

漸進式探究實驗以提升問題解決能力

黃明輝*

摘要

解決各式問題是工程師的職責，也是大學工程教育的核心能力。實驗課課程具有讓學生動手，實際參與發現與解決問題的過程，因此是訓練解決問題能力的重要課程。然而傳統的教導式教材提供完整程序，猶如食譜一樣地，無法讓學生觸及發掘問題與設計實驗。由於多數臺灣高中畢業生缺乏實際動手做實驗的經驗與先備知識，直接套用探究式實驗時會常造成過多的試誤，導致耗時過多與學生易受挫折。本文採用一種漸進的方式從教導式講義轉換到探究式實驗，學生可在課程前段的實驗中累積先備知識與經驗，然後在學期最後階段再進行完全開放的探究式實驗。此漸進式教學法的理念與「過程導向的探索式學習」不謀而合。根據實際教學經驗，學生能累積實驗所需的技能與知識，經歷問題解決的各項過程，並達成「工程教育評鑑」所規範的學習成果。

關鍵詞：工程教育認證、問題解決能力、探究式學習、統整式課程、實驗教材



DOI : 10.3966/251964992017120102003

投稿日期：2017年3月13日，2017年9月7日修改完畢，2017年11月20日通過採用

* 黃明輝，國立聯合大學能源工程學系副教授，E-mail: mahuang@nuu.edu.tw

壹、前言

任何人或職業都有其一般的或特定的問題需要解決，一般性的問題可能只需要一般性的科學素養（發現、探索、好奇、科學方法……）即可處理，也就是就業能力基礎技能中的「思考技能」（黃明輝，2015；黃能堂，2009）。對於複雜或特定專業的問題，除了科學素養之外，尚需要專業的知識與技能。工程師就是要解決生活中與物質有關的問題，其職責就是「發現問題與解決問題」，因此「問題解決能力」就是工程教育的核心；在未來變化多端的世界中，這種「問題解決能力」更形重要（劉曼君，2012）。

工程師解決的問題需要專業知識與能力，故工程教育中使用大量學分在這些專業的課程。這些專業課程多為認知面的內容，僅在少數的實驗課程或專題實作課程涉及情意面與技能面。大部分的理工科系在一年級安排「普通物理實驗」的必修課，這門課是從高中幾乎沒有實驗的背景轉接到大學後續所有實驗課的基礎。因此「普通物理實驗」課具有關鍵性的地位，具有扭轉學習型態的責任。

優秀的「普通物理實驗」教學是高品質工程教育的關鍵；優質的實驗教材就是教學品質的起點。傳統的教導式教材可以快速完成實驗，然而無法培育解決問題的關鍵能力；探索式教材雖強調這些能力，但也有實施的困難。如何適應現在學生的特性，調節教材的內容，成為實驗教育的重要課題，也是本文探討的核心。

以下內文中將從三個階層探討如何從實驗課程中培養問題解決能力。第貳節將回顧教材設計理念，先從分析問題解決能力，進而探討「普通物理實驗」如何培養問題解決能力。第參節先分析兩種類型的實驗講義對教學的優缺點，並提出一種漸進式的教材與一個探究式的課程單元，以求得平衡的教學成果。第肆節說明運用此教材的方式與學習成果評量。第伍節則檢討此種教學方式的成效與作簡單的總結。

貳、教材設計理念

本節從大方向的工程教育目標「問題解決能力」起始，進而分析工程教育認證的八項核心能力，及它們之間的關聯，再進入到普通物理實驗課程，探討課程中如何與前兩者緊密的連結。最後審視國內實驗教育的缺失，提出設計實驗課程應注意的內容。

一、問題解決過程與工程教育核心能力

問題解決的程序有許多不同說法，各有所長或運用情境。在美國的國家素養機構（National Institute for Literacy）所推動「裝備未來計畫（Equipped for the Future, 2016a）」中，在「解決問題與決策」的標準裡，對於問題解決的程序分成六道過程（Equipped for the Future, 2016b）：(1) 預期或發現問題；(2) 使用多元資訊了解問題及其根源；(3) 產生替代解決方案；(4) 評估解決方案的強弱，包含可能風險與利益，及短期與長期之後果；(5) 選擇最佳方案，根據目標、內容、與可用資源；(6) 建立解決方案效能的評估標準。部分學者提出的七個步驟，有的是在(2)與(3)之間加入對利益相關者的考量，有的是在(6)之後增加一個回到(1)的評量與回饋機制。本文將上述過程的(4)與(5)合併，並在最後加入回饋機制，簡化成為五道程序：(1) 發現問題；(2) 分析問題；(3) 提出解決方案；(4) 評估與選擇方案；(5) 執行與檢討方案。

為維護高等教育品質，教育部推行各系所與校級的各種評鑑；在工程相關系所中，也可以採用中華工程教育學會的「工程教育認證」取代教育部的評鑑。在「工程教育認證」規範3中，明確定義出學生在畢業時須具備的八項核心能力（中華工程教育學會，2016）：3.1運用數學、科學及工程知識的能力；3.2設計與執行實驗，以及分析與解釋數據的能力；3.3執行工程實務所需技術、技巧及使用現代工具的能力；3.4設計工程系統、元件或製程的能力；3.5專案管理（含經費規劃）、有效溝通、領域整合與團隊合作的能力；3.6發掘、分析、應用研究成果及因應複雜且整合性工程問題的能力；3.7認識時事議題，了解工程技術對環境、社會及全球的影響，並培養持續學習的習慣與能力；3.8理解及應用專業倫

理，認知社會責任及尊重多元觀點。這八項能力廣泛地涵蓋所有工程師執業所需的能力，因此這八項能力可以當成工程教育的共同內容。各系所可針對自己的特色，設定自己的核心能力，基本上與這八項能力大同小異。

