

物理 Physics Search 搜查線

第25期

COVER STORY

專案特搜 1

風力發電科學營 p.2



專案特搜 2

從埋頭苦幹到共備成長
再邁向實徵研究的教學之路 p.8



專案特搜 ①



風力發電科學營

麗山高中 / 教師 吳明德

前言

在本學期開始實施 108 課綱，各校開設的校本課程、探究與實作與選修課程就要上路。其中課程開設前，老師投入相當長的準備階段來開發課程、教案、試教與召開大量會議。但是對於我個人而言，遠不如直接舉辦短期營隊（註 1）來的更有成效。營隊可以立即修正課程執行的缺失，不用等到整學期結束，而且營隊的內容與時間更具彈性，更何況學生（學員）不限於本校的學生或老師，可以拓展講師以及學生（學員）的視野。

我擔任過許多科學營隊與研習講師。例如：航空科學、科學專題製作、帆船機器人、物理量測實驗、科學影片甚至科普閱讀等。在這些營隊與研習之中，風力發電是與學校科學課程聯繫程度最好的，也是極佳的跨學科主題統整議題。以美國國內最大的 STEM 比賽，也就是科學奧林匹克競賽 Science Olympiad，就有包含風力發電項目（註 2）。此外臺灣高中物理課程，

在電磁學方面可能要到高三才能深入，而且多偏向理論計算。反觀中國大陸，電磁學不但列入高二課程，內容還具備臺灣沒教授的電子與傳感器等內容（註 3）。這現狀令人十分憂心，當學生不了解物理學理的應用面，要如何選填工程相關科系？更何況學測對高三生學習物理有相當大負面影響（註 4），所以更有必要透過營隊，以及 108 課綱深具彈性的選修課程等予以補強。

未來學生在臺灣的工程相關需求分析，電機相關科系仍然搶手，但是重點已略有改變。半導體等微電子依然維持熱門，但電力傳輸與轉換、馬達發電機控制與感測器等領域，隨著風力發電再生能源、電動車、機器人產業發展有了新增的需求。而太陽能與風力等再生能源靠天吃飯極不穩定，需要大規模儲能設備，目前除了昂貴的鋰電池儲能外，傳統的水力抽蓄以及創新的壓縮空氣等機械儲能也需要機械、土木人才的投入。而離岸風電需要特殊船舶才能施工，這方面屬於造

船的領域。水下基樁的探勘與風場測量，地質與大氣等專業也不可忽視。所以經由風力發電科學營隊，透過主題營隊讓同學明瞭未來的職場需求動向。才能規劃自己的人生方向。

葉片設計與製作

對於一般物理老師而言，風力發電的渦輪葉片 (turbine vane) 要如何設計？用什麼材料製作？會是個大問題。本來以為我自己擁有將近四十年的模型飛機製作經驗，不知道削過多少支螺旋槳的老航模玩家（註 5），應該沒有什麼問題才對！後來事實證明自己會製作與指導同學及老師能夠製作完全是兩回事。

1. 民生國中風力發電營

在民生國中的風力發電營（註 6），考慮到國中生不會使用美工刀削巴沙木 (balsa wood) 葉片 (blade)。所以我採取先將巴沙木葉片浸水，如圖 1 所示，再綁在模具上固定出葉片各段的螺距角 (pitch angle)，接著再用烤箱烘烤定型，最後以砂紙簡單磨出流線型翼剖面 (airfoil)。這個葉片製作方式最大的關鍵是決定於烤箱的數量，每位同學要製作 3 枚葉片，每個烤箱最多可同時放置 5 個葉片模具，烤一次需要 5 ~ 10 分鐘，所以 30 位同學算下來，即使有 3 個烤箱同時烤至少也要花費一個小時以上。



