

知識的統整與應用—— 一位國中理化教師的課室教學觀察

*劉宏文、**張惠博

省立臺中第二高級中學**、*國立彰化師範大學 物理學系**

摘要：傳統上，科學教師對科學知識的看法，仍然沿襲十九世紀以來邏輯實證主義對知識的主張，將科學知識視為客觀存在的事實。持此信念的教師，在進行課室教學時，往往採用講述法來呈現科學知識。認為教師只要口齒清晰，語詞生動，內容條理分明，並輔以課後的反覆練習與考試，即能達到科學教學的目的。

本文透過對某位國中理化教師課室教學的觀察，一方面探討教師所呈現的科學知識與科學本質的關係，另一方面則討論了講述法本身對知識的立場，及知識傳達的侷限性。將科學教學由知識的傳達與獲取的觀點，擴增為統整與應用的層面，學生才能有真正理解的學習。

關鍵字：科學教育、課室教學。

壹、前言

國中化學第二冊第八章的課程內容涵蓋了亞佛加厥學說、原子量、分子量、莫耳、給呂薩克定律及化學平衡與計量等概念，一般的國中理化教師及同學皆視此單元為教與學的挑戰。因為本章牽涉的內容，諸如原子量及莫耳等概念，是引介學生由巨觀的物質世界進入微觀的原子與分子世界的重要橋樑。易言之，學生能否由具體實物的操作，過渡到抽象思考的層次，此部份的學習是重要的關鍵。

因此，教師在進行此單元教學時，無不竭盡所能，運用各種類比、板書圖示、定義闡明、舉例、演示等等，希望能將科學發展歷史中，直至十九世紀初才趨成熟的原子與分子學說，及計量單位“莫耳”等概念，在短短的六節課內教授完畢，實屬不易。在課室教學過程中，教師最常採取的策略，即是講述法。教師以其對學科知識的瞭解，配合生動的口語表達，豐富的肢體語言，企圖將科學知識“傳授”給在臺下靜聽的同學。誠然，講述法有其優點，適當運用也有一定的教學效果。但講述法本身卻隱含有二個預設的立場：其一是認識論方面，認為科學知識是一種事實的存在，可被客觀傳達與獲取。另一是預設了教師及教科書為知識權威者的觀點。

然而，依據 Diver(1989)，Gallagher(1993)等人的研究顯示，要達到科學概念真正理解的學習(Understanding learning)，知識的獲取(acquisition)只是必要而非充要條件。真正的理解尚包含有知識的統整(integration)及應用(application)兩大部分。本文則試圖由學科知識(Content Knowledge)，學科教學知識(Pedagogical content knowledge)，科學的本質等內涵，透過知識統整與運用的觀點，對某國中理化教師陳老師的課室教學表徵進行評論。旨意不在說明何種教學法的正確與否，而是期待對科學教學，特別是初任教師的課室教學，提供講述法之外另類思考的空間。

貳、教學呈現

一、教室環境的描述

陳老師身材微胖，教學常面帶笑容，左手持小型麥克風上課，言語機智幽默，熟稔青少年的語彙，諸如“哈囉”、“先生”、“小姐”、“Just do it”、“酷斃了”等。板書速度極快，且動作俐落，顯得權威而自信。陳老師並不刻意維持教室秩序，只要求學生現場筆記課文內容或講述重點所在。陳老師常說：「這一段很重要，老師唸出來，各位同學圈起來。」「注意莫耳這兩個字」「請在講義或課本空白處，將這兩題抄起來。」學生上課時而埋頭筆記，時而專心聽講，全班秩序井然。

陳老師講述技巧熟練，表達表楚簡潔，板書內容常是章節重點或重要結論。陳老師對自己的教學極具信心。例如，陳老師在上課中常強調：

- 1.班上同學段考的平均成績排名在全校之前。
- 2.同學慢慢學一定會。
- 3.這題不難，只要知道公式就會了。
- 4.喜歡半戲謔性的說：「這題太侮辱我們了」以鼓舞士氣。

