

第貳章 文獻探討

本章分為五大部分，第一節為氣體粒子概念研究，由一系列相關氣體粒子的研究中，整理出氣體粒子的迷思概念與心智模式的類型；第二節為心智模式與融貫性，由相關文獻中對心智模式理論與研究方法進行探討；第三節為概念改變的文獻回顧，由不同的向度探討概念改變的意涵與內容；第四節為多重表徵與模型教學，回顧與整理有關多重表徵與模型教學的相關理論與應用；第五節為動態評量，探討動態評量的意涵與現行的模式。

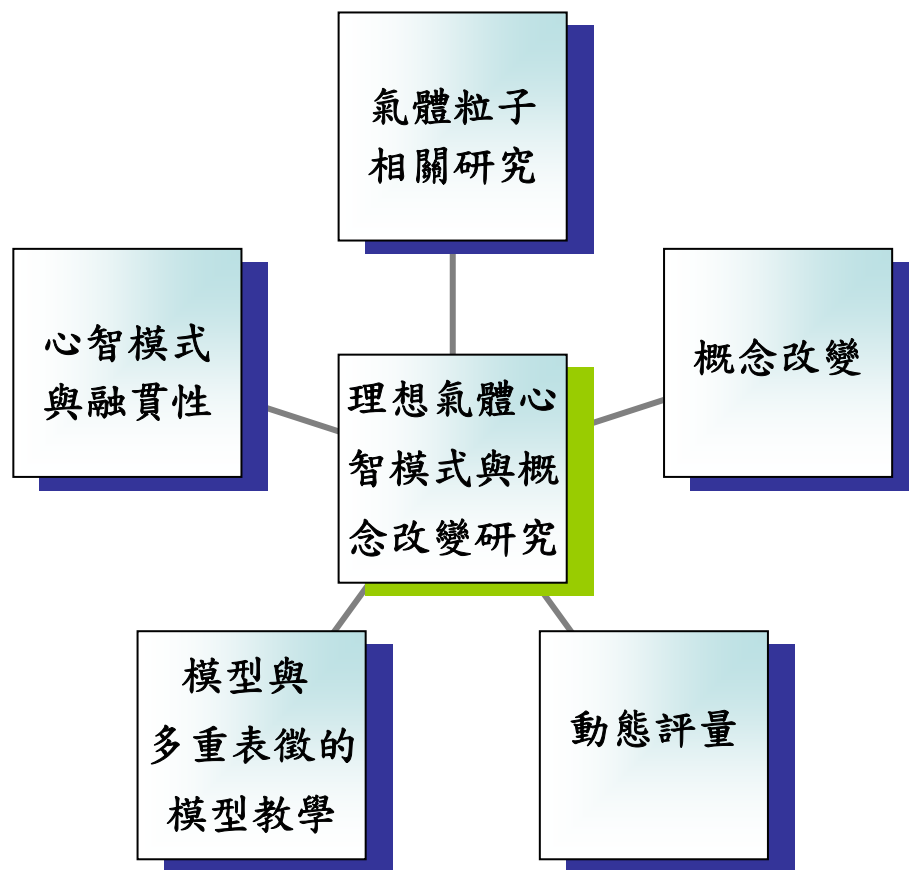


圖 2-0-1 研究理論架構

第一節 氣體粒子概念研究

氣體粒子研究結果顯示，學習粒子概念對許多學生是非常困難的，因為粒子概念是抽象的，且隱藏於科學現象後的機制是微觀的，是無法以巨觀方式觀察的(Novick & Nussbaum, 1981; Millar, 1990)。即使從認知發展來看，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。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，因而在學習理想氣體粒子模型與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因，產生許多的迷思概念或另有概念。

多位學者(Novick & Nussbaum, 1978, 1981; Selly, 1981; Driver, 1985; Anderson, 1986; Millar, 1990; de Vos & Verdonk, 1996)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。學生常常誤將巨觀的現象當作是物質的本質去推論粒子的行為是一種倒因為果的行為，他們常常無法覺察到微觀世界中粒子的行為與粒子之間的交互作用才造成巨觀現象的深層的原因。Happs(1980)也指出：學生在描述化學反應時，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。

關於氣體本質的探討，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。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。但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(Doran, 1972; Jahnsen, 1998)。

對於氣體粒子的運動與分布情形，研究顯示學生不瞭解粒子是持續不規則運動，

也容易被重力的觀念所影響，而無法瞭解氣體粒子在空間中是隨機分布的概念。Benson 等人(1993)發現學生對於氣體的運動認為類似液體一般的流動及分布；氣體像風一般的單向運動(Sere, 1986)；當氣體朝某個方向移動時，少部分學生認為氣體是全部的分
子都朝向同一個方向運動(鄭志鵬, 1998；史嘉章, 2002；邱美虹, 2005, 2006；鍾曉蘭、邱美虹, 2006)；許多學生誤認為當沒有外力時，氣體粒子呈現靜止狀態(洪振方, 1987；邱美虹, 2005, 2006)。也發現高二、高三學生學習過理想氣體的相關概念後，會認為氣體粒子互撞或撞擊容器壁時耗損能量，而使得部分氣體粒子靜止、部分氣體粒子呈現隨機運動(邱美虹, 2006)。在氣體粒子分布的概念方面，學生會認為粒子之間有強大的吸引力，能夠彼此緊密的靠近，而呈現氣體粒子間空隙很小或呈現滿滿堆積狀態(Benson et al., 1993；洪振方, 1987；史嘉章, 2002)；若將不同的氣體粒子放在水平與垂直的容器中，結果發現學生會因重力的影響，而認為氣體輕的分布在上、重的在下(史嘉章, 2002；邱美虹, 2005, 2006；鍾曉蘭、邱美虹, 2006)。

關於氣體體積與粒子體積之間的關係，部分學生誤認為氣體體積是氣體粒子體積的總和，因此氣體分子體積越大，氣體的體積也越大。大多數的學生對於氣體體積的定義並不清楚，認為氣體體積是氣體粒子活動的空間，但並不包含氣體粒子本身的體積。在加熱的情況下，學生會產生氣體粒子膨脹導致氣體體積變大的迷思概念(Novick & Nussbaum, 1978, 1981；Driver, 1985；黃湘武和黃寶鈿, 1986；洪振方, 1987；鄭志鵬, 1998；李世勳, 1999；史嘉章, 2002；邱美虹, 2005, 2006)。當空氣受外壓而體積收縮時，學生會誤認為是氣體粒子本身壓縮後縮小，而造成氣體總體積的變化(洪振方, 1987；李世勳, 1999；史嘉章, 2002；邱美虹, 2005)。

國內多篇針對氣體壓力的成因及影響因素的研究指出 (Chiu, 2007；Chiu, Guo & Treagust, 2007；Chiu, & Chung, 2007；Chung, Wu, & Chiu, 2006；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；鍾曉蘭、邱美虹, 2006)，學生對於密閉容器內氣壓的成因並不瞭解，而產生了許多的另有想法及迷思概念：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，學生對於氣體的壓力常以固、液體的壓力來描述，因此認為是氣體的重量下壓容器壁造成氣壓。

對於飽和蒸氣壓的部分，張靜宜(1999, 引自史嘉章, 2002)針對 364 名師範院校大學生調查水的蒸發及凝結，發現學生並不瞭解水蒸氣及飽和蒸氣壓的定義。邱美虹(2006)針對 184 名高一至高三的學生調查飽和蒸氣壓及影響飽和蒸氣壓的因素，五成的高一學生及 35% 的高二學生認為分子體積或容器體積會影響飽和蒸氣壓，且大部分的高一、二學生對於蒸發平衡及飽和蒸氣壓的定義並不清楚。

將氣體相關研究中常見的迷思概念/錯誤的心智模式整理如下表 2-1-1。

表 2-1-1 氣體粒子研究中常見的迷思概念/錯誤的心智模式

相關概念(研究學者)	常見的迷思概念/錯誤的心智模式
氣體之間的空隙 Novick & Nussbaum, 1978, 1981 Lee et al., 1993	1. 相當少比例的學生能接受空氣之間的空隙是真空。 2. 空氣之間的空隙是被其他空氣、灰塵、細菌等充滿。 3. 組成物質的分子中間還有相同的物質存在。
氣體粒子的分布 Benson et al., 1993; Chiu, & Chung, 2007; Chung, Wu, & Chiu, 2006; 邱美虹, 2005, 2006	1. 物質是連續性的而非粒子性。 2. 氣體粒子間空隙很小或呈堆積狀態。 3. 氣體粒子在瓶中呈現中心分布、周圍分布、向上分布和向下分布。 4. 重量模式：粒子輕的在上，重的在下。
氣體粒子的運動模式 鄭志鵬, 1998；史嘉章, 2002； 邱美虹, 2005, 2006； 鍾曉蘭、邱美虹, 2006	1. 靜止模式：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。 2. 對流模式：加熱時，空氣粒子以對流方式運動。 3. 氣體像風一樣單向運動。 4. 氣體的活動類似液體一般的流動。

氣體/氣體粒子體積

Driver, 1985 ; Sere, 1986 ;

洪振方, 1987 ; 史嘉章, 2002

1. 氣體體積是指氣體粒子本身的體積，故分子體積大者，氣體體積較大。
2. 氣體粒子的體積是指可以活動的空間，但不包括粒子本身的體積。
3. 氣體粒子體積會熱脹冷縮。
4. 氣體的膨脹是氣體粒子變多。
5. 學生對於氣體體積的定義與概念並不清楚。

氣體壓力的成因

Sere, 1986 ; de Berg, 1995 ;

Chiu, & Chung, 2007 ;

Chung, Wu, & Chiu, 2006 ;

洪振方, 1987 ; 史嘉章, 2002 ;

陳盈吉, 2004 ;

邱美虹, 2005, 2006 ;

鍾曉蘭、邱美虹, 2006

1. 活塞運動施壓模式：壓力是來自活塞壓縮或擴張容器體積而來的。
2. 重量模式：重量大者，壓力大。
3. 粒子擠壓模式：壓力來自粒子彼此擠壓，故分子數目多或分子體積大者，擠壓情形越嚴重，壓力越大。
4. 粒子互撞模式：壓力來自粒子互撞，故速率較快或分子體積較大者，壓力大。
5. 活性模式：活性大的氣體粒子運動速率快，其撞擊力較大，壓力大。
6. 引力模式：分子量大的氣體粒子彼此引力大，其撞擊力較大或碰撞次數多，壓力大。
7. 動能/容器體積模式：動能或容器體積相同時，碰撞容器壁的頻率就會相同，壓力就會相同。
8. 混合模式：學生在不同情境中會以不同的心智模式解釋原因。
9. 空氣要擠壓或受熱才会有壓力。

動能

史嘉章, 2002; 陳盈吉, 2004

邱美虹, 2005, 2006;

鍾曉蘭、邱美虹, 2006

1. 碰撞使動能增加：當粒子空間變小，碰撞機會變多，粒子能量增多而使得粒子運動速率變大。
2. 碰撞使動能耗損：當粒子彼此碰撞或撞擊容器壁時，會因摩擦力而耗損動能，而使得粒子運動速率變小，最後呈現部分靜止。
3. 質量影響動能：當粒子分子量較大時，動能比較大。
4. 運動速率影響動能：當粒子分子量較小時，粒子運動速率較快，因此動能較大。

