

第貳章 文獻探討

本章共分為五節，第一節為概念改變理論簡介，第二節介紹 Chi 的概念本體論，第三節對心智模式做一概略介紹，第四節介紹 Vosniadou 的心智模式與概念改變理論，第五節介紹演化論的心智模式。

第一節 概念改變理論簡介

一、概念改變理論的源起，可以遠溯至早期科學哲學的演進，諸如從邏輯實證論，Popper 的否證論，再到 Kuhn(1962)對典範(Paradigm)的見解與 Lakatos(1970)的研究綱領(research programs)理論。科教領域有關概念改變理論的建立始於 Posner、Strike、Hewson 與 Getzog(1982)等四人以認識論為基礎，參考 Kuhn 的典範轉移與 Lakatos 的硬核(hard core)改變，將科學社群理論或共識的發展演進過程，類比到學童科學概念的學習過程，提出的所謂概念改變模式(conceptual change model, CCM)。他們主張概念要能改變，必須有以下條件：

1. 既存概念之不滿足(dissatisfaction)。
2. 新概念是可理解的(intelligible)。
3. 新概念是貌似合理的(plausible)。
4. 新概念的意涵與內容是豐富的(fruitful)。

二、Posner 等四人也提出『概念生態』(conceptual ecology)的觀念，概念生態包括了「異例」、「認識論信念」、「類比與隱喻」、「形上學的信念與觀點」、「學生過往的經驗」等。他們汲取皮亞傑觀點為中心的建構主義主張，認為概念改變有兩種面向，其一是發生在利用現有的概念來處理新的現象，這種改變稱之為「同化」(assimilation)；而當現有的概念，不足以用來處理新的現象時，這時候就必須進行中心思想的取代或重新整理，屬於根本上的概念改變，稱之為「調適」

(accommodation)。

三、Hewson(1983)認為，學習是一種概念的改變，學習不只是新知識的添加，而且還涉及到新知識與現有知識的交互作用，兩者之間還要發生協調

(reconcile)。而可能的教學策略包括：

1. 整合(integration)。
2. 分化(differentiation)。
3. 交換(exchange)。
4. 概念銜接(conceptual bridging)。

四、diSessa(1988, 1993)的‘p-prims’主張中，認為知識是片段的(knowledge in pieces)，而所謂的迷思概念可以被視為是由特殊的 p-prims 所觸發。重組 p-prims 時，即可能發生概念改變。因此，概念改變的重點在增加內部一致性和 p-prims 的系統性，以及 p-prims 功能的改變。

其他較為人知的概念改變理論尚有：

五、Chi(1992)的本體論。

六、Thagard(1992)的概念革命(conceptual revolution)。

七、Vosniadou(1992)的架構理論(framework theory)。

八、Pintrich et al.(1993)的“hot irrational”解釋，認為學生的自我效能(self-efficacy)因素會影響其對科學概念的獲得與學習。

第二節 Chi 的概念本體論

一、概念本體與概念改變

Chi(Chi, 1992; Chi et al., 1994)對知識的本質提出了本體樹的理論架構及不相容假說(incompatible hypothesis)。概念可分成三個類別，分屬三個相互獨立的本體樹：

一、物質(matter) (或稱實體：entity)

二、過程(process)

三、心智狀態(mental state)

過程類別中可分成步驟(procedure)、事件(event)、條件為主的交互作用(CBI: constraint-based interaction)三個次類別。幾經調整，過程本體樹中的事件與 CBI 次類別現改為直接過程(direct process)與突現過程(emergent process)兩個次類別，移除事件次類別。Chi 目前的研究重心主要在擺在過程本體樹上，稍後將會有詳細介紹。

Chi 認為，本體論觀點的概念改變，可分成「本體類別內的概念改變」(within ontological conceptual change)與「跨本體類別的概念改變」(across ontological conceptual change)。

1.本體類別內的概念改變：

當概念改變發生在同一本體樹內時，這樣的改變，可謂之是一種信念上的修正，改變較小，被預期是較為簡單的。如果教學上能引領學生從錯誤的本體樹轉換至正確的本體樹（例如從物質至過程），雖然僅止於事件(event)的層次而未臻平衡(equilibrium)層次，仍有其教學上的意義的（Chi et al., 1994; 林靜雯 & 邱美虹，2006），因為預期本體內的概念改變應較跨本體的概念改變來得容易。

2.跨本體類別的概念改變：

不同本體樹、類別間的轉換(transition)或遷徙(migrate)，是為跨本體類別的

概念改變，被認為是相當困難的，這主要是由於不同的基模所產生的不相容性所致。

二、迷思概念

那何謂「迷思概念呢」？

Chi 在迷思概念的研究上，除了要知道有哪些各式各樣的迷思概念以外，更專注於解釋這許許多多不同的、有缺陷的想法的本質為何？Chi 試著提出一個跨領域(domain-general)的解釋，所得致的結論為：迷思概念是本體層次上(ontological level)，對概念的錯誤分類(miscategorization)。

Chi 的本體論認為，學生在科學學習上之所以會產生迷思概念，主要是因為他們在思考或看待這些科學概念時，做了錯誤的歸類(misclassification，後改用 miscategorization，以免與後來所常到的 class 混淆)，例如將電流(current)視為是一種物質（例如 juice 這種物質）。然而，電流其實是一種過程的概念。亦即，電流這個概念的本體是過程，而不是物質。若學生將概念歸類於於錯誤的類別或次類別之上（例如誤將突現過程概念歸類至直接過程次類別之中），具有錯誤的本體認同(commitment)，使用錯誤的基模(schema)的結果，將與所接收的訊息產生不相容(incompatible)的情況，迷思概念於焉產生。

如果某個科學概念的概念本體是原本即屬於物質(matter)或稱為實體(entity)者，例如將鯨魚誤認為魚；或是概念本體原本即屬於直接過程(direct process)者，例如將血液循環的雙循環誤認為是單循環。發生在這兩類概念上的迷思概念可能是非堅實的(nonrobust)，因為這通常是發生在同一類別內（上述的實體類別或直接過程類別）的分枝(branch)上的錯誤歸類，較易跨越而概念改變，補救的辦法，通常透過正常教學對原有主張或信念的修改(modify)，例如增加(addition)、刪除(deletion)或精煉(refinement)即可。

有些概念，學生會本質上傾向(predisposition)將其錯誤表徵為實體(entity)，例如電流。這是屬於：將過程視為物質的錯誤分類— “processes-as-substance”。

補救的辦法在於進行概念的重新分類(re-categorize)，或可稱重新表徵(re-representation)，這是一種跨越本體類別的移轉(shift across ontological categories)。

另有一些概念，學生本質上傾向將突現過程類別視為是直接過程。學生可能沒有突現過程的基模(schema)，因此，如果所謂的學習，是以舊有的基模去同化新的資訊，在學習突現過程的概念時，就可能會因此產生迷思概念。所以，如果概念本體屬於突現過程者，發生在這個概念上的迷思概念通常是堅實的(robust)，因為學生通常沒有突現基模，因而傾向將其視為是一般的直接過程(common sense direct processes)概念，亦即沒有警覺到這是一種特殊的突現過程概念。這是另一種迷思概念：將突現過程視為直接過程的錯誤分類—

“emergent-as-a-direct”。補救的辦法有三個步驟：

- 一、讓學生覺察到有需要進行本體結構的改變。
- 二、幫助學生建立突現過程的基模。
- 三、再表徵或本體移轉。

茲將上述的迷思概念與補救措施整理比較於下**表 2-2-1**：

表 2-2-1：常見的本體層次的迷思概念成因與補救措施之比較

迷思概念成因	舉例	教學補救措施	難易度
同一類別內(實體)的分枝歸屬錯誤	將鯨魚誤認為是魚。	增加(addition)、刪除(deletion)或精煉(refinement)。	不難
同一類別內(過程)的分枝歸屬錯誤	將血液循環誤認為是單循環。	增加(addition)、刪除(deletion)或精煉(refinement)。	不難
將過程視為物質的錯誤分類	將電流誤認為是實體。	跨越本體類別的移轉(shift across ontological categories)。	困難
將突現過程視為直接過程的錯誤分類	塞車、鳥群聚成 V 字型飛行、擴散、 <u>生物演化</u> 。	一、讓學生覺察到有需要進行本體結構的改變。 二、幫助學生建立突現過程的基模。 三、本體移轉。	困難

三、本體屬性與特徵

Chi 的本體論中有如下三個容易混淆的名詞，在此一併比較：

(一)本體屬性(ontological attributes)：只有該分類中的成員可能擁有，或說合理上具有(plausibly have)該屬性。不同類別的成員則具有互斥獨有的配套(mutually exclusive sets)。

