

# 三維度視覺化技能在化學學習上的探討

廖焜熙

國立臺灣師範大學化學系

邱美虹

國立臺灣師範大學科學教育研究所

**摘要：**本文主要在探討 1950 ~ 1994 年間，有關圖像、空間能力及三維度視覺化技能的研究文獻，從中整理出五大領域的範圍，包括有關三維度視覺化技能的探討；三維度視覺化技能的心理學基礎；利用三維度視覺化技能在科學學習上的重要性、困難的原因及本質的探討；並了解在不同教育程度、年齡組群及性別間是否有差異性存在？並提出有關矯正這些困難的教學方法、教學策略等，試圖提供科學教師教學上之參考。

**關鍵詞：**視覺化、空間能力、分子模型、三維度表徵

## 壹、緒論

三維度視覺化 ( Three-dimensional visualization ) 技能在科學學習時是一種重要的心像技能。目前已有許多的研究針對成人及不同年齡層的學生，進行有關三維度視覺化能力表現的探討。所謂「三維度視覺化」能力，『是一種心像能力。這種能力需將二維度平面的圖形表徵，轉換為三維度的表徵。』換言之，『即將平面圖形，想像成立體圖形的能力。』這種能力在日常生活上是必備的，在許多學科的學習上也是必須的。例如在數學、物理、化學、生物、地球科學等學科的學習均很重要。尤其在化學的學習過程，具備這方面的技能，更是重要的（如：立體化學、無機化學、物理化學上的學習）。學生若缺乏這方面的技能，化學學習，將產生嚴重的學習障礙 ( Tuckey & Selvaratnam, 1993 )。

本文整理 1950 ~ 1994 有關三維度視覺化技能在化學上之研究，並參考 Tuckey & Selvaratnam ( 1993 ) 一文的部份研究架構，探討有關三維度視覺化技能與化學學習方面的問題，以作為化學教師教學與研究之參考。

## 貳、三維度視覺化技能與空間能力的探討

在許多的研究中都指出：空間能力影響科學相關的學習成就，尤其是理化方面的表現 ( 如 Bishop, 1978; Gardner, 1985; Orion, Ben-Chaim & Kali, 1994; Linn & Petersen, 1985; Pribyl & Bodner, 1987 )。學者們對空間能力之

為何物的看法不一，但對其與其他能力（如邏輯推理能力或語文能力）具有的不同特殊性，却有不少學者表支持。最強烈支持空間能力的存在性（existence）與獨立性（independence）應屬L.L. Thurstone。他認為空間能力是智力的七個基本因子之一。因此，在他之後的許多智力測驗中都包含了空間能力的測驗題目。Thurstone將空間能力分成三個部份：①從不同角度仍能確認出同一物體的能力；②能想像構形中各組成的移動或內在位置（internal displacement）的能力；③空間關係在觀察者心中形成的方位的能力。Kelley則強調對物體的感覺（sense）和心智操弄（mental manipulation）及保留幾何形式（retain geometric forms）的能力。El Koussy則將空間能力分為二維和三維的空間能力，個別皆具有動態及靜態的層面（Gardner, 1983, 1985）。而Macnab & Johnstone（1990，引自邱美虹和翁雪琴，民84）則提出空間能力的三個要素：①將三維空間的結構以二維空間的方式在內心呈現，亦即在內心呈現出二維空間平面的能力；②將二維空間平面的物體，在內心呈現出三維空間結構的能力；③當物體結構方向改變時，仍能將其辨識出的能力。Lohman（1979）則更明確的指出二維與三維之間的轉換的過程，是指移動、轉動、扭動而言。因此，Lohman認為空間能力至少應包含三個向度：①空間關係（spatial relations）、②空間方位（spatial orientation）、③視覺化（visualization）。

綜上所述，雖然學者們對空間能力的涵義莫衷一是，但基本上學者們對物體在空間中的關係以及其在心智中如何被操弄，使二維與三維表徵產生互動，以利學習與洞悉事物的重要性是具一致的。

### 參、三維度視覺化心理學理論研究

三維度視覺化心理學理論研究，根據Tuckey & Selvaratnam（1993）的說法，大約可分為三派。早在1709年Berkely首先提出三維度視覺化理論。根據這項理論一個留在眼睛視網膜的二維影像，能形成立體化影像，是因為雙眼觀察物體影像的不對稱及影像大小所造成。此種理論，可延伸為人為設計，藉由線條深淺度的素描，而將景物的立體感顯示出來。欲獲得這種能力，首先必須獲得二維度空間的表徵（包括符號等），用於詮釋三維度空間影像的能力（Goodman, 1968）。視覺能察覺三維度空間的物體，或圖形經特殊轉換之後能看出其結果，是完全依賴眼力能理解深度線索（depth cues）及辨認轉換之後的結果而造成的（引自Tuckey & Selvaratnam, 1993）。另一理論為Gibson（1971）所提出。根據這項理論，二維方式表徵一物體，會輸出三維度

的訊息。假如，當物體呈現時，會反射相同結構的訊息給雙眼，而眼睛就看到立體景象。因此，假如有一幅平面圖畫提供給觀察者，觀察者會誤以為這是立體的景物。Kosslyn (1981a) 提出第三種理論，以幫助了解訊息視覺心像 (visual mental images) 如何表徵及接近。他考慮的是心像如何產生、檢視及傳遞。這是一累積性理論：視覺心像是短暫的資料結構，此種結構發生於一個相似體的空間媒介。大腦的功能性容量，可區分為：結構性的及過程性的兩種。結構性的功能提供訊息的表徵，而過程性的功能則在處理這些表徵。電腦模擬程式，可反映出腦部處理事務的真實情況。每一部份的表徵，必須對應於物體的某一部份，某物體之中的某區域距離，是藉由某一區域內介質的距離來表徵的 (引自 Tucey & Selvaratnam, 1993)。腦部結構研究顯示：人腦左右兩半邊分別掌控不同的心智能力。大部分的認知、邏輯及科學技能，由左腦執掌 (McKean; 1985)；而空間視覺能力則由右腦掌控 (McGee, 1979)。這種二分法已為最近的研究者所質疑。根據 Kosslyn (1987) 的觀點，空間視覺能力需要許多的附屬能力 (subabilities) 的幫助才能完成。這些附屬能力是由許多分離的附屬系統所組成，而這些系統分佈在不同的地方。因此，整體的心像能力或個別的心像能力，如同心像的產生一樣，均非單靠某一邊的腦功能所能發揮的，而是要靠整體腦功能的運作才完成的。

