

## 未來十年的科學教師培育

Leslie W. Trowbridge

黃長司 譯

國立臺灣師範大學科學教育中心

---

很高興有此機會在第一屆亞太地區科學教育研討會演說，也很高興有機會和以前在北科羅拉多大學的學生，以及1977年我來臺灣時認識的朋友相聚。

這三十年間在教育系統中；教育訓練機構中；以及社會中大體上有了許多改變。然而……

---

自從1954年我在密西根大學開始接觸教師班的學生以來，三十年來科學教師的培育已成為我生命的一部分。從那時起，我便以數個不同的身分投入科學教師訓練的工作。在北科羅拉多大學科學教育系擔任21年的系主任期間，我樂於和許多大學生一起工作——這些大學生都是渴望成為中小學的科學教師。當他們出了校門去教學時，將面對傳遞不斷成長的科學知識所引發的難題。此外，許多對訓練科學師資有興趣的碩士班和博士班學生在我系裡獲得學位後，到世界各地任職，擔當改進科學師資培育的責任。

科學師資培育的基本衝力和目標在許多方面仍然未變，例如科學教師仍然需要有優良的學科準備；嚴密的、最新的、富挑戰性的學科訓練。以前如此，今日還是如此。預備教科學的教師仍然需要豐富的教學法訓練及技能發展。教學技巧通常並不是自然俾致而來之不易。要成為有效率的科學教師需要許多的練習和反覆的經驗。教師也需要對他們所選擇的職業有強烈的信心。他們面對的是很富挑戰性的工作，有些情況常會使一個初任的科學教師困窘不安。

然而，值得注目的是在近十年中逐漸增添了一些新事物。例如有許多進步的科技，提供由世界各地的科學教師支配使用同時也有各種新的壓力，增加了科學教師目前的活動的界面——。這些新壓力也包括着對我們當前教育系統的嚴厲評鑑；美國教育和其他各國教育的比較等。此外受過良好訓練的科學教師日漸缺乏，部分原因是能選擇科學工作或科教工作的青年學生人數減少，這是第二次世界大戰以來出生率升降不定的結果。此外，工業界的職位通常比科學教師待遇高得多，極具吸引力，更加深科學教師的缺乏。此種情形仍一直隨着當前經濟情勢在伸展。第三點是近十年間科學和數學教育一般缺少大眾的支持，也許是因為對科學在學校、國家的角色缺少了解。我們現在發現美國正處於不但嚴重的缺乏科學和數學教師，也缺乏可能成為這些學科教師人選的情況，因為選修科學的高中生人數很少。這可能是只有美國才有的問題，因為它是地方分權制，以一個由地方政府各自管轄的教育系統，是一個需要花較長時間去解決的問題。否則在一個中央政府統一管轄的教育系統下，可以指令某些應立即的改革轉變，以實現渴望的目標。

此外與科學教師培育有關的其他發展情況，也包括一般社會變得更加依賴科技。它需要更多的人接受訓練去應付新的需求，來供給新科技所必需的服務人才。

為了更進一步提供背景資料以討論未來的科學教師培育，我引用休士頓大學的 Christopher Dede 發表於 School Science and Mathematics 1983 年六月號裡一篇標題為「科學及數學教育的未來挑戰」的一些觀察所得和統計資料。根據 Dede 的說法，在本世紀後半的前 25 年當中，世界經濟的成長平均每年超過 4%。如果照此速率繼續成長，到 2050 年全世界生產實質和勞務將有 30 倍的增加量。然而這種增加率不大可能持續過久，相對地，我們幾乎能預期緊隨着的是資源的缺乏，經濟投資報酬率的減少和永遠存在的高通貨膨脹率。

以美國與其他數國做比較，在 1970 到 1977 年間每位國民的生產力增加量情形是：日本為 38%，德國為 25%，法國為 23%，英國為 14%，加拿大為 12%，義大利為 12%，美國為 8%。這種成長有許多是新科技的結果，例如三十年前。需要幾千個接線生處理每天一百萬次的通話。二十年前，由於科技改良，這數字降至數百個接線生，而現在，僅幾十個接線生便能處理相同通話量。而電話科技向前推進未來的展望將更富戲劇性的。

