

# 結合數學、科學、科技之教學示例

游光昭 林坤誼

國立台灣師範大學工業科技教育學系

## 壹、前言

1980 年代末期科學教育的改革逐漸著重在能引起學生興趣的動手操作學習，並強調與生活及其他學科相結合的觀念；而數學教育的改革也開始注重將數學應用在真實生活的問題解決中。同樣地，科技教育（technology education）除了強調動手操作式的學習外，更以結合及運用其他學科的知識來解決真實世界中的問題為其教育目標。因此，為順應科學與數學教育改革的潮流，發展能結合數學、科學與科技（Mathematics, Science, and Technology, MST）三學科的整合性課程，便成為國際間科技教育專業領域裡最熱門的趨勢（Foster, 1994）。其中，美國的國家科學基金會（National Science Foundation）更於 1990 年代間大力支持 MST 整合性課程的設計與活動的開發（LaPorte & Sanders, 1995）。而實施 MST 整合性課程最力的當屬美國紐約州，該州的教育局（New York State Education Department, 1997）曾對整合數學、科學與科技三門學科的必要性，提出四項主要的強制性理由：(1)缺少了數學的分析與工程方面的設計，我們便無法解釋科學的探索，或者擴張科學探索的力量；(2)今日的工程家與科技家需要科學探索產生的原理與理論，以協助設計或建立理想的科技工具或技術；(3)人民未來都將面臨許多因為數學、科學、科技和社會互動所產生的複雜道德議題，如何教導學生明智的處理這些議題（如環境保護與健康保健等）將會變得十分的重要；(4)當學生在面臨處理真實世界的應用問題時，將更能感受到強烈需要學習數學與科學的動機。以上這些在科技教育理念上的調整，正反映了 Ihde 對科技教育的期望。Ihde（1997）認為學習科技除了傳統的如何製作、以及操作機器等技術性知識之外，更須包含理論性科技知識（theoretical technology knowledge），亦即各種科技背後的科學理論。

面對科技社會的快速變動，科技的學習已無法再依循過去的「試誤學習」模式，或是「手工訓練」模式，而是必須嘗試統整與設計／製作產品的相關數學與科學原理，以作為其改良或創新的依據。此種科技學習的理念不僅逐漸盛行於美國的科技教育，也在英國科技教育領域中的「設計與科技」（Design and Technology）徹底落實。由於我國長久以來的科技教育（從過去的工藝以至現在的生活科技）所帶給人們的印象多停留在「技術訓練」的層次，藉此若能適切的落實 MST 的理念與精神，或可化解印象認知的誤差。本文主要目的便是希望能更清楚的詮釋 MST 理念，並提供可供中小學教師教學參照的 MST 教學示例，進而推動 MST 統整教學的風潮。

## 貳、數學、科學與科技統整的背景

### 一、傳統數學與科學的教學方法面臨挑戰

美國科學促進協會( American Association for the Advancement of Science, AAAS ) 曾在 1985 年發起了一項致力於改革美國科學、數學與科技教育之長期計畫—「二〇六一計畫 ( Project 2061 )」。該計畫在 1989 年發表了「美國全民科學」( Science for All Americans ) 報告，其中提出了改變科學、數學及科技等學科教學策略的建議，認為過去的科學教學方法是過時的，且大多數的科學教學方法僅注重科學知識的描述而很少提供學生應用數學或科技的機會 ( Johnson, 1989 )。此外，數學、科學與科技等學科傳統上多著重於分科教學，因而無法了解數學、科學與科技間的彼此關係 ( Kliebard, 1985 )。所以，若能透過數學、科學與科技統整的教學策略，將有助於學習者將數學、科學與科技等三大領域分立的知識體與日常生活進行連結，進而統整數學、科學與科技間的彼此關係 ( Martin-Kniep, Feige, & Soodak, 1995 )。

