

# 以概念分析法 探討化學實驗教材之內容 ——再結晶技能——

洪志明

化學系

## 摘 要

本研究使用由 Markle 和 Klausmeier 等人所發展出來的概念分析法，來分析化學實驗教材之內容。由概念分析，比較概念的一些正例與非例，可找出此概念的鑑別性屬性和可變性屬性。這些屬性可用來：(1)寫出概念的最佳定義；(2)設計合理的教學程序；(3)設計相配合的標準參照評量項目。

本研究採用概念分析法，設計化學實驗教材內容分析量表，並分析比較各版本大學化學實驗教材中，「再結晶」技能的實驗內容。研究結果指出各版本教材之缺點，並建議應改進之項目。

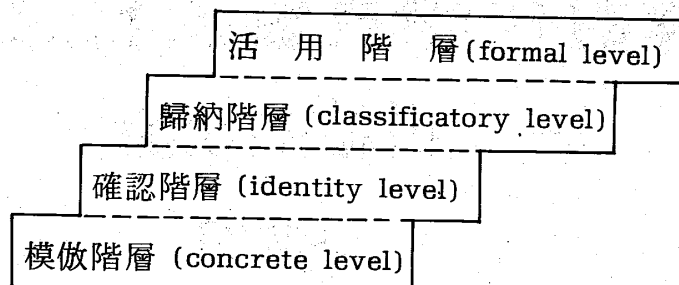
## 一、前 言

化學實驗的教學，是化學教育中重要的一環，但是教師與學生對這方面的成就都感到挫折。學生不能確認實驗工作的意義，教師也因學生表現出的學習遷移是如此的少而感到失望 (Novak, 1979)<sup>1</sup>。在大學化學入門課程 (introductory chemistry course) 最重要的目的是訓練正確的實驗技能和培養良好的實驗工作習慣 (Eglen and Kempa, 1974)<sup>2</sup>，因此良好的實驗教材，其編寫內容與編排方法要注意如何能訓練學生正確的實驗操作技能和產生學習遷移。

Herron (1977)<sup>3</sup> 在討論概念的類別 (categories of concepts) 時，曾將有關過程的概念歸為一類，稱為 "concepts that name process"。在化學實驗技能中，如再結晶就是一種過程，因此我們可以把實驗技能 (如再結晶) 作概念分析。

概念分析法是檢查概念如何能夠教給學生的一種正式過程 (Herron, 1977)<sup>3</sup>。由概念分析所得的結果，可以得知應該教給學生什麼內容？如何去教？也可以用來評量學生學到了沒？如果錯了，從教育的觀點來說，更重要的是要知道錯在何處？如何補救教學？

Klausmeier (1974)<sup>4</sup> 的認知學習與發展理論 (cognitive learning and development theory, CLD theory) 認為概念學習的達成，可以分成連續的四個階層，如圖一所示。



圖一 概念學習達成的四個階層

我們也可以將實驗技能的學習，分成這樣由模倣到活用的四個連續階層（王澄霞等，1987）<sup>7</sup>。學生對於一種實驗技能的學習，絕不會只做一個實驗活動就能夠達到學習的最高層次。因此實驗教材的內容，必需要安排一系列有意義的實驗活動，才能真正教會此種實驗技能，也就是能產生學習遷移。

把實驗技能作概念分析，可以得到此技能所有的鑑別性屬性和可變性屬性，它們是學生學習的重點。實驗教材要能夠提供足夠數目的「正例」(sample) 和「非例」(non sample)，使學生能從這些「正例」和「非例」中學到這種技能的所有屬性，也就是如同上述，要安排一系列有意義的活動，使學生從這些實驗活動中能歸納出有關技能之通則 (generalization) 和能與其他技能作區分 (discremination)。這時學生對於實驗技能的學習，已經達到高的學習階層。

本文的目的，是分析比較各版本化學實驗教材中「再結晶」實驗活動之內容，是否能提供學生對「再結晶」技能作完整之學習，並指出其優缺點，供學驗教學之參考。

## 二、研究方法與步驟

本研究設計實驗教材內容分析量表，採用內容分析法 (content analysis) (Klausmeier, 1976)，分析各實驗教材，並使用比較研究法，與「再結晶」技能之概念分析結果相比較，且分析探討各教材能達成的學習階層。最後比較出各教材之優缺點並指出優良教材應具備的條件。研究進行之內容分析步驟如下：

