

三階診斷評量應用在工科學生化學特性解釋之內容分析

蘇金豆

德霖技術學院餐旅系暨通識中心教授

摘要

本研究目的旨在應用三階診斷工具中學生的回應理由進行內容分析，探究學生以分子微粒層次解釋化學物質狀態、溫度、壓力和體積等之概念回應理解。研究對象來自校內外選修普通化學之四技工科學生做為施測對象。統計分析結果敘述如下四點：(1)本研究發展之三階診斷工具難易適中、鑑別度佳且信效度良好；(2)學生對於化學物質分子微粒特性的示性解釋容易產生迷思概念，因而導致成就測驗分數偏低；(3)學生選擇的答案多數無法提供化學物質分子微粒特性的科學概念解釋；(4)學生選擇的不正確答案，推論出不正確的化學物質分子微粒特性。透過三階診斷工具內容分析發現，工科學生對此種微粒特性的高層次科學概念問題回答時易出現瓶頸。因此，本研究建議進行化學教學時，應針對分子微粒層次提供詳細的解釋觀，以提昇學生學習深度。

關鍵字：三階診斷工具、工科學生、分析法、微粒行為

Content Analysis of Three-tier Diagnostic Assessment for Engineering Students' Explanation of Chemistry Properties

Abstract

The purposes of this study focused on the application of content analysis method. To analyze and understand the conceptive responses of molecular level which could interpret the states of matter, temperature, pressure and volume for students by three-tier diagnostic tool in chemistry equilibrium. All participants were surveyed in this study that took general chemistry courses and recruited from college engineering students of four different departments and universities. Accordingly, this research accounted for four required static results : (1) to develop a three-tier diagnostic tool with high quality ; (2) to reveal low achievement tests by misconceptions or alternations as students' explanation of molecular particulate ; (3) to choice the answers of scientific conceptions that students didn't provide the reasons of particulate behavior ; (4) to deduce the incorrect reasons of particulate behavior answering from incorrect responses . In general, chemical applications of three-tier diagnostic tool in content analysis for molecular particulate properties could find engineering students' lagging problems of advanced conceptual learning. This study offers a detail idea for explanation of molecular particulate properties to upgrade students' learning achievement in chemistry teaching.

Keyword: analysis method, engineering students, particulate behavior, three-tier diagnostic tool

壹、前言

一、研究背景與動機

診斷評量是科學教育學家相當重視的評量工具之一，能有效地用來蒐集教師或學生建構科學知識歷程所造成的迷思概念(Cheung, 2011; Green & Johnson, 2010; Treagust & Chiu, 2011)。化學對工科學生而言是一門重要學科，雖然評量能有效引導工科學生化學學習。但是，當學生們解決化學動力學(Cakmakci, 2010; Cakmakci, Leach, & Donnelly, 2006)、化學平衡(Cheung, Ma & Yang, 2009; Ghirardi et al., 2014; Jaber & BouJaoude, 2012)和分子化學(Taber & Coll, 2002)等物質微粒特性的高層次科學概念問題回答時，學生們不易理解，因而易造成概念迷思。迷思概念已證明對傳統講述教學的學習產生阻力，若無適當處理，將會影響其對進階科學知識之學習意願 (Lenaerts & Van Zele, 1998; McDermott & Redish, 1999)。先前研究顯示(Yakmaci-Guzel, 2013)教師在化學學習之診斷評量與迷思概念上，扮演極其重要的關鍵腳色。因此，迷思概念的診斷與分析，對工科學生化學教與學之重要性不言而喻。

Nakhleh (1992)和 Gabel, Samuel 與 Hunn (1987) 指出各學習階段有諸多學生試圖努力研習化學內涵，但未能順心如願；究其因，乃學生開始學習化學時，對於基本概念無法建構正確的認知。因此，加入更多概念時便無法完全瞭解。Nakhleh (1993) 和 Nakhleh 與 Mirchell (1993) 也發現學生在化學領域的概念問題解決能力，遠遠落後於代數，研究結果也發現，應用代數來解決概念問題的學生，多數無法真正了解化學概念。Nurrenbern 和 Pickering (1987)研究指出，學生在數的化學問題雖能順利解決，但往往在回答更高層次的概念問題時出現學習瓶頸，特別是微粒特性的化學概念問題解釋。國內外許多學者 (邱美虹, 2000; Pickering, 1990; Sanger, 2005; Sawrey, 1990)指陳，大多數的中學生與大學生，喜好應用代數來解決化學反應方程式中量化的問題(Cracolice, Deming & Ehlert, 2008)。而 Niaz 和 Robinson (1992)的研究結果也顯示學生長期使用演算式的課程學習，對增進化學概念是無助的。 Cracolice, Deming 和 Ehlert (2008)更指出數的問題可用記憶法依步驟順利解決，而概念的問題則需要訴諸學生們真正理解方能解決，無法以記憶方式處理，否則將導致概念和數的學習差距擴大。為了解決此一困境，學者Johnstone (1991)和Ghirardi等

