

探究高中生氣體粒子概念之心智表徵與課本表徵之關聯性

吳怡嫻 邱美虹*

國立台灣師範大學 科學教育研究所

*mhchiu@ntnu.edu.tw

摘 要

本研究以高中化學課程中之氣體概念為主題，使用診斷式測驗對高一至高三共 192 位學生進行測驗以收集其相關心智表徵，並與課本相關章節之表徵進行比較。研究發現，學生在課本圖表與公式有提及的部分，包括氣體粒子分布方式、溫度與氣體體積之關係、以及氣體體積與壓力之間的巨觀關係等均表現良好。課本未描述之部分，包括溫度或壓力改變而造成體積改變之微觀機制，以及相同情況下同分子數目之氣體有相同體積等概念則學生較不易產生正確的推論，因此表現較差，且有錯誤表徵顯現。研究建議教學時可增加適當的相關表徵以幫助學生學習。

關鍵詞：表徵，氣體粒子模型

一、前言

氣體性質在高中化學課程中，僅有一章，但其背後之粒子概念卻是化學學習中很重要的基礎。在過去研究中可發現，學生在這個主題的成績表現並不會太差，但是對氣體的各項性質其背後的機制或原理卻不甚理解，也會有迷思概念的產生 (Benson, Wittrock, & Baur, 1993; Sere, 1986; Maskill, Cachapuz, & Koulaids, 1997; 陳盈吉, 2004)。而化學家用來解釋現象所產生的表徵形式則明顯地來自於符號與文字的使用 (Kozma, Chin, Russel, & Marx, 2000)，學習者必須能夠對這些符號與文字產生有意義的表徵，才能正確的習得相對應的知識。基於以上原因，本研究以高一到高三共 192 位學生為受測樣本，以電腦化的二階層式診斷測驗收集其可能的相關心智表徵，並與該校所選用出版社之課本表徵進行比對。承上所述，本研究之研究目的為：探討學生在讀過課本中所運用的表徵（包含文字與圖形）之後會產生怎樣的心智表徵，並與課本表徵進行比較。所包含的研究問題有以下三項：

1. 該版本課本當中氣體粒子概念的相關表徵是如何呈現的？
2. 不同年級學生在二階層式診斷測驗中所表現出的氣體粒子概念相關表徵為何？
3. 課本表徵與學生心智表徵之相關性如何？

二、文獻探討

從知識的建立談起，皮亞傑(1964, 2003)主張，知識並非「實體的複製(copy)」。要去「認識(know)」一個物體或是一個事件，並不是只要看著它，然後在心智中將它「複製」

下來就行了。而是要對其進行某些動作(act on it)，也就是去修飾(modify)、轉變(transform, 增加或減去, 合成或分開)這些事物, 並能經由了解這個轉變的過程而理解事物本身的邏輯架構是如何建立的(Piaget, 1964, 2003)。Kelly(1955, 引自 Geelan, 1997)則認為每個人都會透過觀察、解釋、預測及控制等歷程, 建立一個模型來適應其所處的環境, 強調知識是由個人的內在經驗所建構出來的模型。Kenneth Craik 在 1943 年提出, 他認為人類的心智會對外在真實世界建構一個「比例縮小的模型(small-scale models)」以用來預測或解釋某些事件(引自 Johnson-Laird & Byrne, 2000)。以上這些於心智中進行的操作, 其中一項便是表徵的產生。表徵是人類認知系統最基礎的功能之一, 而對知識產生表徵的歷程就是由知覺系統得到的訊息, 被符號化並與腦中原先儲存的物件結合 (Solso, 1998)。

