

透過建模教學提升學生在 化學電池概念和建模能力上的表現

曾茂仁^{1、2} 邱美虹^{1、*}

¹國立臺灣師範大學 科學教育研究所

²臺北市立大直高級中學

摘要

建模是科學家觀察現象、透過實驗證據而發展出科學理論以解釋現象的歷程。學生知識建構的歷程也需透過建立、修正與精緻模型，方能使其逐漸與科學模型相似。因此，科學學習的過程中培養學生建模能力是重要且必須的目標。本研究以四階段與八步驟之建模歷程設計國中階段化學電池課程，探討教師使用建模文本進行建模本位教學(Modeling-Based Instruction, MBI)，對學生化學電池的科學概念與建模能力的影響。本研究化學電池概念問卷是由成分(電極、電解液、鹽橋與電器)、關係(反應方程式與原理)、系統(離子與電子移動)組成，共計44題，由兩位科學教育博士且具備MBI與化學背景的高中與國中教師、資深高中化學與國中自然科教師各一位建立專家效度，預測試卷的內部一致性信度為 $\alpha = .76$ 。研究對象為臺北市某國中七、八年級學生共51位，分成MBI組($n = 24$)與一般教學組($n = 27$)，研究者收集學生教學前後的化學電池評量與晤談資料。研究結果顯示，MBI組於科學概念的整體表現、成分、關係與系統此四項學習成效較一般教學組高，且在科學概念的整體表現與系統達顯著差異($p < .001$)。針對建模能力的表現，MBI組於模型選擇、建立、效化與應用成效優於一般教學組。綜合以上研究結果可知MBI的確有利於學生在化學電池主題的學習。

關鍵詞：化學電池、建模能力、建模教學、科學學習

壹、緒論

科學家在進行研究時，將所觀察到的現象和收集到的實驗數據，與科學理論相結合，形成一個可以描述與解釋科學現象的模型(model)，在建立模型(簡稱建模)的過程中透過選擇、建構、檢驗、應用科學模型，以

達到用科學模型進行科學社群間的溝通與對現象的描述、解釋和預測。近幾年來在科學教育模型與建模相關的研究中，逐漸從模型是科學理論的表徵等觀點，轉向將模型視為研究歷程(process)的科學思維(Upmeyer zu Belzen, van Driel, & Krüger, 2019)。近年來各國科學課綱的發展也產生改變，從原來聚焦

*通訊作者：邱美虹，mhchiu@gapps.ntnu.edu.tw

(投稿日期：民國110年3月24日，修訂日期：民國110年6月25日，接受日期：民國110年6月25日)

於科學概念的理解，到強調應用科學概念與科學實踐於解釋新情境(Campbell, McKenna, An, & Rodriguez, 2019)，正因如此，如何在科學課室中將建模實踐(modeling practices)視為探究的工具，並透過模型與建模產生具有洞見的知識則是重要的教學目標。

學生從瞭解科學知識到建構科學理論，模型皆扮演相當重要的角色。在建模本位教學(Modeling-Based Instruction, MBI，簡稱建模教學)的科學課程進行中，學生將科學知識作為建構模型的成分，並逐步建構與精緻化模型。在形成模型之間，必須經歷幾個步驟，這些步驟以明示的方式告訴學生現在進行的部分為模型的何種部分，幫助學生聚焦在學習重點，使學生產生更有目標的學習，並在學習之後，亦可透過課堂上所建構出的模型在真實世界中使用，再次不斷的修正與精緻化此模型的內容。

MBI策略，著重於模型建構與模型理解的過程，除了讓學生認識模型不僅只有具體的形象外，也必須擴展其對模型的特性和功能有深度的瞭解，尤其是建構這些模型的過程中，需要發展模型建立和模型應用的能力，以達到建模知識的可用性(knowledge in use)。

本研究目的為探討進行MBI與一般教學(Common Instruction, CI)兩種不同的教學策略，對於七年級與八年級學生在化學電池的學習成就上是否有幫助，並且在教學後，是否可以提升學生的建模能力。因此，根據本研究之研究目的延伸出兩個研究問題：

- 一、不同教學策略對於學生化學電池科學概念學習的成效為何？
- 二、不同教學策略對於學生化學電池建模能力的成效為何？

貳、文獻探討

一、從科學探究邁向科學實踐(Practices)的科學學習

科學探究是指科學家進行研究時，根據過程中的證據提出解釋的歷程(National Research Council [NRC], 1996)，而內容包含科學方法、科學推理、批判性思考、科學問題解決、探究技能、科學過程技能，透過探究的步驟可以使科學家瞭解自然與物質世界運作的方式(NRC, 2000)，因此，教師引導學生提出具有科學意義的問題、建立調查、蒐集與分析數據、根據證據提出主張，皆是探究教學主要的歷程。從課程改革的脈絡中，可看出探究的歷程即為科學教學的核心(Osborne, 2014)。

以科學探究施行的情形來看，學生與教師皆面對不同的困境。當學生經歷科學探究課程時，會因為無法理解科學辭彙、缺少控制研究變因的能力、缺乏組織與檢驗數據的經驗、未能藉由證據發展出合乎邏輯的推理支持主張等因素，影響學生在科學探究過程的學習成效(Krajcik et al., 1998)。另外，學生所提出的問題過於發散，而無法預測與聚焦實驗結果(Apedoe, 2008)，實驗設計時對於變因的掌握與透過數據建立變因之間關係仍有相當大的困難(Jeong, Songer, & Lee, 2007)，這些也是影響科學探究成果重要的原因。另一方面，針對探究教學的內容，許多研究指出探究教學未能落實在科學課堂(Crawford, 2014)，教師仍以傳遞科學知識為課程的主軸，或是將探究視為動手做(hands-on)的體驗，作為讓學生經歷探究歷程的方式，忽略了讓學生尋找證據建立解釋的必要性，甚至於實驗操作課程中，學生經歷一步步的探究歷程，其目的僅為驗證已知結果，表示教師

並不理解透過探究進行科學教學的理由。探究一直以來位處於科學教育的核心，過去的課綱中鼓勵教師使用探究策略進行教學，但也在上述的文獻中發現，探究學習面臨一些挑戰。

近年來各國紛紛進行課程改革，以美國次世代科學標準(Next Generation Science Standards [NGSS])來看，在此次改革中認為教師應整合學科核心概念(disciplinary core ideas)、工程與科學實作(science and engineering practices)與跨學科概念(cross-cutting concepts)於科學教學中，強調科學學習應是以學科核心概念作為學習中心，透過實作積極培養學生問題解決與建模能力，並藉由跨學科概念加深對於核心概念的理解(NRC, 2013)。有別於過往強調探究本位(inquiry-based)教學的觀點，Osborne (2014)認為科學實作一詞更能精準描述科學家在科學社群中的活動，NGSS所提倡的架構中，更能讓學生在科學實作中理解知識如何發展與知識產生的過程(Duncan & Cavera, 2015)。

另外，臺灣於2019年施行十二年國民基本教育課程綱要(以下簡稱為108課綱)中強調教學應以培養學生面對現在與未來所需的知識、能力與態度為目的，而在自然科學領域綱要中則是以「探究與實作」作為貫穿各學習階段重要的指標，並列出學生的學習表現須包含科學認知、探究能力、科學的態度與本質，其中探究能力又可分為兩子項，分別為：(一)思考智能：心智運作的方式與功能，包含想像創造、推理論證、批判思辨與建立模型；(二)問題解決：類似於科學家解決問題的歷程，包含觀察與定題、計畫與執行、分析與發現、討論與傳達(國家教育研究院，2014)。李驥與邱美虹(2019)比較NGSS與臺灣108課綱後認為，兩國的課程改革的方向相

似，皆希望透過實作連結科學知識，並將科學知識應用於現象的解釋與預測，可見學習不再是知識的累積，而是希望學生透過與現有知識的連結，將知識應用於不同的情境脈絡中。

在這一波課程改革的時刻，除了強調科學學習應與學生的生活情境相連結外，亦將實作列為重要的改革方向，然而動手做即為實踐嗎？邱美虹(2016)認為實作應包含學生親自動手做的層面與學生主動建構知識的過程(minds-on)，因此課室中的探究教學除了安排系列動手做的探究教學外，教師更應在探究活動中設計「如何進行問題解決」教學鷹架促使學生理解科學知識建構的過程，而建模可以使探究的目的更加明確。

二、建模能力的理論架構

無論是美國或臺灣的課程改革分別將建立模型列為學生學習表現之一，然而，科學學習的目的除了建構科學模型外，學生在過程中如何做決定、如何使用模型解釋、討論及反思模型都是重要的能力表現(Chang, Quintana, & Krajcik, 2009; Prins, Bulte, Van Driel, & Pilot, 2009)，另外，Upmeier zu Belzen與Krüger (2010)則是認為在MBI中，學生如何透過模型與建模獲得知識也是建模能力的重要內涵。

Nicolaou與Constantinou (2014)以科學教學與學習篩選相關研究，並針對其中教師教學、學生學習與評量內容進行分析，將建模能力分成建模實踐與後設知識(meta-knowledge)此兩部分，建模實踐即為在實作過程中創造、效化、比較、反思與使用模型的能力，而後設知識又可分為後設建模知識(meta-modeling knowledge，包含描述模型目的與使用模型)與建模歷程(modeling

process)的後設知識。另外，Namdar與Shen (2015)聚焦於MBI並針對其中的建模導向評量(modeling-oriented assessment)進行分析，將建模能力區分成三個向度：(一)建模成品(modeling product)：從學生自行建構出的模型，判斷學生建模能力的情形，從此模型的物件組成、變數的使用與因果關係，以及此模型在表徵使用上的情況皆為可觀察面向。(二)建模實踐：主要著重在學生「計畫」產出模型的動態過程作為主要的觀察內容。(三)後設建模知識：主要包含學生對於模型本質的瞭解、科學模型的目的、如何評價模型、如何反思模型，以及建模歷程的知識(Schwarz & White, 2005)。

Chiu與Lin (2019)統整各學者對於建模能力的詮釋(圖1)，將建模能力分成三個面向進行討論：(一)模型與建模知識：學習者對於模型與建模的本體論(ontology)、認識論(epistemology)與方法論(methodology)認知的程度。本體論關注模型的組成、性質、類

型與不確定性等的瞭解，其有助於轉換科學理論、模型與真實世界之間的關連與意義；認識論是指學習者應根據情境而使用適切的表徵模型來理解科學現象；方法論包含模型的功能面向，例如：模型的表徵、解釋與預測能力。(二)實踐：包含歷程與成品，其中歷程即為建模歷程可分為1.模型發展階段(development stage)：確認變因並且能夠連結變因之間的關係，形成簡單的初始模型；2.模型精緻化階段(elaboration stage)：透過調查與其他證據評價初始模型；3.模型應用階段(application stage)：利用模型進行預測與解釋；4.模型重建階段(reconstructing stage)：當情境改變、發現其模型限制或新證據加入時，須修正原有模型。另外，建模實踐最後的成果是以成品為展現，而成品包含內在表徵(internal representation)，例如：心智模式；以及外在表徵(external representation)，例如：實際物件或繪圖。(三)模型與建模的後設認知知識(metacognitive knowledge of model and