人(2014)應用巨觀、微觀和符號，融入化學問題解決之思維，有順序的引導學生學習，闡釋對化學反應與化學平衡的學習過程與知識建構；Lin, Cheng 和 Lawrenz (2000)以四則氣體化學概念練習取代理論的數學運算，協助在職高中教師建構科學概念。Sanger 和 Phelps (2007)引述Nurrenbern 和 Pickering (1987)的分子微粒特性圖，應用內容分析法，分析學生對氣體特性的化學概念解釋。更多的研究(Gabel, 1993; Pickering, 1990; Sanger, 2000; Sanger & Badger, 2001)顯示，當學生接受微粒繪圖教學後，對此類型之問題回應效果更佳。此一結果顯示，學生困難於回答分子微粒化學問題，其主要原因是缺乏熟悉此一類型的問題，而非沒有能力(Sanger & Phelps, 2007)。

近二、三十年來的研究顯示，診斷評量是一種能有效用來蒐集迷思概念的工具。Treagust (1988)首先設計出二階段診斷評量工具(two-tier diagnostic tools)，應用此工具明確地確認學生真正的迷思概念。雖然此方法較其他方法能更有效地適用於課堂教學與提供大量蒐集迷思概念資料的評量(劉子鍵、林怡均, 2011; Tsai, Chen, Chou, & Lain, 2007; Tsai & Chou, 2002)，但仍然有其限制；Hestenes 和Halloun(1995)研究指出，學習者即使能正確的回答選擇題(multiple-choice questions)，但仍然無法反應出清晰的概念了解，有可能錯誤的觀念但答對的假正(false positive)；反之，有可能正確的觀念但答錯的假負(false negative)，故當所設計的試題無法鑑別學生的回應，是導因於知識不足或是迷思概念所致時，往往會過度評估參與者的知識層次與迷思概念(Caleon & Subramaniam, 2010; Pesman & Eryilmaz, 2010)。依此，為了補償二階段診斷評量的缺失，加入更具指標性的階段評量工具是有必要的(Pesman & Eryilmaz, 2010)，即發展三階段診斷評量工具(Three-tier Diagnostic Instrument)。然而，在普通化學領域中，鮮有診斷化學迷思概念的三階診斷評量工具(蘇金豆, 2014)，更遑論進一步以分子層次的三階試題分析工科學生選項之報導。

基於上述研究動機，本研究擬針對化學迷思概念所發展之三階診斷評量工具，應用內容分析法(Sanger & Phelps, 2007)，就三階診斷試題所偵測出來的工科學生回應理由進行分析，探究學生以分子微粒層次，解釋化學中物質的狀態、溫度、壓力和體積等之概念理解情形，以為教師進行工科學生化學教學時，能提供分子微粒層次的進一步解釋，增進學生對此一類型問題的熟悉度，改善學生高層次的思考能力，以提昇學習效益。

二、研究目的與研究問題

基於上述研究背景與動機，本研究欲探討之目的如下：

- (一) 探討工科學生以分子微粒層次解釋化學概念之理解情形。
- (二) 探討工科學生選擇的科學概念答案對化學分子微粒概念解釋的影響。
- (三) 探討工科學生選擇的不正確答案對化學分子微粒概念解釋的影響。

因此，本研究欲探討之問題如下：

- (一) 對此三階試題工科學生最常見之高層次分子解釋觀為何？
- (二) 工科學生選擇正確科學概念答案是否能提供化學分子微粒之解釋呢？
- (三) 工科學生選擇不正確答案是否推論出不正確的化學分子微粒概念呢？

貳、文獻探討

一、診斷評量在化學之應用

化學診斷評量旨在輔助學習者，在其各階段學習歷程中化學概念理解的增進，以提升其學習興致(Treagust & Chiu, 2011)。診斷評量是化學教師進行有效教學前，測量學生具備先備知識多寡的重要觀念(Cheung, 2009; Potgieter, Ackermann, & Fletcher, 2010)，但化學教師有時常常高估學生既有之知識(Pesman & Eryilmaz, 2010)。有些化學教師曾調查如何進行診斷評量方能促進學生學習，而Treagust (1986) 所設計出的二階段評量是重要的診斷工具，此工具試題的第一階旨在評量學生對於現象敘述性知識的理解程度；第二階則列出第一階中所選出答案的幾個可能原因，目的在探討學生對於解釋性知識或心智模式之所以持此種認知的理由(Tsai & Chou, 2002)。再則，學者們(Eryilmaz & Surmeli, 2002；Caleon & Subramaniam, 2010；Pesman & Eryilmaz, 2010；Cetin-Dindar & Geban, 2011；Arslan et al., 2012；蘇金豆, 2015) 成功的以三階診斷評量工具來延續二階診斷評量試題的發展，發現三階診斷評量工具是一種更具指標性的階段評量工具，能診斷出學生所有的可能回應(Arslan et al., 2012)。是以，本研究進一步從三階診斷試題中，篩選出一組具分子微粒層次之高階化學試題，進行內容分析以了解學生選答之推理原委。

