科學教育學刊
2008, 第十六卷第六期, 563-584

Chinese Journal of Science Education
2008, 16(6), 563-584

以結構方程模式驗證影響國二學生科學思考因素之理論模式

洪振方　謝甫佩
國立高雄師範大學　科學教育研究所

（投稿日期：民國 97 年 8 月 1 日，修訂日期：98 年 1 月 9 日，接受日期：98 年 1 月 16 日）

摘要：本研究旨在評價「科學思考中情意反應、思考習性、創造思考與推理」的多元模式，以找出最佳模式，探討理論模式內潛在變項間的相互影響。受試者有 171 位國二學生，研究工具為情意反應量表、思考習性量表、科學推理測驗，以及科學創造思考測驗。研究發現：模式七為最佳模式，與觀察資料適配。此模式顯示：情意反應對思考習性有直接影響，對科學創造思考與科學推理有直接與間接影響；思考習性對科學創造思考有直接影響，對科學推理為間接影響；科學創造思考對科學推理有直接影響。據此結果可知，科學思考模式可以用來解釋與預測學生科學思考的表現，以及科學思考時情意反應、思考習性、創造思考與推理的關係。文末提出科學教學及後續研究的建議。

關鍵詞：思考習性、科學思考、科學推理、科學創造思考、情意反應

壹、緒　論

一、研究動機

根據自然與生活科技領域的指標來看，科學教育的目標之一就是提升學生的科學思考，幫助他們學習科學課程（教育部，2003; National Research Council [NRC], 1996）。那麼，科學思考應該包括什麼？科學思考是一種需要創造力與想像力的活動（胡佛、杜諾萬，1995/張家麟譯，2001）。許多學者（Dunbar & Fugelsang, 2005; Schauble, 2003; Zimmerman, 2007）認為，科學思考包括應用方法或科學探究的原則來推理或解決問題，並包括下列能力與過程：報告結果、概念發展、檢驗假設、控制變因、改變理論、證據的相關性、歸納、實驗設計、建模、產生與解釋因果關係、相關概念的理解，以及反思知識獲得與改變的過程。可見創造思考與推理對於科學思考而言是重要的因素。

不過，好的科學思考，不只是具有推理與創造思考的能力就足夠了。Thagard（2002）認為情意是科學思考重要的一部分。他從許多科學家的傳記當中發現，情意在科學研究的調查、發現與辯護中有重要的貢獻。此外，McGrayne（1998），以及 Coll, Taylor 與 Lay

（2008）的研究發現，傑出的科學家並非只憑藉著他們的高智商，更重要的是來自於他們的強烈動機、創新、對科學研究的熱愛與興趣、積極正面的態度、培養願景、自我充實、長期且費盡心思的思考過程、努力工作、不怕挫折、共同研究、傾聽、尋求精確性、能組織思考，以及要有批判的精神。

綜合上述的看法可知，科學思考應包括許多重要因素。其中，期望、價值、成就動機、對科學研究的興趣、積極正面的態度就是情意反應的範疇（Alsop & Watts, 2003; Clarke, 2002），而長期且費盡心思的思考過程、不怕挫折、努力工作、共同研究、傾聽、尋求精確性、要有批判的精神、能組織思考就是思考習性的範疇（Coll et al., 2008; Gauld, 2005; Tishman, Jay, & Perkins, 1993）。由此可見，科學家在進行科學思考時，情意反應、思考習性、創造思考與推理缺一不可，而這四個特質就是培養學生科學思考所應檢視的項目。

Dunbar 與 Fugelsang（2005）認為雖然關於科學思考的某些成分已經是大家知道的，但是這些不同因素之間的關係需要結合在一起，才能對科學思考提出一個全面的描述。此外，史坦諾維奇（2004/楊中芳譯，2005）認為，任何具體的行為，都不是單一變項所引起的，是由不同的因素決定的。研究者必須探討各種不同變項的影響，並把這些研究結果整合起來，才能完整地描繪出所有與該行為有關的相互影響。不過，研究者發現過去的實徵研究比較強調推理或創造思考，很少探討學生在科學思考時，情意反應、思考習性、創造思考與推理之間的相互影響。再者，張瓊、于祺明與劉文君（1994）認為引入數學手段來描述理論模式構成要素之間的制約關係就是將科學理論定量化，建立用以說明與預測系統行為的數學模式，以便獲得一個可以方便應用於說明事實、預測事實的工具。

研究者發現以往探討變項間可能的關係大多以徑路分析（path analysis）來進行，例如：吳佳玲與張俊彥（2002）的研究。但是徑路分析的限制有三個：各變數測驗誤差為0、殘餘誤差的相關為0、變項間的關係是單向的（王保進，2004）。而結構方程模式（Structural Equation Modeling，簡稱 SEM）能同時處理一系列依變項間的關係，特別是當某一個依變項在研究程序中變成自變項的時候（Arbuckle & Wothke, 1999）。此外，過去以 SEM 建構模式的相關研究，大多由研究者提出一個理論模式，決定變項間的相互影響（interaction）之後，再進行模式的適配度檢驗（吳青蓉，2002；陳振明，2004），或者是提出對立模式進行比較（林彩梅、賴素鈴與鄧旭茹，2006）。但是，變項間的關係可能是直接影響，也可能是間接影響的關係，顯然，過去檢驗理論模式的作法並無法釐清變項間的關係。所以，本研究根據文獻及相關研究的探討，提出許多「科學思考中情意反應、思考習性、創造思考與推理」的可能模式，再透過 AMOS 的界定搜尋（specification search）功能，找出足以代表理論體系的最佳模式，以便探討科學思考中情意反應、思考習性、創造思考與推理之間可能的相互影響。

二、研究目的與問題

本研究綜合相關的文獻，用 SEM 評價可能的「科學思考中情意反應、思考習性、創造思考與推理」模式，以找出最佳模式來探討其變項間的相互影響。除驗證最佳模式的適配度以外，也進一步說明潛在自變項與潛在依變項之間的關係。

依據上述研究目的，本研究擬探討下列的研究問題：

(一)「科學思考中情意反應、思考習性、創造思考與推理」最佳模式為何？
(二)「科學思考中情意反應、思考習性、創造思考與推理」最佳模式之適配度為何？
(三)「科學思考中情意反應、思考習性、創造思考與推理」最佳模式之潛在變項間的效果為何？

三、名詞釋義

(一)科學情意反應

情意與傳統學習動機合稱為情意反應，包括正向情意、期望、價值與成就動機（吳青蓉，2002）。本研究以學生在「科學情意反應量表」中的得分代表「科學情意反應」的表現程度，得分越高，「科學情意反應」的表現程度越佳。

(二)科學思考習性

科學思考習性就是學生長期在不同的科學思考情境下所展現的持續性、堅持的思考行為與傾向，包括堅持與控制衝動、共同協力思考、彈性思考、後設認知策略，以及採取批判性的角度（Perkins & Tishman, 1998）。本研究以學生在「科學思考習性量表」中的得分代表「科學思考習性」的表現程度，得分越高，「科學思考習性」的表現程度越佳。

(三)科學創造思考

科學創造思考修改自 Hu 與 Adey（2002）的定義：個人經過想像、思考等歷程，產生具有獨創性與有效性的科技產品、或科學知識、或科學現象、或科學問題之產品。本研究以學生在「科學創造思考測驗」中的得分代表「科學創造思考」的表現程度，得分越高，代表「科學創造思考」的表現越佳。

(四)科學推理

科學推理包括守恆、比例、變因控制、機率、組合與關係推論（Lawson, 1995）。本研究以學生在「科學推理測驗」中的得分代表「科學推理」的表現程度，得分越高，「科學推理」的表現越佳。

貳、文獻探討

一、科學思考的意涵與重要性

愛因斯坦與英費爾德（1938/郭沂譯，1991）認為科學乃是人類心智的自由創作，迫使我們創造新觀念與新理論，以便拆除那些常常阻礙科學向前發展的矛盾之牆。胡佛與杜諾萬（1995/張家麟譯，2001）認為科學是一種思考與提出問題的過程，可以幫助我們理解某些事物之間的關係。而提出事物之間的關係，乃是一種需要創造力與想像力的活動。李新洲（2002）則認為一種理論對科學知識增長所能做出最持久的貢獻，就是它所提出的新問題。綜合上述的看法可知，科學是人類在理解之間發生劇烈衝突時，透過思考與提出新的問題，產生幫助我們理解事物關係的創作。所以，科學思考是科學發展的動力，如果沒有科學思考，科學就無法進步，而新觀念、新問題、新理論，以及理解事物之間的關係就是科學思考的產物。

那麼，科學思考是什麼？Schauble（2003）認為科學思考可能包括下列一種或全部的能力：概念發展、檢驗假設、控制變因、改變理論、證據的相關性、歸納、產生與解釋、實驗設計、建模、因果關係，以及相關概念的理解。Paul 與 Elder（2006）認為科學思考就是思考關於科學學科、科學內容或科學問題的一種形式，思考者透過精巧地掌控思考本身具有的結構來改善思考的品質，包括科學思考的目的、問題與議題、訊息、詮釋與推論、科學概念、假說、啟示與結果、觀點等成分。Zimmerman（2007）則認為科學思考包括一組複雜的認知與後設認知技能，例