在化學課程中用來解釋現象所產生的表徵形式則屬符號和文字的使用(Kozma et al., 2000), 因此學習者必須能夠對這些符號和文字產生有意義的表徵才能正確的運用其代表的知識。而化學模型又比其他模型來的困難, 因其與飛機模型不一樣, 不是一個縮小的實體, 而是一種看不到的微小物質的超大型類比表徵(Bent, 1984, 引自 Bucat, 2005), 而建立於此上之化學知識, 便需要在巨觀現象、微觀想像世界、與代表符號之間進行轉換以順暢的學習 (Johnstone, 1991)。然而這個轉換的歷程也是學生學習困難的來源之一。Johnstone 指出, 除了無法直觀的進行思考之外, 微觀世界的轉換需要相當程度的想像力、空間感、和將文字影像化的能力。但是一般課本中對於粒子模型, 不論是相變或是氣體行為, 由於都屬於靜態的圖, 缺乏動態特徵, 加上粗略的詮釋方式, 很難表現出其背後知識的複雜性 (Bucat, 2005); Bodner & Smith(2000)亦指出: 當呈現給學生的問題情境中, 如果其中表徵所蘊含的資訊不夠充足的話, 則學生較難成功的解題。可見學生在應用知識到化學問題上的能力, 和此圖像表徵的品質是有相關的 (Bucat, 2005)。

以上文獻指出了化學課程中, 課本呈現的表徵對學生的重要性, 因而激發了本研究的目的, 也就是探討現行課本中的表徵形式與學生的表徵形式之間是否有關連, 以及其可能不足之處。

三、研究方法

本研究之研究方向為探討個體的概念理解以及所使用的心智表徵, 在設計上是以自然情境為主, 無特定教學介入, 運用設計好的工具收集資料以回答本研究之研究問題。研究對象為台北縣某地區性公立高中之學生, 其中高一 70 人, 高二 87 人, 高三 38 人。氣體性質是在高二上學期的課程中出現, 三階段的學生正好可以代表學習前、學習中、以及學習後之狀態。

主要探討的粒子相關概念是以理想氣體方程式 ($PV=nRT$) 之微觀機制為主, 包含了波以耳定律、查理定律、與亞佛加厥定律等。研究工具為以過去研究所發現的相關迷思概念為基礎而設計的二階層診斷式測驗, 並應用跳答的形式偵測回答的一致性, 以期更精確的收集到學生的心智表徵。試題內容則是要求學生預測特定情境下, 氣體會發生何種改變並解釋其機制。本試題經過專家效度之檢驗, 試測數據顯示其 Cronbach α 信度達 0.81。資料分析包括兩大部分, 一是對該高中選用版本之課本氣體性質章節進行概念分析與課本表徵(圖表)分析; 二是根據學生在測驗中的回答建構其可能的心智表徵。

最後將比較課本表徵與學生表徵，比較面向則包括了氣體粒子本身體積的改變與粒子的分布方式等。

四、研究結果

(一)、課本表徵形式

本研究之合作學校採用南一出版社 95 年再版之高中化學課本，分析章節為高二上學期物質科學化學篇第一章之一至三節。課本表徵形式將分成四個部份描述：1. 容器中氣體粒子的表徵；2. 氣體體積與溫度的關係（查理定律）的表徵；3. 氣體體積與壓力的關係（波以耳定律）之表徵；4. 分子數目與氣體體積之間關係（亞佛加厥定律）之表徵。

1. 容器中氣體粒子之表徵

由相態開始說明：氣體粒子間的距離較大，且吸引力薄弱，故氣體粒子可以在空間中自由移動。氣體具有可壓縮，可膨脹，可擴散等獨特的性質。在第一節說明氣體壓力來源時有插圖說明，如下頁圖 1A 所示。

2. 氣體體積與溫度的關係（查理定律）的表徵

先講解溫度與絕對溫標，查理定律的部份先出現一張氣球澆上液態氮而萎縮的圖片（圖 1B）之後提及「查理-給呂薩克發現： $V=V_0(1+\alpha t)$ $\alpha=1/273.15$ 」；接下來用體積對溫度變化圖（請參見南一版高二上化學課本 p.10 圖 1-9）解釋絕對零度的定義並陳述「查理定律： $V_1/V_2=T_1/T_2$ 定壓時定量氣體的體積與絕對溫度成正比」。其推理方式是以實驗數據與數學運算為主，並未以粒子觀點說明此現象成因。

