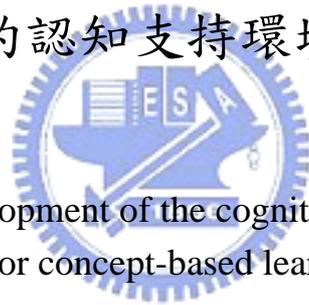


國立交通大學

理學院碩士專班網路學習組

碩士論文

概念學習的認知支持環境設計和發展



The design and development of the cognition support environments
for concept-based learning

研究生：魏金財

指導教授：蔡文能教授

中華民國九十四年三月

概念學習的認知支持環境設計和發展

The design and development of the cognition support environments
for concept-based learning

研究生：魏金財

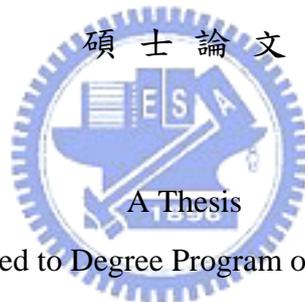
Student : Chin-Tsai Wei

指導教授：蔡文能

Advisor : Wen-Nung Tsai

國立交通大學

理學院碩士專班網路學習組



Submitted to Degree Program of E-Learning

College of Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Degree Program of E-Learning

March 2005

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年三月

概念學習的認知支持環境設計與發展

研究生：魏金財

指導教授：蔡文能教授

國立交通大學理學院碩士專班網路學習組

摘 要

本研究的目的是創設和提出一種有效的概念學習認知支持環境，以解決學習者在概念學習上既有概念、教學過分簡單化、課程設計偏重低層次的認知，以及學習環境上的認知情境不佳、認知工具不足、鷹架支撐不利和學習歷程不完備等因素問題。基於此，本研究從認知科學和建構主義的觀點，提出了認知支持環境研究架構的三個支柱觀點：知識和學習者中心的「整合性」觀點、網路和課堂學習的「共構性」觀點、認知工具和鷹架的「輻輳性」觀點，以及設計和發展的三個層次綱領：以概念、思維和認知的整體觀，進行整體的概念課程設計；以概念體系的學習與理解，進行核心概念的教學計畫；及以概念學習與改變的認知過程，進行概念形成的認知安排。並經此規劃出以「核心概念」為中心，架構覺察、發現、建構和應用的學習環(learning cycle)，設計出引發動機、真實性模擬、視覺化、認知生成、創設實例、多重表徵、多重聯結、即時迴饋和互動學習等情境及鷹架支持。而後依此理念、設計方法和發展架構，完成了「對稱概念」認知支持環境的個案設計，並發展出具真實性(authentic)、致能性(enabling)、創造性、支持性，和可動手做(hands on)、動腦想(minds on) 等四十餘種 Java applet，構成認知支持學習環境。

關鍵詞：概念學習、認知支持、認知工具、核心概念、共構學習環境



The design and development of the cognition support environments for concept-based learning

Student : Chin-Tsai Wei

Advisor : Dr. Wen-Nung Tsai

Degree Program of E-Learning
College of Science
National Chiao Tung University



The purpose of this research is to design and develop an effective concept-based learning cognition supporting environment. This approach can be use to resolve many problems in classic learning and teaching, such as the learner's preconception, the instructional oversimplification, and the inclination towards low-level cognition in curriculum designing. It can also ameliorate the learning environment that previously showed poor cognition conditions, insufficient cognition tools, unsteady strutted scaffold, and incomplete learning process.

Due to this, we brought up three main viewpoints of concept-based learning cognition supporting environment according to the concepts of cognitive science and constructivism: the "Integration" of knowledge and center of the learner; the "Co-construction" of www-based learning and traditional class learning; and the "Spoke-convergence" of cognition tools and the scaffolding. We also designed and developed a three-leveled guiding principle: First, formulate an integral concept-curriculum design with the overall view of construct, thought and cognition. Second, execute the core-concept instruction plan with learning and comprehension of

a concept system. Last, make a concept-formed cognition arrangement with the cognition process of concept learning and modification.

From these viewpoints and principles, with the “core concept” as the center, we established a learning cycle that facilitates awareness, construction, discovery, and application. We also designed a scaffold supported learning environment that contains authentic simulation, cognition generative, establishment example, multiple representation, multiple connection, immediate feedback, and interacting learning. According to these designing methods and developing constructions, we accomplished the “symmetric concept” cognition supporting environment document design. We also developed more than 40 Java applets to build the cognition support-learning environment. These include authentic applets, enabling applets, creative applets, scaffolding applets, hands on applets, and as well as minds on applets.

Key word: concept-based learning, cognition support, cognition tool, core concept, co-constructs environment.



誌謝

沒想到在「知天命」之年，上天還送我一份禮物。這份禮物會是一個階段終點的獎賞，還是另一個階段起點的派令？或許到「耳順」、「隨心所欲不逾矩」之年再回頭來看時，它可能既不是起點也不是終點，而仍只是一份禮物。對於這個禮物的到來，既有點欣喜也有點悵惘。欣喜的是跨入了更深、更廣的 E-learning 領域，悵惘的是不知要何時才能將它實現於課堂之中？

一年多來，非常感謝我的指導教授——資工系蔡文能教授，在每個星期一對一的討論中，給我很多的啟發和指導，以及在論文與研究上鉅細不遺、一一悉心的解惑。對同時具有學生和教師身份的我，一方面從他那感受到做為學生時的一種幸福感；一方面也啟示身為教師的我，必須躬身力行讓學生也充分感受到學習的富足感以及浸入於其中的喜悅感。經師、人師在他的身上洋溢散發，但願離開交大後仍常有機會回來領受他的教誨，以及重溫他予人學習的幸福與愉悅感。

在此，也特別感交大教研所蔡今中教授、應數所陳福祥教授、專班莊祚敏主任以及花蓮師院數理系袁媛教授，在擔任口試委員時對我論文的指正以及提供寶貴的意見。其中袁教授和陳教授通篇逐字的修正，句句中肯、字字斟酌，讓我在修改論文的過程中也獲益甚多。

這篇論文用整體系統的思維去思考概念學習的問題，一方面緣由自己生物科學領域背景的見解，一方面緣由於在教師研習會前後十幾年研究的主軸——概念學習與概念改變的研究，以及在這環境中接觸到自然科學、數學、語文課程中的一種體悟——孩子不會因為在不同的課堂，使用不同的大腦，概念是其最好的歸宿。這種體悟要感謝柯啟瑤先生給我一個學習的機會，進入了台灣省國民學校教師研習會參與課程的研究。而在這十五年當中，特別要感謝國語組召集人吳敏而博士給我自由研究的空間和在研究方法上的指導與協助，以及在認知心理學上的啟蒙。也非常感謝市立師院幸曼玲博士回國的第一年，在每天搭她的便車中享受國外最新認知科學發展的資訊，以及在談論中讓我更深刻的認識到認知心理學的內涵。同時也要感謝柯華葳博士在擔任研究室主任時，給我很多研究上的協助和精神上的鼓舞。以及台北大學吳璧純博士在擔任自然科小組召集人時，給我很多機會討論科學教育上的問題。而在參與國語科課程研究上也要感謝吳敏而博士、童詩作家林武憲老師、花蓮師院許學仁教授、東華大學劉漢初教授和研究小組同仁，讓我浸潤於語文教育的薰陶中，獲得了對整體學習更深的瞭解和體悟。至於在數學領域上，也要感謝數學研究小組台大教授黃敏晃教授、朱健正教授、政大蔣志邦教授，以及甯自強教授等，在我研究數學概念學習問題的探討上，給予諸

多討論的機會和建議。還有要感謝師範大學邱貴發教授在我早期發展電腦輔助學習相關研究時，給予我很多的有關認知方面的概念；以及林清山教授、盧欽銘教授在實驗設計與統計方法上的概念。謝謝他們給我成長和學習的機會，讓我奠下很好的研究基礎，也感謝他們在我過去二十幾年漫漫的研究路程上給予很多的支持和鼓勵。

最後，我應特別感謝家人以及對他們致上深深的歉意。感謝內人碧貝小姐在教職和行政工作繁重之時，還時時要兼顧家中大大小小的家事，擔負起孝敬父母和綜理兩個孩子生活與學習的重責，讓我可埋醉於研究的工作。而深深感到愧疚的是因為投入研究太多的時間而疏忽了先父的健康問題，以致造成終身的遺憾和悔恨；以及忽略了對錚劭和君穎兩位兒女在生活與課業上的照護。願先父在天之靈能原諒我的不孝，也希望今後有更多的時間與他們進行互動。



目 錄

中文摘要	I
英文摘要	III
誌謝	V
目錄	VII
圖目錄	IX
表目錄	XI
第一章 緒論	1~8
1.1 研究動機和背景	1
1.2 研究問題與目的	5
1.3 研究理念和架構	6
1.4 論文內容與組織	7
第二章 文獻探討	9~26
前言	9
2.1 概念、想法、基模和架構的區別	9
2.2 概念學習的過程和理論派別	12
2.3 概念學習的教學和課程設計	16
2.4 概念學習和概念建構的認知支持類型	17
2.4.1 成人和同儕的支持	18
2.4.2 認知和學習工具的支持	18
2.4.3 多重感知的情境支持	21
2.4.4 網路環境的情境支持	22
2.5 結語	25
第三章 認知支持學習環境設計的理論基礎	27~42
前言	27
3.1 基於腦的學習理論	28
3.2 記憶和編碼的表徵理論	30
3.3 學習生成理論	33
3.4 認知靈活性理論	36
3.5 貫一設計的理論	39
3.6 結語	40
第四章 概念學習認知支持環境設計的方法和架構	43~53
前言	43

4.1 整體貫一設計的觀點和方法	43
4.2 設計過程和步驟	47
4.2.1 整體課程的結構和項目分析	48
4.2.2 核心概念的內涵和結構分析	48
4.2.3 概念學習環與學習活動設計	49
4.2.4 認知支持工具和鷹架的設計	51
4.3 結語	52
第五章 個案設計和實作：以對稱概念為例	55~82
5.1 對稱概念的相關內涵和架構	55
5.2 對稱概念的學習問題分析	58
5.3 對稱概念的學習診斷和解決策略	60
5.4 對稱概念的認知支持情境設計	62
5.4.1 動機引發的認知支持情境設計	64
5.4.2 真實模擬情境的認知支持情境設計	66
5.4.3 自創實例的認知支持情境設計	68
5.4.4 多重表徵的認知支持情境設計	70
5.4.5 多重聯結的認知支持情境設計	72
5.4.6 概念遷移和應用的認知支持情境設計	74
5.5 對稱概念的認知支持設計與理論關聯應用	76
5.6 對稱概念的課程與教學實施	79
第六章 討論與結論	83~92
6.1 討論	83
6.2 結論	88
6.3 未來發展	90
參考文獻	93
附錄	103~121
附錄一	105
附錄二	111

圖目錄

圖 1	概念學習認知支持環境的理念架構體系	6
圖 2	概念學習認知支持環境設計與發展的研究架構	7
圖 3	論文內容和組織	8
圖 4	Paivio 的雙重編碼模型	30
圖 5	Snodgrass 的共同編碼模型	31
圖 6	Tulving 的三種記憶系統	32
圖 7	Wittrock 的學習生成模型	34
圖 8	Spiro 的初級學習與高級學習	37
圖 9	Spiro 的隨機通達教學	38
圖 10	概念與認知的整體觀	44
圖 11	概念體系的學習與理解	45
圖 12	概念學習與改變的認知過程	47
圖 13	概念學習環境總體課程設計	48
圖 14	核心概念與主題的關係	49
圖 15	概念學習環設計	50
圖 16	工具與鷹架的認知支持	52
圖 17	對稱概念的內涵架構	56
圖 18	對稱概念的相關結構	58
圖 19	對稱概念的課程設計架構	62
圖 20	概念學習的認知情境布置	63
圖 21	不同學習支持的 Java applet 工具	63
圖 22	引發學習動機的情境	65
圖 23	引發學習動機的情境示例	66
圖 24	真實性的模擬情境	67
圖 25	真實性的模擬情境示例	67
圖 26	自由創作實例的情境	68
圖 27	自由創作實例的情境示例	69
圖 28	多重表徵的情境	70
圖 29	多重表徵的情境示例	71
圖 30	多重聯結的情境	72
圖 31	多重聯結的情境示例	73
圖 32	概念遷移和應用的情境	74

圖 33	概念遷移和應用的情境示例	75
圖 34	認知支持設計與基於腦有意義學習的設計示例	76
圖 35	認知支持設計與學習環的設計示例	77
圖 36	認知支持設計與編碼表徵的設計示例	78
圖 37	對稱概念的課程實施	79
圖 38	對稱概念的交織輻轉學習模式	80
圖 39	對稱概念學習網頁	81
圖 40	對稱概念課程的學習模組	82



表目錄

表一 對稱概念的學習問題和問題診斷以及解決策略分析一覽表 61





第一章 緒論

1.1 研究動機和背景

概念是儲存在記憶體中的知識單元以及命題的組成部分，是人們認知事物本質時的一種思維型式，人們經由感知的材料中經過識別、比較、分析、綜合、抽象和概括等過程而抽取出一類事物的一般本質，並用「語詞」來加以表徵，也用它做為溝通的工具。由於概念學習是認知學習過程中一個極為重要的一部份，故也成為認知心理學研究中的一個重要課題和關注的焦點，例如皮亞傑(Piaget, 1954)、布魯納(Bruner, 1956)和維果茨基(Vygotsky, 1962)都曾深入的研究兒童概念的發展和概念形成的過程。而 Novak (1979)也指出「概念」主宰了我們對世界上所有事務的看法及對其意義的解釋，它幾乎可說是學校教育內涵的全部。

概念形成是概念學習歷程中非常重要的一部份，也是思維過程中最複雜的部份。維果茨基(Vygotsky, 1962)曾提過：「瞭解概念形成的過程，即可把握住兒童認知與思維的過程。」又概念形成的核心是理解，而理解是一種心理結構的構造過程，因此概念的改變即是一種建構的結果，換言之，概念就是理解狀態的某種心理表徵，而這個結果又影響下一次的 concept 形成，構成了一個所謂的理解循環。基於思維是以概念、意象和命題為形式儲存的訊息操作，而思維又是智慧技能的核心，因此概念學習(concept learning)可說是智慧技能獲得的重要過程(Gagné, 1985, 1988)。

概念既主宰了我們對世界上所有事務的看法及對其意義的解釋，而概念學習又是認知與思維的重要過程，但學生在概念學習上的效果卻不令人滿意。其問題緣由可綜合如下幾個原因：

首先是學習者既有經驗的問題。學習者已有的概念來自於日常生活經驗或以前的學習課程，主要來源是對現象的感覺體驗、日常語言、大眾媒體和家庭情景中的對話，是基於直覺體驗的一種概念。這些既有概念有時可幫助學習者進行概念的學習，有時則對學習者的概念學習造成不利的干擾。學習者在概念學習上的

問題及其概念發展，經過三十餘年許多研究者在各領域學門上的研究，其中有關科學概念領域中的研究在十年前就已有 1100 例之多(Duit, R., 1991)。這些研究主要在科學和數學內容上調查學生的概念，例如先備概念(preconception)、另有概念(alternative conception)、錯誤概念(misconception)等，且也有豐富的成果，同時研究者也做了許多有關概念學習上的問題描述和闡釋(郭重吉, 民 90; Alparslan, Tekkaya, & Geban, 2003; BouJaoude, 1991; Guzzetti et al., 1993; Hills, 1989; Pfundt & Duit, 1991; Pines & West, 1986; Posner, 1982; Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994)。

其次是教學過份簡單化(oversimplification)的問題。根據 Spiro 等人(1988)之認知靈活理論觀點，他們認為許多教學系統的失敗有著共同的原因，主要是源於教學設計中的根本性偏見和假設，脫離了現實的複雜性。這些偏見包括首先是過份簡化傾向，包含加法傾向(additivity bias)、離散性傾向(discreteness bias)和分割性傾向(compartmentalization bias)。加法傾向指即將複雜內容的各個部分單獨學習，當各個部分合併回去成為一個整體時，它們還會保留原來的特點；離散性傾向指將連續性的屬性極點化，連續性的過程被分割為具體的步驟；分割性傾向是指孤立的去對待現實中高度相依賴的知識和概念要素。其次是這些過份簡單化傾向所產生的可能性疊加效果，導致大範圍或長期性的錯誤概念。再則是過份簡單化影響了心理表徵的認知策略和教學方法，以及學習過程中的所有因素。這些問題需要透過審視知識的複雜性和弱結構知識領域的高級學習方式，才能有效解決學習的失敗問題。

最後是概念課程的設計問題。根據 Erickson(2002)的看法，她認為概念學習的問題出在深層理解的問題，其主因就在課程設計的問題上。傳統以主題為主的課程設計，主要以主題和相關事實為中心，偏重於低層次的認知，一百多年來一直推動的課程設計，其目標只是展示對主題的理解，這種課程設計在學生行為表現上並無多大的益處。再加上在教學實施上，假定教師會明白且能夠從主題中歸納出主要的概念性理解（原則和基本理解），所以並沒有要求教師具備超越事實的教學思維技能（但事實上這種情況通常是不存在的），因此教學活動和評量仍側重在學習、記憶主題中所涵蓋的知識點，並未達到深層的理解。

上述有關概念學習的問題，分別是在學習者、教學和課程三個向度上。就學習者的學習問題，目前主要採取的方案主要在引發不一致、衝突、矛盾、有待解決的問題等建構活動上，簡而言之就是皮亞傑的認知衝突(disequilibria)模式、布魯納的擾動(perturbations)，以及各種概念層次發展的應用(Tall, 2003)。就教學與學習的角度，Spiro(1988)認為需區分高級學習和初級學習的不同，以及通過隨機

通達教學(random access instruction)的模式來設計；Spector 和 Davidse (2000)認為可以以模組推進學習(model facilitated learning)來設計。就課程和教學設計的角度，Erickson (2002)建議可以以概念為基礎的課程和教學(concept-based curriculum and instruction)設計方案來解決；Wiggins 和 McTighe (1998)認為可以用理解力培養(understanding by design)的課程來協助教學和評量。這些不同的方案各有其理論基礎，也各有其研究方法和使用技術。然而從整體學習環境系統的角度來看，這些因素對學習者而言，都有著共同的影響性彼此是不能個別區分開來，也不能單獨規劃設計，必須以整體系統的觀點整合在一起，才能有效幫助學習者的概念學習。基於這種觀點 Hannafin 等人(1997) 提出了貫一學習環境(grounded learning environment)的觀點和貫一設計(grounded design)的方法，他們認為我們要發展一個更原則性的方法來連接教學、學習和科技，並強調貫一設計所考慮的就是理論與設計的內在一致性，而不是哪個理論優劣的問題。

過去三十年中有關學習的研究主要來自於大腦認知科學的研究和建構主義的觀點，一些新的學習概念，如：有效學習的觀念既需持久性的保存也需具備學習遷移的效果、教學重心從勤奮練習轉向學習者的理解和對知識的應用、強調理解性的學習、學習者自我監控的重要性、關注認知的過程、認為人們是基於自己過去既有的知識去建構和理解新知識、希望學習者成為主動的學習者和探究者等(Bransford, John D., et al.,1999)。基於這些學習觀點的變遷也產生了一些新的學習模式和新的學習環境，如問題解決的學習(problem-based learning)(Savery & Duffy, 1996)、專題學習(project-based learning)(Blumenfeld et al., 1991)、目標情節式(goal-based scenarios)(Schank,1992)、錨定式(anchoring learning)(Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1992)、認知學徒制(cognitive apprenticeship)(Collins, Brown, & Newman, 1989)、合作式學習(cooperative learning)(Brown & Palincsar, 1989)、開放學習環境(open-ended learning environment)(Hannafin, Land, & Oliver, 1999)、建構學習環境(constructivist learning)(Jonassen, 1999)等，這些模式有些是協助學習者的概念學習，有些是技能學習，也有綜合概念和技能的學習。又基於大腦認知科學的研究和建構主義的觀點，以及目前學習者所處的學習環境已是非線性、超文本、超聯結的，不僅資源豐富、形式不同，而且互動性、多元性、複雜性都很高，再加上科技發達快速變化所帶來的機會和可能，可在設計上因應學習者需求和學習目標的選擇也愈多。而以「學為中心」的環境設計觀也大大的改變，他們除了強調教學設計應轉向為「學習環境設計(learning environment design)」，同時也強調學習環境應是真實性(authentic)與互動式的學習情境(Jonasson & Land, 2000)。

學習環境是經由一系列的規劃而設計形成的，因此，學習環境的設計就意謂著人們需要重新思考教什麼、怎麼教、如何評量。從學習的角度而言，則意謂著需要重新思考學什麼、怎麼學、在什麼情境下學、用什麼方式來學、如何迴饋等。依此觀點，學習環境包含了課程設計、學習目標、學習資源、學習者、教學者、學習活動、媒介、工具和鷹架支持、評量活動等。根據Cognition and Technology Group at Vanderbilt (引自Bransford, John D., et al., 1999)的觀點，他們認為學習環境的設計可從四個視角來探索：學習者中心(learner centered)、知識中心(knowledge centered)、評量中心、(assessment centered)和共同體中心(community centered)，且這四個視角相互聯結、相互支持，形成一個整體概念(Brown & Campione, 1996)。然而各種不同學習環境的形式雖有不同，但至少要包括致能情境(enabling context)、資源(resource)、工具(tools)、鷹架(scaffolds) 等四個要素(Hannafin, Land, & Oliver, 1999)。

學習環境的創設自新科技的不斷發展以後，增進了很多可能的新機會，換言之，新科技產生了新的表徵方式，創造了一個新機會和新環境。又新科技的一些特點與新學習科學的原理相當一致，因此，要創設一種能讓學習者在做中學，能夠即時得到迴饋以及不斷提煉個人理解的學習環境就變得較為容易。科技幫助人們把一些難以理解的概念直觀化，學習者能夠使用類似於學校之外環境中的一些可視化工具或建模軟體來提高其概念的理解，並使得從學校裡學得的知識更易遷移到校外的生活情境中。而新的科技也提供了很多的科技可用以做為支持學習者的學習工具，如：過程(processing)工具、組織(organization)工具、生成(generation)工具、溝通(communication)工具。這些工具具有的鷹架支持功能包括：概念的鷹架(conceptual scaffolds)、後設認知的鷹架(metacognitive scaffolds)、程序性的鷹架(procedural scaffolds)、策略性的鷹架(strategic scaffolds) (Hannafin, Land, & Oliver, 1999)，這些功能對學習者的概念發展或技能發展都有極大的助益。然而縱使新的科技對創設新的學習環境提供了很多的機會和選擇，但相信單一的一種方法就可解決學習者遭遇的問題和困難，也隱埋著學習環境所產生的另一個學習危機，畢竟學習是一件複雜的過程，而學習者也不是只有一種認知型式。當一種工具對一類的學習者有效時，它可能卻帶給另一類學習者不當的影響，正如 Russell(1997)所言：「當把所有學生都推到一起時，那些從科技中受益的人數與從科技中受害的人數大概相當。」因此，應用科技做為學習輔助或支持工具時，仍須考慮工具只是媒介的一種，有效的認知工具必須結合整體學習環境的各項相關要素，才能發揮真正的效能。

1.2 研究問題與目的

基於學生不是空著腦袋進入教室，會將生活經驗中所形成的觀念帶入到學校，並對課堂上呈現的現象、概念、規則有所解釋。因此，一些以建構主義觀的人們就建議要重視一些研究活動，以幫助學習者有更好的概念學習環境。其中包括：開發新的內容結構避免困難或降低困難、開發新（建構主義）的教學策略、開發新的教與學媒體（如電腦模擬等）、開發後設認知策略和給老師傳授建構主義的觀點等(Duit, 1991)。然而從概念的學習研究和教學的改善方案研究中，我們也發現：「相隔一二十年前、後不同的學習者，在相同的概念上仍呈現出同樣的錯誤概念類型」，例如，比例概念(林福來, 民 76; 馬秀蘭, 民 92; 魏金財, 民 76)、對稱概念(左台益, 民 93; 陳天宏, 民 92; 魏金財, 民 79a, 80)。這反映出傳統課堂的學習環境和後來改進的教學方案，對協助學習者的認知發展和改善支持學習者的概念學習是有限的。此也顯示大量豐碩的研究成果，若不能轉化成有效的教學設計，創設出有利的學習環境，其對學習者的學習而言仍是助益甚微的。

又一般課程大都以主題設計之方式偏重低層次的認知，而教學又過度簡化使概念學習的結果無法遷移至複雜的真實情境中。凡此影響課堂學習活動和教學方案中有關概念學習所欠缺的一些要素，是否可透過資訊科技與多媒體技術的發展所帶來的一些機會和可能，創設出更多的學習機會和更有效的學習環境，以支持學習者的概念形成和概念理解。其中是否能輔助傳統課堂學習環境的不足；或獨自形成網路學習環境中的一套學習課程(course)；抑或課堂和網路交互支持共構成新的學習課程，使得學習者在概念上的學習更為有效？而有效的學習環境可根據哪些認知學習理論為基礎，以哪些設計觀點來建立其系統？又這種環境需具備怎樣的機能，以何種類型的鷹架(scaffolding)才能提供適切的輔助和支持效果？這些輔助工具和支持鷹架需架構在怎樣的學習活動中，學習者才能達到最佳的學習效果？而個別概念和其概念架構的認知支持學習環境如何開發？此乃為本研究所欲探討的問題，也是本研究探討的目的所在。基於此，本研究的目的是如下：

1. 探討概念學習認知支持環境的設計方法和發展架構；
2. 探討概念學習環境中的認知支持類型和鷹架功能；
3. 發展概念學習認知支持環境的學習模式；
4. 設計概念學習的認知支持情境和認知支持工具；
5. 實作開發出對稱概念學習環境中的各種認知支持工具和鷹架。

1.3 研究理念與架構

有效的概念學習需要有效的學習環境來支持，而學習環境的設計是否切合學習者的概念學習需要，又端賴於一套整體的計畫和構思。上述討論了有關概念學習的問題與重要性，學習環境設計需要一致性的統合觀點，以及認知工具和認知鷹架的多種功能，這都是整體構思時的重要內涵和項目。然而，這其中若能再考慮到網路學習和課堂學習兩種形式的結合，則這套整體構思將更為完備。依此，本研究提出了「概念學習的認知支持環境設計理念」，其關係和整體架構如圖 1 所示。「概念學習的認知支持環境」是以三個支柱來建立認知支持環境平台，再透過這個平台來進行概念形成、概念達成和概念遷移，進而達成有效的概念學習。

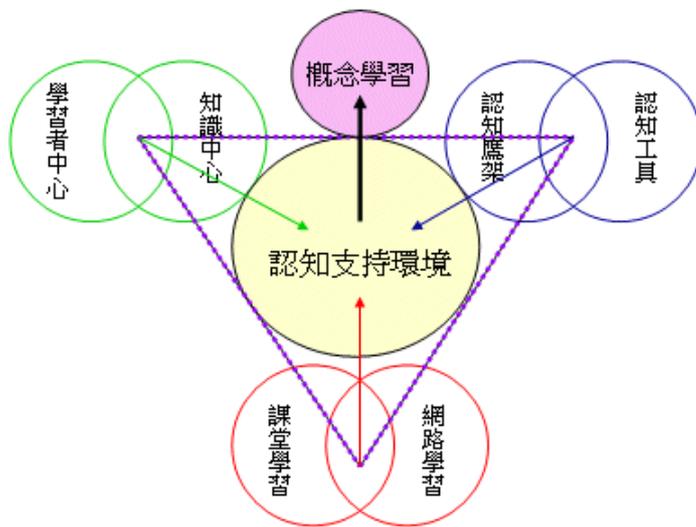


圖 1 概念學習認知支持環境的理念架構體系

圖 1 所顯示的概念學習環境設計整體結構系統中，第一個支柱是以知識和學習者中心的「整合性」觀點，此觀點旨在綜觀周延，能兼顧到學習者擁有知識的良好結構性和學習者自主學習與建構的機會，並避免偏執一種觀點所產生的疏漏。第二個支柱是網路和課堂學習的「共構性」觀點，意在兼顧到兩種學習形式或環境中的特有功能互享其優點並互補其缺點，以避免不必要的功能替代性而發生效能的遞降現象。第三個支柱是認知工具和鷹架的「輻輳性」觀點，則是藉由各種工具的輻輳效應交織生成加乘放大的效果，並避免工具形式大於支持功能而產生假性的支撐。以此設計觀點所設計的學習環境，是希望藉由支持環境的給養 (affordance)，將概念學習所需的觀念、知識、技能、情境，和探索工具、認知工具安置於一種可動手做、有迴饋和可理解的學習狀態，使得學習者可以浸潤

(orchestrated)其中，並在放鬆的警覺(relaxed alertness)下，進行積極加工(active processing)而達到有效的學習(Caine & Caine, 1990, 1994)。

概念學習的認知支持環境設計理念轉化成設計與發展的參考架構時（如圖2），是以「核心概念」的理解學習為中心，基於學習理論的觀點，安排在覺察、發現、建構和應用的學習環(learning cycle)中，並在這學習環中配合概念內涵和內容，提供適當的認知工具形成鷹架支持。而設計過程則是一種診斷模式，從分析學習者概念學習的問題、診斷出認知之所困、尋求可用的資源、改進或創設開發新資源，並依此設計出各種支持工具，而後重新檢討學習目標、重新組構學習內涵、重新安排學習活動或流程，最後再經教學設計整合成概念學習課程。在實施上，則是考慮課堂和網路學習環境兩種形式的個別性和共構性，而認知支持工具則輻轉交織於這兩種學習環境中，形成不同功能性的支持。

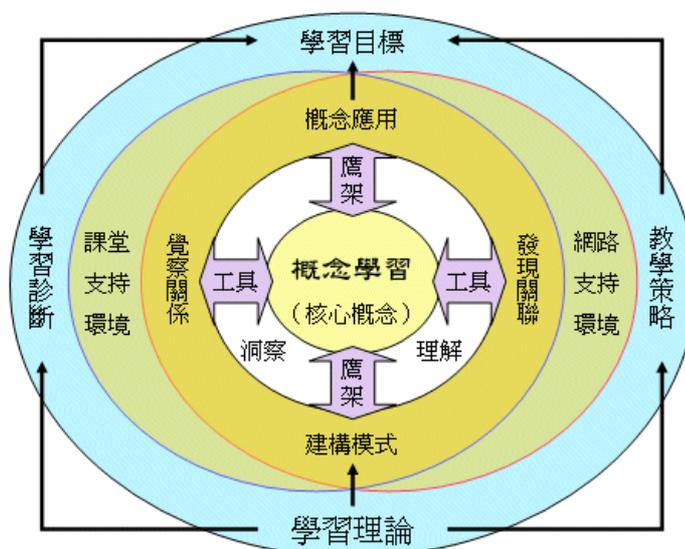


圖 2 概念學習認知支持環境設計與發展的研究架構

1.4 論文內容和組織

基於前述研究問題、研究目的、研究理念和架構，本研究的內容共分六章、二十四節、十四小節。從概念學習的重要性，探討概念的定義、概念學習的理論、概念學習的課程和教學模式和概念學習的問題。基於概念學習的問題，從而探討概念學習的環境設計問題，以及根據認知學習理論和建構主義的觀點，探討認知支持環境中的情境布置與支持鷹架功能的設計架構。而後從上述的探討中，建立概念學習認知支持環境設計的方法和架構。且依據上述理念、方法和架構以對稱

概念為例，實作設計出認知支持環境的工具和鷹架類型，並說明每個認知支持情境的設計觀點、設計的認知支持工具、鷹架功能及做案例的介紹，同時提出課程與教學實施的模式。最後做出討論和建議。

在組織結構上：第一章緒論，包含：研究動機和背景、研究問題與目的、研究理念和架構及論文內容與組織等四節。第二章文獻探討，包含：概念想法基模和架構的區別、概念學習的過程和理論派別、概念學習的教學和課程設計及概念學習和概念建構的認知支持類型等四節。第三章認知支持學習環境的設計理論基礎，包含：基於腦的學習理論、記憶和編碼的表徵理論、學習生成理論、認知靈活性理論及貫一設計的理論等五節。第四章概念學習認知支持環境設計的方法和架構，包含：整體貫一設計的觀點和方法及設計過程和步驟等二節，其中第二節又分：整體課程的結構和項目分析、核心概念的內涵和結構分析、概念學習環與學習活動設計、認知支持工具和鷹架的設計等四小節。第五章個案設計和實作：以對稱概念為例，包含：對稱概念的相關內涵和架構、對稱概念的學習問題分析、對稱概念的學習診斷和解決策略、對稱概念的認知支持情境設計、對稱概念的認知支持設計與理論關聯及對稱概念的課程和教學實施等六節。第六章討論與結論，包含：討論、結論及未來發展等三節（如圖 3）。最後為參考文獻。

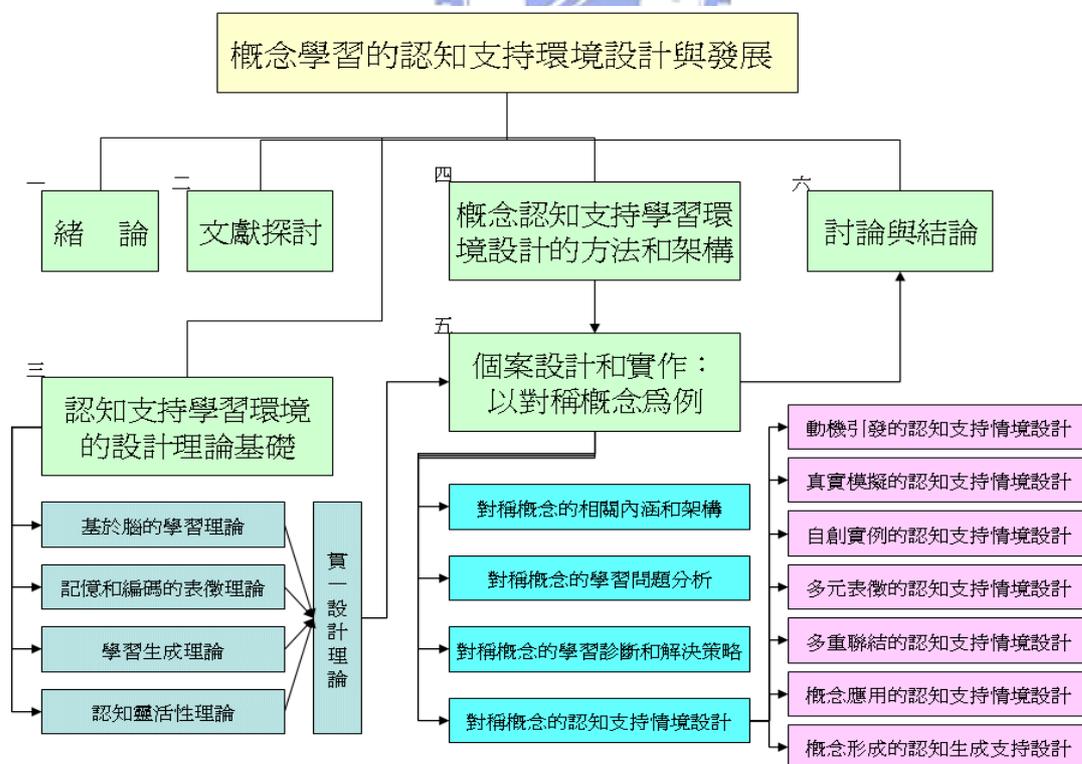


圖 3 論文內容和組織

第二章 文獻探討

概念是我們人類藉以思考的工具，它可以將生活、經驗及學習上所接觸的人、事、物加以分辨和歸類，以使人類在處理事物上時更加迅速且確實。人們利用符號、概念進行思維，因此，形成概念和使用概念也就成為人的一個重要特點，若沒有形成概念和使用概念的能力，那麼智力就會停滯不展。而就認知發展而言，在個體的成長的過程中，個體會依據他們原先所持有的信念，找出這些概念的相關性與階層性，將它們予以組織，並形成一個複雜的概念架構。就學習而言，當個體在做現象觀察、解釋時，他們就會利用已具有的概念架構來解釋各種現象，同時在新概念不斷的加入下，使這個架構更為完備。當某個概念與愈來愈多的概念形成聯結時，這就會形成一個有意義的命題，於是概念便開始在意義中成長。當成份概念獲得意義時，命題亦獲得意義。

