

---

# 運用科學史傳達科學本質之教學實務探討——以簡單機械單元為例

林淑枋<sup>1\*</sup> 劉聖忠<sup>2</sup> 黃茂在<sup>3</sup> 陳素芬<sup>4</sup> 張文華<sup>5</sup>

<sup>1</sup>國立交通大學 教育研究所暨師資培育中心

<sup>2</sup>國立東華大學 科學教育研究所

<sup>3</sup>國家教育研究院籌備處

<sup>4</sup>國立臺灣科技大學 技職及教育研究所

<sup>5</sup>國立臺灣師範大學 科學教育研究所

## 摘要

本文旨在藉由科學史探討科學本質之教學實務。首先，從檢視學生對科學的迷思與課程改革趨勢，說明科學本質融入教學的重要性。而後，介紹國內外科學教育學者對中小學教學應傳達哪些科學本質概念，以及運用科學史之教學模式。最後，以國小簡單機械單元為例，說明如何蒐集和使用科學史料傳達科學本質。

**關鍵詞：**科學本質，科學史

## 壹、背景

國內科學教育學者從 TIMSS 國際比較研究中，發現我國學生雖在科學學習成就方面表現頗佳，但科學學習自信卻明顯不足(邱美虹，2003)。加上近年來的學術及商業活動中，合作已是明顯趨勢(Johnson & Johnson, 1994)，因此『區塊研究——促進學生 3C 素養科學課程發展與實施計畫』(簡稱 3C 課程區塊研究計畫)希望透過五種科學教學取向，培養中小學生的 3C 素養——科學能力(Competency)、合作(Cooperation)與自信(Confidence)。欲達成此目標，需從課程目標、教學理念、教師專業發展、教學與評鑑材料發展、到整個

課程實施，進行整體檢視及系統探討。3C 課程區塊研究計畫中包括六個整合型計畫，其中五個為課程發展的整合型計畫，另一個是評量類的整合型計畫。各課程發展計畫皆針對培養學生特定的 3C 內涵為目標來研發課程教材。其中，科學本質計畫即是透過研發彰顯科學本質的教材與教師專業發展的方式，提升教師融入科學本質的教學能力，使學生發展適切之科學本質觀。

彰顯科學本質的教學方式有很多種，例如透過探究活動、科學對話和科學史等。其中，科學史濃縮了科學知識發展的歷程，它不僅能呈現醞釀科學家創造新知識的社會背景，也能獲得當時科技發展與需求的資料。教師運用科學史能有效展

---

\* 為本文通訊作者

現科學本質的內涵，矯正學生既有的科學迷思(註 1)，亦能提供學生情意面向的學習。因此，科學史可作為傳達科學本質的重要媒介。本文先闡述學生對科學的迷思，說明科學本質融入教學的重要性。而後，指出國內外科教學者建議中小學教學應傳達的科學本質觀與運用科學史的教學模式。最後，以國小簡單機械單元為例，說明如何蒐集和使用科學史料傳達科學本質。

## 貳、學生對科學的迷思

由於目前的科學教學偏重於知識的傳輸，而科學實驗課則傾向程序性、不可犯錯的實驗活動，主要功能為確認概念的正確性，學生從中較難獲得想像與發現的樂趣。因此，常導致學生對科學的瞭解與真實科學不符，甚至減低科學學習的興趣。巫俊明(2002)指出學生對科學有三類的迷思概念，第一類的科學迷思是與科學家形象和科學方法的特質有關，第二類的科學迷思是與科學知識的本質有關，第三類科學迷思是與科學、社會間的交互作用有關。以下說明此三類迷思，並逐一舉例闡述。

### 一、與科學家、科學方法有關的迷思

科學家常被認為是公正、客觀及理性的人，能運用可靠的方法解決問題，探索大自然的奧秘。若將科學史融入教學，有助於學生了解科學家並非理性、公正、毫

無偏見的天才，他們也曾被自己所堅持的理論所引導或誤導，影響他們在實驗數據上的取捨與詮釋。例如孟德爾(Gregor Johann Mendel, 1822－1884)從豌豆交配的實驗中歸納出古典遺傳定律。然而，他將豌豆交配的數據與他預期互相比較，發現有不符之處，而將其視為誤差。後來莫爾根(Thomas Hunt Morgan, 1866－1945)探討這些誤差造成的原因，發現誤差是染色體在減數分裂時，染色體交叉，交換了基因造成的結果。換言之，孟德爾所捨去的數據其實具有重大的科學意義。莫爾根就是據此推算出基因在染色體上的位置，而繪出染色體的基因圖譜。另外，科學家也可能提出錯誤的理論，例如拉馬克的用進廢退說，湯姆生以葡萄乾土司說明電子在原子中的排列。這些事例可使原先對科學不感興趣的學生激起學習的動機，去除科學缺乏人性的迷思(dehumanity)(巫俊明, 2002)。

另外，目前的實驗課常讓學生認為科學方法就如同食譜般，有一定的流程步驟，輕忽了提出假設、實驗設計等創造的歷程。殊不知真實的科學研究未必只有一種方法解決問題，甚至也沒有固定的研究流程。科學的方法不僅止於觀察、分類、測量…等過程技能，這些僅呈現了科學家有系統地收集所觀察現象的一部份工作，並不能代表獲得知識的所有方法(例如邏輯推論、創造力等)(許良榮和李田英, 1995)。舉例而言，伽利略(Galileo Galilei, 1564－1642)對當時信奉亞里斯多德學說

(受外力越大的物質，運動速度越快)的學者們提出一個問題：大石頭、小石頭、和大小石頭用線綁在一起，三者同時自由落下，何者先落下？他們依據亞里斯多德學說進行推論，卻產生兩種答案，無法說明大小石頭綁在一起應先於大石落下，或是介於大、小石頭之間落下。伽利略便是藉由論證的方式說明自由落體的速度與質量無關，而非基於實驗數據。歷史上許多科學革命是經過數學推演及分析所致，未必是以觀察為根據的經驗論觀點(Matthews, 1992)。換句話說，僅強調過程技能的科學課程未必有助於學生建構這部分的科學知識，科學史反而能補其不足之處。