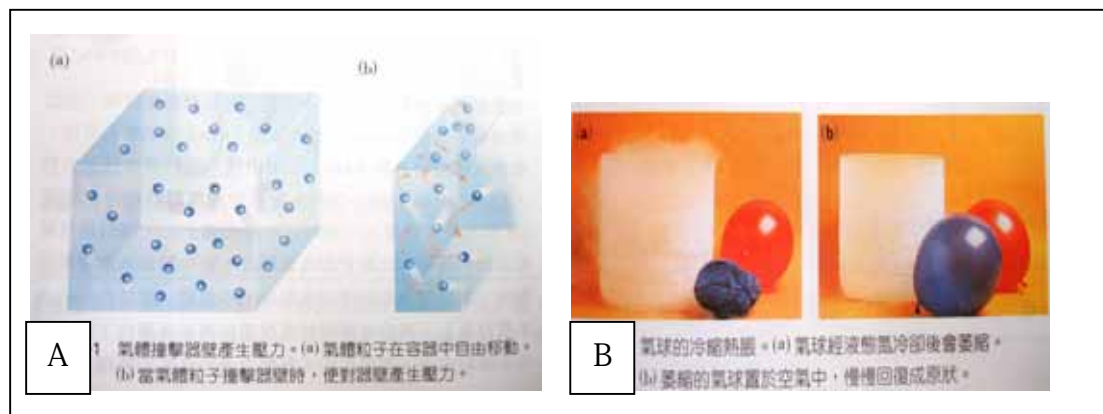


圖 1 南一高二課本插圖 A. 氣體粒子圖(p.3) B. 氣體熱漲冷縮圖(p.9)

3. 氣體體積與壓力的關係（波以耳定律）之表徵

主要敘述有：壓力成因 $P=F/A=(ma/A)$ 、大氣壓力成因、托里切利的水銀柱氣壓計圖形呈現以及如何計算其氣壓等。之後以氣體壓力與體積關係圖（請參見南一版高二上化學課本 p.7 圖 1-6）陳述波以耳定律：「定溫時 $P_1V_1=P_2V_2$ ，氣體體積與壓力成反比」，無其他相關圖片說明現象成因與機制。

4. 分子數目與氣體體積之間關係（亞佛加厥定律）之表徵

由給呂薩克之結合比例定律「定溫定壓下，化學反應中的氣體呈簡單整數比」之敘述與以立方體表示氣體體積比例之插圖（請參見南一版高二上化學課本 p.12）開始，之後便直接陳述亞佛加厥定律：「同溫同壓下，同體積的氣體含有同數目的分子」以及公

式 $V_1/V_2=n_1/n_2$ ，並提出一實驗數據證明 50 毫升之不同氣體擁有相近似的分子數目。並未以粒子觀點說明此現象成因與機制。

(二)、學生表徵形式

學生表徵與課本表徵對應，分成四個部份描述：1. 容器中氣體粒子的表徵；2. 當溫度改變時，氣體體積改變機制的表徵；3. 當壓力改變時，氣體體積改變機制之表徵；4. 分子數目與氣體體積之間的關係。各年級學生在上述四個概念之答對率請見下頁圖 2。

1. 容器中氣體粒子之表徵

主要測試的是微觀概念：「氣體粒子可在空間中自由移動且隨機散佈於其容器中，粒子間為真空狀態」。此部份三個年級的學生答對率都很高，高一至高三分別為 70%、86%、70% 的學生都選擇「氣體粒子隨機散佈在容器中」（請見下頁圖 3A）；其中高二學生答對率最高，可能因為才剛學過，記憶猶新，且在課本中有插圖描述此概念（請見圖 1A）。主要的另有表徵為「氣體粒子滿滿堆疊在容器中」（圖 3B），高一與高三均有 14%，高二約 6% 學生選擇此選項；可見「粒子間真空」這個概念仍較難被學生接受。

2. 當溫度改變時，氣體體積改變機制的表徵（查理定律-VT 關係）

測試之巨觀概念為：「分子數目一定，壓力一定的狀況下，非固定容量容器中的氣體體積與溫度成正比」，其正確微觀概念為：「因為溫度升高時，氣體粒子動能增加，運動速度變快，碰撞頻率變大，而使氣體體積變大；溫度降低時氣體粒子動能降低，運動速度變慢，碰撞頻率變小，而使氣體體積變小」。巨觀的部份學生的答對率很高，高一至高三分別為 66.2%、78.8%、78.9% 的學生答對。但微觀部份答對率就相對偏低，高一至高三分別僅 28.1%、51.0%、49.6% 的學生答對。

