



第壹章 緒論

本章分別就本研究的研究背景與動機、研究目的與問題、名詞釋義以及研究範圍與限制等四個部分來進行說明。

第一節 研究背景與動機

國中理化兩年的課程加起來將近有二十個單元的內容，以往在課室教學的過程中，可以感受到學生對於每一個單元的學習效果是有所差別的，有些單元學生似乎很容易進入狀況，課後評量的學習成效也不錯，但是面對某些特定單元時，研究者可以明顯觀察出學生的理解情況並不理想，因此研究者經常在心中有一個疑問：究竟哪些單元的概念本質是會讓學生遇到學習困難的？不知是否有學者做過相關的研究？

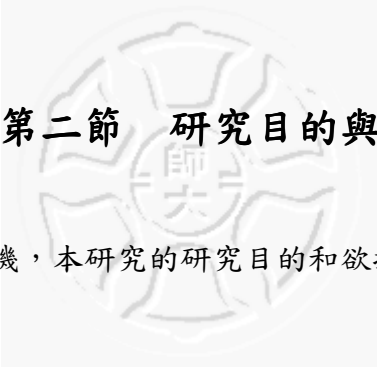
研究者後來發現其實這個問題 Finley et al.(1982)早就做過了，他認為以往科學教育的研究問題往往是研究學者由單一理論的觀點來尋求科教問題的答案，可是這樣的方式會有其侷限性，因此 Finley 等人透過問卷讓自然領域的各科教師作答，每個科目都有一百位教師的樣本人數，請這些教師排列出自己任教的科目中學生學習上最困難的單元為何，其中化學科教師選出學生學習最困難的主題為化學平衡單元，當研究者看到這個結果時內心也有相同的想法，因為化學平衡這個單元也是研究者以往在國中任教時，發現大多數學生容易遇到學習理解困難的主題。

Johnstone(1993)提出化學的學習可以分為三種面向：巨觀表徵(macroscopic representation)、微觀表徵(microscopic representation)、符號表徵(symbolic



representation)，對化學平衡這個單元而言，學生往往在學習的過程中只能看到巨觀的表面現象，卻無法深入了解微觀世界的實際情形(Chiu, Chou, & Liu, 2002)，因此許多學生將化學平衡誤以為是一種靜平衡的狀態，殊不知其實它是屬於一種動平衡的概念，另外 Chi 等人(Chi, 1997 ; Ferrari & Chi, 1998 ; Chi & Roscoe , 2002 ; Chi, 2005)認為有些科學概念為何會頑強(robust)、不易消失，是因為學生發生了概念錯置的現象，也就是將原本隸屬於突現因果過程類別的概念本體誤以為是歸類在直接因果過程類別的概念本體，剛好化學平衡就是屬於這樣的例子，以上這些原因說明了學生為何在學習化學平衡時會遇到許多的困難。

既然化學的學習包含了三種面向，那麼理論上結合多種不同表徵的課程設計應該對於學生理解化學平衡的概念是相當有幫助的，因此促使研究者決定應用多重表徵的教學方式來進行化學平衡的教學，並驗證如此的教學方式是否能為學生的學習帶來更多的幫助。



第二節 研究目的與問題

基於上述的研究背景與動機，本研究的研究目的和欲探討的問題如下：

1. 探討多重表徵組教學是否比對照組教學更能有效增進化學平衡概念的學習
 - 多重表徵組和對照組，學生的化學平衡概念問卷前後測答對率是否達顯著差異？
 - 多重表徵組和對照組，學生的化學平衡概念問卷中的各子概念前後測答對率是否達顯著差異？
 - 多重表徵組和對照組，學生的化學平衡本體問卷前後測答對率是否達顯著差異？
 - 多重表徵組和對照組，學生的化學平衡本體問卷中的各子概念前後測答對率是否達顯著差異？
 - 化學平衡的概念問卷與本體問卷之間的答對率是否具有相關性？
 - 教學後的一週實施延宕測驗，多重表徵組和對照組學生的表現能否維持？各子概念的表現能否維持？是否產生概念回歸的現象？
2. 探討多重表徵教學組與對照組學生，化學平衡心智模式的類型與分佈情形
 - 多重表徵教學組與對照組學生在教學前，化學平衡心智模式的類型與分佈有何異同？
 - 多重表徵教學組與對照組學生在教學後，化學平衡心智模式的類型與分佈有何異同？
 - 多重表徵教學組與對照組學生在延宕測驗，化學平衡心智模式的類型與分佈有何異同？
 - 多重表徵組教學對化學平衡心智模式的類型及分布有何影響？
 - 對照組教學對化學平衡心智模式的類型及分布有何影響？

3. 探討多重表徵教學對於學生情意態度的影響

- 教學後，全班學生對於多重表徵教學法與對照組教學法在情意問卷中的『增進概念理解』部分有何異同？
- 教學後，男女學生對於多重表徵教學法與對照組教學法在情意問卷中的『增進概念理解』部分有何異同？
- 教學後，全班學生對於多重表徵教學法與對照組教學法在情意問卷中的『提升學習興趣』部分有何異同？
- 教學後，男女學生對於多重表徵教學法與對照組教學法在情意問卷中的『提升學習興趣』部分有何異同？
- 教學後，全班學生對於多重表徵教學法與對照組教學法在情意問卷中的『造成學習負擔』部分有何異同？
- 教學後，男女學生對於多重表徵教學法與對照組教學法在情意問卷中的『造成學習負擔』部分有何異同？



第三節 名詞釋義

1. 心智模式：

本研究採用的是 Vosniadou & Brewer(1992, 1994)的解釋，其認為心智模式是一種動態的結構，產生的原因是為了回答與解決問題，而且此架構會依情境而有所不同。至於本研究所謂的心智模式是根據受試者回答問卷題本的內容，歸納分析收集到的資料所建立出的一種動態表徵。

2. 概念改變：

本研究採用的是 Chi(1992 ; Chi, Slotta, & deLeeuw, 1994)的觀點，其認為概念改變可以區分為本體類別內的概念改變(within ontological conceptual change)和跨本體類別的概念改變(across ontological conceptual change)，因為後者的概念改變牽涉到從一棵本體樹，跳躍到另一棵本體樹的過程，所以是相當困難的，也較不易發生。至於本研究所謂的概念改變是根據受試者回答粒子本體問卷的內容，如果學生的答案從直接因果過程轉變為突現因果過程概念本體，則表示學生發生了概念改變。

第四節 研究範圍與限制

本研究的研究範圍與限制有以下幾點：

1. 本研究只限定於化學平衡與其相關概念所建立的心智模式，所以不宜過度推論到其它的化學概念。
2. 本研究的分析對象為台北市立某公立國中的學生，合計為兩組共六十一位學生，基於不同區域與不同年齡的學生表現可能會有所差異，因此本研究結果不宜過度推論。
3. 另外，學生的選取並非是隨機抽樣的結果，因此缺乏母群體的代表性，只能算是準實驗研究，這也是本研究的一項限制。
4. 最後，本研究採用的「科學模式」是參考現階段國中理化課本與相關文獻等而建立出來的，所以具有一定的時效性，因此在引用本論文之前，必須先確認該「科學模式」是否仍然成立。

第貳章 文獻探討

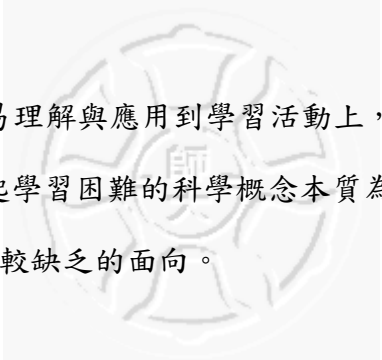
本章共分為以下四個部分，第一節為概念改變，主要是介紹影響科學教育深遠的幾種概念改變理論，第二節是心智模式，主要在針對心智模式相關的理論進行探討，第三節是多重表徵，重點在回顧與整理相關的理論內容，第四節是化學平衡，收集關於化學平衡方面的迷思概念，並試圖了解學生可能具有的心智模式類型有哪些。

第一節 概念改變

一、概念改變的 CCM 模式

Posner 等人(1982)在「科學概念的調適：概念改變理論」(Accommodation of Science Conception：Toward a Theory of Conceptual Change)一文中提出 CCM (Conceptual Change Model) 模式，試圖解釋概念究竟是如何進行改變的，並且採取 Piaget 的同化(assimilation)與調適(accommodation)觀點來說明概念改變。其中同化指的是學生以現存既有的概念來處理新遇到的現象；而調適發生在學生現存既有的概念已經無法成功瞭解新現象時，至於要產生調適的情況必須要有以下四個條件：

- 1.對原有概念不滿意 (dissatisfaction)
- 2.新概念是可理解的 (intelligible)
- 3.新概念看起來似乎是合理的 (plausible)
- 4.新概念應該是豐富化的 (fruitful)



Posner的理論因為容易理解與應用到學習活動上，所以廣泛地被科學教育者接受，但是其對於究竟引起學習困難的科學概念本質為何卻鮮少著墨(Chiu, Chou, & Liu, 2002)，這是此理論較缺乏的面向。

二、Chi 的概念改變理論

Chi(1992 ; Chi, Slotta, & deLeeuw, 1994)的概念改變理論是從本體論的角度出發，Chi指出世界上的實體分屬不同類別，研究者可以將焦點著重在物質(matter)、過程(process)與心智狀態(mental state)這三棵概念本體樹上，而這三棵本體樹是彼此獨立、互不相容的，當學生在學習某科學概念時，若發生了概念錯置的現象，也就是學生將新的訊息同化到錯誤的類別中，進而學生很難對這個概念產生徹底的理解，因此造成有些科學概念改變很難發生，這是Chi認為最關鍵的原因。

此外，根據Chi的觀點，概念改變又可以區分為本體類別內的概念改變(within ontological conceptual change)和跨本體類別的概念改變(across ontological conceptual change)，二者的意義分別說明如下。

1.本體類別內的概念改變：

所謂本體類別內的概念改變指的是：當概念的改變是發生在同一棵本體樹內，只是上下位置的轉變，並不需要跨越本體樹，也就是說改變是在同一類別內進行的，充其量只能算是信念上的修正。

2.本體類別間的概念改變：

所謂本體類別間的概念改變指的是：當概念的改變必須從一棵本體

樹，跳躍到另一棵本體樹的過程，因為要達到如此的改變是相當困難的，所以又稱為根本的（radical）概念改變。

藉由圖2-1-1來加以說明，圖形中的O代表原來的概念，a與b代表樹狀圖內概念移動或取代的情況，可以發現概念本身並不改變其原有的基本意義，所以就是發生類別內的概念改變；至於圖中的c代表概念由原屬的類別轉移到另一個不相容的類別，所以發生了跨類別的根本概念改變，其機制和結果與前者（類別內的概念改變）是截然不同的(邱美虹, 2000)。

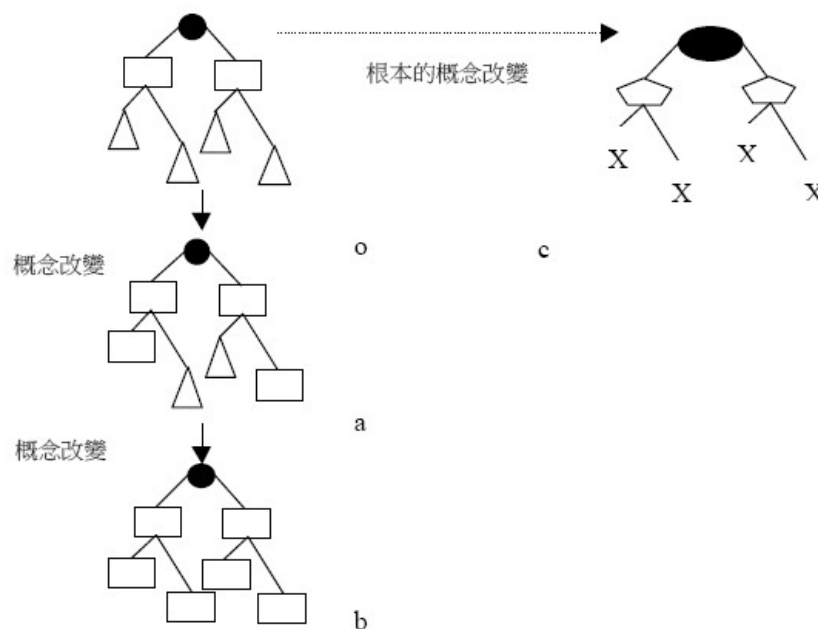


圖 2-1-1 根本與非根本概念改變的圖示法(Chi, 1992, 引自邱美虹, 2000)

近年來 Chi 陸續修改其本體樹架構，重點在精緻化過程本體樹的部分，Chi(1993)提出非因果互動過程(acausal interaction process)使其與事件區分開來，到了 1994 年，Chi 以條件為主的交互作用(CBI)取代了先前的非因果互動過程，接著 Chi & Ferrari(1998)用平衡過程(EP)取代以條件為主的交互作用，等到 2002 年 Chi 與 Roscoe 再將過程屬性重新分類為因果過程(Causal process)與突現過程(Emergent process)，目前 Chi(2005)所發表的最新本體樹架構是將過程屬性區分

為直接過程(Direct Processes)與突現過程(Emergent Processes)，關於過程本體樹的演變歷程如圖 2-1-2。

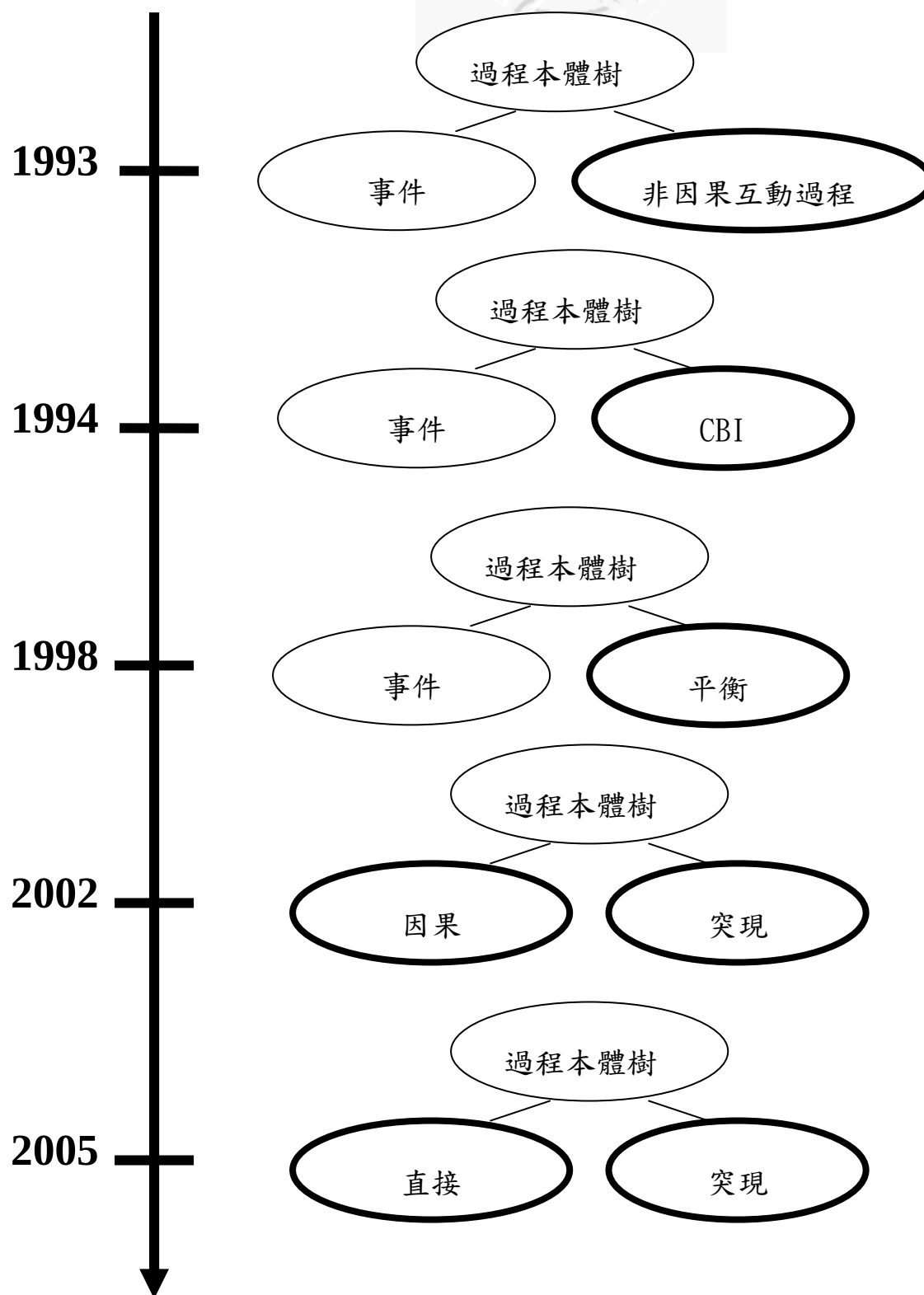
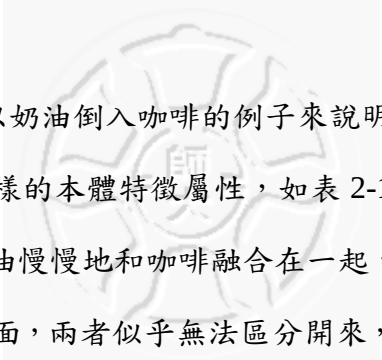


圖 2-1-2 過程本體樹的演變歷程



Chi & Roscoe (2002)以奶油倒入咖啡的例子來說明因果過程和突現過程的區別，以及兩者分別具備怎樣的實體特徵屬性，如表 2-1-1。當奶油倒入咖啡的過程中，我們可以觀察到奶油慢慢地和咖啡融合在一起，經過很長的時間之後，奶油已經完全分散在咖啡裡面，兩者似乎無法區分開來，關於如此巨觀或知覺的行為模式，Chi 認為包含了五項特點：

1.不同的動作(distinct actions)

奶油似乎是朝咖啡的方向移動，而咖啡好像並沒有特定的移動方向。

2.序列性的動作(sequential actions)

奶油的流動方向是由高濃度的區域往低濃度的區域移動。

3.相依存的動作(dependent actions)

初始濃度的差異等因素似乎會影響奶油流動的模式。

4.會終止(termination)

當咖啡和奶油兩者混合在一起而達平衡時，這時候奶油似乎就不再流動。

5.目標導向的動作或有意圖性的(goal-directed action or intentionality)

奶油分子似乎需要或想要移往低濃度的區域。

至於從微觀或分子的層面重新來看待擴散的例子，同樣也包含了五項特點：

1.一致的交互作用(uniform interactions)

咖啡和奶油分子的運動模式並沒有不同，兩者的互動方式是一樣的，都是隨機運動和隨機發生碰撞。

2.同時的交互作用(simultaneous interactions)

所有的動作和交互作用都是同時發生的，並沒有序列性的關係，咖啡分子和奶油分子兩者都是同時隨機運動和發生碰撞。

3.獨立的交互作用(independent interactions)

兩個分子是否發生碰撞完全與其它分子是否發生碰撞毫無關係，換句話說，某個時間點的作用情形是不會受到先前作用的影響。

4.連續的交互作用(continuous interactions)

分子的運動和碰撞是不斷發生的，不會有停止的時候，即使達到平衡，咖啡分子和奶油分子仍然不停地發生運動和碰撞。

5.局部和去中心化的交互作用(local and decentralized interactions)

咖啡和奶油的動作是沒有任何目的導向的，它們並不需要相互混合或達到濃度平衡的狀態，它們只是不斷地運動和隨機碰撞。

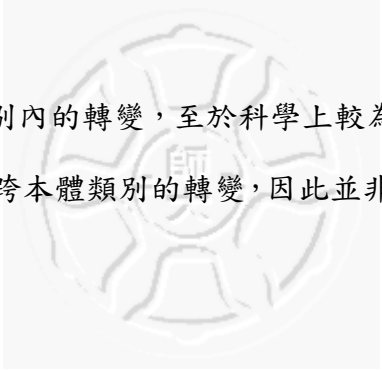
表2-1-1 因果過程與突現過程的概念本體屬性(Chi, 2002)

因果過程	突現過程
1.不同的動作(distinct actions)	1.一致的交互作用(uniform interactions)
2.序列性的動作(sequential actions)	2.同時的交互作用(simultaneous interactions)
3.相依存的動作(dependent actions)	3.獨立的交互作用(independent interactions)
4.會終止(termination)	4.連續的交互作用(continuous interactions)
5.目標導向的動作或有意圖性的 (goal-directed action or intentionality)	5.局部和去中心化的交互作用 (local and decentralized interactions)

Chi(2002, 2005)以擴散一例來說明學生的迷思概念往往來自於對巨觀層次與微觀層次的不了解，在巨觀層次擴散現象是有方向性的，也就是由濃度高至濃度低，液體濃度與液體的流動似乎存在著因果關係，但在微觀層次而言，其實每一個分子都是相同的，分子持續不停地朝隨機方向運動，分子如此的微觀運動與巨觀上的突現現象是截然不同的，而這就是造成學生迷思概念的來源，因此如果學生無法理解突現現象，便無法理解分子的巨觀現象與微觀運動彼此之間的關係。

三、概念改變研究對本研究的啟發：

從Chi的概念改變理論我們可以得到：有些科學上的概念改變是較容易發生



的，因為只牽涉到本體類別內的轉變，至於科學上較為困難的概念改變，其原因在於發生的過程中牽涉到跨本體類別的轉變，因此並非所有的概念改變都是頑強 (robust)、不易的。

另外，化學平衡的概念本體如同擴散一樣，是隸屬於突現本體的部分，如果學生將其錯置於直接本體或因果本體的話，則會發生學習上的困難，而本研究將採用Chi & Rosecoe (2002)的五個突現本體屬性來探討多重表徵的教學方式是否能夠幫助學生習得化學平衡的正確概念本體。



第二節 心智模式

一、心智模式的意義與產生機制：

最早提出心智模式的是Kenneth Craik(1943)，他認為人類的心智會對外在真實世界建構一個「比例縮小的模型(small-scale model)」以用來預測或解釋某些事件(引自Gilbert & Boulter, 2000)，因此個體可以經由外在的經驗來建構內在的模式，加上此模式為一動態的表徵，所以個人便可操弄此表徵來進行推理。

Vosniadou & Brewer(1992)也對心智模式提出自己的看法，他們認為心智模式是為了回答問題、解決疑問或是處理某種狀況所產生的一種動態結構，而該結構受限於個體本身所具有的概念結構。

接下來探討心智模式的產生機制，首先Johnson-Laird(1983；引自邱顯博, 2002)認為：概念的形成是由於對聲音及視覺的知覺，透過次概念階層單元(subconceptual level unit)的處理而得到，更重要的是，他認為概念與心智模式是直接相關的，但這部分受到很大的爭議，因為概念本身的特質便是具備了高穩定性，因此若是與心智模式直接相關，那麼心智模式也應該同樣具有高度穩定的特質，但事實卻並非如此。

為了說明心智模式不像概念一樣具有高度穩定的性質，但是心智模式又同時受限於概念影響的現象，Kessler et al.(1999)提出一套不同於Johnson-Laird的新理論，Kessler等人認為：概念確實與心智模式之間具備某種程度的關連性，但彼此並不是直接相關，因為在概念與心智模式之間尚存在一次概念動態單元(subconceptual dynamics unit)，此單元能夠擷取聲音與視覺的知覺進行處理，來形成新概念，然而心智模式卻會依據情境的不同而有所變化。

雖然Johnson-Laird和Kessler對於心智模式產生的機制抱持著不一樣的看法，但是仍然有共同的地方存在，那就是彼此都認同概念是透過聲覺和視覺這兩種感官知覺所產生，而這就是資訊的主要來源。

在Vosniadou(1992, 1994)的理論中，則是認為心智模式的產生機制牽涉到兩大部分如圖2-2-1所示，首先有一個物質世界的架構理論(framework theory)，而且將它稱為素樸的架構理論(naïve framework)，內容主要源自於兒童早期的日常生活經驗，其中又可細分為認識論和本體論兩個預設(presupposition)，而另外一部份就是特定理論(specific theory)，內容來自於個體的觀察或文化的脈絡，包括一組相關的信念，而架構理論或特殊理論於問題解決情境時可提供心智模式的產生。

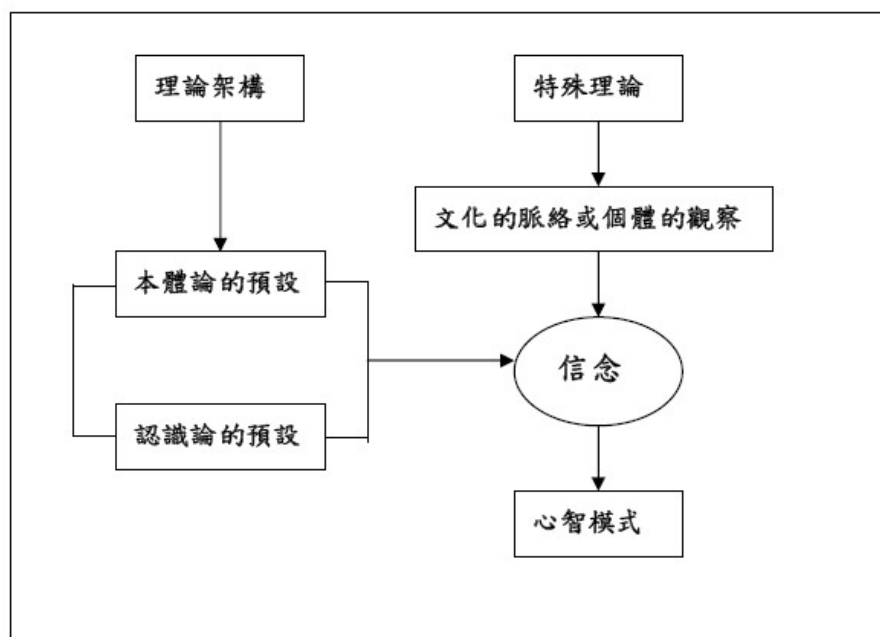
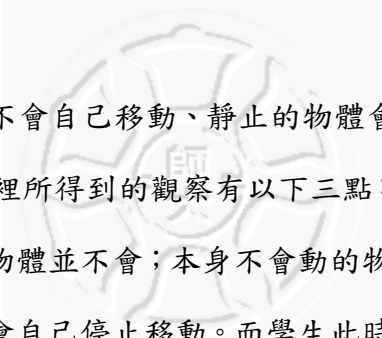


圖2-2-1 Vosniadou的理論架構(1994)

Vosniadou進一步以力的主題作為例子，說明擁有力的初始心智模式的孩童，其背後具有的假設性概念結構為何，首先在架構理論中同樣包含了本體論和認識論的預設，本體論的預設為力是物體具備的一項性質，而認識論的預設則有



兩項，分別是靜止的物體不會自己移動、靜止的物體會發生移動必有其原因，至於特定理論中在文化脈絡裡所得到的觀察有以下三點：有些物體會反應其受到的外力而發生移動，但有些物體並不會；本身不會動的物體必須要去推它才會使其移動；本身不會動的物體會自己停止移動。而學生此時具有的一組相關信念同樣也有三點，依序為：會反應外力的物體具有重量與力的性質、施加外力會造成靜止的物體移動、本身不會動的物體會自己停止移動是因為施加的外力消失了，如此的假設性概念結構使兒童產生對於力的初始心智模式。

二、心智模式的分類：

心智模式並不像概念一般具有高度穩定性，是會隨著情境的改變而產生變化，接下來要探討的是 Chi 與 Vosniadou 這兩位學者對於心智模式具有哪些類型所提出的見解。

首先，Vosniadou 在 1992 年的研究中，由晤談的資料發現孩童對於地球形狀擁有下列六種不同的心智模式，分別為方形、圓盤形、雙地球形、中空形、扁圓形、球形，此外 Vosniadou 更將這六種心智模式進一步加以分成三大類：初始模式、綜合模式和科學模式如圖 2-2-4。

其中初始模式指的是兒童基於日常生活的觀察而產生的心智模式，方形與圓盤形即為此類；科學模式代表具備科學上正確的觀念，也就是球形模式；至於剩下的三種心智模式是由於學生在學習完科學模式後再融合自己原先想法所衍生出的綜合模式，我們可以發現：概念改變是一種漸進的過程，學生有時候很難從最初的素樸概念經過教學後便直接躍遷到科學概念，往往在這過程中科學概念不是取代了先前的素樸概念，而是這兩種概念同時並存在一起。

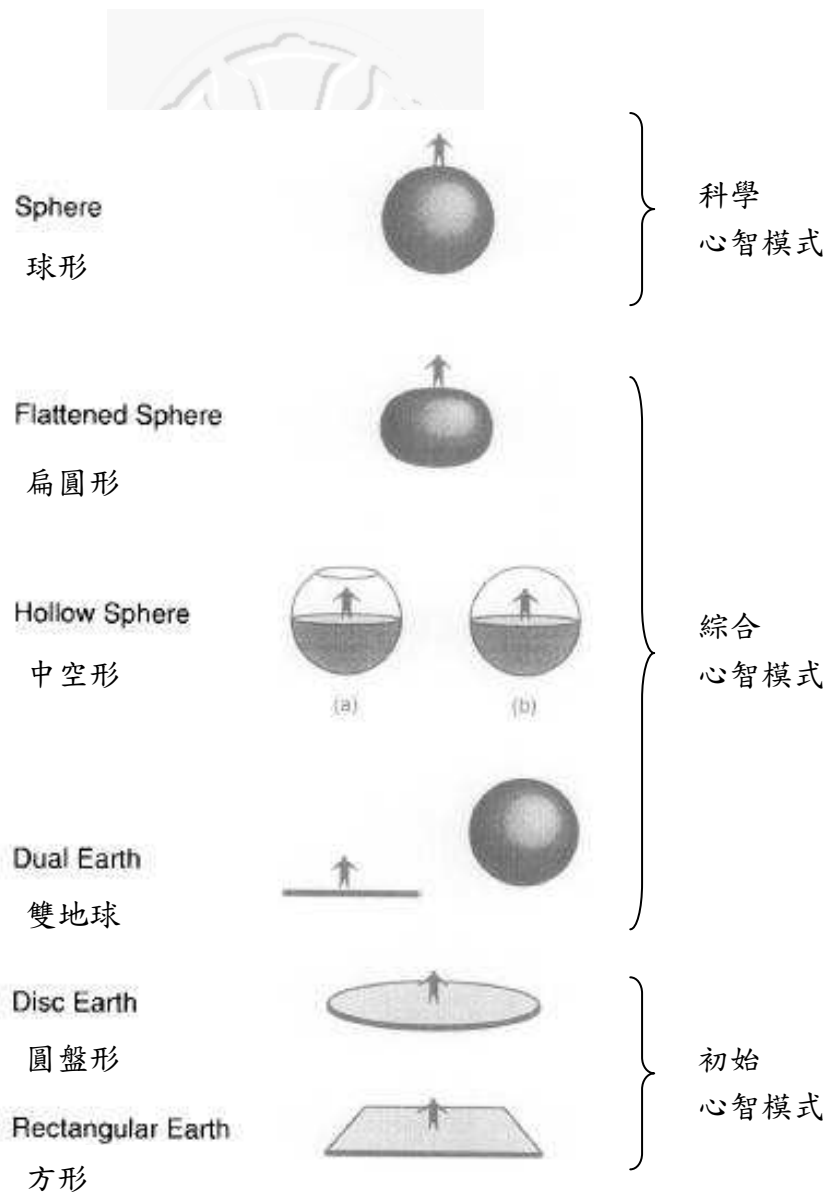


圖 2-2-2 Vosniadou(1992)對心智模式的分類看法

Chi 的分類方式則與 Vosniadou 有所區別，Chi & Roscoe(2002)針對以往關於血液循環的心智模式研究作更深入的分析如圖 2-2-5，他們首先根據融貫性與否做第一層的分類，因此得到非融貫/片斷的心智模式和融貫的心智模式，前者表示概念之間是非系統性地連結在一起，而融貫的心智模式又可以再細分為瑕疵的心智模式以及正確的心智模式，其中正確的心智模式代表不僅具有科學上正確的概念，而且這些概念是以系統化的方式加以連結。

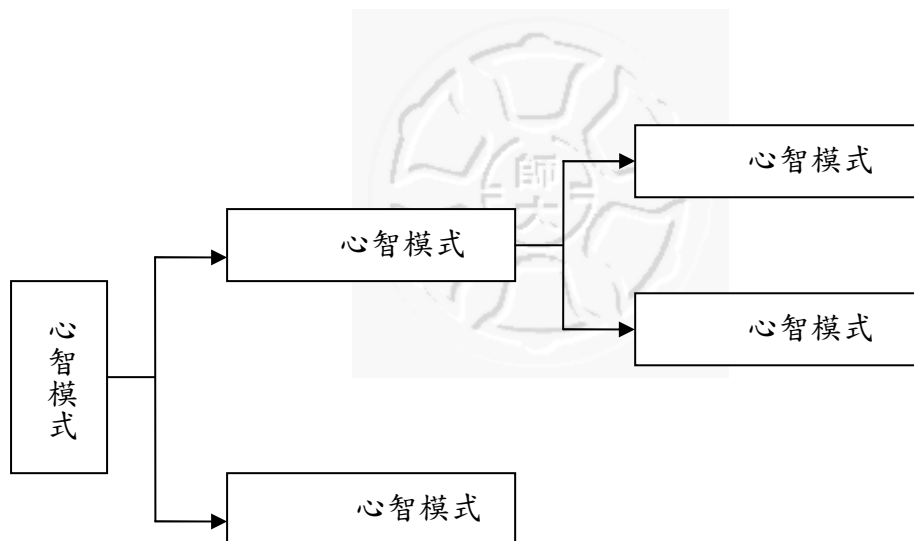


圖 2-2-3 Chi & Roscoe(2002)對心智模式的分類看法

由學生產生的心智模式可以推測出學生所具有的概念結構為何，因此了解學生的心智模式有助於科學教師在介紹複雜系統或抽象科學概念時理解學生的學習困難，並能夠藉此發展出合適的教學模式(邱美虹和翁雪琴, 1995)。

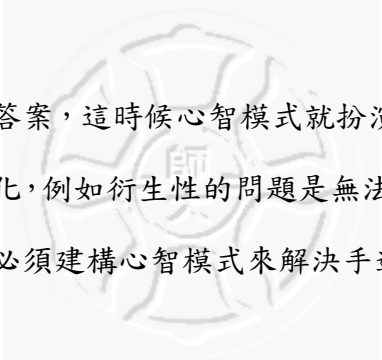
三、心智模式的功能：

Vosniadou (1994)的研究主張心智模式是一種特殊的心智表徵，是個體在認知過程中所產生的類比表徵，能夠保存所要表徵事物的結構，此外，心智模式也是動態和衍生性的表徵，可以在心智上操弄來提供外在現象的因果解釋與用來預測事物的狀態，雖然大多數的心智模式是在解決特定問題情境下被當場創造出來，但也有些心智模式是過去證實有用的，被保存在長期記憶中，等到需要時才被提取出來。

Vosniadou (2002)認為心智模式在人類認知過程中有許多不同的功能，其中有三項重要的功能值得討論：

1. 心智模式可以幫助建構合理的解釋

當人們對外界事物進行推理時，尤其是無法直接從先前儲存的資訊提取或不能



輕易從口語資料中獲得答案，這時候心智模式就扮演重要的角色，它可以把內隱的知識外顯化與概念化，例如衍生性的問題是無法根據之前已知的事實或解釋直接得到答案，人們必須建構心智模式來解決手邊的問題。

2. 心智模式可以作為詮釋新資訊和學習之間的調節者

Vosniadou 的研究顯示出孩童對於地球形狀的心智模式會強烈制約他們如何詮釋關於日夜循環的問題，也就是說，心智模式一方面會受制於先前信念和預設的影響，另一方面等到心智模式一旦形成之後，心智模式本身又會制約如何詮釋概念系統中的新資訊。

3. 心智模式可以幫助實驗化與理論修正

當人們察覺到內心的想法與外在的資訊有所出入時，往往會藉由建構心智模式來進行實驗以尋求可能的解答，並且修正本身持有的理論架構，讓不一致的部分得以解決。

四、心智模式研究對本研究的啟發：

Vosniadou(1992)針對學生的口語晤談資料進行分析，得到六種不同地球形狀的心智模式，並且進一步加以分類成初始心智模式、綜合心智模式、科學心智模式等三類，不知道這樣的理論架構應用在化學平衡主題上是否也有相同或相類似的結果呢？如果真的可行的話，具有綜合心智模式的學生究竟對於化學平衡持有怎樣的看法？

第三節 多重表徵

一、表徵的內容：

表徵(representation)指的是人類對周遭事物透過感覺系統形成概念的歷程，因為我們見不到知識結構的內涵，所以只能根據知識呈現在外的形式，即表徵的方式，間接去推論得知(余民寧, 1999)。Kaput(1987, 引自吳明珠, 2004)認為任何一種特定的表徵都要涵蓋下列幾個面向：(1)被呈現的世界(the represented world) (2)所呈現的世界(the representing world) (3)被呈現世界的特定面向(4)被呈現世界和所呈現世界之間的對應等本質。簡單來說，表徵是以不同的符號來重新呈現或再現(re-present)某一件事物。

Boulter & Buckley (2000)主張表徵的方式為描述模型是透過何種媒介呈現出來的，其中表徵的方式主要分為五種－具體的(concrete)、言語的(verbal)、視覺的(visual)、數學的(mathematical)、動作的(gestural)，而且這五種表徵方式可以單獨存在，或是彼此互相搭配以形成混合的(mixed)表徵方式。除了表徵的方式之外，兩位學者還提出三種表徵的屬性，分別為量化或質性、靜態或動態、決定的或隨機的，藉由這兩種不同的維度來分類及解釋外顯模型，如圖2-3-1。

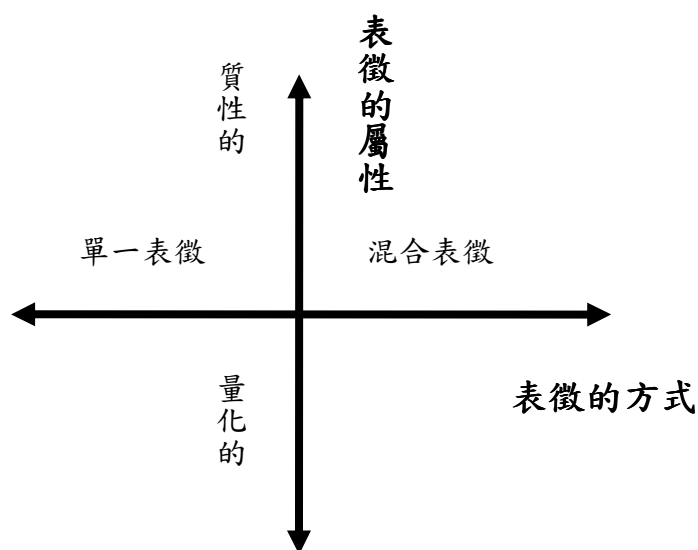


圖2-3-1 Boulter & Buckley(2000)對外顯模型的分類

二、多重表徵的內容與功能：

如果以多種不同的表徵方式來呈現一個相同的概念，例如同時運用文字與圖像時，則可稱為「多重表徵」(Multiple Representation)。多重表徵在概念的學習上是相當重要的，這是因為一個概念基本上都涵蓋了許多的面向，但是單一表徵卻往往只能呈現出概念中的一部分而已，例如圖 2-3-2 為丙烷分子的三種不同表徵，雖然每一種表徵都代表丙烷分子，但是這些不同的表徵背後卻是隱含著不一樣的概念理解，因此透過表徵間的認知連結可創造出比直接加總這些表徵還大的效益，也就是具有一加一大於二的效果(Kaput, 1989, 引自 Ainsworth, 2008)。

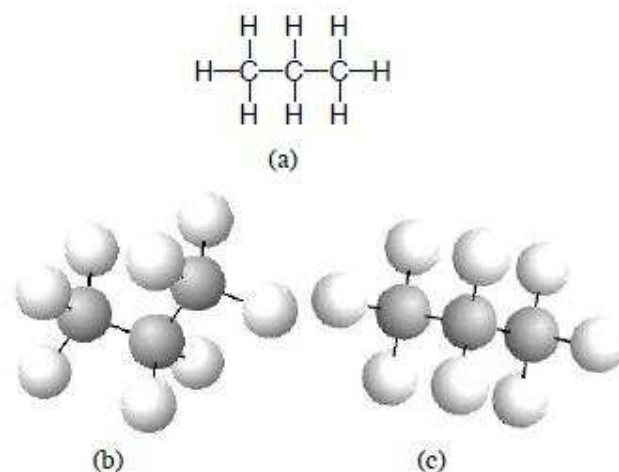


圖 2-3-2 丙烷分子的三種不同表徵(引自 Wu, Krajcik & Soloway, 2001)

Ben-Zvi, Eylon & Silberstein(1987, 引自 Dori & Hameiri, 2003)發現即使像氫氣燃燒生成水這樣子簡單的反應方程式都包含有許多不同的表徵方式，例如反應物是如何變成產物的、反應物為元素分子、產物為化合物分子、化學鍵的打斷和生成、水分子中氫原子和氧原子之間的關係等等，而且這許許多多的表徵方式，不論是單一的或是多重的，都具有深層的化學本質(Kozma et al., 1996；Kozma, 2000)。



Ainsworth (1999, 2004, 2006, 2008)將多重表徵的功能分為以下三類：互補角色、限制詮釋、建構深層理解，如圖 2-3-3，其中此處所指的多重表徵皆為外在表徵(Multiple external representations)簡稱 MERs，各細項內容分別說明如下：

(一)互補角色：

1.不同資訊：

當單一表徵不足以包含概念的所有面向，此時多重表徵就能夠藉由提供概念的不同面向以發揮互補不同資訊的角色。

2.不同過程：

這裡的互補過程指的是對資訊處理能力的互補。例如：示意圖藉由將相關的資訊群組在一起，方便學習者辨識；表格讓訊息變得更清晰，使模式和規律性能夠凸顯出來；方程式則是濃縮呈現出變數之間的量化關係。

