

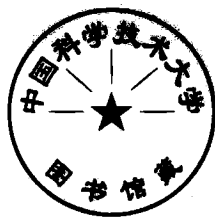
潮汐电站技术参考資料

水利电力部上海勘测設計院

科技卫生出版社

內 容 提 要

本書選擇俄、德、日、英等國雜誌上有關大型潮汐電站土建機電方面的文章五篇：1. 潮汐發電站——可靠的能源；2. 潮汐電站的發展；3. 關於蘭斯潮汐電站的機電設備；4. 貫流式水輪機；5. 用於貫流式水輪機的感應發電機。對於世界上潮汐電站最近的發展情況，與河川電站、水力電站的配合，各種潮汐電站的總體設計，適合於潮汐電站的新型機電設備俱有敘述。



潮汐电站技術參考資料

編者 水利电力部上海勘测設計院

*

科技卫生出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可證出093號

中國科學院上海分院印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

開本 850×1168 紙 1/32 印張 2 1/2 字數 62,000

1958年10月第1版 1958年12月第1版第2次印刷

印數 2,001—3,300

統一書號：15119·969

定價：(十) 0.32 元

前 言

为今年10月17日即將召开的全國潮汐發電會議交流資料需要, 我院选譯了四篇有关潮汐發電的國外技術資料, 合訂成本册。这些資料主要報導國外潮汐發電方面的一些技術問題, 但由于这門科学在國際上尙在萌芽階段, 經驗不多, 因此認為本册中所述及的一些問題, 僅能作为我們在研究工作中的参考。

水利电力部上海勘测設計院

1958. 9

目 錄

I. 潮汐發电站——可靠的能源.....	I
專家工作組譯自苏联“水工建設”雜誌 1958 年第 2 期	
II. 潮汐电站的發展.....	20
朱偉良譯自西德“土木工程”雜誌 1957 年第 12 期	
III. 关于蘭斯潮汐电站的机电設備.....	49
崔学祖、刘佩蘭摘譯自國際大电網會議文集	
IV. 貫流式水輪机.....	61
唐仲希譯自日本“三菱电机”雜誌 1958 年第 3 期	
V. 用于貫流式水輪机的感应發电机.....	71
唐仲希譯自日本“三菱电机”雜誌 1958 年第 3 期	

I. 潮汐發電站——可靠的能源

技術科學碩士 爾·白·卡爾什吉英

最近幾年國外對潮汐電站很感興趣。例如法國已在1956年開始建造蘭斯潮汐電站，容量為34萬2千瓩，年發電量為8億度，且對潮汐電站的利用進行試驗研究工作[1]。其中並在四個專門建造的水電站內裝了八台可逆式水輪機做試驗，總容量為七萬三千瓩。正進行紹澤與門克兩潮汐電站的設計，容量各為一萬瓩，發電量各為250億度。外國刊物上廣泛地討論着美國、加拿大、英國與阿根廷等新興的潮汐電站的設計。在美國1956年已批准對克伏奇潮汐電站設計的撥款。

所有這些是極其重要的，因為還在戰前時期對於潮汐能已形成一種觀念，好像它極為昂貴，而且利用起來又不方便似的。阿卑爾伏拉克潮汐電站（法國1931年）和克伏奇潮汐電站（美國1936年）動工建造而又廢棄的慘痛經驗常被人們用來引証，克伏奇潮汐電站毫無結果地白化了七百萬美元，而電價比火電貴33%。蘇聯在戰前完成設計的基司洛古勃司潮汐電站，電價要比河流的貴1倍。

電價貴的原因可以從下列兩方面看出，（一）十分大的流量必須在低水頭和不穩定的水頭條件下通過潮汐電站。（二）出力多變而且是不斷的。

直接促進利用潮汐能的原因，是由於能量不足的威脅，西方好多國家正經受着這種不足（西歐1955年可取得的能量總共為滿足需要的80%，根據聯合國的資料1975年僅能及需要的60%）。潮汐能具有特殊的性質，這種情況是具有重大意義的。但是人們未

