

# 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

蘇金豆

德霖技術學院 餐旅管理系

## 摘要

本研究旨在針對化學平衡中重要的迷思概念，經由三階段診斷工具的開發，進一步探討技職學生回應率、可能回應類型並區別知識不足與迷思概念，再經由量化與質性分析探討工具的應用性。據此，研究目的包括：一、發展和效化三階段化學平衡的診斷工具；二、綜合應用診斷工具，診斷分析學生化學平衡概念的正確答題率；與三、可能回應類型和差異。本研究採用自製診斷評量工具，評量已修過化學平衡單元學生之迷思概念，施測對象為技職院校選修普通化學學生共492人。研究結果顯示，開發之診斷工具平均難度指數 .54，平均鑑別度指數 .37，一階、二階和三階試題之內部一致性信度Cronbach's  $\alpha$  值，分別為 .629、.773和 .872，符合文獻之標準；受測學生在化學平衡觀念方面，三階平均回應率8.74%，顯示試題面向深度，對受測學生而言是一大挑戰，57.02%學生顯示知識不足，34.23%受測學生在認知領域的自我評量，顯示過度自信；從量化分析與質性討論結果，顯示所診斷的17個化學平衡迷思概念中，學生的迷思概念達15個，其中有9個迷思概念，是過往研究曾經發現過，而有6個迷思概念是本研究診斷工具發展過程中所發現的。修畢「化學平衡」課程之學生經本研究發展之工具診斷發現，每人平均仍持有2.35個相關迷思概念。

**關鍵詞：**三階段診斷工具、化學平衡、技職學生、迷思概念

## 壹、緒論

### 一、研究背景與動機

愈來愈多科學教育家關心如何進行有效評量，方能增進學生有意義的學習與改進教師教學成效(Bell, 2007)。運用各種評量工具來診斷學生學習效果的例子，如以

繪製分子粒子診斷評量大學生化學反應之學習效果(Jaber & BouJaoude, 2012; Madden, Jones, & Rahm, 2011; Sanger, 2005; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2003)、應用概念圖來評量大學生有機化學學習效益(Bodner & Domin, 2000; Justi & Gilbert, 2002; Kozma & Russell, 1997; Lopez et al., 2011)、紙筆評量

\*通訊作者：蘇金豆

(投稿日期：民國103年11月20日，修訂日期：民國104年10月12日，接受日期：民國104年10月24日)

(Ardac, 2002; Brandriet, Xu, Bretz, & Lewis, 2011)、電腦輔助評量(Ainsworth & Peevers, 2003)等等，而其目的乃在於試圖引導學生進行有效且有意義的學習。

雖然評量能有效引導學生學習，但是，當學生們解決化學平衡(Cheung, Ma, & Yang, 2009; Jaber & BouJaoude, 2012)、化學動力學(Cakmakci, 2010; Cakmakci, Leach, & Donnelly, 2006)和分子化學(蘇金豆, 2014; Taber & Coll, 2002)等抽象而複雜的化學概念問題學習過程，學生們不易理解，因而易造成概念迷思和誤解。迷思概念已證明對傳統講述教學的學習產生阻力，若無適當處理將會抑制學生對更高層次問題的理解(Lenaerts & Van Zele, 1998; McDermott & Redish, 1999)，而影響其對進階科學知識之學習意願。因此，迷思概念的診斷對教與學之重要性不言而喻。

診斷評量是近二、三十年來科學教育相當重視的評量工具，能有效地用來蒐集教師或學生建構知識歷程所造成的迷思概念。Treagust (1988)首先設計出二階段診斷評量工具，明確地確認學生真正的迷思概念。二階段診斷評量試題已被廣泛地應用在國內外科學教育領域迷思概念之調查，如化學領域(李世峰、李田英, 2007; Chandrasegaran, Treagust, & Mocerino, 2007; Chiu, 2007; Heredia, Xuz, & Lewis, 2012; Nyachwaya et al., 2011; Othman, Treagust, & Chandrasegaran, 2008; Tan et al., 2008; Tan, Goh, Chia, & Treagust, 2002)、物理領域(Chu, Treagust, & Chandrasegaran, 2009; Millar & Hames, 2006; Tsai, Chen, Chou, & Lain, 2007)和生物領域(Balc, Cakiroglu, & Tekkaya, 2006; Griffard & Wandersee, 2001; Odom & Barrow, 1995; Tsui & Treagust, 2010; Wang, 2004)等

等，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工具(劉子鍵、林怡均, 2011; Tsai et al.; Tsai & Chou, 2002)，但是仍然有其限制。Hestenes與Halloun (1995)指出二階段診斷評量對學習者而言，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瞭解，有可能錯誤的觀念但答對的假正(False Positive, FP)；反之，有可能正確的觀念但答錯的假負(False Negative, FN)。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)。因此，為了補償二階段診斷評量的缺失，有必要在二階後面再加入學生的信心回應成為第三階，即作答確定性指標(Certainty of Response Index, CRI)，使其成為區別知識不足與迷思概念更有效的評量工具(Hasan, Bagayoko, & Kelley, 1999; Pesman & Eryilmaz)，即發展三階段診斷評量工具(three-tier diagnostic instrument)。然而，科學教育領域中有關三階段診斷評量工具的研究論文有限，且論文大多集中在中學階段的熱與溫度(Eryilmaz & Surmeli, 2002)、機械波(Caleon & Subramaniam)、電路(Pesman & Eryilmaz)、沸點(Costu, Ayas, Niaz, Ünal, & Çalik, 2007)、物質的狀態(Kirbulut, Geban, & Beeth, 2010)和酸鹼(Cetin-Dindar & Geban, 2011)，與大學階段的環境問題(Arslan, Cigdemoglu, & Moseley, 2012)等領域，是以在四技普通化學領域中的三階診斷評量工具尤其少見，鮮有診斷化學平衡迷思概念、假正或假負、幸運命中／信心缺乏或是知識缺乏之區別等類型的三階段診斷評量工具。再則，有些學者也發現學生所呈現的迷思概念，跨越學生性別、入學方

式以及科系等變項之界限 (Fisher & Moody, 2000; Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994)，這些有趣的變項鮮少應用在三階診斷評量工具之探討。

基於上述研究背景與動機，本研究擬針對重要化學平衡的迷思概念，發展出三階段診斷評量工具，試圖發展具效度、信度且富學術潛力的三階診斷評量工具，診斷分析學生化學平衡概念的理解情形與可能的概念回應類型，並試圖分析統計不同個人背景變項(性別、入學方式和科系)對於三階段化學平衡診斷工具(Three-tier Chemical Equilibrium Diagnostic Instrument, TCEDI)的各種回應類型之差異。

## 二、研究目的

據此，本研究之研究目的有三：

- (一)發展和效化用來診斷迷思概念的三階段化學平衡診斷工具(TCEDI)。
- (二)應用TCEDI，診斷分析學生化學平衡概念的理解情形。
- (三)應用TCEDI，診斷分析學生的可能回應類型與差異。

如此，可提供具有信效度之TCEDI工具，提供學術與實務教學社群做為參考應用，以診斷學生在化學平衡學習的情形，提高教學之成效。

## 貳、文獻探討

診斷評量已廣泛地應用在各教學領域學生迷思概念的診斷。本研究以診斷評量和化學平衡迷思概念作為文獻探討之基礎，茲將理論描述如下：

## 一、診斷評量

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)。評量含括診斷評量、形成性評量和總結評量；診斷評量(diagnostic assessment)提供教學者有關學生已經瞭解且能做什麼的資訊；形成性評量(formative assessment)乃在監測學生教學與回饋過程，並伺機督促其改善；總結評量(summative assessment)提供學生教學後對學習內容之瞭解成效(Green & Johnson, 2010)。Nitko與Brookhart (2011)應用診斷評量來確認學生精熟與未精熟之潛在推理知識與技巧，診斷評量可以從前測或問卷的設計來實施，學生的需求與能力亦可經由觀察與資料分析而得知。學生應主動從其既有之知識來建構新觀念和新知識(Ausubel, 2000)。

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(Caleon & Subramaniam, 2010; 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。其中Treagust (1986, 1988, 1995)所設計出的二階段診斷評量具有此種實用的功能性。此工具試題的第一階段是每個題目涵蓋2~4個選擇項，旨在評量學生對於現象的敘述性知識理解程度；第二階段則列出第一階段中所選出答案的幾個可能原因，旨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)。二階段診斷工具應用在化學領域中，如物質的粒子特性、游離能、化學鍵和化學反應等，皆能成功的確認學生的迷思概念(Artdej, Ratanaroutai, Coll, & Thongpanchange, 2010; Chiu, 2007; Nyachwaya

et al., 2011; Othman et al., 2008; Tan et al., 2008)。無論如何，診斷工具雖能偵測出學生知識的不足，Hasan, Bagayoko與Kelley (1999)的研究認為矯正迷思概念尚較單純的充實知識來的困難，因此區別知識的不足與迷思概念是重要的；為進一步作診斷，因而發展出一種簡單而有效地診斷工具，他們以CRI值來評量學生回答每個問題的認知程度，當CRI值低無論其回答正確與否皆表示其知識不足；當高CRI值者回答正確，表示其對相關概念有徹底瞭解，同樣地，當高CRI值者回答錯誤，則表示對其相關概念產生迷思。學者們(Arslan et al., 2012; Caleon & Subramaniam, 2010; Eryilmaz & Surmeli, 2002; Pesman & Eryilmaz, 2010)成功的以三階段診斷評量工具來延續二階段診斷評量試題的發展，發現三階段診斷評量工具是一種更具實用性的階段評量工具，能更有效而準確地診斷出學生所有的可能回應，如正確科學知識、迷思概念(假正或假負)、迷思概念、幸運命中／信心缺乏或是知識的不足等回應類型(Arslan et al., 2012)。是以本研究結合二階段診斷評量再加上第三階的作答確定性指標，進一步建構具高信效度之三階段診斷試題，並依此等回應類型設計出診斷評量工具的八個計分組合，以診斷大專學生化學平衡之迷思概念表現狀況，並適度地凸顯三階診斷工具的價值性。

## 二、化學平衡迷思概念

化學平衡是普通化學中抽象概念較多的困難章節之一(Cheung et al., 2009; Jaber & BouJaoude, 2012; Niza, 2001; Quilez-Pardo & Solaz-Portoles, 1995; Voska & Heikkinen, 2000)，許多研究確認化學平衡是各階段學生學習過程中易產生迷思概念的單元(邱美虹，1994；Huddle & Pillay, 1996; Quilez-Pardo & Solaz-Portoles; Voska & Heikkinen; Wheeler &

Kass, 1978)。Cheung等與Quilez-Pardo與Solaz-Portoles認為中學教師與學生對化學平衡之學習感到非常困難之原因，是無法將所學之原理原則融會貫通與應用，因而產生誤解或迷思。李世峰與李田英(2007)認為高中學生在化學平衡原理之判斷會面臨許多抽象而困難的概念。Banerjee (1995)和Huddle與Pillay指出大學生對化學平衡之學習感到非常困難之原因，乃因化學平衡中隱含了許多抽象概念，且不易與日常生活銜接。李世峰與李田英從二階段測驗結果發現41項高中生之勒沙特列(Le Châtelier)原理之迷思概念。綜合上述文獻，各級學生化學平衡迷思常見的類型可歸納出六大類，茲將迷思概念的類型敘述如下：

