

從建模觀點分析高中化學教科書中原子 理論之建模歷程及其意涵

劉俊庚^{1,2}、邱美虹^{1*}

¹ 國立臺灣師範大學 科學教育研究所

² 臺北市立中崙高級中學

* mhchiu@ntnu.edu.tw

(投稿日期：2010.5.23；修正日期：2010.7.19，2010.10.21；接受日期：2010.11.11)

摘 要

教科書在科學教學扮演非常關鍵的角色，許多教師相當依賴教科書來計畫教學的內容與過程，教科書亦常會利用模型來介紹科學理論的發展與概念。因此，本研究主要採取內容分析法對1974年至2009年間16個版本高中化學教科書「原子理論」單元進行分析比較，並根據建模歷程（模型描述與選擇、模型建立、模型效化、模型分析與評估和模型調度）之要素對教科書進行解構，以探究模型在我國高中化學教科書中所扮演的角色和功能，以及教科書是否具建模歷程的要素。本研究結果顯示，大部分教科書仍以陳述科學事實與概念為主，教科書中對於建模歷程著重於「模型描述與選擇」和「模型建立」，至於「模型效化」與「模型分析與評估」則較為缺乏。最後，本文亦針對研究結果提出教科書編寫之建議。

關鍵字：化學教科書、建模歷程、原子理論、模型

壹、前言

在科學教育中，對於概念改變相關議題研究，已獲得相當不錯的成果。傳統上，概念改變研究主要從皮亞傑的兒童發展理論、庫恩的科學發展和學生迷思概念等研究著手，但 Rea-Ramirez、Clement 與 Nunez-Oviedo (2008) 認為利用認知方法去探討學生概念改變可能是不夠的，因其未能考量情意因素、社會學習角色與學習的情境。此外，他們亦認為概念改變研究過於強調改變與取代，而非修正。許多心智模式研究也未能詮釋師生的對話如何影響科學學習，同時也缺乏清楚的機制來解釋學生如何建立心智模式，故 Rea-Ramirez 等人 (2008) 認為概念改變教學宜兼顧認知與社會理論，並透過心智建模理論來解決，他們提議以模型為基礎之共同建構 (Model-Based Co-construction)，企圖整合社會學習、個人學習與先備概念，以及心理層面之心智模式、類比和意象等元素，而來描述教師與學生共同建構與評估模型的歷程，其觀點如圖 1 所示。

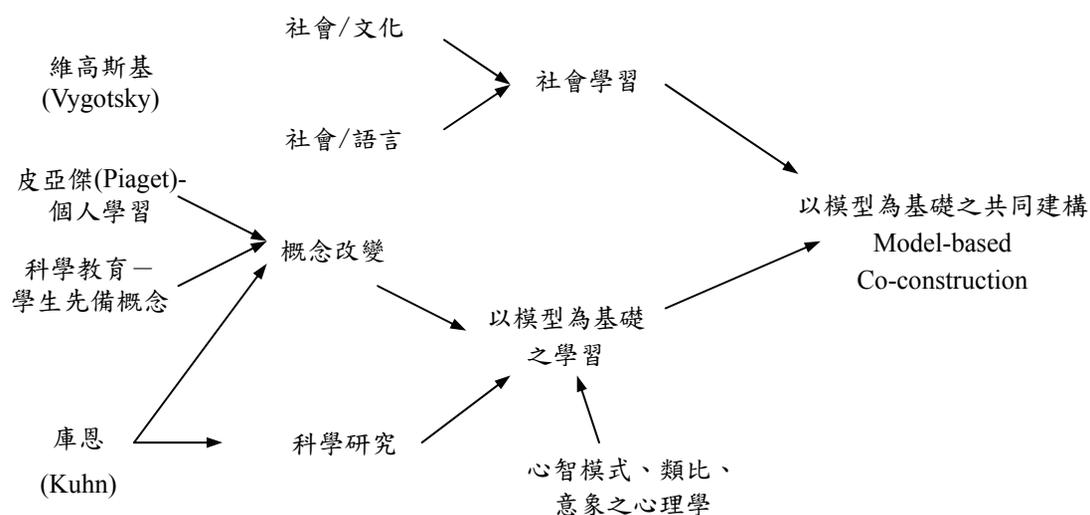


圖 1 科學學習之理論 (Rea-Ramirez, Clement, & Nunez-Oviedo, 2008, p. 25)

除此之外，科學教育研究取向也有了轉變，取而代之是「模型」和「建模」之研究，相關研究亦不斷地被提出（邱美虹、劉俊庚，2008；張志康、邱美虹，2009；Gilbert & Buckley, 2000; Halloun & Hestenes, 1987; Stratford, Krajcik, & Soloway, 1998）。模型與建模是認知與科學探究的基礎，在科學過程中扮演非

常重要的角色，它包含許多複雜活動的過程，也伴隨著不同能力之發展，它不僅能解釋學生概念改變的歷程，也增添許多概念改變研究所缺乏的元素，如建模理論不僅可描述概念改變的機制與動態發展，且提供相關教學策略來促進學生之學習，或是理解科學模型所扮演的角色等 (Shen & Confrey, 2007)。同時，也修正傳統講述和演示實驗之缺失，如學生採取被動學習的方式、知識屬於片斷形式，以及他們素樸信念難以改變 (Jackson, Dukerich, & Hestenes, 2008)。

為什麼建模對於學生學習如此地重要？建模除了可協助他們去表達與外顯化思考，透過想像和檢驗他們所建立的理論或模型外，亦可促進學生概念理解、探究技能和系統性思考 (Hestenes, 1987; Halloun & Hestenes, 1987; Jackson et al., 2008)。我國目前《普通高級中學必修科目「基礎化學」課程綱要》亦提及模型的重要性 (教育部, 2010)。本文即從模型來探討建模原理與歷程，應用建模理論分析我國高中化學教科書於「原子理論」單元之建模歷程，藉以提供未來科學教育學者與教師教學時之參酌。

貳、理論架構

「模型」觀念已被廣泛地使用於日常生活中。對於模型這個名詞，我們可能聯想到模型汽車、飛機等玩具，模型已與我們的生活緊密地結合在一起。在科學發展上，模型也對理論建立扮演非常關鍵的角色，如氣體粒子模型可用方程式來表示： $PV=nRT$ (理想氣體方程式)。依此，本研究從模型定義與角色、建模歷程與科學學習，並探討教科書與建模之關係。

一、模型

(一) 模型之定義

模型可協助學生記憶與解釋，作為理解現象或概念的外在表徵，它們讓學生思考視覺化 (visualization)，並在與他人溝通中獲得回饋。但模型 (model) 是什麼？一般來說，模型會較實體更為簡化 (Bliss, 1994)，其尺度大小可能較表徵的物件為小 (如飛機、汽車)，或是較大 (如病毒、原子和分子)，此外可能表徵抽象概念、或是理論 (如牛頓第二運動定律 $F=ma$ ，理想氣體方程式

PV=nRT)。模型在此扮演表達科學理論或現象的一種工具，並可用來預測或解釋，換言之，模型扮演理論 (theories) 與現象之間的中介物 (mediators) (Morgan & Morrison, 1999)。

模型可提供解釋、總結資料，或作為設計實驗的啟發 (Craver, 2006)。但模型這個名詞，迄今仍未有一致性的看法。早在 1961 年，L. Apostel 即注意到模型要有一個較為恰當的定義似乎是不可能，因為在科學、邏輯與哲學領域，模型使用均有不同的意義存在 (Hartmann, 1995)。那我們如何說明或定義這些不同意義的模型呢？綜合許多研究者的定義與詮釋，詳見表 1。

表 1 模型定義彙整

研究者	模型的定義
Hestenes (1987)	模型是真實事物的一種概念性表徵。
Tiberghien (1994)	模型是為了表徵物質情境的某些部分，包括質化與量化的功能性關係（數學式）。
Glynn 與 Duit (1995)	模型是系統的系統化表徵，或是某些系統簡化的觀點，包括規則、關係、概念和物件，並用來描述、表徵和解釋外在世界的現象。
Gilbert 與 Boulter (2000)	模型被視為是一個物件、事件、想法或現象的表徵。
Tregidgo 與 Ratcliffe (2000)	模型是表徵物件、現象或想法的結果。
Gericke 與 Hagberg (2010)	模型是現象的簡化，企圖使用發展現象的解釋。

