

何不把科學史融入高中基礎理化教材

陳文靜
高雄市高雄女子高級中學

一、教學動機

教書教了十幾年，最近常常反思：如何做有效的教學？似乎不能只教科學知識內容，應該在理化上可以給學生更多實際有用的東西，讓學生能將生活與知識配合，也從中學習科學精神，了解科學本質，使學生在未來的生活中，能善加運用學校所學的知識。若欲達此目的，何不把科學史融入高中基礎理化教材？

一般而言，科學史的功能為：(1)科學史可以激發學生的學習動機，吸引學生投入科學的探究；(2)科學史可使教材更具人性化；(3)藉由探索科學概念的發展與精緻化的過程，可促進學生概念的理解；(4)在理解重要的科學史例之過程中，可使學生認識科學的本質，例如科學革命、達爾文主義等；(5)科學史可以使學生了解科學的不定性；(6)是故科學史可使學生認識科學家之間會發生意識型態 (ideology) 的爭論；(7)科學史能展現出科學方法的嬗變史，使學生對科學方法有更豐富的認識 (Matthews, 1994; 洪振方, 民 86)。而且科學史融入的教材就是藉著實例將科學的運作方式傳遞給學生，即告訴學生一群科學家如何在信心中為其深愛的知識不斷努力工作。若將科學家的生平故事及貢獻介紹給學生，使科學家的專業生活能與他們實驗貢獻結合為一體呈現給學生。學生從科學家們解決問題的過程學習科學如何發展演進，領悟科學方法並用科學方法解決日常生活問題。所以，也許把科學史融入高中基礎理化教材這方法可以達成目的。

高一的基礎理化是高中生的共同科目，無論學生將來選擇自然組或社會組都一定要唸此共同科目，但是某一些將來欲選擇社會組的學生，由於一些錯誤觀念，可能不愛唸基礎理化，或自覺理化基礎太差，上起理化課程便無精打采，昏昏欲睡。而科學史有如歷史故事一般，將科學史融入教材可引起學生濃厚興趣，於是大部分學生都能聽懂，不是只少數學生了解。科學史也如同良知的規範者，他託付給科學史家的職責就是幫助年輕一代感激欣賞過去科學的成就，重視科學史為人文主義與智慧的來源 (傅麗玉, 民 85)。於是學生未來唸社會組時，應用於人文科學的學習，一定受益無窮。

二、現行教材的不足

在高中理化的教材中，受制於篇幅，在定律、定義方面，往往只有介紹該定律，定義

的文字意義，卻沒有介紹它們如何產生，或科學家如何思考與做實驗來產生一個定律；也就是將科學史融入教材內。例如：波以耳定律，課本上的敘述是西元 1660 年，英國科學家波以耳發現在定溫度時，定量氣體的壓力（用 P 表示），和其體積（用 V 表示）成反比。用簡單的數學關係表示，即： $P V = \text{常數}$ 定量氣體的壓力與體積的乘積，在定溫度下，成一常數，這個著名的壓力與體積的關係，就是波以耳定律。卻沒提及波以耳利用 U 型管，將水銀灌入管中，管內的空氣體積會因壓力不同而改變，進而求出各壓力和體積的數據，再得 $PV=k$ 這結論。又如：查理·給呂薩克定律，書上描述為法國科學家，查理和給呂薩克經由實驗歸納結果：定量氣體，在定壓時，其體積和絕對溫度（用 K 表示）成正比。即定量氣體的體積和溫度的商數為一常數，絕對溫度以 K 表示，攝氏溫度 0°C 等於 273K，溫度 $t^{\circ}\text{C}$ 等於 $(273+t)\text{K}$ 。所以， $V/T = \text{常數}$ 。書上也未講論查理和給呂薩克利用什麼裝置求得 $V/T = \text{常數}$ 的。或者在基礎理化方面，介紹溫度計時，只提到「很多物質具有隨溫度而改變的某些特性，例如氣體或液體的體積，金屬的電阻等，從物質溫度的變化，我們可以知道它的溫度變化。日常所見到的溫度計是利用物質熱脹冷縮的特性，例如酒精溫度計和水銀溫度計……可以從它的溫度特性的變化測出待測溫度，這個小物體便成為溫度計。」其實，溫度計的發展有一段科學史，應該讓學生明瞭溫度計是如何被發明，科學家如何改良溫度計，以致於產生今日的酒精溫度計和水銀溫度計。再者，早期沒有標準溫標，科學家慢慢思索，尋找，到目前訂定出標準溫標，也是一段辛苦的發展歷程。這些都值得編列教材中。

