

高層次思考能力與學科學習

邱美虹

國立臺灣師範大學科學教育研究所

前 言

Stigler 和其師 Harold W. Stevenson 在 1992 年出版的“學習鴻溝”(The Learning Gap)一書中，將其近年來對中、日教育之優於美國教育作了家庭、學校、社會面面觀的剖析；如父母對子女的期許、教師對學生的要求、社會對考試制度的價值觀等，在在說明了東西方不同文化所造成的影響。這樣的結果不禁讓人想起近年來我國數理資優生在國際間卓越的表現以及我國 9～13 歲學童“科學知識”的輝煌成果。然而在這些令人興奮的消息之外，存在一個不容忽視的事實：那就是我國的學童缺乏推理與實作的能力，不僅如此，尤有甚者是知識的“貧富不均”(好學生高居數國之首，差學生則敬陪末座)。如何提升國民科學素養、培養高層次思考(higher order thinking, HOT)的能力以因應社會之需求、達成教育之目標，實為當前科學教育不容忽視之一環。

事實上，培養高層次思考能力並不是一個新的話題，只是目前對 HOT 的定義衆說紛紜，實難定奪。譬如哲學家傾向於以批判性思考和邏輯推理能力為主，發展心理學家則強調後設認知(metacognition)的重要，認知科學家則研究認知策略(cognitive strategies)和啟發法(heuristics)，教育學者則支持在學習技能(study skill)和解決問題(problem solving)方面的訓練(Resnick, 1987)。面對這些說法，吾人不禁問道：究竟 HOT 所指為何？他們所指的是相同的能力嗎？一般測驗是否可視為評量 HOT 的指標？等種種問題。本文擬從高層次思考在閱讀、寫作、數學、科學各領域中所扮演之角色談起，再進而探討在教學上應如何配合以發展學生高層次思考的能力。

壹、高層次思考能力的操作型定義

由於認知科學家在解題、閱讀理解以及複雜之心智歷程方面的研究，使得 HOT 又

再度被研究學者所重視 (Glaser, 1988)。在過去 10~15 年 間，學校的一些措施以及教科書的編寫都強調思考、解題和學習的能力 (Chipman, Segal, & Glaser, 1985; Segal 等人, 1985)。Champagne (1988) 則根據學科內容將高層次認知技能界定如下 (整理如圖 1)：

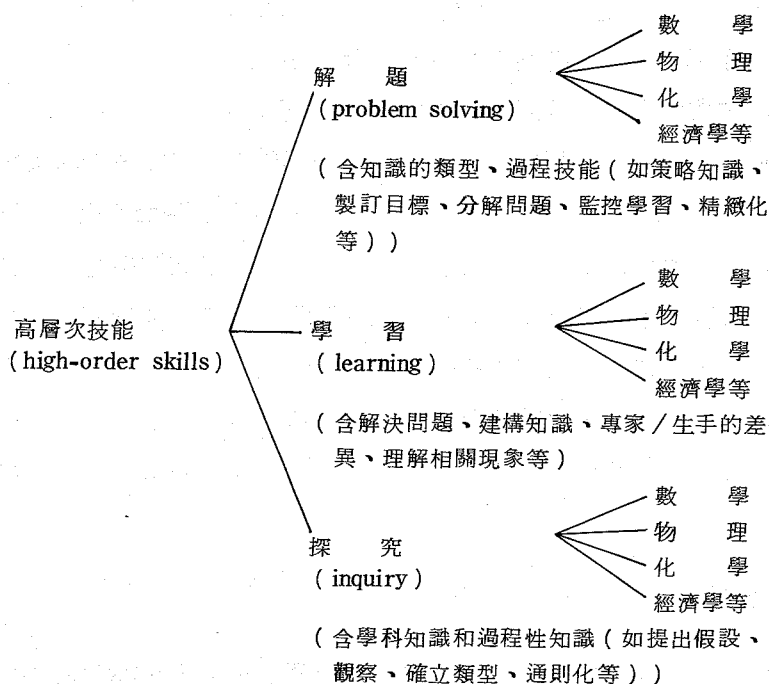


圖 1 高層次認知技能之分類

由圖 1 可知若以各學科內容而言，知識本身（數、物、化等）與解題、學習、探究等技能息息相關。若在每一領域內要表現傑出必須要能精熟上述之技能。但誠如 Champagne 所言，圖 1 中可能只是部分技能的呈現，應增加或減少高層次思考技能應具備的能力，仍見仁見智。

Resnick (1987) 認為要對 HOT 下一個明確的定義的確是很困難的，但若以下列九點為考慮的範疇，我們或許能察覺 HOT 可能發生的情況：

1. HOT 是非規則性的 (nonalgorithmic)。其動作執行的路徑並非完全是事前預設的。
2. HOT 本身非常複雜。由於其為心智活動的一部分，故全程是無法直接觀察的。
3. HOT 往往產生多種結果，且各有其得失。
4. HOT 包含一些細微差異的判斷和解釋方式。

