探索式化學實驗課程之實施

曹淇峰[1*] 譚利亞[1] 廖家榮[1] 林志弘[1] 邱美嬌[1] 蔡蘊明[2]

台北市立建國高級中學[1]　　國立台灣大學化學系[2]

cftsaur@tp.edu.tw

摘　要

目前高中的化學實作課程，幾乎全是食譜式的實驗(驗證式實驗)，並沒有探索與創意的實驗課程，學生無法體驗科學探索的樂趣。教育部提出「主動探究與研究」為培養學生的十大基本能力之一（教育部，2000），但與高中化學相關的探究實驗課程付之闕如。

本計畫為建國中學高瞻計畫之子計畫二，為期三年的研究，第一年開發創新的探索式化學實驗課程二個主題（曹淇峰、譚利亞、廖家榮、林志弘、邱美嬌、蔡蘊明，2009），第二年(97 學年)對建中高二自然組學生開設自由選修之「探索式化學實驗課程」，每週二節，共 20 位學生選修，實施場域為建中化學實驗室，課程內容是先進行「錯合物」探索主題的實驗，餘下的時間則進行部份的「電化學與奈米溶液」探索實驗。

本計畫的研究方法為行動研究法與基本研究法，以認知師徒制的六個面向及學生的建模過程，作為課程設計的經緯，藉由質的研究收集到的資料來改進課程。教師透過本研究計畫，能創新教學模式，建立長期且永續的課程發展模式，目前第三年(98 學年)除繼續實施課程之外，還將辦理推廣研習活動，作為他校實施與設計新化學課程的參考。

根據課程實施的資料分析，學生接受此課程的訓練後，能建立適當的「錯合物」模型與「化學實驗探索」模型。對此課程喜好程度，上學期有 65%的學生表示喜歡，20%表示普通，10%表示不喜歡，5%未答；下學期有 80%的學生表示喜歡，10%表示普通，10%未答。從教師的教學理念問卷顯示，參與教師對的教學理念有明顯轉變，從強調知識的學習，轉向重視探索能力的培養；從重視標準答案，轉向重視提出問題與追尋答案歷程，並能將認知師徒制與建模的理論，應用於其他班級的化學教學。

關鍵詞：探索式化學實驗、化學實作課程、認知師徒制、建模

課程發展背景

Dewey 曾言：「教育透過探究而發生，是一種不斷再建構的過程。」（陳美玉，1998）。「探究式教學法」（Inquiry teaching）就是一種強調過程、學生知道為何而學，以及學

生學習如何學習的途徑。但目前高中化學實作並沒有像這類探索式化學實驗課程，教師想進行探究教學就更加困難。

學者 Collins(引自邱美虹，2006; Chiu, Chou, & Liu, 2002)在 1989 年所提出的「認知師徒制」(cognitive apprenticeship)，其教學著重：「示範」(modeling)、「訓練」(coaching)、「鷹架」(scaffolding)、「闡明」(articulation)、「反思」(reflection)、「探索」(exploration）六個重要面向（Collins, Brown, & Newman, 1989）。邱美虹 (2007)指出學生模型觀點的三個面向，包括方法論（林靜雯和邱美虹，2007）、認識論（吳明珠，2007）、本體論（周金城，2007）的實證資料顯示學生的建模能力有待加強。學生對模型本質與功能認識不足，學校課程更缺少模型的有效化與模型的調整等教學，以致於學生無法有效的利用模型來學習。

本研究在開發能兼顧學生的實驗安全與創新的探索主題之後，由老師透過「認知師徒制」的理論，帶領學生進行探索式化學實驗課程，並提供充足的機會與時間進行模型的建構與調整，以提高學生的建模能力。在此實施階段，藉由質的研究，深入分析課程實施可能面臨的困難，評估學生建立科學概念的正確性，同時比較學生所建立的化學探究模型。期望能為高中化學實作課程開發一種新的模式。

課程發展的重要性

Hofstein 與 Lunetta（1982）指出「實驗課程」為一項具有核心價值以及學習特色的議題，藉由運用實驗室裡所需應用的科學知識、操作技能、科學態度……等眾多學習優勢，引導學生在科學的學習領域裡面能夠擁有更佳的學習成效。Hofstein 與 Shore (2001)指出學生在開放性的實驗室環境裡操作實驗進行學習時，透過現象的觀察、紀錄、分析、推理、驗證……等，可以展現出較佳的學習敏銳度，並且整合所學習到的知識。

