

由命題的頭腦體操論化學概念分析

方泰山 廖焜熙

國立臺灣師範大學化學系

緒 論

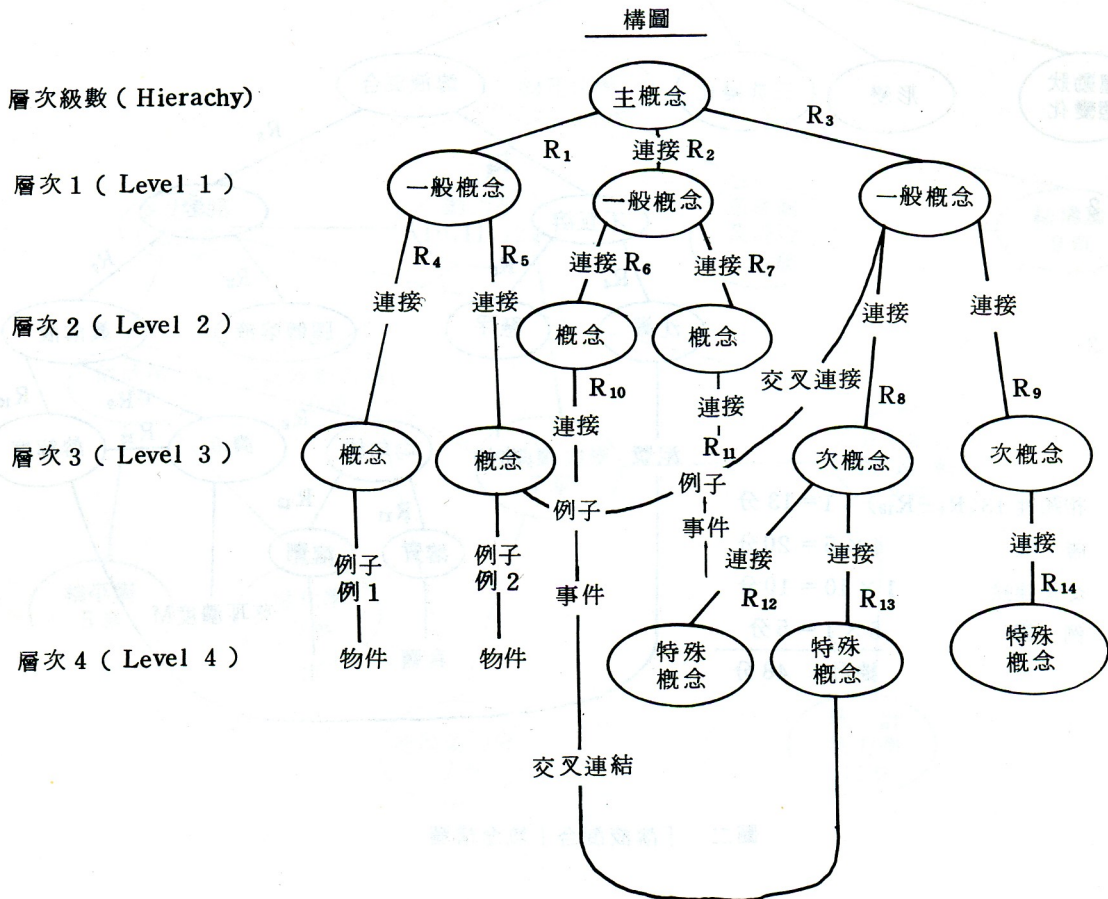
知識的建立，或稱建構知識，可以是自然發生，亦可以是人爲的刻意安排。知識不像石油、黃金一樣可以發現，但應像房屋、汽車等可以建構。建構知識所需之「概念」(concepts)，則可加以分析及應用。這種將某些概念加以分析研究的方法，即稱爲概念分析法。用以分析概念的工具或方法，文獻可稽的，大致可分做三大類：(一)概念建構圖法(concept Mapping)⁽¹⁾，(二)高文V字形建構圖法(Gowin's Vee Diagramming)⁽²⁾ 及(三)KMT定義屬性法(Klausmeier, Markle 及 Tiemann concept definition method)⁽³⁾。

考試是一種評量的方法，若考前之命題能將所要評量的知識、技能或態度加以建構使其系統化、層次化，將使評量更具果效及意義。因此概念分析爲良好命題所必經的步驟。以下就三種分析法，加以說明，並舉例做爲命題的準則。

