

科學圖書大庫

職業訓練教材

液 壓 學

譯者 許覺良



徐氏基金會出版

科學圖書大庫

職業訓練教材

液 壓 學

譯者 許覺良

徐氏基金會出版

譯 序

譯者謹向讀者慎重推薦本書，本書為一本難得的液壓進修和研究教程。全書內容分為理論說明，實作和測驗三部分，根據這三部分研讀本書時，讀者可先瞭解一液壓零件的計設和操作理論，進而由實作部分明白該零件在液壓系統中的裝置位置，裝置方法等實務問題，最後讀者必須解答每一章的測驗題以鑑定您對本章節的瞭解程度。

也許您是個很有經驗的液壓工作者，請您不妨重新詳閱本書，您在本書中也許還會瞭解不少在以往一直忽略的重要部分。

也許您還是個在學學生或液壓工作的新進人員，請您務必按本書的內容詳細研讀，您會從本書中獲得豐富的資料讓您對液壓系統建立起一套優良而完整的知識，這對您的未來工作會有無限的益處。

譯編本書難免有誤，尚請識者見教。

譯 者

原 序

本書為德國職業訓練學會供德國公民廣泛教育訓練用的教材之一。

該學會的工作是在促進內部的工技教育。在本教材內的教學裝備，經多年的操作試用，已證明其所包含的內容和使用方法十分良好，同時新的教學裝備也已設計和加入本書中。使用大尺寸的實驗模型，系統的各種情況均已被發展和試驗完成，按本方法去作，必可獲得最佳的訓練結果。教學者可以應用各種的教學方法同時使用各類實體模型，傳授各項專門性的理論和實務工作。

德國職業訓練學會為一自主的團體，它代表著德國當局和“國家”內閣及僱主受雇者等等。以上所有的單位所關心的是如何使研究獲得保護及最佳工作情況，同時使發展和生產有一定的保障。

FESTODIDACTIC有執照得以發行外語版本和出售給德國以外的地區，因此得以提供本職業訓練教程供各地區使用，經過一世紀之職業訓練的經驗，至今本教材的編輯不但完整同時再也沒有比它更好的方法了。

目 錄

譯 序	I
原 序	II
1. 液壓系統的物理原理	1
1.1 液壓一簡介	1
1.2 液壓系統的物理量和單位	2
1.3 液壓學的基本物理定律	5
2. 齒輪式泵、壓力錶、在線路圖中的符號	15
2.1 液壓油、油箱、濾油器	16
2.2 動力組、符號、線路圖	20
2.3 齒輪式泵	22
2.4 壓力錶	24
2.5 線路設計、建壓、泵的特性	25
3. 洩壓閥、直接控制	30
4. 方向控制閥	38
4.1 2/2方向控制閥	42
4.2 3/2方向控制閥	43
4.3 4/2方向控制閥	45
4.4 5/2方向控制閥	46
5. 止回閥	51
6. 單動油壓缸	56
7. 雙動油壓缸	65
8. 時間—運動圖	72
9. 引導控制止回閥	77
10. 流量控制閥	85

10.1	節流閥	86
10.2	可調節流閥	87
10.3	可調孔口閥	89
11.2	2路流量控制閥	93
11.1	2路流量控制閥、A式	94
11.2	2路流量控制閥、B式	97
12.	可調回流孔口止回閥	106
13.	流動阻力	114
14.	4/3方向控制閥	121
15.	問題：平穩的活塞向前運動（緩衝）	128
16.	計入和計出流量控制	133
16.1	計入流量控制	134
16.2	計出流量控制	137
17.	差壓控制（旁通控制）	141
18.	壓力調節器（減壓閥）	149
18.1	2路壓力調節器（減壓閥無出口）	150
18.2	3路壓力調節器（減壓閥有出口）	153
19.	引導控制洩壓閥	158
20.	順序閥，壓力—關連控制	164
21.	再生進給控制	171
22.	液力馬達	177
22.1	基本類型	180
22.2	凸輪式軸向活塞馬達	181
22.3	線路圖的準備	183
23.	儲壓器（囊袋式儲壓器）	188
23.1	儲壓器（囊袋式儲壓器）	191
23.2	線路圖和結構	193

