

## 教育理論演進對CAI設計與教學的影響—以科學教育為例

錢 正 之

本文內容主要在探討不同教育觀點，對電腦輔助教學(CAI)設計與教學的影響。在強調知識轉移的行為主義中，教學媒體的開發模式是由內容專家撰寫課程，再交由教育科技人員製作成教材，將知識傳遞給學習者。建構主義強調知識的探索，電腦輔助教材是提供學習者一個環境，自行檢驗及判斷如何修正已經建立的概念。此時，學科的本質便成了決定科技運用的主體，而不是被電腦載入的物件。這個轉變造成的影響，是教育科技人員不能再被動地接受內容專家所寫的課程，而須直接面對學科學習與電腦應用兩個領域，才能將學科與科技領域整合的效果完全發揮。本文以鏈結模型及科學教育，說明學科與電腦整合應用的過程。

關鍵字：行為主義、建構主義、科學教育、教學設計模式、電腦輔助教學

---

本文作者為淡江大學教育科技學系助理教授；美國俄亥俄州立大學科學教育博士；學術專長為科學教育(物理教育)、電腦輔助教學設計、研究方法

# 壹、前言

有關電腦輔助教學研究，至少可追溯到1960年代。從1960年到今天，不論是軟硬體的功能，設備所呈現的內容，或是從相關教育理論所衍生的電腦教學活動，都產生了極大的變化。過去三、四十年來，行為主義對媒體設計有非常大的影響，甚至可說是早期電腦輔助教學的理論依據。建構主義出現的意義，並不僅是多了幾個新的教學法，而是對「學習」的意義有了新的看法。同時這幾十年來，電腦功能也有了很大的變化，提供給教學設計者的空間，也不再只是教材的呈現。

由於電腦具有許多不同的功能，在教育上也有廣泛的應用，故本文討論的重點為電腦對於學科內涵(contents)學習所提供的幫助，並以科學(science)為討論的實例。所以，本文討論的角度不是以電腦為主體，探討電腦對教育有哪些可能的貢獻；而是從學生學習，及學科教學的實際需要，研析這些已知的電腦功能，對於教學能產生什麼實際的改變甚至衝擊。也就是說，本文以科學教育為例，探討在以建構主義為主要哲學思想的環境中，許多相當普及的電腦技術能為科學的教學帶來什麼新面貌。科學教育雖只是一個例子，但卻是整個「學科－電腦」整合環節的一個重要部分，是以無法忽略學科學習（並非所有的人都對科學教育有興趣），直接討論電腦的功能。本文所採取的模式為「學科內涵需求」－「電腦科技」－「新學習型態」的一貫流程，探討三者間的關係，如果跳過學科內涵，只看電腦的部分，恐怕無法完整掌握論文的主題，這說明何以本文有相當篇幅討論學科內涵的原因。

近年在討論利用電腦功能增進學習效果的研究，有許多不同的名稱，例如：電腦輔助教學(computer assisted instruction, CAI)、電腦協助教學(computer aided instruction, CAI)、電腦化教學(computer based instruction, CBI)、或是電腦輔助學習(computer assisted learning, CAL)。本文題目與內容所用的「電腦輔助教學」或是「CAI」，是根據Thesaurus of ERIC Descriptor所使用的名詞。在ERIC資料庫系統中，建議使用者以及各地資料中心(clearinghouse)的資料撰寫人員(database analyst)，使用computer assisted instruction作為統一的名詞。這些名詞的新增、修改、及刪除都經一定的程序作常態性的修訂。這個程序包括統計各主要期刊使用該關鍵字的數目，達到一定的數量之後，先收錄在ERIC Identifier Authority List (IAL)之中，經一段時間及審查委員討

論之後，才收錄或修改 Thesaurus of ERIC Descriptor 中的關鍵字。說明這個過程的原因是，在建構主義成爲目前教育哲學的主要觀點之後，有人認爲談「教學」(instruction)已經是不合時宜的觀念了，因此使用「CAI」也等於教育觀的守舊落伍。究竟是ERIC的人員忽略了建構主義目前的地位，或是建構主義與教學並沒有衝突，反而需要透過不同的教學引導，才能幫助學生達成「建立新學習過程」的目標？作者以爲，建構主義並不等於完全地自由探索，要靠著教師及教材設計者適時的引導，幫助學生建立、評量、及重整一套屬於自己並能應用的知識系統，這也正是本文對電腦輔助教學設計所持的主要觀點。以下將由行爲主義及建構主義與媒體或教學設計有關的一些觀點，探討不同時期電腦輔助教學呈現的型態。

