科學教育學刊
1997, 第五卷第三期， 391-418

EJ51-1997-391

論　壇

Kuhn《結構》中所談的科學教育 －兼論 Siegel 與 Brush 的爭議

徐光台
國立清華大學　通識教育中心／歷史研究所

（投稿日期：86 年 7 月 4 日，接受日期：86 年 9 月 7 日）

摘要：原先接受常態科學教育物理專業訓練的孔恩，1947 年爲哈佛大學非主修科學的學生開授科學史的通識課程，進而轉變了他對科學發展的看法。在《結構》一書中，他試圖從科學史、科學哲學、與科學教育三個領域，來証驗科學發展不是直線累積的，而是通過科學革命造成的結構性轉換。然而，西格爾 (Siegel) 批判孔恩《結構》中扭曲了科學史在科學教育中的教學，而引發了西格爾與布魯西 (Brush) 間的爭議。因此，本文旨在闡明《結構》中所談的科學教育，並試圖藉此來解決西格爾與布魯西間的爭議。

筆者發現，《結構》中存在著兩種科學教育：哈佛大學的科學通識教育與一般訓練科學家的科學教育。前者啓發孔恩探討科學史與科學哲學後，並以科學史的研究來支持科學發展是革命性的結構轉變，也就是典範的轉換。後者通過科學教科書來推展掌握優勢的典範，消除了或扭曲了科學革命的歷史過程，而展現出科學是直線累積的進步。依此，《結構》中引用一般訓練科學家的科學教育的原意，在於它是科學革命結構性轉換的反例。西格爾不清楚孔恩引用一般訓練科學家的科學教育的原意，所以，他的指控難以成立。

關鍵詞： Kuhn、《科學革命的結構》、科學教育、Siegel 與 Brush 的爭議。

壹、前言

近四十年來，科學史崛起成爲一個專門的領域，歷史取向的科學哲學也逐漸成爲科學哲學的主要趨勢，使得科學史與科學哲學對科學教育的影響，逐漸受到科學教育界的重視。孔恩 (Thomas Kuhn, 1922-1996)《科學革命的結構》(*The Structure of Scientific Revolutions*, 以下簡稱《結構》) 正是一本居於這種轉變關鍵的重要書籍。(Shortland & Warwick, 1989) 此書不但涉及科學史、科學哲學、與科學教育三個領域，更在談論任何一個領域時，都將另外兩個領域考慮在內。

或許是《結構》一書對科學教育界有其深遠影響，也因爲《結構》中所談的科學教育涉及科學史與科學哲學，所以過去討論此書在科學教育上的意義時，有偏重從孔恩在此書中形成的科學哲學對科學教育的意義來談 (李瑞全， 1988)，有從教科書在科學教育中的角色來談 (Brackenridge, 1989)，西格爾 (Harvey Siegel) 則從科學教育的觀點來批判《結構》中扭曲了科學史在科學教育中的教學。關於西格爾的批評，孔恩似乎沒有答覆，反倒是引發了西格爾與布魯西 (Stephen G. Brush) 間的爭議。18 年來這場小爭議似乎沒有肯定的結論。(Siegel, 1979; 1980; Brush, 1979; 1980)

在什麼背景下，孔恩在《結構》中提出了他對科學教育的看法？爲什麼孔恩在談論科學教育時，總是離不開科學史與科學哲學的考量？究竟孔恩在《結構》中所談的是什麼樣的科學教育？他是否眞正地提倡科學教育中應曲解科學史？過去對這些問題產生的背景與原意似乎缺乏專門的研究。筆者相信，如果探究孔恩在《結構》中所談的科學教育的歷史背景與其眞實用意，或許能夠增進吾人對此書在科學教育上的實質意義。因此本文的目的即希望透過相關文獻分析，來了解孔恩在《結構》中談論科學教育的背景與原意，及其與科學史和科學哲學間的關係，並試圖藉此來解決西格爾與布魯西間的爭議。

本文發現，在《結構》中，孔恩提到兩種科學教育：哈佛大學的科學通識教育與一般訓練科學家的科學教育。前者啓發他探討科學史與科學哲學，引導孔恩由直線累積發展的科學史，轉變爲強調實際歷史過程的科學史，進而以科學史的研究來支持科學的發展是革命性的結構轉變，強調歷史性的科學哲學，並批判缺乏歷史性的科學哲學。質言之，從《結構》中呈現出對照的兩種科學史與科學哲

學，都可以看到此種科學通識教育的啓發與影響。另一方面，轉變後的孔恩在《結構》中極力批判直線累積發展的科學史與缺乏歷史性的科學哲學，因爲這兩點和《結構》本文中談的一般訓練科學家的科學教育（也就是孔恩本人經歷過的物理教育）相結合。在依據掌握優勢的典範所進行的科學教育中，科學教科書中不但消除了科學革命的歷史過程（也就是扭曲了科學發展的實際歷史），並常將科學發展簡化成直線累積的進步史。因此，筆者認爲，《結構》本文中引用一般訓練科學家的科學教育的原意，在於它是科學革命結構性轉換的反例。

西格爾不清楚孔恩在《結構》中提到兩種科學教育，也不明瞭孔恩引用一般訓練科學家的科學教育的原意，反而控訴孔恩《結構》中提到的（一般訓練科學家的）科學教育扭曲了科學史在科學教育上的應用。此外，從西格爾與布魯西的爭議也顯示出西格爾對典範的選擇、科學史與科學教育間的關係欠缺理解。

貳、西格爾對孔恩《結構》中科學教育的批評

1979 年西格爾發表〈論科學史在科學教育中的曲解〉一文，認爲孔恩在此書中倡議：科學教育應該曲解科學史，而對孔恩《結構》中科學教育與科學史間的關係給予嚴厲的批評 (Siegel, 1979, p. 111)。（註 1）西格爾的文章分爲三部分：首先，他批判性地討論孔恩對科學史在科學教育中的命題，也就是孔恩鼓吹扭曲的科學史 (Kuhn's advocacy of the distortion of the history of science)。其次，他在批評孔恩扭曲了科學史在科學教育上的應用時，將布魯西拉入此一爭議性問題中。最後，西格爾以哈佛 *Project Physics Course*（以下簡稱 PPC）做爲一個非孔恩式的科學教育例子，試圖藉此來突顯孔恩鼓吹扭曲的科學史是不適當的。本節先處理第一與第三個問題，第二個問題留到下一節中處理。

首先討論孔恩對科學史在科學教育中的見解。西格爾試圖簡明地 (Concisely) 表達出他個人認爲孔恩在這個問題上的立場。(Siegel, 1979, p. 111)

> 科學教育在扭曲科學史，而且應該如此。孔恩視科學教育的目標爲對學生教誨當時支配的典範。他主張，爲了有效地教誨此一典範，科學教育者應該系統地曲解科學史。

西格爾認爲孔恩不但主張科學教育在曲解科學史，而且還找到曲解科學史的來源，也就是「科學教育的目標爲對學生教誨當時支配的典範」，爲了有效地達

成此一目標，因此，「科學教育者應該系統地曲解科學史」。這也說明了：爲什麼孔恩雖然指出了教科書中存在著將歷史扭曲的部分，可是他卻有很好的理由來爲「系統地誤導讀者」而辯護。(Siegel, 1979, p. 111)

> 爲了執行它們的功能，對於那些基礎當初被認出、被那一行的專家採納的過程，它們就沒有必要提供眞實的消息。至少就教科書而言，在這些問題上，甚至有很好的理由來解釋爲什麼它們應該系統地誤導讀者。（註 2 ）

接著，西格爾從理想教育的觀點來批判孔恩。他主張，基於道德的考量，吾人應該拒絕任何對課程內容的扭曲。如同吾人要求受人尊重，學生是人，也要受到同樣的尊重，而不是科學教育者所希望揉捏的對象，有目的的扭曲了科學史更不合此一要求。質言之，他認爲，孔恩對學生批判的能力持著悲觀的看法。(Siegel, 1979, p. 113)

