科學教育學刊
1993, 第一卷第一期, 29-50

EJ51-1993-29

化學實驗技能精通學習之教導與評量模式 — 蒸汽蒸餾

洪志明　王澄霞

國立臺灣師範大學化學系

摘要：本文研究大學階段的蒸汽蒸餾實驗技能精通學習之教導與評量模式，發展教學資料和教導策略，以引導學生發展出能同時應用蒸汽蒸餾技能、科學過程技能、學科知識，來解決新遇到的化學實驗問題之能力，即達到學習轉移。教學資料和基準參照評量工具是根據內容分析和教導／評量分析所得結果而設計的。使用 (a) 經由過程概念分析而設計出的概念化問題，(b) 直接教導策略包括連續地提出結構化、審慎安排的問題、充分地練習和小組討論，(c) 教室資訊系統，每位學生都能同時反應，教師能給予一致的回饋，增進學生自我引起動機、自我肯定、自我加強和自我修正。研究結果顯示此種蒸汽蒸餾技能的教導／評量模式的效果可由(1)二十位學生 (91%) 通過具體階層和辨認階層所指派的實驗，十八位學生 (84%) 通過概括階層所指派的實驗；(2)學習的進步也可由平均通過率的增加看出來，由前測至後測 1 再至後測 2 之平均通過率，對於比較分析能力，分別爲 75%、93% 和 97%，對於概括出通則能力，分別爲 67%、92% 和 97%；(3)實驗技能的實作成果與 (a) 實驗技能 (b) 科學過程技能 (c) 學科知識等的測驗成績之間有高的正相關。由研究結果證明蒸汽蒸餾技能的評量工具具有高的信度和效度。

關鍵詞：化學實驗技能，教導／評量策略，基準參照評量，教室資訊系統，精通學習

一、引　言

改進實驗教學的研究工作雖然爲數不少，但有關於大學實驗教學內容者則寥寥無幾 (Tamir, 1989)。一般的實驗課中，教師通常從市售的教科書中直接摘取實驗技能的教材使用，未考慮設計教材和有效的教導／評量策略。有些學生可能會照教師所教的實驗技能去做，但是這祇是短暫的、表面上的學習而已，不會應用到新的實驗情境中而且很快地就會忘掉。任何一種實驗技能的有效教學都需要用適當的教導／評量策略方能達成，這包含選擇實驗活動、安排活動順序和評量學生在不同情境中使用該技能的程度。學生要在這種有效的實驗技能學習過程中，才能夠達到學習遷移並能成功地用以解決新遇到的化學實驗問題，即達成精通學習。

雖然一般化學實驗的教學都很強調實作活動，但是許多學生仍然沒有學會基本的操作技能 (Tamir, 1989)。在傳統實驗課程的個別實作活動中，學生通常多少會學到一些用手操作的技巧 (hand skills)，但很少「用頭腦學習」(head learning)(Johnstone & Letton, 1990)。Woolnough 和 Allsop(1985) 指出學生未發展出心智技能的原因，是實驗室的實作活動不注意發展基本過程技能。另外的原因則是實驗前的討論不足或不適當，沒有把實驗活動和科學過程技能及學科知識關連在一起 (Friedler & Tamir, 1986; Tamir, 1977; Woolnough & Allsop, 1985)。Johnstone 和 Wham(1982) 曾指出探討式 (inquiry-oriented) 實驗活動，需要學生同時應用相關學科知識、實驗技能 (如顯微鏡的使用) 和心智技能 (如形成假說)。但問題是在教學時，通常將宣告性知識 (declarative knowledge)(內容) 和程序性知識 (procedural knowledge)(技能) 分開教給學生，因此沒有建立出來二者之間的交互作用。Tamir(1989) 曾建議在實驗前，先給予學生學會這些基本技能。Rosenshine(1983, 1986) 曾指出，學生的成就與(1)學生反應的頻率，(2)持續的監督學生的了解，特別是教師生動的發問之間有正相關。概念分析曾被使用於改善概念的教導與評量 (Markle & Tiemann, 1970; Klausmeier et al., 1974; Herron et al., 1977; Caulley, 1981; Kean, 1982; Widing, 1985)。這些研究都指出先前的概念分析能規劃有效的探究活動。本研究室曾應用概念分析法在化學實驗技能的精通學習之教學與評量上，例如再結晶和昇華 (Wang & Horng, 1991; 1992)。Wilson(1989) 曾經應用概念分析、資訊處理理論 (information-processing theories) 和小組互動技術 (group-based interactive technology) 於數學的文字問題解決 (word-problem-solving) 上證明有效。Wilson 也指出繼續發問可以鼓勵學生思考，但問題的形式也很重要。設計題目時學生答對題目的比率要高同時題目要能鼓勵學生思考。正答題目的比率應約佔 75-80% 較適當 (Rosenshine, 1986)。新出現的教材每次少量逐步的呈現出來給學生，並對學生的反應要立即給予回饋與修正錯誤，都有助於增大學習的效果 (Kulik & Kulik, 1988)。在傳統的教室情境中很難達到高度的交互作用，一般情況是只有極少數的學生能很活躍地參與討論、發問及 / 或回饋。

概念的學習不僅要了解其爲一種分類的規則，應該要了解概念的用途。概念含有宣告及程序兩種成分，宣告性的成分用於了解概念的意義，程序性的成分用於產生與概念相關技能的正確操作 (Salisbury, et al., 1985)。對於概念的學習，學習者要建構出類似基模 (schemalike) 的結構，以及概念的應用和用概念來作推論 (Tess-

mer, et al., 1989)，因此概念的教學要培養學生能將類似基模與先前學過的知識關聯起來，以達到此目的。要達到此目的，需要有足夠的此概念之例子來讓學生練習，使其能在腦海裡歸納出概念的通則 (Tessmer, et al., 1989)。

蒸汽蒸餾是化學實驗技能之一，它是一種多重工作 (multiple task) 且具有鑑別性屬性，爲一種「過程概念」(process concept)(Herron et al., 1977)。多重工作有許多可能的輸入 (input)，需對不同的輸入作出不同的操作，因此學生必須做一套有代表性的實驗活動來精通此概念 (Klausmeier & Sipple, 1980; Dumas-Carré & Larcher, 1987)。

