

科學建模本位的探究教學之教材設計

—以化學電池為例

邱美虹^{1,*}、曾茂仁^{1,2}

¹ 國立臺灣師範大學科學教育研究所

² 臺北市立大直高級中學

* mhchiu@gapps.ntnu.edu.tw

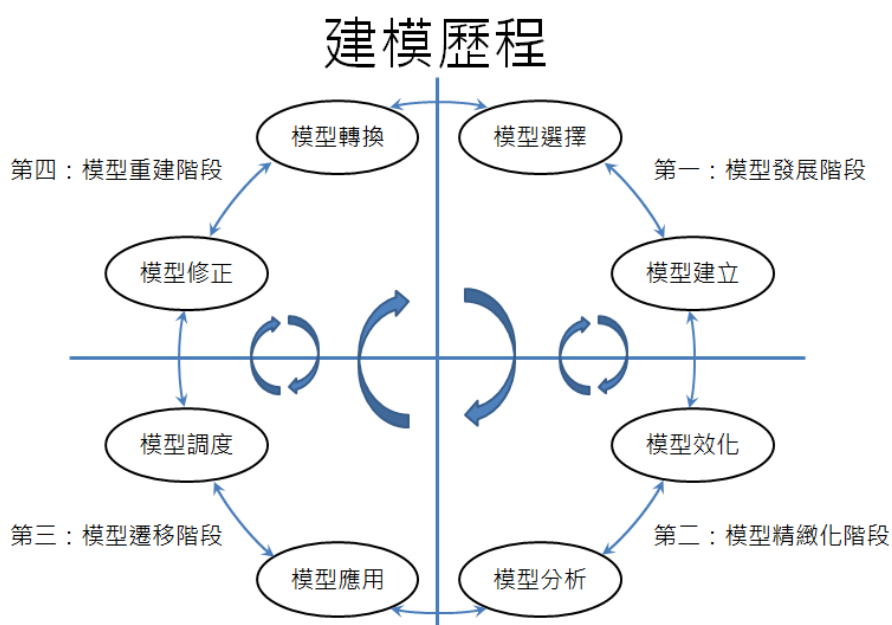
■ 前言

科學家對於模型的觀點，以及教師或學生對科學模型與建模的研究日漸受到重視，已不言而喻。十二年國民基本教育自然領域課程綱要已於 107 年 9 月 16 日通過，再度強調強化跨科統整的重要性，並以探究課程內容培養學生探究的能力，而且課程綱要亦提到以培養學生建模能力為主，這是首次在臺灣的課程綱要中出現的核心科學素養，本文主要的目的是介紹以建模為設計導向結合探究能力的培養，研發八年級科學核心概念之一——化學電池——的教材設計。

■ 建模教材的架構

根據邱美虹 (2015, 2016) 提出建模過程中所需要的能力分成四階段八步驟，分別為：第一階段為模型發展階段，含模型選擇和模型建立；第二階段為模型精緻化階段，含模型效化和模型分析；第三階段為模型遷移階段，含模型應用 (近遷移) 和模型調度 (遠遷移)；第四階段為模型重建階段，含模型修正 (弱重建) 和

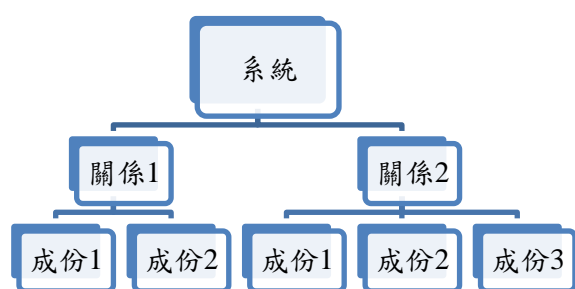
模型轉換 (強重建)。這四個階段在使用時並非是序列性的，所建立的模型無法有效地呈現數據的關係時，模型即失效，無法進行問題解決，這時必須要重新選擇與建立模型，再經歷效化確認後才能用於資料處理或問題解決情境中。所以建模歷程可能不同階段會出現小迴路 (loop)，以利建構有效與精緻化的科學模型。此建模過程如圖一所示。



圖一：建模歷程的相互關係 (邱美虹, 2016)

模型的建構強調科學模型，是由多個組成成分存在特定的複雜關係，再由多個複雜

關係建構成一個系統或理論 (見圖二)。模型的建立首先需選擇適當的組成成分或元件、確定成分或元件之間的關係、對所建立的模型進行評估、檢測，以確保其可行性，然後就所建立的科學模型進行資料的分析與應用，最後再視需要或問題情境，進行必要的修正與轉化。



