

HPS 課程設計與探討--以週期表概念為例

鄭子善

國立彰化師範大學科學教育研究所學生

張惠博

國立彰化師範大學校長

壹、前言

1971 年，科學哲學家 Lakatos 的：「科學史若缺乏哲學是盲目的，科學哲學若卻乏歷史是空洞的。」一言，奠定科學史哲密不可分理念（History Philosophy and Sociology of Science, [HPS]）；Jenkins（1994）針對 HPS 理念與科學社會學對科學教育的影響，提出科學史教學可從科學史哲與科學社會學做結合。Cunningham 和 Helms（1998）亦認為，科學教育若具「科學社會學」理念，將更具真實性（Authentic）和全納性（Inclusive）。

Pilot、Westbroek、Bulte 和 Jong（2005）認為，現今化學課程普遍存在下述問題：一、課程內容過度超載（Over-loader）；二、教學內容缺乏連貫性；三、學習者看不見課程內容的意義何在；四、學習者所學與生活不具相關性；五、教學強調「正確解釋」與「牢不可摧的結構基礎」（Solid foundations），使學習者不願持續從事科學或研究。為解決前述問題，他們提出科學課程應包含「Need-to-know」原則，以提供學習者去體認：我們為何而做？我們所做為何？以及，該如何持續地做？Wang 和 Marsh（2002）認為，科學史取向課程能精緻科學探究、科學本質、不同歷史與文化觀點的各種科學面向。他們指出，科學教育需結合個體與社會需求，以及，提供學習者工具以發現或解決個體感到興趣的事件。科學史能使科學與社會交互作用，以及，藉著肯定與評價個體與環境的交互作用，提供給學習者遠勝於學術上的成就。

藉由 Wang 和 Marsh（2002）論及的科學史取向課程的功能，研究者希冀具 HPS 理念的科學史課程能解決結合 Pilot、Westbroek、Bulte 和 Jong（2005）提及的當代課程問題，尤其是第二、三、五項問題。據此，本研究企圖藉由 Brito、

Rodriguez 與 Niaz (2005)研究所論及週期表的 HPS 重構，呈現科學史教學單元可能的面貌，以及，藉由課程實施探討可能成效。茲呈現研究待答問題如下：

- 一、具 HPS 理念的週期表單元內容為何？
- 二、具 HPS 理念的週期表單元之可能教學成效為何？

貳、文獻探討

本研究的理論基礎以 Jenkins (1994)所提的 HPS 理念為主，依此，提出 Brito、Rodriguez 與 Niaz (2005)的週期表之 HPS 重構的實徵性研究，以作為本研究中教學單元的 HPS 架構。茲分述如下：

一、HPS 取向的課程

Jenkins (1994) 指出，「HPS」原是科學史 (History of science) 和科學哲學 (Philosophy of science) 的英文縮寫詞，近來科學教育學者將科學社會學納入其中，HPS 便成為科學史、科學哲學和科學社會學 (History Philosophy and Sociology of Science) 的縮寫詞；故部分學者亦採「HPSS」英文縮寫詞呈現。

李漢林 (1987) 認為，科學歷史學包涵西方科學觀演變史、科學家歷史、一般科學學科歷史，以及，有關促成科學發展的各種條件的歷史研究。科學哲學則探討「科學是什麼」和「科學如何能」等問題；科學社會學則探討：1.科學與其他文化的產物，如藝術或宗教的關係；2.科學發展與經濟條件的關係；3.科學發展與社會結構、教育組織、研究組織、政治決策的關係；4.科學對於人們的文化生活、經濟條件、法律和道德等的作用；5.科學的體制化和科學家的社會角色；6.科學家之間的溝通往來；7.制約科學家行為的社會因素以及科學家行為的社會後果。丁邦平 (2002) 認為，上述三學科是科學學 (Science studies) 的三個分支，它們共同擔負闡述科學本質與提高科學教育質量的使命。

