

化學實驗技能概念學習之教材設計 — 蒸餾技能

洪志明 王澄霞

國立台灣師範大學化學系

摘 要

本文研究設計大學階段的蒸餾實驗技能之概念學教材，發展出教材和教導策略，引導學生能發展出同時運用實驗技能、科學過程技能和學科知識，來解決其所新遇到的實驗問題，即達成蒸餾實驗技能的概念學習。蒸餾實驗技能概念學習的教材與評量工具是根據內容分析和教導／評量分析所得的教導與評量基準而設計的。本教材與教導／評量模式的有效性和評量工具的效度由下列成果看出：(1)超過82%的學生達到蒸餾技能概念學習的通過基準。(2)由前測至後測平均通過率增加，顯示出學生學習的進步。(3)學生實驗操作成果與實驗技能、科學過程技能、學科知識間有很高正相關。

關鍵詞：化學實驗技能、概念學習、蒸餾、學習階層、基準參照評

量

A Design of Instructional Material for Conceptual Learning of Chemistry Experimental Technique-Distillation Technique

Jhy-Ming Horng, Cheng-Hsia Wang

Department of Chemistry

National Taiwan Normal University

Abstract

This study designed a set of instructional materials for conceptual learning of distillation technique at university level. Instructional materials and instruction 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 conceptual learning. The instructional materials and assessment instruments were developed on the basis of specific instructional and assessment criteria that arose from content analysis and instruction/evaluation analysis. The efficiency of the Materials, instruction strategies and the validity of the assessment instrument were observed in (1) the facts that above 82% of the students passed at the criteria for conceptual learning of distillation; (2) progress of learning indicated by increments in the average passing rates from pre-test to post-test; 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.

Keywords: chemistry experimental technique, conceptual learning, distillation, criterion-referenced measurement, CLD

壹、緒論

化學是一門實驗的科學，所以在化學實驗課程的教學活動中，非常重視學生對於基本實驗技能的學習。學生在上基本實驗技能的實驗課程時，不應只是學到照著課本所指示的一些操作動作，而是要訓練學生學會正確的操作技能和產生學習遷移，能將所學的實驗技能應用在新遇到的實驗情境中。在大學化學實驗課程中，實驗技能訓練的目的，就是希望學生將來能運用它們在研究實驗和實驗教學工作上，也就是要能有學習遷移。

學生對於化學實驗技能的獲得、保留與活用，一直是化學實驗課程教學所重視的問題。改進實驗教學的研究工作雖然為數不少，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(Tamir 1989)，未考慮設計有效的教材。有些學生可能會照教師所教的實驗技能做，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材與教導／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，即達成概念學習。

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)。巫納(Woolnough)和阿而梭普(Allsop) (1985)指出學生未發展出心智技能原因，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適當，沒有把實驗活動和科學過程技能及學科知識關聯在一起(Friedler & Tamir, 1986; Tamir, 1977; Woolnough & Allsop, 1985)。姜思東(Johnstone)和華姆(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。塔米而(Tamir)(1989)曾建議在實驗前，先給予學生學會這些基本技能。羅森新(Rosenshine) (1983, 1986)曾指出，學生的成就與(1)學生反應的頻率，(2)教師對學生了解情形的持

續監督，特別是教師對學生的生動發問之間有正相關。威爾森(Wilson)(1989)曾經應用概念分析、資訊處理理論(information-processing theories)和小組互動的技術(group-based interactive technology)於解決數學的文字問題(word-problem-solving)上證明有效。威爾森(Wilson)也指出繼續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活躍地參與討論、發問及／或回饋。