(二)限制詮釋：

1.熟悉性限制：

使用熟悉的表徵來幫助詮釋不熟悉的表徵，如此以達到制約的成效，例如：簡單的動畫表徵可以用來幫助詮釋像圖表這類較為複雜難懂的表徵。

2.內在特質限制：

利用表徵本身所具備的內在特性也可以達到制約的效果，例如：一般來說，圖像表徵比起文字表徵較為特定化，所以當兩者一起呈現時，文字中模糊不清的部分便會受到圖像的制約，因此有助於將事物加以外顯。



(三)建構深層理解：

1.抽象化：

抽象化的過程指的是學習者能夠自行創造出一個心智實體來作為高層次概念的基礎。

2.延伸化：

延伸化可以視為學習者從已知表徵到未知表徵之間的知識轉移方式，但這過程中並不需要知識的根本重新組織。

3.關連化：

關連化代表的是兩個表徵之間的連結過程，同樣地這個過程也不需要牽涉到知識的重組。

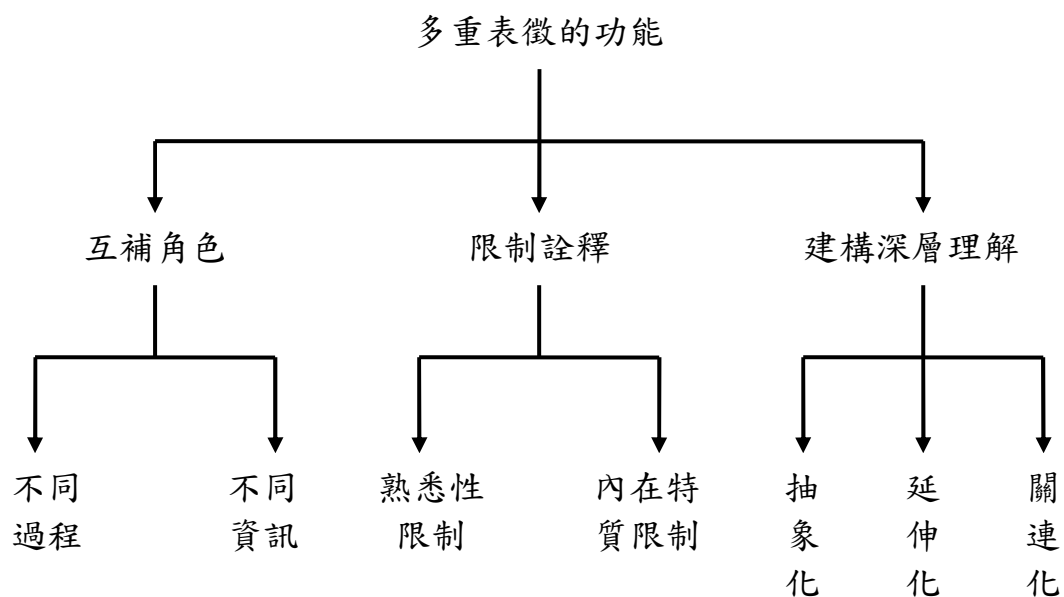


圖 2-3-3 多重表徵的功能(Ainsworth, 1999, 2006, 2008)

三、化學上的多重表徵：

Johnstone (1993)提出在學習化學上有三種層次的表徵：巨觀表徵 (macroscopic representation)、微觀表徵(microscopic representation)、符號表徵

(symbolic representation)。巨觀表徵為可觀察可感官的化學現象，例如看見食鹽溶解於水中、聞到臭味等等；微觀表徵則是牽涉粒子層級的部分，例如食鹽溶解在水中時離子晶格被水分子破壞的情形；而符號表徵就是以化學式和方程式的角度來表示物質的變化，例如 $\text{NaCl}_{(s)} \rightarrow \text{Na}_{(aq)}^{+} + \text{Cl}_{(aq)}^{-}$ 。

Wu, Krajcik & Soloway (2001)發現學生在學習化學表徵時會遇到的三種困難，首先是面對化學符號或公式時，無法適當地解釋表徵的化學意義，或許能描述出這些物質巨觀的物理性質，但卻無法正確地使用微觀的原子或分子模型來解釋一些物理現象；其次是無法針對一個特定的表徵舉出相對應的表徵，也就是表徵與表徵之間無法順利轉換，因為要在表徵之間做轉換是需要了解隱藏在表徵背後的深層概念；最後是學生無法在二維和三維之間做心智轉換，對於從二維結構的角度來想像出分子的空間結構，學生在這樣的過程中會出現困難。

Johnstone (1991)認為儘管學生確實對於從一種表徵轉換到另一種表徵感到困難，但是教師在這些表徵的轉換部分著墨並不多，因此科學教師應該強調三種表徵的存在和它們之間的連結使學生能夠易於轉換表徵。

學生在學習化學平衡的單元，往往只觀察到巨觀的表面特徵，例如，當顏色不再發生變化時，以為達平衡即表示反應停止，有鑑於此，Kozma等人(Kozma, Russell, Jones, Marx, & Davis, 1996 ; Kozma, 2000)提出Multi Media and Mental Models(簡稱為4M：Chem)軟體來提升學生對於化學平衡的理解，此軟體設計的原則就是提供二氧化氮氣體分子發生雙聚合反應的多種不同表徵方式，包括有化學方程式、反應的影片、分子層級的動畫、動態的圖像、吸收光譜的呈現與表格資料，軟體的介面如圖2-3-4。

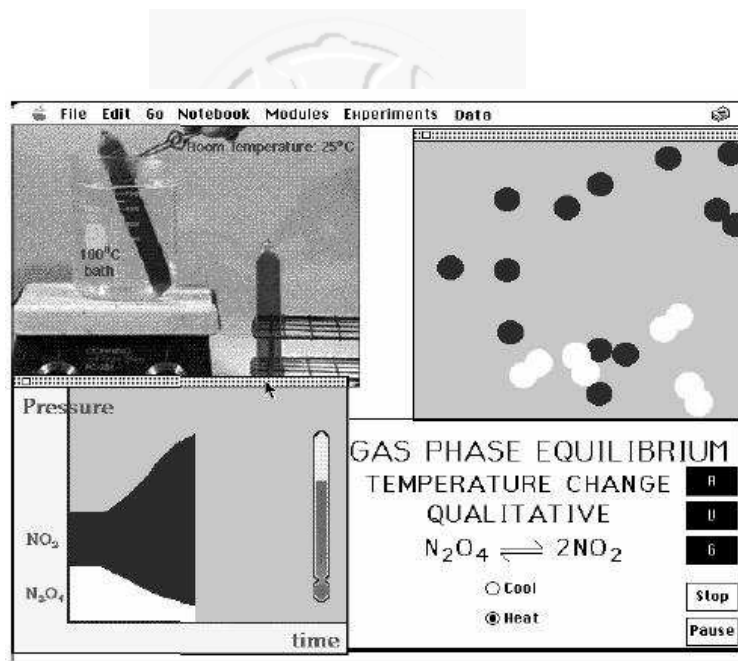


圖 2-3-4 4M：Chem 軟體的介面

四、多重表徵研究對本研究的啟發：

Johnstone (1993)提出學習化學有三種表徵：巨觀表徵、微觀表徵、符號表徵，而且化學平衡在巨觀與微觀角度上的差異是造成學生學習困難的主要原因，加上每一種單一的表徵方式都有其侷限性，因此本研究決定採用 Kozma 等人(Kozma, Russell, Jones, Marx, & Davis, 1996 ; Kozma, 2000)的多重表徵策略來進行化學平衡單元的教學。

另外，Ainsworth (1999, 2004, 2006, 2008)將多重表徵的功能分為以下三類：互補角色、限制詮釋、建構深層理解，本研究希望透過實施多重表徵教學來驗證多重表徵是否誠如 Ainsworth 所說的，確實能夠幫助學生對於化學平衡主題建構出更深一層的理解。



第四節 化學平衡

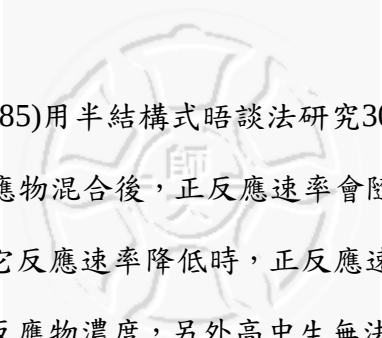
Finley et al.(1982)透過發展相關的問卷讓自然領域的各科教師作答，每個科目都有一百位教師的樣本人數，請這些教師排列出自己任教的科目中學生學習上困難的單元有哪些，化學科教師選出學生感到困難的單元有化學平衡、莫耳、氧化還原、化學計量反應，其中化學平衡是被列為學生最難理解的單元。

一、化學平衡文獻回顧：

究竟學生在學習化學平衡的單元會遇到什麼困難或是產生怎樣的迷思概念，我們接下來透過下列相關的重要研究文獻來加以了解。

Johnstone, MacDonald & Webb(1977)利用23題選擇題的測驗方式來研究255位學生所具有的迷思概念，結果發現學生會有以下的迷思概念：會有左右兩邊的想法，也就是認為化學平衡方程式的兩邊是不相關聯的個體、對於逆向箭頭的詮釋有誤，方程式中正向和逆向箭頭的長度不一樣時，學生會認為達平衡時，箭頭較長的代表該方向的反應速率較快、催化劑可使化學平衡發生移動或催化劑可提高生成物的產量、運用勒沙特列原理來說明平衡被破壞後的情形、無法區別分子的動能與位能差異。

Wheeler & Kass(1978)對四班共99位的高三學生施測，發現學生具有六項主要的迷思概念：未能區分質量和濃度的概念、不明白反應快慢與進行程度的差別、不清楚平衡常數在何種條件下會保持不變、將勒沙特列原理誤用在不合宜的情況下、無法察覺在特定的化學反應中，哪些特定的物種會保持一定濃度、未能考慮化學系統中所有可能影響平衡條件的因素。



Hackling & Garnett(1985)用半結構式晤談法研究30位高三學生，結果發現學生擁有下列另有概念：反應物混合後，正反應速率會隨時間增加至平衡建立、平衡時，若狀態改變，當其它反應速率降低時，正反應速率會增加、也有人認為達平衡時，生成物濃度等於反應物濃度，另外高中生無法區分反應速率和反應程度的差別。

Gussarsky & Gorodetsky(1986)運用三種評量方式：學校成就測驗、迷思概念測驗、概念自由分類法來對應出受測學生認知結構的連結情形，結果發現由於學生無法看到發生在原子和分子之間的微觀過程，而且化學平衡又是屬於微觀的動力學，但我們只能看到它巨觀的部分，因此學生才會產生許多的迷思概念。

Ben-Zvi, Eylon & Silberstein(1987)的研究發現 337 位國三的學生對於化學反應的結構與本質持有迷思概念，他們無法想像反應過程中牽涉到化學鍵的斷裂與生成，只是單純地認為反應物混在一起後就會得到產物。

Camacho & Good(1989)分析專家與生手在解決化學平衡問題時的行為差異，結果指出成功解題者對問題細心分析、推理，使用相關的理論和概念來判斷答案，且答案和理由達一致性。

Bergquist & Heikkinen(1990)利用選擇題、填充題、與畫圖題，搭配放聲思考及晤談法來研究23位大學生，發現大學生會把數量和濃度、莫耳數和莫耳濃度的觀念混淆，而且學生會認為平衡反應會如同鐘擺一般振盪，最後日常用語與科學術語的不同也是造成學生迷思概念的來源。

Gussarsky & Gorodetsky(1990)利用文字聯想測驗研究309位17-18歲的高中生，結果發現學生無法意識到化學平衡反應的動態本質、會用物理學上的靜平衡

來看待化學平衡。

Banerjee(1991)使用紙筆測驗及晤談方式，研究162名大學生及69位學校老師，結果發現受試者有勒沙特列原理誤用及誤解的情形，因此造成誤判平衡移動的方向。其中35%學生與49%老師認為：溫度降低放熱反應中的正反應速率會增加、平衡常數愈大代表反應速率愈快。

Boujaoude & Saouma(1993)使用紙筆測驗針對189位大學生進行施測，研究發現有些人認為達到化學平衡時，生成物的濃度會等於反應物的濃度。

Huddle & Pillay(1996)整理歸納出文獻中最常見的迷思概念：

- 1.反應物混合後，正反應速率會隨時間增加至平衡建立。
- 2.平衡時，若狀態改變，正反應速率增加，逆反應速率則下降。
- 3.平衡時反應物與生成物濃度相等。
- 4.無法區分完全反應與可逆反應的不同。
- 5.認為正反應會在逆反應開始前結束。
- 6.混淆反應速率與反應進行程度。
- 7.莫耳數與莫耳濃度混淆不清。
- 8.平衡有如鐘擺會有振盪現象，而且勒沙特列原理強化此迷思概念。
- 9.缺乏化學平衡的動態本質。
- 10.將反應方程式的箭頭長度與反應速率劃上等號。
- 11.教師日常用語促使學生認為化學平衡是分屬二邊且靜態的現象。

Tyson, Treagust & Bucat(1999)發展二階段試題來探究學生的理解情況，結果發現學生無法區別物理系統與化學系統兩者達平衡時的差異何在。

Chiu, Chou & Liu(2002)藉由認知師徒制的方式檢視高一20位多重表徵教學組學生如何學習與建構化學平衡的心智模式，而施行傳統教學對照組的學生則有10位，結果發現多重表徵教學組學生的表現遠優於對照組部分，而且多重表徵教學組學生能夠建構出化學平衡的正確心智模式，包括分子的動態、隨機特性還有微觀世界中分子間的互動情形。

Van Driel et al.(2002)利用介紹化學平衡來挑戰中學生對於化學反應的最初概念，實證研究結果顯示學生必須在以下三個概念上做改變，分別是可逆性、不完全轉換、平衡的動態本質，如此才能真正了解化學平衡的概念。

陳婉茹(2004)選擇溶解平衡、化學平衡、相平衡作為教學主題，以對照組、類比組、以及動態類比組進行教學研究，結果發現學生在動態平衡單元中的四種主要心智模式分別為：雙向心智模式、單向-雙向心智模式、單向心智模式、靜止模式，而在概念本體上的表現，類比組與動態類比組的成效相近，但就概念完整性而言，動態類比組表現較優，因此動態類比的教學方式可以幫助學生學習動態平衡的概念。

Ozmen(2007)透過概念改變文本的教學來改進學生對於化學平衡的迷思概念，全部共有78位十年級的學生參與準實驗研究，其中多重表徵教學組有38名學生進行此文本教學，而對照組則有40名學生進行傳統教學，結果顯示多重表徵教學組學生的表現遠優於對照組學生，而且迷思概念減少的情形也叫對照組來的顯著。

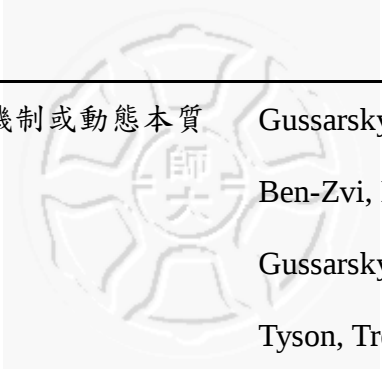
Doymus(2008)以拼圖法來教導化學平衡的概念，試圖探究大一普化課的學生對於化學平衡的理解情況，結果顯示合作學習小組的學生學習表現比個別學習小組的學生來得高。

Cheung(2009)發展三題化學平衡的迷思概念問卷藉此評量香港中學教師是否瞭解勒沙特列原理不足的地方，結果發現 33 位教師中答對這三題的人數分別只有 3、4、2 位，顯示多數教師過度依賴勒沙特列原理中抑制變化的邏輯觀點，而未能利用平衡定律式、反應熵等來預測破壞化學平衡後反應究竟會向哪邊進行，因此香港中等教師也會有誤用勒沙特列原理的情況發生。

表 2-4-1 為以上眾學者提出關於化學平衡迷思概念的彙整資料。

表 2-4-1 化學平衡迷思概念

迷思概念	出處
1.無法區別質量、莫耳數、莫耳濃度的差異	Wheeler & Kass(1978) Bergquist & Heikkinen(1990)
2.誤用勒沙特列原理	Johnstone, MacDonald & Webb(1977) Wheeler & Kass(1978) Banerjee(1991) Cheung(2009)
3.達平衡時，反應物與產物濃度必相等	Hackling & Garnett(1985) Boujaoude & Saouma(1993) 陳婉茹(2004) Ozmen(2007)
4.正逆反應速率與化學平衡之間的關係	Hackling & Garnett(1985)
5.對催化劑的作用不清楚	Johnstone, MacDonald & Webb(1977)
6.不能區分反應速率與反應程度的差別	Wheeler & Kass(1978) Hackling & Garnett(1985) Banerjee(1991)



7.不瞭解化學平衡的微觀機制或動態本質	Gussarsky & Gorodetsky(1986) Ben-Zvi, Eylon & Silberstein(1987) Gussarsky & Gorodetsky(1990) Tyson, Treagust & Bucat(1999) Chiu, Chou & Liu(2002) Van Driel et al.(2002) Doymus(2008)
8.對語言或科學術語造成的誤解	Bergquist & Heikkinen(1990)
9.以為平衡反應有如鐘擺一般振盪	Bergquist & Heikkinen(1990)
10.反應物與產物為獨立的個體	Johnstone, MacDonald & Webb(1977) 陳婉茹(2004)
11.認為可逆反應會結束	Wheeler & Kass(1978) Chiu, Chou & Liu(2002) Van Driel et al.(2002) Ozmen(2007)

二、化學平衡研究對本研究的啟發：

研究文獻顯示出學生對於化學平衡單元確實具有相當多的迷思概念，而本研究將挑選表 2-4-1 中的部分迷思概念並整理成概念問卷中的命題陳述，期望學生透過多重表徵教學後，能夠破除他們對於化學平衡的迷思概念。



第參章 研究方法

本章共分為六節，第一節為研究設計，說明設計本研究的理由與原因為何；第二節為研究對象，在於介紹本研究中多重表徵教學組和對照組的學生來源與背景；第三節是教材設計，重點在交代教材的發展過程與內容依據；到了第四節的研究工具，包括研究中會使用到的各種問卷以及晤談時的問題；至於第五節的研究流程，則是指出整個研究的程序與經過；最後第六節的資料處理和分析，就是將研究中所收集到的質性與量化資料進行分析。

第一節 研究設計

本研究以『化學平衡』做為研究概念的主題與範圍，探究概念本體、心智模式和情意等不同面向與學習之間的關係。此外，希望利用多重表徵的方式來引發產生概念改變，並且探討學生概念本體與心智模式之間的情形。

關於多重表徵教學組和對照組的設計如圖 3-1-1，兩組在教學前進行前測和教學前晤談，再來進入教學的階段，兩組的教學時間都是維持五節課的長度，課程完畢後，兩組分別進行後測與教學後晤談，再經過一週的時間，兩組進入延宕測驗和教學後晤談 2 的階段。

教學前晤談		教學後晤談		教學後晤談 2
多重表徵 教學組	前測	多重表徵組（五節課）	後測	延宕測驗
對照組	前測	對照組（五節課）	後測	延宕測驗

圖 3-1-1 多重表徵教學組和對照組的設計

整個研究的架構如圖 3-1-2，多重表徵組與對照組重複的內容如圖中灰階所示，有文本教學與實驗活動的部分，此外，多重表徵組還增加角色扮演、動畫呈現、模型操作、軟體模擬的設計，至於兩組共同的研究工具有晤談問卷、概念問卷以及本體問卷，而多重表徵組在教學完畢後，該組學生會填寫學習情意問卷來了解多重表徵教學對學生學習情意面向的影響。

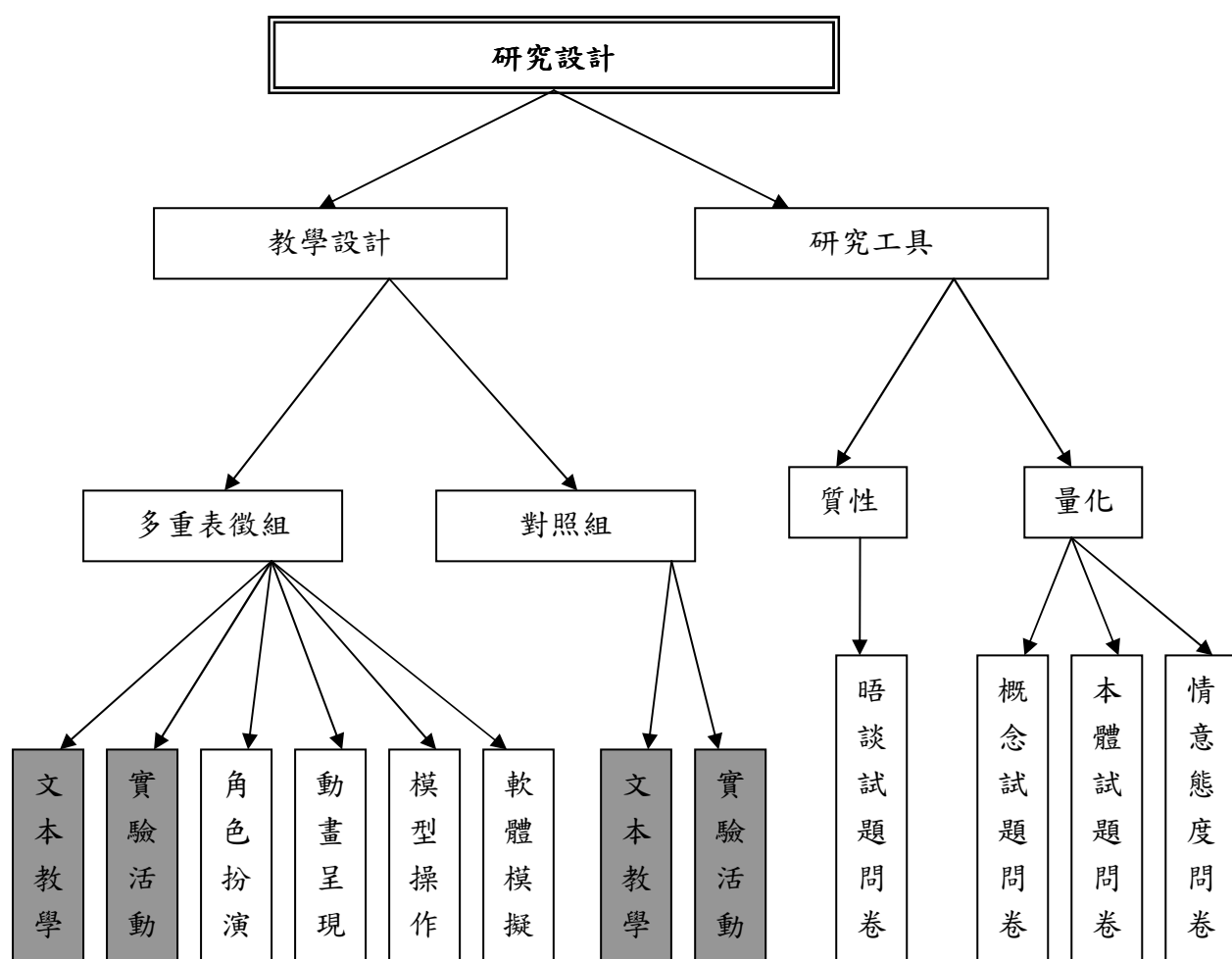
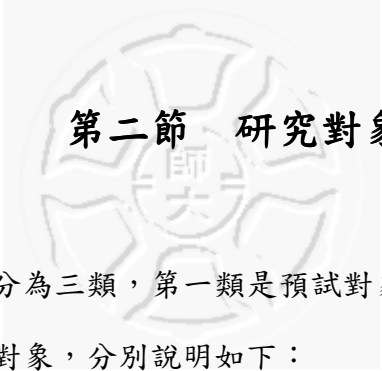


圖 3-1-2 研究的架構



第二節 研究對象

本研究之研究對象共分為三類，第一類是預試對象，第二類是正式施測對象，至於第三類則是晤談對象，分別說明如下：

一、預試對象：

研究對象為台北市某公立學校高一學生二班，此階段的研究工具和正式施測時的研究工具相同，透過預試的過程來修正題目，以做為正式施測時所使用的研究工具。

至於預試的學生為何並非是國二的學生呢？正式研究是以國二的學生當作受試者，然而化學平衡的內容是安排在國中二年級下學期的課程中，所以當本研究進行預試時，國二學生還沒學習到相關單元，因此無法安排國二學生做為預試階段的對象。

此外，為何排除國三學生的部分呢？因為國三學生的課業壓力較為繁重，國中基測已佔據他們大部分的時間，而且自習課大多事先排定不同科目的複習試卷了，因此在商借班級上會有一定的難度，這就是我們為何沒有選擇國三學生當作預試對象的原因了。

最後研究的預試對象是台北市某公立學校高一學生二班，因為高一學生的認知程度是最接近國中階段程度的，所以藉由高一學生的表現來推知國二學生的作答情形，選擇高一學生的用意是希望了解本測驗試卷的信度。

二、正式對象：

正式施測的學生為台北市某公立國中八年級二個班的學生，其中一班進行多重表徵教學當作多重表徵教學組，而另外一班則是進行傳統教學以作為對照組，兩個班級的學生人數如表 3-2-1。

表 3-2-1 本研究參與對象人數分佈

組別	人數	男	女
多重表徵組	32	13	19
對照組	29	13	16

三、晤談對象：

至於晤談對象則是由正式施測對象的兩組學生中，根據學生在前測階段作答概念問卷的結果，以不同的心智模式類型來選出每班各 6 名學生，其中男生和女生的比例各佔一半，這些學生分別在前測、後測和延宕測驗之後進行共三次半結構式的晤談，每人每次晤談時間大約 15 分鐘左右，藉此收集學生化學平衡的質性資料。



第三節 教學與教材設計

對照組的教材設計就是文本教學配合實驗活動，也就是依據八年級下學期自然與生活科技課本的化學平衡單元進行傳統教學，教師利用板書逐一介紹教材中的內容，至於實驗活動則是八年級下學期自然與生活科技課本中在此單元主題所安排的實驗內容。

多重表徵組的教材包括以下部分：電子化投影片教學(powerpoint 教學)、電腦模擬軟體、親自動手實驗、粒子模型操作、角色扮演等，詳細內容分別說明於以下各段。

powerpoint 教學的投影片主題涵蓋了可逆反應與化學平衡單元，屬於國二下學期階段或九年一貫的八年級下學期階段的課程，相關的主要概念有可逆反應、動態平衡、勒沙特列原理等，希望學生達到的學習目標有下列幾點：了解可逆反應的意義與特性、明白動態平衡的本質與特徵、清楚化學平衡的現象與意義、能夠利用勒沙特列原理判斷平衡破壞後反應進行的方向。

Kozma(1996) 在「使用多重、連結表徵以促進科學理解」的文章中提到：MultiMedia and Mental Models(簡稱為 4M：Chem)軟體有助於提升學生對於化學平衡的理解，而此軟體設計的原則就是提供二氧化氮氣體分子發生雙聚合反應的多種不同表徵方式，因此研究者自行設計的 powerpoint 教學投影片有融入此原則，重新安排四種不同表徵方式來詮釋二氧化氮氣體分子發生雙聚合的反應，這四種表徵方式包括達平衡時的顏色狀態、模擬氣體分子的運動狀態、反應速率與時間變化的關係、物質濃度與時間變化的關係(詳見圖 3-3-1)。

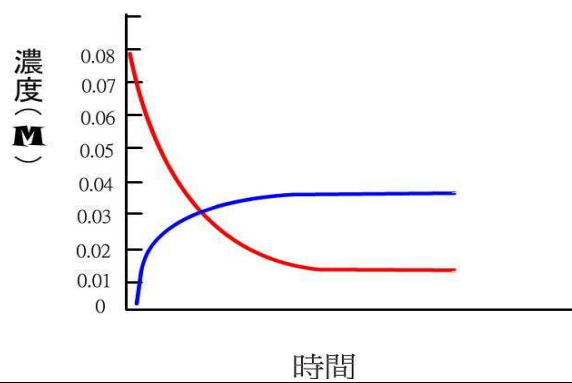
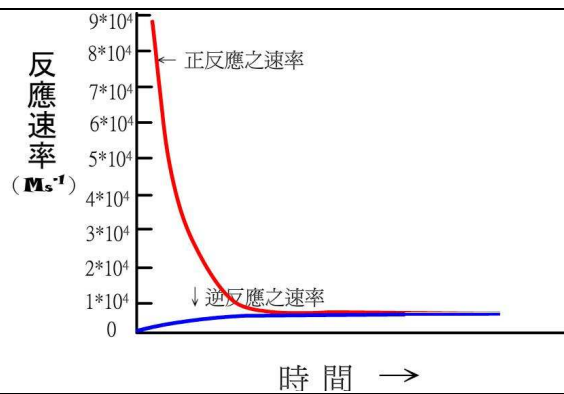
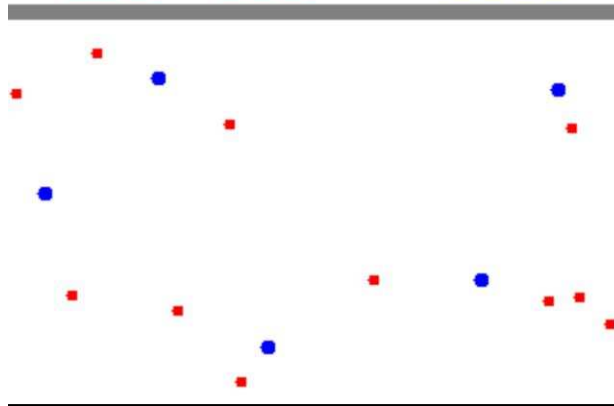


圖 3-3-1 化學平衡的四種不同表徵方式

至於電腦模擬軟體則是利用以下網站

<http://chemconnections.org/Java/equilibrium/index.html>(2009/05)提供的 Java 動畫做為教材，學生可以透過這個動畫(圖 3-3-2)了解化學平衡的微觀現象、化學平衡與反應的起始方向無關、在達到平衡的過程中，物質是不完全反應的，只會進行部分反應等概念。

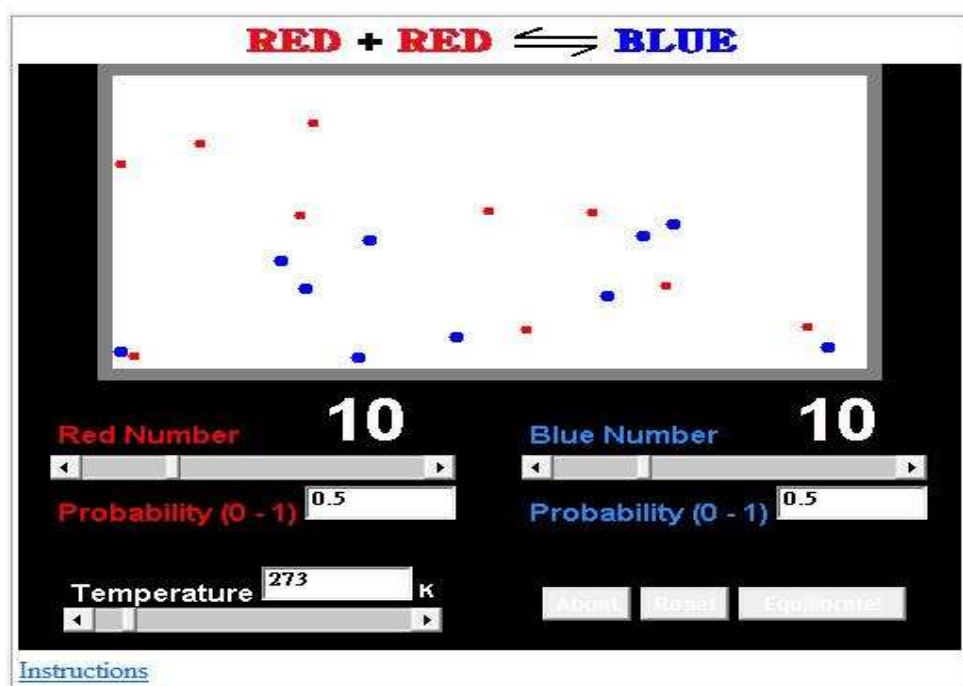


圖 3-3-2 電腦模擬軟體的介面展示

關於學生親自動手實驗部分就是請學生事先在保特瓶內裝一部份的水再將瓶蓋轉緊，隔天後觀察保特瓶內的變化，學生會看到有水凝結在瓶身部分，這是屬於巨觀的部分。接下來進行另外一個類似原理的實驗，將樟腦丸置於加熱板上加熱，上方準備裝有冰塊的燒瓶，讓昇華後的樟腦丸蒸氣受冷發生凝華的現象，藉此觀察樟腦丸昇華以及凝華的可逆反應，這也是屬於巨觀層面的部分，實驗畫面如圖 3-3-3 所示。

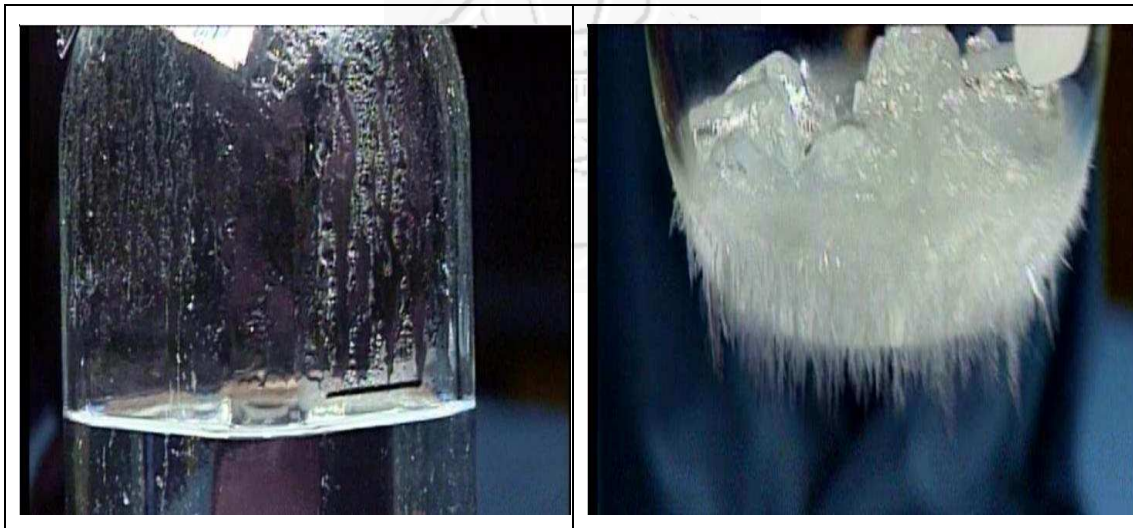


圖 3-3-3 實驗的巨觀現象(熱化學之可逆反應的影像畫面, 宇勗有限公司, 2000)

再來是以分子層面的微觀方式說明可逆反應的現象, 透過電子化投影片中的動畫模擬讓學生清楚液態變成氣態的蒸發過程是如何發生的以及動態平衡的雙向反應機制為何, 動畫的擷取畫面如圖 3-3-4。



圖 3-3-4 以粒子觀點解釋液體蒸發的過程

(熱化學之可逆反應的影像畫面, 宇勗有限公司, 2000)

粒子模型操作的單元，研究者事先準備白色和橘色兩種顏色的乒乓球(如圖3-3-5)，讓學生實際動手操作來模擬氫分子與碘分子反應成碘化氫分子的過程，反應式如右： $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ ，每個乒乓球都黏有魔鬼沾，所以學生一開始必須將代表氫分子的兩個白色乒乓球拆開，再把代表碘分子的兩個橘色乒乓球拆開，接下來將一白一橘的乒乓球黏合在一起表示生成碘化氫，透過這樣子的過程讓學生明白化學可逆反應中分解與化合的機制，並且能夠表達出當達到化學平衡時整個反應中各物質濃度隨時間變化的關係圖，本活動設計的理念是希望學生可以用分子層面的角度來了解化學平衡的動態關係。



圖 3-3-5 粒子模型操作單元的教具展示

學生角色模擬的活動是將粒子模型操作單元中的白色乒乓球和橘色乒乓球分別以男生和女生進行取代，利用兩個男生牽手來類比氫分子，兩個女生牽手來類比碘分子，當代表氫分子的兩個男生和代表碘分子的兩個女生同時將手放開，而男女生牽手的情況表示生成碘化氫，當然也可以藉由男女生之間不同的組合方式說明發生逆反應的過程，同樣希望透過這樣子的過程讓學生明白化學可逆反應中分解與化合的機制。

第四節 研究工具

本研究所使用的研究工具分為量化及質性兩大部分：量化工具包含化學平衡概念問卷、粒子本體問卷、情意學習問卷等，質性工具則有晤談問卷，量化工具的設計要點如表3-4-1。

表 3-4-1 量化研究工具的設計要點

研究工具	設計重點	內容	使用目的
化學平衡 概念問卷 (參見附錄一)	情境/非情境 巨觀/微觀	涵蓋國中理化課程 的化學平衡單元相 關概念	1.比較兩組學生在前 測、後測和延宕測驗 的作答情形 2.探討心智模式的類型 分布與演變途徑
粒子本體問卷 (參見附錄二)	單選題型式，共有 三個平行題，每題 包含五小題	涵蓋五個突現本體 屬性：一致性、隨機 性、持續性、同時 性、非目的性	1.比較不同階段下，兩組 具備突現本體屬性的 百分比。 2.利用皮爾遜相關檢定 來進行概念問卷與本 體問卷間的學習成就 相關分析
學習情意問卷 (參見附錄三)	學習態度量表、 複選的問題、 開放式問題	探討不同教學法 對於增進概念理 解、提升學習興 趣、造成學習負擔 的想法有何不同	1.瞭解多重表徵教學對 學生學習情意面向的 影響 2.作為改進教學設計的 依據

一、化學平衡概念問卷：



試題由兩位具備化學、科學教育相關背景的大學教授擔任專家審查，就題目內容的適當性、語句的合宜性、學科概念上，進行多次的修正，如此以建立專家效度，預試的對象為81名台北市某公立高中的兩組高一學生，問卷試題的信度為Cronbach Alpha值等於0.78，因此以預試階段的研究工具做為正式施測的研究工具，而且前測、後測、延宕測驗都使用這一份試卷，以比較教學前後與延宕時的學生作答情形，關於問卷試題的雙向細目表請參照表3-4-2。

表 3-4-2 問卷試題的雙向細目表

命題陳述	對應題號
1.化學平衡可由正反應或逆反應任一方開始而達成，即平衡的達成與反應方向無關。	1-1,
2.化學平衡為一可逆反應，正反應與逆反應同時發生，而且反應物與生成物同時存在於系統中。	1-2,1-5,2-2, 2-4,
3.化學平衡達成時，物質的濃度會維持不變，但反應物與生成物的濃度不一定相等。	1-3,1-4,
4.達到化學平衡的過程中，物質是不完全反應的，即只會進行部分反應。	2-1,3-1,3-2
5.化學平衡被破壞時，反應會朝向抑制破壞因素的一方前進，即遵守勒沙特列原理。	2-3,3-3,3-4
6.化學平衡被破壞時，儘管氣體莫耳數減少但在體積同時縮小的因素下，氣體的濃度依然會變大。	2-5,

二、粒子本體問卷：

Chi 等人 (Chi, 1997 ; Ferrari & Chi, 1998 ; Chi & Roscoe, 2002 ; Chi, 2005) 認為有些科學概念為何會頑強(robust)、不易消失，是因為原本隸屬於突現因果過程類別的概念被誤以為是歸屬於直接因果過程類別的概念，也就是發生了概念錯置的現象，剛好化學平衡這個單元的粒子運動本質就是屬於這樣的例子，因此研究者參照相關研究的問卷工具(陳婉茹,2004；陳盈吉,2004)，並進行改編以發展出適合本研究的粒子本體問卷，至於問卷中涵蓋的突現屬性及其對應的試題內容見表 3-4-3。

表 3-4-3 突現屬性及其對應的試題內容

突現屬性	對應的試題內容
一致性	<u>所有</u> 的 NO_2 氣體都有可能曾經結合成 N_2O_4 氣體
隨機性	哪二個 NO_2 氣體會結合成 N_2O_4 氣體是 <u>無法推測出來</u> 的
持續性	NO_2 氣體會結合成 N_2O_4 氣體的這種情形是 <u>不會停止</u> 的
同時性	有 NO_2 氣體結合成 N_2O_4 氣體， <u>同時</u> 也有 N_2O_4 氣體分解為 NO_2
非目的性	有 NO_2 氣體結合成 N_2O_4 氣體後，也會有 N_2O_4 氣體分解為 NO_2 氣體， <u>結果恰好</u> 能達到化學平衡

三、學習情意問卷：



學習情意問卷改編自相關研究之情意面向問卷(邱顯博, 2002；鍾曉蘭, 2007)，研究者希望藉由問卷來瞭解多重表徵教學對學生學習情意面向的影響，問卷內容分為學習態度量表(李克氏量表，相關的雙向細目表如表3-4-4)、一題可複選的問題、三題開放式問題。

複選問題的主要內容為「如果可以選擇，你喜歡老師運用何種教學方式？」，研究者藉此複選題的問題來瞭解哪些教學策略是學生希望未來能夠持續使用的，以作為將來設計教學活動的依據。

問卷中針對多重表徵教學組學生對於多重表徵教學的看法設計了三題開放式問題：其一為你覺得本次教學最有趣的單元/部分為何呢？其二為你對於本次教學印象最深刻的單元/部分為何呢？其三為你覺得本次教學需要改進的單元/部分為何呢？並進一步請學生說明簡單的理由。研究者藉著開放式的回答來瞭解學生對於多重表徵教學中覺得有趣及印象深刻的教學活動的進一步想法，以及學生對於多重表徵教學中需要改進的部分，藉此修正教學活動的設計。

表3-4-4 學習態度量表問題內容與相關題號的雙向細目表

問題內容	相關題號
教學策略對於增進概念理解的影響	1,4,7,10,13,16
教學策略對於提升學習興趣的影響	2,5,8,11,14,17
教學策略對於造成學習負擔的影響	3,6,9,12,15,18

四、晤談問卷：



晤談方式採半結構式，分為教學前、教學後及教學後二次晤談，每位學生每次晤談約15分鐘左右，每位學生根據晤談問卷內容以及他/她在概念問卷中的作答情形進行晤談，主要探究學生對於化學平衡的看法為何，請學生就問題的巨觀面向與微觀面向分別描述可能的情形，藉此了解學生對於巨觀、微觀世界的連結情況，在晤談的過程中進行錄音，事後針對學生的口語資料進行分析，關於晤談問題設計如表3-4-5。

