

科學教科書與概念改變

邱美虹

國立臺灣師範大學科學教育研究所

學生學習科學時常面臨許多的困難，已是一個不爭的事實。對於這樣的結果一般常歸因於抽象的科學概念、太多的專有名詞，或是進而認為學生缺乏具有對這些概念、名詞的先備知識 (Finley, 1991)。然而最近的研究對前述的現象提供一個更為有力的解釋，那就是學生通常擁有很豐富的先備知識，遺憾的是，通常這些知識與他們所學習的科學現象、知識、教科書、或課堂上所學得的科學方式之解釋是相互衝突的。通常這些由個人自己所建構出的解釋或理論 (personal theories) 是根深蒂固很難放棄或改變的。本文將僅從科學教科書在學生學習科學過程中所扮演的角色來看改變學生概念的特質與教學上的配合。

概念改變

在過去十多年中，有一群學者根據其個人所持的知識論、心理學、科學哲學等觀點嘗試對概念改變的條件與本質提出一些詮釋。如 Posner, Strike, Hewson 和 Gertzog (1982) 提出概念改變必須滿足下列四個條件：1. 學習者必須對現有概念感到不滿意 (dissatisfaction)，2. 新的概念必須是可以理解的 (intelligible)，3. 新的概念必須是合理的 (plausible)，4. 新的概念必須是豐富的 (fruitful)。符合上述四個條件再透過調適 (accommodation) 的過程，使概念重組以達概念改變的目的。Roth (1991) 提出與 Posner 等人異曲同工的看法，她認為學生必須明瞭他們個人的理論與實驗證據是不適當的 (inadequate)，是不完整的 (incomplete)、或是不一致的 (inconsistent)，而科學性的解釋可作為一個更具說服力且更合理的取代物，那麼概念改變才有可能發生。Rumelhart 和 Norman (1981) 認為概念改變有三種型態：增加 (accretion)、調整 (tuning)、再結構 (restructuring)。根據他們的理論第三種型態再結構的過程為將知識重整 (re-organization) 以獲得更深層的理解與頓悟，此過程雖被 Rumelhart 和 Norman 視為最困難，但對一般從事概念改變的學者而言此仍屬於“輕微的概念改變” (weak conceptual change)。Carey

(1985)認為兒童大都擁有一種所謂“似理論般”(theory-like)的概念結構,這些概念結構往往受某一特殊領域知識的累積而逐漸產生新的概念,如專家特質的獲得(acquisition of expertise)亦被視為“輕微的概念改變”。然而若是科學史上理論的改變(Vosniadou & Brewer, 1987),或是Kuhn(1970)所謂的典範轉移(paradigm shift)則屬於“激烈的(strong)”或“徹底的概念改變”(radical conceptual change)。

新近認知科學家 Michelene T. H. Chi 的概念改變理論(1993, 1993)則從三個角度著手: 1.從知識論的角度來看實體(entities)的本質。2.從後設自然科學的(metaphysical)角度來看某些科學概念的本質。3.從心理學的角度來看學生原有的概念(naive conceptions)。Chi 從本體論的角度將實體(entities)分為物質(matter)、過程(process)、心智狀態(mental states)三類。每一類別各有其屬性。若概念改變未涉及本體類別的改變,只是所含屬性數的增減,則屬前述的“輕微的概念改變”。若概念改變已牽涉本體類別的改變,則可視為“徹底的概念改變”。基本上,概念改變之發生大都屬於前者,後者較少發生。其次是有些屬於非因果互動(acausal interaction)的科學概念或是有些是受到直觀經驗的影響,都會影響概念改變的過程與結果。因此許多研究結果顯示,長久以來學生對學習科學過程中其所持有異於科學的原則與解釋法則,在許多情況下是很難發生改變的。有關此理論的探討,容他處再議。

