科學教育學刊
2009, 第十七卷第四期, 319-342

Chinese Journal of Science Education
2009, 17(4), 319-342

建模能力分析指標的發展與應用－以電化學為例

張志康　邱美虹*
國立台灣師範大學　科學教育研究所

（投稿日期：民國 97 年 11 月 3 日，修訂日期：98 年 7 月 14 日，接受日期：98 年 8 月 20 日）

摘要：本研究旨在發展「建模能力分析指標（Modeling Ability Analytic Index，簡稱 MAAI）」，藉以檢核學生在建模時各階段的能力層次，並使教師更了解建模的內涵。在指標應用方面，MAAI 不僅可用來設計建模試題，亦可建立能力分析編碼表，以分析學生的建模能力。在實徵研究方面，研究者選擇「電化學」為主題，探討 79 位高一學生在建模試題上的整體表現。研究結果顯示：(1)學生的建模能力偏低，此結果與 Hestenes（1992）的觀點相呼應；(2)學生的建模能力與在校理科分數、建模能力與在校學業成績，兩兩間的相關均達顯著（$p < .05$）；(3)低分群學生其建模能力與在校學業分數無顯著相關，但卻與在校理科分數有顯著相關。因此，學生的建模能力與科學學習有關，教師若能善加運用 MAAI，了解學生的建模能力，將可設計有效的教學活動以促進學生的科學學習。

關鍵詞：建模、建模能力分析指標、模型

壹、研究背景與目的

對科學教育而言，模型（Model）與建模（Modeling）是科學發展的重要元素，也是科學學習中不可或缺的認知與能力（邱美虹，2008）；在近十多年來科教改革聲浪中，亦逐漸確認了模型與建模的價值（AAAS, 1993; National Research Council, 1996）。Gilbert（1993）認為模型是整合學習經驗與科學思考的中介產物，與科學解釋是難以分割的一種複合體。因此，透過模型與建模的教學歷程，方能促進學生探索、瞭解和傳達等科學思考的能力。Franco 等（1999）在分析文獻後指出，模型在科學教育中扮演著重要的角色，其主要價值在於提供我們認識世界的方式，所以應加強科學教師對模型與建模的瞭解。

有鑑於此，既然模型在科學教育上如此的重要，那麼建模能力的高低勢必成為學習科學的關鍵因素。為了更清楚定義建模能力，本研究旨在發展「建模能力分析指標（Mo-

*通訊作者：邱美虹，e-mail: mhchiu@ntnu.edu.tw

deling Ability Analytic Index，簡稱 MAAI）」，據此檢核學生在建模時不同階段的能力層次，並使教師更了解建模的內涵，藉以促進學生的科學學習。基此目的，本研究之研究問題如下：(一)如何應用 MAAI 設計建模試題並檢視高中生電化學概念的建模能力？(二)初探高中生建模能力的表現並分析建模能力與在校學業分數間的關係為何？

貳、文獻探討

關於「模型與建模」的研究，大多著重於前者模型內容的探討，甚少針對後者建模歷程進行探究（van Driel & Verloop, 1999），這樣的結果，正突顯了學生建模能力研究的迫切性。是故，本研究將回顧建模與模型的文獻，以做為設計建模能力指標之理論基礎。

一、何謂建模

所謂建模，在英文的詞彙上就是「把 Model 加上 ing」，而在中文的詞彙上就是「把模型加以建構（construction）」；因此，建模一詞不免與建構的觀點有部分相關之處。研究建構主義的學者認為知識是由學習者主動建構的，無法直接由教學者的腦中轉移到學習者的腦中（Driver & Bell, 1986）。由此可知，建模一詞應具備學習者的主動性在裡面，但這樣的說法似乎仍未交代「建模運作的具體因子」為何？對此，Buckley 與 Boulter（2000）認為建模是以「模型」為基礎的學習，是模型的建構，是透過形成、使用、修正與詳細闡述的反覆過程。此外，Justi 與 Gilbert（2002）則認為建模就是產生適當「表徵（representation）」的過程，此觀點與心智模式（Mental model）的作用和形成有關（Johnson-Laird, 1983），亦即個體在科學學習的過程中，會修正舊模型去順應新的學習（模型作用）和建造新模型（模型形成），藉以學習正確的科學模型（Greca & Moreira, 2000）。總而言之，當學習者使用舊知識去整合新的訊息，並且延伸其知識變成新的模型，這樣的歷程便稱為「建模」。

二、模型要如何建構

既然建模與「模型作用」和「模型形成」有關，那麼就要對「模型的本質」有所瞭解。Buckley 與 Boulter（2000）認為，「模型」是一種觀念的、物件的、過程的、或系統的表徵，它與現象之間的交互關係如圖1所示。其中，「心智模式」是偏向觀念的、過程的表徵，「呈現模型」是偏向物件的、系統的表徵；而兩種模型均可藉由現象感知的方式來形塑。因此，不同種類的模型，其建構的過程與結果將有所出入。邱美虹與劉俊庚（2008）亦指出，模型藉由其本質、功能、和表徵來呈現實體與現象，以利個體心智模式之形成。

在「心智模式」方面，邱美虹（2008）認為：心智模式可從不同的來源整合不同的知識，它與現象的直接經驗，或是與許多表徵的交互作用，均可促成心智模式的建立。因此，學習者可藉由互相觀摩、討論等方式檢驗自己的心智模式，使新模型更有利於理

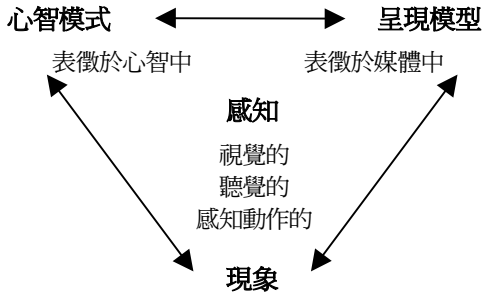


圖 1：模型與現象間的交互關係（Buckley & Boulter, 2000）

解、描述、解釋和預測。在「呈現模型」方面，Treagust, Chittleborough 與 Mamiala（2002）認為：科學的教學應提供許多與現象對照的呈現模型（或科學模型），讓學習者建立以模型為基礎的學習經驗。因此，學習者亦可從科學模型建立的過程檢視自己的心智模式，使建模的思考變成更具體的外顯結果。

三、建模的重要性與建模教學的困境

Justi 與 van Driel（2005）指出，模型與建模在科學教育的重要性有三個部份：(一)學習科學：學生應該了解主要的科學模型，以及該模型的範圍和限制（Gilbert & Boulter, 1998; Justi & Gilbert, 2003）。(二)學習動手做科學：學生應該要有創造、表達和測試自己模型的機會（Greca & Moreira, 2000; Harrison & Treagust, 2000; Justi & Gilbert, 2003）。(三)學習科學本質：學生應該學習模型的本質並認識模型的角色（Justi & Gilbert, 2002）。其中，若欲達成這些目標，最關鍵的歷程就是「科學建模（science modeling）」。

Greca 與 Moreira（2000）認為：當學生們接受科學訊息後，他們可能會(1)產生混合模型；(2)死背答案應付考試。因此，在科學建模的過程中，必須要讓學生們覺得科學模型有用（而且能用），並能處理他們每天經歷的生活問題。然而，傳統的課程、評量，或教科書的內容，卻只重視科學公式或對科學概念下操作型定義，如此一來，並無法幫助學生們產生有意義的學習。畢竟，在他們的學習過程中，往往無法像科學家們一樣，藉由科學社群溝通的階段，修正並重建他們的想法，進而產生有意義的科學模型（Nersessian, 1995）。

Grosslight, Unger, Jay 與 Smith（1991）的研究發現：除非教師在教學活動中特別強調建模的觀念，否則學生在一般的教學進行之後仍無法發展建模的概念。為了使建模的教學更有成效，教師不僅應瞭解學生個人的建模知識，更需協助他們修正已存在的舊有知識，建立科學模型；而學生也必須知道科學模型是如何建構的。然而，van Driel 與 Verloop（1999）卻在研究中指出，教師對於瞭解學生個人的模型與建模的知識非常有限，亦無法妥善地整合在其個人的教學活動中。有鑑於此，教學應大力推廣模型和建模的認知，使師生都能清楚地建構、操作和解釋科學模型，才能有效促進科學學習的成效（Harrison & Treagust, 2000）。

參、建模能力指標的發展

Greca 與 Moreira（2000）認為建模的歷程有三種方式已被大多數的人們所理解：(一)將建模視為「序列式的學習步驟」，根據明顯的規則選擇或使用模型（Halloun, 1996）；(二)將建模視為「學習一種新的語言」，對現象的描述提供另一種想法（Sutton, 1996）；(三)將建模視為「整合性的推理過程」，配合類比、視覺化、思考實驗等方法將日常問題的表徵做進一步的創造與轉換（Nersessian, 1995）。因此，「建模的歷程」具有*序列性*，屬於一種特殊的平台，配合整合性的推理過程，將學生***日常的心智模式***轉換成***科學模型***（Duit & Glynn, 1996; Justi & Gilbert, 2002），進而產生有意義的學習（Greca & Moreira, 2000）。

一、建模的歷程

許多研究均以「生手」進行「電腦模擬建模」的歷程為主題，並依據個案研究的歸納（Hogan & Thomas, 2001; Sins, Savelsbergh, & van Joolingen, 2005; Stratford & Soloay,

