

出版單位：中華民國科學教育學會
Association of Science Education in Taiwan, R.O.C

學會網站：<http://www.ase.org.tw>

學會粉絲團：<https://reurl.cc/E6K8zA>

ISSN：2616-8561

P.2 理事長的話 – 李松濤理事長

P.4 由國內外能源政策探討能源教育及其對科學教育之啟發
– 周鑑恒副教授

P.21 生物科學教具創意與創新開發課程設計
– 顏嘉宏副教授、鄭瑞洲副研究員



學會網站



FB粉絲團



理事長的話

李松濤 教授 國立臺中教育大學科學教育與應用學系

很榮幸擔任學會第37屆理事長，感謝各位理事、監事與學會成員之協助，在大家的付出與支持下，讓學會各項活動得以順利進行，更感謝每位師長持續關注科學教育的實踐與研究發展。本屆聘任之秘書長、各委員會主任委員與會計分別為：

委員會名稱	主任委員	備註
秘書長	潘儀庭教授	新聘
獎勵委員會	溫燮純理事	續聘
國際交流委員會	蔡俊彥理事	續聘
活動委員會	邱富源理事	續聘
學術委員會	吳聲毅理事	續聘
出版委員會	黃琴扉理事	新聘
會計	陳仕燁教授	新聘

感謝獎勵委員會溫燮純主任委員推動修改本會各獎項獎勵辦法，讓相關細節更為周全與完備，正值學會各項獎項申請期間（7月1日至9月10日），歡迎大家至官網查閱相關辦法、多多宣傳與申請。

在科學教育學刊的部分，感謝學刊總編輯蔡孟蓉教授及編輯團隊的協助，讓學刊能夠持續發展與成長，此對科學教育領域之學術交流著實重要。在此亦代表學會向所有歷屆主編與成員致以謝意，在大家的付出下，使學刊能夠持續為科學教育事業貢獻力量。

在每年年度盛事－科學教育國際學術研討會方面，衷心感謝國立臺灣師範大學科學教育研究所劉湘瑤教授和方素琦教授成功舉辦2023年第39屆科學教育國際學術研討會。今年，我們期待由國立高雄師範大學科學教育暨環境教育研究所林佳慶所長將於12月5日至7日在國立科學工藝博物館南館舉辦之第40屆科學教育國際學術研討會，本年度研討會主題為：面向AI世代的科學教育，我們誠摯地邀請各位師長與會，在此亦代表學會對各屆籌辦單位與師長們表達謝意。

關於學會本年度科普與推廣活動方面，感謝活動委員會邱富源主任委員於5月7日及7月18日辦理兩場大手拉小手活動；感謝學術委員會吳聲毅主任委員將於8月17日辦理「2024科學教育研究論壇」，歡迎大家共襄盛舉。



本期 e-News邀請兩位在科教實作與理論上均有專長的研究學者進行分享，第一篇文章邀請到萬能科技大學航空光機電系周鑑恒副教授撰稿，分享「由國內外能源政策探討能源教育及其對科學教育之啟發」，周副教授從世界能源議題轉變，乃至臺灣能源轉型教育之探討，均予以精闢分析，加上周副教授在能源議題上豐富的教案、教具開發經驗及探究實作實務操作經驗，給予科學教育領域具有遠見的建議，極具啟發性。再者，本期e-News第二篇文章邀請到國立屏東科技大學生物科技系顏嘉宏副教授與國立科學工藝博物館鄭瑞洲副研究員共同撰寫之生物科學教具創意與創新開發課程設計，兩位專家從生物學細胞分裂等學習困境出發，開發適合學生理解的生物學教具，並透過Klob經驗學習理論等進行課程設計，該教具開發與實務試教模組，對落實科普教育有極佳貢獻，亦能提供科學教育研究者反思如何透過課程與教具開發，深入進行實徵研究。上述兩篇文章的議題，均符合當代永續發展議題或STEAM及探究實作理論基礎，推薦給科學教育學群讀者，期盼本期e-News能為您開啟科學教育理論與實務的新火花!

理事長

李松濤

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授

一、前言

零碳排和碳稅時代之到來，漸漸收斂各國對化石能源之揮霍。零碳排的永續能源成為各國重視的焦點。雖然核能也可視為綠色能源，但核分裂電廠始終面臨核廢料儲存的棘手難題。而核事故的危險，也一直是使用核能時揮之不去的陰影。近年來核融合技術有不少新的進展，在美國的National Ignition Facility(註1)利用雷射慣性法，首度達成輸入核燃料的能量，小於所引發核融合反應所釋出之能量。全球最大的核融合研究計畫ITER設置於法國南部，由歐盟、俄羅斯、中國、印度、日本等35國共同合作，預計2035年獲得初步成果。台灣在Alpha Ring團隊帶領下，另闢蹊徑，試圖在無須極高溫的反應爐中進行核融合。也有人企圖以所謂Z箍縮引發核融合。在歐洲、韓國、日本、中國(註2)利用磁力局限高溫電漿的持續時間近年也屢創新高，顯示利用磁局限引發核融合反應的技術，也有值得期待的進展。

現階段台灣已然決定不再使用核能。因此，開發太陽能、海洋能和風能成為燃眉之急。一方面因為風力發電是過去幾十年成長最快、最為成熟的綠色能源科技，另一方面因為台灣海峽的風力資源非常豐富，因此，風力成為台灣能源轉型最為倚重的能源之一，規模空前的離岸風電廠計畫正迅速開展。為了能源轉型，有關發展風力發電的各項配套措施，也如火如荼的展開。諸如：風電產業在地化、風電之管理與法規之完備、風電的教學(註3)、風電的科學教育等等，在台灣近年來也有大幅進步。就風力發電的科學教育而言，除了許多中等學校的探究實作課程以風力發電為主題之外，相關風電的科教活動、競賽和研究，也如雨後春筍。

風車可謂是古今中外小朋友共同的玩具，大部分的人小時候或多或少都玩過風車，因為有從小接觸的經驗，再加上自古以來世界各地都有傳統的風車(註4)，所以人們常常誤解風車只是一種古老簡易的科技，嚴重低估風電科技的難度。

風力發電科技，涉及流體力學、航空工程，自動控制、能量傳輸、電力工程和機械工程，是一項跨領域科技，顯然有一定的難度，不易全盤掌握。又因為工程上專業分工、各司其職，所以完整了解風力發電科技全貌的資料，較為缺乏。其次，因為商業競爭激烈，一般廠商當然都不願意把自家的Know How當成科學教育的主題，廣為宣傳。這也是風電科技科教資料多不完整而且相當零星的原因。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授

再從出版書籍的角度來看，太專業或論及科學細節與公式的書籍，超出大多數讀者的程度，多乏人問津，對銷售量有害無益，所以鮮少科教出版物的作者願多花時間通盤研究整個風電系統的科學原理。

總而言之，風電全系統科技並不似眾人誤以為的那樣簡單，風力發電科教領域空白之處頗多，但是，也不至於困難到集台灣之力仍難以駕馭的程度。

近代人類在科技上的成就，與古代人類諸多工程奇蹟一樣，憑藉的是大規模動員人力與資源。諸如大型核融合技術之開發、大型民用飛機、或先進航空發動機的研究製造，因須動員太過龐大的人力、物力，對台灣而言，自然會感到吃力。但考諸相關電力設備、複合材料、自動控制等產業的實力，相關人才與技術之儲備，台灣都可以經適當調整蛻變而得。風力發電的營運、風電產業的發展，假以時日，台灣都可以做到獨立發展。風力發電不僅可以提供乾淨電力、促進能源轉型，風電產業將來也完全可以在台灣生根茁壯，甚至成為賺錢的產業。

