科學教育學刊
2007, 第十五卷第一期, 1-23

Chinese Journal of Science Education
2007, 15(1), 1-23

中小學之科學本質與科學史的教學需求之研究

許良榮[1]　**蕭培玉**[2]

[1]台中教育大學 科學應用與推廣系教授

[2]台中市大仁國小教師

（投稿日期：民國 94 年 3 月 10 日，修訂日期：95 年 8 月 4 日，接受日期：95 年 8 月 29 日）

摘要：近年來科學教育改革中，科學史與科學本質受到極為廣泛的重視，但不論國內外，對於中小學需要教導哪些科學本質與科學史尚未有一致的觀點。本研究採用大慧（Delphi）調查法諮詢國內 20 位專家學者，包括純科學、科學教育、科學史哲、環境教育與教育專家學者。以期歸納出中小學不同年級階段需要教導之科學本質教學目標與科學史的教學內容。研究結果歸納出中小學所需教導之科學本質的教學目標，小學階段有 9 項、國中階段有 22 項、高中階段有 28 項。科學史的教學內容方面，在小學階段，專家之間未達共識，未歸納出需教導的內容，而國中階段需教導之科學史內容有 5 項、高中階段有 12 項。在科學史內容的呈現方面，研究結果發現有部分沒有達到篩選原則的科學史教學內容項目，專家學者認為可以「基本教材」方式呈現，顯示科學史內容應如何呈現，仍是有待深入探究的問題之一。另一方面，本研究歸納的科學本質之教學目標包含了 McComas 和 Almazroa（1998）以及 Osborne 等人（2003）所提出之科學本質目標，但是與九年一貫課程之重疊性不高，因此九年一貫課程之科學本質目標是否恰當，似乎有再思考的必要。最後根據研究結果，本研究提出國內專家認為中小學在科學教學所需教導之科學本質目標與科學史內容，期望能提供未來編製教材之參考。

關鍵詞：大慧調查、科學史、科學本質

壹、緒論

一、研究背景與動機

近年科學教育改革中，科學本質與科學史受到相當廣泛的重視，例如美國國家科學教育標準（National Science Education Standards, [NRC], 1996）一書中分別在 K-4、5-8、9-12 三個年級階段，明訂出「科學本質與科學史」為科學教育內容標準的八項類別（categories）之一。美國科學促進會（American Association for the Advancement of Science,

[AAAS], 1989）在「Project 2061」課程改革中則將科學本質分為下列三個領域：(一)科學的世界觀（sciencetific world view）；(二)科學探究活動（scientific inquiry）；(三)科學事業（science enterprise）。而我國自民國九十學年實施的九年一貫課程，「自然與生活科技領域」教材內容要項中，「科學與人文」主題之次主題包含有：520 科學的發展、522 科學倫理；並且將「科學本質」列為培養科學與科技素養的能力要項之一。

在文獻研究方面，近三十年來國內外學者對於科學本質與科學史也投入不少的心力（林陳涌, 1996; 翁秀玉和段曉林, 1997a; 楊文金和楊莉川, 1998; 洪振方, 1997; 巫俊明, 1996; 許良榮, 1998; 傅麗玉, 1996; 鄭秀如和林煥祥, 1998; Lederman & Zeidler, 1987; Brush, 1989; Lederman, 1992; Kauffman, 1991; Duschl, 1994; Matthews, 1994; Leite, 2002）。不少科教學者建議將科學本質包含在科學教學內，並提出科學本質之了解對於科學的學習與教學具有相當的影響（陳淑媛和洪振方, 1998; Lederman, 1986; Duschl, 1988）。另一方面，也有許多學者提出科學史教學具有多元的功能，應包含於科學教學中（許良榮和李田英, 1995; 傅麗玉, 1999; 洪振方, 1998; Schecker, 1992; Garrison & Lawwill, 1993; Matthews, 1994）。

雖然科學本質與科學史的教學受到肯定，但是科學本質與科學史之教學所牽涉的問題與爭議並不單純，存在著許多有待解決的議題。在科學本質方面，有爭議的包括：科學本質是否有明確的界定？何種科學哲學觀才能表徵最恰當的科學本質？例如 Stanley 和 Brickhouse（2001）就指出「幾乎每個人都同意應該教科學本質，但是對於應該教何種觀點的科學本質並沒有共識」。而哈佛大學教育哲學教授 Alters（1997a）在 JRST 發表的研究，歸納文獻中科學教育學者所定義的科學本質觀共 39 項後，調查科學哲學家對於這些科學本質的觀點，結果發現哲學家之間的看法並沒有共識，因此 Alters 建議應以多元化的方式教科學本質，而非只有單一的科學本質觀。但是 Smith, Lederman, Bell, McComas 和 Clough（1997）五位學者聯名批評 Alters（1997a）的研究方法、過程、工具等等不夠嚴謹。無論如何，雖然科學本質仍存有不少爭議，但是科學本質持續被重視為科學課程的主要成分（Sorsby, 2000）。

另一方面，科學史經常被學者運用於達成科學本質教學目標的教學策略（洪振方, 1997; 巫俊明, 1997; 翁秀玉和段曉林, 1997a; 鄭秀如和林煥祥, 1998; Solomomn, Duveen & McCarthy, 1992; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000），但是如何使用以及是否可以在中小學教科學史，不論國內外目前並沒有一致的看法，而且也有來自科學家與歷史學家的反對聲浪（許良榮, 1999）。Matthews（1994）即指出運用科學史於教學的問題，包括了科學史的教學會不會影響學生對科學的信心？如何使用科學史才不會成為 Whig 型態的「偽科學史」？科學態度與科學本質之衝突等等。

由上述顯示科學本質與科學史之教學有明顯的問題存在。Osborne, Colins, Ratcliffe, Millar 和 Duschl（2003）注意到在學校教學需要教哪些科學本質，缺乏實徵性研究，因此採用大慧（Delphi）調查法，調查 23 位科學教育家、科學家、科學史家、科學哲學家與科學社會學家，最後歸納專家們認為學校需要教導的科學本質共有九項主題，但是該研究並未探討所需教導之科學本質分別適合於哪些學習階段教導？因此學校的科學教學需要教導哪些科學本質與科學史，中小學各學習階段分別需要哪些相關教學目標，是科

學教學極待解決的問題之一。

二、研究目的與問題

本研究旨在透過 Delphi 調查，以建構在中小學科學教學所需教導之科學本質教學目標以及科學史教學內容，以供未來課程設計之參考。研究問題為：

(一)小學、國中與高中分別需要哪些科學本質教學目標？

(二)小學、國中與高中分別需要教導哪些科學史教學內容？

(三)所需教導的科學史教學內容，應如何呈現？

貳、文獻探討

一、科學本質的範疇與內涵

多年來，許多專家學者已做了許多關於科學本質方面的界定與評量，由文獻顯示學者們對於所謂的「科學本質」有相當多不同的意見或定義，其中仍存在一些差異及爭議之處（Smith & Scharmann, 1999）。Lederman（1998）認為科學本質牽涉到科學的認識論，科學是認識世界的一種方法（a way of knowing）或者是在科學知識發展中的固有價值觀和信念，除了這個普遍性的特徵，科學哲學家、歷史學家、科學家以及科學教育學者對於科學本質的詳細定義並沒有共識。國外學者從六 0 年代就開始發展有關「了解科學本質」的評量工具，例如 Cooley 和 Klopfer（1961）的 TOUS（Test on Understanding Science）; Kimball（1967）的 NOSS（Nature of Science Scale）; Rubba 和 Anderson（1978）的 NSKS（Nature of Scientific Knowledge Scale）等等，由一個主題可以發展出如此多樣評量工具的現象，可以看出學者們對於所謂的「科學本質」有不同的界定或評量取向。

Alters（1997a）在其報告中整理學者們對於科學本質的定義，包括 Lederman（1983），Giddings（1982），Cleminson（1990），Ryan 和 Aikenhead（1992）等，歸納了共 39 項學者對科學本質的定義。Alters（1997a）認為這些定義大都是科學教育學者所定義的，但是我們應該重視科學哲學家的看法，因此調查 210 位美國科學哲學協會會員對於此 39 項科學本質的觀點。最後從 187 份問卷發現不同的科學哲學家對科學本質的觀點呈現多樣性，缺乏共識，認為科學社群應承認沒有具共識的科學本質存在，因此科學教學必須採用多元的方式教導科學本質。Alters（1997a）的研究遭到 Smith 等人（1997）強烈的質疑，這些學者批判 Alter 的研究，包括問卷設計、問卷中的敘述語法有問題、只選擇科學哲學家為研究對象有欠考量…等等。並認為該研究某些數據可以說明科學哲學家具有某些共識，而不是沒有共識。爭議的焦點之一是：「75%的裁判同意 40%的規則，是否算達成共識？」，以 Alters（1997b）而言是否定的，但以 Smith 等人（1997）而言是肯定的。Alters（1997b）的回應是；他的研究工具題目不是自己發明，都是其他學者曾用於評量學生對科學本質的理解，因此應有其效度。另一方面，研究數據可能有不同的解讀方式，Smith 等人（1997）認為 75% 的裁判同意 40%的規則就算達成共識，Alters 認為對他而言這並不構成所謂的「共識」。Alters 並反擊 Smith 等人的評論是為一種意識形態做辯護，畢竟一篇只有三頁的評論文章需要五位學者的聯名發表也太不尋常了。隔年 McComas 和 Almazroa（1998）認為對於科學本質的內涵，學者們有一些共通的看法，並歸納了包括（Benchmarks for Scientific Literature），（National Science Education Standards）等八個國際科學標準文件中有關