我們看看施加於教育的各種經濟壓力。隨著教育費用的上升人們每年必將為相同的學校教育付出更多的錢。這成為一個值得正視的問題，因為許多納稅人不情願進一步動

用他們的資源去支援一個永遠昂貴的教育系統。

稅收縮減，降低了教育的效力也驅使許多人才離開教育界而從事別的工作，降低學校教育的品質，引致大眾不滿正規教育，甚至可能減少往後數年的資助。

教育經歷這種逆境的正面結果是當嘗試對付經濟現況的壓力時，教育革新的步調常常增快。科學教育和科學教師訓練的含意可進一步澄清。例如二次世界大戰以來，通信技術的進步比其他科技為大。一個驚人的事實是 1943 年之後每單位時間可處理的資訊量每兩年就加倍。明顯的加速進展導致戰後四十年間的成長率至少達一百萬倍。

另一個例子是資訊儲存方面的收穫。上市中的影碟，其原料值不到美金 1 元，能夠儲存相當於一千本書於一張比唱片小的塑膠片上。

幾年後，數位影碟將能儲存一萬本書的資訊，薄片技術在八十年代後期將能儲存十萬本書於一塊矽片上，其大小只有三分之一本書大。在更久的將來，1990 年代將會出現磁泡技術，能儲存相當於數百萬本書於一個皮鞋盒子大小的空間（Dede, 1983）。

通信技術和資料儲存急速擴張得令人難以置信，對未來十年的中學科學教師培育將有深遠的影響。一個暗示是它將影響就業機會和受雇人員的職務。新工業革命會消除許多較低技能的職位，但同時會創造需要高度認知功能的新職業。因為科技進步迅速，將使今日許多工作者在其職業生涯中接受再訓練三至四次。今日對某些工程方面而言有一半的現行工作技能只能維持 5 至 6 年就遭淘汰了，過去的數十年裡，許多工作能維持不被淘汰的時間一直在縮短。將來許多職業可能非常短暫，每 4—5 年必須完全重新訓練。

我們發現每一個重要性降低的工作會改變性質，成為較多職務較高級的新工作。舉例來說：一位打字員將轉成文書編輯，一個受過適當訓練的專業編輯能夠做五個秘書的工作，就整體來說：新資訊科技會增加而不會減少職務的複雜程度。智慧型的工具和電腦會需求極端高級知識份子以便增加生產力。

電腦和微處理機具有種種限制，如無彈性、缺乏創造性、未能辨認複雜模型，評鑑、綜合或下決策等，仍然需要具有判斷力和技能的人介入，而判斷力和技能則需要靈活的腦力。培養這種人需要廣泛基礎——文理科的通才教育而不是狹窄的技能訓練。

美國在 1970 年代期間，每年產生的科學教師人數下降 64%，數學教師人數下降 38%。目前有 38 州報告缺乏化學教師，43 州報告缺乏數學和物理教師。教師們陸續離開教職，尋找薪水較高的工作。無論如何，在去年對這問題的認識已是全國性的，也廣為大眾傳播媒體所披露，這非常值得重視。是個強烈的信號顯示往後幾年情況會好轉。

以往：科技的產品對教育的幫助有限，因為這些設備只有少數基本的教學功能，它

用在反覆練習中，而數學和科學的教學則需要各種不同的技巧。以今天資訊處理能力的增進速率，將要求各種新功能的教學工具提供利用。

因為費用的關係，教育一直趨於教授「什麼」，而不是教授「如何」。新工業革命的出現可能迫使重點放在過程而不在事實。科學及數學教育使用這些科技，將使主要的重點從描述性和陳述性的知識轉到教學複雜的過程性技能，如實驗技術，儀器使用，解決困難等。

科學及數學教育的新政策首先必須認識：僅培養少數幾個專家是不夠的，而必須對所有的國民施以通才教育。也有必要決定科學教學中那些概念和技能是重要的。人們仍須對基礎概念有基本的了解以便建立較高級的技能。在這些方面的加強教學並不是只回到過去那樣的嚴密性，而是需要對課程重新考慮，集中心思於併入通曉科技和文理科通才教育的前景。這樣做，教育工作者在進行科學及數學教學時將需要得到社區、工作場所和傳播媒體的幫助。

