

國立交通大學教育研究所

碩士論文

探討多重表徵之呈現方式對高中學生「熱膨脹」概念
改變的認知歷程與腦波變化的影響

Explore the Impact of Multiple Representations of Thermal Expansion
Conceptions on High School Students' Conceptual Change Process
and Brain Process



研究生：黃莉郁

指導教授：佘曉清 教授

中華民國九十八年一月

探討多重表徵之呈現方式對高中學生「熱膨脹」概念改變
的認知歷程與腦波變化的影響

Explore the Impact of Multiple Representations of Thermal Expansion
Conceptions on High School Students' Conceptual Change Process and
Brain Process

研 究 生：黃莉郁

Student: Li-Yu Huang

指導教授：佘曉清 教授

Advisor: Hsiao-Ching She, Ph.D.



A Thesis

Submitted to Institute of Education
College of Humanities and Social Science
National Chiao Tung University

For the Degree of

Master

in

Education

Jan, 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年一月

探討多重表徵之呈現方式對高中學生「熱膨脹」概念改變的認知歷程與腦波變化的影響

學生：黃莉郁

指導教授：余曉清教授

國立交通大學人文社會學院教育研究所碩士班

摘 要

本研究應用雙重情境學習模式 (She, 2002, 2003, 2004a, 2004b, 2005) 之概念改變理論，針對學生「熱膨脹」的另有概念設計4組雙重情境學習事件，再根據多媒體學習認知理論 (Mayer, 2003)，分別以靜態圖文整合及動態影片呈現方式，進行不同表徵之概念改變學習設計，以探討學生在不同的多重表徵呈現時概念改變的認知歷程與腦波變化。

研究對象為新竹市三所高中的高一學生20人，依研究設計分為靜態圖文與動態影片兩組，每組各10人，靜態圖文組以文字與圖片進行學習，而動態影片組則以影片與聲音進行學習，並在不同表徵學習前及學習後，以事件晤談法請學生進行預測與解釋，以明瞭學生概念改變情形，全程並蒐集腦波相關資料，希望一方面能促進學生概念改變，一方面能瞭解學生在科學概念改變歷程中大腦的運作模式，因此針對學生事件晤談結果、腦波資料（包括：大腦各頻率腦波功率、同調性、拓樸圖）進行分析，以期能進一步瞭解學生在建構科學概念及概念改變歷程中如何進行訊息處理。

結果顯示針對「熱膨脹」概念所設計之雙重情境學習事件，在兩種不同的表徵呈現下，均可有效促使學生概念改變成功；且透過概念改變歷程中大腦各部位 θ (4~7.9 Hz)、 $\alpha 1$ (7.9~10 Hz)、 $\alpha 2$ (10.1~12.9 Hz)、 $\beta 1$ (13~17.9 Hz)、 $\beta 2$ (18~24.9 Hz)、 γ (25~35 Hz) 等不同頻率之腦波功率、同調性與拓樸圖之分析，可獲得學生在概念改變歷程中大腦的認知處理相關訊息；而結果也顯示當學生嘗試提出新的論點、認知產生不和諧及概念改變不成功時，大腦活動更形活躍；但所呈現之靜態圖片加文字與動態影片加聲音兩種不同表徵形式，在概念改變歷程腦波資料上則無顯著差異。

關鍵字：多重表徵、雙重情境學習模式、同調性、拓樸圖

Explore the Impact of Multiple Representations of Thermal Expansion Conceptions on High School Students' Conceptual Change Process and Brain Process

Students: Lu-Yu Huang

Advisor: Hsiao-Ching She

National Chiao Tung University, School of Art and Society, Institute of Education

ABSTRACT

This study employed the Dual Situated Learning Model (DSLM) (She, 2002, 2003, 2004a, 2004b, 2005) to design four dual situated learning events for facilitating students' conceptual change involving thermal expansion. One of the purposes of this study is to investigate whether the multiple representations (static picture-text vs. video-narration) would have any impact on students' conceptual change. In addition, to explore the brain process while students involve in the process of conceptual change. There are twenty 10th grade students from three high schools in Hsinchu City involved in the study. They were randomly assigned to static text with picture representation and video with narration representation two groups, respectively. All of the students were interviewed during the process of conceptual change while their EEG recorded. The EEG was used to measure students' brain process during the scientific conceptual change process.

Results indicated that DSLM indeed facilitated students' conceptual change of thermal expansion across four dual situated learning events and one challenging event, regardless any types of multiple representations. The greater brain activities emerge at the stage of reconstructing a more scientific view of the concept than to the stages of making predictions or presenting mental sets. Moreover, it also shows that students, who are undergoing dissonance with their pre-existing knowledge or not able to change their concepts, have greater brain activities. Again, students' brain activities would not vary during the process of conceptual changes, regardless of any types of multiple representations were given.

