

教育部 100 學年度中小學科學教育專案期末報告大綱

計畫名稱：探究不同表徵(視覺、具體)模型之學習效益—以化學反應速率與平衡為例

主持人：鍾曉蘭

E-mail：chshirley2007@yahoo.com.tw

共同主持人：謝進生

執行單位：國立三重高中

一、計畫執行摘要

1. 是否為延續性計畫？ 是 否

2. 執行重點項目：

- 環境科學教育推廣活動
- 科學課程教材、教法及評量之研究發展
- 科學資賦優異學生教育研究及輔導
- 鄉土性科學教材之研發及推廣
- 學生科學創意活動之辦理及題材研發

3. 辦理活動或研習會等名稱：高二化學課(共 15 節課)

4. 辦理活動或研習會對象：本校二學生自然組三班學生

5. 參加活動或研習會人數：118 人

6. 參加執行計畫人數：4 人，參與計畫人員主要為協同計畫主持人謝進生老師及行政助理賴麗玉小姐，國立三重高中對於本計畫大力支持，對於教學活動不僅提供足夠的設備，江家珩校長對於本研究亦十分的重視。謝進生老師在教具與動畫設計方面提供專業而具體的幫助，行政人員(包括行政助理賴麗玉小姐、教學組、設備組與會計、出納組)提供行政支援，讓本計畫能夠順利進行。

7. 辦理/執行成效：已完成 90%，完成多重表徵模型教學活動及教材設計並將成果應用在教學上，幫助高二學生在化學反應速率的科學學習與概念改變。

二、計畫動機與目的

(一) 研究計畫的背景與動機

筆者擔任高中化學老師多年，有感於學生在學習化學的過程常遭遇許多困難，對於深入了解化學的微觀機制與相關理論興趣不高，為什麼對學生而言，學習化學是如此的困難呢？仔細分析高中化學的學習內容，筆者發現學習化學知識對大部分的學生而言，都是要理解一些不可見的或無法直接感知的概念(譬如：原子軌域、分子結構等)，即使

讓學生重新經歷化學家研究的歷程，學生也無法像專家一樣在頭腦裡運思著，該把哪一個分子的某個結構換掉，或是清楚解釋實驗過程中所觀察的現象或蘊含的理論。學生最大的學習問題在於他們無法將實驗室或日常生活中觀察到的巨觀現象、微觀的本質與反應過程三者之間作有意義的連結。然而在化學課堂上，教師雖然寫下有意義的符號、反應式、數學關係圖與關係式，且反覆加以說明、解釋，但對學生來說，這些符號或方程式只是文字、數字或箭頭，甚至是難以理解的抽象世界。

學生在面對化學符號或公式時，常常無法適當地解釋各層表徵的化學意義，當看到 H₂O 的符號，還能描述它們巨觀的物理性質，但卻無法正確地使用微觀的粒子模型來解釋這些水蒸發的物理現象，對於水電解時的微觀機制更是難以想像，也因此無法以粒子的觀點解釋水電解的化學反應機制。如何能有效提升學生學習化學微觀的概念？哪一類型的教學策略或活動能夠有效提升學生對化學概念的聯結與解決問題的能力呢？

近年來，筆者致力於將多重表徵的模型活動融入高中化學氣體粒子、氧化還原、影響反應速率因素等高中化學概念的課室教學活動(鍾曉蘭，2006, 2008, 2009；鍾曉蘭、江文瑋、劉俊庚、邱美虹，2007)，從一系列研究結果顯示，學生經過多重表徵的模型活動後其學習成效優於傳統教學，例如應用電腦動畫與粒子動態模型，所顯現的動態表徵配合文字、口語敘述等，說明氣體粒子的隨機運動，能促進學生形成具有與現象相同屬性的心智模式(Chiu & Chung, 2007)。使用具體模型呈現活化能概念，不僅讓學生理解溫度與催化劑影響反應速率的微觀機制，也讓學生學習以不同的表徵與策略來學習抽象的化學概念(鍾曉蘭，2009)。

學習情意的分析結果指出學生對於具體模型、電腦模擬/動畫教學對於提升概念理解與幫助解決問題的面向評價不錯(鍾曉蘭，2008, 2009)，他們不但喜歡此種活動方式，多數學生認為這些活動能夠促進他們瞭解粒子微觀的交互作用(鍾曉蘭，2007)，並對於微觀或抽象概念的持續很有幫助(鍾曉蘭，2006, 2008)。研究結果支持多重表徵的模型活動對學生學習微觀、抽象與動態的化學概念是具有教學成效的，而且能提升學生的學習動機與興趣。

