

以認知歷史分析法探究科學史及其 在科學教育的意涵

蕭碧茹 洪振方

國立高雄師範大學 科學教育研究所

摘要

過去我們對科學史的認識主要是來自科學史學家、科學哲學家 and 科學社會學家所關切的議題。近年來，認知歷史學家運用認知科學的理論與方法剖析科學家在科學研究上如何進行探究、推理、判斷、詮釋與瞭解，他們建議以認知歷史分析法探究科學史更能深刻地認識科學家的認知活動。

本文主要在探討認知歷史學家如何利用認知歷史分析法剖析科學史所蘊含的豐富認知寶藏，最後論述其在科學教育的意涵。

關鍵詞：科學史、科學思考、科學教育、認知過程、認知歷史分析

壹、前言

近年來科學史融入科學教學受到國內科教界的重視，諸多研究者論述科學史在教學和學習方面所扮演的角色，顯示科學史確實有助於學生對科學概念的學習（如巫俊明，1997；林煥祥，1996；洪振方，1997；許良榮和李田英，1995）。此外，根據國科會科教處所做的一份課程評量調查，發現有相當高比例的學校教師希望在科學課程中增加科學史的內容，其中大部分教師所持的理由是他們相信以科學史做為教材的一部份可以提高學生的學習興趣（傅麗玉，1996）。然而，儘管從相關的研究成果或調查問卷都顯示教師肯定科學史對科學教學的成效，但是，在實際教學上會主動把科學史融入教學的教師並不多，原因誠如 Goldwhite（1975）所言，排斥科學史的教師認為融入科學史的科學課程會佔用教授科學概念的時間。這是因為教師通常把科學史看成科學故事，對科學史功能的普遍認識大多是“激發學生對科學的學習動機”和“提高學習興趣”等，較少注意科學史中科學家從事研究工作的認知歷程有助於學生培養科學能力。

未來的課程強調教育的目的在於培養學生帶得走的基本能力，而不是給他背不動的書包（林清江，1998）。教師在教學上所關注的重點不是在於教給學生多少的學科知識，而是如何讓學生習得帶得走的能力，也就是當他面對問題時所能應用的思考和解決能力。Oldroyd（1977）認為如果教師能有效地安排科學史的情境，呈現科學家面對問題時的思考歷程或

實驗探究歷程，將會有助於學生領悟科學家在創造過程中解決問題的方法。科學史以歷史為背景、以科學思想發展史為認知見習的題材、以培養學生具有科學家解決問題的深思方法與創造過程的教學，讓他重新走過一次心智發展的足跡，這正是啓迪學生心智的最好方法（洪振方，1997）。

以認知歷史分析法探勘科學史所蘊藏的豐富認知內涵，正是用來啓發學生思考的最佳科學史教材，因此筆者將在本文中引介認知歷史分析的探究領域，根據科學概念的歷史根源以根本重建立場的方式，讓學生可以在一個身置其中的情境來學習科學課程，透過新的科學表徵的建構和傳達，使學生能夠深刻體會科學家如何從事研究工作，進而讓學生了解科學家在認知過程中所運用的思考模式和認知能力。

貳、認知歷史分析的意涵

所謂認知歷史分析（Cognitive-Historical Analysis），簡單的說就是以認知的角度探究歷史的豐富內涵。根據 Nersessian（1992）的定義，認知歷史分析並不太同於科學史學家強調精細結構（fine-structure）的歷史，檢驗科學家如何創造新的科學現象表徵來解決問題解決的過程，確切地說，認知歷史分析試圖透過在認知科學方面所完成的相關研究，進一步豐富上述的內涵。這種方法結合實際科學實踐的案例研究，以認知科學的分析工具和理論去創造一個新的、範圍廣泛的理論，說明在科學中的概念結構如何建構和改變。認知歷史分析法在認知方面也反映出我們所理解的科學知識必須是心理上實際可行的（psychologically realistic），顯示出具有創造力的科學家不僅是極有天賦的人類，其實他們也像所有人一樣，是具有生理和社會特質的人類。就某種重要意義而言，科學是人類心智與這世界，以及人與人交互作用的一種產物，科學理論並不是先驗（a priori）所決定的，因此我們應該找出人類如何以認知能力形成科學理論。