5. HOT 包含多重標準的使用，有時他們彼此之間會互相衝突。
6. HOT 常含有一些不確定性。
7. HOT 在思考過程中包含有自我調整 (self-regulation) 的部分。
8. HOT 能在紛亂中尋找事物的結構與意義。
9. HOT 必須是全力以赴的。在精緻化 (elaborations) 和作判斷 (judge-ments) 的過程中，心智運作的努力是不可缺的。

從上述的九項特質不難得知 HOT 本身的複雜性以及其在教育上的意義。在美國以精英教育 (elite education) 為導向的學校中常可見 HOT 出現在學校的教學方法與教材內容的設計中。根據 Resnick & Resnick (1977, 引自 Resnick, 1987) 的說法，此即為高素養 (high literacy)。早期許多私立學校或機構建立一套用以培養推理能力、有數學和科學思想以及今日統稱為 HOT 能力的方案來訓練一批特定對象的精英。直到廿世紀初，這種訓練的方式與內容，才逐漸出現在公立學校的課程中。雖然我們很難從十九世紀的教材中理解其如何促進學生創造思考和獨立解題的能力，但顯而易見的是精英教育的目的畢竟是在塑造一群異於常人表現的精英份子 (Resnick, 1987)。

貳、學科與高層次思考能力

由於認知科學研究的蓬勃發展使得吾人對人類思考心靈 (thinking mind) 有進一步的瞭解，同時有關專家特質之研究，使吾人對不同表現之思考者的推理過程有更明確的認識。近年來不同領域之專家學者更強調如何透過教學之方式使專家所具有的技能能有效地教授給學生，因此如何建立一套科學性的基礎使大部分學習者皆能擁有這種技能乃是當務之急。然而由於這些技能在學習各學科 (科學、數學、閱讀、寫作等) 時，都可能是其基本能力的一部分，而這些基本技能又為日後思考與解題所需，因此 Resnick (1987) 認為使用 “ 高層次思考 ” 一詞實有誤導之嫌，還不如稱之為 “ 低層次思考 ” 為宜。本文擬就閱讀、寫作、數學、科學四方面來探討上述的假設。

(一) 閱讀 (reading)

近年來認知科學在有關閱讀理解的研究已逐漸改變了一般人對閱讀的觀念。讀者已不在被視為資訊的記憶者，相反地，被視為對資訊意義的建構者。由於文章無法鉅細靡遺的完全呈現在讀者面前，因此讀者必須在閱讀時自行增加一些推論或剔除多餘資訊，以利理解。事實上，閱讀本身是一項複雜的工作，在理解的過程中它必須整合文章內容

所欲傳遞的訊息、產生推論、文意連結、檢試和組織，再配合讀者本身所擁有的知識，才得以建立一個（自認）合理、相關的表徵（邱，民82a；Just & Carpenter, 1980；Perfetti, 1985；Resnick, 1987；Sternberg, 1987；VanDijk and Kintsch, 1983）。這些表徵往往受個體是否「欲增加資訊來瞭解全文之可讀性與相關性」或「欲減少一些無意義或不相關資訊」的影響而產生不同的結果。因而有時讀者的心智表徵與文章（或教科書）內容一致，有時也可能有南轅北轍之情形，甚至有時讀者也無意去推敲著者的原意究竟為何。

一般而言，閱讀的過程中有兩個基本的步驟：解碼（decoding）與理解（comprehension）（Lesgold and Perfetti, 1981；Resnick, 1979）。而理解部分Gagne等人（1993）認為還可細分為文字理解（literal comprehension）、推論理解（inferential comprehension）、和理解監控（comprehension monitoring）。理解能力差的讀者顯然是其缺乏解碼的能力；然而若解碼時耗費太多精力，則理解之速度亦將受挫。二者互相牽制，由此可見一斑。Curtis（1980）指出若能加強字的辨認，則可減少資訊處理的負荷。同樣地，若能對理解層面多加練習，則可改進解碼能力不足之處。除此之外，由於一篇值得閱讀的文章必須保留一些空間給讀者去發揮（filling）。對閱讀技巧較佳者，這種自由發揮的過程（the process of filling）是自動化，他們往往不自覺。除非當理解過程觸礁時，他們才會注意到個人推論與解釋文意的過程。

而Resnick（1987）對閱讀所須具備四種知識的見解雖與前述學者有異曲同工之效，但她更強調對主題內容的理解與推論。茲將四種閱讀知識簡介如下：

1. 語言學的知識：句子的形成、前後文參考的準則等都較屬於隱含式（implicit）。讀者需仰賴這些知識去尋找參考點和連結主詞、動詞和受詞間之關係，以形成一相關事件的表徵。
2. 主題知識（topical knowledge）：顧名思義，此為與文章主題直接相關的特定知識。與(1)類似，這種知識往往因自動化而被讀者忽視其重要性。
3. 推論法則的知識：這些知識對閱讀技巧較佳者，往往也是在不經意中發生。
4. 傳統修辭學結構的知識：這些知識可用以幫助文章理解的過程。