表 3-4-5 晤談問卷內容

1. 分別將碳酸鈣和稀鹽酸一起放入底下的左右兩個錐形瓶中，請說明你覺得會發生何種情形？	● 碳酸鈣和稀鹽酸的反應為何？ ● 當氣泡不再生成時，兩邊所觀察到的現象為何？ ● 氣泡不再生成時，是否代表反應停止？ ● 左邊錐形瓶的橡皮塞具有何功用？ ● 那邊會發生可逆反應？有何不同？ ● 如果把左邊的橡皮塞拿起來會如何？
2. 有一反應方程式為 $\text{CO}_{(\text{g})} + \text{NO}_{2(\text{g})} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(\text{g})} + \text{NO}_{(\text{g})}$ ， 而此四種氣體只有 NO_2 為紅棕色，其它三種氣體都是無色，現在於密閉的透明容器中加入 CO 和 NO_2 氣體，請說明你覺得會發生何種情形？	● 經過一長時間後，容器內部的顏色會如何？ ● 請畫出此時容器內存在的物質有哪些？ ● 若當初 CO 中的氧原子具有放射性，結果會如何？ ● 有哪些取法可以達到本反應的化學平衡？



第五節 研究流程

本研究流程共分為三個階段，如表3-5-1。

第一階段—「準備階段」：

首先，先確立研究的基本方向，經過文獻探討與形成研究問題後，開始進行研究設計，接下來是發展研究工具，並且完成工具的信、效度分析。

第二階段—「正式階段」：

包含了整個的教學過程，教學前先進行前測，由前測的成績確定晤談對象，接下來開始進行課程教學，在五節課的教學後，進行後測以及後測晤談，確定晤談學生於教學後概念改變的情形，兩組學生在一個星期後進行延宕測驗，以檢核學生概念迴歸的情形，其中每一次的測驗包含了概念問卷和本體問卷，而多重表徵教學組也就是多重表徵組的學生在後測中還納入情意問卷的部分。

第三階段—「分析階段」：

進行逐字稿的謄錄，與量化資料和質性資料的整理分析。

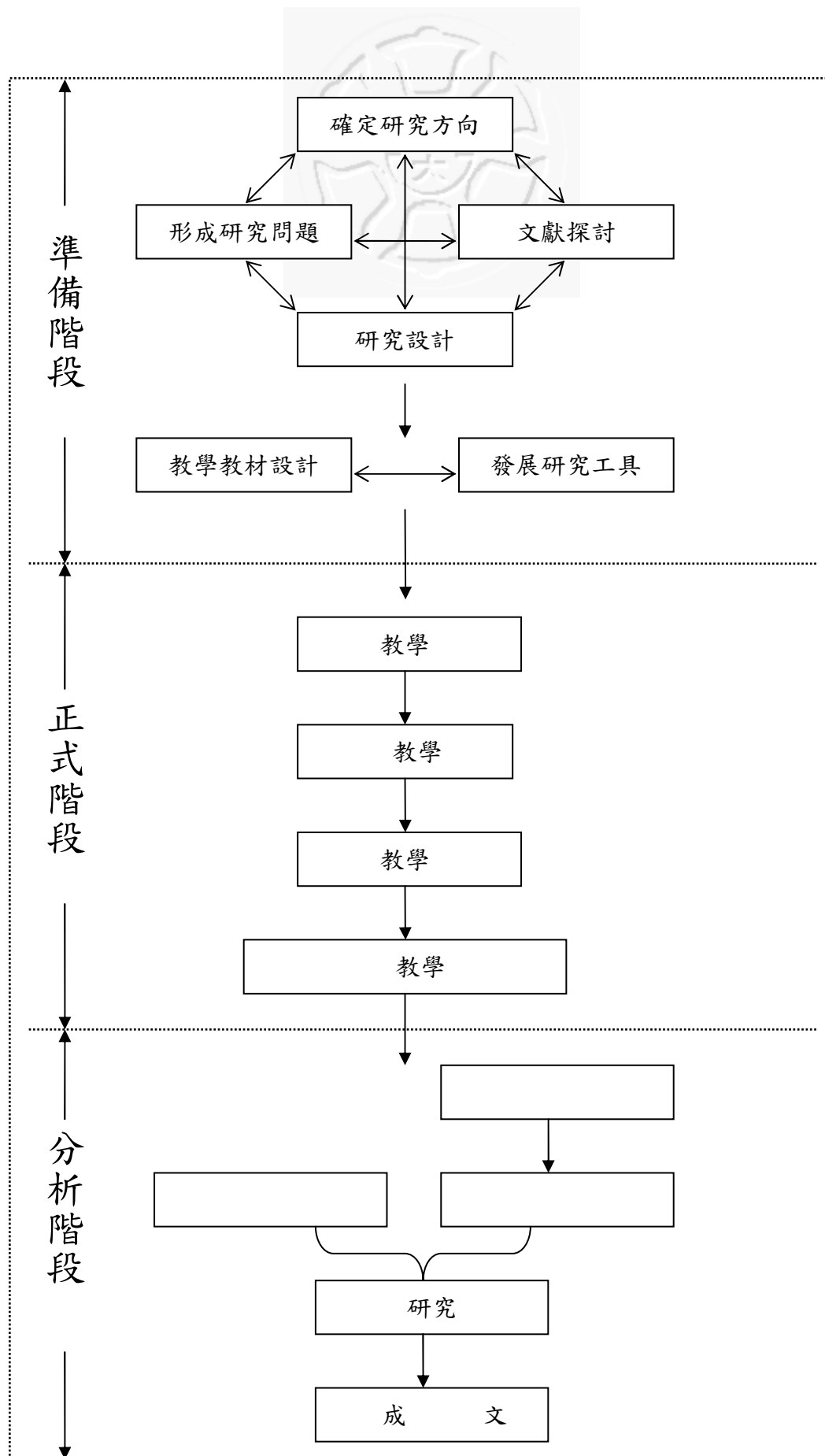


圖 3-5-1 研究流程圖



第六節 資料處理與分析

一、化學平衡概念問卷：

(一) 答對率：

1. 將學生答對的題數，除以總題數，即可得到答對率。若計算所有題目的答對率，則為總答對率，如果只計算某個單元的答對率，則是該單元的答對率。
2. 利用 spss 進行成對t考驗，比較每一組學生前測、後測與延宕測驗之間是否有進步的關係。
3. 利用 spss 進行獨立樣本t考驗，比較多重表徵教學組與對照組兩組的前測是否達顯著差異。
4. 利用 spss 進行共變數分析，比較多重表徵教學組與對照組兩組的後測、延宕測驗與前測相比較是否有顯著進步。

(二) 心智模式類型：

本研究問卷在同一題目情境下會有幾個相關的小問題組成，因此，利用學生作答的結果將學生歸類到適當的心智模式類型，其中這 12 種心智模式又可以區分為兩大類，按照反應方向性的判準有靜止模式、單向模式、雙向固定起始模式 1、雙向固定起始模式 2、雙向固定起始模式 3、雙向任意起始模式等六種；以微

觀機制的角度則有現象表面模式、完全反應模式、等濃度模式、分散模式、移動方向模式、正確科學模式等六種，關於題號、選項與心智模式的對應，如表 3-6-1。

表 3-6-1 概念問卷題號與心智模式對應表

		心智模式類型	對應題號
反應方向	{	靜止模式	1-2(A),1-5(A),2-4(A),
		單向模式	1-2(B 或 C 或 D),1-5(B),2-4(B 或 C)
		雙向固定起始模式 1	1-1(A),1-2(E),2-4(D)
		雙向固定起始模式 2	1-1(B),1-2(E),2-4(D)
		雙向固定起始模式 3	1-1(C),1-2(E),2-4(D)
		雙向任意起始模式	1-1(D),1-2(E),2-4(D)
微觀機制	{	現象表面模式	2-1(A),2-2(A),3-1(A)
		完全反應模式	2-1(C),3-2(C),3-3(B)
		等濃度模式	1-3(B),1-4(B)
		分散模式	1-5(D),2-2(D),3-1(D)
		移動方向模式	2-3(A),2-5(A),3-2(A)
		正確科學模式	1-4(D),1-5(C),2-1(B),2-2(C),3-1(C),

二、粒子本體問卷：



1. 首先計算答對率，就是將學生答對的題數除以總題數，即可得到答對率。
2. 利用 spss 進行成對t考驗，比較每一組學生前測、後測與延宕測驗之間是否有進步的關係。
3. 利用 spss 進行獨立樣本t考驗，比較多重表徵教學組與對照組兩組的前測是否達顯著差異。
4. 利用 spss 進行共變數分析，比較多重表徵教學組與對照組兩組的後測、延宕測驗與前測相比較是否有顯著進步。
5. 分析在前測、後測與延宕測驗不同階段下，兩組學生具備單一突現本體屬性的人數百分比。
6. 利用皮爾遜相關檢定來進行概念問卷與本體問卷間的學習成就相關分析。

三、晤談問卷：



將 12 位標的學生的晤談資料經由編碼，以試圖了解學生對於化學平衡的心智模式，由研究者與施測學校的一位國中理化教師共同擔任評分者進行編碼，來檢視多重表徵教學組標的學生、對照組標的學生在每次晤談過程中對於化學平衡單元所具有的心智模式類型，以做為判斷學生心智模式類型的質性資料。

由於這 12 位標的學生的晤談內容包含晤談問卷以及部分的概念問卷，為何要晤談部分的概念問卷，主要是因為有些學生當時作答的情況無法直接判斷其心智模式，希望藉由進一步的晤談瞭解其心中的想法，因此每位晤談學生究竟會被問到多少概念問卷內容的比例是因人而異的，但是晤談問卷是每位標的學生共同有的部分，所以針對這個部分進行評分者信度，計算方式為分子代表研究者與施測學校的一位國中理化教師兩人評為相同模式的次數，分母則為 12×5 ，因為整份晤談問卷內容包含了五種心智模式類型，公式如下所示，最後評分者信度達 85%。

$$\text{評分者信度} = \frac{\text{評為相同模式的次數}}{12 \times 5} \times 100\%$$

四、情意問卷：

本問卷採用的是李克氏量表的五等第——非常同意、同意、普通、不同意、非常不同意，非常同意給予二分、同意給予一分、普通為零分、不同意為 -1 分、非常不同意為 -2 分，問卷以量化的方式統計，開放式的部分則進行意見統計與分析整理，作為改進教學及教材的意見。

第肆章 研究結果與討論

第一節進行概念問卷的分析；第二節進行粒子本體問卷的分析；第三節呈現心智模式的分析資料；第四節為探討情意學習的面向。

第一節 概念學習的比較分析

一、兩組學生前測成績之分析

參與研究的兩組學生事先都沒有學習過關於化學平衡的任何相關單元，透過兩組學生對於前測概念問卷的作答情形，可以推估化學平衡主題單元對於學生學習理解的難易程度。

圖 4-1-1 顯示出兩組的概念問卷前測答對率，我們可以發現多重表徵教學組和對照組兩組的答對率分別為 33.50%和 31.59%，兩組前測答對率的平均都只有三成左右而已。

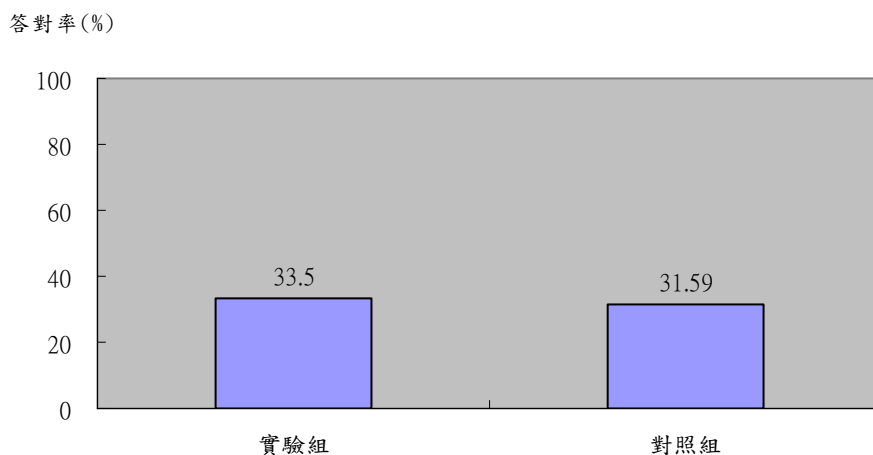


圖 4-1-1 兩組的概念問卷前測答對率

接下來對於兩組的前測平均總答對率進行獨立樣本t檢定，如表4-1-1，在變異數同質性檢定上，顯著性為0.492，表示並未違反變異數同質性假定，在獨立樣本t檢定分析中，二組的t值為0.630，並未達到顯著水準($p=0.531$)，二組學習者在教學前對於化學平衡概念的比較是可以視為沒有差異的，所以兩組學生的起點行為是相同的。

表4-1-1 兩組學生的前測平均總答對率之獨立樣本t檢定

組別	前測平均總答對率	標準差	t值	顯著性
多重表徵				
教學組	33.50	11.21	0.630	0.531
(N=32)				
對照組	31.59	12.53	0.630	0.531
(N=29)				

二、兩組學生組內成績之分析

剛剛我們已經知道兩組學生的概念問卷前測成績未達顯著差異，那麼經過五節課的教學之後，學生對於化學平衡的理解是否有所提升呢？為了回答這個問題與了解學生教學前後概念成長的差異性，我們將二組學生在前測、後測、延宕測驗階段的平均答對率進行比較，如圖 4-1-2。

結果顯示：多重表徵教學組也就是多重表徵教學組學生的平均答對率在三個階段分別為 33.50%、62.25%、58.25%，其中後測比起前測進步了 28.75 個百分比，雖然延宕比起後測下降了四個百分比，但是延宕階段的答對率相較於前測階段的答對率仍然高出 24.75%。

至於對照組方面，學生在三個階段的平均答對率分別是 31.59%、53.93%、50.62%，其中後測比起前測進步了 22.34 個百分比，雖然延宕比起後測下降了 3.31 個百分比，但是延宕階段的答對率相較於前測階段的答對率仍然高出 19.03 %。

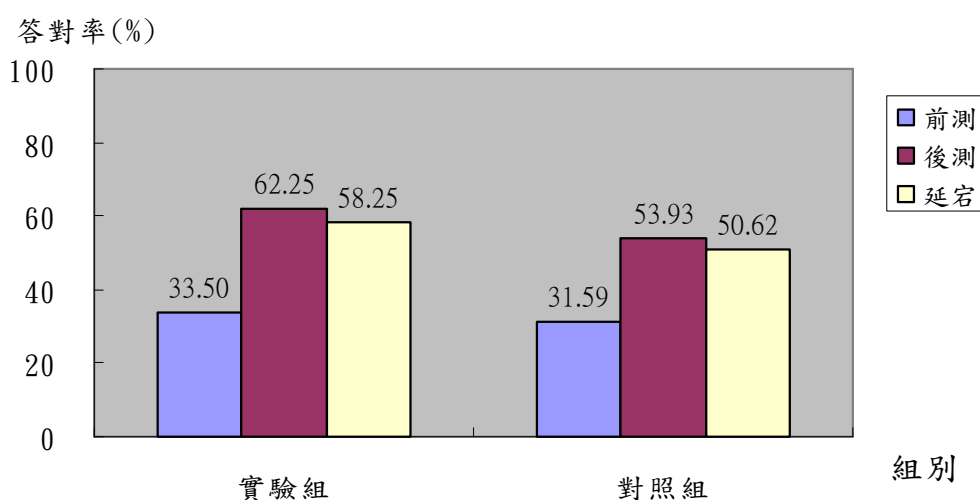


圖4-1-2 二組學生在不同階段的平均答對率比較

接下來將二組學生的概念問卷各階段的成績進行成對t考驗，如表4-1-2所示。我們發現：多重表徵教學組的後測與前測成績比較，其t值為10.57，p值等於.000有達顯著差異，表示經由教學後多重表徵教學組學生對於化學平衡的概念能有明顯地提升，儘管延宕測驗與後測的比較結果，其t值為-2.42，p值等於.022也有達顯著差異，代表學生在教學後經過一段時間有產生明顯的概念回歸情形，但是比較延宕測驗與前測的結果仍然有達顯著差異，說明學生即使發生了部分概念回歸的現象，可是他們對於化學平衡整體的理解仍然比教學前有明顯地提升。

分析對照組的統計結果也有相類似的情況發生，不管是後測與前測、延宕與後測或是延宕與前測的比較結果，其p值都小於.05顯著水準，表示有達到顯著差異，因此對照組教學後學生對於化學平衡的概念有明顯地提升，而且在教學後經過一段時間有明顯的概念回歸情形，但是即使發生了部分概念回歸的現象，他們

對於化學平衡整體的理解仍然比教學前有明顯地提升。

表4-1-2 二組學生概念問卷各階段的成績之成對t考驗

組別		總分平均率比較(標準 差)	t	Sig.
多重表徵 教學組 (N=32)	後測-前測	28.75 (15.39)	10.57 ^{***}	.000
	延宕-前測	24.75 (16.83)	8.32 ^{***}	.000
	延宕-後測	-4.00 (9.37)	-2.42 [*]	.022
對照組 (N=29)	後測-前測	22.34 (17.65)	6.82 ^{***}	.000
	延宕-前測	19.03 (16.72)	6.13 ^{***}	.000
	延宕-後測	-3.31 (6.60)	-2.70 [*]	.012

*：p< 0.05；***：p< 0.001

三、兩組學生組間成績之分析

前一階段關於兩組組內的成績比較，我們得到經過教學之後，不管是多重表徵教學組或是對照組學生對於化學平衡概念的理解都比教學前有顯著地提升，但是兩組後測的成績似乎有不同的差異，因此引起研究者的好奇，運用多重表徵教學真的能造成學習上不同的差異嗎？

在這個階段，我們將兩組的後測與延宕成績分別進行共變數分析(ANCOVA)以作為組間的比較依據，結果如表4-1-3顯示：兩組的後測部分F值為3.975，而p值為0.041小於顯著水準0.05，所以有達到顯著差異，表示兩組不同的教學處置(treatment)確實造成學習成效上的差異，接下來我們將焦點關注在延宕測驗的部分，數據顯示兩組的F值為3.539，而p值為0.051略微超過顯著水準0.05，所以兩

組延宕測驗的答對率未受到教學處置的不同而達到顯著差異，根據後測階段兩組成績有達到顯著差異，因此誠如文獻所言多重表徵有助於學習者學習困難的科學概念(Chi, Slotta, & deLeeuw, 1994；Wu, Krajcik, & Soloway, 2001；Kozma, 1996, 2000)。

表4-1-3 兩組組間共變數分析

	F值	顯著性
後測	3.975	0.042*
延宕	3.539	0.051

*：p< 0.05

四、兩組學生組間子概念之分析

在前一階段，我們利用兩組成績進行共變數分析(ANCOVA)，統計結果顯示：多重表徵教學組和對照組在後測階段的成績有達到顯著差異，而兩組在延宕測驗的成績接近顯著差異，說明本研究的多重表徵教學確實能產生不同的學習成效。

由於本研究設計的概念問卷總共包含了六個命題陳述，也就是六個子概念，關於這六個子概念的內涵依序詳述如下：

- 1.化學平衡可由正反應或逆反應任一方開始而達成，即平衡的達成與反應方向無關。
- 2.化學平衡為一可逆反應，正反應與逆反應同時發生，而且反應物與生成物同時存在於系統中。
- 3.化學平衡達成時，物質的濃度會維持不變，但反應物與生成物的濃度不一定相等。

- 4.達到化學平衡的過程中，物質是不完全反應的，即只會進行部分反應。
- 5.化學平衡被破壞時，反應會朝向抑制破壞因素的一方前進，即遵守勒沙特列原理。
- 6.化學平衡被破壞時，儘管氣體莫耳數減少但在體積同時縮小的條件下，氣體的濃度依然會變大。

在這個階段，我們想要探討多重表徵教學組與對照組學生關於這六個子概念在後測與延宕測驗部分是否達顯著差異，分別統計學生這些子概念在前測、後測、延宕測驗三個不同階段的作答情形，並且進行共變數分析。

關於兩組學生在第一個子概念的作答情形如圖 4-1-3 所示，多重表徵教學組與對照組學生在前測階段的答對率分別為 6%和 10%，經過教學之後多重表徵教學組的答對率增加至 43%而對照組部分則是 34%，至於兩組學生在延宕測驗的表現依序為 37%、24%。

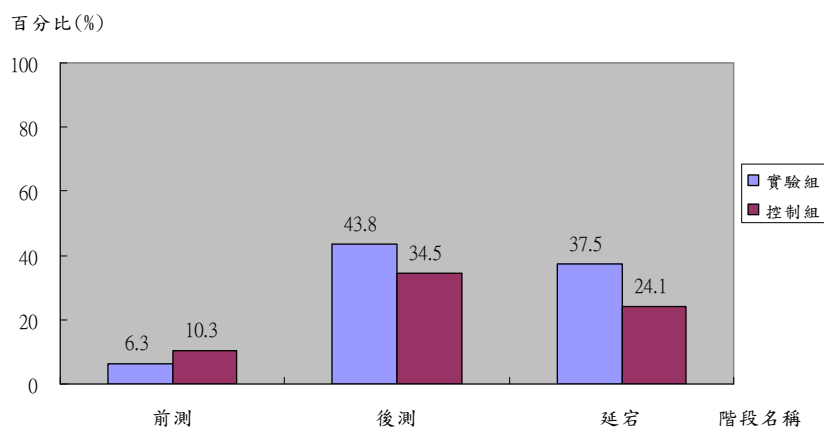


圖4-1-3 兩組在子概念一的答對率

進行共變數分析比較兩組在子概念一的結果如表4-1-4發現：兩組學生在後測與延宕測驗階段的p值分別為0.314、0.218皆未小於0.05顯著水準，子概念一在兩組後測、延宕測驗的表現未達顯著差異。

表4-1-4 兩組子概念一組間共變數分析

	F值	顯著性
後測測驗	1.031	0.314
延宕測驗	1.548	0.218

歸納以上數據結果，我們發現多重表徵教學組學生經由多重表徵教學後在子概念一，也就是化學平衡可由正反應或逆反應任一方開始而達成，即平衡的達成與反應方向無關方面，其後測、延宕的答對率表現都優於對照組學生，但是兩階段的差異皆未達顯著。

兩組學生在子概念二的作答情形如圖 4-1-4 所示，多重表徵教學組與對照組學生在前測階段的答對率接近 30%，經過教學之後多重表徵教學組的答對率增加至 65%而對照組部分則是 60%，至於兩組學生在延宕測驗的表現依序為 68%、59%，多重表徵教學組在延宕測驗並沒有發生概念回歸的現象。

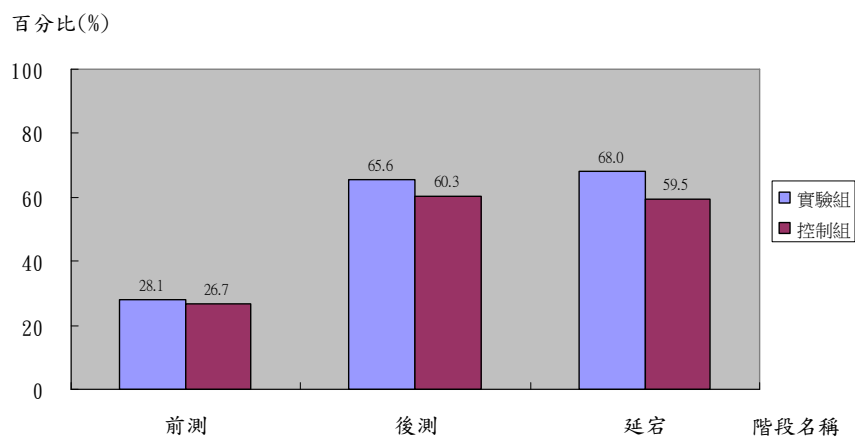


圖 4-1-4 兩組在子概念二的答對率

進行共變數分析比較兩組在子概念二的結果如表 4-1-5 發現：兩組學生在後測與延宕測驗階段的 p 值分別為 0.608、0.349 皆未小於 0.05 顯著水準，子概念二在兩組後測、延宕測驗的表現未達顯著差異。

表4-1-5 兩組子概念二組間共變數分析

	F值	顯著性
後測測驗	0.265	0.608
延宕測驗	0.892	0.349

我們發現：多重表徵教學組在子概念二的答對率表現優於對照組，兩組的差異未達顯著，另外對照組的答對率也有 60% 左右，顯示傳統教學對於子概念二的學習也有不錯的成效，化學平衡為一可逆反應，正反應與逆反應同時發生，而且反應物與生成物同時存在於系統中是學生較容易理解的概念。

兩組學生在子概念三的作答情形如圖 4-1-5 所示，多重表徵教學組與對照組學生在前測階段的答對率皆有超過 40%，經過教學之後多重表徵教學組的答對率增加至 81% 而對照組部分也有 65%，其中多重表徵教學組的延宕與後測比較增加三個百分點，而對照組則有概念回歸的現象。

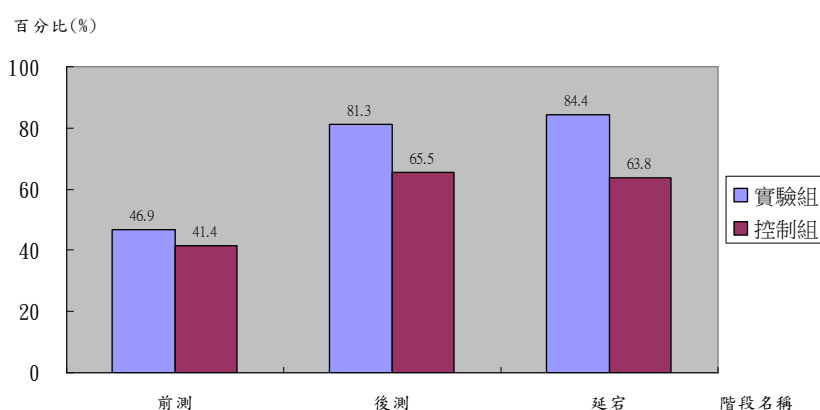


圖4-1-5 兩組在子概念三的答對率

進行共變數分析比較兩組在子概念三的結果如表 4-1-6 發現：兩組學生在後測與延宕測驗階段的 p 值分別為 0.109、0.016，延宕階段的 p 值小於 0.05，子概念三在兩組延宕測驗的表現已達顯著差異。

表4-1-6 兩組子概念三組間共變數分析

	F值	顯著性
後測測驗	2.649	0.109
延宕測驗	6.160*	0.016

* : $p < 0.05$

關於子概念三兩組的答對率情形，經過教學後多重表徵教學組有高達八成的比例，對照組部分也有超過六成比例，雖然傳統教學對於概念三的學習也有一定成效，但是兩組延宕測驗有達顯著差異，顯示多重表徵教學組教學對於學生學習子概念三仍是優於傳統教學的。

兩組學生在子概念四的作答情形如圖 4-1-6 所示，多重表徵教學組與對照組學生在前測階段的答對率各約一成，經過教學之後兩組的後測、延宕答對率增加至略高於 40% 左右，兩組的答對率在各個階段都沒有超過五成的比例。

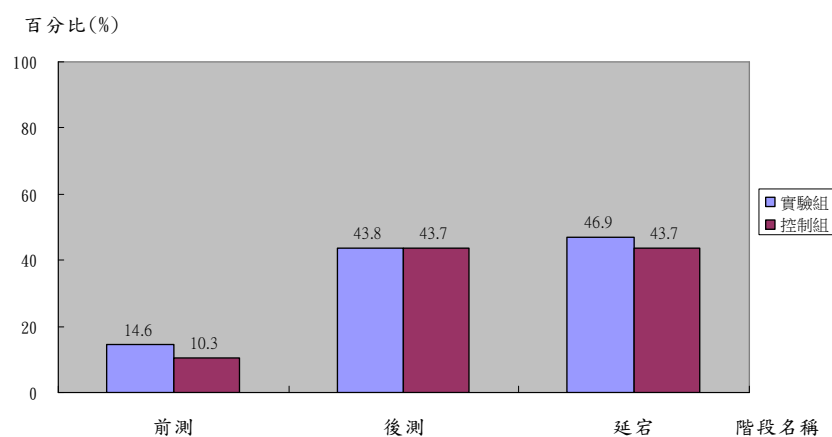


圖4-1-6 兩組在子概念四的答對率

進行共變數分析比較兩組在子概念四的結果如表 4-1-7 發現：兩組學生在後測與延宕測驗階段的 p 值分別為 0.492、0.826，兩階段的 p 值都沒有小於 0.05，顯示子概念四在兩組後測、延宕測驗的表現均未達顯著差異。

表4-1-7 兩組子概念四組間共變數分析

	F值	顯著性
後測測驗	0.478	0.492
延宕測驗	0.049	0.826

子概念四是關於物質達到化學平衡的過程中，為不完全反應的，只會進行部分轉換，以上數據結果顯示：學生對於這個概念的學習是有困難的，會將一般化學反應完全耗盡的想法與此概念混淆。

兩組學生在子概念五的作答情形如圖 4-1-7 所示，多重表徵教學組與對照組學生在前測階段的答對率都有將近四成，經過教學之後多重表徵教學組、對照組的後測分別達到六成和五成以上的比例，另外在延宕測驗方面兩組都發生了概念回歸的現象，多重表徵教學組最後的答對率落在 58%，而對照組則是 50%。

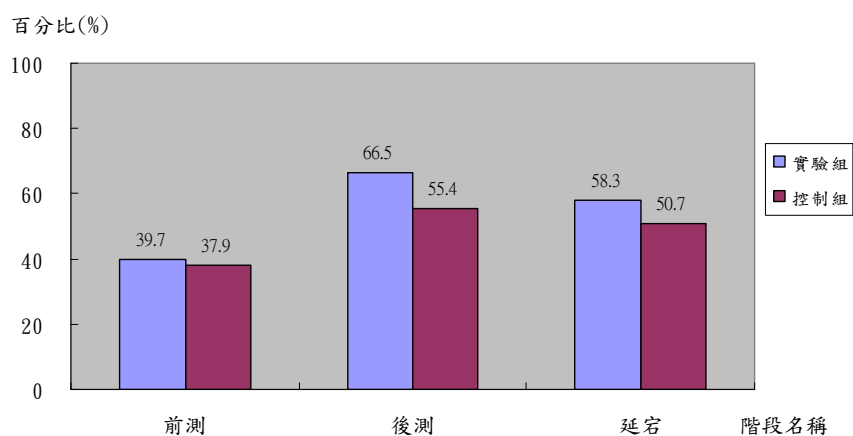


圖4-1-7 兩組在子概念五的答對率

進行共變數分析比較兩組在子概念五的結果如表 4-1-8 發現：兩組學生在後測與延宕測驗階段的 p 值分別為 0.004、0.084，其中後測階段的 p 值有小於 0.05，顯示子概念五在兩組後測階段的表現有達顯著差異。

表4-1-8 兩組子概念五組間共變數分析

	F值	顯著性
後測測驗	9.034**	0.004
延宕測驗	3.084	0.084

** : $p < 0.01$

以上數據顯示多重表徵教學組教學對於學生學習子概念五也就是關於勒沙特列原理的部分是優於對照組的，兩組在此概念的後測階段表現有達顯著差異。

兩組學生在子概念六的作答情形如圖4-1-8所示，多重表徵教學組與對照組學生在前測階段的答對率都不到三成，經過教學之後多重表徵教學組部分從27%變為34%，增加七個百分點，而對照組學生後測的表現與前測相同，另外在延宕測驗方面對照組則是發生了概念回歸的現象。

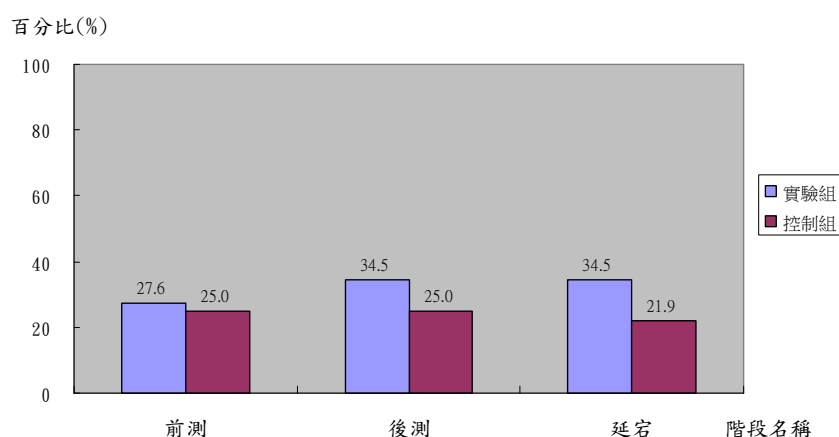


圖4-1-8 兩組在子概念六的答對率

進行共變數分析比較兩組在子概念六的結果如表 4-1-9 所示：兩組學生在後測與延宕測驗階段的 p 值分別為 0.130、0.067，兩階段的 p 值均未小於 0.05，顯示子概念六在兩組後測、延宕測驗階段的表現未達顯著差異。

表4-1-9 兩組子概念六組間共變數分析

	F值	顯著性
後測測驗	2.364	0.130
延宕測驗	3.485	0.067

數據發現兩組在學習子概念六方面是有困難的，儘管教學後多重表徵教學組進步七個百分點，但是仍未超過四成的比例，而對照組部分則是前後測的答對率維持一樣沒有變化，顯示學生在此概念上不易發生改變。

第二節 粒子本體的比較分析

在上一節中我們得到：多重表徵有助於學生化學平衡概念的學習，但是化學平衡這個單元除了概念的內容之外，還包含了許多動態的本質、抽象複雜的部分，因此 Chi 等人(Chi, 1997; Ferrari & Chi, 1998; Chi, 2000; Chi & Roscoe, 2002; Chi, 2005)將其歸類在本體樹中的「突現因果過程」(Emergent Causal Process)，現在想要探討的是：經過本次五節課的教學之後，學生對於化學平衡的「突現」性質是否也有進一步的理解呢？

一、兩組學生前測成績之分析

因為參與研究的兩組學生事先都沒有學習過關於化學平衡的任何相關單元，所以透過兩組學生對於前測粒子本體問卷的作答情形，可以推估化學平衡的突現屬性對於學生學習理解的難易程度。

圖 4-2-1 顯示出兩組的粒子本體問卷前測答對率，我們可以發現多重表徵教學組和對照組兩組的答對率分別為 42.71%和 43.22%，兩組前測答對率的平均都只有在四成左右而已，因此要學生對於化學平衡的突現屬性建立起全盤的瞭解並不是一件容易的事情，因此誠如文獻所言：許多學生對於化學平衡發生了概念錯置的現象，將原本隸屬於突現因果過程的本體屬性錯置歸類在直接因果過程的本體屬性中，所以很難產生概念改變的情形。

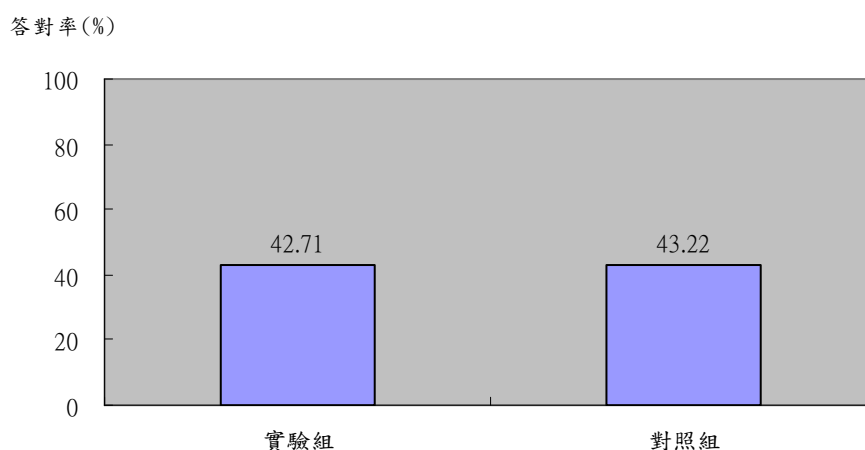


圖 4-2-1 兩組的粒子本體問卷前測答對率

接下來對於兩組的前測平均總答對率進行獨立樣本t檢定，如表4-2-1，在變異數同質性檢定上，顯著性為0.193，表示並未違反變異數同質性假定，在獨立樣本t檢定分析中，二組的t值為-0.164，並未達到顯著水準($p=.870$)，二組學習者也就是兩組學生在教學前對於化學平衡的突現屬性比較是可以視為沒有差異的，所以兩組學生的起點行為是相同的。

表4-2-1 兩組學生的前測平均總答對率之獨立樣本t檢定

組別	前測平均總答對率	標準差	t值	顯著性
多重表徵 教學組 (N=32)	42.71	13.21	-0.164	0.870
對照組 (N=29)	43.22	10.78		

二、兩組學生組內成績之分析

剛剛我們已經知道兩組學生的粒子本體問卷前測成績未達顯著差異，那麼經過五節課的教學之後，學生對於化學平衡突現屬性的理解是否有所提升呢？為了回答這個問題與了解學生教學前後概念成長的差異性，我們將二組學生在前測、後測、延宕測驗階段的平均答對率進行比較，如圖 4-2-2。

結果顯示：多重表徵教學組也就是多重表徵教學組學生的平均答對率在三個階段分別為 42.71%、71.46%、68.54%，其中後測比起前測進步了 28.75 個百分比，雖然延宕比起後測下降了 2.92 個百分比，但是延宕階段的答對率相較於前測階段的答對率仍然高出 25.83%。

至於對照組也就是對照組方面，學生在三個階段的平均答對率分別是 43.22%、59.77%、60.23%，其中後測比起前測進步了 16.55 個百分比，而且延宕比起後測還上升了 0.46 個百分比，另外延宕階段的答對率相較於前測階段的答對率高出 17.01%。

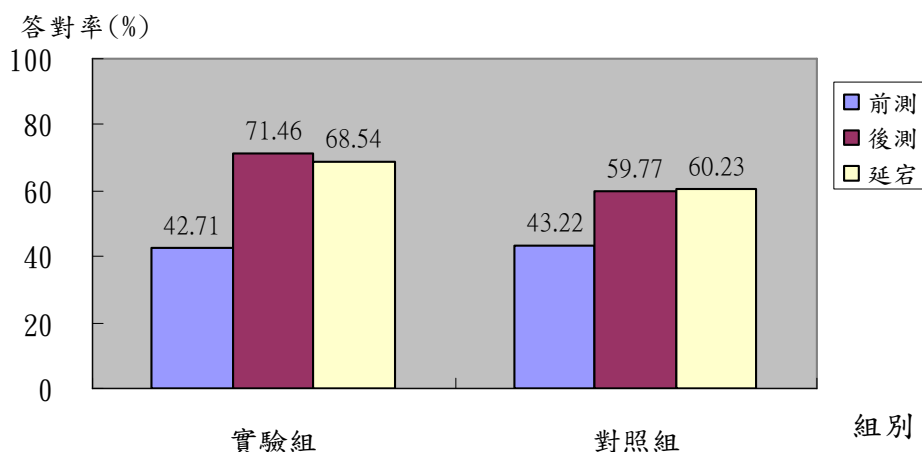


圖4-2-2 二組學生在不同階段的平均答對率比較

接下來將二組學生的粒子本體問卷各階段的成績進行成對t考驗，如表4-2-2所示。我們發現：多重表徵教學組的後測與前測成績比較，其t值為14.92，p值等於.000有達顯著差異，表示經由教學後多重表徵教學組學生對於化學平衡的突現屬性概念能有明顯地提升，儘管延宕測驗與後測的比較結果，其t值為-2.61，p值等於.014也有達顯著差異，代表學生在教學後經過一段時間有產生明顯的概念回歸情形，但是比較延宕測驗與前測的結果仍然有達顯著差異，說明學生即使發生了部分概念回歸的現象，可是他們對於化學平衡突現屬性的整體理解仍然比教學前有明顯地提升。

分析對照組的統計結果可以發現：後測與前測、延宕與前測的比較結果，其p值都小於.05顯著水準，表示有達到顯著差異，因此對照組教學後學生對於化學平衡的突現屬性概念有明顯地提升，而且在教學後經過一段時間並沒有明顯的概念回歸情形，所以學生在延宕測驗階段對於化學平衡突現屬性的整體理解仍然比教學前有明顯地提升。

表4-2-2 二組學生概念問卷各階段的成績之成對t考驗

組別	總分平均率比較(標準 誤)	t	Sig.	
多重表徵 教學組 (N=32)	後測-前測	28.75 (1.93)	14.92***	.000
	延宕-前測	25.83 (2.05)	12.62***	.000
	延宕-後測	-2.92 (1.12)	-2.61*	.014
	後測-前測	16.55 (1.89)	8.76***	.000
對照組 (N=29)	延宕-前測	17.01 (1.83)	9.30***	.000
	延宕-後測	0.46 (1.28)	0.36	.722

* : $p < 0.05$; *** : $p < 0.001$

三、兩組學生組間成績之分析

前一階段關於兩組組內的成績比較，我們得到經過教學之後，不管是多重表徵教學組或是對照組學生對於化學平衡突現屬性的理解都比教學前有顯著地提升，但是兩組後測的成績似乎有不同的差異，因此再一次引起研究者的好奇，運用多重表徵教學真的能造成學習上不同的差異嗎？

在這個階段，我們將兩組的後測與延宕成績分別進行獨立樣本t考驗以作為組間的比較依據，結果如表4-2-3顯示：兩組的後測部分t值為4.105，而p值為0.000小於顯著水準0.05，所以有達到顯著差異，表示兩組不同的教學處置(treatment)確實造成學習成效上的差異，接下來我們將焦點關注在延宕測驗的部分，數據顯示兩組的t值為2.940，而p值為0.005也是小於顯著水準0.05，所以兩組延宕測驗的答對率仍然會受到教學處置的不同而達到顯著差異，因此強調巨觀、微觀等不同

面向的多重表徵教學結果顯示有助於學習者理解化學平衡的突現過程本體屬性。

表4-2-3 兩組組間獨立樣本t考驗

	t值	顯著性
後測測驗	4.105***	0.000
延宕測驗	2.940**	0.005

：p< 0.01；*：p< 0.001

四、各突現本體屬性之分析

本研究的本體問卷中所出現的突現本體屬性共有五個，依序為：一致性、隨機性、持續性、同時性、非目的性，接下來我們分別檢視這些突現本體屬性在不同教學處置下所得到的兩組答對率情形、將兩組作答情形進行統計分析，看看是否達顯著差異、最後計算出兩組學生在不同階段具有該突現本體屬性的人數以及百分比。

