
跨年級中學生串並聯電路心智模式的研究

張志康¹ 林靜雯² 邱美虹^{1*}

¹國立臺灣師範大學 科學教育研究所

²臺北市立教育大學 自然科學系

摘 要

組織學習管理大師，彼得聖吉(2007)認為：心智模式是人們體會、了解某個特定知識領域的管道或方式，它不僅決定我們如何認知周遭世界，並影響我們如何採取行動。然而，某些特定知識領域對某些人們而言(如串並聯電路對小學生而言)，卻具有高度抽象性及複雜性，致使他們無法建立正確的心智模式去體會、了解那些特定知識領域(邱美虹 & 林靜雯, 2002)。因此，本研究試圖調查各種可能存在於基本電路領域的心智模式，透過橫斷取樣的研究方法，探討跨年級中學生在面臨此領域時心智模式種類的消長情形與答題結果的一致性，藉此了解他們是如何運用心智模式的。研究者以兩份診斷式測驗檢測國一～高三共六個年級、180位學生對「串並聯電路」的心智模式。研究結果發現：

1. 學生在串並聯電路的心智模式均可分為六種模式；此結果與Chiu & Lin (2005)的研究相呼應，亦即中學生串並聯電路心智模式的種類與小學生相同。
2. 隨著年級的增加，具有科學模式的人數比例上升，運用同一種心智模式回答串並聯測驗的人數比例也提高；此結果與吳怡嫻(2007)的研究相呼應，亦即不同特定領域的知識仍可獲得相同的結果。
3. 低年級中學生持有錯誤的心智模式雖多，但隨著年級的增加，運用同一種正確心智模式回答串並聯測驗的人數比例亦逐年增加；此結果亦間接支持了Vosniadou(1994)的觀點，即人類的心智模式都具有某種程度的一致性，是與生俱來且難以避免的。

關鍵詞：跨年級、心智模式、串並聯電路

壹、前言

心智模式(mental model)是人們體會、了解某個特定知識領域的管道或方式(彼得聖吉, 2007)，也是科學學習中不可

或缺的心像元素。一般說來，心智模式應屬一種個別模式(individual model)，一種有別於他人的模式。因此，心智模式是如此的重要又如此的獨特，欲在短時間內徹底探究似乎有其困難性；除非我們鎖定某一特定領域(如串並聯電路)，做橫斷式、跨

* 為本文通訊作者

年級的施測，才勉強能夠看出某一特定領域心智模式，在不同年級學生身上，是如何被使用的。

截至目前為止，有關串並聯電路心智模式種類的調查，最為詳盡的可能是 Chiu & Lin 一系列的研究(Chiu & Lin, 2005; 林靜雯, 2000; 邱美虹 & 林靜雯, 2002)；惟其研究對象只針對國小四年級 32 名學生，況且，其心智模式種類的架構尚結合了晤談、紙筆測驗及實作等研究方法取得，雖然完善但卻耗時費力。是故，本研究將以 Chiu & Lin 一系列研究的研究工具為基礎，重新建立心智模式與組成概念的雙向細目表並編寫診斷式測驗；試圖在兩次的施測中(避免耗時費力)，透過跨年級的研究(避免樣本數僅三十餘人)，探討各年級中學生在面臨基本電路領域時心智模式種類的消長情形與答題結果的一致性，藉此了解他們運用心智模式的情況。對此，本研究具體之研究問題如下：

- (一) 中學生的串並聯電路心智模式具有哪些種類？
- (二) 國一~高三這六個年級學生所持有的串並聯電路心智模式，其人數比例消長情形為何？
- (三) 國一~高三這六個年級的學生，運用同一種心智模式回答串並聯測驗的人數比例(即串並聯電路心智模式具一致性的比例)為何？

貳、文獻探討

以下主要藉由心智模式、串並聯電路

心智模式的研究及跨年級心智模式的演變，作為本研究的理論基礎。

一、心智模式

(一) 心智模式的定義

有關心智模式一詞，早在 1943 年 Craik 就已提出，他認為人們都會轉譯外在事件成為內在模式，並操作這些內在模式來推理，藉由其中的符號表徵來產生行動或用來辨識內在及外在世界間的對應。經過數十年後，Johnson-Laird(1983)又重新加以解釋，認為心智模式扮演一個直接表徵或類比的角色，其結構「反應出事物的相關狀態(states)」；強調心智模式是特別的表徵而非一般的命題，並且會產生心像。Norman(1983)亦指出，心智模式是個人與事物「互動」後所產生的內在表徵。同年，Williams, Hollan, & Stevens (1983)認為：心智模式是一種「心智實體(mental entities)」的組合，每個實體間有特定的關係、變數或步驟，可藉此達到推論與解題的目的。綜合以上，心智模式是一種心智實體的組合，它必須與周遭事物互動，反應出周遭事物的相關狀態。

近十年來的研究認為：心智模式是一種「動態結構」，其功能是讓個體處理接收的資訊、解決疑問，進行解釋、作判斷或是預測(Vosniadou & Brewer, 1992)。此外，(Johnson-Laird & Byrne, 2000)也提到：心智模式是在心智中的各種表徵所產生的「知識架構」。因此，心智模式是一種會隨時間而演變的動態結構，此結構隸屬特

