

科學課程的對話式電腦輔助教學

Computer-Based Instructional Dialogs in Science Courses

A. B. Arons 原著

(譯自：Science, Vol. 224, No. 4653, 8 June 1984, pp. 1051~1056)

孫家麟 譯 國立臺灣教育學院物理系

個人用電腦使新技術使用於教學有了新轉機。大約25年前有人認為電視也會同樣普遍的使用於教學上，但事實證明它是失敗了。對某些人來說，這個結果並非意外，因為看電視是被動的學習，而且電視只顯示教材而沒有思考的能力。

基本上電腦是不同的。可以作交談式工具使用，使用者能感受到自己智慧的參與而非被動的接受。它改變了教學的層次，由教學表現所獲得之層次晉升為有效的層次(1)。本文僅就電腦使用於初等科學課程情形予以申論。

目前使用情形

操練 (Drill)：

這或許是使用智力最少的一種模式。但是，有效的及有好計畫的操練是有效的教學方式，它應能以個人為基礎顯示立即回饋，以強調正確的反應及改正錯誤。在幫助學生記憶字彙、事實、知識等甚為有用，這些知識是思考、理解、學習及解決問題的基礎。例如，操練已被證明對增進小學生計算能力甚為有效(2)。在高等教育中，操練可用於建立化學、地質學及生物學之字彙；也可用於表現化學及核反應；也可訓練記憶術之使用；更可用於任何會成為單調運算的過程（例如，向量數學，圖形的或數值的；化學反應之平衡；指數符號之使用等）；及某些觀念已經了解的計算問題（例如，基本運動學、動力學及化學中的計量問題）。

數字處理 (Number crunching) :

數字處理包含使用電腦作冗長的計算，這些計算由人來作太花時間(3)。在此模式下，未曾學過微積分的學生能了解連續的變化。他們也能審視基本微分方程式之應用（如變加速度：簡諧運動、衰減及驅動的簡諧運動、有向心力作用的物體運動；以及放射性衰減或單分子反應等）而不必求助於標準解答之得出。事實上，許多修普通物理的學生很難掌握速度及加速度之數值意義（甚至不能區別二者之不同），直到他們被要求作一步一步的數值計算，才能有所改進。甚至等加速運動也是如此，他們計算運動學的標準問題時，使用公式未經分析、解釋，甚至不去理解觀念及結果。當然，這些計算大多能用可執行程式的手上計算器算出來，但是利用個人用電腦顯示「變數對」之圖形更能使學生深入了解所算的。

只強調數值計算而不指導學生注意分析及解釋使用的方法及結果，這種努力多半是徒然的。換句話說，使用電腦不要只作數值計算。

實驗室應用：

電腦已廣泛使用於實驗室，用來作監督、線上數據記錄，及數據分析(4)。假如電腦的使用能包含學生在內，並且，對於不簡單的技術也能便利的度量，則更有利。但是，假如它只是提供分析的最末結

果或者作“確定”之用，在教育上來說，它是不太有價值的，特別是對初等課程而言。一個學生修普通化學課程應自己旋轉活栓，用眼監視，在使用電腦計算最後結果之前，應自己計算數次。

模擬：

物理現象在電腦上模擬是另一個二刃之劍。假如某一現象能直接觀察，則讓學生觀察真實現象較好。不必花精力去設計模擬工作。

但是在以下諸情況適於使用模擬：①在超出能力及經濟許可才能直接觀察時。②要加入許多的統計測試時。③幫助學生做實驗前的準備，特別是有安全問題時(5)，以及④當學生觀察過自然現象後，誘導其分析各種不同情況，記錄概念結構，或是作預測之時。

自修課程 (Self-paced) :

個人用電腦或中央系統電腦的終端機都可用在自修課程且監督學生的進度，也可管理學生的測驗以決定他們是否進級，並可提供教學上的協助及重覆操練，減輕教師這種重覆瑣碎工作的負擔，使其有更多時間與學生討論更多需要運用智力的問題。(6,7)

目前誤用情形

最沒理由的誤用是將電腦用做教科書翻頁機。許多市售“課程軟體”即屬此類，特別是中學教材部分。螢光幕上出現一、二段教材內容，然後問學生一些無聊的問題，這些問題多半是選擇或由教科書選的片語作填空。

