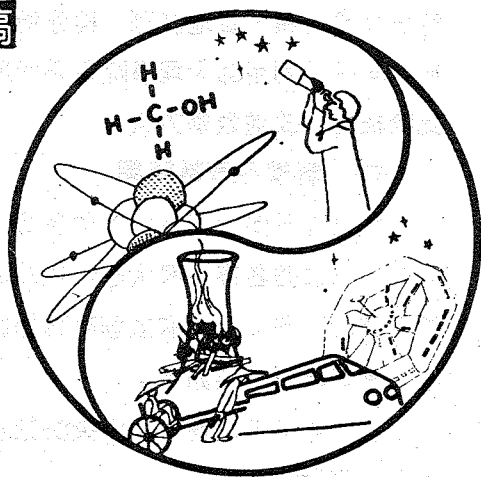


科學教育的新方向 —由太極的衍釋談起—

Vincent N. Lunetta
and Robert E. Yager

黃長司 譯

國立臺灣師範大學科學教育中心



古代中國的太極概念，象徵着生活整體的二元性與其平衡觀：有陰有陽，一年當中四季循環，春耕秋收。有夏天有冬天，有時下雨，有時陽光普照，都是整體中的部分現象，盈虧互見。如果缺少一樣，這個年就不完整。同樣地：在人的世界裡，有男有女，有憂傷有快樂；有工作有遊樂，有時歡笑有時哭泣；有惡有善。

太極帶給我們的訊息是對人類發生的每一件事有理由失望也有理由期待。隨著人的世界的演進和變革，觀念和制度會因而誕生和消長，新的觀念和制度將逐漸取代舊的。一貫的都是由個體的集結演繹完成整體的成就。

太極是否也能用來闡釋科學世界中的某些現象？諸如物質及能量的本性等基本的認識。我們知道能量以光和無線電波的形式存在時，具有波的性質和粒子的性質。大部分時間波的性質佔優勢，也最看得見，但是如果我們要尋找的話，也能找到這些能量形式具有粒子性的證據。同樣地，物質具有波和粒子的性質，只不過在常態下佔優勢的是粒子的性質。不論如何，當我們尋找時，也能找到物質具有波性的證據。物質和能量都具有粒子性和波性，物質和能量的模型如果不結合這兩種性質就不完整，這就是太極的概念！

太極給今日科學教育的啓示是什麼？對我們當中關切師資訓練的人而言，我們知道我們必須達到重視理論與實踐兩者間的平衡。因之，如果師資訓練只包括人類學習和學術訓練等觀念的理論性研究，則師資訓練是不完整的。另一方面，如果它強調學生和學校裡的實務而排除較理論的研究的師資訓練也不完整。職前教師訓練的學員需要理論的研究和學校中的實務兩方面的經驗，我們從事師資訓練的人必須注意到「太極」觀念不忘

尋求適當的平衡。（這種理論與實踐間的平衡不僅適用於師資訓練，也適用於所有形式的職業訓練如醫事、法律、工程等）。

在科學教學上我們也必須尋求理論與實踐的平衡。實驗室中的實際經驗其扮演的適當角色是什麼？來自研究學習理論界的證據：顯示學生在操作器材時學得最好。然而有些人聲稱有更有效率的方法來教科學概念，有證據顯示有些教師和作者相信實驗室的經驗太沒效率、佔太多時間，應有注重語言文字表達的學習而排除實驗室裡廣博經驗的機會。運用太極觀點，科學教育從事者如果期待有效地傳授科學，便不能排除實踐和理論的適當平衡是教學工作的一部分。

關於我們應該用歸納或演繹的方法教科學概念一點，太極是否也有任何啓示？在科學的本質方面，我們要傳授什麼給正在學習科學的學生？科學不是經由演繹和歸納的過程發展的嗎？當我們嘗試去教的時候，最適當的折衷是什麼？

幾十年來科學的發展結合了理論的思考與實際的資料收集。有些科學家專注於純科學上的努力，而另一些科學家則專注於科學的應用。不了解據以發展應用的基本科學概念，通常不能建立工程上的應用，而新科學概念和創造性認知的發展，向來是基於經由望遠鏡、顯微鏡和其他屬於應用科學領域的設備所獲得的資料。因此，科學世界包含“純”的和“應用的”要素。今日在這兩方面之一工作的人常常忽視另一面工作同仁的成果；從事應用科學的人常會覺得較傾向於理論的同仁生活在象牙塔中，不了解真實世界。另一方面，致力於純理論的人常常認為以材料和儀器做研究近於庸俗，有損尊嚴。在純科學、應用科學二分法中，任何一邊的人傾向於將科學訓練界定得很狹窄。科學包括“純”的和“應用的”要素，科學教學應該反映這個事實。