定知識領域的一種架構，並內含各種相關表徵於其中。

(二) 心智模式的組成與特性

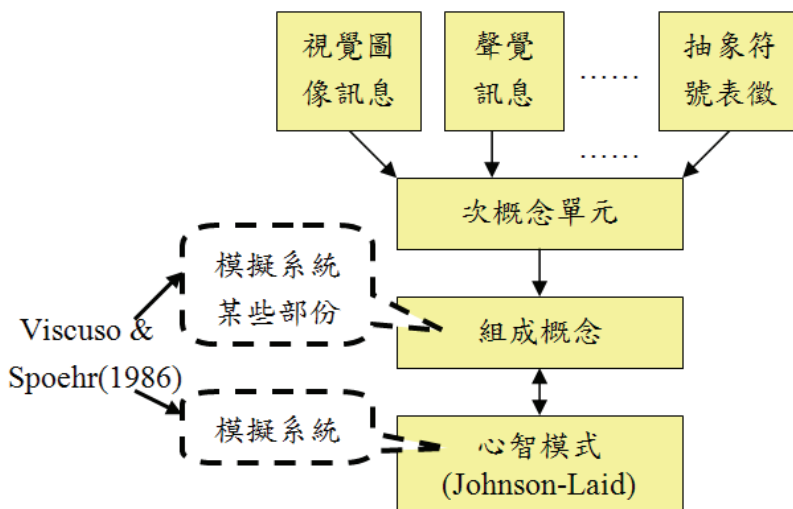
Johnson-Laird(1994)認為：心智模式可經由知覺、想像、對話語理解後的產物…等諸多概念加以建立，包括視覺圖像訊息、聲覺訊息、抽象的符號表徵…等次概念單元，其組成方式如圖一所示。因此，心智模式屬於一種複合體，內含許多的組成概念，而這些組成概念又受到許多的外在訊息或表徵所影響，形成一個階層性的系統網絡。

上述系統網絡的心智模式，其特性主要有四(Viscuso & Spoehr, 1986)：(1)可執行的(runable)：心智模式可對外在情境或事件作模擬，並自動預測模擬系統中某一部份改變時會如何影響其它部份。(2)有連結性的訊息(connectedness information)：模擬

系統可以與系統中的所有部份連結。(3)有因果的連結(causal links)：任何外在的改變會影響整個模擬系統內的每個部份。(4)有功能性的訊息(functional information)：模擬系統中的每個部份各有不同的功能。因此，學生在學習新資訊時，會自發地讓模擬系統中的某些部份(或稱組成概念)產生變異；然後，再選擇最適合學習情境的那些部分(亦即合適的組成概念)讓它延續下去，因而形成某種特定的心智模式。

(三) 心智模式的種類

對心智模式做分類的文獻，以 Vosniadou & Brewer(1992)的實徵研究最具代表性。Vosniadou & Brewer(1992)針對地球形狀與日夜循環的概念，將兒童持有的心智模式粗略分成幾類：(1)現象模式：以基礎的直覺知識解釋日夜循環現象的一種模式；例如，兒童相信日繞地，造成晝夜。



圖一、心智模式的組成(改編自 Johnson-Laird, 1994)

(2)同化模式：以同化矛盾的方式解釋所觀察到的現象，此種模式既保有直覺又可避免概念衝突；例如，視地球為一個圓盤。
 (3)科學模式：與目前科學觀點一致的模式。
 (4)綜合模式：將上述幾種模式相互並存的模式；例如，科學現象模式。因此，心智模式的種類繁多，端賴不同的研究者如何做切割與取捨。

既然如此，難道心智模式的種類就沒有系統科學的分類方式嗎？其實不然，吳怡嫻(2007)認為：既然心智模式是由各種組成概念組合而成的一種結構，那麼不妨借用「生物學的分類方法」來對心智模式進行解構。如表一所示，一物種必定具有某些特徵，不同的特徵狀態則可作為分類與辨識的依據(吳怡嫻, 2007)；若將生物物種與心智模式作類比，心智模式必定由某些認知特徵組成，而這些認知特徵是以何種認知狀態存在，便可用作判斷心智模式的依據。

(四) 心智模式的屬性

Vosniadou & Brewer(1992)認為：心智模式是為了解決問題或處理問題情境所產生的一種動態結構，其源自於概念的結構網絡，並受其限制。若以屬性作區分，心智模式可以從簡單性、正確性與一致性三

個面向來分析探討(Vosniadou, 1994)。其中，在一致性方面，Vosniadou(1994)認為心智模式與信念相關，而信念受制於一組本體與認識論的預設，因此，信念的運作具有內部一致性的結構。以此觀點，「任何人的心智模式都具有某些程度的一致性」，只是，有些人的心智模式與科學的原理原則相連，而有些人則與日常生活經驗的預設相連，如此而已。

一般說來，我們可將心智模式依正確性與一致性區分為三類，即(1)不一致的心智模式；(2)一致且錯誤的心智模式；(3)一致且正確的心智模式(Chi & Roscoe, 2002; 林靜雯, 2008)。在「不一致的心智模式」中，概念的連結是非系統性的，所以這一類的人在回答問題時，經常產生不一致的解釋，對於問題情境也未能達到通盤的理解。而在「一致且錯誤的心智模式」中，概念的連結夾雜著不正確的信念或定理，但因其仍具系統性，所以這一類的人並不會對自己的無知產生自覺。最後一類的心智模式，即「正確且一致的心智模式」，其概念連結的方式相當的有系統並極具完整性，因此，這一類的人能藉由完整的心智模式去回答並解決各種問題情境。

表一、生物物種與心智模式類比(改編自吳怡嫻, 2007)

生物物種	特徵	特徵狀態
例：台灣藍鵲	一級飛羽的顏色	藍色的一級飛羽
心智模式	認知特徵(或稱組成概念)	認知狀態
例：單極模式	電流方向	電流自電池的一端經由電線傳送到燈泡的底部