此外，LaPorte 和 Sanders ( 1993 ) 指出，科學和數學在教學的理論上作得很紮實，但在實務應用上便顯得很脆弱。他們表示，雖然科學與數學教育已經開始強調動手操作學習，企圖引起學生的好奇心並彌補實務經驗的缺乏，但許多的動手操作活動仍偏重於科學理論而較無法引起學生興趣。

### 二、科學與科技的學習具備相同技巧

許多人認為科學教育常被視為是著重在學習「真理」( facts ) 或科學的內涵，及如何應用真理與內涵。但是，科學教育真正應該著重在科學素養的培育，就如同學習科學家設計與實踐可驗證性的調查、正確的觀察與測量、科學原理解釋、團隊合作與溝通等 ( Kolodner, 2002 )。事實上，在設計學習活動中，學生在科技領域可以學習到設計 / 重新設計的技巧，在科學領域則亦可學習到調查與探索的技巧，亦即，科技與科學領域所使用的技巧其實是十分類似 ( 如圖 1 )。

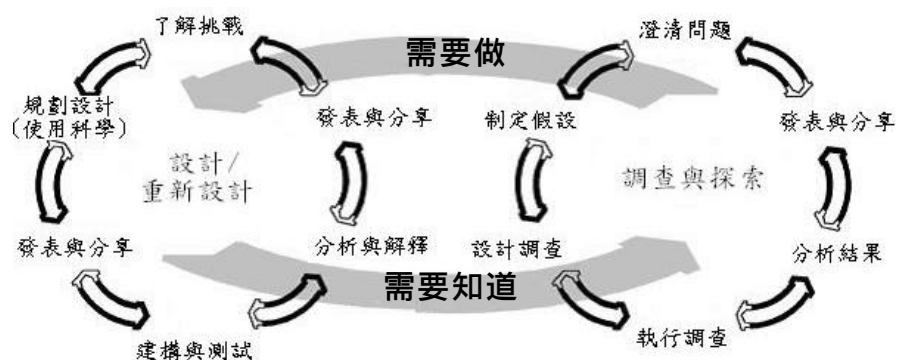


圖 1 設計學習活動中所學到的科技與科學技巧 ( Kolodner ,Gray, & Fasse, 2003 )

Kranzberg (1984) 認為科學關切的是知道「為什麼」( Know why ) 的問題，去理解自然界的各種現象，作出合理的解釋並發展定律與原理；而「科技」則關切「如何做」( Know how ) 的問題，去做出成品或解決問題。Harrison (1984) 區分科學與科技之間的區別在於「科學」是探討物理、化學、生物... 等學科的現象與原理的過程，而「科技」則在生產和提供產品與服務。在科學理論尚未如今日般完善時，許多科技的發明並未有正式的科學理論可供參考，以解釋科技的運作原理 ( Fensham & Gardner, 1994 )。然而，在今日的科技世界中，科技的發明卻需要許多科學理論的輔助，亦即科學著重探討為什麼，科技著重如何做，藉此相輔相成以滿足人類的不同需求。

### 三、科技課程是連結數學與科學的重要學科

針對前述數學與科學所面臨的挑戰，以及科技與數學、科學間的密切關係，科技課程變成了連結數學與科學的重要學科。Blackwell 和 Henkin( 1989 ) 就曾指出，在理想狀態下，藉由引起學生興趣的動手操作學習經驗，使數學、科學與科技的整合將出現在未來的課程中。此外，Daugherty 和 Wicklein ( 1993 ) 肯定地指出，科技教育在提供數學與科學概念應用的科際整合環境上有其定位，他們並為認「數學與科學」是推動科技教育必要聯繫的學科。