從上述彙整，我們可以發現模型這個名詞，研究者有不同的解釋，但有一個共同的核心意義，即是模型代表在某些情況下對物件、事件、關係所呈現的表徵，包含特定的目的。如此定義方式，除對模型所表徵的事物和適用範圍有所限制外，也論及模型的功能部分，如模型可被用來解釋與理解，或進行預測。

（二）模型的角色

模型最重要的特徵即是其功能性角色 (Johnson-Laird, 1983, p. 403)，理論科學特徵之一即是對模型角色的依賴，如原子行星模型、氣體粒子模型等。

Hartmann (1995) 認為模型可用來結構資料、應用理論，或建構新的理論，而科學家也使用模型作為理論建構的主要工具。依 Hartmann (1999) 的研究指出，模型扮演的角色即是：1.應用至基本的理論；2.檢驗理論；3.發展理論；4.改變理論；5.探索理論的特徵；6.協助獲得理解。以太陽與行星為例，它們均符合牛頓運動模型，因此可以計算出所有行星的位置，如此不僅延伸我們的想法，更可推論未來的現象。

二、建模 (modeling) 與科學學習

(一) 建模

建模是認知、科學探究和問題解決的基礎。邱美虹和劉俊庚 (2008) 認為個體藉由模型所表徵的實體或現象來建立其內在心智模式，而個體又可藉由模型表徵來表達個人對實體或現象的理解。這種內隱知識結構與外顯模型的交互作用，讓我們得以建立對科學的認識，而內隱心智模式透過模型來使思考具體化的方式，即是我們所稱的建模 (見圖 2)。

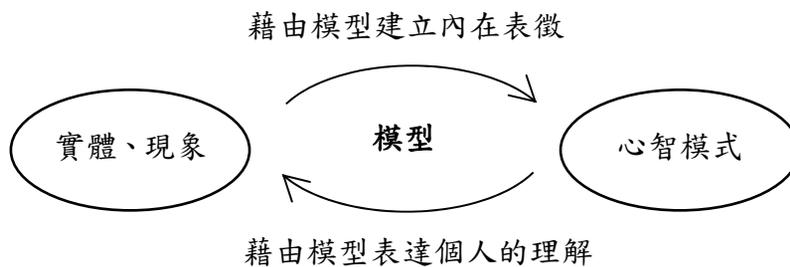


圖 2 建模架構圖 (修改自邱美虹和劉俊庚, 2008)

Lopes 與 Costa (2007) 從「情境問題」 (situation-problem) 來考量，他們認為建模是在與情境結合的工作任務之間，運用和建構概念的方法，依此觀點，建模是建構或結合科學模型之使用，並考量情境的特殊狀況或類別。並且，他們也從三個向度來討論建模能力，分別是：面對方式 (way of facing)、概念化 (conceptualization) 和操作性工作 (operative work)。面對方式包括概念性質或

關係的使用情況，是否能小心地驗證解釋的答案或分析情境；概念化包括物件、事件的概念化，評估物件與事件概念化是否融貫，並運用於問題情境。最後，操作性工作則是描述變數的關係、關係形式，以及驗證答案是否具可預測性。同理，Justi、Gilbert 與 Ferreira (2009) 認為建模是產生、檢驗和修正模型的動態歷程，它是科學探究的核心技能，如此描述方式均已論及建模歷程。Devi、Tiberghien、Baker 與 Brna (1996) 則從理解學生如何建構表徵來探討建模，如何從真實的實驗情境到抽象的概念實體，學生必須選擇實驗情境中相關的物件和事件，建立與抽象實體（模型和理論）之間的連結（見圖 3）。

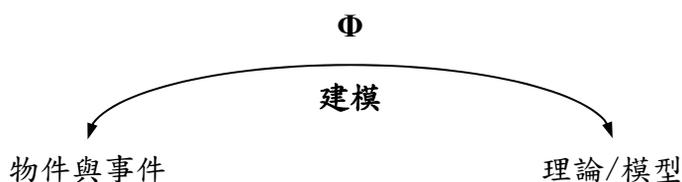


圖 3 建模是建立模型/理論與物件/事件的語意關係

綜合上述觀點，邱美虹與劉俊庚（2008）主要從心智模式與外在實體之間模型的建立與解釋來探討建模，探討心智模式的外顯化歷程，以及心智模式和外在實體之間交互作用關係。相反地，其他研究者則著重於外在現象與理論之間關係的建立，如前述 Morgan 與 Morrison (1999) 的觀點，即是模型扮演理論與現象之間的中介物，而建模即是建立兩者之間的關係，如 Lopes 與 Costa (2007) 著重於解決問題的方式，探討問題解決歷程需要考量的因素，如描述變數，或是驗證。Devi 等人 (1996) 則認為建模作為科學理論與經驗世界，或是現象與模型之間的橋樑，透過建模過程將觀察實體或現象予以簡化，並與所觀察的實體相互比較。

（二）建模歷程與科學學習

建模是發展科學知識的重要過程，研究者對建模歷程也提出不同的想法，主要是科學家建立科學理論或問題解決的歷程。這些歷程有些共同的特徵，其不外乎模型建立與模型運作兩個主要階段。以下將介紹幾位研究者對建模歷程所做之探討，並提出本文作者對於建模歷程之操作型定義。

1. Hestenes (1987) 建模策略

Hestenes (1987) 認為物理問題解決即是建模過程，其包含四個階段，分別是：描述 (description) 階段：描述模型的各種基本變數，決定所發展的模型形式，描述變數的交互作用與特徵；形式化 (formulation) 階段：利用定律和交互作用來形成方程式；分枝 (ramification) 階段：描繪模型的不同意義或表徵形式，然教科書常未能清楚地確認；效化 (validation) 階段：效化是考量分枝模型的實證評估。而這些過程僅是在建模歷程中基本的步驟，並非規定的策略，對於 Hestenes 而言，建模歷程需要考量不斷的修正與效化歷程。然 Shen 與 Confrey (2007) 認為 Hestenes 的建模步驟過於強調相對線性的過程，因此仍有其缺失。

2. Halloun (1996) 的建模歷程

Halloun (1996) 提出問題解決的建模歷程為模型選擇 (selection)、模型建構 (construction)、模型效化 (validation)、模型分析 (analysis) 和模型調度 (deployment)。首先，在情境中確認與描述現象的系統組成，接著建模目的將會被確認，期望結果能有效。隨後，選擇適當理論來評論，並選擇和建構一個適當的模型。最後，此模型被操弄與分析，若它持續地有效，則可推論問題的結論。然而，傳統教學歷程中，有兩個步驟常被忽略，分別是模型效化和調度，Halloun 認為互動 (interactive) 和辯證 (dialectic) 的過程對於學生發展建模歷程中的效化和調度特別具有效益。

3. Stratford、Krajcik 與 Soloway (1998)

Stratford 等人 (1998) 認為建模包含五種認知策略，分析策略包括確認重要的因素或物件，理解、判斷和詮釋他們的模型，以及描繪模型或評論其適當性；相關性推理包含建立和討論相關性，預測將會發生什麼狀況；綜合策略則是決定模型如何以整體的方式運作，討論或評論模型表徵；檢驗和除錯是檢驗模型如何運作，或指出模型為何無法運作，並試著找出可能的解法；解釋策略則解釋某一因素為何會導致改變，深入探討想法，陳述某些支持的證據等。Stratford 等人認為建立模型宜提供學生機會去思考與討論科學現象，將它們分成片斷，描述這些片斷的相關性，再整合這些片斷成模型，驗證模型。最後，他們認為建構動態模型有助於學生的理解。

4. Sins、Savelsbergh 與 van Joolingen (2005)

Sins 等人 (2005) 認為與建模相聯結的推理過程包括五個階段，首先是分析 (analyze) 階段，學生將現象做分解，確認模型的重要元素，利用圖表或實證資料來詮釋模型的意義。隨後，歸納推理 (inductive reasoning) 是學生推測模型元素如何進行交互作用與假說，產生歸納推理，此過程意謂模型結構與現象之關係（如考量模型如何運作、探討模型表徵和模型之間的新關係），然對於學生這將是一個複雜的過程；量化 (quantify) 則是建構初步模型後，透過數學關係來使模型元素與想法更為精確；解釋 (explain) 是用以區分模型元素的相關性，證明為什麼某一個因素會影響另一個因素。最後，評估 (evaluate) 是為了評估與檢驗模型，學生必須連結模型與實驗所獲得的結果，在評估過程中，學生必須決定他們的模型是否與信念相互一致，藉此修正原有的模型。

