

探究高二學生理想氣體中混合氣體的心智模式與概念改變

鍾曉蘭、邱美虹

國立台灣師大科學教育研究所

chshirley2007@yahoo.com.tw mhchiu@ntnu.edu.tw

摘要

在學習化學的歷程中，微觀的粒子概念是理解化學概念的重要基礎。然而，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的想法，因而產生許多的迷思概念或另有概念。在化學概念中，研究微觀的粒子概念最多的是化學平衡與氣體粒子，本研究主要是聚焦在學生的氣體粒子的心智模式的種類與其融貫性。綜觀氣體粒子的相關研究可得知，學生對於氣體體積、氣體壓力與氣體分布等概念存有許多迷思概念（史嘉章, 2002；邱美虹, 2005）。本研究是根據文獻中所提及氣體粒子的迷思概念之上，發展出一套電腦測驗，以一系列相關混合氣體體積、壓力、蒸氣壓、擴散與微觀世界中氣體粒子運動的關係，藉著電腦呈現出動態表徵，來探討學生在氣體動力論中混合氣體相關的心智模式的種類，並希望藉由模型的多重表徵的教學來幫助學生對於氣體動力論的科學學習與概念改變。

關鍵詞：心智模式、模型的多重表徵、概念改變

一、前言

微觀的粒子世界對學生而言，是個既看不到又摸不著的領域，因而學生對於氣體粒子存有許多的迷思概念。學生對於微觀氣體粒子的行為不瞭解，導致在學習氣體動力論困難重重，甚至對於氣體的巨觀現象做出許多錯誤的推理。為了瞭解學生對於混合氣體相關概念的學習困難所在，以及瞭解模型的多重表徵的教學是否能有效幫助學生對於氣體動力論的科學學習與概念改變，本研究主要探討以下的三個問題：(1) 學生關於混合氣體的心智模式的種類；(2) 學生在混合氣體的心智模式是否具有融貫性；(3) 經過模型多重表徵的教學後，學生心智模式的改變。

二、文獻探討

學生學習微觀的粒子概念是非常困難的，因為粒子概念是抽象的，且隱藏於科學現象的影響機制常常是微觀的，無法以巨觀方式觀察而理解，進而推論、自我建構出科學概念。因此，有相當大比例的學生無法理解或應用粒子模型來解釋科學現象，產生許多的迷思概念或另有概念。許多研究粒子模型的結果指出，學生誤認為密閉容器氣體壓力來自於粒子間互相推擠或互相碰撞而成；氣體壓力會受氣體粒子體積、分子量、活性或運動速率大小影響；多數誤認溫度、壓力相同時運動速率相同，或認為粒子碰撞時會導致動能的變化而使運動速率改變；也很少持有正確的氣體粒子隨機運動與分布的概念（史嘉章, 2002；邱美虹, 2005）。因此要幫助學生學習氣體動力論中混合氣體相關的概念，必須從建立微觀的氣體粒子運動模型扎根，理解隱藏在現象之後的微觀世界，才能

對巨觀的科學現象做出合理而正確的推論。

Kenneth Craik (1943)提出心智模式是一種動態的表徵或對世界的模擬，藉由操弄這些符號表徵來進行推理、產生行動，或覺察到這些符號和外在世界的一致性。Vosniadou 和 Brewer (1992) 則認為心智模式是為了回答、解決問題或是處理某種狀況所產生的一種動態結構，其源自概念結構，並受其限制。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)。科學教室中的教與學需要強調科學模型在科學領域的角色與目的，提供更多與現象對照的模型，讓學生建立以模型作為認知工具的經驗(Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002)。教師可善用多重表徵的模型進行教學，例如應用電腦動畫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，促進學生形成具有與現象相同屬性的心智模式。Gilbert, Boulter & Elmer (2000)提出以表徵的方式和表徵的屬性兩個不同的維度來分類及解釋模型：表徵的方式主要分為五種—具體的(concrete)、言語的(verbal)、視覺的(visual)、數學的(mathematical)、動作的(gestural)，又可細分為單一或混合的表徵方式。表徵的屬性則分為量化或質性、動態或靜態、決定的或隨機的，整理如下圖 1。教師在設計教學活動或策略時，可根據現象或概念的特性，選用適合的模型表徵方式與屬性，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。

