

## 第二章 文獻探討

本章說明研究之理論基礎與理念。第一節描述奧蘇貝爾(David P.Ausubel)相關學習理論。第二節則說明奧蘇貝爾(David P.Ausubel)所提出之前置組織(Advance Organizer)理論基礎。第三節則分析化學反應及其相關概念研究。

### 第一節 奧蘇貝爾學習理論

認知心理學發展過程裡，奧蘇貝爾(David P.Ausubel, 1918-)扮演了重要的角色，在以知識的「認知結構」(Cognitive Structure)為基礎所發展的學習理論中，他強調新的學習必須與個體原有知識認知結構中的舊經驗取得關聯，才是所謂的「有意義的學習」(Meaningful Learning)，而學習的過程裡學習者要查覺意義與關聯性並不容易，仍須仰賴教師的指導與協助，因而衍生出「前置組織」(Advance Organizer)的概念，希望藉由此方式幫助學生學習並獲取新的知識。以下將由 Ausubel 的學習理論出發，探討相關學習理論與衍生概念基礎。

#### 一、 Ausubel 學習理論背景

六十年代心理學研究多立基於行為學派的基礎研究上，建立許多機械式與動物實驗的研究，透過刺激與反應間如何連結說明學習在心理學上的交互作用，經驗主義的歸納式結論，與實際上的教學或學習的內涵之間有程度上的差距，甚至是沒有關連(Ausubel, Novak, & Hanesian, 1978；徐毓慧，2001)。行為心理學派與認知學派的最大差異是對於學習過程內在知識構作的描述，行為學派著重於「教學」(instruction)與「結果」(outcome)間的反應，視學習為學習者在活動中所受外在元素影響而使行為改變的過程，學習者學

習到的是可以經由觀察所測量的外在表現，而該表現反應由於後天強化效果的延續，進而成為習慣；相對於行為學派的理論，近代的認知心理學派則著重於對學習者原有內在知識架構的闡述，並針對學習者在學習前的內在元素，包含學習者的先前知識、技能、教學材料的形式與其內容對學習所造成的影響進行分析(曾志朗，1997)。

受到近代教育思潮的影響，學校教育逐進演進至著重於促進學生在學科知識內容的增進與學習，培養學生獲取有效的智能與知識，近而發展出批判性與系統性的獨立思考能力，對於學習理論與方式的探究，並不再僅有刺激與反應的單向操作模式，更需要進一步了解學習者內部的心智運作情形，來分析學習者在學習過程所遭遇的問題與困難，因此如何連結有效的學習理論與教學模式，已成為近代認知心理發展的主要目標。

認知心理發展將學習的過程視為學習者在對新知識或新事物進行「學習」時，分辨、理解新知識或認識新事物的過程，而認知心理學家所謂的「認知結構(cognitive structure)」指的就是學習者在學習過程中所學習到的內部心智運作方式(張春興，1994)。從大腦神經系統的結構上分析，大腦本身即具有處理所有新進訊息的主動認知功能，可對於新訊息進行分化與儲存的活動；大腦將大部份吸收到的新訊息先行置於短期記憶區(short-term memory region)，再經由編碼(encode)的動作將短期記憶區的新訊息置入長期記憶區(long-term memory region)中形成新的知識(林清山，1997)。在大腦神經系統獲取與保留重要新知識的內部心智運作過程，即是認知心理學家所謂的「認知結構(cognitive structure)」，亦可將此「認知結構」視為學習新知識過程的內在「知識結構」(李咏吟，1998；張新仁，2003)。

Ausubel(1961)也屬於認知心理學派的支持者之一，他認為大腦中原本的知識內容在神經系統裡就能進行的主動認知動作，經由認知行為形成某種程度的階層架構。這些具組織架構的階層概念按照概念本質的屬性進行分辨，其中具有高度一般性(generality)、涵蓋性(inclusiveness)或抽象性(abstraction)的概念居於上位階層，而較具體或是較為特殊的事實或事物概念則位居於下位階層(楊榮祥，1983；張新仁，2003)。而在一般的學科知識內容裡，其知識的組織也擁有相似的上位與下位階層概念，大腦神經系統透過新知識的刺激與階層安排，產生反應後與舊有的知識系統進行連結，進而產生新的知識結

