

Der Hydraulik Trainer

液壓構件剖析

by: A. Schmitt 曾錦池譯

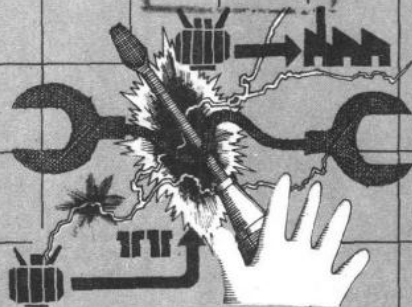
正言出版社印行

REXROTH

Der Hydraulik Trainer 液壓構件剖析

by: A. Schmitt 曾錦池譯

福州大學
圖書館
藏書
印





液壓構件剖析 (平裝)

譯者：曾錦池 ◆特價一八〇元

出版者：正言出版社（台南市新和路六號）郵政劃撥儲金帳戶第三六一四號
電話（〇六）六一三二七五、七號 發行者：正言出版社 發行人：王餘安
本出版社業經行政院新聞局核准登記 發給出版事業登記證 局版台業字第〇四〇七號 印刷者：大眾書局安平廠（台南市新和路六號）

71.10.初版

序

液壓設備廣泛應用於交通工具、加工機械、建設機械、以及自動控制系統等各行各業，雖然範圍廣泛，但其基本原理及所用各種構件均大同小異。不論是設計人員、操作人員、或修護人員，只要深入瞭解各該構件的構造與功能，則不論到那裏，必能運用自如。

Rexroth 為德國極有經驗的液壓設備製造廠家，本書以其訓練教材為主要內容，全書著重液壓構件的剖析，最後一章並有迴路說明，使讀者徹底瞭解各構件之內部構造及操作情形，讀完本書事實上已盡窺液壓設備之堂奧，對往後之設計，維護工作必大有助益。

筆者對液壓設備極感興趣，也實際從事此種修護工作，深感設備的改良改善，必先對現有者有充份瞭解，然後才能發掘缺點，本書編譯之目的即在此。

承大眾書局王餘安先生協助印行，得廣流傳，無限感激。本書出版時，當在家母七十三歲壽辰之際，僅祝福母親萬年康泰。

曾錦池 70.8.
識於高雄

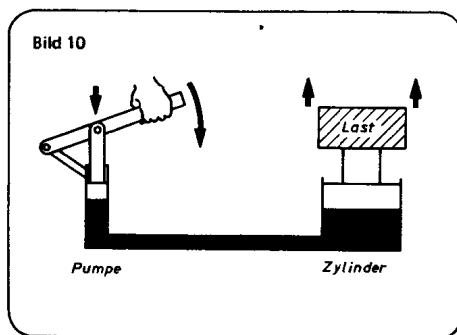


目 錄

第一章 基本原理.....	1
第二章 液壓泵及液壓馬達.....	19
第三章 液壓缸.....	59
第四章 關斷閥.....	73
第五章 方向控制閥.....	87
第六章 壓力控制閥.....	113
第七章 流量控制閥.....	131
第八章 比例閥.....	149
第九章 伺服閥.....	159
第十章 蓄壓器.....	169
第十一章 附 件.....	179
第十二章 接裝方法.....	197
第十三章 液壓動力單元.....	209
第十四章 迴路圖.....	225
附 錄 液壓設備計算公式.....	247