### (一)勒沙特列原理的應用(application of Le Châtelier's principle)

當溫度、壓力或物種濃度改變時造成平衡的移動方向產生變化，學生無法在適當的狀況下正確地應用此原理來判斷方向的改變。

### (二)平衡常數的不變性(constancy of the equilibrium constant, K)

定溫下，加更多產物到平衡系，K值會變大或變小，學生無法掌握K值與溫度的關聯性，而造成計量迷思。

### (三)平衡濃度固定不變(constant concentration)

在微觀的化學反應中，當反應物和產物達成平衡狀態時，學生的迷思是反應物的濃度等於產物的濃度。

### (四)平衡競爭反應(equilibrium competing reactions)

影響化學平衡反應的因素未能全方位



考慮，學習者常會因思緒不縝密而遺漏或誤判。

#### (五)反應速率與反應程度(reaction rate and reaction extent)

學習者常會因不瞭解化學平衡反應中速率之特質，而誤以為化學平衡前後正逆反應速率不變、變小或為零。

#### (六)濃度商與平衡常數(concentration quotient and equilibrium constant)

學習者常會因不瞭解濃度商值(Q)與化學平衡常數(Kc)之關係，而誤認為化學平衡前Q和Kc不變，而影響反應方向的判定。據此，若能將二階段診斷工具所呈現的化學平衡迷思概念，透過本研究之三階診斷工具，在發展過程中診斷出新的迷思概念，將有助於學生化學平衡的知識建構與進一步的學習。

總之，發展具高效度與信度之三階診斷評量工具，診斷技職學生感到抽象與困難的化學平衡課程的學習過程所呈現的真正迷思概念。應用此三階段診斷評量的化學平衡試題，冀能診斷出迷思概念的產生是來自知識的不足或是概念的缺乏，讓學生真正瞭解自己學習過程所擁有的迷思概念，並適度解決二階診斷工具不能解決的問題。如此，將有助於學生對更高層次概念的理解，並提升其化學學習氛圍。

## 參、診斷工具發展的重要性

### 一、TCEDI的發展理念

抽象而複雜的化學平衡知識傳授，在此知識經濟時代裡已不再像以前那麼受重視，取而代之的是概念的提升、問題解決能力的激發與創造力的精進，然而在化學平衡概念提升過程中易產生迷思概念。迷思概念已證

明對傳統講述教學的學習產生阻力，若無適當處理將會抑制學生對更高層次問題的理解(Lenaerts & Van Zele, 1998; McDermott & Redish, 1999)。知己知彼百戰不怠，因此，如何有效減少學習迷思，首在瞭解學習者的迷思概念，方能對症下藥，引入支援學生學習教學輔具，改善學生高層次思考的學習，故診斷迷思概念乃當前科學課程研究的重要課題。

本研究發展TCEDI做為診斷工具，發展過程中透過文獻分析、專家訪談與學生訪談廣泛蒐集學生可能的迷思概念，就化學領域中抽象且易造成概念迷思及誤解的化學平衡課程，彙整出迷思概念檢核表，以此檢核表建構概念構圖。以檢核TCEDI所發展的內容與方向，再具以為評鑑學生迷思概念之工具，透過大規模施測，分析學生普遍擁有的迷思概念類型與差異，所得結果與相關文獻做比較和討論。

### 二、診斷評量工具的重要性

本研究旨在發展具三階段化學平衡診斷工具，茲將其重要性敘述如下：

- (一)彙整學生化學平衡迷思概念：有系統的統整學生可能的化學平衡迷思概念。
- (二)診斷迷思概念工具之發展與效化：發展與效化TCEDI，診斷學習者之化學平衡概念迷思。
- (三)增進迷思概念類別瞭解：學生的迷思概念往往隱藏在深層知識結構中，因此不易評估，透過TCEDI，瞭解「迷思概念」與「假正和假負迷思概念」之間的差異，提供教學者與研究者更深入瞭解學生，增進知識層次之建構。
- (四)適度解決二階診斷工具不能解決的問題：在診斷學生化學平衡能力過程中，

可進一步瞭解學生正確的概念，確實掌握學生知識層次與迷思概念，鑑別學生的回應是導因於知識不足或是迷思概念所致。

- (五)便於評分與理解：此工具在課堂上有助於教師即時診斷學生概念理解之詮釋。
- (六)驗證與發掘：驗證過往研究所發現的化學平衡迷思概念，並發掘新的迷思概念。
- (七)期使教學者更清晰掌控初學者概念：透過TCEDI有效掌握學習，增進化學平衡概念瞭解。

## 肆、研究方法

### 一、研究範圍及對象

研究取樣係選自北、中、南技職院校四技部選修普通化學之工科(四系)和醫護(六系)相關科系之學生492人做為施測對象，其背景變項之性別、入學方式和科系人數分布，示如表1。

### 二、研究設計

本研究設計共區分成五個階段，第一階段為分析階段、第二階段為設計階段、第三階段為發展階段、第四階段為實施階段和第五階段為評鑑階段。研究過程流程圖示如圖1。五階段系統模型設計簡述如下。

- (一)第一階段為分析階段，蒐集相關領域文獻、專家訪談與學生訪談，彙整迷思概念。
- (二)第二階段為設計階段，依據所彙整的迷思概念，設計檢核表與概念圖，檢核診斷試題是否包含所有檢核表中的概念。
- (三)第三階段為發展階段，對TCEDI試題初

表1：技職院校施測對象人數分布

| 背景變項 | 基本資料   | 人數  | 百分比(%) |
|------|--------|-----|--------|
| 性別   | 1.男生   | 226 | 45.93  |
|      | 2.女生   | 266 | 54.07  |
| 入學方式 | 1.運優   | 22  | 4.47   |
|      | 2.申請   | 144 | 29.27  |
|      | 3.技優   | 22  | 4.47   |
|      | 4.甄選   | 76  | 15.45  |
|      | 5.聯招   | 113 | 22.97  |
|      | 6.其他方式 | 115 | 23.37  |
| 學系   | 1.醫技   | 55  | 11.18  |
|      | 2.藥學   | 49  | 9.96   |
|      | 3.電子   | 60  | 12.20  |
|      | 4.機械   | 21  | 4.27   |
|      | 5.環工   | 41  | 8.33   |
|      | 6.健美   | 47  | 9.55   |
|      | 7.護理   | 52  | 10.57  |
|      | 8.護理   | 47  | 9.55   |
|      | 9.化材   | 70  | 14.23  |
|      | 10.醫技  | 50  | 10.16  |

註：學系前之數字代表學校。

稿，進行專家內容效度檢核，依據專家意見加以修正，完成TCEDI試題問卷初版，進行預試與分析，修正發展使成為正式的施測試題。

- (四)第四階段為實施階段，對已上過化學平衡的學生，實施TCEDI正式施測。
- (五)第五階段為評鑑階段，評鑑施測結果，對施測結果進行統計分析，確認學生可能回應類型與八個計分組合。

### 三、研究工具發展

三階段化學平衡診斷工具(TCEDI)乃參考學者們 (Othman et al., 2008; Treagust, 1988; Treagust & Chiu, 2011)所發展二階段診斷工具之過程做為基石，再參考學者們(劉子鍵、林怡均，2011；Caleon & Subramaniam,

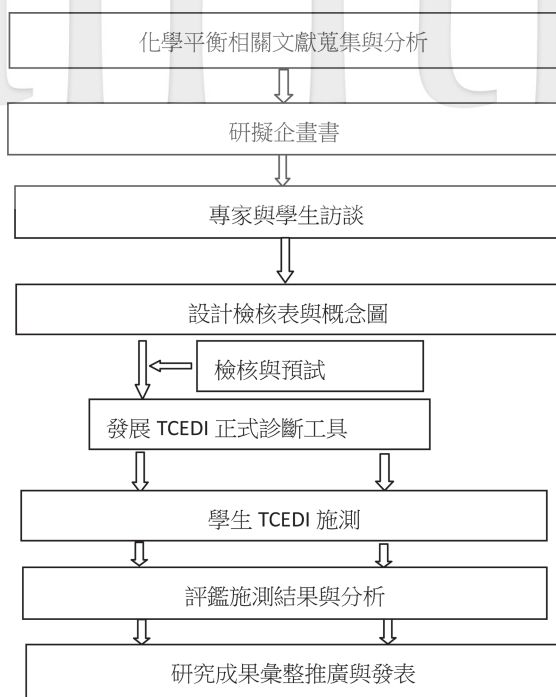


圖1：研究過程流程圖

2010; Griffard & Wandersee, 2001; Pesman & Eryilmaz, 2010; Taber, 1999)對二階段缺失所進行診斷工具之延續性內涵再精進。TCEDI發展流程共分成四階段，茲敘述如下。

### (一)定義發展三階段診斷評量工具的內容

本階段旨在確認待發展之TCEDI所涵括之課程內容，確認化學平衡試題之依循方向、化學平衡概念圖引導之關鍵詞與專家內容效度之建構，其步驟闡明如下：

1. 確認化學平衡試題之參考方向：國內技職院校常用的普化書目中，針對正逆反應速率、平衡常數、勒沙特列原理等單元進行分析，整理出重要的化學平衡概念，以為TCEDI試題建構的基準。
2. 概念圖引導化學平衡關鍵詞：本研究綜合化學平衡概念，參考蘇金豆(2013, 2014)、羅希哲、溫漢儒與曾國鴻(2007)、Novak

(2003)的概念圖，將化學平衡關鍵詞發展成概念圖引導，提供TCEDI發展過程檢核與評量之參考。

3. 建構專家內容效度：邀請化學教授五位與科學教育專家二位，就化學平衡之試題陳述與概念圖引導進行邏輯檢視與修正，建構專家內容效度。

### (二)學生化學平衡迷思概念蒐集與整理

本階段旨在融合文獻、授課教師口述、專家訪談與學生訪談彙集化學平衡迷思概念，並建製概念圖與檢核表，步驟敘述如下：

1. 迷思概念內容分析與整理：融合國內外文獻分析的內容、概念構圖、紙筆測驗等方法，廣泛蒐集學生可能的迷思概念。
2. 授課教師訪談：訪談化學平衡之授課教師，蒐集學習過程學生常見迷思概念。
3. 學生訪談與概念構圖：透過學生訪談瞭解其化學平衡學習過程所產生之迷思概念，應用概念構圖來評量學生可能之迷思概念並發掘新的迷思概念。
4. 建置檢核表：檢核表是工具發展之藍圖，依據文獻分析、參考書、專家訪談與學生訪談，彙整出迷思概念檢核表，以檢核TCEDI所發展的內容與方向，確保內容效度。

