

# 跨越尺度的聰明學習—— 知識整合數位化學探究課程

洪蓉宜<sup>a</sup>、張淑苑<sup>b</sup>、張欣怡<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> 國立高雄師範大學科學教育暨環境教育研究所

<sup>b</sup> 高雄市立苓雅國民中學

\*[hsinyichang@nknuc.nknu.edu.tw](mailto:hsinyichang@nknuc.nknu.edu.tw)

## ■ 前言

古希臘哲學家德謨克利特認為萬物均由原子所組成，亞里斯多德提出世上一切物質是由土、水、火、空氣所構成的四元素理論，十九世紀初英國科學家道耳吞提出不可分割的原子組成物質；西元一世紀即已出現了煉金術，漢朝興盛煉丹術以求取長生不老藥，到二十一世紀台灣令人聞之色變的油品食安風暴。由上述各事件可以看出物質粒子和化學反應等概念對古今中外科學發展和日常生活有著密不可分的關聯，且在國民中小學九年一貫課程綱要自然與生活科技學習領域中，「物質的組成與功用」、「物質的型態與性質」、「化學反應」等項目亦被列為內容要項中的次主題（教育部，2008），足見相關概念之重要性。然而，無論是第一線實務教師或科學教育研究人員均可深刻發現，學生在學習原子、分子和化學反應等相關概念時，經常表現出學習困難，對科學現象的理解也很容易產生迷思概念。粒子觀對化學反應的學習極為重要，但學生往往對於運用粒子觀來解釋和推理想象感到相當困難。從概念屬性來看，原子分子雖為佔有空間、具有質量的物質顆粒，但屬於肉眼不可見之次微觀層次；化學反應牽涉流程或階段性的動態過

程，屬於抽象層次。原子、分子和化學反應等概念兼具次微觀和抽象等雙重屬性，增加了概念理解和學習的複雜度。

從皮亞傑的個體認知發展理論來看，國中學生處於由具體運思期逐漸轉為形式運思期的發展階段，正面臨在巨觀、分子和符號等層次之間連結轉換的挑戰。概念的粒子觀、抽象和複雜，以及個體認知發展階段的漸進轉換，這些都增加了中學生學習粒子和化學反應概念時的困難度。面對難以理解的概念，學生常採取機械式的學習方式，以背誦片段知識來應付課堂或評量中的問題，例如僅記憶反應物和產物、忽略原子重新排列和鍵結的反應過程；甚至衍生出許多迷思或另有概念來滿足模糊不清的概念邏輯，例如將化學符號視為等同於數學符號、以數學解題方式來解決化學反應問題。這種種均導致學生面對化學反應相關問題時，乍看回答反應無誤，但深入探問會發現實際上學生缺乏正確和有系統的化學概念，關於應用概念進行科學探究或問題解決等較高層次的能力和科學素養則更為闕如。

如何促進學生對化學反應的粒子觀和抽象概念有確實的理解和具體的建構，以達到

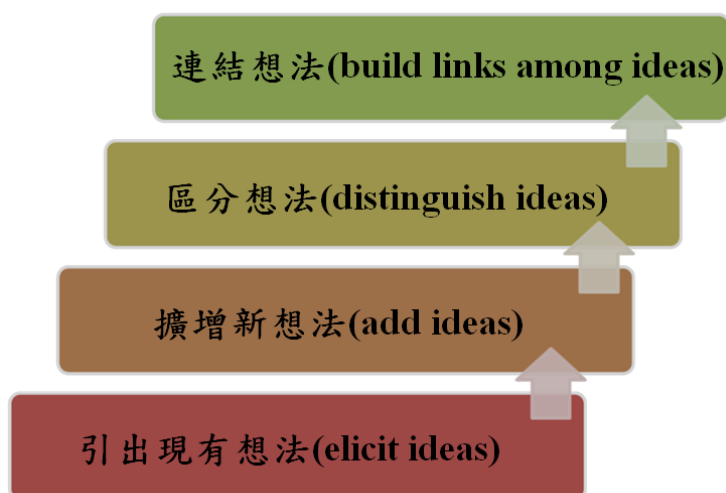
知識和概念融貫的效果，幫助學生減少前述學習困難、建立系統性的概念？如何兼具強化概念學習並能增進學生對化學現象和反應的解釋、推理和預測等探究技能，更進一步提升學生的科學素養？本文將介紹運用電腦和網路的科技優勢，將抽象的分子與原子視覺化，並模擬進行化學反應的建模活動，融入知識整合教學模式和社會互動的設計，所發展出的數位探究課程。