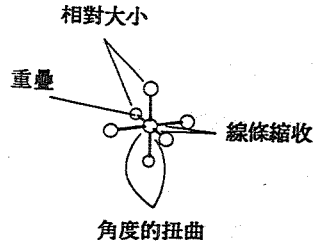
#### 肆、三維度視覺化技能與化學學習

化學學習需要用到三維度視覺化技能，前已述及，在此進一步加以舉例說明。例如，在決定某一分子是屬於何種組群 (point groups)，所需的心像操控方法如旋轉 (rotation)、對稱 (symmetry)、反轉 (inversion) 等操作 (operation) 技能，就是屬於三維度視覺化技能之一；又如在比較有機化合物的立體異構物時，也需用到這些技能。有許多測驗，已發展用來鑑定三維度視覺化在學習化學上的困難的性質、範圍及原因。而且有許多用在化學學習上的三維度視覺化技能，也已被檢驗出來。這些技能包括：圖形深度知覺、瞭解各種用於分子結構及晶體形式的深度線索、能由平面的表徵透視出三維度空間的能力、圖形與模型相關能力的研判、分子經反射等操作後，圖像該是如何？以下針對這些主題加以說明：

##### 一、分子模型的深度線索的研究

化學上常利用一些簡單的符號來表徵化合物的立體結構。例如甲烷是四面體結構的分子，為了表示甲烷分子的立體結構，有用圓圈來代表碳原子及氫原子，用短線代表“

碳 - 氫”之間的鍵結，這些用以表徵分子模型的簡單幾何圖樣稱之為“深度線索”。學生對於分子空間結構的理解，是對模型的深度線索的知覺建構而來。表徵分子模型的深度線索，一般有四種方式：線條縮收 ( foreshortening of lines )、重疊 (overlap)、相對大小 ( relative size ) 以及角度的扭曲 ( distortion of angles ) 等四種構成圖形立體化的幾何結構圖樣 ( 如圖一所示 )。有許多研究者所發展的測驗，是用於檢驗學生是否會利用深度線索，來透視三維度的圖形結構。



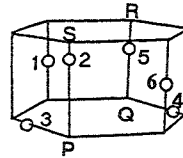
圖一、四種不同的深度線索圖

(Source: From Evans & Seddon, 1978, p.314)

學生了解這些深度線索所代表的意義是非常重要的，因為三度空間透視能力顯現，是依靠對這些線索的組合、了解而形成的 (Seddon,

Tariq & Dos Santos, 1984 )。深度線索組合運用的研究者，包括 Nicholson & Seddon ( 1977 a, 1977 b ) ; Oyediji ( 1978 ) ; El Farra ( 1982 ) (引自 Tuckey & Selvaratnam, 1993) 及 Seddon, Adeola, El Farra & Oyediji (1984)

六邊形架構



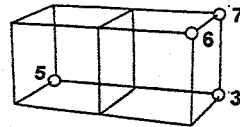
水平位移

- a) 哪一號球較接近 PQRS 垂直平面，1 或 3 ?
- b) 哪一號球較接近 PQRS 垂直平面，4 或 6 ?

垂直位移

- a) 哪一號較高，2 或 5 ?
- b) 哪一號球高度與 1 號球相同，2 或 6 ?

立方體架構



對角位移

- a) 哪一號球較接近 5 號球，3 或 6 ?
- b) 哪一號球離 5 號球較遠，6 或 7 ?

圖二、六邊形與立方體架構深度線索之試題圖

(Source: From Nicholson & Seddon, 1977a, p.386)

等人。他們的研究方法，是提供具有深度線索的

分子結構圖形給學生，並要求學生使用這些線索，來推論分子中各原子的空間關係，這類型的試題，有一部份如圖二所示。

圖二的這套試題曾用來測試奈及利亞 ( Nigerian ) 的中學生，根據測試結果可以推測，學生對這些結構圖的看法是屬於「二維的」詮釋者，或是「三維的」詮釋者。該

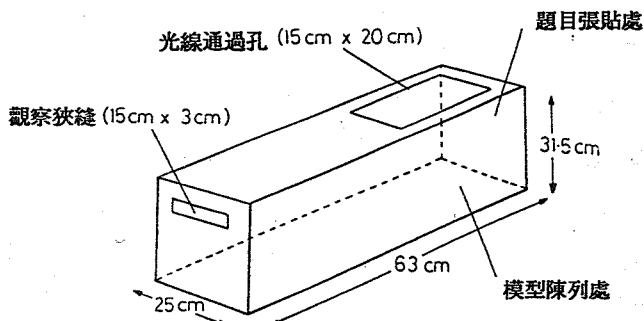
研究顯示：大多數學生都能有某種程度的三維空間關係的詮釋能力，測驗的平均分數却只達50%。

## 二、圖形與模型相關能力研究

對於這四種不同深度線索的了解，學生的接受程度如何以及相對困難度的了解，對化學學習及教學亦十分重要。

Evans & Seddon(1978)

所作的研究，是關於這方面的研究，他們利用圖形與模型相關的能力測驗，試圖了解哪一種深度線索的理解對學生最困難。模型的架構及試題，被安置在盒子裡，受試者可從某一角度，觀察模



圖三、由盒內觀察分子模型及試題的設計圖

(Source: From Nicholson & Seddon, 1977a, p.388)

型及試題。測試方式是要求學生先觀察盒內的分子模型，再從試題中，選出能代表模型的正確圖形 ( diagram )。測試用的盒子的構造如圖三所示。

圖形的構築原則，是每一次只改變構形 ( configuration ) 的某一深度線索 ( 例如，只改變任一線索，如相對大小、線條縮收、角度扭曲或重疊等 )，而其餘的深度線索維持不變。換言之，即每一個題僅測試一種深度線索。這是此類試題的特徵之一，部份的測試題目如圖四所示。圖四是 Evans & Seddon 的試題，曾用來測試奈及利亞的中學生及大學生，這些學生都曾學過科學。測試結果顯示，學生對各種深度線索的理解程度有所不同。這些深度線索的困難度大小分別為：相對大小 > 線條縮收 > 重疊線索 > 角度扭曲，平均答對率分別為：33%，43%，67%及72%。這一類型的測驗，除了讓學生觀察標準圖形，然後從四種構形選項中，挑選出正確的答案來之外；同時也要求學生，由觀看圖形來建構模型，英國及奈及利亞以這種方式來測試小學生。測驗結果顯示，平均分數的分布在奈及利亞最年輕的八歲組的45%到英國十歲組80%的範圍。

## 三、有關圖形操作的視覺化能力測驗研究

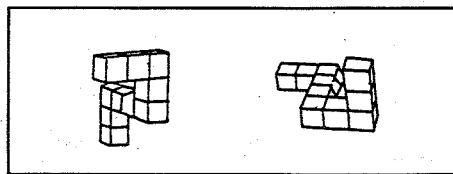
關於圖形操作的空間視覺能力測驗，最先為 Shepard & Metzler ( 1971 ) 所發展。他們所使用的材料，是由十個立方塊面對面連接而成的一對透視圖所構成，這一透視圖包含三個直角的彎曲面，如圖五所示。