粒子運動速率

史嘉章, 2002;

邱美虹, 2005, 2006;

鍾曉蘭、邱美虹, 2006

1. 空間影響運動速率：當空間變大時，粒子變得比較自由，因此運動速率變快。
2. 溫度、壓力影響運動速率：溫度、壓力相同時，粒子運動速率就會相同；一部分學生則認為，只要溫度相同，動能就相同，因此粒子運動速率就會相同，並未考慮粒子分子量不同的影響。

de Berg & Treagust(1989,1993)針對澳洲氣體定律課程及教材進行研究，發現科學史在教課書中並未呈現，且對於定性的教學課程時間安排很短，教材以數字、圖形、數學公式的方式呈現，未對於氣體粒子的隨機運動多作著墨及呈現。相對於國內的高中理想氣體課程及教材方面，高一課程安排大氣的介紹時僅作成份及用途介紹，並未針對氣體的本質與運動情形(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。高二物質科學化學篇中則安排理想氣體的課程，針對氣體體積、壓力與溫度的關係；理想氣體模型及性質、理想氣體方程式及其應用；道耳吞分壓定律及格銳目擴散定律等作定性及定量的探討，但多為文字、關係圖及數學公式的呈現，並沒有說明及呈現微觀世界粒子的運動及粒子之間的交互作用。

綜觀以上的氣體粒子相關研究得知，學生對於微觀的氣體粒子運動模型的不瞭解，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。科學教師應努力建構與觀察現象相符合的動態表徵的教材、教具等，引導學生探討微觀世界粒子的運動模式，以幫助學生建立正確的微觀粒子運動模型，才能減少學生在理想氣體的迷思概念及錯誤的心智模式。因此本研究設計多重表徵的模型教學的教材，進行八節課的教學，意欲探討以與觀察現象相符合的動態表徵的教材、教具教授理想氣體相關概念時，哪些與傳統教科書不同的表徵方式可以引起學生學習的顯著進步及概念改變的途徑。

第二節 心智模式與融貫性

有關心智模式的陳述，最早由 Kenneth Craik 於 1943 年提出，他主張人類會自動轉譯外來的事件成為內在的模式，並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。Craik 認為心智模式是一種動態的表徵或對世界的模擬 (Johnson-Laird, 1989)。Norman (1983, 引自 Harrison & Treagust, 1996) 指出心智模式是對認知者獨特的物體或想法的內部描述，興起與引出自「經過與目標系統的交互作用」。Redish (1993, 引自吳明珠, 2004) 則認為心智模式是由命題 (propositions)、圖像 (images)、程序規則 (rules of procedure)、何時 (when)、如何使用 (how) 的陳述所構成。多位學者認為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，心智模式可視作是由物件和物件的關係所形成的組織化結構，起源於個體對於自身經驗與觀點的操弄，可以當作是一種解釋性與預測外在世界工具 (Johnson-Laird, 1983, 1989, 1999; Gentner & Stevens, 1983; Rickheit & Sichel Schmidt, 1999; Staggers, 1993; Vosniadou, 1994)。故心智模式不一定需要技術上的正確，但必須是有功能性的，由於心智模式是一種內在表徵、動態的結構，要瞭解心智模式何時、如何發展的並不容易，但是解開心智模式如何動態的發展卻對概念改變的研究十分重要，概念改變可以是心智模式的重建或是藉著多樣化的情境促進心智模式精緻化，因此認知心理學家與科教學者便經常使用研究心智模式的方式來探討抽象概念的發展與改變的機制。

所謂的基模是心智模式結構的單位，它是無意識的，是構成人類知識和技能方面的基礎 (Brewer, 1987, 引自陳婉茹, 2004)。Brewer 認為心智模式和基模都具有一般性的知識架構，以產生特定的知識架構，兩者最大的不同在於基模是舊有一般性知識的儲存體，而心智模式則強調吸收新知時動態表徵的捕捉，我們可以運用心智模式去預測可能的結果 (陳婉茹, 2004)。對自然世界的理解與科學教育而言，心智模式所扮演的角色心智模式是非常重要的，因為許多的物理實體及關係是很難被直接經驗，在教學時常常需要藉助一些簡單或相似領域的可覺知事物，當作心智模式中的象徵物來增進學

生學習，這也就是類比(analogy)與隱喻(metaphor)策略的使用(邱顯博，2002)。然而心智模式是具有流動特性，隨著情境可產生變化(Park&Gittelman, 1995, 引自陳婉茹, 2004)。心智模式可以是不完全的、素樸的、非融貫性片斷的、也可能是綜合性模式(synthetic model)，隨著認知增加、基模擴大，學生的心智模式精練且精準至某種程度後，便能逐漸接近融貫且正確的科學模式。

一、心智模式的定義、功能與特性

依心智模式的功能性而言，Rickheit & Sichelschmidt (1999) 認為心智模式可被視為一種可以允許個體進行許多認知過程的符號結構。Norman (1983) 的心智模式中提到，在觀察不同的個體在不同工作項目時，其心智模式所具有不同的特性。將以上學者所提出的心智模式的定義、功能性與特性整理如下表 2-2-1：

表 2-2-1 心智模式的定義、功能性與特性

Norman(1983)	1. 心智模式是不完整的、不穩定的、不科學的，個體對心智模式的操控能力極為有限且對於自己使用中的完整體系極容易遺忘其細節。 2. 心智模式沒有明顯的界線，所以類似的建構與操作極容易混淆。 3. 心智模式是「能省則省」的，個體寧願出賣額外的體力而得以減少傷腦筋在心智的繁雜上。
Johnson-Laird(1983, 1989, 1999)	1. 心智語言(mental language)的語意使命題表徵對應到現實世界或想像世界而形成心智模式。透過心智模式，命題表徵可以被解釋。 2. 心智模式的結構對應於所表徵的情境，換言之，心智模式受情境的影響。 3. 概念與心智模式是直接相關的，概念的形成是個體透過聲音及視覺的感官知覺，在經過次概念階層單元(subconceptual level unit)的處理而產生的。
Rickheit & Sichelschmidt (1999)	1. 對一個系統產生何種目的及系統的結構內容，做詳細的描述。 2. 提供一個系統具備何種功能及處於何種狀態的解釋。 3. 對於某種系統的未來狀態提出預測。

Johnson-Laird (1983, 1989, 1999) 認為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，見圖 2-2-1。

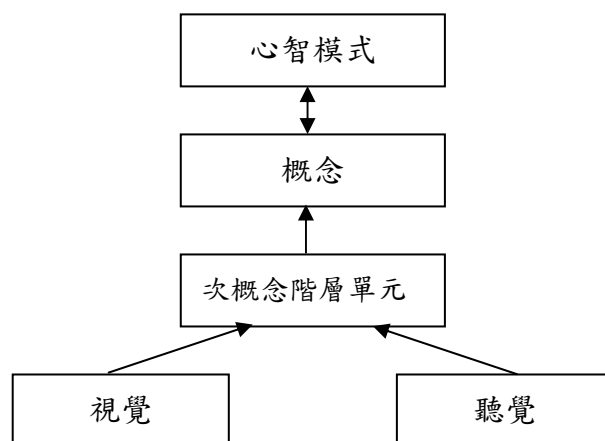


圖 2-2-1 Johnson-Laird(1983)所提出概念與心智模式的關係

為了解釋概念與心智模式在穩定性的性質上非常不同，但心智模式的內容又受限於概念內容之下的現象，Kessler et al. (1999, 引自邱顯博, 2002) 提出概念與心智模式間（圖 2-2-2）具有一次概念動態單元（subconceptual dynamics unit），此一動態單元能擷取聲音及視覺以進行處理，而形成新的概念，認為概念是具有穩定性，心智模式則是類似軌道，依情境的不同而產生不同的心智模式。

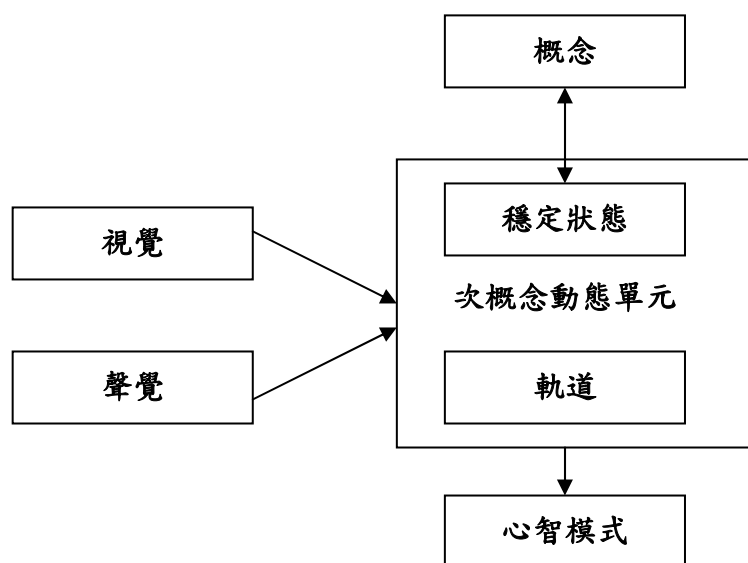


圖 2-2-2 Kessler et al.(1999)心智模式理論中概念與心智模式的關係

以上的心智模式理論雖有不同，但兩種理論皆認為概念是透過對感官知覺的處理而產生，而視覺與聽覺是資訊主要的來源，而透過此兩個知覺所產生的，至少包含了語言文字的命題表徵(propositional representation)，與事物的空間表徵(spatial representation)兩種，因此，當心智模式產生來解決問題時，相對就產生語言與非語言的行動來進行反應(邱顯博，2002)。

Norman(1983)則提出心智模式包含四個組成：

1. 目標系統(target system)：提供學習者使用或學習的系統。
2. 概念模式(conceptual model)：由科學家、教師或專家所整理出的一致性、正確與完整且和科學知識相符合的知識結構，用來傳達或教導目標系統。
3. 學習者對於目標系統的心智模式(mental model of target system)：學習者與目標系統的交互作用後，對於目標系統產生心智模式表徵系統。此表徵系統並非一開始就是完全正確的，在不斷與目標系統的互動過程中，學習者的心智模式可以不斷的修正與精緻化，逐漸達到一致的心智模式系統。
4. 科學家概念化的心智模式(scientists' conceptualization of a mental model)：科學家在個體進行心智模式運作時，對其內化的心智模式予以一致性的概念化。

根據 Norman 的定義，其認為心智模式最主要的角色是允許個體可以解釋與預測外在的物理世界的種種現象，也可以反映出個體對於外在物理世界的信念。因此在科學教育的課程設計中，可以透過科學家概念化的心智模式，以及瞭解學習者的心智模式，進而分析概念模式 (conceptual model)，以提供學習者最佳的學習目標系統。

二、Vosniadou 對心智模式的看法

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，是故認知心理學與科教學者便經常使用研究心智模式的方式來探討抽象的概念內容。Vosniadou (1994) 曾針對地球形狀、日夜循環、熱與力四個概念的心智模式進行研究，報告中指出兒童在