蒸餾實驗技能是化學上用以純化液體化合物或將一種化合物與其它物質分離的主要技能。對於蒸餾實驗技能的學習，學生除了要學會各種蒸餾技能的正確操作外，也要達到概念學習，如此才能產生保留，據以瞭解和思考，並產生學習遷移，用以解決新遇到的化合物分離與純化之實驗問題。這種蒸餾技能的學習達到概念學習是很重要的問題，值得研究。「蒸餾」實驗技能包括簡單蒸餾(simple distillation)、分餾(fractional distillation)與蒸汽蒸餾(steam distillation)，它們各有其使用的條件與限制，使用時需根據實驗當時的情況（如物質的結構、沸點高低、雜質的沸點等）決定出該選用何種蒸餾技能，很適用在本研究上。

本研究引用CLD理論(Klausmeier et al., 1980)，將蒸餾實驗技能之概念學習達成階層分成連續的四個階層，由低層至高層依序為具體階層、辨認階層、類推階層和形式階層。本研究的目的是：設計蒸餾實驗技能之概念學習教材，促使學生達成蒸餾實驗技能的概念學習。

貳、研究方法

1. 研究對象

本研究之對象為國立台灣師範大學化學系八十二學年度二年級甲班學生22人。這些學生修過普通化學及實驗課程，對於液體之沸點、蒸氣壓、沸點與外界壓力之關係、分餾之原理和混合液體之蒸氣壓等概念均已學過，對於再結晶、昇華、萃取、熔點測定等技能及先備技能均已學會，目前正在修習有機化學及實驗課程。