二、內容分析在化學之應用

內容分析法 (Content Analysis) 屬於非直接反應類型研究法之一，旨在搜集、鑑定、判別及文獻的整理，形成對事實科學認識的方法(Babbie, 2004)。內容分析主要有概念的分析(conceptual analysis)、編纂(edition or compilation)、描述性敘述(descriptive narration)、詮釋性分析(interpretative analysis)、比較分析(comparative analysis)與普遍化的分析(universal analysis)等類別(Bailey, 1987; Babbie, 2004)。Hsieh 和 Shannon (2005) 提出三種定性類型的內容分析，即總結性的(summative)內容分析、傳統式的(conventional)內容分析和應用性的(directed)內容分析。總結性的內容分析包含字或內容的計數和量化的解釋；傳統式的內容分析則在數據的分析上盡可能排除己見；應用性的(directed)內容分析則在引導者帶領下進行概念在新內容的引導分析與推論(Daly, 2007; Mayring, 2000)。其中概念的分析在描述概念的精義或一般的意義、確認概念的不同意義，或在各種例子中描述概念的適當用法，應用最為廣泛；普遍化的分析則以學理的分析或哲學的分析，提供普遍的詮釋。Nurrenbern 和 Pickering (1987) 應用內容分析法發現，當學生回答更高層次的概念問題時出現學習瓶頸，其阻力往往是微粒特性化學概念問題的解釋。因此化學觀念中屬於高層次的微觀粒子概念的陳述與釐清是非常重要的。而Sanger 和Phelps (2007)等人應用此種內容分析法分析工科學生對氣體特性的化學概念解釋，嘗試以分子微粒圖，探討學生的概念理解，發現學生困難於回答分子微粒化學問題，主要原因是缺乏熟悉此一類型的問題，而非沒有能力。Cracolice, Deming 和 Ehlert (2008)指出概念的問題，需要訴諸學生們真正理解方能解決。Ghirardi等人(2014)探討學生化學平衡學習時發現，學生的學習過程及知道如何學習是非常重要的。因此，透過內容分析能呈現出學生學習的順序，建構出教與學的步驟。蘇金豆(2015)以三階段診斷評量研究工科學生化學平衡之理解，發現分子微粒特性的題型是學生最陌生之處。

綜上，化學分子微粒概念能進一步呈現出學生的學習認知，檢測學生錯誤或迷思的化學概念，透過微觀、符號與巨觀的粒子呈現出學習者對化學的學習成就，以便未來教學時教師能對化學內涵做進一步的解說，以提升學生化學概念的理解，此一內容分析法有助於近年來化學程度日益低落的工科學生進行補救教學之參考。

本研究旨在應用內容分析法中概念的分析與普遍化的分析，就三階診斷試題中工科學生的化學概念回應緣由進行分析，以理解學生對化學概念中，有關分子微粒子的狀態、溫度、壓力和體積等之建構，並將學生對化學概念之詮釋，做量與質的比較分析，此種分析可以呈現出學生概念建構的趨勢、特有的學習情境或概念開展的新方向，將有助於教師教學前教材設計時之參考與應用。

參、研究方法

一、研究範圍及對象

研究樣品係選自校內外四技工科選修普通化學之一年級學生共188人做為施測對象，並將其依校系屬性分成G₁、G₂、G₃和G₄四組，G₁組為某校化材系學生66人，G₂組為某校環工系學生43人，G₃組為某校電子系學生58人，G₄組為某校機械系學生21人。這些學生入學成績差距低於十分，顯示程度相當是其共同特色。學生上完化學課程後，被要求回答圖1之三階試題的題1，並就選擇之原因回答題2，而題3是試題1和試題2的信心確認。

1. 下圖(a)和圖(b)，當 $\text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{熱} \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 之平衡系中，下列各項何者有誤？

- A. 加入 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 平衡不移動
- B. 定溫之下加壓平衡向左移動
- C. 溫度愈高， $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 之分解愈趨完全，平衡壓力變大
- D. 定溫下體積增大，則平衡重新建立時， CO_2 之壓力變大*

2. 承題1，選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？

- A. 加入反應物 CaCO_3 ，平衡應往右移動
- B. 定溫之下加壓， CO_2 之壓力變大，平衡向右移動*
- C. 定溫下體積增大，則平衡重新建立時， CO_2 之壓力不變
- D. 升溫，有助於平衡往反應物方向生成