如：應用方法或科學探究的原則來推理或解決問題，需要產生、測試與修正理論的能力，以及反思知識獲得與改變的過程，要發展與強化這些技能，需要相當的練習與學習。

綜合上述的看法可知，科學思考就是應用方法或科學探究的原則來推理或解決問題，應該盡可能的包括下列能力：報告結果、概念發展、檢驗假設、控制變因、改變理論、證據的相關性、歸納、實驗設計、建模、產生與解釋因果關係、相關概念的理解，以及反思知識獲得與改變的過程。此外，除了反思知識獲得與改變的過程以外，其他的能力，都屬於推理能力的範疇（教育部，2003；American Association for the Advancement of Science [AAAS], 1993; NRC, 1996）。

由上述的探討可知，科學思考的研究在過去比較強調特定的推理方法，例如：歸納與演繹、構成科學思考的認知能力。不過，Dunbar 與 Fugelsang（2005）認為關於科學思考的某些成分雖然已經是大家知道的，但是有一些成分卻很少談到，例如：科學思考的動機、人格特質與社會因素。而 Clarke（2002）的研究發現，當科學家以創造的方式應用知識與專業技能時，期望、價值、態度、成就動機等情意因素常會與工作產出建立強烈的連結。有成就的傑出表現者，並非只憑藉著他們的高智商，更重要的是來自於他們的強烈動機、堅持度及努力。而許多研究（Coll et al., 2008; Holdsworth, Louis, Anderson, & Campbell, 2007; McGrayne, 1998）也發現傑出科學家的特質有：創新、對科學研究的熱愛與興趣、積極正面的態度、培養願景、自我充實、長期且費盡心思的思考過程、努力工作、不怕挫折、共同研究、傾聽、尋求精確性、能組織思考，以及要有批判的精神。

吳青蓉（2002）認為，情意反應包括情意與傳統學習動機，包括正向情意、期望、價值與成就動機。研究者發現「興趣、熱情，以及積極正面的態度」就是正向情意，因為正向情意就是愉快的感受；其次，「認識科學最終的目標」就是價值，因為價值就是個人憑其主觀判斷目標的重要性與意義性；而「為自己設定高標準、培養願景」就是期望，因為期望就是在某一特定工作中，對自己達成某個目標的一種預期；最後，「旺盛的求知慾、不斷吸取新知、自我充實、大量閱讀論文」就是成就動機，因為成就動機就是努力追求進步，以期達成目標的內在動力。此外，Perkins 與 Tishman（1998）認為長期在不同的思考情境下展現持續性的、堅持的思考行為，就是思考習性。研究者發現「長期且費盡心思的思考過程、堅持力、努力工作、不怕挫折」就是堅持與控制衝動，因為堅持是指能努力堅持、撐到最後，毫不鬆懈，而控制衝動是指能慢慢來，三思而後行、頭腦冷靜、深思熟慮、小心謹慎；「向智者學習、共同研究、傾聽」就是共同協力思考，因為共同協力思考是指在互惠的情境下，真正與他人共事並向他人學習，投入一些心思感受別人的思想與觀點，先暫停自己主觀的思考，仔細體會別人的觀點與情意；「多思考、多想像、跳脫束縛」就是彈性思考，因為彈性思考是指學生能以另一種角度思考、想辦法改變觀點、創新，想出替代方法；「尋求精確性、細心求證、能組織思考」就是後設認知策略，因為後設認知策略是指學生能瞭解自己的思考模式、培養追求精確、準確與技巧的渴望、能組織思考、有計畫的解決問題；「質疑權威、有批判的精神」就是採取批判性的角度，因為採取批判性的角度是指學生能發展求知詰問的態度，找出問題，並尋求解答，能根據解釋、解決方法與證據的優劣，及其與問題的相關性進行比較、判斷。

由此可見，好的科學思考必須具備情意反應、思考習性、創造思考與推理四個特質，而這四個特質就是培養學生科學思考所應檢視的項目。

二、情意反應、思考習性、創造思考與推理間的相關研究

史坦諾維奇（2004/楊中芳譯，2005）認為，科學家經常在沒有充分資訊的情況下解決難題，而相關資料正是我們需要依靠的證據。許多科學假設都是以相關的形式表達的，因此相關研究直接驗證這些假設，再者，儘管相關研究無法清楚地證實因果假設，但具有排除因果假設的作用，因為因果關係可確保變項之間有相關。所以，研究者試圖從一些相關的實徵研究中探討情意反應、思考習性、創造思考與推理之間可能的相互影響，以便建構可以檢驗的理論模式。

(一)情意反應與思考習性之相關研究

Hirt, Levine, McDonald, Melton 與 Martin（1997）以122位大學生為研究對象，檢驗其認知需求（思考習性）[1]與情意的關係，以及在作業方面的表現。結果發現高認知需求的受試者比低認知需求的受試者有較強的正向情意（$F = 5.5$, $p < .05$），在正向情意中的個體比在負向情意中的個體對作業更有興趣，且對完成作業這件事有更多的樂趣。Tirri 與 Koro-Ljungberg（2002）的研究發現，成功的女性科學家是目標與任務導向的，她們對於學術成就會訂出相當實際可行的期望，在面對障礙時會用積極的態度與鼓勵性的回饋使自己專心，並且維持自己的興趣。此外，Roberts（2003）以236位大學生為研究對象，檢驗其自我效能、動機、思考習性與學業成就與態度的關係。結果發現自我效能與批判思考習性的相關係數為 .689（$p < .01$），而動機與批判思考習性的相關係數為 .452（$p < .01$）。

那麼，情意反應與思考習性之間可能的相互影響是什麼？由上述的相關研究可以知道情意反應與思考習性之間有中度的相關。此外，許多學者（De Corte, Verschaffel & Masui, 2004; Sinatra, Southerland, McConaughy, & Demastes, 2003）認為，情意是回應外在刺激的一種短而強烈的反應，能快速並有效地認定對環境正面與負面的評價，在學習者選擇是否考慮另一個觀點時扮演著重要的角色。綜上所述，假定這兩個變項之間可能的相互影響如圖1所示。

(二)情意反應、創造思考與推理之相關研究

Thagard（2002）從許多科學家的傳記當中發現，好奇心、興趣與驚奇在追尋科學概念的過程中扮演著決定性的角色。當調查成功，並且有所發現的時候，會產生興奮與喜悅的情意。即使在辯護的情境中，情意仍是決定理論應該被接受的過程中重要的一部份。

Amabile, Barsade, Mueller 與 Staw（2005）分析了7間公司222位員工日記後發現，高

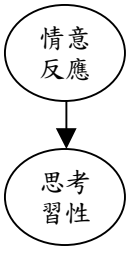


圖 1：情意反應與思考習性簡單結構模式

[1]根據 Stanovich 與 West（1997），以及 Perkins, Tishman, Ritchhart, Donis 與 Andrade（2000）的看法：有些研究者並沒有用思考習性來命名，但是從定義來看，與思考習性是相關的。例：Cacioppo, Petty, Feinstein 與 Jarvis（1996）提出認知需求（need for cognition）的觀點，指的是個人參與，以及享受需要努力的認知活動之傾向，不只找出與評價訊息，也用後設認知監控與管理個人的心理活動。

興、對團隊的滿意度，以及對工作的愉悅感等正向情意與組織的創造思考有正相關，是簡單的線性相關，其中自我評量的正向情意分數與創造思考的相關係數為 .03（$p < .01$），再以自我評量的正向情意分數預測創造思考的迴歸係數為 .044（$p < .01$），而他們用創造思考來預測正向情意，則發現迴歸係數值未達顯著，顯示正向情意可能是創造思考的前因。

Filipowicz（2006）用幽默的影片讓50位大學生觀看，使其產生興高采烈、驚奇等正向情意的成分，再檢驗這些成分對創意表現的影響。結果發現驚奇（surprise）在正向情意與創造力之間充分地調節，驚奇的中介角色提供了確認正向情意與創造思考連結的重要步驟。

而在推理方面，Cavallo, Rozman 與 Potter（2004）研究290位大學生的成就動機（表現目標導向與自我效能）與科學推理的相關，結果發現男生與女生的表現目標導向與科學推理的相關係數分別為 .195（$p < .05$）、.048；自我效能與科學推理的相關係數分別為 .186（$p < .05$）、.115（$p < .05$）。此外，Blanchette 與 Richards（2004）探討推理是否會因為情緒與中立的內容而有不同。他們進行兩個實驗，實驗1，先告訴30位受試者人們在不同情境下的行為，再請他們依據這個規則回答問題，結果發現受試者在情緒的陳述下對於「若~p 則~q」的問題，比較容易回答「不是」（$t(29) = 4.04, p < .05$），而對於「若 q 則 p」的問題，比較容易回答「是」（$t(29) = 2.42, p < .05$）；實驗2，40位受試者要評價每個單字（word）與假字（nonword）情緒方面的含意，結果發現情緒會影響個人的推理，他們對於中立的推理題材會比情緒的推理題材容易產生制約反應（$F = 5.42, p < .05$）。這兩個實驗結果顯示情緒對於推理而言是重要的。