現在愈來愈明顯的是，我們對新科技缺乏眼光和先見，而且這一問題比缺乏經費的問題更大。

在過去五年內，國家科學基金會贊助了許多有關科教現況的研究中，有三個瞻望未來而設計的研究：

第一個研究是：在 Ohio 州立大學的 Helgeson 和他的同事將 1957-75 年間有關科教的已公開發表或未公開發表的文獻做了系統而扼要的整理。概覽以學校中的實際教學、教材及師資教育為中心。

第二個研究是：北卡羅萊納州，聯合研究中心（North Carolina Research Triangle Institute）的 Iris Weiss 所領導，利用問卷對教師和行政人員調查有關課程、教法、個別教學教材和支援性服務。

第三個研究是：伊利諾大學的 Stake 和 Easley 所做的十一個不同社區學校的個案研究。

此外，全國性教育評鑑（The National Assessment of Education Progress）也進行第三次的科學評鑑。所有這些研究資料由科羅拉多大學的 Norris Harms 加以綜合，在 1982 年發表於題名為“Project Synthesis”的報告。

查閱文獻使研究者能夠編列出所謂「渴望的」中學科學教學，個案研究和全國性教育評鑑則透露「實際的」情況，資料經過分析、「實際的」和「渴望的」兩者之間的差

距便鑑定出來。

“Project Synthesis”顯示科學教學在「實際的」狀況和「渴望的」狀況之間存在著很大的差距，下面是該報告中強調的一些發現：

1. 從1955至1975年是多產期，發展了幾個新的中學科學課程，焦點在各門科學的概念結構和探討過程。該期間的文獻強調廣泛的科學教學遠景——社會的、文化的觀點，科學和科技的相互關係，私人的和倫理（人道）科學本質，決策能力的發展。這些都是值得嘉許的目標，然而研究結果顯示，其中很少目標獲得實現。

2. 科學教學的實際狀態強調語彙和其他狹窄的目標。教科書是課程的基礎，且支配整個課程。

3. 最近幾年，課程深受「返回根本」運動的影響，該運動強調讀、寫、算三種能力，重視記憶鎖碎不相干的事實。

4. 社會問題在課程中討論，但是一般的模式是在相關的專題中加入教材或設計模組和短期課（Mini courses）處理環境、污染、生態等問題，和科學的社會含意。

5. 科學教師依序列出數個妨碍有效教學的因素，其中包括：

- (1) 缺少個別化教學的教材。
- (2) 缺少經費。
- (3) 設備不足。
- (4) 教科書要求的閱讀能力過高。
- (5) 概念太難。
- (6) 必修的科學課減少。

其他的發現有如：

1. 有許多現時的社會壓力要求更善加利用科學知識。
2. 不關連的知識一直是教室中重視的焦點。
3. 探討式的教學很少被用上，接受調查的教師中只有不到50%的人試用過。
4. 職業的課題處理得很膚淺，有些教科書僅在書的後面設有一小節，應應景而已。
5. 關於私人利用科學知識方面很少受到注意。

關於實際教學，該研究發現90%的教師有90—95%時間使用教科書為教學的惟一根據。教學模式是演講討論式。教師控制並決定教室中學習經驗的類型和風氣。

對學生而言，似乎有樂觀的跡象顯示在中學裡的科學能夠是一門令人興奮的科目。

接受調查的人數中，26%學生說科學是他們的第一選擇，33%指出他們要從事科學或相關職業。大部分學生說他們了解理論在科學領域的功能。

在反面，31%的學生指出科學是索然無味的，55%認為科學是一群要去記憶的事實。

在傳統的科學科目（學科）中，受重視的是記憶和回想以語言表達的資訊。文獻強調的「渴望的」情況，則是增進資訊處理、決策、研究等能力。

傳統的實驗是固守儀式的典型，包括短程的活動，通常要求有限的答案，而且出自不自然人為的例行手續和預先設計好的答案所組成。更適合的則是有能力研究與生活有關的實際問題，是人類、科學概念和社會問題的結合。

