

第肆章 研究結果與討論

本章將就本研究中所提的問題及研究中所蒐集的資料，進行資料的分析與討論，以期能回應所題的問題，本章共分為七節，第一節在探討學生答題的表現與情境、不同變因之間的關係，以回應研究目的五的兩個問題；第二節在探討兩組學生教學前、後及延宕測驗的正確性、一致性與完整性(3C)的表現，比較兩組教學的成效，以回應研究目的三的六個問題；第三節在探討實驗組與控制組兩組學生在理想氣體相關概念的心智模式類型、分布情形及演變的途徑有何不同，以回應研究目的一、二的六個問題；第四節則為氣體本質測驗、動態評量的綜合分析，探討教學過程中，兩組學生理想氣體的科學學習的情形及本體概念的改變，以回應研究目的四的三個問題；第五節為晤談分析，分析實驗組 14 位晤談學生的資料，瞭解學生在理想氣體心智模式的演變情形，以回應問題 2-4；第六節則為學習情意面向的分析，探究多重表徵的模型教學組的學生對於八種教學策略的觀感，瞭解學生對於八種教學策略對「增進概念理解」、「提升學習興趣」與「造成學習負擔」等三方面的想法與傳統教學法有無不同，以回應研究目的六的三個問題。第七節為綜合討論，以認識論、本體論與情意因素三面向來探討學生在理想氣體的概念發展與概念改變。

第一節 學生答題表現與情境、不同變因的探討

在本研究的診斷式紙筆測驗將相同變因的題目設計成一般紙筆測驗的題型(非情境題)以及融入日常生活或實驗觀察的情境描述的題型(情境題)，比較及分析情境題是否會影響學生答題的表現，亦即學生的答題表現是否為情境相依。另外將非情境題納入不同的變因，探討不同的變因(體積改變、放置位置改變等)是否會影響學生答題的表現，亦即分析學生的想法是否隨著變因的不同而改變。

一、學生答題表現與情境/非情境之間的關係

由於兩組學生在前測的正確性(paired-t test: $t=.781$, $p=.440$)未達顯著差異，故將兩組學生的前測資料合併分析。根據巨觀/微觀的答對率比較，整體而言，非情境的答對率小幅多於情境題，但並未達到顯著差異，顯示加入情境的描述並不會明顯影響學生答題表現。

在分壓的概念中，非情境的答對率顯著優於情境題；在情境題中，學生傾向以分子大小或容器體積來判斷分壓大小，因而形成另有概念。達平衡時，水的蒸氣壓為飽和蒸氣壓的相關概念上，非情境巨觀的答對率顯著優於情境題，在情境題中，學生因為題目中出現針筒內分布了一些小水滴，部分學生回答蒸氣壓小於飽和蒸氣壓(理由為動能耗損，或是有小水滴表示水已凝結，故蒸氣壓為零)。而在擴散速率與分子量有關的問題中，情境巨觀的答對率反而顯著優於非情境題，主要是情境題的內容是關於氣球隨時間逐漸變小的情境，其巨觀的變化能夠在日常生活中觀察到，而非情境題的針孔擴散的實驗則不易在日常生活中觀察到，因而學生對於較為熟悉的情境題中反而答對率較佳。

從一系列的答題情形分析，可以觀察出如果學生對題目的內容熟悉程度相近時，學生對於題幹與題意描述簡短的非情境題答題表現稍佳。反之如果學生平日對於情境題中所描述的現象十分熟悉，則學生對於情境題答題表現稍優於非情境。因此我們可以善加利用平日可以觀察到的巨觀現象，設計成有趣而又具有統整性的情境題，讓學生藉由熟悉的情境中，多思考微觀世界的影響因素，進而推論出合理的微觀機制。

表 4-1-1 學生關於非/情境題答題情形(答對率)差異性比較

子概念	命題陳述	巨觀			微觀		
		非情境	情境	t 值	非情境	情境	t 值
體積	氣體的體積為氣體粒子活動的空間	.278	.253	0.49	.215	.203	0.28
壓力	同 T、V 下，總壓與分子數目成正比	.304	.380	-1.51	.089	.177	-1.83
	同 T、V 下，分壓與分子數目成正比	.608	.456	2.43*	.519	.291	3.66***
蒸氣壓	達平衡，水的蒸氣壓為飽和蒸氣壓	.658	.481	2.56*	.456	.430	0.45
	壓縮體積達平衡，飽和蒸氣壓不變	.190	.228	-0.77	.152	.165	-0.30
擴散	同 T、V 下，擴散速率與分子量有關	.253	.456	-2.49*	.152	.190	-0.60
分布	密閉容器內，氣體粒子呈隨機分布	-	-	-	.532	.532	0.00
運動	密閉容器內，氣體粒子全部隨機運動	-	-	-	.658	.709	-1.07
總平均	---	.382	.376	0.25	.347	.337	0.51

* : $p < .05$ ** : $p < .01$ *** : $p < .001$

二、學生答題表現與不同變因之間的關係

研究者在設計非情境題時，考慮將不同的變因(體積改變、放置位置改變等)，以探討學生答題表現是否明顯受不同變因的影響(詳見表 4-1-2)。在前測中，除了混合氣體粒子的分布與運動答題情形並未明顯受不同的變因影響之外，其他在壓力、蒸氣壓、氣體擴散與兩種氣體擴散時的運動方面，學生在不同變因下的答題表現均達顯著差異。在相同狀況下，學生推論混合氣體總壓與同分子數目的單一氣體壓力之間的大小時，部分學生會因為氧氣的特性(分子量及分子體積較大、有助燃性因而活性較大)而傾向認為混合氣體中有氧氣導致總壓比較大，但是這類型錯誤的想法，學生在推論同一容器中氧氣與其他氣體分壓大小時，則明顯減少。

表 4-1-2 學生關於非情境題不同變因的答題情形差異性比較(表格內為答對率)

子概念	命題陳述	巨/微觀	變因		顯著性
壓力	同 T、V 下，氣體壓力與分子數目成正比		總壓	分壓	t 值
		巨觀	.304	.608	-4.05***
		微觀	.089	.519	-6.23***
蒸氣壓	達平衡時，不論是否改變容器體積，水的蒸氣壓為飽和蒸氣壓		V 不變	V 減半	t 值
		巨觀	.481	.228	3.98***
		微觀	.430	.165	4.14***
擴散	同 T、V 下，擴散速率與分子量有關		水平擴散	針孔擴散	t 值
		巨觀	.405	.570	-2.19*
		微觀	.101	.152	-1.00
粒子分布	不論是否改變容器體積，氣體粒子皆為隨機分布		V 不變	V 減半	t 值
		微觀	.532	.481	0.94
粒子運動	不論是否改變容器體積，氣體粒子皆為隨機運動		V 不變	V 減半	t 值
		微觀	.658	.608	1.00
擴散運動	不論玻璃管水平或垂直放置，兩種氣體擴散方向皆為隨機		水平放置	垂直放置	t 值
		微觀	.506	.405	2.04*

* : $p < .05$ ** : $p < .01$ *** : $p < .001$

在探討容器體積大小是否影響蒸氣壓的問題中，當學生遇到體積減半/加的情況時，大多數的學生會以國中時期學過的壓力與體積成反比的概念(波以耳定律)，因而回答蒸氣壓隨著體積減半而加倍。小部分的同學會認為蒸氣壓會受分子量或分子體積的影響，譬如說，學生會認為水的分子量比氧氣小，運動速率較快，所以當容器變大時，容器內的水蒸氣比氧氣更容易碰撞到器壁，因此蒸氣壓比體積未改變前更大。

在探討玻璃管的放置位置是否影響兩種氣體擴散的方向時，在水平放置的情況，學生答對率在一半以上，垂直放置時則在一半以下。垂直放置時，學生的想法明顯會受重力因素的影響，而認為氮氣會往上方運動，氯化氫會往下方運動(兩種皆單向運動)；或是認為氮氣會往上方運動，氯化氫會上下雙向運動(單向+雙向)；部分學生則認為氮氣會往上方運動，氯化氫會隨機運動(單向+隨機)。

從學生在不同變因的回答情形，我們可以瞭解到學生即使是在同一個時空下，其答題的表現是極容易受不同的變因而影響其想法，而產生概念不一致的情形，學生或許擁有正確的命題，卻在變因的轉換中因為不瞭解使用的條件限制而作了錯誤的連結。譬如說，學生理解波以耳定律，但在蒸發平衡的狀況下，誤用了波以耳定律而作出錯誤的推論。有些情況則是學生誤將巨觀現象與微觀理由視為相同，像是在液體中密度小於液體密度者會上浮，密度大於液體密度者會下沉，學生在判斷垂直狀況下粒子運動時，也會認為密度小的氮氣會往上飄動，密度大的氯化氫氣體則往下運動。

從以上的研究發現學生最常見的錯誤是用巨觀的現象去錯誤類比微觀粒子的世界，學生學習粒子模型困難的主因，是由於他們無法區別微觀世界與巨觀世界的性質不同，因此許多學生將微觀的粒子世界是為巨觀世界的一部分而做出錯誤的推論(Novick & Nussbaum, 1978, 1981; Selly, 1981; Driver, 1985; Anderson, 1986; Millar, 1990; de Vos & Verdonk, 1996)。學生在描述現象時，偏好以日常生活中的經驗及可觀察的巨觀現象來思考及解決問題，而不以抽象的粒子模型作為思考的方式(Happs, 1980)。本研究分析出學生的前測答題表現會因不同變因而改變的結果就如同Vosniadou 和 Brewer (1992) 認為穩定的心智模式在進行個案推理的過程中，可能被修正成暫時的、特定情境的模型。Vosniadou (1994) 的研究中也指出：即使兒童具有

科學概念時，並不意謂著其他模式就會消失或被取代，兒童可以察覺兩種模式同時存在，依情境的不同而調和使用。

透過瞭解學生的心智模式，科學教師進行科學概念教學時，可以確實瞭解學生學習困難所在，進一步發展出適合的教學模型(邱美虹和翁雪琴, 1995)。像是透過電腦動畫與具體模型，所顯現的動態表徵配合文字、口語敘述等，說明氣體粒子的隨機運動，讓學生瞭解微觀世界中粒子之間的交互作用，不僅促進學生形成正確的命題，也能進一步訓練學生在不同情境/變因下，將正確的命題作成正確的連結，以提升學生心智模式的正確性、一致性與完整性，讓學生的心智模式在科學學習中逐漸趨近科學模式。然而本研究中所設計的多重表徵的模型教學是否能如同文獻所提及：以符合現象屬性的教學模型，可以使得學生瞭解微觀世界中粒子之間的交互作用，並進一步提升學生理想氣體相關概念的正確性、一致性與完整性呢？研究者將在下一節中詳細加以討論。

第二節 兩組教學成效之比較

由於兩組學生在高一基礎化學課程中僅學習到大氣的成份及用途，教材中並未針對氣體壓力的與運動情形(粒子性質、氣體粒子之間為真空、氣體粒子的運動情形及分布等)多作描述。學生對於理想氣體的先有概念是否如同文獻中所言，學生大部分停滯在具體操作期，對抽象的概念運作能力有限，導致學生在日常生活的觀察之中，不容易察覺與體驗出化學概念中微觀世界的想法(Nordland et al., 1974; Renner & Stafford, 1972)。

從兩組學生前測的正確性來看(圖 4-2-1)，巨觀現象的判斷正確性達 0.4~0.5，微觀理由的正確性則未達 0.4，尤其是在氣體體積、壓力、蒸發平衡及影響擴散速率因素相關概念方面，學生的正確性是偏低的，答對率大多未超過三分之一，我們可以發現學生對於理想氣體的體積、影響壓力的因素等相關概念的確存有許多誤解，而許多學生所擁有的迷思概念與文獻所提及的有所對應。

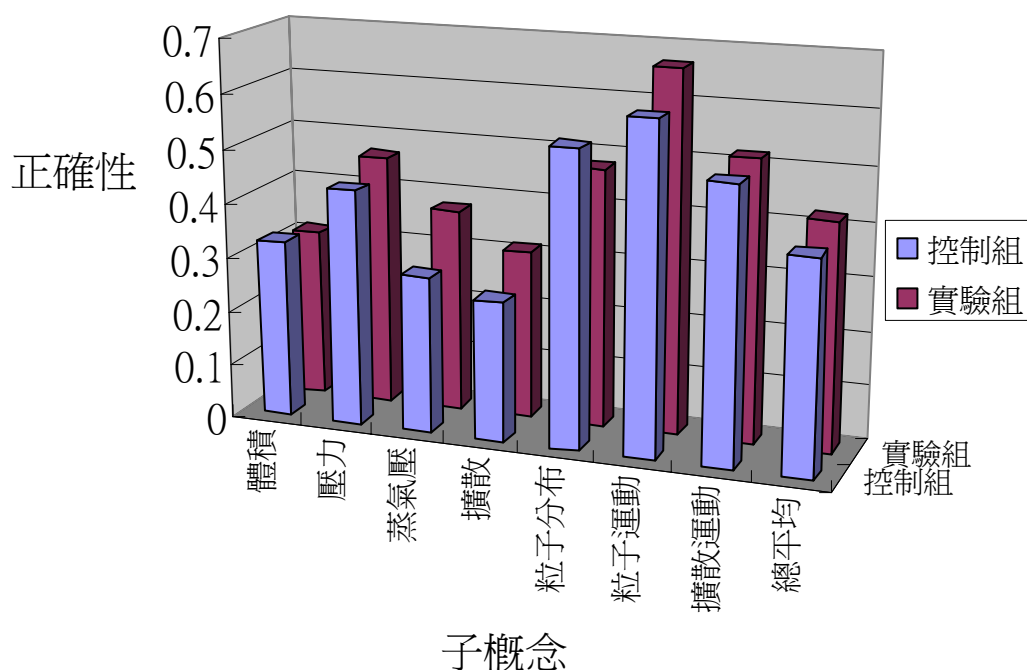


圖 4-2-1 兩組學生前測中七個子概念的正確性比較

本研究希望藉由與現象具有相同屬性的多重表徵的模型教學來幫助學生理解科學現象的成因，進一步幫助學生推理出氣體粒子在微觀世界的交互作用，以建立科學的理想氣體粒子模型。因此本節的討論是聚焦在兩組學生的理想氣體相關概念的正確性、一致性、完整性(3C: correctness、consistency、completeness)在教學前、後及延宕測驗的演變情形，進一步探討多重表徵的模型教學是否比傳統文本教學更能有效增進學生對於理想氣體粒子模型與氣體動力論的科學學習與概念改變。

一、正確性(correctness)的比較

兩組在正確性方面的比較，分為兩組學生前測差異性比較、實驗組教學前、教學後及延宕測驗的差異性比較、控制組教學前、教學後及延宕測驗的差異性比較、兩組學生後測及延宕測驗差異性比較等四方面進行分析。

(一) 兩組學生前測正確性差異性比較

將實驗組(前測總平均為.420;標準差為.162)與控制組(前測總平均為.393;標準差為.142)兩組的前測總平均進行 paired-t test ($t=.781$, $p=.440$), 表示兩組學生在教學前未達顯著差異。在進行正確性的比較時，將理想氣體相關概念分為七個子概念—氣體體積、氣體壓力、蒸氣壓、氣體擴散、氣體粒子分布、氣體粒子運動及擴散時粒子的運動，並進一步將前四個子概念細分為巨觀、微觀及平均三方面來探討兩組學生理想氣體相關概念的正確性。分析結果顯示，兩組學生的前測成績在七個子概念上，不論是巨觀、微觀以及平均等皆未達顯著差異(表 4-2-1)，表示兩組學生在教學前對於理想氣體的相關概念未達顯著差異。

從兩組前測答題表現上，兩組學生對於影響擴散速率因素的正確性是七個子概念中最低的，顯示國中教材中雖然詳細說明溫度越高擴散速率越快，也說明動能的公式($E_k=1/2mv^2$)，但是學生無法將所學過的動能及速率的概念與擴散速率的概念相連結。大部分的學生反而認為動能相同速率就相同，或是誤認為活性會影響擴散速率。

表 4-2-1 實驗組與控制組前測的巨/微觀正確性(得分率)

子概念	實驗組			控制組			實驗組－控制組(t 值)		
	巨觀	微觀	平均	巨觀	微觀	平均	巨觀	微觀	平均
體積	.376	.248	.312	.408	.250	.329	-1.32	-.91	-1.12
壓力	.547	.385	.466	.515	.346	.435	0.53	0.67	0.66
蒸氣壓	.421	.333	.377	.320	.260	.290	1.93	1.31	1.66
擴散	.494	.192	.313	.444	.133	.258	0.80	1.26	1.36
粒子分布	—	.477	—	—	.545	—	—	-.93	—
粒子運動	—	.667	—	—	.605	—	—	0.49	—
擴散運動	—	.519	—	—	.506	—	—	0.08	—
總平均	.463	.398	.420	.431	.374	.393	1.02	0.53	0.78
(標準差)	(.162)	(.182)	(.162)	(.143)	(.171)	(.142)	—	—	—

(二) 實驗組教學前、教學後及延宕測驗的差異性比較

實驗組經過八節課多重表徵的模型教學後，使用 paired-t test 分析後測成績是否顯著優於前測，分析結果顯示：後測的答題表現皆達顯著進步(見表 4-2-2、4-2-3、圖 4-2-2)，尤其是粒子分布、運動及混合氣體擴散運動三個子概念，學生的答對率接近 100%。結果顯示學生在課室活動中經由觀察氣體粒子運動的具體模型所呈現出粒子運動情形，深刻的理解到微觀世界中氣體粒子是持續的隨機運動、隨機分布的。學生藉著親自扮演氣體粒子來體驗氣體擴散的過程，也深刻的瞭解氣體擴散時，運動方式是全部的氣體粒子隨機四處運動，而且分子量小的氣體粒子運動速率較快。在氣體體積與蒸氣壓兩個子概念方面，學生的正確性也達到八成以上，顯示出學生藉由具體模型觀察到氣體的體積的定義是氣體粒子活動的空間，所以容器相同時，不論粒子多寡、大小不同，氣體的體積皆相等。此外學生藉著觀察蒸發平衡的電腦動畫，也瞭解到蒸發達平衡時，蒸氣壓為飽和蒸氣壓，而飽和蒸氣壓與溫度、液體的種類(分子之間的引力大小)有關而與容器體積大小是無關的。

延宕測驗在教學後五週進行，實驗組學生在概念記憶保留的測驗中呈現退步的現象，主要是氣體體積的子概念方面，達到顯著的退步。分析結果顯示學生經由具體模型的動態表徵瞭解了體積的定義，但經過五週的時間，學生因為不瞭解條件的限制，而誤用理想氣體方程式，認為氣體體積是與粒子多少/粒子大小有關的，反而未與正確的命題(同容器時，不同種類/數目的氣體的氣體體積是相同)的產生連結。

相對的，氣體粒子分布、運動及混合氣體擴散運動三個子概念在概念記憶保留的測驗中正確性仍然接近 100%。由此研究結果可支持文獻中所提及的：根據現象或概念的特性，選用適合的模型表徵方式與屬性，可以讓學生藉由模型的多重表徵來學習而建立具有相同屬性的心智模式(Buckley, & Boulter, 2000; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002; 邱美虹、翁雪琴, 1995; 邱美虹, 2006; 鍾曉蘭、邱美虹, 2006)。

表 4-2-2 實驗組前、後、延宕測驗的巨/微觀正確性(得分率)

子概念	前測			後測			延宕		
	巨觀	微觀	平均	巨觀	微觀	平均	巨觀	微觀	平均
體積	.376	.248	.312	.957	.735	.846	.685	.513	.585
壓力	.547	.385	.466	.856	.703	.779	.812	.697	.754
蒸氣壓	.421	.333	.377	.882	.841	.862	.831	.815	.823
擴散	.494	.192	.313	.647	.594	.615	.603	.534	.562
粒子分布	—	.477	—	—	.966	—	—	.995	—
粒子運動	—	.667	—	—	1.000	—	—	.995	—
擴散運動	—	.519	—	—	.981	—	—	.994	—
總平均	.463	.398	.420	.833	.834	.834	.745	.792	.776

表 4-2-3 實驗組前、後、延宕測驗的巨/微觀正確性差異比較(表格內為 t 值, paired-t test)

子概念	後測－前測			延宕－前測			延宕－後測		
	巨觀	微觀	平均	巨觀	微觀	平均	巨觀	微觀	平均
體積	13.00***	9.25***	12.80***	4.54***	4.37***	4.58***	-6.15***	-3.35**	-4.93***
壓力	7.78***	7.81***	8.57***	6.48***	7.12***	7.59***	-1.20	-0.16	-0.74
蒸氣壓	8.87***	9.09***	9.20***	7.98***	8.87***	8.66***	-1.15	-0.52	-0.83
擴散	2.48*	5.76***	4.93***	1.75	5.33***	4.47***	-1.31	-1.08	-1.33
粒子分布	—	7.88***	—	—	8.32***	—	—	2.46*	—
粒子運動	—	5.37***	—	—	5.32***	—	—	-1.00	—
擴散運動	—	7.00***	—	—	7.55***	—	—	0.81	—
總平均	14.84***	16.30***	17.46***	10.21***	14.88***	14.49***	-4.10***	-2.89**	-3.78***

* : $p < .05$ ** : $p < .01$ *** : $p < .001$

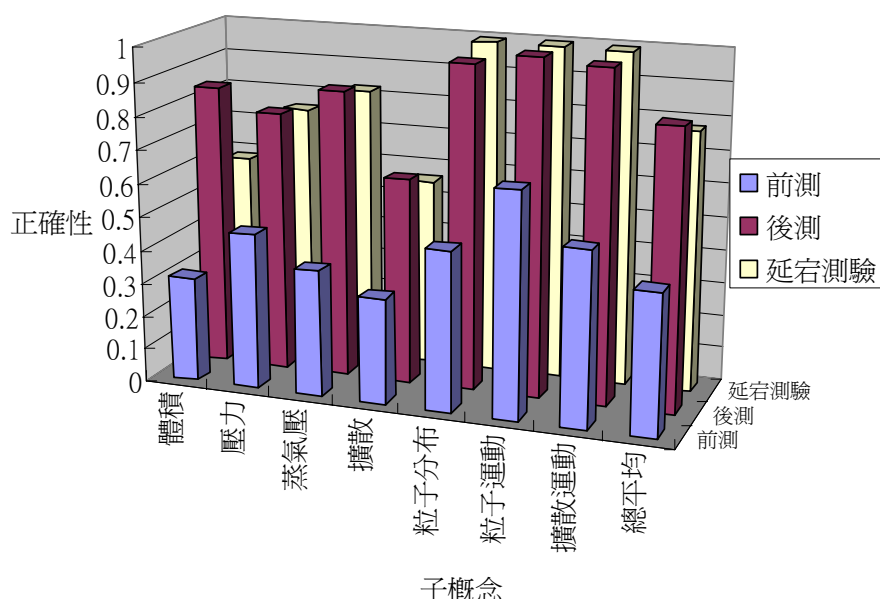


圖 4-2-2 實驗組前、後、延宕測驗正確性比較

(三) 控制組教學前、教學後及延宕測驗的差異性比較

控制組經過八節課傳統文本的教學後，使用 paired-t test 分析後測成績是否顯著優於前測，分析結果顯示：後測的巨觀、微觀與總平均的答題表現皆達顯著進步(見表 4-2-4、4-2-5、圖 4-2-3)，但在氣體體積與氣體擴散二個子概念方面，正確性仍未達到五成，顯示傳統文本中，以文字表徵的方式說明氣體體積的定義是氣體粒子活動的空間，無法有效的幫助學生建立氣體體積的正確概念，仍有一半以上的學生對於氣體體積的定義並不清楚，誤認為氣體體積是氣體粒子體積的總和，因此氣體分子體積/分子量越大，氣體的體積也越大，或是誤用亞佛加厥定律(誤認為同一容器內，氣體粒子數目越多體積就越大)，導致控制組的學生在推論氣體體積微觀理由的答對率僅三分之一。

在擴散速率的影響因素方面，雖然達到顯著的進步，但在微觀部分正確性僅接近 0.4。傳統文本以數學公式推導格銳目擴散定律，輔以文字表徵的方式說明相同狀況(同溫、同壓)氣體的擴散的速率與其分子量成反比，由於缺乏動態的表徵，學生不易形成深層的理解，顯示仍有一半以上的學生並未瞭解造成擴散速率不同的原因，也無法將格銳目擴散定律應用於問題解決。

學生在概念記憶保留的測驗(延宕測驗)中呈現退步的現象，主要是蒸氣壓的子概念方面，達到顯著的退步。分析結果顯示學生經由文字、語言的方式描述蒸發平衡及飽和蒸氣壓的定義，雖然在後測中達到顯著的進步(進步成效是七個子概念中最顯著的)，但經過五週的時間，約 25%的學生在推論微觀理由時，又回歸成教學前使用波以耳定律或是誤認為蒸氣壓大小與分子大小/活性有關，顯示傳統教學法對於蒸發平衡與飽和蒸氣壓的概念上較難形成長久而深層的記憶。

表 4-2-4 控制組前、後、延宕測驗的巨/微觀正確性(得分率)

子概念	前測			後測			延宕		
	巨觀	微觀	平均	巨觀	微觀	平均	巨觀	微觀	平均
體積	.408	.250	.329	.633	.342	.488	.508	.333	.421
壓力	.515	.346	.435	.725	.460	.593	.675	.357	.516
蒸氣壓	.320	.260	.290	.770	.750	.738	.650	.515	.583
擴散	.444	.133	.258	.606	.396	.480	.494	.396	.435
粒子分布	—	.545	—	—	.750	—	—	.715	—
粒子運動	—	.605	—	—	.721	—	—	.790	—
擴散運動	—	.506	—	—	.700	—	—	.675	—
總平均	.431	.374	.393	.694	.596	.628	.594	.547	.563

表 4-2-5 控制組前、後、延宕測驗的巨/微觀正確性差異比較(表格內為 t 值, paired-t test)

子概念	後測－前測			延宕－前測			延宕－後測		
	巨觀	微觀	平均	巨觀	微觀	平均	巨觀	微觀	平均
體積	3.31**	1.60	2.78**	1.82	1.53	1.89	-1.75	-0.15	-1.19
壓力	4.12***	2.76**	3.85***	2.95**	1.43	2.52*	-1.71	-1.40	-1.74
蒸氣壓	7.52***	7.01***	7.46***	5.34***	3.84***	4.71***	-2.45*	-3.65***	-3.24**
擴散	2.63*	5.19***	4.66***	0.82	4.32***	3.34**	-2.57*	-0.00	-1.12
粒子分布	—	3.07**	—	—	2.28*	—	—	-0.65	—
粒子運動	—	1.89	—	—	2.62*	—	—	1.43	—
擴散運動	—	2.93**	—	—	2.39*	—	—	-0.38	—
總平均	7.99***	7.89***	9.17***	4.90***	5.23***	5.91***	-3.82***	-2.03*	-3.06**

* : $p < .05$ ** : $p < .01$ *** : $p < .001$

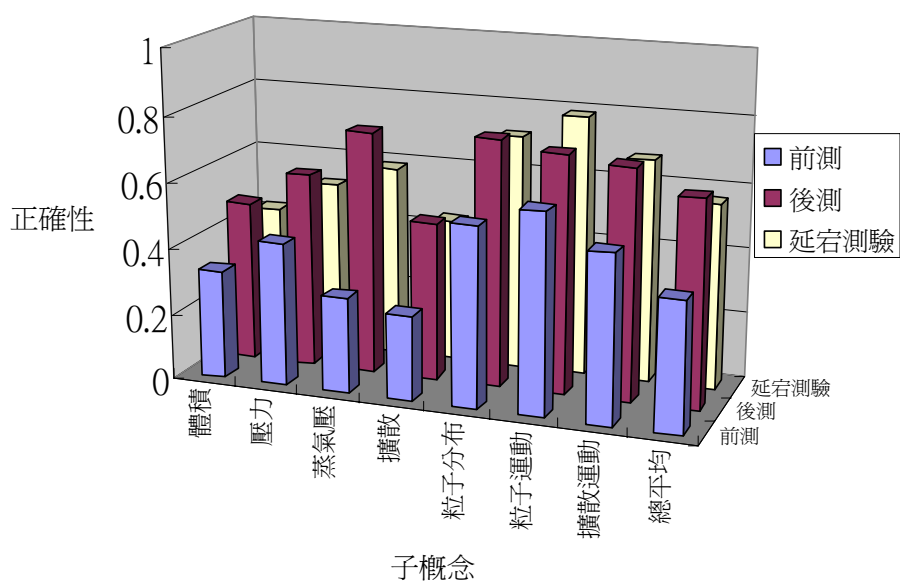


圖 4-2-3 控制組前、後、延宕測驗正確性比較

(四) 兩組學生後測及延宕測驗差異性比較

分析兩組學生後測及延宕測驗正確性差異性比較上，以前測為共變數，進行 ANCOVA 分析(表 4-2-7)，實驗組學生在後測及延宕測驗的總平均(巨觀、微觀、平均三方面)均顯著優於控制組，微觀的部分更是呈現明顯的差異。分析結果顯示多重表徵的模型教學在建立學生理想氣體的相關科學概念上，的確明顯優於傳統文本的教學(圖 4-2-4)。

後測的差異性比較上(圖 4-2-5)，七個子概念中除了蒸氣壓、擴散兩個子概念方面未達顯著差異外，實驗組在其他五個子概念方面顯著優於控制組，特別是在氣體體積的子概念上。結果顯示多重表徵的模型教學組學生在課室活動中經由觀察氣體粒子運動的具體模型所呈現出粒子運動情形，深刻的理解到微觀世界中氣體粒子是持續的隨機運動、隨機分布的，也具體的觀察到氣體的體積的定義是氣體粒子活動的空間，所以容器相同時，不論粒子多寡、大小，氣體的體積皆相等，所以實驗組的學生在氣體體積概念及粒子分布、運動方面的理解與推論是明顯的優於傳統教學組的學生。

而在延宕測驗差異性比較上(圖 4-2-6)，七個子概念中除了擴散子概念方面未達顯著差異外，實驗組在其他六個子概念方面顯著優於控制組，特別是在氣體壓力、粒子分布及擴散運動三方面。結果顯示實驗組學生藉由氣體粒子運動的具體模型及實驗的探討中，對於影響壓力的因素能夠深入的理解進而推論微觀的理由，而且在概念記憶保留的測驗(延宕測驗)中仍能繼續保持。因此教師可將多重表徵與教學內容、教材與教法作巧妙的融合及精心的設計後，呈現在課室的學習活動中，將有助於學生增進多重表徵轉換的能力，讓學生達到知識整合的有意義的科學學習。本研究的結果分析亦可呼應 Buckley (2000)所指出，呈現模式是一種外在表徵，呈現模式可以形成教學和學習脈絡之間的聯繫，幫助學生心智模式的形成和精緻化。

從蒸氣壓概念的延宕測驗差異性比較分析中，我們可以瞭解到實驗組後測在蒸氣壓概念並沒有顯著優於控制組，但在概念記憶保留的測驗中，蒸氣壓的概念正確性卻明顯的優於控制組。結果分析顯示出：電腦動畫的動態表徵確有助於學習蒸發平衡及飽和蒸氣壓的概念，特別是概念的持久性方面是優於傳統教學法。這方面的分析結果

正可以呼應文獻中所提及的動畫的呈現的確可以幫助學生學習(Baek & Layne, 1988; Rieber, Boyce, & Assad, 1990, 引自陳婉如, 2004; 陳盈吉, 2004; 陳婉如, 2004)。

表 4-2-7 實驗組與控制組後測、延宕測驗的正確性差異性比較(ANCOVA TEST)

子概念	後測			延宕測驗		
	實驗組－控制組(F 值)			實驗組－控制組(F 值)		
	巨觀	微觀	平均	巨觀	微觀	平均
體積	32.5***	35.8***	47.1***	5.06*	6.11*	6.31*
壓力	6.2*	18.2***	13.4***	8.76**	25.1***	19.3***
蒸氣壓	2.5	3.2	3.0	5.12*	17.0***	10.7***
擴散	0.31	5.8*	3.6	2.35	2.14	2.42
粒子分布	—	16.3***	—	—	22.3***	—
粒子運動	—	22.1***	—	—	11.1***	—
擴散運動	—	22.4***	—	—	30.3***	—
總平均	12.8***	43.6***	36.4***	13.3***	42.6***	34.8***

* : $p < .05$ ** : $p < .01$ *** : $p < .001$

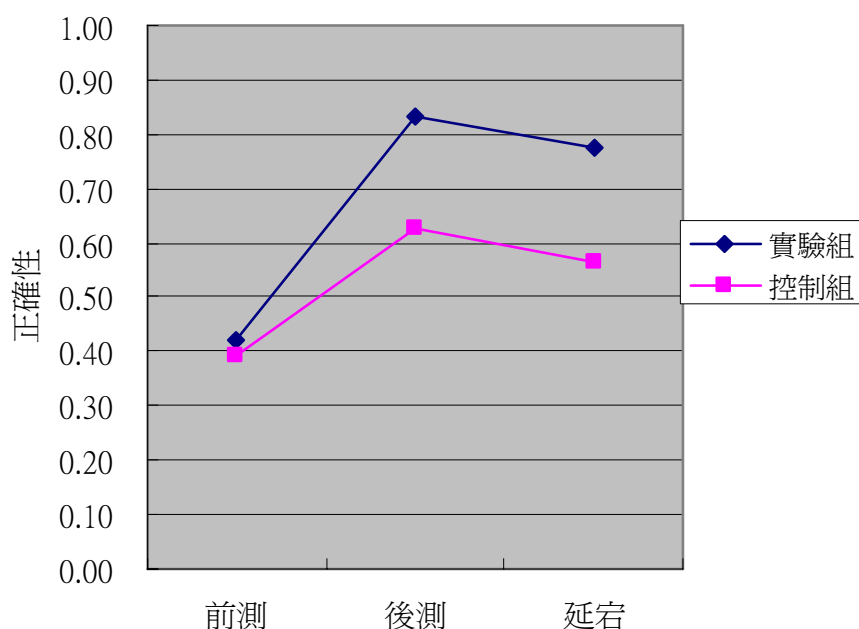


圖 4-2-4 實驗組與控制組前、後及延宕測驗正確性比較

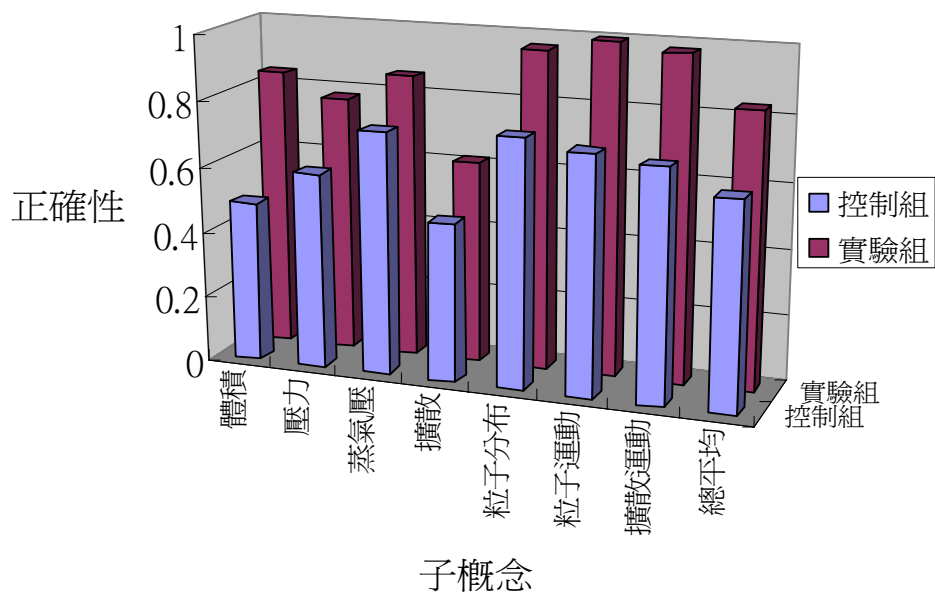


圖 4-2-5 兩組學生後測中七個子概念正確性比較

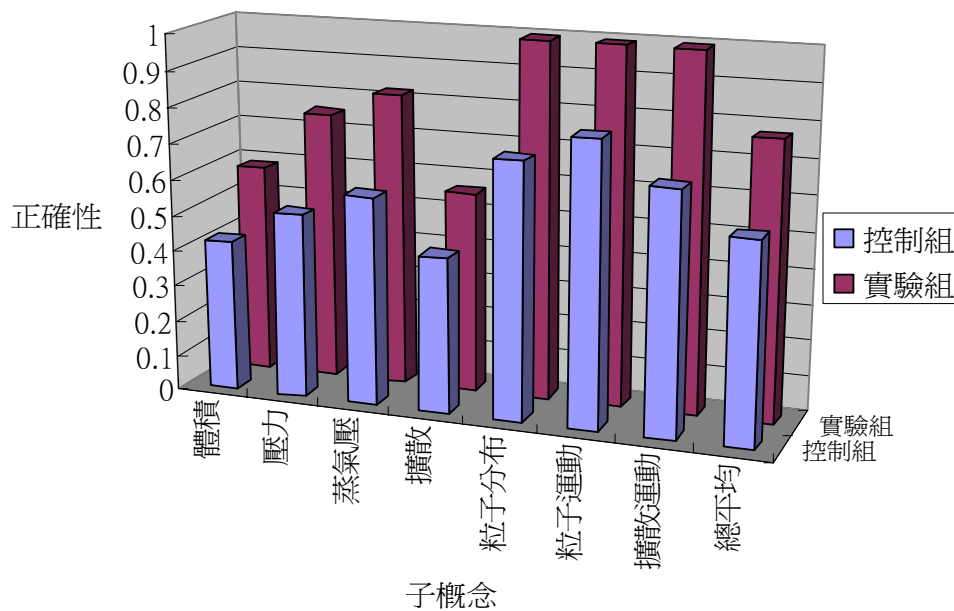


圖 4-2-6 兩組學生延宕測驗中七個子概念正確性

二、一致性的比較

在一致性的比較方面，除了想要藉由 Gómez Crespo & Pozo(2005)所設計的概念一致性係數(CI: consistency index)來瞭解學生經由教學後概念一致性的變化情形外，也進一步想要釐清學生對於理想氣體的先有概念是如同 Carey(1985)、Vosniadou 等人(1992, 1994, 2002)認為種種素樸概念已形成系統性、融貫性的知識系統；或是如同 diSessa(1998)認為由原始現象所得到的種種素樸概念是零碎的、不一致的。

從結果分析得知(表 4-2-8)，兩組學生在教學前整體的概念一致性係數皆接近 0.5，顯示大部分的學生的先有概念是具有一致性。但是學生在體積、壓力、蒸氣壓、擴散四個子概念的一致性皆低於三分之一，顯示出學生答題情形會隨著題目的變因/情境而改變。然而此四個子概念的一致性偏低並非學生缺乏概念的一致性，學生會形成迷思概念並非是學生缺乏融貫性或後設認知，而是他們主動想建構出心智連貫性(mental coherence)的結果(Vosniadou, & Brewer, 1992, 1994)。因此當題意或變因與學生日常生活中所觀察的現象或原有知識系統相近時，學生會以直觀的想法來解決問題，譬如說：學生在回答兩種氣體壓力是否相同時，回以先前學習過的 $P=F/A$ 來解決問題，因而學生會認為分子體積/分子量大的，氣體壓力會比較大。但是再問及兩種氣體擴散速率何種氣體較快時，學生會以活性大的反應速率較快而類比認為活性大的氣體運動速率也較快。學生在回答問題的想法也如同 Chi 等人(2002)所認為：心智模式中的命題有可能是正確的，但命題的連結是錯誤的/非系統性的，因而對於問題的預測與解釋無法產生一致性。

(一)兩組前測一致性的比較

將實驗組(前測一致性總平均為.518;標準差為.162)與控制組(前測一致性總平均為.463;標準差為.136)兩組的前測一致性總平均進行 paired-t test ($t=1.92$, $p=.063$), 表示兩組學生在教學前未達顯著差異。在進行一致性的比較時，將理想氣體相關概念分為七個子概念—氣體體積、氣體壓力、蒸氣壓、氣體擴散、氣體粒子分布、氣體粒子運動及擴散時粒子的運動來探討兩組學生理想氣體相關概念的一致性。分析

結果顯示，兩組學生的前測成績在七個子概念上皆未達顯著差異(表 4-2-8，圖 4-2-7)，表示兩組學生在教學前一致性方面未達顯著差異。

表 4-2-8 實驗組與控制組前、後、延宕測驗的一致性(CI 值) 差異比較

子概念	前測			後測			延宕		
	實驗組	控制組	t 值	實驗組	控制組	F 值	實驗組	控制組	F 值
體積	.357	.280	1.60	.671	.319	22.1***	.516	.378	3.1
壓力	.387	.323	1.78	.642	.390	16.9***	.650	.371	23.4***
蒸氣壓	.374	.311	1.22	.844	.666	5.5*	.798	.466	22.6***
擴散	.360	.275	1.41	.574	.379	10.6**	.626	.439	6.45*
粒子分布	.668	.629	0.56	.965	.805	12.9***	.992	.771	25.1***
粒子運動	.797	.771	0.43	1.000	.822	20.2***	.992	.867	9.4**
擴散運動	.681	.654	0.41	.974	.779	10.2**	1.000	.699	22.6***
總平均	.518	.462	1.92	.810	.594	40.9***	.796	.570	50.9***