2. 研究設計

本研究的設計如圖1所示，為達成蒸餾實驗技能的概念學習，整個設計分成四部

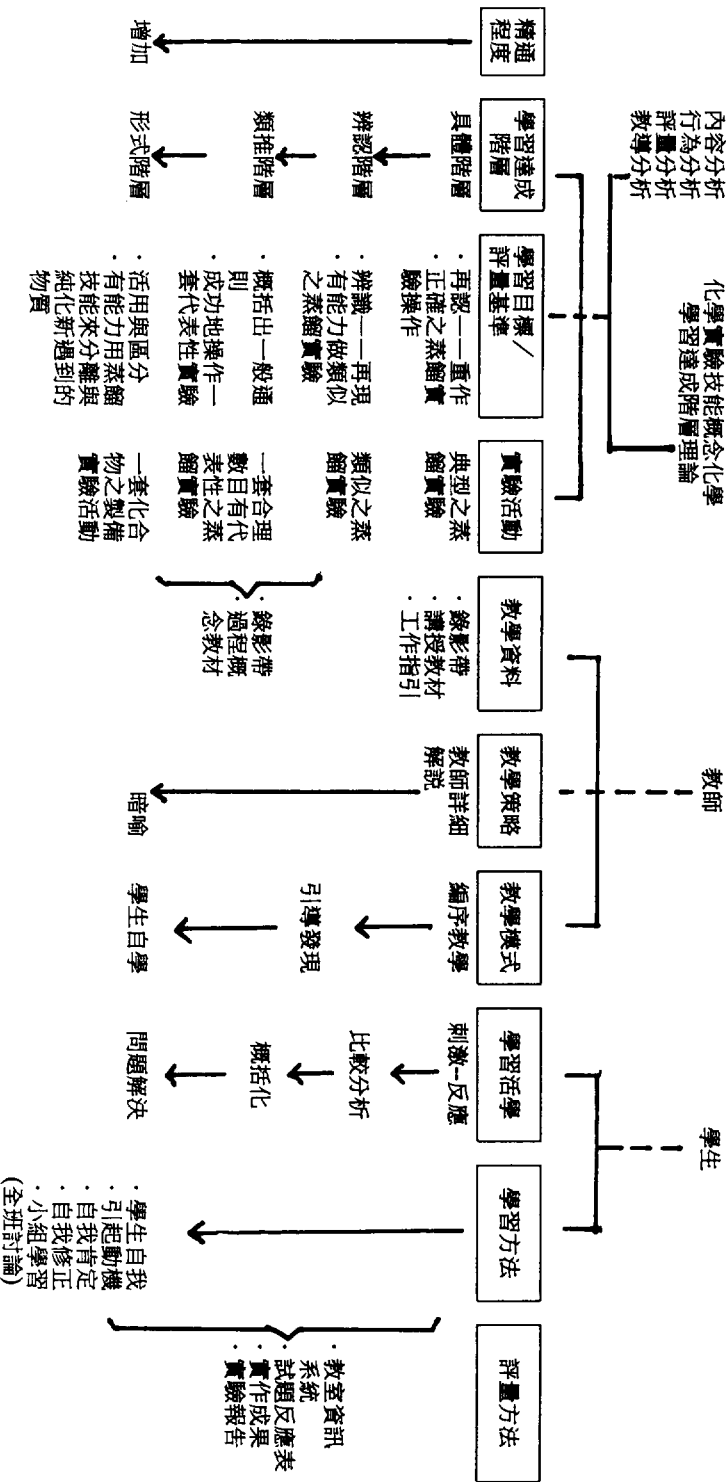


圖 1 蒸餾實驗技能概念化學研究設計

分。第一部分為根據化學實驗技能之概念學習階層理論和各種分析結果, 定出蒸餾實驗技能的各個學習達成階層之能力, 此即教學達成目標和評量的基準, 根據這些基準來選擇蒸餾實驗技能的實作活動。第二部分為教師的教導策略, 包括編輯教學資料、設計教學策略和選用合適的教學模式。第三部分為教導／評量過程, 包含學生的學習過程。第四部分為評量的方法, 並由學生學習成就之相關定出評量工具的信度與效度。

蒸餾實驗技能概念學習的教學策略, 由具體階層至形式階層, 在教師方面由明示（直接）教導逐漸變為暗喻（間接）教導, 而學生的學習方面則由教師的詳細解答（教師給予修正）逐漸變為自我學習（學生自我修正）（表1）。即教學模式由具體階層的編序教學模式, 教師給予詳細的指導, 由學生照著指示去做, 也就是對於問題、方法和解答, 都由教師給予。隨著學習階層的提升, 教師的指導逐漸減少, 變為引導發現模式, 最後則完全交由學生去發現解決蒸餾實驗問題的方法, 也就是成為學生自學, 即開放給學生自行根據所學作判斷與決定。

表1 蒸餾實驗技能各學習達成階層之教學設計

學習階層	問題 (problems)	方法 (ways and means)	解答 (answer)
具體階層	給予 (given)	給予	給予
辨認階層	給予	給予	開放 (open)
類推階層	給予	開放	開放
形式階層	開放	開放	開放

學生學習成就的評量包含對測驗試題的反應及實作成果兩部分。在每一階層進行實驗前實施前測，做完實驗後實施後測。

叁、結果與討論

本文採用概念分析和化學實驗技能之概念學習階層理論，進行蒸餾實驗技能之教材設計，使學生能達成蒸餾實驗技能之概念學習，得到下列結果。

(一)蒸餾實驗技能之教學目標

由蒸餾實驗技能分析之結果定出蒸餾實驗技能之教學目標。其分析結果如下。

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餾來分離或純化，以及決定該用那一種蒸餾方法和操作條件的依據。