構。以下就化學的相關概念舉例說明學科知識內容的階層結構(化學概念認知結構由作者依據物質組成之概念自行編寫)。

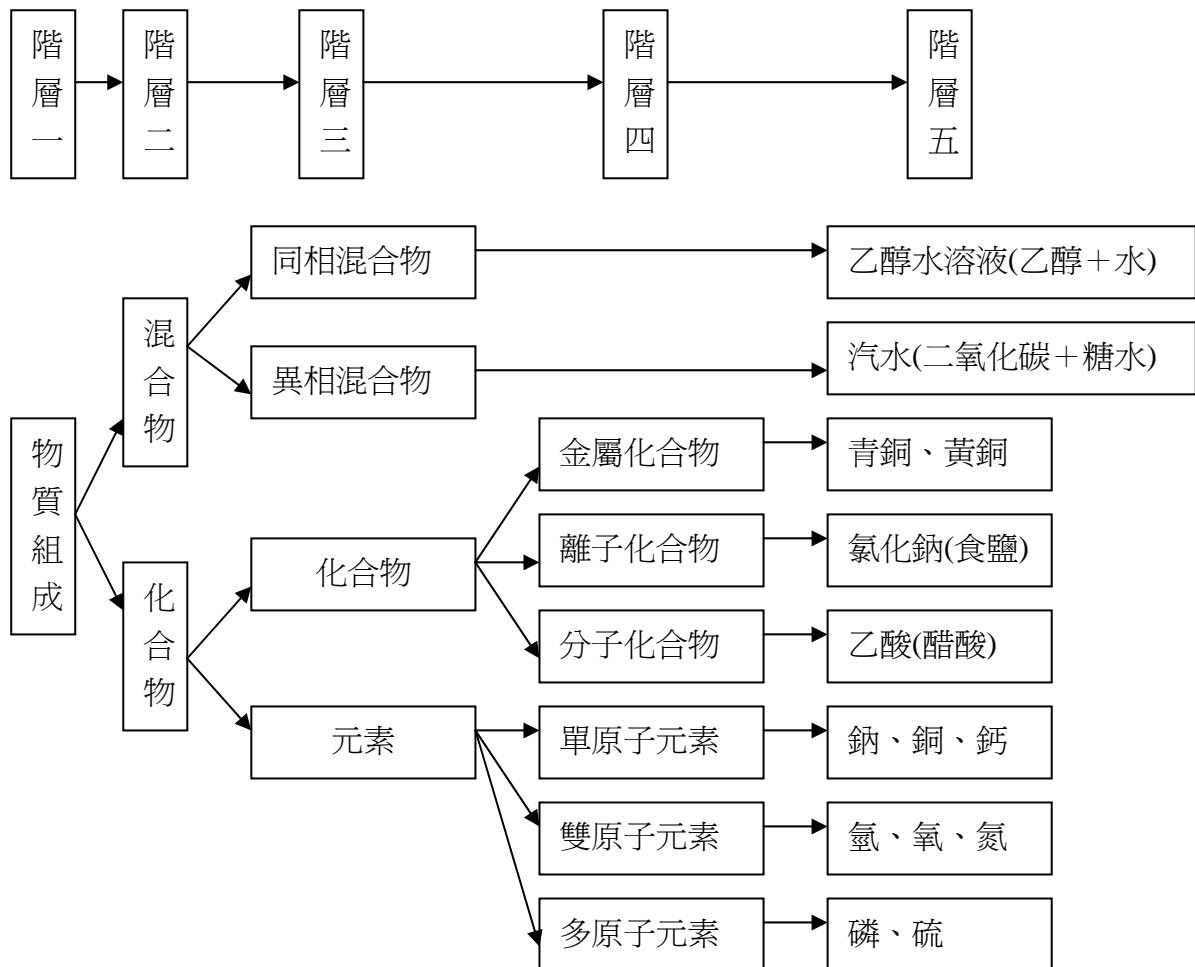


圖 2-1 化學概念中「物質組成」之知識認知結構

由圖 2-1 可看出學科知識的階層構造，其中階層二的概念(混合物、化合物)較階層三的概念(化合物、元素)涵蓋範圍較大，其概括性較為廣泛，而階層三的概念又較階層四與階層五來得較為抽象；相較於階層一與階層二的一般性概念，階層五則為最具體的事物，其特殊性與涵蓋性為最小，相對的其階層屬性也列為最下層。