1998），或量化分析的結果（Lohner, van Joolingen, Savelsbergh, & van Hout-Wolters, 2005），對建模歷程作序列分類的整理（Sins et al., 2005）。有些研究則以「專家」的觀點作基準，對「科學模型建模（Halloun, 1996）」與「心智模式建模（Justi & Gilbert, 2002）」的歷程，分別提出理想序列與循環序列的架構。因此，若欲從前述研究中定義「建模的歷程」，勢必將面臨三個問題：(1)要訂定「生手」還是「專家」的歷程？(2)要建立「科學模型」、「心智模式」還是「電腦模擬模型」？(3)要建立「理想序列」還是「循環序列」？對此，研究者根據不同的考量點，整理出各家學者對建模歷程的分類方式（如圖2所示），藉以訂定適合「MAAI」的各個建模階段（Stage）。基於「科學與建模實務」的考量，本研究以 Halloun（1996）的建模歷程為基礎，輔以「循環作用」的觀點（邱美虹，2007），將建模的歷程歸納整理出六種序列向度：(一)模型選擇，(二)模型建立，(三)模型效化，(四)模型應用，(五)模型調度，(六)模型重建。前五項是以 Halloun 之架構為主，第六項是來自邱美虹（2007）。詳細說明如下：

(一)模型選擇

當學生面對某一特定的問題時，他/她會自動從腦袋中選出能解決該問題的模型；意即學生從自己熟悉的模型中，*選擇*一個合適的模型來解決問題（Halloun, 1996）。在這個向度中，無論是以「導向分類（Orientation）」（Lohner et al., 2005）或是「分析分類（Analysis）」（Stratford & Soloway, 1998）；都必須透過選擇的方式澄清問題的導向或是分析問題的源頭。根據 Justi 與 Gilbert（2002）的觀點來看，此向度必須先決定目標，配合個人經驗與所選模型來解決問題，屬於建模歷程中的第一步。

(二)模型建立

在覺知問題後，接下來就要面臨「歸納推理（Inductive Reasoning）」的階段（Sins et al., 2005），意即學生們將開始「建模型圖（Construct model diagram）」（Hogan & Thomas, 2001）；*確認*或重製第一步所選模型的相關成份與結構（Halloun, 1996），產生科學的「假設（Hypothesis）」（Lohner et al., 2005），表徵具體的模型。簡言之，此向度必須建立個人解題的初步模型，藉以解決眼前的問題。

(三)模型效化

在建立解題的初步模型後，就要開始進行「實驗（Experimenting）」階段（Lohner et al., 2005）或「測驗（Testing）」階段（Stratford & Soloway, 1998）；利用各種不同的方式*檢驗*初步模型的內部一致性，藉以判斷是否須要*修正*模型（Halloun, 1996）。簡言之，此向度必須考量初步模型中各「量化元素（Quantification）」的適用性（Sins et al., 2005），將個人的模型做部分的修正（Justi & Gilbert, 2002）。

(四)模型應用

對心智模式做完修正後，便可利用已效化的模型求得問題的解答，並對*相似情境*的問題加以詮釋，或用來判斷解答的適切性（Halloun, 1996）。因此，該向度並非著重於分析，而是要用來「詮釋（Interpreting）」（Hogan & Thomas, 2001）或是「解釋（Explaining）」（Sins et al., 2005）問題。簡言之，此向度就是在建立「憑證（Documentation）」（Lohner et al., 2005），證實模型的適切性。

(五)模型調度

當個人應用的模型具有適切性時，就會試圖使用此模型解決各種*新情境*的問題（Halloun, 1996）。在此階段，學生將會自動「設計並進行實徵檢驗（Design and perform empirical test）」（Justi & Gilbert, 2002），藉以

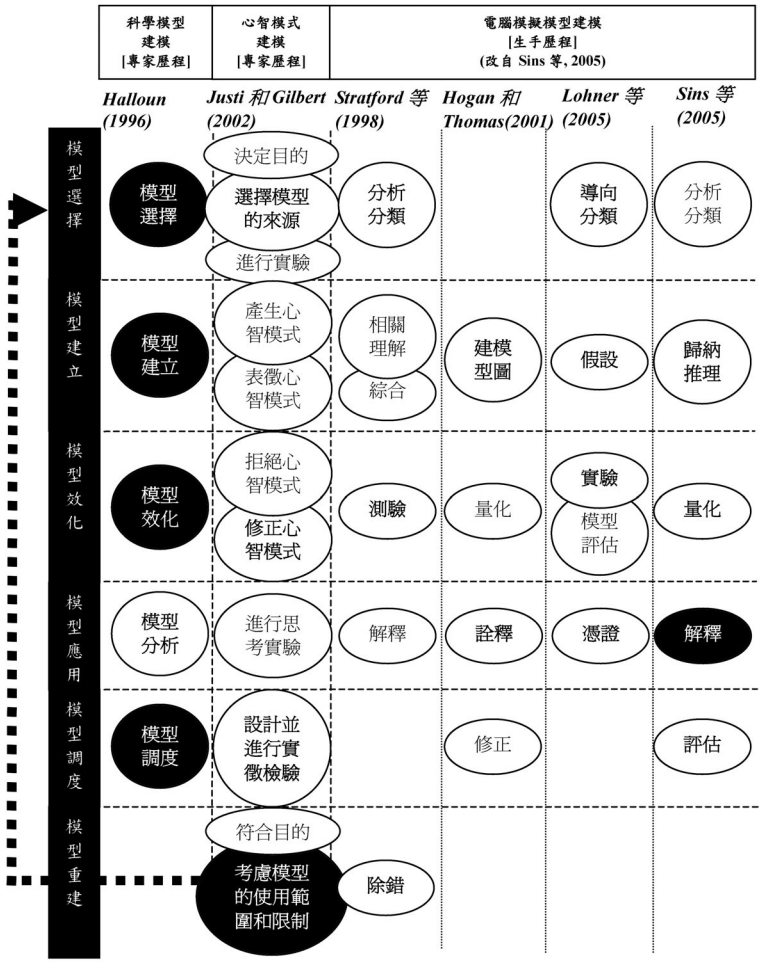


圖 2：綜觀各家學者對建模歷程的分類方式（由上而下依序進行）（改自 Halloun, 1996）

「評估（Evaluate）」（Sins et al., 2005）此模型的適用廣度，對新問題情境作推論的測試。

(六)模型重建

邱美虹（2007）認為：模型重建是個體擴大或精緻其模型解釋力時，相當重要的一個元素，唯有模型重建，透過修正、強化、或延伸其結構或功能，才能使建模變成持續循環作用的一套思考歷程及漸趨科學化。畢竟，當個人所應用的模型無法對相似問題情境做推論時，就會自我察覺模型的限制（Justi & Gilbert, 2002），如「除錯（Debugging）」（Stratford & Soloway, 1998），然後*再重新發展*解釋力更佳的模型，逐一檢核前述的五個向度是否需要重新修正。

二、能力的層次

科學哲學大師 Hempel（1958）認為：人們必須依靠「科學理論」才能有系統地、精確地、深入地理解自然界的現象和過程。何謂科學理論？Hempel 提出了一個理論結構的模型，詳細地表述了「理論」和「觀察」之間的關係（舒煒光、邱仁宗，1991）。Hempel 說：「科學理論可以比作一張錯綜複雜的空中之網，『網結（F_n、C_{nm}）』代表了理論術

語，而連接網結的『網繩』相當於在理論中的基本定義或派生假說。整個系統好像是飄浮在觀察平面上，並且由『解釋規則（α、β、γ）』固定在觀察平面上。這些解釋規則可看成一些細線，它們不是網的一部分，但可把網上的某些點和觀察平面的特定位置（O_n）連接起來。」如圖3所示。

科學理論之所以難以理解，其主因在於「理論系統的網結（F_n）」無法正確地與「觀察平面的特定位置（O_n）」連接起來；換句話說，科學學習之所以困難，源自學習者對於概念認知能力的不足。事實上，有關「概念認知能力」的分類法（taxonomy）甚多，在教育領域相關的文獻中，常見的分類層次主要有四：(1)認知領域的金字塔分類層次（Bloom, Engelhart, Furst, Hill, & Krathwohl, 1956）；(2)學習方面的分類層次（Bateson, 1973）;(3)寫作反思的分類層次（Kember et al., 1999）;(4)觀察學習結果的分類層次（Biggs & Collis, 1982）。雖然它們在認知、學習、寫作反思等領域上已各自形成相當完備的分層方式，但若欲將上述四種分類層次用在「科學概念認知能力」或「建模能力」的分析時，則必須基於「科學理論結構」的特性，重新進行檢視的工作。

截至目前為止，與建模能力分類層次有關的文獻，唯有 Grosslight 等（1991）將學生的建模能力分成了 Level 1～3的層次。若將 Grosslight 等的研究與「科學理論結構的模型（Hempel, 1958）」相比照，恰可對應到

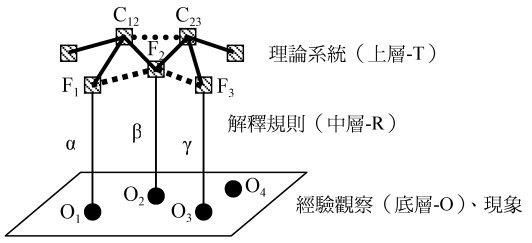


圖 3：科學理論結構的模型（Hempel, 1958）

「經驗觀察（下層）」、「解釋規則（中層）」、「理論系統（上層）」三種層次。亦即 Level 1的學生僅止於經驗觀察的層次，將模型侷限於經驗的實體；Level 2的學生雖達到解釋規則的層次，但仍將模型視為經驗實體的溝通工具而非抽象表徵的思考方法；而 Level 3的學生已達理論系統的層次，能將模型視為抽象表徵的思考方法，並專注於模型的解釋與預測能力（Grosslight et al., 1991）。