能早些考慮到，就是現在亦未完全意識到。

1946年我們在 МИСИ 所寫的論文曾經說明，潮汐能在一定的方法下不僅可補充電力平衡的不足，並且能改善電力系統的運行。但是這只有在現代動力工程與電力系統發展的水平上才有可能達到，即火電站及原子電站的發展不但不妨礙水電站的很大發展，而相反地促進水電站容量的發展，它（在最有利的情況下）應該負擔全部峯荷。可是河流的水力資源（最適合於用來負擔峯荷的水力資源）是有限制的，因此對潮汐能量有迫切的要求。同樣在蘇聯的歐洲部分，我們差不多已完全利用了河流的水能資源。

蘇聯的潮汐能的蘊藏量究竟怎樣？能在動能利用上起重要作用的潮汐被觀察到的有：穆爾曼斯克海岸（最大潮差自穆爾曼斯克的4公尺到盧包夫克的7公尺）；在白海的捷爾斯克與齊姆年海濱達10公尺；在鄂霍次克海的沿岸達10公尺。若不包括遠東地區，則最大的潮汐能資源系集中在白海的麥晉海灣（達900億度），而遠東地區關於大潮汐電站的建造須在黑龍江開發以後才能談得到。

以麥晉海灣「動力蓄能」（一種指標，相當於水力資源「理論蓄能」，作者提出來以便估計潮力資源）^①與外國海灣蓄能相比較便能顯示出麥晉海灣的能量水平遠遠的超過德國、西班牙、荷蘭的海岸，並且也稍許超過克勃司庫克（克伏奇潮汐電站）的水平，僅較英國、法國與加拿大的天然資源稍遜些（圖1）。麥晉海灣的面積（圖2）可以建造世界上最大的潮汐電站，即使選用最小容量的方案還是世界上最大的。

① 潮汐區域的「蓄能」相當於河川的「理論蓄能」，並相等於一平方公里海洋地區水位漲落在一年內所做的功。在1946年，在正規的半日潮平均潮差為4公尺情況下所作的功，我們曾建議按下列公式計算。

$$\mathcal{O}_n = 1.97 \times 10^5 A^2 \text{ 度/年/平方公里。}$$

對面積為 F 平方公里的海洋地區，則按下式：

$$\mathcal{O}_n = 1.97 \times 10^5 A_{cp} \cdot F \text{ 度/年。}$$

後來在1955年，日布拉提出了結構相似的公式，不過以大汛潮差 A_{cusp} 代替 A_{cp} [9]

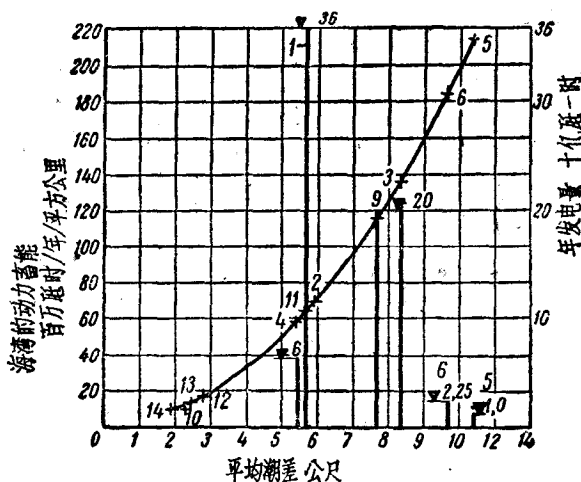


圖 1

- | | |
|----------------|--------------|
| 1. 白海潮汐电站 (苏联) | 2. 山霍士 (阿根廷) |
| 3. 紹澤 (法國) | 4. 克伏奇 (美國) |
| 5. 彼基高基克 (加拿大) | 6. 舍凡尔 (英國) |
| 9. 蘭斯 (法國) | 10. 基司拉 (苏联) |
| 11. 麥管 (苏联) | 12. 德國 |
| 13. 西班牙 | 14. 葡萄牙 |

曲綫代表 $P=f(A)$; 垂直綫——潮汐电站年發電量

現在我們來研究一下潮汐能的特性:

流入海灣的潮汐波的出力平均值建議以下列公式來推算:

$$N_{cp} = 225 A^2 F \text{ 瓩,}$$

式中 A ——波幅, 公尺 (即潮差);

F ——海灣面積, 以平方公里計。

如果考慮到高潮汐區域內潮汐波幅的變化主要取決於天文因素, 這種天文因素在 29.5 個晝夜的時間內 (所謂太陰月), 經過了與潮汐形成力值有極大影響的自己的特性周期, 那末在一個月內潮汐預想出力的變化, 可以如圖所示, 與潮差作相應比例的变化 (圖 3)。此圖顯示了在太陰月內潮差平均值是不變的 (即出力平均值不變)。由於天文因素的不變性, 這個數值在任何一年中的任何一

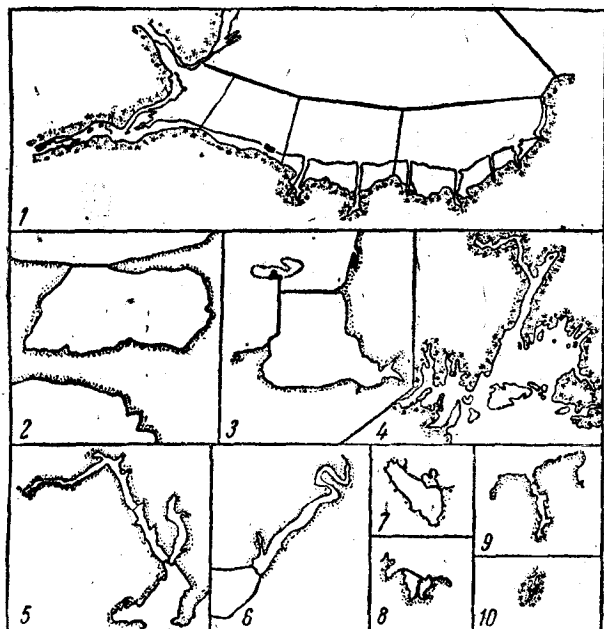


圖 2 正在設計的潮汐电站的海灣平面圖

№	面 積 平方公里	平 均 潮 差 公尺	平均大汛潮差 $A_{cp-cusue}$ 公 尺	各國潮汐电站的名称
1	2000	5.65	7	苏联白海潮汐电站
2	780	5.9	7.2	阿根廷山霍士潮汐电站
3	632	8.4	12.0	法國紹澤潮汐电站
4	340	5.46	7.5	美國克伏奇潮汐电站
5	118	10.8	14.6	加拿大彼基高基克潮汐电站
6	44	9.7	12.9	英國舍凡尔潮汐电站
7	110	4.3	5.5	苏联盧包夫克潮汐电站
8	21	7.4	10.75	法國阿尔蓋諾潮汐电站
9	20	7.62	10.85	法國蘭斯潮汐电站
10	2	2.37	3.1	苏联基司拉潮汐电站