* : $p < .05$ ** : $p < .01$ *** : $p < .001$

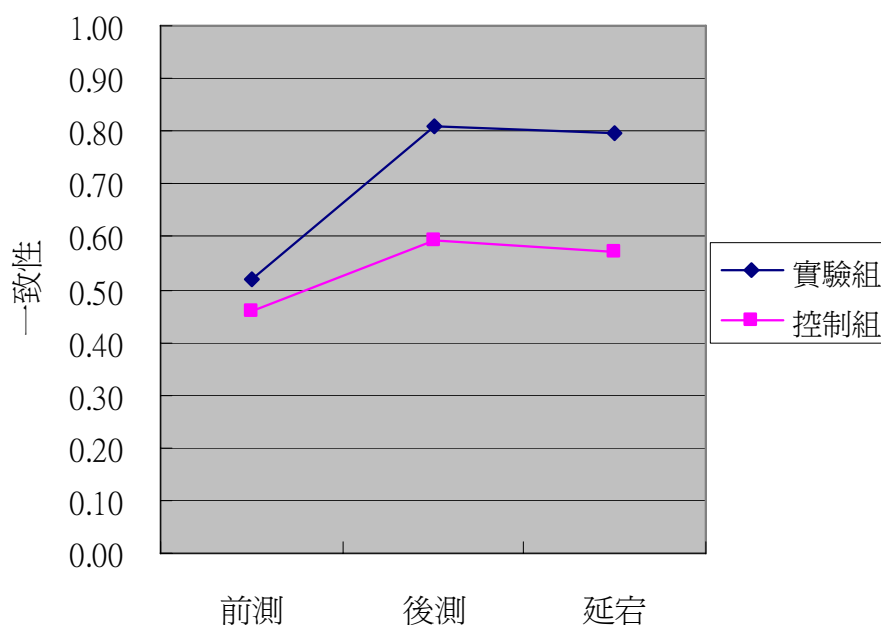


圖 4-2-7 實驗組與控制組前、後及延宕測驗一致性比較

(二) 兩組後測及延宕測驗一致性差異性的比較

分析兩組學生後測及延宕測驗一致性差異性比較上，以前測為共變數，進行 ANCOVA 分析(表 4-2-8)，實驗組學生在後測及延宕測驗一致性的總平均皆顯著優於控制組。分

析結果顯示多重表徵的模型教學在建立學生理想氣體的相關科學概念的一致性上，的確明顯優於傳統文本的教學。

後測的一致性的差異性比較上，七個子概念中實驗組全部都顯著優於控制組，特別是在氣體體積、壓力與粒子運動三個子概念的一致性方面。分析結果顯示實驗組學生在課室活動中經由粒子運動具體模型及肺部呼吸模擬器深入探討壓力的成因及影響因素，不僅有效幫助學生進行正確的推理，也使得學生面對不同的情境/變因時，能夠動態的修正概念不一致之處，使命題是形成正確而系統性的連結，因而對於問題的預測與解釋能夠產生概念的一致性。

延宕測驗的一致性的差異性比較上，七個子概念中實驗組除了氣體體積的子概念之外，其他六個子概念的一致性皆顯著優於控制組，特別是在氣體壓力、蒸氣壓、粒子分布與擴散運動四個子概念的一致性方面。在概念記憶保留的測驗中兩組一致性的差異性分析與正確性呈現相似的情形，實驗組的學生經由多重表徵的模型教學後，對於理想氣體的本質與主要概念漸漸形成融貫而正確的科學/接近科學模型。

從兩組學生後測及延宕測驗一致性的分析結果呼應著多位學者的研究結果（Gobert, Snyder & Houghton, 2002；Nersessian, 1999；Gobert, 1994, 引自吳明珠, 2004）：模型化經驗有助於科學概念的學習，模型化的過程提供學生使用形式表徵的實際經驗，學習科學推理的技能，也讓學生學習如何有系統的建立、檢驗和修正模型以進一步建立科學的模型。學習者透過對既有心智模式的評估與修正，得以產生對知識系統具有更大解釋融貫性的模型。

（三）實驗組與控制組前測、後測、延宕測驗一致性差異性的比較

實驗組經過八節課多重表徵的模型教學後，使用 paired-t test 分析後測及延宕測驗的一致性是否顯著優於前測，分析結果顯示（見表 4-2-9、圖 4-2-8）：後測及延宕測驗的一致性在七個子概念上皆達顯著進步，特別是在氣體壓力、蒸氣壓與粒子分布三方面進步得特別顯著。實驗組在延宕測驗中除了氣體體積的一致性與後測達顯著退步外，其他六個子概念皆未達顯著差異，甚至在氣體壓力、擴散、粒子分布與擴散運

動四個子概念仍能保持進步，實驗組學生經過八節課多重表徵的模型教學訓練後，整體 CI 值的平均值在後測及延宕測驗皆接近 0.8，顯示學生已建立理想氣體的相關概念的一致性。

控制組經過八節課傳統文本教學後，使用 paired-t test 分析後測及延宕測驗的一致性是否顯著優於前測，分析結果顯示(見表 4-2-9、圖 4-2-9)：後測及延宕測驗的 CI 值的總平均皆顯著優於前測，但在後測中僅蒸氣壓與粒子分布兩個子概念的一致性達到顯著進步。結果顯示出控制組學生經由文字、語言的方式描述理想氣體的種種性質與行為，以及以數學公式、關係圖來理解理想氣體中各種變因之間的關係，雖然在整體概念的正確性及一致性方面可達到顯著性進步，但在概念微觀理由的解釋融貫性方面，由於缺乏動態的表徵以及深入探究微觀世界粒子的交互作用，學生不易形成深層的理解，因而在氣體體積、壓力、擴散、粒子運動及擴散運動等五個子概念的一致性上並未達到顯著進步。

表 4-2-9 實驗組及控制組前、後、延宕測驗的一致性(CI 值)差異比較 (表格內為 t 值)

子概念	後測－前測		延宕－前測		延宕－後測	
	實驗組	控制組	實驗組	控制組	實驗組	控制組
體積	5.56***	0.57	3.30**	2.39*	-2.38*	0.98
壓力	6.41***	1.86	7.33***	1.34	0.22	-0.48
蒸氣壓	10.0***	6.68***	9.02***	2.80**	-0.80	-3.95***
擴散	2.95**	1.78	4.37***	2.85**	0.95	1.07
粒子分布	5.72***	3.75***	6.80***	2.56*	1.90	-0.77
粒子運動	4.57***	1.50	4.58***	2.17*	-1.00	1.04
擴散運動	4.63***	1.96	4.88***	0.58	1.00	-1.12
總平均	10.9***	5.90***	12.7***	4.46***	-0.88	-1.05

* : $p < .05$ ** : $p < .01$ *** : $p < .001$

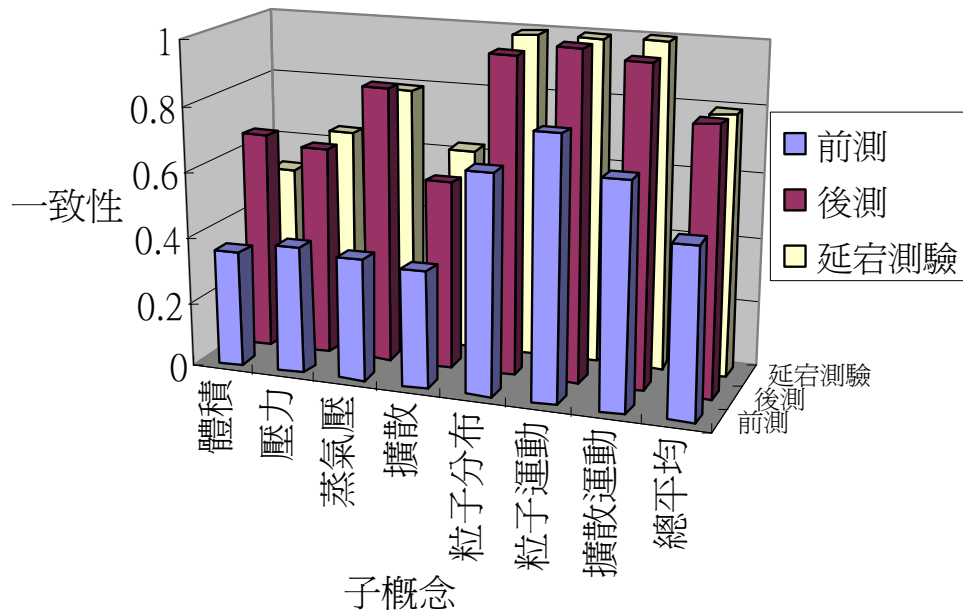


圖 4-2-8 實驗組前、後測及延宕測驗一致性比較

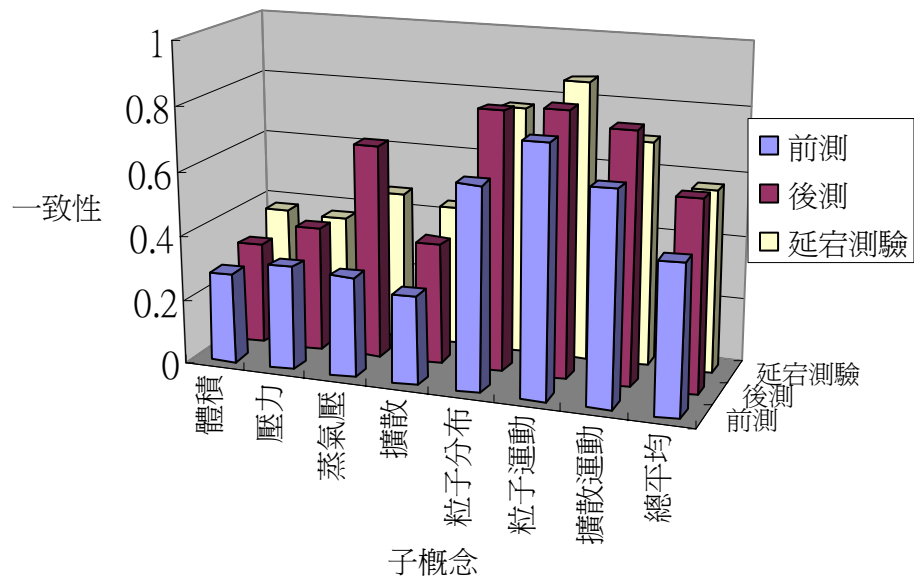


圖 4-2-9 控制組前、後測及延宕測驗一致性比較

三、完整性的比較

診斷式紙筆測驗中包含了 15 個命題（詳見表 3-6-3），學生在答題時都有用到者，則其概念的完整性為 1。兩組學生在前測、後測及延宕測驗中七個子概念及整體的概念完整性分析結果如表 4-2-10。兩組學生在教學前所具有的先有概念的完整性是低於一半的，僅接近 0.4。如同之前分析的正確性及一致性，兩組學生在氣體體積、壓力、蒸氣壓與擴散四個子概念的完整性是偏低的，顯示學生如果不具備理想氣體概念的相關命題，相對的在概念的正確性及一致性的表現上也是不理想的。

將實驗組（前測完整性總平均為.441；標準差為.166）與控制組（前測完整性總平均為.400；標準差為.173）兩組的前測總平均進行 paired-t test ($t=1.04$, $p=.306$)，表示兩組學生在教學前概念的完整性未達顯著差異。分析兩組學生後測及延宕測驗完整性差異性比較上，以前測為共變數，進行 ANCOVA 分析(表 4-2-11)，實驗組後測及延宕測驗中概念的完整性皆顯著優於控制組。

而兩組學生經過教學後，後測與延宕測驗概念的完整性皆較各組的前測達顯著進步(使用 paired-t test，見表 4-2-11)，且兩組在延宕測驗概念的完整性與後測比較皆未達顯著退步。這方面的分析結果也顯出學生經過學習理想氣體的相關概念的命題後，大多數能夠持有正確的命題，只是學生不瞭解條件的限制/變因/情境的改變，而使得命題之間形成錯誤的連結，因而導致其對問題的解釋與預測產生錯誤或不一致，因此降低學生概念的正確性及一致性。

表 4-2-10 實驗組與控制組前、後、延宕測驗的完整性

子概念(命題數)	前測		後測		延宕測驗	
	實驗組	控制組	實驗組	控制組	實驗組	控制組
體積(2)	.353	.342	.735	.375	.568	.446
壓力(3)	.440	.379	.684	.429	.692	.388
蒸氣壓(2)	.382	.281	.857	.738	.833	.552
擴散(2)	.154	.100	.526	.313	.487	.344
粒子分布(2)	.491	.550	.970	.750	.996	.732
粒子運動(2)	.666	.596	1.000	.721	.994	.785
擴散運動(2)	.598	.562	.983	.742	.987	.750
總平均(15)	.441	.400	.813	.571	.787	.559

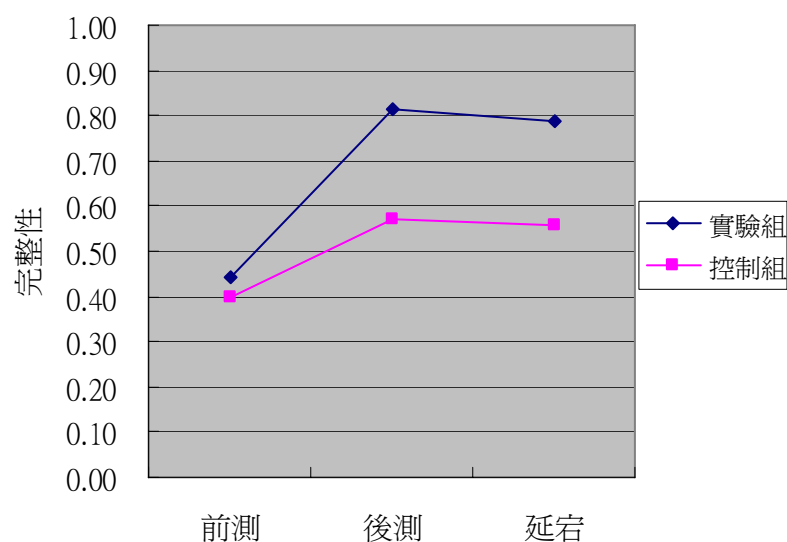


圖 4-2-10 實驗組與控制組前,後及延宕測驗完整性比較

表 4-2-11 實驗組與控制組前、後、延宕後測的完整性差異比較

組別	前測 總平均 (標準差)	後測 總平均 (標準差)	延宕後測 總平均 (標準差)	後測－前測 t 值 (p 值)	延宕－前測 t 值 (p 值)	延宕－後測 t 值 (p 值)
實驗組	.441 (.166)	.813 (.124)	.787 (.116)	14.11*** (.000)	14.52*** (.000)	-1.89 (.066)
控制組	.400 (.173)	.571 (.207)	.559 (.204)	6.03*** (.000)	5.12*** (.000)	-0.53 (.598)
實－控 t/F 值(p 值)	1.04 (.306)	42.38*** (.000)	38.74*** (.000)	—	—	—

* : $p < .05$ ** : $p < .01$ *** : $p < .001$

四、實驗組與控制組前測、後測、延宕測驗正確性與一致性分布及演變的比較

兩組學生對氣體體積與壓力的先有概念的確如文獻所提及的(Driver, 1985; Sere, 1986; 洪振方, 1987; 鄭志鵬, 1998; 史嘉章, 2002; 邱美虹, 2005, 2006): 大多數的學生對於氣體體積的定義並不清楚, 部分學生誤認為氣體體積是氣體粒子體積的總和, 因此氣體分子體積/分子量越大, 氣體的體積也越大。在密閉容器氣壓成因的概念部分學生認為分子量大的擠壓情形較嚴重, 氣體壓力比較大。同樣也發現學生會因重力的影響, 而認為混合氣體在密閉容器中氣體輕的分布在上、重的在下。前測的結果顯示學生在日常生活的觀察之中, 不容易察覺與體驗出理想氣體粒子模型中微觀的想法, 因而產生許多的迷思概念或另有概念(Novick & Nussbaum, 1981; Millar, 1990)。不過在氣體粒子運動方面, 兩組學生正確性高達六成以上, 顯示學生的先有概念中對於全部的氣體粒子皆隨機運動的概念是最容易接受而持有的。

將實驗組與控制組的前測、後測及延宕測驗的正確性與一致性畫成分布圖(實驗組的分布詳見圖 4-2-11. a~c; 控制組的分布詳見圖 4-2-12. a~c)。我們可以從兩組正確性與一致性的分布圖得知: 兩組學生經過教學後, 隨著認知增加、基模擴大, 學生不斷的精緻化及修正對於理想氣體相關概念的想法, 使其概念的正確性及一致性皆明顯進步, 便能逐漸接近融貫且正確的科學模式。

研究者進一步將正確性與一致性的分布圖依照 Chi & Roscoe(2002)的想法將學生區分為四部分: 第一部分為正確性與一致性皆 ≥ 0.5 的學生歸類為科學/科學有瑕疵模式; 第二部分為正確性 ≥ 0.5 , 一致性 < 0.5 的學生歸類為科學+其他模式(正確但不融貫); 第三部分為正確性 > 0.5 , 一致性 ≥ 0.5 的學生歸類為融貫但不正確模式; 第四部分為正確性與一致性皆 < 0.5 的學生歸類為不正確且不融貫(混合模式)。兩組學生在整體概念心智模式的演變情形如圖 4-2-13。

實驗組學生在教學前具有科學/科學有瑕疵模式的學生僅有 30.8%, 科學+其他模式的學生僅有 5.1%, 融貫但不正確模式的學生有 28.2%, 混合模式的學生有 35.9%。教學前融貫但不正確及混合模式的學生高達 64.1%, 顯示教學前大部分的學生未擁有正確的理想氣體相關的概念。經過八節課多重表徵的模型教學後, 全部的學生都成為

科學/科學有瑕疵模式，而且在延宕測驗中仍維持 100% 的學生皆是科學/科學有瑕疵模式。這部分的研究結果也可驗證文獻中所提出：當心智或呈現模型可以成功的運作並順利解決問題時，模型變趨向制約(reinforced)而形成穩定的心智模式(Kindfield, 1993; Buckley & Boulter, 2000; 吳明珠, 2004)。

控制組學生在教學前具有科學/科學有瑕疵模式的學生僅有 22.5%，科學+其他模式的學生僅有 5.0%，融貫但不正確模式的學生有 22.5%，混合模式的學生則高達 50.0%。教學前屬於融貫但不正確加上混合模式的學生高達 72.5%，顯示教學前一半的學生未擁有正確的理想氣體相關的概念而且概念是不一致的。經過八節傳統文本的教學後，也有高達 22.5% 的學生由混合模式演變成為科學/科學有瑕疵模式，而 22.5% 的融貫但不正確模式的學生經過教學後則全部演變成為科學/科學有瑕疵模式，使得控制組在教學後也有高達 72.5% 的學生為科學/科學有瑕疵模式。但是從演變圖中，我們可以觀察到在概念記憶保留的測驗(延宕測驗)中，有 22.5% 的學生從科學/科學有瑕疵模式回歸成另外三種模式，不過也有 5.0% 的學生由混合模式演變成為科學/科學有瑕疵模式。由此得知傳統的文本教學雖然可使學生概念的正確性及一致性進步而趨向科學/科學有瑕疵模式，但在概念的持久性方面卻遠不及多重表徵的模型教學。

在此節的討論中，我們詳細的分析了兩組學生在不同教學前、後及延宕測驗中概念的正確性、一致性與完整性，分析結果也顯示出經過多重表徵的模型教學後，實驗組學生在 3C 方面皆顯著優於傳統教學組，我們可以瞭解到以模型為基礎的衍生式學習過程中，學習者應用個人的先備知識整合從日常生活中所獲得的新資訊，漸漸擴展個人的知識系統(Osborne & Wittrock, 1995)。也可以瞭解模型化使思考外在化，產生模型為呈現模型、外在表徵，可以降低學生工作記憶的負荷，使學生解決複雜的問題，因此當學生在使用教學模型來進行科學學習的過程中，可透過教學活動中教師提供模型的多重表徵，促進學生對現象的某些面向的瞭解。

但是我們仍需進一步探究兩種不同教學法的學生在教學前、後及延宕測驗中心智模式的類型為何呢？兩種不同的教學法究竟引發了何種心智模式的演變途徑呢？研究者將在下一節中詳細加以分析及討論。

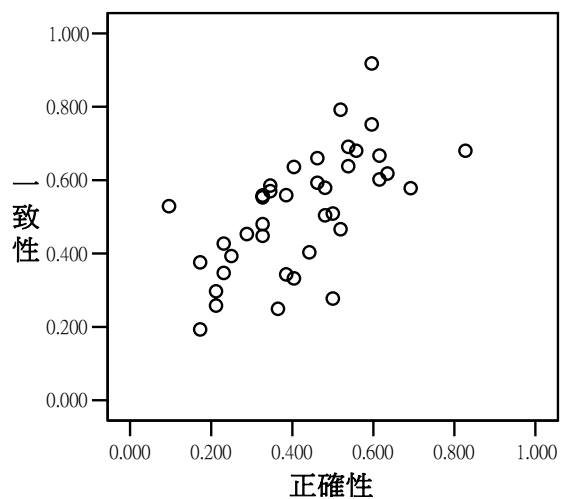


圖 4-2-11. a 實驗組前測正確性與一致性分布

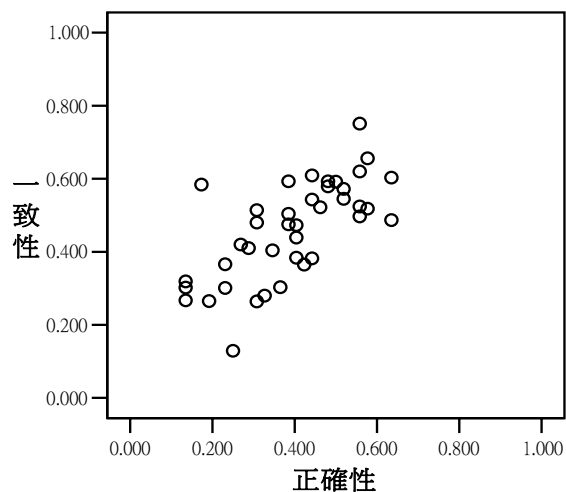


圖 4-2-12. a 控制組前測正確性與一致性分布

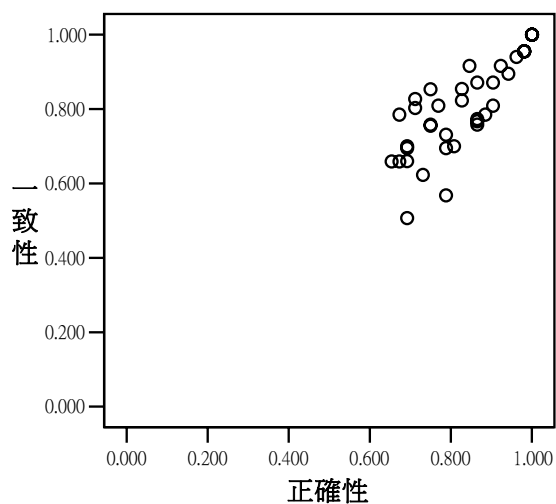


圖 4-2-11. b 實驗組後測正確性與一致性分布

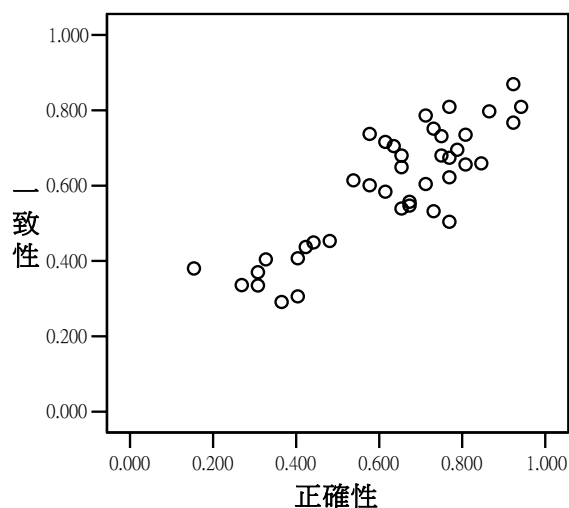


圖 4-2-12. b 控制組後測正確性與一致性分布

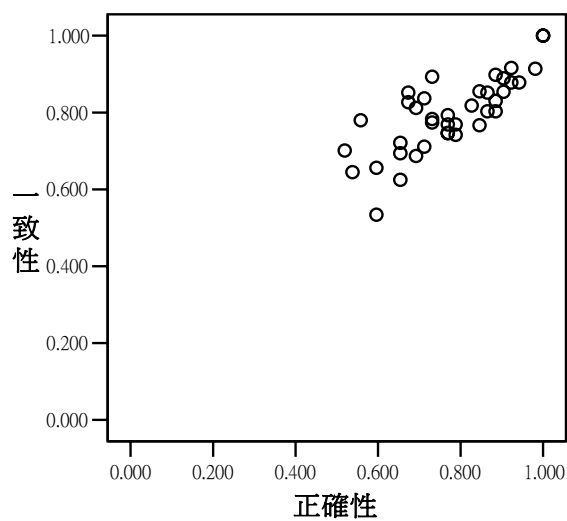


圖 4-2-11. c 實驗組延宕測驗正確性與一致性分布

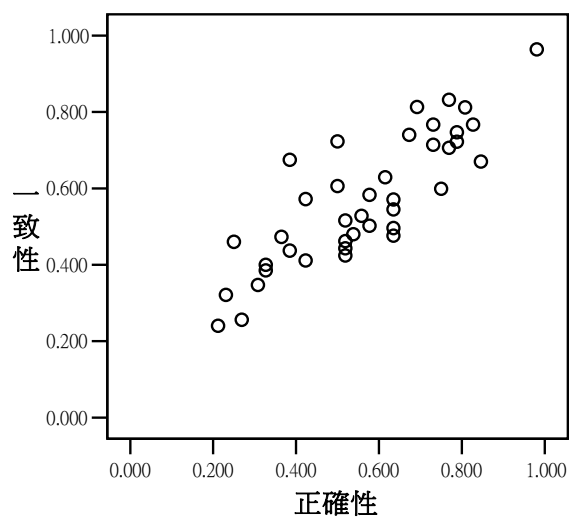


圖 4-2-12. c 控制組延宕測驗正確性與一致性分布

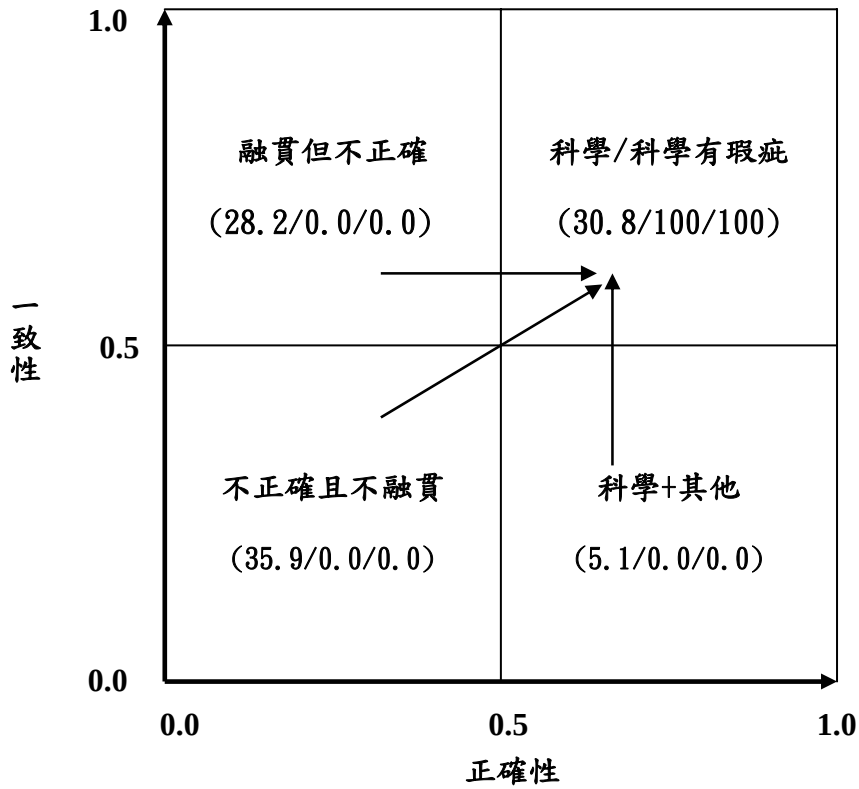


圖 4-2-13 實驗組前測、後測、延宕測驗中關於理想氣體整體概念正確性與一致性的演變
(前測/後測/延宕測驗學生百分比)；—————▶：前測→後測

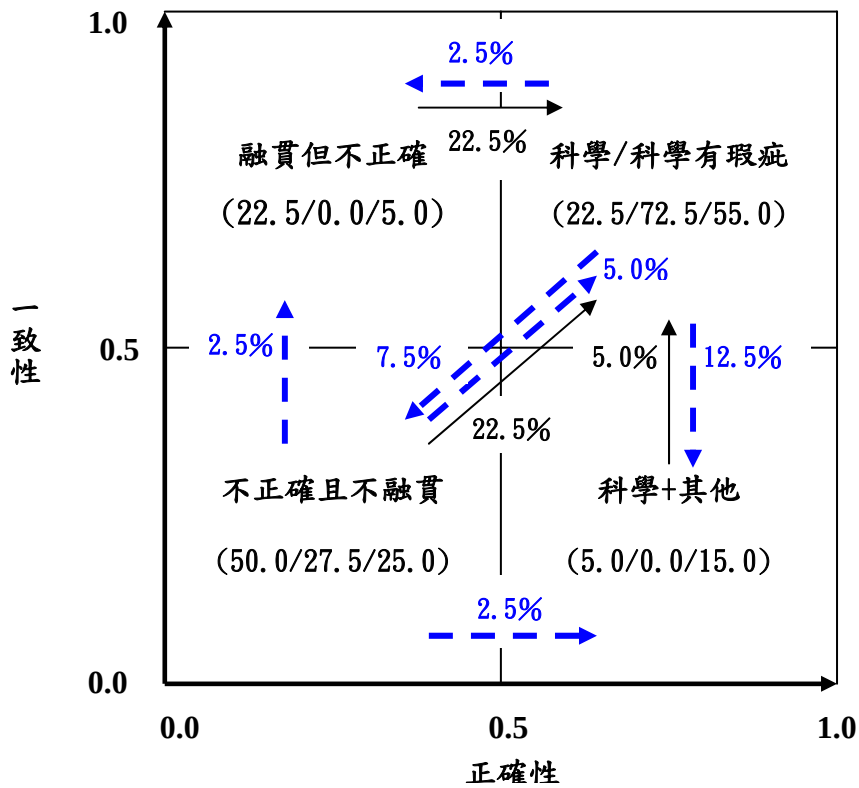


圖 4-2-14 控組前測、後測、延宕測驗中關於理想氣體整體概念正確性與一致性的演變
(前測/後測/延宕測驗學生百分比)；—————▶：前測→後測；- - -▶：後測→延宕

第三節 理想氣體心智模式的類型、分布與演變途徑

本節針對氣體壓力、氣體擴散、氣體粒子分布、粒子運動及兩種氣體擴散時運動，探討高二學生心智模式的類型，並進一步探討實驗組與控制組兩組學生的心智模式分布及演變的途徑有何不同。

一、氣體壓力的心智模式類型、分布及演變途徑

學生對於氣體壓力的心智模式的類型主要分為六大類型（邱美虹，2006；詳見表4-3-1）：科學模式、分子量模式、體積模式、引力模式、動能模式、活性模式，再細分為十種心智模式（sub-mental models）。

表 4-3-1 學生對於氣體壓力的心智模式的類型與解釋原因

心智模式	解釋原因
科學模式	氣體壓力與莫耳數成正比
分子量模式	分子量大，重量大者產生壓力較大
	分子量小，運動速率快，碰撞機率多，壓力較大
體積模式	容器體積相同，碰撞機率相同，壓力相同
	分子體積大，碰撞機率多，壓力較大
	分子體積大，不易移動，碰撞機率小，壓力較小
引力模式	混合氣體間引力變大，碰撞機率多，壓力較大
	混合氣體引力變大，速率變慢，碰撞機率小，壓力較小
動能模式	溫度相同，動能就相同，故混合氣體的總壓相同
活性模式	分子活性大，運動速率快，壓力較大

學生在診斷式試題回答六題相關氣體壓力微觀的解釋理由，藉以判斷學生的心智模式，因此判斷出學生的心智模式除了原有的六大類型之外，還有科學有瑕疵、科學＋其他、兩種心智模式並存的雙模式，以及不一致的混合模式。從前測的結果分析（表4-3-2），學生的心智模式的確隨著問題的變因或情境而變動，而呈現動態而不一致的想法，因此兩組學生均以混合模式為主要類型。當比較氧氣與其他氣體的分壓時，學生傾向以分子量或活性的觀點來判斷氧氣的分壓較大。而比較混合氣體總壓與單一氣體總壓時，部分學生則以容器體積或動能相同來判斷總壓是相同的，這些另有概念或迷思概念源自於學生在國中時所學習的壓力公式為的 $P=F/A$ ，以及大氣壓力的成因是大氣的重量壓在地面，所以學生在先有概念的影響下，會將氣體壓力當成分子的特性

之一(物質屬性)，而認為壓力會隨著分子性質(分子量/分子大小/活性)的不同而改變。此外學生在回答波以耳定律的相關問題時，答對率則高達五成以上，顯示大部分的學生對於壓力與容器體積的關係具備有正確的科學概念。

表 4-3-2 實驗組與控制組氣體壓力心智模式的分布(表格內為%)

	前測		後測		延宕	
	實驗組	控制組	實驗組	控制組	實驗組	控制組
1. 科學模式	0.0	0.0	23.1	5.0	25.6	0.0
2. 科學有瑕疵	23.1	15.0	35.8	15.0	46.1	25.0
3. 科學+其他	17.9	12.5	17.9	17.5	5.1	20.0
4. 動能	5.1	2.5	2.6	0.0	2.6	0.0
5. 引力	5.1	0.0	2.6	0.0	2.6	0.0
6. 分子量	5.1	7.5	2.6	10.0	2.6	7.5
7. 體積	5.1	7.5	5.1	7.5	7.7	7.5
8. 活性	2.6	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9. 雙模式	5.1	5.0	0.0	0.0	2.6	2.5
10. 混合	30.1	45.0	10.2	45.0	5.1	37.5

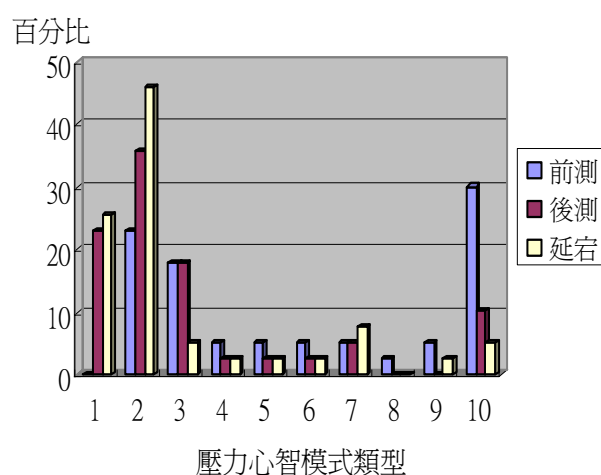


圖 4-3-1 實驗組氣體壓力心智模式分布情形

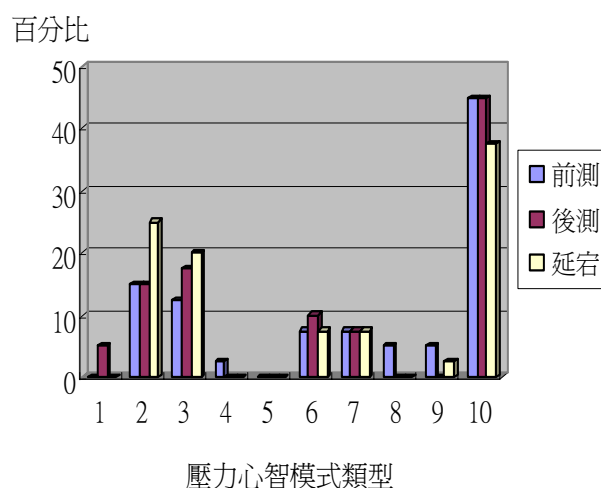


圖 4-3-2 控制組氣體壓力心智模式分布情形

實驗組經由多重表徵的模型教學，藉著豐富化及概念修正的方式，改變原有的心智模式，從表 4-3-2 可觀察出，混合模式大幅度減少(30.1→10.2%)，科學模式則明顯增加(0.0→23.1%)，科學有瑕疵亦隨之增加(23.1→35.8%)，在後測時科學有瑕疵已躍升為主模式，即使在延宕測驗中，科學及科學有瑕疵兩種類型仍繼續增加。顯示在教學中，不斷的呈現與現象相同屬性的表徵(電腦動畫中呈現粒子的隨機運動、理想氣體粒子模型的文字及視覺表徵、探究壓力成因及影響壓力因素的具體模型等)，並輔以小組討論，藉著生生、師生之間的互動，探討氣體粒子微觀世界的粒子運動及粒子之間的交互作用，的確有助於學生建立正確的心智模式，並進一步對巨觀的現象作出正確的判斷與解釋。這部分的分析結果正可呼應 Buckley 和 Boulter(2000)的研究中所認為：心智模式從多種來源合併知識，包括來自現象的直接經驗，透過錄影帶或模擬的替代經驗，與教學活動中所應用的呈現模型與表徵之間的交互作用等，都有助於模型的建立。

控制組經由傳統文本的教學後，學生心智模式也有變化，後測的科學模式僅增加 5%，主模式仍維持混合模式(皆為 45.0%)，後測的心智變模式的轉變並不明顯，但在延宕測驗中，科學有瑕疵、科學+其他兩種模式有增加的趨勢，混合模式下降至 37.5%。顯示傳統文本中，雖然以大量的文字說明理想氣體模型、以數學關係式說明壓力、容器體積與絕對溫度等變數之間的正、反比的關係式及關係圖，由於缺乏與現象相同屬性的動態—隨機的多重表徵，較難引發學生建立正確的心象，對於氣體粒子微觀世界的科學概念的學習幫助有限，學生心智模式的改變並不多。

實驗組與控制組兩組學生對於氣體壓力心智模式的主要分布類型及演變的途徑比較如表 4-3-3、圖 4-3-3、圖 4-3-4。從觀察圖 4-3-3，我們可以看出實驗組經教學後，心智模式趨向科學+其他/科學有瑕疵/科學模式，換言之，實驗組學生在教學後及延宕測驗中不斷的提高他們心智模式的正確性。但是在此處我們可以提出一個疑問，實驗組經過動態粒子具體模型的教學、也進行實驗與電腦模擬實驗的操作與師生言語的討論，為何科學模式仍未超過 30%(控制組教學後僅 5.0%，延宕測驗時為零)? 兩組學生對於氣體壓力的影響因素的概念改變為何如此困難呢?

針對以上的問題，研究者重新思索多重表徵的模型教學的活動及教材中，究竟欠缺哪些成分導致學生在氣體壓力概念改變不是非常成功呢？首先我們先回到密閉容器壓力的成因是快速運動的氣體粒子不斷撞擊容器壁，而壓力＝正向力/受力面積，由於氣體粒子重量過小，因此粒子的重量對容器壁造成的壓力是可以忽略不計的，在實驗組的理想氣體模型投影片中有提及此概念，但解釋並未重覆出現，因此學生印象並不深刻。動態粒子具體模型的教學僅能讓學生觀察到粒子數目、容器大小及溫度對氣壓的影響，並未能針對粒子大小/重量不會影響氣壓作詳盡的說明，研究者也從學習單上學生的討論中也發現到學生仍然認為粒子體積的大小或分子量會影響氣壓。因此在隨後的實驗與電腦模擬實驗中也提及到粒子體積的大小或分子量是不會影響氣壓的。但是真正要改變學生對氣體壓力的錯誤想法必須從氣體壓力的計算作深入的探討，要探討氣體壓力的計算則必須由氣體動力論著手，即將壓力公式轉換成單位時間動量的變化/受力面積，然而學生很難深入而確實的理解氣體動力論中數學的推導公式，就如同某些學生在情意問卷中所表達的(如下框)：學生認為公式的推導太難了，或推導過程過快而無法理解。

學生(男)：推導公式太難了，完全聽不懂!!