### (三)發展三階段開放式診斷評量工具

本階段旨在以三階段開放式診斷評量工具收集預試學生之觀點，並做為檢視TCEDI初稿之參考，步驟如下：

1. 編撰第一階段試題並進行預試：邀請專家檢視化學平衡試題的閱讀性、正確性與聚焦性，編撰選擇題時應盡量避免試題中能提

供答案線索的可能性(Griffard & Wandersee, 2001)，編撰後隨機選擇已上過化學平衡課程之學生三人進行試題閱讀，以瞭解學生對知識內容描述性試題題意之理解與妥適性。

2. 編撰第二階試題並進行預試：第二階試題旨在收集選擇第一階試題答案的理由，共計五個選擇項，其中第五個選擇項設計成開放性答案，作為當1～4項選擇項不適當時之敘述，以便徵詢學生作答之原委。編撰第二階試題後，隨機選擇已上過化學平衡單元之學生三人進行讀題，以瞭解學生對解釋性試題題意推理之正當性。
3. 編撰第三階試題：第三階試題旨在確認學生對前二階試題回應的自信心，因此只有確定與不確定兩個選項，編撰第三階試題能診斷出學生對前面兩階化學平衡問題與原因回答之概念理解的確認，避免學生隨意猜題。

#### (四)編製化學平衡三階段診斷評量工具與應用

本階段是編製化學平衡三階段診斷評量工具的末階段，包含TCEDI初稿編製完成、試題效度分析、預試與TCEDI正式問卷、TCEDI正式問卷與施測、統計分析。簡述如下：

1. TCEDI初稿編製完成：將所蒐集到的相關資料，如迷思概念、作答理由等，進行分類

統整，並反覆思索各題項三階試題間的關聯性與用字淺詞之流暢性。

2. 專家效度分析：將三階試題測試功能(見表2)，委請五位化學教授及兩位科學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迷思概念，並就專家提供之意見進行修改，依據意見完成25題三階試題之預試問卷。
3. 預試與TCEDI正式問卷：將修正後之三階試題進行100人之預試，將高分組前27%與低分組後27%進行統計以瞭解試題的品質，刪除難度指數(P)低於.20或高於.81且鑑別度指數(D)低於.20之試題共計8題(即題2、3、6、8、12、13、14、19)，最後形成17題之三階段化學平衡診斷工具，TCEDI成為正式問卷(見附錄)，本問卷採用原始題號，例如圖2化學平衡概念圖中的數目字①對應附錄之TCEDI題號1。
4. 正式施測：就表1選修普通化學之技職院校學生492人進行施測。受測學生已接受過普通化學中化學平衡課程之教學。為了讓學生正常、安心且充分作答，診斷試題前會加入一段引言，告訴學生施測結果不列入學科成績，避免因作答時限而影響結果的有效性，答題時間不特別限制，但一般作答時間每位受測者約花30分鐘完成作答。
5. 統計分析：將TCEDI施測結果進行評閱與分析，以阿拉伯數字編碼並建檔於Microsoft

表2：TCEDI三階測試功能

| 測試  | 功能   | 知識歷程回應            |
|-----|------|-------------------|
| 第一階 | 內容知識 | 內容知識評量或回應的描述性知識評量 |
| 第二階 | 推理知識 | 敘述性知識或心智模型的評量     |
| 第三階 | 信心程度 | 評量概念理解的回應信心強度     |

資料來源：“Development and Application of a Three-Tier Diagnostic Test to Assess Secondary Students’ Understanding of Waves,” by I. Caleon and R. Subramaniam, 2010, *International Journal of Science Education*, 32(7), 941.



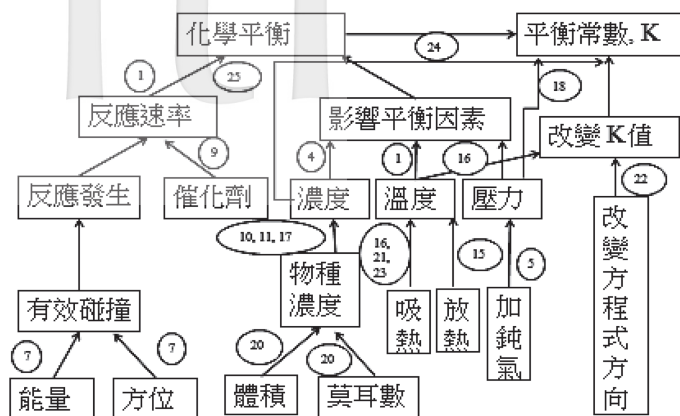


圖2：化學平衡概念圖與TCEDI對應試題

Excel (2010版)和SPSS (22版)中，統計分析其可能的回應類型、試題之效度與信度、難度與鑑別度，並統計答題準確率與迷思概念的擁有等數據。

#### 四、診斷評量工具計分設計

三階段診斷評量工具所有可能回應摘述如表3，由表3可知三階段診斷評量可產生的可能回應類型，即科學知識(Scientific Knowledge, SK)、迷思概念(Misconception, Mis)、假正／假負(False Positives, FP/False Negatives, FN)、幸運命中／缺乏自信(Lucky

Guess, LG/Lack of Confidence, LC)和知識不足(Lack of Knowledge, LK)。而此組合可衍生出八個可能的計分方式(Pesman & Eryilmaz, 2010)，茲介紹如下：

(一)計分1：只考慮第一階試題(the first tier of items)，當學生回應第一階時，若正確則計分1分(滿分17)，若錯誤則計分0分，列表記錄並算出答對率。

(二)計分2：只考慮前二階試題(the first two tiers of items)，當學生同時正確回應第一階和第二階時，則計分1分(滿分17)，否則計0分，列表記錄並算出答對率。

表3：492位大專生在TCEDI中得分組合與可能回應類型摘述

| 第一階 | 第二階 | 第三階 | 得分組合      | 回應類型     |
|-----|-----|-----|-----------|----------|
| 正確  | 正確  | 確定  | (1, 1, 1) | SK       |
| 正確  | 不正確 | 確定  | (1, 0, 1) | Mis (FP) |
| 不正確 | 正確  | 確定  | (0, 1, 1) | Mis (FN) |
| 不正確 | 不正確 | 確定  | (0, 0, 1) | Mis      |
| 正確  | 正確  | 不確定 | (1, 1, 0) | LG/LC    |
| 正確  | 不正確 | 不確定 | (1, 0, 1) | LK       |
| 不正確 | 正確  | 不確定 | (0, 1, 0) | LK       |
| 不正確 | 不正確 | 不確定 | (0, 0, 1) | LK       |

註：SK，具科學知識；Mis，迷思概念；Mis (FP)，假正；Mis (FN)，假負；LG/LC，幸運命中／缺乏自信；LK，知識不足。

(三)計分3：考慮所有三階各項試題(all three tiers of items)，當學生第三階選項選擇確定，且同時正確回應第一階和第二階時，則計分1分(滿分17)，否則計0分，列表記錄並算出答對率。

(四)信心得分：自信心的產生主要是針對第三階的回應，對前二階試題的回應是確定，則計分1分(滿分17)，否則計0分，列表記錄之。

(五)正確回應第二階試題得分：此變異數主要是依據第二階試題的回應，當學生正確回應第二階試題時，則計1分，否則計0分，列表記錄並算出答對率，此變數旨在評量學生假正或假負的迷思概念百分比。

(六)迷思概念1：考量第一階各題項中學生回應的迷思概念，探討每位學生迷思概念數。

(七)迷思概念2：考量前二階(第一階和第二階)各題項中學生回應的迷思概念，探討每位學生迷思概念數。

(八)迷思概念3：考量前三階各題項中學生回應的迷思概念，探討每位學生迷思概念數。

可能回應類型與八個計分組合，能判斷出學生可能的回應，並統計其迷思概念與數目的擁有。

## 五、資料處理與分析

### (一)試題的品質分析

對已修過化學平衡課程之四技大一學生，實施TCEDI測試，將所蒐集之資料進行電腦編碼，以利統計分析。所用統計方法包含以Cronbach's  $\alpha$ 測試所發展之TCEDI試題之間的內部一致性信度，並進行試題難度指數

(P)、鑑別度指數(D)和TCEDI試題答題正確率分析，以瞭解試題的品質(Ebel & Frisbie, 1991)。

1. 試題難度指數(Difficult Indices, P),  $P = (R_H + R_L)/(n_H + n_L)$ ;  $R_H$ 表高分組答對某題之人數;  $n_H$ 表高分組之人數;  $R_L$ 表低分組答對某題之人數;  $n_L$ 表低分組之人數; P值愈大表試題愈容易，難度介於 .20至 .81之間屬適度。

2. 試題鑑別度指數(Discrimination indices, D),  $D = (R_H - R_L)/N$ ,  $N$ 表總人數,  $D \leq .19$ 屬劣等鑑別度試題;  $.20 \leq D < .29$ 屬尚可;  $.30 \leq D < .39$ 屬良好;  $.40 \leq D$ 屬非常優良。

### (二)迷思概念類型與計分統計

Excel統計每位學生可能的回應類型，並統計分析學生的八個計分組合。

### (三)統計分析

以 $t$ 檢定和單因子變異數分析(one-way ANOVA)統計分析表1中之各種背景變項。

## 伍、結果與討論

### 一、試題品質

本研究發展的TCEDI正式施測試題計17題，其各項品質之整體描述性統計摘述如表4。對一階、二階和三階試題之內部一致性信度Cronbach's  $\alpha$ 值分別為 .629、.773和 .872，符合文獻(Crocker & Algina, 1986; Kane, 1986)所提出選擇題測驗之信度參照標準(criterion-referenced tests)。

TCEDI的試題難度指數(P)分布介於 .26至 .81之間，平均難度指數( $M$ ) = .54，標準差( $SD$ ) = .16。從表4所呈現之各題難度指數分布範圍，可知本研究對於受測學生而言，

TCEDI的試題難度分配適中。而TCEDI的題項鑑別度指數(Discrimination Indices, D)則介於 .20至 .59之間, 平均鑑別度指數 .37 ( $SD = .10$ )達到良好, 屬於尚可的試題有6題, 屬於良好的試題有2題, 其中有9題試題鑑別度指數在 .40以上, 達到非常優良之試題標準(Ebel & Frisbie, 1991)。

本研究也評量試題的內容效度和建構效度。內容效度採用Hestenes與Halloun (1995)的建議, 以假正(FP)和假負(FN)的百分率來

表4：TCEDI 描述性統計

| 統計        | <i>n</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> |
|-----------|----------|----------|-----------|
| 學生數       | 492      |          |           |
| 題項        | 17       |          |           |
| P         |          | .54      | .16       |
| < .20     | 0        |          |           |
| .20 ~ .29 | 1        |          |           |
| .30 ~ .39 | 3        |          |           |
| .40 ~ .49 | 4        |          |           |
| .50 ~ .59 | 2        |          |           |
| .60 ~ .69 | 3        |          |           |
| .70 ~ .79 | 3        |          |           |
| .80 ~ .89 | 1        |          |           |
| D         |          | .37      | .10       |
| < .20     | 0        |          |           |
| .20 ~ .29 | 6        |          |           |
| .30 ~ .39 | 2        |          |           |
| .40 ~ .49 | 8        |          |           |
| .50 ~ .59 | 1        |          |           |