由於前述數學與科學教育所面臨的挑戰，以及科技教育角色的轉變，不同學者紛紛針對數學、科學與科技的統整提出其看法，分述如下：

1. McCade 和 Weymer ( 1996 ) 針對數學、科學與科技統整提出下列簡要的哲理：「部分有關『思考與行動』的技巧與科學、數學和科技有關，且年輕人需要在學校的求學環境中培養這些技巧，以有助於未來的正式或非正式學習，並能夠適切的融入社會環境中。整體而言，這些技巧可以被視為是心智習慣 ( habits of mind )，因為心智習慣與個人的知識、學習、以及思考與行動方式有關 ( 頁 42 )。」
2. Gellert ( 2001 ) 認為數學、科學、科技、文化與社會的發展彼此交織，其關係受到許多因素的影響且十分密切。
3. Berryman( 1991 ) 認為一般人並不會將平常在學校所學到的知識應用在日常生活中，也不會將日常生活的知識用在學校中，也就是說，一般人並不會將所學到的知識在不同學科之間相互運用。因此，Berryman ( 1991 ) 認為情境脈絡是學習的關鍵所在，我們必須設法提供一適當的學習情境，好讓學生能夠有機會使用他們所學的知識去實際體驗其成效 ( Bransford & Vye, 1989 )。

4. Wicklein 和 Schell (1995) 認為 MST 統整的教學策略是具有教育意義與價值的，因為 MST 統整的教學策略提供一個非結構性的問題解決情境，讓學生在此情境中進行高層次的思考與學習，並能藉由此適當的情境脈絡讓學生將所學的不同知識進行學習的轉移。

近二十年來，許多科學教育學者受到建構主義思潮的影響，以及時代潮流的改變，開始質疑以學科知識邏輯來鋪陳學生學習順序的傳統科學教育取向，並轉而強調「解決問題」、「社會文化脈絡」等觀點為主的「科學／科技／社會」( Science/Technology/Society, STS ) 科學教育理念 ( 吳璧純, 1999 )。MST 的理念與 STS 的理念其實是一致的，主要期盼能彌補傳統以學科知識邏輯來鋪陳學生學習順序或學習材料的缺失，唯其作法著重在以科技產品的觀點為主體，與 STS 以社會文化脈絡的觀點稍有差異。無論 STS 或者 MST 皆各有其優點，但是 MST 的發展尚未如 STS 般的成熟，故如何在未來的教學中著重於 MST 統整，將是一項重要的課題。

### 參、MST 的模式

就國際上的科技教育而言，美國的科技教育學者 Maley (1959) 是提倡數學、科學、科技三者整合學習的先驅，他早在 1950 年代便於美國馬里蘭大學倡導在科技教育（當時稱為工藝教育）內融入科學與數學的應用。在此之後，1980 年代美國的幾項國家教育報告中，科技教育皆扮演起連結數學與科學教育上的一個重要角色。在科技教育的相關期刊中，MST 整合的教學策略也成為一個熱門的議題，從科技教育實施、師資培育課程、美國各州相關的期刊、一直到州的會議上，都圍繞著 MST 這項熱門的議題（蔡福興，游光昭，2003）。例如，在紐約州的科學教師增強模式（Science Teachers Enhancement Model, 2000）中指出，在過去的十年內，國定的、州定的、地方的教育部門，都已經在發展新的課程標準，而發展數學、科學、科技的標準也是其中之一。這些標準是結合許多組織與協會而訂定的，如國家科學基金會（National Science Foundation）、國家科學學院（National Academy of Sciences）、國家數學教師會議（National Council of Teachers of Mathematics），以藉此以改善美國的數學、科學、科技教育。以下介紹紐約州所提出的三種 MST 統整模式（New York State Education Department, 1997）：

## 一、TMS

TMS 模式（如圖 2）的統整方法與 Fogarty（1991）所提出的「在單一學科中的統整」觀念十分類似，主要指由科技教師協助學生在科技課程中學習與數學和科學相關的知識。換言之，TMS 模式是以科技課程為主體來進行關聯式的統整，則科技教師在讓學生進行動手做的科技活動前，必須先教導學生與該項科技活動相關聯的數學與科學知識，藉此結合整合理論與實務，以達成統整的目的。