解釋自然現象時有下列數種模式：(1) 初始模式 (initial model)，是一種基於日常生活經驗所觀察現象的模式，是由基礎的信念所組成，而且不受成人的科學模式所影響。(2) 綜合性模式 (synthetic model)，基於觀察的經驗中，依文化背景及科學的解釋，所做的調和的表徵。(3) 科學模式 (scientific model)，與科學觀點一致的模式，但是不意味著兒童具有科學概念時，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。

Vosniadou (1994) 認為本體論和認識論的預設對基本相似的經驗信念提供了基本架構稱之為素樸的理論架構 (naïve framework)，它主要源自於兒童早期的日常生活經驗，又可分成認識論與本體論的兩個預設 (presupposition)；至於細部的概念則謂之特殊理論 (specific theory)，其根源自個體的觀察或文化的脈絡 (圖 2-2-3)。架構理論或特殊理論於問題解決情境時可提供心智模式的產生，並成為特定表徵的基礎。兒童並未知覺到預設和信念的假想狀態限制了他解釋新資訊的方式，故這些預設不斷的在日常經驗中被確定，以致於兒童產生了另有/迷思概念。

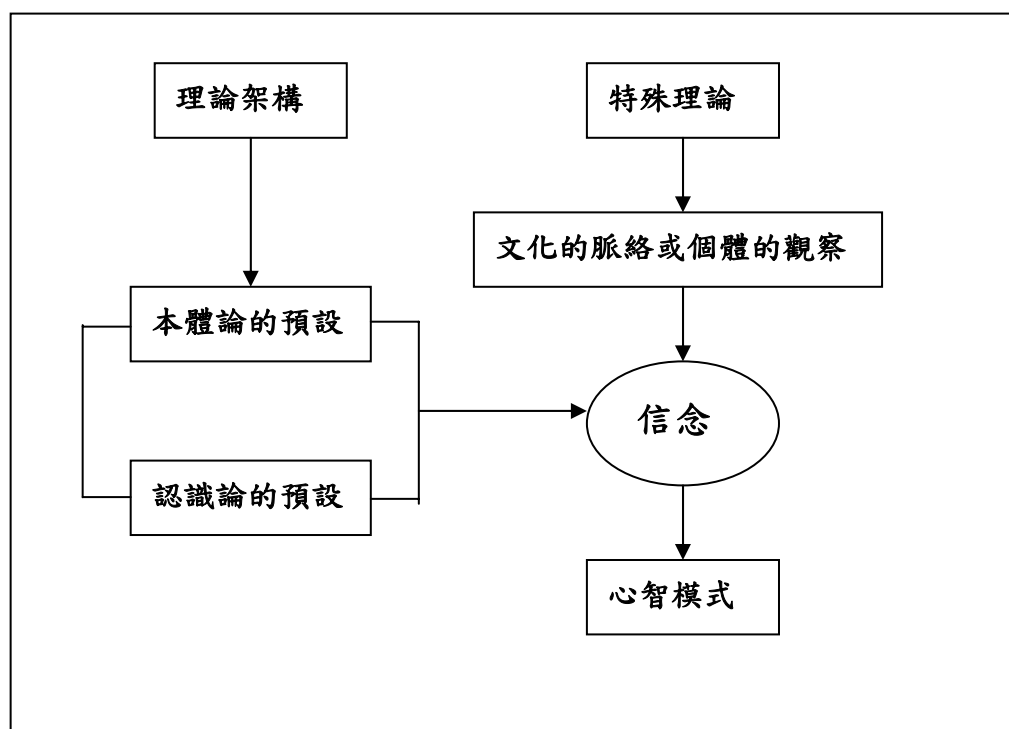


圖 2-2-3 Vosniadou 的理論架構(1994)

三、如何捕捉心智模式？

從 Johnson-Laird 與 Kessler 等人的心智模式理論中可以發現，無論是語言的命題表徵或是視覺的空間表徵，雖然對同一件事物的表徵形式不同，然而兩者表徵的內容卻是以整合過，並具有一致性的，也因此捕捉研究對象的心智模式上，至少可以利用同一對象對同一問題的文字性的命題表徵及非文字性的視覺表徵來進行分析，將能產生內容互補作用，如此一來將有助於更完整的捕捉研究對象的心智模式 (Freksa & Barkowsky, 1999, 引自邱顯博, 2002)。因此本研究同時使用繪圖的方式、晤談的方式、診斷式紙筆測驗、動態評量等多面向、多重表徵的方式，來捕捉學生的心智模式，以期對於學生的先備概念、心智模式作深入的瞭解與分析。

Vosniadou(1992)由晤談資料中，分析出六種孩童的心智模式並進一步將這些地球模式化分成三大類，分別為初始模式、合成性模式與科學模式，本研究藉由探討高二學生關於理想氣體的心智模式概分科學模式、分子量模式、動能模式、體積模式、活性模式與引力模式六種類型(邱美虹, 2006)，試圖釐清哪些模式可能為初始模式、哪些模式可能為學生經教學後所形成的合成性模式，也試著深入分析學生心智模式改變的途徑，嘗試找出概念改變的機制。

四、心智模式中概念的一致性

對於素樸概念是否能形成融貫而一致的系統知識，研究學者們的看法分歧 (Carey, 1985; diSessa, 1993; Vosniadou, 2002; Chi & Roscoe, 2002): Carey(1985)認為種種素樸概念已形成系統性、融貫性的知識系統; diSessa(1998)則持相反的意見，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，提出以原始現象原則(phenomenological-primitive principle)建構素樸概念理論。而 Vosniadou 和 Brewer (1992, 1994) 在進行兒童對地球形狀概念研究後，也提出和 diSessa 非常不同的看法，她們認為迷思概念的形成並非是缺乏融貫性或後設認知，而是孩童主動想建構出心智連貫性(mental coherence)的結果。此外 Vosniadou(2002)在力的意義的研究中指出孩童學習科學的過程是緩慢，將科學的知識增加到初始的解釋架構中時，會破

壞架構的一致性，最後以和現今科學一致的方式再度重建架構。Chi & Roscoe(2002)則針對血液循環的心智模式分為非融貫性及融貫性(又分為瑕疵心智模式及正確心智模式)，並提出心智模式具有正確性、融貫性與完整性的想法。對於非融貫性的心智模式，Chi 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/非系統系的，因而對於問題的預測與解釋無法產生一致性。邱美虹(2006)氣體粒子研究中則針對教學前、後，高中生理想氣體概念的正確性、一致性與完整性作進一步量化的分析，結果顯示學生在科學的學習中，經過動態的修正或豐富化個體的心智模式後，心智模式的正確性、一致性與完整性均有顯著的進步。

本研究引用 Gómez Crespo & Pozo(2005)對於不同年齡學生的物質本質研究中，所設計的概念一致性係數(CI: consistency index)：

$$S = \sqrt{\sum f_i^2}$$

$$CI = \frac{S - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}}$$

f_i = 某一種類型答案的答題次數

$S_{\min}$ = 最小的 S 值

$S_{\max}$ = 最大的 S 值

以本研究為例，試題中設計為科學模式、分子量、體積、動能、活性、引力等六種心智模式(參考邱美虹, 2006)再加上其他類(共七種)的答案，若題目為六題，則 $S_{\max} = 6$ 、 $S_{\min} = \sqrt{6}$ ，若學生六題答題情形全為同一種模式，該學生的 $S = 6$ ，則 CI 值為 1。若答題情形為兩種心智模式各 3 題，則 S 值為 $\sqrt{18}$ ， $CI = \frac{\sqrt{18} - \sqrt{6}}{6 - \sqrt{6}} = 0.505$ 。本研究分別計算七個子概念的 CI 值，再將以平均，代表學生的概念一致性。

第三節 概念改變

在學習過程中，學習者因既存知識的重組而產生學習前後概念的不同，便可謂概念改變 (Carey, 1985, 1991 ; Chi, 1992 ; diSessa, 1988, 1993 ; Duit, 1994 ; Vosniadou, 1994 ; Vosniadou & Brewer, 1992, 1994, 引自邱顯博，2002)，因此概念改變的過程不只是認知學習理論所關心的核心議題，更是教學設計時欲增加學習成效時不能不考慮的面向。

一、概念改變的研究回顧

Posner 等人(1982)結合認識論與科學史哲的概念發展理論，以 Kuhn 的科學典範轉移與 Lakatos 的研究綱領轉換類比在概念轉變上，提出了概念改變模式 (Conceptual Change Model, CCM)，提出概念改變的四個條件為：對現有的概念不滿足、新概念必須是可理解的、新概念必須是合理的、新概念必須能提供豐富的研究的可能性。符合以上的四個條件再經過調適的過程，才能使概念重組而達到概念改變的目的。因此，Strike 和 Posner 受到 Toulmin(1972)的科學哲學觀所啟發，將這種概念情境稱之「概念生態」(Conceptual ecology)來說明概念之間複雜的關係。此外，Hewson(1983)提出的概念的獲得與取代、Thagard(1992)針對科學史所提出的概念階層改變論，皆是以「科學史哲」為理論出發面向的。

另外以「認知心理學」為出發面向的 Carey(1985)所提出的概念增加、Vosniadou 等人(1992, 1994)的心智模式、概念豐富與概念改變；此外尚有以「知識論」為出發面向的如 Chi(Chi 1992, 1997 ; Chi 等人 1994, 1995, 2002, 2005)的概念本體論、Vosniadou(1994)綜合預設與信念的架構理論；以「態度/動機」為出發面向的如 Pintrich, Marx, & Boyle(1993)所探究的個人學習動機(自我效能)(引自陳盈吉，2004)。Harrison 與 Treagust(2001，引自陳盈吉，2004)綜合了以上的概念改變理論，依據概念改變的難易程度做了表 2-3-1 的分類。

表 2-3-1 概念改變理論整理(改編自 Harrison et al., 2001)

理論提出者	理論要點	概念改變的難易程度	
		簡單的改變	困難的改變
Kuhn(1970)	科學革命與典範轉移	常態科學	革命科學
Lakatos(1970)	科學研究綱領	保護帶的修正 與變形	硬核的改變
Posner 等人(1982)	CCM 模式	同化	調適
Hewson(1983)	概念獲得與取代	概念捕捉	概念交換
Carey(1985)	概念增加	弱重建	強重建
Vosniadou(1994)	架構理論	概念重組	預設與信念修正
Chi(1992)	概念本體論	類別內的分枝	類別間的分枝
Chi & Slotta(1994)		跳躍	跳躍
Tyson et al.(1996)	概念二分法	概念的弱修正	概念的強修正

二、Vosniadou 的概念改變理論

Vosniadou 和 Brewer (1992) 提出了綜合性模式 (synthetic models) 的觀點，孩童已日常生活的經驗建構出初始的心智模式 (initial models) 後，為了與學習的新知取得平衡而主動形成綜合性模式，據此想法，概念改變便是一種漸進的演變趨勢，由最初的初始的心智模式，經過綜合性模式再轉變為正確的科學模式 (scientific models) 的經歷過程，概念改變的形式主要有兩種，一為概念的豐富化 (enrichment)——將新概念加入現有的理論架構中，另一種則為概念的修正 (revision)——在新資訊與現有的理念或預設想法不同時產生。