壹、概念建構圖法

概念建構圖法⁽¹⁾是一種事件或物件的規則性在認知結構可看得見的表示法。其包括概念(concept)、關係(relationships)或命題連接語(propositional linking word)、層次化(hierachy)及交叉連結(cross-links)；其指標法，即根據這四個特點分別給1~10分：(1)以關係或命題連結語連接而顯出概念意義，有意義的給1分；(2)從一個階層到另一個階層很明確的，給5分；(3)不同區域(domains)的兩個概念間之關係連接，可位在同階層的不同類別區域，或不同階層之交叉連結，爲重要連結且有價值者給10分，否則則給2分。由於交叉連結，常能指出創造力，故必需小心鑑定及回饋，其被表達獨特或具有創造性者，應得特別獎賞分數。對於能給予例子的特別事件或物體而成爲有價值的概念給予1分。除此應畫出標準的概念構圖，依上述分別計分之。若以CR(Criterion Reference)專家來評論所做的概念構圖，則學生所做的概

念構圖分數，可加以比較其可得之百分數。圖一為一般概念構圖架構及其評分示例。

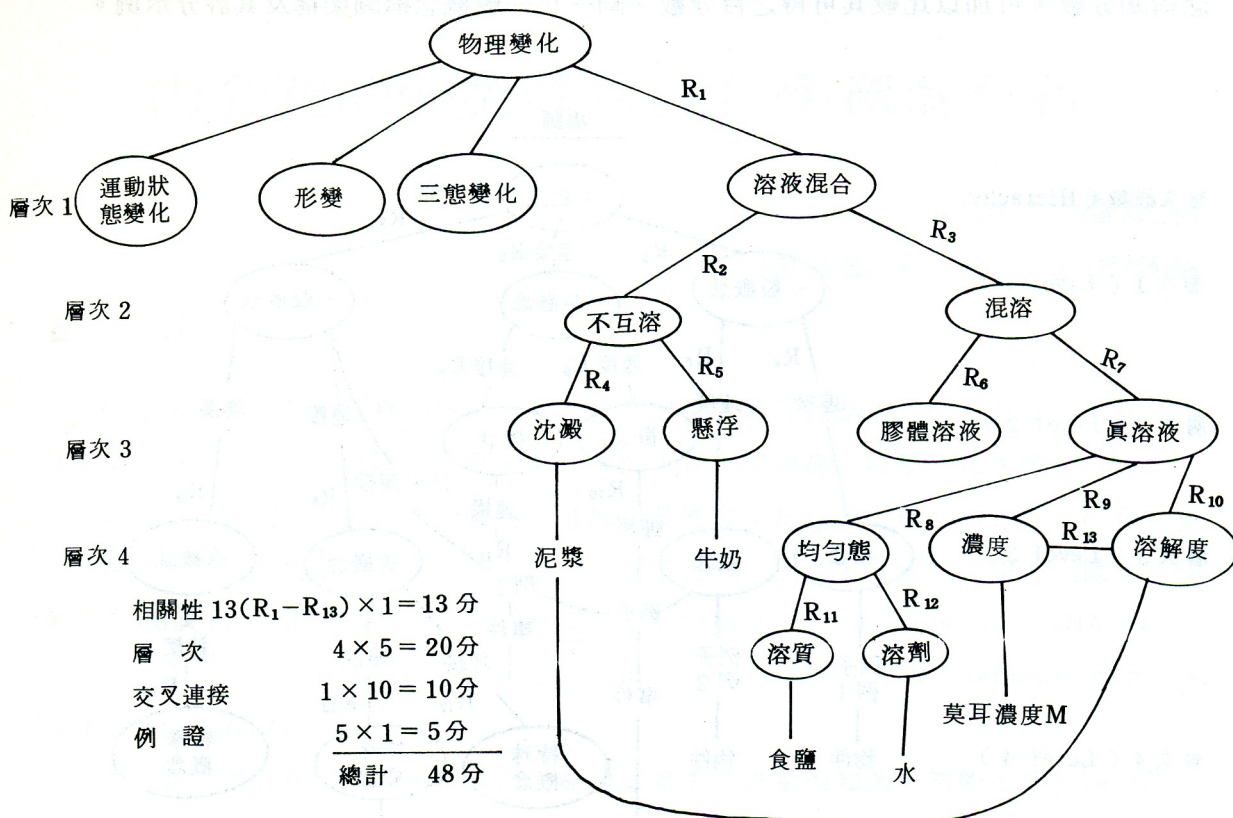


計分模式：

相關性 (若恰當)	$14 (R_1 - R_{14}) \times 1 = 14$ 分
層次 (若明確)	$4 \times 5 = 20$ 分
交叉連接 (若恰當且有意義)	$2 \times 10 = 20$ 分
例證 (若確切)	$4 \times 1 = 4$ 分
總計	58 分