認知歷史分析法提供了一種重新處理“不可通約性”的方法，從認知的向度來瞭解科學家如何實踐、創造和改變等動態表徵，而不是執著於靜態的語言文字表徵。有很多“不可通約性”的問題同時困擾著科學史學家和科學哲學學家，但是事實上，這些不可通約的問題仍然具有某些相同的概念成分，認知歷史方法比任何其他方法更能明確地獲得深刻且精鍊的概念改變知識，可以重新處理“不可通約性”的方法。根據傳統哲學取向的觀點，概念改變是靜態的，然而以認知歷史分析卻能夠處理動態的歷史過程。認知歷史分析法讓我們瞭解科學家如何運用科學思維能力建構新的科學表徵，而且這種方法也能讓我們認識科學改變具有連續性和非累積性的特質。在科學史和科學哲學方面，概念改變所引發的過程並沒有深入探究心理的層次，然而，認知歷史分析法提供了分析和檢視的過程，使我們

能從另一個理解方向來瞭解發生在科學革命的概念改變。概念改變認知理論把科學的“發現”看成一種過程，在這個過程中科學家連續使用我們從事的普通問題解決，藉由使用問題解決的程序主動地建構表徵。由於這樣一位“建構者”概念的發現，科學家的認知活動變成直接與學習相關。這個歷史過程為學習活動本身提供一個模型，並且有助學生建構現存科學理論的表徵。在這個領域，科學史不只是案例研究的寶庫，更是告訴我們如何著手建構、改變和傳達科學表徵的知識寶庫。我們可以利用這類策略探勘歷史資料—刊物、日記、筆記和信件等等—然後設計整合與轉換的方法，讓這些更為逼真的科學問題解決範例融入教學情境（Nersessian，1989）。

認知歷史的重要性在於“思維實踐（thinking practices）”，科學家透過思維實踐的方式創造、改變、和傳達他們對自然的詮釋，最終的目是以認知理論重建科學思想，Nersessian（1995）稱此為「科學的認知分析」（cognitive analysis of science）。認知理論所能及的範圍有助於詮釋歷史個案—同時它能測試當前的認知過程所能應用到科學思想的範圍，並且指出這些理論必須以何種方針來擴展、精鍊和修正。換言之，這個方法通常是一般用於科學的一種靴絆序則（bootstrapping procedure）。

至於如何將科學史的內容以認知歷史分析的形式呈現？Tweney（1989）和 Nersessian（1992）都各自提出有關認知歷史分析的分析架構。

參、認知歷史分析探究科學史的分析架構

一、Tweney 的認知心理學解說架構

Tweney（1989）提出認知心理學的解說架構，雖然他並未說明這個解說架構係利用認知歷史分析方法，但是就其架構和內容而言，不難看出該架構確實利用認知歷史分析的方法。Tweney 發現科學認知的過程經常留下可觀察的“遺跡（traces）”，例如科學家所寫的報告、筆記和日誌等。他指出所有的歷史調查是以時間為基礎重新建構事件的發生，而科學史就是將重新建構的、動態的心理事件寫下來。於是他透過時間查出科學思考的記錄，提出認知心理學的解說架構，採案例研究的方式將科學活動依下列五個分析層次進行分析，筆者整理如表一。