三、教材的準備

基於上述因素再參考洪振方（民 86）「科學史融入科學教學之探討」一文的理念及其研究生陳淑媛以批判性思考為取向的教學教材所成行動研究之論文（民 86）與陳育瑛的文獻（民 87），也根據金吾倫的科學發現的哲學（民 82）、李執中等譯科學方法新論（民 84）、郭奕玲、沈慧君的物理學演義（民 85）、經典物理發展中的著名實驗（民 84）等歷史資料，開始著手編纂高一基礎理化第三章熱的科學史教材。

四、教學構思

並不是每一章節都適合以融入科學史的方式來達成教學的目的。第三章熱單元中，有溫度計、溫標、熱能及熱功當量，這些部分適合融入，例如：溫度計發展史，由於溫度計是家家必備的東西，容易提起學生興趣，引發學習動機，探究溫度計是如何發明，改良的。在溫標方面，目前常用華氏，攝氏及絕對溫標也有其由來。至於熱能，熱功當量方面，從

早期人類認為『熱是物質』到今日接受『熱是能量』，並求證『一卡等於4.18焦耳』，也是一段精彩科學故事。因此，我嘗試將科學史融入第三章，做為教學上的新突破。

五、教材與教學的配合

剛開始著手整理資料時，的確頭痛一陣子，因為資料太多，不知從何動手。後來，心想：教學上面臨最現實的問題莫過於考試，今日我編這教材教學生，學生仍需月考，所以我還是應該以課本為主幹，科學史為枝幹，穿插其中。如此一來，學生一方面可藉科學史的探討，明瞭科學家的思路，及其孜孜不倦的研究精神，並了解科學是由常識的理解蛻變成科學的理解，而不是一開始即發展成科學的理論。再者，也可使學生認識不同的科學理論、研究取徑其實是看世界的方法不同，彼此間有說服、有競爭、有攻訐、有興替（劉昭吟，1997）。另一方面，說不定藉著這些科學史的探討，學生觀念更清楚，考試成績因而提升，那就太棒了！

既然抓到了重心點，接著是如何設計教材呢？這又是一大考驗！

六、教學設計與編排

在設計教材方面：(1)利用中西方的比較，顯示一些問題的產生或探討，不是只有在西方國家，亦可能發生在中國。例如：幾十萬年前，人類就開始知道用火（或熱），跟火打交道，學會利用火改造自然，為自己服務。中國古代傳說的「燧人氏鑽木取火」，以及古希臘神話中，巨人普羅米休士（Prometheus）冒生命的危險，從天庭為人類盜取了火種，開創了使用火的歷史。公元前四百年以前，據《左傳》，《國語》等記載，中國古代思想家有「金，木，水，火，土」五行說，認為世界萬物都是由這五種元素組成的。古希臘哲學家亞理斯多德並認為：火、土、水、空氣是構成宇宙所有物質的四種基本元素。又如測冷熱程度方面：早在戰國時期，我們的祖先已知從水的結冰來推知氣溫下降的程度。漢代初年有一種“冰溫度計”，按文獻記載，“睹瓶中之冰而知天下之寒暑”，意思是說，觀察瓶裡冰的熔化或增厚，就可知氣溫的變化。在西方國家，也有伽利略利用空氣之熱漲冷縮的特性來反應人體冷熱程度。

(2)設計一些早期社會與今日社會概念不同的問題穿插在科學史內，讓學生共同討論古代社會某些概念之正確性。譬如：「古希臘哲學家認為：火、土、水、空氣是構成宇宙所有物質的四種基本元素。你認為有道理嗎？請說明理由。」藉此題討論使學生明白科學是從古代的自然哲學（自然哲學受天主教會影響，無論文學，藝術，科學和哲學往往只籠統地討論宇宙的根本性與總體性，沒有實驗的驗證）演進到近代強調理論與實驗統一的自