1. 過程分析 (procedure analysis)：分析各教材中之「再結晶」實驗步驟。
2. 概念階層圖 (hierachical concept mapping)：分析教材是否圖示或指出「再結晶」與其他技能，如先修技能、同等技能、統轄技能、次屬技能間之概念階層，訂出它們之間的相互階層關係。
3. 概念分析 (concept analysis)：確定再結晶的鑑別性屬性和可變性屬性；分析各教

材中實驗活動所指出之屬性。

4. 結構化工作分析 (structured task analysis) : 以流程圖示出各實驗步驟之順序關係，並確定每一個實驗的步驟是一個操作步驟 (operational step) 或是一個決定步驟 (decision, step)，並決定這些步驟是單向 (linear) 操作或是反覆 (repetitive) 操作。

5. 工作備忘錄 (job aid) : 分析教材中是否指出一些在實驗過程中是重要但不屬於屬性的可查閱資料。

6. 教學活動分析 (instructional analysis) : 分析各教材是否指出那些是先修技能，是否提供足夠的正例與非例的實驗活動及學完該教材後學生能達到的學習階層。

我們根據以上六大項設計實驗教材內容分析量表，分析各版本實驗教材有關「再結晶」之內容，並作比較，探討其優缺點並提出編寫優良化學實驗技能之教材的建議事項。

### 三、研究結果

#### 1. 教材內容分析量表設計

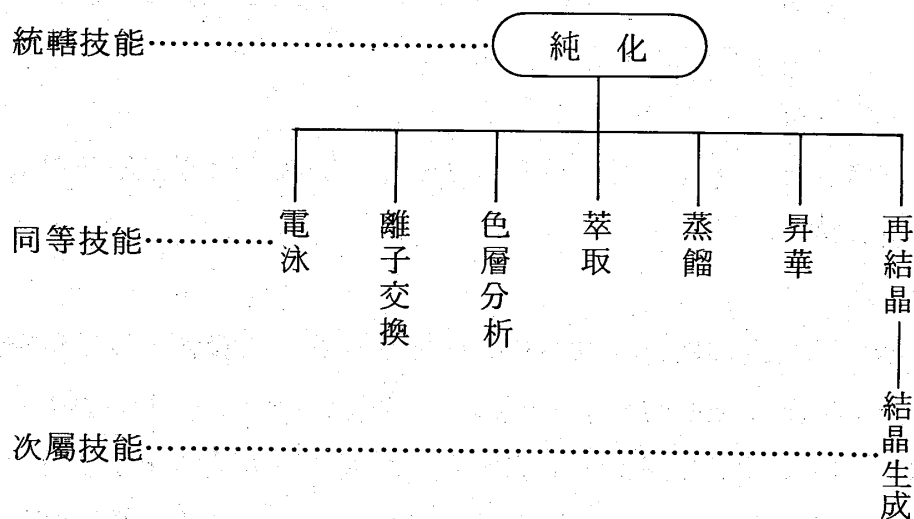
我們設計了實驗教材內容分析量表 (如附表 1)，表中分析項目分成六大項。分析時在表上空格分別以打「√」或填寫方式進行。各大項內容如下：

##### ① 過程分析

表上代號分別代表再結晶的七個步驟：1. 選擇溶劑；2. 將晶體溶解；3. 脫色；4. 熱過濾；5. 冷卻溶液，晶體生成；6. 濾出並清洗晶體；7. 乾燥晶體。如教材上有該步驟，則在代號之空格上打「√」號。

##### ② 概念階層圖

「再結晶」技能之統轄技能、同等技能和次屬技能如圖二：



圖二 再結晶技能與其他純化技能之關係 (taxonomical analysis)

此概念階層圖是我們研究的結果，分析時看各教材是否有列出此種關係。因為由此圖形，學生才可以充分了解「再結晶」技能在化學實驗技能中與其他技能之關係。

### ③ 概念分析

「再結晶」技能之概念分析結果如下（王澄霞等，1988）<sup>5</sup>：

#### 鑑別性屬性：

1. 欲再結晶的化合物在室溫時必是固體。
2. 欲再結晶的化合物，溶解在最少量的沸騰溶劑中，當熱溶液冷卻時析出最大量的晶體（最高再結晶產率）。
3. 欲再結晶的化合物在沸騰溶劑中的溶解度極大，而在冷溶劑中的溶解度極小。
4. 溶劑對化合物所含的雜質之溶解度極大或極小。
5. 欲再結晶之化合物不與溶劑發生化學反應。
6. 溶劑之沸點低於晶體之熔點。

