

# 一個針對基礎數學學習者的線上評量與迷思概念導正工具

## An On-Line Assessment and Misconception Correction Tool for Students Learning Fundamental Mathematics

李青春\*

Ching-Chuen Lee

胡學誠\*\*

Shueh-Cheng Hu

(收件日期 97 年 12 月 3 日；接受日期 98 年 1 月 9 日)

### 摘要

網路上關於國中數學教材的呈現方式偏重於循序單向的展示，以至於有些學生在瀏覽後只能似懂非懂。當學生點選課後評量來評鑑個人的學習成果，得到的回饋只是對或錯，但對於錯誤原因或迷思概念，欠缺適時且確切地指導。

針對上述問題，本研究主要目的是建立一個針對基礎數學學習者的線上評量與迷思概念導正工具。學習者在多項式四則運算的解題過程中，如果解題步驟中出現錯誤，系統能即時告知錯誤的原因，以導正學生的認知過程，可作為補救教學的輔助工具。

為評估線上評量與迷思概念導正工具對學習者進行補救教學的成效，研究之樣本為臺中縣立大甲國民中學二個一年級班級，一班為實驗組另一班為控制組，實施為期五週共十小時的補救教學。每週於補救教學結束後，進行多項式四則運算成就測驗的後測評量，將得到的資料做統計與分析。

本研究採前測、後測之準實驗研究設計，資料分析採用獨立樣本 t 考驗、單因子共變數分析及描述統計方法。本研究所獲得結論敘述如下：

1. 線上評量與迷思概念導正工具，可診斷不同類型之錯誤，學習者隨時隨地皆能進行適性化之補救教學。
2. 接受線上評量與迷思概念導正工具進行補救教學的學生，在經過一段時間後，學習成就測驗上的表現會高於接受傳統講述式進行補救教學的學生。其顯示之意涵為要改變學生既有的迷思概念不是短期內可達成的。此一現象正突顯了線上評量與迷思概念導正工具，在長時間的教學輔導過程中，可降低教學者負擔方面的價值。

**關鍵詞：**數位學習、線上輔助學習、補救教學、迷思概念

---

\*靜宜大學資訊管理學系研究所研究生

\*\*靜宜大學資訊傳播工程學系助理教授

### **Abstract**

Today, the presentation of online mathematical instructional materials tends to be sequential and one-way. As a result, students obtain fragmental and vague concepts after browsing Web pages containing these materials. In addition, when students want to evaluate their learning performance, what they can receive is only a grade, instead of the specific explanations about their mistakes or misconceptions.

To address the above problems, this work aims to build an on-line assessment and misconception correction tool for those who learn fundamental mathematics. The students learn how to solve polynomial equations through the tool. Whenever students make any recognized mistakes during the solving process, the tool instantly assists them to explore the reason of making mistake. These responsive feedbacks are helpful to guide them toward the correct direction during their cognitive processes. Thus, this tool can be used as a teaching assistant for remedial learning.

To evaluate the effectiveness of this tool, a quasi-experimental design was implemented in this study. This research sampled two classes (Grade 7) that enrolled in Tachia Junior High School in Taichung County. One is taken as the experimental group and the other as the control group. During a five-week period, the experimental group accepted total ten-hour remedial learning through the tool, while the control group takes traditional instruction. After every week of remedial learning, a post-test is conducted in order to collect data for statistical analysis.

The collected data is analyzed by T-test, One-way ANCOVA and descriptive statistic method. The findings through this work are described as follows:

1. On-line assessment and misconception correction tool can diagnose the different mistakes of students. It could serve as an assistant for adaptive remedial instruction.
2. After five weeks of trial, the students who utilized the tool obtained significantly higher learning achievement than those who enrolled in the traditional instructional environment. It implies that correcting students' misconception about Mathematics should not be regarded as a short-term task. This phenomenon further reveals the value of this tool in reducing instructors' burden with repetitive and long-term correction tasks.

**Key words:** E-learning, On-line Assisted Learning, Remedial Instruction, Misconception

## 壹、緒論

### 一、研究背景

展望二十一世紀，面對資訊爆炸且科技高度發展，各種知識領域也愈加專業化。由於網際網路技術的普及與電腦科學成長的快速，造成了資訊運用的層面向各領域迅速擴展。新世紀的教育方針不再是固守僵化單一的教學形式，而是創造能尊重個別差異、激發創造力的環境（韓善民，2001）。網際網路的便利性與不受限時空的特性相當受到重視，人們可以在任何時間、任何地點作學習，因此數位學習成爲了炙手可熱的議題（游寶達、劉明宗，2002）。

在學習的歷程中，學生需要適當的測驗與評量工具來了解個人的學習成果，傳統成就測驗評量，以測驗的分數代表受試者的學習表現，但成績對於有學習障礙的學生而言，經常只是得到挫折感。一份數學試卷，通常只是批閱最後答案的對或錯，但在思考與計算過程中的錯誤，學生卻很難得到立即的指正與回饋。考試後，面對自己寫錯的題目，大部分的學生不會去深究其認知歷程，只有極少數的學生會主動請教老師或同學。教師如果想要了解學生的想法，可以透過計算題的方式，從學生的錯誤步驟去判斷或猜測錯誤的原因，再找時間與該生確認錯誤的原因，進而進行個別補救教學。但一位老師要兼顧全班學生，不僅負擔過重且需要大量的時間及耐心，若加上付出的心力與成果不成正比，久而久之將使教師失去了教學熱忱。

數學學習的過程，難免發生錯誤的情形，對大部分學生而言，郭丁熒(1992)認爲錯誤可創造一個新的學習機會，讓學生能夠藉由這次的錯誤，進而認識錯誤而加以修正以避免再犯。然而，對於數學學習有障礙學生而言，錯誤使得他們更加困惑，因爲整個計算步驟都是以自己認爲對的方式在進行，無法得知哪一個計算過程犯錯時，便急需對外求助。學者 Brown & Burton (1978) 發現：學生在解答數學問題時出現多種迷思概念 (Misconception)，而這些迷思概念正是造成學生學習困擾的障礙。如果教學策略能針對數、理方面因迷思概念所產生的錯誤，建立一個適性化的補救教學系統。相信，個人的學習障礙可以獲得自我的矯正，以免影響未來相關概念的學習。

基於上述原因，本研究期望建置一個針對基礎數學學習者的線上評量與迷思概念導正工具，讓學習者可以隨時隨地在數位學習環境 (E-learning) 下，並利用此工具輸入題目來診斷個人的迷思概念而得到實質的幫助。工具能根據題目進行解析出相關的數學概念，每一個概念都能得到補救教學工具的確認與引導，順利完成每一個解題步驟。學習者每完成一個計算步驟，就是破除一個迷思概念，內化而建構起學習的思考鷹架。

### 二、研究目的與研究流程

本研究旨在探討學生在學習數學而產生迷思概念時，可否在數位學習環境下進行補救教學？進行補救教學後是否具有成效？基於上述的研究動機，本研究期望達成下列目的：

開發一個針對多項式四則運算的線上評量與迷思概念導正工具。

探討線上評量與迷思概念導正工具所進行的補救教學，對於學生成績是否有顯著影響。

本研究的方向為建置一個針對基礎數學學習者的線上評量與迷思概念導正工具。以文獻探討中多項式四則運算因為迷思概念所造成的錯誤類型，做為導正工具的背景知識，形成補救教學的策略。最後，將數學學習成就後測評量成績做統計分析與討論，以了解線上評量與迷思概念導正工具的補救教學成效，整個研究流程如圖 1.1。

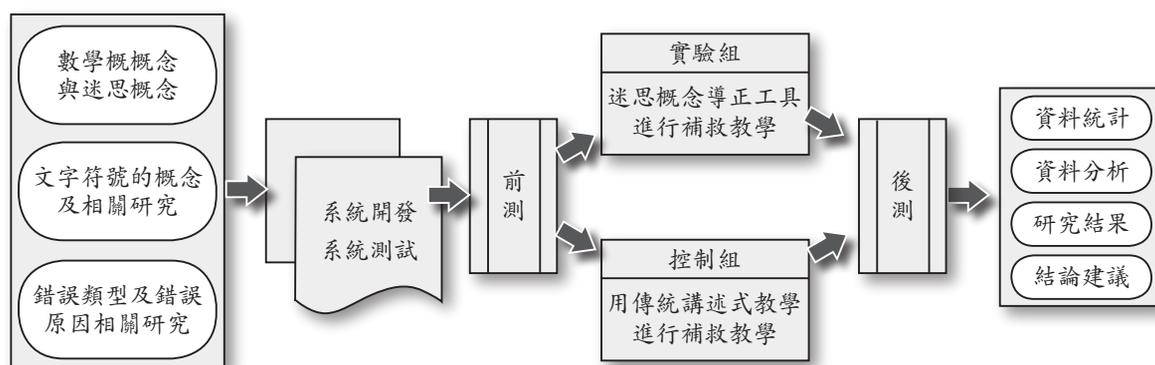


圖 1.1 研究流程圖

## 貳、文獻探討

### 一、數學概念與迷思概念

Gagne (1970) 認為學習是一種累積的過程，學習者由簡到繁學習大量具體的規則，將具體的智能技巧產生學習遷移，為進一步組織高層次規則立下基礎，其最終結果有助於培養解決問題的能力。從科學心理學的觀點來看，所謂學習就是學習者透過經驗，在理解、態度、知識、能力和技能方面獲致較永久改變的歷程。對於一個數學教師而言，如何讓學習者產生有意義的學習呢？數學一向被認為是最抽象的概念，教師欲傳遞與溝通新的數學概念，必須將新概念作結構分析，再檢視與確認學生是否已具備應有的先備知識，來避免學生在連續抽象化的過程中產生誤解，形成迷思概念。

迷思概念的來源非常廣泛，一般而言不外乎是由學習者與周遭環境的交互作用時，受錯誤的訊息或自以為是的錯誤判斷而產生（李璧如，2006）。學生在處理數學問題時，往往不用課堂上老師所教導的方法，反而較常採用自己較有感覺且較有信心的方法，這些較常被學生使用的方法有時效果很好，有時則有其應用上的限制，而在學生一知半解的情形下，容易產生迷思概念 (Booth, 1984)。

#### (一) 概念

概念 (concept) 一詞用在許多領域，但卻很難精確地給予一個定義。Pella (1975)

解釋概念，概念是由一群事物的屬性 (attributes) 找出其共同性 (regularities) 或相似性 (similarities)，再以某個符號 (symbols) 代表之，也就是當一個符號被用來代表一組具有共同特性事物時，則該符號被稱為概念。Skemp (1987, 陳澤民譯) 指出人類從過去的經驗，透過分類 (classifying) 與歸檔 (fitting) 而產生抽象化的心智活動，抽象化的產品即為概念。Skemp 提到概念形成有五個重要特徵：

1. 意識 (realization)：是指一個新概念透過環境，經由感官輸入概念結構，此時新概念與舊有概念結構中的任何概念都沒有聯繫上。
2. 同化 (assimilation)：在舊有概念結構中找出與新概念相類似的概念。
3. 擴張 (expansion)：以舊有概念結構中已有的概念，來領悟新概念使其成為概念結構中的一部份。
4. 分化 (differentiation)：分辨新概念與舊有概念結構的相異之處。
5. 重建 (re-construction)：當問題情境改變時，已建立的概念結構若不適用於此情境，此時必須重建個體的概念結構。

Pines (1980) 在國際教育發展會上提到一個概念模型。此概念模型是一個圓錐形結構 (如圖 2.1)，圓錐底部的圓形稱為延伸，代表該概念的延伸，將包含所有屬於此概念的事例。圓錐頂端稱之為內涵，代表萃取出此概念的特質、共同性或定義等規律性。在學習概念時，是由底部延伸部分上推至頂端內涵部分，此過程稱為概念化，即由事例中發現其共同性，此概念化過程是一種歸納法。若由頂端內涵部分下推至底部延伸部分，則是所謂的應用，此過程是一種演繹法，即將概念之規律性應用於事例中。學生由下由上的概念化過程，許多原因可能導出不正確的概念內涵，再由上往下應用於事例時，就會產生錯誤而很難自我察覺。

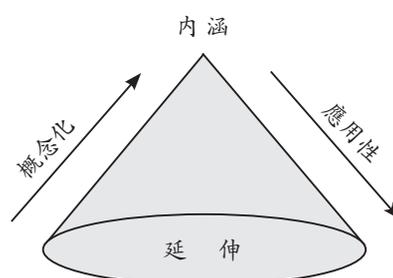


圖 2.1 圓錐概念模型

## (二) 數學概念學習

數學概念本身具有的嚴密性、抽象性和明確性，對於數學概念的學習，喻平、馬再鳴 (2002) 認為有三種方式：

1. 語言學習：包括文字語言以及符號語言的學習。
2. 概念形成：從個別實例到抽象本質去獲取概念。是在學生已有的數學基礎上，經過多層次的抽象概括而形成的。
3. 概念同化：學生利用認知結構中，已有觀念與新概念之間的相互作用去獲取概念。

就整個數學體系而言，數學概念具有抽象和具體的雙重性。Skemp 提出數學概念學習的兩個原則如下：一、超過個人已有的概念階級的高階概念，不能用定義的方式來溝通，只能蒐集有關例子供其經驗，再靠他自己以抽象的方式形成概念。二、在數學中有關的例子，多少含有其他概念，我們在提供例子時必須確定學生具有所需的先備概念。在既有的認知結構，去辨識或是解釋環境中的事物，如此可以把新經驗同化到舊經驗裡。

數學概念的引入與建立，教師必須在教學前能將教材詳細規劃，成為有系統有組織的知識，然後條理分明地對學生講解與啟蒙。要使學生認識一些數學概念的來源及意義，理解概念的性質及相互關係，才能進一步會運用已學得的概念去解決問題。楊弢亮（1992）認為數學概念的引入，通常可以採取下列方式來進行：

1. 配合學生的生活經驗：直接從客觀事物的數量關係和空間形式反應而得到。
2. 利用模型圖表提供的實物教材：數學概念的引入過程可以先用實際事物或模型、圖表，使學生獲得新概念的直觀形象，再提出概念的定義。
3. 由定義引入：數學概念也可以先由定義引入，再用實物教材來加以證實。
4. 由舊概念引入新概念：例如在平行四邊形概念的基礎上，可由增加內涵而直接引入菱形和矩形概念。
5. 採用類比方法：例如根據分數的運算法則和簡單性質引入分式的概念及其運算，由等式的概念和性質引入不等式的概念和性質。
6. 利用逆反關係：例如加法與減法、乘法與除法、乘方與開方、指數與對數。
7. 運用概念的推廣：例如三角函數概念的推廣。

從以上分析，可知道一般學者都承認數學概念的抽象、形式化的本質，但也有學者從相對的角度來看數學概念而認為它同時具有抽象與具體的雙重角色。不管是哪一種，數學概念是掌握數學基礎知識的前提，是學好定理、公式、法則和數學思想的基礎。Vincent (2004) 認為數學情境無所不在，教師不能只偏重在單純數學概念上的探討，應該鼓勵學生以學到的數學知識來解決生活問題，讓學生藉由動手實作的方式驗證數學概念。而在整個教學過程中，更需要注意學生在概念建構時所產生的迷思概念。

### (三) 迷思概念

研究證實了在許多科學內容領域裡，人們在正式學習科學之前，就已具有描述及解釋科學現象的系統架構，這些系統架構與公認的科學概念或課本上的知識有所不同的想法均為不正確的，科學家稱之為「迷思概念」。Gilbert & Watts（引自蔡文錦，1991）從知識論的古典觀點來說明迷思概念，認為知識的獲得是一種基本的階層式步驟，知識的進步往往仰賴於前一步驟的精熟度，而迷思概念就如同此整個系統中的瑕疵，會造成日後學習上的障礙。

迷思概念和專家的科學概念有很大的差距，而且自成系統，它們或許能應付生活中的普通問題，但如欲深入探究科學的問題，則這些概念是支離破碎，不堪應用的（鍾聖校，1995）。根據 Pfundt 和 Duit (1991) 的研究指出，許多迷思概念都很難改變，因為學

童或成人的科學概念是個人的 (personal)、固執的 (persistent)、強韌的 (robust)、一致的 (consistent)、穩定的 (stable)，這些特質阻礙學生科學學習過程中概念的轉變（引自邱美虹，2000）。Posner、Strike、Hewson & Gertzog (1982) 提出當學生的迷思概念形成後，要改變學生已有的概念並不是件容易的事，有四個必要條件可以產生改變：

1. 不滿意自己現有的概念 (dissatisfaction)：學生在遇到自己無法解釋的現象時，對自己現有的概念不滿意，自己才會想要改變概念。
2. 有可理解的新概念 (intelligibility)：Baker & Lawson (1995) 提出學生在概念改變時，必須對新的概念產生理解，才能組織新的概念並將其意義化。因此，建議用類比或暗喻的方式使得新的概念更容易為學生所理解，以促使概念的改變。
3. 合理的新概念 (plausibility)：學生接受新概念必須是合理的，雖然新的概念未必一定要為真，但它至少必須具有成真的可能性。
4. 比現有的概念更可廣泛運用的新概念 (fruitfulness)：對學生而言，新概念能比現有的概念更加適用有效，使學生接受，以促進概念的改變。

因為造成迷思概念的來源眾多，學生產生多種不同的迷思概念，要了解學生迷思概念的種類是一件龐大而困難的工程（鄧雅文，2004）。學生的迷思概念雖與一般公認的科學概念或課本上的知識不同，但學生傾向於保護他們原有的想法。教師若想要改變學生的迷思概念，需先把學生的迷思概念找出來，透過學生對其迷思概念所做的解釋與說明來瞭解學生的想法，並依此安排適當的教學情境、進行有系統且良好的教學方法，促使學生迷思概念的改正，進而達成教學的目標。

## 二、文字符號的概念及相關研究

以瑞士的認知心理學家皮亞傑 (Piaget) 的認知發展來看，國小數學著重於具體操作，而國中數學卻以形式運思期的抽象思考和邏輯推理為主，在教材和教法上都有明顯的不同。對剛從國民小學升上國民中學一年級的學生而言，數學學習的方法是需要調整的，要面對不熟悉的抽象思考方式，而第一個面對的挑戰便是文字符號的概念。

### (一) 文字符號的概念

Piaget & Inhelder (1969) 將兒童和青少年的認知發展，分為四個階段：一、感覺動作期 (sensorimotor stage)：年齡從出生到二歲。二、前運思期 (pre-operational stage)：年齡從二歲到七歲。三、具體運思期 (concrete operational stage)：年齡從七歲到十二歲，兒童已具有運思的知識，這種知識涉及在一定程度上能作出推論，已經可以利用邏輯思考來解決問題，但只限於具體的事物。四、形式運思期 (formal operational stage)：年齡在十二歲以上，兒童開始不再依靠具體的事物來思考，能對於抽象的和表徵性（或符號）的材料進行邏輯思考，也就是具有形式理論思考的能力，有能力處理假設性的事物，能從直接或抽象的觀點來解釋事物，而不只是單純地處理客體。有能力將形式與內容分開，用符號來替代其它東西，因此思考會變得越來越科學。皮亞傑認為，所有的兒童都必須依序經歷這四個

發展階段，不能顛倒或跨越，但不同的兒童會因為環境、國家或地區等因素的不同而有所差別，而會以不同的速率經歷這四個階段。

Küchemann (1981) 進一步結合皮亞傑的認知發展階段，發展出一些題目來檢測學生在文字符號的理解程度。並將文字符號的概念分類成六種不同的使用階段：

1. 文字符號為可算出的值 (letter evaluated)，指文字符號代表一個設定的數值。例如： $x + 3 = 1$  中的  $x$ 。
2. 文字符號可忽略而不用 (letter ignored)，指文字符號雖然出現在題目中，但在解題過程中可不加以考慮。例如： $x + y = 12$ ，求  $x + y - 2 = ?$
3. 文字符號當作物體 (letter as object)，即文字符號為某一代表物的簡寫或標記 (label)。例如：以  $a$  代表某一多邊形的一邊，而不是數字。
4. 文字符號當作特定的未知數 (letter as special unknown)，可以直接加以運算。例如：一多邊形有  $n$  個邊，而且每個邊長為 5，得周長為  $5n$ 。
5. 文字符號當作一般化的數字 (letter as generalized number)，即視文字符號代表一組數字而非單一數值。例如： $a + b = 8$ ，且  $a < b$ ，則  $a$  代表小於 4 的數。
6. 文字符號當作變數 (letter as variable)，即文字符號代表一未定的數值。例如：比較  $S$  和  $3S$  的大小。

他認為前三階段是屬於具體操作期的層次，而後三階段是屬於形式運思期的層次。Küchemann 再進一步根據受試者作答的結果細分為前具體操作、後具體操作、前形式運思及後形式運思四個層次。

## (二) 文字符號的認知發展

Carpenter (1982) 在國家教育進步評量 (National Assessment of Educational Progress，簡稱 NAEP)，以 13 至 17 歲的學生為研究對象，根據學生的表現歸納出代數技能及了解情形。研究結果亦顯示 91% 的學生能利用  $\square$  的觀念去解一些簡單的方程式問題，例如： $4 \times \square = 56$ 。卻只有 65% 的學生能解使用文字符號的方程式問題，例如： $6x = 12$ 。若將題目的運算數字變大，其正確的反應則降至 30%。只有 58% 的 17 歲學生能把「比  $y$  大 6 的數」正確的以「 $y + 6$ 」表示出來。其它類似的問題也只有 43% 作出正確的反應。

陳創義、洪有情 (2003) 在行政院國家科學委員會專題研究計劃的總計劃：青少年的數學概念學習研究，其中的子計劃四：青少年的代數運算概念發展研究，根據十五年前，郭汾派、林光賢、林福來 (1989) 對於國中生文字符號概念發展的研究進一步做研究。因為想知道，隨著十多年來課程標準的修訂及九年一貫課程的實施，在使用許多不同教材下的青少年，此時他們對於代數的認知是如何呢？正式抽測時，將全國國中隨機分層抽測 18 校，一年級 32 班 1193 人，二年級 33 班 1195 人，三年級 31 班 1131 人，共計 3519 人。成果報告中指出我國青少年對代數運算，從數、記號到文字符號的運算概念的認知發展情形如下表 2.1。

表 2.1 陳創義、洪有情，文字符號概念的認知層次

認知發展	數學特性	13 歲	14 歲	15 歲
層次 0		58%	15%	14%
層次 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 數與文字符號或文字符號與文字符號做運算 (不含括號)</li> <li>• 去括號不需變號 (不需分配律)</li> <li>• 題目結構簡單</li> </ul>	30%	9%	7%
層次 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 含二個文字符號的乘法文字題</li> <li>• 去括號需變號</li> </ul>	3%	19%	19%
層次 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 含二個文字符號的除法文字題</li> <li>• 分配律去括號</li> </ul>	7%	46%	42%
層次 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 三個文字符號的關係式</li> <li>• 文字符號當作變數或文字符號代換</li> <li>• 題目結構複雜具有干擾性</li> </ul>	1%	8%	11%

從以上文獻的探討得知，中學生在文字符號概念的成就表現上普遍不甚理想。因此，學生對文字符號的了解情形仍是一個值得探討的主題。然而，數學之所以如此快速發展，是由於文字符號的普遍使用，如果學生對文字符號概念認知的層次提高，將會正面影響往後代數學習的成效。

### 三、錯誤類型及錯誤原因相關研究

早期的心理學家認為錯誤有二種：一種是由於不小心做錯而產生，稱為疏忽 (slips)；另一種是由於學習了錯誤的概念或程序而產生的，稱為系統性的錯誤 (systematic errors)。疏忽通常是注意力被分散所導致的，它的產生大多是不規則的，所以沒有引起太大的注意。系統性錯誤被認為是由於某種錯誤知識，或是缺乏某些必須知識而引起的，因此較受到研究者的重視。通過對系統性錯誤的研究，可以加深對整個學習過程的認識。

Ashlock (1990)，Brown & Burton (1978) 認為批改學生的數學作業不僅是一個分數而已，更要加以分析，因為導致學生錯誤的原因是錯綜複雜的，即使相同的錯誤，也可能是不同的訊息處理過程所導致。教師藉由這種錯誤的分析知道學生常犯哪些系統性的錯誤，在教學時便能採取適當的教學方法，來盡量避免學生產生迷思概念或錯誤解題策略。多項式四則運算的錯誤所牽涉的層面較廣，除了代數運算上的錯誤外，往往算術運算上的錯誤也是造成學生犯錯的主因之一，進而影響到多項式四則運算的學習。

#### (一) 算術運算錯誤類型的研究

Engelhardt (1982) 的研究指出，學生在算術上的錯誤大致有下列幾種類型：

1. 基本事實的錯誤 (Basic fact error)：例如： $4 + 3 = 8$ ， $6 \div 7 = 8$ 。
2. 使用不適當的逆轉 (Inappropriate inversion)：

例如： $43 - 19 = 36$  (所有位數的值皆以大數減小數)。

$23 \times 7 = 152$  ( $7 \times 3 = 21$ ，但學生弄混淆，把它想成是 12)。

3. 使用不正確的運算 (Incorrect operation)：例如： $2 \times 3 = 5$ ， $4 \div 2 = 8$ 。

4. 0 與 1 的錯誤：例如： $5 \times 1 = 1$ ， $1 - 0 = 0$ ， $3 \times 0 = 3$ ， $0 - 5 = 5$ 。

Engelhardt 將計算錯誤的原因分成四種類型：一、機械性的錯誤 (mechanical error)：機械性的錯誤是由於知覺動作困難所導致。例如：錯誤的符號或排列錯誤。二、粗心的錯誤 (careless error)。三、概念化的錯誤 (conceptual error)：概念化的錯誤是由於缺乏或不正確的概念與原則所導致。四、過程化的錯誤 (procedural error)：過程化的錯誤是因為錯誤的順序或不當的過程所導致。

江佳惠 (2001) 之研究指出，在個案班級教學前有些學生的基礎知識就已經有錯。劉天民 (1993) 針對高雄地區的國一生對於整數與分數四則運算錯誤類型及錯誤原因的研究。二人的研究，經歸納整理之後，錯誤類型如下：

1. 粗心的錯誤：

(1) 計算錯誤，例如： $3 + 4 = 6$ 。

(2) 二元運算逆轉，例如： $4^2 = 4 \times 4 = 8$ 。

2. 運算規則的錯誤：

(1) 沒有先乘除後加減。

(2)  $-A \pm B = -(A \pm B)$ 。

(3) 學生在進行加減法運算時，誤用乘法運算，例如： $3 + 4 = 3 \times 4 = 12$ 。

(4) 認為減法及除法具有交換律。

3. 不瞭解次方的意思：

(1)  $-3^2$  與  $(-3)^2$  會混淆。

(2) 將次方問題當作乘法問題，例如： $4^3 = 4 \times 3 = 12$ 。

4. 性質符號的錯誤：例如： $(-4) + (-3) = 3 + 4 = 7$ 。

$(-2) \times (-3) = -6$ 。

5. 括號的錯誤：

(1) 直接去括號，例如： $-(9 - 4) = -9 - 4 = -13$ 。

$11 - (-32 + 13) = 11 + 32 + 13$ 。

$-2 \times [7 + (-3)] = -2 \times 7 + (-3) = -14 + (-3) = -17$ 。

(2) 記憶保留效應，例如： $4^3 = 4 \times 4 \times 3$ 。 $28 + 34 = 64$ 。

6. 學生對四則運算的規則，運用不太恰當，忽略了先乘除後加減的規則，

例如： $36 + 9 \div 3 - 3 = 45$ 。

7. 學生在含零運算式中，誤用任何數乘以零等於任何數的錯誤運算規則。

## (二) 代數運算錯誤類型的研究

戴文賓 (1999) 以質的研究方法，先對 10 位國一後段班學生進行建構式教學實驗，並以晤談方式探試學生在解代數問題時所建構數學知識的行為，研究發現，國一學生在初學

代數時，有下列的錯誤類型：

1. 不了解代數式的意義：學生會把  $3x$  誤以為  $3 + x$ 。
2. 不了解同類項的意義與合併的規則：
  - (1) 只處理含有  $x$  項的同類項，認為常數項則不算同類項而沒有合併。  
例如： $3x + 4 + 5x + 3 = 8x + 4 + 3$ 。
  - (2) 不接受化簡至含加號或減號的代數式，也就是說答案只能為單項式。  
例如：不接受  $3x + 4$  為答案，以致繼續誤併不同類項，將  $3x + 4$  合併為「 $7x$ 」或「 $7$ 」。
  - (3) 誤以為  $x$  代表  $0x$ 。例如： $3x + x = (3 + 0)x = 3x$ 。
3. 含括號的化簡問題：
  - (1) 括號外的數字只和括號內的第一項相乘，忽略第二項。
  - (2) 括號外的數字若是負數，未隨著變號。
  - (3) 不曉得括號內的算式要和括號外的哪一項進行運算。例如： $-3x(5 - 2x)$ 。

陳創義、洪友情 (2003) 繼續探討郭汾派等人的研究內容，發現國中生文字符號運算主要錯誤類型有下列幾種：

1. 數字與符號的加與乘誤用。  
例如：3 加  $n+8$ ，學生答案為  $11n$ 。
2. 不同類項隨意合併。  
例如： $3a+5b$ ，學生答案為  $8ab$ 。  
錯誤原因：學生從學習算術的舊經驗認為相加就是要求出答案，而且認為答案必須是一個數或只有一項。因此把數字相加再把文字符號擺在一起，而得到上面錯誤的答案。
3. 括號隨意省略。  
例如：3 乘以  $n+8$ ，學生答案為  $3n+8$  或  $n+24$ 。  
錯誤原因：學生忽略了括號，錯誤地認為運算都是由左算到右，不必括號，或認為相乘時只能數字與數字相乘。
4. 括號的了解是不清楚的。  
例如： $4a - (b + a)$ ，學生答案為  $5a - b$ 。  
錯誤原因：直接去括號， $-(b + a) = -b + a$ 。
5. 數字與文字分開運算，且忽略係數 1。  
例如： $3x - x = ?$  學生答案為 3。
6. 對於數與分數的乘法不甚了解，影響到文字符號的運算。  
例如：如果  $a$  是任意數， $b$  是任意非零的數，那麼  $2 \cdot \frac{a}{b}$  與下列哪些數相等？

學生答案為  $2 + \frac{a}{b}$  或  $\frac{2a}{2b}$ 。

錯誤原因：選答  $2 + \frac{a}{b}$  是受帶分數  $2\frac{3}{8} = 2 + \frac{3}{8}$  的影響。

## 參、系統設計與實作

本系統嘗試設計一個針對基礎數學學習者的線上評量與迷思概念導正工具。學習者在解題過程中犯錯但不知道原因，可以利用此工具來診斷迷思概念。它能解析出題目中相關的數學概念，輔助教學工具能給予協助與導正。