表一 Tweney (1989) 以認知心理學的解說架構進行認知歷史分析

分析層次	內 容
一、目標和目層次	瞭解科學家對於他所從事的研究工作的目標和目的，這是史學家主要的目標之一。
二、認知型態層次	認知型態的範圍包括科學家所使用的記憶 (memory)、心像 (imagery)、類比 (analogy) 和隱喻 (metaphor)。
三、捷思法層次	「捷思法」意指一個人在搜尋一個問題空間時所使用的策略 (Newell & Simon, 1972)。在認知心理學方面，大多把捷思法看成“執行控制 (executive control)”；換言之，在特定的情境使用特定的捷思法 (參見 Langley et al., 1987; Groner, Groner, & Bischof, 1983)。
四、腳本和基模層次	科學家應用上述的捷思法產生哪些思想、概念和活動？透過腳本和基模的描述，瞭解在他心中的知識依據。“基模”用來描述他的知識本質，而“腳本”用來描述他如何完成科學程序知識。
五、狀態和運算子層次	從科學家的基模和腳本等思考層次推論他的心智狀態，以及狀態轉換的運算子 (Tweney & Hoffner, 1987)。根據他對問題解決的處理，我們可以創造一個“問題行為圖解”來說明。

上述五個分析層次，每一個層次都建立在前一個之上，雖然有相當的重複和互相貫通，卻是讓內容更為清楚。瞭解科學家的目標和目的是歷史學家主要的最終目標之一。認知型態關連的範圍包括科學家所使用的記憶 (memory)、心像 (imagery)、類比 (analogy) 和隱喻 (metaphor)。每一種使用方式都有不同的變化。雖然像這樣個別差異的性質仍是一個研究的科目，在一個個案研究中，當代的認知心理學所包含的大量資料可能是有關連的。在這個領域中，要發展一個適當的架構需要我們透過許多人在不同的探究分析記憶 (或心像、類比和隱喻) 所使用的表徵。Newell 和 Simon (1972) 提到“捷思法”，指一個人在搜尋問題空間時所使用的策略，他們以一個很有用的方法分類捷思法，而且這種知識的形成基礎是來自高層智力系統，例如電腦解答法。在腳本和基模層次、以及狀態和運算子的層次，試圖說明科學家在每個間隔時間的活動和思想過程。

Tweney 以認知心理學的解說架構分析 Faraday 的日誌，依序呈現 Faraday 在日誌中的認知歷史，根據這些資料重建很多關於 Faraday 在心中的事件或研究動向等。經由調查 Faraday 記事本、日誌和活頁筆記的方式，根據基模、腳本、和捷思法的認知心理學概念來描述架構，精細地資料分析提供一個瞭解有關 Faraday 很多活動和想法的整合模式。法國史學家 Fernand Braudel (1972) 提到歷史的目的在創造一個“圖像...在這個地方所有的證據都可以經由時空聯合，從永久價值可以被檢測中給我們一個慢動作的歷史”。透過認知

取向的科學，可以補充更多心理層面的內涵，有助於我們建構科學家動態的心理事件。

二、Nersessian 的認知歷史分析架構

Nersessian (1992) 對認知歷史分析有較詳盡的論述，他認為透過科學史的改變可以發現科學家們重複地使用：類比推理 (analogical reasoning)、意象推理 (imagistic reasoning)、思想實驗 (thought experiment)、案例分析 (case analysis)。他並且指出這些都是屬於模式化的活動 (modeling activities)，而且，雖然它們構成科學方法的本體部份，但是卻只有類比在哲學文獻上受到較多的注意。他認為創造一個有效的整合並不是指輸入認知科學詮釋、方法和假設，大規模的投入歷史分析，而是需要一個有理解力的認知模式。認知科學家們需要科學家們複雜推理的實踐分析，去創造他們人類推理的模式，而歷史學家需要人類的認知模式，去援助他們歷史記錄的再重建。於是，Nersessian 從科學史的資料選出某些富有捷思法思考的案例，利用認知歷史分析法呈現概念改變的過程，例如類比推理和意象推理、思想實驗、以及案例分析，因此，他提出一套認知歷史分析架構，包括三個分析層次，筆者整理如表二。

表二 Nersessian (1992) 所提出的認知歷史分析

分析層次	內 容
一、背景	決定所欲引介的捷思法，簡單地略述這種捷思法的背景。
二、案例研究	根據所欲瞭解的捷思法，從科學史的案例資料中選出利用這種捷思法的代表性科學家，並且以他所進行的科學活動作為研究案例說明他如何利用這類的抽象過程技巧。
三、認知分析	從認知的角度深入探究科學家心中概念改變的過程。