圖二：模型中成份、關係和系統(或理論)間的關係 (邱美虹，2016)

選擇化學電池進行教案的設計，主要是因為化學電池概念具有以下的屬性。

- (一) 化學電池具有多個**元件**，例如：電極 (A)、鹽橋 (B)、電解液 (C)、電解質 (D)、導線 (E) 等。
- (二) 化學電池多個元件之間存在特定的**關係**，例如：活性大小不同的金屬可以作為電極 (AA')、電解液能與電極反應 (CA)、鹽橋含有電解質 (BD) 以維持溶液的電中性、導線連結電極 (EA) 等。
- (三) 化學電池中數個關係可以形成一個**系統**，例如：電解液與鹽橋內的電解質的關係 (CBD)、電極與電解液的關係 (AC)、導線與電極連結 (AE) 等而組成一個化學電池 (ABCDE 等)。

■ 科學建模與探究過程的關係—建

模本位之探究

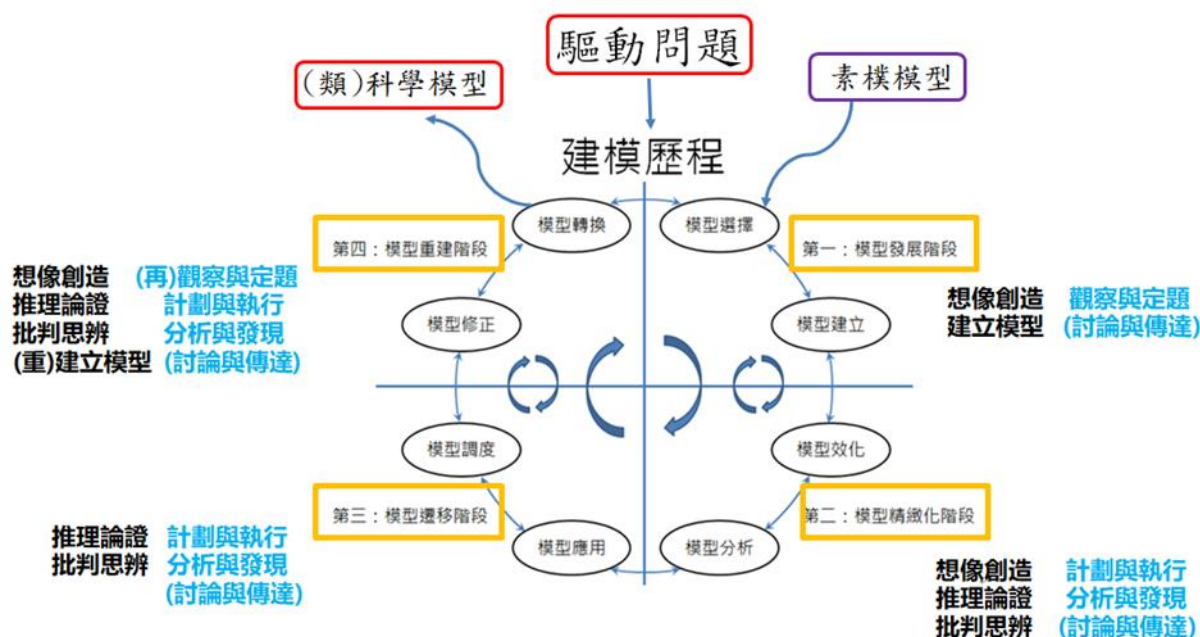
為何探究過程還要有建立模型的過程呢？本文作者認為，十二年國民基本教育在探究過程中強調觀察與定題、規劃執行、分析與發現、以及討論與溝通，然而建模歷程可以更明確地指出在探究的過程中科學模型的建立是科學探究中思考智能重要的環節，也是學習科學知識的目標。從科學本質的角度觀之，科學建模的歷程是透過評估、測試、應用和修正的過程，探究能力的思考智能逐漸改變而趨向於科學模型。2019年即將實施的十二年國民基本教育自然領域課程綱要將與世界科學課程接軌，強調在探究的過程能有系統地發展出科學模型，回歸科學本質，強調建模和探究關聯的重要性，兩者之間可相輔相成，使教學與學習活動的目標更加明確且具操作性。

