

談美國科學課程改進及教學

——訪普爾門博士(Dr. Lawrence E. Poorman)

黃台珠

國立臺灣師範大學科學教育中心

前 言

普爾門教授在教育界已服務卅餘年，現任教於印地安那州立大學物理系。由於其豐富的教學經驗，Harvard Project Physics (HPP) 特邀請他參與此課程的設計與研究。筆者因選修普爾門博士的課，感到他對於科學的教學及看法有著許多獨到之處，值得我國科學教學的參考，所以特設計下面的訪問。

問：是否可以請您就美國近年來科學課程所作的改進做一簡略地介紹，其改進的原因何在？PSSC及HPP等新課程的特色為何？

答：當第二次世界大戰爆發之後，在科學教育上，特別是中等學校的物理教學，發生了顯著的變化。在教學上比較偏重於應用性，物理教學不再是物理，而是電學、光學、聲學等獨立的教學。舉例來說，在中學裏光學的教學偏重於光學在照相上的應用、光學在各種儀器上的應用，而不是傳統的量子力學等。

1954年在麻省理工學院召開第一次的研究會議，試圖將物理及化學統合成一個二年的高中教材，我個人認為這是一個很好的主張。但是要知道物理和化學各有其不同的名詞及表達方式(Language)，所以這主張無法實現。與會物理方面的人士，不願意放棄他們的理想，於是脫離此一會議，成立一理化科學研究委員會(Physical Science Study Committee, PSSC)。他們主張恢復物理整體性的教學，而不是應用性的枝節教學。這委員會的編者聚集在一起編寫教材，他們是以一個不同的方式進入物理教學，將以前傳統式的以波(Waves)開始的教學，改為波(Waves)、宇宙(The Nature)和光(Light)。所以第一單元是以波開始，接下來有三章屬於化學的教材，我稱之為入門教材(Entrance)。這也許是因為許多高中學生選修物理後，不再有機會修習化學。然後進入我們所謂的傳統物理學、機械理論(Mechanics)到現代物理(Modern Physics)。

在此期間，PSSC發展出許多優點，以我個人的意見，我最欣賞的是它找到許多優秀的編者，編輯出許多單元教材(Monograph)。至今此種單元教材已有數百種，它們各有其不同的特色：有的偏重於歷史發展，有的偏重於數學，有的偏重於應用。這種單元教材編寫得非常生動有趣，幾乎每一

個學生都可以找到他感興趣的內容。他們同時也發展出一系列很完美的教學影片，此系列的影片至今還是很價值。這不是件容易的工作，因為許多影片皆因時代的變遷而過時，但是 PSSC 所發展出的教學影片是以古典物理為中心，至今仍是很有教學應用價值。

PSSC 教材的發展並未達到預期的成效，就在這個時候，俄國史潑尼克號（Sputnik）太空船的發射，引發起美國中等學校科學課程改革運動。在 PSSC 發展的這四、五年間，PSSC 並未受到很大的重視，PSSC 並非每個學生所必修的課程，常被視作副科，各出版商紛紛將許多 PSSC 的教材引入其所出版的教科書內。

PSSC 教材同時設計了許多實驗，利用很經濟的器材，同樣能學習到物理的概念，我覺得這是很可貴的。但是我發現老師們並不很喜歡這種一套式的實驗器材設計（Kits），因為他們常說，他們沒有時間安裝這些器材。於是有的老師叫學生安裝，作為一部分的實驗，所以此套實驗器材組的用法，是因老師而異。

在這段期間仍有許多爭執的存在，在 1962 年，美國物理教師協會建議哈佛大學的 Holton 博士是否可以發展出一種中等學校適用的物理教材。他以前也曾寫過一本教科書，書名為 *Foundations of Physical Science*，這本書是以物理的歷史發展來寫的，比較理論化。

在 1964 年，哈佛大學的 Holton 博士，Watson 博士，以及 Rutherford 博士（他當時在加州的中學教書），經過兩年的可行性地研究，共同編寫了一部物理教材，並且在許多中學試驗其效果。在 1965 年暑假，這許多參與人士聚集於哈佛大學修訂此一教材，第一件事是將四十章刪減為廿四章，因為內容太多了。然後他們開始編寫實驗室內的實驗，這些實驗的設計是與 PSSC 截然不同的。

