

水力透平

盛敬超編著

37
中國科學圖書儀器公司

出版

內 容 提 要

本書介紹利用水能產生電能的中間機械“水力透平”的原理、構造與運用。全書共分八章；首先敘述水力發電的基本觀念；其次分章詳述各種型式的水力透平；最後講述水力透平的相似理論與特性曲線並論及水力透平的選擇問題。

本書可供大專學校發配輸專業或水力發電專業、水能利用專業等作為教學與參考用書。

水 力 透 平

編 著 者 盛 敬 超

出 版 者 中國科學出版社
印 刷 上海延安中路 537 號 電話 64545
 上海市書刊出版業營業許可證出〇二七號

經 售 者 新 華 書 店 上 海 發 行 所

★ 有 版 權 ★

ME. 48—0.12 115 千字 開本：(762×1066) $\frac{1}{32}$ 印張：6.88
新定價 ¥ 9,300 1954 年 10 月初版第 1 次印刷 1—2,800

序 言

促進國民經濟各部門生產的增長及技術的改進，電力的應用有着非常巨大的意義。因此，建立強大的電力工業，以取得巨大的電力，是進行大規模經濟建設的重要前提。利用水力，建立水力發電站是取得巨大電力的最有效辦法，在俄羅斯國家電氣化計劃中，就曾着重地指出：「有必要堅決而頑強地實現初期的計劃，組織研究國內的水力蘊藏量，培養幹部，並使共和國廣大階層的人民，能感到利用水力的一切重要性及全部意義」。我國的水力資源非常豐富，水電事業必將獲得巨大的發展，作為水力發電站中最主要機構之一的水力透平，也將得到廣泛的應用。

近年來我在浙江大學担任水力機械方面的課程，因為沒有適當的教本，曾陸續寫了一些講義，逐年也有所增刪。一九五三年的秋天，又曾與水電總局的工程師鄧昭淮同志合作講課，得到了很大的幫助，這本書就是作者根據所寫有關水力透平的講義，參攷了鄧昭淮同志的講義，加以刪節和補充而成的。在寫作時也曾獲得壽梅華同志的協助，謹在這裏向他們致以懇切的謝意！

知識的獲得，無疑地應先從感性的認識開始，再深入提高到理性的認識，這是毛澤東同志教導我們的規律，作者深信這個規律是應該貫徹在教材內的。因此，我在本書內容的按排上先將透平的結構加以說明，然後再闡述透平的理論及特性，使初學者能在感性認識的基礎上，逐漸提高成為理性的認識，這樣，不但易於接受，而且也易於鞏固。但作者在這方面的體會尚差，對水力透平的了解也

還不夠，書中不妥善處在所難免，希望同志們教正！

本書封面字樣是我父親給寫的，中俄名詞對照表則由嚴毓明同志協助代編，併此誌謝！

盛敬超

一九五四年七月十日於北京客寓

目

錄

序 言

緒 論..... 1

第一章 水力發電基本觀念.....6-30

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1-1 引言..... 6 | 1-6 引水式水電站的佈置.....18 |
| 1-2 水力發電站..... 8 | 1-7 堤壩引水聯合式佈置.....23 |
| 1-3 出力與能量..... 9 | 1-8 特殊型式的佈置.....24 |
| 1-4 水電站佈置的基本型式.....12 | 1-9 水力透平分類.....26 |
| 1-5 堤壩式水電站的佈置.....13 | 1-10 水力透平的統一命名.....28 |

第二章 混流式水力透平的結構..... 31-50

- | | |
|---------------------|---------------------|
| 2-1 引言.....31 | 2-5 導水機構.....40 |
| 2-2 混流式透平的結構.....33 | 2-6 渦殼與座環.....43 |
| 2-3 轉輪.....36 | 2-7 基礎部份及吸出管.....45 |
| 2-4 主軸與軸承.....38 | 2-8 透平的調速機構.....47 |

第三章 軸流式水力透平的結構..... 51-65

- | | |
|-------------------------------|------------------------------|
| 3-1 引言.....51 | 3-5 轉槳式透平的槳葉轉動機構.....59 |
| 3-2 螺槳式及轉槳式水力透平.....52 | 3-6 轉槳式透平轉輪槳葉調節系
統.....63 |
| 3-3 轉槳式及螺槳式透平的結構
特徵.....53 | 3-7 透平的逸速.....64 |
| 3-4 轉槳式及螺槳式透平的轉輪.....56 | |