二、學科知識的呈現

陳老師（物理系畢業）的學科知識豐富，對高中聯考歷年的題型尤其熟悉，舉例多是聯考考過的題目。由以下的教學呈現可知一般：

- 1.對莫耳概念的定義清晰而明確。
- 2.強調原子量與分子量是沒有單位的。
- 3.對元素價數、鹽類溶解度、水分子中氫與氧的鍵角，皆有一定程度的了解。
- 4.對體積莫耳濃度與重量百分比濃度定義的掌握非常清楚。例如陳老師強調加 100 毫升水與加水到 100 毫升有細微的不同。
- 5.在方程式的平衡與計算中，陳老師能清楚區別莫耳數比與體積比在物質狀態不同時所代表的意義，並舉例說明。

6. 討論濃度與體積的關係時，陳老師能即時運用體積與濃度的反比特性在黑板上作圖，將化學概念的物理意義以函數圖形呈現。

三、學科教學知識(PCK)的表徵

學科教學知識是 Shulman (1986)所提出的教學主張；教師徒具豐富的學科專門知識，或者僅具教學知識與技能，均無法有效的進行教學。因此，PCK 融合了學科知識與教學知識，作為整體的教學呈現。教師必須具備此種專業知能以有別於學科專門領域的專家及教育專家，教師的專業素養即可以其對 PCK 的掌握管窺之。陳老師的教學呈現有兩項明顯的特色：1. 類比(analogy)的運用，2. 重點提示與整理。茲分別論述如下：

1. 類比的運用：類比對科學概念的學習非常有效(Glynn,1991)，在同一文化背景下成長的個體，事物的特質都有一普遍的認知，或稱共有的基模(Schema)，教師在進行教學時如能善於運用學生共有的知識基模，將新知識與舊經驗作有意義的聯接，更能增進學生對概念的掌握與理解；但是不當類比也往往是學生迷思概念的成因之一。陳老師在教學過程中頗能依據個人求學經驗，及類似的成長背景進行類比教學，例如：

- 1) 莫耳：每盒 1000 個綠豆大小的饅頭。
- 2) 6×10^{23} ：一莫耳的棒球鋪滿地球的面積。
- 3) 元素價數：心肝寶貝共同牽牛羊（取鋅鈣鉑銀汞銅鉛硫氧諧音）。
- 4) 氧的分子式：兩塊同色圓形磁鐵黏在黑板上表示 O_2 。
- 5) H_2O ：一個家庭內有兩位媽媽（婆媳），一位爸爸。
- 6) 重量百分率濃度：女生占全班人數的比例。
- 7) 0.1M KI：以黑色橡皮塊表示 0.1 莫耳 KI，並在燒杯內加水至 1 升。
- 8) 溶液的稀釋：將水沖入橡皮塊。

2. 重點提示與整理：陳老師往往根據自己的求學經驗與教學觀，提示學生解題重點所在，並預先知覺到學生可能有的迷思概念，而且能將教材作適當的整理。上述的教學過程即隱含有組織(organization)的過程，將教材經過系統的組織後，學生極易與自己原有知識架構內的命題(proposition)網路相聯接，不但節省了工作記憶(working memory)的空間(capacity)，而且更利於儲存與提取(retrieval)(Gagne,1993)。例如：

- 1) 分子量的求法由簡入繁，逐步將教材內容加深、加廣。
- 2) 講述莫耳觀念時，陳老師進行的教學步驟如下：
 - (1) 以小饅頭的計量單位由個數改成盒數，類比原子的計量單位由個數改為莫耳。
 - (2) 板書 600000 0，再說明科學記號表示法的必要。

(3)板書

打	1 打 個	8 打 個	240 個 打
莫耳	1 莫耳 個	8 莫耳 個	240 個 莫耳

(4)公式：莫耳 = $\frac{\text{原子個數}}{6 \times 10^{23}}$

- 3)強調莫耳濃度是 1 公升溶液所含溶質的莫耳數，並特別說明分母是升，不是毫升。
- 4)加 1 升水與加水至 1 升的意義完全不同。
- 5)稀釋前後，溶液內溶質的量不變。
- 6)注意分子量與重量的區別。

參、科學知識的統整與運用

Gallagher(1993)將傳統科學教學典範歸納成下列三點：

- 1.教學等同於資訊的傳輸(transmitting)。
- 2.學習等同於資訊的獲取(acquiring)。
- 3.評量等同於對學習作總結，以決定學生是否成功的獲取資訊。