(五) 小結

總而言之，心智模式是一個複雜的系統網絡(Viscuso & Spoehr, 1986)，它必須與外在情境互動，反應出內外間的認知狀態(吳怡嫻, 2007)。此外，心智模式也是一種隨時間而演變的動態結構(Vosniadou & Brewer, 1992)，並內含各種組成概念於其中(Johnson-Laird, 1994)。吳怡嫻(2007)認為：欲將心智模式作分類，可用「生物學的分類方法」來對心智模式進行解構，重新建立「認知特徵」與「認知狀態」的想法，對心智模式進行系統的分類，如表二所示。最後，由於任何人的心智模式都具有某些程度的一致性(Vosniadou & Brewer, 1992)，所以不同屬性的心智模式將影響人們對於特定知識領域的了解，進而影響人們學習的效率。

二、串並聯電路心智模式的研究

在串並聯電路認知狀態的相關研究中，Osborne & Freyberg(1985)率先將串聯電路區分出四大類心智模式(單極、撞擊、衰減、科學)，打開基本電路心智模式的研

究大門；其後，Magnusson, Boyle, & Templin(1997)又針對並聯電路歸納出六大類的心智模式(撞擊、跳躍、迂迴、分支、繞圈、科學)，試圖將未探討的並聯電路加以填補，使基本電路的心智模式更臻完備。截至目前為止，對串並聯電路心智模式的調查研究，分類結果最為完善的應屬 Chiu & Lin(2005)一系列的研究，如下表三所示。

三、跨年級心智模式的演變

(一) 生物的演化

演化在生物學上是一種生物族群之遺傳變異與環境長期互動而產生的一種現象，其中心概念是「天擇(natural selection)」(Darwin, 1859)。Darwin 認為：某物種因為具有某些特徵(即產生變異的遺傳單元)而使得牠能夠較其他物種更適應環境，因而得以生存繁衍，此即天擇的概念。然而，演化就是一個改變的歷程，一種可在歷史系統中產生累積性變化的因果關係(Alles, 2005)。因此，演化是一個改變的歷程，一種跨時代累積的結果。

表二、組成概念與心智模式的階層關係

	以模擬系統解釋 (Viscuso & Spoehr, 1986)	以生物物種類比 (吳怡嫻, 2007)	基本電路領域範例 (Chiu & Lin, 2005)
組成概念	模擬系統某一部份	認知特徵	電流自電池正極經由導線流到燈泡底部
心智模式	模擬系統	認知狀態	不具封閉電路的概念，電流自電池的一端經由電線傳送到燈泡的底部

表三、學生串並聯電路之心智模式 (Chiu & Lin, 2005; 邱美虹 & 林靜雯, 2002)

心智模式	符號	認知狀態摘要	
串聯	1.不亮模式	O	「尚未建立完整的串聯通路概念」, 燈泡不會亮
	2.單極模式	A	「不具封閉電路的概念」, 電流自電池的一端經電線傳燈泡
	3.雙極模式	B	電池從兩極發出兩股電流流向燈泡, 且「兩燈泡間不具電流, 或兩燈泡間電流相互傳輸, 或兩股電流至中點後反彈, 或兩股電流各自完成通路」
	4.衰減模式	C	電流經燈泡後因「被吸收或遭受阻礙而衰減」, 且「電流逐漸減小或兩燈泡共享電流」
	5.自身電模式	E	燈泡中「本來就有電」, 但電流必須重回電池才能繼續發光
	6.科學模式	D	具正確通路方向、電流一致, 且「電流強度為實際兩倍或較弱或完全正確」
並聯	7.不亮模式	O*	「尚未建立完整的並聯通路概念」, 燈泡不會亮
	8.跳躍模式	BO	電流由電池出發到下一個燈泡後, 並「不直接回到電池而繼續跳到下一個燈泡」, 之後跳回原燈泡再跳回電池的情形
	9.雙極模式	B*	電池從「兩極發出兩股電流流往燈泡, 而後於燈泡處會合使其發光」, 但學生會以「電線長短或燈泡距離分配電流, 或直接平分電流, 或直接電流加倍」
	10.迂迴模式	S	電流以「連續不斷、曲折迴旋的方式」經過兩燈泡, 且經過燈泡後, 「電流會因逐次被燈泡吸收而越來越弱, 或跑回電池補充, 或電流為定值」
	11.衰減模式	C*	電流方向和科學模式相同, 但經過燈泡後「電流會被燈泡吸收或因遭遇阻礙而衰減」, 且兩條電線所分配的電流並不相等。
	12.科學模式	D*	電流具正確流向、強弱一致, 且「每條電線的電流強度為較強, 或較弱, 或完全正確」

註：為了區分串並聯電路下相同的心智模式，在並聯電路中的符號以*做註記

(二) 心智模式的演變

承上段所述，既然演化是一個改變的歷程，林靜雯(2006)認為：若將學生進行科學學習時「心智模式的演變」類比成「生物的演化」，便可將認知特徵的改變視為一

種演化的過程。所謂心智模式的演變，意指學生在進行學習或與問題情境互動時，其某些認知特徵會隨之發生變異而產生的一種現象，其中心概念是「人擇(human selection)」(吳怡嫻, 2007)。正因為學生覺

得某個心智模式具有某些認知特徵而使得該模式較適合解釋問題情境，因而得以形成特定的心智模式。如此一來，天擇合適的特徵使得某些物種得以繁衍；人擇合適的認知特徵，使得某些心智模式得以保留；生物的演化與心智模式的演變瞬間形成了良好的類比管道。

因此，若欲分析心智模式的演變時，首先必須選定單一主題(即天擇中的環境條件)，如基本電路領域，才能簡化研究的複雜性。此外，學生認知特徵的改變應以完整的認知狀態(即心智模式)作為演變的單位，方能簡單地表現心智模式的演變情形。