1. 液壓系統的物理原理

1.1 液壓——簡介

一般資料

若問及“何謂液壓動力？”這個問題，按工程觀點言，可以回答如下：

“藉流體傳遞與控制力量及運動者即為液壓動力”。

液壓系統和裝備在工程界的應用極廣，計有：

- 工具機工程
- 衝壓製造
- 程序控制
- 車輛製造
- 飛機結構
- 造船工程

液壓系統的優點是控制容易，以相對較小的零件得以產生並傳遞甚大的力量及動力，在靜止狀態中的油壓缸及液壓馬達可用最大扭矩加以起動，只要裝用適當的裝備即可獲得快速回行運動，可適用於遙控操作，液壓裝備均為自供潤滑，使用壽命長。

液壓系統也有其缺點，其缺點大都是因傳遞介質一即在受壓下的液體（液壓油）所引起。

- 高壓的液壓油具有發生意外的危險，所以要特別注意，接頭要上緊，不可有漏油現象。
- 液體的磨擦及漏油現象會降低效率。

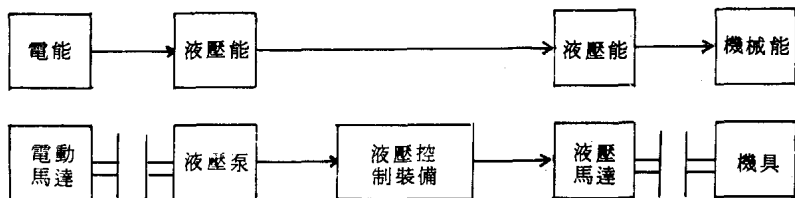
以液壓系統結合電力工程，機械及氣動系統等可以解決諸多生產製造上的困難。

使用者對液壓系統應具有的認識是：

- 液壓靜力學和動力學等各方面的基本物理知識。
- 液壓系統用的單位和物理量等諸項知識。
- 液壓裝備及液壓系統操作知識等。

液壓系統中的能量轉換

2 職業訓練教材—液壓學



1.2 液壓系統的物理量和單位

爲了進一步的瞭解液壓系統，在此先說明有關的物理量。首先有個問題：“物理量是什麼？”，在工程上，物理量表示一物體的性質，其可被測度的過程或狀態。按此定義，速度（速率），壓力，時間和溫度等均爲物理量，但顏色則否。

量須以各種單位表示，例如，在某一系統中以仟磅米測度力量，但在另一系統中亦可能以牛頓表示。這些多種單位表示的方法目前已被國際性的科學和工程協會所逐漸統一，其中尤以國際單位系統（International System units）（簡寫 SI）之單位運用最廣。在此一系統中僅有七個基本單位，以下是在液壓系統中常用到的物理量及其單位。

- 長度 米（m）即公尺
- 質量 仟克（kg）即公斤
- 時間 秒（s）
- 溫度 凱氏（K）或攝氏（C）

其他有關液壓系統的重要物理量諸如，力，面積，體積，數量，壓力以及速度（速率）等均可由以上各基本單位導出。

在國際單位系統中以仟克表示質量的基本單位，但是質量又是什麼呢？在日常生活中均稱質量爲重量。一塊鋼其重量爲1公斤具有之質量爲1仟克。質量的特性和重力加速度無關（地心引力）。譬如，一公斤的質量，在月球上仍然還是一公斤。

根據質量的單位，力的單位可按質量及重力加速度兩者定出。牛頓（1643-1727）發明了以下之定律：

$$\text{力} = \text{質量} \times \text{加速度}$$

$$F = M \times a$$

上式可寫出

$$\text{力} = \text{kg} \times \text{m} / \text{s}^2$$

因此力的單位經導出為 $\frac{\text{kg} \times \text{m}}{\text{s}^2}$

此一單位簡稱之為牛頓N

$$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \times \text{m}}{\text{s}^2}$$

一牛頓可以說明如下：將一物體掛在繩上，提起此繩，則其重量施力 1 N 於此繩上，為何？

解釋：

$$\text{力} = \text{質量} \times \text{加速度}$$

因為有加速度，所以若是物體被從高處釋放後，會因為地心引力所致的加速度（ $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ）作用於物體上而使其跌落到地上。

在這個例子裡以重量為依據，重量具有以下兩個特性：

1. 重量作用在一垂直面上。
2. 重量係因地心引力而引發。

$$\text{重量} = \text{質量} \times \text{重力加速度}$$

若質量選用 0.102 公斤（102 克）

$$\begin{aligned} \text{重量} &= 0.102 \text{ 公斤} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \\ &= 1 \text{ 公斤} \times \text{m/s}^2 \\ &= 1 \text{ N} \end{aligned}$$