這是物理上的二個大的課程改進研究，先是 PSSC，然後 HPP，試圖吸引中學生對物理的興趣。

但是在高中物理課程能吸引的學生數目有限，我個人認為若是要吸引學生對物理的興趣，在高中以前的階段較為容易，所以在五年級、六年級或七年級時應該更為合適，我發現物理課常把許多學生給嚇跑了。

接著許多困難的工作開始推動：第一，許多大學開始訓練教師如何使用 PSSC 教材，在暑假期間教導許多物理的知識，我個人認為教師們的物理知識已經足夠了，他們真正需要的不是物理的知識，而是對於新課程的態度及認識，應該偏重於心理上如何接受此一新的課程。我發現許多老師在使用 PSSC 或 HPP 兩年之後，決定放棄此教材，因為他們心理上仍感覺到無法適應此教材。

接著其他科目亦隨之跟進，包括生物科學課程學會（Biological Science Curriculum Study - BSCS），其發展出三種不同的教材，我想他們可能是由 PSSC 課程發展中得到的經驗，知道他們的讀者興趣分布應該比 PSSC 為廣，幾乎九到十年級的每一個學生都至少會修習一年的生物課程。他們共發展出三種不同程度的教材：一種是藍版，偏重於分子生物學，是較高程度的；綠版，偏重於生態學方面；黃版則是居於其間的，較標準化的教材。事實上，他們發現真正應該有第四種的教材，我記不得它的顏色，也許是灰版吧？（一笑），這是為程度較差的學生所預備的，這種學生有閱讀的困難，而且理解力很差，則要用此種偏重於生態環境認識的教材，並包括我稱之為分類教學法（Categorizing Approach）如蒐集樹葉等的活動。

化學亦有課程改進的研究，他們發展出二種新課程，一種稱之為 CBA（Chemical Bond Appr-

oach)，事實上此課程在高中並不適用，因為太艱深了。你會發現現在仍有許多大學才用 CBA 教材。

因此在六十年代專家學者聚集於加州康奈爾大學及紐約發展出 CHEM Study 課程，這可以說是很好的一套化學教材，許多化學老師都採用，也很喜歡用它。

這些在美國所進行的新科學課程改進，都是由聯邦政府 National Science Foundation 經費支助，在一段時間後（多半是七年），則開放提供給民間採用，任何出版商或編者皆可採用，沒有什麼版權限制。

今日你會發現許多生物、物理、化學等的教科書皆是將此類新科學教材作了很好的編選，我認為這是一個很好的現象。

眼前並沒有什麼新的科學課程發展的動向，我認為學校科學課程目前又有作一百八十度轉變的趨勢，因為現在又開始偏重於應用性，但是與以前所偏重的有所不同，現在偏重於天然資源的保護，能源的節約，甚至整個地球的太陽能應用。所以有些事情正在醞釀之中，或許會恢復以前的情況。

問：許多人對新科學課程的反應是太難了，只有好學生才能了解，是否因為教材是由大學教授所編寫，因此，要求的程度太高所造成？

答：我不同意這種說法，因為多數教材的編者，他們對於教學的現況都很了解，我認為主要原因在於他們是用不同的方式來表達教材。

讓我給你一個例子，在 HPP 教材，我們向學生解釋萬有引力定律（Universal Gravitation Law）。縱使學生告訴你，他們不喜歡數學，而你想幫助他們儘量不用數學去了解此原理，仍是很困難的。在 HPP 教材中，對這原理的學習，不重視其數學公式，而是讓學生感覺：當距離一樣時，重量不同，引力的不同；再讓他們感覺二個相同的重量，在距離改變時，引力的變化。這是一個邏輯的思路，並不真正需要數學。而學生仍會告訴你，他們也不喜歡這種教法，甚至更討厭，因為去觀測並理解，較之數學更麻煩。