那麼，情意反應、科學創造思考與科學推理之間可能的相互影響是什麼？Amabile 等（2005）與 Filipowicz（2006）的研究都進一步探討正向情意對於創造思考或創造力的可能的影響。此外，Cavallo 等（2004）以及 Blanchette 與 Richard（2004）的研究則顯示情意與科學推理之間是正相關，而且 Blanchette 與 Richard（2004）的研究發現情意會影響個人的推理表現。再者，許多學者（Bransford, Brown, & Cocking, 1999; Gawronski & Bodenhausen, 2006）都認為有動機才會解決某些問題。綜上所述，假定這三個變項之間可能的相互影響如圖2所示。

(三)思考習性、創造思考與推理之相關研究

蔡啟通、丁興祥與高泉豐（1989）以60位大二的學生為研究對象，發現高認知需求者在語言變通力的表現頗為穩定（後測 $M = 15.63$，延宕測 $M = 15.70$，$F = .293$，$p > .05$）。邱皓政（1992）以622位大學生為研究對象，發現以認知需求、反抑制傾向與生活經驗尋求預測學生拓弄思圖形創造思考的表現，總變異量的解釋量為8.2%；以認知需求與反抑制傾向預測學生拓弄思語文創造思考的表現，總變異量的解釋量為5%。

張玉成（1998）從運思、構問與調焦三種技巧來探討國小五年級的資優生（$N = 85$）與普通生（$N = 145$）的思考習性，結果顯示資優生與普通生在這三方面的差異皆達顯

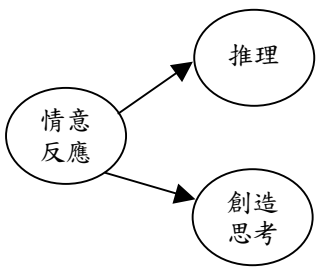


圖 2：情意反應、創造思考與推理簡單結構模式

著。在運思技巧方面，資優生較普通生常用確認、比較、分析、推論、創造與批判等思考技巧去探索；在構問技巧方面，資優生較普通生常常問有關何人、如何、品質的問題；在調焦技巧方面，資優生在面對圖片資料時，相較於普通生，常從多因、潛藏因素、整體考量等角度去反應。

而在科學推理方面，林緯倫與連韻文（2001）的研究發現大學的科學資優生在假設檢驗的過程中較一般學生更傾向使用雙假設測試策略，這樣的傾向有助於資優生在解決問題的初期產生較多的交疊性的假設。而一般大學生只要在認知負荷不超過限制的狀況下，可以經由簡單的指導，而使用較佳測試策略，產生較多交疊性另有假設，並較快地找出預設規則。此外，Adey, Venville, Larkin 與 Robertson（2003）發現，學生具有思考問題解決、提出新想法、解釋做什麼，以及為建議而辯護的習性，能夠解釋、論證想法，接受新的想法與合作學習，並且能提出建議。

那麼，思考習性、創造思考與推理之間可能的相互影響是什麼？由上述的研究發現，思考習性表現較佳者，推理與創造思考的表現也較佳，而且邱皓政（1992）的研究顯示思考習性可以預測創造思考的表現。綜上所述，假定這三個變項之間可能的相互影響如圖3所示。

(四)推理與創造思考之相關研究

吳佳玲與張俊彥（2002）根據 Parnes 的 CPS（Creative Problem Solving）模式，編製地球科學問題解決能力測驗，結果發現高中生地球科學問題解決能力測驗之發散思考（即創造思考）與推理能力的相關係數為 .331，而且先備知識、推理能力，以及態度對發散思考的預測達顯著，其標準化迴歸係數值依序為推理能力 .244、先備知識 .205、態度 .114。若單獨以推理能力來預測發散思考，則標準化迴歸係數值為 .331。

Vartanian, Martindale 與 Kwiatkowski（2003）針對2-4-6作業的表現與潛在創造思考心理計量測驗進行研究，結果發現大學生的「非既定用途測驗（Alternate Uses Test）的流暢性分數」對2-4-6作業表現的貢獻達顯著，提升推理總變異量解釋量（R^2 = .37）。

而林緯倫、連韻文與任純慧（2005）以大學生為研究對象，結果發現高創造思考者能產生更多大範疇轉變的新角度假設，進一步預測解題的成功，也就是以推理者在問題解決中的創造思考預測解題的成敗。而無目標限制的發散性思考與有明確目標的創意問題解決能力無關，發散思考的訓練對於解決問題沒有幫助。

那麼，推理與創造思考之間可能的相互影響是什麼？Vartanian 等（2003）與林緯倫等（2005）的研究顯示，創造思考可以預測推理的表現，而吳佳玲與張俊彥（2002）的研究顯示，科學推理可以預測發散思考的表現。綜上所述，假定推理與創造思考間可能的相互影響如圖4所示。

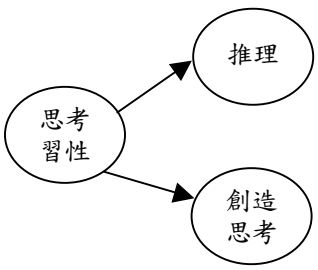


圖 3：思考習性、創造思考與推理簡單結構模式

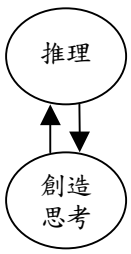


圖 4：推理與創造思考關係模式

(五)小結

綜合上述科學思考的相關研究發現：大多數的研究是以大學生為研究對象，涉及到的相關變項有情意反應、思考習性、創造思考與科學推理，如：Roberts（2003）、Filipowicz（2006）等；其次是以科學家為研究對象，涉及到的相關變項也與前者相符，如：Tirri 與 Koro-Ljungberg（2002）、Thagard（2002）等。相較之下，研究國中生科學思考的文獻就比較少，然而，在形式運思階段中的許多科學推理形式（scientific reasoning patterns），例如：控制變因、有關機率的推理、組織訊息與分析問題都是從國中這個階段開始發展的（Hassard, 2004），所以，以國中生為研究對象的研究就顯得相當的重要。此外，雖然各家研究文獻的研究對象與研究變項有些不同，但是，仍然可以發現情意反應表現較佳則思考習性表現較佳（Hirt et al., 1997; Roberts, 2003）、創造思考、推理表現較佳（Amabile et al., 2005; Cavallo et al., 2004）；思考習性表現較佳則創造思考、推理表現較佳（林緯倫、連韻文，2001；蔡啟通等，1989）；推理與創造思考之間可能相互影響（吳佳玲、張俊彥，2002；Vartanian et al., 2003）。

然而，上述文獻僅有變項間的兩兩相關，或是以多元迴歸來預測某個依變項，無法看出這些變項間的相互影響，以便形成一個模式來詮釋受試者的表現。其次，有些學者雖然建立了相關的模式，但沒有進一步檢驗模式是否適合。所以，研究者將上述變項的相互影響統整，並提出「科學思考中情意反應、思考習性、創造思考與推理」模式：原始模式圖（圖5）。

不過，圖5之情意反應僅聚焦於正向情意、期望、價值與成就動機（吳青蓉，2002），而思考習性僅聚焦於堅持與控制衝動、共同協力思考、彈性思考、後設認知策略，以及

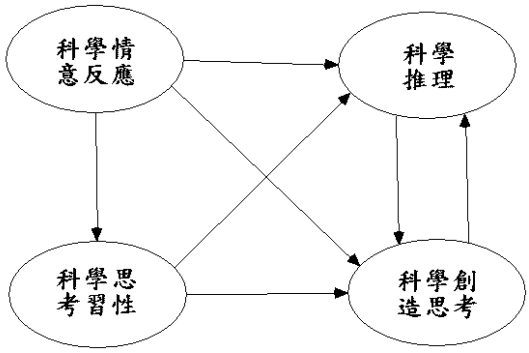


圖 5：「科學思考中情意反應、思考習性、創造思考與推理」模式：原始模式圖

採取批判性的角度（Perkins & Tishman, 1998），並沒有涵蓋情意反應與思考習性所有的成分，例如：焦慮、失望。而科學創造思考僅聚焦於科技產品、科學知識、科學現象，或科學問題（Hu & Adey, 2002），而科學推理僅聚焦於守恆、比例、機率、變因控制，以及組合關係推論的能力（Lawson, 1995），並沒有涵蓋科學創造思考與科學推理所有的成分，例如：聯想、類比。

此外，王保進（2004）與陳耀茂（2004）指出，在模式界定階段，可以同時針對理論體系提出幾個變通性替代方案，製作數個模式來驗證，這樣可以仔細地檢討假設，以便獲得足以代表該理論體系的模式。吳裕益（2006）則建議，要界定多個模式，可先繪製原始模式圖，然後根據研究者想要檢定之假設提出幾個可能的模式。據此，研究者以圖5為原始模式圖，並且，根據先前的文獻探討知道，這四個潛在變項的相關是正向的。因此，排除模式中兩個潛在變項關係不依存的情形，如：思考習性對科學推理沒有影響。所以，包括原始模式圖，共建立十二種有待檢驗的理論路徑模式，這些模式的變項關係皆吻合研究者先前文獻的理論，可以反映出情意反應、思考習性、推理與創造思考這四個變項之間可能的相互影響。至於那