在這個例子裡，質量為 0.102 公斤的物體，只有在地球上時其重量才等於 1 牛頓，因為此值係根據地球的地心引力而求得，若是在月球上，同一質量的物體其重量僅為 0.166 N，因為在月球上，月心引力的加速度僅約地球的六分之一。

壓力的定義是指單位面積上所受之力

$$P = \frac{F}{N} \quad \text{單位} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

在國際單位上， N/m^2 以巴斯葛（Pascad）表示（簡寫 Pa）。

1 Pa 為一極小的壓力，小到無法由皮膚感覺出來。本書之一頁施於所在物體上的壓力約為 1 Pa，一平方米的這種書本紙張重量 100 g 施 1 N 之力於一平方米的表面上其相對壓力為 1 Pa。使紙張縮小對壓力並無任何影響，因為紙張縮小後相對的也縮小了它的覆蓋面積。

由於事實上 1 巴斯葛所代表的壓力非常小，因此常以仟巴斯葛來表示壓

4 職業訓練教材—液壓學

力大小(簡寫 kPa)並定 100kPa 為 1 巴 (bar)。

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 14.5 \text{ psi}$$

壓力值通常均以一參考壓力作為比較，一般是以大氣壓力比較之。大氣壓力會隨氣候的狀況而改變。

相對大氣壓力而定的壓力值以符號 P_e 表示，附加的“e”代表拉丁字“excedens”其意為“超過”。一壓力 $P_e = 200 \text{ kPa}$ (2 bar/29psi) 其意義為該壓力超過大氣壓力 200kPa (2 bar/29psi) 若一壓力 $P_e = -50 \text{ kPa}$ (-0.5bar/-7.25psi) 表示此一壓力比大氣壓力低 -50 kPa (-0.5bar/-7.25psi)，負值的 P_e 不得超過 100kPa (1 bar/14.5psi) (亦即 -200kPa/-2 bar/-29psi) 因為壓力低到如此的狀況是不可能的。

真空是指大氣壓力的絕對零壓力，一壓力以此為準往上測量者稱之為絕對壓力，絕對壓力以符號 P_{abs} 表示。

物理定律中常採用絕對壓力，壓力若以 P_{abs} 表示則和大氣壓力完全無關。

在液壓和氣壓系中壓力以相對大氣壓力而定，因此採用符號 P_e 。 $P_e = 0$ 是以大氣壓力為測量的依據。

若壓力以 kPa (bar/psi) 表示，必須在換算中轉換為 N/cm^2 。

例

— 5000kPa (50bar/725psi) 之壓力作用於 1 cm^2 之面積上其所施之力為若干？

$$P = F / A$$

$$F = P \times A$$

$$= 5000 \text{ kPa} \times 1 \text{ cm}^2 \quad 5000 \text{ kPa} = 500 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$F = 1 \text{ cm}^2 \times 500 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$= 500 \text{ N}$$

例

一切割機須要施力 100 kN，液壓缸的面積是 200 cm^2 作用於此液壓缸活塞上最小的壓力為若干方可產生此力？

$$P = F / A$$

$$P = \frac{100000 \text{ N}}{200 \text{ cm}^2}$$

$$100 \text{ kN} = 100000 \text{ N}$$

$$P = 500 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$P = 5000 \text{ kPa} \quad (50 \text{ bar} / 725 \text{ psi})$$

1.3 液壓學的基本物理定律

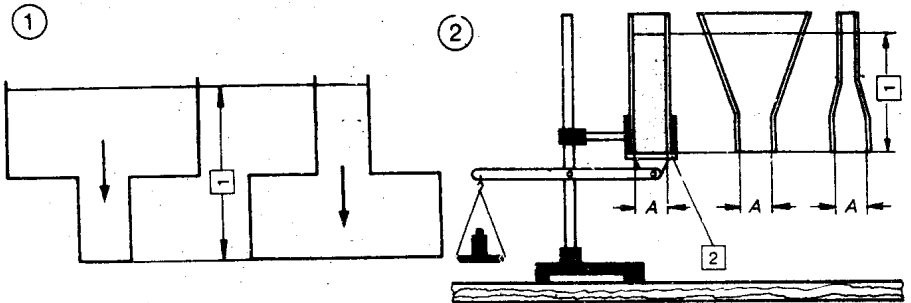
在兩個不同容器之底部由液體重力而造成的壓力彼此相等（圖①），液體的靜壓大小僅和液柱的高度 h 有關而與容器之形狀無關。

