

哈爾濱工業大學講義

# 生產機械電力裝備

上 冊

電力傳動教研室編譯



1955

---

編 者： 電 力 傳 動 教 研 室

出版者： 哈 爾 濱 工 業 大 學

印刷者： 哈爾濱工業大學印刷廠

---

1955 年 2 月

## 前 言

「生產機械電力裝備」是工業企業電氣化專業的基礎課程之一。

最近幾十年來生產機械電力裝備發展很快。三四十年以前還在爭論究竟是天軸傳動還是單電動機傳動好，今天則已完全肯定了單獨傳動的優點，而且不只是每個機械，而是同一機械的各個機構都需要用電動機單獨傳動，「生產機械電力裝備」就是要解決這些問題。

如以金屬加工機床為例，電力裝備的程度直接影響到機床的構造及其傳動系統。多電動機傳動系統的採用，利用電氣調速方法，減少了傳動機構的數目，簡化了機床構造，因而也減少機床本身的損耗，提高了工作的準確度和產品質量。今日已很難指出什麼地方是機械和電力裝備的分界點。

技術日益發展，對生產機械的要求也就愈高。例如螺絲車床每小時切換及反轉次數可為 1000—1200 或更高，這已經不是機械控制方法所能達到的了。爲了提高生產率，特別是減輕體力勞動，都必須採用電力裝備。技術的發展，的同時也提出了控制自動化的要求。例如保持最好的切削狀態，加工到所需尺寸後自動停止或換接，按照模型或圖樣進行加工的仿型機床的自動控制以及進一步自動化的機床自動加工線等。生產機械電力裝備中加入了自動化這一因素，使得整個問題複雜化了，這正是今日的發展趨勢。在蘇聯已經出現了完全自動化的工廠，這一發展方向是社會主義基本經濟法則所決定了的。

半封建半殖民地的舊中國，根本談不到以減輕體力勞動，提高生產力爲主要目的的電力傳動事業。因此在解放當時，到處可以看到天軸傳動的車床。中華人民共和國成立以來，隨着經濟建設的迅速發展，電力傳動事業也在迅速進展。我國自製的吊車、車床、鑽床以及龍門鉋床等都是電氣化了。例如濟南第二機床廠生產的 724 龍門鉋床係按蘇聯同一型號龍門鉋床設計的，共有 13 個電機，可以自動反轉，進刀。電機製造及電器製造事業的發展爲生產機械電力裝備創造了良好的條件。

蘇聯援助我國新建和擴建的 156 項重點工程是我國現階段工業建設的中心，蘇聯的新型機床、起重運輸機械已相繼在這些廠礦出現。這些高度電氣化了的生產機械，一方面將促進生產力的提高，另一方面也將促進我國電力傳動事業的進一步發展。

我校工業企業電氣化專業的對象是機械製造工業，因此生產機械電力裝備一課也將以金屬加工機械爲主。但起重運輸機械，水泵、通風機、空氣壓縮機等是在機械製造工業中必然遇到的，因此課程內容包括這樣三個組成部份。本講義是由我校研究生根據蘇聯專家華·格·德蘭尼可夫（В. Г. Дранников）1954 年春季在我校講授「生產機械電力裝備」課程的聽課筆記整理編譯的。

講義上冊包括水泵、通風機、空氣壓縮機與起重運輸機械等一般生產機械的電力裝備問題，下冊爲金屬加工機械的電力裝備問題。

由於我們一面聽課，一面整理，同時是八個人分別編寫的，原稿又未譯成俄文請專家審閱，錯誤在所難免，望讀者提出意見，以便修改。

哈爾濱工業大學電力傳動教研室

1955 年 2 月

# 目 次

## 第一章 水泵、通風機、空氣壓縮機

### 水 泵

|                          |    |
|--------------------------|----|
| § 1. 水泵之應用範圍.....        | 1  |
| § 2. 水泵之分類.....          | 1  |
| 1. 活塞式水泵                 |    |
| 2. 齒輪式水泵                 |    |
| 3. 轉動活板式水泵               |    |
| 4. 離心式水泵                 |    |
| 5. 軸流式水泵                 |    |
| 6. 渦流式水泵                 |    |
| § 3. 水泵之水頭（給水高度）.....    | 3  |
| 1. 水泵按裝時與水面相距之高度，吸入高度之計算 |    |
| 2. 管路中之各種損耗              |    |
| § 4. 離心式水泵之基本公式.....     | 9  |
| § 5. 水泵之特性.....          | 11 |
| 1. 離心式水泵                 |    |
| 2. 軸流式水泵                 |    |
| 3. 活塞式水泵                 |    |
| § 6. 水泵之聯合運轉.....        | 17 |
| 1. 串聯運轉                  |    |
| 2. 並聯運轉                  |    |
| § 7. 離心式水泵電動機容量之計算.....  | 19 |
| § 8. 活塞式水泵電動機容量之計算.....  | 20 |
| § 9. 水泵之工作狀態.....        | 21 |
| § 10. 帶動水泵用的電動機.....     | 21 |
| § 11. 水泵電動機之啟動.....      | 22 |
| § 12. 水泵之控制線路.....       | 25 |