a.鑑別性屬性：

蒸餾物在蒸餾瓶內受熱沸騰蒸發，再將其蒸氣冷凝成液體的一種分離或純化的過程。

b.可變性屬性：

(a)蒸餾物溶有固體或含少量揮發性雜質（簡單蒸餾）。

(b)蒸餾物所含成分沸點相差大小不同（簡單蒸餾或分餾）。

(c)蒸餾物為揮發性成分的混合物（分餾）。

(d)蒸餾物的沸點高低不同（常壓或減壓蒸餾）。

(e)蒸餾物在正常沸點時的安定性不同（常壓或減壓蒸餾）。

(f)蒸餾物為含不溶或微溶於水且可被蒸汽帶離的揮發性物質之混合物（蒸汽蒸餾）。

(g)蒸餾物的可燃性不同（使用適當的熱源，選用火燄、電熱板、熱浴或水蒸汽）。

(h)蒸餾溫度的高低不同（使用適當的熱源和冷凝劑，選用水冷或氣冷）。

蒸餾實驗技能概念學習之教導目標／評量基準是學生能歸納出蒸餾實驗技能的通則與其限制，並在新的實驗情境中能依蒸餾技能的屬性和實驗的情況，選擇出適當的蒸餾方法，來解決不純物之分離與純化問題。蒸餾實驗技能的概念學習分成具體、辨認、類推、形式等四個階層來達成，各階層學生所應具之能力如下，此即蒸餾技能的教導目標／評量基準。

(1)具體階層：注意到蒸餾技能的鑑別屬性，建立蒸餾技能的雛型模型(prototype model)，將蒸餾技能與相關的單元技能聯接起來，能分辨出蒸餾實驗技能並記住它，具有「認識—重作」正確操作蒸餾技能的能力。

(2)辨認階層：能與具體階層的蒸餾實驗作比較分析，在不同或新的情境中認出蒸餾技能，具有在新的情境中「辨認—再現」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餾實驗操作。

(3)類推階層：能概括出一般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餾技能。

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

(二)蒸餾實驗技能之概念學習教材

在蒸餾實驗技能之概念學習的過程中，學生主要應學會決定下列三件事情，教學資料用來幫助學生達成此目標。

(1)決定蒸餾的方法：

蒸餾液體時應採取何種蒸餾的方法，視液體及組成之成分的性質而定。如果液體是單一成分、僅是為了提純、或者液體中含有無揮發性之成分，欲藉蒸餾來分離出液

體，則使用簡單蒸餾。如果液體中含有兩種以上揮發性成分，則需使用分餾來分開它們。蒸汽蒸餾則是用於分離出不與水互溶或不易與水互溶的揮發性有機化合物，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)決定常壓或減壓蒸餾：

蒸餾可以在常壓或減壓下進行。如果液體的沸點不是很高，且在沸騰時不會分解，則可在常壓下蒸餾；如果液體的沸點很高或在沸騰時不安定，則需用減壓蒸餾。沸點愈高或是希望在愈低的溫度時將液體蒸出，則所需降低的壓力愈多，即需在愈低的壓力下蒸餾。用水流泵可將壓力降至數十毫米水銀柱，如用油泵(oil pump)則可將壓力降至數毫米水銀柱以下。

(3)決定冷卻劑：

蒸餾時需將液體之蒸氣冷凝成液體。如果液體蒸餾時餾出的溫度在 150°C 以下，可用一般的水冷式冷凝管來冷凝蒸氣；如果超過 150°C ，則需改用空氣冷凝管，因其蒸氣溫度太高，用水冷卻可能會使冷凝管破裂。

1. 簡單蒸餾各學習達成階層之實驗活動：

具體階層：常壓下之簡單蒸餾。

辨認階層：減壓之簡單蒸餾。

類推階層：一套代表性的簡單蒸餾實驗。

(1)具體階層：

此階層的實驗要訓練學生的正確操作，所以選用的實驗活動為蒸餾沸點不是很高或很低，在大氣壓力下容易蒸餾出來，性質安定，蒸餾的回收率不錯的液體化合物。因此簡單蒸餾所選用的實驗為正丙醇的蒸餾，其沸點為 98°C ，高低適中，在蒸餾過程中安定，可用自來水作冷卻劑。此實驗活動含蒸餾技能的所有鑑別性屬性，可作為一種典型的蒸餾實驗。

(2)辨認階層：減壓蒸餾

此階層的實驗活動要選擇一高沸點的液體之蒸餾，在此選用丁酮酸乙酯的蒸餾，因其沸點高（ 180°C ），在大氣壓力下不易蒸餾出來，可供學生比較在大氣壓力下和減壓蒸餾結果的差別。

