

第二章 文獻探討

本章針對訊息處理理論、認知負荷理論、目標適切理論（goal appropriateness theory）中的特定目標效果（specific goal）相關研究分析等三方面深入探討。訊息處理理論是本研究最基礎理論，其原因是認知負荷理論是以訊息處理理論為基礎之延伸與應用。其次探討認知負荷論的定義、來源架構，以及應用在教材教法之設計的類型。最後並對本研究教學輔助工具「電腦樂高」作相關探討。

第一節 訊息處理理論

訊息處理理論解釋人類在環境中，如何經由感官覺察、注意、辨識、轉換、記憶等內在心理活動，吸收並運用知識的歷程。訊息處理是一種不能直接觀察的內在心理運作歷程。在此一內在歷程中，包括三個心理特徵：（1）訊息處理是階段性的；（2）各階段的功能不一，居於前者屬暫時性，居於後者屬永久性；（3）訊息處理不是單向直進式，而是前後交互作用的（張春興，1996）。訊息處理的內在心理歷程如圖 2-1 所示。

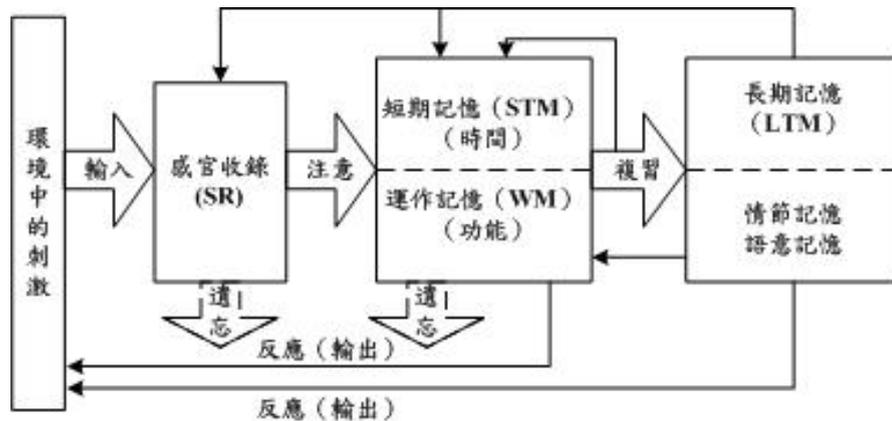


圖 2-1 訊息處理理論架構圖 (資料來源：張春興，1996)

一、感官暫存區(sensory register ,SR)

訊息處理的心理歷程起於環境中的刺激。感官暫存區是接收外界短暫刺激，如視、聽、嗅、味等感官接受外界刺激所引起的短暫記憶（三秒鐘以下）。感官暫存區提供個體抉擇是否將訊息做進一步處理，若決定要處理，就加以注意(attention)，若不需要則將其遺忘(forgetting)。

二、短期記憶區 (short-term memory, STM)

短期記憶區係指感官收錄後再經注意而在時間上延續到 20 秒以內的記憶。刺激經由感官暫存區並選擇性的「注意」後，將置入短期記憶區中，短期記憶對個體的行為，具有兩種重要作用：

(一) 刺激造成心理反應。如談話（對人的反應）與閱讀（對文字符號的反應）等，都是接受刺激的同時亦做出反應的心理活動。此種反應過後，如目的已達，短期記憶的作用已盡，則不再繼續進一

步處理，所記者隨即流失，造成遺忘。

(二) 如個體認為所處理的訊息是重要的，他就採用複習 (rehearsal) 的方式，使之保持較長久的時間，然後輸入長期記憶區 (long-term memory)。

三、工作記憶區 (working memory, WM)

工作記憶區是指個體對訊息性質的深一層認識與理解 (張春興, 1996), 亦可以視為個人的意識 (Sweller, 1998)。工作記憶區有其容量上的限制, Miller(1956)指出工作記憶區可以保留 7 ± 2 訊息單位。而 Simon(1974)則認為工作記憶區只能保存 5 個單位的訊息。工作記憶區之功用主要為組織、建構、比較及處理資訊, 當資訊間的交互關係越複雜時, 所能處理的量將越少 (Sweller, 1998)。

早期的學者多認為工作記憶區為一個單一的架構, 但近來的理論指出, 工作記憶區包含多個處理單元, 分別處理不同性質的資訊。如 Baddeley (1992) 認為工作記憶區 (working memory) 可以細分為兩個子單元, 「語音迴路」(phonological loop) 負責處理語音及經由文字所轉化而來的語音 (verbal material); 「視覺空間擷取器」(visual-spatial sketch pad) 則處理圖片及圖表 (visual material), 以上兩個子單元都由中央執行單元 (central executive) 來管理。若能同時利用多個子單元來處理資訊, 工作記憶區的容量將會增大。

四、長期記憶區 (long-term memory, LTM)

長期記憶區指保持訊息長期不忘的永久記憶區 (permanent memory)。且 Sweller(1998)指出長期記憶區不能直接意識, 而意識到內容與功能是要經由工作記憶區所過濾。長期記憶與短期記憶除了在

時間上不同之外，另有二項不同之處，(一)、短期記憶區的容量是有限的，而長期記憶的容量是無限的。(二)、長期記憶中儲存的訊息或知識，在性質上與短期記憶中暫時儲存的資訊不同，儲存 (storage) 在長期記憶中的訊息，大致分為兩類：一為情節記憶 (episodic memory)，指有關生活情節的實況記憶；另一類為語意記憶 (semantic memory)，是指有關語文所表達之意義的記憶 (張春興，1996)。儲存在長期記憶區中的資訊以「基模」的方式儲存，但人類無法直接處理長期記憶區中的基模，必須藉由工作記憶區的過濾來處理。

五、基模理論 (schema theory)

基模是指個人對某種人、事、物的一套有組織的信念和感受，包含對特定對象的知識與具體例子。基模是存在於腦中的認知架構，負責彙整各種主題的訊息。Piaget 觀察兒童利用身體感官為基礎，去了解周圍世界的認知結構，每當運用認知結構去核對與處理訊息，此認知結構就稱為基模(張春興，1996)。

此外 Marcus (1996) 指出基模是指能將多個資訊元件依據需要組織整合為單一元件的認知結構。基模為知識的主要元件，儲存在長期記憶區中，其功能除了提供知識的組織和儲存機制外，亦能降低工作記憶區的負荷 (Sweller, 1998)。學習者在學習語言文字時，所以能辨識單字的字形、字音與字義，就是因為在他的記憶中，已存有這些字元的基模。

Eysenck (2003) 在 *Cognitive Psychology : A Student's Handbook* 一書中，針對基模在認知心理學中的意義說明如下：

(一)、基模包含各式各樣的關係與變項，以及這些變項的值。

- (二)、各基模間的關係可以用不同形式呈現；它們可能是簡單關係（例如，is a, hit），也可能是比較複雜的因果關係（例如，enable）。
- (三)、基模會把一些可能適用於特定情況的普通知識加以編碼，但前提是那些情境必須是該基模的先前實例。例如前面提及 hit 關係可能是描述一場家庭紛爭或是一場車禍。

從以上專家學者對基模的觀點，可知知識的學習主要靠短期記憶，而長期記憶則負責知識的儲存。雖然在工作記憶區中能處理的元件（elements）有其容量上的限制，但元件的大小、複雜度卻沒有限制。藉由意元集組（chunking）作用，可以增強工作記憶區處理資訊量的能力，所謂的意元集組，即是將訊息中多個不同的小意元（chunk）集合而組成一個較大的意元，然後以大意元為單位去記憶，也就是說，藉由新舊知識的連結，基模的結構可以變得更複雜，但仍被視為工作記憶處理的一個單位，因此基模可以降低工作記憶區的負荷。