一個模式與實際觀察資料較為適配，還需進一步透過 AMOS 的界定搜尋功能來確定。以下說明其他十一個可能模式形成的過程：

研究者認為推理與創造思考的關係或許是單向的，所以，以原始模式圖衍生出模式一（圖6）與模式二（圖7）。接著，再假設其他潛在變項之間可能是間接影響的情形，由原始模式圖、模式一、模式二再衍生出模式三（圖8）、模式四（圖9）、模式五（圖10）、模式六（圖11）、模式七（圖12）、模式八（圖13）、模式九（圖14）、模式十（圖15）與模式十一（圖16）。

參、研究方法

一、研究設計

先從文獻探討中確定研究目的與問題，建立數個合適的可能模式，接著設計與效化研究工具，再進行正式施測。每位受試者必須填寫科學情意反應量表、科學思考習性量表、科學創造思考測驗，以及科學推理測驗。待資料收集完畢，透過 AMOS 分析，以便獲得最佳模式，再檢驗此模式的適配度，探討各變項之間可能的相互影響。

二、研究工具

(一)科學情意反應量表

科學情意反應量表係改編自吳青蓉（2002）的「英語情意反應量表」，此量表原施測對象為國二學生，包括有正向情意、期望、價值與成就動機四個分量表。每個分量表皆有八題，整份量表共有三十二題，是自陳式量表，α 值為 .83~.87。簡述如下：

正向情意分量表，主要是評量學生個人對學習結果與自身能力具有愉快的感受，包含興奮、快樂、欣喜及興趣的情緒感受。包括第1~8題，如：第1題，我很高興能從自然與生活科技的課堂上學到東西；價值分量表，主要是評量學生個人憑其主觀判斷目標的重要性與意義性。包括第9~16題，如：第

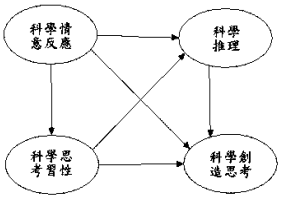


圖 6：模式一

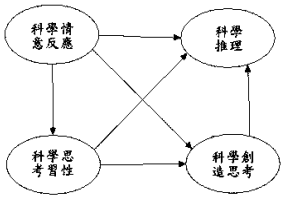


圖 7：模式二

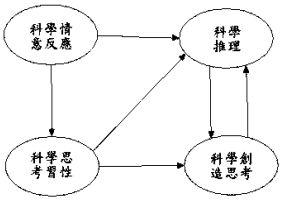


圖 8：模式三

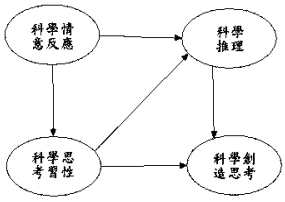


圖 9：模式四

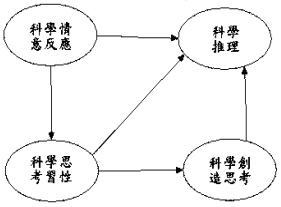


圖 10：模式五

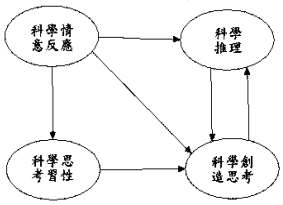


圖 11：模式六

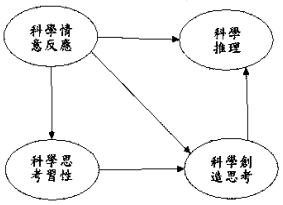


圖 12：模式七

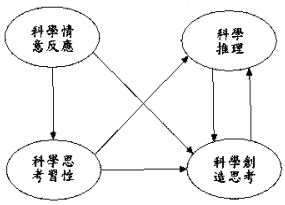


圖 13：模式八

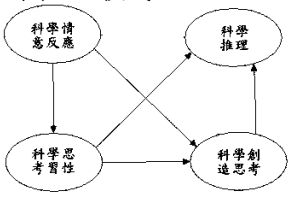


圖 14：模式九

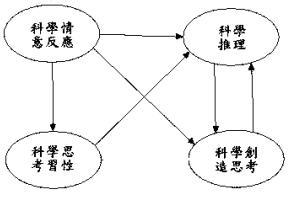


圖 15：模式十

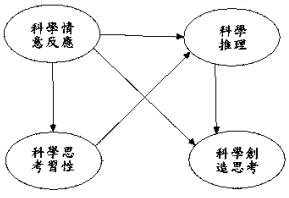


圖 16：模式十一

9題，我覺得自然與生活科技的學習是很有價值的；期望分量表，主要是評量學生在科學學習中，對自己達成某個目標的一種預期。包括第17~24題，如：第17題，我希望自己能精通自然與生活科技所教的內容；成就動機分量表，主要是評量學生在科學學習時，對於努力追求進步，以期達成目標的內在動力。包括第25~32題，如：第25題，當我在學科學時，我會給自己訂一個很高的標準。

改編後的量表以210位非研究對象之國二學生進行預試，在信度方面，全量表的 α 值是 .96，四個分量表的 α 值為 .86~.92。在因素分析方面，KMO 值為 .896（p < .001），以主軸法抽取因素，以最大變異法進行直交轉軸，共抽取四個與原量表結構一致的因素，分別是價值、成就動機、期望，以及正向情意，各因素的題項因素負荷量為 .673~.884，這四個因素共可解釋全量表32個題目總變異量的90.6% 左右，各個分量表的相關係數介於 .671~.775之間（p < .001）。上述結果顯示，科學情意反應量表是不錯的測驗工具，在本研究，以正式樣本進行施測，結果為：全量表的 α 值是 .95，四個分量表的 α 值為 .82~.92。

(二)科學創造思考測驗

本研究採用陳振明（2004）翻譯自 Hu 與 Adey（2002）所發展的科學創造思考測驗，再根據國情修改，例如：原測驗的第七題要求學生設計「蘋果採收機」，而改編版的測驗則是顧及國情而改成設計「蓮霧採收機」。原測驗的測驗對象是12、13、15歲的學生，目的在於測量學生在學習科學時所展現的科學創造思考，題項共有四種類型：科學知識、科學問題、科技產品，以及科學現象。由於修改後的測驗在預試時 α 值是 .714，正式施測時的 α 值是 .630，與托倫斯創造思考測驗甲式獨創性的相關係數為 .452，顯示信度與效標關聯效度皆不錯，又能符合我國學生閱讀（陳振明，2004）。因此，研究者以正式樣本進行施測，結果如下：

在信度方面，全測驗的 α 值是 .71，另外，研究者再請一位有經驗的國二自然與生活科技教師為同儕教師針對學生資料進行編碼，若研究者的編碼與同儕教師的編碼「不一致」，則針對該筆資料進行討論，以便達成共識。最後再針對所有的資料進行編碼，計算出「一致」的編碼在全部的編碼中所佔的比例，最後得到各題之評分者信度值為 .89~.99。各題的因素負荷量為 .442~.789，共可解釋全測驗7個題目總變異量的39.7% 左右，各個分測驗的相關係數介於 .366~.506之間（p < .001）。

(三)科學推理測驗

本研究所採用的是 Lawson 在1995年所修訂的題本，原施測對象為八、九、十年級的學生，共有12個題組，七種類型的題目：重量守恆、體積守恆、比例、變因控制、機率、組合與關係推論，目的在於檢測學生應用科學與數學推理來分析情境、做決定，或解決問題的能力，全測驗的 α 值是 .78。

由於此測驗所涉及之概念在小二到國一階段皆已學過，國二學生不致於有無法作答的情形。因此，研究者以正式樣本進行施測，結果如下：

全測驗的 α 值是 .83，各類型的相關除了重量守恆與組合、關係推論，以及體積守恆與關係推論未達顯著以外，其餘的相關係數數值介於 .207~.790之間（p < .001、p < .01）。上述結果顯然是原先測驗的題項分配不當所致，所以，研究者先將測驗題項意涵比較接近，而且該測驗向度只有一題的合併，形成守恆（第一、二題）、比例（第三、四題）、變因控制（第五~八題）、機率（第九、十題）、組合與關係推論（第十一、十

二題）等五類，再進行因素分析，結果發現KMO 值為 .771（$p < .001$），顯示題項間有共同因素存在，適合進行因素分析，共抽取一個因素，即科學推理，各因素的題項因素負荷量為 .631~.781，共可解釋全測驗12個題目總變異量的49.52% 左右。此外，這五種類別的相關係數為 .170~.509（$p < .001$、$p < .05$），雖然「守恆」與「組合關係推論」這兩個分測驗之間的相關係數為 .17，但這兩個分測驗校正後題目與總分相關係數分別為 .463及 .439，與其他分測驗的相關亦為中相關，而且上述之結果比原來測驗所分配的情形好，顯示這兩個分測驗在整份測驗中仍有其重要性，不宜貿然刪除。