深度線索 或特徵	正確圖形	distractors		
		1	2	3
重 疊				
		所有重疊 線索消失	最大的重 疊線索	兩個額外 重疊線索
線條縮收				
		所有線 等長	線的相對 長度錯誤	兩線相對 長度錯誤

圖四、用於檢驗深度線索的試題，圖中某一線索改變，而其餘線索保持不變。

(Source: From Evans & Seddon, 1978, p.315)

受測者需用心像來旋轉某一圖，以辨認兩者空間形狀，是否相同？測試結果顯示：受測者的反應時間，隨兩圖的旋轉角度的差異而呈線性增加，與旋轉深度無關。化學學習，也需利用類似心像旋轉來操作各類



圖五、Shepard & Metzler測試心像旋轉所使用的一對透視圖

(Source: From Shepard & Metzler, 1971, p.702)

分子模型。因此，學生具備這方面的技能是十分重要的。教學時也應了解一般學生對這方面的操作能力如何。Seddon 及他的工作夥伴，首先採用多重選擇的問題，測試學生的視覺空間操作能力 (Seddon & Shubber, 1985; Seddon & Moore, 1986a)。這種測驗問題包括對分子模型結構圖作某種的操作，操作後判斷其結構圖為何？這些操作包括將分子模型結構圖環繞  $x$ -、 $y$ -、 $z$ - 軸等旋轉，或將分子模型結構圖對稱  $xy$ -、 $yz$ -、 $xz$ - 平面反射，或將分子模型結構圖經某對稱點反轉等。其所使用的分子模型結構，係以某一原子為中心，而連接二、三、四、五或六個其他原子而構成的分子。測試對象計有：佛得角 (Cape Verde)、巴基斯坦 (Pakistan)、葡萄牙 (Portugal) 等國的大學生；英國、巴伊亞、奈及利亞、新加坡 (Singapore) 等國的中學生。所有學生均為學過科學的學生。測驗成績普遍不理想，平均分數在 25%~35% 之間，整

體的測試成績小於 20 %。

#### 四、化學上所需之三維度視覺化技能研究

了解學生在化學學習時，需要具備哪些三維度視覺化技能，在教學上是十分重要的課題。以下介紹有關這方面的研究。邱美虹及傅化文（民，82）曾利用分子結構的不同表徵方式，來了解學生的解題策略及不同表徵對學習成就的影響。這套試題是利用四種不同型態的表徵，測試美國賓州大學生及研究生，了解何種表徵方式，對學生立體化學解題的影響。研究結果顯示，以實際分子模型的表徵方式，學生成就最高為 87.5%；其次依次為一維線性分子表示法，答對率為 81.25%；二維度半空間表示法為 78.12%，平面二維度空間表示法最差為 53.12%。不論高低成就學生，對具體的分子模型的答對率都較高，而差異性也較小。同時研究結果也顯示高成就組的學生較易於心智中運作（mental operation），故使用分子模型時，乃是在確定其答案之正確性，而低成就組學生則是利用分子模型來理解分子內原子間的空間位置，將較難以視覺具體化的平面表徵法以實體呈現出來，減少認知負荷，以便解題。因此，不論高低成就學生具備三維度視覺化之技能，在解題上亦是十分重要的。

Rochford（1987a, 1987b）及 Keen, Fredman & Rochford（1988）（引自 Tuckey & Selvaratnam, 1993）曾發展一整組的理解性測驗，用來測量各種類型的三維度視覺化技能。包括：簡單分子的照片及圖形的深度知覺及距離知覺的認知；簡單分子圖形旋轉前後圖形配對；晶格離子空間相對位置的想像力及分子圖形與「球-桿」模型的配對。這四種技能的試題，部份如圖六(a)~(d)所示。

Rochford 等人的研究目的，主要在理解有哪些基本的三維度視覺化技能，是學習化學所必備的；並進一步了解學生的學習成就與這些基本技能的相關性。一般而言，化學學習應具備以下三種層次的三維度視覺化能力：

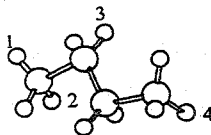
(一) 最低層次的一種：認識空間物體視覺組成的能力。包括：正確地知覺到三維空間所存在物體的形態。這種形態是藉由二維度平面的表徵，來呈現三維度的立體圖形。不具這種技能的人，在空間的學習上會造成嚴重的困難。

(二) 較高層次的技能：空間方位（spatial orientation）的透視能力。這種能力要能從不同的角度，透視出物體的形狀來。

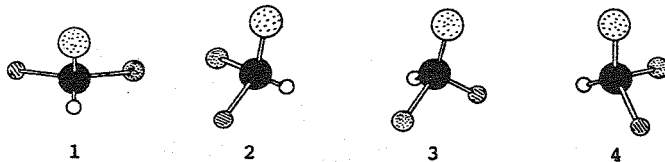
(三) 最高層次的能力：透視操作（operation）結果的能力。這種能力要能想像物體經操作後，其圖像的結果為何？例如：物體經旋轉（rotation）、反射（reflection）及反轉（inversion）等操作後，其結果為何要能辨別，以及能以想像力來操作物體（

a) 右圖是正丁烷分子的「球-桿」(ball-stick)模型表示圖。離你較遠的球代表氫原子，圖中哪一號氫原子離你最遠？

1 2 3 4

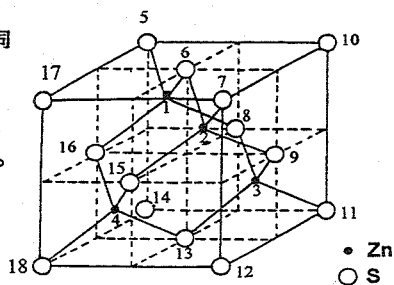


b) 下列問題係某一分子隨其中心碳原子任意旋轉。四個圖係從不同角度觀看所得的結果。其中三個相同，一個不同，試找出不相同的那一個。

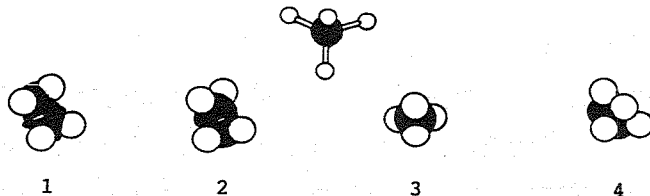


c) 下列敘述哪一個是正確的？

1. 4 號原子及 14 號原子，落在相同的水平面上。
2. 10 號原子到 17 號原子的距離大於 5 號原子到 7 號原子的距離。
3. 3 號原子及 4 號原子，落在相同的水平面上。
4. 1 號原子比 2 號原子更接近晶格的前面。



d) 下列圖中為某有機分子的「球-桿」模型圖，另外四個是有機分子的模型圖。四個模型圖 1, 2, 3, 4 號中何者是與「球-桿」模型圖相對應？



圖六、Rochford 測驗的試題範例圖

- a) 分子圖形深度及距離知覺圖
- b) 旋轉前後分子圖形配對圖
- c) 晶格離子空間位置的視覺圖
- d) 分子模型與球-桿模型配對圖

(Source: From Rochford(n.d.) pp.4, 5, 8, 10)