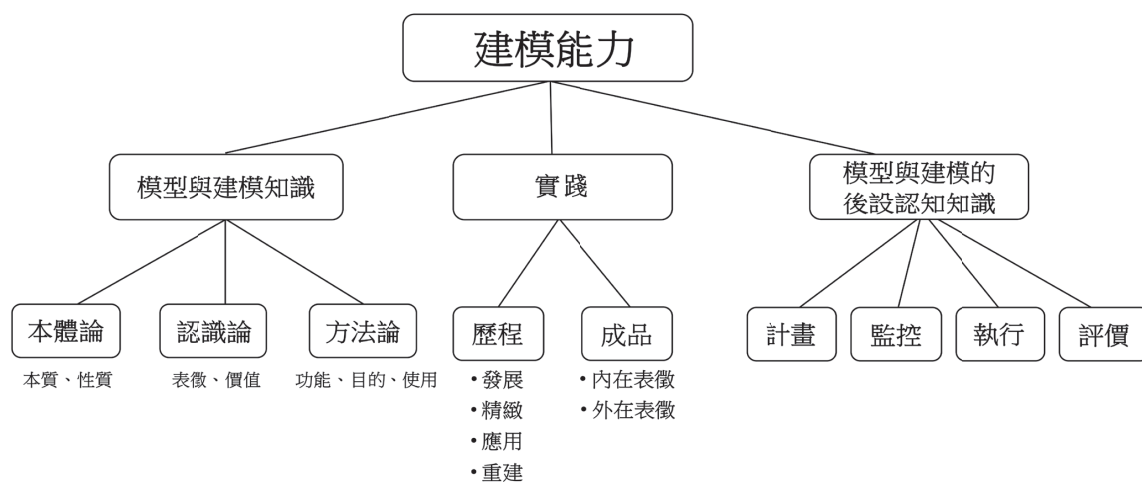


圖1：建模能力架構

資料來源：重繪自“Modeling competence in science education,” by M.-H. Chiu & J.-W. Lin, 2019, *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1. Retrieved November 1, 2020, from <https://diser.springeropen.com/articles/10.1186/s43031-019-0012-y>

modeling)：此為學習者能夠自行計畫、監控、執行，或是評價整體建模歷程的能力。

三、建模本位教學

(一)模型本位教學與建模本位教學

模型與建模的相關研究可追溯至1980年初期，在當時模型在科學教育的研究中僅局限於討論科學模型，並研究教師如何使用模型進行教學，然而在Clement (1989)首先使用建模一詞，並將建模視為建構科學知識的主要關鍵步驟。

Gilbert與Justi (2016)綜觀模型與建模相關研究認為應具備以下五項特徵：1.學習課程模型(learning curricular models)：學生透過模型學習科學知識，例如：學生學習原子結構時，教師(或教科書)利用太陽系的行星模型類比為原子內部結構進行教學；2.學習使用模型(learning to use models)：學生能夠使用模型進行現象的解釋；3.學習修正模型(learning to revise models)：學生能夠根據不同情境或目的修正原有模型，以符合新情境的需求；4.學習重建模型(learning to reconstruct a model)：學生能夠根據既有知識，透過自我詮釋後創造出一個新的模型，例如：將等加速度運動中加速度與位移、時間的數學模型，轉化成v-t圖用來說明物體自由落體時的位移情形；5.學習建立新的模型(learning to construct a model de novo)：針對學生未熟悉的情境問題由教師提供適當的條件與支持，引導學生進行提問、確立建構模型的方式、測試模型與評估整體成果等方式進行MBI。

Louca與Zacharia (2014)指出，模型本位教學(model-based instruction，簡稱模型教學)主要是讓學生學習科學模型，在學習過程中，學生透過教師所採用之模型教學後自我建構出可

描述或解釋科學現象的模型。然而以建模為本位的教學，則強調發展、建構和修正模型的歷程，以求獲得對科學本質高品質的概念理解，以及在解題中使用科學模型。

綜上所述，模型教學與MBI的依據是模型本位教學中，學生使用教師或教科書所提供的模型(既有模型)表達想法、解釋與預測現象，而MBI中，強調學生需自我建構模型並經歷建構模型的歷程，教師則是作為歷程中的引導者。

(二)建模歷程

科學建模不僅是主要的科學實作向度之一，更能透過MBI引導學生建構科學概念理解自然現象(Baumfalk et al., 2018)。但是，建模本身是一個複雜的過程，包含成分之間的組織與連結，在逐步建構成科學模型的過程中，也須不斷檢視、修正既有模型。因此，在MBI中，教師將建模歷程作為教學鷹架融入課程設計中，協助學生經歷建構模型的過程與鼓勵學生主動參與建模的活動極為重要。

建模歷程是在模型實踐時所經歷的步驟，包括創造、測試、修正模型(Schwarz & Gwekwerere, 2007; Schwarz & White, 2005)。Gobert與Pallant (2004)的研究利用模型教學要求學生要能建構和解釋模型，同時也必須要能批判同儕的模型。Jong、Chiu與Chung (2015)則以模型歷程的六步驟：模型選擇、模型建構、模型效化、模型分析、模型運用和模型重建來探討學生學習成效。邱美虹(2016)以Halloun (1996)的建模歷程為基礎，並融入張志康與邱美虹(2009)提出「循環作用」的觀點，將建模歷程分為四階段與八步驟(圖2)分別為：1.模型發展階段：包含模型選擇與模型建立，面對問題時，選擇符合的變因或適切的模型來解決問題，並且建立原先變

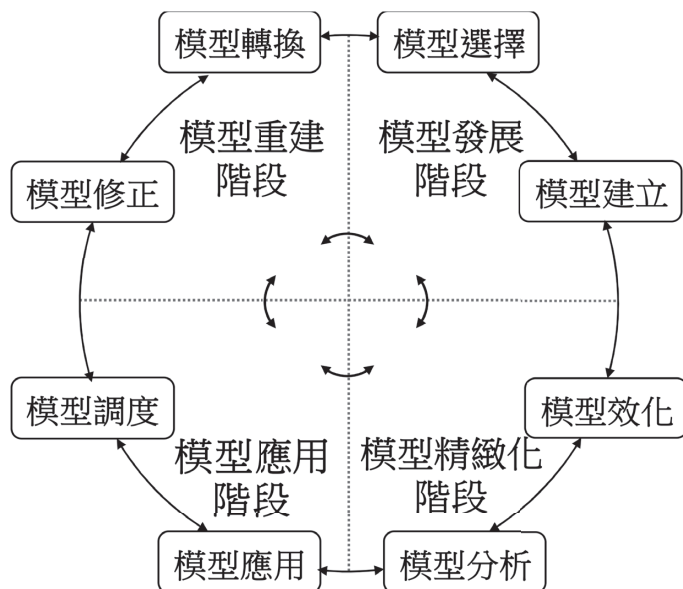


圖2：建模歷程

資料來源：邱美虹(2016)。科學模型與建模：科學模型、科學建模與建模能力。臺灣化學教育，11。查詢日期：2021年2月2日，檢自<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=13898>。

因之間的連結關係，形成簡單的初始模型。

2.模型精緻化階段：包含模型效化與模型分析，經由實驗(experimenting)或測驗(testing)驗證已建立的初步模型，確認初步模型內部的一致性，藉此判斷是否需要修正初步模型(Halloun)。3.模型應用階段：包含模型應用與模型調度：將以效化的模型應用至新的問題情境證實模型適切性的階段(林靜雯、林怡瑾，2015)，此階段主要目的為提升模型的解釋能力。4.模型重建階段：包含模型修正與模型轉換，當建立的模型無法解釋新的情境時，便能夠察覺原先模型的限制(Justi & Gilbert, 2002)，因此必須增加或減少變因與關係，修正既有效化後的模型，即能對於新情境給予適當的解釋。本研究根據此建模歷程作為教學鷹架，但考慮學習內容的難易程度與學生能接受的程度，因此並未設計模型重建階段的教學內容。

(三)科學課堂中的建模本位教學

MBI的課程設計可以融入許多教學活動、實驗操作與成品的展現，例如：使用模擬軟體、繪製數據圖與建立數學關係式等，主要是希望學生可以在觀察現象後，利用自行建立的模型解釋(Baumfalk et al., 2018)，因此，教師可根據課程內容所需，透過不同的教學設計引導學生建立出模型。針對建模課程相關研究的初期，許多研究者選擇科技融入MBI，Schwarz與White (2005)使用Model-Enhanced Thinker Tools設計力與運動的建模課程，研究結果顯示透過MBI的方式，不僅在學科的學習上有較好的表現，對於模型的性質與目的亦能有更好的理解。針對分子結構的學習，Chang等(2009)則是使用的Chemation來訓練學生的設計、解釋與評估的建模活動，透過軟體讓學生利用原子組裝成分子，並在完成後透過動畫可進行一連串的化學或物理過程的細節，讓學生能看到微觀世界的

現象。另外，Nguyen與Santagata (2020)藉由SageModeler建模工具讓學生建立模型，其研究結果顯示透過建模軟體除了能夠促使學生對於以系統脈絡呈現的科學概念學習之外，更能將MBI融入探究為導向的科學課室中學習系統思考(systems thinking)。

針對促進科學學習的研究中，Jong等(2015)以理想氣體為科學主題，透過外顯化建模歷程的方式改寫原有教科書內容，形成建模文本，根據該研究結果指出建模文本有助於學生進行概念學習，並除了協助學生發展建模能力外，更能夠促使學生將複雜的多變因關係形成科學理論。除此之外，也有研究針對高中磁學概念，讓學生觀察科學演示實驗建立兩個圓形磁鐵磁力模型後，請學生用此模型預測將其中一個磁鐵切成兩塊後，新磁鐵磁力的變化(Cheng, Lin, Lin, & Cheng, 2017)，另有研究聚焦於模型的適切性，透過比較原有模型與實際科學資料之間的差異說明模型的優劣，藉此達到修正原有模型的目的(Mierdel & Bogner, 2019)。

根據上述的內容可知，MBI須將建模歷程納入課程設計中，其主要目的為尋找模型的變因、建立變因之間的關係，最後產生建模成品(系統層次的概念)，學習者能將模型應用至新的情境問題中，對現象進行預測或解釋，最後，能夠針對建立的模型精緻化、反思與修正(Gilbert & Justi, 2016)。

四、化學電池教學的相關研究

(一)化學電池的理論架構與學習困難

張志康與邱美虹(2009)根據科學理論架構模型(Hempel, 1952)分析電化學後可知，化學電池理論結構其面向有巨觀因素(因素)、微觀概念(關係與延伸關係)與電化學理論(理論)，其中巨觀因素包含電線、電極、電解