### 一、系統架構

本研究經評估教學實驗之 e 化環境後，決定使用動態網站開發技術，來控制 HTML 文件的文件物件模型 (Document Object Model)，用 CSS 處理樣式資訊，以及使用用戶端的 JavaScript 指令語言，實作一個線上評量與迷思概念導正工具，系統架構如下圖 3.1。發展的工具主要可區分為兩部份：

- (一) 靜態教材的流覽：學習者可以複習課本上的教材內容。
- (二) 動態導正迷思概念：學習者可以輸入多項式四則運算的題目。經過解析後，分別針對分配律、去括號和同類項合併的數學概念進行測驗，當學習者有迷思概念時，系統能產生一份診斷書並即時告知錯誤的原因，以導正學生的認知過程。

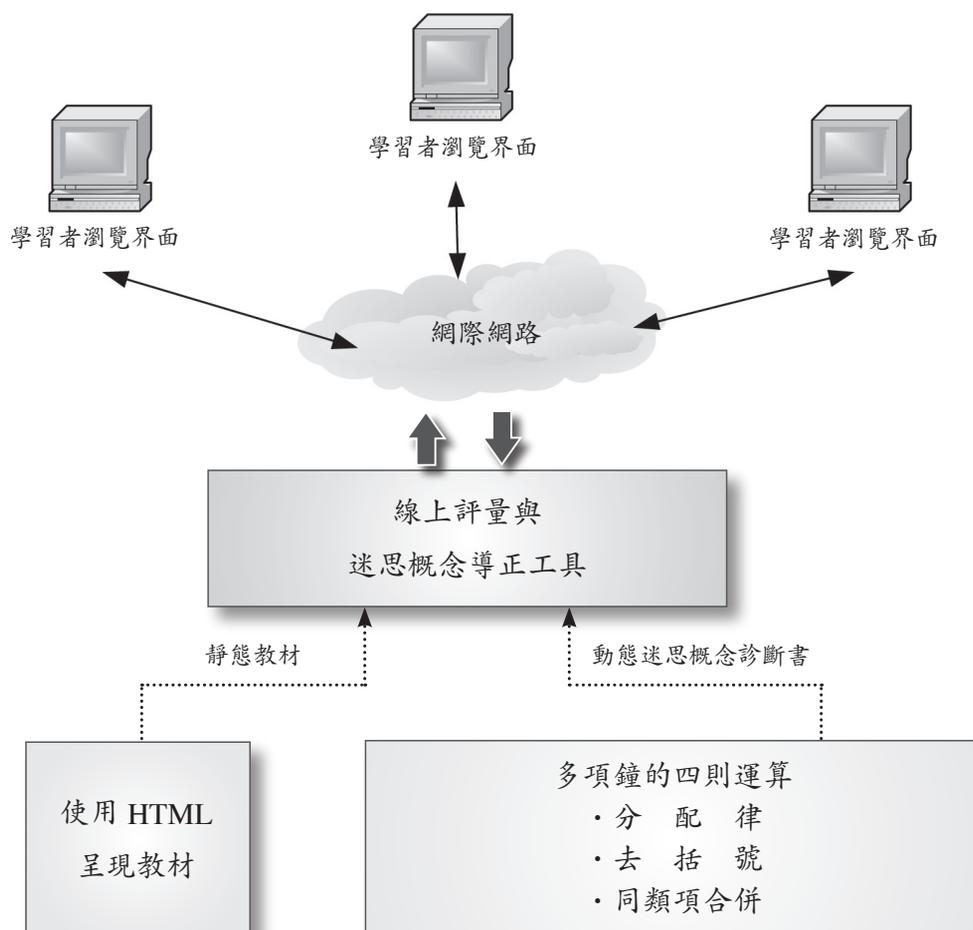


圖 3.1 系統架構圖

## 二、系統設計

知識是經由學習的過程中慢慢累積形成的，構成知識的最小組織單元稱為概念，如果能夠針對學習者在學習的過程中可能犯下的錯誤來加以分析，找出產生錯誤認知的迷思概念，進而對症下藥，相信學習的過程會較為輕鬆有自信。本研究開發的系統，將文獻探討所提及的多項式四則運算式的錯誤類型做為基礎，設計一個針對基礎數學學習者的線上評量與迷思概念導正工具。在數學題目的解題過程通常包含數個步驟，學習者每完成一個步驟，便是了解問題的意義並內化，建構起學習的思考鷹架。本工具能在整個解題歷程中，即時且持續性的介入協助，達到自我診斷與自我學習之目的。

### (一) 系統開發過程

本系統參考 ADDIE 教學設計模式，作為教學環境開發之參考。ADDIE 模式是 Seels & Richey (1994) 所提出，五個步驟與進行之工作如下表 3.1 描述：

表 3.1 系統開發各階段的工作內容

階段	工作內容
分析	學習者對於數學概念的學習，錯誤的類型雖然因人而異，但經過整體歸納仍是具有重複性。有些學生對於自己的問題不敢發問，或是不知從何問起？數學的概念是具有階層性，一個概念的迷思，會影響未來相關概念的學習，如何有效地導正學生的迷思概念，是數學教師相當重視的問題。
設計	根據分析階段的需求分析及欲解決的問題，希望設計一個線上評量與迷思概念導正工具。學習者可以不受時、空限制進行數位學習。學生對於自己的錯誤，因為多一個學習的管道，而多一個學習機會。
發展	此階段主要是系統程式的撰寫，教學的策略是幫助學習者針對個人的迷思概念進行導正。程式的範例說明，會動態地根據學習者的輸入，產生相同數值資料的說明，用來增加親和力，彷彿一位客製化的學習小幫手。
執行	將開發的線上評量與迷思概念導正工具，請某班級導師推薦數學學習成就高、中、低各一位學生，進行系統的測試。對於無法獲得系統協助的錯誤答案，加以記錄並歸類，以作為程式修正的重要依據。
評鑑	採用準實驗研究法，以筆者任教的二個班級為研究對象。一班為實驗組實施線上評量與迷思概念導正工具進行補救教學；另一班為控制組是採用傳統講述式的教學方法進行補救教學。教學實驗後，兩組實施數學學習成就後測評量，藉此了解系統對於補救教學的成效。

### (二) 系統開發背景知識

研究者以 JavaScript 技術，開發一個針對基礎數學學習者的線上評量與迷思概念導正工具，以康軒文教事業出版的第一冊數學教科書為藍本，在第三章第二節式子的化簡，針對分配律、同類項合併、去括號三個主要單元進行迷思概念導正。

#### 1. 分配律的迷思概念導正

在數學教科書的衆多版本中，如果有提到分配律的概念時，大致的敘述如下：當  $a$ 、 $b$  與  $c$  分別代表正數或是負數時，有下列規則：一、 $(a + b) \times c = a \times c + b \times c$ 。二、 $a \times (b + c) = a \times b + a \times c$ 。有些同學看到分配律的定義、例題的示範演練以及老師的教導後，便能舉一反三而輕鬆解決其它的類題。有些同學因為迷思概念的原因，造成學習上的困擾。茲將分配律錯誤類型說明如下：

(1) 題目出現分配律  $a \cdot (bx + c)$  的概念， $a$  為正數

學生在  $a$ 、 $b$  與  $c$  皆為正數時，錯誤類型較為單純，常見的錯誤就是在計算  $a \cdot bx$  ( $a$  乘以括號內的第一項  $bx$ ) 時，算出  $a \cdot b$  之值後遺漏了未知數  $x$ 。還有應該計算  $a \cdot c$  ( $a$  乘以括號內的第二項  $c$ ) 時，第二項  $c$  沒有乘以  $a$ 。其它的錯誤類型說明如下表 3.2。

表 3.2 分配律概念的錯誤類型， $a$  為正數

	分配律	錯誤類型	錯誤原因
一	$a \cdot (bx + c) = ?$	$a \cdot b + a \cdot c$	學生注意力集中於 $a \cdot b$ ，算出 $a \cdot b$ 之值後遺漏了未知數 $x$ 。
	$5 \cdot (3x + 2) = ?$	$15 + 10$	
	$5 \cdot (-3x + 2) = ?$	$-15 + 10$	
二	$a \cdot (bx + c) = ?$	$a \cdot bx + c$	括號內的第二項沒有乘以括號前面的常數項 $a$ 。
	$5 \cdot (3x + 2) = ?$	$15x + 2$	
	$5 \cdot (-3x + 2) = ?$	$-15x + 2$	
三	$a \cdot (bx + c) = ?$	$a \cdot  b  x + ac$	學生注意力集中於 $a \cdot  b $ ，算出 $a \cdot  b $ 之值後無判別性質符號。
	$5 \cdot (-3x + 2) = ?$	$15x + 10$	

(2) 題目出現分配律  $a \cdot (bx + c)$  的概念， $a$  為負數

當  $a$  為負數時，常見的錯誤是在計算  $a \cdot bx$  ( $a$  乘以括號內的第一項  $bx$ ) 時，算出  $a \cdot b$  之值後遺漏了未知數  $x$ ，或是忽略性質符號的判別。而在計算  $a \cdot c$  ( $a$  乘以括號內的第二項  $c$ ) 時，第二項  $c$  沒有乘以  $a$ 。或是忽略性質符號的判別，經常沿用原本括號內的運算符號，這也是學生犯錯比例較高的情況。其它的錯誤類型說明如下表 3.3。

表 3.3 分配律概念的錯誤類型， $a$  為負數

	分配律	錯誤類型	錯誤原因
一	$a \cdot (bx + c) = ?$	$a \cdot b + a \cdot c$	學生注意力集中於 $a \cdot b$ ，算出 $a \cdot b$ 之值後遺漏了未知數 $x$ 。
	$-5 \cdot (3x + 2) = ?$	$-15 - 10$	
二	$a \cdot (bx + c) = ?$	$ a  \cdot bx + ac$	學生注意力集中於 $ a  \cdot b$ ，算出 $ a  \cdot b$ 之值後無判別性質符號。
	$-5 \cdot (3x + 2) = ?$	$15x - 10$	
	$-5 \cdot (-3x + 2) = ?$	$-15x - 10$	
三	$a \cdot (bx + c) = ?$	$a \cdot bx + c$	括號內的第二項沒有乘以括號前面的常數項 $a$ 。
	$-5 \cdot (3x + 2) = ?$	$-15x + 2$	
四	$a \cdot (bx + c) = ?$	$a \cdot bx +  a  c$	括號內的第二項 $c$ 乘以括號前面 $ a $ 時，無判別性質符號。
	$-5 \cdot (3x + 2) = ?$	$-15x + 10$	
	$-5 \cdot (-3x - 2) = ?$	$15x - 10$	

## 2. 同類項合併的迷思概念導正

當學生了解定義後，二個同類項合併時，要將相同文字符號前面的數先作加法或減法的運算，再乘以文字符號，例如： $2x - 4x = (2 - 4)x$ 。此時，最重要的事情就是對於整數的加減運算是否熟悉？或已經存有迷思概念而不自知。

茲將同類項合併概念的錯誤類型說明如下：

### (1) 題目出現同類項合併 $ax + bx$ 的概念

在同類項合併的過程中，當運算符號為加法時，學生較常犯的錯誤是正數與負數的加法運算，因為計算前需要先正確地判斷最終的性質符號。例如： $-15x + 6x = -(15 - 6)x$ ， $-5x + 16x = +(16 - 5)x$ 。其它的錯誤類型說明如下表 3.4。

表 3.4 同類項合併概念二項相加的錯誤類型

	同類合併 $ax + bx$	錯誤類型	錯誤原因
一	$5x + 6x = ?$	$5 + 6$	學生注意力集中於 $a + b$ ，算出 $a + b$ 之值後遺漏了未知數 $x$ 。
二	$-15x + 6x = ?$	$-(15 + 6)x$	在整數的四則運算中，學生已有的迷思概念 $-15 + 6 = -(15 + 6) = -21$ 。
三	$-15x + 6x = ?$	$(15 - 6)x$	學生不管性質符號，直接將 $ a $ 與 $ b $ 中的大數減去小數。
四	$-15x + 36x = ?$	$-(36 - 15)x$	$a$ 的性質符號為 $(-)$ ，學生認為最後答案必為負數。

### (2) 題目出現同類項合併 $ax - bx$ 的概念

在同類項合併的過程中，當運算符號為減法時，學生較常犯的錯誤是減去負數的運算。課本對於整數減法的敘述如下：當減去一個負數時，就是加上該數的相反數，例如： $-15x - (-6x) = -15x + 6x$ 。如果只看文字的說明，也常讓犯錯的學生產生學習上的困擾。其它的錯誤類型說明如下表 3.5。

表 3.5 同類項合併概念二項相減的錯誤類型

	同類合併 $ax - bx$	錯誤類型	錯誤原因
一	$-15x - 6x = ?$	$-(15 - 6)x$	在整數的四則運算中，學生已有的迷思概念 $15 - 6 = -(15 - 6) = -9$ 。
二	$-15x - 6x = ?$	$-15 - 6$	學生注意力集中於 $a - b$ ，算出 $a - b$ 之值後遺漏了未知數 $x$ 。
三	$15x - 36x = ?$	$(36 - 15)x$	學生直接將大數減去小數。
四	$-15x - 6x = ?$	$(15 + 6)x$	學生注意力集中於 $ a  +  b $ ，算出 $ a  +  b $ 之值後遺漏了性質符號 $(-)$ 。

### 3. 去括號的迷思概念導正

在數學教科書的眾多版本中，如果有提到去括號的概念時，大致的敘述如下： $-(a - b) = -a + b$ ， $-(a + b) = -a - b$ ， $-(-a + b) = a - b$ ， $-(-a - b) = a + b$ ，學生雖然看得懂說明，但經常是試卷批改後才知道錯誤之處。去括號的概念，算是分配律概念的一種特例，在  $a \cdot (bx + c)$ ，其  $a = +1$  或  $a = -1$ 。教師可以使用分配律的教學法，或是要求學生記住去括號的規則。對於  $+(ax + b)$  或  $+(ax - b)$  學生不太會犯錯，因為括號可以直接去掉。而對於  $-(ax + b)$  或  $-(ax - b)$  學生較容易出錯，特別是當  $a$  或  $b$  為負數時。去括號錯誤類型說明如下表 3.6。

表 3.6 去括號概念的錯誤類型

	去括號	錯誤類型	錯誤原因
一	$-(ax + b) = ?$ $-(3x + 2) = ?$	$-ax + b$ $-3x + 2$	括號內的第二項沒有改變性質符號，沿用原本括號內的運算符號。
二	$-(ax - b) = ?$ $-(3x - 2) = ?$	$-ax - b$ $-3x - 2$	括號內的第二項沒有改變性質符號，沿用原本括號內的運算符號。

### 4. 其它的迷思概念導正

從文獻探討歸納整理出較為另類的迷思概念，以及在系統測試時，請某班級導師推薦數學學習成就高、中、低各一位學生在使用系統後，對於無法獲得系統協助的錯誤答案，研究者加以記錄來增加程式的背景知識（如下表 3.7）。

表 3.7 其它迷思概念的錯誤類型

	錯誤類型	錯誤原因
一	$3 + 2x = 5x$ $2x + 3 = 5x$	學生認為計算的最後結果應該只有一個項，將目光所及數值 3 與 2 加在一起得到 5，後面再加上 $x$
二	$5x - x = 5$	學生認為 $5x - x = 5$ ，因為 $x - x$ 之後就消失了。

## 三、系統實作

本研究所開發的一個針對基礎數學學習者的線上評量與迷思概念導正工具，採用 HTML 語言與 JavaScript 技術，學習者只要能用瀏覽器便能進行線上補救教學。用 HTML 語言讓網頁呈現靜態教材，為了提高網頁的互動性採用 JavaScript 程式語言。

### (一) JavaScript 網頁製作

JavaScript 早期是由 Netscape Communications 公司所開發的一種解譯式程式語言，專門用在網頁中，並在用戶端的電腦執行，以提高網頁的互動性為主要目標。JavaScript 語言可以產生各種不同的物件，以及與物件相關的方法與性質，所以此種語言可以說是「物件基礎」(Object-based) 的程式語言，但並不是「物件導向」(Object-oriented)，因為它在物件方面的功能並沒有像 C++ 那麼完備。此外，JavaScript 屬於底稿式語言 (Scripting

Language)，相關的特性可以說明如下：一、基於安全性的主要考量，除了讀寫 Cookie 之外，JavaScript 並無法讀取用戶端的檔案或硬碟。二、使用變數時，不需要宣告變數型態，JavaScript 會自動決定。三、對於不同的資料型態（如字串與數值），JavaScript 可以根據不同情況，自動進行資料型態的合理轉換。

字串屬於 JavaScript 的基本資料型態，字串變數本身就是一種 String 物件。提供的屬性 length 可以取得字串的長度。在字串處理時如果需要取得字串中指定位置的字元，可以使用方法 charAt(index) 取得指定位置 index 的字元。String 物件提供多種功能強大的子字串搜尋方法，可以輕鬆的在字串中搜尋所需的子字串。也可以取代、分割和取出字串中所需的子字串。本系統主要相關的方法和說明如下表 3.8 所示。

表 3.8 String 物件對字串的方法

方 法	說 明
indexOf(string, index)	傳回第一次搜尋到字串 string 的索引位置，如果沒有找到傳回 - 1，index 為搜尋的起始索引位置
lastIndexOf(string)	同 indexOf() 方法，不過是從尾搜尋到頭的反向搜尋
substr(index, length)	從 index 開始取出 length 個字元
substring(index1, index2)	取出 index1 到 index2 之間的字字串

## (二) 多項式四則運算的迷思概念導正

爲了讓學習者在多項式四則運算單元的補救教學順利進行，線上評量與迷思概念導正工具主要共有六個模組：一、數學語意解析模組。二、分配律導正模組。三、去括號導正模組。四、同類項合併導正模組。五、整數運算導正模組。六、其它迷思概念導正模組。以下只詳述一、數學語意解析模組。二、分配律導正模組。其它各模組採用相同的概念。

### 1. 數學語意解析模組

學習者輸入數學的題目按送出鈕提交後，會以字串的方式傳遞至數學語意解析模組。模組的主要功能是解析字串中的數學概念，目前的功能可以解析多項式四則運算化簡所需的主要概念，包括：同類項合併的概念、分配律的概念、去括號的概念、整數運算的概念、單一未知數與整數之間加減運算的概念。

例如：當學習者在練習的題目表單中輸入題目  $-x + 2 - 3(x - 7) = ?$  數學語意解析模組解析出字串中含有分配律的概念，先指定全域變數 Type 的整數值爲 2，再將分配律的概念  $-3(x - 7)$  可利用 <div> 標籤來掌控插入資料的位置 (圖 3.2 箭頭所指向的分配律的概念： $-3(x - 7)$ )。此時學習者是看不到答案表單的，以免學習環境太雜亂而影響注意力。數學語意解析模組利用 JavaScript 程式碼進行表單的控制、存取物件的屬性和方法，更改屬性後學習者就會看到可以輸入答案的表單。輸入答案後以滑鼠左鍵壓送出按鈕，根據 Type 的整數值爲 2，將答案表單的內容送至分配律導正模組，完成工作。

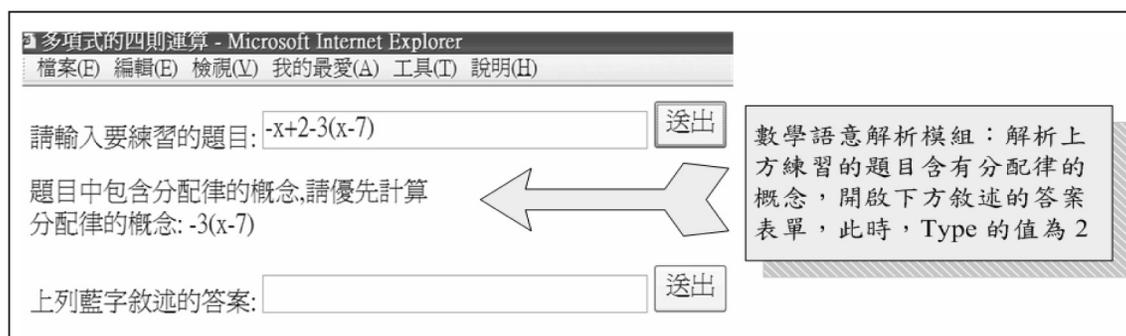


圖 3.2 數學語意解析模組的功能

## 2. 分配律導正模組

當數學語意解析模組傳遞了包含分配律概念的字串後，分配律導正模組將擷取進行分配律運算所需的各項，例如： $a(bx+c)$ ，需擷取  $a$ ，若  $a$  為負數則須包含性質符號。需擷取  $bx$ ，用指令 `ParseInt()` 轉換成整數的格式。最後擷取常數項  $c$ ，須包含運算符號。每一項的數值儲存於變數，程式會先計算一份正確的答案，當學習者在答案表單輸入答案並按送出鈕後。分配律導正模組會將兩份答案進行比對，學習者的錯誤答案，能持續且即時地受到導正。

例如：當學習者在練習的題目表單內容，輸入題目  $-5(8-x)-18x+18=?$  分配律導正模組擷取題目中含有分配律概念  $-5(8-x)$  的字串，先計算出正確的答案  $-40+5x$ 。當學習者在答案表單中輸入  $-40-x$  並按送出按鈕後。分配律導正模組將正確的答案  $-40+5x$  與學習者的答案  $-40-x$  進行比對，讓學習者從測驗中立即檢視自己的概念是對或錯。學習者可能輸入多次的錯誤答案，但是都能得到需要的提示來重新思考問題的答案，得以延續「評量—教學—再評量」的循環歷程，說明如下圖 3.3。

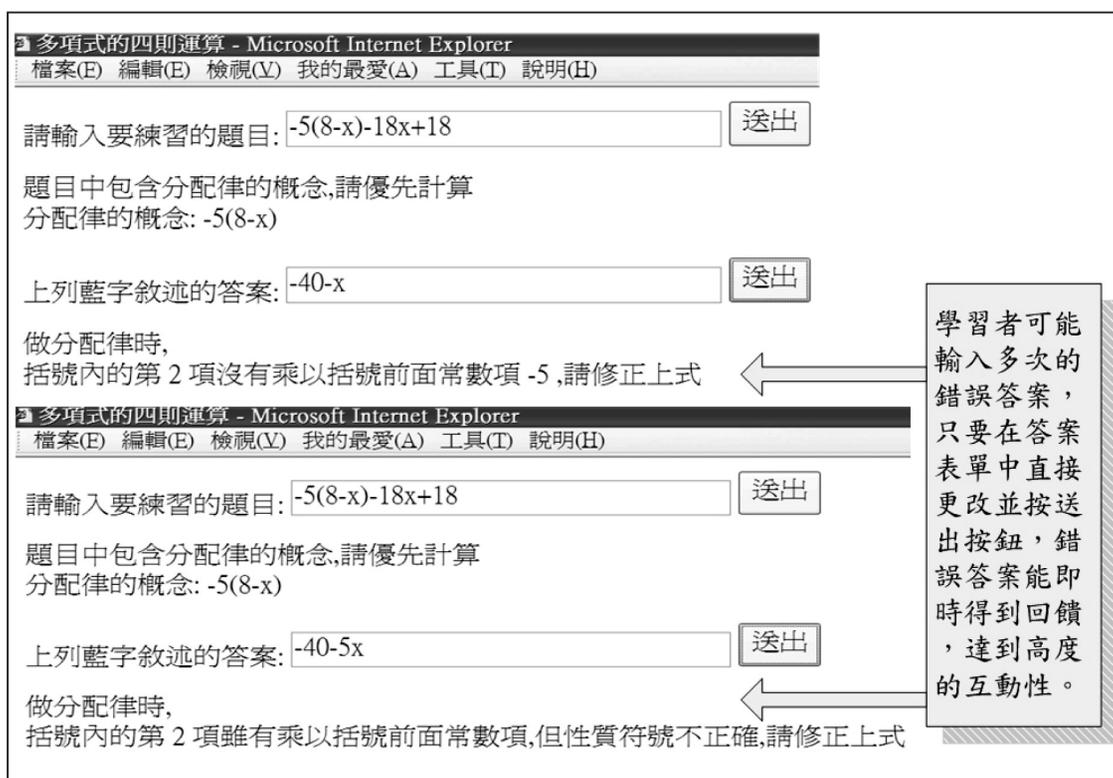


圖 3.3 分配律概念的導正

當學習者能輸入正確答案  $-40 + 5x$ ，表示已學會分配律的概念。接下來，分配律導正模組會結合原先收集的其它剩餘字串  $-18x + 18$ ，組合成  $-40 + 5x - 18x + 18$ 。此時，學習者是看不到步驟 1 化簡後的算式表單。同樣利用 JavaScript 程式碼進行表單的控制，更改屬性後學習者就會看到經過步驟 1 化簡後的算式表單，而字串  $-40 + 5x - 18x + 18$  也被送至化簡後的算式表單內容，如下圖 3.4 所示。呈現出的效果，就像學生在紙筆測驗的計算題中，計算過程的第一個步驟， $-5(8-x) - 18x + 18 = -40 + 5x - 18x + 18$ 。學習者按送出按鈕後，化簡後的算式  $-40 + 5x - 18x + 18$  將被傳遞至數學語意解析模組重新進行字串的解析，繼續完成計算過程的第二個步驟。

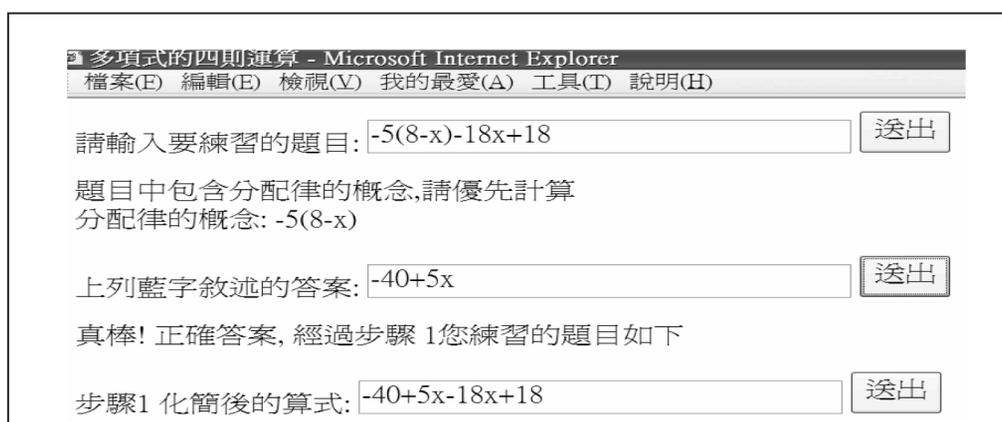


圖 3.4 分配律概念導正後的算式

## 肆、系統成效實驗與討論

### 一、實驗設計

基於實際學校行政上的考量，無法對研究對象作隨機抽樣與分派。因此以現有情境做最有效的控制，將自然形成完整團體的隨機受試者，分派實驗處理的設計，稱為準實驗設計（王文科，1993）。本研究採用準實驗不等組前後測設計（表 4.1），探討以線上評量與迷思概念導正工具對現今國民中學多項式四則運算的教學是否有助益。

#### （一）研究設計

本實驗的自變項為「教學方法」，教學時間共五週，每週二節課。實驗組與控制組的數學學習成就之前測，以國一時的六次段考平均成績代替作為共變項。

表 4.1 準實驗設計模式

組別	(前測)	實驗處理	(後測)
實驗組	T1	X1	T2
控制組	T3	X2	T4

各代號之含義，說明如下：

- T1：表示實驗組數學學習成就前測成績。  
T3：表示控制組數學學習成就前測成績。  
X1：使用線上評量與迷思概念導正工具進行補救教學。  
X2：使用傳統式的講述教學進行補救教學。  
T2：表示實驗組多項式四則運算學習成就後測評量成績。  
T4：表示控制組多項式四則運算學習成就後測評量成績。

## (二) 研究變項

依據上述研究設計中所包含之研究變項，分述如下：

1. 自變項是教學方法：本研究的自變項為教學方法，實驗組接受線上評量與迷思概念導正工具來進行補救教學，而控制組將以傳統式的講述教學方式來進行補救教學。
2. 依變項是後測評量：本研究的依變項是指兩組受試者所實施的多項式四則運算學習成就後測評量成績的變化情形。
3. 控制變項：為因應其它干擾本實驗效果的因素，本研究採取下列措施：
  - ◆ 起點行為：將實驗組和控制組於國一時的六次段考平均成績進行獨立樣本 t 考驗，得知兩組學生無顯著之差異，故兩組之起點行為相同。
  - ◆ 授課教師：實驗組和控制組之授課教師皆為研究者本人，且本研究之後測皆由研究者親自施測與閱卷。此外，為避免控制組知道這是教學實驗，將引起其與實驗組比較而特別努力所造成的強亨利效應 (The John Henry effect)。也要防止實驗組產生的霍桑效應 (Hawthorne effect)。所以，於教學實驗階段兩組學生皆是在未被告知的自然情形下進行。

## 二、研究工具

本研究之研究工具計有線上評量與迷思概念導正工具、多項式四則運算學習成就後測評量共二種，詳細說明如下：

### (一) 線上評量與迷思概念導正工具

本系統利用 JavaScript 及 HTML (Hyper Text Markup Language) 來設計，學習者透過瀏覽器，便能擁有一個數學解題的補救教學工具，且學習環境是不受空間和時間所限制，可幫助實施補救教學。

### (二) 多項式四則運算學習成就後測評量

試版本之測驗試題共有計算題 80 題，分成四份試卷，每份試卷 20 題，總分皆為 100 分。預試學生樣本為臺中縣大甲國中一年級 18 班的學生，共計 35 名，預試時間為每份試卷 45 分鐘，在連續四堂課內完成。每次預試後，將每位學生之測驗分數由高至低依序排列，然後把得分最高與得分最低的受試者各取全體人數的 25% ~ 33% 定為高分組與低分組。

將測驗中的每一小題分別計算高分組答對人數的百分比 ( $P_H$ ) 與低分組答對人數的百分比 ( $P_L$ )，進而算出每一題的難度  $(P_H + P_L) / 2$  及鑑別度  $(P_H - P_L)$ 。美國測驗學者 Ebel (1979) 曾提出一套鑑別度的評鑑標準，其中認為鑑別度在 0.40 以上的題目堪稱非常優良。至於試題難度，以接近 0.50 最為適宜，但是 Ahmanan & Glock (1981) 認為要找到所有題目的難度都接近 0.50，事實上是有困難的，故主張以 0.40 至 0.70 為試題難度選擇的標準。最後，經預試後，將不符合上述標準的題目予以刪除。將保留的題目重新組卷，並採用越來越難的試題編排原則，最後即得後測評量的正式版本共五份，每一份試題共 10 題，總分為 100 分。