科學本質目標的一致觀點，共有 14 項（內容參見表 3）。

本研究認為科學哲學的派別繁多，對於科學發展的認識論與方法論各有不同的詮釋，因此對科學發展的本質沒有達成共識並不足為奇，因此 Alters（1997a）的研究只調查科學哲學家的觀點，除了可以預期結果不會有一致性共識之外，由此而推論教學的方向，也不是很恰當，畢竟如何教學應避免只採用某領域學者的觀點。而對於中小學的科學教學，我們應可以期望建立出某些明確的科學本質教學目標，Lederman（1998）即認為對於中小學應該有一個可以普遍接受的科學本質內涵，例如：科學知識具有暫時性、經驗本位（也就是以觀察為基礎）、主觀性（理論負載）、科學知識包含人類的推論、想像力和創造力，以及科學受到社會和文化的影響等等。國內學者的研究大多也接受了這些觀點，而發展科學本質評量工具（林陳涌, 1996; 翁秀玉和段曉林, 1997b; 鄭湧涇, 1989）。

有鑒於科學本質內涵之界定的爭議，Osborne 等人（2003）以大慧調查法調查科學教育家、科學家、科學史家、科學哲學家與科學社會學家共 23 位，希望藉此了解專家學者認為學校的科學課程必須教哪些「對科學的想法」（ideas-about-Science）。經過三次的問卷調查，這些專家學者認為必須教的項目共有九項（參見表 4）。Osborne 等人（2003）的研究發現 23 位專家學者所認為應當教的項目與 McComas 和 Olson（1998）在國際標準中所列的項目頗為相似。並提出了實徵性的證據反對 Alters（1997a）所提出科學本質沒有共識的說法。無論如何，Osborne 等人（2003）的調查顯示科學本質之教學目標的共識有待建立的急迫性，而不同年級階段是否應該有不同的科學本質教學目標，是科學教育課程改革中極待解決的課題之一。

二、科學史在教學上的角色與功能

科學史在科學教學上具有多元的角色與功能，不少學者肯定科學史的教學功能。綜合國內外科學史的相關研究，可以發現科學史融入課程的研究從小學、中學到大學都有。而在科學史教學的研究，許良榮和侯志洋（2002）整理國內研究顯示有許多是以探討「了解科學本質」（鄭秀如, 1996; 陳淑媛和洪振方, 1998; 鄭子善, 2000; 李玉貞, 2000; 林煥祥, 2000; 林財庫, 2000）、「提昇科學態度」（鄭子善, 2000; 廖麗貞和洪振方, 1998）與「提高學習興趣」（陳和玉, 1998; 尹基勉, 1998），其次是探究「概念改變」（鄭子善, 2000; 張榮耀, 2000）與「學習成就」（許良榮, 1997; 李玉貞, 2000）。而文獻研究結果也顯示科學史在對於學生學習科學有很大的幫助，包括幫助學習科學概念、瞭解科學家思考歷程、學習科學方法、學習正確科學態度、激發批判思考內涵、理解自己錯誤的科學概念、建構合宜的科學本質觀等。

雖然學者大多肯定科學史在教學上的功能，但如何適當並有效的應用於教學上，仍是有待努力的一大課題。Matthews（1994）曾指出科學課程是否引用科學史曾經受到二方面的反對：一方面是歷史學家，二方面是科學家。歷史學家認為科學教學包含科學史將會是一種很貧乏的歷史，或者是為了支持現行科學型態的偽歷史（pseudo-history），也就是一種 Whig 型態的歷史。而對科學家而言，引用科學史於教學將會浪費學習科學概念時間，也可能傷害學生追求自然真理的信念。Brush（1974）在「科學史是否應列為 X 級」一文中引用 Kuhn（1962）的觀點認為科學史會讓學生產生懷疑，因為如果由科學史指出大多數科學家在大部分的時間只是做

一些反覆性的解題工作，這個和教科書上提到科學家具有懷疑的態度相違背。因此 Brush（1974）認為年輕的學生或者剛接觸科學的學生應該避免接觸科學史。

科學史兼含「科學」與「歷史」的特質，而融入科學史的科學教學是否會成為混合歷史學、科學與教育學的多頭怪獸（許良榮, 1999）。Kauffman（1991）也指出科學家是要找出自然現象的規律性，並「簡化」現象以建立通則性原理，而歷史學家是要查驗一個事件的脈絡（context），研究過程會將現象「複雜化」以求了解事件的真象與意義，此兩者不同的目標難以取得一致性。許良榮（1999）指出由歷史學與科學的本質而言，似乎是互不相容的，因此提出除非我們否認 Kuhn（1962）所描述的科學發展之特徵--觀察是理論負載、科學理論具有暫時性、科學進步不等同於追求真理的進步…等等（雖然這種詮釋並未得到科學家的有力支持），否則我們必須承認這些描述與「正確的科學態度」互相矛盾。因此融入科學史的教學讓學生對科學失去信心或是使學生難以適從的可能性是存在的。許良榮（1999）進一步指出「科學發展的真正面貌」是實然的問題；「正確的科學態度」是應然的問題。至於如何解決實然與應然的問題，我們應依據兒童的年齡或認知層次安排不同的教學內容，如果還沒有到達某個認知層次，某些教育主題會先略過，在學生的準備度（readiness）足夠之後再進行教學。因此如何安排科學史的教學內容，也是科學教育課程改革中極待解決的課題之一。

三、科學本質與科學史的糾結互動

近三十年有許多國內外文獻指出學生具有不恰當的科學本質觀（林陳涌, 1996; 翁秀玉和段曉林, 1997; 黃鴻博, 1998; Rubba & Anderson, 1978; Horner & Rubba, 1979; Lederman, 1992; Tsai, 1998），因此如何提升學生對於科學本質的理解，是科學教育中相當受到關注的問題之一。而科學史廣為受到學者們之重視採用於教學中，以期提升學生對於科學本質的理解。例如 King（1991）調查和訪談 13 位在 Stanford 大學的實習老師有關他們對於科學史及科學哲學的信念、知識與態度。發現有 3 位正式接觸科學史或科學哲學的參與者，對哲學的問題能較有根據的回應。翁秀玉和段曉林（1997）利用科學史於自然科學教學中，讓一班國小六年級的學生於進行實驗前，根據自己的想法提出假設。研究結果發現，學生對科學的實徵性比上課前更為加強、了解科學並非真理、理解科學社群對科學的影響力以及科學與社會之間的關聯與影響。Lederman, Wade 和 Bell（1998）歸納近三十年來對於科學本質的研究結果，歸納了四項一致性的發現，其中之一即是：如果以著重科學史或是明確地（expilicit）教科學本質，可以提升科學教師對於科學本質的概念。

但是 Abd-El-Khalick 和 Lederman（2000）以 166 位大學畢業生、肄業生和 15 位職前教師為研究對象的研究結果顯示：就全體研究對象而言，融入科學史的教學，對於科學本質知識的觀點很少有顯著的改變。該研究認為若要顯著提昇學生科學本質觀，在科學史課程中以明確的方式說明科學本質，是比較有效的方式，但這樣的方式也是有限的。此結果呼應了 Lederman（1998）曾舉出一些在科學師資培育計畫中的一些科學本質教學，研究指出在科學教育研究「明確直接地」教學，能有效地改變教師科學本質觀。

無論是否應明確地教導科學本質，科學史的探究或教學，蘊含了理解科學本質的功能。因為所謂傳統科學本質觀指稱了實証主

義的科哲觀點，而當代科學本質觀指稱了包括 Khun, Lakatos 等歷史社會學派之科哲觀點，因此除非我們建立的「當代」科學本質觀不包括歷史社會學派之詮釋，否則科學史與科學本質必然相互糾結。準此而言，如果科學本質是科學教育的重要「教學目標」，則科學史應成為重要的「教學內容」，此為本研究之所以關心不同年級階段應教導哪些「科學本質的教學目標」，以及應教導哪些「科學史內容」的基本出發點。

參、研究方法與設計

一、研究方法與架構

本研究採取大慧調查法，探討專家學者對於中小學的科學教學應教導哪些「科學本質」與「科學史」之教學目標的觀點。Osborne 等人（2003）整理大慧調查法的優點如下：(一)讓相同領域專家團體做決定的技術，將會比專家個人做的決定更有效；(二)採用匿名的問卷調查，可避免會議討論會產生的問題，如表面的順從、屈服權威、受口才好的專家之影響、不願修正已公開的意見…等；(三)群體所達到的共識是經過考慮的，因為大慧的技術將迫使專家去思考問題並提出意見；(四)利用大慧調查的方法來獲取專家的意見可以解決地理上的問題。

