

科學教育中的教育工學

原著：劉斐曼 Dr. Arthur W. Luehrmann

美國加州大學 Berkely 分校

翻譯：趙 銘 國立臺灣教育學院物理學系

前言：

由新的資訊工學（例如電視、寬波段通信及特別是電子計算機）已經廣泛的在一般性及專業性的出版刊物上討論到。最近亦有關於受到良好補助及有良好出版物的示範性研究計畫的總結出版，其中一些研究成果證明了在某些科技上的花費是值得的。然而美國的教育在過去的幾十年大部分都持續的未受到新科技的影響。

下述的分析將暗示出目前科技很少用於教育上的原因，乃由於美國的教育系統和大部分想要執行教育功能的科技，在基本上彼此格格不入。除了少數例外之外，沒有人曾找到一個可以將技術成為教育的一部分的方法。在此情況下費用與效率值是不會改善的。

基於上述原因，特別需要由聯邦機構主動的來推動教育工學系統，但目前已被教育系統視為一種負擔及威脅。卡內基委員會在他們的教育工學的報告上對所附的標題為『第四次革命：在高等教育上的教育工學』。有關於工學系統的最著名而且受到最好的補助的範例指出教育系統須起革命性的改變。所以可預期它會受到現存系統的排斥。

並不是所有工學的應用都會威脅到我們的教育系統。在本文中大部分將朝向將現有的資訊工

學特別是電子計算機在現存的教育系統中預期會受到歡迎的所在予以鑑別出為討論的目標。使用「適當的工學」只有小規模的進展而且並未受到廣大群眾或有系統的支援。由於它們與教育系統的相容性，這些相比較下顯得是被忽略的應用應在聯邦的研究計畫及發展程序中在未來的十年給予最高的優先權。

一、美國教育系統的本質

我們可將整個系統分為「學校的」及「非學校的」二大部分。美國的學校系統，大家一致認為是屬於高度的地方分權的。學校大部分要靠地方的財政支援，且大部分受到當地人控制。在某些州的課程標準可能在州的層次上建立，但沒有一聯邦制定的課程及特定的教學方法。在職業、專科及專業教育的層次，講習班及入學院前的講習班在特定的課程及教學法上更具獨立性。

非學校系統的運轉比較不像學校那樣明顯可見，但基於下述二個理由所以必須包括在此分析之內。第一，它的結構與學校系統不同，所以與資訊工學相容性較大，此點與學校系統是不相容的。第二，許多人由於休閒時間增加及提早退休，所以非學校的學習環境將會因為再訓練的需求而增加。

主要的非學校環境，包括圖書館、博物館、

工作場所及家庭等。在這些場所學習時，將不太具有正式的結構、測驗、評估及工作完成後無法給予學分等的特性。我們可確認在校外的學習機會較校內多得多，它將不會在成績單列有成績，也不會有畢業證書。

聯邦政府在學校系統的地位是界限分明的。聯邦機構能命令如何及要教什麼，但它能進行一個事先可見到對每一個人均有的整體利益的計畫。但要將研究補助以分贖式的分給州及地方教育，以供分配的壓力很大。

聯邦政府能在國家性的問題採取行動，例如基本技能的低落及教育上不利的事件的問題，它也能進行短期的、知識連成的計畫或資助一些尚未開發的課程發展計畫，而且它也可以支援以克服教學及學習上的問題的研究。

聯邦對非學校系統所扮演的角色比較不嚴格限制，部分是由於此一系統大部分是與成年人有關，並具有非硬性的教育限制。無論如何，問題仍然會發生。非學校的教育計畫必須產生一個能給予大眾所需求的產品。除了一些重要的例外，例如社教電視節目，產品是經由一般市場機能分送出去。當聯邦有補助時就會發生產品所有權的問題。愈是好的計畫，就愈容易引起聯邦的關注。