綜合以上所述，複雜資訊組合的基模組成一個單一元件（single element）在工作記憶區上是沒有限制的，且基模建構有下列幾種功能：

- (一)、將資訊儲存與組織在長期記憶區。
- (二)、減少工作記憶區的認知負荷。
- (三)、以既有的知識與經驗去引導社會訊息的處理。一般來說，符合基模的訊息較容易被注意、編碼和提取。至於不符合基模的訊息則可能會被扭曲，以符合原先基模的內容。
- (四)、簡化複雜的訊息，使訊息處理的速度加快。

(五)、在新情境當中預測事件。

六、基模自動化 (schema automation)

所有訊息都是透過有意識的 (consciously) 或自動化的 (automatically) 處理。有意識的處理須佔用許多工作記憶區的空間，而自動化的處理較少為意識所監控，佔用極少的工作記憶區。自動化處理是程序性知識學習的最後境界 (張春興，1996)。許多知識技能的學習都是由控制式處理開始，經由不斷的練習而轉化為自動化處理，例如駕駛、打字、彈琴等。因此，基模自動化為基模建構的重要程序。當基模自動化後，個人在操作過程中就不再需要隨時注意去處理某些訊息，因而可以節省很多工作記憶區的空間，能對更多訊息作同步或更深入的處理。

綜合本節，人類的認知結構具有處理所有意識活動的有限容量工作記憶區，以及自動儲存不同等級基模的長期記憶區。故教學設計需考慮如何增加基模建構以及如何降低工作記憶區的容量。

第二節 認知負荷理論

壹、認知負荷論起源

「認知負荷」(Cognitive Load) 的理論，源自歐美的人體工學 (ergonomics) 與人因工學 (human factor) 等領域，並從心理認知層面，探討工作與任務對執行者的影響及適合性。最早應用在軍事訓練及各種企業上，稱為「心智工作負荷」(mental workload)，並以此為指標作為任務、工作或操作系統設計上的參考 (黃克文，1996)。

Sweller (1988, 1989, 1990) 將此觀念引進教育界時稱為「認知負荷」，著重在「學習內容」及「教學方法」對學習者「概念獲得」與「認知層面」的影響。Sweller 提出的認知負荷理論對人類認知架構有四項基本假設 (宋曜廷，2000；陳蜜桃，2003；翁嘉鴻，2001；Mousavi et al，1995；Sweller et al. 1998) 說明如下：

一、工作記憶的容量是有限的。對於新資訊的接收，必須依賴工作記憶對資訊作更深入的認識與理解，理解之後將刻意予以保留，使之轉換為長期記憶。若待處理的訊息或教材本身內部要素間相互關聯性很強，要相互參照且能了解，則消耗更高的工作記憶區容量。

二、長期記憶指保持訊息長期不忘的永久記憶 (permanent memory)。而長期記憶的容量是無限的。長期記憶區是儲存基模的地方，專家與生手的差別就在長期記憶區基模的多少，因專家長期記憶區儲存大量問題狀態，知識與解題策略，而生手則因缺乏基模而無法立即處理，因此需要在短期記憶區而進行推理與搜尋，導致增加認知負荷。

三、長期記憶中之內容主要以基模的型態儲存。基模除了在長期記憶中具有儲存及組織資訊的功能外，亦可降低工作記憶區的負荷。

四、基模運作自動化 (schema automation) 是基模建構的重要過程。人類處理訊息有外控式處理 (controlled processing) 和自動式處理 (automatic processing) , 而外制式處理屬於意識性活動，所以會佔用很多工作記憶區，而自動式處理則相反。藉由充分的練習可以將基模之運作自動化，進而降低工作記憶區之負荷。認知負荷理論強調，教學設計之首要目標在於基模的建構及自動化，故如何降低資訊處理在工作記憶區中的難易度，以達到基模的建構目的，是認知負荷理論所關心的焦點。

貳、認知負荷定義

國內外不同領域學者或研究者對認知負荷定義可謂眾說紛云，然而卻大同小異，茲敘述如下：

黃克文(1996)認為「認知負荷」是學習者接受、處理與運用的過程。因為資訊內容（數量、質量、脈絡等）、學習環境、傳輸環境與互動方式等因素，超越學習者所能知覺的認知能力，會在「心理」與「生理」上引起負擔、重擔、苦惱與憂慮，甚至失敗與挫折的後設概念。

宋曜廷(2000)認為「認知負荷」是執行某種作業的過程中，因作業過程中所需的認知度量 (capacities) 與認知資源 (resources) 造成認知系統 (特別是記憶運作) 的負載狀態。

陳蜜桃(2003)認為「認知負荷」是個體執行某種工作、作業或任務的過程中，個體所感受到心智負荷與心智努力的狀態。就訊息處理

理論而言，「認知負荷」係屬工作記憶區的負荷。

黃柏勳(2004)認為「認知負荷」是個體在工作情境下（學習情境）下處理訊息時，所感受到心智負荷與心智努力的負荷總量。倘若此負荷總量超出個體所能接受範圍，將導致個體認知無法負載，而產生心理與生理的焦慮、壓力等負面知感，並影響工作（學習）的表現。

Pass(1992)認為認知負荷是一種多向度概念，它包含兩種成分：一是因個體對於學習內容所感受困難度的「心智努力」，二是工作任務太過困難或外在環境所造成的「心智負荷」。而認知負荷乃是學習者的心智努力和心智負荷的總和。

Sweller(1998)指出一般學習者在問題解決時太強調解題技巧，學習者必須使用大量認知記憶能力，導致沒有多餘的認知能力來從事新的學習以獲得基模，以致造成認知負荷。故 Sweller 將認知負荷定義為將特定工作加諸於個體認知系統時，所產生的負荷量。

綜合以上學者所述，可知「認知負荷」是工作任務或環境對個體的心智努力和心智負荷產生過多資訊量，導致工作記憶區無足夠資源處理資訊量，進而導致個體心理與生理的負面情緒。

？、 認知負荷特性

黃克文（1996）彙整人體工學、教育心理學、及教育工學等領域對認知負荷的定義後，指出認知負荷的六項特性：

一、 假設性

認知負荷的產生，係當學習者置身於學習脈絡中，接受學習要求、學習環境、學習方式的刺激，而使學習者之心理與情緒產生反應。

因此必須假設在某種情況之下，學習者的負荷量有多少。

二、互動性

認知負荷不會憑空出現，它是在個體認知的過程中，與認知對象有所接觸之後才會產生的。所以說認知負荷具有互動性。

三、波動性

因為認知負荷有假設性的本質，所以認知負荷會隨著影響學習成就之因素而變動。例如，學習者之內在因素，如情意、智能改變、成熟度變化、練習時間、學習策略等；或是外在因素，如壓力、期望、增強、懲罰等，以及學習氣氛、學習環境等，都會影響認知負荷，所以認知負荷具有波動性。

四、個別性

同一件任務或學習活動，對不同人而言，會有不同程度之認知負荷。同樣程度之認知負荷，對能力高的學習者來說，不會造成影響，可是對能力低者而言，可能造成很大的心智負擔，而影響學習成效，所以說認知負荷具有個別性。

五、多方位性（多重結構性）

認知負荷是複雜的、多面向的（multifaceted），它建立在多重輸入與多重輸出之動態系統基礎上。因為來源可能是多重的，作用機制也可能是多重的，而表現更可能是多向度的，所以認知負荷具有多方位性。

六、感知性

Pass & Merriënboer(1994)認為學習者有能力去內省(introspect)本身的認知過程，並記錄所耗費之心智努力的數量多寡。O ' Donnel & Eggemeier (取自陳密桃，2003) 更認為，使用主觀的後設測量，可以很容易、非強制性的得到認知負荷的數據來加以分析，並有很高的效度。因此，認知負荷具有可感知性。

除了上述六項特性之外，認知負荷亦有「可操控性」。藉由對工作認知、學習材料以及個體本身等認知負荷來源的操控與改善，可降低認知負荷。同時也具有「有限性」，因個體的認知負荷量有一定的限度，並非無所限制，一但超過個體接受的程度，則形成過度的認知負荷，使個體無法辨識訊息之涵意。(陳密桃，2003)

