

# 從認知與社會符號學之整合觀點探究科學 圖像設計的多樣性

蓋允萍

國立臺北教育大學 學習與教學國際碩士學位學程

## 摘要

圖像是科學教科書裡不可或缺的一部分，具有多重功能，可促進理解與學習，然而，圖像設計的重要性卻常被忽略，因為不適切的圖像設計會使學生產生困惑，甚至帶來迷思。以往的圖像設計理論大多基於認知觀點，指出人們共同的內在心智運作機制，歸納出影響圖像閱讀理解的主要因素有：先備知識、視覺空間能力、認知負荷、與圖像設計等。認知觀點的確相當有說服力，卻無法解釋科學圖像設計的多樣性與不同社群設計的差異。從社會文化的觀點來看，人們長期因溝通傳達的需要，在社會互動以及實踐的過程中演化出一些共同的圖像與符號，本文探討影響科學圖像設計的可能因素包括認識論、宗教、學科傳統，以及課程經驗與教育理念等。視覺設計文法是社會符號學中的一支，可作為理論依據，深度分析並比較圖像設計的差異與多元性。最後根據認知與社會文化的整合理論，提出科學圖像的教學策略與應用，並對後續相關研究與課程提出建議。

**關鍵字：**科學圖像設計、圖像閱讀理解、認知觀點、社會文化觀點

## 壹、 認知觀點之圖像閱讀理解機制與影響因素

本節以認知心理學為基礎，先了解圖像閱讀理解的心智運作機制，再探討影響理解的主要因素有哪些。

### 一、 閱讀理解心智運作模式

閱讀理解圖像的心智運作過程，與閱讀理解文本的機制不同。一般閱讀理解文本的歷程，可分為解碼、字義理解、推論理解、以及理解監控等歷程 (Gagné, Yekovich, & Yekovich, 1993)。Paivio 的雙碼理論(dual coding theory)主張圖文並存時，人們處理語文與圖像的心智運作系統是分開的(Clark & Paivio, 1991)，這樣可解釋為何有附圖的文章回憶效果較佳，因受試者可以分別回憶文字或圖像，也可同時回憶兩者。Mayer (1997)進一步精鍊雙碼理論，除了維持圖文理解的心智分開運作之外，所形成的心智模式也不同，且二者的工作記憶也是分開的，直到最後整合時，才有一對一的對應發生。後來，Schnotz 與 Bannert (2003)建議圖文理解不是等到雙方心智模式都形成後才整合，而是在各自的系統運作中先形成描述表徵(descriptive representation)與描繪表徵(depictive representation)，如下圖一所示，心智模式的建構是從語文的命題表徵轉換到圖像表徵的過程，包括由下而上與由上而下活化認知基模，連續不斷地透過認知基模監控下，交互進行著選擇與組織的功能，並非在最後階段才整合。

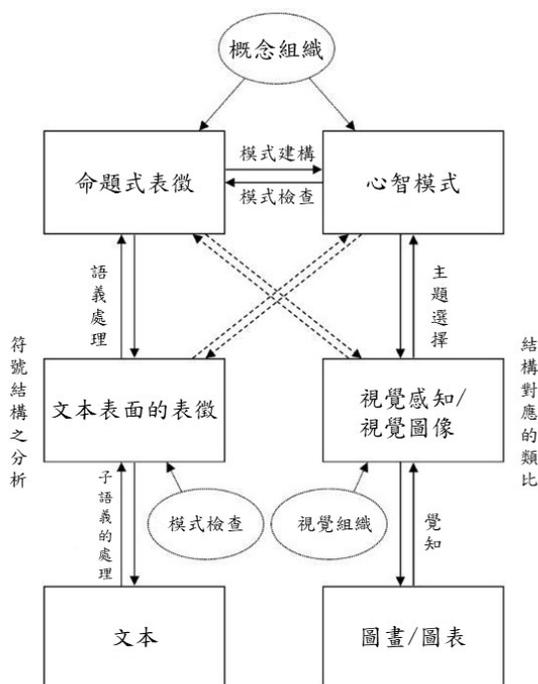


圖 1：Schnotz 與 Bannert (2003)所精鍊的閱讀理解雙碼模式(引自 p.145，Fig 2)

## 二、影響閱讀理解科學圖像的因素

### (一) 先備知識

學習者的先備知識是影響閱讀理解不可或缺的要素(diSessa, 2004)。diSessa (2004)以「專家-生手」的模式來說明先備知識對理解的影響，所謂生手，指的是相關知識不足的讀者，其知識狀態是零碎、片斷的，而且概念間少有連結。生手在閱讀新圖像時，因為缺乏新舊知識間的連貫與整合，理解只限於圖像的表面特徵，無法明瞭其深層的概念關係；相對地，專家則具有較多的領域相關知識，不只能理解核心義理，且能專注在有效的建構訊息，不會迷失在次要訊息中；此外，專家有較多領域的基模，能選擇有用的訊息(Lowe, 2004)。Canham 與 Hegarty (2010)進一步追蹤學生的眼動資料，發現先備知識在一開始就影響訊息的選擇，接連影響詮釋的內容與參照的訊息等。