Resnick以Kintsch（1979）著名的短文為例來說明上述前三者在閱讀時所扮演的角色及其互動的關係：

“Swazi部落因與鄰近部落為牛群之事起爭執而引起戰爭。在這些戰士中有

兩位未婚男子叫做 Kakra 和其弟弟 Gum。Kakra 戰死於戰場上。根據該部落的習俗，Kakra 必須與一名女子 Ami 結婚。”

前三句話雖然在閱讀過程中仍須產生些微的推論但言簡意賅，讀者極易理解。譬如戰士必定指的是戰爭中所參與的人，這種使用語言學或主題知識過程常令人不自覺。但第4句話對不熟悉某些文化者則可能產生困惑，直到以主題知識一人鬼聯婚，並由其弟代行周公之禮，才得以理解其全文原意。若在更冗長的文章中，則讀者不難發現修辭學的結構會與前三者產生互動關係。

其他有關利用文章熟悉度 (Kintsch & vanDijk, 1978)、後設認知 (Flavell, 1981; Kavale, 1988)、內容結構 (Lenz et al. 1987) 等來探討閱讀理解能力的研究也為數不少。若從後設認知與閱讀理解的研究得知，一般而言，閱讀能力較佳者具有較好的理解監控及策略運用的能力，一旦接受這方面的訓練，則學生的閱讀能力即可提升。

由上述的分析可知理解過程所牽涉的個人認知能力繁多，故培養學生良好的閱讀能力，不單是增加其字彙能力而已，其他高層次推理等相關能力亦須加以訓練，才能有助於其閱讀理解。

(二) 寫作

以往有關寫作的研究大都著重以寫作成品的評量為主。近年來受研究認知過程的衝擊，此類研究也轉而以探討寫作過程的內涵為主 (Hayes and Flower, 1986)。這樣的“過程運動” (process movement) 鼓勵教師在寫作過程中適時地提供意見以改進學生寫作的技能 (Glaser, 1988)。

在寫作方面最成功應用於實際教學上的例子應屬 Bereiter 和 Scadamalia 兩人合作的研究了 (Bereiter & Scadamalia, 1982; Scadamalia & Bereiter, 1983, 1985, 1986)。他們研究的重點是以教導年幼學童寫作時，如何規畫 (planning)、造句 (sentence generation)、修改 (revising) 等過程技能。研究結果顯示“優”與“拙”的寫作者在修改寫作內容部分表現大不相同。表現較差的學童無法有效地利用修改過程來改進其寫作的品質。而表現較佳的學童，一般而言，會投入較長時間來修改其文章內容，或作大幅度調整以提高內容層次。

有關探討寫作修改過程中專家與生手差異的研究指出寫作時，初始的表徵(如草稿)具有舉足輕重的角色 (Bridwell, 1980; Flower et al., 1986; Hull, 1984)。基本上，生手受限於傳統寫作的法則，故以刪除或增加支節為主要的修改策略。然而專

家（或稱之為有經驗的寫作者）則以改變文意、大幅變動為主，以便區別待解決問題在表面（surface）和結構（structure）表徵上的不同。Flower 等人（1986）亦指出 Bridwell 的研究認為差的寫作者很少利用他們的草稿（draft）來獲得一些啓示，通常他們是邊寫邊改。相反地，有經驗的寫作者則會花相當的時間在反覆閱讀其草稿以發展出較完整的作品。

寫作的過程錯綜複雜，學生不僅要瞭解學科（或撰寫主題）的內容，同時必須要能彙整相關資料、批判不同論點、推衍結論，並尋找線索或證據來支持其立場，故整個過程可以刺激學生思考的多樣化。事實上，在科學活動中也有將寫作納入為培養學生科學素養的課程之一。譬如在化學上，Stamislowski（1990）曾以大一修化學的學生為對象，改變作業型式，要求學生以寫作方式來表達其對某一主題的理解，研究結果發現學生由懷疑的態度轉而為肯定寫作對科學學習、整合知識、訓練表達能力，以及培養批判性思考能力都有正面的影響。無獨有偶，美國地質學會 1990 年就“以寫作作為地質教育教學與學習的工具”為討論議題，強調寫作對增進批判性思考能力和科學方法（Pinet, 1991）以及學習過程（Clemons, 1991）的影響。同時與 Bereiter & Scadamalia 研究類似強調反覆修改草稿（multiple drafts）對學習如何思考之過程的科學性研究也逐漸受到重視（Macdonald & Purdy, 1989；Macdonald & Conrad, 1992）。

（三）數學

雖然數學並不見得比閱讀或寫作要容易列出一些對 HOT 的說明，但如同我們在閱讀與寫作的研究中所得到的啓示，較成功的數學學習者必須瞭解其工作的內容以建構有意義的知識表徵，而非反覆使用符號與公式。

