

中央人民政府高等教育部推荐高等學校教材試用本

# 水 能 利 用

## 上 册

蘇聯工學博士 阿·阿·莫羅佐夫教授著  
哈爾濱工業大學水能利用教研室譯

燃 料 工 業 出 版 社

中央人民政府高等教育部推荐高等学校教材试用本

# 水 能 利 用

上 册

蘇聯工學博士 阿·阿·莫羅佐夫教授著  
哈爾濱工業大學水能利用教研室譯

蘇聯高等教育部審定  
作為多科性技術及建築專業高等學校教材

燃 料 工 業 出 版 社

一九五三年十二月·北京

~~5900208~~

## 內 容 提 要

本書綜合地討論有關水能利用的問題，闡明水能利用的原理，並給水電站容量選擇及水輪機選擇以原則性的指示。本書以最大部分的篇幅敘述水力發電站之建築物（進水設備、引水渠道、水管、平水塔、水電站廠房等等），簡單地敘述了水電站的電力設備。

本書為高等工業學校動力系及水力工程系之教材，並可作為水力發電站設計之參考書籍。

\* \* \*

本書翻譯者為：王世澤 王承樹 朱厚生 李大成 周 鵬 曹維恭 陳可一 屠大熊

\* \* \*

## 水 能 利 用

Использование водной энергии

上 冊

\* 根據蘇聯國家動力出版社（Госэнергоиздат）1948年莫斯科俄文第一版翻譯 \*

A. A. Морозов 著

哈爾濱工業大學水能利用教研室譯

燃 料 工 業 出 版 社 出 版

地址：北京東長安街中央燃料工業部

中國圖書發行公司發行 北京市印刷一廠排印

編輯：曾志開 校對：李翔雲 隗家澤

書號：135 \* 18開本 \* 230頁 \* 304,000字 \* 定價：22,000元

一九五三年十二月北京第一版（1—7,000冊）

版權所有★不許翻印

# 目 錄

|          |   |
|----------|---|
| 緒論 ..... | 1 |
|----------|---|

## 第一編 水能利用原理

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第一章 水能利用方式 .....                | 9  |
| § 1. 水電站之水頭、流量及容量 .....         | 9  |
| § 2. 水電站的基本佈置型式 .....           | 11 |
| § 3. 較複雜佈置型式的舉例 .....           | 15 |
| § 4. 綜合水利問題 .....               | 16 |
| 第二章 河流水文特性 .....                | 18 |
| § 5. 流量 .....                   | 18 |
| § 6. 第一類型——平原河流 .....           | 18 |
| § 7. 第二類型——湖源河流 .....           | 21 |
| § 8. 第三類型——冰源河流 .....           | 23 |
| § 9. 第四類型——以降雨及暴雨為主要水源之河流 ..... | 24 |
| § 10. 混合類型河流 .....              | 24 |
| § 11. 水量之基本特性 .....             | 25 |
| § 12. 水量的變化性 .....              | 27 |
| § 13. 水量的保證率 .....              | 31 |
| § 14. 伏士德法 .....                | 33 |
| § 15. 水量之地理分佈 .....             | 37 |
| § 16. 間接決定水量的方法 .....           | 39 |
| § 17. 相似法 .....                 | 42 |
| § 18. 最大流量之決定 .....             | 43 |
| 參考書目 .....                      | 47 |
| 第三章 水量調節 .....                  | 48 |
| § 19. 水量動力調節之主要種類 .....         | 43 |
| § 20. 特殊種類的水量調節 .....           | 51 |
| § 21. 水庫以及水庫同水電站的相對位置 .....     | 53 |
| § 22. 利用水庫進行水量調節 .....          | 56 |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| § 23. 水庫容積 .....                   | 57         |
| <b>第四章 水量年調節及多年調節之計算 .....</b>     | <b>59</b>  |
| § 24. 水庫的進水 .....                  | 59         |
| § 25. 累積曲線在水量調節計算中之應用 .....        | 61         |
| § 26. 斜座標組上的累積曲線 .....             | 62         |
| § 27. 水量的年調節 .....                 | 65         |
| § 28. 可變流量之調節 .....                | 69         |
| § 29. 水量的多年調節 .....                | 71         |
| § 30. 水庫容積有限時之理想型多年調節 .....        | 74         |
| § 31. 階梯式水電站的調節 .....              | 77         |
| § 32. 水量的補償調節 .....                | 78         |
| § 33. 位於不同河流上的水電站系統之調節 .....       | 80         |
| § 34. 水量調節的調度圖 .....               | 82         |
| § 35. 水量多年調節時水庫容量的決定 .....         | 86         |
| § 36. 由於水庫的滲流及蒸發而產生的水的損失 .....     | 93         |
| § 37. 水庫容積的經濟選擇 .....              | 95         |
| <b>第五章 水電站的水頭及容量 .....</b>         | <b>97</b>  |
| § 38. 水頭變化的原因 .....                | 97         |
| § 39. 由流量變化而引起的水頭年變化 .....         | 97         |
| § 40. 流量與水頭年變化時容量的變化 .....         | 100        |
| § 41. 水電站年運轉情況的研究 .....            | 105        |
| § 42. 水電站的瞬時出力與短時出力 .....          | 107        |
| § 43. 由容量的穩定性來區分水電站 .....          | 109        |
| § 44. 上游水位變化時，水電站年運轉情況的研究 .....    | 110        |
| <b>第六章 流量日調節 .....</b>             | <b>114</b> |
| § 45. 需電情況及負荷圖 .....               | 114        |
| § 46. 日負荷圖的分析曲線 .....              | 119        |
| § 47. 無限制的水流日調節 .....              | 121        |
| § 48. 受水庫容積限制的水量日調節 .....          | 123        |
| § 49. 日調節中之能量損失 .....              | 124        |
| § 50. 因水流日調節而產生的上下游振盪的性質 .....     | 125        |
| § 51. 水流的週調節 .....                 | 130        |
| <b>第七章 水電站的電力經濟指數 .....</b>        | <b>132</b> |
| § 52. 年發電量 .....                   | 132        |
| § 53. 裝機千瓦的價值 .....                | 134        |
| § 54. 對每一年千瓦小時發電量的投資及水電站電力成本 ..... | 135        |
| § 55. 火電站發電成本 .....                | 140        |