二、目前教育系統的需求狀況

從現在到十五年後的這段期間，學校系統中最顯著的可能是入學的學生數目的下降現象。學校將出現過多的教室、教師及行政人員。在這些年，幾乎不可能是在學校中引入節省人力的教學方式。

由於教師職位的缺額消失的結果，在校內教育的變化將實行對現存的专业人員的在職訓練，而不再是在教師養成課程內加入新科目。當學校的數目減少時，學校將對基本技能呈現出拙劣的教學狀況與日俱增的趨勢。當他們企圖在技能、

才幹及本性上來廣泛的教育兒童時，學校需改進教育及測驗方法以應教育的需求，並發展使適應每一個兒童能力的教育。此外，在成年人群中將出現再教育，及可能是稱為「消遣性的學習」。當志願性或強制性的要人們在中年時變更職業的現象頻繁出現時，人們需要接受額外的教育。假如非學校的環境被使用到時，則需要新的教學系統及教育組織。

大量的閒暇時間及提早退休將大量的需求消遣性的學習，一種為了滿足發現或成就的學習。對大部分學生而言，非學校的設置將是最舒適不過的。

三、適當的資訊工學

給予教育界最多美好遠景的工具是電子計算機、電視、寬波段通信及這些工具的組合。電子計算機在資訊工學上是具有與眾不同的特性，因它能與學習者產生智慧型的交互作用。在過去，所有的資訊工學只能將事實及觀點單方向的傳遞給學生而已。例如書籍、錄音機、廣播或錄影機都是如此。只有計算機可以依學習者的步調，由使用者依自己的努力或依照教師程式化的方法去建立一個對問題具有正確的演譯表示法。計算機對一個能夠學習並把它成為建設性及生動性的助手，去計算及解決問題的個人是件不尋常的事。當一個人在書寫電子計算機程式時，是在表示他的概念，而當他在執行程式時，是在一個預期的結果下測試他的概念，在測試邏輯上需要評估及鑑定的設備。在小規模的電子計算機程式除錯是類似於任何領域的研究者所使用的聰明思考過程。對電子計算機寫程式時，智力上的世界是如同在寫文章或解數學問題時的感受。

到目前為止，所有教育性的電子計算機都是用分時系統來進行，每一個端點（端末機）的主要費用在 10,000 及 20,000 美元之間。個人用

的電子計算機具有類似的能力，在今天花費1,000到2,000美元而已，而且，無疑的，在未來必成為大眾所偏愛的工具。

廣播及電視在教育上的角色已穩固的建立了。它們是單向的媒體，假如能將產品分送到廣大的群眾時，它具有最佳的費用與效率值。但在另一方面，由於高度的製作費用使得對專業觀眾為對象的高品質節目却無法製作。錄影帶可以再複製及儲存，消除了必須將大量觀眾在同一時刻觀看節目的問題，相反的，一小群人及專業化的小組均可透過個別的交換而有效的利用錄影帶。最後，這些媒體仍然必須有龐大的觀眾群才可以。

錄影碟較錄影帶更具前途，因為複製的費用較低，與同樣時間長度的錄音帶的複製費用差不多。它尚具有一奇特的性質，就是能夠允許利用電子計算機程式及數位數據來編碼，與我們對聲音及影像的編碼是相同的。在碟上的資訊可以以任意的順序被取出而且在讀取時不會產生機械上的損耗。總之，錄影碟是最具潛力的以電子計算機為基礎，並含有聲音及影像的教育資料的儲存及複閱的工具。諸如「智慧的錄影碟」可以與個人用電子計算機及一般的電視組成一個低費用的學習系統在家中、圖書館、博物館及學校中使用。

寬波段電纜系統已用在社區及學校的電視及其他形式的電信系統。目前在教育上的效用已到可行的邊緣。幾乎所有現在所使用的電纜電視都能較錄影碟的傳播力來得更有效，但由於個人用電子計算機的廣佈於學校及家庭將造成利用電纜系統的新方法，例如發展資訊網路等。