「化學」是許多科學之發展核心，也是一門實驗科學。理想的實驗課程設計，不但可激發學生的學習化學的興趣、獲取化學相關知識、亦可訓練培養學生實驗操作的技能、觀察化學變化、設計實驗的能力。實際透過「做中學」的過程，經由仔細觀察、細心思考、發現所遇到的困難、找出對策，並找出過程中所觀察到的現象或化學反應的原理，進而探究出屬於自己本身的學習方法，以求將課程中的理論與知識轉化成自己本身所能運用的能力。蕭次融（1998）指出實驗是使用具體的實物，在適當控制的條件下實際操作，以產生可測量或觀察的現象，利用實際的感官以形成知識概念，因此實驗在中等教育顯得格外重要。不過目前實驗在中等學校實施的情形不盡理想，特別是化學實驗所需要的器材、地點、學生的知識基礎，加上繁重的課程內容、考試成績的壓力等眾多因素，造成以往化學實驗課程實施的成果不彰。化學實驗課程著實具有其實際意義與重要性，也值得對於此面向更進一步投注人力物力去發展。

研究目的

本研究目的包括：

1.實施第一年所開發的探索式化學實驗課程：「錯合物」和「電化學與奈米粒子」，詳細記錄與檢討每個活動的細節，編製成手冊，作為未來課程推廣之用。

2.自行開發評量工具，進行質的研究，紀錄學生學習表現，以觀察學生的學習進展。

3.研究課程實施模式：以一般高中生為實施對象，透過全校性的選修課程模式，並以一般高中化學實驗室為研究場域，紀錄實施過程所面臨的困難，提供改善建議，以利後續推廣至他校。

研究方法

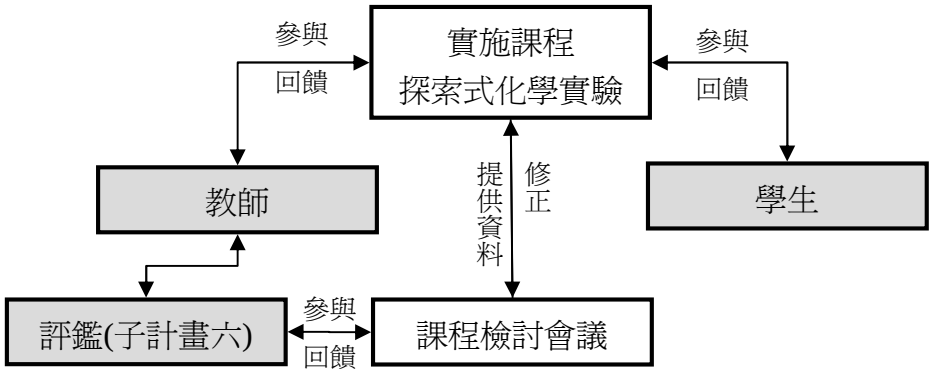
(一) 研究對象與資料收集

本計畫的研究對象為建國中學全校高二自然組(第二類組)選修「探索式化學實驗」學生共 20 人，由於係自願選修，參與本計畫的學生，對化學的研究具有較高的興趣。

本課程發展採**行動研究法**，參與課程研發的教師們在教學現場親身參與或從旁觀察，在每週一次的課程檢討會議，根據實施結果，定期反思自己的探究教學問題，修正第一年所設計的新課程計畫，以提高教學品質與增進教學效率。

研究學生學習歷程採**質的研究法**，學生在化學探索的過程中，以錄影、訪談、評量工具、學生互評、成果發表等方式，蒐集學生相關的回饋訊息，研究分析學生進行探索過程、思考方式、心智模型、探究能力與態度等，是否發生顯著的改變。