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 56. 裝機容量使用時數對電力成本的影響 .....                                                 | 142 |
| § 57. 使用時數對電力價格燃料部分的影響 .....                                                 | 144 |
| 第八章 水電站容量的選擇 .....                                                           | 147 |
| § 58. 容量選擇的經濟論據 .....                                                        | 147 |
| § 59. 系統備用容量 .....                                                           | 150 |
| § 60. 水電站運轉情況及其貯備能力對容量選擇的影響 .....                                            | 152 |
| 第九章 在電力系統中水力發電站的運轉 .....                                                     | 155 |
| § 61. 各種電站的發電特性 .....                                                        | 155 |
| § 62. 日負荷圖的分配 .....                                                          | 158 |
| § 63. 容量與電能年平衡圖的製訂 .....                                                     | 161 |
| 第十章 水力蓄能 .....                                                               | 165 |
| § 64. 水力蓄能的動力意義 .....                                                        | 165 |
| 第十一章 水輪機的通用特性 .....                                                          | 169 |
| § 65. 相似律 (第一次近似) .....                                                      | 169 |
| § 66. 相似律 (第二次近似) .....                                                      | 174 |
| § 67. 水輪機的特性 .....                                                           | 176 |
| § 68. 通用特性的類型 .....                                                          | 182 |
| 第十二章 通用特性的應用 .....                                                           | 184 |
| § 69. 當 $D = \text{常數}$ 和 $H = \text{常數}$ 時, $\eta = f(N, Q)$ 式的主通用特性 .....  | 184 |
| § 70. 當 $D = \text{常數}$ 和 $n = \text{常數}$ 時, $\eta = f(H, P)$ 式的運轉通用特性 ..... | 188 |
| § 71. 工作特性的繪製 .....                                                          | 190 |
| § 72. 選定水輪機工作區域的圖形法 .....                                                    | 190 |
| § 73. 對數座標上的通用特性 .....                                                       | 191 |
| § 74. $(Q-H-P)$ 類型的特性 .....                                                  | 193 |
| § 75. 電站通用特性的製訂 .....                                                        | 194 |
| § 76. 工作特性的修正 .....                                                          | 195 |
| 第十三章 水力發電站水輪機的選擇 .....                                                       | 197 |
| § 77. 機組數目的選擇 .....                                                          | 197 |
| § 78. 作為選擇水輪機類型根據的比轉數係數 $n_s$ .....                                          | 201 |
| § 79. 孔蝕現象 .....                                                             | 206 |
| § 80. 電站水頭對比轉數選擇之影響 .....                                                    | 203 |
| § 81. 轉輪位置的選擇 .....                                                          | 209 |
| § 82. $\Pi M3$ 的水輪機類型 .....                                                  | 213 |
| 中俄名詞對照 .....                                                                 | 224 |
| 技術名詞 .....                                                                   | 224 |
| 專有名詞 .....                                                                   | 228 |

謹以此書紀念  
博里斯·葉夫耿涅也維奇·維捷涅葉夫院士

## 緒 論

在有文化的初期，當人類作進行征服自然力量的初步嘗試，促使自然爲了自己的需要而服務的時候，其最重要的成就之一，就是先用家畜的力量，然後又用機械原動機來替換人類的軟弱的臂力。第一座機械原動機就是利用流水的力量之水輪。三千多年以前在古代世界先進的文明國家中——在中國及埃及，在印度，在敘利亞及巴勒斯坦——水輪已被用來取水送入灌溉渠道和用來轉動粗笨的水磨磨盤。直到目前，在這些國家中，以及其他許多地方，仍舊可以遇見與他們的遠代祖宗時很少差別的、相類似的建築物。