整併前述「四種分類層次（Bateson, 1973; Biggs & Collis, 1982; Bloom et al., 1956; Kember et al., 1999）」與「Grosslight 等（1991）」共計五種分類層次的觀點，研究者將它們納入「科學理論結構的模型（Hempel, 1958）」中重新做分類上的詮釋，並對「科學概念認知能力」細分六種新的層次（New Level 0～5）；即「經驗反應（O_n）、單一因素（F_n）、多重因素（ΣF_n）、關係層次（C_{nm}）、延伸關係（ΣC_{nm}）、科學理論（T）」，如圖4所示。首先，在經驗反應（New Level 0）這一欄中，學生僅能說出與科學理論無關的經驗，而其「直接經驗、習慣動作或是前結構概念」均與正確的科學概念無關，屬於 Grosslight 等所謂 Level 1的認知能力。此外，在單一與多重因素（New Level 1-2）這兩欄中，學生已能確認並說出一種以上與科學理論相關的因素（F_n、ΣF_n），在科學理論結構中已達到「解釋規則（α、β、γ）」的層級，藉由「經驗學習、內省、思考動作、知識理解」等能力，將科學理論中的「單一或多重結構」，即科學的解釋規則正確地反應出來，屬於 Grosslight 等所謂 Level 2的認知能力。再者，在關係與延伸關係（New Level 3-4）這兩欄中，學生已能將科學理論中因素間的關係（$C_{nm;\ n\neq m}$）或關係間的延伸關係（ΣC_{nm}）進行因果的解釋，在科學理論結構中已達到「理論系統」的層級，藉由「再次學習、反思、

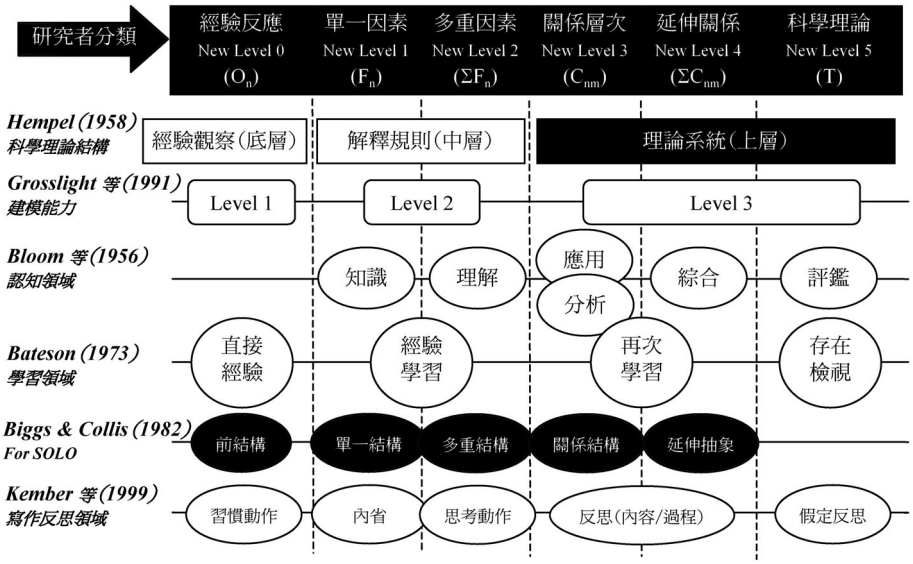


圖 4：綜觀各家學者對建模歷程的分類方式（由上而下依序進行）（改自 Halloun, 1996）

應用分析、綜合」等能力，將科學理論中的「關係結構或延伸抽象」，即科學的因果邏輯正確地反應出來，屬於 Grosslight 等所謂 Level 3的認知能力。最後，在科學理論（New Level 5）這一欄中，學生已具備最上乘的能力，並能依據某項科學理論標準進行推理判斷，在科學理論結構中亦屬「理論系統」的層級，藉由「假定反思、存在檢視、評鑑」等能力，將複雜的科學理論（Hempel 的空中之網）完完整整地陳述出來，在 Grosslight 等的分類中仍屬 Level 3的認知能力。

由於建模是一個複雜的歷程，包括許多的組織與連結，欲從「無結構」到「有結構」的過程建造出科學模型，進而獲得豐富的建模能力是相當緩慢的(Justi & Gilbert, 2003)。Chan, Tsui 與 Chan（2002）認為：若欲使用評量（Assessment）的方式對學生的反應能力做分類，使用「觀察學習結果架構（Structure of the Observed Learning Outcome，簡稱 SOLO）」分類法的觀點（Biggs & Collis, 1982），最能區分複雜的認知能力或學習結果。對此，研究者參考 SOLO 分類法的觀點，將學生初階的建模能力分成 Level 0～2三個階段，藉以分析理論因素使用的正確性。再者，對中階層次的學生，細分 Level 3～4兩個階段，藉以分析其素樸模型連結的關係與組織的情形。最後，為了界定具有專家水準的科學模型，研究者再增加 Level 5這個高階層次，並以 Level 0～5六種分類的層次，作為 MAAI 的發展基礎。因此，在建模能力層次方面，本研究主要參考「Biggs 與 Collis（1982）的 SOLO 分類法」，配合「Hempel（1958）的科學理論結構」與六種分類層次的想法，將學生的建模能力分成了 Level 0～5（如圖5所示），詳細的說明如下：

(一)經驗反應-Level 0

當學生對於某一特定問題無法體會時，他/她會開始語無倫次，答出與問題情境無關的想法，執著於非理論相關的經驗觀察。這種層次的答案，不是個人的「習慣動作」（Kember et al., 1999），如：老師沒教，就是「直覺經驗」(Bateson, 1973）的反射，如：我沒做過。在分析時，這類學生的能力，只稱得上是「前結構」(Biggs & Collis, 1982)

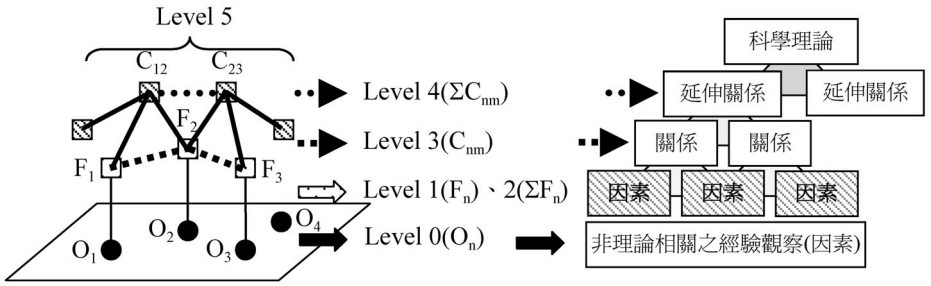


圖 5：建模能力六種層次的示意圖

的層次，無法答出與理論結構相關的*因素（Factor）*，屬於最低層次的能力。

(二)單一因素-Level 1

當學生對於某一特定問題運用到科學理論相關的「知識」（Bloom et al., 1956）時，他/她會「內省」（Kember et al., 1999）自身的經驗觀察，藉由過去的「經驗學習」（Bateson, 1973）去回答問題。因此，若學生能對某一特定問題反應出*一種*與理論相關的*因素（Factor）*，便可將其能力定義成 Level 1（Biggs & Collis, 1982）。

(三)多重因素-Level 2

當學生對於某一特定問題開始「理解」（Bloom et al., 1956）已知理論相關的構成元素時，他/她會藉由自身的「思考動作」（Kember et al., 1999）或「經驗學習」（Bateson, 1973），將多個與問題相關的知識提取後，再去回答問題。因此，若學生能對某一特定問題反應出*兩種以上*與理論相關的*因素*，但無論及因素間的關係時，便可將其能力定義成 Level 2（Biggs & Collis, 1982）。

(四)關係層次-Level 3

當學生對於某一特定問題開始「應用和分析」（Bloom et al., 1956）已知理論相關的多個知識時，他/她會透過「反思」（Kember et al., 1999）或「再次學習」（Bateson, 1973）的過程，將多個與問題相關的知識連結後，建構出關係層次的概念去回答問題。因此，若學生能對某一特定問題反應出因素間的*關係、交互作用或影響*時，便可將其能力定義成 Level 3（Biggs & Collis, 1982）。

(五)延伸關係-Level 4

Grosslight 等（1991）認為，學生在學習科學概念時大多沒有延伸抽象的想法，具有 Level 3以上能力的學生更是乏善可陳。在台灣，程度好的學生仍可能以「綜合」（Bloom et al., 1956）的觀點，重複「反思」（Kember et al., 1999）多個知識關係間延伸抽象的概念，建構出延伸關係的概念去回答問題。因此，若學生面對某一特定問題，能將多個因素關係間的概念作*近一步延伸抽象*的反應時，便可將其能力定義成 Level 4（Biggs & Collis, 1982）。

(六)科學理論-Level 5

無論是「存在檢視」（Bateson, 1973）、「評鑑層次」（Bloom et al., 1956）、或是「假定反思」（Kember et al., 1999）；三種觀點都是基於某種至高的標準，對自我建構的理論作價值判斷。此等最高層次的學生，已能形塑出幾近完整的科學理論；對於自我建構的理論，會審慎地思考其存在的價值並反覆地進行假設驗證。因此，若學生面對某一特定問題，能以幾近完整的科學理論作答，或用*更多高階、複雜的延伸抽象概念（即延伸關係與延伸關係的延伸）*作探討時，便可將其能力定義成 Level 5。

