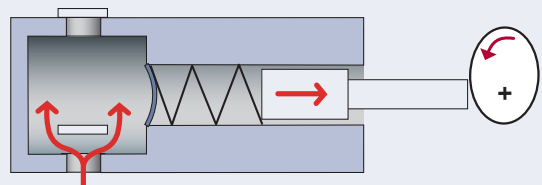


圖 1.2.22: 凸輪驅動彈簧回彈

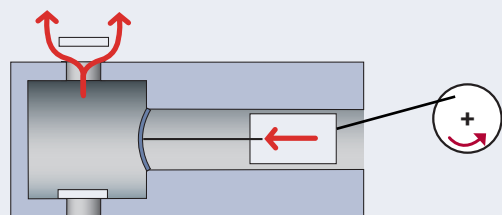


圖 1.2.23: 曲柄驅動

第1.3節：機械軸封

- 1.3.1 機械軸封的組件和功能
- 1.3.2 平衡型軸封和非平衡型軸封
- 1.3.3 機械軸封的類型
- 1.3.4 軸封表面材料組合
- 1.3.5 影響軸封性能的因素



第 1.3 節

機械軸封

自從二十世紀五十年代中期，機械軸封對於傳統的軸封方法—填料匣 (stuffing box)，取得了壓倒性的優勢。與填料匣相比，機械軸封具有以下優點：

- 在軸心微小的位移和振動幅度下，可保持緊密結合
- 無需任何調節。
- 軸封面只引起少量摩擦，因而使動力損失降至最低。
- 軸心不對任何軸封元件產生滑動，因此不會造成磨損（減少維修成本）。

機械軸封是泵浦的一部分，可將液體與大氣隔開。圖 1.3.1 是兩個安裝在不同類型泵浦上的機械軸封實例。

大多數的機械軸封係依照歐洲標準 EN 12756 而製造。

在選擇軸封之前，需要瞭解液體的情況，進而取得軸封材料對液體的耐受性：

- 確定液體的種類
- 確定軸封所承受的壓力
- 確定軸封所承受的轉速
- 確定裝配之軸心尺寸

以下篇幅將講述機械軸封的工作原理、類型及影響機械軸封性能的各种因素。



圖 1.3.1: 採用機械軸封的泵浦

1.3.1 機械軸封的元件和功能

機械軸封由兩個主要部件組成：旋轉部件和固定部件，並包括圖 1.3.2 所列機械軸封的構成零部件。圖 1.3.3 則顯示不同零部件在機械軸封內的相關位置。

- 機械軸封的固定部件固定在泵殼上。軸封的旋轉部件則固定在泵軸上，並隨泵浦操作而轉動。
- 彈簧力和液體壓力將兩個主軸封面相互擠壓。當泵浦操作時，在兩個軸封面之間的狹窄間隙會生成一個液膜。在該膜進入大氣之前，會自行蒸發，從而形成對液體輸送的軸封，見圖 1.3.4。
- 副軸封可防止在軸封部件與軸之間發生洩漏。
- 彈簧將軸封面機械般地擠壓在一起。
- 彈簧承座將力矩從軸傳遞給軸封，至於機械波紋管軸封，力矩則直接通過波紋管傳遞。

軸封間隙

在操作期間，液體在軸封面之間形成潤滑膜。該潤滑膜由一個流體靜力膜和流體動力膜組成。

- 流體靜力膜的 formed 源自被壓入軸封面間隙中的輸送液體。
- 流體動力膜由軸旋轉所產生的壓力所衍生。

機械軸封	名稱
旋轉部件	軸封面（主軸封）
	副軸封
	彈簧
	彈簧承座（傳遞力矩）
固定部件	靜環座（軸封面、主軸封）
	靜軸封（副軸封）

圖 1.3.2: 機械軸封的各項組件

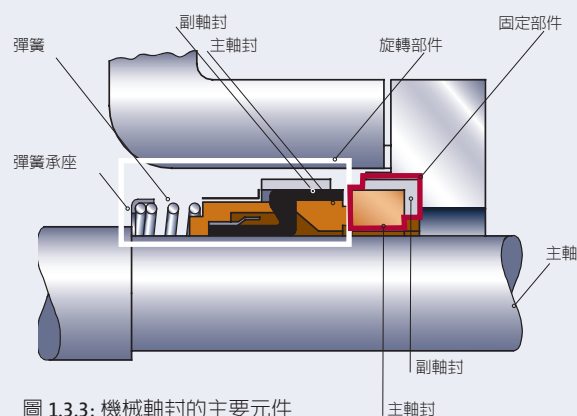


圖 1.3.3: 機械軸封的主要元件

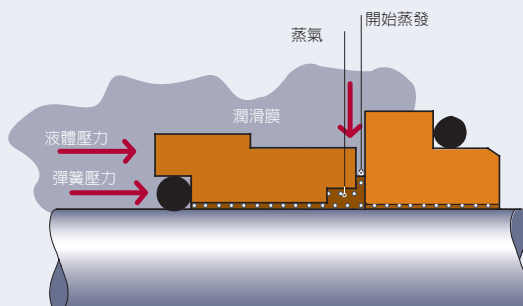


圖 1.3.4: 操作狀態下的機械軸封

第 1.3 節

機械軸封

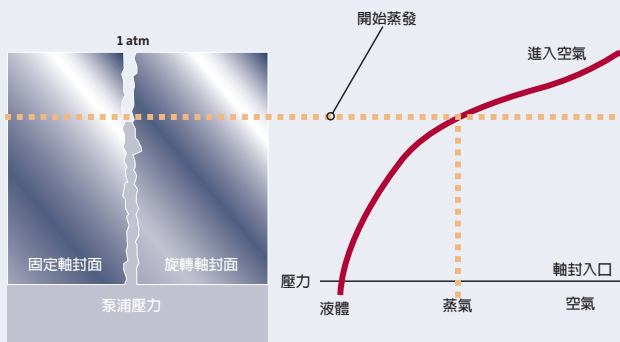


圖 1.3.5: 良好潤滑性能與有限洩漏之間的最佳比率

潤滑膜的厚度取決於泵浦轉速、液體溫度、液體黏度及機械軸封的軸向力。液體在軸封間隙中不斷變化。由於：

- 液體蒸發至空氣中
- 液體的循環運動

圖 1.3.5 顯示的是良好潤滑性能與有限洩漏之間的最佳比率。顯而易見，當潤滑膜覆蓋整個軸封間隙但不包括緊靠機械軸封空氣一側的極狹窄蒸發區域時，即會出現最佳比率。

經常會發現由於軸封面的沈積物導致洩漏。當使用冷凍劑時，由於軸封空氣一側的蒸發，導致迅速形成沈積物。由於沈積物造成磨損，因而當液體在蒸發區域蒸發時，液體中的細小固體會在軸封間隙內餘留。

大多數的液體都會出現這種現象，但是當輸送液體有結晶的趨勢時，將產生問題。防止磨損的最佳途徑是選擇用硬質材料製成的軸封面，例如碳化鎢（WC）或碳化矽（SiC）。

在這些材料之間的狹窄軸封間隙（大約 $0.3\mu\text{m}$ Ra）使固體顆粒進入軸封間隙的可能性降至最低，並進而使得所形成的沈積量降至最少。

1.3.2 平衡型軸封和非平衡軸封

為了獲得一個可接受的主軸封面之間的表面壓力，有兩種軸封類型可供選擇：平衡型軸封和非平衡型軸封。

平衡型軸封

如圖 1.3.6 所示，顯示了一個平衡型軸封，並指出軸封上相互作用力的位置。

非平衡型軸封

如圖 1.3.7 所示，顯示了一個非平衡型軸封，並指出軸封上相互作用力的位置。

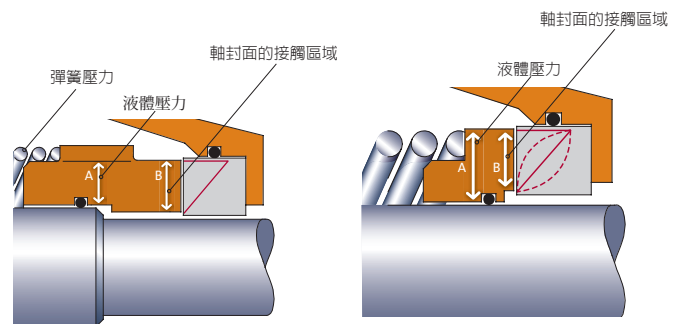


圖 1.3.6: 平衡型軸封上的相互作用力

圖 1.3.7: 非平衡型軸封上的相互作用力

有幾種不同的力對軸封面造成軸向擠壓；彈簧壓力和來自輸送液體的液體壓力將軸封壓緊，與來自軸封間隙中潤滑膜的作用力對抗。對於較高壓力的液體將變得比較強大，以至軸封間隙內的潤滑膜不能對抗此壓力，而制止軸封面之間的相互接觸。由於液體總壓力的大小與液壓作用面積成正比，因此可經由減小承壓面積以降低軸向擠壓力。

機械軸封的平衡比率 K 被定義為面積 A 與面積 B 之間的比值： $K=A/B$

K = 平衡比率

A = 液壓作用面積

B = 軸封面的接觸面積

平衡型軸封的平衡比率通常約為 0.8，非平衡型軸封的平衡比率通常約為 1.2。

1.3.3 機械軸封的類型

以下內容是關於主要機械軸封類型的概述。機械軸封的主要類型為：O 形環軸封、波紋管軸封、一體式軸封（即套裝式軸封）。

O 形環軸封

在 O 形環軸封內，旋轉軸與旋轉軸封面之間的軸封由一個 O 形環完成（見圖 1.3.9）。O 形環必須能軸向自由滑動，以吸收溫度變化和摩擦所造成的軸向位移。如果靜環座的位置不正確，則可能導致摩擦並引起 O 形環和軸上不必要的磨損。O 形環可由各種類型的橡膠材質製成，例如：NBR、EPDM 和 FKM，材料的選取應根據具體的操作條件。

波紋管軸封

波紋管軸封的主要特徵是一根橡膠或金屬材質的波紋管作為旋轉環與軸之間的動態軸封元件。

橡膠波紋管軸封

橡膠波紋管軸封的波紋管（見圖 1.3.10）可採用各種不同類型的橡膠材料，例如：NBR、EPDM 和 FKM，材料的選取應根據具體的操作條件。橡膠波紋管的設計可採用兩種不同的幾何形狀：

- 折疊波紋管
- 旋轉波紋管

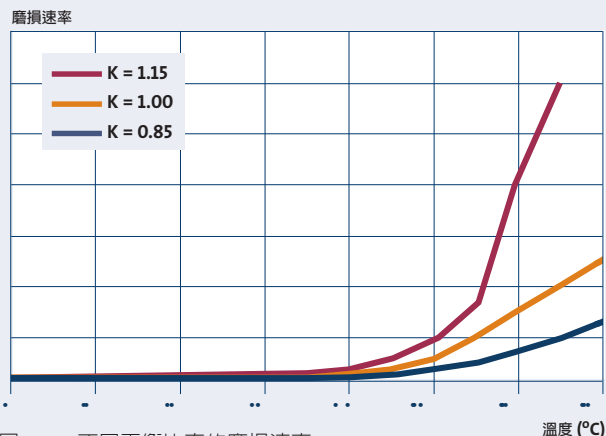


圖 1.3.8: 不同平衡比率的磨損速率

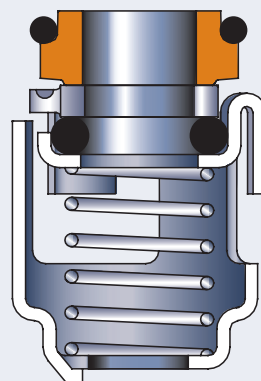


圖 1.3.9: O 形環軸封

形環軸封的優點和缺點

優點:
適用於高溫液體和高壓應用。

缺點:
軸上的沉積物，例如鐵銹，可能會妨礙 O 形環軸封的軸向移動。

折疊波紋管形狀的橡膠波紋軸封

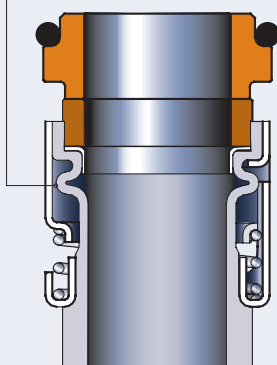


圖 1.3.10: 橡膠波紋軸封

橡膠波紋軸封的優點和缺點

優點:
對於軸上的沉積物如鐵銹不敏感。
適用於輸送含固體之液體

缺點:
不適用於高溫液體和高壓應用。

第 1.3 節

機械軸封

金屬波紋管軸封

在一個普通的機械軸封內，彈簧產生閉合軸封面所需的閉合力。在金屬波紋管軸封（圖 1.3.11）中，彈簧已被具有相似作用的金屬波紋管取代。金屬波紋管在旋轉環和軸之間形成一個動態軸封，與彈簧作用相似。波紋管具有大量折皺，從而獲得所期望的彈力。

套裝式軸封

在一個套裝式機械軸封內，所有部件在軸套上形成一個集合體，便於安裝。與傳統的機械軸封相比，套裝式軸封具有較多的優點，見圖 1.3.12。

沖洗裝置

在一些應用中，經由安裝沖洗裝置可擴展機械軸封的性能，見圖 1.3.13。沖洗裝置可降低機械軸封的溫度，並防止沈積的發生。沖洗裝置可採用內部安裝，也可採用外部安裝。內部沖洗是透過將泵浦排出端的少量液體分流至軸封區域；內部沖洗則主要用於防止熱應用中軸封產生過量的熱。外部沖洗採用沖洗液，主要用以輸送易引起磨蝕或含有堵塞固體的液體時確保操作無故障。

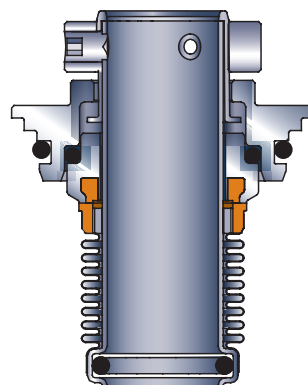


圖 1.3.11: 套裝式金屬波紋管軸封

套裝式金屬波紋管軸封的優點和缺點

優點：
對於軸上的沈積物如鐵銹和石灰質不敏感。
適用於高溫液體和高壓應用。
平衡比率低，使得磨損率低，而使壽命延長。

缺點：
當泵無法精確對中時，可能會發生機械軸封的疲乏斷裂。
溫度或壓力過高可導致疲勞。

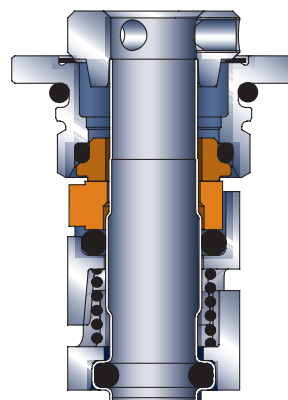


圖 1.3.12: 套裝式軸封

集裝式軸封的優點：

- 維修簡便
- 結構可保護軸封面
- 預載彈簧
- 有安全處理



圖 1.3.13: 單機械軸封的沖洗裝置

雙機械軸封

當單機械軸封由於固體或壓力與溫度過高／過低引起的磨損導致壽命不足時，需要採用雙機械軸封。此外，雙機械軸封可用於毒性、腐蝕性和爆炸性液體，從而保護環境。共有兩種雙機械軸封：串聯安裝雙軸封和背對背安裝雙軸封。

串聯安裝雙軸封

這種雙軸封由兩個串聯安裝的機械軸封組成，被放置在一個分離式的軸封室內，見圖 1.3.14。

當無需使用背對背安裝的加壓雙機械軸封時，可使用此軸封類型。

串聯安裝雙軸封必須配備一個急冷液系統，該系統具有以下功能：

- 吸收洩漏物。
- 監控洩漏速率。
- 潤滑和冷卻外置軸封，以防結冰。
- 防止發生乾轉。
- 穩定潤滑膜。
- 防止空氣進入泵浦內部，在泵浦內部有真空產生時。急冷液的壓力必須比泵浦輸送液體的壓力低。

串聯-迴圈

圖 1.3.14 所示為經由一個無壓桶槽的急冷液迴圈。軸封內的熱虹吸作用和／或軸封的抽吸作用，與較高桶槽的急冷液形成迴圈。

串聯-盲端

圖 1.3.15 所示為來自較高桶槽急冷液；無法為系統散熱。

串聯--排放

急冷液直接從軸封室流過，可回收重複使用，也可以直接排放，見圖 1.3.16。

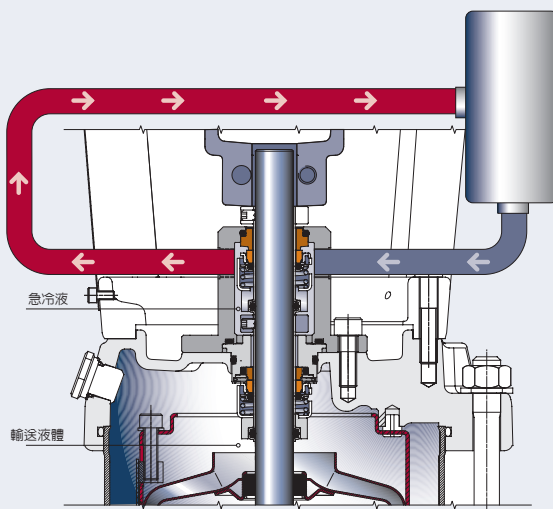


圖 1.3.14: 配有急冷液迴圈的串聯安裝軸封

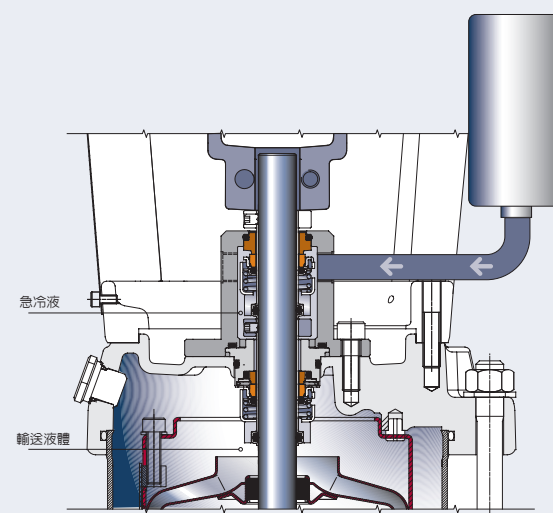


圖 1.3.15: 配有急冷液盲端的串聯安裝軸封

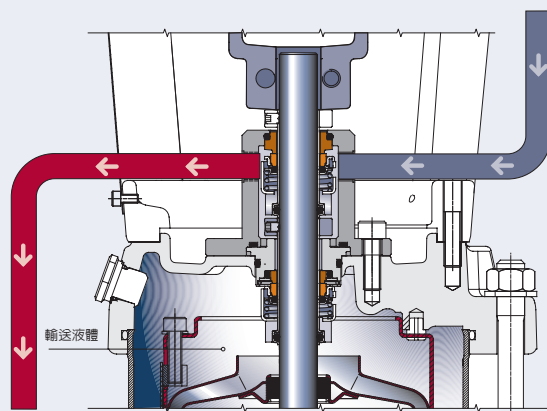


圖 1.3.16: 配有急冷液排放的串聯安裝軸封

第 1.3 節 機械軸封

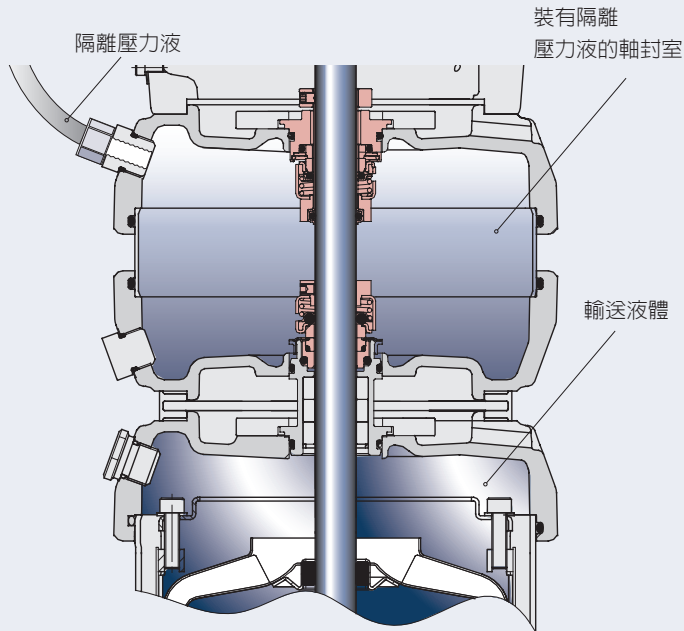


圖 1.3.17:
背對背安裝軸封

背對背安裝雙軸封

這種軸封理想用於處理磨蝕性、腐蝕性、爆炸性或黏性液體，這些類型的應用液體可磨損、損壞或堵塞機械軸封。

背對背雙軸封由兩個背對背的軸封安裝在一個分離式的軸封室內所組成，見圖 1.3.17。背對背安裝雙軸封保護了泵浦周圍的環境和人員。

軸封室內的壓力必須比泵浦壓力高1~2bar。可經由以下兩種方法產生此壓力：

- 一個現有的單獨壓力源，許多應用採用增壓系統。
- 一台單獨泵浦（如一台定量泵浦）。

1.3.4 軸封面材料組合

以下所述為用於工業應用中機械軸封最重要的材料組合，主要有：碳化鎢／碳化鎢、碳化矽／碳化矽、石墨／碳化鎢或石墨／碳化矽。

碳化鎢／碳化鎢 (WC/WC)

燒結碳化鎢包含硬質碳化鎢（WC）相和一個較軟的金屬黏合劑相形成的硬質金屬類型。正確的技術術語叫燒結碳化鎢，但通常採用碳化鎢的縮寫術語 WC 表示。

如果泵浦採用基本金屬，例如鑄鐵，在水中只有鈷 (Co) 結碳化鎢能抗腐蝕。

鉻-鎳-鉬結碳化鎢具有等同於 EN 14401 的抗腐蝕性。

燒結無黏結型碳化鎢具有最佳的抗腐蝕性，但在次氯酸鹽等液體中，其抗腐蝕性就沒有那麼出色。材料組合 WC/WC 具有以下特徵：

- 極佳的耐磨性
- 極其堅固
- 乾轉性能差：發生乾轉時，溫度將在幾分鐘之內上升至幾百攝氏度，並損壞 O 形軸封圈。

如果超出一定的溫度和壓力，軸封可能發出噪音。噪音說明軸封操作條件不良，長期可能引起軸封的磨損。使用的限制取決於軸封面直徑和設計而定。

對於一個 WC/WC 軸封面組合而言，雖然一般來說開始的 3~4 天不會出現噪音，但是進入磨合磨損期之後會出現噪音，磨合磨損期可能持續 3~4 周。

碳化矽／碳化矽 (SiC/SiC)

碳化矽／碳化矽 (SiC/SiC) 是 WC/WC 的替代品，多用於需要耐腐蝕性的應用。

SiC/SiC 材料組合具有下列特徵：

- 易碎材料，需小心處理。
- 極佳的耐磨性。
- 極佳的耐腐蝕性。不論何種泵浦輸送液體，SiC (Q_1^s 、 Q_1^p 和 Q_1^c) 均極難被腐蝕。然而，導電性不良的水例外，例如離子交換純水，則會腐蝕不同 SiC 組合的 Q_1^s 和 Q_1^p ，但其中的 Q_1^c 仍可耐腐蝕。
- 通常這些組對材料的乾轉性能不佳，但由於含有石墨成分， Q_1^c/Q_1^c 材料可承受短暫的乾轉時間。

可根據不同的應用目的，採用不同的 SiC/SiC 組合：

Q_1^s , 緊密燒結、細緻的 SiC

直接燒結、紋理細密，且帶有少量微孔的 SiC。

多年來，這類 SiC 的組織被用作標準的機械軸封材料，其壓力和溫度極限略低於 WC/WC。

Q_1^p , 多孔、燒結、細緻的 SiC

另一種緻密燒結的 SiC，這種 SiC 具有大圓形密閉孔。孔隙率為 5~15%，孔徑為 10~50 μ m Ra，其溫度和壓力極限超過 WC/WC。

因此在溫水中， Q_1^p/Q_1^p 表面材料組合產生的噪音比 WC/WC 組合小。然而在 3~4 天的磨合期間，多孔 SiC 軸封預期會發出噪音。

Q_1^c 自潤式、燒結 SiC

市場上可買到含有乾潤滑劑的各種 SiC。與上述材料相反， Q_1^c 是一種適用於蒸餾水或離子交換純水的 SiC 材料。

Q_1^c/Q_1^c 的溫度和壓力極限與 Q_1^p/Q_1^p 相近。

發生乾轉時，乾潤滑劑如石墨可減輕摩擦，此對於軸封乾轉時的耐久性非常重要。

石墨／碳化鎢或石墨／碳化矽的特徵

一邊為石墨軸封面的軸封具有以下特徵：

- 易碎，需小心處理。
- 易被含有固體顆粒的液體磨損。
- 良好的耐腐蝕性。
- 良好的抗乾轉特徵（臨時性的乾轉）。
- 石墨的自潤滑特性，使得軸封適用於潤滑條件差的應用（如高溫），且不會產生噪音。但這種條件將引起石墨軸封面的磨損，導致軸封壽命減少；磨損取決於壓力、溫度、液體類型和軸封結構。低速將減少軸封面之間的潤滑，而導致較大的磨損。但由於軸封面的移動距離縮短，一般不會出現這種情況。

第 1.3 節

機械軸封

- 金屬浸漬石墨（A）的耐腐蝕性有限，但是機械強度、導熱性良好，因此可減輕磨損。
- 具有較差機械強度，但耐腐蝕性更高的合成樹脂浸漬石墨（B）的應用範圍廣泛。合成樹脂浸漬石墨已被核准適用於飲用水。
- 石墨/SiC 用於熱水應用可引起SiC的嚴重磨損，具體實際程度取決於石墨與水的品質。此類型的磨損，主要發生在採用 Q_1^S /石墨。使用 Q_1^P , Q_1^G or 或石墨/WC 組合可有效減輕磨損，因此熱水系統應採用石墨/WC、石墨/ Q_1^P 或石墨/ Q_1^G 。

1.3.5 影響軸封性能的因素

如之前所述，任何軸封均無法達到完全密閉。在下一頁的篇幅中，我們將分別描述影響軸封性能的下列因素：能源消耗、噪音和洩漏。但需要強調的是：它們之間的相互關係密切，因而必須整體考量。

能源消耗

毫無疑問的，軸封的旋轉需要能量。引起能源消耗即機械軸封的能量損耗的因素如下：

- 旋轉部件的離心抽吸作用，使得能源消耗隨著旋轉轉速的加快而顯著增加（三次方關係）。

- 軸封面摩擦力。
兩個軸封面之間的摩擦力包含：
 - 液體薄膜內的摩擦力。
 - 軸封面接觸點的摩擦力。

能源消耗水平取決於軸封設計、潤滑條件和軸封面材料。

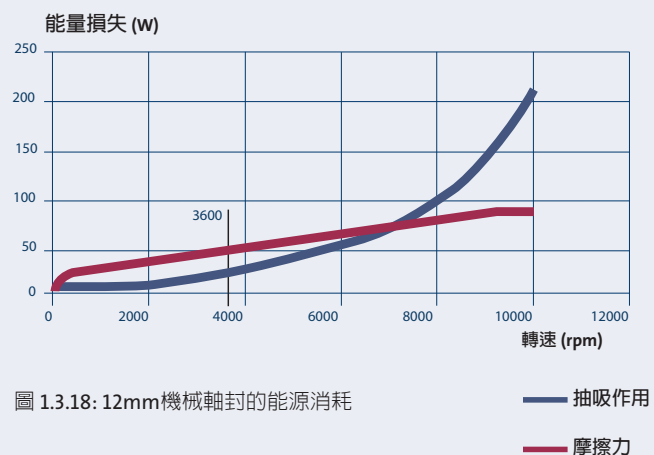


圖 1.3.18: 12mm 機械軸封的能源消耗

圖 1.3.18 是一個典型的機械軸封能源消耗實例。如圖所示，高達 3600rpm 以下時，摩擦是機械軸封能源消耗的主要原因。



能源消耗特別是採用填料匣軸封的能源消耗是一個重要的問題。正如實例所示，用機械軸封替代填料匣軸封將可節省大量的能量，見圖 1.3.19。

噪音

軸封面材料的選擇，對於機械軸封的功能和壽命具有決定性的作用。處理低黏度液體時，軸封內的不良潤滑條件可引發噪音。水的黏度隨著溫度的上升而減小，此意味著潤滑條件將隨著溫度的上升而減少。如果輸送液體達到或超過沸點溫度，軸封面上的液體將蒸發，而導致潤滑條件惡化。轉速減慢具有相同的效應，見圖 1.3.20。

洩漏

輸送液體可潤滑機械軸封的軸封面。但良好的潤滑意味著摩擦減少而洩漏增多。反之，洩漏的減少意味著潤滑條件減少和摩擦的增加。實際上，在機械軸封內產生的洩漏和能量損失的數量，將依狀況而有所不同。原因在於：由於軸封面類型、液體類型及彈簧負載的不同，無法對引起洩漏的因素進行理論性的量化，因此圖 1.3.21 應被視為一指導原則。

要正確地理解洩漏速率曲線（圖 1.3.21），應採用下列四個步驟：

- 第1步：讀取壓力--本實例為 5 bar
- 第2步：30 mm 非平衡型軸封
- 第3步：轉速為 3000 rpm
- 第4步：洩漏速率為 0.06 ml/h

標準泵浦 50mLC：50mm 軸和 2900rpm	
能源消耗	
填料匣軸封	2.0 kWh
機械軸封	0.3 kWh
洩漏	
填料匣	3.0 l/h (when mounted correctly)
機械軸封	0.8 ml/h

圖 1.3.19: 填料匣軸封 Vs 機械軸封

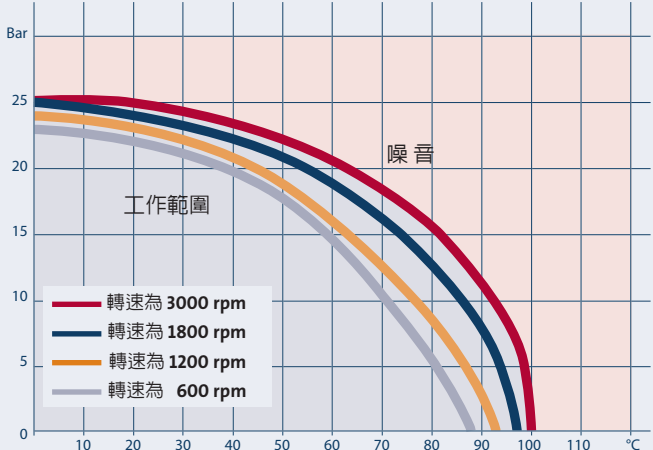


圖 1.3.20: 工作範圍與運轉速度之間的關係

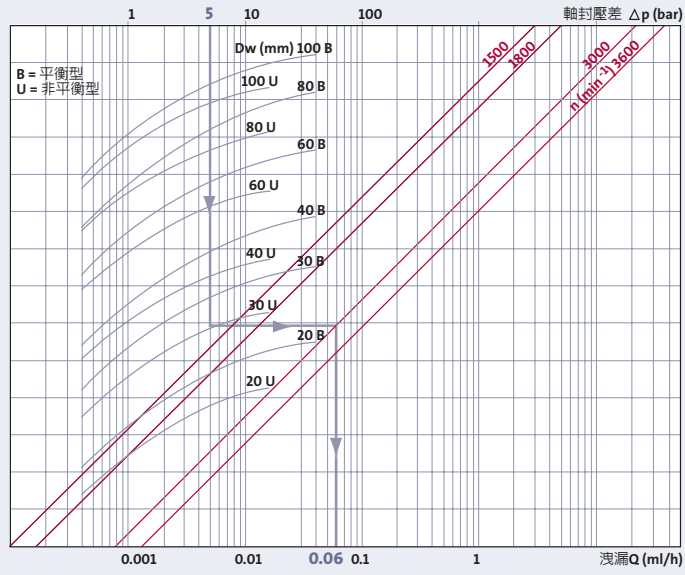


圖 1.3.21: 洩漏率

第一章 泵浦和馬達的設計

第 1.4 節：馬達

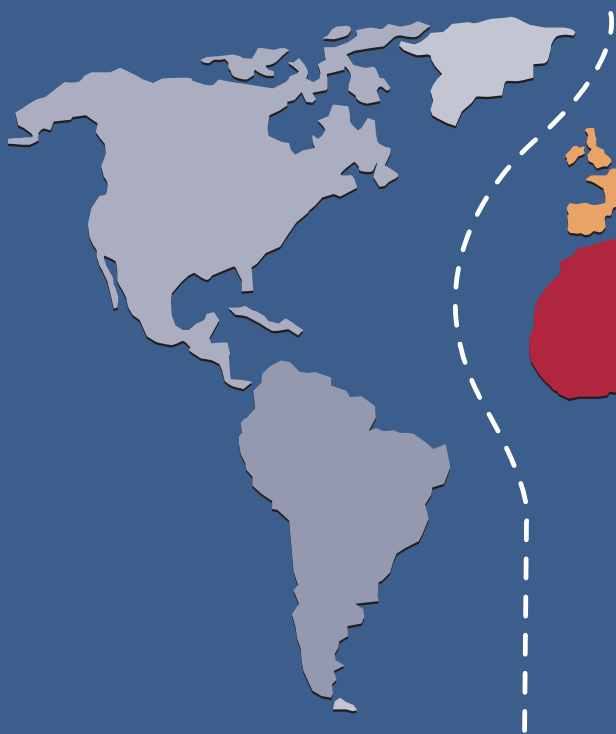
- 1.4.1 標準規範
- 1.4.2 馬達啓動
- 1.4.3 電源電壓
- 1.4.4 變頻器
- 1.4.5 馬達保護



第 1.4 節 馬達

馬達應用於全球各地，目的是為了產生旋轉，將電能轉化為機械能。馬達提供的機械能使泵浦得以運轉。

1.4.1 標準規範



NEMA

美國電氣製造協會（National Electrical Manufacturers Association，簡稱 NEMA）為廣泛的電氣產品包括馬達制訂規範。NEMA 主要針對北美地區使用的馬達，該標準代表了常規的工業規範，並得到電氣設備製造商的支持。該標準可在 NEMA 標準出版物 No. MG1 中找到，但一些大型馬達可能不屬於 NEMA 標準範圍。



圖 1.4.1: 電動馬達

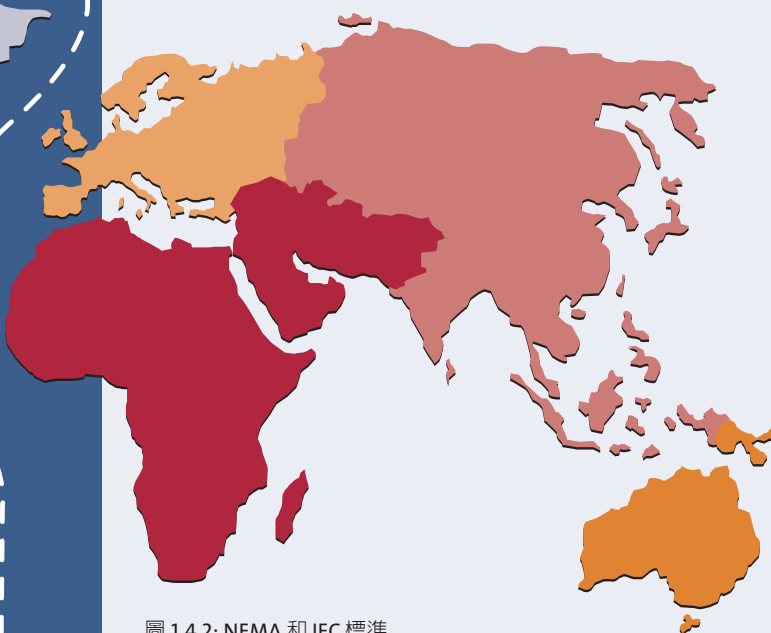


圖 1.4.2: NEMA 和 IEC 標準

IEC

國際電工委員會（International Electrotechnical Commission，簡稱 IEC）為在全球許多國家使用的馬達制訂標準。IEC 60034 標準包括推薦電氣規範，該規範由 IEC 會員國研擬。

馬達保護法令及方法-防爆馬達

ATEX（易爆炸環境）是關於不同區域內具有爆炸危險的兩個歐盟指令，其中包括電氣、機械、水力和氣動設備。對於機械設備，ATEX 指令中的安全要求確保泵浦組件（如軸封和軸承）不會發生過熱，進而點燃氣體和粉塵。第一個ATEX 指令（94/9/EC）是關於在爆炸危險區域使用設備的要求。製造商必須滿足要求並註明產品的分類。第二個ATEX 指令（99/92/EC）是關於使用者在爆炸危險區域工作時的最低安全 and 健康要求；多種技術皆使用於防止電氣設備成為火源：「d」型（防火保護）、「e」型（安全增強保護）和「nA」型（無火花保護）適用於與氣體有關的應用，而 DIP(dust ignition proof) 防塵燃保護型則適用於與粉塵有關的應用。

防燃馬達-Exd (de) 型保護 (de)

首先，Exd 型 (de) 防燃馬達屬於 1 區(zone 1)內使用的 2G 類設備；定子外殼和法蘭將可能點燃爆炸性氣體的馬達部件密封住。由於密閉，馬達可承受馬達內少量爆炸性混合氣體爆炸時產生的壓力。爆炸氣體藉由火焰通道而冷卻，從而避免爆炸蔓延至外殼周圍的大氣。EN 50018 標準中規定了火焰通道的尺寸，防燃密封的表面溫度必須符合溫度等級。

安全增強型馬達-Exe (e) 保護類型

安全增強型馬達 (e 型) 屬於 1 區內使用的 2G 類設備。這些馬達不防燃，也無法承受內部爆炸。這種馬達結構的目的是在提高正常操作期間的安全性，以防止溫度過高及出現火花和電弧。對安全增強型馬達的溫度分類同時適用於內表面和外表面，因此定子繞組溫度必須符合相關規定。

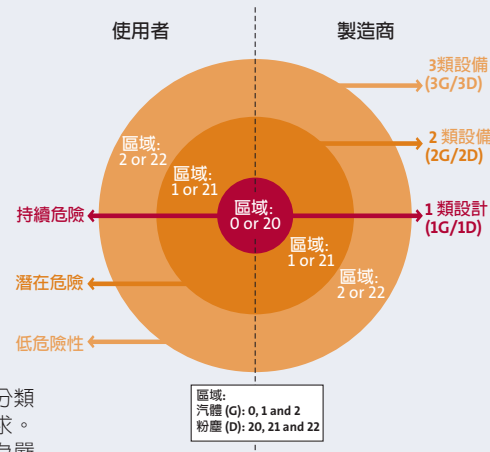


圖 1.4.3: 區域與設備分類之間的關聯是最低要求。如果當地國家法規更為嚴格，則應遵從相關規定。

圖 1.4.4: 馬達內發生爆炸，並透過火焰通道將爆炸引出馬達。防爆式 Exd 型馬達的外表面溫度分類需符合相關規範。

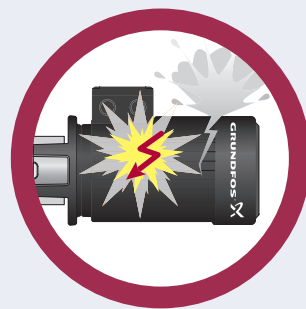


圖 1.4.5: 安全增強 Exe 型馬達，不得出現火花。溫度分類同時包含內表面和外表面。

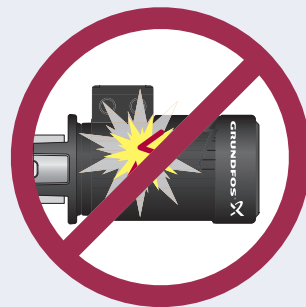
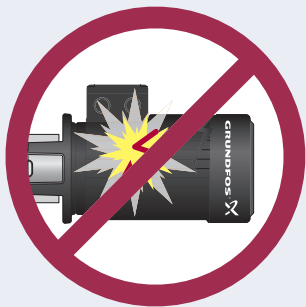


圖 1.4.6: 無火花 ExnA 型馬達，不得出現點火。



第 1.4 節
馬達

無火花型馬達-保護類型Ex（nA）

無火花型馬達（nA 型）屬於 2 區內使用的 3G 類設備。這種馬達在正常操作情況下，不得以任何方式點燃具有潛在爆炸性的氣體，見圖 1.4.6。

防塵燃型（DIP）

共有兩種類型的防塵燃型馬達：2D/2 類設備和 3D/3 類設備。

2D/c 類設備

為了避免靜電引起燃燒，21 區（具有潛在爆炸危險的區域）使用的 2 類 DIP 馬達上的冷卻風扇是以金屬

製成。同樣的，為了將燃燒的風險降至最低，外部接地端子需滿足更嚴格的結構要求。註明在馬達銘牌上的外殼表面溫度，對應於馬達處於最差允許條件下的操作性能。在 21 區（具有潛在爆炸危險的區域）使用的馬達需要 IP65 的保護，亦即徹底防塵。

3D/3類設備

在 22 區（爆炸危險性較低的區域）使用的 3 類 DIP，馬達上註明的溫度符合該特殊馬達處於最差條件下的操作性能。

在 22 區使用的馬達必須採用 IP55 保護，即防粉塵保護。2D/2 類設備和 3D/3 類設備之間的唯一區別是 IP 保護。

保護類型	代碼	標準		在 ATEX 分類／區內使用	原 則	應 用
		CEN ELEC EN	IEC 60079			
一般要求	-	50014	- 0	-	基本電氣要求	全部設備
油浸	o	50015	- 6	2類1區	電子元件浸入油中，與爆炸性空氣隔離，防止點燃。	變壓器
加壓	p	50016	- 2	2類1區	對密閉外殼設備進行清掃，排除爆炸性空氣，並增壓以防周圍空氣進入。	開關和控制箱、大型馬達
充粉末	q	50017	- 5	2類1區	電氣部件周圍充滿粉末，例如石英，以防止接觸爆炸性空氣。	電子設備，例如電容器、保險絲
防燃	d	50018	- 1	2類1區	密閉外殼封閉電氣設備，如果發生內部爆炸，不會點燃周圍空氣。	AC馬達、控制面板、燈具
安全增強	e	50019	- 7	2類1區	採用額外方法消除能點燃易燃空氣的電弧、火花和過熱表面	AC馬達、端子和接線箱、燈具、鼠籠式馬達
本體安全	i _a	50020	- 11	1類0區	限制設備內的電能，從而使得電路無法以火花或放熱的方式點燃空氣。	測量和控制設備，例如感測器、儀錶
	i _b	50020	- 11	2類1區		
密封結構	m	50028	- 18	2類1區	電氣元件被嵌入經認證可防止與爆炸性空氣接觸的材料中	測量和控制設備、電磁閥
n型保護	nA	50021	- 15	3類2區	無電弧、無火花	AC馬達、接線箱、燈具
注意：II 組粉塵空氣包含於 CENELEC EN 50281-1-1 和 EN50281-1-2。						

圖 1.4.7: 各種保護標準和方法



安裝方式（國際安裝-IM）

共有三種不同的安裝馬達方式：腳座安裝型馬達、帶自由孔法蘭（FF）的法蘭安裝型馬達，和帶內螺紋孔法蘭（FT）的法蘭安裝型馬達。圖 1.4.8 顯示馬達的不同安裝方法，以及安裝所適用的標準。馬達的安裝係依照以下規範：

- IEC 60034-7，Code I
即之前採用的 DIN 42590 規範所遵循的 IM 定義。
- IEC 60034-7，Code II

密封等級（侵入保護-IP）

密封等級說明馬達防固體物質和水侵入的保護等級。密封等級的表示方式為 IP 之後附帶兩個數字，例如 IP55。第一個數位代表防固體物質接觸和侵入的保護，第二個數位則代表防水侵入的保護，見圖 1.4.9。