水磨從敘利亞和印度流傳到希臘和羅馬，在那裡，它們的利用很快地就被推廣了。

在俄國，早期文字記載的古蹟中已提及水磨，而在十四——十五世紀的文獻中，提及水磨的地方則越來越多。

在法國，六世紀時就已知道建造水磨，而在第七世紀的法律中我們已能找到關於保護水磨的決定。至今在蒂洛爾還保留有渠道的痕跡，這是一〇九七年在岩石上鑿成的，水即沿此渠道流向水磨，其水頭有40公尺高。

在文藝復興時代，當商業資本日益鞏固和小型手工業興盛的時候，就產生了對機械力量的要求。流水的力量在這裡就成了動力的主要源泉。在打鐵場、鋸木場、毛織場及其他工藝場水力的利用已相當廣泛。在十五——十六世紀的文獻中可以找到許多關於水力原動機建築方法的敘述，並附有簡單的插圖和圖樣（圖1所示的圖畫即爲一例）。最有趣味的水力裝置之一是浮動抽水站，就是利用水輪來運轉的。

在十六世紀莫斯科的聶格林那河及雅烏茲河上已有很多水磨。大約亦就在同一時期俄國已出現了利用水能的工廠。

對機械力量要求的增加促使水力原動機日趨改善，而根據反擊原則來製造轉動的水輪機的想法初次產生於一七五〇年，當時謝格聶爾創造了一種水輪，以他本人的名字命名，然而，所遺留下的只是一件有趣味的物理儀器而已。謝格聶爾水輪原理的理論根據早在一七三〇年就已由Д·伯努利提出了。

水輪機的理論基礎在俄國科學院院士埃列爾一七五〇年、一七五一年及一七五四年的三篇文章中即已加以論述。

俄國十八世紀正是俄國水利工程發展的時代，當時水力原動機在冶金、玻璃、火藥、紡織等業及鋸木業中已得到廣泛的應用。一七五二年 M·B·羅蒙諾索夫開始建造烏斯奇——魯德尼茨玻璃工廠，他在該廠的雙面鋸架、粉磨及研磨、搗碎、攪拌玻璃材料和研磨細料的機器上都利用了水輪。十八世紀中葉，僅在烏拉爾就有 150 個以上的工廠都有了水力裝置。

在同一時期設計了特種俄國形式的土壩和木壩，並創造了獨特的水力裝置，例如：當時天才的水力工程師 K·Д·福羅洛夫在史墨英戈爾礦山建造了地下水力裝置，用以從礦井內取出水和礦石，並供鋸木之用（阿爾泰山，一七八七年）；這個裝置的整個複雜的建築物安裝在地面和地下深達 60 公尺的三層中。大概它是工程史上這一類地下建築物的第一個例子<sup>①</sup>。

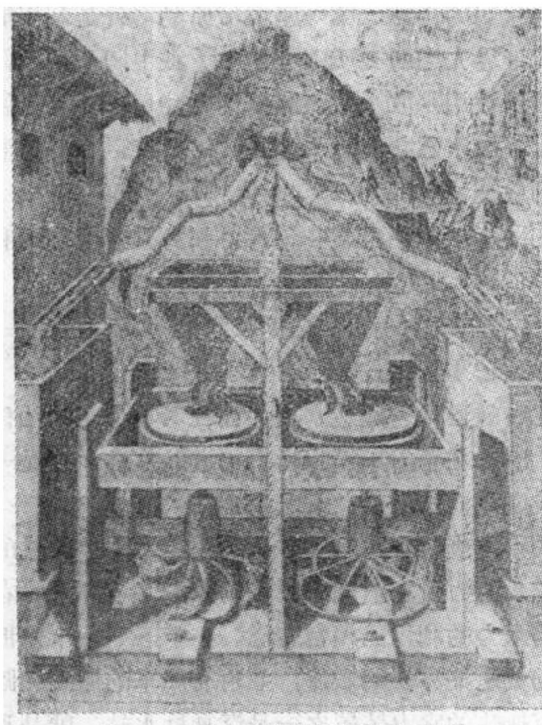


圖 1 1639 年所出版的書中插圖的水磨

雖然已有上述瑟格聶爾、伯努利和歐拉等人的研究貢獻，設計水輪機的企圖直到十九世紀初還沒有得出實際的結果，而僅於一八二七年才有佛爾涅龍製造了具有實用意義的第一座水輪機。這一座水輪機製造得非常出色，並且很快地就被推廣了。保留有一八三四年所造的佛爾涅龍的水輪機樣本，其水頭為 108 公尺，每分鐘轉數為 2 300 轉，容量為 40 馬力。

於一八四七年所出現的佛朗西斯水輪機對於進一步的發展和改善具有最重大的

① 詳見 B·B·大尼列夫斯基：「俄國十九世紀前水力裝置史」，國家動力出版社，1940 年。

意義和啓發作用。佛朗西斯水輪機在這一百年來發生了一系列結構上的變動，裝配有轉動葉片的導葉的佛朗西斯水輪機，於很大的水頭範圍內（從30公尺到300公尺），以其質量來說，至今還沒有可與之相匹敵者。

