
水力發電站的 水輪機選擇

蘇聯 恩·莫·沙波夫著
張 進 謙等譯

燃料工業出版社

水 力 發 電 站 的 水 輪 機 選 擇

蘇聯 恩·莫·沙波夫著
張 進 謙等譯

江苏工业学院图书馆
藏 书 章

燃 料 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本書專述藉水輪機對數特性的簡便、實用，且已被應用在設計實際中的水力發電站的水輪機選擇方法，並闡明了這些方法的理論基礎和許多實際應用中的例題。此外，還敘述了較簡單欠精確的水輪機選擇方法（例如按標準產品選擇）。最後，著者對蘇聯的水輪機製造及其產品特性的運用，加以評述。

本書可供水力發電方面的工程技術人員及高等專業學校學生參考用。對水利工程人員也有參考價值。

本書翻譯者為：張進謙、李傳清、虞見思三同志。

* *
*

水力發電站的水輪機選擇

ПОДБОР ВОДЯНЫХ ТУРБИН ДЛЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

根據蘇聯國立動力出版社(ГОСЭНЕРГОИЗДАТ)

1949年莫斯科俄文第一版翻譯

蘇聯 Н. М. ЦАПОВ著

張 進 謙等譯

燃料工業出版社出版

地址：北京東長安街燃料工業部

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：韓至誠 校對：趙迦南 趙葆玲

北京市書刊出版營業許可證出字第012號

書號258 * 電113 * 787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 5 $\frac{3}{4}$ 印張 * 115千字 * 定價8,400元

一九五四年九月北京第一版第一次印刷(1—2,700冊)

版權所有★不許翻印

目 錄

1. 快速選擇水輪機之意義	2
2. 水輪機的初步選擇和比較選擇	4
3. 反動式水輪機之標準產品	5
4. 按標準產品初步選擇水輪機示例	14
5. 水輪機之引用參數	15
6. 按水輪機型式引用參數初步選擇水輪機示例	19
7. 水輪機之特性及其用換算方法之改製	21
8. 水電站條件圖	26
9. 常見水輪機比較選擇方法及其不便當處	27
10. 對數特性圖之基本特性	32
11. 按對數特性圖法比較選擇水輪機之準備工作	34
12. 用對數特性圖的方法比較選擇水輪機	46
13. 等出力線和極限出力線	50
14. 瓦根巴赫(Валенбах)的方法	51
15. 應用對數法選擇水輪機示例	53
16. 水輪機計算水頭之概念	55
17. 水頭升高或水頭降低的水電站及潮力水電站	56
18. 氣蝕現象之計算	59
19. 氣蝕係數與水輪機運轉情況的關係	62
20. 相對等出力線	63
21. 當安裝之機組數很多時河床式水電站E之水輪機選擇示例	64
22. 水輪機特性圖之利用段	68
23. 卡普蘭式水輪機及螺槳式水輪機的各種型式之比較	70
24. 常見的水輪機設備方案的比較	72
25. 幾種水輪機型式壘置網的概述	74
26. 對數選擇方法培爾頓式(Пельтон)水輪機方面的應用	76
27. 網格式特性圖的繪製	78
28. 水輪機台數的初步選擇	80
29. 區域式對數特性	82
30. 蘇聯水輪機製造及水電站設計中水輪機特性的運用	82

參考文獻

1. 快速選擇水輪機的意義

斯達哈諾夫運動打破了陳舊的技術定額，在許多情況下超過了先進資本主義國家底勞動生產率，保證了生產的快速增長，保證將我國變成最富裕的國家。

1935年12月25日聯共（布）黨中央委員會全體會議決議

科學、技術、人類社會經濟組織的進步，使人的勞動成為最大的生產力。它的生產力藉分工以及由於採用機器和新的工作方法而日益提高。在社會主義社會中它的發展速度特別快，這是由於一方面在國民經濟計劃中勞動力的利用最為合理，另一方面，當勞動者認識到他們是為自己工作而不是為資本家時，它就自己去尋求提高生產力的方法。

在工人中間掀起的斯達哈諾夫運動，給蘇聯國民經濟帶來了巨大利益，斯達哈諾夫工作者在瞭解了自己的工作意義後，發現了增加其勞動生產力和機器生產力的新的和意外的可能性。

但是這個運動不僅限於體力勞動，在腦力勞動的工作中它也可以應用。這裏，增加生產力是與採用機器和採用新的工作方法聯系着的。

在各種計算中我們很早就利用了機器，這些機器中的絕大部分是俄國人發明的。我們的帳房計算對西方來說就不熟悉。在計算尺中有莫·莫·赤爾巴森斯基（М. М. Черепаншинский）教授的計算尺。計算器係科學院院士波·爾·赤貝雪夫（П. Л. Чебышев）所發明，計算機係科學院院士阿·恩·卡利洛夫（А. Н. Крылов）所發明。

運用新的工作方法有時在計算工作中產生了大的改革，並在科學及其運用上出現了新的時代。例如，用阿刺伯數字代替羅馬數字，運用對數，圖解法，計算圖使人的生產力增加幾倍。複雜的工程構築物現在可以在幾星期內計算完成。如沒有圖解法沒有計算機僅用羅馬數字時，要有幾十年才行。