前述五道問題解決的程序與工程教育認證規範中的八項核心能力（中華工程教育學會，2016）有密切關聯，如圖1的示範。「(1) 發現問題」就是能力3.6；「(2) 分析問題」需要能力3.1的專業知識與能力3.6的分析能力；「(3) 提出解決方案」必須以專業知識與能力為基礎，跟能力3.1~3.4都有關；「(4) 評估與選擇方案」時需衡量多元立場或考慮不同使用者的意見，故跟能力3.8的倫理與社會多元觀點有關；最後的「(5) 執行與檢討方案」則是實際職場就業技能，跟能力3.5的專案管理、整合與溝通有關。所有過程都要考慮到時代與社會的互動關係，因此也與能力3.7有關。



圖1 問題解決的五道程序與工程教育八項核心能力的關係圖

二、普通物理實驗的功能

圖1顯示八項核心能力與問題解決過程息息相關，要圓滿達成八項核心能力，需要許多課程的配合。除了部分技職教育會強調技能面，傳統上綜合大學中，仍是注重專業課程的知識面。各系所的主體課程仍是集中於「提出解決方案」所需要的專業知識。對於「發現問題」與「分析

問題」則較少在理論性的課程中觸及。改善的方式可以是在課程中，以案例將「發現問題」與「分析問題」融入到教材裡，但仍侷限於講授的方式，成效不彰。另一種較為有效的方式是運用實驗或專題的課程，從讓學生實際動手做的過程，真實地經歷解決問題的所有過程。

大一的普通物理是許多工程科學的基礎，接引至大二以上的專業課程。傅昭銘（2006）提到大專教師的教學主要目的仍是科學知識的傳遞，但對於科學過程以及動手做的教學仍待加強。實驗課程或實習等技能性的課程，所占份量有限（大約1/4附近）。大二以上的實驗課程也專注於專業課程相關的知識內容、儀器技術與數據分析，很少觸及到核心能力3.2的實驗設計與數據分析等的教學。普通物理實驗是大部分工程相關科系在大一時必修的一門課，因此擔負起系統性地傳授這些能力的責任。

本研究就以普通物理實驗課為例，解說這門課如何培育「問題解決能力」。對應上述工程教育核心能力裡的3.1至3.6，本研究設計六項普通物理實驗課的教育目標（learning objective, 簡稱LO），依照認知、情意與技能分成三層面敘述如下（黃明輝，2009a，2016）：LO1：能應用物理原理設計與執行實驗（認知面）；LO2：能應用物理與統計的原理，分析實驗數據（認知面）；LO3：能協助理解普通物理課程（認知面）；LO4：能完整與客觀地詮釋數據（情意面）；LO5：能與同學合作、相互溝通、共同完成實驗（情意面）；LO6：能使用基本工具與自動化量測設備（技能面）。這些教育目標對應到問題解決的五個過程，如圖 2 所示範的網絡關係。簡言之，一個設計良好的實驗課程，不僅整合認知、情意與技能三層面的教育目標，也可以涵蓋問題解決的能力，與讓學生體驗到問題解決的過程。

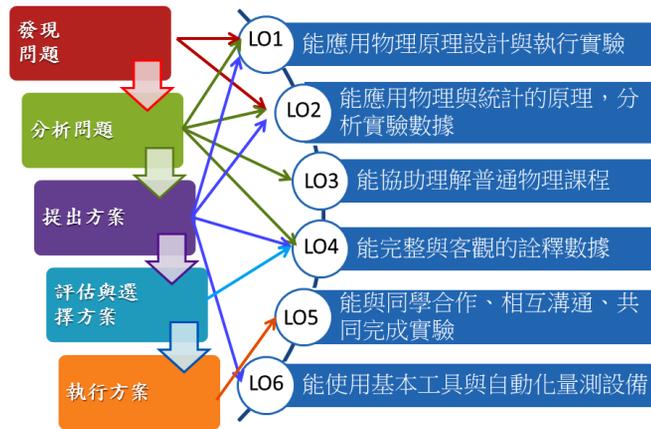


圖2 問題解決的過程與普通物理實驗課程教育目標的網絡關係

三、以往普通物理實驗教學的檢討

傅昭銘（2006：575）提出傳統教學的一些問題，例如儀器老舊與常損壞、跟不上時代演進等。本校在轉型為綜合大學後，普通物理實驗採用自動量測設備。電腦化可以快速大量取得數據，也可以很容易地處理複雜的數據分析，快速地產生高品質圖表（黃明輝，2009b）。這套設備幫助學生有效地學習，避免部分問題。但並非萬無一失，學生容易學到技能（使用自動量測設備、數據適配）卻常忽略基本原理，或不知數據的可信度。造成「知其然，不知其所以然」的缺憾，Friedler、Zohar 與Tamir（1992）也提到類似的現象。例如：數據圖與分析畫得漂亮，但為何如此做？這個分析工具的意義是什麼？分析出來的數據代表什麼？無法了解這些細節，就無法達成學習目標「LO4：能完整與客觀地詮釋數據」。傅昭銘（2006）提到「若教師未對實驗設計的意義或歷史背景等多作分析講解，學生不易體會物理實驗中較深化的概念，也無法體會實驗探究方法論的本質」。澳大利亞學者Susan Howit也曾在報導中說“Students often focus on a particular technique and don't think about the bigger picture.”（引自Tachibana, 2016）。追究其原因就在於講義中已經告訴學生就是要這樣做，缺乏讓學生探索「如何做」與「為什麼這樣做」的過程。

四、普通物理實驗教材的設計理念

實驗課程雖然有傳習「問題解決能力」的教育功能，但是臺灣重視升學考試的教育方式，讓國民教育中自然科學的教師多採用講述方式教學，特別重視計算能力，忽視動手做實驗的重要性。天下雜誌於2010年針對臺灣國、高中生進行「科學教育大調查」，總計回收2,654份有效問卷。發現整體學生竟有高達39%的比例「都沒做過」科學實驗，「每週低於一次」的比例也還有37.1%。根據筆者授課班級的簡單舉手調查，約1/4的學生在高中沒有做過物理實驗！此比例比39%好很多，可能原因是因為天下雜誌的調查並未篩選學生的身分，而筆者的班級是在理工學院，學生來自高中自然組的學生，相對於社會組在高二高三沒有實驗課程而言，自然組學生不做實驗的機率由39%降到25%是可以理解。