質與鹽橋，而每個巨觀因素皆有抽象的微觀概念能夠說明巨觀因素的特性，因此，微觀概念包含不能與鹽橋產生反應、不能與電解質產生沉澱與易失去電子的金屬等共13種微觀概念，另外兩個微觀概念亦可形成延伸關係，當電極與電解液和電極與外電路，兩組關係即可延伸成反應方程式： $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ ，表示鋅電極氧化後鋅離子會進入電解液中，而電子則會透過外電路到另一端的電極，此類型的延伸關係共有四類。

根據上述的化學電池理論結構可知，化學電池的內容包括的範圍相當廣泛，除了電線、電極、電解質與鹽橋的選擇外，亦提及電解質的概念、電子與粒子的移動情形、化學反應的情形與化學反應進行的方向等。Garnett與Treagust (1992b)針對32位高中學生透過電化學教學後，對於電化學電池與電解的另有概念進行調查，發現另有概念種類相當繁雜且龐大，可分成電路、氧化還原、電化學電池與電解此四個分類；Sanger與Greenbowe (1997)延伸Garnett與Treagust (1992a, 1992b)的研究內容，針對16位大學主修化學的學生在電化學教學後，發現學生對於化學電池的微觀機制未能清楚理解與抽象的科學概念是造成學生學習電化學的因素。

(二)化學電池的教學模式

化學電池的學習主題涉及巨觀、微觀與符號表徵間的轉換，對於學生而言屬於較難的單元(Osman & Lee, 2014)。學生對於電化學有許多的另有概念(Garnett & Treagust, 1992b; Sanger & Greenbowe, 1997)，針對電化學的課程與教材設計，已有許多學者進行研究。在教師的教學策略上的應用，Doymus、Karacop與Simsek (2010)利用拼圖法教學的教學方式，以分組進行學習電化學的概念內容，各小組精熟學習一個概念後，透過小組間的討論

與分享，能夠學習到不同的概念。Sessen與Tarhan (2013)是利用探究為主實驗室活動進行電化學教學，讓學生進行實驗操作，並且驗證實驗理論的正確性，亦有研究利用問題導向學習(problem-based learning)進行教學，其學習成效皆優於CI，並且可以減少學生另有概念的情形(Günter & Alpat, 2017; Tarhan & Acar, 2007)。另外，教學時教材的設計，Yürük (2007)使用概念改變文本，促使學生達到概念改變。在過去認為電化學概念Osman與Lee是以資訊與通信科技(information and communication technology)融入教學，以學習者為主體的學習並加上模擬教學，增強學生巨觀、微觀與次微觀表徵間的轉換。透過教學模式的改變、教學活動的設計與教材文本內容的改寫，學生的學習成效皆優於傳統教學，但文獻中的研究成果未達顯著差異。

根據自然科學領域綱要中學習內容的規劃，第四學習階段(國中)學生須透過鋅銅電池實驗認識電池原理，綜合上述對於化學電池學習內容的研究成果，教師除了著重於化學電池表徵之間的轉換、動手做實驗與小組討論外，更應藉此培養學生的建模能力，以系統觀點聚焦於化學電池模型中各組成的性質、組成之間的關係與促使化學電池運作的科學原理。

參、研究方法

本研究使用準實驗研究法，以「電化學概念試題」為主要量化資料分析來源，輔以學生的電化學晤談的質性資料作為佐證內容，藉以瞭解理解在電化學課程中，MBI對於學生的科學知識、建模能力的影響情形。以下將分為研究設計、研究對象、教材設計、研究工具進行說明。

一、研究設計與研究對象

本研究根據研究目的設計兩組不同的教學方式，分別為MBI組與CI組，兩組為相同授課教師，此教師為該校正式教師且具備科學教育背景並熟悉MBI相關理論與實務。此次電化學課程將聚焦於「化學電池」的課程單元，此單元依照該校自然科教師課程規劃授課時數為兩節課，共100分鐘，未影響學校正常授課進度，研究者於教學前、後進行量化與質性資料收集。

本研究之研究對象為臺北市某一所完全中學七年級與八年級學生共51位，皆未接受過任何關於模型與建模的教學經驗，且尚未學習過任何關於電化學的相關知識，僅在國民小學階段自然課中對於日常生活的電池、導線與燈泡等巨觀因素有基礎認識，對於電池的內部元件、化學反應機制則無認識，因此，本研究對象對於電化學相關知識背景皆相似。兩組於教學過程中，若學生對於基礎科學知識有疑問(如：電子、電流、化學符號)，教師會額外補充，避免學生未能習得電化學相關概念。考量學生既有課程進度、課程安排的彈性並透過該校八年級各班導師詢問學生參與本研究的意願後，再與學校主任、班級導師與授課教師討論，以立意取樣進行實驗組與對照組分組，其分組情形為：(一) MBI組：本研究之實驗組，是由該校自然科學社團學生包含了12位七年級學生，12位八年級學生，共24位學生，該校社團課程為七、八年級混合授課，另外，社團課程為學校彈性課程亦在一般授課時間進行，因此，實驗組於社團課進行教學活動，並使用本研究修改之化學電池建模文本進行MBI；(二) CI組：本研究之對照組，為該校八年級某班學生共27位學生，於該班理化課課堂教

學，並以教育部頒訂之合格教科書搭配教師授課。另外，兩組研究對象並無重複學生，亦無在本研究階段有重複學習的情形。

最後，關於兩組別間的差異，科學社團並非以能力區分，是以學生選填意願作為挑選社團指標，除了社團課程時間(每週一節)之外，其餘課程皆回歸原本班級上課，因此在科學學習的環境和資源上並無差異。另外，為了確認兩組學生於科學概念起點的差異，透過獨立樣本 t 檢定確認兩組前測表現，其結果 $t(49) = 1.01$ 無顯著差異($p = .320$)，可知兩組學生電化學概念上並無差異。再者，本研究在科學概念表現是以單因子共變數分析(Analysis of Covariance, ANCOVA)，以前測表現為共變數，呈現兩組學生透過不同教學策略產生的效益。

二、教學設計

本研究化學電池的課程內容可分為水果電池、伏打電池、鋅銅電池與化學電池的原理等部分，無論是MBI或CI的學習內容皆相同。另外，本研究修改教科書文本、建構模型與建模觀點、利用建模歷程作為教學鷹架皆為本研究MBI的特色。最後，本研究之教學實驗未影響學校正常授課進度，且兩組皆由第一作者擔任教學教師。以下將針對本研究之建模文本與MBI設計進行說明。

(一)建模文本

劉俊庚(2011)分析高中化學科原子理論單元教科書指出，大部分教科書聚焦於科學史與科學事實的陳述，文本內容多為科學知識與概念，缺少針對科學模型進行效化、比較兩模型之間的差異與利用模型進行現象預測等高層次內容的討論。本研究參考Jong等(2015)編寫建模文本的方式，改寫翰林版教

科書「電池的化學效應」單元，將建模歷程外顯化融入於教科書文本中。另外為了配合MBI所需，加入「想想看」、「課堂任務」與「換你試試看」之內容完成建模文本，以下針對改寫的方式與內容進行說明，文本內容請參照附錄一。

1. 外顯化建模歷程

本研究根據邱美虹(2016)提出的建模歷程設計MBI，而外顯化建模歷程主要目的是讓學生閱讀建模文本或活動時，瞭解文本與活動在建模任務中的目的。例如：鋅銅電池演示實驗後，於文本解說實驗結果的上方額外加入「模型精緻化階段：模型效化」的文字敘述，說明科學文本閱讀、實驗資料等不同來源的素材，都可作為額外實證資料，更可以確認初始模型的適用性與正確性。

2. 想想看

想想看的內容是以外加的討論區塊編排於既有文本中，主要目的是在同學閱讀特定段落內容或完成建模活動後，透過該區塊所提出的問題，引導學生反思自己的想法，並和同學分享內容，亦可幫助教師確認學生是否理解此段落的内容。例如：請比較鋅銀電池與鋅銅電池的組成有何相同與相異之處；請預測與比較鋅銀電池與鋅銅電池的電壓大小，並請說明理由。前者著重於比較「鋅銀電池」與「鋅銅電池」兩模型之間的差異，而後者則是聚焦於利用化學電池的科學模型進行解釋、預測與比較。

3. 課堂任務

課堂任務是作為教師引導學生進行建模活動主要的教材，透過課程任務的設計讓同學以較為有架構的方式整理或記錄元件、元件與元件之間的連接關係、系統層次的情境

問題。例如：學生觀察教師演示實驗後，須記錄所看到的元件、元件的連接方式、元件之間的關係，以及現象的發生，再透過教師的引導，進一步的提及元件的限制。在此過程中，逐步建構學生的心智模式，因此，課堂任務亦可視為建立學生一套有系統的思考邏輯(變因、變因間的關係、多重關係、系統)，對於教師而言，課堂任務也能夠用來診斷學生在課堂學習的過程中，哪些步驟發生了狀況，針對科別學生需要給予協助。

4. 換你試試看

一般文本和建模文本皆有此部分的設計，主要的功能是在於學生可以熟悉此單元的概念，透過練習的方式，使學生能夠利用概念回答問題。然而，建模文本的問題替換一般文本以選擇題作答的形式，改以問答題的方式回答，並將部分建模歷程融入各試題中，以附錄一的例題一、二為例，例題一：學生須確認電極種類(模型建立階段)、利用原有的科學模型說明鋅銅電池(原情境)電極質量改變與電解液濃度改變情形(模型精緻化階段)；例題二：利用原有的科學模型預測將鋅電極更換為鉑電極化學電池(新情境)是否可以運作(模型應用階段)。因此，學生作答時，需要確認與反思原有模型，藉此能夠重新熟悉建模歷程與精緻課堂上所建立的科學模型。

上述的建模文本是作為MIB組使用的

教學文本，而CI組的教學文本則為教科書版本，未刪減或增添原先文本內容，為了維持兩份文本科學內容、資訊豐富度的相同，由一位具有科學教育背景的高中化學科教師，針對建模文本的正確性與邏輯性給予意見，並根據該專家教師意見進行修正。另外，建模文本中有建模歷程的解說，此類解說與文本本身的科學概念豐富程度無關，因此，須扣除此類文本字數，一般文本總計字數為2,214字；建模文本扣除建模歷程外顯化的字數後為2,501字。

(二) 建模本位教學與一般教學設計

本研究的學習內容包含四項關於化學電池的相關主題(水果電池、伏打電池、鋅銅電池與化學電池的原理)，而各主題接搭配外顯化建模歷程作為教學鷹架，由教師引導學生逐步建立化學電池的科學模型。由於本研究學生尚未擁有模型與建模的概念，因此，於第一節時由教師介紹模型與建模，並以舉例說明模型解釋與預測的功能，完成介紹後再進行化學電池MBI，總課程時數仍與CI相同為兩節課。另外，根據中學階段課程綱要規劃，將鋅銅電池訂為該學習階段之科學模型，因此，本次建模文本未於教學中納入模型修正階段(課程規劃如表1所示)。以下將根據建模歷程說明MBI設計。