似乎取消這些內容比較好。因為將教材顯示在書本上還是比顯示螢光幕上要美觀一些。引誘學生遠離傳統的書本是不智的。

教學對話 (Instructional Dialogs)

電腦上較少使用，但具很高教育潛力的方式是教學對話，或稱為蘇格拉底對話。“蘇格拉底對話”乃一種古希臘的教學方式，利用一系列的問題引導學生經過合理的思考進入問題核心而得到結論。好的蘇格拉底對話軟體範例不多且許多人還不知道。我所熟悉的一個例子是Irvine加州大學的教育技術中心做出來的，由Alfred Bork所指導的。

一般而言，對話不是由一系列的選擇題或是非題組成。大部分問題的答案是要由學生輸入一句話、一些符號或數字。電腦找尋答案中的關鍵字句以確定答案正確與否，或完全使用圖形來顯示情況，如物體橫跨螢光幕運動、電燈泡顯示不同程度的明亮度、學生可用光筆之類東西指向螢光幕上某些部位以答覆某些問題或者畫出

適當的圖形。

在編寫對話時，也應準備語句反應的分析。使用真正的人與人間的對話來編寫，在經測試時可加入一些未能預期的答案。學生的答案正確，則允許他進行主要序列的內容；若錯了，則進行補救序列的內容。對話結束時進行一個測驗，由一個大題庫中隨機任選若干試題，並在測驗結束後對學生的表現作一評估。從使用者的觀點，這些對話在某些方面類似專家系統 (expert system) (8)。專家系統類似一位人類的專家，例如，一個醫學專家系統能引導醫學院學生根據症狀及測試結果來診斷疾病。在此例中，設計此種對話的專家老師要用一連串的問題來達成此目的，而非真正賦與電腦智慧。

在問題措辭良好及學生輸入預期的答案時，關鍵字的分析是很有力的，但一般情況並非如此理想。此時，關鍵字的標準答案反而限制了學生的自由度。未來電腦分析句子及了解自然語言的發展可以明顯的改善此種情況。“智慧型”影碟 (video disk) 的來臨也可改善上述缺點(9)。

以下是一些現有的對話程式例子：

LUNA:

LUNA (10) 是一個對話，它利用繪圖引導學生認識太陽、月亮及地球三者的相對位置，並利用此模型來讓學生回答下列問題，諸如，是否可能看見滿月在午夜由東

方升起？何故？在一天什麼時間可能見到新月？半月在什麼時間通過天空的子午線？

TERRA:

這個對話(10)是 LUNA 的補救教學。若是學生使用 LUNA，評量後，確定他不能了解其意義，諸如北方、南方、中午、午夜、垂直、水平、經度、緯度、赤道、地球的極、天空的極等名詞的意義。則可使用 TERRA。

HEAT:

很多大學生，甚至有些在修技術課程者也包含在內，對“熱”與“溫度”混亂不清，常常誤用此二名詞。HEAT 對話(11)乃用來引導學生獲得“熱之傳導”的操作型定義。它以一般人接受的溫度計及其讀數作起點，然後它引導學生明白熱平衡的日常經驗，那就是原本有溫差的諸物體間，終將達到同一溫度而成熱平衡。例如，放在熱水中的溫度計，此熱水置於室內盆中，此溫度計終將降低其讀數，終至與牆上溫度計有同一讀數。同樣，冷水中的溫度也將升高，其溫度也會和牆上溫度相同。若熱水置於保溫瓶中，則溫度的變化將遲緩下來，要經過較長的時間才能達到熱平衡。由於溫度變化率的改變並沒有影響到最後溫度計的讀數，因此，這種交互作用必定包含某種過程，這過程不是溫度計所能顯示出來的。

一些大家熟悉的現象強化了以上的感覺。一大壺水及一小壺水，同時在相同的火爐上加熱，使其溫度由 20°C 升高至 80°C ，則大壺水要花較多的時間及較多的燃料。當冰塊在燒杯的水中溶解時，其變化是連續進行的，包含冰水與室內溫暖空氣間的交互作用，但在燒杯中的溫度計讀數却不改變。在上述二例中，我們又發現到這些交互作用過程也不能由溫度計顯示出來。當我們對這些過程有清晰的了解時，我們稱它為熱之傳導。此對話接著引導學生根據已知質量不同溫度的水混合在一起所觀察到的溫度變化，來計算熱轉移之量。