## 貳、行爲主義－善用媒體本質的教學

二十世紀前期，桑代克(Thorndike, 1913)提出的效果律(law of effect)、練習律(law of exercise)、及獎勵(reward)等理論，在美國教育界佔有相當重要地位。此時所謂的「學習」是經由一些活動，幫助學習者建立刺激與反應之間的關聯性。桑代克主張這樣的關聯性可透過良好的回應(reward)逐步形成；而對於已形成的關聯性，更可以透過反覆練習，增強刺激與反應間的關係。在桑代克後，史金納對於「學習」基本上採取與桑代克相同的觀點，但將學習過程中相關的刺激與反應，做了較廣泛的界定。例如，他將反應(response)分爲兩類：一種是與生俱來的反應(respondent)，另一種則是要經過後天學習才會產生的反應(operant)(Skinner, 1953)。此外，他也將具有較正面意義的「獎勵」，改用意義上較爲中性的「增強」(reinforcement)(Skinner, 1986)。這樣的修正，使得史金納的理論較桑代克更適用於一般或學校的學習狀況。

由以上兩位行爲主義代表人物的主張中，我們可發現其共通性：經由學習所建立的知識，被視爲外在事物或環境間的關聯性，或是行爲的改變。而達到良好學習效果的關鍵，在於學習者能夠反覆練習，並且樂於練習。如果從這個角度來看行爲主義的學習理論，就不難想像爲什麼史金納會提出編序教學(Skinner, 1954)、教學機等構想(Skinner, 1958)，以及當時學者對電腦教學及其他媒體教學，會抱著如此高的期望。因爲電腦正好可提供當時教育理論兩項重要的因素：一是反覆教學，二是回饋機制。利用機器反覆播放教學內

容的方式，很容易理解；在回饋機制方面，編序教學包含了學生參與的部分，由教學機提出問題後，電腦可在使用者答對的時候播放音樂、動畫等，給予學習者鼓勵，或是提供不同的學習途徑 (branching program)，供學生選擇。這裡所謂的參與回饋，型態大多是在呈現教材後，測驗學生是否記得之前的內容，倘未達一定的標準，則再給予反覆的呈現與練習。如純粹從以上的論述來看，我們可有以下的推論：「教學媒體」由於具備一些相關的特質，所以媒體的本身對學習有正面的影響。然而，在編序教學實施了一、二十年後，綜合整體結果，並未如當初預測對學習具有正面的效果 (Rothrock, 1982)。

史金納的編序教學嘗試提出一種基本的電腦化教學模式：將大主題切割為數個小主題後逐一呈現，由學生的反應，給予適當的回饋，並依此選擇適當的教學內容提供給學生。各個學習領域(如語文、數學、自然科等)不同的特質，則不在行為主義的探討之內。所以，由這個概念延伸出來的電腦輔助教材，所謂的「學生參與」以及「教學互動」，強調的是學習者與機器間的互動。例如，「用滑鼠點選之後，會依使用者的選擇出現畫面」，或是「依照學生答案的正確與否，由電腦判斷應反覆呈現教材或是提供新教材」。

到1980年代後期，強調知識建立的建構主義開始在教育界受到重視。這個改變，對於電腦輔助教材常用的「學生參與」以及「互動」等概念，產生不同的詮釋。這樣的觀念轉變，對電腦輔助教學觀念產生了相當大的衝擊。接下來將討論建構主義哲學觀對教學媒體設計的一些影響。

## 參、建構主義－內容為主體的學習

建構主義反應在教育上的是一種哲學、一種觀點，而不是一種教學法。所以在討論其本身或對教學科技的影響時，我們很難如行為主義一般列出幾個特點，或是幾種教學法來代表建構主義。一般而言，大家對建構主義在教學應用上的共同認知是，以學習者的學習活動為中心，學生是知識與意義的詮釋者及問題的探究者，而教師的角色則是在設計學習情境，並引導學生建立知識，而不單只是將教師本身的知識傳輸給學生(甄曉蘭，民86)。從以上的說明，我們可看出教師扮演的是一個學習促進者(facilitator)的積極角色，而不僅僅只是被動的諮商者，等候學生發問。現在回到前言中所提到的一個問

題，究竟教學（無論是 teaching 或是 instruction）是否與建構主義有所衝突？

「發現式學習法」(discovery learning) 有時會被用來當作檢驗教學是否符合建構主義精神的一項指標，也就是強調應該讓學生自由操作並找到結果。如果教師或教材提供學習的引導，則不論引導的方式為何，都不能算是建構主義精神的教學方式，這樣的邏輯其實是不正確的。基本上，發現式學習法有它在應用上的限制。Kaufman(1971) 指出，只有對於可觀察的現象，並且能透過學習者的直覺(intuitive behavior) 整合而得到的知識內涵，才能從這個學習過程產生知識的建立。