依據研究目的與文獻探討，本研究之研究架構如圖 1 所示。

二、研究樣本

本研究邀請參與大慧調查的專家學者之原則如下：(一)任教於各大專院校皆具有博士學位之科學史哲學家以及科學教育學者；(二)樣本涵蓋台灣地區北、中、南、東區域；(三)所選擇的樣本能對主題有興趣，願意投注心力與時間參與。本研究初次邀請之專家學者共 24 位，經過徵詢意願，共有 20 位同意參與，其專長背景分別為：

1.服務單位：任職於師範院校共 13 位、一般大專院校共 6 位、國立自然科學博物館 1 位。
2.職稱：教授 9 位、副教授 7 位、助理教授 3 位、助理研究員 1 位。
3.專長：各專家學者之專長為科學史哲 2 人、科學教育 14 人、環境教育 2 人、教

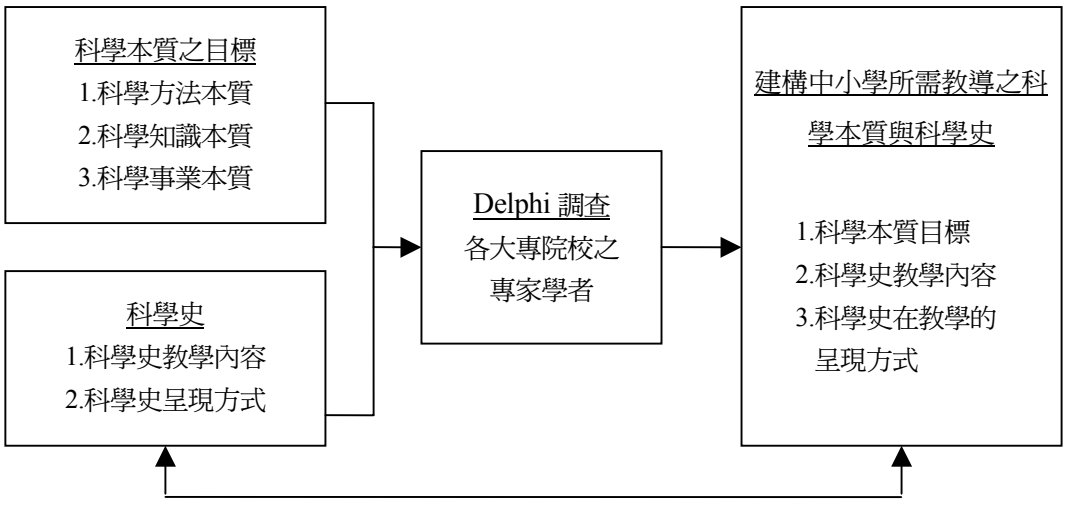

圖 1：研究架構

育行政 1 人、純科學 6 人（各專家學者之專長乃參考網路之介紹，有些專家學者註明之專長不只一項，因此以上人次超過 20 人）。

三、研究工具

本研究之調查工具為自行發展的「科學本質與科學史在中小學科學教學之需求性」問卷，其編制的過程與修正如下：

(一)問卷的編製過程

「科學史與科學本質在中小學的需求性」問卷，分為兩個部分，包括「科學本質之目標」與「科學史教學內容」。

1.科學本質之教學目標

研究者參閱國內外文獻，以林陳涌（1996）所發展「了解科學本質量表」為基礎，將科學本質內涵分為「科學方法本質」、「科學知識本質」與「科學事業本質」三個向度。並參考 McComas 和 Almazroa（1998）與 Lederman（1998）所提出的科學本質內涵，整理科學本質目標如表 1，共有 20 個細項：

表 1：大慧調查問卷初稿：科學本質教學目標

向度一：科學方法本質
1.「做科學」沒有單一的方法。（McComas 和 Almazroa, 1998）
2.科學「觀察是理論負載」。（Lederman, 1998）
3.科學家在進行實驗前通常會預設結果，而當結果與預測不同時，科學家通常不會懷疑理論是否出問題。（林陳涌, 1996）
向度二：科學知識本質
1.科學知識具有暫時性。（Lederman, 1998）
2.科學知識的產生，並非完全依賴觀察。（McComas 和 Almazroa, 1998）
3.科學的目標是對於自然現象提出解釋。（McComas 和 Almazroa, 1998）
4.「定律」和「理論」在科學中具有不同的角色。（McComas 和 Almazroa, 1998）
5.新的科學知識應該被公開或報告。（McComas 和 Almazroa, 1998）
6.科學知識有賴於人類的想像力和創造力。（Lederman, 1998）
7.科學具有「演化與革命」的特徵。（McComas 和 Almazroa, 1998）
8.科學知識是被發明的，不是被發現的。（林陳涌, 1996）
向度三：科學事業本質
1.科學是社會傳統與文化的一部份。（McComas 和 Almazroa, 1998）
2.科學、社會與科技會相互衝擊影響。（McComas 和 Almazroa, 1998）
3.不同文化的人們對於科學都有貢獻。（McComas 和 Almazroa, 1998）
4.科學家需要正確的保存紀錄，並可讓同儕考察。（McComas 和 Almazroa, 1998）
5.科學想法受到社會和文化背景的影響。（McComas 和 Almazroa, 1998）
6.科學家選擇研究主題和方法時，會受到社會和科學社群的影響。（林陳涌, 1996）
7.有關科學的爭議需要透過科學家們互動，來促進科學發展。（林陳涌, 1996）
8.社會上科學或科技問題，應該由社會大眾共同決定。（林陳涌, 1996）
9.「實證論」是不恰當的科學本質觀。（Palmquist 和 Finley, 1997）

2.科學史教學之教學內容

研究者由文獻探討整理出與科學史有關之教學內容初稿共八項，如表 2 的 B-1~B-8。由於 Matthews（1994）曾指出科學史之教學可能以「統整（integrate）」或「附加（add on）」的方式編排，Matthews 建議應以前者的方式設計科學史之相關教學。而考慮科學史教學內容煩多而複雜，為了深入了解專家學者對於教材安排之觀點，因此在上述各項「科學史教學內容」列有兩選項：「基本教材」--安排於教材，且教師必需教學；以及「補充教材」--由教師自由選擇是否教學，請專家學者勾選每一項應如何呈現。

郵寄給專家學者的問卷除了上述各項內容外，並附上「研究說明」，以確實讓專家學者了解研究的目的、流程與內容。

(二)問卷的填寫與回饋

研究問卷採用 Likert 五點量表，由專家學者勾選每一細項在教學上的需求性，由「非常需要」到「非常不需要」，分別給予 5 到 1 分。問卷的每一個細項的下方都列有「修正建議欄」，以徵詢專家對每一細項敘述的適切性之意見。並在每個向度的最後列有「增列項目欄」，讓專家將認為必須增加的項目列入。第二次問卷的編製是根據第一次問卷各專家學者之作答結果而形成，問卷並呈現專家學者在第一次填答的平均數、眾數、標準差以供參考。第三次問卷的編製根據第二次問卷各專家學者之意見再做修訂，並呈現專家學者在第二次填答的各項目之平均數、眾數、標準差以供參考。

本研究的大慧調查前後共實施三次，第一次問卷於民國九十三年四月十二日寄出，隨函附上說明函詳細陳述本研究之進行步驟以及大慧調查的意義，使參與的專家能夠了解研究之目的及重要性。並於九十三年四月二十一日回收完畢。第二次問卷於民國九十三年六月十日寄出，並於六月十八日完成第二次問卷回收。第三次問卷於民國九十三年九月十三日寄出，並於九十三年十月四日回收完畢。

肆、研究結果與討論

在三次的問卷調查過程，專家學者提出了不少的意見，第一次問卷總計有 127 項次的修訂或提問，第二次問卷有 62 項次，顯示專家學者頗為熱心提出個人意見。而大多數的修訂意見為語意用詞之修改，屬於疑問；例如：恰當的科學本質觀為何？實證論是否不恰當有待商榷、演化是否具有 modified 的意思等等，三次調查共計有 11 項次。提出應刪除的則共計只有 4 項次。每次問卷回收後，逐項建檔每位專家學者之意見，彙整後再進行修訂問卷，因此除了用詞之修訂以外（例如 A1-1 由「讓學生了解『做科學』沒有單一的方法」修訂為「讓學生了解『做科學或科學探究』並非只有單一的方法」），並依專家學者提供的意見增加教學目標的項目，「科學方法本質」由第一次問卷的 3 項增加為 10 項，「科學知識本質」由 8 項增加為 11 項，而「科學事業本質」專家學者沒有提出增加意見，因此持續保持 9 項。「科學史教學內容」則由 8 項增加為 11 項。

此外，本研究最後依據張豔華（2002）與 Osborne 等人（2003）進行大慧調查之選取原則，選取平均數（M）達到 4 以上（表示該項目需求性高）；標準差（SD）小於 1（表示該項目比較具有共識），以歸納中小學科學教學之科學本質教學目標與科學史的教學內容。歸納結果摘要如表 2 所示。

