

第肆章 研究結果與討論

本章研究結果共分為四節，第一節為教師概念表徵的分析。第二節為教學後學生對於物質概念學習的探討。第三節為學生在教學後對於過程概念學習的探討。第四節為深入分析學生內在概念結構的轉變。

第一節 教學概念表徵分析

本研究教師的教學內容總共分為兩大單元—「化學反應」和「化學平衡和反應速率」。在教學前，研究者先與教師針對課程內容與範圍進行討論，首先確認欲呈現的教學內容與概念間的連結方式和呈現順序。然後，請教師預測哪些概念是不容易被學生理解？哪些概念在教學上的表達有困難度？研究者將這些概念列為教室觀察的重點分析概念。

從表 4-1-1 發現教師自認為學生學習困難的概念，絕大多數都是過程概念，其中只有「莫耳」、「原子量」和「分子量」三個是物質概念。教學者認為莫耳雖然只是科學單位，因為不是學生日常生活習慣使用的數量單位且 1 莫耳所代表的數字十分龐大，常常造成學生的學習困難；原子量雖然代表原子的質量，卻沒有單位，原子是學生肉眼看不到的東西，本來就很陌生，而原子量的訂立又牽涉到原子間的比較值，所以常常造成學生認知上的困惑。

表 4-1-1 教師自認學生困難學習的概念

概念	屬性
原子量	M
分子量	M
莫耳	M
質量守恆定律	P
化學反應方程式—係數平衡	P

化學反應方程式—運算	P
莫耳運算	P
碰撞學說	P
影響反應速率因素—表面積	P
影響反應速率因素—催化劑	P
可逆反應	P
化學平衡	P
影響化學平衡因素—溫度	P
影響化學平衡因素—壓力	P
總計：15	物質概念：3 過程概念：11

註：物質概念以 M 表示；過程概念以 P 表示

在教學中，研究者以「教學概念表徵觀察表」與課堂錄音進行教師概念表徵資料的收集。資料收集後，對於教師所呈現的科學概念以本體論的觀點進行屬性編碼，此外，對於教師在教學所呈現的內容描述則依照「教學概念表徵分析代碼表」對不同的表徵進行類別編碼。

教學概念生態的分析從二方面來探討：

- (1) 當教師在進行物質概念教學時所呈現的概念生態特徵為何。
- (2) 當教師在進行過程概念教學時所呈現的概念生態特徵為何。

一、 教師進行物質概念教學時所呈現的教學表徵

研究者在教學前和專業教師先將教學單元的概念，按照本體論的屬性分成物質、過程兩類，分類表格中呈現的概念順序是依照教師進行教學的順序，如表 4-1-2 和 4-1-3 所示。發現本研究教學單元的概念中，隸屬於物質概念並不多，僅有第一個單元「化學反應」中有 9 個，其餘的均屬於過程概念，這與研究者所選擇的單元有關。

表 4-1-2 「化學反應」 概念屬性分類表

教學單元一	化學反應
概念	屬性
元素	M
元素符號	M
化合物	M
化學式—分子式	M
原子量	M
分子量	M
莫耳	M
化學反應方程式—表示法	M
化學反應方程式—限量試劑	M
化學反應	P
吸熱反應	P
放熱反應	P
化學反應現象	P
質量守恆定律	P
原子不滅定律	P
化學反應方程式—係數平衡	P
化學反應方程式—運算	P

亞佛加厥假說	P
莫耳運算	P
總計： 19	物質概念： 9 過程概念：10

註：物質概念以 M 表示；過程概念以 P 表示

表 4-1-3 「反應速率和化學平衡」 概念屬性分類表

教學單元二	反應速率與化學平衡
概念	屬性
反應速率	P
碰撞學說	P
影響反應速率因素—物質本質	P
影響反應速率因素—表面積	P
影響反應速率因素—濃度	P
影響反應速率因素—溫度	P
影響反應速率因素—催化劑	P
可逆反應	P
化學平衡	P
影響化學平衡因素—濃度	P
影響化學平衡因素—溫度	P
影響化學平衡因素—壓力	P
總計： 11	物質概念： 0 過程概念：12

註：物質概念以 M 表示；過程概念以 P 表示

教師在進行物質概念教學時，所使用的表徵種類有 10 種，分別為：科學邏輯陳述 (G)、先備知識 (K)、科學符號 (H)、正例 (O)、圖形 (F)、反例 (X)、類比 (A)、另有架構 (T)、解決問題-學科化(Qa)、解決問題-生活化(Qb)。上面前八種概念表徵在本研究中定義為「靜態表徵」，後兩種概念表徵則定義為「動

態表徵」。其中前面八種靜態表徵在本研究中又分為靜態表徵(A)、(B)、(C)三組，所謂靜態表徵(A)是指一般教學中常見的靜態表徵，而靜態表徵(B)組為近年科學教育研究中提出對於教學有幫助的教學靜態表徵，其他不屬於A、B組的靜態表徵則歸類於C組。

表 4-1-4 是此位教師進行物質概念教學時所使用的表徵種類與使用次數統計。研究者發現教師在單一概念的教學上習慣使用 4~5 種表徵去呈現概念知識，尤其是「原子量」和「分子量」這兩個概念高達七種表徵，而這兩個概念也是教師在教學前自評為學生較難理解的物質概念之一，這顯示出教師在面對自己認知中學生學習困難的概念會以多元化的方式呈現概念的內涵，強化學生概念的學習。

另外，教師自評為學生難以理解的物質概念—「莫耳」，雖然使用了五種表徵比「原子量」和「分子量」少，但是這五個表徵中使用了三個「動態表徵」，即是解決問題（生活化）表徵中重複給予學生三個不同問題情境，希望藉由情意的面向協助學生認知歷程的運作，提高學生對於「莫耳」概念的接受度與應用能力。而問題表徵不單是引發學生進行概念學習的動機、興趣，每一個問題也會產生一連串的概念運作機制，複雜的程度和效果非圖形、例子等其他靜態表徵所能及。

表 4-1-4 物質概念所使用的表徵種類與使用次數統計

概念	表徵類型									總數	種類
	A-G	A-K	A-H	B-F	B-O	B-X	B-A	C-T	Qa Qb		
元素	2			1	4					7	3
化合物	3			3	3					9	3
元素符號	1	1	1		4		1			8	5
化學式-分子式	3	1	1		3				1	9	5
方程式表示法	5		1	1	2		1			10	5

限量試劑	1					1			2	2	
原子量	3	1	1		3	1		1	1	11	7
分子量	4	1	1		1	1	1		2	11	7
莫耳	3	1	1				1		3	10	5
表徵類別總和	25	5	6	5	20	2	5	1	3	4	

1. 總數：代表單一概念教學使用表徵的數目
2. 種類：代表單一概念教學使用表徵的種類
3. 「灰底」為教學者自認學生困難學習的概念
4. 表徵代號為斜體字者為「動態表徵」；其他為靜態表徵 A、B、C 三組

從上表我們發現教師在教學時以科學邏輯陳述最多，這個結果不難預見，因為一般理化科的講述式教學本來就是以科學邏輯陳述為基礎，因此在本研究中我們著重於探討教師所使用的其他非科學邏輯陳述的概念表徵。我們發現除了科學邏輯陳述外，在物質概念上，此位教師最常使用的是「正例」，而且數量頗高約有 20 次，平均單一概念教學中會有 2-3 次的正例出現，這顯示教師習慣讓學生從舉例上瞭解科學概念。

另外，先備知識、科學符號、圖形和類比，這四種表徵教師也都使用 5 次以上。解決問題表徵在分類上雖然細分為學科化和生活化兩類，但單從解決問題表徵來看，兩類相加就有 7 次的使用次數，其中有六次都是出現在教師自評為學生困難學習的概念教學中，充分顯示教師在面對學生困難學習的概念教學上傾向使用動態表徵，因為動態表徵除了呈現知識外，還可以幫助學生進行知識的主動建構。

在此將教師進行物質概念教學時所有的表徵種類，進一步經由表徵呈現的性質分為動態表徵和靜態表徵 A、B、C 三組統計後製成圖 4-1-1。

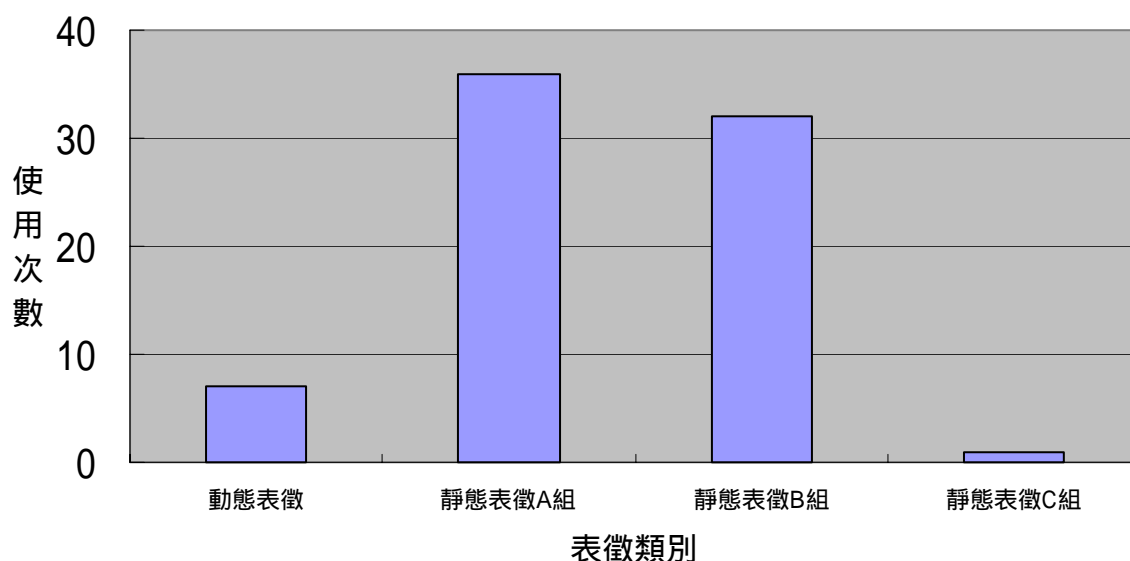


圖 4-1-1 物質概念表徵類別的使用次數

從圖 4-1-1 中發現教師進行物質概念教學使用靜態表徵 A 組最多有 36 次，然後是靜態表徵 B 組 32 次，這顯示教師教學並非一般常態教學只使用 A 組表徵，他在 B 組的表徵使用數量也很高，此外還有一般教學中很少見到的「動態表徵」七次。在科學教育研究上，通常 B 組表徵和「動態表徵」是屬於能有效幫助學生學習的表徵類型，研究者將兩者相加，發現此教師在物質概念的教學中呈現有效表徵（動態表徵 + 靜態表徵 B 組）的數量是大於靜態表徵 A 組。顯示此位教師的教學應該是屬於有效教學，至於學生學習成果是否正如我們預期將於下一節中討論之。