## 二、與科學知識的本質有關的科學迷思

學生常認為科學的事實、定律和理論是科學家偉大的發現。這些科學知識是不會改變的(巫俊明，2002)。這類的迷思主要是受到當今科學教育強調驗證知識所致，而忽視了科學知識如何產生的歷程。因為如果沒有說明科學家如何產生科學理論／知識的情境，學生容易誤以為科學知識是常態、線性累積的歷程。事實上，知識亦具有跳躍性、革命性的發展特性。例如由牛頓力學跳到量子力學或相對論。科學史具有濃縮科學知識發展過程的功能，將科學史融入教學可協助學生了解科學如何發展，以及科學家是如何思考問題(Duschl, 1990)。總之，學生需從科學史上了解科學概念及方法學的改變，才能真正

了解科學知識的本質(許良榮和李田英，1995)。

## 三、與科學、社會間的交互作用有關的科學迷思

學生常以為科學是與社會、人群獨立發展的，殊不知社會、文化、宗教與政治常常影響著科學研究，而科學研究結果也會對社會造成深遠的影響。例如哥白尼提出的日心說，造成以地心說為思考主軸的宗教理念，對創新知識產生矛盾與衝突。反之，社會政治亦會藉由經費補助和立法等因素，主導著科學研究的方向。除此之外，科學史也可提供學生有關科學家如何透過直覺或想像力的過程，協助學生了解科學家如何突破科學研究的困境，有助於培養學生科學研究的態度。透過科學史，學生可瞭解科學家所處的文化與政治氣氛，如此才能瞭解科學與社會文化是不可分割的。

許多教師誤以為科學史只是提供學生一個故事，講述科學家的生平、年代、與歷史事件。事實上，融入科學史的教學需教師對科學史有深入認識，並經歷科學思考。研究發現科學史上曾出現的許多想法，正是學生所持的迷思概念(Clement, 1983; McCloskey, 1983)，科學知識的發展歷程常與學生科學概念的學習歷程很相似。學生概念的重建也與科學革命相似(Carey, 1985)。因此，教師可以藉由科學知識的發展了解學生可能的困難，及可能的另有概念，運用合適的課程規劃，引

導學生做正確的思考與概念改變。所以，科學史不僅幫助我們了解科學概念產生的情境，也提供我們科學概念學習順序的判準(Sanchez, 1989)。總之，在教學實務上，科學史有助於預測學生的迷思概念，協助教師設計教學。

### 參、中小學科學教學應傳達之科學本質觀

教師應如何教科學才能適切反映科學的面貌，破除學生對科學的迷思，是二十餘年來科學教育領域專注的問題之一。McComas 和 Olson(1998)分析歐美國家主要的科學課程文件，了解各國如何描述科學，及各年段的科學學習目標。分析結果顯示美國科學素養基準(Benchmarks for Science Literacy) (American Association for the Advancement of Science, [AAAS], 1993)、加拿大教育部提出的共同架構(Common Framework) (Council of Ministers of Education, 1996)，以及澳洲課程協會提出科學上的聲明(A Statement on Science) (Curriculum Cooperation, 1994)均關一個章節說明科學本質。我國也於 2000 年將科學本質列為九年一貫課程「自然與生活科技」學習領域中的一項科學素養。而紐西蘭的國家科學課程標準中，雖無一個章節專門討論科學本質，但是，他們和美國科學教育標準(National Research Council, 1996)一樣，都是將科學本質內含於課程標準的內文中。英國的科教改革文件中，也指出需將科學本質納入科學課程

中(Lederman, 2007)。這些主要的課程改革都特別涵蓋科學本質，其共同原因是承認未來公民應具備科學素養。而要有科學素養就一定要瞭解什麼是科學、如何形成科學知識、科學的限制、科學與社會的關係等等。換言之，科學本質是培養學生科學素養的要素。然而，過去的研究顯示國內外科學教師對科學本質的了解是有待加強的(郭博嵐，2005；Lederman, 1992)。教師的科學教學是影響學生理解科學面貌的重要來源，協助教師在科學教學中展現科學本質，是科學教育者值得努力的方向。

那麼到底國中小階段應該涵蓋哪些科學本質概念呢？Abd-El-Khalick(2005)認為科學本質具有多重面向、複雜性，以及動態性的特質。科學哲學家、科學史學家、科學社會學家、和科學教育者亦認為無法給予科學本質特定的定義。但是，應提供中小學生了解專家們有一致共識的部分(Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar, & Duschl, 2003)。所以，有些科教學者提出七項與日常生活相關、適合中小學生學習、應在科學課程中多強調的科學本質觀點。這些觀點為 (一)科學知識的暫時性，意即科學知識可能會改變，簡稱暫時性。(二)科學知識具有實徵性 (科學知識基於自然世界的觀察，簡稱實徵性)。(三)科學知識是主觀的(理論蘊含的)。(四)科學知識大部分是人類推論、想像、創造出來的產物，包括對解釋的創造 (簡稱想像力與創造力)。(五)科學知識受社會與文化影響。(六)觀察與推論的區別。(七)理論與定律的

功能及關係 (Abd-El-Khalick, Bell, & Lederman, 1998; Akerson, Abd-El-Khalick, & Lederman, 2000)。除此之外，郭博嵐和劉聖忠(2005)分析國內外文獻中科學本質的內涵，歸納出「大自然現象」和「科學知識」兩大類的科學本質關鍵概念 (tenet)。例如大自然現象具有一致性、可預測性、和因果關係。科學知識不是真理，科學知識具有可驗證性、持久性、和可複製性，以及科學知識追求最大普遍性等。劉聖忠(2007)將九年一貫課程自然與生活科技學習領域科學本質能力指標進行詮釋後，發現在國小階段的科學本質能力指標，含括科教學者們常強調的科學本質關鍵概念，包括觀察是理論蘊含的，追求最大普遍性、一致性、因果關係、可驗證性、可複製性、可預測性、持久性和暫時性。相較於國外學者所建議中小學課程應涵蓋的科學本質概念，九年一貫課綱中的科學本質能力指標似乎較著重於科學知識的特性，對於科學知識形成的過程（包括人類、社會、與文化等的相關性、觀察與推論的區別、理論與定律的功能及關係）較為缺乏。這可能是國內長久以來，科學課程著重於科學內容知識與科學過程技能所致。值得未來課程發展者思考，如何兼重科學知識的特性與科學知識形成的過程兩大部分。