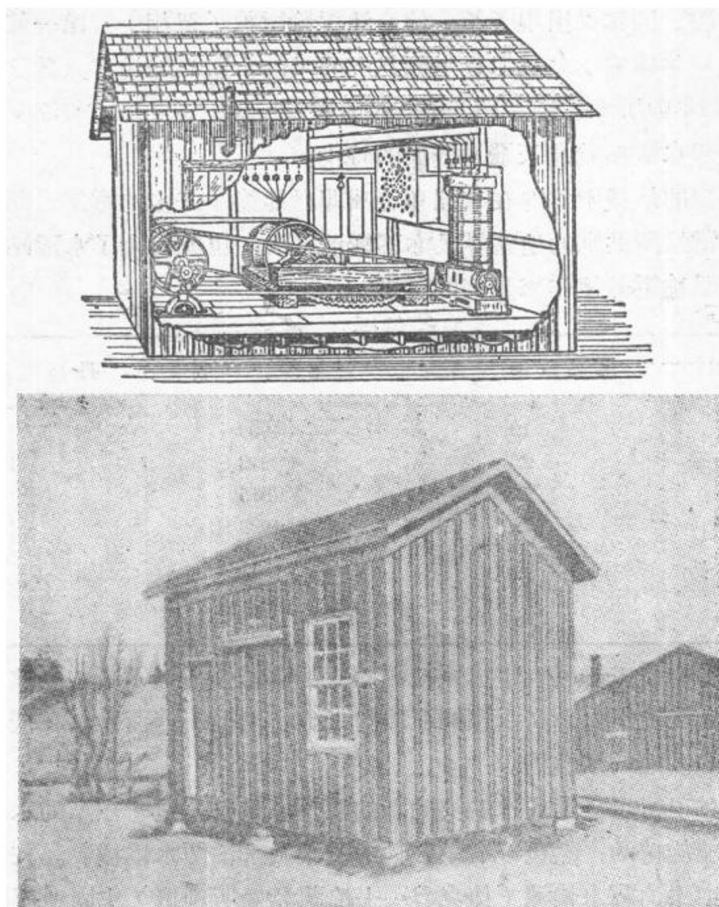


圖2 建於1882年的水電站

利用高水頭的要求促使於一八八〇年出現了水輪機的新類型——培爾頓水輪機，直到目前在質量上它仍為水頭高於300公尺的惟一類型。

然而直到十九世紀末水能仍局限於就地取用，因此，顯然水能利用僅只限於小工業而已，也只在機械動力要求有限的不大的工業企業中才有水能裝置。但是十九世紀蓬勃的工業不斷地要求更大量的動力，並且這些工業與動力源泉的所在地常不在同一地點，因此當時所發明的蒸汽機就暫時地替代了水輪機，在十九世紀的大工業中蒸汽機佔據了主要地位。

過了幾年以後，優秀的俄國電力工程師 А·А·拉其諾夫在全世界首先證明了遠距離電力輸送的可能，德布萊進行了前所未聞的遠距離（22公里）電壓300伏的電力輸送試驗。自此以後，轉變為電力的水能已不再被困於它所產生的地方了，因此

就有可能與蒸汽相競爭。

馬克思和恩格斯細心地注意了德布萊的試驗，並預言到水能的偉大前途。

一八八六年德布萊建立了由克里亦里到巴黎電壓為7 500伏、距離40公里的第一條直流電輸電線。同年又出現了第一條交流電輸電線（單相）。第一條三相電流輸電線於一八九一年建成，是爲了從水頭為三公尺的水電站輸送容量為225 仟瓦，電壓為12 000 伏的電力到距電站180 公里的地方。

從這時候起水電站就進入飛速發展的時代。

在上一世紀的最後十年內在歐洲和美洲即已建築了許多的電站。隨着輸電線電壓的增高，水電站所供應的地區界限亦不斷地擴大，也就增大了水電站的容量。表1中所列者即爲輸電線逐年來最高的電壓。

表1

| 年 份  | 最 高 電 壓 仟伏 | 年 份  | 最 高 電 壓 仟伏 |
|------|------------|------|------------|
| 1894 | 12         | 1909 | 110        |
| 1896 | 35         | 1912 | 140        |
| 1897 | 40         | 1915 | 150        |
| 1900 | 55         | 1933 | 165        |
| 1902 | 67         | 1935 | 220        |
| 1905 | 75         | 1936 | 387        |
| 1908 | 105        |      |            |

以高壓網聯結而成的巨大電力系統的建立對水輪機提出了新的要求。如果現有的類型能很好地在低水頭和高水頭的範圍內工作，那麼不言而喻，在低水頭時，便需要大型的和高速的水輪機。

一九一八年出現了旋槳式水輪機的新的類型。最初，這一類型的水輪機的轉輪上的輪葉是不能旋轉的，然後，有了旋轉的輪葉（卡泊蘭水輪機）。在絕大多數的大型工業電站中卡泊蘭水輪機（捷克B·卡泊蘭教授所創造）牢固地壟斷了低於30公尺的低水頭的應用範圍。