在批判孔恩主張科學教育應該曲解科學史以外，西格爾還找尋支持他的主張的例子。在他看來，哈佛 *Project Physics Course* (PPC) 可以做爲科學教育中合於他批判孔恩的一個例子。

PPC 產生的背景可以回溯到 1960 年代初期，那時美國高中生選修物理的人數不斷地下降，爲了爭取更多的學生修讀物理，於是發展新課程。其中，高中的物理教師 F. James Rutherford 、大學精通科學史的物理教授 Gerald Holton 、科學教育學者 Fletcher G. Watson 等三位作者參與 PPC 物理新課程的目標與課題的設定。他們發展一種新的科學教育哲學，目標並不限定在專業科學教育者偏好的一小群優秀學生，也要吸引不以科學爲未來生涯發展的廣大的學生來修讀物理，因此，將過去物理教科書中所忽略的科學發展中的人文精神部份，納入課程中，使得科學與人文因素的互動於 PPC 中得到發揮。(Holton, Rutherford & Watson, 1970; Holton, 1993)

由於精通科學史的物理教授 Gerald Holton 的參與， PPC 乃成爲將科學史應用到科學教育上的一個例子。例如，關於運動概念部分，在亞里斯多德式 (Aristotelian) 的傳統中，介紹伽利略 (Galileo Galilei, 1564-1642) 對自由落體運動的描述；天體運動部分，從希臘時期的解說出發，陸續談到哥白尼 (Nicolas Copernicus, 1473-1543) 、刻卜勒 (Johannes Kepler, 1571-1630) 、伽利略、牛頓

(Isaac Newton, 1642-1727) 的系列發展。(Rutherford, Holton and Watson, 1970, units 1-2.) 在西格爾看來，此一採取人文主義取向來介紹物理學的 PPC 課程，不但沒有沿著孔恩式路線來扭曲科學史，也就是以支配的典範來回答過去的問題，反而是以過去的科學來回答當時的問題。因爲它企圖認眞地與嚴肅地處理科學史，所以，它不但不是孔恩式的科學教育，反倒是一個反例。(Siegel, 1979, p. 115)

質言之，西格爾的文章旨在挑戰孔恩，認爲孔恩曲解了科學史在科學教育上的見解，所以，孔恩的看法是不適宜的 。

參、西格爾與布魯西的爭議

在西格爾批判孔恩的〈論科學史在科學教育中的曲解〉文章中，關於他批評孔恩是否扭曲了科學史在科學教育的爭議性問題上，他將布魯西拉入，反而轉變成雙方對於孔恩看法上的爭議。

對於孔恩是否扭曲了科學史在科學教育這個爭議性問題，西格爾依據布魯西早先發表的〈科學史是否應列爲 X 級？〉(Should the History of Science Be Rated X?) 一文 (Brush, 1974)，比較布魯西與他的看法。一方面，他稱讚布魯西，因爲布魯西同意科學教育者不應扭曲科學史；另一方面，他批評布魯西，因爲布魯西並不關切批評孔恩，而只在意實際研究的科學家的形象，而不像孔恩關切典範教化中的扭曲的有效性。(Siegel, 1979, pp. 113-114) 西格爾本人重申他挑戰孔恩的立場，主要係基於㈠批判孔恩認爲接觸舊的拋棄的典範只會傷害學生企圖精通今日的典範；㈡承認道德的考量對孔恩的立場不利。因此，他的結論是，對於孔恩扭曲科學史在科學教育上的問題，布魯西雖然站在對的一邊，卻提出了錯誤的理由。(Siegel, 1979, p. 114)

布魯西在同一年對西格爾的文章做出了評論式的回應。在〈對論科學史在科學教育中的曲解之評論〉中，他指出西格爾的論証中的一些疑問。首先，他重申西格爾論文的兩個要點：第一，他們兩人同時拒斥（但係爲了不同的理由）孔恩建議在訓練科學家時，科學史應被扭曲；第二，PPC 是〔孔恩〕科學教育的一個反例，它成功的使用精確的歷史說明。

身爲 PPC 的作者之一，布魯西認爲他很難不同意第二點，也就是 PPC 使用科學史。不過，他認爲西格爾對 PPC 所下的結論太快了：認爲 PPC 成功地製造

了勝任的科學家。事實上，修過 PPC 的學生與修過不含科學史的物理課本的學生在物理成就測驗上不分軒輊，只能確定地顯示了歷史材料的引入並不阻礙科學知識與技能的獲得 。(Brush, 1979, p. 277; Holton, 1978, p. 289)

布魯西評論西格爾的主要目的在修正西格爾文章產生的一個印象：布魯西是孔恩的批評者。布魯西指出，《結構》呈現給科學教育者的一個弔詭：如果接受孔恩的理論，則應放棄他的書。西格爾擺脫此一弔詭的方式是，只要指出被取代的典範的缺點，就証明了新典範的有效性。布魯西認爲，這種看法過於單純，它忽略了一項引人爭議的根本因素：對於舊典範的追隨者來說，典範的轉換是不能夠合理地証驗的。(Brush, 1979, p. 277)

對於孔恩《結構》中扭曲科學史在科學教育上的應用，布魯西主張那在科學教育上是功能性的，而不認爲孔恩聲稱在道德上是可欲的。爲了要否証孔恩的推論，也就是扭曲科學史在科學教育上的應用是功能性的，吾人可攻擊他所提出的科學是如何運作的一般理論，或是決定常態科學的解謎活動的有效性，沒有歷史眞理、對已接受理論的批判的態度、或是大衆對科學家的偏好等價值來得重要。顯然地，西格爾並沒有著手這方面的批判工作。(Brush, 1979, p. 278)

相對地，如果吾人接受孔恩所述，一個一致的科學社群對成熟的科學發展是重要的，那麼科學教育者很難將在功能上爲了培育學生學習科學家的社會角色與行爲模式，和依照盛行的典範來訓練學生區隔開。既然沒有否証孔恩扭曲科學史在科學教育上的應用是功能性的，在實際科學教育中又無法將盛行的典範區隔開，布魯西最後主張，與西格爾的兩個陳述相反的是，二人在宣稱科學教育中使用精確的科學史的理由方面並無差別。(Brush, 1979, p. 278) 質言之，此文在爲孔恩辯護。

1980 年兩人間的爭議轉換到典範的選擇與教育的問題上去。西格爾的回應是，他相信兩人間的類似性低於布魯西所想的。(Siegel, 1980, p. 121) 對於「如果接受孔恩的理論，則應放棄他的書」的弔詭，與其背後的根本因素是典範的轉換是不能夠合理地証驗，西格爾提出兩點理由加以反駁。

首先，在科學教育中，吾人並不試圖去教那些舊典範的追隨者，而是以未信典範的學生爲對象，可以合理地告訴他們爲何當前的典範優於舊的對手。其次，對於孔恩聲稱「典範的選擇是不能夠合理地証驗」，西格爾的立場是否定孔恩的聲稱。他主張「典範的選擇是不能夠合理地証驗」並不是一個經驗的、歷史的聲

稱，而是一個規範的、哲學的聲稱，它（部分地）與証驗和合理的選擇有關。西格爾聲稱，孔恩主張「典範的選擇是不能夠合理地証驗」是錯誤的。(Siegel, 1980, p. 121)

布魯西的答覆是：今日吾人可以對物理科學中所接受的大部分典範加以合理的証驗。爭議的要點在於：在歷史上科學社群在採納一個計劃的典範之前是否等待如此的証驗。在教育上的問題是：我們是否試圖去解說爲何一個新觀點在直接的實驗証驗以前就被接受了？(Brush, 1980, p. 123)

至此，兩人間的爭議暫時告一段落， 往後似乎沒有進一步的發展。由於這場爭議與《結構》中的科學教育有關，而孔恩從一開始就沒有加入這場爭議，究竟西格爾的批判與布魯西的辯護，哪一個合於《結構》中所談的科學教育，需要從《結構》著手。