筆者參加 2010 年 ICCE(International Conference on Chemical Education)發表多重表徵模型的相關研究，當時有位教授提出一個問題：「在教學的過程中，哪一種表徵的模型對增進學生的化學學習最有效呢？」她個人認為應該是視覺模型(動畫)最能促進學生的學習，筆者根據學生對模型活動的評價與課堂的觀察，則認為應該是具體模型與語言模型(師生討論)。因為整體研究設計的理念是運用不同表徵的模型可以補足單一表徵的不足之處，因此很難從現有的研究資料回答上述的問題。然而這樣的問題引發筆者的興趣與好奇，在心中衍生出一系列的問題：視覺模型教學效益會大於具體模型嗎？抑或兩種不同表徵的模型促進了不同面向的學習？又或者不同學生會偏好使用不同表徵的模型來學習呢？兩種表徵模型混合使用，所產生的學習效果是相加的呢？還是 1+1>2 的效果？筆者期望能藉由本次研究來釐清上述的問題。

(二)計畫目的

1. **瞭解學生迷思概念演變情形**：從學生教學前的答題情形，可以深入了解學生在化學反應速率與平衡的先有概念，了解學生學習的困難所在，進而探討迷思概念產生的原因，教師可設計相對應的教學活動幫助學生的科學學習，再藉由一系列教學中與教學後的評量，分析學生迷思概念的演變情形。
2. **教師自行研發各種表徵的模型與教學活動**：模型活動設計主要包括具體模型教具、視覺模型(電子投影片與電腦動畫)的設計、語言模型(師生討論、小組討論)等，將抽象的微觀的碰撞學說與平衡等概念由具體的表徵逐漸探討到抽象表徵，幫助學生深層的理解。
3. **設計小組活動**：學生動手操作具體模型並探討碰撞學說與勒沙特列原理。
4. **設計與生活相關的小實驗，從生活情境中理解並建立化學知識**：從生活化的小實驗進行巨觀(macro)、次微觀(sub-micro)與符號(symbol)三個表徵的連結。
5. **以多元的活動提升學生學習動機**：設計多元的活動讓學生們學習以不同的表徵與策略來學習抽象的化學概念，能夠提升概念理解與學習的動機。

三、研究方法

(一)研究理論背景

多重表徵與模型教學

在對同一件事物的描述上，可以使用不同的表徵方式予以表達。對於水分子的描述可以使用以下不同的表徵方式，如圖 1。不同的表徵可能描繪著同一個參考物，但每一種表徵的承載能力卻不盡相同。文字表徵是語言與序列性的表徵方式，符號表徵與圖像表徵皆為化學社群中所認可的表徵方式，但是圖像表徵可以顯現出空間的概念，符號表徵則無(陳盈吉，2004)。因此在教學中應嘗試以多樣性的表徵，讓同學瞭解語言、文字、圖像等不同的方式所蘊含科學概念的意義。



圖 1 水分子的不同表徵方式

Johnstone (1993, 2000)提出在學習化學有三個層次的表徵：巨觀(macro)，次微觀(sub-micro)，和符號(symbol)，三種化學表徵之間的關係如圖2所示。化學上的巨觀表徵如看見顏色變化、形成沉澱、氣泡產生與等肉眼可直接觀察的現象；次微觀表徵則藉由分子、原子、次原子粒子的排列或運動來解釋；而符號表徵則藉由符號、數字、分子式、方程式、結構式或其他化學符號來表徵，如 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ 。學生在從一種表徵轉換到另一種表徵時產生困難，教師卻對解釋這些表徵的轉換間快速，未能將每個表徵的

特性與限制詳加解釋，反而造成學生概念的混淆與理解概念的困難。Johnstone(1991)也建議，教學活動中若能強調這三種表徵的存在和它們之間的連結，能使學生易於轉換表徵。

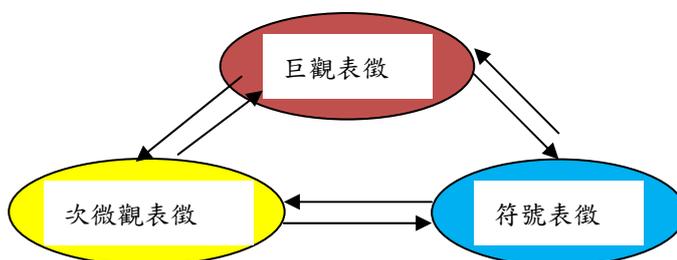


圖 2 化學表徵中巨觀，微觀，和符號表徵的關係
(引自 Johnstone, 1993, 2000)

Mayer(2001)則認為深層理解不只是記憶知識，也要能解決其他學習遷移的問題，若學生能夠自由轉化不同的表徵，可以不同的向度來呈現知識的完整風貌，達到整合知識層次的有意義的學習。因此在表徵之間做連結是一種知識過程，需要深層概念的了解。但大部分的學生不能在巨觀表徵、微觀表徵與化學表徵之間作表徵的轉換，代表他們內在概念知識也難以進行連結。教師將多重表徵與教學內容、教材與教法作巧妙的融合及精心的設計後，呈現在課室的學習活動中，將有助於學生增進多重表徵轉換的能力，讓學生達到知識整合的有意義的科學學習。