上述這些研究大多將「先備知識」當作在學習某特定概念之前的相關科學概念(Galili, Bendall, & Goldberg, 1993)，或者已設立的基模(pre-established schema) (Carr, McCauley, Sperber, & Parmelee, 1982; Hochberg & Hochberg, 2007)，並未明確定義先備知識，直到 Baytelman, Iordanou, 和 Constantinou (2020)才定義為「領域特定的內容知識，包括概念、原理、原則、相關事實、理論以及如何組織概念與原理原則等知識」(p.1206)。令人質疑的是先前的學習經驗是否也算是先備知識的一部分？Kelly (1955)認為先備知識來自於經驗，可作為對未來事件的預測；後來 Meyer (2004)也擴大定義，納入學習者對世界的想法，是以經驗為主。先備知識加入舊經驗，在考慮族群或世代差異時，是有必要的。

### (二) 視覺空間能力

視覺空間能力(visuo-spatial ability)包括三個元素：空間關係的知識、使用空間表徵，以及空間推理的應用(NRC, 2006)。許多科學定律與原理原則是抽象的，例如：在化學反應中反應物與產物的分子結構及過程都仰賴分子式與方程式來表徵，其中的符號、箭頭、與平衡式將想像中的粒子反應運用二維空間來呈現，如同創造出一種空間語言(Wu & Shah, 2003)，讓化學家可以用視覺化的方式思考；此外，天文學運用星體運行的對應關係解釋日夜、月相與四季成因，不只需要物理相對位置的思維，也需要將空間運行的球體從不同角度的對應位置與關係的視覺化，才能理解。

研究證實科學學習與學習者的視覺空間能力有相關(Heywood, Parker, & Rowlands, 2013; Wu & Shah, 2003)，例如：化學解題的成就(Bodner & McMillen, 1986)。Heywood 等人(2013)及 Wu 和 Shah (2003)提出四個理由說明視覺圖像能力與科學學習成就的相關：(1) 視覺空間能力是心智重組能力的指標，因為解題過程需要在想像空間中操弄相關訊息，如：心智旋轉、掃描、伸縮等心智運作，這些與解碼有關；(2) 醫學發現數理運算與視神經在同一區，所以在科學解題或數理運算時，相同區塊的能力會同時被激活；(3) 表徵問題的圖像

讓學生可明確地找到解題的參照；(4)視覺空間能力與解題能力立於相同的認知基礎上。

晚近發現年紀、性別、與社經地位可預測視覺空間能力(Newcombe & Shipley, 2015)，而且，此能力能透過訓練可大幅提升，有效的訓練包括：透過視覺空間展示圖視覺化不同視角的觀察結果、學生以不同視角的參與練習、玩模擬的影像遊戲等(Plummer et al., 2022)，這是科學課程的福音。

### (三) 認知負荷

現今的認知理論假設工作記憶是有限的，人們處理各項認知工作時有最大限度，當超過認知負荷(cognitive load)時，效能降低，理解就會不完全，甚至產生錯誤(Montgomery, Magimairaj, & Finney, 2010)。Mayer 與 Moreno (2003)進一步將訊息處理區別成三種：一、主要信息處理(essential processing)：為理解主要表徵物意義，例如：圖一所顯示的就是當學習者閱讀圖像與相關文字時的主要信息處理流程，為要解碼圖文的相關意義；二、附帶信息處理(Incidental processing)：啟動認知不是為了理解表徵內容，而是被學習工作的附帶設計所引發，例如：動畫播放時加上背景音樂，與主要訊息無關，會增加工作記憶的負擔；三、表徵持有(Representational holding)：為使工作記憶裡的心智表徵可暫存一段時間，例如：閱讀繪本時會暫存前一頁的圖文訊息，以供下一頁連貫新訊息的基礎。

根據圖像閱讀的心智運作機制(圖一)與上述的訊息處理方式來看，要避免認知負荷超載，可朝二方面進行(Cook, 2006)：一方面是減輕工作記憶的認知負擔，可調控輸入訊息的複雜度與難度，圖像與文字等雙重表徵會加重認知負荷，在設計上應在空間上讓圖文訊息儘量彼此靠近，可降低文本表面的表徵與視覺圖像感知的搜尋匹配與連結難度；如果再加上聲音，啟動聽覺，將會更加重工作記憶(Mayer & Moreno, 2003)，所以如果動畫一定要搭配聲音的話，在時間上最好同步處理，比較不會讓認知超載。

在另一方面，可提升工作記憶的處理能力，靠著建構學生的認知基模，能夠有效的組織連結相關訊息，工作記憶的負荷會因此降低，再者，當學生熟悉相關基模到產生自動化時，認知負荷會愈發地降低。