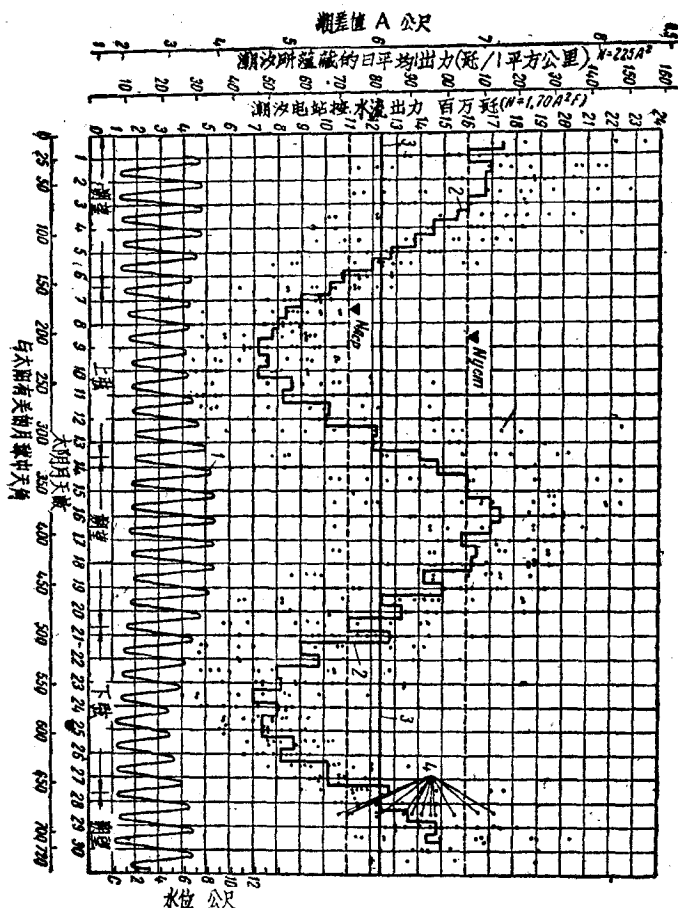


圖 3 白海潮汐电站于太陰月內的潮汐出力变化圖

1. 平均太陰月的潮水位过程綫。
2. 各太陰月內 13 个对应的日平均出力。
3. 太陰月期間潮汐蕴藏的平均出力, 該出力等于年平均出力。
4. 一年中各太陰月在一个对应日的出力。

个月内都保持不变, 这样便可了解到潮汐能的特性, 即在一年中及多年中月平均出力值不变, 亦即潮汐系列的月平均出力值的变差系数 C_v 与偏差系数 C_s 都等于零。这一特性使潮汐能优于河川能, 因为完全利用河川能的主要困难为河川逕流的变差系数和偏

差系数都很大,因河川逕流依气象因素而轉移,而气象因素与天文因素相反,又無一定規律性。

可是一方面潮汐月平均出力每年不变,另一方面圖3上还表示出各个月內出力的变化情况。这是由于月亮与太陽对地球相互位置的改变因而形成潮汐力值的变化(月亮与太陽为產生潮汐的主要因素)。从圖3中可以看出,从朔望(太陽地球和月亮处于一条直綫)到月亮达到近地点的时候(太陽地球和月亮处在直角三角形的二边),再到月亮达到远地点(月亮离地球最远的距离),潮汐預想出力在7.1晝夜的时期内改变了8次。但是,假定除开較难保証的最大出力,則它的数值差要改变3次。

要使这个“大小潮間”出力的不均匀性变成更均匀些,可以靠更充分的利用河流水电站水庫的季調節庫容来实现(一年25次而不是2次),因为根据我們的計算,这时所需要的水庫容積 V_M 僅占潮汐电站年电能 $\mathcal{Q}$ 的1% (即小于調節相应的河川能所需的庫容100—200倍)。

这个潮汐能的优点,能克服它上述的缺点到什么程度呢?

上面所說的一切是天然状态下潮汐波所蘊藏的能量值。可是在潮汐电站水輪机利用这种能时,潮流从干潮的时刻,逐漸增長强度,然后在滿潮时刻又开始新的衰减,漲潮与落潮交替出現,使在一晝夜內所發出的出力,变成不均匀的、断續的和变化的。

为了使潮汐电站一晝夜內出力的不均匀性能夠消除,最近70年來曾提出許多种方法^②。研究这些方法使我們能按調節程度分类,并且按这个标准查核每一方法的經濟性。所有提出过的解决方法可以分为两类:外部調節系統和多水池式自动調節系統。

外部調節在水力蓄能站上(TAY)可以進行得最完全(在月和日周期中),可是对潮汐电站來講这是不經濟的(在1935年克伏奇設計中的黑衣可克水力蓄能站,容量为7万瓩,消耗了潮汐电站电