這種分析方法就是在科學上所利用的的靴絆序則，有次序地透過認知歷史分析法深入剖析科學家進行科學活動時所運用的思考模式。以下以類比和意象推理為例，說明如何以 Nersessian 的認知歷史分析法展現科學史中類比和意象推理的認知面向。

肆、認知歷史分析之示例

一、背景【類比和意象推理】

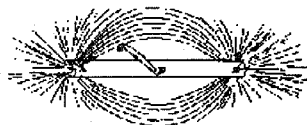
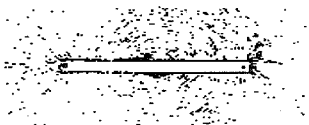
根據許多案例顯示，類比在科學概念的建構方面扮演重要的角色，例如 Netwon 以拋物體比喻行星說明萬有引力、Darwin 以人擇比喻天擇說明進化論、以及 Rutherford-Bohr 以太陽系比喻原子說明原子架構。雖然我們知道的有限，但是從積極實踐的科學家努力清楚表達新概念化的圖形表徵，有很多的案例證實推理思考帶來了顯著的成果，這類意象表徵在科學上的使用通常與類比推理相關。例如，在 1920 年，英國的物理學家 Campbell 以撞球

的模式來說明氣體動力論，顯示類比的重要性。繼 Campbell 之後，Hesse (1966) 強調類比的重要性在於賦予新理論意義，並且試著闡明它可能是一種歸納方法，而不是一種定序指令的邏輯。Sellars (1965) 主張類比推理可以透過新舊結構的相關映射提供橋樑式的功能，從現存的舊概念結構幫助我們對新概念結構的認識。由認知心理學研究所得的結論，可知類比並不“只是暗示的”或是一個“無收益的離題 (unproductive digression)”，然而卻是推論過程的基礎。從認知歷史展望科學家，他們在研究中所利用的類比、視覺表徵、和思想實驗，這些特質在其創造過程中扮演了重要的角色 (Nersessian, 1995)。

二、案例研究：Faraday、Maxwell 和場

關於類比分析的主要焦點人物是 Maxwell，他從 Faraday 的理論獲得啓發，提出一套數學表徵方程，把 Faraday 的發現結果推向新的實驗領域。

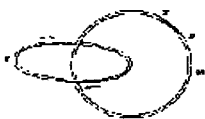
Faraday 最先試圖對電和磁不斷的傳送和互相轉換的作用建構出統一表徵，他提出“力線”的物理模型和場的概念，主要是定性的陳述說明。他把鐵粉灑在磁源周圍（如圖一），並且以“力線”的基模表徵建構場的概念，以線的表徵描繪力線的特徵，例如擴展的、衰退的、彎曲的、振動的、被切斷的…，並且設計實驗以捕獲不同的力線運動（如圖二）。因此，爲了傳送和互相轉換電力和磁力，他轉換線的靜態視覺表徵，使其成爲定性的動態模型。Maxwell ([1855] 1991) 評論這個模型雖然是定性的，但是卻蘊含了許多的數學知識，促使他從模型中提取出量化的數學形式。



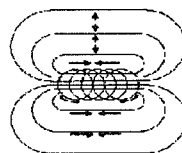
圖一 在磁棒周圍力線的實際圖像 (Faraday, 1839-55, vol. 3) 圖二 在磁棒周圍力線的基模表徵 (vol. 1)