肆、認知負荷理論架構

認知負荷理論源自 1980 年代，而在 1990 年代才有大量相關研究興起，而其理論的發展係接續「教學設計」的導引理論。根據認知負荷理論觀點，教學設計重要目標在學習者本身基模的建構和自動化。以下介紹 Gerjets & Scheiter(2003)和 Valcke(2002)的理論架構：

(一) Gerjets & Scheiter 超文字基礎的認知負荷架構：

此理論架構主要探討學習者歷程，而不去關注教學者的教學決定，並以發現目標和達成目標的策略是教學設計與認知負荷間的中介要素。如圖 2-2 所示，「學習者活動」包含學習者學習目標和處理策略，而教師教學目標則一面影響學習者活動，另一方面影響學習者活動所產生的外在認知負荷和增生認知負荷的歷程；而「專門知能」除影響內在認知負荷外，亦影響學習者的處理策略。

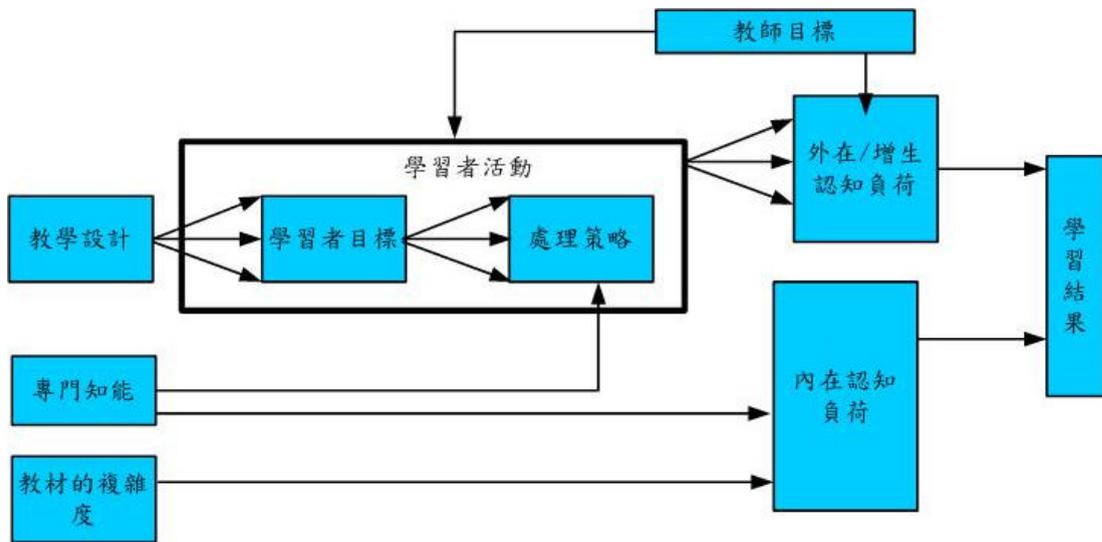


圖 2-2 Gerjets & Scheiter 超文字基礎的認知負荷架構

(二) Valcke 認知負荷架構

Valcke (2002) 指出先備知識在認知負荷的重要性，並強調監控活動在訊息處理歷程中的重要性，因此提出「後設認知負荷」，其認知負荷的概念如圖 2-3。任務（工作）環境影響「外在認知負荷」，而外在認知負荷包含「內在認知負荷」，內在認知負荷則影響學習者的先備知識，而先備知識影響「增生認知負荷」，增生認知負荷則包括認知負荷的處理與「後設認知」。

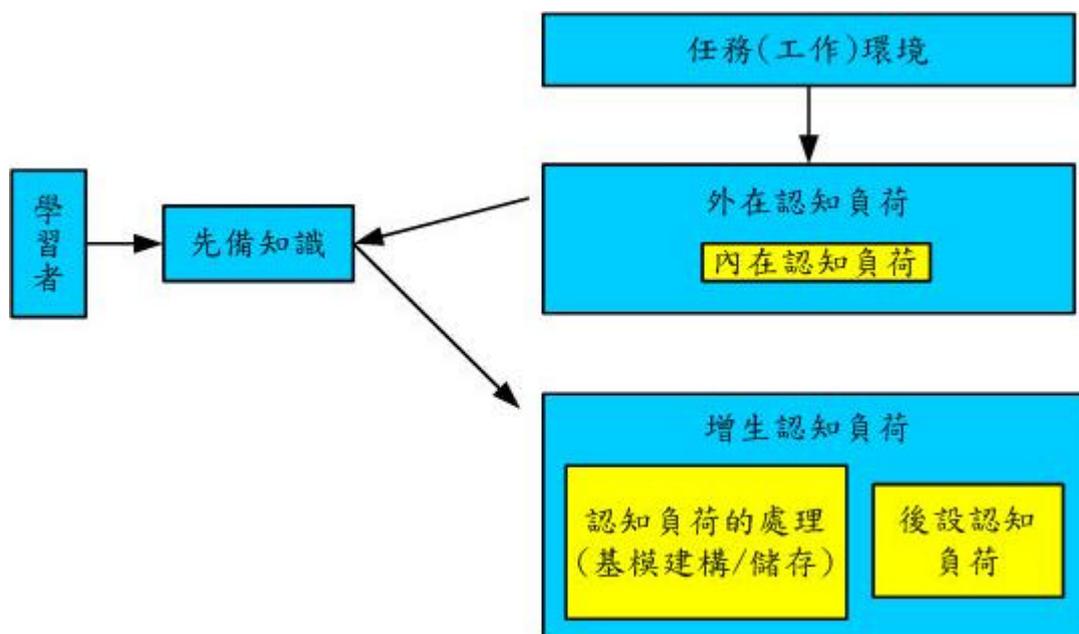


圖 2-3 Valcke 認知負荷架構

綜合上述，可見影響認知負荷之因素有教材內容、教材設計（呈現方式）、教學策略與達成目標、以及個人特質，包括有先備知識的多寡、以及後設認知等。

伍、認知負荷來源

Pass & Van Merriënboer(1994) 認為認知負荷為一種多維度的構念，其構念包含因果要素（causal factors）及評估要素（assessment factors），如圖 2-4。