學生(女)：推導公式/關係圖我有一點不懂為何會如此做，而且不會把它貫通到題目裡。

學生(男)：推導公式有點複雜，上得太快。

對於控制組而言，傳統文本僅針對波以耳、查理及亞佛加厥三大定律進行描述及探討巨觀變因之間的數學公式及關係圖的描述，雖然學生能夠理解理想氣體方程式並應用在一般簡單的計算上，但控制組學生對於微觀世界的粒子運動及交互作用無從觀察與推論，因此對於氣體壓力的心智模式是非常不一致的，混合模式的學生在教學後仍維持 45.0%，而且根據進一步的分析，混合模式的學生會因情境/變因的不同而同時擁有 3-5 種不一致的想法，因此控制組在後測的一致性(CI 值)與前測比較並未達顯著進步。

因此要使學生對於影響氣體壓力因素的概念能形成融貫而且正確的心智模式，除了要加強數學混合模型的練習，讓學生能詳盡而確實理解氣體動力論中氣壓的推導公式之外，研究者認為可以另行設計電腦動畫的視覺混合模型及角色扮演的動作混合模型，讓學生充分了解：分子量大者運動速率較慢，分子小者運動速率快，但是相同溫度時兩種不同大小的氣體粒子動能是相同的，碰撞容器壁造成的氣壓是相同的，藉著使用多種不同的模型與表徵來幫助學生瞭解微觀的粒子行為，應該能夠有效增進學生對於氣體壓力的概念改變。

表 4-3-3 實驗組與控制組氣體壓力的心智模式分布與演變途徑比較

	實驗組	控制組
	前測→後測→延宕(%)	前測→後測→延宕(%)
主要心智模式	混合(30.1)→科瑕(35.8)→科瑕(46.1)	混合(45.0)→混合(45.0)→混合(37.5)
演變途徑類型	科瑕→科學→科學 (10.2)	科其→科其→科瑕 (5.0)
	科其→科瑕→科瑕 (10.2)	科瑕→科其→科其 (5.0)
	科瑕→科其→科瑕 (5.1)	體積→混合→混合 (5.0)
	混合→科其→科瑕 (5.1)	混合→混合→分子量 (7.5)
	混合→科其→體積 (5.1)	—
未改變類型	科學有瑕疵 (7.7)	科學+其他 (2.5)
	體積(2.6)	混合 (12.5)

PS: 5%以下的變動不顯示

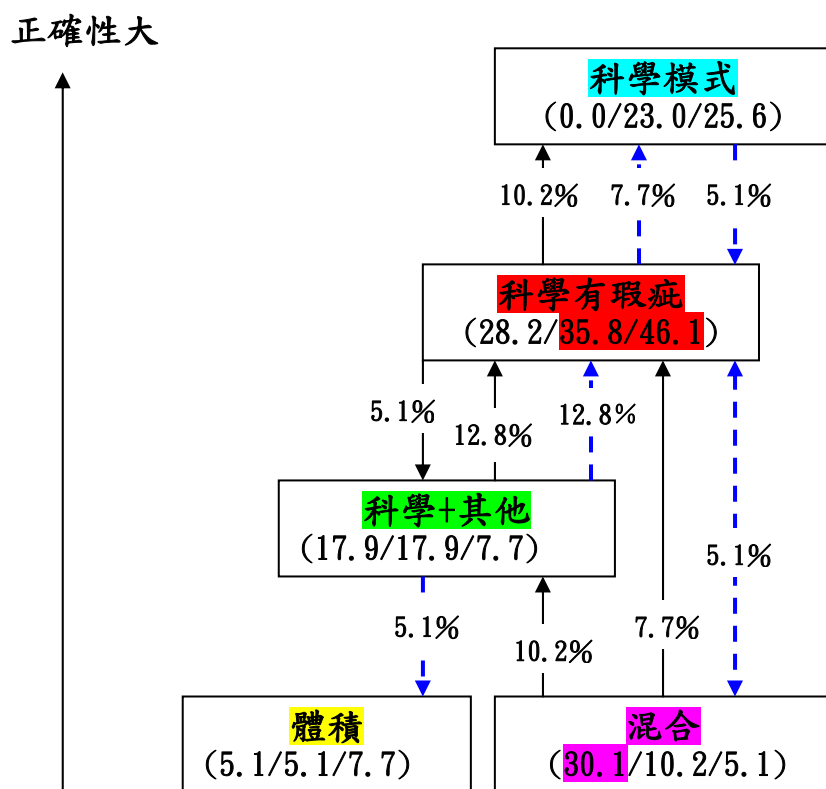


圖 4-3-3 實驗組氣體壓力心智模式的分布及演變途徑
(前測/後測/延宕學生的百分比); (5%以下變動不顯示)
——> : 前測→後測 - -> : 後測→延宕

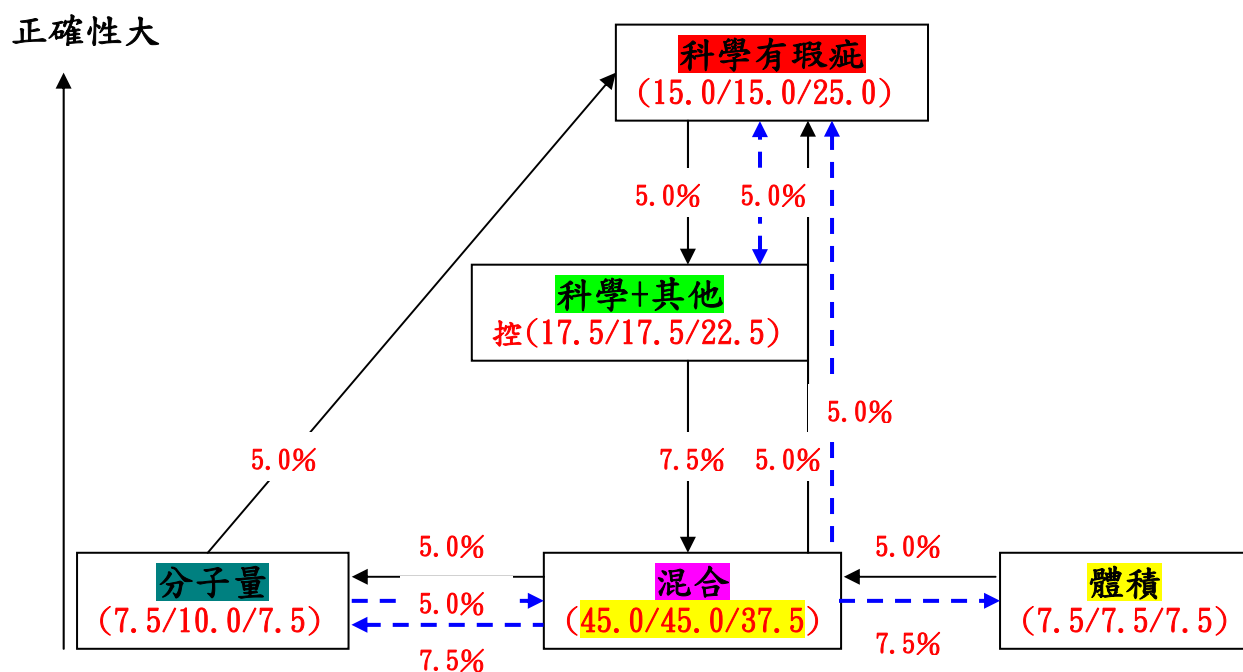


圖 4-3-4 控制組氣體壓力心智模式的分布及演變途徑
(前測/後測/延宕學生的百分比); (5%以下變動不顯示)
——> : 前測→後測 - -> : 後測→延宕

二、氣體擴散的心智模式類型、分布及演變途徑

學生對於氣體壓力的心智模式的類型主要分為六大類型（詳見表 4-3-4）：科學模式、分子量模式、分子體積模式、引力模式、動能模式、活性模式，再細分為十一種心智模式（sub-mental models）。

表 4-3-4 混合氣體擴散心智模式類型及解釋原因

心智模式	解釋原因
科學模式	分子量小，擴散速率快
分子量模式	分子量大，壓力大，擴散速率快
活性模式	兩種分子活性差不多，兩者擴散速率相同
	分子活性大，運動速率快，擴散速率快
分子體積模式	分子體積大，壓力大，擴散速率快
	分子體積大，運動速率快，擴散速率快
動能模式	分子量小，運動速率快，動能較大，擴散的較快
	分子量較大，故動能較大，擴散的較快
	溫度相同時，動能相同，故擴散速率相等
引力模式	分子間引力較小者，擴散速率快
	同一容器中，分子間引力相同，故擴散速率相等

學生在診斷式試題回答四題相關氣體擴散微觀的解釋理由，藉以判斷學生的心智模式，因此判斷出學生的心智模式除了原有的六大類型之外，還有科學有瑕疵、科學＋其他、兩種心智模式並存的雙模式，以及不一致的混合模式。從前測的結果分析（表 4-3-5），實驗組學生以引力(25.6%)、動能(23.1%)兩種模式為主，而控制組則以活性模式最多(27.5%)。不過在擴散心智模式的分布上，呈現出與其他子概念非常不同的情形，兩組學生在教學前心智模式是散佈各種模式的，顯示學生們對於氣體擴散的先備概念是非常多樣性的，雖然國中課程中有說明紅色染料在不同水溫的擴散情形，同學也只能從巨觀現象瞭解到溫度越高紅色染料的擴散速率越快，對於微觀粒子的運動及影響不同粒子的運動速率的因素無從探索與深入瞭解微觀世界中粒子擴散的情形。即使國三學生學過動能公式($E_k = 1/2mv^2$)，學生仍然無法將動能公式與粒子的運動速率相連結，也因此產生許多的迷思概念。兩組學生都有接近二成的學生認為擴散的快慢與分子間引力大小有關，認為分子之間的引力越大則運動速率變慢，這種想法可

能源自於學生在日常生活中的觀察，因為國、高中的自然科學教材中並無提及分子之間的引力與運動速率大小的關係。兩組學生也都有接近 18% 的想法是屬於不一致的混合模式，學生會因不同的情境/變因使用不同的想法去解釋現象。而控制組中有 27.5 % 的學生認為活性大小會影響擴散速率，可能是將國中所學過的物質的活性大小會影響反應速率與擴散速率作了錯誤的連結，這種類型學生的想法與邱美虹(2006)針對高中生氣體擴散的概念進行研究，結果發現實驗組與控制組的學生在教學前皆有近三分之一的學生認為擴散速率與氣體粒子活性有關的研究結果是相吻合的。

表 4-3-5 實驗組與控制組氣體擴散心智模式的分布(表格內為%)

	前測		後測		延宕	
	實驗組	控制組	實驗組	控制組	實驗組	控制組
1. 科學模式	0.0	0.0	20.5	7.5	23.1	12.5
2. 科學有瑕疵	5.1	0.0	15.4	12.5	10.3	12.5
3. 科學+其他	7.7	10.0	15.4	12.5	12.8	10.0
4. 動能	23.1	12.5	17.9	12.5	28.2	12.5
5. 引力	25.6	15.0	7.6	15.0	2.6	15.0
6. 分子量	0.0	5.0	0.0	2.5	2.6	5.0
7. 體積	2.6	10.0	0.0	2.5	0.0	5.0
8. 活性	7.7	27.5	2.6	12.5	2.6	12.5
9. 雙模式	10.2	2.5	20.5	7.5	17.9	7.5
10. 混合	17.9	17.5	0.0	15.0	0.0	7.5

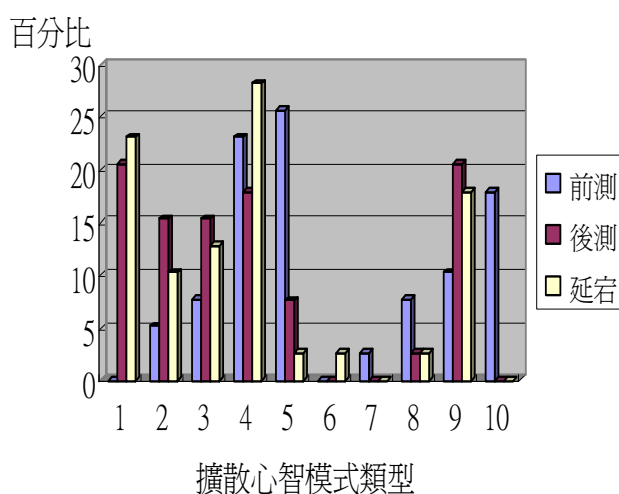


圖 4-3-5 實驗組氣體擴散心智模式分布情形

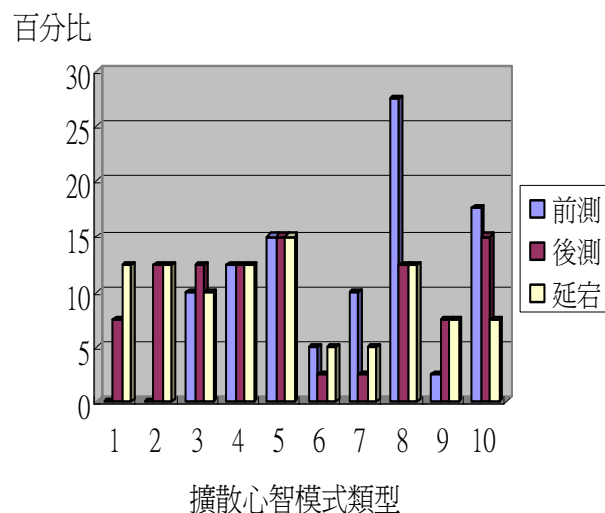


圖 4-3-6 控制組氣體擴散心智模式分布情形

實驗組經教學後雖然正確性與一致性皆達顯著進步，主要是混合模式(17.5%→0.0%)與引力模式(25.6%→7.6%)大幅度下降，相對的科學模式(0.0%→20.5%)、科學有瑕疵(5.1%→15.4%)、科學+其他(7.7%→15.4%)三種模式呈現增加而且佔了一半的比例，然而與其他概念相比較，實驗組在擴散概念的正確性僅達 0.615，是七各子概念最低的，而且心智模式的演變相較於其他概念是比較零碎的，並沒有形成主要的演變途徑(總共有 12 種變化類型但沒有一種變化類型是超過 10%)，相對的雙模式的心智模式反而上升至 20.5%，而雙模式中大多是科學與動能模式同時並存。在延宕測驗中，雖然有 12.8%科學有瑕疵進步成科學模式，但是也有 7.7%科學模式回歸成科學有瑕疵，各有 5.1%科學+其他、引力與雙模式演變成動能模式，相對的也有 5.1%的動能模式演變成雙模式。兩組學生關於氣體擴散的心智模式分布與演變途徑比較見表 4-3-6。

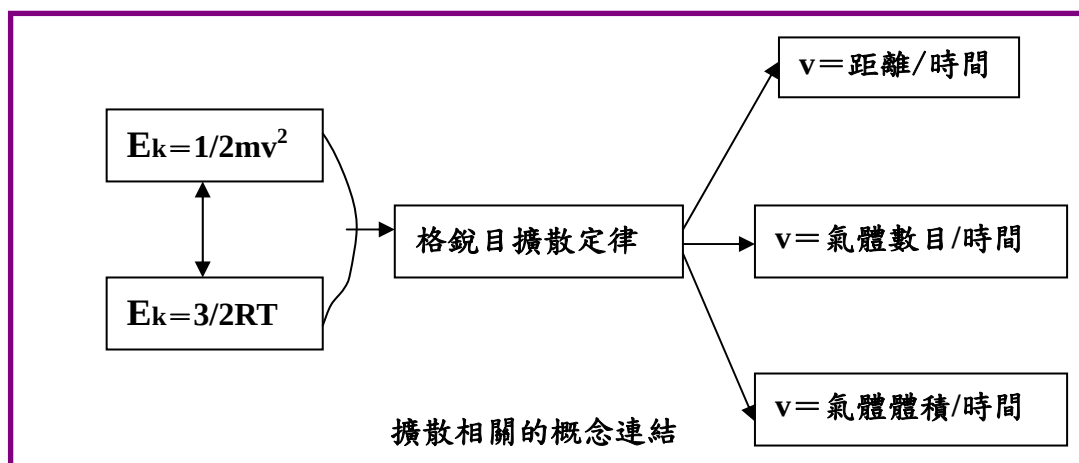
表 4-3-6 實驗組與控制組氣體擴散的心智模式分布與演變途徑比較

	實驗組	控制組
	前測→後測→延宕(%)	前測→後測→延宕(%)
主要心智模式	引力(25.6)→科學(20.5)→動能(28.2)	活性(27.5)→無主模式→無主模式
演變途徑類型	引力→科學→科學 (5.1)	混合→科其→科瑕 (5.0)
	引力→科瑕→科學 (5.1)	活性→引力→引力 (7.5)
	引力→動能→動能 (5.1)	—
	混合→雙模式→雙模式 (5.1)	—
未改變類型	動能(2.6)	雙模式(2.5)
	—	活性(2.5)

PS: 5%以下的變動不顯示

由以上的數據分析可以了解到實驗組在擴散概念上的概念改變不是非常成功，因此研究者想進一步探究多重表徵的模型教學中所設計的活動與教材缺少了那些概念與表徵/呈現模型之間的連結，導致學生無法有效的修正其心智模式而形成科學模式呢？

首先我們先回到氣體擴散概念的知識結構，來釐清氣體擴散概念的組成成分，研究者將教材內容中與擴散相關的概念連結成如下框中。



不論在實驗組或傳統教學的過程中，多半強調與推導動能與格銳目擴散定律之間的關係式，雖然傳統文本以文字及數學關係式說明格銳目擴散定律與右邊三個計算公式的關係，但是學生似乎難以連結整個概念，只能初步了解分子量越小擴散速率越快的概念，無法將概念應用於解決問題。

實驗組經過角色扮演活動以及觀看擴散電腦動畫後，已能形成分子量越小擴散速率越快的概念，也能推導出動能與格銳目擴散定律之間的關係式，但是面對不同的情境卻無法將格銳目擴散定律與右邊三個計算公式作正確的連結，換言之，實驗組學生最大的困難是無法寫出正確的數學關係式。此外學生在推導公式後，反而形成合成的心智模型(動能模式/雙模式)，學生認為溫度相同、動能就相同，因而擴散速率也相同，或者演變成科學模式與動能模式並存的雙模式。

控制組學生經由傳統文本教學後，心智模式的演變較實驗組更為零碎，後測與延宕測驗中皆無主要心智模式，教學後正確性達顯著進步，但一致性並無達到顯著進步，尤其是引力及混合模式的比例未見明顯減少，活性模式仍保持 12.5%，理論上經過學

習理想氣體粒子模型後，引力與活性模式應該大幅度減少，可是我們從控制組的心智模式的演變情形來看，錯誤心智模式減少的比例不多，可見傳統文本的文字與數學關係式的描述，對於學生在影響擴散速率因素相關的概念改變的幫助成效亦不彰。

由以上的分析結果，研究者反思應該設計什麼類型的活動及呈現模型才能有效的幫助學生進行影響擴散速率因素相關概念的改變呢？研究者認為應該從實驗及電腦動畫設計著手：可以讓學生動手操作氨氣與氯化氫兩種氣體擴散的實驗(若時間不夠可改以觀看實驗錄影帶)，然後再輔以電腦動畫說明為何氯化銨的白煙會在靠近氯化氫的那一端生成，藉以說明相同時間內，氨氣運動所移動的距離較大($d/\Delta t$)，故氨氣運動速率較快，接著請學生推論並整理出分子量較小擴散速率較快的概念，最後再以數學混合模型連結概念與計算公式，訓練學生連結整體的擴散概念，並融入情境的問題讓學生練習逐步解決問題的過程。

三、混合氣體粒子分布的心智模式類型、分布及演變途徑

學生對於混合氣體粒子分布的心智模式類型主要分為六大類型（邱美虹, 2006）：兩種氣體皆隨機分布（科學模式）、輕的在上, 重的在下（模式 A）、兩種皆集中在上（模式 B）、兩種皆集中在下（模式 C）、兩種皆集中在容器中間但輕的在上, 重的在下（模式 D）、兩種皆集中在容器中間且隨機分布（模式 E）。但面對不同的情境或變因時，學生也會動態改變其想法而做出不同的回答，因此在本研究中又多區分出三種心智模式：科學有瑕疵、科學+其他、以及一致性最低的混合模式。關於兩組學生在教學前、後及延宕測驗心智模式的分布詳見圖 4-3-7。

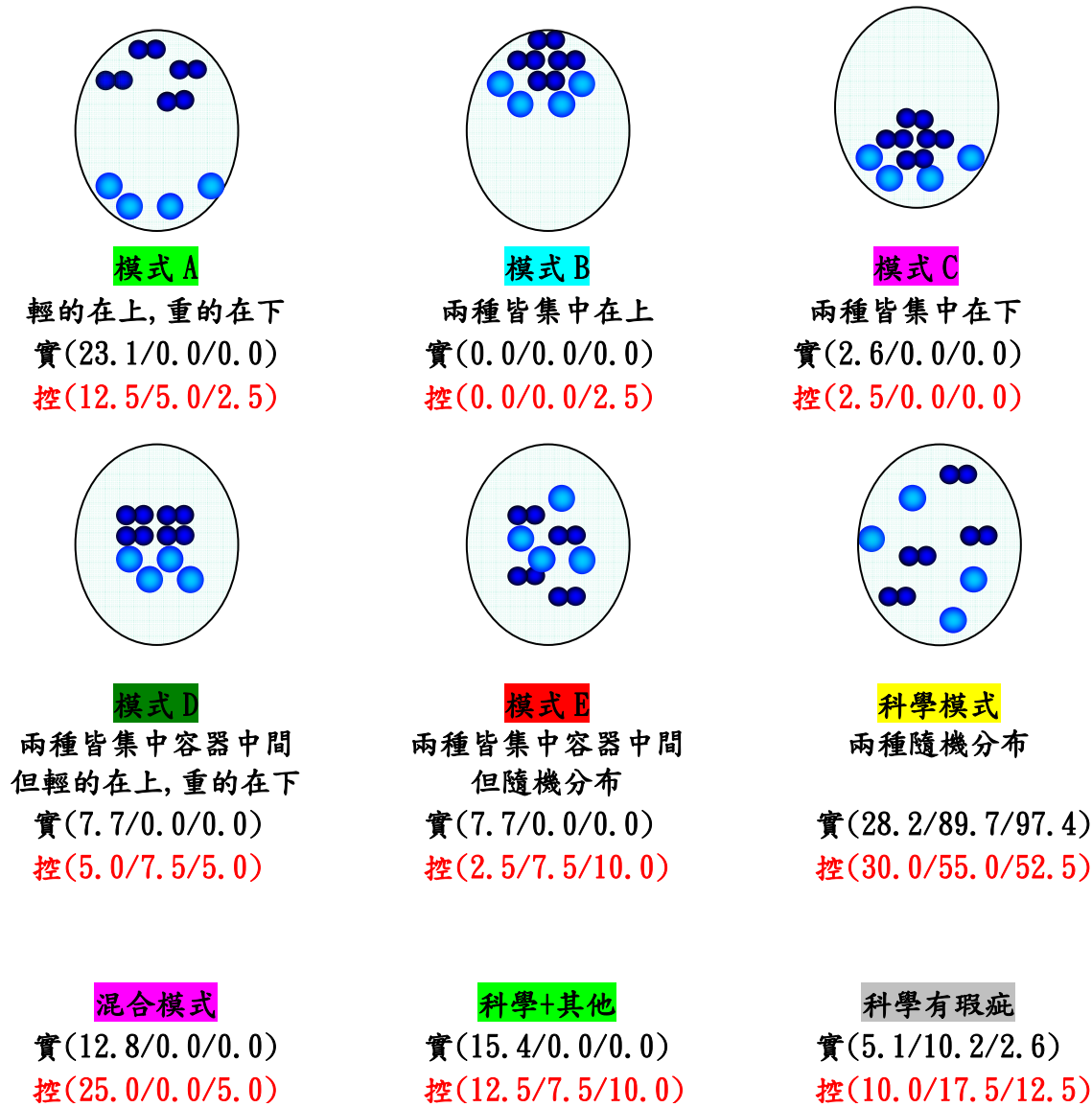


圖 4-3-7 實驗組與控制組氣體粒子分布心智模式的類型及分布情形
(前測/後測/延宕學生百分比)

實驗組與控制組氣體粒子運動的心智模式分布與演變途徑比較詳見表 4-3-7、圖 4-3-8、圖 4-3-9。兩組學生在教學前對於氣體粒子運動主要心智模式就是科學模式，不過皆未超過 30.0%，另外在實驗組有 23.1% 的學生認為輕的氣體粒子在上，重的在下(模式 A)，控制組則有 25.0% 的學生為混合模式。兩組學生在教學前均無兩種皆集中在上(模式 B)、也都僅有一位學生屬於兩種皆集中在下(模式 C)。

兩組學生經過教學後，主要心智模式仍然維持是科學模式(實驗組：89.7%，控制組：55.0%)，尤其是實驗組學生在科學模式增加的百分比高達 61.5%，顯示經過粒子運動模型及電腦動畫不斷呈現粒子的隨機運動及隨機分布，讓學生能夠藉著觀察呈現模型的動態表徵及微觀世界粒子的交互作用，連結現象與呈現模型之間的關係，逐步修正學生的心智模式，因而有高達九成的實驗組學生在教學後能夠了解氣體粒子在密閉容器中呈現隨機分布的微觀科學概念。我們從控制組心智模式的演變途徑(圖 4-3-9)來看，混合模式的學生雖然在教學後有 7.5% 轉變成科學模式及 5.0% 轉變成科學有瑕疵，但也各有 5.0% 轉變成模式 D 以及模式 E。控制組學生教學後科學模式增加的百分比僅有 25.0%，從另外一個角度來看，控制組學生由於學習過程中缺乏視覺化教材的刺激，所以教學後仍有近乎一半的學生無法深入了解微觀世界中氣體粒子的分布情形。

在延宕測驗中，89.7% 的實驗組學生不僅維持教學過程中所形成的科學模式，甚至 7.7% 的科學有瑕疵的學生繼續進步至科學模式，即教學五週後實驗組學生僅有一位學生對於氣體粒子運動的心智模式是科學有瑕疵。控制組也有 52.5% 的學生屬於科學模式，雖然有各有 5.0% 科學有瑕疵及科學+其他模式的學生進步成科學模式，但是也各有 5.0% 科學模式演變成科學有瑕疵及模式 E。

從兩組心智模式的演變途徑的比較，我們可以得知實驗組學生藉由觀察具體模型、電腦動畫及理想氣體粒子模型的投影片，藉由視覺、聽覺等感官刺激來建立與觀察現象相同的心象，並逐步修正或精緻化個體的心智模式而趨近科學模式，即使教學經過五週後絕大部分的學生仍能維持科學模式。這部分的研究也印證 Johnson-Laird (1983, 1989, 1999) 對心智模式的定義：心智模式是一種抽象的類比表徵，此表徵影響人類對語言的理解與日常生活現象的推理，並且認為知覺是心智模式的一個重要的

來源，人類的視覺、聽覺等感官提供並篩選外在的資訊，藉著符號的操弄建立個人的心智模式，因而心智模式是動態的結構深受外在情境的影響與限制。因此在多重表徵的模型教學中選用及設計氣體粒子隨機運動的呈現模型，的確有效的使實驗組學生藉由視覺化的刺激與師生討論中語言的理解而動態修正原有不正確的心智模式，分析結果顯示在教學後有近九成、研宄測驗有 97.4% 的學生關於氣體粒子運動的心智模式為科學模式。

表 4-3-7 實驗組與控制組氣體粒子運動的心智模式分布與演變途徑比較

	實驗組	控制組
	前測→後測→延宕(%)	前測→後測→延宕(%)
主要心智模式	科學(28.2)→科學(89.7)→科學(97.4)	科學(30.0)→科學(55.0)→科學(52.5)
演變途徑類型	科瑕→科學→科學 (5.1)	科其→科學→科學 (5.0)
	科其→科學→科學 (15.4)	A→科學→科學 (5.0)
	A→科學→科學 (17.9)	混合→科學→科學 (7.5)
	A→科瑕→科學 (5.1)	科學→科學→科瑕 (5.0)
	D→科學→科學 (7.7)	—
	E→科學→科學 (5.1)	—
	混合→科學→科學 (10.2)	—
未改變類型	科學 (25.6)	科學 (20.0)

PS: 5%以下的變動不顯示

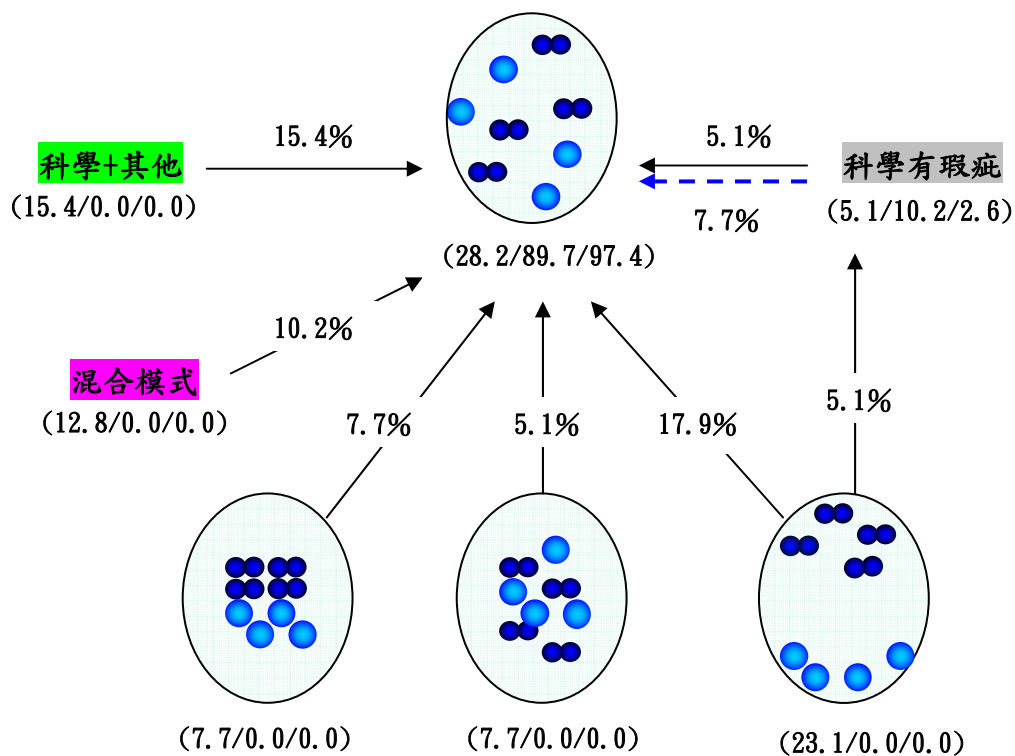


圖 4-3-8 實驗組學生關於氣體粒子分布心智模式的演變途徑

——→ : 前測→後測 - - - -> : 後測→延宕
(前測/後測/延宕學生的百分比); (5%以下變動不顯示)

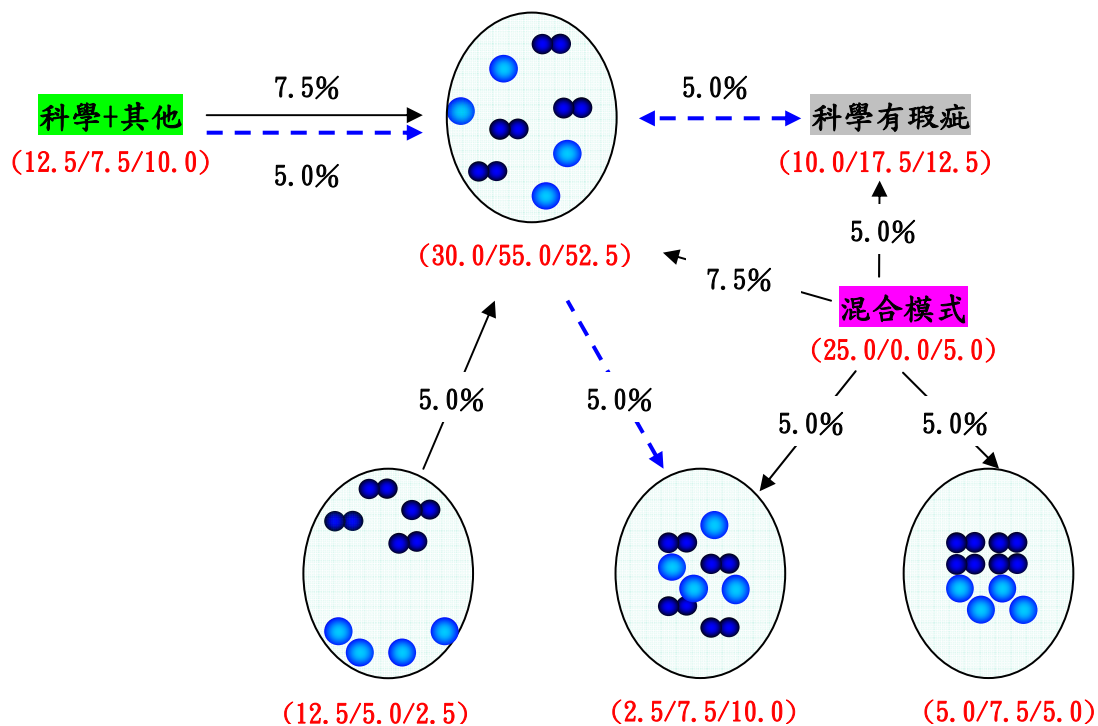


圖 4-3-9 控制組學生關於氣體粒子分布心智模式的演變途徑

——→ : 前測→後測 - - - -> : 後測→延宕
(前測/後測/延宕學生的百分比); (5%以下變動不顯示)

四、氣體粒子運動的心智模式類型、分布及演變途徑

學生關於混合氣體粒子運動的心智模式概分為五大類型（邱美虹, 2006）：全部氣體粒子皆靜止（本次研究中兩組學生皆無此模式）、部分靜止，部分向一定方式移動①、部分靜止，部分隨機運動②、全部向一定的方向移動③、全部隨機運動（科學模式）。但面對不同的情境或變因時，學生也會動態改變其想法而做出不同的回答，因此在本研究中又多區分出三種心智模式：科學有瑕疵、科學＋其他、以及一致性最低的混合模式。關於兩組學生在教學前、後及延宕測驗心智模式的分布詳見圖 4-3-10。

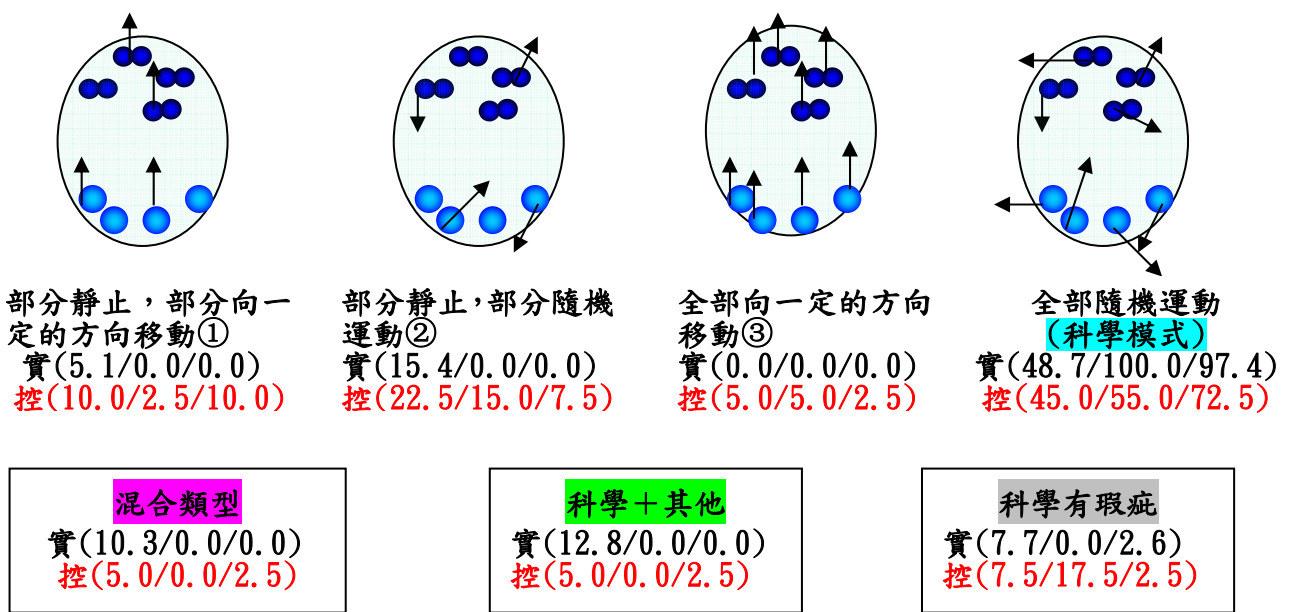


圖 4-3-10 學生混合氣體粒子運動的心智模式概分為七大類型
（前測/後測/延宕測驗學生分布百分比）

兩組學生在教學前對於氣體粒子運動主要心智模式已是科學模式，科學模式接近一半但兩組皆未超過 50.0%，不過兩組學生在教學前對於氣體粒子運動的正確性與一致性是七個子概念中最高的。這也顯示近一半的學生在教學前的經由個體的生活經驗或觀察/學習中已初步建立氣體粒子隨機運動的概念，這部分學生的想法也在教學前的氣體本質的測驗中學生的繪圖中呈現出來。而教學前對於氣體粒子運動另一種常見的心智模式為部分氣體粒子靜止、部分氣體粒子隨機運動，這種另有想法的錯誤心智模式與一些國內研究氣體粒子的文獻研究結果相吻合（鄭志鵬, 1998；史嘉章, 2002；邱美虹, 2005, 2006）。

實驗組與控制組氣體粒子運動的心智模式分布與演變途徑比較詳見表 4-3-8、圖 4-3-11、圖 4-3-12、圖 4-3-13。兩組學生經過教學後，主要心智模式仍然維持是科學模式(實驗組：100.0%，控制組：55.0%)，尤其是實驗組學生在科學模式增加的百分比高達 51.3%，顯示實驗組學生在教學過程中經過觀察或操弄具體混合模型及視覺混合模式，感官知覺中不斷交互呈現粒子的隨機運動的動態表徵，因此實驗組學生重新藉著呈現模型和表徵的交互作用而形成新的模型，再進一步產生新的心智模式。當心智或呈現模型可以成功的運作並順利解決問題時，模型變趨向制約(reinforced)而形成穩定的心智模式(Kindfield, 1993；Buckley & Boulter, 2000；吳明珠, 2004)。因此全部實驗組學生在教學後對於氣體粒子運動的心智模式都進步成為科學模式，且在延宕測驗中僅有一位學生演變成科學有瑕疵。顯示學生經由多重表徵的呈現模型及動態—隨機的外在表徵，可以降低學生工作記憶的負荷，使學生解決複雜的問題。因此當學生在使用多重表徵的呈現模型來進行科學學習的過程中，的確可以有效的增進學生對微觀氣體粒子運動情形的瞭解而建立與現象相同屬性的正確而穩定的心智模式(科學模型)。

控制組學生由於學習過程中缺乏視覺化教材的刺激，所以教學後仍有近乎一半的學生無法深入了解微觀世界中氣體粒子運動的情形。因此在教學後心智模式的正確性有達顯著進步，但一致性雖然有增加卻未達顯著進步。不過我們觀察控制組延宕測驗的表現，卻是七個子概念中表現最特殊的，正確性與一致性均增加(雖然未達顯著進步)，顯示出雖然傳統文本中並無呈現出粒子隨機運動的表徵，但學生在經歷診斷式測驗的不斷練習與個人主動精緻化心智模式，在延宕測驗中控制組有近四分之三的學生對於氣體粒子的運動的概念形成了科學模式。

表 4-3-8 實驗組與控制組氣體粒子運動的心智模式分布與演變途徑比較

	實驗組	控制組
	前測→後測→延宕(%)	前測→後測→延宕(%)
主要心智模式	科學(48.7)→科學(100.0)→科學(97.4)	科學(45.0)→科學(55.0)→科學(72.5)
演變途徑類型	科瑕→科學→科學 (7.7)	②→②→科學 (5.0)
	科其→科學→科學 (12.8)	①→科瑕→科學 (5.0)
	①→科學→科學 (5.1)	—
	②→科學→科學 (15.4)	—
	混合→科學→科學 (7.7)	—
未改變類型	科學 (48.7)	科學 (40.0)
	—	部分靜止，部分隨機運動(5.0)

PS: 5%以下的變動不顯示

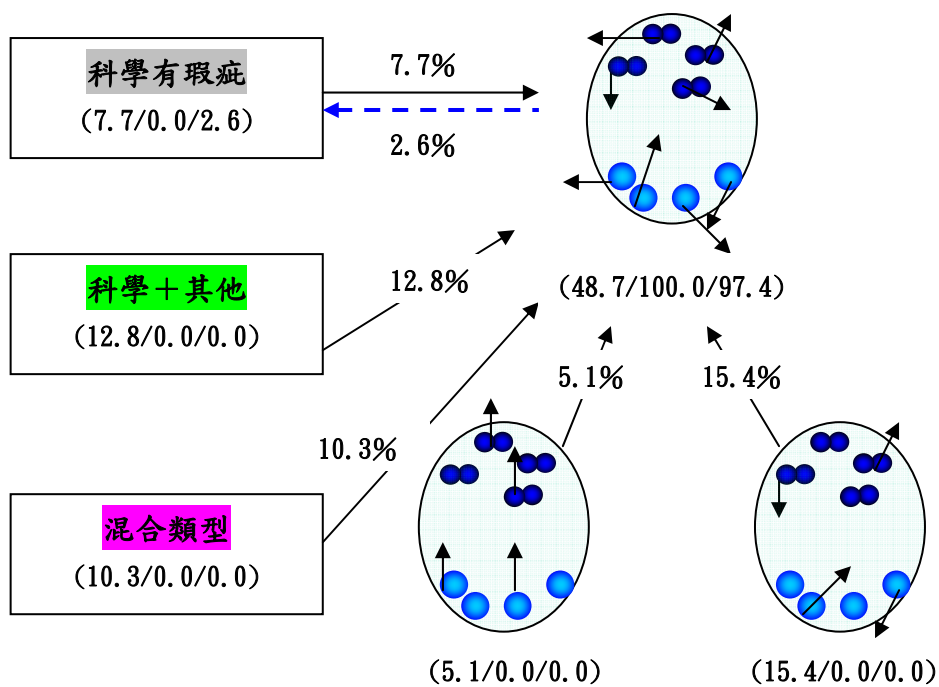


圖 4-3-11 實驗組學生氣體粒子運動心智模式的演變途徑
 ———▶：前測→後測 - - -▶：後測→延宕
 (前測/後測/延宕學生的百分比)；(5%以下變動不顯示)