從這個角度來看，為台灣能源政策培養新血的風電科學教育，意義重大，非但有助於台灣的能源順利轉型，更蘊藏著巨大經濟利益。

不可否認的是：風力發電的能源是風，但風力之變化不能完全預測，能量密度又低。因此，使用風電較為麻煩，風電也無法作為基載電力。因此自動控制成為風電榮枯的關鍵之一。不久將來人工智慧(AI)在台灣長足發展，用AI更準確地預估未來數小時(甚至更長時間)的風能，並隨時使風電能配合整個電網之電能供需，風力發電將成為真正成熟、可靠、方便的電力來源。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授

二、風電能源教育

實際上風電科學教育之完整參考資料非常罕見。作者先填補各部分空白之處，再研發一系列教具，逐一闡明各個要點，並以書籍等文字資料，有系統地組織系列教具和對應的重要原理，並攝製科普影集(註5)，形成「完整的風力發電教學資源」(註6、7、8)。

在科教內容方面：首先發覺之前風電科教領域原先尚未有的必要知識，理解風力發電系統至少包括三部分。

(一) 風車(註9)：風車本身是一款能量轉換器，風消耗它的動能對風車做功，使風車的動能增加；風車消耗它的動能，通過傳動裝置對發電機做功，使發電機動能增加。發電機發電時會受到磁阻力，使發電機的動能減少，經磁阻力把發電機減少的動能變成電力(能)。在這過程中，只有磁阻力矩和風力力矩是全機械系統的外力矩，於是在機械系統等速轉動時把風能轉換成電能。

風車的原理和設計，是航空工程中機翼專業原理的應用。風車葉片受到升力(lift)而在風中轉動時，風車葉片受到升力的條件和伴隨升力發生的現象，與機翼受到升力的條件和引發的現象，完全一致；但兩者利用升力的方式不同。風車葉片受到風力而轉動的方式，與帆船受側風而前行的方式一致。

機翼受到升力，都會發生下洗(down wash)氣流。風車葉片受到升力時也會發生同樣的現象，結果就是：風車葉片沿垂直風向的方向滑過流動中的風，而使葉片附近一定厚度的風減小速度。這現象使得：風車不能轉得太快，使葉片遭遇前方葉片減慢的氣流；也不能轉得太慢，而讓風能白白流走。於是，在不同風速的風中轉動的風車，須在最佳周速比(TSR)的轉速運轉，使得風車能從風中取出最大比例的風能。此最大比例之上限，約59.3%，稱之為貝茲極限。

設計風車時，則根據最佳周速比(與葉片數目相關)，設計葉片尖端和葉片各區段的安裝角(install angle)，再選擇葉片各區段的翼形(airfoil)，並注意葉片的輪廓形狀，最後再作諸如擾流板(spoil plate)、葉尖小翼(winglet)之類的精細改良。

操作風車時，也要利用發電機負載和增速齒輪的適當安排，只利用發電機的磁阻力，控制風車在最佳周速比的轉速轉動，以便獲得最大比例的風能；又因為只受到發電機磁阻力，所以獲得的最大比例風能又轉換成電能(力)。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授

(二) 傳動系統：傳動系統就是俗稱的齒輪箱，許多人認為齒輪箱的功能就是將風車的轉速增加，以更快的轉速驅動發電機。其實事情沒有那麼簡單。傳動系統的主要作用是：單單只用發電機的磁阻力(magnetic damping)，將風車控制在它的最佳周速比轉速轉動。'

因為發電機發電時，有一定要求的條件，所以與發出的電流成正比的發電機磁阻力，有一定的大小限制。但是，必須須使得：風車在最佳轉速轉動所受到的巨大力矩，與風車以此轉速驅動的發電機也在它的最佳條件(發電機內部消耗的電能最少)下發電時的磁阻力，互相抵銷，風車才會在其最佳周速比的最佳轉速轉動，獲得最大比例的風能。

因為發電機為了減少其內部消耗電能而產生熱，一般發電機所受的磁阻力矩通常不能直接抵銷風車所受的力矩，風車就不能被控制在最佳轉速轉動。所以要用適當增速比的傳動系統使得：風車在最佳轉速轉動時，發電機轉動發電時所受的磁阻力，經傳動系統作用，大到足以抵銷在最佳轉速轉動的風車所受的巨大力矩。使得風車能獲得最大比例的風能，並幾乎完全轉換成電力。

這部分理論其實就是教科書中提及的「功能原理」！學理上能量守恆有其一定的關鍵重要性，但在工程上，能量如何流動和分配卻是真正必須注意的重點。而在教學中，功能原理的重要性常未受到重視。作者曾因此撰寫「被遺忘的功能原理」一書(註10)。

(三) 發電機和其負載：發電機必須同時發出感應電動勢和電流，才會發生能量轉換，才發出電能。發電機轉速正比於感應電動勢，發電機所受的磁阻力(不是外力)正比於發電機中的電流。事實上，發電機的發電功率，等於感應電動勢乘以電流，等於發電機轉速乘以它所受到的磁阻力矩。

必須精確深入了解發電機原理，才能完整了解風力發電。可惜的是，在絕大多數教科書中，發電機原理只是法拉第定律的一個例題，於是許多人誤以為發電機原理只涉及法拉第定律，而造成教學上的明顯漏洞。以致於許多人自以為了解發電機原理，但卻無法處理或分析發電機的實際行為。事實上，發電機原理和馬達原理都是物理定律，物理定律是不容許暫時或在某些場合中失效消失的。發電機發電，同時涉及法拉第定律和電流在磁場中受力這兩項原理(當然其他所有的力學、熱學原理，也都仍然有效)。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授

為了修正發電教學的此項弱點，作者撰寫「發電原理和系列教具」一書(註11)(許多人誤以為老生常談)，並利用一系列創新教具生動有力地闡明發電原理，彌補原有的教學漏洞，此系列創作教具包括：①法拉第定律演示儀，由連接反向導通的兩組LED的感應線圈、鈷鐵硼超強磁鐵構成，從最簡單的原理開始，談發電機原理。②單擺發電機，說明同時有感應電動勢和磁阻力，根據功能原理，才會發生電能轉換，才完成發電(見圖1左側照片)。這教具在原理說明和設計細節方面，遠遠優於一般渦電流與磁阻力演示教具。③重力發電機教具，強調發電過程中能量守恆，要發出愈多的電能，就必須消耗愈多的能源。④微型火力發電機，利用巧妙的設計，使整具火力發電機通體透明，全部可以透視(見圖1右側照片)。演示：發電過程中，磁阻力將發電機動能轉換成電力，點亮LED燈；渦輪機則對一發電機做正功，補充發電機損失的動能。

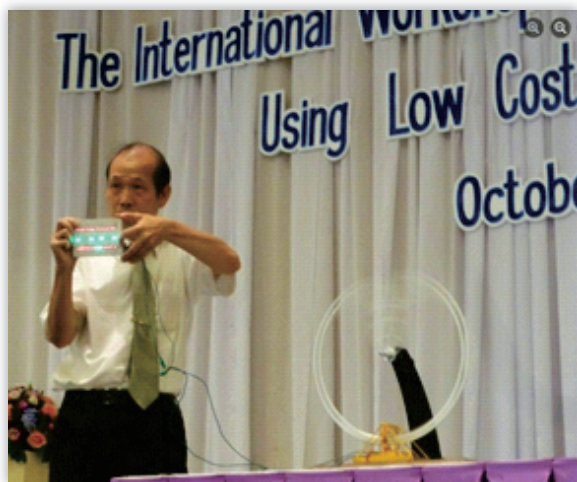


圖1：針對教科書中的發電機原理教學的問題，作者也研製了系列教具，從理論到實際應用，深入淺出地完整介紹“真正”的發電機原理。

教學資源之籌備：教學資源由「發掘並系統組織的各關鍵原理」、「闡明各關鍵原理的系列教具」、「實作具有專業風車特徵的風車之可行辦法」以及「闡明風電原理、配套系列實驗教具、以及風車製作方法的書籍等文字資料」所組成。