多數大一新生對於實驗的認知多數是停留在理論課程中過度簡化的意象，實際動手做實驗的能力相當薄弱。大學的普通物理實驗教學上，必須考慮到臺灣高中生的問題，教材上必須有適當的銜接與轉化，不能盲目地追求國外提倡最先進的教學法。

現在的高中畢業生都是1990年代教改之後才出生，也是九年一貫國民教育制度實施後的受教者。教育制度歷經了如此大變革，學生的知識深度變淺了（高中教材變簡單），但是自主學習、提問、動手等特性卻都沒有改善。嫻熟於資訊設備的新世代又被稱為「數位原生」（digital native）的N世代（Net generation），他們對電腦與電子設備的使用更為熟悉，也擁有迥異於以往學生的學習特性（Don Tapscott著，羅耀宗、黃貝玲、蔡宏明譯，2009）。N世代學生喜好影音傳播，對文字認知較淺顯。柯志恩與黃一庭（2010）指出「傳統的教育重視對事物的理解在先，進而教授怎麼做的方法，最後希望學生能展現程序性的技能；數位原生們的學習原則正好反其道而行」。在實際教學時亦可發現，學生對講義上文字說明的理解不足，就直接動手以試誤方式學習。從動手做的觀點而言，這種特性或許是有益於學習問題解決能力；但對於教學成效而言，卻往往是事倍功半。教材設計必須適應學生特性，設計出能整合知識、情意與技能的教材，並對學習成果有完整與有效的評量。

參、實驗教材的結構與內容

實驗的教材可簡略地分成兩種極端的形式，以下先說明兩種形式的實驗教材，闡明其內容及比較兩者的優缺點，最後再說明本文所採用的漸進式教材。

一、教導式實驗教材

傳統的教導式（didactic）講義編撰猶如儀器說明書，或使用者手冊（user's manual）；內容鉅細靡遺地說明實驗目的、儀器、原理、步驟、數據表格、分析方法、問題與討論。學生只要遵照程序按部就班地做實驗、填寫表格與計算後，就得到結果，平順地完成實驗。其實驗方式猶如做菜，所以又稱為食譜式講義（receipt style manual）。在中學的教科書中都是以這種方式出現，大專院校的講義也以此為主，範例參見書商的網頁與教科書（高立圖書，2014）。

就教材發展過程而言，教導式講義是一種「師本」的產物，以教師為出發點所設計出的教材。教師擬定需要學生完成的實驗項目，鋪陳出達到最終成果的途徑，如：選擇實驗儀器、設計實驗步驟、分析方法；最後才讓學生執行實驗與完成數據分析。在教學成效上，學生只要按部就班做實驗、填寫表格就可得到「正確答案」！因此進度容易控制，教與學的人都輕鬆！沒有動手做實驗的學生，也可以在教師引導下完成數據與分析。這似乎是個有效率的教學方式，也因此獲得許多教師與學生的青睞。此種教材不僅歷史久遠，直到現在國民教育的教科書中，甚至許多大專院校的實驗教材也仍採用此形式。

教導式實驗中，學生沒有參與到「發掘問題」與「設計實驗過程」，僅有「執行實驗」而已。連分析時「為何要使用這種工具」，與「如何詮釋數據」都沒有訓練到。即便是認真做實驗的學生也常會有「知其然，不知其所以然」的現象，僅知道科學的知識或原理，沒有體認到發現科學的過程，更沒有發現與解決問題的訓練。如此的教材，當然不符合現在教育部及工程教育認證推動的以學生「學習成果為導向的教學」（outcome based learning, OBL）。學生必須主動參與教學過程，

教學成效才能提升 (Tachibana, 2016)。

二、探究式實驗教材

探究式教學 (inquiry-based learning, IBL) 或稱為發現式教學法，強調讓學生發現與解決問題，所以探究式實驗講義採用開放的內容。探究式 (開放式) 實驗講義通常只給實驗目的與器材，讓學生自由發揮想像力，從設計實驗、執行實驗、分析數據到最後撰寫報告，都由學生動手動腦做出來 (傅昭銘，2006；簡頌沛、許瑛珺，2015；Chang, 2005)。理想上，這是培育科學素養與達成工程教育核心能力的最佳方式。

許多高中畢業生缺乏動手做實驗的經驗 (天下雜誌，2010)，實際進行探究式教學時，學生缺乏先備知識，難以跨出第一步 (傅昭銘，2006)。習慣於以往食譜式實驗講義的學生，沒有講義就只是枯坐冥想，或者憑直覺摸索。許多學者改善方式就是配合學生的學習特性，拍攝實驗影片。學生上網路看了影片就以為懂得實驗的訣竅，不去思索背景條件有何不同，或者實驗目的有何差異。學生只會依樣畫葫蘆，套用影片或講義的部分資訊，結果或有雷同或者不盡相同。學生不斷摸索與試誤 (trial and error)，容易打擊學生信心 (洪振方，2003；教育部，2014)！美籍學者Mayer (2004) 指出從1960年代以來發現式教學的問題。筆者個人的經驗中，發現實驗現場需要助教或教師隨時指導糾正錯誤。認真教學的教師還得在課餘時額外多花時間陪伴學生補做實驗，負擔更加沉重。做久了，教師與學生都要付出額外精力，苦不堪言。