以上所述是此對話的邏輯流程之輪廓。它乃是組織學生熟悉的經驗，合成一個新的概念。進行的次序是線性的，少有補救教學所要的分支。

當學生正確的指出，在經過一段時間後，一盆熱水，一盆冷水，它們的溫度計讀數均將和牆上的溫度計有相同讀數。電腦就會這樣說：

那麼，取二容器分別裝熱水及冷水，它們的溫度與前述相同。

(熱水與冷水中，均放有溫度計，且有圖顯示在螢光幕)。

現在我們將等量的熱水及冷水置入保溫瓶中。

(螢光幕上顯示附有冷及熱標示的保溫瓶)。

在保溫瓶口各插入溫度計。

(螢光幕顯示此種圖形)。

將水置於保溫瓶中及前述普通容器中，其變化有何差異？二者溫度計讀數的變化又有何不同？

現在，電腦等候學生的答案，學生可以簡單的字、片語或句子來回答。學生回答後，電腦查對其答案，根據一系列的關鍵字逐一核對，關鍵字有：①慢，②相同或相似，③快速，加上沒有或很少，④快速。⑤改變。

若電腦發現學生的答案是①，它的反應是

"很好！溫度的變化慢了許多。"

然後，電腦進行下一問題或主要系列的其他敘述。

若是學生的答案不是①而是②，電腦的反應是

"在二種情況下，溫度計的讀數均將到達室溫，但是這二種情形的變化究竟有何差異呢？"

然後電腦等待學生的回答，再審視其答案。

假如學生的答案既非①，又非②，而是③，電腦的反應是

"是的，溫度變化並非快速，而是非常緩慢。"

然後，電腦與①的答案一樣進行以下部分。

假如學生的答案不是①，②或③，而

是④，電腦的反應是

"錯了！溫度變化緩慢多了。"

然後電腦仍按主要序列進行下去（此題甚少有答錯的，因此未預備補救教學）。

假如學生的答案是⑤，電腦的反應是

"這種改變速率與前一種情形的改變速率有何不同？"

然後，再等待學生的答案。

如果學生的答案並不在五種關鍵字之內，電腦反應是

"想一想，我們為什麼要把熱水或冷水置於保溫瓶中，再答一次，在保溫瓶中的溫度計，其讀數變化如何？"

學生第二次回答，若答對了，電腦即以"是的！"或"很好！"回饋，但學生答案若仍不對，則電腦將顯示，"溫度變化將非常緩慢。"再繼續主要序列的進行。

電池與燈泡：

在這個對話中(12)，螢光幕上顯示很實際的圖形，它包含一個燈泡，一個電池及二條電線。要求學生使用指示器指出電線的二端要聯結何處才可使燈泡發光。電腦乃在所指二點間畫出一條電線，將其聯結。假如電線沒有聯結在正確位置，則電燈不亮。若連對了，電燈會"發光"。只有在電池的二端與燈泡相連而成迴路時，燈泡才會"亮"。這種封閉的迴路就是"電路"。

電線顯示一段不相連部分，則電路被

“打開”。再將大家熟悉的一些物品（如硬幣、鉛筆、鑰匙、鞋子等）置於電線斷開處，可作一些模擬的實驗。那些能使燈泡亮的物體，歸類為導體，反之則為非導體。在螢光幕上可將這些列出一個表來。程式也引導學生了解，在電線斷開處雖不放置任何東西，但仍有空氣。電燈不亮，表示空氣也應歸類為非導體。然後再引導學生認知導體都是金屬。

另外還有一個模擬實驗：當電源二極及電線、燈泡等相連成封閉迴路時，燈泡會亮，電線會發熱。將此實驗與前述之模擬實驗合在一起，可給予學生一個看不見的東西在電路流動的概念——電流。此地因學生屬低年級，尚不介紹電荷、電子的觀念。電線像火爐或烤麵包機一般發熱。整根電線的每一部分發熱情形是一樣的。連接線的長短也不會改變燈泡發光的情形，也就是電線使燈泡接近正極或接近負極，其發光情形完全一樣。這些現象引導學生了解到這種眼不能見的電流在此電路中任何部分都是一樣的，它們不會被“用掉”，只有在接上非導體時，才根本沒有電流產生。（包括許多讀技術課程的學生在內，許多人誤認為電路中的電流會被用掉，它們由正極出發回到負極差不多被用光了。他們對電流與能量轉換混亂不清）。