第四章 反應式水力透平的原理(一)..... 66-85

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 4-1 動量矩原理.....66 | 4-7 汽蝕現象.....78 |
| 4-2 反應式透平的基本公式.....67 | 4-8 汽蝕現象的解釋.....78 |
| 4-3 透平的總效率.....71 | 4-9 產生汽蝕的因素和消除辦法.....79 |
| 4-4 輪葉的角度.....72 | 4-10 金屬抵抗汽蝕的能力.....80 |
| 4-5 周速係數的意義.....74 | 4-11 汽蝕係數與吸出高程.....81 |
| 4-6 透平的比速係數.....76 | 4-12 汽蝕係數與比速的關係.....84 |

第五章 反應式水力透平的原理(二)..... 86-99

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| 5-1 理想流體中翼型的升力和阻力.....86 | 和升力.....91 |
| 5-2 環流定理.....89 | 5-4 翼型理論對於軸流式透平的應用.....94 |
| 5-3 實際流體中翼型所受的阻力 | |

第六章 水力透平的相似理論..... 100-117

- | | |
|------------------------|-------------------------------|
| 6-1 相似理論的基本觀念..... 100 | 修正..... 107 |
| 6-2 水力透平的相似條件..... 101 | 6-6 比速係數..... 109 |
| 6-3 相似數值..... 102 | 6-7 水力透平模型試驗裝置——效率試驗..... 113 |
| 6-4 單位值..... 106 | 6-8 汽蝕性能的模型試驗裝置..... 114 |
| 6-5 由模型換算為原型時效率的 | |

第七章 水力透平的特性曲線..... 118-145

- | | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 7-1 水力透平的主要特性曲線..... 118 | 例常數..... 126 |
| 7-2 透平的工作特性曲線..... 121 | 7-6 主要綜合特性曲線..... 129 |
| 7-3 水力透平的綜合特性曲線..... 122 | 7-7 混流式及螺槳式透平主要綜合特性曲線的作法..... 130 |
| 7-4 水力透平的運轉綜合特性曲線..... 123 | 7-8 轉槳式透平的主要綜合特性曲線的作法..... 133 |
| 7-5 水力透平特性曲線的座標比 | |

第八章 水力透平的選擇..... 146-159

- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| 8-1 水頭與比速的關係..... 146 | 8-4 反應式透平選擇示例..... 155 |
| 8-2 同步速率..... 148 | 8-5 反應式透平的軸向水壓力及旋轉部份重量..... 157 |
| 8-3 反應式透平選擇與尺寸的決定..... 149 | |

緒 論

共產主義就是蘇維埃政權加全國電氣化——
B. H. 列寧

水力透平是水力發電站中最主要的機械之一，水流的能量，由於透平的存在，變換成機械功，然後再由透平驅動發電機而轉變成電能。

我們知道，在逐步過渡到社會主義的時期中，必須有計劃地來實現國家的社會主義工業化。如果說，各種金屬是機械工業的肉體，那麼，電力應該是各種工業的血液，事實上，任何現代化的技術，沒有不是依靠電力而發展起來的。因此，建立強大的動力基地，是發展工業的一種非常主要的前提。列寧曾指出，全國電氣化計劃應該成為蘇聯經濟建設的綱領，成為全部國民經濟的工作計劃。