在此種行為主義實證觀(behaviorist-positivist)的教學典範下，知識有如商品，可授受、囤積，忽略了知識的統整與應用。Gallagher 認為知識的統整過程即是意義化的過程，包含新知識與舊經驗的聯接，及知識系統內各概念間的聯接。知識的應用則泛指利用現有的科學知識去構築更深廣的科學知識，理解經驗世界的各種現象，及解決個人與社會面臨的課題等。所以 Driver(1989)也認為僅有科學事實的描述及傳授，而無統整及應用的經驗，無法造成對知識的真正理解。

雖然陳老師在整個教學呈現中言詞生動，條理井然，板書技巧熟練；但在六節課的教學過程中，陳老師的課堂也呈現如下的現象：

一、科學事實的呈現重於科學過程的理解

在進行莫耳教學之前，陳老師舉了近 10 個由原子量求分子量的例子，以幫助學生如何由分子式求分子量。陳老師的方法是以其自編的元素價數口訣，寫出化合物的正確化學式，再利用週期表上的原子量求分子量。陳老師極為熟悉聯考的題型，時而提醒同學某題曾是某年聯考的題目。並且說：「我雖然不贊成各位用背的，但你若將分子量背下來，考試會很好用，例如二氧化碳是 44，水是 18，……等。」陳老師費了近 40 分鐘，

引導學生與反覆練習上述幾種題型的分子量求法，但只以一句話概括了分子量的含意。即「分子量原子量一樣是比出來的，所以沒有單位。」陳老師並未提到亞佛加厥假說，在分子量的概念發展過程中的重要涵意，換句話說陳老師比較注重科學事實的呈現，幫助學生獲取知識，並將之用於解決聯考的題目。比較不注重科學概念發展的歷史情境與沿革，學生很難體會到亞佛加厥學說在化學概念發展歷史上的重大突破，以及如何由亞佛加厥學說的提出過渡到分子量與原子量的建立，進而解釋了定比定律與倍比定律的意義。所以科學教學不僅僅限於科學事實的傳授，讓學生有機會模擬科學發展的情境，體會科學概念遞變及形塑的歷程，感受科學家面對問題時鍥而不捨的態度，及解決問題的方法，也是教師在教學時思考的課題。

二、科學知識的統整與運用

在分子式寫法的教學中，陳老師要求學生記誦二價元素的口訣（心肝寶貝共同牽牛羊）以幫助記憶。這種方式對於考試而言或有一定的效果，但也可能面臨以下問題：

- 1.如何解決同種元素在不同種化合物中價數不同的問題（非金屬化合物極為普遍）？
- 2.口訣極易將概念簡單化，絕對化，忽略了概念發展的可能性。

所以口訣只是另一種形式的記憶而已(learning by rote)！與知識的統整與應用無涉。在莫耳濃度的教學過程中，陳老師首先複習了重量百分率濃度的求法，緊接著即要求全班同學看課本定義，並大聲唸出：「1公升溶液中所含溶質的莫耳數」，並特別提示同學將公升與莫耳用色筆圈起來。隨即在黑板寫出莫耳濃度求法的公式，再舉例說明。陳老師雖然很細緻的區分了溶質，溶液體積之間相互加成的問題，並且幫學生做了很多練習以鞏固概念。但是陳老師並未說明有了重量百分率濃度之後為何還要學莫耳濃度？Posner等人(1992)認為科學概念的改變及發展，首先就是要對自己目前概念覺得不滿意，要有充份的異例(anomaly)，引起概念體系的互動，新舊概念間才有統整的可能。因此，在教學中能比較重量百分率濃度與莫耳濃度的不同特性，進而說明莫耳濃度以溶質粒子數表示法在化學反應計量上的適宜性，學習的過程不再只是反覆運算聯考題型，而是一種認知需求的滿足，以及個人的認知結構無止盡的統整與調適的過程。當然幫助學生練習考試題目也是科學知識應用的一個重要課題，透過解題過程有助於鞏固與深化對科學知識的理解。但知識的應用除了考識之外另有兩個層面也不容忽視，其一為應用科學知識去學習更深更廣的新的知識。例如原子量，分子量的學習有助於莫耳的理解，應用莫耳的觀念到莫耳濃度的學習等等。另一則為如何將科學知識與日常生活經驗結合，應用科學知識解釋課本以外的經驗世界。陳老師的教學呈現集中於科學知識的獲取，並將知