(1)上述三項關鍵原理論述。針對風力發電這項科學主題，作者先在原理上補齊缺漏的部分。提出了：「以受側風前行的風帆為例，來解釋風車葉片在風中受到升力而轉動」的教學策略；並闡明風車最佳周速比的由來和重要性；有系統地說明設計風車的具體步驟和考慮要點，也研發系列教具，具象地說明其中之要點；並開發數種可行的方法，用來輕鬆製作具專業風車特徵的風車，並大量引用航空科學的知識，使風車原理、設計、和製作，都進一步契合科學教育之所需。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授

更重要的是：在理論上應用「功能原理」分析傳動系統的增速比，揭露了傳動系統不為人知的真正功能；用修正後更為完整的論述，闡明發電機原理，以便有系統地正確掌握整個風力發電系統的科學原理。

(2)系列教具可分為兩部分。一部分系列教具闡釋「風車葉片如何受到升力」，例如：①演示機翼升力的儀器和解釋升力的解說圖板。②風帆車之帆受側風而前行，顯示帆受到升力而運動(見圖2最左側照片)。③將船帆摘下，直接再插在特製的單葉風車上，風車即轉動，風車葉片轉動，好似船帆受側風而前行。④在無風狀態，用細橡皮筋拉葉片與風帆，模擬葉片與風帆受到“奇怪”的升力而運動的情形。⑤鞦韆上的風車，證實葉片的確受到“奇怪”的升力轉動，此“奇怪”的升力有很大的下風方向分量(見圖2最右側兩幀照片)。⑥相對風向演示儀，演示最不容易懂的部分(見圖3)---不斷吹拂的風，相對於運動方向與風向垂直的葉片，其風向為何？以上形成解釋風車葉片受升力而轉動的精巧系列教具。

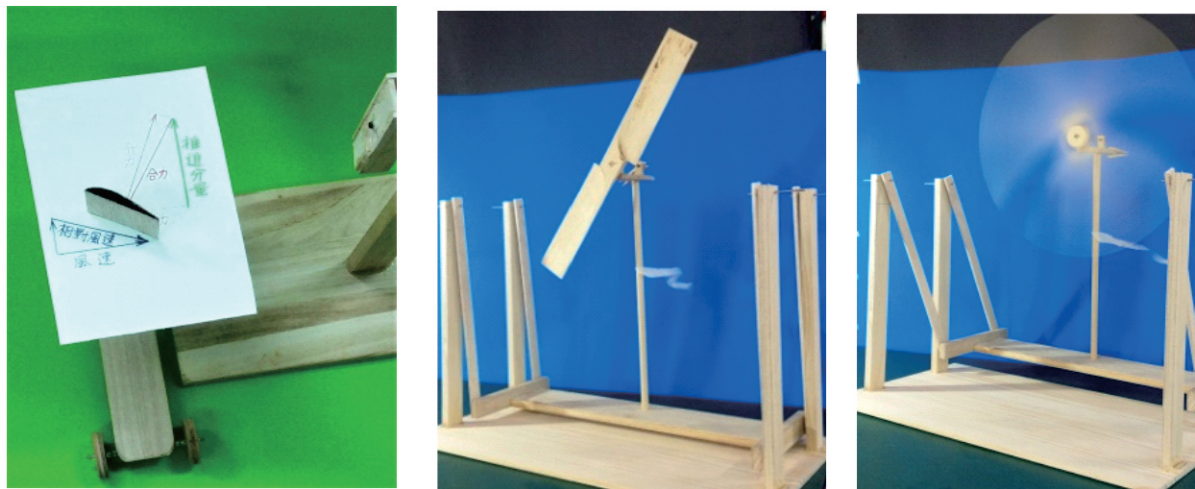


圖2：套在機翼、船帆和葉片上的解說圖版，圖板上畫出原始風向(對地風向)、相對風向(相對轉動中的葉片、船帆)、攻角、帆或葉片運動方向、升力和阻力(左圖)。依理論分析，風車葉片所受的升力和阻力之合力，有很大的向下風方向的分量。將風車放在鞦韆板上，葉片旋轉時所受到的升力和阻力的合力，確實能將鞦韆推向後方，這實驗明確證明：轉動葉片的合力，確實有很大的向下風方向的分量。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授

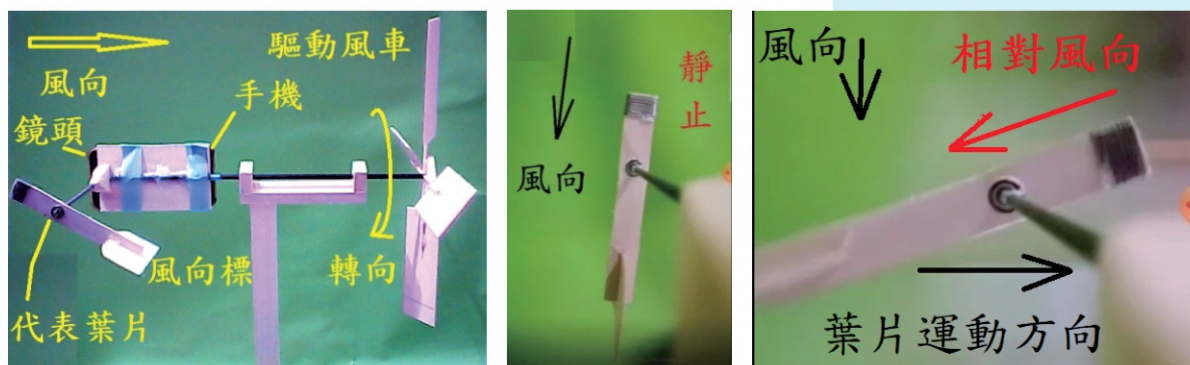


圖3：手機隨風車轉軸轉動，盯住轉動中的葉片(代表葉片的圓桿)上的風向標，利用Line視訊功能，就可在另一手機上，根據風向標的指向，看到相對葉片的風向，確如理論分析所決定的相對風向。

另一部分系列教具凸顯「設計風車的具體步驟和考慮要點」，配套的系列教具有多件，包括有：①旋轉中利用滑盤(Swash plate)改變葉片安裝角，而改變轉速的儀器，證實風車轉速與安裝角的關係。②葉片各區段安裝角可調整改變，以證實依序調整葉片各區段安裝角，風車才有較佳的性能；另外也用同軸轉動的兩組葉片，證實內側葉片的安裝角須大於外側葉片的安裝角，兩組葉片才能一起轉動，說明如果此兩組葉片合而為一葉片，葉片近穀部的安裝角要較大，這也是為什麼真實葉片不是一平面的原因。③葉片翼形(airfoil)明顯影響風車性能之演示儀等，限於篇幅在此暫不一一贅述細節，只提出一具畫龍點睛的靈魂教具(見圖4)。