以下舉兩個例子說明上述的觀點。首先我們以牛頓運動定律為例，這是物理學最基礎的觀念。如果從亞里斯多德算起，人類在過去兩千年來一直相信，「速度」由力產生，在沒有任何力作用的情況下，物體運動將逐漸停止。這個錯誤的觀念，一直到牛頓之後才修正為：「速度的變化」由力所造成，沒有任何力的作用，速度應該維持不變。如果我們讓學生自行觀察，學生絕無可能在一、二小時內發現與牛頓相同的結論。貿然讓學生探索的結果，最後一定是教師告訴學生：「你們的觀察是錯的，正確答案是……。」我們是否能推論：物理不適合用建構式的教學法？另一個例子是化學實驗，以濃硫酸稀釋為例，必須要將硫酸加入水中而不能將水加入硫酸中，以免因急速放熱造成酸水瞬間沸騰飛濺。是否要讓學生自由嘗試，讓硫酸在實驗室飛濺，否則就不符合建構的精神？由於科學實驗非常重視過程的正確性，是否不適合建構式教學法？

如果用這樣的方式推論，科學幾乎根本不能使用建構主義的教學方式，但是，這顯然不是事實。以第一個例子來說，牛頓運動定律的結果必須告知學生，但關鍵在於，你用什麼方法幫助學生了解它的內涵，這才是判斷是否符合建構主義精神的重點，而不是由學生是否「發現」了牛頓定律來決定。第二個例子也是一樣，讓學生了解在實驗過程或是機械維修過程中，遵守一定程序是一項非常重要的概念。教學的方法可能是命令學生，你必須遵守規定；可能是在沒有危險的前提下，讓學生嘗試錯誤；也可能是利用影片觀看一些因不正確程序所引發的危險結果。這些教學方式有的比較傳統，有些則較符合建構的精神，但不能因為學習目標強調「正確的程序」，就立即斷言這是傳統教學，與建構主義的精神相衝突，這類的判斷方式，顯然有誤。

以上的討論顯現的一個很重要的觀念，在討論建構主義在學科教學的應用時，如果不考慮學科本質的重心，將教育哲學的一般原則套用在一些表象行為上，很容易造成不正確的判斷。就如同在本文的前言所提到的，我們可

以對電腦在教育方面的貢獻作綜合性的討論，但是討論到電腦對特定學科的幫助，如果不考慮學科本質，則很難作整體探討。教育哲學也是一樣，我們可以對建構主義作哲學上的探討，但是討論到建構主義對特定學科的影響時，則必須先探討學科本質。如果僅僅使用一般的通則套用在所有學科上，則一定會出現許多類似以上例子之類的不適當結果，這也是本文使用相當篇幅探討學科內涵的原因。

由行為主義的觀點，設計教材強調的是將內容有系統的整理之後，呈現給學生，以增進學生學習的效率；而建構主義則強調學生對於知識與意義的詮釋。這裡談到行為主義與建構主義在媒體應用觀點上的第一個差別是：行為主義強調媒體本質對學習的影響，論述方式通常強調由於媒體具有提升學習興趣及加深學習印象等特質，所以對不同的學習內容都可有幫助。在建構主義中，媒體扮演一個中性的角色，如果不從學科本質作區別，純粹只看電腦的功能，並沒有足夠的資訊決定學習的性質與效果。以下的兩個例子，便是從媒體的觀點，都具有相同的性質；但就學習效果來看，卻有極大差別。

美 Vanderbilt University 的認知與科技小組 (Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 簡稱 CTGV) 應用情境認知 (situated cognition) 設計的 Jasper 系列 (CTGV, 1992)，以一套影碟教材將整個故事呈現。所有解題需要的條件，都在看似不經意的情況中自然的出現。學習者必須從許多資料中，判斷哪些資料有關，哪些無用，然後再應用這些資料解決問題。例如，主人翁 Jasper 在一次乘船遊河的途中，由於身上所攜帶的金錢有限，又碰壞了船燈，所以必須在天黑前趕回家。影片中提供了船速、耗油量、每加崙油錢、及地圖等相關資料，學習者必須決定如何將這些原始資料整合起來，找出解決問題的答案 (朱湘吉，民87)。對於情境教學，不應將「情境」誤解為故事的提供，或影片的拍攝。例如，在兒童節目中設計一段故事，透過收看表演的方式，提高學習興趣，間接獲得節目製作人所希望傳達的訊息。CTGV 在 1990 年之後所主張的情境教學，與電視節目利用故事加影片的教學不同之處，在於強調學習者是否能從未特別標定的背景資訊中 (影片或是其他的媒體)，經歷解題計劃的擬定、資料相關性的判定、最後再應用相關的知識或原理求得最終的解答。如果沒有這一連串的過程，則失去了情境教學的重點。譬如說，「小明有 10 元，買一顆糖 5 元，請問小明找回幾元？」是課本中很常見的題目類型，這一類問題目的在幫助學生熟悉算術技巧，是屬於反覆練習 (drill and practice)。如果我們編一個故事，並拍攝一個小朋友去超市買糖的影片，然後計算所找的金額，仍屬於反覆練習活動。因為從數學教育的學習型態或

