以動態評量探究學生氣體粒子本質的概念改變歷程

鍾曉蘭 [1,2]、邱美虹 [1*]
國立臺灣師大科學教育研究所 [1]、國立三重高中 [2]
chshirley2007@yahoo.com.tw、mhchiu@ntnu.edu.tw*

摘　要

本研究採用Campione & Brown(1982)所提倡的漸進提示評量(Graduated Promoting Assessment) 在教學過程中進行五次的動態評量(教學前、教學中二次、教學後、延宕測驗)，以探討學生學習氣體粒子本質的概念改變歷程。在誇題的設計上納入理想氣體教學中所探討的微觀現象與巨觀現象的因果關係，誇題內容包括氣體的粒子模型觀是連續的或不連續的，密閉容器氣體壓力的成因及影響氣壓的因素，溫度對氣體壓力/體積、粒子運動/分布的影響等，藉以瞭解學生對理想氣體概念認知發展的歷程。誇題類型分為單選七題及多選題十，其Cronbach α值為0.800。研究者並進一步分析多重表徵的模型活動在哪些類型的模型與表徵上，能夠有效的提升學生認知發展的潛能，並藉著評量結果即時修正教材與教法上的不足，藉由「測驗－介入－再測驗」的方式了解學生在師生、生生互動的情境脈絡中互動的成果。研究結果顯示，兩組學生在教學前的動態評量表現並無顯著差異 ($t(81)=0.509, p=.559$)。然實驗組(N=41)經過理想氣體粒子模型投影片、氣體粒子模型、肺部呼吸模擬器及蒸氣壓電腦動畫等多重表徵的模型活動(5節課，每節50分鐘)之後，在教學中第2次動態評量($t(81)=6.493, p<.001$)及教學後($t(81)=4.727, p<.001$)的動態評量成績皆顯著優於控制組，且實驗組學生在理想氣體概念的心智模式是不斷的趨向科學模式/類科學模式。控制組(N=41)雖然只進行傳統的教學活動，然而在一系列動態評量的成績亦緩步揚升，顯示動態評量亦有助於學生逐漸修正個人錯誤的想法。

關鍵詞：心智模式、多重表徵的模型活動、動態評量

一、　研究動機

高中學生在學習理想氣體方面，存有極大的障礙，主因是學生在日常生活中不易察覺與體驗出氣體粒子微觀的想法而產生迷思概念。顯示出即使如皮亞傑的論點，高二學生已進入形式操作期，對抽象的概念仍然有其學習的障礙。本研究設計出多重表徵的模型教學讓學生從模型活動中瞭解氣體粒子的科學模型，藉著理解氣體粒子在微觀的行為與巨-微觀之間交互作用、巨觀現象的因果關係，藉以增進學生在理想氣體的科學學習，並藉著一系列的動態評量探究學生認知發展的歷程。

探究的研究問題如下：

1. 在一系列動態評量中，多重表徵的建模教學成效與傳統教學組是否有差異？
2. 在一系列動態評量中，兩組學生概念發展的歷程為何？
3. 多重表徵的建模教學活動是如何影響學生概念的發展？

二、　文獻探討

多重表徵的模型

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，提供更多與觀察

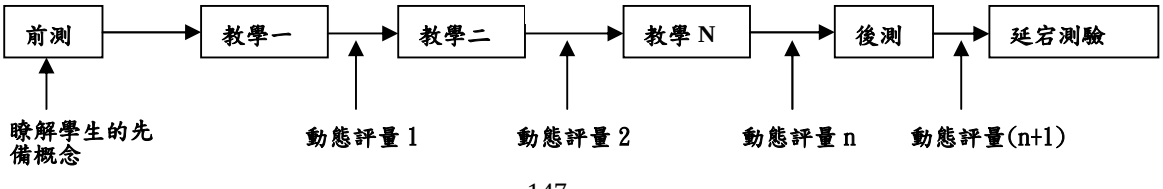
現象對照的模型，讓學生建立以多重表徵的模型作為認知工具的經驗(Treagust, Chittleborough,& Mamiala, 2002)。多位學者建議，以模型為基礎的教與學提供學生使用形式表徵的實際經驗，幫助學生學習科學推理的技能，也讓學生學習如何有系統的建立、檢驗和修正模型以進一步建立科學的模型，學習者透過對既有心智模式的評估與修正，得以產生對知識系統具有更大解釋融貫性的模型(Gobert, Snyder, & Houghton, 2002；Nersessian, 1999；Gobert, 1994, Buckley & Boulter, 2000；Chiu & Chung, 2007)。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，讓學生藉由呈現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)的研究中特別針對教學中呈現模型的設計提出建議:教師在設計呈現模型前要先瞭解現象(phenomenon)、物體之間的行為(behavior)以及因果機制(causal mechanism)，才能使呈現模型與目標的現象達到一致性。教師在設計各種呈現模型之前，必須要思考呈現模型中每一個物件與現象中的物體的對應關係、意涵是否適宜及正確，當教師提供的表徵、呈現模型與現象的結構、行為與機制的訊息達成一致時，呈現模型則可以幫助學生進行以模型為基礎的學習。