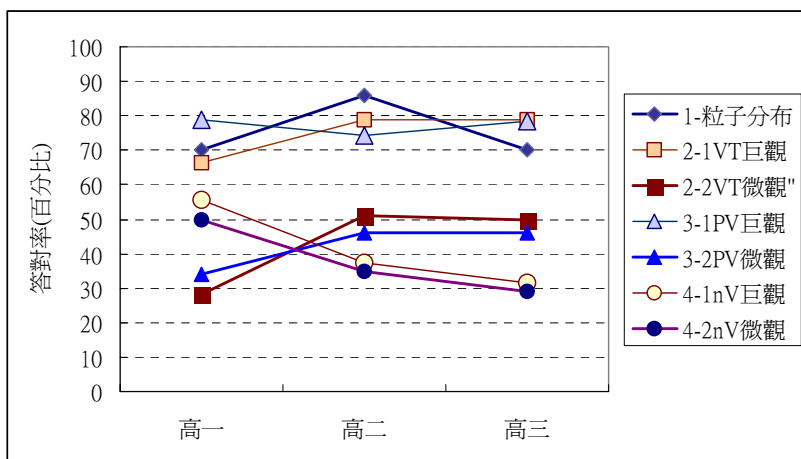


圖 2. 各年級各主概念答對率曲線圖

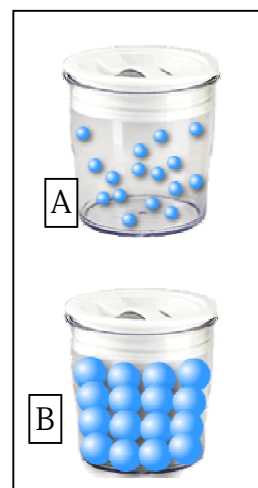


圖 3. 氣體粒子表徵圖

學生主要出現的錯誤表徵模式有兩種，第一種是「溫度改變時氣體粒子本身大小會改變，溫度升高時粒子變大，溫度降低時粒子變小」之模式，（請見圖 4）；第二種是「溫度改變時，氣體粒子分布方式會改變」，題目中分布方式之改變包括粒子上升、下降、聚集於中央、向外推擠四項。持有第一種表徵模式之學生高一至高三分別為 54.3%、44.1%、52%。持有第二種模式的學生較少，四項中，僅有「溫度下降時，氣體粒子會集中於容器中央」（請見圖 4）此選項之比例超過 10%，高一為 17.5%、高二為 20.7%、高三為 17.0% 的學生有這樣的想法。