概念和認知有著密切的關係，皮亞傑即提到：人們通過框架(frame)或概念架構(architecture)以幫助自己瞭解世界(Piaget,1954)。儘管每個人的建構的架構不盡相同，但我們可以向學習者提供一些基本結構來幫助他們形成自己的架構。Taba(1962)也提出：在概念形成的過程中，當自己的現有概念與新的經歷發生相互作用時，人們會重新組合現有的概念。Schunk(2000)認為大量的學習都涉及概念，而 Novak(1979)也認為概念主宰了我們對世界上所有事務的看法及對其意義的解釋，它幾乎可說是學校教育內涵的全部。Bransford 等人(1999)在新的學習概念中所提出的關鍵結論中也指出：「如果學習者具備概念性知識，他們就更容易進行獨立性的學習。又從對兒童在概念形成和概念發展的研究也顯示，概念性知識對學習者在問題的心理表徵方面也有其作用，如問題間的異同、對問題整體結構的組成部分間之整體與部分關係的理解。」

2.1 概念、想法、基模和架構的區別

「概念」一詞，由於許多研究者基於不同研究的取向和理念，因此也就有許多不同的定義。例如：布魯納(Bruner, 1956)等人給出一個行為操作定義：「概

念就是分類，分類就是使可辨別的不同事物成為相同的，即把我們周圍的物體、事件和人分為類，並根據它們類別成員性質而不是它們的獨特性對它們做出反應。」布爾納(Bourne, 1996)給概念下了一個特徵定義：「只要兩個或兩個以上可辨別的物體，根據共同的特徵或特有的性質被歸為一類，並與其他物體相區隔，這就是概念。」其他如：概念是人類把個人的經驗加以歸納整理，透過歸納整理建立起來的範疇或類目(Rosch, 1981)；概念是對類別的心理構想或表徵(Howard, 1987)；概念是心象、觀念和過程(Solso, 1988)；概念是幫助人們把事物劃分成不同的種類，這種對訊息的分類使人能夠記憶和學到訊息(Smith, 1989)；概念是事件或物件的規則，或是事件及物件的一項記錄，由兩個或更多的概念聯結形成一個命題或敘述(Novak & Gowin, 1984; Novak, 1991)；概念指的是具有共同特徵(關鍵屬性)的物體、符號或事件的標記系統，可以是具體事物，也可包括抽象的概念(Schunk, 2000)；概念是將物體、人物、事件或觀念在人腦中加以抽象或歸類(Sternberg & Williams, 2002)。從上述這些觀點，可以概括「概念」的一些特徵，包括：是某種知識結構中的基本元素、以符號或文字來標記並賦予意義，是一種想法或一個意見、經由通則化所組成的心智圖像。由於事物、事件會不斷的變動，而學習者的認知思維能力也會不斷增長，因此概念也是具有靈活性的，它的內涵和外延會隨著學習者的認知發展和概念發展而發生深化、廣化、組織化和抽象化，故不能把它當成僅僅是一個名詞來看待。正如 Vygotsky (1962)所言：「概念形成的過程始終具有生產性，而沒有復現性，概念是在解決某個任務的智力活動的過程中產生和形成，單單以外部條件機械的確立語詞與物品間的關係是不足以產生概念的。」

概念的種類一般有兩種分類方式：一種分類方式是分成人工概念、自然概念兩類。人工概念一般用於實驗室，在很多方面上與我們在日常生活中獲得的自然概念有所不同，它可以精確的加以規定、定義明確、界限分明，例如一些幾何圖形的三角形、四邊形等；相對的自然概念的範圍可從具體到抽象、從簡單到複雜、從語言概念到非語言概念，非常廣泛，它往往是由一組開放性特徵所析取的值來決定，而類別特徵中也不是所有的特徵都具有同等的份量，且在選擇分類的特徵有時仍須取決於語境。所以在日常生活概念的鑑別上往往是直覺、隱含和非分析的，而不是從屬於某個類的已知實例中有多少個共同點推論出來，例如青菜、水果、遊戲、自由、民主等。相對於人工概念的定義明確、界限清楚、非此即彼、可正規講授，自然概念的定義就顯得較不明確、邊界模糊、分類標準可變、沒有決定性的定義特徵、從典型到非典型有梯度、不正規或自然習得。另一種分類是分成具體概念和定義性概念，具體概念是指識別一類群類或專案的一個或更多個

的實例；定義性概念則是指將許多物體或事件分類的規則。

概念既隨者主客觀因素而變動，也涵蓋了概念體系的廣度和深度結構(上位概念、下位概念、平行概念)，且在概念形成的過程中會發生概念架構的型式變化，因此與「概念(concept)」相關的家族概念包括了：想法(conception)、基模(schema)、模式(model)、框架(frame)及架構(architecture)。「概念」和「想法」在單獨的意義上其意涵略有出入，對於大部份的研究者而言，「概念」是指一個較小的單元，而「想法」則是指單元的組成或是小單元的相互關係。由於研究的需要，研究者為了闡明其研究的目的，如Duit和Treagust(1995)認為「概念」是指一些已明確定義或廣泛已為大眾所接受的觀念；而「想法」則是指一個獨特的心智表徵特質(idiosyncratic mental representation)。Metioui等人(1996)亦有相同的看法，他們認為「想法」意謂著學習者用來表達現象的基模的形式和心智模式；郭重吉(2001)則將想法定義為：對事物整體的認識或觀感，涉及對於許多概念相互關係的認識。至於「基模、模式、架構」其所涵蓋的範圍就更大。「基模」可以假定是人類將不管是事實性或程序性的全部知識以其為實體而儲存於心理系統中的東西(Case, 1978)，如：腳本基模、場景基模、角色基模和故事基模等；而認知心理學也相信訊息是用基模的形式組織起來的(Sherry & Billig, 2000)。又基模在Runmelhart(1980)的經典解釋是語義網路中的活化部分；「語義網路」是認知心理學家的一種比喻說法，它描述有關人類知識如何存取於記憶，因此，基模總是具有代表性的、永遠可修改的單元，是在表示活動、操作或概念的特殊範圍內的一個有意義結構。在個人的語義結構中，包含了他的世界知識，以及專業知識和生活知識的連結。由於研究上需細微的區分概念家族中的相關概念，但在學習上，因概念學習是一個動態變化的歷程，其中有關概念、想法、基模、架構常交織在一起成為一個複合體，不易切割來談論，因此在討論上一般常以「概念」來統稱或代稱此複合體。

在生活上的「概念」，一般都是學習者經由個體經驗概括而得，所以又稱為「自發性(spontaneous)概念」；然而在學術上所討論的「概念」，則是經由許多的科學家，以觀察、推理、實驗等方法建立而來，其本身依附於一完整的理論基礎，由科學家定義而來，所以又稱「形式(formal)概念」(Vygotsky, 1962)。由於生活上與科學上在使用某一「概念」上的定義情境和指稱上有所不同，但卻使用相同的「概念」名稱，因此也就產生了「同名異義」的現象。研究上為了區分和說明這些差別，因此就用了許多不同的詞彙來描述其意涵，例如「自發性概念、形式概念、先期概念、既有概念、兒童的概念、專家概念、迷思概念、錯誤概念」等(Arnaudin & Mintzes, 1985; Gilbert et al., 1982; Fisher, 1985)，這些稱謂有時是一種

狀態的描述，有時又兼指其認知過程或學習歷程。

2.2 概念學習的過程和理論派別

「概念學習」是指形成表徵，以能識別某類事物的屬性，並把這個屬性推廣到新的樣例上，以區分概念的實例和非實例(Schunk,2000)。換言之，就是指在辨別學習的情況下，對具有共同屬性的許多事例進行抽象和概括的過程，包括了將屬於同一類事物的許多具體形象加以比較，找出彼此的異同點，區分其本質特點與非本質特點，然後把它們的共同本質特點抽取出來，並加以概括。而在抽象概括過程中，需將範疇內的屬性加以辨別，如用「家俱」這個概念將桌子、椅子、櫃子加以抽象概括即是一例。所以概念可說是在辨別學習的基礎上進行的，且涉及一個多級的序列(Gagné,1985)。然而概念是對事物本質特徵的認識，而不單是語言符號音、形、義的簡單結合，因此概念學習不能單靠記憶，必須透過思維活動來認識事物的本質。

概念學習(concept learning)與表徵學習(representational learning)和命題學習(proposition learning)是奧斯貝(Ausubel, 1963)在有意義學習(meaningful learning)裡提出的三個類型，他是根據學習材料的複雜度來區分的。其中概念學習居於中樞的地位，前承表徵學習，後啟命題學習，對有意義的學習扮演著重要的關鍵性。有意義的學習是指新學習的符號、概念、知識和學習者既有的認知結構建立適當的非人為的實質性關係。蓋聶(Gagné, 1985, 1988)在其累積學習理論中包括了八種學習類型，其中概念學習歸為第六個層次，並將概念學習分為具體概念學習和定義性概念學習。具體概念學習是通過可直接觀察得到的具體對象來表示；概念定義學習則是依據物體或事件加以歸類的規則。

概念的學習包括了兩種理論：一種是經典(classical)的理論，這以布魯納(Bruner, 1956)為代表，這一理論假定概念包括了限定概念的關鍵特徵或內部(必備)屬性的規則訊息(Gagné, 1985)；另一種觀點為原型(prototype)理論，這以羅許(Rosch, 1973)為代表，這一理論認為原型是概念概括化表徵，它可能只包括了概念的某些限定性的屬性。

在經典理論下的「概念學習」，如 Bruner 等認為概念形成是一個互動過程(Bruner, Goodnow & Austin, 1956)，他的概念形成研究過程是：首先向學習者提供一個屬於及不屬於此概念的一個例子，以便學習者清楚的了解該概念的特點，然後，學習者就該概念定義形成某種假設，假設後又出現一些例子以進行驗證，直到得出定義為止。這一過程需要學習者審視某一概念的特點，重新整理自己的理解，直到發現模式並對之做出定義。而在原型理論下的「概念學習」，是當人

遇到一個實例時，是從長期記憶中提取原型，並把它與眼前相遇的實例做對照，看它是否匹配。由於原型還包括了一些非限定性(非強制性的)屬性，和並非全部是不可少的特徵，因此人們在提取原型時，可能會提取到不正確的原型。而上述概念學習也牽涉到典型性概念和模糊性概念的問題，兩者亦存在者差異。

概念學習的完整歷程，應包含概念形成、概念達成、概念發展和概念應用。其中有關概念形成(concept formation)的部分最為重要，維果茨基(Vygotsky, 1962)曾提過：「瞭解概念形成的過程，即可把握住兒童認知與思維的過程。」而 Solso (1988)也將概念形成等同於概念學習，他認為概念形成是人類所完成最重要的認知功能之一，概念形成通過視覺模式和語義項目的聯結而建立，因此他即提出概念學習其實就是概念形成(concept forming)的觀點。從這些觀點來看，概念形成是概念學習歷程中非常重要的一部份，也是思維過程中最複雜的部份。目前有關兒童的概念學習，認知學者綜合多方的研究，認為兒童在概念形成具有這些特性：兒童在學習時會把第一次掌握住的特徵、現象、關係當做典型性來看待，這個最初認為的典型性即形成其所謂的「基模(schema)」，以後遇到其他事件時會先用這些基模做為解釋的基礎，解釋得通即將外在的納入或重組到此基模中，解釋不通則會形成另一種基模或棄置不顧。這兩種過程都是學習者主動去建構的，因此當我們考慮到如何幫助兒童更有效的建構概念時，必須思考兒童如何發展擴充其基模，以及如何從一種基模轉換到另一種基模，或如何修飾其基模等問題。對於基模形成與改變的問題，各派別有不同的說法，闡釋的方式也各有所異，有些從成熟的觀點來處理，有些則主張以引導的方式來協助和支持助學習者。這兩種觀點中，皮亞傑較偏向前者，而維果茨基則屬後者。維果茨基認為在引導下幫助學習者是可能的，因此提出最適發展區(zone of proximal development 簡稱 ZPD)的觀點。所謂「最適發展區」，就是指兒童原來不具有的認知能力，在成人的引導下可以達成的能力，在兒童不能獨自達成到經由成人支持和協助下可達成的這一區域，就叫做「最適發展區」，其單位概念是「時間」。近年來許多學者提出的鷹架(scaffolding)說法，就是在探討此種觀點。

有關概念形成的理論主要有：特徵分析理論、原型理論和實例對比理論。特徵分析理論認為概念是一組特徵，這些特徵的聯結規則是從例子中抽象出來的，這些抽象出來的特徵就是決定定義作用的一組特徵。特徵分析理論最初是一種聯想主義，認為概念的形成似乎是一個被動過程。後來發展成假說驗證理論，認為概念的形成是訊息加工、提出、檢驗和修改假說的主動過程。形成概念時的特徵抽象有語義特徵(Clark, 1973)、功能特徵(Nelson, 1974)和知覺特徵(Anglin, 1976) (引自 Cohen, 1983)。原型理論是羅許(Rosch, 1975)所提出，他認為自然概念是原

型，而不是一序列的特徵。一個類別的原型是該類別實例的向心趨勢，原型具有該類別大多數成員屬共有的大多數屬性，且有非該類別成員的最少屬性，原型具有最高的提示效果(cue validity)最能提示某一實例(exemplar)屬於何種類別。羅許的原型理論受維特根斯坦(Wittgenstein, 1953)家族類似(family resemblance)的觀念影響甚大，類別成員以交疊的相似性聯結起來，其中同一家族的成員並不一定具有共同的特徵，任何一組特徵都不是類別的所有成員共有，而僅僅為某些成員共有。原型理論因為沒有具體規定區分不同概念的條件，換言之，無邊界明確的特性，應用於複合概念時會碰到困難，因此較適合於日常概念和社會科學領域中的概念。實例比較模型：布魯克斯(Brooks, 1978)提出概念形成是隱含、非分析的，並不是有意識的提出假說。他認為許多自然概念太複雜，不能通過分析學習，而為了判斷類別成員而去檢驗關鍵性特徵是否存在，又是一件麻煩的方法。因此他認為人們在學會某一類別的一個實例後，鑑別後來的實例是通過已知實例的總體相似性的比較而進行的。上述三種概念形成的方式雖有不同的理論和觀點，但概念形成基本上需要兩個條件：一是學習者必須能從許多事物、事件或情境中認識或抽象出它們的共有特徵，以便進行概括；其次是學習者必須能夠辨別與概念相關或不相關的標誌，以便進行區別歸類。換言之，概念形成的過程中，具有分類和辨別的能力是十分重要的。認知理論有很多方法有助於網路教學時的網頁設計，其中一方面就是概念形成。

概念達成(concept attainment)指的是除能在抽象情境下用語言定義出概念，或用語言正確表徵出概念外，還能在具體的情境中操作概念、說明概念的外延或辨別出概念與概念間的差別，或在概念形成後對概念掌握的程度。如果具有某些特徵的事物是一個特定概念的實例，那麼概念的規則就是關於這些特徵必須如何相聯結的一種陳述概念(Solso, 1988)，聯結的規則包括了肯定、聯集、交集、條件、雙條件等。掌握規則的難度從肯定到雙條件愈來愈高。因此，概念的達成在學習的角度上可說是對規則的一種掌握程度。

從邏輯思維的角度來看，任一概念都具有外延和內涵，外延指的是概念所涵蓋的對象範圍，內涵指的是概念所概括的本質屬性的程度。因此，概念發展就是指概念在內涵和外延兩方面的發展。由於人類的活動會不斷的擴展，學習的層次和廣度也會不斷的加深和擴展，此時認知到的事物本質也會逐漸的深刻。這時為反映同一概念內涵和外延上差異的認知平衡，學習者就會通過同化(assimilation)或調適(accommodation)的方式來改變對概念的認知。概念的同化也是一種概念學習方式，其主要特徵是學習者通過辨別新舊概念的差異，將新的概念納入到自己原有認知架構的適當位置之中。概念調適同樣也是一種概念學習方式，其主要特

徵同樣是學習者通過辨別新舊概念的差異，只是反過來將自己原有舊的概念納入到新認知到的概念中，並重組成新的認知架構。概念發展的另一種形式是兩種或兩種以上概念間的轉換，包括了普通概念的轉化、對偶性的轉化和科學範疇的轉化。普通概念的轉化，指的是在日常生活中的概念隨不同情境而產生概念間的轉換，例如「顧客」這個概念，在不同情境下轉換成「買者」、「旅客」、「病人」、「學生」等相互關聯的一系列概念。對偶性概念轉化如「生、死」、「熟悉、陌生」、「有、無」等在特殊語境中可相互轉換。科學範疇的轉換如「點、線、面」在理論運用中基本概念間的轉換。上述這些概念的轉變都是個體為了不斷能適應環境和學習新事物時的概念發展歷程，也只有不斷發展概念學習者才能靈活的運用概念，達成思考能力和解決問題的能力。

概念從形成、達成到發展，若不能應用於思考、解決問題上，就會如懷特海(Whitehead, 1929)所說的僵化知識(interknowledge)，這種知識僅能為人腦所接受卻不加以利用，或不進行檢驗，或沒有與其他新的知識、概念有機的融合在一起。因此學習的最終目的除了是過程的理解外，更重要的是能遷移、類化概念，換言之，就是概念應用。概念或知識的遷移(transfer)是指將概念或知識從一個問題或情境遷移到新的問題或情境中(Byrnes, 1996)，或說以新的方式或在新情境中應用知識(Schunk, 2000)。從先前的學習或問題中所獲得的知識，可能有助於解決的新問題，但也可能會變成新問題解決方案的阻礙。因此，遷移可能帶來正遷移(positive transfer)的效果，也可能導致負遷移(negative transfer)的結果。Salomon和Perkins(引自 Sternberg & Williams, 2002)曾指出遷移的類型有兩種，一種是低路徑(low-road)遷移，一種是高路徑(high-load)遷移。低路徑遷移的發生是自然、自動化的，通常不需思維或甚少思維就會發生。高路徑思維則需要有意識的將某種情境中學到的抽象知識應用到另一種情境，因此，為了能產生高路徑遷移，就必須在學習一個抽象概念時更加努力去理解一個概念(Sternberg & Williams, 2002)。一般教學者都期待學習發生正遷移，但心理學家研究了遷移發生的條件卻發現，正遷移很難發生，這其中的原因乃是因為學習是情境化的與特定的情境緊密相關，因此很難發生正遷移。例如採「認知師徒制」的情境學習(Situated learning)，同樣因獲得的技能很難適用於不同脈絡的狀況也仍有遷移的問題(Collins, 1994)。基於此，Gick和Holyoak提議在給人們提供更多的關於前一種知識內在原理的例子情況下，應明確告訴它們需要這種知識遷移到新的情境中，這時正遷移才有可能發生(引自 Sternberg & Williams, 2002)。另外一種方式是儘可能將要學的知識與學習者已有的、使用最多的知識建立起聯結(有意義的學習)，當它們瞭解到前一概念對它們有很大的重要性時，它們就會更努力的去學

習這一概念(有意學習)。換言之，概念遷移需要在有意義的學習情境和有意的學習情境下，才最有可能發生。

2.3 概念學習的教學和課程設計

傳統以主題為主的課程設計，主要以主題和相關事實為中心，偏重於低層次的認知，一百多年來一直推動的課程設計，其目標只是展示對主題的理解，這種課程設計在學生行為表現上並無多大的益處。再加上在教學實施上，假定教師會明白且能夠從主題中歸納出主要的概念性理解（原則和基本理解），所以並沒有要求教師具備超越事實的教學思維技能（但事實上這種情況通常是不存在的），因此教學活動和評量仍側重在學習、記憶主題中所涵蓋的知識點，並未達到深層的理解。深層理解會出現問題，Erickson(2002)認為其主因就在課程設計的問題上。

Erickson(2000, 2002)認為許多學習上的主題是用來說明同一概念和幫助概念理解之用的，它只是協助學習者掌握貫穿整個學科最重要事實與內容的一種基本理解，但仍未達到可遷移和概念性觀念的深層理解。因此，我們需持「將主題和事實當作工具來幫助學生發展深層理解，而不能當做目的來記憶」的基本觀點。她強調主題並不是學習的目的，它只是理解「支撐性觀點」(對學習深入的、基本的理解)的一種工具，而支撐性觀點是一個可遷移的基本原理(如：力的概念)，是隨年級增長而逐漸深化的。因此，在學習者學習新例時，可以運用這些基本原理來進一步發展概念性的理解。除此她亦認為許多教學在傳授某一主題時，常常缺乏一個概念聚合器，來幫助學習者升高到高層次的整合水準，若無，則必然產生淺層的認知學習。而教師也必須學會識別概念性的觀念，並根據此設計出行為任務和評量。在發展學習方面，她認為幫助學生積極的參與有意義的知識應用，提供一個問題解決的情境是一個重要的變量。但在解決問題的學習中，學習者必須帶著「概念聚合器」才能適當或有效的解決問題。換言之，概念扮演著一個重要的地位，缺乏概念性的理解，事實上學習中可能連「問題的空間」都無法掌握，如此之下就遑論訂出問題、發展出解決問題的方案、執行解決問題等步驟。

科學和數學是以概念和技能為支撐，因此美國科學(National Research Council, 1996)和數學(National Council of Teachers of Mathematics 簡稱 NCTM, 1994)課程標準都嚴格的強調這兩部分，並認為以「概念為基礎的課程和教學設計」是未來十年發展的主要方向。例如 NCTM(1989, p.17)製訂的數學課程標準，就提出：課程以概念為中心，強調概念性方法能夠使學生在自然環境的場景中建構概念的意

義，從而清晰、牢固的掌握概念，並且這種方法能使學生在實踐經驗中形成數學的抽象思維，這個牢固的概念性框架可以使學生在獲得意義的同時獲得數學技能，同樣的也促進了問題解決能力的發展。然而課程設計雖強調概念和技能的重要，但實際教學上，通常概念性理解的傳授是很薄弱。例如在數學課程上，我們總是傾向「做數學」，而不是理解數學的概念性原理，這也是大多數學生對數學感到吃力的地方，他們既不理解概念的結構，也不清楚為什麼要在不同場合的情景中使用如十進位、函數這一類的東西(Erickson, 2002)。

Erickson (2002)認為在二十一世紀的教學中，如果沒有一個對知識的概念基模，就如同建房子沒有規劃圖一樣，不知道每一部份應放在何處。如果到高中、大學階段才把主要概念和概念性思維「傾倒」給學生，那就太晚了。概念的發展是與人的一生並行前進的過程，概念性的理解是一種高層次、綜合性的思維能力，綜合思維是一種「洞察」出相關事實、思想和事例之間的聯結方式與模式，並在概念層次上整合知識的能力。例如：天氣和人體這些主題，學習者如果不再簡單的把其看做要記憶的事實，而能夠把他當作形成更大、更抽象的概念性思維——系統的典型例子，用這樣的方式理解系統間的相互依賴性和重要性，那麼學習者在通過不同年級課程中，就可建立起概念體系，這樣新的知識訊息才是可生成的。

2.4 概念學習和概念建構的認知支持類型

學習者進行概念學習時的認知支持包括了：父母、師長、同儕、媒體、科技、社會環境和文化情境。例如 Hannafin、Land 和 Oliver(1999)就認為鷹架的支持包括了工具、教師、專家和同儕。Brown 等(1989)則提出情境、專業者是一個很好的鷹架支持。從生活就是一種概念學習的角度來看，學習者的親身體驗和主動過程可說是佔了重要角色，這時相關環境的認知支持大概都由學習者的需求來決定。換言之，學習者是自由、隨機、主動尋求概念的理解，從環境中尋找支持的對象和工具。但當學習者進入學校後，學校課程是系統、強制和計畫性的環境，學習者有可能仍是主動建構概念，但建構的內容卻無法自由和隨機，他必須隨著課程的要求和計畫強迫自己去接受和理解概念。因此，學校環境就必須精心設計出可足夠支持其概念學習的環境和認知工具。然而在傳統課堂中，教師和媒體是學習者最大的支持者，但傳統教育以教師為中心，因此，許多教學媒體常成為教學者講授的輔助工具，而不是支持學習者認知、理解的工具。換言之，以教師為中心的課堂學習活動，常忽略了媒體和學習者已有的心理和認知結構的相互作用。同樣的，網路學習環境可以成為學習者最大的支持者，但學習者獨立於網路

學習環境中進行學習時，亦面臨著許多學習情境中強調資訊科技形式，而忽略學習支持的窘境。

2.4.1 成人和同儕的支持

雖然建構主義強調以學習者為中心，但教師或成人對於學習者的支持仍是重要的。教師所扮演的角色在積極上是促進學習者更有效的學習，這包括環境的布置、學習流程的設計、適當的學習內容和範圍；在消極上則是排除學習上不當的干擾因素(David Pratt, 2000)。因此教師或專家的積極介入學習者的學習並不違背建構主義的精神，例如認知師徒制、認知伙伴、合作學習等，而專家解決問題的方式和知識架構，亦是認知和建構主義者認為能提供學習者更有效的建構鷹架。維果茨基(Vygotsky, 1962)的社會文化發展理論是一種建構主義的學說，他強調社會環境是發展學習中的一個重要因素。在他的理論中，學習者用語言和人際間互動然後內化成為自己的知識，從而語言與人際互動可以成為認知工具。從這個理論以及情境認知的師徒學習觀來看，成熟專業的成人在示範、引導上的協助，對學習者學習是有很大的幫助。Spector 和 Davidson(2000)也提出學習者通常希望有良好的結構和較多的指導，學習者不會魔術般的變成科學探索者或調查者的看法。他們同時也提到，許多在批評傳統的學習環境時，常常在整體上產生一種簡單化的觀念，即認為傳統教育意謂著僅僅是知識的傳遞，學習者是被動的接受知識。但從學習是一個動態活動系統的觀點來看，傳統環境中師生間的交談、對某個主題的相互討論、非正式場合的聊天，這些互動的數量、多樣性、交互性以及得到很好支持的活動是十分豐富的。又在成人支持作用上，Greeno (1978)認為後設認知策略的支持最為重要，但卻常被教學者所忽略。

2.4.2 認知和學習工具的支持

概念學習中，學習者需要各種能用來收集資料、加工和建構訊息的工具，而資訊科技的技術，可以發揮如提供一系列可用來檢索、篩選、加工和設計訊息的工具等不同的功能。許多研究小組查閱了有關科技和學習的文獻，得出的結論是只要適當的使用科技，科技在提高學生的學業和促進教師的學習都有巨大的潛力(Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1997)。新的科技不僅為學習環境創建出新的潛力和挖掘新的機會，同時也能擴展如書籍、黑板、收音機、電視機等古老技術的新可能。科技雖產生了一些新工具也創造了一些學習的新機會，但科技並不保證學習的有效性，不恰當的使用科技會妨礙學習。例如，學生在製作多

媒體上浪費很多時間在選取文字、色彩，卻不是把時間花費在設計、撰寫、修改觀點上(Bransford et al., 1999)。

由於傳統學習環境對抽象概念的學習大多以口頭的解釋和說明為主，偶而輔以演示來教學，這樣的學習環境常常缺乏概念所屬的情境性，換言之，學習者是在抽離、獨立的情況下，以練習和強記的方式學習。這種概念的學習現象就是造成學生無法真正理解概念，不能移轉概念的原因，因此，學生只能在課堂的考試上獲得分數，而無法應用概念知識解決生活上的問題。基於這個原因，以學習者為中心的學習環境(簡稱 SCLEs)，力求表徵它所類比的真實世界活動系統的複雜性。但是，這種複雜性對學習者技能上的要求，經常超出學習者進入問題或專案時已有的準備能力。這時就需要對他們在活動中的表現和隨之出現的意義形成進行支撐。為此，就必須識別出問題解決或完成任務(它是隱藏在問題表徵中的)過程中的那些活動所需的技能，待確認了這些技能以後，就可設置認知工具以支撐學習者完成這些任務。而支持學習者的認知工具可能是分析觀點的組織工具、表徵心智模型的動態建模工具、用不同方法觀察現象的視覺工具、建立合作性知識庫的對話工具或者是計算工具(Jonassen,2000)。SCLEs 常常提供了一系列的工具來幫助學習者以適當的方式進行思考，而 Jonassen (1996) 更將電腦模擬視為「心智工具(Mind tools)」。Jonassen 認為心智工具是一個運用電腦環境與軟體來激發學習者高層次思維與創造力，並可加強知識的保留與遷移作用及協助知識建構與認知學習的工具。此外，電腦亦可以輔助知識的建構、電腦可輔助探索、電腦可輔助從做中學的學習、電腦可輔助共同學習、電腦是反思學習的伙伴，可增強及重組學習者的認知學習過程，所以也是一種認知工具(cognitive tool) (Jonassen, 2000; Jonassen & Reeves, 1996; Reeves, 1998)。

建構主義學習環境可以支撐學習者的思維和行動以深化其理解，這種環境的支撐為學習者提供了增強和拓展認知能力的機會，並通過眼前的任務來重組思維的過程(Pea,1985)。由於科技工具可以在一個學習者的最近發展區(ZPD)中，提供模型、高級思維的機會和對後設認知的引導(Salomon, Globerson & Guterman, 1989)，因此，科技可用來促進學習的理解。相對的，如果沒有這些科技的支持，理解便不可能或難以進行。這些科技使學習者能用具體的方法對其思維進行表徵，並使它們的推理過程可視化和得到驗證(Land & Hannafin, 2000)。基於科技的發達，許多研究者就利用科技資訊開發了各種輔助學習工具。其中電腦和多媒體的應用即是人們最多的選擇方式，但從一些研究可以發現，一些宣稱電腦可以有效協助學習者學習的工具，事實上大部分只是具有類似放大器的功能(節省計算時間或使製圖更容易)，並沒有對學習者的知識重組或建立某種轉換的聯結產

生功能(Dreyfus, 1994)。因此 Dreyfus 特別強調，從教學理論的角度來看，有些東西比科技上的細節更為重要，例如某些 EXCEL 設計的圖像和表示法間的聯結可能缺少了一些關鍵性的功能，雖然是運用了電腦工具卻未能達到有效認知支持的效果。基於這樣的理由，所以本研究認為學習環境的設計，需要一套學習理論架構為設計的基礎。

應用電腦做為認知工具的有利條件，是電腦提供一個可直接「施予動作」的環境，學習者可以針對螢幕上的對象(圖形、數值)施予動作，透過操作動作的功能，可即時從螢幕上觀察到施予動作前、後作用所發生的變化，這種變化對學習者覺察或意識到關係的存在，以及理解關係的本質有深刻的影響。基於此，Dreyfus(1994)從教學理論的意義上說，把這個過程顛倒過來也許更加有效，也就是說讓學習者去探究什麼樣的作用會導致這些關係的特定變化。這種作用可以是動態的、隨意重複的，學習者可以通過電腦的多次回饋中得到結論。對於這樣的觀點和做法，Tall(1994)也強調這樣的目的，不僅僅是要提供一種牢靠的視覺直覺依據，還可為理解後來發生的型式上的細微差異埋下伏筆。換言之，學習者需要學會對概念在螢幕上表示法的細節進行深入的考察。

認知學習工具依其工具發展的目的來分，有「以一般應用為基礎的工具」和「以教學為基礎的工具」兩種。以一般應用為基礎的工具如(EXCEL、WORD)，雖具有認知支持的功能，但其遵循知識領域中的內在邏輯和結構而建立起來。它運用的範圍甚廣而不僅限於教育方面，再加上這種注重知識內在邏輯性的次序和結構，未必符合一些概念學習時的認知心理次序和結構。相對的，一些以特定應用的為基礎的工具，可能具有更高的認知支持功能，但也發生概念移轉異常微弱的現象，例如，一些高效能的運算和繪圖工具，一般不會考慮到學習者在設法為極限或導數這樣的概念建構適當的圖像時所產生的各種概念上的困難(Dreyfus, 1994)。正由於考慮到這些特殊或眾所周知的困難，人們設計像 Graphic Calculus 這樣以教學基礎的工具。Dreyfus(1994)認為這些工具以創造學習經驗為目標，例如比、函數、導數等概念或概念圖製作工具。應用這種工具製作概念圖的目的之一是讓問題解決能力更加靈活，另一目的則是建立關聯，使學習者的思維更具靈活性，例如：概念可能會在以後某個時間以不同的結構出現，屆時學習者能認識到是完全相同的概念。

在以教學為基礎的工具上，雖針對為學習者學習概念而設計，但也產生了一個主要問題：若設計的過於局部化、特殊化，只適用於特定的概念、概念群或課程，那課程設計者有可能為每一個概念都提供一個概念工具嗎。這問題牽涉到我們是要為概念學習尋找認知工具，還是學生學習的目的就是使用電腦化的工具？

是學生所學的概念依賴於工具，還是工具依賴於所學的概念？很清楚的，概念學習應當是首要目標，它決定了工具。故基於協助學習者的知識獲得和概念學習，本研究認為有必要為每個概念學習的不同目標設計出不同的工具。

2.4.3 多重感知情境的支持

多重感知與概念學習間的關係，自多媒體、電腦科技出現後，其影響性就引起更多的關注，尤其是視覺感知應用在網頁螢幕的設計上(Laflore, 2000)。感知和學習的關係源自 Kohler(1947)和 Koffka(1935)的格式塔(Gestalt)理論，其後阿恩海姆(Arnheim, 1969)在《視覺思維(Visual thinking)》一書中，更系統的闡釋了視覺與思維間的關係，為視覺設計帶來了新的啟示。而 Paivio(1971)的圖像與語文的雙重編碼，和 Snodgrass(1999)的圖像、語文與語義的共同編碼，也提供了教學設計上一個很好的參考。