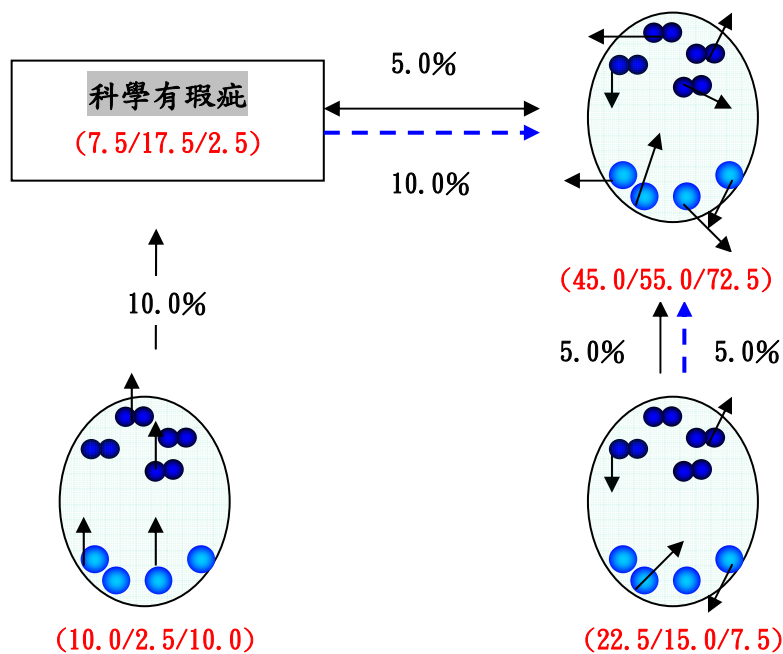


圖 4-3-12 控制組學生氣體粒子運動心智模式的演變途徑
 ———▶：前測→後測 - - -▶：後測→延宕
 (前測/後測/延宕學生的百分比)；(5%以下變動不顯示)

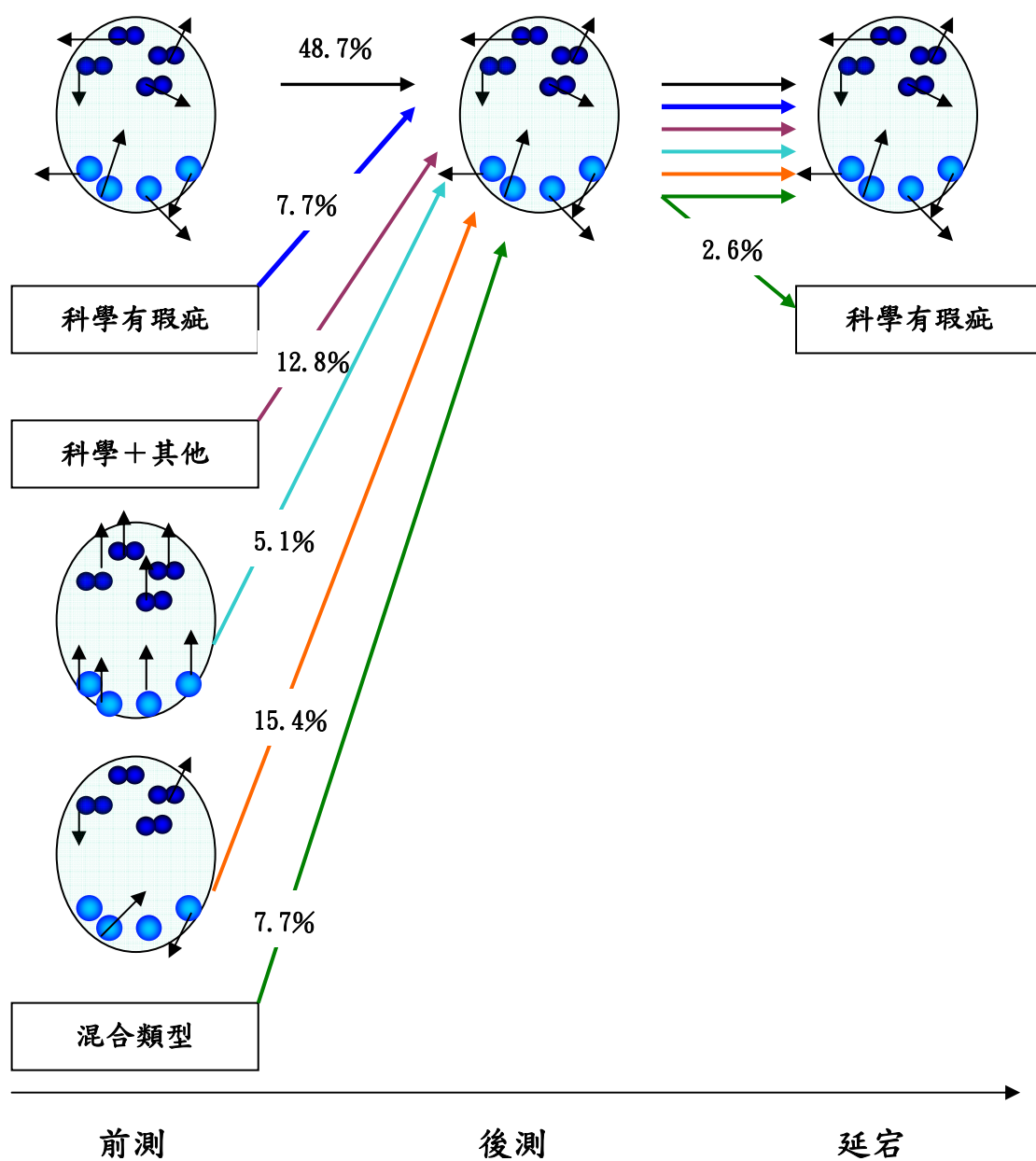


圖 4-3-13 實驗組學生氣體粒子運動心智模式演變途徑

五、兩種氣體擴散運動的心智模式類型、分布與心智模式演變的途徑

學生關於兩種氣體粒子擴散運動的心智模式概分為六大類型：兩種氣體粒子皆隨機(科學模式)、皆雙向運動、皆單向運動、一種雙向＋另一種單向、一種雙向＋另一種隨機、一種單向＋另一種隨機。但面對不同變因時(玻璃管水平放置與垂直放置)，學生也會動態改變其想法而做出不同的回答，因此在本研究中又多區分出二種心智模式：科學＋其他及一致性最低的混合模式。為何在兩種氣體擴散運動的心智模式類型並沒有區分出科學有瑕疵的類型，是因為三個不同變因的題目中，如果學生回答兩題是科學模式而另一題是雙向運動，則其一致性係數(CI 值)為 0.397，未超過 0.5，因此將此類型歸類為科學＋其他。關於兩組學生在教學前、後及延宕測驗心智模式的分布詳見表 4-3-9。

從前測的結果分析，兩組學生在教學前具有科學模式約佔三分之一，兩種氣體粒子擴散時運動方向皆雙向/皆單向/單向＋雙向這三類的模式則佔 35 至 40%，混合類型則佔 18% 以下。學生錯誤的想法明顯是受重力因素的影響，以及學生會認為氣體在玻璃管如同巨觀現象所觀察到物體呈現直線運動的情形，譬如氣體像風一樣單向運動或氣體的活動類似液體一般的流動(鄭志鵬, 1998；史嘉章, 2002)。學生因而認為氣體粒子擴散運動會是呈現皆雙向/皆單向/單向＋雙向的運動方向。

表 4-3-9 實驗組與控制組關於兩種氣體擴散運動的心智模式類型與分布(表格內為%)

	前測		後測		延宕	
	實驗組	控制組	實驗組	控制組	實驗組	控制組
科學模式	33.3	35.0	97.4	60.0	100.0	47.5
科學＋其他	2.6	7.5	0.0	2.5	0.0	12.5
皆雙向	20.5	7.5	0.0	7.5	0.0	12.5
皆單向	15.4	10.0	0.0	7.5	0.0	0.0
單向＋雙向	7.7	17.5	0.0	2.5	0.0	7.5
單向＋隨機	2.6	2.5	0.0	7.5	0.0	0.0
雙向＋隨機	0.0	5.0	0.0	2.5	0.0	5.0
混合類型	17.9	15.0	2.6	10.0	0.0	15.0

實驗組學生經過角色扮演的活動後，科學模式大幅度提升至 97.4%，延宕測驗更進一步達到 100%。就如同某位學生在情意問卷中所表達的(如下框)，當學生藉著自己的肢體活動來體認氣體擴散運動的過程時，他們便深刻的體認到氣體粒子擴散運動是無目的、隨機運動的，而且同溫時分子量小的氣體粒子運動速率較快，即使在五週後的延宕測驗中學生們仍然記憶深刻。

學生(女)：沒想到竟然可以用“人”來代表氣體擴散，覺得印象很深刻，且一下子就理解擴散了，一直到現在..

兩組學生在兩種氣體擴散運動的心智模式分布與演變途徑比較如表 4-3-10、圖 4-3-14、圖 4-3-14。控制組學生在前測時科學模式僅有 35.0%，與實驗組學生不同之處是在教學前、後及延宕測驗中一直保持科學模式的學生僅有 20.0%。控制組學生經過傳統文本教學後，科學模式雖然也大幅度提升至 60%，雖然各有 5.0%科學+其他、皆雙向、混合模式，以及 10.0%皆單向模式在後測中演變成科學模式，卻也有 5.0%科學模式轉變成科學+其他，因而後測中學生的心智模式為皆雙向/皆單向/混合模式的比率下降並不多。另外後測中雙向+單向模式的學生並沒有因為傳統教學後趨向科學模式，反而呈現零碎而不一致的演變。延宕測驗中控制組的科學模式衰退至 47.5%，雖然皆單向的模式消失，但是科學+其他/皆雙向/雙向+單向/混合模式反而增加。顯示傳統文本中因缺乏詳細的文字及動態的表徵來說明擴散運動的過程，使學生對於擴散運動較難建立科學模式，而且教學一段時間後又回歸成原有的心智模式。

反觀實驗組學生在前測時科學模式僅有 33.3%，這群學生一直到延宕測驗都維持在科學模式，這種現象正呼應著多位學者所提出(Kindfield, 1993；Buckley & Boulter, 2000；吳明珠, 2004)：當學生的心智與呈現模型一致並可以成功的運作並順利解決問題時，模型變趨向制約(reinforced)而形成穩定的心智模式。而其他模式的學生(64.1%)在經歷多重表徵的模型教學後，呈現模式形成了教學和學習脈絡之間的聯繫，學生在學習的過程中不斷的檢驗並比較呈現模型和心智模型的異同，當呈現模

型與心智模式有所不同時，學習者嘗試修正或精緻化原有的心智模型，讓其心智模型與呈現模型趨於一致，因而學生的心智模型便趨向科學模型(Buckley ,2000)。

表 4-3-10 實驗組與控制組兩種氣體擴散運動的心智模式分布與演變途徑比較

	實驗組	控制組
	前測→後測→延宕(%)	前測→後測→延宕(%)
主要心智模式	科學(33.3)→科學(97.4)→科學(100.0)	科學(35.0)→科學(60.0)→科學(47.5)
演變途徑類型	皆雙向→科學→科學 (20.5)	皆雙向→科學→科學 (5.0)
	皆單向→科學→科學 (15.4)	皆單向→科學→科學 (7.5)
	雙向+單向→科學→科學 (7.7)	科學→科學→科學 (5.0)
	混合→科學→科學 (15.4)	—
未改變類型	科學 (33.3)	科學 (20.0)

PS: 5%以下的變動不顯示

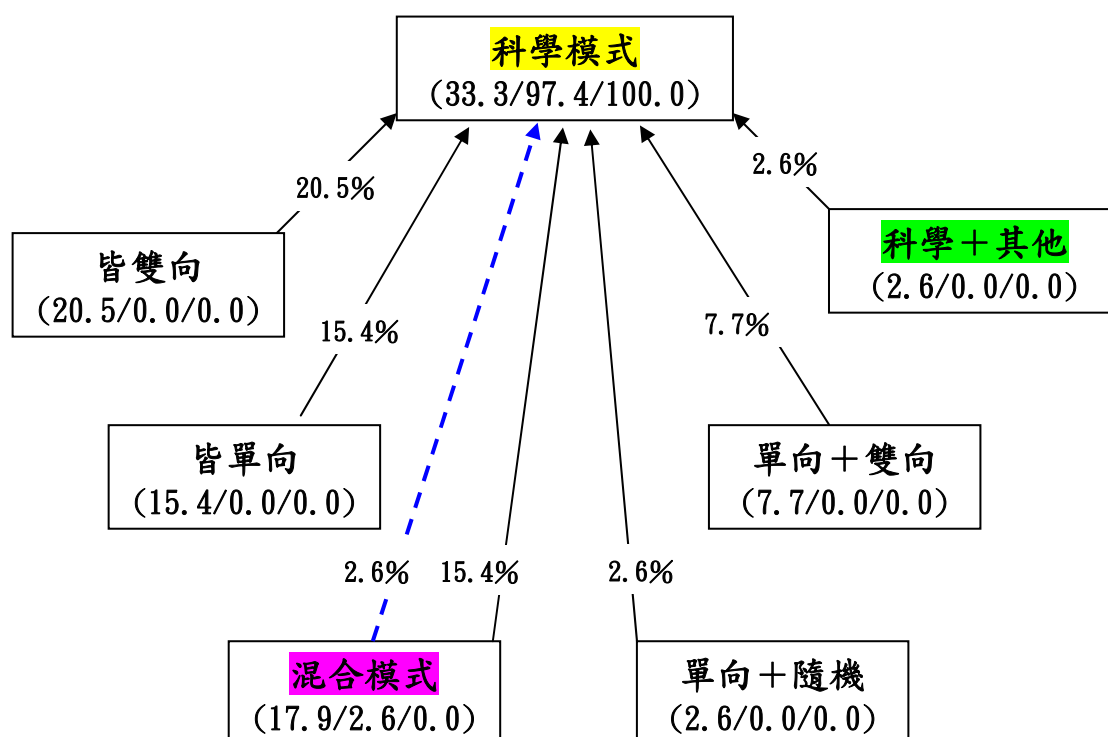


圖 4-3-14 實驗組學生氣體擴散運動心智模式的演變途徑

——→ : 前測→後測 - - -> : 後測→延宕
(前測/後測/延宕學生的百分比); (5%以下變動不顯示)

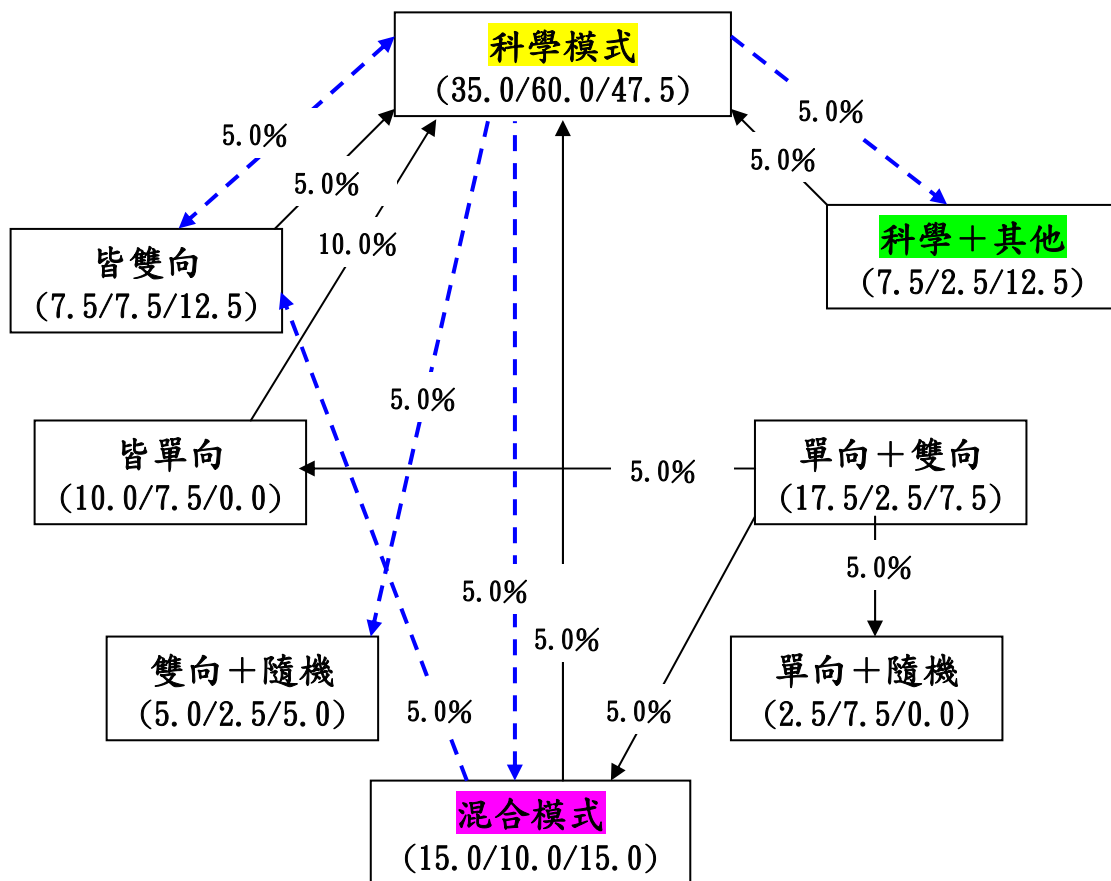


圖 4-3-15 控制組學生氣體擴散運動心智模式的演變途徑
 ———▶：前測→後測 - - -▶：後測→延宕
 (前測/後測/延宕學生的百分比)；(5%以下變動不顯示)

六、兩種氣體擴散運動時粒子分布情形的心智模式類型、分布與心智模式演變的途徑

實驗組學生除了接受氣體本質測驗及診斷式紙筆測驗之外，另外在教學之初以及進行角色模擬的動作混合的模型教學後以及教學後五週，分別進行三次的電腦動畫測驗(每次 6 題)，每題試題變因不相同，主要的命題內容如下圖 4-3-16，藉以瞭解不同變因之下學生關於兩種氣體擴散時粒子分布的心智模式種類，以及經過模型的多重表徵教學後心智模式演變的情形。

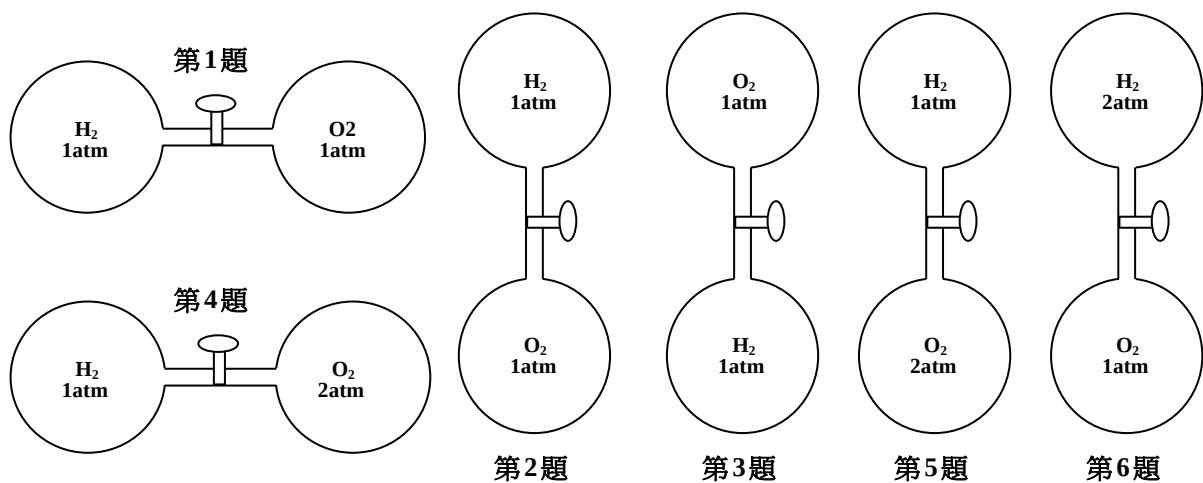


圖 4-3-16 氣體擴散後氣體粒子分布電腦動畫測驗命題
(引自邱美虹, 2002, 2006)

關於心智模式的種類與分類依據可參考下表 4-3-11，學生在回答不同情境的題目都使用隨機分布模式(科學模式)，則學生關於兩種氣體擴散粒子分布的心智模式的整體分類屬於隨機分布模式，具有高融貫性；若學生在回答六個題目中使用兩種心智模式，例如使用重量及壓力模式，則整體分類屬於重量+壓力模式；在回答六個題目中使用三種以上的心智模式，則整體分類屬於混合模式，心智模型的表徵如下圖 4-3-17。

表 4-3-11 學生關於兩種氣體擴散粒子分布的心智模式種類

心智模式種類	解釋理由
隨機分布模式	氣體會在密閉空間內隨機移動，最後隨機分布
重量模式	氧氣比較重/密度比較大，氫氣較輕，所以氫氣在上，氧氣在下
壓力模式	壓力大/分子數目多的氣體會往壓力小/分子數目少的地方移動(兩種氣體比較)
其他模式 (引力、無擴散概念等)	氣體粒子分布不受重力、引力等影響，保持原來狀態(不會混合)

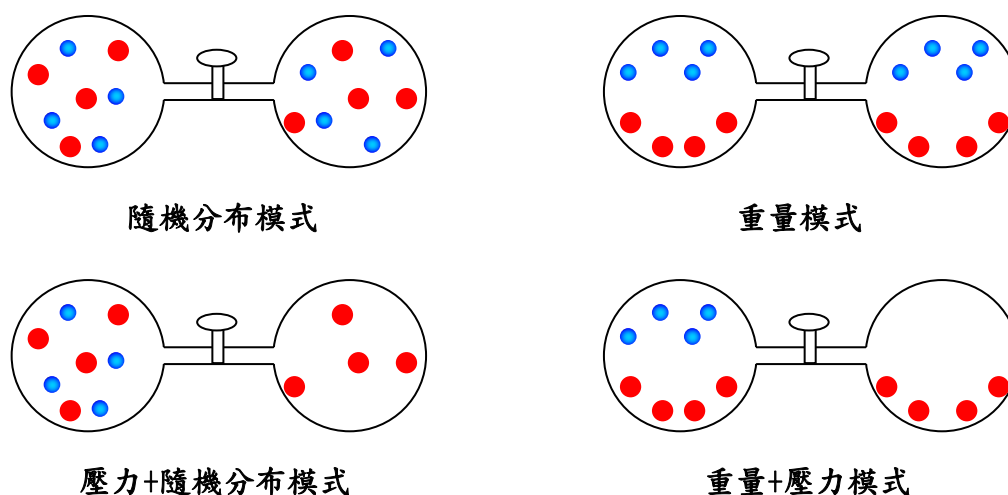
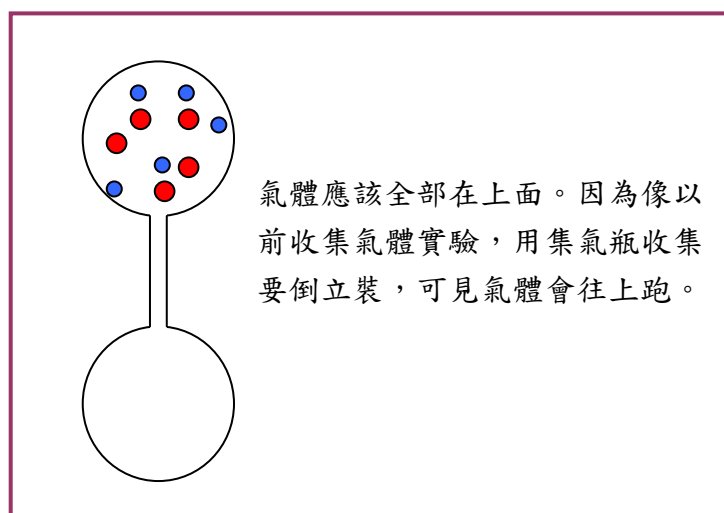


圖 4-3-17 氣體擴散粒子分布的心智模式的表徵圖
(引自邱美虹, 2006)

試題一為水平放置而且兩種氣體壓力相同時，有高達 74.4% 的學生認為混合氣體擴散後會隨機分布，剩下 25.6% 則認為粒子的重量會影響分布情形。試題中所設計的變因為兩種氣體壓力不相同時，則有 53.8% 學生認為壓力大的氣體會往壓力小的氣體擴散，但是壓力較小的氣體則不會擴散到另一個容器中。當試題設計為容器垂直放置時，分析學生對混合氣體擴散後粒子分布的想法，有 75.8% 的學生認為粒子的重量會影響其分布，這部分的分析數據與之前實驗組學生在教學前對於密閉容器中混合氣體粒子分布的心智模式有所出入，顯示學生的心智模式會隨著不同的情境而產生明顯、

動態的變化，換言之，當容器垂直放置時，學生的想法極容易受重力的影響。其中有一位同學的想法非常有趣，當容器垂直放置時，他認為所有的氣體通通會跑到上方的容器中；而水平放置兩種氣壓不相同時，他則認為兩種氣體都集中在原有壓力較小的容器中，將此學生的繪圖及說明表示於下框中。



上述這些學生的想法再次印證多位學者對心智模式的定義/想法：心智模式代表著事物的狀態，扮演著直接表徵或類比的角色，其結構反映了世上事物的相關狀態，是一種假設、動態的符號表徵，也是一種歷程並且會產生心象。由於心智模式是一種內在表徵、動態的結構，是具有流動特性，隨著情境可產生變化（Johnson-Laird, 1983, 1989, 1999; Gentner & Stevens, 1983; Rickheit & Sichel Schmidt, 1999; Staggers, 1993; Vosniadou, 1994; Park & Gittelman, 1995）。

分析學生關於混合氣體擴散後粒子分布心智模式的分布情形，有 35.9% 的學生在教學前的心智模式屬於混合模式，其心智模式會隨著題目所設計不同的變因（兩種氣體粒子重量不同、容器水平/垂直放置、兩種氣體氣壓大小不同等）而改變，顯示其心智模式的融貫性極低。此外有 43.6% 的學生會因情境不同使用兩種不同的心智模式，而 20.5% 的學生在教學前即擁有科學模式（詳見下圖 4-3-18）。

經角色扮演的動作混合的模型教學後，共有 79.5% 的學生產生心智模式的改變（未改變的 20.5% 學生是維持科學模式），顯示近八成的學生經過學習動作混合的模型後，

不論融貫性與正確性都有極大的進步。其中 30.8% 的學生直接由混合模式進步至科學模式，有 38.5% 的學生由雙模式進步至科學模式，有 5.1% 的學生由混合模式演變成重量+隨機分布的雙模式，各有 2.6% 的學生由重量+壓力及重量+隨機分布的雙模式演變成壓力+隨機分布的雙模式。從另一個角度來觀察，分析結果顯示學生藉由動態的肢體動作，來建立擴散時氣體粒子是隨機運動，認為重量/壓力會影響擴散後粒子分布的各僅剩下 5.1%，教學後近九成的學生對於混合氣體擴散後粒子分布的心智模式已形成穩定的科學模式。而在延宕測驗中，不僅科學模式的學生繼續維持，各有 2.6% 雙模式的學生繼續演變成科學模式。

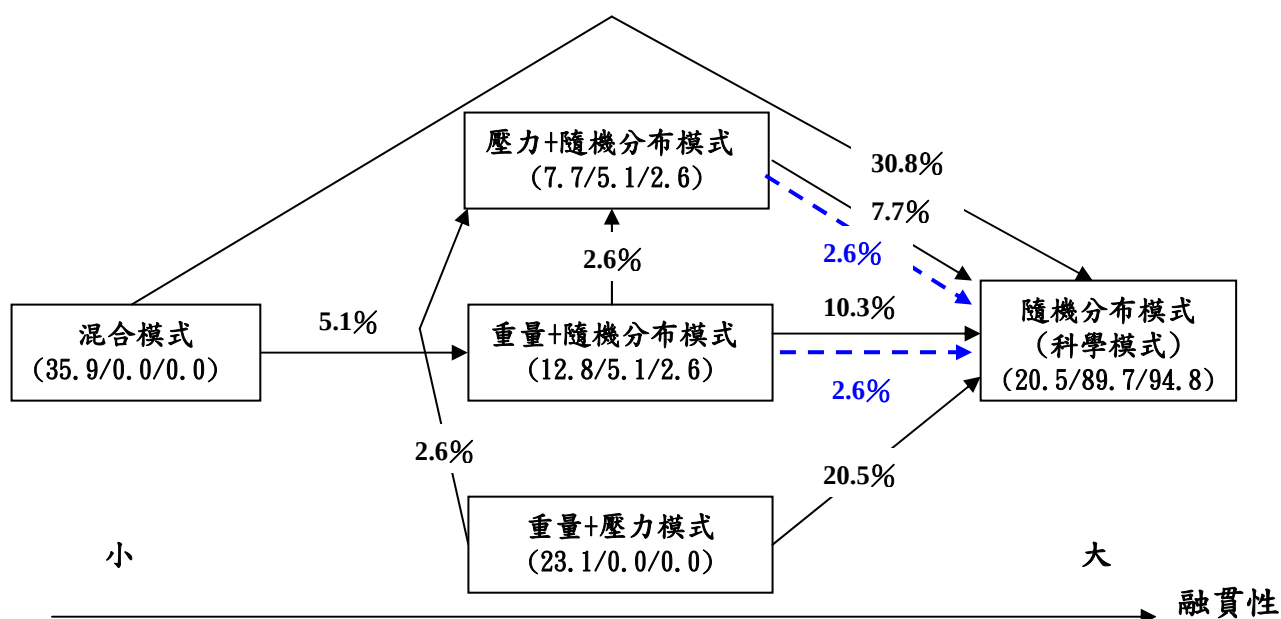


圖 4-3-18 學生關於擴散時混合氣體粒子分布心智模式的演變
(前測/後測/延宕學生的百分比)

—→ : 教學前→教學後 - - -→ : 教學後→延宕測驗

七、探究多重表徵的模型教學為基礎的衍生式學習與心智模式演變的關係

本研究設計了八節多重表徵的模型教學活動是否真的能訓練學生透過形成、應用模型及精緻化心智模型等遞迴的程序，讓學生應用個人的先備知識整合從日常生活中所獲得的新資訊，漸漸擴展個人的知識系統呢？從之前所探討學生心智模式的演變途徑的分析結果，我們可以清楚的瞭解到實驗組學生對於密閉容器內氣體粒子分布、粒子的運動，混合氣體擴散時的運動情形及擴散平衡時氣體粒子分布的四個子概念的演變途徑，在教學後的後測及延宕測驗中，學生的心智模式幾乎 100% 是科學模式，研究結果顯示出根據現象或概念的特性，選用適合的模型表徵方式與屬性，確實可以讓學生藉由模型的多重表徵來學習而建立具有相同屬性的心智模式。

研究者將實驗組學生學習過程中修正或精緻化心智模式的過程以圖 4-3-19 呈現，以模型為基礎的衍生式學習的過程說明實驗組的學生藉由與現象相同的屬性的具體混合模型(粒子運動模型)、視覺混合模型(電腦動畫)以及動作混合模型(角色扮演)等模型為學習的基礎，在學習過程中不斷的檢驗並比較呈現模型和原有心智模式的異同，當呈現模型與原有的心智模式有所不同時，學習者嘗試修正或精緻化原有的心智模型，讓心智模型與呈現模型趨於一致。當心智或呈現模型可以成功的運作並順利解決問題時，模型變趨向制約(reinforced)而形成穩定的心智模式(Kindfield, 1993；Buckley & Boulter, 2000；吳明珠, 2004)。

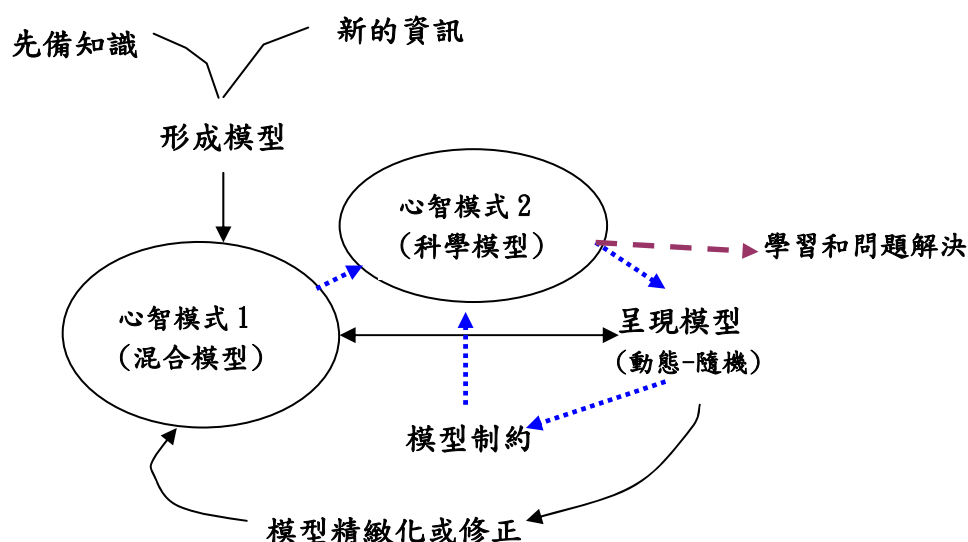


圖 4-3-19 學生以模型為基礎的衍生式學習的過程
——> : 學習中 > : 教學後

本節研究詳細分析兩組學生對於理想氣體壓力、氣體擴散、氣體粒子分布、氣體粒子運動、混合氣體擴散時運動情形，以及實驗組關於混合氣體擴散後粒子分布的心智模式的種類與其分布的情形，並進一步分析說明兩組學生心智模式演變途徑。除了氣體擴散在教學後心智模式的修正或精緻化情形不盡理想之外，其他概念的心智模式的演變都朝向科學模式/科學有瑕疵的方向邁進，且整體概念的正確性、一致性與完整性也在教學後顯著的增加。從兩組的心智模式演變途徑來比較，我們也清楚瞭解以模型為基礎的衍生式學習比傳統文本教學對於學生修正或精緻化個人的心智模式有著更大的助益。我們所分析出的結果也顯示出模型化的過程提供學生使用形式表徵的實際經驗，學習科學推理的技能，也讓學生學習如何有系統的建立、檢驗和修正模型以進一步建立科學的模型。學習者藉由觀察與操弄與現象屬性相同的呈現模型，進行對既有心智模式的評估與修正，得以產生對知識系統具有更大解釋融貫性的模型。

接下來研究者要進一步分析，兩組學生在學習過程中的一系列的動態評量中的表現是否有明顯的差異。研究者嘗試以本體論的觀點來分析學生在學習歷程中的認知的變化，找出兩組概念改變的機制是否有明顯的不同之處，也嘗試回答本體類別的跳躍與重建是否真的為概念改變中最困難的所在。

第四節 氣體本質測驗、動態評量綜合分析

本節針對教學前所施測的氣體本質測驗、五次動態評量的結果分析兩組學生認知發展的情形，並以 Chi 等人(1992, 1994, 2002, 2005)的本體分類的方式，分析兩組學生在本質測驗與一系列動態評量中本體演變的情形，藉此探討概念改變難易的情形。

一、氣體本質測驗分析結果

教學前所施測的氣體本質小測驗主要以開放式問題針對學生對於氣體粒子/連續觀、氣體壓力的成因、溫度對壓力、粒子運動的影響及剛性粒子等概念學生所具備的先有概念進行分析，分析結果如表 4-4-1。

表 4-4-1 實驗組與控制組氣體本質小測驗答題情形

概念	學生解釋	實驗組(%)	控制組(%)
氣體的本質觀	連續觀—整體	20.5	22.5
	粒子觀—整齊分布	2.6	12.5
	粒子觀—堆疊緊密	2.6	0.0
	粒子觀—隨機分布	74.4	65.0
氣壓的成因	外壓模式(砝碼/大氣壓力)	53.8	67.5
	粒子間互相擠壓	5.1	17.5
	粒子間互相撞擊	10.3	2.5
	分子之間作用力	2.6	2.5
	分子給周遭環境的壓力	12.8	7.5
	科學模式	5.1	0.0
	未明確答出原因	10.3	2.5
氣體粒子運動	向外擠壓	7.7	15.0
	對流模式	2.6	10.0
	隨機運動	82.1	55.0
	未說明粒子運動	7.7	20.0
粒子本身大小	受熱變小	2.6	0.0
	熱脹冷縮	38.5	35.0
	粒子大小不變	51.3	47.5
	未說明粒子大小變化	7.7	17.5

從氣體本質測驗的分析結果來看，兩組學生在教學前有近二成的學生認為氣體在密閉容器中是呈連續的整體(如乳液一般)，但是近七成的學生是擁有正確的粒子觀-隨機分布。而對於密閉容器內氣壓的成因，則受题目的情境影響(容器上方放置一個砝碼)超過一半以上的學生認為是外在的砝碼/大氣壓力造成氣體壓力，兩組學生共同有一種特殊的解釋：當砝碼/大氣壓力往下壓時，分子給周遭環境的作用力造成氣體壓力。在氣壓的成因解釋接近科學模式的僅有二位學生(5.1%)，顯示學生在教學前對密閉容器內氣壓的成因很難由日常生活的個體觀察與先前的知識系統中形成科學的解釋。

學生們在密閉容器內氣體粒子的運動的先有概念屬於科學模式的比例超過一半以上，尤其是實驗組有高達 82.1% 的學生認為氣體粒子在密閉容器中是呈現隨機運動的，這部分的分析結果與診斷式紙筆測驗在氣體粒子運動子概念的分析結果呈現一致。而在氣體粒子大小是否隨溫度而改變的概念上，擁有剛性粒子概念的學生接近一半，仍有接近三分之一的學生認為氣體粒子本身會熱脹冷縮的迷思概念。

在本質測驗中分析的結果與之前文獻中所提及學生對於氣體粒子的迷思概念有許多地方是相似的，譬如說氣壓是粒子間互相擠壓或撞擊所造成，因此分子量大的擠壓情形較嚴重，氣體壓力比較大；或是認為分子量小者運動速率快，氣體粒子彼此碰撞的機會增加，因而氣體壓力比較大。也有部分學生認為當外在力量(活塞擠壓或大氣壓力等)施壓時形成容器內部的氣壓(洪振方, 1987；鄭志鵬, 1998；李世勳, 1999；史嘉章, 2002；陳盈吉, 2004；陳郡鳳, 2004；邱美虹, 2005, 2006)。

不過在某些概念上則有些不同之處，譬如說 Doran(1972)、Novick & Nussbaum (1978, 1981)、Benson 等人(1993)的研究指出：8 至 14 歲的學生對於氣體的本質普遍存在連續觀的迷思概念，學生傾向以巨觀中液體的現象來推論氣體是以連續的狀態存在於容器中而並非是粒子性的看法。而本研究的學生為高二學生(16-17 歲)，認知發展已能理解氣體是粒子觀點且氣體粒子在容器中是隨機分布的概念，所以有近七成的學生的氣體本質的觀念是正確，這一點發現也與 Doran(1972)、Jahnson(1998) 研究相吻合：經過不斷的學習相關氣體的概念後，學生對於粒子模型的正確概念隨著年齡的增

長而呈現成長的趨勢。很多研究(Sere, 1986；Benson et al., 1993；鄭志鵬, 1998；史嘉章, 2002；邱美虹, 2005, 2006)顯示學生不瞭解粒子是持續不規則運動，認為氣體像風一樣單向運動，或是沒有外力或碰撞而動能耗損時，空氣粒子會全部或部分靜止。但是在本研究教學前的本質測驗與診斷式測驗中都顯示沒有學生認為氣體粒子是全部靜止，反而有超過一半以上的學生在教學前就已具備粒子是持續不規則運動的科學/科學有瑕疵的模式。

二、動態評量分析結果

學生們在進行八節課的教學活動中，每兩節教學活動後就進行一次動態評量，之後在教學後五週再進行一次動態評量，共計進行五次的動態評量。除了第二次的動態評量(內容主要為理想氣體各大定律與理想氣體方程式等應用)，雖然實驗組得分率優於控制組，但未達顯著差異。在動態評量一、三、四、五等測驗中，兩組得分率則達顯著的差異。兩組動態評量的比較見表 4-4-2。

表 4-4-2 實驗組與控制組動態評量比較(paired-t test)

	實驗組(N=39) 全班平均(標準差)	控制組(N=40) 全班平均(標準差)	效果量	t 值	p 值
動態評量一	71.1(8.43)	66.5(9.16)	0.376	2.35	.024*
動態評量二	78.1(14.42)	74.2(12.64)	0.178	1.08	.287
動態評量三	83.4(10.63)	56.6(14.46)	1.499	9.24	.000***
動態評量四	78.9(10.85)	56.3(12.35)	1.476	9.10	.000***
動態評量五	82.3(12.48)	65.9(11.92)	1.027	6.42	.000***

* : $p < .05$ ** : $p < .01$ *** : $p < .001$

研究者想進一步釐清兩組學生在一系列的動態評量中究竟在哪些概念上的認知發展是不同的，接下來就兩組在動態評量中的答題情形作進一步的分析，以比較兩組學生在理想氣體相關概念上的認知發展是否有所不同的。

(一) 比較兩組學生在動態評量一的答題情形

動態評量一主要是分析兩組學生在理想氣體模型、氣體體積、影響氣體壓力的因素、不同情境/變因下微觀世界中氣體粒子的運動及交互作用的情形等四各面向來探討學生答題表現有何不同。首先將兩組學生對於理想氣體模型、氣體體積、影響氣體壓力的因素三個概念的答題分析整理如表 4-4-3。

兩組學生在理想氣體模型完全正確的實驗組達到 74.4%、控制組則為 67.5%，兩組同學的迷思概念最大不同之處在於：實驗組學生經過理想氣體模型投影片教學後，由於投影片中僅強調「氣體分子本身的體積，與氣體所佔的空間相比是極微小的」，因此有 17.9% 的學生誤認理想氣體粒子的體積不為零。控制組的學生經過傳統文本教學後仍有 17.5% 的學生認為理想氣體分子碰撞時不為彈性碰撞(缺乏剛性粒子的概念)以及 12.5% 的學生認為理想氣體分子之間有吸引力。