排水孔可讓進入定子殼內的水（如冷凝水）溢出。在潮濕的環境中安裝馬達時，應打開底部的排水孔。打開排水孔將使馬達的密封等級由 IP55 改變為 IP44。

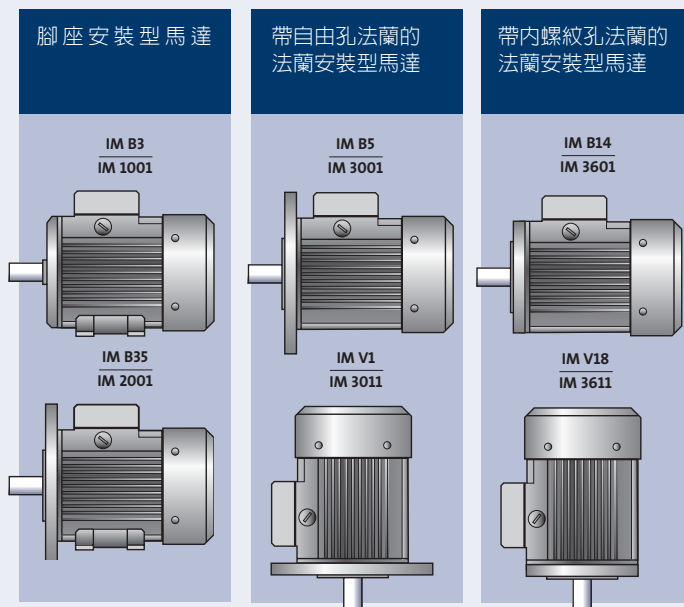


圖 1.4.8: 各種安裝方式

第一位數字	第二位數字
防固體物質接觸和侵入的保護	防水侵入的保護
0 無特殊保護 1 馬達可防止直徑大於55mm的固體物質（如一隻手）進入的保護。 2 馬達可防止直徑大於12 mm的物質（如一隻手指）進入的保護。 3 馬達可防止直徑大於2.5 mm的固體物質（如電線、工具等）進入的保護。 4 馬達可防止直徑大於1 mm的固體物質（如電線）侵入的保護。 5 馬達可防止粉塵侵入的保護。 6 馬達可完全防止粉塵侵入的保護。	0 無特殊保護 1 馬達可防止垂直落入水滴（如冷凝水）的保護。 2 馬達可防止垂直落入水滴的保護，即便馬達傾斜15°角。 3 馬達可防止水從與垂直方向成60°夾角方向濺入的保護。 4 馬達可防止水從任何方向濺入的保護。 5 馬達可防止水從任何方向噴嘴射入的保護。 6 馬達可防止大浪或高壓水從任何方向射入的保護。 7 馬達的保護允許其沉入水下15cm至1m處，持續時間由製造商定義。 8 馬達的保護允許其在製造商指定的條件下持續沉入水中。

圖 1.4.9: 防護等級的表示方式為 IP 後面附帶兩個數字，例如 IP55。

框架尺寸

圖 1.4.11 所示為框架尺寸、軸端、馬達功率和法蘭類型及尺寸之間關係的概觀。對於框架尺寸 63 至 315M 的馬達，其對應關係在 EN 50347 中有明確說明。對於框架尺寸 315L 及以上的馬達，沒有標準說明其對應關係。圖中顯示的各框架尺寸馬達的各數值為量測值。

法蘭和軸端符合 EN 50347 和 IEC 60072-1。有些泵浦採用聯軸器，則要求馬達使用標準規定以外的光滑軸端或特別加長軸。

絕緣等級

IEC 60085 標準中定義了絕緣等級，該等級用來表示絕緣系統相對於溫度的耐受性。絕緣材料的壽命主要取決於所處的溫度，因此是根據抗高溫的能力，對各種絕緣材料和系統進行絕緣等級的分類。



圖 1.4.10: 框架尺寸

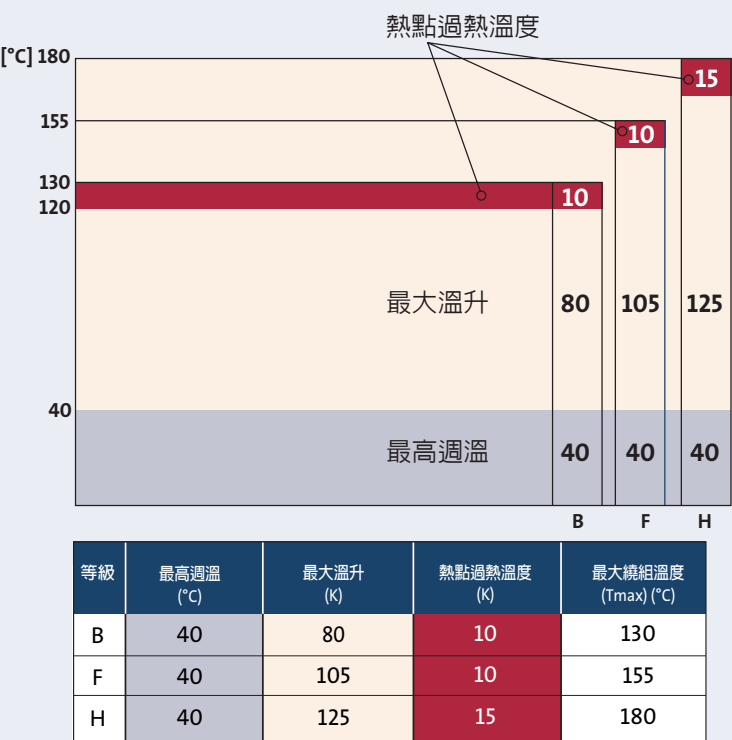


圖 1.4.12: 在額定電壓與負載下的不同絕緣等級及其溫度上升



圖 1.4.11: 框架尺寸與輸入功率之間的關係

1	2		3				4	
框架尺寸	軸端直徑		額定功率				法蘭尺寸	
	2極	4-, 6-, 8-極	2極	4極	6極	8極	自由孔法蘭	內螺紋孔法蘭
	[mm]	[mm]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	(FF)	(FT)
56	9	9	0.09; 0.12	0.06; 0.09			FF100	FT65
63	11	11	0.18; 0.25	0.12 ; 0.18			FF115	FT75
71	14	14	0.37; 0.55	0.25; 0.37			FF130	FT85
80	19	19	0.75; 1.1	0.55; 0.75	0.37; 0.55		FF165	FT100
90S	24	24	1.5	1.1	0.75	0.37	FF165	FT115
90L	24	24	2.2	1.5	1.1	0.55	FF165	FT115
100L	28	28	3	2.2; 3	1.5	0.75; 1.1	FF215	FT130
112M	28	28	4	4	2.2	1.5	FF215	FT130
132S	38	38	5.5; 7.5	5.5	3	2.2	FF265	FT165
132M	38	38	-	7.5	4; 5.5	3	FF265	FT165
160M	42	42	11; 15	11	7.5	4; 5.5	FF300	FT215
160L	42	42	18.5	15	11	7.5	FF300	FT215
180M	48	48	22	18.5	-	-	FF300	
180L	48	48	-	22	15	11	FF300	
200L	55	55	30; 37	30	18.5; 22	15	FF350	
225S	55	60	-	37	30	18.5	FF400	
225M	55	60	45	45	-	22	FF400	
250M	60	65	55	55	37	30	FF500	
280S	65	75	75	75	45	37	FF500	
280M	65	75	90	90	55	45	FF500	
315S	65	80	110	110	75	55	FF600	
315M	65	80	132	132	90	75	FF600	
315L	65	80	160; 200; 250				FF600	
355	75	100	315; 355; 400; 450; 500	315; 355; 400; 450; 500			FF740	
400	80	100	560; 630; 710	560; 630; 710			FF840	
450	90	120	800; 900; 1000	800; 900; 1000			FF940	

1.4.2 馬達啟動

馬達起動的方式可分為：直接啟動、星三角啟動、自耦變壓器啟動、軟啟動和變頻器啟動。每種方法都有其優缺點，見圖 1.4.13。

圖 1.4.13: 啟動方式

啟動方式	優點	缺點
直接啟動 (DOL)	簡單且經濟，啟動安全	啟動電流高
星三角啟動 (SD) (Y/Δ)	減小啟動電流	從星型啟動切換至三角型時，會產生電流脈衝。 如果負載的慣性較低，則不適用。 減小啟動力矩。
自耦變壓器啟動	減小啟動電流和力矩	當降壓啟動後切換至全電壓時，會產生電流脈衝。 減小啟動力矩。
軟啟動器	“軟”啟動。無電流脈衝。 當啟動泵浦時產生水錘較小。 需要減小啟動電流，典型為額定電流的 2~3 倍	減小啟動力矩。
變頻器啟動	無電流脈衝。 當啟動泵浦時產生水錘較小。 需要減小啟動電流，典型為額定電流的 2~3 倍 可用於馬達的連續出力。	減小啟動力矩。 價格昂貴。

直接啟動 (DOL)

如名稱所示，直接啟動是指透過將馬達直接連至額定電壓電源的方式啟動馬達。直接啟動適用於供電穩定、機械強度堅固且有完整傳動軸的系統，例如泵浦。當採用直接啟動方法時，必須諮詢當地授權機構。

星/三角啟動

這種適用於三相感應馬達的啟動方法，目的在減小啟動電流。在開始啟動的初始階段，定子繞組的供電按星形連接 (Y)。在其他階段，一旦馬達已經開始運轉，供電應立刻連接三角形 (Δ) 的繞組。

自耦變壓器啟動

如名稱所示，自耦變壓器啟動使用自耦變壓器啟動馬達。在啟動期間，自耦變壓器與馬達成串聯佈置，並按 2 至 4 步驟將電壓升至額定電壓。

軟啟動器

軟啟動器顧名思義是一種確保馬達軟啟動的裝置，方法為依預設的時間升高電壓。

變頻器啟動

變頻器是為馬達的連續出力所設計，但也可以應用於軟啟動。



1.4.3 電源電壓

馬達的額定電壓位於一定的電壓範圍內。圖 1.4.14 所示為 50Hz 與 60Hz 馬達的典型電壓實例。

根據國際標準 IEC 60038，馬達必須能在主電源電壓 $\pm 10\%$ 的公差下操作。

依照 IEC 60034-1 標準設計、電壓範圍較寬的馬達，如 380~415V，電源電壓的公差為 $\pm 5\%$ 。

當馬達在額定電壓範圍內操作時，不得超過實際絕緣等級允許的最高溫度。對於極端的條件，典型的溫度上升值約為 10 Kelvin (絕對溫度)。

1.4.4 變頻器

變頻器通常用於控制泵浦的轉速，詳見第4章。變頻器將主電源電壓轉換為另一種電壓和頻率，可調節馬達的轉速。這種調節頻率的方法可能引起一些問題：

- 馬達噪音，有時對系統形成干擾噪音。
- 變頻器會對馬達輸出高峯值電壓。

典型的電壓實例

50 Hz

50 Hz 馬達具有下列電壓：

- 3 x 220 – 240 Δ / 380 – 415 Y
- 3 x 200 – 220 Δ / 346 – 380 Y
- 3 x 200 Δ / 346 Y
- 3 x 380 – 415 Δ
- 1 x 220 – 230 / 240

60 Hz

60 Hz 馬達具有下列電壓：

- 3 x 200 – 230 Δ / 346 – 400 Y
- 3 x 220 – 255 Δ / 380 – 440 Y
- 3 x 220 – 277 Δ / 380 – 480 Y
- 3 x 200 – 230 Δ / 346 – 400 Y
- 3 x 380 – 480 Δ

圖 1.4.14: 各種典型電壓

符合 IEC 60038 的主電源電壓

50 Hz	60 Hz
230 V $\pm$ 10%	-
400 V $\pm$ 10%	-
690 V $\pm$ 10%	-
-	460 V $\pm$ 10%

圖 1.4.15: 符合 IEC 60038 的電源電壓

第 1.4 節

馬達

附帶變頻器馬達的絕緣

應用變頻器的各種馬達，我們按照不同絕緣種類分類。

無相位絕緣的馬達

對於結構中沒有使用相位絕緣的馬達，460V 以上的連續電壓（RMS）會增加繞組之間產生擊穿性放電的風險（從而毀壞馬達）。依此原理設計的所有馬達都有這個問題。在峰值電壓高於 650V 的條件下，連續操作會造成馬達的損壞。

有相位絕緣的馬達

在三相馬達中，通常採用相位絕緣。如果電源電壓低於 500V，則無需特殊防範。

有強化絕緣的馬達

對於 500~690V 之間的電源電壓，馬達必須採用強化絕緣，或用三角 U / 三角 t 過濾器進行保護。對於 690V 及以上電源電壓，馬達必須安裝強化絕緣連同三角 U / 三角 t 過濾器。

有絕緣軸承的馬達

為了避免有害電流流過軸承，馬達軸承必須使用電氣絕緣，此適用於框架尺寸 280 及以上的馬達。

相位絕緣也被稱為「相位絕緣紙」

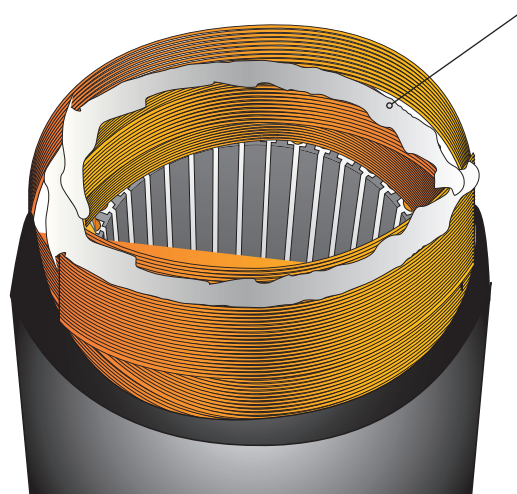


圖 1.4.16: 有相位絕緣的定子



馬達效率

通常而言，馬達的效率很高。某些馬達的電力至軸效率 (electric-to-shaft power) 可達 80~93%，這取決於馬達尺寸，有時大規格馬達效率更高。馬達內的能量損耗主要有兩種：負載相關損耗和負載無關損耗。

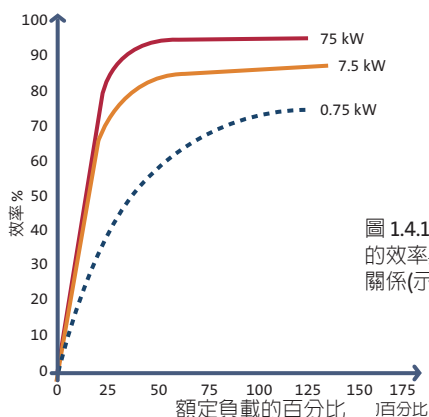
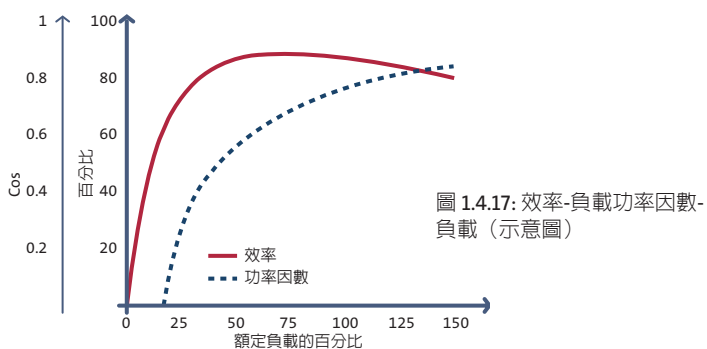
負載相關損耗隨電流的平方而變，並包括：

- 定子繞組損耗（銅損）
- 轉子損耗（滑差損耗）
- 雜散損耗（在馬達的不同部位）

馬達內的負載無關損耗包括：

- 鐵損（鐵芯損耗）
- 機械損耗（摩擦）

可根據馬達效率對馬達進行分類，主要有歐盟的 CEMEP（EFF1、EFF2 和 EFF3）及美國的 EPA 類別。



長期過載可導致馬達故障，因此大多數馬達被有意加大，並操作於滿載容量的 75% 至 80%。在該負載水平上，馬達效率和功率因數仍然相對地高。但是當馬達負載低於 25% 時，效率和功率因數明顯下降。

在額定負載的某一百分比以下，馬達效率快速下滑。因此馬達的選擇相當重要，可將馬達在低負載下運行的損耗減至最小；通常依據滿足泵浦功率要求的條件選擇馬達。

1.4.5 馬達保護

馬達通常依據達到溫度採取保護措施，以防溫度過高損壞絕緣系統。取決於馬達的結構和應用而定，熱保護還具有其他功能，例如防止溫度過高損壞變頻器若馬達有安裝變頻器。

不同的馬達類型有不同的熱保護類型。選擇熱保護時，必須考慮馬達的結構和功耗。通常馬達必須受保護，以防下列情況發生：

可引起繞組緩緩升溫的因素：

- 緩步過載
- 啟動時間過長
- 冷卻不足
- 過溫上升
- 頻繁啟動和停機
- 頻率波動
- 電壓波動

可引起繞組快速升溫的因素：

- 轉子鎖定
- 欠相

過熱保護 (TP)

依據 IEC 60034-11 規範，馬達的過熱保護必須在銘牌上註明 TP 標識。圖 1.4.19 顯示 TP 標識一覽表。

符號	技術過載變數 (1位數)	級別及作用區域 (2 位數)	分類 (3 位數)
TP 111	僅緩慢 (持續過載)	第一級關斷時	1
TP 112			2
TP 121		第二級緊急信號及關斷	1
TP 122			2
TP 211	緩慢和快速 (持續過載及卡死情形)	第一級關斷開時	1
TP 212			2
TP 221		第二級緊急信號及關斷	1
TP 222			2
TP 311	僅快速 (卡死情形)	第一級關斷時	1
TP 312			2

表示馬達可承受過熱的允許溫度水平，第 2 類的允許溫度比第1類高。

圖 1.4.19: TP 標識

PTC 熱敏電阻

在製造馬達或後來進行馬達改裝時，可在繞組內裝入 PTC 熱敏電阻（正溫度係數熱敏電阻）。通常成組安裝 3 個 PTC，每個相位的繞組各裝一個。市面可購得的 PTC 熱敏電阻的斷路溫度依 5°C 間隔，從 90°C 至 180°C 都有。PTC 必須連接到熱敏電阻繼電器上，當溫度達到斷路溫度時，該繼電器可偵測到熱敏電阻阻值的快速上升；該裝置為非線性。在環境溫度下，一組 PTC（由 3 個 PTC 組成）的電阻值大約為 200~300Ω，當熱敏電阻達到斷路溫度時，電阻值會快速增大。如果溫度繼續上升，PTC 的電阻值可能達到幾千歐姆。熱敏電阻繼電器通常設定在 3000Ω 處斷路，或根據 DIN 44082 標準進行斷路條件的預設。對於 11kW 以下的馬達，如果在繞組內裝入 PTC，則 PTC 的 TP 標識為 TP211。如果 PTC 被後來改裝，則 TP 標識為 TP111。大於 11kW 的馬達，PTC 的 TP 標識通常是 TP111。

熱控開關和恒溫器

熱控開關是一種小型的雙金屬開關，會依溫度改變切換開關；其斷路溫度選擇範圍較寬，有常開 (normally open) 和常閉 (normally closed) 型式，常用類型是常閉式；通常以一個或兩個熱控開關串聯裝入繞組中，並可直接與主控接觸器的線圈電路相連，這樣連繼電器都無需使用。這種保護形式比熱敏電阻便宜，但是另一方面，靈敏度不足，無法偵測到轉子卡死故障。

熱控開關也被稱為 Thermik、Klixon 開關和 PTO（Protection Thermique à Ouverture）。熱控開關通常以 TP111 作為標識。

單相馬達

單相馬達通常有熱保護裝置。熱保護裝置通常有自動回復閉路功能，這意味著馬達與主電源連接的方式必須確保能避免因自動回復而引發的事故。

三相馬達

必須根據當地規定保護三相馬達。這類馬達通常裝有可於外部控制電路進行重置的接觸器。



靜置加熱

採用加熱元件可維持馬達於靜置時加溫，該加熱元件專門設計用於需要防濕氣和防凝露的應用。藉由持續穩定供熱，馬達會比周圍環境更溫暖，從而使馬達內的相對空氣濕度能一直低於 100%。

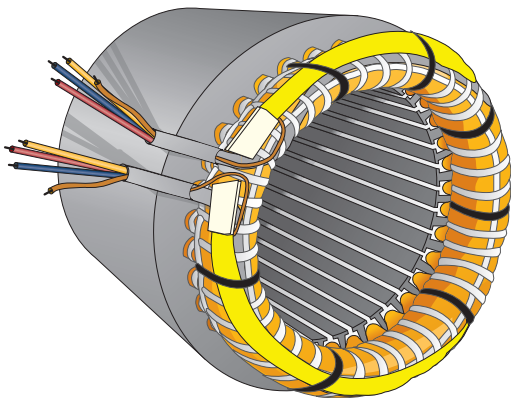


圖 1.4.20: 配有加熱元件的定子

維護

馬達需要定期檢查。為了確保有足夠的通風，保持馬達的乾淨很重要。如果泵浦被安裝在一個滿是粉塵的環境中，必須被定期清理和檢查。

軸承

通常馬達在驅動端內有一個固定的軸承，並在非驅動端內有一個具有軸向游隙的軸承。由於存在製造公差、在運行時會產生熱膨脹等情況，因此需要軸向游隙。在非驅動端內，波形彈性墊圈支撐馬達軸承於定位，見圖 1.4.21。

在驅動端內的固定軸承可以是深溝滾珠軸承或角接觸軸承。

ISO 15 和 ISO 492 中對軸承間隙和公差進行了規定。由於軸承製造商必須滿足這些標準，軸承在國際上屬於通用零件。

滾珠軸承在軸承內外環與滾珠之間必須有一定的內部間隙，才可旋轉自如。如果沒有內部間隙，軸承將可能旋轉困難，甚至無法旋轉。另一方面，過大的內部間隙將導致軸承不穩，從而引起過度噪音或軸晃動。

根據安裝馬達的泵浦型號與匹配馬達不同，驅動端內的深溝滾珠軸承必須有 C3 或 C4 間隙。具有 C4 間隙的軸承熱敏感性低，且軸向負載能力強。

如果屬於下列情況，則承受泵浦軸向力的軸承應為 C3 間隙：

- 泵浦具有完全或部分壓力釋放。
- 泵浦有許多短暫的運行週期。
- 泵浦閒置時間過長。

C4 軸承用於具有強軸向力波動的泵浦。如果泵浦有較強的單向軸向力，應採用角接觸軸承。

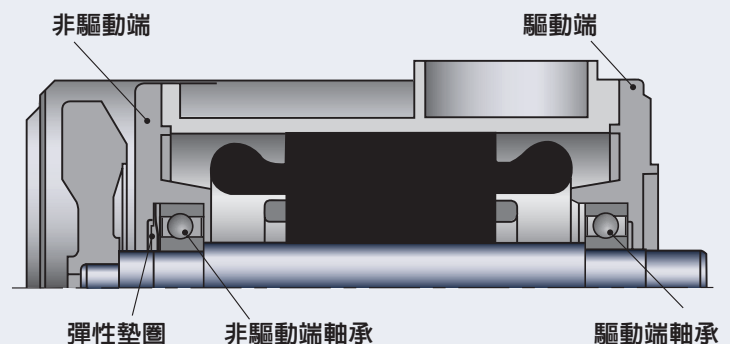


圖 1.4.21: 馬達剖面圖

第 1.4 節
馬達

軸向力	軸承類型和建議間隙	
	驅 動 端	非 驅 動 端
中等偏強力量 主要為軸端向外拉力	固定式深溝滾珠軸承	深溝滾珠軸承 (C3)
軸端強力向外拉力	固定式角接觸軸承	深溝滾珠軸承 (C3)
中等力量 主要為軸端向外拉力 (部分釋放於泵浦中的液壓)	固定式深溝滾珠軸承 (C3)	深溝滾珠軸承 (C3)
較弱力量 (撓性聯軸器)	固定式深溝滾珠軸承 (C3)	深溝滾珠軸承 (C3)
強力向內壓力	深溝滾珠軸承 (C4)	固定式角接觸軸承

圖 :1.4.22: 泵浦馬達的典型軸承類型

匹配永久潤滑軸承的馬達

對於封閉式永久潤滑軸承，可使用下列耐高溫型潤滑脂：

- 鋰基潤滑脂
- 聚脲基潤滑脂

技術規格必須符合 DIN-51825 K2 標準，甚至更高標準。基本油黏度必須高於：

- 50 cSt ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$)，40°C 下
- 8 cSt (mm^2/sec)，100°C 下

例如：Kluberquiet BQH 72-102 的潤滑脂，裝填率 30～40%。

匹配潤滑系統的馬達

通常框架尺寸為 160 及以上的馬達，其驅動端和非驅動端的軸承均配有潤滑油嘴。

潤滑油嘴明顯可見且極易搗及。這種馬達的設計為：

- 潤滑脂必須在軸承週邊流動。
- 新的潤滑脂進入軸承。
- 舊的潤滑脂被排出軸承。

裝有潤滑系統的馬達附有潤滑說明，例如：以風扇蓋上標籤形式標示。除此之外，在安裝和操作說明書中也會有詳細說明。

潤滑劑通常為鋰基高溫潤滑脂，例如：EXXON UNIREX N3 或 Shel l Alvania Grease G3。其基本黏度須為：

- 40°C 時，高於 50 cSt ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$)
- 100°C 時，為 8 cSt (mm^2/sec)

第1.5節：液體

- 1.5.1 黏性液體
- 1.5.2 非牛頓液體
- 1.5.3 黏性液體對離心泵浦性能的影響
- 1.5.4 輸送含防凍劑液體之泵浦選型
- 1.5.5 實例計算
- 1.5.6 黏稠液體的電腦輔助泵浦選機



第 1.5 節

液體

1.5.1 黏性液體

毫無疑問，在泵浦輸送液體中水是最常見的。然而，在許多應用中，泵浦必須輸送其他液體，例如：油、丙二醇、汽油。與水相比，這些類型的液體具有不同的密度和黏度。

黏度是對液體黏稠程度的一種度量。

黏度越高，液體越黏稠。丙二醇和機油就是黏度較高的液體，汽油和水則是黏度較低的液體。

共有兩種黏度存在：

- 動力 (dynamic) 黏度 (μ)，通常測量單位是 Pa•s 或 Poise。（1 Poise = 0.1 Pa•s）
- 運動(kinematic) 黏度 (ν)，通常測量單位是 cent iStokes 或 m²/s（1 cSt = 10⁻⁶ m²/s）

動力黏度 (μ) 與運動黏度 (ν) 的關係如右側公式所示。

以下的篇幅中，我們著重講述運動黏度 (ν)。

液體黏度隨溫度的變化會發生顯著變化，熱油比冷油稀薄許多。如圖 1.5.1 所示，當溫度從 +20°C 降至 -20 °C 時，50% 丙二醇液體的黏度將增大 10 倍。如果您想瞭解更多有關液體黏度的資訊，請詳見附錄 L。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

ρ = 液體密度

液體	液體溫度 t [°C]	密度 r [kg/m³]	運動黏度 n [cSt]
水	20	998	1.004
汽油	20	733	0.75
橄欖油	20	900	93
50% 丙二醇	20	1043	6.4
50% 丙二醇	-20	1061	68.7

圖 1.5.1: 水及其他液體的黏度值比較，並顯示其密度與溫度

1.5.2 非牛頓液體

以上所討論的液體都屬於牛頓液體。牛頓液體的黏度不受運動的幅度及動作影響，礦物油和水是典型的牛頓液體。另一方面，非牛頓液體的黏度在受到攪動時，則會發生變化。

讓我們舉一些實例：

- 脹流性液體如奶油 — 受到攪動時，黏度會增大。
- 塑性液體如蕃茄醬 — 有一塑變值，必須超過塑變值才會流動。從塑變值開始，黏度隨著流動的增加而降低。
- 觸變性液體如非滴性塗料—當攪動增大時，表現為黏度下降。

前面小節中描述的黏度公式不適用於非牛頓液體。

1.5.3 黏性液體對離心泵浦性能的影響

黏性液體是指比水具有更高黏度和／或更高密度的液體。這種液體以不同的方式影響離心泵浦性能：

- 功耗增大，即完成相同的任務需要更大的馬達。
- 揚程、流量和泵浦效率降低。

讓我們一起來看一個例子。有一台泵浦用來輸送冷卻系統內的液體，該液體溫度低於 0°C 。為了避免液體凝結，在液體中加入如丙烯乙二醇的抗凍劑。當乙二醇或類似的抗凍劑加入輸送液體時，液體的特性發生變化。液體將發生以下變化：

- 冰點降低， $t_f [^{\circ}\text{C}]$
- 比熱降低， $c_p [\text{kJ/kg}\cdot\text{K}]$
- 導熱係數降低， $\lambda [\text{W/m}\cdot\text{K}]$
- 沸點上升， $t_b [^{\circ}\text{C}]$
- 膨脹係數增大， $\beta [\text{m}/^{\circ}\text{C}]$
- 密度增大， $\rho [\text{kg}/\text{m}^3]$
- 運動黏度增大， $\nu [\text{cSt}]$

當設計一個系統和選擇泵浦時，必須牢記這些特徵。如前所述，密度越大需要的馬達功率就越大，黏度越大，泵浦揚程、流量和效率就越低，導致所需的馬達功率增大，見圖 1.5.2。

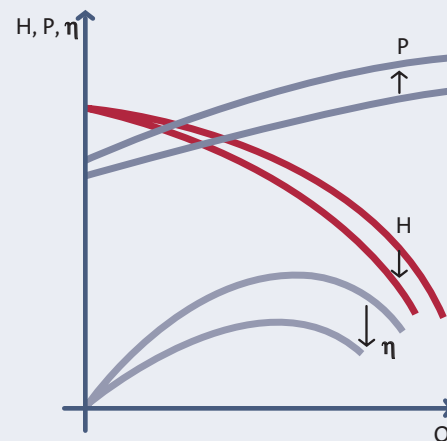


圖 1.5.2: 液體黏度增大造成的揚程、效率和輸入功率的變化

1.5.4 輸送含防凍劑液體之泵浦選型

泵浦的特性表示通常是根據溫度約為 20°C 的水，意即運動黏度約為 1cSt ，密度約為 $1,000\text{kg/m}^3$ 。當泵浦用於輸送 0°C 以下含有抗凍劑的液體時，必須檢驗泵浦是否能提供所需的性能，或是否需要更大的馬達。下一節提出一種簡化的方法，用以在處理黏度為 $5\sim 100\text{cSt}$ ，且最大密度為 $1,300\text{ kg/m}^3$ 液體的系統中確定泵浦的曲線修正。請注意：本方法不如本節後續描述的電腦輔助法精確。

輸送高黏度液體的泵浦曲線校正

基於已知的工作點、 Q_5 、 H_5 和泵浦輸送液體的運動黏度，可以找出 H 和 P_2 的修正係數，見圖 1.5.3。

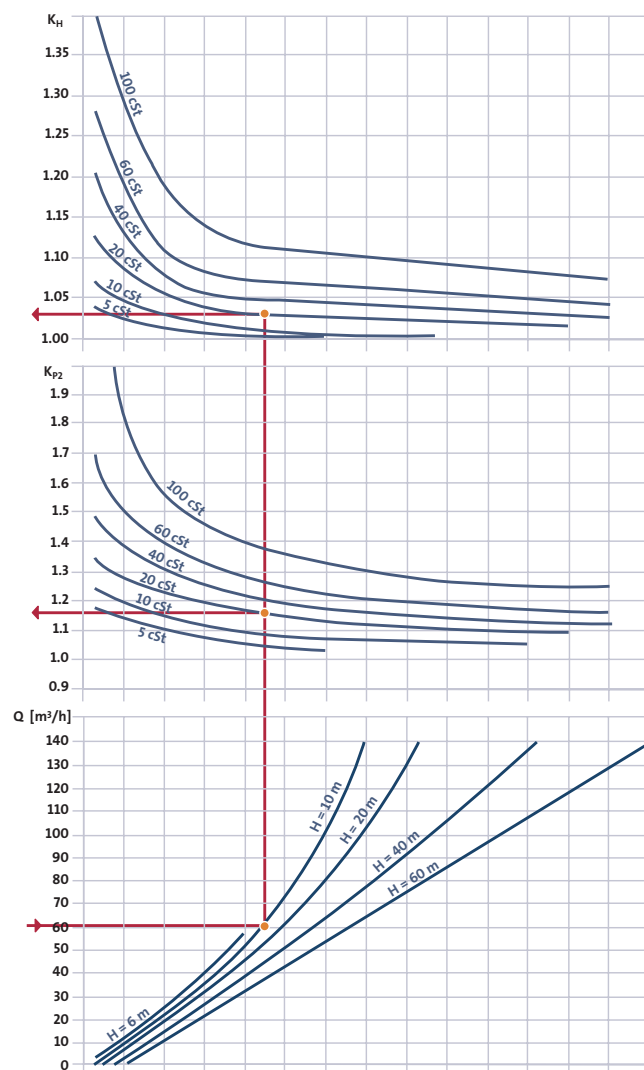


圖 1.5.3: 可以為不同的流量、揚程和黏度條件找出揚程與消耗功率的修正係數

依照以下的方法讀取圖 1.5.3：

當在圖中找到 k_H 和 k_{p2} 時，可採用下列公式計算出清水等量揚程 H_W ，以及已校正的實際軸功率 P_{25} ：

$$H_W = k_H \cdot H_s$$

$$P_{25} = k_{p2} \cdot P_{2w} \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} \right)$$

其中

H_W ：泵浦輸送液體為清水時，泵浦的等量揚程

P_{2w} ：泵浦輸送液體為水時，額定工作點 (Q_s, H_w) 處的軸功率

H_s ：泵浦輸送液體的期望揚程 (含添加劑)

P_{25} ：當泵浦輸送液體為水 (含添加劑) 時，額定工作點 (Q_s, H_s) 處的軸功率

ρ_s ：泵浦輸送液體的密度

ρ_w ：水的密度 = 998 kg/m³

泵浦的選擇是基於以水為輸送液體的標準資料表／曲線。泵浦應涵蓋工作點 $Q, H = Q_s, H_w$ ，並且馬達應足以提供 P_{25} 大小的功率給主軸。

圖 1.5.4 顯示如何選擇泵浦，並檢查馬達是否在允許的功率範圍內。

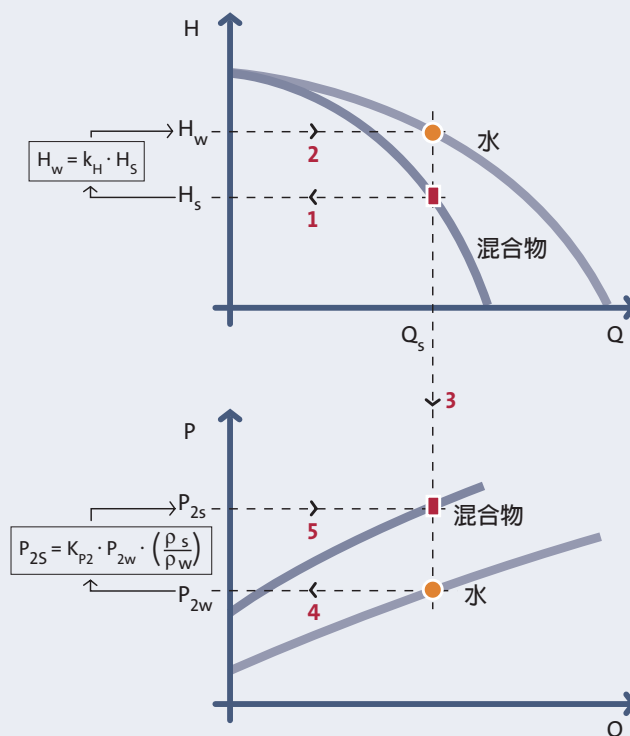


圖 1.5.4: 為系統選擇適用的泵浦時曲線的修正

泵浦和馬達的選擇程序包括下列步驟：

- 計算出修正的揚程 H_w (基於 H_s 和 k_H)，見圖 1.5.4 1-2。
- 根據修正的工作點 (Q_s, H_w) 選擇性能適合的泵浦讀取工作點 (Q_s, H_w) 處的輸入功率 P_{2w} ，見圖 1.5.4 3-4。
- 依據 P_{2w} 、 k_{p2} 、 ρ_w 、和 ρ_s 計算修正的所需軸功率 P_{25} ，見圖 1.5.4 4-5。
- 檢查 P_{25} 是否小於馬達的 P_{2MAX} 。如果是，該馬達可以採用，否則請選擇功率更大的馬達。

1.5.5 實例計算

在一個冷凍系統中使用一台循環泵浦輸送 -10°C 的 40% 丙烯乙二醇液體。期望流量為 $Q_s=60\text{m}^3/\text{h}$ ，期望揚程為 $H_s=12\text{m}$ 。知道所需的工作點，可找出適用於水的 Q/H ，並選出一台能涵蓋該工作點的泵浦。一旦我們確定所需的泵浦類型和規格，就可以檢查泵浦所安裝的馬達是否能承受此特定負載。

液體的運動黏度為 20 cSt ，密度為 1049 kg/m^3 。基於 $Q_s=60\text{m}^3/\text{h}$ 、 $H_s=12\text{m}$ 和 $v=20\text{ cSt}$ ，從圖 1.5.3 可找出修正係數。

$$k_H = 1.03$$

$$k_{p2} = 1.15$$

$$H_w = k_H \cdot H_s = 1.03 \cdot 12 = 12.4\text{ m}$$

$$Q_s = 60\text{ m}^3/\text{h}$$

泵浦必須能涵蓋 $Q, H = 60\text{m}^3/\text{h}, 12.4\text{m}$ 的工作點。一旦確定所需的泵浦規格，就可以找到工作點的 P_2 值，此處 $P_{2w} = 2.9\text{ kW}$ 。現在可以為丙二醇混合物計算所需的馬達功率：

$$P_{2s} = k_{p2} \cdot P_{2w} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

$$P_{2s} = 1.15 \cdot 2.9 \cdot \frac{1049}{998} = 3.5\text{ kW}$$

計算顯示，泵浦必須配備一部 4kW 的馬達，這是能涵蓋計算得出的功率 $P_{2s} = 3.5\text{ kW}$ 的最小馬達等級。

1.5.6 黏稠液體的電腦輔助泵浦選機

有些電腦輔助泵浦選機工具，具有一項特性可輸入液體密度和黏度，對泵浦的性能曲線進行補償。圖 1.5.5 所示為剛才範例中所選泵浦的性能曲線。

該圖顯示泵浦輸送黏性液體時的性能曲線（實線），以及泵浦輸送水時的性能曲線（虛線）。如圖顯示揚程、流量和效率降低，消耗功率則增大。 P_2 數值為 3.4 kW ，這是依據 1.5.4 節計算實例得到的結果。

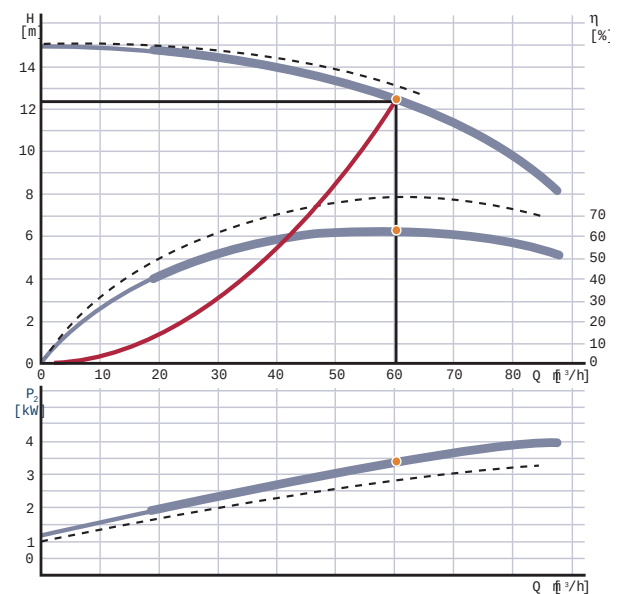


圖 1.5.5: 泵性能曲線

第 1.6 節：材料

- 1.6.1 什麼是腐蝕？
- 1.6.2 腐蝕類型
- 1.6.3 金屬和金屬合金
- 1.6.4 陶瓷
- 1.6.5 塑膠
- 1.6.6 橡膠
- 1.6.7 塗層



第 1.6 節

材料

在本節中，可以瞭解用於泵浦構造各種材料。我們的重點將描述每種單一金屬和合金所具有的特性。但是在開始進入材料之前，我們先來談談腐蝕。除了解釋什麼是腐蝕之外，我們還將說明腐蝕的各種類型，以及可以防止腐蝕發生的措施。

1.6.1 什麼是腐蝕？

腐蝕通常指金屬與周圍環境發生的化學或電化學反應造成自身的剝蝕，見圖 1.6.1。廣義而言，腐蝕可被看作金屬恢復其自然狀態的趨勢，類似於最初被熔化的氧化物。只有如金和鉑等貴重金屬，可以在自然界中以金屬態被找到。

一些金屬在表面產生一種具有保護性能的緻密氧化層，能阻止進一步的腐蝕。表面層被破壞時，會自行癒合。這些金屬是被鈍化了。在大氣條件下，鋅和鋁的腐蝕產物形成一層相當緊密的氧化物，從而防止進一步的腐蝕。

同樣的，在不銹鋼的表面也會形成一層緊密的鐵和鉻的氧化層，在鈦的表面則會形成一層氧化鈦。這些具有保護層的金屬說明了其良好的抗腐蝕性。另一方面，鐵銹是鋼表面無保護性的腐蝕物。鐵銹是多孔的，黏附不牢固，因此無法防止持續的腐蝕，見圖 1.6.2。

影響金屬和合金的抗腐蝕性環境因素

- pH（酸性）
- 氧化劑（如氧）
- 溫度
- 溶液成分的濃度（如氯化物）
- 生物活性
- 操作條件（如流速、清潔程序和停機）

圖 1.6.1: 影響金屬和合金的抗腐蝕性環境因素

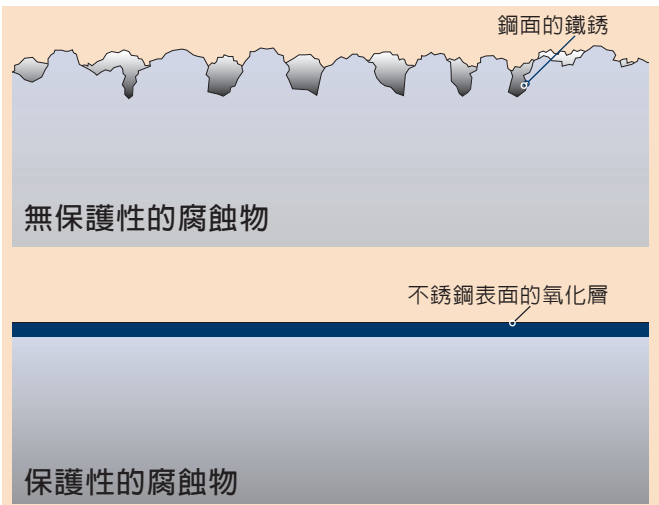


圖 1.6.2: 腐蝕物例子



1.6.2 腐蝕類型

通常金屬的腐蝕來自外露表面一個點的金屬損失。腐蝕發生的形式繁多，從整個表面的均勻侵蝕到局部嚴重侵蝕都有。

環境的化學和物理條件決定了腐蝕的類型和速率，以及腐蝕產物的類型和需要採取的控制措施。在許多情況下，不可能完全阻止腐蝕發生，或者必須付出昂貴的代價。然而，通常將腐蝕過程控制在可接受的水準即可。

以下篇幅將詳述不同的腐蝕型態，以便瞭解其特性。

均勻腐蝕

均勻或全面腐蝕的特點是：在整個表面或大部分面積上的腐蝕進度均勻。金屬全面性的變薄，直至斷裂。均勻腐蝕是使金屬面臨最大量破壞的腐蝕型態。

金屬易發生均勻腐蝕的例子：

- 碳酸水中的鋼。
- 還原酸劑中的不銹鋼（如 EN 1.4301（AISI 304）不銹鋼在硫酸中）。

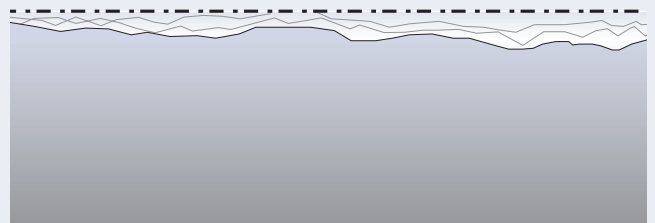


圖 1.6.3: 均勻腐蝕

點蝕

點蝕是一種局部的腐蝕形式，可在金屬表面形成孔或坑；即使雖然點蝕的全面腐蝕量(按照重量損失計算)佔極小的比例，但較易使金屬穿孔。根據液體腐蝕性的強弱，點蝕的穿透速率可以是全面腐蝕的 10~100 倍。在不流動的液體環境下，極易發生點蝕。

易發生點蝕的金屬例子：

- 海水中的不銹鋼。

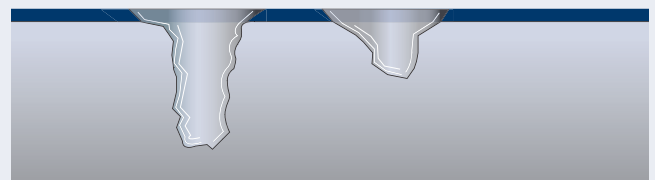


圖 1.6.4: 點蝕

第 1.6 節

材料

縫隙腐蝕

類似於點蝕，縫隙腐蝕是一種局部腐蝕形式，然而縫隙腐蝕比點蝕更容易開始發生。縫隙腐蝕可以發生在狹窄的縫隙或兩個金屬表面之間，或金屬與非金屬表面之間的縫隙，並且通常與縫隙內液流的停滯情況有關；因此縫隙（如法蘭連接或螺紋連接處的縫隙）通常是最主要的腐蝕發生地點。