(3)類推階層：

此階層用一套代表性的簡單蒸餾實驗，此套實驗包含丙酮、乙酸乙酯的蒸餾（常

壓蒸餾)：苯胺的蒸餾(減壓蒸餾)及一未知物(unknown)的蒸餾。

2. 分餾各學習達成階層之實驗活動：

具體階層：常壓下之分餾。

辨認階層：減壓分餾。

類推階層：一套代表性的分餾實驗。

(1)具體階層：

此階層的實驗活動之選擇，要能使學生看出揮發性混合物的蒸餾與單一不純物蒸餾的不同，在蒸餾過程中溫度的變化，蒸餾溫度與其成分之沸點的關係，比較用重複的簡單蒸餾和使用分餾管的蒸餾效果。在此選用的實驗活動為甲醇和水的混合液之蒸餾，甲醇(沸點 64.7°C)和水(沸點 100°C)的沸點相差約 35° 度，不能用一次的簡單蒸餾就能分離，它們的沸點都不高，都是實驗室內常用的物質，適合作分餾的實驗。

(2)辨認階層：

此階層的實驗活動要選擇一液體混合液之減壓分餾，在此選用丁酮酸乙酯—乙酸的分餾，因其沸點較高，在大氣壓力下不易蒸餾出來。可供學生比較在大氣壓力下和減壓時分餾結果的差別。

(3)類推階層：

此階層用一套代表性的分餾實驗活動，此套實驗包含乙酸乙酯和乙酸正丁酯、環己烷和正庚烷、乙酸和水及一未知物混合液(unknown)的分餾。

3. 蒸汽蒸餾各學習達成階層之實驗活動：

在蒸汽蒸餾實驗技能概念學習的過程中，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為欲分離的成分：(1)具有揮發性(在 100°C 時的蒸氣壓要大於5torr) (Roberts, et al., 1985; Wilcox, 1988)，(2)不溶或微溶於水，(3)不與水蒸汽或熱水作用。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。

蒸汽蒸餾各學習達成階層之實驗活動為：

(1)具體階層：

對一硝基苯酚和鄰一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。因對一硝基苯酚（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；而鄰一硝基苯酚（熔點44-45℃）有分子內氫鍵，分子間吸引力較小，同時它們均為固體，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—對一二氯苯(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一二氯苯蒸出。

(3)類推階層：

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)等從其製備的反應分離出來的活動，以使學生概括出蒸汽蒸餾的通則。

(三)蒸餾實驗技能概念學習基準參照評量工具

本研究設計針對蒸餾實驗技能各學習達成階層的教學目標／評量基準，設計完成蒸餾技能基準參照精熟評量工具，其試題形式為是非題。每一階層的試題包含學科概念、實驗技能和科學過程技能的試題。

(四)蒸餾實驗技能學生對試題反應及實作結果

簡單蒸餾、分餾及蒸汽蒸餾學生對試題反應（後測）及實作結果分別列於表2至表4。學生對每一階層試題後測的答對率在80%以上時，表示測驗成績達該階層之通過基準。以簡單蒸餾為例（表2），所有學生在各階層的答對率均超過80%，即均達通過基準。表中也列出每位學生在一套合理的代表性實驗活動中之實作成果，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「十」號表示蒸餾之實驗操作正確，實驗成果良好。表中第五行是用一種典型的蒸餾實驗活動，來評量學生具體階層之能力。對於未通過的學生，讓其重作原來實驗，直到通過為止。第六行用類似典型的蒸餾實驗活動，來評量辨認階層之能力，未通過者由教師給予另一蒸餾實驗重作，直到通過為止。第七行是一系列的蒸餾實驗活動，由學生實際操作選出這些物質的蒸餾方法並執行一種未知物的蒸餾（這

