

雙向發電加低潮抽水的潮汐發電法

卓胡誼 黃文川

崑山科技大學電機工程系

摘要

本文提出一種雙向發電加低潮抽水的潮汐發電法。其特徵係假設滿潮時，恰為用電尖峰時段，低潮時，恰為用電離峰時段之發電方法，在低潮時發電，待潮池內外水位等高時，改以抽水機將潮池抽乾，待滿潮時，其發電量可增加，致使總發電量增加。

關鍵詞：潮汐發電、抽蓄發電、時間電價

壹、研究背景與動機

石油、天然氣、煤…等消耗性能源日益枯竭，因此，開發再生能源顯得非常重要。尤其，在最近幾個月內，原油價格由每桶 32 美元急速飆升到每桶 52 美元，漲幅超過六成，各項物價並隨之上漲，似乎有演變成第三次能源危機的態勢，再生能源的研發也因而更為迫切。此外，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，也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，因此，積極投入海洋能的研發。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。而且，除了台灣本島之外，各個離島也都可以發展潮汐發電，有助於解決離島電力短缺，與電價昂貴的問題。

貳、先前技術

一、只在低潮時發電

只在低潮時使海水經由水輪發電機，由潮池流向外部海域來進行發電。我們可以推導得知其發電量為

$$G_1 = \frac{\eta_G R A H_t^2}{2} \quad (1)$$

其中 G_1 為發電量(公噸-公尺)， 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)。

缺點為如果低潮時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，所以較少被採用。此外，滿潮時的水位差未加以利用，非常可惜。

二、只在滿潮時發電

只在滿潮時使海水經由水輪發電機，由外部海域流入潮池來進行發電。我們可以推導得知其發電量為

$$G_2 = \frac{\eta_G RAH_t^2}{2} \quad (2)$$

缺點為如果滿潮時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。此外，低潮時的水位差未加以利用，非常可惜，所以較少被採用。

三、在滿潮時抽水並在低潮時發電

在滿潮當潮池與外部海水間的水位相等時，以抽水機再繼續將海水抽入潮池內，假設使潮池內的水位增加 H_b (公尺)，且潮差為 H_t (公尺)，則在低潮時將可以有 $(H_b + H_t)$ (公尺) 的水位差可用來發電。我們可以推導得知其發電量為

$$G_3 = \frac{\eta_G RA(H_t + H_p)^2}{2} \quad (3)$$

我們可以推導得知其耗電量為

$$D_3 = \frac{RAH_p^2}{2 \eta_p} \quad (4)$$

其中 η_p 為抽水機組的效率。

缺點為如果低潮時恰好為用電的離峰時段，而滿潮時恰好為用電的尖峰時段，則抽水所用電力的價格（尖峰電價）將遠高於發電所產生電力的價格（離峰電價），結果可能得不償失。而且，因為在滿潮時抽水，所以必須將堤壩的高度增加，將會使成本大幅增加，所以較少被採用。

四、雙向發電

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皆為

$$G = \frac{\eta_G RAH_t^2}{2}$$

故其總發電量為

$$G_4 = \eta_G RAH_t^2 \quad (5)$$

此方案為目前最常被採用的方案。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。

五、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，流向外部海域來進行發電。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。

六、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、雙向發電加低潮抽水的潮汐發電法

本文提出一種潮汐發電技術，係由堤壩(81)於岸邊圍成潮池，設置於堤壩(81)底部的潮池內外水域之間的控制閘門(82)，水輪發電機組(83)，抽水機組(84)，以及相關控制機構所組成，其特徵在於：在低潮時以抽水機組降低潮池內的水位，使滿潮時的發電量增加。操作步驟如下：

步驟一：最初潮池內外水域之間的控制閘門(82)關閉，潮池內完全沒有水，等到滿潮時，形成如圖一所示的情況，將潮池內外水域之間的控制閘門(82)打開，使潮池外的水流入潮池內，推動水輪發電機組(83)發電。