是學生的認知層次來說，這個問題不論是由課本呈現或是由影片呈現，都是相同的，並不因為加入了背景故事或是人物影片之後，相同的練習活動就變成了情境教學或是建構主義。

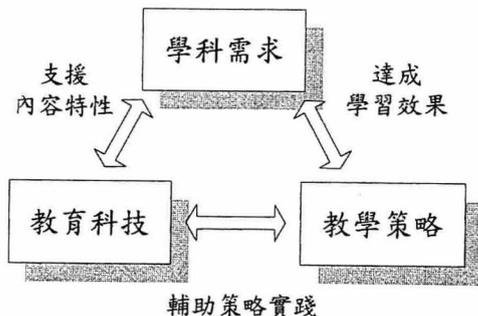
上面的兩個例子，如果純粹從媒體的角度來看，兩者都提供了一個背景故事，也都提供了真人活動的影片，幾乎沒有區別。但是，從學習活動來分析，Jasper 的教材讓學生經歷了資料整理、分析、判斷等過程，再利用數學的基本技巧找出答案；在第二個找零錢的故事中，學生直接獲得所有的解題資訊，只運用基本的算術技巧解題，從數學教學的觀點，我們很容易的就能區別出兩者在認知層次上的差別。

在國內，中央大學建立了一個地球科學的教學網站，從技術層面來看，與大部分的網站沒有太大的不同。但是在學習活動的設計上，這個網站提供許多原始的氣象、環境等資料，學習者利用這些資料並結合基本的地科基本原理，從事大氣現象的預測。我們以氣象人員為例，考慮他們的工作性質，可以發現氣象人員平日的工作之一，正是藉由分析溫度、溼度、降雨量、氣壓等原始資料來預測未來的天氣或地震等現象。假如有一個相似的網站，同樣提供了許多的照片、基本數據、與相關原理解說，但是缺少了最後的整合與預測活動，兩者在地球科學的學習價值上，便會有極大的不同。

從以上的例子可看到建構主義對電腦輔助教學概念的影響；媒體本身並不足以決定學習的效果，學習效果決定於能否建立一個經過妥善設計的環境，讓學習者進行知識的探索及整合。這個結果對教育科技領域產生的一個最大衝擊是，教材製作過程與合作模式的改變。從行為主義所延伸出來的教育科技理論，強調媒體特質對學習的影響。所以在製作多媒體教材時，由內容專家提供完整的內容，交由電腦專家製作成多媒體形式，利用影音或其他效果的增強，提升學習成效。這種將內容完成，交由電腦技術人員「放置」到電腦平台，再讓學習者觀看的模式，可能具有某些優點(例如電腦資料庫可使搜尋過程簡化，網路可以使得內容的取得更為便捷)。但由認知層次分析，並沒有足夠的理由可支持媒體對學習能造成影響。更簡單的說，同樣的內容放在書本上，學生如果看不懂，放在光碟或網路上學生仍然看不懂，這正是 Clark (1983) 認為媒體對學習並不會造成影響的主要原因。以上的例子與說明顯示，將「內容」與「電腦」採取「放置」的結合方式，得到的結果可能是  $1+1$  稍大於，但近似於 1 的結果。唯有真正地「整合」內容與電腦，才能發揮效果。所謂的整合，應該從學科內容分析，某些教學活動只有透過電腦的功能，才能落實；而不是在獨立於學科內容之外的部分，強調電腦的功用。

## 肆、CAI教學設計－鏈結模型

既然建構主義強調的是知識的建立，而各種知識在本質上又並非全然相同，勢必無法再由媒體的觀點來談電腦輔助教學的設計，而必須回歸到各個學科學習的特性。以前述的兩個例子來說，如果對數學教育或地球科學的本質不了解，所設計的教學活動在認知層次上，最多也只能做到知識的呈現，不容易達到利用科技協助學生將知識整合應用。以下所提的鏈結模型(Chain Model, Chien, 1997/1998)，與其說是提供教材製作者套用的新教學設計模式，不如說是由學科內涵出發來製作CAI教材的一種思考過程。