三、建模能力分析指標（MAAI）

基於「建模的歷程（如圖2所示）」與「能

力的層次（如圖4所示）」兩種分析面向，我們便可從前述的文獻發展出「MAAI」，如表1所示。該指標由「六種建模歷程」與「六種能力層次」形成6 × 6的矩陣表格，表格內容的敘述由第二作者研究團隊歷經將近一年多的時間修訂研發（邱美虹，2007），並請

表 1：建模能力分析指標-MAAI（6 × 6 矩陣）

		答題反應層次					
		Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
		經驗	單一因素	多重因素	關係層次	延伸關係	科學理論
建模歷程	定義	無法反應相關且正確的因素	反應出一種與理論相關的因素（Factor）。	反應出兩種以上與理論相關的因素，但無論及因素間的關係。	反應出因素間的關係、交互作用、或影響。	將多個因素關係間的概念作近一步延伸抽象的反應。	更多高階、複雜延伸抽象的反應層次。
模型選擇（Model Selection)	從熟悉模型中，選擇出一個合適的模型以解決問題。	無指出	指出單一特徵，據此選擇模型。	指出兩個以上特徵，據此選擇模型。	指出兩個以上特徵之因果關係，據此選擇模型。	找出數種因果關係,『判斷各因果關係的合適性』，據此選擇模型。	找出多重因果關係的交互關係，據此選擇模型。
模型建立（Model Construction）	確認所選模型的相關成份與結構。	無確認	確認單一特徵的模型。	確認兩個以上特徵的模型。	確認因果解釋的模型。	確認數學(抽象)形式的模型。	確認多重抽象形式的模型
模型效化（Model Validity）	利用模型的相關成分進行不同形式的評估，檢驗或修正模型的內部一致性。	無利用	利用單一變數作評估，進行模型的效化。	利用兩個以上變數作評估，進行模型的效化。	利用各變數間的因果關係作評估，進行模型的效化。	利用各種因果關係的交互作用作評估，進行模型的效化。	利用多重因果關係的交互關係作評估，進行模型的效化。
模型應用（Model Application）	使用已效化的模型解決相似情境的問題。	無使用	使用已效化模型中的單一結構解決相似情境的問題。	使用已效化模型中的多重結構解決相似情境的問題。	使用已效化模型中的關係結構解決相似情境的問題。	使用已效化模型中關係結構的交互作用解決相似情境的問題。	使用已效化模型中多重關係結構的交互關係解決相似情境的問題。
模型調度（Model deployment）	使用已效化的模型解決新情境的問題。	無使用	使用已效化模型中的單一結構解決新情境的問題。	使用已效化模型中的多重結構解決新情境的問題。	使用已效化模型中的關係結構解決新情境的問題。	使用已效化模型中關係結構的交互作用解決新情境的問題。	使用已效化模型中多重關係結構的交互關係解決新情境的問題。
模型重建（Model Re-construction）	察覺模型的限制（如除錯），再發展新模型。	無察覺	察覺模型的限制，藉此修正原模型中的單一物件特徵。	察覺模型的限制，藉此修正原模型中兩個物件以上特徵。	察覺模型的限制，藉此修正原模型中的關係結構。	察覺模型的限制，藉此修正原模型中關係結構的交互作用。	察覺模型的限制，藉此修正原模型中多重關係結構的交互關係。

兩位專家學者審慎評估指標內容的「有效性」與「實用性」。在有效性方面，力求該指標具有一定的專家效度；在實用性方面，力求學生的答題結果能明確定義該生的能力層次。例如：某生在6種建模歷程的各項能力分別為 Level 3、Level 3、Level 2、Level 1、Level 0、Level 0，則其平均建模能力為 Level 1.5，藉以量化分析學生的程度。爾後，有了 MAAI，研究者便能依此設計一系列的建模相關試題、建立相對應的試題分析編碼表來界定學生的建模能力，並對建模教學或相關領域的研究，更有所展獲。

肆、建模能力指標的應用

誠如前節所言，基於 MAAI，教師可確立欲教授「科學模型－如電化學電池」的順序與組織階層；然後，依據單元內容建立「科學理論的結構」，具體訂定結構中的「因素」與「關係」，逐步釐清「科學模型」的概念全貌（如圖5）。對科教實務而言，教師可以利用 MAAI，釐清「科學模型」的組織階層關係；在重要性方面，藉由設計建模試題與編碼表的過程，教師便可診斷學生可能存在的素樸模型，這對幫助教師加強模型與建模的認識（Franco et al., 1999）來說，具有相當大的實用價值。因此，本節將針對 MAAI 的應用層面，分述兩大功能：(1)設計建模試題；(2)設計編碼表。茲將本研究工具的實際開發過程，分成以下幾部份說明。

一、設計試題－以電化學為例

(一)電化學理論結構的分析

若欲設計「電化學」建模能力的試題，首先應針對「電化學理論結構的因素」進行分析，以避免學生的答題結果因過多的「非電化學因素」而影響其建模能力高低的判准。換句話說，研究者在進行試題設計之前，應對「電化學理論建模的模型」（如圖6所示）加以分析與建構，循此不但能讓「電化學建模試題」的命題更具體明確地呈現，亦有助於研究者分析學生「電化學的建模能力」。從圖6可知，電化學理論應考量的「巨觀因素」有四，即電線、電極、電解質、鹽橋，而每個巨觀因素的上位又有許多抽象的「微觀概念」可供解釋，即 Hempel（1958）所謂的基本定義或派生假說。例如：某生認為電化學電池中選用「電線」的「電阻應越低越好」；則該生所建的理論模型至少已囊括了「一個巨觀因素」和「一個正確的微觀概念」，而該生的說法亦與科學理論部分符合，已具有某種程度上的建模能力。因此，

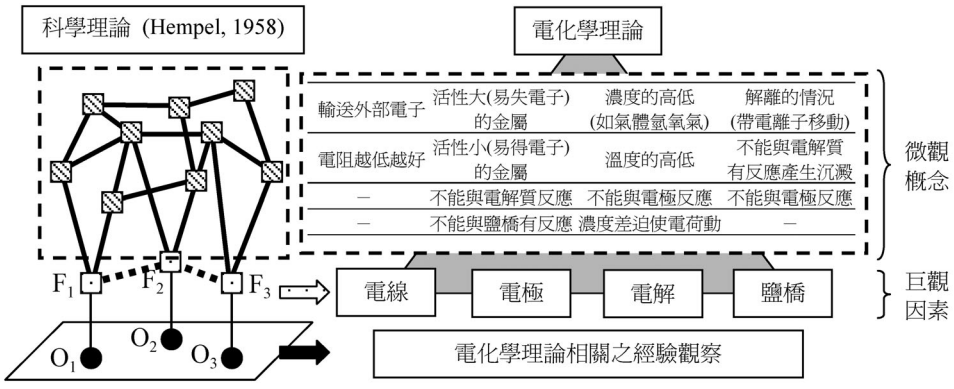


圖 6：電化學理論建模的模型

研究者若能針對學生所建的理論模型進行巨、微觀概念的量化分析，將有助於釐清其概念的正確性與建模能力的高低。

(二)選定試題的類型

以電化學建模試題為例，本試題的類型選定「MAAI 第一欄（建模歷程）」中的「模型選擇」、「模型建立」、「模型效化」、「模型應用」、與「模型調度」等五種，而每一個類型至少出兩題以上的開放式問題（如附錄）。在題數的安排上，由於考量答題數不宜過多、且答題時間以一堂課可完成為原則；因此，試卷中並未設計需要較長時間的「模型重建」試題部份。在試題的編製方面，研究者依據「MAAI 第二欄（建模歷程的定義）」設計每一道開放式的問題。以「模型選擇的題型」為例，既然其定義是讓學生「從熟悉的模型中選擇出一個合適的模型以解決問題」，在命題的時候就必須思考如何讓學生從題幹中自我選擇合適的概念作回答。因此，研究者基於「製作電池（電化學理論的核心）」為命題的開端，問學生「會用到哪些科學知識（或生活知識）、哪些材料去自製一顆電池？」而此問題的設計目的是引發學生運用各種可能的科學知識來答題，這些可能的背景知識也許是與電化學相關，也許是與科學相悖的想法；藉由學生對這些問題的回答，研究者從巨、微觀概念的量化分析中，探討學生在模型選擇階段建模能力的高低。

(三)命題的重要敘述

誠如前段所述，從 MAAI 的第二欄中我們可知各種建模歷程（或試題類型）的定義，依此定義，第二作者研究團隊首先開發了開放式問題的「重要敘述」，各項重要敘述所對應的「電化學例題」均臚列於表2的末欄。以模型建立為例，其定義必須讓學生確認所選模型的相關成份與結構；因此，其重要敘述應內涵「背後蘊含的理論、組裝的結果、運作的連接關係」等語句來命題。例如：「在使用這些材料製作電池時，背後蘊含的理論（或概念）是什麼？請將所選材料正確組裝的結果畫下來。而在整體組裝完成後，材料間之所以能運作的連接關係為何？」再以模型效化為例，其定義必須讓學生利用模型的相關成分進行不同形式的評估；因此，其重要敘述應內涵「其他尚未考量…」來命題。例如：「有任何其他尚未考量的相關因素會影響自製電池的效能嗎？」循此，各個試題類型的重要敘述與命題編制，均可參見表2的說明。