肆、科學通識教育對孔恩的影響

在《結構》敘言中，孔恩談到當他還是一位物理學博士候選人時，一種特殊的科學教育改變了他的生涯，使他本人親自經歷科學史與科學哲學的轉變，也改變了原先科學訓練下所具有的科學史與科學哲學的想法：(Kuhn, 1970, p. v; 孔恩， 1994, p. 35)

> 本書始於十五年前的一個計劃，這是第一份正式出版品。當時，我還是一個理論物理的研究生，幾乎快完成博士論文了。那時，哈佛大學創設了一項實驗性的大學部課程，其目的是讓不主修自然科學的學生，能了解一些基礎的物理學，我很幸運地參與了這項課程，因而接觸到科學史。使我驚訝的是：讀了那些過時的科學理論及老舊的研究之後，竟使我完全拋棄了我原先對科學的本質及“科學之所以特別成功”這一問題的基本想法。我原先〔對科學發展〕的想法有一部分來自我所受過的科學訓練，另一部分來自我對“科學的哲學”的長期業餘興趣。不論這些想法在教學上多麼有用，也不論它們在抽象推理上有多麼可信，這想法與我研究科學史以後所獲得的印象完全不相符。然而這些想法在討論科學時極爲重要，假若他們與科學史上的實況不符，那麼就值得徹底追查下去。結果我大幅

> 度地更動了我的未來計劃，從物理學轉到科學史，然後逐漸地從直截的歷史問題，轉向較具哲學意味的問題。

這項經歷十五年時間的轉變，可以溯源到 1947 年孔恩獲得一個將科學史應用到科學通識教育上的機會開始。當時他還在哈佛大學攻讀理論物理的博士學位，受到校長康南特 (James Conant) 的邀請，參與了科學通識教育的實驗教學，爲非主修科學的學生講授十七世紀力學史，因而轉變了他原先在專業物理軌跡上前進的生涯發展。

孔恩在教授十七世紀力學史以前，來自專業物理教育的訓練使他相信科學的進步不過是科學家運用某些方法去進行觀察、提出假設或理論，在經過實驗的驗證後，將成就直線累積的過程。可是，當他開始教授十七世紀力學史時，在介紹伽利略與牛頓以外，他還考慮介紹在他們以前的先驅者對力學發展的貢獻，因而接觸到亞里斯多德 (Aristotle, 384-322 B.C.) 物理學。一開始閱讀亞里斯多德物理學時，孔恩採用惠格式 (whiggish) 觀點，用物理專業教育所具有的科學發展見解來讀亞里斯多德物理學，也就是用牛頓力學爲標準來看亞里斯多德物理學。很明顯地，在此一進步的近代觀點下，亞里斯多德物理學顯得是錯誤百出，一無是處，對十七世紀力學毫無貢獻。(Kuhn, 1977, p. xi; 1987, p. 9)

後來，孔恩不再用原先以牛頓力學來解讀文獻的方式，改從亞里斯多德物理學本身的意義去了解它，在解讀亞里斯多德物理學的問題上，這種突然的轉變使孔恩看到的不再是早先所見的無知與錯誤，而是讓典籍呈現出它本身的意義。(Kuhn, 1987, p. 9)

此一經驗使孔恩開始懷疑過去科學發展的見解。接著，他將讀懂亞里斯多德物理學的經驗遷移到過去許多偉大的科學家的著作上去，這些人包括了波義耳 (R. Boyle, 1627-1691) 、牛頓、拉瓦錫 (A. Lavoisier, 1743-1794) 、道爾敦 (J. Dalton, 1766-1844) 、波茲曼 (L. Boltzmann, 1844-1906) 與普朗克 (M. Planck, 1858-1947) 等。(Kuhn, 1977, p. xii)

最後，孔恩提出了一個與原先科學發展截然不同的見解，認爲它不是科學家個別貢獻的累積，也不是知識逐漸增長的歷程，而是根據舊科學在當時的發展與轉換來看科學的演變，得到科學發展是科學結構革命性的整體轉換形成了科學的進步 。

總結的說，在 1947 年參與哈佛大學通識教育計劃爲非主修科學的學生講授科學史，也就是在這種科學通識教育與科學史教學關連的脈絡中，讀懂亞里斯多德物理學成爲孔恩跨入科學史領域的起點，也是一個轉變他的科學發展見解的革命性事例。此一事例使得孔恩由原先用牛頓力學來解讀亞里斯多德物理學的看法，轉變爲採取一種新方式來讀懂亞里斯多德物理學，並進而開始關切科學發展如何由亞里斯多德物理學轉變到牛頓力學這類問題。因此，對孔恩而言，讀懂亞里斯多德物理學是他個人對科學發展的革命性轉變的一個關鍵性經驗。

孔恩前後共花了十五年才將他讀懂亞里斯多德物理學，並由此種經驗推展到其他偉大的科學家著作上去，連結起來說明如何由亞里斯多德物理學轉變到牛頓力學，或是科學發展中不同世界觀間的轉換，並將他所了解的科學變遷的急遽變化清楚地寫成書出版，顯示即使是他本人要從傳統的科學累積發展的想法中掙脫，也是一件非常不容易的事情。筆者認爲，他由原先重視科學知識內容的科學發展見解，轉變爲從科學是一種歷史現象中發現科學結構是革命性的整體轉換，這種在科學發展見解上的轉變，與有意識地表達出前後的見解，可歸於科學通識教育所引發的一連串省思。

事實上，對孔恩而言，這種特殊的科學通識教育所具有啓發意義，展現在《結構》中呈現出的兩種對照的科學史，以及兩種對照的科學哲學上面。質言之，它轉變了孔恩對科學史與科學哲學的見解。

伍、《結構》中的兩種對照的科學史

過去對科學發展的歷史主要地可分爲兩種不同的看法：一種是強調科學成就的歷史，重點在科學知識的累積發展；另一種重視的是科學成就只是在社會文化發展歷程中得到的結果，重點放在歷史過程方面。(Kragh, 1987, pp. 20ff.)《結構》中清楚地提到這兩種對照的科學史觀點與孔恩的轉變。

一、直線累積發展的科學史

在科學史還沒有發展成爲一門專業以前，從事科學史研究的不少是實際從事相關科學研究的科學家。他們會對舊科學 (Old science) 有興趣的一個主要原因，是在過去的科學成就中看到今日科學成就的縮影或先驅者的努力。因此，這類科學史研究多屬科學家觀點的科學史，其目的是爲了強調本身研究領域的重要

慶祝偉大科學家的成就而寫一些關於科學發展的作品。例如，地質學者 Archibald Geikie 在 1896 年於 Johns Hopkins University 的 Williams Memorial Lectures 中發表《地質學的奠基者》。(Geikie, 1897)

依照科學家的科學史觀寫出的作品或譯作中多呈現出惠格式的觀點。將科學發展看成是進步的，並採取一種從現代科學的觀點來看過去的科學，因而在舊科學中只看到過去偉大的科學英雄促使科學朝向現代的進步。(Butterfield, 1965; Wilde, 1981; Hall, 1983) 而此一觀點也部分受到實證主義的科學見解的影響。(Jones, 1989, p. 80) 孔恩指出現代科學教科書中就在傳遞著此種實證主義的科學見解。(Kuhn, 1970, p. 1)

> 科學的內涵，只能由書中所敘述的“觀察”、“定律”及“理論”呈現出來。通常，這些教科書讓人感到“科學方法”就是用以收集教科書所記載的那些資料的各種操作技術，以及利用這些資料形成書中理論通則的種種邏輯運作。這樣造成的科學觀大大影響了我們對科學本質及其發展的瞭解 。

孔恩認爲，在這種教科書薰陶下成長的科學家，也是要將此種科學內容整理出成果的人。(Kuhn, 1970, p. 1)

> 如果科學就是現行教科書中所收集的事實、理論、及方法的總匯，那麼科學家就是想要對這總匯有所增益的人－不管他到底有沒有成功。

所整理出來的科學史常是一種直線累積的發展過程，依照科學成就的標準來取捨。合於此標準的事實、理論、與方法，則納入此種直線累積的科學史；而歷史過程中與科學發展相關的各種錯誤、神話、及迷信，反而成爲妨礙科學的直線累積發展，而加以篩除。(Kuhn, 1970, p. 1)