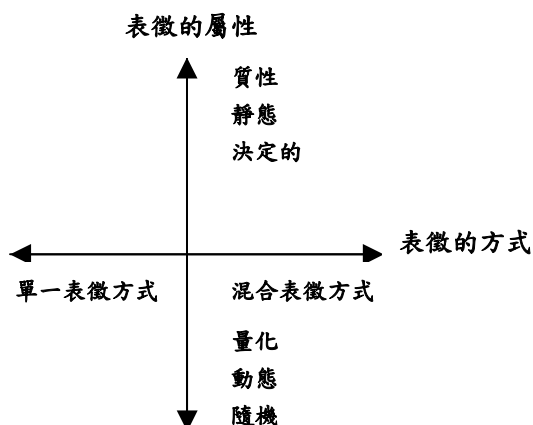


圖 1. 模型分類的兩種不同的維度

三、研究工具

研究工具主要是發展出一套氣體粒子運動的電腦試題，概念內容主要分為三大部分：(1) 混合氣體壓力、體積與氣體粒子運動的關係；(2) 影響蒸氣壓的因素與微觀機制的探討；(3) 混合氣體擴散與氣體粒子運動的關係。將試題分為情境題與非情境題，巨觀與微觀部分，設計成 two-tier 試題型式，並部分以動態的表徵研究學生對於氣體粒子運動的相關概念。

研究工具在效度上，經由三位具有化學背景的教授審閱並經過討論後，加以修改以建立專家效度。研究工具的初試對象為台北縣某高中的 38 位 12 年級學生，87 位 11 年級學生，共計 125 位學生，在 11 年級初時，已學過氣體的相關概念，進行電腦測驗後，得到信度為 0.81。

四、教學設計

教學對象為教學對象預計為台北縣某高中的 59 位 11 年級(高二)學生，其中 33 位學

生為實驗組，進行模型的多重表徵的教學；另外 26 位學生則為控制組，進行傳統教學，教學內容主要為理想氣體的相關概念。兩組皆進行為期二週，共計 6 節課的教學。

實驗組的教學設計是以模型的多重表徵教學為主，模型表徵方式為具體、數學、視覺或動作混合型，表徵屬性依概念的性質分為質性/量化，動態/靜態，隨機的/決定的，共分六節課，每節 50 分鐘，教學策略及說明概念詳見下表 1。

表 1 實驗組模型多重表徵的教學設計

教學節次	教學策略	模型表徵方式	模型表徵屬性
第一節	粒子運動的動態模型	具體混合	質性—動態—隨機的
探討與說明的相關概念：			
<ul style="list-style-type: none"> ● 密閉容器內，以隨機運動的寶麗龍球碰撞容器壁說明氣體粒子碰撞容器壁形成氣壓 ● 密閉容器內，以隨機運動的寶麗龍球碰撞容器壁說明影響氣壓的因素為粒子數目、溫度與體積，並說明氣壓大小與分子量、活性、分子體積無關 ● 氣體粒子是隨機運動的，理想氣體粒子之間是無吸引力 			
第二節	針筒與氣球實驗 及推導公式、關係圖	具體混合 數學混合	質性—靜態—決定的 量化—靜態—決定的
探討與說明的相關概念：			
<ul style="list-style-type: none"> ● 密閉容器內，定溫下，壓縮體積則壓力變大（波以耳定律）$\rightarrow PV=K$ ● 定壓下，氣球受熱體積膨脹；遇冷體積收縮（查理定律）$\rightarrow V=KT$ ● 畫出 P-V, V-T 等關係圖 			
第三節	電腦模擬實驗 及動畫教學	視覺混合 視覺混合	量化—動態—決定的 質性—動態—隨機的
探討與說明的相關概念：			
<ul style="list-style-type: none"> ● 電腦模擬波以耳定律及查理定律的實驗及推導出公式、關係圖，及 $PV=nRT$ ● 以電腦動畫配合口語講述說明氣壓與氣體粒子動量變化的關係(微觀) ● 以電腦動畫配合口語講述說明氣體粒子重量所造成的壓力是可以忽略的(微觀) ● 以電腦動畫配合口語講述說明理想氣體粒子的特性及與真實氣體之間的相異點 			
第四節	角色扮演	動作混合	質性—動態—隨機的
探討與說明的相關概念：			
<ul style="list-style-type: none"> ● 配合肢體活動及講述說明蒸氣壓的成因與影響因素（溫度與分子間引力） ● 配合肢體活動及講述說明何謂蒸發平衡與飽和蒸氣壓的定義 ● 配合肢體活動及講述說明擴散運動是隨機的，突現的過程 			
第五節	推導公式、關係圖	數學混合	量化—靜態—決定的
探討與說明的相關概念：			
<ul style="list-style-type: none"> ● 推導道耳吞分壓定律公式 ● 以速率與蒸發過程的關係圖說明何時達成蒸發平衡與飽和蒸氣壓的定義 ● 以飽和蒸氣壓與溫度的關係圖說明飽和蒸氣壓受溫度與分子間引力影響 			
第六節	動畫教學 推導公式	視覺混合 數學混合	質性—動態—隨機的 量化—靜態—決定的
探討與說明的相關概念：			
<ul style="list-style-type: none"> ● 以電腦動畫配合口語講述說明擴散時氣體粒子是隨機運動的(微觀) ● 擴散時氣體粒子分布是均勻的，不受氣體密度或分子數目影響(微觀) ● 擴散時氣體粒子的分子量小者，運動速率較快(微觀) ● 由氣體的動能公式推導並說明格銳目氣體擴散定律 			