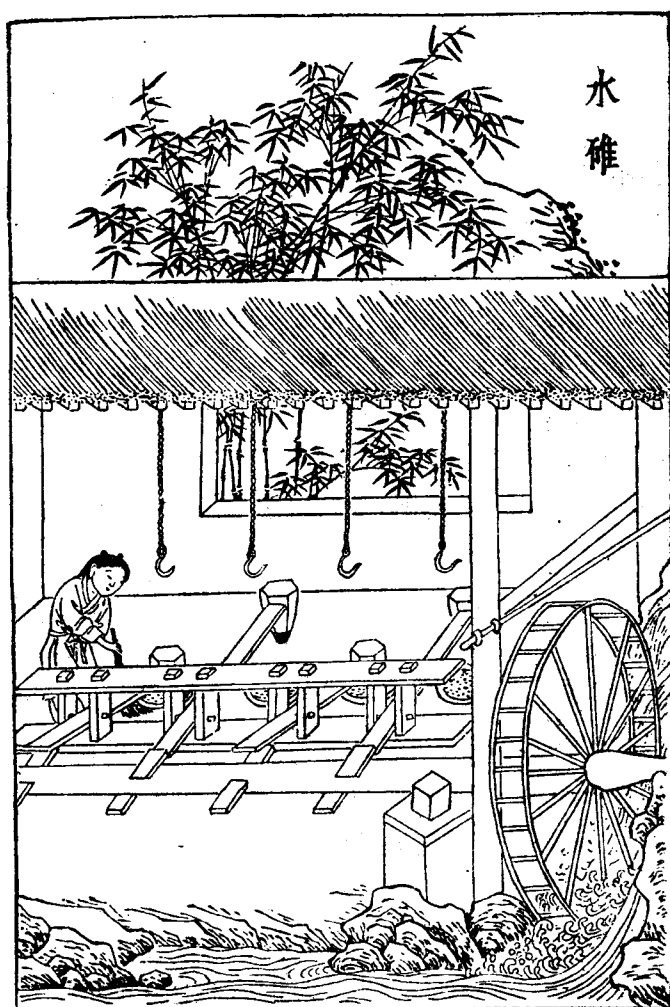
電力工業的發展，應該盡量利用水力資源，建立水力發電站，因為水力發電除建設費用比火力發電來得大外，經常費用却便宜得多。要使全國電氣化，必須要有大量而廉價的電力，因此水力資源有着非常重要的意義。我國的水力資源非常豐富，從東北到西南，從海邊到高原，到處都有水力可以利用。僅長江幹支流水力蘊蓄量，就要比美國全國的水力蘊蓄量為大，如果開發起來，它的發電量要比目前英國全國的發電量大六倍餘。黃河的水力蘊蓄量也很大，據初步估計約有一千八百萬瓩左右，單就靠近下游的潼關到孟津一段河道，據最近查勘結果，就有一百五十萬瓩。其他如東北的松

花江，黑龍江，遼河，白河水系；華北的永定河，滹河；華東的新安江，閩江，甌江；華南的鬱江，潯江；新疆的伊犁河；西藏的雅魯藏布江都擁有很大的水力資源。在四川、西康和雲南境內也有豐富的水力資源，例如岷江，大渡河，龍溪河以及重慶上游的綦江等。

我國已有的水力發電站，大型的有東北松花江上游永吉附近的小豐滿水電站，應用牡丹江水力的鏡泊湖水力發電所，和與朝鮮人民民主主義共和國共管的鴨綠江水豐水力發電所外，在內地的小型水力發電廠也頗不少。

新中國的水力發電事業的基礎較差，但無疑地，在走向社會主義的道路上，這是必需發展的工業。目前因限於條件不夠，還不能大力建設，但也正在周密計劃，創造條件，逐步開發。中央人民政府燃料工業部今年（1954年）的擴建電力工業計劃中規定，1954年的投資在火力發電方面比1953年增加21.8%；在水力發電方面則增加42%，火力的建築安裝工作量將增加15%；而水力的建築安裝工作量則增加31%。由此可見，我們對於水力發電事業是十分重視的。

解放以後，爲了要擴大電力生產，及取得水力發電方面的經驗，我們曾陸續建造了一些中小型的水力發電站，例如在四川長壽境內，龍溪河中游新建的中型水力發電站已於今年（1954年）一月七日開始發電，今年並將在龍溪河的上游繼續建造一座較大型的水電站。其他如浙江的黃壇口，福建的古田溪，淮河的佛子嶺水庫，永定河的官廳水庫等，都在積極的興建水電站。在這些水電站中除個別儀表外，已安裝了或將安裝我國自己製造的整套透平發電機組及設備。黃河的水力發電事業也正在勘測計劃中，雲南金沙江支流以禮河上亦將建造大型水電站。



採自“天工開物”

水力發電比較便宜，當然大家都要採用，但是這並不單純是一個技術問題，而主要是取決於社會制度。水力發電最發達的是蘇聯，因為它是社會主義國家。美國在十五年前水力發電佔總發電量的35%，但據1951年的統計，已跌進24%了，因為煤業和石油業的壟斷資本家，串同了火力發電廠的老闆，要獲取最大限度的利潤。我們的國家，在優秀的社會制度下，水力發電事業的發展是可以保證的。