本研究針對蒸汽蒸餾實驗技能，其研究目的有二：(1)發展此技能精通學習的教導 / 評量模式，使用 (a) 經由過程概念分析而設計出的概念化問題，(b) 使用直接教導策略包括連續地提出結構化、審慎安排的問題、充分地練習和小組討論，(c) 使用教室資訊系統 (classroom information system, CIS)，每位學生都能同時反應，教師能給予一致的回饋，增進學生自我引起動機、自我肯定、自我加強和自我修正。(2)由實際的實驗活動決定出本教導 / 評量模式的有效性。

二、研究方法

研究對象：國立臺灣師範大學化學系二年級學生 22 人。

教學資料：由內容分析 [含結構化工作分析 (Gagné, 1987)、階層概念圖 (Novak & Gowin, 1984) 和過程概念分析] 和教導 / 評量分析 (Klausmeier, 1980; Dumas-Carré & Larcher, 1987; Wang & Horng, 1991) 之結果定出的教導 / 評量基準，從一些主要的有機化學實驗教科書 (Roberts et al., 1985; Fieser & Williamson, 1987) 中選取適當的實驗，來設計蒸汽蒸餾實驗技能教學資料。這些分析由三位教授 (含作者) 進行，指出學生必需要做些什麼、如何做及爲什麼要如此做。內容分析也定出蒸汽蒸餾技能的與其它同等技能 (如分餾) 的不同處，使學生能決定何時選用蒸汽蒸餾技能。內容分析更進一步定出學生學習此技能所必須先具有的先備技能 (prerequisite skills)。製作與使用錄影帶和詳述教材 (recitation materials)，以使學生確實學會蒸汽蒸餾技能所含的單元實驗技能，並因而能正確操作此技能。設計過程概念課程以使學生達到此技能的概念化學習。

評量工具：蒸汽蒸餾實驗技能基準參照評量工具是由此技能的概念分析和評量分析所得的評量基準來設計與效化。試題 - 反應 (item-response) 測驗爲是非題。試題 (問題) 能評量學生的學習達成階層。每一試題針對一個單元技能。在此單元實驗

技能是指要學習的蒸汽蒸餾實驗技能所含的部分技能 (part skills)。每一測驗包含三類試題。第一類評量學生具體階層的「認識－重做」(recognition-repetition) 正確操作能力。第二類評量學生辨認階層的「比較分析」(comparative analytical) 而能做類似實驗能力。第三類評量學生概括階層的「概括化」(generalization) 本實驗並能做一套代表性實驗能力。對於每一階層的前測、後測 1、後測 2，使用對等的複本試題。

教導／評量策略：使用實驗技能基準參照評量作爲幫助與引導學生學習的驅力 (driving force)，也用來將教導與實驗工作目標緊密結合在一起，正確評量出學生的學習情形。用講授課程來引導適當的實驗前討論，討論能促進實驗技能精通學習並把實驗活動與科學過程技能及學科知識關聯起來。在講授課程之前進行前測，以了解學生已經知道多少。在講授課程之後實施後測 1；在做過一套代表性實驗活動之後，實施後測 2，以評量學生是否達到精通學習。本研究所開發的教室資訊系統 (classroom information system, CIS)，主要包含一個電腦與螢幕 (教師用)、S-P 表分析系統、學生反應輸入單元 (含按鈕及傳送數據至電腦的界面等)、大型銀幕顯示器、投影機、錄影機、電視和銀幕等裝置。在教學或評量時，教師使用投影機、錄影機或電腦將教材或問題投射在銀幕上，學生將他們的反應 (答案) 由其坐位上之輸入單元的按鈕立即傳送至電腦，並由電腦處理後依題號及全班學生對該題的答案逐題顯示在大銀幕上，即成爲試題反應表 (item response table)。表中「 1 」表示答對，「 0 」表示答錯。 CIS 之功能有(1)收集與記錄每一學生的反應數據，(2)分析反應數據，(3)提供教師作教學決定的資訊，(4)提供學生立即回饋的資訊，促使學生自我肯定、自我加強、自我修正和小組互動學習，以產生自我引起動機和注意。教導策略用以促使學生在講授課程中活躍參與，包括使用連續結構化的發問、一致的回饋、充分的練習和小組討論。學生的聯繫性反應能夠產生和加強記憶以及有助於回取 (retrieval) 記憶的自動化。如此把資訊加以組織和精緻化，期望在學生的腦海中產生邏輯上的連結。持續的發問加強學生的後設認知 (metacognition)，期望學生把概念化知識變成網路般地回取資訊和回憶片段資訊。我們期望用需要特別認知技能的蒸汽蒸餾技能特定領域內容 (domain specific contents) 之題目來發問，以強化學生的學習期使達到高的認知階層 (辨認和概括階層)。

本研究中處理三個連續的學習達成階層：具體階層、辨認階層、概括階層的方法如下。在具體階層，使用編序教學法，緊緊地引導學生在典型的實驗活動中獲得宣告性知識 (知道些什麼， "knowing that") 和程序性知識 (知道爲什麼， "knowing

how")。在辨認階層，以發問的方式，用與具體階層相類似的實驗來問問題，引導學生去發現要如何去做。在概括階層，學生要接受一套代表性實驗的挑戰，他們必需使用學科知識和科學過程技能，找出適當的方法與手段，以回應教師所提出的問題。化學實驗技能的精通學習是十分吃力的工作，實驗前的廣泛討論期望能引出(evoke)學生將實驗技能、心智技能和學科知識關聯在一起的能力，學生必需自覺地努力將在典型實驗活動中所學到的知識關聯到新的實驗情境中。我們期望所設計的實驗前討論能有助於學生「用頭腦學習」和在實驗實作中能得到良好的成果，同時也期望能看出實驗技能、科學過程技能和學科知識之間的正相關。

三、結果與討論

㈠蒸汽蒸餾實驗技能之分析

蒸餾是分離液體混合物和純化液體最常用的方法，這方法是用加熱使液體蒸發，再將蒸氣冷凝成液體，而加以收集。蒸汽蒸餾爲蒸餾的方法之一，是利用水蒸汽，將混合物中不與水互溶的揮發性成分蒸出，而與不揮發性成分分離的過程。