3. 對前述二個問題的答案，你確定嗎？ A. 確定* B. 不確定

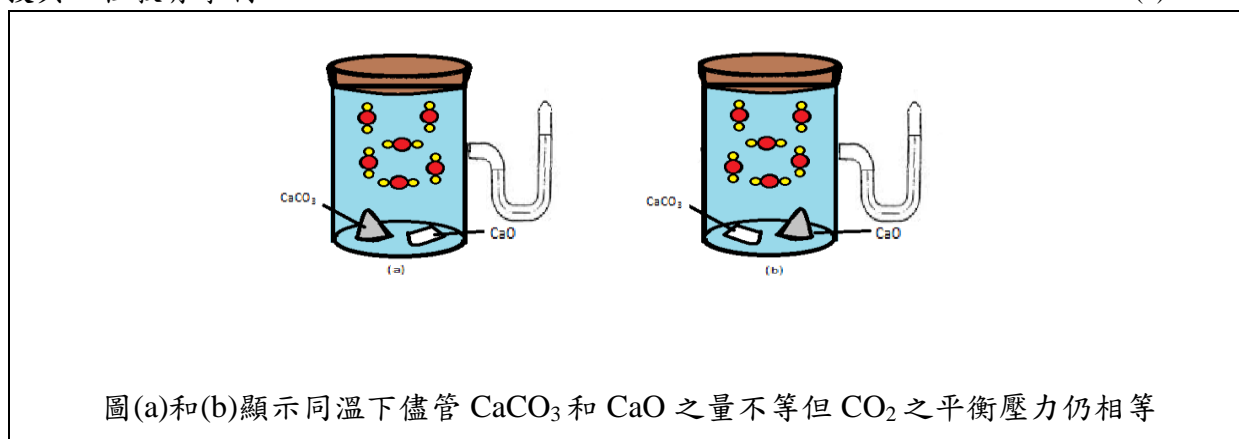


圖 1 分子層次的三階診斷試題(*表該題項之參考答案)

二、研究信效度

本試題乃參考蘇金豆、蔡明容(2014)所發展之三階診斷試題中萃取出1題，做為內容分析之主要試題。其信效度說明如下：

(一) 效度

1. 內容效度

將三階試題委請五位化學教授及兩位教育統計學教授進行內容效度檢核，以建立專家效度，確認三階試題能否包含所要診斷之概念，並就專家提供之意見進行修改，依據專家意見完成三階試題之預試問卷25題。

2. 建構效度

將修正後之三階試題進行 100 人之預試，為提升試題的品質，刪除難度低於 0.20 或高於 0.81 且鑑別度低於 0.20 之試題共 8 題，最後形成正式診斷工具，此三階診斷工具試題共計 17 題。從中萃取出 1 題，示如圖 1，其難度 0.31 且鑑別度 0.25，此為本研究進行內容分析的試題。建構效度則採用 Cataloglu (2002)所提，在高分者和信心之間的相關性作為證明，他陳述對高分者信心的回應大於低分者，高相關意味著測試試題之適當性。Pallant (2001)以二階得分(Two-tier Scores)與第三階回應確定(Confidence Levels)之相關性作為建構效度，因此本研究統計分析結果得到具顯著性的正相關 [$r=.323, p<.001, n=188$]，提供三階診斷工具之建構效度，Pallant (2001)更指出當樣品數超過 100 時，建構效度與 Pearson 相關係數大或小無關，而與統計結果的顯著性息息相關，故此評量試題之建構效度是合理的。再則，從圖 2 第三階的信心得分與二階得分

散佈圖顯示，有些學生得分低但具高度信心，此意味著學生對測驗的回應雖深具信心，但對化學平衡仍具有迷思概念。

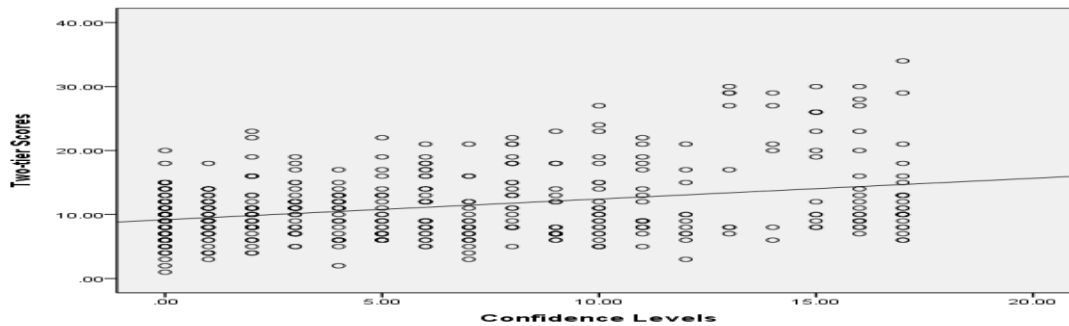


圖 2 二階得分(Two-tier Scores)與第三階的信心得分散佈圖

(二) 信度

本研究使用之三階診斷試題具備高的試題品質，在內容效度是合理的，其內部一致性信度Cronbach's α 值一階、二階和三階試題分別為0.629、0.773和0.872，符合學者們(Crocker & Algina, 1986)所提出選擇題測驗之信度參照標準，呈現三階 > 二階 > 一階，意味著二階診斷試題較一階診斷試題信度高，三階診斷試題又較二階診斷試題信度高，故三階診斷試題具備良好的信度；同樣，本研究所篩選之一題三階診斷試題其Cronbach's α 值依序為0.620、0.778和0.871，亦具有良好之信度。研究結果驗證了學者們(Caleon & Subramaniam, 2010；Pesman & Eryilmaz, 2010；Arslan et al., 2012)的一致見解，更肯定三階診斷評量工具是一種更具指標性的階段評量工具。