前面已經說過，水力透平是水力發電站中最主要的機械之一，因此，在水電站的規劃中，對於水力透平的選擇，以及透平的運轉性能必需加以掌握。因此，在本書中，除了透平的結構與原理以外，對於透平的特性與選擇亦加闡明。

我們的祖先，在水能利用方面是有一定的成就的，對於水力透平的應用也很早，根據現存的記載有：

物原：「后稷作水碓，利於踏碓百倍」；事物原會：「晉杜預作連機之碓，藉水轉之」。所謂水碓就是利用水力衝激有葉片輪子，使發生動力代替人力來舂穀物，所以水碓的動力部份就是水力透平的雛型。此外，如明徐光啓的農政全書，明宋應星的天工開物等書所載的水礮，水磨及水輞都是利用水力透平的證明。這種機械的發明當在公元500~600年前，而作為透平雛型的水輪的發明當為更早。

我國對於水力透平製造事業，在以前可以說沒有。解放以後，在共產黨的領導下，大力地開展了這項事業。瀋陽的高壓開關廠在1951年製成了800瓩的水力透平，1952年完成了3000瓩的透平，今年（1954年）又試製成了7000瓩的水力透平。這些透平的運轉質量都十分良好，目前正在計劃試製更大出力的透平。由此可見，

新中國的水力透平製造事業是在穩步地前進。

參 攷 文 獻

1. 曾文經, 我們為什麼要首先發展重工業
2. 人民的世紀——電的世紀, 科學畫報, 1953年5月號
3. 張國維, 偉大的黃河, 新黃河 2卷5期, 1951
4. 張仲伊, 新中國水利資源的開發, 新黃河, 2卷4期, 1951
5. 福建古田溪水力發電工程, 科學通報, 2卷5期, 1951
6. 李璞, 康藏高原自然情況和資源的介紹, 科學通報, 1954年2月號
7. 鄭肇經, 中國之水利, 1937
8. 光明日報, 1954年3月19日
1954年3月28日
1954年4月4日
1954年4月18日
9. 解放日報, 1954年1月28日
1954年2月7日

第一章

水力發電基本觀念

水電建設是長期的建設，是我國過渡到社會主義的建設步驟之一——李銳

1-1 引言 自然界裏有着巨大的能量——風力和水力。

如果我們回憶一下颶風發生時，那種飛沙揚石，拔樹倒屋的景象，或者再回憶一下大水發生時的那種決堤翻船，毀路倒屋的景象，就不難知道風和水裏面蘊藏着怎樣巨大的能量。這種能量是取之無盡，用之不竭的。如果我們把它加以控制利用，不但可以消災滅害，並且可以給我們帶來無窮的幸福。所以在蘇聯通俗地把風稱為「藍色的煤」，而把水稱為「白色的煤」。顯然，在走向共產主義的社會中，「白煤」的利用是十分重要的事業，因為發生動力的方法除了利用原子能以外，還有利用(1)火力，(2)風力，(3)水力。火力是利用黑色的煤，它的設備和操作都比較複雜，所以經常費用較大。風力和水力是天然的，如果不利用，能量白白浪費，如果能夠利用，當然比較經濟。但風力的變動性較大，風量不易儲蓄，所以利用也就比較困難。水力雖然也有所謂汛期與枯水季，但可建築堤壩，做水庫，將汛期中的水加以儲蓄，到枯水季時由水庫供給足量的水，使水力得以經常使用。利用水力雖然初置費較大，但因是利用天然能量，並且機構比較簡單，所以經常費用大為減小。它的成本一般僅及燃燒煤或油的火力發電站的 $\frac{1}{4}$ 至 $\frac{1}{3}$ ，大型水電站的發電成

本更為低廉。所以它可以刺激工業農業和運輸業等更廣泛應用電力，促使全國電氣化的更快實現。

以水力發電來代替火力發電，可以為國家節省大量的燃料。而這些燃料——煤和油，都是珍貴的化學工業原料。因此它不但大大地改善了國家燃料供需的平衡，並且還為國家節省了工業原料。同時運送大量燃料的交通運輸事業也可獲得解放，運輸工具本身所需消費的大量燃料，也可節省下來。此外，生產相等數量的電力，水電站所需的勞動力，僅為火電站的十五分之一至二十分之一。其次，水力的蘊蓄量在地球上是不斷的再生着的。太陽的照射使地面受熱，大量的水份就從大洋和大海裏蒸發出來。水蒸汽上升後遇冷而凝結成雨雪下降，水從高地流向低處，由小溪而匯成小河，然後又匯成了巨流將水帶回到大洋大海，於是循環永存。雖然我們古代的詩人唱着「黃河之水天上來，奔流到海不復回」，但地面上的水能資源在實際上是「取之不盡」的。