步驟二：當潮池內外水位等高時，將潮池內外水域之間的控制閘門(82)關閉，形成如圖二所示的情況。

步驟三：等到低潮時，如圖三所示，將潮池內外水域之間的控制閘門(82)打開，使潮池內的水往外流，推動水輪發電機組(83)發電。

步驟四：當潮池內外水位等高時，將形成如圖四所示的情況，此時改以抽水機組(84)將潮池內的水全部排到潮池外。

步驟五：當潮池內的水全部被排到潮池外時，將潮池內外水域之間的控制閘門(82)關閉，形成如圖五所示的情況，回到下一次的循環。

肆、計算範例

假設液體密度為 R (公噸/立方公尺)，潮差為 H_t (公尺)， η_G 為水輪發電機組(83)的效率， A 為潮池內部底面積 (平方公尺)，低潮線(86)與水底的地面(87)之間的高度差為 H_u (公尺)，參考圖一與圖二，我們可以推導得知滿潮時段的發電量為

$$G_A = \frac{\eta_G R A [H_t + H_u]^2}{2} \quad (6)$$

接著參考圖三與圖四，我們可以推導得知低潮時段的發電量為

$$G_B = \frac{\eta_G R A H_t^2}{2} \quad (7)$$

接著參考圖四與圖五，我們可以推導得知抽水的耗電量為

$$D = \frac{RAH_u^2}{2\eta_p} \quad (8)$$

其中 η_p 為水輪發電機組的效率。

因為先前技術四(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，將以先前技術四(雙向發電)的總發電量做為比較的基礎。假設潮差 $H_t=5$ (公尺)，潮池內部底面積 $A=100^2=10000$ (平方公尺)，液體密度 $R=1$ (公噸/立方公尺)，水輪發電機組的效率 $\eta_G=0.88$ ，抽水機組的效率 $\eta_p=0.88$ ，低潮線(86)與水底的地面(87)之間的高度差為 $H_u=5$ (公尺)。

則由公式(5)可以求出先前技術四(雙向發電)的總發電量為 $G_4=220000$ (公噸-公尺)，因為先前技術四(雙向發電)為目前最常被採用的方案，所以，將以先前技術四(雙向發電)的總發電量 G_4 做為比較的基礎。

由公式(1)可以求出先前技術一(只在低潮時發電)的總發電量為 $G_1=110000$ (公噸-公尺) $=0.5G_4 < G_4$ 。

由公式(2)可以求出先前技術二(只在滿潮時發電)的總發電量為 $G_2=110000$ (公噸-公尺) $=0.5G_4 < G_4$ 。

為使比較時的條件相同，假設抽水使先前技術三(在滿潮時抽水並在低潮時發電)潮池內的水位增加 $H_p=H_u=5$ (公尺)，則由公式(3)可以求出先前技術三(在滿潮時抽水並在低潮時發電)的總發電量為 $G_3=440000$ (公噸-公尺) $=2G_4 > G_4$ ，再由公式(4)可以求出先前技術三(在滿潮時抽水並在低潮時發電)的總耗電量為 $D_3=142045$ (公噸-公尺)，故先前技術三(在滿潮時抽水並在低潮時發電)的淨發電量為 $G_3-D_3=297955$ (公噸-公尺) $=1.35G_4 > G_4$ 。

由公式(6)可以求出本文所提方法，在滿潮時段的發電量為 $G_A=440000$ (公噸-公尺)。

由公式 (7)可以求出本文所提方法，在低潮時段的發電量為 $G_B=110000$ (公噸-公尺)。

故本文所提方法的總發電量為 $G_A+G_B=550000$ (公噸-公尺) $=2.5G_4 > G_4$ 。

由公式 (8)可以求出本文所提方法，在抽水時的耗電量為 $D=142045$ (公噸-公尺)