Key words: Multiple representation, DSLM, coherence, topography

誌 謝

帶著滿心的感動與感恩，我畢業了！最感謝的人莫過於指導教授 余曉清教授，在崎嶇難行的研究之路，總是適時地扮演著引路的明燈，在研究的態度與論文的方向上，給予最多最好的示範、指導與鼓舞，這份親炙之情，令人受益匪淺而終生難忘。也十分感謝口試委員周進洋教授及田意民教授對本論文細心的審閱與指正，並在論文口試時提供精闢的見解與諄諄的鼓勵。

回首來時路，赫然發現自己似乎常未能在對的時間做對的事，讀書也是如此，大三曾寫下「實驗室初探」記錄自己對第一份研究工作的心情，以為自己會一路深造、投身研究，卻一晃十數年，才完成這本小小碩論。不過，我寧願相信在每個人不同的人生劇本中，上天只不過是為我添加了一些的創意，讓我能夠有一些更特別的演出。回想入學口試時才驚覺自己是多麼的非主流，卻仍執著的想證明「教育可以創造無限可能」，也許我不是預期中的研究生模版，也許沒有人明白我為何來走這一遭，但走過這二年半，我的收穫是滿溢的，畢竟在學術的殿堂下，研究的壓力中，心靈與視野都獲得了快速的成長與進步。

這本論文的誕生，特別還要感謝從這個研究一開始就一同努力的文己，很懷念那些共同解決問題的日子，更衷心感謝你一路走來的鼎力相助。感謝交大腦科學研究中心的尚文，為我們解決了 Matlab 與 EEGLab 所有的指令問題。感謝教育所的所有師長、助理、學長姐、同學與學弟妹們，總不吝惜提供許多專業的知識與溫暖的後援。感謝思瑋、佩樺、秉叡、明樺、佩蓉、力升、筱嵐、米珊、晏如、汝紋在資料分析上的大力協助。感謝九五級一同走過的同學們，文己、淑娟、珮菁、千祈、孟玲，不能忘懷那些互相加油打氣的日子。感謝若筑、黎珊協助徵求受試者，更感謝耗時費力參與實驗的所有受試者們。

感謝始終如一給予無限支持的創業伙伴淑秀，鼓勵我重新投入這條研究之路，容忍我在論文寫作期間把工作當成了副業，提供生活上與精神上最大的支柱。感謝永遠的支持者，我最親愛的家人，爸爸、媽媽、啟真、麗芳、啟桓、雪香、若筑、若翔、宸璘。

願所有人能一同分享我的喜悅與榮耀，有了你們，這一切才顯得更有意義。

黃莉郁 謹誌

民國98年1月

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
誌 謝	III
表 目 錄	VI
圖 目 錄	VII
第一章 緒論	1
第一節 研究背景與動機	1
第二節 研究目的	2
第三節 研究問題	3
第四節 名詞釋義	4
第五節 研究範圍與限制	7
第二章 文獻探討	8
第一節 多重表徵與科學學習	8
第二節 工作記憶與認知負荷理論	16
第三節 腦波與科學學習	19
第四節 概念改變相關理論	23
第三章 研究方法	30
第一節 研究對象	30
第二節 研究設計	30
第三節 研究流程	32
第四節 概念改變學習內容設計	33
第五節 研究工具	35
第六節 資料蒐集與分析	40

第四章 研究結果與討論	41
第一節 雙重情境學習事件晤談結果之概念分析	41
第二節 不同表徵呈現學習事件下三個不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析	50
第三節 認知衝突與概念改變成功與否在不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析	67
一、認知衝突與否在不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析	68
二、概念改變成功與否在不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析	72
三、認知衝突/概念改變成功與否在不同學習階段之同調性 (coherence)分析	77
四、認知衝突/概念改變成功與否在不同學習階段之拓樸圖 (topography)分析	97
第五章 結論與建議	112
第一節 結論	112
第二節 建議	120
參考文獻	123
附錄一：「熱膨脹概念」學習事件	133

表 目 錄

表1 熱膨脹概念改變學習內容設計	35
表2 預測階段概念及其與學習事件之呈現是否產生衝突之認知歷程分析表	46
表3 解釋階段概念及概念改變成功與否之認知歷程分析表	47
表4 認知衝突/概念改變成功與否與不同表徵之交叉比較結果	49
表5 不同表徵呈現學習事件下三個不同學習階段之重複量數分析結果	51
表6 實驗一0之單純主要效果摘要表	53
表7 圖文與影片表徵呈現下三個學習階段之重複量數分析結果	56
表8 不同學習階段下圖文與影片表徵呈現之單因子多變量分析結果	60
表9 不同學習階段腦波之重複量數分析結果	65
表10 產生認知衝突與否在不同學習階段之單因子多變量分析結果	69
表11 概念改變成功與否在不同學習階段之單因子多變量分析結果	73
表12 認知衝突與否在實驗一不同學習階段之同調性之T檢定結果	79
表13 認知衝突與否在實驗二不同學習階段之同調性之T檢定結果	82
表14 認知衝突與否在實驗三不同學習階段之同調性之T檢定結果	85
表15 概念改變成功與否在實驗一不同學習階段之同調性之T檢定結果	89
表16 概念改變成功與否在實驗二不同學習階段之同調性之T檢定結果	92
表17 概念改變成功與否在實驗三不同學習階段之同調性之T檢定結果	95
表18 實驗一各頻率腦波之拓樸圖	98
表19 實驗二各頻率腦波之拓樸圖	102
表20 實驗三各頻率腦波之拓樸圖	106