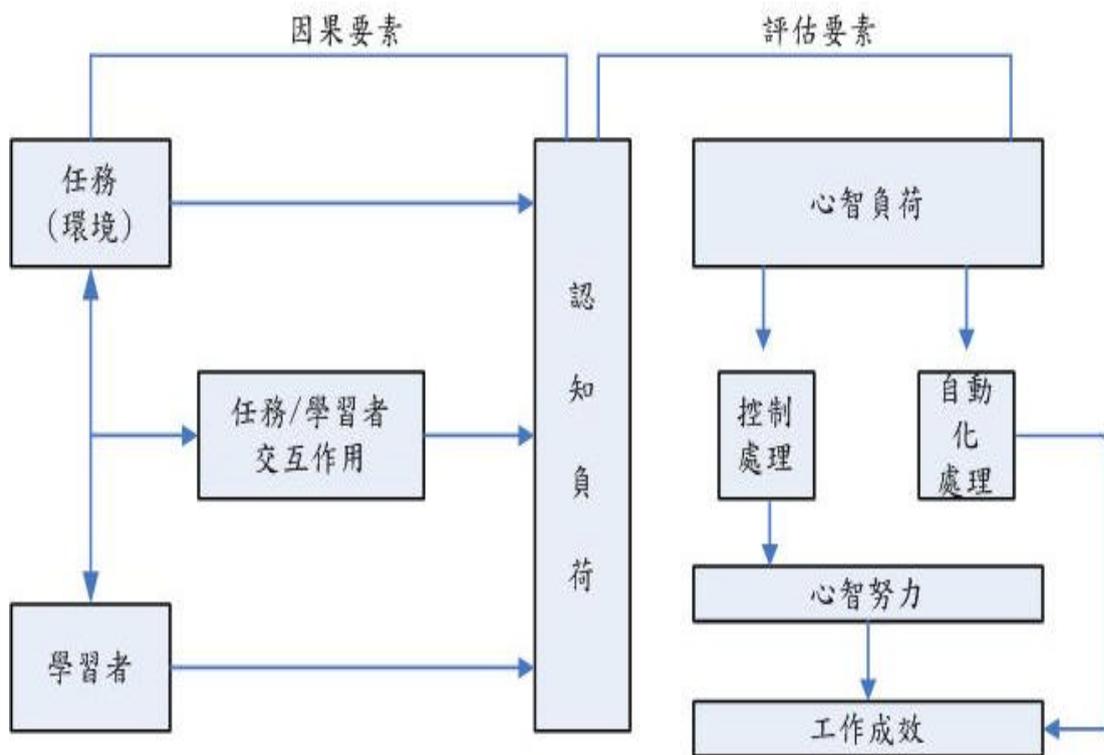


圖 2-4 Pass & Van Merriënboer (1994) 認知負荷來源圖

Pass & Van Merriënboer 所提及「因果要素」為認知負荷的來源，可以細分為三類：

一、任務（環境）特性（task/environment characteristics）：包含任務結構、任務新穎（task novelty）、獎賞類型、時間壓力、噪音、溫度等，均屬容易變動的因子。

二、主體（學習者）特性（subject characteristics）：包括認知能力、認知型態（cognitive style）先備知識與經驗等，屬於較穩定的因子。

三、任務與學習者的交互作用（interactions）：如績效、動機、激勵等因子亦會影響認知負荷。

同時 Marcus 等人 (1996) 指出，在教學過程中，影響認知負荷的三個因素，分別為「學習者的先備經驗」(prior experience) 「教材的本質」(nature of the material) 「教材的組織」(organization)，說明如下：

一、學習者的先備經驗

學習者是否能夠瞭解學習內容的關鍵在於資訊量是否超出工作記憶區的負荷，若能將新的資訊與自動化的基模作整合（先備經驗），將可降低工作記憶區的負荷。因此先備經驗（基模）的有無可說是認知負荷的首要來源，藉由適當的基模可以降低認知負荷、幫助學習。

二、教材的本質

教材元件（elements）互相關連的程度是造成認知負荷的另一個原因。對學習者來說，低元件關連的教材較易於瞭解，原因在於該元件可以獨立的被處理，而不需參照其他資訊來源；但面對高元件關連的教材時，儘管元件的數量與前者相同或更少，亦可能難於瞭解，其原因在於學習者必須將較多的元件同時置入工作記憶區中來思考，如此將造成較高的認知負荷而阻礙學習。

三、教材的組織

因應不同資訊的特性，應以適當的方式來呈現，不當的使用，將造成學習者無謂的認知負荷。例如，圖形宜採平行並列方式的呈現（parallel connections）文字適合以循序的方式（serial connections）來處理。

另外 Sweller 等人 (1998) 則以教材設計的觀點，將認知負荷的來源分為三類：

一、內在認知負荷 (intrinsic cognitive load)

內在認知負荷並不會因教材呈現方式的不同而改變，主要是受到教學內容中元件 (elements) 間相關連的程度影響，也就是「教材內容本身」的難易程度，與「教學材料」呈現無關。當學習者在面對低元件關連的教材時，不需將大量的元件同時置入工作記憶區中，即可瞭解個別的元件，此時內在認知負荷較低，較適合以循序的方式來學習；而在面對高元件關連的教材時，學習者必需將大量的元件同時置入工作記憶區中，如此將造成較高的內在認知負荷。例如：「單字」及「詞句」的學習中，「單字」的學習被視為低元件關連教材的學習；而「詞句」的學習除了必須瞭解個別單字的意義外，還要瞭解字與字間的排列關係，屬於高元件關連的教材。

影響元件關連程度高低的原因，除了教材本身的特性外，學習者經驗 (先備知識) 的有無亦是一個重要的因子。相同的內容對不同學習經驗者來說，會造成不同程度的內在認知負荷。學習者若能將訊息與自動化的基模做整合，將可以減少工作記憶區的負荷。倘若沒有基模存在，所有的訊息將在工作記憶區處理，而造成認知負載過重。雖然教材設計者無法直接改變內在認知負荷，但在設計的過程中，仍應考量到學習者的認知能力及教材的內在認知負荷。

二、外在認知負荷 (extraneous cognitive load)

訊息呈現方式的不同，對資訊接收者來說會造成不同程度的負荷，這樣的負荷稱為「外在認知負荷」或無效的認知負荷 (ineffective

cognitive load)(陳密桃，2003)。外在認知負荷為認知負荷理論的核心之一，藉由資料呈現、資訊組織的設計，可以控制外在認知負荷。所以，不論是多媒體或教材的設計者，應致力於降低外在認知負荷，讓學習者能善用有限的工作記憶區來處理與學習內容相關的資訊。

三、增生認知負荷 (germane cognitive load)

過去的研究多著重在外在認知負荷的降低，近來的研究則著重在如何利用增生認知負荷以輔助基模建構 (schema construction) 的過程。「增生認知負荷」(germane cognitive load) 意指藉由教學設計以吸引學習者專注在學習內容的認知過程或基模的建構。適當的教材呈現方式，不但可以降低外部認知負荷，同時也幫助學習者專注內容的學習、基模的建構。

學者 Pass 等人在 2003)年指出增生認知負荷亦為「外在認知負荷」的一種，但外生認知負荷阻礙學習者的學習，而增生認知負荷則會促進學習者的學習。儘管增生認知負荷會增加學習者的負荷感，但可協助基模建構和自動化的努力，但只有在總認知負荷量 (內在認知負荷與外在認知負荷之總和)未超出學習者的能力範圍時，適當的引入「增生認知負荷」才有意義。例如：設計未完成的數學推理範例，引導學習者去完成，這種過程會增加「增生認知負荷」，協助學習者建構相關之基模。

而內在認知負荷、外在認知負荷與增生認知負荷三者在学习者身上係是整合為一，亦即學習發生時，整體負荷不能超過運作記憶可利用的資源。此三種類型的認知負荷，彼此間並不對稱，其中內在認知負荷是基本負荷，無法經由「教學設計」來降低，但可透過基模獲得與自動化降低；外在認知負荷可以藉由「教學設計」降低。不過當內

在負荷較低時，外在負荷就可忽略，為當內在負荷較高時，外在負荷就必須加以重視 (Pass et al. ,2003；陳蜜桃,2003)。當外在負荷降低時，學習者就有能力來增加增生認知負荷。

綜合以上各位學者分別以不同的觀點，可以看出三種認知負荷關連性。Sweller 更將認知負荷的型態作了分類，明確的指出多媒體設計者在設計過程中應努力的方向。此外，「資訊量」亦是影響認知負荷程度的因素，Marcus 等人 (1996) 指出，儘管元件關連性較低的教材內容雖易於學習，但當資訊量過多時，在學習上仍有困難；Sweller 等人 (1988) 則認為認知負荷與工作記憶內所能處理的元件量有關，在學習過程中，如果將大量的教學內容置於工作記憶區中，則會形成「過度」的認知負荷。Mayer (1999) 曾以氣象知識及修車知識為主題，對工作記憶區處理資訊量的能力作進一步的探討，發現將資訊分段依序呈現 (如動畫、聲音分段交錯依序呈現) 比一次呈現所有的資訊 (動畫、聲音依序呈現)，不論在記憶或理解上，都有較佳的學習成效。

陸、認知負荷在教學設計的應用

Sweller 等人(1998)彙總過去的實證研究指出，認知負荷理論在的教學設計的應用，具有七種效果，包含開放目標效果(no goal effect) 示例效果(worked example effect) 完成問題效果(completion problem effect) 分散注意力效果 (split-attention effect) 形式效果 (modality effect) 重複效果 (redundancy effect) 變化效果 (variability effect)，茲分述如下：