(二)典型特徵(characteristic features)：典型上具有(typically has)或很有可能具有(most likely has)的特徵。

(三)定義特徵(defining features)：必須具有(must have)的特徵。

四、過程本體樹與因果機制

Chi 近期研究聚焦在位於過程本體樹上的科學概念。Chi(2005)舉人體血液循環系統(circulatory system)以及擴散(diffusion)為例，探討為何同屬過程本體樹的概念，當形成迷思概念時，兩者卻有非堅實(nonrobust)與堅實(robust)之差異性。

人體血液循環：有三個主要的元件(component)：心臟、血管、血液。通常結構(structure)和元件的行為(behavior of component)會被提到，但元件的功能、結構與功能之間的關係卻被忽略。

流動模式(pattern)被稱為是巨觀層次的模式（人體血液循環和擴散，在巨觀層次的模式都是屬於流動模式），是一個可見的聚合體層次的現象(visible aggregate level phenomenon)，由聚合元件(aggregate components)所組成。如前所述，教科書課文之解釋通常是將情境特化(specify)，例如說是因為濃度不同，卻沒有解釋**因果機制(causal mechanism)**—為何濃度不同會形成這樣的流動模式。此外，流動模式中，所有的分子必須被視為一個族群(population)，意即所有的分子共同地為流動模式做出解釋，所有的分子的運動是一樣的—並非有的分子由高濃度移動至低濃度，有的停在原處。如果沒有這樣的認識，即便將解釋機制由液體的聚合元件(aggregate components)解構至分子的組成元件(constituent

components)，仍會造成迷思概念。

流動模式是組成層次(constituent level)的交互作用(interactions)的全體或淨collective(or net)效應，當然包含染料分子及水分子。連結組成元件層次行為(constituent components level behavior)與模式(pattern)層次行為的潛在因果機制，是所謂的突現(emergence)。突現是所有組成元件的總合效應或淨效應。以擴散作用為例，突現是所有分子的隨機交互作用的總合（淨）結果，而不只是其中某一類分子的行為。因此，組成元件與模式之間的因果機制是非直接的，或者稱為是突現的。經由實徵研究的結果顯示，循環的迷思概念比較容易改正的，而擴散的迷思概念卻是較固著而堅實的。有許多研究指出了在循環及擴散有迷思概念的存在，但卻幾乎找不到有相關研究在探討移除兩種迷思概念的差別成功情形。如果以迷思概念被移除的難易為判準，循環及擴散兩種迷思概念顯然要明顯區分開來。顯然地，聚焦在解釋為什麼有的迷思概念是如此城溝深築，較之於鑽研迷思概念到底是片段或融貫的來的較具實益。

循環和擴散兩者都是都是屬於流動模式的科學概念，發生在循環的迷思概念容易移除，發生在擴散的迷思概念則不易移除，原因在前面已述，於此不再贅言。以下將分別比較解析直接過程與突現過程的相似處(similarities)與相異處(differences)，以探究為何發生在循環的迷思概念容易移除，而發生在擴散的迷思概念卻不易移除。

五、直接過程與突現過程的相似處

一、兩者都具有總體的模式及其元件(global patterns and components)：就模式而言，兩者都具有方向和速度這兩個面向存在，如下**表 2-2-2**所示：（血液循環過程為直接過程，擴散過程為突現過程）

表 2-2-2 直接過程與突現過程的相似處（模式）

模式	血液循環過程	擴散過程
方向	例如：血液從心臟流向肺	例如：染料從高濃度擴散至低濃度
速度	血液流動快慢	染料擴散快慢

二、就元件而言，兩者都具有複合層次(multiple levels)：包含聚合體層次(aggregate level)、組成層次(constituent level)二個層次，茲列出循環和擴散的兩個層次如下

表 2-2-3 所示：

表 2-2-3 直接過程與突現過程的相似處（元件）

元件	血液循環過程	擴散過程
聚合體層次(aggregate level)	心臟、血管、血液	藍色染料、透明液體
組成層次(constituent level)	紅血球、組織的細胞	染料分子、水分子

因此既然循環與擴散同樣都具有複合層次，因此就「複合層次」這項特徵而言，這似乎不是造成擴散比循環難以學習的原因。

三、就交互作用(interact)而言，兩個現象，不論在其聚合體層次或組成層次，都有同層次內的元件之間的交互作用。因此「交互作用」，也不是造成擴散比循環難以學習的原因。如下**表 2-2-4**：

表 2-2-4 直接過程與突現過程的相似處（交互作用）

元件	血液循環過程	擴散過程
聚合體層次內元件有無交互作用	有	有
組成層次內元件有無交互作用	有	有

四、就肉眼是否可見(visible or invisible)而言，列示如下**表 2-2-5**：

表 2-2-5 直接過程與突現過程的相似處（肉眼是否可見）

	血液循環過程	擴散過程
模式(pattern)	不可見	可見
聚合體層次(aggregate level)	不可見	可見
組成層次(constituent level)	不可見	不可見

循環似乎是較為不可見的，因此，就「是否可見」而言，這似乎不是造成擴散比循環難以學習的原因。

五、就描述語言(descriptor)而言，循環和擴散在模式和元件上都各自有簡單和複雜的描述語言。列示如下表 2-2-6：

表 2-2-6 直接過程與突現過程的相似處（描述語言）

	描述語言(descriptor)	血液循環過程	擴散過程
模式(pattern)	簡單描述語言(簡單概念)	血的顏色	液體顏色
	複雜描述語言(複雜概念)	壓力、彈性	濃度、平衡
元件(component)	簡單描述語言(簡單概念)	心臟的大小	分子的大小
	複雜描述語言(複雜機制)	心臟組織的收縮	布朗運動

想要完整學會血液循環過程或擴散過程，兩者都各自在模式或元件部分有簡單與複雜的描述語言，因此，很難說這是由於擴散的描述語言比較難懂，導致擴散比較難學。

此外，還有許多具有因果關係(cause-effect relations)的條件或因素，會影響整體的模式(global pattern)或是元件的局部行為(local behaviors of the components)。知道這些因素會影響模式或元件的因果關係，不等於知道介於元件和模式之間的因果機制(causal mechanism)。而且，學生經常會忽視因果關係，而直線式地學習教師所教的(Linn & Hsi, 2000, p.92; 引自 Chi, 2005)。因此，因果關係似乎不是造成擴散比循環難學的原因。

七、直接過程與突現過程的相異處

雖然循環和擴散有著許多相似處，但它們卻有著根本上的不同。首先，它們造成流動的機制不同（指元件如何使模式發生）。以循環為例，血液的流動是受到元件的結構所致，是元件直接影響模式的發生，這種過程是直接的型式（雖然可能還是有中間介質存在而不是那麼直接）。

相對地，擴散不是元件直接使模式發生，相反的，其機制是所有的組成元件(all the constituent components)總體的交互作用(collective interaction)的結果。這種過程是突現的型式。

◎直接過程與突現過程有三個面向不同：

(一)元件的行為不同。

(二) 對元件進行分類或對元件進行積聚(treatment of the components as either classes or collection)

(三)元件連結到模式的因果機制(causal mechanisms)不同。

根據上述這三個面向可歸結出十個本體屬性的差異如下表 2-2-7：

表 2-2-7：直接與因果過程的本體屬性（引自 Chi, 2005）

	直接過程 (Direct Processes)	突現過程 (Emergent Processes)
元件層次內的互動 (Component Level Interactions)	1.不同的、明顯的 (Distinct)	1.相同的、一致的 (Uniform)
	2.有限制的 (Constrained)	2.不限制的、隨機的 (Unconstrained、random)
	3.次序性的 (Sequential)	3.同步的 (Simultaneous)
	4.依存的 (Dependent)	4.獨立的 (Independent)
	5.有終止的 (Terminating)	5.持續性的 (Continuous)
元件與型式之間的 關係 (Component-pattern relations)	6.次團體（或種類） Subgroups (or classes)	6.所有元件（元件的積聚） (All components (or a collection of components))
	7.直接的 (Direct)	7.非直接的 (Nondirect)
※或稱：因果機制 (causal mechanism)	8.相呼應的 (Corresponding)	8.脫鉤的 (Disjoint)
	9.不同的地位 (Differential status)	9.相等的地位 (Equivalent status)
	10.整體的目的或意圖的 (Global goal or intentional)	10.局部的目的或非意圖的 (Local goal or unintentional)

◎元件層次內的互動(Component Level Interactions)