隨著科技的日新月異，新興的學習科技可以幫助學生與教師完成一些傳統教學中較無法達成的活動，教師使用電腦軟體與營造電腦學習環境，做為激發與提升學生思考與創造力的知識建構工具與認知環境，是一個值得嘗試而有別於一般傳統的電腦應用在教學與學習上的方式(張基成，1997)。這些學習科技軟體中，像是建模工具(modeling tools)、超連結文本(hypertext)等學習媒體，大多提供了豐富的多樣性表徵，滿足了學生多元化的學習需求。尤其是對於微觀與抽象的概念，電腦動畫與模擬實驗提供學生視覺的訊息與空間的想像，對學生的科學概念學習與概念改變有所助益。

Buckley 與 Boulter (2000) 指出，呈現模式是一種外在表徵，呈現模式可以形成教學和學習脈絡之間的聯繫，幫助學生心智模式的形成和精緻化。科學家常透過不同的表徵和建構模型來研究、解釋現象，因此在課室的教學活動中，教師可善用適當的呈現模型來幫助學生理解科學模型，例如說文章中具有隱喻或對話的圖像、數學關係式或化學反應方程式等。有關呈現模型、現象與心智模式之間的交互作用的關係如圖 3。

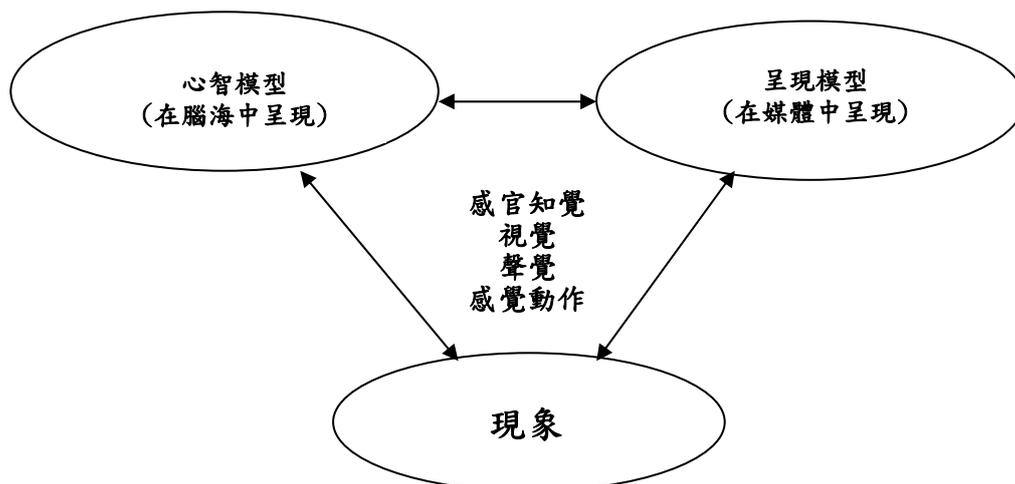


圖 3 現象、心智模式和呈現模型的交互作用
(引自 Buckley & Boulter, 2000)

本研究將多重表徵的想法融入教學活動設計，目的是開發出具體模型教具、電腦動畫、師生討論等活動，將抽象的微觀粒子運動及化學反應的碰撞學說概念轉為實體或動畫，可以幫助學生對於粒子微觀運動及化學反應機制(濃度、溫度、催化劑如何影響反應速率/平衡)等概念的理解。並將多媒體教學軟體與課程內容結合，設計電子化教材，讓科學課室的教學多元化、活潑化，以提升學生學習動機及多重表徵轉換的能力。

2. 研究設計

研究方法預計採用準實驗法，設計三種不同的教學法，分別為視覺模型組、具體模型組與多重表徵模型組(包含視覺與具體模型)，三組同時進行五周(約 15 節課，每節課為 50 分鐘)化學反應速率與化學平衡的教學。三組使用相同的文本，三組學生在教學前先進行前測，教學 15 節課後實施教學中測，再教學 15 節課後實施後測 (見表 1)，由於之前的研究結果顯示多重表徵的模型教學顯著優於一般講述式教學，故本次研究不設計對照組。

表 1 教學組別與評量設計

教學組別	教學與評量				
具體模型組(N=42)	前測	反應速率	中測	化學平衡	後測
視覺模型組(N=38)		15 節課		15 節課	
多重表徵組(N=38)		(不同教學)		(相同教學)	