故本文所提方法的淨發電量為 $G_A+G_B-D=550000-142045=407955$ (公噸-公尺) $=1.85G_4 > G_4$ 。

本文所提方法的總發電量，為先前技術四(雙向發電)總發電量 G_4 的 2.5 倍，換句話說，本文所提方法可以使傳統潮汐發電的總發電量增加 150%。即使在扣除抽水的耗電量之後，本文所提方法的淨發電量，仍為先前技術四(雙向發電)淨發電量 G_4 的 1.85 倍，換句話說，本文所提方法可以使傳統潮汐發電的淨發電量增加 85%。

值得一提的是：雖然先前技術三(在滿潮時抽水並在低潮時發電)可以使傳統潮汐發電的總發電量增加 100%，或者使傳統潮汐發電的淨發電量增加 35%。但是，請注意，先前技術三(在滿潮時抽水並在低潮時發電)在實施前必須增加堤壩的高度 H_b (公尺)，將使建廠成本大幅增加。而本文所提雙向發電加低潮抽水的潮汐發電法，則是以疏濬潮池底部淤積的方式來增加發電量，不但不會增加建廠成本，而且可以提供建築砂石，增加收入，最重要的是，可以使傳統潮汐發電的總發電量增加 150%，或者使傳統潮汐發電的淨發電量增加 85%。與先前技術三(在滿潮時抽水並在低潮時發電)相較，不但建廠成本更低，而且增加的總發電量與淨發電量都較多。

伍、結論

本研究將中華民國發明第 131050 號專利再改良，因為中華民國發明第 131050 號專利的方法，雖然在用電尖峰時段的發電能力增加，但是總發電量卻比傳統潮汐發電法還少，本文則將其再改良，其特徵係假設滿潮時，恰為用電尖峰時段，低潮時，恰為用電離峰時段之發電方法，在低潮時發電，待潮池內外水位等高時，改以抽水機將潮池抽乾，待滿潮時，其發電量可增加，致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為傳統潮汐發電量的 2.5 倍，亦即使總發電量增加 150%，或者使傳統潮汐發電的淨發電量增加 85%。本文相關內容已經獲准中華民國發明專利第 205684 號，歡迎相關產業洽談授權合作相關事宜。