1. 不同的 vs. 相同種類的行為

Distinct vs. uniform kinds of behavior

直接過程：各個組成元件的行為是不同的，以循環為例，瓣膜組織的行為是不同於心室組織的。

突現過程：以擴散為例，不論水分子或顏料分子，行為都是相同的，都在做碰撞運動。

2. 有限制的 vs. 不限制的、隨機的交互作用

Constrained vs. Unconstrained(or random) interactions

直接過程：組成元件發生交互作用(interaction)的對象是有限制的，例如循環中，主動脈與半月瓣發生交互作用而不會與房室瓣發生交互作用。

突現過程：組成元件發生交互作用的對象是不限制的、隨機的，例如擴散中，水分子或顏料分子會隨機碰撞任一水分子或顏料分子。

3. 次序性的 vs. 同步的交互作用

Sequential vs. simultaneous interactions

直接過程：在時間的條件上，直接過程的元件在交互作用時，是有次序性的。例如循環中，心房收縮後，血液流入心室。

突現過程：元件的交互作用是同步在各處進行的。例如擴散中的水分子或染料分子是同步在相互碰撞。

4. 依存的 vs. 獨立的交互作用

Dependent vs. independent interactions

直接過程：直接過程的元件在交互作用時，是依存的，如同上面所舉的例子。

突現過程：突現過程的元件在交互作用時，是獨立的，如同上面所舉的例子。

5. 有終止的 vs. 持續性的交互作用

Terminating vs. continuous interactions

直接過程：直接過程的元件在交互作用時，是會終止的。例如循環中，如果流動

模式(flow pattern)停止，血液停止流動，則心室組織停止收縮。

突現過程：突現過程的元件在交互作用時，是持續的。即使流動模式停止，分子之間還是持續不斷地碰撞。

◎元件與型式之間的關係(Component–pattern relations)

6. 次團體（或種類）vs. 所有元件（元件的積聚）

Subgroups(or classes) vs. all of the components(or a collection)

Chi 認為人類傾向於將物體依據它們共享的特徵或特質進行分類，但許多科學概念是組成元件交互關係的積聚(collection)，不能加以分成種類(classes)來理解。

直接過程：直接過程的元件，有著明顯不同的角色或功能，而可分成次團體(subgroups)或種類(classes)，這不同的次團體可以直接促成某些方面模式(pattern)。

突現過程：突現過程的模式，是所有元件交互作用的積聚(collection)，而無法分成次團體或種類。

7. 直接的 vs. 非直接的影響

Direct vs. nondirect effect

直接過程：如上所述，直接過程的元件的行為可以直接(direct)或間接(indirect)影響模式。

突現過程：元件對模式有非直接的(nondirect)影響。

8. 相呼應的 vs. 脫鈎的

Corresponding vs. disjoint

直接過程：元件的行為與整體模式是相呼應的，例如，瓣膜開啟的方向與血液流動的方向是相呼應的。

突現過程：元件的行為與整體模式是脫鈎的，例如在擴散中，分子碰撞後移動的方向可能與突現的流動方向相反。

9. 差別的地位（或貢獻） vs. 相等的地位

Differential status(or contribution) vs. equivalent status

直接過程：對整個模式的形成，某些元件的次團體，其重要性或貢獻會大過其他

的次團體。

突現過程：所有元件在交互作用的過程中，其地位是相等的，具有相等的重要性或貢獻。

10. 整體的目的(功能/目標/意圖的) vs. 局部的目的(功能/目標/非意圖的)

Global purpose(function/goal/intentional) vs.

local purpose(functional/goal/unintentional)

直接過程：元件的行為是目的論的、有意地要促成整個模式的目標之達成。例如血液循環中，房室瓣的關閉，是為了避免血液倒流，以維持血液循環的流暢進行。

突現過程：元件的交互作用並不是有目的地要產生整體的目標，例如擴散中，分子只是在布朗運動或相互碰撞，而不是有意地要形成流動模式。

值得注意的是，分拆成 10 個本體屬性可方便詳細闡述或做本體訓練，但其實這 10 個屬性是相連結的。將第 6、7、9、10 屬性連結在一起，又可歸結出：直接過程是「中心化的控制」(centralized control)，而突現過程是「去中心化的控制」(decentralized control)。例如，鳥群集(flock)成 V 字型飛行，迷思概念會認為有一個領導(leader)在控制著，但其實這是個去中心化的突現現象。這 10 個本體屬性可廣泛套用在其他科學概念上，但並不限於只有這 10 個屬性。

七、本體訓練

Chi「本體訓練」(ontology training)，是 Chi 新近提出的主張(Slotta & Chi, 2006)，可說是二人之前的 CBI 教學(Slotta & Chi, 1996)的精進。由於其他學者鮮少有類似主張之研究，故研究者將在此，針對 Chi 的本體訓練，做一個較為詳盡完整的描述。

Chi 等人認為概念成就測驗無法真實反應出學生的概念改變情形，例如學生將電流分類於物質實體，認同(commit)於 juice 的概念，這或有助於通路概念的學習，而獲致較高的通路學習成就，但最初的錯誤本體分類(wrong ontological

category)將不相容(incompatible)於後來的資訊，致使往後的學習變得困難，特別是能量概念的部份(Slotta et al., 1995)。如下圖 2-2-1 所示。

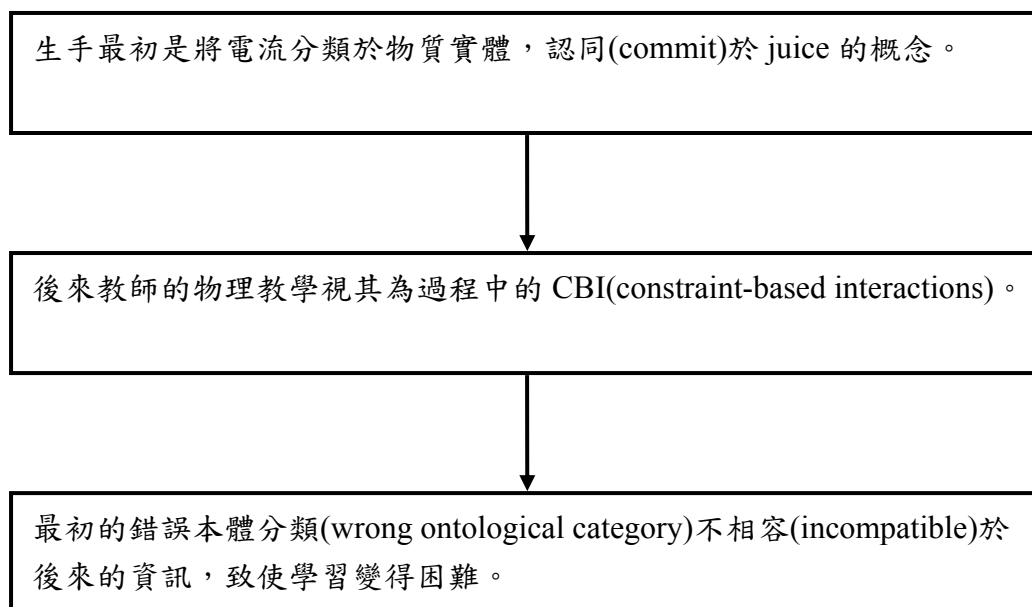


圖 2-2-1 Chi(1992)的不相容假說(Incompatible hypothesis)

(一) 評量本體認同(Assessing Ontological Commitment)

除了對錯誤本體分類的解釋，Chi 主張為了理解合乎科學規範的概念並避免最初的錯誤分類導致後來的錯誤推論，生手可能需要修正其本體認同(ontological commitment)。為了研究這樣的主張，因此需要做評量(assessment)。Slotta et al. (1995)利用結構相似、實質不同的問題(isomorphic problem)組對來進行，也可利用問題解答時的口語述詞(verbal predicates)分析來了解其本體認同。例如電流是突現過程概念，配對的物質實體問題是水。相似的回答可以反映出相似的概念推論，如果學生回答燈泡愈靠近電池愈快亮，那他是將其類比成水管和灑水器的關係了。述詞分析法並可以量化本體認同的程度。

圖 2-2-2 顯示，生手偏好實體屬性、少用過程屬性，而不論其問題型式；而專家則在實體概念問題使用高水平的實體屬性（與生手相似），物理概念問題使用較多的過程屬性。此外，不論是選擇題或口語述詞，都顯示著相同的模式