一、科學方法本質之調查結果

經過三回合的問卷調查，小學階段達到

表 2：大慧調查結果一覽表

科學本質教學目標			科學史教學內容
科學方法本質	科學知識本質	科學事業本質	
A1-1 讓學生了解「做科學或科學探究」並非只有單一的方法。[a]	A2-1 讓學生了解科學知識具有暫時性，並非恆久不變。[b]	A3-1 讓學生了解科學是社會傳統與人類文化的一部份。[b]	B-1 科學家的生平事蹟。[b]
A1-2 讓學生了解科學研究中「觀察是經由理論引導與詮釋」。[b]	A2-2 讓學生了解科學知識或理論的產生，並非完全依賴觀察。[b]	A3-2 讓學生了解科學、社會與科技會相互影響。[b]	B-2 科學家如何推理或說明自然現象。[b]
A1-3 讓學生了解科學家在進行實驗前通常會預設結果，而當結果與預測不同時，科學家通常不會察覺理論出了問題。[c]	A2-3 讓學生了解科學的目標之一是對於自然現象提出解釋。[a]	A3-3 讓學生了解不同文化背景與行業的人們對於科學都有貢獻。[a]	B-3 科學家如何歸納整理實驗或現象資料。[b]
A1-4 讓學生了解研究的過程應包含問問題和解決問題的過程。[a]	A2-4 讓學生了解「定律」和「理論」在科學中扮演不同的角色。[c]	A3-4 讓學生了解科學家需要正確的保存紀錄，並讓同儕檢驗。[a]	B-4 科學家的研究或實驗紀錄手稿。[c]
A1-5 讓學生了解「數學」在科學探究中的重要性。[b]	A2-5 讓學生了解新的科學知識應該經由公開、清楚的發表，並接受檢驗。[a]	A3-5 讓學生了解科學家的想法受到社會環境和文化背景的影響。[b]	B-5 科學家之間的爭論或辯論。[c]
A1-6 讓學生了解科學方法的主觀性。（如，科學信念）[c]	A2-6 讓學生了解科學知識的產生與發展有賴於人類的想像力和創造力。[a]	A3-6 讓學生了解科學家選擇研究主題和方法時，會受到社會價值和科學社群的影響。[c]	B-6 教材中呈現科學家所使用的儀器、實驗器材等圖片。[c]
A1-7 讓學生了解科學方法的客觀性。（如，科學方法的可檢驗性）[b]	A2-7 讓學生了解科學具有「漸進演化」與「革命替代」的特徵。[c]	A3-7 讓學生了解有關科學的爭議需要透過科學家們共同討論與溝通，來獲得解決。[b]	B-7 說明新、舊理論(如日心說、地心說）之間的差異性。[c]
A1-8 讓學生了解科學方法的主客觀合一性。（主觀與客觀的相互檢驗、協同成長）[d]	A2-8 讓學生了解科學知識是被發明的，不是被發現的。[c]	A3-8 讓學生了解社會上有關科學或科技的決策問題，可以經由社會大眾共同決定。[b]	B-8 描述「科學」與「宗教」之間曾經發生的衝突。[c]
A1-9 讓學生了解科學家常使用的科學方法（例，歸納法、演繹法…等）[b]	A2-9 讓學生了解科學知識的「可複製性」。[b]	A3-9 讓學生了解「實證論」可能是不恰當的科學本質觀。[d]	B-9 描述「科學時代背景」與「科學發展快慢和方向」的關係。[c]
A1-10 讓學生了解科學方法的侷限性。[b]	A2-10 讓學生了解科學知識的「可驗證性」。[a]		B-10 介紹科學發明或發現的過程。[b]
	A2-11 讓學生了解科學知識的「實驗性」（empirical）。[a]		B-11 科學家的人格特質與思考。[b]
			B-12 對科學革命有重要貢獻之科學家的認識論和方法論思想。[c]

註：“a”表示小學、國中與高中皆達到選取原則的項目。
“b”表示國中與高中達到選取原則的項目。
“c”表示僅有高中達到選取原則的項目。
“d”表示未達選取標準。

選取原則的科學方法本質教學目標只包括 A1-1（M = 4.45; SD = .69）和 A1-4（M = 4.45; SD = .60）兩項，其中 A1-4 是第二次問卷增列的項目。同樣也是第二次問卷增列的 A1-9 項目，平均數未達 4（3.95）標準差也在 1 以上，因此最後沒有被選取。除上述之外的其他項目在第二次問卷的平均數皆小於 3.50，因而不列入第三次問卷調查。而平均數最低的為 A1-3，在第二次問卷的平均數降低為 2.15；標準差降低為 .88，顯示專家對於此項教學目標不需在小學進行教學達到某種程度的共識。

在國中階段，滿足平均數達到選取原則的項目，包括 A1-1（M = 4.85; SD = .37）、A1-2（M = 4.10; SD = .64）、A1-4（M = 4.70; SD = .47）、A1-5（M = 4.20; SD = .70）、A1-7（M = 4.30; SD = .57）、A1-9（M = 4.55; SD = .60）與 A1-10（M = 4.25; SD = .55）共七項。在三回合的大慧調查，此七項教學目標除了 A1-7 平均數由 4.32 降低為 4.30（標準差由 .67 降低至 .57），其餘六項的平均數逐次提高、標準差降低，顯示專家對於這些教學目標的意見趨於一致。而平均數未達 4 的 A1-3 與 A1-6 兩項，呈現平均數降低、標準差降低的傾向，顯示專家的意見也頗為一致。

在高中階段，平均數達到 4 以上且標準差小於 1 的科學方法本質項目，除了與國中階段重複的七項之外，尚包括 A1-3（M = 4.60; SD = .50）與 A1-6（M = 4.50; SD = .76）二項，而且每一項的平均數都達 4.50 以上。從第一次問卷到第三次的問卷調查，此九項教學目標中的 A1-1、A1-4 與 A1-5 三項之平均數與標準差皆沒有改變，而 A1-2、A1-3、A1-6、A1-7、A1-9 與 A1-10 六項呈現平均數逐次提高、標準差降低的變化，顯示專家的意見頗有共識。

由表 2 資料也顯示專家學者認為所需教導的科學方法本質隨著年級而增加，在小學階段共計二項；國中階段有七項；高中階段有九項。而且每一項目的平均數，也隨著年級增加而標準差變小的趨勢，顯示年級增加專家學者更加肯定科學方法本質的重要性。

二、科學知識本質之調查結果

在小學階段滿足選取原則的科學知識本質教學目標，包括 A2-3（M = 4.20; SD = .62）、A2-5（M = 4.30; SD = .98）、A2-6（M = 4.45; SD = .69）、A2-10（M = 4.30; SD = .92）與 A2-11（M = 4.30; SD = .80）共五項。在三次問卷調查中，此五項教學目標之平均數逐次提高且標準差降低，顯示專家的意見漸趨一致。其餘的未達選取原則的 A2-1、A2-2、A2-4、A2-7、A2-8 與 A2-9 六項教學目標呈現平均數降低且標準差也降低的傾向。

在「國中階段」滿足平均數達到 4 以上且標準差小於 1 的科學知識本質項目包括 A2-1（M = 4.25; SD = .44）、A2-2（M = 4.05; SD = .51）、A2-3（M = 4.70; SD = .47）、A2-5（M = 4.70; SD = .57）、A2-6（M = 4.65; SD = .75）、A2-9（M = 4.50; SD = .51）、A2-10（M = 4.60; SD = .60）與 A2-11（M = 4.70; SD = .57）共八項。其中 A2-1 在三次問卷調查中平均數逐次降低，但仍達 4.25 以上，而其標準差則持續降低至 .44。而 A2-4、A2-5、A2-6 與 A2-10 四項教學目標則呈現平均數提高且標準差降低（小於 1）的變化，但 A2-4 最後平均數仍未達 4（3.75）。而 A2-2、A2-3 與 A2-8 三項教學目標平均數在第二次問卷降低，在第三次問卷又提高，標準差則都呈現降低，最後 A2-2、A2-3 兩項平均數仍保持在 4 以上，而 A2-8 則未達到 4（3.90）。

在「高中階段」所有 11 項的科學知識本質目標之平均數都達到 4 以上且標準差小

於 1。其中 A2-2（M = 4.90; SD = .31）、A2-3（M = 4.95; SD = .22）、A2-4（M = 4.75; SD = .55）、A2-5（M = 4.90; SD = .45）、A2-6（M = 4.80; SD = .70）、A2-7（M = 4.65; SD = .75）、A2-8（M = 4.65; SD = .49）、A2-10（M = 4.75; SD = .55）與 A2-11 九項（M = 4.80; SD = .41）的平均數呈現逐次提高且標準差降低。而 A2-1 三次的平均數皆為 4.80，沒有改變，但是標準差由 .52 略提高為 .70。A2-9 則呈現平均數降低且標準差提高（但差距只有 .01）。整體而言，專家學者之間的觀點頗為一致。

由表 2 歸納科學知識本質教學目標，在小學階段共計五項；國中階段有八項；高中階段則為十一項，可見隨著學習階段的成長，專家學者認為所需教導的科學知識本質愈多。此外，類似科學方法本質的調查結果，科學知識本質每一項目的平均數有隨著年級增加而標準差變小的趨勢。

三、科學事業本質之調查結果

科學事業本質教學目標在「小學階段」達到選取原則的項目，只有 A3-3（M = 4.60; SD = .50）與 A3-4（M = 4.30; SD = .86）兩項。在第一次問卷中 A3-2、A3-3 與 A3-4 三項的平均數大於 4，且在三次的問卷調查中呈現平均數提高且標準差降低的現象，但是 A3-2 在第三次的問卷標準差仍大於 1（1.24），可見專家對此項目意見仍有分歧。而第一次問卷平均數在 3.0 以下的 A3-6 與 A3-9 則呈現平均數降低且標準差降低至小於 1，顯示專家認為此兩項在小學之需求性不高的意見頗為一致。而 A3-1、A3-5 與 A3-7 三項的平均數呈現先降低再提高，但仍未達 4 以上（分別為 3.70、3.80 與 3.60）。