動態評量

動態評量是以「測驗－介入－再測驗」的形式進行評量，教師不僅在教學前要先瞭解學生的認知發展，且要經過不同的教學方式及情境，讓評量者與被評量者產生互動，是一種著重學習歷程或認知改變的評量，與只重視評量的結果、缺乏師生互動過程的傳統評量方式是截然不同的。動態評量雖然有多種不同的研究模式，但有其共通的四項特徵(周天賜，1998)：大多採「測驗－介入－再測驗」的形式、重視評量中受試者的可塑性、強調評量者的主動介入與受試者間合作互動、不僅評量受試者當前的表現，更擴及評量其潛能。近年來，研究者與教師們對於動態評量的看法隨著關注角色上和學習潛能研究的使命而改變，主要強調動態評量從預測導向的測驗轉變成教學導向的測驗，從對一般智力測驗的改善轉變成學習過程的描述及分析，轉變成將動態評量的方法論延伸到一般的學生團體。

本研究採用 Campione & Brown(1982)所提倡的漸進提示評量(Graduated Promoting Assessment)，此種評量模式是以 Vygotsky(1978)近側發展區(Zone of proximal development,ZPD)觀點為基礎，透過「測驗－練習－遷移－再測驗」的漸進提示系統模式進行評量，以建立量化的資料。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(評量介入情形如圖一)，瞭解學生對理想氣體認知發展的歷程，進一步分析多重表徵的模型教學在哪些模型與表徵上，能夠有效的提升學生認知發展的潛能，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，並藉著探究與討論活動讓學生進行聚焦的練習，以期激發學生認知的潛能。



圖一 本研究動態評量介入的設計情形(引自 Chiu, 2007)

三、　研究方法

研究方法預計採用準實驗法，研究對象為台北縣某國立高中高二自然組二班學生總計 82 位，其中 41 位學生為實驗組，進行多重表徵的建模教學；另外 41 位學生則為控制組，進行傳統教學。兩組皆進行為期三週(共計十節課，每節分鐘)，兩組設計 5 節課不同方式的教學活動(其他節課內容大致相同)。藉以探討多重表徵的建模教學的成效，及一系列動態評量中兩組學生有關氣體粒子本質的概念改變歷程，研究設計如表一。

表一　實驗組與控制組的教學設計與動態評量介入時間

<table>
<tr><td>實驗組(N=41)</td><td rowspan="2">前測
(動態評量 1)</td><td>十節課(每節 50 分鐘)
具體模型（粒子運動的動態模型、肺部呼吸模擬器）、投影片教學、推導數學公式、電腦動畫教學、團體討論</td><td rowspan="2">後測
(動態評量 4)</td><td rowspan="2">延宕測驗
(動態評量 5)</td></tr>
<tr><td>控制組(N=41)</td><td>十節課(每節 50 分鐘)
一般講述法、教師講解公式與關係圖、練習習題、教師講解動態評量答案</td></tr>
</table>

動態評量 2　　動態評量 3
(教學 4 節後)　（教學 7 節後）

研究工具參考邱美虹(2006)、吳怡嫻(2007)、鍾曉蘭(2007)，修改後的動態評量試題設計成一般靜態評量的測驗題(分為單選 7 題及多選題 10 題)，藉以診斷學生有關氣體的粒子模型觀是連續的或不連續的，密閉容器氣體壓力的成因及影響氣壓的因素，溫度對氣體壓力/體積、粒子運動/分布的影響等。修改後試題由二名任教多年的高中化學教師，就題目的內容適當性、學科概念上，做進一步的修正。預試對象為已學習過理想氣體的高二學生共計 86 位，試題信度(Cronbach α 值)為 0.800。