1. 內容分析

⑴蒸汽蒸餾實驗技能過程概念分析：

蒸汽蒸餾實驗技能過程概念分析可得到其鑑別性屬性和可變性屬性。這些屬性是決定不純物能否用蒸汽蒸餾來分離，以及操作條件的依據。

①鑑別性屬性：

利用水蒸汽將不溶或微溶於水的揮發性化合物從蒸餾瓶內蒸出，而與其它物質分離的過程。

②可變性屬性：

(a) 蒸餾物可爲固體或液體。

(b) 水蒸汽可由蒸餾瓶內產生或由瓶外通入。

⑵蒸汽蒸餾實驗技能的工作流程圖：

參考主要的各版本化學實驗教科書或實驗技能手册歸納出蒸汽蒸餾的實驗工作流程圖。

⑶蒸汽蒸餾實驗技能階層概念圖分析：

蒸汽蒸餾實驗技能的統轄技能 (superordinate technique) 爲分離與純化技能中之蒸餾技能。簡單蒸餾、分餾、蒸汽蒸餾皆爲於蒸餾的一種，故它們爲同等技能 (coordinate technique)。蒸汽蒸餾之先修技能及其階層關係

，如圖 1 所示。

2. 蒸汽蒸餾實驗技能的教導 / 評量分析

蒸汽蒸餾實驗技能精通學習之教導目標 / 評量基準是學生能歸納出蒸汽蒸餾技能的通則與其限制，並在新的實驗情境中能依蒸汽蒸餾技能的屬性和實驗的情況，選擇出適當的方法，來解決混合物之分離問題。蒸汽蒸餾實驗技能的精通學習分成具體、辨認、概括、活用等四個階層來達成，各階層所應具備之能力如下，此即蒸汽蒸餾技能的教導目標 / 評量基準。

(1)具體階層：注意到蒸汽蒸餾技能的鑑別性屬性，建立蒸汽蒸餾技能的雛型 (prototype model)，將蒸汽蒸餾技能與相關的單元技能聯接起來，能分辨出蒸汽蒸餾技能並記住它，具有「認識－重做」正確操作蒸汽蒸餾技能的能力。

(2)辨認階層：能與具體階層的蒸汽蒸餾實驗作比較分析，在不同或新的情境中認出蒸汽蒸餾技能，具有在新的情境中「辨認－再現」蒸汽蒸餾技能的能力，能仿照具體階層的過程進行另一類似的蒸汽蒸餾實驗操作。

(3)概括階層：能概括出一般蒸汽蒸餾技能的通則及可變性屬性，瞭解此技能的類別與階層關係，能概括、區分與統整相關的技能，能用鑑別性屬性定義出蒸汽蒸餾技能。

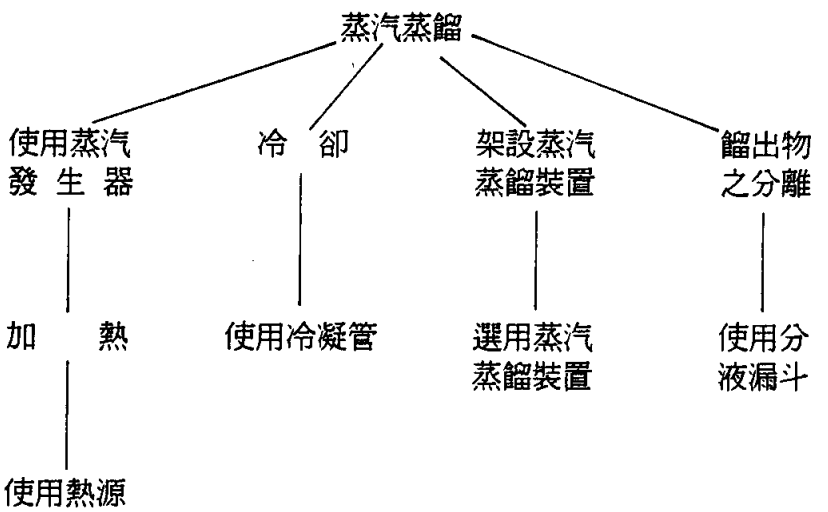


圖 1 蒸汽蒸餾之先修技能及其階層關係

(4)活用階層：能概括出包含特殊情況下蒸汽蒸餾技能的可變性屬性，依據蒸汽蒸餾技能的鑑別性屬性區分出蒸汽蒸餾技能的正例與非例，能判斷出物質能否用蒸汽蒸餾技能來分離，及活用蒸汽蒸餾技能來解決所遇到的化學實驗問題。

㈡蒸汽蒸餾實驗技能精通學習教學資料

在蒸汽蒸餾實驗技能精通學習的過程中，學生主要應學會決定下列兩件事情，教學資料用來幫助學生達成此目標。

1.決定能否用蒸汽蒸餾的方法分離。

混合物能用蒸汽蒸餾分離的條件爲欲分離的成分：(1)具有揮發性（在 100 ℃時的蒸氣壓要大於 5 torr)(Roberts, et al., 1985; Wilcox, 1988)，(2)不溶或微溶於水，不與水蒸汽或熱水作用，(3)蒸汽蒸餾用於分離出不與水互溶的揮發性有機物，此種方法多用於分離沸點很高或沸騰時會分解、反應或重排，而減壓蒸餾又不適用的情況下。

2.推定隨水蒸汽蒸出的成分

會隨水蒸汽蒸出的成分其分子間的作用力較小，與水分子間的作用力較大，故能被水蒸汽帶出而與其它成分分離。蒸出的物質再用其物性和化性來鑑定。

各學習達成階層教學資料的選擇如下：

1.具體階層：

對－硝基苯酚和鄰－硝基苯酚是在其製備過程中一起產生的化合物，用一般的分離方法不易將它們分開。因對－硝基苯酚（熔點 113–114 ℃）有分子間氫鍵、分子間的吸引力較強，不易被水蒸汽帶出；而鄰－硝基苯酚（熔點 44–45 ℃）有分子內氫鍵、分子間吸引力較小，能被水蒸汽帶出。所以此二者的混合物適合蒸汽蒸餾分離的條件，同時它們均爲固體，也可讓學生瞭解蒸餾亦可用來分離固體混合物，因此選作具體階層的實驗活動。

2.辨認階層：

本階層選用另一類似的蒸汽蒸餾實驗－對二氯苯 (p-dichlorobenzene) 和柳酸 (salicylic acid) 混合物的蒸汽蒸餾，二者也都是固體，與具體階層的實驗相類似，利用簡易的蒸汽蒸餾裝置來分離它們，即不由蒸餾瓶外通入蒸汽，而由蒸餾瓶內產生水蒸汽同時將對二氯苯蒸出。