> 科學的發展究成爲一個累積的過程：事實、理論、與方法或單獨或成組地加入日漸成長的科學技術與知識的堆棧中。因之，科學史的任務就是：記載新發明與新發現的出現年代，與阻礙科學業績累積的因素。關心科學發展這個問題的科學史家便有兩件主要的任務。第一，他一定要弄清楚現代科學中的事實、定律及理論是什麼人在

> 什麼時候發現或發明的。第二，他一定得描述及解釋妨礙現代科學知識體系中的各種成分迅速累積成長的各種錯誤、神話、及迷信。大部分以前的研究不外在解答這兩類問題，目前仍有這類研究。

本世紀中葉當科學史逐漸崛起而成爲一門新的領域時，這種科學累積發展史觀也受到質疑。

二、強調實際歷史過程的科學史

一些科學史學者或思想史家包括了 Alexandre Koyré (1892-1964), Emile Meyerson (1859-1933), Hélène Metzger (1889-1944), Anneliese Maier (1905-1971), A. O. Lovejoy (1873-1962) 等，在研究過去曾流行過的舊科學後，他們從科學史家的觀點來看科學發展，主張依照歷史方法來處理與科學有關的活動，並從社會文化的歷史過程來說明科學發展的變化，在這些學者的作品中 (Kuhn, 1970, p. vi)，孔恩發現一些是直線累積的科學發展史觀難以肯定地回答的問題。(Kuhn, 1970, p. 2)

> 科學累積發展史觀所賦予他們的的任務越來越難完成。他們發現，研究做得愈多就愈難回答諸如：氧氣是何時發現的？誰先想出了能量守恆定律？這類問題。他們之中某些人開始懷疑他們根本就不該問這種問題。

另一方面，那些被舊的科學史家認爲是錯誤與迷信的，卻在這些新史家們的歷史研究中，很難與科學或觀察的區分開。(Kuhn, 1970, p. 2)

> 同時這些史家還發現，他們愈來愈難以區別過去的觀察與信仰中的科學成分，與被前輩史家們標明爲錯誤及迷信的成分究竟有何不同。

因此，孔恩與新史家們對直線累積的科學史觀深表懷疑。(Kuhn, 1970, pp. 2-3)

> 或許科學史並不是個別的發明或發現逐漸累積的過程。……歷史研究不但揭示“找出某件發明或發現是什麼人在什麼時候完成的”這一工作極難有結論，而且也讓我們有理由對“科學是個人貢獻的累

積過程”這一看法深予懷疑。

事實上，這些新的史家們擺脫惠格式科學史的觀點，不再以現代科學爲判斷或研究過去科學的標準，反而希望呈現出舊科學在它所盛行的那個時代中的發展。(Kuhn, 1970, p. 3)

> 科學史學者已逐漸提出一套新的問題，試著爲科學描繪出一個不同的、非累積性的發展模式，……他們想要表現出，舊科學在他盛行的時代是一個完整的體系。例如，他們不問：伽利略的觀點與現今科學的觀點間有什麼關係，而是問：他的觀點與他所出身的團體的觀點有何關係。而且，他們堅持在研究這科學團體或其他類似團體之意見時，所應採取的觀點通常不能來自現代科學，而應是一種能呈現出這些意見的內在一致性、與自然最能相契合的觀點。這一新的研究取向的成果，以誇黑 (Koyré) 的著作最具代表性。

質言之，孔恩「從這些著作中所觀察到的科學，與舊史學傳統所討論的科學似乎不是完全相同的活動。」(Kuhn, 1970, p. 3) 舊科學史傳統注重的是現代科學仍能指認的科學事實、定律與方法等的累積過程，而新的科學史則重視這些事實、定律與方法如何在那些時代的社會文化中發展出來的歷史過程。

陸、《結構》中兩種對照的科學哲學

上述兩種科學史對科學見解的不同，關係到兩種科學哲學的差異。在新科學史的著作引導下，孔恩發展出一種具有歷史性的科學哲學，與缺乏歷史關懷的舊科學史觀相連的科學哲學，呈現明顯的對照。因此，從歷史性方面來看，《結構》中基本上存在著兩類與科學發展相關的科學哲學觀點。

一、強調歷史性的科學哲學：科學發展結構的歷史演進

基於科學史的研究，也就是科學家在歷史文化的社會過程中的實踐活動，孔恩想建立的是一種歷史主義的科學哲學。他認爲歷史上的和當代的絕大多數的自然科學家（特別是物理學家）都在進行「常態科學」(Normal science) 的研究活動。這類活動的特色在遵循當時專業性研究所接受爲最高指導原則的「典範」(Paradigm)，去解決疑難或問題。當科學發展在遇到「異例」以後，少數科學家

對「常態科學」所遵循的「典範」抱著不滿的態度時，「常態科學」的研究則過渡到「非常科學」(Extraordinary science) 時期，形成科學發展的危機。此一情形就好比政治上由對舊政權質疑的危機時期，到推翻舊政權建立新政權的革命時期，科學發展上，也由危機時期對舊典範的質疑，到後來揚棄舊典範建立新典範的「科學革命」時期。孔恩用政治革命取決於政治社群來類比科學革命取決於科學社群 。 (Kuhn, 1970, p. 92)

歷史不但促成了孔恩對舊的科學發展見解的覺醒，也成爲支持他科學發展是革命性演進的資料。不同於過去的「直線累積式的科學進步史觀」，孔恩提出的既不是直線的，也不是一個連續累積的發展歷程，而是根據舊科學在當時的發展與轉換來看科學的演變，得到科學發展是科學結構革命性的整體轉換形成了科學的進步。根據何寧根－休雷 (Hoyningen-Huene, 1993, pp. 24-27) 的看法，「結構」是孔恩探討科學發展的焦點，因此，《結構》中涉及科學發展結構的歷史演進問題。在這個問題上，孔恩提到研究兒童世界觀及其轉變歷程的皮亞傑 (Jean Piaget, 1896-1980) 對他的影響。 (Kuhn, 1970, p. vi; 1977, pp. 21-22; 1979, pp. vii-viii) (註 3)

皮亞傑企圖從生物取向發展出一套關於個體知識形成的理論，也就是發生認識論。這種認識論強調個體認知結構或智力發展是發生的或歷史的 (Ontogenetic or historical) 。從他所強調的結構主義的觀點來看，認知結構具有整體性 (Wholeness) 、轉換 (Transformation) ，與歷經轉換與變遷仍能自我維持 (Self-regulation) 三種特性。 (Piaget, 1970, p. 5) 在有機體與環境的互動中，個體爲了不斷地適應環境的變化，一方面，形成內在的結構來同化 (Assimilate) 外界的訊息；另一方面，環境的變化也促使個體改變內在結構來調適 (Accommodate) 外在環境。當結構不能同化事物刺激時，就產生了不平衡的情形。爲了改變這種情形，兒童得改變他們的認知結構，才能將它們納入。調適就是這種轉換結構的過程。

類似於皮亞傑關切成長中兒童的認知成長，也就是兒童面對外在環境時的認知發展結構，孔恩注重的是科學家所產生的科學成長或發展，亦即科學家面對外在世界的科學發展結構。二者都關切成長中的人，所涉及的結構都不是靜態的，而是一種動態的發展，不僅涉及到歷史性的問題，還處理在歷史中的演進問題。

從語詞方面來看，《結構》採用了一 些非常類似於皮亞傑發生認識論的語

詞，一再地使用有關同化、調適等語詞（註４），來說明科學家面對異常現象時，採用轉換結構的方式來同化它。對舊理論而言，異常現象的出現，由於它難以爲既有理論所同化，因而形成科學發展的危機。異常現象無法被吸納入既有結構中，因而造成科學結構的不平衡，使得既有的結構面臨到調適的問題。爲了適應新現象，必須調整結構，而有了結構的轉化，直到革命性地產生新理論時才將它同化。