#### **肆、運用科學史的科學本質教學**

科教學者曾提出一些科學史融入科學教學的策略，其中以互動式歷史小故事

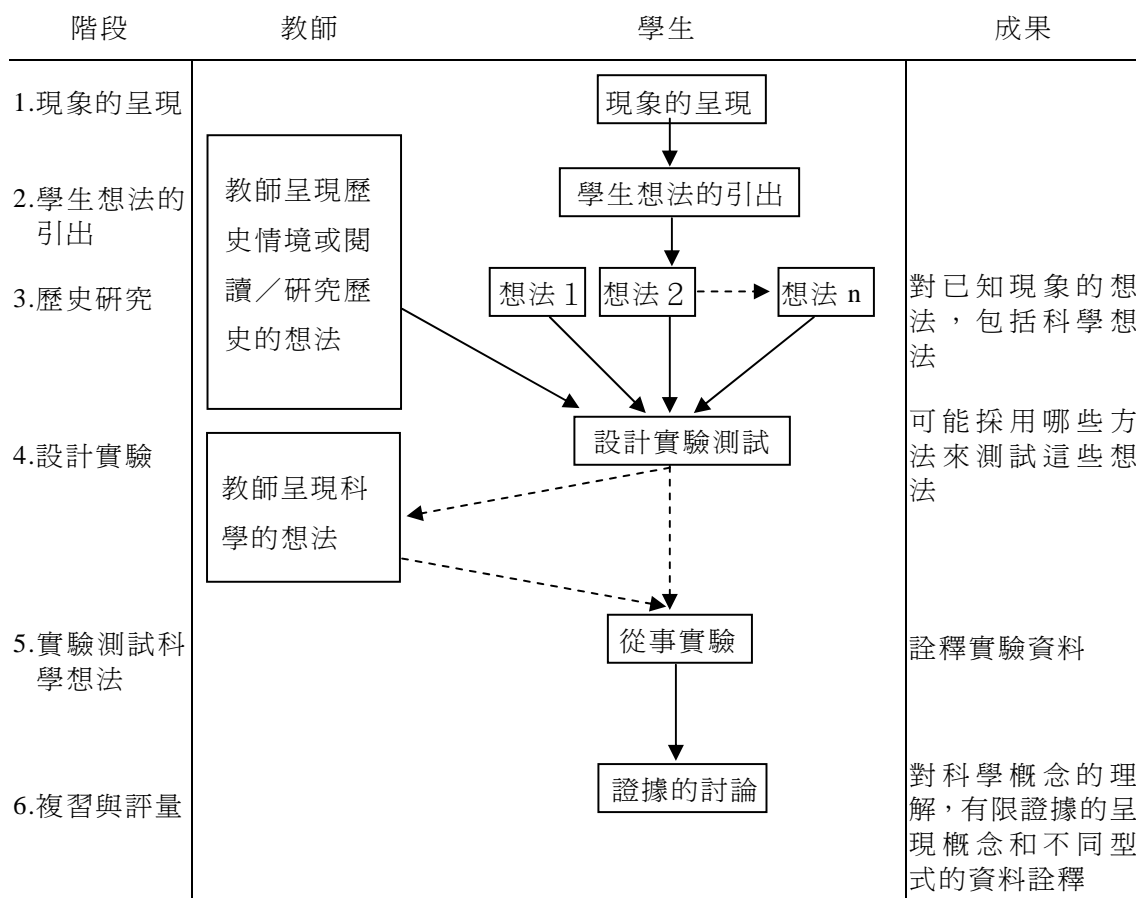
(interactive historical vignettes)與歷史個案研究(historical case study)最常被用來傳達科學本質。互動式歷史小故事能透過科學與科技的傳記，促進學生對科學與科技領域的了解，明白專有名詞的由來，以及了解科學本質的複雜性(Wandersee & Roach, 1998)。互動性歷史小故事也常設計成對立的雙方(binary opposite)，引發衝突，以誘導學生產生問題和解釋，增進學生概念的理解(洪振方，1998)。然而，互動式歷史小故事常由少部分學生閱讀科學史故事，以劇本方式發表於班級中，可能塑造其他學生對科學家的刻板印象。此種策略對於科學態度的養成、個人與社會在科學知識形成過程的理解，可能產生概括的理解。但是，對於科學知識的特色卻較難呈現。另外，教學設計所創造出來對立的雙方，也可能造成學生對科學發展史的誤導，教師在教學宜特別說明。

而歷史個案研究特別是指某一個事件、某一個發現、或某一個科學家的成就，說明事件發生的前因後果。教師在教學時特別需要聚焦於科學發展的歷程，在關鍵處以 6W (What, Why, Where, Who, When, How)的問題提醒學生思考 (邱明富和高慧蓮，2006; 高慧蓮，2006)。歷史個案研究著重於科學家如何取得證據與解釋的過程，特別能呈現科學知識形成的過程 (Irwin, 2000)。相較於互動式歷史小故事，歷史個案研究缺乏戲劇所營造的生動情境，需要教師運用多元的教學策略，引發學生學習興趣。

然而，許多的證據顯示，有效的科學本質教學並非由於科學史的教學策略，而是在教學中需有明示(explicit)和反思的特徵 (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002)。明示是指在教學設計著重於特定的科學本質概念，將其當作教學目標(劉聖忠，2007；Clough, 2006)。反思則是協助學生將所經歷的活動與教學目標的科學本質概念做連結。而 Clough(2006)更強調在探究情境中理解科學本質的重要性。也就是學生需有與科學史相關現象的探究活動，輔以科學

史的例子，能使學生將自己的探究經驗類比於科學家的經驗，進而認同其過程所意識到的科學本質觀。其中，Monk 和 Osborne (1998)所提出的科學史融入教學的模式(圖一)，不僅著重於歷史個案的研究，也兼重探究活動。因此，本文特別介紹此模式。

Monk 和 Osborne (1998)認為科學史融入課程教材必須能與教師的教學目標一致，並且科學史的融入需直接有助於學生的概念學習。教材設計需著重於學生的另有概念和科學發現的歷史及文化情境。科