至於靜態表徵 C 組只有「另有架構」一種表徵。所謂「另有架構」通常是指非正確的科學概念，是一種個人形成與科學不同的認知結構，有時另有架構還是造成學生錯誤學習的原因，因此特別分類於 C 組。然而，這位教師在進行原子量的教學時，卻使用了一個另有概念。這是教師自己產生的另有概念，並非科學上的概念理論，在此將另有概念的內內容摘錄如下：

各位同學，原子量是沒有單位的喔！為什麼呢？因為 1 個原子太小了，我們眼睛看不見，也感覺不到，所以一個原子的質量對我們來說沒有意義，因此沒有單位。但是一堆（莫耳）原子在一起我們就可以看見，也感覺的到它的存在所以給它一個單位公克。

國際標準 1 個 C = 12 (無單位) 科學家訂立 1 莫耳 C = 12 公克

這個另有架構並非科學家解釋原子量沒有單位的說法，所以並不屬於科學邏輯，學生在接受了這樣的另有架構後，反應如何？在原子量、分子量的概念學習上產生了哪些影響？這些將於第二節中詳細探究。

本研究的物質概念有 9 個，在不考慮每一表徵類別被選用後的使用次數下，只以單一概念中出現表徵類別的種類作統計，計算出每一種表徵被教師在 9 個物質概念的教學中出現了幾個，再除以 9 就可以得到每一種表徵的選用率。整理出來如下圖 4-1-2

$$\text{選用率} = \frac{\text{某一表徵所出現的概念個數}}{\text{全部物質概念個數}} \times 100 \%$$

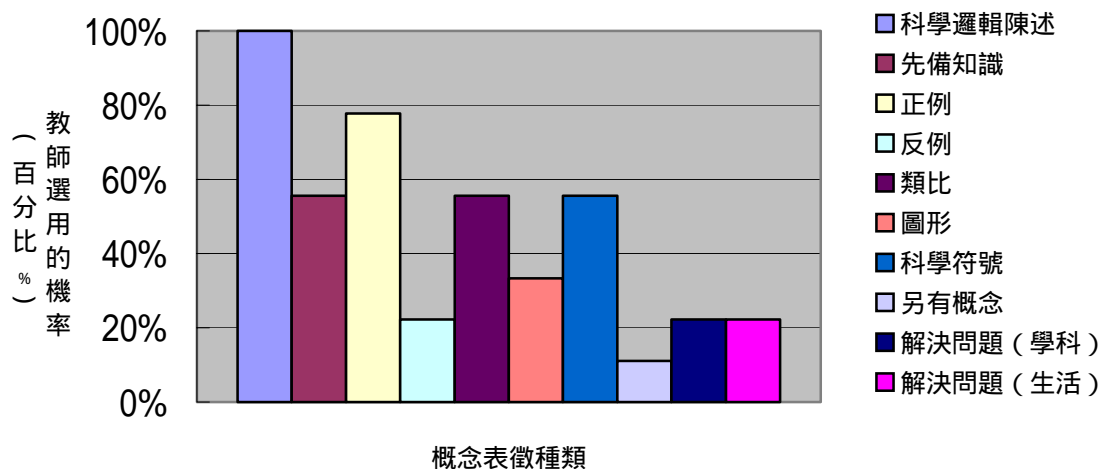


圖 4-1-2 物質概念表徵類別的選用率

我們發現除了科學邏輯陳述的選用率是百分之百外，排名第二的是正例選用率接近 80 %。類比、先備知識和科學符號的使用也超過 50 %，從這三個表徵的選用率發現教師非常重視學生先備知識與新概念間的連結（概念網）。若從表徵分類上看，在靜態表徵 A 組中最常被教師選用的是科學邏輯陳述，接下來是先備知識和科學符號；而靜態表徵 B 組中最常使用的是正例，然後是類比。

從「選用率」可以看出教師呈現每種概念的多樣化，在自然界的生態系中生物的多樣性造成生態平衡不易破壞，而在概念的生態系中概念的多樣性則可以讓概念容易讓學生所接受，提高概念在學生概念生態系中的概念地位。

二、教師進行過程概念教學時所呈現的教學表徵

教師在進行過程概念教學時所使用的概念表徵總共有 14 種，與物質概念教學所使用的 10 種多了 4 種，而這 4 種分別是科學史 (S)、示範實驗 (E)、角色扮演 (P)、生活化舉例 (D)，這顯示教師在面對過程概念教學時所使用的表徵種類比物質概念多，尤其是面對教師自認學生將難以學習的概念，教師習慣用認知 + 情意的表徵如科學史 (S)、示範實驗 (E)、角色扮演 (P)、生活化舉例 (D)，試圖提高學生學習的動機。

研究者將教師進行過程概念教學所使用各種表徵的次數統計如下表 4-1-5。發現在進行過程概念教學時，所使用的表徵種類和數量都明顯增加，除了動態表徵「角色扮演」的加入外，「示範實驗」也在這一部份教學佔有很高的比例（使用 17 次）。此外使用的科學邏輯陳述明顯增加，顯示教師在使用多樣化表徵的同時，也對單一概念意義陳述次數增加。靜態表徵 B 組中的正例、類比、圖形以及動態表徵中的解決問題、示範實驗的使用次數都有 10 以上。

此外，教學者在進行「自認為學生困難學習的概念」教學上，傾向使用多樣

化表徵，每一個概念使用的表徵均超過 5 種。此外，教師在這些概念的教學上，使用科學邏輯陳述的總數也遠比其他過程概念多。除了科學邏輯陳述外，教師最常使用的表徵為解決問題-學科化情境(18)、正例(12)、科學符號(12)、類比(8)和先備知識(7)。這顯示教師在面對困難的過程概念上習慣給予學生「學科化情境問題」，從解決問題中進行概念學習與運用；而正例、類比則是強化學生對於概念的理解；先備知識是加強概念連結；科學符號是要讓學生熟悉科學社群語言。

教師雖然只使用了四次角色扮演，但都使用在「自評學生困難學習的概念」教學上，顯示教師認為角色扮演可以提高學生學習困難過程概念的學習動機，幫助學生概念上的理解。此四次分別使用如下所示：

1. 質量守恆定律：反應前後原子數目和種類不變，原子重新排列組合產生新物質。

活動：利用男女學生角色扮演原子以不同的排列組合分組。

2. 方程式係數平衡： $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

活動：請男學生扮演 H 原子；女學生扮演 O 原子

3. 化學計量—限量試劑。舉例： $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

(1) 今天有 6 個氫氣和 3 個氧氣反應會產生多少個水分子？

(2) 今天有 2 個氫氣和 2 個氧氣反應會產生多少個水分子？

活動：請男學生扮演 H 原子；女學生扮演 O 原子，並針對教師問題進行排列組合。

4. 化學平衡：正反應速率 = 逆反應速率

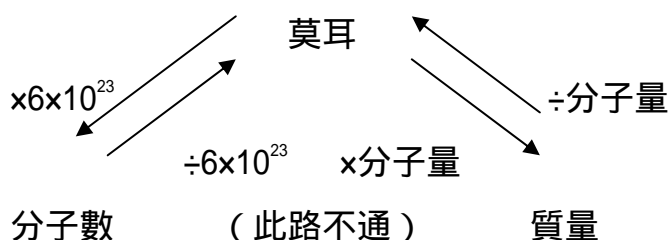
活動：4 個同學到教室外面扮演生成物，八個同學留在裡面扮演反應物，每秒鐘都請教室內的一位同學跑到教室外同時請教室外的一位同學跑到教室內，直到老師說停。

研究者在教室觀察，發現教師在帶這四個角色扮演的活動時，班上同學覺得很有趣，聽課興致很高，活動進行中學生還要求教師給予新的指令動作，讓他們能輪流上台表演。研究者特別觀察低成就組的學生，發現低成就組的學生先是在位置上觀看其他同學表演，在活動進行兩輪後開始表現出也想上台的意願。顯示低成就組的學生從前兩輪的活動中學習到教師要他們學習的「遊戲規則」，而所謂的「遊戲規則」就是教師依照科學概念的內涵所訂立。因此，可以判斷低成就組學生的學生也學到了教學概念。至於在這四個科學概念後測的成績表現如何，則在第三節討論。

除了角色扮演外，教師在自認學生困難學習過程概念的教學中還呈現了一些特殊的表徵模式，研究者將這些表徵列舉如下：

(一) 圖形

莫耳運算：莫耳、質量 個數間的三角關係。



(二) 類比

1. 碰撞學說

反應物要產生有效碰撞兩大條件（就好比男生追女生）：

- 甲、 足夠的能量（有錢）
- 乙、 適當的方位（喜好）

2. 催化劑

(1) 對於原本就無法進行的反應，加入催化劑無法使其反應。例如：好的運動

鞋可以讓短跑選手速度加快，但是如果有一選手腿斷了，給他再好的球鞋都沒有用了。催化劑就好比球鞋

- (2) 從粒子的觀點來說，催化劑的存在改變了反應的途徑和能量。好比：原本要翻越山到另一邊和直接從山腰開隧道到另一邊，後者路途短而且耗費的能量低，抵達的速率當然快。

表 4-1-5 過程概念教學時所使用的概念表徵統計表

概念表徵	A- G	A- K	A- H	B- O	B- F	B- X	B- A	B- S	B- D	Qa	Qb	E	P	總數	種類
化學反應	3								9	1				13	3
吸熱反應	5			1			2					1		9	4
放熱反應	3			2			1							6	3
化學反應現象	2											5		7	2
原子不滅定律	2		1											3	2
亞佛加厥假說	3		1	1				1						6	4
反應速率	4		1								1			6	3
影響 R 物質 本質	2			1										3	2
影響 R 濃度	4	2	1	1	2							2		12	6
影響 R 溫度	1										3			4	2
影響 Ea 濃度	3		1				1					1		6	4
總計	32	2	5	6	2	0	4	1	9	0	5	9	0		
質量守恆定律	5		1								2	2	1	11	5
方程式係數平 衡	3	1	1	3			1			8			1	18	7
方程式運算	4	2	2	1						4			1	14	6
莫耳運算	4	1	1	2	1		1			4				14	7

碰撞學說	5		1	1	1		1						9	5
影響 R 表面積	3	1	1		4					3	2		14	6
影響 R 催化劑	3	1	1	2	1	3	3						14	7
可逆反應	4	1	1	2	1	1				3		2	15	8
化學平衡	6	1	2	3	2	2				4		2	1	23
影響 E _a 溫度	3	1	1			1						1		7
影響 E _a 壓力	3		1			1	1					1		7
總計	43	10	13	14	10	8	7	0	0	26	4	8	4	
表徵類別總和	75	11	18	20	12	8	11	1	9	26	9	17	4	221