在發展有其整體結構性方面，類似於皮亞傑以基模 (Schemata) 是一個整體性的結構，孔恩則以典範爲科學發展的整體單位。就兒童的認知結構而言，在個體與環境的互動中，面對外在環境的訊息，個體的內在心理或認知結構，可以同化外在的訊息；在常態科學中，從科學發展的結構來看，科學家研究自然現象的發展成果並不是一個孤立的事件，它總是被納入常態科學之典範中。如果一個新的科學發現不能爲既有典範同化時，它會導致科學危機而造成科學革命，直到它被科學革命成爲常態科學後的新典範所同化，而被納入另一個科學發展的整體性結構中。

在結構的轉換與調適方面，對皮亞傑而言，當外在環境轉變到不爲兒童原有結構同化時，也就是認知結構和外在環境間的關係失去平衡，環境的變化會促使兒童改變其結構來調適它。皮亞傑採用知覺的完形來表達認知平衡的結果，用格式塔轉換 (Gestalt switch) 來比喻由原有的認知平衡經歷過不平衡，而轉換到另一個認知結構的轉變是一種整體性的轉變。(Piaget, 1960, pp. 256-258; 1971, pp. 198-199) 孔恩所處理的科學發展結構也面臨類似的問題。在常態科學時期，科學家是依照典範來同化外在環境所提供的科學事實，也就是這個科學發展結構和外在自然世界間保持著平衡的關係。當某一新的科學發現難以爲既有典範同化時，造成典範與世界間不平衡的關係。此一科學發展的危機時期，直到一科學家產生能夠同化科學發現的新典範，將科學發現納入另一個科學發展的整體性結構中，並廣爲科學社群所接受，才完成了前後相連的不同科學發展結構間的調適與轉換。孔恩稱此種結構整體性的改變歷程爲科學革命，並認爲此種整體的轉變就像格式塔轉換一樣。(Kuhn, 1970, pp. 112, 113, 120)

在整體結構與其轉換後面，皮亞傑認爲有機體還有一個能自我調整、持續演進的根本結構，調整與轉換只是有機體認知結構爲了調適外在環境的變化，而做出的自我調整與自我維持，因此，可以說是有機體認知結構爲一根本結構而在其

內的調整與轉換。孔恩討論科學發展時也強調一旦進入典範時期後，科學的發展將呈現有規則的重現結構，而結構間的整體轉換，也就是前後相連的不同科學發展結構間的調適與轉換後面，似乎存在著一個科學持續演進的根本結構來維持與調整結構的轉換。(Kuhn, 1970, p. 160)

從孔恩的科學革命的結構與皮亞傑的兒童認知結構在整體性、轉換、自我調整的持續結構等三方面具有相似性，以及使用語詞上的相似性，展現出皮亞傑對孔恩《結構》的影響。皮亞傑探討兒童是認知發展結構的歷史演進，在面對變遷的環境中，通過同化與調適來發展其結構，也就是認知結構在成長與變遷。類似地，孔恩探討科學發展結構的歷史演進，在前典範期以後，典範成爲科學研究的單位或科學家行動的依據，隨著科學家發現既有典範無法同化異常現象，某一科學家提出新典範，爲科學社群接受而造成典範的轉換，科學發展的結構在成長與變遷。

二、批評缺乏歷史性的科學哲學：檢證理論與否證理論

科學哲學方面，在《結構》問世以前，檢證理論與否證理論是兩個主要的關於科學發展的學說，卻是孔恩所反對的。

依據二十世紀邏輯經驗論 (Logical Empiricism) 而來的一種盛行已久的科學見解，主張科學是一種絕對無誤的知識體。邏輯經驗論將有意義的語句區分爲分析語句和綜合語句。前者對經驗事實無所述，只要分析語句中所有語詞的意義，就能斷定眞假值。而綜合語句則對經驗事實有所報導，吾人必須根據經驗事實來判斷其眞假值。因此，分析語句與綜合語句都是有意義的。

在科學發展上，此說主張直線累積的見解。一方面，經驗可以增加與累積科學知識，另一方面，須要經由一種可驗證的歷程，吾人可透過觀察、實驗獲得某些事實來檢証假設，以確証某種理論。經由此驗證的歷程，吾人可聲稱，根據獲得確証的某種理論，我們知道如何去解說某些自然現象。而科學的發展與成長就是將那些觀察、實驗的成果累積或增加的歷程。它是與直線累積的科學發展相關的科學哲學。

相對地，波柏 (K. Popper) 反對科學發展是累積的，而是舊的科學理論被否証，新的取而代之。科學的目的不在絕對無誤的知識，因而對一個個經驗命題是否確實性的檢証不感興趣。他關切的是如何能夠找到舊理論的錯誤，和更好的理

論，因此，強調的是批評使用經驗証據的態度。例如，科學與非科學的分界，或是科學與迷信間的區分，在於科學理論可以被否証，而被一個更好的理論取代。

孔恩認爲，上述兩個理論都不合於孔恩所知的科學發展的歷史，倒是史家可以提供協助來探究科學理論經歷試驗、檢證、或否證的歷程。(Kuhn, 1970, p. 144)

> 對哲學家在探究已建立的科學理論的試驗、檢證、或否證時，這些問題的重建是史家唯一可以提供的協助。

對一個從事常態科學的研究者而言，他的研究只在解決疑難，而不在試驗典範。(Kuhn, 1970, p. 144) 只有在科學危機時，兩個相互競爭的典範在爭取科學社群的成員時，才會出現試驗典範的情形。(Kuhn, 1970, p. 145)

另一方面，波柏強調否証的重要性。由於否証是對已經建立的理論所做測試的負面結果，所以，必然地，會導致對既有理論的拒斥。孔恩認爲，它是一種異常經驗，引起科學危機，爲新典範鋪路。(Kuhn, 1970, p. 146) 不過，新舊典範間的競爭，由於二者間的不可共量性，取決於科學社群中成員的抉擇。

上述的看法係從科學史與孔恩的科學哲學觀點來分析的，他並沒有在《結構》中就歷史主義的科學哲學所建立的主要論題，對缺乏歷史主義的科學哲學加以批判。

孔恩很明白哲學家所受的訓練與處理問題的方式與歷史家不同 (Kuhn, 1977, pp. 3-20)，不過，他並沒有採取哲學家們處理這類問題的專業方式，也就是針對同時代各派科學哲學家對同樣的問題所發表過的意見加以詳細討論、予以反駁、並建構新的論證，只在凸顯本身的科學史觀的哲學意含時，對和舊科學史觀連結在一起的哲學意含進行省思。孔恩爲什麼要批判和舊科學史觀連結在一起的哲學意含呢？(Kuhn, 1970, p. 136)

> 科學家與一般人對創造性的科學活動的印象，都來自同一權威性的源頭。部分上爲了重要的功能性理由，此一源頭系統地掩飾了科學革命的存在與意義。只有在我們認識與分析過那個權威之後，我們才有希望使歷史例證成爲有效的論證。至於權威的源頭，我心中主要想到的是：科學教科書、科普作品、以及它們所根據的科學哲學。

由於「只有在我們認識與分析過那個權威之後，我們才有希望使歷史例證成爲有效的論證」。爲了使歷史例証成爲有效的支持「科學是革命性發展的科學史觀」的有效論証，孔恩需要批判舊科學史觀的權威源頭之一的科學哲學。

既然孔恩對科學發展有關的哲學問題深感興趣，而他又對現代各派科學哲學家對同樣的問題所發表過的意見持有不同的立場，那他會以什麼方式來表達他對舊科學發展史觀有關的哲學問題的看法呢？他只能避重就輕的針對“哲學態度”。(Kuhn, 1970, p. x)

> 最後也可能是最重要的一點是：篇幅上的限制嚴重地影響到我對書中“歷史取向的科學觀”的哲學意含的處理。很清楚的是，的確有這些意含存在，我已經做的只是指出並記下其中的主要意含。但我並無詳細討論現代各派對同樣的問題發表過意見的哲學家的立場。在我表示懷疑的地方，我所針對的是他們的“哲學態度”而不是他們具體的意見與陳述。因之有些知道及採那這些立場的人，可能會認爲我誤解了他們的原意。我認爲他們錯了，但本書並不是寫來說服他們的，要想說服他們，須要一本很長很不同的書才行。