為了迎接將來挑戰和培育科學教師使其能以最佳方式接受挑戰，未來十年的師資培育重點做若干改變是必須的。我先前提到的，很強的學科預備將繼續需要，但是，當全民的科學素養成為更中肯的目標、更受重視時，教師將需要更廣泛基礎的準備。這樣的教師將有少數繼續受僱於公立學校，從事像生物、化學、物理等單科教學，但是大多數科學教師將投入於教育那些不上大學，更少從事科學職業的兒童。對這些兒童而言，廣泛地了解科學和科學的社會角色是必須的。教師必須據此加以訓練，因此他們注重的是，科學為一個整體的訓練而不是具有奇特目的的個別學科。

進步的教學法訓練也是必須的。當重點改變成開放的、以學生為中心的教學方法時，未來的教師須對這些教學法感到自在。更傾向於探討式的教學法將被強調，學生智力發展的情意領域更受重視。評量是包含廣泛的程序，與教學程序密切關連。了解評量的性質和技術是需要的。最近學習心理學的發展，如 Piaget Bruner. Gagne. Ausubel 等人的理論將要求對未來科學教師作有深度的培育。具備心理發展、成熟人格、個別教學的完整基礎將成為第二天性。

最近數十年的師資培育計畫顯示，儘早與學生接觸甚有功效。這意味着師資培育機構應安排實地經驗，使學生在被指派教學任務前先非正式地指導一小群學童。這將使他們能評量出自己在教學方面的優點和弱點，將使他們獲得未來科學教學所需的信心。在訓練計畫中善用小組教學和同學間的模擬教學（Micro teaching and peer teaching）也會增進信心的建立。

未來十年師資訓練的另一特色應包括加強教育的哲學基礎。這點很重要，該問的哲學問題如：為什麼我們有學校？學校的角色是什麼？學校應該負的社會責任是什麼？那些責任應分配給社會中其他的公私機構？教學的報酬是什麼？如何能獲得和增加公眾對

科學教學的支援？如何能吸引更多學生進入科學？或如何鼓勵學生修習適量的科學課，使他們能在科技和科學的社會中運用智慧？

先前引用的「Project Synthesis」報告對科學、科技和社會（簡稱 STS）特別注意。因為這篇報告用了很大的篇幅討論快速影響我們社會的科技變化，（我認為）有必要對如何培育師資以滿足現況的需要作更進一步的評論。

該委員會注意到「科學、科技、社會」影響公立學校課程並發現了下列事實：

1. 教師的授課內容主要依賴教科書。代表科學課程的實體極度依賴教科書，目前現行的教科書幾乎沒有涉及「科學、科技、社會」。教科書變成更理論、更抽象，包含更少應用實例。這導致科學教育被認為是最優秀學生的領域。
2. 科技相關科目的師資訓練實質上並不存在。教師在大學修習的大多數科學科目是專為培養如植物、物理、地質等科學界的專家而設的。這些課程有理論基礎和狹窄的專業範圍。不顧及多數中學生不會成為科學界的專家這種事實，他們所接受的教學是仿照為專家而發展的大學課程模式。
3. 在教師和行政人員的在職訓練中所做的努力，大多數僅使學員知道有這麼回事，而不是真正的預備訓練。
4. 全國性教育評鑑發現學生對「科學、科技、社會」的知識水準很低。有一些屬於「科學、科技、社會」領域的評鑑項目十分令人失望，通常都在其他傳統項目的成就之下。

該委員會做了下列幾點建議：

1. 學校代表人應鼓勵教科書出版商在各年級的科學教科書中容納「科學、科技、社會」的教材。
2. 應鼓勵各個教師發展他們自己的課程資料，配合他們現在教學的科目。
3. 應認真嘗試在學校課程中引入有關科學、科技、社會三者間相互關係的完整科目。
4. 學校行政人員應鼓勵和支持討論 STS 課程和新科技發展的教師會議。
5. 學校行政人員應幫助非科學課程做 STS 教材的統整，以便鼓勵不同範圍的教師一起工作，將科學、英文、數學、社會科學和商科部門加以統整。
6. 應成立交換中心，散佈 STS 方面的課程資料和消息，並使受過在職和職前訓