建立內容效度的證明, 若試題清晰且可理解, 則受試者的知識正確回應率將隨之偏高。在他們的研究中以FP和FN的最小或然率來提供選擇試題較大的效度, 而此或然率通常是小於10%, 在本研究中FP和FN的百分率平均值(*M*)依序為5.60%和4.70%, 示如表5。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。因此本研究評量二階得分與第三階回應確定之相關性作為建構效度, 統計分析結果得到具顯著性的正相關( $r = .323, n = 492, p < .001$ ), 提供TCEDI評量試題的建構效度。Pallant (2001)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TCEDI評量試題的建構效度是適當的。再則, 從圖3二階得分與第三階的信心得分散布圖顯示, 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, 但對化學平衡仍擁有迷思概念。

綜合上述分析, 本研究發展之TCEDI試題具有高效度與信度的三階段診斷試題, 適合用來評量大專學生化學平衡迷思概念。

## 二、TCEDI答對率分析

受測學生TCEDI正確回應百分率, 如表6所示, 第一階平均答對率33.33%, 第一階和第二階(both two tiers)平均答對率15.15%, 第

表5：TCEDI中假正(FP)、假負(FN)和迷思概念(Mis)的百分率( $N = 492$ )

| 變項  | 題項 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | <i>M</i> | <i>SD</i> |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|-----------|
|     | 1  | 4  | 5  | 7  | 9  | 10 | 11 | 15 | 16 | 17 | 18 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |          |           |
| FP  | 7  | 4  | 5  | 19 | 15 | 8  | 8  | 3  | 3  | 3  | 2  | 4  | 2  | 4  | 2  | 4  | 2  | 5.60     | 4.70      |
| FN  | 7  | 5  | 5  | 3  | 8  | 3  | 6  | 4  | 3  | 5  | 8  | 3  | 5  | 4  | 3  | 4  | 4  | 4.70     | 1.60      |
| Mis | 12 | 14 | 12 | 7  | 11 | 8  | 12 | 15 | 14 | 14 | 14 | 11 | 18 | 14 | 13 | 17 | 15 | 13.00    | 2.80      |

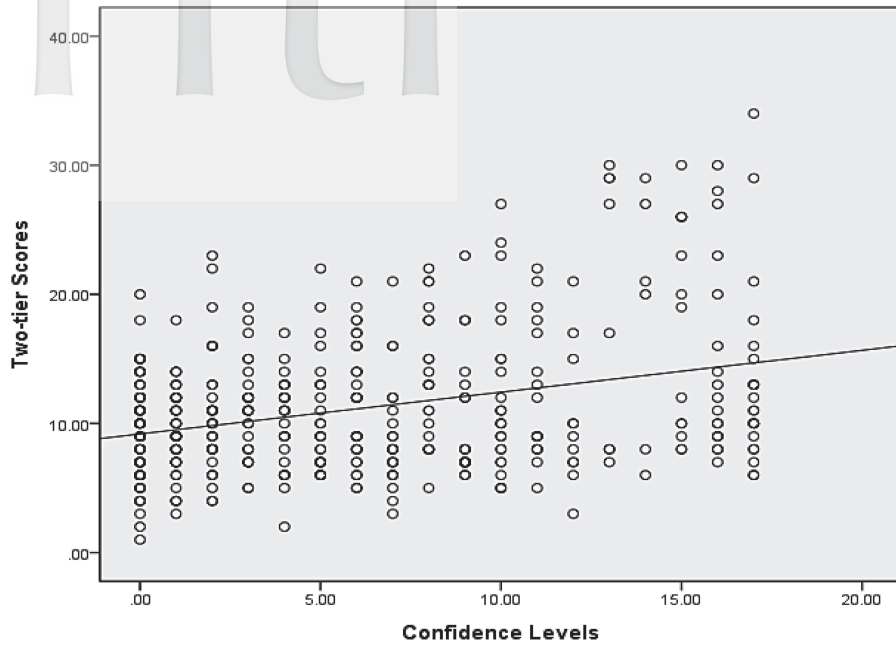


圖3：TCEDI二階得分(two-tier scores)對第三階信心得分(confidence levels)的散布圖

表6：TCEDI中學生回應百分率( $N = 492$ )

| 題項 | 正確回應(%) |       |       | 知識不足  | 確定(%) |
|----|---------|-------|-------|-------|-------|
|    | 一階      | 二階    | 三階    |       |       |
| 1  | 43.29   | 19.11 | 15.45 | 50.20 | 43.90 |
| 4  | 32.11   | 21.95 | 10.98 | 50.00 | 36.18 |
| 5  | 36.79   | 18.90 | 7.31  | 55.08 | 32.31 |
| 7  | 67.89   | 23.78 | 13.20 | 40.04 | 43.90 |
| 9  | 50.61   | 22.15 | 13.82 | 38.61 | 50.81 |
| 10 | 57.72   | 27.43 | 15.45 | 47.97 | 36.38 |
| 11 | 34.96   | 14.84 | 9.35  | 55.69 | 37.20 |
| 15 | 23.17   | 11.18 | 5.89  | 61.79 | 30.08 |
| 16 | 35.37   | 21.75 | 11.59 | 52.44 | 34.55 |
| 17 | 19.31   | 8.74  | 4.67  | 66.67 | 27.64 |
| 18 | 11.18   | 5.08  | 3.46  | 67.68 | 28.46 |
| 20 | 33.13   | 11.99 | 7.52  | 64.22 | 29.27 |
| 21 | 13.21   | 5.69  | 2.43  | 64.84 | 29.47 |
| 22 | 28.25   | 8.74  | 4.27  | 66.06 | 27.64 |
| 23 | 20.53   | 10.67 | 7.11  | 61.79 | 31.91 |
| 24 | 24.19   | 6.10  | 3.05  | 69.31 | 26.42 |
| 25 | 34.96   | 19.71 | 13.01 | 56.91 | 35.98 |
| 平均 | 33.33   | 15.15 | 8.74  | 57.02 | 34.23 |



一階、第二階和第三階(all three tiers)平均答對率8.74%，此一結果顯示試題(見附錄)面向深度，對受測學生而言是一大挑戰(Cheung et al., 2009; Cordero, 2001; Daskolia, Flogaitis, & Papageorgiou, 2006; Jaber & BouJaoude, 2012; Niza, 2001; Voska & Heikkinen, 2000)。此數據與第三階回應確定的平均百分率34%相比，其平均百分率是過當的，顯示受測學生在認知領域的自我評量產生過度自信；而這些發現與學者們(Arslan et al., 2012; Pallier et al., 2002; Renner & Renner, 2001)的研究結果是一致的。

從表6發現各試題一階、二階和三階正確回應百分率的差異顯而易見，此差異歸因於知識不足(LK)、幸運猜中／信心缺乏(LG/LC)或迷思概念(Mis)所致。而TCEDI三階診斷試題的優點則在於可提供前述各項參數之百分率。TCEDI受測學生的整體知識不足平均百分率是57.02%，顯示幾乎有一半以上沒有正確的化學平衡觀念。表6中題項24已知平衡常數求平衡時各物種之平衡濃度，其內容被確認為學生最不明白的題項，具有最高的知識缺乏百分率(69.31%)；題項9催化劑對平衡狀態的影響，其內容被確認為最明白的題項，具有最低的知識缺乏百分率(38.61%)。從表6可知知識不足百分率愈高的題項其信心得分愈低，題項24(26.42%)和題項9(50.81%)可證明此一結果。

### 三、迷思概念分析

TCEDI受測大專學生整體迷思概念平均百分率13%(見表5)，試題中題項7和題項10兩題之迷思概念百分率低於10%，其餘15題皆高於10%。依據Tan等(2002)所提出當特定迷思概念之受測擁有率高於10%時，表示迷思概念確實普遍存在，本研究即以此標準作為迷思概念指標之憑藉。發現本研究編製之診斷工具所欲診斷之17個迷思概念中有15個迷思概念可視為被受測學生們所普遍擁有。受測學生所擁有「化學平衡」迷思概念個數與受測人數示如表7。TCEDI診斷結果發現本研究所探討的15個迷思概念中，每位受測學生所擁有的「化學平衡」迷思概念個數介於0至13之間(每位受測者平均擁有2.35個迷思概念)，從表7發現迷思概念數愈少者人數愈多，其中0個迷思概念學生數占36.79%，1個迷思概念學生數占17.28%，2個迷思概念學生數占9.75%，3～6個迷思概念學生數分別占7.52%、7.93%、5.49%和5.49%，7個以上之迷思概念學生數所占有的比例小於3.00%。由此可知修畢「化學平衡」課程之受測大專學生中仍然具有若干個化學平衡相關之迷思概念。

基於上述量化分析，本研究從表3和附錄中整理出迷思概念的類型，並敘述如下：

#### (一)勒沙特列原理的應用

1.題15探討放熱的氣相化學反應方程式造成

表7：大專學生化學平衡迷思概念數及其百分率(N = 492)

| 變項    | 迷思概念數 |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 0     | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   |
| 人數    | 181   | 85    | 48   | 37   | 39   | 27   | 27   | 12   | 13   | 13   | 6    | 3    | 0    | 1    |
| P (%) | 36.79 | 17.28 | 9.75 | 7.52 | 7.93 | 5.49 | 5.49 | 2.44 | 2.64 | 2.64 | 1.22 | 0.61 | 0.00 | 0.20 |

註：總迷思概念之母數為17。

平衡移動方向向右的原因，學生無法將此原因歸咎於溫度和壓力的改變。對學生無法在既有的概念下應用此原理正確地推論方向改變的原因，因而產生迷思概念。此一新的迷思概念是過往研究未曾發現過。

- 2.題17探討當新加入的物質與反應物產生沉澱反應，導致反應物種濃度降低，造成平衡移動方向產生變化，學生無法在適當的狀況下應用此原理正確地判斷方向改變，而造成迷思概念，此一新的迷思概念是過往研究未曾發現過。
- 3.題21探討當溫度、壓力改變時造成平衡的移動方向產生變化，學生無法在適當的狀況下正確地應用此原理來判斷方向的改變。此一迷思概念是過往研究曾經發現過(Johnstone, MacDonald, & Webb, 1977)。
- 4.題23是傳統的溫度、壓力或物種濃度改變時造成平衡的移動方向產生變化，因學生無法在概念理解的狀況下合理地應用此原理正確的判斷方向的改變。此一迷思概念也是過往研究曾經發現過(Johnstone, MacDonald, & Webb, 1977)。

綜上，在勒沙特列原理的應用上，有2個新的迷思概念是本研究診斷工具發展過程中發現學生常具備的迷思概念。

## (二)平衡常數的應用

- 1.題20探討平衡常數的計算，在體積無變化的條件下，化學反應方程式中的反應物產生莫爾數的變化，因學生無法在概念理解的狀況下，合理地應用此原理正確的判斷方向的改變。此一迷思概念是過往研究曾經發現過(李世峰、李田英，2007)。
- 2.題22探討平衡常數的計算應用，當已知平衡常數的化學反應方程式，反應物和生成