圖一：科學史融入教學的模式(Monk & Osborne, 1998)

學史故事的品質也常影響教學目標能否順利達成。好的科學史故事常常是與人物、他們的勇氣、發明才能、和希望有關。所以，故事需以社會歷史情境為主軸，介紹主角當時發生之事，包括在介紹科學家的想法時，先說明他所面臨的困難，發生什麼事讓他有新的想法？例如哈維(William Harvey, 1578 – 1657)為何會提出循環理論？幫浦最早是何時發明？如果你從未看過幫浦，你有可能會這樣想嗎？為何當時的科學家接受怎樣的看法呢？為何人們會轉而相信哈維創新的想法呢？

Monk 和 Osborne (1998)提出運用科學史哲進行教學的六個階段(圖一)。他認為每一階段教學應著重於不同的細節上，例如第一階段需吸引學生專注於現象的問題上。第二階段著重在收集學生的想法，可運用簡單的問題、概念圖、語詞聯想、繪圖、事例討論等方法。另外，鼓勵運用小組討論，讓學生更投入，引出他們的概念。第三階段應呈現過去對此現象的想法，當時經濟、社會、政治的情況，提供背景資訊。藉由提供不同科學家互相競爭的資料(沒有必要提出教科書的現代版本)，對歷史資料做一些討論和探索，增加歷史觀點的了解。或者，依時間和事件分類提供精簡年表。教師可以口頭呈現或提供文本、多媒體教材，讓學生小組合作，甚至讓學生做簡短的發表。第四階段教師應呈現歷史和當代的兩種想法，由每一組學生決定它們接受哪一種想法，並想辦法設計實驗，驗證他們所支持的想法。在此階段，

教師須知五項要點：(一)現象是可被研究的。(二)當班上不同學生對現象怎麼發生和為何發生想法不一時，應適時彙整學生不同的想法。(三)過去人們也有與學生相同的想法。(四)過去的歷史情境中，人們怎麼面對這個現象。(五)學生習慣用哪些實驗驗證他們的看法。第五階段則需引入教科書中的現代觀點。需由教師以較短、正式的上課方式，呈現一個觀點如何演進到另一個觀點。而不是強調單一、無疑問的觀點。並且著重於證據的詮釋，讓學生了解同一現象而有不同解釋的原因。第六階段需考量證據的影響，可藉由小組討論或報告。著重於科學家做了什麼，為他所提出的想法提供證據，以作為科學史的結尾。

六階段式的教學模式雖然內含許多科學本質概念，但教學過程中並未指出這些概念。根據 Akerson, et al. (2000)和 Clough (2006)的研究，科學本質在教學中倘以暗示的方式呈現，學生未必能了解科學本質在教學中的內涵。所以，Monk 和 Osborne 的教學模式若能進一步明確地說明科學史中有關科學本質的概念，將可幫助學生將史料與科學本質連結。以下將以國小簡單機械單元，說明如何使用科學史，明確地傳達科學本質的關鍵概念。

## 伍、科學史融入教學的範例—以簡單機械單元為例

關於科學史融入教學，教師在實務上遇到的第一個問題是如何選擇材料。科學

史既多又廣，本範例所依據的原則，或可供教師參考。首先，在對應的科學理論發展之前，人們就可能發現自然界中有一些規律性，或是在科技應用上已經有一些發展。這些很適合用來說明科學本質中的一致性、可複製性等概念。本範例就是大量用簡單機械的古代科技史料，傳達科學本質中科學知識的特性。第二，科學原理被提出來的過程和背景，可呈現可驗證性、可預測性、科學假設、理論蘊含的(theory laden)，以及科學、科技與社會相互影響的關係。第三，一個小活動中不宜融入過多的科學本質概念，避免認知負荷過重。最後，需讓教師注意運用科學史進行教學也有些限制與問題。許多史料在編寫過程嚴重被過濾，所呈現的樣貌可能已經被賦予某些刻板印象，科學故事的真實性令人質疑。尤其為兒童編寫的科學史故事最為嚴重，宜謹慎選用。以下我們先就科學本質關鍵概念進行說明。之後，利用簡單機械的範例，提出如何運用科學史教材傳達科學本質的關鍵概念。

劉聖忠(2007)指出由於大自然現象有著統一的秩序，這種秩序並不隨著時間、空間、人類文化的不同而改變，具有重複出現的一致性。另外，大自然現象的呈現具有因果關係。當我們在觀察或實驗時，研究結果可被預測、可被驗證、甚至不斷地被複製。這些均說明科學知識具有可預測性、可複製性，以及可驗證性。然而，科學知識是由科學社群對大自然現象觀察的詮釋，科學家受到個人經驗的影響所做

的觀察是理論蘊含的，也是科學家想像力與創造力的結晶。由此可知，科學知識的形成過程多少有科學家主觀的想法。為了降低人為主觀想法所造成的偏執，科學家所提出的知識，需有可信、有效的研究設計，支持的證據，與合理的解釋，以提升科學知識的客觀性。因此，科學家所提出的知識，需要經過科學社群的檢驗，甚至討論而得共識。因為是共識，不是絕對的真理，所以科學知識具有暫時性的特質。由此可知，科學本質的「客觀性」與「主觀性」應被視為一種平衡，而非衝突。同時，科學家對現象所提出的理論／知識，是期望能涵蓋更廣的範圍，也就是在追求最大的普遍性。所以，從科學史的角度觀之，科學知識可維持一段相當長的時間，具有持久性。