學生對於理想氣體模式的迷思概念一直影響著他們回答有關氣體體積、影響氣體壓力的因素的想法，實驗組學生有 28.2% 的學生認為同分子數時，氧氣的氣球體積比較大，17.5% 的控制組學生有同樣的想法。然而在影響氣體壓力的因素方面，實驗組學生擁有科學模式的有 46.1%，控制組僅有 20.0%。兩組學生明顯的差異在於實驗組有 15.4% 的學生認為分子的活性大小會影響氣體壓力，控制組則有 22.5% 的學生認為分子之間的引力會影響氣體壓力。此外實驗組學生有 12.8% 的學生認為分子大小會影響氣體壓力，控制組學生則有 15.0% 的學生為混合模式(同時認為活性/分子量/分子大小/引力四項因素有三種以上會影響氣體壓力)。此外控制組有 17.5% 的學生認為容器體積不會影響氣體壓力，實驗組則僅有 5.1%。

由以上理想氣體模型、氣體體積、影響氣體壓力的因素三個概念學生答題情形的分析來看，實驗組學生經過理想氣體模型的投影片(視覺混合模型)以及氣體粒子模型教具(具體混合模型)的多重表徵的模型教學活動後，已有四分之三的學生具有理想氣體粒子模型的概念，近一半的學生對於密閉容器內影響氣體的因素具有科學模式。控制組學生則有 67.5% 的學生具有理想氣體粒子模型的概念，但是僅有二成的學生對於密閉容器內影響氣體的因素具有科學模式。顯示藉由視覺及動手操作教具並進一步探

討微觀粒子的交互作用，實驗組學生經過兩節課的教學後，明顯較控制組學生瞭解影響密閉容器內影響氣體壓力因素的微觀機制。相對的，控制組學生雖然經由傳統文本中文字與數學公式的說明，對於理想氣體粒子之間為彈性碰撞、分子之間無吸引力等仍存有迷思概念，甚至對於影響氣體壓力因素的微觀機制產生了許多另有想法。

表 4-4-3 兩組學生對於理想氣體模式、氣體體積、影響氣體壓力的因素答題分析

子概念	解釋原因	實驗組(%)	控制組(%)
理想氣體粒子模型	科學模式	74.4	67.5
	理想氣體分子本身體積不為零	17.9	2.5
	分子碰撞時不為彈性碰撞	7.7	17.5
	理想氣體分子之間有吸引力	0.0	12.5
同溫、同壓、同分子數目時，兩種氣體的氣球體積大小	兩種氣球體積一樣大(科學)	64.1	75.0
	氧氣球體積較大	28.2	17.5
	氫氣球體積較大	5.1	7.5
	不一定	2.6	0.0
相同分子數時，影響氣體壓力的因素	科學模式(溫度 T 、容器體積 V)	46.1	20.0
	活性+ T 、 V	15.4	5.0
	引力+ T 、 V	0.0	22.5
	分子量+ T 、 V	10.3	17.5
	分子大小+ T 、 V	12.8	0.0
	雙模式+ T 、 V	10.3	12.5
	分子量或分子大小+ T	5.1	2.5
	混合模式(三種以上)+ T	0.0	15.0
	其他	0.0	5.0

兩組學生對於「在一定體積的密閉容器中，升高溫度後，則下列那一些變化是正確的？」的答題分析整理如下表 4-4-4。從分析表格來看，實驗組經過理想氣體粒子模型的投影片(視覺混合)、粒子運動模型(具體混合)、及動手做實驗兩堂課的教學之後，對於「定容下，升高溫度對氣體的影響」的微觀解釋理由具有科學模式已經達到 59.0%；有 23.1%的學生誤認一定體積容器加熱時，粒子距離變大；有 15.4%的學生誤認氣體粒子體積遇熱膨脹；2.6%的學生則認為氣體的動能不變。實驗組學生有四成的學生在經過兩節教學後對於定容下，升高溫度對氣體的影響存有一種迷思概念。

然而控制組學生僅有 22.5%為科學模式，除了有 52.5%的學生有一種迷思概念，還有 20.0%擁有兩種迷思概念，甚至有 5.0%同時存有三種迷思概念。控制組學生經過兩節課傳統文本(文字、數學公式、關係圖)教學後，有高達 62.5%的學生誤認一定體積容器加熱時，粒子距離變大；25.0%的學生誤認氣體粒子體積遇熱膨脹；15.0%學生認為粒子受熱分布在上；5.0%的學生則認為氣體的動能不變。

表 4-4-4 兩組學生對於「定容下，升高溫度對密閉容器內氣體的影響」答題分析
(表格中的解釋原因為兩組學生的迷思概念)

解釋原因	實驗組(%)	解釋原因	控制組(%)
科學模式	59.0	科學模式	22.5
粒子距離變大	23.1	粒子距離變大	40.0
粒子體積遇熱膨脹	15.4	粒子體積遇熱膨脹	10.0
動能不變	2.6	粒子受熱分布在上	2.5
		粒子距離變大, 粒子體積遇熱膨脹	10.0
		粒子距離變大, 受熱分布在上	7.5
		粒子距離變大, 動能不變	2.5
		距離變大, 受熱分布在上, 粒子膨脹	2.5
		受熱分布在上, 粒子膨脹, 動能不變	2.5

兩組學生對於「同溫下，將密閉容器體積壓縮成原有的一半，則下列那一些變化是正確的？」的答題分析整理如下表 4-4-5。從分析表格來看，實驗組有近一半的學生選擇了粒子彼此碰撞機會變大而使氣壓增加，測驗後師生進行試題檢討時，大部分的學生表示瞭解壓力的成因是粒子撞擊容器壁，並未注意到「粒子彼此碰撞」的敘述。實驗組有 35.9% 的學生(控制組高達 67.5%)認為壓縮體積後氣體粒子速率變快，學生會造成這類型的迷思概念主要是學生認為氣壓變大是因為體積壓縮後粒子速率變快而導致碰撞容器壁的頻率變多而使得氣體壓力變大。此外控制組有 10.0% 的學生認為體積壓縮後氣體粒子體積會變小，有 5.0% 的學生認為氣體粒子會沉降在容器的下方。

我們從兩組的答題分析中可以了解到學生對於定溫下，壓縮體積對密閉容器內氣體粒子的微觀交互作用並不是十分清楚，因此科學教師在教導理想氣體相關概念時，應特別釐清學生的關於壓力成因與粒子運動速率的迷思概念，幫助學生建立正確的微觀機制。

表 4-4-5 兩組學生對於「定溫下，壓縮體積對密閉容器內氣體的影響」答題分析
(表格中的解釋原因為兩組學生的迷思概念)

解釋原因	實驗組(%)	解釋原因	控制組(%)
科學模式	7.7	科學模式	2.5
粒子彼此碰撞機會變大而使氣壓增加	46.5	粒子彼此碰撞機會變大而使氣壓增加	25.0
粒子速率變快	15.4	粒子沉降在下	2.5
粒子彼此碰撞機會變大＋速率變快	20.5	粒子彼此碰撞機會變大＋速率變快	57.5
粒子彼此碰撞機會變大＋粒子之間距離不變	5.1	粒子彼此碰撞機會變大＋粒子體積壓縮變小	2.5
粒子彼此碰撞機會變大＋粒子體積壓縮變小	5.1	速率變快＋粒子沉降在下	2.5
		粒子彼此碰撞機會變大＋速率變快＋粒子體積變小	7.5

兩組學生對於「將氣球放在乾冰的燒杯中一小段時間後，則下列那一些變化是正確的？」的答題分析整理如下表 4-4-6。從分析表格來看，實驗組有 84.6%(控制組：82.5%)的學生認為定壓下，降溫一段時間後對密閉氣球內氣體粒子速率變慢而使氣球內壓力變小，主要是學生無法確定一段時間後是否達到平衡的狀態，而是誤認成降溫的最初時，所以試題應修改成「降溫一段時間並達成平衡後」，可以減少學生對於試題的條件及狀況的誤解。兩組學生對於降溫對於密閉氣球內氣體粒子的影響所具有的迷思概念最大不同之處在於有 27.5%的控制組學生認為氣體粒子會因動能不足而部分粒子呈現靜止狀態，這部分也呼應同一份動態評量中有三成的控制組學生認為理想氣體分子碰撞時不為彈性碰撞(缺乏剛性粒子的概念)或是認為理想氣體分子之間有吸引力。相對的，實驗組僅有 2.6%的學生認為降溫時氣體粒子會因動能不足而部分粒子呈現靜止狀態。

表 4-4-6 兩組學生對於「定壓下，降溫一段時間後對密閉氣球內氣體的影響」答題分析
(表格中的解釋原因為兩組學生的迷思概念)

解釋原因	實驗組(%)	解釋原因	控制組(%)
科學模式	10.3	科學模式	7.5
氣體粒子速率變慢而使氣球內壓力變小	41.0	氣體粒子速率變慢而使氣球內壓力變小	37.5
粒子遇冷縮	2.6	距離不變	5.0
氣球體積不會變	2.6	動能不足而部分靜止	2.5
壓力變小, 距離不變	28.2	壓力變小、距離不變	7.5
壓力變小、粒子遇冷縮	5.1	壓力變小、粒子遇冷縮	5.0
壓力變小, 距離不變、動能不足而部分靜止	2.6	壓力變小、動能不足而部分靜止	17.5
壓力變小、距離不變、氣球體積不變	7.7	壓力變小、氣球體積不變	7.5
		氣球體積不變、粒子遇冷縮	2.5
		壓力變小、距離不變、氣球體積不變、動能不足而部分靜止, 粒子遇冷收縮	7.5

(二) 比較兩組學生在動態評量二的答題情形

動態評量二主要是分析兩組學生在理想氣體方程式及波以耳、查理及亞佛加厥三大定律的應用，由於兩組在動態評量二的得分方面並無顯著差異，因此只有分析兩組學生在文字與關係圖的多重表徵的轉換能力以及「在波以耳定律的關係式： $PV=K$ ， K 為一常數，其 K 的數值受哪些因素影響？」兩方面答題表現有何不同。

在「一定量的氧，一定量的氧，在 2atm 下，由 30°C 上升至 100°C，而後溫度維持在 100°C，使壓力下降，下列圖形何者正確？」的題目中，兩組學生將文字轉換成關係圖的表現：有 94.9% 的實驗組學生能將文字的敘述正確轉換成關係圖，錯誤的學生僅有 5.1%。控制組學生有 64.1% 答題正確，而有 35.9% 的學生將文字的敘述轉換成錯誤的關係圖。分析結果顯示經過四節課的不同教學之後，兩組學生在多重表徵的轉換的答題表現上的確有明顯的差異。

兩組學生對於「在波以耳定律的關係式： $PV=K$ ， K 為一常數，其 K 的數值受哪些因素影響？」的答題表現分析結果如表 4-4-7。實驗組學生完全正確(科學模式)為 56.4%、控制組則為 0.0%，兩組的正確性差異性非常大。實驗組學生的主要迷思概念是有 41.0% 誤認容器體積會影響 K 值，是因為學生常常忘記波以耳定律的應用條件為定溫、量氣體，因此近四成的實驗組學生會誤認壓力/容器體積會影響 K 值。此外有 15.4% 認為分子數目不會影響 K 值，有 10.2% 認為溫度不會影響 K 值，有 5.1% 誤認分子量會影響 K 值。

控制組學生則有 51.2% 誤認容器體積會影響 K 值，與實驗組學生答題最大不同之處是有 51.2% 的學生誤認為分子量會影響 K 值(實驗組僅有 5.1%)、28.3% 學生誤認為分子體積會影響 K 值(實驗組則完全沒有)。此外有高達 64.1% 的控制組學生認為分子數目不會影響 K 值，有 10.2% 認為溫度不會影響 K 值。

從以上分析結果指出：經過四節課教學之後，兩組學生在理想氣體方程式及波以耳、查理及亞佛加厥三大定律的公式應用及計算上雖然沒有達到顯著差異，但是在多重表徵的轉換的表現上以及對於波以耳定律的應用條件、原理的理解方面，實驗組顯著優於控制組。

表 4-4-7 兩組學生對於「波以耳定律關係式中 K 值的影響因素」的答題表現分析

解釋原因	實驗組(%)	解釋原因	控制組(%)
分子數目(N)、溫度(T) (科學模式)	56.4	分子數目(N)、溫度(T) (科學模式)	0.0
容器體積+N、T	23.1	容器體積+N、T	7.7
容器體積+T	5.1	分子量(M)+N、T	15.4
容器體積+N	5.1	分子體積(V_m)+N、T	7.7
分子量(M)+T	2.6	分子量(M)+T	15.4
容器體積	5.1	容器體積+T	12.8
容器體積、M+T	2.6	分子體積(V_m)+T	7.7
		容器體積、M+N、T	5.1
		容器體積、 M/V_m +T	15.4
		容器體積、 M/V_m +N	5.1
		$M、V_m$ +T	2.6
		容器體積、 M/V_m	5.1

(三) 比較兩組學生在動態評量三的答題情形

動態評量三主要是分析兩組學生在理想氣體方程式及波以耳、查理及亞佛加厥三大定律的應用，再增加道耳吞分壓定律及蒸氣壓的相關概念。主要就三方面進行分析兩組答題表現的差異：「在查理定律的關係式： $V=KT$ ，K 為一常數，其數值受哪些因素影響？」、「影響蒸氣壓大小的因素為何？」以及非選擇題中學生在理想氣體相關定律公式應用的表現。

首先探討兩組學生在非選擇題中應用相關定律公式的計算能力是否有顯著的差異，由於分析學生計算的情形較為複雜，研究者分類答題的情形為：全部答對、答對一半以上、部分答對、全部答錯四種情形來分析兩組計算能力在六節課教學之後是否

達明顯的差異，分析結果如表 4-4-8 及圖 4-4-1。實驗組學生答對一半以上及全對的學生高達 97.4%，控制組答對一半以上及全對的學生為 60.0%，分析結果顯示實驗組教學中導引練習語文、數學公式及關係圖之間的轉換以及練習理想氣體方程式及波以耳、查理定律等數學公式的數學混合模型的教學是十分有效的。

表 4-4-8 兩組學生在計算題答題表現的比較

計算題答題情形	實驗組(%)	控制組(%)
全部答錯	0.0	25.0
部分答對	2.6	15.0
答對一半以上	23.7	15.0
全部正確	73.7	45.0

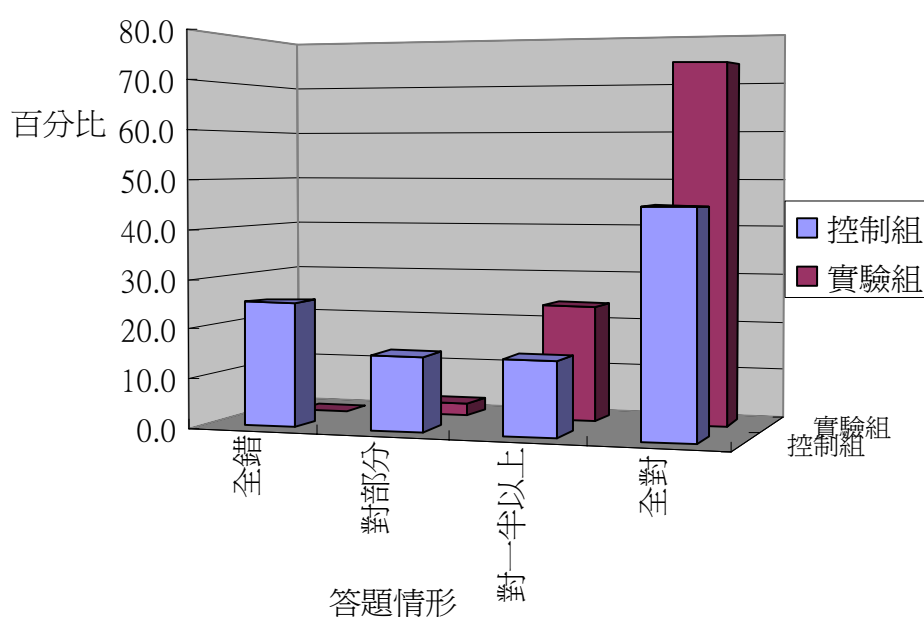


圖 4-4-1 兩組學生在動態評量三計算題答題表現的比較

兩組學生對於「在查理定律的關係式： $V=KT$ ， K 為一常數，其數值受哪些因素影響？」的答題表現分析結果如表 4-4-9。實驗組學生完全正確(科學模式)為 36.8%，控制組僅有 10.0%，兩組學生都有不少的比例(實驗組：60.5%、控制組：70.0%)認為溫度會影響查理定律的關係式中的 K 值。此外兩組最大的差異在於實驗組學生僅

10.5%誤認分子量會影響 K 值，而控制組學生則有超過一半以上認為分子量會影響 K 值，同時有近三分之一的學生誤認為分子體積影響 K 值。分析結果顯示學生在使用查理定律時，其實對於定律的限制條件及推導的過程並不是非常的瞭解。

表 4-4-9 兩組學生對於「查理定律關係式中 K 值的影響因素」的答題表現分析

解釋原因	實驗組(%)	解釋原因	控制組(%)
科學模式(N、P)	36.8	科學模式(N、P)	10.0
N、T	39.5	N/M、T	15.0
T	7.9	$V_{分}$ 、T	22.5
M、N、T	7.9	M/T、P	17.5
N、T、P	2.6	M、N、T/P	10.0
M、V、N	2.6	M、 $V_{分}$ 、P	5.0
V、T	2.6	M、N/ $V_{分}$ 、T、P	10.0
		其他	10.0

註：分子數目(N)、壓力(P)、溫度(T)、分子量(M)、容器體積(V)、分子體積($V_{分}$)

兩組學生對於「影響蒸氣壓大小的因素為何?」的答題表現分析結果如表 4-4-10。實驗組學生完全正確(科學模式)為 76.3%，控制組科學模式僅有 2.5%，兩組答題情形差異性非常顯著。實驗組學生的迷思概念主要是 13.2%的學生認為容器體積及 7.9%的學生認為分子量會影響蒸氣壓大小。控制組學生的迷思概念則是多樣性的，主要是 52.5%的學生認為分子量、40.0%認為容器體積及 27.5%的學生誤認為分子大小會影響蒸氣壓大小，部分的學生同時擁有兩種以上的迷思概念。分析結果顯示：實驗組學生經過電腦動畫教學後，有近四分之三的學生能夠瞭解影響蒸氣壓的因素為溫度及分子之間的引力，顯示電腦動畫配合教師以語言詳細解釋動畫所代表的意涵，藉由不同的表徵的互補的作用，讓學生們能夠將日常生活中看到的巨觀現象，和電腦動畫中所呈現的微觀本質及過程作連結。當學生能夠自由轉化不同的表徵，可以不同的向度

來呈現知識的完整風貌，達到整合知識層次的有意義的學習(Mayer, 2001)。而傳統文本教學中僅以文字及數學公式(道耳吞分壓定律)說明收集氣體時，容器內的總壓包含蒸氣壓及某氣體的分壓，學生很難理解蒸氣壓是如何形成的及飽和蒸氣壓大小受哪些因素影響的，無法自由轉化不同的表徵，因而無法達到整合知識層次的深層理解，因而產生多樣性的迷思概念。

表 4-4-10 兩組學生對於「蒸氣壓大小的影響因素」的答題表現分析

解釋原因	實驗組(%)	解釋原因	控制組(%)
科學模式(T、I)	76.3	科學模式(T、I)	2.5
V、T、I	5.3	M/ V、T、I	15.0
A/M、T、I	5.3	V _分 、T、I	5.0
A/M、V、T	5.3	M、T	27.5
V、T	2.6	V/ V _分 、T	10.0
M、I	2.6	V、V _分 、T	7.5
T	2.6	T	7.5
		A/M、V、T	5.0
		M、V、V _分 、T	10.0
		其他	10.0

註：溫度(T)、分子間引力(I)、活性(A)、分子量(M)、容器體積(V)、分子體積(V_分)、

(四) 比較兩組學生在動態評量四、五的答題情形

動態評量四、五則分別在教學後及教學五週後進行測驗，兩次測驗的內容相近，主要是以兩組學生在氣體本質、理想氣體模型、壓力的成因、影響氣體壓力的因素等面向來探討學生答題表現有何不同，將兩組學生的答題分析合併分析並將結果整理如表 4-4-11。

表 4-4-11 兩組學生在動態評量四、五的答題情形的比較

子概念	解釋原因	動態評量四		動態評量五	
		實驗組(%)	控制組(%)	實驗組(%)	控制組(%)
氣體本質觀	連續觀—整體	0.0	15.0	7.7	10.0
	粒子觀—整齊分布	0.0	2.5	0.0	0.0
	粒子觀—堆疊緊密	0.0	7.5	2.6	5.0
	粒子觀—隨機分布	100.0	75.0	89.7	85.0
氣體之間的 空隙	未作答	0.0	5.0	0.0	5.0
	電子	0.0	10.0	0.0	2.5
	氣體粒子	0.0	12.5	0.0	12.5
	分子之間引力	5.1	62.5	0.0	15.0
	真空(科學模式)	94.9	10.0	100.0	65.0
理想氣體粒 子模型	分子體積不為零	5.1	0.0	2.6	2.5
	分子之間有吸引力	2.6	0.0	2.6	12.5
	不為彈性碰撞	7.7	52.5	10.3	30.0
	科學模式	84.6	47.5	84.6	52.5
壓力成因	混合	0.0	27.5	0.0	15.0
	雙模式	7.7	55.0	7.7	35.0
	外壓	0.0	12.5	0.0	35.0
	粒子擠壓	7.7	0.0	7.7	0.0
	粒子互撞	0.0	0.0	2.6	5.0
	科學模式	84.6	2.5	82.1	10.0

兩組學生在氣體本質的概念上，經教學後實驗組學生 100.0% 是粒子觀—隨機分布，在動態評量五的測驗中有近一成的學生產生了概念回歸的情形，其中 7.7% 的學生選擇了連續觀的圖形，經師生檢討試題時，研究者瞭解到學生認為氣體粒子極小，密佈在容器之中，所以選擇了像乳液狀的圖形，並不是學生真的認為氣體是整體的連續狀。控制組經教學後有 75.0% 的學生擁有粒子觀—隨機分布的科學模式，在動態評量五的測驗中進一步增加至 85.0%，顯示出雖然控制組學生沒有觀察過粒子運動模型，仍能由傳統文本的文字敘述中建立正確的氣體本質的粒子觀及隨機分布的概念。換言之，理想氣體的概念雖然是抽象的而且不易在日常生活中直接觀察到，但經過不斷的學習相關氣體的概念後，學生對於氣體本質是粒子觀及隨機分布的概念相較於其他理想氣體概念是比較容易因學習而產生概念改變的，而且一但形成科學模式後較不容易回歸成原有錯誤的想法。

對於「氣體空隙之間充滿著什麼？」的概念，經教學後實驗組有 94.9% 的學生認為氣體空隙之間是真空的，有 5.1% 的學生認為氣體空隙之間是存在著分子之間的引力。控制組有 10.0% 的學生認為氣體空隙之間是真空的，有 62.5% 的學生認為氣體空隙之間是存在著分子之間的引力，有 12.5% 的學生認為是充滿著其他氣體粒子，有 10.0% 的學生則認為是電子充滿著氣體空隙之間。控制組的答題情形與 Novick & Nussbaum(1981) 研究中發現學生最難理解氣體的粒子間存在真空的狀態，學生偏向以巨觀世界的觀察來類比氣體的粒子之間是充滿著灰塵、細菌、其他的氣體等的研究結果是一致的。而在動態評量五的答題表現上，100.0% 實驗組的學生認為氣體空隙之間是真空的，控制組則進步至 65.0% 的學生認為氣體空隙之間是真空的，存在著分子之間的引力的想法則大幅銳減至 15.0%。

為何兩組學生在此概念的答題差異性如此明顯呢？最主要的原因是實驗組在第一節課的理想氣體模型的教學中，學習單中有明確探討到氣體空隙之間是真空的，而控制組的傳統文本中並未提及此概念，我們可以從之前的分析瞭解到大部分的控制組學生認為理想氣體粒子之間是存有引力的，這類型的想法一直深深的影響到學生對於理想氣體相關概念的微觀解釋。此外為何控制組學生在動態評量五的答題正確性大幅度

的躍升呢？主要因素是測驗後進行試卷檢討時，對於此概念學生提出問題，而教師予以詳細解答及討論後，近一半的學生修正其原有的錯誤想法，而使擁有科學解釋的學生比例大幅度的增加。

在理想氣體粒子模型的概念方面，兩組答題的差異性也非常顯著，實驗組學生有高達 84.9% 為科學模式，僅有近一成的學生誤認為氣體粒子碰撞不為彈性碰撞。控制組學生則只有近一半的學生為科學模式，控制組學生的迷思概念主要集中在氣體粒子碰撞不為彈性碰撞以及分子之間有吸引力。

在壓力成因方面，實驗組有超過八成以上的學生屬於科學模式，粒子互相擠壓及雙模式(主要是外壓+粒子撞擊容器壁)各為 7.7%，顯示學生一但理解壓力的成因後，就能夠穩定維持科學的概念。相對的，控制組即使經過八節課傳統文本的教學後，教材及教學活動中並沒有持續而深入論及壓力的成因，因此對於壓力的成因的迷思概念非常難以改變，雙模式(主要是外壓+粒子撞擊容器壁)與混合模式高達八成以上。但隨著學生不斷練習後，屬於雙模式與混合模式在動態評量五中下降至 50.0%，但是外壓模式卻由 12.5% 上升至 35.0%，顯示控制組學生因為缺乏視覺模型及動態表徵的刺激，而難以建立正確的微觀機制，一部分學生經過一段時間後又回歸到最初的外壓模式。

(五) 比較兩組學生在本質測驗與一系列動態評量概念的演變情形

這部分主要針對氣體粒子是否會熱脹冷縮、氣體本質觀、理想氣體模型、氣體壓力成因與影響因素等五個面向來探討兩組學生在本質測驗與一系列動態評量概念的演變情形(圖 4-4-2 至圖 4-4-10)。

對於氣體粒子不會熱脹冷縮的概念，在教學前兩組學生接近一半的學生已具有正確概念。經教學二節課後(動態評量一)，兩組學生具有正確概念的比例大幅度提升(實驗組:51.3→84.6%；控制組:47.5→75.0%)，顯示教學能夠有效增進學生對於氣體粒子體積並不會熱脹冷縮的概念。經教學六節課後(動態評量三)，實驗組具有正確概念的學生持續增加至 97.4%，但控制組卻維持在 72.5%，這種情形一直維持到八節課教學後(動態評量四)及教學完成後的五週(動態評量五)。我們從一系列動態評量的分析結果瞭解到：實驗組教學活動中所使用的視覺混合及具體混合模型所呈現的多重表徵有效幫助學生建立氣體粒子不會熱脹冷縮的科學概念，而且教師在後續的教學中不斷的評量—介入—評量，持續幫助學生修正及精緻化原有的概念，有效提升學生認知發展的潛能；控制組學生經過傳統文本的語言及文字表徵的教學後，雖然也有即時的教學成效，但在後續的認知發展上卻呈現停滯的現象，除了傳統文本缺乏視覺化及動態表徵等刺激之外，控制組在測驗之後僅做試卷的檢討並未進行教材及教學活動的即時修正，以及缺乏師生、生生互動的情境脈絡，這兩項因素也會影響控制組學生無法持續發展氣體粒子不會熱脹冷縮的科學概念。

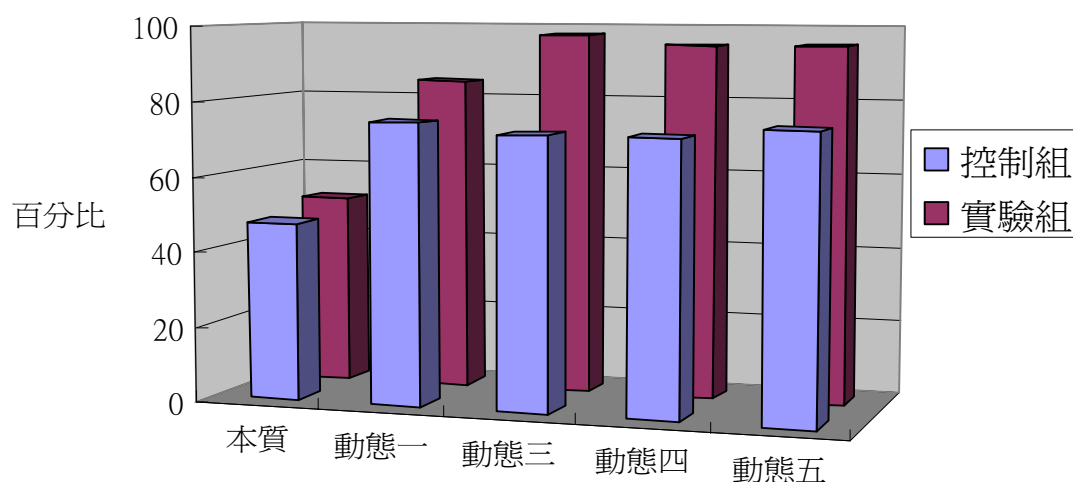


圖 4-4-2 兩組學生在本質測驗與動態評量中擁有粒子非熱脹冷縮概念的演變情形

對於氣體本質觀的概念演變上，對於氣體本質觀的概念演變上，實驗組在教學後粒子-隨機分布達到 100%，在動態評量五稍有概念回歸的現象，控制組正確的粒子觀則呈現持續成長，兩組僅在動態評量四有顯著的差異。然而兩組在理想氣體模型的概念演變上呈現明顯的不同，控制組在動態評量一原有 67.5% 的學生具有正確的理想氣體模型的概念，但在教學後反而演變成有近一半的學生誤認粒子碰撞不為彈性碰撞或分子之間有引力，反觀實驗組擁有正確概念的學生持續成長，在教學後已達九成學生具有正確的理想氣體模型的概念。

兩組學生在本質測驗與一系列動態評量概念的演變情形最大的不同在於壓力成因與影響氣壓因素兩方面，在本質測驗中兩組屬於外壓模式的學生皆在一半以上，但教學後實驗組演變成 84.6% 的學生是科學模式，即是教學後五週科學模式仍能維持 82.1%；控制組在教學後則演變成 55.0% 是雙模式（其中有 40.0% 是外壓 + 科學模式）、27.5% 是混合模式、12.5% 仍保持外壓模式，教學後五週有 22.5% 的雙模式回歸成外壓模式，因此外壓模式在動態評量五中上升至 35.0% 與雙模式（其中有 20.0% 是外壓 + 科學模式）並列成主要模式。我們從控制組在壓力成因概念的演變過程可以了解到：由於缺乏探討微觀理由的教學活動，控制組學生難以移除外壓模式的迷思概念。

在影響氣壓因素概念的演變過程，實驗組經過八節課教學後認為分子種類（分子量/分子大小/活性）會影響氣壓的迷思概念大幅度減少，逐漸演變成科學/科瑕模式（兩種總合佔八成以上）。控制組在影響氣壓因素概念的演變上非常不理想，不僅科學模式未增加，反而分子量/分子大小會影響壓力的迷思概念一直無法移除，教學後仍有高達六成以上的學生誤認分子種類會影響氣壓大小。

我們可以從實驗組本質測驗與一系列動態評量中概念的演變過程中觀察到：本研究採用漸進提示的動態評量的目的是將教學與評量結合，評量的內容主要在於微觀機制的推理與解釋，在評量後立即將評量結果回饋給學生，不僅可以動態的瞭解學生學習的情形、持續的認知發展，也可以從動態的評量中進一步瞭解教學方法或教材應修正或補充的面向，進行即時的師生互動。當學生在動態評量中不斷訓練使用陳述性及程序性的知識，精熟個人的實用性、批判性思考技能，訓練將新訊息與舊知識比較後