身為數學教育家的 Resnick（1987）指出，目前有關數學學習研究都一再顯示學童即使在入學前都已經能有效地運用一些簡單的數學概念來解決部份日常生活的問題，但面對學校內所使用的符號與公式時，其能力往往蕩然無存，即使遺留一些，也僅僅是反覆練習機械性的動作而已！譬如孩童發展最早且最佳的數學能力就是計數（counting）（Gelman & Gallistel, 1978），研究指出學童能利用數學來解決一些日常生活的代數問題，包括一些他們在學校時難以解決的問題（Carragher et al., 1985），甚至發明一些解題小秘方（short cut）來解決問題。但一旦必須用形式的方式來解決問題時，他們就常裹足不前，無法面對文字題目（word problem）。

在教學上診斷並理解學習上的障礙，亦不失為解決數學學習上不能整合與應用的問

題。譬如數學上小數減大數時借位的問題就常困擾學童。這些錯誤決非隨機或粗心所致（Brown 和 VanLehn, 1980，稱之為 bug），而是有系統的使用一些不正確的過程所導致的。然而目前在教學上卻未充分的教導學生建構符號表徵與問題情境間之關係。這樣的結果與 NAEP(1983)的發現相同：雖然計算能力（經反覆練習）增加，但是數學的解題能力反而退步了。因此如何培養數學解題（不是只求答案之一般計算）、組織及詮釋資料的能力，或為數學教育中可繼續研發的重點之一。

（四）科學

根據 Gardner(1991)“The Unschooled Mind”一書中指出五歲的心靈是一個奇妙的發明！因為它充滿了理論：包括對心靈的理論、對事情的理論、對人生的理論、以及對自我的理論。五歲小孩對問題所提供的答案是非常典型—非專家的看法。他擁有一套自己的觀點，能提出自己一套看法，評量不同替代物（alternative）的意義，同時也能自我產生一些類比和範例等。Gardner 認為教育的目的（或稱之為教育所面臨的挑戰）是一方面保留五歲孩童原有的想像空間、問題型式以及理論之立足點。另一方面則是慢慢地但有決心地把那些未植基良好的概念、想法、理論以較正確的概念、想法和理論來取代之（引自 Brandt, 1993）。身為哈佛大學教育學院的教授 Gardner 常舉一個知名的事實為例來說明這樣的挑戰是多麼的艱難，哈佛大學的畢業生在拿到畢業證書時被問及：為什麼地球在夏天時比冬天時要熱？（答案是什麼呢？）超過 25% 學生的答案就如同一個 5 歲的小孩一般：因為地球在夏天時比較靠近太陽。但我們都知道，事實上不然，而是與地球傾斜、太陽直射、斜射相關（Brandt, 1993）。像這樣的發現，在日常生活中不勝枚舉。汗牛充棟之研究也顯示學生所擁有科學概念之基模大都是一些迷思概念，這些迷思概念常影響學生在課堂上的學習，即使是在教學後，不同年齡層的往往仍持有其原有的想法（Carey, 1986; Champagne and Klopfer, 1984; McCloskey, 1983; Minstrell, 1982; Viennot, 1979）。而這些現象不僅發生在年幼的小孩身上，而且在大學、研究所甚至教師或大學教授身上都可見。那麼是否有所謂的有效學習法或成為具有專家特質的條件呢？

根據 Gagne(1993)認為科學的特質（science expertise）包含有特殊領域的基本技能、概念的理解、和策略。缺乏基本技能時，則會阻礙科學中高層次思考能力的獲得。而在有關專家特質方面的研究，Chi 等人(1982)的研究指出當專家與生手去分類有關力學問題時，生手依照問題表面去分類（如同屬斜面、輪軸等特性來分）而專家則依問題所依據的基本牛頓定律來解決問題。同時，好的解題者能對問題作質的分析，利用

類比、基本原理來解決問題，但差的解題者，卻只會對問題作表面的處理。這種差異在資訊處理上也有相類似的結果。Larkin (1980) 在對力學的解題研究上發現，生手使用的方法一目的分析法 (means-end analysis)，並嚐試從自己所知的方程式中去尋找答案。然而專家是使用向前法 (forward)，因他們有一套完整的解題路徑，因此可以正確的選擇解題策略。這些研究指出專家擁有較多且組織較完整的概念，和解決問題的能力，而透過教學可以改進學生知識建構的內容。

在科學教育上，解題、理解又與學生的先備專業知識息息相關。因此在教學上就應考慮學生在學習某一主題之前所具備的知識庫。由於先備知識的重要性是不可忽視的一環，因此在學習過程中如何有效地與這些先備知識產生互動以求再建構與發展概念是不容忽視的，而前述的迷思概念與學生學習特質就應為教學考量之重點。

由上述四個學習領域 (閱讀、寫作、數學、科學) 的探討，我們不難理解學校中的許多課程都經歷類似的過程，而高層次思考方式也必須仰賴學習者對自我理解的監控以及提出有意義的結構表徵與問題才得以發揮。除了在前面四個領域中可大略得知專家與生手的差異，在社會科學中亦是如此，專家 (學習成就較佳者) 也大都能透過使用較豐富的知識背景來解決問題 (Voss et al., 1983)。有經驗的技術師在修護儀器時，並非只是循例檢查，相反地，他們對複雜的系統往往建立一套“心智模式” (mental models)，然後再利用這些模式來解決可能造成儀器不運作的原因，並進而推衍出可能修護的方法 (deKleer and Brown, 1980)。