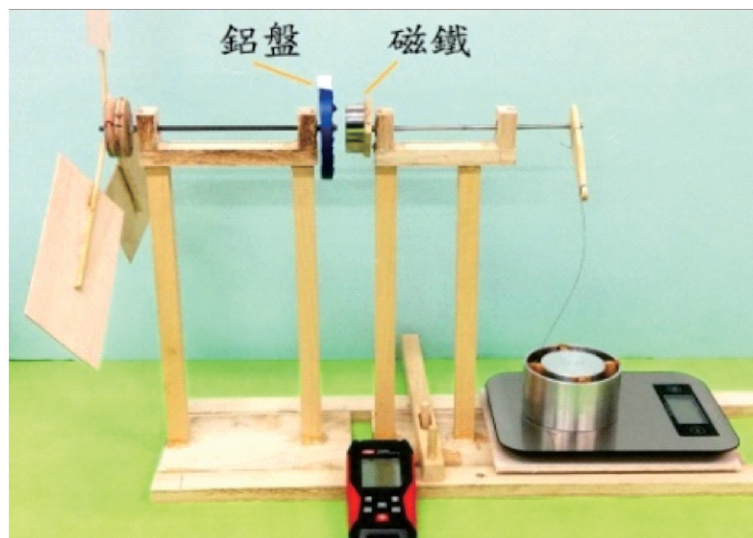
常見的科教活動中：用風車轉軸捲起重物的實驗，其實只演示低轉速時風車所受的風力力矩；或用風車轉動發電機，測發電機輸出電壓，但僅僅測電壓，其實根本無法測出風車性能，也就是說，並沒有直接測出不同風車轉速時風傳遞能量給風車的功率，事實上無法展現風車的性能。將風車接上微型發電機，測發電機電壓，多了發電機，難免將問題複雜化，且仍然只測某一轉速的情形。這幾種常見的測量方式，造成了探索風車性能時的普遍性盲點與迷失概念。

值得注意的是：必須測出風車被風做功的功率和轉速的關係曲線(換言之，要在各不同轉速測風車所受的力矩)，才能真正反映風車的性能。這具創新教具才真正測出了風車的性能(轉速/功率曲線)，而能夠分辨：兩葉風車、三葉風車、四葉風車之功率-轉速關係曲線；葉片形狀不同、不同安裝角葉片製成的風車，也能夠從風對風車做功率和轉速的關係曲線，看出優劣。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授



功率

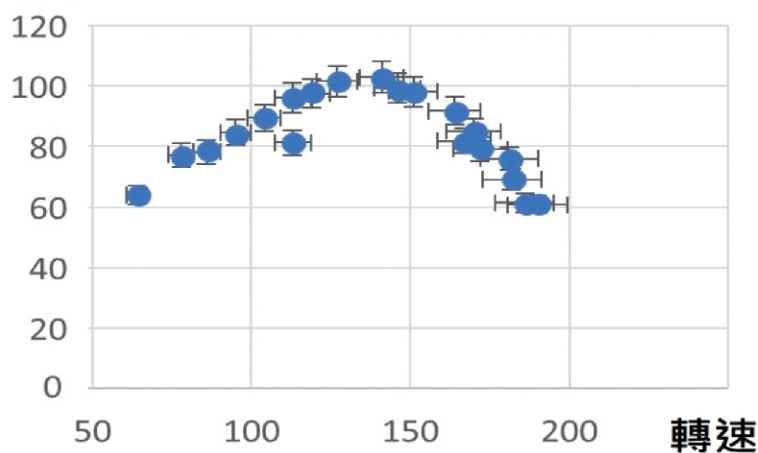


圖4：這是真正能顯示各個風車性能的儀器，能顯示某風車「轉速和功率的曲線」，真正測量風車的性能。這具創新教具的全圖，照片中間下方的儀器用來測轉速，右方的電子秤用來測力矩(上排左側照片)。可以更換測試的風車(上排右圖)。此教具獲得「2023高雄國際發明暨設計展」競賽金獎(下排左圖)。某具風車之轉速(橫軸、單位為：RPM)與風對風車做功功率(縱軸)之實驗數據(下排右圖)。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授

(3)作者為了推廣風電科教，研發多種可行的方法協助學習者製作風車。有些方法廉價、簡易，有些方法旨在製作更符合要求的風車，引導有興趣的讀者享受動手實作的樂趣，並在作中學其中的奧秘。在此僅展示其中兩種製作方法(註8)。見圖5，左側兩幀照片簡介方法一，兩片桐木板用AB膠黏在一起，以便能夠製作出葉片根部較大的安裝角，也可以製作出更接近理想的翼形(air foil)。右側三張照片則顯示的方法二，使用自製木質模具、配合類似複材的技術，以三片巴沙木片代替碳纖維，用AB膠黏妥，雖翼形(airfoil)不夠完美，但在各區段的安裝角大致能符合要求，最終製成的風車也有不錯的性能。



圖5：用切削的方法製作木製風車。轂部區段用雙層木板加厚後再加工，使得木製風車更滿足完美的設計要求(左側兩幀照片)；用複材技術製作巴沙木複材風車(右側三張照片)。

(4)為了整合有關風電的各種原理、各種實驗和動手作教具，筆者撰寫多本風電相關的書籍(註6、7、8)，可作為教師上課的參考資料，也可以作為參加KidWind競賽或其他風電比賽的參考書(風力發電20問、風力發電系統競賽手冊、風力發電全系統不為人知的關鍵原理)。

轉譯的工作還有成長的空間：基於兼顧實驗和理論的「教學資源」，已經可以形成相當深入精緻的「風力發電課程」，供中學以上學校教學使用，作為政府推動風能落地生根的「教學資源」。然而此項工作之工作量相當大，目前將此「教學資源」更廣泛地轉譯成通俗版本之工作，尚須投入更多的努力，以進一步精緻化此教學資源，擴大應用之範圍。

推廣活動與競賽：(1)約10年前作者與台東初鹿國中前校長合作，首先舉辦了台東縣國中生專業木質風車比賽。並連續成功舉辦了三屆，影響深遠。這是台灣專業風力發電比賽的濫觴(見圖6)。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授



圖6：與卓世宏校長合作，連續三年在台東舉辦台灣最早的三屆專業風車大型競賽(綠島的學校也派員參加)。

(2) KidWind風力能源競賽源自於十多年前美國一位中學教師發起的科教活動，現已以非營利組織的形態在美國每年盛大舉辦。台灣廣天儀器公司獲得亞洲各國競賽的代理權，並委託有興趣的單位舉辦KidWind風力競賽。與眾不同，用電腦輔助、同時測量電流和電壓的功率計，測量整個風力發電系統的「可用電力」。參賽者必須依真實風電系統之關鍵原理，研製迷你版的真實風電系統，並測量迷你版真實風電系統在一定風速下發出的「可用電力」。近年來，在美國的KidWind競賽逐漸與大學風力競賽以及風電商展融合，形成產學一體的科教形態。從2018年於桃園小巨蛋首次舉辦KidWind風力競賽，每年都吸引國、高中乃至於小學近80個隊伍參加(每隊4人加上指導老師)，作者自2018年首屆比賽至今均擔任評審。2021年，作者擔任副評審委員長，於頒獎典禮時致贈作者撰寫的風電著作給獲勝隊伍之指導老師，作為比賽參考用書(見圖7)。



圖7：致贈參賽獲勝指導老師每人一本作者撰寫的風力書籍。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授

2022年，作者擔任評審委員長，並於賽後發表講評，美國在臺協會(AIT)首度派員出席此項源於美國的亞洲國際聯賽，盛況空前(見圖8)。

2023年在台南舉辦的KidWind風力能源亞洲聯賽，吸引亞洲多國未來的協辦單位到場觀摩。感謝台電台中火力發電廠和大潭火力發電廠前廠長、森霸獨立發電廠薛人豪董事長，率部屬親臨現場支持、鼓勵(見圖9)，台灣電力的靈魂人物不啻為參賽小朋友的典範偶像；感謝因另有要事不克前來的前國科會副主委林敏聰教授，對此項積極配合能源轉型的風電科教活動多所鼓勵。



圖8：2022年作者評審各隊作品的場景以及賽後以評審委員長身分發表講評。



圖9：亞洲各國可能的承辦單位派員觀摩(左圖)。薛董事長人豪親臨嘉勉(右圖)，令賽場蓬蓽生輝。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授