然科學。此題的討論沒有標準答案，目的是讓學生了解古代社會中毫無科學根據，只是憑空想像認為「火、土、水、空氣是構成宇宙所有物質的四種基本元素」，而講求科學證據的今日社會早已知宇宙中有些部分有物質存在，有些部分完全真空，沒有任何物質存在，所以不可能有「火、土、水、空氣是構成宇宙所有物質的四種基本元素」此概念，因此確實概念不同。

(3)設計科學活動如何發展演變的問題穿插在科學史內，並讓學生共同討論，好像他們就是從事此一科學活動的人。例如：論及雷伊的溫度計之後，就問學生：「雷伊溫度計的裝置有何缺點？」雷伊是把伽利略的溫度計做改良，後人也對雷伊的溫度計做改良，一種產品需要改進一定有它的原因，讓學生共同討論這問題，他們自然就融入此科學活動中，好像他們就是從事溫度計改良此科學活動的人。

(4)設計與生活有關的問題穿插在科學史內，讓學生藉著科學史的討論而了解科學與生活息息相關。因為從科學史觀之，研究科學的目的是為了改進人類生活，增加生活的便利性，若教學中科學理論與生活配合不上，或學生覺得理論歸理論，生活歸生活，二者互不相關，那教學就失敗了，因此，應設計與生活有關的問題。例如：「從遠古時代利用鑽木取火來烤肉、取暖，到今日利用熱能，可應用在哪些方面？就食、衣、住、行四方面來討論。例如：電鍋煮飯、暖氣機取暖……。」

(5)利用科學史中對立的理論，設計讓學生引發概念衝突，然後反思、深思，進而精鍊概念的問題。譬如在熱學史中，從布萊克熱質說轉換到倫福特熱運動說時，問學生：「熱既然如此重要，請問熱是物質，還是能量？」若學生從課本已知熱是能量，則老師進一步提問：「若老師說『熱是物質』，你認為對嗎？你將如何反駁？」藉由此段歷史可提出讓學生產生概念衝突的問題，學生為了回答這問題，就可藉由熱學史的教材內容來反思、深思，進而精鍊概念。因此，學生獲得概念，不再被動地接受，而能主動地建構，且深思其意義。

(6)設計評量題目當作業，測試學生是否真了解科學史中某些結論。例如：「倫福特鑽砲筒的實驗為什麼可反駁布萊克的熱質說？」藉學生作業的回答可了解學生概念，認知程度及種種想法。

(7)在介紹一位科學家時，順便盡可能地介紹其家室、職業、工作……等背景，以便使學生對科學家了解更透徹。一般學生的印象裏，研究科學的人其職業就是做實驗，不食人間煙火，只是全心從事科學研究。其實不然，他們從事各行各業，有些是在大學裏的化學或物理教授，有些是天文學家，或者有些是啤酒商，政府的包稅官，甚至有些是軍人，像

侖福特之類的……，不過他們有一共通點，就是對科學很有興趣，熱衷科學活動。

(8)提供照片、畫像、實驗器具圖片，促使學生對整個科學史的了解更全面性，可減少其抽象性，或增加其趣味性。一般人都以為科學家太專注於科學活動，一定不修篇幅，衣著不整，頭髮不梳，蓬頭垢面的，所以提供伽利略、華倫海特、薩爾修斯、侖福特、焦耳……等科學家的畫像，讓大家欣賞一下這些科學家的英俊容貌，增加教材趣味性，不是很好嗎？還有插入實驗器具圖片，對教材編排也很重要，例如：侖福特鑽砲筒的裝置圖及焦耳作功生熱的實驗裝置圖，可避免學生想像錯誤，減少其抽象性。

(9)與科學史內容有關的錄影帶、投影片或其他視聽媒體，作輔助教學，使某些抽象概念更易明瞭。在市面上有一些教學錄影帶很精彩，可幫助學生概念澄清，對教學幫助很大。譬如在第三章熱的科學史中我放映如何鑽木取火，用金屬棒磨擦石英取火，和有關以液態氮為冷凍劑作各種實驗的錄影帶，學生欣賞之後似乎較明白鑽木取火與冷凍劑的意義。(錄影帶部分可參考本文第九部分之參考資料)