### (四) 圖像設計

圖像設計的形式、圖像結構，與相關的視覺線索都會引起閱讀理解的差異(Canham & Hegarty, 2010; Ge, et al., 2017)，根據 Ainsworth (2006)，每一種圖像形式都有優勢與限制，如：照片能表徵許多細節，顯示真實性，但較難呈現出長時間的變化或趨勢；圖解(diagram)能將相關訊息集中在一起，降低知覺負擔，有助訊息搜尋與辨識，但較為抽象；表格可以顯示數值，有橫軸與縱軸作比較，表徵出異同；方程式無法表明變異，但若畫成圖示(graph)則可顯露趨勢與不同數值的互動。

雖然圖像有助於理解抽象的科學理論，但是當圖像設計不適切時，反而易產生迷思。

Lee (2010b)設計六種四季成因圖讓學生閱讀，發現有些視覺線索會影響學生的解釋，如：陰影與重疊的設計。在數學方面，Shah, Hegarty, 和 Mayer (1999)比較直線圖與折線圖的理解差異，發現折線圖較能使學生專注在趨勢的改變，這說明了即使是同義的表徵，在認知上是有差異的；氣象學方面，Canham 和 Hegarty (2010)比較二個天氣圖，一個是較為複雜，包含壓力與氣溫的彩色天氣圖，另一個是簡單到只有白底黑色等壓線的天氣圖，實驗證實學生讀簡單圖後的理解較佳，因為訊息較清楚；在生物演化方面，Novick, Shade,和 Catley (2011)邀請大學生閱讀三種表徵演化的同義圖：非階層分支圖、分支樹狀圖、分支階梯圖，結果樹狀圖的結果優於其他二種設計；在生物分類方面，Ge et al. (2017)讓七年級學生閱讀階梯狀分類圖與樹狀分類圖，結果也是樹狀分類圖的理解結果顯著優於階梯狀分類圖。上述這些結果都與 Ainsworth (2006)的建議一致：應了解圖像表徵的形式特徵與領域知識的適切性，才能設計出有效的圖像設計。

**小結：**上述的認知觀點提供科學圖像設計與理解之間普遍性的解釋，是跨越種族文化的；然而，在面臨不同時代或種族的圖像設計差異時，就需要社會符號學從歷史或社會文化的角度來詮釋。

## 貳、社會文化觀點下影響圖像設計之因素

從社會符號學的觀點來看，人自出生後即不斷被生活裡的社會符號格式化，包括語言、文字、圖像等都具有形塑作用，人們透過不斷的社會實踐形成傳統與習俗(Lemke, 2001)。視覺設計文法是社會符號學的一支，將圖像視為科學社群裡的溝通符號，為傳達特定的用意，在圖像設計中潛藏著創作者的動機，可以透過比較分析顯現出來的(Kress & van Leeuwen, 2021; Lemoni, Lefkaditou, Stamou, Schizas, & Stamou, 2013)。圖像設計存在著某些規律，經由社會文化長期演化而成，這些規律雖名之「文法」，但並無強制性。

以下從五個段落來探討社會文化對圖像設計的影響：圖像設計與認識論的演化、科學圖像設計的傳統，科學教科書圖像設計的差異、不同族群學習者的圖像表徵差異，以及科學教室裡的圖像功能與教學應用。

### 一、認識論

科學強調客觀，科學知識與定律放諸四海皆準；然而，科學圖像是一種人為的產物，人們誕生在一個既存的觀念結構和分類社會裡，會不知不覺地承襲並複製其思想、行為模式、與符號等(Burr, 1995)。歷史上，科學圖像設計似乎受限於認識論與儀器的發明而在不同階段有不同的構形。Daston 和 Galison (2007)根據科學界對客觀的要求，發現科學圖像也隨著認識論的改變，演化出各種形式。18 世紀前的畫師主張讓大自然為它自己說話，這時期的認識論認為客觀就是「如同大自然一般的真實(Truth-to-nature)」，動植物皆取最

典型的形態為範例，去除個體差異，林內氏(Carolus Linnaeus)所出版的書中植物即是如此，像圖鑑一樣提供標準的物種外觀作為辨識，圖像如同永久保存的檔案似地維護著科學知識。

19世紀晚期，圖像設計的認識論轉變為「機械性客觀(mechanical objectivity)」，科學家們擔心畫師在描繪時加入個人偏好，因此相信機械才能保持客觀，所以採用照相機與 X 光，降低人為干擾並保證準確性。然而，當科學認識論轉變為「結構性客觀(structural objectivity)」時，科學家們相信只有結構才能跨越時空傳達真理，因此，將觀察現象間之關係以結構和抽象符號作為表徵，如：公式與網絡圖等。最後，20世紀初的認識論則演化為「訓練過的判斷(trained judgment)」，圖像功能已轉作醫療診斷或開治處方的參照，但只有訓練有素的醫師才能解釋 X 光片，區別出正常人與病患，重點是如何正確地解讀。