物位置互換時，造成平衡的移動方向產生變化，學生無法在適當的狀況下來判斷方向的改變，而造成平衡常數計算的迷思概念。此一迷思概念也是過往研究曾經發現過(李世峰、李田英，2007)。

- 3.題24探討平衡常數計算過程中物種濃度的改變過程，從回應顯示學生無法在適當的狀況下正確地應用所學既有概念來判斷物種濃度的變化。此一概念主要在強調反應過程中反應物和產物在初期及平衡時濃度的變化認知，有別於過往研究，只重視平衡常數計算結果。

承上，在平衡常數的應用上，有1個新的迷思概念是本研究於診斷工具發展過程中發現學生常具備的迷思概念。

## (三)影響平衡常數的因素

- 1.題4探討濃度對平衡常數的影響，減少反應物濃度或增加生成物濃度，雖造成平衡的移動方向產生變化，但平衡常數仍舊不變，學生無法在適當的狀況下判斷濃度是否改變平衡常數，因而造成迷思概念。此一迷思概念是過往研究曾經發現過(李世峰、李田英，2007)。
- 2.題5探討壓力對平衡常數的影響，定容下加入鈍氣，雖總壓變大，但分壓不變，故K值不變；學生無法在適當的狀況下判斷壓力是否改變平衡常數，因而造成迷思概念。此一迷思概念也是過往研究曾經發現過(Gorodetsky & Gussarsky, 1986)。
- 3.題16探討平衡後改變原來平衡常數大小的因素，濃度、壓力等因素雖會造成平衡的改變，但尚不會改變平衡常數大小，唯有溫度的改變會造成超越低限能分子數目的增減，因此導致平衡常數變大或變小，但學生無法在適當的狀況下判斷改變平衡常

數大小的因素，此一迷思概念過往研究也曾經發現過(Garnett, Garnett, & Hackling, 1995)。

故知，在影響平衡常數的因素上，於本研究診斷工具發展過程中所發現學生常具備的迷思概念，也是過往研究曾經探討過。

#### (四)影響平衡現象的說明

1.題1探討化學平衡時反應進行的情形，當反應達化學平衡時表面觀之似乎不再進行，但實際上是正反應的反應速率等於逆反應的反應速率，即巨觀無變化而微觀有變化的動態反應，學生無法在適當的狀況下理解化學平衡的成因，而造成迷思概念。此一迷思概念是過往研究曾經發現過(邱美虹、劉嘉茹、周金城、梁家祺，1999；Garnett et al., 1995)。

2.題25探討密閉系統達化學平衡時學生對物種相的概念，當反應達平衡未必是單一相，且微觀上的變化仍持續進行，但學生無法在適當的狀況下理解反應達平衡物種相不一定要均勻相而造成迷思；此一迷思概念過往研究未曾發現過。

由上述討論得知，在影響平衡現象的說明上，有1個新的和1個過往研究曾經探討過的迷思概念是本研究診斷工具發展過程中所發現學生常具備的迷思概念。

#### (五)影響平衡的因素

1.題9探討催化劑改變反應平衡狀態與否，因催化劑可同時增加正、逆反應之反應速率，故不會改變平衡狀態，但學生無法在適當的狀況下充分理解因而造成迷思，本研究診斷工具發展過程中所發現學生常具備的迷思概念；此一迷思概念是過往研究曾經發現過(李世峰、李田英，2007)。

2.題11探討酸鹼化學平衡反應時平衡物系的影響，若滴加酸少許，因酸鹼中和而導致 $\text{OH}^-$ 之濃度降低，導致平衡向右方向移動，本研究診斷工具發展過程中所發現學生常具備的迷思概念，學生無法在適當的狀況下理解 $\text{OH}^-$ 之濃度降低，因而造成迷思概念，此一新的迷思概念是過往研究未曾發現過。

故知，在影響平衡因素的理解上，本研究診斷工具發展過程中所發現學生常具備的迷思概念中有1個新的和1個過往研究曾經探討過的迷思概念。

#### (六)應用反應機構判別平衡常數式之表達

題18探討反應機構判別平衡常數式之表達，此題目原本要以反應機構更清晰的表達反應式進行的過程，但本研究診斷工具發展過程中，發現學生對此題具備迷思概念，學生無法在適當的狀況下理解此因，而造成迷思概念，此一新的迷思概念是過往研究未曾發現過。

綜合上述六大迷思概念類型，即勒沙特列原理的應用、平衡常數的應用、影響平衡常數的因素、影響平衡現象的說明、影響平衡的因素和應用反應機構判別平衡常數式之表達等類型。本研究診斷試題發展過程中，發現有九個迷思概念是過往研究曾經發現過的，而有六個新的迷思概念是學生常具備的，即對放熱的氣相化學反應方程式造成平衡移動方向產生之原因探究、加入新物質使其與反應物產生沉澱反應，因而降低反應物種濃度，造成平衡移動方向產生變化、利用反應過程中反應物和產物在初期及平衡時濃度的變化與平衡常數求得個物種平衡濃度、反應達平衡時物種間的相不一定要均勻、加入酸致酸鹼中和因而降低鹼之濃度而影響平



衡移動之判別、從反應機構推出平衡常數式之表達等六個迷思概念。

從量化分析與質性討論結果，根據受測學生三階段的答案回應類型，顯示TCEDI所診斷的17個化學平衡迷思概念中，學生擁有15個迷思概念，而這15個化學平衡迷思概念中有9個是過往研究曾經發現過，有6個是本研究診斷工具發展過程中所發現的。

#### 四、回應類型單因子變異數分析

以單因子變異數或獨立樣本 $t$ 檢定分析統計不同個人背景變項(性別、入學方式和科系)對於TCEDI的各種回應類型是否有顯著差異。學生性別、入學方式和科系做為自變數，對依變數回應類型(SK、FP、FN、Mis、LG/LC、LK)進行單因子多變量統計分析，其結果展示於表8。內容敘述如下：

以六種回應類型為依變數，學生的個人背景變項為自變數，進行單因子多變量統計分析，其中以Wilks' Lambda變數選擇法檢定多變量的顯著性。表8摘錄以Wilks' Lambda變數選擇法檢定多變量達顯著性之 $F$ 檢定值、 $p$ 值和實驗效果量 $f$ 值。

表8顯示自變數中大專學生性別在TCEDI的各種回應類型(SK、FP、FN、Mis、LG/LC、LK)單因子變異數分析皆達顯著性，且 $t$ 檢定顯示回應類型SK ( $t = 2.538, p = .012$ )、FP ( $t = 2.356, p = .019$ )、FN ( $t = 3.313, p < .001$ )和Mis ( $t = 4.180, p < .001$ )，男生優於女生；而LG/LC ( $t = -3.843, p < .001$ )和LK ( $t = -4.047, p < .001$ )則是女生優於男生。由此可知技職學生中男生較女生有更豐富的科學知識，假正、假負和迷思概念也較女生多，但是幸運猜中／信心缺乏與知識不足方面則女生顯著多於男生。整體變異數的Cohen (1988)實驗效果量 $f$ 值 .11 ~ .19，介於小到中之間。

表8入學方式不同之大專學生在TCEDI的各種回應類型(SK、FP、FN、Mis、LG/LC、LK)單因子變異數分析顯示，只有LG/LC達顯著性差異，進一步Scheffé事後比較發現在自變數LG/LC中之依變數其他方式(6)大於甄選(4)入學方式，顯示甄選入學學生較其他方式較具信心。整體變異數的實驗效果量 $f$ 值介於小到中之間。

以單因子變異數分析統計不同科系之個人背景變項對於TCEDI的各種回應類型是否有顯著差異。學生所屬科系做為自變數，回應類型做為依變數，其結果示於表8。表8中發現回應類型只有FP單因子變異數分析未達顯著性，其餘SK、FN、Mis、LG/LC、LK單因子變異數分析則達顯著性，進一步Scheffé事後比較發現回應類型SK中自變數藥學系優於醫技系A、電子系等9科系，顯示藥學系學生較其他學系具備豐富科學知識，Cohen (1998)實驗效果量 $f$ 值1.15屬於大以上之效果量；回應類型LK之Scheffé事後比較發現則與SK相反，其實驗效果量 $f$ 值0.46屬於大以上之效果量。回應類型FN中電子系優於校1醫技系、藥學系、校8護理系和校10醫技系等4科系，顯示電子系學生較其他四學系學生易產生假負的答案；假負意指答錯第一階試題內容知識的回應，但其第二階試題推理解釋的心智模式(mental model)是答對且第三階選擇確定選項，這代表其對概念瞭解回應的強度深具信心，只是描述性知識回應答錯的假負，Cohen實驗效果量 $f$ 值0.25屬於中等之效果量。回應類型Mis中電子系較校1醫技系、藥學系、校8護理系和校10醫技系等4科系易產生迷思概念，實驗效果量 $f$ 值0.31屬於中等以上之實驗效果量。回應類型LG/LC中校1醫技系較優於電子系、校7護理系和化材系，校10醫技系優於校7護理系，顯示校1醫技系學



表8：TCEDI單因子變異數中 $F$ 值、 $p$ 值和實驗效果量( $f$ )摘錄

| 自變數  | 變異數分析   | 依變數    |       |        |        |        |        |
|--|---------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
|  |         | SK     | FP    | FN     | Mis    | LG/LC  | LK     |
| 性別(男、女)  | $F$ 值   | 6.752  | 5.550 | 10.977 | 18.363 | 13.960 | 17.047 |
|  | $p$ 值   | .010   | .019  | .001   | < .001 | < .001 | < .001 |
|  | $f$     | 0.19   | 0.12  | 0.11   | 0.15   | 0.17   | 0.19   |
| 入學方式(1.運優、2.申請、3.技優、4.甄選、5.聯招、6.其他方式)                  | $F$ 值   | 1.219  | .985  | .979   | 2.154  | 4.043  | 1.604  |
|  | $p$ 值   | .299   | .426  | .430   | .058   | .001   | .157   |
|  | $f$     | 0.11   | 0.10  | 0.10   | 0.15   | 0.20   | 0.13   |
|  | Scheffé |        |       |        |        | 6 > 4  |        |
| 科系(1.醫技、2.藥學、3.電子、4.機械、5.環工、6.健美、7.護理、8.護理、9.化材、10.醫技) | $F$ 值   | 70.647 | .607  | 3.565  | 5.313  | 6.329  | 11.274 |
|  | $p$ 值   | < .001 | .737  | < .001 | < .001 | < .001 | < .001 |
|  | $f$     | 1.15   | 0.11  | 0.25   | 0.31   | 0.34   | 0.46   |
|  |         | 2 > 1  |       | 3 > 1  |        | 1 > 3  | 1 > 2  |
|  |         | 2 > 3  |       | 3 > 2  |        | 1 > 6  | 3 > 2  |
|  |         | 2 > 4  |       | 3 > 8  |        | 1 > 7  | 4 > 2  |
|  |         | 2 > 5  |       | 3 > 10 |        | 1 > 9  | 5 > 2  |
|  | Scheffé | 2 > 6  |       |        |        | 10 > 7 | 6 > 2  |
|  |         | 2 > 7  |       |        |        |        | 7 > 2  |
|  |         | 2 > 8  |       |        |        |        | 8 > 2  |
|  |         | 2 > 9  |       |        |        |        | 9 > 2  |
|  |         | 2 > 10 |       |        |        |        | 10 > 2 |