3. 研究對象

研究對象為本校高二自然組(年齡在 16-17 歲)三班學生總計約 118 位，學生於國中理化課程中學過化學反應速率與平衡等初步概念(詳見表 2)。其中 38 位學生為實驗組 1(多重表徵模型教學組，代號：MM)，進行多重表徵模型教學活動，教學過程中同時使用視覺模型與具體模型；38 位學生為實驗組 2(視覺模型組，代號：V)，進行視覺模型(電子畫投影片與電腦動畫)的教學；另外 42 位學生則為實驗組 3(具體模型組，代號：C)，進行具體模型(粒子運動的動態模型)的教學。三組學生使用相同文本，均進行數學模型(推導數學關係式與關係圖)、語文模型(師生團體與小組討論)、一般的版書教學，三組皆進行為期五週(15 節課)的教學活動。藉以探討不同表徵模型活動的教學成效，並探討教學過程中，三組學生有關化學反應速率與平衡的概念改變、對不同表徵模型教學的評價。

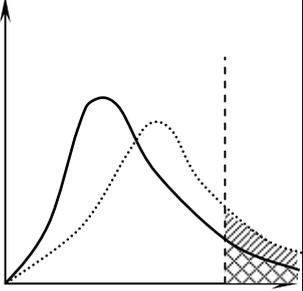
表 2 本研究參與教學對象及晤談對象的人數

教學組別	人數
多重表徵模型組(MM)	38
視覺模型組(V)	38

4. 不同表徵模型教材/活動設計

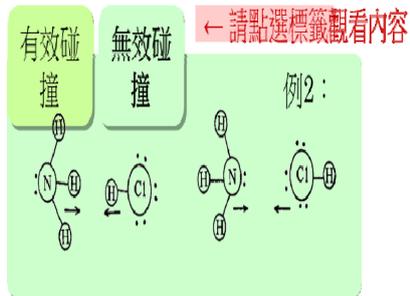
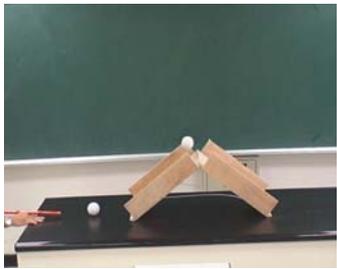
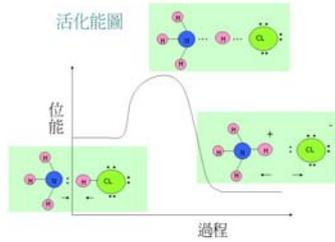
教材與教具方面則分為傳統文本、學習單、電子投影片(參考自鍾曉蘭, 2008)、動畫設計(詳見表 3)。多重表徵的模型教學活動則依據模型表徵的方式來設計一系列的教學活動, 其中應用了具體混合、視覺混合、數學混合與語言混合等四種混合式的模型教學(Boulter & Buckley, 2000), 模型的表徵屬性則與所欲觀察的現象或建立的模型相同, 由與此次研究主要是探討視覺模型與具體模型兩者的教學效益是否有差異(詳見表 4), 因此沒有設計動作模型(角色扮演)活動。

表 3 部分動畫設計說明

教學元件名稱	設計說明								
影響反應速率的因素	以 投影片與聲音 配合師生討論出影響反應速率的因素為：物質本性、濃度與接觸面積、溫度、催化劑(畫面可先出現問題, 經師生討論後, 再出現答案。)								
溫度	<p>以投影片、動畫、影片與聲音說明溫度影響反應速率的機制</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 原則：溫度增高，不論放熱或吸熱反應，其反應速率均變大；反之，降低溫度，反應速率均變小(投影片+聲音) 2. 原因：溫度升高，分子動能變大，超越低能之分子數增多，有效碰撞頻率變大，反應速率增快(投影片+聲音，旁邊配合動畫呈現粒子微觀情形) 3. 馬克斯威耳-波茲曼(Maxwell Boltzman)動能分佈曲線 \Rightarrow溫度升高，分子動能分佈曲線向右移動，而使高能量的分子增多，超過低能以上的分子增多而易產生有效碰撞，故速率加快(配合動畫與聲音呈現，若能讓學生自行操作溫度的變化更佳) 4. 室溫附近，溫度每升高 10°C，反應速率約為原來的 2 倍，即：$\frac{R_2}{R_1} = 2^{(t_2-t_1)/10}$ (此部分可配合實驗影片配合聲音，如硫沉澱實驗或草酸與過錳酸鉀反應，說明溫度升高反應速率變快) 								
綜合討論	<p>以投影片、圖片與聲音配合師生綜合討論各種因素對反應速率的影響</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 催化劑與溫度影響效應之比較(投影片+聲音旁邊輔以兩個分子動能分布曲線圖比較之) 溫度升高\Rightarrow改變分子動能分佈曲線，分子動能分布曲線圖往右下角移動\Rightarrow有效碰撞次數增加 催化劑之加入\Rightarrow降低活化能(低限能)，讓低限能在分子動能分布曲線圖左移\Rightarrow有效碰撞次數增加 2. 濃度、溫度、催化劑對反應速率的影響之綜合比較(投影片可配合師生討論) <table border="1" data-bbox="379 2004 1396 2038"> <tr> <td>因素</td> <td>R</td> <td>k</td> <td>Ea</td> <td>分子動</td> <td>反應物的</td> <td>有效的碰</td> <td>有效的碰撞</td> </tr> </table>	因素	R	k	Ea	分子動	反應物的	有效的碰	有效的碰撞
因素	R	k	Ea	分子動	反應物的	有效的碰	有效的碰撞		