但這才是學習物理的價值，我常對學生說，固定一變因，再發現其他變因之間的關係，這就是物理，其他的只是重覆，任何人都可以用計算機很快的將數字輸入而得到結果。至今我尚未發現任何自然狀況下的物理現象會完全符合教科書所描述的問題，但是當我們有了物理的概念，我們很快能知道如何應用物理原理去解決問題，這是 PSSC 及 HPP 的特色，重視如何幫助學生了解物理的概念，而不是去記一些數字或公式。

但是一般學生並不喜歡此種方式，程度好的學生非常喜歡此課程，一般的學生常是被迫修習物理的，比如說我要學護理，所以我必須修習物理，這種態度下常會發生學習的困難。

希望有一天我們能發展出一套好的方法，使每一個學生都能真正的學物理。

問：那麼現在 HPP 及 PSSC 在中等學校使用的情况如何？

答：這是因州而異，如印地安那州有其教科書選用的政策（Textbook Adoption Policy），目前 PSSC 是在選用的教科書名單上，HPP 是在特殊物理教科書的名單上。目前可能只有五到六個州用 PSSC 教材，而且多被視作更深的（Advanced）教材；大概有八到十個州使用 HPP 教材。

但是這並不是真實的情況，因為其他的教科書已將這些新課程引入其內容中了。所以在選定的

教科書內，已有無數的新課程的內容在內。

HPP同時發展出一些 PSSC未曾有的媒體，HPP發展出一系列很完整的投影片系統，如天文、機械等，共計六套投影片，可以幫助教師的教學，他們同時亦發展出一些數分鐘長的影片捲(Film Loop)，每一個影片捲有一個主題，可以在教室、實驗室或討論中反覆使用。

因為 PSSC已發展出很好的單元教材及影片，所以 HPP 不重複發展；HPP發展出六套稱作Physical Reader 的教學資源，每一套有 19 到 20 個概念，各有不同的主題。例如有一套是關於藝術的，這樣，縱使是一個學藝術的學生也會發現物理對他們藝術的學習有所幫助。這一系列的教學資源在圖書館、教室、實驗室內都是很有應用的價值。

問：媒體的發展，是否爲了增進教學的效果？

答：不僅是增進教學的效果，並且可以引發學生的興趣。

問：是否有人曾對媒體增進教學效果有所研究？他們有何發現？

答：我自己就作過許多此類的研究比較，在上學期，在此地的物理教學中，我試圖發現何種媒體對何種學習最有幫助。當我們知道其效用，則在教學設計上，我們可以加以應用，以增加學習的效果。

另一發現是有關 Hawthorne 效應的應用，在 HPP 的課程研究中，我們很明顯地注意到每當學生被選作不同教學方法的實驗教學時，其學習興趣及教室內的氣氛均顯著上升，我們何不將此現象加以利用，常常改變一些教學方法，告訴學生說這是實驗研究，以增進其學習效果。

現在仍有許多學校，第一學期的整個學期都是研究機械理論及各種運動定律，使得學生厭倦得很，在這種情況下，應該考慮一些變化的。

我舉一個例子，當我在高中教 HPP 教材時，我從第二章天文學開始，學生對這一章興趣很高，因為他們可以看得見日、月、星辰、日出、日落等，當然有些學生起得太晚，是看不到日出的（一笑）。我的重點是如何將學生引入他看得見摸得著的日常事物上，並不是高不可攀的原理或定律。你知道後來我的問題是學生的學習興趣太高，我要想盡辦法將他們導入其他相關的物理概念學習上。我認為這些都是老師應該親身去體驗的。