(3)國際推廣。在此教學資源中，作者也以影集的方式講解風力發電科技。

圖10左側照片是應Discovery Channel拍攝團隊之邀，以作者設計製造的台灣第一架空中風力發電機為主題所拍攝的影片，以英文向國際播放。右側照片則是作者親自編寫腳本、協助演出的風電科教節目，目前在科普新視界(註5)中仍在播出(加上英文字幕)。



圖10：Discovery Channel播出作者設計的空中風力發電機；National Geographic則播出說明風電原理的影集。兩者都向國際放送。

因為風電科技在科教領域的完整科教資源確實稀少。作者以風電科技為主題的「教學資源」也受到國外科教界之重視，自2014年開始，曾分別於泰國、馬來西亞、寮國(見圖11)、印度(見圖12)、拉脫維亞(見圖13)、西班牙(見圖14)開展此項主題的科學教育。以科學會友，協助開展國民外交。



圖11：作者在泰國(左幀照片)、寮國(中圖)和馬來西亞(右)推廣的情形。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授



Chien Heng Chou shows the design of turbine

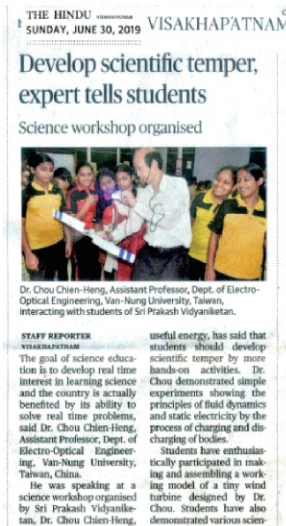


圖12：作者在印度推廣風電科教，青天白日國旗出現在印度新聞媒體、正式會議場合以及印度街頭的大型看板。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授



圖13：作者向拉托維亞教育部官員解釋風車原理(左)；指導該國高中資優生製作風車(右)。

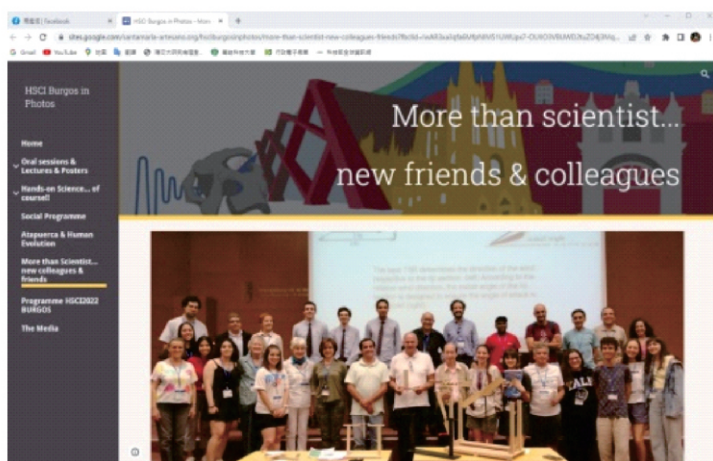


圖14：於2022年在西班牙舉辦的HSCI科教會議，作者以風電科教為題發表大會演講(plenary lecture)，風電系列教具在桌上。右側之照片為另外參加風電實作工作坊的外國教師製作、贈予作者的集錦照片。

支援我國的能源政策：這項獨特的風力能源教學資源，包括完整的實驗和周全的原理，文字資料齊全，內容全面深入，密切符合真實風電系統，足以使學習者掌握整個真實風電系統的所有重點原理，有效支持我國的能源政策，為台灣的風電產業的茁壯和風力電廠之成長培育無數新生的力量，也向社會大眾和決策單位提供中肯客觀的科學依據，為我國的非核能源轉型，增添科技的力量，爭取更多的支持。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授

三、對科學教育之啟發

世界各國的科學教育，其實都隱藏著不易察覺、卻影響深遠的瑕疵。科學教育，不同於歷史、地理、語文、數學之教育，即便科學中包含不少相當抽象的概念，但科學本身總是與真實世界有所關聯。然而，學生常將課本內容當成某種合理的邏輯來記憶，卻難以憑藉適當想像力，將所學的科學知識用於分析或解決真實問題。這使得科學教育淪為紙上談兵，學生只記憶課本論述，並記憶如何在考試中應用這些論述來解考題，但遠遠無法將所學知識與真實世界聯繫起來。科學教育的目的在於了解真實的自然，而不能只局限於了解書本中的內容敘述。這項隱晦的問題，使得科學教育之成效大打折扣，甚至徒勞無功。

近年來廣受重視的「探究與實作」科學教育；或著重於取得、創作知識的過程、而不只重視知識本身的科學教育，其實都著眼於從不同層次消除科學教育中紙上談兵、無法與實際現象連結的缺點。也就是說，學生學習科學的目的在用科學知識處理真實的問題，但學生學了科學之後，卻不知道如何運用所學解決實際問題。這項科學教育的缺點，用較先進的教學法，是可以一定程度地加以修正的。

風力能源教育，對科學教育有以下幾點啟發。本文的「風力能源科教資源」，包含了「補齊的原理」、「系列教具」、「實作方法」和「組織整理實驗和原理的書籍」，乃至於「影音資料」；在「內容方面」，不僅僅包括了比較吸引人們注意的風車，更涵蓋了同樣重要的傳動系統和發電機(含負載)，其完整性已足以構成精品課程，融入學校現行常規課程，甚至作為單一的課程，以現有教學形式擴展科學教育的內容，引領學生入門風電科技。

結合完整的原理，搭配系列教具(而非單一的教具)和動手作教具，其實已經發展出一種「科教方式」。所要教授的主題不是單一的知識點，而是一項完整的主題(零星片段的原理常不易應用)，學會完整的主題內容，全盤了解某項主題，所學的知識才方便應用，並作為進一步深入的基礎。而與理論教授和公式推導平行地利用有系統的多項教具，闡釋各原理的關鍵點；通過動手實作，更貼近真實地掌握科學知識。這項貼近融合教學法(integrative learning)的「教學資源」，還可以與周邊國家的科教產品作市場區隔。這個在理論上完整正確，在實驗上配合教學的「教學資源」，也許會是更為成熟的商品。雖然其中的原理內容和實驗項目仍能不斷增進，但此科教商品的樣式和此完整的教學資源，相信會流傳下去。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授

在先備知識匱乏的條件下，以風力發電作為探究與實作課程之主題，常無法獲得必要的學習經驗。此項風能教學資源，提供了「探究實作課程」不得需要的先備知識，有助於教師安排有意義的探究實作活動；另一方面，有了本風力發電教學資源之後，仍有不少有價值的主題值得探究，配合實作，學生於是能分析實驗數據的意義，充分發揮探究實作課程之精髓。為了提高科學教育的品質、落實科學教育的真正目的，除了探究實作的教學方式之外，還有諸如案例教學法(Case-Based learning)(註12)、任務驅動法(Task-Based learning)(註13)、融合教學法(Integrated Teaching Method)(註14)、協作教學法(Cooperative learning)(註15)等教學方法，各自都有優點，且都有助於避免紙上談兵、教學內容與真實世界脫節。但是，上述包括探究與實作教學法在內的幾種教學法都受限於巧婦難為無米之炊，教師都必須先掌握並不簡單的風電科技，才能夠適當安排教學活動和內容。例如：安排風能科技的小組實驗、主題研究，使學生在合作中學習知識、分享經驗和見解，促進相互學習、共同進步(協作教學)；將實驗與理論相結合，通過講解和實驗操作之交替進行，使學生對抽象的理論與知識有更直觀的理解(融合教學)；設計一系列有關風電技術的任務，如設計一個小型風機、優化風機效率，讓學生應用理論知識和實驗技能來完成任務，增強學生的實踐能力(任務驅動)；或利用實際風電的案例，結合實驗和理論，提高解決實際問題的能力(案例教學)(見圖15)。教師都必須要先深入掌握風電科技，才能落實這些教學法；而學生也須陸續獲得必要的先備知識才能在學習中有所收穫。