#### 可變性屬性：

1. 溶劑可以是單一溶劑或混合溶劑。
2. 欲再結晶的化合物具有一定的晶體構造。
3. 晶體有敏銳的熔點（sharp mp）。
4. 溶劑容易移去。

#### 定義：

再結晶是一在室溫時為固體的不純化合物，溶解於沸點低於它的熔點且不與它發生反應的最少量沸騰溶劑中，濾去不溶之雜質，當所形成的熱溶液冷卻時，此化合物重新結晶而雜質仍溶在溶液中的一種純化過程。

同等技能：各同等技能之代號如下：1.昇華；2.蒸餾；3.萃取；4.色層分析；5.離子交換；6.電泳。分析各教材中有無此等技能，以供學生能作「區分」。

次屬技能：1.結晶生成。

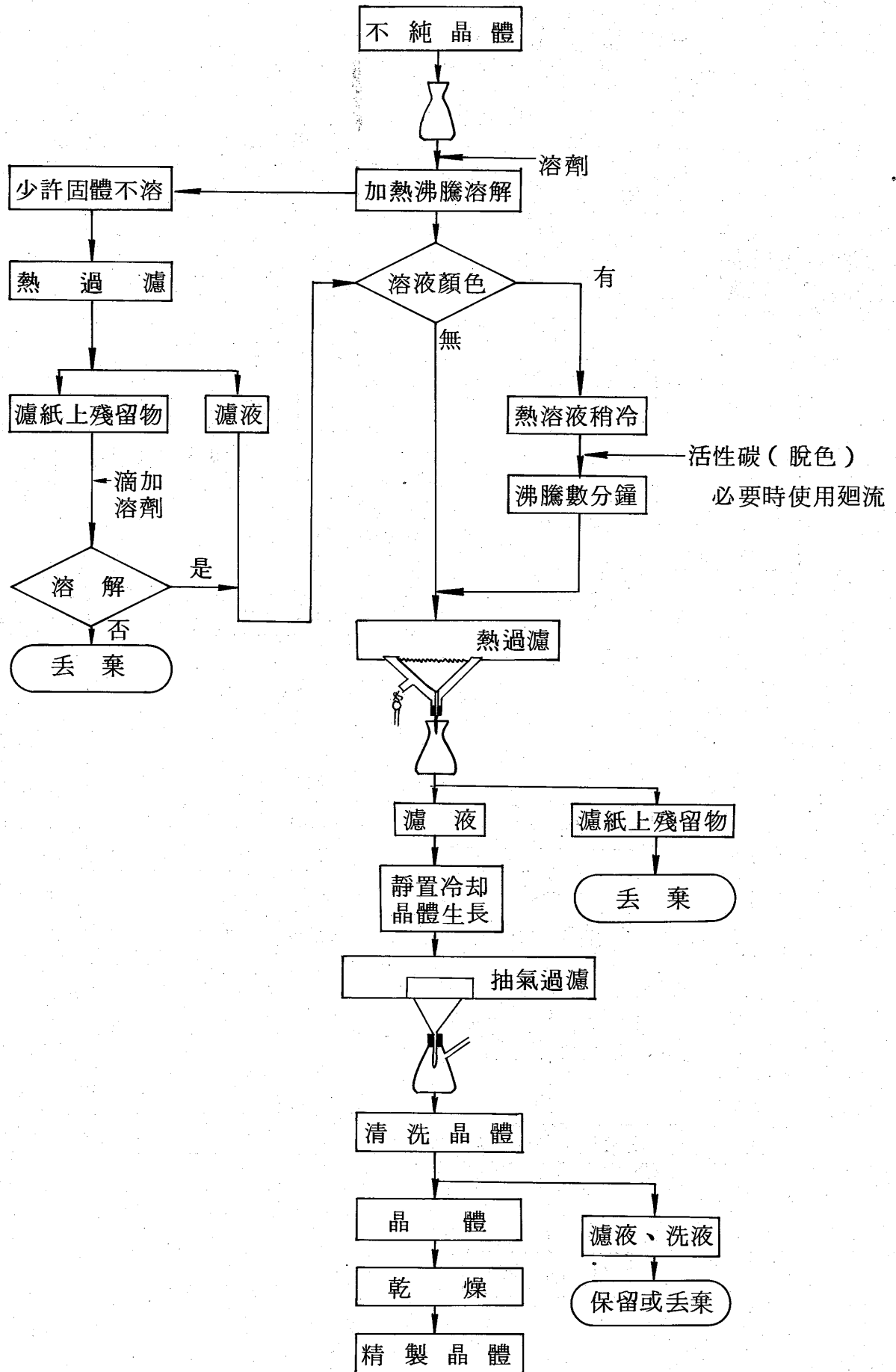
### ④ 結構化工作分析：

「再結晶」實驗操作之流程圖如下（王澄霞等，1985）<sup>5</sup>：圖三為選擇溶劑流程圖，圖四為再結晶流程圖。

### ⑤ 工作備忘錄

分析教材中是否指出一些重要但不是屬性的參考數據或資料，以供實驗操作時參考及作決定之依據，表上代號內容為：1.純物質熔點範圍為  $0.5 \sim 1.0^{\circ}\text{C}$ ；2.欲再結晶之固體，雜質含量要低於 20%；3.溶解度在沸騰時要大於室溫時五倍以上；4.溶劑沸點要低於  $150^{\circ}\text{C}$ ，高於  $60^{\circ}\text{C}$ ；5.溶劑用量不超過固體量之 20 倍；6.脫色碳用量為固體量之 2 ~ 5 %。