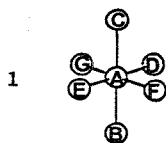
(引自 Tuckey & Selvaratnam, 1993)



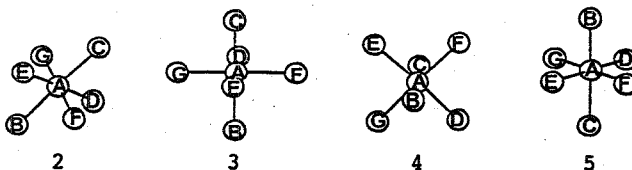
引自 Tuckey & Selvaratnam, 1993 )。

Tuckey, Selvaratnam & Bradley ( 1991 ) 等人進一步指出，邏輯式的解決「三維度視覺化」的問題，需要逐步接近，並且要具備解決各種形式問題所需的步驟及基本技能。例如，解決如圖七所示的化學分子圖形的空間問題，所需要的基本要素至少包括下列幾項：

考慮正八面體分子，以圖 1 表示如下：



假如圖 1 繞 Y-軸旋轉，下列哪一圖 (1, 2, 3, 4) 是其結果？



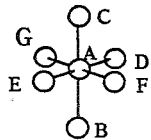
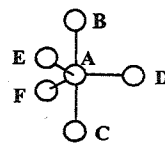
圖七、Tuckey所提供的三維空間測驗試題圖

(Source: From Tuckey et al., 1991, p.460)

- (一) 首先要能藉圖形(1)所提供的線索 (例如：重疊、線條縮收、角度扭曲) 看出哪些原子，在紙平面上，哪些原子離我們較近，哪些離我們較遠？
- (二) 能辨認「Y-軸」方向。
- (三) 能理解「繞 Y-軸方向轉動」這句話的意義。
- (四) 能想像此分子「繞 Y-軸方向轉動」時，各原子的空間位置如何改變。
- (五) 能藉由深度線索認識，指明此分子轉動後，在空間的整體結構。
- (六) 能將最後一步所得結果綜合，與步驟二三四及五相比較，選出正確答案。

三維空間的問題解題困難，可能由於缺乏上列某項基本技能或多項技能所致；或無法將這些技能，邏輯性地關聯起來所造成。因此，針對某一解題能力，所需之基本概念及技能的鑑定，就顯得相當重要了。這類試題因應實際需要，也就一一被設計出來。每一問題，都是為了偵測某項基本概念及技能而設計的。圖八是這類試題的例子之一。

這一類型的題目，可鑑定出三維空間思考困難的所在。許多三維空間的問題，解題發生困難，主要是歸因於缺乏對某些基本概念或技能的了解所致；或是無法邏輯性地連

基本概念或技能	試題範例
<p>測試由二維的平面表徵，想像出三維度的立體結構的能力。</p>	<p>考慮下列分子：</p>  <p>(1) 哪些原子不是在紙平面上？                  (2) 哪些原子比紙平面更靠近你？                  (3) 哪些原子比紙平面更遠離你？</p>
<p>分子經反射操作後，想像各原子的空間相對位置。</p>	<p>考慮下列分子：</p> <p>原子 A, B, C, D 在紙張的平面上                  原子 E 最接近你，原子 F 最遠離你。</p>  <p>若此一分子，以xz平面做反射，                  哪一原子最靠近紙面的端上？</p>

圖八、三維視覺化的基本概念及技能的測試試題圖

(Source: From Tuckey et al., 1991, p.461)

接這些概念及技能。研究結果發現，大一化學系的學生，都曾經歷到這些概念及技能上的困難 (Tuckey et al., 1991)。

### 五、空間能力與化學學習成就之相關

Rochford等人的研究發現，大一學生通過其空間相對位置等能力測驗的學生，在化學方面的學習成就，普遍優於未通過的學生，兩者的平均分數分別為 72% 及 58%。

Baker & Talley (1972); Pribyl & Bodner (1987) 等人的研究結果亦指出：空間心像能力與化學成就之間，呈顯著正相關 (Carter et al., 1987)，相關係數在 0.1 ~ 0.37 之間。空間心像能力與化學的相關，顯示在化學試題的種類上。若化學命題朝向「解題技巧」的趨勢，則化學成績與空間心像能力相關性高；若命題朝向記憶性問題或簡單的算術計算問題，則化學成績與空間心像能力相關性低。

Baker & Talley (1972) 指出：學生學習化學失敗的原因，可能是由於缺乏空

間思維技能所致。Rochford (1987a)：許多心像測驗成績不理想的學生，在化學的學習上也不理想。因此，McGee & Rochford提出：空間心像測驗成績，可作為預測化學學習成功與否的重要指標 (McGee, 1979, Rochford, 1987a)。

## 伍、有關不同年齡組群、教育程度、及性別的三維度視覺化能力差異研究

有許多的測驗已用於各組群的測試。測試的範圍包括：不同年齡層的小孩、不同教育程度的人、以及不同性別的學生。測試的目的在於了解他們之間的差異性。

### 一、年齡及教育上的差異

目前已有一些針對三歲至十歲的小孩，對三維度圖像詮釋能力的研究 (Wilcox & Teghtsoonian, 1971; Benson & Yonas, 1973; Jahoda & McGurk, 1974 b, Seddon & Nicholson, 1985)。其結果發現：三維度視覺化能力，是隨年齡的增加而增長。Hudson (1960)及Deregowski (1968)也作過各種年齡層的測驗，對三維度圖像的詮釋能力從十歲到二十歲及成人。他們發現，三維度的視覺化能力，較依賴於依習俗所運用圖畫的經驗而增長，而較不依賴年齡及教育程度而增長。年齡愈大及受教育程度愈高，隱涵著有較多接觸這種經驗的機會。因此，對小學中學及教師的視覺認知，是屬於三維度的；而失學的成人，則屬於二維的平面視覺認知者，正如非洲的礦工與傭人，雖然他們受過一些教育，但却擁有較少的圖像經驗，故仍屬於二維的平面認知者。

### 二、性別因素

除了年齡及教育因素之外，性別在三維度視覺化技能方面的差異亦有所研究 (Maccoby & Jacklin, 1974; Tapley & Bryden, 1977; McGee, 1979)。這種差異被認為是，由於男性及女性，左右半腦不相等的發展所致 (McGee, 1979; Eliot & Hauptman, 1981) 這種解釋被批評為過於簡單 (Kosslyn, 1987; Van Strien & Bouma, 1990)。

視覺的性別差異，通常很小，而且常常小到無法觀察 (Brinkmann, 1966; Staver & Halsted, 1985; Golbeck, 1986; Liben & Golbeck, 1986; Lohman, 1986; Tuckey et al., 1991)。