在「國中階段」平均數達到 4 以上且標準差小於 1 的項目有：A3-1（M = 4.30; SD = .57）、A3-2（M = 4.70; SD = .57）、A3-3（M = 4.70; SD = .47）、A3-4（M = 4.75; SD = .44）、A3-5（M = 4.55; SD = .69）、A3-7（M = 4.60; SD = .60）與 A3-8（M = 4.30; SD = .66）共七項。其中 A3-2、A3-3、A3-4、A3-7 與 A3-8 五項在第一次問卷中平均數在 4.0 以上，後續的平均數提高且標準差降低，顯示專家認為此五項在國中之需求性的意見頗為一致。而平均數低於 4 的 A3-6（3.85），標準差由 .99 降低至 .59，顯示專家認為此項在國中教學需求性不高的意見漸趨一致。

在「高中階段」平均數達到 4 以上且標準差小於 1 的科學事業本質項目，除了與國中階段重複的七項之外，尚包括 A3-6（M = 4.75; SD = .55）一項。在三次的問卷調查雖然所有科學事業本質教學目標都呈現平均數提高（大於 4）且標準差降低（小於 1）之現象。值得注意的是，A3-9「讓學生了解『實證論』可能是不恰當的科學本質觀」在高中階段雖然平均數最後達到 4.00，但是標準差仍大於 1（1.03），反映了將實證論視為傳統或不恰當的科學本質觀，在教學中仍是有待商榷的。

由表 2 顯示科學事業本質教學目標，在小學階段有 2 項；國中階段有 7 項；高中階段為 8 項，而且如同科學方法本質與科學知識本質的調查結果，隨著年級增加，有目平均數增加而標準差變小的趨勢。

歸納表 2 分析結果，專家學者認為應教導的科學本質教學目標，小學階段共計 9 項、國中階段有 22 項、高中階段有 28 項。詳細查驗各項教學目標，可以發現比較負面的「科學面貌」，如觀察理論負載（A1-2）；主觀性（A1-6; A1-9）；科學知識的暫時性（A2-1）；科學知識是被發明的（A2-8）；科學受到社會文化之影響（A3-2; A3-5; A3-6）等等，在小學階段的平均數都小於 4。此結果反映了

Brush（1974），Matthews（1994）與許良榮（1999）提及的教導「科學真實面貌」是否影響學生對科學的信心的問題，因此依照不同年級階段安排不同的科學本質教學目標，是必須予以重視的問題。

四、科學史教學內容

(一)科學史教學內容之需求性

從第一次到第三次問卷專家學者對「科學史教學內容」需求性之分析結果（參見表2），在「小學階段」沒有滿足選取原則的項目，其中「B-1 科學家的生平事蹟」與「B-2 科學家如何推理或說明自然現象」二項雖然在第三次問卷平均數提高至 4.30 與 4.10，但是標準差大於 1（1.08 與 1.02），顯示專家雖然肯定此二項之重要性，但仍有待建立共識。值得注意的是，平均數小於 3 的項目達到七項，而且除了 B-9（SD = .89）以外，其他各項的標準差皆大於 1，顯示專家學者傾向認為在小學不宜教多項的科學史，而且對於多項教學內容的需要性，專家間的意見一致性並不高。這也反映了 Brush（1974）所提出的「年輕的學生或者剛接觸科學的學生應該避免接觸科學史」。

在「國中階段」共計有 B-1（M = 4.30; SD = .80）、B-2（M = 4.55; SD = .60）、B-3（M = 4.55; SD = .60）、B-10（M = 4.35; SD = .67）與 B-11（M = 4.15; SD = .75）五項平均數達到 4 以上且標準差小於 1。整體而言，三次問卷中呈現平均數提高且標準差降低的有 B-2、B-3、B-4、B-5、B-8 與 B-11 等六項，但是 B-5、B-8 的平均數仍在 4 以下。而 B-1 在三次的問卷調查平均數皆為 4.30，且標準差逐漸降低，顯示專家肯定其重要性並漸趨一致。不同於小學階段有七項的平均數小於 3，國中階段每一項目的平均數皆大於 3。

在「高中階段」，所有十二項的平均數都達到 4 以上，且標準差皆小於 1，平均數最低的 B-1 也達 4.35。而 B-4 與 B-8 在第一次問卷時標準差皆大於 1，經過三次的問卷溝通，皆降低至 1 以下，顯示專家學者肯定各項科學史在高中的教學之重要性，並達到某種程度的共識。

總結表 2 之分析，達到選取原則的科學史教學內容，「小學階段」共計 0 項；「國中階段」有五項；「高中階段」涵蓋所有的十二項，可見隨著學習階段的成長，專家學者傾向認為應教導的科學史內容愈多。

(二)科學史之教學內容如何呈現

雖然在「小學階段」科學史之教學內容沒有任何項目達到選取原則，但是 B-1 在三次的調查不論是以「基本教材」或以「補充教材」呈現，都有五成以上的專家贊成。而 B-2、B-3、B-6、B-7、B-8、B-10、B-11 與 B-12 等八項皆提高到五成以上的專家認為可以「補充教材」呈現。

在「國中階段」達到選取原則的項目中，最後認為應以「基本教材」呈現的專家人數，B-1、B-2 與 B-3 三項約八成，B-10 為 70%；但是認為 B-11 應以「補充教材」呈現的人數則為 85%。反之，未達選取原則的項目中，B-6 與 B-7 兩項皆有 70% 的專家認為應以「基本教材」呈現；B-4、B-5 與 B-12 則有六成以上的專家認為應以「補充教材」的方式呈現。

在「高中階段」，十二項科學史內容項目皆達到選取原則，認為應以「基本教材」呈現的專家人數，B-2、B-3、B-6、B-7 與 B-10 等五項有八成以上，B-11 有 65%，B-1 與 B-12 為 60%。而 B-4 與 B-8 兩項則有七成五以上的專家認為應以「補充教材」呈現。

整體觀之，「B-1 科學家的生平事蹟。」此項在高中階段贊成以「基本教材」呈現的專家人數比國中階段少，而且小學階段只有

「B-1 科學家的生平事蹟」有五成以上的專家贊成安排於「基本教材」，可見專家傾向認為此項科學史內容在高中階段之前學習，不必遲至高中階段。在「國中階段」，專家認為要教導的科學史內容包括：科學家的生平（B-1）、科學家如何推理、實驗、發明或發現的過程（B-2; B-3; B-10）、儀器的呈現與新舊理論的差異（B-6；B-7）較適合以「基本教材」呈現。而在「高中階段」較適合當作基本教材的除了國中階段的科學史內容外，還包括了科學家之間的爭辯（B-5）、科學家的人格特質與科學家的哲學觀（B-11; B-12）。

五、綜合討論

(一)小學科學教學所需教導之科學本質

本研究分別就小學、國中與高中專家學者對於三個學習階段之科學本質目標的教學需求性，與 McComas 和 Almazroa（1998）以及 Osborne 等人（2003）之研究結果進行比較，分別如表 3、表 4。

由表 3 的比較，McComas 和 Almazroa（1998）所提出之十四項科學本質目標與本研究結果相當類似，在小學階段相同的教學目標共有七項，國中與高中則重疊涵蓋。而本研究歸納的科學本質教學目標中，該研究未包含的在小學階段有 A1-4 與 A2-11 二項；國中階段有 A1-4、A1-5、A1-7、A1-9、A1-10、A2-11、A3-7 與 A3-8 等八項；高中階段則有 A1-3、A1-4、A1-5、A1-6、A1-7、A1-9、A1-10、A2-8、A2-11、A3-7 與 A3-8 等十一項。

Osborne 等人（2003）所歸納的九項科學本質目標中（表 4），與本研究相似的在「小

表 3：研究歸納之科學本質目標與 McComas 和 Almazroa（1998）研究結果之比較

McComas 和 Almazroa（1998）	本研究		
	小學	國中	高中
科學知識具有暫時性的特徵。	-	A2-1	A2-1
科學知識有賴於（並非全然）觀察、實驗證據、理性論證以及懷疑態度（skepticism）。	-	A2-2	A2-2
「做科學（doing science）」沒有單一的方法。	A1-1	A1-1	A1-1
科學是試圖對自然現象提出解釋。	A2-3	A2-3	A2-3
定律（law）與理論（theory）在科學中扮演不同的角色。	-	-	A2-4
不同文化的人們對於科學都有所貢獻。	A3-3	A3-3	A3-3
新的科學知識應該經由公開、清楚的發表。	A2-5	A2-5	A2-5
科學家需要正確的保存紀錄，並可讓同儕考察（peer review）以及可複製性（replicability）。	A2-10 A3-4	A2-9；A2-10 A3-4	A2-9；A2-10 A3-4
觀察是理論負載的（theory-laden）。	-	A1-2	A1-2
科學家是具有創造性的。	A2-6	A2-6	A2-6
科學史顯示了科學具有演化與革命的特徵。	-	-	A2-7
科學是傳統的社會與文化的一部份。	-	A3-1	A3-1
科學與科技會相互衝擊影響。	-	A3-2	A3-2
科學觀念受到社會與文化背景的影響。	-	A3-5	A3-5；A3-6