1.一致性

所謂的「一致性」指的是在反應的過程中，所有的粒子都是一樣的，每一個粒子發生變化的機率是相等而沒有差異，不會有一些粒子較容易產生反應。關於兩組在一致性的答對率情形如圖 4-2-3 所示，多重表徵教學組與對照組在教學前大約只有 45% 的學生具有一致性的本體屬性概念，經過教學後多重表徵教學組增加到七成的比例，而對照組的進步幅度則是較小的，到了延宕測驗階段，不管是多重表徵教學組或是對照組都有發生概念回歸的現象。

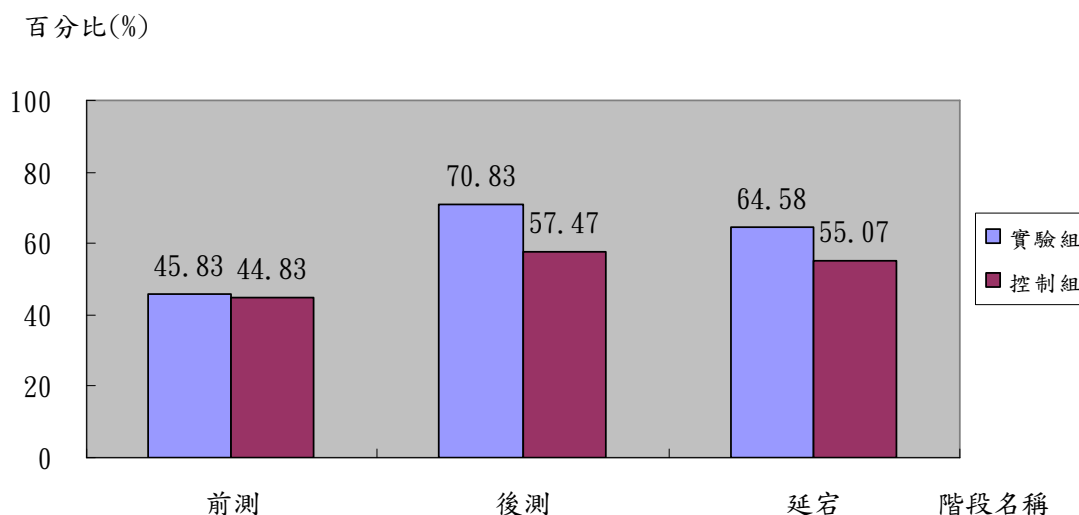


圖 4-2-3 兩組在一致性的答對率比較

進行共變數分析比較兩組在一致性的作答情形，結果如表4-2-4所示：兩組學生在後測與延宕測驗階段的p值分別為0.025、0.746，其中後測階段的p值小於0.05顯著水準，粒子本體問卷中的「一致性」屬性在兩組後測階段的表現有達顯著差異。

表4-2-4 兩組間一致性共變數分析

	F值	顯著性
後測測驗	5.284*	0.025
延宕測驗	0.106	0.746

*：p < 0.05

由於粒子本體問卷共有三題平行題，其中每題平行題內皆包含一致性、隨機性、持續性、同時性、非目的性等五種突現本體屬性，為了方便計算在前測、後測、延宕測驗這三個階段中具有任一種突現本體屬性的學生人數，因此我們採用的是多數決的方式，就是問卷中每種突現本體屬性會有三次出現的機會，只要某位學生選擇此突現本體屬性的次數大於或等於二，我們就認定他已經具有這個突現本體屬性的概念。

根據如此的計算方式，得到兩組學生在不同階段具有「一致性」突現本體屬性的百分比如圖4-2-4，其中多重表徵教學組在前測、後測、延宕測驗階段的比例與對應人數分別為47%(15)、69%(22)、56%(18)，而對照組方面則是41%(12)、62%(18)、55%(16)，兩組學生具有此突現本體屬性的比例皆未超過70%，顯示學生還是不太具有下列的概念：在反應的過程中，所有的粒子都是一樣的，不會有一些粒子具有特定的行為表現。

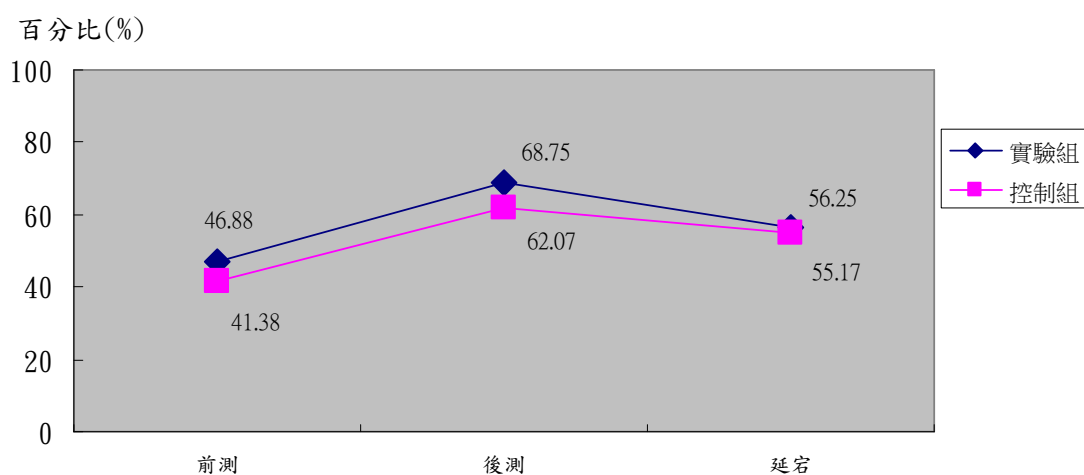


圖 4-2-4 不同階段具有「一致性」屬性的學生百分比

2.隨機性

所謂的「隨機性」指的是在反應的過程中，所有粒子的結合與分離、粒子之間的運動都是隨機而沒有方向性的，自然也無從預測下一刻會是哪些粒子發生反應。關於兩組在隨機性的答對率情形如圖 4-2-5 所示，多重表徵教學組與對照組在教學前有超過 40% 的學生具有隨機性的本體屬性概念，經過教學後，多重表徵教學組增加到 75% 的比例，而對照組只增加到 62%，到了延宕測驗階段，不管是多重表徵教學組或是對照組都有發生概念回歸的現象，但是多重表徵教學組依然能夠維持在 73%，相較於對照組而言，多重表徵教學組概念回歸的幅度不大。

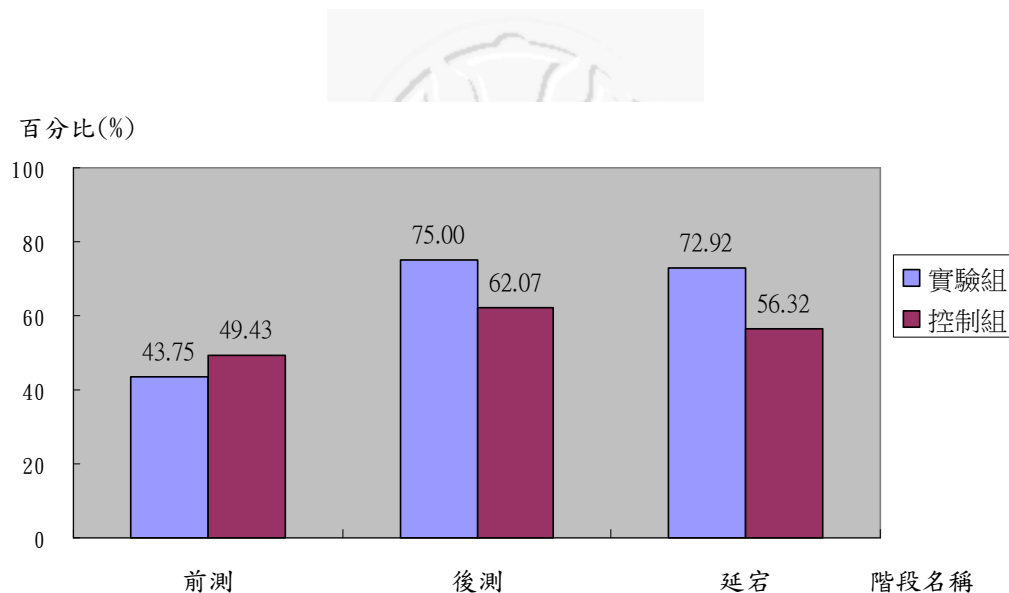


圖 4-2-5 兩組在隨機性的答對率比較

進行共變數分析比較兩組在隨機性的作答情形，結果如表4-2-5所示：兩組學生在後測與延宕測驗階段的p值分別為0.004、0.001，兩階段的p值均小於0.05顯著水準，粒子本體問卷中的「隨機性」屬性在兩組後測、延宕測驗階段的表現皆有達顯著差異。

表 4-2-5 兩組間隨機性共變數分析

	F值	顯著性
後測測驗	9.006**	0.004
延宕測驗	11.390**	0.001

**：p < 0.01

既然經由教學後，「隨機性」本體屬性在兩組的後測、延宕測驗階段皆有達顯著差異，那麼兩組具有「隨機性」屬性的人數百分比又會如何呢？如圖4-2-6所示：多重表徵教學組在前測、後測、延宕測驗階段的比例與對應人數分別為45%(13)、84%(27)、81%(26)，而對照組方面則是41%(13)、69%(20)、59%(17)，多重表徵教學組學生經由教學後，不論是在後測或延宕測驗階段具有此突現本體屬性的比例都有超過80%，顯示多重表徵教學組大多數學生透過多重表徵的教學已能習得「隨機性」的本體屬性。

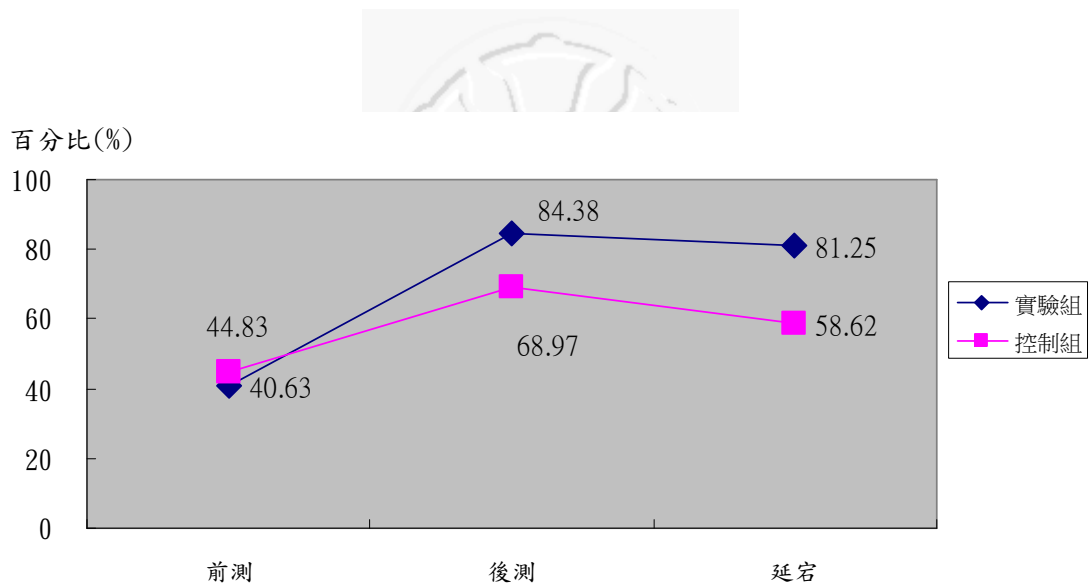


圖 4-2-6 不同階段具有「隨機性」屬性的學生百分比

3.持續性

所謂的「持續性」指的是在反應的過程中，粒子的運動是不會停止的，每一個粒子都仍然不停地在運動、不停地在結合與分離。關於兩組在持續性的答對率情形如圖 4-2-7 所示，多重表徵教學組與對照組在教學前都有超過半數的學生已具有持續性的本體屬性概念，經過教學之後多重表徵教學組增加到 82%，而且延宕測驗階段還是仍然有維持在 80% 的比例，至於對照組在後測的表現有達到 70% 的水準，但是到了延宕測驗則是發生概念回歸的現象，百分比減少到 64%。

進行共變數分析比較兩組在持續性的作答情形，結果如表 4-2-6 所示：兩組學生在後測與延宕測驗階段的 p 值分別為 0.053、0.012，延宕測驗階段的 p 值有小於 0.05 顯著水準，粒子本體問卷中的「持續性」屬性在兩組延宕測驗階段的表現有達顯著差異。

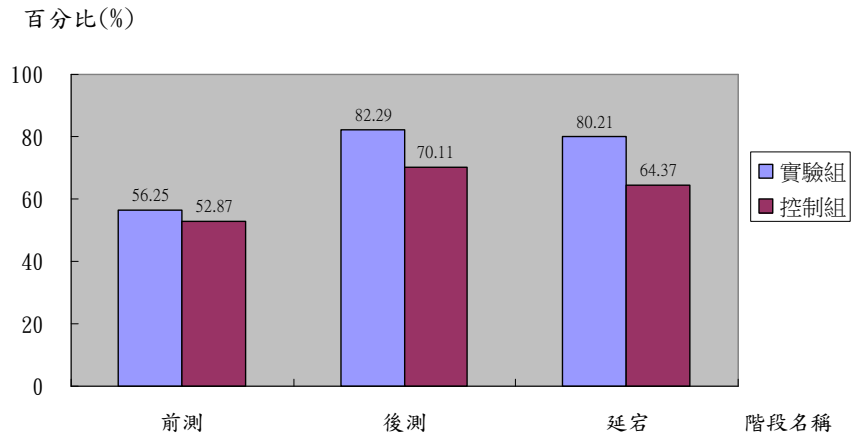


圖 4-2-7 兩組在持續性的答對率比較

表 4-2-6 兩組間持續性共變數分析

	F值	顯著性
後測測驗	3.911	0.053
延宕測驗	6.753*	0.012

* : $p < 0.05$

兩組具有「持續性」屬性的人數百分比如圖4-2-8所示：多重表徵教學組在前測、後測、延宕測驗階段的比例與對應人數分別為59%(19)、90%(29)、87%(28)，而對照組方面則是52%(15)、72%(21)、66%(19)，多重表徵教學組學生經由教學後，在後測階段具有此突現本體屬性的比例已高達90%，顯示多重表徵教學組的多重表徵教學對於學生學習此本體屬性是優於對照組的。

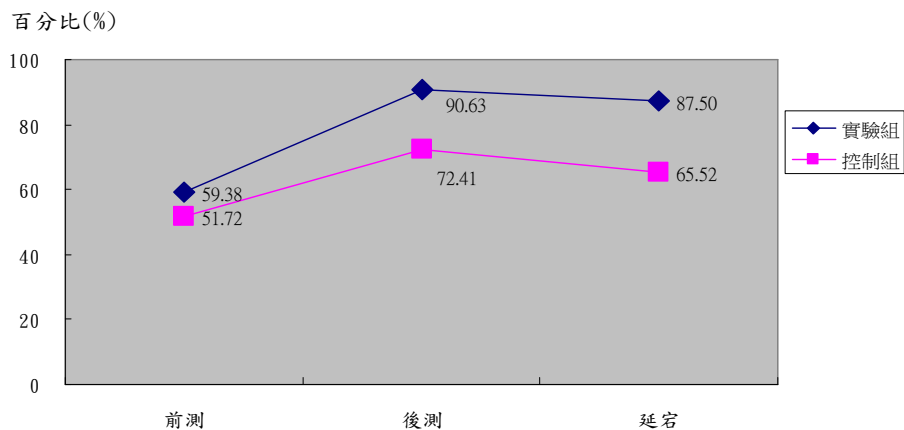


圖 4-2-8 不同階段具有「持續性」屬性的學生百分比

4.同時性

所謂的「同時性」指的是在反應的過程中，粒子之間的運動或是粒子之間的結合和分離都是同時進行的，也就是並非屬於次序性的關係。至於兩組在同時性的答對率情形如圖 4-2-9 所示，多重表徵教學組與對照組在教學前大約都是 47 %的學生具有同時性的本體屬性概念，經過教學後多重表徵教學組增加到七成的比例，而對照組的進步幅度相對上是較小的，只有達到 62%的水準，到了延宕測驗階段，不管是多重表徵教學組或是對照組都有發生概念回歸的現象。

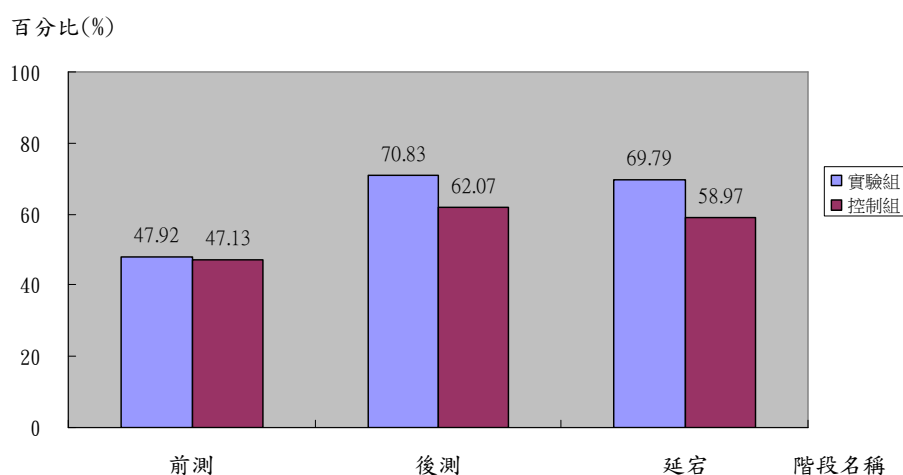


圖 4-2-9 兩組在同時性的答對率比較

進行共變數分析比較兩組在同時性的作答情形，結果如表4-2-7所示：兩組學生在後測與延宕測驗階段的p值分別為0.069、0.917，後測、延宕測驗階段的p值皆未小於0.05顯著水準，粒子本體問卷中的「同時性」屬性在兩組後測、延宕測驗階段的表現均未達顯著差異。

表 4-2-7 兩組間同時性共變數分析

	F值	顯著性
後測測驗	3.435	0.069
延宕測驗	0.011	0.917

兩組具有「同時性」屬性的人數百分比如圖4-2-10所示：多重表徵教學組在前測、後測、延宕測驗階段的比例與對應人數分別為45%(14)、75%(24)、75%(24)，而對照組方面則是44%(13)、72%(21)、62%(18)，雖然兩組學生經由教學後，進步的幅度相當接近沒有太大的差別，但是在延宕階段多重表徵教學組沒有發生概念回歸的情形，而對照組方面則是下降了10%。

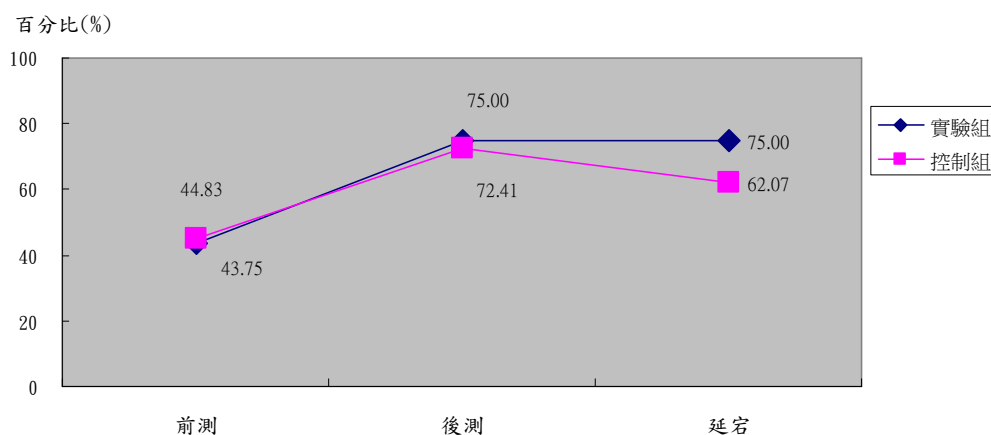


圖 4-2-10 不同階段具有「同時性」屬性的學生百分比

5.非目的性

所謂的「非目的性」指的是在反應的過程中，粒子之間隨機運動的淨效應造成巨觀上的反應方向，也就是說無法從個別粒子的運動方向來推測出整體反應進行的方向。至於兩組在非目的性的答對率情形如圖 4-2-11 所示，多重表徵教學組與對照組在教學前大約只有兩成的學生具有非目的性的本體屬性概念，經過教學後多重表徵教學組增加到將近六成的比例，而對照組的進步幅度相對上較小，只有達到 47% 的水準，到了延宕測驗階段，不管是多重表徵教學組或是對照組都有發生概念回歸的現象，另外，多重表徵教學組與對照組兩組學生在前測、後測、延宕測驗三個階段的答對率都未超過 60%，非目的性本體屬性是這五種突現本體屬性中學生作答情形表現最差的。

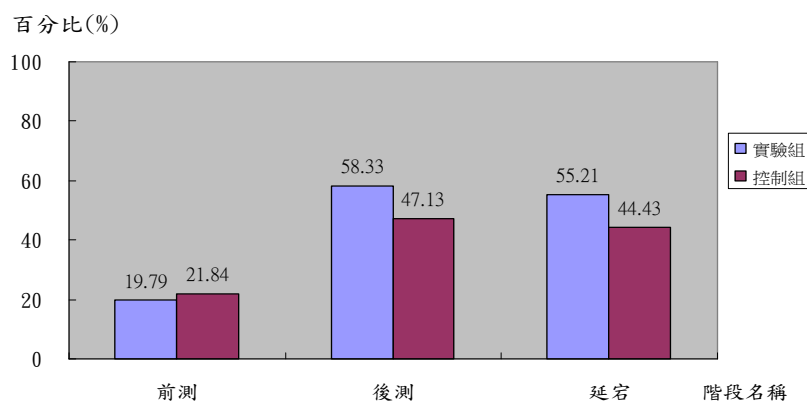


圖 4-2-11 兩組在非目的性的答對率比較

進行共變數分析比較兩組在非目的性的作答情形，結果如表4-2-8所示：兩組學生在後測與延宕測驗階段的p值分別為0.034、0.230，後測階段的p值有小於0.05顯著水準，代表粒子本體問卷中的「非目的性」屬性在兩組後測階段的表現有達到顯著差異。

表 4-2-8 兩組間非目的性共變數分析

	F值	顯著性
後測測驗	4.718*	0.034
延宕測驗	1.475	0.230

*：p<0.05

兩組具有「非目的性」屬性的人數百分比如圖4-2-12所示：多重表徵教學組在前測、後測、延宕測驗階段的比例與對應人數分別為21%(6)、53%(17)、50%(16)，而對照組方面則是19%(6)、45%(13)、38%(11)，兩組學生即使經由教學後，全班具有此本體屬性概念的比例仍然未超過60%，而且在延宕階段兩組都有發生概念回歸的現象，顯示不論是多重表徵教學組還是對照組學生都很難對此產生成功跨越本體的情形。

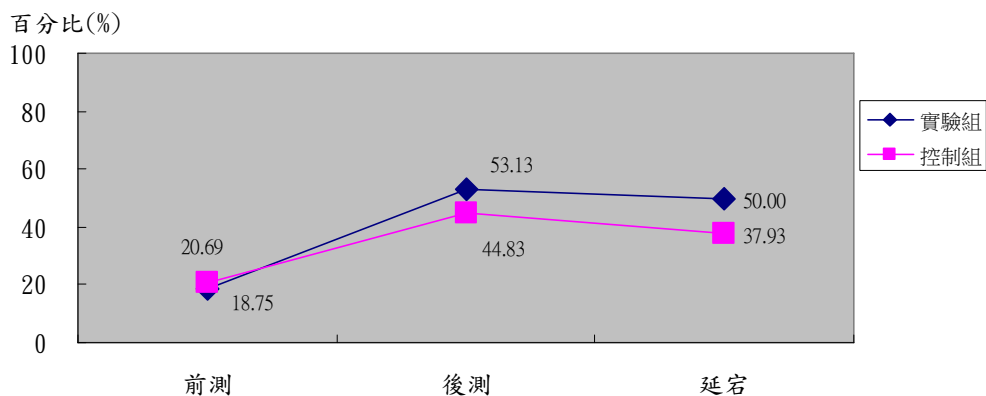


圖 4-2-12 不同階段具有「非目的性」屬性的學生百分比

五、概念問卷與粒子本體問卷之間的學習成就相關分析

在第一節的概念問卷分析中，二組學生的概念經由教學後都有所成長，而且多重表徵教學組與對照組在後測階段有達顯著差異，而在本節的本體問卷中發現：兩組學生經過教學後，對於粒子的概念本體不但有所成長，而且兩組在後測與延宕測驗階段都有達到顯著差異。概念的學習與本體屬性的學習是否彼此之間有存在相關性呢？將兩組共 61 位參與學生每次的概念問卷成績與每次的本體問卷成績做皮爾遜相關檢定，所得結果如表 4-2-9 所示。

表 4-2-9 概念問卷成績與每次對應的本體問卷成績之皮爾遜相關分析

	前測本體問卷	後測本體問卷	延宕本體問卷
前測概念問卷	r=0.027		
後測概念問卷		r=0.089	
延宕概念問卷			r=0.093

於上表中發現：學生的概念問卷成績與每次對應的本體問卷成績，在前測、後測、延宕測驗階段均沒有明顯的相關(p 值依序為 0.243、0.107、0.082)，代表每個測驗階段學生概念本體與科學概念成就之間無直接相關關係存在。



第三節 化學平衡之心智模式

學生在解釋現象或解決問題時，心中會形成一個心智模式。在前二節的部分我們已經探討了學生對化學平衡的概念表現、粒子本體概念的想法，接下來我們想要知道的是學生在化學平衡這個單元所持有的心智模式類型有哪些以及這些類型是否會因為教學的緣故而有所調整改變，因此本小節是先介紹各種心智模式的類型再來探討分析比較所得到的結果。

一、各種心智模式類型介紹：

1. 靜止模式

所謂靜止模式指的是學生認為當化學可逆反應達到平衡時，代表反應已經進行到終點的狀態，所以全部的反應物和生成物都停止下來並且不再發生任何變化。

以圖 4-3-1 為例說明，持有靜止心智模式的學生會認為當 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ 的反應達到化學平衡時，再將含有放射性的氧氣放入反應容器中，經過一段時間後具有放射性的氧原子並不會發生與其它物質結合的現象，所以還是原封不動地存在反應容器內。

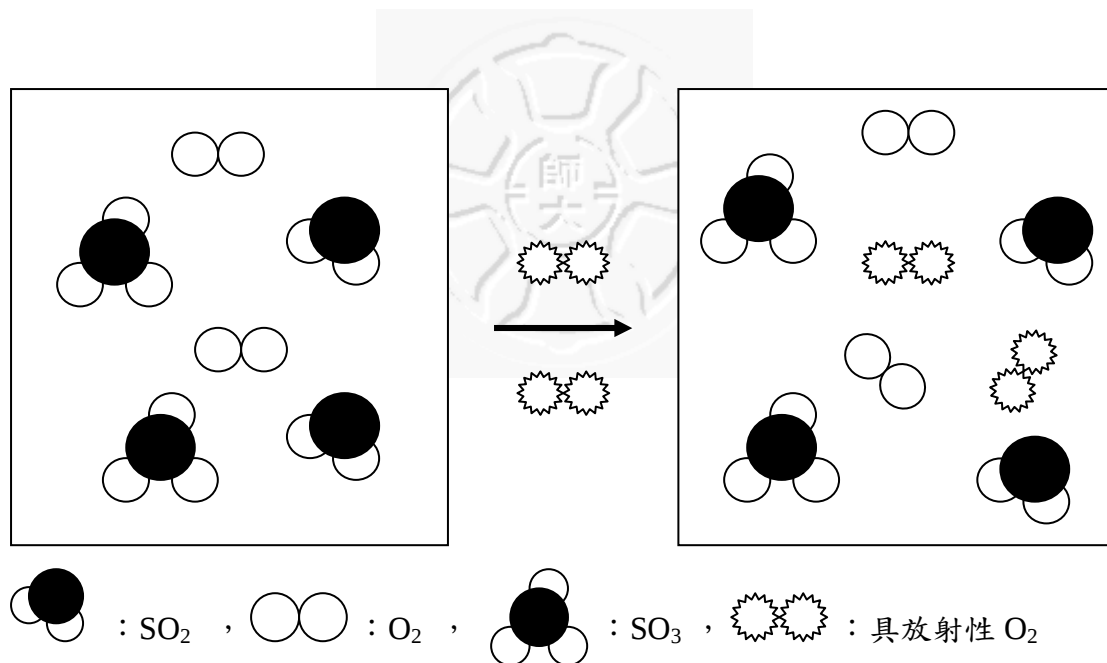


圖 4-3-1 靜止心智模式示意圖

以下為學生的口語資料舉例：

R：當碳酸鈣和稀鹽酸分別加入錐形瓶中，並且以橡皮塞蓋住錐形瓶，你覺得會觀察到什麼現象？

S3：會看到有二氧化碳氣泡冒出來。

R：氣泡是否會一直冒出呢？

S3：不會，一開始氣泡比較多，但經過一段時間後，就看不到任何的氣泡了。

R：那氣體不再生成時，代表什麼意思？

S3：就是反應停止了Y，所以才不會繼續看到氣泡。

(R：研究者；S3：標的學生前測)

分析靜止模式在兩組學生所占的百分比如圖 4-3-2 可以發現：教學前兩組各約有三成左右的學生對於化學平衡是抱持靜止模式的，經過教學之後多重表徵組只剩下 12.5% 的學生還保有此想法，對照組學生在後測與延宕測驗部分對於化學平衡是屬於靜止模式的比例都比多重表徵教學組略高出三個百分比。

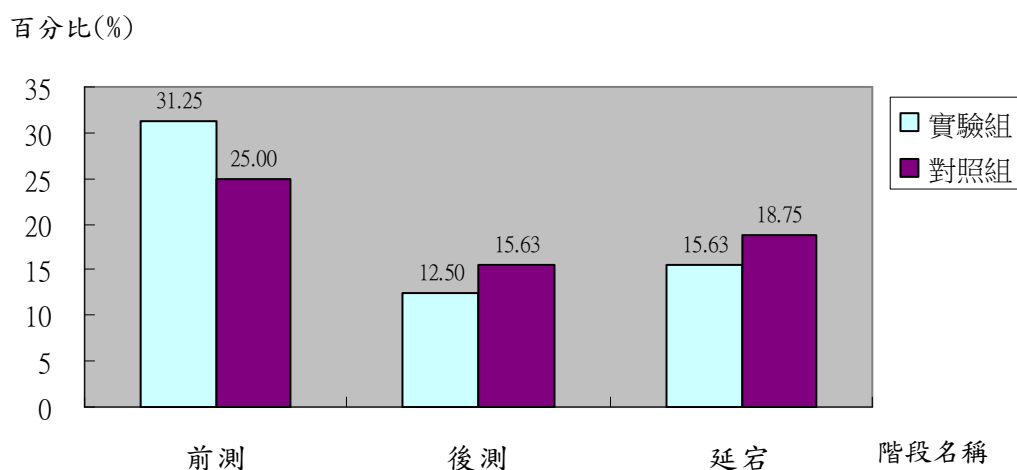


圖 4-3-2 兩組靜止模式在各階段的百分比

2.單向模式

所謂單向模式指的是學生對於化學平衡並沒有雙向可逆的想法，只是將化學平衡反應視為單純的一般化學反應罷了，所以當化學反應達到平衡時，代表如果額外新增反應物的話，反應此時就會往某一方向繼續進行。

以圖 4-3-3 為例說明，持有單向心智模式的學生會認為當 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ 的反應達到化學平衡時，再將含有放射性的氧氣放入反應容器中，藉由追蹤具有放射性氧原子的位置來推測反應進行的過程，經過一段時間後具有放射性的氧原子會發生與特定物質結合的現象，最後在 SO_3 的分子上可以看到放射性氧原子的存在。

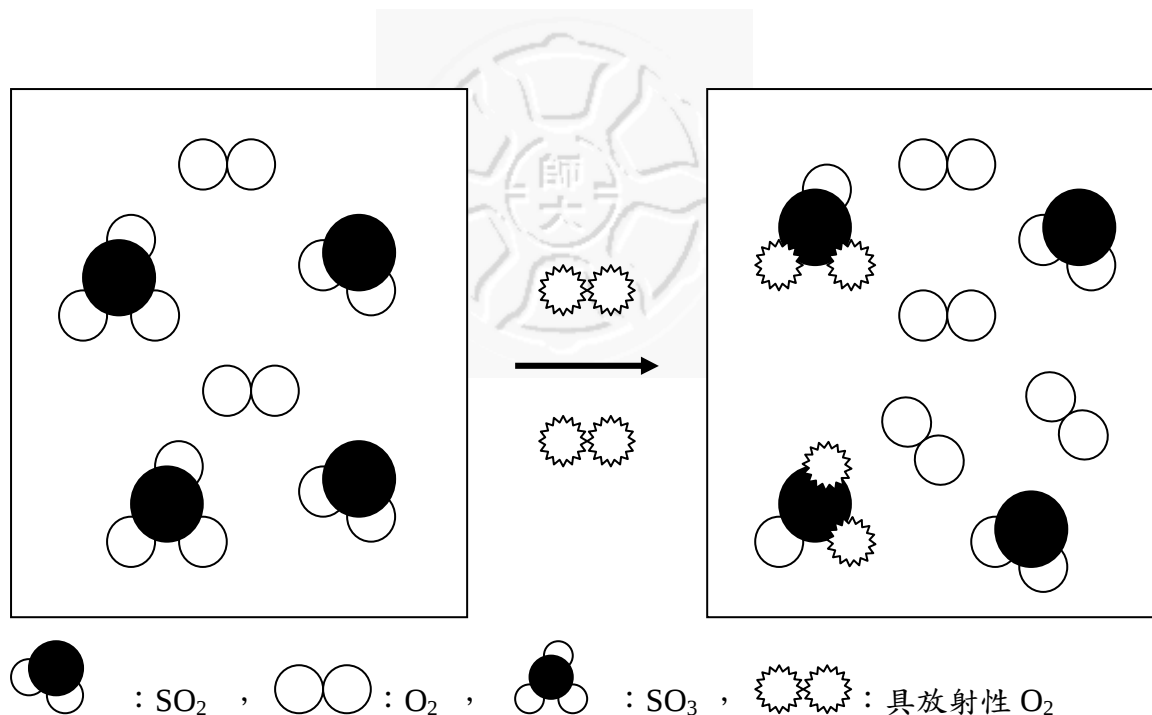


圖 4-3-3 單向心智模式示意圖

以下為學生的口語資料舉例：

R：現在於密閉的透明容器中加入 CO 和 NO_2 氣體，經過一段長時間後，容器內部會存在哪些物質？

S1：會有生成物 CO_2 和 NO 產生，如果反應物沒有用完的話，當然也會有 CO 和 NO_2 氣體在容器中。

R：如果一開始 CO 中的氧原子具有放射性的話，結果會如何？

S1：那就會跑到生成物的身上去。

R：什麼意思？可以詳細一點嗎？

S1：就是 CO_2 和 NO 的身上可以找到具有放射性的氧原子。

(R：研究者；S1：標的學生前測)

分析單向模式在兩組學生所占的百分比如圖 4-3-4 可以發現：在教學前兩組都有超過四成的學生會將化學平衡反應視為一般的化學反應，也就是認為化學平衡如同一般的化學反應是屬於單向的反應，其中這個現象在多重表徵教學組更高達六成的比例，然而經過教學後，不管是多重表徵教學組還是對照組在單向模式

的比例上都有顯著的下降，所以在後測或延宕測驗大約都只剩下兩成左右的比例而已。

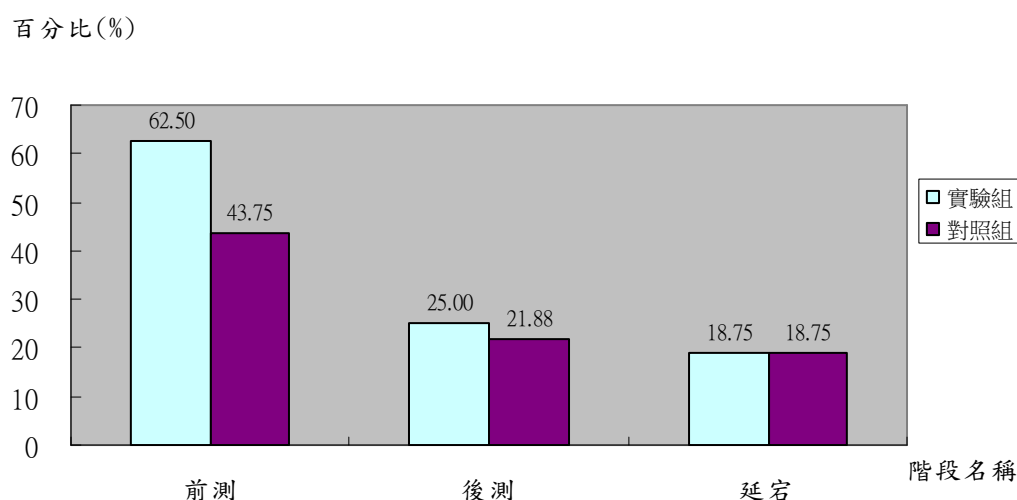
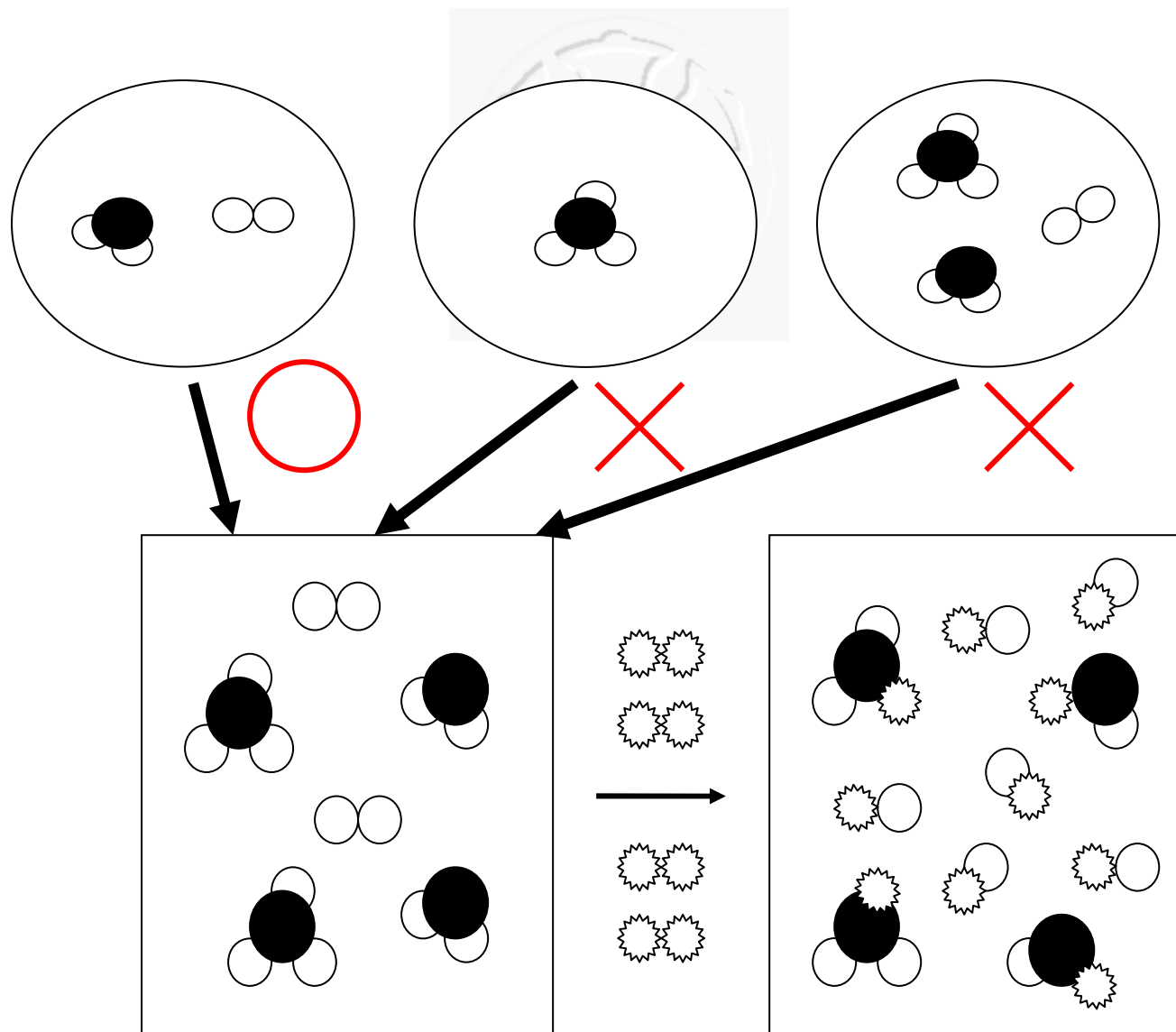


圖 4-3-4 單向模式在兩組各階段的百分比

3.雙向固定起始模式一

所謂雙向固定起始模式一指的是學生對於化學平衡已經具有雙向可逆的想法，知道達到化學平衡後反應容器中的各物質仍然會不斷進行結合或分離的動作，雖然在外觀上看起來似乎不再有任何的變化發生，只是持有此模式的學生會以為化學平衡必須由反應物這邊開始，也就是一定要先從左邊開始，然後才會達到雙向可逆的結果。

以圖 4-3-5 為例說明，持有雙向固定起始模式一的學生會認為當 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ 的反應達到化學平衡時，再將含有放射性的氧氣放入反應容器中，經過一段時間後具有放射性的氧原子會發生與任何物質結合或分離的現象，因此最後在所有的分子上都有可能看到放射性氧原子的存在，但是圖形上方的三個選項中只有最左邊的選項是可行的，因為它代表一開始反應容器中必須存在方程式左邊的物質，如此才能夠造成反應開始發生。



