

可較傳統潮汐發電產生 較多發電量的潮汐發電法

A method for generation of electricity by tidal power that is superior in generating capacity to traditional ones

卓胡誼*

黃文川**

Yi Jwo_Hwu*

Wen-Chwan Hwang**

*崑山科技大學電機系 教授

**崑山科技大學電機系 講師

*Professor, Department of Electrical Engineering, Kun Shan University of Technology

**Lecturer, Department of Electrical Engineering, Kun Shan University of Technology

摘要

本文提出一種可較傳統潮汐發電產生較多發電量的潮汐發電法。其特徵係一內含儲水槽、浮力室、發電機室之發電箱，利用閘門操作，使在滿潮時，發電箱內之水位高於滿潮水位，以增加發電量，俾使總發電量較傳統潮汐發電為多之發電方法。

Abstracts

A new tidal power generation method, which is superior in generating capacity to traditional ones, is proposed in this paper. To increase generation capacity, a special generative tank is fabricated. The tank is divided into three areas: one is for storing water, another is for creating buoyancy, and the other is for setting generators. Through operating valves in the tank, the water level inside it at the flood tide period will be higher than outside and then the power generation capacity will be increased.

關鍵詞：潮差發電、抽蓄發電、時間電價

Keyword: Tidal power; Pumped-storage plant; The time-of-use electricity tariff

壹、研究背景與動機

石油、天然氣、煤…等，消耗性能源日益枯竭，原油價格急速飆升，各項物價隨之上漲，再加上京都議定書的通過造成全球二氧化碳等溫室氣體排放量管制的壓力，使低污染的再生能源研發工作愈來愈受重視。有鑒於此，英國計畫投入 500 萬英鎊(約相當於三億一千萬新台幣)於歐克尼島成立歐洲海洋能源中心，專門研究波浪能與潮汐能，期望能將四面環海的英國所擁有的海洋能充分開發利用。台灣自產能源嚴重不足，97% 的能源都仰賴進口，所幸台灣與英國一樣，是一個四面環海的島嶼，擁有開發海洋能的優勢，雖然台灣海域的潮差較小，但若可以設法增加發電量，則仍然相當值得開發。

貳、先前技術

一、雙向發電

目前最常被採用的方案是以雙向發電機使在低潮與滿潮時都可以發電。我們可以推

導得知其在低潮與滿潮時的發電量相同，而其總發電量為

$$G_4 = \eta_G R A H_t^2 \quad (1)$$

其中 η_G 為水輪發電機組的效率，A 為潮池內部底面積（平方公尺）， H_t 為潮差（公尺），R 為液體密度（公噸/立方公尺）。缺點為如果低潮或滿潮時段其中之一恰好為用電的離峰時段，則所產生的電力將反而使電力過剩的問題更嚴重，而且離峰電價較低，將會使收益降低，成本提高。

二、間接潮汐發電之裝置

中華民國新型專利第 7226516 號申請案提出的間接潮汐發電之裝置，主要是以活塞、連桿、缸體等裝置，利用潮差將海水抽吸到水庫儲存，最後使水庫內的海水經由水輪發電機流向外海來進行發電。缺點為大多數地區一天只有兩次低潮與滿潮，換句話說，一天只能抽水四次，所能抽取的水量有限，而且必須另外修築水庫，故成本高昂，目前仍無任何被採用的紀錄。

三、低潮發電法

作者先前的研究獲准中華民國發明專利第 131050 號『低潮發電法』，提出一種可以將用電離峰時段的發電量轉移到用電的尖峰時段的潮汐發電技術，因為尖峰電價高於離峰電價，故可提高收益。不過，可惜的是：如果發電箱的容積與傳統潮汐發電的潮池容積相同，那麼，雖然低潮發電法在用電尖峰時段的發電量比傳統潮汐發電法多，但是，低潮發電法的總發電量卻是少於傳統潮汐發電法的。本文則希望將其再改良，俾使總發電量能較傳統潮汐發電為多。