(pattern)。可見專家和生手：(1)都非常具有一致性；(2)有著實質上的差異，而與其語言程度無關。

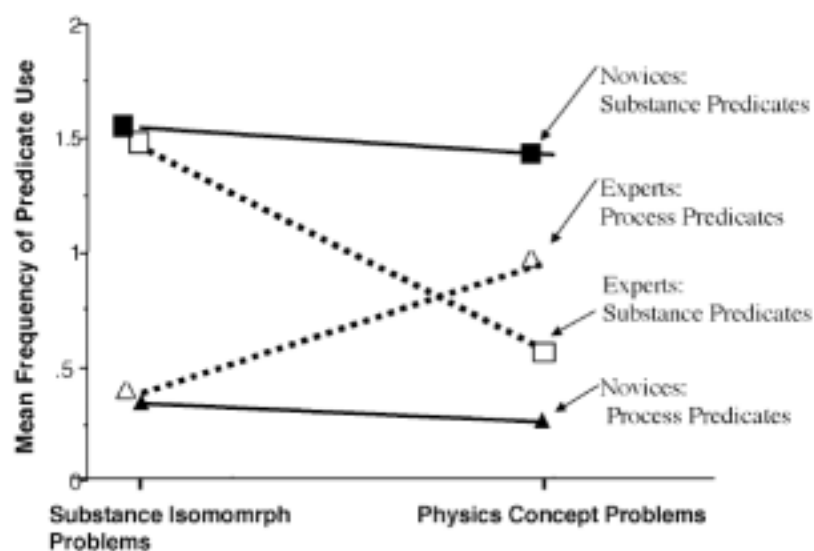


圖 2-2-2 專家與生手的比較（引自 Slotta & Chi, 2006）

（二）教師自身在講述物理學概念時應留意的事項

Chi 認為，如果：(a)在教學前就具有這些概念的正確本體知識；(b)他們最初關於該概念的經驗或教育沒有提供錯誤的本體聯想——在這樣的架構下，學生比較不會有錯誤的本體認同。

有證據顯示(Clement, 1987、McDermott, 1979; 引自 Slotta, Chi & Joram, 1995)，物理專家平行持有實體與過程概念或觀點。物理專家仍使用物質般的模式來做推論，但他們知道使用的限制與捨棄點(Slotta, Chi & Joram, 1995)。因此概念改變似乎也可解釋為發展新的概念與舊的併存，並懂得如何、適時加以區分(differentiate)。但如何避免後來所教的似過程(process-like)本體概念被既存的似實體(substance-like)概念所同化呢？

幫助生手理解電流似過程(process-like)本質的假設性做法是，先提供目標本體（突現過程）的訓練，接著教電流時，要避免促進物質實體本體論的措辭或類比，如此可以避免生手後來所學的似過程的本體概念被又被既存的似實體概念所同化。

(三) 本體訓練構想之萌發

學者普遍認為，幼童在學校被灌輸科學觀念前，即已擁有他自己堅實的觀點，這樣的論點反映在數千篇研究中。

而迷思概念的研究，主要聚焦在學生顯示出堅實(robust)迷思概念的概念上。Reiner, Slotta, Chi and Resnick(2000)在廣泛回顧相關研究後，發現學生或生手經常對困難的概念賦予物質屬性。

Chi(1992, 1994, 2000, 2002, 2005)的一貫性主張認為，學生對一些物理概念感受到學習困難，是因為他們將這些概念賦予物質實體(material substances)的不適當本體地位(status)，而非較真實的突現過程(emergent processes)地位所致。發現了素樸概念間普遍存的原因後，挑戰性的課題在於如何設計一個教學法來應對這種物質本質的概念。為了改變這種情形，針對一些物理學上的所謂具挑戰性的主題(challenging topics)，例如：電流、熱傳導、光、力等概念，Chi & Slotta(2006)主張，可以嘗試在一般教學前，先對學生進行概念的本體訓練(ontology training)。結果顯示，教學前所做的本體訓練確實能幫助學生概念改變。

Chi 等人讓受試者以電腦化的模組學習突現過程，來加以檢驗其預期。控制組同樣施以電腦化模組，但不提供關於本體論的資訊。口語解釋和質性的問題解決資料顯示實驗組學生對電流有較深切的 understanding。

(四) Slotta & Chi(2006)的本體訓練研究設計與方法介紹

1. 將學生分成實驗組與對照組：

(1)實驗組：物理生手先接受直接的突現過程本體訓練，接著教授電流的文本中要刪除物質實體本體的示意或聯想。

(2)控制組：沒有突現過程本體的訓練，被教授的文本則相同於實驗組。

在前後測的測量中，受試者先多重選擇題中作答，接著以口語作解釋。實驗組的過程本體訓練中沒有提到電學，也沒有預示它的有關應用，只是單純提供過程本體訓練的知識。預期實驗組的口語解釋述詞會從前測時的實體本體轉變

(transition)成後測時的突現過程本體。

2. 訓練內容：

包括電學概念前、後測；突現過程本體訓練模組；控制模組；訓練模組的後測；控制模組的後測；物理學習文本；物理學習後測。

(1)前、後測(pre-test and post-test)

前後測內容相同，都在預測電流迴路的變化，問題取自 Slotta et al.(1995)，受試者選擇答案選項後，還要對其選擇做口頭解釋。**如果受試者前後測使用不同的口語述詞模式解釋相同的問題，Chi 等人推論受試者對該問題的概念改變了；然而如果不同的模式是用在不同的問題上，則可能僅是有區分出不同問題的不同表面特徵(surface features)而已。**

(2)突現過程訓練模組(Emergent Process training module)

由電腦化教學模式所構成，由學生依自己的步調讀取。文本對照著模擬演示的動畫，每固定一段時間就會出現螢幕的部份畫面中。如果學生沒有讀取文本，和電腦沒有互動，則電腦無法繼續模擬下去。藉此讓受試者意識、理解突現過程屬性。這份文本具有四種困難科學概念的突現過程特質。雖然還可能找出其他具有突現過程屬性的特質，但重點在於其可辨識性(recognizable)、易感受性(accessible)，以及能否應用在這種訓練模組上。這四種屬性依序是：

- I. 泛系統(System-wide)：沒有明確因果解釋。
- II. 尋求平衡(equilibrium-seeking)：系統內互動的組成份子¹在條件限制下找尋平衡。
- III. 同步而獨立(Simultaneous and independent)：某種程度的限制(constraint)起作用(behavior)，實則是由於系統中許多小的、同步而獨立發生的過程之聯合效果(combined effect)。
- IV. 持續進行(ongoing)：沒有起點與終點。

模組首先介紹突現過程屬性的一般特質，接著再解釋與動畫模擬，最後再做

一個回顧性摘要。藉由一般性定義的介紹與具體例子說明，希望能讓受試者多少有一些抽象的領會。

(3)訓練文本解釋的提詞(Training text explanation prompt)

解釋提詞可確認受試者對內容的完整了解，研究也顯示對受試者的理解有幫助(Chi, de Leeuw, Chiu & LaVancher, 1994)

(4)訓練後測(Training post-test)

在訓練模組剛開始進行，受試者就被告知要做後測。首先的兩個問題求其回憶訓練模組例子中的四個基本特性，接著要將其理解的四個特性應用在新的例子中（捕食者與獵物的族群）。後測可以避免正向效用(positive effect)的預期。

（五）Chi 的本體訓練成效與探討：

1. Chi 認為，此次研究，為學習複雜科學概念的概念改變的理論依據(Chi, 1992; 1993; 1997; 2005; Chi & Slotta, 1993; Ferrari & Chi, 1998; Slotta & Chi, 1996; Slotta, et al., 1995)，提供了實證。這樣的依據特化(specify)出一條本體界線(ontological boundary)，介於兩種解釋架構之間：學生普通的概念&符合科學規準的概念。一旦學生將一個概念連結到一個特定的本體，他（她）將依據這個本體去試著理解之後的教學內容，而造成學習困難，因為他（她）繼存的本體認同(ontological commitment)和該教學內容所採用的本體，是不協調的(mismatch)。因此，某些特定的概念傳統上就比較難學，那是因為學生很可能將其連結到了不正確的本體。

2. Chi(1992; 1993; 1997; 2005)主張，學生傾向於將熱、光、力、電流等概念想像成具有物質實體(material substance)。這種傾向來自於種種不同（但並非不相關）的原因：

(1)語言的物質偏愛(materialistic biases)。

(2)概念知識中之物質實體本體的優勢，以致於成為接受新知識的預設值(default)。

(3)另有本體(alternative ontology; e.g., the emergent processes)的例子之缺乏。

不管起因為何，教導特定物理概念必需幫助學生放棄他們初始的本體認同，或至少能接受、領會符合目標本體的想法。

3. 本體課程（例如：突現過程）的直接教學，被假設能夠增進往後課程之概念學習。實徵方法是加入有關突現過程本體的預備訓練(preliminary training)課程。在這樣的治療(treatment)中，甚至不用修改物理教材本身即能得到效果。藉由問題解決與口語解釋資料，可以觀察到實驗組和控制組在相同的電流課程內教學後，卻有著不同的表達和思考方式，這顯示突現過程本體的預備訓練對傳統挑戰性主題（例如電流）的學習有明顯的助益。當受試者愈是接受並理解這項訓練（例如高訓練組），問題解決與口語解釋資料表現愈佳。