Faraday 所構想的力場表徵除了力線之外並沒有任何東西存在，只有大量的力線，他相信自然界所有力都是統一的，而且這些力藉由力線的不同運動可以互換，物質本身只不過是力線聚合點的中心。然而，他對線切割數和感應力的強度之間所推論的定量關係是不正確的，因爲“力線數”是一個整數，但是“場的強度”是一個連續函數。根據我們現在的認知，我們可以瞭解這是因爲圖像所描述的是鐵屑本身，因此力線是不連續的實體 (entities)，然而，事實上力線在封閉的容積中形成無限的螺旋。Faraday (1839-55, vol. 3, para. 3268) 還提到另一個圖像，描繪電和磁之間的動力平衡，如圖三，這個圖像對於 Maxwell 建構量化的場表徵有重要的影響。這個圖像本身抽象化自力線的圖像，描繪出

電力線和磁力線之間的結構關係，如圖四，外圍的線代表電磁，而內部的線代表電流。磁力線橫向的推斥作用與縱向電流線的擴展有相同的效應，而電流線橫向的吸引力與磁力線縱向吸引力有相同的效應，在圖像中展現出動態平衡。Maxwell 把在圖像中所體現的交互動態關係稱為稱這個交互的動態關係體現出“相互環繞的曲線（mutually embracing curves）”的圖像（Maxwell 1890, vol.1, p.194n）。

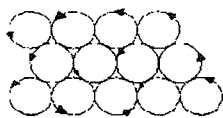


圖三 電流和磁力相互關連的表徵 (Farady, 1839-55)

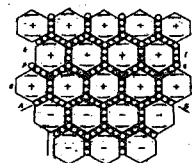


圖四 磁力線和電流線間相互關係的基模表徵 (Maxwell, 1890)

Maxwell 先後發表三篇有關電磁理論的論文，量化表徵的主要分析在第二篇論文《論物理的力線》(On Physical Lines of Force)。在這篇論文中，他首次推導出場的方程式，對於電力和磁力傳遞隨著時間的延遲給予統一數學表徵，並且計算出這些作用傳播的速度。他藉用安培的分子電流假說，設想出磁以太的力學模型說明電磁感應。這種物理類比（physical analogy）提供了一組數學關係和一個結構性的意象表徵，描繪源領域和目標領域的映射關係。Maxwell 從分析電力和磁力的傳遞和產生開始，分析電磁介質內（目標領域）的應力和應變力，然後在已知連續運動現象（源領域）之間建構充分的關係。這種物理類比方法所應用過程，包括確認電磁量帶有連續力學介質的性質；用符號表示力在電磁以太中具有力學應力和應變力；從源領域抽象出相稱的關係，並且使他們符合目標領域的限制。首先，他建構一個包含四個限制的簡單表徵：(1)電和磁的作用相互垂直，而且(2)極化光的平面會受到磁場的作用而被旋轉，(3)沿著力線有一個張力（Faraday 推測的想法），以及(4)在它們之間有一個延遲的脈衝。符合這些限制的機械類比是一種流體媒質，由渦旋組成且受到應力（如圖六）。以這種類比形式，Maxwell 以數學的方式表徵各種不同的磁現象。



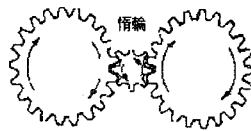
圖五 分子渦旋



圖六 電微粒模型 (Farady, 1980, vol. 1)

根據電流和磁力的類比，我們看到圖五的分子渦旋都是在相同的方向上旋轉，一旦相鄰的分子碰觸到了，它們將會停止。因此，Maxwell 提出要維持機械的一致性必須採用“惰

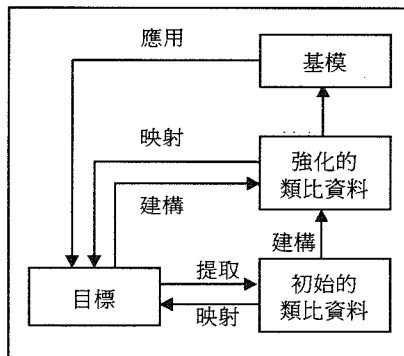
輪 (idle wheels) ” 來保持機械的持續運行，如圖七。各渦旋被一層微小的粒子與相鄰的渦旋隔開，這些微粒相當於電，像齒輪傳動機構中的惰輪一樣以相反的方向旋轉。由於環繞在渦旋周圍的微小球形粒子在相反的方向上旋轉，並且以此方式增強渦旋來源。在粒子和渦旋之間有一種切線壓力，爲了方便計算，Maxwell 必須把流動的渦旋視爲剛性準球體，根據粒子和渦旋之間的描述，以數學的形式描繪出電流和磁力之間的動態關係。Maxwell 花了數個月時間，後來想出最關鍵的表徵：靜電作用。他發現如果他製造出有彈性的渦旋，並且確認帶有彈性位移的靜電極化，就有可能根據極化計算變形所產生的波，換言之，就是他所謂的“位移電流 (displacement current) ”。對於電磁作用的連續傳送有時間的延遲，當時他提出電磁的傳播大概接近光速。