必須指出，在社會主義經濟條件下，對於水利資源的利用，是以得到最大國民經濟效益為主要基本任務。在很多情況下，水能的利用不一定是該河的唯一水利事業，而只是與其他水利問題綜合起來的組成部份之一。水利資源的利用可劃分為下列幾種：

1. 水能利用——水力發電。
2. 土壤改良——土壤灌溉和土壤排水或保護土壤使不受冲刷，防止滑坡及鹹化。
3. 利用湖、河、海等開展水運。
4. 工業、農業及衛生方面的利用——給水、排除污水、灌溉及醫療用途（含礦物質之水）等。
5. 水中蘊藏的利用——發展水生動植物及取得有用的礦產（漁

業、開採食鹽及動植物)等。

6. 調節氣溫改善氣候。

然而，水利事業各項目的的利益可能相互發生矛盾。例如由於水電站日負荷的變動，在一晝夜的過程中，會引起很大的流量變化，而水電站下游河中水位的漲落對於航運可能是不方便的，甚至是危險的。爲了更好地滿足國民經濟的整體利益，不能將水利問題的解決局限於滿足某一項的最高要求；而應該周詳考慮，力求將水利事業所有可能項目的利益都得到最大可能限度的滿足，以期完整地得到最有利的國民經濟利益。

1-2 水力發電站 利用水力來發電的基本原則是使位置較高的水中的勢能變成機械功，然後再由機械功變換成電能，因此一個水電站可以劃分成下列三大部份：

1. 水工結構部份；
2. 機械設備部份；
3. 電氣部份。

水工結構部份包括蓄水庫、堤壩、引水設備及尾水道等。蓄水庫是調節水量的建築物，在汛水季或用電量少的時候，將水儲蓄起來，至枯水季或用電量多的時候，就由它供給足量的水以免水量不足，電力供需不能平衡。根據蓄水庫調節水量的能力，分成日調節、週調節水庫，月調節、年調節及多年調節水庫等。堤壩是水電站最主要的建築物之一，它將水流攔斷，逼高上游水位，形成水庫，以供調節水量之用，同時壩前壩後形成兩個高低懸殊的水面（引水式水電站例外），這就是水力發電的一個要素——水頭。引水設備包括進水口、進水閘門及將水流導引至透平的引水道。引水道可由渠道、

隧洞、壓力導水管做成，或由渠道、隧洞，壓力導水管組合而成，它也可能是產生水頭的建築物。水流經過透平後由透平吸出管排出的廢水稱為尾水，將尾水引去的渠道叫做尾水道。

水電站的機械部份包括透平發電機組、壓力油裝備、水泵等。透平發電機組是將水中能量變成機械功再變換成電能的機器，是水力發電站最主要的環節。壓力油裝備包括油系統與壓縮空氣，用以操動透平調速器，以及潤滑、冷卻透平發電機組軸承等，是水電站不可或缺的一部份。在必要時，透平機坑中的水需要打出，因此水泵也是必須的。

電氣部份包括配電裝置及變電所等。電流輸送時，為了減小線路損失，必需用高壓輸送。由發電機所發出的電壓一般僅一萬伏左右，這個電壓不適宜作遠距離輸送，必需經過昇壓，因此電流輸送之前應由昇壓變電所昇壓。配電裝置是整個電站的控制部份，是全廠的神經中樞。

1-3 出力與能量 水力發電是利用水的勢能變成機械功再轉變成電能。我們知道，如果水從一定的高度流下來，流量 Q 愈大，那末它放出的勢能也愈大；或者定量的水從愈高的上游水位流至下游水位，它放出的勢能也愈大。上下游水位的差我們稱它為水頭或落差。因此流量 Q 與水頭 H 是水力發電的二個要素。所以為了利用河流的能量必須在建設水電站的地點造成水頭。