視覺感知對概念學習的認知支持，可從其視覺化所帶來的多重表徵和多重聯結功能來看。其中電腦做為認知支持工具的可利條件，就是其具有多重聯結表示法的潛力，尤其是強大的圖形表示法，這種多重聯結表示法對學生理解數學概念(如比例、函數)具有重要的影響性(Kaput, 1994)。例如 Koedinger(引自 Dreyfus, 1994)就找出了幾個圖形表示法的特性，這種用圖形表示法所呈現的訊息，在許多推理和學習活動中優於線性語句的表示法。Mayer(1997)在關於多媒體學習的研究反思中，也提出以語言型式呈現關於系統機制的解釋，不能保證學習者真正的理解這些解釋。在試圖幫助學習者理解科學的解釋時，我們越來越依賴於多媒體的學習，以便能同時通過視覺和語言的解釋來學習。近年來一些多重表徵的教學受到支持，其假設為當學習者對同一材料的多重表徵(包括視覺和語言表徵)進行建構和協調時，有意義的學習才得以發生(Houghton & Willows, 1987; Schnotz & Kulhavy, 1994)。Gordin 和 Pea(1995)也指出，具體的圖形和其他的直觀訊息表徵有助於人們的學習。圖形表示法的特性 Koedinger 認為可以分成兩類：一是結構性的，指訊息在圖形中的空間排列，這會傳遞出相關元素間在整體和部分關係的訊息(如距離)；再則是意外的，指感性的意識到某種關係的可能性(如果用非圖形的表示法這種關係可能被忽略)。通過圖形表示法的方式，可讓以「直觀視覺化」表示數學概念的做法成為可能，而這種功能又是其他媒體所無法提供的結構。

圖形能增加學習的內在和外兩方面的動力，亦可提供學習者一種視覺參考作用，而視覺參考物則是幫助學生看出所學內容各部分間關係的一種方法(Reiber, 1994)。例如網狀圖示法或圖形組合法就是達到這一目的的視覺參考物，通過網狀圖示法或圖形組合法的使用，可以清晰的綜覽訊息以及其各部分內容間的關

係。圖示法中如概念圖(concept map)的做法，將文字方塊或圖標用線連起來，學習者所表徵出來的型式，顯示其學習的內容是存在著怎樣的關係。這些組合法也幫助學習者理解複雜概念，以及概念組成部分之間的關係，這點又可幫助學習者對複雜概念的全部理解(Laflore, 2000)。奧斯貝(Ausubel, 1963)在有意義學習(meaningful learning)中即大力提倡概念圖(concept map)對概念學習的功能。而托爾曼(Tolman 引自 Solso, 1988)的早期工作就提出了認知構圖(cognitive mapping)的概念，並認為認知地圖對人類表徵能力在記憶上是一大貢獻。近年來在網路學習上設計出各種概念圖的工具來幫助學習者學習概念的研究亦有多數。構圖(mapping)是一種象徵性表徵的形式，在概念圖中觀念(ideas)被描述為彼此是相關的，這些觀念包括概念、理論、事實、規則、命題、原則和概括，圖解可以將觀念間的關係，描繪成簡單或複雜、清晰或不確定(Posner & Rudnitsky, 2001)。概念圖除了在概念形成上有其功能，同時也可以做為檢核和評鑑的工具(Novak & Gowin, 1984)。相關概念圖的種類包括：網狀圖(webs map)、蜘蛛圖(spider map)、比較對照圖(compare/contrast matrix)、循環圖(cycle map)、因果關係圖(causal interaction map)等，這些圖解分別幫助規劃者可詳盡的說明自己的觀點，並可做為討論的工具，應用於商業、工業、教育、設計等領域範圍極為普遍(Buzan, 1998; Craig, 2000; Posner & Rudnitsky, 2001)。

視覺感知結合格式塔、多媒體、電腦、概念圖和認知圖，構成了動、靜態的視覺化認知情境，其中動態圖像的方式呈現，亦提供學習者強有力的學習與知覺經驗，可以讓學習者形成動態的內在表徵(dynamic internal representation)，使學習者對抽象的概念，能夠更具知覺的能力(鄭晉昌，民 86)，這些感知對概念學習亦提供了某種程度的認知支持。然而儘管視覺化情境中產生的直覺功能，對概念知覺或形成有所助益，但在教學過程中，直覺可能產生促進作用，也可能出現矛盾，即在學習、解題或發明過程中，直覺可能成為障礙——Bachelard 所謂的認識論障礙(Fischbein, 1994)。又 Fischbein 也指出，直覺模型似乎強於形式概念，它在背後操縱著建造形式概念的意義、作用和性質。因此，在設計視覺化認知支持時，必須謹慎處理視覺化可能造成的學習影響。

2.4.4 網路環境的情境支持

伴隨著一些資訊與通訊技術的突飛猛進，網路科技為教育帶來了新的希望，電腦強大的資訊處理功能，對於個別學習、互動學習、學習迴饋都有很大的助益，而多媒體科技、網頁技術提供了更多訊息形式，除滿足了學習者學習認知上的需求外，也提高了學習效果。在越來越複雜的學習情境下，學習者的學習活動在很

多時候需要借助工具來完成，若依這些工具對學習者學習所提供的支援差異，這些工具可以被分為效能工具、認知工具、溝通工具和管理工具四類。效能工具是指幫助人們提高工作效率的工具，典型的效能工具有文字處理軟體、繪圖工具、搜索引擎等。認知工具是指可以幫助學習者發展各種思維能力的軟體系統，比如語義網路工具、資料庫、專家系統、心智圖工具等。溝通工具可以支援師生之間和學習者之間的溝通，如網際網路的 E-mail 和聊天室等。管理工具可以幫助學習者進行學習的自我管理，也可以幫助教師監督和管理學習者的學習。工具的種類很多，因此教學設計者要明確學習者在完成學習目標過程中可以利用哪些工具，以及每種工具的主要性能和特徵，比如支援哪種活動和操作等。此外，教師也可藉此從中瞭解學習者的思考方法、合作策略和學習方法等。

由於網路具有獨立於時間和空間的超鏈結能力(hyperlinking)和互動溝通能力，因此進行網路學習環境設計時必須充分考慮這個複雜性。又網路結構和超文本結構的特性，與記憶、知識網絡、智力結構有某種程度的相似性，如網路的結構是關聯的(association)、非線性(nonlinear)和層級性的(hierarchical)，這些結構和記憶關聯的、非線性和層級性的結構相仿，因此 Jonassen(1991)就認為可以將網路結構看成是對記憶的模仿。而超文本、多媒體、網路結構和意義理解的認知網絡，具有潛在的一致性，因此 Salomon 和 Almog(1998)就認為超媒體可說是近似於一個建構薄弱的知識網路。Miller 和 Miller (2000)也從訊息處理理論的角度，認為關聯的、非線性、層級性、超聯結的網路與假定的智力結構（即語義網路、圖解）和過程（即編碼和再獲得）之間也存在著一致性。網路與記憶、知識結構的這些相似結構特性，可以用語義網絡模式(semantic network model)來說明，語義網絡模式是一個由節點(nodes)組成的表徵系統(representation system)（即命題或概念），而節點之間是有意義聯繫與連結的(Jonassen, 1991)。概念之間以一種非線性、層級的方式加以連結，形成了網絡的記憶組織(Jonassen, 1991; Lanza, 1991)。網站或網頁的網絡狀組織呈現出上述這種結構，它們之間的節點同樣是以關聯的、非線性和層級性加以連結。這種以語義網絡的組織方式，如同一種認知基模(schema)的模式，包括了代表一個更大知識體系的關聯性連結(associative connections)，也就是人對特定事物的認識總和。而不同的模式相互連結，共同組成了記憶與學習結構，記憶與學習結構還包括了這些認知結構的重組(Jonassen, 1991)。儘管對記憶認知模式與網站、網頁結構之間的對應關係並不存在分歧，但把這兩個相似性運用在教學設計上時仍須考慮其差異性。例如學習者對整合關聯性、非線性內容的能力是有差別的(Hannafin, et al., 1999)，因此學習內容鏈結的位置(placement)、頻率(frequency)、內在一致性(consistency)都是影響學習者有

意義學習經歷的一個重要決定因素(Locatis, et al., 1989)。

網際網路雖然是虛擬的，但卻是存在的事實。網路從開始在有限的專業領域擴展到每個人的工作和社會生活，而後形成了附加空間，人們可以在其上溝通、工作、交易、休閒，當然也日益成為一個學習場所(Berenfeld, 1996; Khan, 1997)。在這樣的環境下教育工作者(教師、開發者、研究者、學習者)清楚的意識到網路科技的潛力，也開始運用它來創設新型的網路學習環境。根據 Mioduser 等人(2000)的研究，他們認為網路做為教學和學習具有幾點特徵。第一個特徵是：網路支持複雜訊息的處理。訊息處理的功能如生成、傳遞、儲存、處理和呈現訊息等是教育過程的核心。使用者經由接觸網路圖書館、資料庫、期刊雜誌、博物館或其他公共訊息庫的過程，可能可以有效的影響教育。第二個特徵是：網路日益成為通訊工具。以電腦為媒介的通訊(CMC)是一個強大的交互媒體，例如：E-mail、小組會議、網路聊天等，使學習者能與同伴、老師、專家進行溝通與合作。第三個特徵是：網路將成為一個創造環境。目前有許多工具可製作網路傳輸的材料，這些工具可以支持學習者創新，他們不需要中介只要在少量的科技協助下，即可生成和發佈他們自己的教育網站。網路的最後一個特徵是：可以做為教學傳遞媒介。很多網站提供數位化教育活動和網路多媒體、多年級、多學科的課程(Khan, 1997)。這些內容包含從傳統電腦輔助學習網路版，到新型具有個別學習、小組虛擬學習等模式。例如虛擬學校、世界演講堂等，網路做為學習環境的概念已有多種不同的含義。

網際網路提供了很多的學習機會，但有關研究也顯示，學習者在資訊網路的環境下的學習心理，明顯的有別於傳統學習環境下的心理。例如 Reeves 和 Nass (2002)在《媒體等同(the media equation)》一書中有關人機交互的社會心理學研究顯示，在人與科技媒體互動時，其心理過程實際上和人與人真實溝通過程十分相似，換言之，媒體即人。除此外，使用者在學習資訊科技時所產生的焦慮、緊張、不安等心理反應，這些情感因素也直接影響了學習的效果。因此有關網頁設計的認知與非認知因素也需慎重的考慮。同樣的，建構主義的學習環境需要依賴學習者更多的獨立學習，因此，新科技所提供的學習機會有一項很重要因素，就是學習者在學習活動中的全心投入。而吸引學習者的全心投入中，認知和情意(conation)的因素以及兩者結合的問題，就需慎重的考慮。Salomon 和 Almog (1998)在一項有關傳統課堂和建構課堂上的比較研究發現：在傳統課堂中，學生的能力水準是學習效果最主要的決定因素，而建構課堂中，學習者對學習的全心投入水準則是最主要的預測指標。因此學習環境中的學習設計如何提高學習者的自我監控意識、意志力、動機水準、後設認知等也就顯得非常重要。

2.5 結語

概念是人們做為思考和溝通重要的要素，而概念體系也可說是人們對於世界的一種心理表徵或描述。從這個觀點出發，概念的意義既存在著共有意義，也存在著私有意義。基於概念意義的共有性和私有性，也造成了溝通的方便和歧異產生的源由。除此之外，人們基於不同經驗背景、文化脈絡、情感的偏好和價值的選擇，也各自建立了一套概念體系以解決各自日常生活所面的種種問題。然而這些經驗進入團體學習的環境中，或與專有領域概念體系相接觸時，既對學習產生有利的一面也對學習造成不少的干擾。人們對於解決這些問題存在著不同的思考面向，故也形成不同的理論、方法和策略，而不同理論、方法和策略為維持其解釋架構體系的內在一致性，不得不產生固執一擇的傾向，這種傾向成全了學理自我探究邏輯的完滿性，但對學習者而言，由此衍生的學習環境只對其部分學習有效或對部分的學習者有效。基於此，對於概念定義、概念類型、概念學習理論、概念學習課程與教學取向的探討，可以讓研究有一份更明晰的地圖和可用的指南針，以及確知自己的位置，以便完善出更有利於學習者進行概念學習之學習環境的構設思維參考。

概念既建立於大腦之內也建立於大腦之間，學習者需主動進行認知和建構，也需依托於周圍情境的支持。在有效環境的支持之下，個體將可縮短建構和認知的歷程，也可更快速的建立出概念體系架構。這些支持除成人、同儕和媒體等構成的交互作用外，新興資訊科技和網路多媒體的出現以及其普遍性，也對學習者的概念學習支持產生了不同效應和不同層面的影響。然而什麼時候該用什麼工具，什麼工具適用於什麼場所，什麼場所該出現什麼型式、多少種類的工具？以及這些工具出現後產生的正面效果和負面影響，此亦隨著網際網路環境的出現，使得教學工作者有著更多選擇和需要更加思考的問題。誠如古諺：「藥不會殺死人，用藥者卻會殺死人。」工具亦可如是一觀，不當的使用或錯誤的使用可能對學習者的概念學習更為傷害。基於此，如何深切瞭解工具的特色以及其可能性與侷限性，是使用工具做為支持環境選擇的一個重要之處。然而，工具的適切選擇亦不能獨立於學習者概念學習的認知特性，也不能獨立於學習之概念內涵及其體系，必須三者綜合、整體一貫思維之。



第三章 認知支持學習環境設計的理論基礎

當我們在兒童時期剛剛開始學習語言時，我們就學習了很多概念，而有關人們學習概念的研究也指出：並非所有的概念都是通過同一種方法學得的。因此，為學習者創建有效的概念學習環境時，專業教師必須瞭解各種不同概念學習的方法，才能有效的協助學習者獲得更佳的學習效果(Sternberg & Williams, 2002)。由於各種不同概念學習的方法，皆源於不同的學習理論脈絡和原則，故，教學設計時必須適切的掌握住各種學習理論的意涵和精神，並根據學習者的認知過程，以擬定出有效的教學方案和策略。又基於現代學習理論的基本原則是，不同類型的學習目標要用不同的方法來進行教學，新的教育目標也強調改變學習機會的重要性。而過去三十年中有關學習的研究主要來自於大腦認知科學的研究和建構主義的觀點，一些新的學習概念，如：有效學習的觀念既需持久性的保存也需具備學習遷移的效果、教學重心從勤奮練習轉向學習者的理解和對知識的應用、強調理解性的學習、學習者自我監控的重要性、關注認知的過程、認為人們是基於自己過去既有的知識去建構和理解新知識、希望學習者成為主動的學習者和探究者等(Bransford, John D., et al., 1999)。因此，進行認知支持學習環境設計需考慮很多相關的問題，其中特別重要的是，學習者的學習過程以及學習遷移能力的表現。由於學習理論並沒有提供設計有效學習環境的簡單處方，但學習理論卻包含了設計原理，此正如理論物理學並沒有規定如何設計一座橋樑，但可以肯定的是理論物理包含了成功設計一座橋樑的原理(Bransford, et al., 1999)。然而，儘管學習、學習理論和學習環境是如何的複雜，但始終與人的大腦有關，且學習仍須依靠學習理論提供出一種學習過程的模型，而教學亦需教學理論來提供一個如何使學習過程最佳化以達到特定目標的模型。基於此，本研究以基於腦的學習、記憶和編碼的表徵理論、學習生成模式和認知靈活性等理論為基礎，並以貫一設計的觀點和方法，整合出有關概念學習之認知支持學習環境設計的理論。

3.1 基於腦的學習理論

人類的腦是一個富有高級智慧和巨大潛力的重要器官，它的結構和功能的複雜性，隨著科技、研究方法的不斷更新和跨學科科學家通力合作下，有關其高級的認知機能已有了突破性的發展。這些成果目前也成為教育領域用來理解人類學習和改革傳統教學的重要依據，例如 Bransford 等人(1999)提出的：「大腦的不同區域可能在不同的時間進行學習，學習改變大腦的生理結構，而結構的變化改變了大腦的組織功能（意即學習組織和重組了大腦）。」Caine 和 Caine(1990, 1994)根據有關大腦研究的成果整理出十二條與腦有關的原理，他們認為這些原理可做為基於腦(brain-based)的學習理論，應用於教育上非常有助於我們突破傳統學習觀念和重構出新的教學概念。而 Hart(1983)則根據人腦處理訊息的研究，以及觀察環繞在我們生活四周處處都呈現「與手相容 (hand-compatible)」之工具、機械和鍵盤等適合手操作的設計現象，和對人類自然學習行為的觀察，於是提出了「與腦相容 (brain-compatible)」的學習觀點，他主張課程和教學的設計應與人腦運作模式及學習傾向相容，這樣學習的狀態才會最好。

Caine 和 Caine(1990, 1994)根據有關大腦研究的成果整理出十二條與腦有關的原理，這十二條原則是：腦是一個平行處理器；學習涉及整個生理；對意義的探討是與生俱來的；意義的探討是通過組型(pattern)而發生的；情感對於組型創建具有關鍵性的影響；腦同時對部分和整體進行加工處理；學習既包括集中注意也包括邊緣性感知；學習總是包括有意識過程和無意識過程；我們至少有空間記憶系統和進行機械學習系統等兩種不同類型的記憶；當事實與技能鑲嵌在豐富的空間記憶中時腦的理解與記憶會最佳；學習因挑戰而增強因威脅而抑制；每一個腦都是獨具一格的。他們除了提出上述十二條與腦有關的原理外，亦提出了十二項有關適合大腦學習的環境原則性說明，包括：激化與調和多元智能的教學設計；引導腦、身、心整體投入的學習活動；充分的準備，提供安定、熟悉、豐富的學習環境；充分的時間及自主的組型搜尋空間；營造無威脅、積極投入的學習氣氛；整體與局部的學習交互進行；適時補充課外教材；提供後設認知技能與檢視學習過程的機會；注意學習的統整性與脈絡性；提供社會互動及合作學習的機會；增加學習的新奇性與挑戰性，減少威脅與焦慮；採用多元化、動態、真實評量方式。

基於腦的原則，腦會對有意義和無意義的訊息與情景作出不同的反應，而學習中的一個重要因素即是意義。意義一方面與訊息加工的深度相關聯，一方面意義是技能發展和工作滿意度的重要成分，教育中的很多問題都源於將意義棄之不顧或誤解。又從腦的科學中研究中引伸出一條具有非常重要意義的觀點：所有

的學習都是經驗性的，且取決於整體的經驗。由於我們並不僅是從自己的經驗中自動學到足夠的知識，重要的還在於我們如何使用經驗，因此，教學既需幫助學生擁有合適的經驗，也需要幫助學習者利用經驗。基於意義和經驗的這一過程 Caine 和 Caine (1990,1994)認為從資訊的記憶轉移到有意義學習的改變中，有三個相互作用的要素十分重要，它們是：放鬆的警覺(relaxed alertness)、編排的浸潤狀態(orchestrated immersion)和積極加工(active processing)，且這三種要素之間是相互作用的。

「放鬆的警覺」旨在增加學習的新奇性與挑戰性，減少威脅與焦慮，使心智狀態與腦偏愛挑戰、腦對意義的搜尋模式相符合，因此，教師應該提供一種氛圍，使學習者處於低威脅與高挑戰所聯結成的一種感覺下，自信自在的去探索新的思想和聯結。「編排的浸潤狀態」旨在安排多元、複雜、真實性經驗的學習環境，關注學習者怎麼與內容接觸，意即如何讓學習者將其生活運轉中之時時刻刻都在感知、感覺、聯結和加工的這些複雜經歷的所有成分，可參與到教育的探險活動中。因此，教師需要為學習者編排一個豐富、真實可讓其浸潤在複雜、相互作用的經驗機會，以便學習者能在符合創造性、關聯性和自發性上的那種輕鬆和愉快的情境中得到完整的體驗。「積極加工」則是關注於意義的生成，指學習者通過一種對其具有個人意義和概念一致性下的方式強化和內化訊息，意即學習是要更深刻的去理解而不僅僅是記憶，並能獲得對問題、問題的處理方式和學習上的一種領悟和洞察，這一過程需由學習者經後設認知(metacognition)的反思來達成，包括在搜尋相關學習上的東西時產生更廣泛的啟示，和在聯結、識別對待自己的偏見與態度以及進一步開發出思維技能與邏輯能力。

大腦、學習和環境充滿著交互的影響和作用，當然概念學習也就不是例外了，而基於腦的學習原則可為教育上的啟示總結而言可從學習者、教學和學習環境來說明。在學習者方面：學習者和教學者必須覺察並體會人是「意義的建構者」對於意義的搜尋不會終止，只會不斷集中；且必須積極的對自己的經驗進行適當而充分的加工；並必須去創造有意義的、與個人相關的模式。在教學者方面：教學需要一個參考框架，並允許從大量的可行的方法組合中做出選擇；同時要盡可能將處於學習者注意焦點之外的材料組織起來；並避免過分的強調事實的記憶以免使學習者枯竭，及產生影響理解發展的後果和學習無法有效的遷移現象。在學習情境方面：應利用大量的「真實生活」活動，並整合各種學習方式和內容，使學習者浸潤於大量的情境與互動經驗之中而充分運用所有的感官；且必須創造一種放鬆的警覺狀態(a state of relaxed alertness)提供出一種低威脅和高挑戰的學習氛圍。

3.2 記憶和編碼的表徵理論

人們普遍認為，大腦至少有三大記憶過程。一類是對環境訊息進行編碼和解碼，第二類是對與興趣有關的事件情節進行編碼，最後一類是對技能活動進行組織。這三類加工過程也可以粗略的概括為對什麼(what)、何時(when)、何處(whence)進行編碼，以及怎樣經驗(Pribram, 1999)。目前大家也接受記憶系統包括了工作記憶、短期記憶和長期記憶，這些記憶系統分別扮演著訊息加工、處理和憶取的作用。這些記憶過程和記憶系統的類型，對概念學習的思考以及設計認知支持環境都有很大的助益。

George Miller(1956)提出的組塊(chunk)觀點指出，一個組塊是記憶中的一個有統一表徵的訊息。著名的 7+2 就是短期記憶的容量，若一個 4930826 七位數的電話就包含了七個組塊，但若提到 80586 型號卻僅僅是一個組塊。Miller 在他的論文指出，短期記憶這種先天的容量限制會影響學習，雖然我們可以用擴大記憶組塊的辦法來增加短期記憶的訊息量，但短期記憶的資訊單位數不能改變。換言之，從記憶的觀點，最重要的是材料如何被編碼成組塊，然後這些組塊以言語的、聽覺的和聲音的型式，經過默默複述的加工循環通過短期記憶體。又從認知學習的角度來看，愈少的組塊數對記憶管理而言就具有愈高的效能，因此，以愈少的組塊而每個組塊又含有愈多的訊息量時，對認知學習是最有效的。應用這個觀點於概念學習上，就是用越少的概念數而每個概念又含有愈多的訊息量，將會是最好的概念學習方式。

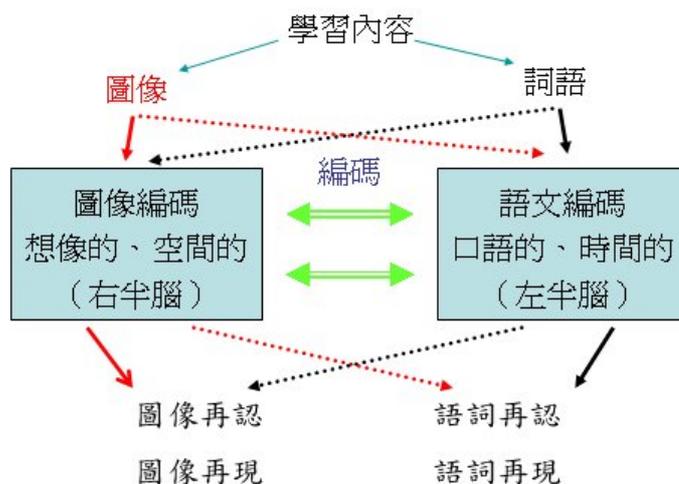


圖 4 Paivio 的雙重編碼模型(1971,1986)

長期記憶儲存的型式性質可能是語義的、時間的、空間的和圖像的。佩維爾 (Paivio, 1971,1986) 試圖將記憶研究範圍從字詞範圍擴展到圖片。他提出了雙重編碼理論(dual-coding model)，亦即長期記憶可分為兩部分：一個是圖像系統，儲存表象(pictorial codes)；另一個是言語系統，以言語編碼(verbal codes)。這兩個系統既獨立又相互聯結：有些輸入的訊息類型，如容易命名的圖片和具體的詞彙能同時編碼到兩個系統；一些圖像材料不能用言語描述的(如臉孔和抽象圖畫)只能在圖像系統中編碼；而一些言語材料時無法形象化的(如抽象的詞和短語)只能在言語系統中編碼(如圖 4)。圖 4 中的實線代表主要編碼方式，虛線代表可能編碼方式。線條的粗細代表編碼的相對強度。雙箭頭表示意義進入和可被發現的編碼區域。

在 Paivio 的系統中，意義被合併進入兩個符號系統的雙碼編碼觀點受到批評者提出質疑，批評者認為意義不可能用編碼中的簡單聯結來表徵，需要一個單獨存在的一種對圖像和詞彙都能表徵它們意義的表徵儲存庫。意義在這些模型中以節點之間的關係網絡來表徵，節點與節點間的標記連線代表相互關係，這個表徵系統稱之為語義記憶(Collus & Quillian, 1969)。語義記憶模型很重要，但 Koy Smoothlawn(引自 Snodgrass, 1999)把他當成是 Paivio 雙重編碼模型的派生而出的。圖像和言語的共同編碼模型，雖分別保有圖像和言語的外表特徵，但這些外表特徵都與一個共同表徵系統相聯結。這個共同表徵系統將來自視覺與語言的訊息整合在一起，在共同的概念中儲存起來並聯合在一起，換言之，相同的意義和圖片及它的名稱聯結起來。這種共同編碼模式(hybrid model)和 Paivio 模型主要的區別是視覺和言語編碼儲存進入一個共同的語義記憶，以及二種儲存間的交流通常是經由語義儲存中的聯結來進行(如圖 5)。

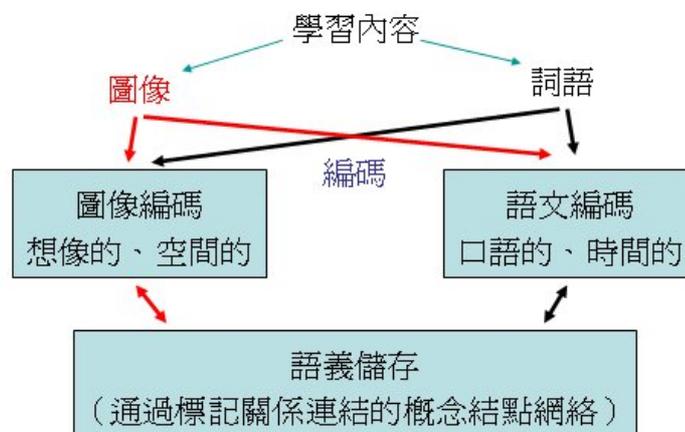


圖 5 Snodgrass 的共同編碼模型(1984) 引自 Snodgrass (1999)

在一些記憶測驗的實驗中顯示，富有意義的材料比無意義的材料保存的更好，此說明記憶一個項目的重要成分觸及它的意義。Tulving(1972)指出記憶涉及「事件訊息」和「意義訊息」兩種類型的訊息，因此他進而指出長期記憶系統的這兩種類型是不同的，應該使用不同的名稱。他建議用「情節記憶」來表示事件訊息的記憶，用「語義記憶」來表示語義訊息。這兩種記憶系統在許多方面是有差異的：最顯著的差異是在學習的速度上，訊息常常經過第一次試驗就進入情節記憶系統(如第一次遇見的陌生詞彙)，相反的，關於這個「詞」的意義或訊息需與這個詞多次的接觸才能在語義記憶系統中建立起來。其次的一個差異是在從情節記憶系統中提取的記憶會改變記憶(一旦回憶起某個詞，下次嘗試時將回憶的更好)。另一個差異是前後背景對從情節記憶中提取訊息的影響作用大於從意義記憶中提取時的影響。Tulving(1985)在情節記憶和語義記憶系統外又提出了第三個系統「程序性記憶」，他同時也區分這三個系統：程序性記憶是對知覺、動作和認知技能的記憶。語義記憶是對世界廣泛知識的記憶，這種知識不必與獲得它的時間和地點發生任何關聯。而情節記憶則是記憶者對過去有關事件發生的知識的記憶。Tulving 把這三個系統看成是有等級的，情節記憶是語義記憶的一個特殊化的子系統，而語義亦記憶又是程序記憶的一個特殊化系統(如圖 6)。

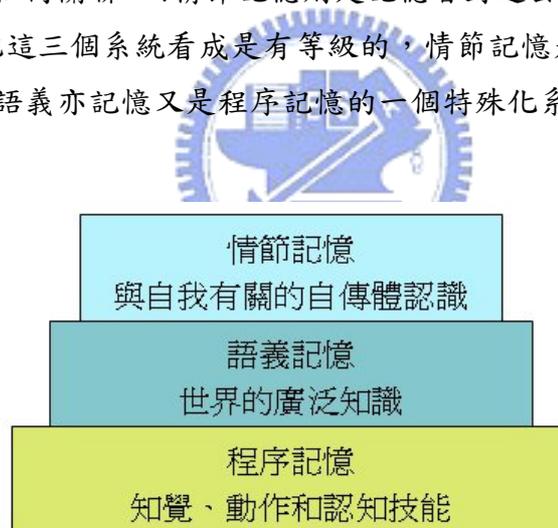


圖 6 Tulving 的三種記憶系統(1985) 引自 Snodgrass (1999)

圖像和言語系統是經由視覺系統和聽覺系統以及大腦的表徵共同來構成的。情節記憶和事件記憶的訊息來源經由感官所包括的知覺成分(視覺、聽覺、嗅覺、味覺、觸覺)和內部成分(如思維和記憶本身)，這是大部份的人都同意的。而在大腦內部的表徵上，在最近的研究中提出一種假說，認為情景記憶和語義記憶系統包含不同的記憶結構。海馬系統是情節記憶的結構，而新皮質是語義記憶的生理基礎。更精確的說海馬體與有意識的記憶往事有關，而新皮質與無意識或不自覺的登記有關。情節記憶最初存在海馬體也存在於新皮質中，相反的，語義

記憶是從情節記憶中抽取出共同成分累積而成，單獨的儲存在新皮質中(Koy Smoothlawn, 1999, 引自 Snodgrass, 1999)。

在長期記憶系統中 Daniel Schacter 分成二個部分，包括內隱記憶和外顯記憶。它們之間的特徵是：內隱記憶被定義為沒有意識的記憶，由語義啟動。它的任務可以分成知覺性質和概念性質。90 年代後期，普遍認為內隱學習是建立在所學刺激的感覺特性的基礎上而不是概念特性的基礎上，而外顯學習卻建立在所學的概念特性基礎上而不是感覺特徵基礎上。Larry Jacoby 和 Henry Roediger 把內隱學習稱之為「資料驅動」，而外顯學習是「概念驅動」。外顯記憶主要建立在概念加工(深層次加工)基礎之上，內顯記憶任務主要建立在知覺加工(淺層次加工)基礎之上(引自 Snodgrass, 1999)。

3.3 學習生成理論

訊息在大腦內是如何運作的，Wittrock(1974)總結了近二十年來認知心理學家在人類認知和發展、能力、學習與教學方面的研究結果，並根據其本人在教學領域的大量研究，提出了「學習的生成過程模式 (learning generative process model)」這一模式強調學習過程是學習者原有知識結構與從環境中接受的感覺訊息相互作用、主動建構訊息意義的生成過程。生成模式的一個根本前提是：「人們傾向於生成與以前的學習相一致的知覺與意義。」他認為，無論是學生還是專家，在對學習的事物產生意義時，都有一種與其以前的經驗相結合的傾向。因此，他在生成學習理論中，一直很重視學習者以前的經驗、知識在後來學習中的作用。「生成」的意義 Wittrock(1983)界定為：「學生設置新模式和解釋，或者使用、修改舊模式和解釋，把新訊息組織進一個牢固的整體，這個整體會弄清新訊息並使之與他們的經驗和知識相一致。」。這一界定包含著「生成」具有的三重涵義：(1)生成是學習中的一個基本認知過程；(2)對語義關係與實用關係的建構是生成的基本內容；(3)生成是對新訊息建構意義的過程，但並不是說建構就是生成(Wittrock, 1990)。

學習是一個主動的過程，學習者是學習的參與者，而不是以往行為主義認為的刺激與反映的被動過程，此為認知學習理論的共識。而 Wittrock 則更進一步提出：「生成學習模式的本質乃是認為大腦不是被動的學習和記錄訊息，而是主動建構他對訊息的解釋，並從中作出推論。」他認為當學習者面臨巨大的訊息量時，人腦不可能接受每一個新的訊息，因而它總是會忽略某些訊息，有選擇的注意到一些訊息。基於這種觀點，他提出了生成學習模式所包括的四個主要成分：生成、動機、注意、先前的知識與知覺(Wittrock, 1990)。所謂生成，就是指理解性學習，

包括學習者積極的生成語義和語用兩種類型關係。語義關係是指在課文各部分間的關係，語用關係則是指課文知識和知識、經驗之間的關係。所謂動機，是指對這兩類關係的積極生成，意謂著學習者要有刻苦努力的動機和意願。所謂注意，是指生成過程要選擇相關的文章、相關的儲存知識，以及有關的經驗記憶。所謂先前的知識、知覺，包括以前的概念、後設認知、抽象知識以及具體的經驗。

Wittrock 的學習生成理論(generative theory)借鑑了訊息加工理論的研究成果，結合了他自己對學習過程的研究，提出了生成學習模式的訊息加工流程圖(如圖 7)。整個模式所闡述的意義是指學習者會從呈現的訊息中選擇出重要的訊息，將一個個訊息片段組成連貫的心理表徵，並將新建構的表徵與其他表徵整合起來的過程。換言之，學習者會根據先前學習並保存在大腦的長期記憶中的已有經驗，形成自己的態度、需要、興趣和愛好以及認知策略，來對當前環境中的感覺資訊產生選擇性注意，獲得選擇性資訊並利用貯存在長期記憶中的各種表像、事件、判斷與技能等原有的認知結構，而完成該資訊的意義建構，從而獲得新知識、新經驗的過程。依 Wittrock 的模型，學習生成過程包含六個步驟：