記錄下來並進一步將有關的訊息連結起來，學生對於理想氣體相關概念便能逐漸接近融貫且正確的科學模式。

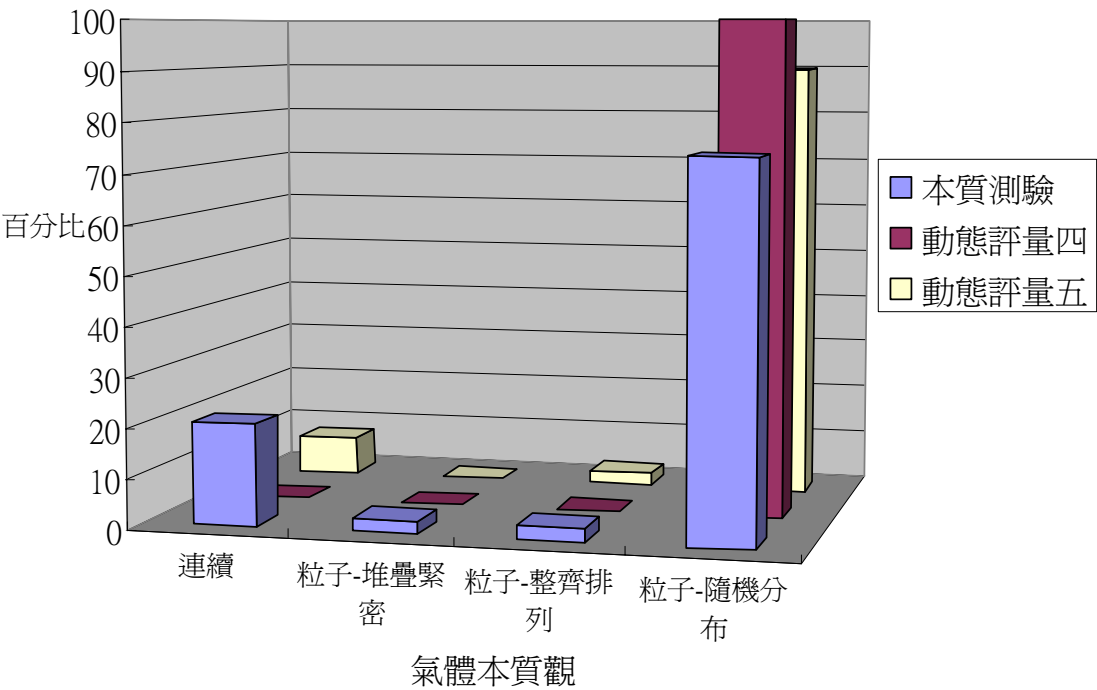


圖 4-4-3 實驗組在本質測驗與動態評量中氣體本質觀演變的情形

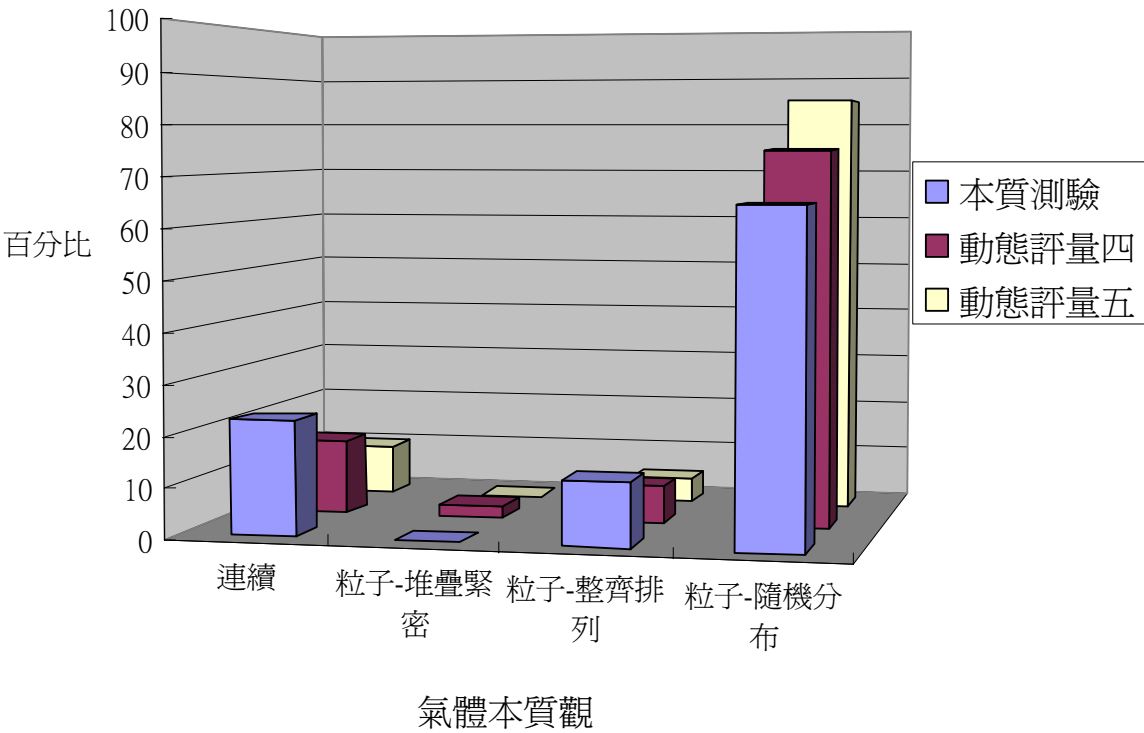


圖 4-4-4 控制組在本質測驗與動態評量中氣體本質觀演變的情形

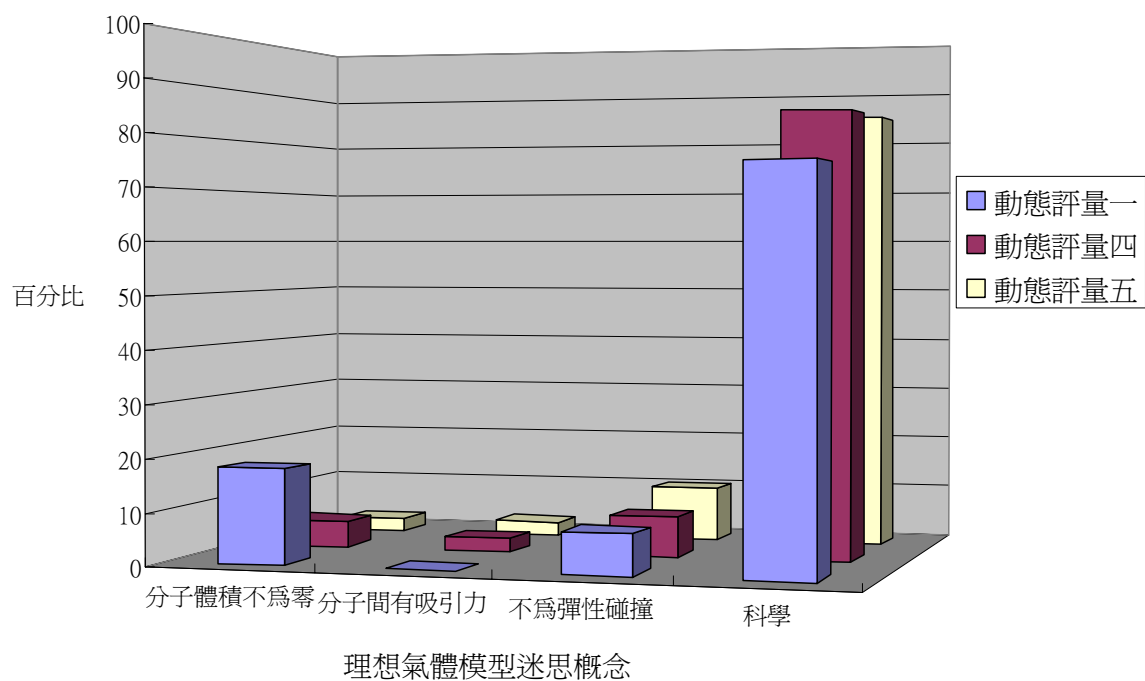


圖 4-4-5 實驗組在本質測驗與動態評量中理想氣體模型概念演變的情形

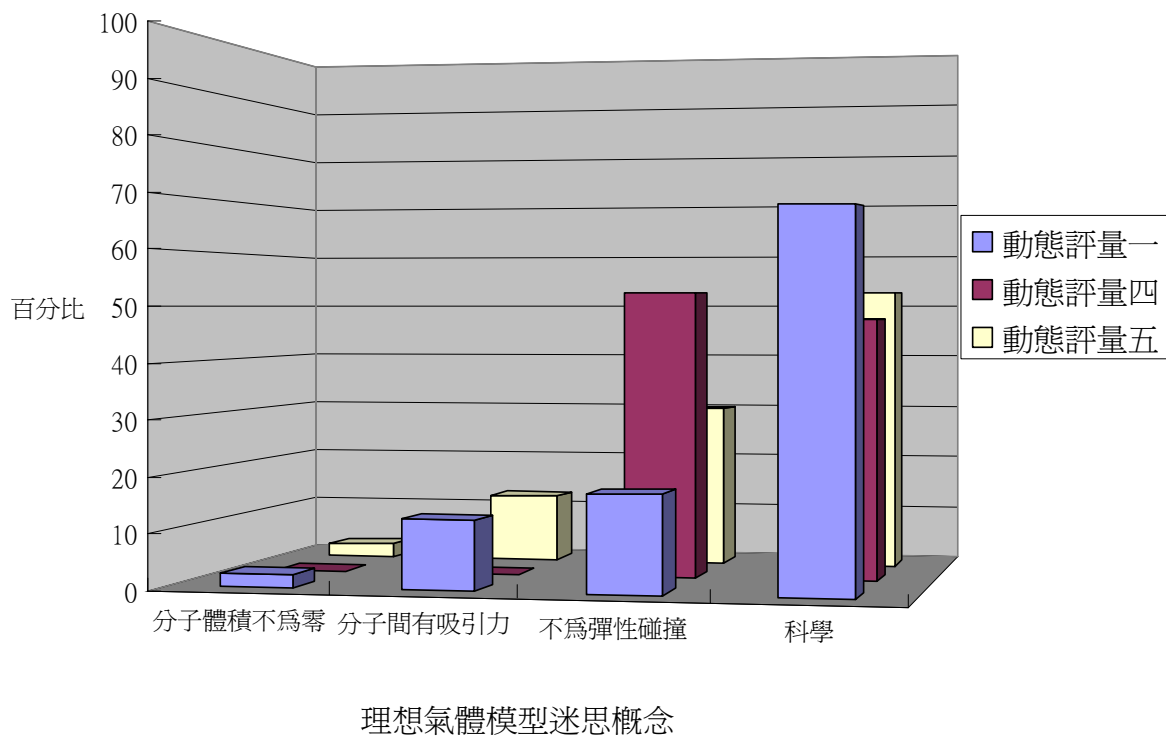


圖 4-4-6 控制組在本質測驗與動態評量中理想氣體模型概念演變的情形

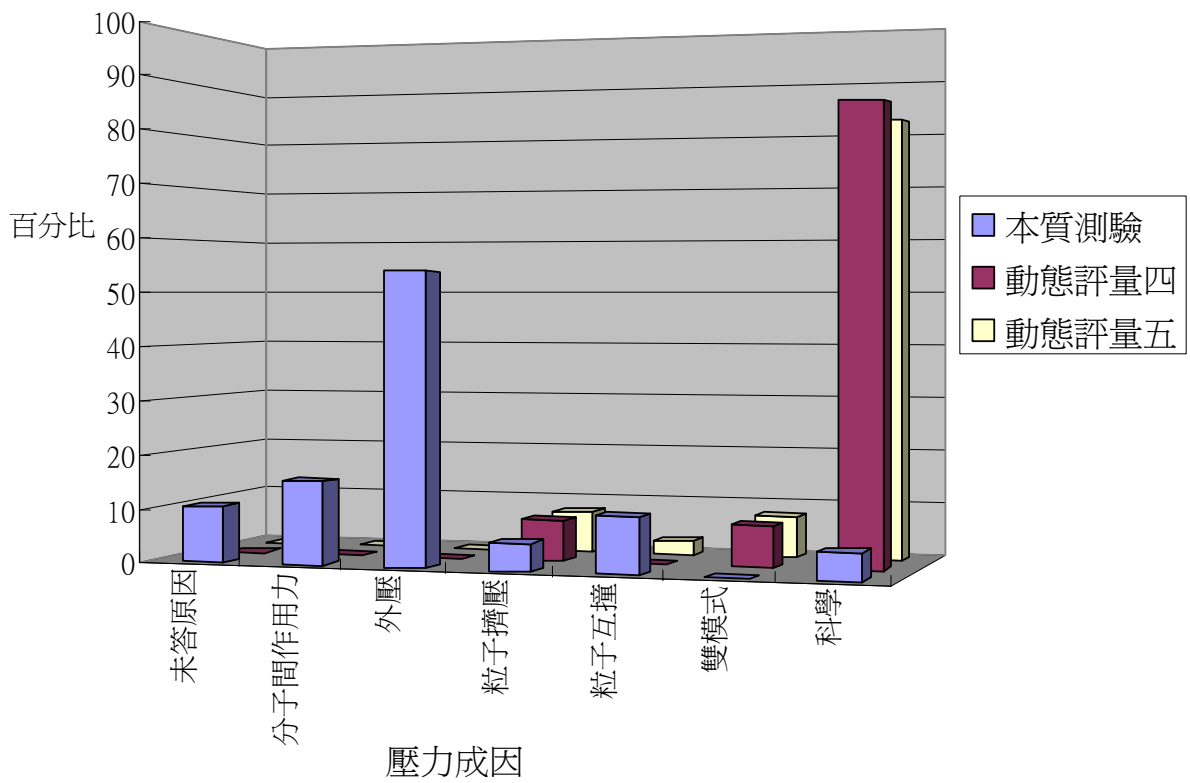


圖 4-4-7 實驗組在本質測驗與動態評量中氣體壓力成因概念演變的情形

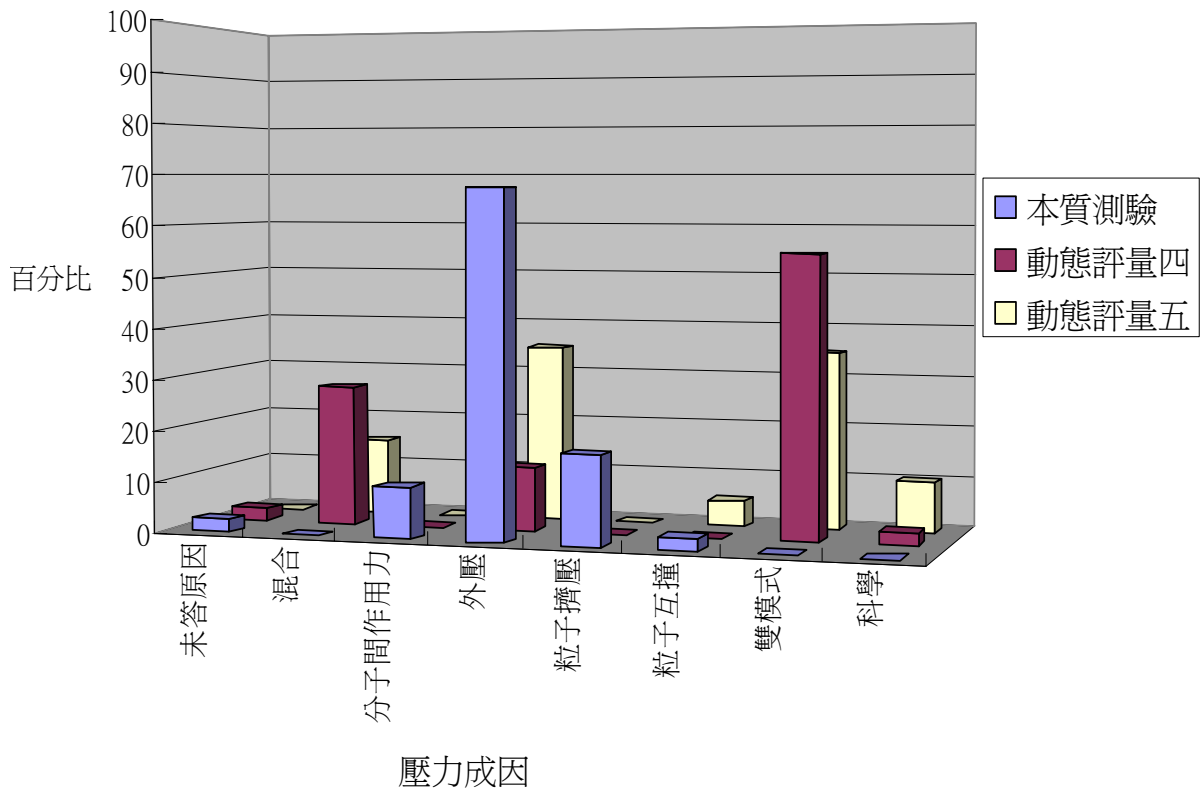


圖 4-4-8 控制組在本質測驗與動態評量中氣體壓力成因概念演變的情形

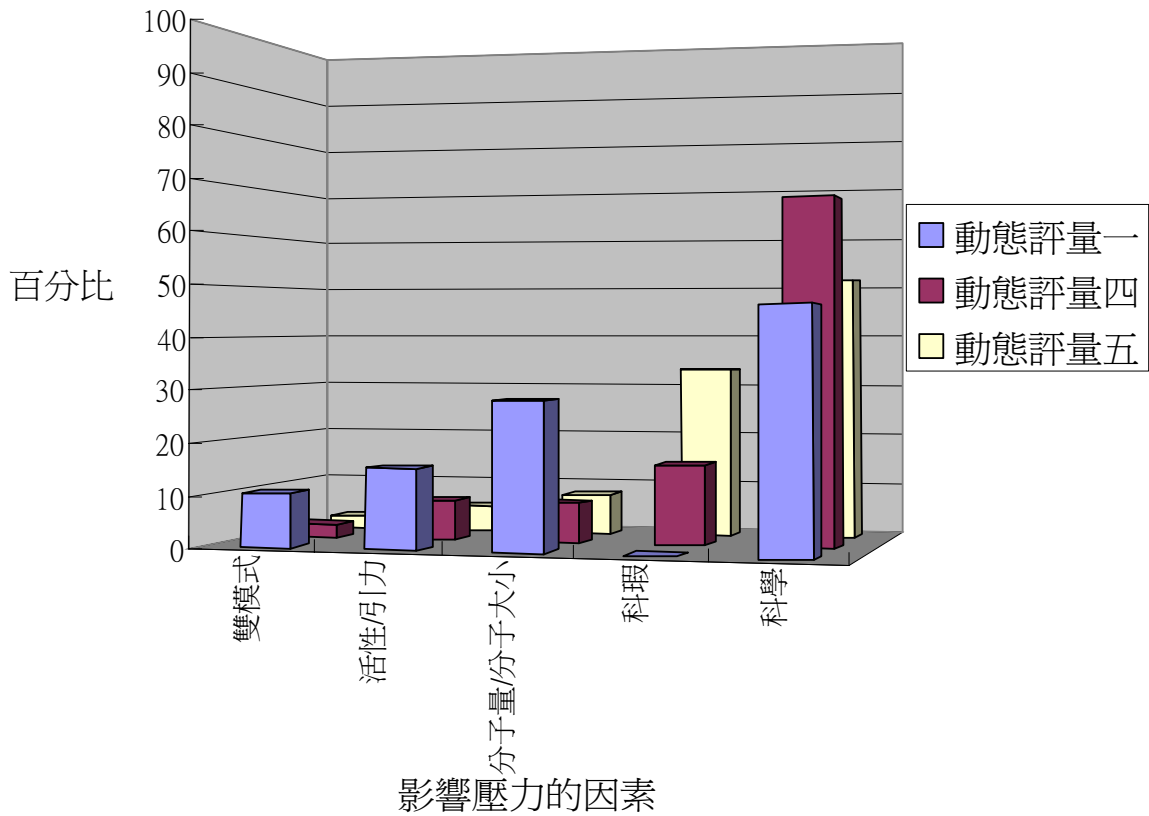


圖 4-4-9 實驗組在本質測驗與動態評量中氣體壓力影響因素概念演變的情形

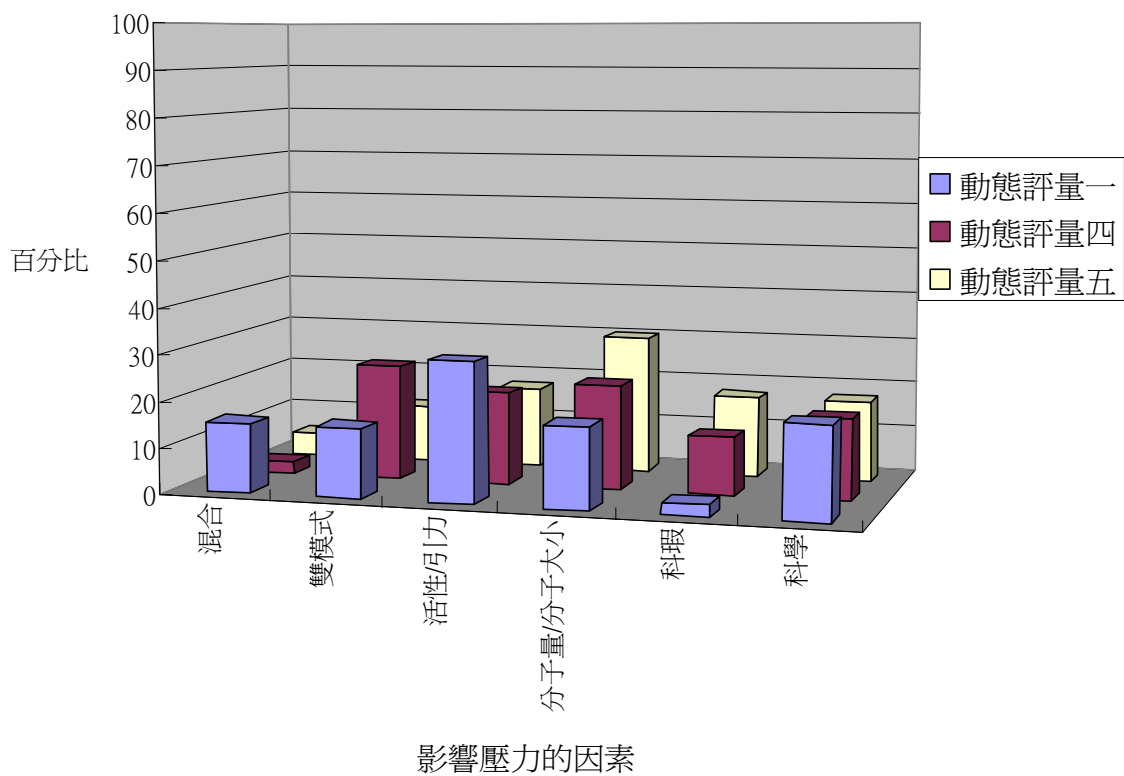


圖 4-4-10 控制組在本質測驗與動態評量中氣體壓力影響因素概念演變的情形

三、兩組學生在本質測驗與一系列動態評量中本體演變的情形

此部分是分析兩組學生在本質測驗與一系列動態評量(一、四、五)共計四次測驗中本體類別的分布及演變的情形，以探討概念改變的難易程度。原本預計以 Chi 等人(1992, 1994, 2002, 2005)的本體分類的方式將學生對於理想氣體相關概念的本體分類為物質觀、直接過程以及突現過程等三大類別。但是部分學生的本體類別發展成物質與過程本體觀(或直接與突現過程)兼而有之，因此多增加兩種過渡型的類別：物質過渡到過程、直接過渡到突現過程。本研究分析本體類別的判準方式如表 4-4-12，分別根據氣體本質觀、氣體壓力成因與影響因素、理想氣體模型等四個面向來分類兩組學生的本體類別。

表 4-4-12 本體類別的判準方式

粒子/ 連續觀	氣體壓力的成因	影響壓力因素	理想氣體模型	本體類別
粒子-隨機分布	快速運動的氣體粒子不斷撞擊容器壁/粒子互撞	N, T, V(科學)或科瑕	科學模式	突現過程
粒子-隨機分布	外壓+氣體粒子互相撞擊/粒子不斷撞擊容器壁	N, T, V(科學)或科瑕	科學模式	直接過渡到突現
粒子-隨機分布	砝碼重或大氣壓力所造成	科學或科瑕	分子之間有引力或不為彈性碰撞	直接過程
粒子-隨機/整齊	外壓+氣體粒子互相撞擊/粒子不斷撞擊容器壁	分子量/分子大小/活性	分子之間有引力或不為彈性碰撞	物質過渡到過程
粒子-整齊排列	外壓+氣體粒子互相撞擊且/或粒子撞擊容器壁	分子量/分子大小/活性	氣體粒子會熱脹冷縮	物質過渡到過程
粒子-緊密堆疊	外壓+氣體粒子互相擠壓且/或粒子撞擊容器壁	分子量/分子大小/活性	氣體粒子會熱脹冷縮	物質過渡到過程
粒子-整齊排列	氣體粒子互相擠壓	分子量/分子大小/活性	氣體粒子會熱脹冷縮	物質觀
粒子-緊密堆疊	氣體粒子互相擠壓	分子量/分子大小/活性	氣體粒子會熱脹冷縮	物質觀
連續-整體	氣體粒子互相擠壓	分子量/分子大小/活性	氣體粒子會熱脹冷縮	物質觀

註：N 為分子數目；T 為溫度；V 為容器體積

我們從表 4-4-13 可以觀察到兩組在教學前最主要的本體類別皆為物質觀，主要原因是兩組學生對於氣體粒子存有連續—整體的想法及/或誤認為氣體粒子會熱脹冷縮（非剛性粒子）。在動態評量一的測驗中，兩組學生屬於物質觀的比例皆大幅度的下降（實驗組：51.3→30.8%；控制組：70.0→45.0%），原因也在於教學後連續—整體觀大幅度減少，以及認為粒子會熱脹冷縮的百分比大幅度下降所致（實驗組：41.0→15.4%；控制組：35.0→25.0%）。為何兩組學生有近四成的學生仍停留在物質過渡到過程及直接過程兩大本體類別，主要是學生未能建立完整的剛性粒子的概念（粒子本身體積不會熱漲冷縮以及粒子之間為彈性碰撞），此外控制組學生一直未能建立理想氣體粒子之間是無吸引力以及粒子本身的性質（分子量/大小/活性）是不會影響氣體壓力的大小等科學概念，因此無法從物質觀直接跳躍至突現過程。

教學之後（動態評量四、五），兩組學生物質觀的百分比持續大幅度下降（實驗組：30.8→7.7→7.7%；控制組：45.0→15.0→2.5%），我們可以從之前動態評量概念演變的分析瞭解到實驗組近九成以上的學生已具有粒子—隨機分布及粒子體積不會熱脹冷縮的科學概念，而且大部分的學生已建立正確的剛性粒子的概念，因此突現過程的學生已躍升至為主要類別（58.9→71.8%）。相對的，控制組學生仍有近一半的學生無法建立完整而正確的剛性粒子及近九成的學生不瞭解壓力成因的科學概念，因此大部分的學生僅跨越至物質過渡到過程的類別（50.0→67.5%）。

表 4-4-13 兩組學生本體類別在本質測驗及動態評量的分布情形(表格內為%)

本體類別	本質測驗		動態評量一		動態評量四		動態評量五	
	實驗組	控制組	實驗組	控制組	實驗組	控制組	實驗組	控制組
物質觀	51.3	70.0	30.8	45.0	7.7	15.0	7.7	2.5
物質過渡到過程	20.5	7.5	23.1	27.5	12.8	50.0	15.4	67.5
直接過程	17.9	22.5	15.4	12.5	15.4	15.0	2.6	15.0
直接過渡到突現	2.6	0.0	0.0	2.5	5.1	15.0	0.0	10.0
突現過程	7.7	0.0	30.8	12.5	58.9	5.0	71.8	5.0

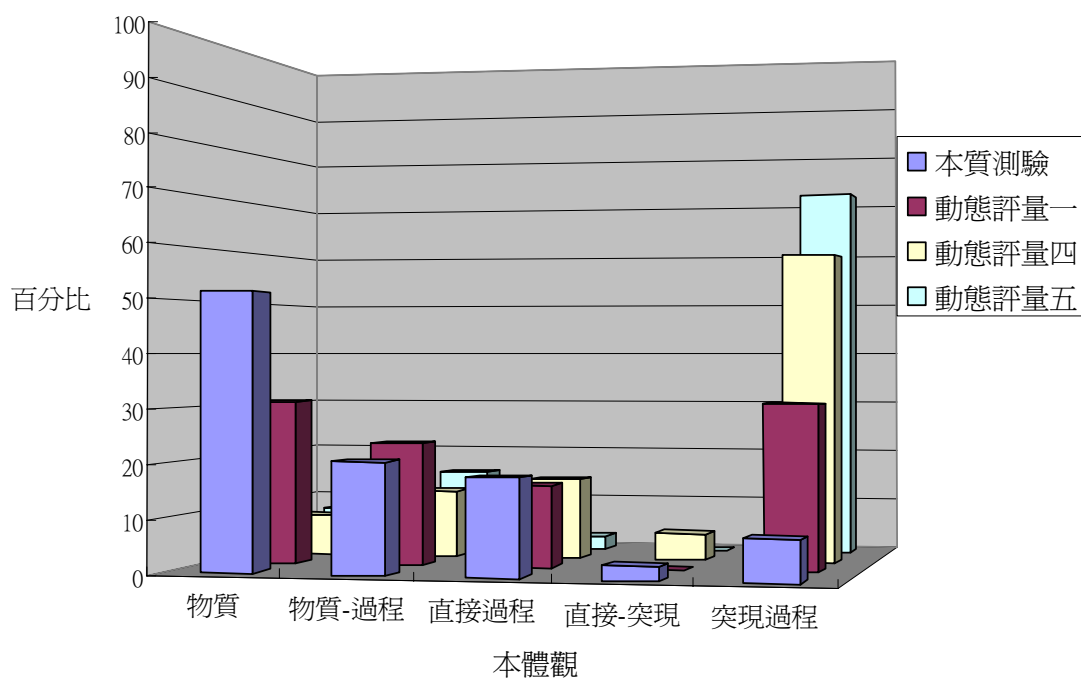


圖 4-4-11 實驗組在本質測驗與動態評量中本體觀概念演變的情形

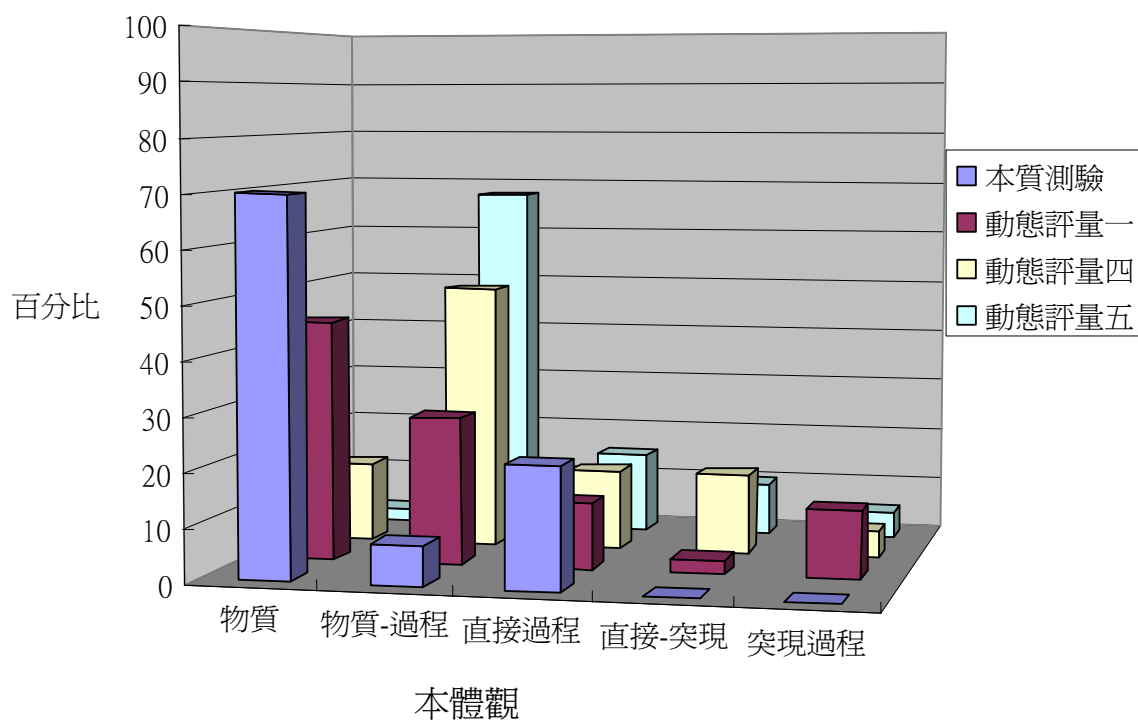


圖 4-4-12 控制組在本質測驗與動態評量中本體觀概念演變的情形

我們從圖 4-4-11 觀察到實驗組在本質測驗及動態評量中本體類別演變的情形，屬於物質觀的學生逐漸下降，屬於突現過程的學生大幅度的上升。反觀圖 4-4-12 控制組本體類別演變的情形，雖然屬於物質觀的學生也逐漸下降，但屬於突現過程的學生增加不多，反而是物質過渡到過程類別的學生逐次提升。研究者想進一步探究實驗組學生本體觀演變的過程究竟是由物質類別直接跨越至突現過程，或是自物質類別漸進式的演變至突現過程。

實驗組在本質測驗與動態評量中本體觀概念演變的途徑如圖 4-4-13，經過二節多重表徵的模型教學後，有 7.7% 的學生直接由物質類別直接跨越至突現過程，有 5.1% 物質過渡至過程類別、12.8% 直接過程、以及 2.6% 直接過渡到突現過程類別的同學跨越至突現過程。換言之，共計有 28.3% 的學生在最初的教學後即跨越原有本體類別至突現過程，不過也有各 2.6% 的學生由突現過程演變成直接過程以及物質過渡至過程類別。在動態評量一的測驗中，突現過程已與物質觀並列成實驗組學生主要的本體類別。

在八節課教學之後的動態評量四中，實驗組各有 5.1% 的物質與直接過程類別以及 20.5% 物質過渡至過程類別的學生繼續跨越本體樹跳躍至突現過程，不過也有 2.6% 的學生由突現過程演變成物質過渡至過程類別。換言之，不僅有 28.3% 的學生繼續保持在動態評量一所形成的突現觀，此外有 30.8% 的學生在教學結束後繼續跨越原有本體類別至突現過程，即教學後屬於突現過程類別的學生已增加至 58.9%。

在動態評量五中，雖然各有 2.6% 及 7.7% 的學生由突現過程演變成直接過程及物質過渡至過程類別，不過仍有 23.1% (2.6% 是由直接過渡至突現過程類別，10.3% 是由直接過程類別，各有 5.1% 是由物質過渡至過程類別及物質類別) 的學生繼續跨越本體樹跳躍至突現過程。由以上分析可得知：即使經過教學後五週的時間，實驗組學生屬於突現過程類別的學生仍持續增加至 71.8%。

實驗組在本質測驗與動態評量中本體觀概念演變的過程中，有 12.8% 的學生直接由物質類別直接跨越至突現過程後並持續穩定持有，亦有 20.5% 的學生是自物質/物質過渡至過程類別漸進式的演變至突現過程。

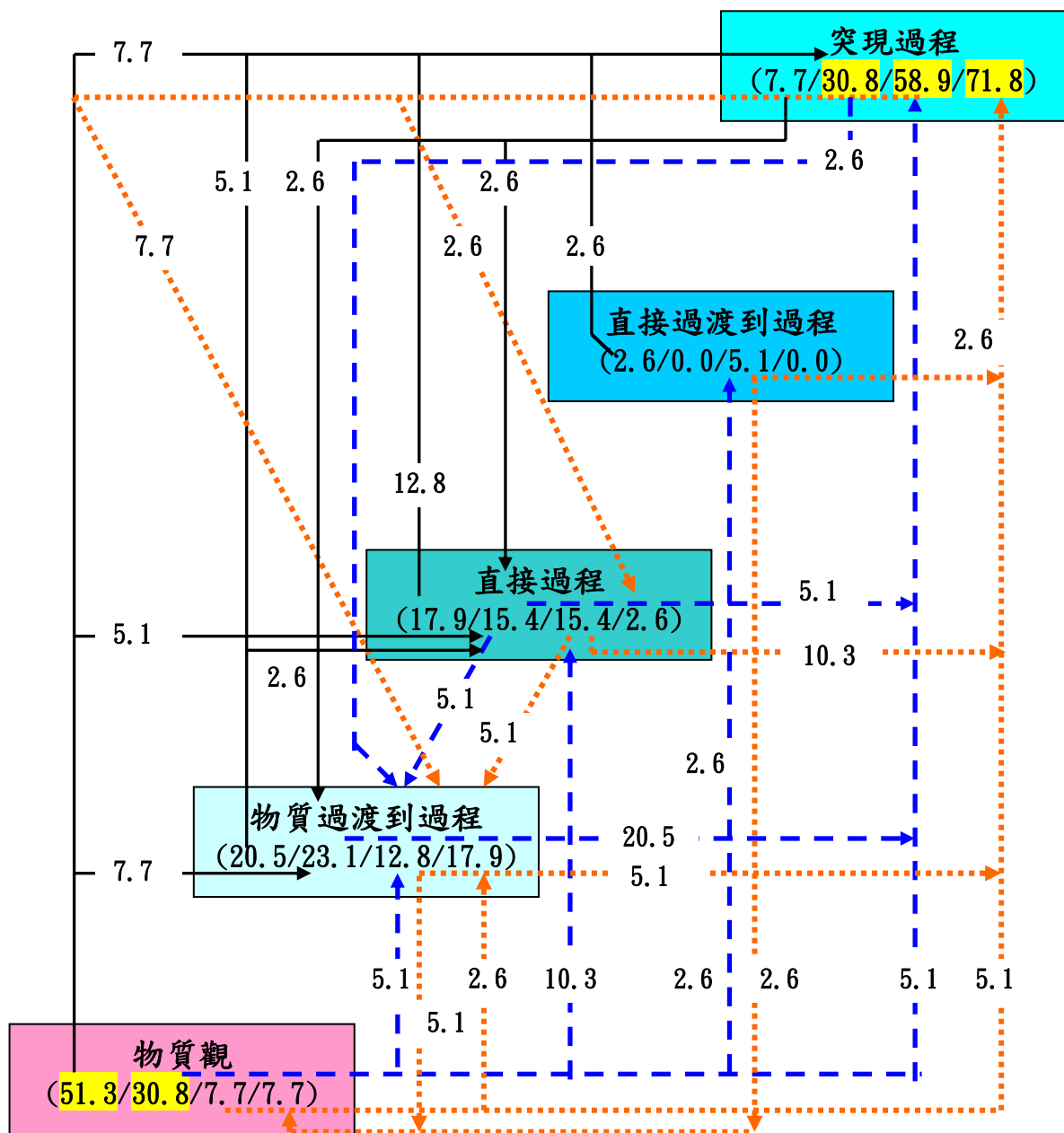


圖 4-4-13 實驗組在本質測驗與動態評量中本體觀概念演變的途徑
 (本質測驗/動態評量一/動態評量四/動態評量五的學生%)

——→：本質→動一 - - ->：動一→動四 >：動四→動五

控制組在本質測驗與動態評量中本體觀概念演變的途徑如圖 4-4-14，經過二節傳統文本教學後，有 10.0% 的學生直接由物質類別直接跨越至突現過程，有 2.5% 的學生由直接過程類別跨越至突現過程。換言之，共計有 12.5% 的學生在最初的教學後即跨越原有本體類別至突現過程，不過控制組學生在動態評量一中的主要本體類別仍然維持在物質類別(45.0%)。在最初二節的教學後，兩組本體觀演變最大不同之處有二：其一為控制組沒有學生由物質過渡至過程以及直接過渡至突現過程類別跨越本體樹跳躍至突現過程，其二則是控制組有 12.5% 的學生由直接過程類別演變成物質過渡至過程類別。

在八節課教學之後的動態評量四中，主要的演變途徑是有 22.5% 的學生由物質類別跨越至物質過渡至過程類別、7.5% 的學生由物質類別跨越至直接過程類別、5.0% 的學生由物質類別跨越至直接過渡至突現過程類別，以及 5.0% 的學生由突現過程演變成直接過渡至突現過程類別，其他的演變百分比皆在 5.0% 以下，顯示出傳統文本教學八節課之後控制組本體類別的演變較為零碎，僅 2.5% 的學生繼續跨越本體樹跳躍至突現過程，物質過渡至過程類別(50.0%)已成躍升為主要本體類別。

在動態評量五中，控制組學生各有 12.5% 物質類別、10.0% 直接過程及 7.5% 直接過渡至突現過程類別(共計 30.0%)演變成物質過渡至過程類別，而各自有 2.5% 物質過渡至過程演變成物質類別及直接過渡至突現過程類別、7.5% 物質過渡至過程演變成直接過程類別。由以上分析可得知：即使經過教學後五週的時間，大部分控制組學生(67.5%)演變或停滯在物質過渡至過程的本體類別，難以跨越本體樹而跳躍至突現過程類別。

控制組在本質測驗與動態評量中本體觀概念演變的過程，雖然最初二節課教學後即有 10.0% 的學生直接由物質類別直接跨越至突現過程，但這些學生並沒有維持突現過程的本體觀，反而 7.5% 演變成物質過渡至過程、2.5% 演變成直接過渡至突現過程，控制組學生僅有 5.0% 的學生由直接過程逐漸跨越至突現過程類別。然而控制組學生為何難以跨越物質過渡到過程類別，這部分也是研究者想要釐清的一個問題：究竟傳統文本的教學中欠缺哪些屬性的表徵，使控制組學生難以建立突現過程的本體觀呢？

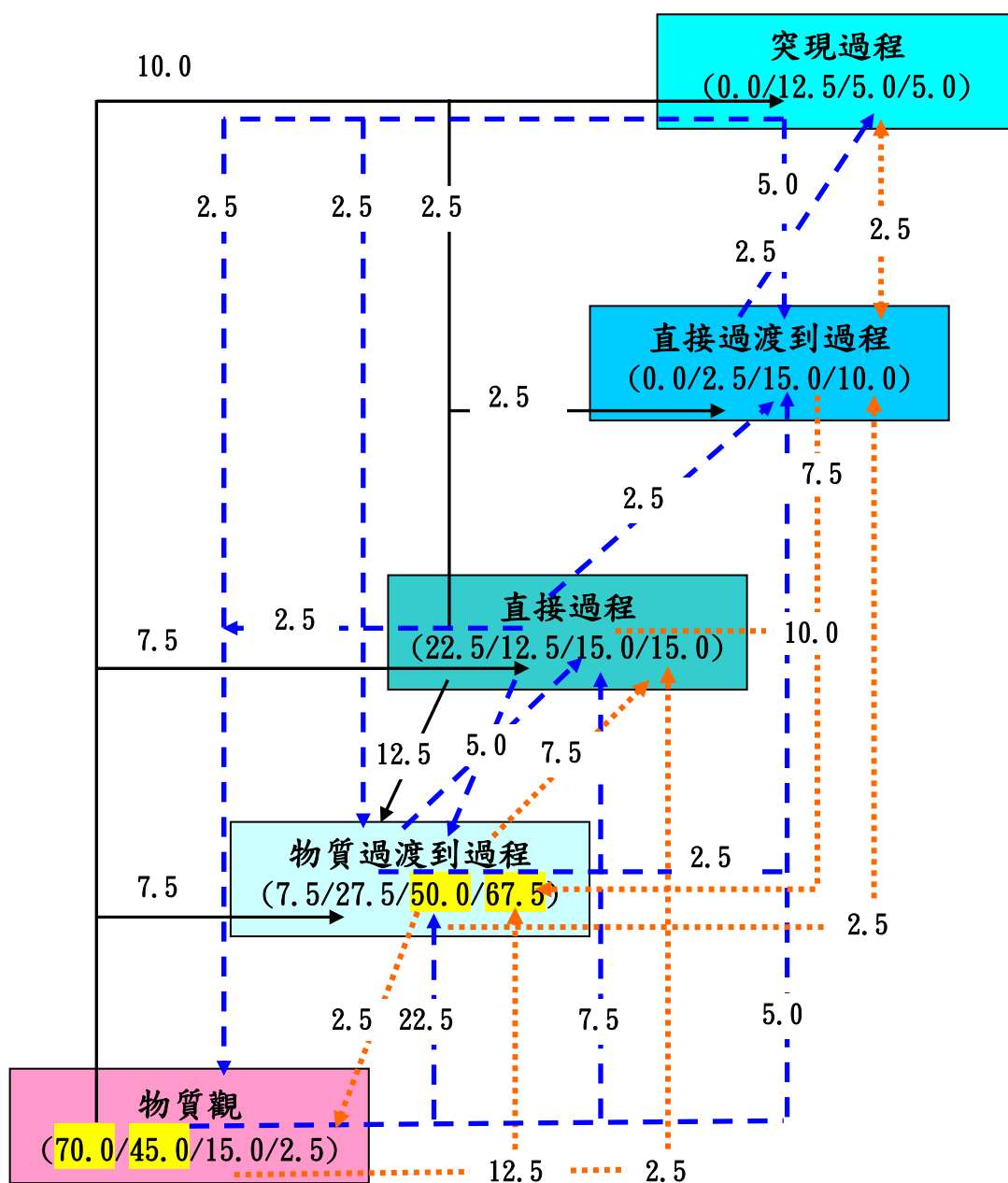


圖 4-4-14 控制組在本質測驗與動態評量中本體觀概念演變的途徑
 (本質測驗/動態評量一/動態評量四/動態評量五的學生%)
 —→ : 本質→動一 - - -> : 動一→動四 > : 動四→動五

四、本體演變與概念改變難易關係的探討

我們從兩組本體類別的演變過程中觀察到：實驗組學生經過多重表徵的模型教學後，有 48.7% 的學生產生跨越本體類別至突現過程的概念改變，而且這些學生一但建立突現過程的本體類別後，便穩定的持有突現過程的本體觀(詳見表 4-4-14)。反觀控制組經過傳統文本教學後，僅有 5.0% 的學生逐漸由直接過程演變至突現過程，顯示經由傳統文本的教學難以幫助學生建立突現過程的本體類別。

根據以上分析的結果，研究者想釐清兩個問題：

其一：就 Chi 等人(1994, 1995, 2002, 2005) 所提出不同本體類別之間的本體屬性是不可共量的，因此跨越本體類別的概念改變是困難的，為何 69.2%(48.7% 直接跨越本體類別至突現過程、20.5% 逐漸演變至突現過程) 的實驗組學生能夠經由多重表徵的模型教學後產生根本的概念改變呢？

其二：究竟傳統文本的教學中欠缺哪些屬性的表徵，使得控制組學生難以建立突現過程的本體觀呢？

表 4-4-14 兩組學生本體類別演變途徑的比較

實驗組演變途徑(%)	控制組演變途徑(%)
物質→物質過渡至過程/直接→突現(20.5)	直接過程→直接過渡至突現→突現過程(5.0)
物質→突現過程(12.8)	物質/物質過渡至過程→直接過渡至突現(7.5)
物質過渡至過程→突現過程(20.5)	物質→直接過程(15.0)
直接過程→突現過程(12.8)	物質→物質過渡至過程(30.0)
直接過渡至突現→突現過程(2.6)	物質/直接→直接-突現→物質過渡至過程(27.5)
物質→物質過渡至過程(2.6)	物質→突現過程→物質過渡至過程(7.5)
物質→物質過渡至過程→物質(7.7)	物質→物質過渡至過程→物質(2.5)
物質→直接過程→物質過渡至過程(7.7)	
物質→突現過程→物質過渡至過程(7.7)	

在探討概念改變難易之前，研究者先從氣體本質、粒子分布、運動情形及運動方向、粒子體積、理想氣體模型、氣壓的成因與影響氣壓的因素等八個相關概念來界定物質本體、直接過程與突現過程三種本體類別特有的屬性，每一種本體特殊的屬性分列如表 4-4-15。

表 4-4-15 本體類別的特殊屬性的分類及比較

相關概念	物質本體	直接過程	突現過程
氣體本質	連續觀	粒子觀	粒子觀
粒子分布	整體/緊密堆疊	整齊排列	隨機分布
粒子運動情形	靜止/振動	部分靜止、部分運動	全部都在運動
粒子運動方向	----	有一定的方向	隨機運動
粒子體積	熱脹冷縮	不會熱脹冷縮	不會熱脹冷縮
理想氣體模型	分子體積不為零	不為彈性碰撞/ 分子之間有吸引力	科學模式
氣體壓力成因	粒子互相擠壓/ 氣體重量下壓	外壓模式	粒子互撞/粒子撞擊容器壁
影響氣壓因素	分子量/分子大小/ 活性	引力	科學/科瑕

接著我們來探討如果如 Chi 等人(1994, 1995, 2002, 2005) 所提出不同本體別之間的本體屬性是不可共量的，因此跨越本體類別的概念改變是困難的，而從直接過程轉變成突現過程雖然是歸屬於同一過程類別間轉變，但由於學生缺乏突現過程的類別觀，或是無法察覺概念改變是必須的，因此從直接過程轉變成突現過程仍然歸屬於較困難的概念改變，何以近一半的實驗組學生能夠發生跨越本體類別的概念改變以及從直接過程轉變成突現過程等較困難的概念改變，反觀大部分的控制組學生卻只能轉變成物質過渡至過程的本體類別，究竟造成兩組在本體類別的概念改變歷程如此不同的原因為何呢？

我們從之前的本質測驗與動態評量的分析發現到兩組學生在氣體本質、粒子分布、運動情形及運動方向並無明顯的差異，但在粒子體積、理想氣體模型、氣壓的成因與影響氣壓的因素等四個概念上差異性卻相當大，尤其在剛性粒子(粒子體積不會熱

脹冷縮、分子碰撞時為彈性碰撞)及影響氣壓因素兩方面。實驗組學生經由視覺混合、具體混合、數學混合與動作混合等多重表徵的模型教學後，建立了完整的剛性粒子的概念，並進一步瞭解粒子微觀的運動是隨機的，瞭解氣壓的成因是粒子對容器壁碰撞時的單位體積內動能轉移(或單位時間內的動量變化)，因此有 48.7%的實驗組學生在最初的二節課教學後隨即產生跨越本體及從直接過程轉變成突現過程等較困難的概念改變，另外有 20.5%的實驗組學生在學習過程中逐漸演變成突現過程。從以上的分析顯示出：當學生透過教學理解了完整的剛性粒子概念及微觀世界中粒子與環境的交互作用，則較容易形成突現過程的本體類別，而進行根本的概念改變。換言之，當學生已具備突現過程的概念時，要進行根本的概念改變就不是非常困難的。

反觀控制組經教學後一直約有 25.0%的學生無法建立粒子體積不會熱脹冷縮的概念，以及近一半的學生具有分子碰撞不為彈性碰撞或分子之間有吸引力的迷思概念，顯示出部分控制組學生無法藉由傳統文本教學建立正確而完整的剛性粒子的概念。此外控制組教學活動中一直缺乏探討微觀粒子運動及交互作用的活動，學生很改變分子種類(分子量/分子大小/活性)會影響氣壓的迷思概念，因此學生很難移除物質本體的屬性，即使經過教學後一半以上的學生僅能演變至物質過渡到過程的本體類別。由於學生缺乏突現過程的類別觀，或是無法察覺到不同類別之間的本體屬性是不相同，因此對於控制組學生而言，從物質本體或直接過程轉變成突現過程是屬於較困難的概念改變。

而本研究在實驗組本體演變的過程的確呼應了 Chi 等人的論點(Solota&Chi, 1999, 引自陳盈吉, 2004)：認為科學概念中有很多是屬於過程屬性，特別是突現過程的概念，容易被學生錯置於物質類別或直接過程，部分原因可能是學生缺乏或是不瞭解突現過程的本體類別。因此可透過科技與多重表徵的整合，研究者可以利用動畫或模擬軟體的方式將過程本體概念的相關表徵加以展現，讓學生藉此建立正確的過程本體樹，協助學生由物質概念跳躍至過程概念，由直接過程跳躍至突現過程。

第五節 晤談分析

本節是利用三次晤談(教學前、教學中與教學後)的資料，分析實驗組 14 位(8 位男生，6 位女生)標的學生關於理想氣體相關概念(粒子觀、氣體體積的定義、氣壓的成因、影響氣壓的因素、剛性粒子的想法、氣體粒子的分布/運動、蒸氣壓、擴散運動等)的想法，並藉由晤談的內容分析 14 位學生關於粒子觀、氣壓的成因、影響氣壓的因素、剛性粒子的想法等四個概念心智模式的類型及演變途徑。

一、教學前晤談資料分析與學生心智模式編碼

在教學前對 14 位標的學生進行每人 10-15 分鐘的晤談，以深入瞭解學生對於理想氣體的先有概念。首先針對「氣體在容器中呈現粒子狀或連續狀分布」：有 64.3%(9/14) 學生認為是呈現粒子狀分布(粒子觀，心智模式編碼為 P)，35.7%(5/14) 的學生認為是呈現像乳液一般的連續狀分布(連續觀，心智模式編碼為 C)，心智模式類型與分布詳見表 4-5-1。

其次針對「密閉容器中氣體壓力是如何形成的」：僅有 7.1%(1/14) 的學生是科學模式(快速氣體粒子撞擊器壁，心智模式編碼為 Cs)，28.6%(4/14) 的學生認為是氣體粒子互相碰撞造成氣壓(粒子互撞模式，心智模式編碼為 Ci)，一半的學生(50.0%, 7/14) 則認為是砝碼重量/大氣壓力下壓造成氣體壓力(外在施壓模式，心智模式編碼為 O)。

關於「影響壓力的因素」：僅有 14.3%(2/14) 的學生認為溫度、容器體積與粒子數目會影響壓力(科學模式，心智模式編碼為 S)，50.0%(7/14) 的學生認為砝碼或分子的重量會影響壓力(重量模式，心智模式編碼為 W)，28.6%(4/14) 的學生認為容器或分子體積會影響壓力(體積模式，心智模式編碼為 V)。

對於「剛性粒子」的概念：28.6%(4/14) 的學生認為氣體粒子大小不隨著溫度、加/減壓等因素的影響(科學模式，心智模式編碼為 S)，71.4%(10/14) 的學生認為氣體粒子大小會隨著溫度上升而膨脹(心智模式編碼為 H)。

對於「氣體空隙之間充滿著什麼？」的概念：35.7%(5/14) 的學生認為氣體空隙之間是真空的，42.9%(6/14) 的學生認為其他氣體充滿氣體空隙間，21.4%(3/14) 的

學生認為氣體空隙之間是存在著分子之間的引力。

表 4-5-1 教學前晤談心智模式類型及百分比

概念	粒子/連續觀	壓力成因	影響壓力的因素	剛性粒子
心智模式 類型及 分布(%)	粒子觀(64.3)	科學模式(7.1)	科學模式(14.3)	科學模式(28.6)
	連續觀(35.7)	外在施壓(50.0)	重量/分子量(50.0)	熱脹冷縮(71.4)
		粒子擠壓(7.1)	體積模式(28.6)	
		粒子互撞(28.6)	引力模式(7.1)	
		重量模式(7.1)		

其他關於氣體體積的定義、氣體粒子的分布及運動情形等晤談資料詳見附錄六(表 1. a、1. b)。以下為節錄學生氣體粒子本質與壓力的成因的晤談資料：

(S7, 男, 其心智模式編碼為 COVS)

.....