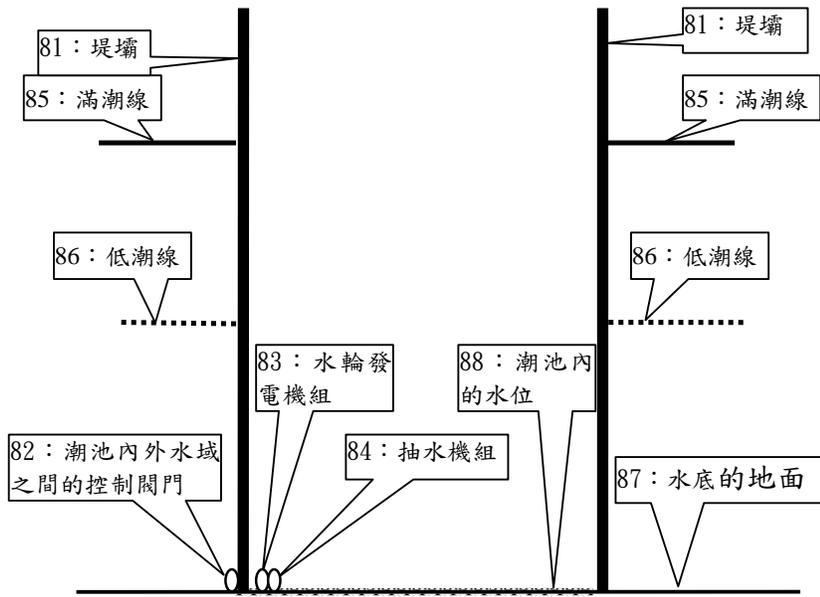
陸、致謝

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。

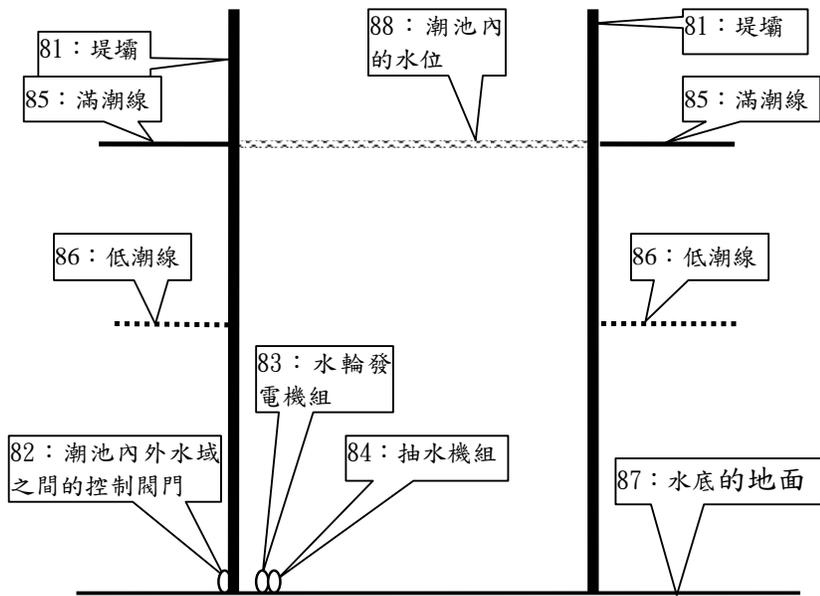
柒、參考文獻

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

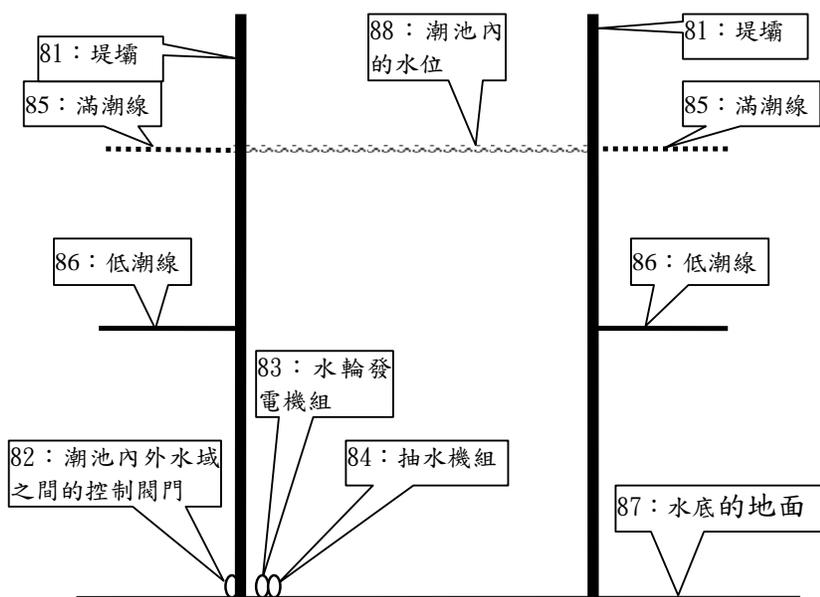
- Proceeding of the 19th symposium on electrical power engineering, 269-273.
18. Jwo-Hwu, Yi. (1998). Electric power generation in the peak period part II: two materials, Proceeding of the 19th symposium on electrical power engineering, 942-946.
19. Baker, A. C. Tidal power, IEE Energy Series 5.



