

105 學年度「機電實作專題成果展」
構想書

作品中文名稱：

實現浮標自主發電感測器之永續綠能呼拉圈運動獵能
器

作品英文名稱：

An energy harvester based on hula-hoop motion applied
for self-power sensors on a buoy

國立中山大學／ 機械與機電工程學系／ 朱珮瑤／ B023021002

國立中山大學／ 機械與機電工程學系／ 李宜蓁／ B023022017

國立中山大學／ 機械與機電工程學系／ 邱聖傑／ B023022025

指導教授：王郁仁 助理教授

主辦單位：國立中山大學機械與機電工程學系

一、 摘要

本專題以波浪的推動具有源源不絕的動能為主體，研究如何使橫搖與起伏運動的動能達到耦合效應，進而增加能量的有效轉換效率，將動能轉換成電能提供給浮標上的感測器使用。目前將已初步建立的橫搖運動方程式以及橫搖加上起伏運動之方程式進行發電量模擬，調整配重塊位置使獵能裝置能夠產生呼拉圈式運動[2]，並使起伏和橫搖運動耦合至獵能裝置以達到能量耦合效應，並利用 ANSYS Maxwell 模擬磁鐵與磁場的磁力線圖，選擇使用最佳化的二維形態磁路。

關鍵字：呼拉圈式運動、能量耦合效應、配種塊位置、二維形態磁路

二、 動機與目的

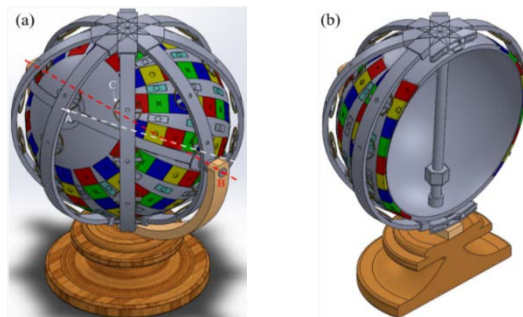
環境意識已成為未來發展之重要趨勢，然而監測海洋參數的感測器使用顯得更加頻繁，但感測器的工作壽命常常受到電池的限制，拋棄的電池也將造成環境二度汙染，若不妥善處理，未分解的物質，將可能殘留於大自然當中，日積月累而危害到人體健康。因此本專題期望利用獵能器達到感測器的自主式發電，永續發展不是一件事，它是一個方式，必須循序漸進並推廣以達到環境保護，以綠色能源的方式供電。

三、 研究內容

1. 獵能器運作說明及其運作原理

(1) 獵能器之結構與運作說明

我們的獵能器需要有 2 個旋轉自由度，來獵取浮標在海上受海浪拍打之運動動能，因此我們參考了萬向接頭的結構，設計了如圖一（a）之獵能器，獵能器能繞 A 軸和 B 軸旋轉，擁有 2 個旋轉自由度，磁鐵磁化方向如圖一（a）圖中所示，採用二維排列的霍巴陣列，中間黏貼磁鐵之圓球使用純鐵製作，因純鐵有導磁效果，表面會有較好的單位磁通量密度，最外面有線圈架固定線圈之位置，當中間黏有磁鐵之鐵球旋轉時，磁鐵和線圈產生相對運動，使線圈產生感應電動勢從而發電，而從圖一（b）獵能器剖面圖中可看到中間有一個螺帽，藉由調整螺帽位置可改變特徵長度 L^* 使獵能器與浮標運動耦合，產生較大的發電量。



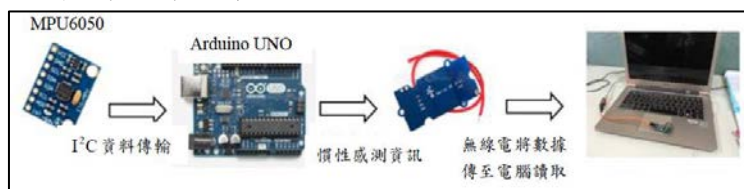
圖一 (a)獵能器結構圖 (b)獵能器剖面圖

(2) 獵能器運作原理

A. 浮標三個自由度的量測方式：

若浮標設計為非軸對稱，則以起伏、橫搖與俯仰最為顯著，這三個自由度的動能也最大，因此本計畫決定獵取橫搖、俯仰以及起伏運動的能量並輔以磁場的作用進行發電。利用微控制器 ArduinoUNO、慣性感測元件和無線電模組去量測海面上浮標的三軸加速度與角速度[8][9]。