參、可較傳統潮汐發電產生較多發電量的潮汐發電法

一、符號說明

- 81: 儲水槽
- 82: 浮力室
- 83: 發電機室
- 84: 支撐架
- 85: 鋼纜
- 86: 儲水槽與發電機室之間的控制閥門
- 87: 浮力室與發電機室之間的控制閥門
- 88: 發電機室與發電箱外面水域之間的控制閥門
- 89: 滿潮線(實線表示當時為滿潮時段，虛線表示當時為低潮時段)
- 90: 低潮線(實線表示當時為低潮時段，虛線表示當時為滿潮時段)
- 91: 水底的地面
- 92: 儲水槽內的水位
- 93: 浮力室內的水位
- 94: 水輪發電機組
- 95: 抽水機組
- 96: 儲水槽與發電機室之間的連通管路
- 97: 浮力室與發電機室之間的連通管路
- 98: 發電箱

二、詳細說明

本文提出一種潮汐發電技術，係由儲水槽、浮力室與發電機室三大部分，組成如圖一所示，以密度小於液體密度的材質所製成的發電箱，用於固定發電箱的鋼纜與支撐

架，在儲水槽與發電機室之間設有儲水槽與發電機室之間的連通管路，並有儲水槽與發電機室之間的控制閥門；在浮力室與發電機室之間設有浮力室與發電機室之間的連通管路，並有浮力室與發電機室之間的控制閥門；在發電機室裝設有發電機室與發電箱外面水域之間的控制閥門，水輪發電機組，抽水機組，以及相關控制機構所組成，其特徵在於：發電箱包含儲水槽、浮力室與發電機室，利用閥門操作，使在滿潮時，發電箱內之水位高於滿潮水位，以增加發電量，俾使總發電量較傳統潮汐發電為多。操作步驟如下：

步驟一：最初，發電箱的所有閥門都關閉，發電箱的儲水槽與浮力室內部都沒有水，將發電箱以鋼纜固定在支撐架上，等到滿潮時，如圖二所示，將發電機室與發電箱外面水域之間的控制閥門與儲水槽與發電機室之間的控制閥門打開，使水經由儲水槽與發電機室之間的連通管路流入儲水槽內，推動水輪發電機組發電。

步驟二：當儲水槽內、外的水位等高時，將發電機室與發電箱外面水域之間的控制閥門與儲水槽與發電機室之間的控制閥門關閉，形成如圖三所示的情況。

步驟三：將固定用的鋼纜鬆開，使發電箱浮起，直到重力與浮力平衡為止，形成如圖四所示的情況。

步驟四：將發電機室與發電箱外面水域之間的控制閥門以及儲水槽與發電機室之間的控制閥門打開，使水經由儲水槽與發電機室之間的連通管路流出發電箱外，推動水輪發電機組發電。

步驟五：當儲水槽內的水流光時，將儲水槽與發電機室之間的控制閥門關閉，形成如圖五所示的情況。將浮力室與發電機室之間的控制閥門打開，使水經由浮力室與發電機室之間的連通管路流入浮力室內，推動水輪發電機組發電。

步驟六：當浮力室裝滿水時，將浮力室與發電機室之間的控制閥門關閉，形成如圖六所示的情況。將儲水槽與發電機室之間的控制閥門打開，使水經由儲水槽與發電機室之間的連通管路流入儲水槽內，推動水輪發電機組發電。

步驟七：當儲水槽內、外的水位等高時，將發電機室與發電箱外面水域之間的控制閥門以及儲水槽與發電機室之間的控制閥門關閉，設計此時使發電箱剛好回到支撐架上，將發電箱以鋼纜固定在支撐架上，形成如圖七所示的情況。

步驟八：等到低潮時，形成如圖八所示的情況。將發電機室與發電箱外面水域之間的控制閥門以及儲水槽與發電機室之間的控制閥門打開，使水經由儲水槽與發電機室之間的連通管路流出發電箱外，推動水輪發電機組發電。

步驟九：當儲水槽內的水流光時，將儲水槽與發電機室之間的控制閥門關閉，形成如圖九所示的情況。將浮力室與發電機室之間的控制閥門打開，改以抽水機組將浮力室內的水全部排到發電箱外。