Jenkins (1994) 認為，HPS 融入科學教育可助學習者瞭解科學事業的全貌，亦能凝聚歷史家、哲學家或社會學家們對科學學科本質之觀點，而對教育產生貢獻。他亦提出，HPS 理念的融入能使學習者意識到「科學屬於社會」與「對生存環境具長遠價值觀」；而欲達致前者，需強調科學獨特且重要的「普遍性」特徵，

以讓學習者理解科學學在明智性、富教育性和組織結構上的所有向度；欲達致後者，學校科學教育需廣納 STS 議題並探討「誰從科學中獲利與失去？」等議題，以讓學習者體認科學發展是兼具冒險與問題。

二、週期表的 HPS 架構

Brito、Rodriguez 與 Niaz (2005) 的研究指出，元素依循物化性質被分配到適當的週期表位置之「適應」(Accommodation)所有教科書認為是週期表的主要貢獻，而元素的適應與預測相關的其他重要性則多被忽略。他們認為週期表發展具一種啟發式原則的程序，而教科書卻傾向強調它是一種歸納式概括(Inductive generalization)，以及，Mendeleev 並無模型和理論，故鮮少提及其貢獻。據此，他們擷取眾學家觀點，提出週期表是種預測新元素與尚未認出關係的概念工具，以及，週期表可視為一種具可修正性、記憶性與組織性的發明物，藉此，他們對週期表的 HPS 架構提出重構，茲簡述如下：

(一) 週期表發展的 HPS 重構

1. 週期表系統的貢獻：1860 年以前，將當時發現的已知元素依其特性進行分類。
2. Dobereiner 於 1860 年的貢獻。
3. Odling、Meyer、Newland、Mendeleev 的週期表發現。
4. 週期表發展中，適應與預測的角色。
5. 週期表對 Ar 預測的困難。
6. 週期表的預測性為原子論展現功能。
7. 週期表的預測性可歸功於 Thomson、Lewis、Bohr、Moseley。
8. Mendeleev 的週期性定律：可能是依循著培根式的歸納攀升嗎(Baconian inductive ascent)？
9. Mendeleev 的貢獻屬於理論或實證定律？

依據上述架構，他們再提出週期表教學理應具備的重點，以作為普化教科

書的評鑑判準，茲呈現如后：

(二) 普通化學教科書的評鑑判準

1. 教科書應提及，適應的重要性。元素於週期表裡的適應是由原子量與其他性質，像是密度、原子體積、離子半徑等性質所共組。教科書應提及，預測的重要性。
2. 預測是支持週期性的鐵證，例如，鎂、鋁和鈦的預測與性質的比較。
3. 教科書應提及，有關適應與預測的重要性。教科書需提及與週期表成功相關的競爭理論及其衝突。
4. 教科書應提及，Mendeleev 的奇特預測。Mendeleev 對當時某些元素原子量與週期表的不一致情形，而大膽提出原子量的修正，例如，鈹、鈾、鐳的原子量。
5. 教科書應提及，週期表的預測性解釋。教科書應讓學習者意識到在原子的電子結構發現之前，預測所提供「歸納式概括」和「為原子論展現功能」二種另有解釋之爭論。
6. 教科書應提及，Mendeleev 的貢獻是種理論或實徵定律。以讓學習者分析 Mendeleev 的貢獻與促進對科學過程的理解。
7. 教科書應提及，週期表的發展是一種啟發式的漸進程序；故教科書需強調下述啟發式原則：a. 早期有關原子論的想法，以及，有關元素原子量及原子性質的適應資訊；b. Mendeleev 以前，其他科學家對元素分類的貢獻；c. 依原子量排序的 Mendeleev 週期表的貢獻；d. Ar 的發現及其在週期表的適應；e. Moseley 的原子序對週期表的貢獻。

Brito、Rodriguez 與 Niaz (2005)認為，若週期表的課程設計能符合上述判準，學習者便可理解化學元素性質的研究並非是片斷的孤立過程，而是理解和解釋元素物化性質的週期性的恆久投入。藉由週期表發展的關鍵判準，而呈現科學家為理解元素性質的各種暫時性想法，這種教學進行應是合理的；甚且，可能解決 Pilot、Westbroek、Bulte 和 Jong (2005) 論及的當代化學課程的問題。