綜上所述,可見學生在學習科學時必須要經過一段很困難的概念改變過程,才能達到有意義的學習。因而學生必須要有更多的機會去發掘他們的理論與科學性解釋有不一致處,他們必須重新整理他們思考的方式,經由放棄或修正他們每日用以判斷的準則,使他們的想法能與科學概念作一適當的聯結。然而這樣與認知和後設認知(meta-cognition)的挑戰,在一般學生被動學習與學生必須在短時間內學習許多概念與原理的教學中是很難進行的。

學生閱讀科學教科書時的策略

從過去的研究中指出學生在個別閱讀教科書時,由於一般教科書的內容涵蓋了“品質甚差的問題”、“不周全的說明”、“太多的術語”,這些問題使得學習科學更加困難,同時也阻礙了學生“概念改變”的機會(Holliday, 1991)。以下根據 Roth (1991)列舉出學生常使用的閱讀策略:

1. 依賴先備知識去完成學校的工作。譬如,學生常使用他們的先備知識去回答課本上的問題而不是有效的去運用教科書的內容。

2. 見樹不見林策略。有些學生在閱讀教科書時只將注意力集中在一些詞彙上，也就是我們常在教科書上看到的黑體字。這些所謂的“big words”常使學生擁有的只是支離破碎的片斷知識，而不知這些概念之間的相關性，因此迷思概念依舊存在，且學校知識（school knowledge）與真實生活仍是脫節的。
3. 依賴不相關的事實來學習科學：學生相信科學學習是將自然現象中的許多事實堆砌而成，“記憶或背誦事實”才是學校教育的目的。因而視每一個事實陳述都很重要，但終究不理解其相關性及實用性。
4. 利用先備知識來瞭解教科書中的解釋。採此策略者較傾向於將教科書的知識與學習者本身的先備知識連結在一起，但是礙於個人所持有的概念與文中相衝突，因此學習者往往扭曲或忽視文中的知識。一般而言，學習者是期望教科書來確認他們已有的知識。閱讀並非改變他們已知的；閱讀只是用以填補一些他們未知的細節。
5. 充分利用概念改變策略來閱讀課文：此法與前述四者大異其趣。利用此法閱讀的學習者將文中的知識用以整合自己已具有但相互衝突的知識。然而學習者本身在此時則扮演相當重要的角色，那就是面對這樣的衝突時，他們能正視癥結之所在，直到問題解決為止，最後將科學知識融入到自己的知識結構中。

必須注意上述前四種為無效的閱讀方式，嚴重的影響學生對科學的認知。由於教科書偏重於科學術語的介紹，忽略了將學生既有的知識與科學知識相連結在一起，故學生一般只注意黑體字的定義，或只會從課文中尋找黑體字來解答課本每章節後面的問題，造成學生常視教材與實際生活是脫節的（Holliday, 1991; Meyer, 1991）。

根據 Roth (1991) 的看法，她認為使用第五種概念改變之閱讀策略的學生具有下列七項特質：

1. 嚐試將個人的經驗、知識與所閱讀的資料相連結。
2. 辨認和思考中心議題與個人所擁有的想法互相衝突處。
3. 區別主題與枝節（減少對黑體字的依賴）。
4. 閱讀時注意概念模糊處。
5. 嚐試解決概念模糊之問題所在。
6. 特別注意到他們個人對實際生活現象的看法有所改變。
7. 利用教科書上的概念來解釋現實生活的現象。

由此可知，學習者使用此概念改變之策略時基本上著重二件工作：(1)徹底地理解教科書（如：這代表的意義為何？這與我的想法有何相關？）。(2)監控自己的理解（如：這概念是否使我困擾不清？我應如何使我的想法改變呢？）。若能在認知與後設認知上努力以成功的使用此策略，理解科學性文章的目的才可望達成。

教學法與概念改變

縱使有些老師瞭解學生對學習科學的困難，以及瞭解教科書對概念改變的限制，但老師應如何鼓勵學生使用概念改變法呢？Roth (1991) 根據許多有關概念改變的研究結果列舉出如表一的細目，以提供教學者的參考。