圖一、鏈結模型：科技化教學設計的思考模式

### 一、思考流程

這個思考流程，包括幾個問題：(1)、教學的需求在哪裡？例如學習文學，學習者需要能在理解文意之後，感受其中的意境；學習科學，學習者要能從基本定理出發，運用思考推理能力解決問題。教學需求也可以從過去的研究結果出發；在數學教育或科學教育的研究中，發現學習者最常見的問題是什麼？(2)、什麼樣的教學策略能幫助學生達到這些目標，或是解決過去研究中所發現的學習問題？這部分是探討圖右上方教學需要與教學策略的關係。例如在科學教育上，我們希望學生培養思考推理、綜合應用的能力。如果教學策略只是在公式呈現後，練習如何將數字代入公式求解，這樣的教學

活動並沒有提供一個讓學生理解應用的環境，我們很難期望這個教學目標能夠實現。(3)、教學內容的哪些部分，需要靠著科技才能有效率的呈現？這個部分在探討圖左上方教學需要與教育科技的關係。例如一個簡單的單擺運動，作用在擺錘上的力，與速度、加速度在每一瞬間每一位置的大小與方向都在改變。使用實體觀察，只能粗略的看見位置與速度，力與加速度則非肉眼可見；使用文字或靜態符號可以提供較多的資訊，但也很難做清楚的描述；但如使用動態的圖像，則整個改變的過程可以比較清楚的呈現。(4)、哪些教學策略使用教育科技較容易實現？這是討論圖下方兩個方塊間的關係。例如，建構主義教學的重點是提供一個環境讓學習者參與、探索。如何運用科技，使得過去用紙筆或實驗都不容易實施的教學策略，可以透過電腦建立新的學習環境。

## 二、實例說明

以下我們將使用運動學為例，討論上述的鏈結模型。在科學活動中，科學家將觀察自然界所得到的心得及規則，用文字或符號記錄下來。在課本裡教授的公式及定理，基本上就是藉著這些符號的表達，讓學生更深入地「看見」這個世界。運動學的教學目標是幫助學生先認識這些符號，以利學生日後解題之用。運動學中提到的幾種符號包括方程式、運動圖(motion diagram，即以速度箭頭描述運動的過程)、及曲線圖(kinematic graph，即x-t, v-t, a-t圖)。這三種符號都具有一個共同的目的，就是描述物體的運動。以下是一個很常見的公式：

$$x = t^2 - 3t + 2$$

常見的教學與測驗型態，是把不同的時間t帶進公式，請學生計算出x的值。今天如果換一個方式問學生：這是一輛玩具小汽車的運動方程式，請告訴我這輛車大約是怎麼跑的。或者另一個類似的問題，在提供了x-t, v-t, a-t圖後，請寫下相對的方程式。大部分的學生，包括大學生及研究生，對這種問題可能都不知如何做答。也有相關研究指出，以常見的x、y座標所代表的時間對位置、速度等的關係圖為例，許多學生無法正確地說明其曲線與實物運動之間的關係(Beichner, 1994; McDermott, Rosenquist, & van Zee, 1987)。這裡顯現的兩個問題是：(1)學生不知道這些數學符號與實際環境的關聯是什麼。(2)不知道描述相同事情(運動)所用的不同符號間，有什麼關係。就好比學了中、英文兩種語言，不知道「water」和「水」是指同樣的東西。學完許多符

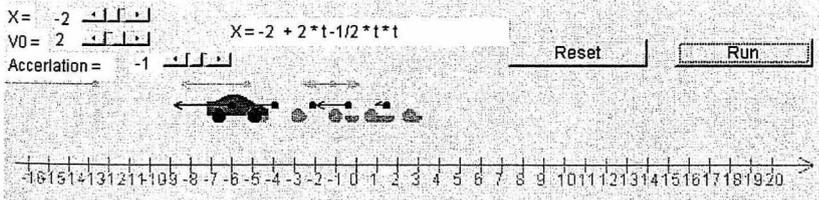
號之後，不知道符號與實物之間的關係，也不知道符號與符號間的關係，最後的結果，自然是出現許多學者都共同指出的問題：學生學會的只是零散的片段知識。