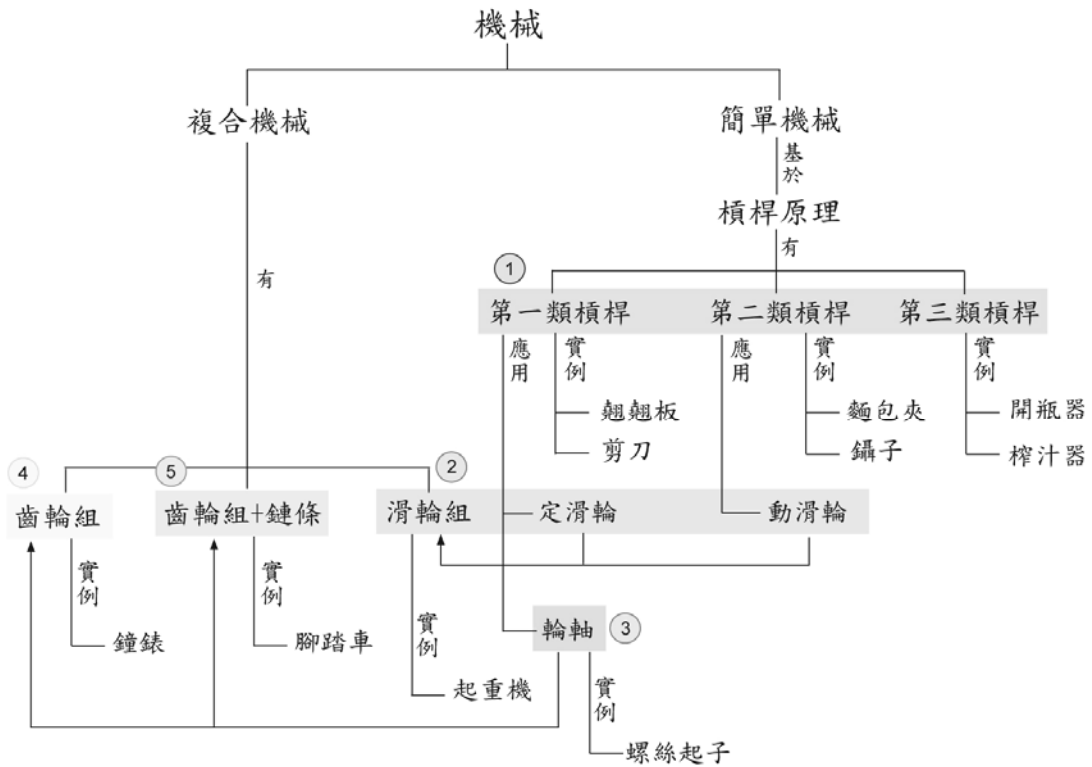
通常我們在運用科學史料時，可將提出理論的科學家當作教學設計的主軸。以人物故事呈現較能吸引學生的學習。在本範例中，我們選擇阿基米德發現槓桿原理的歷史故事。基於「科學史融入課程需以直接有助於學生概念學習」之理念，在設計課程時，可先畫出單元的概念圖，依據選定的科學史主題，展現科學本質中特定的關鍵概念。教師亦可依據時間的長短，選擇符合特定教學目標的科學史進行教學。其中，科學史融入教學的方式非常多種，例如歷史個案研究、歷史調查研究、互動式歷史小品、角色扮演、歷史對話、探訪科學古蹟或參觀博物館、重複科學史上的重要實驗等方式。選擇融入科學史的



方式則需考量教學目標、學生程度、上課時數與考試壓力 (洪振方, 1998)。教師需依其特定的教學目標選擇合適的科學史融入方式。若欲使學生經驗知識的發展過程，瞭解科學家是如何經過一番爭辯，才獲得現代所接受的理論，歷史個案研究、互動式歷史小故事、或歷史對話方式便較為合適，例如拉馬克和達爾文的演化理論，哥白尼的日心說與當時大眾接受的地心說即屬此類。如果單元內容主要介紹某一個重大科學發現、科學家特殊的實驗設計、科學思考等，利用歷史個案研究，歷史調查研究，重複科學史上重要的實驗，

及傳記閱讀等都是值得推薦的方式。

在選定主題後，需多方收集資料。科學與科技百科全書、博物館展示品、簡介手冊、書籍、影片、科學家故事、及網路資源等，都是協助教師在課程規劃時期進行歷史調查。教師可依據學生的程度選擇合適的資料，編制學生課後閱讀或歷史調查的活動。甚至可結合部落格或網頁設計，提供學生另類的科學探究活動。以國小簡單機械單元為例，教師可先畫出簡單機械單元概念圖(圖二)作為規劃科學概念與科學本質教學的藍圖。



圖二：簡單機械單元之概念圖

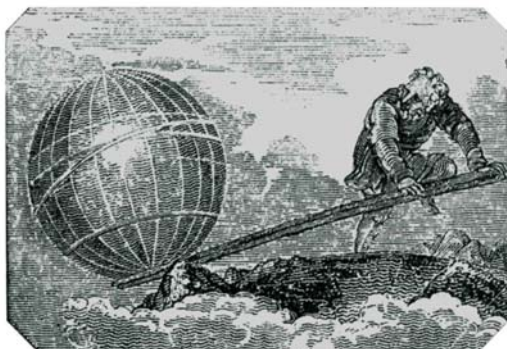
畫出概念圖，有助於教師規劃課程。例如圖二中①～⑤標示五個課程主題與建議的課程順序。課程順序是由淺入深的概念逐漸建構，後面的概念是奠基於前面的基礎概念。學生可依據此概念圖逐漸建立簡單機械的整體概念，而非片段知識。在簡單機械單元中，以發現槓桿定理的阿基米德(Archimedes, 287 BC - 212 BC)為本單元的主角，他的名言可引發學生的好奇、思考這句話的合理性，瞭解科學的假設。選擇與槓桿原理相關事例和科技器具設計為概念引入、概念探索、和概念應用的內容。在教學時，鋪陳當時的歷史背景、社會、和科技的狀況，其中展現阿基米德所提出的槓桿原理，並驗證此原理的經過。透過歷史個案研究古代器具的過程中，運用 6W 的關鍵問題和探究活動傳達科學本質中的可驗證性、一致性、可預測性。同時，也能窺探將問題數學化的思考過程，強調數學在歸納推論思考過程中扮演著簡化問題的重要性。以下則一一說明如何運用科學史素材傳達科學本質的關鍵概念(表一)。

例如，教師可藉由阿基米德的名言「給我一個立足點，我就能移動地球。」配合圖片(圖三)可引發學生思辨這句話的合理性，進而理解科學的假設。此階段則為第一階段：現象的呈現。並藉此進入第二階段，引出學生的想法。學生可利用隨手可得文具，驗證阿基米德的假設。例如長尺(槓桿)、鉛筆盒(重物)，和支點(橡皮擦)進行測試。此為設計實驗與驗證想法的