表一：運用概念改變法自教科書中學習的原則（改寫自 Roth, 1991）

一般科學教科書的問題	造成學習上的問題	解決現有問題及促使概念改變學習的辦法
內容太廣且太膚淺。 內容呈現許多概念，但僅限於表面而無深層的介紹。	鼓勵學生記憶一連串不相關的事實陳述與詞彙。	著重少數關鍵性的主題。
教材的編寫以科學家的角度來寫而忽略了學生的既有知識與思考方式。	一則由於學生無法洞悉他們自我的想法與教科書中有何相關，再者由於他們必須扭曲教科書的意思以配合他們的先備知識，因而造成他們無法改變其想法。	利用發問法來誘出或考驗學生的想法與迷思概念。
教師手冊著重於給予正確的答案而不討論與考慮學生的其他反應。	學生會發展出不適當的策略來獲得答案並繼續持有其嚴重的迷思概念。	對學生的反應加以探究並提供清楚明白的回饋。
對概念的解釋僅提供一種方式說明，同時對概念之解釋也常一筆帶過。	學生認為科學學習的本質只為了獲得正確的答案。（即使正確答案對他們而言並不具任何意義）。 學生視教科書中的解釋是用以記憶，與他們對物理世界的理解無關。	將課文中的解釋以不同方式呈現出來，使科學概念與迷思概念得以做一對照並比較其相關。

一般科學教科書的問題	造成學習上的問題	解決現有問題及促使概念改變學習的辦法
課程中的活動／實驗與教科書中的概念並未環環相扣。	“做”(doing)與“閱讀”(reading)和思考(thinking)科學概念是不太相關的。	選擇一些能產生概念衝突(conceptual conflict)和概念理解(conceptual understanding)的活動。
教科書中所提的問題常是以事實導向為主，很少要求學生提出解釋與說明。	科學活動只是好玩、有趣罷了，並不能幫助他們對科學概念發展出較好的理解。 學生認為由於他們可以回答“事實”型態的問題就代表他們理解科學。然而他們可能仍擁有一些未經考驗而嚴重錯誤的迷思概念。	不斷提供一些足以讓學生應用教科書中的知識去解釋現實生活上之現象的機會。

部份原則說明如下：

1. 著重於少數重要的主題：

教師無法在教學過程中教授所有的概念或原理，因此將精力與時間放在幾個關鍵性的課題上應有其必要性。方法之一乃是對教材提出一些中心問題要學生去思考與回答。而這些問題並非太廣泛的問題（如：你對化學藥品知道些什麼？）或是以科學性術語為發問的問題（如：何謂酯化反應？）（前者太大不易掌握，後者又流於背誦記憶的模式）。這些中心問題必須集中在學生上課之前可以利用既有的知識來回答，但隨著閱讀與教學之進行，學生可利用新學得的知識而改變他們對問題的看法與答案。同時這些中心問題可使學生集中火力在對某些重要概念間的關係有較深層的瞭解，並提供他們面對自我想法與科學知識間的相關，而對概念產生一些較有意義的理解。

2. 提出問題以挑戰學生的思考

教科書通常是由專家撰寫，有時或許忽略了學生對概念所持有之不同的想法。在教學過程中若老師能正視學生個人的理論或其解釋法，有助於老師和學生將科學專家所使用的解釋與學生思考方式相連結。而利用提出問題的方式可使教師明瞭學生是否擁有不同的想法，最重要的是教師應仔細聆聽他們的答案，診斷他們的想法以幫助他們釐清不明白的地方，進而引導、襄助他們思考的成長。

3. 利用不同的方式來達到說明與解釋的目的

教科書本身有時無法提供足夠的資訊來說服學生他們個人的理論是不正確的。因此教師可以要求學生繪製表格來比較文中所敘述的知識與個人的理論異同處，或是借重其他教具或媒體來說明之。同時鼓勵學生多發問，如“還需要什麼樣的資訊才可以使這些解釋更有意義呢？”，透過討論的過程，產生其他可能的合理解釋方式。