易發生縫隙腐蝕的金屬例子：

- 海水中的不銹鋼。

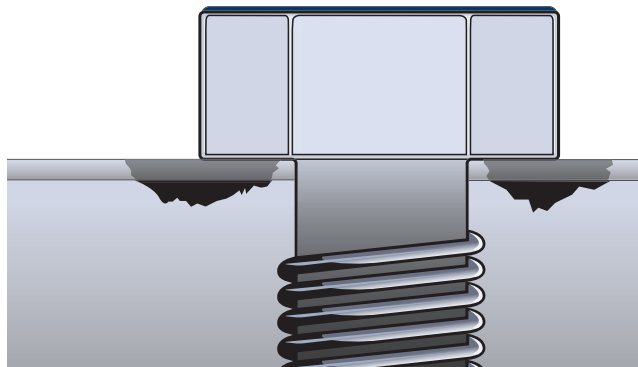


圖 1.6.5: 縫隙腐蝕

晶界腐蝕

正如名稱所示，晶界腐蝕發生在晶粒界面處，也稱作晶粒 (Intercrystalline) 腐蝕。典型情況下，在焊接過程中當碳化鉻沉澱在晶界上時，即會發生晶界腐蝕；或者與熱處理不足有關。因此晶界周圍的狹窄區域可能因為鉻的耗盡，並變得比材料其餘部位的抗腐蝕性更低。由於鉻在抗腐蝕方面扮演著重要角色，因此出現這種情況是非常不利的。

易發生晶界腐蝕的金屬：

- 焊接或熱處理不充分的不銹鋼。
- 濃硝酸中的 EN 1.4401 (AISI 316) 不銹鋼。

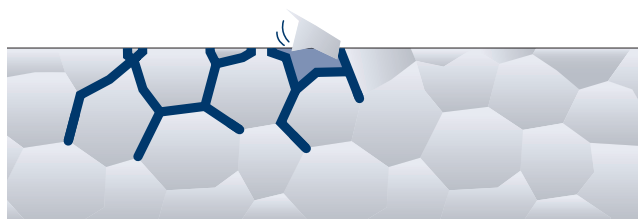


圖 1.6.6: 晶界腐蝕

選擇性腐蝕

選擇性腐蝕是一種僅腐蝕合金中的一種元素，並將元素從合金結構中解析出來的腐蝕類型，從而削弱合金的結構。

選擇性腐蝕的例子：

- 從不穩定的黃銅中脫鋅，從而削弱銅結構、變得多孔。
- 灰鑄鐵的石墨化，因鐵的分解導致留下易碎的石墨骨架。

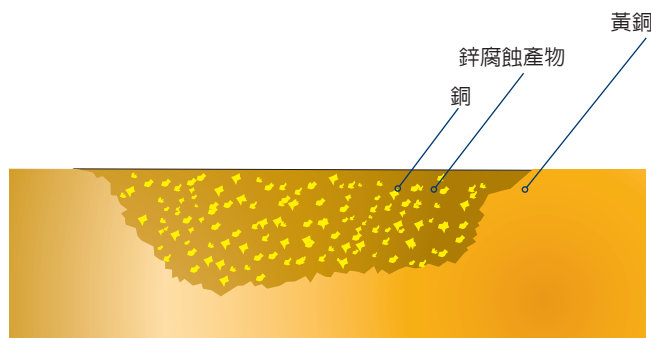


圖 1.6.7: 選擇性腐蝕

侵蝕腐蝕

侵蝕腐蝕是一種包含腐蝕和侵蝕的過程，腐蝕性液體和金屬表面的相對運動將加速腐蝕速率。侵蝕腐蝕將局限於高流速或湍流的區域，腐蝕的特色是具有方向性紋路的溝槽。

易發生侵蝕腐蝕的金屬例子：

- 海水中的青銅。
- 水中的銅。

空蝕腐蝕

高流速的泵浦輸送液體，壓力會減小。當壓力低於液體的蒸發壓力時，將形成氣泡（即液體沸騰）。在形成蒸氣氣泡的區域內，液體沸騰。當壓力重新升高時，蒸氣氣泡突然破裂，因而產生強烈的衝擊波。蒸氣氣泡的突然破裂會將表面上的金屬或氧化物移走。

易發生空蝕腐蝕的金屬例子：

- 高溫水中的鑄鐵。
- 海水中的青銅。

應力腐蝕破裂（Stress Corrosion Cracking, SCC）

應力腐蝕破裂（SCC）是指（外加或內部的）拉伸應力與腐蝕性環境相結合的影響。在無任何顯著變形或材料明顯劣化的情況下，可能發生材料破裂。通常應力腐蝕破裂現象會伴隨點蝕現象。

易發生應力腐蝕破裂的金屬例子：

- 氯化物中的 EN 1.4401 (AISI 316) 不銹鋼。
- 氨水中的黃銅。

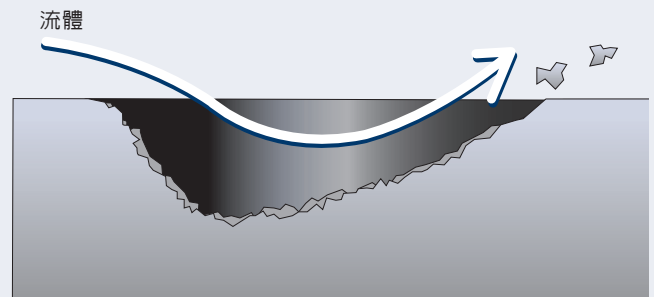


圖 1.6.8: 侵蝕腐蝕

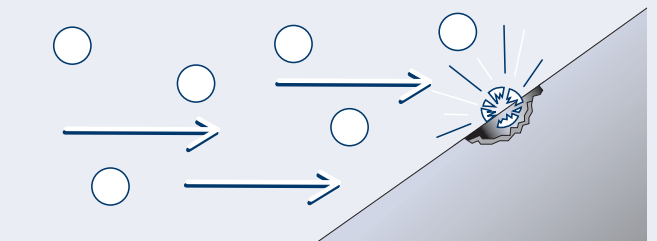


圖 1.6.9: 空蝕腐蝕



圖 1.6.10: 應力腐蝕破裂

腐蝕疲勞

純粹的機械疲勞是指當材料承受比極限拉伸強度低得多的週期性負載時，材料將發生機械性能破裂。若同時處於腐蝕性環境，金屬材料甚至可在更小的應力下在更短的時間發生斷裂。不同於純粹的機械疲勞，腐蝕性促成的疲勞沒有疲勞極限。

易發生腐蝕疲勞的金屬例子：

- 在腐蝕性氣體中的鋁結構

電解腐蝕

當一個腐蝕性電解質和兩個金屬材料相互接觸時（電解電池），在賤金屬材料（陽極）處腐蝕增加，在貴金屬材料（陰極）處腐蝕減少。此腐蝕的增大被稱為電解腐蝕。金屬或合金在電解電池內發生腐蝕的情況，由其在電解質序列中的位置所決定。電解質序列指明各種金屬與合金在特定環境中（例如海水，見圖 1.6.12）的相對位置。在電解質序列中金屬相距越遠，電解腐蝕的效應就越強；越靠近上端的金屬或合金越鈍，而越靠下端則活性越高。

易發生電解腐蝕的金屬例子：

- 與 1.4401 接觸的鋼。
- 與銅接觸的鋁。

電解腐蝕的原理被用於陰極保護。陰極保護是一種藉由使用犧牲陽極（鋅或鋁）或外加電流法減輕或防止金屬表面發生腐蝕的方法。

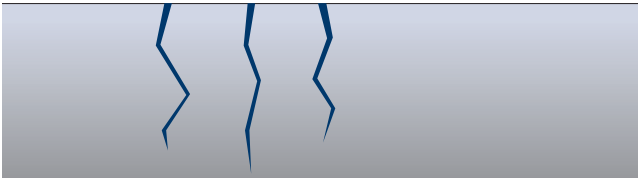


圖 1.6.11: 腐蝕疲勞

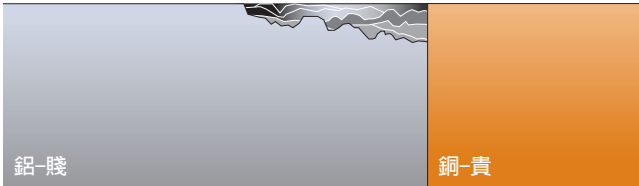
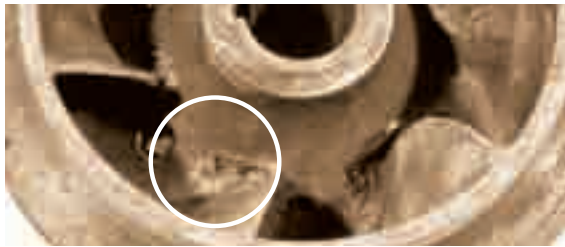


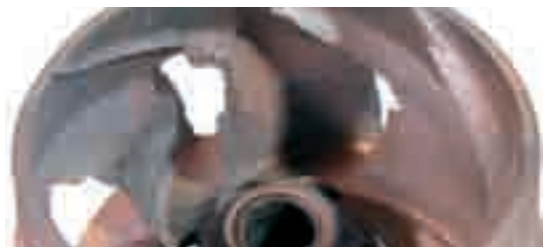
圖 1.6.12: 電解腐蝕

海水中的金屬和合金的電解質序列	
貴，陰極端（不容易腐蝕）	
鉑	
金	
鈦（惰性）	
銀	
不銹鋼（惰性）	
銅	
青銅	
黃銅	
錫	
不銹鋼（活性）	
鋼	
鋁	
鋅	
鎂	
賤，陽極（易腐蝕）	

圖 1.6.13: 海水中的金屬和合金的電解質序列



青銅葉輪的空蝕腐蝕



鑄鐵葉輪的侵蝕腐蝕



EN 1.4401 (AISI 316) 的點蝕



不銹鋼的晶界腐蝕



EN 1.4462 (SAF 205)
的縫隙腐蝕

1.6.3 金屬和金屬合金

在以下篇幅中，您將瞭解到用於泵浦構造中的各種金屬和合金的特性。

鐵合金

鐵合金是以鐵為主要成分的合金。由於鐵合金的實用性、便宜和通用性，使其成為全部材料中最常見的材料。

鋼

鋼是一種廣泛使用的材料，主要由混合碳的鐵合金構成。鋼中含碳量的變化範圍為 0.003%~1.5%；含碳量對材料的強度、可焊性、可加工性、延展性和硬度均有重要的影響。基本原理為含碳量的增加會導致強度和硬度增加，但延展性和可焊性則降低。最常見的鋼是碳鋼，可分為四類，如圖 1.6.14 所示。

鋼的類型	含碳量
低碳鋼或軟鋼	0.003% ~ 0.30%
中碳鋼	0.30% ~ 0.45%
高碳鋼	0.45% ~ 0.75%
極高碳鋼	0.75% ~ 1.50%

圖 1.6.14: 四種碳鋼形式

鋼有鍛造鋼和鑄造鋼，鑄造鋼的一般特性與鍛造鋼的特性極為接近。鋼最明顯的優點是其製造、成形和加工均相對廉價，缺點是與其他材料例如不銹鋼相比，耐腐蝕性較差。

鑄鐵

鑄鐵可視為一種鐵、矽和碳的合金，通常含碳量為 3~4%，其中大部分呈現不溶形式（如石墨片或石墨球），可分為兩個主要類型：灰鑄鐵和球墨鑄鐵。鑄鐵的耐腐蝕性與鋼相當，有時甚至更好。鑄鐵中可分別摻入 13~16% 的矽或 15~35% 的鎳（可獲得耐蝕高鎳鑄鐵），從而提高耐腐蝕性。鑄鐵的各種類型被廣泛應用於工業中，特別是閥門、泵浦、管路和汽車零件。鑄鐵對中性和鹼性液體（高 pH 值）具有良好的耐腐蝕性，但耐酸（低 pH 值）性能較差。

灰鑄鐵的標識			
拉 伸 強 度 N/mm ² , min.	EN 1563	DIN 1693	ISO 185
150	EN-GJL-150	GG-15	50
200	EN-GJL-200	GG-20	200
250	EN-GJL-250	GG-25	250

圖 1.6.15: 灰鑄鐵的對比和標識

灰鑄鐵

在灰鑄鐵中，石墨在片狀鐵素體或珠光體中散佈，斷裂面呈灰色（這也是名字的由來！）。在拉伸負載下，石墨片的功能相當於應力集中點，這使得它在拉伸狀態下變得脆弱而易碎，但在擠壓狀態下較為堅韌。由於灰鑄鐵具有減震的功能，因此常被用於馬達殼的構造。灰鑄鐵是一種廉價材料，容易鑄造且極少出現收縮，這正是灰鑄鐵經常被用於中等強度要求的泵浦部件的原因。

延展性球墨鑄鐵

球墨鑄鐵的標識			
拉 伸 強 度 N/mm ² , min.	EN 1563	DIN 1693	ISO 1083
400	EN-GJS-400-18	GGG-40	400-18
400	EN-GJS-400-15	GGG-40.3	400-15
450	EN-GJS-450-10	—	450-10
500	EN-GJS-500-7	GGG-50	500-7

圖 1.6.16: 球墨鑄鐵的對比和標識

球墨鑄鐵含有約 0.03~0.05% 的鎂。鎂使得片狀鐵素體或珠光體成為球狀，因此石墨在球狀形式的鐵素體或珠光體中散佈。石墨球沒有尖銳的特性，球墨的球狀外形降低了應力的集中度，因此球鐵的延伸性比灰鑄鐵好。圖 1.6.16 清楚顯示球墨鑄鐵的拉伸強度比灰鑄鐵更高。球墨鑄鐵常用於高強度要求的泵浦零件（高壓或高溫應用）。

不銹鋼

不銹鋼是鉻鐵屬合金。在標準化的不銹鋼中，最低鉻含量為 10.5%。鉻提高了不銹鋼的耐腐蝕性；由於在金屬表面形成了一層氧化鉻膜，因此而使不銹鋼的耐腐蝕性更強。在適合的條件下，此極薄的一層具有自我修補功能。其他典型的合金元素還有鋁、鎳和氮。這些元素的混合帶來了各種晶體結構，而具有不同的加工、成形、焊接及耐腐蝕性等特性。通常不銹鋼比鐵和鑄鐵具有更高的抗化學性（也就是耐酸性）。

在含有氯化物的環境中，不銹鋼會出現局部腐蝕現象，例如點蝕和縫隙腐蝕。不銹鋼對這些腐蝕的抵抗力主要取決於其化學組成。作為一種衡量不銹鋼耐坑蝕性的方法，所謂的 PRE（Pitting Resistance Equivalent，耐點蝕當量）值被廣泛的應用。透過公式可計算出 PRE 值，在這些公式中，也考慮到一些微量合金元素（鉻、鉬和氮）對耐點蝕性的相關影響。PRE 值越高，耐局部腐蝕性就越強。請注意：PRE 值只是一種對不銹鋼耐點蝕性的大致估計，因此

只能用來比較／分類不同類型的不銹鋼。
以下我們將介紹四種主要類型的不銹鋼：鐵素體不銹鋼、馬氏體不銹鋼、奧斯田鐵不銹鋼和雙相不銹鋼。

圖 1.6.17: 不銹鋼的化學成分

不銹鋼的化學成分[重量%]							
微觀結構	標識 EN/AISI/UNS	% 最大值	% 鉻	% 鎳	% 鉬	% 其他	PRE ⁵⁾
鐵素體	1.4016/430/ S43000	0.08	16-18				17
馬氏體	1.4057/431/ S43100	0.12-0.22	15-17	1.5-2.5			16
奧斯田鐵	1.4305/303/ S30300	0.1	17-19	8-10		S 0.15-0.35	18
奧斯田鐵	1.4301/304/ S30400	0.07	17-19.5	8-10.5			18
奧斯田鐵	1.4306/304L/ S30403	0.03	18-20	10-12			18
奧斯田鐵	1.4401/316/ S31600	0.07	16.5-18.5	10-13	2-2.5		24
奧斯田鐵	1.4404/316L/ S31603	0.03	16.5-18.5	10-13	2-2.5		24
奧斯田鐵	1.4571/316Ti/ S31635	0.08	16.5-18.5	10.5-13.5	2-2.5	Ti > 5 x carbon Ti < 0.70	24
奧斯田鐵	1.4539/904L/ N08904	0.02	19-21	24-26	4-5	Cu 1.2-2	34
奧斯田鐵	1.4547/none / S 31254 ³⁾	0.02	20	18	6.1	N 0.18-0.22 Cu 0.5-1	43
鐵素體／ 奧斯田鐵	1.4462/ none/ S32205 ²⁾	0.03	21-23	4.5-6.5	2.5-3.5	N 0.10-0.22	34
鐵素體/ 奧斯田鐵	1.4410/none/ S 32750 ⁴⁾	0.03	25	7	4	N 0.24-0.32	43
微觀結構	標識 EN/ASTM/UNS	% 最大值	% 鉻	% 鎳	% 鉬	% 其他	PRE
奧斯田鐵 ¹⁾	1.4308/CF8/ J92600	0.07	18-20	8-11			19
奧斯田鐵 ¹⁾	1.4408/CF8M/ J92900	0.07	18-20	9-12	2-2.5		26
奧斯田鐵 ¹⁾	1.4409/CF3M/ J92800	0.03	18-20	9-12	2-2.5	N max. 0.2	26
奧斯田鐵	1.4584/none/ none	0.025	19-21	24-26	4-5	N max. 0.2 Cu 1-3	35
鐵素體/ 奧斯田鐵	1.4470/CD3MN/ J92205	0.03	21-23	4.5-6.5	2.5-3.5	N 0.12-0.2	35
鐵素體/ 奧斯田鐵	1.4517/CD4MCuN/ J93372	0.03	24.5-26.5	2.5-3.5	2.5-3.5	N 0.12-0.22 Cu 2.75-3.5	38

¹⁾ C 含有一些鐵素體 ²⁾ 也稱作 SAF 2205 ³⁾ 也稱作 254 SMO ⁴⁾ 也稱作 SAF 2507

⁵⁾耐點蝕當量 (PRE) : $Cr\% + 3.3 \times Mo\% + 16 \times N\%$.

鐵素體不銹鋼（具有磁性）

鐵素體不銹鋼的特點是良好的抗腐蝕性能、極佳的耐應力腐蝕破裂性能及中等剛度。低合金鐵素體不銹鋼常被用於潮濕的環境（茶匙、廚房洗碗池及洗衣機筒等），以符合產品零件免維護且無銹的需求。

馬氏體不銹鋼（具有磁性）

馬氏體不銹鋼具有高強度、有限的耐腐蝕性，常被用於彈簧、軸、外科手術器械及邊緣鋒利的工具，例如刀子和剪刀。

奧斯田鐵不銹鋼（無磁性）

奧斯田鐵不銹鋼是最通用的不銹鋼，特點為高耐腐蝕性、極佳的可成形性、剛度和可焊性。在工業上，奧斯田鐵不銹鋼被用於幾乎所有類型的泵浦元件，特別是 EN 1.4301 和 EN 1.4401。此類不銹鋼既可鍛造，又可鑄造。

EN 1.4305 是所有不銹鋼類型中最常使用的不銹鋼型號之一；由於其含硫量較高（0.15~0.35 重量 %），因此可加工性顯著提高，但可惜耐腐蝕性和可焊性有所降低。然而這些年來，已經開發出低含硫量的不銹鋼，因此可提高耐腐蝕性。

如果在焊接過程中將不銹鋼長時間加熱至 500°C~800°C，鉻可能會與鋼中的碳反應形成碳化鉻。這樣會減小鉻維持鈍化膜的能力，並可能導致晶界腐蝕，也稱為敏化作用 (Sensitisation)（見第 1.6.2 小節）。若採用低碳級不銹鋼，便可降低敏化的風險。低含碳量的不銹鋼稱作 EN 1.4306 (AISI 304L) 或 EN 1.4404 (AISI 316L)；與常規類型不銹鋼 EN1.4301 (AISI 304) 和 EN 1.4401 (AISI 316) 的 0.07% 含碳量相比，上述兩種不銹鋼的含碳量為 0.03%，見圖 1.6.17。

穩定級 EN 1.4571 (AISI 316Ti) 含有少量鈦。由於鈦對碳比鉻有更高的親合力，從而減少碳化鉻的形成。現代不銹鋼中，碳的含量普遍較低，並且隨著 L 級不銹鋼越來越容易取得，穩定級不銹鋼的使用已顯著減少。

鐵素體-奧斯田鐵或雙重不銹鋼（具有磁性）

鐵素體-奧斯田鐵（雙性）不銹鋼的特點是高強度、良好的剛度、高耐腐蝕性，以及極佳的耐應力腐蝕破裂性，特別是耐腐蝕疲勞性。

鐵素體-奧斯田鐵不銹鋼主要用於要求高強度、高耐腐蝕性及低應力腐蝕破裂的敏感度應用，或這些因數的綜合。不銹鋼 EN 1.4462 廣泛應用於製造泵軸和泵殼。

鎳合金

鎳基合金的定義是鎳的含量高於其他合金元素的合金，其最重要的合金成分是鐵、鉻、銅和鉬。改變合金成分比例可形成廣泛的合金等級；鎳和鎳合金具有抗多種極端惡劣操作條件的能力，例如腐蝕性環境、高溫、高應力或這些因素的組合環境。

哈氏特 (Hastelloys™) 合金是一個含有鎳、鉬、鉻和鐵的商用合金系列。如 Inconel™ 合金 625、哈氏 (Hastelloys™) C-276 以及 C-22 等鎳基合金，具有極強的耐腐蝕性，在低流速海水中不易發生點蝕或縫隙腐蝕，並且在高流速下也不易被侵蝕。

鎳基合金的價格限制其某些使用範圍，可分為鍛造級和鑄造級。鎳合金比普通碳鋼和不銹鋼合金更難鑄造，最常用於化工加工業的泵浦部件。

銅合金

純銅具有極佳的熱性能和電性能，是一種極柔軟、易延展的材料。

在銅中加入合金添加劑可形成各種不同的鑄造和鍛造銅材料，適用於製造泵浦、管道、接頭、壓力容器，以及輪機、電氣及一般工程的應用。

常用的銅合金種類

材料	主要合金元素[重量%] ¹⁾			
	鋅	錫	鎳	銅
黃銅	10-30	-	-	rest
紅銅 (炮銅)	5-10	5-10	-	rest
青銅 ²⁾	-	10	-	rest
銅鎳合金	-	-	20-30	rest

1) 鉛可作為合金添加元素，從而提高材料的可加工性。

2) 青銅與鋁製成合金，可提高強度。

圖 1.6.18: 常用的銅合金種類

由於黃銅的廉價及易於製造與加工的優點，使它成為最廣泛使用的銅合金。然而，它比青銅的強度低，並且絕不可用在會引起脫鋅的環境中（參見選擇性腐蝕）。

在腐蝕性液體（如海水）中，紅銅、青銅和銅鎳合金（與鑄鐵相比）具有更強的抗氯化物性。在這種環境下，由於會發生脫鋅現象，因此不適用於採用黃銅。所有銅合金對鹼性液體（pH 值高）、氨水和硫化物的抵抗力均較低，易發生腐蝕。黃銅、紅銅和青銅被廣泛地用於軸承、葉輪和泵殼。

鋁

標識	主要合金元素
1000系列	純鋁，鋁含量>99%
2000系列	銅是主要的合金元素，也可指定其他元素（鎂）
3000系列	錳是主要的合金元素
4000系列	矽是主要的合金元素
5000系列	鎂是主要的合金元素
6000系列	鎂和矽是主要的合金元素
7000系列	鋅是主要的合金元素，也可指定其他元素，如銅、鎂、鉻和鎳。
8000系列	其他元素（包括錫和某些鋰的合成物）

圖 1.6.19: 鋁的主要合金元素

純鋁是一種既輕又軟的金屬，密度大約是鋼的三分之一。純鋁具有高電導率和導熱係數，最常見的合金元素是矽、鎂、鐵和銅；矽可增加材料的可鑄造性，銅可增加材料的可加工性，鎂則可提高耐腐蝕性和強度。

鋁最明顯的優點在於會自然形成一層保護性氧化膜，因此當暴露於空氣中時，鋁具有高耐腐蝕性；採取陽極氧化處理可進一步提高這種性能。鋁合金廣泛地應用於要求強度重量比較高的結構中，例如運輸行業。此外，在車輛和航空器中採用鋁作為材質，則可大大降低重量和能源消耗。

另一方面，鋁的缺點是在低 pH 值或高 pH 值及含氯化物的環境下不穩定。此特徵使鋁不適合暴露於水性溶液中，特別是在高流速的條件下。這進一步強調了一個事實，即鋁是一種活性金屬。換句話說，鋁在電勢序中排位較低（參見電解腐蝕），並且如果與貴重金屬和合金連結，極易發生電化學腐蝕。

鈦

鈦等級 ASTM	合金特徵	屬性
Grade 1, 2, 3, 4	含氧量漸增的 CP 等級	耐腐蝕、易製造、易焊接
Grade 7, 11	添加鈮金屬的 CP 等級	強化的耐腐蝕性，降低酸性腐蝕和縫隙腐蝕
Grade 5	6%鋁、4%鈮	具有高強度的耐用合金、廣泛用於航空工業

CP：commercial pure 商業純鈦（含量大於 99.5%）
圖 1.6.20: 鈦等級和合金特徵

純鈦的密度較低、易延展且強度相對較低。然而，若加入一定量的氧，可使得鈦的強度增大，並產生所謂的商業純等級鈦。加入如鋁和鈮等合金元素，可顯著提高其強度，並降低材料的延展性。鋁鈮合金鈦（Ti-6Al-4V）是鈦工業中的耐用合金，常應用於諸多航空發動機與航空器機體中。由於鈦是價格昂貴的金屬，因此還不是泵浦元件的常用材料。

鈦是反應性極強的金屬。與不銹鋼相同，鈦的耐腐蝕性仰賴氧化膜的形成，但鈦表面的氧化膜比不銹鋼表面的氧化膜具有更佳的保護性。因此在易引起點蝕和縫隙腐蝕的腐蝕性液體中，如海水、濕氯及有機氯化物等，鈦的性能比不銹鋼高出許多。

1.6.4 陶瓷

陶瓷材料被定義為無機材料與非金屬材料，通常具有晶體特性，成分包括金屬和非金屬元素。常見的技术陶瓷有氧化鋁(鈦土— Al_2O_3)、碳化矽(SiC)、碳化鎢(WC)和氮化矽(Si_3N_4)。

陶瓷適用於要求耐熱穩定性高、強度高、耐磨損性高和耐腐蝕性高的應用，缺點是延展性低且極易碎裂。陶瓷主要用於製造軸承和軸封的軸封面。

1.6.5 橡膠

縮寫	聚合物名稱
PP	聚丙烯
PE	聚乙烯
PVC	聚氯乙烯
PEEK	聚醚醚酮
PVDF	聚偏二氟乙烯
PTFE*	聚四氟乙烯

*商品名稱：Teflon® (鐵氟龍)

圖 1.6.21: 聚合物名稱一覽表

某些聚合物衍生自如植物等天然物質，但絕大部分為人造，也就是眾所周知的合成塑膠。大多數合成塑膠來自原油，但也有用煤和天然氣做材料。

塑膠有兩種主要型態：熱塑性塑膠 (thermoplastics) 和熱固性塑膠 (thermosets)，熱塑性塑膠是最為常用的塑膠。塑膠通常含有添加劑，可對材料產生特定的改變；此外，纖維玻璃或其他纖維可強化塑料。這些含有添加劑和纖維的塑膠也被視為合成物。

塑膠中所使用的添加劑實例：

- 機械性強化用的無機填充物
- 化學穩定劑，例如抗氧化劑
- 增塑劑
- 阻燃劑

熱塑性塑膠 (thermoplastics)

熱塑性塑膠聚合物由很長的聚合物分子組成，這些聚合物分子互不相連，即不發生交聯。它們的原料通常呈顆粒狀，經加熱後採用塑模或擠出的方法製造產品。熱塑性塑膠種類繁多，從廉價的商用塑料（如 PE、PP、PVC）到昂貴的工程塑料（如 PEEK）及耐化學性含氟聚合物（如 PTFE、PVDF）；PTFE 是少數不能被熔融處理的熱塑性塑膠之一。熱塑性塑膠被廣泛地用於製造泵殼以及管路和泵殼內襯。

熱固性塑膠 (thermosets)

當熱固性塑膠被加熱時，由於交互聯結阻礙了彎曲和旋轉，因此材料被永久性硬化。在製造過程中可使用化學

品、加熱或輻射等形成交互聯結作用，這種加工方式稱為固化或硬化。熱固性塑膠較堅硬、外形尺寸較穩定，且比熱塑性塑膠脆與無法再次熔融。主要的熱固性塑膠包括環氧樹脂、聚酯和聚氨酯。熱固性塑膠也可用於表面被覆材料。

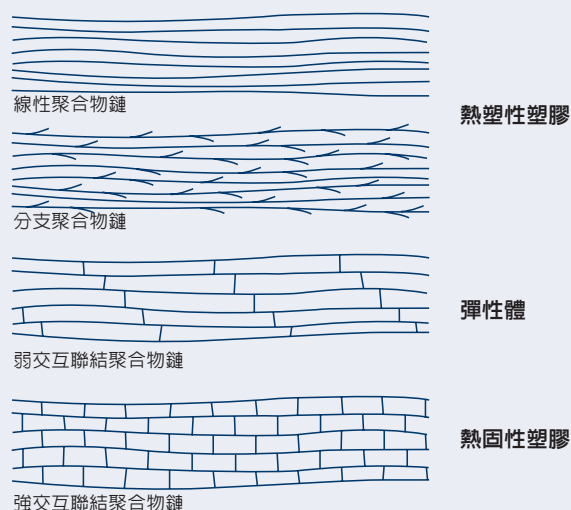


圖 1.6.22: 不同類型的聚合物

1.6.6 橡膠

縮寫	常用名稱	商品名稱實例
NBR	丁腈橡膠	Buna-N®
EPDM, EPM	乙丙橡膠	Nordel®
FKM	氟橡膠	Viton®
MQ, VMQ, PMQ, FMQ	矽酮橡膠	Siloprene®
FFKM	全氟化彈性體	Chemraz® Kalrez®

圖 1.6.23: 橡膠種類

橡膠一詞包括天然橡膠和合成橡膠。橡膠（或稱彈性體）是具有彈性的長鏈聚合物，可以很容易地延展數倍，並且當釋放所施加的應力時，迅速回復至原有尺寸。橡膠是交互聯結的（硫化的），但是交互聯結密度較低，見圖 1.6.22。交互聯結對橡膠的重要特性——彈性有著關鍵性的作用；彈性可提供軸封應用中所需的彈力。泵浦中，有不少元件採用橡膠材質，例如墊圈和 O 型環（見第 1.3 節的軸封部分）。在本節中，我們將介紹不同種類的橡膠品質，以及對於溫度和不同種類液體的抵抗力等主要特性。

橡膠（NBR）

在溫度高至 100°C 左右，丁腈橡膠是高耐油和耐燃油的廉價材料。具有不同等級——丙稀腈（CAN）含量越高，耐油性越強，但低溫撓性越差。丁腈橡膠的彈性強且耐磨性高，但強度中等。此外，丁腈橡膠的耐氣候性有限且耐溶劑性差。通常可在低達 -30°C 左右的低溫下使用，但有些等級可用於更低的溫度。

乙丙橡膠（EPDM）

乙丙橡膠具有出色的耐水性，並可在 120~140°C 左右的高溫下仍保持良好的耐水性。該類橡膠具有良好的耐酸、耐強鹼和耐高度揮發性液體（如甲醇和丙酮）的性能，但對礦物油和燃油的抵抗力極差。

氟橡膠（FKM）

氟橡膠家族包含了設計用於抵抗油、燃油及非極性溶劑等諸多化學品的整個橡膠家族。在空氣和各種類型的油中，FKM 均具有出色的耐高溫操作性（根據等級，可高達 200°C）。FKM 橡膠對蒸氣、熱水、甲醇及其他高度揮發性液體的抵抗力有限。此外，該類型橡膠對胺、強鹼和各種氟利昂（冷媒、二氯二氟代甲烷）的抵抗力較差。氟橡膠可分為標準級和特殊級——後者具有特殊性能，例如改進的耐低溫性或耐化學性。

矽酮橡膠（Q）

矽酮橡膠具有出眾的特性，例如在較寬的溫度範圍（空氣中，-60°C~200°C）下壓縮形變較小；此外，電絕緣性極佳且無毒。矽酮橡膠對水、一些酸和氧化性化學品具有抵抗力，但不能用於濃酸、鹼和溶劑。一般而言，這種橡膠對油和燃油的抵抗力差，但 FMQ 矽酮橡膠的耐油和耐燃油性比 MQ、VMQ 和 PMQ 類型的矽酮橡膠好些。

全氟化彈性體 (FFKM)

全氟化彈性體具有極佳的耐化學性，幾乎可與 PTFE（聚四氟乙烯，例如鐵氟龍）相媲美。它可在高溫下使用，但是缺點是難加工、成本高昂且在低溫下用途有限。

1.6.7 塗層

保護性塗層－金屬性、非金屬性（無機）或有機的，是一種控制腐蝕的常用方法。塗層的主要功能是（除電鍍塗層以外，例如鋅）在金屬（基底）與環境之間建立一個有效的屏障，可使用普通鋼或鋁替代更為昂貴的材料。在以下的篇幅中，我們將探討不同塗層防止腐蝕的可能性：

金屬塗層、非金屬塗層（無機塗層）和有機塗層。

金屬塗層

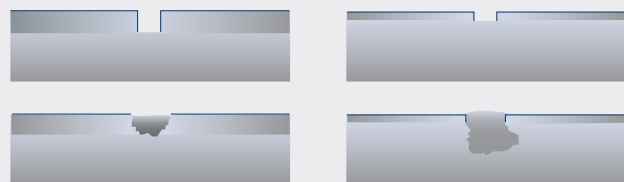
比基底低等級的金屬塗層

鋅塗層通常用於保護鋼結構以防空氣腐蝕。鋅有兩種功能：它即是一種遮罩塗層，又提供陰極保護。鋼表面的鋅層會先慢慢腐蝕，藉此保護鋼，這種保護稱為陰極保護。當發生輕微損傷時，鋅的腐蝕產物會填滿充暴露區域，阻止對鋼的腐蝕。

比基底高等級的金屬塗層

在鋼上電鍍鎳和鉻是金屬塗層比基底貴的例子。與電鍍塗層不同，如果遮罩塗層出現孔隙或受到損傷，將導致基底金屬立即受到腐蝕。

電鍍保護與遮罩防腐保護的比較



藉由電鍍作用，鋅塗層慢慢腐蝕，保護鋼基底。

鋼表面以更貴的金屬（如鎳）電鍍，如果保護層被破壞，腐蝕將更迅速。

圖 1.6.24: 電鍍保護與遮罩防腐保護的比較

非金屬塗層（無機塗層）

轉化塗層是非金屬塗層（無機塗層）的重要類別。

轉化塗層

轉化塗層的形成是藉由讓基底在氧化性溶液中，產生可控制的腐蝕反應。轉化塗層最常見的例子是鋁的陽極氧化或鉻化處理，以及鋼的磷化處理。陽極氧化主要用於鋁的表面保護，而鉻化處理和磷化處理多使用於與油漆相關的預處理。它不但提高了油漆的附著力，並且有助於阻止油漆層銹蝕的蔓延。

有機塗層

有機塗層含有有機化合物且種類繁多。將有機塗層塗敷於金屬的方法有噴塗、浸漬、刷塗、襯底或電著塗裝（以電流敷油漆的方法），並且可能需要或無需熱固化。熱塑性塑膠塗層，如聚酰胺、聚丙烯、聚乙烯、PVDF 和 PTFE 和彈性體塗層都可用於金屬基底，從而使金屬的機械性能與塑膠的耐化學性能相結合，但是油漆顯然是應用最為廣泛的有機塗層。

油漆

如上所述，油漆是一種主要的有機塗料。圖 1.6.25 顯示各種有機塗料。典型的油漆配方包括：聚合物黏合劑、溶劑、顏料和添加劑。基於環保的考慮，有機溶劑已逐漸被水替代或被完全屏除，例如粉末塗料。油漆的金屬構件通常在底漆（底漆與金屬直接接觸）上覆蓋兩層或更多層的油漆塗層。

常用有機塗料的物理狀態				
樹脂類型	溶劑基	水基	粉末塗料	雙成分
丙烯酸類	X	X	X	
醇酸類	X	X		
環氧類	X	X	X	X
聚酯類液體	X		X	X
聚氨酯類	X	X	X	X
乙烯類	X	X	X	

圖 1.6.25: 常用有機塗料的物理狀態

第二章 泵浦安裝及性能解讀

第 2.1 節: 泵浦安裝

- 2.1.1 全新安裝
- 2.1.2 既有設備的更新
- 2.1.3 單台泵浦安裝的管流
- 2.1.4 噪音和振動的限制
- 2.1.5 噪音值 (L)

第 2.2 節: 泵浦性能

- 2.2.1 水力條件
- 2.2.2 電氣條件
- 2.2.3 液體特性



第 2.1 節

泵浦安裝

泵浦安裝的正確建議和泵型選擇，遠比表面看來複雜得多。泵浦越大，在設備、安裝、試車、運轉和維護方面的費用（即所謂的生命週期成本 Life Cycle Cost, LCC）也就越高，因此廣義的產品銷售組合必須結合有效的產品建議和售後服務。以下的分析、建議和提示適用於一般情形的安裝，即大多適用於中型和大型泵浦的安裝。我們將同時對既有的及全新的安裝方式皆提出建議。

2.1.1 全新安裝

- 如果管路系統尚未決定，您可基於其他主要選擇條件，例如：效率、設備費用或生命週期成本（LCC）等，進行泵浦類型的選擇，這些內容不在本節敘述，但本節所提出的原則也適用於這類未決的管路系統。
- 如果管路系統已經規劃定案，則泵浦的選擇方式相當於取代既有泵浦。

2.1.2 既有設備的更新

以下五個步驟將幫助您為既有系統選擇理想的泵浦：

安裝前應考量以下幾項因素：

- 基本的管路及流向 — 管路進出建築物的方式，例如從地面、沿地板或從天花板。
- 安裝點的管路特性，例如線上式或端吸式、尺寸、支管配置。
- 可利用的空間 — 寬度、深度和高度。
- 與安裝和維護相關的便利可及程度，例如門道。
- 吊裝設備的可及性或相關設備的便利可及程度。
- 地板類型，例如堅固基礎或有地下室的懸空樓板。
- 現有基礎。
- 現有電氣系統。

先前安裝的泵浦

- 泵浦構造、型號、特性，包括以前的工作點、軸封、材質、墊圈和控制方式。
- 歷史記錄，例如壽命、維護紀錄。

未來要求

- 期望的改進和獲益。
- 新的選擇準則，包括工作點、運轉時間、溫、壓力及液體的特性。
- 對供應商的要求，例如備品的可供應性。

諮詢

- 主要變更所可能帶來的長期獲益、短期獲益或二者，並必須進行文檔記錄，例如安裝上所節省的费用、生命週期成本（LCC）、對環境影響的減輕（如噪音和振動）以及與維護相關的便利可及程度。

選擇

- 必須根據客戶同意的優先順序。

為了做出正確的泵浦類型和安裝建議的選擇，有兩個重要議題：管路流向和噪音與振動的限制。以下篇幅將主要處理這兩個議題。

2.1.3 單台泵浦安裝的管流

圖 2.1.1 是單台泵浦安裝圖。在並聯安裝中，便利可及程度對於泵浦選機的成敗扮演著重要角色。選擇的標準是管路系統盡可能簡化，因此要盡可能減少彎頭數量。

記分：

- ▲ 最佳選擇
- ◀ 良好選擇
- ▼ 次好選擇
- × 不適用

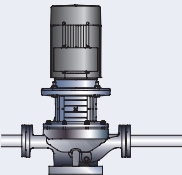
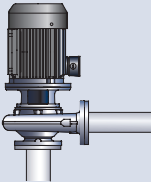
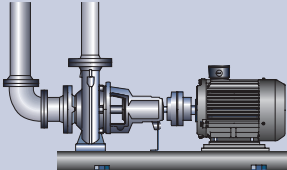
泵浦類型 管道			 A. 線上型直結式 (臥式或立式安裝)			 B. 端吸直結式 (臥式或立式安裝)			 C. 端吸聯軸式 (僅臥式安裝)		
至泵浦：	來自泵浦：										
 沿地板	沿地板		▲ 最佳選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇
	至地面		▲ 最佳選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇
	至天花板		◀ 良好選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇
 來自地面	沿地板		◀ 良好選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▼ 次好選擇	▼ 次好選擇	▼ 次好選擇
	至地面		◀ 良好選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▼ 次好選擇	▼ 次好選擇	▼ 次好選擇
	至天花板		◀ 良好選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇
 來自天花板	沿地板		▲ 最佳選擇	▼ 次好選擇	▼ 次好選擇	▼ 次好選擇	▼ 次好選擇	▼ 次好選擇	▼ 次好選擇	▼ 次好選擇	▼ 次好選擇
	至地面		▲ 最佳選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇	◀ 良好選擇
	至天花板		◀ 良好選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇	▲ 最佳選擇
壁上安裝	壁上安裝		▲ 最佳選擇	◀ 良好選擇	×	×	×	×	×	×	×

圖 2.1.1: 管路和泵浦類型

第 2.1 節 泵浦安裝

在多台泵浦並聯的安裝中，便利可及程度對泵浦選型的成敗扮演著重要角色。由於管路系統的形式，並聯安裝時線上型泵浦不見得就一定是便利可及的，如圖 2.1.2。而如圖 2.1.3 所示，在這樣的並聯管路下，端吸泵浦就比較便利可及。

2.1.4 對噪音和振動的限制

為了獲得理想的運轉，並將噪音和振動減至最低，在特定情況下，必須使用泵浦減震器；通常馬達功率大於 7.5kW 的泵浦應考慮使用，但較小的馬達也可能引起意想不到的噪音和振動。噪音和振動通常來自馬達和泵浦內的旋轉，以及管道和接頭內的液體流動，最終對環境的影響則取決於正確地安裝和整個系統的狀態。以下我們將提供泵浦安裝中限制噪音和振動的三種不同方法：基礎、減震器和伸縮接頭。