(10)將實際生活中與科學史有關的科技產品，帶入教材裏，介紹給學生認識，使教材更生活化。例如：實際生活中用到的溫度計有酒精溫度計、水銀溫度計、電子式溫度計、耳溫溫度計……。 (儀器圖片部分可參考本文第九部分之參考資料)

七、教學後對教材中討論與作業的探討

在這份科學史教材裏，另有二個特色，即討論與作業。

(一)討論部分

(1)在融入科學史的教學當中，學生們共同討論問題，集思廣益，把一些觀念藉著討論共同建立起來。且深刻體會：各人想法未必與自己相同，有些觀點自己沒想到的，別人卻想到了。例如：溫度計的發展史裏，溫度計內先裝水，再改裝酒精，於是問學生：「為什麼測開水溫度時，酒精溫度計裡一片模糊？無法讀取數據，該怎麼辦呢？」(陳淑媛，民 85) 這問題中，有學生回答：「酒精沸點只 78°C，水沸騰卻 100°C，自然酒精溫度計一片模糊！」也有學生回答：「酒精無色，不易觀察！」於是，另一學生回答：「那就換另一種材料來當溫度計吧！」之後，又有學生回答：「找水銀來當溫度計吧！因為水銀沸點 300 多度。」再有學生回答：「其實不一定用水銀來替代，只要它的沸點夠高，又適合當溫度計就可以了！」甚至有學生舉手說：「是不是不能只考慮沸點，也要考慮凝固點來當溫度計呢？」……在討論活動中獲得之知識，不僅是概念性的，也是過程性的認知。把客觀的科學知識藉著討論變得容易了解，作有意義的學習。且在討論當中，聽聽同儕不同的看法，刺激學生的想像力，並整合新舊概念或建構新概念也是不錯。(張世忠，民 86)

(2)模擬科學家在當時可能碰到的問題、困難，共同尋求方法或解答。例如：「爲什麼雷伊要把伽利略的溫度計倒過來？」這問題學生的回答有「溫度計沒有密閉，水份會流失」「氣壓沒有固定」「伽利略的溫度計是以空氣來測人的體溫似乎不好，雷伊把伽利略的溫度計倒過來變成用水來測人的體溫似乎好一點！」學生真以爲自己是科學家很熱烈地討論著問題。

(3)有些討論不一定有絕對正確的答案，可能有歷史性。例如：「古希臘哲學家認爲：火，土，水，空氣是構成宇宙所有物質的四種基本元素。你認爲有道理嗎？請說明理由。」中古世紀人類受希臘哲學家亞理斯多德影響認爲火、土、水、空氣是構成宇宙所有物質的四種基本元素。但近代科學就不如此認爲了。在此題討論當中，有部份學生會提到「宇宙中有的星球沒有空氣，所以火、土、水、空氣是構成宇宙所有物質的四種基本元素不對」。有部份學生從元素觀點探討，提出「火是能量，土和空氣是混合物，水是化合物，所以，火、土、水、空氣是構成宇宙所有物質的四種基本元素不對」。可是也有學生舉手認爲「當時科學不發達，無法求證火、土、水、空氣是否爲元素，不過火、土、水、空氣是他們接觸最多，生活上最需要的，所以，火、土、水、空氣是構成宇宙所有物質的四種基本元素，應該有道理」。而設計此題目的，主要是希望學生腦力激盪並了解科學有時間性。

(二)作業部分：每位學生都要繳作業，藉著他們作業的回答：

(1)可明瞭學生對某些概念認知的程度，給予學生加強，補充。例如：「布萊克的熱質說後來爲什麼被推翻了？」看學生在這些作業的回答是否完整或正確，若不完整或不正確的可在作業裏幫忙說明。