毫無疑義，我們的許多發明家在自己的狹隘領域內找到了加速計算工作的專門方法。他們和機械工業中的斯達哈諾夫工作者一樣，根據斯大林同志的說法，掌握了自己的技術工作並推動向前，重視了時間因素，並且時間不僅以分來計算而是以秒來計算。他們勞動生產率的增長使蘇聯全體勞動人民獲得利益。

在全蘇水力機械製造科學研究所（ВИГМ）的資料裏，我們敘述了在水力發電站工作條件下選擇水輪機的方法，這種方法通常是和很多而又複雜的計算工作相聯系着的。

水力發電站利用水能，就像現在射到地面上的太陽能對我們一樣。將來建成以後，發電站即不再消耗地下資源——挖掘出來的燃料，不需要增加運輸工具，僅需

要少量運轉人員或當它自動化時甚至可以全部不需要運轉人員。水力發電站的建設對於蘇聯國民經濟有着重大的意義。

水力發電站的主體為二種機械所組成之設備：水輪機和發電機。水力發電站的其他部分或是將水引入水輪機及由水輪機中放出，或是將電流從發電機送出。水輪機較發電機複雜和不穩定。水輪機必須很好地與河流變化特性，大多數情況下係很複雜的水庫利用方式，水頭變動以及根據需要能量之變動所產生的設備之負荷變化相適合。

在1941—1946年蘇聯水輪機製造廠製造了標準產品，即這些工廠製造了滿足各種水力發電站要求的反動式水輪機的規範表。每一標準構造產品中的水輪機規範在三方面決定水輪機的特性：1)它的系統和型式以及水輪機的轉速，它的主要性質及其最大容許水頭，2)水輪機的尺寸及其容量和功率，和3)水輪機的構造，即內部裝置以及軸的位置和水輪機車室的外型。在適當的和竭力縮簡後此標準中這樣的規範仍有263個，而每一包括在此標準中的水輪機在不同轉速下運轉時可以作為幾種不同的方案來考慮。這些規範中有幾種將要製造並經常採用，而這些水輪機中有些小的將大量生產。其他較難遇到的水頭和流量的水輪機規範將相應地很少採用。很多規範可以在數十年內或甚至完全不需要。但它們仍列入規定的標準中，以便水力發電站的設計機構和水輪機製造廠，在工作中能估計到在現有技術水平和工業水平下滿足所有可能要求的水輪機規範。

在設計水力發電站時比較幾種可能的水輪機設備的方案。同時在上述目的下並不比較其構造，因為現在水力發電站的水頭和容量幾乎是毫無問題地預先決定了水輪機軸的佈置形式和水輪機車室的外型。不需要經常比較水輪機的型式，因為通常是採用速度最高的型式，但在一定水頭的情況下，對於氣蝕條件來說尚屬可能。設備的比較方案有下列幾點不同：選擇水力發電站中水輪機的數目，它的尺寸及其轉速。水輪機的作用是將水的能量轉變為轉動水輪機軸的能量。所以方案比較係根據它的經濟性，就是根據在不同方案中水力發電站在一定時期在同一水量下所產生的能量。比較方案有時可達數十個。方案的比較係考慮不同型式和水輪機的大小在不同設計的水力發電站工作條件下的工作。水力發電站的工作條件是很多的，如在各個年代的不同水量，不同的水量調節及不同設計的水力發電站的水能利用系統下。

任何一種水輪機的水力特性，都是早在根據試驗室中研究其模型而求得，它用一般特性圖表來表示。這種工作是很複雜而且很費時間的，因此在利用舊的計算方法時必須力求限止比較方案的數目。

我們建議採用水輪機特性比較快速法，它能很快地研究多種方案並在不同觀點下選擇最好的一種（例如：增加出力，建設費用低或建設快，運轉簡單，可靠性增加和設備使用期增長）。

在水輪機設備方案比較上，這種快速工作的經濟效果可以用下列計算判斷。一

個已經建立的大型水力發電站我們曾作了72種不同設備方案的比較(見第24節)。在使用水量相同及同一水力經濟計劃的情況下，所有這些都表示出每年產生不同的能量。各種方案的年平均發電量在100至93.2%範圍內變動。假使用舊的方法，不是比較72而種是比較很少幾種，例如5種或10種方案後決定，那末最好的一種一定不會被找到。假定在這5—10種方案中就會有甚至相當於最大發電量99%的好方案。但是在這種情況下每年平均電能為1 800 000 000瓩小時的水力發電站中，每年減少發電量1%就相當於1 800 000 瓩小時，如一瓩小時值10戈比，就相當於平均每年減少了1 800 000盧布。假設水力發電站的運轉時間為50年，就減少了9 000 000盧布的利潤。

用下述的新式選擇方法來廣泛地比較水輪機設備方案，在設計大型和中型水力發電站時有着直接的經濟意義。從這許多比較中作出的總的決定無論對水輪機製造工廠或是水力機械科學研究機關都有着很重要的工作目標。第一，就是這些結論說明了那一種水輪機型式適合於運轉條件，所以要求投入生產，第二，這些水輪機的性質所帶來的優點應在新製造的型式中大力推廣。因此，本問題的解決無論對單一水輪機的大型水力發電站或是裝有大量生產的水輪機的小型水力發電站，在不同的方向裏會影響到近來五年計劃的蘇聯水力建設。