表 4：本研究歸納之科學本質目標與 Osborne 等人（2003）研究結果之比較

Osborne 等人（2003）	本研究		
	小學	國中	高中
科學和確定性	-	A2-1	A2-1
資料的分析與詮釋	-	A1-2；A2-2	A1-2；A1-6；A2-2
科學方法和批判的試驗	A2-5；A2-10；A2-11	A1-7；A1-9；A1-10 A2-5；A2-9；A2-10 A2-11	A1-7；A1-9；A1-10；A2-5； A2-9；A2-10 A2-11
假說和預測	A2-3	A2-3	A2-3
創造性	A2-6	A2-6	A2-6
科學和發問	A1-4	A1-4	A1-4
科學知識發展中的合作	A3-4	A3-3；A3-4；A3-7 A3-8	A3-3；A3-4；A3-7 A3-8
科學知識的歷史發展	-	-	A2-7
科學想法的多樣性	A1-1	A1-1	A1-1

學階段」有八項；「國中階段」有十八項；而「高中階段」有二十項。由於 Osborne 等人所提出之科學本質目標敘述簡要而範圍較廣泛，因此涵蓋本研究較多項科學本質目標。研究發現 Osborne 等人所提出的九項科學本質目標，本研究之專家學者認為到高中階段皆需教導。除此之外，本研究歸納的科學本質教學目標中，該研究未包含的，小學階段有 A3-3 一項；國中階段有 A1-5、A3-1、A3-2 與 A3-5 四項；高中階段有 A1-3、A1-5、A2-4、A2-8、A3-1、A3-2、A3-5、A3-6 與 A3-8 九項。綜合表 3、表 4 的比較，A1-3 與 A1-5 兩項科學本質目標是 McComas 和 Almazroa 與 Osborne 等人皆未提及的項目。由上述分析可發現專家認為小學階段較適合學習的科學本質內涵偏向科學的客觀性、可驗證性、解決問題等較正向的科學本質；國中階段則還包含了科學知識的暫時性、科學研究中的觀察是經由理論引導與詮釋、科學與社會文化之間的關聯等科學本質；高中階段則還包含了科學的主觀性、定律與理論扮演的角色不同等科學本質。

另一方面，我國自民國九十年起實施之九年一貫課程中，已將「科學本質」列入「科學與科技素養」能力之一，以下就九年一貫中有關「科學本質」之分段能力指標與本研究歸納之三個學習階段之科學本質目標做一比較（見表 5）。本研究歸納在小學階段所需教導之科學本質目標與九年一貫課程中第一、二、三階段能力指標相似的只有 A2-10 與 A2-11 兩項，而 A1-1、A2-6 與 A3-4 三項與九年一課程貫中第四階段能力指標 3-4-0-7 與 3-4-0-8 相似，但本研究專家認為這些項目在小學階段即可以進行教學。

國中階段本研究歸納之科學本質目標，與九年一貫課程能力指標相似的有 A1-1、A1-2、A1-9、A1-10、A2-2、A2-6、A2-10、A2-11 與 A3-4 九項，其中與 A1-10 相似的能力指標 3-3-0-2，九年一貫課程安排於第三階段達成，但本研究專家認為其在國中階段才需進行教學。另一方面，九年一貫課程只編排到國中階段，不過本研究歸納高中階段所

表 5：本研究歸納之科學本質目標與九年一貫能力指標之比較

九年一貫課程分段能力指標	本研究		
	小學	國中	高中
第一階段（一、二年級）			
3-1-0-1 能依照自己所觀察到的現象說出來	-	-	-
3-1-0-2 相信每個人只要能仔細觀察，常可有新奇的發現	-	-	-
第二階段（三、四年級）			
3-2-0-1 知道可用驗證或試驗的方法來查核想法	-	-	-
3-2-0-2 察覺只要實驗的情況相同，產生的結果會很相近	A2-11	A2-11	A2-11
3-2-0-3 相信現象的變化，都是由某些變因的改變所促成的	-	-	-
第三階段（五、六年級）			
3-3-0-1 能由科學性的探究活動中，了解科學知識是經過考驗的	A2-10	A2-10	A2-10
3-3-0-2 知道有些事件（如飛碟）因採證困難，無法做科學性實驗	-	A1-10	A1-10
3-3-0-3 發現運用科學知識來作推論，可推測一些事並獲得證實	-	-	-
3-3-0-4 察覺在「以新觀點看舊資料」或「以新資料檢視舊理論」時，常可發現出新問題	-	-	-
3-3-0-5 察覺有時實驗情況雖然相同，也可能因存在著未能控制的因素之影響，使得產生的結果有差異	-	-	-
第四階段（七、八、九年級）			
3-4-0-1 體會「科學」是經由探究、驗證獲得的知識	-	A2-2	A2-2
3-4-0-2 能判別什麼是觀察的現象，什麼是科學理論	-	-	-
3-4-0-3 察覺有些理論彼此之間邏輯上不相關連，甚至相互矛盾，表示尚不完備。	-	-	-
3-4-0-4 察覺科學的產生過程雖然嚴謹，但是卻可能因為新的現象被發現或新的觀察角度改變而有不同的詮釋	-	A1-2	A1-2；A1-6
3-4-0-5 察覺依據科學理論做推測，常可獲得證實	-	-	-
3-4-0-6 相信宇宙的演變，有一共同的運作規律	-	-	-
3-4-0-7 察覺科學探究的活動並不一定要遵循固定的程序，但其中通常包括蒐集相關證據、邏輯推論及運用想像來構思假說和解釋數據	A1-1；A2-6	A1-1；A1-9；A2-6	A1-1；A1-9；A2-6
3-4-0-8 認識作精確信實的紀錄、開放的心胸、與可重做實驗來證實等，是維持「科學知識」可信賴性的基礎	A3-4	A3-4	A3-4

需教導之科學本質目標有 A1-1、A1-2、A1-6、A1-9、A1-10、A2-2、A2-6、A2-10、A2-11 與 A3-4 十項與九年一貫課程能力指標相似。此外，值得注意的是，研究發現九年一貫中對於「科學事業」本質幾乎沒有提及，只有 A3-4 一項。

本研究歸納的科學本質教學目標中，九年一貫課程中未列入的，小學階段有 A1-4、A2-3、A2-5 與 A3-3 四項、國中階段有 A1-4、A1-5、A1-7、A2-1、A2-3、A2-5、A2-9、A3-1、A3-2、A3-3、A3-5、A3-7 與 A3-8 十三項。其中有幾項是文獻中經常被強調的，例如科

學方法的客觀性（A1-7）（林陳涌, 1996; Giddings, 1982; Lederman, 1983）、科學知識具有暫時性（A2-1）（翁秀玉和段曉林, 1997a; 林陳涌, 1996; AAAS, 1989; Roach & Wandersee, 1995; Lederman, 1983; McComas, Almazroa, 1998; Giddings, 1982）、公開性（A2-5）（林陳涌, 1996; Giddings, 1982; McComas & Almazroa, 1998）、科學是人類文化產物之一（A3-1）（AAAS, 1989; McComas & Almazroa, 1998)、科學-社會-科技之互動（A3-2）（林陳涌, 1996; 翁秀玉和段曉林, 1997; AAAS, 1989; McComas & Almazroa, 1998; Giddings, 1982）、不同文化對科學的貢獻（A3-3）（AAAS, 1989; NRC, 1996; McComas & Almazroa, 1998）等等。這些科學本質教學目標沒有被編入九年一貫課程，是值得我們思考的一個問題。

(二)科學史教學內容與教材呈現方式

科學史教學內容的調查結果，反應了文獻中學者的擔憂，例如 Brush（1974）提醒科學史給一般人對科學的印象背道而馳，因此年輕的學生或者剛接觸科學的學生應該避免接觸科學史。Kauffman（1991）也指出教科學史可能讓學生覺得科學家是非理性的，對學生而言不是一個好榜樣。

調查結果顯示在小學階段，雖然沒有符合選取原則的項目，但是有二項科學史內容項目之平均數達到 4 以上，雖然標準差大於 1，我們應可再深思「B-1 科學家的生平事蹟」與「B-2 科學家如何推理或說明自然現象」此二項教學內容的必要性，再適當安排於小學的科學教學。畢竟如果採用 Osborne 等人（2003）的大慧調查以三分之二以上專家勾選 4 以上為達成共識，則本研究選取結果將略有不同。

此外，調查結果顯示隨著學習階段提高，專家傾向認為所需教導的科學史內容愈多，內容也愈具爭議性。例如到了「國中階段」可以開始認識科學家的生平、人格特質，甚至了解科學家推理、實驗、發明或發現的過程等。在「高中階段」可再加深至認識科學家的研究手稿、科學家之間的爭論、新舊理論的差異、科學與宗教的衝突與科學家的哲學觀等等。