些包含蒸餾的鑑別性屬性和代表性的可變性屬性），來評量類推階層的能力。以簡單蒸餾為例（表2），第五行顯示二十位學生（91%）通過具體階層所指派的實驗活動。第六行顯示十九位學生（86%）通過辨認階層所指派的實驗活動。第七行顯示十八位學生（80%）通過類推階層所指派的實驗活動。對於分餾，具體、辨認及類推等各學習，達成階層實作的通過率分別為100%、100%和95%（表3）。對於蒸汽蒸餾，具體、辨認及類推等各學習達成階層實作的通過率分別為91%、91%和84%（表4）。

表2 簡單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），%			實作成果		
	具體階層	辨認階層	類推階層	具體階層 (註1)	辨認階層 (註2)	類推階層 (註3)
1	100	87	90	+	+	+
2	100	100	100	+	+	+
3	100	100	90	+	+	+
4	100	100	100	+	+	-
5	100	100	86	+	+	+
6	100	100	100	+	+	+
7	81	81	90	+	+	+
8	100	100	95	-	+	-
9	100	100	95	+	+	+
10	100	100	100	+	+	+
11	100	100	100	+	+	+
12	100	100	100	+	-	-
13	100	100	100	+	+	+
14	100	100	100	+	+	+
15	100	100	90	+	+	+
16	100	100	100	+	+	+
17	100	100	90	+	-	+
18	100	93	90	+	+	+
19	100	100	90	+	-	+
20	100	93	90	+	+	+
21	100	93	95	-	+	+
22	100	100	100	+	+	+

註1 正丙醇之常壓蒸餾。

註2 丁酮酸乙酯之減壓蒸餾。

註3 完成一套代表性實驗之五分之四（用減壓蒸餾苯胺，用常壓蒸餾丙酮及乙酸乙酯）後對未知混合物(unknown)之簡單蒸餾。

表3 分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），%			實作成果		
	具體階層	辨認階層	類推階層	具體階層 (註1)	辨認階層 (註2)	類推階層 (註3)
1	92	80	100	+	+	+
2	85	100	100	+	+	+
3	92	100	100	+	+	+
4	92	100	100	+	+	+
5	78	70	100	+	+	+
6	85	100	100	+	+	+
7	78	100	100	+	+	+
8	100	100	100	+	+	+
9	100	100	100	+	+	+
10	100	100	100	+	+	+
11	100	100	100	+	+	+
12	100	100	85	+	+	+
13	100	100	100	+	+	+
14	100	100	100	+	+	+
15	92	100	100	+	+	+
16	92	100	100	+	+	+
17	100	90	85	+	+	+
18	100	100	85	+	+	+
19	100	90	100	+	+	+
20	92	80	71	+	+	+
21	100	100	85	+	+	-
22	100	91	100	+	+	+

註1 甲醇—水混合物之常壓分餾。

註2 丁酮酸乙酯—乙酸混合物之減壓分餾。

註3 完成一套代表性實驗之五分之四（用乙酸乙酯和乙酸正丁酯、環己烷和正庚烷、乙酸和水的分餾）後對未知混合物(unknown)之分餾。

表4 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），%			實作成果		
	具體階層	辨認階層	類推階層	具體階層 (註1)	辨認階層 (註2)	類推階層 (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	91	+	+	-