(四)科學思考習性量表

本研究所採用的是洪振方與謝甫佩（2008）所編製的「科學思考習性量表」，此量表原施測對象為國二學生，目的在於測量國中學生在學習科學或解決科學問題時，所展現的思考習性。此量表共有四十四題，包括：堅持與控制衝動、能共同協力思考、彈性思考、後設認知的策略，以及採取批判性的角度五個分量表，為 Likert 式五點量表，總量表之 α 值為 .95，α 值為 .65~.87，各因素的題項因素負荷量為 .739~.912，各個分量表的相關係數介於 .657~.832 之間（$p < .001$），是信度不錯的測驗工具。在本研究，正式樣本施測的結果為：全量表的 α 值是 .96，五個分量表的 α 值為 .65~.88。

三、研究對象之選取

依據 Hu 與 Adey（2002）的研究發現，15歲的學生在科學創造思考的表現比12、13歲的學生好。而 Perkins, Tishman, Ritchhart, Donis 與 Andrade（2000）的研究發現，九年級學生在覺察與辨別力的重測信度是 .81與 .72；五年級學生在覺察與辨別力的重測信度是 .61與 .68，顯示年紀較小的學生在思考習性方面的表現是較容易變遷的。由於本研究的目的在於建立科學思考的最佳模式，希望能以科學創造思考的表現較佳，以及思考習性表現較穩定的國中學生為研究對象。此外，如前所述，研究國中生科學思考的文獻比較少，研究者希望此研究結果能提供國中教師作為教學上的參考。

研究者詢問同儕教師後發現，研究對象的選取需要考量目前國中生的升學壓力及上述之相關文獻（Hu & Adey, 2002; Perkins et al., 2000），國二學生較國一與國三學生合適。在徵求相關教師的意願之後，自高雄市、高雄縣分別選取大都會區大型學校及小都會區中型學校做為研究取樣的學校進行施測，共有171位研究對象。

那麼，171位研究對象是否足以進行 SEM 之檢證？根據 Anderson 與 Gerbing（1988）的看法，樣本數100-150人是滿足樣本大小的最低底線。而 Bentler 與 Chou（1987）認為，若變項符合常態分佈，則每個變項五個樣本是足夠的。依據此看法，本研究的研究樣本皆來自常態編班的班級，符合常態分佈，此外，本研究所建構之理論模式共有18個觀察變項，樣本數只要90人（$18 \times 5 = 90$）就足夠。

再者，根據吳明隆與涂金堂（2007）的看法，若樣本人數越大，卡方值越容易達顯著，會導致理論模式遭到拒絕的機率越大，建議樣本數為100-200。依據上述兩個理由，本研究的樣本數控制在200人以下。

肆、研究結果與討論

一、「科學思考中情意反應、思考習性、創造思考與推理」的最佳模式

本研究在選擇最佳模式時，係以 AMOS

界定搜尋功能所提供的 *AIC*、*BCC*、*BIC* 與 *CAIC* 四個簡約適配統計量為標準（吳明隆、涂金堂，2007；陳耀茂，2004），再加上 Burnham 和 Anderson（1998）建議的「BIC_0」、「BCC_0」指標，這兩個指標是將各模式中 *BCC*、*BIC* 最小值設定為0，所以，BIC_0、BCC_0的數值為0的，就是最佳模式，而其餘模式的「BIC_0」、「BCC_0」數值則是減去最佳模式 *BCC* 與 *BIC* 的數值後之數據。此外，也可以 *AIC*、*BCC*、*BIC* 與 *CAIC* 值最小的，作為最佳模式（吳明隆、涂金堂，2007；陳耀茂，2004）。

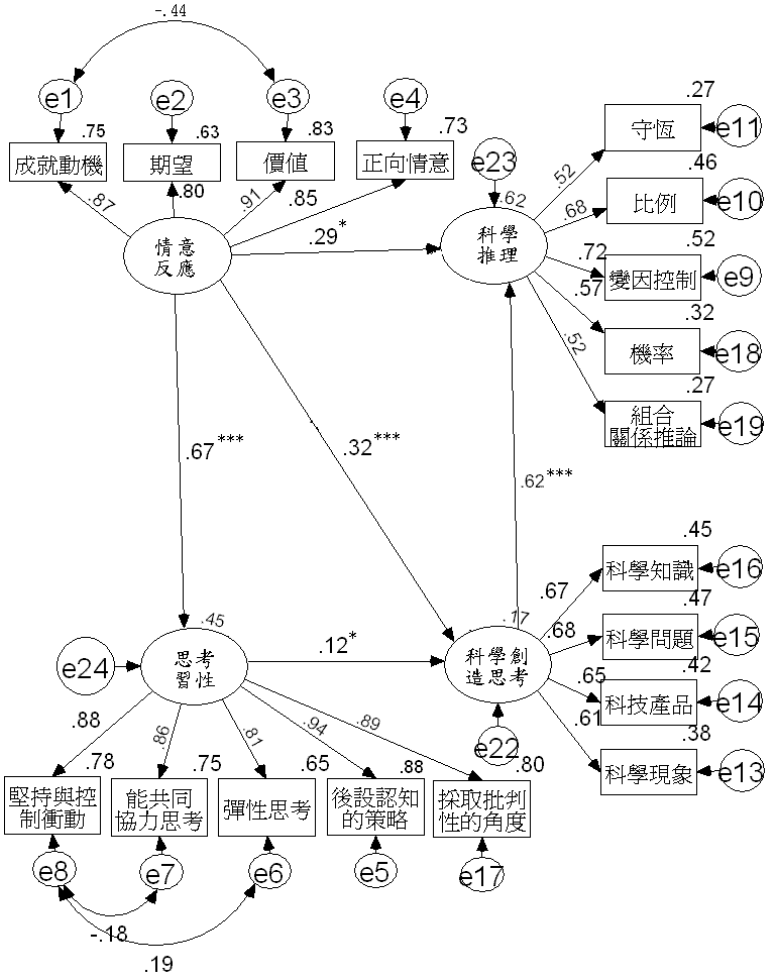
表1共有九種模式之 *AIC*、*BCC*、*BIC*、BIC_0與 BCC_0數值，其中 AMOS 顯示原始模式為無法辨識（Unidentified），而模式八與模式十則顯示為達到迭代極限（Iterated limit），這三個模式皆無法估算其參數，所以沒有呈現於表中；而飽與模式為 AMOS 內定模式，其中飽與模式是估計參數的個數最多之模式，不符合模式選擇的簡約原則，因此，這個模式的 *AIC*、*BCC*、*BIC*、*CAIC*、BIC_0、BCC_0值僅做為參考之用。而根據表1可知，模式七在所有的指標中數值都是最小，所以，模式七（圖17）是最佳模式。

圖17顯示，情意反應對思考習性的標準化迴歸係數為 .67（$p < .001$），情意反應可以預測思考習性的表現，思考習性得分 = 情意反應得分 × .67 + e24；情意反應對推理的標準化迴歸係數為 .29（$p < .05$）、科學創造思考對科學推理的標準化迴歸係數為 .62（$p < .001$），情意反應與科學創造思考可以預測思考習性的表現，科學推理得分 = 情意反應得分 × .29 + 科學創造思考得分 × .62 + e23；情意反應對創造思考的標準化迴歸係數為 .32（$p < .001$）、思考習性對創造思考的標準化迴歸係數為 .12（$p < .05$），情意反應與思考習性可以預測科學創造思考的表現，科學創造思考得分 = 情意反應得分 × .32 + 思考習性得分 × .12 + e22。

根據上述的分析可知：當學生在情意反應的得分高時，思考習性的得分應該也是高的，因為在最佳模式當中，情意反應是預測思考習性的唯一的變項。所以，研判不會有高情意反應低思考習性的學生，或者低情意反應高思考習性的學生；而在創造思考的表現方面，由於創造思考的得分同時受到情意反應與思考習性這兩個變項影響，所以，研判學生的情意反應得分高，而且思考習性的得分也高的時候，創造思考的得分才會比較高；而在推理的表現方面，由於推理的得分

表 1：各種可能模式之 *AIC*、*BCC*、*BIC*、*CAIC*、BIC_0與 BCC_0摘要

Model	*AIC*	*BCC*	*BIC*	*CAIC*	BCC_0	BIC_0
Model 1	233.529	244.099	365.479	407.479	2.188	5.078
Model 2	233.529	244.099	365.479	407.479	2.188	5.078
Model 3	233.529	244.099	365.479	407.479	2.188	5.078
Model 4	231.77	242.088	360.578	401.578	0.176	0.176
Model 5	237.942	248.26	366.75	407.75	6.349	6.349
Model 6	233.529	244.099	365.479	407.479	2.188	5.078
Model 7	**231.593**	**241.911**	**360.402**	**401.402**	**0**	**0**
Model 9	239.599	249.917	368.407	409.408	8.006	8.006
Model 11	232.105	242.423	360.913	401.914	0.511	0.511
飽與模式	342	385.033	879.224	1050.224	143.122	518.823