當然在水力發電站設計時，選擇它的水輪機設備不單由被選擇的水輪機工作的經濟性來決定，也決定於許多其他因素：水輪機，發電機和機器室的投資大小（機器室的投資與設備數量及大小有關）；地形和地理情況，有時以容許的機器室底層長度和深度表示；設備的數目和大小與壓力水管數目，設備需加入運轉的次數，在運轉中所要求的靈活性等的關係。然而考慮這些因素是獨立的課題，因而不包括在本著的各程序中。

2. 水輪機的初步選擇和比較選擇

大型水力發電站水輪機的選擇分兩個步驟，即：「初步選擇」和較精確的「比較選擇」。爲了要從許多方案中用比較方法以選擇最優越的一種，首先應大概選就一個初步方案，然後由其型式、機器設備數量、直徑、轉速（每分鐘的迴轉數）等各方面的附屬變化來加以選定。小型水電站水輪機的選擇通常祇作第一步。有關水輪機的第二步選擇，已由我們藉對數特性關係研究出一種最便捷的方法。

在初步選擇時，經常是以目測約略地由一已知水頭、及其相應的水電站設備總容量和尾水標高各條件選擇好。這時，水輪機的單位容量由擬定好的水電站總容量除以大概的水輪機台數來確定。在比較階段選擇時，將連水電站所有各種已知運轉條件都要予以考慮了。

初步選擇以某些水輪機在模型試驗中所獲得的主要運轉參數的重複計算、和所設計的水電站水輪機各運轉條件作爲基礎，可以用水頭1公尺，水輪機直徑1公尺

所導出的水輪機參數來簡化。當採用以模型試驗為基礎所繪製的各種圖表時更要簡單。這種豐富的圖表版本，通常在蘇聯標準水輪機產品表中可以見到，現在蘇聯任何水輪機的選擇，都必須使之符合於這種標準產品。為此，我們現在就首先說明其內容，且用以作水輪機的初步選擇，今後，甚至依據引出的參數以審核水輪機初步選擇是否適當（5.6 節）。

3. 反動式水輪機的標準產品

標準產品 [Л.18] 的設計，係榮獲列寧勳章的列寧格勒大林金屬工廠(ЛМЗ) 和全蘇水力機械製造科學研究院(ВИГМ) 的親密合作下所擬定的。像在這樣的部門中，可用兩個主要的部來代表：重型機械製造部（係製造大型水輪機者）和機械製造與儀器工具製造部（製造中、小型水輪機）。本設計底被製定作為部內的標準，是在1947年—1948年之間，不過各工廠早已依之作為工作指針了。

標準產品已列於綜合表 1 內。其中用各假定符號指明包括在標準品內的各種反動式水輪機之系別、型式、尺寸及構造，所以它們必須由蘇聯水輪機工廠來製造。各假定符號適於表內指出的各種水輪機的特性。每一水輪機的品牌（即其「型式尺寸構造」的牌號），例如 K 90-BB-500，由三個部分組成，其第一字母表明水輪機的系別，第二個數字為研究出這種水輪機型式的原機構組織所專有的型式號碼，同時，Φ 為法蘭西斯（Френсис）式，K 為卡普蘭（Каплан）式，Пр 為螺旋槳式水輪機，ПрК 為將輪機動葉固定於卡普蘭式水輪機輪殼上而成之螺旋槳式水輪機。在表內，每一種型式的水輪機都載明有幾種樣式，即依據其中水輪轉子式樣相對尺寸不同的各水輪機亞種。因而也就引起使用流量、轉速的不同（5 節）。最後，特性轉速也隨之而異（6 節）。短橫線後面的第二部分字母指水輪機的結構：第一字母為輪軸的佈置方式，第二字母為蝸殼的結構，這時 B 字指立式軸，Г 字為臥式軸；O 指開口式蝸殼，M 指金屬式蝸殼（圓形橫斷面），B 為混凝土的蝸殼（丁字形斷面），Φ 為管式蝸殼（端切面）。雙型的、且與入蝸殼水流為輻射式的組合水輪機種類過多，所以未列在表內。牌子的第三部分為水輪機轉子的特性直徑值，以公分計。法蘭西斯式水輪機就採用水輪機轉子進口邊緣的最大徑距作為這樣的直徑，螺旋槳式與卡普蘭式水輪機則以水輪機轉子輪機室之直徑為最大直徑。因為有兩個間隙，所以此直徑值較轉子直徑約大千分之二。所有直徑不一、但其活動部分相似，且屬於同一型式之各種水輪機組成單獨的一系。