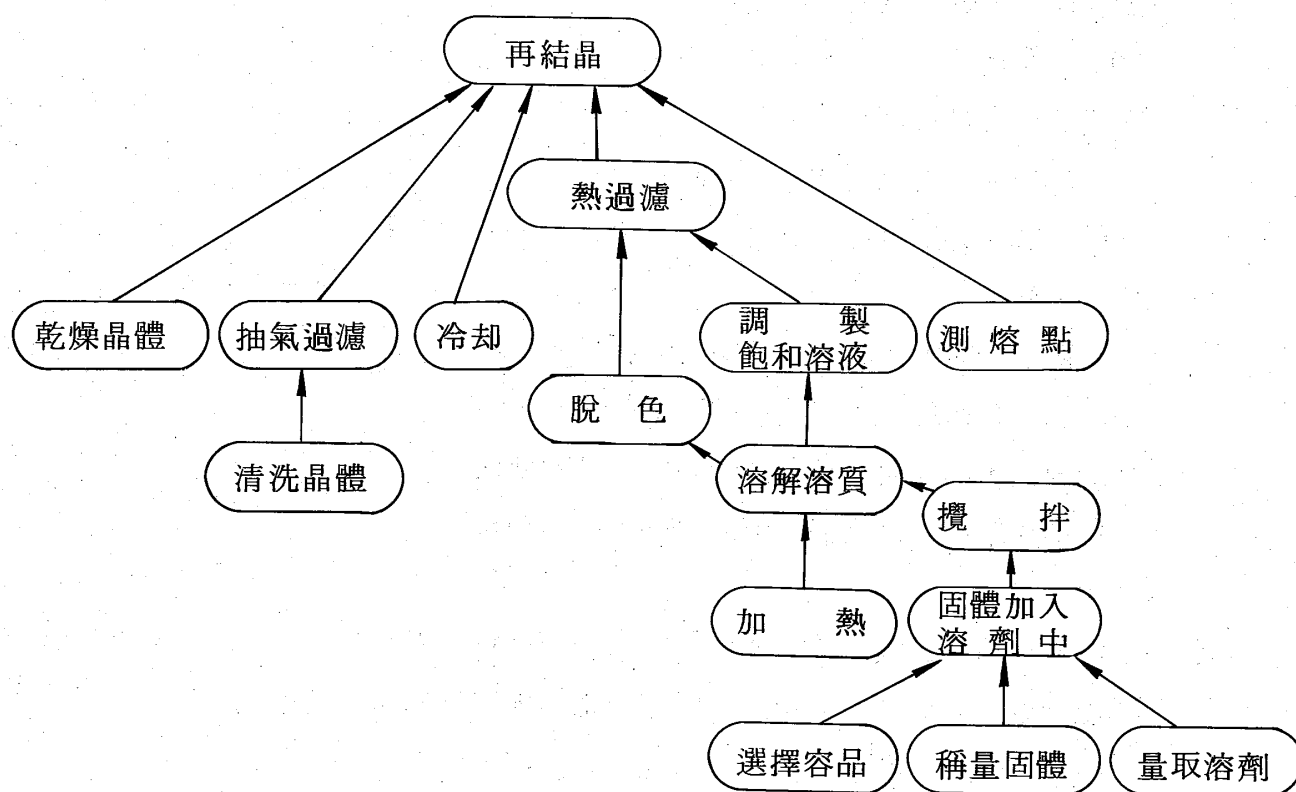




圖四 再結晶之流程圖 (王澄霞等, 1988)<sup>5</sup>

### ◎教學分析

先修技能：各代號之內容為：1.加熱溶解；2.調製飽和溶液；3.過濾；4.清洗晶體；5.乾燥晶體；6.脫色；7.熔點測定。「再結晶」技能與其先修技能之階層關係圖如圖五。由圖五可以瞭解要做好再結晶需先學會那些技能。



圖五 再結晶與先修技能階層關係 (hierarchical concept mapping)

正例：寫出教材中所列再結晶之化合物名稱。

非例：寫出教材中所列不能再結晶之化合物名稱。

學習階層：分析各教材內容能提供學生學習達成之階層，其代號內容為：1.模倣階層；2.確認階層；3.歸納階層；4.活用階層。「再結晶」技能各階層之能力如下（王澄霞等，1989）<sup>7</sup>：

#### (一)模倣階層

- (1)能依照教科書指示，一步一步地進行一種已知不純固體的再結晶操作，如溶劑的種類、固體及溶劑的用量，晶體的析出等。
- (2)能熟練進行較多或少量之同一固體的再結晶操作，選用適當大小之容器及裝置（使用常用儀器規格之範圍內）。
- (3)能熟練進行含不同雜質之同一固體的再結晶。
- (4)能得到教科書所述之純度及產率之晶體。

(5)能區分再結晶技能與其他實驗技能(如蒸餾、昇華等)。

(6)能記住再結晶技能的一般屬性。

(7)能得到高純度及產率之晶體。

#### (二)確認階層

(1)能從事模倣階層的行爲表現。

(2)能進行兩種以上固體的再結晶。

(3)能根據文獻資料取用溶劑。

(4)能用最少量之溶劑進行再結晶。

(5)能判定少量不溶物是不溶之雜質或是未溶完之固體。

#### (三)歸納階層

(1)能從事前面模倣和確認二階層的行爲表現。

(2)能進行各種已知不純固體的再結晶。

(3)能列出再結晶之全部鑑別性屬性及其可變屬性。

(4)能選用單一溶劑及混合溶劑(solvent pair)。

#### (四)活用階層

(1)能從事前面模倣、確認和歸納三階層的行爲表現。

(2)能判定一不純固體能否用再結晶純化(如熔點區間之變化)。

(3)能進行特殊固體(如低熔點固體)之再結晶。

(4)能進行未知不純固體之再結晶。

## 2. 各實驗教材之分析結果

### ①分析之實驗教材名稱

本研究共分析比較十一種有關再結晶之實驗教材，其作者、書名如下：