一、開放目標效果 (no goal effect)

開放目標效果主張教學歷程不應採用傳統目標導向 (goal-oriented , goal-driven problem solving) 解題方式進行 , Sweller (1988) 指出利用「手段--目的分析」(means-end analysis) 強調解題技巧 , 學習者必須使用大量認知記憶能力 , 「手段--目的分析」的解題方式雖會有效的達成問題目標 , 但是會減少學習者從事學習和獲得基模 , 故強調採用開放目標 , 讓學習者能不受限制的多重表達自己思考過程的任一步驟和成果 , 以降低外在認知負荷(宋曜廷 , 2000 ; Sweller et al. ,1998)。

二、示例效果 (worked example effect)

認為教師在教導有關程序性知識 (procedure knowledge) 前 , 若能適性呈現解題步驟 , 將可以協助學習者對於問題狀態和解題步驟建構出完整基模 , 也可以降低外在認知負荷 , 即可避免 Sweller 所提出的專家反轉效果(expterise reversal effect) (宋曜廷 , 2000 ; Sweller et al. ,1998)。

三、完成問題效果 (completion problem effect)

提供示例雖然有助學習 , 但不同能力的學習者對示例的看法未必一致 ; 高能力學習者可能會將問題作全盤處理或精緻化處理 , 而低能力者只有在解題遭遇困難時才將它做仔細研讀 (陳蜜桃 , 2003)。此外若將示例說明和正在研讀問題狀態同時放入工作記憶區 , 就會造成短期記憶的負荷。因此主張示例呈現必須因學習者的需要呈現不同的解法 , 如此學習者對示例作要仔細的研讀 , 必具有降低外在認知負荷的效果 (宋曜廷 , 2000 ; Sweller et al. ,1998)。

四、分散注意力效果 (split-attention effect)

在分散注意力效果方面，認為學習者必須面對多重訊息來源，且必須將這些訊息加以參照整合才能達到學習目標。訊息的排列方式與呈現時間都會影響學習者的認知負荷，若分散注意力效果較大時，認知負荷也較大，因此會降低學習效果 (宋曜廷，2000；Sweller et al.,1998)。

五、形式效果 (modality effect)

Mousavi ,Low和 Sweller(1995) 研究指出，新興的記憶理論提出人類處理訊息可以經由多重管道，分別處理不同性質的訊息，而非傳統單一模式。如 Baddeley(1992) 認為工作記憶區有兩種訊息處理系統，一種專門處理視覺訊息，另一種專門處理聽覺訊息。若以不同的知覺狀態 (如視覺或聽覺) 單獨出現，而非同時出現訊息 (如聲音旁白+動畫來取代文字+動畫)，將可以降低短期記憶區之負荷，而提升學習效果 (宋曜廷，2000；徐易稜，2001；陳蜜桃，2003；Sweller et al.,1998)。

六、重複效果 (redundancy effect)

當學習者面對多重訊息來源，若訊息本身單獨意義明確，就可以獨立呈現，不需要相互參照整合亦能理解。若將訊息的呈現，同時包含空間與時間的成分則會增加學習者工作記憶區的負荷，而降低學習成效 (宋曜廷，2000；Sweller et al. ,1998)。

七、變化效果 (variability effect)

當學習者在進行解題練習，面對不同的問題狀態和情境，將有助

於基模的建立與發展。雖然變化情境可能會增加認知負荷，但有助於學習者更投入與學習有關的工作，並造成明顯的水平遷移效果（宋曜廷，2000；陳蜜桃，2003；Sweller et al.,1998）。

第三節 目標適切理論

目標確定理論是 Graig S. Miller(1999)利用 EFH-Soar 對 Carnegie Mellon 不同主修的大學生，針對開放目標(no goal) 標準目標(standard goal)和特定目標(specific goal)的教育活動對學習電磁學概念的影響。此理論是反證 Sweller 針對單一目標的過程中，「手段—目分析」的解題造成極大的認知負荷，Miller 強調在特定目標只要符合教學設計與時機，雖會增加認知負荷，但亦能增加學習績效。以下解釋各目標：

壹、標準目標

在 Miller 的實驗中，標準目標是一連串的遊戲導向 (game-oriented)、目標導向 (goal-oriented) 學習，同時假定此學習是被動的學習 (passive learning)。在問題解決的過程中，還必須去解決次目標 (sub-goal)，並從內容提示去獲得知識以解決問題。

在進行使用 EHF-Soar 教學軟體學習電磁學活動中，標準目標是發生在目標導向問題解決過程中，它與 Sweller 所提出的目標導向會分散學習不一樣。在 EHF-Soar 活動中，知識的獲得是在問題解決後，係屬被動地過程中獲得，其理由為此知識獲得的過程不具有任何的教育相關理念 (pedagogically relevant concept) 在裡頭。

本研究實驗透過教學活動測試以下幾個物理觀念：

1. 在相同帶電性且固定的電荷上，放入相同引發物 (punk)，觀察引發物運動情形。
2. 自由遊動 (free-floating) 會使引發物偏移相同帶電性的電荷。

3. 愈靠近固定不動的電子，其庫倫靜電力就愈大。

然此實驗操作目標即要繞過障礙，而進入 Honkey net 必須要有兩種情況：

1. 引發物的初始運動狀態。
2. 引發物的彎曲(blending)與軌跡(trajectory)，需要將相同電荷在運動路徑上。

然後學習者要把引發物帶入 hockey net，必須「猜測」引發物正確放入，使 punk 彎曲偏移的相同帶電性電荷。在不斷測試下，學習者獲得如何調整和如何放置 punk 經驗。在此實驗所得到的經驗成為一個 chunk 意元集組，而此集組 (chunk) 是一個被動過程獲得。

綜合以上實驗，Miller 的標準目標是學習者在經由 EHF-Soar 活動下，在不具任何教育目的的活動中，透過活動去了解如何使引發物繞過障礙並成功的進入目的地。學習者在標準目標所獲得的一個在哪個位置靠近相同電荷多遠的一種情節知識 (episodic knowledge) 的意元集組。

貳、開放目標 (no goal)

開放性目標在英文上有些同義詞，如 nonspecific goal、goal-free effect、reduce goal- specific effect 等。開放目標在 Miller (1999) 實驗中就是沒有任何的障礙、Honkey net 和無任何特定任務，就是針對電荷的放置、相互影響的軌道去了解 Microworld 的特性與物理意義。而 Sweller (1998) 強調傳統「目標導向」和「目的-手段分析」雖然會減少目標與目標之間差異的距離，但亦不斷使用工作記憶在問題與目標

狀態之間，以下為傳統問題導向題目：

一輛汽車以不變的加速度從靜止開始行徑1分鐘，

末速度為 $V_2 = 2 \text{ Km/min}$ ，請問汽車走多遠？

此題目的目標是求距離（S）有多遠，一般學習者會使用「目的-手段分析」，會考慮最終目標 - 算出距離答案；也會考慮已知條件如不變的加速度（a）、時間（t）和末速度（ V_2 ）。學習者會不斷思考在已知條件和找尋單一目標（求距離）之間的差異。假設下列方程式是已會的知識單元：

$$\bar{V} = 0.5V_2 \dots\dots\dots(1)$$

$$S = \bar{V} \times t \dots\dots\dots(2)$$

目標變數是把距離計算出來，假如平均速度 \bar{V} 和時間 t 的關係已知，如方程式(2)所示則問題就得以解決。但若時間 t 是已知，而平均速度 \bar{V} 是未知，則平均速度 \bar{V} 就是次目標(sub-goal)，此時如果末速度 V_2 為已知，則平均速度 \bar{V} 就可以算出。

問題解決經由「手段-目的」分析是一個很有效的方法到達問題目標 (problem goal)，然此過程卻是不斷的使用有限的工作記憶(working memory)，且此過程也是減少基模建造的過程。