Seddon & Nicholson (1985) 的研究指出：奈及利亞的小孩，在分子圖形的理解上有性別差異，英國的小孩則無。他們的解釋是：英國的男孩與女孩，有相同的圖形學習機會，而奈及利亞的男孩比女孩有更多的圖形學習機會。他們也發現兩國的男孩，在由圖形建構模型的測驗上，有良好的表現。這可能是男孩的玩具比女孩的玩具，在外型上有更多動手操作的設計花樣。此結論與 Tracy (1987) 在回顧研究美國三歲至十三歲小孩的論文時，亦發現男孩趨向於玩較廣泛及較多樣化的玩具，尤其是那些有關自然空間類型的玩具，有類似之處。

Ferri-Mundy (1987) 發現男性有較好的空間視覺化成就，而女性則從訓練當中得到較多空間視覺化的利益。相反的，Tuckey et al. (1991) 發現男性及女性視覺化成就同樣好，兩者也由三維度視覺化的訓練當中，獲得相等的利益。Koslow (1987) 認為大學男生與女生的三維視覺化能力最初是有差異，但這差異可在最後階段的成就測驗中消除。因此他認為：三維度的視覺化性別相關性差異，可經由訓練及練習而獲得消除。

Mayes 等人 (1988) 發現視覺化測試，並無性別差異。性別差異僅顯現在需要空間方位的能力時才顯示出來，在僅需要運用記憶的題目上，差異可減低到最小程度。

Kalichman (1989); Krasnoff, Walker & Howard (1989) 發現，大學男生在皮亞傑的水平測驗 (water-level tasks) 中，比女生有較好的成績表現。Richmond (1980); Golbeck (1986); Liben & Golbeck (1986) 發現：雖然在物理問題上，包括水平測驗，男生優於女生，但在其他非物理測驗 (non-physical tasks) 上，大學男生未必比女生有較好的成績。這可能是因為女性較缺乏相關物理現象的知識所致 (Richmond, 1980; Golbeck, 1986)。雖然女生具有天生的空間視覺潛能，但由於較少有機會運用，故在水平測驗中，成績表現較差。視覺化的性別差異，可說是社會學上的因素而非天生的因素 (Tuckey & Selvaratnam, 1993)。

## 陸、矯正三維度空間思考困難的教學方法

三維空間視覺化技能是否可教？專家有兩派說法 (引自 Tuckey & Selvaratnam, 1993)。

一、心像技能不能教，這種能力是天生的 (如，Thurstone, 1950; Smith, 1964; Witkin, 1969 及 McFie, 1973)。

二、三維空間視覺化能力，是可以經學習過程而增強 (如，Saunderson, 1973;

De Bono, 1976; Lord, 1985; Rochford 1987b及Tuckey et al., 1991)。

早期，對這方面的補救教學，偏重於對於中小學生，及受過很少教育的成年人或受過非正規教育的人 (Dawson, 1967; Forge, 1970) (引自Tuckey & Selvaratnam, 1993)。後來，由於發現化學系的學生，也有這方面的困難。教學的設計，才朝向「增進化學上，三維空間視覺化思考能力」方面發展。Rochford (1987 a)認為：採用化學上的特殊空間教材教學，將比採用一般空間幾何學教材教學更為有效。

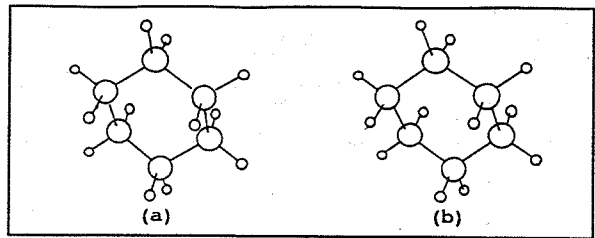
許多教學媒體器材，例如，立體圖形 (stereodiagrams)、模型 (models) 動態圖像 (dynamic pictures)、鏡面 (mirrors)、影像 (shadows) 等，已被用來矯正教學。雖然這些媒體器材，對教學有正面的效果，但教學最後的目的總是希望不依靠這些媒體，而能增強立體的心像能力。這是因為教科書及雜誌，通常是使用二維的平面表徵來書寫，而很少用三維的立體結構圖來表徵。因此，最有效的教學方法，是指引學生直接單獨由平面表徵法，想像出三維的立體結構來 (Tuckey, Selvaratnam, 1993)。

### 一、立體圖形法

立體圖像的構成，包括一對分子模型圖畫或照片，其中之一，當用右眼觀察時，它出現一種圖像；另外之一，當用左眼觀察時，它又出現另一圖像。三維度的立體模型於是產生焉，例子如圖九所示。

Jensen (1982)認為立體圖像的技巧，可以應用在分子模型上。在化學上，分子或晶體單位，各原子的相對位置，藉著立體圖像的使用，可以清楚地顯示出來 (Nicholson, Seddon & Worsnop, 1977)。

立體化學的教學，也可利用立體圖像，建立模型與圖形之間的橋樑，學生對於立體圖像有正確反應之後，



圖九、一對立體圖像的分子圖

a)由左眼觀察

b)由右眼觀察

(Source: From Johnstone, Letton & Speakman, 1980, p.172)。

亦可遷移到正常的圖形學習上 (Deregowski, 1974; Rozelle & Rosenfeld, 1985)。然而，立體圖像並不常使用在雜誌上及教科書上。因此，唯有當學習能產生正面遷移時，才能發揮最大效果。

Deregowski (1968) 及 Nicholson & Seddon (1977) 等人指出：立體心像的學習，利用立體圖像法，優於一般的圖形教學法。因此，運用立體圖像 (stereo-diagrams) 教學法，幫助學生學習三維空間的立體結構圖，是一種有效的教學方法 (Chang, 1976; Gelbard, 1976; Hayman, 1977)。Holford 及 Kempa 所作的研究是在了解採用立體機 (stereoscopic viewer)，觀察分子結構之空間視覺是否有效。研究結果顯示：使用立體機觀察分子模型的學生，測驗成績比不使用立體機的學生要高，因此，使用立體機觀察分子模型是有效的教學方法 (Holford & Kempa, 1970)。