五、研究結果

(一) 實驗組學生在教學前、教學後及延宕後測心智模式的種類及演變：

1. 學生關於混合氣體壓力的心智模式種類與演變：

研究結果顯示，學生關於混合氣體壓力的心智模式概分為六大類型（詳見表 2）：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。從分布情形來看，教學前科學模式僅為 21.2%，即使經過模型教學，雖然提升至 36.9%，延宕後測時又衰退至 27.3%，顯示學生在混合氣體壓力的迷思概念較不易改變，即使經過教學後改變成為科學模式，經過五週後又回歸成不正確的心智模式。有三至四成的學生認為，只要容器體積相同，碰撞機率相同，因而氣體壓力相同，雖然隨著教學後有減少，但是改變情形不明顯，顯示此種心智模式是融貫而不易改變的。值得注意的是，學生認為溫度相同，動能就相同，故混合氣體的總壓會相同的心智模式有隨著教學後逐步攀升，顯示學生在學習氣體動能的相關概念時容易產生另有概念。以上結果顯示大多數的學生對混合氣體壓力存有不正確的心智模式，無法對於密閉容器內氣壓的成因與影響因素的微觀理由建立正確的科學概念。

表 2 混合氣體壓力的心智模式分布情形 (N=33, 表格內為百分比)

(1 莫耳氬氣與 0.5 莫耳氬氣+0.5 莫耳氧氣混合氣體總壓大小的比較)

心智模式	解釋原因	前測	後測	延宕
科學模式	氣體壓力與莫耳數成正比	21.2	36.9	27.3
分子量模式	分子量大，重量大者產生壓力較大	3.0	6.2	0.0
	分子量小，運動速率快，碰撞機率多，壓力較大	3.0	3.0	3.0
體積模式	容器體積相同，碰撞機率相同，壓力相同	36.9	27.3	30.3
	分子體積大，碰撞機率多，壓力較大	6.1	6.1	0.0
	分子體積大，不易移動，碰撞機率小，壓力較小	6.1	0.0	3.0
引力模式	混合氣體間引力變大，碰撞機率多，壓力較大	3.0	3.0	3.0
	混合氣體引力變大，速率變慢，碰撞機率小，壓力較小	3.0	3.0	0.0
動能模式	溫度相同，動能就相同，故混合氣體的總壓相同	3.0	9.1	18.2
活性模式	分子活性大，運動速率快，壓力較大	12.1	12.1	9.1

PS: 斜體字型表示巨觀答對而微觀答錯

2. 學生關於混合氣體粒子運動的心智模式種類與演變：

研究結果顯示，學生關於混合氣體粒子運動的心智模式概分為六大類型（詳見表 3），從分布情形來看，教學前科學模式僅為 36.4%，有 39.5% 認為混合氣體粒子是部分靜止，部分隨機運動，18.2% 認為混合氣體粒子是全部運動，方向不一致(左右或上下)，經過模型（電腦動畫及具體模型）教學，呈現氣體粒子運動是動態—隨機的表徵，科學模式大幅提升至 87.9%，經過教學後五週，仍維持有 84.8%，顯示模型的多重表徵教學在學習氣體粒子運動概念是十分成功的。

表 3 混合氫氣與氮氣氣體粒子運動心智模式分析 (N=33, 表格內為百分比)