相對照九年一貫課程與科學史相關的「520 科學的發展」教材內容（如表 6）。由表 6 顯示九年一貫課程在第一階段並沒有編入科學史的相關內容，從第二階段開始納入科學史教材。九年一貫課程在小學階段安排的科學史教材內容不少，共有六項，其中有五項雖然在本研究專家學者評定之標準差大於 1，但是獲得平均數大於 4 的肯定。

本研究歸納國中所需教導之科學史內容中，B-1、B-2、B-3、B-10 與 B-11 五項，在九年一貫課程皆有編入，但與 B-1、B-2、B-3、B-10 相似的內容都編入於小學階段（2a、2b、2c、3a 與 3b），而安排在國中階段之教材內容與本研究之 B-10 與 B-11 兩項相似。

由於九年一貫課程只有包含小學與國中，因此本研究歸納高中階段所需教導之科學史內容，B-1、B-2、B-3、B-10 與 B-11 五項與九年一貫課程教材內容相似。另外本研究歸納高中階段還需教導之科學史內容有 B-4、B-5、B-6、B-7、B-8、B-9、B-12 七項，這七項教學內容皆沒有編入九年一貫課程。

在科學史內容的呈現方面，達到選取原則的教學內容項目，專家學者大多贊成以教師必需教學的「基本教材」方式呈現（至少 60% 以上）。但是在國中的「B-11 科學家的人格特質與思考」有 85%；在高中的「B-4 科學家的研究或實驗紀錄手稿」有 80%，以及「B-8 描述『科學』與『宗教』之間曾經發生的衝突」有 75% 的專家學者認為應以「補充教材」呈現。此現象是否由於專家學

表 6：本研究歸納之科學史教學內容與九年一貫教材內容比較

九年一貫課程教材內容（科學的發展）	本研究		
	小學	國中	高中
第一階段（一、二年級）			
無			
第二階段（三、四年級）			
2a.在適當時機，介紹科學家的研究事蹟。	B-1*	B-1	B-1
2b.指出台灣、中國著名科學發明家的故事。	B-1*	B-1	B-1
2c.在適當時機，介紹科學研究的過程，以了解科學發展需有賴於有毅力及勇於創新的科學從業人員的努力。	B-2*	B-10	B-10
2d.介紹人類利用科學改善生活的演進史。	-	-	-
第三階段（五、六年級）			
3a.介紹中國及西方科學家（例如李時珍、孟德爾等）的研究活動。	B-2*	B-2 B-3	B-2 B-3
3b.在適當的教材上，介紹科學發現的過程以了解科學中實驗與理論間的關係。	B-2*	B-10	B-10
第四階段（七、八、九年級）			
4a.由閱讀與資料蒐集，了解科學上重要的發現及其過程。	-	B-10	B-10
4b.在適當的科學活動中，敘述科學發現過程中科學家所擁有的批判思考、探究思考及創造思考的特質。	-	B-11	B-11

註：“*”表示平均數大於 4 但標準差大於 1 之項目。

者認為這些內容雖然重要，但是教師不必花過多時間教學？或是專家學者認為這些教學內容雖然重要，但是應由教師視學生程度自行決定是否教學？而未達選取原則的項目中，國中階段的「B-7 說明新、舊理論（如日心說、地心說）之間的差異性」有 75% 的專家學者認為應以「基本教材」呈現，檢視分析數據，其平均數為 3.80，顯示此項目雖然未達 ≥ 4 的選取原則，但是其重要性值得重新檢視。這些問題顯示大慧調查之選取原則仍具有模糊地帶值得注意，研究結果也應謹慎看待，不宜採切割式斷言。

伍、結論與建議

一、結論

經過大慧調查結果，本研究歸納出小學階段應教導的科學本質共九項（方法、知識與事業之本質分別為：二項、五項、二項）；國中階段應教導的科學本質共二十二項（分別為：七項、八項、七項）；高中階段應教導的科學本質共二十八項（分別為：九項、十一項、八項）。

由綜合討論顯示本研究歸納的科學本質教學目標之涵蓋性頗大，包含了 McComas 和 Almazroa（1998）以及 Osborne 等人（2003）所提出之科學本質目標，但是與九年一貫課程之重疊性不高，因此九年一貫課程之科學本質目標是否恰當，似乎有再思考的必要。另一方面，值得討論的是本研究之問卷設計初稿參考了前二項研究，歸納調查研究結果後再與其結果比較，可能形成一種循環論證的套套邏輯（tautology）。不過本研究在調查過程，專家學者提供了總計 189 項次的建議，

因此科學本質部分由第一次問卷的二十項，後續增加為三十項，廣為採納專家學者的意見，因此應具有某種程度的客觀性與包容性。

在科學史教學內容方面，小學階段沒有達到本研究設定的選取原則之項目，而國中階段歸納了五項科學史教學內容，高中階段則有十二項。與九年一貫課程中的「520 科學的發展」教材內容比較，內容大多相似，但是在教學階段的安排略有不同。此外，值得注意的是，類似科學本質的調查結果，專家學者對於科學史教學內容的意見，隨著年級階段的降低，標準差有變大的趨勢，由此顯示如何安排小學階段的相關教學，應更為謹慎。另一方面，本研究對於學史內容的「呈現方式」只探討「補充或基本教材」的層面，尚不夠深入，而研究結果也發現沒有達到選取原則的科學史教學內容項目，有不少專家學者認為可以「基本教材」方式呈現，顯示科學史內容應如何選擇與呈現，仍是有待深入探究的問題之一。

二、建議

(一)本研究邀請參與大慧調查的專家學者，純科學專長為 6 人，科學教育專長為 14 人（含 2 位科學史哲專長），以領域別而言，有過於偏重科學教育之嫌，未來研究可考慮擴大諮詢對象之專長領域，並檢驗不同領域學者是否有差異性。

(二)由研究結果與文獻，對照九年一貫課程所列之科學本質能力指標，相似的目標並不多，值得思考九年一貫課程之科學本質目標是否應予修訂。

(三)如何將科學本質目標或科學史教學內容轉化為具體的教學設計，是另一有待探討的研究主題，更需要結合教師之實務經驗，以協同研究方式，落實由理論到實務的銜接。例如查驗小學、國中與高中所建立的科學本質教學目標與科學史教學內容是否恰當？中小學教師的教學準備度如何？如果進行教學會遭遇哪些困難？等等。

(四)在科學史的教學方面，建議其他外在環境的配合上仍須更加努力，例如：1.發展課程綱要與編輯教材時應掌握科學史融入的相關內容；2.師資培育過程及在職教育中培養教師科學史相關知能；3.建立相關教學資源等，以期教師能勝任此領域的教學，這些都是值得科學教育界投入長期的關切與努力。

參考文獻

1. 尹基勉（1998）：**「原子結構」概念之建構式教學研究**。台北市：國立台灣師範大學化學研究所碩士論文（未出版）。
2. 巫俊明（1997）：歷史導向物理課程對科學本質的了解、科學態度、及物理學科成績之影響。**物理教育**, **1**(2), 64-84。
3. 李玉貞（2000）：**光學史融入教學對高中學生科學本質觀及光概念的改變之研究**。高雄市：國立高雄師範大學科學教育研究所碩士論文。未出版。
4. 林財庫（2000）：**科學史、哲在科學教育之研究 --- 學習科學史、哲對力學教學之影響**（III）。台北市：行政院國家科學委員會（NSC88-2511-S017-008）。
5. 林陳涌（1996）：「了解科學本質量表」之發展與效化。**科學教育學刊**, **4**(1), 1-58。
6. 林煥祥（2000）：**以科學史提升在職化學教師對科學本質的瞭解**。論文發表於 1999 科學史、哲與科學教育學術研討暨研習會。高