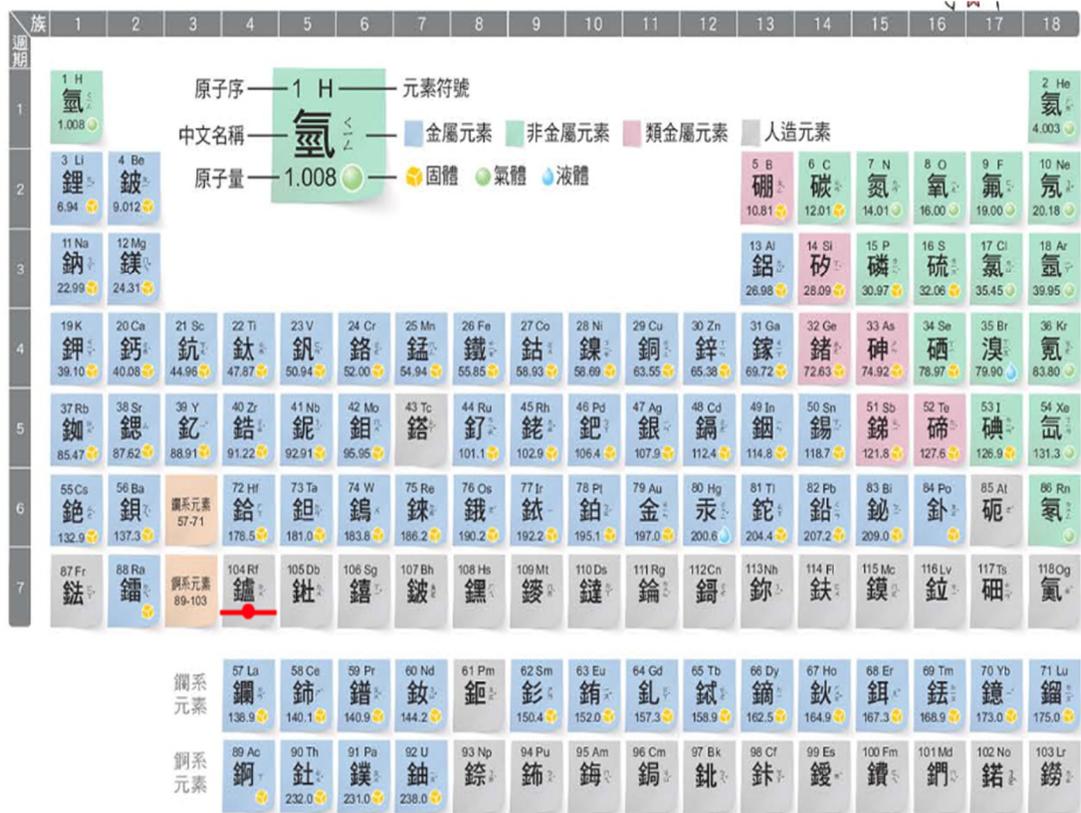
## 二、宗教

圖像形式除了受西方科學發展與認識論影響，宗教也是影響構圖的一個因素。華人的構圖在唐朝以前，沒有中心-邊緣的形式，也就是將主題(通常是佛像)置於正中，邊緣安排一些較次要的元素(蓋允萍等人，2014)，這是受到佛教傳入中原之後才有的構圖，常見於敦煌飛天與藏傳佛教唐卡，後來臺灣生物教科書裡也有應用此種的構圖；此外，根據 Kress 與 van Leeuwen (2021)，西方常見的三聯畫(triptych)構圖，是受到基督教的影響，自拜占庭時期開始，宗教畫習慣將基督受難的事件分為三部分，象徵三位一體的概念，主畫面在中間，左右為側翼，此構圖有助於引導信徒敬禮，具有實用的功能，由此可知，圖像設計的結構與功能的相互對應的，圖像設計的影響因素之一是宗教實務，圖像透過不斷地社會實踐是形成傳統的要素。

此外，這些圖像設計受宗教的影響也間接表現在科學教科書的圖像設計上，蓋允萍等人(2014)比較臺澳教科書生物分類圖像，發現臺版的版面有較高比例中心-邊緣的構圖方式，這在澳洲某些版本是缺乏的；同樣地，三聯畫這種受基督教影響的版面安排未曾出現在臺版教科書，但在澳洲卻是普遍。

## 三、學科傳統

在科學圖像的設計上，因著長時間的演化，每個領域皆有其傳統設計，經由科學社群的實踐與精鍊，一些共同認定的科學成就被表徵成符號，例如：化學的元素週期表是依照原子序數、核外電子組態情況和化學性質的相似性排列而成的化學元素表格，因為早期科學家發現將元素依據質量排列，似乎存在規律的週期性，現代常見的週期表是經過科學家達成共識後所繪製的表格，如下圖二所示，橫列表徵週期，由上而下共有七個週期；縱行表徵族，由左而右共有十八族，同族元素的化學性質相近。