註：***$p < .001$　*$p < .05$

圖 17：「科學思考中情意反應、思考習性、創造思考與推理」的最佳模式圖

同時受到情意反應與創造思考這兩個變項影響，所以，研判學生的情意反應得分高，而且創造思考的得分也高的時候，推理的得分才會比較高。

不過，此結果與吳佳玲與張俊彥（2002）的研究不同，他們根據相關的理論假設先備知識、推理能力，及學生對於問題解決的態度是問題解決能力的因素，並先求得這些變項之間的相關後，再以多元迴歸分析法檢驗先備知識、推理能力，及學生對於問題解決的態度對於問題解決能力中發散思考的預測力，結果顯示推理能力可以預測發散思考表現，而此預測路徑的方向恰好與本研究相反。根據史坦諾維奇（2004/楊中芳譯，2005）的看法，有相關並不表示一定有因果關係，當變數 A 與變數 B 相關時，在下結論這一相關是由 A 導致 B 之前，必須想到這種因果關係的方向很可能相反。所以，研究者研判可能是因為吳佳玲與張俊彥的研究是以多元迴歸分析法，必須先決定好變項之間影響的方向，才能進行迴歸分析所致。而本研究則是假設創造思考與推理之間可能有創造思考預

測推理、推理預測創造思考，以及回溯因果三種的情形，再以 SEM 進行評價，是比較客觀的分析方式。

二、「科學思考中情意反應、思考習性、創造思考與推理」的最佳模式適配度考驗

在基本適配度考驗方面，最佳模式皆為正的誤差變異，介於 .028~6.555，誤差變異皆達顯著水準（$p < .05$），標準化迴歸係數並未超過或太接近1，也沒有過大標準誤（*S.E.*）（表2）。此外，估計參數之間相關的絕對值介於 .000~.695，沒有太接近1，因素負荷量為 .52~.94，最佳模式的基本適合度考驗完全符合標準，顯示模式的基本適配度不錯，能滿足研究模式中各觀察變數必須能正確測量各潛在變數的標準。

接著，考驗最佳模式的整體適配度，χ^2 為131.198（$df = 127$），未達顯著水準，代表模式之因果徑路圖與實際資料相適配（吳明隆、涂金堂，2007）。另外，有些學者建議採用 χ^2比值用以表示與期望值的差距有多大（陳正昌、程炳林、陳新豐與劉子鍵，2005），在本研究，χ^2比值為1.033，小於3，符合接受的標準。另外，*SRMR* 為 .0442，表示殘差的大小，需小於.05；而 *GFI*、*AGFI*、*IFI*、*NFI* 分別為 .922、.895、.998、.930，*GFI* 類似於迴歸分析中的 *R* 平方，*AGFI* 則相當於迴歸分析中的已調整 *R* 平方；而 *IFI* 與 *NFI* 顯示模式完全適合於數據時會接近1，除了 *AGFI* 非常接近 .9 以外，其他指標皆滿足大於 .9 的判準，表示模式與數據的適配尚佳（陳耀茂，2004）。根據上述判準可知，此最佳模式的整體適合度良好，與實際資料適配，可以獲得支持。

最後，考驗測量模式的內在結構適配度，潛在變項的信度分別是情意反應為 .917、思考習性為 .943、科學推理為 .742、科學創造思考為 .749，在 .6以上；所有估計參數達顯著（$p < .001$）；潛在變項平均變異抽取量分別是情意反應為 .735、思考習性為 .770、科學推理為 .370、科學創造思考為 .427，情意反應與思考習性皆在以上 .5，而科學推理與科學創造思考低於 .5，由於這兩個測驗都是開放式的測驗，需要學生用文字書寫來表達其思考，與學生平常的考試類型很不一樣。據此，研究者研判這是因為測驗的類型影響了學生作答的意願，而導致變項平均變異抽取量低於 .5。不過，因模式已經符合基本適配度及整體適配度，所以此結果尚可接受；標準化殘差的絕對值為 .001~1.912，小於1.96，以及修正指標為 .000~3.413，小於3.84。所以，此測量模式的內在結構適配度良好。

綜上可知，最佳模式皆符合基本適配度、整體適配度，以及內在結構適配度的標準。此外，理論在既有的解釋程度下，以越少的概念與關係來呈現越好（黃芳銘，2004）。相較於原始模式圖（圖5），最佳模式能在既有的解釋程度下，以較少的關係來呈現四個潛在變項之間可能的相互影響，顯然優於原始模式圖。

此結果受到許多理論的支持，如：Lawson（2003）認為提出假設與預測就是推理，需要創造的元素。因為提出假設涉及類比、類比的遷移，以及類比推理的過程，而運用類比推理就是一種仰賴部分背景知識中陳述性知識的創造行為；Vartanian 等（2003）認為初級思考歷程是類比的、自由聯想的，次級思考歷程是抽象、目標導向的，因為創造具有想像力與產生想法的特質，比較可能發生在認知的初級思考歷程，演繹推理則發生在次級思考歷程。而且他們的實徵研究發現大學生的創造思考能提升推理表現的總變異量解釋量（$R^2 = .37$）；胡佛與

表 2：最佳模式的估計參數顯著性考驗及標準化迴歸係數

徑路項目			標準化迴歸係數	*S.E.*	*C.R.*	*p*
思考習性	←	情意反應	.675	.067	9.322	***
科學推理	←	情意反應	.289	.012	3.397	***
科學創造思考	←	情意反應	.315	.038	2.519	.012
科學創造思考	←	思考習性	.124	.039	1.965	.049
科學推理	←	科學創造思考	.623	.056	5.102	***
正向情意	←	情意反應	.852	.053	13.726	***
價值	←	情意反應	.912	.059	13.682	***
期望	←	情意反應	.796	.059	12.414	***
成就動機	←	情意反應	.865			
堅持與控制衝動	←	思考習性	.881	.047	18.710	***
能共同協力思考	←	思考習性	.864	.038	17.860	***
彈性思考	←	思考習性	.806	.030	15.117	***
後設認知的策略	←	思考習性	.938			
採取批判性的角度	←	思考習性	.892	.046	19.724	***
科學知識	←	科學創造思考	.667	.283	6.178	***
科學問題	←	科學創造思考	.683	.440	6.653	***
科技產品	←	科學創造思考	.650	.427	6.175	***
科學現象	←	科學創造思考	.613			
守恆	←	科學推理	.522	.065	6.032	***
比例	←	科學推理	.676	.086	7.536	***
變因控制	←	科學推理	.724			
機率	←	科學推理	.569	.072	6.354	***
組合關係推論	←	科學推理	.520	.055	5.868	***

註：1. 未列出 *S.E.*者為參照指標，是限制估計參數。

2. ***$p < .001$

杜諾萬（1995/張家麟譯，2001）認為提出事物之間的關係，乃是一種需要創造力與想像力的活動。由此可見，最佳模式不只是與實際數據的各種適配度良好，在理論方面也能獲得支持。

三、「科學思考中情意反應、思考習性、創造思考與推理」的最佳模式潛在變項間的效果

由於潛在變項間的全體效果可以說明潛在自變項產生一個單位的變化時，潛在依變項將會產生多少變化。因此，以下依據潛在自變項對潛在依變項、潛在依變項對潛在依變項兩方面分別說明：

1.潛在自變項對潛在依變項的全體效果

情意反應對思考習性、科學創造思考與科學推理三個潛在依變項的全體效果依次為 .675、.399、.538。由於最佳模式假設情意反應對思考習性無間接效果，所以情意反應對思考習性的全體效果剛好就是其直接效果；而情意反應對科學創造思考的全體效果就是直接效果 .315，加上其間接效果 .084（.675 × .124）而得；情意反應對科學推理的全體效果就是直接效果 .289，加

上其間接效果 .249（.675 × .124 × .623 + .315 × .623）而得。

2.潛在依變項對潛在依變項的全體效果

思考習性對科學創造思考與科學推理兩個潛在依變項的全體效果依次為 .124、.078。由於最佳模式假設思考習性對科學創造思考無間接效果，所以思考習性對科學創造思考的全體效果就是其直接效果 .124；而思考習性對科學推理無直接效果，所以思考習性對科學推理的全體效果就是其間接效果 .078（.124 × .623）。此外，科學創造思考對科學推理無間接效果，科學創造思考對科學推理的全體效果就是其直接效果 .623。

從潛在變項間的全體效果可知，以情意反應預測思考習性的表現最準確，其次是科學創造思考預測科學推理的表現，第三則是以情意反應預測科學推理的表現。那麼，此最佳模式在預測潛在依變項的表現與先前的相關研究有何差異？根據吳明隆與涂金堂（2007）的看法，在迴歸分析的模式中，標準化迴歸係數的絕對值及解釋量越大，表示預測力越佳。研究者認為，本研究的潛在自變項或許與先前相關研究的自變項不同，而且所建構的模式也不同。但是，我們可以用標準化迴歸係數來比較不同或相同的自變項對相同依變項的預測力，如：情意對創造思考的預測力較準確？還是以先備知識對創造思考的預測力較準確？此外，還可以比較不同或相同的自變項對相同依變項的解釋量。