1. 總數：代表單一概念教學使用表徵的數目
2. 種類：代表單一概念教學使用表徵的種類
3. 「灰底」為教學者自認學生困難學習的概念

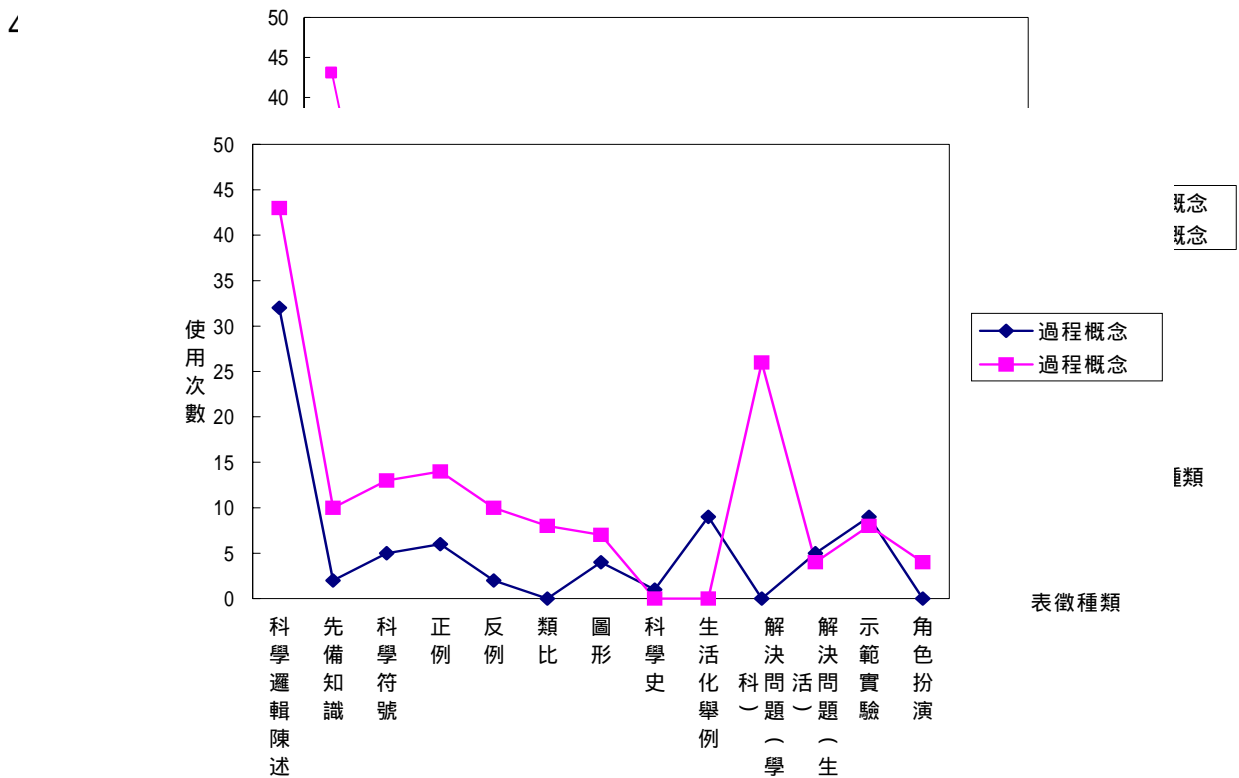


圖 4-1-3 過程概念部分：教師對於自評學生困難學習與非自評學生困難學習概念所使用表徵次數之比較

研究者將所有過程概念分成兩部分：「概念」是指教師自評學生接受度高學習的過程概念；「概念」是指教師自評學生困難學習的過程概念。將這兩部分的概念都各自有 11 個，恰巧各為過程概念的一半。接下來統計教師進行兩部分過程概念教學時分別使用表徵的種類和次數比較如圖 4-1-3。發現除了「生活化舉例」外，教師在進行「概念」教學時所使用的其他表徵的次數都明顯比「概念」多。

在此將教師進行物質概念教學時所有的表徵種類，進一步經由表徵呈現的性質分為動態表徵和靜態表徵 A、B 兩組統計後製成圖 4-1-4。從圖中可以看出當教師在進行過程概念教學時，雖然「靜態表徵 A 組」還是所使用的次數還是最高，而「靜態表徵 B 組」和「動態表徵」使用次數也都有 50 次以上，對進行教學的 22 個過程概念而言，平均每一個概念就有使用兩個靜態表徵 B 組和動態表徵。顯示教師教學表徵的多元化，而且教師在教導學生學習過程概念時，除了一般常態教學表徵的使用外，還會搭配其他科學教育研究上提到可以增進學生學習效果的表徵進行概念教學。

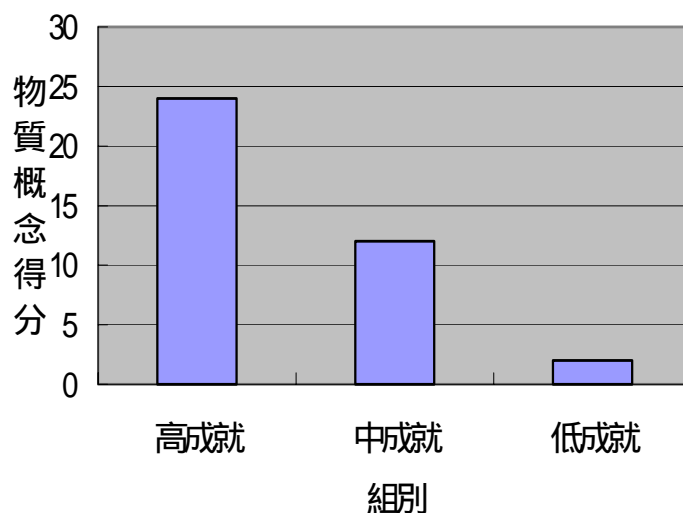


圖 4-1-4 物質概念表徵類別的使用次數

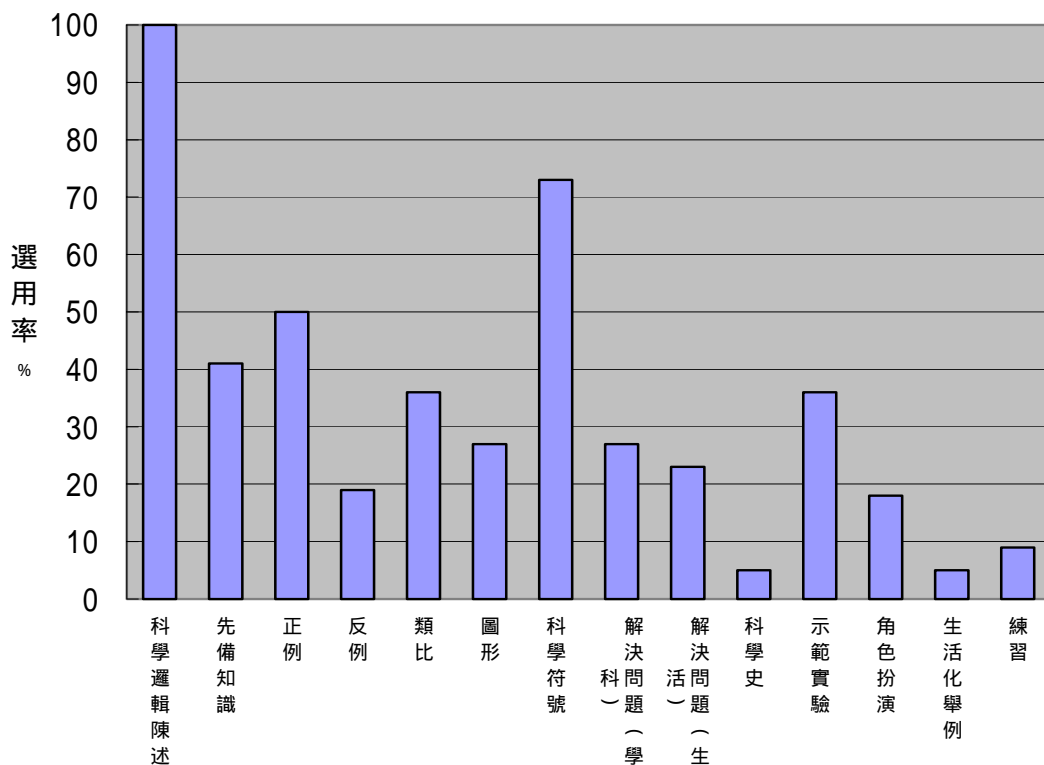
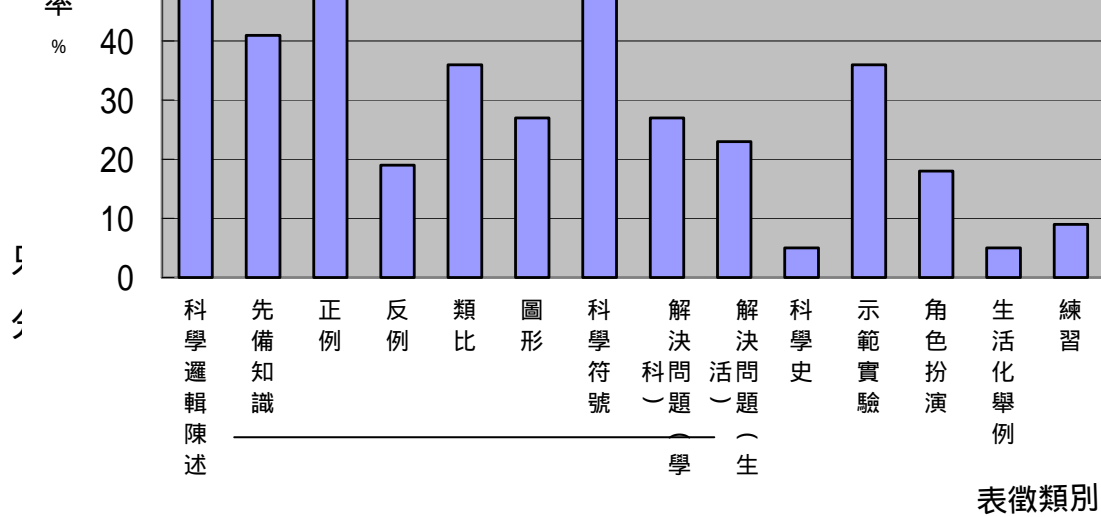


圖 4-1-5 過程概念表徵類別的選用率

我們發現除了科學邏輯陳述的選用率是百分之百外，排名第二的是科學符號選用率接近 75%，正例的使用也超過 50%。值得注意的是解決問題學科 + 生活化情境也超過 50%，顯示教師認為在過程概念教學中給學生問題情境可以幫助此類概念的學習。