四、　研究結果與討論

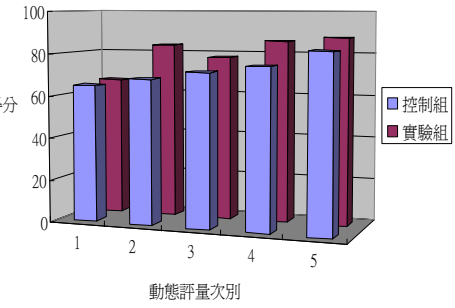
教學成效比較

兩組學生在五次動態評量中的顯著性比較見表二，評量 1 是在教學前進行的，從顯著性比較中我們可以了解到兩組學生在教學前對於理想氣體本質的相關概念上並未達到顯著差異，但實驗組經過理想氣體粒子投影片教學、具體模型及蒸氣壓電腦動畫等多重表徵的建模活動之後，在動態評量 2 的答題表現大幅度的進步，而且與控制組之間達到顯著性的差異 ($t(81)=6.493, p<.001$)。三週教學之後兩組再進行動態評量 4 的測驗中，兩組成績亦達到顯著性的差異($t(81)=4.727, p<.001$)。而在動態評量 3 與教學後四週進行的動態評量 5 中，兩組成績雖然也達到 $p<0.05$ 的顯著差異。我們從圖二中可以觀察到控制組學生雖然並未進行特殊教學法，不過因為持續進行動態評量及測驗後師生進行檢討的團體討論，動態評量的成績是緩步增加的。

表二　實驗組與控制組五次動態評量的顯著性比較

動態評量次別	實驗組 總平均(標準差)	控制組 總平均(標準差)	實驗組－控制組 t 值	 p 值
動態評量 1(前測)	65.9(8.91)	64.8(8.68)	0.590	.559
動態評量 2	83.4(11.89)	68.4(8.75)	6.493*	.000
動態評量 3	77.8(10.57)	72.2(9.16)	2.617*	.013
動態評量 4(後測)	85.9(11.42)	75.4(11.76)	4.727***	.000
動態評量 5(延宕)	87.7(8.28)	82.6(10.70)	2.199*	.034

***：$p<0.05$　　***：$p<0.001$**



圖二 實驗組與控制組動態評量的得分情形

兩組學生概念演變歷程分析

研究者接著進一步分析兩組學生在一系列的動態評量中，究竟在哪些概念上的表現有所不同，兩組在對於理想氣體本質的相關概念的答題表現的分析詳見表三及表四。分析的內容主要分為六個子概念：氣體粒子模型觀是連續的或不連續的、氣體粒子之間的空隙為真空、密閉容器氣體壓力的成因、影響氣壓的因素、影響液體飽和蒸氣壓的因素、溫度對氣體粒子體積的影響(剛性粒子的概念)。將學生的答題類型主要分為三大類：科學模式(答題的選項是完全正確)、類科學模式(僅答錯一個選項)及另有想法(答錯兩個選項以上)；氣體粒子的想法則分為三類型：粒子觀、連續觀與另有想法；溫度對氣體粒子體積的影響則分為兩類：剛性粒子與熱脹冷縮兩種類型。

兩組學生在教學前的評量 1 的答題表現除了在氣體粒子觀(實驗組：78.0%；控制組：68.3%)及剛性粒子的正確率較高(實驗組：51.2%；控制組：41.5%)，其他概念的科學/類科學模式的百分比相當低。尤其是氣體粒子之間的空隙為真空的概念，兩組的學生僅有一位答對，大部分的學生認為氣體粒子之間充滿著其他氣體粒子、電子、分子之間的引力，少部分學生還認為充滿著灰塵，此部份與文獻中所提及的迷思概念是一致的(Novick & Nussbaum, 1978, 1981；邱美虹，2006；吳怡嫻，2007；鍾曉蘭, ，2007)。此外兩組學生對於密閉容器氣體壓力的成因、影響氣壓的因素、影響液體飽和蒸氣壓的因素等想法亦與文獻所提及的結果是吻合的。大部分學生認為密閉容器氣體壓力的成因是外在壓力施壓所引起的以及粒子間擠壓所形成的或是氣體的重量擠壓容器所造成的，大部分的學生認為密閉容器氣體壓力的形成是多種原因所引起的。