二、設計編碼表－以電化學為例

(一)設計分析編碼表

從 MAAI 的第一列中我們可知各種答題反應層次（即建模能力層次）的定義，依此定義，本研究團隊設計了相對應的分析編碼表，如表3所示。表3的「編碼方式」主要基於「單一/多重因素、關係層次、延伸關係」等定義，以「分類層次、因素量、關係量、延伸關係量」等數值做為編碼呈現的方式，呈現的類型主要有三：(1)Level 0、5的編碼類型：Level 0的答題結果與科學理論無關，直接以0表示；而 Level 5的答題結果完全符合科學理論的模型，直接以5表示。(2)Level 1、2的編碼類型：這兩種層次的學生，其答題結果以因素量的評估為主，編碼呈現的方式包括「1.1.#、2.2.#、2.3.#、2.4.#」；其中，第一碼代表能力層次（Level），第二碼代表答出巨觀因素的數量，第三碼（#）代表答對微觀概念的數量。(3)Level 3、4的編碼類型：這兩種層次的學生，其答題結果以關係量和延伸關係量為主，編碼呈現的方式包括「3.2.#、3.3.#、3.4.#、4.3.#.@、4.4.#.@」；其中，第一碼代表能力層次，第二碼代表答

表 2：設計建模試題的重要敘述與例題

試題類型	類別定義	重要敘述	電化學相關例題
模型選擇	從熟悉模型中，選擇出一個合適的模型以解決問題。	用到什麼…	若要自己製作電池；你會*用到什麼*科學知識（或生活知識）？
		會準備…	在這些知識架構下，你*會準備*哪些材料？
		考慮哪些因素	在使用這些材料時，應*考慮哪些因素*？
模型建立	確認所選模型的相關成份與結構。	背後蘊含的理論…	在使用這些材料製作電池時，*背後蘊含的理論*（或概念）是什麼？
		組裝的結果…	請將所選材料正確*組裝的結果*畫下來
		條件為何？	欲使自製電池能供電的*條件為何*？
		運作的連接關係…	整體組裝完成後，*之*所以能*運作的連接關係*為何？
模型效化	利用模型的相關成分進行不同形式的評估，檢驗或修正模型的內部一致性。	其他尚未考量…	有任何*其他尚未考量*的相關因素會影響自製電池的效能嗎？
		證明（驗證）…	為什麼整體組裝完成後能運作，你怎麼*證明*此法可行？
模型應用	使用已效化的模型解決相似情境的問題。	相似與相異…	你有聽過水果電池嗎?它跟你的電池有何*相似與相異之處*？
		來解釋	若用你所製作電池的蘊涵理念*來解釋*水果電池的運作機制時有何限制？
		重新詮釋…	你將如何*重新詮釋*整個製作電池的理論模型？
模型調度	使用已效化的模型解決新情境的問題。	更…	請畫出一個電壓*更*強的組裝電池
		改成探討……	若*改成探討*長壽電池的設計，它與你自製的電池有何關聯？
模型重建	察覺模型的限制，再發展新模型。	是否…有差異…	整合前述問題，目前電池工廠所製造的電池，是依據什麼科學理論所設計的呢？其理論*是否*與你自製的電池*有差異*？

出巨觀因素的數量，第三碼（#）代表答對因素間之關係的數量，第四碼（@）代表答對關係間之延伸關係的數量。

(二)不適用電化學分析的編碼類型

表3所列各種可能的編碼類型中，有部分編碼類型對於電化學分析是不適用的；如Level 3的「3.4.5與3.4.6」以及 Level 4的「4.4.4.5-6、4.4.5.1-10、4.4.6.1-15」，其原因如下：

1.「3.4.5 與 3.4.6」不適用的原因：

Level 3中第三碼因素間的關係量會有「C_2^4=6種」類型，即電極-電解液、電極-外電路、電極-鹽橋、電解液-鹽橋、電解液-外電路、鹽橋-外電路；其中，「電解液-外電路」、「鹽橋-外電路」的微觀概念分別是在講離子和電子，彼此間「無科學關係」的存在，最多只有4種正確類型。因此，Level 3的編碼類型只要超過3.4.4的都不適用。

2.「4.4.4.5-6、4.4.5.1-10、4.4.6.1-15」不適用的原因：

Level 4的編碼類型只要超過4.4.4.4的都不適用，此考量點主要仍以第三碼中因素的關係有無「交集」或「延伸性」為主。由於第三碼的數值會有「C_2^4=6種」類型，而這些類型中又只能存在「電極-電解液、電極-外電路、電極-鹽橋、電解液-鹽橋」這四種；因此，不可能有4.4.5.1-10和4.4.6.1-15。另外，在4.4.4.@的編碼類型中，應包含有「C_2^4=6

表 3：分析編碼表與編碼類型

層次 問題類型		Level 0 經驗	Level 1 單一因素	Level 2 多重因素	Level 3 關係層次	Level 4 延伸關係	Level 5 科學理論
Q1 到 Q11	選擇建立效化應用調度	【0】 非科學理論	【1.1.#】 表 Level 1、答出 1 個巨觀因素、答對#個微觀概念	【2.2.#】 表 Level 2、答出 2 個巨觀因素、答對#個微觀概念 【2.3.#】 表 Level 2、答出 3 個巨觀因素、答對#個微觀概念 【2.4.#】 表 Level 2、答出 4 個巨觀因素、答對#個微觀概念	【3.2.#】 表 Level 3、答對 2 個巨觀因素與#個因素間之關係 【3.3.#】 表 Level 3、答對 3 個巨觀因素與#個因素間之關係 【3.4.#】 表 Level 3、答對 4 個巨觀因素與#個因素間之關係	【4.3.#.@】 表 Level 4、答對 3 個巨觀因素、#個因素間之關係、@個關係間之延伸關係 【4.4.#.@】 表 Level 4、答對 4 個巨觀因素、#個因素間之關係、@個關係間之延伸關係	【5】 表 Level 5、答出 4 個巨觀因素、4 個因素間之關係、超過 4 個以上關係間之延伸關係，屬於更高階複雜延伸抽象的考量
編碼類型		0	1.1.0-1	2.2.0-2 2.3.0-3 2.4.0-4 註：邏輯上不可能有 2.1.0-1	3.2.1(C_1^2/2) 3.3.1-3(C_2^3) 3.4.1-6(C_2^4) 註：邏輯上不可能有 3.#.0、3.1.#	4.3.2.**1**(C_1^2/2) 4.4.2.**1**(C_1^2/2) 4.4.3.**1-3**(C_2^3) 4.4.4.**1-6**(C_2^4) 4.4.5.**1-10**(C_2^5) 4.4.6.**1-15**(C_2^6) 註：邏輯上不可能有 4.#.0.#、4.1.#.#、4.2.#.#	5

種」延伸關係的類型，但其中只存在4種延伸類型、2種無法延伸，亦即：(1)電極－電解液＋電極－外電路＝可延伸成反應方程式，如 $Zn \rightarrow Zn^{2+}+2e^{-}$，鋅離子和電解液有關、電子和外電路有關。(2)電極－外電路＋電極－鹽橋＝可延伸出帶電體運動方向，如電極產生電子走外電路後，鹽橋必須產生陰離子到產生電子那端的電極。(3)電極－鹽橋＋電解液－鹽橋＝可延伸成鹽橋不能與任一反應，如鹽橋不能與電極反應、也不能與電解液產生沉澱。(4)電極－電解液＋電極－鹽橋＝可延伸出帶電體運動方向，如電極產生離子到電解液後，鹽橋必須產生中和離子到電解液中。(5)電極－外電路＋電解液－鹽橋＝無法延伸，因為「2種關係之間無交集」。(6)電極－電解液＋電解液－鹽橋＝無法延伸，因為延伸的結果會回到「電極－鹽橋（第三碼）」的類型。

(三)編碼記分方式

為了讓學生的答題結果能用分數的高低來表示其建模能力，研究者以「分類層次」、「因素量」、「關係量」、「延伸關係量」等數

值的大小進行評判；其中，「分類層次」的記分將 Level 0視為0分、Level 1為0～1分、Level 2為1～2分，Level 3為2～3分，Level 4為3～4分，只有 Level 5的得分為5。在「因素量、關係量與延伸關係量」的記分方面，則以各種量最大值之總合為分母、實際量之總和為分子，當作小數點的分數，如表4所示。例如：某生的編碼結果為3.4.2，則其能力為 Level 3，所得分數的個位數值為2，小數點分數為(4＋2)/(4＋4)＝0.75，總計分數為2.75分。依此類推，若某生的編碼結果為4.4.2.1，則其能力為 Level 4，所得分數的個位數值為3，小數點分數為(4＋2＋1)/(4＋4＋4)＝0.58，總計分數為3.58分。

(四)編碼範例

以 Level 2的學生為例，他們的答題類型共有「12種（2.2.0-2、2.3.0-3、2.4.0-4）」可能，如表5所示。表中選用10位預試學生對Q2、Q6、Q8、Q10等題（參見附錄）的回答進行編碼分析，以第一列的回答為例，該生的答案是「兩種不同活性的金屬和電線」，意即學生講對了電極與電線兩個巨觀因素，但卻無明確的微觀說明，故將其編碼結果寫成2.2.0（Level 2，2個巨觀因素，0個微觀概念），計分為1.25分(1＋(2＋0)/(4＋4)＝1.25)。又若某生從 Q8的試題中發現鋅銅電池與水果電池的模型有差異時，即回答「鹽橋內的電解溶液不同，在柳橙中不需使用硫酸銅，且外接電器不同」，那麼該生講對了鹽橋、電解質、電線三個巨觀因素，但在電解質的微觀概念上講了非科學的論述（柳橙中不需使用硫酸銅），則其編碼結果為2.3.2（Level 2, 3個巨觀因素，2個微觀概念），計分為1.625分(1＋(3＋2)/(4＋4)＝1.625)。