研：氣體在容器中呈現粒子狀或連續狀分布？氣體空隙之間充滿著什麼？

S7：氣體在容器中是呈現整體連續狀分布的，氣體空隙之間是其他氣體充滿其中，在容器中氣體是隨機分布的。

研：密閉容器中氣體壓力是如何形成的？

S7：是由於砝碼的重量下壓容器所引起，導致氣體整體被擠壓的更緊密，整體氣體再去擠壓容器壁造成氣壓的。

.....

(S12, 女, 其心智模式編碼為 PPWH)

.....

研：氣體在容器中呈現粒子狀或連續狀分布？氣體空隙之間充滿著什麼？

S12：氣體在容器中是呈現粒子狀分布的，氣體空隙之間是真空的，在容器中氣體是隨機分布的。

研：密閉容器中氣體壓力是如何形成的？

S12：是由於砝碼的重量下壓容器所引起容器體積改變後，導致氣體粒子互相擠壓造成氣壓的。

.....

(S13, 女, 其心智模式編碼為 POIH)

.....

研：氣體在容器中呈現粒子狀或連續狀分布？氣體空隙之間充滿著什麼？

S13：氣體在容器中是呈現粒子狀分布的，氣體空隙之間是充滿分子之間引力，在容器中氣體是隨機分布的。

研：密閉容器中氣體壓力是如何形成的？

S13：是由於砝碼的重量+大氣壓力下壓容器所壓縮容器體積後，造成氣壓的。

.....

(S1, 男, 其心智模式編碼為 PCiSS)

.....

研：氣體在容器中呈現粒子狀或連續狀分布？氣體空隙之間充滿著什麼？

S1：氣體在容器中是呈現粒子狀分布的，氣體空隙之間是充滿空隙，在容器中氣體是隨機分布的，但加熱的情況下，氣體粒子在上方分布多一些。

研：密閉容器中氣體壓力是如何形成的？

S1：是由於粒子互相撞擊，動量轉移造成氣壓的。

.....

(S2, 男, 其心智模式編碼為 PCsSS)

.....

研：氣體在容器中呈現粒子狀或連續狀分布？氣體空隙之間充滿著什麼？

S2：氣體在容器中是呈現粒子狀分布的，氣體空隙之間是充滿空隙，在容器中氣體是隨機分布的，但加熱的情況下，氣體粒子在上方分布多一些。

研：密閉容器中氣體壓力是如何形成的？

S2：是由於氣體粒子撞擊容器壁造成氣壓的。

研：密閉容器中裝入等數目的氧氣及氫氣，哪一種氣體的壓力較大？

S2：兩種氣體氣壓一樣大。

研：為什麼呢？

S2：因為兩種氣體分子數目、容器體積及溫度都一樣，對容器壁造成的氣壓應該會相同。

.....

關於影響氣體壓力的因素，一半的學生認為與砝碼的重量或分子重量有關，以下為節錄學生氣體壓力影響因素的唔談資料：

(S10, 女, 其心智模式編碼為 PCiWH)

.....

研：密閉容器中裝入等數目的氧氣及氫氣，哪一種氣體的壓力較大？

S10：氧氣壓力比氫氣大。

研：你認為氧氣壓力比氫氣大的理由為何？

S10：分子重量大的，壓力大。（如下圖所示）

.....

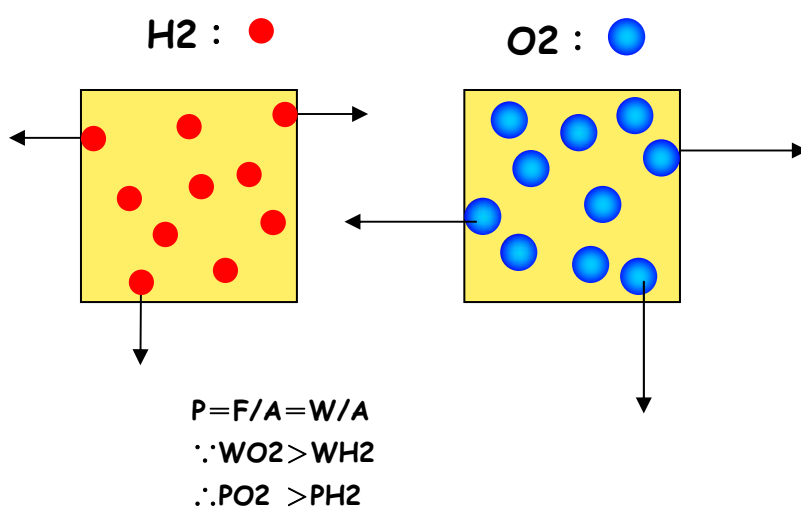


圖 分子量模式—重量大者壓力大

(S8, 男, 其心智模式編碼為 COWH)

.....

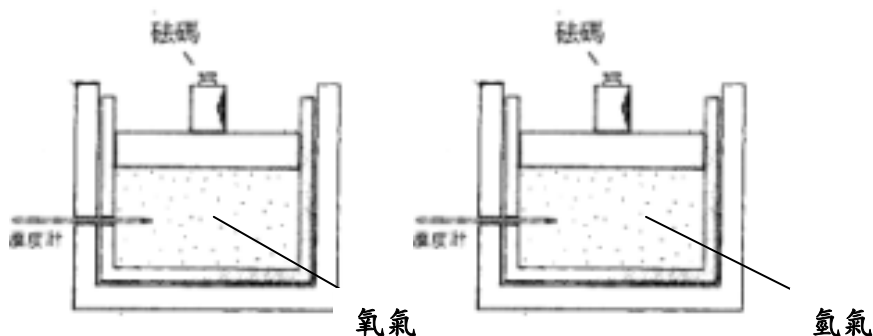
研：密閉容器中裝入等數目的氧氣及氫氣，哪一種氣體的壓力較大？

S8：氧氣壓力與氫氣一樣大。

研：你認為兩種氣體壓力一樣大的理由為何？

S8：砝碼都一樣重，所以壓力一樣大（如下圖所示）

.....



關於氣球及密閉容器加熱一段時間後，14 位學生都回答溫度升高後，動能及氣體運動速率會增加，但是有 10 位學生認為升高溫度後，氣體粒子本身也會跟著變大，六位學生認為加熱後，粒子分布在上方略多一些，呈現不均勻的分布現象。至於氣體運動方式，9 位學生認為是隨機運動，3 位學生認為是向外擠壓，2 位則回答是對流模式。以下為節錄兩位學生的晤談資料：

(S7，男，其心智模式編碼為 COVS)

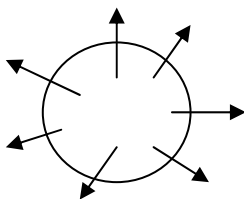
.....

研：你認為氣體體積的定義是什麼呢？

S7：氣體體積大小是依氣體數目而決定。

研：氣球加熱一段時間後，氣球的體積、氣球內部的氣壓、氣體粒子的大小、分布及運動情形為何？

S7：剛開始，氣球內的氣壓會大於大氣壓力，但是氣體的質量、數目、氣體粒子的大小都不改變。一段時間後，氣球體積變大，氣體動能、運動速率都變大，所以氣體密度會變小，氣體整體應該還是均勻分布，氣體會向外擠壓式運動。(如下圖所示)



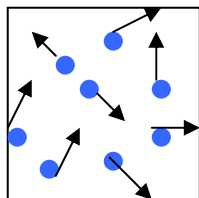
(S13，女，其心智模式編碼為 POIH)

.....

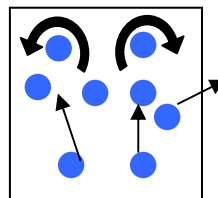
研：密閉容器（體積不變）加熱一段時間後，容器內氣體的體積、氣壓大小、氣體粒子的大小、分布及運動情形為何？

S13：氣體的質量、數目都不改變，但氣體粒子變大。一段時間後，氣體動能、運動速率都變大，氣體會動得更劇烈，所以氣體壓力會變大，氣體粒子是上方略多，氣體運動是對流+隨機亂動。(如下圖所示)

.....



加熱前



加熱後

二、教學中晤談資料分析與學生心智模式編碼

在教學一週後(教學中)對 14 位標的學生進行每人 10-15 分鐘的晤談，以深入瞭解學生對於理想氣體的概念的改變與心智模式的變化。首先針對「氣體在容器中呈現粒子狀或連續狀分布」：14 位晤談學生皆認為是呈現粒子狀分布（粒子觀），在容器中氣體粒子隨機運動、均勻分布。而氣體空隙之間則有 85.7%(12/14)的學生認為是真空/沒有東西，僅 14.2%(2/14) 的學生認為是充滿著分子之間的引力，心智模式類型與分布詳見表 4-5-2。

其次針對「密閉容器中氣體壓力是如何形成的」：有 85.7%(12/14)的學生是科學模式（快速氣體粒子撞擊器壁），7.1%(1/14)的學生認為是氣體粒子撞擊容器壁＋粒子互撞造成氣壓（心智模式編碼為 D，雙模式），7.1%(1/14)則認為是氣體粒子抵抗外在壓力造成氣體壓力（心智模式編碼為 0）。

對於「影響壓力的因素」：92.9%(13/14)的學生認為溫度、容器體積與粒子數目會影響壓力（科學模式），僅一位學生認為溫度、容器體積及分子的活性會影響壓力，但分子數目則不影響壓力（活性模式，心智模式編碼為 A）。

對於「剛性粒子」的概念：100%(14/14)的學生認為氣體粒子大小不隨著溫度、加/減壓等因素的影響（科學模式）。

表 4-5-2 教學中晤談心智模式類型及百分比

概念	粒子/連續觀	壓力成因	影響壓力的因素	剛性粒子
心智模式 類型及 分布(%)	粒子觀(100.0)	科學模式(85.7) 外在施壓(7.1) 雙模式(7.1)	科學模式(92.9) 活性模式 (7.1)	科學模式(100.0)

其他關於不同變因下氣體壓力、氣體體積、氣體粒子動能與速率、氣體粒子的分布及運動情形等晤談資料詳見附錄六(表 2. a、2. b)。以下為節錄學生編號為 S7(男，其心智模式編碼為 POAS)及 S13(女，其心智模式編碼為 PDSS)的晤談資料：

(S7, 男, 其心智模式編碼為 POAS)

.....

研：你認為哪些因素會影響氣體壓力呢？

S7：溫度還有容器體積會影響壓力大小，但分子數目不影響。

研：你認為分子量、分子體積、分子活性會不會影響氣體壓力呢？

S7：分子量、分子體積不會影響，但是分子活性會影響氣體壓力。

研：為什麼分子活性會影響氣體壓力呢？

S7：嗯，讓我想一想…。對了，以前好像有教過活性大的速率快，對、沒錯！

研：氣球在乾冰中冷卻一段時間後，氣球的體積、氣球內部的氣壓、氣體粒子的大小、分布及運動情形為何？

S7：氣體的溫度、動能以及運動速率都變小，氣體之間推擠程度變小，氣體壓力應該會變小，但是氣球體積會縮小，氣體粒子的大小還是不改變、氣體粒子仍然是隨機分布、隨機運動。

.....

(S13, 女, 其心智模式編碼為 PDSS)

.....

研：你認為密閉容器中氣體壓力是如何形成的？

S13：快速運動的氣體粒子撞擊容器壁及不斷互相撞擊造成氣體壓力的。

研：你認為哪些因素會影響氣體壓力呢？

S13：上課學過理想氣體方程式是 $PV=nRT$ ，所以溫度、分子數目，還有容器體積都會影響壓力大小。

研：你認為分子量、分子體積、分子活性會不會影響氣體壓力呢？

S13：分子量、分子體積、引力還有分子活性都不會影響氣體壓力。

研：為什麼分子量、分子體積不會影響氣體壓力呢？

S13：因為理想氣體粒子的體積非常小，跟容器體積相比是可以忽略的，而且溫度相同時，氣體粒子的動能是一樣的，跟分子量大小是沒有關係的，而且理想氣體方程式是 $PV=nRT$ 裡面沒有分子量啊！

研：為什麼引力不會影響氣體壓力呢？

S13：上課好像有學過理想氣體分子之間的引力是可以忽略不管的，理想氣體方程式裡面也沒有提到引力的問題。

研：為什麼活性不會影響氣體壓力呢？

S13：我記得上氣壓的時候，好像都沒有討論到氣體活性大小的問題，而且活性大小好像不會影響動能或氣體分子的運動速率喔！

.....

三、教學後晤談資料分析與學生心智模式編碼

在教學後對 14 位標的學生進行每人 15-20 分鐘的晤談，以深入瞭解學生對於理想氣體的相關概念與心智模式是否持續產生變化。首先針對「氣體在容器中呈現粒子狀或連續狀分布」：14 位學生全部都認為是呈現粒子狀分布（粒子觀），氣體空隙之間則是真空的，氣體粒子大小不隨著溫度或壓力大小而改變，氣體粒子是隨機分布、運動的，詳見表 4-5-3。

其次針對「密閉容器中氣體壓力是如何形成的」：有 92.9%(13/14)的學生是科學模式（快速氣體粒子撞擊器壁），7.1%(1/14)的學生認為是氣體粒子撞擊容器壁+砝碼重量下壓造成氣壓（心智模式編碼為 D，雙模式），。

對於「影響壓力的因素」：28.6%(4/14)的學生認為溫度、容器體積與粒子數目會影響壓力且影響蒸氣壓因素的相關概念也正確（科學模式）。有 42.9%(6/14) 的學生對於影響壓力的影響因素是正確的，但對於影響蒸氣壓因素部分錯誤，將這六位同學心智模式歸類為科學有瑕疵(編碼為 S1)。有 21.4%(3/14) 的學生認為溫度、容器體積與粒子數目會影響壓力之外，認為分子量大小會影響壓力/蒸氣壓，將這三位同學心智模式歸類為重量/分子量模式(編碼為 W)。僅一位學生認為溫度、分子數目及分子之間的引力會影響壓力（引力模式，心智模式編碼為 I）。

表 4-5-3 教學後晤談心智模式類型及百分比

概念	粒子/連續觀	壓力成因	影響壓力的因素	剛性粒子
心智模式 類型及 分布(%)	粒子觀(100.0)	科學模式(92.9) 雙模式(7.1)	科學模式(21.4) 科學有瑕疵(42.9) 分子量模式(21.4) 引力模式 (7.1)	科學模式(100.0)

其他關於不同變因下氣體壓力、氣體體積、氣體粒子動能與速率、氣體粒子的分布及運動情形，蒸氣壓影響因素、擴散運動等晤談資料詳見附錄六(表 3.a、3.b)。以

下為節錄學生編號為 S9(男，其心智模式編碼為 PCsWS)及 S13(女，其心智模式編碼為 PDS1S)的晤談資料：

(S9，男，其心智模式編碼為 PCsWS)

.....

研：氣體在容器中呈現粒子狀或連續狀分布？氣體空隙之間充滿著什麼？
氣體的分布及運動情形為何呢？

S9：粒子狀分布的，氣體空隙之間是真空，氣體粒子是隨機分布的、自由
隨機亂動。

研：如果升高或降低溫度，氣體粒子會不會熱脹冷縮？

S9：氣體粒子是剛性粒子，不會隨著溫度而改變大小的。

研：如果增加或減少壓力，氣體粒子大小會不會改變呢？

S9：不會，因為是剛性粒子。

.....

(S13，女，其心智模式編碼為 PDS1S)

.....

研：你認為密閉容器中氣體壓力是如何形成的？

S13：砝碼下壓的重量以及快速運動的氣體粒子撞擊容器壁造成氣體壓力
的。

研：你認為哪些因素會影響氣體壓力呢？

S13：溫度、分子數目會影響壓力大小。

研：為什麼呢？

S13：溫度高，動能變大，氣體粒子運動速率變快，撞到容器壁的機會變
多，壓力就會變大。分子數目多，撞到容器壁的機會就會變多，壓力
就跟著會變大啊！

研：你認為分子量、分子體積、分子活性會不會影響氣體壓力呢？

S13：分子量、分子體積、引力還有分子活性都不會影響氣體壓力。

.....

有關壓力及蒸氣壓的影響因素，有 21.4% 的學生，認為分子量大小會影響壓力/蒸氣壓，又分為兩類的想法：分子量大者壓力大，但在蒸氣壓部分，則部分認為分子量小者運動速率快，碰撞到器壁頻率多因而蒸氣壓較大，晤談資料如下：

(S9, 男, 其心智模式編碼為 PCsWS)

.....

研：如果在之前同樣的情況下，氧氣與氫氣的分壓，何者比較大呢？

S9：我認為氧氣的壓力會大於氫氣。

研：為什麼呢？

S9：因為氧氣的分子量大於氫氣，分子量大的碰撞容器壁的頻率較多，所以壓力較大。

研：兩個空氣球分別裝入少量的水及酒精，綁緊後同時放入熱水中，經過一段時間後，哪一個氣球比較大？

S9：兩個氣球都會變大，裝水的氣球比裝酒精的大。

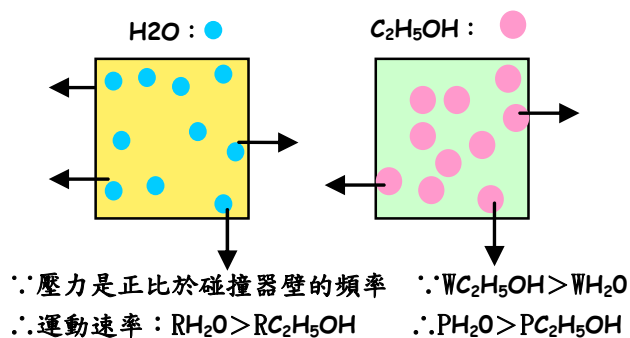
研：為什麼呢？

S9：因為加熱後，溫度升高動能會變大，速率變快，部分液體就變成蒸氣，碰撞頻率變多，球就被撐大了。水的分子量比較小，運動速率比酒精快，所以球裡面的水蒸氣比較多，因此裝水的氣球比較大。

研：會不會有些氣體粒子運動，有些靜止呢？

S9：嗯，不會，是全部的氣體粒子都在自由隨意亂動。

.....



分子量模式

四、教學前、中、後學生心智模式的演變途徑與概念改變

從晤談的資料中，可以觀察出學生們的先有概念與教學前的心智模式是多樣性的，與學生的生活經驗、個人的建構過程不同而產生多面向的想法與觀點。雖然教學前具有科學模式的學生只有一位(S2)，研究者從晤談的過程中，卻發現學生的想法有其初始的融貫性，就如同 Carey(1985)認為種種素樸概念已形成系統性、融貫性的知識系統。舉例說明，教學前有五位同學認為氣體在密閉容器中呈現連續狀分布，他們對於氣壓的成因與影響壓力的因素的想法，就會趨向以過去學習液體的概念來解決問題，傾向認為重量(氣體或砝碼/大氣重量)下壓容器或擠壓容器器壁形成氣壓，其中四位同學也會以融貫的想法來推論出重量會影響壓力($P=F/A$)。對於剛性粒子的想法，由於學生日常的生活經驗不易觀察及學習到，所以教學前大部分的學生(71.4%)傾向以一般物體的體積會熱脹冷縮的觀念來推論氣體粒子大小也會熱脹冷縮。

從教學中的晤談資料，則可以觀察出經由具體動態的粒子模型教具，理想氣體模型的投影片及電腦動畫教學後，14 位學生在氣體的粒子觀及剛性粒子的概念改變上是十分成功的，而在壓力的成因與影響的因素兩個子概念上，11 位學生改變其原有的想法而趨向科學模式。可以瞭解到學生們經由學習新知，不斷的藉由修正的方式精緻化個人的心智模式，也顯示出心智模式是動態的結構，會隨著學生的個人建構新知、小組之間的語言的溝通、協商，以及師生之間的互動，而動態豐富化或修正個人的心智模式。

而從教學後的晤談資料，則可以觀察出有些概念一經改變後，就能維持正確的心智模式，例如氣體的粒子觀與剛性粒子的概念，14 位學生即使到教學後仍保持正確的科學模式。而有些概念經由動態的演變後，卻形成了合成的模式，或接近科學模式(科學有瑕疵)，例如氣壓的影響因素，部分學生誤用了理想氣體方程式或沒有正確理解氣體動力論就會誤認為分子量會影響壓力。教學前、中、後 14 名晤談學生心智模式分布百分比變化見圖 4-5-1.a—4-5-1.c，每位心智模式的變化詳見表 4-5-4，，心智模式演變途徑參考圖 4-5-1。

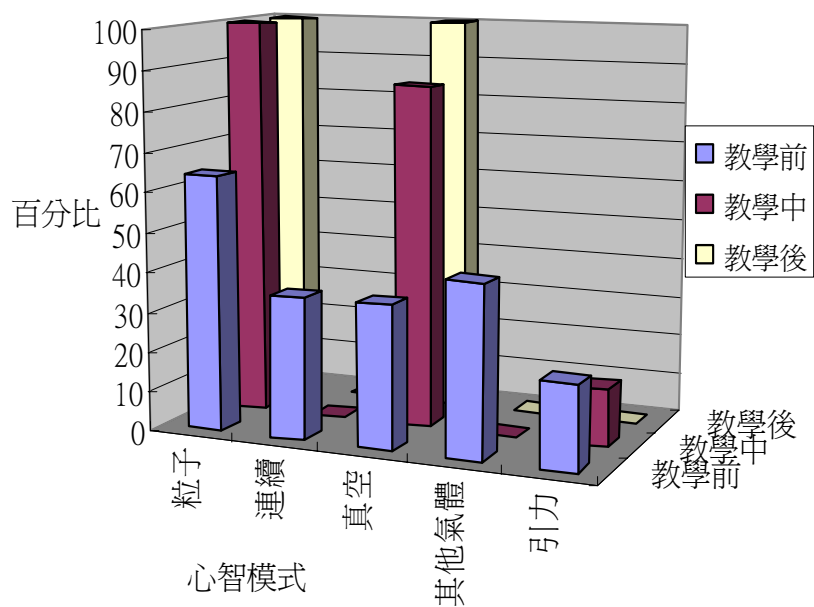


圖 4-5-1. a 氣體本質的心智模式分布百分比的變化

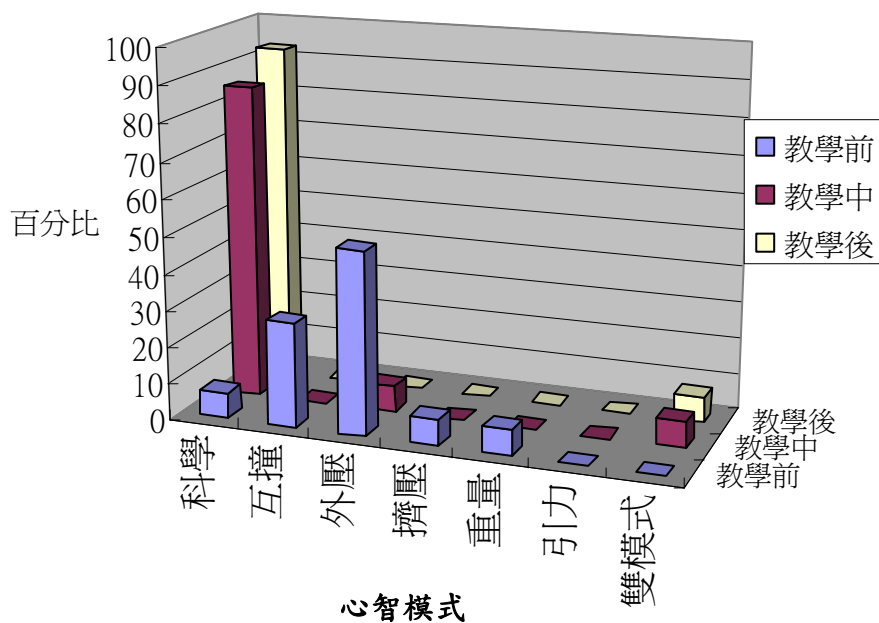


圖 4-5-1. b 氣體壓力成因的心智模式分布百分比的變化

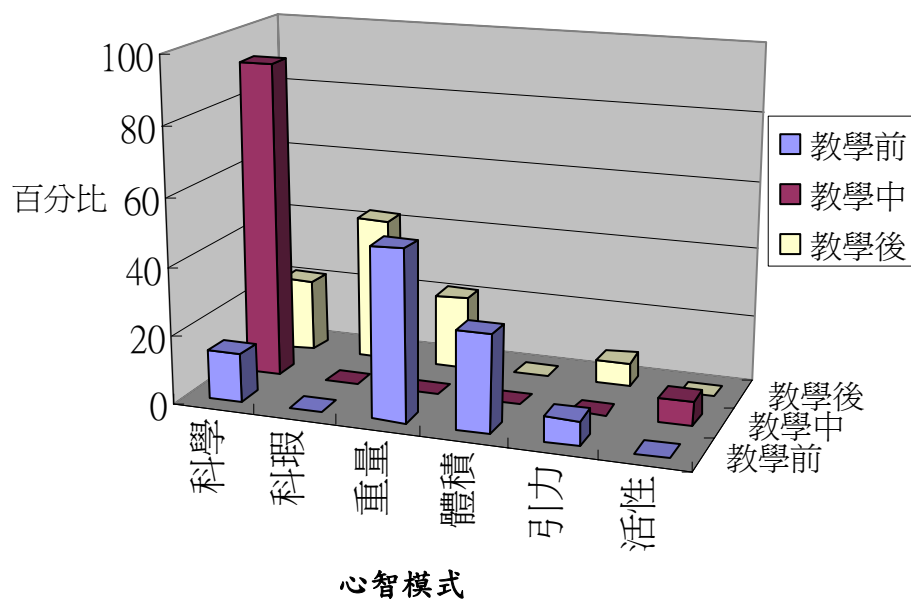


圖 4-5-1.c 影響氣體壓力的因素心智模式分布百分比的變化

表 4-5-4 教學前、中、後 14 名晤談學生心智模式的變化

學生	教學前心智模式編碼	教學中心智模式編碼	教學後心智模式編碼
S1(男)	PCiSS	PCsSS	PCsSS
S2(男)	PCsSS	PCsSS	PCsSS
S3(男)	PWWS	PCsSS	PCsSiS
S4(女)	PCiVH	PCsSS	PCsSiS
S5(男)	COWH	PCsSS	PCsSS
S6(男)	COWH	PCsSS	PCsSiS
S7(男)	COVS	POAS	PCsWS
S8(男)	COWH	PCsSS	PCsIS
S9(男)	COWH	PCsSS	PCsWS
S10(女)	PCiWH	PCsSS	PCsSiS
S11(女)	POVH	PCsSS	PCsSS
S12(女)	PPWH	PCsSS	PCsSiS
S13(女)	POIH	PDSS	PDSiS
S14(女)	PCiVH	PCsSS	PCsWS
主要心智模式	COWH(28.6%)	PCsSS(85.7%)	PCsSiS(35.7%)

註：PWWS：重量模式(粒子重量下壓-分子重量會影響 P-剛性粒子)

PCiVH：互撞-體積模式(粒子互相碰撞-分子體積或容器體積會影響 P-粒子熱脹冷縮)

PPWH：擠壓-重量模式(粒子互相擠壓-分子重量會影響 P-粒子熱脹冷縮)

COWH：外在壓力-重量模式(砝碼下壓-砝碼或氣體重量會影響 P-粒子熱脹冷縮)

PDSiS：雙模式(砝碼下壓+粒子撞擊器壁-科學有瑕疵-剛性粒子)

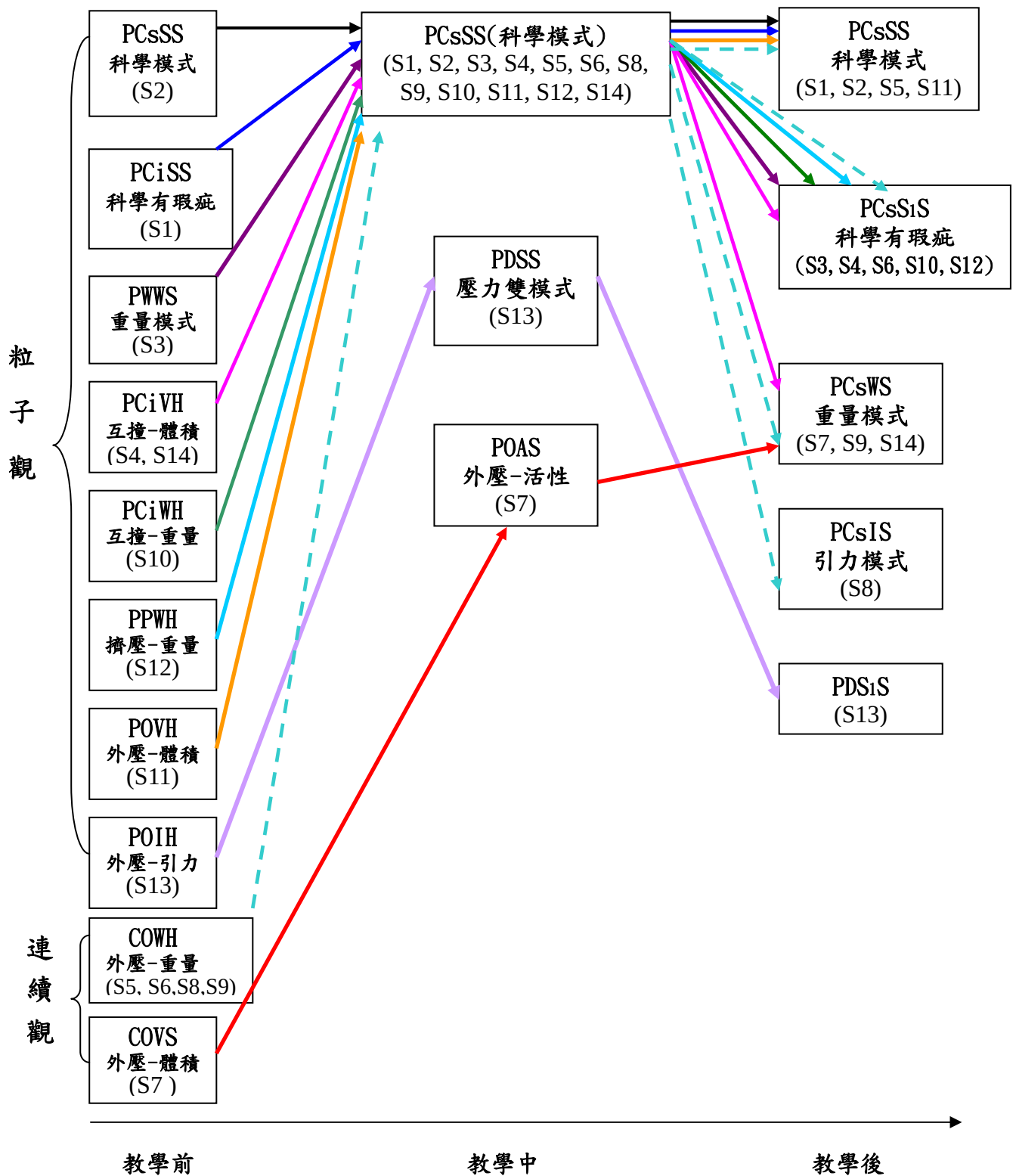


圖 4-5-1 教學前、中、後 14 名晤談學生心智模式演變途徑

註：PDSiS：連續觀-碼下壓+粒子撞擊器壁(雙模式)-科學有瑕疵-剛性粒子

第六節 多重表徵的模型教學組學習情意面向的分析

本節分析主要依據實驗組學生在教學後填寫情意問卷所得的量化/質性資料，加以分析而得到以下的結果。本節結果分析概分為六個部分：對於不同教學方式「幫助學生理解理想氣體的相關概念」的比較、對於不同教學方式「使得學習化學變得有趣」的比較、對於不同教學方式「造成了學習的負擔」的比較、不同教學方式在理解概念、提升興趣、造成學習負擔等三方面的綜合比較、實驗組學生喜歡教師使用的教學方式、實驗組學生對於多重表徵的模型教學的看法。以下為本研究的分析。

一、對於不同教學方式「幫助學生理解理想氣體的相關概念」的比較

此部分分析依據實驗組學生對於多重表徵的模型教學中所設計的八種教學策略/教學模型與傳統教學法進行比較：1. 粒子運動模型、2. 電子化投影片、3. 作實驗、4. 推導公式/關係圖、5. 電腦模擬實驗、6. 電腦動畫、7. 角色扮演、8. 小組討論、9. 傳統講述教學。學生填寫的選項及全班平均分數如表 4-6-1，選項的人數分布情形如圖 4-6-1。

實驗組學生最同意「幫助學生理解理想氣體的相關概念」的教學方式為粒子運動模型(51.3%非常同意、48.7%同意，平均分數為 1.51)，其次為動手作實驗(41.0%非常同意、48.7%同意、10.3%普通，平均分數為 1.31)，第三名則為電腦模擬實驗(35.9%非常同意、53.8%同意、10.3%普通，平均分數為 1.26)。

實驗組學生對於「幫助學生理解理想氣體的相關概念」的教學方式同意度相對最低的三種教學方式則為：小組討論(17.9%非常同意、33.3%同意、46.3%普通、2.6%非常不同意，平均分數為 0.64)，其次為傳統講述教學(17.9%非常同意、38.5%同意、41.0%普通、2.6%不同意，平均分數為 0.72)，第三名則為角色扮演(23.1%非常同意、51.3%同意、17.9%普通、2.6%不同意、5.1%非常不同意，平均分數為 0.85)。

從認知發展來看，皮亞傑認為十一、二歲的青少年以進入形式運思期，但多位學者(Nordland et al., 1974; Renner & Stafford, 1972; 引自陳郡鳳, 2004)認為學生大部分停滯在具體操作期，對抽象的概念運作能力有限。我們可以從分析數據中瞭解到

學生所認為幫助概念理解的教學方式的確如文獻中所提及的是偏向具體可觀察或操作的具體模型/作實驗。從學生的開放式問題的回答(如下框中某三位學生的回答)，我們可以瞭解到使用動態的具體模型將抽象概念具體化，以及讓學生親自動手做實驗，的確有助學生對於抽象的概念的理解及微觀理由的推理。

學生(男)：教具把抽象的事物具體化，使我本身更了解氣體的觀念。

學生(女)：作實驗讓我們親身體驗實驗的過程，親眼看見實驗的結果。

學生(男)：電腦模擬實驗讓我不會只有空想，可有實驗的實例讓我可以觀察。

相對的，學生對於需要推理、討論的推導數學公式/關係圖及小組討論的兩種教學方式就出現非常不同意的看法(雖然問卷分析中只出現一位學生)。但從學生的開放式問題的回答(如下框中某四位學生的回答)，我們可以瞭解到推導數學公式/關係圖於某些學生而言是抽象而又難以理解的，所以現行教科書以數學關係式及關係圖來說明理想氣體的相關定律對學生而言是難以深層的理解，最後學生常以背誦、記憶的方式去解決問題，反而忽略真正造成巨觀現象的微觀機制，也因此造成學生的迷思概念或另有想法。而小組討論的教學方式對於學生而言是既新奇又有點不知如何進行，主要是學生習慣傳統教學方式中的被動角色，常不知道如何明確的表達自己的想法，也缺乏邏輯判斷的能力，常常無從判斷同學們討論的內容是否是正確的。此外學生們雖然認為角色扮演有趣、生動活潑，藉著親自扮演氣體粒子可以深刻體會氣體粒子的隨機運動及分布，但是缺乏圖像、文字敘述，因此在幫助概念理解方面同意度稍低。

學生(男)：推導公式太難了，完全聽不懂!!