5. 邱美虹 (2007)

邱美虹 (2007) 延續 Halloun 的建模歷程建立建模歷程指標，但加入模型重建的元素，同時設計建模教學各階段活動，探討學生透過建模活動對於電化學概念之瞭解。研究結果顯示，建模教學中心智模式視覺化經驗有助於科學概念之學習，並在教學過程中提供學生使用形式表徵的實際經驗，學習科學推理的技能，也讓學生學習如何有系統的建立、檢驗和修正模型，更進一步建立科學模型。

6. 綜合不同研究學者之建模歷程

猶如上述，研究學者對建模歷程提出不同的想法。大部分學者對於建模歷程的觀點，不外乎建立模型、檢驗模型、分析、修正，以及調度等階段。綜合上述研究，本文作者將建模歷程歸納為兩個主要階段，分別是：模型發展 (model development) 和模型運用 (model implement)。有關建模歷程各階段成分及其操作型定義經兩位科學教育學者審查與討論修正後，詳見表 2，根據表 2，建模應包括模型描述與選擇、模型建立、模型效化、模型分析、模型調度和模型重建等 6 個階段，各階段之間交互運作進行，如圖 4 所示，以下即針對各階段加以說明。

表 2 建模歷程彙整表

階段	建模歷程	次項目	操作型定義
		描述與選擇現象的各種面向（物件、狀態、交互作用和因果效應）	由問題情境中描述與選擇對問題有意義之面向：包括物件面向（物件的基本性質）、狀態面向（隨時間改變的性質）、交互作用面向和因果面向（解釋的形態）等。
		討論面向與變數的關係	討論面向與變數所有可能之關係，並找出彼此間的關係或比例關係。
		選擇最符合現象描述的各種面向與可能變數（物件、狀態、交互作用和因果效應）	由問題情境中的各種描述中選擇出有意義之面向：包括物件面向（物件的基本性質）、狀態面向（隨時間改變的性質）、交互作用面向和因果面向（解釋的形態）等。
		進一步詮釋面向與變數關係	對所選擇的基本模型和變數作進一步詮釋。
		符號語言選擇（表徵選擇）	使用適合的語言類型（表徵）來描述各個面向與變數之間的關係。
模型發展階段		理解屬於模型次項目	初步架構問題相關的基本模型（概念、定律、工具和規則）。
		變數概念化	將所選擇的面向（物件、狀態和交互作用）與問題情境相關資訊做連結，或是理解問題情境有什麼面向屬性特徵。
模型建立		定性關係建立	建立定性關係：A 影響 B（描述所建立之數量關係）。
		定量關係建立	建立定量關係：驗證 A 與 B 之間的關係，探討其關係是正比、反比，或是無關。
		符號語言建立（表徵建立）	將使用的符號語言與情境問題做有效的連結。
		決定模型之運作與描述結論	操作所建構的模型，尋求可能解決方法或答案，討論所觀察到的方法和建立的關係，或是如何運作。
模型效化		判斷與比較	將所建立的模型與真實世界事物或問題做比較，討論是否相符合。
		模型運作結果詮釋	操作模型（歸納實驗資料）來支持解釋。

表 2 建模歷程彙整表 (續)

階段	建模歷程	次項目	操作型定義
模型發展階段	模型分析與評估	模型經驗性證實	利用直接或間接證據來做預測，評估模型是否相符合，評論預測結果與證據之間的一致性。
		檢驗變數的適當性	評估所選擇的變數是否適合問題情境。
		檢驗變數的完整性	評估所選擇變數是否完全符合建構的模型，或是有忽略的地方。
		檢驗一致性	利用不同方式來檢驗所建立模型之內部一致性
		檢驗模型的融貫性	不同模型之間作辯證，評估不同模型之融貫性。
模型運用階段	模型調度	模型應用與預測	利用已效化的模型對實證性問題給予解釋、描述或預測，理解模型是否能正確或實現來做為參考依據。
		理解模型的限制性	調度所建立模型，理解模型使用的限定範圍。
		模型精煉	修改模型部分參數，並重新檢驗。
		類比建立與發展	建立模型參考物之間的類比發展規則，應用這些規則來設計新的參考物，並試圖突破模型的限制。
模型重建	模型重建	建構新模型	對於建立的模型感到不滿意，使用不同於先前的面向與變數來重新解釋，建構一個新模型。
		擴大模型的解釋範圍	討論思考先前未考量因素之間的關係。

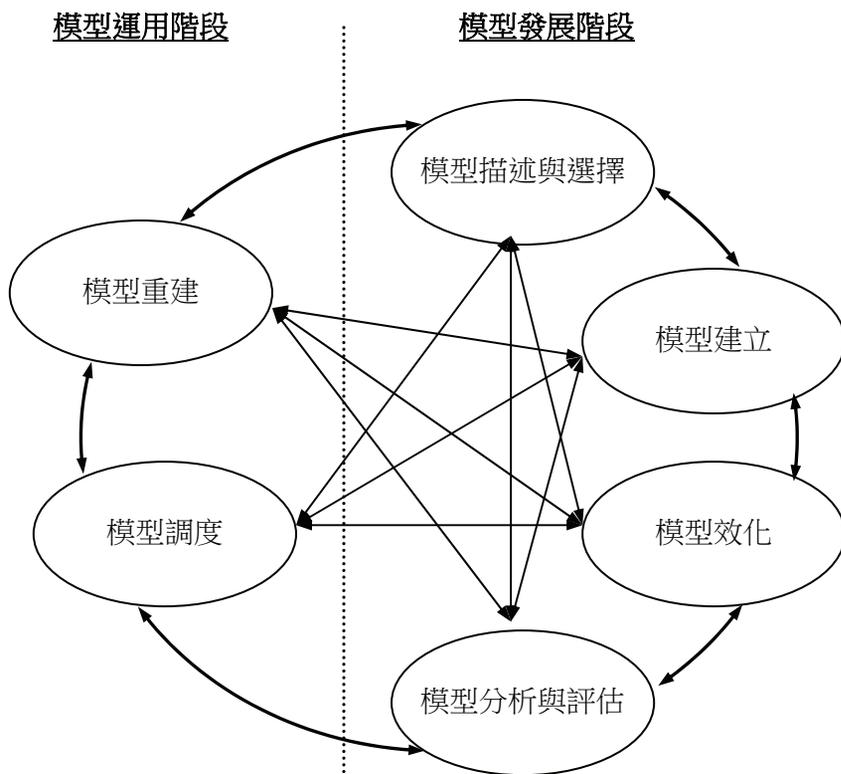


圖 4 建模歷程圖

(1) 模型發展

可分為模型描述與選擇、模型建立、模型效化與模型分析等 4 個次階段。描述與選擇部分，主要是描述與選擇變數(物件、狀態、交互作用和因果效應)、討論或關係的選擇、選擇最符合現象描述的一種面向與變數，以及符號語言的選擇；模型建立則是透過變數之概念化、定性與定量關係之建立，以及符號語言的建立(選擇表徵與建立)，建立初始模型；效化則是決定模型之運作與描述結論、判斷與比較，和初始模型運作結果與詮釋；分析與評估則是模型經驗性證實，透過不斷地檢驗與評估變數，藉以了解模型的適當性、完整性、一致性和融貫性等。此外，模型效化、分析與評估階段也著重於比較與評估不同模型，並檢驗競爭模型，換言之，模型發展階段著重於建立一個可使用與解釋的模型，並利用不同數據或方法進行分析、檢驗與比較。

(2) 模型運用

此階段主要為模型調度與重新建立新模型。模型調度方面，即是模型的應用與預測、理解模型的限制性、類比建立與發展和模型精煉。模型可以採取不同方式應用至不同的外在情境，模型只有在真實世界中進行描述、解釋、預測等調度歷程後才顯現其重要性及適用性，如此也將慢慢地擴充其使用範圍，且更適用於相對應的理論情境中。教學過程中，提供學生從事適當的調度活動，讓學生發展工具和系統化的規則，透過類比教學或其他建模活動，均可使學生對建模有更多的認識與了解。模型重建則包括建構新模型和從模型中推論其他含意，擴大模型的解釋範圍。由於原有模型可能需要做完全的改變，學生需要重新建構新模型，依 Chi (1992) 概念改變的觀點，若是原本模型中所需元素的增減，則是弱重建，屬輕微的概念改變，反之，若模型做結構上大幅度修正，猶如一個概念重新被置放，由一個類別置放至另一類別 (Chi, Slotta, & de Leeuw, 1994)，則可謂之強重建，屬於根本的概念改變。