註1 鄰一和對一硝基苯酚混合物之蒸汽蒸餾。

註2 對一二氯苯和柳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。

為探討學生是否達成蒸餾實驗技能的概念學習，即學生在新遇到的實驗情境中，能否選擇出最適當的蒸餾方法和完成實驗操作。本研究使用在一些有機化合物的製備實驗活動過程中，評量學生能否選用適當的蒸餾方法來分離或純化這些反應的反應物、中間物或最終產物，包括方法的正確性和實驗結果是否良好。這些欲製備的有機化合物為2-戊酮(2-pentanone)、乙基正丁醚(ethyl n-butyl ether)、1,1,1-三甲基丙酮(pinacolone)、對-氯甲苯(p-chlorotoluene)、苯胺(aniline)、cis-norborene-5, 6-endo-dicarboxylic anhydride (表5)。其中2-戊酮和乙基正丁醚需用簡單蒸餾純化產物，1,1,1-三甲基丙酮需用蒸汽蒸餾分離出產物並用分餾加以純化，對-氯甲苯需用蒸汽蒸餾分離產物並用減壓之簡單蒸餾純化，cis-norborene-5, 6-endo-dicarboxylic anhydride需用常壓分餾純化反應物環戊二烯(cyclopentadiene) (表4)。表中「十」表選用的蒸餾方法正確和實驗結果良好(產率和純度達到通過基準)，而「一」則否。對於選錯方法者，經訂正後進行實作。評量結果顯示，所有學生對2-戊酮和乙基正丁醚都選對蒸餾方法，實作成果良好。對於1,1,1-三甲基丙酮和對-氯甲苯，各有二十位學生(91%)選對蒸餾方法，實作成果則1,1,1-三甲基丙酮都良好而對-氯甲苯有十九位學生(86%)良好。對於苯胺，有十八位(82%)選對方法，二十位(91%)實成果良好。因苯胺沸點較高(180度)，以用減壓簡單蒸餾純化為宜，錯誤的學生選用常壓簡單蒸餾。cis-norborene-5, 6-endo-dicarboxylic anhydride以常壓分餾將環戊二烯單體(monomer)與其雙體(dimer)分離，有十八位(82%)選對，其於的錯選用常壓簡單蒸餾，實作成果有二十位(91%)良好。由此結果，顯示80%以上的學生能在新遇到的實驗情境中，選擇出最適當的蒸餾方法和得到良好的蒸餾結果，因此對蒸餾技能的概念學習，本研究使用的教材與教導／評量模式，確實有效。

(五)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

我們認為當學生以已經學到以典型實例為基礎而概括出通則時，化學實驗技能的概念學習，可以變為他們發展心智探究技能的一種設計。蒸餾是利用物質的沸點不同，將不純的液體純化或將混合物分離的一種過程。為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，主要是選擇蒸餾的方法。這種能力是學習遷移的結果。在蒸餾的決定步驟中主要需用到科學過程技能為推理和預測，所需的學科知識為蒸氣壓和液體的沸點。蒸氣壓與分子結構有關，沸點和液面上的壓力有關（圖2）。蒸餾實驗技能的雙V圖分析結果示於圖3。

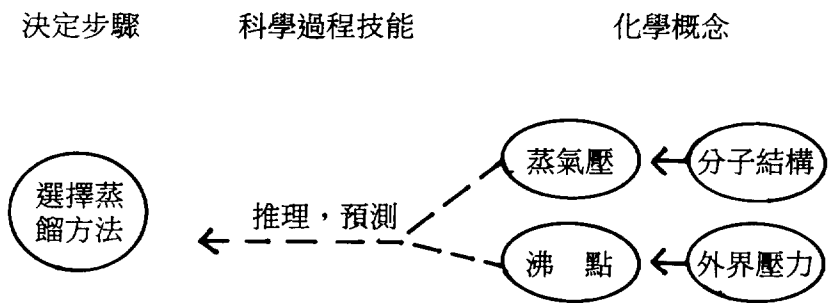


圖2 蒸餾實驗技能與其化學學科知識及科學過程技能之相關

學科知識	科學過程技能	實驗技能
蒸氣壓 分子間吸引力 分子結構 分子極性 分子量 溫度	推理 分子間吸引力 蒸氣壓與沸點的關係 溫度與蒸氣壓的關係	選擇蒸餾方法 依蒸餾物的組成決定蒸餾方法
沸點 沸點與液面壓力	預測 由液面壓力預測沸點	依蒸餾物的沸點差決定蒸餾的方法
溶液的蒸氣壓	推理 由含非揮發性溶質推斷蒸氣壓之降低	依蒸餾物的性質決定蒸餾方法
蒸氣壓與沸點	預測 由蒸氣壓預測沸點 由不溶於水揮發性物質和水的蒸氣壓預測沸點	決定蒸餾的壓力 依蒸餾物的沸點決定用常壓或減壓 依蒸餾物的安定性決定常壓或減壓
		選用冷卻劑 依蒸餾溫度決定冷卻劑