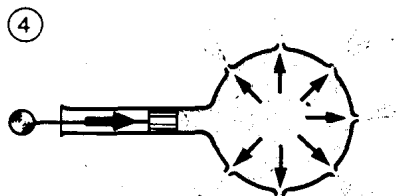
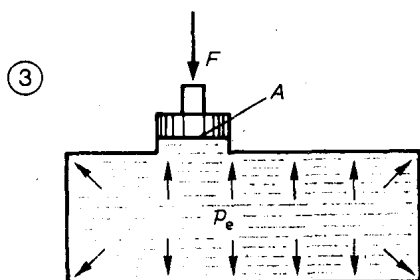
例 1：

三個具有不同外型但底面積大小相等的容器分別裝在一秤上並注入液體（圖②），容器之底部施力於秤盤 2 上。在各容器中注入液體待液體之重量引起秤的不平衡時記錄各容器中液柱 h 之高度。

結果：在三個不同容器中的液柱高度彼此相等。

若施力於液體上，例如施力於活塞面 A 上，此力將均勻的傳入液體中。如果不計重力，則所施之外力會使液體產生均勻之壓力作用於容器之四壁及底部（圖③）。





例2：

一球型噴水器的活塞受力後推入唧筒內。

結果：活塞壓力傳遞到液體上，促使水從玻璃球的所有開口中噴出，液體中的壓力朝所有的方向作用（圖④）。

在圖③中作用於容器上的壓力可由壓力除以表面積求得：

$$P_e = F / A$$

例

$$\text{力 } F = 1000 \text{ N}$$

$$\text{活塞面積 } A = 10 \text{ cm}^2$$

$$P_e = 1000 \text{ N} / 10 \text{ cm}^2$$

$$P_e = 100 \text{ N} / \text{cm}^2 \quad 10 \text{ N} / \text{cm}^2 = 100 \text{ kPa} (1 \text{ bar} / 14.5 \text{ psi})$$

$$P_e = 1000 \text{ kPa} (10 \text{ bar} / 145 \text{ psi})$$

在下一例子中，力F保持不變但活塞面積減半。

例

$$\text{力 } F = 1000 \text{ N}$$

$$\text{活塞面積 } A = 5 \text{ cm}^2$$

$$P_e = 1000 \text{ N} / 5 \text{ cm}^2$$

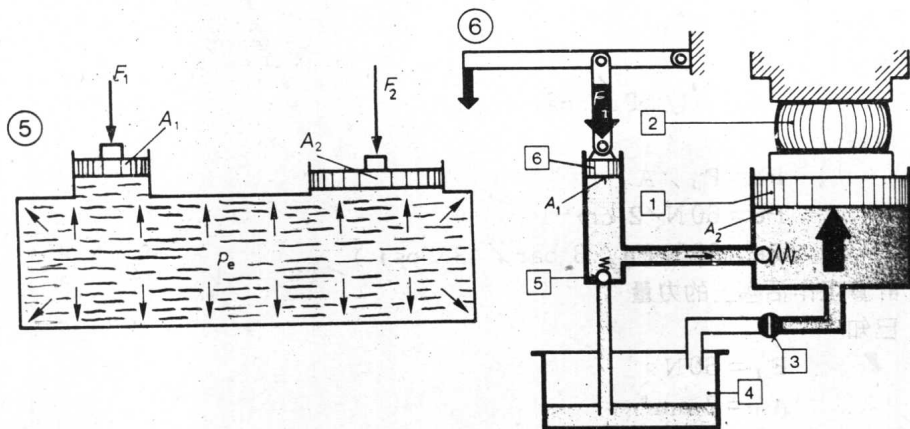
$$P_e = 200 \text{ N} / \text{cm}^2 \quad 10 \text{ N} / \text{cm}^2 = 100 \text{ kPa} (1 \text{ bar} / 14.5 \text{ psi})$$