模擬實驗顯示，將若干個燈泡串聯在電路上，亮度會降低，燈泡愈多愈不亮。模擬實驗也顯示，用某特種材料（Nich-

rome）所製的電線，其長度增長或減短，燈泡的亮度也會減少或增加。學生利用指示器在螢光幕移動可改變電線的長度。燈泡的亮度也隨之加強或減弱。

當電路上串聯另一個物件時，可觀察到燈泡的亮度明顯減弱。因此，提示學生可利用燈泡作為度量電流強度之用，同時，電路上所加的物件有阻擋電流的作用。這樣可使學生了解電阻之觀念。

此對話然後用心的建立電流及電阻的觀念於一個具有預測能力的模式中。利用電阻串聯使燈泡亮度減低，來表示電流強度之降低以及電池的消耗減緩。將電阻並聯，燈泡較明亮，表示電池消耗快速。這樣引導學生了解到一個結論（不用任何數學演算），串聯使有效電阻增加，並聯却使電阻減小。很多的學生雖然計算過這類的計算題，但仍不能體會出並聯使電阻有效值減少的意義。

進一步的模擬實驗有短路及保險絲的問題。對話的末了，讓學生考慮許多個電燈泡以串聯及並聯方式所連的電路。要求學生使用電流——電阻模式預言各燈泡原來的亮度；預言拆掉某一燈泡，其他燈泡的亮度；並預言在電路上某特定兩點間連上一段電線，燈泡的亮度及電流有何變化。下頁圖1乃顯示連一段電線的邏輯流程圖，它含所顯示的問題及可能答案。