## ■ 知識整合數位化學探究課程—氫燃料車內的化學

隨著科技普及和教育改革聲浪之興起，近年來將教學過程或教學素材經由數位工具轉換至網路上的 e 化課程和教學資源如雨後春筍般蓬勃發展。有的強調遠距教學（如國外的可汗學院和國內的均一教學平台），有的主打互動式教學（如美國科羅拉多大學發展的 PhET）。本文所介紹的知識整合數位化學探究課程乃源自美國加州大學柏克萊分校科技促進科學學習中心（Technology Enhanced Learning in Science [TELS] Center）網路科學探究平台（Web-based Inquiry Science Environment [WISE]）課程資料庫之「Will Gasoline Powered Vehicles Become a Thing of the Past?」課程（Zhang & Linn, 2011）。

在科學教育專家、科學專家及科學教師的合作下，依照現行九年一貫課程綱要能力指標、自然與生活科技學習領域教學目標和教材內容要項（教育部，2008），經過翻譯和修改，研究和教學團隊將課程發

展為適合臺灣六年級至八年級學生的中文版 WISE 「氫燃料車內的化學」課程（<http://twise.nknu.edu.tw:8888/webapp/vle/prview.html?projectId=128>，需使用火狐或 Google 瀏覽器）。與眾不同的是，除了考量一般數位課程常見的優點，如視覺化、互動性，此課程特別針對學習者在概念學習時的特性，將知識整合觀點融入課程設計中，且強調課程需要透過課堂經驗以進行調整和修改，教學者可依照學生需求和教學需求來打造客製化課程。這裡所謂的知識整合是一種概念理解的過程，此過程包括對某主題原有的綜合想法和新增概念、連結新舊想法、挑選有用的想法、對概念加以反思和重新建構，最終形成更高整合程度的知識（Linn & Hsi, 2000）。知識整合觀點的課程通常包含四個促進學習者進行知識整合的基本步驟（Linn, 2006）（如圖一）：第一步驟為引出學習者的現有想法（*elicit ideas*），重視學習者的先備知識狀態及既有概念，以作為學習新概念的基礎。第二步驟為擴增新想法（*add ideas*），提供學習者機會去體驗科學現象或原



圖一：知識整合觀點的課程步驟

圖二：以生活化主題引出學生想法

則，在原有想法中擴增新的想法或概念。第三步驟為區分想法 (distinguish ideas)，幫助學習者辨別區分新的想法和原有想法的異同，並引導學習者發展出評斷標準，用以區辨對科學現象有較佳預測力和解釋力的想法。最後的步驟是連結想法 (build links among ideas)，引導學習者反思和重整想法，重新建構概念連結，形成完整而一致的概念架構，而此概念架構具備較高的穩定性和可用性。這四個步驟的完整歷程，可促進學習者的深度理解和知識整合。

「氫燃料車內的化學」知識整合數位化學探究課程即

依據此知識整合的觀點所設計，教學主題為化學反應與化學計量，教學目標為透過不同種類車輛動力的來源過程，使學生了解並建構化學反應的概念，且可應用自己所建構的整合性知識，解決生活情境中的實際問題。透過此知識整合數位化學探究課程的輔助，

圖三：以繪圖活動擴增學生對粒子模型意義和用途的理解，並練習實際建構模型

可引導學生進行分組學習，經由溝通、討論與分享等互動過程，建立化學反應和化學劑量相關概念，並運用課程中的繪圖活動和評論活動，幫助學生理解微觀和抽象的概念，強化概念的知識整合程度。此課程共包含五項

活動。活動一為「汽油燃料車或氫燃料車？」，請學生從車輛運轉需要能量的角度來思考要購買何種汽車，以生活化的議題和情境(圖二)引出學生原有的想法。接著介紹汽油燃燒的化學反應，以配對問題和即時回饋的型態確認學生對反應物、生成物和能量等概念的理解。延續汽油燃燒反應過程，網頁提供汽油燃料車的產物二氧化碳與溫室效應的關係等資訊，擴增學生的新想法；在學生閱讀教材之後，以跳窗方式呈現嵌入式評量，請學生由閱讀資料中反思二氧化碳與溫度的關係，並將想法紀錄於嵌入式評量中。