3.概括階層：

本階層選用一些有機化合物的製備實驗中，需用蒸汽蒸餾將產物分離者，如苯

胺 (aniline)、1-溴丁烷 (1-bromobutane) 以及環己烯 (cyclohexene) 等從其製備的反應混合物中分離出來的活動，以使學生概括出蒸汽蒸餾的通則。

㈢學生實作結果

學生實作結果列於表 1，由其中可以看出學生在訓練後學習遷移的情形及學生的學習達成階層。評量學生在各階層能力所表現出的結果，以「＋」號表示蒸餾之

表 1 蒸汽蒸餾實驗技能評量試題反應結果及實作成果

學生號碼	試題反應 (後測 2)			實作成果		
	具體階層	辨認階層	概括階層	具體階層 (註1)	辨認階層 (註2)	概括階層 (註3)
1	100	91	90	+	-	-
2	100	100	100	+	+	+
3	100	100	90	+	+	+
4	91	100	100	+	+	+
5	100	100	100	-	+	+
6	100	100	90	+	+	+
7	100	100	100	+	+	+
8	100	100	100	+	+	+
9	100	100	100	+	+	+
10	100	83	100	+	+	+
11	100	100	100	+	+	+
12	83	100	90	-	+	-
13	100	100	90	+	+	+
14	91	100	100	+	+	+
15	83	91	100	+	+	-
16	100	100	100	+	+	+
17	100	100	100	+	+	+
18	100	83	100	+	-	+
19	100	100	100	+	+	+
20	100	100	100	+	+	+
21	100	100	100	+	+	+
22	100	91	90	+	+	-

註1 鄰- 和對-硝基苯酚混合物之蒸汽蒸餾。

註2 對-二氯苯和苯甲酸混合物之蒸汽蒸餾。

註3 完成一套代表性實驗之五分之四(用蒸汽蒸餾將苯胺，1-溴丁烷以及環己烯等從其製備的反應混合物分離出來)後對未知混合物(unknown)之蒸汽蒸餾。

實驗操作正確，實驗成果良好（達到教材所示之產率和純度）。表中第五行是用一種代表性的蒸汽蒸餾實驗活動，來評量學生具體階層之能力。第六行用類似代表性蒸汽蒸餾實驗活動，來評量辨認階層之能力。第七行是一系列的蒸汽蒸餾實驗活動由學生實際操作這些物質的蒸汽蒸餾並執行一種未知物的蒸餾（這些包含蒸汽蒸餾的鑑別性屬性和可變性屬性），來評量概括階層的能力。第五、六行顯示 91% 學生通過具體階層和辨認階層的實驗。第七行顯示 82% 學生通過概括階層的實驗。

㈣評量試題評量出的學生學習結果

以往我們對於實驗技能的評量是用紙筆測驗，教師在測驗完成後批改試卷，再將結果輸入電腦作 S-P 表分析。此種過程學生無法得到立即的回饋且費力費時。本研究使用 CIS 系統，將學生的反應立即顯示並輸入電腦，作成試題－反應表和 S-P 表，改進了上述缺點。

1. 具體階層：

此階層學生要能正確地操作蒸餾的典型實驗活動，首先用評量學生正確操作的典型實驗－鄰－和對－硝基苯酚混合物的蒸汽蒸餾之試題來評量學生是否達到此階層。由測驗結果建立試題反應表和 S-P 表（表 2、3、4）來分析。此階層的測驗成績（後測 2）列於表 1 之第二行，以答對 80% 爲通過基準。

表 2　蒸汽蒸餾具體階層之 S-P 表 -- 前測

學生	題號												D=0.5899 CA=0.84		
號碼	01	02	05	12	11	09	06	07	04	08	10	03	C.A	%	CSi
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	11	91	0.21
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	11	91	0.21
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	11	91	0.21
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	11	91	0.21
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	11	91	0.21
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	11	91	0.21
21	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	11	91	0.84
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	10	83	0.00
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	10	83	0.00
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	10	83	0.23
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	10	83	0.23
17	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	10	83	0.35
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	10	83	0.35
22	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	10	83	0.35
7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	10	83	0.52
18	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	10	83	0.58
2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	10	83	1.17
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	9	75	0.00
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	9	75	0.09
6	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	9	75	0.29
5	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	9	75	0.43
4	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	9	75	0.48
A.C.	22	22	22	22	21	21	20	20	17	15	11	09			
Pj(%)	100	100	100	100	95	95	90	90	77	68	50	40			
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0			
CPj	.00	.00	.00	.00	.00	.91	.45	.91	.73	.17	%1	.50	.00		

表3 蒸汽蒸餾具體階層之 S-P 表 -- 後測 1

學生	題號												D^2=0.1520 CA=0.96		
號碼	01	02	04	05	06	07	08	09	12	11	10	03	C.A	%	CSi
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11	91	0.00
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11	91	0.00
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	11	91	0.39
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	10	83	0.00
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	10	83	0.00
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	10	83	0.00
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	10	83	0.36
A.C.	22	22	22	22	22	22	22	22	22	21	18	16			
Pj(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	81	72			
CPj	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.16	.00			

表4 蒸汽蒸餾具體階層之 S-P 表 -- 後測 2

學生	題號												D^2=0.0000 CA=0.98		
號碼	01	02	04	05	06	07	08	09	11	12	10	03	C.A	%	CSi
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	100	0.00
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11	91	0.00
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11	91	0.00
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	10	83	0.00
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	10	83	0.00
A.C.	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	20	18			
Pj(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	81			
CPj	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00			

2.辨認階層：

此階層的學生應具有“辨認－再現”蒸汽蒸餾技能之能力，學生要能仿照具體階層的操作，完成另一類似的蒸汽蒸餾實驗－對二氯苯 (p-dichlorobenzene) 和柳酸 (salicylic acid) 混合物的蒸汽蒸餾，而與具體階層作比較。此階層的試題評量學生將此新的實驗情況下之操作，與具體階層所用者相比較的能力（爲省篇幅， S-P 表未在本文列出）。此階層的測驗成績（後測2）列於表 1 之第三行，以答對 80% 爲通過基準。

3.概括階層：

此階層的學生要有“歸納出蒸汽蒸餾的通則”之能力，學生要能從事一般的不純物混合物中蒸餾出所欲分離或純化的化合物，例如用蒸汽蒸餾將苯胺 (aniline)1-溴丁烷 (1-bromobutane) 以及環己烯 (cyclohexene) 等從其製備的反應分離出來。此階層的評量試題評量學生從各種不同的工作中概括出蒸汽蒸餾技能的通則和在新的情境中作出正確判斷與選擇之能力（爲省篇幅， S-P 表未在本文列出）。此階層的測驗成績（後測 2) 列於表 1 之第四行，以答對 80% 爲通過基準。