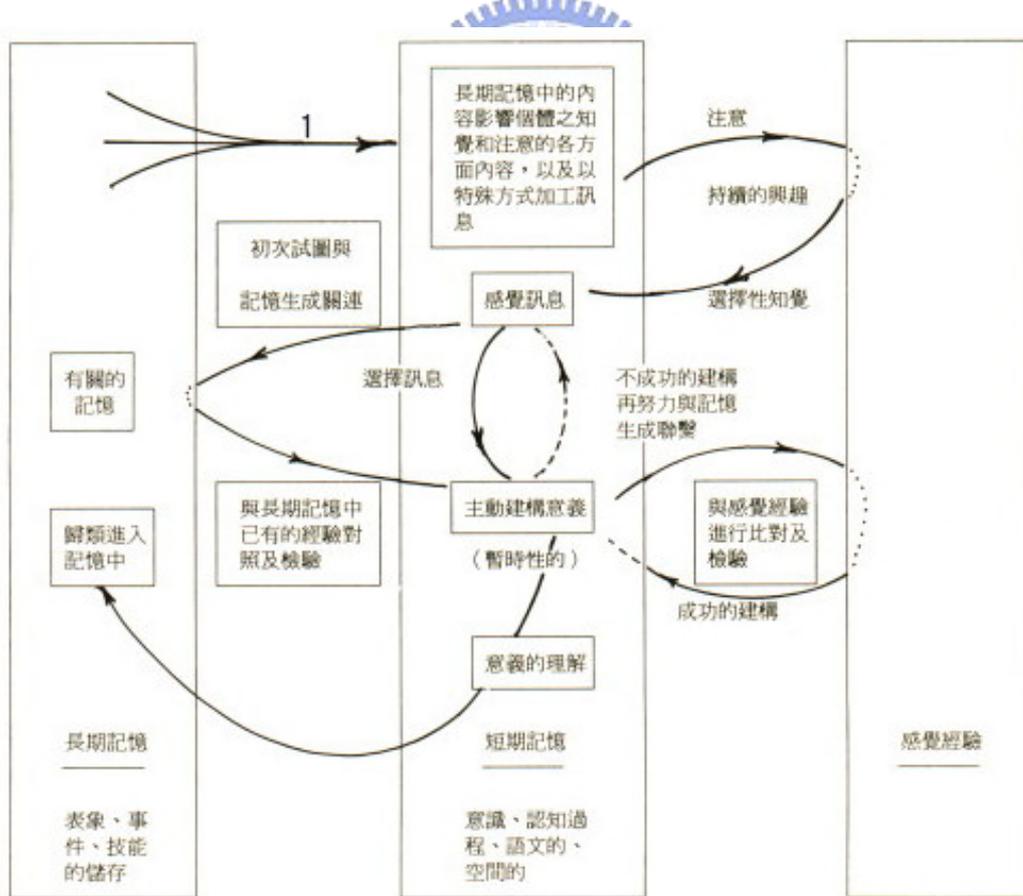


圖 7 Wittrock 的學習生成模型(learning generative process model)

(引自 Osborne, R. J. & Wittrock, M. C.1983)

1.學習者長期記憶中的態度、需要、興趣和愛好，會影響知覺和注意等各方面的內容，以及從其認知特點用特殊方式加工資訊的傾向進入短期記憶。

2.這些內容和傾向，形成個體的學習動機，促使個體對當前環境中的感覺資訊產生選擇性注意，從而選擇出所關心的感覺資訊。亦使學習者不僅能注意到外來的、意想不到的訊息，而且也能注意到以往既有經驗到且繼續保持興趣的訊息。選擇性注意的結果就是選擇性知覺，經過選擇性知覺到的感覺訊息，這一過程受到有關記憶儲存和認知過程實質的影響。

3.要從感覺訊息中建構意義，必須與長期記憶中有關的訊息生成聯結，意即為了達到對該選擇性資訊的理解，需要進一步建構該資訊的意義。這種生成關係是意義建構的關鍵，換言之，這是學習生成過程的核心。也就是說在最後建構意義之前，感覺訊息需與原有認知結構之間建立起新、舊知識的某種聯結，這個過程也稱「語義編碼」。

4.在與長期記憶進行試驗性的聯結，並主動建構意義時，可以通過與感覺經驗、長期經驗的對照建立試驗性聯結的檢驗，以確定意義建構是否成功。檢驗辦法是從與當前的感覺資訊對照和與長期記憶中已有的資訊進行兩個方面的對照。

5.如果未能完成有效的語義編碼，造成意義建構不成功時，則應檢查該資訊與長期記憶中的試驗性聯結是否適當，例如：當前的感覺資訊是否真實可靠、是否使用了沒有根據的假設？從長期記憶中提取的資訊是否適宜？從感覺資訊中選用的資訊是否合用？然後返回(3)去重新建構選擇性資訊與長期記憶中原有認知結構的聯結；如果意義建構成功則達到了意義理解的目的，此時可轉下入一步。

6.若意義建構成功，就達到了意義的理解，此時所達到對新資訊的意義理解後，即可將這種意義按一定的類屬關係從短期記憶加入到長期記憶中，並進行對原有認知結構的同化或調適。

Wittrock 的這個學習生成理論模型，較充分的反映出認知建構主義學習理論的核心思想，同時也克服了 Gagné 的資訊加工理論裡很少考慮到對如何通過學習促進學生的發展所表現出的不足；且更加注重「理解」在學習中的作用，他認為生成學習最終的目的就是達到「意義的理解」。此外，他在流程圖中強調後設認知的作用，加強了對生成學習過程中的意識和監控，此對於幫助我們深入瞭解人類學習的生成過程，幫助我們組織好各種類型、各門學科的教學活動，包括資訊科技與學科課程的整合活動，以及網路課程的研製、開發等都有重要的啟示作用。

3.4 認知靈活性理論

認知靈活理論(cognitive flexible theory)是由Spiro等人(1988)所提出。他的焦點是複雜和弱結構領域中學習的本質問題。他們指出：「所謂認知靈活性，意指以多種方式同時重建自己的知識，以便對發生根本變化的情境領域做出適宜的反應。這既是知識表徵方式(超越單一概念維度的多維度表徵)的功能，又是作用於心理表徵的各種加工過程(不僅是對完形的修復，而且是對一整套基模的加工過程)的功能」。Spiro屬訊息加工建構主義者，他對客觀主義採取了徹底的批判，繼承了認知主義的可取之處，也接受了建構主義有關學習是學習者主動建構內部心理表徵的過程之基本觀點，但與極端建構主義相比他採較為折中的觀點。Spiro既反對傳統機械式教學對知識做預先限定(prespecification)，讓學生被動的接受知識；同時也反對極端建構主義只強調學習中的非結構的一面，而忽視了概念的重要性。他主張一方面要提供建構理解所需的基礎，另一方面也要留給學生廣闊的建構空間，讓他們針對具體情境採取適當策略。

又認知靈活理論認為許多教學系統的失敗有著共同的原因，主要是源於教學設計中的根本性偏見和假設，脫離了現實的複雜性。這些偏見包括了：過份簡化傾向(oversimplification)，這其中包括了加法傾向(additivity bias)、離散性傾向(discreteness bias)和分割性傾向(compartmentalization bias)。加法傾向指即將複雜內容的各個部分單獨學習，當各個部分合併回去成為一個整體時，它們還會保留原來的特點；離散性傾向指將連續性的屬性極點化，連續性的過程被分割為具體的步驟；分割性傾向是指將現實中高度相依的概念要素孤立的去對待。其次是這些過份簡單化傾向所產生的可能性疊加效果，導致大範圍或長期性的錯誤概念。三是過份簡單化影響了心理表徵的認知策略和教學方法，以及學習過程中的所有因素。這些問題需要透過審視知識的複雜性和弱結構知識領域的高級學習方式，才能有效解決學習的失敗問題。

認知靈活性理論把學習分為「初級學習」和「高級學習」兩種(見圖8)。初級學習是指學習中所涉及的知識是強結構領域(well-structured domain)，這個領域的知識特點是：結構系統、聯結緊密的知識領域，學生可以只知道重要的概念和知識，並能夠原樣提取，學習目標是為了記憶概念和事實，並為掌握概念複雜性而準備。高級學習則涉及弱結構領域(ill-structured domain)，這個領域的知識具有：概念的複雜性(conceptual complexity)(即知識應用的每個案例中，都包含著許多廣泛的概念結構，如多種基模、觀點、組織原則和交互作用，且每個概念結構的本身也是複雜的)，和案例交叉性的不規則性(across-case irregularity)(即名義上

同類的案例之間，概念應用和交互作用的方式有著實質上的不同)。

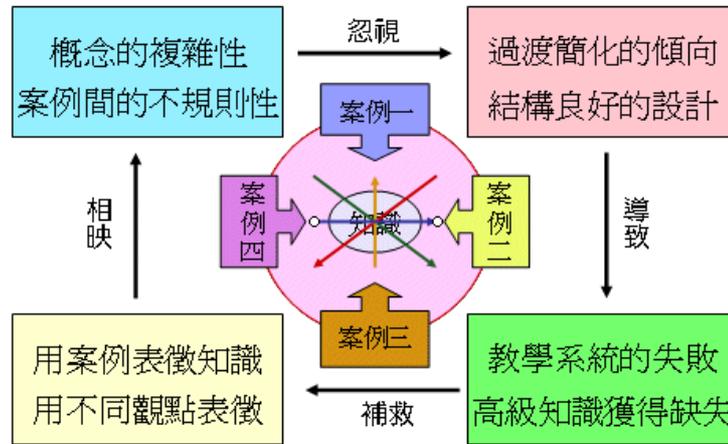


圖 8 Spiro 的初級學習與高級學習 (本文作者整理)

基於弱結構領域中高級學習的缺失，Spiro 等人提出了「隨機通達教學」(random access instruction)(見圖 9)。由於高級知識的複雜性和案例的差異性，人們在運用知識解決實際問題時，任何對事物的簡單的理解都會漏掉事物的某些資訊，而這些方面在另一個情境中或是從另一個角度看時可能是非常重要的。因此，學習過程中對於資訊意義的建構可以從不同的角度入手，從而獲得對不同方面的理解。隨機通達教學的核心觀點是，要達到獲得高級知識的目標(即把握複雜性和為遷移而準備)，必須在不同時間、在不同安排的情境脈絡中、為了不同意圖，從不同的角度重新多次造訪相同的材料。Spiro 等人把這一種方式稱為「縱橫交織形」(crisscrossed landscape)，用它來類比隨機通達教學。這意味著在教學中，對複雜主題要在不同的場合、從不同的方向，通過非線性的多維度流覽方式，在不同場合又返回到概念圖形的同一地方。通過不同的方式交叉流覽結構不良知識領域，能使學習者認識到知識應用的多樣性，並可揭示知識的多種關聯性以及對情景的信賴性，也使學習者認知到從不同角度考慮知識的複雜性是非常重要的。

又教學時要避免只用抽象講解概念的方式說明其一般如何的運用，而是要把概念放入到具體的案例中，並與具體情景聯結起來。每個概念的教學都要涵蓋充分的案例，分別用於說明不同方面的含義，而且各案例都可能同時涉及到其他概念。在這種教學中，學生可以形成對概念的多角度理解，並與具體情景聯結起來，形成背景性經驗。這就能提高他們針對具體情境的需要從記憶中選取知識加以重新組裝，建構意義的能力。在這種教學觀念支持下，Spiro 等人認為超文本學習

環境可以很好的實現隨機通達教學，提高結構不良領域認知靈活性。

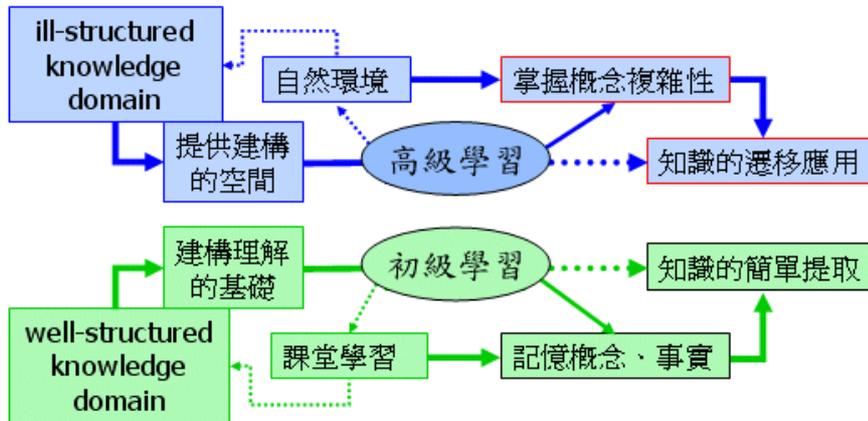


圖 9 Spiro 的隨機通達教學(Random Access Instruction) (本文作者整理)

超文本是一種基於電腦的文本，它採用一種網狀結構組織資訊，由資訊節點和連線組成。節點間通過連線彼此相互聯結，讀者可以順著連線在超文本資訊網路中自由移動。通常一個節點描述某一個概念或主題。在節點上可以包括不同類型的資料：如文本、圖像、視訊、音訊、動畫等。超文本也可以是線性的，但更多時是以非線性結構組織資訊，內容呈現沒有固定的順序，也不要求讀者必須按照某種順序來閱讀。使用超文本代替線性文本來呈現知識，為學生提供一個有機聯結各個知識點、構造精細的網狀學習環境，即超文本學習環境。超文本學習環境的一般特點是和超文本的特點緊密相聯，同時具有靈活、非線性存取、隨機通達各節點間資訊的特性。

認知靈活性要求教學要能夠不斷重組教學序列、以多種維度表徵知識以及揭示知識之間的相互關聯性等。超文本學習環境的特性與這些要求正相吻合，便於知識點之節點的縱橫交織流覽。然而，並非所有的超文本設計都是符合認知靈活性理論的，也不要企圖要所有的學習都在相同的環境下完成。認知靈活性理論主張的超文本必須是經過精心設計、提供豐富概念知識之間鏈結的。至於在超文本環境的建置上他們提供了三個建議：內容從簡單到複雜排列、內容用多種複雜不規則的例子來呈現、指導學習者用多種角度去分析思考這些不同的例子(即用縱橫交織的學習內容進行排列)(Spiro, Feltovich, Jacobson, & Coulson, 1995)。

3.5 貫一設計理論

新的科技發展刺激了研究者和教育工作者去拓展學習的概念和學習環境的設計。不同研究者各自去追求不同的認識論和發展出不同的科技方法，因此引發了許多爭論，有的批評傳統教學法不能培養高級思維和解決問題的能力，只能培養順從的和膚淺的理解，有的批評建構主義無法證實，而且理論性不強無法實踐。Hannafin 等人(1997)認為我們不想去深入這些爭論而推波助瀾，而是要發展一個更原則性的方法來連接教學、學習和科技。因此他們提出貫一學習環境(grounded learning environment)的觀點和貫一設計(grounded design)的方法，並強調貫一設計所考慮的就是理論與設計的內在一致性，而不是哪個理論優劣的問題。

貫一設計(Grounded design)是「建立在已有的人類學習理論和研究基礎上的過程和程序的系統執行」(Hannafin, 1997)。其本質內涵是強調核心基礎和假設的精緻協調，強調方法與手段以與其認識論一致的方式相聯結。貫一設計並不提倡和假設某種特定的認識論和方法論對設計具有內在的優先權，而是提供了一個框架，將不同的設計實踐和相關思想系統的基本信條融合在一起。

心理學基礎、教學論基礎、科技基礎、文化基礎和實用基礎是建構主義學習環境的核心要素(Hannafin & Land, 1997)。心理學基礎強調了與個體如何思考和學習相關的理論和研究。例如，行為心理學和認知心理學為傳統的直接教學提供了心理學基礎。行為主義者將刺激→反應→刺激→反應的聯結做為他們最主要的觀念，學習就是行為相對持久的變化，這種變化與刺激、反應、強化的不斷聯結相聯結。認知心理學家則認為，像基模、加工深度、心智模型、認知負荷等建構物是學習的中心(Gagné & Glaser, 1987)。個體具有有限加工能力，基於有選擇的感知而對外部刺激作出反應，把所選的刺激傳輸和解碼至工作記憶中 (Hannafin & Rieber, 1999)。教學論基礎提出了環境的給養(affordance)和活動，這一基礎應該與相應的心理學基礎相聯結。例如，與行為主義假設相一致的貫一教學策略，反映了以客觀性為基礎的、階層式組織的、結構嚴謹的「反應——回饋」的教學活動。基於認知理論的教學論基礎，則可能反映出與蓋聶(Gagné, 1985)的內部教學事件相關的外部策略(提高對即將出現的資訊的警覺、突出關鍵術語和概念等)。科技基礎影響到媒體如何支持、限制或加強學習環境。不同的媒體可以被用來以不同的方式支援學習，但科技的貫一性應用與特定情況下的特定認識論框架有關。在認知負荷限制存在時，科技可以控制資訊的速度和將資訊分成組塊(chunk)；與之對照，在認為個體協商很重要時，它可以支援以學習者為導向的對

網際網路資源的獲取，支持對各種觀點加以操作。科技基礎決定了哪些在科技上是可行的，但貫一的實踐要求確定如何開發能力。在貫一設計中，科技應用的方式取決於它對特定認識論假設的適應性。文化基礎則反映了學習共同體的主導性價值觀。例如，文化基礎可以反映特定的價值觀，如「回歸基礎」、「跨學科學習」或「全球社會」等。以應用為導向的學習環境，如工程學、商學和醫學院校，可能強調基於案例的、重視實驗室的、基於專案的方法，以解決複雜的現實問題。貫一學習環境既反映了相應的文化境脈，也使這種文化境脈發揮作用。最後，實用基礎強調，在實際設計任何學習環境時，要對可以利用的資源和限制條件加以協調。例如，許多學校認識到了讓教師、學生和管理者同世界範圍內其他地方的這些人員進行聯結的好處。但是，聯結的能力、頻寬、硬體等侷限常常限制了在教學上和科技上本來可以取得的成果。實施條件的基礎體現了學習環境的設計和實施的現實情況，常常會要求對一個或幾個基礎之間的協調性進行重新評估。

貫一設計要求同時考慮每一個基礎，以使各基礎之間的協調性能達到最優的程度。隨著各基礎之間交叉的增多，設計也就越具有貫一性。多種心理學觀點都可以加以引用，因而在教學論上的選擇也就很多。但是，並不是所有的觀點和方法都是可以相互交換的，在貫一設計中，它們是相互依賴的。進行貫一設計的實踐有四個基本條件(Hannafin, et al., 1997)。首先，設計必須植根於自洽的和普遍接受的理論框架。只有其核心基礎是同一的、一致的，學習環境才有理由得到延伸，並將相應的理論技術、相關的假設和方法連接起來。其次，方法必須與研究的結果相一致，進行這些研究就是為了驗證、證實或拓展研究所依據的理論。貫一方法來源於事例、案例和策略得以評估的研究；貫一設計實踐建立在被驗證過和被證明了的方法之上。另外，貫一設計是可以概括的，就是說，它們的適用範圍超越了單一的案例，可以把取得成功的個別案例進行轉化，以適應和適用於其他設計者。這並不是說要在嚴格界定的條件下對方法進行文字上和具體方法上的複製，而是適當的在可以參照的環境中對設計過程進行啟發式的應用。最後，貫一設計及其框架在後繼的應用中得到反覆的驗證。方法支持了自己依據的理論框架，並在後繼應用中拓展了框架本身，因而被證實是有效的。這種設計過程和方法不斷地揭示、檢測、驗證或駁斥他們所依據的理論框架和假設，反之亦然。

3.6 結語

根據上述基於腦的學習原理，大腦有關記憶、編碼的特性，認知生成的過程，和認知靈活性，以及從外界訊息不是僅以線性、序列的方式，一件一件的進入人腦，而是同時大量進入大腦；而人腦亦以平行、多元非序列的方式，同時將大量、

形式複雜的訊息，分散在各個不同區域加以處理事實的理论觀點。並在大腦處於具有新奇、挑戰、豐富的環境且是有意義的學習內容時，人腦最能夠發揮功能、學習會最有效果的觀點。因此在創設學習環境和進行認知支持學習設計時，如何排除不一定適合人腦的運作機制的線性、序列的學習方式，而又不會陷於非線性、多元非序列的紊亂學習情境，以及充分反映有利大腦的學習情境，並在課程上配合學習者的身心發展、設計出與學習者生活經驗相近的題材，在教學策略與方法上採用與真實世界進行直接互動的學習活動、布置符合創新、可遷移的學習情境，以及在學習者與學習內容之間架起情緒的橋樑，考慮認知與非認知的因素等，此皆是在設計和發展概念學習認知環境時的必要的思考和依據的理论基礎。

然而應用理论、使用科技、實作開發和學習現場間存在著一些普遍或個別的相依關係，且某種理论、科技也都有其侷限性。例如在網路教育理论和實作間，所謂「最好」的網路教育理论和實作還沒有被界定，近期也不太可能被界定。網路科技的發展快速，網路教育理论的修正也有一些困難，因此只有精良的設計、並結合有意義的研究問題和嚴謹的方法論體系的研究，才能為產生更好的教學設計提供答案(Miller & Miller, 2000)。而 Spector 和 Davidson(2000)在討論設計科技優化的學習環境中也提到，通過科技的革新應用來進行普遍深入和持久性的教育改革其結果並不成功，失敗的原因並不在科技本身，也不是沒有找到正確的學習理论，而是相信使用單一的一種方法來支持學習就會成功。至於在學習理论和教學間，Jonassen (1991)認為建構主義的學習也許更適合於高一級的學習，但基本和入門的知識最好通過其他方式的學習進行。而 Smith-Gratto(2000)也指出程序教學有利於學習過程中基礎領域的建立，而建構主義有利於學習過程中高級操作和問題解決領域的建立。同樣的 Spiro(1989)在其初級學習和高級學習的觀點中，也提出強結構領域的學習和弱結構領域的學習是有區分的，不需將弱結構領域的學習方式也放入到強結構的學習環境中。基於此，Smith-Gratto(2000)指出隨著越來越多的網路學習，考慮如何設計最好的教學就顯的非常重要。不同的學習理论有利於學習者的不同學習方法，每個學習理论都有優勢和劣勢，並能從不同的方面幫助學習者獲得學習。所以需要將不同的理论結合起來為學生提供一個更為豐富、更為有效的學習環境。

基於此，本研究認為在多種理论求得其一致性和對學習的相符性，以及在其中架構的認知支持鷹架，溯源至對人「腦」的理解，將可取得對學習最高的視角，同時可獲得最深的理解。而由此進行的概念學習認知支持環境設計和發展，考慮到意義性主要是建立在知識的豐富性，以及與學習者的關聯性的基礎上，也能構築出最有意義和最有效的學習環境。



第四章 概念學習認知支持環境設計的理念、方法和架構

以「教為中心」的教學設計，在第一代教學設計（簡稱 ID1）是根據行為主義，第二代教學設計（簡稱 ID2）則依據訊息處理模式和參考建構主義(Gagné et al., 1992; Merrill, 1991)。然而 ID1、ID2 主要仍依循分析、設計、發展、應用、測試的循環設計觀點來發展教學設計，這種設計方式在傳統線性的程序教學上有其一定的成果和貢獻。但目前學習者所處的學習環境已是非線性、超文本、超聯結的，不僅資源豐富、形式不同，而且互動性、多元性、複雜性都很高，再加上科技發達快速變化所帶來的機會和可能，這些轉變使得在設計上可因應不同學習者之需求，和對不同學習目標的選擇也愈多。因此，基於教學不再強調如何向學習者提供刺激訊息，而是學習者與媒體、內容的交互過程，以及以學習者為中心的新環境與認知情境理論的原理趨於一致下，新的教學設計觀也做了大幅的改變，如美國教育傳播與技術協會（簡稱 AECT）1994 年出版的《教學科技：領域的定義和範疇》(Seels & Richey, 1994)，就定義了：「教學科技是為了促進學習，對有關的過程和資源進行設計、開發、使用、管理和評價的理論和實踐。」而以「學為中心」的認知建構主義者，對環境的設計觀也大大的改變，他們除了強調教學設計應轉向為「學習環境設計(learning environment design)」，同時也強調學習環境應是真實性(authentic)與互動式的學習情境。因此，基於認知科學和建構主義的學習理論基礎，本文採用貫一設計(grounded design)的觀點和方法來進行本研究。

4.1 整體貫一設計的觀點和方法

貫一設計以心理學基礎、教學論基礎、科技基礎、文化基礎和實用基礎為其核心，其本質內涵是強調核心基礎和假設的精緻協調，強調方法與手段以與其認識論一致的方式相聯結。它並不提倡和假設某種特定的認識論和方法論對設計具有內在的優先權，而是提供了一個框架，將不同的設計實踐和相關思想系統的基

本信條融合在一起(Hannafin & Land, 1997)。其要求進行貫一設計時有四個基本條件：基於自洽的和普遍接受的理論框架、與證實該理論框架的研究的結果相一致、具有可概括性適用於其他案例或情境、通過連續的試用和修正應用證實是有效的(Hannafin, et al., 1997)。依此，本研究有關概念學習認知支持環境設計和發展，綜合考慮了 Piaget(1954)、Bruner(1956)、Vygotsky(1962)等概念發展和概念形成的各階段過程觀點，以及 Vygotsky(1962) 的最適發展區(Zone of Proximal Development 簡稱 ZPD)觀點，Erickson(2002)的以概念為基礎的課程觀，Caine 和 Caine(1994) 的基於腦的學習理論，Paivio(1971)和 Snodgrass(1999)的記憶和編碼的表徵理論，Wittrock(1974)的學習生成理論，Spiro(1988)認知靈活性理論，Hannafin、Land 和 Oliver(1999)的致能情境、資源、工具、鷹架四個要素，Jonassen(2000)的心智工具(Mind tools)觀點，以及網路資訊科技的發展趨勢，並從概念學習與認知的三個層次來說明設計方法上的基礎概念：

1.在整體系統觀上：由於人是一個整體認知者，會對各種現象有所感、有所思、有所知、有所為，並在感、思、知、為中，會對現象主動進行詮釋，進行意義的建構。而在詮釋和建構的過程及結果中，都需要用到概念和符號，以便進行敘述和說明。此包含了整體認知、認知發展、環境因素、學習者的知識狀態和思維能力。故從巨觀來看，需納入符號學、認知論、建構主義、闡釋學和溝通理論的觀點，此可從個體之整體認知與概念的關係來思考本研究的整體系統(如圖 10)。

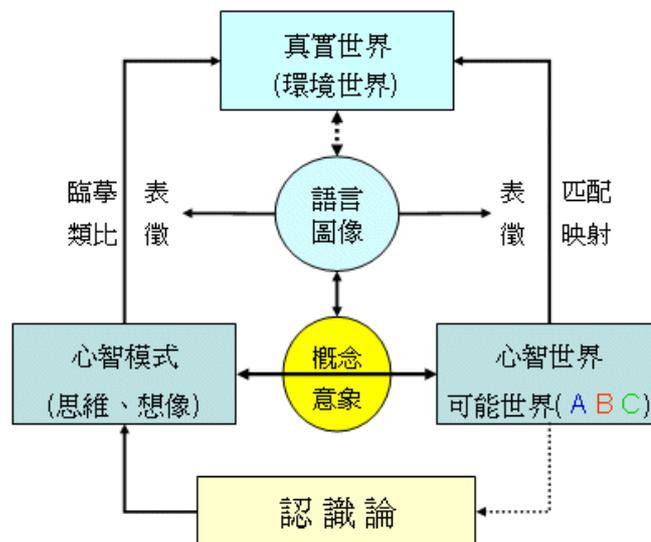


圖 10 概念與思維認知的整體觀

圖 10 綜合了符號學、語義學、闡釋學、溝通理論、認知論和建構論的觀點所繪製，顯示出人們經由個體的心智模式，藉觀察、推理、想像等活動臨摹或類比真實世界，然後運用符號（語言與圖像）與世界中的物理、生命、社會現象互動接觸，依此而建構了各自個體內在表徵的世界（如概念和意象）。當溝通活動發生時，傳達者持這些概念和意象，透過語言、圖像、動作等符號系統為媒介與他人進行溝通，接收者則依此符號系統匹配或映射真實世界，以達成彼此間的對話和聯結。在對話情境中，互相以既有的心智世界（概念、知識、思維、情感、文化）為基礎，交互進行著訊息和意義的傳達、詮釋、理解、建構等活動。在活動過程中，彼此又重新組織了個體的認知結構、概念架構、知識系統、情感態度，並賦予內在表徵世界新的意義，及做為新認知的再出發。由於每個個體對世界的認識和表達都受其認識論的信仰所影響，且基於不同的認識論又產生不同的知識觀和學習觀，再加上個人的認知能力難以究竟全知整體的真實世界，所以只好將真實世界暫時視為是由不同的認知者所各自建構之世界的綜合反映(共同一致性接受)。因此，進行概念學習環境設計時，需考量每個人對於世界的認知陳述或概念表達，都是一種認知選擇也是一種價值或情意驅動選擇的事實。故此整體認知的觀點需於概念學習整體課程中來回交互的思考。

2.在中觀層次上：因每個人運用心智模式對真實世界所建構的知識或概念，是經累積、傳遞、紀錄而構成私有的體系架構與共有的體系架構，其形式包括了內隱於大腦內和外顯於大腦間。但不管是私有架構或共有架構，也不管是內隱於大腦內或外顯於大腦間，都可用「概念體系」一詞來加以描述（如圖 11）。

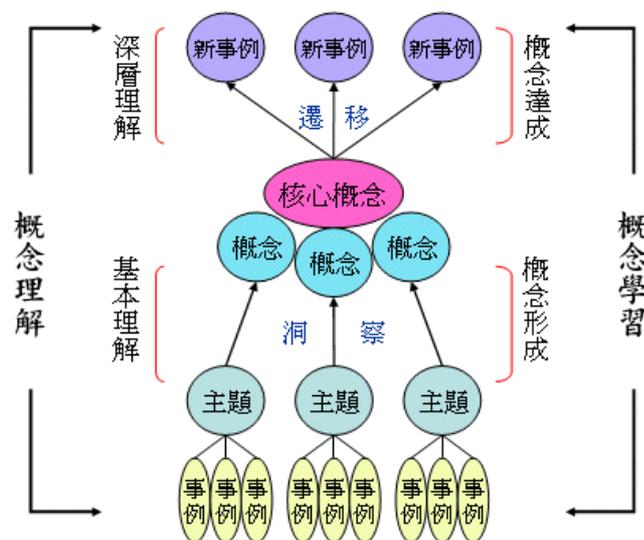


圖 11 概念體系的學習與理解

「概念體系」是一種關係的表徵結構，它的稱呼在不同的使用情境、使用者上，有不同的稱呼：框架(frame)、架構(architecture)、語義網絡(semantic network)、概念(concept)、圖像(images)、表格(grid)、本文(text)、脈絡(context)、基模(schema)、組塊(chunk)、鷹架(scaffolding)、表徵組織(representation organizer)等，這些稱呼雖名有所別，但從更高的抽象層次來看其實都具有接近相同的所指(reference)，正如 Case(1978)所說：「人類的全部知識，無論是事實性的或程序性的，它們都可以假定是用稱為「基模」這種實體儲存於心理系統中的，正如同計算機模擬研究者所假定的知識單位一樣。」換言之，它們彼此具有同構性(isomorphic)。更簡略的說：人類大腦普遍是以組織的方式，去組織認識結果，並以組織的方式儲存認識的結果，每個人只是在組織程度、結構層次、結構形式和結構大小上有所差異而已。至於個體建構之「概念體系」的有效性則是建立在學習和理解的深淺程度上，而其指標則是洞察和遷移的靈敏程度，但關鍵則是組織結構是否可在特定情境中被激活。這其中，核心概念做為整個概念體系的再組織和再淬煉上扮演著重要的功能。

核心概念是一個大觀點、主要觀點或重要觀點，具有普遍性、廣泛性、永恆性和抽象性，能聚合概念並依此可整合主題或事例使其聚焦。通過概念聚合的聚焦探討，可使學習者在探討新知識形成過程的模式及規律時達到思維的整合，也可幫助學習者達到深層的理解層次，亦能有效協助學習者建立起組織良好的知識結構(Bransford et al., 1999; Erickson, 2000; Wiggins & McTighe, 1998)。又兒童早期接觸重要概念性的觀點具有潛在的好處，不僅可培養學習者的思維技巧或思維策略，亦可使其對學科產生整體的理解，且對學習遷移也有促進作用(Bransford et al., 1999)。因此，建構以「核心概念」為基礎的概念學習課程，是進行概念學習認知支持環境設計時對於結構分析的一個重要的關鍵思考點。

3.在微觀層次上：概念學習是一個非常細緻的認知過程，但許多概念認知發展的研究，是以母群統計的觀點來看兒童的概念學習，因此深入去設計一個概念學習活動除以整體認知的觀點和母群統計為參考外，更需以微觀的認知角度出發。從建構主義的學習論觀點來看，概念學習就是概念的一種改變。而概念改變從始態到終態的認知描述，可做為概念學習活動設計時有關認知過程的一個參考(如圖 12)。

圖 12 中 A、B、C 表示三個概念群，A'、B'、C' 表示兒童在三個概念群中所建立的典型性(typicality)或表徵(representation)，而 α 、 β 、 γ 則表示三個概念群中在一般社會或科學上認知下的典型性。開始時兒童會以 A'、B'、C' 來表示三個概念群 A、B、C，或以 A'、B'、C' 來代表三個概念群 A、B、C 的典型事例，

同時也運用這三個典型性來辨別區分新的情境或事件(如：a、b、c)是否屬於該概念。在這過程中，a 可能被 A'同化，B'可能去適應 b，也可能造成 C'和 c 並列，這些情形都是概念學習的可能結果，而且也是學習者主動構成的。然而這種結果可能並不一定符合社會或學術上對 α 、 β 、 γ 是 A、B、C 的典型性的普遍認知。因此就「教學設計」就是「賦予學習意義」的概念而言，概念學習設計即是首先要提出 α 、 β 、 δ 和 A、B、C，並確知兒童內在之 A'、B'、C' 的結構與情境中 a、b、c 的結構形式，並建立概念學習的環境；其次說明如何幫助兒童建立 α 、A'、a 與 β 、B'、b 與 γ 、C'、c 的內在關係和完成異同區辨的能力；最後設計出可以使學習者從中學習到建構關係、形成概念的最佳策略，並利用這個最佳策略建立出最適的概念結構。

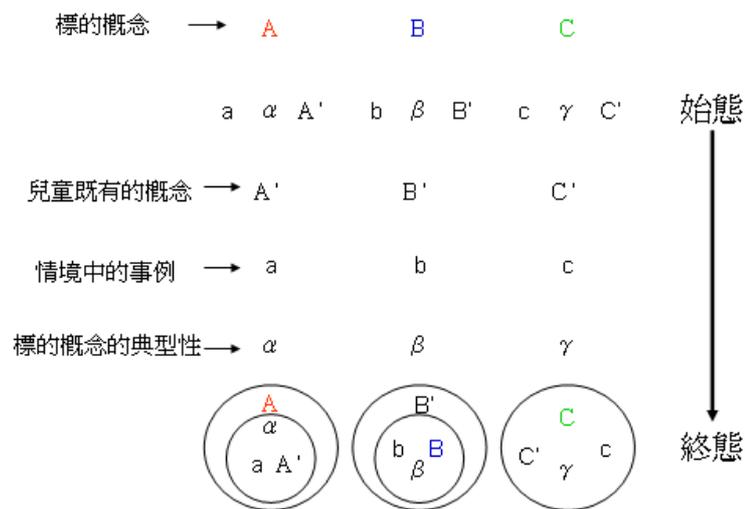


圖 12 概念學習與改變的認知過程

整體來說，這三個層次就是「大腦之間、腦內與腦外之間和大腦之內」三個領域的系統觀。因此，整體貫一設計的觀點和方法需通盤考慮其個別性和交互作用，這樣才能更貼近於描述和解釋概念學習的複雜性，進而設計出有效的認知支持學習環境。