(三) 跨年級心智模式的演變

承前段所述，既然演化是一種跨時代累積的結果，那麼人類知識累積的過程與演化又有何關係呢？對於知識演化的部份，Toulmin(1972)提出了「概念族群(conceptual populations)」的觀點，用來解釋人類知識發展歷程的轉變情形。在同一個時間點，可能會有共存的各種概念，這些概念由於產生衝突而進行辯論，辯論後有些概念留存，有些概念消失，有些概念則產生變異。意即，低年級是一個概念族群，高年級也是一個概念族群；當低年級的概念族群進行辯論時，有些概念會留到高年級而形成新的概念族群，有些概念則會消失，如此一來，概念知識便隨時間演變而逐漸累積成形。同樣的道理，心智模式也是一種概念知識，若我們對某一特定主題進行跨年級施測，便可從測驗結果中

觀察到跨年級心智模式的演變，了解心智模式的消長情形。

(四) 小結

總而言之，演化是一個改變的歷程，一種跨時代累積的結果。若欲分析心智模式的演變時，首先必須選定單一主題，並以完整的認知狀態(即心智模式)作為演變的單位。此外，我們亦可從跨年級施測的測驗，觀察跨年級心智模式的演變，藉以了解心智模式的消長情形。

參、研究方法

一、研究工具

本研究所欲探討的主題有兩個部分，第一部分為「串並聯電路心智模式調查」；第二部分為「串並聯電路心智模式一致性考驗」。前者是以開放性簡答題的方式分析學生的心智模式；後者則以選擇題的方式進行檢測。以下說明其發展方式：

(一) 串並聯電路心智模式調查(測驗一)

本研究採用 Johnson-Laid(1994)的觀點，定義「心智模式」為基本電路領域中各組成概念(認知特徵)相互連結的系統，意即學生在解決測驗題目時所產生的認知狀態。因此，學生的心智模式便可從其答題結果推論而得。測驗一的部分，研究者以林靜雯(2000)所使用的研究工具為主，參酌研究所需進行些微修正，並請三位任教高中物理的教師為對象進行專家效度的檢驗。測驗內容分為兩部分，Part I 用來了解學生對於單一電池與一個燈泡的心智模

式，Part II 則用來了解單一電池與兩個燈泡串並聯時的心智模式。

(二) 串並聯電路心智模式一致性測驗(測驗二)

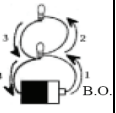
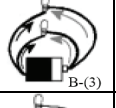
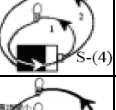
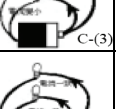
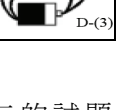
本研究所謂「心智模式一致性」意指：學生解決測驗二中相似情境的相異試題時，能運用相同心智模式去解題者，稱其具有一致性。因此，心智模式的一致性包括了「錯誤且一致」與「正確且一致」的心智模式，相關內容將於研究發現的地方再詳加探討。

測驗二以選擇題的方式呈現，參考測驗一的結果與 Chiu & Lin(2005)對串並聯

電路心智模式各種可能組成概念的分析，重新建立「心智模式與組成概念的雙向細目表(如表四所示)」，藉以完整設計出各種可能回答的選項(或心智模式)。以串聯電路試題中單極模式(A)的認知狀態為例，其組成概念為 a0(不具封閉電路的概念)、d0&e2&g1(且電流自電池的一端經由電線傳送到燈泡的底部)、b0、c0、f0、h0、i0、j0；此模式的答題選項可寫成：電流自電池的正極出發，先經過甲燈泡，被甲先拿走了，然後再把剩下的給乙燈泡。如此一來，測驗二中的每個試題，其選項均包含表四中的六種模式於其中。

表四、心智模式與組成概念雙向細目表

心智模式	組成概念	使燈泡發亮接/跑法	通路或封閉性【a】	燈泡間的電流【b】	電流的分配【c】	電流的方向【d】	燈泡的角色【e】	電流電能分化【f】	電池資源消耗【g】	電能電壓守恆【h】	順序的推理【i】	系統性【j】
串聯電路	O 不亮模式		a0 無	b0 忽略	c0 不考慮(無)	d0 單向	e0 無	f0 無	g0 無	h0 無	i0 無	j0 無
	A 單極模式		a0 無	b0 忽略	c0 不考慮(無)	d0 單向	e2 吸收	f0 無	g1 有	h0 無	i0 無	j0 無
	B 雙極模式		a0 無 a1 有	b0 忽略 b1 傳輸 b2 反彈	c0 無 c1 平分 c2 分享	d1 雙向 d3 交叉	e1 通過 e2 吸收	f0 無	g1 有	h0 無	i0 無	j0 無
	C 衰減模式		a1 有	b1 傳輸	c1 平分 c2 分享	d2 單一封閉迴路	e1 通過	f1 錯誤	g1 有	h0 無	i1 有	j0 無
	E 自身電模式		a1 有	b1 傳輸	c2 分享	d4 燈泡流向電池	e3 有電	f1 錯誤	g0 無	h0 無	i0 無	j0 無
	D 科學模式		a1 有	b1 傳輸	c1 平分	d2 單一封閉迴路	e1 通過	f1 錯誤 f2 正確	g1 有	h0 無 h1 有	i1 有	j1 有