這部分的特徵是有高比例的示範實驗，這與教學單元的性質有關，這是因為反應速率和化學平衡的過程概念本來就是來解釋化學反應現象的發生，教師藉由示範實驗可以讓學生藉由觀察中理解過程概念的內涵。

從「選用率」可以看出教師呈現每種概念的多樣化，在自然界的生態系中生物的多樣性造成生態平衡不易破壞，而在概念的生態系中概念的多樣性則可以讓概念容易讓學生所接受，提高概念在學生概念生態系中的概念地位。至於教師所選用的表徵在教學後學生的概念學習效果如何？將於第二節進行探討。

小結：

從上面的分析結果可以發現教師在概念教學上，不論是物質概念或過程概念，他所呈現的教學概念生態組成中除了常態教學表徵-「靜態表徵 A 組」外，最常使用「靜態表徵 B 組」來輔助教學，當教師在進行過程概念教學時還會特別大量地使用「動態表徵」來協助同學進行概念學習。研究者特別觀察到教師在面對「自評學生困難學習概念」教學時，不論是物質或過程概念，他都會使用五種以上不同的靜態或動態表徵來呈現單一概念的教學情境。

此教師在學校中教學後學生的成績表現一直優於其他班級，再本研究稱為「效能教師」。從教師教學概念生態的特徵，發現此教師對於教學的概念有一定程度認知之外，還會以學生的角度評估概念學習的難度，當教學進行時會採用多元化和多重表徵去呈現欲教學的概念，給予單一概念多樣性的生態，讓學生能在這樣的生態中從不同的角度、面向去認識概念的意涵，達到認知學習的目標。

第二節 教學概念生態對學生物質概念學習之影響

研究者在教學前先學生進行前測，然後在每一個單元教學後進行後測，並根據學生施測的結果進行晤談。學生在面對教師給予的概念表徵後，學生對於概念的認知程度是在「記憶」、「理解」、「應用」中達到哪一個認知層次。本節的研究結果分為學生前測、後測兩部分，經由前後測的結果比較學生概念學習程度。本節我們先從「物質概念」的面向探討教學概念生態與學生概念學習的交互影響。

一、學生對於「物質概念」的前測分析

本研究受試的學生有 18 人，依照先前自然科成績的表現分為高、中、低成就三組。研究者在教師教學前給學生進行「開放式紙筆測驗」(如附件)，測驗上列出教師將教學的科學概念並請學生圈選出知道的科學名詞，研究者在學生施測後根據學生圈選的科學概念進行晤談，從晤談中瞭解學生對於科學概念的認知程度。研究者對於判斷學生是否達到概念理解的標準如下所列：

(1) 元素

- * 能說出元素屬於純物質的一種
- * 能說出元素是由一種原子構成
- * 能列舉出一個元素例子

(2) 元素符號

- * 能說出元素符號為元素的代表符號
- * 能列舉出一個元素符號例子

(3) 化合物

- * 能說出化合物屬於純物質的一種
- * 能說出化合物是由兩種以上的原子構成

* 能列舉出一個化合物例

(4) 化學式—分子式

* 能說出分子式是分子的代表符號

* 分子可以是單原子或兩個以上原子組合

* 能舉例一個分子式

(5) 原子量

* 代表一個原子的質量

* 不具有單位

* 是一個比較值

(6) 分子量

* 代表一個分子的質量

* 不具有單位

* 是一個比較值

(以上都是每一概念理解的必要條件，缺一不可)

本研究高、中、低成就三組的學生對於物質概念的圈選情形整理如表 4-2-1。

表 4-2-1 高、中、低成就組物質概念前測分析

甲、高成就組							
科學概念	H1	H2	H3	H4	H5	H6	總計
元素	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6+0
元素符號	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6+0
化合物	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6+0
化學式—分子式	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6+0
化學反應方程式—表示法	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0

化學反應方程式—限量試劑	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
原子量		✗					0+5
分子量		✗					0+5
莫耳	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
得分	4	4	4	4	4	4	24分

乙、中成就組

科學概念	M1	M2	M3	M4	M5	M6	總計
元素		✓		✓	✓		3+3
元素符號		✓		✓	✓		3+3
化合物		✓		✓	✓		3+3
化學式—分子式		✓		✓	✓		3+3
化學反應方程式—表示法	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
化學反應方程式—限量試劑	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
原子量	✗		✗	✗		✗	0+2
分子量	✗		✗	✗		✗	0+2
莫耳	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
得分	0	4	0	4	4	0	12

丙、低成就組

科學概念	L1	L2	L3	L4	L5	L6	總計
元素							0+6
元素符號		✓				✓	2+4
化合物			✗		✗		0+4
化學式—分子式			✗		✗		0+6
化學反應方程式—表示法	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
化學反應方程式—限量試劑	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
原子量	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
分子量	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0

莫耳	×	×	×	×	×	×	0
得分	0	1	0	0	0	1	2

註：√：代表圈選且概念正確 ×：代表圈選但是另有架構 ×：代表不圈選

由表中可以發現高成就組的學生六人對於「元素」、「元素符號」、「化合物」和「化學式-分子式」的科學概念都能理解並舉出實例。這四個概念是教師列出學習本研究兩大化學單元的重要先備知識，之前學生們在理化課「物質的構造」的單元已經學過。

從圖 4-2-1 顯示高成就學生在先備知識的表現上的確優於中、低成就的學生。中成就組的學生在此只有三位學生 (M2、M4、M5) 具有完整的先備知概念，其他三位學生則無法明確的說出元素與化合物的差異在於組成原子的種類在元素符號與分子式呈現混亂的現象；低成就組的學生則只有 L2 和 L6 這兩位同學能正確舉出「元素符號」，但是對於元素的定義卻說不清楚，低成就組面對這四個先備概念明顯地是以熟悉的名詞而圈選，記憶中曾經看過這些名詞，但是不知道概念本身的意義。

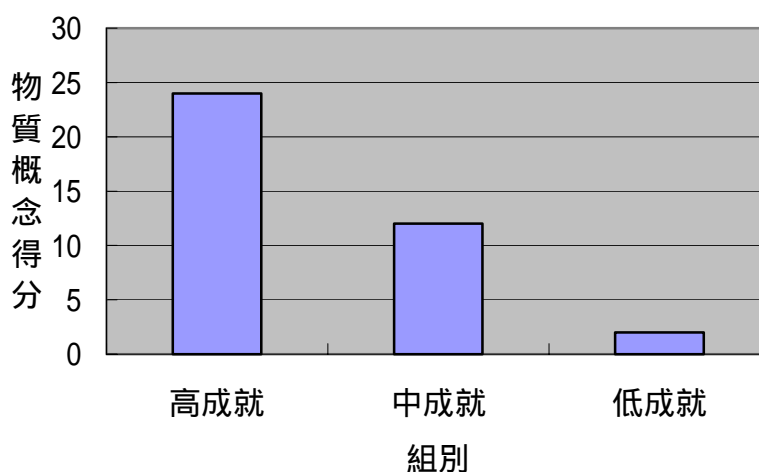


圖 4-2-1 高中低成就組物質概念前測得分之比較

研究者發現由於這四個概念彼此有比較與附屬關係，因此高、中成就組的學生若能正確理解「元素」則必能正確理解「化合物」(比較關係)；若能說出「元素」定義者必能正確理解「元素符號」(附屬關係)，具有內在一致性。

在「原子量」和「分子量」的除了 H2 學生外，其他五位學生均圈選了，但是在晤談過程中都只是單從字義上解釋：

「原子量」就是 原子的重量

「原子量」就是 原子的質量

「分子量」就是 分子的重量

「分子量」就是 分子的質量」

這樣的述說無法達到研究者對於此兩概念理解所定的標準，不過這也顯示這五位同學對於概念的學習會初步的從字義上去揣測其意義。中成就組學生只有 M2、M5 兩位圈選「原子量」和「分子量」，但也只是從字義上解釋，認為「原子量」是原子的重量或質量；「分子量」是分子的重量或質量。這樣的述說一樣無法達到研究者對於此兩概念理解所定的標準，但是這兩個學生在先備概念四個概念的表現上是優於其他的學生，代表學生對於先備概念正確的理解有助於對「半陌生概念」的預測，提高學習動機與信心。

對於其他「全陌生」的物質概念，如「莫耳」、「化學反應方程式-表示法」，由於學生無法從表面的字義上與先備概念連結，所以均選擇未圈選。在本研究中將學生未圈選的部分一律視為新概念，並將學生對新概念的認知在教學前定義為「空白」。

二、學生對於「物質概念」的後測分析

在每一單元的教學後，研究者給予學生單元試題進行測驗後測的試題如附件，每一份測驗前都有一段文字說明（如下所示），讓學生在沒有壓力的情況下完成測驗，真實的達到自我評量的標準。

*「各位同學本測驗不計分，一個自我評量。
請閱讀完題目後寫下你認為的正確答案，
如果沒有答案或不知道請填「？」。謝謝！！」*

測驗完後除了研究者將學生錯誤和「？」的部分進行晤談，進一步瞭解學生對於概念理解的程度之外，還會計算單一概念每組學生概念習得的正確比率，而正確比率的計算公式如下所示。在物質概念的後測分析方面，研究者從先備概念、新學習概念和教師自認學生難學習的概念三部分探討。

$$\text{「單一概念」組別概念習得正確率} = \frac{\text{「單一概念」每組正確人數}}{\text{每組總人數}} \times 100\%$$

（一）先備知識分析

後測試卷在（A）先備知識部分的題目有四題，分別檢測學生「元素」、「元素符號」、「化合物」和「化學式-分子式」四個概念。根據上述四個概念，研究者將學生前、後測的表現與教師教學進行所使用的概念表徵類別和數量整理如下表 4-2-2。

從表中可以發現先備概念在經過教師的教學後對於高成就組並沒有影響，而中成就組在教師的教學後概念學習從原來的 50 % 增加到 67 %、83 %、100 %，在「元素」和「化合物」上的學習則達到 100 %，此外「元素符號」和「化學式」之所以無法大幅度提高的原因是學生認為元素符號和化學式都是用英文表示而且種類太多，需要花時間背，而且背了又容易忘記，造成學生的答對機率下降。

這一點在低成就組中也發生相同的情況，由於低成就組學生不喜歡背書，所以造成教師在教學前後元素符號和化學式並沒有成長，由於接下來的其他新概念的學習中，特別是「過程概念」，會常常應用到「元素符號」和「化學式」作為基礎必備知識，一開始的三組間的差異勢必會影響之後的答題的正確率。

表 4-2-2 教學概念表徵對先備物質概念學習的影響

先備概念		元素	元素符號	化合物	化學式
教學概念表徵種類		2 靜	5 靜	3 靜	4 靜+1 動
教學概念表徵數目		(2A+4B)靜	(2A+4B)靜	(3A+6B)靜	(5A+3B)靜+1 動
高成就組	前測	100 %	100 %	100 %	100 %
	後測	100 %	100 %	100 %	100 %
中成就組	前測	50 %	50 %	50 %	50 %
	後測	100 %	83 %	100 %	67 %
低成就組	前測	0 %	33 %	0 %	0 %
	後測	67 %	33 %	67 %	0 %