綜合上述信度與效度分析可知，本研究從中所選取之一題三階診斷試題如圖1，具備高的試題品質。

三、數據分析

四組學生依其選擇之結果記錄並建檔在Excel中，應用內容分析技術(Domin, 1999)分析回應結果。

肆、結果與討論

一、學生試題回應百分率分析

188位來自不同學校不同科系之工科學生，在授完化學課程後，被要求接受此三階診斷工具之施測，學生對此工具回應分析統計結果示如表1。表1顯示各組學生化學試題正確回應百分率分析，在題1各組學生化學試題正確回應百分率大小是 $G_4 > G_1 > G_3 > G_2$ ，學生在回答分子微粒層次之概念題目時，答對百分率各組皆未達40%，而題1旨在評量學生對於化學物質狀態、溫度、壓力和體積等現象敘述性知識的理解程度。由此可知，受測學生對此化學平衡敘述性知識的理解程度偏低。題2各組學生化學試題正確推理百分率大小是 $G_2 > G_3 > G_1 > G_4$ ，學生在解釋分子微粒層次之概念題目時，答對百分率各組皆未達40%，而題2旨在列出第一題中所選出答案的幾個可能原因，目的在探討學生對於解釋性知識或心智模式之所以持此種認知的理由。組別 G_1 、 G_2 和 G_3 題2答對率皆超過題1，若題3選擇確定則表示這些學生呈現出假負的迷思概念，若題3選擇不確定則表示這些學生對化學平衡分子微粒層次之概念呈現出知識不足；若題1答對且題2答錯而題3選擇確定，則表示這些學生呈現出假正的迷思概念，若題3選擇不確定則表示這些學生呈現出知識不足；由表1可知各組中題1和題2皆答錯的百分率較高，若題3選擇確定則表示這些學生對化學平衡分子微粒概念呈現出真正的迷思概念，若題3選擇不確定則依然表示學生在此概念呈現出知識不足。故知識不足與迷思概念是各組學生正確回應百分率偏低的重要原因。

表 1 各組學生化學試題正確回應百分率分析

組別 (學生數)	正確回應人數(百分率 %)		
	題 1(%)	題 2(%)	3(%)
G_1 (66 人)	11(17)	17(26)	18(27)
G_2 (43 人)	3(7)	14(33)	10(28)
G_3 (58 人)	8(14)	16(28)	27(47)
G_4 (21 人)	8(38)	2(9)	10(48)

在表2的各組學生三階診斷試題回應百分率分析中，發現三階試題正確回應百分率大小是 $G_4 > G_3 > G_2 > G_1$ ，代表學生呈現正確科學知識者偏低，且都低於10%，因此90%左右的學生，呈現出假正的迷思概念、假負的迷思概念、真正的迷思概念與知識不足等回應類型，故學生對此化學平衡分子微粒層次概念題目之解答時科學知識理解能力偏低。

表 2 各組學生三階診斷試題回應百分率分析

組別 (學生數)	正確回應人數 (百分率 %)		
	一階(%)	二階(%)	三階(%)
G ₁ (66 人)	11(17)	6(1)	6(1)
G ₂ (43 人)	3(7)	1(2)	1(2)
G ₃ (58 人)	8(14)	2(3)	2(3)
G ₄ (21 人)	8(38)	2(9)	2(9)

二、學生分子微粒概念理解

本研究所有來自不同學校不同科系之工科學生，在授完化學課程後，被要求接受此三階診斷試題之施測，學生對化學三階診斷試題回應分析統計結果正確回應率偏低，這意味著化學試題面向深度，對受測技職工科學生而言是一大挑戰，和學者們(Niaz, 2001; Cheung, 2009a, 2009b; Cheung, Ma, & Yang, 2009; Jaber & BouJaoude, 2012)認為的化學課程是較複雜而抽象的事實不謀而合，尤其涉及分子微粒的解釋更易產生迷思概念，因而導致成就測驗結果偏低。圖 2(a)和 2(b)顯示同溫下儘管 CaCO_3 和 CaO 之量不相等，但 CO_2 之平衡壓力仍然相等，此一示性性質是一般學生所無法理解的。因而論及 CO_2 分子之平衡壓力時，學生最常見之高層次分子微粒的解釋觀為：定溫時體積增大，則平衡重新建立時， CO_2 之壓力理應變大。這是常見的迷思，當學生遇到分子微粒的問題解釋時，往往遺忘了分子的示性性質，因此常誤認為定溫時 CO_2 分子之平衡壓力應變大。