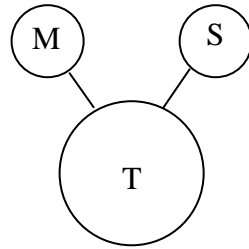


圖 2 TMS 的統整模式

具體來說，TMS 模式是指由科技教師在科技課程中，教導學生與課程相關的數學、科學知識，而這些數學與科學知識是學生在數學、科學課程中已學習過的知識。科技教師主要是透過該課程主題，提供學生將數學、科學、以及科技運用於日常生活中的機會，進而培養其統整的能力。本文後續所介紹的 MST 示例，亦以此一模式為主。

## 二、M+S+T+ (MST)

M+S+T+ (MST) 模式（如圖 3）的統整方法與 Fogarty（1991）所提出的「各學科間的統整」觀念十分類似，主要指由數學、科學與科技教師合作發展科際整合課程。此種模式主要由數學、科學與科技教師共同選定一個課程主題，進而針對該主題研擬可以整合的數學、科學與科技知識，最後再輔以動手做活動來整合理論與實務，進而達成統整的目的。

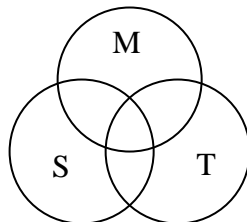


圖 3 M+S+T+ (MST)的統整模式

具體來說，M + S + T + (MST) 模式是指由數學、科學、以及科技教師共同發展統整課程，並由數學教師在數學課中教導學生與課程主題相關的數學知識，由科學教師在科學課中教導相關的科學知識，以及由科技教師在科技課中教導學生相關的科技知識。藉此，便可提供學生將數學、科學、以及科技運用於日常生活中的機會，進而培養其統整的能力。M + S + T + (MST) 模式的特點是可以發揮不同學科教師的專長，使得學生能夠學習更廣泛及更精確的相關知識。

### 三、MST Integrated Program

MST Integrated Program 模式 (如圖 4) 與 Fogarty (1991) 所提出的「學習者本身或學習者之間的統整」觀念十分類似，主要指學生在一門統整的數學、科學與科技課程中，進行數學、科學與科技知識的學習，並由教師團隊負責教導。換言之，在 MST Integrated Program 模式中，傳統學科分立的角色已被淡化，故學生所學習到的知識將是著重統整式的知識體系，藉此以達成統整的目的。

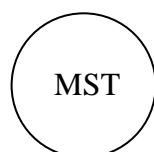


圖 4 MST Integrated Program 的統整模式

具體來說，MST Integrated Program 模式與 M + S + T + (MST) 模式的設計理念略有相同，同樣由數學、科學、以及科技教師共同發展統整課程。但是，學生是在一門 MST 統整課程中學習相關的知識，並由數學、科學與科技教師共同教導此一課程。此一模式與 M + S + T + (MST) 模式的差異點在於不強調數學、科學、科技知識的分立性，而是著重在系統化的介紹與課程相關的知識。藉此，可使學生學習日常生活中科技產品的相關原理，進而培養其自我統整的能力。雖然，MST Integrated Program 模式在三種模式中是屬於最難實踐的模式，但是其設計的理念卻十分具有價值。

### 四、MST 模式的比較

為期能更深入的了解前述三種 MST 統整模式的差異，以利於教學實務上的運用，茲將前述三種 MST 模式進行分析與比較，如表 1 所示：

表 1 MST 模式的比較

項目	MST 模式		
	TMS	M + S + T + (MST)	MST Integrated Program
1.統整方式	單一學科	多學科	學習者
2.教學方式	單一教師	協同教學	協同教學
3.知識形式	學科分立	學科分立	學科統整

由表 1 的分析顯示，TMS 模式主要透過單一學科的關聯式統整，並由單一教師進行教學；M + S + T + (MST) 模式則主要透過多學科的統整，並由各學科教師進行協同教學；MST Integrated Program 模式則是強調由學習者本身進行統整，且亦由各學科教師進行協同教學，其與 M + S + T + (MST) 模式的差異主要在於 MST Integrated Program 模式將傳統學科分立的角色淡化，並強調由學習者本身進行統整。前述三項紐約州所提出的數學、科學與科技統整模式皆具有其價值，教師可針對不同的現況或需求，選取最適切的模式加以應用，進而強化學生缺乏數學、科學與科技統整的能力。