教學的效果由學生學習進步的情形來評量，此可由前、後測，測驗成績與實作成果及一套代表性的實驗活動成果之間的高正相關來證明。學生學習的進步可由在一套指派的工作中之 S-P 表分析結果， S- 曲線持續右移， P- 曲線持續下移看出。學習的進步也可由平均通過率的增加看出來，由前測至後測 1 再至後測 2 之平均通過率，在具體階層，分別爲 84%、 96% 和 98%；在辨認階層爲 75%、 93% 和 97%；在概括階層爲 67%、 92% 和 97%。在後測 2 所有的題目之 CPj 均爲 0，以 Pj 對 CPj 作圖，所有試題均位於左上方象限，顯示所有試題的品質良好。 S-P 表分析無異常圖樣 (pattern) 顯示教學無不清楚之處。在三個階層的後測 2 中，所有學生的 CSi 數值均爲 0， D* 值均小於 0.2352。小的 CSi 和 D* 數值顯示在教學後學習困難和錯誤學習（不小心犯錯、抄襲或猜測答案）的程度很小。二十位學生 (91%) 通過具體階層和辨認階層所指派的實驗，十八位學生 (84%) 通過概括階層所指派的實驗。學生完成所指派的五分之四 (80%) 以上工作並能完成所指派的未知混合物之蒸汽蒸餾者爲達到概括階層。此等事實與學習進步的一致性可由表 1 中顯示出來。以上所觀察到和討論的學習進步顯示我們對蒸汽蒸餾技能概念化學習的教學方法之有效性，所設計的教學資料和策略能滿足大二有機化學實驗課程，這些結果顯示此模式的有效性。

㈤蒸汽蒸餾實驗技能學習成就與科學過程技能及學科知識的相關

我們認爲當學生以已經學到的典型實例爲基礎而概括出通則時，化學實驗技能的精通學習，可以變爲他們發展心智探究技能的一種設計。蒸汽蒸餾爲蒸餾的方法之一，其所應用的有關概念包括分子結構、分子間的作用力、蒸氣壓和其相互的關係。分子間作用力較小(揮發性)的成分可隨水蒸汽蒸出，而分子間作用力大(不揮發性)的成分則留在蒸餾瓶中。含不互溶成分的混合物之總蒸氣壓，等於各成分蒸氣壓之和。蒸汽蒸餾的餾出溫度低於欲蒸出化合物沸點，因在此溫度時此化合物的蒸氣壓與水的蒸氣壓之和等於大氣壓力。爲了達到良好的實驗結果，學生必須能夠在決定步驟作出正確的判斷和選擇，主要是決定能否用蒸汽蒸餾來分離和推定何物隨水蒸汽蒸出。這種能力是學習遷移的結果。在蒸汽蒸餾的決定步驟中主要需用到的科學過程技能爲推理和預測，所需的學科知識爲蒸氣壓和溶解度，它們與分子結構有關(圖2)。蒸汽蒸餾實驗技能的雙V圖分析結果示於圖3。