Vosniadou 和 Brewer (1992) 提出了架構理論 (framework theory) 與特殊理論 (specific theory) 的主張，架構理論具有對目標物根深蒂固的本體論及認識論的信念，而特殊理論則是對目標物現象的特殊解釋。由於這些預設在生活及學習中不斷的被驗證，故架構理論不易被修正；相對的，特殊理論較架構理論容易修正的原因有三：

(1)學習者無法覺知這些隱含的本體與認識預設知存在，(2)這些預設不斷的被驗證而遭增強，(3)當架構理論被修正時，以它為基礎的特殊理論勢必跟隨修正。根植於每天的生活經驗與經年累月的確信，架構理論呈現了相當具一致性的解釋系統，因此當一個特殊理論的信念被架構理論所限制時，概念改變救難以達成(邱顯博, 2002; 陳婉茹, 2004)。

Vosniadou 和 Ioannides (1998) 認為學生無法自我察覺到預設和信念的假設限制著他們的學習，因為他們傾向於將之視為物理世界運作的方式而非預設。此外學生所使用的解釋性架構亦缺乏專家所具有的系統性與一致性，因此概念的改變所牽涉的不止是特殊信念及預設的改變，同時也必須要後設概念省察的發展，以協助學生建立一個更龐大，更一致及更具解釋性的理論架構（引自邱美虹，林靜雯，2002）。

三、Chi 的概念改變理論

本體論的發展可以追溯至 Sommers(1959, 1963, 1969, 1971, 引自 Keil, 1979)及 Keil(1979)的本體樹架構，目前從本體論觀點探討概念改變問題多以 Chi(1992)所提的本體分類論(ontological categories)架構，在此架構下，概念知識是根據分類而以階層性關係被組織起來，而新的概念學習是依據既有概念的相似性而被分類。

Chi(1992, 1994)指出，概念可以被分成物質(matter)、過程(process)與心智狀態(mental state)三大類別(詳見圖 2-3-1)，而每一個主類別又分成次類別，如此下去而形成階層形的結構。所謂物質，是指有特定屬性的東西，又依照是否自然存在的屬性分為自然與人造兩類；而過程，概分為三大類(步驟、事件、以條件為主的交互作用)是指事件的發生具有次序性與因果關係，或是突現的現象具有隨機性，Chi 等人對於事件與以條件為主的交互作用(CBI)兩個次類別不斷的修改及精緻化，近年來將事件類別改稱為直接過程(direct process)，而將以條件為主的交互作用(CBI)先修改為平衡過程(EP)，而後又精緻化稱為突現過程(emergent process)；心智狀態則是指情意的部分，概分為意圖與情緒兩大類別。在此概念階層中，不同的概念類別均有其本體屬性上的差異而被區別，而越高階層的分類其共同屬性越少，如物質類別的屬性與過程類

別的屬性不相同，而且這些屬性是不可共量的。

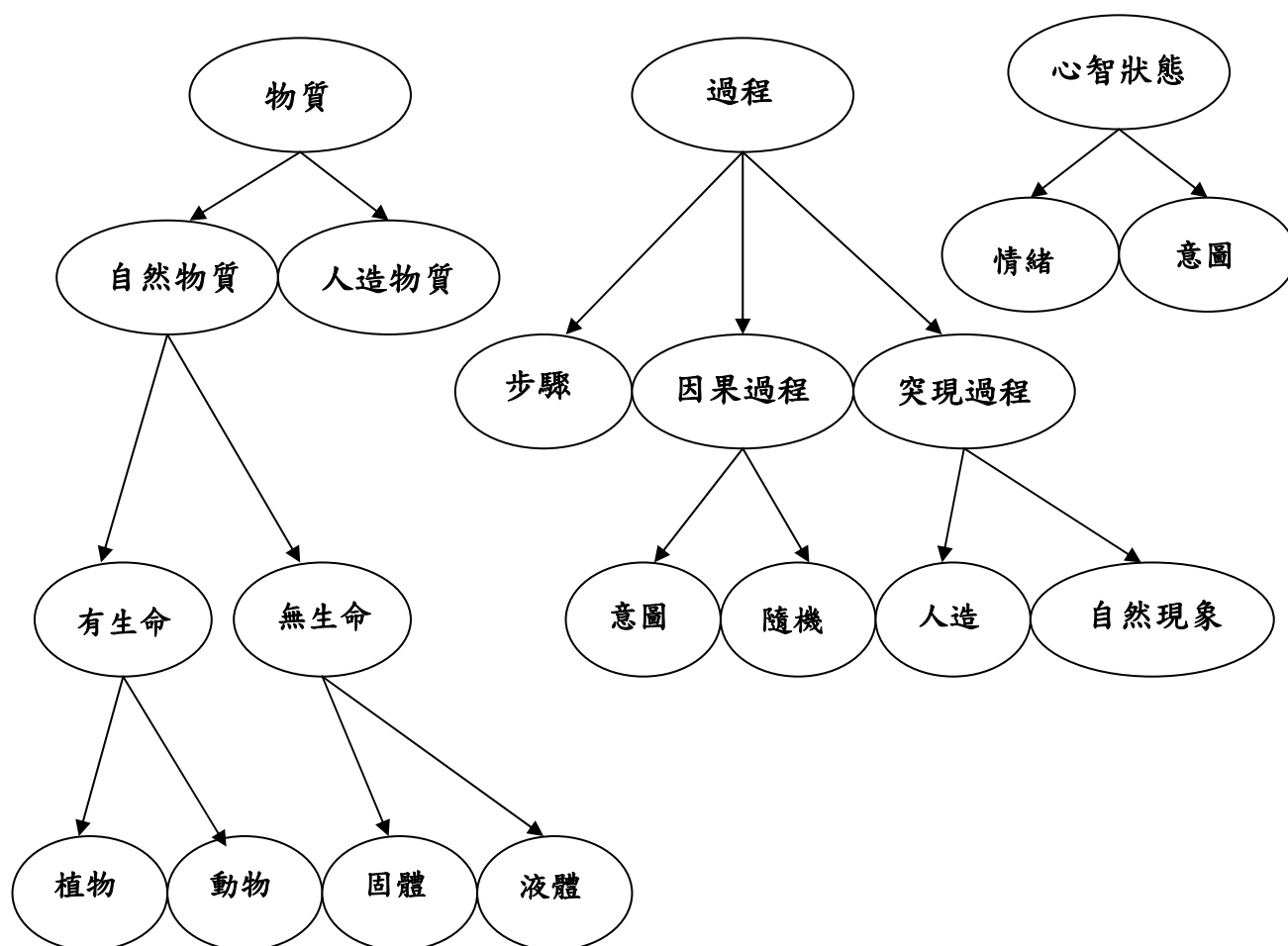


圖 2-3-1 Chi 本體樹分類的架構(引自邱顯博, 2002)

Chi 等人所謂的概念改變，便是發生在知識內容的屬性不同於既有認知結構時，概念會由原先的類別，重新安置在另一種類別上。依照概念在本體樹間跨越的情形，又分為「本體類別內的概念改變」(within ontological conceptual change，又稱為概念重組，屬於弱重建)和「跨越本體類別的概念改變」(across ontological conceptual change，又稱為根本的概念改變，屬於強重建)。由於本體類別間的屬性是不可共量的，而本體類別內的屬性大多是相同與共享的，因此概念改變若是發生在同一類別之內，則概念改變是比較容易發生的；反之概念改改變發生於不同類別之間的轉變，因為不同類別之間的本體屬性是不相同，概念改變的發生是比較困難的。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(Chi & Roscoe, 2002)。將「本體類別內的概念改變」和「跨越本體類別的概念改變」簡要說明如下及見圖 2-3-2：

(一) 本體類別內的概念改變

本體類別內的概念改變是當概念改變發生在同一個本體類別，這種改變只是將同一個類別的知識結構加以重組，可以稱之為信念的修正，屬於弱的概念改變。例如兒童大多認為鯨魚是「魚類」，是屬於「物質」的類別，而「哺乳類」亦屬於「物質」的次類別，因兒童只需要加入或修正鯨魚是「哺乳類」而非「魚類」，即可產生本體內的概念改變，這類的改變是簡單而較容易發生的。

(二) 跨越本體類別的概念改變

學習者若將某個概念歸屬於物質的屬性，實際上概念是屬於過程的類別，這樣不同類別之間的概念改變則稱為跨越本體類別的概念改變，由於不同本體類別之間的本體屬性是不可共量的，因此這類的概念改變是困難的，稱之為激烈的或根本的概念改變(radical conceptual change)，屬於強重建。例如 Slotta, Chi & Joram(1995)針對學習者對於電流等物理科學的迷思概念研究中，指出學習者容易將電流等視為物質類別，科學家則視電流為過程類別，學習者從物質類別跨越至過程類別的概念改變是較為困難的，因此概念改變發生困難是在於本體類別的跳躍與重建。

Chi(1992, 引自陳盈吉, 2004)認為跨越本體間的概念改變有三個的步驟：

1. 經由獲得的過程，學習到新的本體類別。
2. 經由獲得的過程，學習到個別概念的意義。
3. 重新將概念分類到新的類別中，可能的方式有三：

(1) 學習者主動放棄原來對某一種概念的意義或定義，並且以一個新的意義取代原來的概念意義。

(2) 學習者以新、舊概念並存，新舊概念出現的時機則隨情境不同而

不同。

(3) 透過教學方式而加強新概念的意義，使學習者放棄原有的概念意義。

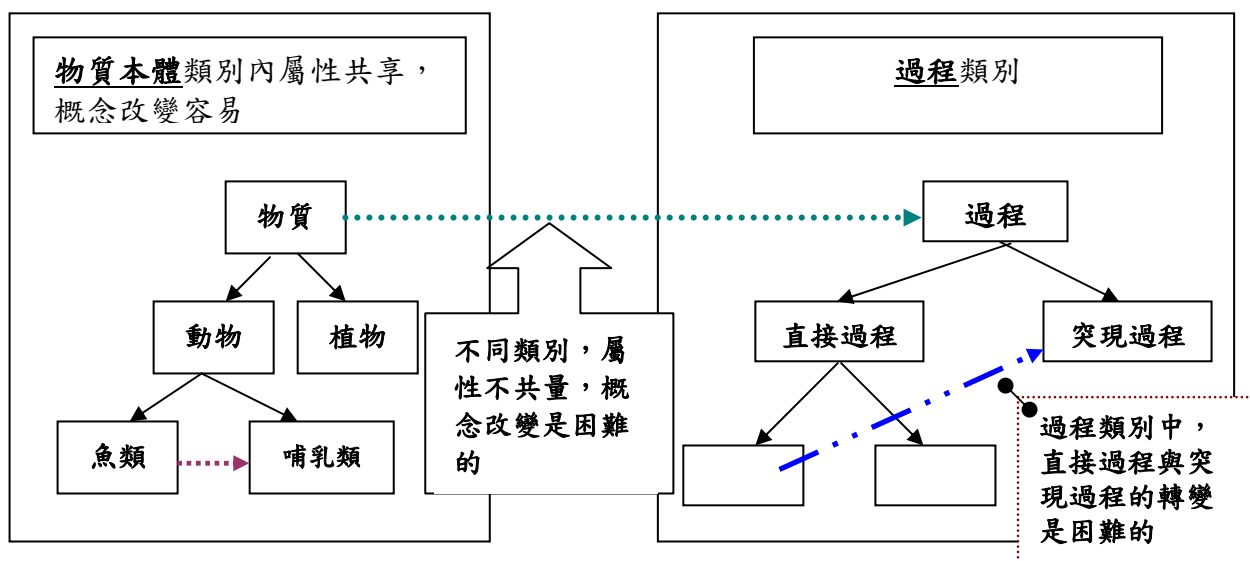


圖 2-3-2 本體類別間與本體類別內的概念改變的難易程度
(整理自 Chi 與其同儕歷年研究)