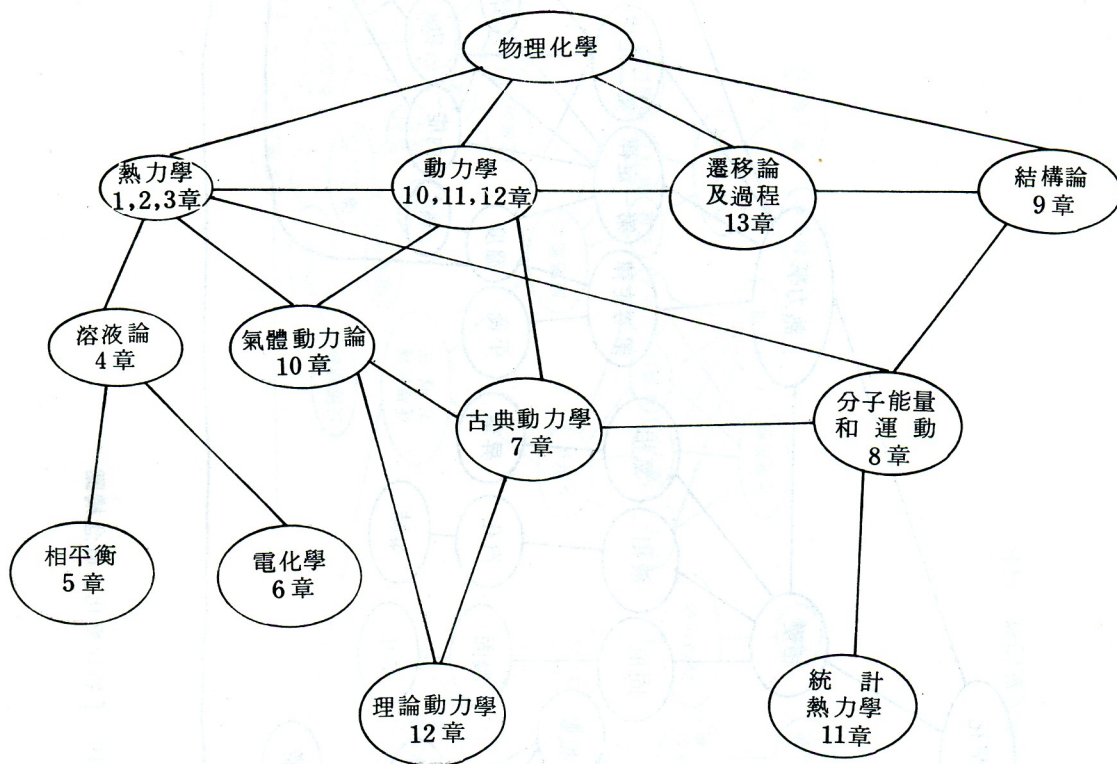
圖一 概念構圖及其評分示例

以國中理化課本中，有關物理變化中的「溶液混合」概念，加以構圖如圖二：



圖二 「溶液混合」概念構圖

概念構圖，重要的連結語分類，依 Fisher 分法，分四大類二十個關係⁽⁴⁾：(1)分析的：集、組成分子等；(2)空間的：包含、包含於；(3)時間的：之前、之後；(4)過程的：輸入、輸出、形成的。依邱上真先生的分法⁽⁵⁾，將其分成：(1)包含（包括、隸屬於）；(2)特徵（特質、特色）；(3)類型（種類、實例及樣本）；(4)產生、造形；(5)使能夠（使可能）；(6)接近、位於、靠近。概念構圖用於課程或教材分析，是一種相當有用的方法。例如 Wentworth 及 Ladnes 所著 “Fundamentals of Physical Chemistry”⁽⁶⁾ 課程的概念構圖如圖三