## 二、模 型

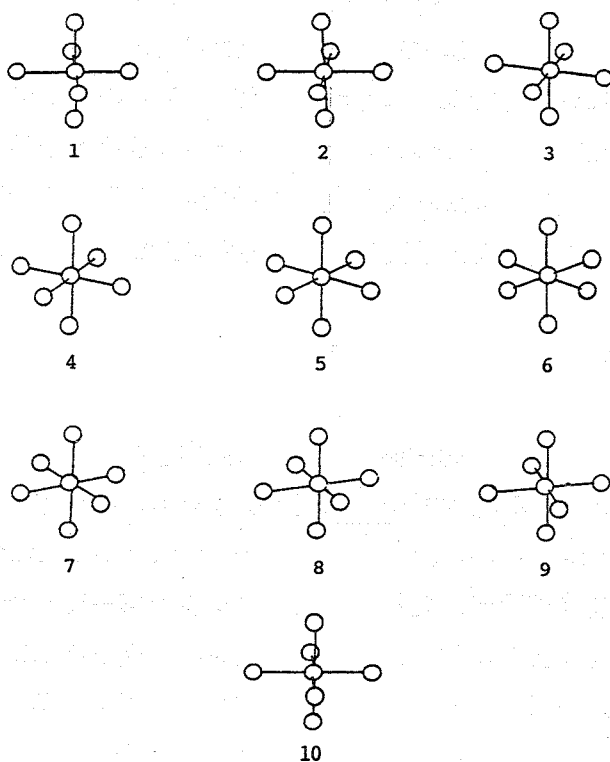
有些學者亦發展出化學分子的三維度視覺化「操作」的學習的教學計畫。如 Seddon, Eniayeju & Jusoh (1984) 曾對奈及利亞，學習科學的中學生，進行三種教學計畫，教導心像旋轉操作 (visualization of the rotation operations) 的學習。這種教學，首先讓學生回答有關圖形的問題；其次，讓學生觀察一種分子模型，並旋轉之，然後再回答問題；最後，讓學生轉動模型，並要求他們觀察模型的暗影，再作測驗。所有的每一種計畫都發現有效果 ( $p < 0.001$ )。這意味著觀看一個轉動的模型，能幫助學生辨認分子在旋轉過程，深度線索變化情形。另外，在這三種教學計畫中，以配合暗影的觀察，發現最有教學效果 ( $p < 0.05$ )，觀察暗影的變化，比僅僅觀察模型的旋轉更為有效。

Barke 所作的研究是研究德國中學生，在幾歲時才有能力理解分子模型的立體結構，男女生在空間能力上是否有差異，以及空間能力是否可藉模型的操作訓練而加以增進。研究結果顯示：德國中學生大部分在十四歲以後，才有能力理解化學分子模型的立體結構問題；同時藉由以結構性的分子模型教學及適當舉例，男女生的空間能力均可增進。空間能力之訓練，在班級教學中採用立體模型教學是有效的 (Barke, 1993)。

## 三、動態圖

利用動態圖來作立體圖形的操作教學，也是另一種有效的教學方法。Seddon, Eniayeju & Jusoh (1984)；Seddon & Shubber (1985)；Seddon & Moore (1986a) 採用一組動態圖，表現一個分子在連續旋轉過程的型態。如圖十所

示。



圖十、某一分子連續轉動所呈現的動態圖

(Source: From Seddon & Shubber, 1985, p.235)

這些順序圖，可藉由幻燈片或「OHP」片投射出來 (Bodner, Cutler, Greenbwe & Robinson, 1984; Rozzelle & Rosenfeld, 1985)。這種方法也適用於反射的操作過程。這種過程是經由假想步驟，將一分子的反射圖像一一顯示出來。旋轉操作所生的連續圖，在教學上最有效果的轉動角度為每次轉動「 $10^\circ$ 」左右。

Seddon & Moore (1986b) 發現，使用一整組的順序圖教學效果良好，但與模型聯合使用，效果就很差，這可能是由於學生一時之間，無法顧及模型與圖的配合所致。

根據 Seddon, Tariq & Dos Santos Veiga (1984) 的研究指出：運用一整組的順序圖，教學分子的旋轉操作及反射操作，對三個個別轉軸的旋轉及三個個別平面的反射均有效果，但無法遷移到不同軸及不同平面上的操作。由於個人電腦的出現，利

用電腦設計動畫教學，似乎比幻燈片或透明片更為有效，且更為容易利用電腦動畫教學分子旋轉操作，既方便又省事，不必每次僅轉動 $10^\circ$ 。因此，電腦輔助教學是一種較容易實施的自我教學方式。

在教學計畫執行的效果上，也有一些研究結果。如 Oyediji (1978) (引自 Tuckey & Selvaratnam, 1993)。針對重疊、線條縮收、角度扭曲及相對大小等線索，設計了四個教學計畫，每一計畫均提供圖形說明、線索使用及線索應用等範例。Oyediji 及其工作夥伴 (Seddon, Adeola, El Farra & Oyediji, 1984) 在執行完四種教學計畫後指出：每一單獨的教學計畫，在教學某一線索時均為有效 ( $p < 0.01$ )，但却無法增進其他線索的學習 ( $p > 0.05$ )。並且，同時教導二個或二個以上的線索時，遠比僅僅教導一個線索時更具效果。

Tuckey (1989) 和 Tuckey, Selvaratnam & Bradley (1991) 等人強調，三維空間思考困難的矯正教學，首重在追查造成困難的基本理由或線索，他們的研究證實，許多三維空間思考困難產生的原因，是由於缺乏某些相關的基本概念及技能所致。許多大學化學系的學生使用 Tuckey (1989) (引自 Tuckey & Selvaratnam, 1993) 等人的測驗鑑定，發現有許多困難，尤其在深度線索的使用、各種轉軸及平面的辨認，及單字及語彙的了解上，都有些困難。針對這些困難所設計的教學，只要進行二小時的矯正教學，就可以改進學生的學習成就 ( $p < 0.01$ )。

## 柒、總 結

關於三維度思考有關聯的各類型困難均已討論過。從這些研究結果，我們可發現，一般人及學生，都有三維度思考方面的難題。例如，一半以上的美國成人，在心像的操縱及控制方面發現有困難 (Maccoby & Jacklin, 1974; McGee, 1979)。

此外，有大多數的高中生及大學生，在化學的課業上，普遍存有三維度的思考難題。學習化學感到困惑的原因，也列入研究的範圍。困惑的原因，主要是缺乏某項解決三維度問題的基本概念及技能。這些基本概念及技能包括：理解二維度表徵所提供的深度線索；認知各轉軸及各平面的意義；了解三維度視覺化的一些專有字彙、語詞及原子操作的各種心像能力等。

各類型的教學矯正計畫，也已發展出來突破困難。三維度知覺，藉由二維度圖形表



徵而予以理解，算是一種較有效的教學方法。解決各類型三維度的結構的操作問題（例如，旋轉、反射、反轉），需要進一步的教學實施才能突破。例如，關於旋轉軸及反射平面的意義的認知，某些語彙的了解等等。

明顯的，藉由媒體輔助教學，例如，立體圖像、模型、動態畫、鏡子、影像等的採用是有效的。另外，由於電腦的出現，分子結構影像的操縱，可藉電腦來呈現完成也有助於學習。

三維度的視覺化能力，是一種重要的心像技能，若缺乏這些技能，在學習化學的某些章節，將有嚴重的障礙。這些技能在大部分的高中或大學的化學課程，並沒有特別的列出來；這也暗示到，一般的學生對這些技能的學習，用不著學習，自然而然就會，也就是船到橋頭自然直的心態。但研究結果強烈指出，大部分的學生在這方面的技能並不足夠。因此，作者建議在任何需要具備三維度視覺化能力的課程教學中，應配合適當的教具與教學媒體來協助教學計畫之進行。