階段。最後，透過歷史研究的階段，探討阿基米德發展科學知識的過程。阿基米德當時曾在世人面前挑起一艘大船，驗證了他的槓桿原理。可藉由這段科學史事例傳達「可驗證性」和「可預測性」。史料中甚至有繪製「阿基米德的爪」(圖四)記錄此事例(Hakim, 2004)。然而，後人並沒有人知道當時阿基米德如何提起一艘大船。於是，現代的工程師想像阿基米德利用槓桿與滑輪組抬起大船所繪製的圖片(圖五)(Hakim, 2004)，提供這張圖片有助於營造出當時阿基米德驗證槓桿原理的歷史場景。

表一：簡單機械科學史素材與科學本質關鍵概念之參考表

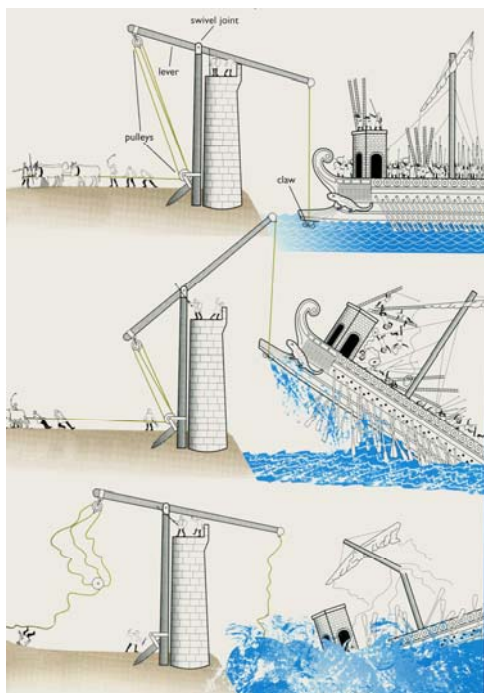
科學史素材	科學本質關鍵概念
「給我一個立足點，我就能移動地球。」	可驗證性(科學的假設)
阿基米德的爪	可驗證性，可預測性
古代器具	一致性，可複製性
古代器具與現代器具的比較	一致性，可複製性
阿基米德從古代器具發展槓桿原理	觀察與推論，可預測性，科學、科技與社會的相互影響
中西文化的古代器具的相似性(水運儀象台)	一致性，可複製性



圖三：阿基米德名言之示意圖



圖四：阿基米德的爪



圖五：現代工程師想像阿基米德的實驗

此範例欲營造阿基米德如何從生活器具的使用，發展出槓桿原理的過程。因此，從科學類與科技類百科全書(袁淑娟譯，2004；劉京勝等譯，2003；特雷弗 I. 威廉斯，1991)(註 2)、網路上中、英文版的維基百科、國立自然科學博物館中國科學廳所出版的各種簡介等，可蒐集到許多古代各式各樣的生活器具，這些圖片可提供學生辨識支點、施力點、抗力點等在器具使用上意義，作為評量他們對槓桿定理的理解。教師可引導學生藉著觀察支點與施力點、抗力點相對的位置，將這些器具分成三類，並體驗各類器具使用上的一致性(例如屬於第二類槓桿的器具較費力，屬於第三類槓桿的器具則較省力)。而同一類槓桿原理運用於製作成不同的器具，也可得到相同的效果，由此可解釋概念的「一致性」與「可複製性」。而且，學生也可從過去與現代器具的相似性，瞭解現象「一致性」之意涵。

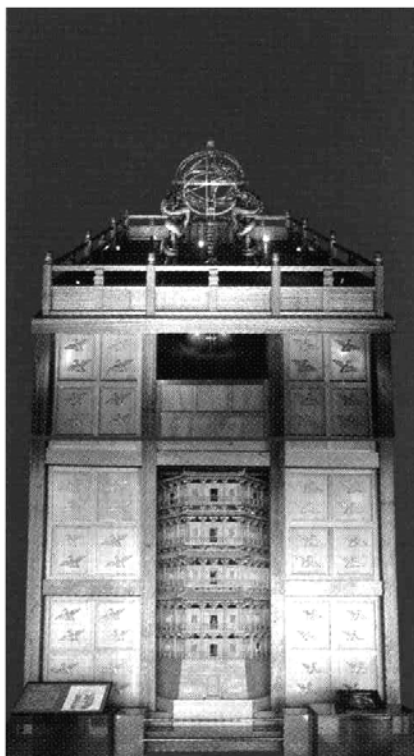
在阿基米德時代，人們除了有上述三類槓桿的器具外，他們還運用定滑輪和動滑輪協助他們工作。這些簡單機械是因為阿基米德發現槓桿原理後，才有這些器具的發明，抑或先有這些器具，阿基米德才發現槓桿原理呢？此時，提供學生進行歷史調查，有助於破除學生的迷思概念—先有科學原理的發現，才有科技的發明。學生常誤以為科技是應用科學知識的產物。事實上，阿基米德觀察人們使用簡單機械的現象後，發現這些現象所呈現的一致性—這些現象都具有不動的點(支點)，以及

施力處、抗力處。而且，他利用數學和符號簡化問題，經過精密的計算，發現了簡單機械運作的基本原理—槓桿原理。藉著槓桿原理的運算，他才敢大膽地預測他需要多少人力抬起大船。此事例可傳達科學具有「可預測性」。另外，阿基米德也將槓桿原理運用於滑輪上，改進了滑輪組（周啓文譯，1999）。這些都是科學知識的發現／發明促進科技進步的例子，可傳達科學與科技常常是交互影響著彼此的演進。