在《結構》中，孔恩並沒有明確地指出什麼才是同時代的科學哲學家們對科學是如何發展的這類問題的“哲學態度”。筆者個人認爲，或許孔恩所指的是：與舊的科學史觀關連的科學哲學的立場。舊科學哲學作品只重視結果，也就是如何將科學看成是一種知識體，根本上沒有考慮科學發展的歷史過程。

在不以哲學專業方式處理科學哲學的著作，以及沒分析科學通俗作品以外，而接受他的歷史論証的有效性又是建立在對科學史的認識之上，孔恩只剩下通過與科學教育關連的科學教科書才能使歷史例証成爲有效的支持「科學是革命性發展的科學史觀」的有效論証。因此，科學教育與科學教科書乃成爲他論證的主要著力點。

柒、《結構》中缺乏兩種對照的科學教育

孔恩在《結構》中也談到兩種科學教育：透過教科書訓練未來科學家的科學教育，與對哈佛大學非科學主修學生進行的科學通識教育。不過，在《結構》正文中，不像前述兩節中吾人看到有明顯的兩種對照的科學史觀點與兩種科學哲

學，這兩種科學教育間缺乏彼此的對照。

孔恩個人身受物理科學的專業教育訓練正是透過教科書訓練未來科學家的科學教育的寫照。從 1939 年進入哈佛大學物理系，而後在原校繼續攻讀碩士、博士學位， 1949 年以〈單鍵金屬聚合能量和原子量子缺失的關係〉(The Cohensive Energy of Monovalent Metals as a Function of Their Atomic Quantum Defects) 論文獲博士學位。（吳以義， 1996, pp. 1-2 ）孔恩本人所經歷的是一種訓練科學家的科學教育，正是《結構》中談到的「常態科學」的科學教育。

這種原先所受的是爲了培養或產生未來的專業科學家的科學教育，它的主要特色是：直到研究所的階段還非常地倚重科學教科書。當代物理的專業教育並不需要、也不要求學生直接閱讀過去偉大科學家的著作，因爲教科書已經將過去的知識成就整理的「更簡潔、更精確、更有系統的方式鋪陳出來了」。(Kuhn 1970, p. 165)

> 在這些〔當代自然科學〕領域中，學生主要依賴的是教科書，直到他在研究所第三年或第四年時，才開始自己的研究。許多科學的課程甚至不要求研究生去讀不是專門爲學生寫的作品。少數課程指定研究論文與專刊作爲補充讀物，亦只限於最高級的課程，以及教科書以外或語焉不詳的題材。一直到一個科學家的養成教育的最後階段，教科書系統地替代了那些使得教科書成爲可能的創造性科學文獻。科學家對他們的典範信心十足，這種信心使得這種教育技術成爲可能，很少科學家希望改變這種信心。畢竟，一個物理系的學生爲什麼還要讀牛頓、法拉第、愛因斯坦、薛丁格的著作，當這些作品中他需要知道的所有東西，已經在許多最新的教科書中用更簡潔、更精確、更有系統的方式鋪陳出來了？

另一方面， 1947 年孔恩受邀對哈佛大學非科學主修學生進行的科學通識教育，就是一種新類型的科學教育，它引導孔恩經歷科學史與科學哲學的轉變，使科學史中過去的科學文獻成爲支持孔恩的科學哲學的正面証據，進而與原先的科學教育中蘊含的科學發展見解相違。這種科學通識教育所導致的正面的証據，係建立在直接閱讀舊科學作品，覺醒後產生像孔恩那樣轉變的經驗，才會有科學革命之感，也發現歷史能夠對科學發展做一些事。質言之，這種科學通識教育對孔

恩只具有啓發的功能。可是，孔恩只在《結構》的序言中談到這種科學通識教育，而正文中似乎未提及。

相對地，經過科學通識教育啓發後，具有轉變的經驗的孔恩，反而在《結構》的正文中一再的談到「常態科學」的科學教育。這種科學教育係透過科學教科書做爲最主要的工具，來訓練、培 養或產生未來的專業科學家，使他們習得幹他那一行的本事，也「說服」和「教導」他們接受科學發展是一個直線累積進步的過程。

爲什麼「常態科學」的科學教育與科學通識教育沒有在《結構》的正文中出現對照呢？筆者認爲，這兩種科學教育之所以沒有對照，係因爲科學教育並不是《結構》的主題，不過，它卻能夠用來幫助解說人們爲什麼見不到科學革命，特別是歷史不但促成了孔恩對舊的科學發展見解的覺醒，也成爲支持他科學發展是革命性演進的資料，加上在皮亞傑兒童認知結構的歷史演進影響下，孔恩提出科學結構的歷史演進，可是爲什麼一般人卻見不到科學結構演進中的科學革命呢？孔恩在科學通識教育的啓發下，經由接觸到過去偉大科學家的作品，他開始懷疑舊的科學發展見解，而提出科學發展是革命性演進的。另一方面，在他原先接受常態科學的科學教育中，科學發展是直線累積進步的，使得受教者（包括在未從事科學通識教育前的孔恩）見不到科學革命。因此，存在於他個人經驗中常態科學的科學教育，可用來解說爲什麼人們見不到科學革命及其演進。

捌、孔恩在《結構》中談論科學教育的原意：爲什麼見不到科學發展結構的歷史演進

對於一般接受「常態科學」科學教育的讀者而言，由於那時的科學教育中很少談到科學史，缺乏像孔恩那樣正面的覺醒經驗，因此，要說服受過原先科學教育的讀者相信科學革命曾經發生過，恐怕不是一件容易的事；或許可以從另一個側面來看，也就是從他們受到科學教育的影響，來看科學發展與科學教育間的關係。

根據孔恩的見解，在十九世紀初，或更早以前，亞里斯多德的《物理學》、托勒密的《天文學大成》、牛頓的《 自然哲學的數學原理》與《光學》、富蘭克林的《電學》、拉瓦錫的《化學》、萊爾的《地質學原理》等作品，曾經既是科學成就具體的展現，也爲後繼的研究者循其成就解決問題時，須要參考閱讀的

科學經典之作。(Kuhn 1970, p. 10) 後來，當科學的發展愈來愈依賴教科書時，科學教科書不但是養成科學家與一般人科學知識的主要來源，更成爲「常態科學延續下去的教學工具」。(Kuhn 1970, p. 137)

透過教科書訓練未來科學家的科學教育，對實際的科學發展或科學革命，會如何記述呢？由於常態學在典範的引導下，從事解決疑難的活動，也就是根據過去偉大的科學成就所進行的進一步研究。當一個科學革命發生，新典範取代了舊典範，成爲常態科學所依據的典範時，原先在延續舊典範支配下常態科學的科學教科書，要重新改寫，來延續新典範支配下的常態科學。因此，不可避免地會掩飾科學革命的發生。(Kuhn 1970, p. 137)

> 教科書做爲延續常態科學的教學工具，每當常態科學的語言、問題結構，或標準改變時，它們就得全部或部分改寫。簡言之，在每次科學革命以後，教科書都必須重新寫過。而且，一旦重新寫過，它們不可避免地會將革命的角色，甚至革命的 存在都掩飾掉。無論實際從事研究的科學家或是教科書的一般讀者，除 非親自經歷過一個〔科學〕革命，他們的歷史感只能觸及領域中最近一次革命的成果 。

雖然掩飾了科學革命的發生，排除了典範間爭議的歷史，不過，通常教科書會在支配的典範爲標準的情況下，在導論中提供一個簡縮的歷史，只保留對現在仍有貢獻的過去科學成就的部分。(Kuhn, 1970, pp. 137-138)

> 教科書在開始的地方就縮減科學家對他那一行的歷史感，並提供了一個替代品。它的特性是：科學教科書只包含一點歷史，或者是放在導論中，更常見的是散見於提及早期偉大英雄的附注中。……爲著一些明顯而功能性的理由，科學教科書（以及大部分老的科學史著作）只會提到過去科學家的研究的一部分，也就是那些容易看成對書中典範問題的陳述以及解答有貢獻的部分。……當一切都重寫過以後，也難怪科學再一次地看來大體而言像是一個累積事業。