					能曲線	碰撞頻率	撞頻率	莫耳分率		移動
	濃度	○				○	○		○	○
	溫度	○	○		○	○	○	○	○	○
	催化劑	○	○	○			○	○		

表 4 視覺模型與具體模型設計

說明的相關概念	具體模型	視覺模型
1.有效碰撞的意涵 2.正確位向的意義 3.低限能與活化能的區別 4.活化複體的意義 5.活化能圖與活化複體的關係		
1.有效碰撞的意涵 2.正確位向的意義 3.低限能與活化能的區別 4.活化複體的意義 5.活化能圖與活化複體的關係		
1.有效碰撞的意涵 2.有效碰撞與正、逆反應的關係 3.濃度影響反應速率的機制 4.溫度影響反應速率的機制		<p>如下圖</p>

序號	學習內容	學習描述	學習/成效
11	<p>> 溫度升高，分子動能變大，低能態反應之分子數增多，有效碰撞頻率變大，反應速率增加。</p> <p>第 10 頁 / 共 12 頁</p>	<p>1. 畫框內為分子A和B，當溫度升高，可以說在分子的數量相同之後畫框內發生的反應，溫度愈高結合的數量愈多且運動速度愈快，會愈快；反之溫度愈低結合的數量愈少且運動速度愈慢，會愈慢。</p> <p>2. 當溫度提高時，畫框內會停止於A、B、AB。</p> <p>3. 分子A、B、AB。</p> <p>4. 結合：</p>	chem35_01_e10 溫度升高，分子動能變大，低能態反應之分子數增多，有效碰撞頻率變大，反應速率增加。
12	<p>> 催化劑影響反應速率的機制：以金銀水加二氧化碳為例。</p> <p>> 反應物必須先吸附(adsorption)於金屬表面的活性部位(active site)。</p> <p>第 11 頁 / 共 12 頁</p>	<p>1. 在視文字並播放影片</p> <p>2. 在視動畫 (影片P11)</p> <p>3. 同時出現影片</p>	chem35_02_e11 催化劑影響反應速率的機制：以金銀水加二氧化碳為例，反應物必須先吸附於金屬表面的活性部位。

5. 研究工具

研究工具分為半結構式晤談試題、形成性評量與情意問卷三大部分，分別就工具的設計重點/內容與使用的目的說明之(詳見表 5)，半結構式晤談試題的研究對象為 18 位參與晤談學生，形成性評量與情意問卷的研究對象則是三班學生(預計 120 位)。

表 5 研究工具的設計要點

研究工具	設計重點/內容	使用的目的
形成性評量 紙筆測驗 (形成性評量)	單一選擇題、多重選擇題、非選擇題(包括簡答、計算及解釋)，主要內容為化學反應速率與平衡相關概念	1.動態瞭解學生認知發展的過程 2.修正教學內容的依據 3.分析學生概念的演變情形 4.比較三組教學成效
模型問卷 紙筆測驗	從模型本質、表徵、功用、建模歷程四個面向(共計 32 題)與三大題開放式問題分析學生關於化學反應速率模型的看法	以李克氏量表的問卷形式瞭解學生對模型、化學反應速率模型表徵及化學反應速率模型用途與建模歷程的看法
情意問卷 紙筆測驗	量化部份(李克氏量表)與質性部分(開放式問答題)	以李克氏量表的問卷形式瞭解學生對不同表徵模型教學活動的想法與評價

(1) 形成性評量

形成性評量以一般的紙筆測驗的方式進行三次評量(教學前、教學中、教學後)。試題雙向細目表見表 6，內容主要為：反應速率測量/有效碰撞、溫度對反應速率的影響、濃度對反應速率的影響、濃度對反應速率的影響、催化劑對反應速率的影響、反應速率定律式、溫度對平衡的影響、濃度對平衡的影響、催化劑對平衡的影響、影響反應速率的因素(綜合討論)、影響平衡的因素(綜合討論)。

試題由一名任教多年的高中化學教師(具科教博士背景)，另一名為任教多年的國中

理化教師(具科教專業與探究研究的背景)就題目的內容適當性、學科概念上,做進一步的修正,以建立研究工具的內容效度。專家審查的通過率(通過為 1 分、修正為 0.5 分、不通過為 0 分)為： $(2 \times 19 + 1 \times 13 + 0.5 \times 21) / 72 = 0.854$ (85.4%)