圖 目 錄

圖1 多重表徵的功能性分類 (Ainsworth, 1999).....	9
圖2 文本與圖形理解之整合模型 (Schnotz & Bannert, 2003).....	12
圖3 多媒體學習的認知理論 (Mayer, 2003).....	14
圖4 雙碼理論之多媒體學習示意圖 (Mayer和 Sims, 1994).....	15
圖5 工作記憶模型 (Baddeley, 2000)	17
圖6 國際10-20制電極位置標定.....	20
圖7 雙重情境學習模式 (She, 2004)	27
圖8 雙重情境學習模式的運作機制 (She, 2004).....	27
圖9 研究設計架構圖	31
圖10 研究架構圖	31
圖11 研究流程圖	33
圖12 學習事件一情境說明一	37
圖13 學習事件一情境說明二	37
圖14 學習事件一圖文投影片一	38
圖15 學習事件一圖文投影片二	38
圖16 學習事件一圖文投影片三	38
圖17 學習事件一圖文投影片四	38
圖18 學習事件一圖文投影片五	38
圖19 學習事件一圖文投影片六	38
圖20 Neuron-Spectrum-5 腦波儀	39

探討多重表徵之呈現方式對高中學生「熱膨脹」概念改變 的認知歷程與腦波變化的影響

第一章 緒論

本章共分為五節，分別就研究背景及動機、研究目的、研究問題、重要名詞釋義和研究範圍與限制等方向加以闡述。

第一節 研究背景與動機

近年來，網路學習與多媒體教學愈來愈蓬勃發展，資訊融入教學相關的研究也愈來愈多，但另一方面，教科書或文本仍是教師傳道授業、學子求取知識的最主要管道，而過去的研究，在探討靜態圖文與動態多媒體教學呈現之間，究竟是何者較有利於學生對訊息之處理或科學概念之學習，一直眾說紛紜，歧異性很大 (Grimley, 2007; Lewalter, 2003; Lowe, 2003; Mayer, 1997, , 2003; Park & Gittelman, 1995; Park & Hopkins, 1992; Schnotz & Bannert, 2003; Schnotz & Lowe, 2003; Seufert, 2003; Stern, Aprea, & Ebner, 2003)。然而很多科學概念是抽象、微觀和需要循序漸進的建立心智架構的，因此教學表徵將不可避免的影響學習者概念的理解和心智模式的建構，也就是說，教師在選擇及使用教學表徵時，更應該思考如何藉由教學表徵將學科概念進行適切地表達，並對於每一種教學表徵的特性進一步了解。且以建構主義觀點來看，學生對科學學習本就具有不同的認識觀及學習風格，單一表徵之教學勢必不能適合全部的學生，加上學生都帶著先備知識進入教室，每個人的學習起始點亦有所不同，是以提供表徵多樣化教學，當可刺激多數學生的學習動機，促進科學知識之建構。

不過，儘管許多文獻支持多重表徵 (multiple representation) 有利於學習者的科學學習 (Chang & Chiu, 2004; Keller, 1998; Prain & Waldrup, 2006; Treagust, Chittleborough,

& Mamiala, 2002; Tsui & Treagust, 2003, 2004; Wallace, 2004)，但究竟為何或如何有利於學習卻沒有太多答案，原因之一是我們並不瞭解人類如何整合多重表徵，也無法直接觀察人類思考之認知歷程。在認知神經科學與認知心理學領域有愈來愈多的研究以腦波儀來更深入探究人的訊息處理與認知歷程，但在科學教育上之應用則尚不多見，尤其藉由腦波探討學習者在科學學習中概念改變歷程之研究更是付之闕如，因此期盼能透過本研究對於學生的科學學習與概念改變，提供另一不同角度之思考。

第二節 研究目的

學習者透過靜態的圖文或動態的影片將外在的知識表徵轉換為內在心智模式的過程中，所歷經的認知歷程是否相同？學習成效是否相同？於是有學者開始利用腦電圖 (EEG) 研究學習者面對多媒體與文本等不同學習表徵時的不同認知歷程，結果顯示腦波的相關測量確實可提供有關學習者在科學學習歷程中大腦運作的資訊 (Gerě & Jaušvec, 1999)，甚至在科學學習上，也可佐證學習者是否歷經深層思考。