組成概念 心智模式		使燈泡發亮接/跑法	通路或封閉性 【a】	燈泡間的電流 【b】	電流的分配 【c】	電流的方向 【d】	燈泡的角色 【e】	電流電能分化 【f】	電池資源消耗 【g】	電能電壓守恆 【h】	順序的推理 【i】	系統性 【j】
並聯電路	O* 不亮模式	略	00 無	b0 忽略	c0 不考慮(無)	d0 單向 d4 燈泡流向電池	e0 無 e3 有電	f0 無	g0 無	h0 無	i0 無	j0 無
	BO 跳躍模式		00 無 01 有	b1 傳輸	c1 平分 c2 分享	d0 單向 d2 單一封閉迴路	e1 通過 e2 吸收	f0 無	g0 無 g1 有	h0 無	i0 無	j0 無
	B* 雙極模式		00 無 01 有	b0 忽略 b1 傳輸 b2 反彈	c1 平分 c2 分享	d1 雙向 d3 交叉	e2 吸收	f0 無	g1 有	h0 無	i0 無	j0 無
	S 迂迴模式		01 有	b1 傳輸	c1 平分 c2 分享	d2 單一封閉迴路	e1 通過	f1 錯誤	g1 有	h0 無	i1 有	j0 無
	C* 衰減模式		01 有	b1 傳輸	c1 平分 c2 分享	d2 單一封閉迴路	e1 通過	f1 錯誤	g1 有	h0 無	i1 有	j0 無
	D* 科學模式		01 有	b1 傳輸	c1 平分	d2 單一封閉迴路	e1 通過	f1 錯誤 f2 正確	g1 有	h0 無 h1 有	i1 有	j1 有

測驗二的試題內容亦分為兩部分，Part I 用來測驗串聯電路，Part II 用來測驗並聯電路的概念；每個部份各 7 題，共計 14 題選擇題，企圖從對等的題數中探討學生答題時心智模式的一致性。本測驗同樣請了三位任教高中物理的教師進行專家效度的檢驗；針對 180 位中學生的測驗結果，以 SPSS 分析測驗分數的信賴度，發現測驗二試題的 Cronbach 為 0.812，具有相當程度的內在一致性。

二、研究對象

本研究為跨年級的調查，選擇基隆市某完全中學普通班學生(國一~高三，六個年級)共 180 人作為研究對象，各年級隨機

挑選一班學生進行施測(高二選到社會祖、高三選到自然組學生)。先在學期初進行測驗一的調查，經調查整理結果出來後，間隔了 1 個半月的時間，再對相同的學生進行測驗二的考驗。每份測驗的時間均為 30 分鐘，間隔期間並無任何串並聯電路相關教學的介入。此外，研究對象均於小學五、六年級階段學過串並聯電路的課程，在先備知識上應持有一定程度的科學概念；而該校高中入學生的基測成績 PR 值約在 80 左右，對串並聯電路的先備知識也應具有一定程度的概念。

三、研究資料分析方法

(一) 中學生串並聯電路心智模式的種類

藉由分析 180 名學生在測驗一中的答題結果，找出中學生串並聯電路心智模式的種類；並由此分析結果，檢核表三中 Chiu & Lin(2005)對串並聯電路心智模式的分類是否具有普適性。若有，則表示 Chiu & Lin(2005)的分類適合中小學生的分析；若無，則代表中學生已演變出新的串並聯電路心智模式，值得研究者更深入的探討。

(二) 跨年級中學生所持串並聯電路心智模式的人數比例消長分析

利用測驗一的答題結果，統計各年級心智模式的種類與人數比例的關係，觀察各類心智模式的消長情形，並藉由 Toulmin(1972)的觀點進行趨勢分析。

(三) 跨年級中學生串並聯電路心智模式具一致性的比例分析

使用「心智模式與組成概念雙向細目表」分析學生在測驗二中 Part I 與 Part II 的作答結果分別符合哪種心智模式，觀察各年級學生的心智模式是否具有的一致性，並統計其具有一致性的比例。例如：某生在 Part I 中 1~7 題均屬科學模式，而在 Part II 中只有 1~4 題屬於科學模式，5~7 題不屬於科學模式，則該生答題表現就有過半數的情況符合一致性，此時該生的心智模式便具有正確一致性；又如，某生在 Part I 與 Part II 的每一題答案分屬不同的心智模式，則該生的心智模式就不具任何一致性。

四、研究限制

本研究所分析的串並聯電路心智模

式，僅限於基本電路的概念，不宜過度推論到各種複雜電路概念上。此外，高中母群已經基測篩選而國中母群卻無；因此，跨年級橫斷式的取樣過程，對各年段學生來說，其基本電路的知識早已存有差異；對於縱貫式的研究推論，也只能從研究結果中看整體演變趨勢，而無法精確地解釋造成此趨勢背後的原因。最後，該校 180 名學生心智模式的演變，並不完全代表不同成就學生心智模式的演變，在結果解釋上不宜過度推論到其他學校、其他學習成就學生的表現。

肆、研究發現

一、中學生串並聯電路心智模式的種類

研究者將 180 位學生回答「串並聯電路開放試題(測驗一)」的結果，逐一檢核並與表三的認知狀態比對，進行心智模式類別校正的工作；結果發現，所有學生的答案均包含在表三的類別底下。意即 Chiu & Lin(2005)對串並聯電路心智模式所建立的分類表具有普適性，適合中小學生基本電路領域的概念分析。因此，研究者依照表三的六種類別，將 180 位學生的答題結果整理成表五。由表五可知：

(一) 各年級中學生串並聯電路心智模式的種類

國一、國二的學生均具備了 12 種心智模式，而國三生僅具備 7 種心智模式。此外，高一具備 6 種心智模式、高二具備 5 種心智模式，高三生僅具備 3 種心智模式。

表五、中學生基本電路心智模式的調查結果(單位：人)