三、兩類教材的比較

前述兩種極端的實驗教材，各有其特色。以下以單擺實驗為例，從表1說明兩者在原理、器材、步驟、數據與分析、問題與討論等方面的差異。

表1

單擺實驗以兩種教材形式的案例

項目	教導式／手冊式／食譜式	項目	探究式／發現式／開放式
實驗目的	驗證單擺在小角度的情況下，週期T與擺長L與當地的重力加速度g的關係是 $g = L/(2\pi T)^2$	實驗目的	探討單擺週期T與擺長L的關係。
實驗器材	<ol style="list-style-type: none"> 1 長約100公分的線 2 捲尺 3 計時碼表 4 角度計 5 懸吊用腳架 	實驗器材	<ol style="list-style-type: none"> 1. 設計一個單擺，可以使用以前實驗用過的器材，或自行設計的物品。 2. 需要用甚麼儀器測量週期與擺長？（提示關鍵問題：前面做過的實驗中，哪一種儀器可以精確測量時間，避免人為判斷的誤差？） 3. 如何控制實驗條件的變動？（角度）
		實驗設計	<ol style="list-style-type: none"> 1. 此實驗有幾個變因？（g, T, L） 2. 此實驗的應變數是哪一項？如何測量？（週期，計次與計時） 3. 此實驗的自變數是哪一項？如何改變自變數？（自變數：L） 4. 此實驗的控制變因是哪幾項？如何控制？
實驗步驟	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將砝碼用線綁好，固定在腳架上。 2. 取擺長90cm。測量與紀錄擺動10次的時間；計算平均的週期。 3. 減少擺長10cm，重複步驟2。完成五組不同擺長的數據。 4. 將數據填入表格。 	實驗步驟	<ol style="list-style-type: none"> 1. 架設儀器，並繪圖說明。 2. 說明實驗進行方式，進行實驗。 3. 設計表格，記錄數據。
數據與分析	計算各次實驗的重力加速度，然後計算平均值。		<ol style="list-style-type: none"> 1. 繪製應變數對自變數的分佈圖，從圖上找尋這些數據的規律性。 2. 從教科書上尋找兩者的關係，檢查是否相符合？
問題與討論	討論週期是否與擺長的平方成正比？		<ol style="list-style-type: none"> 1. 擺長與週期有何關係？ 2. 能否由實驗數據估算出當地的重力加速度？

這兩種實驗教材的極端模式，各有其優缺點，表2呈現兩種教材的特性與優缺點。兩者幾乎是完全相反，教導式實驗的優點正是探究式實驗的缺點，探究式實驗的優點正是教導式實驗的缺點。

表2

兩種教材的特性與優缺點的比較

項目	教導式／手冊式／食譜式	探究式／發現式／開放式
實驗項目與 實驗目的	教師規劃	教師規劃
實驗方法	教師設計	學生設計
實驗程序	詳細明確	摸索與試誤 (try and error)
數據與分析	教師設計	學生設計
問題與討論	教師設計之既定內容	學生自行發現問題
優點	學生容易執行實驗； 實驗結果明顯、錯誤較少； 進度容易掌控	完整的訓練「實驗設計」→「執行實驗」→「數據分析」→「成果展現」； 「持續訓練「發現問題」與「解決問題」
缺點	沒有訓練「實驗設計」、 不知「為何如此做實驗或 分析數據」；極少訓練「發	缺乏先備知識 不斷試誤、打擊學生信心 進度緩慢、師生投入額外時間與精力

四、漸進式實驗教材的理念

物理實驗課程的核心能力與問題解決能力息息相關，因此學習成效良好的實驗課程有助於培養問題解決能力。從表2的比較中，可發現教導式講義無法達成工程教育核心能力3.2與3.6，或者是問題解決過程的「(1) 發現問題」。探究式實驗正是補足這項缺憾，達成學習「問題解決能力」的有效教學法，只需要克服其缺點。教導式講義也有其適應本地學生特性的優點，並非完全不可取。兩類教材各有利弊，兩種極端都不是最適合本地學生的方式。本文從「學習成果為導向的教學」的理念出發，自行設計一套由教導式講義漸進過渡至探究式講義的普通物理實驗教材，逐漸導入先備知識，期望學生在學習到基本工具後，能夠獨立進行探究式實驗。

此種漸進式教材的構想如同Tafoya、Sunal與Knecht（1980）對探究教學的分類，從驗證的食譜式探索（confirmation inquiry），到結構式探索（structured inquiry），到引導式探究（guided inquiry），最後達成開放式探索（open inquiry）（簡頌沛、許瑛珺，2015）。整體理念與「過程導向的探索式學習」（process oriented guided inquiry learning, POGIL）（<http://www.pogil.org>）的理念不謀而合。POGIL教學中，有兩項重要關鍵：其一是提供適當資訊以供學生初級的探索；其二是建立結構化的關鍵問題，導引學生往正確的方向探究（Hanson, 2006; Minderhout & Loertscher, 2007; Tachibana, 2016）。Mayer（2004）發現佐以特殊引導的IBL是更為有效的方式。這些引導或者關鍵問題都是在建構鷹架式學習（scaffolding）的中間過程，以不同的教材逐漸引入更高層的學習目標。

五、漸進式實驗教材的實踐

在開發課程前，需要先了解學生的特質，再設計適性的教材。N世代的學生習慣於上網觀看影片取代預習，教導式實驗講義只是不清楚如何進行時的參考文件而已。因為此特性，本課程中將講解的內容區分為兩類，採取不同方式處理。所有講義也都放在網路上或者校內的電子學習平台上。

- （一）實驗技術與儀器設備部分：學生沒有相關先備知識，因此這種教材採用教導式講義，詳細載明使用方法；但會以探索的方式，讓學生以實作的方式了解其內容。對照前述的鷹架理論或 POGIL 教學法，此項教材為基礎的先備知識。實驗講解時並不會全部解說，而是當成參考資料，讓學生依照個人需求自行閱讀，或模仿學習。部分內容拍成影片，學生可以自行觀摩學習。
- （二）物理及實驗的知識：物理知識部分，多數內容已經有高中的基礎，或者大一的普通物理課程會講到。對於這些部分，盡量以簡短方式處理。只有在課程中沒提到的部分，會詳細說明。實驗教材則以漸進方式，初期以詳細的步驟呈現，逐漸變成簡略地說明目的與方法，盡量以問題提示取代過程敘述。此種講義編排方式