基礎

地板結構可分為兩種類型：實心地板和懸空地板。

實心地板—由於振動傳遞性能差，可降低噪音危害，見圖 2.1.4。

懸空地板—地板有放大噪音的風險。基底會形成一個共振箱，見圖 2.1.5。

泵浦應被安裝在牢固的平面上。對於上述兩種類型的地板結構，共有四種基本安裝方法：地板、基座、浮動基座及浮懸於減震器之上的底座。

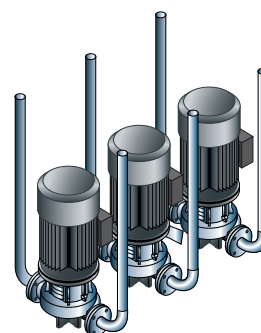


圖 2.1.2:
三台線上型 (In-line) 泵浦並聯；
由於管路的原因，維護的便利可及程度受限，不易維護

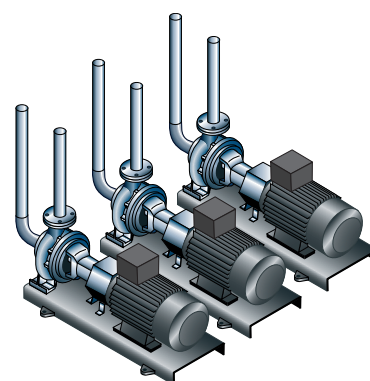


圖 2.1.3:
三台端吸泵浦並聯；
由於管路的原因，維護的便利可及程度高，易於維護

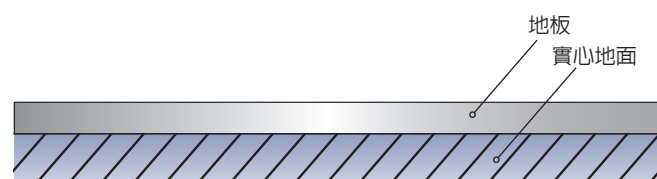


圖 2.1.4: 實心地板結構

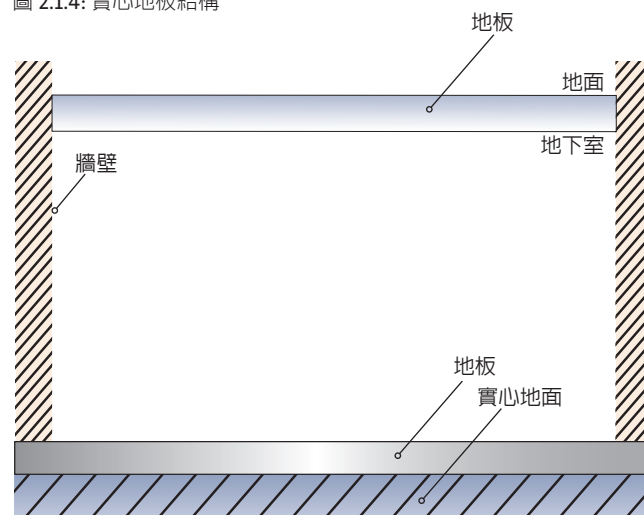


圖 2.1.5: 懸橋面結構



地板

直接在地板上安裝，因而導致直接的振動傳遞，見圖 2.1.6。

基座

直接澆注在混凝底板上，因此和地板一樣，將發生直接的振動傳遞，見圖 2.1.7。

浮動基座

置於在無彈性的材料（如砂子）上，從而減少振動的傳遞，見圖 2.1.8。

懸於減震器之上的底座

這是控制振動傳遞的最佳解決方案，見圖 2.1.9。根據經驗，混凝土底座的重量應為泵浦組重量的 1.5 倍，此為使減震器在泵浦低速運行時仍能發生效用所需的重量。

圖 2.1.6: 地板

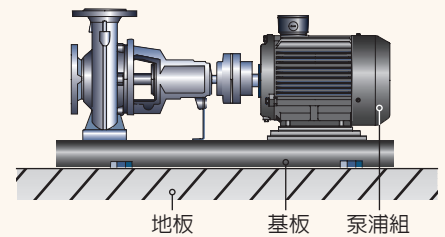


圖 2.1.7: 基座

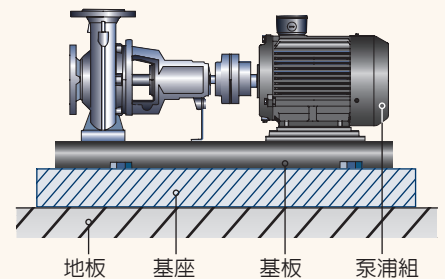


圖 2.1.8:
浮動基座

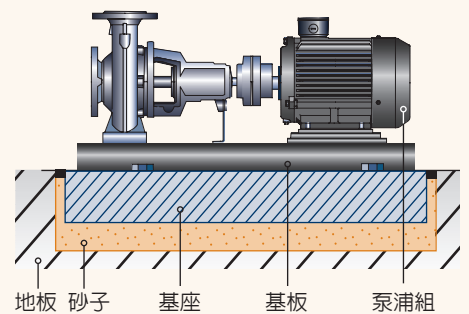


圖 2.1.9: 基礎懸於減震器之上

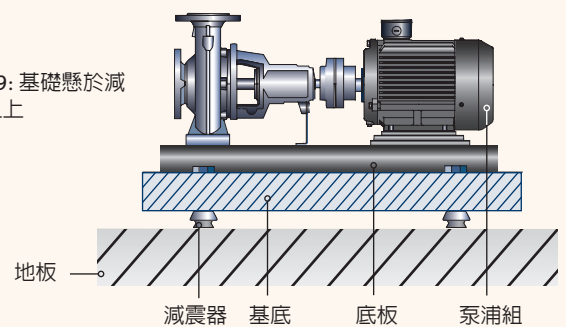
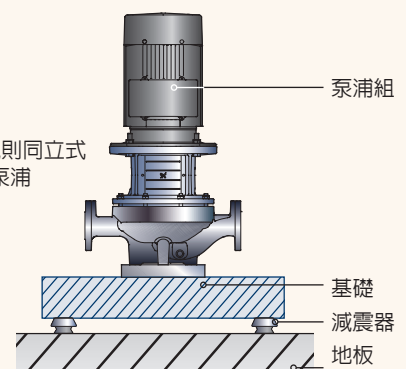


圖 2.1.10: 基礎規則同立式
線上型 (In-line) 泵浦



第 2.1 節 泵浦安裝

減震器

選擇正確的減震器需要下列資料：

- 作用於減震器上的力。
- 馬達轉速，需考慮變頻控制（如有）。
- 所需減震幅度 %（推薦值為 70%）。

不同的安裝需要不同的減震器，如果選擇了錯誤的減震器，有時還會增大振動值，因此供應商應設計減震器的大小。

安裝有減震器的泵浦，吸入端和排出端必須安裝伸縮接頭，如此可避免泵浦懸吊在法蘭處，實屬重要。

伸縮接頭

安裝伸縮接頭將具有以下功能：

- 吸收因液體溫度變化而引起的管路系統膨脹／收縮。
- 減小與管路系統內因壓力波動所導致的機械應力。
- 隔離管道系統內的機械噪音（金屬波紋伸縮接頭無此功能）。

安裝伸縮接頭不應被用於補償管路系統的誤差，例如中心偏移或法蘭未對準。

伸縮接頭的安裝位置離泵浦吸入端及排出端的距離至少應為公稱管徑的 1~1.5 倍，藉此可防止膨脹接頭內形成紊流，而獲得較好的吸入條件，並使高壓側的壓力損失降至最低。對於高流速（>5 m/s），最好安裝比對應管路大的伸縮接頭。

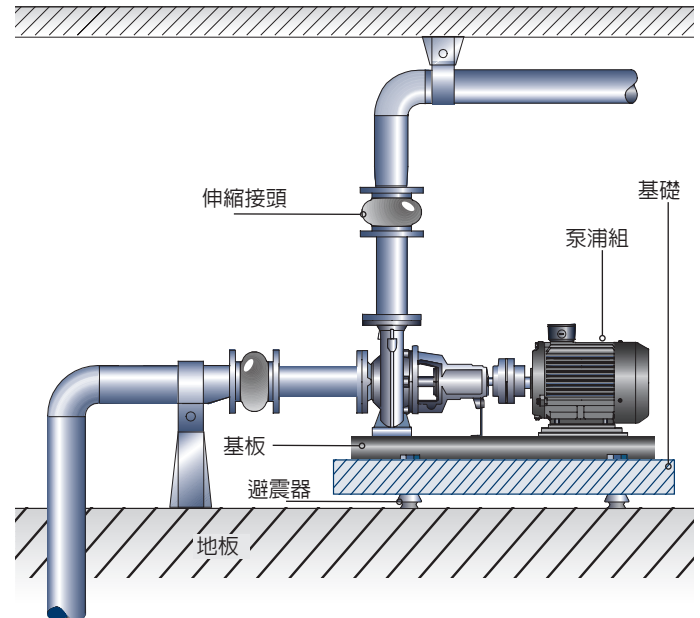


圖 2.1.11: 配有伸縮接頭、減震器和固定管路的安裝方式



圖 2.1.12～2.1.14 所示為附帶及不附帶繫桿的橡膠波紋伸縮接頭。

附帶繫桿的伸縮接頭可減小伸縮接頭所產生的應力。附帶繫桿的伸縮接頭，建議使用於尺寸大於 DN 100 的管路。無繫桿的伸縮接頭將對泵浦法蘭施加應力，這些力將影響泵浦和管路系統。

管道必須固定，使其不會對伸縮接頭和泵浦施加應力，見圖 2.1.11。固定點應盡可能靠近伸縮接頭，並應遵從伸縮接頭供應商的指示。

對於 100°C 以上的高溫合併高壓應用下，由於存在破裂的風險，所以通常採用金屬波紋伸縮接頭。

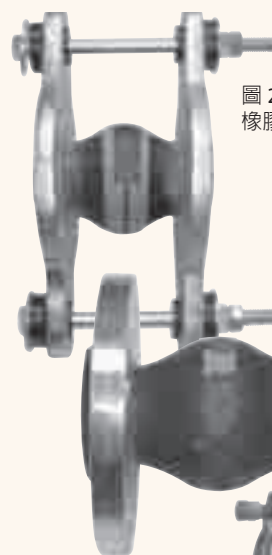


圖 2.1.12: 附帶繫桿的橡膠波紋伸縮接頭

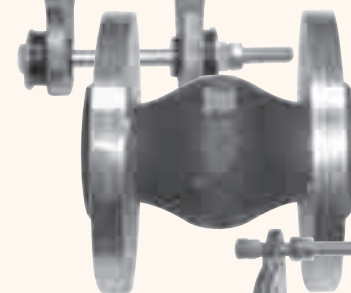


圖 2.1.13: 無繫桿的橡膠波紋伸縮接頭

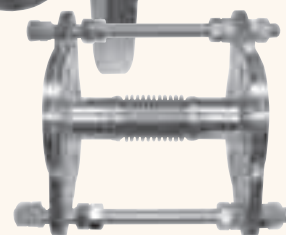


圖 2.1.14: 附帶繫桿的金屬波紋伸縮接頭

2.1.5 噪音值 (L)

一個系統內噪音值的量測單位採分貝(dB)。噪音就是令人討厭的聲音，噪音值的測量方法有以下三種：

1. 壓力 - L_p ：空氣波的壓力
2. 功率 - L_w ：聲音的功率
3. 強度 - L_i ：每平方米的聲音功率
(不在本書範圍內)

這三種數值無法直接比較，但可基於標準單位彼此換算。經驗公式如下：

較小的泵浦，例如：1.5 kW: $L_w = L_p + 11 \text{ dB}$

較大的泵浦，例如：110 kW: $L_w = L_p + 16 \text{ dB}$

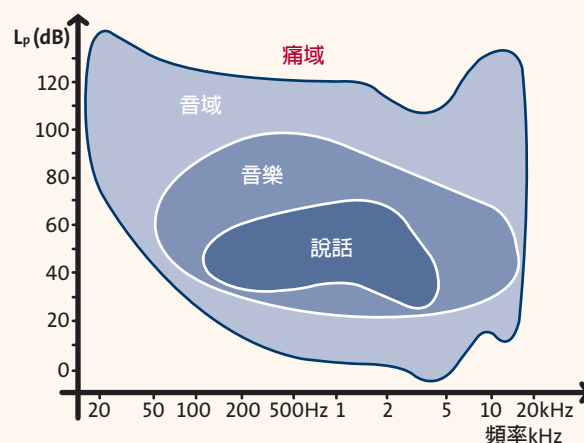


圖 2.1.15: 聽域與頻率關係

第 2.1 節
泵浦安裝

歐盟機械指令（EU Machine Directive）規定噪音值低於 85dB (A) 者，應以壓力表示；而噪音值高於 85dB (A) 者，則應以功率表示。

噪音的大小取決於人的聽力，例如年輕人與老年人的聽力就不相同，因此上述測量值按照耳朵的標準靈敏度進行加權，見圖 2.1.15。這種加權一般被稱作 A-加權（dB(A)），以 LPA 標示，其量測值依頻率而調整。在某些情況下，它會增大，但有時會減小，見圖 2.1.16。另有其他類型的加權，諸如 B 加權和 C 加權，但用於其他目的，在此我們將不論述。

當兩台或多台泵浦同時運轉時，也可以計算噪音值。如果泵浦的噪音值相同，則總噪音值可藉由圖 2.1.17 取得的數值相加計算得出，例如 2 台泵浦的總噪音值是： $LP + 3\text{ dB}$ ，3 台泵浦的總噪音值是： $LP + 5\text{ dB}$ 。如果泵浦具有不同的噪音值，可加上由圖 2.1.18 取得的數值。

噪音值標示通常表述為在反射面上的自由條件，意指沒有牆壁的硬地板面上的噪音值。因此在特定管路系統的特定房間內的噪音值數值很難預知，因為這些現場環境因素超出了製造商的能力範圍。某些條件可以對噪音值造成負面（增大噪音值）或正面影響，可就安裝方式和基礎提出建議以消除或減小負面影響。

經驗值：

噪音值增大	感覺程度:
+ 3 dB	可感覺到
+ 5 dB	非常明顯
+10 dB	加倍喧鬧

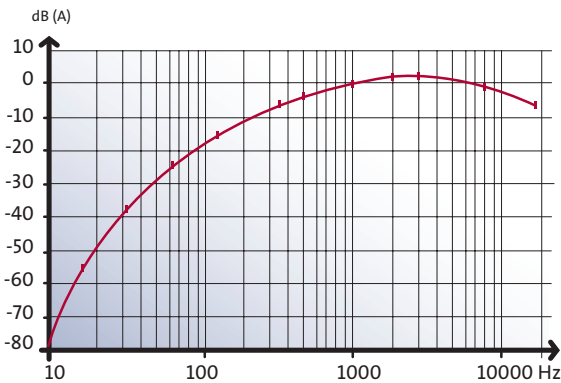


圖 2.1.16: A-加權曲線

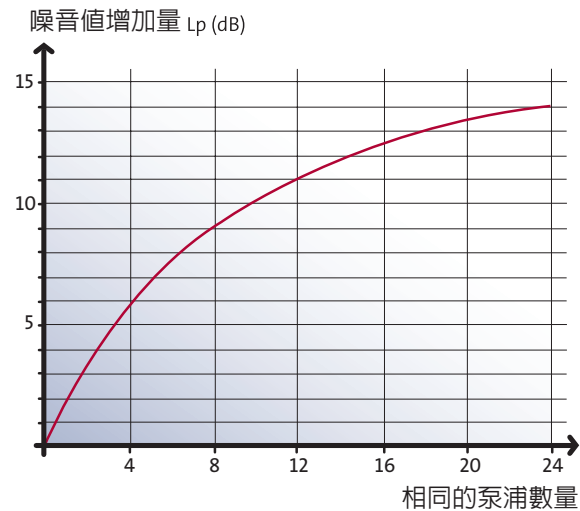


圖 2.1.17: 相同來源的總聲壓水平增加量

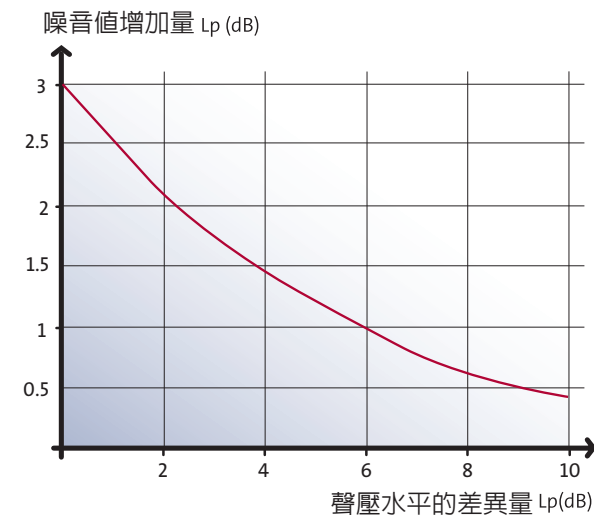


圖 2.1.18: 有不同來源的總聲壓水平增加量



當您檢查泵浦時，必須檢查多個方面。除了檢查泵浦的實體狀況外(如是否生鏽或發出不正常的噪音)，還必須知道一些數值，從而得知泵浦是否如預期正常運轉。在以下的篇幅中，我們提供三組資料，都是檢查泵浦性能時需要特別注意的資料，包括：水力條件、電氣條件、機械條件和液體特徵。

2.2.1 水力條件

當您希望檢查泵浦性能時，您必須知道一些數據。本節中，我們將介紹最重要的水力條件：流量、壓力和揚程。

流量

流量是在一定時間內通過泵浦的液體量。當我們閱讀性能資料時，需要區分兩種流量參數：體積流量和重量流量。

體積流量 (Q)

體積流量可從泵浦曲線上讀取，換句話說，無論液體的密度多大，一台泵浦每單位時間可運送一定體積的液體（單位：m³ / h）。當我們處理如供水等問題時，體積流量是最重要的參數，因為我們需要泵浦輸送一定的液體體積，例如飲用水或灌溉水。本書中提到的流量都是指體積流量。

重量流量 (Qm)

重量流量是一台泵浦在單位時間內輸送的液體重量，單位為 kg / s。由於液體密度隨溫度而變，因此液體溫度可影響泵浦單位時間內輸送的重重量流量。對於供熱、冷卻和空調系統，重量流量是需要得知的關鍵數值，因為重量是傳遞能量的介質（參見熱容部分）。

$$Q_m = \rho \cdot Q \quad ; \quad Q = \frac{Q_m}{\rho}$$

例子	單位	水	
		20°C 時	120°C 時
體積流量 Q	m³/h	10	
密度	kg/m³	998	943
重量流量 Q _m	kg/h	9980	9403
	kg/s	2.77	2.62

圖 2.2.1: 計算舉例

第 2.2 節 泵浦性能

壓力 (p)

壓力是對單位面積上力的度量。我們需要區分靜壓力、動壓力和總壓力，總壓力是靜壓力和動壓力的總和。

$$p_{\text{tot}} = p_{\text{sta}} + p_{\text{dyn}}$$

靜壓力

靜壓力 p_{sta} 是一般我們所認知的壓力，其量測法是將一個壓力計垂直於流動方向放置，或者置於靜止液體中所測得的壓力，見圖 2.2.2。

動壓力

動壓力 p_{dyn} 是由液體速度引起的壓力。動壓力無法用普通的壓力計測量，但可利用下列公式計算得出：

$$p_{\text{dyn}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

其中：

ρ 是液體密度，單位：[kg/m³]

v 是液體速度，單位：[m/s]

藉由減小液體速度等方式，可將動壓力轉變為靜壓力，反之亦然。圖 2.2.3 顯示了管徑由 D_1 增大為 D_2 ，導致液體速度從 v_1 降至 v_2 。假設若系統沒有摩擦損失，靜壓力和動壓力的總和在整個水平管路中將為恆定。

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

因此如圖 2.2.3 所示，管徑增大將導致靜壓力（可由壓力計 P_2 測得）增大。

在大多數泵浦系統中，動壓力 p_{dyn} 對總壓力的影響不大。舉個例子，如果水流速度為 4.5 m/s，動壓力大約為 0.1 bar，這在許多泵送系統中被認為是可忽略的。本章稍後，我們將討論動壓力與泵浦揚程的關係。

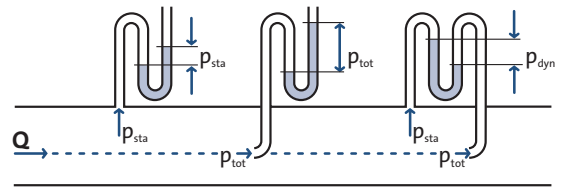


圖 2.2.2: 如何決定靜壓力 p_{sta} 、動壓力 p_{dyn} 及總壓力 p_{tot}

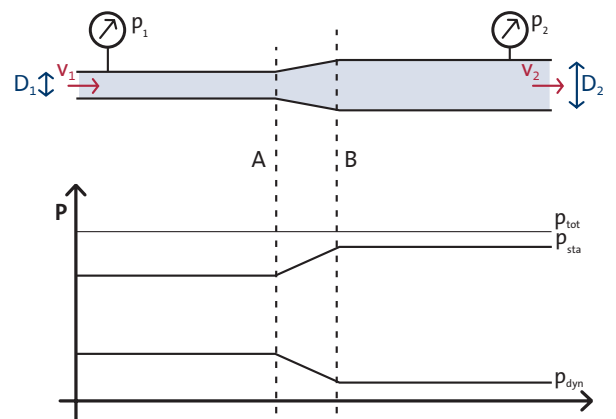


圖 2.2.3: 當液體速度降低，靜壓力將增大。該圖適用於摩擦損失很小的系統。



測量壓力

壓力單位有 Pa (N/m^2)、bar (10^5Pa) 或 PSI (lb/in^2)。當我們述及壓力時，知道壓力測量參考點是很重要的。壓力量測有兩種基本壓力：絕對壓力和表壓力。

絕對壓力 (P_{abs})

絕對壓力是指相對於絕對真空，0atm (即零壓力狀況下)，的壓力，通常在空蝕計算中使用絕對壓力值。

表壓

表壓通常也被稱為過壓(相對壓力)，通常是指高出正常大氣壓 (1 atm) 的壓力。一般以壓力 p 表示表壓，因為大多數感測器和壓力計測定的是系統與大氣之間的壓力差。本書中提到的壓力都是指表壓。

揚程 (H)

泵浦的揚程是指泵浦能將液體提升至多高。揚程的單位是米 (m)，與液體密度無關。以下的公式顯示的是壓力 (p) 和揚程 (H) 之間的關係：

$$H = \frac{p}{\rho \cdot g}$$

其中：

H是揚程，單位：[m]

P是壓力，單位：[Pa = N/m^2]

ρ 是液體密度，單位：[kg/m^3]

g 是重力加速度，單位：[m/s^2]

通常壓力 p 的量測單位是 [bar]，等於 10^5Pa 。當然也還有其他壓力單位，見圖 2.2.4。

圖 2.2.5 中顯示了壓力和揚程之間的關係，由同一泵浦傳送四種不同的液體。泵浦的揚程取決於液體的種類。如圖所示，輸送不同液體時的揚程不同，因此工作點也不同。

壓力單位轉換表						
	Pa	bar	atm*	at**	mH ₂ O	mmHg
1 Pa = 1 N/m ²	1	10 ⁻⁵	9.87 · 10 ⁻⁴	1.02 · 10 ⁻⁵	1.02 · 10 ⁻⁴	750 · 10 ⁻⁵
1 bar	10 ⁵	1	0.987	1.02	10.2	750
1 atm	1.013 · 10 ⁵	1.013	1	1.033	10.33	760
1 at = 1 kp/cm ²	0.981 · 10 ⁵	0.981	0.968	1	10	736
1 m H ₂ O	0.981 · 10 ⁴	0.0981	0.0968	0.1	1	73.6

*實際大氣壓

**理論大氣壓

圖 2.2.4: 壓力單位換算表

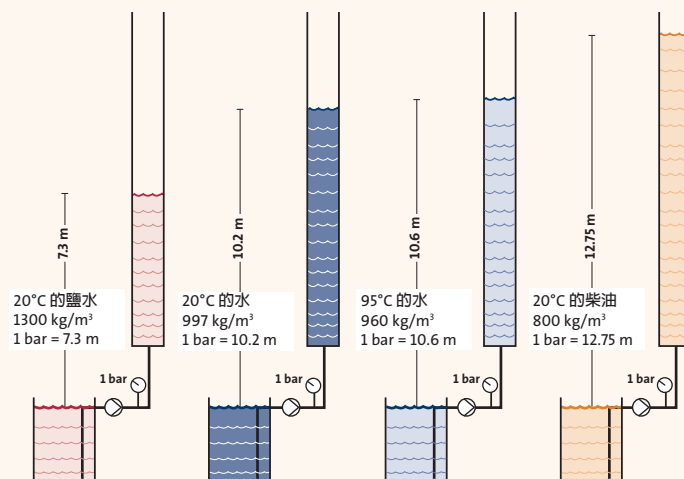


圖 2.2.5: 在泵浦排出端壓力為 1 bar 的情況下，泵送四種不同的液體導致四種不同的揚程 (m)，因而出現四個不同的工作點。

第 2.2 節

泵浦性能

如何計算揚程

如圖 2.2.6 所示，透過讀取泵浦法蘭上的壓力 P_2 、 P_1 ，將讀數轉化為揚程。如果兩個測量點之間有高度差，如圖 2.2.6 的情況，則須補償其差異。此外，如果兩個測量點的管徑不同，則實際揚程也必須校正。

實際泵浦揚程 H 的計算採用下列公式：

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + (h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g}$$

其中：

H 是實際泵浦揚程，單位：[m]

p 是法蘭處的壓力，單位：[Pa = N/m²]

ρ 是液體密度，單位：[kg/m³]

g 是重力加速度，單位：[m/s²]

h 是離地面高度，單位：[m]

v 是液體速度，單位：[m/s]

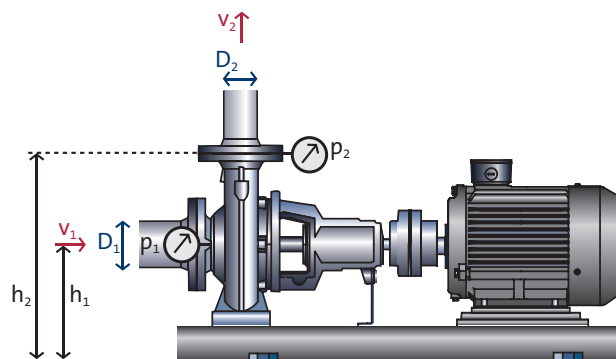


圖 2.2.6: 吸入端和排出端尺寸不同的標準端吸泵浦

液體速度 v 的計算採用下列公式：

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

其中：

v 是液體速度，單位：[m/s]

Q 是體積流量，單位：[m³/s]

D 是管徑，單位：[m]

將這兩個公式相結合時，揚程 H 取決於下列因素：

壓力測量值 P_1 和 P_2 、測量點之間的高度差 $(h_2 - h_1)$ 、流過泵浦的流量 Q 和兩個管徑 D_1 和 D_2 。

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + (h_2 - h_1) + \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{1}{D_2^4} - \frac{1}{D_1^4} \right)$$

管徑的不同造成動壓力不同，因此必須校正。除了以公式計算校正外，還可藉由讀取列線圖校正，參見附錄 F。

計算實例

一台與圖 2.2.7 所示相同類型的泵浦安裝在系統中，
系統資料如下：

$$Q = 240 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$p_1 = 0.5 \text{ bar}$$

$$p_2 = 1.1 \text{ bar}$$

液體: 20°C 的水

吸入端直徑 $D_1 = 150 \text{ mm}$

排出端直徑 $D_2 = 125 \text{ mm}$

安裝壓力計的兩個管埠之間的高差是 $h_2 - h_1 = 355 \text{ mm}$

我們現在可以計算泵浦的揚程：

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + (h_2 - h_1) + \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{1}{D_2^4} - \frac{1}{D_1^4} \right)$$

$$H = \frac{1.1 \cdot 10^5 - 0.5 \cdot 10^5}{998 \cdot 9.81} + (0.355) + \frac{8 \cdot \left(\frac{240}{3600} \right)^2}{9.81 \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{1}{0.125^4} - \frac{1}{0.150^4} \right)$$

$$H = 6.13 + 0.36 + 0.77 = 7.26 \text{ m}$$

如計算所示，壓力計所測壓力差比泵浦實際表現
低了 1.1 m。理由為：首先，壓力計之間的高差
(0.36 m) 引起一些偏差。其次，管徑的不同造成
0.77 m 的偏差。

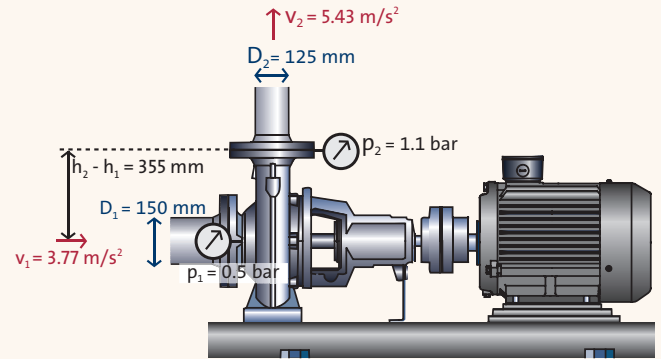


圖 2.2.7: 吸入端和排出端尺寸不同的標準端吸泵浦

第 2.2 節

泵浦性能

如果壓力計處於同一高程，或者測量採用的是差壓計，則無需補償高度差 (h_2-h_1)。對於線上型泵浦而言，入口和出口位於同一水平上，兩個管埠直徑也通常相同。對於這些類型的泵浦，可使用一簡化公式計算揚程：

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g}$$

壓差 (Δp)

壓差是在兩點之間所測壓力的壓力差，例如系統中閥門所帶來的壓力降。壓差的單位與壓力相同。

系統壓力

系統壓力是當泵浦沒有運轉時，系統中某一點的靜壓力。處理一個封閉系統時，考慮系統壓力是非常重要的。封閉系統最低點處的系統壓力 H_{sta} （單位：m）必須高於系統高度，以確保系統完全充滿液體，並能順利排氣。

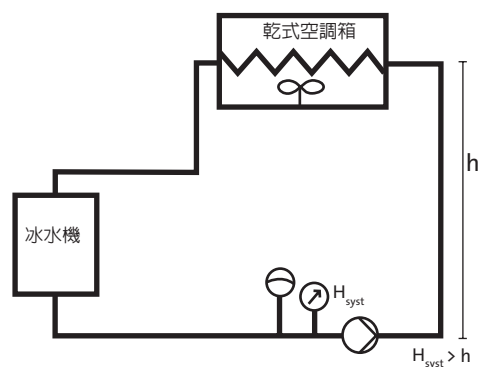


圖 2.2.8: 封閉系統內的系統壓力 H_{sta} 必須高於裝置的實際高度



空蝕和 NPSH

當壓力低於液體的蒸氣壓時，泵浦中的某些部分就會產生空蝕，見圖 2.2.9 和 2.2.10。

當吸入端壓力低於液體的蒸氣壓時（圖 2.2.10 中的黃點），會有小蒸氣泡形成。當壓力上升時（圖 2.2.10 中的紅點），這些氣泡會被擠破(內爆)，並釋放出衝擊波，結果葉輪可能被所釋放的能量損壞。葉輪的損壞率取決於材料的特性，不銹鋼比青銅的耐空蝕性強，青銅又比鑄鐵的耐空蝕性強，參見第 1.6.3 節。

空蝕會減小流量（Q）和揚程（H），導致泵浦性能降低，見圖 2.2.11。通常只有拆開泵浦時，才會發現空蝕所造成的損壞。此外，空蝕造成噪音和振動的增大，也可能進而損壞軸承、軸封和焊接構件。

空蝕風險的計算

為了避免空蝕，可使用下列公式計算最大吸入揚程：

$$h_{\max} = H_b - H_f - \text{NPSH} - H_v - H_s$$

$h_{\max}$ – 最大吸入揚程

H_b – 泵浦現場的大氣壓力，也是理論上最大的揚升高度，見圖 2.2.13

H_f – 吸入管的摩擦損失

NPSH = 淨正吸入揚程（可從 NPSH 曲線上最大運轉流量時的 H 值處讀取），見圖 2.2.12。

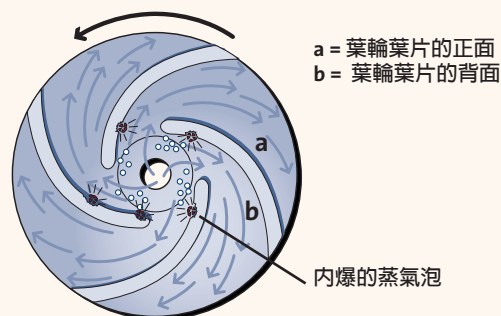


圖 : 2.2.9: 葉輪葉片背面上的蒸氣泡破裂

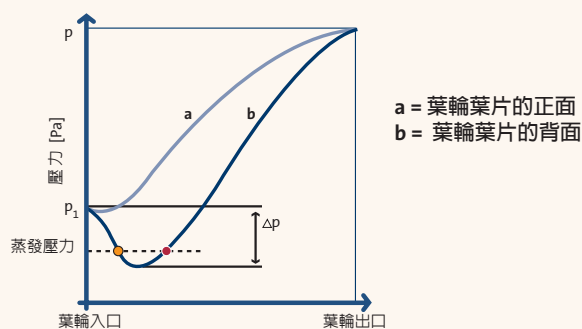


圖 : 2.2.10: 離心泵浦內部壓力的變化曲線

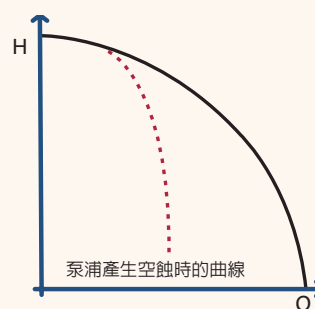


圖 : 2.2.11: 當泵浦發生空蝕時的泵浦

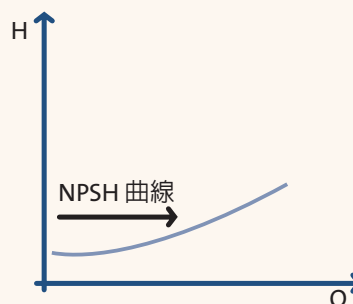


圖 : 2.2.12: NPSH-曲線

第 2.2 節
泵浦性能

NPSH值是代表該泵浦無法產生絕對真空的程度，絕對真空就是可在海平面處揚升 10.33m 的水柱，見圖 2.2.13。

NPSH可稱為 $NPSH_r$ （所需的）或 $NPSH_a$ （可提供的）。

$NPSH_{required}$ = 泵浦所需的吸入揚程
 $NPSH_{available}$ = 系統可以提供的吸入揚程

依 ISO9906 進行的試驗，可確定一台泵浦的 NPSH 值，步驟如下：降低吸入揚程，同時保持流量穩定；當泵浦進出壓差降低 3% 時，讀取泵浦吸入端的壓力，該讀數即為泵浦的 NPSH 值。以不同流量重複該試驗，並依據試驗結果形成 NPSH 曲線。

另一種說法是：當泵浦運轉達到 NPSH 曲線時，空蝕程度嚴重性將導致泵浦的揚程降低 3%。

H_v - 液體的蒸氣壓；如果您需要瞭解更多有關水蒸氣壓的資訊，請詳見附錄 D。

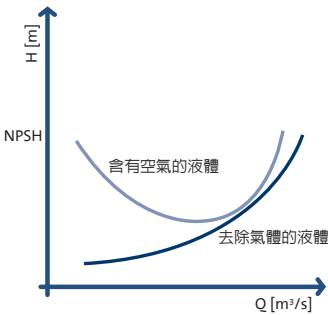
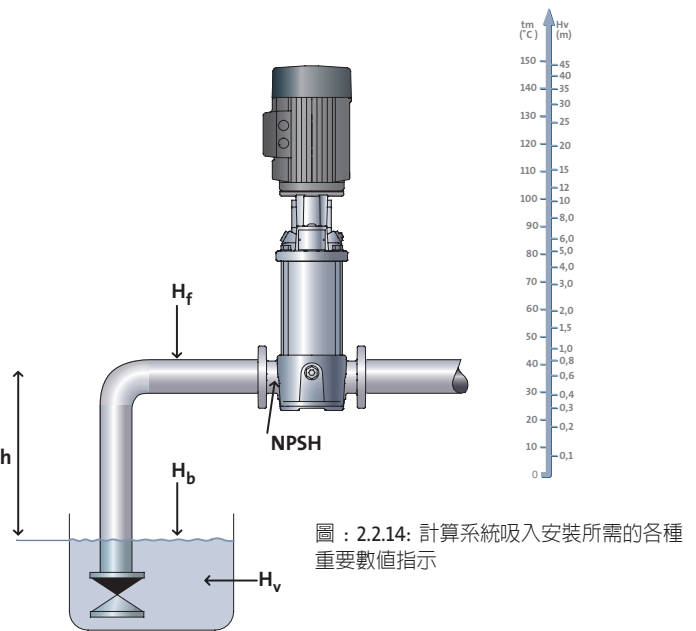
H_s - 安全係數。 H_s 取決於情況的不同，通常在 0.5 m 至 1 m 之間變化，含有氣體的液體可達到 2 m，見圖 2.2.15。

2.2.2 電氣條件

當您希望檢查一台泵浦的性能時，您需要瞭解一系列的數值。在本小節中，將提供最重要的電氣數值：功率消耗、電壓、電流和功率因數。

Height above sea level (m)	Barometric pressure p_b (bar)	Water column H_b (m)	Boiling point of water ($^{\circ}\text{C}$)
0	1.013	10.33	100
500	0.935	9.73	99
1000	0.899	9.16	96
2000	0.795	8.10	93

圖 : 2.2.13: 海平面的大氣壓力





功率消耗 (P)

泵浦組由幾個部件組成，見圖 2.2.16。各種部件的功率消耗的符號表示如下：

P_1 來自電源的輸入功率，意即消費者所需付費的功率總量。

P_2 泵浦的輸入功率或來自馬達的輸出功率（通常被稱作軸功率或軸馬力）。

P_H 水力功率—泵浦以流量和揚程的形式傳送給液體的功率。

對於大多數的泵浦來說，功率消耗通常是指 P_2 ，功率的單位是 W、kW。

效率 (η)

與泵浦相關的效率通常只包括泵浦部分的效率 η_P 。泵浦的效率由幾個因素決定，例如泵殼的外形、葉輪與導葉的設計及表面粗糙度。對於由泵浦和馬達組成的典型泵浦裝置，總效率 η_T 還包括馬達的效率：

$$\eta_P = \frac{P_H}{P_2} \quad \eta_M = \frac{P_2}{P_1} \quad \eta_T = \eta_P \cdot \eta_M$$

如果還包括一個變頻器，整個裝置的效率還將包含變頻器的效率：

$$\eta_T = \eta_P \cdot \eta_M \cdot \eta_{FC}$$

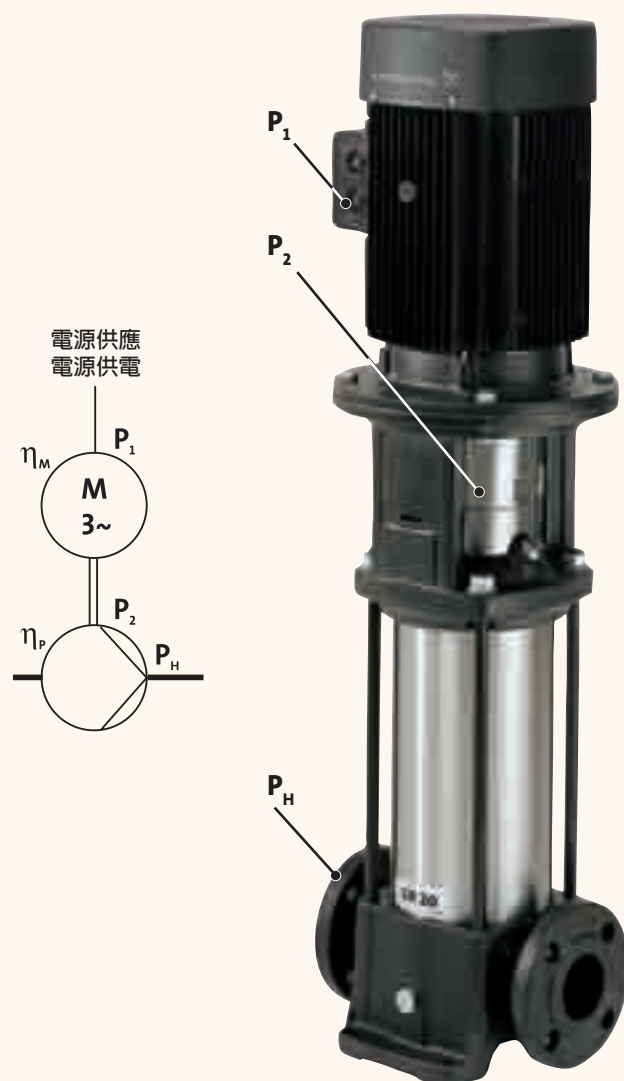


圖 2.2.16: 各種功率消耗的相關泵浦組對應點指示

第 2.2 節

泵浦性能

電壓 (U)

如同壓力驅動液體流過一個水力系統一般，電壓驅動電流 (I) 通過一個電路。電壓的單位是伏特 (V)，並且可以是直流電 (DC)，例如 1.5V 電池，或者交流電 (AC)，例如房屋的供電等。一般而言，泵浦採取 AC 供電。

AC 電源的設計各國不盡相同，但最普遍的設計是四線三相式 (L1, L2, L3) 附帶一根中性線 (N)。除了這四根電線以外，為保護系統還需要增加接地 (PE) 接點，見圖 2.2.17。

對於一個 3x400V/230V 的電源供應來說，任何兩相 (L1, L2, L3) 之間的電壓是 400V，任一相與中性線 (N) 之間的電壓是 230V。

相間電壓 (phase-phase voltage) 和相與中性線之間的電壓 (phase-neutral voltage) 比例關係，如右側公式所示。

電流 (I)

電流是電的流量，單位是安培 (A)。電路中電流的總量取決於供電電壓，以及電路的電阻。

功率 (P) 和功率因數 (cosφ 或 PF)

對於泵浦而言，功率消耗至關重要。對於附帶標準 AC 馬達的泵浦來說，藉由測量輸入電壓和輸入電流及讀取馬達／泵浦銘牌上的數值 cosφ，即可求得輸入功率。cosφ 是電壓與電流之間的相角，也被稱作功率因數 (PF)。根據馬達是單相或三相馬達，經由右側所示的公式，可計算出功率消耗。

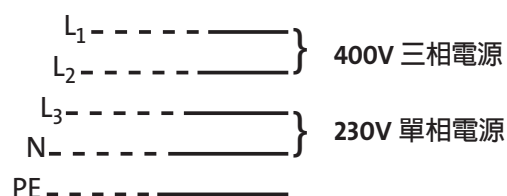


圖 2.2.17: 電源供應，例如：3 x 400 V

對於一個 3x400V/230V 電源供電而言，任意兩相 (L1、L2、L3) 之間的電壓為 400V。一個相與中性線 (N) 之間的電壓是 230V。相間電壓 (phase-phase voltage) 和相與中性線之間的電壓 (phase-neutral voltage) 的比例關係是：

$$U_{\text{Phase-Phase}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{Phase-Neutral}}$$

AC 單相馬達，例如：1 x 230 V

$$P_1 = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

AC 三相馬達，例如：3 x 400 V

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$$



2.2.3 液體特性

當您進行系統分析計算時，為了做出正確的計算，有三個關於液體的特性，您必須知道：液體溫度、密度和熱容。

液體溫度

液體溫度的單位是 $^{\circ}\text{C}$ （攝氏溫度）、K（開氏溫度）或 $^{\circ}\text{F}$ （華氏溫度）。實際上 $^{\circ}\text{C}$ 和 K 是相同的單位，只不過 0°C 是水的凝固點，而 0K 是絕對零度，即 $(-273.15^{\circ}\text{C})$ — 可能的最低溫度。華氏溫度和攝氏溫度之間的換算公式為： $^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \cdot 1.8 + 32$ ，因此水的凝固點為 0°C 和 32°F ，沸點為 100°C 和 212°F 。

液體密度 (ρ)

密度的單位是 kg/m^3 或 kg/dm^3 。

液體熱容 (c_p)

熱容是指當某種液體被加熱時，每重量單位被加入能量的多寡。液體熱容取決於溫度，見圖 2.2.18，用於能量輸送系統的分析應用，如空調、加熱、冷卻等。例如空調系統中使用的乙二醇與水的混合物，其熱容比純水低，因而要輸送同等能量時，就需要更大的流量。

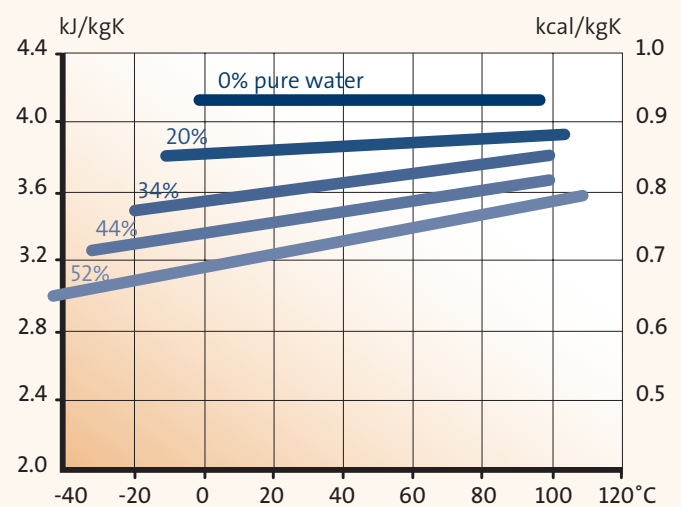


圖 2.2.18: 乙二醇的熱容溫度曲線圖

第三章 系統水力學

第3.1節 系統特性

3.1.1 單一阻抗

3.1.2 封閉式與開放式系統

第3.2節 泵浦串聯與並聯

3.2.1 泵浦並聯

3.2.2 泵浦串聯



第 3.1 節

系統特性

在前面的第 1.1.2 小節中，我們已經討論了泵浦性能曲線的一些基本特徵。在本章中，我們將檢驗不同操作條件下泵浦的性能曲線，以及一個典型系統特性。最後，我們將討論泵浦與系統之間的相互作用。

系統特性所描述的是系統中流量 Q 與揚程 H 之間的關係，主要取決於系統的類型。我們將系統分為兩種：封閉式系統與開放式系統。

• 封閉式系統

封閉式系統是如供熱系統或空調系統等循環系統，在這種系統中，泵浦必須克服管路、接頭及閥件等的摩擦損失。

• 開放式系統

開放式系統是如給水系統等液體泵送系統。在這種系統中，泵浦必須克服靜壓揚程和管路及元件的摩擦損失。

若在泵浦曲線的座標體系內繪出系統特性曲線，如圖 3.1.1 所示，兩條曲線的交點可定出泵浦的工作點。開放式系統和封閉式系統的阻力來自並聯或串聯安裝的元件（閥件、管路及熱交換器等），這些阻力影響著系統特性。因此在我們開始討論開放式系統和封閉式系統之前，我們將簡要介紹一下這些阻力如何影響系統特性。