這樣，上面例舉的 K 90-BB-500 式水輪機一看就知道是：卡普蘭式，90 型的水輪機，機軸為立式，混凝土輪機室內轉子直徑為 500 公分。

有些水輪機牌子上尚發現有附加字母（如 ГМн和ГМв 者），這是指用兩種結構

標準反動式水輪機結構及轉子型式尺寸綜合表

表1

轉子直徑 (公分)		水輪機系統別										轉子直徑 (公分)				
		螺旋式 (Πр)		卡普蘭式 (K)		水輪機轉子型式		新式 (Φ)								
		ΠрK70	ΠрK90	ΠрK245	ΠрK129	K70	K90	K245	K129	Φ300	Φ123	Φ100	Φ82	Φ60	Φ13或Φ15	Φ128
		高速度														
		750	620	550	530	820	670	600	580	330	230	200	150	130; 120	80	
		設計構造														
		(ΓΦ) BO; ΓO; ΓΦ _H ; ΓΦ _B BO; ΓO; ΓΦ _H ; ΓΦ _B BO; ΓO; ΓΦ _H ; ΓΦ _B BO; ΓO; ΓΦ _H ; ΓΦ _B BO; ΓO; ΓΦ _H ; ΓΦ _B BO; ΓO; ΓΦ _H ; ΓΦ _B ΓΦ _H ; ΓΦ _B														
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	BO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	BO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
59	BO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
71	BO	—	—	BO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
80	—	—	—	BO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
84	—	—	—	BO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	BO	—	—	BO; B5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
120	BO	—	—	BO; B5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
140	(BO)	—	—	BO; B5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160	BO	—	—	BO; B5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(180)	(B5)	—	—	(B5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
200	B5	—	—	B5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(225)	(B5)	—	—	(B5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
250	B5	—	—	B5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(275)	(B5)	—	—	(B5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
300	B5	—	—	B5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(330)	(B5)	—	—	(B5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
370	B5	—	—	B5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
410	(B5)	—	—	(B5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(450)	(B5)	—	—	(B5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
500	B5	—	—	B5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
550	(B5)	—	—	(B5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
600	B5	—	—	B5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(660)	(B5)	—	—	(B5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(720)	(B5)	—	—	(B5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
800	B5	—	—	B5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
900	B5	—	—	B5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

製造的同型水輪機：適於低水頭的較輕的水輪機(H)和適用於高水頭的重型水輪機(B)。規定的標準產品牌子內並未包含有水輪機汲出管型式號碼，但有時把它列到裏面也是有益的。必要時，我們認為可以適當的用三個相應的字母加入牌子的第二部分中，即字母П爲直線式汲出管，И爲弓形管（由一圓錐殼、螺旋瓣和排水管組成的直立式水輪機）及K爲曲接管（曲肘和圓錐殼組成的臥式水輪機）。例如採用K 90-ВВИ-500 這樣的水輪機牌子。近年來，爲減輕製造工廠工作量起見，放在1表括弧內的各種型式尺寸的水輪機，已經建議不再製造了。對水電站來說，這類水輪機大半可在另一數量的發電機情形下，由其大小極相近的其他水輪機來代替。

表1內所指出的水輪機轉子直徑，從120公分及以上各種法蘭西斯水輪機，在下述意義上是標準的。爲了水輪機轉子能恰好適於水電站之各種工作條件，當其最後選定時，製造廠家鑄造的以進口徑距爲其直徑的水輪機轉子可以超出標準少許，但不得大於 $\pm 3\%$ 。其餘的水輪機零件，同時須維持其與標準直徑相適應之各尺寸（輪機室、導流裝置、蝸形殼（улитка）。