### 通 風 機

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| § 13. 通風機之構造與分類.....        | 27 |
| § 14. 離心式通風機.....           | 27 |
| 1. 特性                       |    |
| 2. 容量之計算                    |    |
| § 15. 通風機之聯合運轉.....         | 28 |
| § 16. 不同轉速下通風機之特性及效率曲線..... | 29 |

### 空 氣 壓 縮 機

|                       |    |
|-----------------------|----|
| § 17. 空氣壓縮之構造及分類..... | 29 |
|-----------------------|----|

|                          |    |
|--------------------------|----|
| § 18. 空氣壓縮機之工作情况         | 30 |
| § 19. 活塞式空氣壓縮機之工作循環及容量計算 | 31 |
| § 20. 壓縮機的電力傳動           | 33 |

## 第二章 起重與運輸機械

|                      |    |
|----------------------|----|
| § 1. 起重與運輸機械之分類      | 35 |
| § 2. 起重機構之力學原理及功率計算  | 36 |
| 1. 定滑輪               |    |
| 2. 動滑輪               |    |
| 3. 滑輪組               |    |
| 4. 各種傳動機構的效率         |    |
| 5. 跑車                |    |
| (1) 沿斜面移動的跑車         |    |
| (2) 沿平面移動的跑車         |    |
| 6. 升降機               |    |
| 7. 旋轉起重機             |    |
| 8. 放重時之轉矩及功率         |    |
| § 3. 各種吊車之簡略說明及其速度範圍 | 50 |
| § 4. 電動機功率之計算與選擇     | 51 |
| 1. 起重電動機             |    |
| 2. 橋架電動機             |    |
| 3. 跑車電動機             |    |
| 4. 吊車的生產率            |    |
| 5. 四級法               |    |
| § 5. 吊車用電動機          | 61 |
| § 6. 橋式吊車的電力裝備       | 63 |
| 1. 電機及電器             |    |
| 2. 饋電線和導電桿           |    |
| 3. 饋電線工作電流之計算及選擇     |    |
| § 7. 橋式吊車的控制線路       | 72 |
| 1. 分類                |    |
| 2. 控制線路的幾種標準形式       |    |
| 3. 各種控制線路的接線圖        |    |
| (1) 型號 П             |    |
| (2) ДП 型控制原理圖        |    |
| (3) Т 型控制原理圖         |    |
| (4) ПС 型控制原理圖        |    |
| § 8. 電磁吊車            | 79 |
| § 9. 升降機             | 83 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 1. 昇降機功率之計算             |     |
| 2. 昇降機控制線路              |     |
| 3. 昇降機的精確停車             |     |
| 4. 昇降室內供電及照明設備          |     |
| § 10. 旋轉起重機             | 95  |
| 1. 牆上旋轉起重機起重及旋轉電動機容量之計算 |     |
| 2. 轉盤旋轉起重機旋轉部份容量之計算     |     |
| 3. 懸臂上下起重用電動機容量計算       |     |
| 4. 電動機種類的選擇             |     |
| § 11. 運輸機               | 101 |
| 1. 運輸機的分類               |     |
| 2. 帶形運輸機                |     |
| 3. 運輸量 $Q$              |     |
| 4. 電動機功率計算              |     |
| 5. 電動機的工作情況與其選擇         |     |
| 6. 自動控制要求與線路            |     |

# 第一章 水泵通風機空氣壓縮機

## § 1. 水泵之應用範圍

水泵之應用範圍極廣，舉凡化學、機械、採礦、土木建築等工程中均皆採用，一般用於抽汲各種液體，例如水、油、酒精、石油、煤油等，有時也可以用來傳送液、固體之混合物如水泥漿等等。

最常見的是用來供給食用水，從個別的工廠學校直到整個城市。當然，除掉食用水以外，還供給工業用水。

水泵也可用來供給鍋爐用水，用水來冷却或濕潤空氣，由礦坑或積水處把水抽出來，在冷凝機中，用來抽出冷凝了的液體。

最近強力水泵開始用於運河，以便調節運河之水位；傳送挖泥機自河底掘出之泥漿；在礦山中，強大的水流壓力可以沖開煤層，水流可以打下煤塊，並沿工作面和巷道運煤。然後沿着導管，用水泵把煤水混合物抽上地面，再送入選煤場，強力的水泵可自1500公尺深處抽水，把礦坑中的積水抽乾。

在各種生產機械中，水泵則用來壓送潤滑油和冷却用之乳狀液體（如車床用之肥皂水）或壓送冷却機械各個部件之用水等等。

幾乎所有的水泵都是用電動機帶動。電動機可由人力控制，亦可自動控制，為了研究水泵和油泵等的電力裝備，例如如何決定選擇電動機的種類、容量、線路圖等，必須首先研究一下水泵的本身。以下簡單地談一下水泵的分類及特性等等，然後在此基礎上再來考慮水泵的電力裝備。

## § 2. 水泵之分類

水泵之構造雖然簡單，其應用範圍極廣，用途不同，型式亦異，在這裡我們不可能每樣都談，因此只能研究其中具有代表性的幾種。

就水泵之作用、原理及構造可分為三大類：即容積式（объемные）、噴流式（струйные）及翼片式（лопаточные）水泵。容積式中又可分為活塞式（поршневые）、齒輪式（зубчатые）及轉動活板式（пластинчатые）三種。而翼片式則有離心式（центробежные）、軸流式（осевые）及渦流式（вихревые）幾種。如圖1所示。