(二)研究流程：如下圖一。



圖一　探索式化學實驗課程之實施與檢討流程

初步成果：

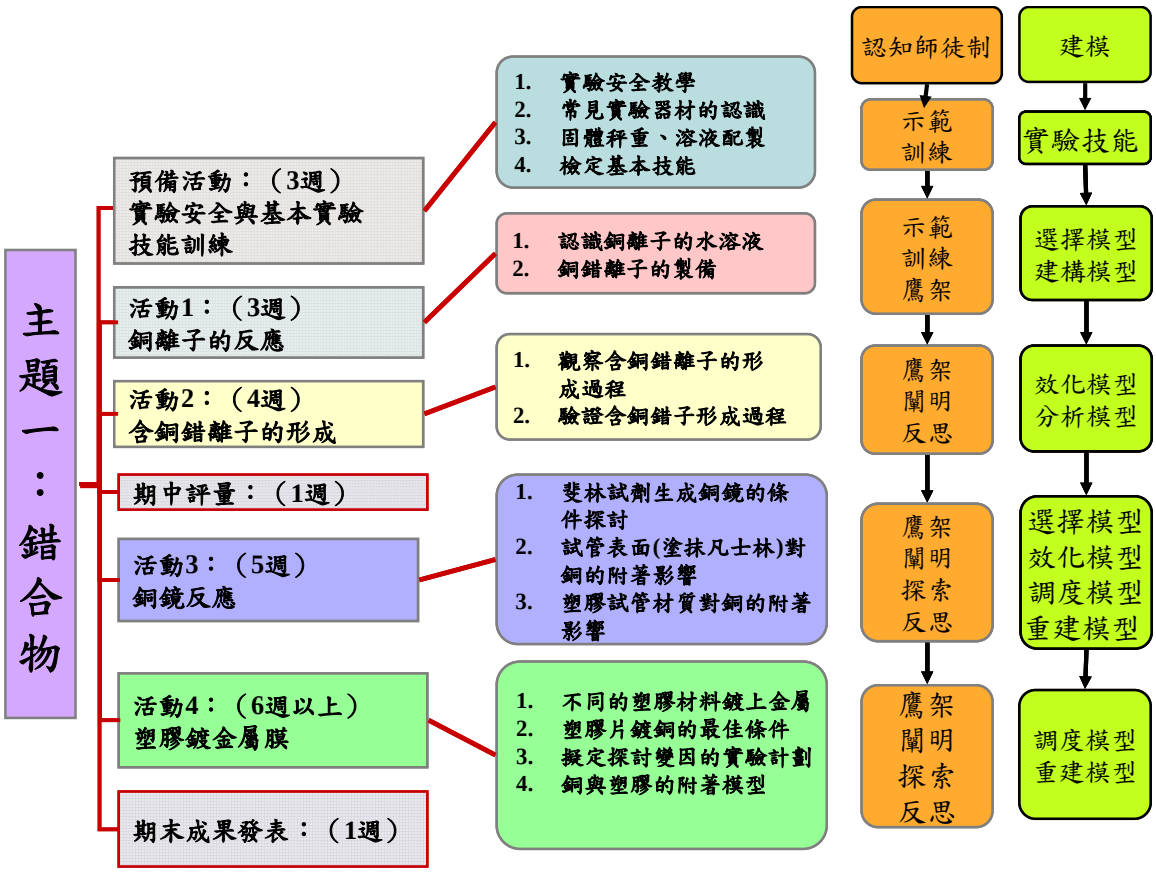
(一)化學實驗探索課程的實施：

以「錯合物」主題為例，參考下圖二之課程架構，認知師徒制的教學策略貫穿整個課程，包括示範、訓練、鷹架、闡明、探索與反思等，循序漸進。

學期初進行預備活動，主要內容有實驗安全教學、實驗器材的認識、固體秤重、溶液配製等，屬於「示範」與「訓練」，強化學生的實驗安全觀念與實驗基本技能。

接著進行活動 1 銅離子的反應，屬於「訓練」「鷹架」，藉由實驗觀察，發現巨觀的性質與微觀粒子的關係，並研究含銅錯離子溶液的形成，建構錯合物的基本模型（建構模型）。

活動 2 含銅錯離子的形成，觀察含銅錯離子的形成過程與測量配位數的實驗，驗證含銅錯子形成過程，也屬於「訓練」「鷹架」，並使學生分析與確定錯合物模型的組成要件（分析與效化模型）。接著進行期中評量，以觀察學生參與此課程的學習成效。



圖二　探索主題一「錯合物」之課程架構

活動 3 銅鏡反應活動由學生「探索」錯合物的反應，教師先設計由斐林試劑生成銅鏡的條件探討作為「鷹架」。接著當研究在塑膠材質試管鍍金屬銅膜的附著實驗時，由學生以各種可能變因去「探索」與「反思」，在實驗過程中，對自己建構的錯合物模型做調整與修正（調度與重建模型）。

活動 4 塑膠鍍金屬膜，則採用更大「探索」空間的實驗，開放由學生設計實驗，以探索如何在塑膠表面鍍金屬膜，同時印證與修正自己所建立的錯合物模型（調度與重建模型）。最後的期末成果發表則提供學生「探索」「反思」與「闡明」的機會，並且與他人分享討論自己所建構的錯合物模型。