三、電化學建模試題分析編碼表的信效度

有關試題分析編碼表的信效度方面，本研究團隊同樣聘請了兩位大學教授進行專家效度的檢驗；針對全數施測樣本的20% 作檢驗（共16位高中生，每位學生回答11題的結果），以 SPSS 計算評分者在使用試題分析編碼表後評分結果的一致性，經交叉表計算得 Kappa 值為0.920，具有相當高的評分者信度，如表6所示。

四、小結

綜合前述，MAAI 是基於「Halloun（1996）的建模歷程」、「Hempel（1958）的科學理論結構」與「Biggs 與 Collis（1982）的 SOLO 分類法」，所形成的第一套建模能力分析指標。據此指標，教師便可明確地設計出「模型選擇、模型建立、模型效化、模型應用、模型調度」等五大類型的開放式建模試題；

表 4：編碼記分表

答題層次	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
編碼類型	0	1.1.0-1	2.2.0-2 2.3.0-3 2.4.0-4	3.2.1 3.3.1-3 3.4.1-4	4.3.2.1 4.4.2.1 4.4.3.1-3 4.4.4.1-4	5
記分方式	0 分	1/2 分或 1 分	1 又 8 分之（第二碼加第三碼)分	2 又 8 分之（第二碼加第三碼)分	3 又 12 分之（第二碼加第三碼加第四碼)分	5 分
最高分數	0 分	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分

表 5：Level 2 的各種編碼範例（依編碼結果的大小排序）

問題	學生回答	正確巨觀因素	正確微觀概念	編碼結果	記分
Q2	兩種不同活性的金屬和電線	電極、電線	無微觀概念	2.2.0	1.25
Q10	將鋅片換成鎂片使電位差變大，並讓兩杯電解液的濃度變大	電極、電解質	電極的概念對電解質的概念錯	2.2.1	1.375
Q6	金屬大小塊無影響，電解液中含雜質有可能幫助氧化還原反應的進行	電極、電解質	電極的概念對電解質的概念對	2.2.2	1.5
Q2	兩種不同活性的金屬、電線和水果	電極、電線、電解質	無微觀概念	2.3.0	1.375
	一條導線用來導電，搭配水果、石墨做組裝，再用另一顆電池供電能	電解質、電線、電極	電線的概念對其他的概念錯	2.3.1	1.5
Q8	鹽橋內的電解溶液不同、柳橙中不需使用硫酸銅、且外接電器不同	鹽橋、電解質、電線	鹽橋電線的概念對，電解質錯	2.3.2	1.625
	鹽橋內的電解溶液不同、柳橙中已經有酸離子可反應、且外接電器不同	鹽橋、電解液、電線	微觀概念均對	2.3.3	1.75
	兩種金屬、電線、鹽橋、和兩杯電解液	金屬、電線、鹽橋、電解質	無微觀概念	2.4.0	1.5
	一個鋅片當陽極、一個銅片當陰極、電線、鹽橋、和兩杯電解液	金屬、電線、鹽橋、電解質	電極的概念對其他無微觀概念	2.4.1	1.625
	活性不同的兩個金屬，如鋅和銅片、測電流的安培計、電線、鹽橋、和兩杯電解液	金屬、電線、鹽橋、電解質	電極與電線的概念對，其他無概念	2.4.2	1.75
	鋅片和銅片、一條能讓幫助 1 電子傳輸的導線、幫助離子移動的鹽橋、含有鋅離子與銅離子的兩杯電解液	金屬、電線、鹽橋、電解質	電極無微觀概念其他均有概念	2.4.3	1.875
	活性不同的鋅片和銅片、一條能讓幫助電子傳輸的導線、幫助離子移動的鹽橋、含有鋅離子與銅離子的兩杯電解液	金屬、電線、鹽橋、電解質	微觀概念均對	2.4.4	2

表 6：試題分析編碼表的評分者信度

		Value	Asymp. Std. Error (a)	Approx. T (b)	Approx. Sig.
Measure of Agreement	Kappa	.920	.029	12.212	.000
N of Valid Cases		176			

[a] Not assuming the null hypothesis.

[b] Using the asymptotic standard error assuming the null hypothesis.

亦可從不同科學理論結構中分析其「分類層次、因素量、關係量、延伸關係量」的邏輯適用性，藉以建立相對應的編碼表，來評判學生的建模能力。然而，教師若欲使用 MAAI 設計建模試題與分析編碼表時，首先應建立「科學理論的結構」，具體訂定結構中的因素與關係，方可進行設計試題與編碼表的動作。從電化學試題的例子可知：(1)欲分析的理論因素至少要「4個以上」，過多時應注意其複雜性，過少則無法幫助學生建立延伸關係的層次。(2)在製作分析編碼表的過程中（如表3），教師可重新思考「科學理論模型」的

建立過程，從因素與因素的關係或延伸關係逐步釐清或完備自身的科學概念，並幫助學生如何建立或檢視一個「科學理論模型」。(3)在「建模能力的評分」方面，教師對於巨觀因素的判定較無問題，但對於微觀概念、關係量、延伸關係量的判定卻可能因為個人主觀的想法導致不同的評分者會有不同的編碼結果，尤其是當學生的程度到了 Level 4以上時，更容易產生不一致。對此，若能將編碼結果轉換算成分數表示時，將有助於一致性的提升（如4.4.3.2和4.4.4.1的分數相同），亦可簡單表示該生的建模能力。除此之外，MAAI 在建模能力的相關研究上，亦具有高度的實用價值;從MAAI的縱向建模歷程中，可以清楚界定「建立完整科學模型」的重要步驟；而從 MAAI 的橫向答題反應中，亦可用來診斷「學生所建模型」的精緻性及其正確性。因此，有了 MAAI 後，不但可以幫助教師或學生熟悉完整科學模型的建立步驟，亦可協助建模相關的研究者，以質性轉量化的方式，來分析學生們的建模能力。

伍、研究方法

一、研究對象

本研究採立意取樣，選擇基隆市某完全中學高中部一年級兩班的學生，男生60名、女生19名，共計79名。學生年齡約15～16歲，在國中階段均已學過電化學的概念；因此，選用這些高中生作為本研究的施測對象。

二、研究工具：電化學建模試題

根據 MAAI 與表2，我們參考其命題陳述設計「電化學建模試題」，如附件一。試題內容共計五大類、十一個問題；試題評量方面，已具備相當良好的信效度（如表6）。詳細說明如前所述。

三、研究步驟

首先，研究者向該完全中學商借一間容納80人的大教室，針對79名學生同時進行「一節課（寫滿30分鐘方可繳卷）」的紙筆測驗。在施測之前，研究者先導讀引言的部分（如附錄），提醒學生僅量詳盡地寫完每道題目；然後，再從學生的答題結果，分析其建模能力的編碼類型給予計分（計分方式參見表4）。在評量方面，本研究所定義的「建模能力」意指「學生在電化學建模試題中各題所得的平均分數，即0～5分」。同理可知，所謂的「選擇能力」意指「學生在模型選擇類中各題所得的平均分數」；依此類推，便可計算學生的「建立能力」、「效化能力」、「應用能力」、「調度能力」等各項分數。

四、資料分析

研究者根據表3與表4計算79名學生在回答電化學建模試題後所得的分數。然後，藉由 SPSS 統計軟體，將學生「在校學業分數」與「建模能力」進行 Spearman 相關分析。此外，再把學生在校學業分數分出兩個次向度，即理科分數與文科分數，進行「兩個次向度」與「建模能力」的 Spearman 相關分析；本研究所定義的「理科分數」意指「學生在校的數學、物理、化學、生物、地球科學等理科的平均分數」;「文科分數」意指「學生在校的國文、英文、歷史、地理、公民等文科的平均分數」；而「在校學業分數」意指「理科成績與文科成績的平均分數」，三種成績的分數都介於0～100分。

陸、研究結果與討論

一、學生的建模能力

初步統計結果如表7所示，79名學生在

表 7：79 名學生在各項建模能力層次的分佈統計結果

$N = 79$	Level 0 0~1 分（不含 1）			Level 1 1~2 分（不含 2）			Level 2 2~3 分（不含 3）			Level 3 3~4 分（不含 4）			Level 4 4 分以上
	n（%）	*m*	*SD*	*n*（%）	*m*	*SD*	*n*（%）	*m*	*SD*	*n*（%）	*m*	*SD*	*n*（%）, *m*, *SD*
選擇能力	5（6.3）	0	0	22（27.8）	1	0	34（43.0）	2.17	0.19	18（22.8）	3.08	0.19	0
建立能力	21（26.6）	0	0	20（25.3）	1	0	19（24.1）	2.10	0.17	19（24.1）	3.08	0.18	0
效化能力	32（40.5）	0	0	27（34.2）	1	0	20（25.3）	2.09	0.17	0	0	0	0
應用能力	25（31.6）	0	0	48（60.8）	1	0	6（7.6）	2.06	0.15	0	0	0	0
調度能力	72（91.1）	0	0	7（8.9）	1	0	0	0	0	0	0	0	0