圖二：化學週期表具有傳統的表徵方式(引自康軒 112 二上自然與生活科技，p191，圖 6-8)

除了上述流傳下來的傳統科學表徵之外，一些圖像元素具有大眾約定俗成的意義，例如：箭頭、線條、與方格等(Kress & van Leeuwen, 2021)，箭頭常被用來表示向量，亦即方向或過程；即使是簡單的幾何形狀，在視覺上也能直接影響我們的視覺神經系統，造成不同的感受，如：正方形與長方形代表機械性與科技次序，表徵人手所建構的世界，這些圖形充滿在城市、建築、與道路上；圓形有自給自足(self-contained)的含意，象徵無止盡、溫暖與保護，傳統上代表永恆與天堂。雖然，希臘哲學家柏拉圖的形式理論(theory of forms)把圓形、幾何形狀等視為理想形式(或稱理型)看成是一種永恆、完美且客觀無條件的獨特存在，超出空間與時間的限制，不受經驗與歷史文化的影響(王志輝，2009)。然而，社會文化的觀點質疑理型在現實世界裡的存在，因為我們所觀看的世界與像圖像這類的文化產物都是社交產物，所以不可能存在事先決定的本質(essence)，有些事物的理解是普遍的，但有些是種族特有的，歷史文化有其獨特性，影響不同地區人們瞭解世界和對世界分類的方式(Burr, 1995)。

#### 四、課程經驗與教育理念

Tversky (2011)主張視覺傳達是具有高度選擇性的，會隨著設計者的目的有所調整。科學圖像設計是一種社會溝通的形式，教科書為了傳達科學知識，也為了得到較好的學習成效，因此在圖像設計上必需考量學生的特性與能力，因此會隨著課程的主張有所不同，以下舉例說明。

晚近，照片在教科書圖像裡所占的比例有愈來愈多的趨勢(Lee, 2010a; Pozzer & Roth, 2003)。Pozzer 與 Roth (2003)比較分析加拿大與巴西高中生物教科書裡的照片，巴西圖像總數較加拿大多；以設計內容而言，巴西課本有些照片缺乏文字說明，學習會有困難，特別是當某些照片的主題不夠清楚或因背景複雜無法顯明主題時，會難以理解。Lee (2010a)調查最近 60 年來 34 個美國版本的物理教科書之圖像設計差異，也發現照片比例提高了，甚至取代以往的圖解式表徵(schematic representation)，這樣的改變目的是為了讓學生可以直觀具體地看到熟悉的景象或物件，易與社會連結。教科書科學圖像設計隨著時代改變的另一個實例來自 Lemoni 等人(2013)，比較希臘前後二十年的小學科學教科書圖像，發現新舊版圖像隱含的自然觀點不同，新版採巴洛克式的觀點，將自然當作恆常變動且是不可測的，但能轉為可用資源；舊版則採浪漫與古典的觀點，視自然如同田園詩歌的平衡架構。

有別於上述的研究，蓋允萍等人(2014)運用視覺設計文法理論比較臺灣與澳洲生物分類單元的圖像設計，發現有明顯差異：在表徵分類概念方面，臺版多用隱蔽分類式的設計，而澳版則較多顯明分類的設計；此外，澳版運用較多技巧營造出讀者與圖像間的友善關係，如：正面的動物頭部特寫，使讀者有較佳的參與感。後續 Ge 等人(2018)進一步分析臺澳分類圖像設計的多樣性，發現分類圖像設計共有六種形式，臺灣有 80% 以上的設計僅是將同物種聚集一起，而澳洲則是運用樹狀圖顯示出分類的階層性，從這些分析結果發現臺灣的生物分類單元重點不在分類，乃在認識形形色色的生物，所以用許多照片幫助學生達到辨識物種的功能；而澳洲則是聚焦在習得「如何分類」的能力。從以上研究可以推論，圖像並不是科學教科書的附屬品，圖像設計可以反應出課程的焦點。

最後，Ge 等人(2024)以畫圖法比較臺灣與印尼大學與碩博士生的生物五界(動物界、植物界、菌物界、原生生物界、原核生物界)教學表徵，結果發現臺生大多採無階層的圖像結構，類似臺灣教科書的設計，而印尼生大多採樹狀結構，也類似該國的圖像設計，顯示先前的學習經驗的確有影響。然而，先備知識在這研究並非顯著變因，從社會認知觀點而言，有必要納入舊經驗於先備知識的定義中。