活動二為「氫氣作為燃料」，此部分介紹氫燃料車產生能量的來源主角，說明氫氣和氧氣

的特性和結構，並介紹不同的模型表示法，

**挑戰問題**

**問題**  
假設現在科學家發明了一個方法，可以让你清楚的看到氫氣分子，請問，你實際看到的氫氣分子，會跟第一步驟的氫氣分子「模型」一模一樣嗎？

**答案**

- 是的，一定是一模一樣！
- 不一定，模型可以根據它的用途，只呈現有助於人們理解的部分即可。
- 不是的，模型跟它所代表的事物一定要完全不一樣。**

模型可以根據它的用途，只呈現有助於人們理解的部分即可。

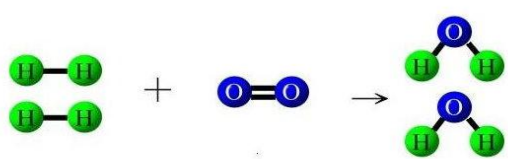
圖四：以挑戰問題和即時回饋引導學生確認概念的理解

引入微觀粒子(原子和分子)層次的概念。除了利用文字和靜態圖片呈現之外，另外搭配繪圖活動(圖三)和挑戰問題(圖四)，引導學生思考和理解粒子模型的意義和用途，並實際練習建立模型的方法。

活動三為「氧氣燃燒」，以氫氣氣球燃燒的影片提供學生觀察氫氣燃燒的現象，導入

氫氣燃燒的圖像(二)

科學家常常會因為不同的需要，而設計不同的模型來呈現化學反應的過程，例如下方的球與棒分子模型(以藍球及綠球代表原子，並且用黑色棒子來代表原子間的連接情形)、中文文字模型、英文文字模型等。

球與棒 分子模型	
中文文字 分子模型	氫氣 + 氧氣 → 水
英文文字 分子模型	$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

★觀念澄清：

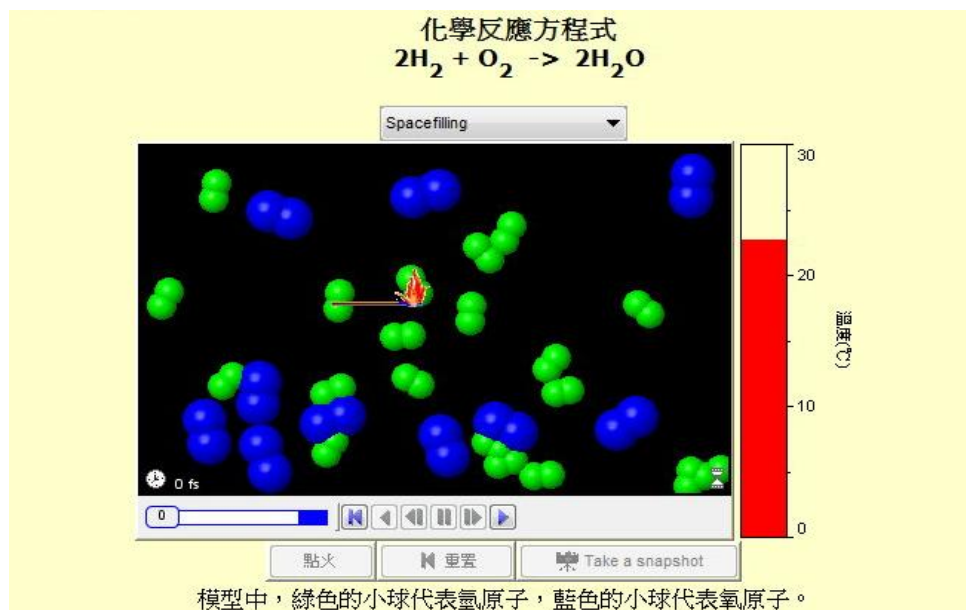
「模型」這個詞，在日常運用中常有許多的混淆，一般人常以為可以稱之為「模型」的物品，一定只能是實體或者是某些東西的縮小版(如飛機模型、玩具模型等實體模型)。

但是，在科學的應用上，科學家們認為，只要是能傳達科學的概念，或者是可以幫助科學家們呈現、解釋或預測、推理科學現象的東西(如化學反應方程式、水的三相變化圖、光的折射圖等)，都可以稱之為模型。換句話說，即使是一張圖片、一段文字、一個電腦動畫或者是一個實體的人體模型，都是可以被稱為「科學模型」的喔。