在新知識進入認知結構的過程中，若將新知識概念視為數個獨立節點，當新知識即將進入舊有認知系統的知識網絡時，大腦認知結構即由高概念階層往低概念階層進行互動連結，而原先舊有知識的高概念階層概念則可視為數個「含攝體(subsumer)」或像是數

個概念連結中心，使新知識概念連結得以進入舊有知識網絡，也使下位階層概念的新訊息知識得以在此歸納(incorporated)與定錨(anchored) (張新仁，1993；徐毓慧，2001)，此處的「定錨(anchored)」的意義如同船舶停留於某處時需要下錨的概念是相同的。

倘若新知識的節點能與舊知識網絡相結合時，亦即新知識透過與舊有知識認知結構產生互動，「含攝(subsume)」於舊有知識系統架構之下，便能產生新的知識認知結構，進而獲取新的知識系統；但並非所有的新知識訊息皆能與舊有知識網絡相結合，亦即並非所有的新訊息皆能取得定錨的結果，倘若新知識無法與舊有知識相融合時，新知識無法進入長期記憶區，容易停留在短期記憶區裡，進而快速遺忘，就形成了所謂「無意義的學習」。相較於這種「無意義的學習」，在學習新知識的過程中，將新訊息納入原有學習者的認知結構過程，使學習者在學習的過程中，透過不斷吸收新訊息的刺激，重新建構其原屬之認知結構，讓新訊息與舊有認知結構網絡產生連結，形成新的認知結構，更進而形成新的認知層次分類，這樣的學習才是所謂的「有意義的學習」(Ausubel, 1961；林清山，1981；張新仁，1993)。

## 二、 有意義的學習

學習的面向可以透過兩個不同的向度來作分析，其中一個向度是透過學習者如何接受學習的相關教學內容來探討，另一個向度則是教學者透過何種方式將教學內容呈現在學習者面前或是如何將教學內容傳達給學習者的方式，兩個向度所呈現的面向均影響學習者在學習時的成效好壞。

由上述「有意義的學習」觀點出發，針對學習過程所接觸的新教材內容，教學的重點在於使學習者對於新知識產生連結(connect)與實質(substantive)上的關連，連結的意義在於使新知識與舊有知識有關連，分別獨立的概念間若無法產生連結，則學習的過程可能產生強記概念的結果，記憶停留時間相對也會縮短；而實質上的關聯則指的是新舊知識的關連不受到語言或文字形式上的影響，其關聯也可以是某個意象、符號、概念或命

題所造成的連結系統(Ausubel, Novak, & Hanesian, 1978; 張新仁, 1993; 徐毓慧, 2001)。當新知識訊息與原先舊有知識認知結構間具有所謂「實質意義」(Substantive Meaning)的關聯時,在含攝的過程中我們可稱之為「順攝增進」(Proactive Facilitation)(Ausubel, 1961; 郭建志, 1995),而順攝增進所強調的就是新知識訊息能順利連結到舊有知識的網絡裡,進而將新教材或學科知識與大腦神經系統內舊有認知結構產生聯繫,將新知識內化成為認知結構的一部分,特別是「概念」與「概念」間的連結與重整。

當有意義的學習發生時,即代表學習者能將新知識與舊有知識系統相連結,能讓新知識分別停留或歸屬於舊有知識系統主幹下,匯合形成新的知識系統,內化成認知結構的一部份,意義的成分越高,其學習與記憶的效果也就越好(張新仁, 1993)。例如學生在學習「酸鹼中和」概念時,如果能聯想到「酸」與「鹼」的各自獨有特性,並根據其特性來學習酸鹼中和的概念,就能馬上了解酸鹼中和反應後產物的特性。

相對於「有意義的學習」,學習的另一個向度則是「機械式的學習」,其泛指學生無法將新的學科知識與其舊有知識系統取得關聯性,學習多偏重所謂「機械式」的練習與零碎知識的記憶。Ausubel(1961)在提倡有意義的學習時,他也承認在課室的教學內容與過程間亦存在著部分「必要」的機械式學習,例如元素符號的記憶與英文字母的學習、記憶的教學過程都能發現這樣的機械式學習,但僅只是少部分的教學內容,大部分的時間學生仍須以有意義的學習方式進行學習,否則當新知識不能與原先舊有的認知結構相連結,使新的知識訊息常處於孤立的位置,則新知識很容易就會被遺忘。