註 1：●○： SO_2 ，○○： O_2 ，●○： SO_3 ，●●：具放射性 O_2

註 2：○：框框內的組合可發生反應；×：框框內的組合無法發生反應

圖 4-3-5 雙向固定起始模式一示意圖

以下為學生的口語資料舉例：

R：現在於密閉的透明容器中加入 CO 和 NO_2 氣體，經過一段長時間後，容器內部會存在哪些物質？

S2：會有生成物 CO_2 和 NO 存在，也會有 CO 和 NO_2 氣體在容器中。

R：如果一開始 CO 中的氧原子具有放射性的話，結果會如何？

S2：那，所有物質中的氧原子都有可能具有放射性。

R：為什麼？可以詳細一點嗎？

S2：因為粒子碰撞後，放射性的氧原子可能出現在任何物質上。

R：如果要達到這個反應的平衡，一開始要有哪些物質存在？

S2：一定要有反應物 CO 和 NO₂ 存在。

R：除了你剛剛說的之外，還有其它選項嗎？

S2：沒了吧，反應不是都是從左發生的嗎？

(R：研究者；S2：標的學生前測)

分析雙向固定起始模式一在兩組學生所占的百分比如圖 4-3-6 可以發現：在教學前多重表徵教學組有超過四成幾乎快達到五成比例的學生會擁有如此的心智模式，雖然對照組方面一開始的比例只佔 25%相對上較低，然而經過教學後，多重表徵教學組下降了十五個百分點之後大致維持在三成多左右，可是對照組反而在教學後呈現上升的趨勢，尤其延宕測驗的表現更是明顯的增加。

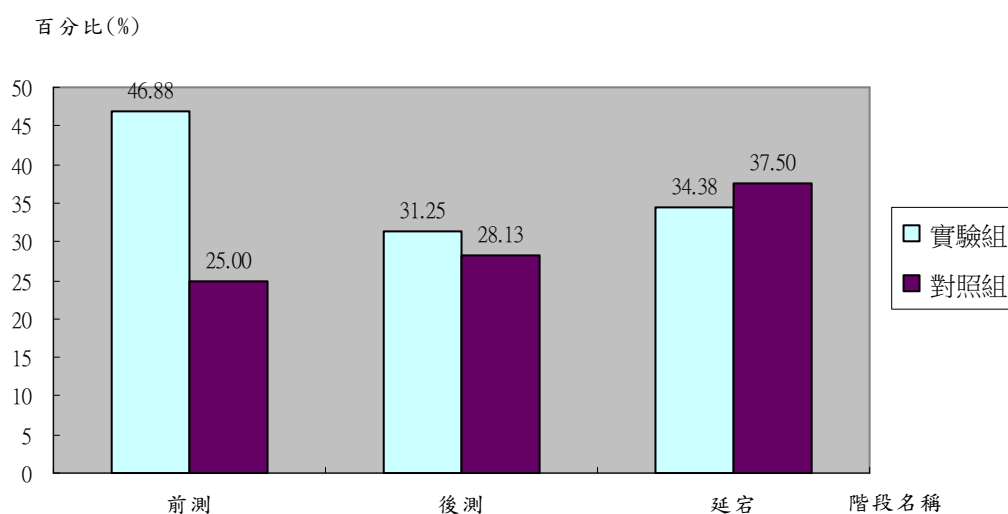
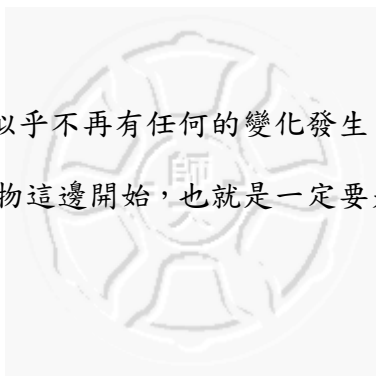


圖 4-3-6 兩組雙向固定起始模式一在各階段的百分比

4.雙向固定起始模式二

所謂雙向固定起始模式二指的是學生對於化學平衡已經具有雙向可逆的想法，知道達到化學平衡後反應容器中的各物質仍然會不斷進行結合或分離的動

作，雖然在外觀上看起來似乎不再有任何的變化發生，只是持有此模式的學生會以為化學平衡必須由生成物這邊開始，也就是一定要先從右邊開始，然後才會達到雙向可逆的結果。



以圖 4-3-7 為例說明，持有雙向固定起始模式二的學生會認為當 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ 的反應達到化學平衡時，再將含有放射性的氧氣放入反應容器中，經過一段時間後具有放射性的氧原子會發生與任何物質結合或分離的現象，因此最後在所有的分子上都可能看到放射性氧原子的存在，但是圖形上方的三個選項中只有中間的選項是可行的，因為它代表一開始反應容器中必須存在方程式右邊的物質，如此才能夠造成反應開始發生。

以下為學生的口語資料舉例：

R：現在於密閉的透明容器中存在 CO_2 、 NO 、 CO 和 NO_2 這四種氣體，如果一開始 CO 氣體中的氧原子具有放射性的話，結果會如何？

S6：如果這樣子的話，那全部物質中的氧原子都可能具有放射性。

R：為什麼？可以詳細一點嗎？

S6：反正就是發生碰撞後，放射性的氧原子可能出現在任何物質上。

R：如果要達到這個反應的平衡，一開始要有哪些物質存在？

S6：一定要有生成物 CO_2 和 NO 存在。

R：可以說明你的理由嗎？

S6：因為我覺得化學平衡好像跟之前學的概念是很不一樣的。

(R：研究者；S6：標的學生前測)

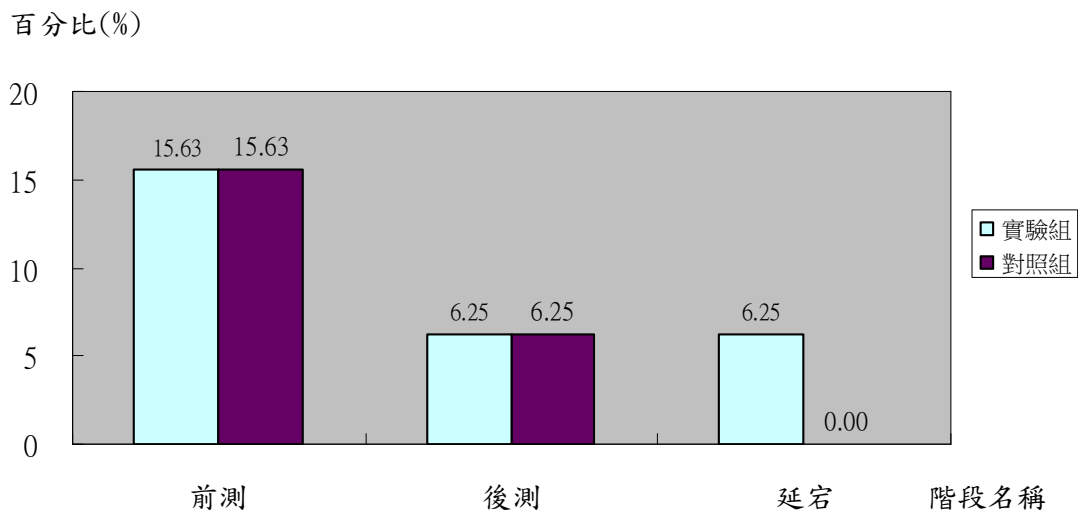
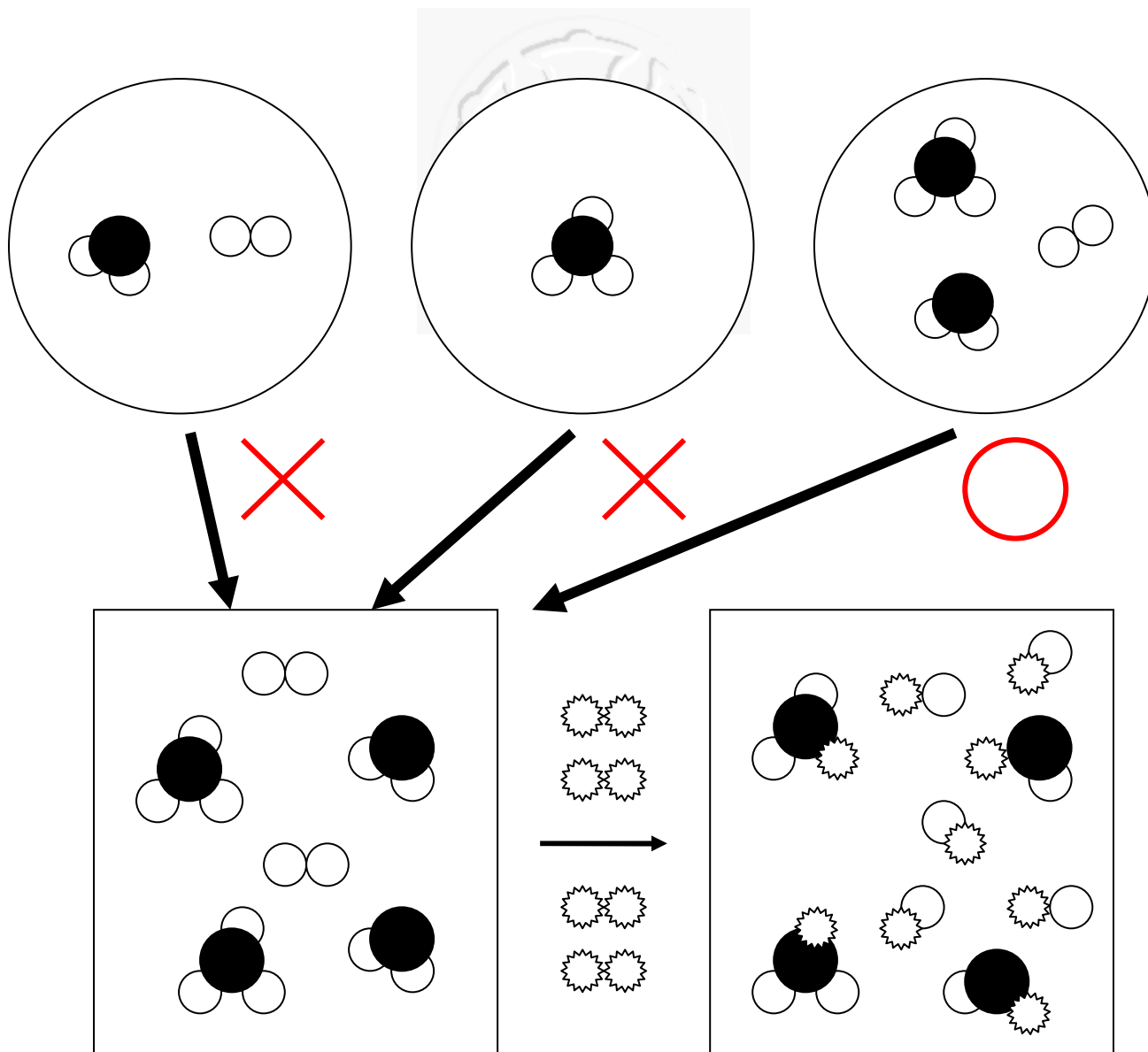


圖 4-3-8 雙向固定起始模式二在兩組各階段的百分比

5. 雙向固定起始模式三

所謂雙向固定起始模式三指的是學生對於化學平衡已經具有雙向可逆的想法，知道達到化學平衡後反應容器中的各物質仍然會不斷進行結合或分離的動作，雖然在外觀上看起來似乎不再有任何的變化發生，只是持有此模式的學生會以為化學平衡一開始一定要反應物和生成物等所有物質都存在的情況下，然後才會達到雙向可逆的結果。

以圖 4-3-9 為例說明，持有雙向固定起始模式二的學生會認為當 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ 的反應達到化學平衡時，再將含有放射性的氧氣放入反應容器中，經過一段時間後具有放射性的氧原子會發生與任何物質結合或分離的現象，因此最後在所有的分子上都可能看到放射性氧原子的存在，但是圖形上方的三個選項中只有最右邊的選項是可行的，因為它代表一開始反應容器中必須存在方程式左、右邊的所有物質，如此才能夠造成反應開始發生。



註 1： : SO_2 , : O_2 , : SO_3 , : 具放射性 O_2

註 2： : 框框內的組合可發生反應； : 框框內的組合無法發生反應

圖 4-3-9 雙向固定起始模式三示意圖

以下為學生的口語資料舉例：

R：現在於密閉的透明容器中存在 CO_2 、 NO 、 CO 和 NO_2 這四種氣體，如果一開始 CO 氣體中的氧原子具有放射性的話，結果會如何？

S9：如果這樣子的話，那全部物質中的氧原子都可能具有放射性。

R：為什麼？可以詳細一點嗎？

S9：那個氧原子經由碰撞後可能出現在任何物質上。

R：如果要達到這個反應的平衡，一開始要有哪些物質存在？

S9：一開始全部的物質都要有才行。

R：可以說明你的理由嗎？

S9：這樣子每種東西發生碰撞的機會才會相等Y。

(R：研究者；S9：標的學生前測)

分析雙向固定起始模式三在兩組學生所占的百分比如圖 4-3-10 可以發現：在教學前對照組具有四成比例的學生持有這種模式，而多重表徵教學組部分則略低一些只有三成左右，經過多重表徵教學之後多重表徵教學組學生的比例降低至 12.5%，明顯較原先少了一半，雖然對照組在後測方面比例上也降低不少，可是延宕測驗的概念回歸現象還滿嚴重的。

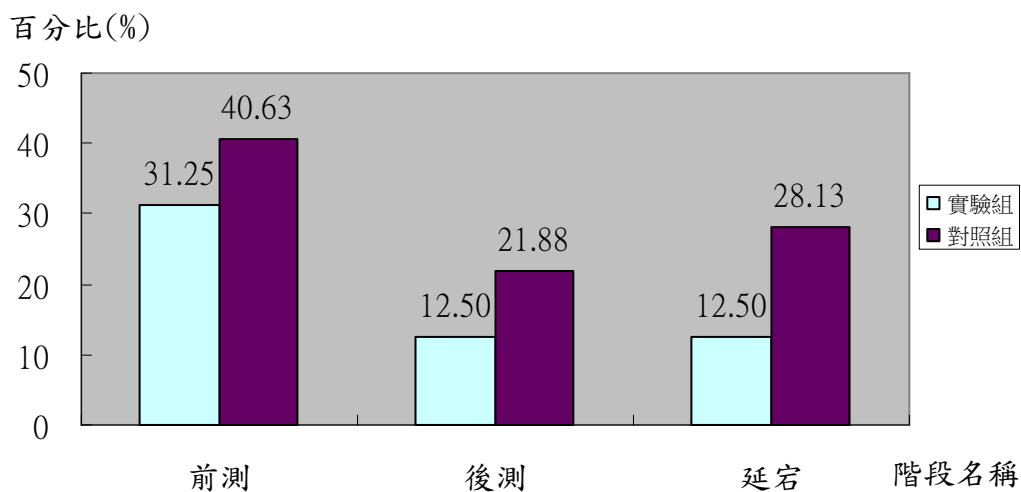


圖 4-3-10 雙向固定起始模式三在兩組各階段的百分比

6.雙向任意起始模式



學生知道達到化學平衡後反應容器中的各物質仍然會不斷進行結合或分離的動作，雖然在外觀上看起來似乎不再有任何的變化發生，而且持有此模式的學生也知道化學平衡可以由任何一方開始，然後達到雙向可逆的結果。

以圖 4-3-11 為例說明，持有雙向任意起始模式的學生會認為當 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ 的反應達到化學平衡時，再將含有放射性的氧氣放入反應容器中，經過一段時間後具有放射性的氧原子會發生與任何物質結合或分離的現象，因此最後在所有的分子上都可能看到放射性氧原子的存在，而且圖形上方的三個選項都是可行的，因為化學平衡可以由任何一方開始，然後達到雙向可逆的結果。

以下為學生的口語資料舉例：

R：現在於密閉的透明容器中加入 CO 和 NO_2 氣體，經過一段長時間後，容器內部會存在哪些物質？

S2：會有生成物 CO_2 和 NO 存在，也會有 CO 和 NO_2 氣體在容器中。

R：如果一開始 CO 中的氧原子具有放射性的話，結果會如何？

S2：全部物質中的氧原子都有可能具有放射性。

R：為什麼？可以詳細一點嗎？

S2：因為粒子碰撞後，放射性的氧原子可能出現在任何物質上。

R：如果要達到這個反應的平衡，一開始要有哪些物質存在？

S2：要有反應物 CO 和 NO_2 存在。

R：除了你剛剛說的之外，還有其它選項嗎？

S2：有，剛剛反應是從左向右，其實反應也可以從右向左開始。

(R：研究者；S2：標的學生後測)

分析雙向任意起始模式在兩組學生所占的百分比如圖 4-3-12 可以發現：在教學前不論多重表徵教學組或是對照組持有此模式的學生比例都不到一成，換算為人數的話大約是兩、三人而已，代表學生很難在化學平衡教學前即持有此正確的科學心智模式，經過教學之後多重表徵教學組學生的比例增加到四成多，並且在延宕測驗表現依然能夠繼續維持，但是對照組學生在後測表現與多重表徵教學組有所差距，而且這個差距在延宕測驗時變得更大。

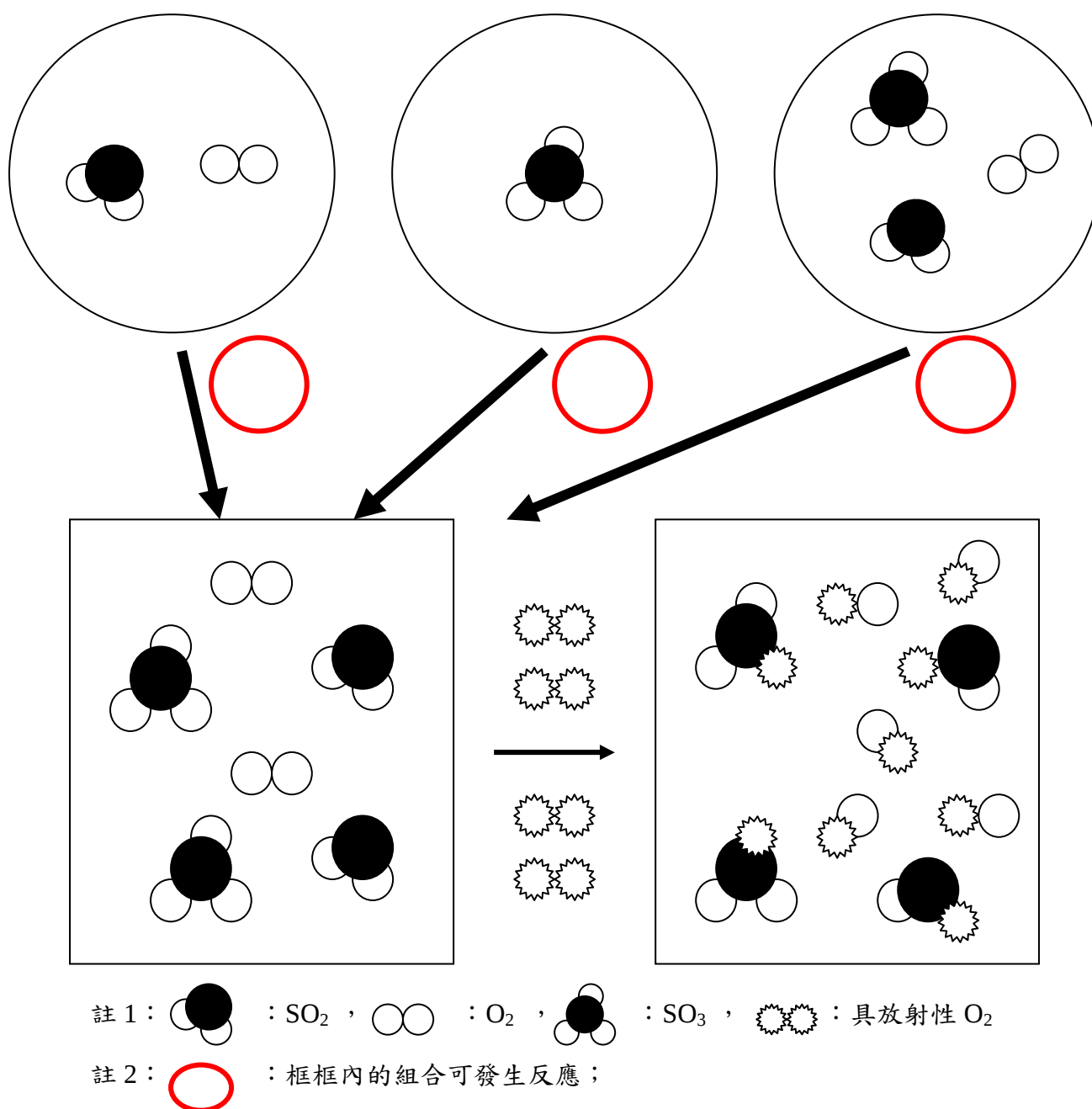


圖 4-3-11 雙向任意起始模式示意圖

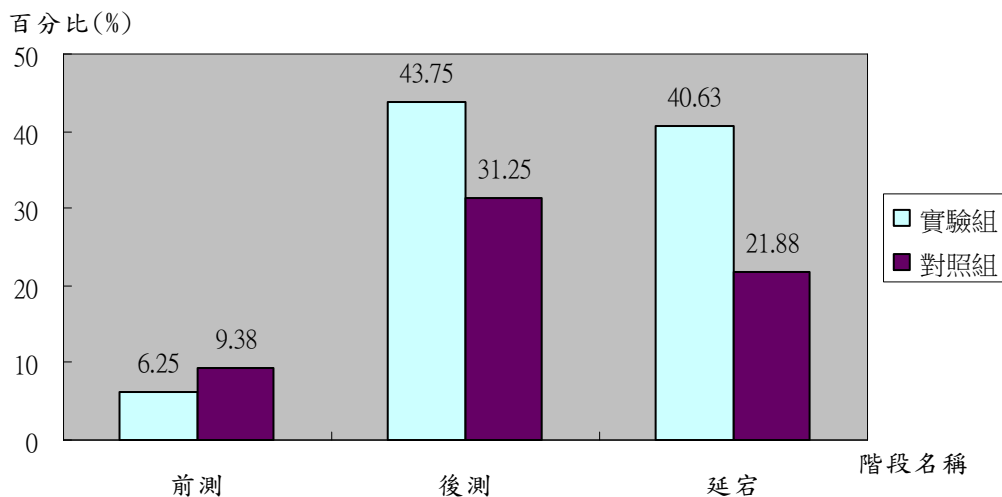


圖 4-3-12 雙向任意起始模式在兩組各階段的百分比

7.現象表面模式

所謂現象表面模式指的是學生利用巨觀的角度來理解化學平衡，由於達到平衡後反應在外觀上看起來便不再有任何的變化，因此持有此模式的學生透過觀察到的現象表面來推斷反應系統內存在何種物質。

以圖 4-3-13 為例說明，持有現象表面模式的學生會認為當 2NO_2 (紅棕色) $\rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ (無色) 的反應達到化學平衡時，因為觀察到顏色從一開始變化到最後紅棕色保持不變，因此推斷此時容器內應該全部都是 NO_2 氣體分子而沒有任何的 N_2O_4 氣體分子，如此才會與看到的現象相符合，另外圖形左邊的框框表示由於 NO_2 為紅棕色的氣體分子，當許多 NO_2 氣體分子聚集在一起時便會造成反應容器呈現一大片紅棕色的效果，但不代表學生此時持有的是連續觀而非粒子觀的想法，在此提出說明以避免誤導大家。

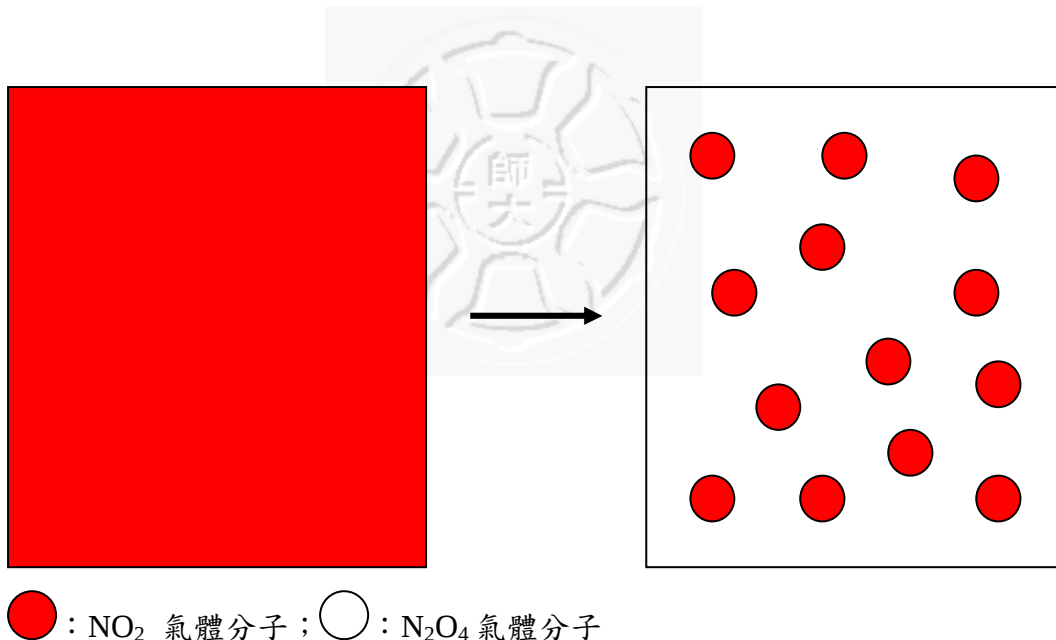


圖 4-3-13 現象表面模式示意圖

以下為學生的口語資料舉例：

R：當注射筒中的紅棕色不再發生變化時，請問為何你的答案是選A？

S7：因為二氧化氮氣體就是紅棕色的，所以當注射筒呈現紅棕色時，代表裡面完全都是二氧化氮氣體。

R：那會有四氧化二氮氣體的存在嗎？

S7：不會吧，題目不是說注射筒最後是紅棕色的顏色了嗎。

(R：研究者；S7：標的學生前測)

分析現象表面模式在兩組學生所占的百分比如圖 4-3-14 可以發現：在教學前多重表徵教學組有高達四成多的學生真的以為紅棕色的外觀代表容器內只有 NO_2 氣體分子，而完全沒有任何的 N_2O_4 氣體分子，對照組方面的比例則是略高於三成，經過教學後兩組的比例都降到只剩一成多而已，而且延宕測驗的時候兩組學生不但沒有發生概念迴歸的情形，持有此錯誤心智模式的人數比例仍然繼續下降，代表經過教學後學生已不再持有此心智模式。

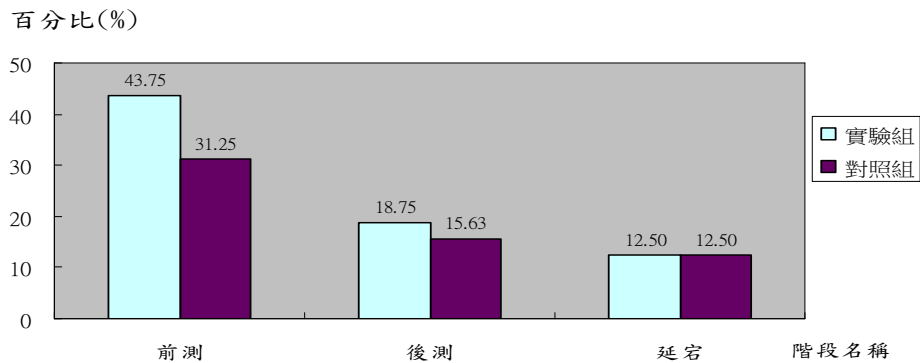
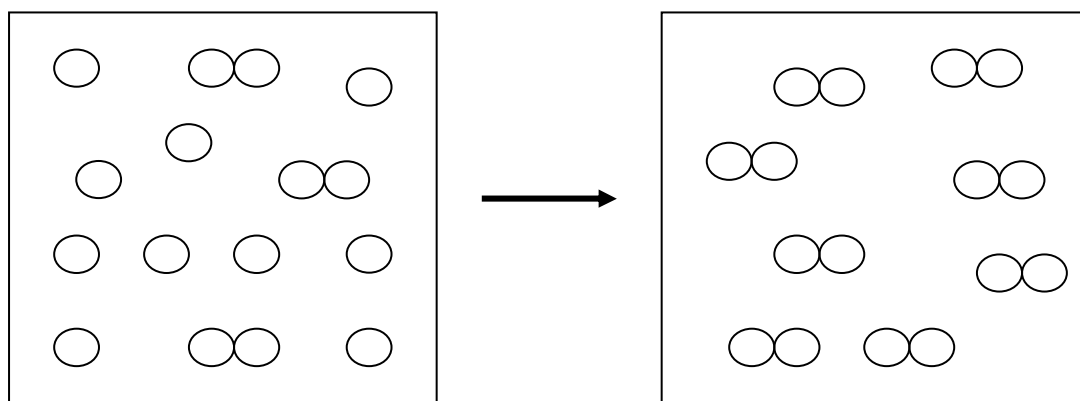


圖 4-3-14 現象表面模式在兩組各階段的百分比

8. 完全反應模式

所謂完全反應模式指的是學生利用一般化學反應的想法來理解化學平衡，他們認為當化學反應達平衡時，代表物質會發生完全轉換的情形，也就是缺乏化學平衡其實是不完全轉換的概念。

以圖 4-3-15 為例說明，持有完全反應模式的學生會認為當 2NO_2 (紅棕色) $\rightleftharpoons$ N_2O_4 (無色) 的反應達到化學平衡時，雖然一開始反應容器中存在 NO_2 與 N_2O_4 兩種氣體分子，但因為 NO_2 氣體分子會發生完全轉換的情形，所以最後在反應容器內只會出現 N_2O_4 氣體分子。



○： NO_2 氣體分子； ○○： N_2O_4 氣體分子

圖 4-3-15 完全反應模式示意圖

以下為學生的口語資料舉例：

R：請問你概念問卷 2-1 題的答案是如何判斷的？

S10：注射筒中的 NO_2 氣體會發生化學反應變成 N_2O_4 。

R：然後呢？

S10：一開始， NO_2 有二莫耳數經過反應後變成一莫耳。

R：你如何知道呢？

S10：由方程式的係數比啊。

R：所以二莫耳的 NO_2 完全反應生成一莫耳的 N_2O_4 ？

S10：沒錯，完全反應產生的。

(R：研究者；S10：標的學生前測)

分析完全反應模式在兩組學生所占的百分比如圖 4-3-16 可以發現：教學前兩組約各有四成左右的比例學生持有此模式，經過教學後雖然兩組的百分比都有下降的趨勢，但是多重表徵教學組的百分比對照組減少一成，至於延宕測驗的表現方面，不論多重表徵教學組或是對照組都是呈現增加的趨勢，也就是都有發生概念回歸的現象，不過多重表徵教學組最後的百分比是較對照組來得低的，代表經過教學後多重表徵教學組方面持有此錯誤模式的人數比例是比較少的。

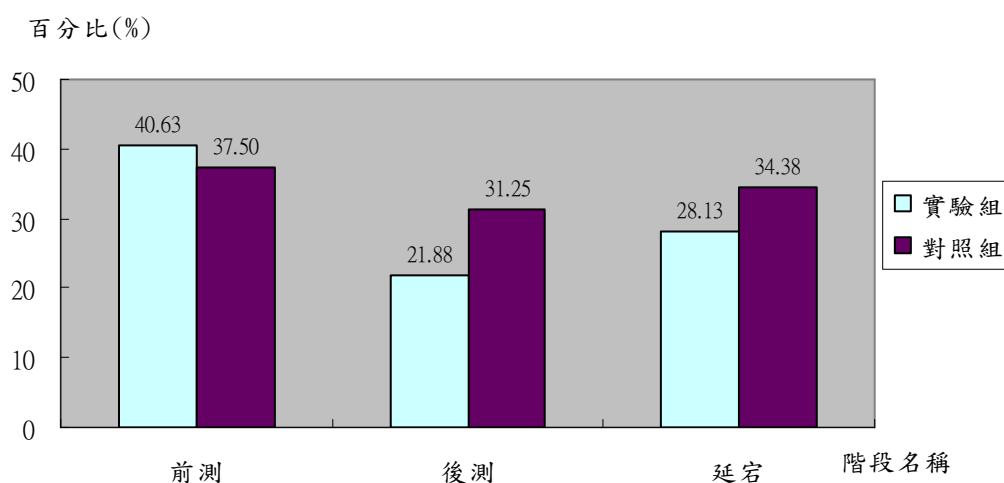


圖 4-3-16 完全反應模式在兩組各階段的百分比

9. 等濃度模式

所謂等濃度模式指的是學生認為化學反應一開始的時候，粒子之間會發生分離與結合的現象，等到化學反應達平衡時，反應物的濃度與生成物的濃度最後會相等。

以圖 4-3-17 為例說明，持有等濃度模式的學生會認為當反應容器內首先加入二氧化氮的氣體分子，這時候粒子之間會有分離與結合的過程，經過一段時間化學反應達平衡後，此時我們可以觀察到容器中二氧化氮與四氧化二氮氣體分子的數目各有六個，在相同體積的條件下這兩種氣體的濃度是一樣的，因此當反應達平衡時反應物的濃度與生成物的濃度會相等。

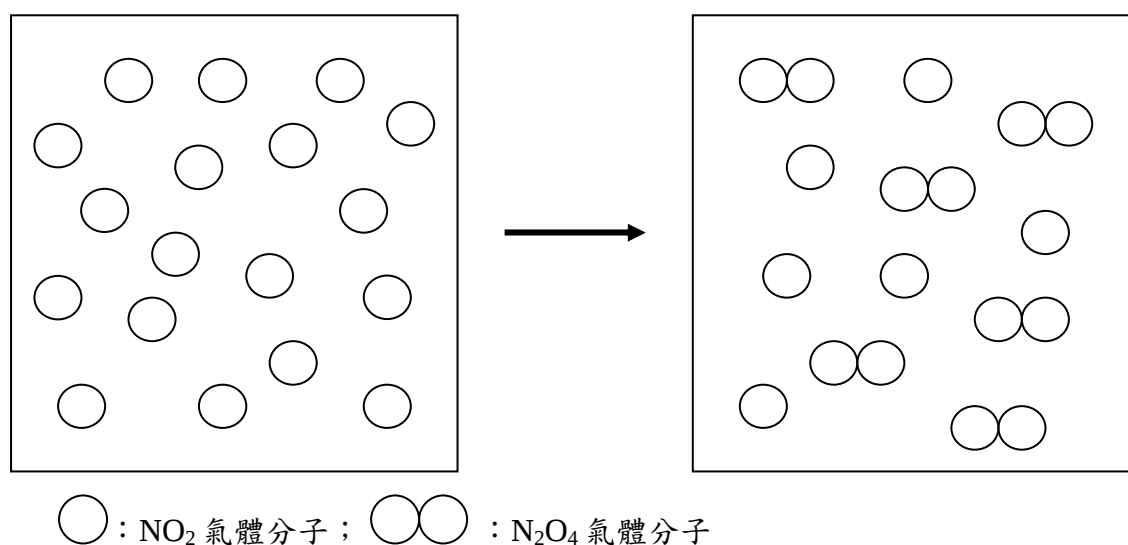


圖 4-3-17 等濃度模式示意圖

以下為學生的口語資料舉例：

R：當二氧化硫和氧氣生成三氧化硫的反應達平衡時，此時三氧化硫的濃度會如何？

S8：因為達平衡，所以濃度不變 Y。

R：那容器中除了三氧化硫，還有其它物質嗎？

S8：還有二氧化硫氣體吧

R：這兩種氣體的濃度關係呢？

S8：一樣大啊。

R：可以詳細說明嗎？

S8：就是三氧化硫如果有 20 個，那二氧化硫最後也應該有 20 個。

(R：研究者；S8：標的學生後測)

分析等濃度模式在兩組學生所占的百分比如圖 4-3-18 可以發現：教學前兩組都有相當高比例的學生持有此心智模式，對照組大約是六成左右而多重表徵教學組更是高達七成五的比例，經過教學後我們觀察到多重表徵教學組學生只剩一成左右的人仍具有此模式，代表多重表徵教學組的多重表徵教學對於排除此錯誤模式是相當有幫助的，反觀對照組方面在後測仍然有三成的比例，到了延宕測驗的表現更高達四成的人依然持有等濃度模式。

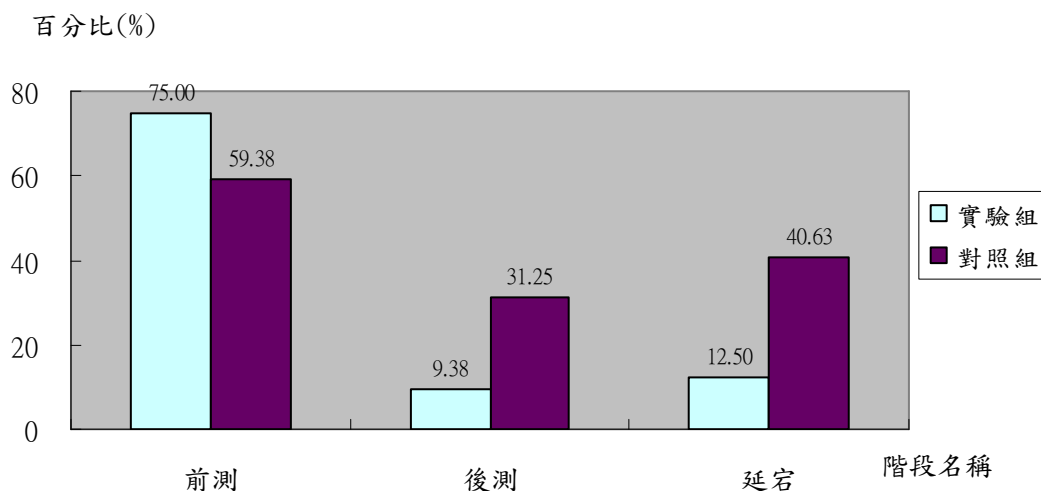


圖 4-3-18 等濃度模式在兩組各階段的百分比

10.分散模式

所謂分散模式指的是學生認為化學反應一開始的時候，粒子之間會發生分離與結合的現象，等到化學反應達平衡時，反應物與生成物分別存在反應容器的兩側，也就是反應物與生成物是兩個獨立分開的系統。

以圖 4-3-19 為例說明，持有分散模式的學生會認為當反應容器內首先加入二氧化氮的氣體分子，這時候粒子之間會有分離與結合的過程，經過一段時間化學反應達平衡後，此時我們可以觀察到二氧化氮與四氧化二氮氣體分子分別存在容器中的右邊與左邊，彼此是獨立分開的兩個系統。

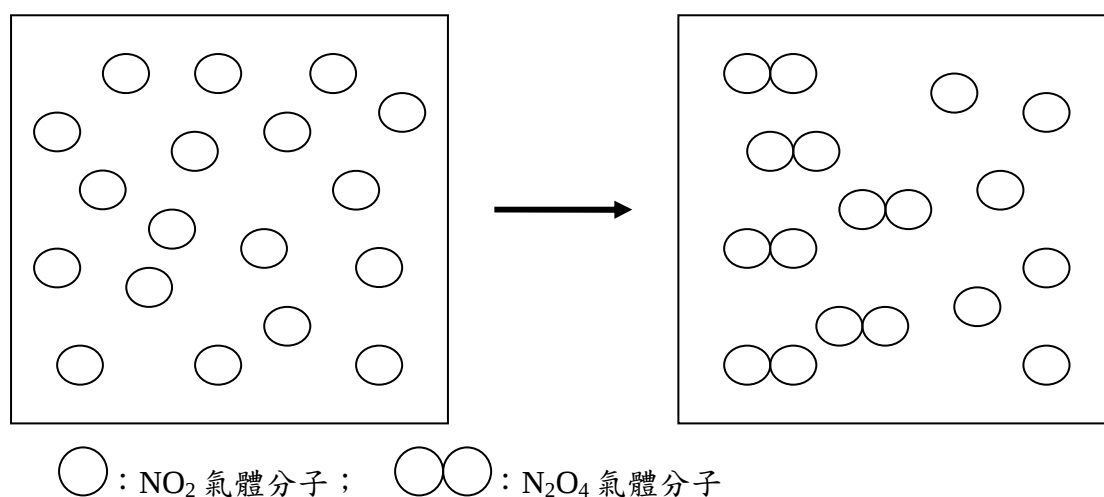


圖 4-3-19 分散模式示意圖

以下為學生的口語資料舉例：

R：當二氧化硫和氧氣生成三氧化硫的反應達平衡時，三氧化硫的濃度會如何？

S11：因為達平衡，所以濃度維持固定。

R：那容器中除了三氧化硫，還有其它物質嗎？

S11：二氧化硫氣體也在容器中。

R：那這兩種氣體是如何分佈在容器中的呢？

S11：分散在容器的兩側啊。

R：可以進一步說明嗎？

S11：就是三氧化硫如果在右邊，那二氧化硫就會在左邊。

(R：研究者；S11：標的學生前測)

分析分散模式在兩組學生所占的百分比如圖 4-3-20 可以發現：教學前多重表徵教學組大約是三成左右而對照組有高達五成的比例，經過教學後我們觀察到多重表徵教學組和對照組都減少到兩成左右的比例。

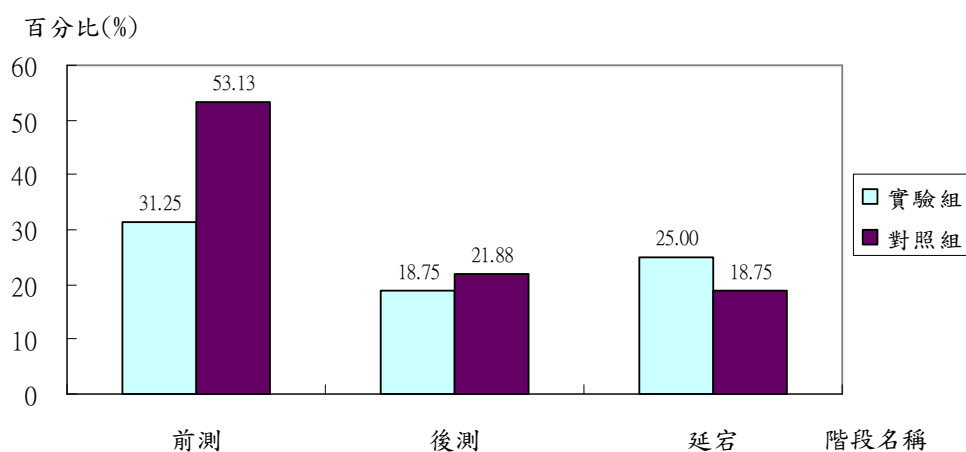


圖 4-3-20 分散模式在兩組各階段的百分比

11.移動方向模式

所謂移動方向模式指的是學生認為化學反應一開始的時候，粒子之間會發生分離與結合的現象，等到化學反應達平衡後，重新破壞平衡造成平衡再次移動，此時學生會以平衡移動的方向作為回答問題的唯一判斷依據，而欠缺考慮其它可能影響的因素。