#### 肆、MST 的示例

方德隆 (2000) 曾提出「以各學科內已有的論題作為組織中心」、「以社會問題或議題作為組織中心」、「以學生本身的問題及其關注的問題作為組織中心」、「以吸引人的論題作為組織中心」與「以過程取向的概念作為組織中心」等五種進行統整課程設計的組織方式。因此，研究者便以科技為主體，以「以吸引人的論題作為組織中心」為思考，選擇與學生日常生活中密切相關的「橋樑」作為統整課程的主題。以下便以「橋樑」為主題，並依數學、科學與科技整合的課程統整，進行 MST 的範例介紹。

此外，為求能將科學、數學、及科技等相關知識更具體的表現，研究者將統整課程的內容再改編為網路化的數位教材，使學習者能透過網路上的多媒體呈現，更具體的去統整各學科間的相關知識。該數位教材的內容規劃為：

- 1.運用動畫等數位教材介紹與橋樑相關的數學、科學與科技原理（稱為數學、科學與科技原理區）；
- 2.運用網路模擬方式操控數學、科學與科技等相關變項，讓學生在電腦上進行橋樑的模擬設計（稱為虛擬實驗室）；
- 3.介紹相關設備與工具的應用，鼓勵學生能將在電腦中的模擬設計化為實際的作品（稱為動手做實驗室）；
- 4.運用多元評量的概念來評量學生是否達成能力指標所要求的能力內涵（稱為多元評量室）。

## 一、數學、科學與科技原理區

### (一) 數學原理

在解釋橋樑的結構時，三角函數及畢氏定理是經常會用到的兩個計算公式，因此強化這兩個公式的運用及理解，將有助於學生在製作橋樑時妥善運用數學原理來解決各種角度的結構問題。除了基本概念的介紹之外，數學原理區更利用動畫的方式以解說數學的概念，使學習者能夠透過生動活潑的動畫以學習數學的概念（如圖 6）。



圖 6 數學原理的介紹

### (二) 科學原理

再實際建構模型橋樑時，學習者會遇到橋面承載力的與運動速度問題，而這方面的先備知識就必須在科學原理區來介紹。因此科學原理區主要介紹力的概念以及牛頓運動定律等兩項原理，而除了基本概念的介紹之外，更利用動畫的方式以解說科學的概念，使學習者能夠透過生動活潑的動畫以學習力與運動相關的科學概念（如圖 7）。

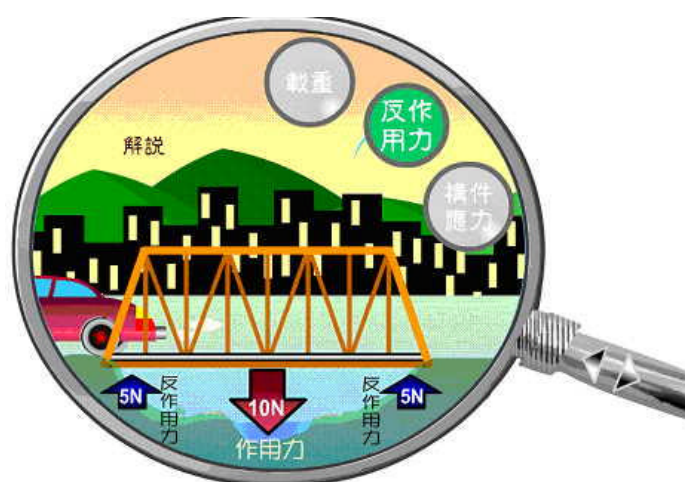


圖 7 科學原理的介紹



### (三) 科技原理

在科技原理方面主要介紹桁架結構的應用、桁架結構的基本組成以及桁架結構的設計形式等三項原理，瞭解這些基本結構有助於學生在考量數學及科學的相關概念下，做出最佳的結構設計。除了基本概念的介绍之外，更利用動畫的方式以解說科技的概念，使學習者能夠透過生動活潑的動畫以學習科技的概念（如圖 8）。