② 1939年法國公布了280个这个主题的專利特許証。

能的 22%，需要 30% 的投資，并且增加了每度發電价 83%，在舍凡尔設計中的得里立克格灵寺水力蓄能站，每度电价增加 100%，而建筑物造价增加 28%）。

在基司洛古勃司 1940 年設計中用電力鍋爐來儲蓄每天的潮汐能，看來是很合理和經濟的（在這種情況下來儲蓄每一度的電能的投資僅為 4 戈比，而不是水力蓄能站（*ПДВ*）的 750 戈比）。但是這種解決方法僅是個別的，因為潮汐電站不可能僅靠燃燒設備來操作的，試圖利用潮汐能以產生蒸汽再產生能量（英國雪許高所建議的魯脫沙蓄電池系統）將使能量昂貴到不合理程度。

多水池式自動調節系統有可能從潮汐電站本身獲得更均勻的和連續的電能。這是能夠達到的，假如把潮汐電站的海灣分成兩個水池（如 1890 年甲克所提議的）或三個水池（按 1937 年的傑富爾循環），並且依次把這些水池和海聯通或者經過水輪機與過水孔互相接連。假如考慮到潮汐電站的出力視圍入的海灣面積而定，這樣就很明顯，把水池分為二部分或三部分，將引起電能相應的損失。還有，看來甚至這些方法中最現代的方法（1937 年傑富爾與卡可循環，其中由於把蓄水池與抽水機的轉送聰明地配合起來，成功地使潮汐電站根據需要而調整出力）仍是不能避免每月內潮汐變化規律的影響，而需要幾乎完全的重复容量。這就是為什麼在所有潮汐電站操作方法中寧可用單水池雙方面操作的裝置，這種裝置能在最少的單位投資下^①供給最大的能量。

這種方法的日調節在很大的程度上可借所謂抽水機的工作效應來實現。抽水機的效應，還是克勞特〔2〕在 20 年代里發現的，其後在 1937 年在卡可和傑富爾〔3〕的循環中加以利用。抽水機效應的意義，就是在滿潮或干潮水流停止時，電站水池以抽水機來排水（或加水），便可大大增加其出力。既然上述的卡可—傑富爾循環的

① 當海灣深度較淺與不便挖土或者照顧到航運，在局部情況下單向運轉可能顯得有利。

分析已經指出,为了實現这种汲水必須建造抽水站,在动能經濟上不合理,因此在 1946 年我們建議了一種新的潮汐電站的操作循環,在這新的循環中,抽水效應借助于轉槳式型可逆式水輪機來實現。把水輪機改為抽水機后,在這循環內可增加能量 50%,并且使電站有可能根據需要而改變操作時間。

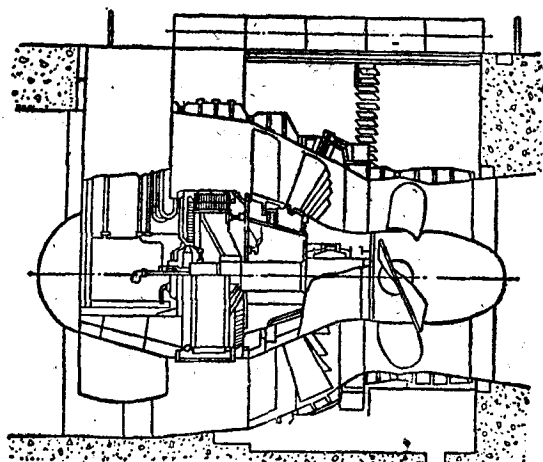


圖 4

蘭斯潮汐電站的可逆式機組,容量 9000 瓩,轉速 82 轉/分

在 1953 年,日布拉 [4] 給出了抽水效應的理論根據。為了把它採用到蘭斯潮汐電站的設計中去,曾擬定和製造了特殊的橫軸水輪機,這種水輪機我們稱它為單一機組 «МОНОБЛОК» (它附有裝在特制殼體內的沉放在水中的發電機如圖 4)。同時,根據單水池雙方面操作方案設計的蘭斯潮汐電站可以增加自己的出力 15%,並且還可以使其裝機容量的 92% 和峯荷一致(而在卡可-傑富爾循環中能量損失為 25%,電能也比較昂貴)。但是,即使在水輪機逆向工作時,潮汐電站的部分日電能還不能納入負荷圖中,這種電能可用河川水電站的水庫來轉化(即儲蓄起來)。為轉化這種電能所必需的庫容 V_C 遠遠小於 V_M 。