綜合上述建模歷程，建模應該是漸進與循環，學生可採取分離方式來發展個別的描述性模型，慢慢地再發展為解釋性模型。此外，教師可協助學生建立基本模型，隨後不斷地透過驗證與修正，他們將能夠發展較完整的基本模型，學生亦可統整並建構更複雜的模型，而學生的發展速度也會較原先基本模型快，因為他們已從上述歷程中獲得不同的建模成分 (Halloun, 2006)。但學生在建模歷程中也可能於模型效化或分析與評估階段，因模型運作結果與原來現象或問題不一致而中斷，並從模型描述與選擇或建立等階段再重新進行，換句話說，建模歷程並非是線性的過程，而是循環與交互進行。

三、教科書與建模歷程

教科書在科學教學扮演非常關鍵的角色，研究亦指出教師相當依賴教科書來計畫教學的內容與過程 (Sanchez & Valcarcel, 1999)，但教科書卻缺乏建模的觀點 (Gericke & Hagberg, 2010)。因此，教師教學內容與結構若是僅參考教科書來計畫教學活動，教學過程中將難以發展建模的觀點。

此外，研究亦指出教科書在「原子理論」發展的描述均有缺失 (Justi & Gilbert, 2000; Niaz & Rodríguez, 2001; Niaz & Coştu, 2009; Rodríguez & Niaz, 2004)。原子理論是不斷透過實驗修正的結果，但許多教科書卻未能描述不同

理論與模型之間的修正與限制，模型之間的連結也付之闕如，僅描述科學的實驗結果，並採取歸納的觀點，模型重新建立更是缺乏 (Rodriguex & Niaz, 2004)。科學理論的轉變即是模型不斷重建的歷程，若能提供學生關於「原子理論」的重新建構歷程，如此將提供學生理解科學家是如何建構理論之機會，如何作科學和相關的建模歷程，進而影響學生對於科學本質的觀點，而教科書在此即扮演關鍵性的角色。

參、研究方法

一、分析對象

為探討不同版本教科書於「原子理論」之建模歷程，本研究蒐集 1974 年以後之高中化學教科書，總計 16 個版本，依出版年代依序編號為 TS01~TS16，作為本研究之樣本。為了解高中化學教科書於「原子理論」的課程內容，本研究分析我國高中化學課程綱要於「原子理論」所需學習之內容，發現主要著重於原子結構，以及物質形成與原子核外電子排列等概念，對於「原子理論」的發展則較少著墨（教育部，1999, 2006, 2010）。

二、研究步驟

（一）「原子理論」之建模歷程分析指標之建立

本研究利用所提出之建模歷程指標（詳見表 2），並參考科學史原子理論發展，依「湯木生原子理論」、「拉塞福原子理論」、「波耳原子理論」和「量子力學原子理論」等 4 個單元，建立各階段建模歷程之分析標準與範例（詳見表 3）。此外，亦依下列分類加以評定，分別給予 0-2 分，依序為：良好符合要求 (satisfactory)：具體陳述或有相關範例說明（2 分）；僅提及 (mention)：教科書僅簡單地提及相關內容，未能詳細地說明（1 分）；沒有提及 (no mention)（0 分）。如在湯木生理論之「模型描述與選擇」階段，其標準如下：1.陰極射線具有粒子性質；2.陰極射線會受到電場與磁場的影響；3.測得電子之荷質比；4.不論陰極板是由何種金屬組成，均測得同一數值。若是教科書能完整提及上述

內容，則評定為「良好符合要求」，若是缺乏其中某一項內容，則評定為「僅提及」，若是教科書內容完全未提及上述任一項內容，則評定為「沒有提及」。隨後經兩位專家（科學教育和化學領域）審查，依審查結果修正作為本研究之分析標準。

表3 「原子理論」建模歷程標準與範例彙整表

階段	建模歷程	湯木生原子模型	拉塞福原子模型	波耳原子模型	量子力學原子模型
模型發展階段	模型描述與選擇	<ul style="list-style-type: none"> 陰極射線具有粒子性質。 陰極射線會受到電場與磁場的影響。 測得電子之荷質比 ($e/m = 1.759 \times 10^8$ 庫侖/克)。 不論陰極板是由何種金屬組成，均測得同一數值。 	<ul style="list-style-type: none"> 大部分 α 粒子會直線穿過金箔。 少數 α 粒子會發生大角度偏轉，極少數 α 粒子會反彈回來。 	<ul style="list-style-type: none"> 氫原子光譜為不連續光譜。 電子繞原子核做圓周運動，其向心力由電子和原子核間庫侖力所提供。 光子能量為 $h\nu$，普朗克理論說明電子所發射能量 $E=h\nu$。 	<ul style="list-style-type: none"> 測不準原理：量子力學系統中，一個粒子位置和動量不可同時確定。 波—粒二重性：一切物質同時具備粒子和波動性。 電子運動方式只能以機率描述其分布區域。
	模型建立	<ul style="list-style-type: none"> 原子含有一種更基本的粒子—電子。 原子為帶負電電子均勻分布在一個帶正電的球體中。 	<ul style="list-style-type: none"> 原子絕大部分質量集中在原子核，原子核帶正電荷，電子在原子核外運動。 核電荷與電子電荷相等，符號相反。 原子核半徑約為 10^{-15} m，所佔空間極小，原子半徑為 10^{-10} m。 	<ul style="list-style-type: none"> 電子僅能在特定能階運動，並不吸收或發射電磁波。 氫原子能階： $E_n = -\frac{2.179 \times 10^{-18} \text{ (焦耳/個)}}{n^2}$ $E_n = -\frac{1312}{n^2} \text{ (千焦/莫耳)}$ $n=1$ 時，E 最小，軌道最靠近原子核，能量最低。n 愈大，軌道愈遠離原子核，能量愈高。 	<ul style="list-style-type: none"> 電子在原子核外出現區域稱為軌域。 軌域界面是指電子出現機率占 90% 的區域，界面以外區域電子出現機率很小。 利用量子數描述軌域特性與電子運動情形。

表 3 「原子理論」建模歷程標準與範例彙整表 (續)

階段	建模歷程	湯木生原子模型	拉塞福原子模型	波耳原子模型	量子力學原子模型
				<ul style="list-style-type: none"> • 電子從高能階回到低能階，釋出兩能階能量差之能量。電子轉移時以光的形式釋出能量。$\Delta E = E_H - E_L$ 	
模型發展階段	模型效化 <ul style="list-style-type: none"> • 操作建立的模型，尋求可能的解決方法或答案，了解模型如何運作。 	<ul style="list-style-type: none"> • 利用陰極射線實驗推翻原子無法分割的理論。 	<ul style="list-style-type: none"> • α 粒子可掠過電子不偏轉，僅有少數偏轉，表示原子大部分體積是空的，而且有一個帶正電荷且質量極大區域存在。 	<ul style="list-style-type: none"> • 利用所建立模型計算電子在不同能階躍遷所發射的輻射頻率。 	<ul style="list-style-type: none"> • 利用原子軌域與多電子原子電子充填軌域原則（構築原理、包立不相容與洪德定則），建立多電子原子的排列方式。
	模型分析與評估 <ul style="list-style-type: none"> • 利用不同方式來檢驗模型之內部一致性與不同模型之間的融貫性，並進一步驗證模型或提供概念性解釋。 	<ul style="list-style-type: none"> • 模型經驗性證實：由於負電荷粒子會有相互排斥的現象，所以原子內部負電荷粒子均勻分布在正電的球體中。 	<ul style="list-style-type: none"> • 模型經驗性證實：大角度散射是 α 粒子與原子核近距離碰撞的結果。 	<ul style="list-style-type: none"> • 模型經驗性證實：利用建立模型來解釋巴耳末、帕申系列譜線。 	<ul style="list-style-type: none"> • 模型經驗性證實：利用建立之原子軌域來解釋多電子原子的排列方式。
模型運用階段	模型調度 <ul style="list-style-type: none"> • 利用已效化模型對實證性問題給予解釋、描述或預測，理解模型是否能正確作為參考依據， 	<ul style="list-style-type: none"> • 模型解釋：利用原子模型解釋門得列夫週期表中物理和化學性質，以及元素週期性。 • 類比建立：原子猶如葡萄乾 	<ul style="list-style-type: none"> • 模型限制：作加速運動電荷必輻射電磁波，圓周運動即屬加速運動。電子作圓周運動，必輻射出能量，使其能量漸減而逐漸靠近原子核。 	<ul style="list-style-type: none"> • 模型應用：利用建立氫原子能階計算不同能階躍遷所發射的輻射頻率。 • 模型預測：預測新譜線存在——來曼 (Lyman) 發現的紫外光譜系。 	<ul style="list-style-type: none"> • 模型應用：利用原子軌域對於多電子原子之電子排列給予練習。 • 類比建立：電子運動方式只能以機率描述其分布的區