A. F. R. Longo, J. A. O'Malley, W. C. Oleke, W. A. Nevill 等四人合著 *Experiments in Chemistry*, 1968 年，大學圖書公司翻印。

B. J. A. Moore 和 D. L. Dalrymple 合著：*Experimental Methods in Organic Chemistry*，第二版，1976 年，W. B. Saunders Company 出版。

C. R. M. Roberts, J. C. Gilbert, L. B. Rodewald, A. S. Wingrove 等四人合著：*An Introduction to Modern Experimental Organic Chemistry*，1974 年，Holt, Rinehart and Winston, Inc. 出版。

D. R. M. Roberts, J. C. Gilbert, L. B. Rodewald, A. S. Wingrove 等四人合著：*Modern Experimental Organic Chemistry*，1985 年，Saunders College Publishing 出版。

E. N. D. Cheronis 和 J. B. Entrikin 合著：*Identification of Organic Compounds*，



1963年，Interscience Publishers, Inc. 出版。

F. L. F. Fieser 和 K. L. Williamson 合著：*Organic Experiments*，第六版，1987年，D.C. Heath and Company 出版。

G. K. L. Williamson 著：*Microscale Organic Experiments*，1987年，D.C. Heath and Company 出版。

H. L. G. Anderson, R. C. Elderfield, P. A. S. Smith, W. E. Bachmann 等四人合著：*A Manual for the Organic Chemistry Laboratory*，第二版，1960年，歐亞書局翻印。