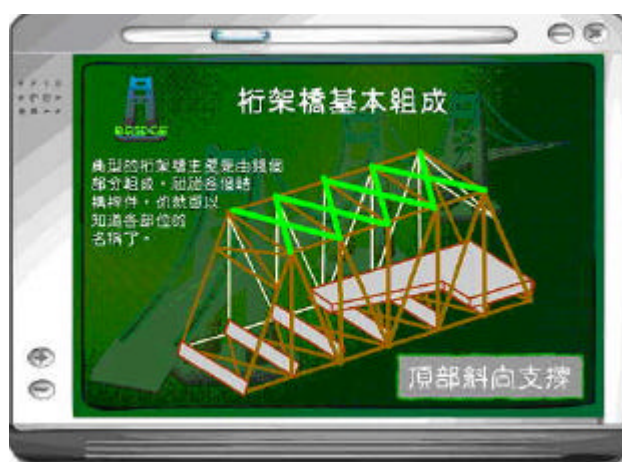


圖 8 科技原理的介紹

### 二、虛擬實驗室

虛擬實驗室主要在提供學習者整合先前所學過的數學、科學與科技知識，在網路上進行橋樑的設計，並由電腦虛擬測試成品。換言之，學生可以透過電腦的虛擬測試，瞭解本身所設計產品的優缺點，進一步改善自己設計上的缺點。這樣除了可以免除以往試錯學習模式的缺失，並能完成較佳的橋樑設計（如圖 9）。

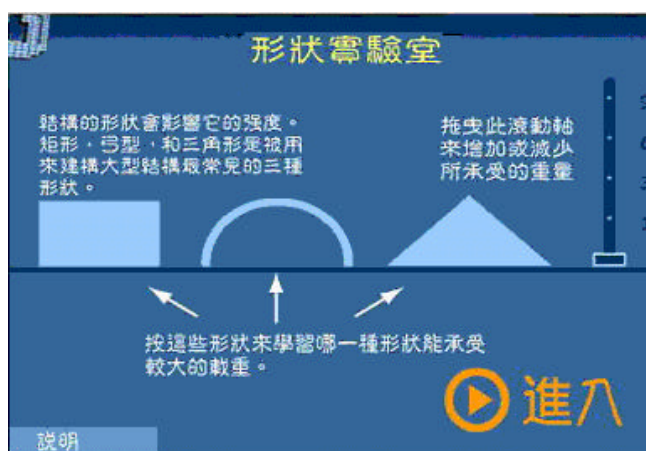


圖 9 虛擬實驗室

### 三、動手做實驗室

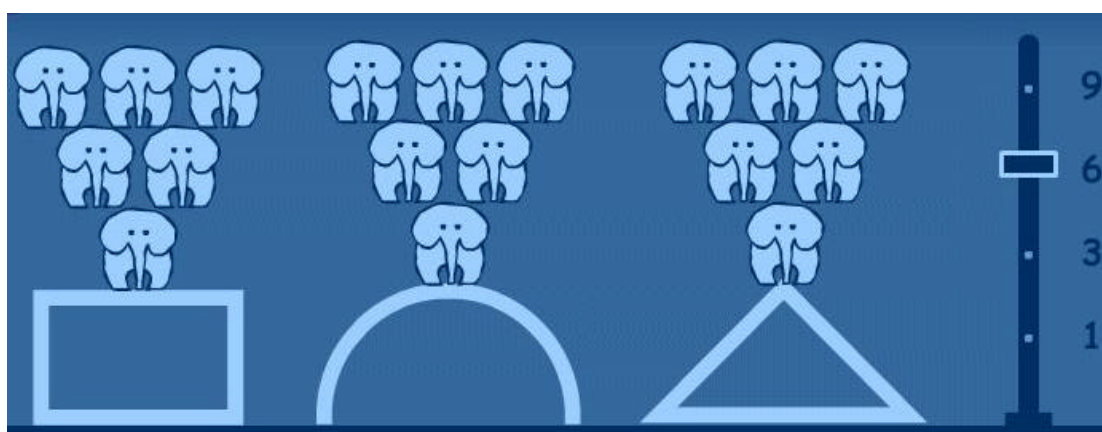
動手做實驗室主要在提供學習者動手製作前述虛擬實驗室所設計出橋樑的機會。動手做實驗室中主要介紹學生所必須解決的問題，並說明可使用的工具、材料、以及測試載重的方式等。透過此一動手做的活動，學生可以將各學科的知識善用於日常生活的經驗中，藉此強化理論與實務結合的關係（如圖 10）。