表 3 「原子理論」建模歷程標準與範例彙整表 (續)

階段	建模歷程	湯木生原子模型	拉塞福原子模型	波耳原子模型	量子力學原子模型
模型重建 運用階段	• 並理解模型使用範圍。	布丁模型，葡萄乾如同電子，分散於整個原子。	• 類比建立：原子模型略似太陽系，電子如行星般繞原子核作圓周運動。	• 模型限制：無法解釋多電子原子，如氦原子光譜。 • 模型精煉：氫原子理論做部分修正，並將其應用於類氫離子。	域，科學家稱之為電子雲。
	• 原模型已無法滿足新事實的發現，故使用不同於先前面向與變數來重新解釋，建構新模型。				

(二) 評量過程

教科書分析過程如下所述，首先，先由第一作者與另一位具科學教育背景評分者各自閱讀兩個版本教科書 (TS01 和 TS02)，並依表 3 之評量標準進行評定工作，兩者同意度為 92.5%，若有評量不一致之處，兩位評分者透過相互討論的方式達成共識。隨後則由第一位作者完成其他版本之評定工作。

肆、研究結果與討論

教科書於「原子理論」建模歷程分析結果詳如表 4 和表 5。各版本建模歷程平均數為 24.3 分 (總分 40 分)，總分最高為 TS12 (32 分, 80%)，最低則為 TS10 (12 分, 30%)。若從各建模歷程得分予以分析，16 個版本教科書於「模型描述與選擇」和「模型建立」得分較高 (93 分, 72.7%; 106 分, 82.8%)，至於「模型效化」與「模型分析與評估」得分較低 (66 分, 51.6%; 48 分, 37.5%)，顯示大部分教科書著重於描述原子理論內容介紹，對於原子理論運作結果與概念性解釋，或是不同理論之間的競爭與連結則較為缺乏。以下進一步比較各版本教科書於「原子理論」單元之建模歷程。

表 4 高中教科書於「原子理論」之建模歷程分析

	湯木生原子理論					拉塞福原子理論					波耳原子理論					量子力學原子理論					總分
	S	C	V	A	D	S	C	V	A	D	S	C	V	A	D	S	C	V	A	D	
TS01	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	1	2	1	1	0	2	2	1	1	2	21
TS02	2	2	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	1	1	2	1	2	26
TS03	2	2	1	0	1	2	2	0	0	1	2	2	0	1	1	2	2	1	1	1	24
TS04	1	2	2	2	1	1	1	0	0	2	1	2	0	0	1	2	2	1	1	1	23
TS05	2	2	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	1	0	1	1	2	2	1	2	29
TS06	2	0	0	0	0	2	2	2	2	2	1	2	0	0	1	1	1	1	0	2	21
TS07	1	0	0	0	0	2	1	0	0	1	1	2	2	1	0	1	1	2	1	2	18
TS08	1	1	0	0	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	30
TS09	2	2	1	0	1	2	2	1	1	2	1	2	0	1	1	1	2	2	2	2	28
TS10	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	1	0	0	1	1	1	1	2	12
TS11	2	2	0	0	1	2	2	2	0	2	0	2	2	1	2	1	2	2	2	2	29
TS12	1	2	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	32
TS13	0	1	0	0	0	2	2	2	0	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	24
TS14	1	2	1	0	1	2	2	0	0	0	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	25
TS15	2	0	0	0	0	2	2	2	2	2	1	2	0	0	1	1	2	2	2	2	25
TS16	1	0	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	2	0	1	1	2	2	2	2	21
平均	1.44	1.25	0.31	0.13	0.5	1.88	1.75	1.06	0.81	1.38	1.31	2.00	1.06	0.63	0.94	1.19	1.63	1.69	1.44	1.88	24.3
總分 (標準差)	3.63 (0.58)					6.88 (0.45)					5.94 (0.52)					7.81 (0.26)					

註：建模歷程代號說明：模型描述與選擇 (S)；模型建立 (C)；模型效化 (V)；模型分析與評估 (A)；模型調度 (D)。

表 5 16 個版本高中教科書之建模歷程分析

	TS01	TS02	TS03	TS04	TS05	TS06	TS07	TS08	TS09	TS10	TS11	TS12	TS13	TS14	TS15	TS16	總分 (128)
S	7	7	8	5	7	6	5	5	6	4	5	6	4	6	6	6	93 (72.7%)
C	8	7	8	7	8	5	4	7	8	3	8	8	6	7	6	6	106 (82.8%)
V	2	4	2	3	5	3	4	6	4	2	6	6	6	5	4	4	66 (51.6%)
A	2	3	2	3	3	2	2	5	4	1	3	6	3	3	4	2	48 (37.5%)
D	2	5	4	5	6	5	3	7	6	2	7	6	5	4	5	3	75 (58.6%)
	21	26	24	23	29	21	18	30	28	12	29	32	24	25	25	21	

註：建模歷程代號說明：模型描述與選擇 (S)；模型建立 (C)；模型效化 (V)；模型分析與評估 (A)；模型調度(D)。

(一) 湯木生陰極射線實驗與原子模型之建立

湯木生原子理論之建模歷程，結果平均數僅有 3.63 分（總分 10 分），為 4 個分析單元最低。此外，若從各階段分析，大多數教科書均著重於「模型描述與選擇」和「模型建立」兩個要素，其餘 3 個要素教科書則較少提及。底下將從各階段之建模歷程做探討。

1. 模型描述與選擇：模型描述與選擇著重於描述與選擇現象的各種面向，並且討論或描述各個面向可能關係與意義，如描述陰極射線具有粒子性質（物件面向），或是討論陰極射線會受到電場與磁場的影響（交互面向）和電子荷質比（物件面向）等。整體來說，此階段之平均數為 1.44，顯示大部分教科書內容符合上述的面向。
2. 模型建立：此階段著重於湯木生原子理論的建立，並說明原子結構是電子均勻分布於原子。分析結果顯示，有 5 個版本僅敘述湯木生從陰極射線管實驗發現電子，並提出電子荷質比 (e/m)，未能提及原子模型之建立。整體而言，分析教科書於此階段之平均數為 1.25。
3. 模型效化：有 4 個版本教科書 (TS03、TS04、TS09 和 TS014) 進行模型效化過程，即決定模型之運作，並將建立模型與問題做比較，判斷是否符合，依

此湯木生發現電子，建立原子模型，如此亦說明與原子不可分割的概念不符合，如 TS09 版本提及「...經由陰極射線實驗，認為帶負電粒子，即電子，可能是原子的部分組成。這無疑地對當時原子的不可分割性概念，是一種革命性的想法。」但其中僅有 TS04 版本完全符合評量標準，整體而言，平均數僅為 0.31，顯示大多數教科書未能針對所建立模型進行效化之過程。

4. 模型分析與評估：此階段評量著重於說明帶負電荷粒子會有相互排斥的現象，所以原子內部帶負電荷粒子均勻分布於帶正電球體中。結果顯示，僅有 1 個版本教科書 (TS04) 能完全符合評定標準，平均數僅有 0.13，如下所述：

每個原子占有一定大小的空間，它的正電部分均勻瀰漫於這個空間，電子則分別固定在適當的位置，這些位置可以使其他電子及荷正電部分施於它的靜電力恰相抵消。(TS04，頁 98)

雖然許多教科書描述湯木生原子模型為電子在原子內均勻排列，卻未能對電子為何會均勻排列做解釋，顯示教科書對模型分析與評估階段不甚重視，僅著重於科學事實的呈現，未能建立概念之連結，如電荷排斥與電子排列關係之建立。

5. 模型調度：此階段著重於模型應用與預測，湯木生發現電子後，希望能透過原子模型的建立，進而解釋元素週期性。結果顯示僅有 TS04 版本利用已建立模型進行解釋，其餘 15 個版本教科書則完全未提及相關之內容，底下以 TS04 版本為例加以說明：