參、研究方法

本研究採週期表概念作為本研究的教學個案；希冀透過文獻設計 HPS 理念的週期表課程，以及，經由模擬教學探討其對可能的影響。文獻主要依據 Brito、Rodriguez 與 Niaz (2005)所論述的週期表 HPS 架構與評鑑判準，並輔以南一(2003)和龍騰(2000)書局出版的高中化學課本，以及，Atkins(1996)的化學元素王國一書。

教學單元的規劃與設計，始於民國 95 年 5 月底研究者著手蒐集與閱讀文獻，同年 10 月 13 日完成課程設計，總教學時數共 5 小時，同年 10 月 21、28 日正式對職前教師進行模擬教學，並透過晤談評估學習成效。

參與模擬教學的職前教師共計 27 名，參與者均為碩士班學生。本研究進行教學時，因受限於時間與場地、器材等因素，並未真正進行實驗室部分的教學，僅採講述法教學；在課室情景上，則採研究者與參與者共謀更合適的課程設計立場進行互動，而非真正課室裡的師生關係。

肆、研究結果

一、具 HPS 理念的週期表單元內容

研究者依據 Brito、Rodriguez 與 Niaz (2005)的週期表 HPS 架構，編擬下述三項教學目標：1.使學生瞭解週期表的發展是一種啟發式原理的漸進程序；2.使學生意識到，在原子的電子結構被發現之前，化學元素因「預測」與「適應」所提供的不同解釋；3.讓學生理解科學過程的問題性本質(Problematic nature)。依此，編擬以下教學內容與程序：

- (一) 呈現週期表的 HPS 架構 I，此架構包含 1860 年以前對元素的分類，以及，Dobereiner (1829)、Odling (1864)、Newlands (1864) 和 Meyer (1864) 對週期表的貢獻。
- (二) 實驗設計 I：1.參考 Dobereiner (1829) 的三元素組，進行預測鹼金族(鋰、鈉、鉀)與水、酚酞的反應。

- (三) 概念統整 I：討論與解釋鹼金族與水和酚酞反應的結果，以符應 Dobereiner 的三元素組理論。
- (四) 呈現週期表的 HPS 架構 II：此階段包含 Mendeleev(1869)、Ar(1895) 的發現、Moseley (1913) 對週期表的貢獻。
- (五) 提問與討論 I：「週期表的成功可歸功於適應、預測或此二者均有？」以讓學生比較週期表解釋的另有想法，並探討與週期表解釋相關的競爭與衝突。
- (六) 實驗設計 II：參考 Ar (1895) 之「貴重氣體」族的科學史，預測與操作鈉、鎂、鋁與水、酚酞，和加熱的反應。
- (七) 概念統整 II：討論與解釋鈉、鎂、鋁與水、酚酞、加熱的反應，並推論除「貴重氣體」外，同一週期元素性質隨原子序遞增而遞變。
- (八) 提問與討論 II：「Mendeleev 週期表是理論或實證定律？」。此議題在於讓學生探討 Mendeleev 週期表是一種「預定的領域或具修正性的基模」，或「實證定律」，亦或「具有限解釋力的理論或詮釋性理論」，還是，其它？藉以強調科學過程的問題性本質。

二、具 HPS 理念的週期表單元之教學成效

- (一) 多數參與者認為 Mendeleev 週期表的成功可歸功於排序與預測

在議題 I 的討論上，有 25 位 (93%) 參與者肯定 Mendeleev 週期表的成功可歸功於適應與預測，他們傾向認同元素依序性質的適應、對未知元素的預測 (例如，擬鋁)，及其後來的應驗，使得 Mendeleev 週期表集其大成，故可歸功於適應與預測。2 位 (7%) 認為應獨歸功於適應，他們認為 Mendeleev 因適應結果呈現部分元素的空缺，故能對未知元素作出預測，故需獨歸功適應。茲例舉此二論點如后。