就是按照POGIL的方式導引學生朝向正確的方向。

教材方面需要配合普通物理理論課的主要內容，但是無法完全同步。大一上學期理論課講授運動學、移動與轉動動力學；實驗課搭配的有基本測量與誤差傳遞、牛頓定律、碰撞實驗、簡諧運動、力矩與轉動慣量、聲波共振等實驗。大一下學期理論課講授熱力學與電磁學，實驗課搭配的有熱機、熱膨脹、熱引擎、幾何光學、干涉繞射、三用電表的使用與歐姆定律、電容充放電、電磁感應、原子光譜、光電效應等實驗。各系的教師會針對該系需求，選擇適當的實驗。在實驗數據分析方面，包含基礎測量、控制變因、實驗設計、誤差傳遞、統計分析、數據作圖、數據選取與函數擬合（data fitting）。參閱圖3的第一學期普通物理實驗課的教材內容，說明從偏向教導式的講義，逐步演變成探究式講義的漸進式演變。

在這些教材中，包含了幾個非常基礎的實驗，例如：基本測量與誤差傳遞、幾何光學、三用電表的使用與歐姆定律。這些是補充學生的先備知識，確保那些高中都沒有做過實驗的人也能學會基礎。



圖3 第一學期普通物理實驗的教材內容

左半邊是實驗的題目，右半邊說明漸近式的成分比例。前面幾項基礎實驗，採用較高比例的教導式講義；後面幾項實驗採用教高比例的探究式講義；第十實驗開始完全採用開放式探究實驗。

六、微統整式課程單元

提升「問題解決能力」是終極的教學目的，漸進式教材只是一種從高中時期的教導式實驗過渡到探索式實驗的辦法，讓學生在先期的課程中累積先備知識。在此漸進式教材中，每學期的最後一個課程單元進行一個探究式實驗，以開放性的題目，讓學生從設計實驗→選擇器材→執行實驗→紀錄與分析數據→檢討與改進→呈現成果、說服他人。全部過程涵蓋所有的學習目標，與解決問題的五項過程。表3列出近年進行的統整性實驗題目與實驗講義的內容，可發現實驗講義避免涉及明確過程，只列出想達到的目的。開放學生選擇達成目的的過程，如此才能讓學生從設計實驗開始。即使只是複製既有實驗，也要顧慮到以前實驗所忽略的細節；因此必須額外處理。此教學方法符合工程教育認證學會推廣之統整式課程（capstone course）之目的（邱于真，2014），但只是一學期課程的最後一個單元，故稱之為「微統整式課程單元（mini-capstone module）」（黃明輝，2016，2017）。

表3

近年進行的統整性實驗題目與其統整的內容

學期	題目	實驗講義內容
上學期	測量重力加速度g值	組合本學期實驗設備，設計一套可測量重力加速度g值的實驗，盡可能提高測量的精度與準度。
下學期	單極馬達	組裝一組單極馬達，並設計實驗驗證其轉動的原理。

肆、教材實踐模式與成果評量

一、教材實踐模式

實驗教材都上網儲存在電子學習平台上，學生可以隨時閱讀線上資料。普通物理實驗為每週三小時的實驗課，每學期安排10~12個實驗，進度約為以每週時間完成一個實驗。每學期的最後一個統整式實驗則以

三週的時間做實驗，再以一週的時間由各組學生做報告。最後尚有兩週的期末考，包含筆試與操作考試。每週的實驗由教師講解一小時，隨後即開始由學生動手做。學生也可在課餘時間，約助教到實驗室補做實驗。

二、教學評量

對於學習成果的評量，宜由多元的方式綜合交叉，檢視所有教學目標的達成率。本課程採用實驗報告（50%）、筆試（10%）、操作考（20%）、組員互評（10%）、與微統整式單元的評量（10%），五項評量方法完整涵蓋六項學習目標（黃明輝，2016）。實驗報告為課程學習成果的展現，但對於實驗設計與執行能力無法針對個人而評量。筆試偏重認知面，可以衡量個人學習成果。操作考偏重技能面，是知道學生是否具有執行實驗的經驗與能力的最直接的評量。傳統教學上這三項是主要評量方式。

實驗課程是重視同儕互動與合作的課程，評量時必須兼顧此特性（黃淑玲，2013）。為了評量「教育目標5：能與同學合作、相互溝通、共同完成實驗」，本課程採用組員互評的方式，評分表在表4。每個學生分配10分給該組同學，全組學生的分數累積就是個人的得分。因此公認貢獻高者，會得到總分超過10分；公認貢獻少者，得分就低於10分。組員評分有衝突時（自評很高、組員評分很低，或是相反者）再由教師根據平時的觀察調整。由於學生人數眾多，這種同儕互評的方式比較能避免教師不客觀的印象分數。

微統整式單元加強了實驗設計與解決問題的學習，學生報告的內容會由全體學生與老師共同評分，究竟學生是否具有設計實驗、解決問題、與統整實驗技能，都可以從口頭報告中做直接評量。為避免不客觀的評分，採用評分表如表5，每個欄位填1~5分。詳細評分尺規（Rubrics）請參閱黃明輝（2016）的表3、表4。總分計算時會先計算同一評分人對所有報告人的分數的平均值與標準差，調節成平均70分、標準差10分；然後依此調節個別報告組的分數。個別報告組的分數則是各評分人的調整分數的平均值，如此即可避免有人嚴格、有人寬鬆的落差。

表4

同儕互評的評分表

每人的成績裡有10分是由同一組的同學互相評分。根據每個人在這一組中的貢獻，你如何分配這10分給全組組員？

我的姓名：_____ 得分 _____ ；

隊員姓名：_____ 得分 _____ ；

隊員姓名：_____ 得分 _____ 。

表5

統整式實驗口頭報告評分表

評分項目與標準	1	2	...
1 實驗方法能控制變數，分離出未知變數			
2 實驗程序正確、涵蓋所有變因。			
3 分析方法正確，結果與誤差都有。			
4 成果的正確性(精度與準度)			
5 報告內容準備充分，解說清楚			
總分			