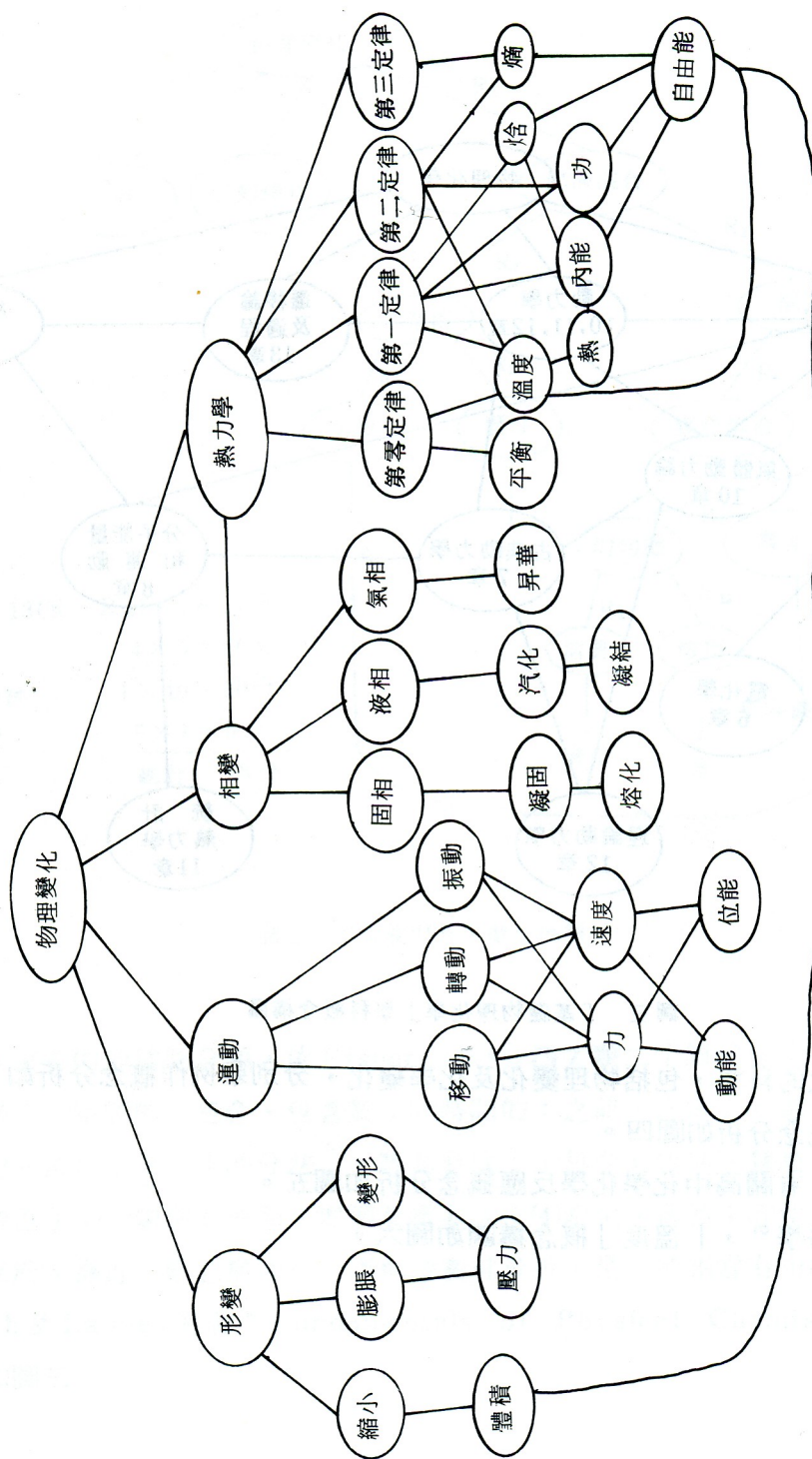
圖三 「基礎物理化學」學科概念構圖

化學為物質變化的科學，包括物理變化及化學變化，分別舉例作概念分析如下：

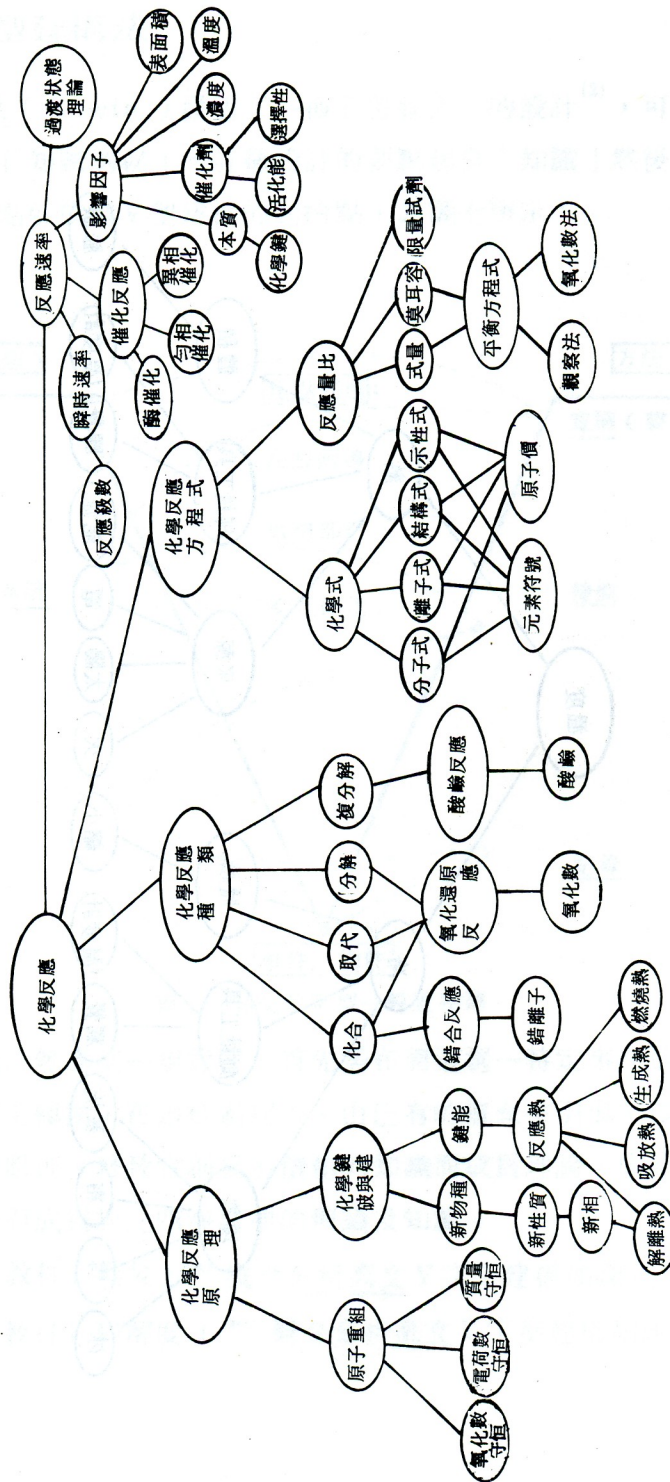
一、物理變化概念分析如圖四。

二、化學反應：有關高中化學化學反應概念分析如圖五。

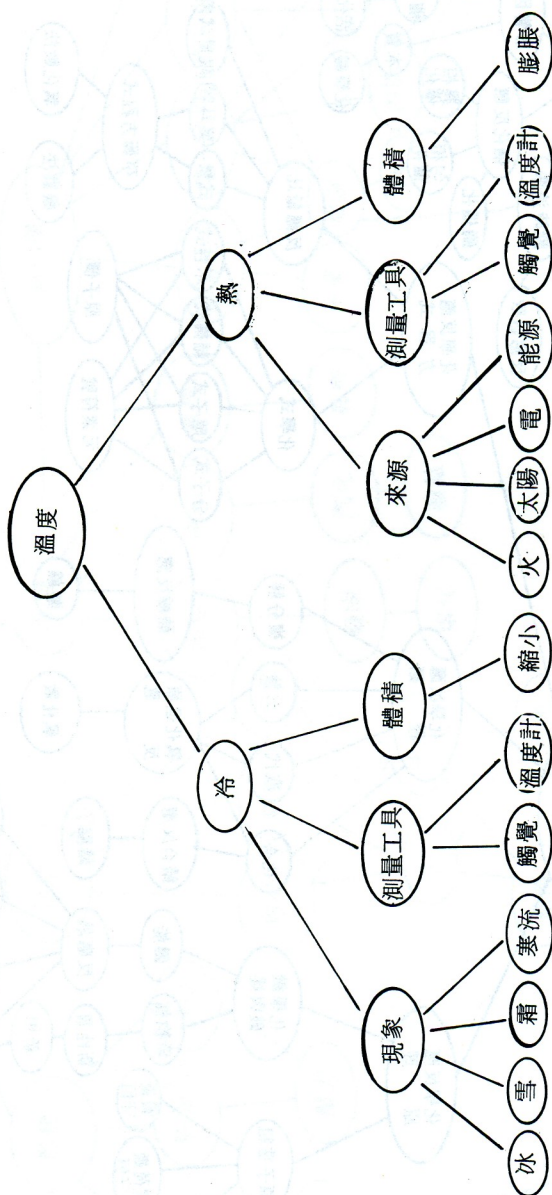
三、小學自然科學⁹⁾，「溫度」概念構圖如圖六。



圖四 「物理變化」概念構圖



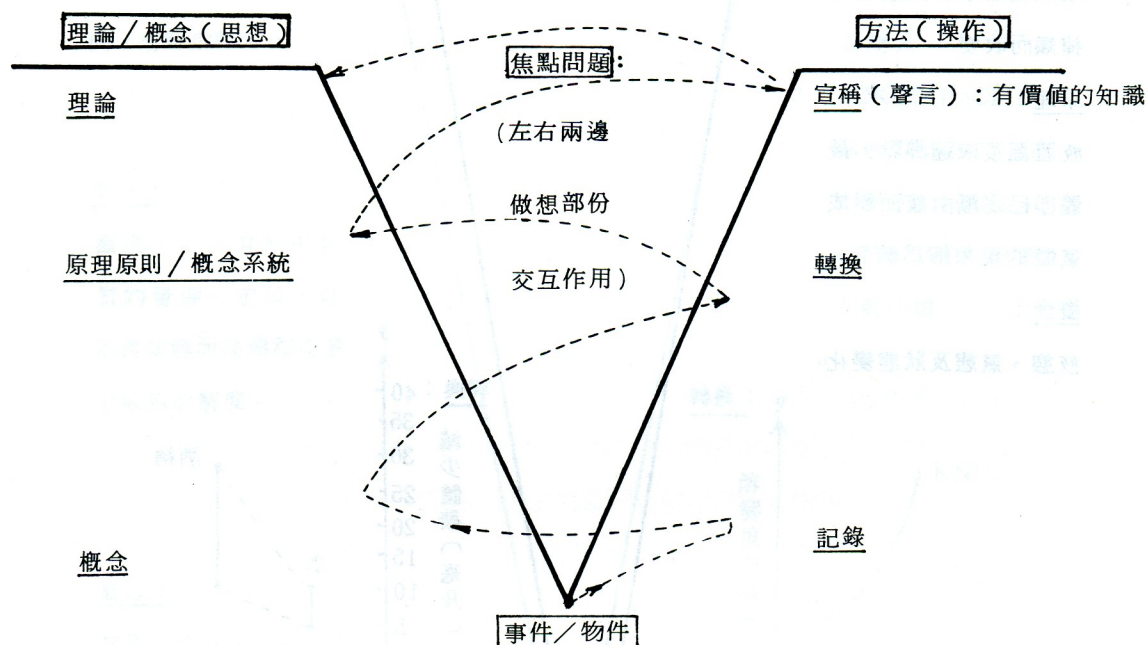
圖五 化學反應的概念構圖



圖六 「溫度」概念構圖

貳、高文V字型建構法

1977年，高文（Gowin）發明了一種「啓發式」的設計⁽²⁾，可以幫助人們去瞭解或建構「知識」及「知識過程」。這種設計的要點起自「知識」然後將「評量的目標」加以確定，確定焦點就成為V型建構的起始點，如圖七所示：



圖七 高文V字型一般建構圖

若吾人欲找到自然界某一規律性，首先需在周遭選一特定事件或物件，然後仔細觀察並做些記錄，甚至轉換，在這樣過程中，由已有的概念來引導，或交互作用產生概念，經過轉換成為原理原則，終致宣稱為有價值的知識而成為理論，因此由下的簡單事件或物件，而往上爬升而成為放之四海皆準的理論及知識。