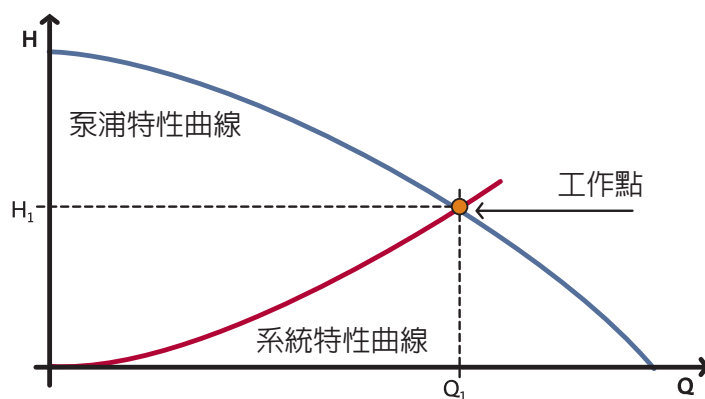


圖 3.1.1: 泵浦曲線和系統特性曲線的交叉點是泵浦的工作點



3.1.1 單一阻抗

系統中的每個元件都存在對液體流動的阻力，導致液體流經系統中的每個元件都會產生一個揚程損失。利用下列公式計算揚程損失 ΔH :

$$\Delta H = k \cdot Q^2$$

k 是一個常數，取決於系統上的元件； Q 是流經元件的流量。如公式所示，揚程損失與流量的平方成正比，因此如果降低系統中的流量，則揚程損失會顯著減少。

串聯阻抗

由若干元件串聯構成的系統總揚程損失是每個元件揚程損失的總和。圖 3.1.2 所示為由一個閥件和一個熱交換器組成的系統。如果我們不考慮這兩個元件之間管路內的揚程損失，則可經由將兩個揚程損失相加計算得到總揚程損失 ΔH_{tot} ：

$$\Delta H_{\text{tot}} = \Delta H_1 + \Delta H_2$$

此外，圖 3.1.2 則顯示了僅含有兩個元件的封閉式系統的系統曲線和工作點。如圖所示，將每個特定流量 Q 對應的揚程損失 ΔH 相加，即可得到總特性曲線。同樣的，該圖顯示系統阻力越大，總系統曲線就會越陡。

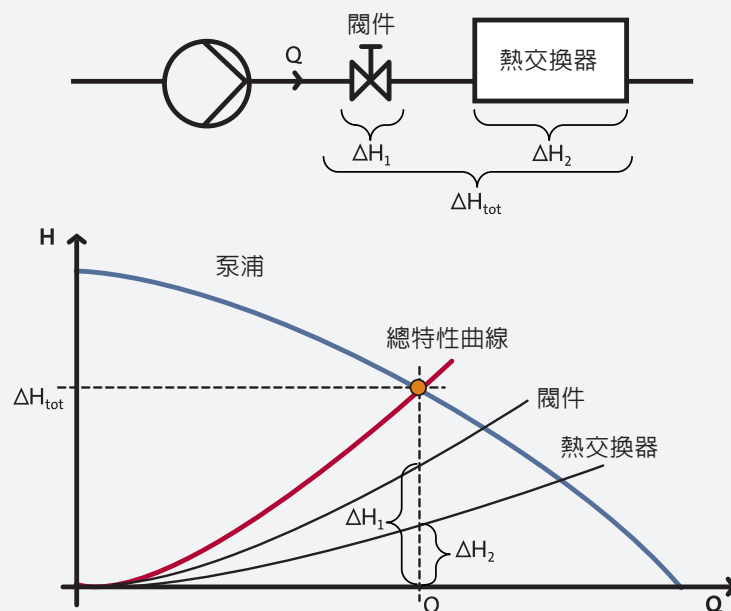


圖 3.1.2: 兩個串聯元件的總揚程損失是兩個元件揚程損失的總和

第 3.1 節

系統特性

並聯阻抗

與元件串聯相比，元件並聯導致系統特性更加扁平。原因是並聯安裝的元件降低了系統的總阻力，而減少了揚程損失。

並聯元件兩端的壓差永遠相同。可經由將特定 ΔH 時流經每個元件的流量相加，得到總系統特性曲線。圖 3.1.3 所示為一個閥件與一個熱交換器並聯的系統。

下列公式可計算出在相等於 ΔH 的揚程損失下，所對應的總流量。

$$Q_{\text{tot}} = Q_1 + Q_2$$

3.1.2 封閉式與開放式系統

如上所述，泵浦系統可分為兩種類基本型態：封閉式系統與開放式系統。在本節中，我們將探討這些系統的基本特性。

封閉式系統

典型的封閉式系統是在系統內部輸送熱能的系統，例如供熱系統、空調系統及製程冷卻系統等。這些封閉式系統的共同特徵為液體是循環的，並且是熱能的載體。事實上，系統輸送的是熱能。

封閉式系統的特徵是：在系統中的泵浦必須克服所有元件所產生的摩擦損失的總和。圖 3.1.4 所示為封閉式系統的示意圖，其中泵浦必須將水從加熱器經過控制閥，輸送至熱交換器。

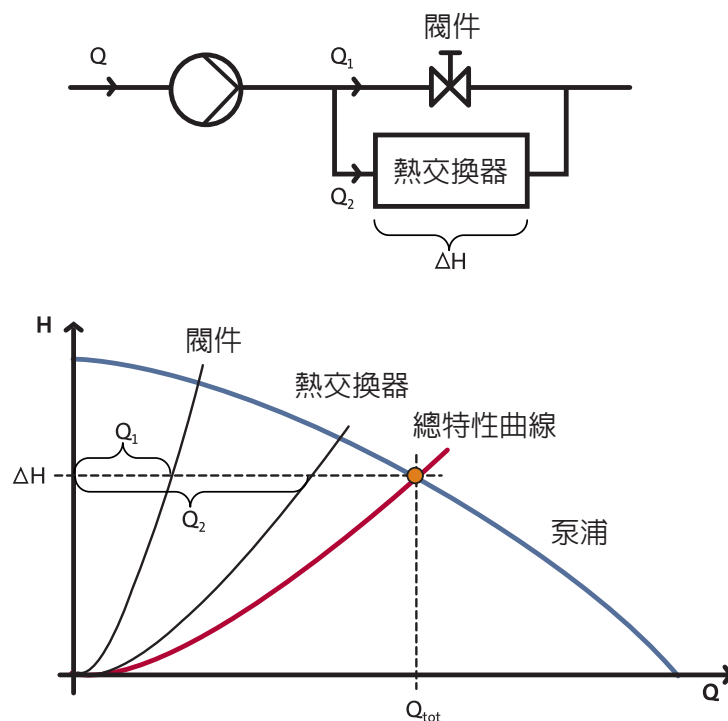


圖 3.1.3: 並聯元件減少了系統的阻力，並使得系統特性曲線更加扁平

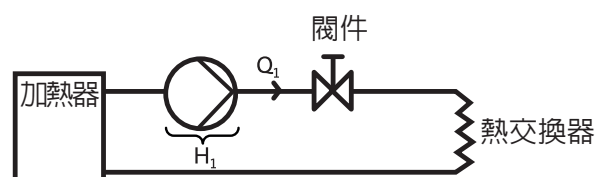


圖 3.1.4: 封閉式系統示意圖



所有這些元件連同管路和接頭，得知系統特性如圖 3.1.5 所示。封閉式系統內所需壓力，如系統曲線所示，是起始於 $(Q,H) = (0,0)$ 點的一條拋物線，並可由下列公式計算得出：

$$H = k \cdot Q^2$$

如公式和曲線所示，當流量降低時，壓力損失逼近於零。

開放式系統

開放式系統的特徵是：系統中以泵浦將液體從一點泵送至另一點，例如給水系統、灌溉系統、工業製程系統。在此系統中，泵浦必須克服液體的靜揚程及管路和系統元件內的摩擦損失。

我們需要區分兩種開放式系統：

- 所需淨高差為正值的開放式系統
- 所需淨高差為負值的開放式系統

正淨高差開放式系統

圖 3.1.6 顯示一個正淨高差開放式系統的典型例子。泵浦必須將水從地面上的一個中繼水箱輸送至建築物頂上的屋頂水箱。首先，泵浦所提供的揚程必須比水的淨高差 (h) 高。其次，泵浦必須提供足夠的揚程，以克服兩個水箱之間管路、接頭、閥件等的總摩擦損失 (H_f)。揚程損失取決於流量，見圖 3.1.7。

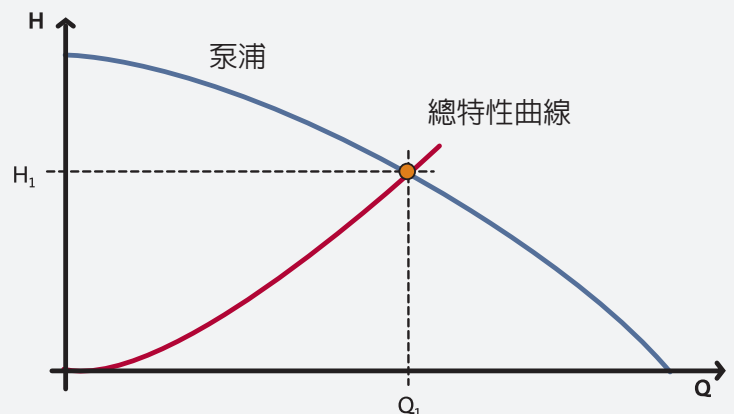


圖 3.1.5: 封閉式系統的特性曲線是一條始於點 $(0,0)$ 的拋物線

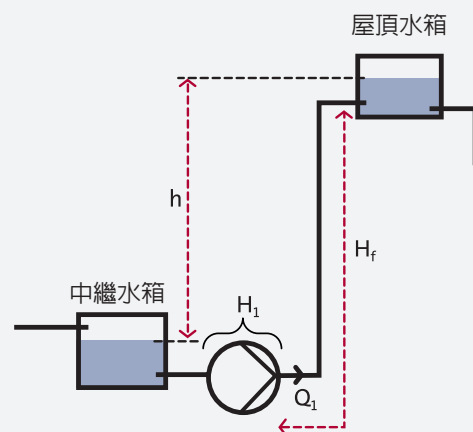


圖 3.1.6: 正淨高差開放式系統

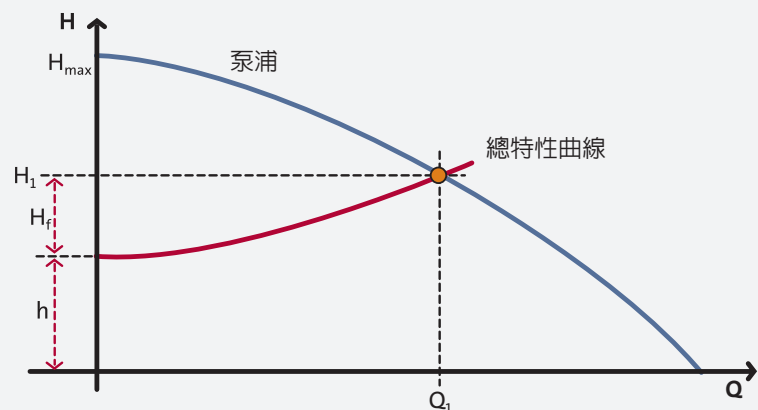


圖 3.1.7: 圖 3.1.6 開放式系統的系統特性與泵浦性能曲線

第 3.1 節 系統特性

該圖顯示，如果泵浦的最大揚程 (H_{max}) 低於淨高差 (h)，則在開放式系統內水無法流動。只有當 $H > h$ 時，水才可能開始從中繼水箱流至屋頂水箱。該系統曲線還顯示流量越小，摩擦損失 (H_f) 越小，泵浦的相應功率消耗也越少。

因此，流量 (Q_1) 和泵浦的大小必須符合特定系統的需求，這實際上是一個液體輸送系統的經驗法則：流量越大導致揚程損失越大，而流量越小，揚程損失也就越小，相應能耗越小。

負淨高差開放式系統

負淨高差開放式系統的一個典型例子是增壓 (booster) 系統，例如：給水系統內的增壓系統。來自水箱的靜揚程 (h) 將水輸送給消費者 — 雖然泵浦沒有運轉，但水仍可流動。水箱液位與出水口之間的液位高差 (h) 產生了 Q_0 大小的流量，但這不足以確保供應消費者所需的流量 (Q_1)。因此泵浦必須將揚程增大至 H_1 ，以彌補系統內的摩擦損失 (H_f)。圖 3.1.8 顯示該系統，並且在圖 3.1.9 中顯示系統特性和泵浦性能曲線。

總系統特性是一條始於 H 軸上的點 (0,-h) 的拋物線。

系統內的流量取決於水箱內的液位。如果降低水箱內的液位，液位高差 (h) 也隨之減小，並導致系統特性的改變，而使系統內的流量減小，見圖 3.1.9。

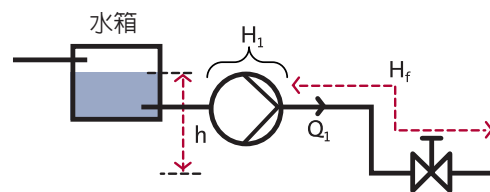


圖 3.1.8: 負淨高差開放式系統

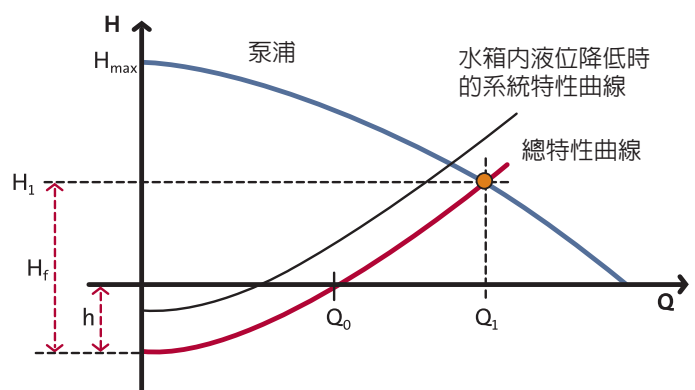


圖 3.1.9: 圖 3.1.8 開放式系統的系統特性與泵浦性能曲線

第 3.2 節

泵浦的串聯與並聯



為了擴展系統內泵浦的總體性能，通常會串聯或並聯多台泵浦。本節中，我們將著重講述這兩種連接方式。

3.2.1 泵浦並聯

採用泵浦並聯的情況通常是：

- 所需流量大於單台泵浦所能提供的流量。
- 系統的流量要求可變，並且經由開關並聯泵浦可滿足這些要求。

並聯的泵浦通常屬於相同的類型和大小，但有時也可以並聯大小不同的泵浦，或以一台或多台泵浦採用轉速控制，並因此具有不同的性能曲線。

為了避免停止運轉的泵浦內的旁路循環，每台泵浦皆串聯安裝一個逆止閥。多台泵浦並聯組成的系統總性能曲線，是將泵浦在特定揚程下的流量相加而決定。

圖 3.2.1 所示為具有兩台相同泵浦並聯的系統。系統的總性能曲線皆串聯是將各揚程（兩台泵浦的揚程相等， $H_1=H_2$ ）所對應的 Q_1 與 Q_2 相加而決定。由於泵浦相同，每一泵浦曲線具有相同的最大揚程 $H_{\max}$ ，但是總體最大流量 $Q_{\max}$ 則變為單台泵浦的兩倍。每個揚程對應的流量是單台泵浦運行流量的兩倍：

$$Q = Q_1 + Q_2 = 2 Q_1 = 2 Q_2$$

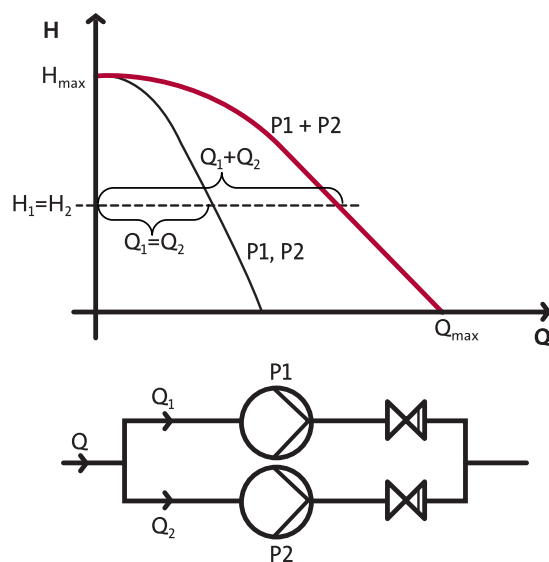


圖 3.2.1: 具有相同性能曲線的兩台泵浦並聯

第 3.2 節

泵浦的串聯與並聯

圖 3.2.2 所示為兩台不同大小的泵浦並聯。將特定揚程 $H_1=H_2$ 所對應的 Q_1 和 Q_2 相加，即得到總性能曲線。圖 3.2.2 的標示區顯示 P_1 是唯一能在此特定區內供水的泵浦，因為最大揚程高於 P_2 。

變速泵浦並聯

當流量需求變化時，為了獲得高效的泵浦性能，將泵浦並聯與變速泵浦相結合是非常有效的方法。該方法常用於給水加壓系統。在第 4 章中，我們將詳細討論變速泵浦。

由兩台具有相同性能曲線的變速泵浦組成的泵送系統具有較寬的性能範圍，見圖 3.2.3。所需水量 Q_1 以下可以單台泵浦性能覆蓋。水量 Q_1 以上區域，必須運行兩台泵浦才能滿足性能要求。如果兩台泵浦以相同的較低轉速運行，則總泵浦曲線就成為圖 3.2.3 所示的橘色曲線。

請注意： Q_1 的工作點是單台泵浦全速運行時的工作點。然而，當兩台泵浦減速運行時，也可獲得該工作點。圖 3.2.4 顯示了此種情況（橘色曲線）。該圖還比較了兩種效率情況；單台泵浦全速運行時的工作點導致泵浦效率較低，這是因為工作點遠離泵浦曲線的高效率區。兩台泵浦減速運行時，運轉總效率明顯提高，雖然泵浦減速運行時效率曲線之最大效率略有降低。

即使單台泵浦便能維持所需的流量和揚程，然而基於效率和能耗的考慮，有時須同時使用兩台泵浦；選擇單台泵浦運行或兩台泵浦運行，須取決於實際的系統特性和泵浦類型而定。

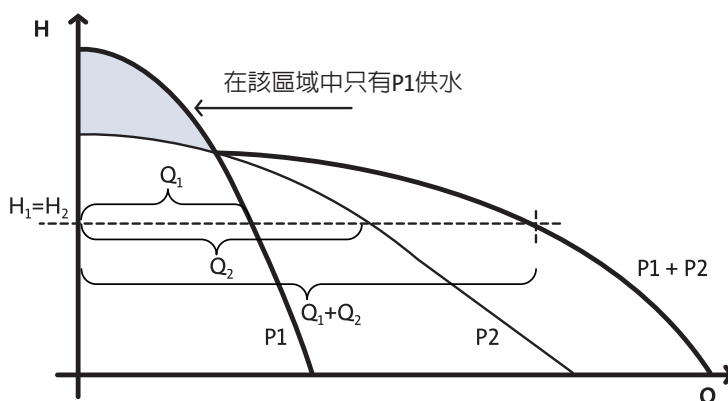


圖 3.2.2: 並聯兩台不同性能曲線的泵浦

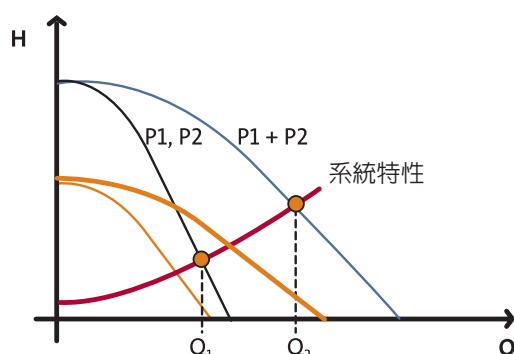


圖 3.2.3: 兩台相同大小的變速泵浦並聯，橘色曲線顯示減速運行的性能

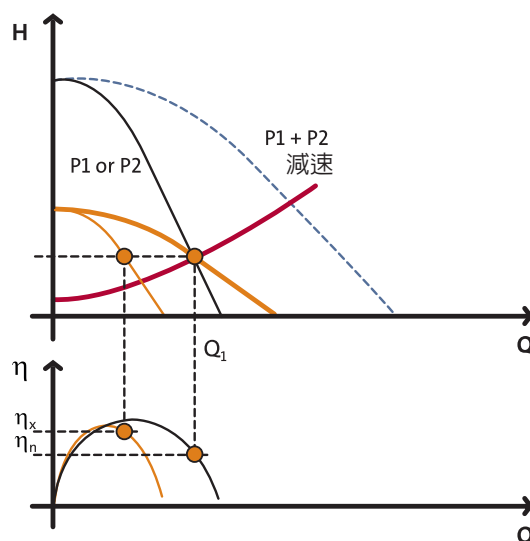


圖 3.2.4: 單台泵浦全速運行與兩台泵浦減速運行的比較。本例中，兩台泵浦減速運行的總效率較高。



3.2.2. 泵浦串聯

通常在高壓系統中採取泵浦串聯。這和多段泵浦的原理相似，即一段等於一台泵浦。圖 3.2.5 所示為兩台相同泵浦串聯的性能曲線。藉由在座標系中標出每個流量值的兩倍揚程，即可得到總性能曲線。這使得曲線具有兩倍的最大揚程 ($2 \cdot H_{\max}$)，以及與單台泵浦相同的最大流量 ($Q_{\max}$)。

圖 3.2.6 所示為兩台不同大小的泵浦串聯。將特定相同流量 $Q_1=Q_2$ 處的 H_1 和 H_2 相加，即可得到總性能曲線。

圖 3.2.6 中的標示區域表示 P2 是唯一能在此特定區域供水的泵浦，因為最大流量大於 P1。

如第 3.2.1 節所述，不同的泵浦可由大小不同的泵浦組成，也可以是一台或多台變速泵浦的組合。需要恆定高壓的系統中，常採用一台恆速泵浦與一台變速泵浦串聯的組合。恆速泵浦提供液體給變速泵浦，而變速泵浦的輸出由一個壓力傳送器 (pressure transmitter) PT 控制，見圖 3.2.7。

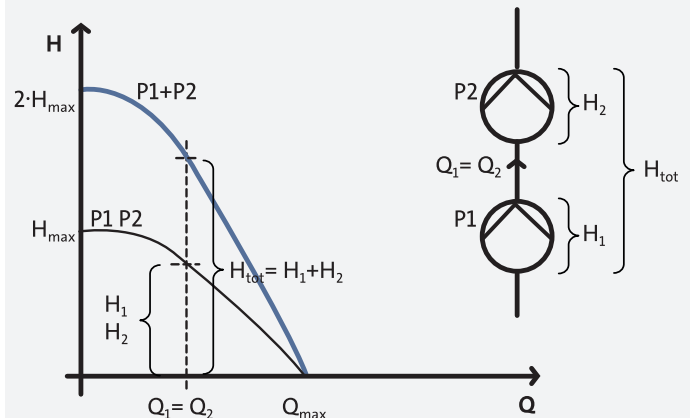


圖 3.2.5: 兩台大小相等的泵浦串聯

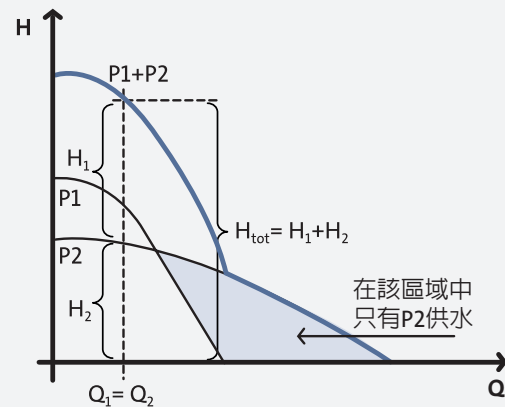


圖 3.2.6: 兩台大小不等的泵浦串聯

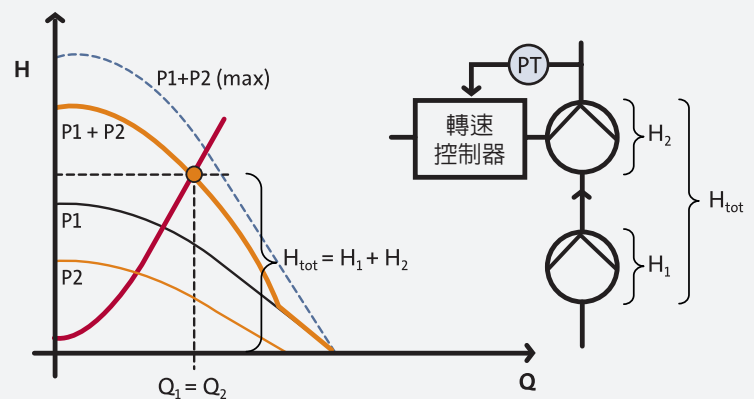


圖 3.2.7: 相同大小的恆速泵浦與變速泵浦串聯。一個壓力傳送器 PT 與一個轉速控制器共同確保 P2 的出口壓力恆定。



第4.1節：調節泵浦性能

- 4.1.1 節流控制
- 4.1.2 旁路控制
- 4.1.3 修改葉輪直徑
- 4.1.4 轉速控制
- 4.1.5 調節方法的比較
- 4.1.6 泵浦系統的整體效率
- 4.1.7 實例：流量減小20%時的相應功率消耗

第4.2節：變速泵浦解決方案

- 4.2.1 恆壓控制
- 4.2.2 恆溫控制
- 4.2.3 循環系統的定壓差
- 4.2.4 流量補償壓差控制

第4.3節：轉速控制的優點

第4.4節：泵浦內建變頻器的優點

- 4.4.1 變速泵浦的性能曲線
- 4.4.2 不同系統中的變速泵浦

第4.5節：變頻器

- 4.5.1 基本功能及特性
- 4.5.2 變頻器的元件
- 4.5.3 關於變頻器的特殊條件

第 4.1 節

調節泵浦性能

一特定應用選擇泵浦時，必須選擇工作點在高效率區域內的泵浦，否則泵浦的功率消耗會偏高——見圖 4.1.1。

然而，有時不一定能選擇到工作點最合適的泵浦，因為系統的需求不同或系統曲線會隨時間而改變。

因此有必要調節泵浦性能，以滿足改變後的需要。

改變泵浦性能最常用的方法有：

- 節流控制
- 旁路控制
- 修改葉輪直徑
- 轉速控制

選擇調節泵浦性能的方法是根據對泵浦的初始投資和操作成本的評估。除了修改葉輪直徑的方法外，所有其他的方法都可以在操作時持續進行。通常會為系統選擇刻意加大的泵浦，因此必須限制其性能——主要是流量，在某些應用中也包括最大揚程。

以下的篇幅中，我們將具體介紹這四種調節方法。

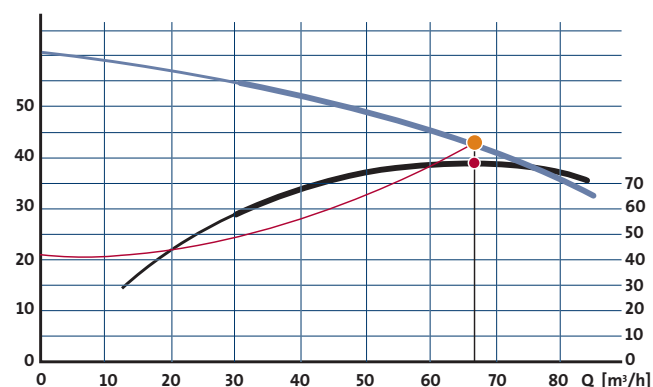


圖 4.1.1: 當選擇一台泵浦時，必須選擇工作點在高效率區域內的泵浦。

4.1.1 節流控制

節流閥與泵浦串聯，使其可以調節工作點。節流導致流量的減小，見圖 4.1.2。節流閥增大了系統的阻力，並將系統曲線向上提高。不安裝節流閥，流量為 Q_2 。若節流閥與泵浦串聯，流量減為 Q_1 。節流閥可用於限制最大流量。加入閥件後，可限制系統內的最大可能流量。在本例中，即便系統曲線完全變平（即系統內完全沒有阻力），流量也永遠不會大於 Q_3 。當以節流的方法調節泵浦性能時，泵浦必須提供比該系統所需揚程更高的揚程。

$$H_p = H_s + H_v$$

如果泵浦和節流閥以較小的泵浦替代，泵浦將可以滿足所需的流量 Q_1 ，但泵浦的所須揚程變低，並且相應的功率消耗變小，見圖 4.1.2。

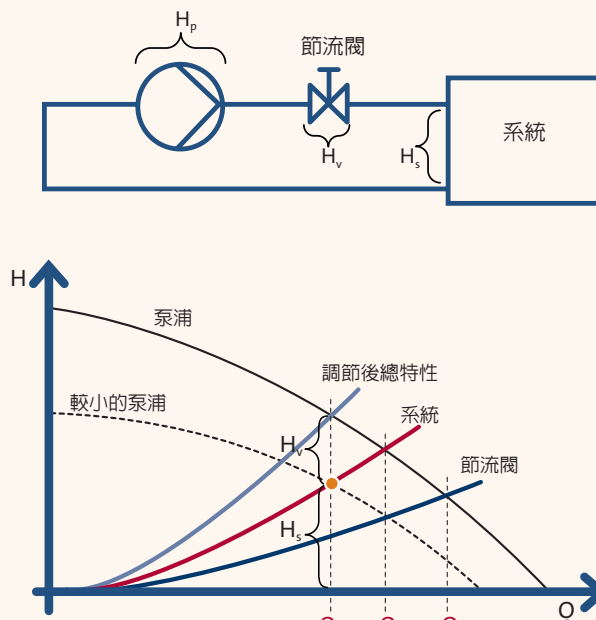


圖 4.1.2: 節流閥增大了系統內的阻力，因而減小流量

4.1.2 旁路控制

除了和泵浦串聯一個閥件的方法外，也可以跨越泵浦安裝一個旁通閥調節泵浦性能，見圖 4.1.3。與節流閥相比，安裝旁通閥將造成泵浦內的某種最小流量 Q_{BP} ，而與系統特性無關。流量 Q_p 是系統流量 Q_s 與旁通閥內流量 Q_{BP} 的總和。

$$Q_p = Q_s + Q_{BP}$$

旁通閥將引進系統揚程的最高限度 H_{max} ，見圖 4.1.3。甚至當系統所需流量為零時，泵浦也不會運行在關閉閥件的狀況。相同於節流閥的情況，也可以用一台較小的泵浦滿足所需流量 Q_s ，而無需旁通閥，其結果為流量減小，並且降低耗能。

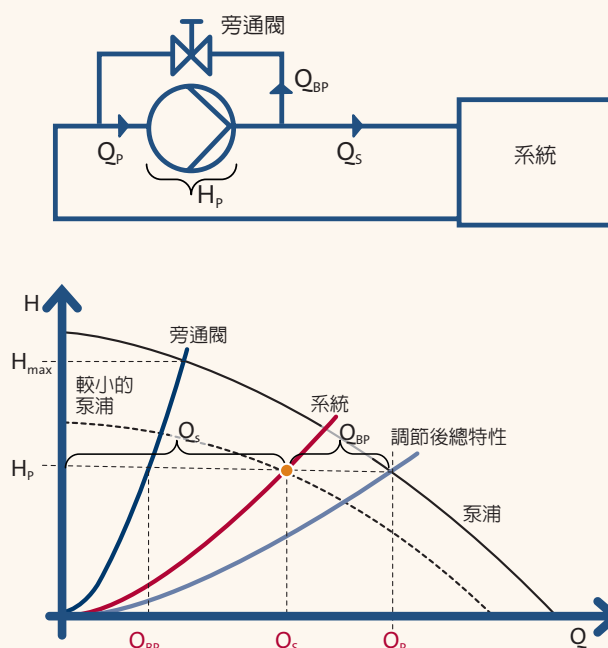


圖 4.1.3: 旁通閥將迴流部分泵浦的出流量，因而減少系統內的流量

第 4.1 節

調節泵浦性能

4.1.3 修改葉輪直徑

調節離心泵浦的另一個方法是修改泵浦的葉輪直徑，意即減小直徑，也因而降低泵浦的性能。當泵浦運行時，顯然無法減小葉輪直徑。與可以在操作時進行的節流和旁路的方法相比，修改葉輪直徑必須在安裝泵浦或泵浦投入使用之前完成。下列公式顯示修改葉輪直徑和泵浦性能之間的關係：

$$\frac{Q_n}{Q_x} = \left(\frac{D_n}{D_x}\right)^2; \frac{H_n}{H_x} = \left(\frac{D_n}{D_x}\right)^2; \frac{P_n}{P_x} = \left(\frac{D_n}{D_x}\right)^4; \frac{\eta_n}{\eta_x} = 1$$

請注意：這些公式是理想泵浦的狀況。事實上，當減小葉輪直徑時，泵浦的效率也隨之降低。對於葉輪直徑的小量改變 $D_x > 0.8 \cdot D_n$ ，效率僅減小幾個百分點。效率降低的程度取決於泵浦的類型和工作點（詳情請查閱特定的泵浦曲線）而定。

如公式所示，流量與揚程以相同比率變化，也就是葉輪直徑變化的二次方改變。遵循這些公式的工作點處於一條始於 (0,0) 的直線之上；功率消耗的變化則是依葉輪直徑變化的四次方改變。

4.1.4 轉速控制

本節中，我們將介紹控制泵浦性能的最後一種方法——轉速控制法。藉由變頻器所進行的轉速控制，無疑是調節泵浦性能滿足流量變化要求的最有效方法。

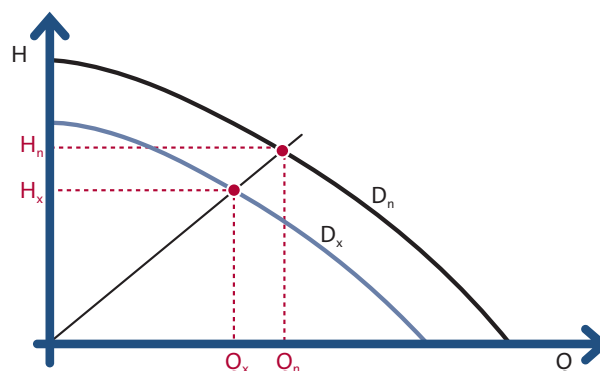
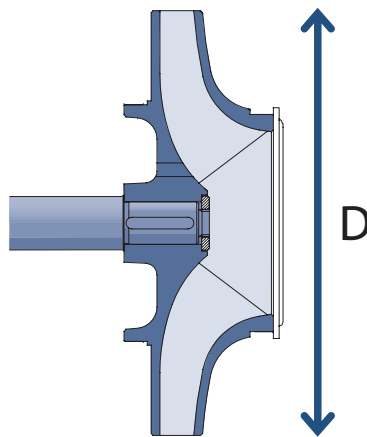


圖 4.1.4: 修減葉輪直徑後泵浦性能的變化

下列公式可相當準確地評估離心泵浦的轉速變化會如何影響泵浦的性能：

$$\frac{Q_n}{Q_x} = \frac{n_n}{n_x}; \quad \frac{H_n}{H_x} = \left(\frac{n_n}{n_x}\right)^2; \quad \frac{P_n}{P_x} = \left(\frac{n_n}{n_x}\right)^3; \quad \frac{\eta_n}{\eta_x} = 1$$

只要系統特性對 n_n 和 n_x 保持不變，並且形成一條經過 (0,0) 的拋物線 (參見第 3.1.1 節)，就可以適用於相似定律 (arrinity laws)。此外，由方程式得知，調節泵浦的轉速，其效率近似相同。

圖4.1.5內的公式表明泵浦流量 (Q) 與泵浦轉速 (n) 成正比。揚程 (H) 與轉速 (n) 的平方成正比，而功率 (P) 與轉速的三次方成正比。事實顯示，轉速的減慢會造成效率的些微下降。下列公式可估算減速 (n_x) 時的效率，該公式適用於轉速減小至最大轉速的 50%：

$$\eta_x = 1 - \left(1 - \eta_n\right) \cdot \left(\frac{n_n}{n_x}\right)^{0.1}$$

最後，如果需要精確地知道藉由減小泵浦轉速可節省多少功率，則必須將變頻器和馬達的效率列入考慮。

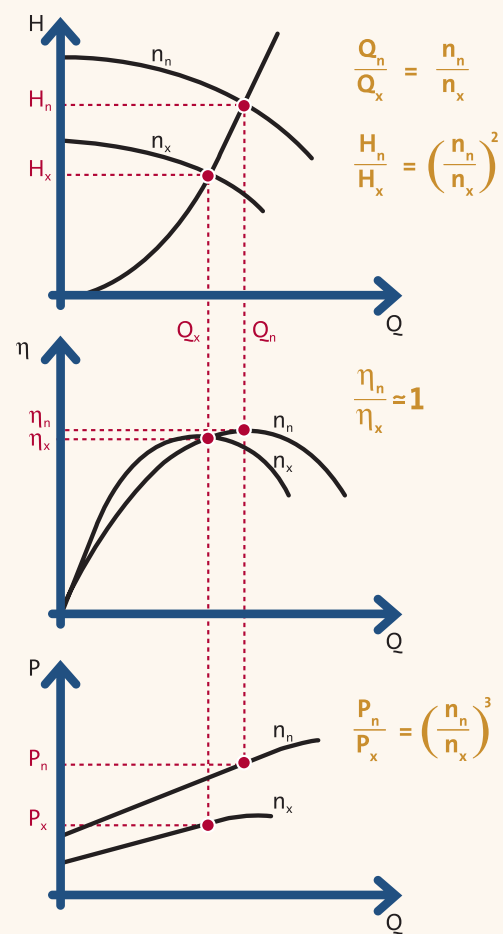


圖 4.1.5: 相似定律的系統性能

第 4.1 節 調節泵浦性能

4.1.5 調節方法的比較

我們已經瞭解了改變離心泵浦性能的四種不同方法，現在我們將進一步探討它們相互之間有什麼不同。當我們將泵浦及其性能改變裝置作為整體考量時，可觀察到該裝置的總 Q_H 特徵，並比較不同系統的結果。

節流控制

節流方法意味著一個閥件與一台泵浦串聯相接，見圖 4.1.6a。該連接的結果是形成一台最大揚程不變，但流量性能減小的新泵浦。圖 4.1.6b 所示為泵浦曲線 H_n 、閥件曲線及整個系統曲線 H_x 。

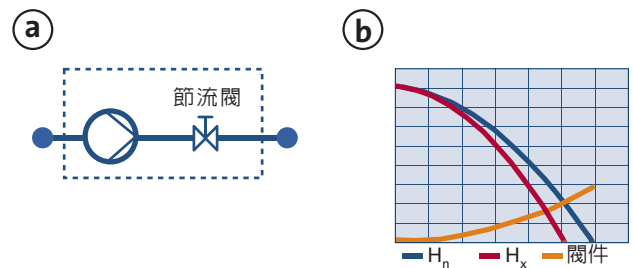


圖 4.1.6: 節流閥與泵浦串聯相接

旁路控制

當泵浦跨接一個閥件時，如圖 4.1.7a 所示，該連接導致形成一台最大揚程減小，且具有 Q_H 曲線特徵改變的新泵浦。該曲線呈現近似線性而不是原來二次曲線，見圖 4.1.7b。

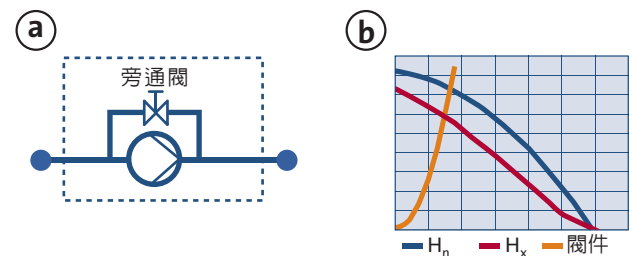


圖 4.1.7: 旁通閥跨接泵浦

修改葉輪直徑

減小葉輪直徑的方法意味著無須其他的額外元件。圖 4.1.8 所示為減小的 Q_H 曲線 (H_x)，以及原有曲線特性 (H_n)。

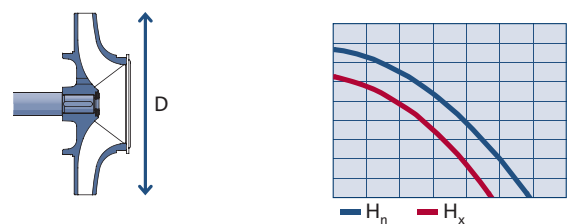


圖 4.1.8: 修改葉輪直徑

轉速控制

轉速控制方法（圖 4.1.9）導致形成一條揚程和流量減小的新 Q_H 曲線。曲線的特性保持不變，但當轉速減小時曲線變得更平，這是因為揚程減小的程度比流量大。

不同於其他方法，轉速控制還可以提高轉速以超越泵浦的額定轉速，擴展泵浦的性能範圍到額定的 Q_H 曲線以上，見圖 4.1.9 中的 H_y 曲線。如果採用這種超速運轉，必須考慮到馬達所匹配的馬力大小。

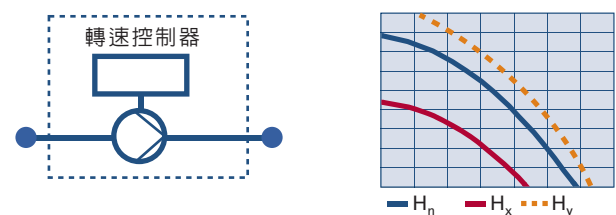


圖 4.1.9: 與泵浦相連的轉速控制器



4.1.6 泵浦系統的整體效率

節流法和旁路法都會引起閥件內的水馬力損失 ($P_{loss} = kQH$)，而降低泵送系統的整體效率。在 $D_x/D_n > 0.8$ 的範圍內減小葉輪直徑對泵浦效率的影響不大，因此該方法對系統的整體效率並無負面影響。

只要轉速的減小不低於額定轉速的 50%，變速泵浦的效率只會受到極有限的影響。稍後，我們將發現效率只減小幾個百分點，並且對轉速控制解決方案的整體運行經濟性不會產生負面影響。

4.1.7 實例： 流量減小 20% 時的相應功率消耗

在一個特定的實例中，流量必須從 $Q=60 \text{ m}^3/\text{h}$ 減至 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 。將原起始點 ($Q=60 \text{ m}^3/\text{h}$ 及 $H=70 \text{ m}$) 對泵浦的輸入功率設為 100 % 作為比較，選擇不同的性能調節方法，功率消耗的減小也不相同。現在，讓我們來看一看每一種性能調節方法如何影響功率消耗。

第 4.1 節

調節泵浦性能

節流控制

當流量下降時，功率消耗減小至大約 94%。節流導致揚程增大，見圖 4.1.10。但對某些泵浦而言，最大功率消耗時的流量比最大流量小些，因此功率消耗將由於節流而增大。

旁路控制

為了減小系統內的流量，閥件必須將泵浦的揚程降低至 55 m；這只能經由增大泵浦內的流量加以實現。如圖 4.1.11 所示，流量增大至 81 m³/h，導致功率消耗比原先增大了 10%。增加的程度取決於泵浦類型和工作點，因此在有些情況下， P_2 完全沒有增大，並且在極少數的情況下， P_2 可能還會減小一些。

修改葉輪直徑

當減小葉輪直徑時，泵浦的流量和揚程均減小。如果流量減小 20%，功率消耗將減小至原來的 67% 左右，見圖 4.1.12。

轉速控制

當控制泵浦的轉速時，流量和揚程均減小，見圖 4.1.13，結果功率消耗減小至原來的約 65%。若需維持最佳效率，修改葉輪直徑或調整泵浦的轉速最適用於減低系統內的流量。若泵浦必須在一個固定的改變後的工作點上運行時，修改葉輪直徑是最佳的解決方案。然而在處理流量需求不斷變化的配置時，變速泵浦是最佳的解決方案。