表1：建模本位教學課程

節次	教學主題	建模步驟	教學內容
一	介紹模型與建模	—	教師講解模型與建模的意義，模型本身的解釋與預測的功能。
	水果電池	模型選擇	學生觀察水果電池使燈泡發亮的現象，並提出可能讓燈泡發亮的組成。
	伏打電池	模型選擇	根據科學史中伏打電池的發展，討論電池的組成。
	鋅銅電池	模型建立	學生觀察鋅銅電池的演示實驗，確認各組成之間的關係。
二	鋅銅電池	模型效化	學生透過建模文本的引導，以微觀的觀點說明組成之間的關係。
	化學電池的原理	模型應用	學生應用模型解釋水果電池(新情境)使燈泡發光的微觀解釋。
		模型調度	教師引導學生比較水果電池與鋅銅電池間組成、組成間關係的異同。

1. 模型發展階段：建立化學電池初始模型

教師於模型發展階段應透過現象、情境的呈現引導學生投入建模活動，並建立化學電池的初始模型，本研究學生經歷：(1)模型選擇：學生觀察水果電池使燈泡發亮的現象，觀察可能作為化學電池的成分，另外，比較建模文本中賈法尼與伏打對於蛙腿抽搐現象的成分差異與伏打電池的發展，選擇化學電池的組成(巨觀因素)；(2)模型建立：教師演示鋅銅電池實驗，學生觀察演示實驗的現象，確立各組成之間的關係，藉由上述兩建模歷程建立學生化學電池的初始模型。

2. 模型精緻化階段：確立化學電池模型

當學生已建立化學電池的初始模型時，透過閱讀建模文本(符號因素)，驗證上階段所觀察到的現象(檢流計指針移動的方向)並測試初始模型的適切性、理解元件之間的微觀機制(微觀因素)、確立化學電池模型。

3. 模型應用階段：利用化學電池模型進行解釋與預測

將已效化的化學電池模型應用於新情境現象的解釋與預測，即為模型應用階段：(1)模型應用：水果電池與鋅銅電池的外觀雖然不同，但仍可根據原有的化學模型的理論解釋；(2)模型調度：比較水果電池與鋅銅電池兩模型於成分(鹽橋與電解液)、關係上的

差異。此階段在原有的文本與教學中較少呈現，亦可視為提升學生高層次建模能力重要的階段。

針對CI的教學流程，則是參考教科書的編排內容，仍有水果電池引起動機、教師演示實驗鋅銅電池、教師引導學生討論實驗等小活動，並非傳統講述式授課。另外，King、Bergan-Roller、Galt、Helikar與Dauer (2019)利用認知推理歷程分析學生進行建模活動，其認知推理歷程包含：1.閱讀與簡述語意(read and paraphrase)：學生閱讀教材內容，並未加入學生個人觀點；2.分析(analyse)：學生模糊的描述特定概念或成分，尚未經歷驗證的想法；3.歸納推理(inductive reasoning)：學生假定模型中元件之間的關係、整體系統的運作情形或是呈現初步的想法；4.解釋(explain)：學生針對模型或概念進行描述或分類；5.評估(evaluate)：學生利用模型進行有價值的判斷。根據學生活動的認知推理歷程分類可知(表2)，CI的認知活動較集中於表面的推理活動(閱讀與簡述語意)，而MBI能透過建模文本中外加的問題(想想看、課堂任務、換你試試看)、教學中外顯化建模歷程的教學引導能提供更多讓學生進行解釋與評估等較深度的認知活動。

表2：本研究MBI與CI認知推理歷程比較

教學主題	閱讀與簡述語意	分析	歸納推理	解釋	評估
水果電池	MBI、CI	MBI			
伏打電池	MBI、CI	MBI			
鋅銅電池					
演示實驗	MBI、CI			MBI	
引導討論	MBI、CI		MBI、CI	MBI	
化學電池的原理	MBI、CI	CI		MBI、CI	MBI

註：MBI：建模本位教學(Modeling-Based Instruction)；CI：一般教學(Common Instruction)。

三、研究工具

(一)電化學概念評量

Mayer與Krajcik (2015)認為，可從三項度進行分析學生對於科學模型的理解程度：1.成分(component)：能夠識別與確認科學模型中適合且必要的成分；2.關係(relationships)：能夠說明及描述科學模型中成分之間的關連或交互作用；3.因果關係(causal)：能夠利用科學模型與解釋或預測現象的發生，綜合化學電池理論結構(張志康、邱美虹，2009)，本研究將化學電池的科學概念區分為成分、關係與系統三個向度其說明如下：1.成分：化學電池模型中必要的組成(電極、電解液、鹽橋、電器)；2.關係：使用符號(元素符號、反應方程式)或描述化學電池中化學反應(氧化還原、電荷平衡)的發生情形；3.系統：以微觀的觀點呈現電子與離子的移動方向，說明化學電池中離子濃度與電荷平衡的現象，並將上述的分類方式作為編選科學評量試題的構念。

電化學概念試題主要評量學生對於化學電池的科學概念表現，此份試題主要參考邱美虹(2015)研發之電化學試題，並根據本研究之學習內容挑選合適的試題修改。另外，原本的試題屬於開放式問答題型，顧及國中生對於開放式試題回答的情況並不理想，而無法得知學生真實的學習情況，因此，整理與分析邱美虹電化學試題學生作答的情形，修整為本研究概念試題的選項。本評量依據上述解構後的構念分為成分(17題)、關係(17題)與系統(10題)，總題數共計44題(見附錄二)，滿分為100分，並作為前測與後測的科學概念表現評量工具。

此份評量由四位具化學教學背景教師(兩位科學教育博士且具有MBI經驗的國中與高

中教師、一位資深高中化學教師與一位資深國中自然科教師)建立科學概念與建模能力評量的表面效度。另外，電化學概念評量預試對象為高中一年級學生，本次預試對象僅於國中階段完成電化學的學習後，並未再接觸任何化學相關的課程的學生(基礎物理與基礎化學為上、下學期對開)，其電化學的概念與本研究中預期完成化學電池學習的國中生相同，共計47人，其預試之科學概念評量信度Cronbach's $\alpha = .76$ 。另外，本研究對象之後測科學概念評量信度Cronbach's $\alpha = .91$ ，表示本試題具有相當的信效度。

(二)建模能力評量

學生能力的展現即是學習者自我與環境交互作用之後所呈現的結果，換句話說，能力難以在去情境化的認知系統下呈現，因此，能力是具有領域特定性(Klieme, Hartig, & Rauch, 2008)。針對建模能力評量近年來的發展，主要聚焦於學生在問題解決時，如何根據當下的情境將建模作為工具的能力(Campbell et al., 2019)，另外，Forbes、Lange-Schubert、Böschl與Vo (2019)延伸Krell、Reinisch與Krüger (2015)對於科學知識、科學本質與科學探究之間的研究，認為科學學習中的建模能力評量除了考量建模實踐與認識論的觀點外，更應該建立相關情境，讓學生在情境中呈現其建模能力。因此，本研究之建模評量試題以化學電池作為學生進行問題解決的情境，並參考張志康與邱美虹(2009)電化學建模例題將其融入電化學概念試題中。以模型發展階段為例，該階段學生須確立模型內部的成分與結構，才能產生初始模型，因此，本階段試題設計讓學生填入正確的電池元件，並能確立元件之間的關係，進而產生電池的初始模型，本研究設計的建模能力

評量包含件模型選擇(2題)、模型建立(3題)、模型效化(4題)、模型應用(4題)與模型調度(4題)，其建模試題範例如表3所示。

關於建模能力的評分指標，本研究修改自張志康與邱美虹(2009)提出的建模能力分析指標，並以SOLO (Structure of the Observed Learning Outcome)分類法的觀點將能力分為六個層次，分別針對各建模歷程搭配學生答題的反應階層，此六層級為前結構(L_0)、單一因素(L_1)、多重因素(L_2)、關係層次(L_3)、延伸關係(L_4)與科學理論(L_5)。建模能力評鑑表經由兩位熟悉開發建模試題且具備科學教育博士背景的高中化學老師與國中自然科教師給予建議之後修正，建立該評量之專家效度，此建模能力評鑑表範例於表4呈現。

搭配建模能力評鑑表(表4)與模型建立學生作答範例(圖3)來看，學生能夠呈現呈現化學電池中所有的成分(L_2 多重因素)、並且呈現電子與離子的移動方向，另外以 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 等符號呈現化學反應過程中反應物與生成物的變化情形(L_4 延伸關係)，最後，學生能夠以氧化反應、還原反應與維持兩杯電解液的電中性說明形成化學電池的原因，表示該學生已達到科學理論的層次(L_5 科學理論)。

肆、研究結果

一、化學電池科學概念的學習成效

利用電化學概念試題評量學生的學習成效，並透過推論性統計探討教學前後兩組學

表3：建模試題範例

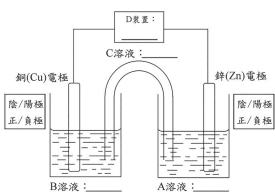
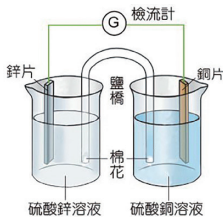
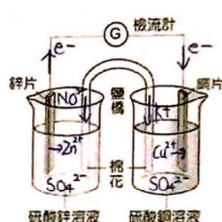
建模歷程	試題內容
模型選擇	下圖裝置為一鋅棒(Zn)浸放在1 M的A水溶液中，另一銅棒(Cu)浸放在1 M的B水溶液中，另以導線連接兩金屬棒與D裝置，並且以裝有C溶液(1 M)的鹽橋插入A、B溶液之中。  $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)} \quad E^0 = +0.34 \text{ V}$ $Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Zn_{(s)} \quad E^0 = -0.76 \text{ V}$ 問題：寫出A、B、C、D裝置名稱、電極裝置在該化學電池中的功能。
模型建立	鋅銅電池的裝置如右圖，回答下列問題： 問題一：擔任陰極與陽極的分別是什麼電極呢？你判斷的理由是什麼？ 問題二：擔任正極與負極的分別是什麼電極呢？你判斷的理由是什麼？ 問題三：鹽橋中放入何種溶液比較恰當呢？理由是什麼？ 問題四：請繪製出此鋅銅電池的電子流向、鹽橋中陰離子與陽離子移動方向。 
模型效化	請說明化學電池中造成電子移動的原因，有什麼科學原理嗎？
模型應用	若將銅棒改成石墨棒，電壓會有什麼改變呢？造成此現象的原因為何？
模型調度	若將鋅棒改成石墨棒電壓會有什麼改變呢？造成此現象的原因為何？