ST24：週期表的產生可歸功於預測，以及，藉由其 (化學的) 相對關係一一排序出來成為週期表，所以兩者均有貢獻。

ST13：應該是適應，因為藉由適應可以知道元素的特性，進而作

出預測。

此外，參與者 ST09 表示最欣賞 Odling 理論的創意，參與者 ST18 亦表示週期表雖由 Mendeleev 首創，但是集眾人成敗所成。

ST09：在這些理論中，我最喜歡 Odling 的音符表。因為它是研究者結合自身主觀知識（音階的規律性）而與將科學知識進行聯結……

ST18：週期表是依原子序排列地球上各元素的有規律圖表，由 Mendeleev 提出初步架構，後人補加形成，非成於一人之手。

Brito、Rodriguez 與 Niaz (2005)認為，藉由讓學習者探討與週期表成功相關的競爭與衝突，有助於學習者比較週期表解釋的另有想法。從上述資料可覺察出參與者對於科學的另有理論均持正向肯定態度與另有理論是具創意性的，以及，理論間的競爭有助於科學概念的精緻。

（二）部分參與者認為 Mendeleev 週期表屬於一種理論，以及，多數參與者認為理論經過多方驗證後能成為定律

在議題 II 的討論上，有 17 位（63%）參與者肯定 Mendeleev 週期表是一種理論，9 位（33%）認為屬實證定律，1 位（4%）持其它立場。認為 Mendeleev 週期表是一種理論者，傾向定律比理論需經得起更多檢證，而依原子量而定的 Mendeleev 週期表旋即被依原子序的週期表所取代，故 Mendeleev 週期表屬理論而非定律；茲呈現相關資料如下。

ST10：應該是一種理論，因為仍有許多元素未被發現。定律是經過多人的實證研究後，而成為既定的規律；理論則不一定。

ST19：理論是對科學的基礎有一個概要性的說明，定律是科學家經由觀察、假設、實驗等步驟一一加以證明，使其成為永恆不變的定理。

9 位抱持 Mendeleev 週期表屬實證定律者，認為只要 Mendeleev 週期表能符合當時所發現的元素，便等同於具實證性的定律。持該立場者，存有理論是種研究者的創思，理論只要是經得起當時實證的檢驗便可提昇為定

律。本研究中惟獨 1 位參與者（ST27）持 Mendleev 週期表是理論亦是實證定律，其認為理論與定律都是可變的，均具暫時性，此二者均非「恆真」。

ST05：我覺得可算是定律，因為 Mendleev 週期表理論能解釋當時絕大多數的元素，即便不符合，大眾也相信 Mendleev 所言，因受限的科技發展未臻成熟，故測量不出「正確」的原子量……

ST27：科學理論發展出來之後還是會改變。我認為科學的真理或事實在實際上是看不存在的，或是，人類永遠都無法得知的，因此理論或定律只是一種暫時性的狀態…我認為理論與定律沒什麼不同，二者都非最終狀態，都是有可能改變的…但如果因此不教科學理論，則人類對科學的認知則無法更進一步。

Lederman（1995）認為，學習者對科學成果存有「如果認為證據累積足夠，理論便可以成為定律」的迷思；Lakatos（1970）指出，若採科學理論與定律是由實驗觀察所產生的實徵詮釋去考量科學過程，是相當二分法的，亦即，認同實驗觀察會導致科學定律，而後促進解釋理論的精緻化。然而，Laktos 認為，這並非是理論與事實間的衝突，而是「專為事實所提供的詮釋性理論（Interpretative theory to provide the facts）」與「專為解釋事實的解釋性理論（Explanatory theory to explain them）」的差異；而前者可能是更高階的。換言之，理論或模式的差異在於它們在說明、詮釋、預測實驗的發現上具程度的差異；從上述學者對理論、定律、模式的論點，可看出本研究多數的參與者存有 Lederman（1995）所言的迷思，且未存有 Laktos（1970）對理論與模式的想法。