生較電子系、校7護理系和化材系學生缺乏信心，校10醫技系學生較校7護理系學生缺乏信心，Cohen實驗效果量 $f$ 值0.34屬於中到大間之效果量。

根據上述研究結果，三階段化學平衡診斷試題無論在內容效度、建構效度、信度、難易度與鑑別度指數等題目的邏輯分析上皆具備良好的試題品質，此一品質將建構TCEDI成為化學平衡迷思概念的正當性診斷工具。應用此試題診斷學生的內容知識、心智模式或解釋性知識以及概念理解的信心強度，從知識缺乏中真正診斷出學生的迷思概念；自變數技職學生性別、入學方式和不同科系在TCEDI的各種回應類型單因子變異數分析上大多達顯著性。研究結果顯示TCEDI

對化學平衡而言是一適當的三階段診斷工具。

## 陸、結果與建議

本研究所進行的「三階段化學平衡診斷工具的發展、效化和應用」，涵蓋科學知識、迷思概念、假正／假負、幸運命中／缺乏自信和知識不足等依變項，並融入診斷評量和化學平衡迷思概念等理念進行試題設計。綜合上述研究結果，發現三階段化學平衡診斷試題(TCEDI)，能符合文獻(Cataloglu, 2002; Ebel & Frisbie, 1991; Hestenes & Halloun, 1995; Pallant, 2001)對試題品質的要求，是一具有高效度與信度的診斷試題，適合用來做為評量大專學生化學平衡迷思概念的工

具。Cheung, Ma與 Yang (2009)等以及Jaber與 BouJaoude (2012)指出透過充滿複雜度與抽象特性的課程內容，學生們將不易理解，因而易造成概念迷思和誤解，學生對試題答對率將明顯偏低。本研究所設計的「三階段化學平衡診斷工具」，診斷結果發現受測大專學生的整體知識不足(LK, 57.02%)，顯示幾乎有一半以上學生沒有正確的化學平衡觀念，此一結果顯示多數試題對受測學生而言是具難度。本研究編製之診斷工具所欲診斷之17個迷思概念中有15個迷思概念可視為被受測學生們所普遍擁有，修畢「化學平衡」課程之受測大專學生中平均擁有2.35個與化學平衡有關之迷思概念。上述診斷結果與學者們的研究相符。迷思概念已證明對傳統講述教學的學習產生阻力，若無適當處理將會抑制學生對更高層次問題的理解(Lenaerts & Van Zele, 1998; McDermott & Redish, 1999)，而影響其對進階科學知識之學習意願，因此本研究迷思概念的診斷對教與學深具實質意義。

誠如研究目的(三)應用TCEDI，診斷分析學生知識歷程所造成的可能回應類型，本研究將發展之診斷工具，應用在自變數(性別、入學方式、不同科系)中，探討大專學生各種回應類型依變數(科學知識、迷思概念、假正／假負、幸運命中／缺乏自信和知識不足)的單因子變異數分析，結果顯示皆有良好的成效。TCEDI相較於一階段試題、二階試題與多重選擇題有其優勢。首先，研究者可以在不需要訪談的過程中，從簡單的統計分析出假正與假負的百分率，以做為內容效度之證明；再則，建立前二階得分與第三階回應確定之相關性來證明試題之建構效度。第三，比起一階段或二階段試題，三階段診斷工具更能精準地評估學習成就或迷思概念，減少對成績的過度評估。正如學者們(Arslan

et al., 2012; Pesman & Eryilmaz, 2010)所陳述，三階段診斷工具在學習成就或迷思概念的評估上被認為是較具有高的效度與信度。

總之，本研究發展之三階段診斷試題做為迷思概念評量，評量大專學生化學平衡概念的理解，分析結果證實TCEDI是一有信效度的評量工具。TCEDI賦予研究者更準確地分類知識不足、幸運猜中／缺乏自信、假正、假負和迷思概念的能力，不會全面標示迷思概念，TCEDI對學習者化學平衡知識的不足與迷思概念的診斷有其獨特之處。雖然知識不足與迷思概念皆涉及化學平衡概念的理解程度，然迷思概念的矯正與知識不足的克服兩者在教學方法上彼此是不同的(Hasan et al., 1999)，迷思概念常常會阻礙學習者概念的建構，因此需要特殊的教學設計才能矯正，而非傳統教學法所能及(Fisher, 1985)。

末了，本研究建議儘管TCEDI能適當地應用在技專學生化學平衡的迷思概念診斷，但仍有其需改進之虞，茲敘述如下：

- 一、第三階的設計若能由2個選擇項(A.正確 B.不正確)擴大到6個選擇項(A.絕對正確 B.非常確 C.正確 D.不正確 E.非常不正確 F.猜對)，將更能充分顯示答題者的信心分布。
- 二、課程可逐漸延伸到較困難且抽象的其他化學單元，如化學動力學和分子化學等，以普遍瞭解學習者的迷思概念，做為課程教學設計之依循。

## 誌謝

本研究蒙行政院科技部提供經費補助(NSC102-2511-S-237-001)；並承審稿委員先進之斧正，惠賜寶貴意見，在此特致衷心之謝忱。

## 參考文獻

1. 李世峰、李田英(2007)。高中學生應用勒沙特列原理判斷非均勻相系化學平衡的迷思概念探討。科學教育月刊，301，2-16。
2. 邱美虹(1994)。從自我解釋所產生的推論探究高中生化學平衡的學習。師大學報，39，489-524。
3. 邱美虹、劉嘉茹、周金城、梁家祺(1999，12月)。認知師徒制對學生化學概念改變的影響。發表於中華民國第十五屆科學教育學術研討會。彰化市：國立彰化師範大學。
4. 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(3)，379-400。
5. 羅希哲、溫漢儒、曾國鴻(2007)。概念構圖融入電腦輔助教學法應用於綜合高中學生化學科之學習成效及態度之研究。科學教育學刊，15(2)，169-194。
6. 蘇金豆(2013)。融入式化學實驗對工科學生學習成效的正當性。科技與工程教育學刊，46(1)，19-30。
7. 蘇金豆(2014)。融入式分子化學探討高三學生學習成效。教育傳播與科技研究，107，1-10。
8. Ainsworth, S. E., & Peevers, G. J. (2003). The interaction between informational and computational properties of external representations on problem-solving and learning. In R. Altmann & D. Kirsch (Eds.), *Proceedings of 25th annual conference of the Cognitive Science Society* (pp. 67-72). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
9. Ardac, D. (2002). Solving quantum number problems: An examination of novice performance in terms of conceptual base requirements. *Journal of Chemical Education*, 79(4), 510-513.
10. 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(11), 1667-1686.
11. Artdej, R., Ratanaroutai, T., Coll, R. K., & Thongpanchange, T. (2010). Thai grade 11 students' alternative conceptions for acid-base chemistry. *Research in Science and Technological Education*, 28(2), 167-183.
12. Ausubel, D. P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
13. Balç, S., Cakiroglu, J., & Tekkaya, C. (2006). Engagement, exploration, explanation, extension, and evaluation (5E) learning cycle and conceptual change text as learning tools. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 34(3), 199-203.
14. Banerjee, A. C. (1995). Teaching chemical equilibrium and thermodynamics in undergraduate general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 72(10), 879-881.

15. Bell, B. (2007). Classroom assessment of science learning. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 965-1006). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
16. Bodner, G. M., & Domin, D. S. (2000). Mental models: The role of representations in problem solving in chemistry. *University Chemistry Education*, 4(1), 24-30.
17. Brandriet, A. R., Xu, X., Bretz, S. L., & Lewis, J. E. (2011). Diagnosing changes in attitude in first-year college chemistry students with a shortened version of Bauer's semantic differential. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(2), 271-278.
18. Cakmakci, G. (2010). Secondary school and undergraduate students' alternative conceptions of chemical kinetics. *Journal of Chemical Education*, 87(4), 449-455.
19. 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(15), 1795-1815.
20. 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(7), 939-961.
21. 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 <https://etda.libraries.psu.edu/paper/5937/>
22. 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.
23. Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 293-307.
24. Cheung, D. (2009). Using diagnostic assessment to help teachers understand the chemistry of the lead-acid battery. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(2), 228-237.
25. 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(6), 1111-1133.
26. Chiu, M. H. (2007). A national survey of students' conceptions of chemistry in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 29(4), 421-452.
27. Chu, H. E., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2009). A stratified study of students' understanding of basic optics concepts in different contexts using two-tier multiple-choice items. *Research in Science and Technological Education*, 27(2), 253-265.



28. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
29. Cordero, E. C. (2001). Misconceptions in Australian students' understanding of ozone depletion. *Melbourne Studies in Education*, 41(2), 85-97.
30. Costu, B., Ayas, A., Niaz, M., Ünal, S., & Çalik, M. (2007). Facilitating conceptual change in students' understanding of boiling concept. *Journal of Science Education and Technology*, 16(6), 524-536.
31. Crocker, L., & Algina, J. (1986). *Introduction to classical and modern test theory*. Orlando, FL: Holt, Rinehart and Winston.
32. Daskolia, M., Flogaitis, E., & Papageorgiou, E. (2006). Kindergarten teachers' conceptual framework on the ozone layer depletion. Exploring the associative meanings of a global environmental issue. *Journal of Science Education and Technology*, 15(2), 168-177.
33. Ebel, R. L., & Frisbie, D. A. (1991). *Essentials of educational measurement* (5th ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
34. Eryılmaz, A., & Sürmeli, E. (2002). Assessment of students' misconceptions about heat and temperature by means of three-tier questions. In Milli Eğitim Bakanlığı Öğretmen Yetiştirme Genel Müdürlüğü. (Ed.), *V. Ulusal Fen Bilimleri ve Matematik Eğitimi Kongresi* (pp. 110-115). Ankara, Turkey: Milli Eğitim Bakanlığı.
35. Fisher, K. M. (1985). A misconception in biology: Amino acids and translation. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(1), 53-62.
36. Fisher, K. M., & Moody, D. E. (2000). Student misconceptions in biology. In K. M. Fisher, J. H. Wandersee, & D. E. Moody (Eds.), *Mapping biology knowledge* (pp. 5-23). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
37. Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). Student's alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25(1), 69-95.
38. Gorodetsky, M., & Gussarsky, E. (1986). Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *European Journal of Science Education*, 8(4), 427-441.
39. Green, S. K., & Johnson, R. L. (2010). *Assessment is essential*. New York: McGraw-Hill.
40. Griffard, P. B., & Wandersee, J. H. (2001). The two-tier instrument on photosynthesis: What does it diagnose? *International Journal of Science Education*, 23(10), 1039-1052.
41. Hasan, S., Bagayoko, D., & Kelley, E. L. (1999). Misconceptions and the certainty of response index (CRI). *Physics Education*, 34(5), 294-299.