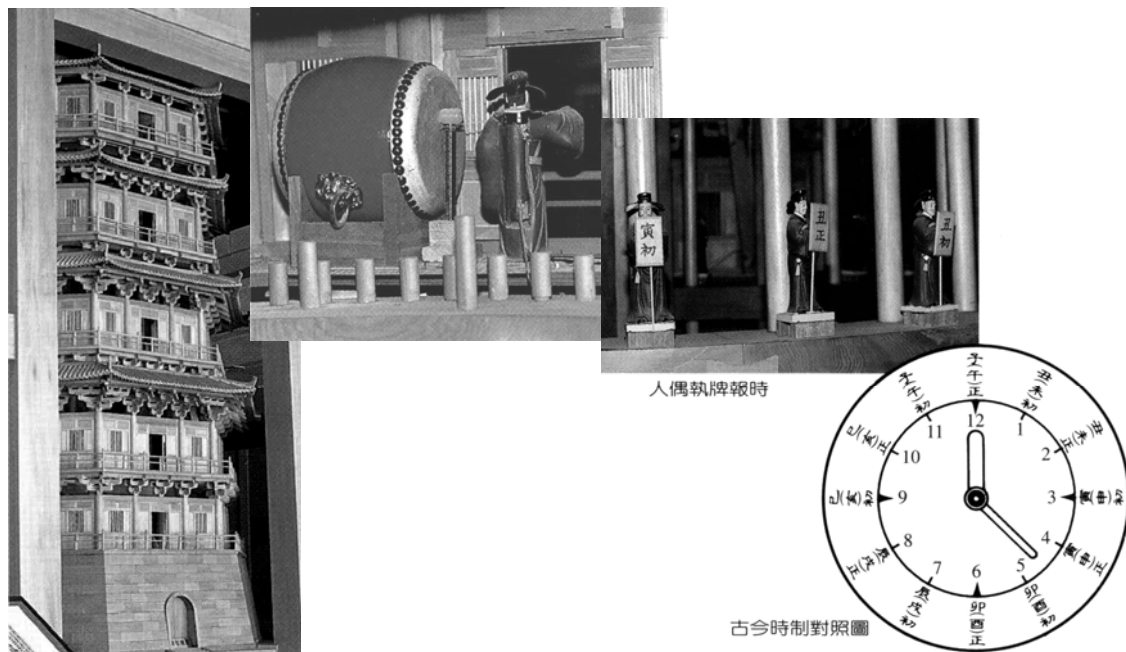
簡單機械除了槓桿和滑輪之外，輪軸也在古代生活佔有關鍵的地位，從車輪的發展史（袁淑娟譯，2004；劉京勝等譯，2003），可以發現輪軸除了運用在交通工具上，它還有許多其他用途，包括製作手拉坯的轉輪，船上起錨的絞盤，甚至磨坊等（袁淑娟譯，2004）。然而，輪軸也是槓桿原理的應用，符合第一類型的槓桿，甚至可引導學生探討絞盤上船員施力的柄，做得那麼長的原因，增進槓桿原理運用於輪軸上的理解。另外，運用水力推動輪軸的例子（特雷弗 I. 威廉斯，1991），可說明驅動輪軸轉動的水流與輪軸轉動方向雖不盡相同，但是，驅動輪軸轉動均是施力於輪軸頁面上的水流，轉動的方向是由水流施於輪軸頁面的垂直分力方向所決定，轉動的速度則由輪轉頁面單位面積上的垂直分力大小成正比。這也說明了各種現象所呈現出的「一致性」。另外，公元四世紀早期在羅馬巴伯格爾小山坡上所建造的磨麵粉工廠，利用兩套各八個水輪的設計。八

個水輪源泉相同的設計，使其運轉完全一致，可用於傳達科學本質的「一致性」與「可複製性」（特雷弗 I. 威廉斯，1991）。其中，每一具水輪的軸連接著兩個互相垂直的齒輪，驅動上方的研磨石，磨碎穀物製成麵粉。

古代齒輪組常用於改變轉軸的運動方向，大小齒輪不同的搭配，亦可影響齒輪的轉動速度。水運儀象台便是中國古代科技中運用水力驅動各種轉輪、齒輪的偉大發明。水運儀象台（圖六）由上而下分為渾儀、渾象和晝夜機輪三部分，分別具有天象觀測、天象運行、和報時裝置。其中，報時裝置是五層樓的報時木閣，每一層樓分別有人偶執牌報時，甚至利用人偶搖鈴、扣鐘、擊鼓不同的聲響代表不同的時刻（圖七）。另外，渾象是古代中國人根據天文觀測的結果所製造出模擬天體運行的儀器，它將太陽、月亮、二十八宿等天體以及赤道、黃道都繪製在一個圓球面上，讓人們不受日夜時間的限制，可隨時瞭解當時的天象。所以，即使是白天也可知道星星和月球所處的方位。渾象一天運轉一週的速度演示著天象的運行。最上層的渾儀是中國古代用來測量天體位置的儀器，它是水運儀象台中唯一不受中央轉軸控制的部分。教師運用水運儀象台的構造圖（國立自然科學博物館，2001），可作為本單元的總結或評量活動，提供學生辨識水輪、輪軸、和齒輪的機械構造，也可說明科學知識（槓桿原理）的特性。



圖六：水運儀象台



圖七：水運儀象台之報時裝置

本範例乃是針對國小高年級課程做說明。對於中學課程，教師們可參考Irwin(2000)有關週期表與原子論的範例。

## 陸、運用科學史傳達科學本質的教學與一般科學教學的差異

一些教學經驗豐富且具有探究教學能力的教師，在進行國小自然科教學時，常認為利用日常生活的器具便能將三種類型的槓桿介紹清楚，再配合實驗活動，便能理解簡單機械的概念。為何教師需要費心思將科學史融入教學呢？持這種想法的教師大多數存著促進學生概念理解為主要教學目標，卻常常忽略將科學本質融入教學中也是重要的教學目標(Abd-El-Khalick & Lederman, 2000)。另外，若教師能理解科學本質的內涵，亦具備傳達科學本質的教學知能，運用探究教學應可傳達大部分科學本質的關鍵概念。唯獨科學知識的暫時性、科學知識受社會、文化影響，以及科學知識需要科學家的想像力與創造力，甚至毅力與專注力等，需透過科學史融入教學，較能有效地傳達。教師花些心思營造科學家當時的社會情境，提供學生想像、甚至模擬科學家解決問題、發現或創造知識的歷程，不正是體會科學家如何思考的一種學習方式嗎？或許您所營造的科學家故事正一點一滴地啟發著好幾位未來的科學家。