圖15：參加KidWind競賽，是案例教學和任務驅動教學不錯的搭配。

由國內外能源政策探討能源教育

及其對科學教育之啟發

萬能科技大學航空光機電系 周鑑恒 副教授

困難的是，跨領域的風電全系統知識在科教領域可用的教學資源殘缺不全，本文的風力發電全系統教學資源，提供相當完整的資料，以便教師在實務上能夠有效地落實上述各種改良的教學法。

此項教學資源涵蓋了風力發電全系統的各重要學知識、系列實驗教具、動手作教具、各關鍵原理等，如果進一步仔細評估與設計，都可以重新組合、取捨、增刪，同時也可以進一步轉譯、簡化、通俗化、普及化，並搭配更活潑、更平易近人的文字資料，以適應不同程度的學習者，使不同程度的學習者都能獲益。希望藉此文能引起更多教師注意這項有價值的工作成果，爭取更多適當的機會充分展示此教學資源所能提供的科教助力。

參考文獻

1. <https://www.youtube.com/watch?v=2kh6lk4-yag>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=jX3XZ32QTe4&t=9s>
3. 明新科技大學、臺大、海洋大學、逢甲大學、成功大學等學校都設有風力發電相關學程。
4. <https://www.youtube.com/watch?v=3qqifEdqf5g>
5.  台灣美麗的風力發電！- 風車【超異想進化論】-EP12 (youtube.com)
6. 周鑑恒，風力發電20問，民國110年，海峽前鋒文化事業有限公司，台北。
7. 周鑑恒、朱慶琪，風車、增速齒輪與發電機構成的風力發電系統競賽手冊，民國113年，海峽前鋒文化事業有限公司，台北。
8. 周鑑恒、Janchai Yingprayoon風力發電全系統不為人知的關鍵原理，民國113年，海峽前鋒文化事業有限公司，台北。
9. 牛山泉、山野正洋，小型風車設計及製造，賴耿陽譯，民國71年，復漢出版社，台北。
10. 周鑑恒，被遺忘的功-能原理，民國110年，海峽前鋒文化事業有限公司，台北。
11. 周鑑恒，發電原理和系列教具，民國109年，海峽前鋒文化事業有限公司，台北。
12. Herreid, Clyde Freeman. "Case studies in science: A novel method of science education." *Journal of College Science Teaching* 20.4 (1994): 221-229.
13. 張曉飛，劉燕華 "任務驅動教學法在電腦基礎教學中的應用研究" *電腦教育* 1 (2013): 44-47.
14. Prince, Michael. "Does active learning work? A review of the research." *Journal of Engineering Education* 93.3 (2004): 223-231.
15. 王麗麗 "協作學習在小學數學教學中的應用" *基礎教育研究* 8 (2016): 88-90.

生物科學教具創意與創新開發課程設計

顏嘉宏 國立屏東科技大學 生物科技系 副教授

鄭瑞洲 國立科學工藝博物館 科技教育組 副研究員 adam@mail.nstm.gov.tw

一、前言

生物學常有許多抽象概念，如細胞分裂、基因表現與遺傳工程等，對學生都是較難理解及學習的概念，因此若能將此生物學抽象概念具象化，及透過遊戲化學習，對此抽象概念學習及提升學習興趣會有很大助益。因此，本研究作者透過抽象概念具象化及遊戲化，開發了一系列生物科學教具，例如《細胞分裂動畫貼紙》、《彩繪DNA雙股螺旋立體模型》、《DNA大平台-核甘酸配對 桌遊(卡牌遊戲)》、《消化列車(人體消化系統)桌遊(卡牌遊戲)》等，也陸續獲得2020及2022年國際傑出發明家學術貢獻獎。此外，本研究作者也從6年前開始於屏東科技大學開設《生物學跨領域之創意與創新》課程，透過「創意創新工具演練」系統化教學，讓修課學生們找到自己感興趣的生物知識，並將知識轉譯及「拼貼」方式產出科學教具雛型(prototype)，進而將科學教具雛型進行教學或推廣測試，並收集回饋以修正科學教具。此開發科學教具的系統化課程教學，亦可以應用於各學科知識，特此介紹有關科學教具開發課程給各位先進參考，希望能引發教學者開發屬於自己學科的(玩)具應用於課堂教學，以提升學生概念理解及學習興趣。

二、課程設計

本課程設計採用Kolb經驗學習理論(Experimental Learning Theory) (Kolb, 1984)，透過經驗和反思來促進學習和發展，分為以下四個階段：(一)具體經驗(Concrete Experience; CE)：經驗是學習的基礎。個人透過親身體驗，從經驗中學習。在這個階段，個人會感受到自己身處的環境，體驗到各種感官刺激，而這些經驗能夠形塑個人的信念、價值觀以及認知模式，也可以激發學生的學習興趣和動機。(二)反思與觀察(Reflective Observation; RO)：反思是學習的關鍵。通過反思，個人會停下、回顧並觀察自己的具體經驗，思考自己在此經驗中的感受、觀點、想法等，並從中反思、獲得更多的信息，從而更深入地理解和認知這些經驗，反思還可以激發學生自我認識和自我成長的動機。(三)概念化(Abstract Conceptualization; AC)：個人會從自己的具體經驗和省思觀察中獲得基本概念，例如原則、法則、理論等。這些抽象概念能夠幫助個人將具體經驗和省思觀察轉化為更為普遍的知識，進而提高對某一主題或議題的認知和理解。(四)主動驗證(Active Experience; AE)：個人將會把自己所學到的知識應用於具體情境中，並透過實踐來驗證這些抽象概念的正確性。在這個過程中，個人不斷調整、修正自己的知識和行為方式，以適應不斷變化的環境，幫助學生進一步調整和改進自己的學習策略和方法(顏嘉宏、鍾智超、謝如梅，2023；Kolb & Kolb, 2005)。

生物科學教具創意與創新開發課程設計

顏嘉宏 國立屏東科技大學 生物科技系 副教授

鄭瑞洲 國立科學工藝博物館 科技教育組 副研究員 adam@mail.nstm.gov.tw

綜合上述，經驗學習理論強調實踐對於學習的重要性。相關做法如下：(一)「遊戲化學習」：首先，讓學生們先試玩本課程開發完成的一系列的生物科學教具(有《細胞分裂動畫貼紙》、《彩繪DNA雙股螺旋立體模型》、《DNA大平台-核甘酸配對 桌遊(卡牌遊戲)》、《消化列車(人體消化系統) 桌遊(卡牌遊戲)》等)，接著講解科學教具開發的原則及精神-「重點是知識的含金量要高，且要完全正確(知識性)，不能只是強調好玩(趣味性)」。(二)「創意創新工具演練」：反思與觀察。累積玩科學教具的經驗後，通過思考自己在此經驗中的感受、觀點、想法等，從中獲得寶貴的啟示和經驗。再搭配不同的「創意創新工具演練」找出自己感興趣的生物學知識，並轉譯成科學教具雛型(prototype)。(三)「展演(上台分享)」：概念化。科學教具開發過程中透過上台分享，不斷的實踐和反思，將個人具體經驗和省思觀察轉化為抽象概念，進而提高學生對科學教具開發知識與技能。(四)「期末成果展(擺攤)」：驗證。課程透過科學教具試玩、回饋、優化及成果展示等步驟，把自己所學到的教具開發知識及技能應用於具體情境中，並透過實踐來驗證這些抽象概念的正確性。過程中，個人需要不斷調整、修正，以適應變化的環境需求，幫助學生進一步調整和改進學習策略和方法。