因此開放性目標就是要解決因教學設計所引起的外生認知負荷(如太強調解題技巧)，開放性目標不能依賴在目標與目前問題狀態(current problem state)彼此之間，因此開放性目標題目設計應該是如下：

一輛汽車以不變的加速度從靜止開始行進 1 分鐘，

末速度 V_2 為 2 Km/m，請盡你可能計算出任何變項的值？

假定以下唯一方程式、時間 $t=1$ Min 和末速度 $V_2=2$ Km/m 是已知

$$\bar{V} = 0.5V_2 \dots\dots\dots (1)$$

而學習者可能會尋找被應用的方程式，如下：

$$S = \bar{V} \times t \dots\dots\dots (2)$$

$$V_2 = V_1 + at \dots\dots\dots (3)$$

綜合上述實驗，開放性目標就是給學習者傳統的目標導向問題解決（增加認知負荷）或被動學習的問題解決，以及強調傳統解題技巧（增加認知負荷）等，都會造成學習效果不好。因為其活動過程中，沒有產生對學習有意義的基模。且相關研究指出開放性目標的學習者在問題的探查中建立起規則（rule）或假設驗證（hypothesis testing）的能力（Bruce & Regina, 2002）。

？、特定目標（specific-goal）

在相關特定目標與開放目標的研究中，都明顯顯示出開放目標的學習效果比特定目標效果還要來的好（Geddes & Stevenson, 1997；Miller, Leman & Koedigner, 1999；Sweller, 1998；Vollmeyer, Burns, & Holyoak, 1996）。而根據 Sweller 的從「目的—手段分析」發現特定目標會造成更高的認知負荷，進而降低學習效果，但是 Miller et al. (1999) 透過 EFH-Soar 活動反證 Sweller 理論進而提出目標明確理論（goal appropriateness theory），而 Miller et al. 要學習者在電腦呈現正確路徑如

圖 2-5，並將電荷儘可能靠近排列在正確路徑上如圖 2-6，此外要學習者注意電荷和軌道之間關係。在圖 2-6 呈現出來自電荷放置與實行修正的軌跡，且專注在和真實軌跡在可以彼此相互選擇的點上不同差異。因為透過此活動可以觀察到軌跡在彎曲前的微小差異（subtle difference）。

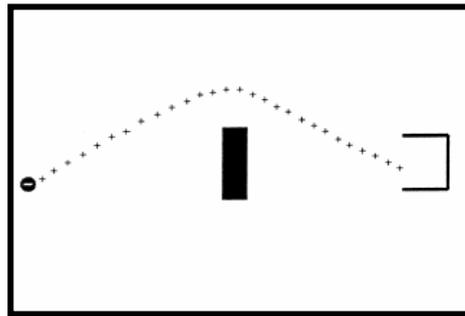


圖 2-5 電荷進入 Hockey 正確路徑

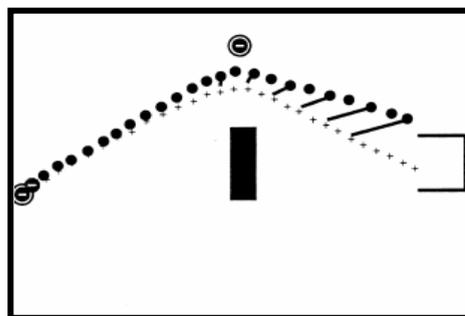


圖 2-6 特定目標之附加電荷軌跡圖

因此外加資訊的確會增加認知負荷。Miller et al.目標明確理論說明不適當的特定目標會造成認知負荷外，會造成學習成效不好；而適當且明確的目標，雖會造成認知負荷，但會提高學習成效。故 Miller et al.目標明確理論提出下列結論，如圖 2-7：

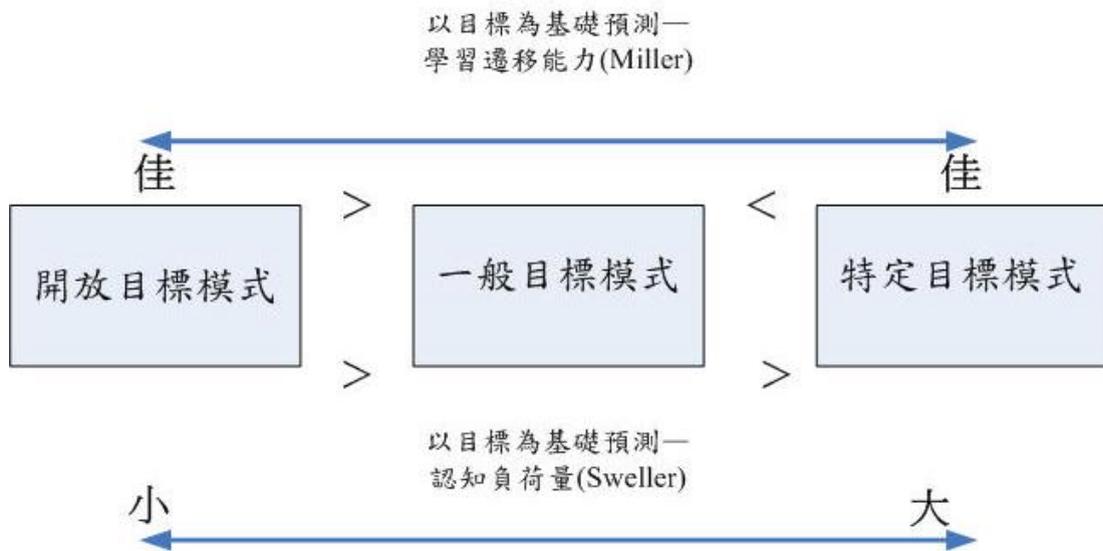


圖 2-7 各目標學習遷移與認知負荷關係圖 (Miller, 1999)

綜合以上所述，開放目標比特定目標有較低的認知負荷外，亦有明顯的學習績效，而特定目標的確會增加任之負荷，但學習績效端賴所增加的訊息是否是可以幫助學習者了解，若可以幫助學習者了解概念並建立基模 (Schema Construction)，雖會增加負荷，但是可以促進學習績效，若是不適當的教材設計或教育理念，則會畫蛇添足、揠苗助長。

第四節 電腦樂高

「電腦樂高」，顧名思義就是將傳統的樂高玩具與現今的資訊科技互相結合(田耐青，1999)，利用電腦程式 ROBOLAB 使靜態的積木，搖身一變為具有判斷力、能改變方向、能傳遞訊息、又吸引人的輔助教材。

樂高玩具是由一些不同顏色的正方體、長方體、扇形或其他立體形狀的塊狀塑膠及少許輪子所構成，其中一面有許多圓柱形的突出物，而另一面成圓柱形的溝狀，可以讓塑膠塊適當的咬合在一起，而創造出各種不同形狀的作品(田耐青，1999)。但不管其作品是如何的壯觀，若使用者沒對它做功，終究只是一堆靜態的積木；有鑑於此，於是樂高公司在 1984 年開始與美國麻省理工學院合作，並由媒體實驗室(Media Lab at MIT)的 Resnick 教授及 Papert 教授共同主導、研發出利用現代科技與傳統玩具相互結合的新教具，將電腦與積木結合在一起，而使得樂高產品更加生動活潑、更富教育意義、更能與時代脈動結合，讓此產品能成為二十一世紀最受兒童歡迎的玩具。(蔡學偉，2004)

經過 15 年的研發，樂高公司與美國麻省理工學院終於在 1998 年推出革命性的樂高微電腦積木(RCX)，並將 LEGO 積木和一種名為 Logo Language，適合國小兒童學習的簡單程式語言結合在一起，學習者只要點選簡單的圖形就能依照想像力隨意設計電腦程式，並透過組合好的各式各樣經由電腦積木控制的機器人或含有動力裝置的高科技玩具，來啟發孩子無限創作的空間，且快速建立強大的邏輯概念，因應數位化、電腦化教育的要求(劉得福，1999)。