本次所使用的慣性感測器型號為 MPU6050（三軸加速度計+三軸陀螺儀）[10][11]，實驗流程圖如圖二所示。



圖二 讀取慣性感測器流程圖

最後採用慣性感測元件讀取之 X 軸和 Y 軸角速度以及 Z 軸的加速度，再利用數值積分中的梯形法將所讀取的角速度及加速度分別積分為角度及位移，得到我們所求的結果。

B. 磁路設計：

使用 ANSYS Maxwell 分析多極化陣列磁鐵和霍巴陣列磁鐵兩者排列方式產生的磁通量密度，擷取距離磁鐵 2mm 處的區域之數據，將截取出的磁通量數據用 Excel 做計算，求得多極化陣列磁鐵之磁通量密度為 $1.4952 \times 10^5 \text{ Wb/m}^2$ ；而霍巴陣列磁鐵之磁通量密度為 $2.6985 \times 10^5 \text{ Wb/m}^2$ 。比較兩者，發現霍巴陣列磁鐵之磁通量密度為多極化陣列磁鐵的 1.8 倍，由於磁通量密度越大，發電量會更高，因此我們選用磁通量密度大的霍巴陣列磁鐵。

之後分析一維排列的磁鐵（如圖三（a））與二維排列的磁鐵（如圖三（b））兩者的磁通量密度，分析兩者的單位磁通密度後得出一維排列磁鐵的單位磁通密度為 $0.001792 \text{ (T/mm}^2\text{)}$ ，而二維排列磁鐵的單位磁通密度為 $0.006102 \text{ (T/mm}^2\text{)}$ ，由數據中可以發現，二維排列磁鐵的磁通量密度為一維排列磁鐵的 3.4 倍，因此我們選用二維排列的霍巴陣列磁鐵來做磁路設計。



圖三 （a）一維排列磁鐵示意圖 （b）二維排列磁鐵示意圖

C. Mathematica 程式之發電量模擬分析：

藉由 Mathematica 程式模擬分析設定相同的基本參數（H、f、 τ 以及 C_T^* ）進行完整的發電功率計算與初步實驗驗證，運動方程式中 H 為質心到獵能器的距離， τ 為浮標橫搖角度， δ 為起伏位移， ω 和 α 分別為浮標橫搖角速度及角加速度， θ 則為獵能器相對於自身旋轉中心的旋轉角度，定義特徵長度 (L^*) 為慣性矩除以偏心量。

$$C_T^* = C_e^* + C_m^* , C_e^* \text{ 和 } C_m^* \text{ 為一般電磁阻尼與機械阻尼}$$

表一 單純橫搖與橫搖加起伏之運動方程式比較

橫搖運動方程式	$\ddot{\theta} + C_T^* \dot{\theta} + \frac{H\dot{\tau}^2}{L^*} \sin \theta = \alpha + \frac{H\alpha}{L^*} \cos \theta - \frac{g}{L^*} \sin(\tau - \theta)$
橫搖加起伏運動方程式	$\ddot{\theta} + C_T^* \dot{\theta} + \frac{H\dot{\tau}^2}{L^*} \sin \theta = \alpha + \frac{H\alpha}{L^*} \cos \theta - \frac{g}{L^*} \sin(\tau - \theta) + \frac{\ddot{\delta}}{L^*} \sin(\tau - \theta)$

基本參數： $H=1\text{m}$ 、 $g=9.81\text{m/s}^2$ 、 $f=1.1$ 、 $C_T^*=0.2$ 、 $\theta(0)=5^\circ$ 、 $\delta=0.1\text{m}$ 、 $\tau=15^\circ$

首先計算有無呼拉圈式運動時發電量大小的差異：

I. Heave+Rolling(無呼拉圈式運動)在 $L^*=0.56$ 之發電量為 1.16651 W。

II. Heave+Rolling(有呼拉圈式運動) 在 $L^*=0.7$ 發電量為 12.0874 W。

之後再計算橫搖搭配起伏運動時的發電量是否達到耦合效應：

I. Heave 在 $L^*=0.7$ 發電量為 3.10166 W。

II. Rolling 在 $L^*=0.7$ 發電量為 11.7816 W。

III. Heave+Rolling 在 $L^*=0.7$ 發電量為 12.0874 W。

由此結果可以得出橫搖搭配起伏運動時的發電量有達到耦合效應。

2. 主要功能及實用價值

將海面上波浪及海流等因素形成的震盪產生之動力，使線圈在特殊磁鐵排列下形成的增強磁場中移動，運用「電磁感應」原理將動能轉變為電能。浮標上安裝了獵能器後，在海上進行移動時，獵能器便能夠產生電能，並提供通訊軟體及感測器使用。