因此,根據上述情況,我們認為單水池兩方向操作的裝置,對

加入電力系統的潮汐電站來說，是最為有效的，所以，針對這一方案，我們建議一個潮汐調節的方法如下。

在大多數我們感興趣的海岸地帶，每晝夜有二次潮汐波（圖 5 中的正弦曲綫）。

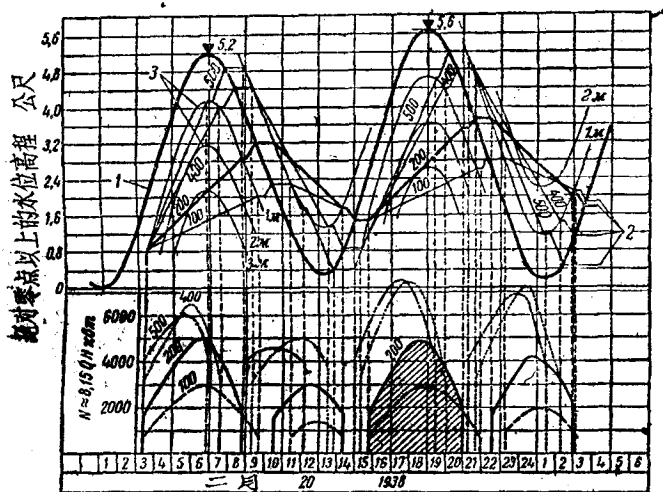


圖 5 在固定起始水頭下按最大出力的潮汐調節

$h_{Hq} = h_{KON} = 1$ 公尺

海灣面積 1 平方公里

潮波頂高 5.44 公尺，

1—海水位。

2—不同流量 Q 時的潮汐電站池內水位。

3— h 綫=不變數；

4— Q 綫=不變數；

出力圖上的虛綫部分相對於最大出力時的情況，其餘部分以粗綫表示。

為了獲得潮汐電站最有利的運行，應該如何轉化潮汐波進入用壩攔斷的河段里去呢？

可以規定無數個方案，在這些方案中，都將保證水頭或出力不變，改變操作周相或使水池蓄水和潮期相適應等等。但是上面已經證明，這種調整潮汐電站出力的企圖並沒有效果。所以在選擇潮汐電站的運行方式時，其關鍵性的問題是在於保證最大出力的要求。上述研究說明，能符合這一要求的只有那些在最大程度上

接近于潮汐天然周期的方式,这就是說,潮汐电站操作接近于假定流量(在某一变幅范围内)和潮汐电站操作周相的移动是固定不变时^①。这种限制使这一問題成为选择怎样的流量值才能得到最大的發电量。

由于用分析法求解这一問題的困难(即当水头低于 0.5 公尺时,水輪机不能工作而使函数的連續性受到破坏),建議用圖解法來進行在潮汐流量通过电站流段时的潮汐流量調節計算。这方法就是在于繪制一系列出力曲綫圖,出力为各种平均流量的函数 [$\vartheta = f(Q)$]。这种曲綫圖如圖 5 上面部分所示,在圖 5 中,当海中的水位是按正弦曲綫变化时,流段里的水位系按直綫变化。在圖

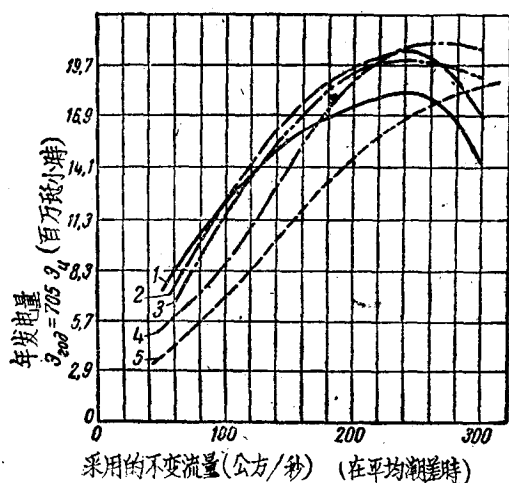


圖 6 取决于不变(規定波幅)流量和起始水头的發电量($A=5.44$ 公尺, $F=1$ 平方公里)