### 三、研究對象

在研究過程當中，針對三組不同的對象，分別進行相關的工作，茲分述如下：

#### (一) 線上評量與迷思概念導正工具的測試樣本

為求整個線上評量與迷思概念導正工具能夠順利進行，由一年級某班之導師推薦該班數學學習成就高、中、低的學生各一名，共三名學生先行接受線上評量與迷思概念導正工具進行補救教學。藉此了解系統是否有須修改及調整之處，並據以進行修正。測試過程中研究者先簡單說明系統操作方式五分鐘，緊接著受試者操作電腦系統進行補救教學。受試者操作練習期間除由研究者進行觀察學習過程之外，亦鼓勵受試者隨時提出個人意見。

#### (二) 多項式四則運算學習成就後測評量預試樣本

為求能有效且可靠地測試出學生之多項式四則運算概念的學習成就，預試學生樣本為臺中縣大甲國中一年級 18 班的學生，共計 35 名，接受多項式四則運算學習成就後測評量的預試工作，藉此挑選難度適中且具鑑別度的試題。

#### (三) 準實驗研究樣本

本實驗之研究樣本為臺中縣立大甲國中一年級的學生，以研究者本身任教的一年級 5 班與 7 班為對象。研究者任教學校，全校一年級共有 21 班，屬於規模較大的學校，學生入學時除美術班一班，其餘皆為常態編班。本實驗中之研究樣本雖無法以隨機分派之方式取得，但卻不失為一個常態編取的樣本。

### 四、研究結果

#### (一) 資料處理與分析

本研究共獲得二種資料，第一種為數學學習成就前測成績，是以學生於國一時的六次段考平均成績代替。第二種為多項式四則運算學習成就後測評量成績，共計五次。採用統計軟體 SPSS 13.0 版進行統計分析工作，採用資料分析之統計方法計有描述性統計、獨立樣本 t 考驗以及單因子共變數分析 (ANCOVA)，以下資料之分析處理會將  $\alpha$  值 (顯著

水準) 設定在 0.05。

以獨立樣本 t 考驗，來了解實驗組及控制組在實驗處理之前是否具有相同的起點行為。林清山 (1998) 說明資料處理的方法，必須符合二項基本假設：其一為兩樣本來自的母群分配是常態，另一為兩個母群的變異數要相等，即  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$

以共變數分析 (ANCOVA)，以了解實驗組及控制組在實驗處理之後，在數學學習成效上是否有差異。

## (二) 分析結果與討論

本節將多項式四則運算學習成就後測評量的成績，總計五次，進行統計分析。希冀能了解，經由線上評量與迷思概念導正工具進行補救教學的實驗處理，與傳統講述式進行補救教學，兩組在數學學習成效上，會不會有所差異？

### 1. 數學學習成就前測成績獨立樣本 t 檢定

本研究擬考驗的虛無假設 (null hypothesis)：實驗組與控制組學生在數學學習成就的前測成績，兩組無顯著差異。實驗組與控制組的「數學學習成就前測」是以學生於國一時的六次段考平均成績代替，進行獨立樣本 t 檢定。藉以比較兩組學生在數學學習成就前測成績上是否達顯著性差異，用來判斷學生的起點條件是否相同。經由統計處理，所得之結果如表 4.2 所示，茲分析如下：由此表發現兩組學生於進行教學實驗前，在數學學習成就方面，實驗組平均分數為 51.97 分，控制組平均分數為 47.09 分。變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ( $F = .004, p = .953 > .05$ )，表示這兩組樣本的離散情形無明顯差別。而由 t 值與顯著性，發現考驗結果未達顯著  $t(70) = 1.070, p = .288 > .05$ ，不否定虛無假設。即表示兩組在進行教學實驗前，實驗組與控制組的起點行為是相同的。

表 4.2 兩組學生前測成績獨立樣本 t 檢定分析摘要表

組別	實驗組			控制組			t	顯著性
	人數	平均	標準差	人數	平均	標準差		
前測成績	36	51.97	19.16	36	47.09	19.48	1.070	0.288

### 2. 第一次後測評量成績單因子共變數分析

兩組學生未進行教學實驗前，數學學習成就前測成績經獨立樣本 t 檢定得知未達顯著性差異，表示兩組學習成就起始條件相同。Huck (1972) 提出，即使兩組前測沒有差異，使用共變數分析可以提高檢定力 (引自范德鑫，1992)。因此本研究雖然前測未達顯著性差異，仍採用單因子共變數分析，以提高檢定力。

本研究以「教學方法」為自變項，數學學習成就前測成績為共變量，多項式四則運算學習成就後測評量成績為依變項，進行單因子共變數分析。因為後測評量成績共計五次，以下詳細說明第一次，後四次會採用相同的統計方法。進行分析前要先檢定兩組在多項式四則運算學習成就後測評量的第一次成績，其組內迴歸係數同質性考驗。

表 4.3 兩組學生第一次後測評量成績，組內迴歸係數同質性考驗分析

變異來源	SS'	Df	MS'	F	p
教學法	2878.362	2	1439.181	2.841	.065
共變量 (前測)	35057.433	1	35057.433	69.208	.000
教學方法 * 前測	.037	1	.037	.000	.993
誤差	34445.274	68	506.548		
校正後的總數	475600.000	72			

由上表 4.3 得知多項式四則運算學習成就後測評量成績，在迴歸係數同質性結果得知  $F = .000$ ， $p = .993 > .05$  未達顯著水準，表示兩組間的迴歸線的斜率相同，符合共變數分析中組內迴歸係數同質性的假設，可繼續進行共變數分析。排除共變量 (前測) 對依變項 (後測評量) 的影響力後。自變項 (教學方法) 對依變項所造成的實驗處理效果，其  $F = .161$ ， $p = .689 > .05$  未達顯著水準，如表 4.4 所示。表示實驗組接受線上評量與迷思概念導正工具進行補救教學，與控制組接受傳統講述式進行補救教學，兩組學生在多項式四則運算學習成就後測評量的第一次成績，沒有因為教學方法的不同，而有顯著的差異存在。

表 4.4 兩組學生第一次後測評量成績，單因子共變數分析摘要表

變異來源	SS'	df	MS'	F	p
共變量 (前測)	35065.800	1	35065.800	70.243	.000
教學法	80.437	1	80.437	.161	.689
誤差	34445.311	69	499.207		
校正後的總數	70600.000	71			

### 3. 第二~五次後測評量成績單因子共變數分析

#### (1) 第二~五次後測評量成績，組內迴歸係數同質性考驗

由下表 4.5 得知多項式四則運算，學習成就後測評量成績的迴歸係數同質性結果如下：第二次  $F = .009$ ， $p = .924 > .05$ ，第三次  $F = 1.015$ ， $p = .317 > .05$ ，第四次  $F = .214$ ， $p = .645 > .05$ ，第五次  $F = .013$ ， $p = .911 > .05$ ，第二~五次皆未達顯著水準。表示兩組間的迴歸線的斜率相同，符合共變數分析中組內迴歸係數同質性的假設。

表 4.5 兩組學生第二～五次後測評量成績，組內迴歸係數同質性考驗分析

第二次數學學習成就後測評量					
變異來源	SS'	Df	MS'	F	p
教學法 * 前測	4.979	1	4.979	.009	.924
第三次數學學習成就後測評量					
變異來源	SS'	Df	MS'	F	p
教學法 * 前測	553.670	1	553.670	1.015	.317
第四次數學學習成就後測評量					
變異來源	SS'	Df	MS'	F	p
教學法 * 前測	99.642	1	99.642	.214	.645
第五次數學學習成就後測評量					
變異來源	SS'	Df	MS'	F	p
教學法 * 前測	6.119	1	6.119	.013	.911

## (2) 第二～五次後測評量成績，單因子共變數分析

排除共變量（前測）對依變項（後測評量）的影響力後。自變項（教學法）對依變項所造成的實驗處理效果。第二次成績，其  $F = .151$ ， $p = .689 > .05$  未達顯著。第三次成績，其  $F = 1.999$ ， $p = .162 > .05$  未達顯著。第四次成績，其  $F = .090$ ， $p = .766 > .05$  未達顯著。第五次成績，其  $F = 5.351$ ， $p = .024 < .05$  已達顯著，如表 4.6 所示。實驗組接受線上評量與迷思概念導正工具進行補救教學，與控制組接受傳統講述式進行補救教學，兩組學生在多項式四則運算學習成就後測評量的第一～五次成績，直到第五次，因為教學方法的不同，而有顯著的差異存在。

表 4.6 兩組學生第二～五次後測評量成績，單因子共變數分析摘要表

第二次數學學習成就後測評量成績					
變異來源	SS'	Df	MS'	F	p
教學法	82.042	1	82.042	.151	.698
第三次數學學習成就後測評量成績					
變異來源	SS'	Df	MS'	F	p
教學法	1090.762	1	1090.762	1.999	.162
第四次數學學習成就後測評量成績					
變異來源	SS'	Df	MS'	F	p
教學法	41.125	1	41.125	.090	.766
第五次數學學習成就後測評量成績					
變異來源	SS'	Df	MS'	F	p
教學法	2341.049	1	2341.049	5.351	.024

## 伍、結論與建議

本章將本研究所獲得之結果加以歸納，並依據本研究之目的與資料分析結果，提出下列結論與建議。

### 一、結論

本研究之結論歸納如下：

(一) 線上評量與迷思概念導正工具，可診斷不同類型之錯誤，學習者隨時隨地皆能進行適性化之補救教學。

學生透過線上評量與迷思概念導正工具，讓數學概念變成可具體操作，在工具的輔助下得以延續「評量—教學—再評量」的循環歷程。該工具有別於在傳統教室用講述方式來進行補救教學，除了給學生新鮮感，亦因迷思概念所產生的錯誤類型得到適切的教導，激勵學生持續學習數學的意願。

(二) 接受線上評量與迷思概念導正工具進行補救教學的學生，在學習成就測驗上的表現會高於接受傳統講述式進行補救教學的學生。

本研究經由單因子共變數分析發現，實驗組的學生經由線上評量與迷思概念導正工具進行補救教學後，在多項式四則運算五次成就測驗的表現上，前四次與控制組接受傳統講述式進行補救教學的學生，在數學成就測驗的表現無顯著差異。但第五次實驗組數學學習成就測驗上的表現高於接受傳統講述式進行補救教學的學生。其顯示之意涵為要改變學生既有的迷思概念不是短期內可達成的。此一現象正突顯了線上評量與迷思概念導正工具，在長時間的教學輔導過程中，可降低教學者負擔方面的價值。

### 二、建議

根據本研究的過程及結論，在教學及未來研究上提出以下幾點建議：

(一) 對教師教學上之建議

1. 在九年一貫課程的彈性時間或課後及寒暑假輔導時，可考慮使用線上評量與迷思概念導正工具來幫忙進行補救教學的工作，教師將減輕工作省下的時間，可用來個別教導具特別學習障礙的學生。
2. 學生的迷思概念是多樣性，常常令人出乎意料之外。教師必須了解學生學習新概念時可能會有的迷思概念，配合適當的教學策略，才能讓學生得到正確與有意義的數學概念。

## (二) 未來研究的方向

### 1. 程式語言的選取

本研究所開發之線上評量與迷思概念導正工具，是以 JavaScript 程式語言撰寫而成，對數位教材的呈現方式與教學方法會有所限制。若能以其它工具或程式語言撰寫，或能改善而更有彈性。

### 2. 增加其它變項的探討

本研究初期僅採單因子之研究設計，故實驗結果僅可合理推演至與本實驗環境相類似的其它狀況。而對於可能影響教學成效之其它因素，例如：教學策略、課程、教學環境、學生之學習態度、教學順序等因素未加入探討。後續相關研究，將增加相關的變項，改採多因子之實驗設計，深入探討，如此將可獲致更具一般性的實驗結果。

## 參考文獻

### 一、中文部份

- Skemp, R. R. (1987)。數學學習心理學 (陳澤民譯)。臺北：九章出版社。(出版於 1995)。
- 王文科 (1993)。教育研究法。臺北：五南出版社。
- 江佳惠 (2001)。以幾何面積為類比物教授國一代數乘法公式之研究。國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文。
- 李璧如 (2006)。改善國中生電流消耗模式迷思概念之教學策略研究。國立高雄師範大學數學教育研究所碩士論文。
- 林清山 (1998)。心理與教育統計學。臺北：東華書局。
- 邱美虹 (2000)。概念改變研究的省思與啓示。科學教育月刊，8(1)，1-34。
- 范德鑫 (1992)。共變數分析功能、假設及使用之限制。師大學報，37，133-163。
- 康軒版 (2007)。國民中學數學。臺北：康軒文教事業。
- 郭丁熒 (1992)。追根究底談錯誤－有關學生錯誤的二十個問題。國教之友，44 (2)，17-23。
- 郭汾派、林光賢與林福來 (1989)。國中生文字符號概念的發展。國科會專題研究計畫報告 (NSC 76-0111-S003-08；NSC 77-0111-S003-05A)。
- 陳創義、洪有情 (2003)。青少年的代數運算概念發展研究。行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告 (NSC 91-2522-S-003-016)。
- 喻平、馬再鳴 (2002)。論數學概論學習。數學傳播，26(2)，89-95。
- 游寶達、劉明宗 (2002)。電子化學習之發展趨勢探討與分析。資訊與教育，89，3-9。
- 楊弢亮 (1997)。中學數學教學法通論。臺北：九章出版社。
- 劉天民 (1993)。高雄地區國一學生數學整數與分數四則運算錯誤類型之分析研究。國立高雄師範大學數學教育研究所碩士論文。
- 蔡文錦 (1991)。發展紙筆測驗以探究高三學生對化學平衡的迷思概念。國立彰化師範大學

科學教育研究所碩士論文。

鄧雅文 (2004)。我國中學生平衡迷思概念和心智模式之研究。國立臺灣師範大學數學研究所碩士論文。

戴文賓 (1999)。國一學生由算術領域轉入代數領域呈現的學習現象與特徵。國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文。

鍾聖校 (1995)。國小自然科課程教學研究。臺北：五南出版社。

韓善民 (2001)。我國資訊教育發展現況與展望。上網日期：2007 年 12 月 5 日，檢自：  
<http://masterplan.educities.edu.tw/conference/a7.shtml>

## 二、英文部分

Ahmanan, J. S., & Glock, M. D. (1981). *Evaluating Student Progress: Principles of Tests and Measurements* (6th ed.). Allyn and Bacon: Boston.

Ashlock, R. B. (1990). *Error patterns in computation: A semi-programmed approach* (5th ed.). Columbus, Ohio: Merrill.

Baker, W. P., & Lawson, A. E. (1995). *Effect of analogic instruction and reasoning level on achievement in general genetics*. (ERIC Document Reproduction Service No. 390 713).

Booth, L. R. (1984). Child-method in secondary mathematics. *Educational studies in Mathematics*, 12, 29-41.

Carpenter, T. P. (1982). Student performance in algebra: Results from the national assessment. *School Science and Mathematics*, 82(6), 514-531.

Ebel, L. R. (1979). *Essentials of educational measurement*. New Jersey: Prentice-Hall.

Engelhardt, J. M. (1982). Using computational errors in diagnostic teaching. *Arithmetic Teacher*, 29(8), 16-19.

Gagne, R. M. (1970). *The condition of learning* (2nd ed.). New York: Holt, Rinehart, and Winstone.

Küchemann, D. E. (1981). Algebra. In K. Hart (Ed.), *Children's understandings of mathematics*. London: John Murry.

Pella, M. O. (1975). *Concept of Concept*. University of Wisconsin-Mwdison.

Piaget, J. & Inhelder, B. (1969). *The Psychology of the Child*. New York: Basic Books, Inc.

Pines, A. L. (1980). *A Model for Program Development and Evaluation: The formative role of summative evaluation and research in science education*. Paper presented at the Annual Conference of the International Congress for Individualized Instruction. Canada: Windsor.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.

Seels, B. B. & Richey, R. C. (1994). *Instructional Technology : The Definition and domains of the field*. Washington, DC: Association for Educational Communications and Technology.

Vincent, L. F. (2004). Doing the Math: It's More than Numbers. *Principal Doing the Math Postscript*, 84(2), 64-65.

# 高中學生在科學探究中的理論選擇—— 以泥火山水來源的爭議為例

## Theory Choice in Scientific Inquiry of High School Students： Debate on the Origin of Mud Volcano Water

林明良\*  
Ming-Liang Lin

(收件日期 98 年 2 月 17 日；接受日期 98 年 4 月 10 日)

### 摘 要

目前探究教學著重歸納或假設—演繹的觀點，而忽略理論選擇也是科學探究的重要一環。本研究依據地理界與地質界對泥火山水來源的爭議做為背景，提供理論選擇式的探究，以研究高中學生如何進行理論選擇。首先由泥火山相關論文及學生晤談，來發展水來源理論選擇問卷，以便學生經由對證據或理由的評斷來進行水來源探究，並對競爭理論進行選擇，最後進行問卷的量化分析及個案晤談。

從因素分析結果發現：影響學生理論選擇的因素有「信念」因素（包括相信權威、直覺、及同儕）和「推論」因素（包括素樸推論、溯因推論、假設預測、事實推論、及類比推論）。不同的學生對影響其作判斷的因素有不同的偏好，而根據其理論選擇情形可分為四類：1. 素樸型，偏好素樸推論；2. 邏輯型，偏好邏輯推論（包括溯因推論、假設預測、及事實推論）；3. 混合型，將二競爭理論混合形成新理論，偏好相信權威與直覺；4. 改變型，前後測選擇不同理論，偏好素樸及邏輯推論。

綜合量化分析和晤談結果發現：權威、直覺及素樸推論在學生做理論選擇時扮演重要角色，尤其資訊越不足時，學生越不用邏輯推論來選擇，其選擇也越固著。而對證據的詮釋只是用來鞏固自己原來的選擇，甚至相同的證據也可能用來支持相對立的理論。

**關鍵詞：**泥火山、科學探究、理論選擇

---

\*高雄師範大學科學教育研究所博士研究生

### Abstract

At present, teaching science as inquiry in high school typically is dominated by inductive or hypothetico-deductive views of science, and theory-choice, an essential element of scientific inquiry for scientists commonly is ignored. Based on the debate between geographic and geological communities on the origin of water in mud erupted from on-land mud-volcano at Wushanding in southern Taiwan, this study attempted to provide a theory-choice-based inquiry for students to explore how high school students make their theory choice between two competing theories. The research involved a survey, an inquiry of the origin of mud volcano water, and interviews. At first, a questionnaire comprised of a set of rationales was constructed as a survey tool and used to help students inquiring about the mud-volcano water's origin and making a choice between two competition theories. Then a factors analysis was conducted to find out the factors affecting students' theory-choice.

The results showed that students made theory-choice according to subjective beliefs (i.e., belief in authority, peer, and intuition) and objective inferences (i.e., naïve inference, abduction inference, hypothetico-prediction, fact-based inference, and analogy inference). The influential strength of each factor depended on the individual student's preference. According to their choices, students may be categorized into four groups: (1) Naïve, who preferred naïve inference, (2) Logical, who preferred logical inference (i.e. abduction inference, hypothetico-prediction, and fact-based inference), (3) Mixed, who mixed two competition theories to form a new theory and preferred belief in authority and intuition, and (4) Changed, who made different choices in pre and post-test and preferred naïve and logical inference.

This study also found that authority and intuition played main roles in students' theory-choice as well as naïve inference, especially when lack of sufficient information for reference. Many students tended to use naïve inference to make choice rather than logical inference. They chose it just because they believed it is true. Students who preferred making theory choice depending on their belief, their choice more likely stood firm and was hard to change. They even tended to recognize all of rationales as supports of their choice although the rationale maybe supports the alternate.

**Key words:** Mud Volcano, Scientific Inquiry, Theory Choice

## 壹、前言

科學史上有許多理論競爭的實例，Kuhn (1970) 所提出的科學革命就是科學社群在重大的競爭理論間所作的理論選擇，Thagard (1992) 將其稱為概念革命，並以解釋的融貫性 (explanatory coherence) 做為判準，來詮釋其間的理論選擇。除了革命式的理論選擇外，在常態科學時期，科學家也常面對相同的自然現象卻有不同的解釋，而必須做理論選擇的情形，例如：臺灣西南部的泥火山，其噴泥含水的來源，地質社群與地理社群就有不同的主張，科學家因此積極尋找證據，解釋證據，以便選擇，或為自己的選擇辯護。可見理論選擇是科學家進行科學探究的一環，也是促成科學進步的動力之一。

現在的科學教育主張 (NRC, 1996) 學生應該學會科學探究，像科學家以探究方式來擴展知識一樣，學生應該以探究方式來獲得及理解科學知識，因此在課堂的探究更強調運用證據來形成解釋，並且注意到其它不同解釋的存在，而對自己提出的解釋，進行溝通、論證、辯護與修正。換句話說，如果我們採用 National Academy of Science (NAS, 2008) 的觀點，把理論的定義放寬，只要是對現象所提出的一套解釋，就視為理論，則科學家為了解釋某些現象所提出的假說，或是學生為解釋他看到的現象所提出的個人解釋，都可視為理論，那麼學生的科學學習就可視為個人理論與科學理論間的選擇，而現在的科學教育其實是主張學生藉由理論選擇中的溝通、論證與辯護過程，讓自己的解釋趨近於科學解釋，並因此獲得科學理解。

然而研究發現，學生習慣於使用自己的個人理論來提出解釋，縱使經過教學仍不易改變 (Croucher et al., 2002)，所以了解學生如何做理論選擇，以提供教師進行理論選擇式探究教學的參考，就成了十分重要的議題。本研究擬藉由泥火山水來源的爭議做為背景，來研究高中學生如何進行理論選擇。

## 貳、文獻探討

### 一、學生應該具備的探究能力包含理論選擇

我國科學教育強調科學探究能力，教育部 (2003a) 公佈的《國民中小學九年一貫課程綱要》中的〈自然與生活科技學習領域〉部分，明確說明學生學習科學的目的，是學會如何去進行探究活動，也就是學會觀察、詢問、規劃、實驗、歸納、研判，此外也要培養批判、創造的能力，並強調以實驗或實地觀察的方式去進行學習，可以讓學生獲得處理事務、解決問題的能力。

為了延續九年一貫課程的理念到後期中等教育，教育部 (2006) 又頒布《中小學一貫課程體系參考指引》，其中訂定學生應具備的科學探究能力如下：

- (一) 在 12 歲階段，「能經由觀察、實驗等科學探究過程認識日常生活中簡單的科學現象，並能尋求問題的答案及能對探究的結果做簡單描述。」
- (二) 在 15 歲階段，「能持續學習科學知識及發展探究科學知識的能力。」「能設計簡單

的實驗，經由觀察及歸納等過程去尋求問題的答案及看法，並能使用簡單圖表呈現並解釋探究的結果。」以及「能養成主動探究科學問題的習慣。」

- (三) 在 18 歲階段，「能了解物理學的目的是尋求對物理現象的合理解釋，在過程中能持有不同的理論觀點。並能尊重別人的觀點及分辨觀點的正誤，以及能與他人合作，有計畫的進行科學探究活動。」

從上述的課程綱要及課程體系參考指引中得知，我國的科學教學在國中小階段，著重在歸納的科學觀點，培養尋找證據的能力；在國中後期要求學生能解釋探究的結果，這就涉及歸納與演繹的推理能力，亦即培養解釋證據及論證的能力；在高中階段則要求尊重不同的理論觀點，並能辨識及選擇合理的解釋，亦即培養學生藉由證據的蒐集、解釋、理論建構、論證、進而做理論選擇。換句話說，我國的高中生應具備的科學探究能力包含理論選擇。

## 二、探究式教學應包含理論選擇

美國《國家科學教育標準 (NSES) 》(NRC, 1996) 特別列出當今的探究式教學與以往的探究式教學的區別，就在不強調「演示和證明科學內容的活動」，而更強調「調查和分析科學問題的活動」；不強調「作為探究和實驗的科學」，而更強調「作為論證和解釋的科學」；以及不強調「學生只將想法和結論告訴教師」，而更強調「將想法和結論與同學公開溝通」。換句話說，就現在的觀點而言，探究式教學的核心有三項（洪振方，2003）：

- (一) 探索 (exploration)：包括「形成問題與假說」和「設計研究和產生數據」；
- (二) 解釋 (explanation)：包括「詮釋數據」和「建立論證」；
- (三) 溝通 (communication)：包括「說服」和「辯護」。

而理論選擇正是需要依據對證據的詮釋來建立論證，並對社群進行說服與辯護 (Pinch, 1985)。

NSES 根據上述三項核心提出九至十二年級的學生進行探究應該具備的能力有六項：

- (一) 能發現問題並確認對該問題進行研究所需的科學概念；
- (二) 能設計並執行科學研究；
- (三) 能使用科技及數學來提升研究成果與溝通效率；
- (四) 能應用邏輯及證據來提出並修訂科學解釋與模型；
- (五) 能辯識及分析其它不同的解釋和模型；
- (六) 能為科學論點做溝通與辯護。

其中後三項能力就是理論選擇所需要的能力。

為了培養學生探究的能力，NRC (2000) 進一步主張在教室的探究中，學習者應該：

- (一) 投入科學導向的問題；
- (二) 評估證據的權位，用以發展及評鑑對問題所提出的解釋；
- (三) 由證據形成解釋來回答問題；
- (四) 根據其它不同的解釋，特別是反映科學理解的解釋，來評鑑自己的想法；

(五) 調整自己所提的解釋，並為其進行溝通與辯護。

而讓學生做科學理論的選擇正能達到上述目標，因此探究式教學應該包含理論選擇。

### 三、從科學知識的發展看理論選擇教學的必要性

從科學史來看，科學發展可以說是一連串理論選擇的結果，在 Kuhn 所說的科學革命時期，科學家當然必須面臨理論選擇，即使是常態科學時期，科學家還是可能面臨同一現象的不同理論解釋。

NSES (NRC, 1996) 在其有關科學本質的標準上，就建議教師可以利用學生的實際研究經驗、個案研究、和歷史小故事，讓學生了解，科學探究不只是觀察、實驗、以及根據實驗結果提出數學模型或理論模型來解釋觀察到的現象，更應該了解科學家對證據的解釋或理論的考量可能會有不同的意見，也可能公佈互相矛盾的實驗結果，甚至對相同的數據做出不同的結論，理想的情況下，科學家會承認這個矛盾，並且努力尋找證據來解決這個爭議，也就是說，科學家的科學探究，還包括了對科學研究結果、實驗、觀察、理論模型、以及其他科學家提出的解釋進行評斷。我國教育部 (2006) 在《中小學一貫課程體系參考指引》中，也要求高中學生對自然現象應該提出自己的解釋，也能尊重別人的觀點，並且能分辨觀點的正誤。換句話說，學生應該學會以證據對解釋或理論進行評斷，也就是做理論選擇。

至於要如何對解釋或理論進行評斷，NSES 做了下列說明 (NRC, 1996)：評斷包含審視實驗過程、檢驗證據、找出錯誤推理、指出超越證據支持的過度推論、以及對同樣的觀察提出另一種解釋。NSES 更進一步指出，科學家可能對現象的解釋、數據的詮釋、競爭理論的評價會有不同的意見，但是他們必定贊同質疑、回應批判、公開溝通，這是不可或缺的科學過程，主要的爭議最終會透過科學家的這些互動而解決，科學知識也因而有了新的進展。

上述的描述說明科學知識發展的機制是以證據對解釋或理論作評斷，也就是理論選擇，這個機制也同樣適合學生的科學知識發展。

學生在正式學習之前，就已經由日常生活的經驗發展出他自己的先備概念，這是他自己對自然現象的解釋，因為在日復一日的情境中運作得很好，所以老師很難去改變。有研究指出 (NRC, 2005)，即使是主修物理的大學生，他們在有關運動定律的課堂測驗可以答得很好，但是在課堂外，他們仍然回復到原有的、未經訓練的、錯誤的模型，而不會在真實的環境中，運用動量來解決問題，所以他們的表現和未經物理訓練的小學生沒有兩樣。

如果學生的先備概念沒有被挑明，讓他在自己的先備概念和學校的科學概念之間，以證據評斷來做選擇，那麼學生只是背誦內容，並未發展他自己的科學概念，所以在真實的世界中，學生仍然使用以日常經驗為基礎的先備概念來運作，而學校的科學概念只運用在考試的情境中。由此可見，理論選擇式的探究教學是必要的。

#### 四、目前的探究教學未重視理論選擇

然而，在教科書及教材的編寫上，除了物理提到光的粒子說與波動說的競爭外，其他都是一面倒的描述新近的理论，例如地球科學的板塊構造論，教科書就從未提及它的競爭理論。這樣的編寫也影響到老師的教學，以至於學校的科學把科學知識的發展簡化成觀察、實驗、建立理論或數學模型。換句話說，傳統的科學方法教學所應用的推理，太過簡化了觀察和理論的本質，而完全忽略學生提出自己的模型或理論解釋的機會，而且也完全忽略在發展和評鑑科學知識時所使用的認識論架構 (epistemic frameworks)，以及造成知識如何被發現、溝通、表徵、和論證的社會過程和情境 (Grandy & Duschl, 2005)。所以探究式教學就是觀察和實驗。而教學現況甚至只是如食譜般去遵照步驟「驗證」結果 (教育部，2003b；杜鴻模，2001)。而一般的教學就只強調理論及數學模型，而忽略了理論選擇在科學發展的重要角色，同樣地，也忽略了理論選擇在學生概念發展的重要性。

從探究教學的教學論文 (如陳均伊、張惠博，2007；黃建彰、徐順益、林建隆，2006；蘇明俊，2004；顧炳宏，2007) 也發現，目前中學的科學探究教學均著重在歸納，及假設—演繹的科學觀點，有些允許學生提出不同的觀點，卻只是不同的實驗方法或觀察角度，而不是對立的觀點，所以並未討論學生如何進行理論選擇。事實上，科學家的探究包含理論的發展、概念的改變、及模型的建立 (Grandy & Duschl, 2005)，科學家的概念改變其實是對同一現象的不同解釋間的選擇，可以視為廣義的理論選擇。如果我們允許學生在其探究活動中提出自己的解釋，那就可能出現學生的另有概念，因此學生必須面對其他學生提出的概念或老師提出的學校科學概念間的理論選擇。

目前有關學生理論選擇的研究偏重在學生如何應用判準 (例如解釋的廣度、解釋的非特置性、經驗的一致性，及邏輯的一致性) 來進行理論選擇 (如 Brewer, Chinn, & Samarapungavan, 2000; Hogan & Maglienti, 2001; Samarapungavan, 1992;)，而本研究則探討學生如何以證據對解釋或理論進行評斷。因為理論選擇式的探究活動就是要培養學生評斷證據的能力、從證據提出解釋的能力、論證的能力、以及說服與辯護的能力。學生可以藉由自己的既有概念與學校所教的科學概念之間做理論選擇，來進行有意義的學習。而老師的教學應該提供許多支持科學概念的證據，引導學生對自己的先備概念及科學概念進行評斷，以期學生經過審視觀察或實驗過程、檢驗證據、找出錯誤推理、指出超越證據支持的過度推論、以及對同樣的觀察提出另一種解釋，而達到理解概念的目標。