4.2 設計過程和步驟

概念學習認知支持環境設計與發展的過程和步驟，包括從總體課程角度思考概念學習認知支持環境的要素與關係，接著從核心概念來思考相關課題，而後從概念學習的學習環(learning cycle)來構思學習活動設計，最後依據學習需求設計認知支持的工具和鷹架。這四個過程和步驟雖有層次之別，但實際設計和發展時

是交互檢驗和交互關聯的，換言之，是一種交互模式，有由上而下也有由下而上的交互過程。以下分別說明：

4.2.1 整體課程的結構分析和項目評估

認知支持學習環境的總體課程設計，是基於認知理論和建構主義的學習觀為基礎，以發展出學習者的整體心智為依歸。依此首先是結構分析，包括：學習對象的概念分析、學習者的學習能力與認知分析、學習目標與任務的分析、學習問題的診斷與分析、學習內容的分析，學習工具的設計和發展、學習活動的規劃、鷹架支持的設計、教學策略的設計，課堂和網路散佈形式結構設計，及學習活動的情境安排和評量規劃等（如圖 13）。其次是項目評估，包括：概念組織、領域範圍、情境安排、學習序列、活動鏈結、學習資源、認知工具、引導方式、示範方式、暗示方式、控制路徑、學習進程及評量設計等。最後依結構分析和項目評估完成學習活動設計、教學設計和認知支持工具的開發。

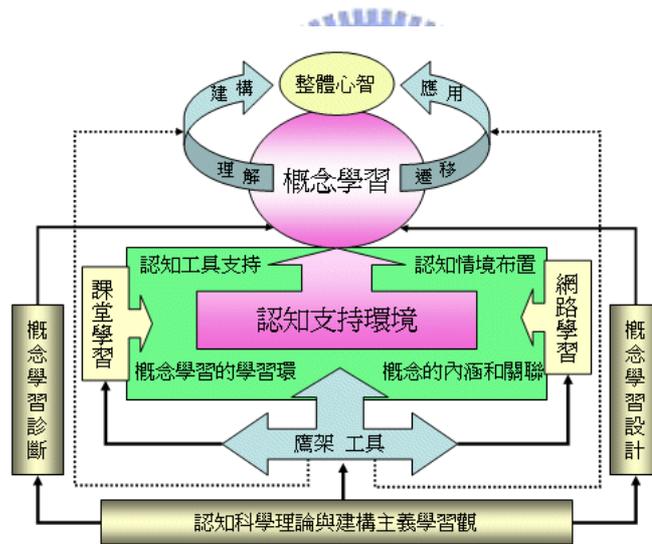


圖 13 概念學習環境總體課程設計

4.2.2 核心概念的內涵和結構分析

在整體課程觀下，由下而上尋求標的概念與核心概念的關聯，再由上而下從核心概念來思考標的概念與同級層次的相關概念關係及其最適安排的方式，而後以交互模式來回思考關聯程度的組織形式（如圖 14）。

從核心概念來思考的主因是傳統以主題為主的課程設計，主要以主題和相關事實為中心，其目標只是展示對主題的理解，這種設計偏重於低層次的認知對學

生的行為表現並無多大的益處(Erickson, 2000, 2002)。由於許多主題只是用來說明同一概念和幫助概念的理解，因此，我們只是將主題和事實當作工具來幫助學生發展深層理解，而不能將它當做目的來記憶。Erickson 也強調主題並不是學習的目的，它只是理解「支撐性觀點」(對學習深入的、基本的理解)的一種工具。而支撐性觀點是隨年級增長而逐漸深化的，是一個可遷移的基本原理，可協助在學習者學習新例時用來進一步發展概念性的理解。因此，確定核心概念的內涵並進行結構分析，是認知支持環境設計中重要的步驟。

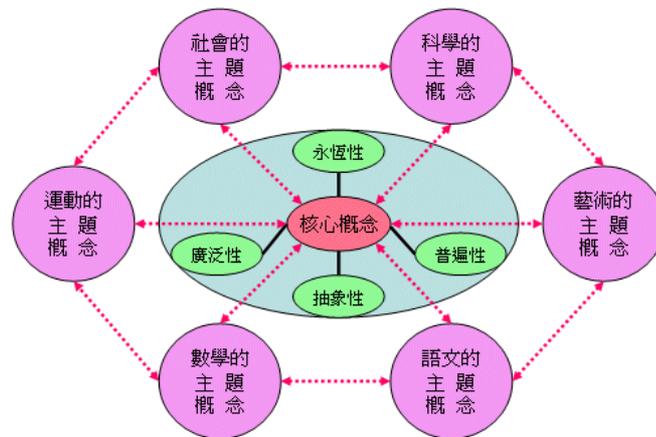


圖 14 核心概念與主題的關係

4.2.3 概念學習環的學習活動設計

學習環(learning cycle)所代表的是一種學習活動的過程，而學習活動又是認知學習過程的一種模式反映。又如何提供一個使學習過程最佳化以達到特定學習目標，則端賴教學策略的運用。因此，如何運用教學策略以提升教學成效，一直是教育學者所關切的問題。Lawson (1996)認為在眾多的教學策略中，學習環是其中最有效的教學策略之一。有關概念學習的學習環觀點甚多，如早期的探索(exploration)、發明(invention)、發現(discovery)；Karplus 等人(1962)的探索(exploration)、概念引入(concept introduction)、概念應用(concept application)；Renner、Abraham 和 Birnie (1988)的探索(exploration)、概念發明(conceptual invention)、概念延展(conceptual expansion)；Lawson(1988)的探索、名詞引介(term introduction)、概念應用(concept application)三個階段說，這些學習環的步驟與Nussbaum 和 Novak 提出的找出學生原有架構、造成概念衝突、鼓勵學生認知調適等步驟，皆符合建構主義的觀點(郭重吉, 民 81)。其他有 4E (Engage, Explore, Explain, Extend)、5E (4E + Evaluate)模式(Biological Sciences Curriculum Study 簡

稱 BSCS, 1992)等觀點。本研究基於大腦認知與建構觀點則以「覺察、發現、建構、應用」四個階段並圍繞理解為觀點，如圖 15 所示。

圖 15 強調概念學習環中必須以「理解」為核心，理解可區分成基本理解和深層理解。基本理解就是掌握貫穿整個學科最重要的事實內容，深層理解就是指可遷移的、概念性觀念 (Erickson, 2000, 2002)。而成功的理解則要求掌握概念、基本技能的自動化，以及相關策略的有效利用(Byrnes, 1996; Gagné, et al., 1992; Mayer, 1999)。因此，如何引發學者產生深層理解，首先就需考慮可否引發學生的興趣和動機的問題，而引發學習者注意力的產生又與學習者既有經驗有關。當學習者願意去學、集中注意去學時，如何維持學習者持續探討的動力，這其中和學習者在探討過程中有無發現的喜悅和建構的滿足愉悅感有關。而學習是否有效，則需從應用概念來評量。

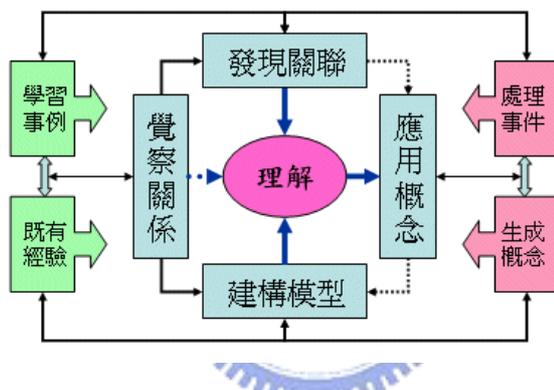


圖 15 概念學習環設計

概念學習環中，在察覺(awareness)關係階段：牽涉到感覺記憶(sensory memory)、短期記憶(short-term memory) 和長期記憶(long-term memory)，主要是訊息的輸入，包括生活和學習中的討論、對話、畫圖、描述等。察覺的事項包括：事件、現象、性質、數量或狀態等。此階段涉及知覺的發生和感覺記憶的問題及認知作用的發生，如：訊息選擇過濾(filtering)的運作、訊息的輸入及表徵(representation)等。在發現(discover)關聯階段：牽涉到短期記憶及長期記憶。包括編碼(encoding)、匹配(match)、搜索(searching)、尋找(seek)的運作。主要為分析(analysis) 和歸納(inductive)的過程，在這歷程中，學習者必須經歷一段很長時間的搜索，搜索的項目如：概念的內涵性、概念的外延性、特性、規則性以及個體內在的先前知識。在建構(construction)模型階段：牽涉到短期記憶及長期記憶。主要則是歸納和演繹的過程，在這歷程中，學習者將搜索所得的片斷知識，與將要學習的概念，進行匹配、重組、再建構後，收錄到更廣泛或更有義意的知識脈

絡之中。其中包含由非典型的例子及正、負例的分辨作用；元素間關係的聯結與規則的建構；將一關係網路結構以一個名稱標記起來，儲存在長期記憶中。選擇架構儲存的方式與形式等。在應用(application)概念階段：牽涉到短期記憶及長期記憶。包含回憶(recall)、再認(recognition)、澄清概念、再建構、迴饋(feedback)等反應、處理與輸出的運作。以上有關學習環的觀點，主要在反映認知生成學習過程中有關大腦運作的一些重要過程，同時也在反映學習者、學習活動、學習內容、學習環境間相互關係所產生的中某種學習、認知的節奏性。此觀點亦與 Wittrock(1983)的學習生成過程理論相符。

總體而言，概念學習就是對某種關係的探討、理解和建構過程，並在此過程中建立起更有效的架構體系。四個學習階段是以「理解」為中心，其中包括了：引發經驗、構造經驗和喚醒記憶經驗的過程和作用；將新的訊息、事例整合到既有基模（架構）中，對微妙關係產生一種洞察和領悟；聯結不同的訊息、事例、方法並與內部表示法建立起網絡關聯架構；從觀察和描述中進行規則的歸納，形成一個心理表徵或創造出一個模型，以解釋外在的世界；以及最後包含著形成聯結良好的知識結構性。而所有概念形成過程中，也必須是學習者主動建立的過程，而不是被動接受。正如 Vygotsky(1962)在兒童概念形成階段中所言：「兒童遵循的並非是他在物體裡發現的客觀關係，而是他自己的知覺提示給他主觀的聯結」。因此，覺察、發現、建構和應用的學習環學習活動設計，就是在滿足學習者有利覺察的情境，並支持其主動探討、發現和建構的學習環境。

4.2.4 認知支持工具和鷹架的設計

在認知支持的學習環境下，學習方式和過程可以有很多改善空間，也可以有重大的改變，例如 Fisher(2000)建議基於網路學習環境下，教師要在科技的協助下以學生參與完成任務的方式進行教學。在這樣的學習情境中，學生完成任務的步驟在時間上並不一定要與概念的層級相匹配。對學生來說總體觀察是非常重要的，因此概念層級中最高級的應先行到來。又學生需要對結果的理解來建構一個在他大腦中能夠參照使用的認知地圖(cognitive map)，當認知地圖構造完成，學生將尋求哪一種類型的學習活動最為有效，並應用這方法激發一種個體化的創新。若學生對認知地圖沒有瞭解，他們可能會被弄得糊里糊塗並迷失在學習的過程中。這種先給學生最終產品的呈現方式，稱之為反向成型法(reverse shaping) (Fisher, 2000)。Oliver 和 MacLoughlin(2001)提出有關建構性學習支持的原則：提供知識建構過程的經驗、提供多重認知的經驗和評量、提出相關且有效的學習任務、鼓勵學習過程的自主學習和討論、重視社會經驗的學習、鼓勵對多種解題策

略的思考和探索、鼓勵自覺的知識建構過程。而根據 Means 和 Knapp(1998)的研究，學習不利的學生可以在意義化及關聯性的脈絡中學會基本技能，並且能從同時強調解答與如何獲得解答的教學指導中得到學習進展。換言之，複雜的技能不必然以熟練基本技能開始依序前進的方式進行。

上述這些研究和觀點，為一般線性、程序性學習擴展出新的教學視野，也提供出開創新學習的機會，它反映出學習存在著複雜、多元、非線性、非序列的特性，而這些特性不僅與大腦處理訊息頗相近，也與學習者進行學習活動時的真實情境相近。然而，複雜、多元、非線性、非序列的學習情境，雖符合大腦的自然學習的方式，但比直接餵養大腦訊息，需要更多的認知支持和鷹架，這樣大腦才能獲得組織良好的知識和概念架構，以及更有效率的學習方式；而與學習活動的真實情境相近時，同樣的亦需更多的認知支持和鷹架，學習的真實性才得以發生。又有效和適當的認知支持，它是擴展最適發展區必要的鷹架。因此，構築出良好的認知支持工具和認知支持環境，是滿足複雜、多元、非線性、非序列學習的必要基礎（如圖 16 所示）。

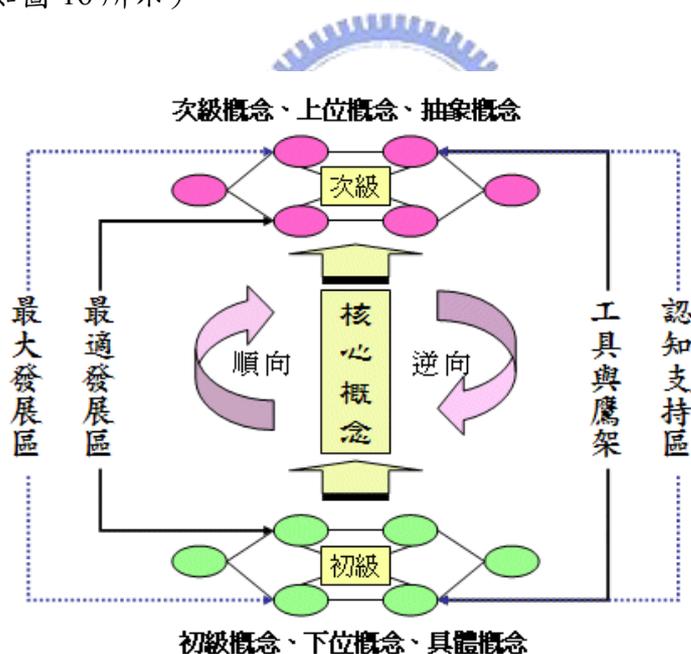


圖 16 工具與鷹架的認知支持

4.3 結語

學習環境是提供一個給學習者可以在其中進行探索、思考、理解、建構和發展的場所，建立這種學習環境需滿足學習者可以自主和自由學習的機會，及建構出良好的知識結構和整體的概念體系外，亦要有足夠可支持其進行建構性學習的

各種資源和工具。因此，理想的學習環境設計就必須對學習情境、學習資源、學習工具和意義建構等各種要素和交互作用的關係規劃出適切和適性的認知支持安排，這些安排除了認知因素外亦需考慮到非認知因素(情意)的影響。如 Bastiaens 和 Martens (2000) 就曾指出學習活動的支持設計可以分成兩類：一種是用來建構和組織學習過程；一種是用來激發學習者的學習興趣。前者所指的就是屬認知因素的部分，後者則是屬非認知因素的部分。又從學習者的學習行為來看，非認知因素所產生的引發效應常常是更優先於認知因素的效應，例如：愉悅、放鬆的學習氛圍，可幫助學習者有機會去貫通產生更好的聯結，這樣才有創造性。此從「基於腦的學習理論」中提到大腦需要一種「高挑戰、低威脅」的論點也得到一些支持。因此進行學習環境設計時，認知與非認知因素以及其交互關係都需妥切的處理。

概念認知支持學習環境設計的目的在協助學習者進行有利的概念學習，因此，從積極面來說就是在提昇學習者的概念基礎及擴展概念的層面，而從消極面來說則是排除概念學習的干擾因素。但不管是從積極面或消極面著眼，首先必須做的就是學習問題的分析，而後依據問題的相關因素進行診斷，最後依據問題原因與診斷結果提出解決策略(處方)。解決策略方面可分成兩大部分：一是整體設計部分，包括概念結構、整體課程、課堂與網路共構的認知學習情境、課程和教學實施和評量回饋等設計。再則是認知支持功能設計部分，包括引發動機的認知情景、真實性的模擬學習情境、學習者可自行創設例子的情境、多重表徵情境、多重聯結情境等設計，以及學習生成歷程的組織和安排等。



第五章 個案設計和實作：以對稱概念為例

本研究以「對稱概念」為例，其因是對稱概念是「核心概念」的一種，也是在科學、數學和技術領域充滿並反覆出現的重要概念(AAAS, 1990,1993)。核心概念一般具有普遍性、廣泛性、永恆性和抽象性，是最值得讓兒童去學習的概念。再則「對稱概念」在學校的課程裡遍及各個領域，包括生物、數學、理化、社會和藝術等學科，例如：在數理學科上的對稱圖形、對稱數對、對稱方程式、對稱行列式、對稱矩陣(NCTM, 1989)、反射、映射等。且也是藝術領域中藝術家創造藝術作品的重要準則，像近體詩中的對仗，民間的對聯等。又「對稱現象」在我們生活周遭中也是一個熟悉的經驗，舉凡植物、動物都有它自己的對稱形式，其他如建築、器物、器皿等人工造物中的對稱現象也很廣泛，它的美是一種科學也是一種藝術更是一種生活。這些充滿著對稱美的事事物物，不僅是自然界中普遍的美，也是一種最簡單的美，它圍繞在我們許多生活當中，給人一種圓滿、勻稱、均衡的美感，內含著或表現出某種有序、重複的律動而深深引人凝視。

對於這樣一個既美而又普遍、廣泛、永恆以及具體和抽象的概念，人們在生活上涵蘊其中，但學習者在學校的課堂活動中卻表現的並不理想。根據左台益(民 93)整理有關學習者學習對稱概念的情形和問題的研究文獻，發現學習者在對稱知覺性的瞭解、對稱概念的發展上亦有幾項明顯的偏向特性。兒童在對稱概念上普遍的錯誤類型，複雜的問題原因、單一的教學策略、有限的教學媒體和不佳的學習環境等因素，此一方面在其他概念學習上也同樣具有類似的現象，而一方面這些因素若未能獲得有效的解決方案，將使學習者喪失有利的學習機會。基於此，本研究以「對稱概念」為例，做為概念學習認知支持環境設計和發展的個案對象，一則可針對左台益所研究整理出之「對稱概念的學習問題」，提供其有利的學習支持環境，一則可藉此模式做為發展其他概念學習上的參考。

5.1 對稱概念的相關內涵和架構

對稱是人們經常接觸的一個辭彙，而對稱性也是人們非常熟悉的經驗。外爾

(Weyl, H., 1952)在《對稱》一書中說：「對稱性是一種部分比例之和諧(symmetry = harmony of proportions)，在日常生活中有兩種含意。一種是對稱的(symmetric)即意謂著非常勻稱和協調，一種是對稱性(symmetry)則表示結合成整體的好幾部分之間所具有的那種和諧。」他並討論了雙側對稱性、平移對稱性、旋轉對稱性、裝飾對稱性和結晶對稱性幾種對稱性的幾何概念，以及這些組元構形的自同構變換群(group of automorphic transformations)作用下所具有的不變性(invariance)。用廣義的觀點來看對稱，是指事物在時間上或空間上的有序性。意即一個事物經過一定的時間或一定的距離就有重複性的現象時，我們就將這種現象稱為對稱。用狹義的觀點來看，所謂的對稱性是指一種鏡像，即一邊是另外一邊的在鏡子中的倒影，只要影像對於中央軸的兩邊是一樣的都可，而且其對稱可發生在任何方向。然而不管其定義是寬或窄，它一直是人們長時期以來用來理解和建立秩序、優美和完美的一種概念(Weyl, 1952)。

對稱性因它呈現出良好的形狀關係使得它具有高度的吸引力，因此許多人自動的會讓構圖或造型呈現對稱性，這與我們自身具有對稱的形體（兩隻眼睛、兩隻耳朵等）有關。從許多我們知覺到的物體或事物，我們會發現對稱性是讓事物組織起來的主要概念，這個概念裡包含了等距、等形、等角、同大小、均衡、重複的內涵（如圖 17）。

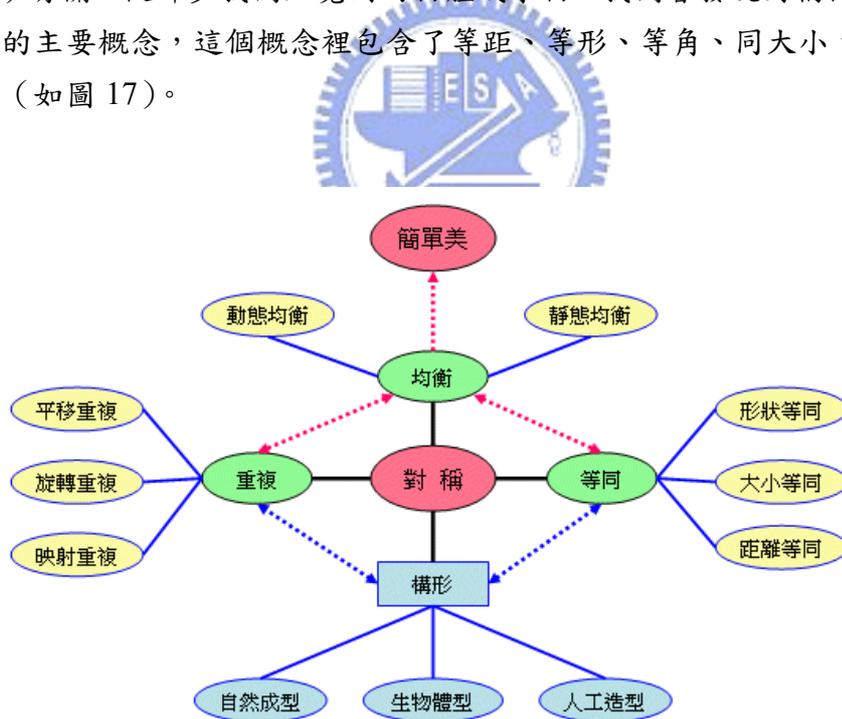


圖 17 對稱概念的內涵架構

從幾何學上嚴密的觀點來看，對稱包括了軸對稱、中心對稱和旋轉對稱三種。但這三種對稱只能說是基本類型，它可經由反射、平移和旋轉三種變換或交互、重複變換產生各種的對稱型態。在建築、藝術或其他領域上還有其他的對稱

類型，例如：平移對稱、曲線對稱、斜對稱（即對稱軸不正交，而是斜交）。又上述的對稱只是提到事物之間的幾何關係，若再考量到質和量的差別時，則又有反對稱和色對稱的概念。反對稱是一種對稱，它不同於不對稱，例如在肩膀上挑著一個空桶和一個盛水的桶，就是反對稱；如果兩個桶盛的水不一樣多，或者兩個桶裝的東西不一樣，就是色對稱。

在藝術上因為以對稱指的是某一部份是另外一部份精確鏡像的概念，會限制了對稱性在抽象影像的應用，再則真實世界中的物體並非完全地對稱。例如一片葉子沿著中央折起來，另一半並非完全的對應到這一半。這也就是為許多藝術家很少利用完全對稱在他們的作品上的原因。其他如近似對稱(near symmetry)是基於對稱，但兩半卻不完全相同。一些微小的變化可能不會改變平衡，但卻增加了多樣性，因而更引人注目。顛倒對稱(inverted symmetry)利用其中一半顛倒來達到對稱的目的，就如同撲克牌一般。這是種有趣的變化，不過卻會帶來令人不舒服的對稱。雙軸對稱(biaxial symmetry)利用兩個對稱軸—垂直軸與水平軸。如此可以保證平衡感：上下可以跟左右相同，或者可以不同。當上下左右相同時，就是最具規律性與重複性的影像。多軸對稱其對稱軸可能會超過兩個以上，如雪花和萬花筒等。放射對稱(radial symmetry)是一種類似的概念，因其圖像如星星般從中心呈現放射狀，故可以有任意數量的對稱軸。

對稱的影像因其至少有一半的影像是重複的，故其具有極高的統一性。然而因為只有一半的影像是獨特的，故其又缺乏多樣性。例如一個雙軸對稱的影像只有四分之一的部分是獨特的，其他部分都是重複的；當上下和左右都相同的時候，只有八分之一是獨特的；隨著重複的部分增加，統一性也隨之提高。換句話說，對稱的影像往往具有高度平衡，且伴隨著良好的統一性。基於這種平衡、統一和多樣的整體感，對稱因此予人一種一種圓滿、勻稱、均衡的美感，內含著或表現出某種有序、重複的律動而深深引人凝視，是一種最簡單的美。因此，它的美不僅是一種科學也是一種藝術更是一種生活。

從上述有關對稱概念的相關內涵，可以架構出對稱概念一些本質、特徵的體系，這些概念結構中的基本元素以符號、圖像或文字分別被標記並由架構者賦予意義，其中可能是一種想法或一個意見，但都經由通則化而形成各自架構者的心智圖像。由於事物、事件會不斷的變動，而學習者的認知思維能力也會不斷增長，因此對稱概念也是具有靈活性的，它的內涵和外延會隨著學習者的認知發展和概念發展而發生深化、廣化、組織化和抽象化，因此，不能把它當成僅僅是一個名詞來看待，也不能視其架構為靜態唯一的架構。但整體來說，人們與對稱性的事物接觸後形成的心理表徵，構築了其對稱概念的基模，而基模的內涵和架構即是其概念的內涵和架構。

學習者在何種程度上才算擁有對稱概念，這涉及課程目標訂定的基準、學習者成熟的層次和生活應用所需理解的程度而定，例如 Kuchemenn (1981, 引自左台益, 民 93) 的看法，完整的線對稱概念應包含下列成份：給定物與對稱軸，會畫出物的對稱圖形；給定兩物，能判斷是否存在對稱軸；能完整的說明經過對稱後，物與其對稱圖形的特性；能將物與對稱軸儲存於腦中，進行抽象的變換操作；有逆變換的觀念。然而這也僅是數學課程上的觀點。而依對稱概念具有的普遍性、永恆性和抽象性的角度來看，對「對稱概念」的等同、重複和均衡的掌握與體會，應是其基礎的根基。透過這個根基去接觸、感知、體會、理解而後洞察事物物的對稱性，進而掌握對稱的本質、內涵、屬性以及衍生出來的概念(如圖 18)，這樣整體對稱概念的架構才得以建立。

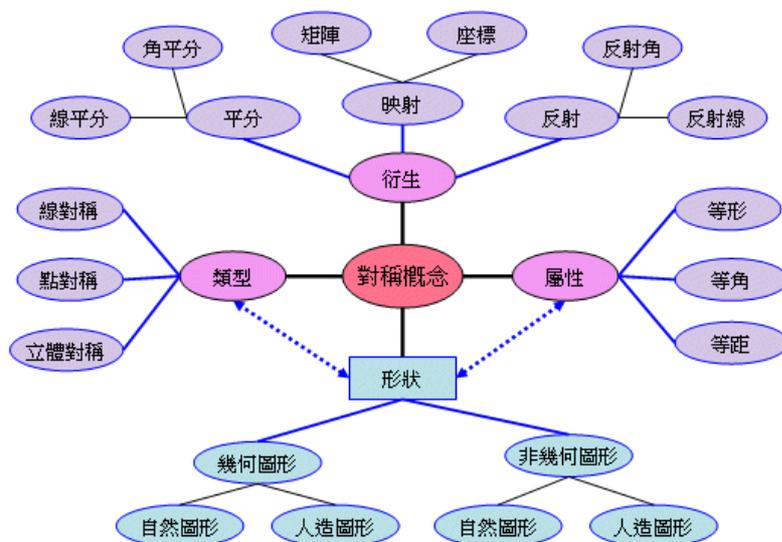


圖 18 對稱概念的相關結構

5.2 對稱概念的學習問題分析

根據左台益(民 93) 整理分析國內外有關線對稱概念之研究文獻，學習者在對稱概念的學和發展上有下列情形：從對稱之知覺性了解上，學生不易識別鏡像映射後的幾何圖像；學童認知鉛直對稱軸之對稱圖像優於水平對稱軸之對稱圖像，但有研究也發現學童辨別鏡映的圖像上下位置優於左右位置，顯示出不同的看法；對稱型式是學童最基本的幾何型式，尤其是對稱軸為水平和直的對稱型式；成人會把可調整的對稱圖像之對稱軸放在鉛直軸上來觀察。從影響學生對稱之作答因素上，學習者的錯誤的種類，乃根據刺激物的平面圖而定；平面（左右對上

下)的圖像位置發現是影響複製單一物方位的兩個困難因素,而且學童對上下判斷有點比左右判斷困難;對稱軸的傾斜程度(鉛垂或水平方向較為容易,傾斜則較不容易)、格子出現與否(格子能指引距離與方向)、物件之複雜度(單獨點的對稱較為容易,當物件愈複雜,孩子愈難正確作答)、物件之傾斜度:對稱軸的傾斜度、物件與對稱軸的相對位置、方格紙與白紙(題目印在方格紙和白紙上最大的影響是學生的解題策略)、物件的結構(物件結構的複雜性,從點、線段、折線到三角形,需掌握的關鍵元素依次增加,故試題的難度亦逐漸增加)等四點為影響學生處理鏡射的因素(林福來,民76)。從對稱概念之發展上,十二歲以下的學童無足夠利用對稱概念的能力,但隨年齡之增加,此種概念能力則有增加的趨勢;學童的對稱概念發展方面,愈高年級發展的愈完整,但是在小學中年級之幾何概念發展層次,多數以達到 Van Hiele 第0層次(識別),有一些達到第1層次(非形式演繹),接近第2層次者僅為少數(劉湘川、劉好,民81-82)。而根據左台益(民93)、陳天宏(民92)在青少年的對稱概念發展研究中,以包括國一、二、三合計三百四十三人為對象,得出國中對線對稱概念的認知結構為:國中生對於線對稱概念的一般認識是靜態的線對稱圖形,而以左右相等或上下相等的典範現象為主;一般學生對於線對稱之概念屬性如保形、對稱軸尚能了解,但傾向以垂直或水平對稱軸的直覺解題;高、中、低三層次學生想到線對稱時,心中浮現的圖像相當類似,但高層次學生能提及相關性質,以概念性描述概念。而低層次學生則以直接繪圖方式表達線對稱意義。中層次則以不完整概念性質配合圖形說明線對稱的意義。

前述學習者的對稱概念學習問題,可從學習者的學習環境的支持程度和概念發展的階段來進行診斷分析:

從學習環境來看:學習者在學習對稱概念時的活動,大都在傳統的課堂上進行,因此上述學習者學習的問題亦反映傳統課堂學習活動的一些問題。這些學習活動中,例如:給學習者剪紙,用橡皮圈在釘版上圈圖,給個圖形要他們找出對稱軸,或給出一個圖形和軸線、軸點要其畫出對稱圖等。這樣的學習活動,從概念學習的角度而言,幾乎都是概念達成(concept attainment)的活動,而不是概念形成(concept formation)的活動。從這樣的學習活動過程來看,概念形成的學習過程若不完備,概念達成的可能性就降低,因此在這種學習結果下,評鑑其概念應用的遷移性就更低。又許多課堂學習活動中,只舉了軸線垂直的例子當作探討的材料,忽略了非典型性的例子,譬如「斜軸」的對稱,因此造成許多學習者不認為「斜軸對稱」是一種對稱(魏金財,民79b,80)。

從概念發展的階段來看:概念發展主要依靠學習者的成熟和經驗,但經驗與成熟的因素又受到學習環境的影響。而學習環境是可改變的,在新興科技的發展

和創造出來的學習機會中，提供了學習者更多以前所沒有的經驗，且在這種機會和情境中，也協助學習者可以從經驗學習上對內部認知結構，有更好的建構歷程而促發更快的成熟發展。例如，一些心智工具(Mind tools)就可對學習者在活動中的表現和隨之出現的意義形成進行支撐。電腦所具有的多重聯結表示法、強大的圖形表示法，這對學生理解數學概念具有重要的影響性(Kaput, 1994)。圖形表示法的「直觀視覺化」可以讓學習者的視覺思維進一步的發展。這些環境因素的改變和內容複雜豐富度的增加，對學習者概念的發展層次都有提昇和移轉的功能。例如對學習者在 Dina Van Hiele 幾何概念思維發展中三個層次的水準發展：直觀的（視覺/辨識）、分析的（描述/分析）、理論的（抽象關聯/形式推理/嚴密性）上的提昇效果(引自 Clements & Battista,1992)。同樣的，這些環境支持可讓學習者在更真實性的情境中發展思維能力，也可讓教師有更多的選用機會用於教學活動的示範和解說中。又依據 Van Hiele 的觀點，學生的幾何概念發展從一個水準層次到下一個層次很少取決於生物成熟的發展；相反的他是在教與學過程的影響下向前發展的，換言之，教學對發展具有深遠的影響，通過一個合適的練習選擇可提高學習者幾何概念的發展層次。

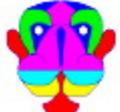
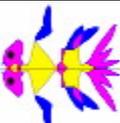
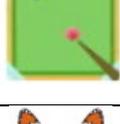
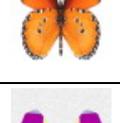
基於對稱概念的學習問題與分析，學習環境的有效改善和創設新的認知支持環境，對學習者的對稱概念發展扮演著關鍵的影響性。

5.3 對稱概念的學習診斷和解決策略

學習者在傳統課堂學習環境下所產生的上述這些學習問題以及影響因素，本文以認知論和建構主義的角度分析，認為可以區分成：認知情境不佳、認知工具不足、鷹架支撐不利和學習歷程不完備等四個主要因素。而影響傳統課堂對稱概念學習所欠缺的這四個因素，若依圖 1 學習環境設計架構來進行發展，可創設和提供出一種有效的支持學習環境。這種概念學習環境所提供認知的支持，包括：美的愉悅和感動的情感支持、真實性的模擬學習情境支持、視覺化學習支持、認知生成支持、自行實例創設支持、多重表徵支持、多重聯結支持、即時迴饋支持和互動學習支持等功能等。這些支持經由融入覺察、發現、建構和應用等認知歷程和理解循環的學習環設計，可讓學習者能在真實性(authentic)操作的情境中動手做(hands on)、用心想(minds on)的學習活動過程中，建構出對稱概念的相關網絡系統知識。