另外在一般課室中的講述式教學方法,大多數的人就認為是所謂的「機械式的學習」。Ausubel(1978; 徐毓慧, 2001)提出「接受式學習」(reception learning)一反當時謂為風潮的「發現式學習」(discovery learning),強調學生最經濟的學習活動是透過有意義「接受式的」學習,教師將講述式教學與教學的材料作完整且適當的課程安排後,直接教授給學生新的學科知識內容。當代的教學理論多認同以學生為主體的「發現式學習」,強調的是鼓勵學生自行操作、探究,以發現學科教材內容所隱含的結構組織,進而進行學習的動作。Ausubel 的看法引起當時相當大的反應。

其實 Ausubel 並不反對所謂「發現式的」學習,在某種程度上他認為「發現式的」

學習是有助於引起學生學習的內在動機，促進學習的遷移，並可用來解決多數以操作過程作為經驗取得的學習歷程，只是 Ausubel 更強調「接受式」的學習才是學校學生的主要學習方式，因為學生若能接受有系統的精選教學內容要比學生學習發現或探究的方法來得有效果(林清山，1981)。當國、高中學生其認知發展階段已達「形式操作期」後，學生多數已經能透過語言及文字進行所謂的抽象性思考與學習，而在多數以傳遞學科內容知識為主要教學目標的教學環境下，「接受式」的學習才是最有效率的方式(Ausubel & Robinson, 1969；張新仁，1993)。倘若教師能在教學目標、學生學習能力與教師教學能力三者兼顧的情況下，以精緻化的教學設計做教學上適當的課程安排，呈現有系統且結構完整的教材與概念，反而能改善「發現式的學習」裡任學生自行摸索、嘗試與發現，多數無法自行學習的缺點，也能改善教學現場中教學目標不清、教師職責不明的缺失(朱敬先，1986)，另外相較於一般學生的智能發展，學習遲緩的學生較不易由「發現式學習」中獲益(Hermann, 1971；引自張新仁，2003)，而使用「接受式學習」的學生其學習時間在比較下相對較少，而新知識的記憶也保留的較久(Witlock, 1963；引自張新仁，2003)。

以下就是針對有意義學習之學習方式做比較(表 2-1)，學習依兩個向度做分類，第一個向度包括接受式學習(Reception Learning)和發現式學習(Discovery Learning)；第二個向度則是有意義學習與機械式學習。

綜觀 Ausubel 的學習理論，新知識訊息進入原有舊有認知結構的過程中，有意義的學習重點在於新知識訊息是否能成功的「含攝」(Subsuming)於舊有知識的認知結構中，而新概念的定錨則是學習的關鍵，如何透過理論設計將高階層的上位概念表達出來，並完整呈現，或是提前在教授新教材內容時，預先介紹較為一般化、抽象性較高的普適化內容，將有助於學生在新內容上的學習。因此 Ausubel 因應相關理論，提出了「前置組織」(Advance Organizer)的概念，提供了學習者將舊有知識與新知識間的定錨觀念，以增進學習者的接續學習，下一節就是針對 Ausubel 所提出的「前置組織」(Advance Organizer)作深入的分析與探討。

表 2-1 有意義學習方式與機械式學習方式比較

		所接受訊息被學習者吸收	
		有意義的	機械式的
所學訊息對學習者之效用	接受	<p>*有意義的接受學習：</p> <p>邏輯式組織訊息，以最終方式向學習者呈現，然後學習者將之與原有經驗相關聯，融入其認知結構。</p>	<p>*機械式接受學習：</p> <p>任何方式訊息以最後型態向學習者呈現，然後記住它。</p>
	發現	<p>*有意義的發現學習：</p> <p>訊息之學習由學習者獨立進行，然後將之與原有經驗相關，融入其認知結構。</p>	<p>*機械式發現學習：</p> <p>訊息之學習由學習者獨立進行，然後記住它。</p>

\* Ausubel & Robinson, 1969 : P.187 , 引自朱敬先, 1987 : P.274

## 第二節 前置組織理論

### 一、前置組織的定義

前置組織的原文為 advance organizer，國內諸多學者翻譯為「前導架構」(朱敬先，1991；張新仁，1993)、「前導組體」(張春興，1996)、「前階組織」(李咏吟，1981；郭諭陵，1993)、「前導組體」(林清山，1990；郭建志，1995)、與「前置組織因子」(楊榮祥，