本研究正是企圖了解學生如何評斷證據來進行理論選擇，以做為概念理解教學的參考。

#### 參、研究設計與步驟

本研究為了提供一個寬廣的理論選擇空間，選擇一個學生不熟悉其定論，卻很容易理解的爭論議題——「烏山頂泥火山噴泥含水來源」(以下簡稱「泥火山水來源」)，來探討學生的理論選擇。

首先由有關泥火山水來源的文獻及參加泥火山戶外探究的學生訪談與開放性問卷，來建構「泥火山水來源理論選擇問卷」，然後進行問卷施測，以蒐集量化資料，最後選取個案進行晤談。

## 一、研究設計背景

本研究係根據地理及地球科學研究社群對「泥火山水來源」的爭論，作為問卷的背景環境。本研究所討論的泥火山侷限在烏山頂泥火山群。

泥火山不是火山，但是它的機制和形狀像火山。泥火山噴出的是與室溫差不多的含水泥漿，而火山噴出的是高溫的熔融岩漿。報紙及電視新聞常有泥火山噴發的報導（例如劉星君，2008；蘇世偉，2009）。

泥火山噴發時，噴出的泥漿中所含有的「水」，其來源為何？這是本研究為學生設定的探究問題。依據邏輯推理，答案有兩種可能：一為來自泥岩層外面，即外來；一為來自泥岩層內部，即固有；當然可能還有第三種可能，即兩者混合。本研究依據地理及地球科學研究社群的兩大派主張，僅提供學生前兩種可能，如此也可為學生留下修改理論的空間。為了避免專有名詞帶來的困擾，本研究將兩大派主張依邏輯命名為「外來說」和「固有說」，說明如下：

### （一）外來說

主張水來源為天水，即降雨下滲而來的地下水（王鑫，1986；王鑫、徐美玲、楊建夫，1988；齊士崢、馮馨瑩，2001）。王鑫對泥火山成因的描述如下：

地表下的天然氣或火山氣體沿著地下裂隙上湧，沿途混合泥沙與地下水，形成泥漿，並攜帶至地表堆積，而形成泥火山。

### （二）固有說

主張水來源為封層水，為地層形成當時即被封存於地層內的水（陳肇夏，1994；葉高華，2003；詹博舜，2001）。陳肇夏對泥火山成因的描述如下：

在含有巨厚未固結泥岩層深埋地下的地區，由於強大壓力的作用，原來地層岩石內的水份被擠出地面，這些地層水上升的過程中順便將泥岩內的部份組成物質帶上，因而形成混濁的泥泉。

本研究即根據上述爭議來發展問卷，做為調查學生如何理論選擇的工具。

## 二、工具發展

首先將蒐集資料整理成問卷草稿，接著由專家審查小組就內容的正確性及對高中學生的適用性進行審查，研究者再就審查意見修訂為初稿，然後經由三次預試與修訂後，完成問卷。說明如下：

### （一）專家審查小組

由二位科學教育專家、三位烏山頂泥火山研究專家、及五位具有科學教育專長的地球科學教師組成。

## (二) 研究工具：泥火山水來源理論選擇問卷 WITWO

本工具命名為「泥火山水來源理論選擇問卷 (WITWO, Where Is The Water's Origin)」，分成前測問卷 (WITWO-A) (圖一) 及後測問卷 (WITWO-B) (圖二)。後測問卷比前測問卷多了理由 (或證據) 評斷 (理由見表一)，提供學生做理論選擇所需要的證據與線索。問卷分成三部分：

### 1. 理論簡介

說明泥火山水來源的兩種派別的理论。

### 2. 理由 (或證據) 評斷

前測問卷這部分採開放性問題 (見圖一)，請學生寫出其做選擇的理由。後測問卷則提供理由 (或證據)，採變形的五點量表 (見圖二)，請學生評定各項理由所支持的派別及支持其做判斷的重要程度 (或說服力)，即評斷權重。

理由項目的設計採用專家及學生對泥火山水來源的看法。首先蒐集烏山頂泥火山的相關論文，提列其證據及論證理由。另以開放性問卷，對某高中參加烏山頂泥火山探究研習學生 40 人，進行「泥火山水來源」問卷調查，配合晤談，整理出學生提出的理由。綜合專家及學生的理由計 30 項編成「泥火山水來源理論選擇問卷」，對某高中二年級修習「地球科學」學生 38 人進行試測並修訂問卷。

### 3. 理論選擇

要求學生進行理論選擇，並圈選其作答信心 (Likert 5 點量表)，並允許學生提出自己的理論。

## (三) 預試

### 1. 第一次預試

第一次預試對象為某大學修習「地球科學概論」的學生 87 人，施測結果本問卷施測信度 Cronbach's  $\alpha$  為 .71。

本問卷的內容效度由專家審查小組，就所收集「泥火山水來源理論」相關論文的完整性及問卷所列理由的適當性及完整性進行分析，專家均同意問卷充分涵蓋各類理由，而且支持兩競爭理論的理由數量相等。專家對各理由所支持之理論的認定，見表一之理論欄，a 為外來說，b 為固有說。

### 泥火山水來源理論選擇問卷 A 卷（前測用）

請仔細閱讀下列說明：

「大陸到底會不會漂移？」這個問題有兩種答案：一個是「會」，這就是韋格納的「大陸漂移說」，當然他提出許多證據來支持他的理論，但是不為其他大部分科學家所接受，他們提出反對的理由以及支持自己看法的理由，他們選擇支持另一個答案——「不會」。

在科學的發展史上，兩個理論相互競爭的情形常常發生，競爭的結果促使大家拼命地做研究找證據去支持或修改自己的看法，也提出更好的理論與證據去說服別人，因此促進了科學的發展。

下面有個有趣的問題，大家的看法也可以分成兩或三種，現在就請大家仔細想想看，做一個選擇，並寫下你的理由來說服別人相信你的看法。

右邊這張照片是位於高雄師範大學燕巢校區後方山上的「烏山頂泥火山」。



泥火山不是火山，只是它的機制和形狀像火山。泥火山噴出的是由泥漿庫提供的，溫度與氣溫差不多的含水泥漿；而火山噴出的是由岩漿庫提供的高溫熔融岩漿，兩者不同。

調查的結果發現烏山頂有十幾座泥火山，有的不再噴發，有的活動頻繁，它們都分佈在旗山斷層線上，斷層造成地層破裂，提供泥漿上湧的通道；而泥岩層提供了泥的來源；泥火山口不斷冒出天然氣的氣泡，顯示氣體提供泥漿上湧的動力。

現在的問題是：「泥火山泥漿的水是哪裡來的？」

要回答這個問題有兩種選擇：不是「後天」就是「先天」，或是說「外來」或「固有」。

「外來」是說：泥漿的水是由雨水下滲而來的地下水，與泥岩混合成泥漿，就像我們柔麵團時外加的水，我們稱為「地下水派」。

「固有」就是說：泥漿的水是來自岩層本身，不是地下水，是岩層在深海底形成時就被封存在岩層內的「古老的水」，就像榨檸檬汁時，純檸檬汁中的水本來就封在檸檬內，我們稱為「封層水派」。

請回答下列問題。

(1) 請問：你贊成哪一種說法？並請就你的選擇，圈（○）選作答的信心

選項	作答信心				
	低	→			高
<input type="checkbox"/> (A) 外來的					
<input type="checkbox"/> (B) 固有的					
<input type="checkbox"/> (C) 我自己的看法或修正（請寫下來）					

(2) 你如何說服別人支持你的看法？請寫下你做判斷的依據或理由。

圖一 泥火山水來源理論選擇問卷（前測用） WITWO-A

### 泥火山水來源理論選擇問卷 B 卷 (後測用)

泥火山噴出的泥漿中所含的「水」的來源，有兩大派主張：

(A)「外來」派：或稱「地下水」派。  
主張：地表下的天然氣等氣體沿著地下裂隙上升，沿途混合泥沙與地下水，形成泥漿，並攜帶至地表堆積，而形成泥火山。  
代表人物：王鑫，台大地理系教授。

(B)「固有」派：或稱「封層水」派。  
主張：在地下深埋有巨厚永固結泥岩層的地區，由於強大壓力的作用，原來封存在泥岩地層內的水份(封層水)被擠壓湧出地面，這些封層水上升的過程中順便將泥岩內的部份組成物質帶上，因而形成混濁的泥漿。  
代表人物：陳肇夏，中央地質調查所所長。

簡單的說(如圖)：外來派認為水的來源是地下水，是由兩水下落而來，即外來的；固有派則認為不是地下水，其來源是岩層本身，是泥岩層形成時即被封存在地層內的「古老的水」，即固有的。

到目前為止兩派學說各有擁護者，也各有支持的理由，下面第一部分列出一些敘述與理由，請仔細閱讀。

**第一部分：**請說你的感覺，你認為這個理由可以用來支持哪一派的主張？注意！左半邊是外來說，右半邊是固有說，請先確定在右邊或左邊圈選，然後就支持你作判斷的重要程度圈(○)起來，如果你還有其他理由請填入下頁空白欄。

**第二部份：**與第一部份的理由或證據影響你作判斷的重要性相比，請就下列因素，對可能影響你做判斷的重要程度圈(○)起來。

編號	敘述	重要程度				
		極不重要	不重要	中等	重要	極重要
1	我相信學者或專家(如台大的王鑫教授、中央地質所的陳肇夏教授)對泥漿水來源的說法。	1	2	3	4	5

(1) 在閱讀過上述的理由後，現在你贊成哪一派？

選項	作答信心				
	低				高
<input type="checkbox"/> (A)地下水派(外來的)	1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/> (B)封層水派(固有的)					
<input type="checkbox"/> (C)我自己的看法或修正(請寫下來)					

(2) 我作這樣選擇最重要的理由是：

空白不足時，可繼續在背面作答。\*請檢查是否作答完全，謝謝你的合作。◀測驗結束▶

編號	理由	重要程度									
		外來說					固有說				
1	由火山頂泥火山氣同位素的變化監測顯示，泥火山噴泥中的水來源是沒有天水(即地下水)補注的封層水(即地層形成時同時封存的封層水)。	5	4	3	2	1	2	3	4	5	
2	長期監測發現「泥漿含水量會隨降雨量變化」，顯示泥火山的水來源含有天	5	4	3	2	1	2	3	4	5	

圖二 泥火山水來源理論選擇問卷 (後測用) WITWO-B 示例

專家審查小組並就第一次預試分析結果提供問卷項目的修訂及增刪意見。修訂後的問卷項目計 28 題，依初步因素分析結果將問卷項目區分為「理由」22 題及「信念」6 題。

### 2. 第二次預試

第二次預試對象為某大學另一批修習「地球科學概論」的學生 37 人，有效問卷 34 份，Cronbach's  $\alpha$  信度提升至 .95。

### 3. 第三次預試及定稿

因為本研究對象設定為高中學生，因此將問卷依預試反應進行文字修飾，再向某公立高中高二學生（已修習過基礎地球科學）120 人進行預試，有效問卷 112 份，Cronbach's  $\alpha$  信度為 .88。

## 三、施測

本研究施測樣本為高雄市公立高中學生 332 人，進行前後測，前測採 WITWO-A 問卷，未提供理論選擇的理由，後測則施以 WITWO-B 問卷，均給予充分作答時間，前測約 30 分鐘，後測約 50 分鐘，相隔一天。回收有效問卷計 308 份，施測結果 Cronbach's  $\alpha$  信度為 .90。

#### 四、因素分析

將施測蒐集得到的數據進行探索性因素分析，22 項理由可分為五個因素（如表一），統稱為推論因素；信念 6 題則分為三個因素（如表二），統稱為信念因素。

表一「泥火山水來源理論選擇問卷」推論因素之轉軸後成份矩陣

題 目 內 容	理論	成 份				
		AB	HP	FI	NI	AI
21. 泥漿水中鈉和氯離子含量相當多，可能有海水成份，是泥岩層在深海沈積時封存下來的。	b	.830				.
13. 在深海沈積中發現大量的甲烷水合物，是甲烷和水在高壓下的結合，減壓時可以分解成甲烷氣體和水。以今鑑古，泥火山水的來源是甲烷水合物的水。	b	.795				
22. 泥岩是深海的沈積，本來就富含鹽份。鈉離子和氯離子是泥水噴發時，將其沿途經過的泥岩溶混而來。	a	.689				
06. 泥岩是深海的沈積，本來就含有海水成份，地下水與泥岩混合形成泥漿，向上噴出時會與周圍岩體發生反應。	a		.755			
03. 如果不是地下水，而是地層水，那地層水不夠時，泥火山就不再噴發，可是烏山頂泥火山已經存在這麼久了還在噴發。	a		.754			
04. 假如封層水的水量很豐富，泥火山就可以活動很久，不過確實有可能終止的一天。	b		.527			
14. 雖然泥火山噴出甲烷和水，但沒有實際的觀測資料顯示泥岩層含甲烷水合物。	a		.463			
05. 泥漿成分及氫氧同位素分析結果顯示，泥火山噴泥水含海水成份（是泥岩形成時封存的海水），並與周圍的岩體發生反應。	b			.756		
08. 長期在下雨天時實際觀察泥火山並沒有較激烈的噴發活動，可見降水與噴發沒有絕對關係	b			.727		
19. 雨天實際觀察發現，落在噴泥口的雨水只是浮在泥上，無法進入噴泥錐內。	b			.713		
01. 由烏山頂泥火山氫氧同位素的變化監測顯示，泥火山噴泥中水的來源是沒有天水（即地下水）補注的封層水（即地層形成時同時封存的地層水）。	b			.675		
18. 泥岩不透水，裂隙也因氣體或泥漿上升而使得雨水無法下滲。	b			.608		
15. 泥岩中的黏土礦物有些會因受高壓作用而脫水轉變成另一種礦物（例如一種叫「膨潤石」的礦物受高壓就會釋出水份變成另一種礦物叫「伊萊石」）。	b			.524		.
10. 累積雨量越多，噴泥含水量增加，這只是相關，不能確定降水是導致含水量增加的原因。	b			.433		

題 目 內 容	理論	成 份				
		AB	HP	FI	NI	AI
02. 長期觀測發現「泥漿含水量會隨降雨量變化」，顯示泥火山水的來源含有天水（即雨水滲入地下形成的地下水）。	a				.751	
20. 雨季時觀察發現，泥火山噴泥含水量增加，噴發頻率增加，可見有雨水滲入噴泥中。	a				.740	
17. 烏山頂泥火山處於旗山斷層沿線，所以有許多裂隙，雨水經由裂隙下滲或溶蝕形成泥漿。	a				.723	
09. 2003 年 6 月到 9 月累積雨量佔全年 82%，噴泥含水量從 6 月的 46% 上升到 9 月的 50%。	a				.712	
07. 2003 年的統計，烏山頂泥火山的噴發頻率和氣泡直徑，平均以 4、5 月最小，8 月最大，符合乾季與雨季的區分。	a				.707	
11. 井水是來自地下水，泥火山可以類比成泥岩地區的水井。	a					.805
16. 泥岩形成時已經過脫水固結，就像堅硬的石頭不會再因為高壓而擠出水來。	a					.785
12. 開香檳時噴出的香檳中的水份，原來就存在香檳中，泥火山可以類比成開瓶時的香檳。	b					.718

註：a 為外來說，b 為固有說

表二「泥火山水來源理論選擇問卷」信念因素之轉軸後成份矩陣

題目內容	成份		
	BP	BA	BS
29. 我相信同學對泥漿水來源的看法。	.958		
28. 我相信朋友對泥漿水來源的看法。	.953		
27. 我相信學者或專家（如臺大的王鑫教授、中央地質所的陳肇夏教授）對泥漿水來源的說法。		.899	
26. 我相信老師對泥漿水來源的說法。		.751	
30. 我自己以往的經驗讓我相信自己對泥漿水來源的判斷。			.818
31. 我的直覺讓我相信自己對泥漿水來源的判斷。			.780

## 肆、結果與討論

本研究以烏山頂泥火山水來源的兩個競爭理論—外來說及固有說—做為背景，來探討影響學生做理論選擇的因素、學生做理論選擇的類型、以及各類型學生的特質。

## 一、影響學生理論選擇的因素

探索性因素分析的結果將影響學生理論選擇的因素分成三個信念因素及五個推論因素。

### (一) 信念因素

三個信念因素分別依相信對象命名為「相信權威」、「相信同儕」、及「相信直覺」，定義如下：

1. 相信同儕 (BP)：相信同學或朋友的想法。
2. 相信權威 (BA)：相信專家學者或老師的看法。
3. 相信直覺 (BS)：相信自己的直覺或經驗。

其中「相信權威」和「相信直覺」兩個初階因素又形成一個二階因素，命名為「權威與直覺 (BAI, Belief in Authority and Intuition)」。

### (二) 推論因素

五個推論因素則分別依推論性質命名 (Lawson, 2003, Mohanan, n.d.) 為「溯因推論 (AB)」、「假設預測 (HP)」、「事實推論 (FI)」、「素樸推論 (NI)」及「類比推論 (AI)」，定義如下：

1. 溯因推論 (AB, Abduction Inference)：若已知觀測結果與某一規則或假設的結果一致，則我們可以推論這個規則或假設的前因是這個觀測結果的可能解釋。

例：

在深海的沈積中發現大量的甲烷水合物，是甲烷和水在高壓低溫下的結合，減壓時可以分解成甲烷氣體和水。以今鑑古，泥火山水的來源是甲烷水合物的水。

2. 假設預測 (HP, Hypothetico-Prediction)：若假設前提為真，則可預測可觀察的結果，如果觀察的結果與預測的結果一致則假設成立，否則假設不成立。

例：

如果不是地下水而是封層水，然而封層水是有限的，封層水不夠時，泥火山就不再噴發，可是烏山頂泥火山已經存在這麼久了還在噴發。

3. 事實推論 (FI, Fact-based Inference)：以觀察的事實或經驗為基礎，運用演繹法或歸納法所做的推論。

例：

由烏山頂泥火山氫氧同位素的變化監測顯示，泥火山噴泥中水的來源是沒有天水（即地下水）補注的封層水（即地層形成時同時封存的水）。

4. 素樸推論 (NI, Naive Inference)：以有限的觀察事實 (Fact) 及支持證據所做的推論，而且做為支持的證據只是假設 (Hypothesis)，或是無法確定有關聯的法則 (Rule) 或另一個觀察事實。

例：

長期觀測發現「泥漿含水量會隨降雨量變化」，顯示泥火山水的來源含有天水（即雨水滲入地下形成的地下水）。

其中還是無法確定雨水是否進入泥中。

5. 類比推論 (AI, Analogy Inference)：經由類比方式所作的推論。

例：

井水是來自地下水，泥火山可以類比成泥岩地區的水井。

其中「溯因推論」、「假設預測」、和「事實推論」三個初階因素又形成一個二階因素，命名為「邏輯推論 (LI, Logical Inference) 」

## 二、學生理論選擇的分類

學生在泥火山水來源理論選擇前、後測問卷 (WITWO-A、B) 的作答，可以選擇水是來自天水的「外來說」，或是水是地層形成時已經封存在泥岩中的「固有說」，也有學生提出自己的修正，認為水的來源可能混有天水及封層水。後測問卷比前測問卷多提供給學生相關的證據與理由，供學生進行評斷。從學生對理由的評斷，可以看出學生對不同推論的偏好。以下根據學生在 WITWO-A、B 問卷的選擇做分類，並探討信念因素及推論因素影響各類型學生作理論選擇的重要程度。各因素對學生做理論選擇的重要性依據問卷的 Likert 5 點計分設計，區分為低重要程度 (1.00-2.33)、中重要程度 (2.34-3.66)、及高重要程度 (3.67-5.00)。

### (一) 各類型學生的分類依據

依據學生在泥火山水來源的理論選擇情形，可將學生分成四種類型，其命名則依據各類型學生做理論選擇的偏好（說明如表三）：

1. 素樸型：在前、後測中均選擇外來派理論，此部分學生佔受測學生的 34.7%。
2. 邏輯型：在前、後測中均選擇固有派理論，此部分學生佔受測學生的 42.2%。
3. 混合型：在前、後測中均主張泥火山的水混合有天水及封層水，此部分學生佔受測學生的 8.4%。
4. 改變型：在前、後測中選擇了不同的理論，此部分學生佔受測學生的 14.6%。

改變型中約半數強的學生變為混合派，因此真正放棄原有想法，發生革命性改變的學生只占總數的 7.2%。

表三 各類型學生的命名依據

命名	人數比例 %	理論選擇	理論選擇偏好			命名依據
			權威與直覺	素樸推論	邏輯推論	
素樸型	34.7	外來	=	>	=	影響其理論選擇的重要程度以素樸推論最高，溯因推論及事實推論較低。
邏輯型	42.2	固有	=	<	>	影響其理論選擇的重要程度以溯因推論及事實推論最高，素樸推論較低。
混合型	8.4	混合	>	=	<	理論選擇時，重新混合兩個理論形成第三個理論。
改變型	14.6	改變	<	=	=	前、後測的理論選擇中，發生改變。

說明：= 與全體平均無顯著差異；> 顯著高於全體平均；< 顯著低於全體平均  
總人數：308

在作答信心的評分方面（見表四），後測的評分高於前測，除改變型學生外，均達顯著水準。而改變型學生在後測的評分則是四類型中最低。

上述的結果顯示，學生對自己的原有想法有固著性，改變並不容易發生，革命性的改變更少，即使改變也仍保有原來的想法，學生對理由的評斷只是用來鞏固原來的選擇。

## （二）信念因素對各類型學生理論選擇的重要程度

整體而言，各類型學生對信念因素影響其選擇的重要性評分（見表五）依序為「相信權威 (BA)」、「相信直覺 (BS)」、及「相信同儕 (BP)」，前二者達高重要程度，後者為中重要程度。對各類型學生而言，除邏輯型在相信權威與相信直覺的重要性相當外，其餘均與整體一致。

各類型學生在各因素之變異數分析（見表六）顯示，各類型學生對三個信念因素的重要性評分沒有顯著差異。

如果把三個信念因素合併成「信念 (B, Belief)」，由 t 檢定（見表七）顯示，各類型學生對信念的重要性評分對全體平均無顯著差異。

如果考慮二階因素「權威與直覺 (BAI, Belief in Authority and Intuition)」，由 t 檢定（見表七）顯示，素樸型和邏輯型學生對 BAI 的評分與全體平均無顯著差異；但混合型學生對 BAI 評分顯著高於全體平均 ( $p < .05$ )；而改變型學生對 BAI 評分低於全體平均 ( $p < .1$ )。

綜合上述，相信權威與相信直覺對學生理論選擇的影響佔有相當重要的地位，而同儕的重要性則在中等，相對較低。

權威與直覺影響學生理論選擇的重要性，以混合型最高，改變型最低。

表四 各類型學生在前後測中對做答信心的評分（1 最低，5 最高）

	N	前測		後測		t- 考驗	
		平均	標準差	平均	標準差	t	顯著性（雙尾）
素樸型	107	3.52	0.80	3.80	0.78	-4.12	.000
邏輯型	130	3.52	0.89	3.92	0.91	-4.79	.000
混合型	26	3.46	0.86	3.96	0.72	-4.37	.000
改變型	45	3.42	0.66	3.64	0.77	-1.65	.105
全部	308	3.50	0.83	3.85	0.84	-7.14	.000

表五 各類型學生對各因素之重要程度評分（1 最低，5 最高）

		信念因素			推論因素				N	
		BAI		BP	NI	LI				AI
		BA	BS			AB	HP	FI		
素樸型	平均	3.82	3.54	2.88	3.50	2.93	3.02	2.86	2.81	107
	標準差	.68	.77	.83	.79	1.07	.92	.98	1.03	
邏輯型	平均	3.71	3.72	2.90	2.96	3.34	2.89	3.23	2.83	130
	標準差	.71	.78	.84	.90	.96	.88	.87	.97	
混合型	平均	4.04	3.81	2.71	3.20	2.90	2.65	2.94	2.56	26
	標準差	.53	.84	.86	.79	.94	.76	.73	.95	
改變型	平均	3.76	3.43	2.83	3.26	3.02	3.14	2.97	2.59	45
	標準差	.61	.80	.75	.80	1.01	.65	.80	.92	
全部	平均	3.78	3.62	2.87	3.21	3.11	2.95	3.04	2.77	308
	標準差	.68	.79	.83	.87	1.02	.86	.90	.98	

表六 各類型學生在各因素之單變項變異數分析摘要表

變異來源	理論選擇類別（素樸型 N、邏輯型 L、混合型 M、改變型 C）							
依變項	信念因素			推論因素				
	BA	BS	BP	NI	AB	HP	FI	AI
F	1.923	2.334	.428	8.342*	3.882*	2.227	3.722*	1.084
顯著性	.126	.074	.733	.000	.010	.085	.012	.350
解釋變異量 (%)	0.9	1.3	-0.6	6.7	2.7	1.2	2.6	.001
事後比較 (Scheffe)	n.s.	n.s.	n.s.	N>L	N<L	n.s.	N<L	n.s.

\* P&lt;.05

### (三) 推論因素對各類型學生理論選擇的重要程度

整體而言，學生對推論因素影響其選擇的重要性評分（見表五）依序為「素樸推論 (NI)」、「溯因推論 (AB)」、「事實推論 (FI)」、「假設預測 (HP)」、及「類比推論 (AI)」。對各類型學生而言，除一致認為「類比推論 (AI)」重要性最低外，其餘各因素對不同類型學生的重要性並不一致。

表七 各類型學生的「信念」評分對全體平均 t 檢定

	信念 (B, BP+BA+BS)				權威與直覺 (BAI, BA+BS)				N
	平均	標準差	t	顯著性	平均	標準差	t	顯著性	
全體	3.42	.47			3.70	.50			308
素樸型	3.42	.50	-0.086	.466	3.68	.52	-0.335	.362	107
邏輯型	3.44	.48	0.532	.298	3.71	.49	0.267	.395	130
混合型	3.52	.44	1.149	.131	3.92	.48	2.352*	.013	26
改變型	3.34	.42	-1.256	.108	3.59	.45	-1.573*	.061	45

\* P&lt;.1

由單變項變異數分析（見表六）顯示，素樸型和邏輯型學生在「素樸推論 (NI)」、「溯因推論 (AB)」、和「事實推論 (FI)」三個因素有顯著差異，經 Scheffe 法事後比較得知，素樸型學生對「素樸推論」的重要性評分高於邏輯型；而邏輯型學生對「溯因推論」和「事實推論」的重要性評分高於素樸型；而混合型和改變型則未達顯著差異。

如果考慮二階因素「邏輯推論 (LI, AB+FI+HP)」，然後將各類別學生的「素樸推論」及「邏輯推論」評分對全體平均做 t 檢定（如表八）。結果顯示，素樸推論對素樸型學生的重要性顯著高於全體平均 (P<.05)，邏輯型學生則顯著低於全體平均 (P<.05)；而邏輯推論對素樸型學生的重要性低於全體平均，但未達顯著差異，邏輯型學生則顯著高於全體平均 (P<.05)，混合型學生則低於全體平均 (P<.1)。

表八 各類型學生的「素樸推論」及「邏輯推論」評分對全體平均 t 檢定

	素樸推論 (NI)				邏輯推論 (LI, AB + HP+FI)				N
	平均	標準差	t	顯著性	平均	標準差	t	顯著性	
全體	3.21	.87			3.04	.79			308
素樸型	3.50	.79	3.836**	.000	2.94	.87	-1.229	.111	107
邏輯型	2.96	.90	-3.206**	.001	3.16	.79	1.655**	.050	130
混合型	3.20	.79	-0.073	.471	2.83	.68	-1.594*	.062	26
改變型	3.26	.80	0.445	.329	3.05	.65	0.053	.479	45

\* P&lt;.1, \*\*P&lt;.05

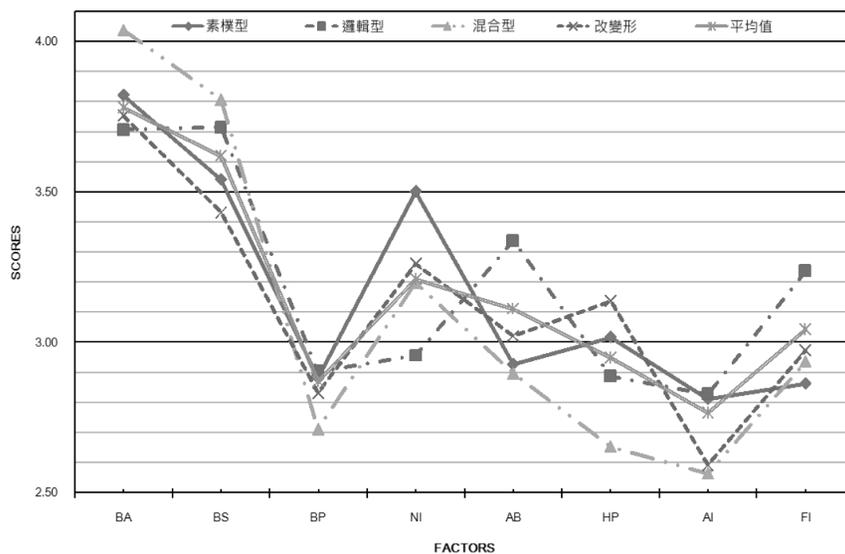
綜合上述，類比推論對各類型學生做理論選擇的影響，其重要性最低。素樸推論對理論選擇的重要性，最高的是素樸型學生，其次是改變型與混合型，而重要性最低的是邏輯型學生；邏輯推論對理論選擇的重要性，最高的是邏輯型學生，其次是改變型，而重要性較低的是素樸型，最低的是混合型。

### 三、各類型學生的特質

以下就各類型學生做理論選擇時，對各因素的偏好，分別與以討論。

#### (一) 素樸型

素樸型學生在「相信權威」、「相信直覺」及「素樸推論」三個因素評分達高重要程度，其餘因素則為中重要程度（見圖三）。

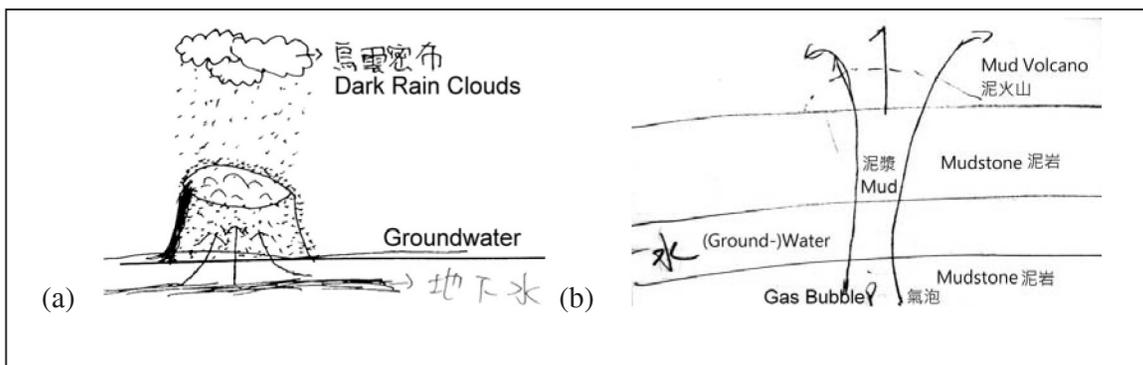


圖三 各類型學生對影響理論選擇的各類因素之評分

相對於全體平均，本型學生在推論因素部份：「事實推論」得分偏低，為所有類型中最低；「素樸推論」得分則在各類型中最高，「假設預測」與「類比推論」則與平均相當，「溯因推論」則低於平均值；在信念因素部份：本型學生得分與平均相當。