$$P_e = 2000 \text{ kPa} (20 \text{ bar} / 290 \text{ psi})$$

結論：若作用力保持不變但活塞面積減半時，壓力增加一倍。因此，在作用力一定的情况下只要減少活塞面即可增加壓力。

液壓傳遞作用力

如圖⑤所示之容器，若由活塞 A_1 作用而施力於液體，則在容器中的壓力會經由液壓的傳遞而作用在活塞 A_2 上，使之產生更大的力量。



由 F_1 傳遞到 F_2 的力量比值：

$$P_e = F_1 / A_1 \quad P_e = F_2 / A_2$$

在容器中各點的壓力均相等，因此上式可寫為

$$\begin{aligned} F_1 / A_1 &= F_2 / A_2 \quad \times A_1 \\ \frac{F_1 \times A_1}{A_1} &= \frac{F_2 \times A_2}{A_1} \quad \div F_2 \\ \frac{F_1}{F_2} &= \frac{A_1}{A_2} \end{aligned}$$

力的比值等於活塞面積的比值。若面積 A_2 為面積 A_1 的四倍（亦即活塞直徑加倍）則力量亦會增加四倍。

圖⑥所示為液壓機的工作原理，只要增加工作活塞的面積即可在有效壓力下產生較大的力量。

- ① 工作活塞
- ② 工件
- ③ 關斷閥
- ④ 油箱
- ⑤ 止回閥

⑥ 撞錘

計算液壓壓機中的壓力

已知

$$F_1 = 60 \text{ N}$$

$$A_1 = 2 \text{ cm}^2$$

欲求

$$P_e \quad \text{單位 kPa (bar/psi)}$$

解答

$$P_e = F_1 / A_1$$

$$P_e = 60 \text{ N} / 2 \text{ cm}^2$$

$$P_e = 300 \text{ kPa (3 bar / 43.5 psi)}$$

計算工作活塞上的力量

已知

$$F_1 = 60 \text{ N}$$

$$A_1 = 2 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 200 \text{ cm}^2$$

欲求

$$F_2 \quad \text{單位 N}$$

解答

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

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

$$F_2 = \frac{60 \text{ N} \times 200 \text{ cm}^2}{2 \text{ cm}^2}$$

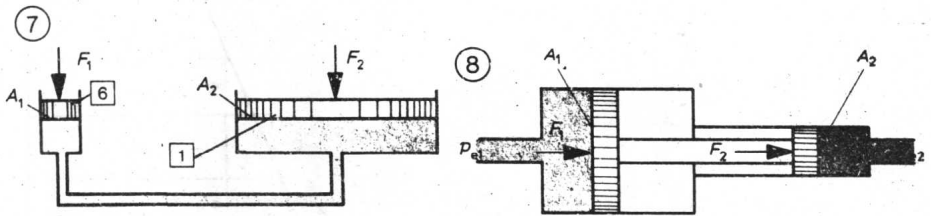
$$F_2 = 6000 \text{ N}$$

進一步研究可以發現，液壓壓機並不會平白的產生力量，活塞的面積和活塞的行程成反比，“距離的損失方可產生力”的定律就像在機械上一樣的適用於液壓系統中。

液壓壓力的放大

液壓壓機為一力的放大器，而其相反的系統則為一壓力放大器。

兩個不同面積的活塞以一聯桿連接（圖⑧），當壓力 P_e 作用在活塞面



A_1 上時，在大活塞上產生一作用力 F_1 ，此一作用力經由活塞桿的傳遞而作用在小活塞面 A_2 上，因此 P_{e2} 大於 P_{e1} 。

若不計磨擦損失，可用以下公式計算之：

$$F_1 = F_2$$

$$P_{e1} \times A_1 = P_{e2} \times A_2$$

$$\frac{P_{e1}}{P_{e2}} = \frac{A_2}{A_1}$$

在一壓力放大器上，壓力的大小和活塞面積成反比。

例

在一壓力放大器中，大活塞的面積 $A_1 = 100 \text{ cm}^2$ ，承受壓力為 $P_{e1} = 600 \text{ kPa}$ (6 bar / 87 psi)，若 $A_2 = 10 \text{ cm}^2$ 則 P_{e2} 為若干？