註：「靜」代表「靜態表徵」(具 A、B、C 三組)

「動」代表「動態表徵」

(二) 新學習概念分析

從表 4-2-3 中發現教師在教學中所給予的概念表徵種類和數目並不會影響高成就組學生進行「新物質概念」學習的效果，但是對於中、低成就組學生對「新物質概念」的學習就有明顯差異，兩組的差距都接近 33 % 左右。這顯示教師在教學中對同一概念呈現的表徵數量愈多和種類愈多樣性，則有助於中低成就學生對於物質概念的學習。

表 4-2-3 教學概念表徵對新物質概念學習的影響

新概念	化學反應方程式—表示法	化學反應方程式—限量試劑
教學概念表徵種類	4 靜	2 靜
教學概念表徵數目	(6A+3B) 靜	(1A+1B) 靜
高成就組 後測	100 %	100 %
中成就組 後測	100 %	67 %
低成就組 後測	50 %	17 %

註：「靜」代表「靜態表徵」(具 A、B、C 三組)

「動」代表「動態表徵」

(三) 教師自認學生難學習之新概念分析

本研究中教師自評為學生難以學習的物質概念有三，分別為「原子量」、「分子量」和「莫耳數」。研究者將這三個概念學生學習狀況和教師教學上表徵的呈現分析如表 4-2-3。發現教師在概念教學上習慣呈現多樣化表徵，而且表徵的數目也很高(均超過 10 個)。在使用的表徵種類中「動態表徵」不論在種類和數量上都明顯增加。

表 4-2-3 教師自認學生難學習之物質概念分析

新概念	原子量	分子量	莫耳數
教學概念表徵種類	6 靜+1 動	6 靜+1 動	4 靜+1 動
教學概念表徵數目	(5A+4B+1C)靜+1 動	(6A+3B)靜+2 動	(5A+2B)靜+3 動
高成就組 後測	100 %	100 %	100 %
中成就組 後測	100 %	100 %	100 %
低成就組 後測	50 %	50 %	67 %

註：「靜」代表「靜態表徵」(具 A、B、C 三組)

「動」代表「動態表徵」

雖然這三個概念是教師自認為學生較難理解的概念，但是研究者發現經過動態又多元化的表徵呈現後，學生對於概念的接受程度極高，高、中成就組對於概念的理解度均高達百分之百；低成就組也有到達 50 % 以上，其中「莫耳數」的概念還遠比「原子量」和「分子量」高，這是由於教師在「莫耳數」概念的教學上運用的動態表徵中有三個屬於解決問題-生活化(Qb)，引起學生學習動機也與學生生活經驗連結。

由此可知不同種類的概念表徵即使是同屬於「動態表徵」的性質，其刺激學生認知的動力也不盡相同。在此將教師介紹莫耳意義所使用的「動態表徵」的三個生活化問題情境摘錄如下：

【情境一】如果今天有一個人跟你簽約，如果違約你要支付他 1 莫耳的一塊錢，你要不要簽？

一塊錢乍看之下好像很少，可是當有 1 莫耳的一塊錢總是多少呢？我們來一起數看看
 $600,000,000,000,000,000,000,000$ (各十百千萬) 共六千億兆元，如果你學過理化就知道
 這千萬不能簽喔！一個人的財產如果有 1 莫耳的一塊錢，那他就是世界首富了，由此可知 1
 莫耳的數量有多大！！

【情境二】你媽媽會不會要你到超市買 1 莫耳個蘋果？

同學們你們家放得下這麼多蘋果嗎？吃得下這麼多蘋果嗎？

【情境三】你這一輩子有沒有辦法喝到 1 莫耳杯的珍珠奶茶？

同學假設你能活到 100 歲，你們知道 100 年有幾秒嗎？ 3110400000 秒，如果從出生就開始每秒都喝一杯不睡眠不休，你最多才喝 3110400000 杯，距離 1 莫耳還差的遠。所以 1 莫耳並不是日常生活中常用的單位，他是科學研究上的單位，專門拿來計量你眼睛看不到的原子、分子的數量。

教師利用與學生生活貼近的「珍珠奶茶」、「蘋果」和「一塊錢」去突顯莫耳這個數量單位所代表數字的龐大，也讓學生體會到為何莫耳這個單位無法在日常生活中出現，充分將莫耳在科學上的實質意義傳達學生瞭解。

小結：

教師在物質概念的教學上大多使用靜態表徵 A、B 兩組搭配使用，而且表徵的種類和數量愈多，特別是靜態表徵 B 組的使用比例愈高，該概念的學習成效中、低成就組的表現會比較好。高成就組在此無任何差異。

在教師自評學生困難學習的部分除了靜態表徵外，也加入了動態表徵，學生在學習這部分概念時中成就組學生表現和高成就組一樣，好習得率到達百分之百。當動態表徵使用比例提高，低成就組學生的概念習得比率也增加。

第三節 教學概念表徵對學生過程概念學習之影響

在上一節教學概念對學生「物質概念」學習的探討後，接下來研究者依照相同模式探討教學概念表徵對學生「過程概念」學習的影響。本節結構分成兩部分：學生對於「過程概念」的前測分析和後測分析。

一、學生對於「過程概念」的前測分析

本研究受試的學生有 18 人，依照先前自然科成績的表現分為高、中、低成就三組。研究者在教師教學前給學生進行「開放式紙筆測驗」(如附件)，研究者在學生施測後根據學生圈選的科學概念進行晤談，從晤談中瞭解學生對於科學概念的認知程度。本研究高、中、低成就三組學生對於過程概念的圈選情形整理如表 4-3-1.a、表 4-3-1.b、表 4-3-1.c。

從下表中可發現高成就組學生對於「化學反應」、「吸熱反應」、「放熱反應」、「化學反應現象」、「質量守恆定律」和「反應速率」的圈選率高。這是因為這六個科學名詞在日常生活中常聽到而且名詞的文字組合中均含有學生以往曾學習過的概念，例如質量、化學、反應、吸熱、放熱、現象、速率，所以容易讓學生「望文知義」。即使這六個科學名詞並未正式出現於學生先前的理化課程中，但是大多數的高成就學生還是能正確理解其基本意義。

「化學反應」、「吸熱反應」、「放熱反應」、「反應速率」和「化學反應現象」圈選率高(83%)而概念理解的正確率也高(100%)。其中，H2 同學仍然保持保守的態度，只圈選「化學反應」、「化學反應現象」。

在「質量守恆定律」上五位圈選的學生均為只是從文字表面解釋：「一物質的質量會一直固定、保持不變」，並未說出構成此概念的內涵：反應物、生成物以及反應前後的時間差。

由於這部分的概念是教師之前沒有教過，屬於新概念，因此研究者不會要求學生一定要使用專業科學社群語言去解釋概念的意義，只是單純判斷學生是否對這六個概念基本定義達到理解程度，標準如下所列：

(1) 化學反應

- * 物質在外觀或本質上產生變化的反應
- * 舉例說明

(2) 吸熱反應

- * 物質吸收熱量的化學反應
- * 環境（系統）溫度下降

(3) 放熱反應

- * 物質放出熱量的化學反應
- * 環境（系統）溫度上升

(4) 化學反應現象

- * 物質發生化學反應而產生可以觀察的現象
- * 舉例說明

(5) 質量守恆定律

- * 任何物質在化學反應前後的總質量保持不變

(6) 反應速率

- * 化學反應進行的快慢

至於其他的過程概念由於名詞於高成就組學生由較多陌生文字組成，所以學生選擇不圈選。

表 4-3-1a 高成就組過程概念前測分析

甲、高成就組							
科學概念	H1	H2	H3	H4	H5	H6	總計
化學反應	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6+0
吸熱反應	✓	✗	✓	✓	✓	✓	4+2
放熱反應	✓	✗	✓	✓	✓	✓	4+2
化學反應現象	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6+0
質量守恆定律		✗					0+5
反應速率	✓	✗	✓	✓	✓	✓	5+0
原子不滅定律	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
化學反應方程式—係數平衡	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
化學反應方程式—運算	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
亞佛加厥假說	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
莫耳運算	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
碰撞學說	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
影響反應速率因素—本質	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
影響反應速率因素—表面積	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
影響反應速率因素—濃度	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
影響反應速率因素—溫度	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
影響反應速率因素—催化劑	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
可逆反應	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
化學平衡	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
影響化學平衡因素—濃度	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
影響化學平衡因素—溫度	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
影響化學平衡因素—壓力	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
得分	5	2	5	5	5	5	27

註：✓：代表圈選且概念正確 ◊：代表圈選但是另有架構 ✗：代表不圈選

從下表中可以發現前六個概念的圈選率和正確率都明顯下降，這可能是因為高、中成就組學生本身具有的先備知識不同所導致。對於中成就組學生而言，「化學反應」和「化學反應現象」這兩個概念的基本定義容易解釋，M2、M5 學習動機和自信度比較高，所以圈選的概念數目也高於其他組員，對於「吸熱反應」和「放熱反應」也能正確理解。

在「質量守恆定律」上兩位圈選的學生和高成就組圈選同學相同，只是從文字表面解釋：「一物質的質量會一直固定、保持不變」，並未說出構成此概念的內涵：反應物、生成物以及反應前後的時間差。這顯示學生們對此名詞的接受度雖然高，但並不知道這個定律要套用的情境與標準狀況為何。

「反應速率」M2、M4、M5 的同學都粗略說明是代表化學反應的速率或快慢。至於其他的過程概念學生都未圈選，屬於新概念。

表 4-3-1.b 中成就組過程概念前測分析

乙、中成就組							
科學概念	M1	M2	M3	M4	M5	M6	總計
化學反應	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6+0
吸熱反應	✗	✓	✗	✗	✓	✗	2+0
放熱反應	✗	✓	✗	✗	✓	✗	2+0
化學反應現象	✓	✓	✓	✓	✓	✓	6+0
質量守恆定律	✗		✗	✗		✗	0+2
反應速率	✗	✓	✗	✓	✓	✗	3+0
原子不滅定律	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
化學反應方程式—係數平衡	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
化學反應方程式—運算	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
亞佛加厥假說	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
莫耳運算	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0
碰撞學說	✗	✗	✗	✗	✗	✗	0

影響反應速率因素—本質	×	×	×	×	×	×	0
影響反應速率因素—表面積	×	×	×	×	×	×	0
影響反應速率因素—濃度	×	×	×	×	×	×	0
影響反應速率因素—溫度	×	×	×	×	×	×	0
影響反應速率因素—催化劑	×	×	×	×	×	×	0
可逆反應	×	×	×	×	×	×	0
化學平衡	×	×	×	×	×	×	0
影響化學平衡因素—濃度	×	×	×	×	×	×	0
影響化學平衡因素—溫度	×	×	×	×	×	×	0
影響化學平衡因素—壓力	×	×	×	×	×	×	0
得分	2	5	2	3	5	2	19