（六）本體訓練在教學上的意涵與貢獻：

1. 要將認知理論應用到真實世界的教學中從不是一個簡單明確的過程。本研究支持的一個重要的想法是：某些概念領域需要特別注意其本體主題(ontological issues)，其他概念的學習則可依據其本體特質(ontological attributions)來學習。在教學設計之前，我們必須先決定該主題是否會歷經學生的本體認同(ontological commitments)改變的過程。有些主題，例如人體循環系統，Chi(200a; 2000b; 2005)的研究有提到，學生的先前想法僅需做修正(revision)，而不需要本體搬移(ontological shift)或所謂的跨越本體界線(crossing of ontological boundaries)。因為學生是將心臟誤以為是血液的來源，而不是幫浦(pump)，但這仍然是出自正確的本體觀點的想法（來源或幫浦都同屬於物質本體的本體樹）。在這樣的情況下，顯然這種科學主題就沒有先做本體訓練的必要性。

2. 屬於突現過程概念者，例如物理學的電流、熱、光、力、擴散、熱流動，或經濟學領域的供給與需求、生物學的天擇、演化等，學生在這些主題上的本體認

同就可能需要搬移。教師不要想直接引領學生跨越不同的本體，因為這之間並沒有看得見的路徑。本研究建議，教師應該一方面強調這個概念所具有的突現過程的本體特性(characteristics)，一方面小心地避免使用物質實體的語言、類比或圖騰。同時詳盡明確地描繪該概念的本體觀點，幫助學生將新想法格式化(formulate)，以便固著於(adhere)符合科學基準的觀點。研究者將以學生國中學過的擴散作用、胡椒蛾的例子，傳達(mediate)巨觀自微觀中突現的意涵及其相關概念的本體屬性。

3. Chi 主張在面對這些所謂複雜且具挑戰性(challenging)的科學主題時，教師或課程設計者可以在教學前先採取一個兩階段的方法，第一階段：先提供本體特徵的相關知識並引導學生思考之，以使學生對概念的目標本體有所熟悉。第二階段：對本體的本質(nature)特別地加以闡述，並要避免對錯誤本體的強化。是故，研究者將參考 Chi 等學者的上述主張，設計並實際執行一個生物演化教學課程。

第三節 心智模式

一、心智模式與教學

有關心智模式的陳述，早在 1943 年即由 Kenneth Craik 提出，他認為人們會自動轉譯外來的事件成為內在的模式，並藉由操弄這些符號表徵來進行推理、行動，並覺察到這些符號與外在世界的一致性（引自邱美虹&林靜雯，2002）這也可以解釋人類如何可以處理在自身記憶的資訊庫中未曾有過的事情，例如，我們來到一個陌生的城鎮，卻知道該如何食衣住行，因為我們早已有一套心智模式來應付這種情事。這種處理事情的方式，可以稱作是心智模式，更廣義的解釋可以是：一種內在心理認知的表徵，一種可以用來描述、解釋、推理、預測或控制外在現象的心理與外在的交互過程。

研究心智模式的學者甚多，認知心理學領域的 Franco & Colinviaux(2000)指出，接近(access)心智模式的方法可藉由檢測個人的表達模式(expressed model)來遂其目的。若要深入領會(grasp)個人的心智模式，則需還要探究兩個面向：

(一)心智模式是如何發展出來的。

(二)當個人使用心智模式去思考時，會顯現出哪些主要或關鍵特徵。

Vosniadou & Brewer(1992)曾研究孩童的地球心智模式，認為心智模式是為了問題解決時所形成的一種動態的結構，因此，迷思概念往往是在被測試(testing)的情境當下(spot)，一種無意識的建構(spontaneous constructions)，而非深層持有的特殊理論（specific theory）（詳於下節）。

Norman(1983)認為心智模式會受到一些條件的限制，例如使用者的技巧背景、先前對相似系統的經驗、人類的資訊處理系統的結構等。他透過廣泛的觀察歸納出心智模式的六個共通性：

1. 不完整的(incomplete)。
2. 有限的(limited)：人們在執行(run)心智模式時，是頗受限制的。

3. 不穩定的(unstable): 心智模式的系統, 隔一段時間不使用, 就會有所遺忘。
4. 沒有固定範疇的(do not have firm boundaries): 相似的裝置(devices)和使用方式(operations)彼此容易混淆。
5. 不科學的(unscientific): 為了節省體力與心力, 人們常會維持迷信的行為模式。
6. 儉約的(parsimonious): 人們寧願去做一些額外的行為, 也不願動用心智來規劃如何避免這些額外的行為。這是一種交換(trade-off)策略, 寧願多做點額外的行為, 而不願讓自己心智變得太複雜。

Franco & Colinviaux(2000)認為心智模式的主要特徵如下:

1. 產出性(generative): 進行以模式為基礎的推論時, 人們會產生預測和新的想法。
2. 牽涉到內隱知識(tacit knowledge): 心智模式的持有者並不會意識到自身心智模式中的某些構成向度, 例如親身體驗、習慣等。
3. 合成的(synthetic): 為了使心智模式運作得更有效率, 心智模式包含許多目標系統或事件的簡化表徵。
4. 受限於世界觀(world-views): 心智模式會受到一般人們所持有之既有信念系統所影響。

Gilbert, Boulter & Elmer (2000)將模型(model)模型分為心智模式(mental model)、表達模式(expressed model)、合意模式(consensus model)、教學模式(teaching model)等。表達模式, 是一種公領域(public domain)的外在表徵, 可以呈現其心智模式, 用來做人際之間的溝通。而呈現心智模式之際, 也可能反過來改變其心智模式的內在表徵, 正所謂 “expressing it changes it”。合意模式是經由社群達到共識之後呈現的模式。而教學模式則可幫助社群獲得合意模式。

Buckley and Boulter(2000)曾對模式(model)、心智模式(mental model)、表達模式(expressed model)、現象(phenomenon)有如下詮釋:

1. Model: 引用 CMISTRE(Centre for Models in Science and Technology: Research in Education)的工作定義為一想法(idea)、物體(object)、事件(event)、過程

(process)或系統(system)的表徵(representation)。

2. Mental model：內在的、認知的表徵，被用來推論現象(phenomenon)，或去描述、解釋、預測、有時甚至控制現象。
3. Expressed model：外在的表徵，不僅用來溝通，也用來推論。一般提到“representation”，經常是指外在表徵，即“expressed model”。
4. Expressed model 對於不論是 phenomenon 或是 mental model，表徵其中經過選擇的面向(represent selected aspects)。因此，mental model、expressed model 和 phenomenon 可以形成下圖的交互關係：

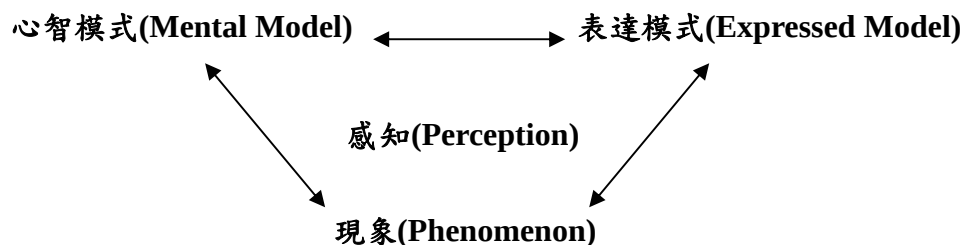


圖 2-3-1 心智模式、表達模式和現象的交互關係(引自 Buckley and Boulter, 2000)

Buckley and Boulter(2000)的上圖，結構類似 Milne(1999)詮釋 Scholes (1981) 和 Carter (1993) 的符號環(semiotic circle)所繪的下圖，在此一併列出 (加以修改過)。

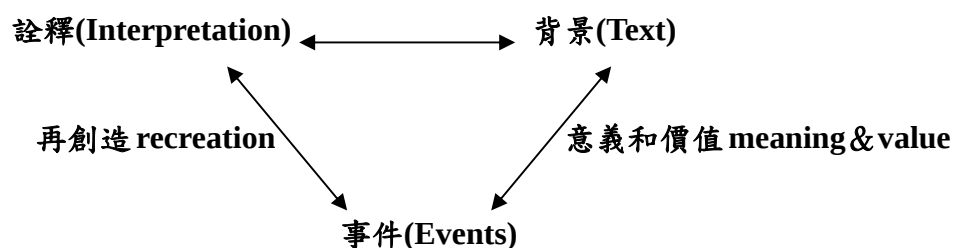


圖 2-3-2 故事的符號環 (修改自 Milne, 1999)

Boulter and Buckley(2000)強調讓學生了解模型的本質，以及模型導向教學的重要性。Boulter & Buckley(2000)指出，科學課室中有過多的模式，它們的歧異處有：與表徵現象的關係、知覺效用、功能、如何被教師及學習者使用。在教室