Chi 等人的後續相關研究，主要在探討較為根本的概念改變上，包括了初學者常將過程類別概念，錯誤歸類為物質類別的概念，以及將過程類別中突現性過程(emergent process)次類別物歸類在因果性過程(causal process)次類別中 (Chi, Slotta, & deLeeuw, 1994; Chi & Roscoe, 2002)。Chi 近年來，正努力精緻化過程類別中事件與突現兩個次類別的論點，其演進的過程概述如下表 2-3-2 (Chi, 1992; Chi, Slotta, 1993; Chi et al., 1994; Chi, Slotta, & deLeeuw, 1994; Slotta, Chi, & Joram, 1995; Slotta & Chi, 1996; Chi, 1997; Ferrari & Chi, 1998; Chi, 2000; Chi & Roscoe, 2002; Chi, 2005; 邱顯博, 2002; 陳婉茹, 2004; 陳盈吉, 2004)。Chi (2002, 2003) 將因果過程改為直接過程(direct process)，因為學習者通常會直接以巨觀的屬性來描繪複雜的科學現象，因此改稱為直接過程。而將非因果過程(後稱為以條件為主的交互作用→平衡過程→複雜抽象動態概念)改稱為突現性過程(emergent process)，並且以「組成層次的互動關係」與「組成-模式的關係」兩個層次來探討直接過程與突現過程本體屬性的不同之處。

表 2-3-2 直接性過程與突現性過程的演變過程

直接過程(direct process) 的演變過程	突現過程(emergent process) 的演變過程
事件(event, 1992)	突現(emergent)原歸類為事件的次類別(1992)
→ 改稱為因果性過程(causal process, 2002)	→ 突現與事件分離，改稱為非因果性交互作用(1993)
→ 改稱為直接過程(direct process, 2003)。	→ 改稱以條件為主的交互作用(CBI, 1994)
	→ 改稱為平衡過程(equilibration process, 1998)
	→ 複雜抽象動態概念(complicated, abstract and dynamic concepts, 2000)
	→ 改稱為突現性過程(emergent process, 2002)。

直接過程與突現過程的屬性不同處如表 2-3-3(Chi, 2005)：

表 2-3-3 直接性過程與突現性過程的屬性差異比較

	直接過程	突現過程
組成層次的互動關係 (Component level Interactions)	具區別性的(Distinct) 受限的(Constrained) 順序的(Sequential) 彼此依賴的(Dependent) 終止的(Terminates)	一致的(Uniform) 非受限的(Unconstrained) 同時的(Simultaneous) 彼此獨立(Independent) 持續的(Continuous)
組成-模式的關係 (Component-pattern relations)	可分群的(Subgroup) 直接的(Direct) 相關的(Corresponding) 分化地位的 (Differential status) 全面性的目的 (Global goal)	整體的(Collection) 非直接的(Indirect) 非交集的(Disjoint) 同等地位的 (Equivalent status) 局部性的目的 (Local goal)

從 Chi 與其同僚歷年來對本體的研究來看，早期的研究注重於本體類別的發展，認為迷思概念的產生來自於學習者錯誤的分類，並進一步提出類別內的概念改變是容易發生的，不同類別之間的跳躍的概念改變是較困難的。在近期的研究中，則注重於

過程本體中「事件」類別的精緻化，將事件的本體屬性不斷修正成與巨觀現象有關的「直接過程」和與微觀粒子運動相關的「突現過程」。本研究則藉由 Chi 對於本體的分類，將學生對於氣體本質、氣壓成因、氣體粒子微觀的運動等概念分類為物質類別、直接過程與突現過程三大類，並藉著分析學生教學前、中、後的動態評量的表現，分析學生在教學的過程中本體類別改變的歷程，同時也試著探究從物質類別到過程類別、以及從直接過程到突現過程對學生概念改變的難易程度為何。

四、多重向度的概念改變

Tyson, Venville, Harrison, & Treagust(1997)及 Venville & Treagust (1998)結合四個概念改變的觀點去分析不同的教學，含 Posner 等人(1982)之 CCM 理論、Vosniadou(1994)的架構特殊理論與心智模式觀點、Chi(1992)的本體分類論及 Pintrich(1993)的動機情意觀點，整理如圖 2-3-3。因而概念改變的研究取向已由以前的百家爭鳴的各派論點，整合成一個多面向、多樣化的研究架構來探究學生在學習過程中的概念改變，不僅僅探討學習過程中，學生如何動態的修正或精緻化個體的心智模式，也探究本體類別改變的歷程以及學習動機信念的改變，以瞭解學生學習過程中概念改變的機制。

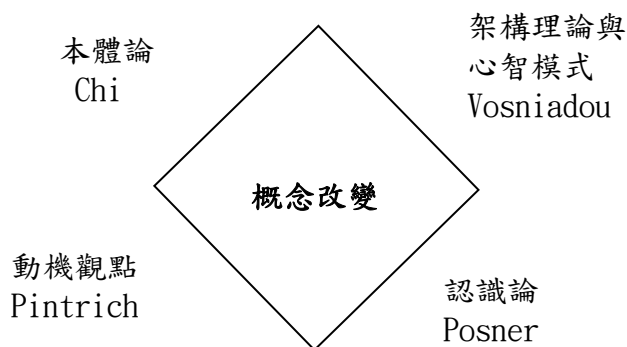


圖 2-3-3 概念改變的多重面向

五、概念改變研究對本研究的啟示

本研究為探討學生在理想氣體的概念發展與概念改變，將採用 Tyson et al. (1997) 的認識論、本體論與情意因素三面向來探討概念改變，如圖 2-3-4。

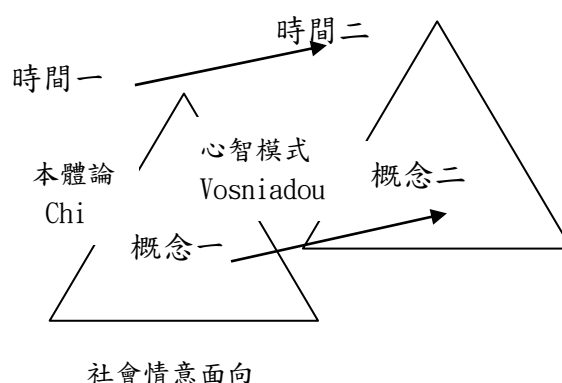


圖 2-3-4 本研究概念改變架構

在本體論方面，本研究的理論基礎將採取 Chi(1992, 2000, 2005)的本體分類觀點，探討在一系列的教學前後，利用動態評量來瞭解學生對於理想氣體粒子本質的概念，是否能由物質/直接因果跨越至突現本體，以瞭解學生在本體論面向是否發生了概念改變。

在認識論方面，本研究的理論基礎將採取 Vosniadou (1994) 與 Vosniadou 和 Ioannides (1998) 觀點，探討在一系列的教學前後，學生對於理想氣體的壓力、氣體粒子分布、氣體粒子運動、氣體擴散等心智模式類型的變化與演變途徑、概念的正確性、解釋一致性與相關命題的完整性是否有增加，試圖對學生在認識論上的概念改變進行探討。

在社會情意方面，本研究也將對多重表徵模型教學組的學生，對於多重表徵的模型教學對於「增進概念理解」、「提升學習興趣」、「造成學習負擔」等學習態度與信心是否有助益，以及學習過程中後設認知運作的啟動時機進行探討。

第四節 多重表徵與模型教學

隨著科技的日新月異，學習科技可以幫助學生與教師完成一些傳統教學中較無法達成的活動，加上建構主義為基礎所發展出的學習科技，強調個人有意義的學習，因而發展出建模工具(modeling tools)、超連結文本(hypertext)等學習媒體，這些軟體幫助教師教學與學生學習。這些學習科技軟體中，大多提供了豐富的多樣性表徵，滿足了學生多元化的學習需求。尤其是對於微觀與抽象的概念，電腦動畫與模擬實驗提供學生視覺的訊息與空間的想像，對學生的科學概念學習與概念改變有所助益。本節將針對多重表徵的意義和功能、模型的意義，及結合多媒體與多重表徵而設計的模型教學做進一步的探討。

一、多重表徵的意涵

由於我們見不到知識結構的內涵，所以只能根據知識呈現在外的形式，即表徵(representation)的方式，間接去推論得知(余民寧, 民88, 引自陳盈吉, 2004)。利用文字、圖表、數字等等符號系統承載、傳達或表徵某種知識，這些符號系統本身並非知識，而知識也不一定要透過文字，知識可以由多種符號系統表徵，故文本、動畫、曲線圖、示意圖、代數公式、影片、圖畫、聲音等都是表徵的形式之一。表徵又分成兩個面向(陳婉茹, 2004; 陳盈吉, 2004)：

1. 內在表徵(internal representation)：

主要指心智表徵(mental representation)，是人類心智系統或在長期記憶區中，一個特定的知識結構，在某些情形下稱為概念，為個體內的活動。內在表徵只能從學習者在處理概念、解決問題的某種表現中推斷其輪廓。

2. 外顯表徵(external representation)：

模式化各種心智過程時所使用的符號系統，如圖表、曲線圖、文字等等，是個體對概念的外顯動作。對符號系統做出定義(Salomon, 1979; 引自陳盈吉, 2004)

：符號可以視為表徵，表徵也由不同的符號系統組合而成。任何物體、記號、事件、模式、圖畫等，研究者都可以將其視為精練後的知識傳遞者，這一些皆稱為符號

(symbol)，符號本身可以表徵、提供或者是展現某些意義，這一些符號本身提供了字元(character)或是編碼元件(coding elements)，經某些規則或者是約定成俗，將它們加以組合與安排後就成為了能夠表達某些意義的基模(schemes)。

在對同一件是物的描述上，可以使用不同的表徵方式予以表達。例如：對於氫氣的描述可以使用以下不同的表徵方式，如圖 2-4-1。

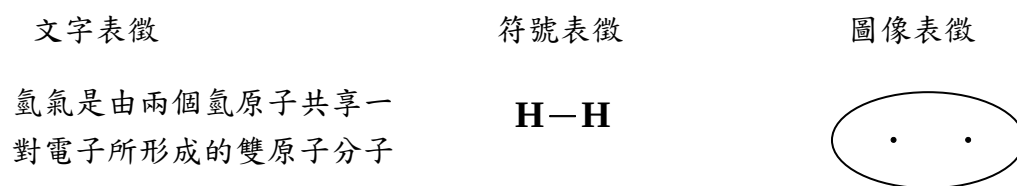


圖 2-4-1 氫氣的不同表徵方式

不同的表徵可能描繪著同一個參考物，但每一種表徵的承載能力卻不盡相同。譬如，文字表徵是語言與序列性的表徵方式，符號表徵與圖像表徵皆為化學社群中所認可的表徵方式，但是圖像表徵可以顯現出空間的概念，符號表徵則無(陳盈吉, 2004)。因此在教學中應嘗試以多樣性的表徵，讓同學瞭解語言、文字、圖像等不同的方式所蘊含科學概念的意義。Ainsworth(1999)將多重表徵主分類為三種功能：互補角色、限制詮釋、建構進一步的理解(引自陳盈吉, 2004)。而此處所指的多重表徵皆為外在表徵(Multiple external representations)簡稱MERs。這些分類能夠回答，該怎麼幫助表徵的轉換，才能使學習達到最大的效果；以及在從經驗評估，來決定多重表徵學習環境的效能時，應該能從中收集到什麼樣的資訊。