在這些範例中，許多 HOT 能力反覆出現：如專家將問題精緻化及再建構成新的型式；解題時，他們嚐試尋找一致性與不一致性；他們探討對初始的想法所具有的含意加以修正，而並非極力快速之尋找答案或執著於原有想法一成不變；他們也能利用類比方式來推理至其他類似的情境。如果這些能力能透過有效的教學法，在教學上作些微的努力，那麼我們不難想像在學習結果中可能產生不可預測的收穫以及其對教育上所產生意義。

叁、有關教授高層次思考技能的方案

目前有許多課程及計畫以教授推理與解題技能為主，以下要介紹的方案 (program) 以培養高層次思考技能為主。

(一) 一般解題技能

有關此方面方案較知名且有效的為 CoRT Thinking program (deBono, 1976, 1985) 和 Productive Thinking program (Covington, 1985, 引自 Resnick, 1987)。茲將兩者介紹如下：

CoRT 是用來訓練學童們在面對實際問題情境時能較流暢且具創造力的解決問題。目前此法已翻譯成數國語言暢行於世界各國。CoRT 主要是以精熟“主導注意力 (attention-directing)”為主的工具，使用此工具時，它引導吾人由多層次方向來探討問題，思量後果、選擇目的和對情境中的因子加權，以及形成評量證據等。此工具使用時儘量不受限於特定的主題——任何熟悉的情境或簡短的說明會以使學童應用此法來達其目的。其最大的價值就在於能立即使用所教授的策略和產生較多且具變化的想法。

Productive Thinking Program 此方案主要是以高年級小學生為主——教授不同種類的策略（如規畫、管理、監控個人的思考）以使用於計畫、管理和監控個人的思考。此法與 CoRT 相類似，二者皆強調個人後設認知的能力。Covington 的理論和方案同時也強調個人學習動機與自我概念，以助學生自許為一解題者以減少因恐懼失敗而造成不安。

此計畫案已行之以年並一再接受評估。結果顯示受到此方案訓練者在產生想法與問題時表現較佳，同時在問題呈現時也較能有效地規劃所使用的策略。除此之外，受訓的學生也能持有此種技能相當時日，並有效地運用所習得之策略於學校作業中（如計畫展覽作品及寫報告）。結論雖如此令人振奮，但資料來源大都屬自我報告 (self-reports) 型式，究竟在實際工作上是否如此，則尚不得而知。

(二) 閱讀與學習策略

目前有關訓練這方面技能的方案恐怕是資源最豐富的，可參見前述之閱讀部分。研究指出這些策略包括如何略讀、利用上下文來瞭解字意、自我檢試其理解、和閱讀時作結論，這些都包含精緻化過程 (elaboration)。而這些特定的技巧也大都是出現在閱讀能力較佳的學生。有關閱讀策略的使用以利概念改變可參見邱 (民 82 b) 一文。

(三) 自我監控的技能

許多研究指出因為大部分的人都缺乏好的判斷力來決定何時應使用何種策略。閱讀者（尤其是閱讀能力較差者）若能發展自我監控的能力可能較反覆練習特定文章獲益較多。Palincsar 和 Brown (1984) 所研發的相互教學 (reciprocal teaching) 即

爲一個極佳的例子，他們讓一些中學閱讀能力較差的學生合作去說明一篇文章的意義。爲了要說明解釋該文內容，學童輪流提出問題和對該文作結論上的評論，有時也做一些預測。老師利用出聲思維（think aloud）的方式示範給學生看，其他組的成員則對其問題或結論提出評論與建議。在整個過程中並不強調回答問題，或分析字意等的練習，而是提供培養自我監控、溝通、批判等能力的機會。如此相互教學數週後，發現學童在科學與社會學科的測驗中表現突出。這種方式Whimbey在1984年曾提出“Thinking aloud Pair Problem solving”（或TAPS）的類似方式。不僅在大學化學的課程成功地實施，同時也在不同的領域中成功地被應用了（Carmichae等人，1987；Pestel, 1993；Woods, 1984）。然誠如Pestel（1993）所言，雖然同儕學習可以幫助學生增進其概念發展（Phelps and Damon, 1989）但是在使用TAPS時必須注意學生所具有的先備知識及其對內容的熟悉度（Bransford等人，1985）。同時教師亦應謹慎地提供新知及教導學生何時才能應用其所學於學習情境中。