中，學生不常了解他們正在建立並使用模式來解釋一個現象，相反地，這些表徵對學生而言，像是必學的課程內容，但卻沒有詳細討論其本質及扮演模式的功能性(Gilbert, 1991; Grosslight et al. 1991)。學生經常對一些簡化、不完整、去背景並伴隨現象本身所表徵的模式感到困惑。學生也不被鼓勵去思考是否有其他的表徵模式。這意味著除非學生有充足的補充資訊或經驗，他們很難去知覺一模式在解釋現象時的重要性，以及建構一發展理解力所需之堅實連貫的心智模式(Johnson-Laird, 1983)。教師經常以自創的教學模式來幫助學生理解現象(Brown, 1994)。但教師和學生都對這些暫時、實用的教學模式缺乏批判性的評鑑(Treagust et al., 1992)。教師和學生也不了解現象和以模式來表徵之間關係的本質。清楚明確、統整的模式導向的教與學將有助致力於此類問題(Boulter & Buckley, 2000)。

二、心智模式與建模(modeling)

Grosslight 等人(1991)曾以 33 個 7 年級混合能力班學生，和 22 個 11 年級資優班學生，晤談關於模型(model)的概念及其在科學上的使用。進行三個分析，其當時的目的有三：

1. 描繪學生自發性(spontaneous)答案的特徵。
2. 診斷學生用來決定哪些特定項目是模型、哪些不是模型的標準。
3. 描述不同理解模型的廣泛層次，如何反映出不同的認識論觀點。

他們發現，不論是能力混編組或是資優班學生，對模型的概念，都有著素樸的真實本體觀(naive realist epistemology)。他們比較可能將模型看作是將不同時空觀察具體化的真實(reality)之實體複製，而不是將模型看作是將不同理論觀點具體化的表徵之建構。當學生有更多經驗(sophisticated)之後，會逐漸將模型看作是為特定目而設計，特別是為了溝通(communication)。專家的想法則符合建構主義者的架構，區別抽象和實體模型，並明確指出，模型是想法的建構和檢驗。

表 2-3-1 學生與專家對模型(model)的想法

學生的想法：

模型是真實(reality)之實體複製 —————→ 為特定目的之設計，例如：溝通。
精巧化(sophisticated)

專家的想法：

模型是想法(ideas)的建構和檢驗。

Grosslight 等人(1991)的研究認為，上述學生與專家對於模型的想法或認識，可以排列出其層次性，也直接影響其建模能力(modeling ability)。其層次如下：

1. 第一個層次：模型是真實(reality)之實體複製；真實世界物體或動作的複製。
2. 第二個層次：為特定目的之設計；認為模型是可以由於特殊目的而被建構的，可以被強調、簡化、突顯特殊觀點，以便於傳達或溝通的，但仍無法跳脫模型是建構自真實物件的想法。
3. 第三個層次：模型是想法(ideas)的建構和檢驗。

Grosslight 等人(1991)於是提出結論，主張：

1. 學生需要更多的經驗—更多使用模型為智力工具(intellectual tools)的經驗。
2. 學生需要更多的經驗—更多有關於模型能夠對於現象，提供一個相對照的想法觀點(contrasting conceptual views of phenomena)
3. 學生需要更多的討論—更多有關於模型在幫助科學探究上所扮演的角色之討論。

三、對本研究的啟發

認知心理學與科學教育領域常使用來分析心智模式的方法，包括紙筆測驗、晤談時的原案(protocols)、教學等。本研究企圖以前述 Chi 的本體論，以及 Mayr

(2001)、Shtulman (2006)的變異論與轉型論為理論背景與心智模式分類依據，以紙筆測驗、教學活動及晤談，對高一學生進行實徵研究，以了解這些學生心智模式的分佈類型及概念改變的可能原因。

此外，研究者以為，傳統教科書在論述生物演化時，著重在變異(個體差異)、過度繁殖、生存競爭、適者生存這四個達爾文演化論名詞的描述上，及直線式的因果關係，但卻忽略了族群(population)在演化上的重要意涵，以及演化模式發生的突現因果機制(emergent causal mechanism)。這似乎是個有待補強的教學模式，本研究的演化教學設計或可嘗試改進。

第四節 Vosniadou 的心智模式與概念改變理論

一、Vosniadou(1992)對於兒童有關地球的心智模式的看法：

Vosniadou 認為，許多兒童說地球是圓的，但他們認為它有盡頭或邊緣，人會在那裡掉下去，眾多不協調的現象說明了兒童使用不同於球體地球模式的心智模式。目前已知有五種另有心智模式：矩形地球、圓盤形地球、雙地球、中空地球、平面的地球，它們來自於日常生活的經驗，而且有些似乎是在受到外在文化灌輸前的初始模式。他們會採取漸進再詮釋的方式，修正原有模式，以更能符合社會文化上普遍被接受的模式。兒童以綜合的模式來解決自身初始模式與社會文化所接受的模式之間不協調所產生的問題。兒童唯有重新詮釋其預設想法才能了解地球是球體的。

兒童的知識，具有直覺知識(intuitive knowledge)的本質，在接觸文化上普遍被接受的資訊後，其知識會有所轉變。兒童知識的發展有幾個值得注意的地方：

- 1.兒童是如何發展另有概念的。
- 2.這些概念是否被完整定義並被以一致協調的方式使用。

很有可能情況是：首先，兒童在知識獲得過程之初是假定地球是平的；其二是兒童很難理解地球是球體，包容於太空之中。

另有概念，可視為是兒童部份性地嘗試將成人的資訊（地球是圓的）與自己的原始素樸概念（地球是平的）所做的一種調和。這樣的觀點在科學界深信不疑，但乏研究支持。例如，Piaget 所舉出的兒童將地球視為”layer cake”的例子。

Vosniadou 認為由於兩個 presuppositions（預設，預設立場、想法）的限制性影響力，使得兒童很難理解地球是球體的—（a）地面是平坦的（b）東西沒有支撐會落下。這兩個預設似乎成了素樸概念中的通論，限制住兒童對地球的心智模式。

在兩年之後，Vosniadou(1994)提出了所謂的‘framework’（架構理論）。在這

樣的思維下，她認為‘dual earth’是‘synthetic’（綜合）心智模式中最簡單的，因為它沒有牽涉到上述兩個預設。其他例如中空的地球，就複雜些，最複雜的是「平坦的球形」。兒童試圖在文化情境與自己的信念間做‘reconcile’（調和）。

在一致性(consistent)方面，Vosniadou不同於先前一些學者的看法，她認為大多數學童具有解釋架構的一致性，甚至由於在將學童的解釋架構分類時的過份嚴謹，而可能低估了學童的一致性。此外，學童將來自成人於的資訊與日常生活的經驗合成為融貫性的心智模式(coherent mental models)，而且操作或運思(operate)得很好。成人眼中的矛盾，在學童的世界中並不覺得矛盾，因而具有融貫性(coherent)。

由於日常生活的直觀經驗、直覺觀察限制，要將其改變是不可能的，因為那是真實的感官與生活體驗，唯有再詮釋(reinterpretation)，重新詮釋這些觀察與體驗，才能造成預設的改變，也才能改變解釋架構，進而造成概念改變！

二、Vosniadou(1994)的「架構理論」(framework theory)

Vosniadou 指出，物理的素樸架構理論被認為早在幼兒時期即已建立，並且成為個人本體論及認識論的基礎。架構理論的預設(presupposition)，成為個人在詮釋所觀察到的、及接收文化資訊以建構特殊(specific)物理理論時的限制。

而特殊理論(specific theory)在過程中會不斷地被豐富(enriched)及修飾(modified)。有時只要新資訊之添加(addition)至現存的概念架構中，某些種類的概念改變就會發生。其他種類的概念改變之發生，往往需要現存的信念(belief)或預設發生修正(revised)。因此，當涉及到架構理論的基本預設之修正(revision of fundamental presupposition)時，概念改變很難達成，且容易產生迷思概念。所以，迷思概念被她解釋成，個人試圖將新資訊同化(assimilate)到現存的概念架構中，讓新科學觀點能包容矛盾的資訊。

兒童的最初心智模式可說是由架構理論與特殊理論所共同產生的，架構理論

提供了最初心智模式的本體論及認識論的基本預設（第一階限制），而特殊理論則提供經驗觀察所獲得的信念（第二階限制），並進而形成兒童的最初心智模式。

三、Vosniadou對Chi理論的批評

早期學者，尤其是 Pfundt & Duit, (1991)之前，普遍認為概念改變是很難發生的。Chi(1992)亦對上述論點提出質疑。並以本體分類(Ontological categories)的方式將「概念」(concept)分三大類：物質(matter)、過程(process)、心智狀態(mental state)。同一大類之間次類別歸屬的改變，視為信念修正(belief revision)，較為容易；不同大類之間的搬移(migrate)，則較難。亦即，上述三大類中同一大類底下的次類別之概念改變容易發生，不同大類間的概念改變則很困難。