題型 心智模式	單一燈泡與電池						小 計	燈泡串聯電路						小 計	燈泡並聯電路						小 計
	O	A	B	C	E	D		O	A	B	C	E	D		O	BO	B	S	C	D	
國一	5	6	6	7	3	5	32	5	6	6	9	3	3	32	5	6	6	9	3	3	32
國二	4	5	5	6	3	6	29	4	4	6	7	3	5	29	4	4	6	6	4	5	29
國三	0	0	4	10	0	15	29	0	0	6	9	0	14	29	0	3	0	5	8	13	29
高一	0	0	0	13	0	17	30	0	0	0	13	0	17	30	0	1	0	6	8	15	30
高二	0	0	0	11	0	20	31	0	0	0	13	0	18	31	0	1	0	0	12	18	31
高三	0	0	0	0	0	29	29	0	0	0	0	0	29	29	0	0	0	0	6	23	29
總計	9	11	15	47	6	92	180	9	10	18	51	6	86	180	9	15	12	27	40	77	180

(二) 研究結果顯示

國中生與小學生的串並聯電路心智模式均具備 $6 \times 2 = 12$ 種心智模式，而越高年級的學生(如高三生)，其心智模式的種類越少，越趨於科學模式的認知狀態。若欲推測其原因，主要可能是越高年級的學生越被強迫接受科學模式想法，且人數比例也越多。

二、跨年級中學生所持串並聯電路心智模式的人數比例消長分析

(一) 國中學生(國一、國二、國三)

在串聯電路的問題中，國一出現最多的模式是衰減模式，約有三成，而出現科學模式的僅一成不到；國二出現最多的模式也是衰減模式，約兩成五，而出現科學模式的已達將近兩成；國三出現最多的模式是科學模式，且已高達五成左右。在並聯電路的問題中，國一出現最多的模式是迂迴模式，約有三成，而出現科學模式的

僅一成不到；國二出現最多的模式是衰減與迂迴模式，各占約兩成，而出現科學模式的已達一成七；國三出現最多的模式則是科學模式，並高達四成五左右。因此，在串並聯的電路問題中，主宰國中學生的心智模式以衰減模式與迂迴模式為主；推測其原因，主要可能是國中學生仍較常以自我直覺經驗當作解題的工具，越低年級的中學生，其人數比例也越多。

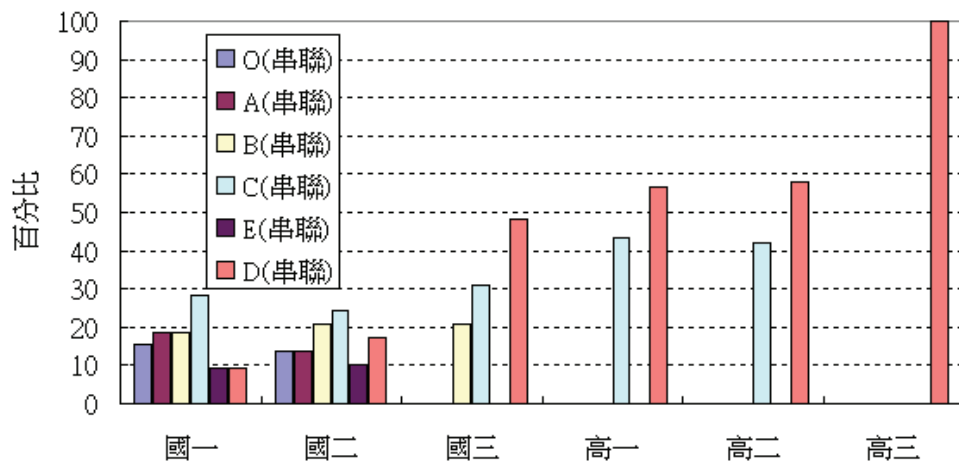
(二) 高中學生(高一、高二、高三)

在串聯電路的問題中，高一出現最多的模式已是科學模式，約有四成三，而出現正確科學模式的約達三成；高二出現最多的也是科學模式，約有四成，而出現正確科學模式的已達三成四；高三則全數都是科學模式，且完全正確的已達七成左右。在並聯電路的問題中，高一出現最多的模式仍是科學模式，約有八成，而出現正確科學模式的約達二成五；高二出現最多的也是科學模式，

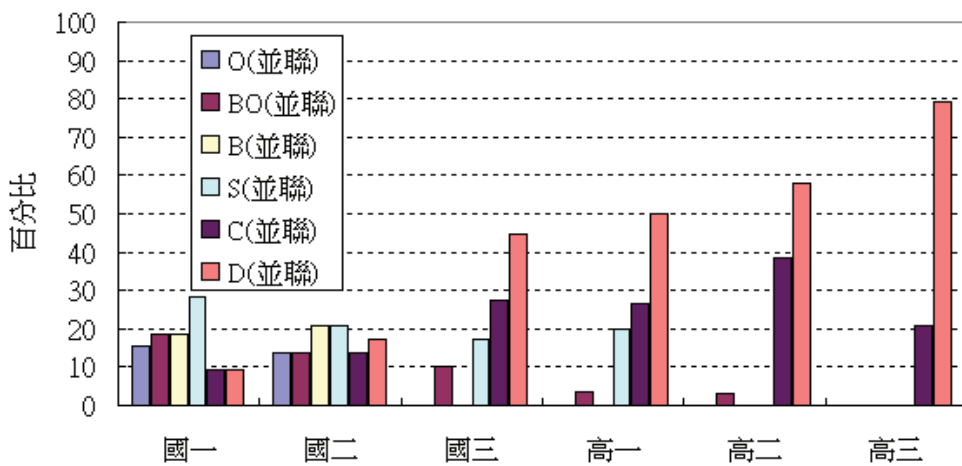
約占六成，而出現正確科學模式的已達四成；高三僅出現科學與衰減模式，正確模式高達四成五左右。因此，在串並聯的電路問題中，高中學生的心智模式以科學模式為主；推測其原因，主要可能是高中學生已經過基本能力測驗的洗禮，早已被迫接受科學模式的想法，導致科學模式的人數比例較多。