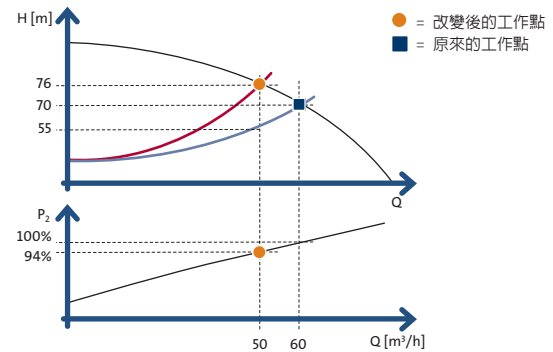


圖 4.1.10: 相對功率消耗——節流控制

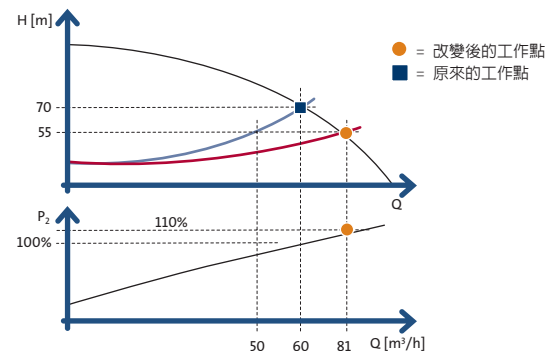


圖 4.1.11: 相對功率消耗——旁路控制

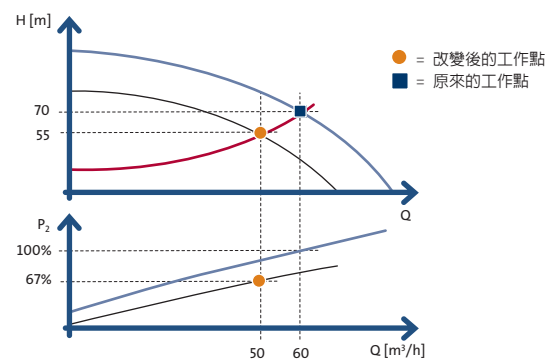


圖 4.1.12: 相對功率消耗——修改葉輪直徑

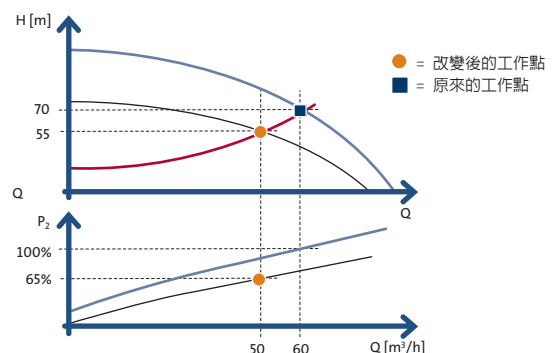


圖 4.1.13: 相對功率消耗——轉速控制

總結

圖 4.1.14 概括了上述各節的不同調節方法。每種方法都有其優缺點，當為一個系統選擇調節方法時，必須詳加考慮。

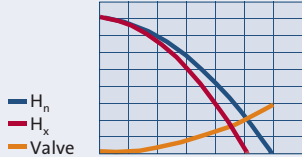
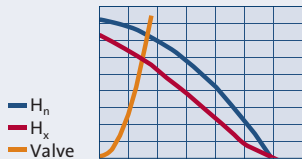
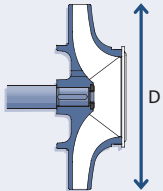
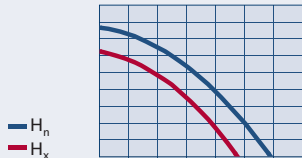
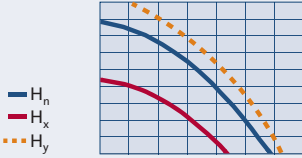
方法	是否可連續調節	總性能曲線的變化	泵浦系統的整體效率	流量減小20%所對應的功率消耗
節流控制 	是	Q 減小 	顯著減小	94%
旁路控制 	是	H 減小且曲線發生變化 	顯著減小	110%
修改葉輪直徑 	否	Q 和 H 減小 	略有減小	67%
轉速控制 	是	Q 和 H 減小 	略有減小	65%

圖 4.1.14: 不同調節方法的特性

第 4.2 節

變速泵浦解決方案

如上節所述，控制泵浦的轉速是一種調節泵浦在系統中性能的有效方法。在本節中，我們將討論將變速泵浦與比例積分控制器及量測系統參數（例如壓力、壓差和溫度）的感測器相結合的可能性。在以下的篇幅中，將透過例子說明各種選擇方案。

4.2.1 恆壓控制

泵浦必須將來自中繼水箱的自來水供應給建築物內的各個水龍頭。

自來水的需求量不斷變化，因此系統特性亦隨著所需流量而改變。基於舒適和節能的考慮，建議採用恆壓供水。

如圖 4.2.1 所示，解決方案是附加比例積分 (PI) 控制器的變速泵浦。比例積分控制器比較所需壓力 p_{set} 與由一個壓力傳送器 PT 測得之實際供給壓力 p_1 。如果實際壓力比設定值高，比例積分控制器將減小泵浦的轉速，並進而降低其性能，直至 $p_1 = p_{\text{set}}$ 。圖 4.2.1 顯示，當流量從 Q_{max} 減至 Q_1 時會發生什麼結果。該控制器負責使泵浦的轉速從 n_n 減小至 n_x ，以確保所需供水壓力 $p_1 = p_{\text{set}}$ 。泵浦安裝應確保在 $0 \sim Q_{\text{max}}$ 的流量範圍內供應壓力恆定：供水壓力與中繼水箱內的液位 (h) 無關。如果 h 有變化，則比例積分控制器將調節泵浦的轉速，使得 p_1 維持在設定值。

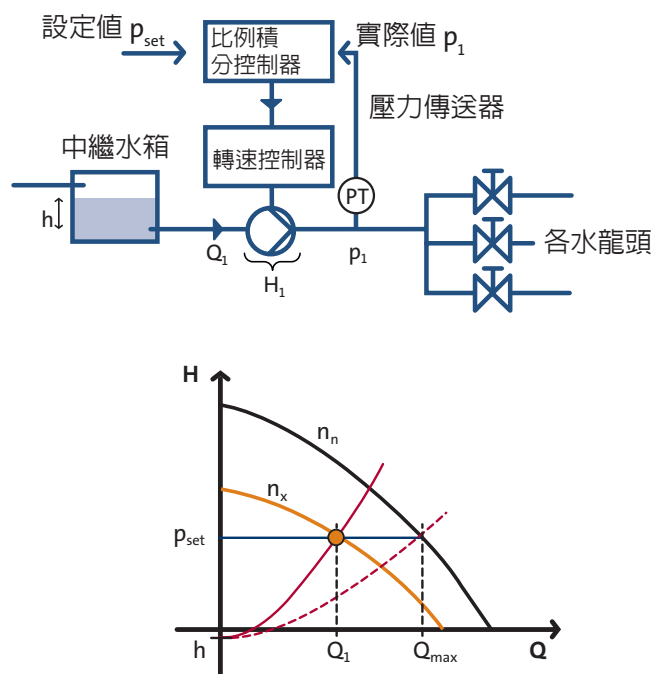


圖 4.2.1: 配備變速泵浦提供恆壓的供水系統

4.2.2 恆溫控制

以轉速控制調節性能適用於許多工業應用。圖 4.2.2 所示為帶有一台射出成型機的系統，該射出成型機必須用水冷卻，以確保產品品質。

該機器採用來自冷卻裝置的 15°C 水冷卻。為了確保射出成型機正常運行並得到充分冷卻，回水管溫度必須保持在恆定的水準 $t_r = 20^{\circ}\text{C}$ 。解決方案是採用比例積分控制器控制的變速泵浦，比例積分控制器將所需溫度 t_{set} 與實際由溫度信號傳送器 TT 測量而得之回水管溫度 t_r 比較。該系統具有固定的系統特性，因此泵浦的工作點位於 $Q_{\min}$ 和 $Q_{\max}$ 之間的曲線上。機器的熱量損失越高，冷卻水流量就越大，以確保回水管溫度維持在 20°C 的恆定水準。

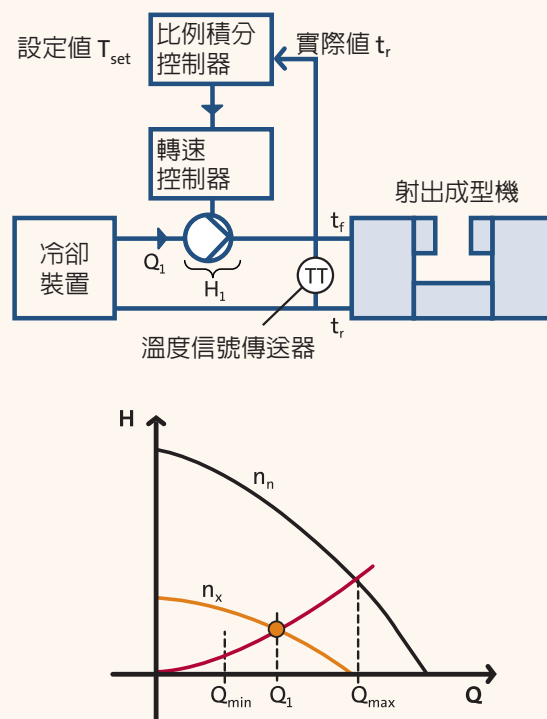


圖 4.2.2: 確保恆定回水管溫度控制循環泵浦的射出成型機系統

4.2.3 循環系統的定壓差

封閉式循環系統，見第3章，最適合用於變速泵浦解決方案。在具有變化系統特性的循環系統中，安裝壓差控制循環泵浦非常有用，見圖 4.2.3。該圖顯示由熱交換器構成的供熱系統，在該熱交換器中循環水被加熱，並由一台變速泵浦輸送至三個熱消耗裝置，例如散熱器 (radiators)。每個消耗裝置都串聯著控制閥，根據熱需求量調節流量。泵浦的調節控制係依據泵浦兩端之間的恆定壓差，這意味著泵浦系統在 $0 \sim Q_{\max}$ 的流量範圍內提供恆定壓差，在圖 4.2.3 中標示為一條水平線。

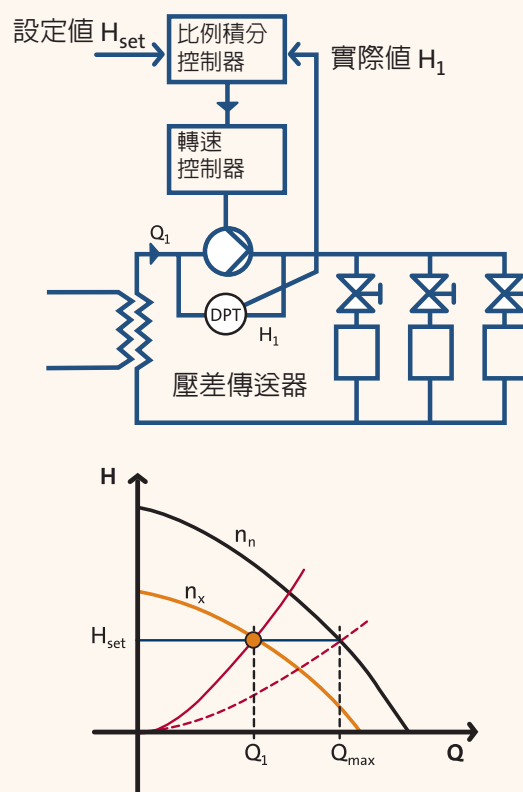


圖 4.2.3: 定壓差變速循環泵浦的供熱系統

第 4.2 節

變速泵浦解決方案

4.2.4 流量補償壓差控制

在圖 4.2.4 中的泵浦，主要功能是維持在消耗裝置如散熱器控制閥兩側的恆定壓差。為了達到此目的，泵浦必須能克服管路、熱交換器及接頭等摩擦損失。

在第 3 章曾討論過，系統內的壓力損失與流量的平方成正比。如右圖所示，控制系統內循環泵浦的最佳方法是使泵浦輸出的壓力隨流量的增大而增大。

當流量的需求量較低時，管路、熱交換器及接頭等的壓力損失也同樣較低，並且泵浦只提供與控制閥件所需壓力相等的壓力 $H_{set} - H_f$ 。當流量的需求量增大時，壓力損失呈二次方增大，因此泵浦必須增加輸出的壓力，如圖 4.2.4 的藍色曲線。

這種泵送系統可用兩種方法設計：

- 壓差傳送器接在泵浦的兩端，且系統以流量補償壓差控制 DPT_1 方式運行，見圖 4.2.4。
- 壓差傳送器置於靠近消耗裝置處，且系統以壓差控制 DPT_2 方式運行，見圖 4.2.4。

第一個解決方案的優點是泵浦、比例積分控制器、轉速控制和信號傳送器相互之間距離很近，便於安裝。這種安裝使得整個系統成為一體，參見第 4.4 節。為了使系統啟動並運行，泵浦曲線資料必須儲存於控制器。這些資料用於計算流量，以及計算特定流量下設定值 H_{set} 必須減小多少，才能確保泵浦性能滿足圖 4.2.4 中所需的藍色曲線。

第二種解決方案需花費較多的安裝費用，因為信號傳送器必須在安裝現場安裝，並且還需要所需的電纜接線工程。該系統的性能與第一個系統相似；信號傳送器量測消耗裝置處的壓差，並自動補償所需增大的壓力，以克服供給管路等壓力損失的增大。

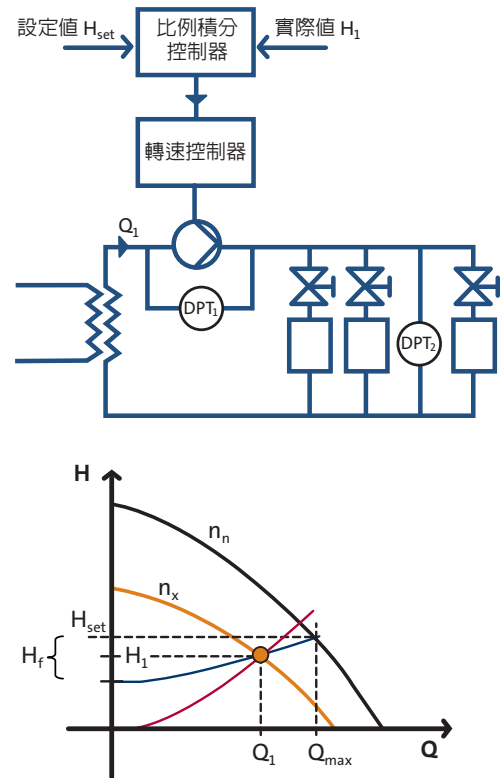


圖 4.2.4:利用變速循環泵浦提供流量補償壓差供熱系統

第 4.3 節

轉速控制的優點



大多數泵送系統無需泵浦 24 小時全性能運轉，因此自動調節系統中的泵浦性能是有助益的。如第 4.1 節所述，調節離心泵浦性能的最佳方法是轉速控制，通常泵浦的轉速控制是藉由變頻器控制。

在以下的篇幅中，我們將探討封閉式和開放式系統中的變速泵浦。但是在深入瞭解轉速控制之前，我們先介紹轉速控制所帶來的優點，以及以變頻器變速的泵浦所提供的好處。

降低能耗

變速泵浦僅消耗完成特定輸送任務所需的能量。與其他控制方法相比，變頻轉速控制可提供最高的效率及最高的能量使用效率，參見第 4.1 節。

減少生命週期成本

我們將在第 5 章中談到，考慮一台泵浦的生命週期成本時，泵浦的能耗是非常重要的因素，因為會對泵浦系統的運轉成本造成影響。高效率運行降低了能耗，並從而減少運轉費用。與恆速泵浦相比，變速泵浦可節省高達 50% 的能耗。

環保

高效率節能泵浦減少了污染，因此更加環保。

增加舒適性

在各種泵送系統中，轉速控制使系統更安靜：在供水系統中，自動壓力控制和泵浦的軟啟動減少了系統壓力過高造成的水錘 (water hammer) 和噪音。在循環系統中，變速泵浦將壓差維持在恆定，所以系統噪音最低。

減少系統費用

變速泵浦可免除試運轉及系統中控制閥件的需要。因此，整個系統費用得以降低。

第 4.4 節

泵浦內建變頻器的優點

在許多應用中，內建變頻器的泵浦是最佳的解決方案。理由是這些泵浦結合了變速泵浦的綜合優勢，將泵浦、變頻器、比例積分控制器及感應器／壓力傳送器合為一體——見圖 4.4.1。

內建變頻器的泵浦不僅僅是一台泵浦，而是一個能在各種泵浦應用中解決問題或節省能源的系統。至於替換需求方面，內建變頻器的泵浦是替換恆速泵浦的理想選擇，並且無需額外的安裝費用。安裝所需的工作只是連接電源，以及將內建變頻器的泵浦接入管路系統，泵浦就可以使用了。安裝人員必須做的工作只是調整所需的壓力設定值，之後系統便可運轉了。

以下將簡要描述內建變頻器泵浦的優點。

易安裝

內建變頻器的泵浦與恆速泵浦一樣易於安裝。您所需做的只是連接馬達電源，之後泵浦便可以運轉；製造商已經預先完成了全部的內部連接與設定調整。

最佳化節能

由於泵浦、馬達和變頻器係採用相容性設計，因此泵浦系統的運轉可降低能源功率消耗。

單一供應商

單一供應商就能提供泵浦、變頻器和感測器，自然使計算、選型、訂貨程序、保養與維修更加便利。

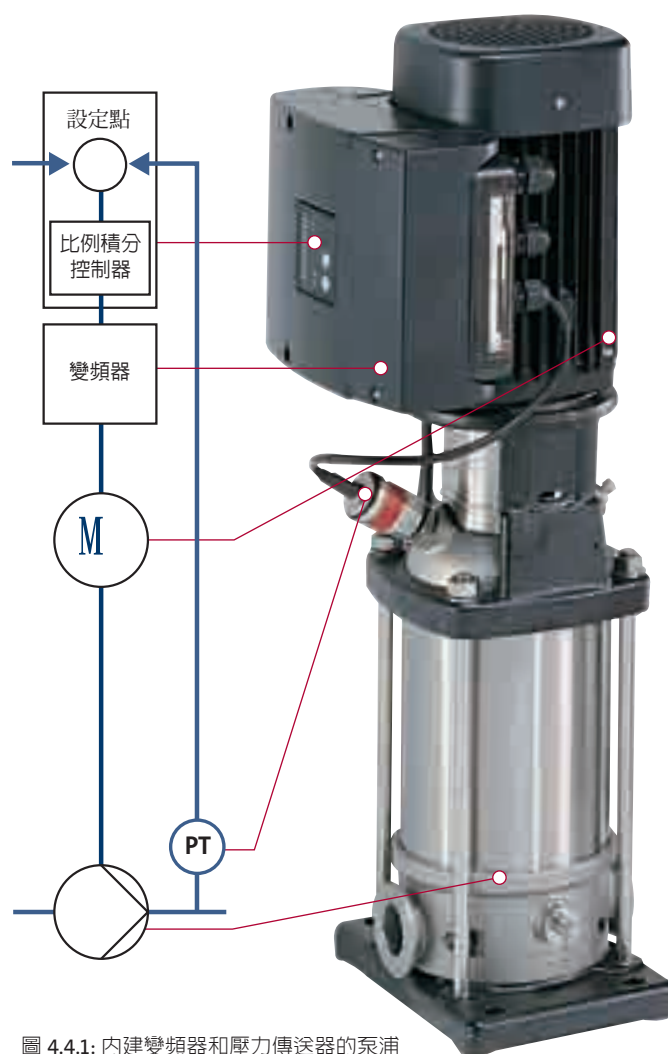


圖 4.4.1: 內建變頻器和壓力傳送器的泵浦

性能範圍寬廣

內建變頻器的泵浦具有寬廣的性能範圍，使得它們能在諸多變化條件下高效率運轉，並滿足各種要求，因此以較少泵浦型便能替代性能範圍較窄的多種恆速泵浦型號。

4.4.1. 變速泵浦的性能曲線

現在，讓我們進一步瞭解如何判讀變速泵浦的性能曲線。

圖 4.4.2 為變速泵浦性能曲線的實例。第一組曲線為 Q_H 曲線，第二組曲線為相應的功率消耗曲線。

如圖所示，性能曲線組是轉速從 100% 至 50%，每下降 10% 有一條線。圖中最低曲線也顯示了最高轉速的 25%。如圖中所標示，您可以找出設定工作點的 Q_H ，並查出在多大的轉速下可達到該工作點，以及功率消耗 P_1 。

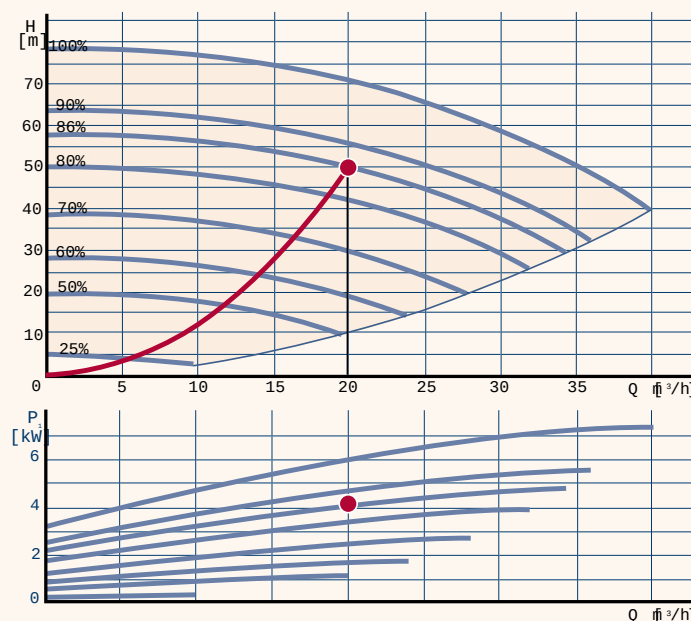


圖 4.4.2: 變速泵浦的性能曲線

4.4.2 不同系統中的變速泵浦

可採用變速泵浦的系統範圍很廣。泵浦性能的改變及相應的潛在節能將視實際的系統而定。

我們在第 3 章中曾討論過，系統的特性代表了在系統中泵送一定量的液體所提供的揚程。圖 4.4.3 顯示封閉式系統和開放式系統的性能曲線與系統特性。

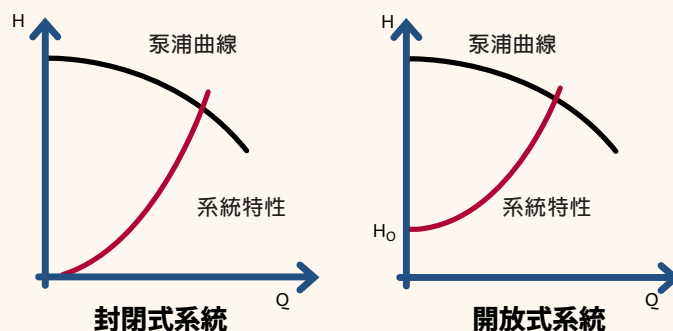


圖 4.4.3: 封閉式系統和開放式系統的系統特性曲線

第 4.4 節

泵浦內建變頻器的優點

封閉式系統內的變速泵浦

在封閉式系統中，例如供熱系統和空調系統，泵浦只需克服管路、閥件及熱交換器等之摩擦損失。在本節中，我們將提出在封閉式系統內變速泵浦的例子。全流量 $15\text{m}^3/\text{h}$ 的總摩擦損失為 16m ，見圖 4.4.4。

系統特性始於點 $(0,0)$ ，即圖 4.4.5 中的紅線。系統中各控制閥隨時需要一定的操作壓力，因此泵浦無法只依照系統特性工作。這就是有些變速泵浦須提供比例壓力控制功能的原因，以確保泵浦按照圖中的黃線運行。如圖 4.4.5 所示，最低性能約全速的 57%。運行在圖中最低曲線全速的 25% 的循環系統，可應某些特殊狀況的需求，例如夜間時段的供熱系統。

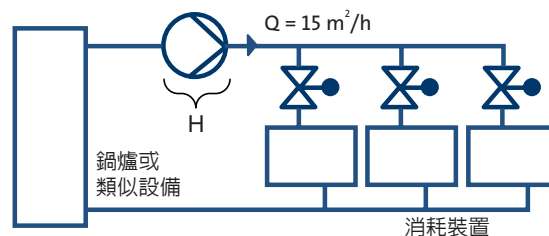


圖 4.4.4: 封閉式系統

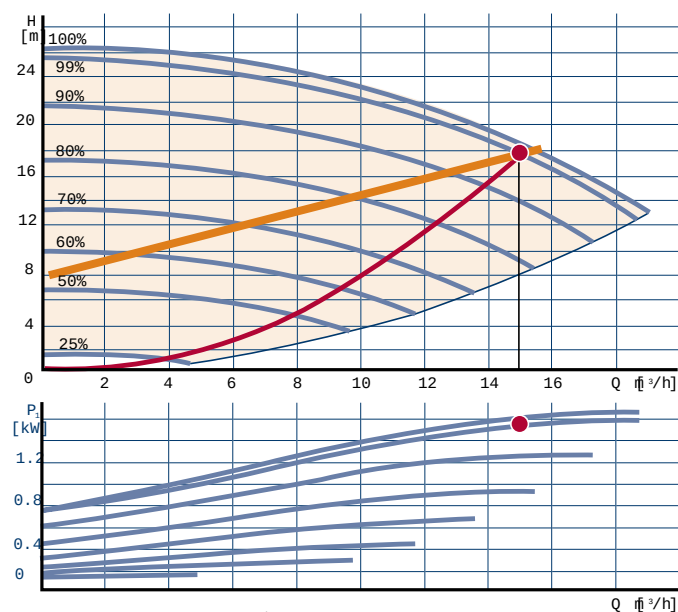


圖 4.4.5: 封閉式系統中的變速泵浦

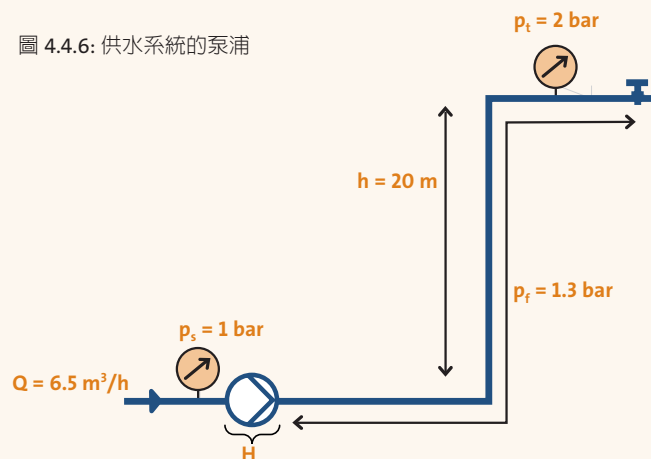
開放式系統內的變速泵浦

系統特性和泵浦的運行範圍取決於特定系統的類型。圖 4.4.6 所示為在一個給水加壓系統中的泵浦。泵浦必須供應 $Q=6.5\text{m}^3/\text{h}$ 給水龍頭，該水龍頭高出泵浦 $h=20\text{m}$ 。泵浦的入口壓力 p_s 為 1bar ，水龍頭處的壓力 p_t 為 2bar ，而總流量在系統中引起的總摩擦損失 p_f 為 1.3bar 。圖 4.4.7 所示為一台泵浦的 Q_H 曲線，可滿足上述要求。利用右側的公式，您可以計算出零流量時的揚程 (H_0)。如果要計算 $6.5\text{m}^3/\text{h}$ 時的最大揚程，使用的計算公式如下：

$$H_{\max} = H_0 + \frac{p_f}{\rho \cdot g} = 30.2 + \frac{1.3 \cdot 10^5}{998 \cdot 9.81} = 43.5 \text{ m}$$

為了滿足流量從 0 至最大流量 $Q=6.5\text{m}^3/\text{h}$ 的運行範圍，泵浦在一個相當狹窄的轉速範圍（全速的 65% 至 99%）內運行。若系統摩擦損失較小，轉速變化範圍會更小。如果沒有摩擦損失，在上述情況下，最小轉速約為全速的 79%。如前面兩個例子所述，在封閉式系統內轉速和功率消耗的可能變化最高，因此封閉式系統有最高的節能潛力。

圖 4.4.6: 供水系統的泵浦



- p_t - 水龍頭處的壓力
- p_s - 入口壓力
- p_f - 摩擦損失
- Q - 流量
- h - 靜揚程

$$H_0 = h + \frac{p_t - p_s}{\rho \cdot g} = 20 + \frac{(2-1) \cdot 10^5}{998 \cdot 9.81} = 30.2 \text{ m}$$

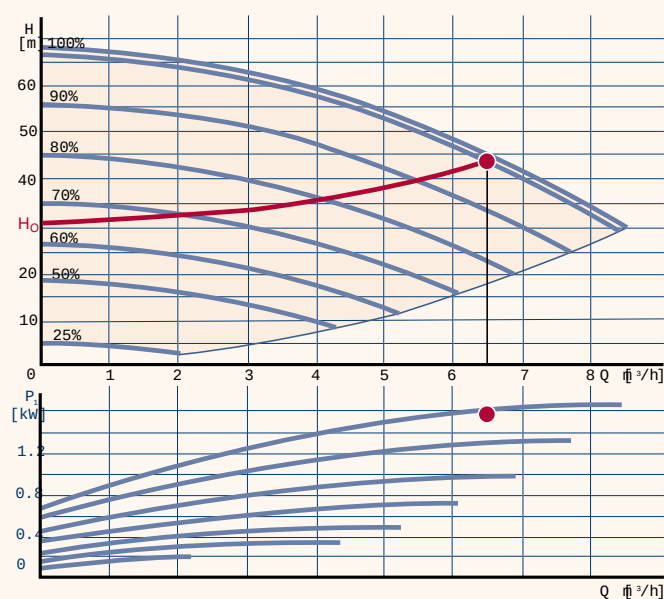


圖 4.4.7: 開放系統中的變速泵浦

第 4.5 節

變頻器

如前所述，泵浦的轉速控制涉及變頻器，因此我們不妨一起深入瞭解變頻器，理解它如何運作，並討論使用這類設備的相關注意事項。

4.5.1 基本功能及特性

眾所周知，非同步馬達的轉速主要取決於馬達的極數及供電電源的頻率。供電電壓的振幅和馬達軸上的負載也多少會影響馬達的轉速，因此改變電源的頻率是對非同步馬達轉速控制的理想方法。為了確保馬達的正確磁化，須同時改變電壓振幅。

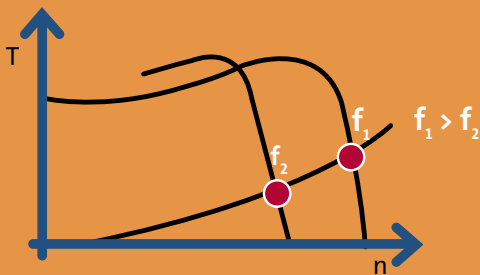


圖 4.5.1: 馬達轉矩特性的位移

由於頻率／電壓控制造成轉速的改變，因此導致轉矩特性的位移。圖 4.5.1 所示為在兩個不同的頻率／電壓下的馬達轉矩特性 (T)，它是轉速 (n) 的函數。在同一張圖中繪有泵浦的負載特性。如圖所示，改變馬達的頻率／電壓會改變其轉速。變頻器可改變頻率和電壓，因此我們可以確定變頻器的基本作用是將固定的電源電壓／頻率（如 3x400V/50Hz）轉變為可變的電壓／頻率。

4.5.2. 變頻器的元件

理論上，所有的變頻器均由相同的功能模組組成。如前述，基本功能是將電源電壓轉變為另一頻率和振幅的新交流電壓。

變頻器首先將輸入電源整流，然後將能量儲存於電容器的中間電路。接著，直流電壓被轉為具有另一頻率和振幅的新交流電壓。由於變頻器中間電路的存在，電源電壓的頻率對輸出頻率及馬達轉速沒有直接影響。由於整流器可處理 50Hz 和 60Hz 的頻率，因此電源頻率可以是其中任何一種。此外，輸入頻率不會影響輸出頻率，因為輸出頻率取決於變頻器內部設定的電壓/頻率格式。基於上述事實，採用變頻器與非同步馬達相連的方法具有以下優點：

- 無需任何修改，系統即可在 50Hz 和 60Hz 的電源頻率下使用。
- 變頻器的輸出頻率不受輸入頻率的影響。
- 變頻器可提供比電源頻率更高的頻率，因而使超同步轉速運轉成為可能。

如圖 4.5.2 所示，變頻器還包含其他三個組成元件：電磁相容 EMC 濾波器、控制電路和變流器 (inverter)。

交流電源 AC

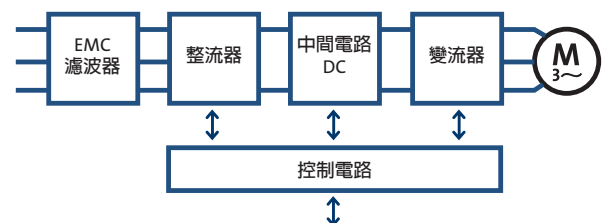


圖 4.5.2: 變頻器功能模組圖



電磁相容EMC濾波器

EMC 濾波器並不是變頻器的主要功能模組，因此理論上，它不是變頻器的一部分。然而，為了滿足歐盟標準或其他地方規範的要求，該濾波器是必要的。EMC 濾波器確保了變頻器不會向電源發出擾人的高雜訊信號，高雜訊信號會干擾與電源連接的其他電子設備。同時，濾波器也確保由其他設備產生在電源內的雜訊信號不會進入變頻器的電子設備，引起損壞或干擾。

控制電路

控制電路模組有兩個功能：控制變頻器，同時維持產品與周圍設備之間的整個通信。

變頻器

來自變頻器的輸出電壓，並非如標準電源電壓一樣是正弦式的，而供應給馬達的電壓是由許多矩形脈波 (pulse) 組成，見圖 4.5.3。這些脈波的平均值形成所期望的頻率和振幅的正弦電壓。脈波的切換頻率 (switching frequency) 可從幾 kHz 到 20 kHz，取決於廠牌。為了避免馬達繞組內產生噪音，變頻器的切換頻率最好在人耳可聽見範圍以上 ($\sim 16\text{kHz}$)。

變頻器的這種工作原理被稱為脈波寬度調變 (Pulse Width Modulation, PWM) 控制，這是當今變頻器中最常用的控制原理。馬達電流本身幾乎是正弦式的。圖 4.5.4 (a) 顯示馬達電流和馬達電壓。圖 4.5.4 (b) 顯示馬達的電壓部分。這顯示出電壓的脈衝/暫停比率是如何變化的。

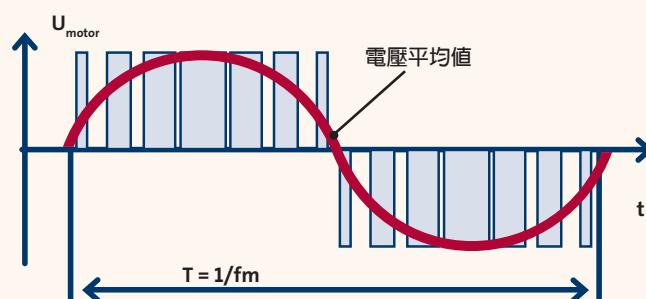


圖 4.5.3: 可變頻率 (f_m) 和可變電壓 (U_{motor}) 的交流電壓

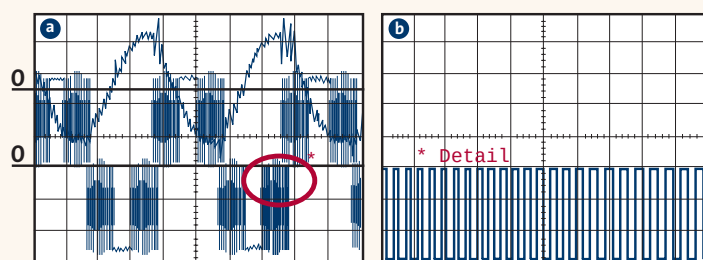


圖 4.5.4: a) 在脈波寬度調變控制下的馬達電流 (上) 和馬達電壓；
b) 馬達的電壓部分

4.5.3 關於變頻器的特殊條件

在安裝和使用變頻器或內建變頻器的泵浦時，安裝者和使用者必須瞭解某些條件。變頻器對電源的反應，與標準非同步馬達截然不同。以下的內容將對此詳細說明。

非正弦功率輸入、三相電源變頻器

如上述設計的變頻器並非接收來自電源的正弦電流，這會連同其他因素影響電源電纜線、電源開關等的所需尺寸。圖 4.5.5 顯示使用下列兩種馬達時的電源電流和電壓：

- a) 三相二極標準非同步馬達
- b) 附帶變頻器的三相二極標準非同步馬達

兩種情況下，馬達都可對軸提供 3kW 的功率。

比較這兩種情況下的電流，顯示出以下的差異，見圖 4.5.6：

- 附帶變頻器系統的電流不是正弦波。
- 變頻器解決方案的電流峰值高出許多（高出約 52%）。

這是因為變頻器的設計，該設計將電源連接至一個整流器，在整流器之後又連接一個電容器。在整流電壓高出電容器電壓的短時間內，電容器產生充電。

如上所述，非正弦波電流導致馬達的電源側產生其他狀況。對於無變頻器的標準馬達而言，電壓(U)、電流 (I) 和功率 (P) 之間的關係如右側框內的公式所示。此公式不能用來計算附有變頻器馬達的輸入功率。

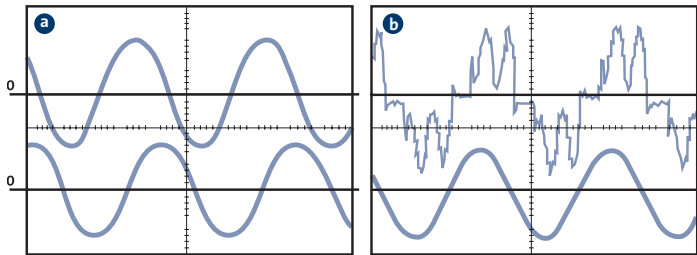


圖 4.5.5 a): 三相二極標準非同步馬達
圖 4.5.5 b): 附帶變頻器的三相二極標準非同步馬達

	標準馬達	附帶變頻器的馬達
電源電壓	400V	400V
方均根電源電流	6.4A	6.36A
電源電流峰值	9.1A	13.8A
輸入功率P1	3.68 kW	3.69kW
Cosφ功率因數(PF)	cosφ=0.83	PF=0.86

圖 4.5.6: 標準馬達和變頻器馬達的電流比較

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

- U

- 兩相間的電壓
- I

- 相電流
- 同時適用於U和I的有效方均根值
- cosφ

- 電壓與電流之間的相位移

計算例：
U = 400V，I = 6.4A，cosφ = 0.83
計算的結果為輸入功率 P = 3.68 kW



事實上，在這種情況下，單憑電流和電壓量測無法可靠的計算輸入功率，因為它們不是正弦波。必須通過儀錶並依據電流和電壓的即時測量，才能計算出功率。

如果功率 (P) 及電流和電壓的方均根值為已知，由右側公式可計算出所謂的功率因數 (Power Factor, PF)。

與正弦波的電流和電壓不同，功率因數與電流和電壓的替換時間沒有直接關聯。

當量測有關附帶變頻器系統在安裝與維修時的輸入電流時，必須採用可量測非正弦電流的儀錶。總言之，測量變頻器電流的儀錶必須是「真均方根值 (True RMS)」型式。

$$PF = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I}$$

變頻器和漏電斷路器 (earth leakage circuit breakers, ELCB)

越來越多的電氣安裝，使用漏電斷路器作為額外保護。如果變頻器要連接在這類安裝中，必須確保變頻器的直流電側發生故障時，所安裝的漏電斷路器能確實斷開。為確保漏電斷路器能在發生接地漏電時確實斷開，與變頻器電路使用的漏電斷路器必須貼有如圖 4.5.7 和 圖 4.5.8 所示的標誌。

這兩種漏電斷路器都能在目前的市場中購得。



圖 4.5.7: 單相變頻器的漏電斷路器標籤



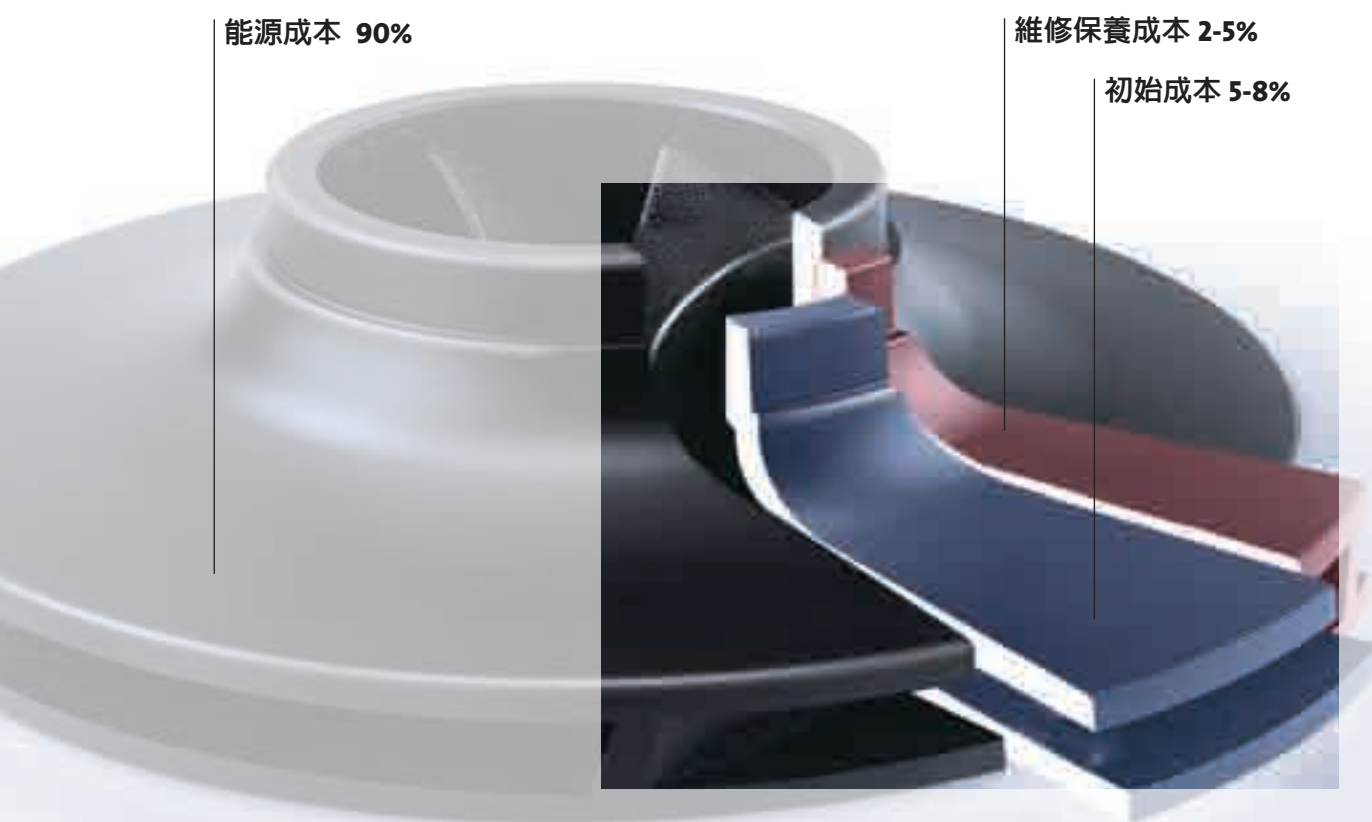
圖 4.5.8: 三相變頻器的漏電斷路器標籤

第五章 生命週期成本計算

第5.1節 生命週期成本計算公式

- 5.1.1 初始成本，購買價格 (C_{ic})
- 5.1.2 安裝及試車成本 (C_{in})
- 5.1.3 能源成本 (C_e)
- 5.1.4 操作成本 (C_o)
- 5.1.5 環保成本 (C_{env})
- 5.1.6 維修保養成本 (C_m)
- 5.1.7 故障時間成本（生產損失） (C_s)
- 5.1.8 廢棄及處理成本 (C_d)

第5.2節 生命週期成本計算實例



第 5.1 節

生命週期成本計算公式

在本節中，我們主要將討論泵浦的生命週期成本（Life Cycle Costs, LCC）包括哪些要素，以理解什麼是 LCC、計算 LCC 時須考慮的要素，以及如何計算。最後，我們將藉由一個例子講解生命週期成本的觀念。但是深入瞭解生命週期成本之前，我們必須先理解這個名詞的意義。

泵浦的生命週期成本是指在泵浦的生命週期內所產生的購買、能源、操作、安裝、維修保養和廢棄及處理成本。

Hydraulic Institute（水力協會，北美地區最大的泵浦製造商和供應商協會）、Europump（代表歐洲 18 個國家的製造協會，以及 450 餘家泵浦生產商）及美國能源部（DOE）共同研發一項名為「泵浦生命週期成本 (LCC)」的工具，見圖 5.1.1。該工具的設計旨在協助將各種系統（包括泵送系統）中的浪費減至最少，並將能源效用最大化。生命週期成本計算是一種決策工具，可用於新系統的設計或既有系統的修復。生命週期成本（LCC）由下列要素組成：