圖七 齒輪傳動中的惰輪

三、認知分析：類比推理和意象推理

類比推理的過程通常在創造兩個領域共同的抽象概念或基模，然後應用在更深層的問題解決。簡言之，類比應該不只是引導思考，而且是以邏輯推理進行推論工作，進而獲得問題解決。Nersessian (1992) 以圖八說明 Maxwell 所使用的類比思考模式。



圖八 Maxwell 的類比思考模式(Nersessian, 1992)

Maxwell 試圖產生統一的數學表徵，表示電磁力在機械以太中產生和傳播。來源領域顯然是在連續力學的範圍，這是 Maxwell 精通的領域。連續作用的現象，例如流體的流動、熱、和彈力，近來被視爲與牛頓力學一致的動態分析，因此就連續力學而言，假定應力和

張力在電磁以太中可被表示，這似乎頗為合理。從這個源領域，他假設可以得到：(1)基本力是牛頓；(2)傳播的連續性有時間延遲是場論所必須的；(3)由一個作用引起另一個作用的動力關係發現數學式的統一。他提出三個假設，但是第一個是錯誤的保證。就我們將要討論的，這個電磁場的方程式描繪了非牛頓力學系統。Maxwell 根據這四個限制，從這個領域重新取得一個最初的原始資料。他描繪磁感應、電流、電磁感應和靜電感應。他當時在電磁量和流體渦旋介質的機械性質之間，以及在推測應力、張力和那些我們所知道發生在流體介質中的應力之間產生映射。這些映射是同構的 (isomorphic)，而且保持因果的相互關聯。他重複地做這個過程兩次，變更和增強來源以符合目標領域的限制。他所犯的“錯誤”過程，大部份都可以用模型的觀點被解釋，例如他以為“位移電流”與場強方向相反，而不是一現在我們所慣用的和他後來所持有的——“位移電流”與場強方向相同。就類比的觀點而言，這個方程式是正確的，換言之，在一個彈性介質中，恢復力和位移可能有相反的方向。雖然在他抽象化基模的過程（即，一組拉格朗日算符），當時可以直接應用到目標領域，不必利用其他類比。換言之，後來他知道如何表示速度、衝量、位能和動能，並且基於這些認識，以單一電磁的考量重新導出場方程式。從他發表的第三篇論文《電磁場的動力學理論》(A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field) (Maxwell 1890, vol. 1, pp.546-97)，當時他認識到分子渦旋和電粒子是一種設想的媒質，因此他拋棄這種力學基模，並且建立起新的場論觀點，從場的觀點出發導出電磁場的方程組。

Maxwell 如何利用牛頓系統作為類比的來源創造出一個非牛頓系統的表徵？Maxwell 並不是取現存的物理系統，而把電磁參數代入那個系統的方程式中求解，如同 Thomson 根據 Fourier 對熱的分析方法發現靜電學位能場的表徵，他從電磁學方面利用多樣性的連續力學和限制整合系統，其實他所主張的這個系統從整體來看本質上並不存在。從這個模式所作的推論，使他能夠獲得比牛頓力學更具通則性的結構。當時，他已經證實基本力 (underlying forces) 牛頓力學和電磁學一般動力方程式，在本質上是牛頓學說的 (Newtonian)。這個信念是 Maxwell 想出來的，他想藉由一般電磁動力學的形式展現牛頓學說的自然根本力。我們現在知道，很多不同種類的動力系統能被用一般的動力條件予以公式化，例如相對論和量子力學。