三、學生選擇的科學概念答案與化學分子粒子概念解釋

為了更清楚理解學生選擇的科學概念答案對分子粒子概念解釋之發展，本研究以內容分析法建構四組學生試題回應之分布百分率，統計結果示如表 3。從表 3 知，學生在題 1

評量學生對於化學現象敘述性知識的理解程度的答題，與題 2 學生對於題 1 解釋性知識，之所以持此種認知的理由回應分布可知，選擇題 1 選項(A)的學生所持之理由是：「分子微粒的 CaCO_3 反應物加入，經熱分解後產生的生成物，將使壓力增加因而造成平衡的移動。」此一常見的迷思約有 24%~33%，其真正的結果如同圖 2(a)和 2(b)所示，固體量的增減是一種示性性質，非示量性質故對恆溫系統之壓力不會造成影響。選擇題 1 選項(B)的學生所持之理由是：「定溫下加壓將使總壓力增加因此平衡應向右移動，以增加氣體分子微粒 CO_2 的壓力。」此一錯誤的迷思是學生對壓力的概念不清晰所致，常見的迷思約 14%~25%，其真正的結果平衡應向左移動。選擇題 1 選項(C)的學生，所持之理由是：「溫度愈高 CaCO_3 之分解愈趨完全，依據勒沙特列原理推論，升溫有助於平衡往反應物方向因而降低平衡壓力。」四組學生常見的迷思約有 19%~40%，其真正的結果平衡壓力變大。選擇題 1 選項(D)正確選項之學生有 7%~38%，所持之理由是：「定溫下體積增大，則平衡重新建立時， CO_2 之壓力變大是錯誤的，定溫下平衡常數不變，因此， CO_2 之壓力不變。」雖然正確的回答率不高，但從題 3 各組學生的確認率比答對率高，可知學生產生過度自信，此也意味著大部分學生概念錯誤而不自知，選擇的不正確答案推論出不正確的化學平衡粒子概念，抑或選擇的科學概念答案正確，但提供化學平衡粒子行為的概念解釋是不正確的，此也符合本研究之研究目的與研究問題。從上述回應分析，可以清楚的理解當學生遇到高層次概念問題的分離解釋觀時往往最容易產生迷思。

表 3 學生三階診斷試題選項回應百分率分析

試題	選項	回 應 人 數 (百分率 %)			
		G ₁ (N=66)	G ₂ (N=43)	G ₃ (N=58)	G ₄ (N=21)
題 1	A	16(24)	14(33)	16(27)	6(29)
	B	16(24)	11(25)	11(19)	3(14)
	C	23(35)	15(35)	23(40)	4(19)
	D*	11(17)	3(7)	8(14)	8(38)
題 2	A	15(23)	10(23)	10(16)	4(19)

	B*	17(26)	14(33)	16(28)	2(9)
	C	21(32)	16(37)	16(28)	5(24)
	D	13(19)	3(7)	16(28)	10(48)
題 3	A	18(27)	10(28)	27(47)	10(48)
	B	48(73)	31(72)	31(53)	11(52)

*表示正確的選項

伍、結論與建議

一、結論

本研究所應用之三階診斷試題具備高的試題品質與信效度，此一診斷評量工具較二階和一階更具指標性。三階段診斷工具診斷結果，發現各組學生對於化學物質狀態、溫度、壓力和體積等現象敘述性知識的理解程度偏低，且在解釋分子微粒層次之概念題目時，答對百分率各組也未達 40%，表示學生對於分子微粒解釋性知識之所以持此種認知的理由，大都無法正確的掌握題意，而遺忘了分子的示性性質，當學生遇到分子微粒的問題解釋時，常誤認為定溫時 CO_2 分子之平衡壓力應變大，因而導致成就測驗結果偏低，故知識不足與迷思概念是各組學生正確回應百分率偏低的重要原因。此一研究結果與學者 Sanger 和 Phelps 的推論，認為學生困難於回答分子微粒化學問題，主要原因是缺乏熟悉此一類型的問題，而非沒有能力，其可能性甚高。Shepard 等人(2005)研究發現學生先備知識的了解是教師進行有效教學的關鍵；Green 和 Gohnson(2010)指出教師常常過度評估學生的先備知識，導致學習化學概念時易出現迷思概念。因此，透過內容分析，更加確定微粒特性化學概念問題的解釋，是學生回答更高層次的化學概念問題時所出現之學習瓶頸，乃學生在學習之前未具備此種先備概念所致。因此，化學觀念中屬於高層次的微觀粒子概念的陳述與釐清是非常重要的，概念的問題則需要訴諸學生們真正理解方能解決。此一研究結果也呼應了 Nurrenbernc 和 Pickering(1987)與 Cracolice, Deming 和 Ehlert(2008)的闡述，當學生進行化學概念的學習時，若能增進微觀、符號與巨觀的分子微粒思維理解，將更能提升學習成效。