圖四是素樸型個案學生的外來說泥火山模型。外來說主張泥火山的水來自雨水下滲而來的地下水，素樸型學生的代表性說法如下：

下雨的雨水會滲透到地下變成地下水，地底下的氣體往上跑，經過地下水層，把水和泥岩混合成泥漿，然後被噴發出來形成泥火山（如圖四）。



圖四 素樸型個案學生的外來說泥火山模型

素樸型個案學生小甲在 WITWO-A、B 問卷均選擇外來說，兩次作答信心均達四分，小甲在前測時選擇地下水派的理由是：

小甲：地下水派（的理論）可以讓水維持大致的量，如果是封層水派，則當有一天水被用盡後，便無法再補充，如果是外來的水，便可藉由降雨來補充，使泥能有源源不絕的水促使其成為泥漿，讓泥火山一直能噴發。

小甲在這裡運用「假設推論」來論證：如果水是固有的，則有一天水會被用完，泥火山就不再噴發，然而事實是還有許多泥火山在噴發；如果水是外來的，那水就可以源源不絕，可以解釋還有許多泥火山噴發的事實，所以結論是水是外來的。

不過「藉由降雨來補充，使泥能有源源不絕的水促使其成為泥漿」，應該深入分析：水可以和泥混合成泥漿是事實，不過雨水有沒有和泥混合卻沒有證據，換句話說，「雨水與泥混合形成泥漿」是一項「素樸推論」。

小甲在後測時繼續堅持外來派，她補充說：

小甲：地下水是補充泥漿的來源，地下水層再如何豐富也無法維持非常久，不過當地下水枯竭時，泥火山可能就不再噴發，只有地下水才能讓泥火山持續噴發。

因為在戶外探究活動時，她發現有些泥火山不再噴發，因此提出了地下水枯竭的解釋，來鞏固原來的理論。

值得注意的是，小甲對「甲烷水合物分解成甲烷和水，可能是泥火山的天然氣與水的來源」這項溯因推論的評分爲 1，表示沒意見：

研究者：你不認爲它支持固有派嗎？

小甲：我不認爲。

研究者：爲什麼？

小甲：也許是我的偏見吧。

研究者：偏見？

小甲：我就是討厭封層水。

研究者：那你對下一個理由（雖然泥火山噴出甲烷和水，但沒有實際的觀測資料顯示泥岩層含甲烷水合物）給四分。

小甲：對，我很贊成這個說法。

小甲以沒有實際觀測資料否決甲烷水合物，不過卻接受同樣沒有實際觀測資料的雨水與泥混合的假設，她表示沒理由，只是她不喜歡封層水的說法，這是以主觀的「相信直覺」來判定。

由上述的晤談及量化統計資料顯示：素樸型學生在理論選擇時偏好較直觀的「素樸推論」，其次是「假設推論」，而「事實推論」和「溯因推論」的重要性相對較低，而權威及直覺對其選擇有相當的影響力。

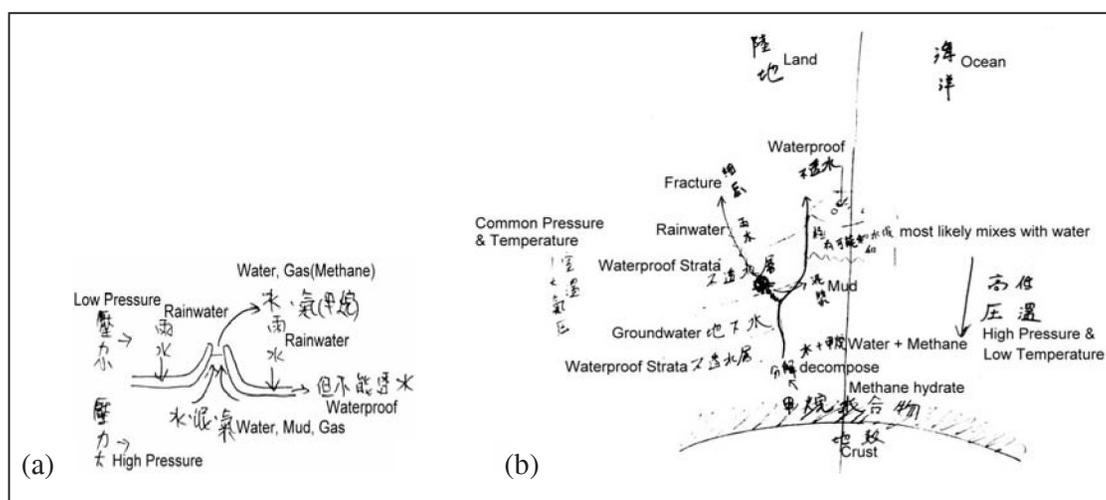
## (二) 邏輯型

邏輯型學生在「相信權威」、「相信直覺」二個因素評分達高重要程度，其餘因素則為中重要程度，但「溯因推論」及「事實推論」較高（見圖三）。

相對於全體平均，本型學生在「推論因素」部份，其「溯因推論」及「事實推論」均高於平均值且在各類型中最高，而「素樸推論」則在各類型中最低；在「信念因素」部分，權威的影響為各類型中最低，但無論是權威、直覺或同儕與全體平均值間均無統計上的顯著差異。

圖五是個案學生的固有說泥火山模型。固有說主張泥火山的水原本就已封存在泥岩中，而沒有外來的水補注，邏輯型學生的代表性說法如下：

水、泥、和氣原來就在泥岩層裡面，因為氣體使得裡面的壓力較大，因此把泥噴出來，而泥岩不透水，所以雨水進不來（圖五 a）。



圖五 邏輯型個案學生的固有說泥火山模型

邏輯型個案學生小乙在 WITWO-A、B 問卷均選擇固有說，兩次作答信心均高達 5 分。小乙在前測時選擇固有說的理由是：

小乙：有些泥火山不再噴發，表示水的來源應為固有的，因為如果水為外來的，那水的供應應該會源源不絕，而不會有停止。而且水和氣體是可以穿過土壤的，所以氣體是不會用盡的，顯示是其餘的泥火山仍在噴發，由此可知泥火山不再噴發的 key 在水，而有的泥火山沒在噴發顯示水的來源已經斷絕了，由此得證。

小乙運用「假設推論」來論證：如果水是外來的，則源源不絕的水會使泥火山一直維持噴發狀態，現在觀察到有些泥火山已經停止噴發，與前面的預測違背，所以水不是外來的。

她也考慮到泥火山不再噴發不只是沒有水的問題，如果沒有氣體也不會噴發，為此她提出一項「氣體不會用盡」的假設，來推論「泥火山不再噴發的 key 在水」，不幸的是雖然她考慮到「水和氣體同樣影響噴發」而顧及了邏輯的一致性卻落入了「素樸推論」，在

前述那句話中，她用了其他泥火山還在噴發來說明氣體沒有用盡，用了氣體會穿過土壤來支持休止的泥火山不是沒有氣體而是沒有水，卻無法說明她說水也會穿過土壤，卻為何不遵守前述氣體的邏輯，這是特置假設。

在閱讀過「水循環」及「甲烷水合物」兩份資料後，小乙更進一步相信泥岩層封存了甲烷水合物，她說：

小乙：現在的深海裡就有甲烷水合物啊。以前在深海裡高壓低溫合成的甲烷水合物，現在跑到陸地上，溫度升高壓力下降，就分解成水和甲烷，就是泥火山的氣體和水（圖五 b）。

她以甲烷水合物的存在做「溯因推論」，因為深海的沉積中有甲烷水合物，分解後產生水與甲烷氣體，而泥火山也噴發水與甲烷，且泥岩是深海的沉積，因此泥火山的水有可能來自甲烷水合物。不過小乙曾出現一點猶疑：

小乙：其實，我有點想改耶！我覺得最有可能和雨水混合的地方是噴泥口和裂隙。雨水可以從噴泥口或裂隙流進來（見圖五 b）。

研究者：你要不要改變你的想法？

小乙：我還是不要改好了！

研究者：為什麼？

小乙：泥岩不是不透水嗎！

研究者：那裂隙呢？

小乙：泥漿在往上噴，而且感覺上水和泥不會自動混在一起。

研究者：有證據嗎？

小乙：泥黏黏的，看來就像這樣。

小乙雖然以「泥岩不透水，裂隙也因為泥漿往上噴而使得雨水無法下滲」的「事實推論」否定了外來水混入的想法，但是她卻以「感覺上水和泥不會自動混在一起」做素樸推論，而未提進一步的支持證據，只用「泥黏黏的，看來就像這樣」來說明。

由上述的晤談及量化統計資料顯示：邏輯型學生在理論選擇時，比較不依賴「素樸推論」做選擇，他們比較重視「溯因推論」及依據事實所作的「事實推論」，而「權威與直覺」仍具有相當的影響力，但比起其他類型的學生，他們較不輕易相信權威。

而由個案學生也得知：邏輯型學生在資料不足時仍會採用素樸推論，在資料不太充分時會採用假設推論，背景知識增加後，溯因推論的重要性就會壓過素樸推論。

### （三）混合型

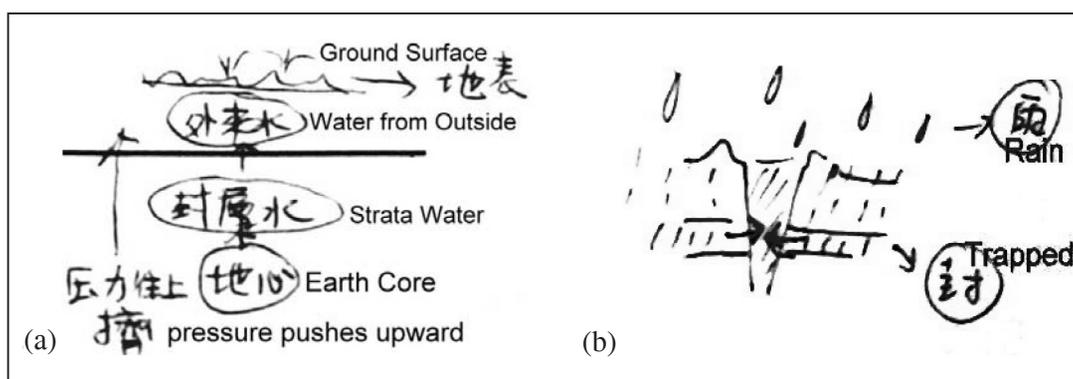
混合型學生在「相信權威」、「相信直覺」二個因素評分達高重要程度，其餘因素則為中重要程度，但「假設預測」及「類比推論」較低（見圖三）。

本型學生在「推論因素」部份所有得分均低於平均值，不過除「假設預測」外，其餘各因素與其平均值間均未達統計上的顯著差異，而「假設預測」也是各類型中最低。雖然不像直覺型學生「素樸推論」佔極大影響力，但是相對於其他因素，此型學生做理論選擇

時「素樸推論」、「事實推論」及「溯因推論」佔較高影響力，兼具了素樸型與邏輯型學生作理論選擇的特徵。在「信念因素」部分，權威與直覺均高於平均值，同儕的影響則低於平均，不過只有相信權威達統計上的顯著差異。

圖六是個案學生的混合說泥火山模型。混合說主張泥火山的水混有封層水和天水，混合說學生的代表性說法如下：

泥火山的水某些來源是雨水，有些則是原本封存就有的。因雨水最後會滲入於地下，而臺灣原本也是在海底下，泥岩沉積時可能把水封存，所以兩個都有。



圖六 混合型個案學生的混合說泥火山模型

混和型個案小丙在 WITWO-A、B 問卷均選擇「混合說」，前測作答信心 3 分，後測信心增強到 4 分。小丙在前測提出「混合」觀點，理由是：

小丙：兩者皆有，陸地抬升後除了裡面本身含有的水分，再加上抬升後所下的雨，到現在岩層除了本身的水還有外來的水（佔較多）。

小丙反對封層水說，理由是：

小丙：照此派所說的，就好像外界有水也無法滲進去，很明顯的就可看出此派的錯誤，因此，地底的水應為外來和固有。

小丙並未提證據說明水可以進入，而只是「很明顯地就可看出此派的錯誤」，由此可見她和許多同學一樣以「素樸推論」來說明有雨水成分。

在後測時她仍堅持「兩者都有」的想法，她說：

小丙：兩者都有！有地下水也有本身的水分，從圈選題（對理由的評斷）便可看出，也代表每種泥火山會因自然因素所在地理環境而不同。

研究者：你的意思是…？

小丙：有些地方泥漿稀，地下水比較多；有些地方比較濃，地下水少。

小丙企圖解釋不同泥火山的泥漿濃度不同是因為地下水的含量不同，來強化她的選擇，這是「事實推論」。不過泥漿的水含量與地下水的因果關係仍然無法說明，所以還是落入「素樸推論」。

小丙在訪談中一直在「固有說」和「外來說」之間徘徊，起先她用「假設預測」，如果「只有封層水，不會噴那麼久」，而偏向「外來說」，然後又以如果「噴上來的時候，也

有可能碰到地下水脈」說明混合的可能性，後來又以「事實推論」質疑雨水混入的可能性，因為「泥漿不是不太滲水，那雨水怎麼會讓它變稀」。

小丙做選擇時會要求更多的解釋，例如「我會聽同儕的意見，但是仍然要看他們提出的理由才決定要不要相信」，但是她把網路資料當權威，而且容易相信，所以查到「雨水會沿裂隙下滲」，她就偏向「外來說」，而查到甲烷水合物可以提供大量的水，就又開始考慮「固有說」的可能性。

研究者：(隔天)你昨天晚上查到什麼資料？

小丙：泥火山要有氣體、水、泥還有裂隙，泥火山都在斷層帶上，雨水會沿裂隙下滲。

研究者：那就支持你的看法囉。

小丙：對啊。然後我又去查了甲烷水合物，它說甲烷水合物 1 立方公尺可以得到 0.8 立方公尺的水，它可以放出很多水，就開始猶豫了。我是先查到地下水的，所以就偏向地向水，然後查到甲烷水合物，就不知道怎麼辦？

研究者：那你覺得兩個是混合在一起？

小丙：我覺得兩個都有可能，一半一半。

由上述的晤談及量化統計資料顯示：混合型學生將兩個理論混合成自己的新理論，「權威」對他們的影響很大，在各類中最容易受權威影響。而依賴「素樸推論」及「事實推論」做選擇的結果，促使他們選擇混合兩種理論。

#### (四) 改變型

改變型學生只有「相信權威」這個因素評分達高重要程度，其餘因素則為中重要程度，但「素樸推論」較高，「類比推論」最低（見圖三）。

本型學生在「推論因素」部份，除「假設預測」外，其餘各因素與其平均值間均未達統計上的顯著差異，而「假設預測」的得分則為各類型中最高。在「信念因素」部分，其受直覺影響則為各類型中最低，但與平均值相比並未達顯著差異。

改變型個案學生小丁，在 WITWO A 問卷選擇「外來說」，B 問卷則變成「混合說」，前測作答信心 3 分，後測信心增強到 4 分。

圖七是小丁的泥火山模型，在前測時他選擇外來說（如圖七 a），理由是：

小丁：這兩個答案不是絕對的。不過想一想，如果是固有的，噴一噴，沒了怎麼辦，就像死火山一樣。外來的話，(泥漿)有濃跟稀，那是水補充比較多或比較少。

小丁在這裡運用「假設預測」排除了固有說（如圖七 b），並且運用「素樸推論」來說明有外來的可能性，他認為泥漿的稀或濃是外來補注水的多寡，但沒有證據說明水確實混入泥漿，不過卻與「水越多泥漿越稀」的「事實推論」一致。

小丁在後測時改變成混合觀點（如圖七 c），理由是：

小丁：下雨天，有水進入泥庫，泥漿變得比較稀，如果不是下雨天，泥庫的水是

原本的水，比較濃，還是會噴出來。原來的水是海水，不知道甚麼原因，或地層變動被關起來，變成封層水，現在在陸地上了，如果有地下水脈通過，那就可以解釋為什麼有氯化鈉的成分。

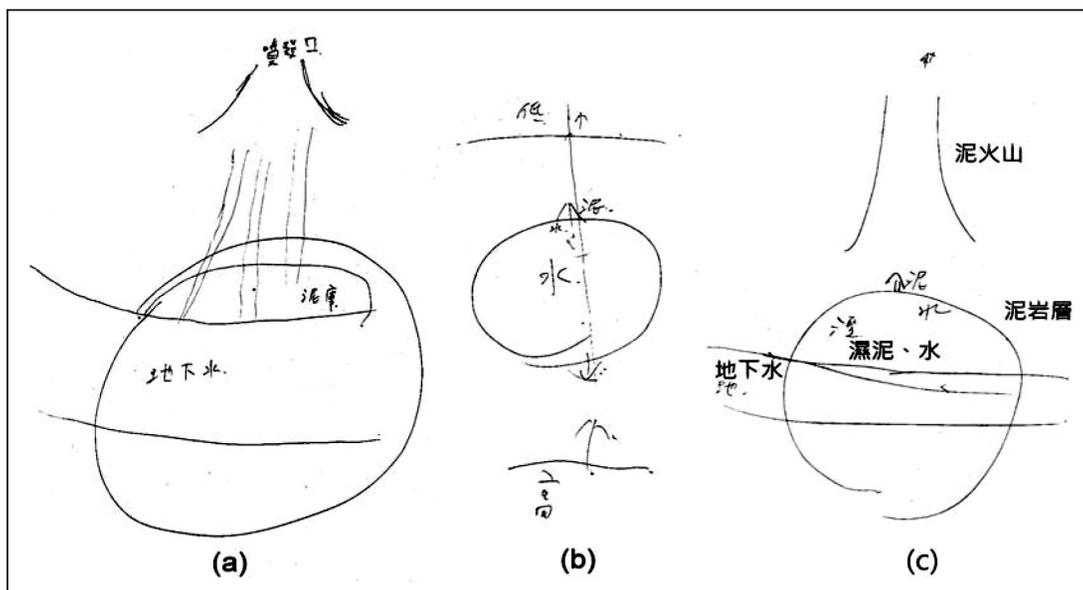
小丁在這裡考慮泥岩形成的環境，提出了海水被封存的可能，泥漿有氯化鈉，海水有氯化鈉，如果海水在泥岩沉積時被封存，那就可以利用「溯因推論」得到泥火山泥漿含有固有水的結論，而他又利用地下水脈通過泥漿庫的假設，說明雨季與乾季和泥漿稀或濃的關係，這是「素樸推論」。

從小丁的前測作答信心可以看出小丁對自己原來的選擇不是很滿意，而調整後的理論卻可以解釋更多的現象，因此小丁發生了改變。他說：

小丁：我突然覺得，把這兩個（外來說和固有說）結合在一起。這是原來的水，有許多條水脈穿過封存的水（圖七c）。

研究者：你為什麼改變你的想法？

小丁：因為好多理由看起來都很有道理，而有的支持外來，有的支持固有，把兩個結合起來，兩個就都可以解釋了。



圖七：改變型個案學生的泥火山模型 (a) 外來說 (b) 固有說 (c) 混合說

小丁並未以直覺來解釋他的選擇，相對地他調整理論盡量去解釋問卷上的每一個理由。

由上述的晤談及量化統計資料顯示：相對於其他未發生改變的學生而言，概念改變型學生「相信直覺」的評分在所有類型中最低，而「假設預測」的評分在所有類型中最高，這兩項因素可能是促使其發生概念改變的主要因素。

## 伍、結論

本研究主要在藉由泥火山水來源的爭議背景，提供理論選擇式的探究，以研究高中學

生如何進行理論選擇。研究者首先發展出泥火山水來源理論選擇問卷 (WITWO) 提供證據或理由供學生進行評斷，以便學生對競爭理論進行選擇，最後進行問卷的量化分析及個案晤談。以下根據研究結果提出結論如下：

## 一、學生做理論選擇的因素

影響學生理論選擇的因素可分為主觀的信念因素和客觀的推論因素。

信念因素是指未經思考就相信，包括相信權威、相信同儕與相信直覺。整體而言，高中學生相信權威的意見，如果沒有權威的意見可供參考，一般學生會以直覺做為選擇的依據，至於同儕的意見並不會直接相信，換句話說，權威與直覺在高中生的理論選擇佔有重要地位。

推論因素是指經過思考與推理運作才做選擇，包括素樸推論、溯因推論、假設預測、類比推論及事實推論。整體而言，學生最常使用素樸推論，其次才是溯因推論、事實推論及假設預測，而影響最低的是類比推論。

## 二、學生做理論選擇的類型

學生的理論選擇並不是非 A 即 B，也可能混合 A 和 B 而提出新理論 C。而且學生選擇的理論並不是全盤複製要學習的理論，而是在他舊有的基礎上重新建構自己的理論。

本研究也發現，高中學生的理論選擇有固著性，大部分的學生前後選擇一致不輕易改變，因此可以把前後選擇發生改變的這些學生分成一類，這類學生的共同特徵是比較容易發生概念改變，因此稱為改變型。另外在前後測未發生改變的學生中，把擷取 A、B 理論混合成新理論的學生，稱為混合型；其餘的學生是依其偏好素樸推論或邏輯推論（包括溯因推論、假設預測及事實推論）而選擇不同屬性的理論，因此可依此分成素樸型及邏輯型。

總之，學生依其做理論選擇的特性，可分成素樸型、邏輯型、混合型及改變型。

## 三、學生做理論選擇的偏好

不同的學生對影響其作判斷的因素有不同的偏好，這些偏好影響他們的理論選擇。有些學生偏好以信念因素做選擇，有些則以推論因素為依歸。推論因素又可區分為素樸推論、邏輯推論及類比推論。

綜合問卷及晤談結果發現：

### (一) 相信權威、相信直覺及素樸推論在高中生的理論選擇中佔重要地位

對高中生而言，無論是哪一類型學生，相信權威與相信直覺的影響均很高，達高重要程度，其餘因素則均在中重要程度。就平均而言，或除邏輯型學生外，素樸推論也是五個推論因素中最重要因素。而相信同儕及類比推論對他們的理論選擇影響則在所有因素中最小。

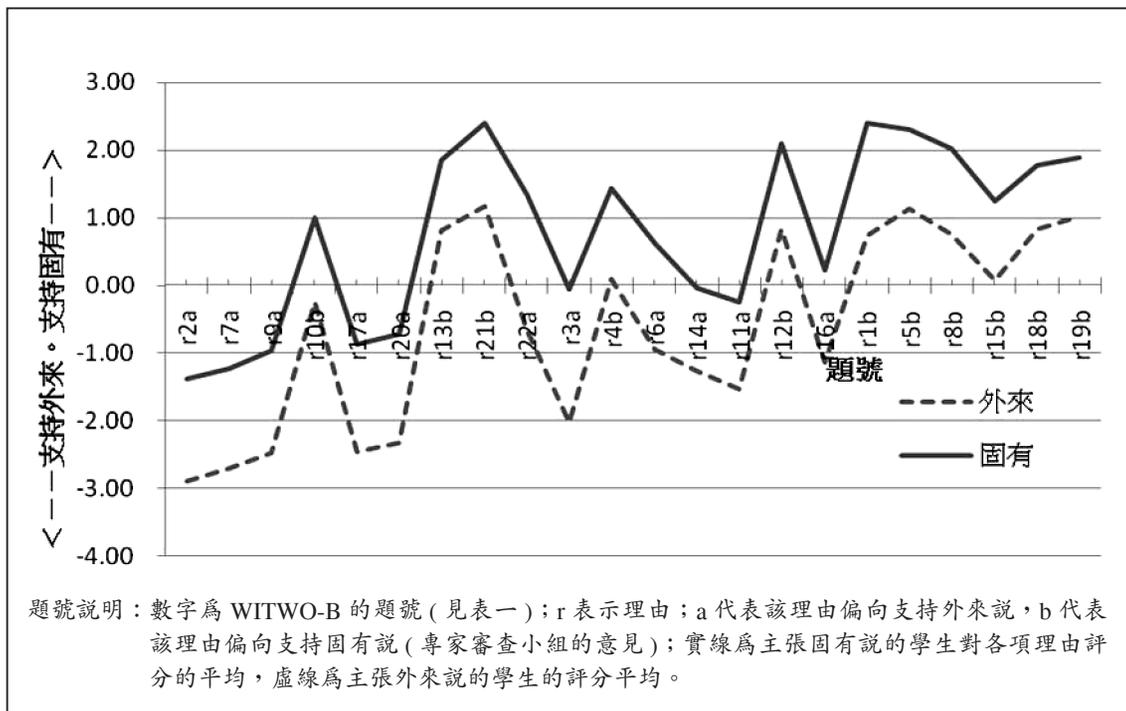
個案學生經常使用素樸推論來做選擇，對理由的評判也常使用可信度作為判準，他們選擇它，只因為相信它。這與學生對「相信權威」和「相信直覺」給與較高評分的做法吻合。

## (二) 學生的理論選擇有固著性，不容易改變

在後測中雖然提供學生 22 項理由協助學生進行理論選擇，但是學生的選擇卻很少改變，而且變得更固著。量化調查數據顯示只有 14.6% 改變其選擇，而前後測中對選擇的信心全體平均從 3.50 增至 3.84。

## (三) 學生傾向於依自己的選擇來解釋理由，對不利的證據採取忽視，或做對自己選擇有利的解釋

即使相同現象、相同證據都有可能解釋成完全相反的選擇，例如對於「有些泥火山仍在噴發，有些泥火山已經停止噴發」這個現象，小乙主張「有些泥火山停止噴發表示水有限，所以支持固有說」，而小甲則主張「有些泥火山仍在噴發，表示有外來的水補注，所以支持外來說」。學生會將理由解釋成偏向自己的選擇，即使該理由可能支持的是另一個選擇。例如支持外來說的小甲，對「泥火山的水來自泥岩中封存的甲烷水合物分解產生的水」這項說法表示沒意見；而支持固有說的小乙，就認為這項說法強烈支持固有派。圖八是主張固有說及主張外來說的學生對各項理由的評分平均， $>0$  表示支持固有說， $<0$  表示支持外來說，由圖可以看出各派的評分偏向自己的主張，如理由 r10b（累積雨量越多，噴泥含水量增加，這只是相關，不能確定降水是導致含水量增加的原因）及 r16a（泥岩形成時已經過脫水固結，就像堅硬的石頭不會再因為高壓而擠出水來）甚至出現完全相



圖八 主張固有說及外來說學生對各項理由的評分情形

反的選擇。由此可見，學生對理由的解釋多是用來增強原來的選擇，對無法解釋成支持自己選擇的不利證據，則採取忽視，如理由 r3a（如果不是地下水，而是地層水，那地層水不夠時，泥火山就不再噴發，可是烏山頂泥火山已經存在這麼久了還在噴發）、r4b（假如封層水的水量很豐富，泥火山就可以活動很久，不過確實有可能終止的一天）、r15b（泥岩中的黏土礦物有些會因受高壓作用而脫水轉變成另一種礦物[例如一種叫「膨潤石」的礦物受高壓就會釋出水份變成另一種礦物叫「伊菜石」]）。

#### (四) 各類型學生各有不同偏好，愈不依賴權威與直覺，而越倚重邏輯推論來做選擇，越可能發生概念改變

從各類型的理論選擇偏好得知，權威與直覺的重要性以混合型最高，改變型最低；素樸推論的重要性以素樸型最高，邏輯型最低；邏輯推論的重要性以邏輯型最高，素樸型最低。從改變型的偏好來看，越不依賴權威與直覺，而越偏好邏輯推論，越有助於概念改變。然而資訊不足時，學生傾向於使用素樸推論或依賴權威與直覺來做選擇，學生越可能選擇自己的素樸理論，或將素樸理論與科學理論混合，因此教師在教學時應該提供充分的資訊，並協助學生以邏輯推論做評斷。而理論選擇式的探究教學可以提供足夠的線索或證據供學生進行評斷做理論選擇，透過教師給與適時的回饋，有助於學生發生概念改變。

## 參考文獻

### 一、中文部分

- 王鑫(1986)。泥火山地景保留區調查報告。臺北：行政院農業委員會。
- 王鑫、徐美玲、楊建夫(1988)。臺灣泥火山地形景觀。臺灣省立博物館年刊，31，31-49。
- 杜鴻模(2001)。高雄市高中密度量測實驗教學概況與建議。科學教育月刊，242，54-58。
- 洪振方(2003)。探究式教學的歷史回顧與創造性探究模式之初探。高雄師大學報，15，641-662。
- 陳均伊，張惠博(2007)。探究導向教學的理論與實務—以「摩擦力」單元為例。物理教育學刊，8(1)，77-90。
- 陳肇夏(1994)。大地的氣息。臺北：陽明山國家公園管理處。
- 教育部(2003a)。國民教育九年一貫「自然與生活科技」課程綱要(2003年2月27日公佈)。臺北：教育部。
- 教育部(2003b)。第一次全國科學教育會議實錄。臺北：教育部。
- 教育部(2006)。中小學一貫課程體系參考指引(2006年10月26日公佈)。臺北：教育部。
- 黃建彰、徐順益、林建隆(2006)。發展資訊融入之5E探究教學教材做國中光學教學之行動研究。論文發表於中華民國物理教育學會主辦之「2006年中華民國物理教育」學術研討會，彰化。

- 葉高華 (2003)。由流體地球化學探討臺灣泥火山的成因。國立臺灣大學海洋研究所碩士論文，未出版，臺北。
- 詹博舜 (2001)。由穩定氫氧同位素探討臺灣西南活動構造帶泉水之來源。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文，未出版，臺北。
- 齊士崢，馮馨瑩 (2001)。高雄縣烏山頂泥火山自然保留區。高雄：國立高雄師範大學。
- 劉星君 (2008，11月5日)。萬丹泥火山噴漿衝到三樓高。聯合報。2009年4月30日取自 <http://udn.com/NEWS/DOMESTIC/DOM6/4587260.shtml>
- 蘇世偉 (2009，3月2日)。萬丹泥火山噴發苦瓜園泡湯。臺視新聞。2009年4月30日取自 <http://www.ttv.com.tw/098/03/0980302/098030245977011.htm>
- 蘇明俊 (2004)。野外探究教學模式之研究。國立高雄師範大學科學教育研究所博士論文，未出版，高雄。
- 顧炳宏 (2007)。粒子觀點之引導探究式教學活動設計。物理教育學刊，8 (1)，49-62。

## 二、英文部分

- Brewer, W. F., Chinn, C. A., & Samarapungavan, A. (2000). Explanation in Scientists and Children. In F. C. Keil & R. A. Wilson (Eds.), *Explanation and Cognition* (pp. 278-298). Cambridge, MA: MIT Press.
- Croucher, C. J., Bertamini, M. & Hecht, H. (2002). Naive optics: understanding the geometry of mirror reflections. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and performance*, 28(3), 546-562.
- Grandy, R. E. & Duschl, R. A. (2005, July). *Reconsidering the character and role of inquiry in school science: analysis of a conference*. Paper presented at the International history and Philosophy of Science and Science Teaching Group meeting in Leeds, England.
- Hogan, K. & Maglienti, N. (2001). Comparing the epistemological underpinnings of students' and scientists' reasoning about conclusions. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 663-687.
- Holton, D. & Clarke, D. (2006). Scaffolding and metacognition. *International Journal of mathematical Education in Science and Technology*, 37(2), 127-143.
- Kuhn, T. (1970). *Structure of scientific revolutions*. Second edition. Chicago: University of Chicago Press.
- Lawson, A. E. (2003). Allchin's shoehorn, or why science is hypothetico-deductive. *Science & Education*, 12, 331-337.
- Mohanan, K. P. (n.d.). *Types of reasoning: relativizing the rational force of conclusions*. Retrieved March 11, 2008, from <http://courses.nus.edu.sg/course/ellkpmoh/critical/reason.pdf>

- NAS (2008). *Science, Evolution, and Creationism*. Washington, DC: National Academy Press.
- NRC (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- NRC (2000). *Inquiry and the National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- NRC (2005). *How students learn: history, mathematics, and science in the classroom*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Pinch, T. (1985). Theory testing in science – The case of solar neutrinos: do crucial experiments test theories or theorists? *Philosophy of the Social Science*, 2(15), 167-187.
- Samarapungavan, A. (1992). Children's Judgments in theory choice tasks: scientific rationality in childhood. *Cognition*, 45(1), 1-32.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual Revolution*. New Jersey: Princeton University Press.