42. Heredia, K., Xuz, X., & Lewis, J. E. (2012). The application and evaluation of a two-concept diagnostic instrument. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(1), 30-38.
43. Hestenes, D., & Halloun, I. (1995). Interpreting the force concept inventory. *Physics Teacher*, 33(8), 502-506.
44. Huddle, P. A., & Pillay, A. E. (1996). An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South African university. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 65-77.
45. Jaber, L. Z., & BouJaoude, S. (2012). A macro-micro-symbolic teaching to promote relational understanding of chemical reactions. *International Journal of Science Education*, 34(7), 973-998.
46. Johnstone, A. H., MacDonald, J. J., & Webb, G. (1977). Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry*, 14(6), 169-171.
47. Justi, R., & Gilbert, J. (2002). Models and modeling in chemical education. In J. Gilbert, O. DeJong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. Van Driel (Eds.), *Chemical education: Towards research based practice* (pp. 47-68). Boston, MA: Kluwer Academic.
48. Kane, M. T. (1986). The role of reliability in criterion-referenced tests. *Journal of Educational Measurement*, 23(3), 221-224.
49. Kirbulut, D., Geban, O., & Beeth, M. E. (2010, July). *Development of a three-tier multiple-choice diagnostic instrument to evaluate students' understanding of states of matter*. Paper presented at the European Conference on Research in Chemical Education (ECRICE). Krakow, Poland.
50. Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949-968.
51. Lenaerts, J., & Van Zele, E. (1998). Testing science and engineering students: The force concept inventory. *Physicalia Magazine*, 20(1), 49-68.
52. Lopez, E., Kim, J., Nandagopal, K., Cardin, N., Shavelson, R. J., & Penn, J. H. (2011). Validating the use of concept-mapping as a diagnostic assessment tool in organic chemistry: Implications for teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(2), 133-141.
53. Madden, S. P., Jones, L. L., & Rahm, J. (2011). The role of multiple representations in the understanding of ideal gas problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(3), 283-293.
54. McDermott, L. C., & Redish, E. F. (1999). Resource letter per-1: Physics education research. *American Journal of Physics*, 67(9), 755-767.
55. Millar, R., & Hames, V. (2006). Using research to clarify learning goals and measure outcomes. In R. Millar, J. Leach, J. Osborne, & M. Ratcliffe (Eds.), *Improving subject teaching* (pp. 44-59). New York: Routledge.

56. Nitko, A. J., & Brookhart, S. M. (2011). *Educational assessment of students* (6th ed.). Boston, MA: Pearson.
57. Niza, M. (2001). Response to contradiction: Conflict resolution strategies used by students in solving problems of chemical equilibrium. *Journal of Science Education and Technology*, 10(2), 205-211.
58. Novak, J. D. (2003). The promise of new ideas and new technology for improving teaching and learning. *The American Society for Cell Biology*, 2(2), 122-132.
59. Nyachwaya, J. M., Mohameda, A. R., Roehriga, G. H., Wood, N. B., Kernc, A. L., & Schneider, J. L. (2011). The development of an open-ended drawing tool: An alternative diagnostic tool for assessing students' understanding of the particulate nature of matter. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(2), 121-132.
60. Odom, A. L., & Barrow, L. H. (1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(1), 45-61.
61. Othman, J., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2008). An investigation into the relationship between students' conceptions of the particulate nature of matter and their understanding of chemical bonding. *International Journal of Science Education*, 30(11), 1531-1550.
62. 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.
63. Pallier, G., Wilkinson, R., Danthier, V., Kleitman, S., Knezevic, G., Stankov, L., et al. (2002). The role of individual differences in the accuracy of confidence judgements. *The Journal of General Psychology*, 129(3), 257-299.
64. Pesman, H., & Eryilmaz, A. (2010). Development of a three-tier test to assess misconceptions about simple electric circuits. *The Journal of Educational Research*, 103(3), 208-222.
65. 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(1), 17-24.
66. Quilez-Pardo, J., & Solaz-Portoles, J. J. (1995). Students' and teachers' misapplication of LeChatelier's principle: Implications for the teaching of chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(9), 939-957.
67. Renner, C. H., & Renner, M. J. (2001). But I thought I knew that: Using confidence estimation as a debasing technique to improve classroom performance. *Applied Cognitive Psychology*, 15(1), 1-23.
68. Sanger, M. J. (2005). Evaluating students' conceptual understanding of balanced equations and stoichiometric ratios using a particulate drawing. *Journal of Chemical Education*, 82(1), 131-134.

69. Su, K. D. (2011). An intensive ICT-integrated environmental learning strategy for enhancing student performance. *International Journal of Environmental and Science Education*, 6(1), 39-58.
70. Taber, K. S. (1999). Ideas about ionization energy: A diagnostic instrument. *School Science Review*, 81(295), 97-104.
71. Taber, K. S., & Coll, R. K. (2002). Bonding. In J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. H. Van Driel (Eds.), *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 213-234). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
72. Tan, K. C. D., Goh, N. K., Chia, L. S., & Treagust, D. F. (2002). Development and application of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument to assess high school students' understanding of inorganic chemistry qualitative analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(4), 283-301.
73. Tan, K. C. D., Taber, K. S., Liu, X., Coll, R. K., Lorenzo, M., Li, J., et al. (2008). Students' conceptions of ionisation energy: A cross-cultural study. *International Journal of Science Education*, 30(2), 263-283.
74. Treagust, D. F. (1986). Evaluating students' misconceptions by means of diagnostic multiple-choice items. *Research in Science Education*, 16(1), 199-207.
75. Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10(2), 159-170.
76. Treagust, D. F. (1995). Diagnostic assessment of students' science knowledge. In S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice* (pp. 327-346). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
77. Treagust, D. F., & Chiu, M. H. (2011). Diagnostic assessment in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(2), 119-120.
78. Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, L. T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
79. Tsai, C. C., & Chou, C. (2002). Diagnosing students' alternative conceptions in science. *Journal of Computer Assisted Learning*, 18(2), 157-165.
80. 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), 483-496.
81. Tsui, C. Y., & Treagust, D. (2010). Evaluating secondary students' scientific reasoning in genetic using a two-tier diagnostic instrument. *International Journal of Science Education*, 32(8), 1073-1098.



82. Voska, K. W., & Heikkinen, H. W. (2000). Identification and analysis of student conceptions used to solve chemical equilibrium problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), 160-176.
83. Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Macmillan.
84. Wang, J. R. (2004). Development and validation of a two-tier instrument to examine understanding of internal transport in plants and the human circulatory system. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 131-157.
85. Wheeler, A. E., & Kass, H. (1978). Student misconceptions in chemical equilibrium. *Science Education*, 62(2), 223-232.

## 附錄

三階段化學平衡診斷工具(本試題之題號為原始題號，缺漏之題號係刪題題號)

- 1.1 化學平衡是一種？\_\_\_\_\_
- A.動態平衡    B.靜態平衡    C.動態與靜態交錯之平衡
- 1.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_
- A.已達化學平衡時反應將不再進行    B.巨觀有變化而微觀無變化  
C.巨觀無變化而微觀有變化    D.巨觀與微觀皆無變化    E.其他\_\_\_\_\_
- 1.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_
- A.確定    B.不確定
- 4.1 在平衡系中，若其中一個組成濃度改變，平衡常數(K值)會改變嗎？\_\_\_\_\_
- A.會    B.不一定    C.不會
- 4.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_
- A.反應物之濃度減少而生成物之濃度增加故K值變大  
B.減少反應物之濃度或增加生成物之濃度，平衡往反應物的方向移動，故K值不變  
C.增加反應物之濃度或減少生成物之濃度，平衡往生成物的方向移動，故K值變小  
D.反應物之濃度增加而生成物之濃度減少故K值變小  
E.其他\_\_\_\_\_
- 4.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_
- A.確定    B.不確定
- 5.1 平衡系中，若加入氖氣，會改變K值嗎？\_\_\_\_\_
- A.會    B.不一定    C.不會
- 5.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_
- A.定容下加入鈍氣，總壓變大，但分壓不變故K值不變  
B.定容下加入鈍氣，總壓變大，分壓變大故K值變大  
C.定壓下加入鈍氣，分壓變大，故K值變大  
D.定壓下加入鈍氣，分壓變小故K值變小  
D.其他\_\_\_\_\_
- 5.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_
- A.確定    B.不確定

7.1 化學反應的發生需藉著粒子之間的碰撞嗎？\_\_\_\_\_

- A.需要    B.不一定    C.不需要

7.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

- A.反應物粒子間相互碰撞就會發生化學反應  
B.發生碰撞的反應物粒子具有足夠的能量就能發生化學反應  
C.粒子之間的碰撞是發生化學反應所必需的過程，粒子間只有在足夠的能量及正確的方位才能發生碰撞反應  
D.碰撞的反應物粒子能量稍微不足但具有正確的碰撞方位也可以反應  
E. 其他\_\_\_\_\_

7.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

- A.確定    B.不確定

9.1 催化劑會改變反應平衡狀態嗎？\_\_\_\_\_

- A.會    B.不一定    C.不會

9.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

- A.催化劑可同時增加正、逆反應之反應速率故可改變平衡狀態  
B.催化劑可改變反應途徑，故會改變平衡狀態  
C.催化劑可同時增加正、逆反應之反應速率，故不會改變平衡狀態  
D.催化劑不參與反應，故不能改變平衡狀態  
E. 其他\_\_\_\_\_

9.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

- A.確定    B.不確定

10.1 試考慮反應： $4\text{HCl}_{(\text{g})} + \text{O}_{2(\text{g})} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})} + 2\text{Cl}_{2(\text{g})} + 27\text{kcal}$  反應中若增加氯的濃度會對平衡有影響嗎？\_\_\_\_\_

- A.會    B.不一定    C.不會

10.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

- A.增加氯的濃度使反應往左進行，可增加氧的濃度  
B.減低平衡混合物總壓力，使反應往右進行  
C.增加反應容積之體積，使反應往左進行  
D.增加反應容器之溫度，使反應往左進行  
E. 其他\_\_\_\_\_

10.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

- A.確定    B.不確定

11.1 於 $\text{NH}_4\text{OH}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+_{(\text{aq})} + \text{OH}^-_{(\text{aq})}$ 平衡物系中，若滴加酸少許則平衡向何方向移動呢？\_\_\_\_\_

A. 左    B. 右    C. 不會移動

11.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

A. 加少許酸可增加 $\text{OH}^-$ 之濃度    B. 滴加少許酸可減低 $\text{OH}^-$ 之濃度  
C. 滴加少許酸可減低 $\text{NH}_4^+$ 之濃度    D. 滴加少許酸可增加反應系之溫度  
E. 其他\_\_\_\_\_

11.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

A. 確定    B. 不確定

15.1 下列何種條件，可使反應的平衡式向右移動？\_\_\_\_\_



A. 高溫高壓    B. 高溫低壓    C. 低溫低壓    D. 低溫高壓

15.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

A. 此反應為放熱反應，故高溫高壓下可使反應的平衡式向右移動  
B. 此反應為放熱反應，故低溫高壓下可使反應的平衡式向右移動  
C. 此反應為放熱反應，故高溫低壓下可使反應的平衡式向右移動  
D. 此反應為放熱反應，故低溫低壓下可使反應的平衡式向右移動  
E. 其他\_\_\_\_\_