Glaser（1984）曾對教學提出下列三點建議：首先，教師應嚐試瞭解學生在學習新知之前，其學科所理解的狀況如何。其次，教師應確立教學理論。第三，在這個教學理論的範疇中，學生可以測試、評估、及修正他目前持有的理論。這樣的過程可以促使學生將來學習新事物時能偵測錯誤，產生新的理論。另外，Roth（1986, 1991）強調以概念改變方式來培養學生閱讀教科書的策略。又有學者以電腦爲工具來教科學性主題發現學生亦有明顯的進步（Goldberg和Bendall, 1992；White, 1984）。再加上目前正如火如荼推展的Project 2061，使科學科技生活與社會的互動關係更密切。這些研究與方案的目的，都嚐試在訓練學生解決問題、培養學習策略、探究原因、發覺自我學習障礙以求改進以及能進而統整，應用所學的能力。雖然研究結果都頗令人興奮，但要實際推廣於教學上仍須努力。

肆、高層次思考技能與課程之配合

有關高層次思考能力之培養是否應併入學科內容，或應視爲單獨課程來教授，學者之間意見不一。Resnick（1987）認爲若將高層次思考技能融入學科中有以下三特點：

第一：它提供了一個相當自然的知識庫和環境來練習和發展高層次思考技能。誠如認知心理學家所言，知識在推理與思考上扮演舉足輕重的角色，我們無法憑空臆測，因此學校課程有關解題和批判性思考的訓練相結合是有其必要性，如此亦可以加強學生應用所學知識於實際情境中。

其次，若將高層次思考技能的訓練融入學校課程中，則提供一個在傳統教學中對於建立良好思考推理能力的準則。各門學科中的推理方式有異，如理化為歸納、演繹，社會學科為建立個案，數學則是形式化的證明。每一種皆有其學習的意義，但除非各技能能融入學科中，否則學生無法真正的學習到該技巧的精神。

最後，雖然有關學習遷移（learning transfer）的研究大都指出學生很少能遷移或類比不同領域的知識，但若在各學科教學時強調高層次思考技能，那麼學生仍有機會在不同領域內學習而得，如此才是教育的目標。

學習環境中社會層面的互動關係

從前面的討論中，我們不難發現雖然這些教學方案各有其特色，但其中一個重要因子乃是這些方案大都是發生在社會互動的情境下。雖然培養個人獨自學習的能力可以增加思考技能，但是目前只有極有限的研究採用這種方式。相反地，同儕合作學習以完成所指定的工作是一值得鼓勵的方向（Blosser, 1992；Cohen, 1986；Johnson & Johnson, 1984）。教師就如同交響樂團的指揮一般，負責特定的討論和練習部分。若以此觀點來看，那麼究竟社會互動在發展思考能力方面應扮演何種角色？Resnick（1987）提出下列兩點看法：

第一：社會情境提供示範有效思考策略的機會。有技巧的思考者（往往是教師或表現較佳的學生）可示範說明如何面對問題、分析文意、建構論證。一般而言，這些過程通常是不可見的心智操作過程（活動）。透過觀察他人如何執行，學生可以更注意其個人心智的過程。然而研究指出，單是觀察示範並無法達到極有力的結果。學生若能在社會情境下做出聲思維，提供他人批評與檢討的機會（如同儕或教師），如此將思考的過程完全透明化後，不再是只知其然而不知其所以然。那麼學習不再只是練習一些支節的技能，而與群體一起解題、寫作或分析更能提昇學習成效。在這樣的小組內，完全的生手也可參與複雜的工作，而個人也可以體認其本身對整體所作的貢獻。這理論在Palincsar 和 Brown 的研究中將Vygotsky（1978）所稱架構“scaffolding”的功能發揮無疑。

第二：社會情境可以刺激學習動機。學習應鼓勵學生嚐試新的、有趣的、主動的方式，即使工作只是部分完成，他也能從團體中獲得肯定。透過這樣的過程學生可體認自己可以獨立思考和練習控制自我學習的過程。Resnick 稱這種處理（disposition）過程為高層次思考的方式（disposition 在此的意義為 a habit of thought），這種方式是可以學習而得的。Resnick 指出塑造這種不再是被動地接受問題本身所呈現

的形式之批判性的思考方式，是發展學生高層次認知能力的中心。這種思考方式基本上是一長時期的工作，非一蹴即成。研究指出若要成為好的思考者，他本身是在學習如何確認甚至尋找機會來運用個人的心智能力。因此我們不僅是在教授學生新的認知過程，同時更應教導他們如何經常使用這些技能。

最後高層次思考強調的是個人的概念能力是一種累進（incremental）過程的產物，它必須經由不斷地努力才能學習而得再加以擴展的。根據這理論它引導學生分析工作內容、形成策略來面對難題並進而引導學生學習更多新的知識或技能。因此這正是本文所說高層次思考的理念。Covington（1983）認為若視能力是經由有策略性的自我管理過程而產生者，那麼將可提升其原有較低的能力。