識的應用侷限在運算解題的範疇，似乎很難體會科學學習與學校以外世界的關聯。例如氫的分子量是所有元素中最小時，在日常生活中的意義是什麼？空氣的浮力與分子量有無關連？我們看不見氣體分子，為何認為分子是具體存在的？將科學知識延伸應用到人類生存的世界，並養成學生一種思考的心靈習慣(habits of mind)，也是科學教學重要的一環。

三、講演時間約佔整節課 90%以上

學生埋首筆記，專心聆聽，師生間鮮少互動。陳老師每敘述完一個段落，或講解完一個題目，常常問學生「會不會？」「很簡單是不是？」，此類問答很難了解學生概念改變的機制。陳老師偶而也會請學生上臺做題目，作對了，就進行下一單元，做不對，陳老師並不探究學生的認知過程，而是再講一遍。講述法當然有其必要性，但是聽講者工作記憶的空間有限，尤其對於初學者，許多概念尚未達到自動化(Automated)的要求，不但無餘力進行高階思考，概念間的聯接也是困難重重。

四、缺乏學生與學生間的互動

陳老師將教學的重點擺在講演，間或輔以教具；例如燒杯、有色磁鐵板等。陳老師在演示過程中，並不要求學生參予且親自動手操作(hand on)，而是獨自在台上示範。但學生間相互討論是知識建構的有效過程，因為相互協商，彼此修正，經歷了認知衝突及問題解決的步驟，最後形成共識。這種動態的歷程正是科學社群共同合作、累積知識的模式。學生經由過程的學生，才能真切體會科學知識具可變性及持久性的本質，而且知識的過程是一連串探究的過程，學生經由“動手”操弄，才能將知識意義化、精緻化，才能與原有的知識網路形成有機的整體，以達到真正的理解。

五、以教師為教學活動的中心，教科書為知識的權威

陳老師以其個人的特質：生動的言辭表達，吸引學生的注意。陳老師並大量引用學校段考或聯考的題型供同學練習。並以其教學經驗提醒同學某題聯考考過，某題必會在段考出現等言辭，以激發同學的學習動機。陳老師並在章節結果之後，要求同學將課文內容重點劃下作為講述的結論。在此種情境下，教師的講解與說明，教科書上的科學事實與概念成為知識的權威與唯一來源。事實上，當代科學哲學的研究顯示，科學知識是科學社群的共同體認(commitments)，是對世界理性解釋的一種適存的(viable)知識。隨著科學事實的不斷發現，人類認識的不斷深化，科學知識也蘊含有不斷精進與遞變的潛在可能。所以科學學習除了事實知識(factualeknowledge)的理解之外，也應讓學生體會科學知識不斷成長的本質，以及科學過程與技能的學習。

肆、當代科學教育的觀點

隨著科學知識的累積與發展，人類對科學事業的興起，科學探究的方法，科學的本質有了更深刻的體認。十七世紀以來以邏輯實證為基礎的知識觀，及以實證為檢驗知識的唯一標準的經驗法則，普遍受到懷疑。於此同時，心理專家、教育學者等對人類認知結構與發展的研究也顯示，行為主義(Behaviorist)學派制約反應，回饋增強的理論不足以解釋人類心露在學習與發展過程的複雜性。知識無法如實證論者所認為可被直接傳達，而是學習者主動建構的過程。因此如何將科學的本質，透過對學生認知結構的了解，反映在教師的學科教學知識上是當代科學教育的主要特質。