### 參考文獻

巫俊明(2002)：運用科學史增進學生對於

科學本質的了解。國教世紀，199，61-68。

周啓文譯(1999)：站在巨人肩膀上一史上最偉大的 12 位科學家。台北：先覺。

邱明富和高慧蓮(2006)：科學史融入教學對國小學童科學本質觀影響之探究。科學教育學刊，14(2)，163-187。

邱美虹(2003)：TIMSS 2003 臺灣國中二年級學生的科學成就及其相關因素之探討。載於張秋男主編：國際數學與科學教育成就趨勢調查 2003 (pp. 7-54)。台北市：國立台灣師範大學科學教育中心。

洪振方(1998)：在科學教學的另類選擇：融入科學史教學。屏師科學教育月刊，7，2-10。

特雷弗 I. 威廉斯(1991)：科技發明史：從石器時代到電腦時代。臺北：風雲時代。

袁淑娟譯(2004)：力學與動能。載於宋靖遠主編，資優生科學百科 (pp. 300-303)。臺北：閣林國際圖書。

高慧蓮(2006)：九年一貫課程提升學生科學本質能力指標表現可行教學模組之開發研究。科學教育學刊，14(4)，401-425。

國立自然科學博物館(2001)：水運儀象臺簡介。台中市：國立自然科學博物館。

許良榮和李英田(1995)：科學史在科學教學的角色與功能。科學教育月刊，179，15-27。

郭博嵐(2005)：國小在職教師對九年一貫科學本質能力指標了解之詮釋性研究。國立花蓮師範學院科學教育研究所碩士論文。(未出版)

郭博嵐和劉聖忠(2005)：從國內外文獻及焦點論壇看國內科學本質能力指標之定位。中華民國第二十一屆科學教育學術研討會(2005)。彰化市：國立彰化師範大學科學教育研究所。

劉京勝等譯(2003)：探索力與能。載於 21 世紀探索科學大百科(pp. 36-41)。

- 臺北：閣林國際圖書。
- 劉聖忠(2007)：國小科學本質能力指標之詮釋。第1973期「科學探究暨科學本質能力指標教學」研習資料。台北縣：國家教育研究院籌備處。
- Abd-El-Khalick, F. (2005). Developing deeper understandings of nature of science: The impact of a philosophy of science course on preservice science teachers' views' and instructional planning. *International Journal of Science Education*, 27(1), 15-42.
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701.
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), 417-436.
- Akerson, V. L., Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Influence of a reflective explicit activity-based approach on elementary teachers' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), 295-317.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1993). *Benchmarks for Science Literacy*. Washington, D. C.: AAAS.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge: MIT Press.
- Clement, J. (1983). A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp.325-340). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Clough, M. P. (2006). Learners' responses to the demands of conceptual change: Considerations for effective nature of science instruction. *Science & Education*, 15, 463-494.
- Council of Ministers of Education (1996). *Common framework of science learning outcomes K-12* (Draft). Victoria, BC: Ministry of Education, Skills and Training.
- Curriculum Corporation (1994). *A statement of science for Australian schools: A joint project of the states, territories and the Commonwealth of Australia initiated by the Australian Education Council*. Victoria: Carlton.
- Duschl, R. A. (1990). *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. New York: Teacher College Press.
- Hakim, J. (2004). *Story of science Aristotle leads the way*. Smithsonian, U.S.A.
- Irwin, A. R. (2000). Historical case studies: Teaching the nature of science in context. *Science Education*, 84, 5-26.
- Johnson, R. T., & Johnson, D. W. (1994). An overview of cooperative learning. In J. Thousand, A. Villa, & N. A. (Eds.), *Creativity and collaborative learning* (pp. 31-44). Baltimore: Brookes Publishing Co.
- Khishfe, R., & Abd-El-Khalick, F. (2002). The influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-578.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present, and future, p. 831-880. In S. K. Abell and N. G. Lederman (ed.), *Handbook of research on science education*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Mahwah, NJ.
- Lederman, N. G., Abd-El Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learner's conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6),

- 497-552.
- Matthews, M. R. (1992). History, philosophy, and science teaching: The present rapprochement. *Science and Education*, 1(1), 11-47.
- McCloskey, M. (1983). Naive theories of motion. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 299-324). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- McComas, W. F., & Olson, J. K. (1998). The nature of science in international science education standards documents. In W. F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies* (pp. 41-52). Dordrecht: Kluwer.
- Monk, M., & Osborne, J. (1998). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81(4), 405-424.
- National Research Council (1996). *National science education standards*, Washington, D. C.: National Academy Press.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What "ideas-about-science" should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.
- Sanchez, L. (1989). On the implicit use of history in science education. In D. E. Herget (Ed.), *The history and philosophy of science in science teaching*. Proceedings of the first international conference (pp. 306-312).
- Wandersee, J. W., & Roach, L. M. (1998). Interactive historical vignettes. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee, & J. D. Novak (Eds.), *Teaching science for understanding: A human constructivist view* (pp. 218-306). San Diego, CA : Academic Press
- 註 1：此處的科學迷思不是一般所謂科學概念研究中的迷思概念。
- 註 2：由於部分科學史料的圖片採自翻譯的百科全書，為尊重智慧財產權，無法於本文中提供讀者參閱。
- 投稿日期：97 年 03 月 19 日
- 接受日期：97 年 11 月 22 日



# Teaching the Nature of Science through History: A Discussion of History Episodes in Simple Machine

Shu-Fen Lin<sup>1</sup>, Sang-Chong Lieu<sup>2</sup>, Mao-Tsai Huang<sup>3</sup>,

Su-Fen Chen<sup>4</sup> and Wen-Hua Chang<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Institute of Education & Center for Teacher Education, National Chiao Tung University

<sup>2</sup> Graduate Institute of Science Education, National Dong Hwa University

<sup>3</sup>National Academy of Educational Research Preparatory Office

<sup>4</sup> Graduate School of Technological and Vocational Education, National Taiwan University of Science and Technology

<sup>5</sup> Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

## Abstract

The purpose of this article was to discuss practical issues of teaching nature of science (NOS) through history. Firstly, we examined students' misconceptions about science and the trend of curriculum reform that emphasizes the importance of teaching NOS. And then, what aspects of NOS should be taught in elementary and middle schools were discussed. A model of using history of science to convey NOS was presented. Finally, we drew on the Simple Machine unit as an example of depicting NOS through history episodes.

**Keyword:** nature of science, history of science