研究者發現，Amabile 等（2005）的研究以自我評量的正向情意分數預測同儕評定的創造思考的標準化迴歸係數為 .093（p < .01）。而吳佳玲與張俊彥（2002）的研究發現，若以推理能力來預測發散思考，標準化迴歸係數為 .331，解釋量為 .11。在本研究以情意反應與思考習性來預測科學創造思考的標準化迴歸係數值分別為：情意反應 .315（p < .001）、思考習性 .124（p < .05），解釋量為 .17。此結果顯示，本模式的情意反應由四個因素組成，比 Amabile 等只用正向情意來預測創造思考準確；而與吳佳玲與張俊彥（2002）的研究比較發現，以兩個自變項來預測科學創造思考時，比用一個自變項來得準確。而且從標準化迴歸係數值來看，用情意反應來預測科學創造思考比用先備知識或推理能力來得高。

由此可知，運用最佳模式能提升我們預測學生科學創造思考或科學推理的表現，有助於教師理解學生的科學思考表現，及科學思考課程的設計。不過，本研究的情意反應、思考習性、科學創造思考與科學推理僅聚焦於某些成分，並沒有涵蓋這些變項的所有成分，例如：焦慮、聯想、類比。所以，研究者認為，雖然探討的是同一個變項，例如：情意反應、思考習性，但是若是超出上述之研究成分，則是最佳模式無法預期的。

伍、研究結論與建議

一、研究結論

從研究結果可以發現，最佳模式說明了在大量的樣本之下，隨機系統所表現的規律性。此模式顯示學生的情意反應可以預測思考習性、科學創造思考與科學推理的表現；思考習性可以預測科學創造思考與科學推理的表現；科學創造思考可以預測科學推理的表現。例如：我們可以從學生對學習結果與自身能力具有愉快的感受、預期自己達成某個目標、憑其主觀判斷目標的重要性與意義性，以及對於努力追求進步，以期達成目標的內在動力來預測學生在科學思考時思考習性、科學創造思考與科學推理的表現。

研究者認為，此研究結果顯示本研究整

合了過去的相關研究為理論基礎（Amabile et al., 2005; Cavallo et al., 2004; Vartanian et al., 2003; Venville et al., 2003），並且擴充了科學思考的研究範疇，例如：加入情意反應、思考習性與科學創造思考等變項，使得科學思考的探討不再侷限於「思考與推理」的觀點。此外，史坦諾維奇（2004/楊中芳譯，2005）認為，許多領域都涉及機率性思維，也就是較大樣本估計的母群數值會比用較小的樣本估計精確。心理學研究得出的結論是機率式結論，其推論結果是在大多數的情況下會發生，也是較為普遍的，但不是在任何情況下都會出現的，也就是說，不是百分之百準確的。儘管如此，心理學研究及理論所做的預測仍然是有用的。

相較於 Kuhn（2002）提出科學思考的探究、分析、推論、論證四個階段，以及 Feist（2006）提出科學思考的觀察、分類、辨認組態、形成假設（預測）/檢驗假設、因果思考五個階段，皆聚焦於推理的相關層面，最佳模式顯示科學思考是由情意反應、思考習性、創造思考與推理四個階段所組成。因為根據圖17，變項間的標準化迴歸係數皆達顯著，顯示情意反應是思考習性、創造思考與推理表現良好的預測變項；思考習性是創造思考與推理表現良好的預測變項；創造思考是推理表現良好的預測變項。不過，SEM 雖然可依據相關數據提出適配模式，然而此模式是否即是「真實的」模式，仍需要實證性研究佐證。

二、研究建議

本節將針對科學教學與後續研究兩個方向，對研究的發現與結論提出建議。

(一)科學教學

老師在教學時最重要的就是先引發學生正向情意、期望、價值與成就動機，讓學生對學習具有興奮、快樂、欣喜及興趣的情緒感受，為自己設定目標，努力追求進步，並且瞭解學習科學的重要性與意義性。

而從最佳模式當中可以發現，思考習性也是影響科學思考表現的重要變項。所以，光是引起學生正向的情意反應是不夠的，還要培養學生堅持與控制衝動、共同協力思考、採取批判性的角度、彈性思考與後設認知等思考習性，使學生能夠堅持、長期地深入研究與思索。而當學生遇到挫折時，教師也要思考如何改變教學，才能維持學生對科學思考的正向情意，以維持學生正向的情意反應。

另外，過去的教學比較重視學生應用科學與數學推理來分析情境、做決定，或解決問題的能力，而忽視學生經過想像、思考，產生具有獨創性與有效性的科學產品。不過，本研究的結果顯示創造思考是推理表現的良好預測變項。如果在教學上能鼓勵並且重視學生的科學創造思考，相信可以提升學生的推理能力。

(二)後續研究

雖然最佳模式的適配度良好，能反應出多數學生科學思考時情意反應、思考習性、創造思考與推理表現的規律性，也擴展了科學思考的探討不再只是侷限於「思考與推理」的觀點。但是，在大量樣本之下，最佳模式只能呈現出大量樣本的規律性，提供我們說明與預測多數學生的科學思考表現，而非針對個別學生的科學思考表現，這是最佳模式不足的地方。

此外，確認變項之間的因果關係不僅包括觀察變項之間相關係數所做的推斷，還包括透過操弄假定的自變項與控制其他變項，將假定的自變項分離出來所蒐集的資料（史坦諾維奇，2004/楊中芳譯，2005）。而本研究的最佳模式是以調查研究法探討科學思考

中情意反應、思考習性、創造思考與推理可能的相互影響，尚未透過實驗研究操弄變項，藉以探討變項之間是否可以找到因果關係。所以，在後續研究當中有必要設計一些特殊的情境，並透過控制與隨機分派將情意反應、思考習性等變項獨立出來，並且維持所有其他可能與創造思考與推理相關的其他變項，單獨審視其對創造思考與推理的影響。

其次，相較於量化研究著重於用簡潔的方式呈現廣泛而普遍性的結果，個案分析可以詳細的描繪出實況與細節，將讀者帶入情境、體會問題（蕭瑞麟，2006）。所以，研究者認為我們還可以個案學生進行探究活動時的情意反應、思考習性、創造思考與推理表現，提供最佳模式具體的意義，使最佳模式獲得進一步的應用，也能豐富科學思考與科學學習等相關領域的知識與理解。

參考文獻

1. 王保進（2004）。**多變量分析**。台北市：高等教育出版社。
2. 史坦諾維奇（Stanovich, K. E.）著（2005）。**這才是心理學**（*How to think straight about psychology*，楊中芳譯）。台北市：遠流出版社。（原作 2004 年出版）
3. 吳青蓉（2002）。**英語學習歷程模式之驗證暨「主題建構式語言學習策略」對國中生英語學習表現影響之研究**。國立台灣師範大學教育心理與輔導所博士論文，未出版，台北市。
4. 吳裕益（2006）。**線性結構模式的理論與應用**。國立高雄師範大學特教教育學系博士班之上課講義，未出版，高雄市。
5. 吳明隆、涂金堂（2007）。SPSS 與統計應用分析。台北市：五南出版社。
6. 吳佳玲、張俊彥（2002）。高一學生地球科學問題解決能力與其先備知識及推理能力關係的初探研究。**科學教育學刊，10**（2），135-156。
7. 李新洲（2002）。**追尋自然之律：20 世紀物理學革命**。台北縣：世潮出版社。
8. 邱皓政（1992）。認知需求、刺激尋求動機、社會焦慮與個人創造性之關係研究。**應用心理學報，1**，155-176。
9. 林緯倫、連韻文（2001）。如何能發現隱藏的規則？從科學資優生表現的特色，探索提升規則發現能力的方法。**科學教育學刊，9**(3)，299-322。
10. 林緯倫、連韻文、任純慧（2005）。想得多是想得好的前提嗎？探討發散性思考能力在創意問題解決的角色。**中華心理學刊，47**（3），211-227。
11. 林彩梅、賴素鈴、鄧旭茹（2006）。我國生育率預測方法之探討--趨勢、解構及 ARIMA 模式比較。**臺北科技大學學報，39**（1），251-261。
12. 洪振方、謝甫佩（2008）。科學思考習性量表的編製與測量模式之驗證。**教育學刊**，已投稿。
13. 胡佛（Hoover, K. R.）、杜諾萬（Donovan, T.）著（2001)。社會科學方法論的思維（The Elements of Social Scientific Thinking，6thed，張家麟譯）。臺北縣：韋伯文化。（原作 1995 年出版）。
14. 陳正昌、程炳林、陳新豐、劉子鍵（2005）。**多變量分析方法--統計軟體應用**。台北市：五南出版社。
15. 陳耀茂（2004）。**共變異數構造分析的 AMOS 使用手冊**。台北市：鼎茂圖書公司。
16. 陳振明（2004）。**影響高一學生科學創造力的因素之研究**。國立高雄師範大學特殊教育所博士論文，未出版，高雄市。
17. 教育部（2003）。**國民中小學九年一貫課程**