這種採取支配的典範爲標準，來改寫科學發展的做法，無疑地，只編入那些對當前典範仍有重大貢獻的過去科學成就，使得教科書中呈顯的「結果造成了一

種持續的傾向，企圖使科學史看來像是直線發展的或累積性的」(Kuhn, 1970, p. 139)。雖然，一門科學並不是那樣發展的，但是，在每次科學革命都開啓了科學教科書進行的收尾工作。(Kuhn, 1970, p. 140)

> ……每一個革命的脈絡是一次重建歷史的開端，例行性地由革命後的科學教科書加以完成。但是，這整個過程涉及的不只是上面所描繪的對歷史的曲解。曲解掩飾了革命；而教科書對一些仍然可見的材料的安排暗示了一個過程，如果這個過程眞的存在過，它就會否定革命的功能。因爲教科書的著眼點在於使學生迅速地熟習那些當代科學社群已知道的事，教科書儘可能分別地、逐個地處理目前常態科學中各式各樣實驗、觀念、定律，以及理論。就教學而言，這種鋪陳的技術是無可非難的。但是當它配合著科學著作中普遍的非歷史氣息，配合著一些上面討論過的不時會出現的系統性曲解，一個非常強烈的印象就會幾乎不可抗拒地呈現出來：科學透過一連串的個別發現與個別發明達到現況，把這些個別的事件集中在一起便構成了現代專技知識的整體。教科書的寫法暗示：科學這一行打從一開始，科學家就努力追求由今天的諸典範所界定的特定目標。在一個通常比喻成砌磚建樓的過程中，科學家就在當代科學教科書的知識體上，一個接一個加上另外一件事實、一個觀念、一條定律、或一個理論。

由於科學教科書成爲常態科學的科學教育最主要的工具，每一位科學新生代在習得幹他那一行的本事之時，都得經由科學教科書來學習當時流行的科學觀。一旦科學教科書取代了原先科學經典著作的功能，也將原先「得自研究既有之科學成就的經驗」，轉移到「由科學教科書擔負起這一任務。」(Kuhn, 1970, p. 1)

> ……甚至包括科學家在內，吾人今日具有的科學形象，主要地係得自研究既有科學成就的經驗。在過去，這些成就記載於科學經典著作中，晚近則由科學教科書擔負起這一任務。

由於科學教科書取代了原先科學經典著作的功能，所以要處理科學教科書。以這種教科書訓練爲主的科學教育，自然地也深刻地影響到受這種科學教育的學

生對科學發展的看法。這就是還沒有接受科學史通識教學的工作前，孔恩對科學發展的看法的主要來源。如此使得教育者可以將一套讓我們深信不疑的科學見解，含藏在科學教科書裡，掩飾了科學結構的歷史演進中的科學革命，這是後來孔恩接觸到過去偉大科學家的作品才覺醒的。

玖、孔恩是否扭曲了科學史在科學教育上的應用？

身爲一個接受常態物理科學教育訓練的人，孔恩雖然沒有革命性的科學創造，卻有過一些常態科學下的成果。(Hoyningen-Huene, 1994, p. 273) 不過，當他教授科學通識教育課程後，對科學史與科學哲學的興趣，促使他轉變生涯，而在《結構》中，並列了一般訓練科學家的科學教育、大量的科學史例証、與通過結構的革命性轉換的科學史觀。可是，西格爾卻認爲孔恩扭曲了科學史在科學教育上的應用，這項指控是否成立？

首先，吾人得問：常態科學專業訓練的科學教育給孔恩帶來什麼樣的科學發展經驗呢？此種經驗又和他從科學史應用在通識教育方面所得到的「科學發展是科學結構革命性的整體轉換」有何關係？

常態物理科學教育訓練提供孔恩直線累積的科學發展見解。而後，透過科學史在科學通識教育上的應用，使他接觸到過去偉大科學家的作品，懷疑舊的科學發展見解。原先常態物理的科學教育訓練成爲他的常態科學教育的具體經驗，反過來省思科學教育與科學發展間的關係，而提出科學發展是革命性演進的見解，並展現爲常態科學、危機科學與科學革命間的關係。可是，爲什麼吾人看不到過去的科學革命呢？爲什麼教科書與盛行的科學哲學作品都強調科學是直線累積發展的？

根據孔恩在《結構》中的分析，在「常態科學」的科學教育具體的展現在科學教科書中後，它使得教育者可以將一套讓我們深信不疑的科學見解，含藏在科學教科書裡。過去科學發展的歷史在教科書中，被依照一個直線累積進步的過程改寫，並以簡潔、精確、系統化的方式呈現。此種在教科書中呈顯的「科學發展是一個直線累積進步的過程」，自然地也深刻地影響到受這種科學教育的學生對科學發展的看法。這就是還沒有接受科學史通識教學的工作前，孔恩對科學發展的看法的主要來源。

這種「常態科學」的科學教育具體的展現在科學教科書中後，它不但曲解或

掩飾了眞實的科學革命，也與舊的科學史觀與科學哲學間共同支持科學發展是直線累積的。因此，孔恩《結構》中所談的科學教育是應用教科書中曲解的科學史，做爲反例來說明它曲解或掩飾了眞實的科學革命，也使科學發展成爲直線累積方式，如此則解說了科學教育與舊的科學史觀間的關係。質言之，科學教育是證驗典範轉移或科學革命的佳例。

另一方面，在科學的整體發展中，常態科學的科學教育都扮演了一個非常重要的角色。根據孔恩的看法，在培養常態科學的科學家方面，這種科學教育通常是非常有效的，因爲就常態科學的解謎工作而言，科學教科書爲此種教育提供了近乎完美的裝備。(Kuhn, 1970, pp. 165-166)

> 雖然我們不想爲這種形態的教育有時拖得太長的情形辯護，我們無法不注意到一般說來它是非常有效的。……對常態科學的工作而言，對在教科書界定的傳統中的解謎工作而言，科學家所獲得的裝備幾乎是完美的。

不過，他也承認這種科學教育卻是一種非常狹窄與剛硬的科學教育。(Kuhn, 1970, p. 166)

> 當然，它是種非常窄狹與剛硬的教育，或許除了正統神學以外，它大概比任何其他領域中的教育都如此。

乍看之下，這種科學教育既爲科學家提供近乎完美的準備，它又是非常窄狹與剛硬的，讀者或許會奇怪，這不是自相矛盾嗎？如果從爲當時的常態科學服務的觀點來看，依據更簡潔、更精確、更有系統的方式整理的科學教科書來進行的科學教育，它爲科學家提供近乎完美的準備，與它是窄狹與剛硬的，或許只是孔恩那個年代培育有效的常態科學家的一體兩面。換言之，對於常態科學的維持而言，窄狹與剛硬的科學教育卻是有效的，因爲它提供科學家近乎完美的準備去從事解謎工作。

由於過去的科學發展並沒有停留在某種常態科學，當孔恩帶領我們由常態科學轉向科學危機時，提到科學進步所面臨的另一個讓讀者覺得是矛盾的現象。一方面，當危機發生時，接受窄狹與剛硬的常態科學教育的科學家，由於教育的有效性只及於常態科學，沒有爲危機做好準備；另一方面，常態科學培育的科學家

所做的工作，爲來臨的科學危機做好了準備，使科學危機變得有意義。(Kuhn, 1970, p. 166)

> 〔常態教育下的科學家〕也爲另外一種工作做好了準備，這種工作便是透過常態科學產生有意義的危機。當危機出現時，科學家就不是同樣地也準備得很好了。

就接受常態科學教育的科學家而言，危機出現不是一件幸運的事，他所受的教育不能應變，可是，「過去科學教育的剛硬性所導致的損失就只會局限在個人身上」。(Kuhn, 1970, p. 166) 就整體的科學發展而言，危機的出現反而提供了科學進步的機會。常態科學家所做的是同化現象工作，一旦出現了異常現象不能爲既有典範所同化時，雖然造成了常態科學的危機，可是，常態科學家所做的卻成爲突顯異常現象意義的準備工作，使危機變得有意義，而後有某人提出候選的典範。這種情形就好比變遷的外境雖不能爲兒童原有認知結構同化，但是原有認知結構同化了周遭的事物，這項工作已爲新的結構的發展做了準備的工作。