Maxwell 和 Faraday 的類比意象表徵為何？雖然 Maxwell 和 Faraday 兩人之間所做的映射有所不同，但是兩人都把意象表徵看成類比來源的具體化。這種意象推理可以看作一種類比推理。在早期，質化方面，即 Faraday 的工作，他所使用的意象表徵與 Maxwell 的量化分析大部分幾乎相同，有很多的特定心像被併入場的表徵。在量化方面，即 Maxwell 的研

究，心象的作用更加抽象。它提供主要確定可想像的結構關係，並且以此方式讓任何意象表徵有可能將這些關係具體化，使適用於相同的目的。或許 Maxwell 並沒有理解 Faraday 表達場概念的全部精細之處，但是他確實領會在力線表徵中和體現相互連結的曲線中的動力平衡所存在的數學結構。

伍、結語：在科學教育上的意涵

目前在認知心理學這個領域已經有很多認知歷史學家投入分析，主要關切的議題聚焦在認知發展、概念改變、問題解決、理解與推理－尤其是問題推理的領域，專家和生手推理、定性推理、異質推理與心智模型。事實上，認知科學家、歷史學家和科學史學家在無形中提供了相互的資源。認知科學家需要科學家們複雜推理實踐的分析去創造他們人類推理的模式，這方面可由科學史學家來提供資料；另一方面，歷史學家需要人類的認知模式，去援助他們重建歷史記錄。此外，科學史學家常常利用其他學科的資源－人類學、經濟學、政治學、文獻和社會學－幫助他們的分析，但是卻很少有人從認知的角度剖析科學史的內涵。認知歷史學家認同科學是一種社會產物，同時也是一門非常理智的事業，而且個別科學家複雜的認知活動對於歷史知識的產物，以及經由它所產生的過程是同樣地適切。而且認知歷史並沒有與科學社會學衝突，很多根據社會歷史分析所提出的重要問題，也受到認知歷史學家的關切。認知歷史學家和社會歷史學家同樣關切“思考”的議題，只是各自從不同的面向切入探討，兩方都同意“思考”並不是簡單的發生在“腦袋”的事件，而是一種固有的社會活動（Nersessian, 1995）。因此，如何讓學生了解科學理論並不是一成不變的，而是持續地發展著、進化著，甚至有革命性的理論出現，幾乎沒有什麼比科學史更能使人認識到這一點。早期的科學史學家試圖提供歷史研究成果給科學教學，把學生放在科學思想的歷史根源的背景下來幫助其學習，並且提供科學新發現的例子讓學生了解科學家經常使用的科學方法，然而，歷史範例本身並不能幫助學生學習科學理論，主要還是需要教學者引導學生看見科學史的豐富內涵。Nersessian 建議把科學史融入科學教育，並且指出認知與教學是一種“建構主義”的學習取向，在這個信念的基礎下，學生在學習科學的過程，必須建構他們現存科學概念結構的表徵。“科學新發現”可視為一種建構的過程，但是不像我們一般的問題解決，科學家由處理問題解決的程序，積極地建構表徵。科學家的認知活動值得學生適切地學習，從科學家從事科學活動的認知過程，可以讓學生瞭解科學家如何建構、變化和傳達科學表徵等重要的知識策略。歷史學家與認知科學家連結所做的工作，可以“探勘”歷史記錄給這些策略，那時候他們可以策畫、整合和轉換非常寫實的科學問題解決的實例供教學設計適切的科學問題解決範例融入教學的情境。