$$\frac{P_{e1}}{P_{e2}} = \frac{A_2}{A_1} \times P_{e2}$$

$$P_{e1} = \frac{A_2}{A_1} \times P_{e2} \times A_1 \div A_2$$

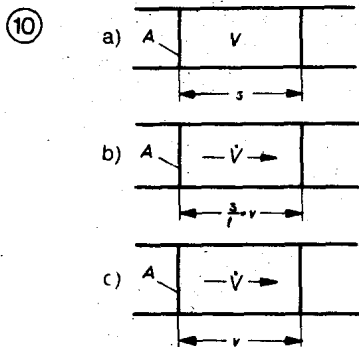
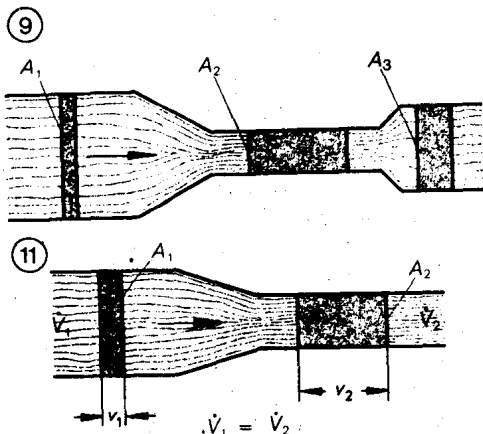
$$\frac{A_1}{A_2} \times P_{e1} = P_{e2}$$

$$P_{e2} = P_{e1} \times \frac{A_1}{A_2} = 600 \text{ kPa} \times \frac{100 \text{ cm}^2}{10 \text{ cm}^2}$$

$$P_{e2} = 6000 \text{ kPa} \quad (60 \text{ bar} / 870 \text{ psi})$$

液壓動力學 (液體流動)

定容積定律



相同容積的液體分別流經三個不同剖面積的部分 (A_1 , A_2 , A_3) 各別所費時間均相同。其意義是說，流體的流速必須增減 (圖⑨)。

在管路中，流體的流率 $\dot{V}$ 係根據流體的容積 V (升) 及單位時間 t (分) 來決定。

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \quad \frac{\text{升}}{\text{分}}$$

容積為面積 A 和長度 s 的乘積： $V = A \times S$ (圖⑩ a)，代入上式可得 (圖⑩ b)：

$$\dot{V} = \frac{A \times s}{t}$$

單位時間的長度即為速度 v ，因此流體的流率等於管路的剖面積乘以流體的，速度 (圖⑩ c)：

$$\dot{V} = A \times v$$

由於在不同剖面積 A_1 和 A_2 管路中的流體流率 $\dot{V}_1$ 和 $\dot{V}_2$ 相等，因此其速度必定有所變化 (圖⑪)：

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2$$

$$\dot{V}_1 = A_1 \times V_1$$

$$\dot{V}_2 = A_2 \times V_2$$

$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 \quad (\text{連續方程式})$$

例

一流體流經 10 cm^2 剖面面積的管路其速度為 20 cm/s ，若面積縮小為 2 cm^2 則其流速為何？

已知

$$A_1 = 10 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 2 \text{ cm}^2$$

$$V_1 = 20 \text{ cm/s}$$

欲求

$$V_2 \text{ cm/s}$$

解答

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

$$V_2 = \frac{A_1 \times V_1}{A_2}$$

$$V_2 = \frac{10 \text{ cm}^2 \times 20 \text{ cm}}{20 \text{ cm}^2 \times \text{s}}$$

$$V_2 = \frac{100 \text{ cm}}{\text{s}}$$

液壓能量

流體具有某些機械能量。當流體流動時，此流動液體之總能量包括以下三部分：

- 位能（動力能），流體高度的函數。
- 壓力能（靜壓能），壓力 P_e 的函數。
- 動能（動壓能），流體流速的函數。

在液壓系統中，位能可以完全略而不計，因為液壓管路決不會有太高的結構（超過 20 m ）。

動能亦可略而不計，因為液壓油在相對很窄的管路中（直徑一般均小於 40 mm ）流動十分緩慢，其速度僅約每秒鐘幾米或更少。在液壓系統中，能量的產生主要是靠壓力的作用而形成。

液壓泵（如活塞式泵，齒輪式泵）的操作係根據液體靜力學的原理（位移），只要保持一定的流率即可克服阻力，例如舉起負載等。在液壓系統中能建立的壓力可以超過 10000 或 20000 kPa （ 100 或 200 bar / 1450 或 2900 psi ），此稱之為流體靜力驅動。

磨擦和流動