分析(一)：國中理化教材「蒸發」^{8(a)} 概念分析高文V字型建構如圖八。

分析(二)：國中理化教材「溶解度」^{8(b)} 概念分析高文V字型建構如圖九。

理論：

因為各液體，其分子間的吸引力不同，所以分子脫離其它分子的束縛難易程度也不相同，所以蒸發速率會受液體的種類而改變。

原理：

液體溫度未達沸點，液體即已逐漸由液面變成氣體的現象稱為蒸發。

概念：

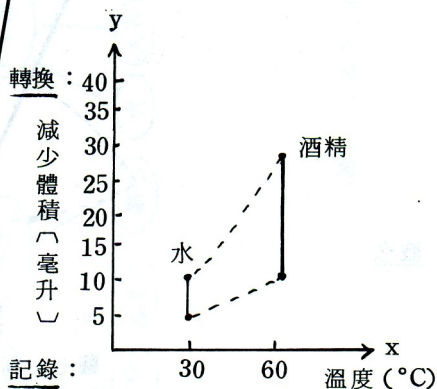
液態、氣態及狀態變化。

焦點問題：

不同液體、蒸發速率是否相同？

結果：

1. 兩杯液體都變少了。
2. 酒精減少的量較水為多。



- ① 水減少 5 毫升，酒精減少 10 毫升。
- ② 水減少 10 毫升，酒精減少 30 毫升。

將 100 毫升的酒精及 100 毫升的水，同時放在
① 陽光下 (約 30°C) ② 保溫箱內 (約 60°C) 10 分鐘，觀察結果。(所用容器大小完全相同)

圖八 「蒸發」概念高文 V 字型建構圖

理論：