基於前述左台益(2004)的研究，及上述有關學習者的對概念學習問題與問題診斷，以及解決策略和支持設計方案，整理如表 1 所示。

表 1 對稱概念的學習問題和問題診斷以及解決策略分析一覽表

類別	學習情況或問題	問題診斷	解決策略與方案	支持情境設計範例
知覺性瞭解	不易識別鏡像映射後的幾何圖像	認知情境不佳及認知工具不足	真實性的模擬學習情境支持、實例自行創設支持。提供可動手畫圖形的創設情境。	
	鉛直與水平對稱軸之對稱圖像認知互有優異	生理結構因素及視知覺優勢選擇	視覺化學習支持、真實性的模擬學習情境支持。	
	垂直和水平軸對稱型式是學童最基本的幾何型式		實例自行創設支持。增加非典型性例子的經驗和操弄機會。	
	成人會把可調整的對稱圖像之對稱軸放在鉛直軸上來觀察	後設認知策略發展較成熟	互動學習支持。	
影響因素	錯誤的種類根據刺激物的平面圖而定	認知情境不佳、鷹架支撐不利	互動學習支持、即時回饋支持。	
	左右判斷優於上下且其圖像位置的發現是影響複製單一物方位的困難因素	鷹架支撐不利	多重聯結與多重表徵支持、真實性的模擬學習情境支持、鷹架支持。	
	對稱軸的傾斜程度、格子出現與否、物件之複雜度、物件之傾斜度、物件與對稱軸的相對位置、物件的結構是影響因素	認知情境不佳、認知工具不足、鷹架支撐不利和學習歷程不完備	認知生成支持。增加非典型性例子的經驗和操弄機會。增加輔助支援資源。改善學習情境。多重聯結與多重表徵支持。	
概念發展	十二歲以下的學童無足夠利用對稱概念的能力	認知情境不佳、認知工具不足、鷹架支撐不利和學習歷程不完備	真實性的模擬學習情境支持、認知生成支持、多重聯結與多重表徵支持、互動學習支持。	
	愈高年級發展的愈完整，但多數是達到 Van Hiele 第 0 層次	認知情境不佳、認知工具不足、鷹架支撐不利和學習歷程不完備	美的愉悅和感動的情感支持、多重聯結與多重表徵支持、認知生成支持。	
	一般認識是靜態的線對稱圖形	認知工具不足、鷹架支撐不利	互動學習支持。增進動態演示和操作經驗的接觸。	

基於對學習者的對概念學習問題、問題診斷分析、解決策略和支持設計方案，再加上對稱概念的普遍性、廣泛性、永恆性和抽象性，它的美不僅是一種科學也是一種藝術更是一種生活，此一方面給學習帶來了豐富性，一方面也給學習帶來了複雜性。然而，學習的豐富度和複雜性兩者雖對學習者提供了更大的選擇機會，但相對的卻為教學者增加了設計的困難度。由於傳統課堂學習活動因受限於環境提供的資源或工具不足，故對豐富和複雜的學習材料都因採取簡化的手段而使得原本有趣、有意義的學習活動變成刻板僵硬的講授教學。但在當今科技資訊發達的環境裡，這些豐富和複雜的概念卻更匹配於網路資訊的型態。因此，為把握這種概念的特性和環境的特色，設計出一種讓學習者可涵蘊其中而領受到、學習到或建構出這種概念內涵的學習環境，可從以核心概念為基礎的課程設計著手（如圖 19），透過對稱核心概念的內涵來組織各種對稱主題、事件，並讓學習者處於認知支持的環境下進行學習。在這樣的課程架構和學習環境中，一方面可避免學習者產生錯誤的概念，也增強了先備概念的基礎；一方面也讓學習者可更有利、更有效的建構出對稱概念的框架系統。

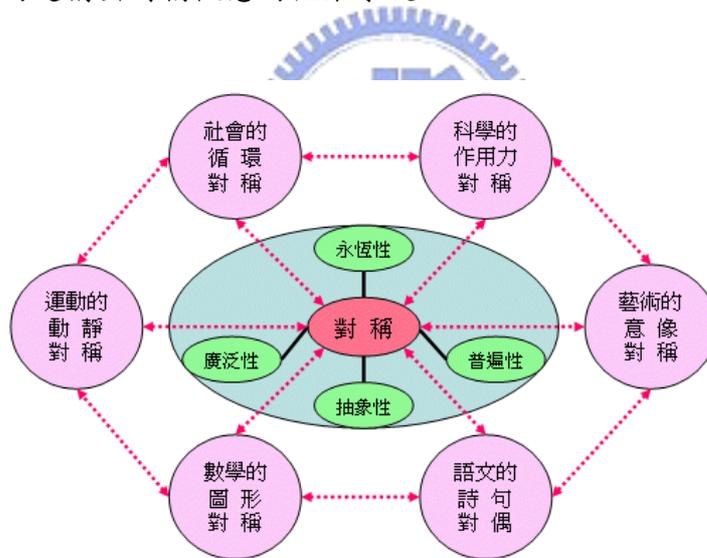


圖 19 對稱概念的課程設計架構

5.4 對稱概念的認知支持情境設計

對稱認知支持情境的設計，是根據對稱概念內容和學習活動過程交互動態的場境安排，如：引發學生學習動機和情感的積極投入的誘因，學習者可真實操作、創作實例的環境，問題提示的輔助引導設計，學習活動的工具提供和具體表徵與符號表徵間轉換的聯結鷹架，或視覺圖像與語義符號（函數、模式）的聯結鷹架等。這種設計考慮到「放鬆的警覺」的一種觀點，目的在使學習者能在最佳的心

理狀態下進行有意義的學習。此等認知情境在網頁的安排和設計，如圖 20 所示。



圖 20 概念學習的認知情境布置

<http://microwei2.myweb.hinet.net/symhomepage/attributeframe/sym2004Frames.html>

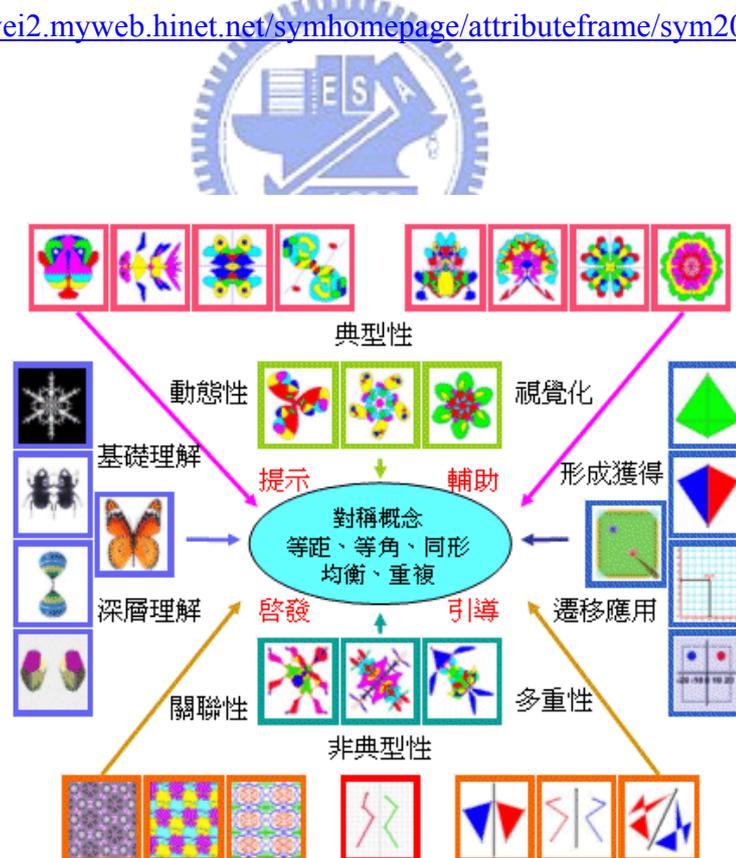


圖 21 不同學習支持的 Java applet 工具

<http://microwei2.myweb.hinet.net/symhomepage/attributeframe/sym2004Frames.html>

認知支持工具則是以學習者在概念學習上的問題為基礎來構思。它可以是單一或多種的提示、輔助、後設認知或模擬的功能，但都需具有啟發、引導、綜合整體心智模式的功能，同時也能讓學習者具體參與和真實操作，並在操作後提供運用符號進行抽象推理思考，還可以達成內化和外化的認知轉換。因此在設計時需考慮概念內涵、必要的認知情境、學習流程和相關聯結下做整體的構思。而每個對稱概念的 Java Applet 都分別支持著不同概念層面、不同學習問題、不同學習階段和不同情境需求上，但都整體圍繞著核心的概念理解基礎，以交織輻轉的方式構成鷹架(scaffolding)支持（如圖 21）。

在對稱概念的學習過程中，這些工具的使用和運用亦需以交織輻轉的方式相互關聯，一方面是每種工具本身都具有視覺化、動態互動的功能，一方面同類型間的工具或不同類型間的工具亦具有相互重疊的功能，且每種工具亦可在覺察、發現、建構和理解中使用，其適切的認知支持功能不是由工具決定，而是由使用者既有經驗和概念學習發展階段交互生成而決定（圖 21）。換言之，工具本身雖在設計中隱含了學習者多種需求或鷹架的功能，但工具功能的表現卻需依托於學習者的使用中體現。

5.4.1 動機引發的認知支持情境設計

設計觀點：

概念學習中通常有一種教學策略是使用認知失衡的策略，這種認知失衡迫使學習者必須有所行動去執行處理，因此可促動學習者的學習動機。然而，另一種認知愉悅的策略，亦可促使學習者更積極的投入於學習情境當中。認知愉悅引發的情感滿足和降低威脅性的作用，常常可讓學習者更投入於概念學習的場境之中，此對學習動機的促進是更有效的(Caine & Caine,1994)，尤其是學習者普遍都感到焦慮的學習內容，如數學上一些形式的概念等。因此，若能透過認知愉悅的鋪設，減緩緊張或焦慮甚至提昇其興趣，那概念學習成功的機會就更高了。又 Salomon 和 Almog(1998)在一項有關傳統課堂和建構課堂上的比較研究發現：在傳統課堂中，學生的能力水準是學習效果最主要的決定因素，而建構課堂中，學習者對學習的全心投入水準則是最主要的預測指標。因此，吸引學習者的全心投入中，除了認知的因素要考量外，情意(conation)的因素的設計也顯得非常重要。圖 22 所顯示的，就是在對稱概念學習中，先以對稱美感的愉悅來引發學習者的動機，其中強調「先欣賞對稱的美，再求科學的真」的做法，即是讓學習者在自由沒有拘束下，經由畫對稱圖的創作過程中，領略到對稱的一種自然簡單美。透過這樣的情感引發使學習者浸潤在其中後，就可提昇其進入概念探討的學習意

願。

認知支持工具設計：

圖 22 是本研究所開發出引發學習者學習動機情境中的幾種例子，這些情境提供給學習者使用畫筆自由創作左右、上下、全等、旋轉等各種對稱的圖形，或觀察幾何、非幾何，生物、非生物，人工、非人工等各種不同的對稱圖。



圖 22 引發學習動機的情境

<http://microwei2.myweb.hinet.net/symhomepage/attributeframe/sym2004Frames.html>

鷹架功能：

這些工具提供給學習者可自由創作對稱圖形的空間和機會，當學習者使用畫筆自由創作左右、上下、全等、旋轉對稱圖形或加以塗色的過程中，是一種沒有壓力極度自由的學習氛圍，而結果又是一個獨一無二具有簡單美的創作作品。學習者在輕鬆心情下製作圖形時，是以藝術創作的態度面對學習，但同時在欣賞美的愉悅過程中，也接觸甚至深入到數學或科學對稱概念的內涵。這種將嚴肅而形式化的概念蘊含在輕鬆愉悅的學習過程中，不僅提高學習者之對稱概念的經驗層次，也對吸引學習者更進一步探討對稱概念的動機有所提昇。

案例說明：

圖 23 中是引發學習動機情境中的一個範例，學習者可選擇上方四個工具箱中畫曲線、畫直線、畫圖點、清除、塗色等五個工具進行自由創作畫圖。學習者可以用畫直線工具畫幾何圖形，也可以用畫曲線工具畫非幾何圖形。畫完線條圖形後，可以挑選顏色版塗滿封閉區塊，而構築出各式各樣可愛或美麗的圖形。他們可以將畫完的圖形列印出來與其他同學分享，也可以做為對稱概念學習示範、講解或討論的一個例子。

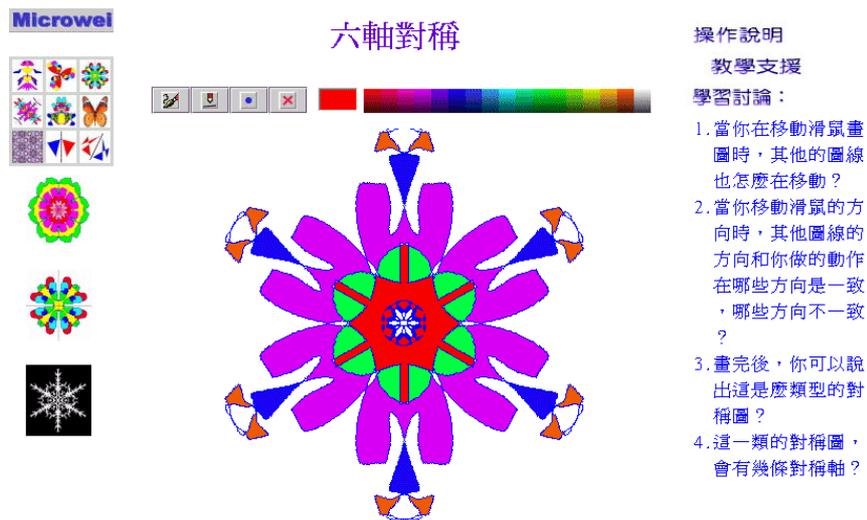


圖 23 引發學習動機的情境示例

5.4.2 真實模擬情境的認知支持情境設計

設計觀點：

真實性的學習情境可透過真實的場景使得學習者有更多的機會去整合各種知識和技能，同時也有助於其知識和技能的遷移和應用。然而真實的環境常常有學習不可控制或難以塑造成功的困擾，因此真實性模擬所扮演的角色和功能就可滿足學習上的所需。真實性模擬的學習環境同真實環境一樣可讓學習者主動學習的機會，可讓其動手做、用心想，進行各種探究活動，甚至比真實環境更具學習的效果。又真實性學習環境的另一個特點是「互動學習」，包含人與人、人與機器、人與內容的互動，其中在人與機器、人與內容的互動中，學習者可以針對螢幕上的對象(圖形、數值)施予動作，透過操作動作的功能，可即時從螢幕上觀察到施予動作前後作用所發生的變化，這種變化對學習者覺察或意識到關係的存在，以及理解關係的本質有深刻的影響(Dreyfus,1994)。

認知支持工具設計：

圖 24 所顯示的，就是本研究開發出可供學習者模擬操作對稱畫圖的一些例子，包括對稱圖生成、鏡像動態模擬。在這種情境中，學習者透過互動過程中可操弄滑鼠改變圖線位置、軸線位置、圖像位置中，觀察到操弄後圖點、圖線或圖像等改變的情形。由於這種改變是學習者當下操弄與電腦互動的結果，因此電腦即時呈現的反應圖形即具有一種回饋功能，此種功能在協助學習者的概念認知和建構過程中扮演著極大的影響力。



圖 24 真實性的模擬情境

鷹架功能：

學習者在模擬情境中，可選擇操弄單一圖點位置、操弄軸線傾斜角度、操弄整個圖形、移動鏡像一邊圖像、撥動物體旋轉、左右擺動羽翼等工具，以幫助其弄清意義。經由使用者與電腦的互動，以及電腦的即時顯示對稱圖的相對一邊鏡像，學習者可觀察到他的動作改變和螢幕上也跟著做相同的動作或生成相同的圖點、圖線的變化。這種隱藏或不顯明的對稱現象中之細部特性，是在一般學習情境下所使用的對稱概念工具中（如釘板、剪紙、圖紙畫圖或操弄鏡子）所無法顯示呈現出來的。但在本研究開發的這些工具中卻可以模擬並藉由互動過程中，將這些對稱現象的重要屬性特徵外顯化出來。這種經由親自動手做和將隱藏訊息外顯的動態模擬功能，對學習者在建構對稱概念的歷程上扮演著極大的重要角色。

案例說明：

圖 25 中是真實性模擬情境中的一個範例，學習者可選擇上方四個工具箱中左右擺動、上下左右移動、旋轉和移動對稱軸來操弄圖形並模擬動作，學習者可藉由操弄紅色三角形而觀察到藍色三角形的變化，並觀察到連接三個紅點和三個藍點間連線的變化。這種動態顯示過程和即時回應的變化，可讓學習者更深刻去理解對稱現象的內在特性，以及伴隨在對稱圖中相關衍生的垂直平分線變化等。

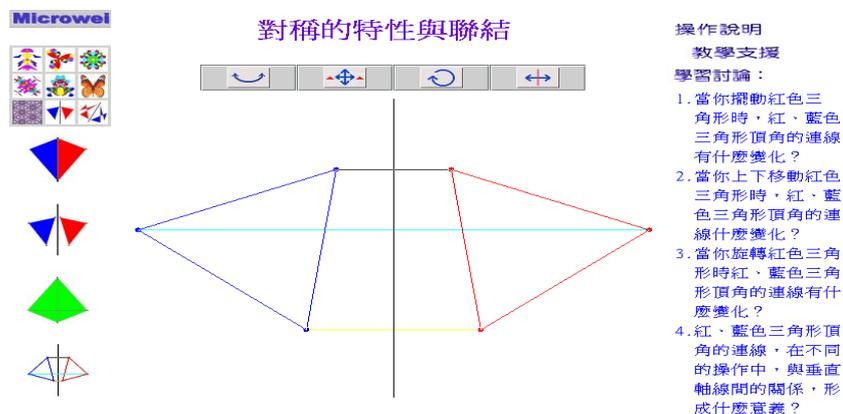


圖 25 真實性的模擬情境示例

5.4.3 自創實例的認知支持情境設計

設計觀點：

從概念形成到概念發展中，例子(exemplar)扮演了一個重要角色，例子有助於明確一個概念的界限，而例子的性質和數量也分別影響了概念的形成和發展。Sternberg 和 Williams(2002)在有關概念形成中指出，使用大量的例子可有效幫助學習者學習概念，尤其在為某個概念舉例時，亦需要注意由易而難的順序、挑選彼此不同的例子和對正例、反例的進行對比和比較。然而，在一般的概念教學情境中「舉例」常有其不足，一方面是時間限制無法舉到足夠的例子，一方面是適當的例子不易製作。但通常最大的問題則是教師所舉出的例子主要是以教學者的思考脈絡為基礎，而不是以學習者的思維為基礎，換言之，教學者所舉的例子是教師熟悉而不是學習者熟悉。

解決概念學習所需例子不足的一個有效方案，就是讓學習者可以自己創設例子，而後教學者再依其例子來進行教學。這種方式一方面可以配合不同學習者的學習能力，一方面既是學習者自己創設的例子，當然學習者就更易於理解。由於不同學習者所創設的例子讓例子數增多了，這不僅可幫助學習者有更多區辨概念的學習機會，讓學習者可充分去辨別例子間異同的部分，同時也可透過相互說明和討論的機會，讓概念獲得澄清的機會也增高。因此提供學習者可創設例子的認知支持環境，對提供學習者形成概念具有顯著的功能。

認知支持工具設計：

圖 26 所顯示的就是本研究開發出可提供學習者創設實例的一些例子，學習者可在每一種概念內涵或形式類別上，製作出不同的例子。例如可創作出左右、上下、完全、旋轉對稱圖形，單軸、雙軸、多軸對稱圖形，垂直軸、斜交軸對稱圖形等。同時在同一個概念類型中，亦可不斷創作出同一類型的不同例子。例如在六軸對稱類型中，學習者可自由發揮想像力或針對學習要求繪製出所需數量的例子。

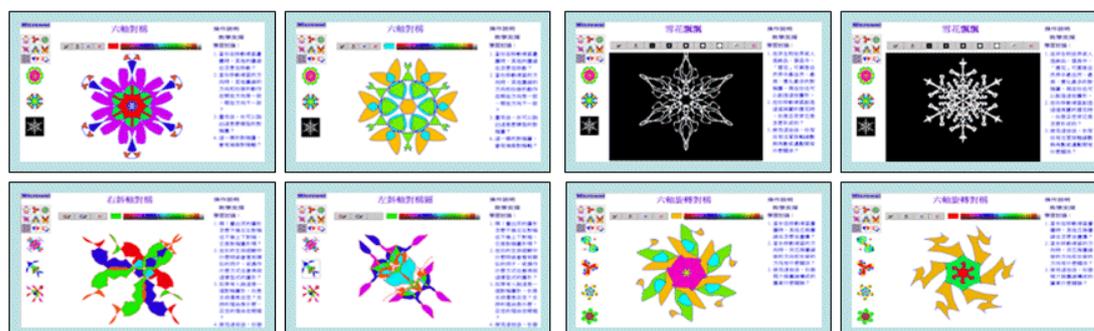


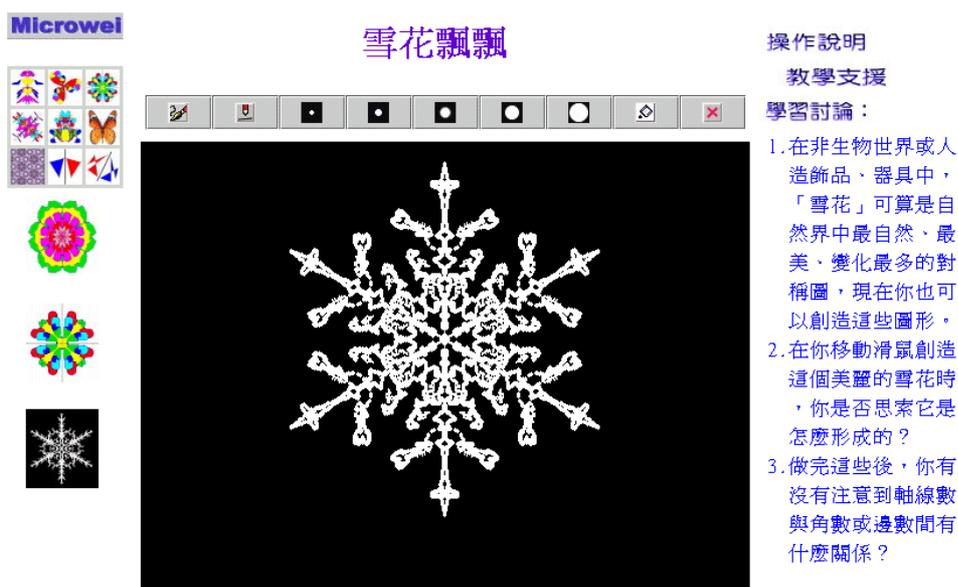
圖 26 自由創作實例的情境

鷹架功能：

概念學習中的例子，是概念形成及概念達成階段中不可或缺的重要元素，缺乏例子的概念學習將流於語詞解釋和翻譯的空洞學習，學習者既無法掌握概念的內涵，也無法透過概念的理解去區辨某個實例到底是否為該概念的外延，因此，足夠和適當的例子是概念學習必要且充分的條件。學習者在本研究中提供的工具中，可無限制創作屬於自己的例子，也可以將其創作的例子與他人做比較或歸類。當學習者在創作多個屬於自己的例子的過程中，事實上就是在累積概念的經驗，當這些經驗累積到一定的數量時，對概念特徵豁然開朗的洞察就會產生，這種概念獲得的歷程不須經由他人的講授或解說，可經由創作實例的習得過程中形成。這種習得過程就如「母語」的習得過程一斑，學習者可在長期潛隱操作過程中建立語法規則。因此，對稱概念的獲得可經由創設出類似母語學習的情境，讓學習者在有足夠、自由創作例子和使用例子的學習機會裡自發成型。

案例說明：

圖 27 中是自創實例情境中的一個範例，學習者可選擇上方工具箱中的畫曲線、畫直線、細圖線、中圖線、大圖線、塗色等工具繪製雪花的圖案。雪花是學生熟知的經驗且其形狀也變化萬千，繪製雪花不僅接近學習者的概念也與大自然自然生成物的現象相貼近。學習者自由繪製的雪花形狀可能與自然生成的雪花一樣，這一方面縮短了例子與真實性的距離，一方面也讓學習者從創設雪花的過程中感知對稱現象在自然界中的普遍性和真實性。當學習者創作多個雪花時，也不難歸納出雪花的對稱概念類型，以及這個六軸對稱圖形的特性，甚或從這其中建構出多軸對稱圖的對稱軸數與多邊形邊數之間的模式關係。



Microwel

雪花飄飄

操作說明
教學支援
學習討論：

1. 在非生物世界或人造飾品、器具中，「雪花」可算是自然界中最自然、最美、變化最多的對稱圖，現在你也可以創造這些圖形。
2. 在你移動滑鼠創造這個美麗的雪花時，你是否思索它是怎麼形成的？
3. 做完這些後，你有沒有注意到軸線數與角數或邊數間有什麼關係？

圖 27 自由創作實例的情境示例

5.4.4 多重表徵的認知支持情境設計

設計觀點：

概念的表徵方式有詞語、話語、圖像、圖示、動作或其他的符號等多種，其表徵選擇的時機與概念架構的複雜度、概念的溝通方式、概念的使用者等因素有關。一般教學或實際生活中傾向採用簡易、方便、單一來表徵概念，但使用概念和形成概念是有不同的，而視覺和語言表徵所攜帶的訊息也有所差異。近年來一些多重表徵的教學受到支持，其假設為：當學習者對同一材料的多重表徵(包括視覺和語言表徵)進行建構和協調時，有意義的學習才得以發生(Houghton & Willows, 1987; Schnotz & Kulhavy, 1994)。其中如圖形表示法的特性，Koedinger 就認為可以分成兩類：一是結構性的，指訊息在圖形中的空間排列，這會傳遞出相關元素間在整體和部分關係的訊息(如距離)；再則是意外的，指感性的意識到某種關係的可能性(如果用非圖形的表示法這種關係可能被忽略)(引自 Dreyfus, 1994)。而語言的表示法，也有表層意義和深層意義之別，但卻缺乏視覺化的直觀顯示的功能。因此，通過圖形表示法的方式，可讓以「直觀視覺化」表示數學概念的做法成為可能，而這種功能又是其他媒體所無法提供的結構。

多重表徵的另一個意義是多向表徵，即概念內涵的多種屬性，可透過不同例子間的對比、動態、部分改變、局部變更等情境或以單獨操弄或彼此相依的組織方式，呈現出屬性間的必然關係或偶然間的關聯程度。而從認知建構過程的角度，認知建構是有時間過程性和空間疊加性的，不同認知過程階段中的概念形成是逐次、逐項加入概念屬性特徵而綜合、聯結、延展、擴大和統整而成。因此，教學若能配合大腦認知的過程和特性，將概念屬性以多重面貌或多種向度表徵的方式呈現，此對學習者在建構概念、理解概念進而應用概念都是有助益的。

認知支持工具設計：

圖 28 所顯示的就是本研究開發出多種表徵的例子，例如，動態圖形生成過程的表徵，幾何圖形與非幾何圖形的形態表徵，鏡像運動的圖形變化表徵，旋轉、



圖 28 多重表徵的情境

縮放、擺動操作後的相關表徵，改變圖點、軸線相映變化的表徵。這些表徵將對稱概念中的等距離、等角度、同大小、反射、全等、重複等屬性特徵以不同的形式重複出現。學習者可通過單一工具逐步表徵對稱概念中的一個屬性，也可使用兩種或兩種以上工具，比較同一屬性在不同工具中的表徵方式；或在兩種或兩種以上工具間比較多種屬性相互間的關聯程度。

鷹架功能：

對稱概念中有等距離、等角度、同大小、反射、全等、重複等屬性特徵，這些特徵是聯合出現在任一個對稱圖形或任一個對稱性的事例中。然而初學者的注意力是有限的，不能同時注意到這麼多的特徵，也無法同時掌握這些特徵彼此的關係。因此，對同一材料的多重表徵、運用圖形表示法或以對比、動態、部分改變、局部變更等情境，對學習者掌握對稱概念屬性以及屬性間的關係是重要的。學習者在本研究開發的工具中，可選擇單一工具或多個工具做為覺察關係、發現關聯和建構模式的鷹架，例如：移動圖像的鏡像運動方式和移動軸線圖像變動間的兩種表徵方式，可擴展學習者對對稱概念中有關軸線和兩邊圖像的等距離、等角度、同大小、反射、全等、重複等屬性進一步聯結。在立體旋轉或縮放擺動的單獨操弄中，可進一步感知、覺察到空間立體或平面運動的對稱性。而在來回交互操弄立體旋轉與縮放擺動間，可以擴展學習者掌握住對稱概念中的平面與立體運動的兩種表徵關係。又如：移動垂直軸時對稱圖的變化和移動斜交軸時對稱圖的變化，學習者可個別觀察單獨操弄的結果，也可同時比較兩種不同操弄時的對稱現象。



圖 29 多重表徵的情境示例

案例說明：

圖 29 是多重表徵中的一個範例，使用者可選擇單圖旋轉或雙圖旋轉、單色或多色圖形、X 軸旋轉、Y 軸旋轉、Z 軸旋轉、自動旋轉或手動旋轉、縮小圖形或放大圖形等工具選項。對稱性的特徵即透過這些選項的約束限制或開放程度，

以單一或多重的表徵方式呈現出來。例如：單圖旋轉或雙圖旋轉中，單圖旋轉以自身的軸為基準，而雙圖旋轉則以鏡軸為基準，這兩種不同的基準分別呈現兩種對稱性運動的特徵。而在選擇 X 軸、Y 軸或 Z 軸的旋轉時，學習者一方面可回憶單圖旋轉時的對稱性運動與 X 軸、Y 軸或 Z 軸旋轉時的區別，一方面也可單獨觀察 X 軸、Y 軸或 Z 軸旋轉時的狀態，或交互比較 X 軸、Y 軸或 Z 軸旋轉間的不同。

5.4.5 多重聯結的認知支持情境設計

設計觀點：

概念的多重聯結是指概念本質內涵屬性間的關聯情形，這些本質屬性有些可藉直觀的方式從外顯的特徵觀察到，但有些屬性是隱默的必須藉由推理或演繹才可覺知，尤其當概念架構越複雜或概念抽象程度越高時。一個概念與另一個概念是否有關聯，需從其觀察概念架構的層級基準來判定，當觀察的概念層級越高時，其規則或原理所涵蓋的範圍就越大，此時概念間的聯結就更清楚。又具有關聯之概念間的屬性，有時從終態靜止的結果中不易察覺，必須從觀察其始態到終態間的變化或轉化過程中才會發現。因此，適時提示概念間聯結屬性的線索或關聯程度的暗示，對協助學習者掌握概念間的聯結，進而建構出更佳的概念架構是有幫助的。而電腦具有多重聯結表示法的潛力，尤其是強大的圖形表示法，這種多重聯結表示法對學生理解數學概念(如比例、函數)具有重要的影響性(Kaput, 1994)。

認知支持工具設計：

圖 30 是本研究開發出之多重聯結中的一些例子，包括：對稱與撞球、對稱圖與座標、象限的關聯，對稱在數學、科學、藝術中相關的聯結等。學習者可透過這些情境安排聯結至已學過或將要學的概念中，也可以聯結至生活經驗裡相同、相似或不同的例子中。兩種概念的聯結可能是對稱概念屬性中相關等距離、等角度、同大小、反射、全等、重複等單一屬性的聯結，也可能多個屬性的聯結。

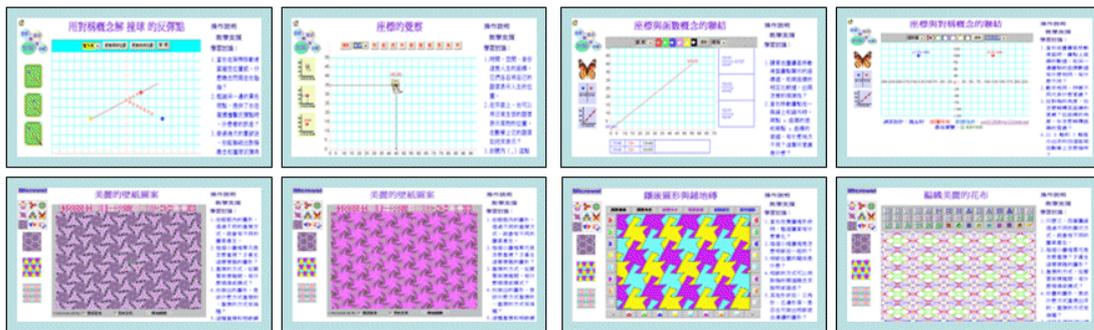


圖 30 多重聯結的情境

鷹架功能：

概念間的聯結愈強，代表對概念理解的層次愈高，也代表概念架構的結構越清晰。同樣的，這也反映概念在大腦中有一個合適的基模組織，對大腦處理問題所需搜索的時間愈短，可被激活的閾值愈低易被激活。因此，以對稱核心概念組織的學習情境和認知工具支持環境下的學習，有利於學習者貫通概念間的關聯以及掌握彼此相關程度的關係。例如：學習者從撞球反彈路徑和鏡像、反射的聯結，可以思考撞球反彈點的選擇與碰撞成功的機會；從座標位置的座標正負號表示法與對稱左右方向、距離的聯結，可讓學習者交互使用已有的舊概念去學新的概念，從而降低理解的障礙；其他如從座標擴展到四個象限的區分和辨識，從鑲嵌圖形重複現象與對稱平移轉換、旋轉轉換間的聯結，從重複現象到裝飾紋條製作的聯結等。這些聯結將學習者生活中身邊最易接觸的經驗與學習對稱概念的活動，進行了密切的連接和有意義的建構，此讓學習者體會掌握對稱概念可有效發展出相關的理解能力，並從中習得轉換應用的心智技能和動作技巧。

案例說明：

圖 31 是多重聯結中的一個例子，學習者運用滑鼠畫出幾筆線條後，依選擇工具中四十餘種顯示方式，觀察到不同重複模組所顯示出的圖形，他可以從這些變化圖形中觀察重複單位的模塊，也可以觀察到模塊變化時整張圖片的花紋結構。學習者可以選擇線條顏色改變圖樣的視覺效果，並配合所要張貼情景的氣氛，挑選出相映的色彩。這種將對稱概念聯結到藝術創作與生活應用情景的做法，可以做為概念學習剛開始的階段，以激發學習者對對稱概念學習的興趣，也可以在概念學習進行中當作討論例子，更可以讓學習者在學完對稱概念後做為發揮的舞台。