各項建模能力表現中，只有「選擇能力」與「建立能力」的分數達3分以上，即 Level 3 以上；其餘各項建模能力均無法達到3分，甚至不到2分，如「調度能力」。而在人數分佈趨勢方面，只有「選擇能力」呈常態分配、「建立能力」呈平均分配；其餘各項建模能力均屬正偏態（右偏）分佈（即低層次人數居多）。在分數的平均值（*m*）與標準差（*SD*）方面，每個層次區間的 *m* 偏低（如選擇能力2~3分的平均值為2.17靠近2），且 *SD* 不大。由此可知，學生各階段建模能力的養成仍待教師們做近一步地提升。

若再進一步分析79名學生在各項建模歷程中的「平均建模能力」可知：學生們在各階段的平均建模能力層次普遍低於 Level 2（如圖7所示）；意即多數學生的答題反應只能說出一兩種巨觀因素及些許的微觀概念，卻無論及因素與因素間的關係（如表5中學生回答的情形）。然而，這樣的結果亦反應出多數學生對於「科學理論模型的建立」無法從因素與因素間的關係或延伸關係表現其內隱的知識；即便他們學過科學理論、略懂建模的遊戲規則，仍舊無法完整地建構出科學模型，與 Hestenes（1992）的觀點有異曲同工之處。另一方面，Greca 與 Moreira（2000）曾指出，在科學建模的過程中，必須讓學生們覺得「科學模型」有用，才能幫助學生產生有意義的學習。然而，多數教師在教學活

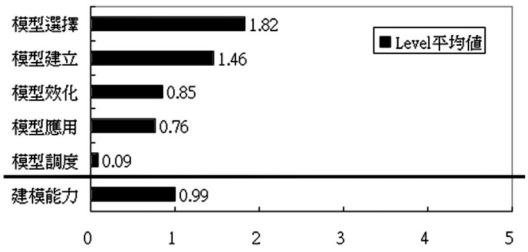


圖 7：79 名學生平均建模能力層次長條圖

動中並無特別強調「建模的效用」（Grosslight et al., 1991），使得學生們在一般的科學教學進行後仍無法發展「建模的概念」。因此，教師在課堂上應更明確地介紹「科學理論模型」中因素間的關係或延伸關係，讓學生更清楚整個科學理論的架構，進而提升其建模能力到「關係層次（Level 3）」以上，藉以刺激發展學生對科學建模的理解與應用。

除此之外，從圖7中亦可發現一個趨勢，即學生從「模型選擇」、「模型建立」、「模型效化」、「模型應用」、最後到「模型調度」的過程中，其建模能力有逐漸下滑的趨勢；尤其是「建立到效化（Level 值差0.61）」與「應用到調度（Level 值差0.65）」兩種歷程的變化最為明顯（經 t-test 後達顯著差異 $p < .01$）。由此可知，多數學生在建立其科學理論模型後，對於所建模型不擅長做「效化檢驗」的動作，而使平均建模能力有陡降的趨勢。此外，多數學生在應用其所建模型後，很難將它做「調度」上的轉換，導致平均建

模能力瞬間從0.76降到0.09的情況。

二、學生的建模能力與在校學業分數的關係

從表8中我們可知，學生的「建模能力」與「在校理科分數」達顯著相關（$p < .01$），但卻與「在校文科分數」無顯著相關（$p > .05$）；此外，「五種建模歷程能力」也和「在校理科分數」、「在校學業分數」間有顯著的相關（$p < .05$）。因此，學生建模能力的高低不僅與在校理科分數有顯著相關外，亦與在校學業成績有一定程度的相關性。Halloun（1996）認為：「建模」是建構科學知識（以理科為主）的重要過程，必須系統化地應用在各種特殊情境中；而學生「建模能力的高低」，將影響他們在各種特殊情境的學習，如課室學習、教科書學習等（Hestenes, 1992）。因此，學生建模能力的高低與其學習成就有關，而這樣的觀點亦可從表8中獲得印證。

三、不同學習成就學生建模能力與在校學業分數的關係

接下來，研究者將全體學生區分成高、低分群（學業分數前、後33% 的學生），重新進行相關分析的統計比較，如表9、表10所示。從表9中可知兩群學生在「各項學業分數」與「各項建模歷程能力分數」之平均值與標準差，以及兩群獨立樣本進行 t 考驗的結果。在各項學業分數方面，雖然高分群學生的各項學業分數均顯著優於低分群學生（$p < .01$）；但在各項建模歷程能力分數方面，卻只有「效化與調度能力分數」在高、低分群學生間達顯著差異（$p < .05$）。這樣的結果，與全體學生在「效化與調度能力」的陡降相呼應（如圖7所示），而真正的原因，仍尚待進一步的分析推論與驗證。

另一方面，從表10中的數據可知：(1)高分群的學生，其「建模能力」與「在校學業分數」有顯著相關（$p < .05$），而其「建模能力」卻與在校文科或理科分數無顯著相關；意即建模能力好的高分群學生，其在校學業分數也就越突出。(2)低分群的學生，其「建模能力」與「在校學業分數、在校文科分數」均無顯著相關，但其「建模能力」卻與「在校理科分數」有顯著的相關（$p < .05$）；意即建模能力好的低分群學生，其

表 8：全體學生（$N = 79$）各項建模能力與在校分數的相關係數

		在校理科分數	在校文科分數	在校學業分數
選擇能力	Spearman's Correlation	0.310（**）	0.211	258（*）
	Sig. (2-tailed)	0.005	0.062	022
建立能力	Spearman's Correlation	0.237（*）	0.159	204
	Sig. (2-tailed)	0.036	0.163	071
效化能力	Spearman's Correlation	0.301（**）	0.217	275（*）
	Sig. (2-tailed)	0.007	0.055	014
應用能力	Spearman's Correlation	0.285（*）	0.219	264（*）
	Sig. (2-tailed)	0.011	0.053	019
調度能力	Spearman's Correlation	0.359（**）	0.245（*）	314（**）
	Sig. (2-tailed)	0.001	0.029	005
建模能力	Spearman's Correlation	0.303（**）	0.209	.262（*）
	Sig. (2-tailed)	0.007	0.065	.020

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

表 9：分群學生在校學業分數與建模能力分數之平均值與標準差

		高分群學生（前33%）	低分群學生（後33%）	獨立樣本 *t* 考驗
人數	*n*	27	26	Sig.（2-tailed）
在校理科分數	*m*	70.59	57.96	.000（**）
	SD	5.44	5.24	
在校文科分數	*m*	69.44	59.38	.000（**）
	SD	4.17	4.57	
在校學業分數	*M*	69.93	58.58	.000（**）
	SD	4.11	4.16	
選擇能力分數	*m*	2.07	1.62	.065
	SD	0.83	0.94	
建立能力分數	*m*	1.70	1.35	.277
	SD	1.27	1.09	
效化能力分數	*m*	1.11	0.65	.048（*）
	SD	0.89	0.75	
應用能力分數	*m*	0.89	0.62	.107
	SD	0.70	0.50	
調度能力分數	*m*	0.22	0.04	.049（*）
	SD	0.42	0.20	
建模能力分數	*m*	1.20	0.85	.058
	SD	0.72	0.57	

理科分數較佳。

柒、結論與建議

綜上所述，從本研究中可發現：(1)學生的建模能力層次偏低，此結果與 Hestenes（1992）的觀點相呼應；此外，多數學生對於所建的科學模型不擅長做「效化檢驗」的動作（建立與效化能力間達顯著差異），建議教師在教學過程中應提供小組討論的機會（Nersessian, 1995），藉以刺激「效化檢驗」的學習。然而，多數學生在應用其所建立之模型後，很難將它做「調度」上的轉換（應用與調度能力間達顯著差異），建議教師在課堂上應多多介紹「科學理論」與「生活經驗」的關係（Greca & Moreira, 2000），藉以提升「模型應用」與「模型調度」的學習。(2)學生的建模能力與在校理科分數、建模能力與在校學業成績，兩兩間的相關均達顯著，因此，學生建模能力的高低與其學習成就有關，此發現與 Halloun（1996）的觀點相呼應。(3)低分群學生其建模能力與在校學業分數無顯著相關，但卻與在校理科分數有顯著相關；因此，對低學習成就的學生而言，建議教師不妨參酌 Grosslight 等（1991）的觀點，藉由建模能力的培養來促其理科成績的進步。另一方面，由於多數高分群學生的建模能力仍停滯在 Level 2的層次（1～2分），對於巨觀因素間的關係仍尚未釐清。因此，建議教師應加強對模型與建模的認識（Franco et al., 1999），避免素樸的模型在課堂上未被討論（van Dreil & Verloop, 1999），而造成他們對科學理論關係的誤解；教師必須多多增加學生們在建模方面的學習，以利科學模型的形塑。

本研究團隊歷經一年多的研發，首創「建模能力分析指標（MAAI）」，試圖以 MAAI 檢視學生的建模能力，配合 MAAI 為基礎的

表 10：高低分群學生各項建模能力與在校分數的相關係數

		高分群			低分群		
		學業分數	理科分數	文科分數	學業分數	理科分數	文科分數
建模能力	Spearman's Correlation	0.392（*）	0.310	0.339	0.346	0.445（*）	-0.003
	Sig. (2-tailed)	0.043	0.116	0.084	0.083	0.023	989

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

建模試題設計與相對應的分析編碼表，希冀在建模領域的研究上，邁出嶄新的一大步。從前述文獻與 MAAI 的應用可知，「建模」是科學學習中不可或缺的能力，而「MAAI」則是幫助教師了解學生建模能力的重要工具。因此，有了 MAAI 指標後，不但可以幫助教師或學生熟悉完整科學模型的建立步驟及所需的能力外，亦可作為研究者將質性晤談資料轉化成量化數據以分析學生建模能力之參考。在後續研究方面，研究者擬由 MAAI 設計科學教學，藉以探討建模教學對學生建模能力的提升與科學學習成效的影響，進而分析 MAAI 對不同教學設計或學習成效所發揮的效益。