1987；徐毓慧，2002)。本文在此改用為「前置組織」，意旨在教學中首先提供給學生的新知識訊息，具有置前引導學習者學習後續概念的功用。

「前置組織」源自於前述 Ausubel 所提出的學習理論，目的是提供學習者學習新知識前與舊有知識系統進行連結的工具；由學習者在學習前的認知架構中提供涵括性較大的上位階層概念系統，連結新知識進入下位階層概念的知識網絡，而「前置組織」即是提供或引導學習者在學習前的此概念架構，以便銜接新知識的學習(張新仁，1993)。

Ausubel (1978; 引自張新仁，1993)對「前置組織」(Advance Organizer)定義為「在教學前所提出的一個比學習材料本身具有較高抽象性、一般性、及涵蓋性的引介材料」。國外學者如 Mayer(1986；引自林清山，1997)認為「前置組織指的是在學習之前所呈現的組織架構，可以使學習者用來組織並解釋新來的知識訊息」。而 Eggen 與 Kauchak(1996；引自李正聖，2006)則認為「前置組織是在新一課程單元開始前的一段文字陳述，可以預先理解及組織新學習材料，並且使新學習材料連結到學習者舊有知識系統中」。國內學者如朱敬先(1991，頁 273)提出：「前置組織即是對即將學習的高階層抽象化與概念化的教材，作簡介形式的提示，凡對新教材或概念有幫助的觀點，均可以在前置組織中表達陳述」。李咏吟(1998，頁 143)則認為

「前置組織」是一套清晰的、有組織的資料，以學習者已熟悉的知識為基礎而設計的產物，通常是在教學起始時提供給學習者，使其建立有用的知識架構，以期能幫助他們對新觀念原則的學習統合。

綜觀對於「前置組織」的定義，基本上其必須是以高層次的概念形式來呈現，在本質上不同於「概述」(overview)或「摘要」(summary)，「概述」與「摘要」指的都是學習內容的重點，是內容的重述，在概念的抽象程度上並無區別。「概述」出現在教學前，「摘要」出現在教學後。兩者呈現的位置雖不相同，但性質上是相似的，且均與前置組織的功能不同。



## 二、前置組織的功能與類別

針對學習者對於教學內容的熟悉程度與否，Ausubel 提出兩種不同形式的前置組織；一是「說明式前置組織」(Expository Organizer)，用以先行提供適當的「先備知識」來強化學習的前置組織；二是「比較式前置組織」(Comparative Organizer)，用以與舊有知識系統建立連結，使新知識與舊有知識發生關連的前置組織，兩種不同的類別所適用的時機均不同，分述如下：

### (一) 「說明式前置組織」(expository organizer)

當所要學習的新知識對於學生是較為陌生時，若使用說明式的前置組織，則可提供與新知識內容相關的「先備知識」，先行說明相關的概念，幫助學習者迅速理解與學習新知識。在教學上，在教「鋼」概念之前，先介紹「合金」；在教「等差數列」之前，先教「數列」。這些都屬於「說明式前置組織」(張新仁，2003，頁 227)。

### (二) 「比較式前置組織」(comparative organizer)

當所要學習的新知識相對學生是較熟悉時，在舊有知識與新知識相聯結時，使用比較式前置組織則可以提供新舊知識之間異同的比較，幫助學習者加速理解與融合新的知識，與「說明式前置組織」不同的重點在於經由新舊知識間相異概念的比較與釐清，能與學習者的「相似概念」融合，以及辨別即將學習新知識內容。例如：在教「壘球」概念時，即可比較「棒球」與「壘球」的異同(張新仁，2003，頁 227)。

## 三、前置組織的相關研究與功效

回顧前置組織的研究，Ausubel 是第一位有系統的研究前置組織在文章中有意義學習角色的學者(林清山，1997)。其研究中指出對於學習新知識的記憶儲存時間，前置組織是有效果的；在隨後的研究中，包括 Mayer(1979)、與 Ausubel 合作的 Fitzgerald(1961~1962)、Youssef(1963)其研究均支持前置組織在學習上的成效。