從以上的討論，發現運動學教學上的一些問題，現在以鏈結模型來思考如何應用電腦輔助教學克服部分教學的問題。鏈結模型的第一個關鍵在於找出學習或是教學的問題所在。這裡我們舉出兩個問題：第一，運動學描述的是「運動」，可以用許多符號代表，但被描述的事物是一個會動的物體，在紙本上沒辦法真正顯示出來。第二，如果要了解不同符號間的相關性，在學習的活動中，要能讓學習者觀察及預測，在一個符號系統中作了修正，在另一個符號系統中會產生什麼變化(例如 $t_2$ 的係數由正變負， $x-t$ 圖會有什麼變化，運動又會產生什麼改變)(Chien, 1999)。鏈結模型的第二步，是找出解決問題的教學策略。我們希望學生在學完運動學之後，能夠明白符號與實物、以及符號與符號之間的關係，形成一個完整的知識網路。在教學時，教師首先應做一些示範，例如，寫下一道方程式之後，與學生一起分析它的運動「應該」是如何；或是在畫完曲線圖之後，隨即由教師畫出相對的運動圖。但是如果學習活動到此結束，有機會進行思考或活用符號的，只有教師而已，學生並沒有機會檢驗自己的了解程度。如果希望學生也能建立這樣的完整知識系統，學生應該要有同樣的機會，例如在看到一條方程式之後，嘗試預測可能的運動情況，如果實際結果與預測不符，讓學生自己找出問題並且修正答案之後，再做嘗試。

以上所討論鏈結模型的前兩個步驟，雖只是單純的陳述教學需求及策略，並沒有討論電腦的部分，但是這卻是決定接下來討論電腦應扮演什麼角色的關鍵因素。鏈結模型的第三步驟，是決定教學內容的哪些部分需要靠科技才能有效率的呈現。先前提到運動學描述的是「運動」，在紙張上以各種符號做紀錄，總是沒有辦法看到相關的運動。由於電腦本身具有轉換不同符號系統的能力(Dickson, 1985)，電腦可以讓學生在電腦上對各種符號作修改，然後將方程式或其他符號轉換成曲線圖或是模擬的運動。這個能力不只是結果的呈現，對於第二步驟所討論的教學策略也有非常大的影響。鏈結模型的第四步驟，就是考慮電腦對於所需要的教學活動策略有什麼幫助。透過電腦對符號及時轉換的能力，可以讓學生嘗試改變相關的變數，預測將得到什麼不同的運動或曲線，再檢驗自己的了解程度，或是做必要的修正。以剛才的方程式 $x = t^2 - 3t + 2$ 為例，從 $x = x_0 + v_0t + 1/2at^2$ 的基本形式可知，這輛車的起始位置是2，起始速度-3，加速度2。這類題目的答案可以有很多個，例

如：「小汽車起先向左跑，速度越來越慢，然後倒退，速度逐漸加快」。或是，「在一個斜面上，用手將小車輕推向上，自手離開小車起開始，小車先往上滑行、停下、再向下滑動的過程」。當然也可以是「在某個星球上，將小車丟到空中然後落下的過程」等等，只要他們能正確的指出座標軸的方向與原點位置，並且符合係數的正負符號即可。一個相同的方程式，可以隨學生的想像力發揮，創造出不同的情況。這個例子也可以幫助學生了解為什麼方程式必須用「讀」的，而不能用「背」的。

將各種符號的意義介紹給學生了解之後，以下是一個幫助學生將方程式與運動結合的例子。在螢幕中小車上方的箭頭，是一個固定的運動，小車的運動則是由學生在螢幕上控制方程式中的起始位置、速度、及加速度來操控。學生的目標就是猜測適當的數字，使車子與上方的箭頭有相同的運動與軌跡。在第一組數字輸入之後，如果車子的運動與上方箭頭運動軌跡不相同，則學生必須考慮方程式係數所代表的意義，根據兩者運動的差別，修正係數，逐漸找出適當的方程式。此外，電腦的另一項功能是記錄整個修正的過程，作為教師了解學生學習狀況的評量工具。如果學生了解方程式中各項係數與運動的關係，學生應該能有系統地根據運動的差異修正係數；如果教師發現學生尋找答案的過程是凌亂的猜測，就表示學生可能並不了解方程式的意義，或是尚未建立變數控制的概念與技巧。教師對學習成果的評量，並不以最後簡單的三個數字正確與否做為唯一的判斷依據，還可以由學生工作的過程分析他們的理解程度。



圖二、電腦模擬活動畫面，使用者藉由調整小汽車的各項變數，找出汽車上方向小球運動軌跡所對應的運動方程式。

在以上的例子中，學生在了解個別符號所代表的意義之後，藉著電腦符號互換與及時運算的能力，可以讓學生嘗試著預測改變一個系統(方程式)中的變數，對另一個系統(實際運動)會產生什麼影響。這種教學策略在缺乏電腦這樣的科技支援下，很難讓學生做自由的嘗試與自行判斷修正的方式。而在評量方面，藉用電腦記錄工作的過程，也比傳統的選擇、填空題能提供教師更多的資訊。我們現在再回頭討論「認知層次」的互動。在上例，當使用者輸入一組資訊之後，電腦提供使用者的是一種中性的回饋：「如果你所提供的資訊是正確的，則接下來應該發生的情況，就是如同電腦所提供的回饋。」當電腦給予回饋之後，是使用者必須去思考：這是個合理的結果嗎？如果不是，我現有的概念中，需要做哪些修正？做了這樣的修正後，能解決這個問題嗎？進一步，還能解決其他的問題嗎？這一系列的思考及修正，正是建構主義所強調的「知識的建構」。電腦的角色，不再是告知使用者答案是否正確，或被動的呈現使用者選擇的內容，而是提供學習者一個自由探索的環境，來經歷知識建構的過程。