在科學教學這個行業中奮鬥的人必須顧及有關人們如何學習的知識。我們知道良好的教學能鼓舞學習者，引發學習動機。對年青人而言，科學在他們的世界裡的應用常能激起對科學的興趣。雖然我們也許要幫助學生發展對理論概念的了解，但我們知道學生發展概念是建立在他們已有的經驗和了解的基礎上。我們須找出方法幫助他們尋找我們希望傳授的理論和他們所面對的真實世界之間的關連。這必須併入適當的科學應用。在科學教學的歷史上曾有一段時期，在純科學這邊的人認為教科書和科學的應用課程不代表科學，而試著去加以清除；另有一段時期，爲了尋求實際的應用和相關，教師和教科書作者編入了一些應用雜碎，可能大大地扭曲科學的理論觀點和概念架構。科學教師必須認識科學結合純的和應用的要素，適當的科學教學也要結合學生世界的應用，和發展適當的理論概念。科學教學的行業是重要且複雜、富有人情味的工作。其中有許多變因

，不可能簡化成簡單公式，然而我們能逐漸了解這些變數，成為更好的教師和課程編寫者。太極的概念能提供指引給那些在富有人性的科學教學中尋求平衡的教師。

自從1960年以來，經由發展及使用新科學課程的努力，出現了許多新的見識，對科學教育和一般的師資訓練有所啓示。在1960年代發生的科學教育活動包括一連串的課程發展，全部是減少對科技的重視，而恢復對純科學的重視。那個時期的一個假設是：用科學家所知的方法進行教學時，對所有的學生而言，科學可能是天生有趣的。第二個假設是布魯納（Jerome Bruner）所闡明的，任何一門學科都可利用某種心智上真實的方式，有效地教給任何發展階段的任何學習者。薛華（Joseph Schwab）提供第三個假設，如果要學生了解科學過程，教科學應該像探討故事那樣教，而不是教結論的修詞學。後來，強調科學過程常常成為主要的課程結構，導致新的課程內容，要求新的教學模式。

1970年代早期發生越戰造成不和，對美國的許多人而言，科學和科技是主要的罪犯，種族平等和剝奪少數團體權利（包括喪失學習能力的人）成為社會關心的主要對象。全美國的社會機構大致成了嫌疑犯，而學校也被嚴重地打了問號。好幾年期間，測驗成績下降，這是美國公立學校充滿着壓力的時期，有些行政人員、社區領袖和教師企圖將他們的問題歸罪於1960年代發展出來的課程和教學方法。

到1976年，國家資助的課程發展計畫全數終止，而國家科學基金會削減了教師在職訓練所有的援助。其後，國家科學基金會資助了三個大規模的現況調查以評量1956至1976二十年間美國全國性的科學教育實驗之成敗。這個時候其他機構如美國科學促進協會（the American Association for Advancement of Science）和全國科學教師協會（the National Science Teachers Association）也從事現況研究。這些研究提供了問題的新證據，顯示對此需要小心研究和採取積極合理的反應。

它們提供的證據顯示不管先前二十年間的科學教育主要成果如何，許多人基本上缺乏科學和科技的素養。缺乏素養表現在堅信占星術、創世科學（Creation Science）、時髦的攝取營養方式、接受廣告噱頭！對解決能源問題和環境污染問題採取人云亦云的反應，對科學本質的看法走向偏狹或錯誤。

不幸的是，當前的學校科學很少從事於增進科學素養的陶冶。事實上，全國教育評鑑資料顯示：學生在學校愈久，對科學的興趣愈減少。其他的研究指出：中等學校的科學在四年或六年的課程中對增加知識沒有效果。雖然知識是科學素養的一個必要成分，另一個重要的特性是辨別知識和正確使用知識的能力。少至百分之二十五的畢業生在工