C_{ic}	初始成本、購買價格
C_{in}	安裝及試車成本
C_e	能源成本
C_o	操作成本（勞動力費用）
C_{env}	環保成本
C_m	維修保養成本
C_s	故障時間成本（生產損失）
C_d	廢棄及處理成本

在以下的篇幅中，我們將依次講述這些要素。如圖 5.1.2 所示，能源成本、初始成本和維修保養成本為主要項目。

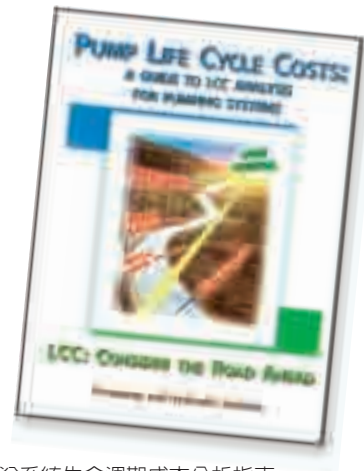


圖 5.1.1: 泵送系統生命週期成本分析指南

典型的生命週期成本

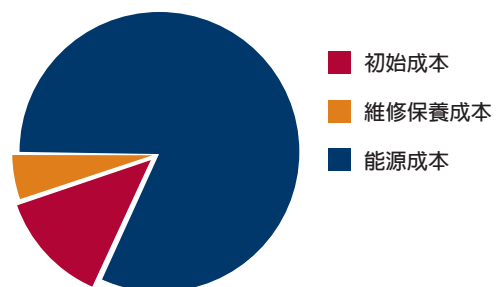


圖 5.1.2: 一個典型工業循環系統的生命週期成本

LCC 採用如下公式計算

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

5.1.1 初始成本，購買價格 (C_{ic})

泵浦系統的初始成本 (C_{ic}) 包括系統運轉所需的全部設備和附件，如泵浦、變頻器、控制盤和訊號傳送器，見圖 5.1.3。

通常在初始成本和能源與維修保養成本之間需要有所取捨，多數情況下，昂貴的元件比廉價的元件具有較長的壽命或較低的能源成本。

5.1.2 安裝及試車成本 (C_{in})

安裝及試車成本包括下列費用：

- 泵浦的裝設
- 基座
- 電線和儀錶的連接
- 傳送器、變頻器等的安裝、連接和設置
- 試運轉的試車與評估

就跟初始成本一樣，取捨的檢視相當重要。例如附帶變頻器的泵浦，許多元件已經整合於產品中，因此這種泵浦的初始成本雖然較高，其安裝成本和試車成本則較低。

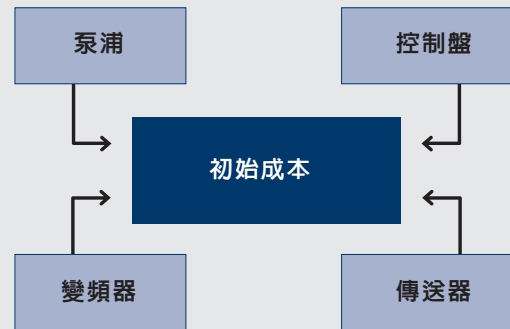


圖 5.1.3: 構成一個泵送系統的設備

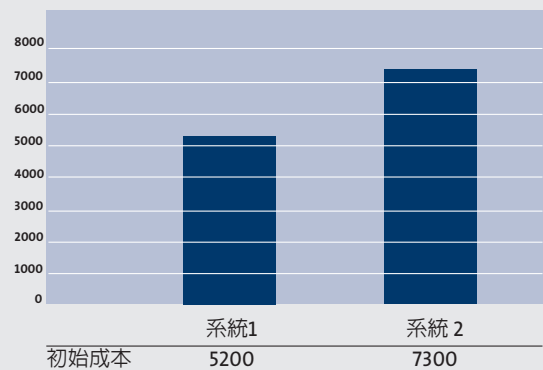


圖 5.1.4: 恆速泵浦系統（系統1）和變速泵浦系統（系統2）的初始成本

第 5.1 節

生命週期成本計算公式

5.1.3 能源成本 (c_e)

大部分情形下，能源成本佔生命週期成本的大宗，一般泵浦每年運轉時數多超過2000小時。事實上，全世界有20%的電力消耗用在泵浦運轉上，見圖 5.1.5。

以下為影響泵浦系統能耗的各種因素：

- 負載曲線 (Load Profile)
- 泵浦效率 (工作點計算)，見圖 5.1.6
- 馬達效率 (部分負載狀況下，高效率馬達與普通效率馬達之間的效率差異可能很大)。
- 泵浦選機 (經常因考慮餘裕容量和整數計算而導致選機過當)
- 其他系統組件，如管路、閥件等。
- 使用轉速控制方案。工業上適當採用變速控制泵浦可使能耗節省達 50%。

5.1.4 操作成本 (c_o)

操作成本包含泵浦系統與運轉有關的人工成本。在大部分的情形下，與泵浦運轉有關的人工成本並不高。如今各種監控設備可將泵浦系統連接到電腦網路上，從而降低操作成本。

5.1.5 環保成本 (c_{env})

環保成本包含零件的廢棄處置，以及泵送液體的污染問題。工業上環保成本佔泵浦生命週期成本的比例不高。

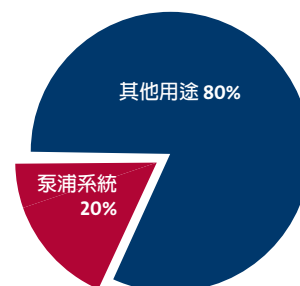


圖 5.1.5: 全球能耗分配

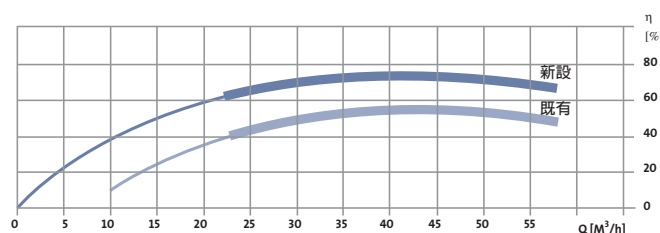


圖 5.1.6: 新設及既有泵浦效率比較



5.1.6 維修保養成本 (C_m)

維修保養成本包括泵浦系統的一切維修保養費用，如人工成本、備品、運送及清潔費用等。獲得泵浦最佳工作壽命和預防故障停機的最佳方法為預防保養。

5.1.7 故障時間成本，生產損失 (C_s)

製程上所使用的泵浦之故障時間成本極為重要。理由很簡單，停工會造成極大的損失，即使只是極短時間的停工。因此雖然一台泵浦已足夠應付所需，但再配置一台備用泵浦可能會是一個較好的選擇，以在泵浦系統發生意外時可以接手而使生產不致中斷。見圖5.1.7。

5.1.8 廢棄及處理成本 (C_d)

視泵浦製造廠的處理方式而定，泵浦系統的廢棄及處理成本的變數較為有限。因此這項成本通常不予考慮。

生命週期成本計算

泵浦系統的生命週期成本為上述所有構成要素在系統生命週期內成本的總和。泵浦壽命約為10至20年，業界通常僅以考量主要要素的簡化公式計算泵浦生命週期成本。該公式如右方所示：

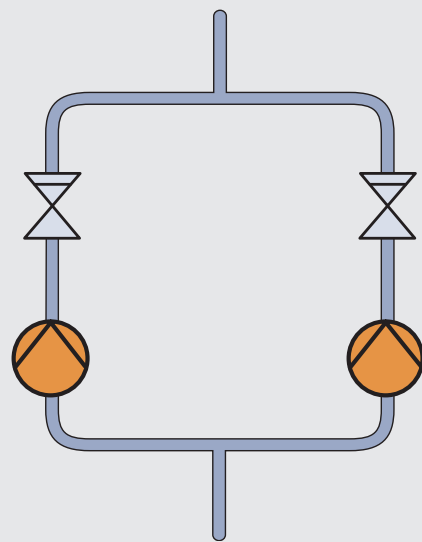


圖 5.1.7: 預防泵浦系統意外故障時可以接手，使生產不致中斷的備用泵浦

$$LCC = C_{ic} + C_e + C_m$$

第 5.2 節

生命週期成本計算實例

我們依上述簡化公式來看生命週期成本計算的一個實例：一個產業需要一部新的供水泵浦，共有兩種方案供選擇：

- 多段式定速離心泵浦
- 多段式變速離心泵浦

計算後顯示變速泵浦可比定速泵浦節省 40% 耗能，但是變速泵浦的初始成本 (C_{ic}) 比定速泵浦高兩倍。生命週期成本計算可協助判斷系統應使用哪一種泵浦。假設系統的運轉特性如下：

- 每天運轉 12 小時。
- 每年運轉 220 日。
- 壽命為 10 年(計算週期)。

依據以上數據，可計算出兩種方案的生命週期成本。

雖然變速泵浦的初始成本 (C_{ic}) 比定速泵浦高兩倍，但 10 年後的總成本卻比定速泵浦方案低 25%。

除了較低的生命週期成本以外，變速泵浦更可提供某些運轉上的利益(如第四章所述)，例如系統內可維持恆壓。

相對於定速系統，變速系統多出來初始成本是需要一些時間來彌補，如圖 5.1.9 所示本案例約需 2.5 年的時間才能回本。在工業應用上，一般來說這樣的投資相當值得。

泵浦種類		定速	變速
平均能耗	kW	18.76	11.31
每天操作時數	小時	12	12
每年工作日數	天	220	220
計算週期	年	10	10
總能耗	kWh	495,264	298,584
電力價格	歐元/ kWh	0.07	0.07
泵浦價格	歐元	3,602	7,204
維修保養成本	歐元	1,417	1,417
能源成本	歐元	33,284	20,066
總成本	歐元	38,303	28,688

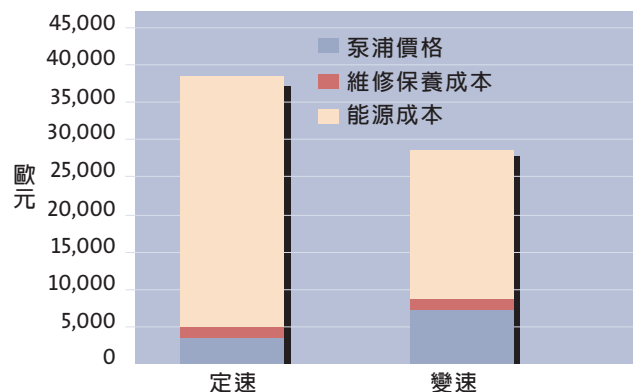


圖 5.1.8: 定速泵浦與變速泵浦的生命週期成本比較

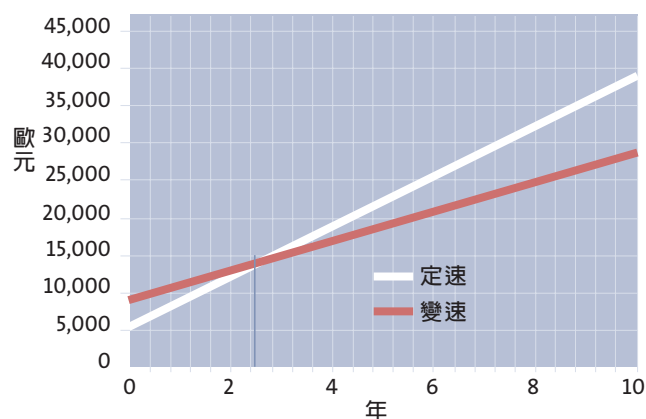


圖 5.1.9: 定速泵浦與變速泵浦的回收時間 (Payback Time)

附 錄

- A) 符號及單位
- B) 單位換算表
- C) 國際單位SI字首與希臘字母表
- D) 在不同溫度下，水的蒸氣壓和密度
- E) 孔板 (orifice)
- F) 管徑變化引起靜壓變化
- G) 噴嘴
- H) 彎頭、閘門等管件的揚程損失列線圖
- I) 20°C清水的管路損失列線圖
- G) 元素週期表
- K) 泵浦標準
- L) 各種液體黏度為溫度變化之函數

符號及單位

下表為泵浦及泵浦系統常見的符號及單位：

符號	單位			註解
	SI 單位	其他常用單位		
H	m		揚程	
Q	m³/s	m³/h, l/s	體積流量	
Q _m	kg/s	kg/h	質量流量	
p	Pa = N/m²	hPa, kPa, bar	壓力	1 bar = 10 ⁵ Pa
Δp	Pa	kPa, bar	差壓	
NPSH	m		淨正吸入揚程	
ρ	kg/m³	kg/dm³	密度	
ν	m²/s	cSt (centiStoke), mm²/s	運動黏度	1 cSt = 10 ⁻⁶ m²/s
μ	Pa·s	Poise	動黏度	1 poise = 0.1 Pa·s
t	°C	°F	溫度	
T	K		絕對溫度	
d	m	mm	管徑	
D	m	mm	管徑	
g	m/s²		重力加速度	g = 9.81 m/s²
v	m/s		速度	
η		%	效率	
n	s ⁻¹	min ⁻¹ , RPM	轉速	
t	s	min, h	時間	
P	W	kW	功率	
U	V		電壓	
I	A		電流	
f	Hz		U與I之間的相位角餘弦	
cosφ				
PF			功率因數	

單位換算表

泵浦系統常用的壓力和流量單位換算表：

壓力

	巴 斯 卡 (=每平方 米牛頓)	巴	每平方 米千磅	公尺水 柱高	技術 大氣壓	物理 大氣壓	每英吋磅	
	Pa, (N/m ²)	bar	kp/m ²	mWC	at (kp/cm ²)	atm	psi (lb/in ²)	
1 Pa	1	10 ⁻⁵	0.1020	1.020 · 10 ⁻⁴	1.020 · 10 ⁻⁵	9.869 · 10 ⁻⁴	1.450 · 10 ⁻⁴	1 Pa
1 bar	10 ⁵	1	10197	10.20	1.020	0.9869	14.50	1 bar
1 kp/m ²	9.8067	9.807 · 10 ⁵	1	10 ⁻³	10 ⁻⁴	0.9678 · 10 ⁻⁴	1.422 · 10 ⁻³	1 kp/m ²
1 mWC	9806.7	0.09807	10 ³	1	0.1	0.09678	1.422	1 mWC
1 at	98067	0.9807	10 ⁴	10	1	0.9678	14.22	1 at
1 atm	101325	1.013	10333	10.33	1.033	1	14.70	1 atm
1 psi	6895	0.06895	703.1	0.7031	0.07031	0.06804	1	1 psi

流量（體積）

	每秒立方米	每小時立方米	每秒公升	每分鐘（英 制）加崙	每分鐘（美 制）加崙	
	m ³ /s	m ³ /h	l/s	UK GPM	US GPM	
1 m ³ /s	1	3600	1000	1320	1561	1 m ³ /s
1 m ³ /h	2.778 · 10 ⁻⁴	1	0.2778	3.667	4.403	1 m ³ /h
1 l/s	10 ⁻³	3.6	1	13.2	15.85	1 l/s
1 UK GPM	7.577 · 10 ⁻⁵	0.02728	0.07577	1	1.201	1 UK GPM
1 US GPM	6.309 · 10 ⁻⁵	0.02271	0.06309	0.8327	1	1 US GPM

溫度

以下為常用溫度單位的換算公式。

攝氏度數換算成絕對溫度： $T [K] = 273.15 + t [^{\circ}C]$

攝氏度數換算成華氏度數： $t [^{\circ}F] = 32 + 1.8 t [^{\circ}C]$

攝氏度數	絕對溫度	華氏度數
$^{\circ}C$	K	$^{\circ}F$
0	273.15	32
100	373.15	212
- 17.8	255.35	0

	Δt	Δt	Δt
$\Delta T, \Delta t$	$^{\circ}C$	K	$^{\circ}F$
1 $^{\circ}C =$	1	1	5/9
1 K =	1	1	5/9
1 $^{\circ}F =$	9/5	9/5	1

國際單位 SI 字首與希臘字母表

因數		字首	符號
10^9	1,000,000,000	giga	G
10^6	1,000,000	mega	M
10^3	1,000	kilo	k
10^2	100	hekto	h
10	10	deka	da
10^{-1}	0.1	deci	d
10^{-2}	0.01	centi	c
10^{-3}	0.001	milli	m
10^{-6}	0.000.001	mikro	μ
10^{-9}	0.000.000.001	nano	n

希臘字母		
Alfa	A	α
Beta	B	β
Gamma	Γ	γ
Delta	Δ	δ
Epsilon	E	ε
Zeta	Z	ζ
Eta	H	η
Theta	Θ	θ
Jota	I	ι
Kappa	K	κ
Lambda	Λ	λ
My	M	μ
Ny	N	ν
Ksi	$K\Sigma$	$\kappa\sigma$
Omikron	O	o
Pi	Π	π
Rho	P	ρ
Sigma	Σ	σ
Tau	T	τ
Ypsilon	Y	υ
Fi	Φ	ϕ
Khi	X	χ
Psi	Ψ	ψ
Omega	Ω	ω

不同溫度下，水的蒸氣壓和密度

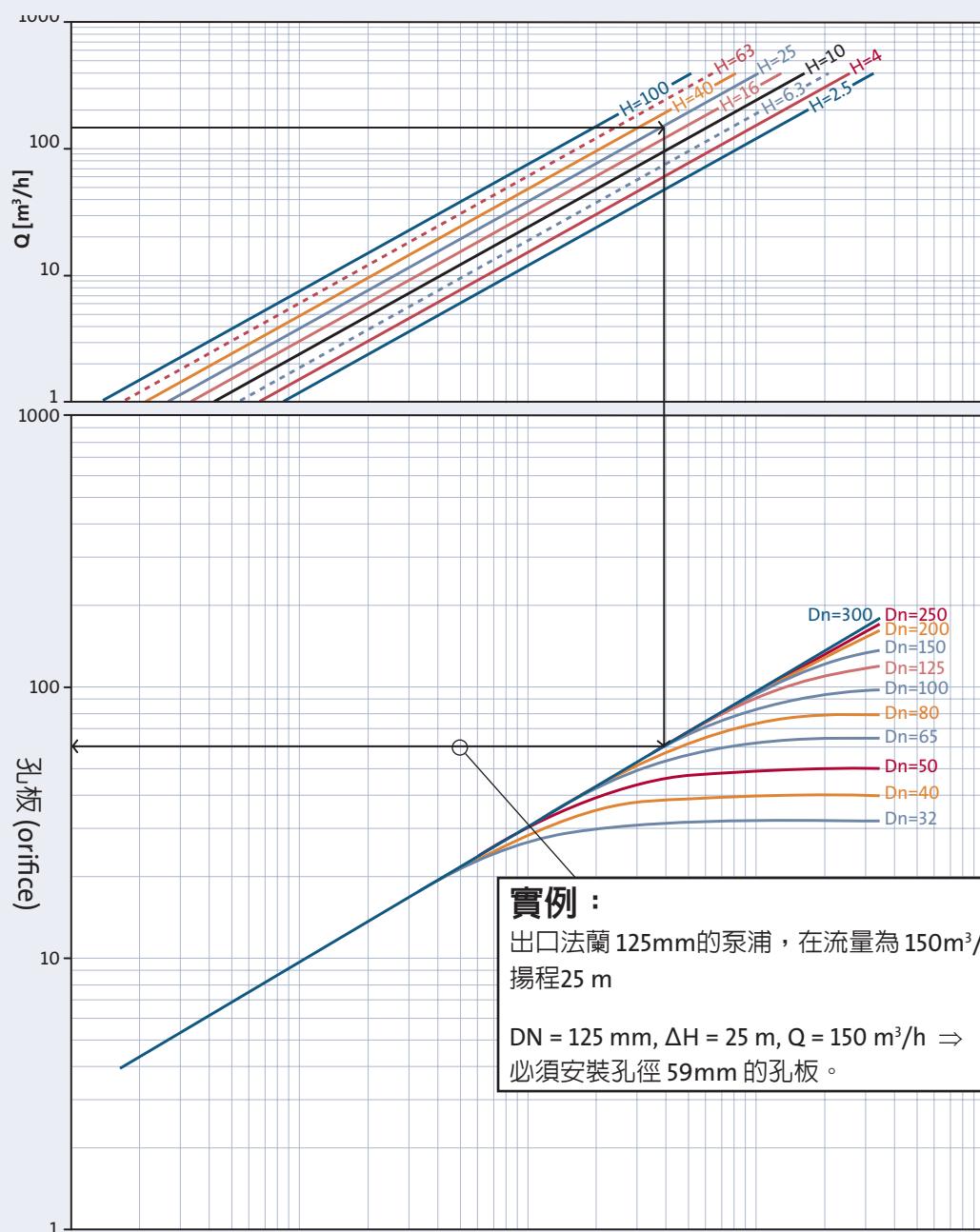
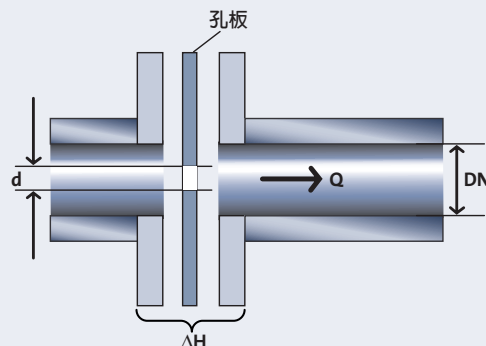
此換算表顯示水在不同溫度 t [°C] 時的蒸氣壓 p [bar] 和密度 ρ [kg/m³]。

本表並同時顯示絕對溫度 T [K]。

水在不同溫度時的蒸氣壓 p 和密度 ρ											
t [°C]	T [K]	P [bar]	ρ [kg/m ³]	t [°C]	T [K]	P [bar]	ρ [kg/m ³]	t [°C]	T [K]	P [bar]	ρ [kg/m ³]
0	273.15	0.00611	999.8					138	411.15	3.414	927.6
1	274.15	0.00657	999.9	61	334.15	0.2086	982.6	140	413.15	3.614	925.8
2	275.15	0.00706	999.9	62	335.15	0.2184	982.1	145	418.15	4.155	921.4
3	276.15	0.00758	999.9	63	336.15	0.2286	981.6	150	423.15	4.760	916.8
4	277.15	0.00813	1000.0	64	337.15	0.2391	981.1				
5	278.15	0.00872	1000.0	65	338.15	0.2501	980.5	155	428.15	5.433	912.1
6	279.15	0.00935	1000.0	66	339.15	0.2615	979.9	160	433.15	6.181	907.3
7	280.15	0.01001	999.9	67	340.15	0.2733	979.3	165	438.15	7.008	902.4
8	281.15	0.01072	999.9	68	341.15	0.2856	978.8	170	443.15	7.920	897.3
9	282.15	0.01147	999.8	69	342.15	0.2984	978.2	175	448.15	8.924	892.1
10	283.15	0.01227	999.7	70	343.15	0.3116	977.7				
								180	453.15	10.027	886.9
11	284.15	0.01312	999.7	71	344.15	0.3253	977.0	185	458.15	11.233	881.5
12	285.15	0.01401	999.6	72	345.15	0.3396	976.5	190	463.15	12.551	876.0
13	286.15	0.01497	999.4	73	346.15	0.3543	976.0	195	468.15	13.987	870.4
14	287.15	0.01597	999.3	74	347.15	0.3696	975.3	200	473.15	15.50	864.7
15	288.15	0.01704	999.2	75	348.15	0.3855	974.8				
16	289.15	0.01817	999.0	76	349.15	0.4019	974.1	205	478.15	17.243	858.8
17	290.15	0.01936	998.8	77	350.15	0.4189	973.5	210	483.15	19.077	852.8
18	291.15	0.02062	998.7	78	351.15	0.4365	972.9	215	488.15	21.060	846.7
19	292.15	0.02196	998.5	79	352.15	0.4547	972.3	220	493.15	23.198	840.3
20	293.15	0.02337	998.3	80	353.15	0.4736	971.6	225	498.15	25.501	833.9
21	294.15	0.02485	998.1	81	354.15	0.4931	971.0	230	503.15	27.976	827.3
22	295.15	0.02642	997.8	82	355.15	0.5133	970.4	235	508.15	30.632	820.5
23	296.15	0.02808	997.6	83	356.15	0.5342	969.7	240	513.15	33.478	813.6
24	297.15	0.02982	997.4	84	357.15	0.5557	969.1	245	518.15	36.523	806.5
25	298.15	0.03166	997.1	85	358.15	0.5780	968.4	250	523.15	39.776	799.2
26	299.15	0.03360	996.8	86	359.15	0.6011	967.8	255	528.15	43.246	791.6
27	300.15	0.03564	996.6	87	360.15	0.6249	967.1				
28	301.15	0.03778	996.3	88	361.15	0.6495	966.5	260	533.15	46.943	783.9
29	302.15	0.04004	996.0	89	362.15	0.6749	965.8	265	538.15	50.877	775.9
30	303.15	0.04241	995.7	90	363.15	0.7011	965.2	270	543.15	55.058	767.8
								275	548.15	59.496	759.3
31	304.15	0.04491	995.4	91	364.15	0.7281	964.4	280	553.15	64.202	750.5
32	305.15	0.04753	995.1	92	365.15	0.7561	963.8				
33	306.15	0.05029	994.7	93	366.15	0.7849	963.0	285	558.15	69.186	741.5
34	307.15	0.05318	994.4	94	367.15	0.8146	962.4	290	563.15	74.461	732.1
35	308.15	0.05622	994.0	95	368.15	0.8453	961.6	295	568.15	80.037	722.3
36	309.15	0.05940	993.7	96	369.15	0.8769	961.0	300	573.15	85.927	712.2
37	310.15	0.06274	993.3	97	370.15	0.9094	960.2	305	578.15	92.144	701.7
38	311.15	0.06624	993.0	98	371.15	0.9430	959.6	310	583.15	98.700	690.6
39	312.15	0.06991	992.7	99	372.15	0.9776	958.6				
40	313.15	0.07375	992.3	100	373.15	1.0133	958.1	315	588.15	105.61	679.1
								320	593.15	112.89	666.9
41	314.15	0.07777	991.9	102	375.15	1.0878	956.7	325	598.15	120.56	654.1
42	315.15	0.08198	991.5	104	377.15	1.1668	955.2	330	603.15	128.63	640.4
43	316.15	0.08639	991.1	106	379.15	1.2504	953.7	340	613.15	146.05	610.2
44	317.15	0.09100	990.7	108	381.15	1.3390	952.2				
45	318.15	0.09582	990.2	110	383.15	1.4327	950.7	350	623.15	165.35	574.3
46	319.15	0.10086	989.8					360	633.15	186.75	527.5
47	320.15	0.10612	989.4	112	385.15	1.5316	949.1				
48	321.15	0.11162	988.9	114	387.15	1.6362	947.6	370	643.15	210.54	451.8
49	322.15	0.11736	988.4	116	389.15	1.7465	946.0	374.15	647.30	221.2	315.4
50	323.15	0.12335	988.0	118	391.15	1.8628	944.5				
				120	393.15	1.9854	942.9				
51	324.15	0.12961	987.6								
52	325.15	0.13613	987.1	122	395.15	2.1145	941.2				
53	326.15	0.14293	986.6	124	397.15	2.2504	939.6				
54	327.15	0.15002	986.2	126	399.15	2.3933	937.9				
55	328.15	0.15741	985.7	128	401.15	2.5435	936.2				
56	329.15	0.16511	985.2	130	403.15	2.7013	934.6				
57	330.15	0.17313	984.6								
58	331.15	0.18147	984.2	132	405.15	2.8670	932.8				
59	332.15	0.19016	983.7	134	407.15	3.041	931.1				
60	333.15	0.19920	983.2	136	409.15	3.223	929.4				

孔板(Orifice)

如第 3 章所述，可藉由在泵浦上串聯一個阻力調整泵浦的工作點。實務中經常在泵浦出口法蘭上放置孔板達成調整工作點的目的。下列圖表依據管徑／泵浦口徑 DN [mm]、流量 Q [m^3/h] 及所需揚程損失 ΔH [m] 列出孔板 (orifice) 孔徑 d [mm]。



管徑變化引起靜壓變化

依第二章所述，管徑變化會改變液體流速，從而改變動態與靜態壓力。若須計算揚程（參閱 86 頁），如有進／出口徑的差異則必須用來校正測得的揚程讀數。

ΔH 泵浦揚程讀數必須加上

$$\Delta H = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2} \cdot \left[\frac{1}{D_2^4} - \frac{1}{D_1^4} \right]$$

其中：

- v_1 為入口處液體流速 [m/s]
- v_2 為出口處液體流速 [m/s]
- Q 為流量 [m^3/s] g 為重力加速度 [m/s^2]
- D_1 為入口口徑 [m]
- D_2 為出口口徑 [m]

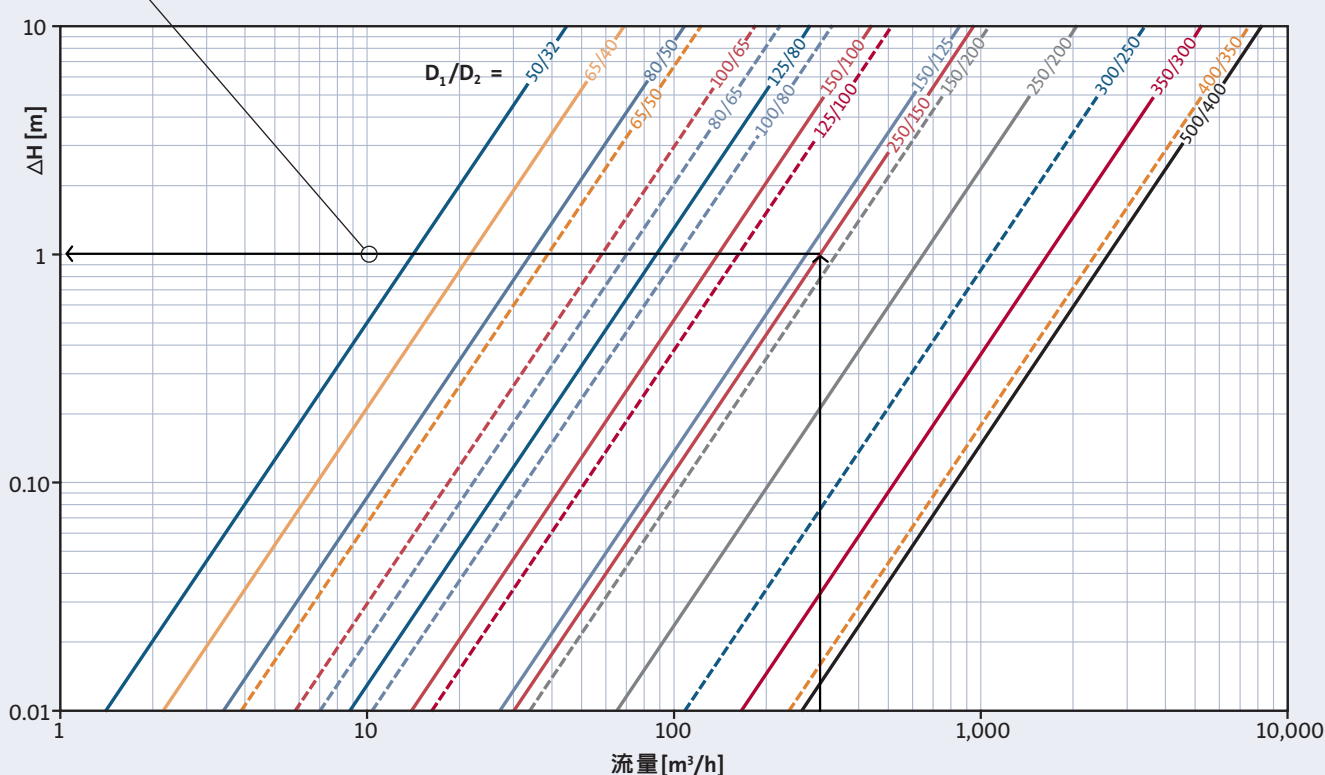
例如：

泵浦入口口徑 250 mm，出口口徑 150 mm，泵送流量 300 m^3/h 。入出口徑差異對測量揚程的影響為何？

$D_1 = 250 \text{ mm}$ $D_2 = 150 \text{ mm}$ $Q = 300 \text{ m}^3/\text{h}$

由圖查得，其揚程差異為 $\Delta H = 1 \text{ m}$ 。

圖表顯示當一些常用的入／出口口徑組合 D_1/D_2 ， ΔH 數值以流量 Q 的函數表示。本例中，流量 Q 以 [m^3/s] 為單位， ΔH 以 [m] 為單位。

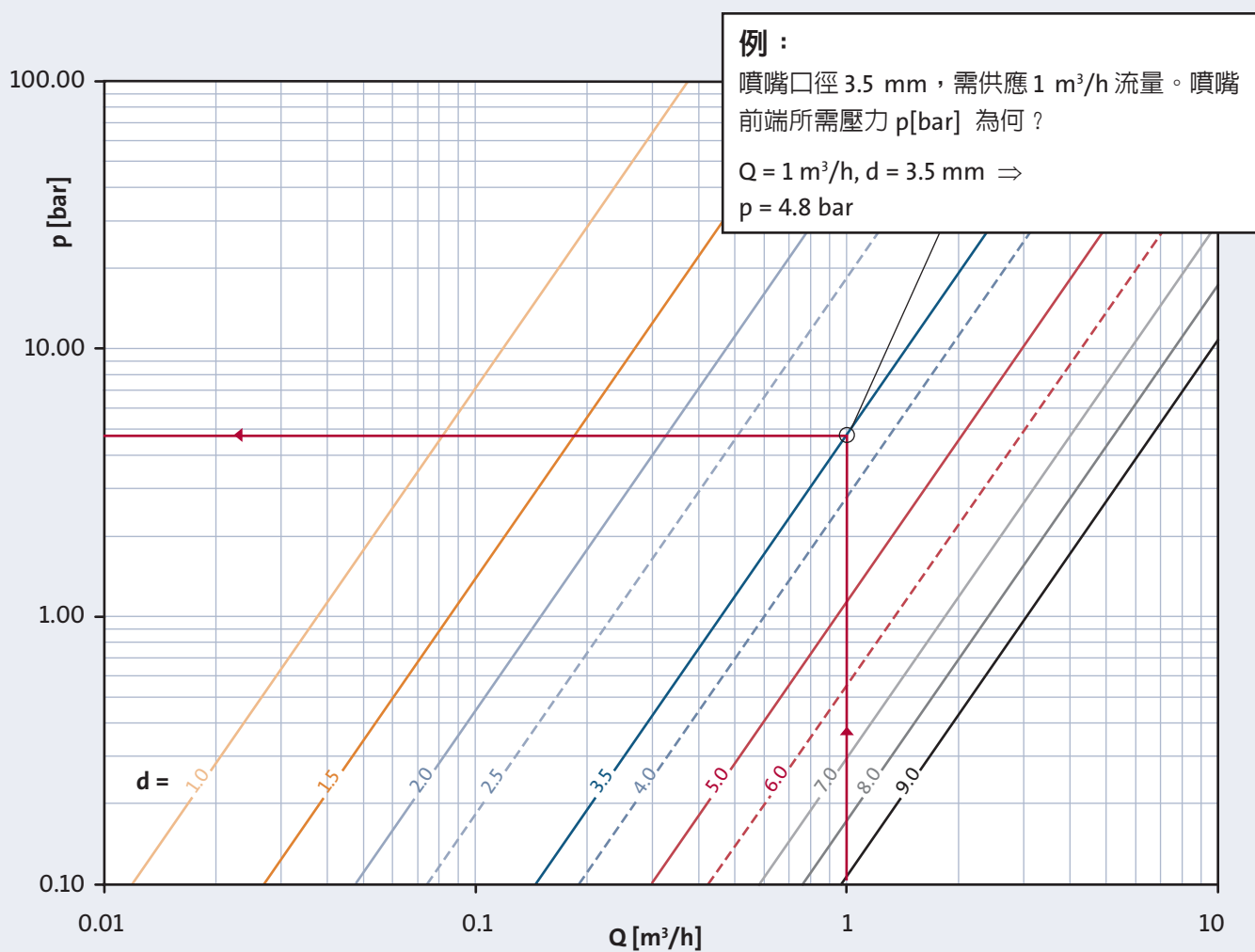
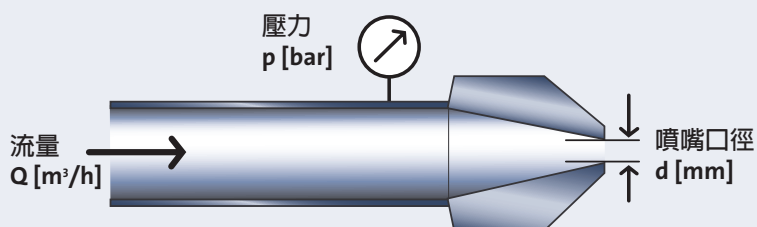


噴嘴

噴嘴口徑 d [mm]、所需流量 Q [m³/h] 與噴嘴前端所需壓力 p [bar] 之間的關係，可由以下的列線圖查得。假設噴嘴具有二次方的變化反應

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^n$$

其中 $n=0.5$ 。某些噴嘴的 n 值較低(請向廠商洽詢)。



彎頭、閥門等管件的揚程損失列線圖

Q = 流量, l/s

D = 管路內徑, mm

v = 流速, m/s

ζ = 損失係數

H_j = 管路損失, m

例：

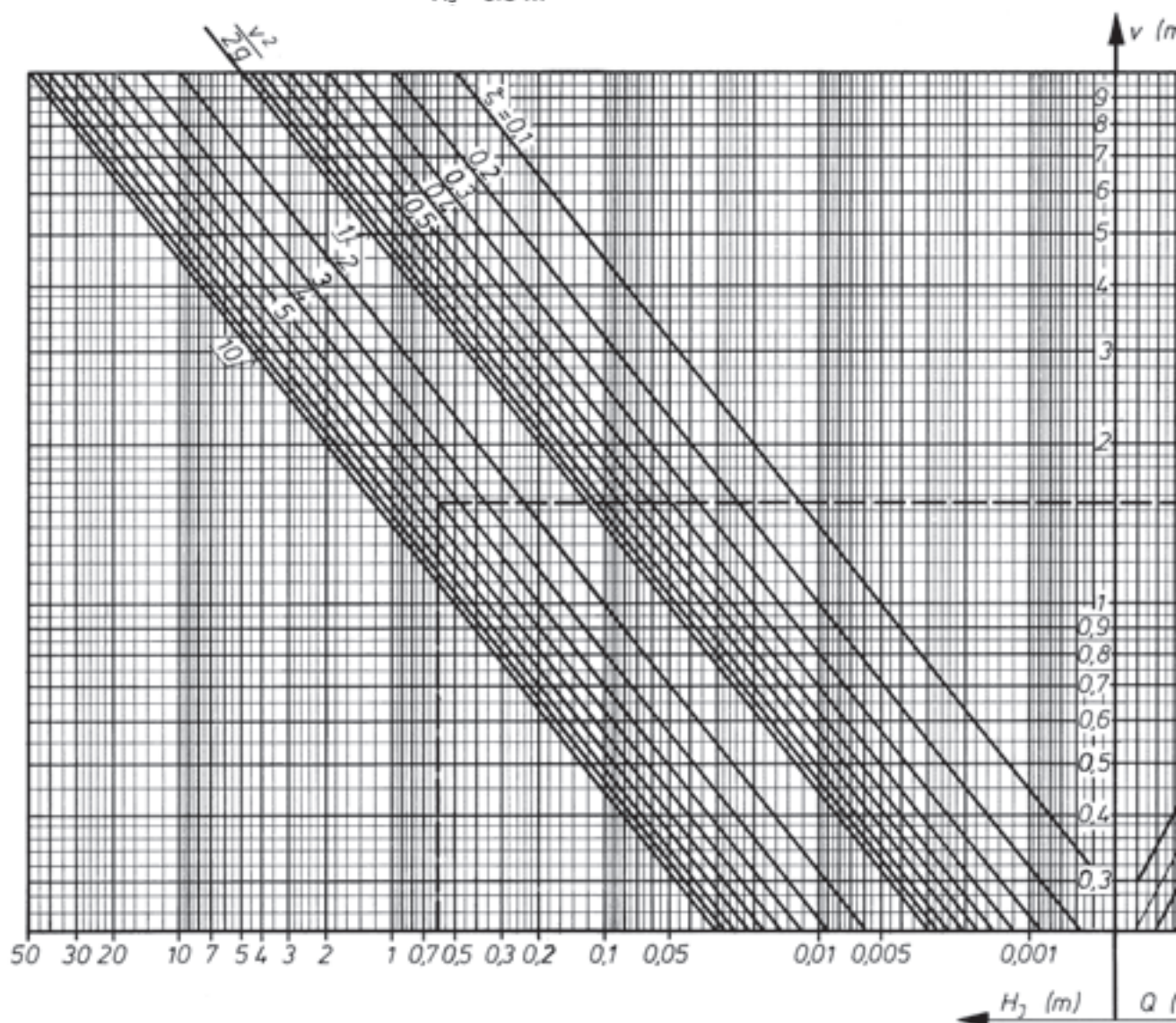
$Q = 12$ l/s

$D = 100$ mm

$v = 1.55$ m/s

$\Sigma \zeta = 5$

$H_j = 0.6$ m



彎頭、閥門等管件的揚程損失參考數值

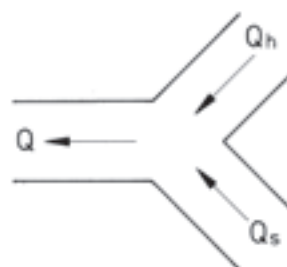
- 90°彎管， $R/D=1.5$ 0.3
- 出口損失 1.0(pipe without expansion)
- 旋啟式逆止閥 1...2
- 球式逆止閥 0.7...1.2
- 閘閥 0.2



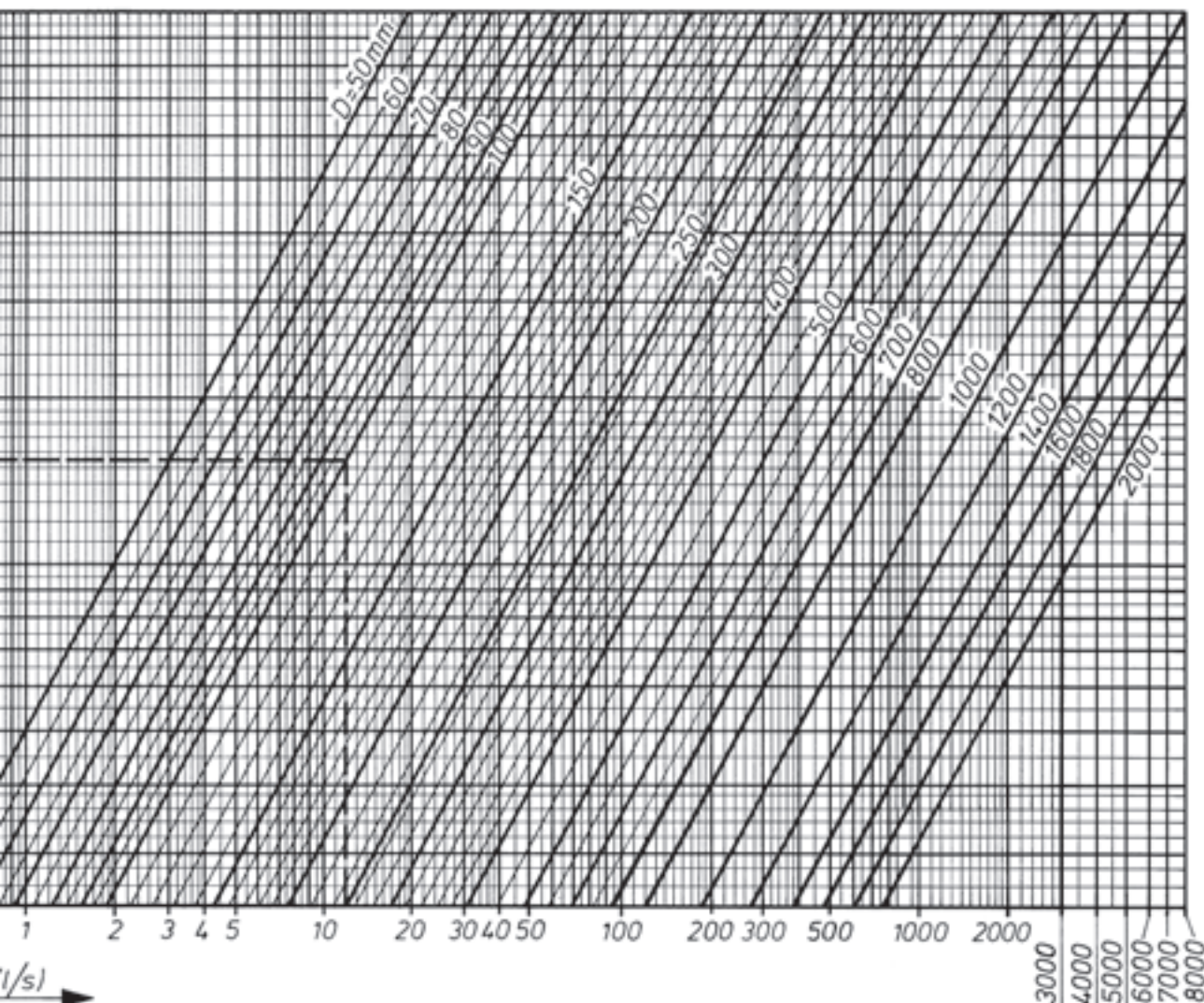
Q_h/Q	$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 45^\circ$	
	ζ_{th}	ζ_{se}	ζ_{th}	ζ_{se}
0.0	-1.00	0.04	-0.90	0.04
0.2	-0.40	0.17	-0.38	0.17
0.4	0.08	0.30	0.00	0.19
0.6	0.47	0.41	0.22	0.09
0.8	0.72	0.51	0.37	-0.17
1.0	0.91	0.60	0.37	-0.54