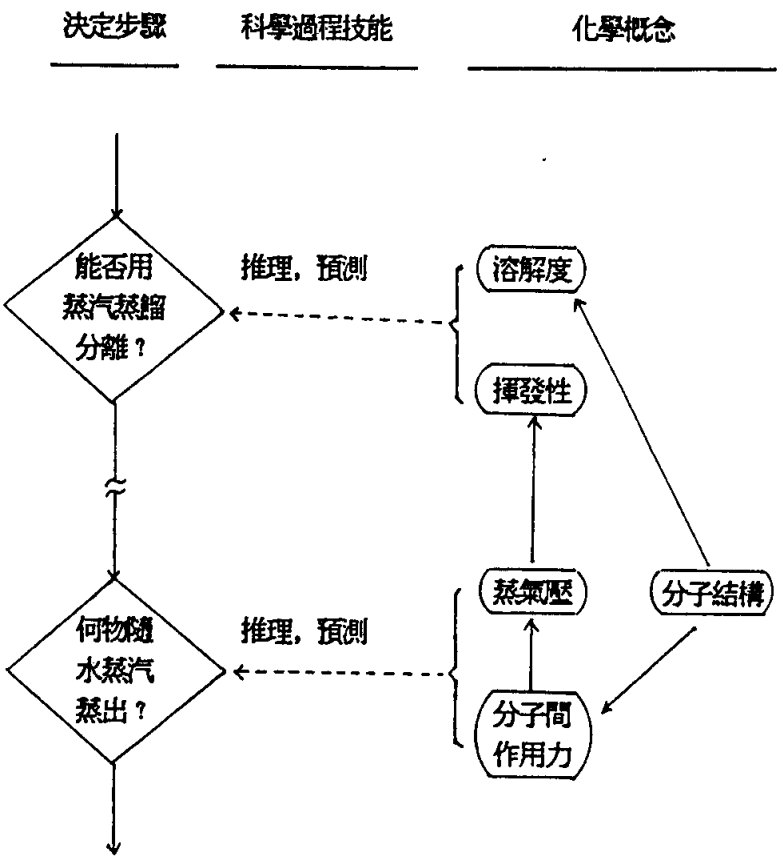


圖2 蒸汽蒸餾實驗技能與其化學學科知識及科學過程技能之相關

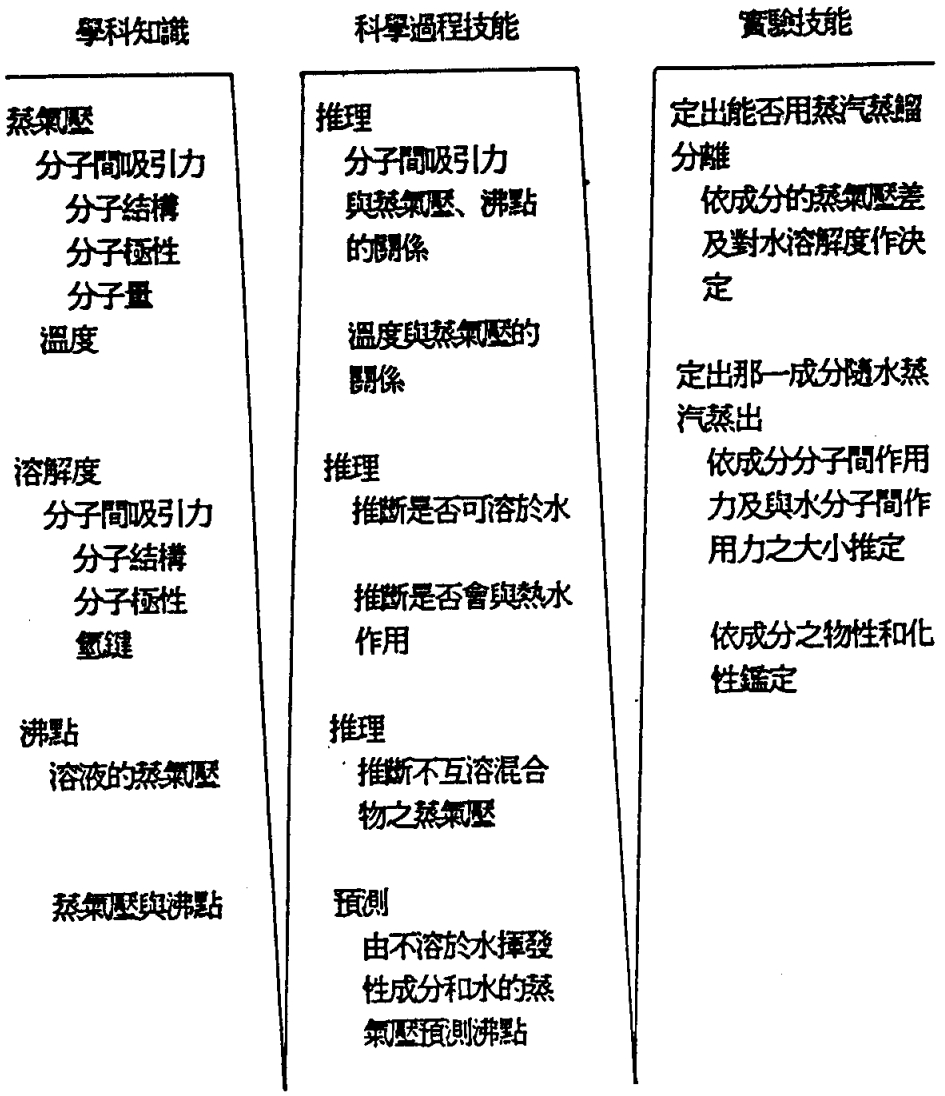


圖 3　蒸汽蒸餾實驗技能的雙 V 圖

使用 CIS 來問問題有助於集中學生的注意力、加速和增強實驗技能的精通學習。我們假定良好的相關學科知識與良好的科學過程技能相結合可以加速達成高的實驗技能學習階層。由檢核所得的結果和回過頭來研究實驗數據，我們期望找出學生實驗技能的學習成就與(1)科學過程技能和(2)學科知識間因果相關。大部分得到良好實作成果（產率高純度也高）的學生，其學科知識、科學過程技能和實驗技能的測驗

成績也高 (Pj>80%)；少數的學生實作成果差，此等測驗的成績也差。(a) 科學過程技能，(b) 學科知識，(c) 實驗技能的測驗成績與實作成果一致的百分比列於表 5。在具體階層，實作成果與 (a)、(b) 和 (c) 的一致程度分別爲 91%、91% 和 95%；在辨認階層分別爲 96%、91% 和 91%；在概括階層分別爲 82%、82% 和 82%。這些結果顯示實作成果與 (a) 科學過程技能，(b) 學科知識，(c) 實驗技能的測驗成績間有很高的正相關。研究結果也顯示三個階層的科學過程技能與學科知識，實驗技能與科學過程技能也有高的正相關 (表 5)。

(六)蒸汽蒸餾實驗技能標準參照精通評量工具的信度與效度

本小組曾設計再結晶、昇華、熔點測定等技能的評量工具，完成並效化後用於此等技能的評量 (Wang & Horng, 1989, 1991; 王、洪, 1988, 1989, 1990)。由設計這些工具的經驗顯示，經由本小組的評量工具設計過程，所發展出的實驗技能評量工具有高的信度和效度。蒸汽蒸餾實驗技能評量工具係採用相同的過程設計出來的，因此在考驗蒸汽蒸餾技能的評量工具之信度和效度時，於評量工具設計完成

表 5 蒸汽蒸餾之 (a) 實作成果，(b) 學科知識，(c) 科學過程技能及 (d) 實驗技能間相關之百分一致程度

		具體階層			辨認階層			概括階層		
		科學過程技能	實驗技能	實作成果	科學過程技能	實驗技能	實作成果	科學過程技能	實驗技能	實作成果
學科知識	佳/佳	91	95	91	91	91	91	73	73	68
	差/差	0	0	0	0	0	5	0	0	14
	合計	91	95	91	91	91	96	73	73	82
科學過程技能	佳/佳		86	91		100	91		100	82
	差/差		0	0		0	0		0	0
	合計		86	91		100	91		100	82
實驗技能	佳/佳			95			91			82
	差/差			0			0			0
	合計			95			91			82

經專家審查完畢後，就使用於蒸汽蒸餾技能的評量，再由學習成就評量的結果分析和實作成果的相關來估計其信度和效度。

我們以前對於化學實驗技能基準參照評量工具的效化方法是用(1)前測與後測結果，(2)檢核表 (checklist) 觀察結果與紙筆測驗結果，(3)評量結果與實作成果，(4)一套合理的代表性實驗活動的成果等之間的正相關來達成，並使用 S-P 表分析法及 CPj 、 CSi 、 D* 等相關數值來證明化學實驗技能評量工具的信度與效度 (王、洪，1989, 1990; Wang & Horng, 1989; 1991; 1992)。因檢核表觀察結果與測驗結果、實作成果有很高的一致性，且需相當多的人力，故本研究中不使用檢核表。我們在以往的研究中也曾與學生個別面談，但本研究在實驗前討論時使用 CIS ，教師由學生對試題的反應結果，與全班或個別學生進行討論，故在本研究中不再使用個別面談。

1. 內容效度：

蒸汽蒸餾技能標準參照精通評量工具是由一組化學專家針對蒸汽蒸餾技能的內容和技能的範疇內，作澈底的檢視所決定。專家檢視列在雙 V 圖中所有的行爲表現是否都包含在測驗試題中來判斷內容效度。