無論孔恩《結構》中所談的科學教育是應用教科書中曲解的科學史，來說明它曲解或掩飾了眞實的科學革命，也使科學發展成爲直線累積方式，成爲解說了科學教育與舊的科學史觀間關係的例証，或是對於常態科學的維持而言，窄狹與剛硬的科學教育卻是有效的，因爲它提供科學家近乎完美的準備，使危機變得有意義，所談的科學教育是他本人身受的常態科學的科學教育，是就科學教育與科學的整體發展間的實然關係而言，而不是西格爾談的理想的或尊重學生主體的科學教育。因此，在西格爾與布魯西對孔恩是否扭曲了科學史在科學教育上的應用，有關的爭議似乎也顯示西格爾對孔恩《結構》中所談的科學教育有所誤解，反倒是布魯西認爲孔恩談到的科學教育是功能的，較合於《結構》的本意。

誌　謝

本研究受國科會 NSC85-2511-S007-004 計畫贊助，與兩位評審惠示寶貴意見，特此致謝。

註　釋

註 1：事實上，西格爾對孔恩的批評始於他在 1977 年完成的博士論文。(Siegel,

1977)

註 2：此處西格爾將它們視爲科學教科書，事實上，還應該包括通俗作品與哲學根據。(Kuhn, 1970, p. 137)

註 3：有關孔恩如何產生科學發展是一種革命性的結構轉換的看法，詳見徐光台〈皮亞傑對孔恩《結構》之影響〉，論文宣讀於「皮亞傑與維高斯基的對話」研討會（台北市立師範學院兒童發展中心主辦，民 85 年 1 月 25-26 日）。

註 4：孔恩《結構》中使用 assimilation, assimilate, assimilated, assimilating, assimilable, adjustment, adjusted, accommodate 等語詞。

參考文獻

1. 孔恩著，程樹德、傅大爲等譯 (1994)：《科學革命的結構》。台北：遠流。
2. 李瑞全 (1988)：〈科學哲學與科學教育〉。收入杜祖貽、劉述先合編，《哲學・文化與教育》，頁 241-263。香港：中文大學出版社。
3. 吳以義 (1996)：《庫恩》。台北：東大圖書公司。
4. Brackenridge, J. B. (1989). Education in Science, History of Science, and the Textbook -Necessary vs. Sufficient Conditions. *Interchange*, 20(2), 71-80.
5. Brush, S. G. (1974). Should the History of Science be Rated X? *Science*, 183, 1164-1172.
6. Brush, S. G. (1979). Comments on 'On the Distortion of the History of Science in Science Education'. *Science Education*, 63, 277-278.
7. Brush, S. G. (1980). Further Comments on Siegel on Brush. *Science Education*, 64, 123.
8. Brush, S. G. (1989). History of Science and Science Education. Pp. 54-66 in Michael Shortland and Andrew Warwick (eds.), *Teaching the History of Science*.
9. Butterfield, H. (1965). *The Whig Interpretation of History*. New York/ London: W. W. Norton.
10. Geikie, A. (1897). *The Founders of Geology*. London.

11. Hall, A. R. "On Whiggism," *History of Science*, 1983, 21, 45-59.
12. Holton, G.; Rutherford, F. J. and Watson, F. G. (1970). *The Project Physics Course.* New York: Holt, Rinehart and Winston.
13. Holton, G. (1978). On the Educational Philosophy of the Project Physics Course. Pp. 284-298, 366-369 in *The Scientific Imagation Case Studies.* Cambridge: Cambridge University Press.
14. Hoyningen-Huene, P. (1993). *Reconstructing Scientific Revolutions: Thomas S. Kuhn's Philosophy of Science.* Chicago: The University of Chicago Press.
15. Jones, R. (1989). The Historiography of Science: Retrospect and Future Challenge. Pp. 80-99 in M. Shortland and A. Warwick (eds.), *Teaching the History of Science.*
16. Kragh, H. (1987). *An Introduction to the Historiography of Science.* Cambridge: Cambridge University Press.
17. Kuhn, T. S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions.* 2nd enlarged ed. Chicago: The University of Chicago Press. Originally published in 1962.
18. Kuhn, T. S. (1977). *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change.* Chicago: The University of Chicago Press.
19. Kuhn, T. S. (1979). Foreword. In Ludwik Fleck, *Genesis and Development of a Scientific Fact.* Ed. by Thaddeus J. Trenn and Robert K. Merton, trans. by Fred Bradley and Thaddeus J. Trenn, foreworded by Thomas Kuhn. Chicago/London: The University of Chicago Press.
20. Kuhn, T. S. (1987). What Are Scientific Revolutions? In L. Krüger, L. J. Datson, M. Heidelberger (eds.), *The Probablistic Revolution.* 2 vols. Vol. 1: *Ideas in History.* Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology Press.
21. Piaget, J. (1960). *The Child's Conception of Physical Causality.* Trans. by Marjorie Gabain. Totowa, New Jersey: Littlefield, Adams & Co. Originally published in Paris as *La causalitē physique chez l'enfant* by Alcan

in 1927, first published in English by Routledge and Kegan Paul, London in 1930.

22. Piaget, J. (1970). *Structuralism.* Trans. by C. Maschler. New York: Harper Colophon Books.
23. Piaget, J. (1971). *The Child's Conception of Movement and Speed.* trans. G. E. T. Holloway and M. J. Mackenzie. New York: Ballantine Books. Originally published in Paris as *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant* by Presse universitaires des France in 1946.
24. Shortland, M. and Warwick, A. (eds.) (1989). *Teaching the History of Science.* Oxford: Basil Blackwell.
25. Siegel, H. (1977). Kuhn's Philosophy of Science and Science Education. Harvard University Dissertation.
26. Siegel, H. (1979). On the Distortion of the History of Science in Science Education. *Science Education*, 1979, 63, 111-118.
27. Siegel, H. (1980). Comments on Brush on the History of Science in Science Education. *Science Education*, 1980, 64, 121-122.
28. Wilde, C. B. (1981). Whig History. Pp. 445-446 in W. F. Bynum, E. J. Browne, Roy Porter (eds.), *Dictionary of the History of Science.* London: Macmillan.

Science Education in Thomas Kuhn's *The Structure of Scientific Revolutions*: with a Solution for the Disputation between Siegel and Brush

Kuang-Tai Hsu

Center for General Education/Institute of History, Tsing Hua University

Abstract

In 1947, Thomas Kuhn, a Harvard University Ph.D. candicate trained as a practitioner of normal science in physics, taught a history of science course in general education for non-science major students. After that, he went on to reform his idea of scientific development, and in 1962 he published the *Structure*, which covers the history and philosophy of science as well as science education in an endeavor to demonstrate that scientific development is not through the accumulation of individual discoveries, but the structural change as revolutions. However, Kuhn was criticized by Siegel for his distortion of history of science in science education, resulting in a disputation between Siegel and Brush. The purpose of this paper is to ascertain "science education" as stated in the *Structure*, and to find a solution for the disputation between Siegel and Brush.

There are two kinds of science education mentioned in the *Structure*: teaching the history of science in general education as a science course for non-science major students and science education for the practitioner of normal science. The former inspired Kuhn to explore the history and philosophy of science, and led him to regard scientific development as revolutionary or structural change; the latter, experienced by Kuhn himself, made him reflect how the history of science is distorts in science textbooks. The author finds that Kuhn's intent of mentioning science education in the *Structure* is to explain the invisibility of scientific revolutions. It is a counterexample to scientific revolutions. Siegel does not understand Kuhn's intent, therefore, his argument is insubstantial.

Key words: Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, Science education, The disputation between Siegel and Brush.