如果水電站的淨水頭為 H 公尺，通過水力透平的流量為 Q 立方公尺/秒，那末水從 H 高度落下所作的功率將等於 γQH 公斤公尺/秒，這裏 γ 為水的重率，以公斤計。

在工程上功率常用馬力或瓩為單位，它們與公斤公尺/秒的關係

如下：

$$1 \text{ 馬力} = 75 \text{ 公斤公尺/秒}$$

$$1 \text{ 瓩} = 102 \text{ 公斤公尺/秒}$$

因此每秒 Q 立方公尺的水從 H 公尺高度落下所發生的功率為

$$N = \frac{rQH}{75} \text{ 馬力} \quad \text{或} \quad N = \frac{rQH}{102} \text{ 瓩}$$

因為 $r = 1000$ 公斤/立方公尺，所以

$$N = 13.33 QH \text{ 馬力} \quad \text{或} \quad N = 9.81 QH \text{ 瓩}$$

度量能量的單位為：

$$1 \text{ 馬力小時} = 75 \times 3600 = 270000 \text{ 公斤公尺}$$

$$1 \text{ 瓩時} = 102 \times 3600 = 367200 \text{ 公斤公尺}$$

因此 V 立方公尺的水從 H 公尺的高度落下所發生的能量 $\mathcal{G}$ 為：

$$\mathcal{G} = \frac{rVH}{270000} \text{ 馬力小時} = \frac{rVH}{367200} \text{ 瓩時}$$

以 $r = 1000$ 公斤/立方公尺代入之，得

$$\mathcal{G} = \frac{VH}{367.2} \text{ 瓩時}$$

如果 V 為河流年水量的體積，則 $\mathcal{G}$ 代表當水頭為 H 時被利用的水量全年能量的數值。同樣，如果 V 為蓄存在水庫中水的體積，它在水頭為 H 時被利用，那末 $\mathcal{G}$ 表示水庫中位能的蓄存量。

由於在水力透平中有水力損失及機械損失，在水力透平軸上的出力必將要少一些，如果用效率 η_r 來計及能量的損失，即可得到水透力平主軸上的出力。

$$N_r = \frac{QrH}{75} \eta_r = 13.33 QH \eta_r \text{ 馬力}$$

$$\text{或} \quad N_T = \frac{QrH}{102} \eta_T = 7.81 QH \eta_T \text{ 瓩}$$

式中 η_T ——透平效率包括透平的水力損失、機械損失及漏水損失，如果以 η_e 表示透平的水力效率， η_{TM} 表示透平的機械效率， η_{ob} 表示透平的容積效率，則 $\eta_T = \eta_e \times \eta_{TM} \times \eta_{ob}$ 。

在 H 公尺水頭下 V 立方公尺的水流經透平，在透平軸上產生的能量為

$$\mathfrak{Z}_T = \frac{VH}{367.2} \eta_T \text{ 瓩時}$$

爲了將機械能轉變爲電能，透平傳動了發電機，如果計及傳動及發電機的效率，則在傳動機構及發電機之間又有附加的損失。設 η_M 爲傳動機械效率， η_{gen} 爲發電機效率，則水電站所發生的出力和能量各爲

$$N_{T\&C} = 9.81QH \eta_T \eta_M \eta_{gen} = 9.81QH \eta_{en.ob} \text{ 瓩}$$

$$\mathfrak{Z}_{T\&C} = \frac{VH}{367.2} \eta_T \eta_M \eta_{gen} = \frac{VH}{367.2} \eta_{en.ob} \text{ 瓩時}$$

式中 $\eta_{en.ob} = \eta_T \eta_M \eta_{gen}$ ——稱爲電能形成效率或稱機組效率。

在實際運用中能量從電源達到用戶還需經過昇壓、輸電、降壓等過程，在每一過程中都有一定數值的損耗，所以水中的能量到達用戶處的有效能量，應將各過程的損耗加入

$$\mathfrak{Z}(\text{用戶能量}) = \eta_{\text{сист}} \frac{HV}{367.2} \text{ 瓩時}$$

同樣用戶所得的出力爲

$$N(\text{用戶}) = \eta_{\text{сист}} 9.81HQ \text{ 瓩}$$

式中 $\eta_{\text{сист}}$ ——用電總效率

茲將各種效率的一般數值列如第(1-1)表，以供參攷。