雄市：國立高雄師範大學科學教育研究所。
7. 洪振方（1997）：科學史融入科學教學之探討。**高雄師大學報**, **8**, 233-246。
8. 洪振方（1998）：科學教學的另類選擇：融入科學史的教學。**屏師科學教育月刊**, **7**, 2-10。
9. 翁秀玉和段曉林（1997a）：科學史對國小六年級學生理解科學本質之成效。**科學教育研究與發展**, **8**, 26-41。
10. 翁秀玉和段曉林（1997b）：科學本質在科學教育上的啟示與作法。**科學教育月刊**, **201**, 2-15。
11. 張榮耀（2000）：**以科學史與本體論的觀點探討概念改變的機制**。台北市：國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
12. 張艷華（2002）：**建構中學教師專業評鑑指標之研究**。高雄市：國立高雄師範大學工業科技教育研究所碩士論文（未出版）。
13. 許良榮（1996）：課文結構與先備知識對於科學理論之學習助益性的研究。**台中師院學報**, **10**, 471-504。
14. 許良榮（1997）：科學課文結構對科學學習的影響。**八十八學年度師範學院教育學術論文發表會論文集**（pp. 543-571）。台北市：教育部。
15. 許良榮（1998）：科學史課文對於科學理論之學習影響的研究。**中師數理學報**, **2**(1), 111-141。
16. 許良榮（1999）：科學史和科學教育：一些省思與建議。**物理教育**, **3**(1), 93-101。
17. 許良榮和李田英（1995）：科學史在科學教學的角色與功能。**科學教育月刊**, **179**, 15-27。
18. 許良榮和侯志洋（2002）：國小自然科教師對科學史融入教學之態度（II）：晤談研究。**台中師院學報**, **16**, 551-576。
19. 黃鴻博（1998）：國民小學教師對科學本質信念之研究。**中師數理學報**, **1**(1), 189-210
20. 陳和玉（1998）：**科學史融入高中物理之教學方法研究**。高雄市：國立高雄師範大學物理學系碩士論文（未出版）。
21. 陳淑媛和洪振方（1998）：融入科學史之教學對學生了解科學本質之影響。**科學教育學報**, **2**, 121-150。
22. 傅麗玉（1996）：科學史與台灣中等科學教育之整合-問題與建議。**化學教育面面觀**（pp. 165-193）。台北市：國立台灣師大中等教育輔導委員會。
23. 傅麗玉（1999）：科學家的不當行為故事在中等科學教育的價值與意義。**科學教育學刊**, **7**(3), 281-298。
24. 楊文金和楊莉川（1998）：從社會認同理論探討高中生傾向科學的態度與科學的本質。**物理教育**, **2**(1), 45-62。
25. 廖麗貞和洪振方（1998）：**科學史哲在科學教學之研究 — 科學史在大學生物通識教育之研究**。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告（NSC87-2511-S017-015）。台北市：行政院國家科學委員會
26. 鄭子善（2000）：**科學故事課程設計之行動研究 — 以燃燒現象發展史為例**。花蓮市：國立花蓮師範學院國小科學教育研究所碩士論文（未出版）。
27. 鄭秀如（1996）：**科學史對學生科學知識本質觀及學習成就之影響**。高雄市：國立高雄師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
28. 鄭秀如和林煥祥（1998）：科學史對高中學生學習成就之影響。**科學教育學報**, **2**, 205-222。
29. 鄭湧涇（1989）：職前與在職生物教師對科學本質的了解。載於**中華民國第四屆科學教育學術研討會彙編**（pp. 257-283）。台北市：行政院國家科學委員會。

30. Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Reseach in Science Teaching, 37*(10), 1057-1095.
31. Alters, B. J. (1997a). Whose nature of science? *Journal of Research in Science Teaching, 34*(1), 39-55.
32. Alters, B. J. (1997b). Nature of science: A diversity or uniformity of ideas? *Journal of Research in Science Teaching, 34*(1), 1105-1108.
33. American Association for the Advancement of Science (AAAS) . (1989). *Project2061: Science for all Americans*. Washington, DC: Author.
34. Brush, S. G. (1974). Should the history of science be rated X? *Science, 183*, 1164-1172.
35. Brush, S. G. (1989). History of science and science education. In M. Shortland & A. Warwick (Eds), *Teaching the History of Science,* (pp. 54-66). NK: Basil Blackwell.
36. Carey, R. L., & Stauss, N. G. (1968). An analysis of the understanding of the nature of science by prospective secondary science teachers. *Science Education, 58*(4), 358-363.
37. Cleminson, A. (1990). Establishingan epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature science and how children learn science. *Journal of Research in Science Teaching, 27*, 429-445.
38. Cooley, W. W., & Klopfer, L. (1961). *Test on Understanding Science: Form* W. Princeton, NJ: Educational Testing Service.
39. Duschl, R. A. (1988). Abandoning the scientific legacy of science education. *Science Education, 72*, 51-62.
40. Duschl, R. A. (1994). Research in the history and philosophy of science. In D. L. Gablel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning,* (pp. 443-465). New York: McMillan.
41. Garrison, J. W., & Lawwill, R. S. (1993). Democratic science teaching: A role for the history of science. *Interchange, 24*(1 & 2), 29-39.
42. Giddings, J. G. (1982). *Presuppositions in school science textbooks*. Unpublished doctoral dissertation, University of Iowa, Iowa.
43. Horner, J., & Rubba, P. (1979). The laws are mature theories fable. *The Science Teacher, 45*(2), 31.
44. Kauffman, G. B. (1991). History in the chemistry curriculum. In M. R. Matthews (Ed.), *History, Philosophy, and Science teaching: Selected Readings* (pp. 185-200). Toronto & New York: OISE Press, Teachers College Press.
45. Kimball, M. E. (1967). Understanding the nature of science: A comparison of scientist and science teachers. *Journal of Research in Science Teaching, 5*(2), 110-120.
46. King, B. B. (1991). Beginning teachers' knowledge of and attitudes toward history and philosophy of science. *Science Education, 75*(1), 135-141.
47. Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
48. Lederman, N. G. (1983). *Delineating classroom variables related to students' conception of the nature of science*. Unpublished doctoral dissertation, Syrancuse University, New York.
49. Lederman, N. G. (1986). Relating teaching behavior and classroom climate to change in students' conceptions of nature of science. *Science Education, 70*(1), 3-19.
50. 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.

51. Lederman, N. G. (1998). The state of science education: Subject matter without context. *Electronic Journal of Science Education, 3*(2). Retrieved December 20, 1999, from http://unr.edu/homepage/jcannon/ejse/lederman.html
52. Lederman, N. G., & Zeidler, D. (1987). Science teachers' conceptions of the nature of science: Do they really influence teacher behavior? *Science Education, 71*(5), 721-734.
53. Lederman, N. G., Wade, P. D., & Bell, R. Y. (1998). Assessing the nature of science: What is the nature of our assessments? *Science & Education, 7*, 595-615.
54. Leite, L. (2002). History of science in science education: Development and validation of a checklist for analysing the historical content of science textbooks. *Science & Education, 11*, 333-359.
55. Matthews, M. R. (1994). Science teaching the role of history and philosophy of science. Routledge, New York.
56. McComas, W. F., & Almazroa, H. (1998). The nature of science in science education: An Introduction. *Science & Education, 7*, 511-532.
57. National Research Council (NRC). (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
58. Osborne, J., Colins, 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 Researh in Science Teaching, 40*(7), 692-720.
59. Palmquist, B. C., & Finley, F. N. (1997). Preservice teacher's views of the science during a postbaccalaureate science teaching program. *Journal of Research in Science Teaching, 34*(6), 595-615.
60. Roach, L. E., & Wandersee, J. H. (1995). Putting people back to science: Using historical vignettes. *School Science and Mathematics, 95*(7), 365-370.
61. Rubba, P. A., & Andersen, H. (1978). Development of an instrument to assess secondary school students' understanding of the nature of scientific knowledge. *Science Education, 62*(4), 449-458.
62. Ryan, A. G., & Aikenhead, G. S. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. *Science Education, 76*, 559-580.
63. Schecker, H. P. (1992). The paradigmatic change in mechanics: Implication of historical processes for physics education. *Science and Education, 1*(1), 71-76.
64. Smith, M. U., & Scharmann, L. C. (1999). Defining versus describing the nature of science: A pragmatic analysis of classroom teachers and science education. *Science Education, 83*, 493-509.
65. Smith, M. U., Lederman, N. G., Bell, R., McComas, W. F., & Clough, M. (1997). How great is the disagreement about the nature of science: A response to Alters. *Journal of Research in Science Teaching, 34*(1), 1101-1103.
66. Solomon, J., Duveen, J., Scot, L., & McCarthy, S. (1992). Teaching about the nature of science through history: action research in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching, 29*(4), 409-421.
67. Sorsby, B. (2000). The irresistible rise of the nature of science in science curricula. In J. Sears., & P. Sorensen (Eds.), *Issues in science teaching*

(pp. 23-30). London: Routledge Falmer.
68. Stanley, W. B., & Brickhouse, N. W. (2001). Teaching science: The multicultural question revisited. *Science Education, 85*, 35-49.
69. Tsai, C. C. (1998). An analysis of scientific epistemological beliefs and learning orientations of Taiwanese eighth graders. *Science Education, 82*, 473-489.

A Study of the Necessity for Teaching the 'Nature of Science' and 'History of Science' in Elementary and Secondary Schools

Liang-Rong Hsu[1] and Pei-Yu Hsiao[2]

[1]Department of Science Application and Dissemination,
National Taichung University

[2]Da-Ren Elementary School, Taichung City

Abstract

In recent reforms of science education, the nature of science (NOS) and history of science (HOS) are broadly emphasized. However, there is a lack of consensus on what should be taught regarding the NOS and HOS. This paper interviewed 20 experts and scholars in Taiwan, including scientists, science educators, history and philosophy of science (HPS), environmental educators and education experts using Delphi Method. Regarding the NOS, the teaching goals can be broken down into 3 education levels: 9 items for elementary schools, 22 for junior high schools, and 28 for senior high schools. However, the results indicated that the experts have not agreed on the necessity for elementary schools to study the HOS. Five and 12 items of teaching goals were composed of the content of the HOS in junior high school and senior high schools, respectively. These HOS items are fundamental and therefore must be included in the curriculum. In additional, the results from the survey regarding teaching goals of NOS are in agreement with the findings of McComas & Almazroa (1998) and Osborne *et al*., (2003). However, in comparison with the nine-year articulated curriculum, the teaching goals of NOS are different from our research. Reconsideration of the teaching goals of NOS in the nine-year articulated curriculum may be necessary. In summary, this study not only provides teaching goals and objectives of the NOS and HOS for elementary and secondary schools, but also provides a reference framework for the future development of science curriculums.

Key words: Delphi Method, History of Science, Nature of Science