另外，學生在進入科學教室所帶著的先備知識是先前經過固化的長期記憶，也是使現階段學習有意義的工具，但當此先備概念為另有概念時，此概念卻又必須被改變，此一矛盾的情況，勢必使得概念改變更加困難，尤其另有概念常是合乎自己的一套邏輯，且能應用於日常生活層面，一旦必須改變自己既有的已固化記憶，則一方面需打破原有連結，一方面又需產生新的連結，必然需要耗費更多認知資源，因此也就不難理解學生的概念為何難以改變，而如何協助學生之概念改變，也就一直是研究者關注的焦點。She (2003) 的研究發現，絕大部分的學生認為「在水槽內點燃蠟燭，倒蓋廣口瓶待蠟燭熄滅後，瓶內的水位會上升」的原因，是與消耗氧氣有關（另有概念），而並非由於熱膨脹（科學概念）。因此本研究針對學生關於「熱膨脹」的另有概念，應用She (2002, 2003, 2004a, 2004b, 2005) 所提出之雙重情境學習模式 (Dual Situated Learning Model, DSLM)，以科學教科書使用頻率最高的圖文並呈之表徵形式，及多媒體教學上常用之影片呈現方式，進行不同表徵之學習設計，希望一方面能促進學生概念改變，一方面藉由腦波類

型瞭解學生大腦運作之認知歷程，以期能提供更直接的資料，進一步瞭解學生在建構科學概念及概念改變歷程中如何進行訊息處理。

研究目的如下：

1. 依據She (2002, 2003, 2004a, 2004b, 2005) 所提出學生之「熱膨脹」另有概念及雙重情境學習模式理論，進行多重表徵之概念改變內容設計，瞭解靜態圖文與動態影片在學生概念改變過程中所扮演的角色。
2. 探討高一學生在多重表徵（靜態圖文、動態影片）學習時腦波變化的情形，以瞭解學生在不同表徵學習過程中大腦各頻率腦波功率 (spectral power)強度，及不同表徵學習之間各頻率腦波功率強度的差異。
3. 探討高一學生在多重表徵（靜態圖文、動態影片）學習時，其大腦各頻率腦波功率強度、同調性 (coherence)及拓樸圖 (topography)與概念改變成功與否之間是否有關聯，及以腦波資料是否可提供科學概念改變歷程中大腦運作模式之相關訊息。

第三節 研究問題

本研究以DSLML理論為基礎設計不同呈現方式的多重表徵（靜態圖文、動態影片）之學習事件，運用腦波儀蒐集腦波活動資料，探討高一學生在多重表徵學習過程中的腦波類型與強度，並進一步探究腦波類型與強度與概念改變成功與否之關聯性，因此根據研究的動機與研究目的，本研究之待答問題為：

1. 不同呈現方式的多重表徵（靜態圖文、動態影片）學習設計對促進高一學生概念改變上是否有差異？
 - 1.1. 靜態圖文表徵學習之設計對高一學生概念改變之成效為何？
 - 1.2. 動態影片表徵學習之設計對高一學生概念改變之成效為何？
2. 高一學生在不同表徵（靜態圖文、動態影片）學習過程中所呈現之腦波類型與強度

是否有差異？

2.1. 高一學生在靜態圖文表徵之學習過程中所呈現之腦波類型與強度為何？

2.2. 高一學生在動態影片表徵之學習過程中所呈現之腦波類型與強度為何？

3. 高一學生在不同呈現方式的多重表徵（靜態圖文、動態影片）學習時，其大腦各頻率腦波功率強度、同調性及拓樸圖與概念改變成功與否是否有關聯？

3.1. 高一學生在靜態圖文表徵之學習過程中所呈現之大腦各頻率腦波功率強度、同調性及拓樸圖與概念改變成功與否是否有關聯？

3.2. 高一學生在動態影片表徵之學習過程中所呈現之大腦各頻率腦波功率強度、同調性及拓樸圖與概念改變成功與否是否有關聯？

第四節 名詞釋義

一、多重表徵 (multiple representation)

表徵可包含各種圖片 (pictures)、模型 (models)、句子 (sentences)、及心智狀態 (mental states) 等，雖然這些事物各有其表徵能力並以不同方式被使用，但它們的共同特性是它們所要呈現的並不是自身，而是它們所能喚起其他事物的表徵能力 (Perner, 1991)。而以二種以上的表徵呈現所要描繪之事物或知識，即為多重表徵，多重表徵通常同時提供可由不同感覺通道收錄之訊息，期望學習者連結不同表徵而能成功的獲得知識。(Seufert, 2003)

二、另有概念 (alternative concept)

或稱「另有架構」，為Driver和Easley (1978) 所提出，用以區分之前研究所提出的「迷思概念」(misconception) 與「先前概念」(preconception)，認為學習者的另有概念並非指稱錯誤理解的來源，而是學習者為了概念化自己在外在世界的經驗，所發展出自動化的架構，因此另有概念常是合乎學習者自己的一套邏輯，且能應用於

日常生活層面，此一情況也使得另有概念往往根深蒂固而難以改變。

三、概念改變 (conceptual change)

以建構主義觀點看概念改變的本質，學習者必須確認自己的原有概念、評估這些概念、決定是否重新建構概念，假使學習者決定重新建構概念，則必須重新檢視與重新架構其他有關理解這個概念的觀點，以達概念的一致性 (Mintzes, Wandersee, & Novak, 1998)。

四、雙重情境學習模式 (Dual Situated Learning Model, DSLM)