溶解時，若吸熱則溫度愈高，溶解度愈大；溶解時若放熱，則溫度愈低，溶解度愈大。

原理：

溫度一定，溶液中溶質的量達一定值，則不再溶解而達飽和此濃度稱為溶解度。

概念：

溶質、溶劑、溶液、濃度、飽和溶液、溶解熱。

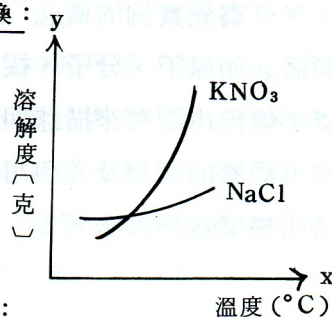
焦點問題：

溶解度是否隨溫度而改變？

結果：

1. 溶解後，燒杯以手觸摸，覺得冰冷。
2. 溶解度隨溫度上升而變大。
3. KNO_3 與 NaCl 的溶解度隨溫度上升而增加的程度並不相同， KNO_3 的變化較明顯。

轉換：



記錄：

溫度(°C)	20	30	40	50	60
NaCl 溶解度(克)	36	—	37	—	37
KNO_3 溶解度(克)	30	45	63	85	110

將硝酸鉀 KNO_3 及食鹽 NaCl 分別置 100 克水中溶解，分別測定其不同溫度下的溶解情形

圖九 「溶解度」概念高文 V 字型建構圖

參、KMT定義屬性分析法

美國威斯康辛認知學習研究中心的 Klausmler 及 伊利諾大學在芝加哥圈的 Markle 和 Tiemann⁽³⁾，所用的概念分析法，目的雖不同，但分析過程却相同。本分析方法，乃採二者之名，合稱為 KMT 定義屬性法，其方法如下：