## 科技大學低年級學生莫耳概念之探究

### Investigation of the Lower Grade Student's Molar Concepts in the University of Science and Technology in Taiwan

薛光華\*

Kuang-Hua Hsueh

(收件日期 97 年 12 月 3 日；接受日期 98 年 3 月 23 日)

#### 摘要

本文旨在調查科技大學學生對莫耳概念的瞭解情形，並歸納學生的錯誤想法，以供未來科技大學化學相關課程教學參考改進之用。研究對象為南部某科技大學環安、職安、醫技、生科、食營、食科、妝管等理工背景學系一、二年級學生共 357 人。研究工具為自行發展之紙筆測驗問卷，評量內容包括「莫耳基本概念」與「莫耳基本計算能力」兩大部分；六項主概念：物質的組成、原子量與分子量、莫耳概念、化學式、質量與莫耳數之轉換能力、數量與莫耳數之轉換能力等。主要研究發現如下：(1) 學生缺乏物質組成之微觀概念。(2) 無法正確的分辨分子、原子、分子量、原子量。(3) 不瞭解莫耳與數量、質量、體積之間的關係。(4) 不瞭解化學式中各成分元素符號與下標數字所代表的意義。(5) 「質量」與「莫耳數」、「分子數」與「莫耳數」相互轉換之計算能力不足，後者表現更為明顯。(6) 二年級學生的綜合表現優於大一新生。

**關鍵詞：**科技大學，分子，計算，莫耳，概念

---

\* 中華醫事科技大學環境與安全衛生工程學系副教授

### Abstract

The purposes of this study are to investigate the understanding of College students' molar concepts as well as misconceptions in the University of Science and Technology. The results will be helpful for curriculum design in chemistry classes. In this research, there was a total of 357 students who completed the tests. Including sophomore and freshmen which were selected from the department of Safety Health and Environmental Engineering, Occupation Safety and Health, Medical Technology, Biological Science, Biological Science, Food Science and Technology, and Cosmetic Science etc. The instrument is "Diagnostic test of molar concepts with a paper and pencil multiple choice format". This instrument is used to understand student's "basic molar concepts" and "basic molar computing capability". Six main topics are included: "component of matter", "atomic and molecular weight", "molar concept", "chemical formula", "the change ability among mass and mole" and "the change ability among amount and mole".

The main findings of this research are: (1)Students do not have a microscopic view of the component of matter. (2)They can not distinguish the difference between atoms, molecules, atomic weight and molecular weight. (3)They misunderstands the relationship between mole, quantity, mass and volume. (4)They can not identify chemical symbols and subscripts in a chemical formula. (5)Lack of the ability to convert mass to mole, or convert amount of molecule to mole. Particularly the latter is more insufficient. (6)The sophomores' comprehensive representation is superior to the freshmen.

**Key words:** Calculations, Concepts, Mole, Molecules, University of Science and Technology.

## 壹、緒論

### 一、研究背景與動機

近十餘年來國內外許多的科教界學者皆致力於診斷出學生在某特定科學概念上的迷思概念 (misconception)，例如：物質概念 (張容君、張惠博和鄭子善，2007；Gómez & Pozo，2004)、酸鹼概念 (黃萬居和張萬居，2006)、電化學概念 (蘇育任和張馨文，2002)、溶液 (Chiu, 2007)。這些研究基本上是以國中、高中或普通大學學生為研究對象，至於以技職院校學生為研究對象的報告則並不多見。「莫耳」是化學領域中相當重要而基礎的概念，無論是在藥品的秤取、溶液的配製、化學反應中反應物與生成物間的計量關係等均須用到它。另外有一些研究如 Gabel 和 Sherwood (1984) 指出，「莫耳」單元對中學生而言，其學習意願不高且學習成就偏低。學生對於實驗室中所觀察到的巨觀化學現象卻必須以看不到的微觀原子來解釋，在兩者之間無法得到聯結。Staver 和 Lumpe (1995)；Haidar (1997)；Nakhien 和 Mitchell (1993) 皆指出學生在學習化學時是把化學概念的定義給背下來，對概念性問題不甚瞭解，只是片段零星的記憶知識並未給予統整，所以無法吸收而產生學習的困難。從文獻的蒐集中得知，學生在國、高中時期學習莫耳概念時普遍存在的困難包括：數學計算能力、不清楚原子或分子、只記憶而沒有理解等。因為「莫耳」對學生而言，學生必須從微觀觀點來考量，若學生對微觀世界不瞭解時，莫耳的學習成效是低落的。

由於教育環境的變革，許多技職院校陸續由五專改制為技術學院或科技大學，學校招收學生的來源由過去的國中生轉變為以高職生或綜合高中畢業生為主。這些學生比國中畢業生多經歷三年的高中職教育，理論上化學概念應該是更為成熟才是。但是經過這些年來的實務教學經驗，發現學生的程度不如預期的想像，有些基本觀念並不十分清楚，使得我們必須重新思考並檢視學生的化學基本概念，若能找出過去學習上的缺失原因加以改進，對於科大學生的學習相信會有正面的助益。

### 二、研究目的

本研究的主要研究目的是希望了解四年制科技大學理工科系一、二年級學生對原子、分子與莫耳等綜合概念的瞭解程度，以及學生對這些莫耳概念具有哪些錯誤的想法，以供未來高職或科大教師教學上採用教材與教學方法之參考。也希望瞭解科大二年級學生在經由一年的大學化學教育之後，是否比一年級新生具備比較正確的莫耳概念，藉以檢討改進科大一年級化學課程之教學內容與方式。所以本研究的研究目的如下：

- (一) 分析科大一年級新生、二年級學生在莫耳綜合概念方面有哪些錯誤想法？
- (二) 比較科大一年級新生、二年級學生在莫耳綜合概念方面有哪些差異？

### 三、研究範圍與限制

本研究主要以南部某四年制科技大學 (以下簡稱 H 科大) 為研究對象，所謂低年級

學生係指 H 科大剛入學之一年級新生及二年級學生，研究結果不宜直接推論至其他學校。而「莫耳綜合概念」診斷工具為研究者參考、整理文獻所自行發展的測量工具。所謂「莫耳相關概念」測量的概念範圍僅限於國民中小學九年一貫課程暫行綱要及高級職業學校新課程暫行綱要中所揭示與莫耳有關之概念，涵蓋：物質組成、原子量與分子量、莫耳概念與化學式等。而所謂「莫耳基礎計算」測量的概念計算範圍則僅限於：質量與莫耳數間之相互轉換、數量與莫耳數間之相互轉換，未必全面涵蓋所有的莫耳相關概念。

## 貳、文獻探討

### 一、教材分析

根據教育部於 89 年公布，90 學年度起由國小 1 年級開始實施，93 學年度全面實施的國民中小學九年一貫課程暫行綱要顯示（國立編譯館教科書資訊網，2008），粒子與莫耳相關概念之課程仍然包含在「自然與生活科技學習領域」當中。所強調的重點包括粒子概念、原子與分子、元素及化合物、元素符號與化學式、原子量與分子量的觀念、化學反應方程式及化學上的計量關係等。與莫耳相關概念有關的次主題、課程細目及教材內容整理後請參見表 1。

表 1. 九年一貫課程綱要所列莫耳相關概念的內容

次主題	課程細目	教材內容
主題 130 物質的 構造與 功用	物質是可以分解與組合的	3a. 能透過活動（例如觀察溶解、擴散現象、切割物質、組合積木）知道物質是由粒子所組成的，因此物質可以分解成更小的粒子（不必提原子的概念）。
	物質是由粒子所組成	4a. 能由科學活動（例如擴散、切割）知道物質是由粒子所組成。 4d. 知道物體的質量，可由其受地心引力的大小來測量。
	原子與分子	4c. 能用簡單模型或符號說明原子與分子二者之間的關係，並舉例說明。 4f. 能說明原子與分子的組成與性質不同。
	元素符號與化學式	4j. 能了解元素符號及簡單化合物的命名原則與方法。
	原子量、分子量	4l. 了解原子量、分子量的概念，並能做簡單的計算。

在高級職業學校部分，同樣由教育部於 94 年 2 月修訂公布，95 學年度起開始實施的高職新課程暫行綱要中，「生活與科技課程綱要」之實施要點（國立編譯館教科書資訊網，2008），整理出與莫耳相關概念有關的單元主題與相關知識（參見表 2）。莫耳相關概念依然是高職整個化學相關課程中相當重要且基礎的核心課程。因此，不論是國中或是高職的化學教材，莫耳相關概念均佔有相當重要的份量。

表 2. 職業學校一般科目課程標準綱要所列莫耳相關概念的內涵

學科	單元主題	相關知識	認知目標
自然科學概論 II	物質的變化	莫耳與簡單的化學計量 (以簡單例題說明)	統整自然科學基礎理論為輔，並與國民中學之生物、理化及地球科學課程銜接。
化學 I	物質的構造	原子結構 物質的質量及其基本單位—莫耳 化學式 分子的結構	能瞭解化學與環境、科技、人生的相關性，建立化學基本知識與概論。

## 二、莫耳的起源與定義

Ostwald 於 1900 年，基於他對原子理論的懷疑，首次提出「莫耳」這個名詞。「莫耳」在拉丁文的意義為「很大的質量」，主要的原因是 Ostwald 反對以原子、分子的微小質量作為表達的方式。根據 Ostwald 的使用方式，Furio (2000) 認為「莫耳」是被視為質量來使用的，而不是現在所使用的粒子數量。1961 年 IUPAP (The International Union of Pure and Applied Physics) 將「莫耳」這個名詞定義為一個新物理量的單位，這個新物理量就是「物質的數量 (amount of substance)」。IUPAC (The International Union of Pure and Applied Chemistry) 也在 1965 年將「莫耳」定為一個新物理量的單位。最後，在 1971 年「莫耳」終於成為 SI 單位的第七個物理量。根據 IUPAC 的定義，一系統物質的數量與 12.0000 公克的 C - 12 相同時，這個基本實體，稱為一莫耳。而所謂的基本實體可以是原子、分子、離子、電子或其它的粒子。而關於「莫耳」這個單位的定義，許多的學者認為會對學生的學習造成嚴重的混淆。Graham (1983) 認為定義莫耳為物質的數量時，學生對「數量」這個詞會產生一些困擾，因為在平常的使用上，它指的是一個測量的數量，例如質量、長度或體積等。Gorin (1994) 指出在 SI 的定義中，莫耳被稱為物質的數量這種說法是不明確的。一方面是數量有許多的解釋方法，另一方面，因為莫耳可被用來測量像離子這類不能單獨存在的物質，因此建議使用「化學數量 (chemical amount)」來表示，IUPAC 在 1994 年也認定「化學數量」與「物質數量」是同義詞。雖然仍有一些疑義，但是現今較為廣泛接受的定義依舊採用 IUPAC 的定義，也就是莫耳為一種數量的單位。

## 三、莫耳相關概念的研究

### (一) 莫耳相關概念的學習困難

莫耳是一個國際的單位，在化學上也是很常用到的單位。但最近幾十年來有關莫耳的研究均指出，對學生而言學習莫耳是一件相當困難的事。Ingle 和 Shayer (1981) 分析 Nuffield 大學化學系學生學習概念的要求研究發現，莫耳概念與它的相關應用對於 15 歲大的學生是相當的困難。而學生在莫耳概念上的混淆最可能的來源是教師本身對於莫耳

概念也是混淆的。當在教學的過程中，教師經常以數量的觀點談論莫耳，但在下一瞬間卻又使用質量。所以莫耳到底是一個數量或是質量呢？Cervellati, Montuschi, Perugini, Grimellini-Tomasini 和 Balandi (1982) 指出在中等學校的化學課程中，莫耳與其相關概念是相當基本的課題，但是不論在學習或是教導這些概念似乎都是非常的困難。其中兩位，曾對大一新生做小規模的研究，發現包含莫耳概念的題目錯誤最多也是被放棄最多的。Lazonby, Morris 和 Waddington (1985) 指出莫耳對於中等學校及大學的學生都是苦難的根源。Dierks, Weninger 和 Herron (1985) 指出基礎化學的老師們都認定莫耳概念是課程內中最困難的部分。Dori & Hameiri (1998) 指出解化學計量問題需要許多的數學技能，而學生是傾向於找出各種代數的技巧來解，而不是在瞭解莫耳概念的意義後再去找出解題的途徑，並指出缺乏數學能力與缺乏對化學概念的瞭解是學生在解定量問題時覺得困難的兩大主因。

一般而言，莫耳概念在評量時要求學生進行許多步驟的計算。Graham (1983) 指出非常多的生物系學生在包含使用莫耳的溶液問題感到相當的困難。大部分的困擾來自於術語或符號。非常多的生物系學生認為莫耳濃度所使用的單位 (M) 是莫耳的縮寫。Lazonby et al. (1985) 運用四種不同架構的題目研究了 2659 位 15 到 16 歲的學生，發現莫耳主要的困難是在於連續部分的計算，而不是在於單一步驟的運算，這也是導致了老師認為學生對莫耳概念的瞭解是相當低的原因。Sanabia (1993) 的研究指出對於學生理解莫耳概念的困難主要來自於下列三個主因：(1) 對於相對的原子質量的意義並不是明確的了解。(2) 不能明白為什麼科學家選用如此巨大的數量作為單位。(3) 為什麼相同數目的原子具有不同的質量？Shanthi 和 Ann (1994) 指出學生經常對莫耳定義中「獨立的單元」有不完整的了解，另外，學生常常相信莫耳是分子才有的性質，原子並不具備。Crippen, Curtright 和 Brooks (2000) 對於莫耳概念學習的困難歸因於：(1) 學生心理學的發展。(2) 對於數學的焦慮。(3) 學生形象化的能力。(4) 老師的教學方法。

## (二) 莫耳概念的迷思概念

另一方面，許多的學者則致力於尋找學生對於莫耳概念的迷思概念 (misconception)，王碧鴻 (1998) 發現學生對莫耳相關概念存的迷思概念有：(1) 無法辨別原子與分子。(2) 認為莫耳是質量或濃度的單位。(3) 兩物質只要莫耳數相等 則其質量、分子量或原子量都會相等。Case 和 Fraser (1999) 發現對於莫耳概念有三種主要的迷思概念：(1) 是質量而不是數量，主要的原因是來自於定量的操作，因為一般我們測定質量而不測數量。(2) 只是氣體粒子的數量，這個錯誤可能來自於亞佛加厥假說。(3) 莫耳是分子的一個特性。Crippen et al. (2000) 也歸納莫耳概念的迷思在於：(1) 教材內容對於「莫耳」的描述並不正確。(2) 學生對莫耳、莫耳濃度等術語發生混淆。(3) 學生對於微小的粒子，無法完全的理解。(4) 學生無法分辨原子、分子的差異。

## 參、研究步驟與方法

### 一、研究方法與對象

本研究係利用研究者所自行研發，並經過專家效化而且具有可信度之測驗工具，以抽樣問卷調查方式進行研究。調查研究對象為 H 科大需修習化學相關課程之大一、大二的學生，包括環安、職安、醫技、生科、食營、食科、妝管等七個學系，研究對象各系一、二年級均有 A、B 兩班學生，學生在進行分班時並無任何特殊考量。為方便統計一律選取 B 班的學生進行抽樣測試，一年級有 212 人、二年級有 145 人，總計全部抽樣人數為 357 人，約佔全體研究對象之半數。抽測時間為第一學期開學後兩週內執行完畢，此時大一新生尚未進行大學普通化學教學課程，故僅具有高職程度，而大二學生則是已完成一年級之普通化學教學課程，藉以比較兩者間之學習差異情況。

### 二、研究工具的發展

本研究所選用之研究工具係由研究者以往參考文獻、九年一貫課程暫行綱要及高職新課程暫行綱要所發展之「莫耳相關概念測驗工具」與「莫耳基礎計算測驗工具」中，挑選出 15 題組成。其中由「莫耳相關概念測驗工具」20 題中，挑選出四個主概念、11 個題目，由「莫耳基礎計算測驗工具」6 題中，挑選出兩個主概念、4 個題目。形成一份具有兩大層次、六個主概念、15 個次概念的「莫耳綜合概念」測驗工具，各層次、主概念、次概念與題號之對應關係如雙向細目表所示（參見表 3）。

初稿完成後，邀請三位具化學博士學位之教授協助審閱，以確認試題之正確性。這份 15 題的測驗工具先針對 H 科大環安系及醫技系二年級共 44 人進行預試，本次測驗的信度計算係採用庫德與李查遜 (Kuder 與 Richardson) 所設計的信度計算法，經信度考驗其庫李信度 ( $\alpha$ ) 為 0.696。再以 SPSS 12.0 統計軟體進行獨立樣本 T- 檢定測量高低分兩組在題項上的差異性，各題均達到顯著差異水準 ( $p < 0.01$ )，顯示試題足以鑑定出不同受測者的理解程度，另外對也每一試題與總分間求其相關係數，各題亦均達  $p < 0.01$  的顯著水準，顯示此份試題具有良好的內部一致性。正式施測的信度考驗庫李信度 ( $\alpha$ ) 為 0.615。根據林朝順、鄒國英、劉正耀、胡彼得和楊育純 (2005) 與吳統雄 (1994) 之解釋，因為題目不多只有 15 題，信度係數不會太高，研究工具庫李信度 ( $\alpha$ ) 在 0.5 以上，即顯示此份問卷具有足夠之穩定性與可信度。

表 3 雙向細目表

層次	主概念	次概念	題號
	物質組成	相同物質在不同狀態下，物質的組成或分子數目是否因而改變。	4
	原子量與分子量	說明原子量的意義。	2
		說明分子量的意義，並進一步利用它們算出單一原子或分子的質量。	7
莫耳相關概念	莫耳概念	兩分子物質莫耳數相同，則分子數相同。	1
		不同氣體間，體積、莫耳數與質量間之關係。	8
		莫耳數與體積、質量、數量間之關係。	10
		如何取得一莫耳的食鹽。	11
化學式		了解分子式中元素符號與下標數字所代表的含意。	3
		從化學式中分辨原子與分子之不同。	5
		從化學式中分辨粒子的組成是原子或分子。	6
		相同原子不同比例組合的兩種分子間之比較。	9
莫耳基礎計算	質量 / 莫耳數之轉換	由質量轉換為莫耳數。	12
		由莫耳數轉換為質量。	13
	數量 / 莫耳數之轉換	由數量轉換為莫耳數。	15
		由莫耳數轉換為數量。	14

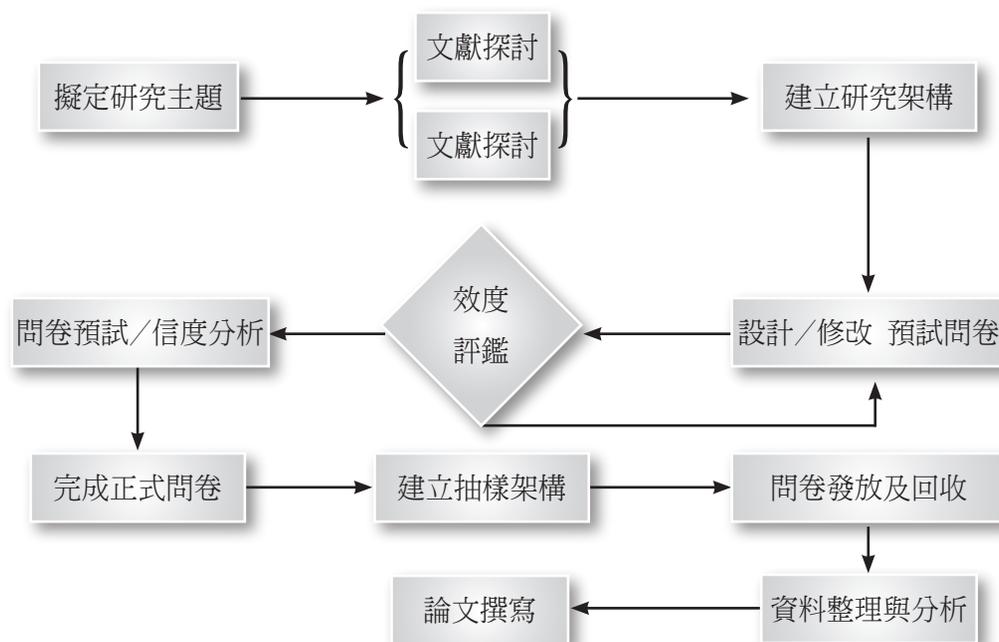


圖 1 研究流程圖

### 三、研究程序

本研究之研究架構如圖 1 所示。在確定研究目標與研究問題後，由文獻分析以及教材分析，建立本次研究「莫耳綜合概念」之測驗研究工具，初稿設計完成後，邀請三位任教於南部科技大學，具化學博士學位之教授協助審閱並確認試題之正確性。隨機取樣二年

級學生 44 人進行預試，確定測驗工具之信效度後，隨即進行正式施測。並利用 SPSS 12.0 版統計軟體進行庫李信度 ( $\alpha$ )、獨立樣本 T- 檢定、相關係數、各題項次數分配百分比之計算與樣本背景統計描述，並進一步交叉比對分析，最後完成研究報告之撰寫。

## 肆、結果與討論

### 一、研究樣本描述

本次研究總計發出問卷 449 份（一年級 242 份、二年級 207 份），扣除無效問卷（一年級 30 份、二年級 62 份），回收有效問卷共 357 份（一年級 212 份、二年級 145 份），回收率 79.5%（一年級 87.6%、二年級 70.0%），因為研究對象為理工科系學生，男女比例並不平均，約為 3 比 2。經 SPSS 12.0 版統計分析軟體進行次數分配統計分析，研究樣本之性別與年級人數之交叉分布情形如表 4 所示。

表 4. 研究樣本 性別 \* 級別 人數資料交叉表

		級別		總和
		一年級	二年級	
性別	男	120	92	212
	女	92	53	145
全體		212	145	357

### 二、莫耳綜合概念分析

在以下的討論中將僅針對不同年級學生進行莫耳綜合概念討論，討論的方式不是按照題號，而是將與六個主概念相關的題目放在一起進行比較與討論。每一題均列出各選項與選答分布圖，分布圖中分別列出一、二年級在各選項之選答率 (%)，並以分布曲線顯示其分布之狀態。正確選項則以星號 (\*) 標示出來，並討論學生概念之特徵與一、二年級間之差異。

#### (一) 物質組成概念

有關「物質組成」概念為第 4 題（參見表 5），選項分布情形一、二年級頗為類似。答對率二年級 (53.8%) 優於一年級 (43.9%)。都有超過四成的學生分別選答 (A)、(B) 或 (C)，認為冰與水擁有不同的化學式、分子數目或原子數目，忽略了冰與水是相同的化合物，當然具有相同的化學式，只是物質的狀態不同。而且相同的質量就會有相同的分子數目或原子數目。顯示學生可能只注意到物質的外在特徵、巨觀性質的不同，而未能察覺物質的內在特徵與微觀性質。

表 5. 物質組成概念選答結果分析

試題	選項	選答分布圖																		
4. 關於 18 公克冰與 18 公克水的敘述，下列何者錯誤？	(A) 冰與水的組成分子式相同 (B) 它們含有相同的分子數目 (C) 它們含有相同的原子數目 *(D) 它們的體積相同 (E) 我不會	<table border="1"> <thead> <tr> <th>選答分布圖</th> <th>(A)</th> <th>(B)</th> <th>(C)</th> <th>(D)*</th> <th>(E)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>二年級</td> <td>22.8</td> <td>9.0</td> <td>11.0</td> <td>53.8</td> <td>3.4</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>17.9</td> <td>12.3</td> <td>17.0</td> <td>43.9</td> <td>9.0</td> </tr> </tbody> </table>	選答分布圖	(A)	(B)	(C)	(D)*	(E)	二年級	22.8	9.0	11.0	53.8	3.4	一年級	17.9	12.3	17.0	43.9	9.0
選答分布圖	(A)	(B)	(C)	(D)*	(E)															
二年級	22.8	9.0	11.0	53.8	3.4															
一年級	17.9	12.3	17.0	43.9	9.0															

■：一年級 ◆：二年級

## (二) 原子量與分子量概念

有關「原子量與分子量」相關概念共有二題，分別是第 2 與第 7 題（參見表 6）。選項分布情形一、二年級頗為類似，答對率一、二年級都不理想，約在三成左右，二年級表現略為優於一年級。

表 6. 原子量與分子量相關概念選答結果分析

試題	選項	選答分布圖																		
2. 關於「鎂，Mg = 24」的敘述，下列何者正確？	(A) 鎂的分子量為 24 *(B) 鎂的原子量為 24 (C) 鎂的原子序為 24 (D) 鎂的電子數為 24 (E) 我不會	<table border="1"> <thead> <tr> <th>選答分布圖</th> <th>(A)</th> <th>(B)*</th> <th>(C)</th> <th>(D)</th> <th>(E)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>二年級</td> <td>39.3</td> <td>33.8</td> <td>23.4</td> <td>1.4</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>31.2</td> <td>29.7</td> <td>22.6</td> <td>3.8</td> <td>11.8</td> </tr> </tbody> </table>	選答分布圖	(A)	(B)*	(C)	(D)	(E)	二年級	39.3	33.8	23.4	1.4	2.1	一年級	31.2	29.7	22.6	3.8	11.8
選答分布圖	(A)	(B)*	(C)	(D)	(E)															
二年級	39.3	33.8	23.4	1.4	2.1															
一年級	31.2	29.7	22.6	3.8	11.8															
7. 下列關於 NH <sub>3</sub> 的敘述何者錯誤？	(A) NH <sub>3</sub> 的分子量為 17 *(B) 一個 NH <sub>3</sub> 分子的質量為 17 × 6 × 10 <sup>23</sup> 公克 (C) 一莫耳的 NH <sub>3</sub> 質量為 17 公克 (D) 一莫耳的 NH <sub>3</sub> 含有氮原子 14 公克 (E) 我不會	<table border="1"> <thead> <tr> <th>選答分布圖</th> <th>(A)</th> <th>(B)*</th> <th>(C)</th> <th>(D)</th> <th>(E)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>二年級</td> <td>9.0</td> <td>24.8</td> <td>29.0</td> <td>15.9</td> <td>21.4</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>9.9</td> <td>21.2</td> <td>22.2</td> <td>12.7</td> <td>34.0</td> </tr> </tbody> </table>	選答分布圖	(A)	(B)*	(C)	(D)	(E)	二年級	9.0	24.8	29.0	15.9	21.4	一年級	9.9	21.2	22.2	12.7	34.0
選答分布圖	(A)	(B)*	(C)	(D)	(E)															
二年級	9.0	24.8	29.0	15.9	21.4															
一年級	9.9	21.2	22.2	12.7	34.0															

■：一年級 ◆：二年級

第 2 題的概念是：「原子量敘述的意義」。一、二年級都有約 1/3 的學生 (31.2%、39.3%) 認為是代表「分子量」，二年級的比例稍高，顯示學生誤認「鎂」是以分子狀態存在，或是無法分辨分子量與原子量的差別。約有二成三的學生可能對於鎂在週期表的位置

不熟悉，而認為代表了「原子序」。整體而言，有超過六成學生不瞭解「 $Mg = 24$ 」是一種原子量的表示，與原子序、電子數無關。

第 7 題是關於「分子量的意義」的概念，並進一步利用它們求出單一原子或分子的質量。在沒有標示原子量的情形下，一、二年級答對率均不到二成五。一年級還有近三成五的學生自認為不會，也有超過三成的學生認為 (A) 或 (C) 為錯誤，顯示學生可能不會計算分子量的比例相當高。

綜合而言，第 2、7 題的選項分布情形一、二年級類似，答對率偏低，而學生可能具有：(1) 無法分辨分子量與原子量的差別；(2) 混淆分子量、原子量與原子序；(3) 對一個分子的質量與一莫耳分子的質量產生混淆，而且不能區別兩者的差異；(4) 不會計算分子的分子量等四種認知不足的地方。

### (三) 莫耳概念

有關莫耳共有四題，分別是第 1、第 8、第 10 與第 11 題（參見表 7）。

第 1 題的概念是：「若兩分子物質莫耳數相同，則分子數亦相同」，即  $NH_3$  與  $H_2O$  是以分子型態存在。而選項分布情形一、二年級並不相同，二年級學生 (A)、(B)、(C)、(D) 的選項分布很平均，二年級自認為不會的比例不高，可是答對的比例也不高。二年級 (23.4%) 略為優於一年級 (12.7%)。一年級自認為不會 (26.4%) 與選 (C) (25.5%) 的比例較高，以為「物質莫耳數相同，則質量也會相同」。從選答情形中可知學生可能產生混淆的地方有下列三項：

1. 無法從化學式中分辨原子與分子的區別，尤其是分子的觀念不足。此結果與第 5 題、第 9 題（參見表 8）相同，將  $NH_3$  與  $H_2O$  視為原子，所以莫耳數相同原子數亦相同。
2. 數量與質量間的關係分不清楚，以為莫耳數相同，則質量也相同。
3. 莫耳數與分子量間的關係分不清楚，以為不同物質只要莫耳數相同，則分子量也相同，分子量的數值與一莫耳該分子的質量的數值相同，因此認為莫耳數相同則分子量亦相同。