粒子運動模式	前測	後測	延宕
全部靜止	6.0	0.0	0.0
部分靜止，部分向一定的方向移動	0.0	0.0	0.0
部分靜止，部分隨機運動	39.5	3.0	3.0
全部向一定的方向移動	0.0	3.0	3.0
全部運動，方向不一致(左右或上下)	18.2	6.0	9.0
*全部隨機運動	36.4	87.9	84.8

PS: *表示為科學模式

3. 學生關於混合氣體擴散的心智模式種類與演變：

研究結果顯示，學生關於混合氣體擴散的心智模式概分為四大類型，細分為九種心智模式(詳見表 4)：經模型的教學後，擁有科學模式的學生由 6.1% 大幅提升至 51.5%，而活性與動能模式明顯減少，但是經過五週後，有 18.2% 的學生又回歸成活性模式，在延宕中也多出 15.1% 的學生誤解分子量與擴散速率的關係。由結果可知，學生對於粒子擴散速率與分子量、溫度有關的正確概念不容易長時間維持，一段時間會回復原有的心智模式。

表 4 混合氣體擴散的心智模式分布情形 (N=33, 表格內為百分比)

心智模式	解釋原因	前測	後測	延宕
分子量模式	科學模式(分子量小，擴散速率快)	6.1	51.5	24.2
	分子量大，運動速率快，擴散速率快	6.1	12.1	21.2
	分子量大，壓力大，擴散速率快	9.1	3.0	9.1
活性模式	分子活性大，壓力大，擴散速率快	12.1	3.0	9.1
	分子活性大，運動速率快，擴散速率快	21.2	9.1	21.2
分子體積模式	分子體積大，壓力大，擴散速率快	3.0	6.1	6.1
	分子體積大，運動速率快，擴散速率快	6.1	3.0	3.0
動能模式	分子量小，運動速率快，動能較大，擴散的較快。	18.2	9.1	6.1
	分子量較大，故動能較大，擴散的較快	18.2	3.0	0.0

PS: 斜體字型表示巨觀答對而微觀答錯

(二) 實驗組與控制組前、後及延宕後測結果：

將實驗組(前測平均:.394;標準差:.134)與控制組(前測平均:.436;標準差:.112)兩組的前測成績進行 paired-T Test ($t=1.152, p=.26$), 表示兩組學生在教學前未達顯著差異。

1. 控制組結果分析：(使用 paired-T Test, 表格中的括號內為效果量(effect size))

經傳統教學後，各概念在前、後及延宕後測的得分率的顯著性分析，詳見表 5。結果顯示，控制組學生經傳統教學後，其前後測差異在粒子運動及總平均上達顯著進步，但是後延差異在蒸氣壓、擴散與總平均上卻達顯著退步。

表 5 控制組前、後及延宕後測各概念得分率的分析 (N=26)

概念內容	前測平均	後測平均	延宕平均	後測－前測	延宕－前測	延宕－後測
壓力、體積	.37	.40	.45	.52 (.20)	.04*(.48)	.33 (.22)
蒸氣壓	.45	.52	.39	.17 (.39)	.15 (.37)	.01*(-.67)
擴散	.47	.53	.40	.36 (.32)	.21 (.38)	.02*(-.56)
粒子運動	.52	.77	.61	.02*(.50)	.46 (.17)	.20 (-.38)
總平均	.44	.51	.44	.04*(.67)	.97 (.01)	.03*(-.47)

* : p<.05

2. 實驗組結果分析：(使用 paired-T Test，表格中的括號內為效果量(effect size))
經模型的多重表徵教學後，各概念在前、後及延宕後測的得分率的顯著性分析，詳見表 6。結果顯示，實驗組學生不論在前後差異及前延差異上，除了混合氣體壓力與體積未達顯著進步外，其餘皆達顯著進步。尤其是在粒子運動方面，後測及延宕後測的得分平均高達八成以上。

表 6 實驗組前、後及延宕後測各概念得分率的分析 (N=33)

概念內容	前測平均	後測平均	延宕平均	後測－前測	延宕－前測	延宕－後測
壓力、體積	.43	.51	.49	.12 (.47)	.19 (.38)	.62(-.11)
蒸氣壓	.35	.51	.48	.00**(81)	.00**(60)	.36(-.18)
擴散	.40	.67	.59	.00**(1.17)	.00**(83)	.09(-.25)
粒子運	.39	.88	.83	.00**(1.03)	.00**(94)	.46(-.16)
總平	.39	.59	.54	.00**(1.70)	.00**(1.32)	.14(-.31)