...湯木生可以標記出電子數為 1，2，3...等各種情況，電子應占用的位置，甚至還用這種模型試著解釋元素性質的週期性及原子間的鍵結等。(TS04，頁 99)

模型調度除上述關注焦點外，亦希望能建立模型與參考物之間的類比，即強調類比模型的建立與發展，其中僅有 7 個版本符合上述標準，且大多以葡萄乾模型類比原子。整體而言，平均僅為 0.50，顯示教科書對於調度階段不甚重視。

(二) 拉塞福 α 粒子散射實驗與有核原子模型之建立

關於拉塞福原子理論之建模歷程，有 6 個版本 (TS02、TS05、TS06、TS08、TS12 和 TS15) 能完全符合評量標準。此外，若從各建模歷程得分，顯示教科

書仍著重於「模型描述與選擇」和「模型建立」，底下即探討其建模歷程。

1. 模型描述與選擇：有 14 個版本均完整敘述 α 粒子散射實驗的結果，如大部分 α 粒子會直線穿過金箔，少部分會發生大角度偏折或反彈現象，符合模型描述與選擇階段之各種面向，如物件面向（ α 粒子）、狀態面向（ α 粒子散射）、交互面向（ α 粒子撞擊金箔）和因果面向（散射結果）的描述，而有 2 個版本（TS04 和 TS10）僅呈現部分的結果。整體來說，此階段之平均數高達 1.88。
2. 模型建立：拉塞福透過 α 粒子散射實驗建立原子模型，如原子絕大部分質量集中在原子核，原子核帶正電荷，電子在核外運動，核電荷與核外電子電荷相等，即是將模型描述與選擇階段之各個面向做結合，初步架構有核的原子模型。整體來說，此階段之平均高達 1.75，顯示大多數教科書均能針對拉塞福實驗結果建立有核的原子模型。
3. 模型效化：此階段著重於決定模型之運作與描述結論，說明 α 粒子可掠過電子而不偏轉，僅有少數部分偏轉，表示原子中大部分體積是空的，且有原子核存在。如 TS13 版本所述：

...拉塞福卻在 α 粒子的散射實驗中，利用 α 粒子撞擊金屬薄片，偵測 α 粒子在撞擊後的散射角度分布，發現絕大部分的粒子並未被偏轉，但有極少數的粒子以 180° 角被反彈。這表示原子中大部分的體積是空的，且有一帶正電荷質量極大的區域存在。(TS13，頁 106-107)

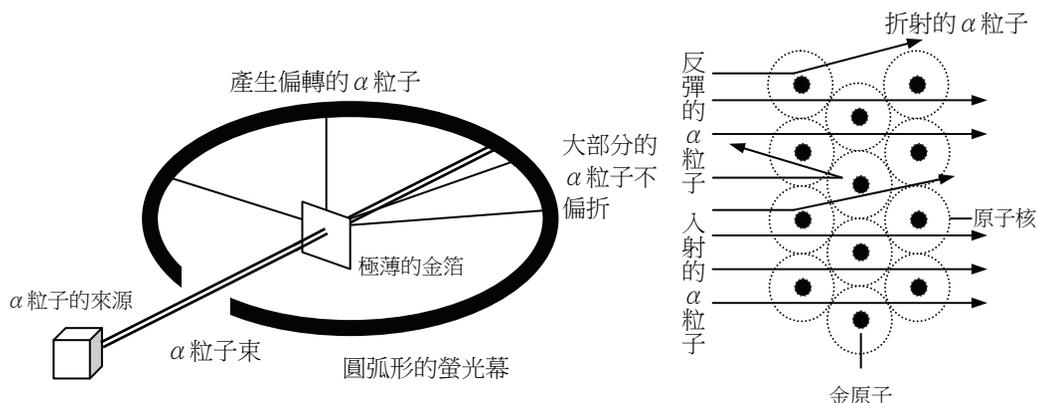


圖 5 α 粒子散射實驗裝置 (TS13，頁 106，此圖為作者重繪之示意圖)

此階段之平均為 1.06，為各階段平均值次低，顯示大部分教科書均忽略此階段建模歷程對於學生學習的影響。

4. 模型分析與評估：此階段著重於解釋與說明大部分 α 粒子會直線穿過金箔，由此推論原子核非常地小，大角度散射是 α 粒子與原子核近距離碰撞的結果。結果顯示，平均僅有 0.81，有 9 個版本完全未有相關內容描述，顯示大部分教科書僅著重於科學事實的說明，卻未有相關的概念性解釋。底下以 TS02 版本為例，說明完全符合之理由：

今有少數 α 質點發生如此大角度的偏轉，實因重而快速的 α 質點可掠過輕的電子而不偏轉，但在接近帶正電的原子核時，拒斥力變大，使 α 質點有相當大的偏轉，甚至被正面彈回。這正如鋼錠可偏轉或反彈來福槍彈一樣。(TS02，頁 117)

TS02 版本除解釋相關實驗結果外，並利用類比（對應關係：鋼錠→原子核；來福槍彈→ α 粒子）來說明，透過類比模型建立，並利用不同方式檢驗所建立模型之內部一致性，故完全符合評定標準。

5. 模型調度：此階段著重於模型應用與預測，利用已效化模型對問題給予解釋、描述或預測，理解模型的限制性與使用範圍。研究顯示大多數教科書均著重於模型限制，提及拉塞福原子模型無法解釋原子不穩定和光譜不連續等問題，整體平均數為 1.38。底下以 TS05 版本為例，說明教科書如何進行模型調度。

根據古典物理中之力學及電學，則帶負電之電子在與帶正電原子核之電場中運行時，可造成暫時性維持旋轉之繼續，但必因逐漸放射電磁波，導致電子之能量趨於降低，即電子必會漸漸接近原子核。(TS05，頁 144)

(三) 波耳氫原子光譜與原子模型之建立

波耳原子理論的建模歷程，表 4 結果顯示，大部分教科書仍著重於「模型描述與選擇」和「模型建立」，雖然其他三個階段相較於前述原子理論，已有更多教科書能針對此三個階段提出相關的內容敘述，但平均數仍僅有 0.63、0.94 和 1.19。

1. 模型描述與選擇：6 個版本教科書均能完整描述不連續的氫原子光譜、電子繞原子核做圓周運動，並利用普朗克理論來說明光粒子能量與頻率之關係，因此符合模型描述與選擇階段之各種分析面向。經過計算，此階段平均為 1.31。
2. 模型建立：猶如前述，大多數教科書均提及波耳為解決拉塞福原子模型之限制，並解釋氫原子譜線，初步架構問題相關的基本模型，將各個面向與問題做連結，除建立氫原子模型理論之定性與定量關係外，亦能將所選擇面向與問題情境做適當的連結，如電子僅能在特定能階（軌道）上運動，並不吸收或發射電磁波，氫原子能階（ $E_n = -2.179 \times 10^{-18}/n^2$ （焦耳/個）），以及電子從高能階回到低能階，釋出兩能階能量差之能量。
3. 模型效化：許多教科書忽略模型效化之工作，其中有 7 個版本完全符合分析標準，即透過已建立氫原子能階理論，計算不同能階之能量變化，且大部分教科書均以問題形式讓學生閱讀教科書時能效化已建立的氫原子理論。底下以 TS16 版本，藉以說明為何符合評定標準。

根據波耳的氫原子模型，回答下列問題：（1）電子由 $n=4$ 能階到 $n=2$ 能階，其變化為吸收能量或放出能量？（2）將氫原子的基態電子移至離原子核無窮遠處（即 $n=\infty$ ），最少需要多少能量？（TS16，頁 117）

4. 模型分析與評估：整體來說，此向度平均僅有 0.63。此階段著重於模型的經驗性證實，即利用建立之波耳氫原子模型去解釋氫原子光譜。底下以 TS12 版本，說明模型分析與評估之歷程。

氫原子光譜中各系列譜線的名稱是由發現者名字來命名，...可見光區的譜線，稱為巴耳末系列 (Balmer series)，是從高能階 $n_H=3、4、5... ..$ 回到 $n_L=2$ 能階時放出的光線。其次是在紫外光區的譜線，稱為來曼系列 (Lyman series) ...。後來，又在紅外光區發現了許多系列的譜線；其中之一稱為帕申系列 (Paschen series) $n_L=3$ 。(TS12，頁 120)