4. 審慎的選擇適當的活動來製造概念衝突的情境

在教學過程中教師應對每一活動加以評量其對學習的意義何在，譬如有些實驗活動可能有趣，但對於學生概念發展的成效並不大。另外活動中的討論更是提供老師幫助學生解決概念衝突的機會。以一般學生常誤認為植物攝取食物藉以維生的乃是水與肥料為例。若老師以下列二個問題發問則有助於學生瞭解植物必須靠陽光製造他們的食物：

(1) 植物在“有光的地方”是如何攝取其食物的？

(2) 植物在“黑暗的地方”是如何攝取其食物的？

在這樣的活動中，學生可以觀察植物在黑暗中即使獲得水與肥料，但它還是可能枯萎而死的現象而質疑其所擁有且賴以解釋大自然的知識體系。此時教師或可適時再加以說明“光合作用”的概念如何應用在此處。因此，這類先由教師提出問題情境，再由學生自我質疑以達概念改變的活動值得推動於教室教學。

結語

由上面的討論可知，以概念改變為閱讀的目的並非立竿見影的工作，初時大部分學生必須要擁有一個結構化的經驗，使他們具有面對並解決那些與他們想法不一致的知識之能力。一旦學生瞭解這種學習法在解釋自然現象時所產生的功效，則必然會形成其知識建構的過程。然而在教學上我們是否只要求學生針對與自己想法相衝突的課題加以留意呢？答案當然是否定的。理由很簡單，那並不代表學生就能改變其概念。學生必須要面對自己所持有與教科書相異混淆不清的部分，並設法去解決它。簡單來說，學生在閱讀時必須以“有意義的理解 (meaningful understanding)”為學習目標。

為達成上述目的，教學活動前教師可收集學生迷思概念的相關文獻，審慎的規劃和設計教學內容，以利有意義的教學之進行。在教學活動中應特別注意學生的先備知識以及學生與教科書間的互動，同時提供討論或闡述自我理論的機會，並鼓勵學生放棄舊有不正確的讀書方法與讀書目的，以使閱讀更具意義。在教學活動之後，適當的評量並分析學生概念改變之成效，以便積極有效的解決學生學習上的困難。因此引導並幫助學生

發展獨立使用概念改變的閱讀策略應是當務之急。

參考文獻

- Carey, S. (1985). Conceptual change in children. Cambridge, MA: MIT Press.
- Chi, M. T. H. (1993). Barriers to conceptual change in learning science concepts: A theoretical conjecture. Paper presented at the annual meeting of Cognitive Science, Denver, June.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw N. (in press). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts, Learning and Instruction: The Journal of the European Association for Research on Learning and Instruction.
- Finley, F. N. (1991). Why students have trouble learning from science texts. In C. M. Santa & D. E. Alvermann (Eds.), Science learning: Processes and Applications, 22-27, International Reading Association.
- Holliday, W. G. (1991). Helping students learn effectively. In C. M. Santa & D. E. Alvermann (Eds.), Science Learning: Processes and applications, 38-47, International Reading Association.
- Kuhn, T. S. (1970). The structure of scientific revolutions. Chicago: University of Chicago Press.
- Meyer, L. A. (1991). Are science textbooks considerate? In C. M. Santa & D. E. Alvermann (Eds.), Science learning: Processes and Applications, 28-37 International Reading Association.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. Science Education, 66(2), 211-227.
- Roth, K. J. (1991). Reading science texts for conceptual change. In C. M. Santa & D. E. Alvermann (Eds.), Science Learning: Processes and applications, 48-63, International Reading Association.
- Rumelhard, D. E. & Norman, D. A. (1981). Accretion, tuning and restructuring: Three modes of learning. In R. Klatsky & J. W. Cotton (Eds.) Semantic factors in cognition. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1987). Theories of knowledge restructuring in development. Review of Educational Research, 57, 51-67.