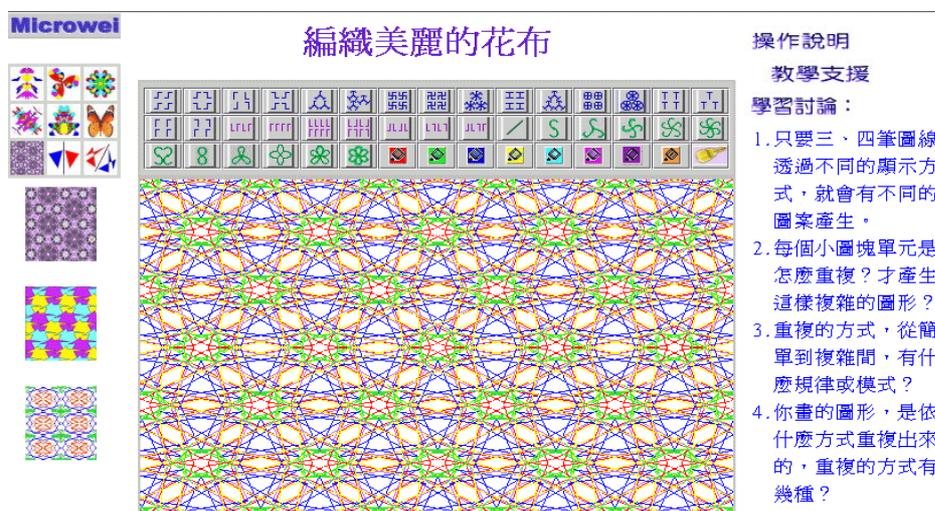


圖 31 多重聯結的情境示例

5.4.6 概念遷移和應用的認知支持情境設計

設計觀點：

概念的遷移(transfer)是指將概念從一個問題或情境遷移到新的問題或情境中(Byrnes, 1996)。然而從先前的學習或問題中所獲得的知識，可能有助於解決的新問題，但也可能會變成新問題解決方案的阻礙。因此，遷移可能帶來受人歡迎的效果(正遷移 positive transfer)，也可能導致不受歡迎的結果(負遷移 negative transfer)。一般教學者都期待學習發生正遷移，但心理學家研究了遷移發生的條件卻發現，正遷移很難發生，這其中的原因乃是因為學習是情境化的與特定的情境緊密相關，因此很難發生正遷移。例如採「認知師徒制」的情境學習(Situated learning)，同樣因獲得的技能很難適用於不同脈絡的狀況也仍有遷移的問題(Collins, 1994)。基於此，Gick 和 Holyoak 提議在給人們提供更多的關於前一種知識內在原理的例子情況下，應明確告訴它們需要這種知識遷移到新的情境中，這時正遷移才有可能發生(引自 Sternberg & Williams, 2002)。另外一種方式是儘可能將學要學的知識與學習者已有的、使用最多的知識建立起聯結(有意義的學習)，當它們瞭解到前一概念對它們有很大的重要性時，它們就會更努力的去學習這一概念(有意學習)。換言之，概念遷移需要在有意義的學習情境和有意的學習情境下，才最有可能發生。

認知支持工具設計：

圖 32 中所顯示的就是學習者在對稱概念的學習中或概念達成的學習後可遷移的情境，包括以對稱概念反向理解兩相對稱圖形合併後所產生的圖形關係，以對稱圖形所分割出新圖形的意義，從對稱圖形中反向建立垂直平分的概念，應用對稱概念解撞球反彈的路徑，應用對稱概念繪製藝術裝飾的紋飾、製作重複圖形或從中深入理解對稱所產生的均衡性，由對稱點、線幾何描述轉換到代數描述等。



圖 32 概念遷移和應用的情境

鷹架功能：

一般傳統課堂的課程設計皆以單螺旋的課程組織，將同一概念分段到各學習階段的現象，這種課程設計是基於線性和封閉式環境的做法，這種做法導致同一概念被割離分散至不同時間學習和減弱概念聯結的後果，並產生學不易遷移、應用概念的學習情形。改善這種學習可能造成偏差的有效方案，就是以核心概念為基礎，並創設有效的認知支持環境，將對稱概念相關主題以模組組織的方式，安排在接近的幾個單元活動中進行。這種安排可改進垂直聯結和橫向聯結的功能，也可促進學習者順利移轉其概念能力。再則這種安排也可改變一般由下而上的學習方式，由下而上的學習方式是基於知識層次結構的學習觀點，且隱含著學習者是空白接受知識的容器，但這種觀點是適合學習最終狀態的組織方式，但不一定適合學習過程中可能的交互模式或由上而下的模式，也不一定適合大腦學習的方式。事實上某些概念活動中將整體認知構圖先予學生接觸，並使學習者清楚概念整體的面貌和框架，對學習者反而更有利。而這種先將以後可能碰到的問題或以後需要學得的整體目標學習預先讓學習者知道的學習安排，也更有利於學習者概念的轉化、遷移和應用。因此，如菱形、箏形、等腰三角形等圖形概念的建立可透過對稱圖形組合和分割的方式而建立，且不需一定得在圖形單元中建立。又如垂直平分線的概念，可在對稱圖形的分割和對稱圖的移動中建立，不一定先要建立垂直平分線的概念，而後才可去理解對稱概念的屬性。

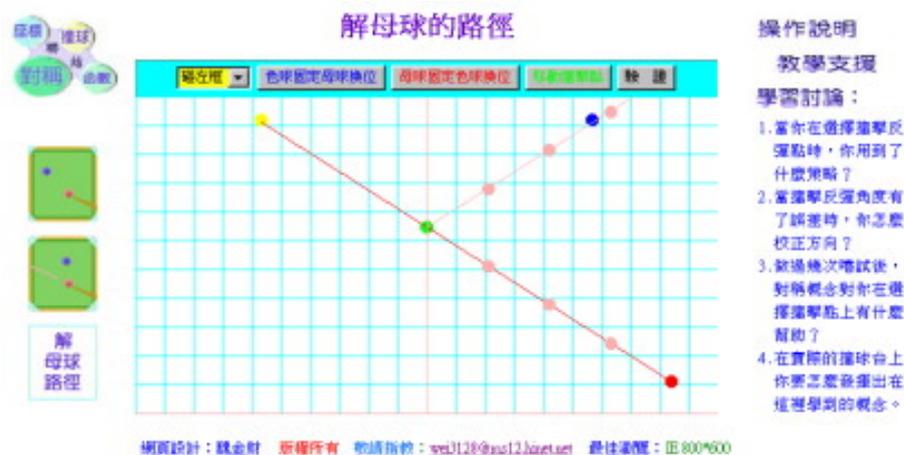


圖 33 概念遷移和應用的情境示例

案例說明：

圖 33 是概念遷移和應用情境中的一個例子，學習者在這種情境下可先玩撞球活動，而後將問題帶至對稱概念的學習活動中，也可在對稱概念學習活動結束後，進行解撞球路徑的問題，或交互進行兩種學習活動。圖 33 紅色母球撞藍色

色球的滾動路線中，綠色點是反彈點，而黃色標點則是藍色色球的鏡像點，學習者可透過紅色、綠色、藍色、黃色四點的相關連線覺察到對稱性中反射與鏡射的關係。這些關係既是建立概念的活動，也是應用概念的活動，而此也讓學習活動具有多向性，此亦相映於大腦平行處理和複雜運作的學習狀態。因此，這類的學習活動以及學習安排，對學習者理解對稱概念都具有非常大的鷹架效果，也具有移轉概念學習的功能。

5.5 對稱概念的認知支持設計與理論關聯的應用

上述有關學習動機、真實性模擬、創設實例、多重表徵、多重聯結和概念類化與遷移的情境設計中，分別或交互、單一或多重應用了以腦為基礎(Brain-based learning)的「放鬆的警覺、浸潤狀態、積極加工」學習三大要素和十二條學習原則來設計(如圖 34)。圖 34 四個視窗圖示由左而右、由上而下顯示不同階段中，學習者進行學習時所繪製的「全等對稱」畫面和進行的內容。在此高挑戰、低威脅的放鬆學習狀態下，學習者可以有更大的機會進行概念的貫通，以及在貫通之後產生出的創造性。再加上不同的情境安排，可以讓學習者充分接觸到不同的內容以及其脈絡，並引發初學習者的不同經驗，使得學習者經過多元而具體的複雜經歷後，能進一步進行訊息與經驗的聯結、經驗與經驗間的聯結和經驗與意義間的聯結。各種形式的聯結促成其建立關係網絡架構，產生整體的經驗，從而在其中提煉出更深刻的理解，構成了有意義的學習。

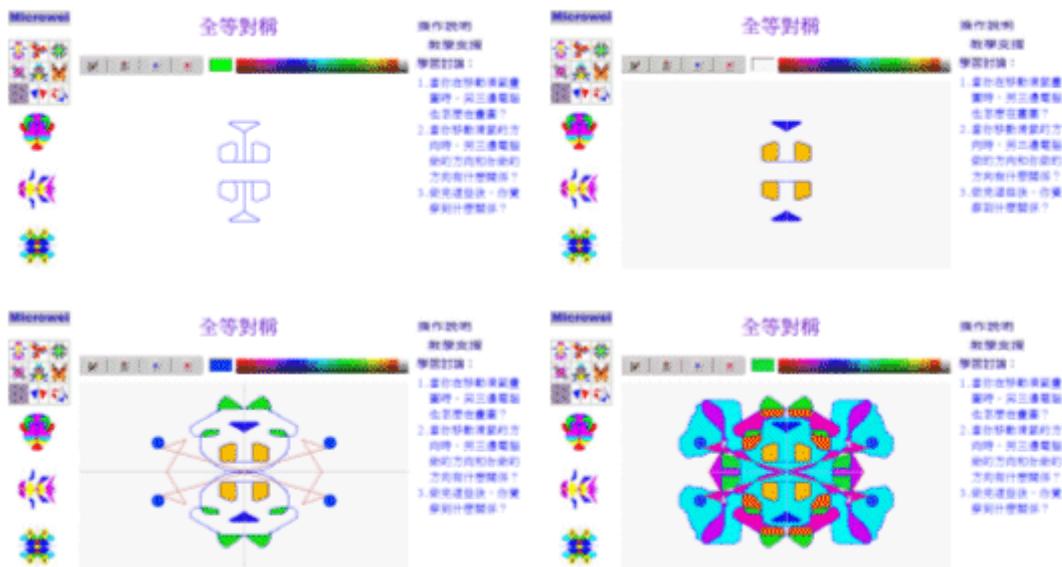


圖 34 認知支持設計與基於腦有意義學習的設計示例

在上述有關學習動機、真實性模擬、創設實例、多重表徵、多重聯結和概念類化與遷移的情境設計中，每種認知支持設計也包含著多個學習原則於其過程，並架構在覺察、發現、建構和應用的學習環中（如圖 35）。圖 35 中四個視窗圖示由左而右、由上而下分別顯示不同覺察關係、發現關聯、建構模型和應用概念四個階段中，學習者進行學習時所接觸的畫面和進行的內容。學習者可以在每次操弄不同架杆位置，觀察到母球碰撞點、反彈路徑與色球間的關係；經由逐步改變撞擊點的過程，慢慢發現出母球和色球對稱點的連線與母球行徑路徑的夾角，與反彈點和色球的連線與反彈路徑的夾角，有著一致性的變化；這一變化的規則性到母球與色球對稱點連成一直線與檯框邊之交點，即是母球選擇的撞擊點」的模型；其後應用此模型檢驗不同母球位置與選擇的撞擊點，也都得到同一的結果。這一理解過程，學習者需選擇出重要的訊息（母球、色球、色球的對稱點及撞擊點），而後把它們間產生的關係連貫起來形成一個心理表徵（色球對稱點是一個參照點），最後將連續操作過程中出現的訊息與產生的經驗、前幾次獲得的經驗與現在形成的經驗、經驗表徵與生成的意義間整合起來。這樣的認知支持情境設計與安排，即應用了 Wittrock 的認知生成理論。

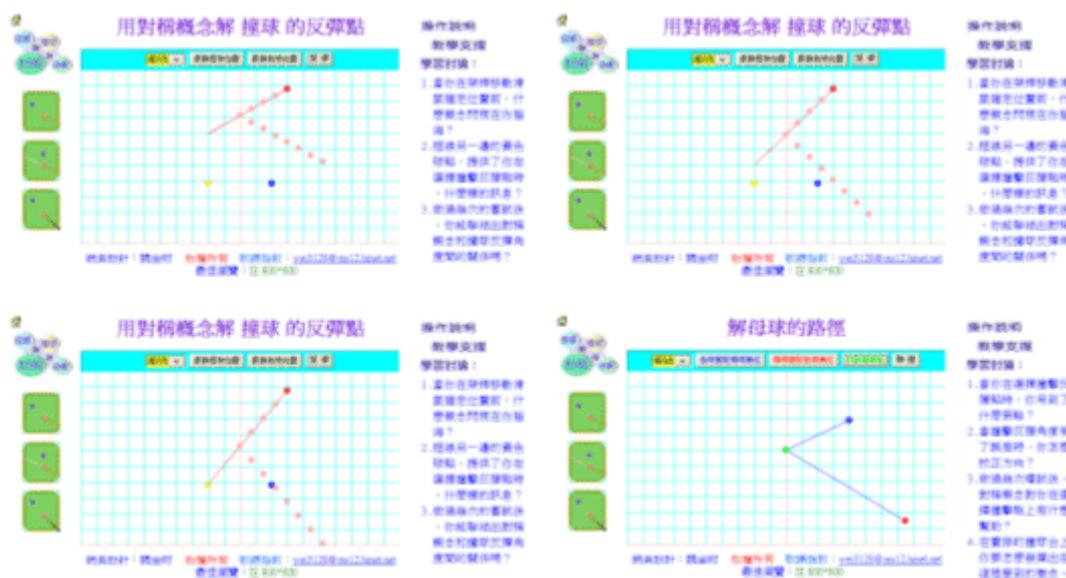


圖 35 認知支持設計與學習環的設計示例

學習者在以理解為中心的四個學習階段進行概念的探討中，認知支持情境設計也分別應用了 Paivio 和 Snodgrass 記憶與編碼的表徵理論，包括：安排可讓學習者從呈現的圖形和文字訊息中形成不同表徵的情境，透過不同表徵間的差異引

發對整體概念情節的編碼，以及將新建構的表徵與其他表徵或既存經驗表徵，加工整合成一個語義網絡的過程（如圖 36）。圖 36 中四個視窗圖示由左而右、由上而下分別顯示操作不同項目所產生的表徵形式。學習者從操作移動、擺動、旋轉一邊圖形或移軸時，觀察到另一邊對稱圖形的伴隨、相映變化，在這變化過程中需習者需對動作表徵、方向表徵、大小表徵、位置表徵、變化表徵以及旁邊文字說明、提示等語言訊息的表徵進行各種的編碼，以形成適切的心理表徵。這些編碼與表徵構成了不同的節點，節點與節點間的聯結網絡構成了一個語義網路，換言之，操作不同選項過程中所出現或形成的動作表徵、方向表徵、大小表徵、位置表徵、變化表徵以及文字表徵聯結成一「對稱概念」的語義網絡。學習者若形成這樣的一個語義記憶，將來即可透過其中一個表徵喚起另一個或其他表徵，或從一個表徵關聯出其他的表徵。

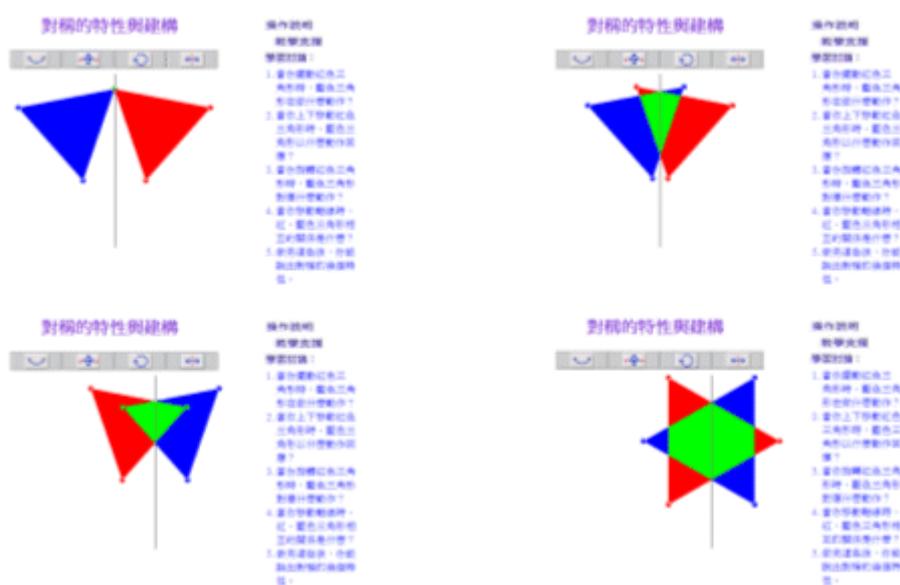


圖 36 認知支持設計與編碼表徵的設計示例

總體而言，概念學習的最終意義是學習者完成了概念深層的理解和概念體系的建構，深層理解是學習者從表面理解進入到更深刻意義內涵中的一種領悟和洞察，而透過這種領悟與洞察又產生了新的創造與新的理解。其中深層理解所需的情境除應用上述支各種理論及上述之學習動機的情境設計、真實性的模擬情境設計、創設實例的情境設計、多重表徵和多重聯結的情境設計以及概念類化和遷移的情境設計來達成外，有關概念生成過程中表徵生成與認知生成的顯明化、可視化、動態化和互動性的情境支持，亦為重要的一環。這種生成過程可滿足學習者在認知生成過程所需的顯明、可視、動態和互動的要求，此在學習者的概念認知

建構過程中，對概念深層理解和概念體系的建立可具有促進、強化和深刻的功能。又這些「從表徵生成、到認知生成、而後到概念生成」的過程，是綜合了認知理論和建構觀點所形成的設計觀，此也反映在本研究開發的所有四十餘種認知支持工具和四個歷程學習環的情境設計中（如圖 22~36），學習者在使用這些工具和處於這種情境安排下，重複來回在不同的例子上經歷了這個過程，這些疊加所累進的加乘效果以及在學習者的主動學習下，對對稱概念的洞察力也更為提高。

5.6 對稱概念的課程與教學實施

對稱概念學習的課程實施其重點不在形式，而在於是否可讓學習者能有效且有意義的獲得概念。在這種思維下，任何一種課程模式、學習方式、學習型態、學習理論、學習安排和學習環境，只要對學習者有幫助都應該考慮在內。但基於貫一設計的觀點，上述這些相關學習課程的因素，並不是雜湊拼盤似的聚合在一起，而是在核心概念為基礎的結構上，去建構對稱概念內涵與相關主題的聯結，並以基於腦的學習理論，去創設學習支持環境，從其中開發出各種認知支持工具，以形成不同的鷹架功能。換言之，其課程內部的結構是一種調和、協同的組合狀態，具有認知機制的內在一致性和學習環境調和性，對此，本研究稱之為「共構性」的課程。

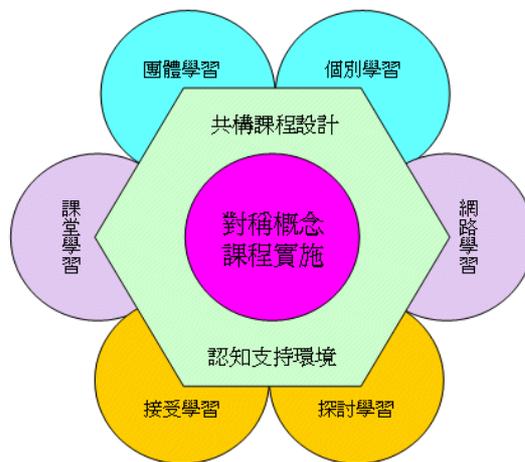


圖 37 對稱概念的課程實施

對稱概念的共構課程設計也強調，這些對學習有效和有意義的任何一種學習方式、學習型態、學習理論、學習安排和學習環境都不能企圖單獨去實現它，畢竟學習是一件複雜的過程，而學習者學習環境也充滿著複雜性。因此，對稱概念認知支持環境設計和發展的目的，即在創設出一種可支持各種條件下之概念學習

環境的所需。而統合各種環境所需之最佳策略是回到學習本源機制「大腦」上，並以核心概念為基礎來規劃課程。基於此，以「共構課程」一詞來稱之，即是回應大腦和核心概念所要求的整體心智獲得和整體概念深層理解的達成。換言之，本研究不主張單在傳統課堂或網路學習環境中可實現整體心智和整體學習的目標，而是要站在更高的層次和角度審視傳統課堂或網路學習環境的侷限性和可能性。因此，對稱概念課程的實施，是在共構課程設計與認知支持環境上完成的，而實施的結果和目標因基於整體的規劃，故可交叉滿足於學習者在進行個別、團體或交互式的學習，或在課堂、網路或交互式的環境中的學習，或用於接受、探討或交互式的學習模式，或上述二個或二個以上混成模式(blended model)的學習活動（如圖 37）。

對稱概念的教學實施，一方面依據於學習者的認知學習，一方面根據課程設計和課程實施的要求。為配合學習者的複雜性和課程實施的共構性，本研究採用 Spiro 隨機通達教學模式的精神，將對稱概念分為六個單元，單元名稱為「發現對稱的秘密」、「對稱點與座標」、「對稱和全等相似」、「對稱和鏡像」、「對稱與重複」、「對稱與撞球」，這些單元也分別涉及數學、科學、社會、藝術領域。由於六個單元都會包含等距、等角、等形、同大小、重複、均衡等對稱概念內涵，而每個單元中只是凸顯某個重點特徵，因此每個單元活動中都會隨機觸及到等距、等角、等形、同大小、重複、均衡等內涵。換言之，六個單元活動讓學習者在不同領域、不同的情景和不同案例下，交織穿越同一概念的內涵（如附錄一）。

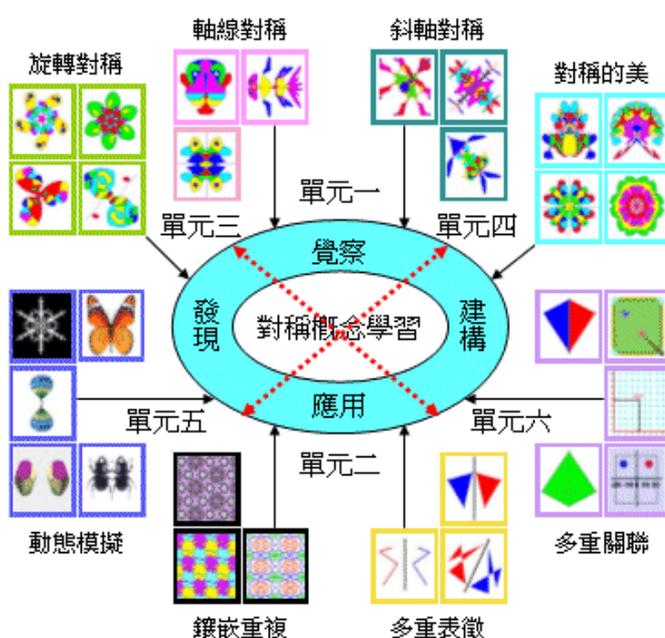


圖 38 對稱概念的交織輻輳學習模式

本研究雖採用 Spiro 隨機通達教學模式的精神去構設教學模式，但從學習的角度，本文稱之為「交織輻輳學習」(如圖 38)，其因是本研究開發之認知支持工具本身，事實上既包含了概念內容又包含支持鷹架功能，它既可視為學習素材亦可視為工具。因此，當學習者進入這個支持環境並使用其中任何一個認知工具時，即在進行著完成輻輳的過程。圖 38 可用車輪來比喻：圓環形象徵輪胎，隱喻著學習者進入覺察、發現、建構、應用不斷轉動的學習環；十字交叉線象徵著一根根的輻線，隱喻著不同認知支持工具支撐對稱概念學習的鷹架。這種形象性相當於「輻輳」，因此，本文稱之為「交織輻輳學習模式」。

對稱概念學習的認知支持情境是由不同對稱概念內涵之認知支持工具，以及不同的引導語、問題思考語、學習討論、操作說明和教學支援所佈置而成的。又這些認知支持工具又是由一支支 Java applet 所設計，因此需架設於網頁上才能呈現(如圖 39)。由於每一支 Java applet 與其對應的對稱概念內涵有關，而每個對稱概念內涵又有不同的探討的引導語、學習討論等，故構成了不同學習功能或支持鷹架功能的網頁。這些網頁可經由不同學習目的和需求，組合成不同的學習模組，而每個學習模組既是一種超文本的鏈結(如圖 40)，亦可說是對稱概念架構的不同表徵。而不同模組間的鏈結除形成更大的超文本結構，也構成了更大的概念架構體系。這些網頁、學習模組的不同結構方式，也就形成一個個不同的學習單元，以便課程實施和教學實施之用(如附錄二)。

Microwei

來畫美麗的對稱圖

操作說明

教學支援

學習討論：

1. 當你在移動滑鼠畫圖時，其他的圖線也怎麼在移動？
2. 當你移動滑鼠的方向時，其他圖線的方向和你動作的方向在哪些是一致，哪些方向不一致？
3. 不同圖樣畫出的圖形，有哪些差別。
4. 畫完後，你可以說出這是麼類型的對稱圖？

圖 39 對稱概念學習網頁

對稱概念的網頁、學習模組、學習單元可隨課程實施時用於個別、團體、接受、探討、課堂及網路等學習情境，亦可協助教學者進行學習設計和規劃思考。而在交織輻輳學習模式時，它們亦可成為教學設計與學習設計的不同工具和鷹架，此不僅滿足不同學習者於不同概念形成階段、不同建構歷程之所需，亦讓學習者可在獨立或在成人支持情境下，隨時隨地不斷的從各種案例學習中架構出整體而有意義的對稱概念體系，並從充分的理解下靈活應用概念於解決日常生活問題的場境中。



Microwei

對稱概念網路與課堂共構學習課程

對稱概念文章模式

對稱概念設計模式

對稱概念類別模式

對稱概念學習模式

「對稱」環繞在我們生活四周，
舉凡植物、動物、紋飾、建築都有它自己的對稱形式。
「對稱的美」也是自然界中一種最簡單的美，
它圍繞在我們許多生活當中，予人圓滿、勻稱、均衡的美感，
內含著或表現出某種有序、重複的成份深深引人凝視。
透過本課程的活動希望你對「對稱」有更深刻的體會和瞭解。

圖 40 對稱概念課程的學習模組

<http://microwei2.myweb.hinet.net/symhomepage/attributeframe/sym2004Frames.html>

第六章 討論與結論

本研究的核心理念是：「整體概念的學習可以成功的在各種環境下實施，但其先決條件是需要認知的支持環境中完成。而認知支持環境又需依認知學習理論來構設整體性計畫，這計畫包括以核心概念為設計基礎、以學習環架構活動平台及以認知工具為鷹架，由此而構築出整體的概念學習環境。」基於這個核心理念衍生的研究方法與架構的理念則提出：知識和學習者的整合性、網路和課堂學習的共構性以及認知工具和鷹架的輻輳性等，所構成的認知支持環境三個支柱觀點。並藉由此構設出的環境給養功能，讓學習者可浸潤其中在放鬆警覺下進行概念的主動、積極加工。而由此轉化出的實作設計方法和架構，則以概念、思維和認知的整體觀，概念體系的學習與理解，及概念學習與改變的認知過程等三個層次，著手完成對稱概念的個案設計和探討。其結果的討論除在第五章第四節中已針對個案實做「對稱概念」部分做了說明外，本章之討論、結論和未來發展分述如下。

6.1 討論

從認知科學和建構主義的學習觀點上，創設一個學習環境必須積極考慮到學習者的主動性、互動性，認知的支持性和學習情境的真實性。而從科技與多媒體的應用與發展上，新科技創造了新的學習機會和異於傳統的超鏈結、非線性等網路學習新環境。這些觀點和變革，促使了概念學習的課程思維和學習環境的設計必須重新構想。因此，基於學習是一個複雜、多元、非線性的過程，學習者是一個主動建構意義的學習主體，學習環境需綜合考慮到各個相關層面的關係和交互作用的影響。故，本研究在探討概念學習認知支持環境的設計方法和發展架構中，將之歸結到「基於腦學習(Brain-based learning)」的隱喻(metaphor)角度出發，對上述有關學習的現象和背景，提出了概念學習認知支持環境理念架構體系的三個支柱觀點，以及三個層次的行動綱領。在三個支柱觀點中，包括：以知識和學習者中心的「整合性」支柱觀點，兼顧學習者擁有知識的良好結構性和學習者自

主學習與建構的機會；由網路和課堂學習的「共構性」支柱觀點，兼顧到兩種學習型式或環境中的特有功能及相互補缺點；及認知工具和鷹架的「輻輳性」支柱觀點，使各種工具的輻輳效應交織生成加乘放大的效果。在三個層次的行動綱領中，包括：以概念、思維和認知的整體觀，進行整體的概念課程設計；以概念體系的學習與理解，進行核心概念的教學計畫；及以概念學習與改變的認知過程，進行概念改變的認知策略安排。依上述三個支柱觀點和三個層次的行動綱領，從而規劃出以「核心概念」的理解學習為中心，架構概念學習的認知過程及覺察、發現、建構和應用的學習環(learning cycle)，設計出適當的認知工具形成鷹架支持。

基於腦(Brain-based)的學習和基於概念(Concept-based)的學習，彼此間有其相互的隱喻性，這其中包括了「腦與概念」的組織與層級性、非線性的語義網絡以及各種的聯結性。這些隱喻是否足夠做為進行創設學習環境（一種教學的隱喻，對應於學習的隱喻——學習是知識建構）的可靠基礎，以應對和滿足學習的複雜性，相信隨著新科技的發展和研究的結果，將會提供我們更多的訊息以進行更深入的探討。而本研究認為，這種隱喻性的說明雖仍存者不同的派別和爭論，但其深切考慮到「需對複雜的學習進行精緻的複雜設計」的觀點，卻是在普遍使用單一理論和單一工具，企圖用控制單一變項來探討、解決概念學習的研究中，提出了一個可待發展的方向。基於此，本研究循著「腦與概念」的組織與層級性、非線性的語義網絡以及各種的聯結性之相互隱喻的理念、觀點和方法，構設了概念學習認知支持環境的設計方法和發展架構，並完成了「對稱概念認知支持學習環境」的個案設計。

由於學習情境的複雜性，包含了概念內容的難度與層次、學習者的認知發展與能力、教學者使用的策略和方法間，交錯的交互作用與影響。因此，如何能在這複雜的情境中，設計出可分別滿足不同學習者進入這學習環境時，能根據其起始點與學習內容搭接到一個很適切的學習切入點，此時認知支持的類型與鷹架功能的提供就顯得非常重要。基於這個重要性，本研究認為最佳的方案和策略，就是精心設計一個可以涵蓋整體概念內涵及配合各種認知歷程所需的多種認知支持情境和鷹架。

學習者在進行概念學習時的認知支持，依據不同的情境分別有父母、師長、同儕、媒體、科技、多重感知、社會環境和文化情境等個別或交互的支持。這些支持可分為學習者獨立學習和共同學習情境時的支持，以及可用來建構和組織學習過程或用來激發學習者的學習興趣支持。又這些支持在課堂和網路學習環境下，也分別扮演著不同的功能，包括概念的鷹架、後設認知的鷹架、程序性的鷹

架和策略性的鷹架等，且這些功能在課堂和網路環境中，亦有其不可替代性。基於此，本研究在構思概念學習的認知支持和鷹架功能時，參酌了 Caine 和 Caine(1994)基於腦的學習原則，及 Vygotsky 最適發展區(ZPD)概念，在針對概念學習上提出了：引發動機、真實性模擬、自創實例、概念多重表徵、概念多重聯結、多重感知、互動性、內隱訊息顯明性以及學習認知生成歷程的組織和安排等支持類型和鷹架功能，並依此在對稱概念個案中設計出四十餘種 Java applet 的認知支持類型，並討論各類認知類型支持學習的時機和其支持鷹架的各項功能。這些設計、發展出來的認知支持類型和鷹架功能，是不是可以涵括滿足到每一個學習者進入這個學習環境中都有一個適切的接著點，是不是還需要其他的支持鷹架，以及不同概念間所需的支持和鷹架有多大的差別？這可隨著認知科學進一步闡明學習的本質，以及新科技發展所伴隨提供的機會做進一步的討論。

在發展概念學習認知支持環境的學習模式中，本研究以概念學習認知過程，並參酌 Paivio(1971)與 Snodgrass(1984)的記憶和編碼表徵理論，及 Wittrock(1983)的學習生成過程理論，提出「覺察、發現、建構、應用」四個階段並圍繞「理解」為觀點的概念學習環學習模式。此模式係從概念學習就是對某種關係的探討、理解和建構過程的觀點著眼，並在反映認知生成學習過程中有關大腦運作的一些認知、記憶、編碼、存取等重要過程，及其結果的基模、框架、語義網絡等表徵與概念架構表徵間的同構性。此模式同時也在反映學習者、學習活動、學習內容、學習環境間相互關係所產生的學習和認知的節奏性。在本研究個案實作的對稱概念學習中，依此四個學習階段中學習者所產生的認知過程及其所需的認知支持，以概念之不同內涵構設出覺察、發現、建構、應用的學習模組，實施於交織輻轉的學習活動中，以支持學習者建構出對稱的等角、等距、等形、重複和均衡等概念。至於以覺察、發現、建構、應用架構的學習環模式，用於其他概念領域的學習有多大的適用性，對此問題本研究認為需視學習環境與概念內容、認知支持工具彼此間所具有的交互作用的關係而定。換言之，如果不把這些關係整體一起看待、一起設計，那麼這個模式的學習環就會被插斷，而認知過程中所需要的歷程就無法滿足，當然，此時就無法適用於該概念的學習。

在設計概念學習的認知支持情境和認知支持工具中，基於傳統的概念學習是線性和程序性並以講授、被動接受居多，與目前反映出學習存在著複雜、多元、非線性、非序列的特性不同，而目前這種學習環境特性不僅與大腦處理訊息頗相近，也與學習者進行學習活動時的真實情境相近。因此複雜、多元、非線性、非序列的學習情境，雖符合大腦的自然學習的方式，但相對的學習者需要更多的認知支持和鷹架，這樣大腦才能獲得組織良好的知識和概念架構，以及進行更有效

率的學習方式；同時當學習活動與真實情境愈相近時，學習者亦需更多的認知支持和鷹架，如此之下學習的真實性才得以發生。又透過認知支持情境和認知支持工具的提供，可改變概念學習的一些程序，不必一定要依循由下而上或循序由初級到高級的方式。在本研究在對稱概念的個案實作中，即聯結了垂直平分線與對稱、幾何圖形與對稱圖形的合併與分割、反射與鏡像、座標象限和對稱位置等關係，並打破了傳統課程先後學習的順序，讓學習者在擁有整體概念和新的學習環境中，跨過了目前學習環境的限制，而達到更有意義和有效的學習。而由此，本研究也發現：最適發展區(ZPD)的能力寬度，可從細微的認知過程分析中，經由核心概念整體性的架構、以理解為基礎的四個學習環活動，及認知支持工具所搭建的鷹架功能整體思考和設計，擴大、延伸出學習者的可學習能力區間，使學習者在需要小量支持(need little support)和大量支持(need much support)等不同情境下，都獲得適時和適切的支持。又經此擴大和延伸的最適發展區，亦支撐了核心概念所需涵蓋較大的概念範疇，使得以核心概念為基礎規劃的概念學習更易進行。此從本研究在對稱概念的實作過程和成品的闡釋說明中，也對此經由精心設計出的認知支持情境和認知支持工具，可對學習者的概念學習產生促進作用上進行了探討，而對未來進行課程開發和教學者也提供了一個可具體參考的事例。