* : p<.05 ** : p<.01

3. 實驗組與控制組教學成效差異比較(使用 ANCOVA，表格中的括號內為效果量(effect size))，詳見表 7：

分析顯示，實驗組與控制組經不同的模式教學後，兩組在後測與延宕後測的巨觀總平均、總得分率上皆達顯著差異。在後測的子概念上，除了蒸氣壓概念之外，其他概念兩組皆達顯著差異。而在延宕後測的子概念上，除了壓力、體積的概念之外，不論巨觀與總分皆達顯著差異。

表 7 實驗組與控制組各概念得分率差異的顯著性分析

概念內容	後測差異			延宕差異		
	巨觀	微觀	總分	巨觀	微觀	總分
壓力、體積	.035*	.229	.049* (.49)	.291	.319	.724 (.23)
蒸氣壓	.563	.680	.833 (-.06)	.009**	.113	.020* (.36)
擴散	.023*	--	.006**(63)	.000**	.148	.005**(1.05)
粒子運動	—	--	—	—	.025*	.025* (.50)
總平均	.020*	.068	.015* (.49)	.000**	.007**	.000**(78)

* : p<.05 ** : p<.01 --表示進行同質性檢定時，p<.05，故不進行 ANCOVA 分析

六、結論及建議

研究結果顯示，兩組在後測均有顯著進步，但控制組在教學後經過五週，在蒸氣壓、擴散二方面概念與總平均的延宕與後測差異，卻達顯著退步，而使兩組的延宕後測除了壓力之外其他概念均達顯著差異，顯示經過傳統的教學法對於混合氣體相關的科學概念不容易長時間持有。而實驗組總得分率在後測及延宕後測，明顯優於控制組，特別是在蒸氣壓、擴散與粒子運動三方面，實驗組的進步皆達顯著差異，由此可推知以角色扮演來理解蒸氣壓的成因與影響因素、讓學生以動作混合的模型來教導學生擴散運動過程是動態而隨機，及以動畫明確說明粒子微觀的運動情形等教學策略明顯比一般傳統教學法較有助於學生理解氣體分子動力學的相關概念，尤其在學習氣體粒子的運動，以及混合氣體擴散的相關概念上。

實驗組學生心智模式的種類及演變上，關於混合氣體粒子運動，經模型的多重表徵教學後，學生擁有科學模式的比例高達 87.8%(前測：36.4%；延宕：84.8%)，顯示利用與現象或概念具有相同屬性(動態—隨機的)的模型教學，有助於學生建立正確的微觀氣體粒子運動模型。在擴散的心智模式改變上，經教學後擁有科學模式的學生也提升至 51.5%(前測：6.1%；延宕：24.2%)，但持續的成效並不顯著。而在混合氣體壓力的心智模式改變上，經教學後屬於科學模式的學生進步至 36.9%(前測：21.2%；延宕：27.3%)，顯示在氣體壓力的教學策略及活動設計上仍需進一步改進。在壓力與擴散的具體混合及模擬實驗的模型教學中，將來可以加入微觀的動態屬性與詳細的文字、數學推導過程說明，並融入適合的社會建構的學習情境，藉著師生、生生之間密切的互動與對現象微觀世界的探討，將有助於學生建立微觀的氣體粒子運動模型，增進學生在氣體動力學的科學學習。

致謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會經費補助 (NSC-93-2511-S-003-040, NSC 94-2511-S-003-010)，謹此致謝。

參考文獻

- 史嘉章 (2002)。發展二階試題以探討國高中學生氣體迷思概念。國立台灣師大科學教育研究所碩士論文 (未出版)。
- 邱美虹 (2005)。台灣地區中小學化學概念之心智模式與成因之研究(I)—子計畫二：台灣地區中學生「原子/分子/粒子、化學平衡、酸鹼鹽」結案報告 (未出版)。
- 潘冠錡, 陽季吟 (2006)。氣體動力論。台北市多媒體單元教材甄選觀摩作品。網址：<http://163.21.249.238/>
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (eds.), *Developing models in Science Education*, (pp.3-17). Netherlands: Kluwer academic Publisher.
- Tteagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002), Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535-585.