發展這套可電腦控制與無線傳輸積木的樂高公司指出，「電腦樂高 - MINDSTORMS」的核心主要是「可程式控制積木」(RCX)，它是電腦樂高的大腦，就像電腦的微處理器，RCX 上有紅外線模組，可以接受紅外線感應所傳過來的數據指令，驅動系統執行動作、有觸控感應器、光源感應器、溫度感應器、高效能馬達等，因此可以透過電腦分析，控制馬達及燈泡的開關。

而 RCX 的控制器開發是由丹麥樂高公司與美國麻省理工學院長期的合作開發。且終於將樂高積木與電腦課程相結合，並發展出一系列適合幼稚園、中小學到大學的創意科學電腦樂高課程。因為這套課程的教學理念是以建構式教學為主軸，強調結合日常生活的科學知識，讓老師、家長、及孩童透過實際動手做的互動過程，建構累積經驗與知識，讓孩子從實驗中進行探索、思考問題，培養孩子創造及解決問題的能力，以建構自己的知識體系，並啟發孩童多元的智能(劉得福，1999)。自從電腦樂高出後，已引起教育專家及為人父母者廣泛注意並爭相推薦；於是業者就在 1998 年秋季於英國及美國推出 LEGO Dacta，開始上市發售。而台灣亦在 1999 年元月引進此產品，上市發行；業者並利用國中小學校社團或寒暑假短期電腦研習營或民間兒童教育機構開課，教導學童如何透過這項科技產品進行多方面的認知活動與學習(田耐青，1999)。

二、ROBOLAB 程式語言

ROBOLAB 程式語言的前身是 LOGO 程式語言。而 ROBOLAB 是由 LEGO EDUCATIONAL、Tufts University、美國國家儀器公司(National Instrument)的 LabVIEW——流行於測量和自動化領域的圖形化編程軟體為基礎開發的聯合開發的這套圖形化介面程式編輯軟體，

透過完全「圖形化」的操作界面，跨越語言與年齡的障礙，讓使用者不需要背誦任何的指令，只要利用滑鼠輕鬆的點選圖案，再將這些圖案串連起來，就可以完成複雜的程式設計。

而 LOGO 程式語言是美國麻省理工學院 Seymour Papert 教授與其研究夥伴(Bolt, Beranek & Newman 機構的 Daniel Bobrow 及 Wallace Feurzeig)於 1960 年代所發展出來的程式語言，目的在提供一種簡易而功能強大的電腦程式語言，來幫助兒童跨出學習撰寫程式語言的第一步(田耐青，1999)。在當時，美國許多學校均採 LOGO 語言為資訊課的入門教材，由於它易學好用，所以在教育界造成轟動，享有許多好評。然而由於 LOGO 語言的執行結果只能顯示在螢幕中，對於認知層次仍在「具體運思期」的小學習者而言，缺少實物的刺激，學習成效仍嫌不足，故無法達至「形式運時期」。為了讓孩子在學習 LOGO 語言時，不僅看得到，也摸得到，於是 Papert 教授從 1984 年開始與樂高公司合作，研發新一代的樂高產品，讓孩子可以按照自己的創意，利用電腦程式來控制樂高玩具。

經過 15 年的研發，Papert 教授終於在 1998 年推出 ROBOLAB，這是一套利用圖形撰寫程式的軟體，且「圖形化編程語言」被稱為「工程師的語言」，使用圖形化的編程語言，只需從功能面板選取需要的圖表，拖曳到編程視窗，通過連線，即可完成編程，有效的提高了工作效率。ROBOLAB 的編程環境共分為 3 個級別：初學者級別 (PilotLevel) 發明家級別 (Inventor Level) 研究者級別 (Investigator Level)，每個級別又分數個等級，由淺入深，共有 13 個等級，使用者可以根據年齡、水準來選擇不同的編程等級。

ROBOLAB 還有豐富的資料分析函數庫，包括微積分、曲線擬合、

直線擬合等。並提供基於 TCP/IP 的互聯網編程工具。圖形化編程軟體幫助學習者理解編程概念和培養他們的邏輯思維，也有益於老師以直觀易見的方式教授難以理解的編程概念。學習者可以按照自己的想法，利用滑鼠點選圖形，然後將這些圖形連貫起來，就可以變成控制電腦積木的程式。

三、電腦樂高產品(LEGO DACTA)

電腦樂高產品主要包含以下部分：

(一)圖形化控制軟體(ROBOLAB)

ROBOLAB 軟體可分為初階程式設計及進階程式設計兩部分：

1.初階程式設計(Pilot 1 到 Pilot 4)

在初階程式設計裡，從 Pilot 1 到 Pilot 3，都是同樣的設計模式，亦即程式是固定的，設計者不能增加亦不能刪減；若想改變程式的輸出結果，只有利用滑鼠點選圖案，利用圖案的指示來改變馬達的正反轉、馬力大小或等待時間等(圖 2-8 為 Pilot 1 的畫面、圖 2-9 為 Pilot 2 的畫面)。

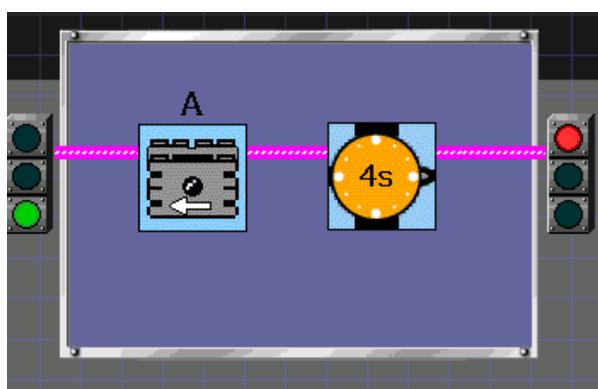


圖 2-8 Pilot 1 畫面

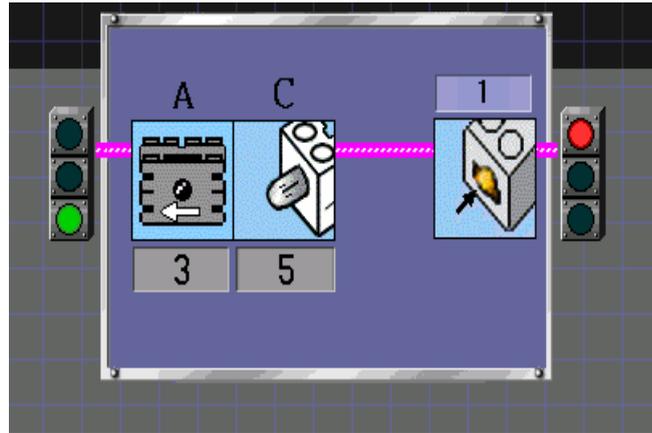


圖 2-9 Pilot 2 畫面

但在 Pilot4 中 (如圖 2-10), 則可利用  的來增加程式輸出的步驟, 亦可利用來減少程式輸出  出的步驟, 這樣就可以利用簡單的程式組合, 來達到設計者的要求。

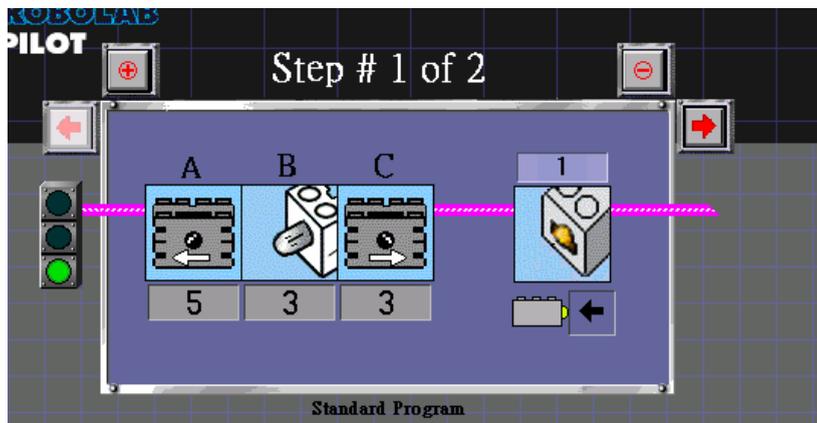


圖 2-10 Pilot 4 畫面

2.進階程式設計(Inventor 1 到 Inventor 4)