I. W. W. Linstromberg 和 H. E. Baumgarten 合著：*Organic Experiments*，第五版，1983年，歐亞書局翻印。

J. R. Adams, J. R. Johnson, C.F. Wilcox 等三人合著：*Laboratory Experiments in Organic Chemistry*，MacMillan Publishing 出版，歐亞書局翻印，民國72年。

K. 洪允銘，葉承合著：有機化學實驗，民國77年3月七版，藝軒圖書出版社印行。

## ②各實驗教材之分析結果

### 教材 A：

本書缺少選擇溶劑及脫色之實驗步驟；無概念階層分析、先修技能分析；未指出溶劑之沸點需高於固體之熔點；沒有使用溶劑對，也未對再結晶下定義。書中同等技能僅有蒸餾與萃取；實驗活動流程圖，工作備忘錄均缺；且僅作乙醯苯胺之再結晶，學生之學習達成階層只能達到模倣階層而已。本書內容太過簡略，對再結晶技能之訓練頗感不足。

### 教材 B：

本書首先說明再結晶的一般原理及再結晶操作的要點，再以兩個實驗進行實作，其特色為①欲純化的化合物係由學生自行反應製備而得，較接近再結晶之實際應用情況；②第二個實驗為油狀物的結晶生成，此為其他教材所無，同時也是使用溶劑對的再結晶實驗，但本書無選擇溶劑、再結晶定義、概念階層分析、先修技能分析、實驗活動流程圖、工作備忘錄。鑑別性屬性中缺少用最少量溶劑、溶劑需與固體不發生作用、溶劑沸點需低於固體熔點等，可變性屬性中未指明溶劑需易於移去。對於如何調製飽和溶液未加說明，且操作時亦未讓學生實作使用最少量溶劑及清洗晶體。學生僅能達到模倣階層。

### 教材 C：

本書對於實驗之七個步驟說明相當清楚，且均有實作之配合。提供的例子也不少，

對於選擇溶劑部分有四種固體之實作，再結晶有三個實驗，可惜沒有安排未知化合物之選擇溶劑實驗及再結晶操作實例，無概念階層分析，沒有指出先修技能是什麼。再結晶定義、實驗活動流程圖、工作備忘錄也均缺，本書只能使學生之學習達到確認階層。

#### 教材 D：

本書可看成是教材 C 的修訂本，內容較前為多，且有未知化合物之選擇溶劑及再結晶，缺點為三種已知固體再結晶之溶劑均由教材直接指明，而未由學生自行根據選擇溶劑之結果來取用，也無使用溶劑對之實作，概念階層分析、先修技能分析、實驗活動流程圖、工作備忘錄、非例等項亦缺。但比起其他教材，本書內容已相當完整，學生學習可達歸納階層。

#### 教材 E：

本書講述再結晶之一般原則及操作均相當仔細，內容豐富，但最大缺點為無實驗活動之實例（正例）供學生練習，而只適合作參考書使用，不適合當學生之實驗教材，本書尚缺概念階層分析、先修技能分析、實驗活動流程圖、再結晶之定義等，惟提供不少之工作備忘錄。

#### 教材 F：

本書再結晶部分共有五個實驗：第一個為選取溶劑；第二個為脫色；第三個為固體溶解度試驗；第四個為典型有機化合物之再結晶，含溶劑對之使用；第五個為未知固體之純化。書中也對一些再結晶可能遇到之問題提供說明及解決之道。本書內容已相當詳盡，說明清楚，就再結晶而言，已相當完整，惟尚缺概念階層分析、先修技能分析、再結晶定義、實驗活動流程圖及工作備忘錄，對於溶劑沸點需低於固體熔點也未作說明，也未說明如何得知最少溶劑用量。此教材能使學生之學習達到歸納階層。

#### 教材 G：

本書內容與教材 F 大同小異，惟實驗活動之例子較少，缺少固體溶解度之實驗。本書特色為微量固體（少於 100 mg）之再結晶，學生需有較好之技術。其餘同教材 F。

#### 教材 H：

本書首先討論再結晶之一般說明，然後進行二硝基苯之再結晶，缺少溶劑選擇、概念階層分析、先修技能分析、再結晶定義、實驗活動流程圖及工作備忘錄等，提供正例太少，也未說明溶劑之沸點需低於固體之熔點。各種技能之說明不夠詳盡，學生之學習僅能達到模倣階層。