**小結：**社會文化觀點從社群探討較大樣本的圖像設計差異，補足原本認知觀點無法解釋的現象。此外，認知定義先備知識為個人的概念與知識，但從本質而言，舊經驗也是一種先備知識，可納入定義的範圍。

## 參、整合認知與社會文化觀點之圖像教學與應用

許多學習者未經正式圖像的課程教學，但是卻具有一些相關的基本能力，能夠選擇適切的圖像設計解題(Hurley & Novick, 2006; diSessa, 2004)，這些能力從何而來？Lee (2010b)認為這些圖像知識存在個人的知識系統裡，並未有一對一的基模與之對應，當情境裡的某些圖像線索激活了某些知識後，個體就會提出相關解釋，因此，個體與圖像互動的關係可以想成是一個複雜的知識系統，由先備知識與世界的相關經驗組成。從整合認知與社會文化的觀點而言，學生在學習歷程中與教師同儕及他人互動，採納別人的想法與意見，形成了個體對表徵形式的社會認同，社會互動造就了個人的圖像設計知識(Danish & Enyedy, 2007)，由此可知，個人認知與社會文化的經驗是不可分離的。

圖像的教學與應用，以下根據圖像功能分成教學表徵、學習工具與診斷評量三方面分別說明。

### 一、教學表徵

參考影響圖像理解的認知因素，在圖像作為教學表徵時，要配合學生的認知能力，並在課程中多給予互動機會，在科學學習社群的探究文化中建構出圖像表徵的知識，並經由實踐，培養出相關的設計能力。

首先，教學內容與難度要配合學生的先備知識，不只認知基模，連同舊經驗都是需要考量的。在視覺空間能力方面，教師可用多重表徵彌補某種圖像在視覺空間的限制，使相關的連結參照清晰可見，並且需要表徵出學科具動態互動的特性，以及提升二維與三維之間的轉換，這些策略能幫助空間能力較弱的學生克服障礙(Wu & Shah, 2004)。在減輕認知負荷方面，在教學前、後皆可運用概念圖或樹狀圖表徵課程重點或結構，可以幫助學生形成心智模式；此外，儘量使用簡單明確易懂的語言建立鷹架，避免使用過多的科學術語，以免加重認知負荷(Brown, Donovan, & Wild, 2019)。

在圖像設計方面，對年齡較低的學生而言，可用較多的圖像吸引注意力，維持學習動機；在教學過程，多提供圖像取代無法或難以肉眼直接觀察的物件(Cook, 2006)；此外，有些教師在教學時手繪的表徵過於簡易，與課本不同，可能會有負面效果(Patron, Linder, & Wikman, 2021)，值得在備課時檢視圖像設計的適切性後再應用，或直接投影教科書圖像，以免造成不一致。

### 二、學習工具

在科學學習時，鼓勵學生使用表格或圖形作為記錄整理資料的工具；也可運用手繪圖發展模型，有助推理，解釋科學現象(Tytler, Prain, Aranda, Ferguson, & Gorur, 2020)。多鼓勵學生善用圖像解題，例如：在解題時畫出相關圖形，可有效率地統整訊息(de Andrade,

Shwartz, Freire, & Baptista, 2022)，此外，空間推理的活動如果有同儕互動，將更有利於空間語言的運用，促進視覺空間能力(Plummer et al., 2022)。

### 三、診斷評量

圖像是一種個體的外在表徵(ER, external representation, Ainsworth, 2006)，反應出個體的內在心智狀態，可作為學生的概念表徵。學生繪製的成品，配合晤談，可深入得知其學習狀態(Chang, Quintana, & Krajcik, 2014)，作為評量或診斷學習成效的依據。

### 肆、結論與建議

認知觀點提供機制，可解釋人們在閱讀圖像與文字時的狀況，而且有助於掌握相關的影響因素促進學生的理解與學習，包括先備知識、視覺空間能力、認知負荷、圖像設計等；社會文化的觀點則是從歷史源流追溯影響圖像的可能因素，包括認識論、宗教、學科傳統、課程經驗與教育理論等，以人們在社會文化透過不斷實踐的行為形塑傳統與習俗來解釋圖像設計的差異與多樣性。在圖像教學的策略與運用上，整合認知與社會符號學觀點更有利於在教室裡，重視學生的互動與討論，能夠在人際層面探究學習的進程，並重視語言在學習所扮演的角色。

以下對圖像相關研究與科學課程提出建議。

#### 一、對圖像相關研究的建議

情境是理解圖像設計的一個必要條件，因為意義是依著情境而產生的(Tversky, 2011)。學生選擇何種視覺構形與實驗要求所做的工作(task)有關，因此，要有妥善的情境與工作安排，實驗結果才有信效度(Ainsworth, 2006)。特別是當圖像被當作解題的工具或推理的媒介時，選擇一個適切的主題是使研究成功的要素。此外，眼動儀的應用與教室情境裡的圖像運用都是未來可再深究的議題(Tippett, 2016)。

#### 二、對科學課程的建議

雖然學習者從社會互動裡會逐漸發展較佳的後設表徵能力，然而這些自然習得的能力是零散的，而且與科學表徵的連結性不高，為有效幫助學生了解科學圖像的意義並能自在地表徵科學概念，或善用自己繪製的科學表徵解題，都有必要作明確而有計畫的圖像設計教學，讓學生了解科學圖像具有學科傳統之外，並能有理解、解釋、創造、以及批判等相關能力(diSessa, 2004)。