Shapere（1977）認為，若採對定律較寬鬆的定義來看，只要符合實證原則，Mendleev 週期表可視為是定律，但嚴謹的定律應以數學呈現與原子量相關的功能性；Scerri 與 Worrall（2001）採「編撰基模」（Codification schema）呈現 Mendleev 研究；Giere（1999）則採「無須定律的科學」論點，他認為我們勿需依循定律與理論的二分法，而是視 Mendleev 的工作為一種「詮釋性」理論，在以原子序為主的預測定律之後，週期表方成為「解釋性」理論。9 位認為 Mendleev 週期表屬實證定律立場者傾向 Shapere（1977）對定律較寬鬆的定義；ST27 參與者則傾向 Giere（1999）立場，且較不存有 Lederman（1995）所言的迷思。

(三) 多數參與者認同 HPS 取向的教學單元有助於未來進行科學教學

參與者經過模擬教學後，有 24 位參與者（89%）認同 HPS 取向的週期表，3 位（11%）認為此教學單元無助於其未來教學，且此 3 位均為非理工背景的學生。

24 位參與者認為採用此取向的教學理念，將有助於學生產生興趣、提高學習動機（ST262、ST24、ST05）；再者，參與者亦表示，先藉由週期表的 HPS 架構鋪陳，再輔以實驗符應與元素性質的知識介紹，最後，再呈現口訣以強化週期表的背誦（ST19、ST24、ST15），這樣的教學呈現方是完整。以下呈現二位參與者（ST24、ST05）的晤談資料。

ST24：這樣的內容對我是有幫助；可以經由週期表的歷史演進（故事）提高學生的學習動機，再結合相關性知識（元素的性質），以達成教學效果及目標（理解與記憶週期表）。

ST15：這樣的內容對我是有幫助，……然後，我會使用口訣來記住它（週期表）並對元素加以分類，再搭配實驗讓學生操作了解。

非理工背景的職前教師對此教學設計則出現紛歧意見。部份參與者認為此取向的教學設計有助於減低他們的教學焦慮與增進科學概念理解（ST25、ST18）；茲呈現 3 位參與者的晤談資料如下。

ST25：這樣的內容對我未來教學是有幫助！以前我可能會避免學生關於週期表的內容，但是以後或許可以透過介紹週期表的科學家並結合讓學生用蒐集資料報告的方式進行關於週期表的教學。

ST18：此內容會對我未來教學有幫助，在進行教學時應強調週期表的形成過程非一蹴可磯，它是累積的，尤其在教導非相關科系的學生時。

3 位（3/27）參與者持該內容對他們未來教學無助益者，2 位所持理由是因自己未來不會進行理科教學，故該教學單元對他們不具助益（ST13、ST27），而另 1 位參與者則持不具助益且不予置評立場。茲呈現相關資料如

下：

ST27：現在還是覺得週期表不知道要幹什麼，即使背不起來，還不是活的好好的。我是國中才學到週期表的，現在國小有教週期表嗎？還有我想我會去有自然專任教師的學校……

17 位非理工背景的職前教師，有 14 位肯定 HPS 取向的教學，3 位偏負向態度，偏負向立場者抱持自己未來不會接觸化學教學作為回應。藉此負向立場者的回應過程，研究者驚覺週期表概念所希冀的更深層教學意旨應是：何為概念工具學習的可能面貌？以及，如果 HPS 取向的教學設計理念可行，何種科學概念的學習方是合適的？而未針對上述問題使參與者進行深入探討，以助參與者舉一反三，類推到其它概念的教學，則窄化了 HPS 取向教學的應用範圍。

伍、結論與討論

學者曾指出科學史發展與學習者的迷思概念是成平行發展，然而，越來越多研究卻指出（黃佩貞、許良榮，2001），科學史發展並非與當代多數的學習者的迷思概念呈平行發展。研究者從 Brito、Rodriguez 與 Niaz (2005)對週期表的 HPS 重構與台灣高中教科書比對，發現科學史發展與科學課程的組織架構程序竟是可相對應的，亦即，科學史發展與科學課程的組織架構方是相互平行的；誠如，鄭子善與張惠博（2004）的研究指出，科學史課程有助於學習者理解科學課程與實驗為何如此進行與實作，而造成此影響的原因可能便是在於：科學史發展與科學課程的組織架構相互平行的，故透過科學史發展學習者便能理解科學課程與實驗為何而作。