註：✓：代表圈選且概念正確 ◊：代表圈選但是另有架構 ×：代表不圈選

由下表可知低成就組的學生是圈選率和正確率都是三組最低的，這與他們本身先備知識和學習動機有關。比較有趣的是，他們都可以說明「化學反應現象」所代表意義，但是對於「化學反應」並無法解釋，他們一致的答案是：「化學反應就是化學反應啊！」

顯然對於低成就組的學生「化學反應」是一個靜態的概念名詞，也是一個基本的概念單位。研究者在晤談中要其舉例說明，有四位完成正確舉例，或許他們內在知識結構已經瞭解這個概念所代表的含意，但是無法或者不習慣使用科學邏輯敘述的方式呈現。因此，低成就學生在面對教師如果大量使用「科學邏輯敘述」表徵進行概念教學時，學習成效又是如何，我們會再接下來的部分討論。

表 4-3-1c 低成就組過程概念前測分析

丙、低成就組							
科學概念	L1	L2	L3	L4	L5	L6	總計
化學反應							0+6
吸熱反應	×	×	×	×	×	×	0
放熱反應	×	×	×	×	×	×	0
化學反應現象	˘	˘	˘	˘	˘	˘	6+0
質量守恆定律	×	×	×	×	×	×	0
原子不滅定律	×	×	×	×	×	×	0
化學反應方程式—係數平衡	×	×	×	×	×	×	0
化學反應方程式—運算	×	×	×	×	×	×	0
亞佛加厥假說	×	×	×	×	×	×	0
莫耳運算	×	×	×	×	×	×	0
反應速率	×	×	×	×	×	×	0
碰撞學說	×	×	×	×	×	×	0
影響反應速率因素—本質	×	×	×	×	×	×	0
影響反應速率因素—表面積	×	×	×	×	×	×	0
影響反應速率因素—濃度	×	×	×	×	×	×	0
影響反應速率因素—溫度	×	×	×	×	×	×	0
影響反應速率因素—催化劑	×	×	×	×	×	×	0
可逆反應	×	×	×	×	×	×	0
化學平衡	×	×	×	×	×	×	0
影響化學平衡因素—濃度	×	×	×	×	×	×	0
影響化學平衡因素—溫度	×	×	×	×	×	×	0
影響化學平衡因素—壓力	×	×	×	×	×	×	0
得分	1	1	1	1	1	1	6

註：˘：代表圈選且概念正確 ˘：代表圈選但是另有架構 ×：代表不圈選

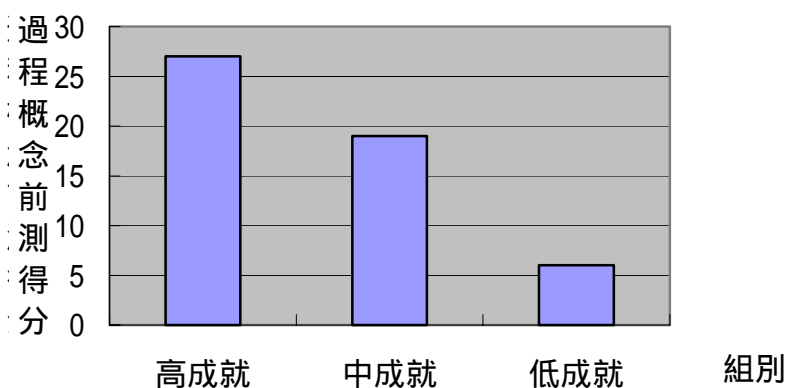


圖 4-2-2 高中低成就組過程概念前測得分之比較

雖然過程概念這個部分並沒有像物質概念一樣具有先備知識，但是從圖 4-2-2 顯示高成就學生在前測的表現上的確優於中、低成就的學生，而低成就組明顯表現得比較差。對於 22 個「過程概念」而言，學生的得分還是過低，因為滿分是 132 分，單就高成就組的得分 27 分來看：

$$27/132 \times 100 \% = 20 \%$$

顯示即使是高成就組還是只有 20 % 的正確前測概念存在，大部分的過程概念在學生內在認知構造中並不具有任何意義。

二、學生對於「過程概念」的後測分析

由於本研究的「過程概念」有 22 個，其中「化學反應」、「吸熱反應」、「放熱反應」和「化學反應現象」在學生的前測中曾被圈選，而且有些學生能正確理解概念的意義，除了以上四者其他均屬於新概念。在「過程概念」後測分析中，研究者一樣將這 22 個過程概念分為：先備概念、新概念和教師自評學生較難學習概念三部分來分析。

(一)「過程概念」-先備知識分析

本組概念群集是由「化學反應」、「吸熱反應」、「放熱反應」和「化學反應現象」四個概念組成。從教師概念表徵種類和數目來分析，在過程概念教學上教師在「動態表徵」的使用次數有增加的趨勢。

教學後發現中、低成就學生進步最多將近 70 % 這顯示採用多樣性表徵可以將高、中、低成就組學生概念學習差距所縮小。而動態表徵的使用次數愈多，對於低成就組學生在進行過程概念學習時，學習成效愈大，例如表 4-3-2 中低成就組學生在「化學反應」概念學習上的前測為 0 %，經過教學後後測高達 83 %，這個進步遠比「吸熱反應」和「放熱反應」的 67 % 還多，主要是因為教師在「化學反應」上使用了 10 個「動態表徵」，在數目上遠大於其他概念。

表 4-3-2 教學概念表徵對先備概念學習的影響

教學概念		化學反應	化學反應現象	吸熱反應	放熱反應
教學概念表徵種類		1a+2 動	1 靜+1 動	2 靜+2 動	2 靜+1 動
教學概念表徵數目		3 靜+10 動	2 靜+5 動	6 靜+3 動	5 靜+1 動
高成就組	前測	100 %	100 %	100 %	100 %
	後測	100 %	100 %	100 %	100 %
中成就組	前測	100 %	100 %	33 %	33 %
	後測	100 %	100 %	100 %	100 %
低成就組	前測	0 %	100 %	0 %	0 %
	後測	83 %	100 %	67 %	67 %

註：「靜」代表「靜態表徵」(具 A、B、C 三組)

「動」代表「動態表徵」

(二) 過程概念-新概念

屬於這部分的過程概念總共有七個，研究者將教師在教學中使用的表徵種類和數目，以及高中低成就三組學生學習成效整理如下表 4-3-3。

從表中可以發現當教師在進行概念教學時給予學生的表徵數量愈多，學生表現愈好如表中的「影響 R 濃度」的概念；另外，若使用「動態表徵」的次數愈多時，中、低成就組的學生表現更佳。這顯示教師多重、多樣化表徵的使用可以幫助原本學習能力較差的中成就組學生，此外「動態表徵」的使用對於中、低成就組學生在過程概念的學習上均有幫助，尤其是低成就組最顯著。

表 4-3-3 教學概念表徵對過程-新概念學習的影響

教學概念	C 表徵種類	C 表徵數目	高成就組	中成就組	低成就組
原子不滅定律	2 靜	3 靜	100 %	67 %	33 %
亞佛加厥假說	3 靜+1 動	5 靜+1 動	83 %	83 %	33 %
反應速率	2 靜+1 動	5 靜+1 動	100 %	83 %	50 %
影響 R 物質本質	2 靜	3 靜	100 %	67 %	50 %
影響 R 濃度	5 靜+1 動	10 靜+2 動	100 %	100 %	67 %
影響 R 溫度	1 靜+1 動	1 靜+3 動	100 %	100 %	83 %
影響 Ea 濃度	2 靜+2 動	4 靜+2 動	83 %	100 %	33 %

註：「靜」代表「靜態表徵」(具 A、B、C 三組)

「動」代表「動態表徵」

(二) 過程概念- 教師自評學生難以學習的概念

本研究教師自評學生困難學習的概念有 11 個，將教師教學中表徵的種類和數目依照「動態表徵」和「靜態表徵」進行分類，再將高中低成就三組後測的結果一併整理如表 4-3-4。

表 4-3-4 教學概念表徵對教師自評學生難學習的概念之影響

教學概念	C 表徵種類	C 表徵數目	高成就組	中成就組	低成就組
質量守恆定律	2 靜+4 動	6 靜+6 動	100 %	100 %	50 %
方程式係數平衡	4 靜+4 動	7 靜+12 動	100 %	83 %	17 %
方程式運算	5 靜+3 動	9 靜+9 動	83 %	67 %	0 %
莫耳運算	5 靜+3 動	9 靜+7 動	83 %	67 %	33 %
碰撞學說	4 靜+3 動	6 靜+4 動	100 %	100 %	100 %
影響 R 表面積	4 靜+2 動	8 靜+6 動	100 %	100 %	50 %
影響 R 催化劑	5 靜+2 動	8 靜+6 動	83 %	67 %	50 %
可逆反應	5 靜+3 動	9 靜+6 動	100 %	100 %	67 %
化學平衡	5 靜+4 動	14 靜+9 動	100 %	100 %	50 %
影響 Ea 溫度	3 靜+2 動	5 靜+2 動	83 %	67 %	0 %
影響 Ea 壓力	2 靜+3 動	4 靜+3 動	83 %	50 %	0 %

註：「靜」代表「靜態表徵」(具 A、B、C 三組)

「動」代表「動態表徵」

從表中發現在這部分教師大量使用概念表徵的種類和數目去進行概念教學，下表中概念表徵種類至少 5 種以上，最多至 9 種；概念表徵數目至少 7 次，最多達到 23 次。這顯示教師對於他自評困難的概念會習慣以多樣化、多重性的方式呈現。

在「動態表徵」的數目上，這個部分教師使用的數量和種類也遠高本研究單元中其他的物質概念或過程概念，代表教師在面對困難概念教學時傾向選用「動態表徵」幫助學生進行教學認知活動。

至於高中低成就學生在此部分概念的後測成績表現上，雖然教師在這兩個概念的教學上呈現了高數量教學表徵種類和數目，但是明顯地在「方程式運算」、「莫耳運算」成績表現較差。這是因為這兩個概念牽涉到數學運算能力，即使學生能理解科學概念，也必須將科學概念、解題技巧和數學運算能力一起運用才能完成作答。這部分尤其是低成就組學生最為明顯。

第四節 學生概念轉變歷程之分析比較

本研究在教學前先對學生進行前測，教學後進行後測。前測是根據學生圈選的已知概念進行晤談，確認在教學前學生是否真得理解所圈選的概念，對於學生未圈選的概念一律視為「陌生概念」，所以不進行晤談；後測能瞭解學生在教學後習得哪些概念，研究者再根據後測試卷中學生錯誤或空白的試題進行晤談進一步發現學生未習得概念的另有架構。經由前、後測二個階段的觀念檢測和晤談結果，分別建構出高、中、低成就三組的學生內在概念的轉變歷程並進一步比較三組學生概念轉變歷程的不同。