Ausubel 與 Fitzgerald(1961, 引自李正聖, 2006)在「比較式前置組織—佛教教義文章」後續實驗中發現,對「基督教教義」了解的多寡會影響其學習成績,也就是說學習會受到舊有概念的清晰與穩定度影響。此外,當學習者本身缺乏含攝新學習材料的觀念時,前導組織的效果會更好。

另外對於使用前置組織持反對意見的研究也相繼發表。例如:Barnes 與 Clawson (1975; 引自李正聖, 2006)對小三和小四學童進行研究, Koran(1973; 引自李正聖, 2006)研究四年級學童,學習材料是學生不熟悉的「昆蟲」文章,學生分為有及無前置組織兩組, Derry(1984; 引自李正聖, 2006)研究大學生,分為「理論取向式」與「普通引言式」前置組織兩組。這些研究均指出前置組織對學習表現未能產生顯著差異。

Mayer(1979)提出在下述三個條件下,前置組織比較有效:(一)在學習者先備知識不足,或無法適當運用來組織新知識時;(二)涉及「創造性問題解決或新情境學習遷移之測驗」時;(三)為建立先備知識,提供具體的前導組織時。

張德榮(1985; 引自李正聖, 2006)統合相關研究後發現,前置組織之所以沒有效果的因素可能是前置組織教材編寫不容易,一方面要顧及「一般性與簡明性」的要求,一方面內容又不能與新教材直接相關。另外,對照組往往除了要學習主要的學習材料外,更需閱讀或接受與新知識無關的教材內容,因而在後測上的得分上常落後於實驗組。況且在學習過程中,通常接受前置組織的實驗組的學習時間均較對照組的學習時間來得長,因此影響兩組在學習上的差異。

統整上述對前置組織支持與反對的相關研究,國內外研究大致上是持肯定的態度,研究結果多也顯示只要控制好上述的三項變因(前置組織的編寫、對照組所接受的教學以及教學時間),前置組織仍有其在學習上的助益,能幫助學生連結新舊概念。

#### 四、前置組織的呈現方式

前置組織的呈現必須依據學習者的認知結構來表示,重點在於學習者已知的詞彙與概念的應用,能讓學習者藉由已知的概念了解新知識的內容,另外也必須要包含所要教

授的內容，具有高度的涵蓋性，能指出各概念間的關係與架構；呈現的方式並不侷限在文字敘述或圖表方式，內容長度也並不限於一節或是一整個教學單元。

針對相關研究的呈現方式(Barnes & Clawson, 1975；Mayer & Bromage, 1980；魏世台，1981)，以下簡述幾項不同於陳述(statements)的型式與特性：

#### (一) 大綱(outline)

大綱(outline)或引言(introduction)，包括教科書中的章節名稱與段落標題，都可以當成是「說明式的前置組織」(魏世台，1981)。「大綱」通常用來表示主要系統與次要概念的依屬關係，包含新知識內容與簡要的專有名詞介紹，通常教師在教學現場常將大綱羅列於黑板上供學生抄寫與記憶，幫助學生快速瞭解新教材內容，但缺點是直線序列式敘述影響學生在跨概念間(水平概念)的學習遷移與理解。

#### (二) 圖形(graph)

圖形式組織(graph organizers，簡稱 GO)是最常被使用在前置組織呈現的方式，主要表現學習任務間主要名詞關係的視覺表徵(Robinson & Kiewra,1995；引自徐毓慧，2001)；不同於大綱的呈現方式，GO 以空間形式傳達概念間的關係，能表現水平概念間的連結關係，在整體結構性上更能突顯新舊知識間的連結性。但 GO 也有缺點，例如：GO 缺乏對概念間關係的詳述，往往產生錯誤概念學習。

#### (三) 類比(analogy)

少數學者主張用「類比」的型式來表現前置組織，如 Mayer(1985)以「水流類比電流」作為前置組織教學。

## 五、前置組織相關教學模式與設計

### (一) 前置組織相關教學模式

基於 Ausubel 的理念，Joyce 與 Weil(2000；引自郭諭陵，2001)發展出一套前置組織教學模式結構如下表 2-2 所示；教師在教學前必須熟悉學習者的特性，並將此學科概念