在進階程式設計裡, 程式內定值只提供程式開始及程式結束的按鈕, 其他的輸出控制、迴圈控制、邏輯判斷、多工設計、結構建立、程式音樂等, 都必須按照電腦樂高作品設計的需求, 而由設計者移動

滑鼠點選所需要的輸出設備、控制方式。而且若要讓輸出設備停止運轉，則必須在程式控制中加入如圖 2-10 所示的輸出停止按鈕。

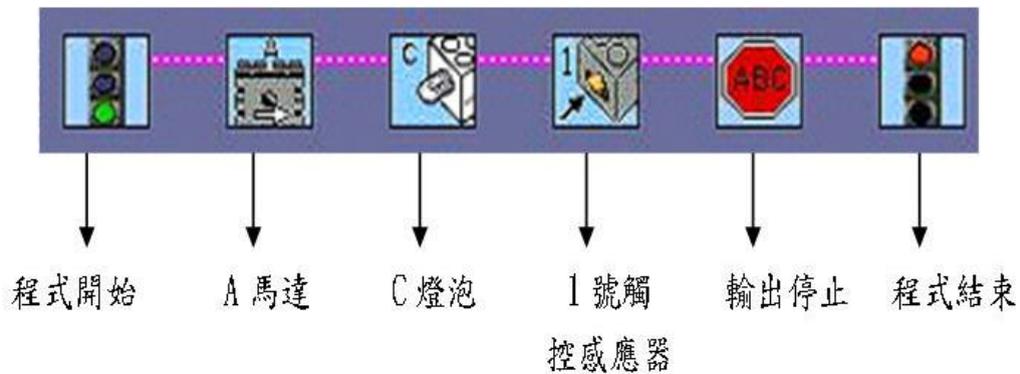
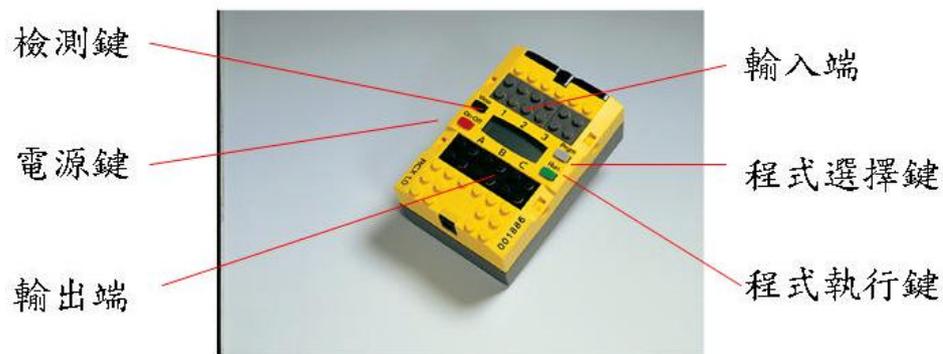


圖 2-11 Inventor 畫面

(二)可程式控制積木(RCX, computer-based programmable brick)

RCX 是一個大塊的積木，其中還包含了一個小型的電腦，擁有一顆 Hitachi H8 處理器及 32KB 的記憶體。使用者可以撰寫程式儲存於 RCX 上，再透過 RCX 上的輸入輸出端子執行程式動作。可程式控制積木(RCX)是一個可以透過紅外線程式傳輸器(IR)接收電腦程式，且獨立運作的微電腦設備。它可以透過感應器接收外部的訊息，交由其本身的微電腦分析、處理後，來控制馬達馬力大小(1~5)或燈泡(開或關)的傳輸模式。



圖

2-12 可程式控制器 RCX 圖

(三)紅外線程式傳輸器(IR, Infrared Transmitter)

將紅外線程式傳輸器(IR)接在電腦主機上的 COM1 或 COM2，可利用紅外線傳輸模式，將使用者所設計好的電腦程式傳輸到 RCX 上。

(四)輸入零件模組：光源感應器、觸控感應器。

1.光源感應器：圖 2-12 是一個利用光源作為感應的輸入裝置，連接時光源感應器的連接頭必須安裝在 RCX 的輸入端，主要用途為辨別顏色或偵測光源明暗,藉由偵測值來控制機器人模型的動作。它的敏感度很高，所偵測的數值在 0~100 的範圍內，原則上所偵測的光度越亮，數值會越高，所偵測的光度愈暗，數值會越低。例如:偵測黑色的數值會較低，偵測白色的數值會較高。

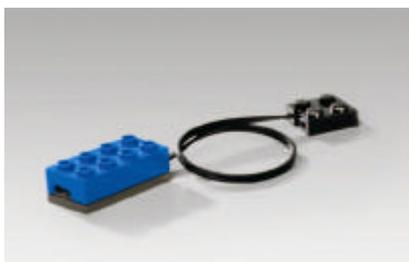


圖 2-13 光源感測器

2.觸控感應器：圖 2-7 是一個按鈕式的輸入感應零件,主要用途可利用按鈕的壓放來控制機器人模型的動作。在觸控感應器的上方有六個接合點其中有四個接合點內裝金屬片，這是為了和電線連接，組裝時電線接頭一定要和此四點結合,才能有效的傳輸指令給 RCX, 做下一步動作。



圖 2-14 觸控感應器

(五)輸出零件模組：電動馬達、燈泡。

電動馬達(圖 2-8)是最重要的動力輸出設備，主要用途為驅動機器人模型。在馬達上方有四個黑色接合點內裝金屬片，這是為了和電線連接,所以組裝時電線接頭一定要和此四點結合,才能有效的接收 RCX 的指令，控制馬達的正轉、反轉或馬力大小。而燈泡的主要用途則是藉著亮與不亮，來判斷程式執行的結果是否正確。



圖 2-15 馬達 (引自科豆科學教學手冊)

(六)其他零件模組：包含各式各樣的積木組件，如：輪胎、輪軸、齒輪、槓桿、關節、皮帶、電線及其他傳統的積木組件等。

四、國內外電腦樂高在教學之應用

因電腦樂高在 1999 年引進台灣，目前在台灣正規教育上尚未有任何 LEGO 的教育活動。目前利用 LEGO 從事教育活動大都為非正式教育活動，例如陽明國小、台南附小等。而學者田耐青(1999)指出 LEGO 是一個科技支援建構學習環境，也能提升兒童的多元智慧並且能增加問題解決能力(Elizabeth Mauch，2001)以下就國內外從事 LEGO 的實證研究以及利用 LEGO 作為教材活動之整理：

Thomas & Kenneth (1999) 研究指出透過 LEGO 從事數學程式活動，可以提高學習者的學習數學動機。

Elizabeth Mauch (2001) 研究指出 LEGO 機器人活動可以增加學習者親自參與問題解決能力，亦可以增加團隊小組人際關係、溝通能力和建立團隊能力。

國內蔡學偉(2004) 研究利用問題導向理論在電腦輔助教學之 LEGO 教學，研究發現可以提高學習動機及學習成效。

Mark A. Templin & Marcia K. Fetter (2002) 利用樂高在生物化學習者的應用，利用 LEGO 積木建構 RNA 之教育活動。

Ruston Erik Ryan Emily & Swift Charles (2001) 學習者利用 LEGO 建構觀測氣象裝置之教學。

綜觀以上研究實證以及教學應用發現，LEGO 不只可以提高學習者學習動機以及學習成效，亦可以透過 LEGO 作為基礎科學學習之應

用，例如數學、生物等。本研究基於國小自然與生活科技槓桿原理需要實驗活動，且能提高學習動機可排除一些非實驗所能控制變項，故以 LEGO 為教學輔具當本研究實驗環境。