以往科學教育研究學者對科學史對課程的影響相當忽略，教師對於歷史情境是否增進學生的知識或技能並沒有信心，而且教師主要關心學生知識的發展與科學內容的理解 (Monk & Osborne, 1997)。教師可以透過對科學家認知過程的解釋，使學生可以在教室中仿效科學家所運用的模型，提供某種認知見習 (Hennessey, 1993)。因此若能有效地結合認知歷史學家所提供的認知歷史分析和科學教育學家所安排的教學活動，使學生從科學史的題材見習科學家進行科學活動的運思過程，不但有助於學生對科學概念的學習，而且可以培養學生如何仿效科學家所具備的科學思考能力。因此，以認知歷史分析法探究科學史，並思考如何將其結果融入科學教學，頗值得科學教育研究者作進一步深入地探究。

陸、參考文獻

1. 巫俊明 (1997)：歷史導向物理對學生科學本質的了解、科學態度、及物理學科成績之影響。物理教育，1(2)，64-84。
2. 林煥祥 (1996)：科學史融入理化教學的效益評估。國科會專題研究 NSC-85-2511-S017-005。
3. 林清江 (1998)：國民教育九年一貫課程規劃專案報告。教育部。
4. 洪振方 (1997)：科學史融入科學教學之探討。高雄師大學報，8 期，233-246。
5. 許良榮和李田英 (1995)：科學史在科學教學的角色與功能。科學月刊，179 期，15-27。
6. 傅麗玉 (1996)：科學史與台灣中等科學教育之整合－問題與建議。化學教學面面觀，165-193。國立台灣師範大學中等教育輔導委員會。
7. Braudel, F. (1972). *The Mediterranean and the Mediterranean world in the age of Philip II* (S. Reynolds. Trans.; 2 vols.). New York: Harper & Row. (Original work published 1966)
8. Faraday, M. (1839-55). *Experimental researches in electricity*. (3 vols.). London: Taylor and Francis.
9. Goldwhite, H. (1975). Provocative opinion: clio and chemistry: a divorce has been arranged. *Journal of Chemical Education*, 52(10), 645-649.
10. Groner, R., Groner, G., & Bischof, W. F. (eds.). (1983). *Methods of heuristics*. Hillsdale, NJ: Erlbaum
11. Hennessey, S. (1993). Situated cognition and cognitive apprenticeship: implications for classroom learning, *Studies in Science Education* 22, 1-41.
12. Hesse, M. (1966). *Models and analogies in science*, Sheen and Ward, London.
13. Langley, P. W., Simon, H. A., Bradshaw, G. L., & Zytkow, J. M. (1987). *Scientific discovery:*

an account of the creative process. Cambridge, MA: MIT Press.

14. Maxwell, J. C. ([1855] 1991). On Faraday's lines of force. *In the scientific papers of James Clerk Maxwell*, ed. P. M. Harman. Cambridge: Cambridge University Press.
15. Maxwell, J. C. (1890). *The scientific papers of J. C. Maxwell*, ed. W. D. Niven. Cambridge: Cambridge University Press.
16. Monk, M. & Osborne, J.(1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81, 405-424.
17. Nersessian, N. J. (1989). Conceptual change in science and in science education. *Synthese* 80: 163-84.
18. Nersessian, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In Ronald N. Giere, ed., *Minnesota Studies in the Philosophy Of Science. Cognitive Models of Science*, v5 (pp. 3-44). Minnesota :University of Minnesota Press.
19. Nersessian, N. J. (1995). Opening the black box: cognitive science and history of science. *The History of Science Society*, 194-211 °
20. Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
21. Oldroyd, D. R. (1977). Teaching the history of chemistry in New South Wales secondary schools. *The Australian Science Teachers Journal*, 23 (2), 9-22.
22. Sellars, W. (1965). Scientific realism or irenic instrumentalism. *In Boston Studies in the Philosophy of Science 2*, ed. R. Cohen and M. Wartofsky(pp. 171-204). Dordrecht: D. Reidel.
23. Tweney, R. D., & Hoffner, C. E. (1987). Understanding the microstructure of science: an example. *In Proceedings of the Ninth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, (pp. 677-681). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
24. Tweney, R. D. (1989). A framework for the cognitive psychology of science. *Psychology of science*, 342-366 °