步驟十：當浮力室內的水全部被排到發電箱外時，將發電機室與發電箱外面水域之間的控制閥門以及浮力室與發電機室之間的控制閥門關閉，形成如圖十所示的情況，回到下一次的循環。

肆、計算範例

假設液體密度為 $R=1$ (公噸/立方公尺)，發電箱材質的密度為 $r=0.8775$ (公噸/立方公尺)，發電箱為中空無蓋的長方體，其四周的厚度為 $d=0.1$ (公尺)，內部的長度為 $L_1=100$ (公尺)，內部的寬度為 $L_2=100$ (公尺)，則發電箱內部底面積 $A_i= L_1 L_2=10000$ (平方公尺)，外部底面積 $A_o=(L_1+2d)(L_2+2d)=10040.04$ (平方公尺)。儲水槽內部的高度為 $H=5$ (公尺)，浮力室內部的高度為 $h=2$ (公尺)，儲水槽與浮力室之間材質的厚

度為 $T_2=0.1$ (公尺)，發電機室與浮力室之間材質的厚度為 $T_1=0.1$ (公尺)，發電機室內部頂端與發電箱底端間的高度為 $H_0=2$ (公尺)，水輪發電機組的效率為 $\eta_G=0.88$ ，抽水機組的效率為 $\eta_P=0.88$ ，潮差為 $H_t=4$ (公尺)，發電機室及其四周與下方材質的平均密度為 $R_G=2$ (公噸/立方公尺)。因為先前技術一(雙向發電)為目前最常被採用的方案，所以在後面的計算範例中，將以先前技術一的總發電量做為比較的基礎。由公式(1)可以求出先前技術一的總發電量為 $G_1=140800$ (公噸·公尺) [為使比較時的條件相同，假設潮池內部底面積與發電箱內部底面積相同，亦即 $A=A_i=10000$ (平方公尺)]。

參考圖二與圖三，假設發電箱在低潮線以上的部份為 H (公尺)，則我們可以推導得知滿潮時段第一次的發電量為

$$G_A = \frac{\eta_G R A_i H_t^2}{2} = 70400(\text{公噸} \cdot \text{公尺}) \quad (2)$$

接著參考圖四與圖五，在圖五中，設計使儲水槽與浮力室內都沒有水且於水中漂浮，當其重力與浮力平衡時，發電箱在滿潮線以上的部份為 H (公尺)，則我們可以推導得知滿潮時段第二次的發電量為

$$G_B = \frac{\eta_G R A_i (A_0 - A_i) H_t^2}{2 A_0} = 280.76(\text{公噸} \cdot \text{公尺}) \quad (3)$$

接著參考圖五與圖六，我們可以推導得知滿潮時段第三次的發電量為

$$G_C = \eta_G R A_i \left[\frac{(A_i - A_0) h^2}{2 A_0} + (T_2 + h) h \right] = 36889.8(\text{公噸} \cdot \text{公尺}) \quad (4)$$

接著參考圖六與圖七，在圖七中，設計使儲水槽與浮力室內都裝滿水且於水中漂浮，當其重力與浮力平衡時，發電箱正好回到支撐架上，則我們可以推導得知滿潮時段第四次的發電量為

$$G_D = \eta_G R \left(\frac{A_i}{A_0} \right) \left[h A_i H_t + \frac{(A_i - A_0) H_t^2}{2} \right] = 69838.485(\text{公噸} \cdot \text{公尺}) \quad (5)$$

接著參考圖八與圖九，我們可以推導得知低潮時段的發電量為

$$G_F = \frac{\eta_G R A_i H_t^2}{2} = 70400(\text{公噸} \cdot \text{公尺}) \quad (6)$$

接著參考圖九與圖十，我們可以推導得知低潮時段抽水的耗電量為

$$D_G = \frac{R A_i \left(\frac{h^2}{2} + T_2 h \right)}{\eta_P} = 25000(\text{公噸} \cdot \text{公尺}) \quad (7)$$