- (一) 確定某一特定概念的範疇或定義（即鑑定屬性）。
- (二) 決定某一概念的鑑定屬性及可變屬性。
- (三) 列出這些屬性。
- (四) 確認合理的實例及非例。
- (五) 合理化這些實例和非例。合理化，包括確認每一實例屬於何種可變屬性及每一非例不包含任何鑑定屬性。分析一個概念是限定這些概念有關之某種訊息加以描述與其它概念之關聯，這些訊息包括相關屬性、不相關屬性與其它概念之關聯（如副概念、次概念及超概念），文辭上的定義。

以下舉二例做為參考：

分析(一)：無可察覺實例的概念⁽⁸⁾：

這類概念如原子、分子、核子等，由於其存在的太微小，不能直接拿實例給學生觀察，所以不能經由觀察來描述與這概念有關的訊息及與其它概念的關係。作概念分析時，由於沒有可觀察的實例及非例可例舉，故可例舉模型或例證來取代。教學原子及分子概念時就常用模型或例證來幫忙。下列為原子概念分析的例子：

概念一原子

- a. 定義：原子是元素最小單位，可單獨存在或與其它原子化合，但仍舊保有元素的性質。
- b. 鑑定屬性：
 1. 元素的最小單位。
 2. 保有元素的性質。
- c. 可變屬性：
 1. 可單獨存在或化合。
 2. 元素的種類不相關。
 3. 元素的物理性質不相關。

d. 主概念：元素的粒子。

e. 對等概念：分子、質子、離子、電子、中子。

f. 附屬概念：無。

g. 實例：無可察覺的。

非例：銅幣、鐵釘、鹽晶體(1)。

h. 擬實例 (Pseudoexample)

擬非例：(Pseudo Nonexample)

1. 鐵釘的放大影片顯示有振動的球聚

在一起每球均相同(1)。

1. 影片顯示一群球均相同(1)。

2. 相同結果，部分相同(2)。

2. 銅幣顯出相同的結果(2)。

3. 兩球以棒連結(1)。

3. 金屬蒸氣產生原子、每球均相同(3)。

4. 晶體模型、晶格單位相同(1)。

4. 球棒模型中的一球(1)。

5. 化學式如 H_2O , $NaCl$, CO_2 (1,2)。

5. 兩球以棒連接，兩球相同(1)。

6. 晶格模型、晶格中的每球相同 (1,3)。

7. 化學符號如 H、O、Cl (1)。

8. 化學式含一個相同符號： H_2O 、 CO_2 、

$NaCl$ (2)。

在這個概念分析中，擬實例數個不同的例子，由不同的角度來接近原子的概念、先舉鐵釘的例子驗證構成鐵釘的最小單位（以球表示）、形狀大小相同。再舉銅的例子表示銅幣中（假設只含銅）亦是由無數個相同的球所構成，和元素的種類不相關。又舉第三個例子（金屬蒸氣）解釋其可變屬性：元素的物理性質不相關。並且由各種相關的資訊——晶格、化學符號、化學式等來描述原子這個概念。至於擬非例的部分，舉出晶體模型，晶格單位相同，表示有相同的組成單位並不一定是原子，用意很好，但是學生學原子概念的時候是否懂得晶格的概念？這是值得考慮的問題，當然如果學生已學過原子和晶格的概念，而將此兩者放在一起比較，則無疑地，學生學習效果會增加。因此教學舉例時，教師須視學生的情況來作選擇。

分析(二)：需要原理知識的概念

「莫耳」就屬於這類概念。儘管化學教師都說莫耳是很難教的化學概念，但我們相信它不是難懂的概念。莫耳類似「打」的概念，只有擁有 6.02×10^{23} 物件，我們宣稱擁有一莫耳的物件。但是，除非學生已學得「元素」的原子量為包括 6.02×10^{23} 個原子的克數及「化合物」，分子量為包含 6.02×10^{23} 個分子的克數的原理，否則他將無法從非例中區分真例。下列為「莫耳」概念分析的例子：

概念—莫耳

- a. 定義：莫耳是一個系統中物質的量，該量含有與 0.012 公斤碳原子 C-12 相同多基本的數目。基本量必需特別指明，可為原子、分子、離子、電子等等，或一組特別指名的粒子。
- b. 鑑定屬性
1. 莫耳是關於物質的量。
 2. 莫耳包含 6.02×10^{23} 個基本量。
 3. 基本量必需特別指明。
- c. 可變屬性
1. 物質的量可以是質量、粒子數、體積、或其它測量表示（但，允許去決定該物質量的基本數目需為已知）
- d. 主概念：物質含量的測量
- e. 對等概念：質量、粒子數、體積
- f. 附屬概念：無
- g. 實例與非例：
- | 實例 | 非例 |
|----|----|
|----|----|