本文將介紹如何將建模架構(邱美虹，2016)和12年國教之探究能力相互結合，成為「以建模為本的探究 (Modeling-based Inquiry, MBI)」教學模式(如圖三所示)，並據此進行教學活動之設計。圖三顯示 MBI 的設計架構，是從驅動問題出發，學生運用自己的素樸模型進行個人模型的發展，透過觀察與想像擬定探究的主題；第二階段進行素樸概念所建立的模型的精緻化，透過推理論證與批判的歷程，計畫與執行計畫以確立模型的有效性及其資料分析的功能；第三階段-模型遷移時，利用以建立且效化過的模型，經由推理、批判、分析等過程進行進遷移和遠遷移的學習(如問題解決或概念理解)；最後到達第四階段-模型重建，經歷想像創造、推理論證、批判思辨的科學表現，在這些階段皆須

透過文字或語言和符號，以討論和傳達的方式進行溝通，必要時進行原來模型的修正與轉換，以形成更接近於數據與推理的結果類科學模型或是科學模型。

探究能力：觀察與定題、建立模型

模型發展階段主要包含模型選擇和模型建立，此階段主要教學目標為讓學生知道電池時所需要物件的名稱和物件的功能，能夠



圖三：建模歷程與探究能力關係的建模本位探究教學模式

■ 教案設計實例—化學電池

曾茂仁(2016)運用邱美虹(2015, 2016)的建模歷程到中學化學電池的教材設計。除納入建模歷程外，也融入十二年國民基本教育自然領域課程綱要中所規範的探究能力，以期未來在教學現場實施時，讓教師們可以理解建模與探究兩者之間的關係以及如何透過強化探究的過程建立對科學模型的認識與應用。

以下教案設計的內容依據建模歷程四階段，納入探究能力，逐項說明如下：

建模歷程一：模型發展階段

從教科書或教師準備的學習教材中提取出相關概念。在此階段，常用的提問為：

- 一個化學電池的裝置，需要哪些的材料，才能進行運作呢？
- 一個化學電池的裝置，所選取的材料，每一個所扮演角色目的為何？

通常學生能夠輕易的從文章中選取出構成電池元件與各元件所扮演的角色，此時的學習活動符合自然領域課程綱要中學習表現的**探究能力—觀察與定題**：依據過去所學的知識，與生活中所觀察到的資料，確認電池運作的原理(氧化還原)、理論或物件(電極、鹽橋)。

待確認學生具備元件的概念後，學生從教科書或是教材中提取出構成電池的元件與

概念後，教師再繼續提出以下問題：

- 電池的元件與元件間有什麼樣的關係呢？
- 有什麼原理可以來敘述元件之間的關係呢？

上述的問題主要聚焦在元件與元件之間的關係，元件之間的關係通常涉及微觀的概念（粒子的移動方向）、理論（氧化還原）或是符號的表現（化學反應式）。

在進入化學電池複雜的反應機制前，教師必須先確認學生已具備元件之間的關係。要完成化學電池的模型，除了元件本身和元件之間的關係外，還要考慮多重關係下建立的系統。以下說明何謂系統：由於鋅電極的活性大於銅電極，因此鋅電極丟出電子（氧化還原），電子透過導線流到銅電極（電子的移動方向），使得電解液中的銅離子獲得電子後還原成銅原子吸附在銅電極上。為了使電解液保持電中性，鹽橋中的陽離子則會朝銅電極端的電解液移動。透過上述的連接，化學電池的模型逐漸形成，符合課程綱要中學習表現的**思考智能—模型建立**之指標。

建模歷程二：模型精緻化階段

探究能力：想像創造、推理論證、計劃與執行、分析與發現

模型精緻化階段主要包含模型效化和模型分析，此階段的活動重點是透過探究的方式檢驗第一階段建立的模型是否正確性？是

否能夠用以解釋問題的成因？因此，在第二階段，教師帶領學生在實驗室，教師說明學習目標並採用問題引導的方式讓學生進行實驗，此活動設計主要是讓學生學習改變不同的變因對實驗的影響（模型效化），活動內容

變因 \ 實驗	影響化學電池電壓的因素		變因選項
	改變電極材質	改變電解液濃度	
操縱變因			A. 電極材質 B. 電解液濃度 C. 電池電壓
控制變因			
應變變因			

如下：

- 請根據實驗變因的種類，填寫化學電池的實驗變因於表一。

表一：化學電池的實驗變因

此階段符合十二年國民基本教育自然領域課程綱要中學習表現的**思考智能—想像創造與探究能力—計畫與執行**。在思考智能中，想像創造是透過自行設計實驗流程來確認各變因之間的關係；而探究能力的計劃與執行是指在多種變因討論之下，必須規劃實驗的流程，並且清楚知道在各步驟間所要測得的內容才能夠找到答案。