1. $h_{нач}=0.5$ 公尺, 2. $h_{нач}=1$ 公尺, 3. $h_{нач}=1.5$ 公尺,
4. $h_{нач}=2$ 公尺, 5. $h_{нач}=2.5$ 公尺。

① 事实上,由于采用了抽水方式,当为了使潮汐电站的运行方式適合于用电負荷圖,潮汐电站的工作周相有所移动时,这种条件就被破坏掉。但是固定流量調節,仍放在潮汐电站設計的第一階段進行,因为它能够使我們有可能找出潮汐电站的“按水流”最有利的运行方式,这种方式在今后可看作是平均的方式,潮汐电站的实际运行方式將圍繞此种方式而变动。

中繪出了一些直線束，它們相對於當起始水頭（或終了水頭）不變時各種固定流量值。

此圖的下面部分表示在各種流量的情況下電站出力的變化。

圖 6 中繪有曲線 $\vartheta = f(Q, h_{\text{нач}})$ ，每根曲線均按相似於圖 5 的曲線數據各 $h_{\text{нач}} = h_{\text{кон}}$ 不變數繪制。根據曲線圖 6，可以選出在經濟方面符合潮汐電站最大出力的最有利的運行方式（當計算潮差為 5.44 公尺時，由上述方式得出的最有利的運行方式用陰影表示，如圖 5）。

由於潮期是有規律的（在特性相同的地區），因而，用上述方法求得的最有利的出力曲線圖可以繪成其他任何潮差的出力曲線圖。為此，必須相應地改變出力的刻度比例（乘上所研究的潮差平方和計算的潮差平方比例係數，即 $K = 0.0336 A^2$ ）。如果把這種出力的比例擴展應用到各種不同的潮差（如圖 7 所示），則可得出潮汐電站出力的通用曲線，它在面積為 1 平方公里的情況下對任何海灣的任何潮差都很適用。

曲線圖 7 為潮汐的日周期。由於潮汐系列以太陰月為周期是對稱的，因此可在平均潮差的情況下確定潮汐電站的年出力。

根據圖 7 亦可導出簡單的潮汐電站參變數公式（其本身結構形式相同於公式 $N = KQH$ ），但式中的變數並不是水頭和流量，而是表現潮汐電站特性的潮汐的平均潮差（ A_{cp} 公尺）和水池面積（ F 平方公里）數值。為此，如果將按曲線圖求出的年出力除以用公式 $\vartheta_n = 1.97 \times 10^6 A_{cp}^2 \times F$ 度確定的能量，並稱此比例關係，等於 0.315，為利用係數 K_1 （依電站的利用方案而定）的話，則 $\vartheta_{\text{год}} = 1.97 \times 10^6 K_1 A_{cp}^2 F$ 度，但對於單水池双向工作的電站來說，則 $\vartheta_{\text{год}} = 0.62 \times 10^6 A_{cp}^2 F$ 度。這種電站用曲線圖即可得出參變數公式： $N_{\text{гем}} = 250 A_{cp}^2 F$ 瓩； $N_{\text{мин.нач}} = 82 A_{cp}^2 \cdot F$ 瓩； $h_{\text{нач}} = 0.185 A$ ； $Q_{\text{пас}} = 37 FA$ 秒公方。顯然，通用曲線圖及上述公式，只可用來初步估計所需研究的壩址和可能發出的電力，因為其中並未考慮到