預試對象為台北縣某國立高中高三自然組共計兩班總計 86 位,於高二下學期以傳統教學法學過反應速率概念、高三上學期學過化學平衡相關概念,預測階段的施測對象與正式研究的對象背景相似,由研究者親自參與,藉此修正題目,做為正式階段之研究工具。試題信度(α 值)為 0.852。

表 6 試題雙向細目表

題號	主要概念	審查意見			修改意見
		通過	修正	不通過	
1	反應速率的測量方式	2			
2	反應速率的測量方式		2		(B) $H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$ 與第一題相同,應換一個方程式 (C) $H_2CO_{3(g)}$ 狀態應改為 (aq)
3	有效碰撞的位向		2		宜修正為"下列哪一個圖形" 建議增加側向碰撞為(D)
4	溫度對分子碰撞能量的分布曲線的影響	1	1		此題並未說明相同的粒子數目,所以若答案為(B)的話,可能需要加入"相同容器在不同溫度下的分子碰撞能量分布曲線圖"
5	影響反應因素之探討	2			
6	活化能	1	1		建議題幹修正為活化能與反應速率的關係
7	催化劑對反應與平衡之影響	2			
8	溫度與催化劑對低能之影響	2			
9	溫度影響的項目	1	1		此題若是考慮溫度變化不大的時候,應該活化能與反應熱皆不受到溫度的影響,但是溫度若改變的幅度太大,則兩者可能皆需要考慮了!
10	影響反應因素之探討	1	1		"不完全正確者",建議修正為錯誤者 (C)涵蓋平衡反應嗎?若無建議增加描述
11	平衡狀態的相關概念	2			
12	水蒸發平衡的正逆反應速率關係圖	2			
13	化學平衡的相關概念	1	1		(B),(C)此敘述學生可能不容易懂,是否應該改成另一種說法,如:平衡是在外觀上呈現靜態,不會有改變的情形
14	催化劑對反應與平衡之影響	2			
15	平衡常數與反應的趨向	1	1		"K 值大"是和什麼狀態下比較?或是說 K 值變大或變小或不變,或與 Q 值比較
16	反應過程物種濃度變化圖	2			
17	不同變因對平衡的影響	2			
18	不同變因對平衡的影響		2		反應與第一題相同,建議第 1 以及 21 題,不要出現後面出現的反應式

					此題要不要考慮給反應熱，這樣比較容易判斷！
19	壓縮體積對平衡的影響	1	1		建議如第 18 題
20	不同變因對平衡的影響	2			
21	反應速率的測量方式	2			
22	溫度對反應速率之影響	1	1		(D) “碰撞次數增多為反應增快之主因”，建議修正為碰撞次數增加，所以反應速率增加
23	催化劑對反應速率之影響	2			
24	探討如何加速反應速率	2			
25	反應速率常數 (k) 影響因素	2			
26	活化複合體位能之影響因素	2			
27	影響反應因素之探討	2			
28	反應過程物種壓力變化圖	2			
29	不同變因對反應速率的影響	1	1		建議再增加 1 個選項
30		1	1		建議再增加 1 個選項
31		1	1		建議再增加 1 個選項
32		1	1		建議再增加 1 個選項
33	溫度與壓力對平衡的影響	2			
34		2			
35	平衡的條件與達平衡的判斷		2		可改為非選題，並請學生解釋原因，選項過多，學生可以刪除法進行選擇 此題的第(6)選項宜修正為“動態平衡”，第(8)選項為巨觀性質，可是巨觀性質如果是 $H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2 HI_{(g)}$ 則總壓維持不變，當然巨觀性質是不變，但此反應是從反應初期至平衡，總壓皆不變，是否需要考慮
36		1	1		同上題

(2) 模型問卷

從模型本質、表徵、功用、建模歷程四個面向(共計 32 題)與三大題開放式問題分析學生關於化學反應速率模型的看法。以李克氏量表的問卷形式瞭解學生對模型、化學反應速率模型表徵及化學反應速率模型用途與建模歷程的看法。

試題由一名任教多年的高中化學教師(具科教博士背景)，另一名為任教多年的國中理化教師(具科教專業與探究研究的背景)就題目的內容適當性、學科概念上，做進一步的修正，以建立研究工具的內容效度。專家審查的通過率(通過為 1 分、修正為 0.5 分、不通過為 0 分)為： $(2 \times 26 + 1 \times 6 + 0.5 \times 6) / 64 = 0.953 (95.3\%)$