表4：建模能力評鑑表範例：模型建立

能力層次	操作型定義	範例說明
前結構(L ₀)	不清楚、未填答或回答錯誤	不清楚、未填答或回答錯誤。
單一因素(L ₁)	僅提及單一巨觀概念	正確回答電極、電解液與鹽橋其中一組巨觀概念。
多重因素(L ₂)	提及兩個以上巨觀概念	正確回答電極、電解液與鹽橋其中兩組巨觀概念。
關係層次(L ₃)	提及兩個巨觀念之間關係	正確回答兩組以上巨觀概念，並正確回答電子流向、離子移動方向、反應方程式其中一組因果關係。
延伸關係(L ₄)	找出多種因果關係，能判斷因果關係之合適性	正確回答所有巨觀概念，並正確回答電子流向、離子移動方向、反應方程式其中兩組因果關係。
科學理論(L ₅)	找出因果關係間的交互關係	正確回答所有巨觀概念與所有因果關係回答。

(L₄延伸關係)

- Q1. 鋅片是陽極，銅片是陰極。 (L₂多重因素)
 因為鋅失去電子發生氧化反應，銅得到電子發生還原反應。 (L₅科學理論)
 Q2. 依照檢流計指針偏轉方向，判斷鋅棒是負極，銅棒是正極。 (L₂多重因素)
 Q3. 硝酸鉀(KNO₃)、硫酸鈉(Na₂SO₄)，因為兩者都是易解離的鹽類，
 能維持兩杯電解液的電中性。 (L₅科學理論)

圖3：建模能力評量：模型建立學生作答情形

生在化學電池科學概念表現的差異，其結果如下。

(一)透過教學對於化學電池中學生的科學概念成長皆達顯著水準

本研究的研究對象在教學前皆未接觸任何化學電池概念的教學，因此，此科學概念對研究對象而言，皆屬於新的科學概念。將化學電池科學概念分數進行成對樣本 t 檢定(如表5)，無論是MBI ($t = 14.65$, $p < .001$)或CI ($t = 6.70$, $p < .001$)，透過文本的使用及教師授課，在教學前後整體的科學概念成長皆達顯著差異，此現象表示基礎的化學電池科學概念，對於七年級與八年級學生透過教學即能夠有顯著的進步。針對化學電池概念試題分為成分、關係與系統等三個分項，分別進行組間與組內的統計考驗可知(表5)，MBI在三個項目中，教學前後皆達顯著差異($p <$

.001)，然而，CI的系統項目中，在教學前後則無達顯著差異($t = 0.60$, $p = .552$)。

(二)建模本位教學在整體化學電池與系統分項的學習效益優於一般教學

針對兩組間科學概念的學習效益，以前測為共變數進行ANCOVA，MBI分別在化學電池科學概念的整體表現($F(1, 48) = 91.62$, $p < .001$)與反應機制($F(1, 48) = 87.11$, $p < .001$)分項中學習效益顯著優於CI，另外，MBI在成分與關係的分項中其進步分數雖未達顯著差異，但學習效益仍高於CI。

二、不同教學策略對於建模能力的表現情形

本研究為了瞭解學生於教學前後建模能力改變的情形，MBI與CI分別在教學前後皆蒐集學生的建模能力資料，作為分析的

表5：學生於化學電池科學概念表現成對樣本t檢定分析摘要表

項目	建模本位教學($n = 24$)					一般教學($n = 27$)				
	前測		後測		t 值	前測		後測		t 值
	M	SD	M	SD		M	SD	M	SD	
整體表現	25.67	7.25	67.27	12.97	14.65	23.74	6.44	35.61	10.52	6.70
成分	14.73	5.63	36.17	4.32	13.40	11.89	4.18	20.02	6.61	8.41
關係	7.98	4.01	20.83	6.28	7.32	8.15	3.43	11.48	4.51	3.38
系統	2.96	2.15	14.27	4.56	11.28	3.70	2.53	4.11	3.49	0.60

資料。利用建模能力評鑑表(表4)進行學生建模能力的分類後，所得到的結果為建模能力的層級(表6)，因此使用皮爾森卡方檢定(Pearson's chi-squared test)說明兩組學生建模能力改變的情形。

(一)建模本位教學前學生的建模能力發展情形

根據建模能力評量結果將兩組學生在教學前的建模能力層級進行皮爾森卡方檢定，學生在建模能力中的模型選擇($\chi^2(4) = 3.32$, $p = .506$)、模型建立($\chi^2(2) = 0.52$, $p = .772$)、模型效化($\chi^2(2) = 0.95$, $p = .622$)、模型應用($\chi^2(2) = 2.42$, $p = .299$)與模型調度($\chi^2(4) = 4.43$, $p = .351$)皆無達顯著，表示教學前MBI與CI的建模能力無差異。

(二)建模本位教學前學生的建模能力發展情形

針對兩組學生教學前後的建模能力表現進行組內皮爾森卡方檢定，對於MBI分別的建模能力：模型選擇($\chi^2(5) = 41.12$, $p < .001$)、模型建立($\chi^2(4) = 23.57$, $p < .001$)、模型效化($\chi^2(5) = 39.11$, $p < .001$)與模型應用($\chi^2(5) = 22.17$, $p < .001$)在此四項建模能力中達顯著水準；CI的建模能力僅於模型選擇($\chi^2(5) = 15.33$, $p = .003$)達顯著水準。從兩組組內的結果可知，學生在教學前後各建模能

力的層級有所不同，從各層級的人數比例分布來看，教學後人數比例偏向高層次並且平均建模層級皆提高，表示教學能有助於提升學生建模能力層級。

根據上述結果亦發現，CI僅能提升模型選擇之建模能力，未能全方面提升各建模歷程之建模能力；MBI皆能促進學生於模型選擇、模型建立、模型效化與模型應用之建模能力。由此可知，兩組教學方式不同即提升不同的建模能力，但是模型調度的建模能力在兩組教學後則未發現有顯著的成長。

(三)建模本位教學提升建模能力之成效優於一般教學

針對兩組間的皮爾森卡方檢定可知，MBI與CI於前測的建模能力未達顯著差異。當比較兩組建模能力後測層級時可知，模型選擇($\chi^2(5) = 44.17$, $p < .001$)、模型建立($\chi^2(4) = 16.04$, $p < .01$)、模型效化($\chi^2(5) = 33.41$, $p < .001$)與模型應用($\chi^2(4) = 22.57$, $p < .001$)表示有差異，又因建模能力平均值顯現MBI皆優於CI。因此，對於建模歷程之建模能力提升情形MBI優於CI，由此可知，MBI不僅能促進學生提升建模能力，且其成效優於CI。另外，根據本研究的結果顯示，模型調度無論在組內或是組間皆無差異，表示模型調度難透過MBI與CI增進學生的學習效益。

表6：兩組學生前後測建模能力層級的表現

組別	建模能力	建模能力層級 n (%)						L-M	L-SD
		Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5		
建模本位教學	模型選擇								
	前測	13 (54.16)	4 (16.67)	2 (8.33)	4 (16.67)	1 (4.17)	0 (0.00)	1.00	1.32
	後測	0 (0.00)	0 (0.00)	3 (12.50)	0 (0.00)	1 (4.17)	20 (83.33)	4.58	1.02
	模型建立								
	前測	7 (29.17)	11 (45.83)	6 (25.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0.96	0.75
	後測	0 (0.00)	3 (12.50)	10 (41.67)	0 (0.00)	3 (12.50)	8 (33.33)	3.12	1.57
	模型效化								
	前測	10 (41.67)	9 (37.50)	5 (20.83)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0.79	0.78
	後測	0 (0.00)	0 (0.00)	4 (16.67)	11 (45.83)	4 (16.67)	5 (20.83)	3.42	1.02
	模型應用								
	前測	7 (29.17)	15 (62.50)	2 (8.33)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0.79	0.59
	後測	3 (12.50)	4 (16.67)	3 (12.50)	13 (54.16)	1 (4.17)	0 (0.00)	2.21	1.18
	模型調度								
	前測	5 (20.83)	9 (37.50)	9 (37.50)	1 (4.17)	0 (0.00)	0 (0.00)	1.25	0.85
	後測	4 (16.67)	2 (8.33)	11 (45.83)	5 (20.83)	2 (8.33)	0 (0.00)	1.96	1.16
一般教學	模型選擇								
	前測	20 (74.08)	4 (14.81)	1 (3.70)	2 (7.41)	0 (0.00)	0 (0.00)	0.44	0.89
	後測	6 (22.22)	8 (29.63)	0 (0.00)	9 (33.33)	3 (11.11)	1 (3.70)	1.93	1.54
	模型建立								
	前測	6 (22.22)	15 (55.56)	6 (22.22)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	1.00	0.68
	後測	3 (11.11)	10 (37.04)	13 (48.15)	0 (0.00)	1 (3.70)	0 (0.00)	1.48	0.85
	模型效化								
	前測	12 (44.45)	7 (25.93)	8 (29.62)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0.85	0.86
	後測	8 (29.63)	9 (33.34)	8 (29.63)	1 (3.70)	1 (3.70)	0 (0.00)	1.19	1.04
	模型應用								
	前測	9 (33.33)	12 (44.45)	6 (22.22)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0.89	0.75
	後測	14 (51.85)	11 (41.75)	1 (3.70)	1 (3.70)	0 (0.00)	0 (0.00)	0.59	0.75
	模型調度								
	前測	1 (3.70)	13 (48.16)	11 (40.74)	1 (3.70)	1 (3.70)	0 (0.00)	1.56	0.80
	後測	1 (3.70)	7 (25.93)	14 (51.85)	5 (18.52)	0 (0.00)	0 (0.00)	1.85	0.77

伍、討論

面對近年來教育改革的風潮，各國多已將模型與建模的視為自然科學課綱中學生學習表現之一(國家教育研究院，2018；NRC，

2013)，因此在科學學習的過程中，「模型」不僅能夠作為的理解科學概念的媒介，更強調將「建模」當作科學研究中的工具(Upmeier zu Belzen et al., 2019)。然而，模型與建模相關的研究指出，MBI應面對教師與

學生對於科學課程信念改變的挑戰(Schwarz et al., 2009)，另外，職前與在職教師的MBI增能、建模課程設計、建模評量開發與教科書設計等視為未來將面臨的挑戰(Gilbert & Justi, 2016)。

本研究使用建模歷程作為課程設計的主軸，並以外顯化建模歷程的方式說明教學活動中主要的學習目的協助教師教學，另外，改編教科書利用問題與活動逐步引導學生建構模型，最後，學生自行記錄在課堂中發展的模型，並讓學生使用自行發展的模型進行解釋與預測。分別針對建模課程、科學概念與建模能力評量進行討論。