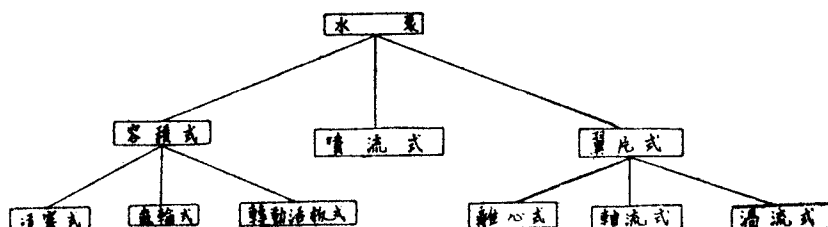


圖1 水泵分類圖

在容積式水泵中，工作機件直接壓縮液體，使液體獲得能量；翼片式水泵中，由於翼輪（колесо）之轉動，可使液體一同旋轉；而於噴流式水泵中，係因液體與噴出之水流（或汽流）混合，因而獲得能量。

在機械製造工業中，常用離心式及活塞式；而於礦山中，則多用軸流式。

在這一節中，簡單介紹一下各種水泵之構造及其工作原理。

### 1. 活塞式水泵

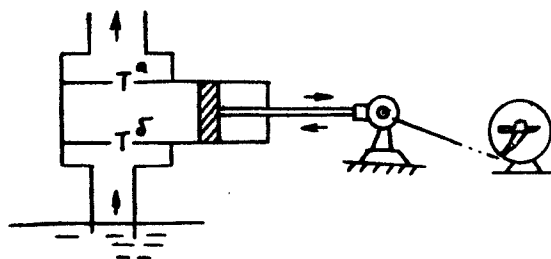


圖 2 活塞式水泵

活塞式水泵之效率較高，可得較高之壓力，而其供水量與壓力無關；但構造笨重，不能和電動機直接相連，流量不均勻，不易調節，且因具有活門，易於發生故障。因此在所需壓力不大時，有用齒輪式者。

### 2. 齒輪式水泵

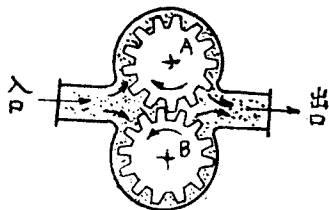


圖 3 齒輪式水泵

圖 3 為一齒輪式水泵，由 A、B 兩個齒輪組成，只有一個齒輪由電動機帶動，二齒輪轉向相反。液體經入口進入水泵中，經過齒輪，按箭頭所示方向，由出口流出，二齒輪間緊密閉合，故水很難反向流動。

齒輪式水泵構造簡單，不需活門、堅固，因齒輪轉向不變，故可直接與電動機軸相連。但其本身供水量較低，效率亦低，最大時可有 10% 液體反向流回，故主要用來汲入粘滯性液體如油類等。

### 3. 轉動活板式水泵

圖 4 為轉動活板式水泵，由兩個圓柱組成，在轉動圓柱（轉子）之槽中，分別裝入活板（圖中祇示二槽），活板與槽間裝有彈簧，當轉子轉動時，因其與固定圓柱間之距離時刻改變，活板因彈簧之作用，可伸出或被壓進，入口附近之壓力減小，而出口處之壓力則因轉子之轉動而增大；液體遂可由入口流入而自出口流出。

轉動活板式水泵與活塞式水泵之作用原理基本相同，只是把直線往復運動變為轉動了，因此比活塞式好些，可用為水泵及通風機。

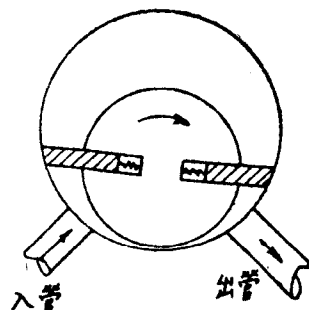


圖 4.