2.試題分析 (item analysis)

(1)試題效度

觀察在 S-P 表中全班學生對每一試題作答的結果，每一試題在 P 曲線上所佔有的部位在訓練後向下移動，表示出每一試題對學習進步的靈敏度和均一性高。實作後觀察 S-P 表比較下列測驗結果：(1)後測 1(做過一次蒸汽蒸餾實驗後)(表 3) 與前測 (表 2) ，(2)後測 2(做過一套合理的代表性實驗活動後)(表 4) 與後測 1 ，可以看出 P 曲線中，每一試題所占的部位全部連續的向下移動。表 2 至表 4 是具體階層的一組 S-P 表，對於其它階層， P 曲線也有向下移動的相同情形。試題效度也可由通過率 (passing rate) 和 CPj 值觀察出來。測驗試題的通過率，由表 2 的 84-91% 提高至表 4 的 83-100% ，顯示出對學習進步的靈敏度高。在表 5 中，各題的 CPj 都爲 0 ，顯示全部試題都良好 (CPj 小於 0.50)。

以通過率 Pj 對 CPj 做圖，蒸汽蒸餾技能標準參照精通評量工具所有的試題均落在左上方象限內，這些試題的 CPj 都小於 0.50 且通過率高於 50% ，故均爲優良試題 (Sato, 1980)。

(2)試題信度 (item raliability)

表 2 至表 4 的 S 曲線上，每一學生所佔的部位連續地向右移動，可以觀察出蒸

汽蒸餾技能評量工具之試題有信度，即個別學生對每一試題之學習進步有一貫性與均一性。由表 2-4 看出，每位學生對每一試題的作答，無紊亂的情形，即對同一題目，前測答對者後測時也答對；或前測時答錯，後測時答對。故知有試題信度。

2. 蒸汽蒸餾技能之標準參照精通評量工具的效標關連效度 (criterion-related validity)

(1)以 S-P 表效化

由表 2 至表 3 至表 4，整個 P 曲線均連續地向下移動，表示評量工具對學習進步的高靈敏度，故評量工具有效標關連效度。由 S-P 表分析結果，蒸汽蒸餾技能評量工具之 D* 由表 2 之 0.5899 降至表 3 的 0.1520 再降至表 4 的 0.0000 。在後測 2 時，辨認和概括階層的 D* 值分別爲 0.2352 和 0.0000 ，顯示評量工具有很高的效度。

(2)以預期表 (expectancy table) 效化

效標關連效度是在兩種測量結果之間的相關程度，預期表可以用來顯示此種關係。此表顯示，對於每一測量結果，學生所表現出對於評量基準精通程度的一致性 (Gronlund, 1982) 。一致性程度 (degree of agreement) 由下式計算得到：

$$\text{一致性程度} = \frac{\text{兩種測驗中相一致人數}}{\text{全部受測的人數}} \times 100\%$$

標準參照精通評量工具很高的預測效度，即測驗成就高的，工作的成果也很好 (Campbell, 1986) 。對於蒸餾技能，工作的成果是餾出物的產率與純度。高純度的液體顯示出其正確且小的沸點範圍。評量結果高分的學生 (91%) 得到高純度與高產率的餾出物 (表 1) 。故此評量工具可以確信有高的效度。

3. 建構效度

建構效度是指理論上的建構 (construct) 可用來說明測驗結果的程度。我們用 Klausmeier (1980) 及 Dumas-Carré 和 Larcher (1987) 的理論爲建構，來說明(1)學生測驗成績的進步情形，(2)在一套合理的代表性實驗活動中之成果的進步情形，以建立蒸汽蒸餾技能評量工具之建構效度。

表 2-4 列出全班每位學生，在前測 (實驗前) 、後測 1(做完一次實驗後) 及後測 2(做完一套代表性實驗活動後) 中，對於每一試題作答的情形。由這些表可看出，在前測時答對者，後測也都答對；或前測時答錯而在後測時答對，沒有紊亂作答的情形，且由前測至後測，答對者持續增多。

每位學生在一套合理的代表性實驗活動中之成果，列在表 1 中，可以看出學生

在訓練後學習遷移的情形及學生的學習達成階層。評量學生在各階層能力所表現出的結果，顯示 91% 的學生通過具體和辨認階層的實驗， 84% 學生通過概括階層的實驗。此結果顯示我們所用的理論建構可用來說明學生實驗活動的成果，並指出學生的學習達成階層。

由以上的結果，可以看出此評量工具有建構效度。

4.蒸汽蒸餾技能標準參照精通評量工具之信度

評量工具的信度是表示該工具用於評量時，其評量結果的一致程度。評量工具的信度是基於其中每一試題的信度。

(1) S-P 表分析

由表 2 至表 3 至表 4 ，整個 S 曲線持續地向右移動，顯示學習成果的一貫性和均一性，由此可看出蒸汽蒸餾技能評量工具有信度。

(2)兩對等形式測驗成過果的比較。

兩對等形式 (two equivalent forms) 的測驗，其成績一致性爲 91% 。計算方式如下：

$$\text{一致性} = \frac{\text{兩形式都精通人數} + \text{兩形式都未精通人數}}{\text{全 部 人 數}} \times 100\%$$

四、 結　語

我們研究大學階段的蒸汽蒸餾實驗技能之精通學習，發展教學資料、評量工具和教導 / 評量策略，以 22 位大二學生爲對象。研究結果顯示此種蒸餾技能的教導 / 評量模式的效果可由(1)二十位學生 (91%) 通過具體階層和辨認階層所指派的實驗，十八位學生 (84%) 通過概括階層所指派的實驗。(2)學習的進步也可由平均通過率的增加看出來，由前測至後測 1 再至後測 2 之平均通過率，對於比較分析能力，分別爲 75% 、 93% 和 97% ，對於概括出通則能力，分別爲 67% 、 92% 和 97% 。(3)實驗技能的實作成果與 (a) 實驗技能 (b) 科學過程技能 (c) 學科知識等的測驗成績之間有高的正相關。由研究結果證明蒸汽蒸餾技能的評量工具具有高的信度和效度。