表2

| 洲 名   | 河 流 最 小 流 量 時 的 容 量<br>$10^6$ 仟瓦 | 水 電 站 裝 機 容 量<br>$10^6$ 仟瓦 |
|-------|----------------------------------|----------------------------|
| 歐 洲   | 55                               | 20.90                      |
| 亞 洲   | 110                              | 4.60                       |
| 北 美 洲 | 58                               | 20.15                      |
| 南 美 洲 | 55                               | 1.15                       |
| 非 洲   | 204                              | 0.14                       |
| 澳 洲   | 18                               | 0.60                       |
| 全 世 界 | 500                              | 47.4                       |

根據世界動力會議的計算，全世界河流最小流量時的容量為  $500 \cdot 10^6$  仟瓦。全世界水電站的裝機容量共計為  $47.4 \cdot 10^6$  仟瓦或爲河流最小容量的9.5%。河流的

容量和水電站的裝機容量的分佈按各大洲列於表 2 中（根據一九三八年的資料）<sup>①</sup>。

蘇聯水能源的容量非常巨大，超過其他各國的水力資源。蘇聯河流的總容量以平均年流量計算為 280 百萬仟瓦，以最小流量計算為 58 百萬仟瓦。

國外各主要國家的水流容量及其開發程度以表 3 所列各數字表示如下：

表 3

|       | 河流容量, $10^6$ 仟瓦 |        | 水電站裝機容量   |              |
|-------|-----------------|--------|-----------|--------------|
|       | 以平均年流量計         | 以最小流量計 | $10^6$ 仟瓦 | 佔河流平均年容量的百分數 |
| 美 國   | 42.8            | 33.0   | 14.1      | 33.0         |
| 加 拿 大 | 25.1            | 15.85  | 6.2       | 24.8         |
| 日 本   | 13.2            | 5.6    | 3.58      | 27.1         |
| 挪 威   | 20.0            | 12.0   | 2.24      | 11.3         |
| 瑞 典   | 8.9             | 2.9    | 1.64      | 18.4         |
| 法 蘭 西 | 5.8             | 3.4    | 4.0       | 69.0         |
| 意 大 利 | 5.2             | 2.8    | 4.43      | 86.0         |
| 瑞 士   | 3.8             | 2.4    | 2.1       | 53.2         |
| 西 班 牙 | 5.0             | 2.9    | 1.06      | 21.2         |
| 德 國   | 3.7             | 1.5    | 3.00      | 81.0         |

水能的利用在革命前的俄國是處於相當低的水平。土地私有權是這件事的主要障礙之一，因為地主的利益不允許在築壩後土地被淹沒和轉賣建築物附近的土地。同時很明顯，舊俄的當權人物竭力扼殺了俄國科學技術思想的卓越的成就，阻礙了它們在實際上的運用。這就不能不影響到國內水能事業的水平。一九一三年俄國所有電站的容量共計為  $1.1 \cdot 10^6$  仟瓦，年發電量比  $1.9 \cdot 10^9$  仟瓦小時稍多一些，而水電站的容量總共只到 10 000 仟瓦，即佔總容量的 0.9%。最大的水電站的容量只有 1 250 仟瓦。

一九二〇年由於列寧的創導組織全俄電氣化國家委員會(ГОЭЛРО)。一九二一年製訂了電氣化計劃，預計在 10—15 年之間將其實現。在這個期間應該建造總容量為  $1.75 \cdot 10^6$  仟瓦的 30 個發電站，其年發電量為  $8.8 \cdot 10^9$  仟瓦小時。擬定了其中 10 座水電站的總容量為 640 000 仟瓦。這個計劃不但是發電站建設的綱領，它也擬定了國內工業各部門全面和合理的發展，並成為後來國民經濟五年計劃的先聲。伏爾霍夫河上蘇聯第一個大型水電站於一九二六年開始發電。

只經過 10 年全俄電氣化計劃就已超額完成了，因為在一九三一年總發電量就已達到  $10.7 \cdot 10^9$  仟瓦小時，即計劃的 120%，而過 15 年後，即一九三六年，已增加到  $32.8 \cdot 10^9$  仟瓦小時，即達到計劃的 370%（表 4）。

在第二個五年計劃的最後一年（一九三七年）發電量共計為  $36.4 \cdot 10^9$  仟瓦小時，發電站的容量達到  $8.1 \cdot 10^6$  仟瓦。在這些數字中水力電所佔的部分計為  $5.7 \cdot 10^6$

① 詳見 Ф. Я. 謝史節魯克：「全世界水電資源」，國家動力出版社，1946 年。

仟瓦小時，或 15.6%，而水電站的容量約為  $1.4 \cdot 10^6$  仟瓦或為 17.3%。

表 4

| 年 度  | 發 電 量<br>$10^9$ 仟 瓦 小 時 | 與 1913 年的比例 | 年 度        | 發 電 量<br>$10^9$ 仟 瓦 小 時 | 與 1913 年的比例 |
|------|-------------------------|-------------|------------|-------------------------|-------------|
| 1913 | 1.945                   | 1.00        | 1935       | 25.900                  | 13.3        |
| 1921 | 0.520                   | 0.27        | 1936       | 32.800                  | 16.9        |
| 1928 | 5.007                   | 2.57        | 1937       | 36.400                  | 18.7        |
| 1930 | 8.368                   | 4.3         | 1938       | 40.500                  | 20.8        |
| 1931 | 10.700                  | 5.5         | 1942       | 75.000                  | 38.6        |
| 1934 | 20.520                  | 10.6        | (按第三個五年計劃) |                         |             |