圖 1(a) 旋翼模具與三枚葉片。



圖 1(b) 以繃帶固定浸溼葉片於模具。



圖 1(c) 葉片烤乾定型與槳轂。



圖 1(d) 葉片固定在槳轂上。



2. 在地遊學趣與新生營

在臺大與麗山舉辦的在地遊學趣與新生營中，如圖 2 所示，我改採用硬殼構造葉片，藉由中緣串聯葉根與葉尖的肋片，再用西卡紙作為葉片蒙皮，使用這個好處是容易調整風機葉片外形和葉尖與葉根螺距角，但缺點是葉片高速旋轉不夠堅固，而且葉片的尺寸必須製作較大一些才能容納肋片、中緣等構造。也就是說渦輪葉片的轉速會因此而降低，除非發電機還要加上齒輪組增速，依據法拉第電磁感應定律，發電機產生的應電動勢會因轉速降低而變小。



圖 2 在地遊學趣測試桁架葉片風力發電機（右側為徐志成老師）。

3. 仁愛國中與和平國中自然科教師研習

在仁愛國中與和平高中自然科教師研習，如圖 3 所示，我又改回以巴沙木製作渦輪葉片，方法改為以多層木片重疊，並展開成扇形後黏著，再將葉片簡單削磨成翼剖面。這方法製作出的渦輪葉片外觀是兩枚葉片，十分適合製作小直徑渦輪，也很適合作為解說螺旋與螺距等原理教具，缺點則為製作耗時外還會產生大量木屑與粉塵等問題。



圖 3 在仁愛國中教授以多層飛機木扇形葉片風力發電機。

4. 孫運璿基金會

由孫運璿基金會與台電公司舉辦的營隊中，如圖 4 所示，對象是高達 60 位的小學生，為了方便製作渦輪，事先用寶特瓶身裁出葉片。葉片並非沿瓶身軸線裁剪，而是夾 $15 \sim 25$ 度，葉尖與葉根片才能產生扭轉角度。但是寶特瓶葉片採用熱融膠黏著導致災難發生，不但有小朋友被熱融膠槍燙到，還發生因熱融膠溫度過高導致寶特瓶葉片扭曲變形。接著在泰國小學教師到麗山的 STEM 參訪研習中，我修正寶特瓶材質的缺點，改採用紙杯製作葉片如圖 5 所示。紙杯具有便宜而且容易剪裁與易於黏著特性，將紙杯葉片黏上竹籤，插入以多層塑膠瓦楞板作成的槳殼 (bub)，就可以調整葉片的螺距角。此外為了容易推廣與教學，渦輪葉片不帶動發電機，反而是以輪軸拉起重物，可以限定時間內（例如一分鐘內），風車所能舉起的重量總共有多少？（註 7）這作為競賽活動還可以增加營隊活動的樂趣。我還特別取名為大力士風車 (powerful windmill) 如圖 6 所示。



圖 4 在孫運璿基金會教授小學生以寶特瓶葉片風力發電機。



圖 5 剪裁紙杯製作風車葉片。



圖 6 泰國小學教師在麗山高中製作大力士風車。

對於風能或物理教學而言，功率是極為重要的物理量。如果假設重物是等速被拉升，平均功率等於單位時間的重力位能變化。若是重物為加速拉起，瞬時功率是拉力乘上瞬時速度，考慮到加速度後，拉力就會大於重物的重量。實驗時為了量測加速度，還必須使用錄影分析。大力士風車在機構來看可以教授簡單機械，渦輪屬於螺旋一種，還有拉起重物的輪軸，還有採用滾珠與自潤軸承減少轉軸的摩擦，風車的這些零件都能讓中小學生感受到科技與科學結合的實例。

發電機教學

在自製發電機方面，我也嘗試好幾種不同形式。最早是用線圈纏繞在瓦楞紙管上，管內還裝有強力磁鐵旋轉發電，雖然利用示波器可以觀測到所產生的交流電訊號，但是僅僅一、兩百匝線圈數目，還是很難超過足以點亮 LED 燈所需的 0.7 伏特電壓。接著，在地遊學趣的風力發電營，我改採盤式發電機 (disc generator)，在壓克力板上鎖上交替 N、S 極排列的四顆圓形磁鐵作為轉子 (rotor)，如圖 7(a) 所示，而四組線圈串聯作為靜子 (stator) 原本以為可以藉由多顆磁鐵與多極線圈，如圖 7(b) 所示，可以倍增應電動勢，結果事與願違。