Group I

（在下列真例、學生需運用某些算術規則，這些規則屬性 2,3 用的到）

6.02×10^{23} 汽車（車）

6.02×10^{22} 汽車（車）

3.01×10^{23} 腳踏車（輪）

6.02×10^{23} 腳踏車（輪）

1.20×10^{21} 令張（張）

1.20 籮鉛筆（鉛筆）

（一“令張”含 516 張紙）

Group II

（在下列真例，學生必須運用規則，這些規則是元素原子量與粒子質量以克表示的關係）

16 克氧（O 原子）

15 克氧（O 原子）

14 克氮（N 原子）

28 克氮（N 原子）

35.5 克氯（Cl 原子）

35.5 克（Cl₂ 分子）

Group III

(在下列真例，學生必需運用分子量與分子數之間相關規則)

32 克氧 (O₂ 分子)

16 克氧 (O₂ 分子)

18 克水 (H₂O 分子)

18 克水 (原子)

9 克水 (H 原子)

9 克水 (H₂O 分子)

Group IV (其它規則)

2 克氧 (電子)

2 克氧 (O 原子)

22.4 升氣體 S.T.P (氣體粒子)

22.4 升 H₂, S.T.P (H 原子)

1.0×10^{23} C¹² (質子)

1.0×10^{23} C¹² (中子)

「莫耳」概念分析，我們覺得 group I 所給的例子，似乎對教學很有價值（與教導各種原理相反，它與其它概念相關）因概念的鑑定屬性在這些例中多少呈現清晰。當然學生將能一般化這些例子，因為他了解原理及規則，這些將使他能評估例子及決定他擁有鑑定屬性，在此例為樣品含 6.02×10^{23} 個基本的實體。

概念的範圍相當廣濶，除了以上舉的二種概念⁽⁹⁾：(1)無可察覺實例如原子；(2)需要原理知識的概念如莫耳之外，其它還有；(3)實體概念如燒杯；(4)無可察覺鑑定屬性如元素；(5)用符號表示的概念如方程式、分子式；(6)過程名稱的概念如熔解；(7)命名屬性名稱及特質的概念如質量、氧化數；(8)描述屬性或特質的概念如 pH 值。

結 論

不論是概念建構圖法，高文 V 字形建構法或 KMT 定義屬性分析法，在概念分析過程都有其優點及缺點；較粗糙及涵蓋較大概念，以概念建構圖法，較易一目瞭然；其它二種，則用在較細膩的概念分析，會有更科學且嚴謹的分析法。概念分析對於教學策略，評量策略，甚或研究「概念學習」是一種相當有價值的工具。如能用概念建構圖法，建立評量概念圖來「命題」取出命題主幹，再以高文 V 字形法及 KMT 定義屬性分析，修飾命題，那麼各種的評量命題，將會是具有代表性，穩定性的評量。

誌 謝

感謝國立師大附中張富雄老師，景興國中蔡麗蓉老師及志清國小楊寶玉老師幫忙運作概念分析。

參考文獻

1. Joseph D. Novak, "Concept Mapping : A useful Tool for Science Education " Journal of Research in Science Teaching V.27, No.10 PP.937 ~ 949 (1990)
2. Joseph D. Novak and D. Bob Gowin "Learning how to learn" Cambridge University press , 1984 , Reprinted 1986 , 1988. Chapter 3, pp55 ~ 74, 及其內的參考資料。
3. (a) S.M. Markle, and P.W. Tiemann, "Really Understanding Concepts: or in Fruminous Pursuit of the Jabberwoch", Champaign, Illinois: Stipes, 1976.
(b) H.S. Klausmeier, E.S. Ghatala, and D.A. Frayer, "Conceptual Learning and Development : A cognitive View", New York : Academic Press 1974.
4. K.M. Fisher, Y.J. Garb and J. Faletti, "Systematic Representation of Knowledge of Ecology : Concepts and Relationships", ERIC, Document Reproduction Relationships Service NO.ED26802, 1985.
5. 邱上眞, 謝兆樞 "國中生物科概念「構圖技巧」評量研究", 國科會研究報告, 民國 78 年 8 月。
6. Wayne E. Wentworth and S. Jules Ladnes, "Fundamentals of Physical Chemistry" 台灣版, 狀元出版社, 歐亞書局, 民國 72 年。
7. 國立編譯館 "國民小學自然科學" 第二冊第三單元, 民國 78 年版。
8. (a) 國立編譯館 "國民中學理化" 第一冊, P.130, 民國 78 年版。
(b) 同上, P.91.
9. J. Dudley Herron, Luis L. Cantu, Richard Ward, and Venu Srinivasan, "Problems Associated with Concept Analysis", Science Education, 62(2) PP.185 ~ 199 (1977) .