(三) 跨年級中學生所持串並聯電路心智模式的人數比例消長分析

由圖二可知，跨年級中學生所持心智模式的發展趨勢是由「O(不亮)、A(單極)、E(自身電)」轉換到「B(雙極)」，再轉換到「C(衰減)」，最後經過修正而轉換為「D(科學)」。「O、A、B/B*、E」在高中以後便已消失，而「C/C'(衰減)、BO(跳躍)、S(迂迴)」卻



圖二(A)、串聯



圖二(B)、並聯

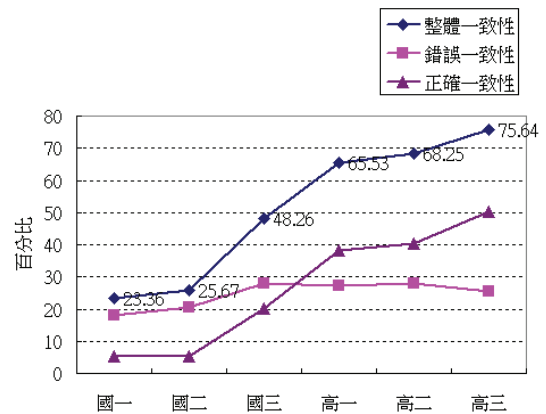
圖二、跨年級中學生串並聯電路心智模式人數比例趨勢圖

一直存在。這樣的趨勢若以 Toulmin(1972) 的觀點來看，可獲得兩條趨勢路徑：(1) 「O、A、E」模式中的「A」產生了變異轉換成「B」，而「O、E」消失了；而後，「B」持續變異成「C」與「D」。(2) 「BO、S」模式在高二以前雖仍存在，但在高三後又消失了。因此，「概念族群」隨時間演變的結果以「D(科學)」模式的累積量最大，「O、E、BO、S」模式逐年消失，「A、B、C」模式逐年產生變異，最後仍累積成「D(科學)」模式。

三、跨年級中學生串並聯電路心智模式具一致性的比例分析

在回收完 180 份測驗二的答題結果後，利用「心智模式與組成概念雙向細目表(即表四)」，分析各年級學生在回答「Part I-串聯電路」與「Part II-並聯電路」之間各題答案的對照結果，藉以推論學生的心智模式是否具有的一致性。從圖三的趨勢中可發現，隨著年級的增加，「持有一致心智模式」的人數比例會顯著的增加，這樣的結果與 Vosniadou(1994) 的研究結果有相當良好的一致性。此外，跨年級學生使用「正確一致心智模式」的比例亦隨年級的增加而增加，而「錯誤一致心智模式」的比例卻始終座落在 20~30% 左右；換句話說，持有正確一致心智模式的學生有逐年增加的趨勢，但是，持有錯誤一致心智模式的學生，卻在各年級的比例上始終佔有一定的人數。這樣的結果，似乎間接告訴了我們，即使生長在考試引導教學的台

灣，仍有一定比例的學生是難以進行概念改變的；對此，不禁令人好奇，無法讓這 20~30% 的學生造成概念改變的原因，到底是學校教學造成的？還是學生認知發展的限制？此待答問題仍值得我們在未來做進一步的探討。



圖三、各年級持有一致心智模式人數百分比趨勢圖

此外，更有趣的是：「正確一致性」的曲線與「錯誤一致性」的曲線交點恰好座落在國三與高一之間；意即，國中生錯誤一致的心智模式較正確一致的心智模式來得多，而高中生則是正確一致的心智模式較錯誤一致的心智模式來得多。因此，這樣的結果，似乎又間接地印證了台灣的教育體制，屬於義務教育的國中較多錯誤一致性的學生，而經基測考試篩選的高中較多正確一致性的學生。

伍、結論

在基本電路領域的相關研究中，Magnusson et al.(1997)認為：串並聯的問題對學生而言，具有不同的知覺，並

左右其思考而導致不同心智模式的產生。因此，串並聯雖同屬基本電路領域，但卻必須分成兩種面向去設計；在本文中，串並聯電路心智模式一致性的測驗工具(即測驗二)便是最好的例子。當學生面臨串並聯問題時，六個年級的學生均有一定比例的人具有不一致的心智模式(參考圖三)，亦即學生雖然面對同一份試卷，但仍可能以不同的心智模式去解決問題，尤其是以低年級中學生的情況最為嚴重。

綜觀整篇研究，中學生在串並聯電路的心智模式共可分為 $6 \times 2 = 12$ 種模式，此結果與 Chiu & Lin(2005)的研究相呼應，亦即 Chiu & Lin(2005)針對串並聯電路心智模式所建立的分類表具有其普適性。此外，國一、國二學生的心智模式種類較多，蘊含較多的迷思概念，而其他年級出現的種類則逐年減少。換句話說，隨著年級的增加，具有科學模式的人數比例會隨之上升，此結果與吳怡嫻(2007)的氣體粒子研究相呼應，在不同領域的知識仍可獲得相同的結果。最後，本研究亦發現：隨著年級的增加，持有一致心智模式的人數比例會隨之增加。對此推測其原因，可能是基本電路課程出現在國三，而國一、國二的學生對於沒學過概念，較難產生一致性的回答；而高一以上學習過的學生雖然具有較高的一致性，但其概念並非完全正確，仍有迷思概念的固著；但無論如何，本研究亦間接支持了