結合科教與認知相關理論所發展出的概念改變教學模式，教師根據學生所缺少的心智架構設計一系列由淺而深、緊密相關的情境學習事件，且每一學習事件架構在前一學習事件之上，藉以輔助學生的概念改變，DSLM的教學內容及施行包含以下六個階段，階段一：分析科學概念屬性。階段二：找出屬於此科學概念常見的另有概念。階段三：分析學生對於建構新的科學概念所缺少的心智架構。階段四：設計雙重情境學習事件。階段五：進行雙重情境學習模式的教學。階段六：挑戰情境學習事件 (She, 2002, 2003, 2004a, 2004b, 2005)。

五、腦波 (brain wave)

不同的大腦區域在進行不同認知活動時所產生的電位變化，在頭皮上的強度及分布情形會有所不同，而可據以推論進行此認知作業時所涉及的認知歷程，此電位變化就是腦波 (Andreassi, 2000)。

六、腦電圖 (electroencephalograms, EEGs)

大腦皮質內神經細胞藉由改變細胞膜對帶電離子穿透性的方式傳遞訊號，這個過程會沿著細胞膜產生電流，當一大群神經細胞同時活動時，伴隨電流所產生的電場變化，即可以在頭皮上加以量測，得到腦波的電訊號，再利用腦波儀將頭皮電極記錄

下來電訊號加以放大後，以波型顯示腦細胞活動的記錄圖，便是腦電圖，可用來評估大腦細胞活動的狀況，提供我們探索大腦功能的許多資訊 (Andreassi, 2000)。

七、同調性 (coherence)

標準化的交叉相關 (cross-correlation) 分析，可提供大腦不同區域之間合作的訊息，同調性藉由某些方式所呈現的電位關係，來反映各腦區間功能上的關聯性 (Jaušvec & Jaušvec, 2000)。

八、拓樸圖 (topography)

拓樸圖可針對指定頻率腦波的振幅或功率繪圖，以呈現神經元活動分佈的區域性，通常用來研究神經元活動之空間分佈模式，對瞭解大腦如何同時整合分散與歧異的活動而成一致的模式十分重要 (Quyen, Martinerie, Adam, & Varela, 1999)。

九、工作記憶 (working memory)

Baddeley 和 Hitch 於1974年提出多元件工作記憶 (multicomponent working memory) 概念，強調工作記憶系統中各個元件功能的重要性，認為我們的工作記憶能力是有限的，能夠暫時儲存及操弄感官系統所收錄的訊息，以理解、學習及推理複雜的認知任務，並將此認知的運作系統分成中央執行系統 (central executive)、視覺空間模版 (visuospatial sketchpad) 和語音迴路 (phonological loop)，並在2000年增加事件緩衝器 (episodic buffer) (Baddeley, 2000, 2001, 2003)。

十、認知負荷理論 (cognitive load theory)

Sweller (1988) 提出認知負荷理論，將認知負荷理論引進教學設計中，認為認知負荷與短期記憶和工作記憶所能負荷的記憶單位數目有關，如果學習內容遠超過學習者的工作記憶，那麼學習者的理解力和學習能力將會下降，亦即認知負荷理論對人類認知架構的基本假定，是根據 Baddeley的工作記憶理論，強調人類工作記憶容量

是很有限的。Paas & Van Merriënboer (1994) 也定義「認知負荷」是將一特定工作加諸於學習者認知系統時所產生的負荷，也就是工作記憶的負荷。

第五節 研究範圍與限制

本研究的受試者來自新竹地區三所高中的高一學生20人，不具有全國高中學生的代表性，因此研究結果的推論有其限制性，不宜做廣泛或大樣本的推論，且概念改變內容設計僅針對「熱膨脹」概念，研究結果若要推論到其他概念時，尚需謹慎衡量。



第二章 文獻探討

第一節 多重表徵與科學學習

一、多重表徵

Yore 和 Treagust 在第一屆「Island Conference」中提出在科學學習及科學素養上，師資培育和教師專業訓練都需更著重語言，教師必須將語言視為建構知識的認知工具，協助學生轉移經驗到交談再到文本，藉以達到較深層的理解，並提升科學素養（Yore & Treagust, 2006），而表徵即為這些科學語言之具體呈現，利用不同的形式或模式（如文字、數學、視覺、及動手操作等）呈現之不同表徵類型（如模式，類比，方程式，圖，圖解、圖像及模擬等）都可以用來提升概念的理解並且促進溝通，達成科學概念建構之目的。