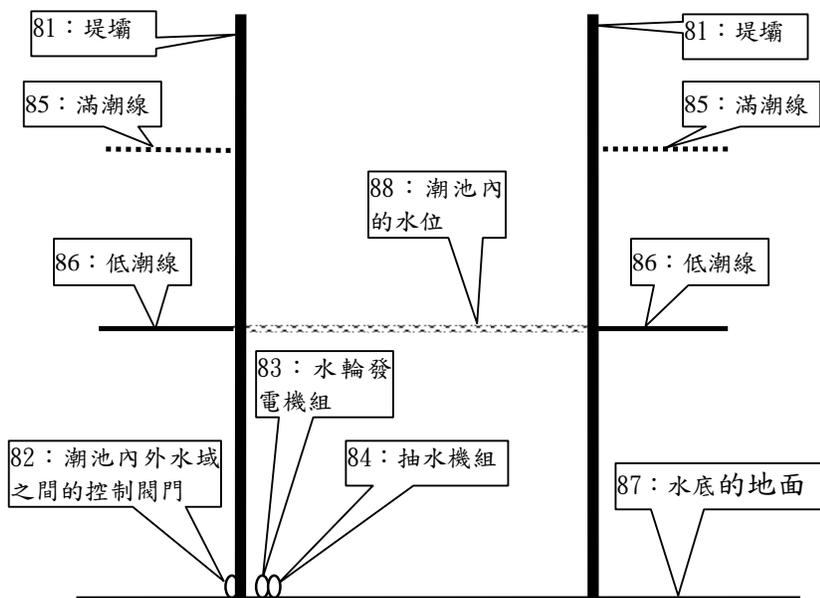
圖一



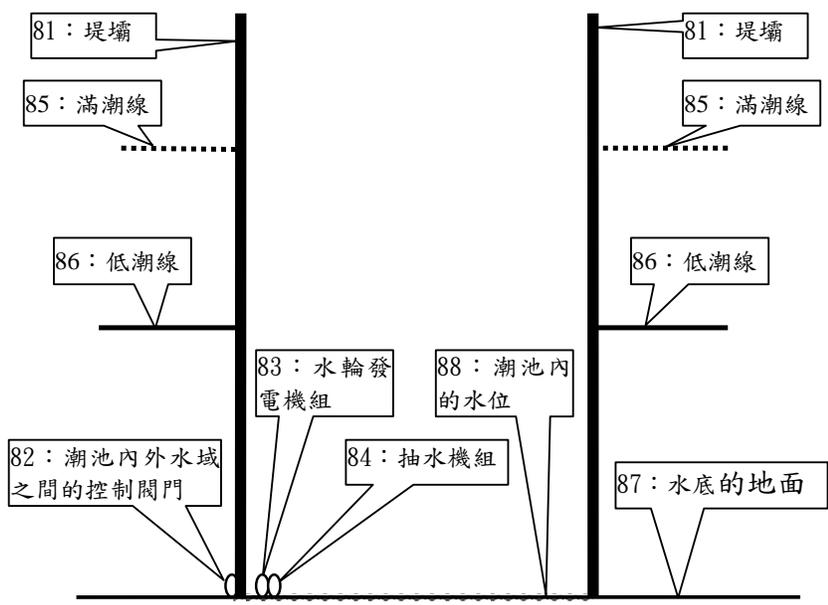
圖二



圖三



圖四



圖五

A tidal power generation method with two-way generation plus pumping at ebb tide period

Yi Jwo-Hwu Wen-Chwan Hwang

Department of Electrical Engineering, Kun Shan University

Abstract

This paper proposes a tidal power generation method with two-way generation plus pumping at ebb tide period. This method was devised on the assumption that the peak period of electricity consumption coincides with the flood tide period while the off-peak period is concurrent with the ebb tide. At the ebb tide period, water from a tidal power basin is led into the sea to generate electricity. As soon as the water level inside the tidal power basin is equal to that outside the basin, the rest of the water in the tidal power basin is pumped out. By doing so, the power generation capacity at the flood tide period will be increased. This generation method is superior in generating capacity to traditional methods.

Keywords: Tidal power, Pumped-storage plant, The time-of-use electricity tariff