(二)實施的成效分析與建議

1.整體課程實施的檢討：

(1) 學生對學習化學將來人生規劃的影響，很有興趣，建議應新增化學進路(就業)教材，以提高學習動機，本單元已於第三年計畫修正新增(今年已實施)。

(2)學生論文寫作能力有待加強，建議應新增論文寫作教材，本單元已於第三年計畫修正新增(今年已實施)。

(3)學生需要更多的時間，進行小組討論與小組報告，藉由與他組交流的過程，可以效化與分析自己所建構的模型，建議每個活動單元的時間均延長(今年已延長)。

(4)藉由同儕的共同進行實驗探索，能提高實驗探索的成功機率，成功與失敗的實驗結果均有相當的參考價值。

(5)學生喜好程度調查：上學期有 65%的學生表示喜歡，20%表示普通，10%表示不喜歡，5%未答；下學期有 80%的學生表示喜歡，10%表示普通，10%未答。顯示學生

喜歡的程度增加。進一步分析，學生很喜歡「探索」的感覺，有學生表示在此課程中學到的「方法」是很難在其他課程中學到。

2.化學實驗技能：

(1)學生對於這樣的新課程感到興趣與期待，對於能自己操作器材非常有興趣，如使用加熱板、磁攪拌子、導電度計、分光光度計等，會仔細的觀察與實際操作。

(2)有一組學生配製 NaOH 溶液時，使用燒杯而未使用容量瓶，測得之 pH 值與其他同學差異很大，對實驗技術造成誤差，留下深刻的體驗，並與他組分享。

(3)教師能發現學生在實驗技能方面常犯的錯誤，如使用天平忘了關窗、秤藥過量、不熟悉安全吸球使用方式、使用燒杯配溶液、學生考試太緊張、實驗數據記錄不完整，對提升自己實驗教學的能力，很有助益。

3.學生的「金屬錯合物」模型：

選修此課程前多未聽聞錯合物相關知識，學習後多數學生能建立正確的錯合物模型。再進一步分析，認識錯合物中心的正確性較配基高。比較如下表一。

表一：學生對錯合物的認識(括號中的數字為選答的學生數，當日問卷樣本 17 人)

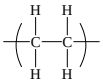
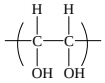
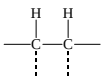
	正確	錯誤
錯合物中心	Cu^{2+}(17)、Zn^{2+}(15)、Al^{3+}(14) 、Ni(1)	F^-(3)、CO(0)
配基	$C_2O_4^{2-}$(10)、CN^-(14)、$EDTA^{4-}$(10)、Cl^-(16)	CH_4(1)、NH_4^+(7)

在錯合物結構方面，能合理推論 Pt^{2+}與 NH_3 及 Cl^-形成四配位結構的只有 10 位學生，顯示探索式實驗對學生認識抽象的錯合物結構，似乎沒有很大的幫助。

4.學生的「化學探索能力」模型：

本課程最後一個單元是開放性探索實驗，讓學生研究如何將銅鍍在各種塑膠表面。在期末問卷上，問學生如果要在紙板上鍍銅，試就微觀官能基或化學鍵觀點，說明可行性，結果顯示半數以上的學生能深入考慮各種可能的變因，並加以分析，如下表二。

表二：學生考量在紙板上鍍銅的可行性與影響因素(6 人未答)

可行原因(5)	不可行原因(6)
● 由 PE 鍍銅可行，推測應該可行。因為 PE 的構造為 ，葡萄糖的構造為 ，至少都有  結構，或許可行，但可能因為紙板太軟，效果不好。 ● 官能基被氧化，行成凹凸不平表面 ● 孔洞很多	● OH 官能基不利還原 Cu^{2+} ● 紙可能會糊掉或軟掉 ● 表面不緊密 ● 紙的孔洞太大 ● 無法產生鍵結

接著請學生設計一實驗在紙杯上鍍銅，有些學生會考慮紙杯有一層臘會防水，所以採用兩種方式(1)不考慮臘的因素，照原先步驟試著鍍在臘上(2)將臘溶出，再試著處理。有 11 位學生回答此題能清楚說明清洗、蝕刻、還原性化、成核及鍍銅等步驟的控制變因與操縱變因。

5.教師的教學理念：

從教師的教學理念問卷顯示，教師對教學的理念從強調知識的學習，逐漸轉向重視探索能力的培養；從重視標準答案，逐漸轉向重視提出問題與追尋答案歷程。下表三是研究教師對探究教學的觀點。