伍、結 語

綜上所述，雖然我們對高層次思考能力的界定，其在各學科中所產生的學習影響以及各領域中專家特質的特性及能力之培養，有初步的瞭解。但潛在的一個嚴肅問題是，我們應如何設計評量工具，來驗收以高層次思考能力為導向的教學？若吾人同意高層次思考能力為推理、解題、閱讀策略、寫作統整、數學及科學解題與概念理解的能力等，則評量工具即應以此為設計目標，傳統紙筆測驗方式雖然或許可評量學生宣告性知識（declarative knowledge，如記憶）的多寡，但更重要的是如何將這些知識轉化成程序性知識（procedural knowledge，如操作）的成果評量。在一片教育改革聲中，單以紙筆測驗為主的方式已無法滿足社會需要和“真正學習（authentic learning）”的教育目標，取而代之的將是一種全方位科學素養的訓練，那麼有關閱讀資料的書面報告整理、研究心得的撰寫、實作解決問題、以及討論、溝通和推理等活動的評量方式應值得深入研究其可行性。因應此種改變，教師的教學方式與教學理念亦須隨之提升，如此在推動高層次思考能力之訓練上，或能有所裨益。

陸、參考文獻

- 邱美虹（民 82 a）：〈推論與化學平衡的學習〉。《發表於中華民國第九屆科學教育學術研討會》。
- 邱美虹（民 82 b）：〈科學教科書與概念改變〉。科教月刊第 163 期，第 2-8 頁。

- Beck, I. L., & Perfetti, C. A., & McKeown, M. G. (1982). Effects of long-term vocabulary instruction on lexical access and reading comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 74, 506-521.
- Beiersdorfer, R. E., & Haynes, J. (1991). An integrated approach to geologic writing for non-science majors based on study of a California river. *Journal of Geological Education*, 39, 196-199.
- Bereiter, C., & Scardamalia, M. (1982). From conversation to composition: The role of instruction in a developmental process. In R. Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology* (Vol. 2, pp 1-64). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Blooser, P. E. (1992). *Using cooperative learning in science education*. ERIC/CSMEE. 1200 Chambersu Rd., Rm. 310. Columbus, Ohio 43212.
- Brandt, R. (1993). On teaching for understanding: A conversation with Howard Gardner, *Educational Leadership*, April, 4-7.
- Bransford, J. D., Arbitman-Smith, R., Stein, B. S., & Vye, N. J. (1985). Improving thinking and learning skills: An analysis of three approaches. In S. F. Chipman, J. W. Segal, & R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills. Volume1: Relating instruction to research*(pp. 133-206). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum,
- Bridwell, L. S. (1980). Revising Strategies in Twelfth Grade Students' Transactional Writing. *Research in the Teaching of English*, 14, 3, 107-22.
- Brown, J. S., & VanLehn, K. (1980). Repair theory: A generative theory of "bugs" . In T. P. Carpenter, J. M., Moser, & T. A. Romberg (Eds.), *Addition and subtraction: A cognitive perspective* (pp. 117-135). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Carey, S. (1986). Cognitive science and science education, *American Psychology*, 41, 1123-30.
- Carmichael, J. W., Jr., Bauer, J. Sr., & Robinson, D. (1987). Teaching problem solving in general chemistry at a minority institution. *Journal of College Science Teaching*, 16, 5, 453-459.
- Carraher, T. N., Carraher, D. W., & Schliemann, A. D. (1985). Mathematics in the streets and in schools. *British Journal of Developmental Psychology*, 8, 21-29.
- Champagne, A. B. (1988). Definition and Assessment of The Higher-Order Cognitive Skills. *National Association for Research in Science Teaching, Research Matter...To the Science Teacher*.
- Chi, M. T. H., Glaser, R., & Rees, E. (1982). Expertise in Problem Solving. In R. Sternberg (Ed.), *Advances in the Psychology of Human Intelligence*, (Vol. 1, pp. 7-75). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chipman, S., F., Segal, J. W., Glaser, R. (1985). *Thinking and Learning Skills: Research and Open Questions*. Vol. 2, Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Clemons, J. (1991). Classroom Strategies for Introductory Geology. *Journal of Geological Education*, 39, 202-203.
- Cohen, E. J. (1986). *Designing Groupwork: Strategies for the Heterogeneous Classroom*. New York: Teachers College Press.
- Curtis, M. E. (1980). Development of Components of Reading Skill. *Journal of Educational Psychology*, 72, 656-69.
- de Bono, E. (1985). The CoRT thinking program. In J. W. Segal, S. F., Chipman, and R. Glaser