圖 10 動手做實驗室

### 四、多元評量室

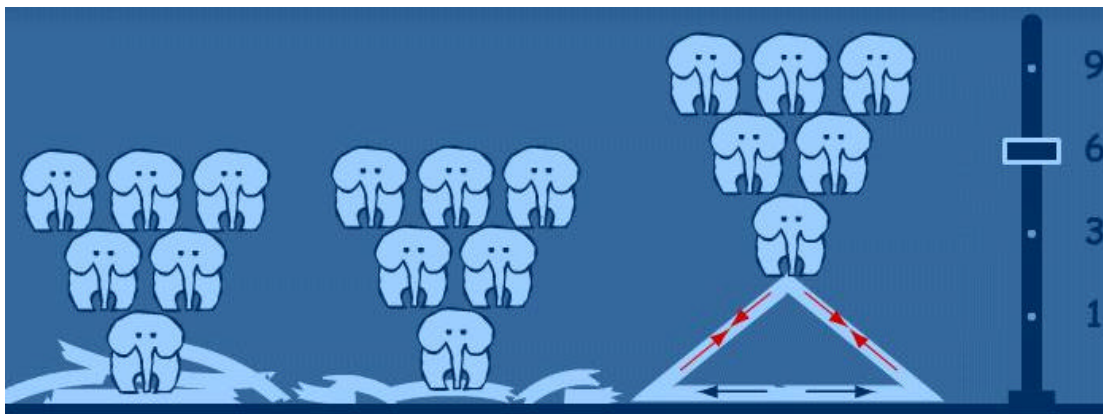
在多元評量方面，主要運用多媒體的設計，一方面讓學生更能了解評量題目的意涵；另一方面，亦可藉此讓學生了解自我的學習成效，進而針對需要加強學習的地方繼續學習（如圖 11、12）。



請問上圖三種結構，何者能夠承受六隻大象的重量？

- (A) 方形 (B) 拱形 (C) 三角形 (D) 以上皆非。

圖 11 測驗題目



註：學生可以透過上述動畫的模擬，進而了解各結構的受力情形。

圖 12 測驗題目解答

#### 陸、結論與建議

教育改革的主要訴求逐漸朝向以學生為主體，因此隨著此一潮流的演變，教師的教學將不能再迴避學生可能會具有的不同學習型態或需求，反而必須試圖採取更包容的態度來面對這些不同的學習型態或需求。如此一來，自然會促使我們思考更多的教育問題，使教育制度能更符應學生的需求。因此，面對傳統數學與科學教育過於著重縱向的銜接及缺乏橫向統整的現況，現行教育改革所應該採取的策略，並不是要抹煞傳統數學與科學教育著重分科知識傳授的貢獻；而是應該針對學生缺乏統整能力的問題，提供培養統整能力的管道。以我國現行教育體制而言，生活科技課程或許恰能扮演此一培養學生統整能力的角色，且又能夠讓其他學科維持現有著重縱向銜接的知識體傳授。整體來說，若能妥善運用數學、科學與科技統整的教學策略，相信可以能夠改善學生缺乏統整能力的現況。面對未來著重統整的潮流趨勢，期盼藉由各界人士的參與，使得未來的教育制度更完善，並培育更多優秀的人才。