曾經有人要我寫一部教學法的書，我拒絕了，我認為這是不可能的，因為我的經驗不一定適用於你，你必須自己去發現適合於你自己的方式。

若回頭看過去十五年，特別是對物理及化學教學上的研究，你會發現最重要的還是老師，因為課程或教科書是死的，重要的是老師如何去活用它。

問：課程、教科書、教法及媒體之間是相輔相成的，就您個人的經驗，您認為怎樣搭配較爲理想？

答：你既然問到理想式的教學配合，我先要聲明，對俄亥俄州中部有用的教學搭配，未必適用於印地安那州的南部，所以因時、因地、因人而異。

我給你一個一般性的說明，現在已發展出很豐富的媒體，可以適用於各種程度的教室。你知道現今所發展出的各種教學媒體，如影片、投影片等被浪費得太厲害了。

在 HPP 發展出一種多媒體的系統，在此系統中，教師教學是不用演講式，我是由各教材單元中，擬定出其主概念及各相關小概念，然後選定適當的教學媒體，先給學生一、兩個星期的瀏覽時間，由他們決定他們最需要或最適用的教材。所以有的學生可能選擇由實驗室的實驗去學習此概念，有的

學生可能選擇由閱讀中去學習此概念，有的學生可能選擇利用投影片去學習此概念。

經過一、兩個星期的瀏覽教材及與我或其他同學討論過後，學生可以自由選擇他將採用的學習教材及方式。

這樣雖然有的學生並未在實驗室內操作，有的學生並未採用教學影片，但是他們都已經由不同的途徑學到此概念，而且他們之間有機會能夠彼此分享學習的成果。

另外，對於考試，我們發現考卷式的考法並非最佳的方式。因為一個學生如果是從實驗室的操作中學習到此概念，就應該考他實驗室的操作及發現；若他們是由教學投影片中學習此一概念，就應該用教學投影片去考他們，因為學生所學的並不能立刻直接地轉移到其他方面上，這是與智慧成熟（Maturation）有關，必須經過一段時間才能由已知小概念相連接成大概概念。就像我所學的物理，我沒有辦法很快的聯想到經濟學上，但是當我愈學得多，年紀愈大時，我才會突然靈光起來，將這些概念連通起來。

問：這種教學方式是否稱之為獨立式的學習（Independent Study）？

答：並不是，因為我一直在教室內，我是一個資源人物（Resource Person），而不是一個講員（Lecturer）。這並不是件容易的工作，因為學生有各種不同的學習途徑，有的經由實驗室內的操作，有的經由閱讀，有的經由教學影片，所以一個資源人物必須知道全部的方法。

問：那麼一般老師是否並不喜歡用這種教學方式？

答：他們覺得沒有安全感。

問：你是否給學生機會分享所學的？

答：是的，有時我會告訴同學說，下次我們要討論，將學生分作二至三人一組，彼此討論。因為上課時我曾聽到他們之間彼此爭論說那一種研究方式較佳。我並不作結論，只是給予學生機會去溝通意見，這樣學生也可以學到很多。你可以將他們分作四或五人一組，若是四十或五十人一組，則很少會有人主動發言。而分作四或五人一組，他們顯得很自在（Open），我亦可很自然地加入各組的討論。

問：最近的報導顯示中學生選修理化科的人數下降，原因何在？

答：有兩個原因，一是學生總人數的減少，一是一種反對科學的心態滋長於社會中。這個現象發生於六十年代末，七十年代初，社會上對於科技的進步，如核能、雷射等發生誤會，變成聞之色變的態度，甚至對於微波爐亦不信任。

這是由於一般人對於科學知識的一知半解導致各種誤解；而科技的發展甚快，許多人根本跟不上，由於自己不懂，就對科技產生害怕的心態。父母對科技的誤解，在言談之中給予孩子對於科技進步的不良印象以及對科學家不信任的心態，使得他們對科技不感興趣，這是選修人數下降的原因之一。

另外，學生本身也太聰明了，他們爲了要有好的分數，以進入好的大學，所以逃避理化，因為他們認為理化太難，會使他們的分數下降。當這些不修習理化的學生進入大學後，與其他修習過理化的人競爭，當然容易受挫，於是歸罪於理化的艱深難學，並告訴他的家人及朋友放棄理化，所以這是一個惡性循環的現象。

再回到老師的角色，無論你教的是什麼科目，你自己一定要對這個科目有興趣，不要妄想學生自然會產生興趣，這是不可能的。在物理課室內，老師必須作自己的實驗研究，即使是很小很簡單的實