(2)藉著他們作業的回答提供自己在下年度教學上的改進。例如：「請寫出把科學史融入教材中的學習感想。」學生上完科學史之後的感想方面有很多，大致上是：①不再是老師自個兒在台上唱獨角戲，學生被動地接受老師所傳授的知識，因動腦思考機會增加，且必須被迫起來討論，於是可聽聽別人不同看法，也讓自己往多方面考慮，上起課來，較生動有趣，不易打瞌睡。②科學史的教法，由淺入深，循序漸進，較明瞭某一理論的來龍去脈，自然容易理解與記憶。③藉著科學史的教材，認識科學家的背景，佩服科學家的研究精神，感受到科學家由不懂到懂，從摸索中學習，設計實驗得到結果的求知態度。④喜歡上課討論的教學法，腦筋要動得快，才能跟得上老師腳步，被叫起來不至於回答不出來，總是精神抖擻，專心一致。⑤透過科學史，學生學習到科學知識不是一成不變的，它會因人類不斷發現新事實，而不斷修改舊有的知識，在科學裏”真理是越辯越明”，因爲每位科學家都有自己的盲點所在，因此如何站在客觀的立場，亦是十分重要的。⑥科學家們都

具有鍥而不捨的精神氣度，才能為未來的成功鋪造成一條金黃色的道路。綜觀學生感想，教師在教學方面也許該設計更多討論，把教學的主角由老師轉換成學生了。

(3)利用作業，了解學生對科學史中科學家的評價。例如：「第三章熱單元教材裏有眾多科學家，請寫出給你感受最深，或最欣賞的一位科學家，並說明理由。」學生在這題作業的回答各不相同，有①佩服伽利略的研究精神，因他為了了解病情，利用物質熱脹冷縮的性質來判斷冷熱程度，進而製造出第一支「溫度計」，後人再依據他的溫度計，從使用中發現問題，尋找改進，建立溫標，直到今日好用、快速、正確的各式各樣溫度計。②雖然布萊克主張熱質說，卻欣賞布萊克對熱一連串的發現，當時人們分不清「熱量」與「溫度」，他卻透過認真的分析，區分出「熱量」和「溫度」是兩個不同的概念。布萊克還從實驗裏發現了熱容量及潛熱……等，對熱學的發展作出了重大貢獻。③認為焦耳蠻厲害的，為了證明自己的理念，設計許許多多實驗推翻「熱質說」。其實，當時焦耳曾一直猶豫不決究竟要不要發表「存在於熱與普通形式的機械動力之間的一種當量關係」這封信到劍橋召開的英國學會會議上，因當時人們深受布萊克影響而主張熱質說，若要推翻熱質說一定很辛苦，所以焦耳設計許許多多實驗，且一直對自己的實驗做改進，以得到更高的實驗精度，求得熱功當量，打倒熱質說。④不因侖福特是位間諜而看輕他，反而佩服他對科學的執著，勇於懷疑，排除眾議的精神。侖福特比焦耳更早懷疑熱質說，感受到的抵制更大，若非侖福特先質疑熱質說，做了一些實驗得到「熱是磨擦產生」的結論，給焦耳一些啓示，可能焦耳不會從事熱功當量的研究。

八、教師教後感想

試用了此份科學史融入的教材之後，我有一種很深的感受：學生上課的高度參與感是老師的快樂。上課不再是老師專門教授很多的科學知識內容，也不是一味地只有老師在台上講論科學定理、定律，學生在台下被動地接受，如同填鴨式的教育；上課應該利用討論，或提出疑問、反問，再有如抽絲剝繭般地尋找出答案，或把科學家整個實驗過程做探討，知道實驗的來龍去脈，這比單單把定律描述的效果好很多，因為學生探討整體過程，容易了解科學家的思路，清楚其原委，自然容易理解，也容易舉一反三，有助學生學習，碰到練習題或考題較能著手作答，不致於不知如何著手回答問題。這次在接受熱史教材的學生月考成績表現上，雖不是全校第一、二名，但也沒有排名最後。大致與前次月考差不多，可見，使用科學史教材不至影響學生成績，卻能提高學生興趣。

使用科學史的教材時，時間的控制或許是一個問題。起初，我認為若使用這教材，時間一定會延長許多，本來五節課可教完一章，這下子非八節課不可。因有此顧慮，在教學

上將重點放在老師與學生共同探討科學家面對問題時如何進行科學思考的過程，循序漸進地探討，所以容易明白，亦方便記憶，於是一個問題的講論不必花費太多時間，問題接問題的討論，學生不會發生學習混淆，不用在某些問題上停頓太久，因而上課的節奏比預期的快得多。以第三章熱單元而言，我大約花五節半完成教學。