直接由人造衛星接收電視信號在未來十年將是十分重要的，因為它能增加家中通信波道數，允許更多元性的程式規劃。

四、對目前需求的工學的應用

一些著名的電子計算機輔助教學計畫，已展

示出電子計算機可規劃為有效的教學工具。當處理基本技巧及特殊教育問題只能用做補償性的使用，電子計算機已展示出它較傳統的方法以較少的費用達成功效。電子計算機的使用是教育上費用的支出的一個項目而已，而此費用正逐年下降，所以它是一個應用在各個領域的學習的最具前途的工具。然而，廣大的群眾利用計算機於教育上的經驗並不是來自這一類的電子計算機輔助教學（CAI）的計畫。

事實上，在缺少系統化的研究及發展的狀況下，電子計算機已漸漸成為學生協助他們在廣泛的傳統科目中的學習工具。此外，電子計算機可以用來解答問題、產生模擬與模型及找尋數據。在這些教育上的使用電子計算機已成為新且重要的需求。

CAI在此時也宣稱在教導基本技能時能改進效率的需求。此外，CAI自然的引導成為個人化及自我協調的狀況，在同時也能夠自我協調化的進行測驗及管理工作。截至目前為止，CAI的課程教材都是為學校而發展，但自個人用電子計算機發明之後將允許CAI的教材在許多非學校的環境下使用以滿足需求。CAI教材的錄影碟的出版，會承諾將範圍廣大的結構化學習材料散佈到非學校的環境內，雖然，評估及衡量效果仍是一個問題。

總之，廣播及電纜電視不會在未來的十年佔有較現在更好的地位，如電影教材的錄影碟將給予革命性的機會去散佈高度專業化的教材，而且有給予完整的教材、直接送到個人手上，不經過學術界的中間人的優點。

至於預估由人造衛星通信，直接傳到屋頂的天線的方式及利用出版錄影碟的方式來傳送相同的教材來滿足教育上的需求時，何者為優尚有困難存在。需要對費用方面較多的認識才可以。

五、從新科技產生的教育上的新需求

新資訊工學特別是電子計算機，已在教育上產生十分重要的新需求，並需要最優先的努力從事研究及發展。過去大規模的計畫幾乎全部是關於更有效及省錢的方式來教授現存的科目及教材。此一技術僅是被視做一個講述系統而已。

至於電子計算機的情況，此一工具自身包含著智慧的部分，而此一部份在幾個主要的CAI計畫中均被忽略掉了。當電子計算機成為家庭、學校及商業界的一部分時，人們將需要知道如何聰慧的，生產性的及創造性的使用它。在未來使用電子計算機的能力會被認為是基本技能之一的事實已沒有太多的疑問了。然而，到目前尚無一個公認的學校系統內教授電子計算機技能的課程及授與資格量度的標準。

此一新工具產生的教育上的需求包括：基本教育、職業與專業教育及教師訓練。

教育上基本的需求是認識及使用的資格。在社會中，依賴複雜的自動資訊處理系統趨勢日漸增加，大眾化原則的要素是可獲取性的認識、使用與誤用資訊及用機器來處理資訊。「認識的需求」也就是這個的引伸，在今日學校課程已談到而且很難得的是已使得課程中要求學生僅讀些關於電子計算機及資料網路的知識，不須要與電子計算機系統有第一手的經驗。此一情況與傳統使用的講授法去讀及寫的教學方式相類似。在教授電子計算機的認識課程而不用電子計算機的唯一可以接受的理由是如此儀器的費用高昂。今日個人用電子計算機的可利用性已改變了此一情況，而且依認識課程的需要去發展及測試。

然而較認識電子計算機更重要的基本教育是使用電子計算機的技能。考慮一個人能以預設的指令群或演譯法來表示，瞭解一個概念或問題，以及能將此演譯法寫出計算機程式，並用交談的方式在計算機上執行。像這樣的人具有一個基本