以圖 4-3-21 為例說明，持有移動方向模式的學生會認為當反應 2NO_2 (紅棕

色) $\rightleftharpoons$ N_2O_4 (無色)當平衡後，此時加入更多的 NO_2 使反應向右移，這時候圖形下方的三個情況會因為向右反應的緣故，所以都呈現變少的趨勢，但實際上只有最左邊的情況會減少，另外兩個情況的結果是變大的，因為必須將其它的因素考量進來。

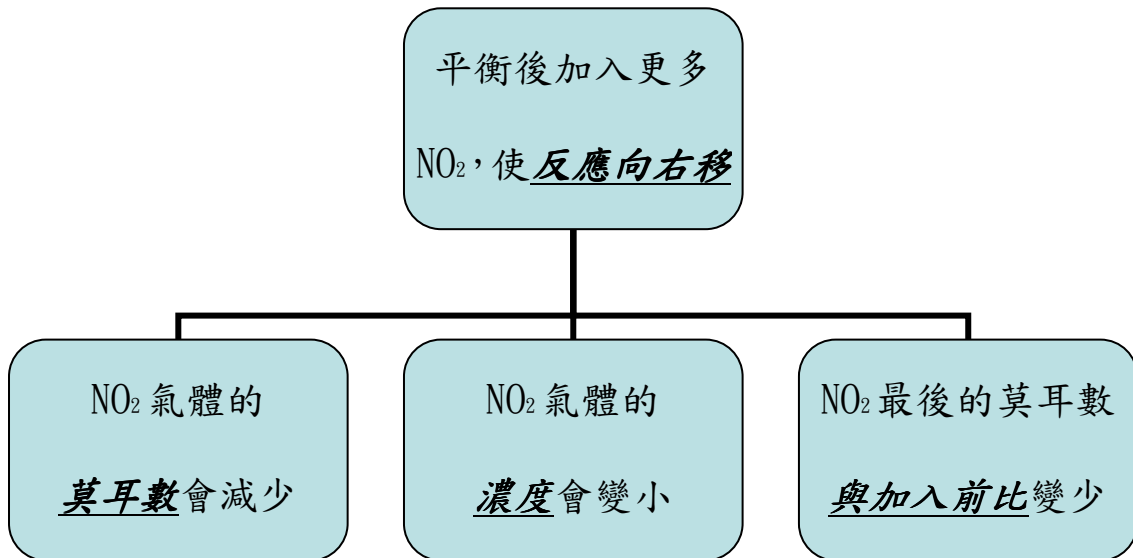


圖 4-3-21 移動方向模式示意圖

以下為學生的口語資料舉例：

R：當注射筒中的顏色不再改變時，將活塞向內推造成體積變小，此時會發生什麼變化？

S8：因為加壓，造成反應向右。

R：那 NO_2 氣體的莫耳數呢？

S8：因為反應向右， NO_2 氣體被用掉，所以變少。

R：那 NO_2 氣體的濃度呢？

S8：因為 NO_2 氣體被用掉，濃度也就變少。

R：那還有其它因素造成濃度下降的嗎？

S8：沒有了吧。

(R：研究者；S8：標的學生後測)

分析移動方向模式在兩組學生所占的百分比如圖 4-3-22 可以發現：教學前多重表徵教學組大約是三成左右而對照組則是兩成的比例，經過教學後我們觀察到多重表徵教學組和對照組都是呈現增加的趨勢，最後兩組都有將近四成比例的學生持有此錯誤模式來解題，原因可能在於學生學習完勒沙特列原理後，以為只要知道反應重新進行的方向就等同於知道問題的答案了，所以這是教師授課時必須謹慎十分注意的地方。

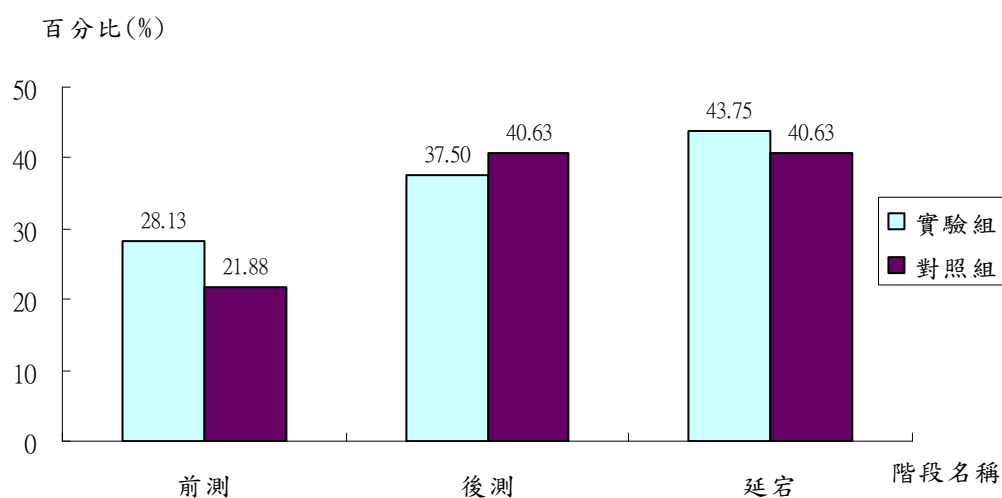


圖 4-3-22 移動方向模式在兩組各階段的百分比

12. 正確科學模式

所謂正確科學模式指的是學生認為化學反應一開始的時候，粒子之間會發生分離與結合的現象，等到反應達平衡後增加反應物濃度以破壞平衡造成平衡再次移動，此時新增的反應物只有部分會轉換為生成物，最後反應物與生成物的濃度並不相等，而且兩者均勻分散在反應容器內部。

以圖 4-3-23 為例說明，持有正確科學模式的學生會認為當反應 2NO_2 (紅棕色) $\rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ (無色) 當平衡後，此時加入更多的 NO_2 使反應向右移，這時候新加入的 NO_2 氣體只有一部份會結合成 N_2O_4 氣體，另外在右邊的反應容器中可以觀

察到 NO_2 和 N_2O_4 兩種氣體的數目是不一樣多的，而且彼此是均勻分散在反應容器內部。

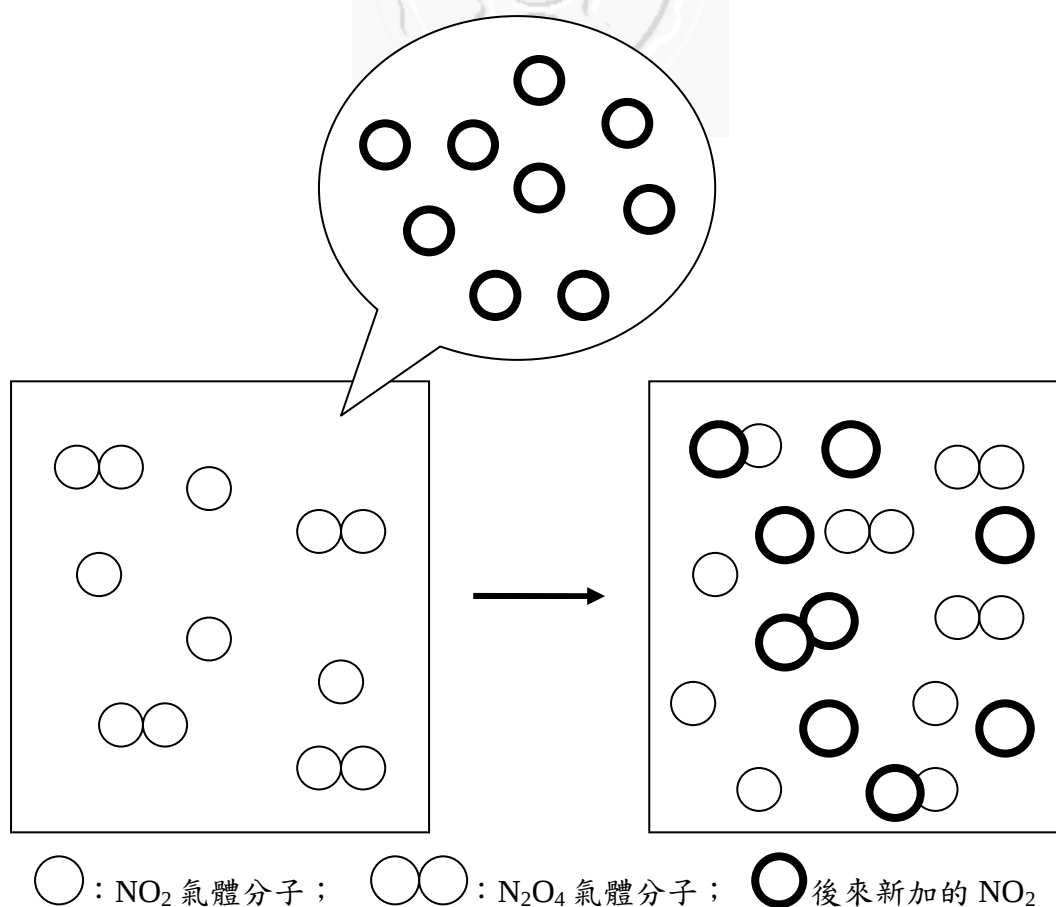


圖 4-3-23 正確科學模式示意圖

以下為學生的口語資料舉例：

R：現在於密閉的透明容器中加入 CO 和 NO_2 氣體，經過一段長時間後，容器內部會存在哪些物質？

S12：會有生成物 CO_2 和 NO 氣體，而且也會有 CO 和 NO_2 氣體在容器中。

R：為何還會有 CO 和 NO_2 氣體在容器中？

S12：因為反應物不會全部變成生成物。

R：那反應物和生成物之間的濃度關係呢？

S12：不一定會相等，但分別會保持固定。

R：在容器中這四種氣體的分佈情形呢？

S12：就是分散在容器內部吧。

R：可以說的更清楚嗎？

S12：應該是均勻散佈在每個地方。

(R：研究者；S12：標的學生後測)

分析正確科學模式在兩組學生所占的百分比如圖 4-3-24 可以發現：在教學前不論多重表徵教學組或是對照組持有此模式的學生比例都不到一成，換算為人數的話大約是兩、三人而已，代表學生很難在化學平衡教學前即持有此正確的科學心智模式，經過教學之後多重表徵教學組學生的比例增加到五成多，並且延宕測驗時的表現不但能夠繼續維持，還增加到六成多的比例，但是對照組學生在後測或延宕測驗時的表現僅維持在四成左右。

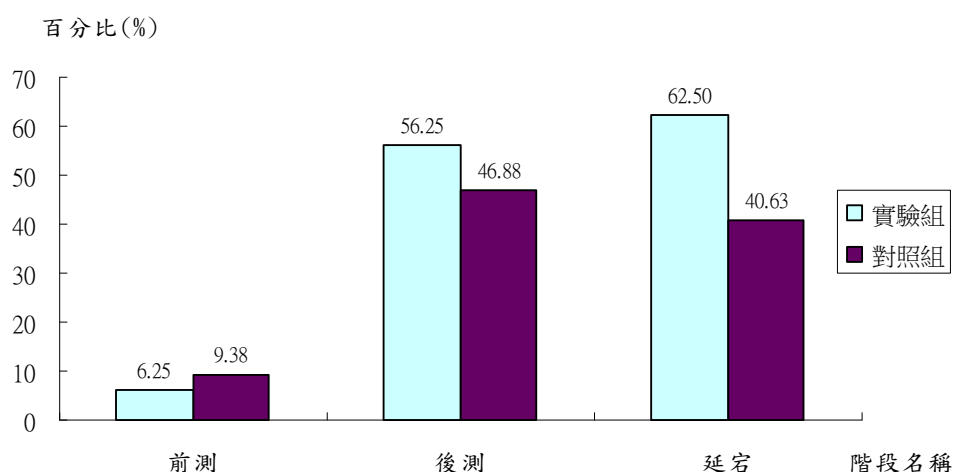


圖 4-3-24 正確科學模式在兩組各階段的百分比

二、組內與組間心智模式類型分佈的比較：

由圖 4-3-25 我們可以觀察到多重表徵教學組在化學平衡的方向性所具有的心智模式分別有：靜止模式、單向模式、雙向固定起始模式一、雙向固定起始模式二、雙向固定起始模式三、雙向任意起始模式，在前測階段學生的心智模式集

中在單向、固定起始模式一，經過教學之後不論是後測或延宕測驗，學生的心智模式出現最多的是雙向任意起始模式也就是所謂的科學模式，接下來第二名的心智模式為雙向固定起始模式一，尤其在延宕測驗的地方可以發現有些學生從雙向任意起始模式又回歸到雙向固定起始模式一，所以造成其比例上的增加。

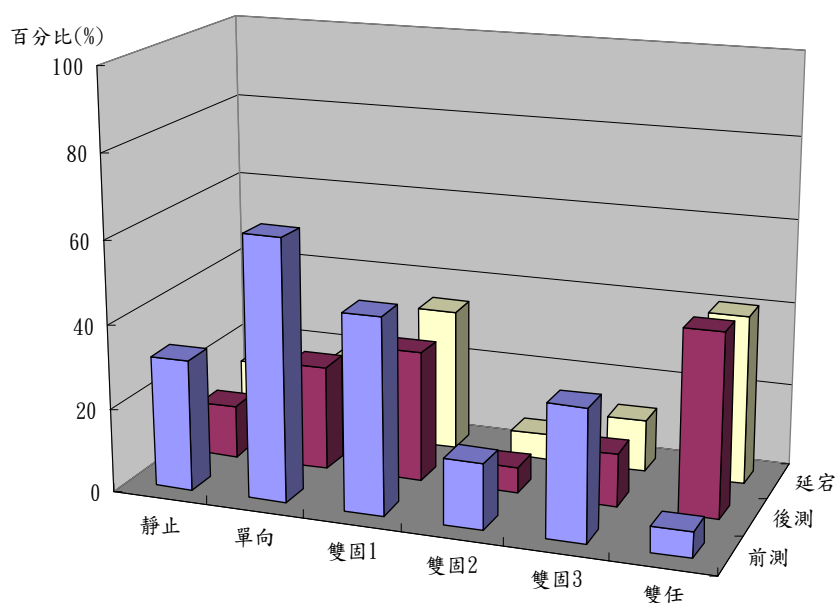


圖 4-3-25 多重表徵教學組在化學平衡方向性的心智模式類型分佈

由圖 4-3-26 我們可以觀察到多重表徵教學組在化學平衡的微觀機制所具有的心智模式分別有：現象表面模式、完全反應模式、等濃度模式、分散模式、移動方向模式、正確科學模式，在前測階段學生的心智模式集中在現象表面模式、完全反應模式、等濃度模式這三項，尤其等濃度模式占有超過七成的比例，經過教學之後多重表徵教學組的正確科學模式大幅增加，而且延宕測驗的表現不但沒有概念回歸的情形發生，依然還有小幅度的比例上升，不過移動方向模式的變化也是值得注意的地方，如同正確科學模式一般，在教學後也是呈現略為上升的趨勢，因此誠如文獻所說的學生會有誤用勒沙特列原理的情形發生(Johnstone, MacDonald & Webb, 1977; Wheeler & Kass, 1978 ; Banerjee, 1991 ; Cheung, 2009)。

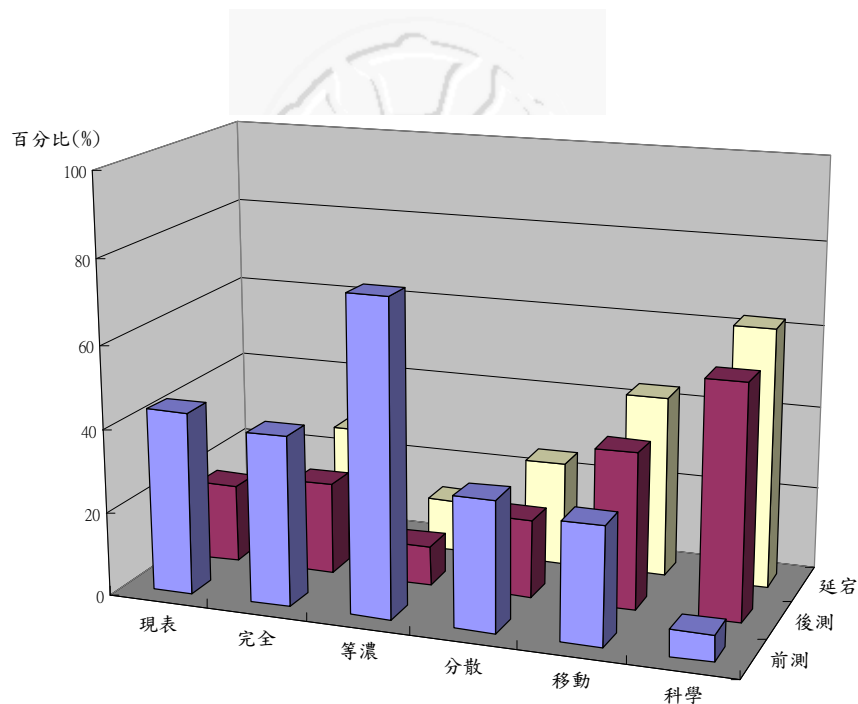


圖 4-3-26 多重表徵教學組在化學平衡微觀機制的心智模式類型分佈

接下來圖 4-3-27 我們可以觀察到對照組在化學平衡的方向性所具有的心智模式依然有：靜止模式、單向模式、雙向固定起始模式一、雙向固定起始模式二、雙向固定起始模式三、雙向任意起始模式，在前測階段學生的心智模式集中在單向、固定起始模式三，經過教學之後學生的心智模式出現最多的是雙向任意起始模式也就是所謂的科學模式，但是只有三成左右的比例，而且在延宕測驗的地方可以發現雙向任意起始模式比後測階段下降 10% 的比例，此時雙向固定起始模式一增加不少比例，反而造成其變為延宕測驗中學生最高比例的心智模式。

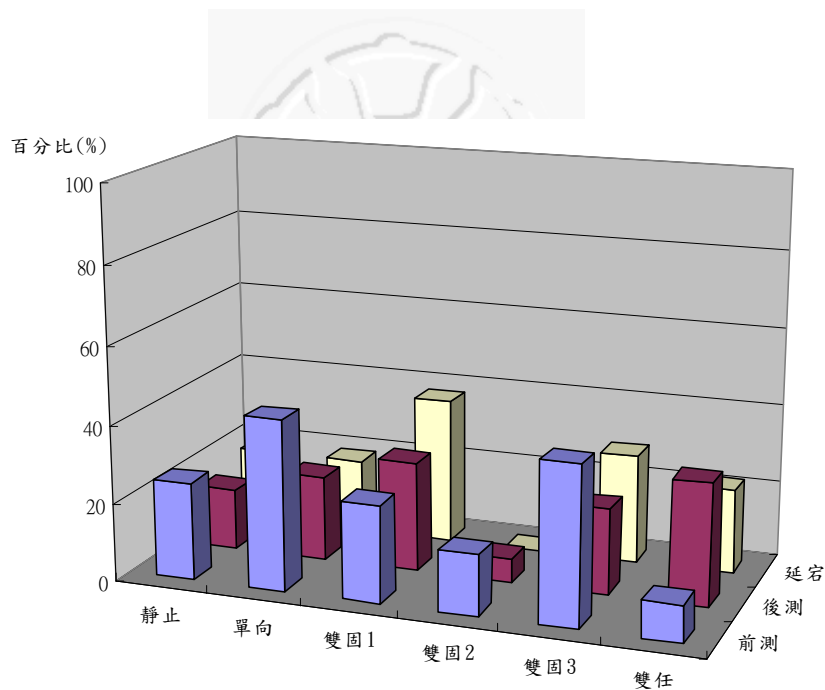


圖 4-3-27 對照組在化學平衡方向性的心智模式類型分佈

由圖 4-3-28 我們可以觀察到對照組在化學平衡的微觀機制所具有的心智模式依然有：現象表面模式、完全反應模式、等濃度模式、分散模式、移動方向模式、正確科學模式，在前測階段學生的心智模式集中在等濃度模式、分散模式這二項，經過教學之後對照組的正確科學模式也有大幅增加，但是在延宕測驗的表現還是有概念回歸的情形發生，值得注意的是在延宕測驗的階段移動方向模式、等濃度模式也都有將近四成的比例，因此學生確實會誤用勒沙特列原理(Johnstone, MacDonald & Webb, 1977；Wheeler & Kass, 1978；Banerjee, 1991；Cheung, 2009)，此外也具有反應物與生成物之間等濃度的想法(Hackling & Garnett, 1985；Boujaoude & Saouma, 1993；陳婉茹, 2004；Ozmen, 2007)。

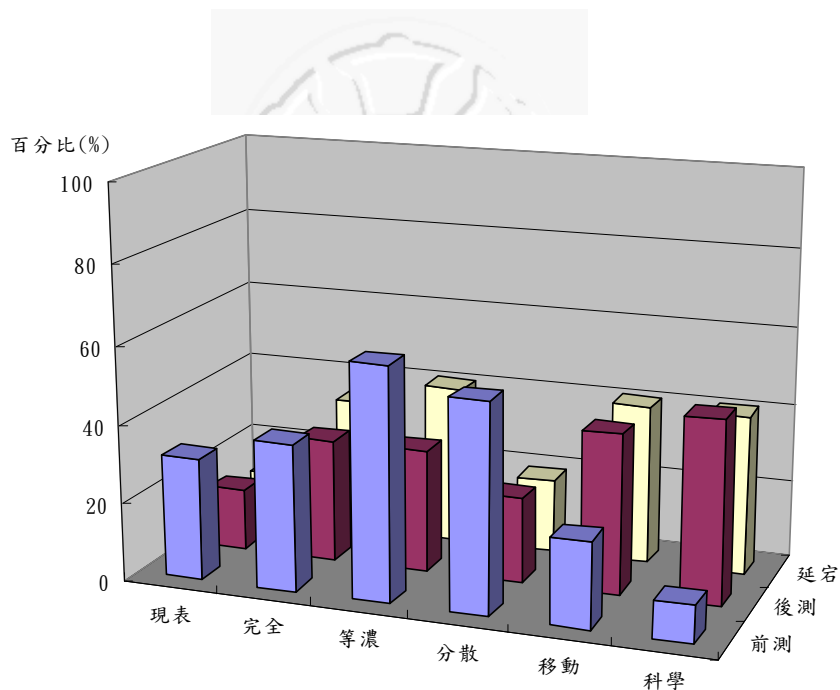


圖 4-3-28 對照組在化學平衡微觀機制的心智模式類型分佈

比較兩組間的心智模式類型分佈結果，我們發現在方向性部分不管是多重表徵教學組或是對照組方面，在前測階段兩組學生的心智模式都有集中在單向模式的現象，另外在延宕測驗的地方可以發現兩組的雙向固定起始模式一的比例都有上升的趨勢，尤其是對照組更是增加到比例最高的心智模式。

至於在化學平衡的微觀機制部分，在前測階段兩組學生的心智模式都有集中在等濃度模式的地方，其中多重表徵教學組更有高達七成的比例，另外移動方向模式的部分也是值得注意的地方，不管是多重表徵教學組還是對照組移動方向模式的比例都是隨著後測和延宕測驗繼續增加，這樣子的研究發現似乎和文獻結果相吻合：學生確實會誤用勒沙特列原理(Johnstone, MacDonald & Webb, 1977 ; Wheeler & Kass, 1978 ; Banerjee, 1991 ; Cheung, 2009)。

關於化學平衡，最為直觀的想法應該是以巨觀現象來解釋，然而科學知識卻是包含與巨觀現象截然不同的微觀機制，究竟當學生最初的想法遇上正確的科學概念時會產生怎樣的事情呢？

Vosniadou (1992, 1994)的研究發現了類似的情況，因此提出了初始模式、合成模式、科學模式的觀點，在本研究中也發現學生在化學平衡方向性的部分有相似的結果，學生最初對於化學平衡抱持著就像靜平衡一樣的想法，認為其保持靜止或單向反應完後會維持靜止，這是屬於初始模式的部分，教師在授課的過程中會告知學生化學平衡可以由任何一方開始，然後達到雙向可逆的結果，這是屬於科學模式的部分，當學生最初的想法遇上正確的科學概念時會融合出合成模式，所以會出現雙向固定起始模式 1、雙向固定起始模式 2、雙向固定起始模式 3，如圖 4-3-29 所示。

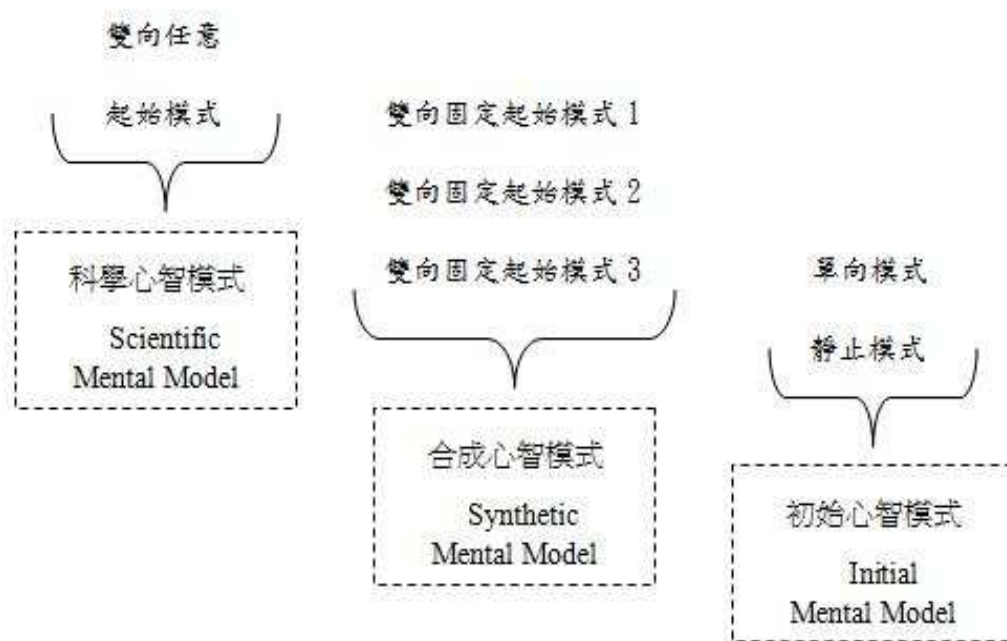


圖 4-3-29 化學平衡之心智模式



第四節 多重表徵組的學習情意問卷分析

本小節將針對多重表徵教學組也就是多重表徵教學組的學習情意問卷進行分析，分析的向度為問卷中所涵蓋的幾個面向，包括：探討不同教學方式在「幫助學生理解化學平衡的相關概念」、「使得學習化學變得有趣」、「是否造成學習上的負擔」等三方面的比較，以及如果學生可以選擇的話，他們會希望老師運用何種教學方式的數據結果呈現，最後則是列舉出多重表徵教學組學生在經過五堂課的多重表徵教學後，他們覺得最有趣的單元、最深刻的單元、需要改進的單元分別為何，還有所抱持的理由何在。

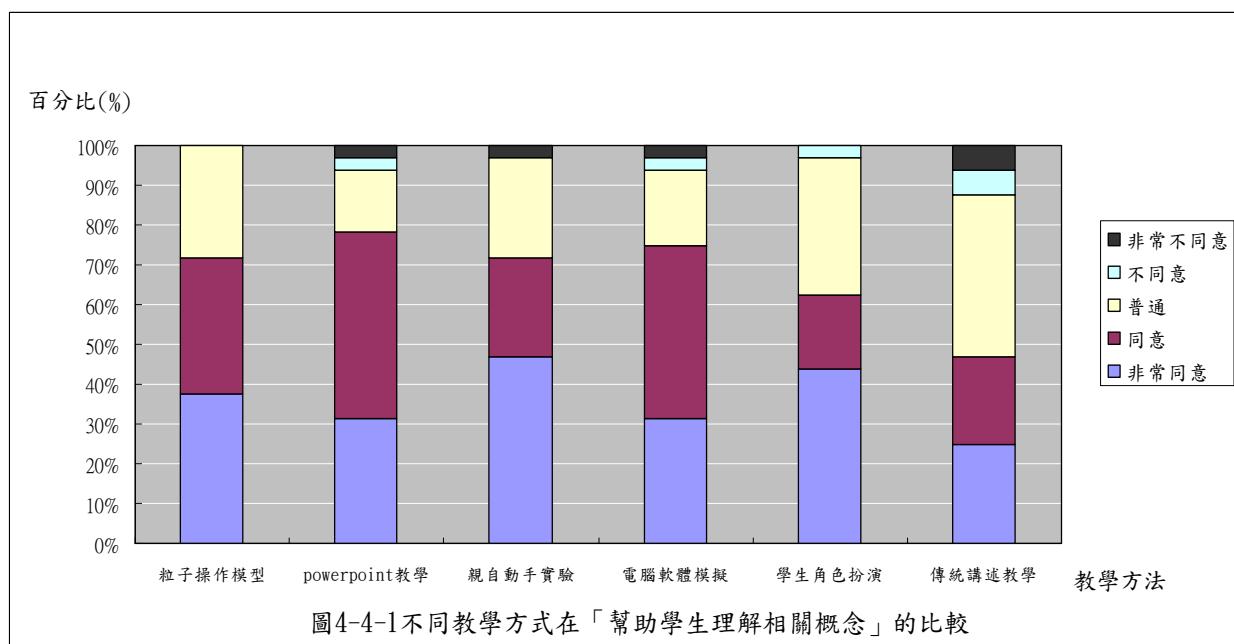
一、不同教學方式在「幫助學生理解化學平衡的相關概念」的比較

根據多重表徵教學組也就是多重表徵組在五節課中所進行的六種教學策略來進行分析，這六種教學策略依序為粒子操作模型、powerpoint 教學、親自動手實驗、電腦軟體模擬、學生角色扮演、傳統講述教學，學生填寫問卷的結果和全班平均分數如表 4-4-1，其中平均分數的計算方式為按照非常同意、同意、普通、不同意、非常不同意分別代表+2、+1、0、-1、-2 進行加總再除以人數來得到，至於各選項的人數分佈情形則如圖 4-4-1。

統計結果顯示：多重表徵教學組學生最同意能「幫助學生理解化學平衡的相關概念」的教學方式為親自動手實驗(46.9%非常同意、25%同意、25%普通、3.1%非常不同意，平均分數為 1.13)，第二名為粒子操作模型(37.5%非常同意、34.4%同意、28.1%普通，平均分數為 1.09)，第三名則是學生角色扮演(43.8%非常同意、18.8%同意、34.4%普通、3.1%不同意，平均分數為 1.03)。

表 4-4-1 不同教學方式在「幫助學生理解化學平衡的相關概念」的比較(人數)

教學方式	非常同意	同意	普通	不同意	非常不同意	全班平均分數
1.粒子操作模型	12	11	9	0	0	1.09
2.powerpoint 教學	10	15	5	1	1	1.00
3.親自動手實驗	15	8	8	0	1	1.13
4.電腦軟體模擬	10	14	6	1	1	0.97
5.學生角色扮演	14	6	11	1	0	1.03
6.傳統講述教學	8	7	13	2	2	0.53

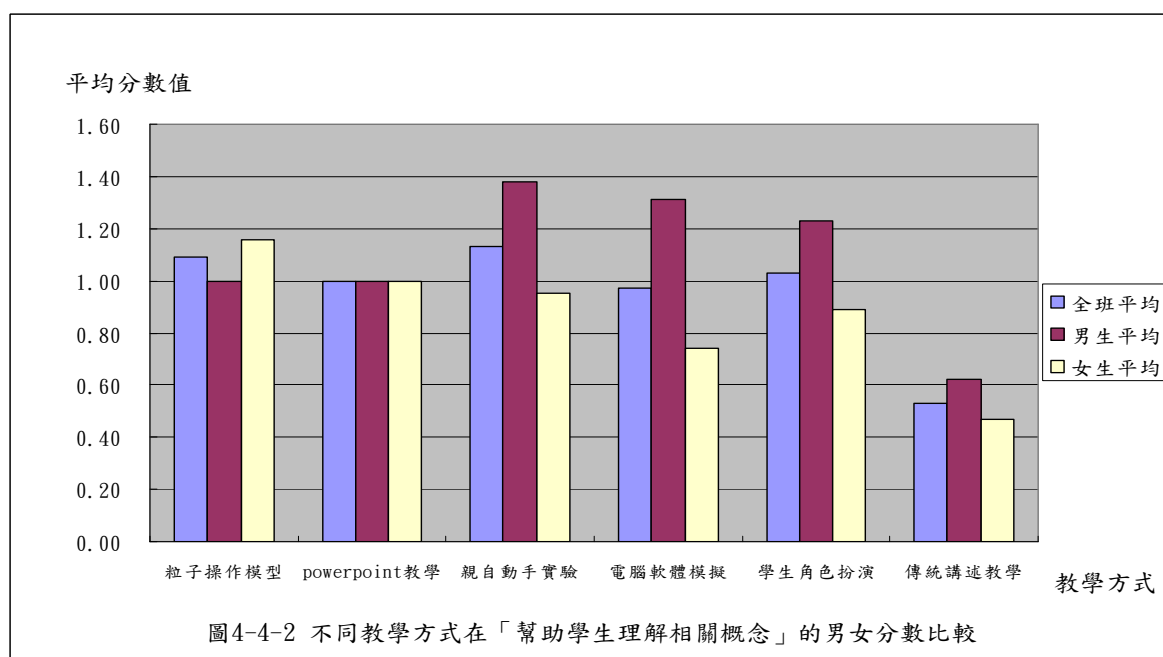


至於多重表徵組學生對於能「幫助學生理解化學平衡的相關概念」的教學方式，選擇同意度較低的項目分別為傳統講述教學(25%非常同意、21.9%同意、40.6%普通、6.3%不同意，6.3%非常不同意，平均分數為 0.53)、其次為電腦軟體模擬(31.3%非常同意、43.8%同意、18.8%普通、3.1%不同意，3.1%非常不同意，平均分數為 0.97)，第三名是 powerpoint 教學(31.3%非常同意、46.9%同意、15.6%普通、3.1%不同意，3.1%非常不同意，平均分數為 1.00)。

剛剛呈現的是全班學生對於能夠「幫助學生理解化學平衡的相關概念」的教學方式排序結果，如果以性別作為依據更進一步分析的話，可以發現男、女生的看法其實並不完全相同。表 4-4-2 與圖 4-4-2 都顯示出男生對於能夠「幫助學生理解化學平衡的相關概念」的教學方式排序結果為親自動手實驗、電腦軟體模擬、學生角色扮演、其中粒子操作模型和 powerpoint 教學並列第四，而傳統講述教學則是最後；女生的看法依序是粒子操作模型、powerpoint 教學、親自動手實驗、學生角色扮演、電腦軟體模擬、傳統講述教學。我們可以發現男女生前面的排序差異滿大的，但是兩邊給予傳統講授教學法的平均分數都是最低的。

表 4-4-2 不同教學方式在「幫助學生理解相關概念」的男女平均分數比較

	粒子操作模型	PPT 教學	親自動手實驗	電腦軟體模擬	學生角色扮演	傳統講述教學
全班平均	1.09 (2)	1.00 (4)	1.13 (1)	0.97 (5)	1.03 (3)	0.53 (6)
男生平均	1.00 (4)	1.00 (4)	1.38 (1)	1.31 (2)	1.23 (3)	0.62 (6)
女生平均	1.16 (1)	1.00 (2)	0.95 (3)	0.74 (5)	0.89 (4)	0.47 (6)





二、不同教學方式在「使得學習化學變得有趣」的比較

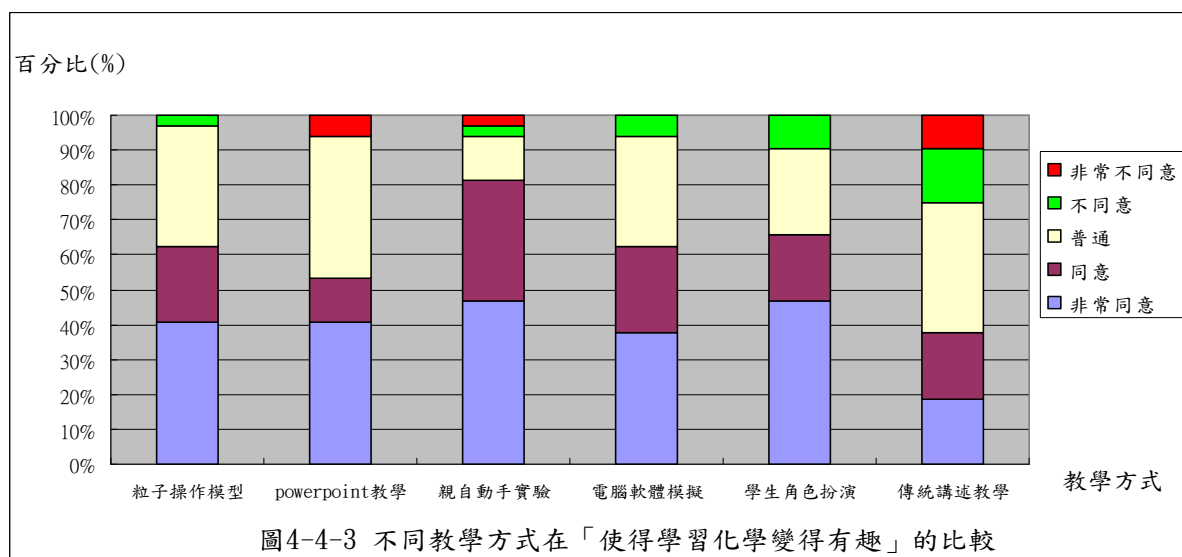
現在是根據多重表徵教學組也就是多重表徵組在五節課中所進行的六種教學策略(粒子操作模型、powerpoint 教學、親自動手實驗、電腦軟體模擬、學生角色扮演、傳統講述教學)，來分析學生對於不同教學策略在「使得學習化學變得有趣」這個面向上的看法，問卷填寫結果和全班平均分數如表 4-4-3，至於各選項的人數分佈情形則如圖 4-4-3。

統計結果呈現如下：多重表徵教學組學生最同意能「使得學習化學變得有趣」的教學方式為親自動手實驗(46.9%非常同意、34.4%同意、12.5%普通、3.1%不同意、3.1%非常不同意，平均分數為 1.19)，第二名為學生角色扮演(46.9%非常同意、18.8%同意、25.0%普通、9.4%不同意，平均分數為 1.03)，第三名則是粒子操作模型(40.6%非常同意、21.9%同意、34.4%普通、3.1%不同意，平均分數為 1.00)。

學生對於能「使得學習化學變得有趣」的教學方式同意度較低的項目，依序為傳統講述教學(18.8%非常同意、18.8%同意、37.5%普通、15.6%不同意，9.4%非常不同意，平均分數為 0.22)、其次為 powerpoint 教學(40.6%非常同意、12.5%同意、40.6%普通、6.3%非常不同意，平均分數為 0.81)，第三名是電腦軟體模擬(37.5%非常同意、25.0%同意、31.3%普通、6.3%不同意，平均分數 0.94)。

表 4-4-3 不同教學方式在「使得學習化學變得有趣」的比較(人數)

教學方式	非常同意	同意	普通	不同意	非常不同意	全班平均分數
1.粒子操作模型	13	7	11	1	0	1.00
2.powerpoint 教學	13	4	13	0	2	0.81
3.親自動手實驗	15	11	4	1	1	1.19
4.電腦軟體模擬	12	8	10	2	0	0.94
5.學生角色扮演	15	6	8	3	0	1.03
6.傳統講述教學	6	6	12	5	3	0.22

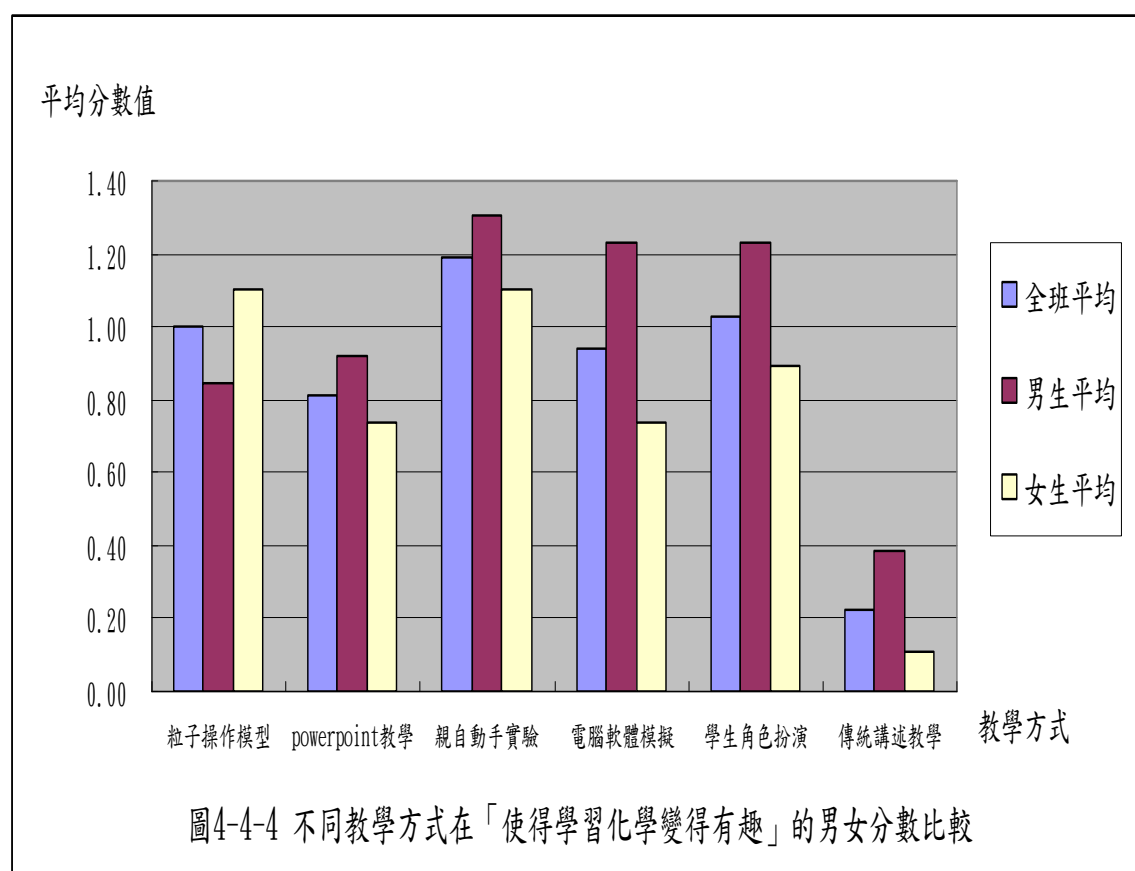


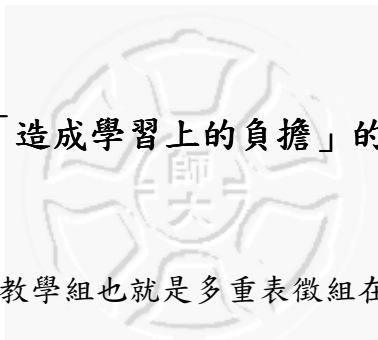
同樣地，在「使得學習化學變得有趣」的向度上，我們仍然以性別這個變因進一步分析男生和女生的作答情形，可以發現兩邊對於能夠「使得學習化學變得有趣」的教學策略排序看法上並不是全然相同的。表 4-4-4 與圖 4-4-4 的資料告訴我們：女生部分的同意度是粒子操作模型和親自動手實驗並列第一，接下來為學生角色扮演，而電腦軟體模擬與 powerpoint 教學同為第四名，傳統講述教學則是最後；男生方面的同意度分別為親自動手實驗、電腦軟體模擬與學生角色扮演並列第二、powerpoint 教學、粒子操作模型、傳統講述教學。