第三個五年計劃規定要在一九四二年將發電站的容量增加到  $17.2 \cdot 10^6$  仟瓦，而發電量達到  $75 \cdot 10^9$  仟瓦小時。

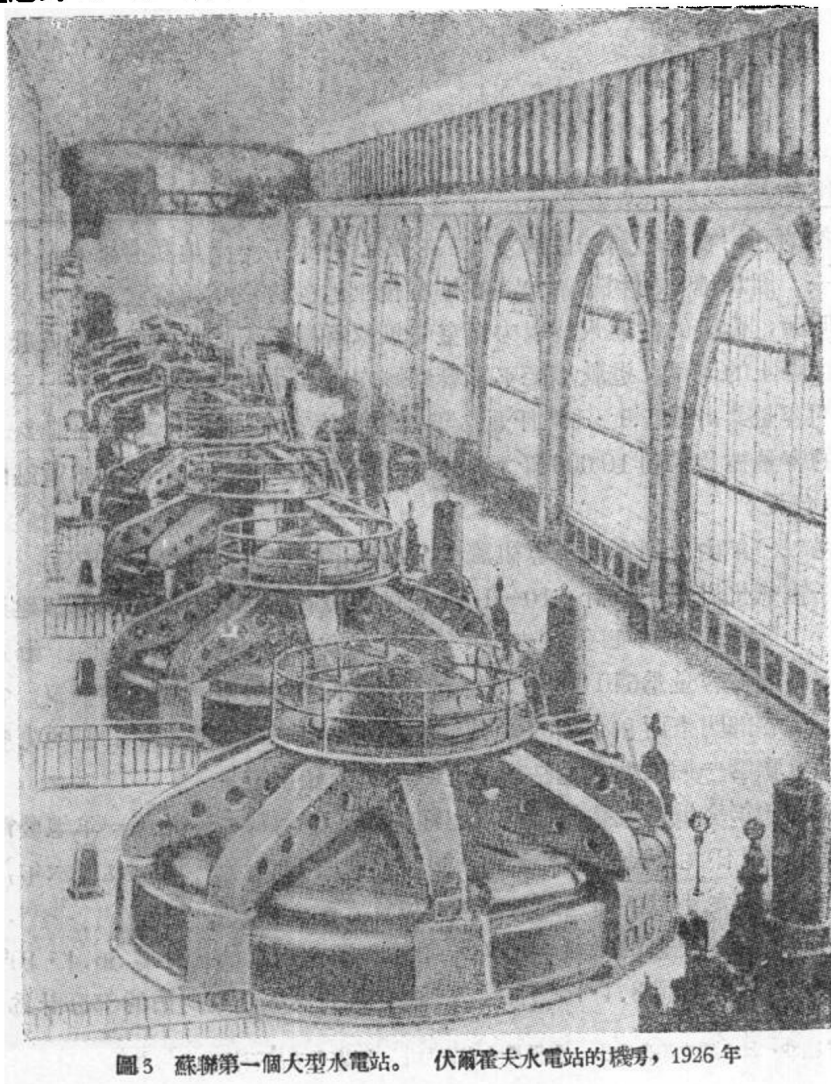


圖 3 蘇聯第一個大型水電站。 伏爾霍夫水電站的機房，1926 年

關於恢復和發展蘇聯國民經濟1946—1950年的五年計劃的法令規定要在五年計劃的最後一年將所有發電站的發電量增加到  $82 \cdot 10^9$  仟瓦小時。

五年計劃中水電站的容量（包括修復的水電站）應該增加到 2 300 000 仟瓦。此外，應該建築小型和中型水電站，其總容量為 1 000 000 仟瓦。

第四個斯大林五年計劃的首要任務是修復六個水電站，這六個水電站是戰爭時期被敵人所破壞的，其中包括修復德涅泊爾水電站。

其次規定要完成30個水電站的建設，第一批着手動工及發電的有 8 個水電站，並開始建設五個新的大型水電站。

在關於五年計劃的法令中，除去有關增加水力電對蘇聯動力經濟的作用之原則性的方針外，還替水力電的發展創造了具體的先決條件。擬定了在輕金屬、有色金屬、合金鋼、化學成品的製造中擴大採用電力操作法，擬定了鐵路運輸的廣泛電氣化，即是說形成了需要價廉的水電用戶。其中尤其是所謂大量用電的生產（電力冶金，電力化學）應該起特別重大的作用。大量用電的工業應該分佈於有足夠水力電保證的區域。

甚至還在蘇聯的工業開拓區域也擬定了偉大的水電站建設。烏拉爾、中部和西北部便是這些區域的第一批。在烏拉爾的卡馬河上應開始建造巨大的水電站。在中部地區雷賓水電站的建築即將結束，並開始伏爾加河及俄亥河上新水電站的建設。