## 參考文獻

- 邱美虹和傅化文，（民82）。分子模型與立體化學解題。科教學刊，第一卷，第二期，第161-188頁。
- 邱美虹和翁雪琴，（民84）。國三學生「四季成因」之心智模式與推論歷程之探討。科教學刊，第三卷，第一期，第23-68頁。
- BAKER, S.R. and TALLEY, L.H. (1972). The relationship of visualization skills to achievement in freshman chemistry. Journal of Chemical Education, 49, 775-777.
- BARKE, H.D. (1993). Chemical education and spatial ability. Journal of Chemical Education, 70, 968-971.
- BENSON, C. and YONAS, A. (1973). Development of sensitivity to static pictorial depth information. Perception and Psychophysics, 13, 361-366.
- BISHOP, J.E. (1978). Developing students' spatial ability. The Science Teacher, 45, 20-23.
- Bodner, Culter, Greenbwe & Robinson. (1984). Multi-Images or Lap-Dissolve Slide Techniques and Visual Images in the Large Lecture Section. Journal of Chemical Education, 61, 447-449.
- BRINKMANN, E. (1966). Programmed instruction as a technique for improving spatial visualisation. Journal of Applied Psychology, 50, 179-184.

- CHANG, C.K. (1976). Projection of stereoscopic images by ordinary slide projector. Journal of Chemical Education, 53, 601-605.
- DAWSON, J.L.M. (1967). Cultural and physiological influences upon spatial-perceptual processes in West Africa: part I. International Journal of Psychology, 2, 115-128.
- DE BONO, E. (1976). Teaching Thinking. Temple Smith: London.
- DEREGOWSKI, J.B. (1968). Difficulties in pictorial depth perception in Africa. British Journal of Psychology, 59, 195-204.
- DEREGOWSKI, J.B. (1974). Teaching African Children pictorial depth perception :in search of a method. Perception, 3, 309-312.
- EL FARRA, A.O.K. (1982). The understanding of stereochemistry operations. Unpublished Ph.D. thesis, University of East Anglia, Norwich.
- ELIOT, J. and HAUPTMAN, A. (1981). Different dimensions of spatial ability. Studies in Science Education, 8, 45-66.
- EVANS, G.S. and SEDDON, G.M. (1978). Responsiveness of Nigerian students to pictorial depth cues. Educational Communication & Technology, 26, 313-320.
- FERRINI-MUNDY, J. (1987). Spatial training for calculus students sex differences in achievement and in visualisation ability. Journal for Research in Mathematics Education, 18, 126-140.
- FORGE, A. (1970). Learning to see in New Guinea. In P. Mayer (ed) Socialization, London: Tavistock.
- GARDNER, H. (1983, 1985). Frames of Mind: The theory of multiple intelligence. Basics Books, Inc.
- GELBARD, G. (1976). How to see molecules in 3-D: A low cost device for stereoscopic views. Journal of Chemical Education, 53, 792.
- GIBSON, J.J. (1971). The information available in pictures. Leonardo, 4, 27-35.
- GOLBECK, S.L. (1986). The role of physical content in Piagetian spatial tasks :sex differences in spatial knowledge? Journal of Research in Science Teaching, 23, 365-376.
- GOODMAN, N. (1968). Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols. Indianapolis: Bobbs-Merrill.

HAYMAN, H.J.G. (1977). Stereoscopic diagrams prepared by a desk calculator and plotter. Journal of Chemical Education, 54, 31-32.

HOLFORD, G.D. and KEMPA, R.F. (1970). The effectiveness of stereoscopic viewing in the learning of spatial relationships in structural chemistry. Journal of Research in Science Teaching, 7, 265-270.

HUDSON, W. (1960). Pictorial depth perception in sub-cultural groups in Africa. Journal of Social Psychology, 52, 183-208.

JAHODA, G. and MCGURK, H. (1974b). Development of pictorial depth perception: cross-cultural replications. Child Development, 45, 1042-1047.

JENSEN, W.B. (1982). A resource file for chemical stereoviews. Journal of Chemical Education, 59, 385-386.

JOHNSTONE, A.H., LEITON, K.M. and SPEARMAN, J.C. (1980). Stereopsis in chemistry. Education in Chemistry, 17, 172-177.

KALICHMAN, S.C. (1989). Sex roles and sex differences in adult spatial performance. Journal of Genetic Psychology, 150, 93-100.

KEEN, E.N., FREDAM, M. and ROCHFORD, K. (1988). Relationships between the academic attainments of medical students and their performance on a test requiring the visual synthesis of anatomical sections. South African Journal of Science, 84, 205-208.

KOSSLYN, S.M. (1981a). Research on mental imagery: Some goals and direction. Cognition, 10, 173-179.

KOSLOW, R.E. (1987). Sex-related differences and visual spatial mental imagery as factors affecting symbolic motor skill acquisition. Sex Roles, 17, 521-527.

KOSSLYN, S.M. (1987). Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: a computational approach. Psychological Review, 94, 148-175.

KRASNOFF, A.G., WALKER, J.T. and HOWARD, M. (1989). Early sex-linked activities and interests related to spatial abilities. Personality and Individual Differences, 10, 81-85.

LIBEN, L.S. and GOLBECK, S.L. (1986). Adult demonstration of underlying Euclidean concepts in relation to task context. Developmental Psychology, 22, 487-490.

LINN, M.C., & PETERSEN, A.C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. Child Development, 56, 1479-98.

LOHMAN, D.F. (1979). Spatial ability. A review and re-analysis of correlational literature. Stanford: Stanford University Technical Report 8.

LOHMAN, D.F. (1986). The effect of speed-accuracy tradeoff on sex differences in mental rotation. Perception and Psychophysics, 39, 427-436.

LORD, T.R. (1985). Enhancing The visuo-spatial aptitude of students. Journal of Research in Science Teaching, 22, 395-406.

MACCOBY, E. and JACKLIN, C. (1974). The Psychology of Sex Differences. Stanford: Stanford University Press.

MACNAB, W., & JOHNSTONE, A.H. (1990). Spatial skills which contribute to competence in the biological science. Journal of Biological Education, 24, 37-41.

MAYES, J.T., JAHODA, G. and NEILSON, I. (1988). Patterns of visual-spatial performance and 'spatial ability': dissociation of ethnic and sex differences British Journal of Psychology, 79, 105-119.

McKEAN, K. (1985). Two minds: selling the right brain. Discover, 6(4), 30-41.

McFIE, J. (1973). Intellectual imbalance: a perceptual hypothesis. British Journal of Social Clinical Psychology, 12, 433-434.