作有系統的分析，確定上位與下位概念的階層歸屬，甚至將相關概念化為命題表示。

表 2-2 Joyce 與 Weil 的前置組織教學模式

階段	目的	任務
第一階段	※呈現前置組織	※說明本課目的 ※呈現前置組織 * 確認屬性 * 舉例 * 提供上下文脈絡 * 重複 ※喚起學習者相關知識與經驗
第二階段	※提供學習任務或材料	※呈現教材 ※保持注意 ※說明內容組織 ※說明學習材料的邏輯順序
第三階段	※增強認知結構	※使用統整協調原則 ※促進主動積極的接受學習 ※引發個人主動的批判思考 ※闡明認知結構

\*資料來源：Joyce & Weil(2000,P.256；郭諭陵，2001，頁 50)

## (二) 前置組織的設計

在考慮學習者認知結構程度、學習材料內容、與學習者先備知識的三種因素下，Zeitoun(1983：11-16；引自李正聖，2006)與 West(1991：125；引自李正聖，2006)等人提出對教師採用前置組織的建議如下表 2-3 所示：

表 2-3 教師使用前置組織建議

	Zeitoun(1983)	West(1991)
1.分析學習材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>*分析學習材料組織</li> <li>*測定學習材料熟悉度</li> <li>*提取學習材料主要概念</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*羅列應具備的先備知識</li> <li>*分析學習材料的概念、事實、程序、與觀念</li> </ul>
2.分析學習者的認知結構	<ul style="list-style-type: none"> <li>※分析學習者的認知結構</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>※了解學生先備知識程度</li> <li>*已學習過教材或前測分析</li> </ul>
3.決定前置組織特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>*類型(說明式或比較式)</li> <li>*抽象程度(具體或抽象)</li> <li>*呈現方式(閱讀或非閱讀)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>※強調一般性原則及概念</li> <li>※分析前置組織與先備知識的異同</li> </ul>
4.評鑑前置組織	<ul style="list-style-type: none"> <li>※前置組織之可理解性</li> <li>※檢驗前置組織效度：其含攝體應能含攝學習材料概念</li> <li>※測量前置組織的教學時間</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>※鑑別前置組織與先備知識間的關係</li> </ul>

\*資料來源：修改自李正聖（2006，頁 30）

### 第三節 化學反應概念與相關研究分析

化學反應(Chemical Reaction)通常在化學領域中，是屬於一般性、抽象性與涵蓋性較高的上位概念。此上位整體概念對於化學的學習相當的重要，其學習的延續性橫跨國中與高中的化學領域，是學習的重點概念之一。以下就化學反應及其相關概念的重要性、意義以及相關研究進行討論與分析。

#### 一、 化學反應的重要性

「化學反應」是由許多化學相關概念所統合成的「系統概念」，是用來「解釋」與「呈現」所有與化學相關「反應」(Reaction)的總稱(Anderson, 1985)。「狹義」的定義化學反應的概念，指的是分辨化學反應的過程與呈現化學反應的表達方式(化學反應方程式)；而「廣義」的定義化學反應，指的則是包含莫耳數的計量、原子與分子數量計量、反應物與產物間狀態交互關係、及其相關衍生概念(氧化數、原子價、原子鍵結、分子鍵結…等)。

在學習化學反應概念的同時，特別是抽離感官觀察的現象描述後，進而要面對抽象概念的學習時，包括原子、分子、莫耳的抽象概念，以及對於化學反應計量上的問題，學生所須要的認知能力就必須具備較高層次的抽象思考能力。在「化學反應」相關概念的調查中發現，許多科學教師認為「在科學領域(物理、化學、生物、及地球科學)中十五個最困難的概念裡，其中二個就是「平衡方程式」與「寫化學式」(Yarroch & Finley, 1982；引自王婉菁，2002)」。這也是學習「化學反應」最重要的基礎；「通常只要能正確寫出反應物與產物的化學式，完成化學反應方程式的平衡，92%的學生均能正確解答有關「莫耳與重量」與「克分子量」的相關問題(Duncan & Johnstone, 1973；引自王婉菁，2002)」。由上可以了解，化學反應不但是科學領域中的主要研究主題之一，同時也在化學學習中扮演相當重要的角色。