在附表中，就標準產品繪成一水輪機採用範圍之綜合圖（圖1）。此圖不像其他

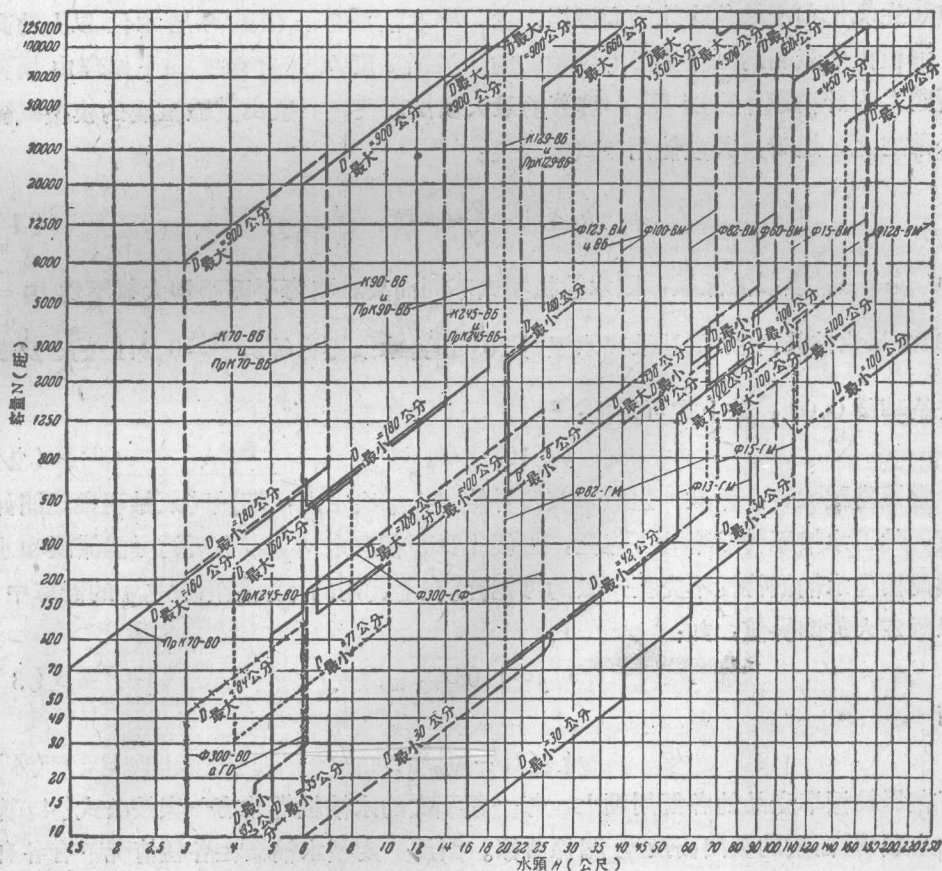


圖1 標準產品水輪機選用範圍綜合圖

附圖一樣，沒有必要的標準性能，祇不過用以易於大致的挑選水輪機而已。對被選擇的水輪機來說，設已知其水頭和容量，則該水輪機型式之選用範圍就可在圖 1 上由其相應的點子來確定。原來圖上這一點，就表示建議採用該種型式的水輪機。有時這樣的點子同時落在兩三種型式範圍內，這標明在那種情況下選擇水輪機，可以採用兩三種不同的型式。如已知條件是：水頭 $H=11$ 公尺，設備容量 $N=5000$ 瓩，則一定推選 K90-BB 型的水輪機；當水頭變為 65 公尺，容量是 7000 瓩時，則 $\Phi 100$ -BM 和 $\Phi 82$ -BM 兩種型式都是可能選用的。

對標準水輪機而言，附錄中尚有 22 個更詳細地、用以說明每一種構造型式特性的單獨圖表，根據該項圖表即易選擇每一水輪機之直徑 D ，轉速（每分鐘迴轉數） n 和容許汲出高度 H_s 。茲以第 2 圖的 K90-BB 型水輪機的獨用圖為例，當擬定採用轉速 167 時，具有上述水頭和容量的那一點，原係處於水輪轉子直徑為 300 公分的範圍內，但因效率關係需要考慮某些損失時，可採用相鄰的另一轉速，如 150 或 187.5 皆可。

在圖 2 左下方還有一附屬小圖，用以決定在一已知水頭時，這種型式的水輪機不會產生氣化和侵蝕危險的最大汲出高度，即水輪機轉子佈置在尾水位以上的高度。這種標準產品的圖表指出「試驗室的」汲出高度 h_s ，今後可由下述理由換算為所謂「設計構造」高度 H_s 。容許的最大汲出高度，一般由試驗室裏的模型試驗資料確定之，這時，其數值用下式來決定：

$$h_s \leq B_0 - \frac{p_t}{\gamma} - \sigma H \quad (1)$$

式中 σ ——試驗氣蝕係數，因水輪機型式不同而異。取海平面平均大氣壓為 $B_0 = 10.33$ 公尺水柱後，在水電站最高水溫為 20°C 時，水氣壓力等於 $\frac{p_t}{\gamma} = 0.241$ 公尺及最大安全率為 0.09，故上式可寫成：

$$h \leq 10 - \sigma H. \quad (2)$$

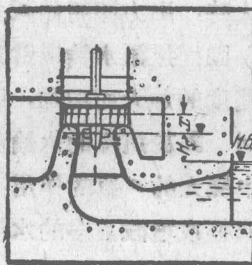
當模型試驗時，係數 σ 之值以其臨界值 σ_{kpum} 決定之，即該時氣蝕現象已開始之值。為了水輪運轉效率的可靠性，必須顧及到在決定 σ_{kpum} 方面的可能錯誤和水輪機與模型水輪機特性不完全一致的可能性。在「實用的」氣蝕係數 σ_{np} 的計算中，可以假定大於臨界值，如：

$$\sigma_{np} = 1.05 \sigma_{kpum}. \quad (3)$$

因而

$$h_s \leq 10 - \sigma_{np} H. \quad (4)$$

在屬於標準產品的各獨用圖上，每一種型式的水輪機都繪有一與按公式 (4) 算出的水頭 H 而變的汲出高度 h_s 關係曲線。因為一定型水輪機在各種情況下有各自不同的 σ_{kpum} 值，所以對水輪機初步選擇來說，當構製獨用圖時，是以某些最大的危



此處

$$H_s = h_s - \frac{V}{900}$$

(單位均以公尺計)

h_s —由 h_s 圖找得

(參見下面)

$$x=0.41D$$

▽— 水輪機在海平面上之標高

容許汲出高, h_0 (公尺)