一、建模課程設計能促進學生於化學電池中複雜系統的學習成效

化學電池的相關研究指出透過多元表徵(動畫與模擬)、實驗室教學(動手做)與概念改變(反駁文本)融入課程設計，能夠有效的促進學生於化學電池的原理(Loh & Subramaniam, 2018)、微觀與符號層次的概念理解(Osman & Lee, 2014; Yang, Andre, Greenbowe, & Tibell, 2003)。然而，對於電子於反應式中的轉換、電子在電極與外電路移動的情形、離子在電解液中移動的方向等複雜系統的科學概念仍未見顯著成效(Loh & Subramaniam; Tsaparlis, 2019)。

模型可視為由多個概念構成，用來解釋複雜的現象(Gilbert & Justi, 2016)，從化學電池的結構來看，化學電池的物件、物件之間的關係都可視為科學概念，然而化學電池中電子與離子的移動方向，除了要以微觀的觀點解釋現象之外，更需要考量多種關係之間的延伸關係，並以系統的觀點說明化學電池中元件彼此之間的因果關係與化學反應機制(張志康、邱美虹, 2009)。可見，化學電池不

能僅聚焦於巨觀、微觀與符號之間的轉換，更需要以模型的觀點說明化學電池的現象。

本研究結果顯示，MBI能促進學生於化學電池的概念學習，並且對於化學電池中粒子移動的複雜系統，其學習成效亦達顯著。為了促進學生於複雜系統下的學習成效，本研究將化學電池模型解構為成分、關係與系統，透過演示實驗與文本瞭解成分與關係，引導學生發展與測試模型，形成完整的模型後，將該模型應用新的情境下解釋與預測現象，都有助於學生整合多種概念與概念之間的關係，並利於學生學習複雜系統的科學概念(Cheng & Lin, 2015; Jong et al., 2015; Mayer & Krajcik, 2015)。

二、建模歷程作為課程設計主軸有助於學生提升建模能力

本研究結果指出，MBI對於提升學生建模能力上扮演了重要的角色，從建模課程中的建模歷程(表1)與認知活動(表2)來看，不同的建模階段具備特定的認知活動，在模型發展階段的認知活動為「閱讀與簡述語意」，而模型應用階段則增加「應用」與「評鑑」等深度的認知活動。然而，特定認知活動則會在不同建模階段反覆出現，在模型發展階主要是文本確立模型的成分與關係，而模型精緻化階段則要擷取不同來源的證據，效化原有的模型。上述的研究結果與Kings等(2019)分析學生進行建模活動的認知活動結果相同，表示本研究以建模歷程為主軸設計的教學，除了保有表層的認知活動外，更能夠引導學生進行深度的認知活動。過去的教學多將模型視為科學理論的替代品，僅作為教學時解釋自然現象或理論的材料，然而從近年來的實徵研究指出，模型與建模不僅能用以學習科學，更是學生認知科學思維工具的

工具(Schwarz et al., 2009; Upmeier zu Belzen et al., 2019; Zangori, Vo, Forbes, & Schwarz, 2017)。

另外，建模能力的情形來看MBI的成效，在MBI前學生的建模能力層級主要集中於前結構與單一因素，表示學生針對問題僅能提出巨觀因素的解釋，未能提及變因之間的關係或是整體系統的機制，此結果與張志康與邱美虹(2009)的研究結果相同，表示學生進行教學前建模能力偏低的情形。然而，透過教學後，MBI平均建模能力可達關係層次以上，表示學生使用模型解釋時，能夠說明該模型的成分、成分之間的因果關係，但未能夠完整表現出延伸關係與科學模型，由此可推論MBI能夠讓學生深入瞭解哪些成分是化學電池中的必要成分、成分之間如何產生交互作用，而這些交互作用為何是化學電池的機制中的關鍵。透過教學，有助於學生於大部分建模能力的表現，但在模型調度的建模能力表現上，卻未有明顯的差異，此情形可能為學生未能在本研究設計的課程中瞭解並呈現模型調度的建模能力，亦有可能牽涉該歷程所需要的科學概念過於困難，使得學生難以呈現高層次的建模能力(Forbes et al., 2019)。

上述關於建模能力的發展情形與Baumfalk等(2018)的研究結果相同，該研究指出教師透過MBI引導學生思考模型內的成分、成分之間連結及連結與現象機制的因果關係都能夠促進學生於使用模型解釋上，以及成分、序列(sequence)與解釋歷程(explanatory process)的顯著成長進步。

三、建模歷程與臺灣課綱中探究能力的關係

2019年教育部頒布「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」中，強調自然領域應以「探究與實作」的精神與方法落實至各學習階段(國家教育研究院，2018)，然而，引導學生經歷完整的探究過程與培養關鍵的探究能力，更是教師進行課程設計的關鍵。本研究以建模歷程作為課程設計鷹架，更是明確引導學生在探究的過程中建立科學模型，符合新課綱中科學知識與探究能力並重的目標。

邱美虹與曾茂仁(2018)認為建模歷程與自然領域的探究學習表現具有對應的關係(如圖4所示)，本研究的課程設計亦具有該對應關係：(一)模型發展階段：利用水果電池喚起學生在小學階段所學的簡單電路的模型，並建立素樸的模型，在探究能力中能夠促使觀察與定題、建立模型；(二)模型精緻化階段：透過科學文本的閱讀、現象觀察與演示實驗透過外部的資料完備與精煉學生的素樸模型，則是呈現批判思辨、分析與發現；(三)模型應用階段：以精緻化後的模型用以解釋水果電池的運作原理，並比較兩模型的異同，培養學生分析與發現、推理論證。雖然，本研究未設計模型重建階段，但在下一個學習階段能夠比較燃料電池、鋰電池的設計原理，則更能夠促使學生重新審視與建立既有的模型，更貼近科學模型。

最後，MBI是以建立模型作為探究的目標，而在建模歷程中則是能夠培養與展現建模導向的探究能力，因此，推廣MBI與新課綱以探究與實作貫徹各學習階段的理念，兩者相輔相成，更可作為來臺灣未來科學課室教學重要的方向。

陸、結論與建議

本研究透過外顯化建模歷程作為課程設計的主軸，從教師設計課程的角度來看，將

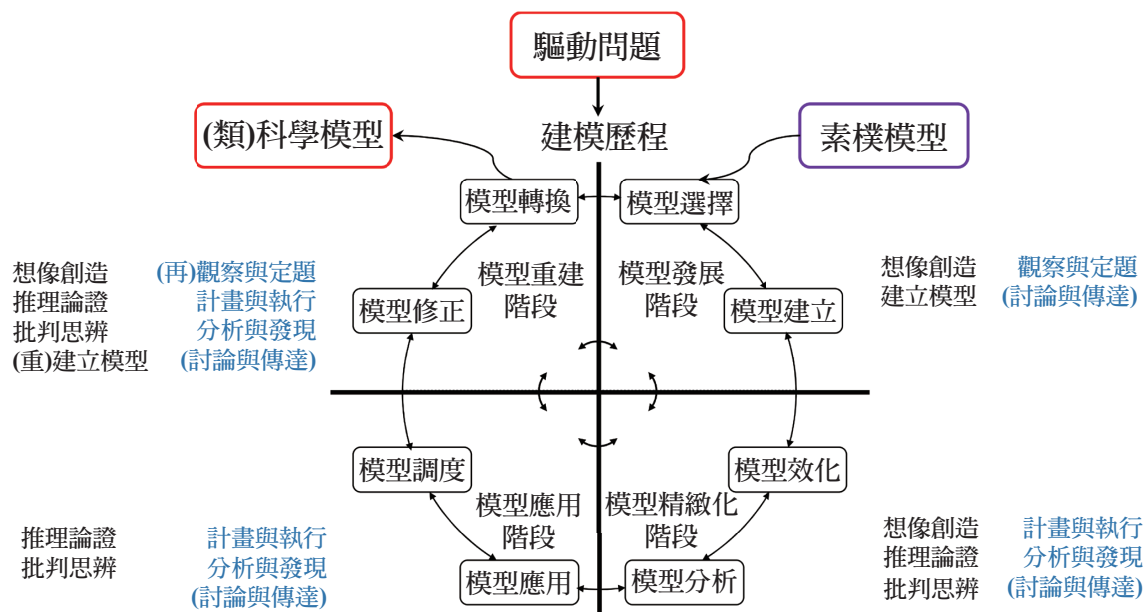


圖 4：建模歷程與探究能力關係的建模探究教學模式

資料來源：修改自邱美虹(2016)。科學模型與建模：科學模型、科學建模與建模能力。臺灣化學教育，11。查詢日期：2021年2月2日，檢自<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=13898>。

建模實踐融入化學電池教學中，主要先解構化學電池的科學模型，再逐步建構成分，藉由演示實驗說明成分之間的關係，最後透過建模文本建立化學電池的微觀機制。另外，以學生進行建模任務來看，從建構模型、應用模型解釋與預測、反思模型等任務，主要是讓學生能夠在過程中分享觀點，藉此達到知識建構的目的。回顧本研究的研究問題，主要研究結果如下：首先，MBI於整體科學概念的表現上優於CI，可見MBI針對複雜的科學概念成效顯著。再者，藉由CI的確能夠提升基礎的建模能力(模型選擇)，然而透過MBI除了能夠提升基礎建模能力(模型選擇、模型建立)，更能提升較高層次的建模能力(模型效化、模型應用)。

根據Chiu與Lin (2019)提出的建模能力架構包含模型與建模知識、建模實踐、模型與建模的後設認知知識等三向度，而在本研

究中主要聚焦於建模實踐的建模能力評量，並未評量另外兩部分之建模能力，尚未呈現完整的建模能力。因此，在未來評量學生建模能力時，應更應確立建模能力評量的完備性，以利於確認MBI對於提升建模能力的效益。另一方面，針對MBI的實務面，本研究教學時間較短，僅有兩堂課，雖是如此，但已見學生於科學概念、建模能力的成效，未來可以設計長期的建模課程讓建模能力可以更加提升(Schwarz et al., 2009)。

針對本研究在研究對象、評量與課程設計提出三項建議。首先，本研究為了配合學校既有的教學規劃採取立意取樣的方式挑選研究對象，雖然已確認研究對象於教學前的先備知識與學習條件相同，另外也透過ANCOVA調整前測對於研究結果的影響，然而，未能完整顧及學生於學習動機、其他實作能力對於學習表現的影響，因此，建議未

來進行相關研究，以相同年級學生為研究對象，宜加入隨機分組的方式確立研究對象選取的完備。

再者，本研究利用建模能力分析指標將建模能力分為六個層次(張志康、邱美虹，2009)，除了能夠評量學生在不同建模歷程中的建模能力之外，更能夠呈現學生對於科學模型中「成分量」、「關係量」與「延伸關係量」的掌握程度，但因本研究樣本數較少，難以透過統計檢定的方式分析教學效益。因此，關於未來對於建模能力評量方式能將建模能力分析指標應用於大樣本的建模能力調查。

最後，本研究的授課內容考量研究對象與課程內容，未將模型重建階段(模型修正與模型轉換)融入本次研究中，本研究之研究對象尚未經歷完整的建模歷程，也未確認MBI對於模型重建階段建模能力的效益，因此，未來除了針對MBI設計長期課程之外，更應融入完整建模歷程，對於研究而言，更能有助於瞭解MBI的起點與限制。