Vosniadou(1994)的觀點，即人類的心智模式都具有某種程度的一致性，是與生俱來且難以避免的。

陸、建議

本研究所建立的「心智模式與組成概念的雙向細目表(表四)」，不僅能用來檢核學生的答題結果並推估其心智模式，又能架構完整的試題選項來設計試題，其功能非常的便捷且周延。此表雖然無法得知學生為何存有某些迷思概念，但卻能提供教育相關人員一個清楚的教學指標，藉以了解學生在不同階段時可能存在的各種心智模式及其比例。此外，研究者發現：在表四中的 10 種基本電路組成概念，大多在國中教科書都已出現過，只有「電流的分配」、「電流的方向」與「電流電能分化」等迷思較容易在國二、國三形成；到了高二、高三階段，學生只剩下衰減模式或類科學模式；最後，多數的高年級生仍以正確科學模式占絕大多數。由此可知，心智模式並非以跳躍的方式進行整體的轉變，而是以漸進的方式在組成概念間產生些微變化；因此，建議後續相關研究可針對每個心智模式下的組成概念作細部的探討，方能更清楚地了解學生迷思概念之處並給予指正。

柒、致謝

本研究係由國科會經費補助(計畫編號：NSC 95-2511-S-003-024-MY2、NSC 95-2511-S-003-025-MY2)，特此致謝。

捌、參考文獻

- 吳怡嫻 (2007)：跨年級學生氣體心智模式演變歷程之探究與分析。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文。
- 彼得聖吉 (2007)：第五項修煉。台北市：天下文化。
- 林靜雯 (2000)：從概念改變及心智模式初探多重類比對國小四年級學生電學概念的影響。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文。
- 林靜雯 (2006)：由概念演化觀點探究不同教科書教學序列對不同心智模式學生電學學習之影響。國立臺灣師範大學科學教育研究所博士論文。
- 林靜雯 (2008)：比較課程進程與學生電學心智模式一致性之跨年級研究。《教育與心理研究》，31(3)，53-79。
- 邱美虹、林靜雯 (2002)：以多重類比探究兒童電流心智模式之改變。《科學教育學刊》，10(2)，109-134。
- Alles, D. L. (2005). The natural of evolution. *The American Biology Teacher*, 67(1), 7-10.
- Chi, M. T. H., & Roscoe, R. D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. In M. Limon & L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice* (pp. 3-27). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Chiu, M. H., & Lin, J. W. (2005). Promoting fourth graders' conceptual change of their understanding of electric current via multiple analogies. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(4), 424-468.
- Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. United Kingdom: John Murray.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1994). Mental Models, Deductive Reasoning, and the Brain. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neural Science* (pp. 999-1008). Cambridge: The MIT Press.
- Johnson-Laird, P. N., & Byrne, R. (2000). A Gentle Introduction. *Mental Model Website*, http://www.tcd.ie/Psychology/Ruth_Byrne/mental_models/.
- Magnusson, S. J., Boyle, R. A., & Templin, M. (1997). Dynamic science assessment: A new approach for investigating conceptual change. *The Journal of the Learning Science*, 6(1), 91-142.
- Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models*. New Jersey and London: Lawrence Erlbaum.
- Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: the implications of children's science*. Heinemann, Auckland and London.
- Toulmin, S. (1972). Human understanding: The collective use and evolution of concepts. In Princeton: Princeton University Press.
- Viscuso, S. R., & Spoehr, K. T. (1986). *How does a mental model facilitate comprehension of instructions?* Paper presented at the annual meeting of the Psychonomic Society, New Orleans, LA, November.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(special issue), 45-69.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Williams, M. D., Hollan, J. D., & Stevens, A. L. (1983). Human Reasoning About a Simple Physical System. In D. Getner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 131-153). NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

投稿日期：97 年 10 月 19 日

接受日期：98 年 04 月 23 日

A Cross-age Investigation of High School Students' Mental Models of Circuit

Chih-Kang Chang¹, Jing-Wen Lin² and Mei-Hung Chiu^{1*}

¹ Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

² Department of Natural Science, Taipei Municipal University of Education

Abstract

The managing master of organized learning - Peter Senge (2007) proposed that mental model is the medium that helps people realize or understand a specific knowledge domain. It not only helped humans know the natural environment, but also influenced humans to take action. However, some concepts are abstract and complicated to some people, such as electricity to students. Accordingly, this kind of knowledge causes some people not to construct correct mental models and not to realize or understand those specific domains (Chiu & Lin, 2002). So, this research examined what kinds of mental models of electric circuit that the students hold. Through a cross-age investigation, the researchers investigated the categories and changes of mental models that high school students in each grade held while they facing the electric circuit. All data collection processes provided information about how the students constructed and modified their mental models. The researchers investigated 180 students' mental models (from sixth to twelfth grade) about the electric circuit of series/parallel connection with two diagnosis type tests. The results of this study showed that:

1. Students had six kinds of mental models for series and parallel circuits. The result was similar to the research by Chiu & Lin (2005). That means the categories of mental models of high school students is similar to elementary school students.
2. With the increase of the grade, the population of the student holding scientific model was increasing, and the population of the student holding consistency model was increasing, too. The result was similar to the research by Wu (2007). That is, in different contents (physics and biology), the more graders, the more consistency.
3. Although lower grade students hold wrong mental model more, by the increase of the grade, the population of the student holding correct and consistency model was increasing. The result was similar to the view of Vosniadou (1994). That means humans' mental models have a certain consistency that is innate and difficult to avoid.

Keywords: cross-age, mental model, circuit