上對我們所教授的每一個科目內容都重要的智慧工具。這樣一個人將較不會以建設性分析性的模式來利用電子計算機的人獲得獨特的教育上的好處。除非學生在學校系統授予基本電子計算機技能，則富裕家庭的兒童則是在家中接觸到家庭型電子計算機並學得此一技能，因而增加他在教育上的優勢。

學校需要備有使用電子計算機這方面的基本課程。目前僅有少數幾個獨立而且未經評估的教材而已，通常是屬於數學方面，而這些教材是在對全班或全校學生僅有一、二部端末機的限制下所設計的。但所需要的課程是在課堂上，使每一個學生可以用一半的上課時間，單獨的用計算機從事該科目的探討工作。目前尚沒有學生可以經驗到直接動手式的實驗課程存在。

我們必須確認基本的電子計算機技能不能如同過去一樣，只存在於數學及科學的範圍內。由經驗，發現到厭惡數學的學生亦十分喜愛學習使用電子計算機，而且能很有效的解決由其他學科所選出的問題，例如作圖及文章處理等。

為了對不同年級及發展層次的學生去教授計算機技能時，需要一些課程發展的研究計畫以探討各種教授法的利弊。此課程並不是僅以教授學生一般的計算機語言的語法為目標而是要導引學生如何進行有意義的任務，因之提升他們分析及解題的技能。學生將學習以邏輯形式去組織問題，用演譯法表示概念、用計算機模型去模擬真實的系統、去處理文章、作圖及由資料庫找尋其他的技能。

除了基本計算機技能外特別在計算機硬體及軟體方面，還需要職業的及專業的訓練。若一個人能寫程式來指揮計算機時，在他的行業中通常可獲得較高的起薪與良好的前途。現在正大量需求瞭解如何與計算機化的文字處理系統能的交互作用的人材，特別是正當辦公室自動化趨勢高漲

的今天，此種需求更為迫切。

目前在資料處理的職業課程往往在教授過時的技能，例如：如何使用打卡設備。在未來十年需要關於資訊工學的適當的課程。

六、教育系統與資訊系統的不相容性

如同前述的情況，資訊工學系統的失敗是由於它不能與原存的教育系統相容。例如，大部分的資訊工學系統需要大量的初期投資於硬體、軟體及課程。此一投資只有在廣泛的採用其成果的情形下才有可能收回。學校則是小型的、地方分權管理的、分散的及獨立的組織並習慣於「鄉村工廠」式的生產及發展。他們不會買完整的教學系統；他們聘用教師，教師則會受到節省人力的教學系統的威脅。

必須設立新型態的機構，以利用此一工學，但學校的生存必會受到此機構的威脅。假如傳授基本教育的服務是個自由市場時，經濟因素將決定結果，如同工業及農業上的革命一樣。但學校是公共機構而且是政治過程的一部分。僅靠經濟因素將無法促成教育上的生產力的革命。

非學校的系統，例如：圖書館、博物館、家庭及工作場所；並不具有學校的特性。它們較學校容易接受到以技術為基礎的教育系統的好處。在家庭中的每一個人就是它的廣大市場之所在。然而，假如明顯程度的正式學習是在校外進行時，如同早期所敘及的問題，也就是學習步調、測驗、授予學分及學位的問題都必須解決，也許是由此一新機構來解決。

七、來自相容系統的一些機會

並不是所有教育上用到的技術是威脅到或與教育系統不相容。本文在前面長篇大論所討論的均都與教育上的新需求相容。由於為滿足此一需求，勢必導引至成功的引用此研究及發展的成品。

例如在認識的新課程及使用電子計算機的資格，可以在一般的學校經由一般的教師在一般的課室依一般的功課表來教授。僅有的新成分是課程、計算機的出現及教師的新能力而已。所有這些成分，成為目前各學校的興趣所在。