伍、結果與建議

一、教學意見調查分析

為了準備工程教育認證，筆者檢討過去教材的缺失，重新建構出此套漸進式教材，並加入一個新的微統整單元。並在103與104學年第一學期期末筆試的時候，同時做了匿名的課程意見調查。問卷題目分成六區塊：

- (一) 本課程與本系的核心能力的關聯性；
- (二) 課程核心能力與課程內容的關聯度。這兩項是檢討課程設計，符合程度都約在五分量表的四分，或者80%以上；
- (三) 學生對自己達成核心能力程度的自評，題目與評量結果列於表6。

整體而言，學生認為自己已經學到約七至八成的課程設計的學習目標。不過103-1學期的問卷採用十分量表，學生多數選6~8分，平均就在7分附近；若調整五分量表的話，平均約在3.5分附近。由於學生選項相差不明顯，沒有需要到精密的十分量表，104年的問卷改用五分量表，學生多數選3~5分，平均就在4分附近。這個3.5分與4.0分的差距純粹是編碼轉換成分數的差異。基本上103-1與104-1兩學期並無重大差異；

表6

學生對學習目標的達成度的調查

題號	課程學習目標	平均 ±標準差	
		103-1*	104-1
1	運用控制變因，設計實驗。	3.58±0.76	4.00±0.89
2	運用自動化量測系統進行實驗。	3.64±0.73	3.90±1.05
3	能進行實驗數據統計、分析、最佳適配，並以圖表呈現結果。	3.68±0.67	4.03±0.98
4	能對實驗結果綜合分析、研判，並呈現於簡潔完整的報告中。	3.50±0.76	3.86 1.03
5	能配合普通物理課程，協助對教材的理解與應用。	3.50±0.79	3.79±0.90

註：103-1學期意見調查原為十分量表，修正分數為五分量表，以跟104-1學期一致。

(四) 對課程意見，主要目的是檢視同學做實驗的過程與可能的問題，題目與評量結果列於表7。得分最低的項目是第六題的「實驗手續不清楚、難以完成；沒有教材、不知道怎麼分析。」仍有過半數的學生覺得這個漸進式的教材仍然不夠清楚，顯然學生仍習慣於食譜式實驗講義，尚無法刪減太多比例。值得慶幸的是第二題得分最高，近八成的學生都自認為認真做實驗，證實動手做的課程比較容易促成主動學習。上述第六題的困難，除了學生要自己多自學或跟同學交流之外，尚可經由助教協助。本校無助教，教學全程由教師進行，難免會有照顧不及的狀況。教學現場上，教師與助教必須多走動，觀察出問題時，教師或助教切勿當成「老師傅」一樣，要求學生跟著做、或者直接講出錯誤所在與解決方

案。教師或助教必須當作「奧客」，出難題去點醒學生未注意事項；唯有讓學生發現問題，才有解決問題的學習過程（黃明輝，2016）；

表7

學生對課程意見的調查，以五分量表轉換的分數的平均值與標準差

題號	課程學習目標	平均 ±標準差	
		103-1*	104-1
1	每次實驗時，我們這組會先閱讀講義，討論實驗內容。	3.82±0.73	3.76±0.91
2	每次上課時，我都認真動手做實驗。	4.00±0.83	4.07±0.84
3	實驗完成後，我們這組會一起討論實驗的分析與結果。	3.67±0.69	3.55±0.87
4	我們這組會一起完成實驗報告。	3.73±0.88	3.86±1.03
5	實驗具有挑戰性，常跟以前學的知識不同，需要考慮很多真實世界的細節。	3.97±0.98	4.31±0.81
6	實驗手續不清楚、難以完成；沒有教材、不知道怎麼分析。	2.76±0.90	3.17±1.23

（五）是基本資料與文字意見的輸入區；

（六）在104學年的問卷中特別針對此微統整單元多加了6個題目，題目與評量結果列於表8（黃明輝，2016）。其中暗藏兩個題組（2與6為一組、5與7為一組）作為檢驗題。回答方向不一致時就當作廢票。綜合這兩組檢驗題，一致率在86%以上，可以推測這份問卷調查的可信度非常高。與問題解決能力有關的題目是在第1與第2題，得分都將近4分以上，很明顯地說明此為微統整單元確實達成訓練「發現問題」的能力。第3題證實此單元劇有統整課程技能的功能。第4題的得分非常高，近九成的學生了解真實世界的不完美，有助於學生在未來職涯中多注意高階知識，具有鼓舞學生主動學習的動力！Parappilly、Siddiqui、Zadnik、Shapter與Schmidt（2013）比較食譜式實驗與探究式實驗，發現探究式實驗

具有鼓勵主動學習的功能。此項發現與此問卷調查的結果相符。第5到第7題探討學生對此微統整單元的喜好。即便學生認為花費許多時間、但是學到更多。雖然第5題顯示不少學生認為太難而想輕鬆一點的做實驗，不過從第7題可看到有更多人覺得認為花費許多時間、但是學到更多，而想多做這種實驗。

表8

104學年上學期學生對微統整單元「測量重力加速度g值」的意見調查

題號	問 項	平均	標準差
1	這個實驗看似簡單，實際上卻是處處充滿玄機，其實並不簡單。	4.34	0.72
2	我們花費許多時間，思考實驗方法，解決實驗過程的問題。	4.14	0.74
3	實驗過程中，我們用到了這學期所學到的大部分內容。	3.93	0.92
4	我們發現真實世界中充滿不理想狀況，需要更多知識來解決。	4.52	0.69
5	這實驗太難了，我再也不想做這種實驗！直接告訴我要做什麼就好了！	2.55	0.99
6	這實驗不需要花費太多時間，最簡單方式也可以達成。	3.17	0.89
7	這實驗讓我學到更多，應該多做這種實驗。	3.55	0.91