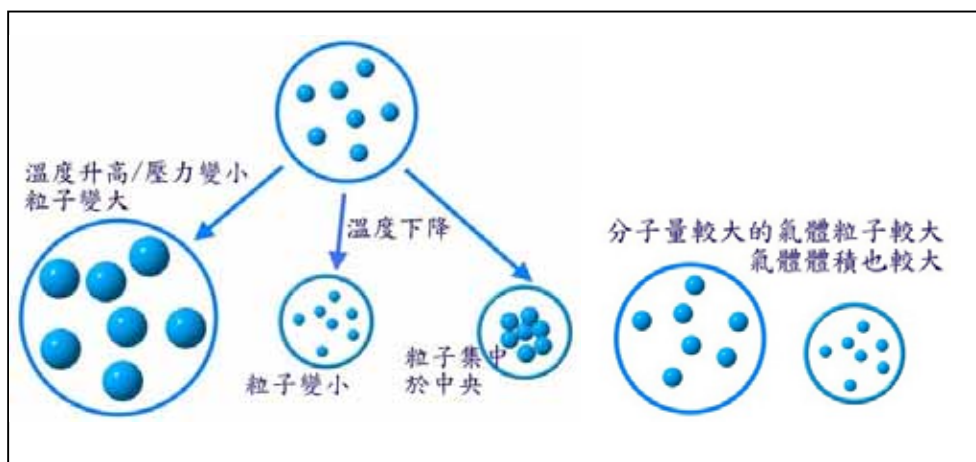


圖 4. 學生錯誤表徵圖

3. 當壓力改變時，氣體體積改變機制之表徵（波以耳定律-PV 關係）

主要測試之巨觀概念為：「氣體分子數目一定，溫度一定的狀態下，氣體體積與壓力成反比」，微觀概念則由以下三項組成：「(1) 氣體壓力來自於氣體粒子碰撞器壁的作用力；(2) 體積(活動空間)變大時，氣體粒子碰撞頻率變小，壓力就會變小；(3) 在可改變大小的容器中，當外界壓力變小，內部氣體粒子數目不變，碰撞頻率比外部大，因而體積會增大。」在巨觀部份，學生答對率也很高，高一至高三分別為 78.9%、74.4%、78.3% 的學生答對。微觀部份答對率就較差，高一至高三分別為 33.9%、45.9%、46.0% 的學生答對。課本此部份在微觀面向僅提及「氣體壓力來自於氣體分子對器壁撞擊而產生之壓力」，並有插圖（請見圖 1A）表示。其他概念與改變機制均未提及。學生主要出現的錯誤表徵方式是「當外部壓力變小時，氣體粒子體積會變大」（請見圖 4）。高一至高三分別有 52.9%、32.2%、44.0% 的學生持有此項表徵。

4. 分子數目與氣體體積之間的關係（亞佛加厥定律-nV 關係）

主要測試之概念為巨觀現象與微觀機制之間的關係：「同溫同壓下，同樣分子數目的氣體擁有一樣的體積。」此概念在課本中有文字敘述、公式、與實驗數據進行說明，但是不管巨觀或微觀部份題目答對率都較差。巨觀部份高一至高三分別有 55.7%、37.4%、31.6% 的學生答對；微觀部份高一至高三分別有 50%、35.1%、29.0% 的學生答對。學生主要出現的錯誤表徵方式是「分子量大的氣體分子體積較大，因而整體體積也較大」（請見圖 4）。在測驗中高一至高三分別有 25.8%、25.9%、39.5% 的學生持有這樣的想法。以上數據顯示，答對率從高一到高三越來越低，答錯率則越來越高。

上述四種錯誤表徵模式之各年級各表徵持有比例請見圖 6。

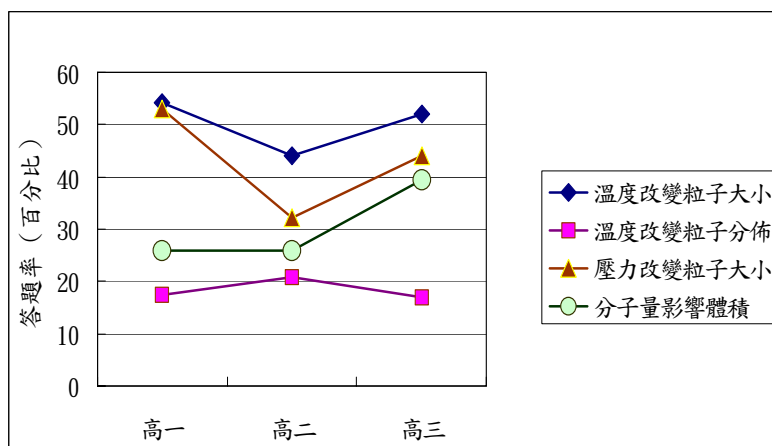


圖 6. 各年級錯誤表徵比例圖

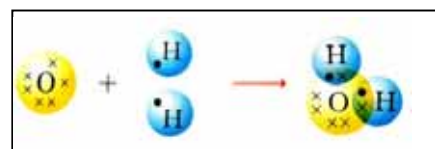


圖 7. 南一高中基礎化學 p.62
共價鍵示意圖

(三) 學生表徵與課本表徵的比較

粒子分布的部份答對率頗高，這或許可以說明課本的表徵仍然是有效的。因為課本有呈現氣體粒子微觀分布圖（如圖 1A），學生會記得這樣的表徵。不過研究也顯示，到了高三之後比例又下降，這可能是因為氣體粒子模型原本就是哲學上的主張而非實證上的證據（Meheut, 2004），學生在沒有其他動態表徵輔助的情況下，也僅能將這個概念硬記下來，自然的就會隨著時間以及更多新資訊的進入而消滅。