從動態評量的分析表中，我們可以觀察到兩組學生概念的演變差異性非常大。實驗組學生在經過最初 3 節課的多重表徵的模型教學活動後，科學/類科學模式的百分比大幅度攀升至八成以上，僅有影響氣壓的因素的概念方面另有想法仍有 22.0%，其他概念的另有想法都下降至一成左右。此外蒸氣壓的動畫教學在動態評量 3 之後才進行，因此實驗組在蒸氣壓的科學模式仍為 0.0%，但是類科學模式仍然上升至 75.6%，顯示出氣體體積/壓力相關概念的教學仍然有助於學生對蒸氣壓的想法。而經過蒸氣壓動畫教學後，實驗組在動態評量 4 中，蒸氣壓概念的科學/類科學模式的百分比已經揚升至 75%以上，不過在影響氣壓的因素的概念方面科學模式下降 12.2%，主因是少部分的學生又回歸到原有的想法，誤認為活性/分子量/引力會影響氣壓大小。而在教學四週之後的動態評量 5 中，除了蒸氣壓概念的另有想法的百分比上升 14.7%之外，其他的概念皆維持在動態評量 4 的情形，甚至在影響氣壓的因素的概念方面學生的科學模式再度回升至 87.8%。

而在控制組的概念演變的歷程，我們可以觀察到控制組學生在經過最初 3 節課的傳統教學活動後，除了氣體粒子觀的百分比上升 9.8%及剛性粒子的百分比上升 14.6%之外，其他概念的科學模式增加的百分比不多。不過我們可以觀察到在動態評量 3 中，各概念的科學模式的百分比皆大幅度上升(除了蒸氣壓概念)，尤其是氣體粒子之間的空隙為真空的概念答對率已高達 87.8%，主因是動態評量 2 之後，師生就錯誤的概念做詳盡的解說但並未修改教學內容及教材，因此科學模式大幅度增加。而歷經過蒸氣壓傳統教學後，控制組在動態評量 4 中，蒸氣壓的另有想法仍高達 68.3%，顯示出傳統教學法無法有效破除學生對於活性/分子量/容器體積會影響液體的飽和蒸氣壓的迷思概念。控制組在動態評量 3 及 4 兩次測驗中，科學/類科學模式緩步增加，顯示動態評量有助於學生

的反思與修正其心智模式。

表三　實驗組在一系列動態評量中對於理想氣體本質的相關概念的答題情形(表格內為%)

相關概念	答題類型	評量 1	評量 2	評量 3	評量 4	評量 5
氣體粒子觀	粒子觀	78.0	87.9	95.1	97.6	95.1
	連續觀	9.8	7.3	2.4	2.4	4.9
	另有想法	12.2	4.8	2.4	0.0	0.0
氣體粒子之間的空隙	真空	2.4	87.8	97.6	97.6	100.0
	另有想法	97.6	12.2	2.4	2.4	0.0
密閉容器氣體壓力的成因	科學模式	4.9	56.1	73.2	78.1	78.1
	類科學模式	7.3	22.0	24.4	19.5	14.6
	另有想法	87.8	22.0	2.4	2.4	7.3
密閉容器氣體壓力的影響因素	科學模式	2.4	78.0	87.8	75.6	87.8
	類科學模式	14.6	9.8	12.2	17.1	9.8
	另有想法	82.9	12.2	0.0	7.3	2.4
密閉容器液體飽和蒸氣壓的影響因素	科學模式	4.9	—	0.0	48.8	43.9
	類科學模式	19.5	—	75.6	22.0	12.2
	另有想法	75.6	—	24.4	29.2	43.9
氣體粒子的體積	剛性粒子	51.2	87.8	97.6	97.6	97.6
	熱脹冷縮	48.8	12.2	2.4	2.4	2.4

表四　控制組在一系列動態評量中對於理想氣體本質的相關概念的答題情形(表格內為%)

相關概念	答題類型	評量 1	評量 2	評量 3	評量 4	評量 5
氣體粒子觀	粒子觀	68.3	78.1	95.1	100.0	95.1
	連續觀	17.1	7.3	0.0	0.0	0.0
	另有想法	14.6	14.6	4.9	0.0	4.9
氣體粒子之間的空隙	真空	0.0	4.9	87.8	95.1	85.4
	另有想法	100.0	95.1	12.2	4.9	14.6
密閉容器氣體壓力的成因	科學模式	0.0	7.3	48.8	51.2	48.8
	類科學模式	2.4	22.0	26.8	26.8	24.4
	另有想法	97.6	70.7	24.4	22.0	26.8
密閉容器氣體壓力的影響因素	科學模式	9.8	9.8	58.5	73.2	56.1
	類科學模式	7.3	39.0	22.0	12.2	29.3
	另有想法	82.9	51.2	19.5	14.6	14.6
密閉容器液體飽和蒸氣壓的影響因素	科學模式	4.9	—	2.4	7.3	19.5
	類科學模式	24.4	—	34.1	24.4	9.8
	另有想法	70.7	—	63.5	68.3	70.7
氣體粒子的體積	剛性粒子	41.5	56.1	87.8	90.2	95.1
	熱脹冷縮	58.5	43.9	12.2	9.8	4.9