Johnstone (1993；引自陳婉茹, 2004)提出在學習化學有三個層次的表徵：巨觀(Macro)，微觀(Micro)，和符號(Symbol)。化學上的巨觀表徵如看見沉澱產生、氣泡產生與顏色變化等肉眼可直接觀察、感覺的現象；微觀表徵則藉由分子、原子、次原子粒子的排列或運動來解釋；而符號表徵則藉由符號、數字、分子式、方程式、結構式或其他化學符號來表徵，如 $2\text{H}_2+\text{O}_2\rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ 。學生在從一種表徵轉換到另一種表徵時產生困難，教師卻對解釋這些表徵的轉換間快速，未能將每個表徵的特性與限制詳加解釋，反而造成學生概念的混淆與理解概念的困難。Johnstone(1991)也建議，強調這三

種表徵的存在和它們之間的連結能使學生易於轉換表徵。三種化學表徵如圖2-4-2所示。

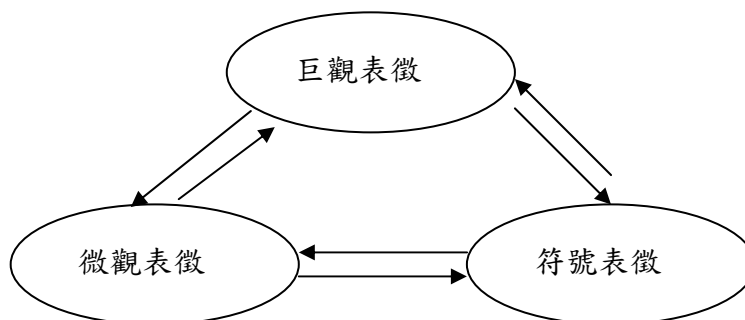


圖 2-4-2 化學表徵中巨觀，微觀，和符號表徵的關係

學習化學知識對大部分的學生而言，都是要理解一些不可見的或無法直接感觸的概念，即使讓學生重新經歷化學家研究的歷程，他也無法像化學家一樣頭腦裡想著該把哪個分子的某個結構換掉，或是清楚的解釋實驗過程中所觀察的現象或蘊含的理論。因為學生無法把他們在實驗室看到的巨觀現象，和微觀的本質及過程作連結 (Gabel, 1998; Schank & Kozma, 2002, 引自陳婉茹, 2004)。而在化學課堂上，教師雖然寫下有意義的符號且多次加以解釋、說明，但對學生而言，這些符號只是文字、數字或箭頭，甚至是難以理解的世界。Mayer(2001, 引自陳盈吉, 2004)則認為深層理解不只是記憶知識，也要能解決其他學習遷移的問題，若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。因此在表徵之間做連結是一種知識過程，需要深層概念的了解。但大部分的學生不能在巨觀表徵、微觀表徵與化學表徵之間作表徵的轉換，代表他們內在概念知識也難以進行連結。教師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。

科技與多重表徵的整合所帶來的一大影響便是動畫的產生，動畫可以視為利用連續的圖片隨時間產生位置或是形狀的改變，以電腦依序播放，因為人類的視覺暫留的現象而產生連續動態的變化，也可以稱為「動態表徵」(dynamic representation)。

這一些動態的表徵可以清楚的呈現許多連續性發生的概念或現象，例如，太陽的東昇西落、化學反應的變色過程等，讓學習者可以在短時間內觀察到長時間現象的變化。Chi等人(1994)說明學生可能將概念歸類在錯誤的本體上，因而具有迷思概念與學習困難的發生。Chi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(Solota&Chi, 1999, 引自陳盈吉, 2004)。而學生在科學的學習不應該只是抽象公式的學習、知識記憶與背誦，學習者的學習應該要像科學家一樣從事科學的探究(Gordin et al., 1995, 引自陳盈吉, 2004)，所以學生的學習是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。

近年來興起的電腦科技與教學結合，將科學概念中微觀世界透過動畫模擬或是虛擬實境的方式呈現，例如，化學分子模型操作軟體－echem；觀察力的變化－Interactive physics；顯示全球氣候的動態變化－World watcher等，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)。關於動態表徵於教學上的研究有許多，看法卻相當不一致。抱持正面看法的研究，認為動畫的呈現的確可以幫助學生學習(Baek & Layne, 1988; Rieber, Boyce, & Assad, 1990, 引自陳婉茹, 2004)。相對的，也有持反面的看法，認為靜態的表徵與動態的表徵並無差異存在(Peters & Diker, 1982; Rieber, 1989; Rieber & Hannafin, 1988, 引自陳婉茹, 2004)。然而，動畫或電腦模擬實驗對於一些抽象難以理解的概念、動態屬性的科學概念，或微觀世界表徵的學習有相當的助益(Park & Gittelman, 1992)。邱美虹(2006)的研究針對高二學生理想氣體粒子運動的科學學習方面，以動畫明確說明粒子微觀的運動情形的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，以及混合氣體擴散運動的相關概念上。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，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。

二、模型與多重表徵的模型教與學

模型是一種表徵的形式，是一個想法、物件、事件、歷程或系統的重新呈現 (Gilbert, 1997, p2; 引自 Buckley & Boulter, 2000)。模型是藉著一個簡單化和理想化的既有的來源代替另一個事物的活動，是透過適當的操弄資源以達到滿足使用者的目的 (Ogborn, 1994)。科學家以建立模型進行科學研究，以模型描繪外在的世界。Gilbert, Boulter, 與 Elmer (2000) 提出依照本體論可將模型分為：心智模型 (mental model)、呈現模型 (expressed model)、一般模型 (consensus model)、歷史模型 (historical model)、課程模型 (curricular model)、教學模型 (teaching model) 等。按照表徵屬性來分類，呈現模式 (expressed models) 視作是思考的外顯化，是一種外在的表徵，不僅可以用來溝通也可用來推理 (Kindfield, 1993-1994; Larkin, 1989; Larkin and Simon, 1987, 引自 Buckley & Boulter, 2000)，物理模型和數學模型可視為是呈現模型。心智模式則是思考工具的內化模式，可視作內在的認知表徵模型，是一種工作模型、一種解釋和預測的模型 (吳明珠, 2004)。當不同族群在經過討論及實驗後，一致認為某種呈現模型是具有價值的，因而產生了一般模型。譬如說呈現模型被一群科學社群經由正式實驗測試，在經過正式發表後就成為科學模型 (scientific model)。然而理解一般模型 (或模型所表徵的現象) 通常是困難的，教學模型就被發展成為幫助理解一般模型的過程，教學模型可由教師或學生發展。模型亦可依照表述的形式加以分類，物理模型是事物形象化的定性描述，數學模型則是定量表示事物之間的組成關係。

個人或某個群體互動時，經常藉由一個或多種形式的表徵來互相溝通，因而心智模型與呈現模型之間的關係是十分複雜的，當人們在不同情境下使用不同呈現模型表現其思考模式時，同時也影響著自己的心智模式。Buckley (2000) 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。科學家常透過不同的表徵和建構模型來研究、解釋現象，因此在課室的教學活動中，教師可善用適當的呈現模型來幫助學生理解科學模型，例如說文章中具有隱喻或對話的圖像、數學關係式或化學反應方程式等。學生則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。有關外在的現象、心智模式和呈現模型之間的關係如圖 2-4-3。

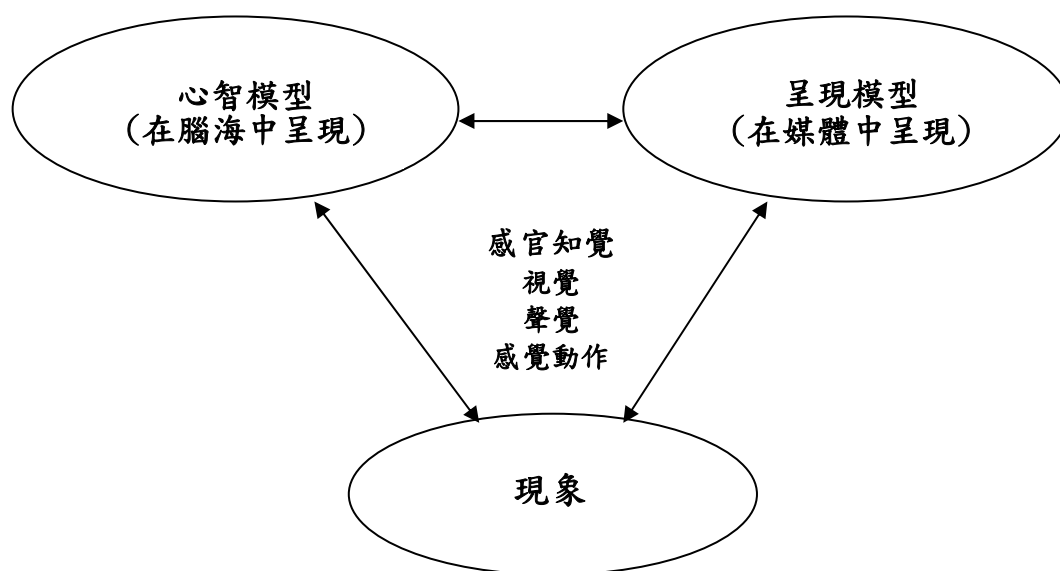


圖 2-4-3 現象、心智模式和呈現模型的交互作用
Buckley & Boulter(2000)

Buckley 等人 (Stewart & Hafner, 1991 ; Buckley, 1995 ; Buckley & Boulter, 2000)認為透過形成、應用模型及精緻化心智模型等遞迴的程序(recursive process)，是一種特殊情況的衍生式學習方式(generative learning)，學習程序如圖 2-4-4。這種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)。學習者在學習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，讓心智模型與呈現模

型趨於一致；也可能原有的心智模式明確與呈現模型不同時，因而放棄原有的心智模式，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)。