• 第 1 章 •

基本原理



2 液壓構件剖析

在我們詳細討論“液壓學”之前，必先瞭解這個名詞的定義。

“Hydraulics”這個字是從西臘字“Hydor”演變而來的，意指“水”，範圍包括了所有與水有關的事物。

而我們工程人員對“液壓學”的瞭解，則指利用流體進行力量與運動的傳送與控制。

於是流體變成傳送能量（energy）的媒介。雖然合成油類、水或油水乳液均可使用，但是用得最普遍的還是礦油。

流體力學的範圍可分成兩大類：

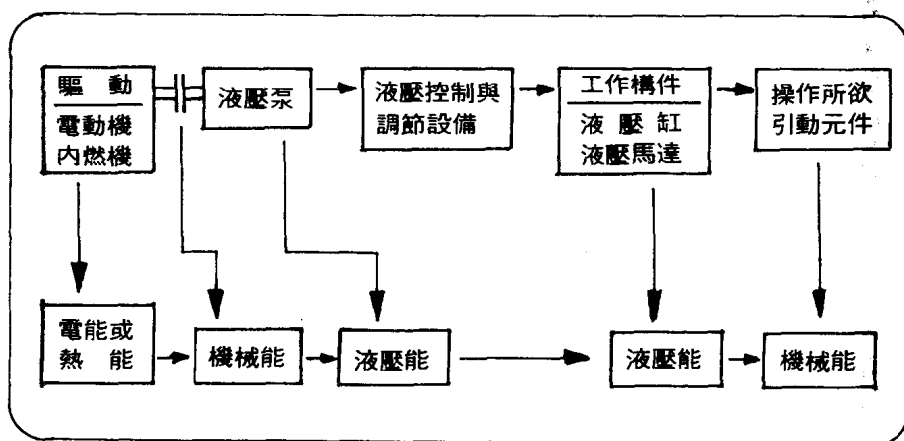
流體靜力學：靜止流體之力學（流體內平衡條件之理論）

流體動力學：運動流體之力學（流體理論）

純流體靜力學之範例為液壓學所討論的力量傳送。

純流體動力學之範例為水力發電廠輪機內流動能量的轉換。

能量的轉換便是一種液壓設備。



當然，除了液壓之外，還有其他方法可以傳送能量，例如

機械力（齒輪，傳動軸，曲軸等）

電力（旋轉電場馬達，直線馬達，扭力馬達等）

電子（放大器、電子轉換元件）

氣力（與液壓相類似，以空氣作為傳送媒介）

上述的每一種方法各有其適用的範圍，當然在某些情況下，也有

可能要從多種可行的方案中作最佳的選擇。

利用液壓控制及液壓傳動有很多優點；以下是其重要特性：

- 體小積而出力（扭力）大，即具有高動力密度（power density）
- 能自動調節出力大小。
- 可以在滿載（full load）時從靜止狀態開始運動。
- 很容易達成速度、扭力、行程等的無段控制或調整。
- 超載（over load）保護很簡單。
- 適於控制快速運動製程及極慢的精確運動。
- 利用氣體儲存能量顯得相當簡單。
- 與將液壓能回復為機械能的分散轉換系統配合使用，能達成簡化中央驅動系統之目的，極具經濟效益。

重量，壓力，力量（Weight, Pressure, Force）

國際通用單位制（SI 單位）之定義與計算：

1 Kg 的質量在地球表面上可以產生 1 Kp 的重力。

依牛頓定律 $F = m \cdot a$

$$\text{力} = \text{質量} \times \text{加速度} \quad \text{Kg} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

依舊單位，以重力加速度 g 取代一般加速度 a ，則 $F = m \cdot g$

$$1 \text{ Kp} = 1 \text{ Kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9.81 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

依照 SI 單位制，力 F 之單位為牛頓（N）

$$1 \text{ N} = 1 \text{ Kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

故

$1 \text{ Kp} = 9.81 \text{ N}$

實用上採以下的近似值：

$$1 \text{ Kp} = 10 \text{ N} = 1 \text{ daN}$$

壓力是液壓學中最重要之量度之一，定義為單位面積之力量。

4 液壓構件剖析

$$P = \frac{F}{A}$$

P = 壓力, bar

F = 力量, N

A = 面積, cm²

從前壓力單位寫成 $\frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2}$.

$$1 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ at (大氣壓力)}$$

由於目前力的單位採用牛頓, 所以

$$1 \text{ bar} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ bar} = 1.02 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2} \quad 1 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2} = 0.98 \text{ bar}$$