圖 4 轉動活板式水泵

#### 4. 離心式水泵

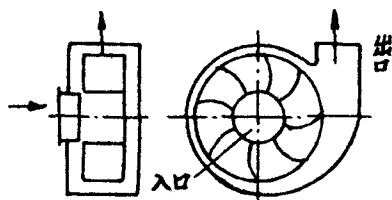


圖 5 離心式水泵

當用為壓縮機時，一般常採用多段式。

離心式水泵翼片之形狀可分為彎向前、彎向後、及徑向翼片三種。

離心式水泵係由位於螺旋形外殼中之翼片組成。液體由管中以垂直方向進入水泵，因水泵之旋轉，獲得能量，經由出口流出。

此式水泵構造簡單易於調節、效率較高、流量均勻，因所需轉速較高，經常與電動機軸直接相接。但其供水量則隨壓力之大小而改變。

離心式水泵可用作水泵、通風機、壓縮機等，

#### 5. 軸流式水泵

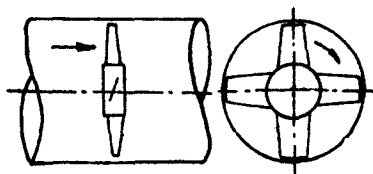


圖 6 軸流式水泵

形式最簡單的軸流式水泵是一安放在一個圓筒形機殼內的翼輪（如圖6）。它的翼輪和翼片的形狀，與離心式水泵完全不同。

當翼輪轉動時，液體便產生軸向之壓力。

軸流式水泵堅固，其效率較離心式者為高，此外，且可改變流動之方向，但其壓力則較離心者為低。

#### 6. 渦流式水泵

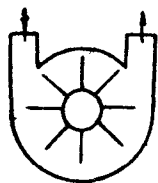


圖 7 渦流式水泵

渦流式水泵之原理與離心式者相同，但液體之流入方向，則與離心式者不同，前者為垂直方向，此則係在同一平面內，故稱之為渦流式水泵。

渦流式水泵之效率低，但構造簡單，且可反向。

### § 3. 水泵之水頭（給水高度）

在計算水泵的給水高度時，須考慮水泵的吸入壓力（ $\text{давление всасывания}$ ）、將液體所需壓送之高度及在整個系統中各部分的損耗。茲以下圖為例，說明計算之方法及在計算過程中應考慮的因素。

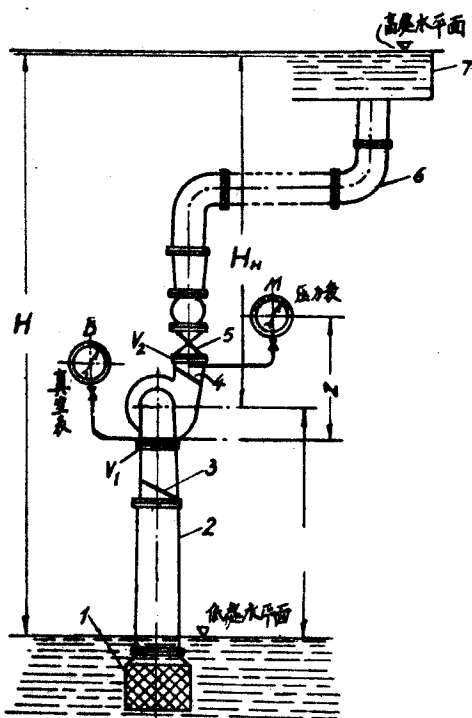


圖 8 水泵之裝置簡圖

在圖 8 中，

- 1 為汲水管之濾網 (Сетка всасывания трубы);
- 2 為汲水管 (Всасывающая труба);
- 3 為單向活門 (Обратный клапан);
- 4 為增壓活門 (Нагнетательный клапан);
- 5 為水閥 (Вентиль);
- 6 為管路 (Труба),
- 7 為水箱 (Резервуар)。

如圖 8 所示，將液體壓送到所需高度之總水頭 (напор) 應為：

$$H = H_{\text{в}} + H_{\text{н}} + h$$

式中：

$H_{\text{в}}$  —— 吸入高度 (высота всасывания);

$H_{\text{н}}$  —— 壓送水頭 (высота напора или напор нагнетания),

$h$  —— 系統中各部份之水頭損耗，包括所有網中、單向活門、增壓活門、管之直線部份、彎曲部份、各個水閥以及水泵本身的水頭損耗，這些損耗如何求得，將在下面談及。

計算電動機的容量時，必須計及一切水頭損耗，因它所佔的比重很大，有時甚至可能為有效水頭之一半。

從下面液體表面到吸入口的一段高度不計算在總水頭之內，因為大氣壓力之故管內外液體之壓力相同。

1. 水泵安裝時與水面相距之高度，吸入高度之計算

如水泵與吸入水面間之高度不合適：可能發生以下兩種情況：

第一種情況：如水泵之位置太高，水根本就打不上來，這是因為 1 大氣壓力 = 10.33 公尺 (在工程上，一般認為 1 大氣壓 = 10 公尺)，如水泵之高度比一大氣壓力水頭還要高，那麼水根本就會打不上來，雖然水泵在轉動，大氣壓力根本不能把水壓到水泵的入口，故很深的礦井，不能簡單地把水泵裝在井上面，而須裝在井下面。

第二種情況：水泵可能發生蒸汽，這是因為水在一個大氣壓 (10.33 公尺) 時，沸點為  $100^{\circ}\text{C}$ ，若壓力減低，則沸點亦隨之減低，在壓力很低時則  $20^{\circ}\text{C}$  之水也會沸騰，故若水泵之高度不適合，水泵入口之壓力太低，就會發生蒸汽，故實際上水泵所安放之高度為 5 公尺到 6 公尺。

在各種溫度下，有其相應之吸入高度；水泵內之絕對壓力應不小於液體的飽和蒸汽的壓力（即在這一溫度及此壓力下，液體不會變成蒸汽），否則，液體會在水泵內沸騰。表 1 及圖9 為水之飽和蒸汽壓力及對應之溫度關係。