二、建議

據此，研究結果可作為教學者進行化學教學之參考，期待學生接受分子微粒教學後，能真正理解並熟悉分子微粒化學概念，增進問題解決能力，並提升學習成效(Pickering, 1990; Gabel, 1993; Sanger, 2000; Sanger & Badger, 2001)。故建議化學教師在教學前，能先行確認學生在微觀、符號與巨觀的分子微粒特性的先備知識，將有助於教師進行有效教學之參考；同時也建議教師在進行化學教學時，應針對分子微粒層次提供詳細的解釋觀，以提昇學生理解與深化學習。末了，本研究建議盡管內容分析法，能清晰地分析出工科學生化學平衡的學習瓶頸，肇因於微粒特性化學概念問題的解釋，但因樣品數的限制，仍有其需改進之虞，因此不宜做過度推論。

誌謝

本研究感謝二位匿名審查者鉅細靡遺地斧正，並承蒙行政院科技部提供經費補助，使研究（NSC102-2511-S-237-001）得以順利完成，僅此誌謝。

參考文獻

邱美虹 (2000)。概念改變研究的省思與啟示。《科學教育學刊》,8, 1-34。

劉子鍵、林怡均 (2011)。發展二階段診斷工具探討學生之統計迷思概念:以相關為例。《教育心理學報》, 42, 379-400。

蘇金豆、蔡明容(2014)。三階段化學平衡診斷評量工具之發展和效化。《第三十屆中華民國科學教育國際學術研討會論文集編》, pp255-259, 台灣師大, 台北市。

蘇金豆(2015)。三階診斷工具的發展和應用--技職學生化學平衡迷思概念評量。《科學教育學刊》, 23, pp。(in press)。

Arslan, H. O., Cigdemoglu, C., & Moseley, C. (2012). A Three-Tier Diagnostic Test to Assess Pre-Service Teachers' Misconceptions about Global Warming, Greenhouse Effect, Ozone Layer Depletion, and Acid Rain. *International Journal of Science Education*, 34, 1667-1686.

Bailey, K. D. (1987). *Methods of social research*, 3rd Ed. New York: Free Press, p533.

Babbie, E. (2004). "The Practice of Social Research, 10th ed." CA: Wadsworth (2004).

Cakmakci, G. (2010). Secondary school and undergraduate students' alternative conceptions of chemical kinetics. *Journal of Chemical Education*, 87, 449-455.

Cakmakci, G., Leach, J., & Donnelly, J. (2006). Students' ideas about reaction rate and its relationship with concentration or pressure. *International Journal of Science Education*, 28, 1795-1815.

Cataloglu, E. (2002). *Development and validation of an achievement test in introductory quantum mechanics: The Quantum Mechanics Visualization Instrument (QMVI)*.

Retrieved March 10, 2010, from

<http://etda.libraries.psu.edu/these/approved/WordWildeFiles/ETD-145/thesis.pdf>

- Caleon, I. & Subramaniam, R. (2010). Development and application of a three-tier diagnostic test to assess secondary students' understanding of waves. *International Journal of Science Education, 32*, 939–961.
- Cheung, D. (2009a). The adverse effects of Le Châtelier's principle on teacher understanding of chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education, 86*, 514-518.
- Cheung, D. (2009b). Using think-aloud protocols to investigate secondary school chemistry teachers' misconceptions about chemical equilibrium. *Chemistry Education Research and Practice, 10*, 97-108.
- Cheung, D., Ma, H. J., & Yang, J. (2009). Teachers' misconceptions about the effects of addition of more reactants or products on chemical equilibrium. *International Journal of Science and Mathematics Education, 7*, 1111-1133.
- Cheung, D. (2011). Using diagnostic assessment to help teachers understand the chemistry of the lead-acid battery. *Chemistry Education Research and Practice, 12*, 228-237.
- Cetin-Dindar, A. & Geban, O. (2011). Development of a three-tier test to assess high school student's understanding of acids and bases. *Procedia Social and Behavioral Sciences, 15*, 600-604.
- Crocker, L. & Algina, J. (1986). *Introduction to classical and modern test theory*. Orlando, FL: Holt, Rinehart and Winston.
- Cracolice, M. C., Deming, J. C., & Ehlert, B. (2008). Concept learning versus problem solving: a cognitive difference. *Journal of Chemical Education, 85*, 873-878.
- Domin, D. S. (1999). A content analysis of general chemistry laboratory manuals for evidence of higher order cognitive tasks. *Journal of Chemical Education, 76*, 109-111.
- Ebel, R. L. & Frisbie, D. A. (1991). *Essentials of educational measurement (5th Ed.)*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Eryilmaz, A. & Surmeli, E. (2002). *Assessment of students' misconceptions about heat and*