如果 SI 單位中力 (N) 及面積 (m²) 均取基本數量, 則壓力要採用 Pascal (巴斯科) 單位 (Pa)。

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

然而由於巴斯科單位在實用上數字很大, 所以一般均改用巴 (bar) 為單位。

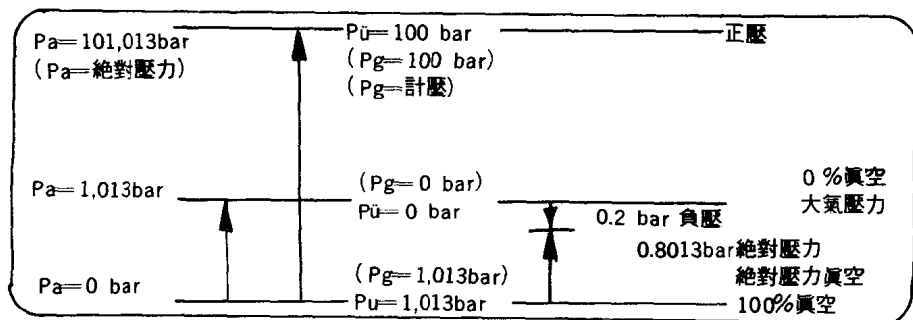
$$1 \text{ bar} = 100000 \text{ Pa}$$

而 psi (lb/in²) 也還沿用:

$$1 \text{ bar} = 14.5 \text{ psi}$$

註: 此單位不屬於 SI 之範圍

下示 SI 單位中, 各種壓力 (單位均為 bar) 與絕對壓力的關係。



在液壓學裏，操作壓力通用 P 來表示，此壓力指的是高出大氣壓力的部份（註：即計壓，gage pressure）。

流體靜力學（靜止流體之力學）（Hydrodynamics）

流體靜壓力（重力）（Hydrostatic Pressure）

一定高度的液體（俗稱水頭），因其本身質量而持有的重量，對其所涵蓋的面積產生一定的壓力；該壓力大小與液體水頭高度（ h ），密度（ ρ ）及重力加速度（ g ）都有關係。

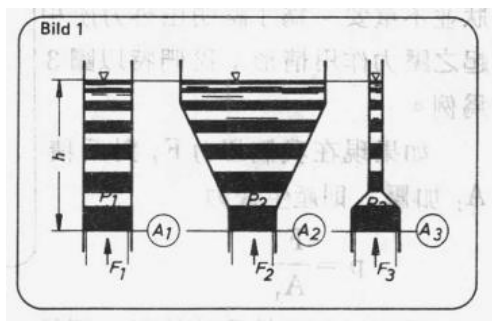
$$\text{重力 } P = h \cdot \rho \cdot g$$

若把不同形狀的容器盛裝相同的流體，則在某水平高度的壓力大小只跟該液體水頭高度有關。

$$P_1 = P_2 = P_3 \text{ (圖 1)}$$

流體靜壓力對容器底部產生壓力。

如果圖 1 的壓力作用於面積相同的各個容器（ $A_1 = A_2 = A_3$ ），則其所產生的力量也都一樣（ $F_1 = F_2 = F_3$ ）。

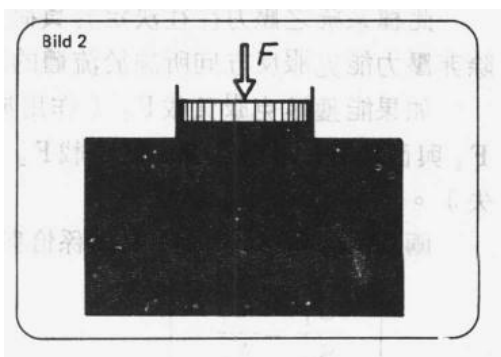


外力所造成的壓力（巴斯科原理）

（Pressure by External Forces）

當力量 F 經由面積為 A （圖 2）之物體作用於密閉的流體，則流體也受到壓力。該壓力的大小決定於施於物體的力量及作用面積。

$P = \frac{F}{A}$	$P = \text{bar}$
	$F = \text{N}$
	$A = \text{cm}^2$



6 液壓構件剖析

壓力以相同的大小同時作用於流體的所有方向，因此任一點的壓力都相等，當然，這種說法顯然故意忽略重力的影響，實際上各種液位都應把重力列入考慮；不過由於液壓系統操作壓力通常很高，所以這部份也就略而不計。