表 1 水之飽和蒸汽壓力及溫度

| t°                                 | 0  | 4  | 10  | 20  | 30  | 40  | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100   | 110   | 120   | 150   | 200    |
|------------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| P <sub>н.п</sub> кг/м <sup>2</sup> | 65 | 85 | 125 | 235 | 430 | 745 | 1250 | 2020 | 3170 | 4820 | 7140 | 10330 | 14620 | 20270 | 48680 | 158100 |

在熱水或有蒸汽發生的情況下，水泵之吸入高度可能是負值，在這種情況下，為了保證水泵的正常工作和預防發生蒸汽起見，常使液體在進入水泵前之壓力高於一大氣壓力。

表 2 為離心式水泵之溫度與其容許之吸入高度之關係，

表 2 溫度及吸水高度 H<sub>в</sub>

| t°                    | 0   | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 75 |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| H <sub>в</sub> (公尺水柱) | 7.0 | 6.5 | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.0 | 2.5 | 1.0 | 0  |

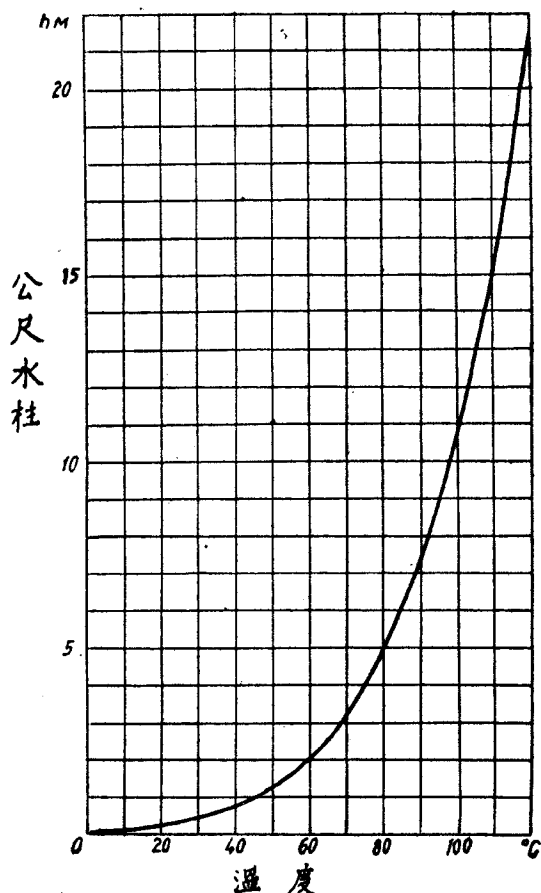


圖 9 水的飽和蒸汽壓力與溫度之關係

理論上液體吸入之最大允許高度，可以根據下式計算，在這一高度之下，可以保證液體不發生蒸汽（不發生汽蝕現象）。

$$H_{в.в} = \frac{P_0}{\gamma} - \left( \frac{P_{н.п}}{\gamma} + H_0 + \frac{C_1^2}{2g} + \sigma H \right) \text{公尺} \quad (2)$$

式中：

$P_0$  —— 大氣壓力 (атмосферное давление);

$\gamma$  —— 液體之重率;

$P_{н.п}$  —— 在某一溫度下液體之飽和蒸汽壓力;

$H_0$  —— 在吸入管內的水頭損耗;

$\frac{C_1^2}{2g}$  —— 液體進入水泵翼輪時之速度水頭;

$H$  —— 水泵之水頭 (напор насоса);

$\sigma$  —— 汽蝕係數 (коэффициент кавитации)。

對於翼片式的水泵（лопаточной насос） $\sigma$  可以用下式求得：

$$\sigma = \left( \frac{n_s}{k} \right)^{4/3} \quad (3)$$

上式  $n_s = 3.65 \frac{Q^{1/2} n}{H^{3/4}}$

$n_s$  —— 水泵之比轉數（Удельное число оборотов насоса）；

$k$  —— 比例係數，對於通常的離心水泵此係數為 500~600。

當發生汽蝕現象（кавитация）時，在水泵內就會發生液體和蒸汽的混合物，這就會擾亂水泵的正常工作，發生動作不均勻和聲響。

不但如此，在發生汽蝕現象（кавитация）的時候，由於汽泡在泵壁凝結發生水力的衝擊，可能很快地損壞水泵的翼片和泵壁，同時由於在水中溶有空氣，就有氧氣發生，使泵壁遭受化學的腐蝕，有時在幾小時內，就會損壞翼片的末端。

避免或減少汽蝕現象之方法有以下幾種：

- 1) 減低吸入液體之溫度；
- 2) 減少吸入高度，吸入損耗，入口速度或加一外加壓力；
- 3) 加強材料之強度或改善水泵內壁表面。

## 2. 管路中之各種損耗

當水泵將液體由一處向另一處輸送時（例如往高處，往遠處），除了必須具有靜水頭的壓力外，還必須克服在輸送過程中管道的各種損耗。現在我們來研究一下管路中的各種損耗。

### ① 管路中直線部份的損耗

當液體在直線的管道中流動時，由於水和管面有摩擦和水中有渦流（即亂流）的產生，故引起損失。用公式表示如下：

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{V_l^2}{2g} \quad (4)$$

式中  $l$  —— 管道的長度（單位為公尺）

$d$  —— 管道直徑（單位為公尺）

$V_l$  —— 管道中液體的速度（單位為公尺/秒）

下面僅就公式的性質討論一下：

- I)  $h_l \propto l$  這是很明顯的，因為管道愈長，則損耗就愈多，故損耗和管道長成正比。
- II)  $h_l \propto \frac{1}{d}$  這說明管道愈粗，液體愈易通過，故損耗愈小。
- III)  $h_l \propto V_l^2$  這說明，單位時間流量多，速度愈快，故損耗大。
- IV)  $\lambda = K_m + \frac{K_r}{\sqrt{V_l d}}$ ， $\lambda$  主要是用來表示管道的性質。