在1960年代晚期和1970年代早期，Allan Paivio 即主張雙重編碼理論（dual-coding theory），認為我們以圖像的編碼和語言的編碼表徵訊息，再把此兩種訊息組織成能夠予以操弄、儲存，甚至往後再提取做後續使用的知識（Sternberg, 2003）。Paivio (1986) 後續的研究也指出人類擁有兩套互動但又獨立處理不同類別資訊的系統，一是專門處理語文方面的語文系統（verbal system），另一是專門處理視覺資訊的圖像系統（visual system），若兩者併同運用可以增進學習，他的研究也證明當學習者回想時，對文字加圖片的回想能力優於只有文字的回想。Roberts (2002) 也提出人類的大腦是多工的機制，並不適合直線性、固定步驟的學習，反而更需要豐富的、複雜的以及多感官的學習環境，且學習風格理論（modality theory of learning styles）認為不同學習者偏好不同的知覺通道（Barbe & Milone, 1980），多元智慧理論（multiple intelligence theory）認為不同的學習者擁有不同的智慧（Gardner & Hatch, 1989），均主張學習者各有不同的擅長學習方式，因此教師教學應該針對學生學習方式的不同優勢來加以處理。換言之，教師在實際教學當中應該呈現多種教學表徵形式來讓學生進行多感官學習，也就是說，運用此多重表徵

(multiple representation) 可以避免單一表徵所造成的僵化知識和錯誤概念，並激發認知的變通性而促進遷移和類化。

Ainsworth (1999) 則認為使用不只一種表徵較可能抓住學習者的興趣，且在促進有效學習扮演重要角色，他提出了多重表徵的功能性分類（圖2-1-1），圖的左邊說明表徵的使用包含補充訊息或支援補充訊息的認知過程。這個功能在不同表徵（如表格或圖形）提供相同的訊息時，對一些學習者而言，其中一種模式的表徵可能比另一種更容易被吸收。Ainsworth 認為學習者被給予使用多重外在表徵機會時，他們可以補償某個策略轉移到另一策略之不足，這暗示科學教師應該呈現給學生不同表徵來表達同樣的訊息，因為每一表徵都提供同一狀況顯著不同的觀點，很少有單一表徵對每個任務都是有效的。圖的中間部分說明多重表徵如何使用一種表徵來限制第二種表徵的解釋，以幫助學習者發展更好的概念理解，此功能可透過兩種方式達成：一是使用一個熟悉的表徵來支持他們所較不熟悉或較抽象的表徵，二是利用一種表徵固有的特性來限制第二種表徵的解釋。圖的右邊則與多重表徵引導更深的概念理解有關，可以包括促進抽象理解、鼓勵普遍化，並且教導表徵之間的關係，藉以延伸相關領域知識。

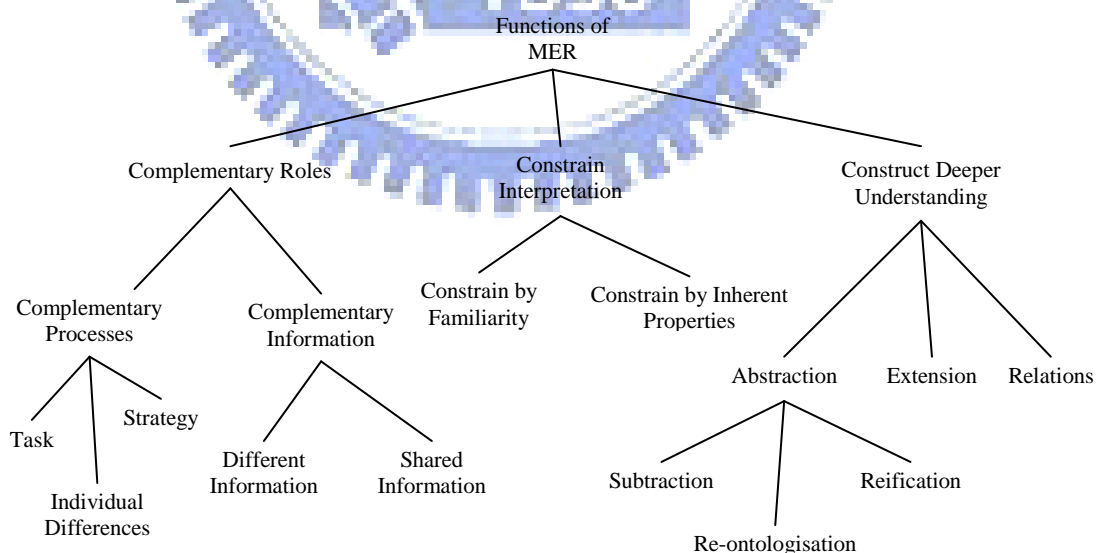


圖2-1-1 多重表徵的功能性分類 (Ainsworth, 1999)

有些實徵的研究也發現學生對各種表徵的偏好不同，連結與轉換表徵能力也會有

所不同 (Keller, 1998; Wallace, 2004)，另外一些研究則證實多重表徵之呈現確實有助於學生之概念建構與概念改變 (Tsui & Treagust, 2003; 2004; Prain & Waldrip, 2006)；也有不同觀點的研究提出了幾種妨礙學生對表徵理解的可能性，以認知學習觀點來看，學生是否能夠成功的理解或解釋相關的表徵，可能在於其個別的差異如邏輯思考能力或先備知識，以社會實用觀點來看，學生在科學學習上缺乏參與產生、建構、解釋和呈現表徵的經驗，亦可能造成學生不易透過表徵學習，而並不是由於個人能力不足或認知缺乏，除此之外，表徵的瑕疵也導致了科學學習的困難，如中學和大學教科書的表徵經常是模糊的，並缺乏視覺上的支援 (Copolo & Hounshell, 1995; Gilbert, 1999; Klein, 2003)。