## 伍、學科與電腦的整合及未來發展

CAI教材的製作，大致可分「知識內容的系統呈現」與「提供知識探索環境」兩個方向，兩者各有其適用的年齡層及對象。前一類的教材製作，先由熟悉內容的專家或教師提供資料，再由程式製作者將內容安排呈現，雙方各司其職，合作上較容易，這也是這一類產品較多的原因。第二類教材，則如先前的討論，學習活動設計與所要的電腦技術須作非常密切的整合。提供內容的專家雖不必對各種程式語言或編輯工具(authoring tool)一一操作，但如不能熟知各種不同的工具有哪些不同的功能及限制，要充分運用電腦的長處來設計不同的學習活動，並不容易。對於製作系統的程式專家而言，看似只需要依照內容專家的指示即可，但在實際的合作經驗中，卻非如此。例如，在力學中箭頭長短方向的變化隱含有重要的意義，或是光學中光偏折的角度方向都必須在一定的範圍內，這些學科內容的概念如果事前未經充分的溝通，輕則修改不斷；嚴重的，在作品完成後需要修改的幅度，幾乎等於重做。也就是說，透過合作的模式，內容與程式雙方面的專家都必須對於對方的領域有一定程度的了解，但這樣的組合並非隨處可得。

在1980年代晚期，美國物理教育界大聲疾呼，希望能有一套使用非常容易的軟體，讓任何不具程式經驗的物理教師都可簡單地製作出高品質的電腦模擬。數年後推出的Interactive Physics，使用者只需要用拖曳的方式畫出一些圓形、矩形圖案等，再以同樣的方式視需要加入一些馬達、滑輪等，模擬設計者不需要告訴程式接下來的運動或狀況為何，這個軟體會依據使用者輸入的條件(如質量、重力加速度、彈性係數等)，自動算出接下來應發生的一切狀況。讓學習者假想許多的狀況，預測可能的結果，並觀察自己的預測與模擬計算的結果有何差異，及討論差異存在的原因是什麼。螢幕上同時可依活動需要，以數字、曲線圖、或長條圖顯示物件的速度、位置、能量等各種資訊，對於有設計活動意願的教師而言，大幅省去了上面所提到尋找程式專家或與程式專家溝通的麻煩。

除了這個物理軟體，在地球科學方面也有類似的軟體。Stella提供兩類基本物件，第一類為人口、空氣污染、動物種類等環境指數，另一類則是定義各環境指數之間關係的控制器，各項環境指數彼此的關係可由使用者定義。定義完成後，學習者可以藉這個軟體觀察，在一個環境系統中，當單一環境因子改變後，對整體環境會造成什麼影響。例如，當人口成長，綠地的範圍就會縮小；當綠地縮小，會有空氣品質下降、動物昆蟲種類減少等一連串的影響。最後結果如超乎預期，學生可從兩個方向檢討：一是最初所定義環境因子之間的關係是否合理。如果還算合理，另一個方向就是當一個環境因素被改變，經過一連串的影響，可能會造成許多原本意想不到的結果。

這類軟體具有兩項共同特徵：一是使用容易，使用者如果熟悉文書處理一類的軟體，在電腦技能的部分就有足夠的基礎，不致因電腦技能不足影響學習活動的設計。其二，所創造的環境允許學習者設定許多不同的狀況，檢驗自己是否能應用所學，有效地預測在不同環境中發生的結果。目前國內似乎還沒有這一類軟體的成品出現，可讓內容專家排除程式技術的困擾，專心設計精采的教學活動，讓學生自由探索；現今絕大多數的CAI軟體都是以呈現內容為主。這兩類產品各有其適用的年齡層及使用者，就類型而言並沒有何者較好的問題，但如果絕大部分的CAI教材都屬同一類型，電腦輔助教學未來的發展則難免受到一些限制。

## 陸、結語

在電腦輔助教學發展的數十年中，除了科技不斷進步產生新的電腦功能之外，教育觀點的轉變，更對電腦輔助教學設計的理念產生了非常重大的影響。行為主義時代，強調系統化的知識傳輸，電腦是單純載運知識的工具。由於電腦可以傳送比傳統紙張更多的資料型態(如聲音、影像)，所以可幫助學習者獲得更完整的資訊；教育科技人員，只要能掌握這些影音技術，就可把單調的內容變得更豐富活潑。