不過，Vosniadou 在此對 Chi 有所批評，大意如下（引自邱美虹，2000）：

1. 為什麼同一大類間次類別的概念改變就一定比不同大類之間的容易？
2. 分法武斷(arbitrary)，為什麼是分成 matter、process、mental state 等三類？
3. 是語法(syntactic)而非語義(semantic)的分法（亦即指其未深入瞭解其深層的原因）。

Vosniadou 認為，概念是嵌在 (embedded)我們既存之物理世界的架構理論 (framework theory)中，並受其所箝制。經由多年來日常生活經驗的確認 (confirmation)之後，該理論顯得內容豐富、城溝深築，必須對此情形有所體認，才能瞭解概念改變的本質與困難（她認為：唯有架構理論的預設(presupposition)改變了，才會有概念改變）。

研究者心得：Vosniadou(1992, 1994, 2004)其實始終並沒有明確給予「概念改變是否困難」一個 “Yes or No”的答案，她重視、強調的是：「預設很難改變，唯有改變了，才會有概念改變」。

四、Vosniadou對diSessa(1993)的兒童知識一致性（連貫性）的批評

Vosniadou 以為 diSessa 對兒童的知識的看法是——「知識是片斷的 (Knowledge is pieces)。既然沒有一致性、不連貫，就無法確切了解或描述兒童的 theory 為何？甚至不夠格稱 theory-like。Vosniadou 則此有極不同看法。認為知識由信念(belief)所構成，而信念不是以片段(in pieces)的方式在運思(operate)，反而有形成連貫(coherent)的結構。

而且專家和生的差異，並非生手的知識是片段的，而專家則一致地連結到物理的定律原則；而是生手的知識連結到本體論和認識論的預設，取代了物理的定律原則，對基本相似的經驗信念提供了一個完全不同的解釋架構。

此外，Vosniadou認為她的觀點不同於McCloskey(1983)、Carey(1983)的主張，她認為迷思概念是在被測試(testing)的處境當下(spot)，無意識地建構(spontaneous constructions)而成，而非本身深層持有的特殊理論(specific theory)。

總結來說：

1. Vosniadou認為兒童是在預設的平台上思考事情，這樣的心智模式甚具一致性，年紀小的學生一致性稍差一點，但一致性仍頗高；年紀愈大，愈具有一致性 (Vosniadou & Brewer, 1992; Vosniadou, 1994; Vosniadou et al., 2004)。另外，概念改變是漸進的(gradual)，可以分為概念的增加 (addition) 或豐富(enrichment)與概念的修正(revision)兩大類別，概念的增加較為容易，因其僅是概念的豐富化，並不改變原有的認知結構，沒有涉及概念的重建。概念的修正較為困難，牽動到概念的重建，也改變了認知的結構，並可依修正程度再分為弱修正與強修正。可以用圖形表示如下：

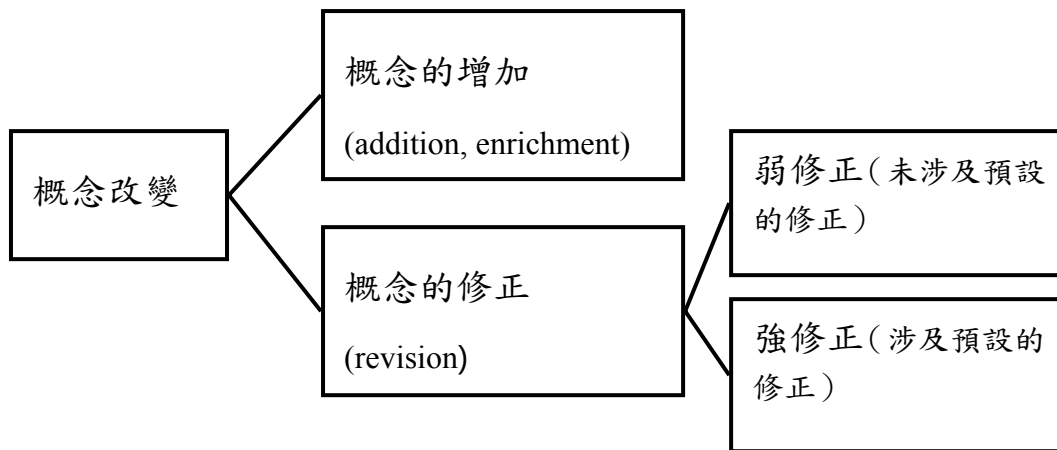


圖2-4-1概念改變類別（參考自 Vosniadou,1992, 1994; Tyson et al., 1997）

2. Vosniadou 認為概念改變的過程是漸進式地(gradually)，初始心智模式必經綜合心智模式方來到科學心智模式。其過程如下圖所示：

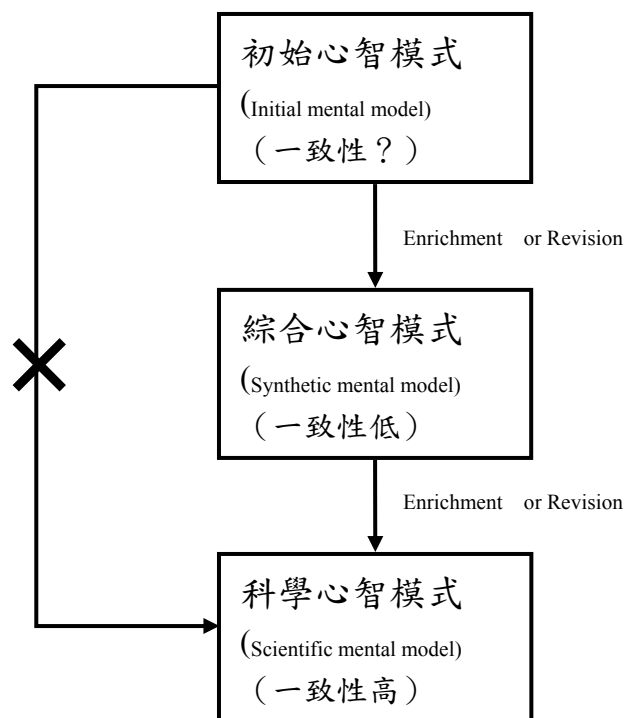


圖 2-4-2 概念改變的過程（參考自 Vosniadou, 1992, 1994）

五、解釋架構的一致性與心智模式的融貫性

首先說明，一致性(consistency)與融貫性(coherence)的中、英文字面意思相近，但稍有不同。在本研究及相關文獻中，一致性是指心智模式中在同構異型(isomorphic)的不同題目中，使用相同的方式；融貫性是指心智模式中的信念不是以片斷的方式在操作或運思(operate)，而是有系統性的在連結。

Vosniadou 不同意 diSessa 所謂「片段」心智模式的看法。認為兒童的信念(belief)不是以片段(in pieces)的方式在操作或運思(operate)，反而有形成融貫(coherent)的結構。其次，她認為兒童述說地球運行模型時，其呈現的解釋架構具有一致性(consistency)，其一致性的程度甚至被我們低估了，這可能是成人所訂下的標準太嚴格了(Vosniadou & Brewer, 1992; Vosniadou, et al., 2004)。

亦即，原因在於：

1. 兒童將來自於成人的資訊與日常生活的經驗合成為「融貫的心智模式」(coherent mental models)。成人眼中的矛盾，在兒童的世界中並不覺得矛盾。
2. 由於在將兒童的回答模式分類時的過份嚴謹，而低估了兒童的一致性。

Chi 等人的主張和 Vosniadou 有相同處，但有更多的相異處。Chi & Roscoe (2002)將心智模式作如下的區分：

1. 非融貫性（破碎）心智模式(incoherent/ fragmented mental model)：

命題(proposition)，指的是將一個系統性的知識，以一個句子描述出來。而非融貫心智模式中的命題，卻以非系統性的方式相互連結。因此在回答問題時，對於問題的預測，往往產生非一致性的解釋。這種不一致性，學生自己可以覺察出來，並覺得無法達到全面性的理解。

2. 融貫性心智模式(coherent mental model)：命題在心智模式中是有組織、系統化。又可分為：

(1) 瑕疵的心智模式(flawed mental model)：

融貫性的結構中，充斥、圍繞著不正確的信念或原則。他們因為具備系統化的要求，因而能一致且充分地回答問題，也可能有機會答對問題，他們可能不自覺自己其實缺乏深層的了解，甚至是有所誤解。