因此，教師在選擇及使用教學表徵時，首先必須先對每一種教學表徵的特性充分瞭解，並著力於思考如何應用各種教學表徵以將學科概念做最適切地表達。且以建構主義觀點，學生對於不同表徵勢必有不同的偏好與選擇，再加上學生帶著不同的先備知識進入教室，每個人的學習起始點亦有所不同，是以唯有提供多樣化的教學表徵，才能夠刺激多數學生的學習動機，進而促進科學知識之建構。

二、多重表徵在科學學習上的應用

(一) 圖文整合教學相關研究

有關應用多重表徵於科學學習的早期研究大抵為探討圖片或圖文整合對學生學習的功效，Levin 等人(1987)指出圖形在學習上有表徵 (representation)、組織 (organization)、解釋 (interpretation)、轉化 (transformation)、裝飾 (decoration) 等五個主要的功能，前四種功能的圖形，對於課文的記憶與理解有不同程度的正面效果，但裝飾類的圖形則不僅沒有正面效果，甚至有些有負面的影響 (Levin, Anglin, & Carney, 1987)。Carney 和 Levin (2002) 在文獻回顧及後設分析中，再次確認除了裝飾外，不論是以文本或多媒體方式所呈現的圖像，若與文字並列，均能藉由表徵、組織、解釋、轉化等認知功能而達到促進學習之功效。Pozzer 和 Roth (2003) 也在研究高中生物教科書圖片之盛行、功能與結構中，以圖片與文字關連性將教科書中的圖片分成四類：

裝飾(decoration)、說明(illustrative)、解釋(explanatory)、補充(complementary)，會引起學生不同程度的注意力，並在非正式研究中發現儘管教科書上的圖片十分豐富，各階段學生均很少主動注意圖片，而提出學校科學教育仍視文字為主要的科學知識傳遞工具，應更重視學生如何能由教科書上的圖片進行學習。

而後有許多研究均提出圖文整合對學生學習的助益，如：Mayer 和 Gallini (1990) 研究科學教科書，發現將圖片與文字同時整合在同一頁有較佳的學習效果、圖文同時呈現對低先備知識學生的輔助效果較好，且同時標示部位與步驟的圖片，對概念性知識回憶和解題能力效果最好，對於逐字背誦的學習則並無顯著差異；Anglin & Stevens (1987) 比較圖文並呈以及只有呈現文章的學習效果，也發現閱讀圖文並呈的學習效果顯著優於純文字的呈現；Butcher (2006) 以純文字、簡單或詳細構造圖解配合文字三種不同表徵研究大學生心臟及循環系統之學習，發現兩種圖解均較能支持心智模型之發展，但簡單圖解較有助於科學事實的學習，且生手可以利用兩種圖解產生推論，降低理解過程的錯誤，因此認為視覺表徵在設計支持深層理解的認知過程中不可或缺；許良榮和邱月玲(2003)在探討不同的圖文配置方式對於國小學生閱讀學習的影響中發現，四種不同的圖文配置文章在月相概念測驗之閱讀學習成就有顯著差異，其中「對照式圖文」顯著優於「純文字」與「圖文不相關」文章，而「整合式圖文」顯著優於「純文字」文章，至於「對照式圖文」、「整合式圖文」之間則沒有顯著差異。

Hegarty 和 Just (1989) 也提出圖片具有可以描繪事物在視覺上與空間上的性質、可以幫助文章訊息的連結、能提供文章所缺少的訊息，或使文章的訊息更精緻化的特性，因此可以幫助學生形成文章訊息的表徵；視覺性的呈現確實是任何學習階段之科學性文章的重要部分，並且在科學概念的傳遞扮演著非常重要的角色 (Amettler & Pintó, 2002)。

也有許多研究者從認知科學角度切入，關注學生進行多重表徵學習時注意力的分配，Slykhuus 等人 (2005) 以 Pozzer 和 Roth 分類中極端的裝飾及補充兩類圖片，結果發現補充類的圖片確實引起了學生更多的注意，且眼動儀資料提供了令人信服的資料，提供了學生在多重表徵的教學素材中如何分配注意力的資料。Hannus 和 Hyönä 以不同智力的小學四年級學生為對象，以眼動追蹤來探討高低能力者對文章和圖片的

注意力分配和訊息擷取策略有無不同。結果發現兩類讀者對圖片的閱讀時間沒有差異，但高能力者對文章和圖片中較重要的訊息的注意時間，以及在圖文間相互參照的次數，都要明顯地多於低能力者 (Hannus & Hyönä, 1999)。由此可見，高能力者確實較低能力者更能掌握圖文中的重點，也更知道如何分配自己的注意力在適當的內容上。