驗研究，也許在別人眼中看來算不得什麼，但是因為你對科學不斷地研究及興趣，可以引發學生對學習及研究的興趣（筆者註：這相似於我國「言教不如身教」的說法）。

以上談的還是第二重要的，最重要的是對「人」的關心，當人家問我的職業時，我說，我是教師；問我教什麼，我說我教「人」。物理對我而言只是一個工具，我的目的是幫助學生認識宇宙及他所生存的環境。所以對我而言最重要的不是教物理，而是教人。其他科目的教師也是一樣的，我們不是教死的知識，我們重視的是教活的人。每一個人都是不同的，有的人對文學有天分，有的人對音樂有天分，有的人對科學有天分，重要的是你如何幫助學生用他的天分與人溝通。

問題的癥結是在許多教師只是傳授死的知識，對於活的人却不感興趣。

問：你是否認為理化實驗必須有貴重的儀器設備？

答：不是，我想我可以以一本書作為引證，Robert Millikan 在 1905 年所寫的一本書為中學設計實驗教材，在第一頁上他提到，“我們的實驗室若偏重於貴重的儀器，其結果必是阻礙學生的學習，因為許多學校供養不起此昂貴的儀器設備，即使買得起，它們的重心是被放在價值上，而不是被放在使用它的原因上。”

這是八十年前 Robert Millikan 所寫的，我可以帶你去看，這個現象至今仍是很流行。

我認為現今中學的物理教學並沒有給予學生很多的機會真正由實驗中了解物理。所以我在高中教物理時，我曾設計了一實驗，從未失敗過。我要學生蒐集家中不要的嬰兒食物瓶，結果蒐集了數千個，每個學生分 10 個嬰兒食物瓶，我要他們將其中之一裝水，當作標準重量，再指導他們將另外九個裝上不同的液體，利用天秤將此九個瓶與水比較，結果他們發現一瓶的水和一瓶的可樂重量不同。學生很興奮地說，“我以前不知道它們的重量不同，我以為一樣大小會有一樣的重量。”接著我問他們，什麼是他所說的「同樣大小」，於是有人說是體積，有人說是重量，有人說其他的，由此我讓他們知道「大小」是一般名詞，在物理上我們有專有名詞，學生很喜歡這種方式。

第二個例子，我很願意推薦給中華民國使用，臺灣有許多不同的木材，找十種不同的木材，切成同樣的大小，每個學生分得十個同樣大小但不同的木材，學生會發現它們會有不同的重量，然後我們可以教密度的觀念。密度是一個很難教的概念，但是使用此類不是很昂貴的材料，學生很容易也很有興趣學。

一般昂貴的物理器材，我們稱之為黑色大箱（Black Box），學生不懂它的原理，只知道放進一物去測量，會出現一個數字，這對學生來說太玄了（Mystery）。我不願意將此類很玄的設備引入中學教室，我喜歡用淺顯易見之物，引發學生的興趣及幫助他們的學習。

問：在我國的教室，通常有較多的學生（約 45 人左右），在這種情況下，您認為使用何種教學法較為合適？

答：我會由教材中找到我所要教的主概念及相關小概念，如 HPP 物理教材第一單元是加速度，要學生了解加速度必須先了解速度及速率，並能分辨位置及距離，還要有時間的觀念。所以若我有 45 個學生，我會要他們在進入教室時，將手錶摘下，放在一盒內藏起來，然後要學生猜測現在的時刻，我將全班 45 人所說的時間加起來，求其平均值，結果會發現與正確的時間很接近，這是一個統計的觀念，統計在物理上亦很重要。然後我將學生分做 3 個人一組，討論“什麼是時間？”，下次上課我會選

用一部影片，片名為“Reflections on Time”，共有三部分，每放完一部分，給予學生時間討論。他們由此可以了解何謂時間的單位，因為時間的觀念在物理上很重要。

學生由時間開始學習各種測量的單位，接著進行不同程度的分組教學。我先自忖，是否有合適的方法將學生分做不同的組別，若可能，則鑑定並讓他們分組研究。有時安排不同的組合方式，讓同學之間有較多的接觸機會。