本文所提方法的總發電量為

$G_A+G_B+G_C+G_D+G_F=70400+280.76+36889.8+69838.485+70400=247809.045$ (公噸·公尺)，是先前技術四(雙向發電)的總發電量為 $G_4=140800$ (公噸·公尺) 的 1.76 倍。本文所提方法的淨發電量為

$G_A+G_B+G_C+G_D+G_F-D_G=247809.045-25000=222809.045$ (公噸·公尺)，是先前技術四(雙向發

電)總發電量的 1.58 倍。

伍、結論

本研究將中華民國發明第 131050 號專利再改良，使總發電量較傳統潮汐發電增加，由例題顯示，可以使總發電量增加增加 76%。本文相關內容已經獲准中華民國發明專利第 205679 號，歡迎相關產業洽談授權合作相關事宜。

陸、致謝

感謝國科會計畫編號 NSC-93-2213-E-168-017 予以經費補助，特表謝忱。

柒、參考文獻

1. L. B. Bernshtein, "Tidal power development – A realistic, justifiable and topical problem of today", IEEE Trans on Energy Conversion, Vol. 10, No. 3, pp. 591-599, 1995.
2. R. J. Fostiak and H. R. Davis, "Electrical features of the rocky mountain pumped-storage project", IEEE Trans on Energy Conversion, Vol. 9, No. 1, pp. 206-213, 1994.
3. L. B. Bernshtein, "Tidal power plants in Russia", IEEE Power Engineering Review, pp.18-19, 1994.
4. Derek Lovejoy, "Some current trends in renewable energy for developing countries", Renewable Energy, Vol. 5, Part I, pp. 215-224, 1994.
5. Michael Jefferson, "Global prospects for renewable energy", Renewable Energy, Vol. 5, Part I, pp. 5-11, 1994.
6. T. J. Hammons, "Tidal power", Proceedings of The IEEE, Vol. 81, No. 3, pp.419-435, 1993.
7. J. P. Frau, "Tidal energy: promising projects La Rance, a succesful industrial-scale experiment", IEEE Trans on Energy Conversion, Vol. 8, No. 3, pp. 552-558, 1993.
8. D. M. Parker, "Environmental implications of tidal power generation", IEE Proceedings-A, Vol. 140, No. 1, pp. 71-75, 1993.
9. R. Ramakumar, Nicholas G. Butler, Alonso P. Rodriguez and S. (Mani) S. Venkata, "Economic aspects of advanced energy technologies", Proceedings of the IEEE, Vol. 81, No. 3, pp. 318-331, 1993.
10. T. J. Hammons and A. G. Geddes, "Assessment of alternative energy sources for generation of electricity in the UK following privatization of the electricity supply industry", IEEE Trans on Energy Conversion, Vol. 5, No. 4, pp. 609-615, 1990.
11. A. C. Baker, "Tidal power", IEE Proceedings-A, Vol. 134, No. 5, pp. 392-398, 1987.
12. D. Prandle, "Simple theory for designing tidal power schemes", Adv. Water Resources, Vol. 7, pp. 21-27, 1984
13. Yi Jwo-Hwu, "Electric power generation at the ebb tide", Electric Power Systems Research, Vol. 48, pp. 31-35, 1998.
14. Yi Jwo-Hwu, "Electric power generation at the flood tide", Journal of Technology, Vol.15, No.4, pp.589-594, 2000.
15. Yi Jwo-Hwu, "Electric power generation in the peak period part I: single material", Proceeding of the 19th symposium on electrical power engineering, pp. 269-273, 1998.
16. Yi Jwo-Hwu, "Electric power generation in the peak period part II: two materials", Proceeding of the 19th symposium on electrical power engineering, pp. 942-946, 1998.
17. A. C. Baker, "Tidal power", IEE Energy Series 5.
18. 卓胡誼,"低潮發電法",中華民國發明專利第一三一〇五〇號,2001.
19. 邱文肚,"間接潮汐發電之裝置",中華民國新型專利第七二二六五一六號申請案,1983.