例如10 m高的水頭 $\approx 1 \text{ bar}$

液力傳送 (Hydraulic Force Transmission)

由於壓力是以相同的大小作用於各個不同的方向，因此容器的形狀並不重要。爲了說明由外力所引起之壓力作用情形，我們特以圖3爲例。

如果現在我們以力 F_1 對面積 A_1 加壓，則產生壓力

$$p = \frac{F_1}{A_1}$$

壓力 p 作用於系統的每一部份，故面積 A_2 也不能例外，而此處所能獲得的力量（可用來舉起荷重）爲 $F_2 = p \cdot A_2$

是以 $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$ 或

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$$

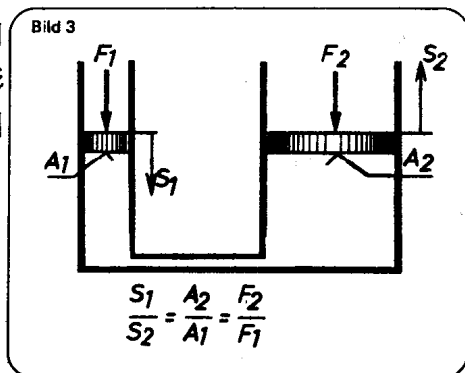
兩個力量之間的關係與兩個面積間的關係相同。

此種系統之壓力往往決定於負荷及其有效面積的大小，意思是說除非壓力能克服反方向所施於流體的運動阻力，否則還會繼續升高。

如果能獲得克服負載 F_2 （作用於面積 A_2 ）所需的壓力（由力量 F_1 與面積 A_1 所產生），則負載 F_2 就被抬高（在此不必考慮摩擦損失）。

兩活塞行程 S_1 與 S_2 之關係恰與面積成反比。

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{A_2}{A_1}$$



出力活塞 W_1 之功能與負載活塞 W_2 相同。

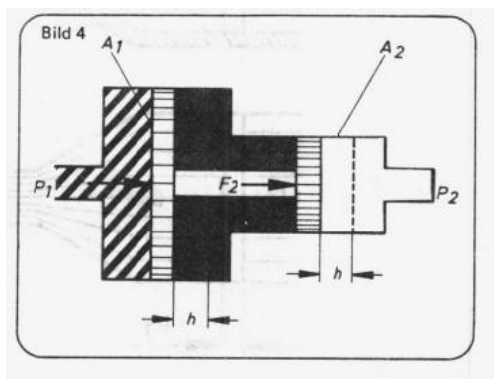
$$W_1 = F_1 \times S_1$$

$$W_2 = F_2 \times S_2$$

壓力傳送之原理

(Principle of Pressure Transmission)

兩個不同尺寸的活塞利用活塞桿使彼此成為固定的剛性連結；如果面積 A_1 受壓力 P_1 的作用，則大活塞上產生的力為 F_1 ； F_1 經由活塞桿傳送到小活塞上，而作用於面積 A_2 ，產生壓力 P_2 （圖4）。於是在不考慮摩擦損失的情況下，導出這些關係式：