第 8 題的概念是：「不同氣體間，體積、莫耳數與質量間之關係」。相同的莫耳數、分子數也是相同的，但是原子數則不一定。選項分布情形一、二年級也不相同，只有二成五不到的學生答對，二年級 (24.8%) 略為優於一年級 (17.0%)。選 (B) 的學生認為莫耳數相同、分子數、原子數也應該是相同的。選 (C) 與 (D) 的學生一、二年級比例相差不到 2%，誤認為  $CO$  與  $CO_2$  化學式不同分子數也一定不同，而沒有考慮到同溫同壓同體積下，氣體的莫耳數、分子數其實也是相等的。一年級自認為不會 (32.5%) 的比例也遠高於二年級 (18.6%)。

表 7. 莫耳概念選答結果分析

試題	選項	選答分布圖																		
1. 若 NH <sub>3</sub> 與 H <sub>2</sub> O 莫耳數相同，則下列何項二者的數值亦會相同？	*(A) 分子數 (B) 原子數 (C) 質量 (D) 分子量 (E) 我不會	<table border="1"> <thead> <tr> <th>選項</th> <th>(A)*</th> <th>(B)</th> <th>(C)</th> <th>(D)</th> <th>(E)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>二年級</td> <td>23.4</td> <td>22.1</td> <td>21.4</td> <td>20.0</td> <td>13.1</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>12.7</td> <td>17.5</td> <td>25.5</td> <td>17.9</td> <td>26.4</td> </tr> </tbody> </table>	選項	(A)*	(B)	(C)	(D)	(E)	二年級	23.4	22.1	21.4	20.0	13.1	一年級	12.7	17.5	25.5	17.9	26.4
選項	(A)*	(B)	(C)	(D)	(E)															
二年級	23.4	22.1	21.4	20.0	13.1															
一年級	12.7	17.5	25.5	17.9	26.4															
8. 關於 CO 與 CO <sub>2</sub> 的敘述，下列何者錯誤？(CO、CO <sub>2</sub> 分子量分別為 28、44)	(A) 依據倍比定律，若 C 的質量相同，則 CO 與 CO <sub>2</sub> 中氧重量比為 1:2 *(B) 28 公克的 CO 與 44 公克的 CO <sub>2</sub> 含有相同的原子數 (C) 在同溫同壓下，一公升的 CO 與一公升的 CO <sub>2</sub> 含有相同的分子數 (D) 一莫耳的 CO 與一莫耳的 CO <sub>2</sub> 所含的分子數相同 (E) 我不會	<table border="1"> <thead> <tr> <th>選項</th> <th>(A)</th> <th>(B)*</th> <th>(C)</th> <th>(D)</th> <th>(E)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>二年級</td> <td>11.0</td> <td>24.8</td> <td>22.1</td> <td>23.4</td> <td>18.6</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>8.5</td> <td>17.0</td> <td>20.3</td> <td>21.7</td> <td>32.5</td> </tr> </tbody> </table>	選項	(A)	(B)*	(C)	(D)	(E)	二年級	11.0	24.8	22.1	23.4	18.6	一年級	8.5	17.0	20.3	21.7	32.5
選項	(A)	(B)*	(C)	(D)	(E)															
二年級	11.0	24.8	22.1	23.4	18.6															
一年級	8.5	17.0	20.3	21.7	32.5															
10. 下列關於「莫耳」的敘述何者正確？	*(A) 一莫耳 H <sub>2</sub> 含有 6×10 <sup>23</sup> 個分子，所以莫耳為數量的單位 (B) 一莫耳 H <sub>2</sub> 的質量為 2 公克，所以莫耳為質量的單位 (C) 在 1 atm、0°C 時，一莫耳的 H <sub>2</sub> 體積為 22.4 公升，所以莫耳為體積的單位 (D) 莫耳只可適用於分子，無法用它來說明原子 (E) 我不會	<table border="1"> <thead> <tr> <th>選項</th> <th>(A)*</th> <th>(B)</th> <th>(C)</th> <th>(D)</th> <th>(E)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>二年級</td> <td>31.0</td> <td>18.6</td> <td>27.6</td> <td>6.9</td> <td>15.9</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>32.1</td> <td>13.2</td> <td>21.2</td> <td>9.4</td> <td>24.1</td> </tr> </tbody> </table>	選項	(A)*	(B)	(C)	(D)	(E)	二年級	31.0	18.6	27.6	6.9	15.9	一年級	32.1	13.2	21.2	9.4	24.1
選項	(A)*	(B)	(C)	(D)	(E)															
二年級	31.0	18.6	27.6	6.9	15.9															
一年級	32.1	13.2	21.2	9.4	24.1															
11. 上理化實驗，老師要甲、乙、丙、丁四個學生秤取相同莫耳數的食鹽與蔗糖，下列哪一個學生的取法才是對的呢？(食鹽式量 58.5，蔗糖分子量 342)	(A) 甲生：拿了兩支大小相同的試管，把它們裝一樣高 (B) 乙生：利用天平秤一樣的質量 *(C) 丙生：秤食鹽 5.85 公克，秤蔗糖 34.2 公克 (D) 丁生：數 80 顆的食鹽與蔗糖顆粒 (E) 我不會	<table border="1"> <thead> <tr> <th>選項</th> <th>(A)</th> <th>(B)</th> <th>(C)*</th> <th>(D)</th> <th>(E)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>二年級</td> <td>6.9</td> <td>28.3</td> <td>51.7</td> <td>3.4</td> <td>9.7</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>4.2</td> <td>40.1</td> <td>40.6</td> <td>2.4</td> <td>12.7</td> </tr> </tbody> </table>	選項	(A)	(B)	(C)*	(D)	(E)	二年級	6.9	28.3	51.7	3.4	9.7	一年級	4.2	40.1	40.6	2.4	12.7
選項	(A)	(B)	(C)*	(D)	(E)															
二年級	6.9	28.3	51.7	3.4	9.7															
一年級	4.2	40.1	40.6	2.4	12.7															

■：一年級 ◆：二年級

第 10 題的概念是：「莫耳數與體積、質量、數量間之關係」。選項分布情形一、二年級類似，不到四成答對率，二年級 (31.0%) 的表現甚至略差於一年級 (32.1%)。選 (B) 與 (C) 的學生認同「莫耳數與質量、體積間之關係」的敘述，致產生觀念上的混淆。其實在許多的研究報告中都有提到莫耳是體積或質量的迷思概念，選 (D) 的學生甚至認為莫耳無法用它來說明原子，顯示學生莫耳的觀念仍待加強。

第 11 題是實作的問題，由結果發現學生在應用莫耳概念於實驗操作時，表現比一些概念上的理解要好。此題一、二年級答對率就明顯提高，二年級 (51.8%) 的表現略優於一年級 (40.6%)，顯示學生實務上之表現優於理論概念之瞭解。

選項分布情形一、二年級不太一樣，一年級選 (B) 與選 (C) 的比例差不多。答 (A) 的學生以為不同物質只要體積相同莫耳數就會相同，而答 (B) 的學生則以為不同物質只要質量相同莫耳數就會相同。答 (D) 的學生其實是不對而且不切實際的。顯示學生對實驗操作上觀念仍嫌不足。因為食鹽與蔗糖均為固體，所以要取相同的莫耳數的食鹽與蔗糖最好要由天秤稱質量來換算。結果顯示仍有近四成的學生缺少實務上取量的概念，有待加強。

#### (四) 化學式概念

有關化學式的相關概念共有四題，分別是第 3、第 5、第 6 與第 9 題（參見表 8）。

第 3 題的概念是：「分子式中元素符號與下標數字所代表的涵意」。選項分布情形一、二年級不太一樣，一年級選 (C) 與選 (D) 的比例差不多，二年級 (49.7%) 的表現略優於一年級 (33.5%)。 $H_2O$  是很常見的物質，而第 3 題的答對率尚不及五成，顯示不少學生對於原子與分子的觀念仍不清楚。對於化學式中各成分元素符號與下標數字所代表的意義，也不十分了解，例如不知道  $H_2O$  中的 2 是表示兩個原子。甚至認為分子式可以分開成兩個獨立的部分，例如選 (B) 認為  $H_2O$  中的  $H_2$  指的是氫氣，選 (D) 認為  $H_2O$  中的 O 指的是氧氣，這些概念有待糾正。

第 5 題的概念是：「由化學式中分辨原子與分子之不同」。二年級 (29.7%) 的表現優於一年級 (15.1%)。答對的比例甚低，顯示學生無法正確的區分原子與分子之不同。選項分布的情形一、二年級不太一樣，二年級選 (B) 與選 (C) 的比例差不多。從學生的選答情形中發現學生的錯誤想法為：(1) 選 (A) 的學生知道  $H_2$  是兩個氫原子組成的分子，卻不知道  $CH_4$  是由一個碳原子與四個氫原子組成的分子。(2) 選 (C) 的學生可能認為  $H_2$  是由同一種元素的原子所組成，所以它是屬於原子，而  $CH_4$  是由兩種不同元素的原子所組成，所以它是分子。一、二年級學生仍有七、八成學生，無法區別其對原子、分子之差別，這一點授課老師在教學上應特別注意。

第 6 題的概念是：「從化學式中分辨粒子的組成是原子或分子」，也是關於學生對原子、分子的認知情形。選項分布情形一、二年級極為相似，一年級 (42.0%) 的表現稍優於二年級 (40.0%)。從學生的選答情形中發現學生的錯誤想法為：選 (A) 的同學認為分子式可以分開成兩個獨立的部分，可以把  $H_2O_2$  中的  $H_2$  與  $O_2$  分開，所以認為  $H_2O_2$  是由氫分子與氧分子所組成的。更有近兩成的學生選答 (B) 或 (C)，顯示對於分子、原子無法正確的分辨清楚。

表 8. 化學式概念選答結果分析

試題	選項	選答分布圖																		
3. 下列關於 H <sub>2</sub> O 的敘述何者正確？	(A) 構成水最基本的單位為水原子 (B) H <sub>2</sub> O 中的 H <sub>2</sub> 指的是氫氣 *(C) H <sub>2</sub> O 中的 2 指的是兩個氫原子 (D) H <sub>2</sub> O 中的 O 指的是氧氣 (E) 我不會	<table border="1"> <thead> <tr> <th>選項</th> <th>(A)</th> <th>(B)</th> <th>(C)*</th> <th>(D)</th> <th>(E)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>二年級</td> <td>9.7</td> <td>14.5</td> <td>49.7</td> <td>23.4</td> <td>2.8</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>13.7</td> <td>16.0</td> <td>33.5</td> <td>34.0</td> <td>2.8</td> </tr> </tbody> </table>	選項	(A)	(B)	(C)*	(D)	(E)	二年級	9.7	14.5	49.7	23.4	2.8	一年級	13.7	16.0	33.5	34.0	2.8
選項	(A)	(B)	(C)*	(D)	(E)															
二年級	9.7	14.5	49.7	23.4	2.8															
一年級	13.7	16.0	33.5	34.0	2.8															
5. 關於 H <sub>2</sub> 與 CH <sub>4</sub> ，下列敘述何者正確？	(A) H <sub>2</sub> 為分子，CH <sub>4</sub> 為原子 *(B) H <sub>2</sub> 為分子，CH <sub>4</sub> 為分子 (C) H <sub>2</sub> 為原子，CH <sub>4</sub> 為分子 (D) H <sub>2</sub> 為原子，CH <sub>4</sub> 為原子 (E) 我不會	<table border="1"> <thead> <tr> <th>選項</th> <th>(A)</th> <th>(B)*</th> <th>(C)</th> <th>(D)</th> <th>(E)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>二年級</td> <td>14.5</td> <td>29.7</td> <td>31.7</td> <td>12.4</td> <td>11.7</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>15.1</td> <td>15.1</td> <td>36.3</td> <td>9.9</td> <td>23.6</td> </tr> </tbody> </table>	選項	(A)	(B)*	(C)	(D)	(E)	二年級	14.5	29.7	31.7	12.4	11.7	一年級	15.1	15.1	36.3	9.9	23.6
選項	(A)	(B)*	(C)	(D)	(E)															
二年級	14.5	29.7	31.7	12.4	11.7															
一年級	15.1	15.1	36.3	9.9	23.6															
6. 關於 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 粒子的組成，下列敘述何者正確？	(A) 粒子中含有氫分子與氧分子 (B) 粒子中含有氫分子與氧原子 (C) 粒子中含有氫原子與氧分子 *(D) 粒子中含有氫原子與氧原子 (E) 我不會	<table border="1"> <thead> <tr> <th>選項</th> <th>(A)</th> <th>(B)</th> <th>(C)</th> <th>(D)*</th> <th>(E)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>二年級</td> <td>30.3</td> <td>9.7</td> <td>11.0</td> <td>40.0</td> <td>9.0</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>21.2</td> <td>10.8</td> <td>8.5</td> <td>42.0</td> <td>17.5</td> </tr> </tbody> </table>	選項	(A)	(B)	(C)	(D)*	(E)	二年級	30.3	9.7	11.0	40.0	9.0	一年級	21.2	10.8	8.5	42.0	17.5
選項	(A)	(B)	(C)	(D)*	(E)															
二年級	30.3	9.7	11.0	40.0	9.0															
一年級	21.2	10.8	8.5	42.0	17.5															
9. 水的分子式為 H <sub>2</sub> O，雙氧水的分子式為 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ，下列敘述何者正確？	(A) H <sub>2</sub> O 與 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 可用來說明定比定律 (B) 相同莫耳數的 H <sub>2</sub> O 與 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 含有相同的原子數 *(C) 相同莫耳數的 H <sub>2</sub> O 與 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 含有相同的分子數 (D) 相同莫耳數的 H <sub>2</sub> O 與 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 含有相同的質量 (E) 我不會	<table border="1"> <thead> <tr> <th>選項</th> <th>(A)</th> <th>(B)</th> <th>(C)*</th> <th>(D)</th> <th>(E)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>二年級</td> <td>20.0</td> <td>18.6</td> <td>29.7</td> <td>13.1</td> <td>18.6</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>17.0</td> <td>16.0</td> <td>24.1</td> <td>18.4</td> <td>24.5</td> </tr> </tbody> </table>	選項	(A)	(B)	(C)*	(D)	(E)	二年級	20.0	18.6	29.7	13.1	18.6	一年級	17.0	16.0	24.1	18.4	24.5
選項	(A)	(B)	(C)*	(D)	(E)															
二年級	20.0	18.6	29.7	13.1	18.6															
一年級	17.0	16.0	24.1	18.4	24.5															

■：一年級 ◆：二年級

第 9 題的概念是：「相同原子不同比例組合的兩種分子間之比較」。結果顯示，一、二年級選項分布情形相似，答對率都不足三成 (24.1%、29.7%)。近七成的學生不清楚倍比定律與定比定律之涵義，也不知道相同的原子以不同比例組合出不同的分子，即使莫耳數相同，分子數相同，原子數、質量也是不可能相同的，學生似乎缺乏這些觀念。

(五) 物質「質量」與「莫耳數」之相互轉換

有關物質「質量」與「莫耳數」之相互轉換有兩題，分別是第 12 與 13 題（參見表 9）

表 9. 「物質質量」與「莫耳數」之相互轉換選答結果分析

試題	選項	選答分布圖												
12. 64 公克的氧氣 (O <sub>2</sub> )，其分子數為多少莫耳？ (氧的原子量為 16)	(A) 64 ÷ 2 (B) 64 ÷ 6 × 10 <sup>23</sup> (C) 64 ÷ 16 *(D) 64 ÷ 32 (E) 我不會	<table border="1"> <tr> <td>二年級</td> <td>2.1</td> <td>36.6</td> <td>15.2</td> <td>33.8</td> <td>12.4</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>1.9</td> <td>40.1</td> <td>3.2</td> <td>28.8</td> <td>16.0</td> </tr> </table>	二年級	2.1	36.6	15.2	33.8	12.4	一年級	1.9	40.1	3.2	28.8	16.0
二年級	2.1	36.6	15.2	33.8	12.4									
一年級	1.9	40.1	3.2	28.8	16.0									
13. 2 莫耳的二氧化碳 (CO <sub>2</sub> ：分子量為 44)，其質量為多少公克？	*(A) 44 × 2 (B) 44 ÷ 2 (C) 44 × 2 × 6 × 10 <sup>23</sup> (D) 44 ÷ 2 × 6 × 10 <sup>23</sup> (E) 我不會	<table border="1"> <tr> <td>二年級</td> <td>30.3</td> <td>6.9</td> <td>29.7</td> <td>21.4</td> <td>11.7</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>19.3</td> <td>6.1</td> <td>31.6</td> <td>25.5</td> <td>17.5</td> </tr> </table>	二年級	30.3	6.9	29.7	21.4	11.7	一年級	19.3	6.1	31.6	25.5	17.5
二年級	30.3	6.9	29.7	21.4	11.7									
一年級	19.3	6.1	31.6	25.5	17.5									

■：一年級 ◆：二年級

第 12 題的概念是：「由物質質量換算成爲莫耳數」。

正確的想法是：質量 ÷ 分子量

O 的原子量 = 16 克 / 莫耳，

O<sub>2</sub> 的分子量 = 16 × 2 = 32 克 / 莫耳 (一個 O<sub>2</sub> 分子是由兩個 O 原子組成)

所以 64 公克的 O<sub>2</sub> = (64 / 32) 莫耳

選項分布情形一、二年級非常相似，二年級 (33.8%) 的表現略優於一年級 (28.8%)。本題出現雙峰之現象，選擇 (B) 的同學在一、二年級也佔了相當大比例 (40.1%、36.6%)，尤其是一年級，錯誤的想法是認爲莫耳數的算法要用質量 (64 克) 除以亞佛加厥常數 (6 × 10<sup>23</sup>)，明顯的無法分辨「質量」與「數量」之不同。選擇 (C) 的同學，則是無法分辨「分子量」與「原子量」之差異，不能算出氧氣的分子量，才會用質量 (64 克) 除以原子量 (16)，而不是除以氧氣分子的分子量 (32)。另有極少數同學 (1.5%) 選擇 (A)，不瞭解化學式 O<sub>2</sub> 的意義，只因爲 O<sub>2</sub> 有兩個 O，就用質量 (64 克) 除以 2。

第 13 題的概念是：「由莫耳數轉換爲物質質量」。

正確的想法是：莫耳數 × 分子量

CO<sub>2</sub> 的分子量 = 44 克 / 莫耳，

一莫耳 CO<sub>2</sub> 質量爲 44 克

所以 兩莫耳 CO<sub>2</sub> 質量爲 44 × 2 克

選項分布情形一、二年級也非常相似，二年級 (30.3%) 的表現略優於一年級 (19.3%)。與 12 題相同的在本題也出現雙峰的現象，選擇 (C) 的同學一、二年級比例也蠻高的 (31.6%、29.7%)，錯誤的想法是認為質量的算法要用分子量 (44) 乘以莫耳數 (2) 後，再乘以亞佛加厥常數 ( $6 \times 10^{23}$ )。另有將近二到三成四的同學選擇 (D)，錯誤的想法是用分子量 (44) 除以莫耳數 (2) 後，再乘以亞佛加厥常數 ( $6 \times 10^{23}$ )。合計將近五成的同學認為應該要乘上亞佛加厥常數 ( $6 \times 10^{23}$ )，這是一個很有趣的現象。同學對  $6 \times 10^{23}$  印象深刻，認為選它一定是正確答案，顯示其對亞佛加厥常數 ( $6 \times 10^{23}$ ) 之概念仍有待加強。

比較學生選答分布趨勢分析發現一、二年級並無差異。無論是由「質量轉換為莫耳數」或由「莫耳數轉換為質量」，二年級的答對率都超過三成，比一年級表現好。

#### (六) 物質「物質分子數」與「莫耳數」之相互轉換

有關「物質質量」與「莫耳數」之相互轉換共有兩題，分別是第 14 與 15 題 (參見表 10) 第 14 題的概念是：「由莫耳數轉換為物質分子數量」。

正確的想法是：莫耳數  $\times$  亞佛加厥常數 ( $6 \times 10^{23}$ )

一個莫耳  $CO_2 = 6 \times 10^{23}$  個  $CO_2$

所以兩個莫耳  $CO_2 = 6 \times 10^{23} \times 2$  個  $CO_2$

選項分布情形一、二年級頗為相似，二年級 (46.2%) 的表現略優於一年級 (37.7%)。自認不會算的同學 (25.0%、20.7%) 比 12 題 (16.0%、12.4%)、13 題 (17.5%、11.7%) 大幅增加近一倍。思考上不需要用到分子量，但相當高比例 (兩成) 的同學選擇 (B)，用莫耳數 (2) 乘以分子量 (44)，而不是乘以亞佛加厥常數 ( $6 \times 10^{23}$ )，顯示其無法分辨「質量」與「數量」之不同，或者以為分子量就是分子的數量。顯示其對分子量的觀念仍不清楚。

第 15 題的概念是：「由物質分子數量轉換為莫耳數」。

正確的想法是：分子數  $\div$  亞佛加厥常數 ( $6 \times 10^{23}$ )

$6 \times 10^{23}$  個氨分子 = 一莫耳氨分子

所以  $12 \times 10^{23}$  個氨分子 =  $(12 \times 10^{23}) \div (6 \times 10^{23})$  莫耳氨分子

選項分布情形一、二年級相似，二年級 (21.4%) 的表現略優於一年級 (16.0%)，一、二年級答對率明顯偏低。一年級自認不會算的同學 (33.5%) 比較多，也比 14 題 (25.0%) 多出 8.5%，增加約三成，二年級自認不會算的同學 (22.8%) 比 14 題 (20.7%) 僅多出 2.1%，沒有甚麼差異。這個問題思考上同樣不需要用到分子量，選擇 (A)、(B) 的同學合計卻高達四成，認為應該乘或除以分子量 (17)。一成的同學選擇 (A)，用分子數除以分子量 (17)，卻沒有選擇乘上亞佛加厥常數 ( $6 \times 10^{23}$ )，均顯示其無法分辨「質量」與「數量」之不同。選擇 (C) 的同學是認為  $NH_3$  中有 1 個 N、3 個 H，加起來是 4 個，所以乘以 4，顯示其對分子下標數字所顯示之「原子數」與「分子數」不同的觀念仍待加強。

分析比較學生選答分布趨勢發現一、二年級並無差異。二年級的答對率仍然比一年級表現好。但是由一、二年級的答對率來看，第 15 題「數量轉換為莫耳數」的能力 (16.0%、21.4%)，都比第 14 題「莫耳數轉換為數量」(37.7%、46.2%) 來的差，而且有一倍以上的差距。

表 10. 「莫耳數」與「物質分子數」之相互轉換選答結果分析

試題	選項	選答分布圖																								
14. 2 莫耳的二氧化碳 (CO <sub>2</sub> : 分子量為 44 ) , 其分子數為多少個 ?	(A) 2 × 3 (B) 2 × 44 *(C) 2 × 6 × 10 <sup>23</sup> (D) 2 × 3 × 6 × 10 <sup>23</sup> (E) 我不會	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>(A)</td> <td>(B)</td> <td>(C)*</td> <td>(D)</td> <td>(E)</td> </tr> <tr> <td>二年級</td> <td>4.1</td> <td>20.0</td> <td>46.2</td> <td>9.0</td> <td>20.7</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>3.8</td> <td>14.6</td> <td>37.7</td> <td>18.9</td> <td>25.0</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">選項</td> </tr> </table>		(A)	(B)	(C)*	(D)	(E)	二年級	4.1	20.0	46.2	9.0	20.7	一年級	3.8	14.6	37.7	18.9	25.0	選項					
	(A)	(B)	(C)*	(D)	(E)																					
二年級	4.1	20.0	46.2	9.0	20.7																					
一年級	3.8	14.6	37.7	18.9	25.0																					
選項																										
15. 12×10 <sup>23</sup> 個氨分子 (NH <sub>3</sub> : 分子量為 17 ) , 其分子數為多少莫耳 ?	(A) ( 12 × 10 <sup>23</sup> ) ÷ 17 (B) ( 12 × 10 <sup>23</sup> ) ÷ ( 6×10 <sup>23</sup> ) × 17 (C) ( 12 × 10 <sup>23</sup> ) ÷ ( 6×10 <sup>23</sup> ) × 4 *(D) ( 12 × 10 <sup>23</sup> ) ÷ ( 6×10 <sup>23</sup> ) (E) 我不會	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>(A)</td> <td>(B)</td> <td>(C)</td> <td>(D)*</td> <td>(E)</td> </tr> <tr> <td>二年級</td> <td>11.7</td> <td>32.4</td> <td>11.7</td> <td>21.4</td> <td>22.8</td> </tr> <tr> <td>一年級</td> <td>8.5</td> <td>29.7</td> <td>12.3</td> <td>16.0</td> <td>33.5</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">選項</td> </tr> </table>		(A)	(B)	(C)	(D)*	(E)	二年級	11.7	32.4	11.7	21.4	22.8	一年級	8.5	29.7	12.3	16.0	33.5	選項					
	(A)	(B)	(C)	(D)*	(E)																					
二年級	11.7	32.4	11.7	21.4	22.8																					
一年級	8.5	29.7	12.3	16.0	33.5																					
選項																										

■ : 一年級 ◆ : 二年級

### 三、莫耳相關概念在年級上的異同分析

為了方便比較一、二年級在莫耳綜合概念上異同，研究者在每一個試題分析中各建立一個選答分布圖（■代表一年級，◆代表二年級），由分布圖中的曲線對照很容易區分兩個年級學生在莫耳綜合概念上之表現（參見表 5～表 10）。

經由這樣的方法發現在「莫耳相關概念」這個層次中的兩個主概念：「物質組成概念」（表 5，第 4 題）、「原子量與分子量概念」（表 6，第 2、7 題），以及「莫耳基礎計算」層次中的兩個主概念：「質量與莫耳數間之轉換」（表 9，第 12、13 題）、「分子數與莫耳數間之轉換」（表 10，第 14、15 題），一、二年級的概念表現上並沒有不同，僅是在答對率上的差別而已。但是在「莫耳相關概念」這個層次中的另外兩個主概念：「莫耳概念」與「化學式概念」，則出現了分布曲線分布趨勢不同的現象。其中「莫耳概念」四題有兩題（表 7，第 1、11 題）不同，「化學式概念」四題也兩題（表 8，第 3、5 題）不同。其分別代表之涵義如下：

- (一) 第 1 題（參見表 7）：物質莫耳數相同時，一年級學生錯誤地認為質量會相同的比例較高 (25.5%)，二年級學生答對率較高 (23.4%)，認為分子數會相同。
- (二) 第 11 題（參見表 7）：取相同莫耳數的食鹽與蔗糖，除了按分子量秤取外，一年級還有約相同比例 (40.1%) 的學生還認為取相同的質量也可以，二年級學生答對率較高 (51.7%)。

- (三) 第 3 題 (參見表 8)：除了  $H_2O$  中的 2 指的是兩個氫原子之外，一年級還有相同比例 (34.0%) 的學生認為  $H_2O$  中的 O 指的是氧氣，二年級學生答對率較高 (49.7%)。
- (四) 第 5 題 (參見表 8)：除了  $H_2$  為分子， $CH_4$  為分子之外，一年級學生錯誤地認為  $H_2$  為原子 (36.3%)。雖然二年級學生答對率較高 (29.7%)，令人意外的是二年級還有稍多比例 (31.7%) 的學生與一年級學生一樣，錯誤地認為  $H_2$  為原子。

#### 四、莫耳基礎計算能力在年級上的異同分析

在「莫耳基礎計算」層次上有兩個次概念：(1) 物質「質量」與「莫耳數」之相互轉換 (第 12、13 題)。(2) 物質「物質分子數」與「莫耳數」之相互轉換 (第 14、15 題) 依照薛光華 (2006) 的分類，前者屬於宏觀的思考模式，後者屬於微觀的思考模式。發現之現象如下：

- (一) 在宏觀的思考模式方面，「質量」與「莫耳數」之相互轉換，一年級第 12、13 題 (28.8%、19.3%) 與二年級 (33.8%、30.3%) 的答對率差不多。但是兩個年級的選答分布圖 (表 9) 都出現雙峰的現象，而且錯誤的比例都高於正確的比例，一年級尤為顯著。很明顯的看出學生答題時特別偏好使用亞佛加厥常數 ( $6 \times 10^{23}$ )。
- (二) 在微觀的思考模式方面，「物質分子數」與「莫耳數」之相互轉換，選答分布圖 (表 10) 並未出現雙峰的現象，但是兩題的答對率出現明顯差異，一、二年級由「物質分子數」計算「莫耳數」的能力 (16.0%、21.4%) 比由「莫耳數」計算「物質分子數」 (37.7%、46.2%) 差了約一半，值得任教老師注意。

### 伍、結論與建議

#### 一、結論

Lazonby et al. (1985) 即已指出莫耳概念對於中學生及大學生都是苦難的根源，對照本研究結果，這個事實似乎並沒有因為時間和地區而有所改變。部份的結果與先前的研究類似，例如王碧鴻 (1998)、Crippen et al. (2000) 所提出的無法辨別原子與分子以及對質量、分子量或原子量概念的不了解，Case 和 Fraser (1999) 提出的對於亞佛加厥學說、質量與數量間關係的不了解，Crippen et al. (2000) 提出的學生對於微小的粒子，無法完全的理解等等。但因研究母群體學生背景變項並不相同，所以也無法完全相提並論。本研究是以 H 科大環安、職安、醫技、生科、食營、食科、妝管等理工背景學系一、二年級的學生為研究對象，探究學生對於莫耳綜合概念的瞭解現況。共分成兩個層次 (莫耳相關概念、莫耳基礎計算)、六個主概念，分別是 (1) 物質的組成。(2) 原子量與分子量。(3) 莫耳概念。(4) 化學式。(5) 質量與莫耳數之轉換。(6) 數量與莫耳數之轉換等。每一個主概念下再細分成數個次概念。經測試後分析的結果獲致數點結論，經整理如下：

### (一) 四技一、二年級學生的莫耳相關概念

#### 1. 物質組成概念：

學生只注意到物質外在特徵、巨觀性質的不同，對於物質內在特徵、微觀性質的認知不足。

#### 2. 原子量與分子量概念：

- (1) 誤認「鎂 (Mg)」是以分子狀態存在。
- (2) 不清楚分子量、原子量的意涵。
- (3) 誤認「 $Mg = 24$ 」是一種分子量、原子序或電子數的表示。
- (4) 不會計算一個分子的質量或一莫耳分子的質量。

#### 3. 莫耳概念：

- (1) 分子的觀念不足。
- (2) 數量與質量間的關係分不清楚，以為不同物質，莫耳數相同，質量、分子量亦相同。
- (3) 不了解亞佛加厥學說的內容。
- (4) 對於莫耳數與「體積」、「質量」、「數量」間之聯結產生觀念上的混淆。
- (5) 缺少實務上取量的經驗，顯示實驗操作訓練之不足。