## 二、 化學反應相關概念的分析

化學反應是由許多相關概念所整合成的系統概念，不論是由「巨觀」的角度分析與辨識物質發生化學反應的過程，亦或是由「微觀」的角度了解與計算化學反應發生的機制，整體的概念均須由許多次層級的概念交互統合而成，因此以下就針對次層級概念的相關研究分析與討論其在化學反應中所扮演的角色。

### 1. 化學式(Chemical Formula)相關定義與概念研究

「化學式」指的是用來表示化合物的組成表示方式，包含了組成化合物中的成分元

素及數量，依據表示法功用的不同，可分為「實驗式(簡式)」、「分子式」、「示性式」、以及「結構式」。化學式是完成化學反應方程式最主要的角色之一，它表示了反應物與產物的成分組成，也相對顯示了反應物與產物的數量值，由國中時期的化學反應概念學習開始，就是先學習如何表示與撰寫化合物的化學式。

由於語言的關係，中學時期的化學式必須採用中文的命名方法來撰寫，配合元素符號(代號)與隱含的鍵結價數關係，多數的教師與教科書所採取教學與編寫的方式，都是以記憶為主，如：「金屬元素的符號寫在前面，非金屬的符號寫在後面，而中文名稱則與書寫的符號相反；比如氧化鈣，化學式就是『CaO』」。許多學生並不瞭解化學式旁的數字的意義 (Yarroch, 1985；引自王琬菁，2002)。王琬菁指出 (2002) 「多數學生不能理解化學式元素旁的數字所代表的意涵原因可能是學生不了解原子與分子的定義及數量上的差異關係或是學生多將其視為代數問題，以機械式的記憶方式解決。」

## 2. 原子(Atom)與分子(Molecular)相關定義與概念研究

原子與分子是「抽象的」、「微觀的」、「複雜的」概念，無法經由感官觀察所體現的科學事實，教師在教授相關概念時常以「巨觀的」事實與過程，欲解釋此抽象概念的質性觀點，卻常受限於學生原有的「另有概念」或在教學後引起學生的「迷思概念」。

學生通常會使用一些科學專有名詞來解釋巨觀的現象，比如：凝固、蒸發、或昇華，但並不能真正了解或解釋這些科學事實的內在性質與行為(原子間距離或分子間距離，因溫度上升而增大)。由物質最小組成單位的觀點出發，探究高中學生用粒子行為解釋巨觀與微觀現象，Ben-Zvi, Eylon & Silberstein (1986；引自王琬菁，2002) 指出在原子與分子概念教學後，「物質是一連續體」的觀點還是很難改變，微觀粒子理論更是無法被應用來解釋物質狀態變化的過程。

林振霖(1992)分析國中學生對分子概念的迷思概念如下：

1. 空氣為化合物；
2. 原子如同分子，可在自然界獨立存在；

3. 同溫、同壓下，氣體的原子數若較多，其體積則較大；
4. 反應物總重量必等於生成物總重量，且無化學反應限量試劑與過量反應物的分子概念；
5. 兩物質反應時必以同分子數才能相互產生反應；
6. 相互反應的兩種元素其原子重量比例與其反應重量比例成「反比」；
7. 組成分子的原子越多，此原子的原子量越大。

(林振霖，1992，頁 142)

### 3. 化學反應方程式(Chemical Reaction Function)的寫法與相關概念應用

化學反應的寫法自國中開始就出現在教材內，其相關概念一直延伸至高中的化學內容。在化學反應式的計量上，除了要具備原子量、分子量、莫耳數等基本概念，以及元素符號、化學式、反應物與生成物的先備知識外，更需要瞭解化學反應方程式各種符號的意義、質量與莫耳數對應化學反應式係數的關係等等。學生往往缺乏「原子與分子」概念，只能從視覺來辨識與瞭解化學反應與化學變化。在不同階段上，由國中、高中、到大學，此概念的延續性仍難以讓擁有高先備知識與高層次思考模式的大學生完整的回答相關詳細的內涵(王婉菁，2002)。

許多針對國中教材的研究就已發現，國中的內容對於化學反應方程式的介紹過於簡略與不完整，致使學生對化學反應的學習產生許多迷思概念(蔡宗程，2004)。在這樣有延續性與相關性高的概念學習上，先備知識的連結是進階內容學習的重點，因此面對此相關概念的教學，若能適當的運用「前置組織」的優點，勢必能解決學生在此概念學習上的相關問題。