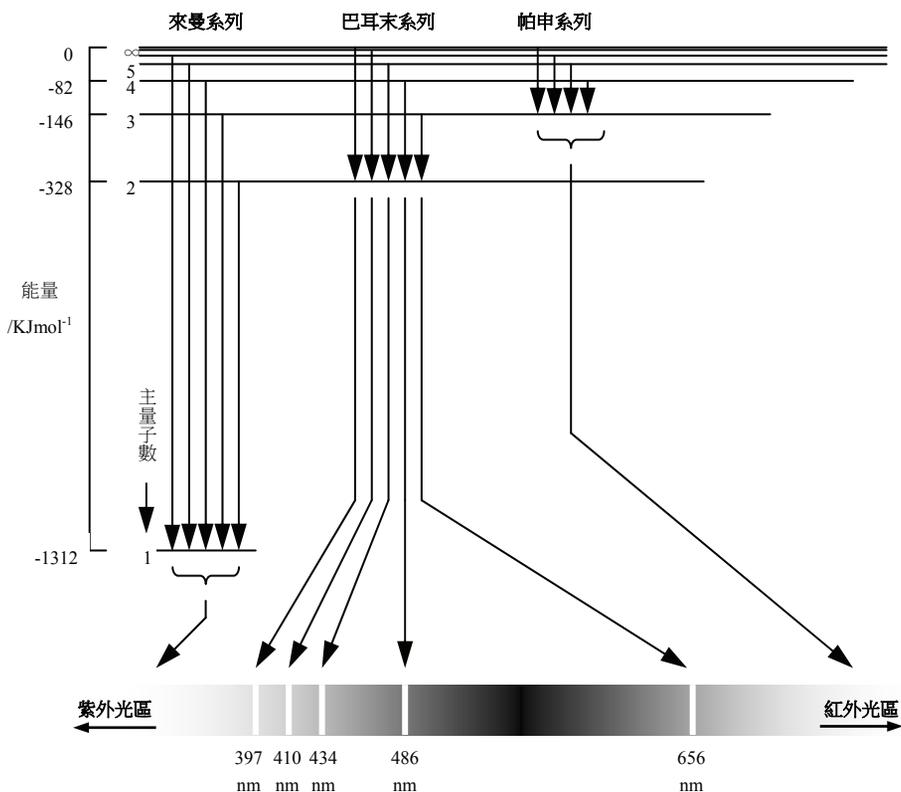


圖 6 原子的發射光譜譜線圖 (TS12, 頁 120, 此圖為作者重繪之示意圖)

5. 模型調度：此階段著重於模型應用、預測、限制與精煉等 4 個部分。模型應用部分，如利用建立之氫原子能階計算不同能階躍遷所發射的輻射頻率；模型限制，如說明波耳氫原子模型無法解釋多電子原子光譜，或是原有模型的精煉，即是原有氫原子理論做部分修正，如 TS12 版本所述：

波耳的氫原子模型只適用於氫原子與類氫離子 (hydrogen-like ion)，若套用到多電子原子，就會產生誤差。(TS12, 頁 120)

(四) 量子力學原子理論

量子力學原子理論的建模歷程部分，雖然各階段歷程得分均高於平均值，但沒有一個版本能完全符合建模歷程之評量標準。

1. 模型描述與選擇：TS01、TS03 和 TS04 等 3 個版本均提及透過海森堡測不準原理和德布洛依波一粒二重性建立量子力學，以及電子運動方式僅能以機率來描述，符合模型描述與選擇次項目中，討論各個面向與變數所有可能之關係，並作進一步的詮釋，但 TS06~TS16 版本僅提及電子運動方式以機率來描述，探討其原因可能為受限於課程綱要，故僅部分符合評量標準。
2. 模型建立：對於量子力學原子模型之建立，評量著重於軌域、電子在軌域出現的情形，以及如何利用軌域來描述電子的運動情形。如 TS12 版本所述：

量子力學認為，電子的運動方式不可能像宏觀運動體那樣有跡可循，只能以機率 (probability) 描述其分布的區域，科學家稱之為電子雲 (electron cloud)；電子雲的界面是指電子出現的機率占 90% 的區域...。電子在原子核外出現的區域稱為軌域 (orbital)。(TS12，頁 121)
3. 模型效化：此階段著重於決定模型之運作與描述結論，利用所建立模型，如利用原子軌域與多電子原子電子填充軌域的原則來建立電子組態，如鋰原子的電子組態為 $1s^2 2s^1$ 。
4. 模型分析與評估：模型分析與評估階段，即利用所建立原子軌域與填充原則解釋多電子原子的排列方式。結果顯示有 8 個版本完全符合評量標準，除利用所建立原子軌域與填充規則外，並給予適當解釋與說明，而有 1 個版本 (TS06) 完全無法符合評量標準。
5. 模型調度：量子力學原子理論的模型調度階段著重於模型應用與類比之建立，利用量子力學原子軌域對於多電子原子之電子排列給予適當的練習，藉以提供學生模型的應用，並且利用類比來描述電子的運動方式。

(五) 小結

本研究主要探究我國教科書是否具建模要素。綜合上述結果，大部分教科書仍以陳述科學事實與概念為主，建模歷程之要素著重於「模型描述與選擇」和「模型建立」，至於「模型效化」與「模型分析與評估」則較為缺乏，特別是湯木生原子理論、拉塞福原子理論和波耳原子理論等三個單元，如此結果亦呼應教科書缺乏建模的觀點 (Gericke & Hagberg, 2010)。此外，分析教科書中，各版本具建模歷程之要素情形如下：湯木生原子理論各階段得分皆偏低，僅有

TS04 版本得分較高，拉塞福原子理論有 6 個版本（TS02、TS05、TS06、TS08、TS12 和 TS15）完全具備建模歷程之要素，波耳原子理論亦僅有 TS12 版本完全符合建模歷程之要素，量子力學原子理論，雖然各階段得分均高於平均值，但沒有一個版本完全具備建模歷程之要素。

建模是發展科學知識的重要過程，也是一個動態歷程，它涉及個體如何提出假說、建立模型目的、描述與確認模型的組成與關係、建立適當模型表徵，進行檢驗與修正，進而重建新的模型。換句話說，建模是企圖協助學生了解知識是由人們所建構，並具有促進科學理解和了解科學本質的潛能（邱美虹、劉俊庚，2008）。此外，雖然教科書中充滿模型與建模範例，但分析結果亦顯示教科書未能明確地指出這些建模歷程，如此將可能使學生無法完全理解科學本質，並且他們使用與發展科學模型的能力也將會受到阻礙（Schwarz & White, 2005）。

伍、結論與建議

本研究主要是分析高中化學教科書於「原子理論」單元是否具有建模歷程所需之要素。研究結果顯示，大部分教科書並未具備完整的建模歷程要素，教科書偏重於「模型描述與選擇」和「模型建立」介紹，對於「模型效化」與「模型分析與評估」兩個要素之比例偏低。換言之，大多數教科書撰寫者著重於科學史或科學知識的描述，內容以陳述科學事實與概念為主，對於科學模型分析、效化與預測的功能與過程並未加以著墨，這樣的呈現方式將使學生難以透過學習歷程中獲得科學建模知識與能力，進而瞭解建模歷程以及模型功能之認識。當然無可厚非，教科書撰寫者若不重視或是未具科學建模的背景知識與能力，如何期待教科書採用建模方式來呈現科學知識發展的歷程，以及科學模型的功能在科學學習中所扮演的角色，更遑論培養學生建模的素養。

科學方法的主要元素之一即是模型的形成與檢驗，科學教學歷程中，建模技能之培養被視為科學教育的目標之一。Van Driel 與 Verloop (2002) 研究則指出，教師對於學生在模型與建模的知識非常有限，因而無法有效的整合到他們教學活動經驗中，如此將無法使學生增加對模型的認識與使用模型的機會。故本研究建議，一是教科書應將建模技能與元素融入課程與教材中，學生透過閱讀教科書，理解科學模型之建模歷程，將可協助他們發展正確的科學心智模

式，也有助於學生科學概念學習與科學本質的認識。二是教師教學亦可採用建模觀點，讓學生透過建模的過程，了解模型限制與適用範圍，再透過師生之間的討論，達到師生共同建構的歷程，進而提升學生模型效化、分析與評估與調度等能力。我們認為透過模型認識科學理論與概念是必要的，而建模能力也是未來教學的新取向。

致謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會經費補助 (NSC 95-2511-S-003-024-MY2、NSC 95-2511-S-003 -025 -MY2) ，特此致謝。

參考文獻

- 方泰山、林如章、張哲政、何鎮揚、張荊壠、張雅玲（2009）。高中化學（上冊）。臺北：龍騰。
- 車乘會、來世衡、吳德堡、許瑞蓮（1975）。高級中學化學（自然科組）（上冊）。臺北：東華。
- 邱美虹（2007）。化學教育中建模模式的研發與實踐—子計畫四：以認知師徒制探討建模能力與歷程對學生學習物質科學中「氧化與還原」之影響。行政院國家科學委員會專題研究計畫 (NSC 95-2511-S-003-025-MY2) ，未出版。
- 邱美虹、劉俊庚（2008）。從科學學習的觀點探討模型與建模能力。科學教育月刊，314，2-20。
- 施正雄編（2007）。高中化學（上冊）。臺北：全華。
- 徐聖煦、林均輝、唐源（1980）。新復興高中化學（自然科組）（上冊）。臺北：復興。
- 陳竹亭（2009）。高中化學（上）。臺北：泰宇。
- 陳秋炳、盧木生、施建輝、王瓊蘭、莊崇仁、黃業建（2009）。高中化學（上冊）。臺南：翰林。
- 陳國成（1974）。新編開明高中化學（上冊）（自然組）。臺北：臺灣開明。
- 教育部（1999）。高級中學課程標準。臺北：教育部。
- 教育部（2006）。普通高級中學課程暫行綱要。臺北：教育部。

- 教育部 (2010)。普通高級中學課程綱要。臺北市：教育部。
- 國立臺灣師範大學科學教育中心 (主編) (1989)。高級中學基礎理化 (下)。臺北：國立編譯館。
- 張志康、邱美虹 (2009)。建模能力分析指標的發展與應用—以電化學為例。科學教育學刊, 17 (4), 319-342。
- 黃長司、黃芳裕 (2005)。高中物質科學化學篇 (上)。臺北：康熙。
- 黃長司、黃芳裕、鍾崇燊 (2009)。高中化學 (上冊)。臺北：康熙。
- 楊永華、張麗英、羅世焜、何金錫 (2002)。高中物質科學化學篇 (上)。臺北：三民。
- 楊慶成、邱鴻麟 (2001)。高中物質科學化學篇 (上)。臺南：翰林。
- 楊寶旺 (2005)。高中物質科學化學篇 (上)。臺北：龍騰。
- 葉名倉、劉如熹、邱智宏、陳建華、陳偉民、周芳妃 (2009)。高中化學 (上冊)。臺南：南一。
- 葉強書、黃仁杰、黃恬靜 (1984)。新編高中化學 (上冊)。臺北：世界。
- 盧世琴 (1976)。高中化學 (自然組) (上冊)。臺北：海源書局。
- Bliss, J. (1994). From mental models to modelling. In H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn, & C. Tompsett (eds.), *Learning with artificial worlds: Computer based modeling in the curriculum* (pp. 27-32). Hong Kong: Graphicraft Typesetters.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Implications for learning and discovery in science. In R. Giere (ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp. 129-186). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. A. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction, 4*, 27-43.
- Craver, C. F. (2006). When mechanistic models explain. *Synthese, 153*, 355-376.
- Devi, R., Tiberghien, A., Baker, M., & Brna, P. (1996). Modelling students' construction of energy models in physics. *Instructional Science, 24*, 259-293.
- Gericke, N., & Hagberg, M. (2010). Conceptual incoherence as a result of the use of multiple history models in school textbooks. *Research in Science Education, 40*(4), 605-623.

- Gilbert, J. K., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Gilbert, J. K., Boulter, C., J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (eds.) *Developing models in science education* (pp. 3-17). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Glynn, S. M., & Duit, R. (1995). Learning science meaningfully: Constructing conceptual models. In S. M. Glynn & R. Duit (eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice* (pp. 3-34). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(11), 1365-1378.
- Halloun, I. A. (2006). *Modeling theory in science education*. Netherlands: Springer.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1987). Modeling instruction in mechanics. *American Journal of Physics*, 55(5), 455-462.
- Hartmann, S. (1995). Models as a tool for theory construction: Some strategies of preliminary physics. *Poznan Studies in the Philosophy of Science and the Humanities*, 44, 49-67.
- Hartmann, S. (1999). Models and stories in Hadron physics. In M. S. Morgan & M. Morrison (eds.), *Models as mediators: Perspectives on natural and social science* (pp. 326-346). New York : Cambridge University Press.
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55(5), 440-454.
- Jackson, J., Dukerich, L., & Hestenes, D. (2008). Modeling instruction: An effective model for science education. *Science Educator*, 17(1), 10-17.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2000). History and philosophy of science through models: Some challenges in the case of 'the atom'. *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1009.

- Justi, R., Gilbert, J. K., & Ferreira, P. F. M. (2009). The application of a 'model of modeling' to illustrate the importance of metavisualisation in respect of three types of representation. In J. K. Gilbert, & D. Treagust (eds.), *Multiple representations of chemical education* (pp. 285-307). Netherlands: Springer.
- Lopes, J. B., & Costa, N. (2007). The evaluation of modeling competences: Difficulties and potentials for the learning of the science. *International Journal of Science Education*, 29(7), 811-851.
- Morgan, M., & Morrison, M. (1999). *Models as mediators*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Niaz, M., & Coştu, B. (2009). Presentation of atomic structure in Turkish general chemistry textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 10, 233-240.
- Niaz, M., & Rodríguez, M. A. (2001). Do we have to introduce history and philosophy of science or is it already 'inside' chemistry. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2, 159-164.
- Rea-Ramirez, M. A., Clement, J., & Nunez-Oviedo, M. C. (2008). An instructional model derived from model construction and criticism theory. In J. J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (eds.), *Model based learning and instruction in science* (pp. 23-43). Netherlands: Springer.
- Rodríguez, M. A., & Niaz, M. (2004). A reconstruction of structure of the atom and its implications for general physics textbooks: A history and philosophy of science perspective. *Journal of Science Education and Technology*, 13, 409-424.
- Sanchez, D., & Valcarcel, M. V. (1999). Science teachers' views and practices in planning for teaching. *Journal of Research in Science Education*, 36, 493-513.
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Shen, J., & Conferey, J. (2007). From conceptual change to transformative modeling: A case study of an elementary teacher in learning astronomy. *Science Education*, 91, 948-966.
- Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. (2005). The difficult process of scientific modeling: An analysis of novices' reasoning during

- computer-based modeling. *International Journal of Science Education*, 14(18), 1695-1721.
- Stratford, S., Krajcik, J., & Soloway, E. (1998). Secondary students' dynamic modeling processes: Analyzing, reasoning about, synthesizing, and testing models of stream ecosystems. *Journal of Science Education and Technology*, 7(3), 215-234.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching – learning situations. *Learning and Instruction*, 4, 71-87.
- Tregidgo, D., & Ratcliffe, M. (2000). The use of modeling for improving pupils' learning about cells. *School Science Review*, 81, 53-59.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modeling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255-1272.

From Modeling Perspectives to Analyze Modeling Processes of Atomic Theory in Senior High School Chemistry Textbooks and Their Implications

Chun-Keng Liu^{1, 2} Mei-Hung Chiu^{1*}

¹Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

²Taipei Municipal Zhong-Lun Senior High School

*mhchiu@ntnu.edu.tw

Abstract

The importance of textbook in science education has been acknowledged in science education. Most of teachers plan their lessons according to the structure and content of the textbooks. The purpose of this study was to adapt content analysis method to evaluate the structure of atomic theory and modeling processes (namely model description, model selection, model construction, model validation, model analysis, model deployment, and model reconstruction) in 16 chemistry textbooks published between 1974 and 2009. It was designed to investigate the roles and functions of models in high school chemistry textbooks. There are two major findings: (i) most chemistry textbooks present factual knowledge of chemistry; (ii) the atomic model description, model selection, and model construction were covered, however, little model validation, model analysis and evaluation during the modeling processes were discussed. As a result, we suggest that emphasis on modeling processes of the atomic theory is needed to be explicitly addressed in textbooks in order to provide students with clear descriptions of the models for meaningful learning in science.

Keywords: chemistry textbook, modeling process, atomic theory, model