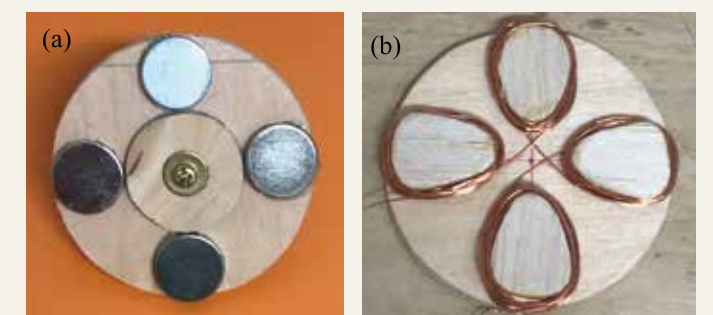


圖 7(a) 上圖為轉子含 4 顆磁鐵；(b) 圖為靜子線圈串聯。



後來追根究底才覺得自己十分可笑，如果磁鐵的 N 極相鄰另一顆磁鐵的 S 磁極，磁力線就不會通過線圈，而是朝向鄰近磁鐵，旋轉此種設計不良的盤式發電機，可想而知僅能產生微小電壓。上述盤式發電機的問題，解決之道就是將轉子磁鐵的相同磁極皆朝向相同軸向，而且磁鐵不能緊密排列，需留有相當大的空隙。當轉子旋轉時，靜子上的線圈，才有時通過磁力線，有時未通過磁力線，磁通量的快速變化才能產生出應電動勢如圖 8 所示，。

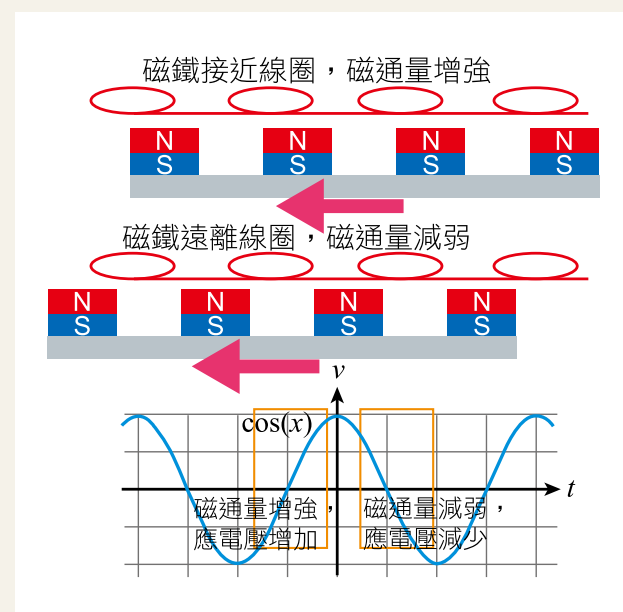


圖 8 轉子磁鐵與靜子線圈相對運動產生交流應電動勢。

雖然當時盤式發電機發生一些問題，但是在地遊學趣風力發電機營，發展出目前持續使用測試發電機的方法，就是發電機尚未安裝渦輪葉片前，可以使用電鑽直接驅動，觀察線圈是否能產生交流電訊號。在後來拍攝臺北酷課雲的高中物理發電機影片時，我就以自耦變壓器或調光器控制驅動磁鐵的電鑽轉速（註 8），測量旁邊線圈產生的電，之後的 2016 年第五屆數位化科學實驗研討會在東吳大學舉辦發表，以及在東海大學舉辦的 2017 年物理教學與示範研討會，我展示

電鑽發電機作為電磁感應教具，其中觀測交流電壓訊號的儀器由原本的示波器，改為經 3.5mm 音源接頭傳入平板內，並以示波器或頻譜等 App 分析，可以讓學生了解當發電機的轉速愈高或線圈匝數愈多、以及線圈面積愈大時，所產生的交流應電動勢振幅愈大。

結語

對於風力發電科學營這類沒有教科書，需要自編教材、教具與設計實驗的主題統整短期營隊，不像整學期的課程發生狀況可以下星期修正，老師必須當場即時處理，否則只好結束後待下次的營隊活動再改進。但是也因為是自己規劃與設計的內容，會思慮教學活動的內容細節，如果能持之以恆不斷教授，就會成為老師自身的專長與特色。