澳洲學者 Taylor 等人(1995)，基於建構主義的理論基礎，列出了五個向度，以檢驗教師的教學是否符合當代科學教育的觀點，此五個向度分別為：

一、個人的相關性(Personal Relevance)：

科學知識是否與學生的日常經驗相關，是否建立在個人舊有的經驗基礎之上。

二、不確定性(Uncertainty)：

科學知識並不是客觀的實有，會隨著科學社群共同的努力引起典範的更迭。

三、學生間的協商(Student Negotiation)：

教學活動是否以學生的互動為中心，相互討論、協商以形成概念。

四、共同參與(Shared Control)：

學生是否參與教師的教學，包括教材決定，教學策略訂定，及評量方法的採用等。

五、批判的聲音(Critical Voice)：

教室氣氛是否允許學生對教材、教法提出合理的質疑。

國內學者段曉林(1996)以建構主義的知識觀，對教師的教學提出建議，認為教師必須由傳統上知識權威者及傳授者轉換成企劃者與督導者的角色，營造適當的教學情境，協助學生經由同儕間相互辯證的過程主動建構知識。教師更需反省與檢視自己對教學的信念，因為信念是行動的源頭活水。Collate & Chiappetta(1989)主張科學課程的教學應能適切反映科學的本質，科學的本質包含了三大部分：1.科學是一種思考方式、包含了對自然界規律的信念，對事物的好奇心與想像力，嚴密的論證推理及對人類本身的了解。2.科學是一種探究的方式。包含了假設、觀察、實證、解釋、預測等過程。3.科學是一種知識體系。包含了科學事實、概念、原理與法則、理論、解釋模式等。將上述內容如何摻揉到科學課程？如何在教學中呈現？使學生在科學的學習中真正的在思考、探究、並

解釋周遭的自然現象，而且有助於個人未來職業上的需求，有足夠的訊息判斷公共議題，以適應瞬息萬變的現代世界。

伍、結 語

綜觀陳老師的教學，不論在學科知識的呈現或學科教學的形式，如果以傳統的教學觀視之，陳老師具備了成為專家教師的種種特質。陳老師能清楚掌握教材的重點，善於類比，言語清晰，教材內容組織良好等。由學生的考識成績可說明陳老師有效的幫助了學生獲取知識，接受科學事實，通過考試。但科學教學層面不僅僅是知識的獲取，更應擴及到知識的統整與應用。因此科學教學應嚐試提供科學探究的過程，同時亦應反映科學的價值，以激起學生的好奇心及創造力，摒棄知識是權威的心態，並能體會自然界的美好與和諧。科學的教學亦應不限於教室內的活動，更可擴及到生活環境中的任何事物，同時應讓學生有充份的時間由活動中建構有意義且真正理解的科學知識。

陸、參考資料

- 1.段曉林(1996)，我的教學符合建構主義嗎？建構與教學，第五期，彰師大科教中心。
- 2.Collete, A. T. & Chiappetta, E. L. (1989), *Science Instruction in the middle and secondary schools*. (2nd ed.) Merrill book company.
- 3.Driver, R. (1989), "Changing Concepts", In Philip Adey(Ed.), *Adolescent development and school science*. London, Falmer Press.
- 4.Gallagher,J.J.(1993), "Second science teachers and constructivist practice", In Tobin, K(Ed.), *The practice of constructivism in science education*. AAAS, Press.
- 5.Gagne,E.D., *et al.* (1993). *The cognitive psychology of school learning*, Harper Collins Collage Publishers.
- 6.Posner, G. J. & Strike, K. A.(1992). " A Revisionist Theory of conceptual Change " , in Duschl, R. D. & Hamilton, R. J. (ed.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. State university of New York Press.
- 7.Shulman, L. S.(1986), *Those who understand: Knowledge growth in teaching*. *Educational Research*, 15(1),414.
- 8.Taylor, P., *et al.* (1995), *A constructivist perspective on monitoring classroom learning environments under transformation*. Annual meeting of the NARST.

The Integration and Application of Knowledge

— An observation of a science teacher's classroom teaching in junior high school

Hong-wen Liou, Taiwan Provincial Taichung Second Senior High School

Huey-Por Chang, Department of Physics, National Changhua University of Education

Abstract

With a traditional way of teaching, Scientific knowledge has been considered as an objective existed fact which can be transmitted by an well-organized representation.

Within such belief held by a large number of expert teachers, they have paid much more attention to the subject matter content knowledge to make them acceptable and do more things such as drills, practices...to help their students acquire scientific knowledge and pass the entrance exam of local famous high school.

This article discusses the teaching process about a science teacher in a grade 8 class. Without open-inquiry activities and the dynamics of the interaction in science classroom, science knowledge can't be transmitted or be filled by an excellent lecture. Real understanding learning includes not only acquisition of knowledge but also integration and application of knowledge. Students need to integrate the new information with what they already know. They also need to learn how to apply their new knowledge beyond the classroom and connect their knowledge with their world outside school.

Key words: Science Education, Teaching, Learning.