以下再進一步地說明在實驗階段中如何應用前面的步驟所建立的模型在分析情境上：

- 請利用「建模歷程一」的模型預測三種電池的電壓大小排序，並實際測量電壓的數值於表二。

電池種類	鋅鎳電池		鋅銅電池		鎳銅電池	
電極	負極	正極	負極	正極	負極	正極
電解液	鋅/硫酸鋅 (1 M)	鎳/硫酸鎳 (1 M)	鋅/硫酸鋅 (1 M)	銅/硫酸銅 (1 M)	鎳/硫酸鎳 (1 M)	銅/硫酸銅 (1 M)
電壓大小	電壓：_____		電壓：_____		電壓：_____	

表二：預測三種電池的電壓大小，並實際測量電壓

本階段目的是驗證初始電池模型的預測能力，透過學生實際操作實驗（圖三）後所得到的數據資料呈現，能夠說明初始電池模型預測能力的情形，此為建模歷程中重要的一環。確認初始模型的解釋後，能夠使用該模型解釋問題的原因，此為建模歷程的模型分析。

當然，本階段涉及許多思考智能或探究能力的培養，例如：**思考智能—推理論證**，使用理論所推演出來的結果，理解自然科學知識或理論及其因果關係，並檢視與評價自己所提出的論點異同之處；**探究能力—分析與發現**：利用實驗所得到的資料，繪製此資料成為圖表，並且試著解釋和其變因之間的因果關係，並且確認和原先假設的是否相同。



圖三：學生於課堂中操作化學電池實驗，已得到該電池的電壓

建模歷程三：模型遷移階段

探究能力：推理論證、討論與傳達

模型遷移階段包括模型應用（近遷移）和模型調度（遠遷移）。本階段希望學生使用上述各階段所建立與檢驗後模型，自行重組出新情境中所要求的電池。換句話說，在不同的情境下使用相同的原理進行解釋，並未更動元件的種類或元件間的關係。以下以題

器材		藥品	
鋅電極	鹽橋	硫酸鋅 (0.5 M)	硫酸鋅 (1 M)
鎳電極	導線	硫酸鎳 (1 M)	硫酸鎳 (2 M)
銅電極	電錶	硫酸銅 (1 M)	硫酸銅 (2 M)