註: —表示該次評量中未測驗此概念

師生團體討論對學生概念改變的影響

針對兩組學生在溫度對於氣球影響的迷思概念演變情形如表五，我們觀察到實驗組

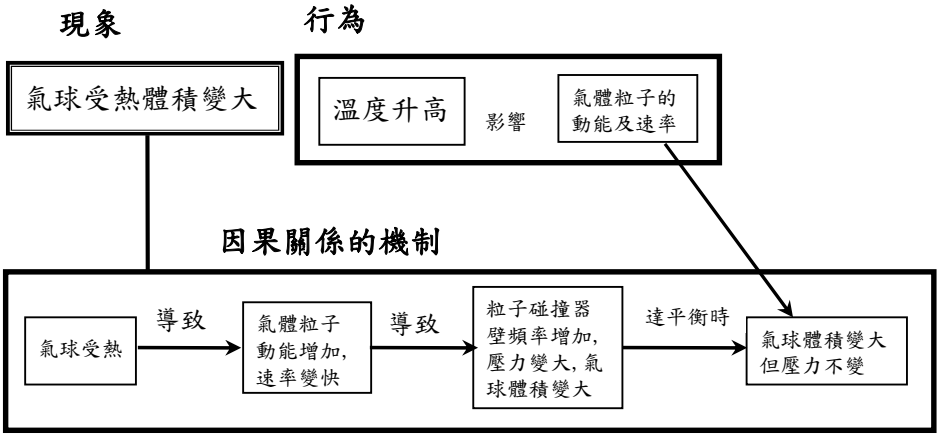
學生在動態評量 2 中，大部分的迷思概念已有明顯的改進。然而在動態評量 1-3 中對於氣球受熱/遇冷一段時間後(達平衡時)，「為何氣球內的氣壓壓力與原來的壓力比較是不變的」的答案學生們一直不能瞭解其中的原委，學生在動態評量 3 具有此迷思概念的比例反而攀升，主因是學生無法分辨加熱初與平衡時壓力是不同的。

因而研究者參考 Buckley & Boulter（2000）所提及呈現模型設計的原理，進行師生團體討論活動(語言混合模型)，詳細的設計見圖三。在師生的團體討論中，教師(即研究者)一步一步地引導學生去思考微觀世界中粒子的交互作用，特別是在溫度升高導致氣體粒子動能增加、運動速率增加後，使得氣體粒子碰撞容器壁的頻率增加，因而氣球內的氣壓增加，氣球開始向外擴大，直到體積變大而使得氣球內的氣壓與外大氣壓相同時，此時氣球體積不再變化，而達到平衡的現象。學生在經過師生團體討論比較能夠清楚瞭解到溫度升高導致氣球體積變大的微觀機制，也進一步學習到現象、行為與因果機制之間的交互用，因而在動態評量 4 中，實驗組擁有此迷思概念的百分比大幅度下降至 14.6%。而教師亦針對此迷思概念對控制組學生解說(但未做團體討論)，其百分比也下降至 46.3%，但學生概念改進情形遠不如實驗組。

表五　兩組學生在溫度對於氣球影響的迷思概念(達平衡時)的演變情形(表格內為%)

評量次別	動態評量 1		動態評量 2		動態評量 3		動態評量 4		動態評量 5	
概念 / 組別	實驗	控制	實驗	控制	實驗	控制	實驗	控制	實驗	控制
溫度會改變氣壓	46.3	51.2	58.5	63.4	76.9	73.2	14.6*	46.3	14.6	36.6
溫度不會改變氣球體積	48.8	46.3	14.6*	19.5*	14.6	24.4	12.2	17.1	12.2	17.1
溫度會改變粒子分布	48.8	61.0	4.9*	23.1	0.0	9.8*	2.4	9.8	2.4	9.8
溫度會改變運動方向	26.8	46.3	14.6	31.7	2.4	22.0	2.4	14.6	0.0	7.3
部分粒子能量不足而靜止	26.8	36.6	4.9*	26.8	0.0	22.0	2.4	14.6	0.0	12.8