科學史教材固然有其優點，應該也有缺點。例如：(1)史料的記載與留存，似乎西方比東方來得多。應該避免引導學生以為只有西方處理自然現象方式才是真正科學，而阻礙學生對科學本質的了解，或令學生失去從本身社會文化及生活世界尋求科學活動的動機。因此，科學史教材不能一味地偏西方科學史。(2)教師講述科學史之前可能需先構想，安排史料程序，去蕪存菁，否則拖泥帶水，故事了無生趣，反而弄巧成拙。(3)教師基於時間不夠用因素，有時會太簡化歷史或未經謹慎研究便引用科學史，導致學生對科學過程有錯誤了解。（譬如：倫琴發現 X 光被教科書描述為意外發現，其實，倫琴同時代已有其他人發現 X 光）。(4)引用的科學史內容太深奧，學生無法接受，便達不到教學效果。(5)科學史若使用不當，反而讓過時的科學概念加強了原有的迷失概念。例如：布萊克的熱質說可能加強了學生原有熱質的概念。(6)科學史不是萬靈丹，只提供學生認知上的理解，非實驗操作上的理解。

使用科學史的教材，好比使用某種產品。任何產品總有其優缺點，也有其特色或強調的重點。以化妝品為例：有強調美白的，有強調保濕的，或防止老化，去角質的……一大堆。同樣地，以科學史為主的教學乃眾多教學法之一，它非唯一教學法，卻可提供教師另一種教學法。今天，我試用之後，告訴各位讀者說：科學史真的不錯。並想建議那教書多年，每年需面對相同教材卻感到倦怠的理化老師們：何不給自己一個突破，嘗試將科學史編入教材裏，使自己的教學更生動有趣呢？

（本文乃參與洪振方教授國科會 NSC 87-2511-S-017-012 計劃後完成,特此致謝！）

九、參考資料

1. 器材部分

(1) 儀器圖片部分

- ① 瑞光儀器有限公司(民 85):中村理科機器。瑞光儀器有限公司。
- ② 春辰有限公司(民 86-87)：島津理化學器械。春辰有限公司。
- ③ 新芳良化工原料儀器有限公司：科學儀器實驗器材綜合目錄。新芳良化工原料儀器有限公司。

(2) 錄影帶部分

佐鋒企業有限公司：自然科學力學實驗集，10-12 集。佐鋒企業有限公司。

2. 參考文獻

- (1) 金吾倫 (民 82)：科學發現的哲學。水牛出版社。
- (2) 李執中等譯 (民 84)：科學方法新論。桂冠圖書公司。
- (3) 郭奕玲 沈慧君著 (民 85)：物理學演義。凡異出版社。
- (4) 郭奕玲 沈慧君編著 (民 84)：經典物理發展中的著名實驗。凡異出版社。
- (5) 郭奕玲 沈慧君著 (民 83)：物理通史。凡異出版社。
- (6) 洪振方 (民 86)：科學史融入科學教育之探討。高雄師大學報，第八期，p.233-246。
- (7) 陳淑媛 (民 86)：融入科學史於高中基礎理化教學之行動研究。國立高雄師範大學科學教育研究所碩士論文。
- (8) 陳育瑛 洪振方 (民 87)：以熱學思想史的動態過程探究科學理論的建構及教學上的啟發。科學教育月刊，第 209 期，p.2-11。
- (9) 國立編譯館 (民 86)：高中化學第一冊。台北，國立編譯館。
- (10) 國立編譯館 (民 86)：高中基礎理化上冊。台北，國立編譯館。
- (11) 傅麗玉 (民 85)：科學史與台灣中等科學教育之整合-問題與建議。化學教育面面觀，師大中等教育輔導委員會，p.170。
- (12) 劉昭吟 (民 86)：拉瓦謝 (書評)。中國時報，開卷周報第 41 版。
- (13) 張世忠 (民 86)：討論教學的技巧與發現。科學教育月刊，205 期，p.2-8。
- (14) Matthews, M.R. (1994). Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science. New York: Routledge, p.7。

科學教育月刊全年 10 期 (7、8 月休刊)，自八十七年九月 (第 212 期) 起收代印費及郵資全年 500 元。

帳號：1 2 2 8 5 2 4 1

戶名：國立臺灣師範大學

科學教育中心