課程將以「遊戲化學習」、「創意創新工具演練」及「展演(簡報分享)」交互進行，最後搭配「期末成果展(擺攤)」，課程規劃表如下。

	課程主題	內 容
1	課程方式介紹	說明本實作課程，及學期末進行成果展。
2	遊戲化學習(1)	親自操作彩繪DNA模型、DNA卡牌遊戲
3	創意創新工具演練(1)	演練曼陀羅九宮格法
4	遊戲化學習(2)	親自操作人體消化系統-【消化列車】卡牌遊戲
5	創意創新工具演練(2)	演練AB強迫聯想法
6	科學教具創意發想	上台簡報(個人)-科學教具開發主題(內容)
7	創意創新工具演練(3)	演練2×2聯表及5Why分析法
8	科學教具開發進展(3)	個人上台簡報-科學教具開發進度(初步構想)
9	期中考	繳交新產品開發企畫書(書面報告)
10	創意創新工具演練(4)	演練檢核表及PMI法
11	科學教具開發進展(2)	上台簡報(個人)-科學教具開發進度
12	創意創新工具演練(5)	演練六頂思考帽
13	科學教具開發進展(3)	個人上台簡報-科學教具開發進度
14	科學教具試玩(1) (Experimental Learning)	教課堂上的其他人如何玩自己所開發的科學教具(1)
15	科學教具優化(1)	收集教課堂上的其他人對於自己所開發的科學教具的反饋意見並進行優化(1)
16	科學教具試玩(2) (Experimental Learning)	教課堂上的其他人如何玩自己所開發的科學教具(2)
17	科學教具優化(2)	收集教課堂上的其他人對於自己所開發的科學教具的反饋意見並進行優化(2)
18	期末考成果展	在生物科技系中庭展出自己開發的科學教具(prototype)及新產品開發企畫書

生物科學教具創意與創新開發課程設計

顏嘉宏 國立屏東科技大學 生物科技系 副教授

鄭瑞洲 國立科學工藝博物館 科技教育組 副研究員 adam@mail.nstm.gov.tw

三、以《GO、GO、GO! 紅血球去旅行 (卡牌遊戲)》開發為例

(一)科學教具設計步驟

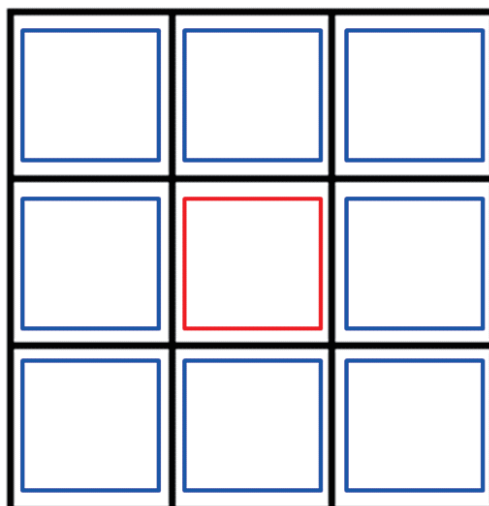
教具設計步驟(1)：先決定「科學教具」的目標客群是誰(國小、國中、高職(中)、大學或社會人士)；步驟(2)：針對目標客群描述學習的「痛點」，也就是學習者對某此學習「不舒服、不滿意」的地方；步驟(3)：針對目標客群「不舒服、不滿意」提出解決方式；步驟(4)：跟其他解決方式比較，為什麼採用此方式最好。

以《GO!GO!GO! 紅血球去旅行~》卡牌遊戲為例說明設計步驟，步驟(1)：設定目標客群是「非生物本科的大學生」，步驟(2)：他們覺得「生物學概念很難且不容易理解」，「人體內的血液循環怎麼流」概念為其中之一，步驟(3)：採用遊戲化學習設計《GO!GO!GO! 紅血球去旅行~》卡牌遊戲，讓學生能以輕鬆方式(接龍/排七)，理解「人體內的血液循環怎麼流」的概念。步驟(4)：雖然上課教師可以講解人體內血液循環怎麼流的路徑給學生聽(老師說-學生聽)，但是學生多數仍難理解，且較不感興趣，而會選擇以玩接龍方式學習此概念。

各項創意創新工具演練

1.演練「曼陀羅九宮格」

曼陀羅九宮格



生物科學教具創意與創新開發課程設計

顏嘉宏 國立屏東科技大學 生物科技系 副教授

鄭瑞洲 國立科學工藝博物館 科技教育組 副研究員 adam@mail.nstm.gov.tw

各項創意創新工具演練

曼陀羅九宮格

	心血管 循環系統	

「曼陀羅九宮格法」是發散思考的工具，適合跟其他人收集初步的想法。因此，由設計者先在「曼陀羅九宮格」的正中央填入自己最想要傳播的生物概念，以「心血管循環系統」為例，就在「曼陀羅九宮格」的正中央填入「心血管循環系統」，如左圖所示：

曼陀羅九宮格

血液	心臟	血管
血球	心血管 循環系統	動脈
怎麼流	微血管	靜脈

然後設計者去訪問其他人(在課堂上的學生)，只需要跟受訪人說：“請問你看到「心血管循環系統」這個關鍵字，你會想到什麼？幫我填一個在空白的格子中。”所以，一張「曼陀羅九宮格」可以獲得八個人不同的意見(類似「市場調查」的概念)，例如左圖所示：

從這八個其他人給的關鍵字中，設計者自己有沒有特別感興趣的“關鍵字”，如果沒有的話，就再寫第二張「曼陀羅九宮格」，再去問另外八個其他人，再獲得八個不同的意見。以此類推，直到設計者看到特別感興趣的“關鍵字”，然後就進入創意創新工具-「AB強迫聯想法」演練。

生物科學教具創意與創新開發課程設計

顏嘉宏 國立屏東科技大學 生物科技系 副教授

鄭瑞洲 國立科學工藝博物館 科技教育組 副研究員 adam@mail.nstm.gov.tw

各項創意創新工具演練

2.演練「AB強迫聯想法」

設計者表示“血液循環的流向在心血管系統知識中很重要，很多人也都搞不清楚”。因此，設計者選擇「怎麼流」這個“關鍵字”，如下圖所示：

曼陀羅九宮格

血液	心臟	血管
血球	心血管循環系統	動脈
怎麼流	微血管	靜脈

所以，接著就用「AB強迫聯想法」，將「心血管循環系統」×「怎麼流」強迫自己想一個產品來表達“人體內的血液循環怎麼流”。修課的同學們，彼此可以腦力激盪，為對方提供1-3個可能做得出來的科學教具想法，但是因為是自己完成，所以，設計者要衡量自己的實作能力。例如，「心血管循環系統」×「怎麼流」=“人體內的血液循環怎麼流”的產品的初步想法有，【彈珠檯】、【大富翁遊戲】及【卡牌遊戲】等，最後設計者選擇開發【卡牌遊戲】。