作上能了解九年級時所教的基本科學概念。但是，能將興趣、知識和運用知識的行動相結合的，在具有科學和科技素養的高中畢業生中僅有百分之十。

從過去二十年的經驗中我們學到的重要事情之一是我們不能建立一個不受教師影響的課程。好的教師是誘導學生、促進學習科學的中心，而不適任的教師則提供給學生較少的學習經驗。我們也學到教學不是做爲一個科學學科的專家就夠了。不幸地，今日在美國不夠格的科學教師比二十五年前更多。這問題很複雜，部分與這些時期教書的待遇、地位較低有關。

優良教師的培育不是一件簡單的工作，其理甚明。事實上，只在大學畢業前參加相當短期的、強調以語言文字教學的師資訓練，很多人不能成爲好的教師。我們必須組織起跨越整個教學生涯的師資訓練體系。只有根本的態度上的改變才会有行爲的改變；要改變態度，必須有長時間的適當經驗。如果學校教育要反應這新的見識和意義，教師訓練的經驗必須跟着修正。更明確地說，最近科學教育方向的改變，暗示科學師資教育課程應提供一些有意義的新經驗。這裡指出其中幾項並加以詳述：

科學的多元性

要有效地把科學介紹給學生，科學教師必須熟悉科學概念以外的東西。他們必須從哲學的、歷史的，人性的觀點了解科學的本質。史潑尼克衛星之前，科學教學被認爲只是傳授跟科學、科技相關的事實和概念。在1960年代的課程比較重視科學的過程和發展科學的探討技能。今天的科學教學則要跨越以往對成果與過程的爭論。它包括幫助學生了解人在科學發展中扮演的角色，以及科學和社會的關係。爲了這些較廣大的目標，需要教的見識和技能不可能僅僅經由修畢一系列的傳統大學科學課就可發展出來。新的大學課程必須提升對科學的哲學、歷史、社會學等的了解。

用於教學中的電腦和新科技

爲了要幫助學生了解科學的本質和發展，科學教師需要了解科學史上所有重大改革的性質。他們需要體驗當代科學與科技的發展。在我們生活的時代，新電子科技使人們能採取創造性的步驟以超越講述、紙筆、印刷品等當做正式教育的主要媒體。科學教師將在參與對我們的教學和文化發展有重大影響的科技改革的同時，能領導發展並評鑑電

腦在教學上的應用模式。

科學的應用

史潑尼克衛星之後的科學課程強調純科學，且傾向於忽略科學的應用對學校教育的重要性。而在史潑尼克之前的時期過份強調一大堆科技應用，無疑地是引起這個反應的原因。現在相當清楚，自科學課程中刪除應用科學的行動做得太過份了。學習者傾向於喜歡科學的應用，而在科學課編入適當的應用能增進對某些概念的了解。今日的科學教師應該能區別科學和科技，同時也需要對科學有更全盤性的認識。他們需要了解科學包含純的和應用的要素。他們需要有各種科學應用的經驗，這將使他們能幫助學生明瞭科學如何能應用於他們週遭的世界。

與地方和個人相關

當學生覺察他們研究的題目和他們的環境及生活有關，通常動機和興趣會增加。因此，科學教師需要經驗，使他們能將科學世界、學生的世界、社區關連起來。教師需要認識：當所教的科學關連到學生的世界和他們的社區時，其品質不一定惡化。部分的問題是幫助教師具有概念在何處、如何適當地做關連。例如在研究不同的科學題目時，有許多工作職位可以提出來。使學生能考慮職業的選擇，不需花很多時間，但可能是使學生覺察科學相關的重要原動力。

與社區問題相關的科學

科學教學的許多要素可能和個別社區的地方問題有關，辨認和地方社區有關的題目是科學教學中的重要原動力，而且能納入科學教育課程。當學生在研究初等化學和生物時，他們大可同時檢驗有否出現酸雨或當地各種水的酸度。他們能檢驗社區的水質，尋找替代能源，尋找可能安全儲存放射性廢料的地質條件。他們能研究社區的能源消耗模式和替代品。他們能尋找土壤流失和浸蝕的證據和檢驗改變土壤流失的方法。他們能檢查食物添加劑的有無，以及思考其效應。說明應用的題目若列成清單可能很長，但是這樣的題目很少納入當前的科學教學中。