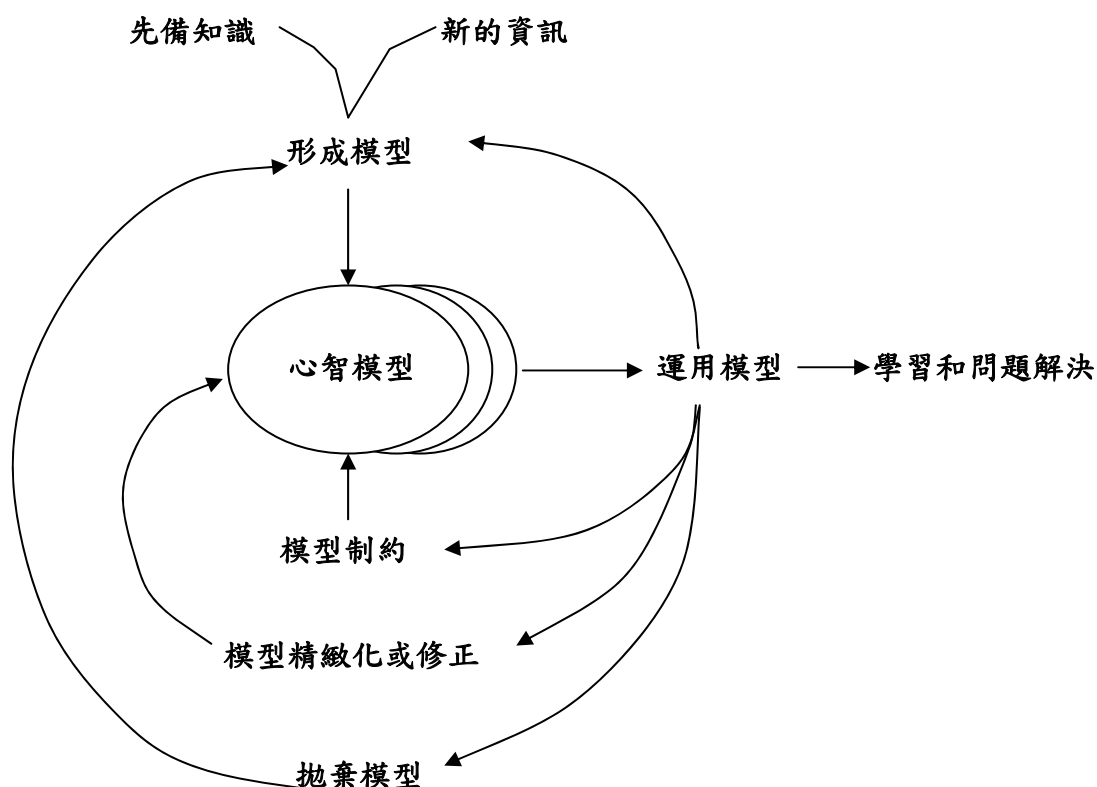


圖 2-4-4 以模型為基礎的衍生式學習
(引自 Buckley & Boulter, 2000)

Buckley 和 Boulter(2000)的研究中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，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。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。Kindfield(1994)則提出專家在進行問題解決的過程中，會視工作情境的不同而在不同的表徵中穿梭，而心智模式的表徵僅呈現出與情境相依的一些面向。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。

模型是一種表徵的形式，科學家以建立模型進行科學研究，以模型來描繪物理世界，多位學者的研究結果顯示模型化經驗有助於科學概念的學習（Gobert, Snyder & Houghton, 2002；Nersessian, 1999；Gobert, 1994, 引自吳明珠, 2004），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。Gobert 等人(2004)認為學習者的認識論是探究模型為基礎的學習機制或設計模型為基礎的教學策略的關鍵，因此學生對科學模型的目的和模型本質的認識論是學生認識論的重要面向。

Boulter & Buckley (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2-4-5。

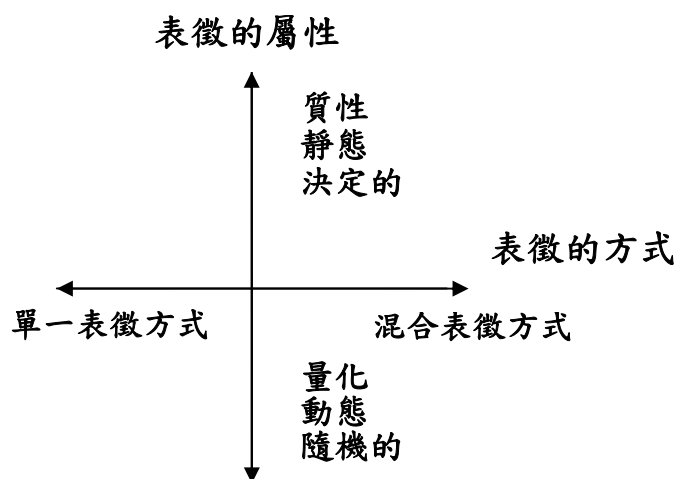


圖 2-4-5 模型分類的兩種不同的維度
(引自邱美虹, 2006；鍾曉蘭、邱美虹, 2006)

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。邱

美虹(2006)氣體粒子研究中讓學生們以角色扮演的動作混合模型及質性—隨機—動態的表徵屬性來說明及理解混合氣體的擴散運動情形，讓學生以個人的肢體動作來理解氣體粒子擴散運動的過程是動態而隨機的，以及使用動畫明確說明粒子微觀的運動情形的教學策略明顯比一般傳統教學法更有助於學生理解氣體動力學的相關概念。邱顯博(2002)針對國二、國三學生進行擴散作用的研究結果顯示：角色扮演組的學生對於該組教學活動的情意面向抱持正面的看法，他們不但喜歡此種活動方式，也支持角色扮演活動能對學習有所助益，學生大多認為此種活動能夠促進粒子觀與對擴散作用的認識。

三、學生對模型的看法

學生對模型的看法，由於缺乏科學模型的操作經驗及智力的成熟度不夠，所以多半無法理解模型的多樣性(multiple)，而且對模型的詮釋與教師理解的不具一致性。經由晤談再分析學生運用模型的能力之後，Grosslight 等人(1991)發現學生使用模型的能力(modeling ability)可以歸納分為三個階段：

Level 1：模型當成是「玩具或真實的簡單複製品」，在此階段，許多學生想像在模型與真實之間是具有 1:1 的一致性。

Level 2：此階段有一個特殊而明確的目的作為建立模型的媒介，模型者對於如何達成目的做出有意識的決定。學生在此階段已經瞭解模型並非一致於真實；然而，學生仍聚焦於模型與真實之間逼真的描寫，而非模型所要表達的概念。

Level 3：此階段接近專家對模型的看法。學生瞭解到模型是為了提供發展或測試概念，而非真實的描述。學生能夠主動建構和操作多樣及多種的模型，並評價模型的設計是否符合模型的目的，且不會被模型之間的差異性所干擾。

透過瞭解學生的心智模式與對模型的看法，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)。Grosslight 等人 (1991)也認為一旦模型的信念出現時概念亦隨之發展，應使學生有更多應用模型的經驗，多鼓勵學生討論科學探究過程中不同模型所扮演的角色。因此，在進行科學教學策略及活動設計時，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 學教學配合文字、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。

第五節 動態評量

動態評量最早是由 Vygotsky(1978, 引自劉家成, 2003)所提出的近側發展區(Zone of proximal development, ZPD)衍伸而出的概念，近側發展區是指學生解決問題的能力層級與經過專家或同儕指導後發展潛能之間的差距，Vygotsky 認為評量只聚焦在學生獨立的表現上將無法發現學生認知的差異與預測其未來的發展，因此提出以 ZPD 區別學生目前心智功能的水準，以完整評量學生認知發展的過程。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。本節針對動態評量的意義與定義、常見動態評量的取向、動態評量理論在教學上的應用進行探討。

一、動態評量的意義與定義

動態評量是指教師以「前測—介入—再測驗」的形式，對兒童一般認知能力或特定學科領域進行持續性學習歷程的評量。藉著此種評量模式瞭解教師介入與兒童認知之間的關係，探究兒童認知發展的可修正程度，以及確認兒童學習的最大潛能。「動態評量」一詞最早由 Feuerstein(1978)所使用，之所以被稱為「動態」，其意涵主要有二（莊麗娟、邱上真, 1996）：此種評量模式著重學習歷程或認知改變的評量，以及強調在評量進行中教學評量者與被評量者的關係是互動的。Lidz(1991)認為主動性和可塑性是動態評量的主要特色。

促成動態評量的研究與發展的主要原因有三方面（Sternberg & Grigorenko, 2002；莊麗娟, 1999）：源自於對傳統評量的批判、認知心理學的發展以及人文取向的教育觀。許多學者對於傳統的靜態評量的過分標準化提出質疑，認為靜態評量忽略學習歷程的評量，無法提供教學缺失的訊息，教師也無法針對學生的學習情形作即時的回饋，同時對於特殊兒童及文化不利兒童的學習會有低估的現象。因此主張透過積極的、協助的動態評量方式，減少不利環境因素的影響，重新評估兒童認知學習潛能，改變兒童認知功能與結構。就認知心理學的發展來看，動態評量主張兒童認知能力可

透過與環境、教師之間的互動而提升，故動態評量要評量的是兒童經由互動後，可能發展的潛能，並非只是目前的能力表現水準。人文主義的興起，強調教育的歷程中，應注重人與人之間的互動，運用評量者媒介式的活動或回饋教學等積極性的互動，可促進兒童潛能提升。

Embretson(1987)描述動態評量主要目標有三：首先是對特定能力構念提供較佳的估計；其次是測量新的能力；第三目標是改善人類的能力—心智效率。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。雖然這些轉型的看法可能是動態評量最具生產性的方向，但現今方法論尚不能完全解決這樣的轉變，許多心理計量研究專家可能認為這些轉變是動態評量首要達到的新任務(Sternberg & Grigorenko, 2002)。

二、常見動態評量的模式

動態評量自 1970 年代發展至今，經過許多學者多年來的努力，而日益受到重視，常見動態評量可歸納出下列六種模式(整理自劉家成, 2003；陳郡鳳, 2004)：學習潛能評量模式(Learning Potential Assessment, LPA)、學習潛能評量設計模式(the Learning Potential Assessment Device, LPAD)、測驗極限評量模式(Testing the Limits Assessment)、漸進提示的評量模式(Graduated Promoting Assessment)、心理計量取向的動態評量模式(Psychometric Approach)、連續評量模式(a Continuum of Assessment)。大致上可以將六種模式概列分為兩大類：第一類是在前測和後測之間夾著三明治式的教學方式；第二類則是個別地在項目和項目之間由受試者接受教學方式(Sternberg & Grigorenko, 2002)。以下將六種模式的研究學者、理論依據、研究對象、特色與評量方式比較如下表 2-5-1。

表 2-5-1 六種動態評量模式比較(整理自劉家成, 2003；陳郡鳳, 2004)

評量模式 (研究學者)	理論依據	研究對象	特色	評量方式
學習潛能(LPA) Budoff(1974)	假設智力或能力可因訓練或學習而進步，目的在於找出被誤判為智能障礙兒童與在適當課程與教學中獲益的兒童	針對可教育性智能不足學童	以測驗-訓練-測驗的模式進行，但此評量仍著重學習結果的評量	採用非語言的工作方式標準化教學的方式介入
LPAD Feuerstein (1979)	假設認知結構的可塑性，認為媒介式學習式認知發展的基礎，其目的在找出個體認知功能缺陷	針對因缺乏中介經驗造成認知缺陷的現象	透過認知圖來建構評量作業，並評量學童對教學的反應度	非標準化的臨床介入
測驗極限 Carlson & Wiedell(1978, 1979)	利用智能與人格因素解釋訓練中個體訊息處理的差異，透過口語化及回饋等施測情境使個體有較高的表現	針對學習困難的兒童	直接將介入安排在測驗的情境過程中	標準化介入
漸進提示 Campion & Brown(1982)	採 Vygotsky(1978)近側發展區觀點，強調以標準化的介入建立量化的資料	針對學習失敗高危險的學童	以工作分析詳細安排標準化、固定的暗示或提示介入	標準化介入
心理計量取向 Emberston (1987)	強調認知能力的可變性，並可透過訓練加以改變。目的在發展適當的心理計量模式來測量認知改變	研究對象為大學生	以空間推理測驗為題材，讓受試者經由具體遭作處理空間技巧問題	透過前測-訓練-後測的程序，以標準化介入
連續評量模式 Vye, Burns & Bransford(1987)	結合學習潛能評量設計模式與漸進提示評量發展而成	針對智力低落的兒童	以有效的中介學習，促成其認知發展	標準化與臨床介入兩者合併