觀察與推理：

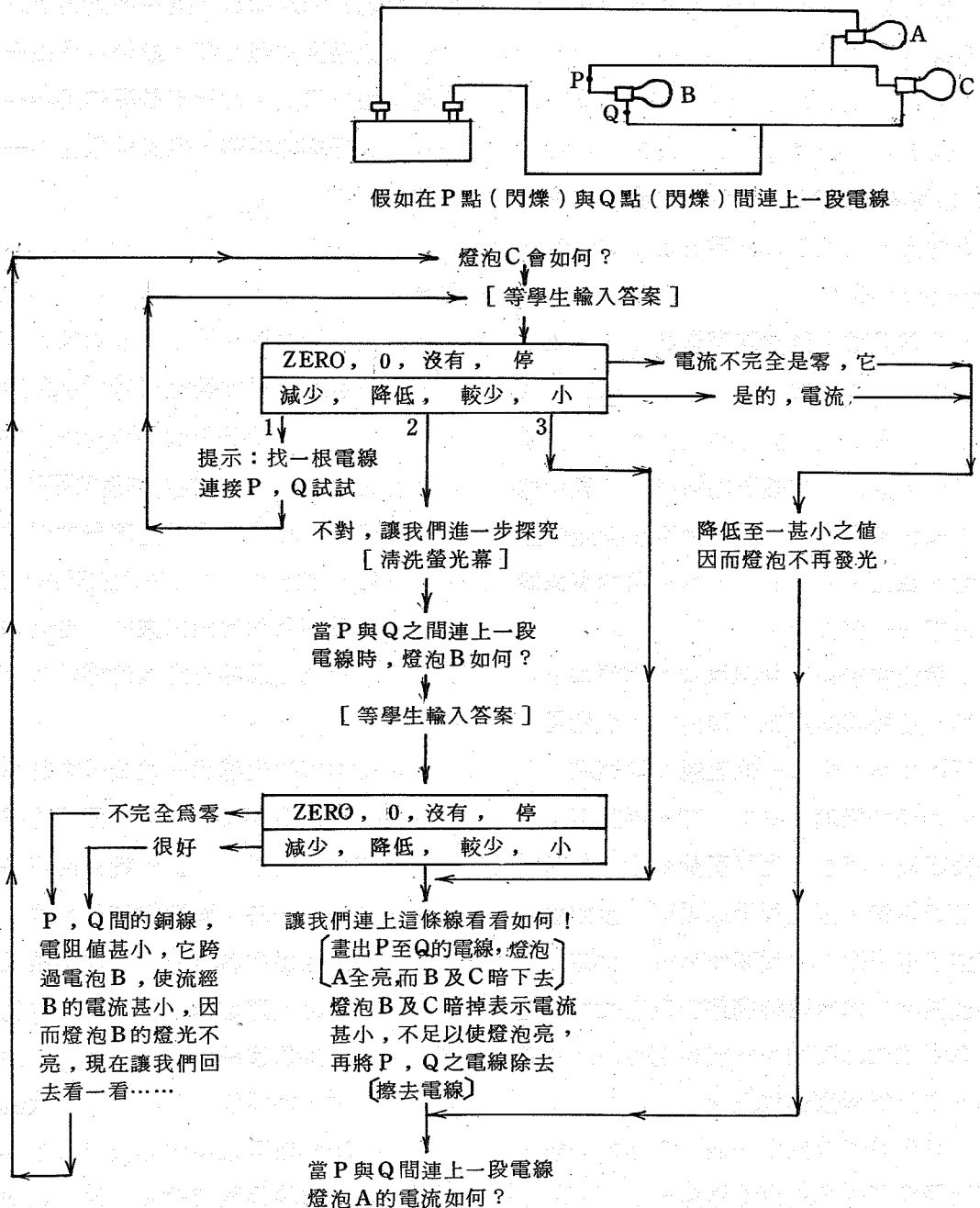


圖 1. 選錄自對話中之一段, 讓學生預言 P, Q 間連上電線的情形, 沒有括號的敘述會顯示在螢光幕上, 中括號內的敘述表示電腦內程式的動作, 方塊內的關鍵字是預存在電腦內, 電腦用以對照學生的答案。當電腦在學生答案字中找到這些關鍵字, 電腦的反應乃是上圖中左右側的指向, 若學生的答案與關鍵字完全不同, 則其流程為由方塊往下。

這個對話(13)首先在螢光幕上顯示以下一段敘述：

在 Arthur Conan Doyle 所作 Sherlock Holmes 故事中的一段是：Holmes 和他的兄弟 Mycroft 正注視一位身穿黑衣的人，該人手臂上帶有若干個包裹。Mycroft 說：

“當然啦！他身著完全的孝服，表示他剛失去一位至親。他自己去市場買東西，表示死去的人可能是他太太。他為孩子買了許多東西。有瓶子的咯咯聲，表示他的一個孩子還很小，他太太可能就是難產死的。在他手臂下有一本照片冊的事實顯示他想另一個孩子。”

然後電腦在“身穿黑衣”片語加上一個框，並將其歸類在“Mycroft 所見”項下。片語“失去一位至親”歸類在“Mycroft 推理”項下。電腦再將若干片語歸類後，要求學生將所餘的片語歸類，學生若答錯，則立即予以更正，假如學生答錯了若干題，他就要作另外一個練習，即根據閃電與雷聲時間差距及已知的聲速計算雷擊處的距離。然後學生再回到主要系列來分析觀察與推理。

螢光幕然後顯示一個長方形的區域，裏面聚集了許多蚱蜢（用點表示）。學生要估計出有多少蚱蜢。長方形區域上面有一塊 1 平方米的園地，蚱蜢可在此自由進出。學生必需注意此園地，並估計在此蚱蜢的平均數。長方形區域的邊長也應估計，

再計算總共的蚱蜢數。這一系列的步驟可分類為觀察及推理二類。最後可得出一項結論，在科學上，估計不是漫無邊際的猜測，而是仔細的推理，但其結果並不一定精確。

面積：

此對話引導學生清楚了解面積的操作型定義乃是數任意形狀的圖形所包含的單位方塊數，並顯示若干個練習給學生做，其中包括用估計的方式測定不規則圖形的面積。（或許有讀者認為這是瑣屑的問題。但是當詢問許多大學生面積的意義是什麼，或者它的數值是如何定出來的，他們的回答是“長乘寬”而非有意義的操作型定義）。

對話引導學生導出一些公式來計算長方形，平行四邊形及三角形的面積（這是數單位方塊的捷徑）。接着就是圖形各向度增減某一比例時，面積增減的比例，然後發展體積的操作型定義，再作面積及體積尺度的練習。這個對話很重要，因為大部分的大學生對這種尺度放大或縮小的推理很難適應，因為沒有數學公式可代(14)。