組問題形式說明：

- 情境：學校提供的實驗器材和藥品如表三所列，請回答下列問題。

表三：提供的實驗器材和藥品

問題一：利用本實驗提供的器材，組合一個最大電壓的化學電池，並列出所試用的器材。

問題二：請從影響電池電壓的因素，說明為何你會選擇使用此種組合的器材？

問題三：若還想再增加此組合電池的電壓，還有什麼方式可以進行？說明其原因。

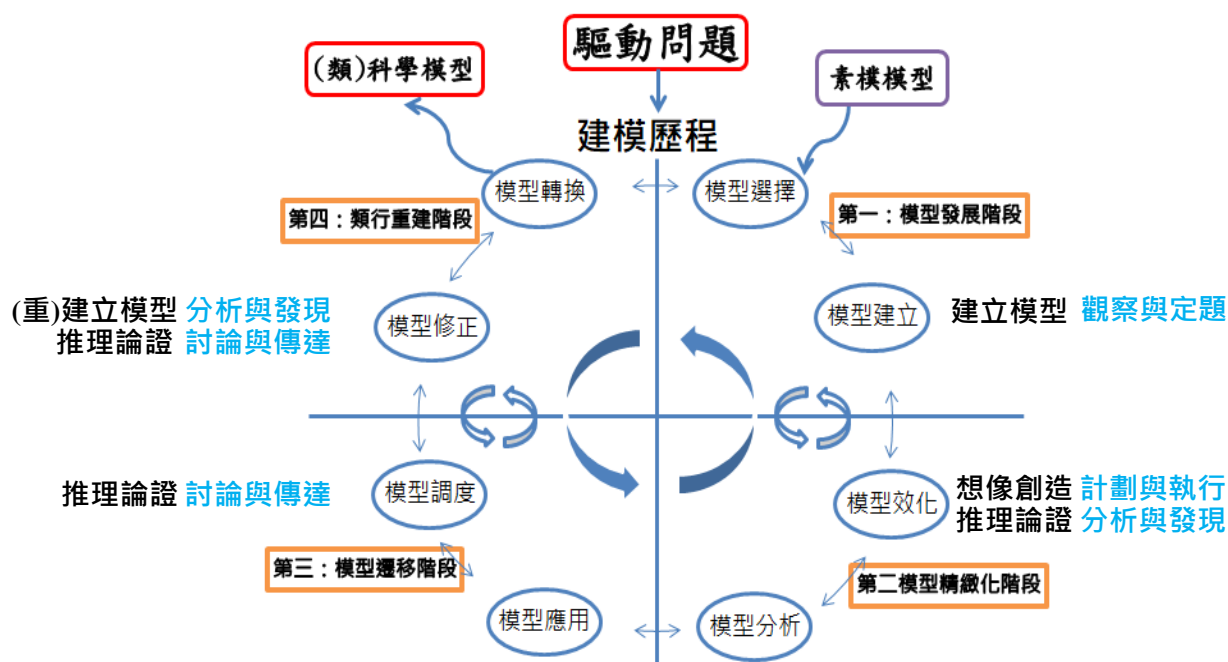
問題四：請從影響電池電壓的因素，說明

為何你會選擇使用此變因？

本題組是利用已建立的模型，在理解變因之間的因果關係後，並從此關係推論並預測結果，藉以解決新情境的問題，針對本題組學生能夠展現自然領域課程綱要中學習表現的**思考智能—推理論證**。

建模歷程四：模型重建階段

分元件或是拋棄整體的模型，重新建構出恰當的模型。以化學電池為例，若學生學習化學電池的電解液皆為水溶液，因鋰電池的安全因素而電解液必須為有機溶劑，則從水溶液替換成無水的有機溶劑之改變即為模型重建階段。當然，不一定每次的建模教學階進入模型重建歷程，教師可根據教學目的進行取舍。



圖四：建模歷程與探究能力關係的建模本位探究化學電池之教學模式

探究能力：(重)建立模型、推理論證、分析與發現、討論與傳達

模型重建階段包含模型修正與模型轉換此兩步驟，模型修正是指元件特性或是元件間的關係必須重新修正，而模型轉化是指整個模型都已經不能夠使用，模型已經失效，即是進入模型重建階段。學習者必須更改部

建模歷程與探究能力的關連

若以化學電池為例，討論建模歷程與自然領域課程綱要中提及的探究能力（思考知能和探究過程）之間的關係，當學生透過驅動問題的引導，開始經歷建模歷程時，在每個建模歷程皆能培養出相對應的探究能力。例如：當學生處於模型發展階段時，必須先

觀察電池的外型及極致，因此能夠培養觀察與定題與建立模型的探究能力；進入模型精緻化階段時，學生需要檢驗模型的正確性，學生設計實驗測量不同電極的化學電池電壓，及能提升學生想像創造、推理論證、計劃與執行與分析與發現的探究能力；接下來到模型遷移階段，學生將思考「如何產生電壓對大的電池？」，學生必須使用上一階段的模型推論如何操作，因此，能夠增進學生推理論證與討論與傳達的能力；最後在類型重建階段中，學生需要分析鋰電池與一般電池的不同，透過小組討論得知必須修正原有理論模型以符合鋰電池，藉此促使學生討論與傳達的探究能力。

■ 結語

以建模本位探究的教學活動，適用於複雜的概念以及目標概念明確的學習。由於其具有引導式建構科學模型的詳細步驟，易於讓學習者或教師掌握知識建構的歷程、並檢驗假定的（或個人的）模型與證據之間的關係，以及認識科學模型本質的變動性與功能性。本文以化學電池為例，具體地說明建模歷程與探究能力（思考知能和探究過程）之間的關係，提出建模本位探究化學電池之教學模式，期望此教學模式有助於中小學教師即將面對十二年國民基本教育自然領域課程綱要中提到的探究能力的教材設計。

■ 致謝

感謝科技部經費補助使本計畫順利完成（計畫編號：105-2511-S-003-031-MY3）。

■ 參考文獻

- 邱美虹 (2015)。以系統化方式進行模型與建模能力之線上教學與評量系統—探討科學課程、概念發展路徑與建模能力之研究。科技部計畫報告。
- 邱美虹 (2016)。科學模型、科學建模與建模能力。臺灣化學教育，第 11 期，2016 年 1 月。
- 曾茂仁 (2016)。探討建模本位探究教學於化學電池的學習成效與建模能力，碩士論文（未發表）。臺北市：國立臺灣師範大學科學教育研究所。
- 教育部(2018)。十二年國民基本教育課程綱要國民中小學暨普通型高級中等學校—自然科學領域。臺北市：教育部。