對動機和學習的敏感

過去二十年出現了一些有關人們如何思考、如何學習的新見識。在1960年代末至1970年代之間，對邏輯思考發展的關懷是組織某些科學課程的教材的主要依據。晚近，研究文獻揭開了學習科學的另一個重要面，這必需納入科學教師訓練課程。一些研究者開始報告「學童的科學」干擾他們對「組織過的科學」的學習。教科學概念時，根據學生先前了解的概念作反應，是和了解學生邏輯發展層次同樣重要。因此，對個別學生已了解的概念和對邏輯發展敏感是做為有效的科學教師的重要部分。為了增加科學教師對學生發展差異的敏感度，特殊的經驗是需要的，更重要地師資訓練課程必須提供適合於不同邏輯發展和概念發展層次的學生的各種教法。

近來，許多人觀察過年青人使用電動玩具，對電動玩具的誘惑力甚為驚訝。教師和學校需要了解像Pac-Man這類電玩的吸引力和刺激並加以利用，需要想辦法將更適當、更能鼓舞興趣的經驗納入學校科學。再一次假定能做到這一點不必犧牲科學教學的品質和完整性是合理的。然而，如果教師缺乏這樣做的眼光和經驗，他們是不會朝這個新方向邁進的，這點也很清楚。師資訓練提供的經驗需要能引導和激勵這種眼光。

人類行為的新觀念

除了要敏於了解個別學生之外，科學教師也需要對教室中的團體活動和事務敏感，最好是教師需要站在幕後，以較客觀、較科學的眼光檢視教室中處理事務的方式，把要傳授給學生的某些科學的客觀性做成模式。要做到這一點，他們需要了解分析教室中老師和學生事務的各種方法，一切措施需要符合這些方法。在James和Jongeward所寫的書中提到的事務分析是一個比較簡單的分析法，很適合用在教師訓練。這些見識能以納入教師訓練課程的適當經驗提供給教師。

關注興趣、技能、能力差異極大的各類學生

過去幾年，避免種族和性別偏見的關注特別顯眼，科學課程的教材一直被批評為表現出這些偏見。課程的偏見也許降低了有能力從事科學行業的婦女和少數民族的人數。因此，教師不僅要知道這些問題，也要有適當回答問題的見識和技巧。同樣地，許多社會人士對發生於身體殘障、智力不足、資賦優異等學生的歧視表示關心。科學教師需要研究對各種不同技能、能力、興趣的學生更敏感的方法。職前教師應有練習教學的經驗

，學生要有科學性向和沒有科學性向的。科學師資教育計畫過度提倡培養傑出人才，專注於為有學術天分的學生而設的課程和經驗，而不提供足夠的經驗用以延伸到缺乏動機的學生。

科學教育界必須研究初級科學教育的目標，並提供能反應該目標的科學師資教育模式。我們不能假定忙碌的教師對當前的科學教育目標會逐漸有廣泛的了解，或會發展出方法反應這些目標，如果他們接受到很少這方面的幫助。一般而言，今日美國的師資教育計畫是為較早時代的實際情況而設計的。在科學師資教育中提供經驗、培養這種了解，是極重要且切合今日需要的。

科學師資教育的新方向

在 1980 年代，一個理想的科學師資教育計畫包括幾個特色。這裡列出的是修改自 Yager、Lunetta 和 Tamir 於 1979 年所提出的特色。他們納入過去十年出現的特別關注，其中有一些已在上面詳述過。一個理想的科學師資訓練包括：

1. 職前經驗應安排成好幾年。職前訓練只是連續的職業成長和在職訓練循環中的第一步。
2. 納入廣濶的課程，跨越各種科學學科，結合學術經驗。
3. 以科學在歷史的、哲學的、社會觀的本質為中心。
4. 有電腦、地方資源、科技、屬於科學和科技的職業等方面的足夠經驗。
5. 提供機會探究個人、社區、環境問題、與科學有關的道德問題。
6. 能培養全面的人類潛能。提供可改進溝通和人際關係。
7. 在科學和科學教學中包括進行研究和利用研究成果的經驗，也包括教學技能的連續評鑑。
8. 實習教師參與多種臨床經驗，學生有不同年齡、發展階段、興趣和技能。
9. 包括評鑑、擴充、發展教材的機會。
10. 課程內容根據描述種種教學技巧和精通程度的行為目標。
11. 課程內容隨著對需要和課程效果的不斷評估而演變。

雖然這些特色專對科學師資教育，它們反映了期望於教師及學校的新看法，反映了對學生差異、對學校現實環境的性質、對社會的教育目標的敏感。今日師資教育普遍存在許多共同的顧慮、問題和時機。這些特色對師資教育和設計師資教育課程，一般而言，有所啓示。