在有限的範圍內，CAI及CMI系統也將支援學校各項業務。例如矯正性的工作，但對大部分的教師不具吸引力，而CAI在這方面很有用，如同在特殊教育上學生的需求。計算機管理的系統，可以在支援個人化自我調協的學習及測試上有助益。

非學校系統亦可由資訊系統獲得新的教育上的機會。博物館及圖書館是給大眾接觸到資訊及教導的適當機構。電子計算機可用做「資訊展示處」或能引導參觀者進入一個參與性的展示。

家庭亦能給予學習資訊工藝的機會。由於家庭用計算機的存在必將產生要知道如何良好的使用計算機的需求。錄影碟的出版將允許電視及CAI的課程直接分送到個人手上。需要一些新機構來生產這些教材及研讀後授予學分。

八、優先的研究與發展計畫

1. 基本的計算機技能課程。由前述的所有理由，在學校系統內教授基本的電子計算機技能的課程發展，應在技術及教育的研究發展方案中具最優先的地位。它完全合於申請聯邦基金補助的條件，因為現在並沒有這樣的課程存在，也沒有一個機構受到足夠的刺激去發展這樣一個課程直到市場中已顯示出此刺激力，如同所展示的此課程的發展計畫是一個急速引動的例子而且基本的計算機技能是全國一致需求的。數個發展計畫應同時資助，如此方能對不同年齡的層次提出使用不同的內容及方法的發展及評估的不同模式，並給予學校選擇的機會。

2. ●教師的訓練。需舉辦教師的在職訓練，以確保教授計算機技能課程的適任教職員。其餘科目課程的教師亦需專業的科目教材訓練，以備他們能使學生應用他們的計算機技術去學習這些科目。
3. ●課程發展中心。由不同學科中具有教授學生使用計算機經驗的優秀教師或人才集合起來組成一個集合。此集合的成員，必須相處足夠長的時間，以便有效的協調工作，生產出基本的計算機技能的課程並且將以計算機為基礎的方法應用到其他學術領域。此中心為保存它的持久性及可靠性，必須每日處理實際學生的分佈情況，且必須利用某些像面試的方式以確使穩定的引入有創造力的學生進

入發展中心，並由中心將之送回他們的教學環境內。

4. ●社區的學習環境。圖書館及科學博物館擔任社區學習環境已進行了許多年。它們組織良好適合於對廣大群眾擔任非正式的教育工作。透過公眾化的電子計算機為基礎的學習系統，認真而努力擴展及增強它們在教育上的角色。
5. ●發展智慧型錄影碟於個人學習系統。須對工程上的問題、著作權系統、記錄存檔、測試問題及分配機構從事研究工作。示範性的工作、智慧型錄影碟系統必須在發展任何主要的課程活動之前完成。 □

自我陶醉的數字 (一)

勇清

在希臘神話中，有一位名叫 Narcissus 的俊美少年，因為非常迷戀於他本人在水中的倒影，以致於憔悴至死而化為一顆水仙花，後人遂把他的名字做為水仙花的名稱。

在數學上，有些整數可以經由它的各位數字做某種運算而求得；這種數我們稱之為自我陶醉的數 (narcissistic numbers)。我們介紹幾類這種數如下：

完全數字不變數 (perfect digital invariant)

若一整數等於其十進位表示式中各位數字的 n 次方和，則稱之為一個 n 階完全數字不變數。例如：

$$153 = 1^3 + 5^3 + 3^3,$$

$$370 = 3^3 + 7^3 + 0^3,$$

$$407 = 4^3 + 0^3 + 7^3,$$

因此，153, 370, 371, 407 等四數都是三階完全數字不變數。其他的例子像：

四階：1634, 8208, 9474；

五階：4150, 4151, 54748, 92727, 93084, 194979；

六階：548834；

七階：1741725, 4210818, 9800817, 9926315, 14459929；

八階：24678050, 24678051, 88593477；

九階：146511208, 472335975, 534494836, 912985153；

十階：4679307774。