15.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

A. 確定    B. 不確定

16.1 當反應達平衡時，下列哪些因素在平衡後會改變原來平衡常數的大小？\_\_\_\_\_

A. 升高溫度    B. 增加壓力    C. 縮小體積    D. 加入催化劑

16.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

A. 溫度升高，超越低能分子數增加故平衡常數變大  
B. 增加壓力，總壓增加故平衡常數變大  
C. 縮小體積，吸熱或放熱反應之平衡常數變大  
D. 加入催化劑，加速反應故平衡常數變小  
E. 其他\_\_\_\_\_

16.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

A. 確定    B. 不確定



17.1 關於鉻酸根變成重鉻酸根之反應為： $2\text{H}^+_{(\text{aq})} + 2\text{CrO}_4^{2-}_{(\text{黃色})} \rightleftharpoons \text{DCr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{橙色})} + \text{H}_2\text{O}$ 下列何者有錯誤？

- \_\_\_\_\_
- A. 在溶液中加入一種強酸，溶液顏色由黃變為橙色  
 B. 加1M碳酸鈉( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )，溶液之顏色變黃色  
 C. 平衡時，重鉻酸根離子之濃度為一定  
 D. 當加入 $\text{Ba}^{2+}$ 會與 $\text{CrO}_4^{2-}$ 離子生成沉澱，於是 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 離子濃度則增加

17.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

- A. 在溶液中加一強酸，應往左移動致溶液顏色由橙色變為黃色  
 B. 加1M碳酸鈉( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )，應往右移動致溶液之顏色變橙色  
 C. 平衡時，依巨觀重鉻酸根離子之濃度應不固定  
 D. 當加 $\text{Ba}^{2+}$ 生成沉澱， $\text{CrO}_4^{2-}$ 離子被除去致平衡往左移動，而使得 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 離子濃度減少  
 E. 其他\_\_\_\_\_

17.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

- A. 確定      B. 不確定

18.1 反應式： $\text{Cl}_{2(\text{g})} + \text{CO}_{(\text{g})} \rightleftharpoons \text{DCOCl}_{2(\text{g})}$ ；機構如下：(1) $\text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{Cl}$  (2) $\text{Cl} + \text{CO} \rightleftharpoons \text{COCl}$  (3) $\text{COCl} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{DCOCl}_2 + \text{Cl}$  則上述反應之平衡常數為：\_\_\_\_\_

- A.  $K = [\text{Cl}]^2 / [\text{Cl}_2]$       B.  $K = [\text{COCl}] / [\text{Cl}][\text{CO}]$       C.  $K = [\text{COCl}_2] / [\text{Cl}_2][\text{CO}]$   
 D.  $K = [\text{Cl}_2]^{3/2} / [\text{CO}]$       E.  $K = P_{(\text{COCl}_2)} / P_{(\text{Cl}_2)} P_{(\text{CO})}$

18.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

- A. 機構1速率決定步驟，可表達出平衡常數  
 B. 總反應中產物的分壓當分子，反應物的分壓乘積當分母  
 C. 機構2速率決定步驟，可表達出平衡常數  
 D. 機構3可表達出平衡常數  
 E. 其他\_\_\_\_\_

18.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

- A. 確定      B. 不確定

20.1 有一莫耳的AB和1莫耳的CD依下列方程式反應 $\text{AB} + \text{CD} \rightleftharpoons \text{AD} + \text{CB}$ ，當平衡建立時，發現AB和CD均有無3/4莫耳轉變成AD和CB，在體積上變化，該反應之平衡常數應為何者？\_\_\_\_\_

- A.  $\frac{1}{9}$       B.  $\frac{16}{9}$       C. 9      D.  $\frac{9}{16}$

20.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

A.  $K=(1 \times 1)/(3 \times 3)=1/9$

B.  $K=(3/4) \times (3/4)/(1/4)/(1/4)=9$

C.  $K=(1/4) \times (1/4)/(3/4) \times (3/4)=1/9$

D. 降溫，有助於平衡往反應物方向生成，故生成NH<sub>3</sub>

E. 其他\_\_\_\_\_

20.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

A. 確定 B. 不確定

21.1  $\text{CaCO}_{3(s)} + \text{熱} \rightleftharpoons \text{DCaO}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)}$ 之平衡系中，下列各項何者有誤？\_\_\_\_\_

A. 加入 $\text{CaCO}_{3(s)}$ 平衡不移動

B. 定溫之下加壓平衡向左移動

C. 溫度愈高， $\text{CaCO}_{3(s)}$ 之分解愈趨完全

D. 定溫下體積增大，則平衡重新建立時， $\text{CO}_2$ 之壓力變大

E. 欲使 $\text{CO}_2$ 平衡壓力變大，可藉升高溫度

21.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

A. 加入反應物 $\text{CaCO}_3$ ，平衡應往右移動

B. 定溫之下加壓， $\text{CO}_2$ 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， $\text{CO}_2$ 之壓力不變

D. 升溫，有助於平衡往反應物方向生成

E. 其他\_\_\_\_\_

21.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

A 確定 B. 不確定

22.1 反應 $\text{H}_{2(g)} + \text{Br}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{HBr}_{(g)}$ 之 $K_c=4.0 \times 10^{-2}$ ，則反應 $\text{HBr}_{(g)} \rightleftharpoons 1/2\text{Br}_{2(g)} + 1/2\text{H}_{2(g)}$ 之 $K_c$ 值為何？\_\_\_\_\_

A. 0.04 B. 0.2 C. 5 D. 25

22.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

A.  $K_c=0.04/1$  B.  $K_c=(1/0.04)^{1/2}=5$  C.  $K_c=(0.04)^{1/2}=0.2$  D.  $K_c=(1/0.04)^2=25$

E. 其他\_\_\_\_\_

22.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

A. 確定 B. 不確定

23.1 若有一反應： $\text{CH}_{4(g)} + 2\text{H}_2\text{S}_{(g)} \rightleftharpoons \text{CS}_{2(g)} + 4\text{H}_{2(g)}$ 由左至右是吸熱。則發生下述變化時，對其平衡物系之平衡位置何者可向左移動呢？\_\_\_\_\_

A. 溫度增高 B. 增加 $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$  C. 移去 $\text{CS}_{2(g)}$  D. 縮小容器體積

23.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

- A. 升溫，有助於平衡往反應物方向移動，即向左移動
- B. 縮小容器體積，有助於平衡往反應物方向移動，即向左移動
- C. 增加 $\text{H}_2\text{S}$ ，有助於平衡往反應物方向移動，即向左移動
- D. 移去 $\text{CS}_2$ ，有助於平衡往反應物方向移動，即向左移動
- E. 其他\_\_\_\_\_

23.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

- A. 確定
- B. 不確定

24.1 在某溫度時，反應 $\text{CO}_{(\text{g})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{g})} \rightleftharpoons \text{DCO}_{2(\text{g})} + \text{H}_{2(\text{g})}$ 的平衡常數為1，今於2升容器內放入1莫耳的 $\text{H}_2$ ，2莫耳的 $\text{CO}_2$ ，3莫耳的 $\text{H}_2\text{O}$ ，及4莫耳的 $\text{CO}$ ，在該溫度達平衡時， $\text{CO}_2$ 的濃度為若干莫耳／升？\_\_\_\_\_

- A. 2
- B. 3
- C. 4
- D. 5

24.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

- A.  $[\text{H}_2]=1+X$ ,  $[\text{CO}_2]=2+X$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]=3-X$ ,  $[\text{CO}]=4-X$ ,  $K=1$ , 求得 $X=1$ 故 $[\text{CO}_2]=2+X=3$
- B.  $[\text{H}_2]=1-X$ ,  $[\text{CO}_2]=2-X$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]=3+X$ ,  $[\text{CO}]=4+X$ ,  $K=1$ , 求得 $X=2$ 故 $[\text{CO}_2]=2+X=4$
- C.  $[\text{H}_2]=1+X$ ,  $[\text{CO}_2]=2-X$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]=3+X$ ,  $[\text{CO}]=4-X$ ,  $K=1$ , 求得 $X=3$ 故 $[\text{CO}_2]=2+X=5$
- D.  $[\text{H}_2]=1-X$ ,  $[\text{CO}_2]=2+X$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]=3-X$ ,  $[\text{CO}]=4+X$ ,  $K=1$ , 求得 $X=0$ 故 $[\text{CO}_2]=2+X=2$
- E. 其他\_\_\_\_\_

24.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

- A. 確定
- B. 不確定

25.1 在密閉系裡，當反應達到平衡時，有關該系統的敘述，何者不正確？\_\_\_\_\_

- A. 必是單一相且不再有微觀變化
- B. 總壓不變
- C. 系統的溫度均勻
- D. 不再有巨觀變化

25.2 選擇上述答案的理由，以下列何選項最適當？\_\_\_\_\_

- A. 反應達平衡未必是單一相，且微觀上的變化仍持續進行
- B. 反應達平衡，系統的溫度仍在改變
- C. 反應達平衡，巨觀上的變化仍可觀察得到
- D. 反應達平衡，總壓仍在改變
- E. 其他\_\_\_\_\_

25.3 對前述二個問題的答案，你確定嗎？\_\_\_\_\_

- A. 確定
- B. 不確定

～感謝你細心與耐心的做答～

# The Development and Application for a Three-Tier Diagnostic Instrument to Assess College Students' Misconceptions in Chemistry Equilibrium

**King-Dow Su**

Department of Hospitality Management, De Lin Institute of Technology

## Abstract

This study focused on the instrument development and response analysis of a three-tier diagnostic test in chemistry equilibrium for assessing college students' misconceptions. Accordingly, this research accounted for the following three major purposes: 1. to develop a diagnostic tool with proper validity; 2. to analyze students' correct answering rates from the three-tier diagnostic instrument of chemistry equilibrium; and 3. to examine responded domains of students' knowledge categories and differentiated performances. We adopted the self-developed diagnostic instrument to assess and analyze 492 college students' misconceptions in the required chemistry course. With respect to observations in the three-tier diagnostic instrument, the mean difficulty index was .54, the mean discrimination index was .37, and reliabilities of the Cronbach's  $\alpha$  were .629, .773, and .872 for the first, second, and third tier-tiers respectively. All results demonstrated that students' mean answering rates of three-tiers to be 8.74%, lack of knowledge understanding 57.02%, and their self-assessments from cognitive domains of overconfidence 34.23%. All results demonstrated that most students lacked chemistry knowledge understanding, with overconfidence in cognitive domains, and we identified students' 15 misconceptions from the total 17 test items with an average of 2.35 misconceptions per student. In addition to nine test items of misconceptions which had been discussed by other research and literature, we developed six test items of new misconceptions in detail for the three-tier diagnostic instrument in this study.

**Key words:** Three-Tier Diagnostic Instrument, Chemistry Equilibrium, College Students, Misconceptions