$$F_1 = F_2 = F, \quad P_1 \cdot A_1 = P_2 \cdot A_2$$

$$\text{故 } P_1 \cdot A_1 = F_1, \quad P_2 \cdot A_2 = F_2$$

$$\text{或 } \frac{P_1}{P_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

就壓力傳送而言，壓力大小與面積成反比。

流體動力學（運動流體之力學）（Hydrodynamics）

流動原理（Flow Law）

如果流體流經不同直徑的管路，則在相同的時間裏所通過的體積相等（圖5）。但流動的速度會改變。

$$\text{流量 } Q = \frac{V}{t}$$

Q = 流量， ℓ / min

t = 時間， min

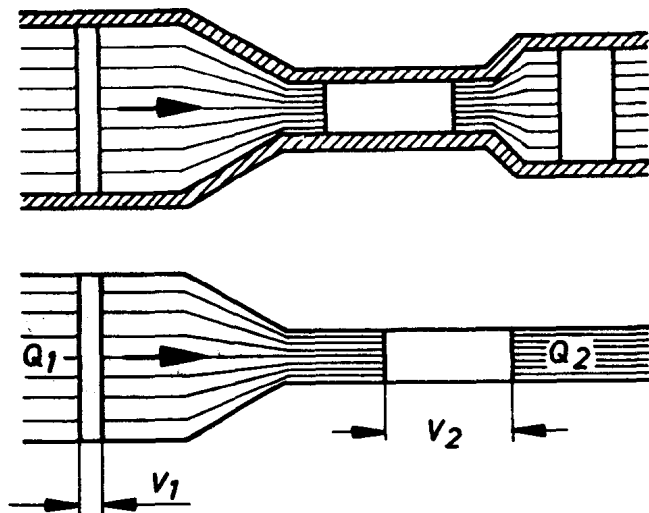
S = 行程

V = 體積， ℓ

A = 截面積

體積 $V = A \cdot S$

Bild 5



代入前式得 $Q = \frac{A \cdot s}{t}$

單位時間內之行程就等於速度 v 。 $(v = \frac{s}{t})$

代入之後得 $Q = \frac{A \cdot s}{t} = A \cdot v$

連續方程式為 $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$, $Q_1 = Q_2$

能量原理（柏努力方程式）（Energy law）

液流能量原理指出，只要不從外界引入能量，或將能量排至外界，則液流之總能量永遠不變。

如果您不計較流動期間能量形式的改變，則總能量應包括：

位能：位能與液體之水頭高度有關；是靜壓的壓力能量。

動能：運動能量（壓力水頭），與流速有關。

柏努力方程式 $g \cdot h + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{常數}$

對壓力能量而言，其意義為

$$P_{\text{total}} = P_{\text{st}} + \rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

P_{st} = 靜壓

$\rho \cdot g \cdot h$ = 流體水頭高度所造成的壓力

$$\frac{\rho}{2} \cdot v^2 = \text{壓力水頭}$$

假使您現在對照一下連續方程式及能量方程式，便可獲得以下之結論：

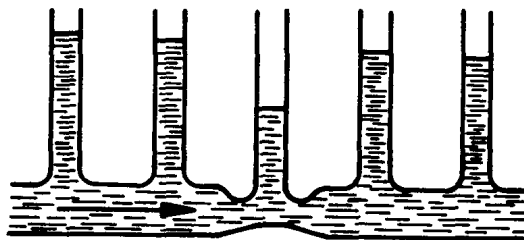
如果速度因管徑減小而增大，則運動能量隨著增加，由於總能量維持不變，所以位能或壓力能，或兩者同時會有變化，亦即直徑變小時也跟著減少。