表三：研發本課程教師對探究教學的觀點

探究教學是什麼？	給予學生探究之基本能力的教育，其目的在提昇學生探究能力，與學習興趣，建構自己的知識，在適度引導，建立初期模型後，由學生發覺變因。有研究主題，但不全然提供細部研究內容的教學。開發學生解決問題的經驗模式。
探究教學該如何進行?	學生基本能力之建立=>探究示範=>開放或拋出議題=>學生接手探究＝＞回饋，反思，發表討論=>教師提供建議=>學生自啟議題=>學生接手探究，進行的過程需特別留意，保留適當的彈性，透過引導式教學與假設性問題及經驗衝突調適，達成可能的模式建立。
學生的探究學習能力應該包括哪些?	細心觀察，主動發現問題，提出假設，表達溝通(相互討論分享)，設計實驗，解決問題，控制變因與記錄，分析歸納結果，推論，形成經驗法則，程式應用，閱讀與論文寫作發表，探索未知的動機
學生較缺乏哪些探究能力?	1.學識稍不足，推論可能原因。 2.統整資料能力，表達能力
施行探究教學的優點是什麼?	學生可依自行思考邏輯以實驗證明對錯，隨時修正模型。接近真實的知識發現歷程，對未知的事物充滿興趣，學生能將探究的方法，活用在其他的學理方面，培養學生獨立學習，終身學習的能力。學習較為紮實，能依照一定的展程學習事物。
施行探究教學的挑戰是什麼?	因為學生最後探索方向可能超出教師本身的專業領域，最好有跨科目的教師共同指導。學生本身的學習動機強烈與否也會影響學習成效。人數若多，老師恐難針對每一同學有足夠的輔導，成績考評難度高。學生學習的知識量在短期內不易看到大量累積，化學實驗有安全顧慮。

6.結論與建議：

(1)課程特色：本「探索式化學實驗課程」為台灣第一個在普通高中化學實驗室實施的主題探究課程，實施對象並非高中數理資優班學生，由全校同學自由選修。課程內容「錯合物」與「電化學與奈米粒子」均為 95 暫綱與 99 化學新課綱新增的單元，屬於新興科技的題材。透過「認知師徒制」和「建模」的學習與評量架構設計課程，循序漸進，引導學生進行探究學習。雖然實作較耗體能，但根據學生喜好程度調查，到了下學期，高達八成的學生喜歡本課程，顯示本課程有推廣的價值。

(2)建議：要進行探究教學，教師須先有正確的探究教學的概念，才能引導學生思考，

培養學生的探究習慣。而學生探索的主題最後可能超出教師本身的專業領域，教師必須跟著成長，或邀請跨科目的教師共同指導。探索活動需要思考與整理資料的時間，故活動時間的掌控相當重要。化學實驗有安全顧慮，教師與學生應做適當的安全演練，能及時進行危機處理。學生與家長的心態要調整，探究能力的提升，短期內不易看到大步的進展，教師的評量方式也要跟著調整。

致謝

本研究承蒙國科會經費補助（總計畫編號：**NSC 97-2514-S-640 -003-GJ**），國立台灣師範大學科學教育研究所邱美虹教授、陳慧蓉老師提供課程設計與實施的建議，與協助本活動的教職員謝秋琴、黃威智、莊佩涓、黃思維、劉燕孝、黃曉薇等老師，使本研究順利的繼續進行中，在此特致感謝之意。

參考文獻

中文部份

教育部（2000）。國民中小學九年一貫課程暫行綱要。台北：教育部。

曹淇峰、譚利亞、廖家榮、林志弘、邱美嬌、蔡蘊明（2009）。探索式化學實驗課程之開發。論文發表於中華民國科學教育學術研討會，彰化，台灣。

邱美虹（2006）。化學教育中建模模式的研發與實踐–總計畫：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物質電的本性之影響。

邱美虹（2007）。模型與建模能力之理論架構。論文發表於中華民國科學教育學術研討會，高雄，台灣。

周金城（2007）。探究中學生對科學模型的分類與組成本質的理解。論文發表於中華民國科學教育學術研討會，高雄，台灣。

吳明珠（2007）。科學模型本質剖析：認識論面向初探。論文發表於中華民國科學教育學術研討會，高雄，台灣。

林靜雯和邱美虹（2007）。從認知/方法論之向度初探高中學生模型及建模歷程之知識。論文發表於中華民國科學教育學術研討會，高雄，台灣。

陳美玉（1998）。教師專業—教學法的省思與突破。高雄：麗文。

蕭次融（1998）。科學教育月刊，第 208 期，40－41 頁。

英文部分

Collins, A., Brown, J., & Newman, S. (1989). Cognitive apprenticeship：Teaching the crafts of reading, writing , and mathematics. In L.Resnick (ED.), Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser.Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates .453-494.

Hofstein,A.,＆Lunetta,V.N.(1982).The role of the laboratory in science teaching : Neglected aspects of research. Review of Education.

Hofstein. A., Levy Nahum, T., & Shore , R. (2001). Assessment of the learning environment of inquiry-type laboratories in high school chemistry. Learning Environments Research, 4, 193-207.