表 4-4-4 不同教學方式在「使得學習化學變得有趣」的男女平均分數比較

	粒子操 作模型	PPT 教學	親自動 手實驗	電腦軟 體模擬	學生角 色扮演	傳統講 述教學
全班平均	1.00 (3)	0.81 (5)	1.19 (1)	0.94 (4)	1.03 (2)	0.22 (6)
男生平均	0.85 (5)	0.92 (4)	1.31 (1)	1.23 (2)	1.23 (2)	0.38 (6)
女生平均	1.11 (1)	0.74 (4)	1.11 (1)	0.74 (4)	0.89 (3)	0.11 (6)

比較男女兩方的統計結果後，可以看到親自動手實驗是彼此同意度最高的項目，至於傳統講述教學這一項則是被雙方並列同意度最低的教學方式，這個部分和前面「幫助學生理解化學平衡的相關概念」的分析結果是相吻合的。





三、不同教學方式在「造成學習上的負擔」的比較

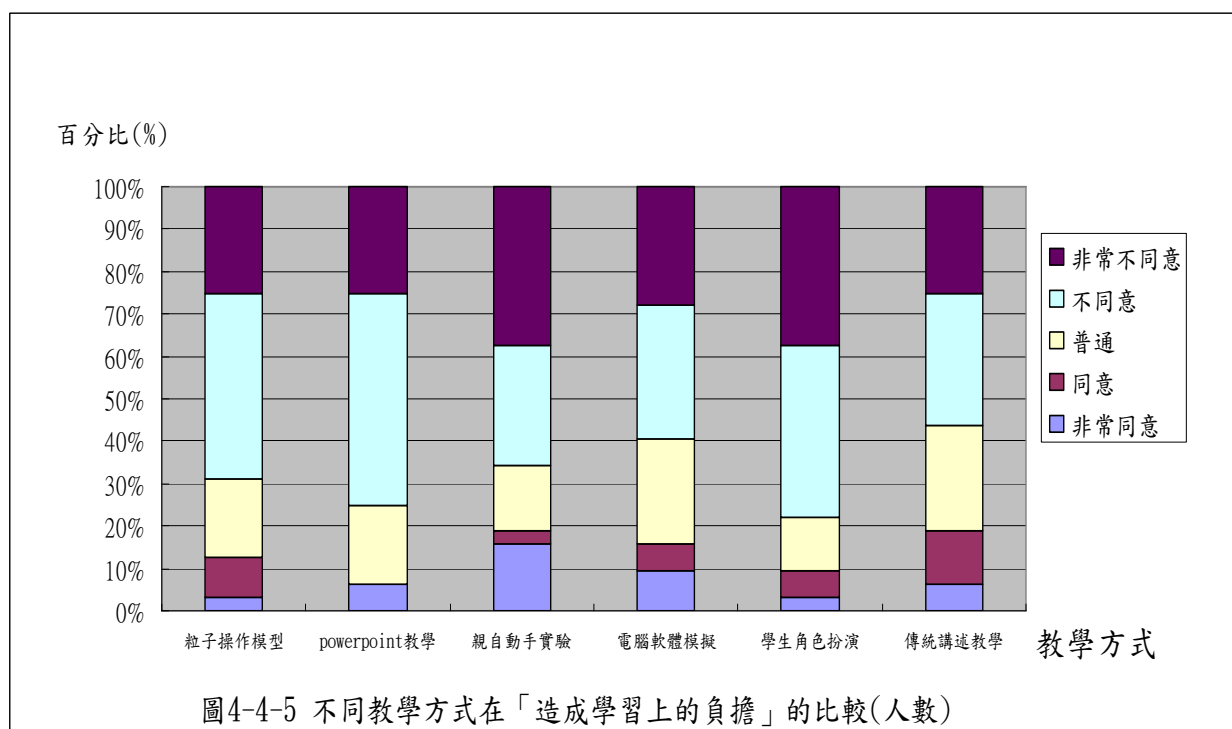
現在是根據多重表徵教學組也就是多重表徵組在五節課中所進行的六種教學策略(粒子操作模型、powerpoint 教學、親自動手實驗、電腦軟體模擬、學生角色扮演、傳統講述教學)，來分析學生對於不同教學策略在「造成學習上的負擔」這個面向上的看法，問卷填寫結果和全班平均分數如表 4-4-5，至於各選項的人數分佈情形則如圖 4-4-5。

統計結果呈現如下：多重表徵教學組學生最同意「造成學習上的負擔」的教學方式為傳統講述教學(6.3%非常同意、12.5%同意、25.0%普通、31.3%不同意、25.0%非常不同意，平均分數為-0.56)，第二名為電腦軟體模擬(9.4%非常同意、6.3%同意、25.0%普通、31.3%不同意、28.1%非常不同意，平均分數為-0.63)，第三名則是親自動手實驗(15.6%非常同意、3.1%同意、15.6%普通、28.1%不同意、37.5%非常不同意，平均分數為-0.69)。

學生對於「造成學習上的負擔」的教學方式同意度較低的項目，依序為學生角色扮演(3.1%非常同意、6.3%同意、12.5%普通、40.6%不同意、37.5%非常不同意，平均分數為-1.03)、其次為 powerpoint 教學(6.3%非常同意、18.8%普通、50.0%不同意、25.0%非常不同意，平均分數為-0.88)，第三名是粒子操作模型(3.1%非常同意、9.4%同意、18.8%普通、43.8%不同意、25.0%非常不同意，平均分數為-0.78)。

表 4-4-5 不同教學方式在「造成學習上的負擔」的比較(人數)

教學方式	非常同意	同意	普通	不同意	非常不同意	全班平均分數
1.粒子操作模型	1	3	6	14	8	-0.78
2.powerpoint 教學	2	0	6	16	8	-0.88
3.親自動手實驗	5	1	5	9	12	-0.69
4.電腦軟體模擬	3	2	8	10	9	-0.63
5.學生角色扮演	1	2	4	13	12	-1.03
6.傳統講述教學	2	4	8	10	8	-0.56

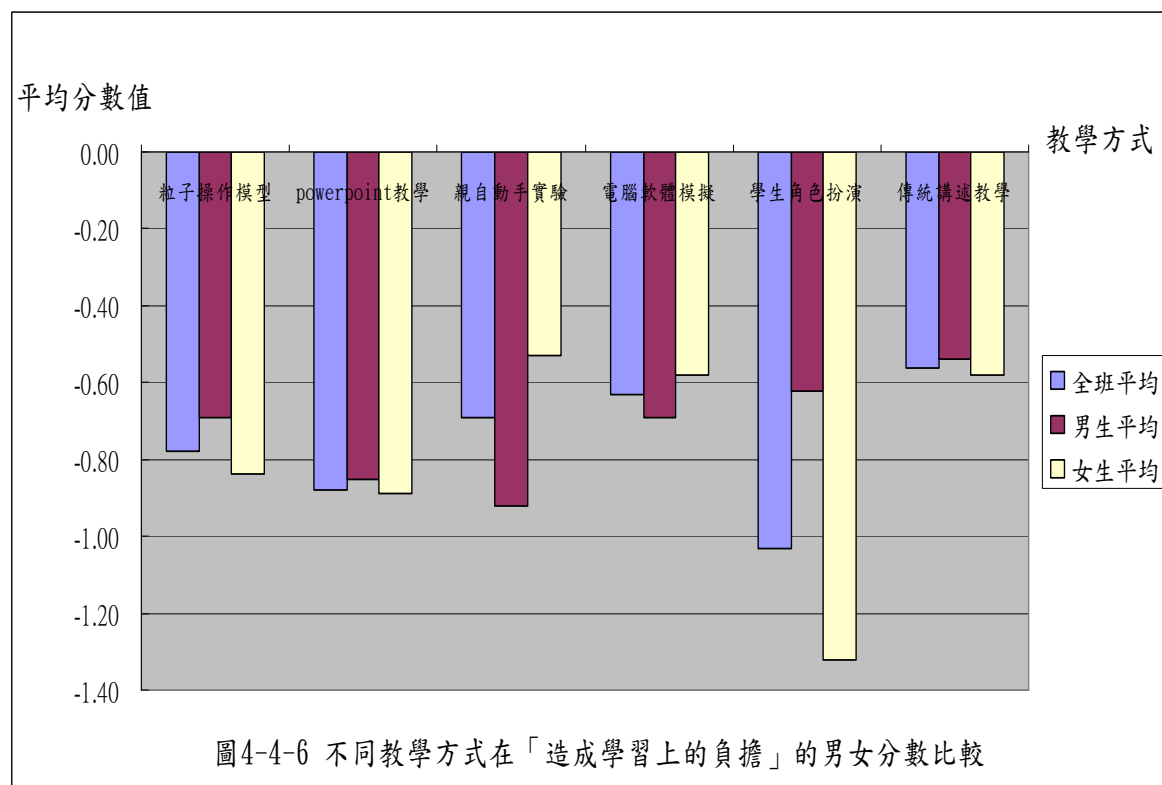


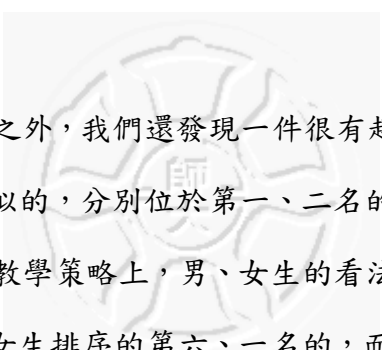
從以上的分析資料我們可以得到：多重表徵組學生給予課堂中所實施的這六種教學方式在「造成學習上的負擔」這個層面上的評分都是負分數，其中所代表的意義為學生認為這六種教學方式都不會造成他們在學習化學平衡上的負擔，而這樣的數據也是我們所樂見的結果。

以性別做成依據再進一步探討如表 4-4-6 和圖 4-4-6，男生和女生在「造成學習上的負擔」這個面向上的看法也是不盡相同。男生方面的同意度由高到低分別為：傳統講述教學、學生角色扮演、電腦軟體模擬和粒子操作模型並列第三、powerpoint 教學、親自動手實驗；女生部分的同意度則是排列如下：親自動手實驗、電腦軟體模擬與傳統講述教學同為第二、粒子操作模型、powerpoint 教學、學生角色扮演。

表 4-4-6 不同教學方式在「造成學習上的負擔」的男女平均分數比較

	粒子操作模型	PPT 教學	親自動手實驗	電腦軟體模擬	學生角色扮演	傳統講述教學
全班平均	-0.78 (4)	-0.88 (5)	-0.69 (3)	-0.63 (2)	-1.03 (6)	-0.56 (1)
男生平均	-0.69 (3)	-0.85 (5)	-0.92 (6)	-0.69 (3)	-0.62 (2)	-0.54 (1)
女生平均	-0.84 (4)	-0.89 (5)	-0.53 (1)	-0.58 (2)	-1.32 (6)	-0.58 (2)





除了前面提到的論點之外，我們還發現一件很有趣的事情，傳統講述教學在男、女生的排序上是很類似的，分別位於第一、二名的位置，但是親自動手實驗和學生角色扮演的這兩個教學策略上，男、女生的看法差異則是相當大，因為親自動手實驗分別位於男、女生排序的第六、一名的，而學生角色扮演的教學策略則是分別在男、女生排序的第二、六名的位置。

四、不同教學方式在前三個面向上的綜合比較

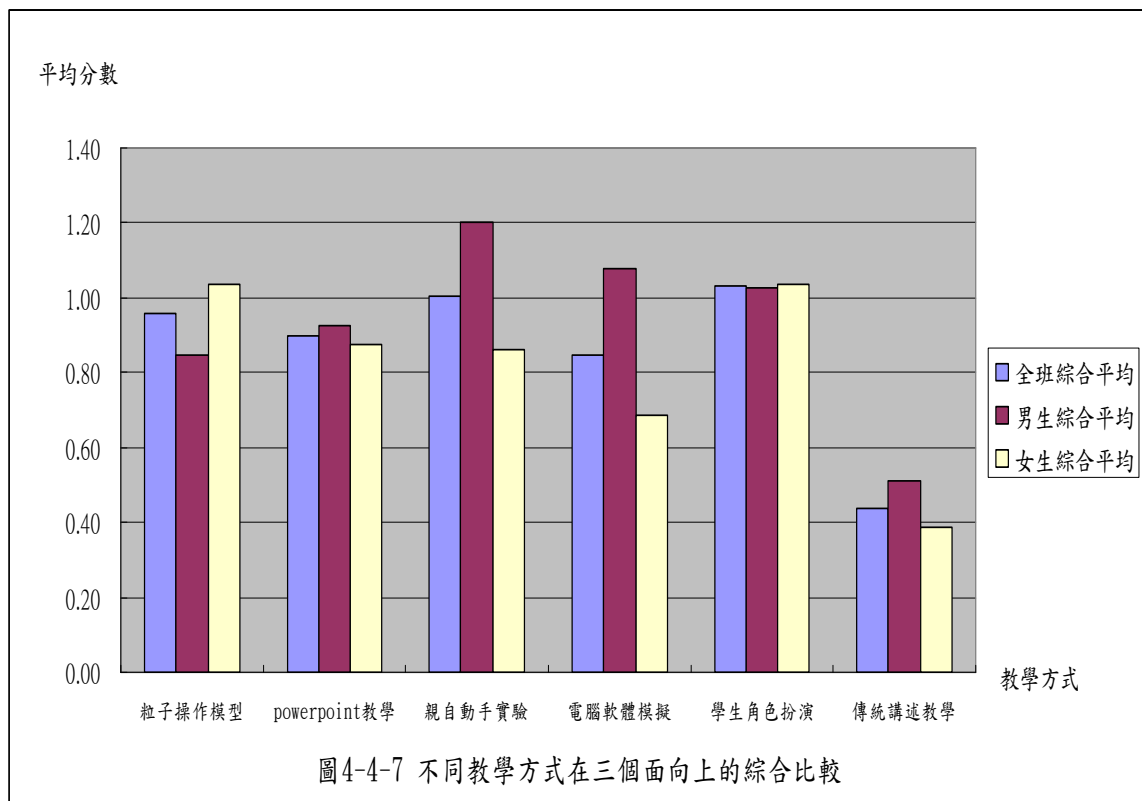
本單元著重在將前面三個面向「幫助學生理解化學平衡的相關概念」、「使得學習化學變得有趣」、「造成學習上的負擔」的分析結果統整起來，想要探討實施六種教學方式後，以這三個面向來觀察學生對於這六種教學方式的整體排序為何。

首先說明如何計分，個人是將每個教學方式在每個面向(「幫助學生理解化學平衡的相關概念」、「使得學習化學變得有趣」、「造成學習上的負擔」)上所得的平均分數分別找出來，因為學生在作答第三個面向，也就是回答是否會造成學習上的負擔時，當學生給予的分數愈低的時候，換言之代表他對於此教學策略的肯定相對就愈高，因此各教學方式在第三面向的分數計算上都是取原始分數的絕對值，所以學生對於每一種教學方式的整體評價就是以三個面向的個別分數相加再除以三，如此來作為最後的評分依據。

經過以上的計算方式後，結果呈現如表 4-4-7 和圖 4-4-7，我們可以發現：全班同學對於這六種教學方式的整體排序為學生角色扮演、親自動手實驗、粒子操作模型、powerpoint 教學、電腦軟體模擬、傳統講述教學，至於男生、女生的整體排序情形也各不相同，但是有一個共通之處，那就是兩邊的傳統講述教學總分都是最低的，然而學生會有這樣的看法我想並不意外。

表 4-4-7 不同教學方式在三個面向上的綜合比較

教學方式	全班綜合平均 (排名)	男生綜合平均 (排名)	女生綜合平均 (排名)
1.粒子操作模型	0.96 (3)	0.85 (5)	1.03 (2)
2.powerpoint 教學	0.90 (4)	0.92 (4)	0.88 (3)
3.親自動手實驗	1.00 (2)	1.20 (1)	0.86 (4)
4.電腦軟體模擬	0.85 (5)	1.08 (2)	0.68 (5)
5.學生角色扮演	1.03 (1)	1.03 (3)	1.04 (1)
6.傳統講述教學	0.44 (6)	0.51 (6)	0.39 (6)



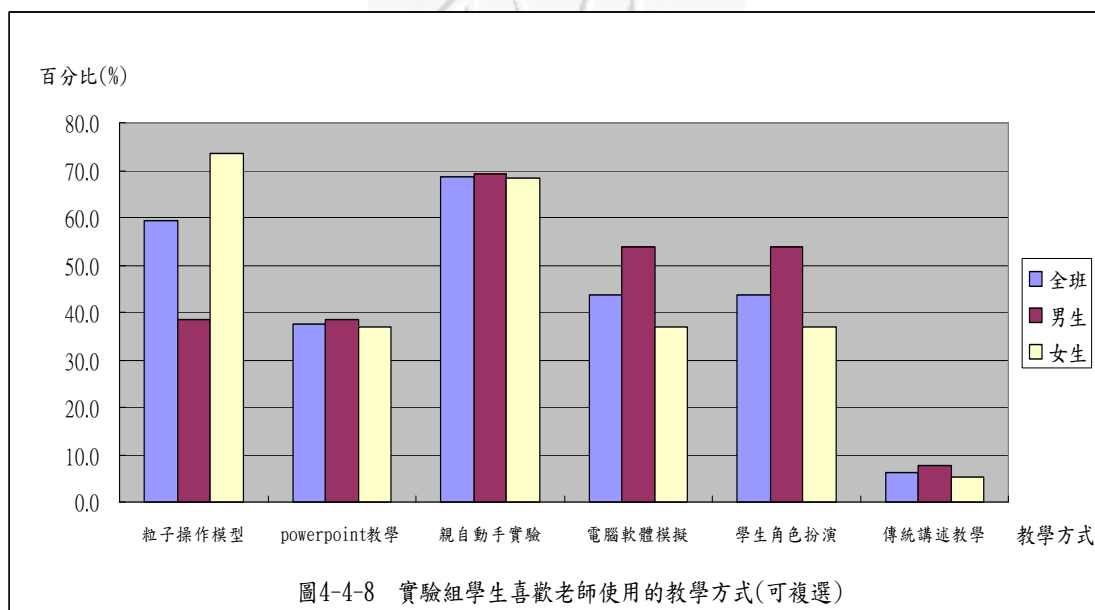
五、學生喜歡老師運用何種教學方式的問題分析

在多重表徵組的情意問卷中，第二大題的題目是問學生：如果可以選擇的話，你會希望老師運用何種的教學方式？(可以複選)。學生作答的情形分析如表 4-4-8、圖 4-4-8，各個教學方式的總得票數為粒子操作模型 19 票、powerpoint 教學 12 票、親自動手實驗 22 票、電腦軟體模擬 14 票、學生角色扮演 14 票、傳統講述教學 2 票。

表 4-4-8 多重表徵教學組學生喜歡老師使用的教學方式(可以複選)

教學 方式	粒子操 作模型	PPT 電子 投影片教學	親自動 手實驗	電腦軟體模 擬	學生角 色扮演	傳統講 述教學
全部人數	19	12	22	14	14	2
男生人數	15	5	9	7	7	1
女生人數	4	7	13	7	7	1

以上的數據資料告訴我們兩個重要的訊息，第一個訊息就是全班 32 位學生中只有 2 位同學選擇傳統講述教學，因此反映出學生都希望老師的教學方式能夠盡量有所突破、擺脫單調刻板的教學模式，至於第二個訊息就是學生基本上對於不同的教學方式都是抱持著滿開放的態度，因為另外五項的教學方式也都有一定程度的得票數，而這樣子的結果其實也給科學教師相當程度的啟示和省思。



六、多重表徵教學組學生認為本次教學中最有趣的單元之分析

多重表徵教學組學生也就是多重表徵組的學生在經過五堂課的教學後，請學生在情意問卷的本大題中選出他們認為本次教學最有趣的單元為何，經過簡單的量化和質性的分析後，最後將資料呈現於表 4-4-9。

學生心目中覺得最有趣的單元是粒子操作模型，有十三位同學選擇這個單元，占全班比例的 40.6%，換言之有超過四成的學生學生，快達到全班一半的人數。學生喜愛的理由包括：這個單元可以讓他們動手操作來加深學習的印象、也有同學很驚訝我們竟然可以透過乒乓球的結合、分開的動作來說明化學平衡的概念和原理、另外大家一起互動的感覺也是他們選擇這個單元的原因之一。

最有趣單元的第二名則是學生角色扮演，有九位學生選擇這個單元，將近全班人數的三成比例，理由的部分則是以新鮮感取勝，學生大多表示因為親身體驗的緣故，讓學習化學平衡變得有趣，而且第一次看到角色扮演的教學真的滿好玩的。

表 4-4-9 多重表徵教學組學生認為本次教學中最有趣的單元

所選的單元	人數(%)	原因
粒子操作模型	13 (40.6%)	● 因為讓我們親手做，比較不會忘記 ● 可以幫助了解化學平衡的過程及原理 ● 模型操作實際體會感覺更了解 ● 簡單了解化學平衡、粒子運動的概念 ● 因為乒乓球分分合合的很有趣 ● 同學一起互動，上課有趣很多 ● 能了解上課的內容，還有娛樂的效果
powerpoint 教學	1 (3.1%)	● 投影片的內容可以幫助我理解
親自動手實驗	5 (15.6%)	● 因為可以自己觀察 ● 可實際操作和觀察加深印象
電腦軟體模擬	4 (12.5%)	● 因為可看到粒子數目保持不變的情形 ● 因為感覺很好玩 ● 比上課憑空想像好太多了 ● 藍球會變成紅球，感覺起來很特別
學生角色扮演	9 (28.1%)	● 親身體驗，趣味性十足，印象深刻 ● 可以邊看學生玩，邊學粒子運動 ● 因為第一次看到角色扮演教學 ● 感覺在玩遊戲，也能了解化學平衡
傳統講述教學	0 (0.0%)	● 無

七、多重表徵教學組學生認為本次教學中最深刻的單元之分析

多重表徵教學組學生也就是多重表徵組的學生在經過五堂課的教學後，請學生在情意問卷的本大題中選出他們認為本次教學最深刻的單元為何，經過簡單的量化和質性的分析後，最後將資料呈現於表 4-4-10。

根據表 4-4-10 的內容，我們發現多重表徵教學組學生認為本次教學中印象最深刻的單元有二個，分別是親自動手實驗單元以及電腦軟體模擬單元，兩單元各有八位學生選擇。關於選擇親自動手實驗的學生表示：在實驗課中，看到樟腦丸受熱昇華又遇冷凝華的過程，和硫酸銅晶體變色的現象等等，讓他對於可逆反應有更清楚的認識，所以覺得親自動手操作實驗是他印象中最深刻的單元。

至於選擇電腦軟體模擬的學生則是主要提出以下三點的看法：看著藍球和紅球的顏色變化就可以理解正逆反應速率的消長情形；軟體模擬幫助他記得化學平衡的原則；軟體模擬的過程配合老師的講解讓他對於認識粒子的動態本質很有幫助。

表 4-4-10 多重表徵教學組學生認為本次教學中最深刻的單元

所選的單元	人數(%)	原因
粒子操作模型	6 (18.8%)	● 活動很有趣，而且操作起來簡單易懂 ● 能跟同學一起互動 ● 因為沒看過這樣的教學方式
powerpoint 教學	5 (15.6%)	● 透過影片播放可以讓我們更了解 ● 可以減少老師抄黑板的時間
親自動手實驗	8 (25.0%)	● 因為有親自動手做 ● 在實驗的過程中讓我更加了解可逆反應 ● 讓我看到化學的反應，加深印象
電腦軟體模擬	8 (25.0%)	● 看著球的顏色變化就可以理解化學平衡 ● 軟體模擬使我清楚記得化學平衡的原則 ● 因為最容易懂，再配合老師的講解，清楚明瞭
學生角色扮演	5 (15.6%)	● 因為有趣不枯燥 ● 增加課程的趣味 ● 因為我有上台參與
傳統講述教學	0 (0.0%)	● 無

八、多重表徵教學組學生認為本次教學中要改進的單元之分析

多重表徵教學組學生也就是多重表徵組的學生在經過五堂課的教學後，請學生在情意問卷的本大題中選出他們認為本次教學中要改進的單元為何，經過簡單的量化和質性的分析後，最後將資料呈現於表 4-4-11。

多重表徵教學組全班有 32 位學生，其中有 7 位學生認為 powerpoint 教學是

這次教學中需要改進的單元，因為有人感覺內容不夠有趣，也有人還是喜歡老師寫板書的感覺，另外其它的原因還包括上課速度有點快，因此聽不太懂投影片的內容。

至於親自動手實驗也有七位同學反映是本次教學要改進的部分，有同學覺得在時間的掌握上可以更好，也有同學認為不感興趣，加上步驟過程又很繁複，所以認為親自動手實驗是本次教學要改進的地方。

最後多重表徵教學組班上也有七位學生在這題問題中並沒有填寫任何的教學單元，他們覺得課程的安排大致上都很好，其實不論是正面或負面的建議，對於以後重新設計課程內容時都是很好的參考依據。

表 4-4-11 多重表徵教學組學生認為本次教學中要改進的單元

所選的單元	人數(%)	原因
粒子操作模型	1 (3.1%)	● 我不太了解這項活動
powerpoint 教學	7 (21.9%)	● 希望能再有趣一些 ● 本人還是習慣循規蹈矩的上課方式 ● 感覺較急，聽不太懂
親自動手實驗	7 (21.9%)	● 時間控制上可以更好 ● 因為沒興趣，而且過程很煩
電腦軟體模擬	4 (12.5%)	● 有點亂，看不太懂 ● 因為動畫有點看不清楚
學生角色扮演	5 (15.6%)	● 只有一部分同學上台參與 ● 因為這部分有點不太懂
傳統講述教學	1 (3.1%)	● 由於傳統教學容易單調無聊
沒有填寫單元	7 (21.9%)	● 大致上都很好，教學生動

第伍章 結論與建議

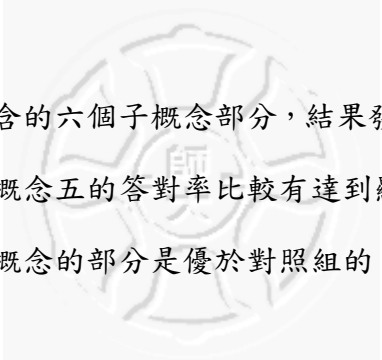
本研究以台北市某公立國中兩個班級進行準實驗研究，其中一個班級施行多重表徵教學，而另一個班級以傳統教學作為對照組，經過五節課關於化學平衡主題的相關課程之後，希望可以了解多重表徵對於提升化學平衡的概念學習成就、概念本體是否有幫助，接著是比較兩組學生經由不同的教學處置(treatment)後，學生具有的心智模式類型是否有何異同之處，也希望從學習情意問卷深入了解多重表徵教學組學生對於參與多重表徵教學的看法。本章將總結本研究的結果，並與相關研究進行比較，最後提出對教學以及未來研究的建議。

第一節 結論

一、概念問卷之學習成就比較

關於兩組內成績比較方面，多重表徵教學組與對照組不管在後測與前測、延宕與後測或是延宕與前測的成對t考驗結果，其p值都小於.05顯著水準，表示經由教學後，兩組學生對於化學平衡的概念都有明顯地提升，即使兩組在延宕階段的概念回歸現象有達顯著差異，但兩組學生對於化學平衡整體的理解程度仍然比教學前有明顯地提升。

接下來是兩組間成績的比較，兩組的後測部分有達到顯著差異，表示多重表徵教學組的多重表徵教學確實能造成學習成效上的差異，使得多重表徵教學組的表現是優於對照組的，至於兩組在延宕階段的部分，多重表徵教學組的答對率仍高於對照組，但未達到顯著差異。



探討概念問卷中所包含的六個子概念部分，結果發現：多重表徵教學組與對照組分別在子概念三和子概念五的答對率比較有達到顯著差異，顯示多重表徵教學對於學生學習這兩個子概念的部分是優於對照組的。

二、粒子本體問卷之學習成就比較

關於兩組內成績比較方面，經過五節課的教學後，兩組學生對於化學平衡的突現本體概念屬性都有明顯地提升，雖然多重表徵教學組在延宕階段的概念回歸現象有達顯著差異，但兩組學生對於化學平衡的突現本體概念屬性仍然比教學前有明顯地提升。

至於兩組間成績的比較方面，兩組的後測、延宕階段都有達到顯著差異，表示強調巨觀、微觀等不同面向的多重表徵教學有助於學習者理解化學平衡的突現過程本體屬性。

接下來探討兩組學生在粒子本體問卷中各突現本體屬性的表現，結果發現：兩組在一致性、隨機性、持續性、非目的性等這四種突現本體屬性方面有達到顯著差異，另外，兩組學生即使經由教學後，全班具有非目的性本體屬性概念的比例仍然未超過 60%。

三、概念問卷與粒子本體問卷之間的學習成就相關分析

經由教學後，二組學生的概念、對於粒子的概念本體都有所成長，但學生的概念問卷成績與每次對應的本體問卷成績，在前測、後測、延宕測驗階段均沒有達到皮爾遜相關檢定的明顯相關。



四、心智模式的分析比較

本研究發現：學生在化學平衡的方向性所具有的心智模式分別有：靜止模式、單向模式、雙向固定起始模式一、雙向固定起始模式二、雙向固定起始模式三、雙向任意起始模式，而在化學平衡的微觀機制所具有的心智模式分別有：現象表面模式、完全反應模式、等濃度模式、分散模式、移動方向模式、正確科學模式。

比較兩組間的心智模式類型分佈結果，我們發現在方向性部分不管是多重表徵教學組或是對照組方面，在前測階段兩組學生的心智模式都有集中在單向模式的現象，另外在延宕測驗的地方可以發現兩組的雙向固定起始模式一的比例都有上升的趨勢，尤其是對照組更是增加到比例最高的心智模式。

至於在化學平衡的微觀機制部分，在前測階段兩組學生的心智模式都有集中在等濃度模式的地方，其中多重表徵教學組更有高達七成的比例，另外移動方向模式的部分也是值得注意的地方，不管是多重表徵教學組還是對照組移動方向模式的比比例都是隨著後測和延宕測驗繼續增加，這樣子的研究發現似乎和文獻結果相吻合：學生確實會誤用勒沙特列原理(Johnstone, MacDonald & Webb, 1977 ; Wheeler & Kass, 1978 ; Banerjee, 1991 ; Cheung, 2009)。

五、學生對於多重表徵教學的看法

情意問卷顯示多重表徵教學組大部分學生對於多重表徵教學是抱持著正面的評價，對於六種教學方式在「幫助學生理解化學平衡的相關概念」、「使得學習化學變得有趣」、「是否造成學習上的負擔」等三方面的的整體排序為學生角色扮演、親自動手實驗、粒子操作模型、powerpoint 教學、電腦軟體模擬、傳統講述

教學。



六、與相關文獻的比較

持有移動方向心智模式的學生無法分別莫耳數與莫耳濃度的差異，不知道莫耳濃度除了與莫耳數相關之外，其實也受限於容器體積的大小，誤以為只要莫耳數增加則莫耳濃度必定也會增加，造成誤用勒沙特列原理作為判斷的唯一依據，其中的迷思概念與研究文獻相符合，例如無法區別莫耳數與莫耳濃度的差異 (Wheeler & Kass, 1978 ; Bergquist & Heikkinen, 1990)與誤用勒沙特列原理 (Johnstone, MacDonald & Webb, 1977 ; Wheeler & Kass, 1978 ; Banerjee, 1991 ; Cheung, 2009)。

持有等濃度心智模式的學生會以為達平衡時，反應物與生成物的濃度必相等，這個迷思概念也與相關文獻結果吻合 (Hackling & Garnett, 1985 ; Boujaoude & Saouma, 1993 ; 陳婉茹, 2004 ; Ozmen, 2007)。

因為不了解化學平衡的微觀機制與動態本質，學生誤以為化學平衡反應與一般的化學反應沒有差別，所以持有靜止心智模式或單向心智模式的想法，以下的研究文獻 Gussarsky & Gorodetsky, 1986 ; Ben-Zvi, Eylon & Silberstein, 1987 ; Gussarsky & Gorodetsky, 1990 ; Tyson, Treagust & Bucat, 1999 ; Chiu, Chou & Liu, 2002 ; Van Driel et al., 2002 ; Doymus, 2008 也有類似的發現。

持有分散心智模式想法的學生會有反應物與生成物為獨立的個體的迷思概念，在 Johnstone, MacDonald & Webb, 1977 ; 陳婉茹, 2004 的研究中也有相同的結果。

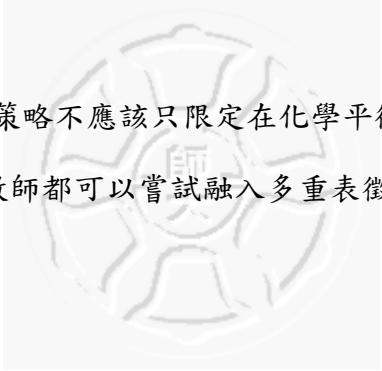
此外，陳婉茹(2004)的研究發現學生對於化學平衡所持有的心智模式種類有單向完全反應模式、單向雙向反應模式、雙向雙向完全反應模式、雙向雙向反應模式等四種，其中雙向雙向反應模式就是所謂的科學心智模式，我們可以發現這四種心智模式都是根據反應方向的判準得到的，而本研究的結果顯示學生對於化學平衡所持有的心智模式種類除了反應方向這個判準之外，還包括微觀機制的面向，根據反應方向的判準，本研究得到靜止模式、單向模式、雙向固定起始模式 1、雙向固定起始模式 2、雙向固定起始模式 3、雙向任意起始模式等六種、而微觀機制的部分則有現象表面模式、完全反應模式、等濃度模式、分散模式、移動方向模式、正確科學模式等六種。

至於在概念本體的部分，陳婉茹(2004)的研究和本研究都是採用一致性、隨機性、持續性、同時性、非目的性等這五個突現本體屬性，陳婉茹的研究結果顯示出經過動態類比教學後，兩組學生的答對率在後測階段都未超過八成的突現本體屬性為一致性、非目的性，在本研究中也發現類似的情形，經過多重表徵教學後，兩組學生在後測階段持有一致性、非目的性這兩種突現本體屬性的比率皆未超過七成，在這五種突現本體屬性中所占的比率也是最低的。

第二節 建議

一、對於教學之建議

由於本研究結果顯示多重表徵教學對於學生學習化學平衡是有幫助的，科學教師以後在授課此單元時，除了動態類比之外，又多了一項不同的選擇，可以讓學生透過巨觀表徵、微觀表徵等不同的面向來理解化學平衡所具有的動態本質、微觀機制。



其實多重表徵的教學策略不應該只限定在化學平衡單元而已，只要牽涉到粒子微觀現象的單元，科學教師都可以嘗試融入多重表徵教學策略到原有的課程設計。

二、對於未來研究之建議

建議在本研究中增加動態評量的部分，從一連串的動態評量中，了解學生對化學平衡認知發展的歷程，不僅可以增加師生互動的機會，也可以隨時修正教學方式與教材，為現行的評量方式提出改進的參考依據。

由於本研究參與的學生人數不多，多重表徵教學組和對照組的人數分別為 32 人和 29 人，未來可以增加參與者的樣本人數，如此得到的研究數據將更具有說服力。

本研究已經按照 Vosniadou(1994)的理論分析出化學平衡在反應方向部分有哪些心智模式屬於初始模式、合成模式、科學模式，但是在微觀機制的部分本研究尚未分析出有哪些心智模式屬於初始模式、合成模式、科學模式，建議未來的研究可以針對這個部分來加以分析探討。

本研究的概念問卷包含六個命題陳述，研究結果顯示在後測階段，兩組學生的命題陳述三和命題陳述五都有達顯著差異，代表多重表徵教學策略對這兩個命題陳述是有效的，未來的研究可以更進一步探討為何多重表徵教學只對這兩個命題陳述有效，以及這六個命題陳述之間的關係。



參考文獻

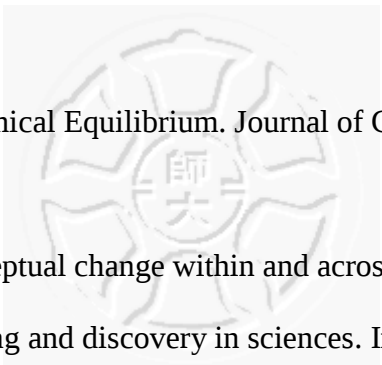
中文文獻

- 吳明珠(2004)。從科學史中理論模型的發展暨認知學心智模式探討化學概念的理解－層析理論的模型化案例。國立台灣師範大學科學教育研究所博士論文（未出版）。
- 邱美虹(2000)。概念改變研究的省思與啟示。科學教育學刊，第八卷第一期，1-34。
- 邱美虹與翁雪琴(1995)。國三學生「四季成因」之心智模式與推理歷程之探討。科學教育學刊，3(1)，23-68。
- 邱顯博(2002)。國二、國三學生的擴散作用概念與概念改變之研究。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
- 陳婉茹(2004)。探討動態類別對於化學平衡概念學習之研究－八年級學生概念本體及心智模式之變化。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
- 陳盈吉(2004)。探究動態類比對於科學概念學習與概念改變歷程之研究－以國二學生學習氣體粒子為例。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
- 鍾曉蘭(2007)。以多重表徵的模型教學探究高二學生理想氣體心智模式的類型及演變的途徑。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
- 熱化學之可逆反應 DVD(2000)宇勗企業有限公司, 臺北市。

英文文獻

- Ainsworth, S. E., (1999). A functional taxonomy of multiple representations. Computers and Education, 33(2/3), 131-152. ISSN 0360-1315
- Ainsworth, S. E., Bibby, P. A., & Wood, D. J. (2002). Examining the effects of

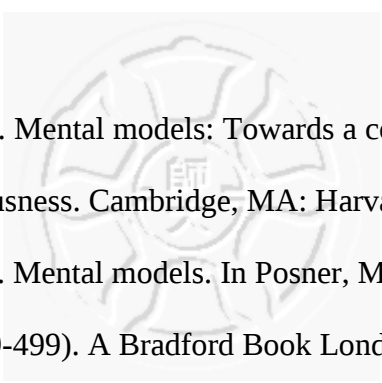
- different multiple representational systems in learning primary mathematics.
Journal of the Learning Sciences. 11(1), 25-62.
- Ainsworth, S.E (2006) DeFT: A conceptual framework for learning with multiple representations Learning and Instruction, 16(3), 183-198., (journal home page)
- Ainsworth, S., & Van Labeke, N. (2004). Multiple forms of dynamic representation. Learning and Instruction, 14(3), 241-255.
- Ainsworth, S. (2008). The educational value of multiple representations when learning complex scientific concepts. In J. K. Gilbert & M. Reiner & M. Nakhlel (Eds.), Visualization: Theory and Practice in Science Education (pp. 191-208)New York: Springer.
- Banerjee, A. C. (1991). Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. International Journal of Science Education, 13(4), 487-494.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1987). Students' visualization of a chemical reaction. Education in Chemistry, July, 117-120.
- Bergquist, W. & Heikkinen, H. (1990). Student ideas regarding chemical equilibrium. Journal of Chemical Education, 67, 1000-1003.
- BouJaoude, Saouma(1993) Students' Systematic Errors When Solving Kinetic and Chemical Equilibrium Problems. Paper presented at Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching
- Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (eds.), Developing models in Science Education , (pp.41-57). Netherlands : Kluwer academic Publisher.
- Camacho, M. & Good, R. (1989). Problem solving and chemical equilibrium: successful versus unsuccessful performance. Journal of Research in Science Teaching, 26(3), 251-271.
- Cheung, Derek(2009) The Adverse Effects of Le Chatelier's Principle on Teacher

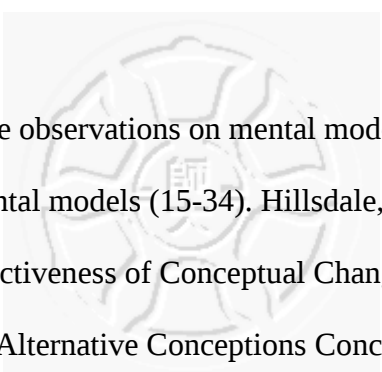


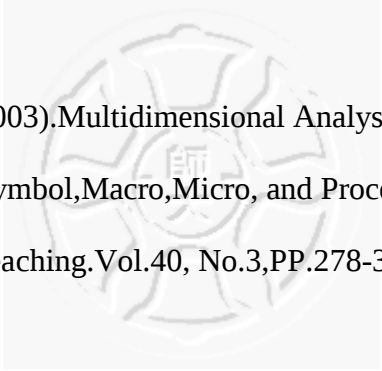
Understanding of Chemical Equilibrium. *Journal of Chemical Education*, v86 n4
p514-518.

- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Implications for learning and discovery in sciences. In Giere R. (Ed.). *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp. 129–186). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H. (1997). Creativity: Shifting across ontological categories flexibly. In Ward, T. B., Smith, S. M., & Vaid J. (Eds.), *Conceptual Structures and processes: Emergence, Discovery and Change*. (209-234). Washington, D.C: American Psychological Association.
- Chi, M. T. H. (2005). Commonsense Conceptions of Emergent Processes: Why Some Misconceptions Are Robust? *The Journal of The Learning Sciences*, 14(2), 161 – 199
- Chi, M. T. H. & Roscoe, R.D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. In Limon M. & Mason, L. (Eds). *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 3-27.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Chiu, M. H., Chou, C. C., & Liu, C. J. (2002). Dynamic processes of conceptual change: analysis of constructing mental models of chemical equilibrium. *Journal of research in Science Teaching*, 39, 688-712.
- Doymus, Kemal(2008) Teaching Chemical Equilibrium with the Jigsaw Technique. *Research in Science Education*, v38 n2 p249-260
- Eysenck, M. W. & Keane, M.T. (1996). *Cognitive Psychology: A Student's*

- Handbook (3rd. ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates
- Ferrari, M. & Chi, M. T. H. (1998). The nature of naive explanations of natural selection. *International Journal of Science Education*, 20 (10), 1231-1256.
- Finley, F.N., Stewart, J., & Yarroch, W.L. (1982). Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Science Education*, 66, 531-538.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-18). Dordrecht: Kluwer
- Gorodetsky, M. & Gussarsky, E. (1986). Misconceptuallization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *European Journal of Science Education*, 8, 427-441.
- Gussarsky, E. & Gorodetsky, M. (1990). On the concept ' chemical equilibrium.' : The associative framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 197-204.
- Hackling, M. W. & Garnett, P. J. (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*, 7, 205-214.
- Hameed, H., Hackling, M. W., & Garnett, P. J. (1993). Facilitating conceptual change in chemical equilibrium using a CAI strategy. *International Journal of Science Education*, 15(2), 221-230.
- <http://chemconnections.org/Java/equilibrium/index.html> 使用於 2009 年 5 月
- Huddle, P. A & Pillay, A.E. (1996). An in-deep study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South African university. *Journal of Research Science Teaching*, 33, 65-77.
- Huddle, P. A., White, M., & Rogers, F. (2000). Simulations for Teaching Chemical Equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 77(7), 920-926.

- 
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1989). Mental models. In Posner, M. I. (Ed.), *Foundations of Cognitive Science* (469-499). A Bradford Book London, England.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 701-703.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- Johnstone, A. H., MacDonald, J. J. ,& Webb, G. (1977). Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry*, 14, 169-171.
- Kaput, J.J.(1989). Linking representations in the symbol system of algebra. In S. Wagner & C. Kieran (Eds), *Research issues in the learning and teaching of algebra* (pp.167-194).
- Kessler, K., Duwe, I., & Strohner, H. (1999). Grounding mental models – Subconceptual dynamics in the resolution of Linguistic reference in discourse. In G. Rickheit & C. Habel (Eds.). *Mental Models in Discourse Processing and Reasoning*(pp. 169-193). Amsterdam: Elsevier Science B. V.
- Kozma, R., Russell, J., Jones, T., Marx, N., & Davis, J. (1996). The use of multiple, linked representations to facilitate science understanding. In Vosniadou, S., Glaser, R., DeCorte, E., and Mandl, H. (Eds), *International Perspectives on the Psychological Foundations of Technology-Based Learning Environments*, Erlbaum, Hillsdale, NJ, 41-60
- Kozma, R. (2000). The use of multiple representations and the social construction of understanding in chemistry. In M. Jacobson & R. Kozma (eds.), *Innovations in science and mathematics education: Advanced designs for technologies of learning*, (pp. 11-46). Mahwah, NJ: Erlbaum.

- 
- Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. In Gentner, D. & Stevens, A. (Eds.), *Mental models* (15-34). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Ozmen, H. (2007), The Effectiveness of Conceptual Change Texts in Remediating High School Students' Alternative Conceptions Concerning Chemical Equilibrium. *Asia Pacific Education Review*, v8 n3 p413-425 Dec 2007
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Tyson, L., & Treagust, D. F. (1999). The complexity of teaching and learning chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 554-558.
- Van Driel, J. H., De Vos, W., Verloop, N., & Dekkers, H. (1998). Developing secondary students' conceptions of chemical reactions: the introduction of chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 20, 379-392.
- Van Driel, J. H. & Graber W. (2002). The teaching and learning of chemical equilibrium.
- Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Vosniadou, S. & Brewer, W. F., (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-124.
- Wheeler, A. E. & Kass, H. (1978). Student misconceptions in chemical equilibrium. *Science Education*, 62, 223-232.
- Wu, H.-K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting conceptual understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821 - 842.



Y.J.Dori & Mira Hameiri(2003).Multidimensional Analysis System for Quantitative Chemistry Problems:Symbol,Macro,Micro, and Process Aspects.Journal of Research in Science Teaching.Vol.40, No.3,PP.278-302



附 錄

附錄一

化學平衡概念問卷

親愛的同學您好：

這是一份關於化學平衡的概念問卷，目的在於瞭解您對化學平衡的想法。測驗結果將做為學術研究的重要參考，不會公開，也不會提供給其它研究單位參考，請您安心作答。

當您在作答下列測驗題時，請先閱讀以下注意事項：

1. 請您於封面填上您的資料，校名、班級、座號、姓名、性別。
2. 這份測驗中每個題目都包含了許多選項，請您依照題目的指示，由數個選項中選出一個最為適當的答案，並將答案填寫於作答區。
3. 請您盡可能詳細作答，勿提早交卷。

再次感謝您的作答，祝您學業進步

國立台灣師範大學 科學教育研究所敬上

學校名稱：

班級：

座號：

姓名：

性別：

() 1-1. 下列物質放置於密閉容器中，哪些組合能達成

$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ 的化學平衡反應？

(A) SO_2 、 O_2

(B) SO_3

(C) SO_2 、 O_2 、 SO_3

(D) 其它，請說明_____

() 1-2. 承 1-1 題，當此反應 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ 達到化學平衡時，

再將含有放射性的 $^{18}_8\text{O}$ 之氧氣放入反應容器中，試問經過一段時間後，於何者物質中可以發現 $^{18}_8\text{O}$ 原子存在於其中？

(A) 只有 O_2

(B) 只有 SO_3

(C) 只有 O_2 和 SO_3

(D) 只有 O_2 和 SO_2

(E) O_2 、 SO_2 和 SO_3 三者都有

() 1-3. 當 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ 反應達到化學平衡後，持續觀察 SO_3 的濃度會如何？

(A) 增加

(B) 不變

(C) 下降

() 1-4. 承 1-3 題，此時在反應容器中得到生成物 SO_3 的濃度與反應物 SO_2 的濃度關係為何？

(A) 生成物濃度 > 反應物濃度

(B) 生成物濃度 = 反應物濃度

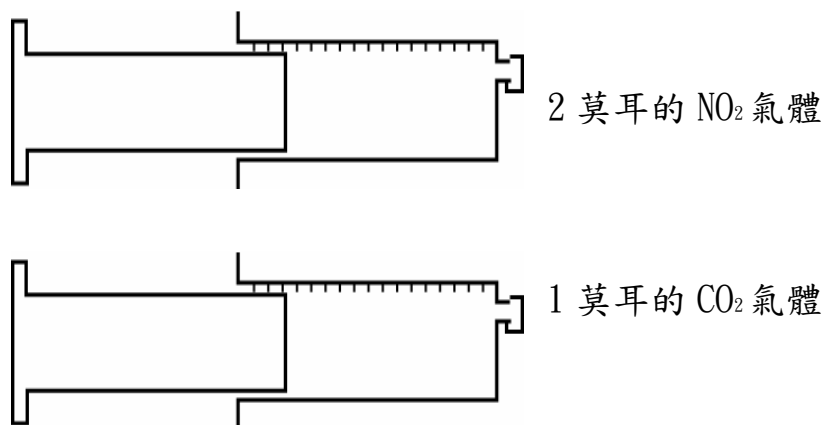
(C) 生成物濃度 < 反應物濃度

(D) 以上三種情況都有可能發生

- () 1-5. 當反應 $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ 達到化學平衡時，我們在反應容器中加入更多的 SO_3 ，此時會發生什麼現象？
- (A) 微觀來看不會發生任何變化，因為加入的 SO_3 是生成物
- (B) 微觀來看 SO_3 會分解成 SO_2 與 O_2 ，但 SO_2 與 O_2 不會結合成 SO_3
- (C) 微觀來看 SO_3 會分解成 SO_2 與 O_2 ，同時 SO_2 與 O_2 也會結合成 SO_3 ，此外反應物與生成物是均勻分散在容器中
- (D) 微觀來看 SO_3 會分解成 SO_2 與 O_2 ，同時 SO_2 與 O_2 也會結合成 SO_3 ，此外反應物與生成物則是分散在容器兩側

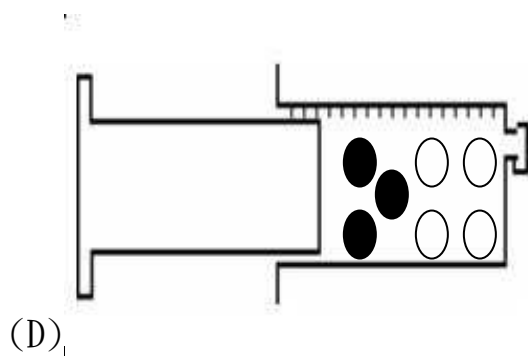
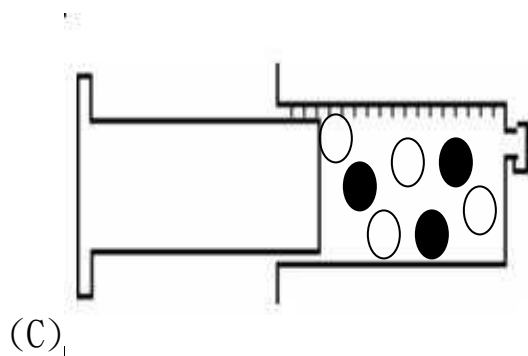
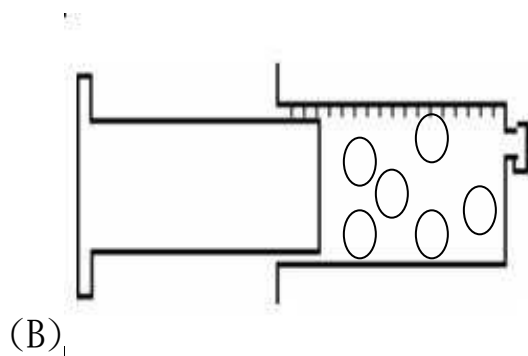
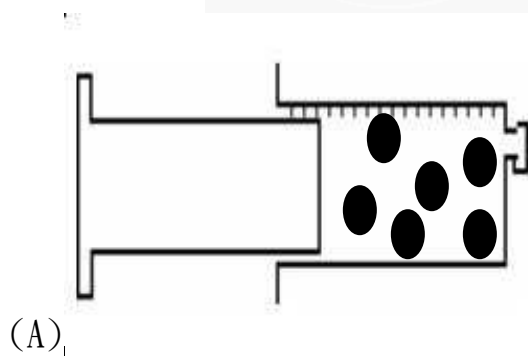
()2-1. 已知 NO_2 氣體會進行下列反應：

$2\text{NO}_2(\text{紅棕色}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{無色})$ ，現於 25°C 室溫下，分別將兩莫耳的 NO_2 氣體與一莫耳的 CO_2 氣體注入下圖的兩密閉注射筒中，結果發現上方注射筒中的顏色從一開始的紅棕色逐漸變淡，經過一段時間後紅棕色便不再發生變化，請比較此時 N_2O_4 和 CO_2 兩氣體分子的莫耳數？



- (A) 因為放入的是 NO_2 氣體，注射筒中並沒有任何的 N_2O_4 氣體，所以 N_2O_4 氣體的莫耳數小於 CO_2 氣體的莫耳數
- (B) 因為注射筒中的 NO_2 氣體只有一部分會轉變成 N_2O_4 氣體，所以 N_2O_4 氣體的莫耳數小於 CO_2 氣體的莫耳數
- (C) 因為注射筒中的 NO_2 氣體會全部轉變成 N_2O_4 氣體，按照兩者的係數關係可以得到 N_2O_4 氣體的莫耳數等於 CO_2 氣體的莫耳數
- (D) 注射筒中的 NO_2 氣體經過一段時間轉變成 N_2O_4 氣體，此時得到 N_2O_4 氣體的莫耳數會大於 CO_2 氣體的莫耳數

() 2-2. 承 2-1 題，若以○表示 N_2O_4 氣體分子，而●表示 NO_2 氣體分子，當 2-1 題的上方注射筒中紅棕色不再發生變化時，下列哪個選項可以呈現出注射筒內氣體粒子的分佈情形。



- () 2-3. 承 2-2 題，當上方注射筒中的顏色不再改變時，將左邊的活塞向右推進，使筒內的體積變小，試問 NO₂ 氣體的莫耳數 會如何？

反應式如右： $2\text{NO}_2(\text{紅棕色}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{無色})$

- (A) 因為加壓造成反應向右，造成 NO₂ 氣體的莫耳數減少
(B) 因為加壓造成反應向左，造成 NO₂ 氣體的莫耳數增加
(C) 因為加壓對反應沒影響，所以 NO₂ 氣體的莫耳數不變

- () 2-4. 承 2-2 題，當上方注射筒中的顏色不再改變時，將左邊的活塞向右推進，使筒內的體積變小，再經過一段很長時間之後，試問此時注射筒內微觀來看會發生什麼現象？

反應式如右： $2\text{NO}_2(\text{紅棕色}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{無色})$

- (A) 正、逆反應都停止了
(B) 只有正反應仍然持續發生，逆反應停止
(C) 只有逆反應仍然持續發生，正反應停止
(D) 正、逆反應同時持續發生

()2-5. 承 2-2 題，當上方注射筒中的顏色不再改變時，將左邊的
活塞向右推進，造成筒內的體積變小，試問 NO₂ 氣體的濃度

會如何？反應式如右： $2\text{NO}_2(\text{紅棕色}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{無色})$

(A) 變小

(B) 變大

(C) 不變

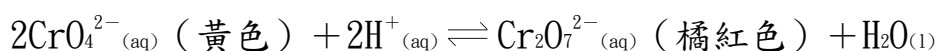
()3-1. 取少許的鉻酸鉀(K_2CrO_4)溶解於水中，水溶液會呈現黃色，

當老師加入某物質至溶液中發現此時顏色變成橘紅色，以

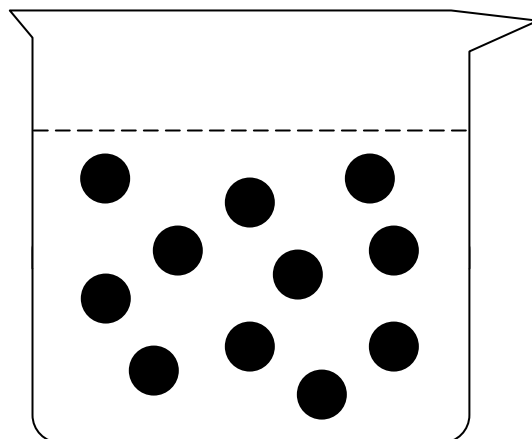
○表示 CrO_4^{2-} 粒子，而●表示 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 粒子，請問下列哪個

選項呈現水溶液看起來是橘紅色時的微觀粒子分佈情形。

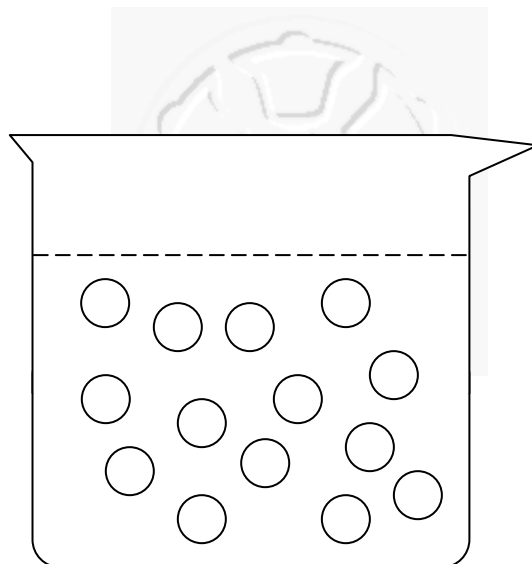
已知本反應牽涉的化學平衡如下：



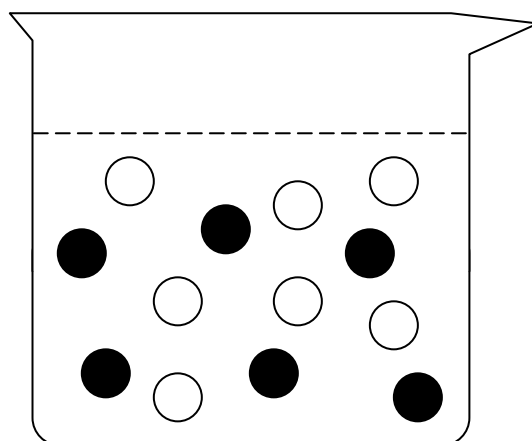
(A)



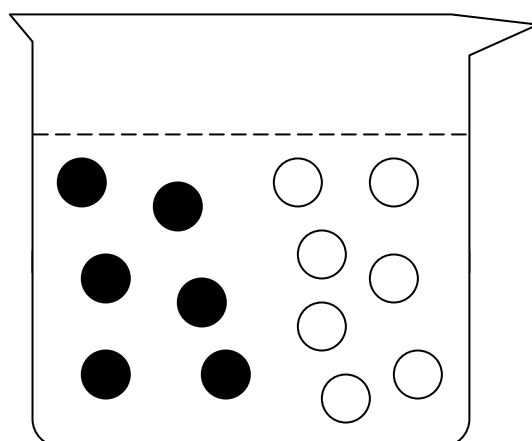
(B)



(C)



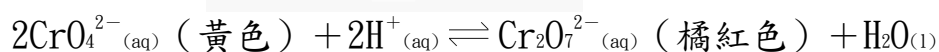
(D)



()3-2. 承 3-1 題，在橘紅色的水溶液中加入更多的 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ，試問

經過一段長時間後，與加入 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 前相比較，此時 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$

的莫耳數會如何？已知本反應牽涉的化學平衡如下：



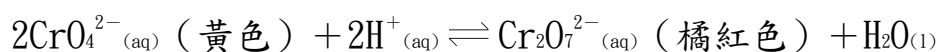
(A) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的莫耳數會減少

(B) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的莫耳數會增加

(C) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的莫耳數會不變

()3-3. 承 3-2 題，試問此時 CrO_4^{2-} 的莫耳數會如何？

已知本反應牽涉的化學平衡如下：

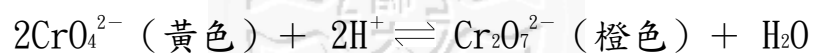


(A) CrO_4^{2-} 的莫耳數會減少

(B) CrO_4^{2-} 的莫耳數會增加

(C) CrO_4^{2-} 的莫耳數會不變

()3-4. 已知鉻酸鉀牽涉的化學平衡如下：



試問改變下列條件時，反應與溶液顏色是否會有所影響？

向右 向左 不受影響

黃色 橙色

(1)增加 CrO_4^{2-} 的濃度：反應 ☐ ☐ ☐ ，溶液顏色趨 ☐ ☐

(2)增加 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的濃度：反應 ☐ ☐ ☐ ，溶液顏色趨 ☐ ☐

(3)減少 CrO_4^{2-} 的濃度：反應 ☐ ☐ ☐ ，溶液顏色趨 ☐ ☐

(4)減少 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的濃度：反應 ☐ ☐ ☐ ，溶液顏色趨 ☐ ☐

(5)加酸(提供 H^+)： 反應 ☐ ☐ ☐ ，溶液顏色趨 ☐ ☐

(6)加鹼(提供 OH^-)： 反應 ☐ ☐ ☐ ，溶液顏色趨 ☐ ☐

附錄二

化學平衡粒子本體問卷

親愛的同學您好：

這是一份關於化學平衡的粒子本體問卷，目的在於瞭解您對化學平衡的想法。測驗結果將做為學術研究的重要參考，不會公開，也不會提供給其它研究單位參考，請您安心作答。

當您在作答下列測驗題時，請先閱讀以下注意事項：

1. 請您於封面填上您的資料，校名、班級、座號、姓名、性別。
2. 這份測驗中每個題目都包含了許多選項，請您依照題目的指示，由數個選項中選出一個最為適當的答案，並將答案填寫於作答區。
3. 請您盡可能詳細作答，勿提早交卷。

再次感謝您的作答，祝您學業進步

國立台灣師範大學 科學教育研究所敬上

學校名稱：

班級：

座號：

姓名：

性別：

一、已知 NO_2 氣體會進行下列反應： $2\text{NO}_2(\text{紅棕色}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{無色})$ ，現於 25°C 室溫下，將 NO_2 氣體灌入密閉容器中，結果發現容器中的顏色從一開始的紅棕色逐漸變淡，經過一段時間後，顏色便不再發生變化。請在下列問題中，選擇一個你認為最有可能的答案。

1. 經過一段長時間後，

是不是所有的 NO_2 氣體都有可能曾經結合成 N_2O_4 氣體呢？

- ☐ (A) 所有的 NO_2 氣體都有可能曾經結合成 N_2O_4 氣體。
- ☐ (B) 不是所有的 NO_2 氣體都有可能曾經結合成 N_2O_4 氣體。

2. 剛開始時， NO_2 氣體會結合成 N_2O_4 氣體，

接下來哪二個 NO_2 氣體會結合成 N_2O_4 氣體，你是不是可以推測出來呢？

- ☐ (A) 哪二個 NO_2 氣體會結合成 N_2O_4 氣體是可以推測出來的。
- ☐ (B) 哪二個 NO_2 氣體會結合成 N_2O_4 氣體是無法推測出來的。

3. NO_2 氣體會結合成 N_2O_4 氣體的這種情形，是不是有可能停止呢？

- ☐ (A) NO_2 氣體會結合成 N_2O_4 氣體的這種情形是會停止的。
- ☐ (B) NO_2 氣體會結合成 N_2O_4 氣體的這種情形是不會停止的。

4. 在容器中已有一些 N_2O_4 氣體的情況下，

你覺得 NO_2 氣體的運動情況哪一個是最有可能的？

- ☐ (A) 已有 N_2O_4 氣體存在，所以不可能再有 NO_2 氣體結合成 N_2O_4 。
- ☐ (B) 有 NO_2 氣體結合成 N_2O_4 氣體，然後才会有 N_2O_4 氣體分解為 NO_2 。
- ☐ (C) 有 NO_2 氣體結合成 N_2O_4 氣體，同時也有 N_2O_4 氣體分解為 NO_2 。

5. 你認為達到化學平衡跟粒子間的運動，有沒有什麼關係呢？

- ☐ (A) NO_2 氣體結合成 N_2O_4 氣體後，不會有 N_2O_4 氣體分解為 NO_2 氣體，如此來達到化學平衡。
- ☐ (B) 有 NO_2 氣體結合成 N_2O_4 氣體後，也會有 N_2O_4 氣體分解為 NO_2 氣體，其目的是要達到化學平衡。
- ☐ (C) 有 NO_2 氣體結合成 N_2O_4 氣體後，也會有 N_2O_4 氣體分解為 NO_2 氣體，結果恰好能達到化學平衡。

二、氫氣和氮氣反應能生成氨氣，其反應式為： $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ ，現在將氫氣和氮氣一起灌入密閉容器中，結果發現容器中的壓力一開始有所改變，經過一段時間後，壓力便不再變化。請在下列問題中，選擇一個你認為最有可能的答案。

1. 經過一段長時間後，

是不是所有氫氣分子都有與氮氣分子結合的機會呢？

- ☐ (A) 所有氫氣分子與氮氣分子結合的機會都是相同的。
- ☐ (B) 某些氫氣分子較有機會與氮氣分子結合。

2. 剛開始時，氫氣分子和氮氣分子會產生結合的現象，

接下來是哪一個氮氣分子進行結合，你是不是可以推測出來呢？

- ☐ (A) 哪一個氮氣分子和氫氣分子會結合是可以推測出來的。
- ☐ (B) 哪一個氮氣分子和氫氣分子會結合是無法推測出來的。

3. 氫氣分子和氮氣分子結合的這種情形，是不是有可能停止呢？

- ☐ (A) 氫氣分子和氮氣分子結合的情形是會停止的。
- ☐ (B) 氫氣分子和氮氣分子結合的情形是不會停止的。

4. 已經有一些氫氣分子和氮氣分子結合的情況下，

你覺得氫原子和氮原子結合的情形哪一個是最有可能的？

- ☐ (A) 氫原子一旦和氮原子結合，就不會有分開的情形。
- ☐ (B) 有氫原子和氮原子結合，
然後才會有一些氫原子和氮原子分離。
- ☐ (C) 氫原子和氮原子結合的同時，
也會有氫原子和氮原子分離。

5. 你認為達到化學平衡與粒子間的結合，有沒有什麼關係呢？

- ☐ (A) 氫原子和氮原子結合後，不可能有分開的情形，
如此來達到化學平衡。
- ☐ (B) 有氫原子和氮原子結合，也有氫原子和氮原子分離，其目的
是要達到化學平衡。
- ☐ (C) 有氫原子和氮原子結合，也有氫原子和氮原子分離，結果恰
好達到化學平衡。

三、A 與 B 反應生成紅色的 AB，反應式為： $A+B \rightleftharpoons AB$ (紅色)，現在將 A 和 B 一起灌入密閉容器中，結果發現容器中的顏色愈來愈深，經過一段時間後，顏色便不再變化。請在下列問題中，選擇一個你認為最有可能的答案。

1. 經過一段長時間後，
是不是所有 A 粒子都有與 B 粒子結合的機會呢？

- ☐ (A) 所有 A 粒子與 B 粒子結合的機會都一樣。
☐ (B) 某些 A 粒子較有機會與 B 粒子結合。

2. 剛開始時，粒子會產生結合的現象，
接下來哪一個粒子會產生結合的現象，你是不是可以推測出來呢？

- ☐ (A) 哪一個 A 粒子會與 B 粒子結合是可以推測的。
☐ (B) 哪一個 A 粒子會與 B 粒子結合是不可以推測的。

3. A 粒子與 B 粒子結合的這種情形，是不是有可能停止呢？

- ☐ (A) A 粒子與 B 粒子結合的這種情形是會停止的。
☐ (B) A 粒子與 B 粒子結合的這種情形是不會停止的。

4. 已經有一些 A 粒子與 B 粒子結合了，
你覺得 A 粒子與 B 粒子的結合情況，下列哪一個是最有可能的？

- ☐ (A) A 粒子一旦與 B 粒子結合，就不可能有分開的情形。
☐ (B) A 粒子會與 B 粒子結合，然後才会有 A 粒子與 B 粒子分離。
☐ (C) A 粒子會與 B 粒子結合，同時也有 A 粒子與 B 粒子分離。

5. 你認為達到化學平衡跟粒子間的結合，有沒有什麼關係呢？

- ☐ (A) A 粒子一旦與 B 粒子結合，就不可能有分開的情形，
如此來達到化學平衡。
☐ (B) A 粒子會與 B 粒子結合，也會有 A 粒子與 B 粒子分離，
其目的就是要達到化學平衡。
☐ (C) A 粒子會與 B 粒子結合，也會有 A 粒子與 B 粒子分離，
結果恰好達到化學平衡。

附錄三

多重表徵組的學習情意問卷

同學你好：

教學已告一段落，十分高興能有機會和同學們一起進行研究，同學們真的很優秀，教學的過程非常感謝大家的配合。在最後的尾聲中，希望同學們能夠真誠的告訴我們，你對於此次上課的感覺，好讓我們知道如何修改未來的課程，你的意見是非常寶貴的喔，所以，請你務必認真填寫！

再次感謝同學們的配合與付出！

一、對於已參加的教學活動，請就以下項目，勾選一個您認為恰當的選項。

		非常同意	同意	普通	不同意	非常不同意
	教學 以 我 學 的 。					
	教學 學習 學 有 。					
	教學 學習的 。					
	以 我 學 的 。					
	學習 學 有 。					
	學習的 。					
	以 我 學 的 。					
	學習 學 有 。					
	學習的 。					
	以 我 學 的 。					
	學習 學 有 。					
	學習的 。					
	以 我 學 的 。					
	學習 學 有 。					
	學習的 。					
	教學 以 我 學 的 。					
	教學 學習 學 有 。					
	教學 學習的 。					
	在進行此次教學 ，我認為 學是很 的。					

二、如果可以選擇，你喜歡老師運用何種的教學方式？（可以複選）

教具/粒子模型		POWERPOINT教學		動手做實驗	
角色扮演		電腦軟體模擬		傳統講述教學	

三、你覺得本次教學最有趣的單元/部分為何呢？請簡單說明原因。

四、你對於本次教學印象最深刻的單元/部分為何呢？請簡單說明原因。

五、你覺得本次教學需要改進的單元/部分為何呢？請簡單說明原因。

附錄四：電子教學投影片



可逆反應與化學平衡

多重表徵教學組

請觀賞影片後回答相關的問題~



引自：熱化學之可逆反應DVD(2000), 宇晨企業有限公司, 臺北市。

燒杯底部的固態樟腦丸受熱後會如何？

- A. 熔化變成液態的樟腦丸
- B. 昇華變成氣態的樟腦丸
- C. 受熱後就分解消失不見

燒杯底部的固態樟腦丸受熱後會如何？

- 恭喜你，答對了！
- 我們可以將這個過程表示為：
固態樟腦丸 $\longrightarrow$ 氣態樟腦丸

燒杯底部的固態樟腦丸受熱後會如何？

- 答錯了，請再試一次！
- 提示：乾冰和樟腦丸受熱後的情形是類似的。

量瓶底部觀察到的結晶是如何產生的？

- A. 氣態的樟腦丸遇冷變回固態的樟腦丸
- B. 水蒸氣凝結成的小水滴所聚集而成的
- C. 截至目前資料不足，所以無法判斷



量瓶底部觀察到的結晶是如何產生的？

- 恭喜你，答對了！
- 我們也可將這個過程表示為：
氣態樟腦丸 $\longrightarrow$ 固態樟腦丸

量瓶底部觀察到的結晶是如何產生的？

- 答錯了，請再試一次！
- 提示：加熱前，燒杯中裝著什麼物質。

小結：

- 影片內容可以下列反應式表示：
固態樟腦丸 $\rightleftharpoons$ 氣態樟腦丸
- 其中由左至右的反應稱為**正反應**
由右至左的反應稱為**逆反應**
- 像這樣的反應我們就稱為**可逆反應**

請觀賞影片後回答相關的問題~



引自：熱化學之可逆反應DVD(2000), 宇晨企業有限公司, 臺北市。

燒杯中的乙醇經過一個小時後會如何？

- A. 乙醇量增加，造成液面上升
- B. 乙醇量不變，液面維持一樣
- C. 乙醇量減少，造成液面下降

燒杯中的乙醇經過一個小時後會如何？

- 恭喜你，答對了！



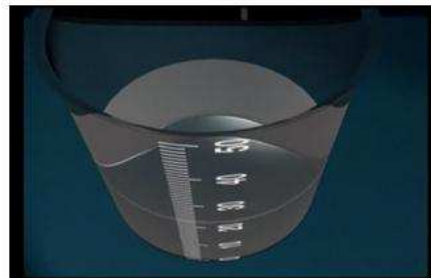
引自：熱化學之可逆反應DVD(2000), 宇晨企業有限公司, 臺北市。



燒杯中的乙醇經過一個小時後會如何？

- 答錯了，請再試一次！
- 提示：請考慮蒸發的現象。

以微觀角度重新詮釋



引自：熱化學之可逆反應DVD(2000), 宇鼎企業有限公司, 臺北市。

在燒杯沒有加蓋的情況下，乙醇分子之正反應的蒸發速率與逆反應的凝結速率關係為何？

- A. 正反應的蒸發速率 < 逆反應的凝結速率
- B. 正反應的蒸發速率 = 逆反應的凝結速率
- C. 正反應的蒸發速率 > 逆反應的凝結速率

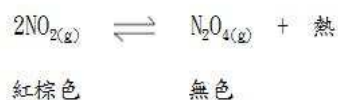
在燒杯沒有加蓋的情況下，乙醇分子之正反應的蒸發速率與逆反應的凝結速率關係為何？

- 恭喜你，答對了！
- 因為正反應的蒸發速率 > 逆反應的凝結速率，所以造成乙醇的液面下降。
- 如果燒杯加蓋且經過一段時間後，正反應蒸發速率會等於逆反應凝結速率，液面高度保持不變，如此形成動態平衡。

在燒杯沒有加蓋的情況下，乙醇分子之正反應的蒸發速率與逆反應的凝結速率關係為何？

- 答錯了，請再試一次！
- 提示：
影片中有提到氣態的乙醇分子相當分散，所以變回液態的機率很小。

化學平衡的介紹





此反應的化學表徵1

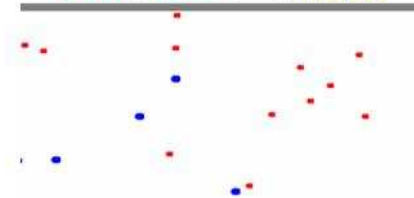


我們在這裡有兩支試管

引自：熱化學之可逆反應DVD(2000), 宇鼎企業有限公司, 臺北市。

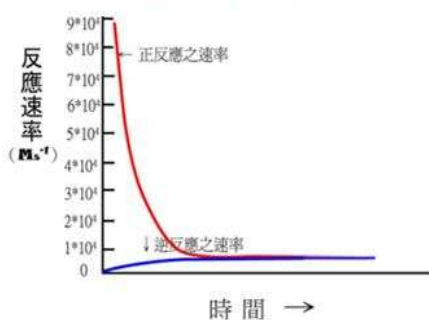
此反應的化學表徵2

(紅色代表 NO_2 分子, 藍色代表 N_2O_4 分子)

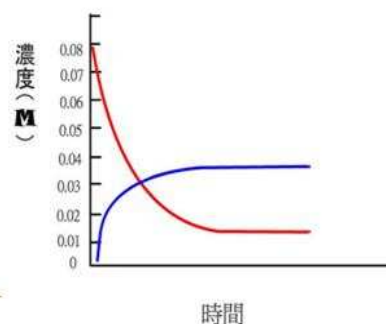


<http://chemconnections.org/java/equilibrium/index.html> 使用於2009年5月

此反應的化學表徵3



此反應的化學表徵4



平衡的移動

□ 影響平衡的因素

- 溫度
- 濃度
- 壓力

□ 判斷原則

- 勒沙特列原理

溫度效應



若我們改變條件會變成如何?

引自：熱化學之可逆反應DVD(2000), 宇鼎企業有限公司, 臺北市。

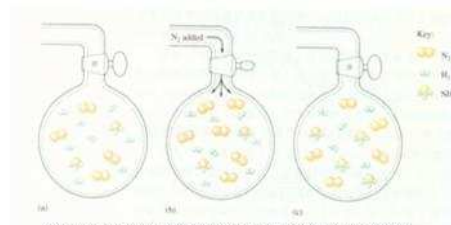
Q: 請解釋試管在冷、熱水中顏色的變化情形!



溫度效應

- $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 + \text{熱}$
- 試管在熱水中時，反應有利於吸熱方向，所以顏色較深。
- 試管在冷水中時，反應有利於放熱方向，所以顏色較淺。

濃度效應



圖(a)為初始的平衡狀態，圖(b)為加入 N_2 ，圖(c)為達到新平衡

Q：請解釋圖(c)中，系統達到新平衡時，各物質數量的變化情形！

引自翰林版97學年度下學期八年級自然與生活科技教科書

濃度效應

- $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$
- N_2 的數量變多，因為額外加入的關係。
- 由於反應向右進行，造成 H_2 的數量減少，而 NH_3 的數目增加。

壓力效應



http://tw.youtube.com/watch?v=DA_wqieC5s&feature=related 使用於2009年5月

Q：請解釋針筒的活塞向內壓縮與向外拉出時所觀察到的現象！

壓力效應

- $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 + \text{熱}$
- 活塞壓縮的過程中，顏色變化為先變深再變淺，但最後的顏色仍比壓縮前深。
- 原因為：壓縮瞬間，系統的體積變小，物質的密度（濃度）變大，所以一開始顏色變深，但改變壓力有利於反應向右，會消耗一部份的 NO_2 ，因此顏色會變淡，而這樣子的過程是需要一段時間的。

Thank you for your attention !

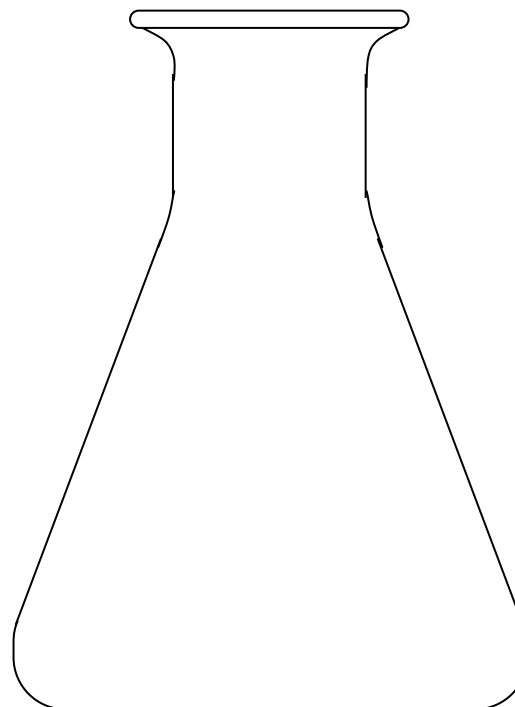
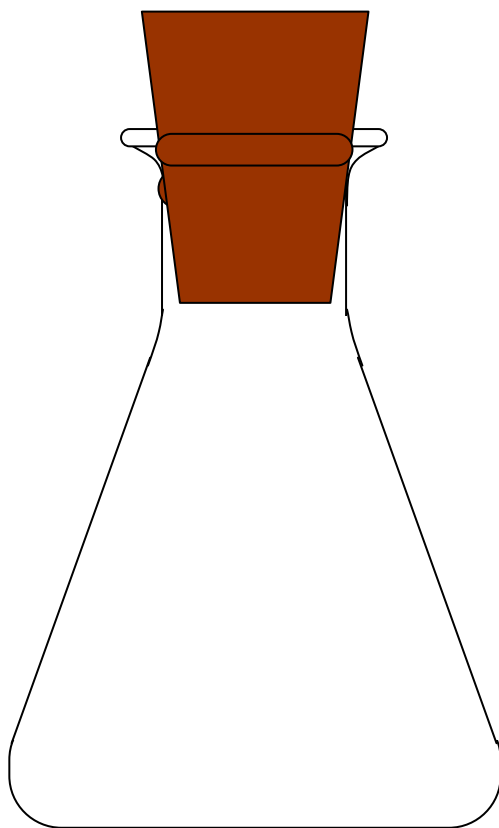
附錄五：晤談問卷

班級：

姓名：

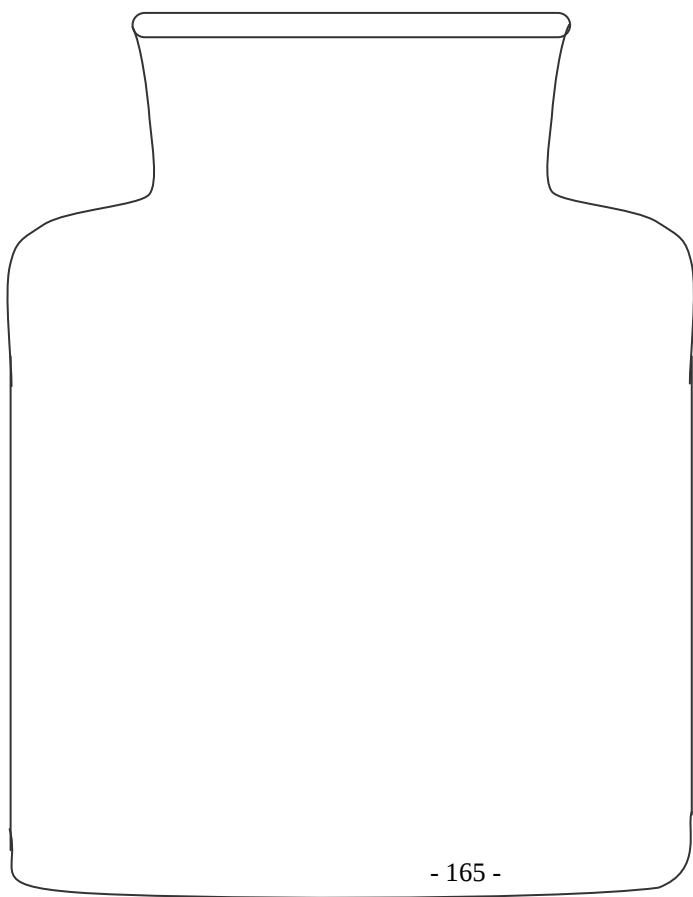
日期：

1. 分別將碳酸鈣和稀鹽酸一起放入底下的左右兩個錐形瓶中，請說明你覺得會發生何種情形？

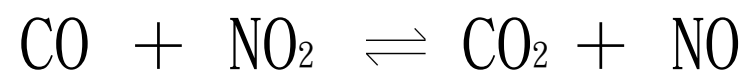


- 碳酸鈣和稀鹽酸的反應為何？
- 當氣泡不再生成時，兩邊所觀察到的現象為何？
- 氣泡不再生成時，是否代表反應停止？
- 左邊錐形瓶的橡皮塞具有何功用？
- 那邊會發生可逆反應？有何不同？
- 如果把左邊的橡皮塞拿起來會如何？

2. 有一反應方程式為 $\text{CO}_{(\text{g})} + \text{NO}_{2(\text{g})} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(\text{g})} + \text{NO}_{(\text{g})}$ ，而此四種氣體只有 NO_2 為紅棕色，其它三種氣體都是無色，現在於密閉的透明容器中加入 CO 和 NO_2 氣體，請說明你覺得會發生何種情形？



- 經過一段長時間後，容器內部的顏色會如何？
- 請畫出此時容器內存在的物質有哪些？
- 若當初 CO 中的氧原子具有放射性，結果會如何？



● 有哪些取法可以達到本反應的化學平衡？