然而，直徑變小對位能產生極微的變化。

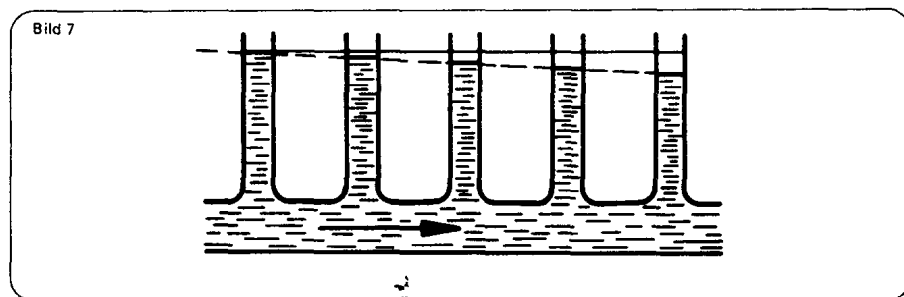
是故靜壓力隨正向壓力而變化，也就是隨流速而變化（圖 6）。

在液壓設備中，壓力能（靜壓）是主要的決定因素，因為液位與流速的能量都很低。

Bild 6



液體水頭高度
是各該點壓力
的大小。



摩擦所造成的能量損失 (Loss of Energy by Friction)

如果流體靜止不動，則在節流位置上或其前後，甚至可以說在整條管路內的壓力均相等。

流體流經該系統時，必因摩擦而產生熱，因此有一部份能量損失而變成熱能，這也就是壓力的損失（圖 7）。

液壓能無法在沒有任何損失的情況下傳送；摩擦損失的數量與下列所舉因素有關：

管路長度

管壁粗度

彎頭數量

管 徑

流 速

流 型 (Flow Configuration)

流型及因此所產生的摩擦損失與前面提到的最後兩點，即管徑、流速兩項有關。

(a) 層流

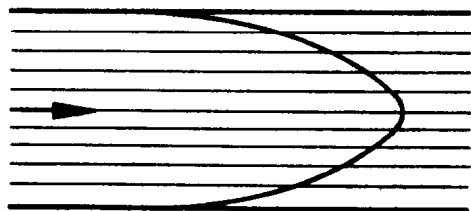
在層流裏，各流體質點在某速度以下時，會順序沿著均勻的屋面運動，互相之間幾乎沒有任何干擾（圖 8）。

(b) 擾流

當管徑維持不變時，若流速增快，則超過某速度之後（臨界速度）流動特性將起變化，開始出現漩渦及擾流；各質點不再規規矩矩有秩序地順著一個方向運動，而會互相影響，彼此干擾。

流動阻力及液壓損失均因此而增大，故液壓設備不希望有擾流產生（圖 9）。

Bild 8



層 流

Bild 9



擾 流

雷諾數 Re (Reynold's Number)

流型可由雷諾數來判定。

$$R_o = \frac{V \cdot d_H}{\nu}$$

R_o 沒有單位

12 液壓構件剖析

$V = \text{流速 (m/s)}$

$d_H = \text{液壓直徑 (m)}$ ，圓形斷面者 = 管內徑，其他形狀應計算

$$d_H = 4 \times \frac{A}{U}$$

$A = \text{截面積}$

$U = \text{周長}$

$\nu = \text{動力粘度}$

臨界 $R_c \approx 2300$

此數值適用於圓形、表面光滑的直管。

在臨界 R_c 點上，流型從層流變成擾流，或從擾流變為層流。

層流 $R_c < \text{臨界 } R_c$ 。

擾流 $R_c > \text{臨界 } R_c$ 。

液壓系統的基本型式

(Basic Form of a Hydraulic System)

圖 10 示液壓系統原理上的基本型式。

我們對單活塞泵的活塞施以力量，力除以活塞面積便是壓力，這在任何情況下都一樣

$$(P = \frac{F}{A}) 。$$

我們施於活塞上的力量越大，其壓力就升得越高。不過其最大限度是升高到足以克服

負載的程度，這同時與液壓缸的面積也有關係 ($F = P \cdot A$) 。

如果負載維持不變，則壓力不會再繼續升高，其作用完全依阻止流體流動的反方向阻力而定。只要能建立所需要的壓力，負載便可以被移動。

而負載移動的速度，則完全取決於注入液壓缸的流體量。請參看圖 10，若是活塞下降的速度越快，表示單位時間內注入液壓缸的流體量越多，而負載被抬高的速度也越快。然而在實用上我們就必須將系統加大。