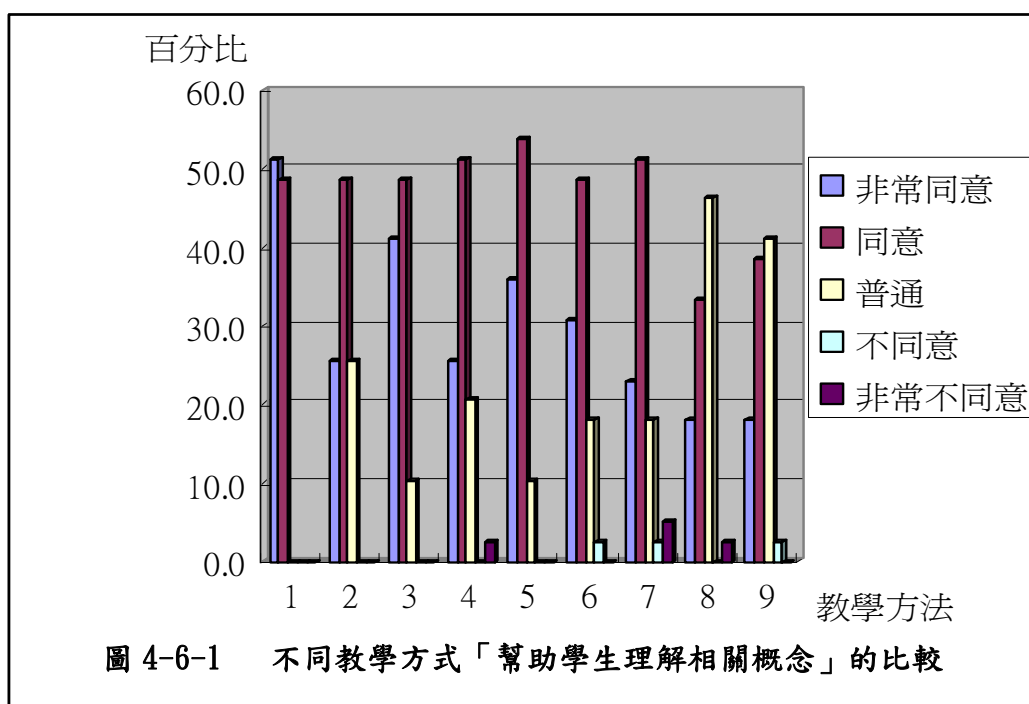
學生(女)：推導公式/關係圖我有一點不懂為何會如此做，而且不會把它貫通到題目裡。

學生(男)：小組討論時有些在後面的小組會被忽略，討論時間太短，討論時容易分心。

學生(男)：角色扮演沒有圖、動畫，而且都沒有文字敘述，無法幫助理解。

表 4-6-1 對於不同教學方式「幫助學生理解理想氣體的相關概念」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	平均分數
1.粒子運動模型	20	19	0	0	0	1.51
2.電子化投影片	10	19	10	0	0	1.00
3.作實驗	16	19	4	0	0	1.31
4.推導公式/關係圖	10	20	8	0	1	0.97
5.電腦模擬實驗	14	21	4	0	0	1.26
6.電腦動畫	12	19	7	1	0	1.08
7.角色扮演	9	20	7	1	2	0.85
8.小組討論	7	13	18	0	1	0.64
9.傳統講述教學	7	15	16	1	0	0.72



二、對於不同教學方式「使得學習化學變得有趣」的比較

此部分分析依據實驗組學生對於多重表徵的模型教學中所設計的八種教學策略/教學模型與傳統教學法進行不同教學方式「使得學習化學變得有趣」比較，學生填寫的選項及全班平均分數如表 4-6-2，選項的人數分布情形如圖 4-6-2。

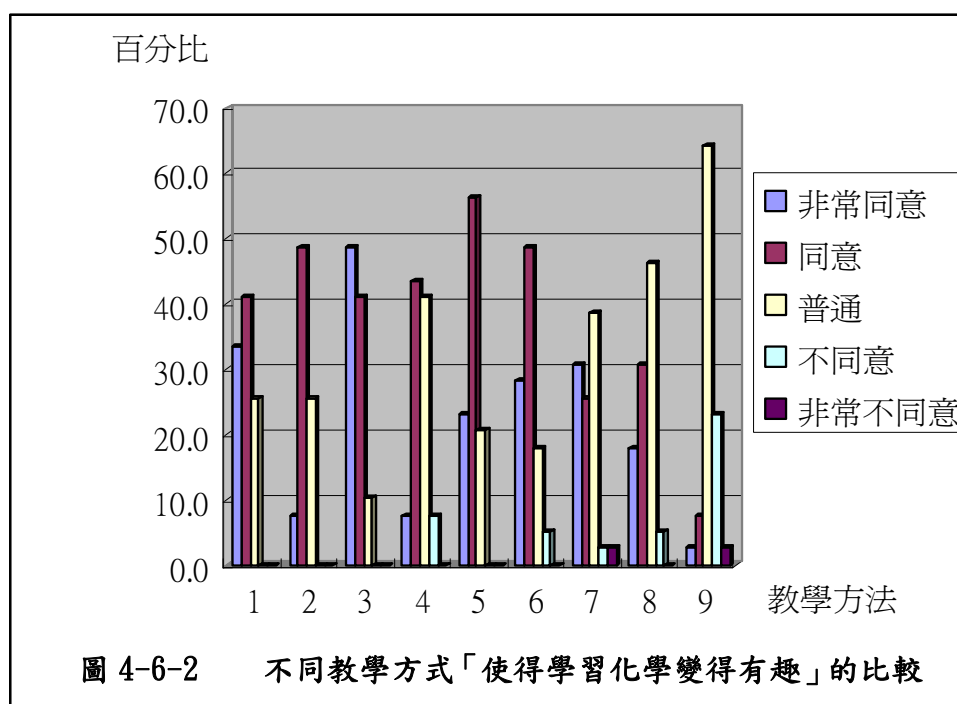
實驗組學生最同意「使得學習化學變得有趣」的教學方式為作實驗（48.7%非常同意、41.0%同意、10.3%普通，平均分數為 1.38），其次為粒子運動模型（33.3%非常同意、41.0%同意、25.6%普通，平均分數為 1.08），第三名則為電腦模擬實驗（23.1%非常同意、56.4%同意、20.5%普通，平均分數為 1.03）。

實驗組學生對於「使得學習化學變得有趣」的教學方式同意度相對最低的三種教學方式則為：傳統講述教學（2.6%非常同意、7.7%同意、64.1%普通、23.1%不同意、2.6%非常不同意，平均分數為 -0.15），其次為電子化投影片（7.7%非常同意、38.5%同意、46.1%普通、7.7%不同意，平均分數為 0.46），第三名則為推導數學公式/關係圖（7.7%非常同意、43.6%同意、41.0%普通、7.7%不同意，平均分數為 0.51）。

不同教學方式「使得學習化學變得有趣」的比較方面，我們可以看到學生的想法與「幫助學生理解理想氣體的相關概念」的分析結果蠻相近的，只是排序略有不同而已。不相同之處有二：其一是學生對於電子化投影片的教學方式能夠「使得學習化學變得有趣」的同意度略低，主要是投影片教學過快、看不清楚、沒有足夠的時間能夠消化吸收等。研究者在教學過程中也發現到一個現象，使用投影片的時間如果過久，學生很容易注意力不集中，反而失去使用投影片教學的效用。其二是學生對於推導數學公式/關係圖「使得學習化學變得有趣」的同意度也是略低，主要是學生對於推導數學公式需要較長的時間才能理解，而且大部分學生會稍微懼怕推導數學公式及關係圖。

表 4-6-2 對於不同教學方式「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	平均分數
1.粒子運動模型	13	16	10	0	0	1.08
2.電子化投影片	3	15	18	3	0	0.46
3.作實驗	19	16	4	0	0	1.38
4.推導公式/關係圖	3	17	16	3	0	0.51
5.電腦模擬實驗	9	22	8	0	0	1.03
6.電腦動畫	11	19	7	2	0	1.00
7.角色扮演	12	10	15	1	1	0.79
8.小組討論	7	12	18	2	0	0.62
9.傳統講述教學	1	3	25	9	1	-0.15



三、對於不同教學方式「造成了學習的負擔」的比較

此部分分析依據實驗組學生對於多重表徵的模型教學中所設計的八種教學策略/教學模型與傳統教學法進行「造成了學習的負擔」不同教學方式比較，學生填寫的選項及全班平均分數如表 4-6-3，選項的人數分布情形如圖 4-6-3。

實驗組學生最同意「造成了學習的負擔」的教學方式為電子化投影片（2.6%非常同意、7.7%同意、46.2%普通、30.8%不同意、12.8%非常不同意，平均分數為-0.44），其次為小組討論（2.6%非常同意、7.7%同意、33.3%普通、43.6%不同意、12.8%非常不同意，平均分數為-0.56），第三名則為角色扮演（5.1%非常同意、5.1%同意、25.6%普通、48.7%不同意、15.4%非常不同意，平均分數為-0.64）。

實驗組學生對於「造成了學習的負擔」的教學方式同意度相對最低的三種教學方式則為：作實驗（2.6%非常同意、23.1%普通、53.8%不同意、20.5%非常不同意，平均分數為-0.90），其次為電腦模擬實驗（2.6%同意、20.5%普通、64.1%不同意、12.8%非常不同意，平均分數為-0.87），第三名則為電腦動畫（2.6%同意、25.6%普通、56.4%不同意、15.4%非常不同意，平均分數為-0.85）。

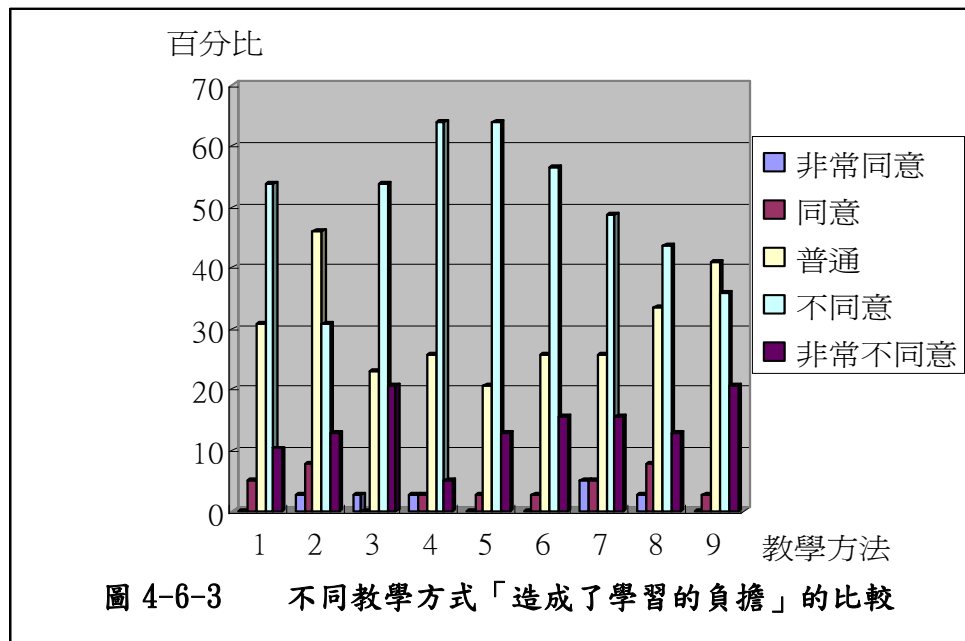
我們由分析結果可以得知：實驗組學生對於八種教學方式「造成了學習的負擔」的看法是負向的，換言之，學生認為這八種方式都不會造成學習負擔。不過我們可以觀察到另一個結果：除了作實驗、電腦模擬實驗及電腦動畫這三種方式，學生覺得其他的教學方式都比傳統教學的學習負擔大，學生這種想法也在開放式問題的回答中透露出來（如下框中某二位學生的回答）。

學生(男)：本人還是比較喜歡統教學，隨然稍有些乏味，但從小到大都是這樣的學習方式，所以比較好吸收。但此次經驗還挺難忘的！

學生(女)：這次上課的時間不太夠，不過我還是比較喜歡傳統教學，能夠聽得比較懂、比較完整。

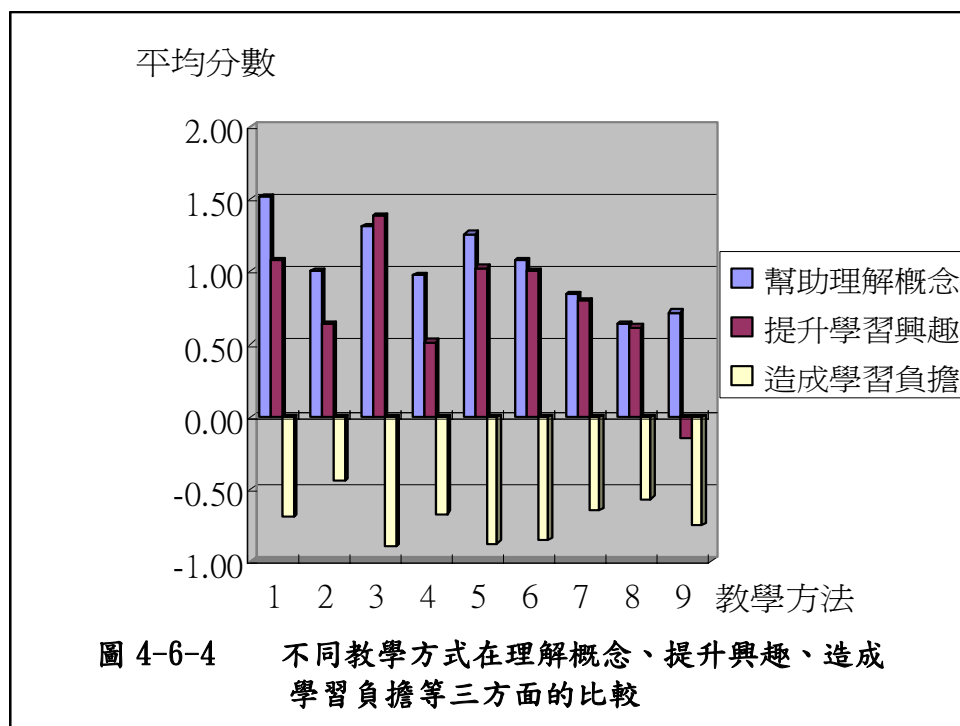
表 4-6-3 對於不同教學方式「造成了學習的負擔」的比較（人數）

教學方式	非常同意	同意	普通	不同意	非常不同意	平均分數
1.粒子運動模型	0	2	12	21	4	-0.69
2.電子化投影片	1	3	18	12	5	-0.44
3.作實驗	1	0	9	21	8	-0.90
4.推導公式/關係圖	1	1	10	25	2	-0.67
5.電腦模擬實驗	0	1	8	25	5	-0.87
6.電腦動畫	0	1	10	22	6	-0.85
7.角色扮演	2	2	10	19	6	-0.64
8.小組討論	1	3	13	17	5	-0.56
9.傳統講述教學	0	1	16	14	8	-0.74



四、不同教學方式在理解概念、提升興趣、造成學習負擔等三方面的綜合比較

此部分分析實驗組學生對於多重表徵的模型教學中所設計的八種教學策略/教學模型與傳統教學法對於理解概念、提升興趣、造成學習負擔等三方面的綜合比較，結果如圖 4-6-4。從分析圖形中我們可以瞭解到學生最能接受的三種教學方式分別是：作實驗、電腦模擬試驗、電腦動畫。學生相對比較不能接受的三種教學方式分別是：小組討論、角色扮演、電子化投影片教學。但是在開放式問題的回答中我們可以觀察到學生另一種面向的想法，學生反而覺得此次教學活動中最有趣的部分是角色扮演(48.7%)、作實驗(20.5%)及小組討論(17.9%)。從學生的想法我們可以瞭解到學生認為好的教法是能增加概念理解，是否有趣、好玩則在其次。此外也發現到我們的學生太習慣於傳統教學的模式，比較不能接受需要討論、辨證、反思、自我探索的學習方式，而這部分正是我們希望藉由科學學習過程中能讓學生學習到的。



五、實驗組學生喜歡教師使用的教學方式

問卷中設計了一題複選問題：如果可以選擇，你喜歡老師運用何種教學方式？學生的回答分析如表 4-6-4。在時間許可的情況下，實驗組學生最喜歡教師使用電腦動畫(64.1%)，其次是教具/具體模型(61.5%)，第三則為作實驗(56.4%)。此部分的分析結果與之前問卷前四個部分一致，學生對於教具/具體模型與作實驗兩種可以親自操作的教學方式的正面評價頗高。此外學生對於電腦動納入教學之中的喜好度最高，主要原因是學生認為自己想像不到的，可以藉由動畫表現出來，而且動畫能將實驗觀察不到的微觀世界中粒子的行為以視覺化的方式呈現，讓學生覺得感官上的刺激最強烈，如果適度配合教師語言、文字的詳細講解，可以進一步訓練學生在多重表徵的轉換，有助於學生學習抽象或微觀的概念。

表 4-6-4 實驗組學生喜歡老師使用的教學方式（可以複選，表格內為人數）

教具/具體模型	24	POWERPOINT 教學	12	作實驗	22
推導公式/關係圖	15	電腦模擬實驗	19	電腦動畫	25
角色扮演	18	小組/團體討論	10	傳統講述教學	21

六、實驗組學生對於多重表徵的模型教學的看法

問卷中針對實驗組學生對於多重表徵的模型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。以下針對學生在三題開放式問題的回答，進行實驗組學生對於多重表徵的模型教學看法的分析。

(一) 實驗組學生認為多重表徵模型教學中最有趣的部分

此部分針對學生的回答，進行簡單的量化及質性的分析(見表 4-6-4)，在八節多重表徵模型教學活動中，實驗組學生認為最有趣的部分是角色扮演(48.7%)，近一半的學生對於以角色扮演的動作混合模型來學習擴散/蒸發平衡的過程，覺得新奇而有趣。在角色扮演的活動中，學生藉著個人肢體的活動加上教師不斷的以言語的方式解釋擴散、蒸發平衡的過程與影響因素，學生可以親身體驗氣體粒子的運動，深刻的瞭解到氣體粒子是隨機運動、隨機分布的，分子量小的氣體擴散速率較快、蒸氣壓大小會因分子間引力/溫度而不同，並進一步瞭解蒸發平衡(動態平衡)的過程。這部分學生的看法呼應了邱顯博(2002)在擴散概念的研究結果：角色扮演組的教學在情意動機面向，能夠引起學生的學習興趣。

實驗組學生認為教學中最有趣的部分第二名是作實驗(20.5%)，這部分學生的看法與本節之前所探討問卷量化的結果頗為一致。學生不僅覺得可以幫助個人瞭解理想氣體的相關概念，提升學習興趣，對於個人學習的負擔也是最小的，此分析結果顯示出學生非常肯定作實驗的活動。為何學生如此喜愛作實驗呢？主要原因是學生對於化學實驗中多變的巨觀現象充滿著好奇，作實驗可以讓學生親身體驗實驗的過程，親眼看見實驗的結果，學習如科學家一般的探索科學的真相。大多數的學生認為藉著親自參與實驗的歷程來學習科學推理、實驗操作的技能，可以學習如何有系統的建立、檢驗和修正自我的想法以進一步建立科學的概念。

實驗組學生認為教學中最有趣的部分第三名是小組討論(17.9%)，主要是學生覺得很少有機會能和同學一起作答，聽聽大家的想法，這種新鮮的教學法很有趣。部分學生覺得藉著師生、生生之間的討論，有助於個人澄清錯誤的概念，也深感到討論時同學們彼此的互動而產生的和諧感，這些都是社會建構論所提倡教學中應重視的社會面向。

表 4-6-5 實驗組學生認為多重表徵模型教學中最有趣的部分

教學中最有趣的部分	人數(%)	理由
角色扮演	19(48.7)	● 可以假裝自己是氣體粒子，深入瞭解氣體是如何隨機運動 ● 大家都親自參與，邊玩可以邊學習，而且比較不容易忘記 ● 可以親身體驗，氣體擴散速率會因分子量不同、蒸氣壓大小會因分子間引力而不同
作實驗	8(20.5)	● 作實驗讓我們親身體驗實驗的過程，親眼看見實驗的結果 ● 我本身就喜歡利用科學方法來證明事情
小組討論	7(17.9)	● 可以互相討論，不懂也可以馬上問，也可以聽到各種不同的想法 ● 很少有機會能和同學一起作答，聽聽大家的想法，這種新鮮的教學法很有趣 ● 大家一起集思廣益，有一起努力的感覺，大家都很認真的思考 ● 同學互動之間有新的收穫
投影片教學	4(10.3)	● 因為可以比較不會那麼拘束 ● 使用投影片教理想氣體模型很有趣
電腦模擬實驗	2(5.1)	● 電腦模擬實驗讓我不會只有空想，可有實驗的實例讓我可以觀察 ● 新的體驗
電腦動畫	2(5.1)	● 電腦動畫有圖、有動畫可以幫助瞭解 ● 第一次接觸新的學習方法
具體模型	2(5.1)	● 教具把抽象的事物具體化，使我本身更了解氣體的觀念 ● 肺部呼吸模擬器十分有趣，讓我更容易瞭解肺部是如何運作的

(二)實驗組學生認為多重表徵模型教學中印象最深刻的部分

實驗組學生認為八節課的教學活動中印象最深刻的部分仍然是角色扮演(41.0%)，主要是角色扮演的活動可以讓全班同學一起參與，同學們覺得藉著個人肢體的活動，讓自己對於氣體粒子擴散的運動及蒸發過程印象十分深刻，也覺得用動作配合老師口語解釋活動的內容，可以將抽象而且微觀的粒子世界變得具體而易懂，因此近四成的學生對角色扮演印象深刻。實驗組學生認為多重表徵模型教學中印象最深刻的部分的理由及人數(百分比)如表 4-6-6。

表 4-6-6 實驗組學生認為多重表徵模型教學中印象最深刻的部分

教學中印象最深刻的部分	人數(%)	理由
角色扮演	16(41.0)	● 能讓全部同學參與，印象深刻 ● 沒想到竟然可以用“人”來代表氣體擴散，覺得印象很深刻，且一下子就理解擴散了，一直到現在..
電腦動畫	6(15.4)	● 能清楚看見，容易理解 ● 難得用電腦來學習 ● 自己想像不到的，可以藉由動畫表現出來 ● 感官上的刺激最強
小組討論	6(15.4)	● 可以和所有同伴一起討論，感覺很和諧 ● 看到每一各組員踴躍地參與討論，一起討論出的答案，可以更瞭解內容
投影片教學	4(10.3)	● 有圖可以幫助瞭解理想氣體粒子模型，而且圖案看起來很好看 ● 更詳盡的瞭解理想氣體模型
作實驗	3(7.7)	● 自己動手來，印象比較深刻 ● 可以用手邊簡單的器具來瞭解氣體
具體模型	3(7.7)	● 簡單的東西(氣球、寶特瓶等)就能模擬肺的器官，藉著實際操作就可以瞭解肺的運作，很奇妙! ● 因為把抽象的事物實體化，讓本身更了解!
電腦模擬實驗	2(5.1)	● 用擬人化的表情來表現氣體壓力的變化很有趣 ● 簡單明瞭，介面易操作
晤談	1(2.6)	● 可以和老師面對面談論著化學，在談論過程中，可以讓自己更深思自己的觀念，並針對自己的錯誤加以改進，進而得到更多的想法

(三)實驗組學生認為多重表徵模型教學中需要改進的部分

實驗組學生認為多重表徵模型教學中需要改進的部分的理由及人數(百分比)如表4-6-7。從實驗組學生的開放式回答中，我們可以了解到學生認為多重表徵模型教學中最需要改進的部分是時間不夠、上課太趕、沒有足夠的時間可以吸收新知，這種想法的學生佔了30.8%，部分的學生認為投影片教學/推導公式及關係圖/小組討論等部分需要改進的主要原因也是因為進行以上活動時間不足。這部分的問題也是研究者與大部分的科學教師深感困擾的地方，許多有趣而能有效增進學生概念理解或增加推理、探索的活動往往是費時的，如何在有限的教學時數中讓學生參與有趣而又新奇的課室活動，似乎也成為科學教師的大挑戰之一。

從學生開放式的問卷中，我們可以瞭解到大部分的學生對於多重表徵模型教學的情意面向是正面的反應居多。研究者完成實驗組的八節課教學後，在之後的其他主題的教學中也不斷的觀察在多重表徵模型教學的小組討論活動或是實驗中積極表現的學生們，發現這群學生在學習化學的興趣越來越濃厚，表達與推理能力也與日俱增，個人的學習成就也有明顯的進步，這些正面的現象讓研究者對於將多重表徵模型教學納入日後的教學更具信心。

表 4-6-7 實驗組學生認為多重表徵模型教學中需要改進的部分

教學中需要改進的部分	人數(%)	理由
時間不夠	12(30.8)	● 我是覺得可以接受這種教學方式，只是時間太趕了，所以很難吸收 ● 因為有課程進度的壓力，上課感覺很趕，如果有足夠的時間，這種教學方式會讓上課變得更有興趣 ● 教學的時間有點急，但是還是可以很快去適應 ● 這次上課的時間不太夠，不過我還是比較喜歡傳統教學，能夠聽得比較懂、比較完整
投影片教學	8(20.5)	● 很無聊！ ● 時間太短，沒有馬上就討論 ● 時間太短，來不及思考 ● 讓眼睛很不舒服
角色扮演	7(17.9)	● 角色扮演沒有圖、動畫，而且都沒有文字敘述，無法幫助理解 ● 大家應該要配合度要更高 ● 會撞在一起很危險、有點恐怖
推導公式/關係圖	6(15.4)	● 太難了，完全聽不懂！ ● 感覺推的不是很清楚 ● 推導公式有點複雜，上得太快 ● 推導公式/關係圖我有一點不懂為何會如此做，而且不會把它貫通到題目裡
小組討論	4(10.3)	● 小組討論時有些在後面的小組會被忽略，討論時間太短，討論時容易分心 ● 次數太少，時間明顯不足
電腦模擬實驗	2(5.1)	● 模擬實驗不夠真實，直接作實驗比較好
作實驗	1(2.6)	● 作實驗的時間不夠，無法完成實驗討論
電腦動畫	1(2.6)	● 坐後面看不清楚電腦動畫的內容

第七節 綜合分析

本節為綜合討論，以認識論、本體論與情意因素三面向來探討兩組學生在理想氣體的概念發展的異同。並延續邱美虹(2006);Chiu & Chung(2007)的研究：以正確性、一致性與完整性(3C)來分析學生概念演變的情形。此外進一步探討多重表徵的模型教學與動態評量對學生學習理想氣體相關概念的影響為何？

一、兩組學生在理想氣體的概念發展

根據本研究所得到的結果，不論是傳統文本教學或是多重表徵的模型教學對於學生學習理想氣體的相關概念都有顯著的成效，我們可以從圖 4-7-1 至圖 4-7-4 的演變圖形發現兩組學生在教學後都有顯著的進步，即使在延宕測驗的表現仍然顯著優於前測。在心智模式方面，兩組學生都由教學前的混合模式演變成科學/科瑕模式，在記憶保留的測驗中仍能繼續維持科學/科瑕模式。在本體論的演變過程，兩組經教學後也都產生本體類別的跨越，並且在正確性、一致性與完整性(3C)也都達到顯著進步，研究結果顯示高二學生能夠經由教學發展出抽象的理想氣體相關概念。

比較兩組在認識論、本體論的演變情形，實驗組學生在教學後及延宕測驗的表現均顯著優於控制組，實驗組經教學後已達到 100% 的學生都是科學/科瑕模式(控制組：75.0%)，延宕測驗中仍然維持 100% 的學生都是科學/科瑕模式(控制組：55.0%)，結果顯示實驗組學生即使經過教學後五週仍能維持融貫而正確的心智模式，相對的，控制組則有一部分回歸成科學+其他模式以及混合模式。在本體論的演變方面，實驗組的表現更明顯優於控制組，實驗組一半以上的學生從物質/直接過程跨越至突現過程，研究結果顯示：當學生透過教學理解了完整的剛性粒子概念及微觀世界中粒子與環境的交互作用，則較容易形成突現過程的本體類別，而進行根本的概念改變。

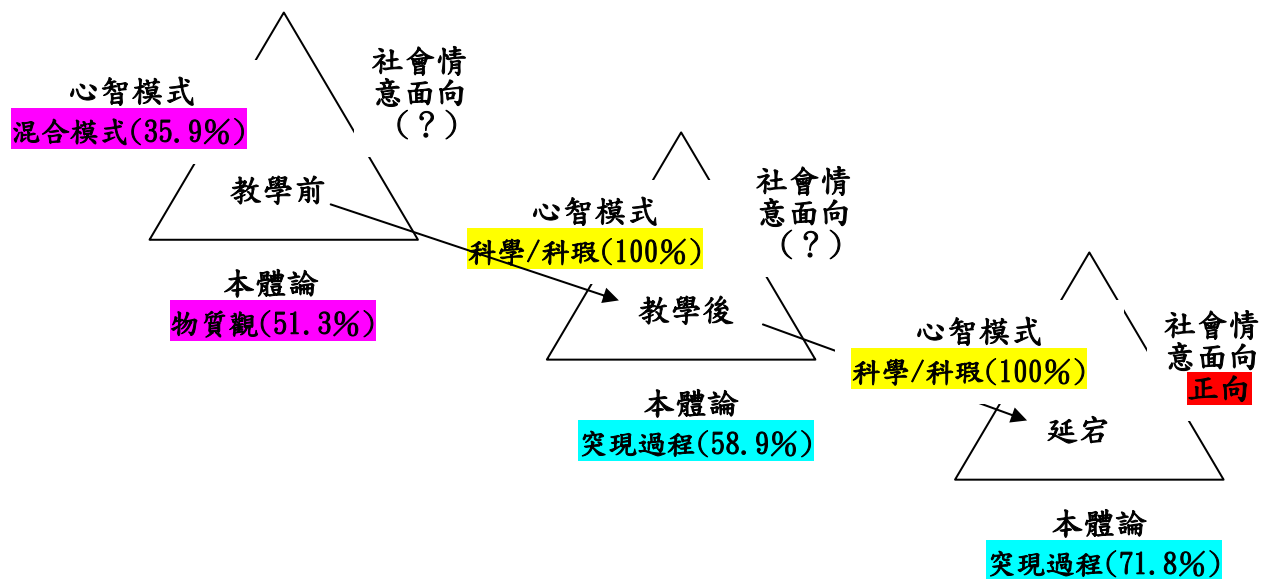


圖 4-7-1 實驗組在認識論、本體論及社會情意面向三個不同面向概念改變的演變情形

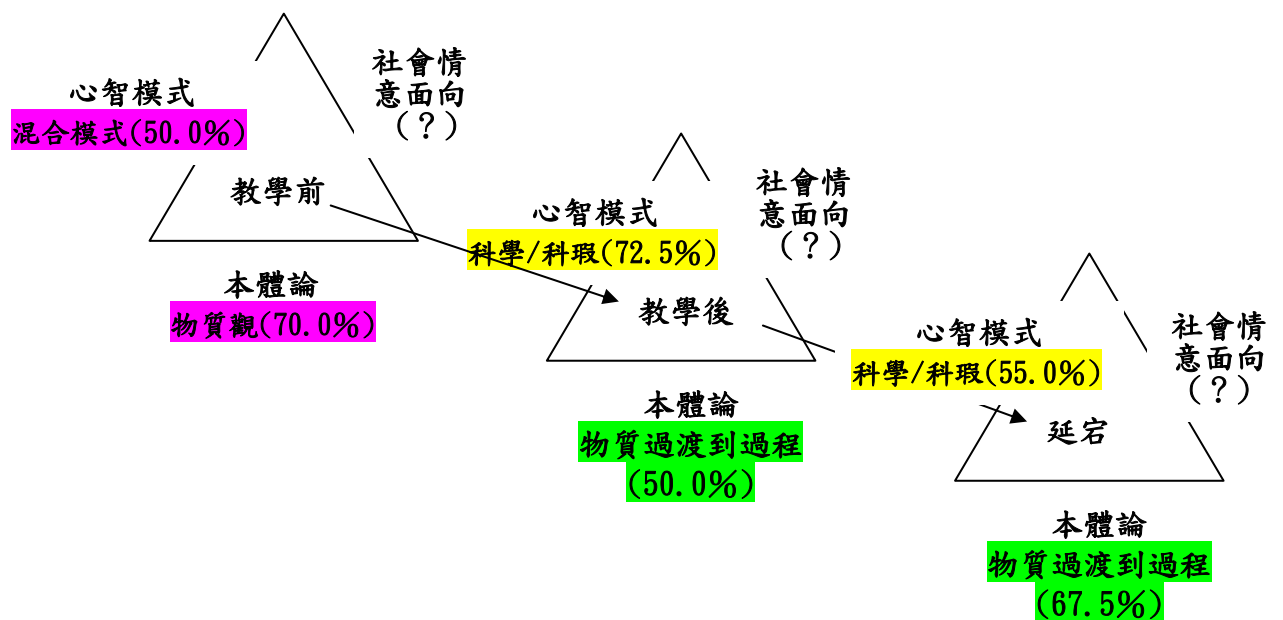


圖 4-7-2 控制組在認識論、本體論及社會情意面向三個不同面向概念改變的演變情形

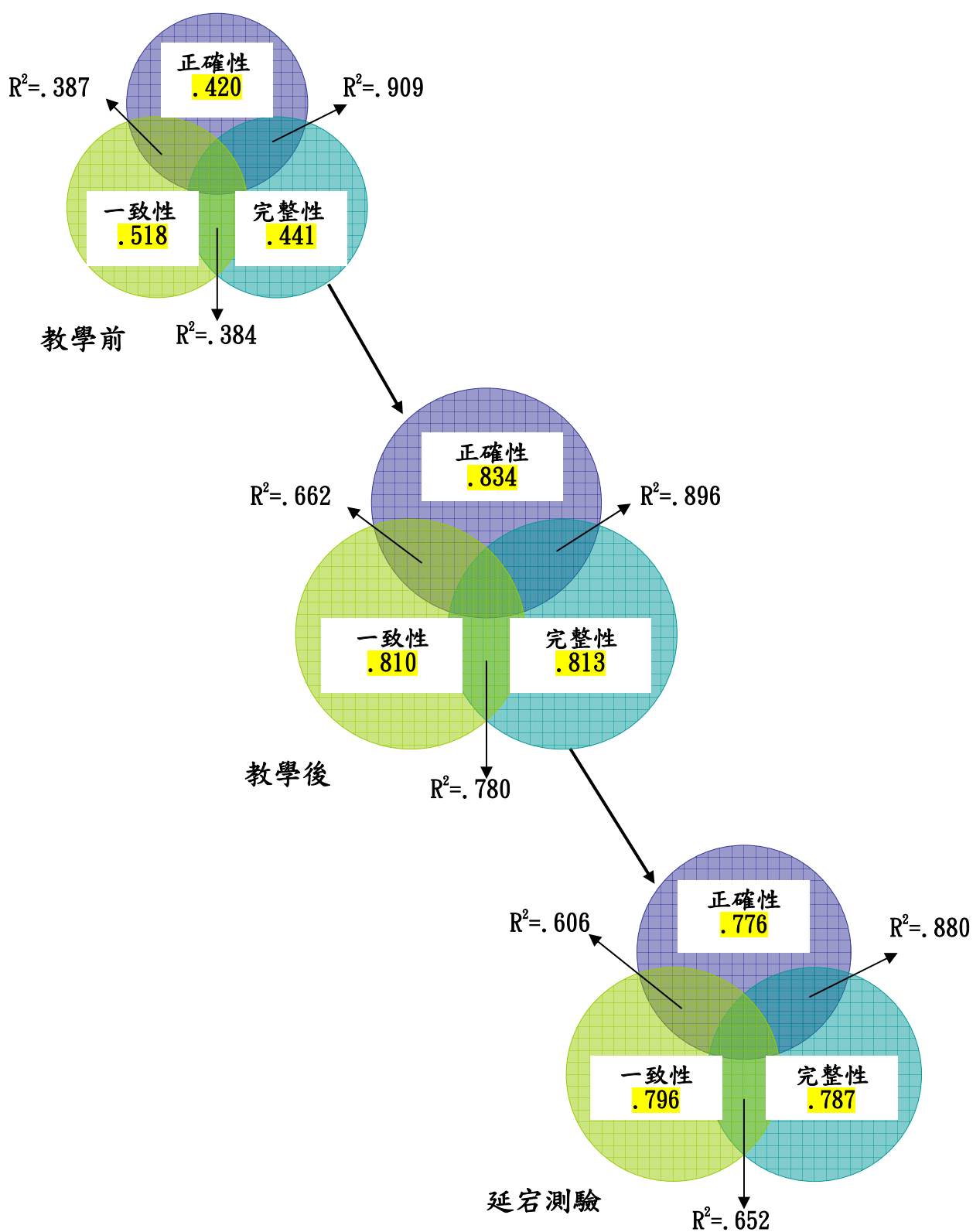


圖 4-7-3 實驗組在教學前、後及延宕測驗中正確性、一致性與完整性的演變情形

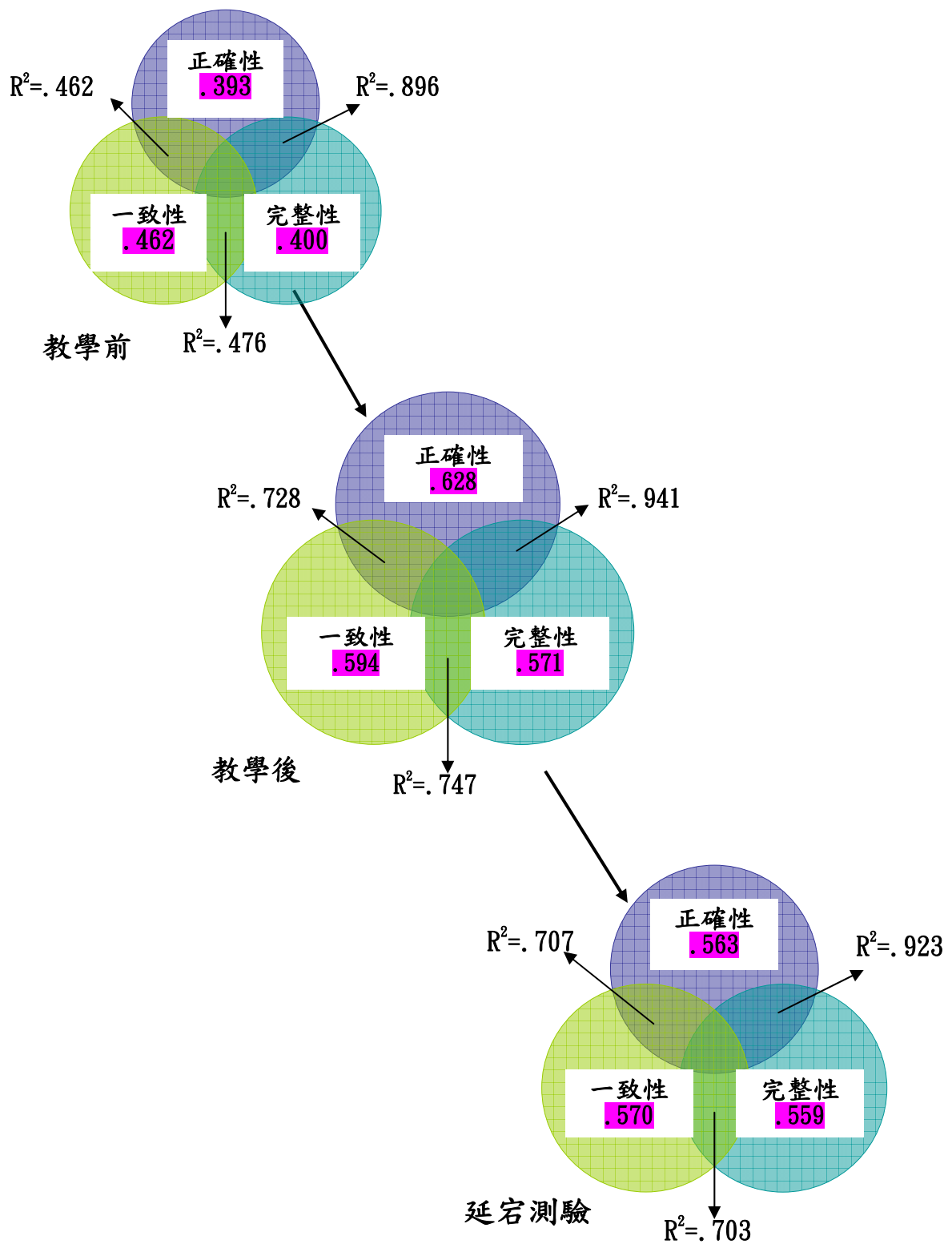


圖 4-7-4 控制組在教學前、後及延宕測驗中正確性、一致性與完整性的演變情形

二、多重表徵的模型教學對於學生概念學習的助益為何呢？

本研究所使用的多重表徵的模型(視覺混合、具體混合、數學混合及動作混合等模型)在教學中(動態評量三)、教學後(動態評量四及後測)、動態評量五與延宕測驗中，其教學成效皆顯著優於控制組的傳統文本教學，顯示多重表徵的模型教學對於學生學習理想氣體相關概念具有完整、極佳的學習成效與記憶保留效應，學生藉由不同的表徵與呈現模型及與呈現模型之間的交互作用，來觀察並進一步瞭解現象中所蘊含的科學模型，藉以動態修正或精緻化個人的心智模式。因此科學學習活動中所使用的呈現模型不僅有助於學生對於科學理論的理解亦有助於學生進行推理。

因此本研究結果可以呼應多位學者的研究結果(Gobert, Snyder & Houghton, 2002; Nersessian, 1999; Gobert, 1994, 引自吳明珠, 2004)：模型化經驗有助於科學概念的學習，模型化的過程提供學生使用形式表徵的實際經驗，學習科學推理的技能，也讓學生學習如何有系統的建立、檢驗和修正模型以進一步建立科學的模型。學習者透過對既有心智模式的評估與修正，得以產生對知識系統具有更大解釋融貫性的模型。

三、多重表徵的模型與傳統文本表徵的差異性

研究結果顯示實驗組學生經由觀察動態的粒子模型、電腦動畫及親身體驗氣體粒子的角色扮演，在教學後對於氣體粒子的分布、運動、氣體擴散的運動方向及分布都演變成近100%科學模式，顯示教學中多次使用動態表徵來呈現抽象概念，的確有助於學生建立粒子微觀運動及交互作用的機制。本研究所使用混合模型中所呈現的動態表徵都可以補足課本內以圖文靜態表來呈現動態屬性或微觀概念的不足，直接將科學概念中具有動態性的概念視覺化，微觀概念具體化，減少學習者因空間推論的缺乏或不足所造成的心智負荷與迷思概念的產生(陳盈吉, 2004)。

四、動態評量對於學生概念學習的影響

本研究除了採用 Campione 等人所提倡的漸進提示模式之外，在試題的設計上則採用一般靜態測驗的模式，但是將教學中所探討的微觀現象（特別是氣體粒子的隨機運

動及粒子之間的交互作用)納入試題之中,從一連串的動態評量中,瞭解學生對理想氣體認知發展的歷程,也嘗試從動態評量的結果中,即時修正教材與教法上的不足,藉由「測驗—介入—再測驗」的方式讓學生在師生、生生互動的情境脈絡中,不斷的發展學習、增廣知識、培養思考技能及後設認知的能力,並藉著實驗與電腦模擬實驗讓學生進行聚焦的練習,以期激發學生認知的潛能。

實驗組學生在五次的動態評量中平均在80左右,顯示藉由動態評量不斷的訓練,學生學習思考平日甚少提到的微觀解釋理由,提升學生思考技能、思考的面向及後設認知的能力。而在教學活動中進行的實驗與電腦模擬實驗的確也讓學生進行聚焦的練習,不僅學習了操作的技能、也學習應該要像科學家一樣從事科學的探究。小組討論活動則讓學生學習科學社群的文化、語言和研究方式,藉著多重表徵與科學過程技能的整合,經由操弄表徵與創造表徵的過程,從事科學家一樣的探究工作與知識建構。

為何控制組同樣進行動態評量,為何效果並不明顯呢?主因是控制組雖然在測驗後師生同樣也進行檢討,但是並沒有針對學生的迷思概念進行教學方法或教材的修正,因此控制組學生對於氣體粒子的微觀運動及交互作用的認知發展有限。