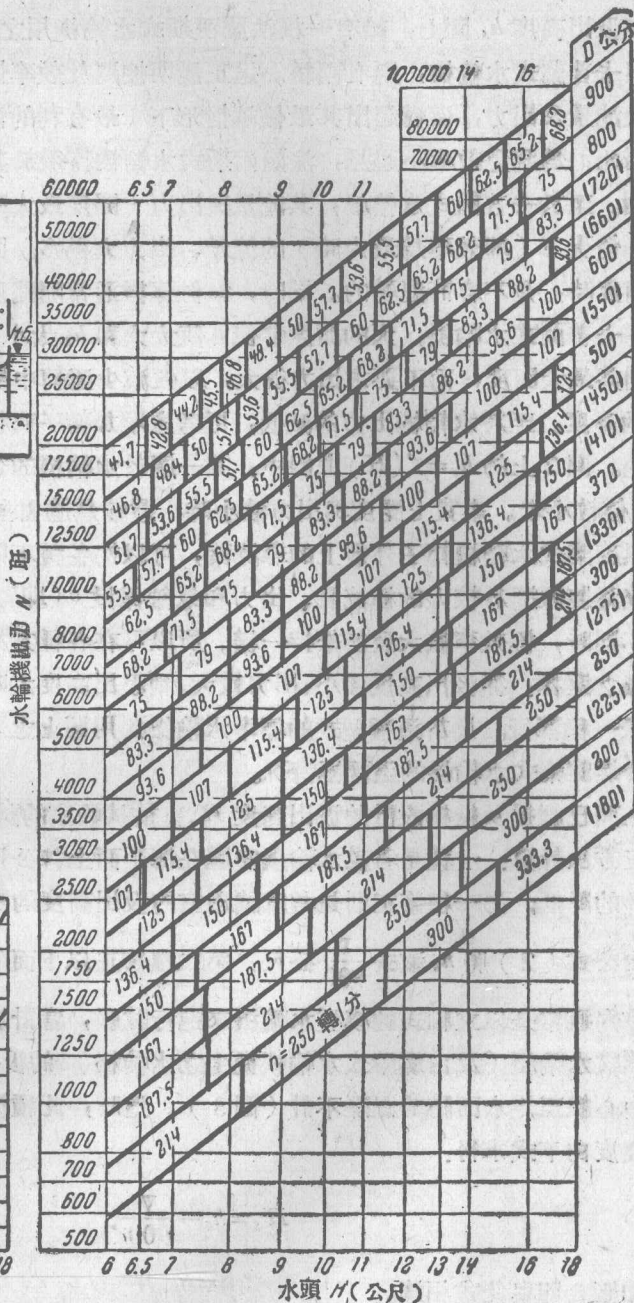
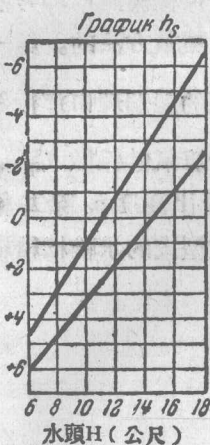


圖2 K90-BB型水輪機獨用圖

險係數值來計算的，這樣的數值在水輪機正常運轉情況下也是可能的，且通常符合於大的開度及轉速少許高出最優越值時的條件（相當於最大效率值）。

在汲出高度 h_s 圖上，繪有一根法蘭西斯式水輪機用之 $h_s - H$ 關係曲線，對螺旋式與卡普蘭式水輪機，則有兩根。這正說明按開放效率情形，法蘭西斯式水輪機之最大流量及出力，僅僅超出其最優越情形下（最有利的情形）的流量與出力一點點。因此，為避免效率小起見，法蘭西斯式水輪機務須於其接近最大開度的範圍內來利用。至於卡普蘭式水輪機，其流量與出力（開度最大時，出力即開始減少）較最優越情況下（即效率為最大時）的流量、出力大得多。因而這類水輪機當其近於最大開度時，是不容許運轉的。同時，氣蝕係數通常隨開度的加大而增加，所以假使選擇卡普蘭式水輪機，大的開度會使 σ 值太大和 h_s 太小。對於這樣的水輪機，寧可限制其最大開度，而不要求出力很大，以便減少運轉中極大的 σ 值的作用，且增加 h_s 的高度。至於水輪機出力的減低，可考慮增加轉子直徑或增設更多的水輪機組來彌補。圖 2 上的 $h_s = f(H)$ 曲線中，其一適於水輪機的容許最大開度和出力，其一是 h_s 值較小者。事實上開度與出力較小時，還較為適當些。

螺旋槳式水輪機轉子外殼上的導流葉，可以按各種不同角度固定之。斜度較大的導流葉裝置適於較大的極流量、出力和氣蝕係數 σ （即 h_s 值小）。當導流葉的斜度裝置不同時，極效率值大致能維持一樣。所以可在各種方案內完成一定型螺旋槳式水輪機之選擇：從汲出高度較小、出力較大，到汲出高度大時出力較小的這範圍內，選擇任一種都行。屬於這種型式的標準水輪機獨用圖上之 $h_s = f(H)$ 二線，同樣地適用於螺旋槳式水輪機的這兩極情況。

上面已經提及結構設計的汲出高度 H_s ，按試驗室的試驗高度 h_s 用下述兩種假定修正方法計算：一種是考慮水輪機安置在海平面上 ∇ 公尺標高處，即考慮相應大氣壓 B 的降低；另一種修正則是考慮試驗室內汲出高度的讀數方法的。第一種修正大約由公式（2）將 h_s 減去 $\frac{\nabla}{900}$ 公尺，第二種修正以下面的幾個理由進行確定。在試驗室內通常是以立軸式的模型水輪機來進行試驗，當計算氣蝕係數 $\sigma_{крум}$ 時：在卡普蘭式水輪機（及由螺旋式水輪機從生之水輪機）的汲出高度 h_s 除去輪機動葉迴轉中心線至尾水面間的距離不計（圖 3）。這時，此種型式的水輪機結構設計的汲出高度由下式求得：