## 伍、參考文獻

- 王志輝 (2009)。第三人論證與柏拉圖之理型論。《國立臺灣大學哲學論評》，37，1-41。
- 林玉雯、黃台珠、劉嘉茹(2010)。探討圖形表徵與視知覺學習偏好對生物辨識學習之影響。《科學教育學刊》，18(6)，521-546。
- 蓋允萍、鍾昌宏、王國華、張惠博、Unsworth, L. (2014)。以視覺設計文法比較臺澳科學教科書圖像－以七年級生物分類單元為例。《科學教育學刊》，22，109-134。
- Ainsworth, S., & Loizou, A. T. (2003). The effects of self-explaining when learning with text or diagrams. *Cognitive Science*, 27(4), 669-681.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16, 183-198.
- Baytelman, A., Iordanou, K., & Constantinou, C. P. (2020). Epistemic beliefs and prior knowledge as predictors of the construction of different types of arguments on socioscientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 57, 1199-1227.
- Bodner, G. M., & McMillen, T. L. B. (1986). Cognitive restructuring as an early stage in problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(8), 727-737.
- Brown, B. A., Donovan, B., & Wild, A. (2019). Language and cognitive interference: How using complex scientific language limits cognitive performance. *Science Education*, 103, 750-769.
- Burr, V. (1995). *An introduction to social constructionism*. New York, NY: Routledge.
- Canham, M., & Hegarty, M. (2010). Effects of knowledge and display design on comprehension of complex graphics. *Learning and instruction*, 20, 155-166.
- Carr, T. H., McCauley, C., Sperber, R. D., & Parmelee, C. M. (1982). Words, pictures, and priming: On semantic activation, conscious identification, and the automaticity of information processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8(6), 757-777.
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York: Cambridge University Press.
- Chang, H.-Y., Quintana, C., & Krajcik, J. (2014). Using drawing technology to assess students' visualizations of chemical reaction processes. *Journal of Science Education and Technology*, 23(3), 355-369.
- Clark, J. M., & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, 3(3), 149-210.
- Cook, M. P. (2006). Visual representations in science education: the influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, 90(6), 1073-1091.
- Cook, M. P., Wiebe, E. N., & Carter, G. (2008). The influence of prior knowledge on viewing and interpreting graphics with macroscopic and molecular representations. *Science Education*, 92, 848-867.
- Danish, J. A., & Enyedy, N. (2007). Negotiated representational mediators: How young children decide what to include in their science representations. *Science Education*, 91, 1-35.
- Daston, L. & Galison, P. (2007). *Objectivity*. Cambridge, Mass.: Zone Books.
- de Andrade, V., Shwartz, Y., Freire, S., & Baptista, M. (2022). Students' mechanistic reasoning in practice: Enabling functions of drawing, gestures and talk. *Science Education*, 106(1), 199-225.
- diSessa, A. A. (2004). Metarepresentation: Native competence and targets for instruction. *Cognition and Instruction*, 22(3), 293-331.
- Gagné, E. D., Yekovich, C. W., & Yekovich, F. R. (1986). *The cognitive psychology of school learning*. New York, NY: Harper Collins College Publishers.
- Galili, I., Bendall, S. and Goldberg, F. (1993), The effects of prior knowledge and instruction on understanding image formation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 271-301.
- Ge, Y.-P., Unsworth, L., & Wang, K.-H. (2017). The effects of explicit visual cues in reading