圖五：以文字和靜態圖片擴增學生對模型轉換和化學反應式的理解

介紹氫氣燃燒的化學反應方程式。同樣地在觀看影片後，跳出嵌入式評量問題，請學生思考和解釋現象背後的原理，預先提出自己原有想法的說明。再透過文字和靜態圖片呈現不同模型(圖五)；引導學生擴增化學反應方程式的書寫表達方法和反應式平衡等概念。並以挑戰問題和即時回饋的型態確認學生對分子式和化學反應式等概念的理解。

活動四為「探索氫氣燃燒動畫」，利用氫氣燃燒互動式電腦模擬動畫(圖六)，以分子碰撞的角度，提供學生觀察和了解化學反應過程的微觀變化情形。除了請學生針對模擬動畫的觀察回答問題之外，並以挑戰問題和即時回饋的型態幫助學生理解和區分對化學反應過程的想法。此外搭配繪圖活動，引導學生以微觀角度將目前所理解的化學反應模型具體化建構出來。學生建構出自己的模型之後，提供學生觀看他人所繪模型，請學生評論別人所繪圖畫



圖六：以互動式電腦模擬動畫引導學生從微觀角度理解化學反應分子碰撞的過程

中，哪些地方是對的、哪些是錯的，請其明確提出評論標準(圖七)。接著再請學生修改自己的繪圖(圖八)，重新建構和調整自己所繪模型和概念，達到概念連結和反思的效果。

在經歷前述四個活動後，最後進行活動五為「我要選擇甚麼車？」，連結回最初的購

圖七：以評論他人繪圖的活動引導學生區分想法並形成評斷標準

車選擇  
問題。  
此處提  
供氫燃  
料車內  
部結構、兩  
種燃料  
汽車的  
延伸閱讀  
讀資

表一：「氫燃料車內的化學」課程所運用的策略和目的

策略	目的
生活化的議題	引導學生思考真實問題
視覺化	運用靜態圖片、影片、動態模擬及繪圖建構，將微觀和抽象層面具體呈現
嵌入式提問	營造社會互動情境，促進學生思考和回應
挑戰問題和立即回饋	引導並確認學生想法的正確性
評論活動	引導學生形成評論標準
修正活動	促進學生再次檢視和調整已形成的概念

料，引導學生根據成本、環境、安全性等因素明確地說明考量，並作出選擇。在思考衡量各因素的影響中，促進學生連結和反思前面各個活動所獲得的學習，形成整合性的概念。

此「氫燃料車內的化學」知識整合數位化學探究課程所運用的策略和目的對照呈現於表一。整體課程教學時間約為 180 分鐘，以國中每堂課 45 分鐘計算，共需四堂課。此課程可作為取代傳統教科書和講述式的教學，亦可作為正課之外的補充教材，更可因應十二年國教學習者的差異化，作為補救教學之用。

## ■ 結語

本文所介紹之「氫燃料車內的化學」數位課程採知識整合的觀點所設

計，以學生的先備知識為基礎，透過一連串的教學活動，促進學生科學概念的深度理解。此一連串的教學活動包含區辨和連結個人知識與科學概念，產生具整合性的概念架構，運用概念進行科學活動。此課程可取代傳統教科書為主的正規課程，也可作為非正規課程或課外補充教學。因應十二年國教，

圖八：學生藉由修改自己的繪圖，重建和調整概念以連結和反思想法

亦可作為高一新生差異化補救教學的課程教材，或可應用為創新教學和多元評量。除了增進科學概念的理解、迷思概念的釐清，亦可促進科學素養，從中引導學生養成解釋、思考推理、邏輯判斷和客觀評論之能力。教育工作是一項無法計算成本和投資報酬率的志業，處於科技進展迅速和資訊爆炸的時代，除了傳道、授業、解惑之外，教師的角色被賦予更多的責任和期待，「有教無類」和「因材施教」的理念不變，「運用之妙，惟乎一心」，重視學生起點行為和教學原理的具體做法在二十一世紀似乎有了不同的詮釋。「氫燃料車內的化學」知識整合數位化學探究課程為新世紀的課程提供一值得參考的模式。

## ■ 參考文獻

教育部 (2008)。九年一貫國民中小學課程綱要。

Linn, M. C. (2006). The Knowledge Integration Perspective on Learning and Instruction. In R.K. Sawyer *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 243-264). New York: Cambridge University Press.

Linn, M. C., & Hsi, S. (2000). *Computers, teachers, peers: Science learning partners*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Zhang, Z., & Linn, M. C. (2011). Can generating representation enhance learning with dynamic visualization? *Journal of Research in Science Teaching*, 48, 1177-1198.