- temperature by means of three-tier questions*. Retrieved April 5, 2004, from http://www.fedu.metu.edu.tr/ufbmek-5/b_kitabi/PDF/Fizik/Bildiri/t110d.pdf
- Gabel, D. L. (1993). *Journal of Chemical Education*, 70, 193-194.
- Gabel, D. L., Samuel, K. V., & Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 63, 623-633.
- Ghirardi, M., Marchetti, F., Pettinari, C., Regis, A., & Roletto, E. (2014). A teaching sequence for learning the concept of chemical equilibrium in secondary school education. *Journal of Chemical Education*, 91, 59-65.
- Green, S. K. & Johnson, R. L. (2010). *Assessment is essential*. New York: McGraw-Hill.
- Hestenes, D. & Halloun, I. (1995). Interpreting the force concept inventory. *Physics Teacher*, 33, 502-506.
- Hsieh, H. & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative Health Research*, 15, 1277-1288.
- Jaber, L. Z. & Boujaoude, S. (2012). A macro-micro-symbolic teaching to promote relational understanding of chemical reactions. *International Journal of Science Education*, 34, 973-998.
- Johnstone, A. H. (1991). *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.
- Lenaerts, J. & Van Zele, E. (1998). Testing science and engineering students: the force concept inventory. *Physicalia Magazine*, 20(1), 49-68.
- Lin, H. S., Cheng, H. J. & Lawrenz, F. (2000). The assessment of students and teachers' understanding of gas laws. *Journal of Chemical Education*, 69, 191-196.
- McDermott, L. C. & Redish, E. F. (1999). Resource Letter Per-1: Physics Education Research. *American Journal of Physics*, 67, 755-767.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry ~chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69, 191-196.
- Nakhleh, M. B. (1993). Are our students' conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? *Journal of Chemical Education*, 70, 52-55.

- Nakhleh, M. B. & Mitchell, R. C. (1993). Concept learning versus problem solving, there is a difference. *Journal of Chemical Education*, 70, 190-192.
- Niaz, M. & Robinson, W. R. (1992). *Research in Science & Technological Education*, 10, 53-64.
- Nurrenbern, S. C. & Pickering, M. (1987). Concepts learning versus problem solving: is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64, 508-510.
- Pallant, J. (2001). *SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using SPSS for Windows* (Versions 10 and 11). Buckingham, PA: Open University Press.
- Pesman, H. & Eryilmaz, A. (2010). Development of a three-tier test to assess misconceptions about simple electric circuits. *The Journal of Educational Research*, 103, 208-222.
- Pickering, M. (1990). Further studies on concept learning versus problem solving. *Journal of Chemical Education*, 67(3), 254-255.
- Potgieter M., Ackermann M., & Fletcher L. (2010). Inaccuracy of self-evaluation as additional variable for prediction of students at risk of failing first-year chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 11, 17-24.
- Sanger, M. J. (2000). *Journal of Chemical Education*, 77, 762-766.
- Sanger, M. J. (2005). Evaluating students' conceptual understanding of balanced equations and stoichiometric ratios using a particulate drawing. *Journal of Chemical Education*, 82, 131-134.
- Sanger, M. J. & Badger, H. S. M. (2001). *Journal of Chemical Education*, 78, 1412-1416.
- Sanger, M. J. & Phelps, A. J. (2007). What are students thinking when they pick their answer? A content analysis of students' explanations of gas properties. *Journal of Chemical Education*, 84, 870-874.
- Sawrey, B. A. (1990). Concept learning versus problem solving: Revisited. *Journal of Chemical Education*, 67, 253-255.
- Shepard, L., Hammerness, K., Darling-Hammond, L., & Rust, F. (2005). *Preparing teachers*

for a changing world: what teachers should learn and be able to do. San Francisco, CA: Jossey-Bass, pp 275-326.

Taber, K. S. & Coll, R. K. (2002). Bonding. In: Gilbert J. K., De Jong O., Justi R., Treagust, D. F., Van Driel J. H. (eds) *Chemical education: towards research-based practice* (pp 213-234). Kluwer, Dordrecht.

Treagust, D. F. (1986). Evaluating students' misconceptions by means of diagnostic multiple-choice items. *Research in Science Education*, 16, 199–207.

Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10, 159–170.

Treagust, D. F., & Chiu, M. H. (2011). Diagnostic assessment in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 119-120.

Tsai, C. H., Chen, H. Y., Chou, C. Y., & Lain, K. D. (2007). Current as the Key Concept of Taiwanese Students' Understanding of Electric Circuits. *International Journal of Science Education*, 29(4), 1–14.

Tsai, C. C. & Chou, C. (2002). Diagnosing students' alternative conceptions in science. *Journal of Computer Assisted Learning*, 18(2), 157-165.

Yakmaci-Guzel, B. (2013). Preservice chemistry teachers in action: an evaluation of attempts for changing high school students' chemistry misconceptions into more scientific conceptions. *Chemistry Education Research and Practice*, 14, 95-104.