$$H_s = h_s - \frac{\nabla}{900}. \quad (5)$$

圖 3 和圖 5 即與此式相適。

法蘭西斯式水輪機的試驗汲出高度 h_s 照例是不計導流裝置邊緣（底部）以下部分的，結構設計汲出高度 H_s 更可適當的略去導流裝置和蝸形殼的中間部分（圖 4）於是立軸式的法蘭西斯式水輪機將有以下的關係式

$$H_s = h_s - \frac{\nabla}{900} + \frac{e_0}{2}, \quad (6)$$

式中 e_0 ——導流裝置的高度

所有各種型式的臥軸式水輪機，從水輪機中心線起始的結構設計汲出高度按下式決定之（圖 6）

$$H_s = h_s - \frac{\nabla}{900} - \frac{D}{2}, \quad (7)$$

式中 D ——水輪機之直徑。

從輪機動葉中心線到導流裝置（及蝸形殼）中部的高度 x ，在螺槳式水輪機與卡普蘭式水輪機為 $x=0.41D$ （圖 3）。

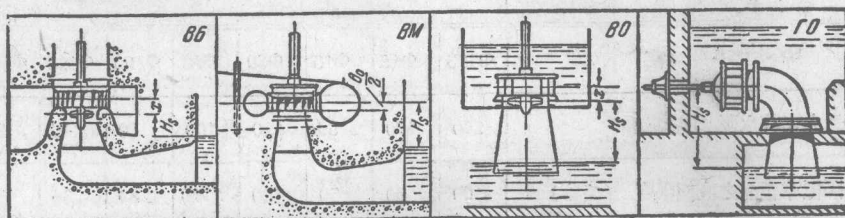


圖 3-6 結構設計汲出高度 H_s 規定圖

最後，爲了大致確定標準水輪機完全開放時之效率，依其型式、直徑之不同繪有幾個效率概算圖（圖 6a），其中效率相近者繪在一起。

標準產品表是用以設計各種型式的水輪機及其製造的一個計劃表。許多現在已經有了的、型式大小不一的水輪機，在斯大林金屬工廠和全蘇水力機械製造科學研究院內都備有設計圖紙。至於一些新式的大中型水輪機的設計，將於個別定貨時製造之。爲了小型水輪機需要不斷生產，其施工圖紙漸次在全蘇水力機械製造科學研究院內繪製，以之正式運用於生產上，尚需時日，但有幾種型式的水輪機在生產，這些圖紙是由加里寧莫斯科工廠按其原有底圖重新複製而成的。後面有一個臨時性的小型水輪機目錄表介紹這種早已製造過的水輪機

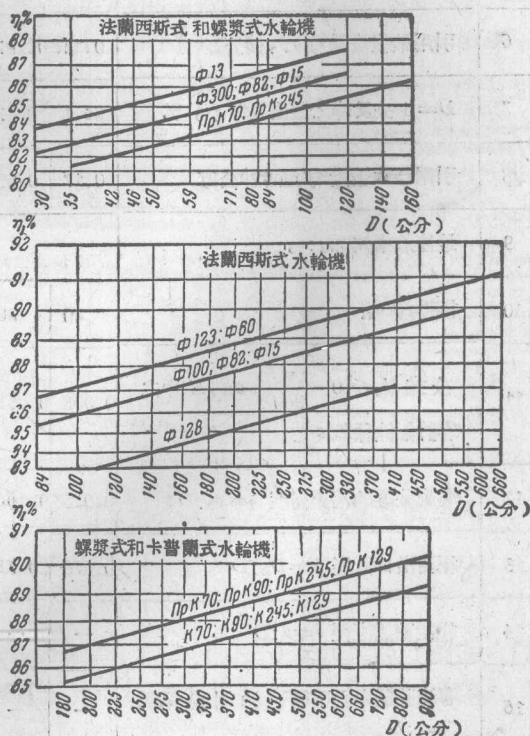


圖 6a 全開時的水輪機效率概算圖

樣品 (Л.12)，其中列有幾種老式的、直至現在還是老牌子之水輪機。在表 3 內，則已將相應的新舊兩種牌子並排在一起。列於臨時產品表中的 $\Phi 20$ 型水輪機，早已運用在生產中，直至標準產品的最後擬定為止。在全蘇水力機械製造科學研究院，被擬定的是其變種 $\Phi 130$ 型，其鑄製的傾斜瓣形輪葉，最近已由保持其原有外形的葉狀瓣代替之。此外，輪緣側面已改變製造，用銲接代替鑄製。迴形導翼已改為平面翼，此種型式之水輪機運轉參數已列於表 2 內。