長久以來，「週期表」、「九九乘法表」、「三角函數」等概念的教與學，教科書往往存有週期表是一種歸納式概括（Bruto, Rodriguez, & Niaz, 2005）的信念；此種信念的課程設計偏向先將學習者需先熟背該概念工具，接著，讓學習者「為了用而用」。不置可否的，這種不明究理，僅為「為了用而用」的背誦過程，對學習者可能是種學習鴻溝與興趣的扼殺，亦是種無意義的學習。HPS 取向課程的重點並非在於讓學生對科學史有深入了解，而是藉由科學史的敘事發展，學習者將理解科學課程的組織架構及看見該架構的意義何在；一如 Pilot 等（2005）對

科學課程的期待，科學課程應提供去學習者體認「我們為何而做？」，藉由 HPS 取向的課程教學，能促使學習者理解「為何而做？」，當學習者達致「為何而做？」時，學習者不僅處於「知道」(Knowing)，而是「相信」(Believing)與「理解」(Understanding)科學概念 (Smith & Siegel, 2004) 時，學習者便能頓悟「我們所做為何？」與「該如何持續做？」。

參考文獻

- 歐姿漣 (譯) (1996)。化學元素王國之旅。臺北市：天下文化。
- 丁邦平 (2002)。HPS 教育與科學課程改革。2003 年 11 月 4 日，取自：
<http://www.pep.com.cn/200305/ca213847.htm>。
- 李漢林 (1987)。科學社會學。北平，中國社會科學出版社。
- 南一高中物質科學化學編撰委員會 (2000)。高中物質科學化學。臺南市：南一。
- 黃佩貞、許良榮 (2001)。臺北市國中科學教師對於科學史融入教學之態度。中華民國第十七屆科學教育學術研討會，國立高雄師範大學。
- 鄭子善、張惠博 (2004)。錨定歷史 (Anchored in history) 教學模式的初步研究。中華民國第二十屆科學教育學術研討會，國立高學師範大學。
- 龍騰高中物質科學化學篇編撰委員會 (2003)。高中物質科學化學篇 (上)。臺北市：龍騰文化。
- Brito A., Rodriguez, M.A., & Niaz, M. (2005). A reconstruction of development of the periodic table based on history and philosophy of science and its implications for general chemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 42 (1), 84-111.
- Cunningham, C. M. & Helms, J. V. (1998). Sociology of science as a means to a more authentic, inclusive science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 35 (5), 483-499 .
- Giere, R. N. (1999). *Science without laws*. Chicago : University of Chicgo Press.

- Jenkins E. W. (1994). HPS and school science education remediation or reconstruction. *International Journal of Science Education*, 16 (6), 613.
- Lakatos, I. (1970). *Falsification and the methodology of scientific research programmes*. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge* (pp91-195). Cambridge, UK : Cambridge University Press.
- Lakatos, I. (1971). *History of science and its rational reconstructions*, in R.C. Buck and R.S. Cohen (Eds), *PSA1970*, Boston Studies in the Philosophy of Science, 8, 91-135, 1971.
- Lederman, N. G.(1995). *Translation and transformation of teachers' understanding of the nature of science into classroom practice*. ERIC Document Reproduction Service No. ED382474.
- Pilot A., Westbroek H., Bulte A., & Jong, O. D. (2005, November). *Chemistry education using authentic practices as contexts*. In Y.S. Lin 2005 Authentic science and mathematics education : Holland and Taiwan, National Hsinchu University of Education.
- Scerri, E.R. & Worrall, J. (2001). Prediction and the periodic table. *Studies in history and philosophy of science*, 32, 407-452.
- Shapere, D. (1977). *Scientific theories and their domains*. In F. Suppe (Ed) . *The structure of scientific theories* (2nd ed., pp.518-565). Chicago : University of Illinois Press.
- Smith, M. U., & Siegel, H.(2004). Knowing, believing, and understanding: What goal for science education? *Science & Education*, 13, 553-58.
- Wang, H. A. & Marsh, D. D. (2002). Science instruction with a humanistic twist: Teachers' perception and practice in using the history of science in their classrooms. *Science & Education*, 11 (2), 169-89.