- (Eds.), *Thinking and learning skills: Vol. 1. Relating instruction to research* (pp. 363-388). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- de Kleer, J., & Brown, J. S. (1980). Mental models of physical mechanisms and their acquisition. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition*. (pp. 285-309). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Elbert, W. T., Jr., and Romey, W. D. (1991). "What are you interested in" as a writing assignment theme. *Journal of Geological Education*, 39, 237-239.
- Flavell, J. H. (1981). Cognitive Monitoring. In W. P. Dickson (Ed.), *Children's oral communication skills*. New York: Academic Press.
- Flower, L., Hayes, J. R., Carey, L., Schriver, K., Stratman, J. (1986). Detection, diagnosis, and the strategies of revision. *College Composition and Communication*, 37, 1, 16-55.
- Gagne, E. D., Yekovich, C. W., & Yekovich, F. R. (1993). *The Cognitive Psychology of Science Learning*. Harper Collins College Publishers New York.
- Gardner, H. (1991). *The Unschooled Mind*, New York: Basic Books.
- Gelman, R., Gallistel, C. R. (1978). *The Child's Understanding of Number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Glaser, R. (1988). Cognitive science and education, *International Social Science Journal*, 40, 1, 21-44.
- Goldberg, F., & Bendall, S. (1992). Computer-video-based Tutorials in Geometrical Optics. In R. Duit, F. Goldberg, S. H. Niedderer (Eds.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel, Germany: IPN.
- Hull, G. (1984). *The editing process in writing: A performance study of experts and novices*. Unpublished doctoral dissertation. University of Pittsburgh. PA.
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1984). *Circles of Learning: Cooperation in the classroom*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). To theory of reading: from eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87, 329-354.
- Kavale, K. A. (1988). *Learning disabilities: state of the art and practice*. Boston Little, Brown and Company.
- Kintsch, W. (1979). On modeling comprehension. *Educational Psychologist*, 14, 3-14.
- Larkin, J. H., McDermott, J., Simon, D. P., Simon, H. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 208, 1335-1342.
- Lesgold, A. M., & Perfetti, C. A. (1981). *Interactive processes in reading*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Lenz, B. K. (1987). Activating the Inactive Learner: Advance Organizers in the Secondary Content Classroom. *Learning-Disability-Quarterly*, 10, 1, 53-67.
- Macdonald, R. H., & Conard, S. H. (1992). Writing assignments augment learning in introductory geology courses, *Journal of Geological Education*, 40, 279-286.
- Macdonald, R. H., & Purdy, R. A. (1989). Description and evaluation of a short writing assignment in historical geology. *Journal of Geological Education*, 37, 117-120.
- McCloskey, M. (1983). Naive Theories of Motion. In D. Gentner and A. Stevens (Eds.), *Mental models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Minstrell, J. (1982). Conceptual Development Research in the Natural Setting of a Secondary School Classroom. In H. B. Rowe (Ed.), *Science for the 80's*. Washington, DC: National Education Association.

- National Assessment of Educational Progress (NAEP). (1983). *The third national mathematics assessment: Results, trends, and issues* (13-MA-01). Denver, CO: Educational Commission of the States.
- Palincsar, A. S. & Brown, A. L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and Instruction*, 1, 2, 117-175.
- Perfetti, C. (1985). *Reading ability*. New York: Oxford University Press.
- Pestel, B. C. (1993). Teaching Problem Solving without Modeling through "Thinking Aloud Pair Problem Solving." *Science Education*, 77, 1, 83-94.
- Phelps, E., & Damon, W. (1989). Problem solving with equals: Peer collaboration as a context for learning mathematics and spatial concepts. *Journal of Educational Psychology*, 81, 4, 639-646.
- Resnick, L. B. (1987). *Education and Learning to Think*. National Academy Press, Washington, D. C.
- Roth, K. J. (1986). *Conceptual-change Learning and Student Processing of Science Texts*. East Lansing, MI: Michigan State University, The Institute for Research on Teaching, Research Series No.167.
- Roth, K. J. (1991). Reading Science Texts for Conceptual Change. In C. M. Santa & D. E. Alvermann (Eds), *Science Learning: Processes and applications*, (pp. 48-63), International Reading Association.
- Scardamalia, M., & Bereiter, C. (1985). Fostering the development of self-regulation in children's knowledge processing. In S. F. Chipman, J. W., Segal, and R. Glaser (Eds.), *Thinking and Learning Skills: Research and Open Questions*. Vol. 2, Hillsdale, NJ:
- Segal, J. W., Chipman, S., F., & Glaser, R. (1985). *Thinking and Learning Skills: Relating Instruction to Basic Research*. Vol. 1, Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stanislawski, D. A. (1990). Writing assignments? But this is a chemistry class not english! *Journal of Chemical Education*, 67, 7, 575-576.
- Sternberg, R. J. (1987). The Psychology of Verbal Comprehension. In R. Glaser (ed.), *Advances in Instructional Psychology*, Vol 3. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stevenson, H. W., & Stigler, J. (1992). *The Learning Gap*. New York: Summit Book.
- vanDijk, T. A., & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
- Voss, J. F., Greene, R. T., Post, T. A., & Penner, B. C. (1983). Problem Solving Skill in the Social Sciences. In G. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research Theory*, (Vol. 17, pp. 165-213). New York: Academic Press.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes* (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, and E. Souberman, Eds. and Trans.). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Whimbey, A. (1984). The key to higher order thinking is precise processing. *Educational Leadership*, 42, 1, 66-70.
- White, B. Y. (1984). Designing computer activities to help physics students understand Newton's Laws of motion, *Cognition and Instruction*, 1, 69-108.