表 7 分析向度與題號、命題陳述雙向細目表

分析向度	題號	命題陳述	審查意見			修改意見
			通過	修正	不通過	
本體論	1	我認為化學反應速率模型可以是化學反應速率相關概念的複製品	2			

	2	我認為化學反應速率模型可以是化學反應速率相關概念的部分呈現	2			
	3	我認為化學反應速率模型必須完全對應化學反應速率相關概念的結構、性質與關係	2			
	4	我認為化學反應速率模型可以只對應部分化學反應速率相關概念的結構、或性質、或關係	1	1		
	5	我認為化學反應速率模型可以是化學反應速率相關概念或現象經過長時間演變的結果	2			
	6	我認為化學反應速率相關概念相關的概念，只有一個正確的化學反應速率模型能給予解釋	1	1		
	7	我認為目前教科書中的化學反應速率的概念，僅是歷史發展中的多種化學反應速率模型其中之一	2			
	8	我認為化學反應速率模型是可以隨著科學新知而改變	2			
認識論	9	我認為透過語文可以呈現化學反應速率模型	2			
	10	我認為透過符號可以呈現化學反應速率模型	2			
	11	我認為透過實體可以呈現化學反應速率模型	2			
	12	我認為透過圖像可以呈現化學反應速率模型	1	1		
	13	我認為透過動作可以呈現化學反應速率模型	2			
	14	我認為透過動畫模擬可以呈現化學反應速率模型	1	1		
	15	我認為透過鍵結理論可以呈現化學反應速率模型	2			
	16	我認為透過數學關係來呈現化學反應速率模型	2			
方法論	17	我認為化學反應速率模型的功能是可以描述化學反應速率相關概念或鍵結的關係	2			
	18	我認為化學反應速率模型的功能是可以提供一個參考標準讓我進行判斷	2			
	19	我認為化學反應速率模型的功能是可以解釋化學反應速率相關概念或鍵結的關係	2			
	20	我認為化學反應速率模型的功能是可以用來進行推理	1	1		
	21	我認為化學反應速率模型的功能是可以用來解決問題	2			
	22	我認為化學反應速率模型的功能是可以用來溝通想法	1	1		
	23	我認為化學反應速率模型的功能是可以模擬化學反應速率相關概念或鍵結的實際情形。	2			
	24	我認為化學反應速率模型的功能是可以預測化學反應速率相關概念或鍵結關係的未來發展	2			
建模歷程	25	我認為針對同一個化學反應速率相關概念或鍵結關係，會因為使用目的不同而選擇不同的化學反應速率模型	2			
	26	我認為化學反應速率模型的建立應包含晶體的組成、結構與關係。	2			
	27	我認為可以用量化關係來分析化學反應速率模型的正確性	2			
	28	我認為用不同的方法檢驗模型，當描述或解釋產生不一致時，須修正化學反應速率模型。	2			
	29	我認為可以用公認的化學反應速率模型當標準，以幫助我判斷同類型其他問題的解答是否適當。	2			
	30	我認為遇到全新的問題情境時，可由已有的化學反應速率模型中尋找啟發以解決問題。	2			
	31	我認為一個能有效解決問題的化學反應速率模型，仍然需要進一步思考其解題範圍與限制。	2			
	32	我認為當化學反應速率模型無法有效解決問題時，應重新建立新的化學反應速率模型	2			

(3)學習情意問卷

學習情意問卷預計改編自相關研究之情意問卷，問卷內容修改自鍾曉蘭(2006)建立之，問卷內容主要分為兩部分—量化部分與質性部分(詳見附錄三)。藉由問卷來瞭解實驗組學生經過不同教學活動的歷程中的學生情意面向的影響，量化的第一部份概分為七個問題，其中五個問題分別針對電腦動畫教學、具體模型活動、師生與小組討論、推導數學關係式/關係圖、一般講述教學等五個教學活動，學生以勾選的方式(非常同意、同意、普通、不同意、非常不同意)表示對於「幫助我理解化學反應速率/平衡的相關概念」、「增進我表達化學反應速率/平衡的相關概念」、「提升我解決化學反應速率/平衡問題的能力」、「使得我覺得學習化學反應速率/平衡有趣」四個面向的想法，藉以了解多重表徵模型組學生對於各種模型活動的評價(視覺模型組的問卷中抽掉具體模型活動一題；具體模型組的問卷中抽掉電腦動畫教學一題)。問題 21 與 22 則分別針對「在進行此次教學之前/之後，我認為學習化學是很有趣的」，藉以了解學生對於學習化學的看法。第二部份則為「如果可以選擇，你喜歡老師運用何種的教學方式？」，了解學生希望老師運用的教學方式，作為未來設計教學活動的參考。

質性的部份為簡答題，主要針對「本次教學最有趣的單元/部分為何？」、「本次教學印象最深刻的單元/部分為何？」、「本次教學中對於學習化學反應速率/平衡概念最有幫助的活動為何呢？」、「本次教學中最需要再增加那一個活動的時間，能夠更有效學習化學反應速率/平衡概念？」、「本次教學需要改進的單元/部分為何呢？」深入了解學生的想法，做為修正本研究教學活動的依據。