練的教師知道這種事情。

7. 教師職前和在職訓練應包括有系統的策略，將教師對「科學、科技、社會」重要性的認識發展成一正式的研究題材。

8. 因為七年級至十二年級的課程似乎是反映大學模式的學科，又因為教師怎麼學就怎麼教，在大學階段發展關於科學、科技教育的新課程是很重要的。這些課程不僅用來教學生一些適當的問題，提供適當的技能訓練，也是供仿製的模型，以便建立 STS 在國家教育裡的聲譽。

9. 應該有定期簡訊給教師和行政人員，提出科學原理在科技發展的種種應用。這類資料有時在 Science News, Scientific American 和 Science Digest 等刊物刊載，是典型的一些需要。

10. 因為科學教育以教科書為主，應該發展出一套選擇教科書的標準，此標準應能反應「科學、科技、社會」的考慮。因為教師對選擇教科書有很大的影響力，他們能取得這類資料是很重要的。

以上所述指出科學教育出現新的挑戰：科學教育的問題是要我們能將我們的目標、計畫、實踐等，從現在的極度重視少數學生的學術訓練移轉到重視訓練全部學生，使其能成功地在日常生活中與科學科技搏鬥，也能在未來國家必須做出與科學有關的重要決策時帶著豐富的知識來參與。

任何教育計劃推進其目標到何種程度，基本上依賴教室中的教師。教師的教學決策建立在主觀的理論基礎是很重要的，而理論基礎是根源於健全的科學和教育的哲學。要使科學教育在國小階段成功，教師必須重視科學成果，認為它們值得追求。了解科學對一般智力發展所能做的貢獻是這種價值系統的可能觀點。

另一方面是有關私人需要的教育目標。對這一點，也許最重要的教師特性是把學生當作個體看待，考慮到個別需要才決定該教什麼，如何去教。

同樣重要的是社會目標。與此有關的重要教師特性之一是徹底了解科學上的不斷努力、科學知識、科技和重要社會問題間的相互關係。

多數科學教師的職業訓練、教室中的教學經驗、以及他們使用的教材等所承擔的科學教育目標遠比渴望的目標狹窄。要脫離這種窠臼是一件困難的工作，多數教師需要新的技能、正確的眼光和作法才能辦到。在教師培訓計畫需要採取下面的步驟才能做到：

1. 需要致力於訂定科學教育的廣大目標。這些目標應以學生準備要做的事情為觀點寫下來。
2. 學生的成果對達成廣大的目標極為重要，應該加以認明。
3. 課程的開設，教科書的特性、教室中的教學、以及測驗過程，這些關係學生成果的製造和評量，應該特別重視。

顧及前述步驟的師資培育需要採取的作法方面，有一些途徑可使教師訓練計畫和實境更符合廣大的教育目標，建議如下：

1. 必須發展新的，用以應付時代變遷的教師能力。
2. 教師應以他們對地區性在職訓練的影響力，鼓勵發展着重於「科學、科技、社會」的各種計畫。
3. 要在行業中保持不落伍，閱讀雜誌和參加教師職業團體是很重要的。
4. 最後一點，必須負起領導教育的責任。如果教師相信在他們學校中實際推展的科學課程不符合大多數學生的需要，他們應該開始去改變情勢。教師也許比其他人更能引起這種改變。認清教師是教育政策的最重要發起人這件事是很重要的。

我很高興有此機會對各位談論未來的科學師資培育。各位是教育的實行者，我確信各位和我同樣意識到科學師資培育面對着極大的挑戰。教師將須面對科學教學的急速變化和需求。無論如何，我確信我們也同意所需的人才有的，要緊的是如何鼓勵有才幹和興趣的人去選擇科學教學做為他們的職業。我相信我們能保證他們的職業是一個具有許多令人滿足的事物、不欠缺挑戰性問題、令人興奮的生涯。