- biological diagrams. *International Journal of Science Education*, 39(5), 605-626.
- Ge, Y.-P., Unsworth, L., Wang, K.-H., & Chang, H.-P. (2018). What Images Reveal: a Comparative Study of Science Images between Australian and Taiwanese Junior High School Textbooks. *Research In Science Education*, 48(6), 1409-1431.
- Ge, Y.-P., Yang, W.-J., & Tam, H.-P. (2024): Using a diagrammatic approach to reveal variations in students' instructional representations about the five kingdoms in biology between two cultural groups, *International Journal of Science Education*, 1-26. DOI: 10.1080/09500693.2024.2314009
- Heywood, D., Parker, J., & Rowlands, M. (2013). Exploring the Visuospatial Challenge of Learning About Day and Night and the Sun's Path. *Science Education*, 97(5), 772-796.
- Hochberg, C. B., & Hochberg, J. (2007). Familiar size and the perception of depth. In M. A. Peterson, B. Gillam, & H. A. Sedgwick (Eds.), *In the mind's eye* (pp. 3-10). New York: Oxford University Press.
- Kelly, G. A. (1955). The psychology of personal constructs. *Vol. 1. A theory of personality. Vol. 2. Clinical diagnosis and psychotherapy*. W. W. Norton.
- Kress, G., & van Leeuwen, T. (2021). *Reading images: The grammar of visual design*. New York, NY: Routledge.
- Lee, V. R. (2010a). Adaptations and continuities in the use and design of visual representations in US middle school science textbooks. *International Journal of Science Education*, 32(8), 1099-1126.
- Lee, V. R. (2010b). How different variants of orbit diagrams influence student explanations of the seasons. *Science Education*, 94, 985-1007.
- Lemke, J. L. (2001). Articulating communities: sociocultural perspectives on science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 296- 316.
- Lemoni, R., Lefkaditou, A., Stamou, A. G., Schizas, D., & Stamou, G. P. (2013). Views of nature and the human-nature relations: An analysis of the visual syntax of pictures about the environment in Greek primary school textbooks-diachronic considerations. *Research of Science Education*, 43(1), 117-140.
- Lowe, R. (2004). Interrogation of a dynamic visualization during learning. *Learning and Instruction*, 14, 257-257.
- Mathewson, J.H. (1999), Visual-spatial thinking: An aspect of science overlooked by educators. *Science Education*, 83, 33-54.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32(1), 1-19.
- Mayer, R., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia. *Educational Psychology*, 38(1), 43-52.
- Meyer, H. (2004). Novice and expert teachers' conceptions of learners' prior knowledge. *Science Education*, 88(6), 970-983.
- Montgomery, J. W., Magimairaj, B. M., & Finney, M. C. (2010). Working memory and specific language impairment: An update on the relation and perspectives on assessment and treatment. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 19(1), 78-94.
- National Research Council. (2006). *Learning to think spatially*. National Academies Press.
- Newcombe, N. S., & Shipley, T. F. (2015). Thinking about spatial thinking: New typology, new assessments. In J. S. Gero (Ed.), *Studying visual and spatial reasoning for design creativity* (pp. 179-192). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Novick, L. R., & Catley, K. M. (2007). Understanding phylogenies in biology: The influence of a gestalt perceptual principle. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 13(4), 197-223.
- Novick, L.R., Shade, C.K. and Catley, K.M. (2011), Linear Versus Branching Depictions of Evolutionary History: Implications for Diagram Design. *Topics in Cognitive Science*, 3, 536-559.
- Patron, E., Wikman, S., Edfors, I., Johansson-Cederblad, B., & Linder, C. (2017). Teachers'

- reasoning: Classroom visual representational practices in the context of introductory chemical bonding. *Science Education*, 101(6), 887-906.
- Plummer, J. D., Udomprasert, P., Vaishampayan, A., Sunbury, S., Cho, K., Houghton, H., . . . Goodman, A. (2022). Learning to think spatially through curricula that embed spatial training. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(7), 1134-1168.
- Pozzer, L. L., & Roth, W. -M. (2003). Prevalence, function, and structure of photographs in high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(10), 1089-1114.
- Ridley, M. (2004). *Evolution*. 3rd Edition, Blackwell.
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13, 141-156.
- Shah, P., Hegarty, M., & Mayer, R. E. (1999). Graphs as aids to knowledge construction: Signaling techniques for guiding the process of graph comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 91, 690-702.
- Tippett, C. D. (2016). What recent research on diagrams suggests about learning with rather than learning from visual representations in science. *International Journal of Science Education*, 38(5), 725-746.
- Tversky, B. (2011). Visualizing Thought. *Topics in Cognitive Science*, 3(3), 499-535.
- Tytler, R., Prain, V., Aranda, G., Ferguson, J., & Gorur, R. (2020). Drawing to reason and learn in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(2), 209-231.
- Wu, H.-K., & Shah, P. (2003). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88, 465- 492.

投稿日期：113 年 06 月 07 日

接受日期：113 年 07 月 18 日

# Investigating the Diversity of Scientific Image Designs from an Integrated Cognitive and Social Semiotic Perspectives

**Yun-Ping Ge**

International Master's Program of Learning & Instruction

National Taipei University of Education

## **Abstract**

Images, as indispensable in science textbooks, which equip with multiple functions to facilitate understanding and learning. However, the design of images is often ignored because not all scientific images are beneficial to learning. Inappropriate image design will confuse students and result in misconceptions. Previously most studies adopted cognitive perspective to interpret reading comprehension of images based on general inner mental mechanism. It is concluded that other than image design, the major factors influencing reading comprehension are prior knowledge, visuospatial ability, and cognitive load. Cognitive perspective is indeed persuasive in the relevant interpretation. However, it could not afford to interpret the diversity of scientific image designs and the difference of visual designs from variant communities. Drawing on socio-cultural perspective, the need of human beings in negotiation and communication drives people to evolve some common images and symbols in the practice of social interactive process. The potential factors which influence scientific image designs including epistemology, religion, subject tradition, curricular experience and educational rationale. As a school of social semiotics, grammar of visual design is well able to do in-depth analysis for comparing the difference and diversity of visual designs. Consequently, the strategies for applying integrated cognition and socio-cultural theories in pedagogy and application are provided accordingly. Suggestions for further research and curriculum are made.

**Keywords: scientific image design, comprehension of reading images, cognitive perspective, socio-cultural perspective**