McGEE, M. (1979). Human spatial abilities, psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. Psychological Bulletin, 86, 889-918.

NICHOLSON, J.R. and SEDDON, G.M. (1977a). The understanding of pictorial spatial relationships by Nigerian secondary school students. Journal of Cross-cultural Psychology, 8, 381-400.

NICHOLSON, J.R. and SEDDON, G.M. (1977b). The influence of secondary depth cues on the understanding by Nigerian schoolboys of spatial relationships in pictures. British Journal of Psychology, 68, 327-333.

NICHOLSON, J.R., SEDDON, G.M. and WORSNOP, J.G. (1977). Teaching the understanding of pictorial spatial relationships to Nigerian secondary school students. Journal of Cross-cultural Psychology, 8, 401-414.

ORION, N., BEN-CHAIM, D., & KALI, Y. (1994). Relationship between Earth science education and spatial visualization. Paper presented at NARST conference, Anaheim, March.

OYEDIJI, S.I. (1978). An investigation into the self-instructional remedial method for pictorial depth perception with Nigerian students. Unpublished M.Sc dissertation, University of East Anglia, Norwich.

- PRIBYL, J.R. and BODNER, G.M. (1987). Spatial ability and its role in organic chemistry: A study of four organic courses. Journal of Research in Science Teaching, 24, 229-240.
- RICHMOND, P.G. (1980). A limited sex difference in spatial test scores with a pre-adolescent sample. Child Development, 51, 601-602.
- ROCHFORD, K. (no date). The visualization of pictorial molecular structures. Unpublished mimeograph, University of Cape Town, Cape Town.
- ROCHFORD, K. (1987a). Underachievement of spatially handicapped chemistry students in an academic support programme at U.C.T. in 1986. Paper presented to staff of the Department of Education, Cornell University, Ithaca, N.Y., April 1987.
- ROCHFORD, K. (1987b). Students' visual learning disabilities and under achievement in selected science subjects. Paper presented at the Council for Exceptional Children's 65th Annual Convention, Chicago, April 1987.
- ROZZELLE, A.A. and ROSENFELD, S.M. (1985). Stereoscopic projection in organic chemistry: Bridging the gap between two and three dimensions. Journal of Chemical Education, 62, 1084-1085.
- SAUNDERSON, A. (1973). The effect of a special training programme on spatial ability test performance. Journal of College Science Teaching, 5, 15-23.
- SEDDON, G.M., ADEOLA, A., EL FARRA, A.O.K. and OYEDLJI, S.I. (1984). The responsiveness of students to pictorial depth cues and the understanding of diagrams of three-dimensional structures. British Educational Research Journal, 10, 49-62.
- SEDDON, G.M., ENIATYEJU, P.A. and JUSOH, I. (1984). The visualisation of rotation in diagrams of three-dimensional structures. American Educational Research Journal, 21, 25-38.
- SEDDON, G.M. and NICHOLSON, J.R. (1985). Developmental trends in the ability of primary school children to construct models from diagrams. Educational Psychology, 5, 55-64.
- SEDDON, G.M. and MOORE, R.G. (1986a). The structure of abilities in visualising the rotation of three-dimensional structures presented as models and diagrams. British Journal of Educational Psychology, 56, 138-149.
- SEDDON, G.M. and MOORE, R.G. (1986b). An unexpected effect in the use of models for teaching the visualisation of rotation in molecular structures. European Journal of Science Education, 8, 79-86.
- SEDDON, G.M. and SHUBBER, K.E. (1985). The effects of colour in teaching the visualisation of rotations in diagrams of three-dimensional structures. British Educational Research Journal, 11, 227-239.

- SEDDON, G.M., TARIQ, R.H. and DOS SANTOS VEIGA, J. (1984). The transferability of two pictorial scientific tasks between different spatial dimensions. British Journal of Educational Psychology, 54, 276-283.
- SHEPARD, R.N. and METZLER, J. (1971). Mental rotations on three-dimensional objects. Science, 171, 701-703.
- SMITH, I.M. (1964). Spatial Ability: its Educational and Social Significance. London: University of London Press.
- STAVER, J.R. and HALSTED, D.A. (1985). The effects of reasoning, use of models, sex type, and their interactions on post-test achievements in chemical bonding after constant instruction. Journal of Research in Science Teaching, 22, 437-447.
- TAPLEY, S.M. and BRYDEN, M.P. (1977). An investigation of sex differences in spatial ability: Men rotation of three-dimensional objects. Canadian Journal of Psychology, 31, 122-130.
- THURSTONE, L.L. (1950). Some primary abilities in visual thinking. Chicago: University of Chicago Psychometric Lab Report No59.
- TRACY, D.M. (1987). Toys, spatial ability, and science and mathematics achievement: are they relate? Sex Roles, 17, 115-138.
- TUCKEY, H.P. (1989). Testing and improving students' understanding of three-dimension representations in chemistry. Unpublished M.Ed dissertation, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- TUCKEY, H.P., SELVARATNAM, M. and BRADLEY, J.D. (1991). Identification and rectification of student difficulties concerning three-dimensional structures, rotation and reflection. Journal of Chemical Education, 68, 460-464.
- TUCKEY, H.P., SELVARATNAM, M. (1993). Studies involving three-dimensional visualisation skills in chemistry. Study in science research, 21, 99-121.
- VAN STREIN, J.W. and BOUMA, A. (1990). Mental rotation of laterally presented random shapes in males and females. Brain and Cognition, 12, 297-303.
- VOYER, D. and BRYDEN, M.P. (1990). Gender, level of spatial ability and lateralisation of mental rotation. Brain and Cognition, 13, 18-29.
- WILCOX, B.L. and TEGHTSOONIAN, M. (1971). The control of relative size by pictorial depth cues children and adults. Journal of Experimental Child Psychology, 11, 413-429.
- WITKIN, H. (1969). Social influences in the development of cognitive style. In D.Gaskin (ed) Handbook of Socialisation Theory and Research, New York: Rand-McNally.

## A Review of Three-Dimensional Visualization Skills in Chemistry Learning

Kun-Shi Liao

Department of chemistry

National Taiwan Normal University

Mei-Hung Chiu

Institute of Science Education

National Taiwan Normal University

### ABSTRACT

The purpose of this article is to discuss relationships among diagrams, spatial ability, and three dimensional visualization skills ( through the literature research from 1950 to 1994 ). The contents have five perspectives : the discussion of three dimensional visualization skills, the psychological theory fundation of three dimensional visualization skills, the importance, difficulty and nature of these competence when utilized to scientific learning, the difference existence among different education level, age group, and sex. In order for science and teachers' effective teaching, suggestions for teaching methods and strategics are discussed.

Key Words : Visualization 、 Spatial Ability 、 Molecular Model 、 Three Dimensional Representation

( 收稿日期 : 84 年 10 月 9 日 , 接受日期 : 84 年 11 月 14 日 )

★