其中  $K_m$  對一般鑄鐵管或鋼管而言約為 0.02。 $K_m$  是用來表示水流和管壁間的摩擦，因此其大小和管子的材料及（管面粗糙情況）有關。一般在沒有雜質沉澱時，舊管由於水流衝擊比較光滑，故  $K_m$  較小，而新管  $K_m$  一般較大。反之，若有沉澱物存在時，則直徑將縮小，故有以下校正。

$K_{\text{ш}} = K_{\text{ш}} \frac{d}{d_0}$  (其中  $d$ ——新管的直徑；  $d_0$ ——有沉澱物後的直徑)。

在  $\lambda$  中  $K_r$  主要是由於液體的亂流（或渦流）所引起的，其數值與溫度有關。

表 3

| $t^\circ \text{C}$ | 3°     | ..... | 10°   | ..... | 15°    | ..... | 100°   |
|--------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| $K_r$              | 0.0025 | ..... | 0.002 | ..... | 0.0018 | ..... | 0.0004 |

一般來講， $\lambda$  中  $K_{\text{ш}}$  起主要作用的，故實用中考慮  $\lambda = 0.02 \sim 0.03$ 。

V) 當計算直線部份管路損耗時，應注意「分段計算」，因為每段可能由於直徑斷面積不同，速度不同（如圖 10）。

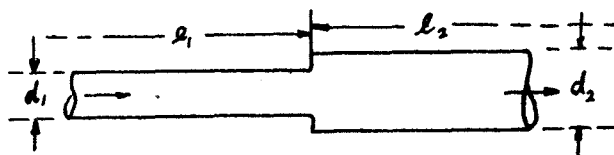


圖 10 直線管路之損耗

在這一段管路中的總的損耗應為：

$$h = \lambda \frac{V_{r1}^2}{2g} \frac{l_1}{d_1} + \lambda \frac{V_{r2}^2}{2g} \frac{l_2}{d_2} \quad (4)$$

假如直接將  $l$  加起來求，顯然是錯誤的。

## ② 管路中彎曲部份的損耗

當液體以一定速度由直線部份管道經過彎曲部份時，由於流向改變，產生損耗，其大小與管道半徑與管道彎曲半徑對比有關。設：

$r$  = 管道的半徑；  $R$  = 管道的彎曲半徑；

其公式如下：

$$h_k = \epsilon_{\text{закр}} \frac{a_k}{90^\circ} \frac{V_r^2}{2g} \quad (5)$$

其中  $\epsilon_k$  與  $r/R$  有關。

表 4

| $\epsilon_k$ | 0.131 | 0.138 | 0.158 | 0.20  | 0.294 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $r/R$        | 0.1   | 0.2   | 0.3   | 0.4   | 0.5   |
| $\epsilon_k$ | 0.44  | 0.661 | 1.097 | 1.408 | 1.978 |
| $r/R$        | 0.6   | 0.7   | 0.8   | 0.9   | 1.0   |

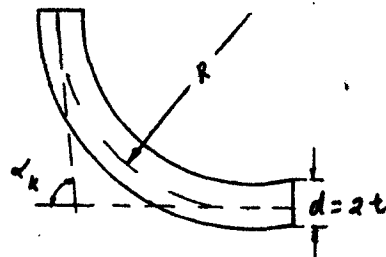


圖 11 管路中彎曲部份之損耗

## ③ 管路中各種設備的損耗

I) 活門的損耗：這種損耗與活門關閉的程度有關（如圖 12）。

其公式

$$h_3 = \epsilon_{3\text{дв}} \frac{V_T^2}{2g} \quad (6)$$

其中  $\epsilon_3$  與  $X$  有關。

表 5

|              |         |         |         |       |         |
|--------------|---------|---------|---------|-------|---------|
| X            | 12.5% d | 25% d   | 37.5% d | 50% d | 62.5% d |
| $\epsilon_3$ | 97.8    | 17      | 5.52    | 2.06  | 0.81    |
| X            | 75% d   | 87.5% d | 100% d  |       |         |
| $\epsilon_3$ | 0.26    | 0.07    | 0       |       |         |

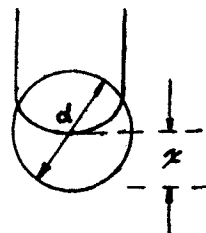


圖 12 活門之損耗

II) 單向活門的損耗：與活門開啟的角度  $\alpha_{OK}$  有關。

其公式 
$$h_{OK} = \epsilon_{OK} \frac{V_T^2}{2g} \quad (7)$$

其中  $\epsilon_{OK}$  與  $\alpha_{OK}$  有關：

表 6

|                 |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\alpha_{OK}$   | 15° | 20° | 25° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° |
| $\epsilon_{OK}$ | 90  | 62  | 42  | 30  | 14  | 9.6 | 3.2 | 1.7 |