VT 關係在巨觀部份學生的答對率亦不低。可能原因包括這部份課本有敘述，且有澆上液態氮的氣球之插圖（圖 1B）與氣體溫度與體積之關係圖輔助說明，加上亦是容易觀察到之現象。但微觀部份答對率就相對偏低，可能因為這部份在課本中不論是文字或是插圖均完全沒有提及。錯誤表徵則以溫度改變時氣體粒子本身大小會改變為主，研究顯示三個年級均將近半數學生有這樣的想法，高二學習過後比例也只下降些許，到了高三又恢復原來的比例。可能因為「熱脹冷縮」的概念深植人心，且此微觀想法並不會與可觀察到的現象產生衝突（如圖 1B 的氣球就是變小了），再加上課本也沒有說明，而造成這麼多學生擁有此錯誤表徵方式。

有關 nV 關係的概念，持有「分子量大的氣體分子體積較大，因而整體體積也較大」這種想法的學生也佔有一定的比例（參見圖 6），可能由於過去基礎化學課本中在講到物質構造時都會有類似圖 7 的示意圖，其中可以很明顯的看出不同氣體分子大小的差異，學生可能因此而留下建構相似的表徵。

五、討論與建議

有關學生表徵形式與課本表徵之關連性，圖 2 顯示在 V-T 與 P-V 的部份巨觀成績都不錯，這兩項概念在課文中雖沒有詳細解說原理，但是定律與公式均有清楚的陳述，且有關係圖的輔助。n-V 概念的部分課本中僅用一句話陳述，從研究結果來看，這樣的敘述對學生而言顯然不易理解。但是粒子分佈概念的成績不差，可見課本表徵（如圖 1A）有其效用。微觀概念課本中沒有特別說明，答對率較低。V-T 與 P-V 的部份，圖 6 中「溫度/壓力改變粒子大小」的答題比例顯現的趨勢便指出，學生持有「粒子大小是不會改變的」這個概念的比例並不高，僅高二較低。可能如同 Meheut 所述，粒子模型是哲學的而非實證的主張，屬於其記憶性的知識，學生如不特別將此概念置入其知識結構中則此概念便容易被遺忘。加上要學生自行想像「因為氣體粒子運動速率的改變而改變與器壁的碰撞頻率所以影響到體積/壓力」這樣的情境事實上並不容易，因而整體答對率不高。

以上討論顯示，課本表徵對學生是有所影響的，但現行課本表徵中，圖形十分缺乏，均以公式、關係圖、與數據為主。但以氣體粒子模型這樣的概念來說，應需要更豐富的表徵形式。Buckley & Boulter(2000)指出，如要完善解釋一現象背後的機制或原因，則需要針對其結構成分之間的互動行為去設計更多的表徵，其研究中亦顯示，以動態模型的方式呈現整體機制對學生的學習會更有效。建議課本編排上可增加有關氣體粒子行為之微觀機制的相關插圖，教師在進行氣體性質之教學時，亦可運用動態表徵的模型，以幫助學生理解，並建立正確的心智模式。

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

- Bucat, R. (2005): *An Analysis of Dimensions of Learning Chemistry- A non-linear Process: Knowledge of Chemistry content is different from knowledge about teaching that content- Pedagogical content knowledge*, Speech at Graduate institute of Science Education, National Taiwan Normal University, Taipei, June 2005
- Buckley, B. C. & Boulter, C. J. (2000). Investigating the Role of Representations and Expressed Models in Building Mental Models. In J. K. Gilbert and C.J. Boulter(eds.), *Developing Models in Science Education* (pp.119-135.) Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Kozma, R., Chin, E., Russell, J., & Marx, N. (2000). The Roles of Representations and Tools in the Chemistry Laboratory and Their Implications for Chemistry Learning, *The Journal of the Learning Science*, 9(2), 105-143
- Piaget, J. (1964, 2003). Cognitive Development in Children: Development and Learning, *Journal of Research in Science Teaching*, 40(supplement), S8-S18