除此之外，MAAI 在科學教育的教學實務上，不僅可以幫助教師加強對「科學模型」與「建模能力」的認識；在設計建模試題與編碼表的過程中，教師亦可從中找出學生可能存在的素樸模型、診斷學生的建模能力，藉以提昇學生對科學模型的認識與應用，精緻其科學概念的學習。此外，由於 MAAI 的使用範疇僅限於「特定領域（Domain specific）－如理化、生物、地科」，若欲用在「普適領域（Domain general）」時，恐亦有其限制性；例如，學生對於「全球暖化現象」所建的模型包括許多自然生態的變因（冰山融化、海平面上升、生物減少…等）、社會現象的變因（農產品減少、經濟恐慌、戰爭掠奪…等），以及自然生態與社會現象交互的變因，此等複雜的模型架構或許在分析學生建模能力時會面對較大的挑戰。因此，教師在使用 MAAI 促進教學之前，應先界定所欲教授的科學模型（如電化學模型），並對模型中「變因連結關係」的解釋類型進行剖析，引導學生們理解不同變因間正確的連結關係，藉以促進其建模能力的提升以及科學學習的成效。

致　　謝

本研究係由國科會經費補助（計畫編號：NSC 95-2511-S-003-024-MY2、NSC 95-2511-S-003-025-MY2），與本研究團隊成員林靜雯博士、博士班研究生吳文龍、鍾曉蘭、劉俊庚；以及碩士班研究生詹婉約、辛怡瑩、張育倩的協助，尤其是鍾曉蘭在水果電池的設計以及對編碼系統的具體建議，都對本研究有實質的幫助，在此一併致謝。

參考文獻

1. 邱美虹（2007）。**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研究計畫成果報告（NSC 95-2511-S-003-024-MY2）。臺北市：國立臺灣師範大學科學教育研究所。
2. 邱美虹（2008）。模型與建模能力之理論架構。**科學教育月刊**，**306**，2-9。
3. 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。
4. 舒煒光、邱仁宗（1991）。**當代西方科學哲學述評**。台北市：水牛圖書出版事業有限公司。
5. AAAS. (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
6. Bateson, G. (1973). *Steps to an ecology of mind*. London: Paladin.
7. Biggs, J. B. & Collis, K. F. (1982). *Evaluating the quality of learning: The SOLO taxonomy*. New York: Academic Press.
8. Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The cognitive domain*.

New York: David McKay Company.

9. Buckley, B. C. & Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 119-135). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
10. Chan, C. C., Tsui, M. S., & Chan, M. Y. C. (2002). Applying the structure of the observed learning outcomes (SOLO) taxonomy on student's learning outcomes: An empirical study. *Assessment & Evaluation in Higher Education, 27*(6), 511-527.
11. Driver, R. & Bell, B. (1986). Students' thinking and the learning of science: A constructivist view. *School Science Review, 67*, 443-456.
12. Duit, R. & Glynn, S. (1996). Mental modeling. In G. Welford, J. Osborne & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe* (pp. 166-176). London-Washington, DC: The Falmer Press.
13. Franco, C., de Barros, H. L., Colinvaux, D., Krapas, S., Queiroz, G., & Alves, F. (1999). From scientists' and inventors' minds to some scientific and technological products: Relationships between theories, models, mental models and conceptions. *International Journal of Science Education, 21*(3), 277-291.
14. Gilbert, J. (1993). *The role of models and modelling in science education.* Paper presented at the 1993 Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching, Atlanta, GA, USA.
15. Gilbert, J. & Boulter, C. (1998). Learning science through models and modelling. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International handbook of science education, volume 2* (pp. 52-66). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
16. Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education, 22*(1), 1-11.
17. Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching, 28*, 799-822.
18. Halloun, I. (1996). Schematic modelling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching, 33*, 1019-1041.
19. Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education, 22*(9), 1011-1026.
20. Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian world. *American Journal of Physics, 60*, 732-748.
21. Hempel, C. G. (1958). Fundamentals of concept formation in empirical science. In C. G. Hempel (Ed.), *International encyclopedia of unified science: Foundations of the unity of science, volume 2* (pp. 88-93). Chicago: University of Chicago Press.
22. Hogan, K. & Thomas, D. (2001). Cognitive comparisons of students' systems modeling in ecology. *Journal of Science Education and Technology, 10*(4), 319-344.
23. Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge: Harvard University Press.
24. Justi, R. S. & van Driel, J. V. (2005). A case study of the development of a beginning chemistry teacher's knowledge about models and modeling. *Research in Science Education, 35*(2-3), 197-219.
25. Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2002). Modeling,

teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education, 24*(4), 369-387.

26. Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education, 25*(11), 1369-1386.
27. Kember, D., Jones, A., Loke, A., McKay, J., Sinclair, K., Tse, H., et al. (1999). Determining the level of reflective thinking from students' written journals using a coding scheme based on the work of Mezirow. *International Journal of Lifelong Education, 18*(1), 18-30.
28. Lohner, S., van Joolingen, W. R., Savelsbergh, E. R., & van Hout-Wolters, B. H. A. M. (2005). Students' reasoning during modelling in an inquiry learning environment. *Computers in Human Behavior, 21*(3), 441-461.
29. National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington: National Academy Press.
30. Nersessian, N. (1995). Should physicists preach what they practice? *Science and Education, 4*, 203-226.
31. Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. V. (2005). The difficult process of scientific modelling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modelling. *International Journal of Science Education, 27*(14), 1695-1721.
32. Stratford, S. J. & Soloway, E. (1998). Secondary students' dynamic modelling processes: Analysing, reasoning about, synthesizing, and testing models of stream ecosystems. *Journal of Science Education and Technology, 7*(3), 215-234.
33. Sutton, C. (1996). The scientific model as a form of speech. In G. Welford, J. Osborne & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe, volume 2* (pp. 143-152). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
34. Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education, 24*(4), 357-368.
35. van Driel, J. H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education, 21*(11), 1141-1154.

附錄　建模能力評量試題-電化學篇

親愛的同學您好：

感謝您願意協助我們進行這項研究。這是一份關於『製作電池』的試題，目的在於瞭解您對於『電池』的想法。測驗結果不會公開，也不會影響您的學業成績，但將會是學術研究的重要資料，對將來的國家課程設計會很有貢獻，請您詳細而確實的作答。非常感謝！

當您在回答問題時，請先注意以下事項：

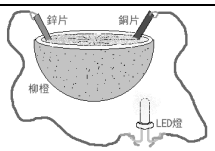
1.請您先留下您的基本資料，包含校名　　、班級　　、座號　　。

2.請您依照左欄的問題逐項回答，整份試題作答時間約30分鐘。

3.請盡可能詳細地說明、並畫下您的想法，所以內容敘述越豐富越好！謝謝！

感謝您的配合，祝您學業進步。

國立台灣師範大學　　科學教育研究所　敬上

建模歷程	「製作電池」相關問題	答案（寫得越豐富越好喔）
模型選擇	Q1.若要自己製作電池；你會用到什麼「科學知識（或生活知識）」？	
	Q2.在這些知識架構下，你會準備哪些材料	
模型建立	Q3.這些材料在準備上有哪些該注意的？而在使用這些材料時背後蘊含的理論概念（或公式）是？	
	Q4.請將所選材料正確組裝的結果畫下來。	
	Q5.整體組裝完成後，之所以能運作的「連接關係」是？	
模型效化	Q6.有任何其他尚未考量的相關因素會影響自製電池的效能嗎？如每個材料的物理屬性（大小塊）、化學屬性（濃度）、…等。	
	Q7.為什麼整體組裝完成後能運作，你怎麼證明此法可行？	
模型應用	Q8.你有聽過水果電池嗎？它跟你所製作電池的材料有何「相似」與「相異」之處？	
	Q9.若用你所製作電池的蘊涵理念來解釋水果電池的運作機制時有何限制？你將如何重新詮釋整個製作電池的理論模型？	
模型調度	Q10.請畫出一個電壓更強的組裝電池。	
	Q11.請畫出一個使用壽命更長的組裝電池。	
【試題到此結束，感謝您的作答^_^】		

The Development and Application of Modeling Ability Analytic Index– Take Electrochemistry as an Example

Chih-Kang Chang and Mei-Hung Chiu*

National Taiwan Normal University, Graduate Institute of Science Education

Abstract

This study intended to develop the "Modeling Ability Analytic Index (MAAI)" for assessing students' modeling ability at different stages, and planed to make teachers understand the meaning of modeling well. In the application of index, not only can MAAI be used to design modeling assessment tools, but also it can be used to design corresponding coding scheme to investigate students' modeling abilities. In our empirical study, we used the topic of electrochemistry to analyze 79 senior high school students' modeling abilities after they took the modeling test. The research findings suggest that: (1) Students' modeling ability was categorized low. The result was almost the same as Hestenes' research (1992). (2) The students' modeling ability had significant correlation with their achievement in science subjects and academic achievement. (3) For low-achieving students, their modeling ability had no significant correlation with their academic achievement, but had significant correlation with their achievement in science subjects. Therefore, we considered that modeling ability is an important foundation of learning science. If teachers use MAAI more often, than it will help students learn science better.

Key words: MAAI, Modeling, Model

*Corresponding author: Mei-Hung Chiu; e-mail: mhchiu@ntnu.edu.tw