一、 高成就組學生的概念轉變歷程

教學前從圖 4-4-1 中發現，高成就組的六位學生在教師進行教學前在「物質概念」上均從存在著「元素」、「元素符號」、「化合物」和「化學式-分子式」這四個概念；在「過程概念」上只有 H2 學生未圈選「吸熱反應」、「放熱反應」和「反應速率」，顯示此三者概念在 H2 學生內在概念中是屬於陌生概念。另外「質量守恆定律」概念中除了 H2 外，其他五位學生均圈選，但是晤談時發現這五位同學不是單純地從概念名詞上的字義去解釋，就是與自己的先備知識做連結產生了有趣的另有架構，五人並未正確說出概念的重要意涵。下面列出五位同學對於「質量守恆定律」的說明內容：

H1: 物質的質量 會永遠保持不變。

H3: 就是 所有的質量會 . 一直保持一樣的質量。

H4: 質量應該不會改變 只要 . 除非 . . 反正就是說 . 像是瓶飲料放在那裡，不打開喝掉，它的質量就不會減少。

H5: 指質量會永遠 維持不變的定律。

H6: 因為質量不受重力作用， 所以不隨著地點而改變，因此質量會守恆。

從上面的內容可以看到 H4 學生是最接近質量守恆的意涵，因為此概念還沒學過，所以無法順利地使用「科學邏輯陳述」來解釋，最後選擇使用舉例的方式來表達自己對此概念的理解程度，顯示此為學生的理解、表達能力很好。而 H6 學生是最為有趣的一位，他選擇將此概念與先備知識做連結，「質量」和「重量」的概念是二年級上學期第一章的內容，經過了半年，他還可以正確地應用此概念，顯示出 H6 學生對於新概念的學習習慣與先備概念連接後再進行建構和理解，概念習得可長久保存長期記憶中並能正確地提取使用。而這兩位學生在後測中是高成就組學生中表現最好的。

教學後，高成就組學生在「物質概念」的習得率是百分之百；而過程概念只有 H4 和 H6 是完全正確理解教師給予的教學概念，其他的學生經由研究者晤談的結果分述如下：

(1) H1 學生

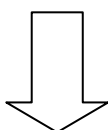
研究者問學生可否說出「亞佛加厥假說」的內容，H1 生可以完整的說出定義，但是反問他為何在面對下面試題時卻解不出答案。

已知 3 升氫與 1 升氮在催化反應下可形成 2 升的氨，而氫與氮的分子量分別為 2 和 28，則氨的分子量為多少？ (A) 30 (B) 26 (C) 17 (D) 15

H1 生說：「因為 題目上沒有寫到亞佛加厥假說 我就沒想到要用這個來寫這題，因為 ..雖然老師說 亞佛加厥假說 氣體的體積比會等於分子數比。但是我覺得不同的東西，他們的體積和數量是不成比例的 .」

由於無法認同亞佛加厥假說的因此對於影響化學平衡的因素「溫度」和「壓力」的判斷原則也出現質疑。

教學前 高成組學生 內在概念結構	
物質概念 (M)	過程概念 (P)
1 元素	1 化學反應
2 元素符號	2 吸熱反應 (H2 缺)
3 化合物	3 放熱反應 (H2 缺)
4 化學式-分子式	4. 化學反應現象
	5 反應速率 (H2 缺)



教學進行中

教學後 高成就組學生 內在概念結構	
物質概念 (M)	過程概念 (P)
1. 元素	1. 化學反應
2. 元素符號	2. 吸熱反應
3. 化合物	3. 放熱反應
4. 化學式-分子式	4. 化學反應現象
5. 化學方程式表示法	5. 反應速率
6. 化學方程式-限量試劑	6. 原子不滅定律
7. 原子量	7. 質量守恆定律
8. 分子量	8. 亞佛加厥假說 (H1 缺)
9. 莫耳數	9. 碰撞學說
	10. 方程式係數平衡
	11. 方程式運算 (H5 缺)
	12. 莫耳運算 (H5 缺)
	13. 影響 R 物質
	14 本質影響 R 濃度
	15. 影響 R 溫度
	16. 影響 R 表面積
	17. 影響 R 催化劑 (H2 缺)
	18. 可逆反應
	19. 化學平衡
	20. 影響 Ea 濃度 (H3 缺)
	21. 影響 Ea 溫度 (H1 缺)
	22. 影響 Ea 壓力 (H1 缺)

圖 4-4-1 高成就組學生前、後測 內在概念結構之比較

註：若沒有 () 表示此概念正確存在於高成就組 6 人；

若有 () 則括號內的學生為缺乏此概念者。

H1 說：「老師說熱脹冷縮，升高溫度反應朝係數大的方向移動，我覺得很奇怪。因為...係數應該是代表分子數目，數目愈大...那個體積又不一定會變大。」

「...就像是 1 個人的體積一定會比 10 隻螞蟻還要大」

發現 H1 學生對於概念的學習產生內在一致性，由於無法接受「不同的氣體，係數比 = 體積比」的概念，造成日後對於影響化學平衡的因素中「溫度」和「壓力」的學習也形成困難。顯示 H1 學生對於自我的信念很重視，當教師呈現的科學概念與他內在的信念相衝突時，他即使能理解科學社群賦予概念的內涵，但是卻無法接受。

(2) H2 學生

H2 學生無法理解為何催化劑不能改變化學平衡，當研究者問他為何認為催化劑可以改變化學平衡時，他回答：「因為 催化劑可以幫助 加快 反應速率，那其中一邊的速率一增加，就跟原來不一樣了，當然就會改變化學平衡啊！」

(3) H3 學生

在「影響 E_a 濃度」的過程概念上，經由晤談結果發現 H3 學生其實是會判斷反應向左或向右，也能理解濃度對於化學平衡的影響，只是他將反應—鉻酸鉀和生成物—二鉻酸鉀的物理性質（顏色）搞錯了，所以造成解題錯誤。

(4) H5 學生

H5 學生其實對於方程式和莫耳概念都能理解，但是一牽涉到數學運算，常常因為計算過程需要統整好幾個步驟才能完成而計算錯誤。事後向導師詢問才知 H5 雖然是班上前十名學生，但是數學一直是他最弱的科目。由此可以知道為何他無法把握住「方程式運算」和「莫耳運算」的題目，原因就出在他學科統整的基礎知識—數學運算能力不佳。

二、 中成就組學生的概念轉變歷程

由於中成就組六位學生概念學習轉變前後差異大，所以依照前測概念中先備概念存在的數量分為甲、乙兩組來分析前測中概念結構的轉變。甲組為中成就組學生前測中表現最好的三位學生：M2、M4、M5，如圖 4-4-2 所示；乙組為中成就組學生前測中表現較差的三位學生：M1、M3、M6 如圖 4-4-3 所示。在此將這兩組學生概念轉變歷程分述如下。

(一) 中成就組學生— 甲組 概念轉變歷程

從圖 4-4-2 中發現在教學前，M2、M4 和 M5 學生在「物質概念」的前測上都具有「元素」、「元素符號」、「化合物」和「化學式—分子式」的概念，其中 M2、M5 在「原子量」和「分子量」的概念上雖然有圈選但是均只是從字義上解釋。

M2: 原子量就是 原子的重量

分子量也就是 分子的重量

M5: 原子量是說 . 原子也是有重量，所以原子量是原子的重量

分子量就是指分子 . 的重量

另外，在「過程概念」的前測上發現在「吸熱反應」和「放熱反應」這兩個概念在 M4 學生並不存在。對於「質量守恆定律」的概念只有 M2、M4 圈選，但是研究者請兩位學生解釋此概念的定義時，學生只是單從字義上去解釋並未說出此概念的內涵，將兩位學生的解釋內容摘錄如下：

M2: 質量守恆定律是 . 說 任何物質放在那裡 . 只要不去動它，質量應該不會 . 自己減少

M4: 質量守恆定律就是一個定律 . 在說明質量會維持固定 . 不變的定律。

前測	
物質概念 (M)	過程概念 (P)
1 元素	1 化學反應
2 元素符號	2 吸熱反應 (M4 缺)
3 化合物	3 放熱反應 (M4 缺)
4 化學式-分子式	4. 化學反應現象
	5 反應速率

↓ 教學概念生態進行

後測	
物質概念 (M)	過程概念 (P)
1. 元素	1. 化學反應
2. 元素符號	2. 吸熱反應
3. 化合物	3. 放熱反應
4. 化學式-分子式	4. 化學反應現象
5. 化學方程式表示法	5. 反應速率
6. 化學方程式- 限量試劑 (M4 缺)	6. 原子不滅定律 (M4 缺)
7. 原子量	7. 質量守恆定律
8. 分子量	8. 亞佛加厥假說 (M2 缺)
9. 莫耳數	9. 碰撞學說
	10. 方程式係數平衡
	11. 方程式運算 (M4 缺)
	12. 莫耳運算 (M4 缺)
	13. 影響 R 物質
	14. 本質影響 R 濃度
	15. 影響 R 溫度
	16. 影響 R 表面積
	17. 影響 R 催化劑 (M5 缺)
	18. 可逆反應
	19. 化學平衡
	20. 影響 Ea 濃度
	21. 影響 Ea 溫度 (M2 缺)
	22. 影響 Ea 壓力 (M5 缺)

圖 4-4-2 中成就組甲組學生前、後測 內在概念結構之比較

註：若沒有 () 表示此概念正確存在於中成就組 3 人；

若有 () 則括號內的學生為缺乏此概念者。

後測結果發現甲組中以 M4 學生表現較差，其他兩位學生的學習情況只有兩個「過程概念」產生錯誤學習情形，後測概念習得率的表現與一些高成就組學生差不多，下面分別就這三位同學後測概念晤談的內容分述如下：

(1) M2 學生

在「亞佛加厥假說」上，M2 學生與 H1 學生產生相同的質疑。由於對於亞佛加厥定義不認同，造成對於溫度影響化學平衡的判斷模式也無法接受。

M2：老師說不同的氣體在相同的 .. 環境下 .. 就是溫度相同時，如果分子數相同，那 體積也會相同 .. 這很奇怪 .. 因為我覺得不同氣體重量不同、體積應該也不同 .. 那數量相同體積應該不會一樣。

(2) M4 學生

M4 學生由於本身數學運算能力的限制，在方程式運算和莫耳運算上產生學習困難，晤談中研究者發現 M4 學生傾向先將教師教學中所給的圖形表徵—「莫耳、質量、個數三角關係圖」列出，在依照題目所給予的條件一一代入解題。另外，限量試劑的觀念牽涉到數學中比例的問題，M4 學生可以理解限量試劑實際的意義，但是在應用上無法將限量試劑的概念實際套用到問題情境中。