綱要。台北市：教育部。

18. 張瓊、于祺明、劉文君（1994）。**科學理論模型的建構**。台北市：淑馨出版社。
19. 張玉成（1998）。資優與普通兒童思考技巧特質之比較。**臺北師院學報，11**，109-150。
20. 黃芳銘（2004）。**結構方程模式理論與應用**。台北市：五南出版社。
21. 愛因斯坦（Einstein, A.）、英費爾德（Infeld, L.）著（1991）。物理學的進化（The evolution of physics，郭沂譯）。台北市：水牛出版社。（原作 1938 年出版）
22. 蔡啟通、丁興祥、高泉豐（1989）。認知需求、腦力激盪與個人的創造性。**中華心理學刊，31**（2），107-117。
23. 蕭瑞麟（2006）。**不用數字的研究--鍛鍊深度思考力的質性研究**。台北市：台灣培生教育出版公司。
24. American Association for the Advancement of Science (1993). *Benchmarks for science literacy: Project 2061*. Washington, DC: AAAS Press.
25. Amabile, T. M., Barsade, S. G., Mueller, J. S., & Staw, B. M. (2005). Affect and creativity at work. *Administrative Science Quarterly, 50*(3), 367-403.
26. Alsop, S., & Watts, M. (2003). Science education and affect. *International Journal of Science Education, 25*(9), 1043-1047.
27. Anderson, J. C., & Gerbing, D. W. (1988). Structural equation modeling in practice: A review and recommends two-step approach. *Psychological Bulletin, 103*(3), 411-423.
28. Arbuckle, J., & Wothke, W. (1999). *AMOS 4.0 User's Guide*. Chicago: Smallwaters Corporation, Inc.
29. Bentler, P. M., & Chou, C. P. (1987). Practical issues in structural modeling. *Sociological Methods and Research, 16*(1), 78-117.
30. Blanchette, I., & Richards, A. (2004). Reasoning about emotional and neutral materials: Is logic affected by emotion? *Psychological Science*, 15*(11)*, 745-752.
31. Bransford, J., Brown, A. M., & Cocking, R. (1999). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Washington DC: National Academy Press.
32. Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (1998). *Model selection and inference: A practical information-theoretic approach*. New York: Springer.
33. Cacioppo, J. T., Petty, R. E., Feinstein, J. A., & Jarvis, W. B. G. (1996). Dispositional differences in cognitive motivation: The life and times of individuals varying in need for cognition. *Psychological Bulletin, 119*(2), 197-253.
34. Cavallo, A. M. L., Rozman, M., & Potter, W. H. (2004). Gender differences in learning constructs, shifts in learning constructs, and their relationship to course achievement in a structured inquiry, yearlong college physics course for life science majors. *School Science & Mathematics, 104*(6), 288-300.
35. Clarke, T. E. (2002). Unique features of an R&D work environment and research scientists and engineers. *Knowledge, Technology & Policy, 15*(3), 58-69.
36. Coll, R. K., Taylor, N., & Lay, M. C. (2008). Scientists' habits of mind as evidenced by the interaction between their science training and religious beliefs. *International Journal of Science Education, 1-31*, iFirst Article.
37. De Corte, E., Verschaffel, L., & Masui, C. (2004). The CLIA-model: A framework for designing powerful learning environments for

thinking and problem solving. *European Journal of Psychology of Education, 19*(4), 365-384.

38. Dunbar, K., & Fugelsang, J. (2005). Scientific thinking and reasoning. In K. J. Holyoak & R. Morrison (Eds.), *Cambridge handbook of thinking & reasoning* (pp. 705-726). Cambridge: Cambridge University Press.
39. Feist, G. J. (2006). *The psychology of science and the origins of the scientific mind*. New Haven, Connecticut: Yale University Press.
40. Filipowicz, A. (2006). From positive affect to creativity: The surprising role of surprise. *Creativity Research Journal, 18*(2), 141-152.
41. Gawronski, B., & Bodenhausen, G. V. (2006). Associative and propositional processes in evaluation: Conceptual, empirical, and metatheoretical issues. *Psychological Bulletin, 132*(5), 745-750.
42. Gauld, C. F. (2005). Habits of mind, scholarship and decision making in science and religion. *Science & Education, 14*(3-5), 291-308.
43. Hassard, J. (2004). *The art of teaching science: Inquiry and innovation in middle school and high School*. New York: Oxford University Press.
44. Hirt, E. R., Levine, G. M., McDonald, H. E., Melton, R. J., & Martin, L. L. (1997). The role of mood in quantitative and qualitative aspects of performance: Single or multiple mechanisms? *Journal of Experimental Social Psychology, 33*(6), 602-629.
45. Hu, W., & Adey, P. (2002). A scientific creativity test for secondary school students. *International Journal of Science Education, 24*(4), 389-404.
46. Kuhn, D. (2002). What is scientific thinking and how does it develop? In U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 371-393). Malden, MA: Blackwell.
47. Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and the development of thinking*. Belmont, CA: Wadsworth.
48. Lawson, A. E. (2003). The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching. *International Journal of Science Education, 25*(11), 1387-1408.
49. Louis, K. S., Holdsworth, J. M., Anderson, M. S., & Campbell, E. G. (2007). Becoming a scientist: The effects of work-group size and organizational climate. *Journal of Higher Education, 78*(3), 311-336.
50. McGrayne, S. B. (1998). *Nobel prize women in science (2nd ed)*. Washington, DC: Joseph Henry Press.
51. National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
52. Paul, R., & Elder, L. (2006). *A miniature guide for students and faculty to scientific thinking*. Dillion Beach, CA: Foundation for Critical Thinking.
53. Perkins, D. N., & Tishman, S. (1998, December). *Dispositional aspects of intelligence*. Paper presented at the College of Education, Arizona State University, Tempe.
54. Perkins, D., Tishman, S., Ritchhart, R., Donis, K., & Andrade, A. (2000). Intelligence in the wild: a dispositional view of intellectual traits. *Educational Psychology Review, 12*(3), 269-293.
55. Roberts, T. G. (2003). *The influence of student*

characteristics on achievement and attitudes when an illustrated web lecture is used in an online learning environment. Unpublished doctoral dissertation, University of Florida, Gainesville City, Gainesville.

56. Schauble, L. (2003). Scientific thinking: More on what develops. *Human Development, 46*(2/3), 155-160.
57. Sinatra, G. M., Southerland, S. A., McConaughy, F., & Demastes, J. W. (2003). Intentions and beliefs in students' understanding and acceptance of biological evolution. *Journal of Research in Science Teaching, 40*(5), 510-528.
58. Stanovich, K. E., & West, R. F. (1997). Reasoning independently of prior belief and individual differences in actively open-minded thinking. *Journal of Educational Psychology, 89*(2), 342-357.
59. Thagard, P. (2002). The passionate scientist: Emotion in scientific cognition. In P. Carruthers, S. Stich & M. Siegal (Eds.), *The cognitive basis of science* (pp. 235-250). Cambridge: Cambridge University Press.
60. Tirri, K., & Koro-Ljungberg, M. (2002). Critical incidents in the lives of gifted female Finnish scientists. *Journal of Secondary Gifted Education*, *13*(4), 151-163.
61. Tishman, S., Jay, E., & Perkins, D. N. (1993). Teaching thinking dispositions: from transmission to enculturation. *Theory into Practice, 32*(3), 147-153.
62. Vartanian, O., Martindale, C., & Kwiatkowski, J. (2003). Creativity and inductive reasoning: The relationship between divergent thinking and performance on Wason's 2-4-6 task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 56*(4), 641-655.
63. Venville, G., Adey, P., Larkin, S., & Robertson, A. (2003). Fostering thinking through science in the early years of schooling. *International Journal of Science Education, 25*(11), 1313-1331.
64. Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review, 27*(2), 172-223.

Applying Structural Equation Modeling to Validate the Relationships among Affecting Factors in Scientific Thinking

Jeng-Fung Hung and Fu-Pei Hsieh

Graduate Institute of Science Education, National Kaohsiung Normal University

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the 12 SEM scientific thinking models for affective response, thinking disposition, scientific creative thinking, and scientific reasoning with the data from 171 valid questionnaires collected. Instruments used include Affective Response Scale, Thinking Disposition Scale, Classroom Test of Scientific Reasoning, and Scientific Creative Thinking Test. Results indicated the 7th scientific thinking model was the best model, and the majority of the fit indices have indicated good fit of the best model to the data. The main findings included (1) Affective response had significantly direct effects on thinking disposition, direct and indirect effects on scientific creative thinking and scientific reasoning; (2) Thinking disposition had significantly direct effects on scientific creative thinking, and indirect effects on scientific reasoning; (3) Scientific creative thinking had a significantly direct effect on scientific reasoning. These results indicated that best model could be used to explain and predict the performance and the relationships of affective response, thinking disposition, scientific creative thinking and scientific reasoning in students' scientific thinking. Implications for science teaching and future research were discussed.

Key words: Thinking Disposition, Scientific Thinking, Scientific Reasoning, Scientific Creative Thinking, Affective Response