生物科學教具創意與創新開發課程設計

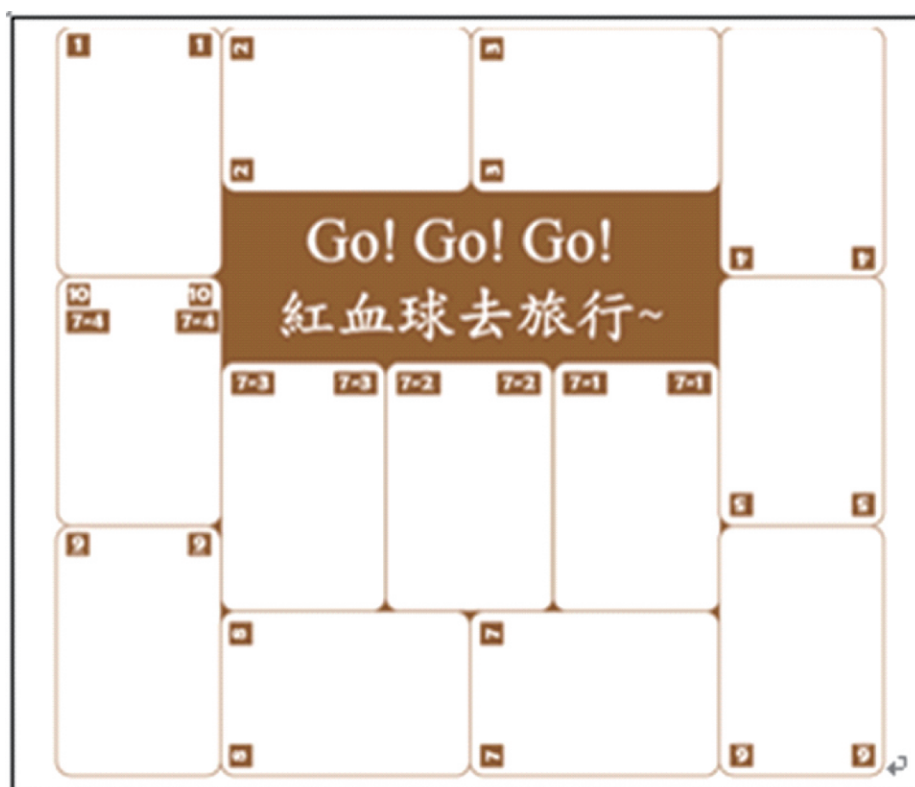
顏嘉宏 國立屏東科技大學 生物科技系 副教授

鄭瑞洲 國立科學工藝博物館 科技教育組 副研究員 adam@mail.nstm.gov.tw

各項創意創新工具演練

3.開發桌遊(卡牌遊戲)及玩法

設計者從試玩《消化列車(人體消化系統) (卡牌遊戲)》的經驗中發現，她要開發的“人體內的血液循環怎麼流”的(卡牌遊戲)也可以套用類似【接龍(排七)】的玩法，因此就採用【接龍(排七)】的玩法來開發她的「心血管循環系統」×「怎麼流」的科學教具，取名為《GO!GO!GO! 紅血球去旅行》，如下所示：



生物科學教具創意與創新開發課程設計

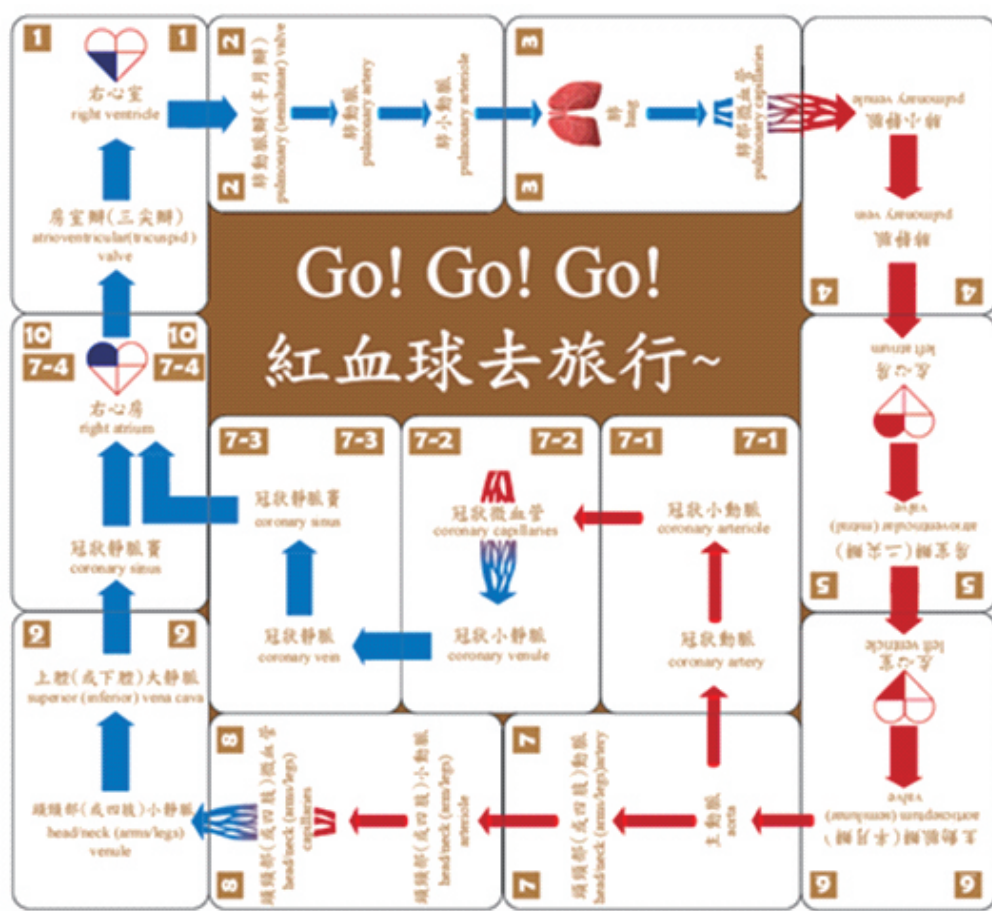
顏嘉宏 國立屏東科技大學 生物科技系 副教授

鄭瑞洲 國立科學工藝博物館 科技教育組 副研究員 adam@mail.nstm.gov.tw

各項創意創新工具演練

此卡牌遊戲內有四種不同花色(以棕色為例)，每種花色各有13張牌(以7號牌為例)，總共52張牌。玩法如下：

- (1)四人同玩，將52張牌洗混後，依序發給每人13張牌。
- (2)決定哪一種顏色的7號牌先出(以棕色為例)，為第一位玩家。
- (3)第二位玩家的出牌方式必須接續同色(以棕色為例)且依照數字順序(例如6號牌或8號牌或7-1號牌)，或者出其他顏色的7號牌(以綠色為例)。若沒有牌可以進行接龍，則第二位玩家需選擇一張牌進行覆蓋(蓋牌，表示「扣分」)。
- (4)第三位玩家、第四位玩家，依照上述玩法進行。
- (5)有機會就會出現“人體內的血液循環怎麼流”的路徑(以棕色為例)，如下圖所示：



- (6)待四位玩家都出完13張牌後，蓋牌數最少的玩家，即為本局遊戲的 WINNER！

生物科學教具創意與創新開發課程設計

顏嘉宏 國立屏東科技大學 生物科技系 副教授

鄭瑞洲 國立科學工藝博物館 科技教育組 副研究員 adam@mail.nstm.gov.tw

四、結語

「科普化專業知識，遊戲化多元學習」是《生物科學教具創意與創新開發課程》的宗旨，本課程採用Kolb經驗學習理論(Experimental Learning Theory)架構，引導學生從經驗、反思與觀察、概念化和驗證等過程來開發自己的「科學教具」，能激發學生的學習動力，且此科學教具課程設計亦提供有興趣教學者開發屬於自己學科教具應用於課堂。

參考文獻

- 1.顏嘉宏、鍾智超、謝如梅 (2023)。開啟微型創業之旅：微型創業的創意與創新。長庚科技學刊，38，1-16。
- 2.Kolb, A. Y., & Kolb, D. A. (2005). Learning styles and learning spaces: Enhancing experiential learning in higher education. Academy of management learning & education, 4(2), 193-212.
- 3.Kolb, D. A. (1984). Experiential learning: Experience as the source of learning and development. Prentice-Hall.