3. 重要性

- (1) 自源式發電：作為感測器的永久電源，實現浮標上所搭載的感測器永久使用壽命，例如溫度、壓力、氣體、水質監測等感測器，實現自源式發電。
- (2) 可再生能源：浮標置於海上，會受到波浪的推動與拍打產生上下振動的位能及左右搖擺的動能，將此能量轉換成電能，將是最直接且源源不絕的能量。
- (3) 提高穩定性：獵能裝置將動能轉換為電能，使得搖晃動能減少，有助於浮標能穩定進行監測。
- (4) 通訊定位工具穩定運作：將獵能裝置放置於浮標上，可以提供電能給浮標上的信號發送裝置，例如：衛星定位系統，用來追蹤浮標的位置和移動方向。

四、 結果與討論

1. 成本分析：

本獵能器結構主要使用五軸加工機從塊材加工而成，材料使用純鐵、304 不鏽鋼和 6061 鋁合金，依純鐵每公斤 60 元、不鏽鋼每公斤 60 元、鋁合金每公斤 97 元計算，材料費總共約為 1400 元，工件加工成本預估約為 20000 元，人工組裝預計花費 1 小時，以基本薪資計算 120/h，共花費 120 元，其他零件如彈簧、軸承，共約 500 元，而磁鐵

費用以燒結釹鐵硼 N48 等級磁鐵，依磁化方向體積大小不同，總計共 7900 元，因此我們所設計之獵能器成本約為 30000 元，但若以進行大量生產而論，將可減少原料塊材材料之浪費且能夠分攤設備費、程式費、廠房費用…等，便可以有效減少成本支出，使我們設計之獵能器在商品化方面更具市場競爭力。

2. 量產可行性：

以 Perpetuum 公司量產之 Free-Standing Harvester 為例，體積約 1 顆蘋果大小，最大輸出功率為 20mW，相較之下我們設計之獵能器雖然體積較大，但理論最大輸出功率為 12W，是前述 harvester 發電量的 60 倍，此外在適當的保存環境下，我們的獵能器之使用壽命相當長久，以使用 20 年估計，鋰電池約 2 到 3 年需更換，共須更換 6 到 8 次，而更換鋰電池所耗費的人力成本、材料成本極為昂貴，由於此獵能器之製作材料取得容易，均是一般常見材料，因此我們設計的獵能器具有量產之可行性。

五、 致謝

這項專題能有現在的進度，首先要感謝指導老師，中山大學——王郁仁助理教授，在專題執行期間，若不是教授用心指導並給予資源，本專題很難有初步的成果。在此，我們所有參與此專題的組員，向教授致上誠摯的謝意。

此外，要感謝參與專題的所有成員，專題執行期間大家非常團結，遇到瓶頸的時候，不但沒有放棄，且能互相鼓勵，才使專題能有現在的成果，謝謝所有人的付出與努力。

六、 參考文獻

- [1] 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫，成果報告，創新微型高能量密度換能器設計與實現，中華民國 100 年 10 月 31 日
- [2] 郝禹迪，以呼拉圈運動型式之獵能器增加船舶橫搖動能之擷取，碩士論文，國立成功大學系統及船舶機電工程研究所
- [3] 陳奕安，交流式磁流泵之分析與研究，碩士論文，國立清華大學動力機械工程學系碩士班，中華民國 99 年 6 月
- [4] 涂俊宏，無槽式管狀線性發電機之效能評估與可控直流鏈電壓設計，碩士論文，國立中山大學電機工程學系，中華民國 100 年 1 月
- [5] <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4430222>
- [6] 船舶六個自由度。網址：<http://slideplayer.com/slide/4235394/>
- [7] <http://www.perpetuum.com/news/Perpetuum%20FSH%20Free-Standing%20Harvester%20Available.pdf>
- [8] <http://www.makezine.com.tw/make2599131456/arduino14>
- [9] <http://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/>
- [10] <http://dory168.blogspot.tw/p/gy-521sensormpu-6050dmp-ic.html>
- [11] http://wiki.seeedstudio.com/wiki/Grove_-_Serial_RF_Pro