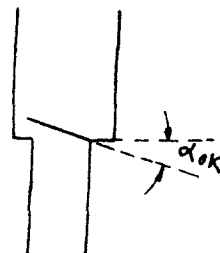


圖 13 單向活門之損耗

III) 三道管接口處的損耗

如圖 14 有三種不同情況：

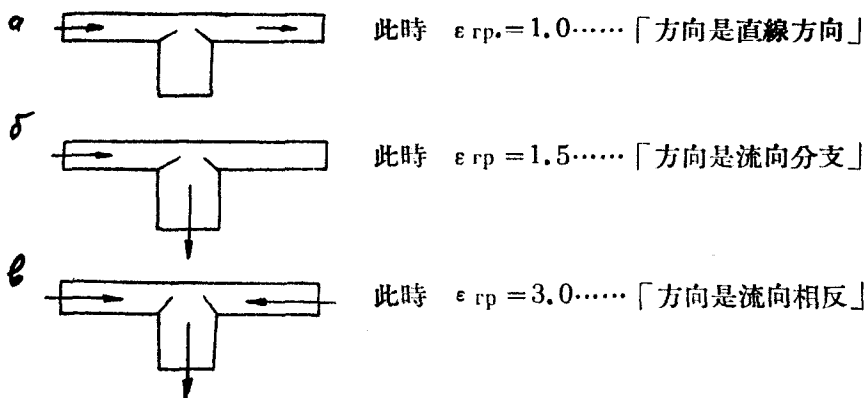


圖 14 三道管接口處之損耗

④ 其他損耗：例如在經過濾網 (сетка) 中的損失等。

根據以上的分析，關於損耗可以得出以下的結論：——在計算損耗時

i) 基本公式是  $h = \left[ \lambda \frac{l}{d} + \sum \epsilon \right] \frac{V_T^2}{2g}$ ，但在應用此公式時，應該注意以下幾點：

a) 不同截面的管道，應分段計算損耗。

$$6) \Sigma \varepsilon = \varepsilon_{\text{закр.}} + \varepsilon_{\text{ок}} + \varepsilon_{\text{зав.}} + \dots$$

в) 在不同的截面中速度不同, 即  $V_T$  不同。

ii) 同時, 在設計或實用中, 一般取  $h = (8 \sim 10\%) H$ , 而  $H = H_B + H_H$ .

iii) 最經濟的截面:

$$d = 0.45 \sqrt{\frac{Q^3 [800 - 0.1 (H_B + H_H)]}{0.05 (H_B + H_H)}} \quad (\text{單位為公尺}) \quad (8)$$

## § 4. 離心式水泵之基本公式

為了保證能够把液體抽到  $H_B + H_H = H_T$  的高度, 離心式水泵必須要克服液體柱  $H_T$  的重量、管路及水閥等處的損耗水頭, 並應產生某些剩餘水頭 (избыточный напор), 使液體能流到水槽的頂部。

現在我們來看一下, 離心式水泵產生的水頭竟與那些因素有關。

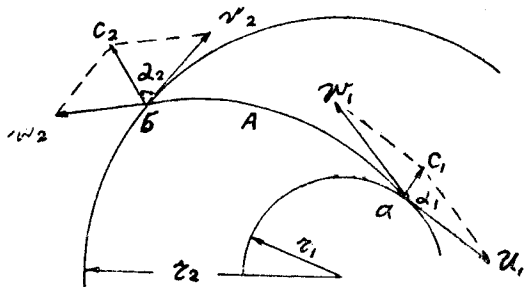


圖 15 翼輪中之速度圖

圖 15 中 A 表示離心式水泵的翼片。

液體沿着軸的方向流入水泵的中心, 由於翼片在旋轉, 此液體被翼片帶着在以  $r_1$  為半徑的圓周上作圓周運動, 其圓周速度為  $U_1$ 。由於離心力的作用, 此液體被翼片帶着作圓周運動的同時並且還向外面流。當液體在水泵中離開翼片的時候, 它的圓周速度是  $U_2$ 。

把液體從翼輪 (колесо) 內緣 (обод)  $a$  處移動到外緣  $B$  處, 所需要作的功可用下法求之:

若  $L$  表示把液體從  $a$  處沿着翼片移動到  $B$  處的功,

$r$  表示液體與圓心的距離,

$F$  表示離心力,

$m$  表示液體的質量,

$\omega$  表示翼的角速度,

則

$$dL = F dr$$

$$F = m r \omega^2$$

故 移動質量為  $m$  的液體的功 為

$$L = \int_{r_1}^{r_2} m r \omega^2 dr = \frac{m \omega^2}{2} (r_2^2 - r_1^2).$$

當液體的重量為一公斤時, 液體之質量為  $m = \frac{1}{g}$ ,

則

$$L = \frac{\omega^2}{2g} (r_2^2 - r_1^2).$$

又因

$$U_1 = \omega r_1, \quad U_2 = \omega r_2,$$

故

$$L = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g}.$$

但是把一公斤重量的液體從翼輪的內緣移至外緣（即由  $a$  到  $B$ ）所作之功在數量上等於水頭的高度（以水柱高一米來表示）。

因此

$$L = H' = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g}. \quad (9)$$

上述的功除消耗在克服翼輪前後之壓力差（ $h_2 - h_1$ ）外，並使液體沿着翼片流時獲得位能。此增加之位能。為

$$\frac{W_2^2 - W_1^2}{2g} \quad (\text{因 } w_1 > w_2)$$

其中  $W_1$  表示在翼輪之內緣上，液體對翼片之相對速度，

$W_2$  表示在翼輪之外緣上，液體對翼片之相對速度，

因此

$$\frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} = h_2 - h_1 + \frac{W_2^2 - W_1^2}{2g}$$

而

$$h_1 = - \left[ H_B + h_B + \frac{C_1^2}{2g} \right]$$

$$h_2 + \frac{C_2^2}{2g} = H_H + h_H + \frac{C_o^2}{2g}.$$

式中：  $C_1$  —— 液體流入翼輪之速度；

$\frac{C_1^2}{2g}$  —— 液體流入翼輪時之動能；

$h_B$  —— 吸入管中之水頭損耗；

$H_B$  —— 吸入水頭之高度；

$H_H$  —— 壓送水頭之高度（напор нагнетания）。

$h_H$  —— 壓水管（пундба нагнетательная）中之水頭損耗；

$\frac{C_2^2}{2g}$  —— 液體離開翼輪時之動能；

$\frac{C_o^2}{2g}$  —— 液體離開壓水管時之動能。

所以

$$\frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} = (H_H + h_H + \frac{C_o^2}{2g} - \frac{C_2^2}{2g}) + (H_B + h_B + \frac{C_1^2}{2g}) + \frac{W_2^2 - W_1^2}{2g},$$

$$H_H + h_H + H_B + h_B + \frac{C_o^2}{2g} = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} - \frac{W_2^2 - W_1^2}{2g} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g}$$

或

$$H_o = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} - \frac{W_2^2 - W_1^2}{2g} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g}. \quad (10)$$

$H_o$  稱為全水頭（полный напор）。

由餘弦定律，

$$W_1^2 = C_1^2 + U_1^2 - 2 C_1 U_1 \cos \alpha_1$$

$$W_2^2 = C_2^2 + U_2^2 - 2 C_2 U_2 \cos \alpha_2$$

將此關係代入前式，得：

$$H_0 = \frac{C_2 U_2 \cos \alpha_2 - C_1 U_1 \cos \alpha_1}{g} \quad (11)$$

對離心式水泵而言， $\alpha_1 \cong 90^\circ$ ，

$$\text{故得：} \quad H_0 = \frac{C_2 U_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (12)$$

此式常被稱作歐立爾（Эйлер）公式。

當翼輪（колесо）為有限個翼片時，在歐立爾公式中須加一常數  $K$ ，則

$$H_0 = K \frac{C_2 U_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (13)$$

在一般情況下， $K=0.55\sim 0.8$ 。

上式所表示的水泵產生的水頭沒有考慮翼輪（колесо）中的水力損耗（гидравлическая потеря）（液體與翼片間的摩擦損耗）。如考慮水力損耗，則得有效水頭  $H$ （действительный напор），

$$H = H_0 \eta_h = K \eta_h \frac{U_2 C_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (14)$$

$\eta_h$  稱為水力效率（гидравлический кпд.）。

由歐立爾公式可見，在一定的  $U_2$  和  $C_2$  時，有效水頭的大小與  $\alpha_2$  有關，而  $\alpha_2$  是與翼片的形狀有關係的。當水泵的翼片彎向前時， $\alpha_2$  為最小，因之，水泵能够產生的水頭為最大。在表面上看來，葉片彎向前的水泵似乎要好一些，但實際上，液體將因而獲得很大的速度，把壓力變為速度而引起很大的損耗，降低水泵的效率，由於這個原因，水泵經常是被製造成徑向翼片式的（насосы с лопатками радиальными）及向後彎翼片式的（насосы с лопатками замкнутыми назад）。

由歐立爾公式中顯然可見，當圓周速度  $U_2$  及液體離開翼片的速度  $C_2$  變化的時候，那末水泵產生的水頭也將隨着變化。所以提高翼輪的旋轉速度可以得到較高的水頭，但同時，由於轉速的提高，液體的流量也隨着增加了，也即增加了水泵的供應能力，增加了吸入管及壓水管的損耗，其結果使損耗增加，因此，水泵的水頭將不隨翼輪的轉速按比例地變化。

## § 5. 水泵之特性

### 1. 離心式水泵

離心式水泵的水頭可按已求得的公式計算：（如不計水力損耗）

$$H = \frac{K \cdot U_2 C_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (15)$$

因圓周速度  $U_2$  可以表示為： $U_2 = \pi D_2 n$

式中  $D_2$  —— 翼輪的外直徑。

$n$  —— 翼輪的旋轉速度。