謝　辭

作者感謝行政院國家科學委員會對本研究的補助 (計畫編號 NSC80-0111-S003-35) 及陳朝棟教授對教學資料和過程提供卓見。

參考文獻

1. 王澄霞、洪志明 (1988)：＜化學實驗技能學習成就評量工具之開發 I. 再結晶技能內容分析與評量要目＞，《中華民國第三屆科學教育學術研討會論文彙編》，國立臺灣師範大學理學院，第 337-356 頁。
2. 王澄霞、洪志明 (1989)：＜再結晶技能評量工具設計＞，《中華民國第四屆科學教育學術研討會論文彙編》，國立臺灣師範大學理學院，第 195-216 頁。
3. 王澄霞、洪志明 (1990)：＜再結晶技能學習達成階層之鑑別性選擇式試題設計＞，《化學》，中國化學會，第 48 卷第 4 期，第 327-226 頁。
4. Caulley, D. N. (1981). *Concept analysis in evaluation.* Paper and report series No. 61. Northwest Regional Educational Lab., Portland, OR.
5. Dumas-Carré, A., & Larcher, C. (1987). The stepping of learning and evaluation. *International Journal of Science Education,* 9(1), 93-104.
6. Fieser, L. F., & Williamson, K. L. (1987). *Organic experiments.* (6th ed.). Lexington: D. C. Health and Company.
7. Freidler, Y. & Tamir, P. (1986). Teaching basic concepts of scientific research to high school students. *Journal of Biological Education,* 20, 263-270.
8. Gagné, R. M. (1987). *Instructional technology: Foundations.* Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
9. Herron, J. D., Cantu, L. L., Ward, R., & Srinivassan, V. (1977). Problem associated with concept analysis. *Science Education,* 61(2), 185-199.
10. Johnstone, A. H. & Wham, A. J. B. (1982). The demand of practical work. *Education in Chemistry,* 19(3), 71-73.
11. Kean, E. (1982). Concept learning theory and design of college chemistry instruction. *Journal of Chemical Education,* 59, 956-959.
12. Klausmeier, H. J., Ghatala, E. S. & Frayer, D. A. (1974). *Conceptual learning and development, a cognitive view.* New York and London: Academic Press Inc.
13. Klausmeier, H. J. & Sipple, T. S. (1980). *Learning and teaching concepts. A strategy for testing application of theory.* New York: Academic

Press, Inc.

14. Markle, S. M. & Tiemann, P. W. (1970). *Really understanding concepts: Or in frumious pursuit of the jabberwoch.* Stipes, Illinois: Chempaign.
15. Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn.* Cambridge: Cambridge University Press.
16. Roberts, R. M., Gilbert, J. C., Rodewald, L. B. & Wingrove, A. S. (1985). *Modern experimental organic chemistry.* NY: Saunders College Publishing.
17. Salisbury, D. F., Richards, B. F. & Lkein, J. D. (1985). Designing practice: a review of prescriptions and recommendations from instructional design theories. *Journal of Instructional Development,* 8(4), 9-20.
18. Sato, T. (1980). The S-P chart and the caution index. *NEC Educational Information Bulletin 80-1.* C & C System Research Laboratory, Nippon Electric Co., Ltd.
19. Tamir, P. (1977). How are the laboratory used. *Journal of Research in Science Teaching,* **14**, 311-316.
20. Tamir, P. (1989). Training teachers to teach effectively in the laboratory. *Science Education,* **73**(1), 59-69.
21. Wang, C. H. & Horng, J. M. (1989). *A design of evaluation tool for assessing fundamental chemistry manipulative technique - Sublimation.* Tenth International Conference on Chemical Education, Aug. 20-25, Waterloo, Ontario, Canada.
22. Wang, C. H. & Horng, J. M. (1989). *An evaluation tool for assessing chemistry manipulative technique - melting point determination.* Presented at symposium on NSC supported science education research.
23. Wang, C. H. & Horng, J. M. (1991). Reliability and validity of instrument to assess chemistry manipulative techniques - capillary melting point determination. *Proceedings of the NSC - Part D,* 1(1), 24-31.
24. Wang, C. H. & Horng, J. M. (1991). Construction and validation of instrument to assess chemistry manipulative technique - sublimation. *Bull. Nat'l Taiwan Nor. Univ.,* Vol. 36, 219-238.

25. Wang, C. H. & Horng, J. M. (1991). A design for implementing mastery learning on sublimation, a chemistry manipulative technique. *Proceedings of the National Science Council, Republic of China, Part D: Mathematics, Science, and Technology Education,* 1(2), 31-41.
26. Wang, C. H. & Horng, J. M. (1992). Correlation of achievement in extraction technique with science-process skills and subject-matter knowledge. *Proceedings of the National Science Council, Republic of China, Part D: Matermatics, Science, and Technology Education,* 2(2), 67-74.
27. Widing, R. W. Jr. (1985). Systematic analysis of chemistry topics. *Dissertation Abstracts International,* 45(7), 2057-A.
28. Woolnough, B. & Allsop, T. (1985). *Practical work in science.* Cambridge Science Education Series, Cambridge University Press.

A Model of Instruction and Assessment for Mastery Learning Chemistry Experimental Techniques: Distillation

Jhy-Ming Horng and Cheng-Hsia Wang

Department of Chemistry, National Taiwan Normal University

Abstract

This paper presents a model of instruction and assessment for mastery learning of the steam distillation technique at university level. Instructional materials and strategies were developed and organized to guide students toward developing ability of simultaneously using the technique, intellectual inquiry skills, and subject matter knowledge to solve chemistry problems new to them, i.e., achieving learning transfer. The instructional materials and instruments were developed on the basis of specific instructional and assessment criteria that arose from content analysis and instruction/evaluation analysis. The model involved (A) direct instruction strategies involving frequent structured questioning, consistent feedback, extensive practice, and group discussion, and (B) a classrom information system for promoting student's self-generated motivation, self-confirmation, self-reinforcement, and self-correction. The efficiency of the model and the validity of the assessment instrument were observed in (1) the facts that 91% of the students passed the experimental assignments at the concrete level and the identity level and 84% of the students passed at the classificatory level; (2) progress of learning indicated by increments in the average passing rates from the pre-test to post-test 1 to post-test 2, which were 75, 93, and 97% for comparative analytical ability and 67, 92, and 97% for generalization ability; and (3) strong positive correlations of the actual results of experimental technique performances with test results on (a) experimental skills, (b) the science-process skills, and (c) the subject-matter knowledge. These strong

correlations and the application of S-P chart analysis were used to validate the criterion-referenced measurement instruments of the distillation technique.

Key words: chemistry experimental technique, mastery learning, instructional/assessment strategy, criterion-referenced measurement, classroom information system