相當於標準產品圖的

1	系 別	法 蘭 西 斯 式							
2	牌 子 名 稱	$\Phi 128$	$\Phi 15$	$\Phi 13$	$\Phi 60$	$\Phi 82$	$\Phi 100$	$\Phi 123$	$\Phi 500$
3	最大容許水頭 $H_{\max}$	250	170	85	120	100	70	45	25
4	照標準產品之直徑限度 (公分) $D_{\min}$ 與 $D_{\max}$	100	50	30	100	42	84	84	30
		410	450	100	500	500	550	660	100
5	引用轉速 n_1' , 轉/分	60	61	59	61	66	65	77	79
6	引用最佳流量 Q'_{01} , 秒公方	0.148	0.297	0.307	0.52	0.74	0.92	1.1	1.24
7	$D=1$ 公尺時之最佳效率 η'_0 %	85.1	88.7	89.8	89.8	88.7	88.7	89.8	88.7
8	引用最大流量 Q'_{L1} , 秒公方	0.17	0.33	0.40	0.57	0.87	1.1	1.3	1.4
9	最佳效率比 $\eta_{01}:\eta_0$	0.97							
10	極轉速 n_{s1}	80	120	130	150	200	230	300	305
11	公式 $H_s \leq 10 - \frac{V}{900} - \sigma_{np} H$ 中之 容許氣蝕係數 σ_{np}	0.038	0.068	0.094	0.092	0.11	0.15	0.22	0.35
12	導流裝置的相對高度 $\beta = \sigma_0 : D$	0.083	0.105	0.105	0.2	0.2	0.3	0.35	0.4
13	相對出口直徑 $\Delta = D_2 : D$	0.575	0.71	0.71	1.0	1.02	1.09	1.08	1.09
14	相對輪轂直徑 $\delta = d : D$	—	—	—	—	—	—	—	—
15	導流裝置中心下轉子的相對深度 $\xi = x : D$	—	—	—	—	—	—	—	—

臨時的各水輪機型式結構的圖解法初步選擇，可按照與圖 1 圖 2 相類似的圖 7 進行之。其橫座標表水頭適用範圍，縱座標為適於此種水頭並在相當於此水頭之最優越情況下的最大出力。

從上面的一般研討和下面所舉的例題可以看出，在已知水頭和容量的情況下，按標準產品選擇水輪機是很簡單的，也就是歸結於圖表的使用而已。

各反動式水輪機之運轉參數

表 2

卡 普 蘭 式				螺 槳 式				法蘭西斯式
K 129	K 245	K 90	K 70	ΠpK 129	ΠpK 245	ΠpK 90	ΠpK 70	Φ 20
30	22	18	7	25	23	18	7	6
180	180	180	180	180	71	180	35	42
900	900	900	900	900	900	900	900	84
135	135	140	171	133	133	140	166	81
0.98	1.0	1.16	1.44	1.0	0.96	1.32	1.46	0.94
87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.2
1.6—1.2	1.7—1.3	1.9—1.4	2.1—1.6	1.4—1.1	1.4—1.1	1.5—1.2	1.8—1.5	1.14
0.95				0.97				0.93
580	600	640	820	530	550	590	750	285
0.79—0.49	0.77—0.45	0.9—0.68	1.9—1.6	0.49—0.35	0.5—0.35	0.68—0.57	1.7—1.6	—
0.416	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416	0.416	0.3
0.95	0.95	0.95	0.97	1.0	1.0	1.0	1.0	1.05
0.45	0.4	0.4	0.35	0.45	0.4	0.4	0.35	—
0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	—

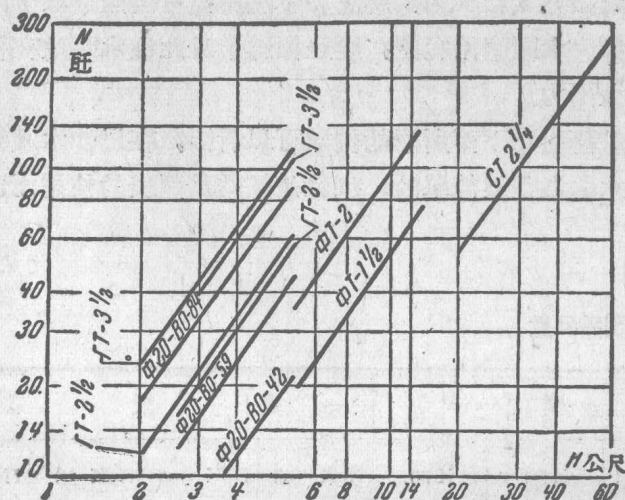


圖 7 臨時產品表上各水輪機的選用圖

新舊對照臨時用水輪機產品表

表 3

舊 牌 子	新 牌 子
—	Φ20 -BO-42
—	Φ20 -BO-59
—	Φ20 -BO-84
BT-2 ¹ / ₂	Φ300-BO-60
BT-3 ¹ / ₂	Φ300-BO-89
ΓT-2 ¹ / ₂	Φ300-ΓO-60
ΓT-3 ¹ / ₂	Φ300-ΓO-89
ΦT-1 ¹ / ₂	Φ300-ΓΦ-36
ΦT-2	Φ300-ΓΦ-48
CT-2 ¹ / ₂	Φ13 -ΓM-45

4. 按標準產品初步選擇水輪機示例

設已知水頭 $H=11$ 公尺，容量 $N=5000$ 瓩，尾水標高 $\nabla \approx 90$ 公尺，試選擇一適於此種條件之水輪機。

由綜合圖 1，已知水頭出力二線之交點指出可選用的水輪機型式為 K90-BB（立軸式，混凝土蝸殼，90 型之卡普蘭式水輪機）。在獨用圖上（圖 2），此交點指出水輪機之直徑 $D=300$ 公分，轉速 $n=167$ 。在標準產品效率概算圖中（圖 6a），可以看出這種型式及直徑的水輪機，其滿放時之效率， $\eta=86.5\%$ ，因而由功率公式