在這五年計劃以外，還擬定了德涅泊爾河上及塞爾——塔里河上新水電站建設的準備工作。

這些建設的開展首先就要求建築工程的廣泛機械化和創造生產建築機械的基地。此外，為了完成計劃必須增加水輪機和電工器材的生產。水輪機的出貨在一九五〇年應該達到總容量為 1 022 百萬瓦，其中大型水輪機 372 百萬瓦，中型水輪機 150 百萬瓦，小型水輪機 500 百萬瓦。

電工器材的生產到一九五〇年應該增加到戰前的 2.5 倍。

在關於五年計劃的法令中特別注意到了小型水電站的建設，其總容量如上所述為 1 000 000 仟瓦。這就是集體農莊和區域中心的水電站及從幾十個仟瓦到 500—1 000 仟瓦的小型工業水電站。這些水電站對農業經濟及地方經濟的作用是非常大的，在文化方面也起了同樣的作用。以如此規模來建造小型水電站，其工作量是很大的，而且要求創造出新型價廉的設備——水輪機及發電機。

\*                      \*

從製訂 ГОЭЛРО 計劃以來的四分之一多一些的世紀中水電站的建設事業達到了巨大的成就。

在前面擺着水能事業更巨大的發展前途，它和開發巨大河流、如伏爾加、卡馬、德涅泊爾、額爾齊斯和安加拉諸河，以及許多的中亞西亞及高加索的水能資源

聯繫在一起。

未來水電站建設的基本任務就在於最有效地爲了國民經濟來利用國內的水利資源。

在我們國內，解脫了資本主義及其爲私人利益而奮鬥的枷鎖，已具備了正確地和按比例地發展國民經濟的一切先決條件。水能事業應該成爲人民福利基礎之一，和爲建設共產主義而鬥爭的最重要的工具之一。

# 第一編 水能利用原理

## 第一章 水能利用方式

### § 1. 水電站之水頭、流量及容量

爲了利用河流的能量必須在建設水電站的地點造成一個集中的落差，即是說要在水電站的上下游構成水位差。水從上游水位的高度落下並且通過水輪機，即能產生機械功。水電站上下游水位的高程差稱爲水電站的水頭。

假若水電站的水頭爲 $H$ 公尺，而通過水輪機的流量爲 $Q$ 立方公尺/秒(圖4)，則水從 $H$ 高度落下所作之功將等於 $\gamma QH$ 公斤公尺/秒，式中 $\gamma$ ——一立方公尺的水的重量，以公斤計。



圖4 水頭之集中

功率即單位時間內所完成之功，其工程單位爲：

$$1 \text{ 馬力} = 75 \text{ 公斤公尺/秒}$$

和

$$1 \text{ 仟瓦} = 102 \text{ 公斤公尺/秒}.$$

量度能量的單位爲：

$$1 \text{ 馬力小時} = 75 \times 3600 = 270\,000 \text{ 公斤公尺},$$

$$1 \text{ 仟瓦小時} = 102 \times 3600 = 367\,000 \text{ 公斤公尺}.$$

因此，水量 $Q$ 立方公尺/秒從高度 $H$ 公尺落下所能發生的功率爲：

$$P_0 = \frac{\gamma QH}{75} \text{ 馬力} = \frac{\gamma QH}{102} \text{ 仟瓦}$$

或

$$P_0 = 13.33QH \text{ 馬力} = 9.81QH \text{ 仟瓦},$$

因爲 $\gamma = 1\,000$ 公斤/立方公尺。

水的體積 $V$ 立方公尺，從高度 $H$ 落下所發生的能量：

$$W = \frac{\gamma VH}{270\,000} \text{ 馬力小時} = \frac{\gamma VH}{367\,000} \text{ 仟瓦小時}.$$

若 $\gamma = 1\,000$ 公斤/立方公尺，

$$W = \frac{VH}{367} \text{ 仟瓦小時}.$$

假若 $V$ 爲河流水量的體積，則 $W$ 代表當水頭爲 $H$ 時被利用的水量的全年能量的數值。

同樣，假若 $V$ 爲蓄存在水庫中的水的體積，它在水頭爲 $H$ 時被利用，則 $W$ 表示

水庫中位能的蓄存量。

由於在水輪機中有水力損失及機械損失，水輪機傳遞到軸上的出力將要少一些。用效率 $\eta$ 來計及能量的損失，即得出在水輪機軸上的出力：

$$P = 13.33QH\eta \text{ 馬力} = 9.81QH\eta \text{ 仟瓦} \quad (1)$$

水輪機效率的大小與其構造和尺寸有關。現代水輪機的效率為0.85到0.95。

小型水輪機的效率小於大型水輪機的。培爾頓水輪機，一般說來，具有比佛朗西斯水輪機較小的效率。大型的卡泊蘭水輪機具有較高的效率。

水輪機的效率隨負荷而變化。在水輪機的特性一章中將詳細敘述這個問題。

表5中列有幾種水輪機的效率之最大值，作為例證。

表 5

| 水 電 站 名 稱 | 水 公 尺 頭 | 水 輪 機 容 量<br>仟 瓦 | 最 大 效 率 | 水 輪 機 的 類 型 |
|-----------|---------|------------------|---------|-------------|
| 伏爾霍夫      | 10.5    | 8 000            | 0.87    | 佛朗西斯        |
| 德涅泊爾      | 36      | 63 000           | 0.93    | 佛朗西斯        |
| 尼瓦II      | 36      | 15 000           | 0.93    | 佛朗西斯        |
| 尼茲涅斯維爾    | 11.5    | 34 000           | 0.93    | 卡泊蘭         |
| 威苗爾克(挪威)  | 150     | 11 500           | 0.89    | 培爾頓         |
| 特洛爾赫坦(瑞典) | 50      | 10 000           | 0.958   | 佛朗西斯        |