我以為身為「教員」才需要擔心教的好不好，成為「老師」則是制式的課程以外，要問自己對學問的態度以及具有價值的資歷是什麼？再過幾年後將要退休的我，不再關心學生能考上哪一間學校。反而在乎在中學時期，學生能否尋找到什麼才是足以燃燒生命，全心投入心力的那門學問。自己十分憂心近期的素養導向的命題趨勢，僅僅能訓練同學的閱讀與邏輯推理粗淺的一般能力，對於現今學生最欠缺的從學理規劃、執行實作與執著態度卻幫助不大。所以想藉由本文分享自己在風力發電營隊教學上失敗或成功的經驗，與諸位物理教育先進分享。

備註

- 註 1：吳明德，假日營隊課程納入學分對高中科學與實作課程的重要性，科技報導，2017 年 1 月。
- 註 2：吳明德，美國 Science Olympiad 的競賽項目風力發電機與橡皮筋動力直升機動手實作，物理學科中心 2017 動手做物理教學研討會。
- 註 3：吳明德，深圳科學高中參訪與兩岸高中物理之比較，物理教育學刊，2014 年 1 期。
- 註 4：吳明德，申請推甄制度對高中生學習物理的影響，物理雙月刊，2009 年 8 月。
- 註 5：吳明德，橡筋動力機 Little Baby 的製作與飛行（上）（下），遙控世界，1988 年 3、4 月。
- 註 6：吳明德，風力渦輪機葉片原理與實作，物理教育學刊，2012 年 1 期。
- 註 7：吳明德，紙杯風車舉重物，搞飛機學物理頻道，YouTube 影片。
- 註 8：吳明德，發電機，搞飛機學物理頻道，YouTube 影片。



專案特搜②



從埋頭苦幹到共備 成長再邁向實徵研 究的教學之路

中大壢中 / 教師 林欣達

前言

現今年是我踏入學校職場屆滿的第 5 年，若將過去在大學擔任家教班老師、研究所擔任課程助教、國、高中兼課、教育實習、海外教育替代役等的時間算進去，進入教學現場也將近 10 年之久。這個數字對於許多教育先進來說只是剛起步，但對我來說這些日子在教學領域中的探索、嘗試與衝撞，讓我有機會回頭看見自己走過的痕跡及調整的步伐。

回溯大學、研究所時期，無論是擔任家教班老師、課程助教、或是在國、高中兼課，基本上都是處在「獨立作業」的環境中，從備課、授課、到回饋都是由自己所主控，想當然「工作速率」自然就比較高，且教學的方法也能在幾次實戰後調整到相對穩健的模式。在當時以「詮釋」為主

的課程設計下，流暢的演繹課程至少能給自己及臺下的學生一點交代。

教學的起點

自從教育實習後，開始有機會以教學者的身分觀摩其他老師授課，也開始有實習夥伴能互相討論與共學，甚至是成為正式教師後仍有一群同科的夥伴能持續共同備課，在課程設計以「引導建構」為主流的時代中，提供了一股強大支持的力量。畢竟，引導的首要就是必須知道學習者的起點在哪裡？再者就是自己必須具備多種思考路徑的能力，以因應不同學習者的特性；最後，則是要掌握各種思考路徑上的盲點與其解決之道，才能有效率的協助學生學習。以上所談的這些，

就真的有賴一群夥伴的集思廣益，才能共同撐起的教學模式。

隨著社會的快速變遷，教學現場的許多概念也推陳出新：「帶得走的能力」、「翻轉教育」、「MOOCs」、「學習共同體」、「學思達」、「重理解的課程設計」、「遊戲化」、「素養」等。曾經，我也追著各式各樣的教育先鋒，期許自己在創新教育的浪潮上不落人後。但我漸漸發現，在突破框架之前我們應該要知道框架在哪裡，在創新發展之餘我們更必須知道其效果與限制，知其然要更知其所以然，才能有機會在快速變動的浪潮中站穩腳步繼續前行。擁有更深厚的學理基礎應該是自我成長的必經之路吧。