Irvine 教育技術中心尚有許多其他對話，如，討論位置與速度及速度與加速度間的關係（直線運動）(15)，直線運動中，位置——時間及速度——時間圖形的製作及解釋，慣性定律的了解……等。製作這種對話，並編碼為程式後執行的系統在別處

有介紹(9)。

製作有效教學對話的需求

要製一個有效的教學對話，作者們必需清楚的理解，該對話中要培養什麼基本推理過程。主題教材的邏輯結構必需就某一教學層次徹底思考一遍。引起動機及似乎合理的內容必需謹慎的置入內容中。盡可能的喚起學生原有的經驗以配合所學。很多的對話教材並未作此類的準備工作，表現的結果祇是虛有其表，同教科書一樣，絕不像一個天才的蘇格拉底對話。

作者們必需知道學生學習的困難所在，包括教材內容及抽象推理方面。這種知識的獲得不是單單由演講、臆測所能達成的，他必須要與學生單獨面談，及經過測驗，而這種測驗試題必須精心設計，不是只求答案，而要測驗出學生的推理過程。

對於一個作者們從未接觸過的領域而言，他假想學生對某一問題會如何作答，常常是錯的。錯誤的答案常常是似是而非的，但你事前無法預期到。這種答案的根源是可以追尋出來的，且透過蘇格拉底式的對話，可予補救。

正確答案是容易預期的。因此，真該解決的問題是對每一種錯誤答案要如何補救。而唯有在預期到這種錯誤答案且知道錯誤之源後，才能做到補救。

因此，教學對話的作者必需要有學生反應的實際經驗知識。[現代認知研究（

15—19）的結果對這方面應有幫助]。雖然要獲得所需經驗的知識會花掉許多作者的時間及精力，但每一個個人事實上也不會與別人完全不同。因此，在對話的問題中，相同的不正確答案會常常出現的。因此，作者所多發的時間也不是漫無限制的。

兩、三個人合作製作此種教材比一個獨作要好，因為他們可以彼此討論與核對。單獨作者易忽略輸入電腦的教材所發生的邏輯錯誤，語意不清，以及語辭的雙重含意而生誤解。（所用語辭必需要像一般正式考試試題那樣小心，以免出錯）。

最後，作者在語文方面也應有水準，清晰、準確的問題結構可使學生產生豐碩的反應。

教學對話在教育的可能衝擊

高達四分之三的大學生（就讀 College 者）對於初級的抽象邏輯推理甚為欠缺，例如，比例的推理，解決算術問題（如除法），控制變因，形成及了解簡單的假說及三段推論，做簡單的相關推論，以及將符號轉變成語言及將語言轉變成符號（14, 20—22）。讓學生在很多不同環境中反覆練習，我們有理由相信許多學生上述基本能力能夠增強(22, 23)。少部分學生一直是被動的學習者，他們很難藉著課本或老師所用的解說、圖示、及說明理由等方式來增強上述基本能力。這些人使用詞語清晰的蘇格拉底對話所表現的解釋

與推理會使他們有顯著的改善。很少有老師能面對為數衆多的學生來進行這種一對一的對話，但使用電腦就能做到，它對這種全國性的嚴重問題，確能提供解決之道（當然，若在中小學階段，對這類問題就有適當的處理，則它必不會在大學階段出現。這個理想，希望在未來能實現，但目前在大學階段，我們仍需要這些材料）。

大部分學生的初級科學課程表現不好，主要是由於他們無法在重要的開始點掌握住觀念及推理的方式。同時，許多的學生在獲得一對一的對話方式指導以後，對於掌握觀念及推理方式均能有所突破。這些科學課程的早期階段能獲得適當的對話教導是非常有幫助的。

過去的十年中，出現了強有力的認知過程的研究，並與某些科學教材的學習與了解相結合(24)。這些研究直接討論預先的構思、錯誤的構思及其他學習障礙對學生學習科學概念、模式及原理的影響。所獲得的了解不會很快的吸收入教科書中，即或有一些，也因其以說教的表現方式而難以表現出補救的效果。對許多學習者而言，最有效的方式是經由語意清晰的蘇格拉底對話來達成。現代認知研究顯示，適當的設計對話可快速的結合在每天的教學中，以達到最佳的了解。