誌謝

感謝科技部補助(NSC 102-2511-S-003-006-MY3)與審查委員對本文寶貴的建議，特此誌謝。

參考文獻

1. 李驥、邱美虹(2019)。NGSS和12年國民基本教育中探究、實作和建模的比較與分析。科學教育月刊，421，19-31。doi:10.6216/SEM.201908_(421).0002
[Lee, K. G., & Chiu, M.-H. (2019). Comparison and analysis of inquiry, practice, and modeling in the NGSS and Taiwan's 12-year basic education curricula. *Science Education Monthly*, 421, 19-31. doi:10.6216/SEM.201908_(421).0002]
2. 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(NSC 102-2511-S003-006-MY3)。臺北市：科技部。
[Chiu, M.-H. (2015). *A systematic approach to construct web-based models and modeling (WMM) system for online instruction and assessment—A study of investigating science curriculum, conceptual developmental path and modeling ability* (Report No. NSC 102-2511-S-003-006-MY3). Taipei, Taiwan: Ministry of Science and Technology.]
3. 邱美虹(2016)。科學模型與建模：科學模型、科學建模與建模能力。臺灣化學教育，11。查詢日期：2021年2月2日，檢自<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=13898>。
[Chiu, M.-H. (2016). Scientific model and modeling: Scientific model, scientific modeling, and modeling competence. *Chemistry Education in Taiwan*, 11. Retrieved February 2, 2021, from <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=13898>]
4. 邱美虹、曾茂仁(2018)。科學建模本位的探究教學之教材設計——以化學電池為例。臺灣化學教育，28。查詢日期：2021年6月2日，檢自<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=31481>。

[Chiu, M.-H., & Zeng, M.-R. (2018). The design of teaching materials of scientific modeling-based inquiry instruction: Taking chemical battery as an example. *Chemistry Education in Taiwan*, 28. Retrieved June 2, 2021, from <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=31481>]

5. 林靜雯、林怡瑾(2015)。五年級資優生與專家使用圖形化程式(NXT-G)之心智模式及建模歷程。科學教育學刊, 23(3), 293-319。doi:10.6173/cjse.2015.2303.04

[Lin, J.-W., & Lin, Y.-C. (2019). Fifth grade gifted students' and experts' mental models and modeling processes in NXT-G. *Chinese Journal of Science Education*, 23(3), 293-319. doi:10.6173/cjse.2015.2303.04]

6. 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。doi:10.6173/cjse.2009.1704.04

[Chang, C.-K., & Chiu, M.-H. (2009). The development and application of modeling ability analytic index—Take electrochemistry as an example. *Chinese Journal of Science Education*, 17(4), 319-342. doi:10.6173/cjse.2009.1704.04]

7. 國家教育研究院(2014年11月28日)。十二年國民基本教育課程綱要：總綱。查詢日期：2021年6月14日，檢自<https://www.naer.edu.tw/upload/1/16/doc/288/%E5%8D%81%E4%BA%8C%E5%B9%B4%E5%9C%8B%E6%95%99%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B6%B1%E8%A6%81%E7%B8%BD%E7%B6%B1.pdf>。

[National Academy for Educational Research. (2014, November 28). *Curriculum guidelines of 12-year basic education: General guidelines*. Retrieved June 14, 2021, from <https://www.naer.edu.tw/upload/1/16/doc/288/%E5%8D%81%E4%BA%8C%E5%B9%B4%E5%9C%8B%E6%95%99%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B6%B1%E8%A6%81%E7%B8%BD%E7%B6%B1.pdf>]

8. 國家教育研究院(2018年11月2日)。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。查詢日期：2020年11月20日，檢自<https://www.naer.edu.tw/upload/1/16/doc/1336/%E5%8D%81%E4%BA%8C%E5%B9%B4%E5%9C%8B%E6%B0%91%E5%9F%BA%E6%9C%AC%E6%95%99%E8%82%B2%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B6%B1%E8%A6%81%E5%9C%8B%E6%B0%91%E4%B8%AD%E5%B0%8F%E5%AD%B8%E6%9A%A8%E6%99%AE%E9%80%9A%E5%9E%8B%E9%AB%98%E7%B4%9A%E4%B8%AD%E7%AD%89%E6%A0%A1-%E8%87%AA%E7%84%B6%E7%A7%91%E5%AD%B8%E9%A0%98%E5%9F%9F.pdf>。

[National Academy for Educational Research. (2018, November 2). *Curriculum guidelines of 12-year basic education for elementary, junior high schools and general senior high schools: Natural sciences*. Retrieved November 20, 2020, from <https://www.naer.edu.tw/upload/1/16/doc/1336/%E5%8D%81%E4%BA%8C%E5%B9%B4%E5%9C%8B%E6%B0%91%E5%9F%BA%E6%9C%AC%E6%95%99%E8%82%B2%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E7%B6%B1%E8%A6%81%E5%9C%8B%E6%B0%91%E4%B8%AD%E5%B0%8F%E5%AD%B8%E6%9A%A8%E6%99%AE%E9%80%9A%E5%9E%8B%E9%AB%98%E7%B4%9A%E4%B8%A>

D%E7%AD%89%E6%A0%A1-%E8%87%AA%E7%84%B6%E7%A7%91%E5%AD%B8%E9%A0%98%E5%9F%9F.pdf]

9. 劉俊庚(2011)。探討模型與建模對於學生原子概念學習之影響。未出版之博士論文，國立臺灣師範大學科學教育研究所，臺北市。

[Liu, C.-K. (2011). *Investigating the impact of models and modeling on students' learning of atomic concepts*. Unpublished doctoral dissertation, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan.]

10. Apedoe, X. S. (2008). Engaging students in inquiry: Tales from an undergraduate geology laboratory-based course. *Science Education*, 92(4), 631-663. doi:10.1002/sce.20254
11. Baumfalk, B., Bhattacharya, D., Vo, T., Forbes, C., Zangori, L., & Schwarz, C. (2018). Impact of model-based science curriculum and instruction on elementary students' explanations for the hydrosphere. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(5), 570-597. doi:10.1002/tea.21514
12. Campbell, T., McKenna, T. J., An, J., & Rodriguez, L. (2019). A responsive methodological construct for supporting learners' developing modeling competence in modeling-based learning environments. In A. Upmeyer zu Belzen, D. Krüger, & J. van Driel (Eds.), *Towards a competence-based view on models and modeling in science education* (pp. 201-218). New York, NY: Springer. doi:10.1007/978-3-030-30255-9_12
13. Chang, H.-Y., Quintana, C., & Krajcik, J. S. (2009). The impact of designing and evaluating molecular animations on how well middle school students understand the particulate nature of matter. *Science Education*, 94(1), 73-94. doi:10.1002/sce.20352
14. Cheng, M.-F., & Lin, J.-L. (2015). Investigating the relationship between students' views of scientific models and their development of models. *International Journal of Science Education*, 37(15), 2453-2475. doi:10.1080/09500693.2015.1082671
15. Cheng, M.-F., Lin, J.-L., Lin, S.-Y., & Cheng, C.-H. (2017). Scaffolding middle school and high school students' modeling processes. *Journal of Baltic Science Education*, 16(2), 207-217. doi:10.33225/jbse/17.16.207
16. Chiu, M.-H., & Lin, J.-W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1. Retrieved November 1, 2020, from <https://diser.springeropen.com/articles/10.1186/s43031-019-0012-y>
17. Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism. In J. A. Glover, R. R. Romming, & C. R. Reynolds (Eds.), *Handbook of creativity* (pp. 341-381). New York, NY: Plenum. doi:10.1007/978-1-4757-5356-1_20
18. Crawford, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education* (Vol. 2, pp. 515-541). New York, NY: Routledge. doi:10.4324/9780203097267.ch26
19. Doymus, K., Karacop, A., & Simsek, U. (2010). Effects of jigsaw and animation techniques on

- students' understanding of concepts and subjects in electrochemistry. *Educational Technology Research and Development*, 58, 671-691. doi:10.1007/s11423-010-9157-2
20. Duncan, R. G., & Cavera, V. L. (2015). DCIs, SEPs, and CCs, oh my! Understanding the three dimensions of the NGSS. *Science Scope*, 39(2). Retrieved February 1, 2021, from <https://my.nsta.org/resource/102606/dcis-seps-and-ccs-oh-my-understanding-the-three-dimensions-of-the-ngss>
21. Forbes, C. T., Lange-Schubert, K., Böschl, F., & Vo, T. (2019). Supporting primary students' developing modeling competency for water systems. In A. Upmeyer zu Belzen, D. Krüger, & J. van Driel (Eds.), *Towards a competence-based view on models and modeling in science education* (pp. 257-273). New York, NY: Springer. doi:10.1007/978-3-030-30255-9_15
22. Garnett, P. J., & Treagust, D. F. (1992a). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), 121-142. doi:10.1002/tea.3660290204
23. Garnett, P. J., & Treagust, D. F. (1992b). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electrochemical (galvanic) and electrolytic cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(10), 1079-1099. doi:10.1002/tea.3660291006
24. Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). Facing the challenges to science education in schools: The contribution of modelling. In J. K. Gilbert & R. Justi (Eds.), *Modelling-based teaching in science education* (pp. 1-15). New York, NY: Springer. doi:10.1007/978-3-319-29039-3_1
25. Gobert, J. D., & Pallant, A. (2004). Fostering students' epistemologies of models via authentic model-based tasks. *Journal of Science Education and Technology*, 13, 7-22. doi:10.1023/B:JOST.0000019635.70068.6f
26. Günter, T., & Alpat, S. K. (2017). The effects of problem-based learning (PBL) on the academic achievement of students studying "electrochemistry." *Chemistry Education Research and Practice*, 18, 78-98. doi:10.1039/C6RP00176A
27. Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 1019-1041. doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199611)33:9<1019::AID-TEA4>3.0.CO;2-I
28. Hempel, C. G. (1952). *Fundamentals of concept formation in empirical science*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
29. Jeong, H., Songer, N. B., & Lee, S.-Y. (2007). Evidentiary competence: Sixth graders' understanding for gathering and interpreting evidence in scientific investigations. *Research in Science Education*, 37, 75-97. doi:10.1007/s11165-006-9014-9
30. Jong, J.-P., Chiu, M.-H., & Chung, S.-L. (2015). The use of modeling-based text to improve students' modeling competencies. *Science Education*, 99(5), 986-1018. doi:10.1002/sce.21164
31. Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and

- implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24, 369-387. doi:10.1080/09500690110110142
32. King, G. P., Bergan-Roller, H., Galt, N., Helikar, T., & Dauer, J. T. (2019). Modelling activities integrating construction and simulation supported explanatory and evaluative reasoning. *International Journal of Science Education*, 41(13), 1764-1786. doi:10.1080/09500693.2019.1640914
 33. Klieme, E., Hartig, J., & Rauch, D. (2008). The concept of competence in educational contexts. In J. Hartig, E. Klieme, & D. Leutner (Eds.), *Assessment of competencies in educational contexts* (pp. 3-22). Cambridge, UK: Hogrefe & Huber.
 34. Krajcik, J., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., Fredricks, J., & Soloway, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3-4), 313-350. doi:10.1080/10508406.1998.9672057
 35. Krell, M., Reinisch, B., & Krüger, D. (2015). Analyzing students' understanding of models and modeling referring to the disciplines biology, chemistry, and physics. *Research in Science Education*, 45, 367-393. doi:10.1007/s11165-014-9427-9
 36. Loh, A. S. L., & Subramaniam, R. (2018). Mapping the knowledge structure exhibited by a cohort of students based on their understanding of how a galvanic cell produces energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 55, 777-809. doi:10.1002/tea.21439
 37. Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2014). Examining learning through modeling in K-6 science education. *Journal of Science Education and Technology*, 24, 192-215. doi:10.1007/s10956-014-9533-5
 38. Mayer, K., & Krajcik, J. (2015). Designing and assessing scientific modeling tasks. In R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of science education* (pp. 291-297). Dordrecht, The Netherlands: Springer. doi:10.1007/978-94-007-2150-0_5
 39. Mierdel, J., & Bogner, F. X. (2019). Comparing the use of two different model approaches on students' understanding of DNA models. *Education Sciences*, 9(2). Retrieved February 1, 2021, from <https://www.mdpi.com/2227-7102/9/2/115>
 40. Namdar, B., & Shen, J. (2015). Modeling-oriented assessment in K-12 science education: A synthesis of research from 1980 to 2013 and new directions. *International Journal of Science Education*, 37, 993-1023. doi:10.1080/09500693.2015.1012185
 41. National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/4962
 42. National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/9596
 43. National Research Council. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*.

Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/18290

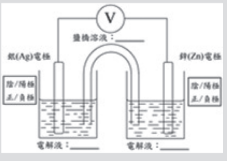
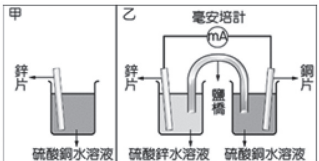
44. Nguyen, H., & Santagata, R. (2020). Impact of computer modeling on learning and teaching systems thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 58(5), 661-688. doi:10.1002/tea.21674
45. Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52-73. doi:10.1016/j.edurev.2014.10.001
46. Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196. doi:10.1007/s10972-014-9384-1
47. Osman, K., & Lee, T. T. (2014). Impact of interactive multimedia module with pedagogical agents on students' understanding and motivation in the learning of electrochemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12, 395-421. doi:10.1007/s10763-013-9407-y
48. Prins, G. T., Bulte, A. M. W., Van Driel, J. H., & Pilot, A. (2009). Students' involvement in authentic modelling practices as contexts in chemistry education. *Research in Science Education*, 39, 681-700. doi:10.1007/s11165-008-9099-4
49. Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (1997). Common student misconceptions in electrochemistry: Galvanic, electrolytic, and concentration cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(4), 377-398. doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199704)34:4<377::AID-TEA7>3.0.CO;2-O
50. Schwarz, C. V., & Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Science Education*, 91, 158-186. doi:10.1002/sce.20177
51. Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., et al. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 632-654. doi:10.1002/tea.20311
52. Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23, 165-205. doi:10.1207/s1532690xc2302_1
53. Sessen, B., & Tarhan, L. (2013). Inquiry-based laboratory activities in electrochemistry: High school students' achievements and attitudes. *Research in Science Education*, 43, 413-435. doi:10.1007/s11165-011-9275-9
54. Tarhan, L., & Acar, B. (2007). Problem-based learning in an eleventh grade chemistry class: "Factors affecting cell potential." *Research in Science & Technological Education*, 25(3), 351-369. doi:10.1080/02635140701535299
55. Tsaparlis, G. (2019). Teaching and learning electrochemistry. *Israel Journal of Chemistry*, 59,

478-492. doi:10.1002/ijch.201800071

56. Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im biologieunterricht [Model competence in biology teaching]. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41-57.
57. Upmeier zu Belzen, A., van Driel, J., & Krüger, D. (2019). Introducing a framework for modeling competence. In A. Upmeier zu Belzen, D. Krüger, & J. van Driel (Eds.), *Towards a competence-based view on models and modeling in science education* (pp. 3-19). New York, NY: Springer. doi:10.1007/978-3-030-30255-9_1
58. Yang, E.-m., Andre, T., Greenbowe, T. J., & Tibell, L. (2003). Spatial ability and the impact of visualization/animation on learning electrochemistry. *International Journal of Science Education*, 25(3), 329-349. doi:10.1080/09500690210126784
59. Yürük, N. (2007). The Effect of supplementing instruction with conceptual change texts on students' conceptions of electrochemical cells. *Journal of Science Education and Technology*, 16(6), 515-523. doi:10.1007/s10956-007-9076-0
60. Zangori, L., Vo, T., Forbes, C. T., & Schwarz, C. V. (2017). Supporting 3rd-grade students model-based explanations about groundwater: A quasi-experimental study of a curricular intervention. *International Journal of Science Education*, 39(11), 1421-1442. doi:10.1080/09500693.2017.1336683

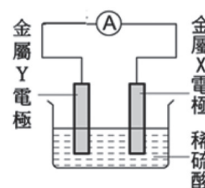
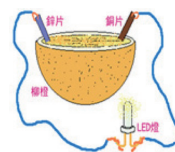
附錄

附錄一：建模文本改寫範例

外加內容	建模文本
外顯化 建模歷程	【模型精緻化階段：模型效化】 透過不同素材(如：實驗數據、資料閱讀)的證實，更可以確認模型的正確性。 在小實驗中，未放入U型管之前，檢流計的讀數為零。當U型管跨接兩燒杯後，檢流計指針發生偏轉，可知有電流產生(圖四)。由檢流計指針的偏轉方向顯示，電流由銅棒經檢流計流向鋅棒，可知銅棒為正極，鋅棒為負極。U型管中的硝酸鉀水溶液，可連接兩杯分開的溶液，以離子導電的方式形成通路，稱為鹽橋。除了硝酸鉀，其他易解離的鹽類，如硫酸鈉等，也可以作為鹽橋內水溶液的電解質。 
想想看	電池原理： 物質得失氧的過程，稱為氧化還原反應。事實上，涉及電子得失的化學反應也是一種廣義的氧化還原反應，科學家稱物質失去電子的反應為氧化反應，物質獲得電子的反應為還原反應。鋅銅電池即是藉由得失電子的氧化還原反應，將化學能轉換為電能的裝置。化學反應式如下： $\begin{array}{c} \xrightarrow{\text{氧化}} \\ \text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu} \quad (\text{式三}) \\ \xleftarrow{\text{還原}} \end{array}$ 想想看： 一、根據化學電池的原理，請將下圖中「鋅銀電池」的空格補齊 1. 在選擇元件上，有什麼需要特別注意的條件？ 2. 此伏特計中所測得的電壓相較「鋅銅電池」的電壓大或是小？請說明。 
課堂任務	另取一個燒杯，加入0.1 M的硫酸銅水溶液約200毫升。放入銅棒，將導線連接至檢流計正極端，觀察並記錄檢流計的偏轉情形。 成分： 關係： 限制： 
換你試試看	例題一： 小梅在實驗室看到如鋅銅電池裝置，X電極、Y電極，依據此裝置，回答下列問題： Q1. X電極與Y電極分別為何種金屬？為什麼做此選擇？ Q2. 對於兩電極分別的質量變化與產生的反應為何？並分別解釋造成此現象的原因。 Q3. 請敘述兩杯電解液所產生離子的濃度變化情況。 例題二： 甲、乙兩實驗裝置如圖，在實驗中發現甲實驗的鋅片上有銅析出且溶液的溫度升高，而乙實驗的毫安培計顯示有電流產生。 Q1. 若將乙實驗中的鋅片換成鉑片，此化學電池會不會作用？ 

附錄二：科學概念試題

項目	試題敘述
成分	題組一 下列有關此電池中鋅電極的敘述，何者正確？ (A)鋅電極是負極，失去電子。 (B)鋅電極是負極，得到電子。 (C)鋅電極是正極，失去電子。 (D)鋅電極是正極，得到電子。
關係	題組四 根據鋅銅電池寫出兩電極與整體的化學反應式 1. 銅極半反應：_____ 2. 鋅極半反應：_____ 3. 全反應：_____
系統	題組三 利用金屬Y與金屬X組成的伏打電池，裝置圖如下，請依照此裝置圖完成以下問題(已知X為鋅金屬；Y為銅金屬；且活性大小：$\text{Cu} < \text{H}_2 < \text{Zn}$)。 1. 此電池中正確的電子流動路徑為何？ (A)電子從Y電極經導線流向X電極。 (B)電子從X電極經導線流向Y電極。 (C)電子從Y電極經水溶液流向X電極。 (D)電子從X電極經水溶液流向Y電極。 2. 造成此電子流動路徑的原因是什麼呢？ (A)兩電極金屬之間的活性差，使電子由陽極流向陰極。 (B)兩電極金屬之間的活性差，使電子由陰極流向陽極。 (C)維持此杯溶液的電中性，使電子由正極流向負極。 (D)維持此杯溶液的電中性，使電子由負極流向正極。



Eliciting Students' Understanding of Chemical Battery and Modeling Competence via Modeling-Based Instruction

Mao-Ren Zeng^{1,2} and Mei-Hung Chiu^{1,*}

¹Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

²Taipei Municipal Dazhi High School

Abstract

Modeling is a process by which scientists develop theories to explain scientific phenomena based on the observations of natural and experimental evidence. Therefore, an important and essential goal in science education is to cultivate students' modeling competences. The purpose of this study is to use modeling-based instruction (MBI) to investigate the effectiveness of development of students' electrochemical cell concepts and modeling competences in learning electrochemistry. Participants were divided into two groups: (1) a MBI group ($n = 24$) and (2) a command instruction (CI) group ($n = 27$). The difference between these groups was that MBI was presented with explicit descriptions and representations of modeling processes during instruction. Both groups were asked to answer questions on an electrochemical cell assessment questionnaire. The items in the modified questionnaire were validated by three chemistry teachers and one science education professor. The internal consistency Cronbach's α result for the questionnaire items was .76. The findings revealed that: (1) the students in the MBI group significantly outperformed the CI group on the overall content knowledge about electrochemical cell ($p < .001$), and (2) the students in the MBI group outperformed the CI group on overall modeling competence ($p < .001$). These findings suggest that the MBI facilitated students learning of the electrochemical cell concepts and better enhanced their modeling competences.

Key words: Electrochemical Cell, Modeling Competence, Modeling-Based Instruction, Science Learning

* Corresponding author: Mei-Hung Chiu, mhchiu@gapps.ntnu.edu.tw