加入團隊

在加入臺科大 MEG 團隊（註 1）後，如 1 圖所示，開始培養自己在教育現場「研究」的能力。就如同這次發展高一基礎物理的素養活動——「科學名偵探」，如 2 圖所示，除了自己建構活動、與教師夥伴共備調整，更加入了「實徵研究」



圖 1 MEG 團隊研討。

圖 2 素養活動手冊、科學名偵探教具。





來確認教學活動的價值與意義。在研究中必須嚴謹的規劃要量測的學習效果，同時也必須回顧過往的教育研究做為往後發展的基礎，甚至在研究結果出爐後能夠找到持續改進與發展的方向。透過這次實徵研究回顧文獻的過程中，我才發現：「原來這種教學法已經有人研究過了…，原來效果是如此如此這般這般…，原來應該要注意這些這些…」如果我以前有先讀過這些研究論文，是不是在設計課程時能避免一些可能已知的錯誤？是不是能夠建構在他人的研究之上再繼續向前發展？是不是能更有所本、更能建立有所根據的、更適合師生教與學的教學方法 (Evidence-based education) ？

研究成果

今年的上半年我嘗試撰寫了兩篇國際研討會論文，其中一篇就是針對「科學名偵探」的實徵研究，發表在第十屆全球華人探究學習創新應用大會 (2019GCCIL)，如 3 圖所示，最終很榮幸的獲得本次大會論文發表的「一等獎」（註 2），如 4 圖所示。回顧這兩次的經驗，撰寫論文相對於日常的教學工作是一件孤獨且戰線甚長的工作，每每必須在夜深人靜且極度專注的環境下，從一系列量化的數據中整理出有意義的結果，搭配過往研究的文獻資料作為背景支撐，最終將這些研究成果訴諸於文字，有系統化、有脈絡的表達出來。相較於以往教師的工作性質，這真的需要一段時間適應。臺灣知名編劇暨導演徐譽庭曾在《誰先愛上他的》電影訪談（註 3）中提到：「編劇就是一個人跟一個人的戰爭，導演就是領軍帶隊打仗。編劇最寂寞的部分，就是你只能

伏案，自己跟自己對話寫劇本。」「怎麼成為一個好編劇？就是拿起筆跟紙，現在開始寫下第一個字，我們必須在錯誤當中不斷的學習。」這段訪談完全打中我心，我們常常扮演導演，站在前線帶領學生在知識的領域翻山越嶺克服困難；但鮮少扮演編劇，將教學現場的所見、所聞、所思記載下來。這次發表論文除了感受到學術上被肯定的喜悅，另一方面更開心能與大家分享教學現場實務的研究成果，也體會扮演編劇的甘甜喜悅——來的慢，但馥郁持久。



圖 3 第十屆全球華人探究學習創新應用大會發表。

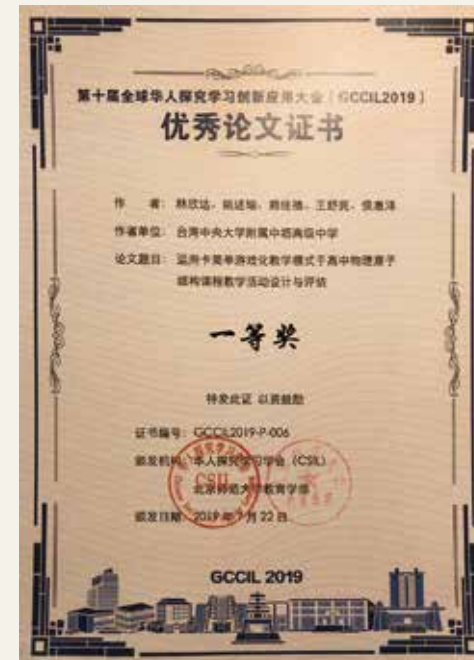


圖 4 2019 GCCIL 論文發表「一等獎」。

備註

註 1：臺科大 MEG 團隊為國立臺灣科技大學應用科技研究所 / 迷你教育遊戲研究團隊。

註 2：論文連結 QR Code



註 3：徐譽庭訪談連結：<https://www.youtube.com/watch?v=-zAGGdnC5UU>