#### 教材 I：

本書內容甚為簡略，只有一個再結晶實驗，對於先修技能只說明脫色及過濾而已，其他付諸厥如。唯實驗操作時用迴流管防止溶劑之逸失，其實本書實驗操作可不必用（因用水作溶劑）。對於鑑別性屬性，尚缺選擇溶劑、使用最少量溶劑、雜質之溶解度極

大或極小、溶劑沸點低於固體熔點等項，實驗活動太少，概念階層分析、實驗活動流程圖、工作備忘錄亦缺。

#### 教材 J：

本書前段為原理及一般說明，後段有四個實驗活動，分成用不可燃溶劑（水）及可燃溶劑（乙醇）兩大部分，每部分有兩個實驗。本書缺少選擇溶劑、概念階層分析、先修技能分析、再結晶定義、實驗活動流程圖及工作備忘錄等，也無溶劑沸點需低於固體熔點之說明，雖有四個實驗活動，但未能針對學習階層作妥善安排。

#### 教材 K：

本書在一般說明部分，列出再結晶步驟及溶劑條件，溶解度試驗法等及一些先修技能。實驗活動有二：溶解度試驗及乙醯苯胺之純化。本書缺少概念階層、實驗活動流程圖、工作備忘錄等，且無清洗晶體、脫色等實作，提供正例太少，學生學習僅能達到模倣階層。

由前面的教材分析，對於實驗過程方面，約有一半的教材（A, B, H, I, J）無選擇溶劑的實驗。選擇溶劑是再結晶技能中極重要的工作，不能缺少此部分實驗。所有教材中均無概念階層分析及實驗活動流程圖，這兩部分可以給學生一個完整的概念，對於再結晶技能有整體的認識，並指出新的技能與已經學到的技能間是什麼關係及如何關連。學生們感覺並確信他們有能力在新的情境中使用新的技能。鑑別性屬性及可變性屬性，除教材 B 及 I 外，大都能夠指出，惟對於溶劑沸點要低於固體熔點一項只有三本教材提到（C, D, K）。工作備忘錄只有教材 E 提供較多。大部分教材的先修技能都是於再結晶實驗活動中訓練，只有少數教材（C, D, E）分開安排。提供正例方面，一半以上教材只安排一個固體的再結晶，只有五種教材（C, D, F, G, J）有三種以上固體之再結晶。至於非例，所有教材均欠缺。學生可能達到的學習階層，大部分止於模倣階層，只有教材 D, E, F 及 G 可能達到歸納階層。

## 四、結論與建議

由前教材分析結果可作一結論，上面所分析的十一種版本的實驗教材，雖然沒有一本教材的再結晶實驗內容完全符合理想，但是以教材 D（R. M. Robert 等四人合著）和教材 F（L. F. Fieser 和 K. L. Williamson 合著）較為完整。此二教材需補充指出溶劑沸點需低於固體熔點之屬性，且實驗活動的例子也要作階層式安排；教材 F 要增加實例，如此就可用為再結晶實驗的良好教材。教材 G（K. L. Williamson 著）與教材 F 大致相同，惟此教材使用微量技術之再結晶活動，較不適合用作初學者之再結晶實驗教材。教材 E（N. D. Cheronis 著）因無實際實驗活動的例子，因此只適合用作參考手冊。

大學化學實驗課程的主要目的是訓練學生的基本實驗技能，而「再結晶」是有機化

學實驗中最基本的技能之一。我們提出一本理想的再結晶實驗教材所需具備的條件之建議如下：

理想的「再結晶」實驗教材，必須能供給學生「再結晶」所有的屬性，而學生也要學到這些屬性，才算是真正學到此技能，才能產生學習遷移。「再結晶」的實驗教材必須包含下列各項能力之訓練：

1. 對某一種欲再結晶固體，能選出最佳再結晶溶劑。
2. 能辨別少許未溶完之固體是不溶的雜質或尚未溶完的化合物。
3. 能把固體溶於最少量之溶劑。
4. 有脫色、熱過濾及抽氣過濾之操作技能。
5. 促使晶體生成之方法。
6. 晶體之乾燥方法。
7. 由所測定的熔點範圍判斷晶體之純度。

再結晶實驗教材之實驗活動，至少應包含四種活動：

1. 選擇再結晶溶劑；
2. 已知固體已知溶劑之再結晶；
3. 已知固體未知溶劑之再結晶；
4. 未知固體之再結晶。

同時為使學生能夠很快又有效率地學會再結晶技能，教材之編排應注意下列幾點：

1. 要安排一套具有代表性的再結晶實驗活動，提供足夠的例子（包括正例與非例）讓學生學習，以使學生歸納出再結晶所有的屬性。
2. 實驗活動的安排，要有階層性，循序漸進，且要有適當的間隔時間（最好為1～2週），但不能間隔太久而降低學習效率。
3. 先修技能應安排在再結晶實驗之前。
4. 同等技能之實驗活動順序要妥為安插，以便能使學生作比較區分。