註：最右側兩欄內的數據為以五分量表轉換後的分數的平均值與標準差。

二、教學成果的質性分析

上述意見調查中已可見此漸進式教材不僅達成預設的教育目標，從統整式實驗的報告中，可以評量出學生在沒有明確指引下，學生仍各自發揮創造力，設計出不同的實驗；同時在過程中經歷過問題解決的完整過程，最終完成實驗。在「輸人不輸陣」的良性競爭下，產生許多不同的實驗或分析方式，其方法不亞於教師設計的實驗講義。黃明輝（2016）列舉出學生在上學期的統整式實驗『測量重力加速度』的四種方式，學生能將做過的實驗改進，例如原先忽略的摩擦力、轉動感應器的轉動慣量等，必須另外測量，或以多組實驗交叉比對、或以多變數分析的方式處理。黃明輝（2017）則說明下學期的統整式實驗「單極馬達」所遇到的困境，並由拓展此實驗的內容，增加科學史的探討，體現出探究式實驗可深入學習的特性。圖4是學生口頭報告的一頁，反應出

表4中多數人的心聲：絞盡腦汁、但很有收穫。這種創造力，正是Bloom（1956）認知領域中最高階的學習成果（李坤崇，2004）。學生能達成這種成果，正是符合成果導向教育裡所強調的「對學生的高度期許與高標準」（李坤崇，2011；Spady, 1994）。

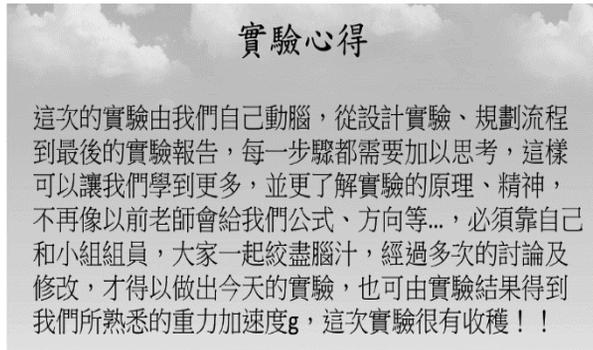


圖4 學生報告中對此微統整單元的心得

陸、結論

工程師教育的主要教育目標就是解決複雜的問題的能力。問題的解決與決策可分成五道程序：發現問題、分析問題、提出解決方案、評估與選擇方案、執行與檢討方案。這些程序對應著工程師教育的八項核心能力。普通物理實驗課是許多大學一年級理工科學生的必修課，這門課負擔起接續高中教育與大學教育的橋樑，普通物理實驗教材是工程師教育中培育「問題解決能力」的關鍵基礎。

實驗課程的講義有教導式與探究式兩種極端，各有相對的優缺點。本文敘述一種由漸進式的教材，由教導式講義開始，逐漸培養學生的先備知識，過渡到探究式實驗講義，最後結合工程教育認證推動的統整式教學（黃明輝，2016）。整體架構如同POGIL等引導式探究實驗。近年的教學意見調查顯示此種教材是有效的教學方式，學生能在學習過程中經歷「問題解決」的各項過程，並且能自由發揮創造力，達成成果導向教育裡的高峰經驗。整套教材不僅達成工程教育認證的規範，更是訓練「問題解決」的優良教材。

此教材試圖採納兩類講義的優點，但實際執行時仍有兩項隱憂：許多高中生在學校與補習班已經養成一種替代學習的習慣，認為「好老師就是要幫學生整理很多東西再精簡地教給學生，學生不需要思考也能學會」。其次，也有不認真的教師，以探究式學習的「少教則多學」（teaching less, learning more）為藉口，美化其放任學生「自學」而無適當輔導的「放牛吃草式」教學。因此在學生的教學意見調查，或者教師間的同儕互評（例如：教師評鑑或優良教師選拔）時，探究式學習很容易被誤判為教學不力或教學績效不良。這種負面風評讓一些教師不敢採取探究式教學。對於這些疑慮，筆者嘗試以過去學生優良的期末報告及意見調查結果為例，疏導學生或其他教師的誤解。

目前推展中的12年國教課綱中，高中新增「探索與實作」課程，這也是呼應科教理念的變革，推動以探究式實驗學習科學過程。探究式實驗與教導式實驗教材的競合關鍵在於「授課時間」；探究式實驗的成功在於肯花時間換取試誤（trial and error）的經驗，在注重教學進度的高中階段推行實為不易。在大學階段，普通物理實驗與普通物理學分屬兩門課程，很少有直接相關聯的進度。此外，如第一節所述，大學普通物理實驗課程的主要目的是培育「問題解決能力」，而非「配合普通物理教學」的知識，因此可以有足夠的時間使用探究式實驗。但是由於高中生的先備知識不足與欠缺實驗經驗，即使12年國教課綱在民國110年順利實施後，這些問題雖可改善，但不會消失。教導式實驗講義仍舊有存在之必要，本文的漸進式方式，仍將適用於未來的教育現場。