另外，我會利用課桌上的實驗（Arm-Chair-Experiment）；這是一些簡單的實驗，如電學，可以要學生用塑膠片擦頭髮，然後吸引碎紙。

漸漸進入較深的教材，間或採用演講式的教學。

應該幫助學生由許多日常接觸的事物及現象去了解物理。

當然，記著不要把物理在中學都教完了，留一些給我們大學教授教，免得我們到時候沒事可幹了（一笑）。

要給學生機會去看、去操作，同時多給他們一些親身體驗的機會。但是學生往往不喜歡重複，他們見過收音機一次，就以為他們已經全懂了，這是一個很糟糕的現象，但這就是人。

幫助學生知道他現在的程度在那裏，要往那裏去努力，並且要讓他們真正地學到東西，並不是件容易的事。

所以我一直強調老師的重要性，老師各有其特色，記著，要做自己，不要一味地模仿別人，有時我試圖模仿別人，如普渡大學的Watson教授，但是學生會發現我怪怪的，問我怎麼搞的。Watson是Watson，我是我。你一定要作你自己，將你自己的特色表現出來，而不是別人的特色，那麼，你的學生才會欣賞你。

問：什麼是一個成功老師的特色？

答：我已經說過了，他必須要對「人」有興趣。他必須要對他所教的學科有興趣。但是他對人的興趣應放在第一位，其次才是他對所教的。比方說你是一個足球教練，你若是對足球不感興趣，你的球隊又如何能贏呢？

問：探討式（Inquiry）和發現式（Discovery）教學有何不同？

答：首先聲明，這是我個人的意見，發現式是用手，用器材；而探討式是用你的腦去思考，這是我個人認為主要的不同處。有些小學的新教材如ESS，及初中的ISCS等，將二者合併使用，用手也用腦。

問：您是否指探討式教學較抽象，而發現式教學則較具體？

答：是的，我個人認為即使是初生的嬰兒，已經經歷兩種物理現象，雖然初生嬰兒不知道這些物理現象的名稱，但是他却經歷過，一是光，一是聲。4個月大，他已經經歷過萬有引力，因為當他從牀沿滾下時，他已經開始經驗到由高物的邊緣會掉落下來，雖然萬有引力這個名詞他還不懂，一直要到10歲或11歲，他才有機會學到，但他已經有此經歷，這是發現式。

問：由最近讀到的Case Studies in Science Education提到新科學課程希望老師能採用探討式的教學，但是大多數老師却都未採用，原因何在？

答：你想，你自己在大學裏有多少堂課屬於探討式教學？如果，你自己都未曾經歷過探討式的教學，

你是不會去用的。這是最大的困難，因為往往課程的編者以為老師們使用他的教材，必採用他所建議的教學法，但是事實上，老師本身沒有經驗過這些新的教學法，他是無法使用出來的。比方說，你若是沒有學過開車，你是無法開車的。

探討式教學對一般老師來說是很難的，因為總是被問“為什麼？”事實上，我們自己也常常不知道為什麼。

當學生問“為什麼？”時，不論是直接的問題，或實驗室的問題，他已經進入探討。

問：什麼是美國科學教育的困難，是否能改進？

答：我認為問題是很少有人真正願意用心去教，我相信是可以改進的，但是我並不知道應如何去改進。

結 語

由於與普爾門博士的談話中，深深感受到老師的重要性，以及我們是否將「人」放在第一位呢？我們是否真正對我們所教的感興趣呢？我們自己是否經常以身教代替言教呢？普爾門博士對科學教育已有卅餘年的經驗，對科學教育也有許多獨到的看法，並參加 HPP 課程設計及推廣工作，是一位知識、經驗都很豐富的學者。筆者曾與他談到我國所進行的中等學校科學課程改進計畫，他表示很有興趣，並表示若有機會願意利用暑假等我國舉辦研討會等活動時，與中學老師們一起研討科學課程與教學，交換教學經驗。