#### 4. 化學式概念：

- (1) 對於化學式中各成分元素符號與下標數字所代表的意義，不十分了解。
- (2) 對於分子、原子無法正確的分辨清楚。
- (3) 不清楚倍比定律與定比定律之涵義。
- (4) 不知道相同原子是可以按不同比例組合出不同的分子。

#### 5. 「質量」與「莫耳數」相互轉換之能力：

- (1) 「質量」與「莫耳數」之相互轉換能力不足，可能的原因為：(a) 不清楚亞佛加厥常數 ( $6 \times 10^{23}$ ) 之涵義。(b) 無法分辨「分子量」與「原子量」之差異。(c) 不瞭解化學式中各成分元素符號與下標數字所代表的意義。
- (2) 在「質量換算莫耳數」與「莫耳數換算質量」之相互轉換上，兩者沒有明顯的差異，但是計算能力普遍不足。由於學生答題時特別偏好亞佛加厥常數 ( $6 \times 10^{23}$ )，導致錯誤的比例高於正確的比例，一年級學生尤為顯著。

#### 6. 「分子數」與「莫耳數」相互轉換之能力

- (1) 「物質分子數」與「莫耳數」之相互轉換能力不足，可能的原因為：(a) 學生不清楚亞佛加厥常數 ( $6 \times 10^{23}$ ) 之涵義。(b) 誤認分子量的涵義是分子的數量。(c) 不瞭解化學式中各成分元素符號與下標數字所代表的意義。
- (2) 在「分子數換算莫耳數」與「莫耳數換算分子數」之相互轉換上出現明顯差異，由「分子數換算莫耳數」的能力比由「莫耳數換算分子數」低了一半，而且計算能力同樣普遍不足，一、二年級都有類似的情形。

## (二) 一、二年級學生的莫耳綜合概念差異

1. 二年級學生在莫耳相關概念的認知上普遍優於一年級學生，顯示歷經大學一年的基礎化學教學，對於學生莫耳相關概念的認知是有所提昇的，但是仍有進步的空間。
2. 一、二年級學生除了在「物質莫耳數與分子數關係」、「分子式中元素符號與下標數字含意」及「由化學式中分辨原子與分子」之想法上有所不同外，相關概念的表現差異其實不大。另外在實務操作經驗方面，二年級學生的表現則比一年級學生好，顯示高職化學教育之實驗教學方面仍有強化的空間。

## 二、未來研究建議

經過本研究的歷程與獲致的心得，提出以下建議以供未來研究方向參考：

### (一) 改進資料蒐集方法

封閉式紙筆測驗雖然可以在短時間內獲得較多的資訊，但學生所選擇的答案受限於出題者，有可能導致學生看著選項作答，而非其真正想法。若想要得到學生的真正想法，可採用一對一晤談的方式，蒐集更貼近學生想法之答題選項。

### (二) 擴大研究對象範圍，增加研究價值

深入研究科技大學一年級新生與二年級學生在學習差異上之情況，藉以比較科大一年級化學課程教學成果，作為未來教材內容參考改進之依據。未來亦可視研究需要將研究對象擴及大三及大四畢業生，以檢視學生在學校教育告一段落前之莫耳概念了解之情形。

### (三) 改進高中職校化學課程

瞭解科大一年級新生對於莫耳綜合概念認知之現況，針對其不符合現今科技大學理工科系對學生化學知識要求之情形，給予高中職校化學課程編排之改進建議。期使未來學生在進入科技大學之前就能具備足夠之化學知識，避免上大學之後有課程銜接不上的問題產生。

### (四) 探討如何改正學生的錯誤概念

科大一、二年級學生在莫耳相關概念的認知上或有差異，但仍有許多共同的錯誤想法。透過本研究所獲知之實驗結果，如何設計適當的教材與教法以改正學生錯誤的概念，利用行動教學實驗法，將是下一個階段值得投入的研究領域。

## 致 謝

本研究承蒙國家科學委員會 96 年度專題研究計畫經費補助 (NSC 96-2516-S-273-001)，特此致謝。

## 參考文獻

### 一、中文部分

- 王碧鴻 (1998)。探究高職化工科學生之莫耳概念。國立臺灣師範大學化學研究所碩士論文 (未出版)。
- 吳統雄 (1994)。電話調查：理論與方法。臺北市：聯經出版社。
- 林朝順、鄒國英、劉正耀、胡彼得和楊育純 (2005)。醫學系筆試多項選擇題品質分析。輔仁醫學期刊，3(4)，213~220。
- 國立編譯館教科書資訊網 (2008)：現行課程綱要。民 97 年 7 月 23 日，取自：<http://trc.nict.gov.tw/gs/cframe.htm>
- 張容君、張惠博和鄭子善 (2007)。國二學生對「純物質」和「混合物」之微觀粒子概念研究。科學教育研究與發展季刊，48，33~62。
- 黃萬居和張萬居 (2006)。學童酸鹼概念改變教學之研究。臺北市立教育大學學報，37(1)，43~76。
- 薛光華 (2006)。從莫耳計算能力探討四年制技術學院理工科系學生之莫耳相關概念。屏東教育大學學報，24，495~520。
- 蘇育任和張馨文 (2002)。師院大一學生電化學概念建構的研究。臺中教育大學學報，16，384~406。

### 二、英文部分

- Case, F. M., & Fraser, D. M. (1999). An investigation into chemical engineering students' understanding of the mole and the use of concrete activities to promote conceptual change. *International Journal of Science Education*, 21(12), 1237-1249.
- Cervellati, R., Montuschi, A., Perugini, D., Grimellini-Tomasini, N., & Balandi, B. P. (1982). Investigation of secondary school students' understanding of the mole concept in Italy. *Journal of Chemical Education*, 59(10), 852-856.
- Chiu, M. H. (2007). A National Survey of Students' Conceptions of Chemistry in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 29(4), 421-452
- Crippen, K. J., Curtright, R. D., & Brooks, D. W. (2000). Mole mapping. *The Science Teacher*, 67(7), 36-39.
- Dierks, W., Weninger, J., & Herron, J. D. (1985). Mathematics in the chemistry classroom. Part 1. the special nature of quantity equations. *Journal of Chemical Education*, 62(10), 839-841.
- Dori, Y. F., & Hameiri, M. (1998). The 'mole environment' studyware: applying multidimensional analysis to quantitative chemistry problems. *International Journal of Science Education*, 20(3), 317-333.

- Furio, C. (2000). Difficulties in teaching the concepts of 'amount of substance' and 'mole'. *International Journal of Science Education*, 22(12), 1285-1304.
- Gabel, D., & Sherwood, R.D. (1984). Analyzing difficulties with mole-concept tasks by using familiar analog tasks. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(8), 843-851.
- Gómez, M. Á., & Pozo, J. I. (2004). Relationships between everyday knowledge and scientific knowledge: understanding how matter changes. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1325-1343
- Gorin, G. (1994). Mole and chemical amount. *Journal of Chemical education*, 71(2), 114-121
- Graham, I. (1983). Difficulties encountered by biology students in understanding and applying the mole concept. *Journal of Biological Education*, 17(4), 339-342.
- Haidar, A. H. (1997). Prospective chemistry teachers' concepts of the conservation of matter and related concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 181-197.
- Ingle, R. B., & Shayer, M. (1981). Conceptual demands in Nuffield O-level chemistry. *Education in Chemistry*, 8, 182-183.
- Lazonby, J. N., Morris, J. E., & Waddington, D. J. (1985). The mole: questioning format can make a difference. *Journal of Chemical Education*, 62(1), 60-61.
- Nakhien, M. B., & Mitchell, R. C. (1993). Concept learning versus problem solving. *Journal of Chemical Education*, 70(3), 190-192.
- Sanabia, J. A. (1993). Relative atomic mass: a concrete analogy to help students understand these abstract concepts. *Journal of Chemical Education*, 70(3), 233-234.
- Shanthi, R. K., & Ann, C. H. (1994). The mole concept: developing an instrument to assess conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 71(8), 653-656
- Staver, J. R., & Lumpe, A. T. (1995). Two investigations of students' understanding of the mole concept and its use in problem solving, *Journal of Research in Science Teaching*, 32(2), 177-193.

## The Efficiency of Using Reference Cue for Designing an Inclusive Control - Display Device

### 參考座標對設計眾用控制—顯示相容設備的有效性探討

陳俊瑋\*  
Chun-Wei Chen

梁榮進\*\*  
Jung-Chin Liang

陳俊興\*\*\*  
Jyun-Sing Chen

(收件日期 97 年 8 月 27 日；接受日期 97 年 12 月 8 日)

#### Abstract

Abstract : This study investigates the efficiency of using reference cue for designing an inclusive control-display device. The experiment has a 2 (cognitive styles) × 2 (spatial S-R pairing patterns) × 2 (reference cue types) design. Three independent variables are cognitive styles, spatial S-R pairing patterns and reference cue types. Cognitive styles variable includes field-dependent and field-independent cognitive styles. Spatial S-R pairing patterns variable consists of a correspondent pairing task and a non-correspondent pairing task. Reference cue types variable includes the reference cue and no-reference cue types of spatial S-R pairing tasks. 48 participants were randomly chosen from different departments in National Yunlin University of Science and Technology in accordance with their CSA scores. The experiment results show that both cognitive styles did not perform no significantly better in both reference cue tasks, implying the useless of reference cue for enhancing the performance of field-dependent-independent cognitive styles in a spatial S-R pairing tasks. Therefore, reference cue is not suggested for designing an inclusive control-display device for all users.

**Key words:** Field-Dependent-Independent Cognitive Styles, Spatial Stimulus-Response Pairing, Reference cue.

---

\* 嶺東科技大學科技商品設計系助理教授

\*\* 嶺東科技大學科技商品設計系助理教授

\*\*\* 嶺東科技大學科技商品設計系講師

## 摘 要

本研究旨在探討參考座標對設計眾用控制—顯示相容設備的有效性。本研究之實驗採用 2（認知風格）×2（空間刺激反應配對作業型態）×2（參考座標類型）設計。認知風格變數包含場地獨立與場地依賴等兩認知風格，此兩認知風格以電腦化認知風格分析 (Cognitive Styles Analysis, CSA) 測驗判定之。而空間刺激反應配對作業型態變數則包含一致性與非一致性空間刺激反應配對作業。參考座標類型變數則包含有參考座標的空間刺激反應作業與無參考座標的空間刺激反應作業等兩類型。實驗結果顯示，兩種認知風格者在參考座標有、無等兩類實驗作業中，其作業績效並無明顯變化。此顯示，參考座標並無法有助增進各種認知風格者在空間刺激反應作業中的作業績效表現。因此，本研究不建議使用參考座標來設計控制 - 顯示相容設備，以維持所有空間個別化差異作業者的作業安全。

**關鍵詞：**場地依賴獨立認知風格、空間刺激反應配對、參考座標

# 1. INTRODUCTION

A control-display device refers to a control panel used in daily life such as found in electrical equipment, power system and the like. It is the communication channel between various machinery and the operator(s) in daily life, and is often made up of a large number of control-display units. A control-display device can be defined as a more useable one when it is able to meet the requirements of different users. In this stand of view, we cannot overemphasize the importance of inclusive design of control-display device.

It is necessary to find a way to design control-display devices for meeting the requirements of different users, while a designer makes inclusive design of control-display device. In the past, Chen et al., (2008) investigates the efficiency of using indexical cue for designing the inclusive control-display device. In their study, the researchers examined the performance difference of users with different spatial cognitive styles in operating the indexical cue and no-indexical cue types of spatial stimulus-response (S-R) pairing tasks. The experimental results showed that indexical cue improved all users' performances when they operated a spatial S-R pairing task. This implies that indexical cue is a solution for designing inclusive control-display devices. Therefore, an indexical cue is suggested to a control-display device for all users. On the other side, another concept, a reference cue, is recently suggested to make inclusive control-display devices for all users. However, such a concept has not been examined. Therefore, this study explored the efficiency of using reference cue for designing the inclusive control-display device and made a between the reference cue and the indexical cue.

## 1.1. Field-dependent-independent cognitive styles

In order to compare the results of this study to Chen et al.'s (2008) study, this study maintained the definition of the uses. That is, this study still classified the participates as field-dependent (FD) cognitive style and field-independent (FI) cognitive style. In this study, cognitive styles refers to the mental strategy individuals use to search for something. According to Pennings (1988) and Warber (1989), the cognitive style that we apply to process information can be divided into FD style and FI style. FD individuals tend to be susceptible to deceptive environment cues, particularly in tasks that require the individual to identify familiar elements in an unfamiliar context (the misleading context). On the other hand, FI individuals tend to be able to disregard deceptive environment cues, particularly in tasks requiring identification of familiar elements in an unfamiliar context. According to research of different information processing strategies and their performance differences, the difference between the performance of FD and FI individuals depends upon the degree of interference the misleading context has on the target in the spatial target separating task. When the target is blurred and it is hard to tell from its

contextual surroundings (the misleading context), FD individuals are more likely to be hindered by the context, resulting in a longer reaction time and a poor performance. On the contrary, the performance of FI individuals is less likely to be affected by the misleading context.

The definition of FD and FI cognitive styles in this research is as per the Cognitive Styles Analysis (CSA) (Riding & Cheema, 1991). When a participant's CSA score is greater than 1, s/he is judged to be an operator using FD cognitive style; on the contrary, s/he is judged to be using FI cognitive style when the score is less than 1.

## **1.2. Spatial stimulus-response (S-R) pairing task**

Spatial stimulus-response (S-R) pairing refers to the pairing between the physical arrangement in space of the controls and their associated displays (Sanders & McCormick, 1992). These pairing tasks are frequently seen in spatial routines where the control units match the relevant displays within the control-display device. Fitts and Seeger (1953) further divided spatial S-R pairing tasks into correspondent and non-correspondent patterns. A condition is called "correspondent" when the related display units and control units are consistent, i.e., horizontally arranged (vertically arranged) control responds to the horizontally arranged (vertically arranged) display (compatible condition) and the required reaction time is short. Conversely, when the corresponding display units and control units are inconsistent, i.e., horizontally arranged (vertically arranged) control responds to the vertically arranged (horizontally arranged) display (incompatible condition), the reaction time is long. This condition is called "non-correspondent". These two pairing patterns differ in the corresponding relationships between the control and the display units, i.e. the correspondent pattern conducts a consistent corresponding relationship between control and display units while the non-correspondent pattern conducts an inconsistent corresponding relationship. They represent most of the spatial operations required using a control-display device.

This study used a simple correspondent and non-correspondent spatial S-R pairing task to represent a spatial S-R pairing task matching experiment. The simple spatial S-R pairing tasks in this study were designed based on simple tasks in a control room, a concept proposed by Umilta and Nicoletti (1990). Based on Umilta and Nicoletti a simple spatial S-R pairing task refers to a spatial corresponding task performed on a control-display device simplified from a control-display device. In such tasks, an operator performs a pairing task on a simple device that is composed of a few control and display units, i.e., an operator conducts a right (left) control-right (left) display / right (left) control-left (right) display corresponding task on a device that is composed of only two control units and two display units. These descriptions show that a simple spatial S-R pairing task maintains the same corresponding relationships between the control and

display units in a spatial S-R pairing task. This indicates that a simple spatial S-R pairing task has the same type of compatibility of a spatial S-R pairing task. Therefore, this study used simple spatial S-R pairing tasks, a correspondent and non-correspondent pairing task, to match the experiment.

### **1.3. Indexical cue approach as a solution**

This study will discuss reference cue approach that differs from the indexical cue approach for designing a control-display device for all operators. A reference cue refers to the environmental mark that markups the target in the place where the target is located (Sanders & McCormick, 1992), such as a position mark and like that. Since a reference cue points the location of the target, it is used to identify and search for the target under a spatial interference situation (an environment in which the target is interfered with by its surroundings and becomes difficult to be identified, i.e., the situation in the search and hunt task in a control-display device since an operator needs to separate the target display unit from multiple display units within the control-display device) by efficiently separating the specified target from the environment. This shows how a reference cue might enhance the performance of the users in operating a control-display device. Therefore, this study defines reference cue as a solution for designing the inclusive control-display device.

## **2. METHOD**

### **2.1. The Experimental design**

A2 (cognitive styles) × 2 (spatial S-R pairing patterns) × 2 (reference cue types) design is adopted in this study. Three independent variables are cognitive styles, spatial S-R pairing patterns and reference cue types. Cognitive styles variable includes FD and FI cognitive styles. Spatial S-R pairing patterns variable consists of a correspondent pairing task and a non-correspondent pairing task. Reference cue types variable include the reference cue and no-reference cue types of spatial S-R pairing tasks.

In this study, we chose 48 participants in accordance with their CSA score. The 48 participants were randomly chosen from different departments in National Yunlin University of Science and Technology (NYUST). In each trial of the experiment, first, one of 48 participants was randomly selected and was asked to conduct experiment tasks. The next participant was randomly selected while the prior participant finished experiment tasks. In the experiment, a participant processes following procedure to conduct the experimental tasks: First, one of two spatial S-R pairing patterns was randomly assigned to a participant and then the other. One

of two reference cue types of spatial S-R pairing task was randomly assigned while s/he was conducting a pattern of spatial S-R pairing task.

## 2.2. Participants

The participants were randomly chosen by using Riding and Cheema's (1991) computer-administered Cognitive Styles Analysis (CSA). A CSA score below 1 indicates an FI cognitive style, while a score above 1 indicates an FD cognitive style. For the FD cognitive style, 24 participants were selected. For the FI cognitive style, another 24 participants were selected, making a total of 48 participants. The age of the participants ranged from 20 to 26. All the participants were right-handed.

## 2.3. Experimental Tasks

In this study, the experiment tasks (Fig. 1) consists of an indexical cue type of correspondent pairing task, a no-indexical cue type of correspondent pairing task, an indexical cue type of non-correspondent pairing task and a no-indexical cue type of non-correspondent pairing task. Thus there were four tasks in total in the experiment. For a participant, s/he conducted 6 trails of indexical cue type correspondent pairing tasks, 6 trails of no-indexical cue type correspondent pairing tasks, 6 trails of indexical cue type non-correspondent pairing tasks and 6 trails of no-indexical cue type non-correspondent pairing tasks. The computer automatically recorded the reaction time.

For the correspondent pairing task (Fig. 1a, 1b), the participants were instructed to respond to the stimulus with the correspondent response key. For example, the left key was to be pressed in response to the left target stimulus. Otherwise, for the non-correspondent pairing task (Fig. 1c, 1d), the participants were instructed to respond to the stimulus with the non-correspondent response key. For example, the right key was to be pressed in response to the left target stimulus. For the reference cue type of S-R pairing task (Fig. 1a, 1c), a reference cue is a white-thin square labeled on the screen to mark the location of stimulus. Accordingly, no-reference cue is labeled on the screen to mark the location of stimulus for no-reference cue type of S-R pairing task (figs 1b, 1d).

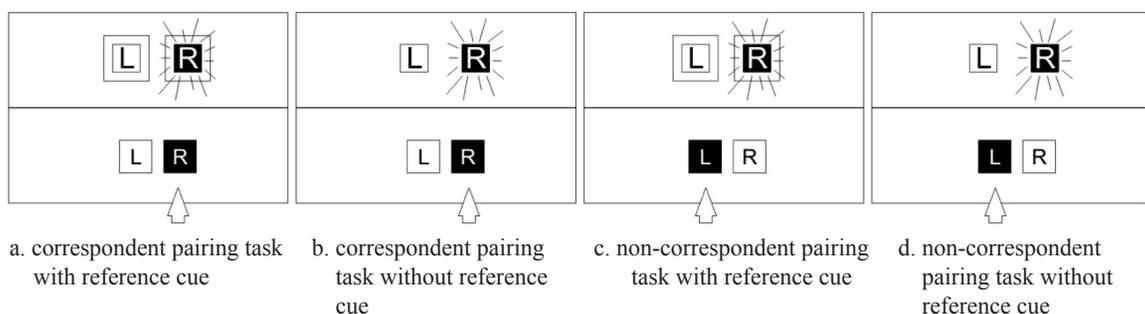


Fig. 1 Four experimental tasks

## 2.4. Experimental procedure

The experimental procedure encompassed two steps. In first step, the participants were selected. In second step, four experimental tasks were performed. In the first step, 48 students (24 participants per cognitive style) at NYUST were randomly chosen and measured with CSA.

In the second step, four experiment tasks were carried out. First, one of 48 participants was randomly selected. Second, a participant received a briefing and a tutorial introducing the experimental tasks, before a formal test. The tutorial was repeated until each participant was familiar with the procedure. Third, the pushing of the enter button started the formal test. During the test, only “Task starts” and “Task ends” were prompted on the screen. No messages were offered to avoid interference with the test. A participant could not process the next pairing task until he had completed the previous one.

## 2.5. Statistical analysis

The average reaction time and errors of the experimental task were used as the performance criteria in this study. The reaction time was defined as the time interval between the stimulus being specified and its associated control unit being pressed. The error was defined as the mistake times that a participant made while s/he was performing 6 experimental tasks.

In this study, significant variance analyses was performed to compare the performances of the participants with different cognitive styles as well as the performances of the S-R pairing task without reference cue, and with reference cue. The significance level of .05 was used to compare the performance means of the performances of the participants with different cognitive styles in four experimental tasks.

# 3. RESULTS

## 3.1. The comparison of interactive influence among the three variables

The effects of three independent variables, cognitive styles, spatial S-R pairing patterns and reference cue types, were explored (Table 1). The analysis of variance indicated that cognitive styles [ $F(1, 46) = 624.94.36, p < .05$ ], and the spatial S-R pairing patterns [ $F(1, 46) = 211.39, p < .05$ ] affected the performance of the participants. These findings indicate that the cognitive styles and spatial S-R pairing patterns are the dominant factors in the experiment.

**Table 1. Significant analysis of three independent variables**

	SS	df	MS	F
Cognitive styles (A)	361.22	1	361.22	624.94 *
Spatial S-R pairing patterns (B)	112.25	1	112.25	211.39 *
Reference cue types (C)	12.02	1	12.02	3.541
(A) × (B)	25.43	1	25.43	7.521 *
(A) × (C)	10.15	1	10.15	3.002
(B) × (C)	33.64	1	33.64	9.949
(A) × (B) × (C)	18.11	1	18.11	5.356
Error(subject)	26.63	46	0.578	
Error(B)	24.42	46	0.531	
Error(C)	156.13	46	3.394	
Error(B×C)	155.55	46	3.381	
Total	371.07	287		

\*:  $p < .05$ 

### 3.2. The significant analysis of cognitive styles variable

Table 2 shows that no matter what patterns of S-R pairing tasks and what reference cue types, FD participants spent much more time and more errors in operating spatial S-R pairing tasks than that of FI participants. And particularly, there is a significant performance difference between FD and FI participants. These experimental results imply that the performance of FD and FI participants differs in operating spatial S-R pairing tasks, which explains cognitive styles indeed affect the performance of operators when operating spatial S-R pairing tasks.

### 3.3. The significant analysis of spatial S-R pairing patterns variable

Table 2 also shows that : 1) despite of cognitive styles and reference cue types, most users spent much more time and more errors in operating non-correspondent spatial S-R pairing tasks than operating correspondent spatial S-R pairing tasks, and 2) there is a significant performance difference between non-correspondent pairing tasks and correspondent pairing tasks. These experimental results imply that most users have different performances in operating non-correspondent pairing tasks and correspondent pairing tasks, explaining that spatial S-R pairing patterns indeed affect the performance of operators when operating spatial S-R pairing tasks.

**Table 2. Holistic and analytic participants’ performances in information searching tasks on three control-display devices**

Cognitive styles	Non-correspondent task (msecond)				Correspondent task (msecond)				Post-hoc (by reaction time)
	No-reference cue (A)		reference cue (B)		No-reference cue (C)		reference cue (D)		
	Reaction time	error	Reaction time	error	Reaction time	error	Reaction time	error	
FD	582.61(187.13)	2.2	532.24(173.11)	2.1	422.42(163.01)	1.6	412.52(123.22)	1.3	A>B>[D]>[C]
FI	373.11(161.21)	2.0	361.21(142.06)	1.7	262.31(143.18)	1.4	244.25(132.34)	1.0	A>B>[C]>[D]
<i>t</i> test	<i>t</i> =13.31*		<i>t</i> =4.14* <i>t</i> =10.21*		<i>t</i> =3.11* <i>t</i> = 1.206		<i>t</i> =1.1 <i>t</i> = 1.456		<i>t</i> = 1.11

\*:  $p < .05$ , [ ]:  $p < .05$  for significant difference from A

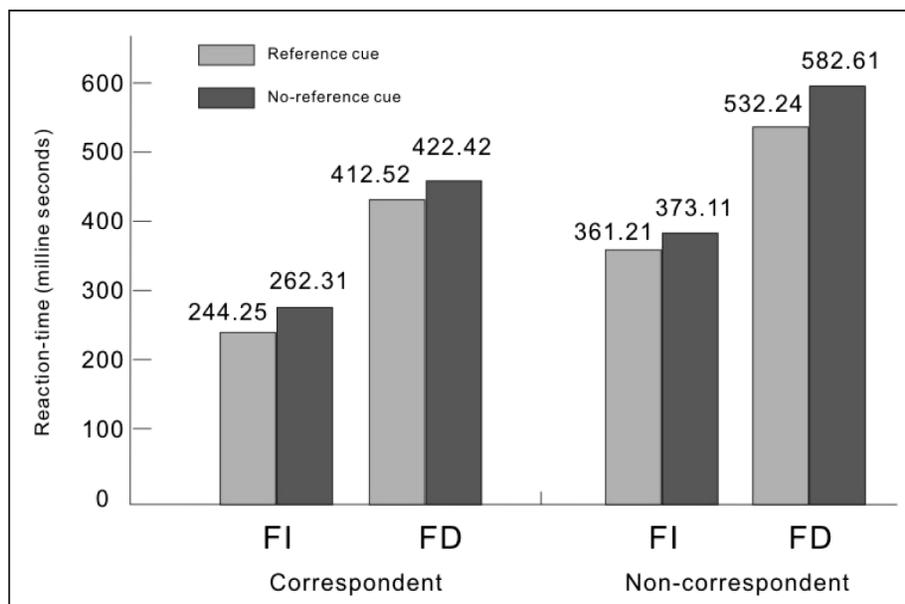


Fig. 2 Performances of FD and FI participants while performing spatial S-R pairing tasks with/without reference cue

## 4. DISCUSSION

### 4.1. The effect of cognitive styles and its implication

The purpose of this study was to explore the efficiency of using reference cue for an inclusive control-display device. The result of cognitive styles effect analysis in sections 3.1 and 3.2 demonstrate the important role of such an issue.

In Table 2 and Fig.2, it shows that FD and FI participants differ in operating a spatial S-R pairing tasks despite the pairing task patterns. In other words, FI participants performed more efficiently and correctly than FD participants in spatial S-R pairing tasks despite the pairing task patterns. In addition, Table 1 further shows that cognitive style is the dominant factor in this experiment. Different cognitive styles do influence the capability of operators to operate a switch panel, implying the different needs required by different users when operating a spatial

S-R pairing task. These results correspond to Chen, et al.'s (2008) FDI cognitive styles study in spatial S-R pairing. Therefore, it is important to take this into consideration in designing a control-display device so that all operators can safely and efficiently use it.

#### **4.2. The effect of spatial S-R pairing patterns and its implication**

In sections 3.1 and 3.3, the spatial S-R pairing effect that corresponds to spatial S-R compatibility studies is shown. In Table 2 and Fig.2, it can be seen that despite the cognitive style, most users have better performances in operating correspondent S-R pairing task than operating non-correspondent S-R pairing task. These results reveal that the spatial S-R pairing patterns influenced the performances, and that correspondent spatial S-R pairing is more compatible than non-correspondent spatial S-R pairing. These results confirm those of spatial S-R compatibility studies. Therefore, correspondent spatial S-R pairing is suggested to design a control-display device.

#### **4.3. The effect of reference cue types and its implication**

This study aims to explore the efficiency of using reference cue for designing an inclusive control-display device. The experiment result shows that reference cue does not help with an inclusive control-display device for all users.

First, Table 2 and Fig. 2 shows that both groups of participants have no performances difference between reference cue and no-reference cue types of pairing task when they carrying out both S-R pairing patterns, i.e., despite participants' cognitive styles, all the participants performed equally well when carrying out a spatial S-R pairing task with or without reference cue. In addition, Table 1 also shows that reference cue is not a dominant factor in this experiment. In other words, the reference cue does not help improve performances of different operator operating a control-display device. Therefore, it is suggested that HMI designers should not adopt reference cue when designing a control-display devices for all users.

By comparing the results of Chen, et al.'s (2008) indexical cue study and the results in this study, it can be seen that an indexical cue is a good approach for designing an inclusive control-display device for all users. In Chen, et al.'s indexical cue study, it can be seen that an indexical cue helps improve FD and FI cognitive styles users' performance in spatial S-R pairing tasks. However, in this study, it can be seen that a reference cue does not help improve in improving FD and FI cognitive styles users' performance in spatial S-R pairing tasks. These results imply that an indexical cue is an approach that is more appropriate than a reference cue for inclusive control-display devices for all users. Therefore, an indexical cue rather than a reference cue is suggested to design a control-display device for all users.

## 5. CONCLUSIONS

In this study, it can be seen that a reference cue is not a good approach for a designer to design inclusive control-display devices since a reference cue does not help improve performance of all users. Anyway, an indexical cue that Chen et al. (2008) proposed is still a good approach for a designer to design inclusive control-display devices. Therefore, it is recommended that an indexical cue, rather than a reference cue, should be used to design a control-display device for all users.

## REFERENCES

- Chen, C., Lee, C., & Huang, S. (2008). The influence of directional cue on spatial cognitive styles operators' performances in a Non-correspondent Spatial Stimulus-Response Pairing Task, *Journal of Design*, Vol.13, No.1, pp.53-60.
- Fitts, P. M., & Seeger, C. M. (1953). S-R compatibility: Spatial characteristics of stimulus and response codes," *Journal Of Experimental Psychology*, Vol.46, No.3, pp.199-210.
- Pennings, A., 1988, The development of strategies in embedded figures task, *International Journal of Psychology*, Vol.23, No.1, pp.65-78.
- Riding, R. J., & Cheema, I. (1991). Cognitive styles: An overview and integration, *Educational Psychology*, Vol.11, No.3, pp.219-215.
- Sanders, M. S., & McCormick, E. J.(1992). *Human Factors In Engineering And Design*. Mcgrawhill, New York.
- Umilta C., & Nicoletti, R. (1990). *Stimulus-Response Compatibility*. New York: North-Holland.
- Warber, D. (1989). The biological boundaries of cognitive styles: a neuropsychological analysis, In T. Globerson & T. Zelniker, (Eds), *Cognitive Style and Cognitive Development* (11-35). New Jersey: Ablex Publishing Corporation, Norwood.