6. 研究流程

本研究流程分為五個階段，詳見下圖 4：

階段一：2011.8-9月 蒐集資料、文獻探討、確定研究方向及架構

階段二：2011.9-10月 發展試題、設計教學策略/活動/教材

階段三：2011.11-2012.3預試及修正試題、修正教學策略/活動/教材

階段四：2012.4-6月 教學階段

階段五：2012.6-7月 分析資料、撰寫研究結果、完成研究報告

圖 4 研究流程圖

7. 資料處理與分析

(1)分析形成性評量結果

i 將三組學生一系列的評量結果利用 SPSS 進行顯著性分析(ANOVA test)

ii 分析一系列的形成性評量中三組學生認知發展的情形，藉以比較多重表徵模型、視覺模型與具體模型對於學生學習歷程的影響有何異同。

(2)分析情意問卷

將三組學生的情意問卷利用 EXCELL 進行分析，繪製各種關係圖與比較圖，並進一步使用 SPSS 進行因素分析。

(3)分析模型問卷

將三組學生的模型問卷利用 EXCELL 進行分析，繪製各種關係圖與比較圖，並進一步使用 SPSS 進行因素分析。

四、研究結果

1. 教學活動

圖 5.1-5.4 是教師使用具體模型說明有效碰撞的機制、活化能與有效碰撞之間的關係，引導學生以角色扮演的的方式深入了解活化錯合物的複雜性與不穩定的狀況，以及使用示範實驗讓學生觀察到濃度對反應速率的影響。



圖 5.1 使用具體分子模型說明有效碰撞



圖 5.2 藉由角色扮演說明活化錯合物



圖 5.3 使用具體模型說明活化能



圖 5.4 使用實驗說明濃度對反應速率影響

2. 教學成效分析

以 ANOVA test 進行三組學生之概念正確性的顯著性考驗(以 LSD 進行事後考驗)，考驗結果為 $F(2, 116)=4.404, p=.014 < .05$ ，顯示教學前三組學生在教學前已達顯著差異(見表 8)，事後比較結果為 MM 組與視覺模型組皆顯著優於具體模型組，但 MM 組與覺模型組兩組之間則無顯著差異。因而中測、後測以前測為共變數進行 ANCOVA test，中測顯著考驗結果為 $F(2, 116)=1.113, p=.332 > .05$ ，顯示教學中三組學生雖然經過不同表徵的模型教學，進步程度並無顯著差異。然而後測的考驗結果為 $F(2, 116)=3.69, p=.028 < .05$ ，在反應平衡教學過程雖然三組進行相同的教學，後測卻達顯著差異，事後比較結果為 MM 組與視覺模型組皆顯著優於具體模型組，但 MM 組與覺模型組兩組之間則無顯著差異，顯示視覺模型對於概念的保持效果較佳，但三組學生之間在哪些概念之間達到顯著差異則需要進一步探討。

表 8 三組學生前、中與後測答題表現與組間顯著性考驗

測驗別	C 組(N=42)		V 組(N=38)		MM 組(N=38)		顯著考驗		事後比較
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	F 值	p 值	LSD
前測	35.4	7.87	38.8	8.47	40.6	7.59	4.404	.014	MM=V>C
中測	63.8	14.69	63.5	13.91	68.7	10.57	1.113	.332	MM=C=V
後測	64.8	15.44	71.7	13.69	75.3	11.09	3.69	.028	MM=V>C

註 1: C 組是具體模型組、V 組是視覺模型組、MM 組是多重表徵模型組

註 2: 前測進行 ANOVA test，中測、後測則以前測為共變數進行 ANCOVA test

以 ANOVA test 進行中測、後與前測比較，三組組內顯著考驗結果皆達顯著進步(詳見表 9)，再經 LSD 進行事後考驗，MM 組與視覺模型組皆為後>中>前，具體模型組則為後=中>前。

表 9 三組學生前、中與後測答題表現組內顯著性考驗(ANOVA test)

組別	F 值	p 值	事後考驗(LSD)
具體模型組	70.33	.000	後=中>前

視覺模型組	73.99	.000	後>中>前
多重表徵模型組	132.3	.000	後>中>前

五、結論與檢討

(一)結論

完成之具體成果分為三部分：

1. 完成多重表徵模型教學活動及教材設計並將成果應用在教學上，幫助高二學生在化學反應速率的科學學習與概念改變。
2. 在教學活動中，教師明確的連結巨觀、次微觀與符號三種不同層次的表徵，增進學生理解影響反應速的微觀機制，也讓學生學習以不同的表徵與策略來學習抽象的化學概念。
3. 教師將多重表徵與教學內容、教材與教法作巧妙的融合及精心的設計後，呈現在課室的學習活動中，將有助於學生增進多重表徵轉換的能力，讓學生達到知識整合的有意義的科學學習。

(二)檢討

模型問卷與學習情意問卷尚未分析完成，教學成效仍待進一步釐清。