＊ ：表示迷思概念明顯地修正



圖三　師生團體討論的內容(參考自Buckley & Boulter, 2000)

本研究除了採用 Campione 等人(1982)所提倡的漸進提示評量模式之外，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，我們瞭解到

實驗組學生對理想氣體認知發展的歷程是逐漸趨向科學/類科學模式的,特別是氣體粒子觀、氣體粒子之間的空隙為真空、密閉容器氣體壓力的成因、影響氣壓的因素、及溫度對氣體粒子體積的影響(剛性粒子的概念)的概念改變是十分成功的。除了控制組在氣體體積壓力與蒸氣壓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/類科學模式的方向邁進。

從兩組的概念演變途徑來比較，我們觀察到以模型為基礎的模型學習歷程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。研究結果支持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，在模型活動的學習歷程中以不同的表徵了解氣體粒子微觀的機制，以逐漸修正個人錯誤的想法，逐漸建立科學概念。研究者再進一步分析師生團體討論(語言混合模型)等多重表徵的模型活動中學生的表現與動態評量結果之間的關係，發現多重表徵的模型活動的確能夠有效的提升學生認知發展的潛能而達到概念改變的成效。而控制組在動態評量之後，教師也做了詳盡的講說，因而一系列的動態評量亦緩步的進步，顯示動態評量能夠提升控制組學生認知發展的潛能進而達到概念改變的成效。

五、　結論與建議

研究者將粒子動態模型與蒸氣壓動畫設計成具體混合模型及視覺混合模型，將抽象的微觀粒子運動概念轉為實體或動畫，可以幫助學生對於粒子微觀運動概念的理解，的確能有效的幫助學生在理想氣體的科學學習與概念改變。建議科學教師在設計呈現模型前要先瞭解現象(phenomenon)、物體之間的行為(behavior)以及因果機制(causal mechanism)，才能使呈現模型與目標的現象達到一致性。教師在設計各種呈現模型之前，必須要思考呈現模型中每一個物件與現象中的物體的對應關係、意涵是否適宜及正確，當教師提供的表徵、呈現模型與現象的結構、行為與機制的訊息達成一致時，呈現模型則可以幫助學生進行以模型為基礎的學習。

本研究從一連串的動態評量中，瞭解學生對理想氣體本質的概念認知發展的歷程，不僅可以增進師生互動，也可以隨時修正教學方法與教材，為現行的評量方式提出改進的參考。

六、　致謝

本研究計畫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)及教育部科學專案研究經費補助，謹此致謝。

七、　參考文獻

邱美虹(2006)。科學概念學習研究(VI)：化學科－子計畫二：台灣地區中學生「粒子與化學平衡」概念之心智模式與概念改變之研究結案報告（未出版）。

周天賜(1998)。動態評量：發展與改進兒童潛能的媒介式學習。台北：心理。

吳明珠(2004)。從科學史中理論模型的發展暨認知學心智模式探討化學概念的理解－層析理論的模型化案例。國立台灣師範大學科學教育研究所博士論文（未出版）。

吳怡嫻（2007）。跨年級心智模式演變歷程之探究與分析。國立台灣師範大學科學教育研究所博士論文（未出版）。

鍾曉蘭、邱美虹(2006)。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。論

文發表於中華民國第 22 屆科學教育學術研討會, 2006.12.15-16,台北。

鍾曉蘭（2007）。以多重表徵的模型教學探究高二學生理想氣體心智模式的類型及演變的途徑。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。

Buckley, B. C.& Boulter, C. J.(2000).Investigating the Role of Representations and Expressed in Building Mental Models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (eds.).Developing models in Science Education，(pp.119-135) Netherlands: Kluwer academic Publisher.

Chiu, M. H., & Chung, S. L. (2007, August 21-25).Investigating correctness, consistency, and completeness of students' mental models and paths of conceptual change in learning the nature of gas particles via multiple modeling activities.Paper presented at 2007 ESERA Conference, Malmö, Sweden.

Novick, S. & Nassumsbaum, J.(1978).Junior High School Pupils' Understanding of the Particles Nature of Matter: An interview Study. Science Education, 62(3), 273-281.

Novick, S. & Nassumsbaum, J.(1981). Pupils' Understanding of the Particles Nature of Matter: A Cross-Age Study. Science Education, 65(2), 187-196.

Treagust, 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.