註：本研究小組，除著者外，尚有王澄霞教授。

## 參考文獻

1. Novak, J. D., (1979). *Applying Psychology and Philosophy to the Improvement of Laboratory Teaching*; *The American Biology Teacher*; 41 (8), 466-470.
2. Eglen, J. R. and Kempa, R. F. (1974). *Assessing Manipulative Skills in Practical Chemistry*; *School Science Review*; Vol. 56, Dec. 261-273.
3. Herron, J. D., Cantu, L. L., Ward, R. and Srinivasan, V. (1977). *Problems Associated with Concept Analysis*; *Science Education*, 61(2), 185-199.

4. Klausmeier, H. J., Ghatala, E. S. and Frayer, D. A. (1974). *Conceptual Learning and Development, A Cognitive View*; Academic Press Inc., New York and London.
5. 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。
6. Klausmeier, H. J., Swanson, J. E. and Sipple, T. S. (1976). *Working Paper No. 180: The Analysis of Nine Process-Concepts in Elementary Science*; Wisconsin Research and Development Center for Cognitive Learning, Madison.
7. 王澄霞，洪志明；(1989)。再結晶技能學習成就達成階層之分析；「認知與學習基礎研究」第三次研討會論文。

## 附錄 實驗教材內容分析量表

編號：

書名：\_\_\_\_\_ 作者：\_\_\_\_\_

一 過程分析 (procedure analysis)

- |          |          |
|----------|----------|
| 1. _____ | 5. _____ |
| 2. _____ | 6. _____ |
| 3. _____ | 7. _____ |
| 4. _____ |          |

二 概念階層圖

(hierarchical concept mapping)

有：\_\_\_\_\_ 無：\_\_\_\_\_

三 概念分析 (concept analysis)

鑑別性屬性：

- |          |          |
|----------|----------|
| 1. _____ | 4. _____ |
| 2. _____ | 5. _____ |
| 3. _____ | 6. _____ |

可變性屬性：

- |          |          |
|----------|----------|
| 1. _____ | 3. _____ |
| 2. _____ | 4. _____ |

定義：

有：\_\_\_\_\_ 無：\_\_\_\_\_

同等技能：

- |          |          |
|----------|----------|
| 1. _____ | 4. _____ |
| 2. _____ | 5. _____ |
| 3. _____ | 6. _____ |

次屬技能：

1. \_\_\_\_\_

四 結構化工作分析

(structured task analysis)

實驗活動流程圖：

有：\_\_\_\_\_ 無：\_\_\_\_\_

五 工作備忘錄 (job aid)

- |          |       |
|----------|-------|
| 1. _____ | _____ |
| 2. _____ | _____ |

六 教學分析 (instructional analysis)

先修技能

- |          |          |
|----------|----------|
| 1. _____ | 4. _____ |
| 2. _____ | 5. _____ |
| 3. _____ | 6. _____ |

正例：

- |          |          |
|----------|----------|
| 1. _____ | 5. _____ |
| 2. _____ | 6. _____ |
| 3. _____ | 7. _____ |
| 4. _____ |          |

非例：

- |          |          |
|----------|----------|
| 1. _____ | 3. _____ |
| 2. _____ | 4. _____ |

學習階層：

- |          |          |
|----------|----------|
| 1. _____ | 3. _____ |
| 2. _____ | 4. _____ |

INVESTIGATION OF CHEMISTRY LABORATORY INSTRUCTIONAL  
CONTENTS WITH CONCEPT ANALYSIS METHODS  
— RECRYSTALLIZATION SKILL —

*Jhy-ming Horng*

**Abstract**

This research uses the concept analysis methods developed by Markle and Klausmeier for instructional design. By comparing several examples and nonexamples of a variable attributes of that concept. These attributes allow one to: (1) give better definitions, (2) arrange a logical sequence for experimental instruction, and (3) prepare a matched set of equivalent criterion-based test items.

With the aid of these powerful tools, chemistry experimental skills analysis sheets were constructed and systematic analysis of experimental materials in various textbooks were conducted. The weak points of each instructional material were identified.