目前製作此類對話仍甚昂貴。寫出系統的邏輯流程，大約需要兩個人工作五十小時，學生在電腦使用約為一小時。這是

很熟悉的專家老師製作的時間，很難將此時間縮短。將程式鍵入電腦，並偵錯、除錯約花掉程式設計師五百至六百小時的時間，精巧的軟體可減少程式設計的時間。

其他的利益

一個特別重要的認知過程是假設——演繹推理方式（想像一下，一連串的改變加於某存在的系統上），但是在傳統教學中，學生學到的很少。這種思維的模式不只在掌握及有效運用科學模型、定律及原理時有效，在許多其他學科也是必需的。它也提升一般公民的職責；一個人應該能對社會、政治及經濟行動提出合理的推論及判斷，經由教學對話可以練習並培養學生假設——演繹的推理能力。

另外一個許多大學生都顯示相當弱的智慧過程是在所得到的資訊中認識裏面間隙的能力，這些間隙必需由合理的假設或者另外一些資料來補足。教學對話含有認識這些間隙的能力，因此學生使用能獲得練習的機會，這是傳統課程所沒有的。在每天的生活當中，我們常常面對許多不完整的及有欠缺的資訊而要決定如何做。

有許多其他的認知技術包含在形成觀念及抽象的邏輯推理當中，它們不僅在學習科學有用，學習任何科目都有用。學生由對話的練習中可得到以下利益：討論證據；使用假說敘述及三段推論；將語言轉換成符號及符號轉換成語言；以類似思考

的過程反過來再思考一遍，以掌握思考的正確性；以及對某一出現的問題而沒有詳細的敘述，要如何利用計算、分析或其他方式來做解決的決定。

現在製作出來的教學對話仍然很少，但已用作教學的一部分。在這種模式的效果能作適當的測試以前，更廣的對話範圍（水準程度及科目主題二方面）將被製作出來應用於學術界。

限制

雖然作者對電腦輔助教學（computer-based instruction）的潛力感到樂觀，但我不認為那是一個不需控制的福音。假如它們被過度使用或誤用，則這種教學技術將受限制且甚至會有危險。

高等教育的主要功能不在教給學生所有他們該知道的，而是教他們該如何學。只有如此，他們在面對新知，可不經正式的教學過程而學會。雖然很多學生最初經由蘇格拉底對話詳細的誘導獲利良多，但在學生所受的教育中，應逐漸擺脫這些。最後一件該做的事是訓練學生使用電腦教學所提供的補充材料。我們要培養學生基本的真正的獨立學習的技術：要求學生自己探索問題；追蹤漸近的情況；核對自己推理過程內部一致性；面對一個難題能發現與它有關的簡單問題或特例以簡化問題，並一步一步的掌握住問題；能意識到自己思考的過程。一旦學生能擴大所學的內

容而發出自己的問題，同時當他尋找此問題的答案而能透視到問題的地位，此時他的學習已有成效。電腦能幫助許多學生進入這種高等智力技術之大門。

教室的社會學及人與人的接觸是基本的智力成長機構。教室提供一個生動的、清晰的、有活力的演示機會。它給學生接觸到傑出智力的機會，允許散漫的智力表現，這種智力在概論的課本中只有隱藏的描述，並且鼓勵學生交談、辯論、及討論。電腦取代教室將是一個大災難。

當然，相關的課程及“開放大學”中，電腦基礎教學扮演愈來愈重要的角色，對傳統的教學提供了有價值的服務。它提供機會給每一個被排除在高等教育以外的人。但電腦基礎教學雖對人類的教學是一有力的工具，但用它來取代教學則是一項災難。

科學素養

有許多人對我們教育系統關心⁽²⁵⁾，也對科學教育關心⁽²⁶⁾。對於培養科學家及工程師的預備作以及一般民衆科學素養的培育都引起廣泛的注意。一般人科學素養的目標未能達成的原因，部分是由於誤認為這種素養能經由“成串的語詞（stream of words）”技術來達成——在初級科學課程的教學中大量教以技術詞彙及科學的發現給學生。

語詞幾乎可用來做任何事，只有不能

爲它自己下定義。這些語詞的含意不是經由被動的聆聽這些語詞及科學事實的結論所能獲得的，而是經由智慧的參與來分享理念的經驗所得到的，這些科技語詞只是一種速記的表示而已。