本研究採用 Campione 等人所提倡的漸進提示模式(Graduated Promoting Assessment)，此種模式是以 Vygotsky(1978)近側發展區觀點為基礎，跳脫 Feuerstein 非標準化介入的分類焦點，強調以標準化的介入方式，即透過「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，大多採用「推理的作業」作為施測和訓練的材料。其測驗的階段分為兩階段：前測階段、學習和遷移階段，並對此種評量模式的評量重點、目的、結果、介入方式及評量的限制等加以說明(Sternberg & Grigorenko, 2002；莊麗娟, 1999；劉家成, 2003)。

前測階段：評量受試者對於學習活動的準備度，及個體的一般心智功能。

學習和遷移階段：主試者依照受試者的表現給予一系列標準化的協助，用以瞭解受試者學習能力與遷移效率。

評量重點：學習與遷移歷程的評量。

評量目的：用以鑑別學業學習有困難者，及發展有效的「學習能力量數」，來改善分類的方式。

評量內容：分為一般與特定內容，前者包括歸納、推理作業；後者如教學、閱讀等課程作業，並以工作分析是先建立特定工作之程序。

介入方式：以工作分析詳細安排標準化、固定的暗示或提示，由一般的、抽象的到比較明確、特定的暗示。

評量結果：從學習的遷移歷程，可以瞭解兒童認知能力的個別差異，學習能力高者需要的協助較學習能力低者來得少；而學習與遷移的動態能力量數，是預期近期未來表現的較佳估計值。

評量限制：若將此模式運用在複雜的學科，其解題歷程及思考歷程會越多元，其工作分析與提示系統的建立與實施越不易。

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，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，同時藉著多次的動態評量瞭解學生在教學前、教學過程中及教學後對氣體粒子本質(包括粒子觀、剛性粒子的特性、氣壓的成因等)的本體概念改變的途徑，以瞭解學生認知發展的歷程。

三、動態評量理論在教學上的應用

Sternberg & Grigorenko(2002)主張測量「正在發展中的專門知識和技術的形式」最好的方式是動態評量，因為智力是動態的、變動的轉換成能力，再轉化成專門知識和技能，因此主張「發展中的專門知識和技術的模式(Developing Expertise Model)」，模式的描述如圖 2-5-1。每個個體在發展的程度和漸進線(asymptote)是不同的，主要的影響因素是直接的教學、主動的參與、角色示範和獎賞等。

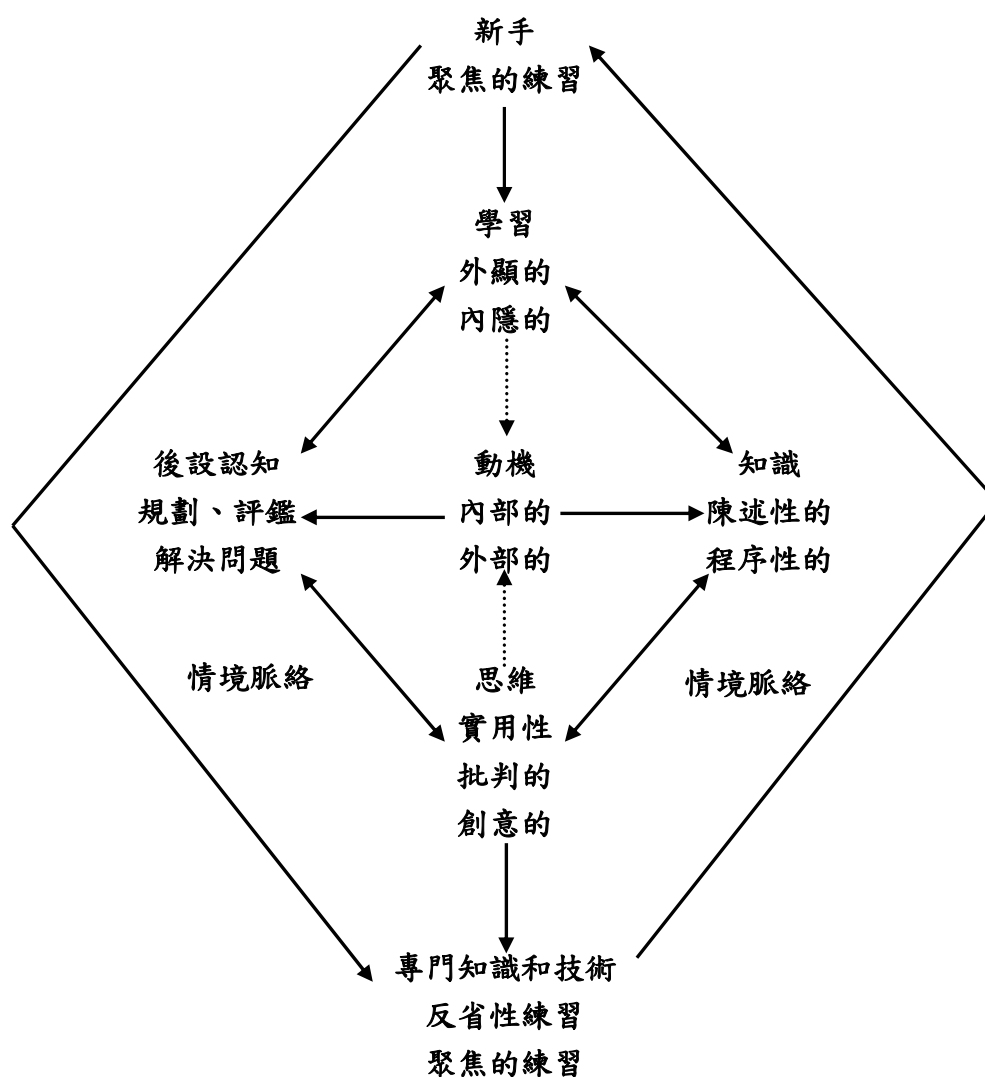


圖 2-5-1 發展中的專門知識和技術之模式
(Sternberg & Grigorenko, 2002)

發展專門知識和技術的模式中有六項要素(雖然至今仍未發展完善)：後設認知技能、學習技能、思考技能、知識、動機、專門知識和技術。六項因素彼此之間具有直接性和間接性的互相影響，譬如說學習會增加知識，知識豐富化後則影響個人批判性的思考，增加個體的創造力，同時也影響了個人內在的學習動機以及增加專門性的知識和技術。以下針對六項要素作簡要的說明：

(一) 後設認知技能

後設認知技能(Sternberg, 1985)牽涉到個體的瞭解及認知的控制，多位學者(Sternberg, 1986, 1988；Sternberg & Spear-Swearling, 1996；Sternberg & Grigorenko, 2000)認為後設認知技能是可以經由學習與訓練而改變的。Sternberg(1985, 1986)指出七種後設認知技能是特別重要要的：確認問題的存在、定義問題、表徵和組織資訊、形成策略、分配解決問題所需要的資源、監控問題解決的策略、評估解決問題。

(二) 學習技能

個體在使用學習技能分為內隱與外顯的，內隱的是偶然學習中獲得的資訊、外顯則是在努力學習中建立的。而學習的技能主要有三類型(Sternberg, 1985)，分別是選擇性編碼(學習中分辨出訊息的相關性)、選擇性連結(將有關的訊息連結起來)、選擇性比較(將新訊息與舊知識比較後記錄下來)。

(三) 思考技能

個體需要精熟三種思考技能(實用性、批判性、創意性)，三種思考技能是相輔相成而非獨立運作的。實用性的思考技能包含了實踐、運用等能力，是將思考轉化成實際行動的第一步；批判性思維則涵蓋了分析、評論、對照、判斷等能力；創意性思考則包括發現、想像、假設、創新等。當個體將三種思考技能順利運作時，解決問題的能力與專門知識和技術的發展必能更精進。

(四) 知識

在課(專)業學習上，知識主要分為兩大類：陳述性及程序性的知識，陳述性的知識是有關概念、原理原則、事實等，換言之，在學習過程中我們希望學生學習瞭解

或知曉的知識內容；程序性的知識則是讓學生理解知識系統的功能是如何運作的，也就是瞭解知識使用的過程(Sternberg et al., 1995；Sternberg et al., 2000)。

(五) 動機

動機是學校教育成功不可或缺的要素之一，常見的動機分為成就動機、能力動機、外在動機及內在動機等：成就動機高的人尋求適度的挑戰，嘗試讓自己的表現更完美，努力達成他們所定下的目標。能力(自我勝任)的動機涉及到個體解決手邊問題能力的信念，這種自我勝任的動機起源於內部與外部的獎賞(Sternberg & Lubart, 1996)。

(六) 專門知識和技術

以上組成模型的五大要素，大部分程度上是特定領域的。Sternberg & Grigorenko(2000)指出一個領域的專門知識和技術的發展並不一定導致另一個領域的專門知識和技術會隨之發展，其中或許會產生學習遷移，但需視特定領域彼此之間的關係，也就是智能彼此之間的關聯性而定。

以上六項組成要素是有關學習者或知識領域的特性，但談起此模式的發展不能不提及情境脈絡因素的影響，傳統測驗的問題假設個體進行測驗時或多或少是去情境脈絡化(decontextualized)的環境下而運作的，傳統測驗的分數大多詮釋成有關個體內部的歸因，然而情境脈絡會影響受試者的表現卻是不爭的事實，譬如說，對測驗材料或內容的熟悉程度、測驗試題中所用的語言、強調速度表現的測驗等等，情境脈絡的影響是顯而易見的。因此建立發展專門知識和技術的模型時，也必須慎重考量到情境脈絡因素的影響。

Sternberg & Grigorenko(2002)認為測量正在發展中的專門知識和技術最佳的方法不是透過靜態評量而是透過動態評量，Sternberg 一直有興趣並且認為認知的動態性可以透過動態評量來評估。動態評量的研究成果可能在理論與方法論上將有助於「能力即是發展中的專門知識和技術」的觀點(Sternberg, 1997)，然而 Sternberg 和 Grigorenko 卻指出：雖然動態評量是源自於不滿傳統靜態評量蓬勃發展的結果，但要瞭解動態評量和靜態評量兩種性質，就某種範圍而言是一種連續體而非兩種截然不同

的觀點。因此，要將動態評量成功的在學校發展、應用，就某種範圍而言是隱蔽在一些靜態測驗之中，而不是將兩種測驗視為互相競爭的，更大的進步是整合兩個主張，建立在彼此的優點之上。

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，進一步分析多重表徵的模型教學在哪些模型與表徵上，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。