Q_h/Q	ζ_h	ζ_s
0.0	-	0.5
0.5	0.3	0.3
1.0	0.6	-



(l/s)



20°C清水的管路損失列線圖

Q = 流量，l/s

D = 管路內徑，mm

k = 表面粗糙度，mm

H_f = 管路損失，m/100m

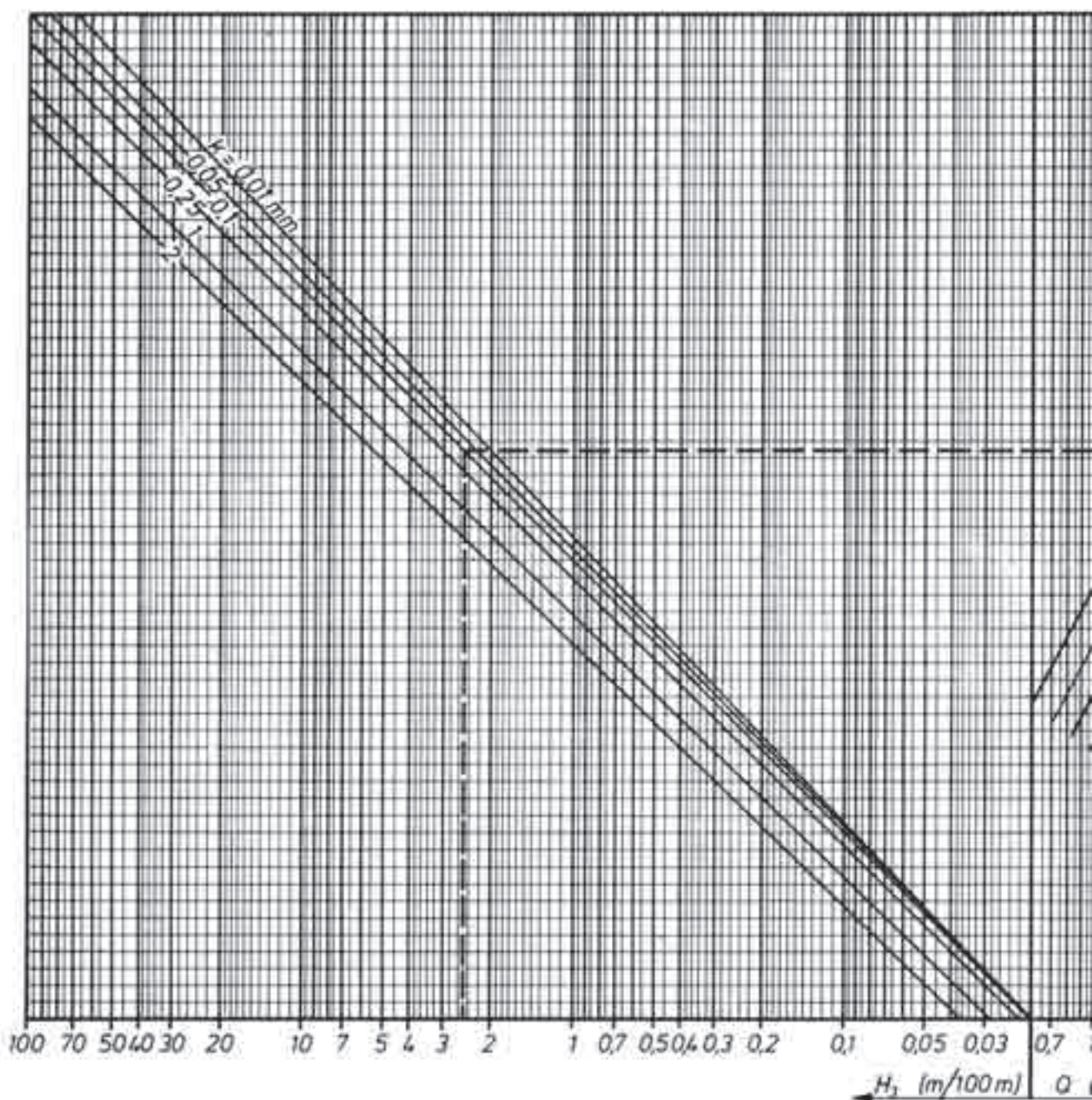
例：

$Q = 12$ l/s

$D = 100$ mm

$K = 0.1$ mm

$H_f = 2.5$ m/100m



管路表面粗糙度(k)參考值

管 材	新管 k (mm)	舊管 k (mm)
塑膠管	0.01	0.25
拉製銅管	0.05	1.0
焊製鋼管	0.1	1.0
拉製不銹鋼管	0.05	0.25
焊製不銹鋼管	0.1	0.25
鑄鐵管	0.25	1.0
鍍鋅鋼管	0.15	



元素週期表

1 H Hydrogen																	2 He Helium
3 Li Lithium	4 Be Beryllium											5 B Boron	6 C Carbon	7 N Nitrogen	8 O Oxygen	9 F Fluorine	10 Ne Neon
11 Na Sodium	12 Mg Magnesium											13 Al Aluminium	14 Si Silicon	15 P Phosphorus	16 S Sulphur	17 Cl Chlorine	18 Ar Argon
19 K Potassium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titanium	23 V Vanadium	24 Cr Chromium	25 Mn Manganese	26 Fe Iron	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Copper	30 Zn Zinc	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsenic	34 Se Selenium	35 Br Bromine	36 Kr Krypton
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdenum	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silver	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Tin	51 Sb Antimony	52 Te Tellurium	53 I Iodine	54 Xe Xenon
55 Cs Caesium	56 Ba Barium	57 La Lutetium	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantalum	74 W Tungsten	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platinum	79 Au Gold	80 Hg Mercury	81 Tl Thallium	82 Pb Lead	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astatine	86 Rn Radon
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89 Ac Actinium	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Uub Ununbium	113 Uut Ununtrium	114 UUq Ununquadium				

泵浦標準

泵浦標準

EN 733	端吸式離心泵浦，額定10 bar，含軸承支架
EN 22858	端吸式離心泵浦 (額定16 bar)–命名、標稱工作點及外型尺寸

泵浦相關標準：

ISO 3661	端吸式離心泵浦 – 底座及安裝外型尺寸
EN 12756	機械軸封 – 主要外型尺寸、命名及材料標準
EN 1092	法蘭及其接頭 – 管路、閥件、接頭及配件的圓形法蘭，PN–命名
ISO 7005	金屬法蘭
DIN24296	泵浦及特種液體泵浦：備品(Spare parts)

規格等：

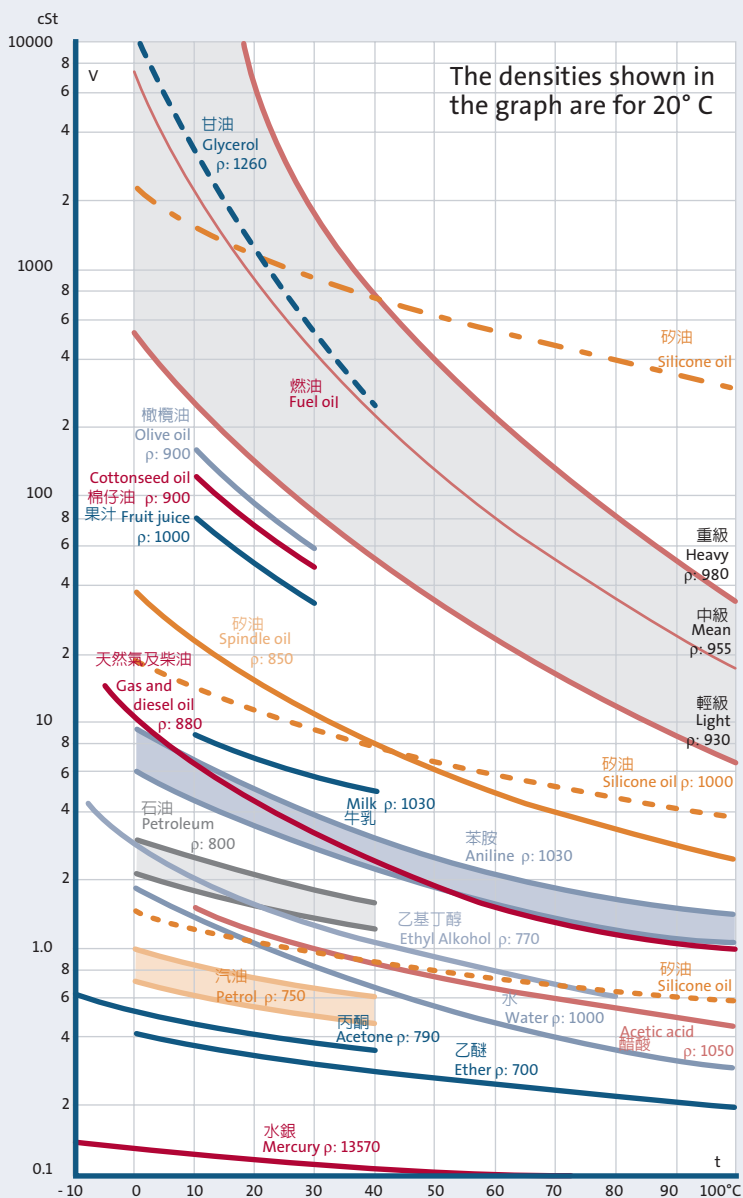
ISO 9905	離心式泵浦技術規範 – 第 1 類 (Class 1)
ISO 5199	離心式泵浦技術規範 – 第 2 類 (Class 2)
ISO 9908	離心式泵浦技術規範 – 第 3 類 (Class 3)
ISO 9906	旋轉式動力泵浦 – 水力性能測試 – 等級 1 及等級 2
EN 10204	金屬產品 – 檢驗文件種類
ISO/FDIS 10816	機械震動 – 測量非轉動部件以評估機械震動

馬達標準：

EN 60034/IEC 34	旋轉式電動機
-----------------	--------

各種液體黏度為溫度變化之函數

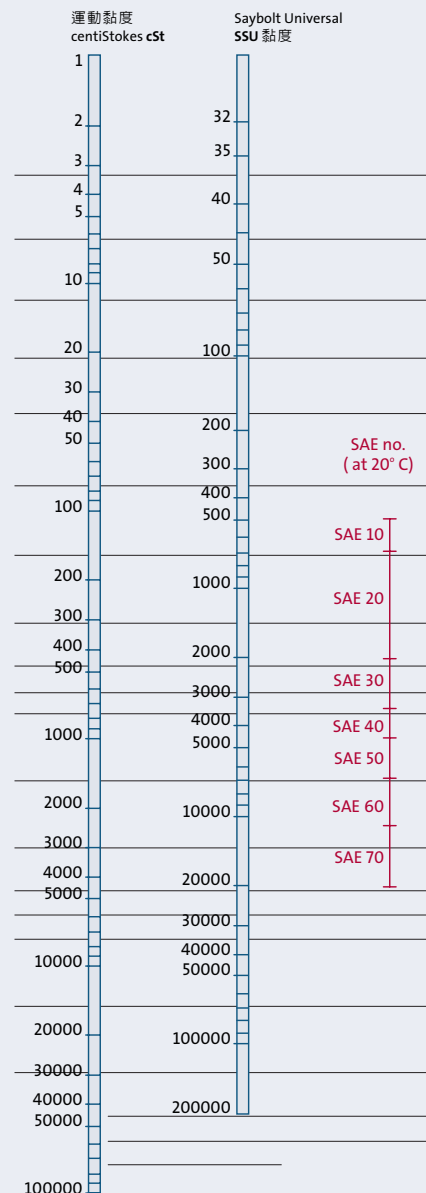
本圖表顯示各種液體於不同溫度時的黏度。如圖所示，溫度上升則黏度減低。



黏度

運動黏度測量單位為 centiStoke [cSt] ($1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)；也可以 [SSU (Saybolt Universal)] 單位配合運動黏度使用。下圖顯示 [cSt] 黏度與 [SSU] 之間的關係，圖中也顯示 SAE- 值。60 cSt 以上的運動黏度，[SSU (Saybolt Universal)] 黏度可依下式計算

$$[\text{SSU}] = 4.62 \cdot [\text{cSt}]$$



Ethylene glycol 乙烯乙二醇

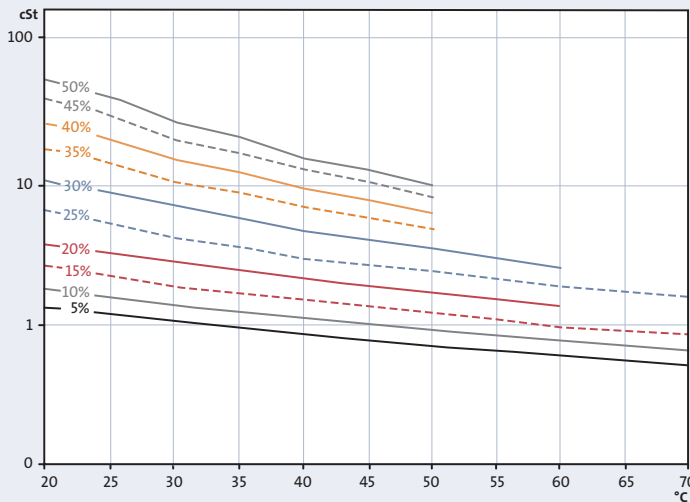
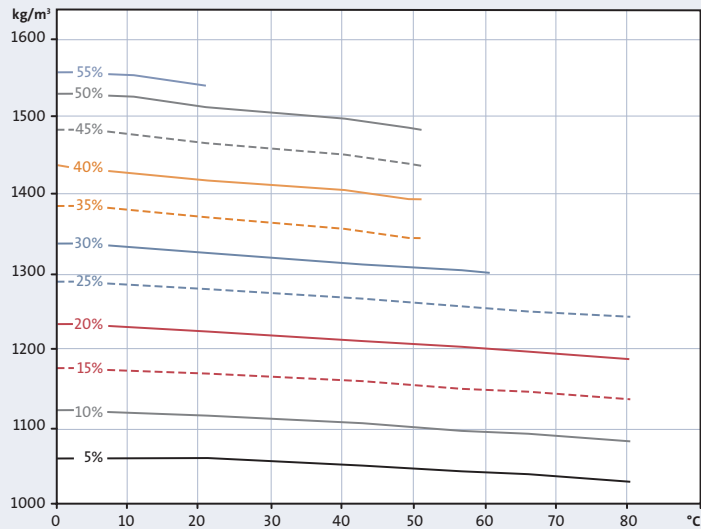
	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v
	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]
濃度重量百分比 wt % =	10%		15%		20%		25%		30%		35%		40%		45%		50%		55%		60%	
温度																						
-50																				1107	259.7	
-45																				1106	173.7	
-40																		1098	101.2	1105	118.6	
-35																	1089	57.3	1097	68.9	1104	82.7
-30															1081	32.3	1089	40.0	1096	48.1	1103	58.8
-25															1080	23.5	1088	28.7	1095	34.4	1102	42.6
-20													1072	14.1	1079	17.4	1086	21.1	1094	25.2	1101	31.5
-15									1055	7.2	1063	8.8	1070	10.9	1078	13.2	1085	15.8	1092	18.8	1099	23.6
-10							1046	4.9	1054	5.8	1062	7.0	1069	8.5	1077	10.2	1084	12.1	1091	14.3	1098	18.0
-5			1028	2.9	1036	3.4	1045	4.0	1053	4.7	1060	5.7	1068	6.8	1075	8.1	1082	9.4	1089	11.1	1096	14.0
0	1018	2.0	1027	2.5	1035	2.9	1043	3.3	1051	3.9	1059	4.7	1066	5.5	1074	6.5	1081	7.5	1088	8.8	1094	11.0
5	1017	1.7	1026	2.1	1034	2.4	1042	2.8	1050	3.3	1057	3.9	1065	4.5	1072	5.3	1079	6.1	1086	7.1	1092	8.8
10	1016	1.5	1024	1.8	1032	2.1	1041	2.4	1048	2.8	1056	3.2	1063	3.8	1070	4.4	1077	5.0	1084	5.8	1090	7.1
15	1014	1.3	1023	1.6	1031	1.8	1039	2.1	1047	2.4	1054	2.8	1061	3.2	1068	3.7	1075	4.2	1082	4.8	1088	5.9
20	1013	1.1	1021	1.4	1029	1.6	1037	1.8	1045	2.0	1052	2.4	1059	2.7	1066	3.1	1073	3.5	1079	4.0	1086	4.9
25	1011	1.0	1019	1.2	1027	1.4	1035	1.6	1043	1.8	1050	2.1	1057	2.4	1064	2.7	1071	3.0	1077	3.4	1083	4.1
30	1009	0.9	1018	1.1	1026	1.2	1033	1.4	1041	1.6	1048	1.8	1055	2.1	1062	2.3	1068	2.6	1075	3.0	1081	3.5
35	1008	0.8	1016	1.0	1024	1.1	1031	1.2	1039	1.4	1046	1.6	1053	1.8	1059	2.1	1066	2.3	1072	2.6	1078	3.0
40	1006	0.7	1014	0.9	1021	1.0	1029	1.1	1036	1.2	1043	1.4	1050	1.6	1057	1.8	1063	2.0	1069	2.3	1076	2.6
45	1003	0.7	1011	0.8	1019	0.9	1027	1.0	1034	1.1	1041	1.3	1048	1.4	1054	1.6	1060	1.8	1067	2.0	1073	2.2
50	1001	0.6	1009	0.7	1017	0.8	1024	0.9	1031	1.0	1038	1.1	1045	1.3	1051	1.5	1058	1.6	1064	1.8	1070	2.0
55	999	0.6	1007	0.7	1014	0.7	1022	0.8	1029	0.9	1036	1.0	1042	1.2	1048	1.3	1055	1.5	1061	1.6	1066	1.7
60	996	0.5	1004	0.6	1012	0.7	1019	0.7	1026	0.8	1033	0.9	1039	1.1	1045	1.2	1052	1.3	1058	1.4	1063	1.5
65	994	0.5	1001	0.6	1009	0.6	1016	0.7	1023	0.8	1030	0.9	1036	1.0	1042	1.1	1048	1.2	1054	1.3	1060	1.4
70	991	0.5	998	0.5	1006	0.6	1013	0.6	1020	0.7	1027	0.8	1033	0.9	1039	1.0	1045	1.1	1051	1.2	1056	1.2
75	988	0.4	996	0.5	1003	0.5	1010	0.6	1017	0.6	1023	0.7	1030	0.8	1036	0.9	1042	1.0	1047	1.1	1053	1.1
80	985	0.4	992	0.5	1000	0.5	1007	0.5	1014	0.6	1020	0.7	1026	0.8	1032	0.8	1038	0.9	1044	1.0	1049	1.0
85	982	0.4	989	0.4	997	0.5	1003	0.5	1010	0.5	1017	0.6	1023	0.7	1029	0.8	1034	0.8	1040	0.9	1045	0.9
90	979	0.3	986	0.4	993	0.4	1000	0.5	1007	0.5	1013	0.6	1019	0.6	1025	0.7	1031	0.8	1036	0.8	1041	0.8
95	975	0.3	983	0.4	990	0.4	996	0.4	1003	0.5	1009	0.5	1015	0.6	1021	0.6	1027	0.7	1032	0.7	1037	0.8
100	972	0.3	979	0.4	986	0.4	993	0.4	999	0.4	1005	0.5	1011	0.5	1017	0.6	1023	0.6	1028	0.6	1033	0.7

Propylene glycol 丙烯乙二醇

	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν	ρ	ν
	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]
濃度重量百分比 wt % =	10%		15%		20%		25%		30%		35%		40%		45%		50%		55%		60%	
温度																						
-50																				1077	2433.5	
-45																				1075	1390.3	
-40																		1070	468.8	1074	817.6	
-35																		1069	291.8	1072	494.4	
-30																1063	157.1	1067	186.7	1071	307.2	
-25														1057	87.1	1062	102.5	1066	122.6	1069	196.0	
-20												1051	44.9	1056	58.1	1060	68.6	1064	82.6	1067	128.2	
-15										1045	22.2	1050	31.1	1054	39.8	1058	47.1	1062	56.9	1065	85.9	
-10								1039	11.4	1044	16.2	1048	22.1	1053	27.9	1056	33.2	1060	40.2	1063	58.9	
-5			1021	3.8	1027	4.8	1032	6.3	1037	8.7	1042	12.0	1047	16.0	1051	20.1	1054	23.9	1058	29.0	1061	41.4
0	1013	2.6	1020	3.1	1025	3.9	1031	5.1	1036	6.8	1040	9.1	1045	11.9	1049	14.7	1052	17.6	1056	21.4	1059	29.7
5	1012	2.2	1018	2.6	1024	3.2	1029	4.1	1034	5.4	1038	7.0	1043	9.0	1046	11.1	1050	13.2	1053	16.1	1056	21.7
10	1011	1.8	1017	2.2	1022	2.7	1027	3.4	1032	4.3	1036	5.5	1040	6.9	1044	8.5	1048	10.1	1051	12.3	1053	16.2
15	1009	1.6	1015	1.9	1020	2.3	1025	2.8	1030	3.5	1034	4.4	1038	5.5	1042	6.6	1045	7.9	1048	9.6	1051	12.3
20	1008	1.4	1013	1.6	1019	1.9	1023	2.4	1028	2.9	1032	3.6	1036	4.4	1039	5.3	1042	6.3	1045	7.6	1048	9.6
25	1006	1.2	1011	1.4	1017	1.7	1021	2.0	1026	2.5	1030	3.0	1033	3.6	1037	4.3	1040	5.1	1042	6.1	1045	7.5
30	1004	1.1	1009	1.2	1014	1.4	1019	1.7	1023	2.1	1027	2.5	1031	2.9	1034	3.5	1037	4.2	1039	5.0	1042	6.0
35	1002	0.9	1007	1.1	1012	1.3	1017	1.5	1021	1.8	1024	2.1	1028	2.5	1031	2.9	1034	3.5	1036	4.2	1038	4.9
40	1000	0.8	1005	1.0	1010	1.1	1014	1.3	1018	1.5	1022	1.8	1025	2.1	1028	2.5	1031	2.9	1033	3.5	1035	4.0
45	998	0.8	1003	0.9	1007	1.0	1011	1.2	1015	1.4	1019	1.6	1022	1.8	1025	2.1	1027	2.5	1030	3.0	1032	3.4
50	995	0.7	1000	0.8	1005	0.9	1009	1.0	1012	1.2	1016	1.4	1019	1.6	1021	1.8	1024	2.2	1026	2.6	1028	2.9
55	993	0.6	998	0.7	1002	0.8	1006	0.9	1009	1.1	1012	1.2	1015	1.4	1018	1.6	1020	1.9	1022	2.2	1024	2.4
60	990	0.6	995	0.6	999	0.7	1003	0.8	1006	1.0	1009	1.1	1012	1.2	1014	1.4	1017	1.7	1019	1.9	1020	2.1
65	988	0.5	992	0.6	996	0.7	999	0.8	1003	0.9	1006	1.0	1008	1.1	1011	1.3	1013	1.5	1015	1.7	1016	1.9
70	985	0.5	989	0.5	993	0.6	996	0.7	999	0.8	1002	0.9	1005	1.0	1007	1.1	1009	1.3	1011	1.5	1012	1.6
75	982	0.5	986	0.5	989	0.6	993	0.6	996	0.7	998	0.8	1001	0.9	1003	1.0	1005	1.2	1006	1.4	1008	1.5
80	979	0.4	983	0.5	986	0.5	989	0.6	992	0.7	995	0.7	997	0.8	999	10.0	1001	1.1	1002	1.2	1003	1.3
85	976	0.4	979	0.4	982	0.5	985	0.5	988	0.6	991	0.7	993	0.8	995	0.9	996	1.0	998	1.1	999	1.2
90	972	0.4	976	0.4	979	0.4	982	0.5	984	0.6	986	0.6	988	0.7	990	0.8	992	0.9	993	1.0	994	1.1
95	969	0.3	972	0.4	975	0.4	978	0.5	980	0.5	982	0.6	984	0.7	986	0.7	987	0.8	988	0.9	989	1.0
100	965	0.3	968	0.3	971	0.4	974	0.4	976	0.5	978	0.6	980	0.6	981	0.7	983	0.7	984	0.8	984	0.9

Sodium hydroxide 氫氧化鈉

	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v	ρ	v
	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]	[kg/m³]	[cSt]
濃度重量百分比 wt % =	5%		10%		15%		20%		25%		30%		35%		40%		45%		50%		55%	
温度																						
0	1060		1117		1174		1230		1285		1334		1384		1435		1483		1530		1559	
5	1058		1115		1172		1227		1283		1332		1381		1429		1480		1528		1556	
10	1057		1113		1170		1224		1280		1330		1377		1423		1478		1525		1553	
15	1056		1111		1167		1222		1277		1326		1372		1420		1471		1518		1546	
20	1054	1.3	1109	1.7	1164	2.5	1219	3.6	1274	6.2	1322	10.1	1367	16.8	1416	25.4	1464	38.2	1511	51.8	1540	
25	1052	1.1	1107	1.5	1162	2.1	1217	3.1	1271	5.1	1319	8.3	1364	13.3	1413	19.9	1461	29.0	1508	39.0		
30	1050	1.0	1104	1.3	1159	1.8	1214	2.7	1268	4.0	1315	6.5	1360	9.9	1410	14.4	1457	19.9	1504	26.2		
35	1048	0.9	1102	1.2	1157	1.6	1211	2.3	1265	3.4	1312	5.5	1357	8.2	1407	11.6	1454	15.9	1501	20.5		
40	1046	0.8	1100	1.1	1154	1.4	1208	2.0	1262	2.8	1309	4.5	1353	6.6	1403	8.9	1450	12.0	1497	14.7		
45	1044	0.7	1097	1.0	1151	1.3	1205	1.8	1259	2.6	1306	3.9	1347	5.6	1396	7.5	1443	9.9	1490	12.1		
50	1042	0.7	1094	0.9	1148	1.2	1202	1.6	1256	2.3	1302	3.3	1340	4.6	1389	6.0	1436	7.8	1483	9.4		
55	1039	0.6	1092	0.8	1145	1.0	1199	1.5	1253	2.0	1299	2.9										
60	1036	0.6	1089	0.7	1143	0.9	1196	1.3	1250	1.8	1295	2.4										
65	1033	0.5	1086	0.7	1140	0.9	1193	1.2	1246	1.6												
70	1030	0.5	1083	0.6	1137	0.8	1190	1.1	1243	1.5												
75	1027		1080		1134		1186		1240													
80	1025		1077		1131		1183		1237													



Calcium chloride 氯化鈣

	ρ		v		ρ		v		ρ		v		ρ		v	
	[kg/m³]		[cSt]		[kg/m³]		[cSt]		[kg/m³]		[cSt]		[kg/m³]		[cSt]	
濃度重量百分比 wt % =	10%		15%		20%		25%									
溫度																
-25									1245	7.7						
-20									1244	6.3						
-15								1189	4.3	1242	5.2					
-10					1138	3.0	1188	3.6	1241	4.4						
-5	1090	2.3	1137	2.6	1187	3.1	1239	3.8								
0	1088	2.0	1135	2.2	1186	2.6	1237	3.3								
5	1086	1.7	1134	1.9	1184	2.3	1235	2.9								
10	1085	1.5	1132	1.7	1182	2.0	1233	2.5								
15	1083	1.3	1131	1.5	1180	1.8	1230	2.2								
20	1082	1.1	1129	1.3	1178	1.6	1228	2.0								
25	1082	1.0	1127	1.2	1176	1.4	1226	1.8								
30	1081	0.9	1125	1.0	1173	1.3	1223	1.6								

Sodium chloride 氯化鈉

	ρ		v		ρ		v		ρ		v		ρ		v	
	[kg/m³]		[cSt]		[kg/m³]		[cSt]		[kg/m³]		[cSt]		[kg/m³]		[cSt]	
濃度重量百分比 wt % =	5%		10%		15%		20%									
溫度																
-15									1162	4.0						
-10								1120	2.9	1160	3.2					
-5							1082	2.2	1118	2.4	1158	2.7				
0	1043	1.8	1080	1.8	1116	2.0	1155	2.3								
5	1042	1.5	1079	1.6	1114	1.7	1153	1.9								
10	1041	1.3	1077	1.4	1112	1.5	1151	1.7								
15	1040	1.1	1075	1.2	1110	1.3	1148	1.5								
20	1039	1.0	1074	1.1	1108	1.2	1146	1.3								
25	1037	0.9	1072	0.9	1106	1.0	1144	1.2								
30	1036	0.8	1070	0.9	1103	0.9	1141	1.1								

A

Absolute pressure 絕對壓力	85
Adjusting pump performance 調節泵浦性能	106
Aluminum 鋁	70
Asynchronous motor 異步馬達	40
ATEX (ATmosphère EXplosible)	
易爆炸環境	41
Austenitic (non-magnetic)	
奧斯田鐵系(無磁性)	68
Autotransformer starting 自耦變壓器啟動	46
Axial flow pumps 軸流泵浦	8
Axial forces 軸向力	14

B

Balanced shaft seal 平衡式軸封	30
Basic coupling 基本型聯軸器	16
Bearing 軸承	51
Insulated bearing 絕緣軸承	48
Bellows seal 波紋管軸封	31
Borehole pump 深井泵浦	23
Bypass control 旁通控制	106

C

Canned motor pump 罐裝馬達式泵浦	18
Cartridge seal 卡匣式軸封	32
Casing 泵殼	15
Double-volute 雙渦卷	15
Single-volute 單渦卷	15
Return channel 回流通道	15
Cast iron 鑄鐵	66
Cavitation 空蝕現象	10,89
Cavitation corrosion 空蝕	63
Centrifugal pump 離心泵浦	8
Ceramics 陶瓷	71
Close-coupled pump 直結式泵浦	12,13,16
Closed system 封閉系統	96,98
Coatings 塗裝	73
Metallic coatings 金屬塗裝	73
Non-metallic coatings 非金屬塗裝	74
Organic coatings 有機塗裝	74
Computer aided pump selection	
電腦輔助泵浦選機	58

Control 控制	106
Throttle control 節流控制	107
Bypass control 旁通控制	107
Speed control 轉速控制	108
Constant differential pressure control 恆定差壓控制	115
Constant pressure control 恆壓控制	114
Constant temperature control 恆溫控制	115
Copper alloys 銅合金	69
Corrosion 腐蝕	60
Cavitation corrosion 空蝕	63
Corrosion fatigue 腐蝕疲勞	64
Crevice corrosion 裂隙腐蝕	62
Erosion corrosion 沖蝕	63
Galvanic corrosion 電解腐蝕	64
Intergranular corrosion 晶界腐蝕	62
Pitting corrosion 點蝕	61
Selective corrosion 選擇性腐蝕	62
Stress corrosion cracking (SCC) 應力腐蝕開裂	63
Uniform corrosion 均勻腐蝕	61
Corrosion fatigue 腐蝕疲勞	64
Coupling 聯軸器	16
Basic coupling 基本型聯軸器	16
Flexible coupling 撓性聯軸器	16
Spacer coupling 間隔聯軸器	16
Crevice corrosion 裂隙腐蝕	62

D

Decommissioning and disposal costs 廢棄及處理成本	131
Deep well pump 深井泵浦	23
Density 密度	10,93
Unit 單位	附錄 A
Water 水	附錄 D
Brine 滷水；濃鹽水	附錄 L
Diaphragm pump 隔膜泵浦	25
Differential pressure 差壓	88
Differential pressure control 差壓控制	116
Dilatant liquid 膨脹性液體	55
Direct-on-line starting (DOL) 直接起動	46
Dosing pump 定量泵浦	25
Double mechanical shaft seal 雙機械軸封	33
Double seal in tandem 並列雙軸封	33

Double seal in back-to-back 背對背雙軸封	34
Double-channel impeller 雙通道葉輪	21
Double-inlet 雙入口	17
Double-suction impeller 雙吸式葉輪	11,17
Double-volute casing 雙渦卷泵殼	15
Downtime costs 故障時間成本	131
Dust ignition proof (DIP) 防塵燃 (防止灰塵引燃)	42
Duty point 工作點	96
Dynamic pressure 動壓力	84
Dynamic viscosity 動黏度	54

E

Earth-leakage circuit breaker (ELCB) 漏電斷路器(ELCB)	125
Efficiency 效率	10
Efficiency at reduced speed 減速後效率	109
Efficiency curve 效率曲線	10
Electric motor 電動馬達	40
Flameproof motor 防火馬達	41
Increased safety motor 安全加強型馬達	41
Non-sparking motor 無火花馬達(防爆馬達)	42
EMC directive 電磁相容性指令	123
EMC filter 電磁相容性濾波器	123
Enclosure class (IP), motor 馬達(外殼)保護等級 (IP)	43
End-suction pump 端吸式泵浦	12
Energy costs 能源成本	130
Energy savings 節省能源	111,114,117
Environmental costs 環保成本	130
Erosion corrosion 沖蝕	63
Ethylene propylene rubber (EPDM) 乙丙烯橡膠(EPDM)	72
Expansion joints 伸縮接頭	80

F

Ferritic (magnetic) 肥粒鐵系(磁性)	68
Ferritic-austenitic or duplex (magnetic) 肥粒鐵系-奧斯田鐵系或雙重鐵系(磁性)	68
Ferrous alloys 鐵屬合金	65
Flameproof motor 防火馬達	41
Flexible coupling 撓性聯軸器	16
Floating plinth 浮動式基座	79
Flow 流量	83

Mass flow 質量流量	83
Volume flow 體積流量	83
Units 單位	附錄 B
Fluoroelastomers (FKM) 氟彈性體 (FKM)	72
Flushing 沖洗	32
Foundation 基礎	78
Floating plinth 浮動式基座	79
Floor 地板	79
Plinth 基座	79
Vibration dampeners 避震器	79
Frame size 框架尺寸	44
Frequency converter 變頻器	47,108,118

G

Galvanic corrosion 電解腐蝕	64
Gauge pressure 錶壓力	85
Geodetic head 實測揚程	99
Geodetic lift 實際揚升淨高程	99
Grey iron 灰鑄鐵	66

H

Head 揚程	9,85
Heat capacity 熱容量	93
Hermetically sealed pump 密封式泵浦	18
Horizontal pump 水平泵浦	12,13
Hydraulic power 水功率	10,91

I

IEC, motor 國際電工委員會(IEC), 馬達	40
Immersible pump 浸水式泵浦	22
Impeller 葉輪	14,21
Double-channel 雙通道	21
Single-channel 單通道	21
Vortex impeller 渦流葉輪	21
Increased safety motor 安全加強型馬達	41
Initial costs 初始成本	129
In-line pump 線上型泵浦	12,13
Installation and commissioning costs 安裝及試車成本	129
Insulation class 絕緣等級	44
Intergranular corrosion 晶界腐蝕	62

K

Kinematic viscosity 運動黏性 54, 附錄 L

L

Life cycle costs 生命週期成本 117,128

Example 實例 132

Liquid 液體 54

Dilatant 膨脹 55

Newtonian 牛頓 55

Non-Newtonian 非牛頓 55

Plastic fluid 塑性流體 55

Thixotropic 搖溶性 55

Viscous 黏性 54

Long-coupled pump 聯軸式泵浦 12,13,16

Loss of production costs 生產成本損失 131

M

Magnetic drive 磁力驅動 19

Maintenance and repair costs 維修保養成本 131

Martensitic (magnetic) 麻田散鐵系(磁性) 68

Mass flow 質量流量 83

Measuring pressure 測量壓力 85

Mechanical shaft seal 機械軸封 18,28

Bellows seal 波紋管軸封 31

Cartridge seal 卡匣式軸封 32

Metal bellows seal 金屬波紋管軸封 32

Rubber bellows seal 橡膠波紋管軸封 31

Function 功能 29

Flushing 沖洗 32

Metal alloys 金屬合金 65

Ferrous alloys 鐵屬合金 65

Metal bellows seal 金屬波紋管軸封 32

Metallic coatings 金屬漆塗裝 73

Mixed flow pumps 混流泵浦 8

Modifying impeller diameter

修改葉輪直徑 108,110

Motors 馬達 40

Motor efficiency 馬達效率 49

Motor insulation 馬達絕緣 48

Motor protection 馬達保護 49

Motor start-up 馬達啟動 46

Autotransformer starting 自耦變壓器啟動 46

Direct-on-line starting (DOL) 直接啟動 46

Frequency converter 變頻器 46,47

Soft starter 緩啟動器 46

Star/delta starting 星角啟動 46

Mounting of motor (IM) 馬達安裝 (IM) 43

Multistage pump 多段式泵浦 11,12,13,16

N

NEMA, motor standard

美國電器製造協會(NEMA), 馬達規範 40

Newtonian fluid 牛頓流體 55

Nickel alloys 鎳合金 69

Nitrile rubber 硝化橡膠 72

Nodular iron 球狀鐵 66

Noise (vibration) 噪音(震動) 78

Non-metallic coatings 非金屬漆塗裝 74

Non-Newtonian liquid 非牛頓液體 55

Non-sinusoidal current 非正弦電流 124

Non-sparking motor 無火花 (防爆) 馬達 42

NPSH (Net Positive Suction Head)

淨正吸入揚程 10,89

O

Open system 開放式系統 96,99

Operating costs 操作成本 106,130

Organic coatings 有機塗裝 74

O-ring seal O-型環軸封 31

Oversized pumps 泵浦過大 106

P

Paints 油漆 74

Perfluoroelastomers (FFKM)

過氟彈性體 (FFKM) 72

Phase insulation 相位絕緣 48

PI-controller PI-控制器 114

Pitting corrosion 點蝕 61

Plastic fluid 塑性流體 55

Plastics 塑膠 71

Plinth 基座 79

Positive displacement pump 正排量泵浦 24

Power consumption 功率消耗 10,91

Hydraulic power 水功率 10,91

Shaft power 軸功率 91

Pressure 壓力 84

Absolute pressure 絕對壓力	85
Differential pressure 差壓	88
Dynamic pressure 動壓力	84
Gauge pressure 錶壓力	85
Measuring pressure 測量壓力	85
Static pressure 靜壓力	84
System pressure 系統壓力	88
Units 單位	85, 附錄 A
Vapour pressure 蒸氣壓	90, 附錄 D
Pressure control 壓力控制	
Constant differential pressure control 恆定差壓控制	115
Constant pressure 恆定壓力	114
Constant pressure control 恆壓控制	119
Constant supply pressure 恆定供水壓力	114
Pressure transmitter (PT) 壓力傳送器 (PT)	114
Proportional pressure control 比例壓力控制	120
PTC thermistors PTC 熱敏電阻	50
Pulse Width Modulation (PWM)	
脈衝寬度調制(PWM)	123
Pump 泵浦	
Axial flow pump 軸流泵浦	8
Borehole pump 深井泵浦	23
Canned motor pump 罐裝馬達式泵浦	18
Centrifugal pump 離心泵浦	8
Close-coupled pump 直結泵浦	12,13,16
Diaphragm pump 隔膜泵浦	25
Dosing pump 定量泵浦	25
Hermetically sealed pump 密封式泵浦	18
Horizontal pump 水平泵浦	12,13
Immersible pump 浸水式泵浦	22
Long-coupled pump 聯軸式泵浦	12,13,16
Magnetic-driven pump 磁力驅動泵浦	19
Mixed flow pump 混流泵浦	8
Multistage pump 多段式泵浦	11,12,13,16
Positive displacement pump 正排量泵浦	24
Radial flow pump 徑流泵浦	85
Sanitary pump 衛生泵浦	20
Single-stage pump 單段泵浦	15
Split-case pump 雙吸式泵浦	12,13,17
Standard pump 標準泵浦	17
Vertical pump 直立式泵浦	12,13
Wastewater pump 污水泵浦	21
Pump casing 泵殼	15
Pump characteristic 泵浦特性	9,96
Pump curve 泵浦曲線	9

Pump installation 泵浦安裝	77
Pump performance curve 泵浦性能曲線	9,96
Pumps connected in series 串聯泵浦	103
Pumps in parallel 並聯泵浦	101
Pumps with integrated frequency converter 整合式變頻泵浦	118
Purchase costs 購買成本	129
PWM (Pulse Width Modulation) 脈衝寬度調制	123

Q

QH-curve 流量-揚程曲線	9
------------------	---

R

Radial flow pump 徑流泵浦	8
Radial forces 徑向力	15
Reinforced insulation 加強絕緣	48
Resistances connected in parallel 並聯阻抗	98
Resistances connected in series 串聯阻抗	97
Return channel casing 倉回流通道泵殼	11,15
Rubber 橡膠	72
Ethylene propylene rubber (EPDM) 乙丙烯橡膠(EPDM)	72
Fluoroelastomers (FKM) 氟彈性體 (FKM)	72
Nitrile rubber (NBR) 硝化橡膠	72
Perfluoroelastomers (FFKM) 過氟彈性體(FFKM)	72
Silicone rubber (Q) 矽橡膠	72
Rubber bellows seal 橡膠波紋管軸封	31

S

Sanitary pump 衛生泵浦	20
Sealface 軸封面	28
Seal gap 軸封間隙	29
Selective corrosion 選擇性腐蝕	62
Setpoint 設定點	114
Shaft 心軸	11
Shaft power 軸功率	91
Shaft seal 軸封	28
Balanced shaft seal 平衡式軸封	30

Unbalanced shaft seal 非平衡式軸封	30
Silicone rubber (Q) 矽橡膠	72
Single resistances 單一阻抗	97
Resistances connected in series 串聯阻抗	97
Single-channel impeller 單通道葉輪	21
Single-stage pump 單段泵浦	11,12,13,15
Single-suction impeller 單吸式葉輪	11
Single-volute casing 單渦卷泵殼	15
Soft starter 緩啟動器	46
Sound level 噪音值	81
Sound pressure level 噪音值	82
Spacer coupling 間距聯軸器	16
Speed control 轉速控制	106,108,110
Variable speed control 變速控制	108
Speed-controlled pumps in parallel 並聯的轉速控制泵浦	102
Split-case pump 分件式泵浦	12,13,17
Stainless steel 不銹鋼	66
Standard pump 標準泵浦	17
Standards 標準	40
IEC, motor 國際電工委員會(IEC), 馬達	40
NEMA, motor 美國電器製造協會(NEMA) , 馬達	40
Sanitary standards 衛生標準	20
Standstill heating of motor 靜置馬達之加溫	51
Star/delta starting 星角啟動	46
Static pressure 靜壓	84
Steel 鋼	65
Stress corrosion cracking (SCC) 應力腐蝕開裂	63
Stuffing box 填料函	28
Submersible pump 沉水式泵浦	23
System characteristic 系統特性	96
Closed system 封閉系統	96,98
Open system 開放系統	96,99
System costs 系統成本	117
System pressure 系統壓力	88

T

Temperature 溫度	93
Units 單位	附錄 B
Thermoplastics 熱塑性塑膠	71
Thermosets 熱固型	71
Thixotropic liquid 搖溶性液體	55
Throttle control 節流控制	106,110-113
Throttle valve 節流閥	107
Titanium 鈦	70
Twin pump 雙頭泵浦	11

U

Unbalanced shaft seal 非平衡式軸封	30
Uniform corrosion 均勻腐蝕	61

V

Vapour pressure 蒸氣壓	90, 附錄 D
Variable speed control 變速控制	108
Vertical pump 直立式泵浦	12,13
Vibration dampeners 避震器	79
Vibrations 震動	78
Viscosity 黏度	54, 附錄 L
Dynamic viscosity 動黏度	54
Viscous liquid 黏性液體	54
Viscous liquid pump curve 黏性液體泵浦曲線	55
Voltage supply 電壓供應	47
Volume flow 體積流量	83
Units 單位	附錄 A
Volute casing 渦卷泵殼	11
Vortex impeller 渦流葉輪	21
Wastewater pump 污水泵浦	21

BE > THINK > INNOVATE >

Being responsible is our foundation
Thinking ahead makes it possible
Innovation is the essence

荷蘭富萊博股份有限公司
台中市 40341 民權路 219 號 7 樓
電話: (04)23050868 傳真: (04)23050878

www.grundfos.com.tw

GRUNDFOS 

95501258 1157