認知發展的研究者將知識分成二大主要類型：比喻性（figurative）或宣告性（declarative）以及操作性（operative）或過程性（procedural）(27)。宣告性知識包含已知“事實”（如地球圍繞太陽旋轉）；操作的知識包含了解這些宣告性知識的來源（如，我們怎麼知道地球圍繞太陽旋轉的知識）。操作型知識有進一步應用的能力，它能在新的環境中使用，轉換或認識與宣告性知識有關的現象。

單單經由將宣告式知識填鴨式的灌輸給學生是無法達成科學素養的目標；操作性知識也必須培養。在目前普遍使用“成串的語詞”教學課程中不可能達成此目標的。我們不僅是要將科學課程放慢步伐及減少所含蓋的內容，而且也應加入哲學觀點、歷史過程及社會性知識（28,29）。

電腦基礎教學本身絕不可能解決上述各種教育問題。但是，有效及明智的使用有悟性的軟體，可以增加初級科學課程的學習效果，而且可以讓老師有更多的時間培養學生對操作性知識的認知。

參考資料

1. A. M. Bork, Am. J. Phys. 41, 5(1979).
2. P. C. Suppes and M. Morningstar, Computer-Assisted Instruction at Stanford, 1966-68: Data, Models, and Evaluation of the Arithmetic Programs (Academic Press, New York, 1972).
3. R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, The Feynman Lectures on Physics (Addison-Wesley, Reading, Mass, 1963), Vol. 1; R. M. Eisberg, Applied Mathematical Physics with Programmable Pocket Calculators (McGraw Hill, New York, 1976).
4. R. F. Tinker, Phys. Teach. 19, 94(1981).
5. S. G. Smith and B. A. Sherwood, Science 192, 344 (1976).
6. S. V. Klester, Change 10, 56 (1978); A. Bork, Comput. Educ. 4, 37(1980).
7. D. Kane and B. Sherbood, ibid, P.15.
8. R. O. Duda and E. H. Shortliffe, Science 220, 261(1983).
9. A. Bork, Learning with Computers (Digital Press, Bedford, Mass, 1981), P. 247.

10. A. Bork, Learning with Computers (Digital Press, Bedford, Mass, 1981), *ibid*, P. 98.
11. A. Bork, Learning with Computers (Digital Press, Bedford, Mass, 1981), *ibid*, P. 131; Comput. Educ. 4, 51 (1980).
12. A. Arons, A. Bork, S. Franklin, B. Kurtz, F. Collea, Science Literacy in the Public Library; Batteries and Bulbs (Weeg Computing Center, University of Iowa, Iowa City, 1981).
13. A. Bork, D. Trowbridge, A. Arons, Observation and Inference: A Computer-Based Learning Module (IEEE Computer Society Press, Silver Spring, Md., 1983).
14. A. Arons, Phys. Teach. 21, 576 (1983).
15. D. Trowbridge and L. C. McDermott, Am. J. Phys. 48, 1020 (1980); *ibid*. 49, 242 (1981).
16. J. Minstrell, Phys. Teach. 20, 10 (1982).
17. R. Gunstone and R. White, Sci. Educ. 65, 291 (1981).
18. M. McCloskey, A. Caramazza, B. Green, Science 210, 1139 (1980).
19. J. Clement, Am. J. Phys. 50, 66 (1982).
20. E. L. Chiappetta, Sci. Educ. 60, 253 (1976).
21. A. B. Arons, Am. J. Phys. 44, 834 (1976).
22. A. B. Arons, Am. J. Phys. Teach. 22, 21 (1984); *ibid*, P. 88.
23. A. E. Lawson, Sci. Educ. 64, 95 (1980).
24. L. B. Resnick, Science 220, 477 (1983).
25. National Commission on Excellence in Education, A Nation at Risk (Government Printing Office, Washington, D. C., 1983).
26. National Science Board Commission on Precollege Education in Mathematics, Science, and Technology, Educating Americans for the 21st Century (National Science Foundation, Washington, D. C., 1983).
27. A. E. Lawson, Sci. Educ. 66, 229 (1982).
28. A. B. Arons, Daedalus (Boston) 112 (No. 2), 91 (Spring 1983).
29. A. B. Arons, Daedalus (Boston) J. Coll. Sci. Teach. 13 (No. 4), 210 (1984).