(3) M5 學生

M5 學生在「影響反應速率—催化劑」的概念理解上認為催化劑會影響反應速率和生成物的產量，在「影響化學平衡的因素—壓力」上則認為壓力大會幫助正反應進行。以下為研究者晤談的內容：

M5：催化劑可以幫助化學反應的速度 加快，那 反應速度加快 .. 那產生的產物就會比較多才對。

M5: 催化劑會改變反應的速度，如果有一化學反應已經平衡了，那 .
加入催化劑就會改變本來的速度，這樣 . 就會不平衡了

M5: 壓力變大 就會有動力..那反應速度就會變快 會改變原來的
平衡，最後反應會朝正反應方向進行。

研究者發現 M5 學生內在概念結構產生了兩個有趣的另有架構，一個是他認為催化劑在加快反應速率的同時，也會增加生成物的產量。然而，根據質量守恆定律知道這個另有架構是不可能存在的，因為催化劑並不是反應物，而 M5 學生的內在概念結構已經具有質量守恆的概念，所以可推論出 M5 學生產生此架構的原因是未將催化劑和反應物的角色釐清。另外，M5 學生提出當化學反應達到化學平衡時加大壓力會加快正反應的反應速率，使反應向右進行；減小壓力則會讓正反應的反應速率變慢讓反應向左進行。

(二) 中成就組學生— 乙組 概念轉變歷程

乙組的三位學生在前測中只有存在兩個正確的過程概念：「化學反應」和「化學反應現象」；而在物質概念方面三位學生都有圈選「元素」、「元素符號」、「化合物」和「化學式」，但是無法正確舉例和說出「元素」和「化合物」的不同。另外，在「元素符號」和「化學式」中只記得是一些字母和數字的組合，覺得就跟英文單字一樣，有背過但是忘了。後測中這三位學生對於科學概念的晤談結果分述如下：

(1) M1 學生

在後測中因為 M1 學生不喜歡記憶元素符號和化學式，所以一旦遇到需要先背誦出元素符號或化學式才能進行解題的試題時，M1 學生常常選擇放棄。例如：單元一後測試題 B 部分第 13 題(如下所示)，M1 學生選擇以「？」回答，當研究者給予 M1 學生解題必備的記憶性資料後，則 M1 學生就能解

出正確答案，顯示 M1 學生在「亞佛加厥定律」的概念理解上正確，只是元素符號和化學式的基礎知識不足導致解題困難。

已知 3 升氫與 1 升氮在催化反應下可形成 2 升的氨，而氫與氮的分子量分別為 2 和 28，則氨的分子量為多少？ (A) 30 (B) 26 (C) 17 (D) 15

另外，在「影響化學平衡因素—溫度」的概念上，M1 學生認為溫度不會影響化學平衡，因為不管是溫度升高或降低時，正反應或逆反應所處的溫度都相同，以下為他的說法。

M1: 化學反應已經平衡 如果溫度變高 那反應前 後的東西 (指反應物和生成物) 的溫度也一樣上升, 所以 .. 大家溫度相同 .. 那就 會繼續保持平衡 就像是加入催化劑兩邊的反應速率增加的一樣 所以不會改變化學平衡的方向 ..

研究者發現 M1 學生將教師解釋「催化劑無法改變反應平衡」的模式套用到「溫度對化學平衡的影響」上，所以造成概念理解上的困難。這顯示學生在學習科學概念時有時用一些他可以接受的解釋模式去解釋類似的科學概念，反而造成學習困難。

(2) M3 學生

M3 學生會去記憶教師要求的元素符號和化學式，但是對於比較複雜的化學式或不常出現的化學式會有遺忘的現象。M3 學生在「影響反應速率—催化劑」和「影響化學平衡—壓力」概念學習產生另有架構，分別將晤談內容摘錄如下：

M3: 那個 . 老師說 . 催化劑會改變化學反應的速度 .. 那個化學平

衡就是說 反應去和回來的速度（指正反應和逆反應） 會相同，
催化劑改變了反應速度 . 那就會改變原來去和回來的速度 所
以平衡就不一樣了 .

M3: 我覺得給它壓力（加大壓力） . 會讓反應速度變快 .. 可是到
底 是哪一邊的速度變快我不知道 .

研究者問：那你為什麼知道壓力大反應速率就會變快？

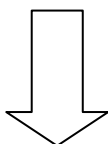
M3: 嗯 嗯 . 就 . 我很用力推一個東西，他就會跑得很快一樣

在晤談中發現 M3 學生不太習慣使用科學語意知識，他覺得催化劑會改變反應速率，化學平衡又和反應速率有關，所以推論出催化劑也會改變化學平衡。M3 學生忽略了兩大關鍵因素：催化劑是「同時」改變正反應速率和逆反應速率以及催化劑改變正逆反應速率的程度是「相同」的。而在「影響化學平衡—壓力」上面，M3 生似乎無法將壓力造成物質體積改變與亞佛加厥定律中體積比和係數比之關係作連結，但是至少知道壓力會加快反應速率。

（3）M6 學生

M6 學生是中成就組學生中，科學概念習得率最少的學生，由於此學生本身的數學運算能力不好，所以在過程概念中的「莫耳運算」、「方程式平衡」和「方程式運算」上都表現不好。研究者晤談後發現 M6 生即使能理解莫耳的意義和方程式係數所代表的科學意義，但是卻無法順利地完成這類題型的運算程序。由此可知學生在學習科學時數學基礎的運算能力是很重要的，這項基本能力尤其會影響到學生在「過程概念」的習得能力。

前測	
物質概念 (M)	過程概念 (P) 1. 化學反應 2. 化學反應現象



教學概念生態進行

後測	
物質概念 (M)	過程概念 (P)
1. 元素 (M1 缺)	12. 化學反應
2. 元素符號	13. 吸熱反應
3. 化合物	14. 放熱反應
4. 化學式-分子式 (M1、M3 缺)	15. 化學反應現象
5. 化學方程式表示法	16. 反應速率
6. 化學方程式- 限量試劑 (M6 缺)	17. 原子不滅定律
7. 原子量	18. 質量守恆定律
8. 分子量	19. 亞佛加厥假說
9. 莫耳數	20. 碰撞學說
	21. 方程式係數平衡 (M6 缺)
	22. 方程式運算 (M6 缺)
	12. 莫耳運算 (M6 缺)
	13. 影響 R 物質
	14. 本質影響 R 濃度
	15. 影響 R 溫度
	16. 影響 R 表面積
	17. 影響 R 催化劑 (M3 缺)
	18. 可逆反應
	19. 化學平衡
	20. 影響 Ea 濃度
	21. 影響 Ea 溫度 (M1 缺)
	22. 影響 Ea 壓力 (M3、M6 缺)

圖 4-4-3 中成就組乙組學生前、後測 內在概念結構之比較

註：若沒有 () 表示此概念正確存在於中成就組 3 人；

若有 () 則括號內的學生為缺乏此概念者。

將 M6 生對「限量試劑」和「影響化學平衡因素—壓力」兩個概念的相關試題晤談內容整理如下：

- M6: 限量試劑 .就是最早用完的 ..反應物,但是我不知道 怎麼判斷這裡面(手指著題目中的方程式) ..哪一個是 最早用完的
- M6:我覺得壓力會影響化學平衡,好像是 是 ..因為壓力會造成這個 .體積改變,壓力大體積就會變大 所以向數字大的那邊走

研究者發現 M6 學生即使能正確解釋出科學概念的基本意義,卻無法將概念應用於題目情境中,顯示這些概念在 M6 生的內在是片段式的。另外,從「壓力大體積就會變大」這句話可知 M6 生在學習概念的過程中有時沒有使用「合理性」去判斷文字的敘述,只是「記憶」而非「理解」概念。而且, M6 生不論屬性是物質或過程的科學概念常選擇以背誦的方式去學習,因為從 M6 生在元素符號和化學式的表現來看,他是一位會花時間唸書的學生。「物質概念」或許可以靠記憶方式學習,但是「過程概念」如果不理解只是光靠記憶就容易有上述的情形發生。

三、 低成就組學生的概念轉變歷程

從晤談的內容分析發現低成就組學生面對錯誤的試題大多以「不知道」、「不會」或「」來回答,當研究者鼓勵或試圖引導他將心中想法說出時,他們有時就會把研究者詢問的概念在重複一次例如：

- L1:原子不滅定律 就是原子不滅的定律 .
- L2:催化劑是 .一種可以催化的試劑 .
- L3:亞佛加厥學說 ..是亞佛加厥提出的學說 .

即使有回答也呈現片段式的語意，常常是一些經驗和語意知識混雜，內容大多前後矛盾。不過，研究者發現，他們似乎對於一些教師上課使用「動態表徵」呈現的概念印象深刻，在晤談中會不經意的提到上課的內容，例如：

L4: 老師說 . 碰撞學說像是男生追女生，要有足夠的錢和知道對方的興趣 (笑)

研究者：那足夠的錢代表什麼？知道對方的興趣代表什麼？

L4：錢 就能量 .. 興趣就是 . 那個碰撞的角度要正確 .

L5: 動平衡就是去和回來的速度一樣 . 像我們上次玩的遊戲一樣 . 跑來跑去 .. 就這要跑來跑去啊 . (指角色扮演)

L6: 莫耳和打一樣 . 都是算東西的 . 數量 . 那個 1 莫耳因為 .. 太大所以 . 用來算眼睛看不到的原子 . 就跟我們不可能 一輩子喝一莫耳杯的珍奶啊 ..

從上面晤談內容中顯示對於低成就組的學生而言，教學表徵的呈現以「動態表徵」中的角色扮演和問題解決模式最能達到學習成效，其次是在「靜態表徵 B 組」中以類比表徵。但是「問題解決模式」和「類比」都必須與有趣的生活話題或經驗相結合才能引起學生主動學習的動機和意願。

學生在接受晤談時，高成就組的學生概念生態元素的組成以語意知識為主，也就是科學邏輯敘述，而中、低成就組的學生則僅有較多經驗知識來敘述科學概念。在回答問題的意願上，高成就組學生最高，中成就組次之，最後是低成就組。當中、低成就組學生所面對晤談的概念具有以下條件者，學生回答問題的意願升高，尤其在低成就組最明顯。

1. 教師使用「動態表徵」中的角色扮演和問題解決—生活化
2. 「靜態表徵 B 組」中類比表徵(以生活經驗事物為對應)

這個結果可以解釋為何一般常態教學的教師只能造就高成就組學生，因為他們所使用的教學表徵大多是屬於靜態表徵 A 組，而本研究的效能教師教學中常常出現靜態表徵 B 組和動態表徵，所以能幫助中、低成就學生進行概念學習。