#### 參考文獻

- 方德隆（2000）。課程統整的模式與實務。高雄師大學報，11，181 - 212。
- 吳璧純（1999）。科學 - 科技 - 社會（STS）的「道德與公民」課程。教育研究集刊，42，79 - 95。
- 蔡福興、游光昭（2003）。「數學、科學、科技」科際整合策略應用於網路學習環境的設計與研究。屏東師院學報，19，139 - 176。

- Berryman, S. (1991). *Solutions*. Washington, DC: National Council on Vocational Education.
- Blackwell, D., & Henkin, L. (1989). *Mathematics: Report of the project 2061 phase I mathematics panel*. Washington, D. C.: American Association for the Advancement of Science.
- Bransford, J., & Vye, N. (1989). Cognitive research and its implications for instruction. In Resnick, L., and Klopfer, L. (Eds.). *Toward the thinking curriculum: Current cognitive research*, 171-205. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Daugherty, M. & Wicklein, R. (1993). Mathematics, science, and technology teacher's perceptions of technology education. *Journal of Technology Education*, 4(2), 28-43.
- Fensham, P., & Gardner, P. (1994). Technology education and science education: A new relationship? In D. Layton (Ed.) *Innovations in science and technology education* (pp. 159-170). Paris, France: UNESCO.
- Fogarty, R. (1991). How our team dissolved the boundaries. *Educational Leadership*, 49 (1), 61-65.
- Foster, P. (1994). Must we MST ? *Journal of Technology Education*, 6(1), 76-84.
- Gellert, U. (2001). Mathematics and life: lessons from history. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 32(3), 365-374.
- Harrison, A, J. (1984). Science, engineering, and technology. *Science*, 223(4636), February.
- Ihde, D. (1997). The structure of technology knowledge. *International Journal of Technology and Design Education*, 7, 73-79.
- Johnson, J. R. (1989). *Technology: Report of the Project 2061 Phase I technology panel*. Washington, D. C.: American Association for the Advancement of Science.
- Kliebard, H. (1985). Three currents of educational thought. In *Current Thought on Curriculum: ASCD Yearbook*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Kolodner, J. L. (2002). Facilitating the learning of design practice: Lessons learned from an inquiry into science education. *Journal of Industrial Teacher Education*, 39(3), Retrieved September 10, 2004, from <http://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JITE/v39n3/kolodner.html#kolodnergray2003/>.

- Kolodner, J. L., Gray, J. T., & Fasse, B. B. (2003). Promoting transfer through case-based reasoning: Rituals and practices in Learning by Design classrooms. *Cognitive Science Quarterly* 3(2), 119-170.
- Kranzberg, M. (1984). *Technology & Science*. N.C.: Davidson College.
- LaPorte, J. E. & Sanders, M. E. (1993). The T/S/M integration project. *The Technology Teacher*, 52(6), 17-21.
- LaPorte, J. E. & Sanders, M. E. (1995). Integrating technology, science, and mathematics education. In G. E. Martin (Ed.). *Foundations of technology education* (pp. 179-219). Council on Technology Teacher Education 44th yearbook. Peoria, IL: Glencoe/ McGraw Hill.
- Maley, D. (1959). Research and experimentation in industrial arts in the junior high school. *The Industrial Arts Teacher*, 32(1), 58-62.
- Martin-Kniep, G., Feige, D., & Soodak, L. (1995). Curriculum integration: An expanded view of an abused idea. *Journal of Curriculum and Supervision*, 10(3), 227-249.
- McCade, J., & Weymer, R. (1996). Defining the field of technology education. New York State Education Department. (1997). *Beat practices: 5 Guiding principles*. Retrieved February 14, 2004, from <http://www.emsc.nysed.gov/guides/mst/partI1.pdf/>.
- Wicklein, R. C., & Schell, J. W. (1995). Case studies of multidisciplinary approaches to integrating mathematics, science and technology education. *Journal of Technology Education*, 6(2), 59-76.