為了將機械能轉變為電能，水輪機係與發電機連在一起，發電機可同水輪機裝在同一軸上(容量大者)，或可利用傳動齒輪或皮帶傳動與水輪機相連(容量小者)。

如計及傳動及發電機的效率，則在傳動和發電機中出力又有附加的損失，下面我們將不涉及僅僅在很小的水電站才採用的水輪機和發電機之間的機械傳動裝置的個別情況，而將假定水輪機和發電機係直接相連在同一軸上。

發電機的效率也與其容量有關，小容量者在0.92到0.93之間變動，容量為5 000到100 000仟瓦者在0.92到0.97或高於此數之間變動。每一發電機的效率亦隨負荷而變化。

在現代大型的水電站中，其機組容量為5 000仟瓦或高於此數者，水輪機的效率可以採用0.86—0.93，發電機0.95—0.97。

因此機組(水輪機和發電機)的總效率為 $\eta \approx 0.82—0.90$ 。

以後，引用符號 $\alpha = 9.81\eta$ ，計算發電機端子上的水電站出力的仟瓦數我們將用公式：

$$P = \alpha QH \quad (2)$$

當機組的效率如上所示時，係數 $\alpha$ 的數值將在 $\alpha = 8$ 到 $\alpha = 8.8$ 之間。

當水頭為 $H$ 公尺，機組效率為 $\eta$ 時， $V$ 立方公尺的水的體積產生發電量：

$$W = \frac{\eta VH}{367} \text{ 仟瓦小時}.$$

具有效率等於  $\eta$  的水電站，生產每仟瓦小時電能所消耗的水的體積：

$$\frac{V}{W} = \frac{367}{\eta H} \text{ 立方公尺/仟瓦小時.}$$

被利用的水頭的大小包括從 4.3 公尺（瑞典瓦里湧水電站）到 1 750 公尺（瑞士的幾克聖斯水電站）的廣闊的範圍。

在美國可樂拉多河包德壩後的水電站為世界容量最大者（1 300 000 仟瓦）。在歐洲以列寧命名的德涅泊爾水電站的容量為最大。

## § 2. 水電站的基本佈置型式

利用堤壩將河流水位抬高或利用其坡度小於河流的坡度的渠道沿河岸引水，均能構成水電站集中的水頭。後一情形中在這種渠道末端的水位將高於河流中的水位，即是說以此得到集中的水頭，可供水電站利用。

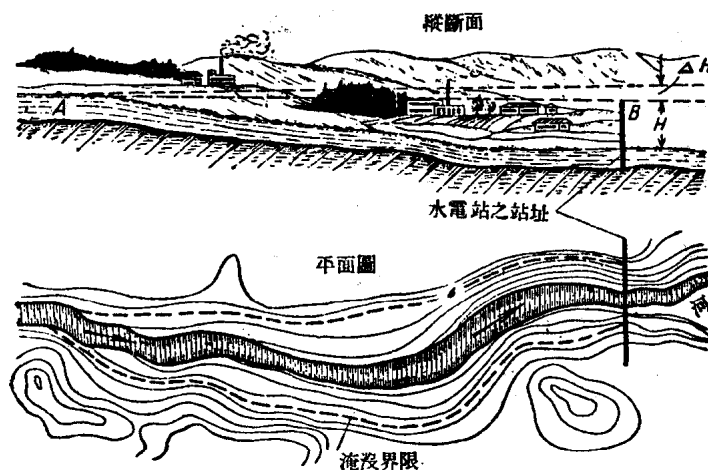


圖 5 堤壩式水電

因此水電站的基本型式可分為三種，即：

- 1) 堤壩式 整個水頭以壩來構成；
- 2) 引水式 利用引水渠道構成水頭；
- 3) 壩引水混合式 將水從壩的抬水上游引入水電站的引水渠道。

堤壩式佈置如圖 5 所示。為了利用河流  $AB$  兩點之間的落差，在  $B$  點築一壩，將水位抬高到使其所構成的抬水達到  $A$  點為止。此時，由於在抬水長度上的落差，可供利用的水頭  $H$  將比總水頭  $(H + \Delta H)$  小些，即小於河流中  $AB$  兩點之間的水位差。 $\Delta H$  的數值即是抬水曲線  $AB$  長度上的損頭。

圖 6 和圖 7 所列為堤壩式水電站的例子。

堤壩式不可避免的將引起堤壩上游兩岸的淹沒，利用壩將水抬高的可能性，一方面取決於上游的地形條件，另一方面取決於淹沒面積的價值，兩岸的高度很顯然