當教育觀由行為主義逐漸轉向建構主義後，學習強調的不再是知識傳輸，而是知識系統的探索與修正。知識本質的重要性便大幅提昇，不再只是一些被放置在電腦平台上的內容，而是決定科技應用方式的關鍵因素。這時候「內容」與「電腦」就不再是單純的存放與傳輸關係，過去由內容專家撰寫課程或腳本，交由程式人員製作的模式，很難將科技對教學的影響發揮極致。取而代之的，應是先掌握學科學習研究的結果，再由眾多電腦應用的研究中，找到能夠配合發揮學科是技術特長。這樣的概念雖簡單，但對於傳統教育科技的運作模式，卻需要相當大的改變。如果技術部分能夠愈來愈簡單，更多對學習研究有心得的人投入教育科技的領域，對CAI未來的發展，應有相當正面的影響。

在電腦被視為尖端科技的時代，電腦對教育的影響，人們有著許多好奇，也進行了許多研究。而當電腦日漸普及變成一種生活方式之後，電腦輔助教學的發展重心，是否也該回到學科學習的本身了？

## 參考文獻

- 朱湘吉(民87)。教學科技的發展理論與方法。台北：五南。
- 甄曉蘭(民86)。教學理論。黃政傑主編，教學原理，27-66。台北：師大書苑。
- Beichner, R. J. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62(8), 750-762.

- Chien, C. (1998). The effectiveness of interactive computer simulations on college engineering student conceptual understanding and problem solving ability related to circular motion (Doctoral dissertation, The Ohio State University, 1997). *Dissertation Abstract International*, 58(07), 2589A.
- Chien, C. (1999). Improving qualitative understanding on mathematical representations in kinematics. In D. A. Thomas (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Mathematics/Science Education and Technology* (pp. 67-71). Charlottesville, VA: Association for the Advancement of Computing in Education.
- Clark, R. E. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research*, 53, 445-459.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1992). The Jasper experiment: An exploration of issues in learning and instructional design. *Educational Technology, Research and Development*. 40(1), 65-80.
- Dick, W., & Carey, L. (1990). *The systematic design of instruction*. Glenview, IL: Scott.
- Dickson, W. P. (1985). Thought-provoking software: Juxtaposing symbol systems. *Educational Researcher*, 14(5), 30-38.
- Gagne, R. M., & Briggs, L. J. (1974). *Principles of instructional design*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Heinich, R., Molenda, M., & Russell, J. D. (1993). *Instructional media and the new technologies of instruction*. New York: Macmillan.
- Kaufman, B (1971). Psychological implications of learning in science. *Science Education*, 55, 73-83.
- McDermott, L. C., Rosenquist, M. L., & van Zee, E. H. (1987, June). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), 503-513.
- Rothrock, D. (1982). The rise and decline of individualized instruction. *Educational Leadership*, 39, 528-531.
- Skinner, B. F. (1953). *Science and human behavior*. New York: Macmillan.
- Skinner, B. F. (1954). The science of learning and the art of teaching. *Harvard Educational Review*, 24, 86-97.
- Skinner, B. F. (1958). Teaching machines. *Science*, 128, 969-977.

主題文章

---

Skinner, B. F. (1986). Programmed instruction revisited. *Phi Delta Kappan*, 68,103-110.

Thorndike, E. L. (1913). *Educational psychology*. New York: Columbia University, Teachers College Press.

( 收稿日期 : 88.8.6 ; 修改完成日期 : 88.9.6 )

# The Impact of Educational Theory Change on CAI Design and Implementation: A Case in Science Education

*Chien, Cheng-Chih*

This article discusses how the educational philosophy change would affect the instructional design and the learning strategies for computer-assisted-instruction (CAI). Behaviorism emphasizes the transferring of knowledge. Content experts develop the curriculum and educational technologists implement the materials onto the computers. When educational philosophy is gradually shifted to constructivism, CAI is expected to allow students to explore and evaluate their knowledge system. Under this paradigm, the nature of the contents becomes the main factor which determines how technologies should be used. The impact requires educational technologists to directly face the research in the fields of content learning and technology applications. Only in this way can content and technology be integrated appropriately to maximize the effects of educational technology. This article uses science education as an example to discuss the Chain model which is used to illustrate the integration of contents and educational technologies.

**Keywords:** Behaviorism, computer assisted instruction, Constructivism, instructional design model, science education

---

*Assistant Professor, The Department of Educational Technology, Tam-Kang University.*