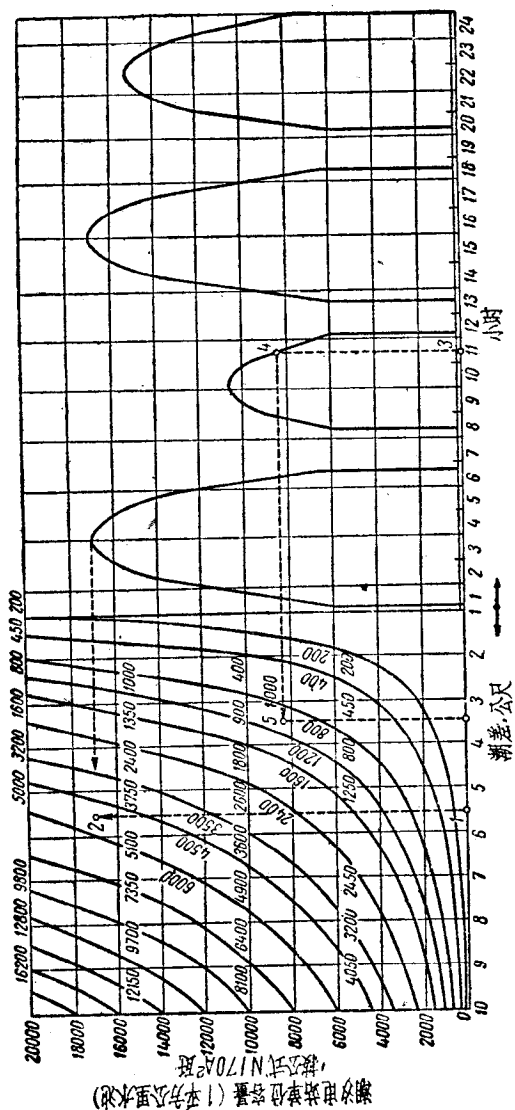


圖 7 確定潮汐电站在任何潮差情况下的出力通用曲线圖

运用此圖的例子：根据潮差（例如 5.65 公尺）需要求出潮汐电站的最大出力，现引一垂直綫 1 与水平綫相交，这水平綫是从容量曲线引出的，容量的未知数（5130 瓦）在点 2 决定。求潮汐电站在已知時間內（10 时 30 分鐘——占 8）的出力，从点 8 引垂直綫与电站出力綫相交——4，容量可用插补点 5 数值的方法求出，点 5 是当潮差为 3.4 公尺时与垂直綫相交得出。

漲潮和退潮的時間可能不平衡，冰的影響和干面積的存在。所有這些因素在將來設計階段應該考慮到的，但為勘定潮汐電站蓄水池特性，這些公式是足夠正確的了。

有了電站每晝夜（圖 7）和每月（圖 3）的出力曲線圖，以及潮汐電站操作的參變數後，就可以決定其在電力系統中的作用和地位。潮汐電站的容量和電力系統容量的比值取決於電力系統的結構和用電負荷曲線圖的特性，但在一般的情況下，潮汐電站的容量應該小於水電站容量，為了保證航運、供水和衛生所需的河水流量。據薛佛倫潮汐電站設計資料，在與火電站聯合操作時，潮汐電站的出力不能超過所需最小容量的 20%。

為了利用沒有列入用電負荷曲線圖內的潮汐電站的電能，在與潮汐電站聯合運行的水電站上應該設置補充的重复容量，按我們提出的公式決定其數值。

$$\Delta N_{nc} = V_c = t_{ep}。$$

式中 V_c ——不是直接利用在用電負荷曲線圖內的潮汐電站每晝夜蓄能值。

t_{ep} ——潮汐電站中轉化為在負荷曲線圖內運行部分電能的操作時數。

從公式中可以看出， ΔN_{nc} 值將永遠比 N_{nc} 小得多。為了查明在現實條件下的重复容量值，以及為了查明由於實現上述潮汐電能的利用和納入系統的方法而起的效果，我們來研究巨型潮汐電站可能加入大型聯合電力系統工作的例子。

根據我們的計算，白海潮汐電站的建築物沿科努生-莫爾若威茨-伏羅諾夫海角用切斷整個麥哲海灣的方法（壩長 100 公里，壩高 15—50 公尺），可以獲得 900 億度電能。然而，甚至在最近 20 年遠景中，這樣大量的電能由於不適合河流水電站的出力而不能利用。沿科努生和阿勃拉莫夫切斷海灣的東面淺水部分，壩高達 20 公尺，估計當 $N_{ycm} = 160$ 萬瓩的時候，這裡可以獲得保證電能 360