(2) 正確的心智模式(correct mental model)：

具正確科學概念、信念或原則且命題以系統性的方式相互連結。

關於上述這三種模式，Chi & Roscoe(2002)曾舉先前提過多次的血液循環例子說明其區別，例如：學生誤認為血液循環是單循環的，那是一種缺乏正確性的模式，但由於學生具備了一些相關的知識，且連結的很有系統（雖然是錯誤的連結），因而能答對問題，這就是瑕疵的心智模式。

Chi & Roscoe(2002)認為理論(theory)所形成的命題(proposition)，被心智模式所表徵。當學生在面對不同的問題、但這些問題具有相同的命題時，若做出不同的表徵方式或形式，這顯示他（她）的心智模式是不連貫的。就這點而言，Vosniadou 的解釋是如上述的：「成人眼中的矛盾，在兒童的世界中並不覺得矛盾。」這樣的解釋，若不以牽強視之，則必定是兒童有一特殊的心智融貫方式，或許值得深入研究，不過，研究者在此不擬加以深入討論。研究者感興趣的是，成人眼中看到的兒童心智不融貫現象，為何有可能可以正確回答問題？Chi & Roscoe(2002)對此做出了解釋如下：

Chi & Roscoe(2002)認為，完整性(completeness)提升了學生看待問題的能力，比方說，如果學生擁有很多、很完整關於血液循環的知識（命題），即便他以為血液是單循環的運作模式（因而被視為是瑕疵的心智模式），也肯定可以答對很多關於血液循環的問題；相反的，如果學生有正確(correct)的雙循環心智模式，但相關知識闕如(with sparse details)、缺乏完整性，則反而答不出關於血液循環的問題。亦即，在這個案例上，完整性可以彌補融貫性與正確性的不足。（具互補性）

因此 Chi & Roscoe(2002)認為心智模式有三個要件(3C)：

1. 完整性(Completeness)。
2. 融貫性(Coherence)。
3. 正確性(Correctness)。

完整性與融貫性、正確性是相互垂直(orthogonal)的結構，彼此相輔相成，有互補效果。研究者認為，Chi & Roscoe(2002)的三種心智模式、搭配以心臟血液循環的舉例，似乎可以部份解釋 Ferrari & Chi(1998)的研究中，為何學生為何有時可以答對選擇題的問題，卻有著錯誤的本體分類（缺融貫性？）；或是有人雖然了解正確的達爾文原則（具正確性），卻答錯問題等許許多多的狀況。或許某兩個要件的具備可以略為彌補其中一個要件之缺乏。本議題值得再做深入研究與驗證。

第五節 演化論的心智模式

一、變異論與轉型論 (Variationism & Transformationism)

早在西元前七世紀，希臘哲學家就試著解釋生物是如能適應它們生存的環境。這個問題一直要到達爾文的物種原始(The Origin of Species)發表後才有較明確的解答。達爾文由經驗觀察得出三個現象：

1. 過程繁殖(superfecundity)
2. 變異(variation)
3. 遺傳(inheritance)

達爾文由這三個現象推導出「天擇」(natural selection)：最適應環境者將生存而繁殖，因此增加同一物種(species)中適應環境的性狀(adaptive traits)比例相較於非適應環境的比例。達爾文的理論為種化(speciation)與物種適應(species adaption)提出解答。不過，根據調查顯示，迄今全美國只有 35%的人相信達爾文理論有充分的證據支持(Newport, 2004；引自 Shtulman, 2006)，大學畢業生比例高一點，有 65%相信達爾文理論有充分證據支持，但卻傾向贊同另有主張（達爾文理論中尚無充分證據支持的部分）——相較於那些自稱不知道的。

Shtulman(2006)認為，人們傾向於將生物本質化(essentialize)，而這種本質主義(essentialism)與天擇是不相容的(incompatible)。研究顯示，跨年齡和跨文化的人普遍認為物種的外觀和行為是被取決於一種隱藏因果力(causal power)或本質(essence)(Gelman, 2003; medin & Atran, 2004；引自 Shtulman, 2006)。Shtulman 指出，這種生物本質主義(biological essentialism)認為物種成員同時共享可見的與不可見的性狀，而它們與生俱來的要去發展相同的性狀，這種物種同一性(species identity)能跨越暫時的人工轉型(transformation)與永恆的自然轉型而維持不變。Gould(1996；引自 Shtulman, 2006)稱這叫做「將變異具體化的謬誤」(fallacy of reified variation)。這是種將想法精簡或將系統本質平均，而貶低或忽視存有變異

的個體共同組成了整個族群，因此而衍生出本質會隨時間轉型的想法——獲得性狀的可遺傳性(Lamarck, 1809)。同時期具有相類似想法與主張的不只拉馬克(Lamarck)一人，還有很多，例如：Chambers(1844), Haeckel(1876), Cope(1896), Eimer(1898), Bergson(1911), Butler(1916), Berg(1926) (引自 Shtulman, 2006)。

Mayr(2001)稱達爾文的主張為變異論(variationism)，拉馬克的主張為轉型論(transformationism)。Shtulman(2006)承繼這種演化論的心智模式理論，並據此設計了一份生物演化問卷對哈佛大學大一及先修班的高三學生施測，而獲致相當的研究成果。研究者變更其中部份開放式題型，並修改部份艱澀的敘述，重新設計了一份適合台灣高中一年級學生的中文問卷，進行本論文的相關研究。

二、拉馬克論(Lamarckism)和新達爾文論(neo-Darwinism)

Mayr 歸結達爾文的「物種原始」(The Origin of Species)，提出變異演化的五大理論 (Mayr, 1997; 引自涂可欣，1999) 如下：

- (一) 生物會隨時間穩定地演化 (演化說)
- (二) 不同的生物皆傳承自共同的祖先 (共祖說)
- (三) 物種數會隨時間增加 (物種形成)
- (四) 演化透過族群的逐漸改變而得以發生 (漸變論)
- (五) 演化的機制是因為諸多獨立個體競爭有限的資源，而導致生存和繁殖的變異 (天擇說)。

但變異如何發生？達爾文始終無法提出正確的解釋。(儘管他曾提出「泛生說」(pangenesis)、「攪拌遺傳」(blending inheritance))。達爾文和同時代的遺傳學大師孟德爾從未謀面，何況孟德爾的古典遺傳學其實也無法補達爾文理論之不足。一直到另一位遺傳學大師摩根(Morgan)的學生—遺傳演化學家 Theodosius Dobzhansky，其著作「遺傳學與物種起源」(Genetics and the Origin of Species)出現後，將入突變的論述，才將遺傳學與演化論完整連結起來。

新達爾文論可分類為：適者生存、變異、突變、基因重組、選汰、適應、族群的改變（演化）。達爾文那時還沒有突變的分子遺傳學背景知識，所以目前加入分子遺傳學的達爾文論又可稱為新達爾文論(neo-Darwinism)。

由 Geraedts & Boersma(2006)所整理的下**表2-5-1**可以立即看出新達文論較複雜。不僅是由於新達爾文論牽涉到較多的概念，它還牽涉到不同生物組織層次當中的過程。在細胞層次，突變和重組是基因池(gene pool)產生基因變異的過程。基因變異解釋（或至少部分解釋）了族群成員（即「生物體」、「生物個體」）表（現）型(phenotype)的差異。表型差異顯然與生物個體的存活率與生殖成功有關。最後造成族群的改變，亦即，演化之發生。

表 2-5-1：拉馬克(Lamarckian)和新達爾文(neo-Darwinian)學說在演化的本體差異(ontological differences)（引自 Geraedts & Boersma(2006)）

	拉馬克論	新達爾文論
牽涉概念數目	小	大
生物組織層次	生物體層次	族群層次 生物體層次 細胞層次
演化改變之層次	生物體層次	族群層次
環境所扮演之角色	指導／適應(instruction/adaptation)	選汰(selection)
過程之本質	決定論(deterministic)	機率論(probabilistic)

兩個理論最重要不同處在於，拉馬克論的演化改變層次在「生物體」，而新達爾文論的演化改變層次在「族群」。前者是環境直接引起演化改變，指導生物個體去適應，演化似乎是一種決定論的過程；然而新達爾文論卻是機率論本質。新達爾文論的演化改變，是某些個體會比另一些個體有較多的存活與生殖機會，最後造成族群組成結構的改變。而突變和重組本身是隨機(random)的過程。（突變和重組可以簡約成「突變」一詞）

Geraedts & Boersma(2006)根據上**表 2-5-1**對拉馬克論和新達爾文論的分析，設計了一個稱為「引導式重新創造」(guided reinvention)的課程，研究者亦

參考其做法，重新設計，進行本論文的相關研究。在本研究中，將僅以「達爾文論」這個名詞，統稱涵括廣狹二義的新、舊達爾文論主張。