我們期望找出學生實驗技能的學習成就與科學過程技能和學科知識間因果相關。研究結果顯示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（通過率高於80%）；少數的學生實作成果差，此等測驗的成績也差。以簡單蒸餾為例，其(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6。在具體階層，實作成果與(a)，(b)和(c)的一致程度分別為91%，82%和96%；辨認階層分別為82%，82%和82%；在概括階層分別為91%，86%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6）。表7與表8也顯示分餾和蒸汽蒸餾各階層的(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有高的一致性。

表6 簡單蒸餾之(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			類推階層		
		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	86	86	77	100	100	82	95	95	86
	差／差	0	5	5	0	0	0	0	0	0
	合計	86	91	82	100	100	82	95	95	86
科學過程技能	佳／佳		95	91		100	82		91	86
	差／差		0	0		0	0		0	5
	合計		95	91		100	82		91	91
實驗技能	佳／佳			91			82			82
	差／差			5			0			0
	合計			96			82			82

表7 分餾之(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			類推階層		
		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	95	82	91	77	86	95	95	73	95
	差／差	0	0	0	5	5	5	0	0	0
	合計	95	82	91	82	91	100	95	73	95
科學過程技能	佳／佳		82	91		77	77		73	91
	差／差		5	5		9	5		5	0
	合計		87	96		86	82		78	91
實驗技能	佳／佳			82			86			73
	差／差			9			5			5
	合計			91			91			78

表8 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			類推階層		
		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

肆、結論

本研究得到下列成果：

1. 完成蒸餾實驗技能內容分析，定出蒸餾實驗技能各學習達成階層的行為表現，各學習階層的教導實驗活動，訂出蒸餾實驗技能出各學習達成階層的能力，作為教學的目標和評量的基準。
2. 設計與編輯完成蒸餾實驗技能各階層的教材，包括詳述教材、過程概念教材、蒸餾技能示範錄影帶、工作指引，研究結果顯示這些教材確實有助於使學生產生有效學習。
4. 設計出的教導模式／評量策略，能使學生能在蒸餾實驗之決定步驟做出適當決定，產生學習遷移，活用蒸餾實驗技能在新遇到的情境之中，達到概念學習。
5. 訂出蒸餾實驗技能出學習成就與科學過程技能、科學概念成就之間的相關程度。結果顯示它們之間有高的一致性。
7. 設計完成蒸餾實驗技能基準參照評量工具。

參考文獻

- Freidler, Y. & Tamir, P. (1986). Teaching basic concepts of scientific research to high school students. *Journal of Biological Education*, 20, 263-276.
(Ph.D. Dissertation, State University of New York at Buffalo).
- Johnstone, A. H. & Letton, K. M. (1990). Why do practical work? A researcher's point of view. *International Newsletter on Chemical Education*, No. 34, December, 14-18.
- Johnstone, A. H. & Wham, A. J. B. (1982). The demand of practical work. *Education in Chemistry*, 19(3), 71-73.
- Klausmeier, H. J., & Sipple, T. S. (1980). *Learning and teaching concepts. A strategy for testing application of theory*. New York: Academic Press, Inc.
- Kulik, J. A. & Kulik, C.-L.C. (1988). Timing of feedback and verbal learning. *Review of Educational Research*, 58(1), 79-97.
- Rosenshine, B. & Steven, R. (1986). Teaching functions. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of Research on Teaching*. (3rd ed.). 376-379. New York: MacMillan Publishing Company.
- Wilson, L. (1989). Application of technology to cognitive development. In Martin, D., Ed. *International Symposium on Cognition, Education, and Deafness. Volume II*. Washington, DC, July, 6-8, 1989.
- Woolnough, B. & Allsop, T. (1985). *Practical work in science*. Cambridge Science Education Series, Cambridge University Press.