誌謝

作者感謝審查委員的寶貴意見，尤其是對高中生做實驗的比例調查及表1與圖3的建議，使本文更加完整，特致謝忱。

參考文獻

- Don Tapscott著，羅耀宗、黃貝玲、蔡宏明譯（2009）。**N**世代衝撞：網路新人類正在改變世界。臺北：美商麥格羅希爾。
- 中華工程教育學會（2016）。工程教育認證規範（EAC2016）。取自 <http://www.ieet.org.tw/InfoT.aspx?n=stdEAC>
- 天下雜誌（2010）。2010中學生科學教育大調查。天下雜誌，**460**，48-55。取自<http://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5008245>
- 李坤崇（2004）。修訂Bloom認知分類及命題實例。教育研究，**122**，98-127。
- 李坤崇（2011）。大學課程發展與學習成效評量（初版二刷）。臺北：高等教育文化。
- 邱于真（2014）。教與學的合頂石——總整課程（Capstone Course）。評鑑雙月刊，**49**。取自<http://epaper.heeact.edu.tw/archive/2014/05/01/6153.aspx>
- 柯志恩、黃一庭（2010）。圖像優於文字？N世代學生認知發展之探究。教育研究月刊，**193**，15-23。
- 洪振方（2003）。探究式教學的歷史回顧與創造性探究模式之初探。高雄師大學報，**15**，641-662。
- 高立圖書（2014）。物理實驗（初版二刷）。新北：高立圖書。取自 <http://gau-lih.ge-light.com.tw/tier/front/bin/ptdetail.phtml?Part=000653&Category=100106371>
- 教育部（2014）。探究式教學法。取自<http://pedia.cloud.edu.tw/Entry/Detail/?title=探究式教學法>
- 傅昭銘（2006）。大學物理實驗教學的思維。物理雙月刊，**28**(3)，573-579。
- 黃明輝（2009a）。普通物理實驗的教育目標與評量。「2009中華民國物理教育年會」發表之論文，國立臺灣師範大學，臺北。
- 黃明輝（2009b）。自動化的普通物理實驗教學課程。「2009兩岸大專院校基礎物理課程教學研討會」發表之論文，國立臺灣大學，臺北。
- 黃明輝（2015）。融入21世紀就業技能的通識教育——以科學素養為

- 例。輔仁大學全人教育學報，**13**，35-56。
- 黃明輝（2016）。以探究式實驗統整普通物理實驗教學。物理教育學刊，**17**(2)，33-46。
- 黃明輝（2017）。單極馬達的原理與教學應用。物理教育學刊，**18**(1)，1-18。
- 黃能堂（2009）。職場核心能力對臺灣技職教育課程與教學的啟示。教育資料集刊，**43**，23-34。
- 黃淑玲（2013）。從知識到可觀察的能力：評估學習成效的策略與建議。評鑑雙月刊，**44**，取自<http://epaper.heeact.edu.tw/archive/2013/06/25/6025.aspx>
- 劉曼君（2012）。2019年畢業生核心能力。評鑑雙月刊，**38**，取自<http://epaper.heeact.edu.tw/archive/2012/07/01/5834.aspx>
- 簡頌沛、許瑛珺（2015）。科學探究教學。載於鄭榮輝、林陳涌（主編），科學實作教學理論與實務（頁32-66）。臺北：國立臺灣師範大學科學教育中心。
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives, handbook I: The cognitive domain*. New York, NY: David McKay.
- Chang, W. (2005). Beyond misconceptions: Socio-cultural pitfalls in learning Newton's Law. In Australasian Science Education Research Association (Ed.), *Proceeding of the 36th Conference of Australasian Science Education Research Association* (pp. 6-9). Hamilton, New Zealand.
- Equipped for the Future (2016a). *Home page and introduction*. Retrieved from <http://eff.clee.utk.edu/>
- Equipped for the Future (2016b). *Getting to know the EFF standard solve problems and make decisions*. Retrieved from <http://eff.clee.utk.edu/assessment/solve2.htm>
- Friedler, Y., Zohar, A., & Tamir, P. (1992). Problem-solving inquiry-oriented Biology tasks integrating practical laboratory and computer. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, *11*, 347-357.

- Hanson, D. M. (2006). *Instructor's guide to process-oriented guided-inquiry learning*. Lisle, IL: Pacific Crest.
- Mayer, R. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59(1), 14-19. doi:10.1037/0003-066x.59.1.14. PMID 14736316
- Minderhout, V., & Loertscher, J. (2007). Lecture-free Biochemistry. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 35, 172-180.
- Parappilly, M. B., Siddiqui, S., Zadnik, M. G., Shapter, J., & Schmidt, L. (2013). An inquiry-based approach to laboratory experiences: Investigating students' ways of active learning. *Int'l J. of Innovation in Science and Mathematics Education*, 21(5), 42-53.
- Spady, W. G. (1994). *Outcome-based education: Critical issues and answers*. Arlington, VA: American Association of School Administrators. Retrieved from <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED380910.pdf>
- Tachibana, C., (2016). *Effective teaching: To be an effective educator, get active, science (AAAS) careers*. doi: 10.1126/science.opms.r1500157
- Tafoya, E., Sunal, D., Knecht, P. (1980). Assessing inquiry potential: A tool for curriculum decision makers. *School Science and Mathematics*, 80(1), 43-48.

Learning Problem Solving Ability from a Progressive Laboratory Manual

Ming-Huey Huang*

Abstract

Problem solving is the responsibility of every engineer and therefore is a core capability in engineering education. Laboratory courses provide students with hands-on experience in identifying and solving problems; therefore, they are essential for developing problem solving ability. Conventional, didactic laboratory manuals provide detailed procedures and do not allow students to participate in problem identification and experimental design. Most high-school graduates in Taiwan have little practical experience in and background knowledge on experiment procedures. Directly adapting inquiry-based experiments often leads to several instances of trial and error that take a long time and frustrate students. This research adopts a progressive approach to transition from a didactic experiment to an inquiry-based experiment. Students can gain the prerequisite knowledge and skills from experiments conducted during the initial part of the semester to subsequently conduct an inquiry-based experiment at the end of the semester. This progressive approach is similar to the “process-oriented guided inquiry learning” concept. On the basis of teaching experiences, students accumulate experimental skills and knowledge, experience all problem-solving processes, and fulfil the learning objectives defined by the Institute of Engineering Education, Taiwan.

Keywords: engineering education assessment, problem solving, inquiry-based learning, capstone course, experimental manual



DOI : 10.3966/251964992017120102003

Received: March 13, 2017; Modified: September 7, 2017; Accepted: November 20, 2017

* Ming-Huey Huang, Associate Professor, Department of Energy Engineering, National United University. E-mail: mahuang@nuu.edu.tw