在概念學習環境中的認知支持工具和鷹架的開發中，本研究以對稱概念為例，依概念學習認知支持環境的設計方法和發展架構，及整體對稱概念內涵架構，發展出水平軸對稱、垂直軸對稱、全等對稱、多軸對稱、旋轉對稱、斜軸對稱，水平鏡面動態模擬、垂直鏡面動態模擬、立體鏡面運動模擬、立體旋轉動態模擬，擺動操作、搖動操作、旋轉操作、平移操作、移軸操作、移點操作，畫雪花、畫創意圖形、製作壁紙、製作紋飾花紋、鑲嵌貼磁磚，與座標聯結、與象限聯結、與幾何圖形聯結、與函數圖形聯結、與撞球遊戲聯結等四十種 Java applet 認知情境和工具。這些情境和工具具有一般傳統課堂媒體或電腦輔助學習軟體所不可替代的功能性，它們設置在支持學習者認知學習的網頁中，提供給學習者在課堂或網路、個別或團體、探討或接受等學習情境下進行學習之用。這些支持學習者在對稱概念學習歷程中有關的項目，包括：美的愉悅和感動的情感支持、真實性的模擬學習情境支持、視覺化和多重感知的學習支持、認知生成支持、自行創設實例支持、多重表徵支持、多重聯結支持、即時迴饋支持和互動學習支持等。這些支持可成為學習者在探討、理解、建構和應用對稱概念過程時的有利鷹架，並對生成良好組織的概念架構有充分的幫助。此結果也與一般輔助學習上僅針對概念中一小部分屬性設計出一、二個工具或以極少的例子有很大的差別，它不僅能聯結到對稱相關的概念，也能滿足學習者建構完整概念所需的各種支持。

綜合而言，概念既是一個架構，那麼，概念架構整體的內涵以及其間的關係就必須整體一致考慮，這種考慮一方面基於概念整體具認知地圖的導引和綜觀作用對學習者有很深的影響；另一方面則是避免單獨分散學習造成無法聯結個別事件或和案例，產生只用強記而不深入理解的學習。然而為達成整體概念一致性的學習設計，不僅需具備跨學科領域知識且需多方顧及，又其複雜性和困難度甚高，亦需耗時、長程方能完成。故一般雖對這種設計普遍都認為更適合於學習，但設計成功的例子卻甚少。基於這個因素，本研究在設計上採取以核心概念、概念內涵項目模組和認知過程模組交互構思的應對方式來進行規劃。此結果雖可從本研究實作出對稱概念中所開發的四十餘種 Java Applet 程式，以及編排在不同的學習活動中做為學習者進行對稱概念的學習支持工具和情境，窺探出這種設計構思方式可發展出一套整體概念的學習課程，但卻需付出更多的努力和心血。

又，由於傳統課堂概念學習環境受限於時間、空間、人力以及資源等因素的影響，因此整體概念的學習課程不易實施。但基於網路的整體概念學習環境，相對的卻有其有利的實施條件，然而，因為整體概念學習課程的不易製作，因此，目前在基於網路學習環境上發展的學習模式，主要仍是以問題解決的學習、專題學習、目標情節式、錨定式、認知學徒制、合作式學習等為主。這些模式大多在建構學習平台及其系統的設計上，也與學習的內容或對象無關，而部分與內容有關者亦多為應用概念方面，並無全面考量概念形成中各個階段的認知學習特性。基於此，本研究嘗試從課堂與網路共構學習環境的觀點，考慮課堂和網路學習環境各有其優點和侷限性，以及概念學習各階段認知歷程所需的認知支持情境和工具，開發出概念學習的發展模式，並探討其設計觀點、鷹架功能，以做為有關概念學習課程發展和認知支持環境設計時的參考。

再則，基於本研究設計和發展的結果可用於網路學習之用，但與目前網路學習上開發的問題解決模式、專題探討模式、合作學習模式及概念圖的做法在概念和方法上皆有所不同。本研究係針對中小學階段的學習者構思，故考慮學習者使用科技工具時所具的能力和素養問題，又考慮課堂和網路共構學習之必要，故，僅使用在一般通用平台上，而不特別開發特殊的平台，以減少學習和教學時易用、易取所發生的問題。因此，本研究著重在概念生成過程中認知作用的顯明化、可視化、動態化和互動性等情境的設計上，而不在硬體環境的架構和硬體支持上。又硬體環境的架構和硬體支持為能滿足不同問題、專案都能適用，故需考慮最大適合度的通用性問題。但本研究的概念學習認知環境支持，因不同概念需從不同的支持角度進行支持，它所考慮的卻是學習者最大適合度的問題，意即滿足不同學習者的認知方式和認知過程上的差異。

6.2 結論

本研究基於概念是認知和思維的重要成分，而概念學習又是一種重要的認知能力，但學習者在概念形成的過程和概念改變的結果並不如預期的理想。而影響課堂活動和教學方案中有關概念學習的主要因素，從認知理論和建構主義的角度分析有：認知情境不佳、認知工具不足、鷹架支撐不利和學習歷程不完備等，這些因素源於學習者的既有概念、教學過份簡單化和課程設計偏重低層次認知的結果。由於學習者、教學和課程設計是一整體系統，有著不可分割的交互影響性，故需從貫一設計的理念和方法，整合出學習理論、科技發展和教學實施間的一致性。又從學習者、教學和課程設計既是一整體的系統，就會存在著結構關係以及其個別功能的場域或情境來看，這個場域或情境即是學習時所處的一個環境。而學習環境不僅需提供學習資源、工具和鷹架功能，但更重要的是是否具有致發促進學習者理解和進行有意義學習的效能和作用。至於學習者是否有效和有意義的學習，除教學活動能與學習者既有經驗相連接外，有效的認知支持更是其重要的一環。

認知支持是協助學習者進行概念形成、理解和建構學習活動時重要的鷹架，包括成人和同儕的支持、認知和學習工具的支持、多重感知支持、網路環境的支持等，這些鷹架在學習活動中扮演著學習者新和舊知識間、初級和次級概念間、目前能力和達成能力間、訊息與經驗間、經驗與意義間等聯結的支架。因此，創設概念學習的認知支持環境時，需考慮到知識和學習者的整合性，網路和課堂學習的共構性以及認知工具和鷹架的輻輳性。而以此觀點來設計的認知支持學習環境，是希望藉由支持環境的給養能將概念學習所需的概念、知識、技能、情境和探索工具、認知工具，安置於一種可動手做、有迴饋和可理解的學習狀態，使得學習者可浸潤其中，並在放鬆警覺狀態下進行積極的加工而達到有效和有意義的學習。

概念學習的認知支持環境設計理念轉化成設計與發展的參考架構時，是以「核心概念」的理解學習為中心，基於腦的學習、認知記憶和編碼的過程、學習生成、認知靈活性等學習理論的觀點，將概念學習的內涵和內容，及提供的認知工具與形成的鷹架支持，安排在覺察、發現、建構和應用的學習環(learning cycle)中。其設計和發展的過程及步驟，包括從總體課程角度思考概念學習認知支持環境的要素與關係，接著從核心概念來思考相關課題，而後從概念學習的學習環來構思學習活動設計，最後依據學習需求設計認知支持的工具和鷹架。這四個過程和步驟雖有層次之別，但實際設計和發展時是交互檢驗和相互關聯的。而在實施

上則是考慮課堂和網路學習環境兩種形式的個別性和共構性，以及交織輻輳學習的情境和過程。

根據概念學習的認知支持環境設計理念和設計與發展的架構，本研究以「對稱概念」為例實作出對稱概念的認知支持環境。在這個概念學習的認知支持環境中，本研究開發出四十餘種 Java Applet 程式，並編排設計在有學習引導和探討問題的網頁中，可讓學習者進行課堂或網路個別學習之用，可以做為接受是學習或探討是學習之用，也可以做為教學示範、解說、討論之用。其所提供的認知支持，包括：美的愉悅和感動的情感支持、真實性的模擬學習情境支持、視覺化學習支持、認知生成支持、自行創設實例支持、多重表徵支持、多重聯結支持、即時回饋支持和互動學習支持等功能。這些支持經由覺察、發現、建構和應用等認知歷程和理解循環的學習環設計，可讓學習者能在真實性(authentic)操作的情境中動手做(hands on)、用心想(minds on)的學習活動過程中，培養出認知思維能力並建構出對稱概念的相關網絡系統知識。

又概念學習環境包含有課程內容、學習目標、學習資源、學習者、教學者、學習活動、媒介、工具和鷹架支持、評量活動等，可以簡略的概括為學習者進行概念學習時與之有關的相關因素。由於這些相關因素不是個別存在於概念學習環境中，而是彼此聯結相互作用，且是在動態交織的複雜狀況下，包含著教學者與學習者的行為、師生同儕的溝通活動、內隱和外顯的認知活動、語言與圖像的符號運作、情感與價值的偏好選擇等。因此規劃概念學習環境以及思考如何達成認知學習支持時，必須在整體上以概念、思維與認知的整體觀，整合符號學、認知論、建構主義、闡釋學和溝通理論等相關的觀點；從概念體系的學習與理解上，將概念內涵、教學策略、學習素材、認知學習歷程、活動方式等做系統編排；而後依此從概念學習與改變的認知過程上，設計認知支持的各種情境和工具，形成適時和適切的鷹架功能。如此學習者方能於此學習環境中進行有意義的學習和有效學習的概念學習。

總結而言，當我們愈是強調學習是主動的，學習是知識的建構，學習是複雜、多元、層級性和非線性時，這時愈需要提供給學習者一個具有：情意、真實性、視覺化、多元感知、認知生成、實例創設、多重表徵、多重聯結和即時回饋等工具和鷹架支持。當我們愈是希望學習是有意義、深刻性理解和有效的學習時，這時也愈需要為學習者提供一個具有經驗性、創造性、互動性和致能性的情境支持。而這些都必須是包含在認知支持環境設計中所要提供的項目，也是概念學習認知支持學習環境設計中必須整體一貫思維的重要一環，且它們必須架構在可發生整體心智通暢運作的有利學習模式中。

6.3 未來發展

在課程層面上，從本研究以核心概念為基礎的概念學習認知支持環境設計和發展中，顯示可嘗試建立以「核心概念」的課程觀，以做為重新架構網路與課堂共構課程的思考。此種課程觀與目前學校實施的課程、目前發展的網路學習課程及目前推動的資訊融入教學有所不同。這個課程觀強調網路和課堂學習需建構於「共構的課程體系」下，並避免產生彼此功能的相互替代現象；而是從學習者認知學習一體的角度，審視其所處的不同學習環境所應具有的功能。因此，如何規劃或構設出核心概念的整體課程，是未來可研究和探討的方向。

在技術層面上，本研究開發的 Java applet 雖架構在網頁上，並未加入有聲的訊息，若加上有聲的學習引導或認知過程的話語提示，這對使用此種認知支持工具的學習者將會形成更大的鷹架效能或產生過度干擾，此在往後研究可就其感覺通道（sensory modalities）的伴隨效應進行研究。再從網路課程的散佈上，若考慮網路與課堂共構課程時，這些認知支持情境和工具是否可包裝成數位學習資源之 SCORM 標準，而 SCORM 標準中的 learning sequence 如何去描述課堂與網路學習情境中的學習序列？又 SCORM 標準使用的教學模式偏向於行為主義，此與本研究採認知建構模式間的差異能否嵌合？此可待往後持續去尋找解決方案。

在對稱概念的垂直和橫向後續發展上，本研究開發的認知支持情境和工具具有多年級和多學科的特性，貫穿小六到高一的概念層次，也橫跨自然、數學、藝術等領域，但因要完成整體架構工程浩大，故其中缺漏之處仍須補足。這方面在往後的研究中可補足高中到大學部分的概念層次，且在形式上除了以 Java applet 外，還可添加其他多媒體、虛擬情境等。而領域中的素材除在科學、數學、藝術上擴充外，亦可加添社會領域、建築、晶體學或其他相關的對稱素材。

在學習評量上，由於本研究以共構學習環境觀設計，以及採真實性評量（authentic assessment），因此將形成評量中一部分放在網頁的即時學習探討、問語和引導語上，一部份放在課堂學習環境由教學者負責執行，所以本研究並未深入探討這部分。若要完全以網路學習數位教材視之，需考慮目前 Java applet 無法回應參數到 HTML 語言形式的網頁中。此可從 php 去設計兩者界面銜接的問題，或開發 Java applet 可寫入本地檔案資料的問題。

最後在實作效果的驗證研究上，基於本研究個案設計和發展部分——「對稱概念」是涵蓋多年級和跨學科，並不適合採取目前一般教育實證方法中的分叢抽樣方式以班級做對照實驗，並以母群估測依變項（部分對稱概念）的統計考驗方式，此因一方面違反本研究原始設計的精神，亦有違認知支持學習工具與學習者

專有需求性的「鎖、鑰」相嵌關係。因此，未來驗證本研究的對稱概念之實作效果，需採個別研究方案或質性的研究法，而不是 one-size-fits-all 的班群實驗方式，以免混淆主要效果的變異來源。同時在個別研究方案上，可探討不同學習者（不同認知風格、理解程度）在不同學習情境（不同學科、年齡）中與對稱概念不同學習層次間的交互作用和影響，以深入確定學習效果的變異來源。如：高視覺空間型的學習者與低視覺空間型的學習者，在使用這套認知工具後所產生的不同效應。或喜愛美術者或喜愛數學者，在經歷這個認知環境後可能產生的伴隨、鄰近效應等。





參考文獻

- 左台益 (民 93) 青少年的數學概念學習研究—子計畫三：青少年的對稱概念發展研究，國科會專題研究計畫報告。NSC91-2522-S-003-009。
- 林福來 (民 76) 國中生反射、旋轉、平移概念發展研究，國科會專題研究計畫報告。NSC75-0111-S003-01，NSC76-0111-S003-12。
- 馬秀蘭 (民 92) 利用電腦網路誘發及培養學生對比例推理之興趣及能力之研究，國科會專題研究計畫報告。NSC 91-2520-S-275 -002。
- 陳天宏 (民 92) 國中生線對稱概念學習研究，國立台灣師範大學碩士論文，未出版。台北市。
- 郭重吉 (民90) A review of studies on alternative conceptions for students in Taiwan。論文發表於國際認知科學與科學教育學術研討會。台北市：國立臺灣師範大學。
- 郭重吉 (民91) 從建構主義的觀點探討中小學數理教學的改進。科學發展月刊，20卷5期，548~570頁。
- 鄭晉昌 (民86)。視覺思考及科學概念的獲取—設計與發展電腦輔助視覺學習環境。教學科技與媒體，33期，20-27頁。
- 劉湘川、劉好 (民 81,82) 我國國小學童對稱概念的發展研究，國科會專題研究計畫報告。NSC-81-0111-S142-01-N，NSC-82-0111-S142-001。
- 魏金財 (民 76) 兒童比例推理能力研究，台灣省國民學校教師研習會主辦，七十六年國小課程學術研討會專輯, 122-140。
- 魏金財 (民 79a) 對稱概念的電腦輔助教學設計，中華民國第六屆科學教育學術研討會口頭發表。台北市：國立臺灣師範大學。
- 魏金財 (民 79b) 點、線對稱概念之電腦輔助教學軟體設計，國教學報第三期, 235-271。
- 魏金財 (民 80) 對稱概念的學習與電腦輔助教學軟體設計(II)，臺灣省第二屆教育學術論文發表會論文輯, 202-236。台北縣：臺灣省國民學校教師研習會。
- 魏金財 (民 81) 兒童對雨量之概念及其概念之改變類型，國教學報第四期, 225-254。
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1993). *Benchmarks for Science Literacy, Project 2061*. New York: Oxford University Press.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1990). *Science for all americans, Project 2061*. New York: Oxford University Press.
- Alparslan, C., Tekkaya, C., & Geban, O. (2003). Using the conceptual change

- instruction to improve learning. *Journal of Biological Education*, 37(3).
- Arnaudin, M. W., & Mintzes, J. J. (1985). Students' alternative conceptions of human circulatory system: A cross-age study. *Science Education*, 69(5), 721-733.
- Arnheim, R. (1969). *Visual thinking*. London: Berkeley, Los Angeles. (中譯本).
- Ausubel, D. P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. New York: Grune & Stratton.
- Ayersman, D. J. (1995). Introduction to hypermedia as knowledge representation system. *Computers in Human Behavior*, 11(3-4), 529-531.
- Bastiaens, T. J. & Martens, R. L. (2000). In B. Abbey (ed.), *Instructional and cognitive impacts of web-based education*. Hershey, PA: Idea Group Publishing.
- Berenfeld, B. (1996). Linking students to the infosphere. *T. H. E. Journal*, 4(96), 76-83.
- Berry, L. H. (2000). Cognitive implications of page design for web-based instruction. In B. Abbey (ed.), *Instructional and cognitive impacts of web-based education*. Hershey, PA: Idea Group Publishing.
- Biological Sciences Curriculum Study (BSCS). (1992). *Science for life and living*. Dubuque, Iowa: Kendall Hunt.
- Blumenfeld, P., Soloway, E., Marx, R., Krajcik, J., Guzdial, M., & Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26, 369-398.
- BouJaoude, S. (1991). A study of student's understandings about the concept of burning. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 689-704.
- Bourne, L. E. (1966). *Human conceptual behaviour*. Boston: Allyn and Bacon.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (1999). *How people learn: brain, mind, experience, and school*. Washington, D.C.: National Academy Press. (中譯本). [Available online at <http://www.nap.edu/html/howpeople1/>].
- Brooks, L. (1978). Nonanalytic concept formation and memory for instances. In E. Rosch, & B. B. Lloyd (eds.), *Cognition and categorization*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Brown, A., & Palincsar, A. (1989). Guided, cooperative learning and individual knowledge acquisition. In L. Resnick (ed.), *Knowing, learning, and instruction*. (pp. 393-451). Englewood Cliffs, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bruner, J. S., Goodnow, J. J., & Austin, G. A. (1956). *A study of thinking*. New York: John Wiley.
- Buzan, T. (1998). *The mind map book*. London: BBC Enterprises. (中譯本).
- Byrnes, J. P. (1996). *Cognitive Development and Learning in Instructional Contexts*. Boston: Allyn and Bacon.
- Caine, R. N., & Caine, G. (1990). Understanding a brain-based approach to learning and teaching. *Educational Leadership*. 66—70.

- Caine, R. N., & Caine, G. (1994). *Making connection: teaching the human brain*. New York: Addison-Wesley. (中譯本).
- Case, R. (1978) 皮亞傑學派和新皮亞傑學派：教學發展理論和教學工藝學的探索。In R. Glaser (ed.), *Advances in instructional psychology*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. (中譯文).
- Clements, D. H., & Battista, M. T. (1992). Geometry and spatial reasoning. In D. A. Grouws (ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning*. (pp. 420-464). NY: Macmillan.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt. (1992). The Jasper experiment: an exploration of issues in learning and instructional design. *Educational Technology Research & Development*, 40(1), 65-80.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1992). *The Jasper Series*. Online Available. Retrieved March 1, 2004, from <http://peabody.vanderbilt.edu/projects/funded/jasper/intro/Jasperintro.html> .
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1997). *The Jasper Project: Lessons in Curriculum, Instruction, Assessment, and Professional Development*. Mahwah, NJ: Erlbaum. (中譯本).
- Cohen, G. (1983). *The psychology of cognition*(2nd ed.). New York: Academy Press.
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. (1989). Cognitive apprenticeship: teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. Resnick (ed.), *Knowing, learning, and instruction*. (pp. 453-494). Englewood Cliffs, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Collins, A. (1994). Goal-based scenarios and the problem of situated learning: A commentary on Andersen Consulting's design of goal-based scenarios. *Educational Technology*, 34(9), 30-32.
- Collins, A. M. & Quillian, M. R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and verbal Behavior*, 8, 240-247.
- Craig, M. (2000). *Thinking visually*. Continuum International Publishing Group, Incorporated.
- Dreyfus, T. (1994). The role of cognitive tools in mathematics education. In Biehler, R. et al.(eds.) *Didactics of mathematics as a scientific discipline*(pp.201-211). Dordrecht: Kluwer.
- Duit, R. (1991). Student's conceptual frameworks: consequences for learning. In. S. Giynn, R. Yeany, & B. Britton (eds.), *The Psychology of Learning Science*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Duit, R., & Treagust, D.F. (1995). Students' conceptions and constructivist teaching approaches. In B. J. Fraser & H. J. Walberg (eds.), *Improving Science Education*(pp. 46-69). The University of Chicago Press, Chicago, Illinois.

- Erickson, H. L. (2000). Concept-based learning. *Museum News*, Nov/Dec, pp. 42-44.
- Erickson, H. L. (2002). *Concept-based curriculum and instruction: Teaching beyond the facts*. California: Corwin Press.
- Fischbein, E. (1994). The interaction between the formal, the algorithmic and the intuitive components activity. In R. Biehler et al.(eds.), *Mathematics didactics as a scientific discipline*. (pp. 231–261). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Fisher, K. M. (1985). A misconception in biology: amino acids and translation. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(1), 53-62.
- Fisher, M. M. (2000). Instructional Design Considerations for Web Based Instruction. In B. Abbey (ed.), *Instructional and cognitive impacts of web-based education*. Hershey, PA: Idea Group Publishing.
- Gagné, R. (1985). *The conditions of learning* (4th ed.). New York: Holt, Rinehart, & Winston. (中譯本).
- Gagné, R. & Glaser, R. (1987). Foundations in learning research. In R. Gagne (ed.), *Instructional technology: Foundations*. (pp. 49-84). Hills-dale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gagné , R. & Driscoll, M. (1988). *Essentials of Learning for Instruction* (2nd ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Gagné, R., Briggs, L. & Wager, W. (1992). *Principles of Instructional design* (4th ed.). Fort Worth, TX: HBJ College Publishers. (中譯本).
- Gilbert, J. K., Osborne, R. J., & Fensham, P. J. (1982). Children's Science and its Consequences for Teaching. *Science Education* 66(4), 623-633.
- Gordin, D. N. & Pea, R. D. (1995). Prospects for scientific visualization as an educational technology. *The Journal of Learning Sciences*, 4, 249-279.
- Greeno, J.G. (1978). A study of problem solving. In R. Glaser (ed.), *Advances in instructional psychology*. (pp. 13-75). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Guzzetti, B. J., Snyder, T. E., Glass, G. V., & Gamas, W. S. (1993). Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. *Reading Research Quarterly*, 28(2), 117-159.
- Hannafin, M. J., & Land, S. (1997). The foundations and assumptions of technology-enhanced, student-centered learning environments. *Instructional Science*, 25, 167-202.
- Hannafin, M. J., Land, S. M., & Oliver, K. (1999). Open learning environment: foundation, method, and models. In C. Reigeluth (ed.), *Instructional Design Theories and Models (vol.2)*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hannafin, M. J., & Rieber, L. P. (1989). Psychological foundations of instructional

- design for emerging computer-based instructional technologies: Parts 1 & 2. *Educational Technology Research and Development*, 37,91-114.
- Hart, L. (1983). *Human Brain, Human Learning*. New York: Longman.
- Hills, G. L. C. (1989). Students' "untutored" beliefs about natural phenomena: primitive science or commonsense? *Science Education*, 73(2), 155-186.
- Houghton, H. A., & Willows, D. M. (1990). *The psychology of illustration: Vol2 Instructional issues*. New York: Springer-Verlag.
- Howard, R.W. (1987). *Concepts and schema: an introduction*. Philadelphia: Taylor and Francis.
- Jonassen, D. H. (1991). Hypertext as instructional design. *Educational Technology Research and Development*, 19(1), 83-92.
- Jonassen, D. H. (1996). Computer in classroom. *Mindtools for critical thinking*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Jonassen, D. H. (1999) Constructivist learning environments. In C. Reigeluth (ed.), *Instructional design theories and models*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Jonassen, D. H. (2000). *Computers as mindtools for schools: Engaging critical thinking*. Columbus, OH: Merrill Prentice-Hall.
- Jonassen, D. H., & Land, S. (2000). *Theoretical foundations of learning environments*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Jonassen, D. H., & Reeves, T. C. (1996). Learning with technology: using computers as cognitive tools. In D. H. Jonassen (ed.), *Handbook of research for educational communications and technology* (pp. 693-719). New York: Macmillan.
- Kaput, J. (1989). Supporting concrete visual thinking in multiplication reasoning. *Focus on Learning Problems in Mathematics*, 11(1), 35-47.
- Kaput, J. (1994). The representational roles of technology in connecting mathematics with authentic experience. In R. Biehler et al.(eds.), *Mathematics didactics as a scientific discipline*. (pp. 379-397). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Retrieved March 1, 2004, from <http://www.simcalc.umassd.edu/representations/downloads/RepRoles.pdf>
- Karplus, R. & Atkin, J. (1962). Discovery or invention? *Science Teacher*, 29(5), 45.
- Khan, B. H. (1997). *Web-based instruction*. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Koffka, K. (1935). *Principle of Gestalt psychology*. New York: Harcourt Brace & Company. (中譯本).
- Kohler, W. (1947). *Gestalt psychology: an introduction to new concepts in modern psychology*. New York: Liveright Publishing Corporation.

- Laflore, D. (2000). Guidelines based upon learning theory for the design and evaluation of web-based instruction. In B. Abbey (ed.), *Instructional and cognitive impacts of web-based education*. Hershey, PA: Idea Group Publishing.
- Land, S. M., & Hannafin, M. J. (2000) Student-centered environments. In S. M. Land, & Hannafin, M. J. (eds.), *Theoretical foundations of learning environments*. (pp. 1–24). Mahwah NJ: Erlbaum.
- Lanza, A. (1991). Some guidelines for the design of effective hypercourses. *Educational Technology*, 18-22.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated Learning Legitimate Peripheral Participation*. NY, Cambridge University Press.
- Lawson, A. E. (1988). A better way to teach biology. *The American Biology Teacher*, 50, 5.
- Lawson, A. E. (1996) . Introducing mendelian genetics through a learning cycle. *The American Biology Teacher*, 58 (1) , 38-42.
- Locatis, C., Letourneau, G. & Banvard, R. (1989). Hypermedia and instruction. *Educational Technology Research and Development*, 37(4),65-77.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32(1), 1-19.
- Mayer, R. E. (1999). *The promise of educational psychology: learning in the content areas*. Upper Saddle River, NJ: Merrill/Prentice Hall.
- Means, B. & Knapp, M. S. (1998). Cognitive approaches to teaching advanced skills to educationally disadvantaged students. In A. E. Woolfolk(ed.), *Readings in educational psychology* (2nd ed.). Boston, MA: Allyn and Bacon.
- Metioui, A., Brassard, C., Levasseur, J., & Lavoie, M. (1996). The persistence of students' unfounded beliefs about electrical circuits: the case of Ohm's law. *Internation Journal of Science*, 18(2), 193-212.
- Merrill, M. D. (1991). Constructivism and instructional design. *Educational Technology*, 31(5), 45-53.
- Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information, *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Miller, S. M., & Miller, K. L. (2000). Theoretical and practical considerations in the design of web-based instruction. In B. Abbey (ed.), *Instructional and cognitive impacts of web-based education*. (pp. 156-177). Hershey, PA: Idea Group Publishing.
- Mioduser, D., Nachmiass, R., Lahav, O., & Oren, A. (2000). Web-based learning environments: Current pedagogical and technological state. *Journal of Research on Computing in Education*, 33(1).
- National Council of Teachers of Mathematics (NCTM). (1989). *Curriculum and*

- Evaluation Standards for School Mathematics*. Reston, VA.
- National Research Council.(1996). *National Science Education Standards*. Washington, D.C.: National Academy Press. Online Available. Retrieved June 6, 2004, from <http://www.nap.edu/readingroom/books/nse/html/index.html>
- Novak, J. D. (1979). The reception learning paradigm. *Journal of Research in Science Teaching*, 16(6): 481-488.
- Novak, J., & Gowan, D. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Novak, J. D. (1990). Concept maps and Vee diagrams: two metacognitive tools for science and mathematics education. *Instructional Science*, 19, 29-52.
- Novak, J. D. (1991). Clarify with concept maps. *The Science Teacher*, 58(7), 45-49.
- Novak, J. D. (1998). *Learning creating and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Oliver, R., & MacLoughlin, C. (2001). Using networking tools to support online learning. In F. Lockwood (ed.), *Innovation in open and distance learning: Successful development of online and E web based learning*.(pp.160-71). London: Roulledge.
- Osborne, R. J., & Wittrock, M. (1983). Learning Science : A generative process. *Science Education*, 67(4), 489 – 508.
- Osborne, R. J., & Wittrock, M. C. (1985). The generative learning model and its implications for science education. *Studies in Science Education*, 12, 59-87.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and Verbal Processes*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Paivio, A. (1991). Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology*, 45, 255-287.
- Pea, R. (1985). Beyond amplification: using the computer to reorganize mental functioning. *Educational Psychologist*. 20(4), 167-182.
- Pfundt, H., & Duit, R. (1991). *Bibliography student's alternative frameworks and science education*(3rd ed.). Kiel, Germany: IPN.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. New York: Basic Books.
- Pines, A. L., & West, L. H. T. (1986). Conceptual understanding and science learning: an interpretation of research within a source of knowledge framework. *Science Education*, 70(5), 583-604.
- Ponser, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change. *Science*

Education, 66,211-227.

- Posner, G. J., & Rudnitsky, A. N. (2001). *Course design : A guide to curriculum development for teachers* (6th ed.). New York: Longman..
- Pratt, D. (2000). *Curriculum planning: a handbook for profession*. New York: Harcourt Brace & Company.
- Pribram, K. H. (1999). The deep and surface structure of memory and conscious learning: Toward a 21st century model. In R. L. Solso (ed.), *Mind and brain science in the 21st century*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Prosser, M. (1994). A phenomenographic study of students' intuitive and conceptual understanding of certain phenomena. *Instructional Science*, 22, 189-205.
- Reiber, L. P. (1994). *Computers, graphics, & learning*. Madison, WI: Brown & Benchmark.
- Reeves, T. C. (1998). *The impact of media and technology in schools: A research report prepared for The Bertelsmann Foundation*. Retrieved January 1, 2003, from http://www.athensacademy.org/instruct/media_tech/reeves0.html
- Reeves, B., & Nass, C. (2002). *The media equation*. New York: Cambridge University Press.
- Renner, J. W., Abraham, M. R., & Birnie, H. H. (1988). The necessity of each phase of the learning cycle in teaching high school physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(1), 39-58.
- Rosch, E. (1973) Principles of categorization. In E. Rosch & B. B. Lloyd (eds.), *Cognition and categorization*, Hillsdale New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Rosch, E. (1975). Cognitive representations of semantic categories. *Journal of Experimental Psychology*, General 104, 192-253.
- Rosch, E. (1981). Prototype classification and logical classification: the two systems. In E. Scholnick (ed.), *New Trends in Conceptual Representation*.(PP. 73-85). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Ross, A., & Olsen, K. (1993). The Way We Were ... The Way We Can Be: A Vision for the Middle School through Integrated Thematic. *ERIC ED 371906*.
- Runmelhart, D. E. (1980). Schema: the building blocks of cognition. In R. J. Spiro, B. C. Bruce, & W. F. Brewer (eds.), *Theoretical issues in reading comprehension*. Hillsadle, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Russell, T. (1997). Technology wars: winners and losers. *Educom Review*, 32(2), 44-46.
- Salomon, G., Globerson, T., & Guterman, E. (1989). The computer as a zone of proximal development: Internalizing reading-related metacognitions from a reading partner. *Journal of Educational Psychology*, 81(4), 620-627.
- Salomon, G., & Almog, T. (1998). Educational psychology and technology: a matter

- reciprocal relations. *Teachers College Record*,100(2),222-241.
- Savery, J. R., & Duffy, T. M. (1996). Problem-based learning: an instructional model and its constructivist framework. In B. G. Wilson (ed.), *Constructivist learning environments: case studies in instructional design*.(pp. 135-150). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Schank, R. (1992). *Goal-based scenarios*. (Tech. Rep. No. 36). Evanston. IL: Northwestern University, Institute for Learning Science.
- Schnotz, W., & Kulhavy, R. (1994). *Comprehension of graphics*. Oxford, England: Pergamon.
- Schunk, D. H. (2000). *Learning theories: an educational perspective*(3rd). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Seels, B. B. & Richey, R. C. (1994). *Instructional technology: The definition and domains of the field*. Washington, D.C: AECT.
- Sfard, A. (1991). On the dual nature of Mathematical conceptions: reflections on processes and objects as different sides of the same coin, *Educational Studies in Mathematics*, 22 1-36.
- Sherry, L., & Billig, S. H. (2000). Good online conversation: building on research to inform practice. *Journal of Interactive Learning Research*,11,(1), 85-127.
- Smith, R. E. (1989). Effects of coping skills training on generalized self-efficacy and locus of control. *Journal of Personality and Social Psychology*, 56, 228-233.
- Smith-Gratto, K. (2000). Strengthening learning on the web: programmed instruction and constructivism. In B. Abbey (ed.), *Instructional and cognitive impacts of web-based education* (pp.-). Hershey,PA:Idea Group Publishing.
- Snodgrass, J. G. (1999). The memory trainers. In R. L. Solso (ed.), *Mind and brain science in the 21st century*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Solso, R. L. (1988). *Cognitive psychology*(2nd ed.). Boston: Allyn and Bacon.
- Spector, J. M., & Davidson, P. I. (1998). Constructing learning environments using system dynamics. *Journal of Courseware Engineering*, 1, 5-12.
- Spector, J. M., & Davidson, P. I. (2000). Designing technology enhanced learning environments. In B. Abbey (ed.), *Instructional and cognitive impacts of web-based education*. (pp.241-260). Hershey, PA: Idea Group Publishing.
- Spiro, R. J., Coulson, R. L. & Feltovich, P. J. (1988). *Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in structured domains*. Proceedings of the Tenth Annual Conference of the Cognitive Science Society. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. L., & Coulson, R. L. (1995). *Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains*. Retrieved March 1,

- 2004, from <http://www.ilt.columbia.edu/ilt/papers/Spiro.html>
- Sternberg, R. J., & Williams, W. M. (2002). *Education Psychology*. Boston: Allyn and Bacon.
- Taba, H. (1962). *Curriculum development theory and practice*. New York: Harcourt Brace and World, Inc.
- Tall, D. (1994). Computer environments for the learning of mathematics. In R. Biehler et al. (eds.), *Didactics of mathematics as a scientific discipline*.(pp. 189-199). Dordrecht, The Netherlands :Kluwer.
- Tall, D. (2003). *Using technology to support an embodied approach to learning concepts in mathematics*. Retrieved March 1, 2004, from <http://www.warwick.ac.uk/staff/David.Tall/pdfs/dot2003a-rio-plenary.pdf>
- Tulving, E. (1972). *Organization of memory*. New York: Academy Press.
- Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Psychology*, 26, 1-12.
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and language*. Cambridge, MA: MIT Press. (中譯本).
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternatives conceptions in science. In D. L. Gabel(ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Macmillan.
- Whitehead, A. N. (1929) *The aims of education*. New York: MacMillan. (中譯本)
- Wiggins, G., & McTighe, J. (1998). *Understanding by design*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Developments.
- Wittrock, M.C. (1974). Learning as generative process. *Educational Psychology*, 1187-95.
- Wittrock, M.C. (1990). Generative processes of comprehension. *Educational Psychologist*, 24 (4), 345-376.
- Weyl, H. (1952). *Symmetry*. Princeton, NJ: Princeton University Press. (中譯本).
- Yang, S. C. (1996). Designing instructional applications using constructive hypermedia. *Educational Technology*, 45-50.