但 Schnotz & Bannert (2003) 提出文本與圖形理解之整合模型 (圖 2-1-2)，認為並非所有圖形均能促進學生之概念理解，文字理解與圖形理解是人類認知系統的目標導向過程，個體主動選擇與處理文字和圖形訊息來建構心智表徵以符合當前的需要。根據雙重編碼理論，文字結合圖形能獲得較精緻化的認知結構，而必有助於記憶所學到的資訊及在知識的獲得上有較好的表現，但當評估不同種類圖形時，並未提供何者將更有助於學習，Schnotz 和 Bannert 的研究發現圖形只有在學習者擁有低先備知識且進行適當任務下，顯現目標知識才能有助於學習，否則圖形反而會干擾學習。

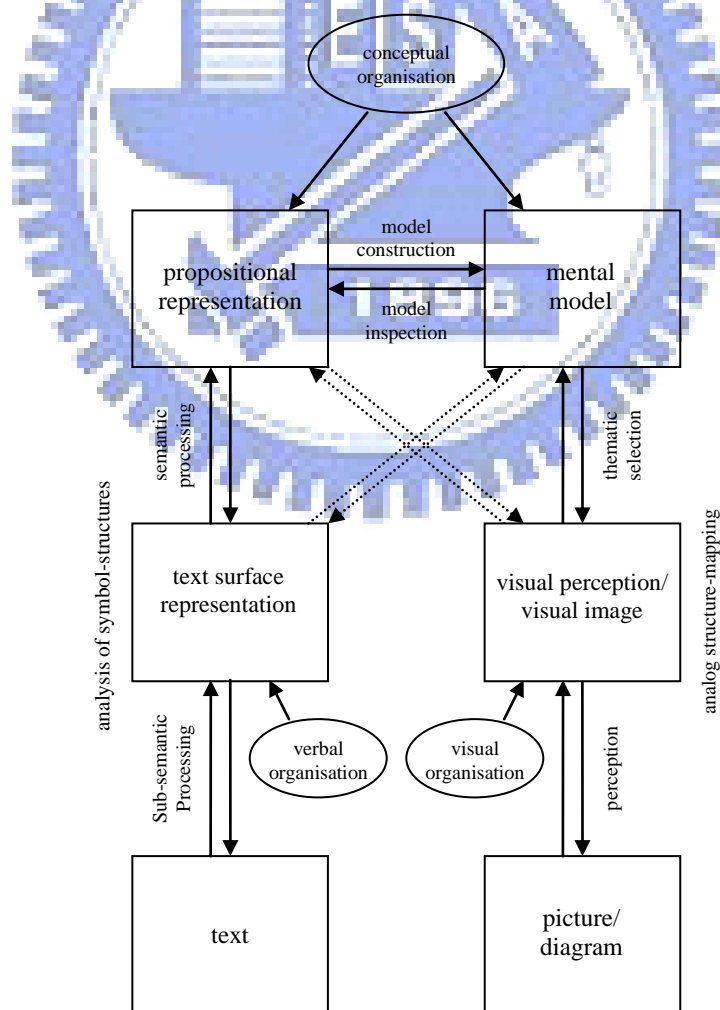


圖2-1-2 文本與圖形理解之整合模型 (Schnotz & Bannert, 2003)

（二）多媒體教學相關研究

而後隨著資訊科技融入教學愈發蓬勃，開始有許多研究針對靜態圖片與動態畫面呈現的不同學習效果，而研究結果相當分歧。Mayer (2003) 曾定義多媒體教學訊息 (multimedia instructional message) 為結合文字與圖片所設計來促進有意義學習的教學表徵，並進一步解釋文字包含印刷或口語形式的文件，圖片包含靜態（圖示、地圖、圖表、照片）與動態（動畫與影片）形式，Mayer 認為透過圖片、文字的多媒體教學是否能促進學生的學習與理解，端視所設計的多媒體教學訊息是否與人們的學習方式一致，因此提出了有關人們學習本質的認知理論（如圖2-1-3），此理論提出三個假設：雙通道假設（The dual channel assumption）、有限的能力假設（The limited capacity assumption）與主動學習假設（The active learning assumption）。雙通道假設說明人類透過視覺與語文表徵處理訊息，即如Paivio (1986) 所提出的雙碼理論，Mayer提出此階段需先經過選擇 (selecting)，不論是電腦學習環境或文本學習形式，學習者都必須從其中的聲音或文字、動畫或圖形，選擇有關的訊息轉換為語文表徵或視覺表徵做進一步處理；其次為組織 (organizing) 階段，即針對語文訊息建立一致的心智表徵（形成語文模式），及針對視覺訊息建立一致的心智表徵（形成圖像模式）；最後則為整合階段 (integrating)，在語文模式、視覺模式及先備知識之間產生連結。此三階段重複進行，最後才能將此知識儲存到長期記憶區供日後使用。有限的能力假設則如Baddeley (2001)的工作記憶模型及Sweller (1988) 的認知負荷理論，認為每一訊息處理通道所能處理的訊息量十分有限，可能是一個句子或十秒鐘的動畫。主動學習假設則認為有意義的學習需要學習者主動的認知處理，包括注意有關的文字與圖片，將它們組織為一致的語文和視覺表徵，再將它們彼此整合並與先備知識產生連結。

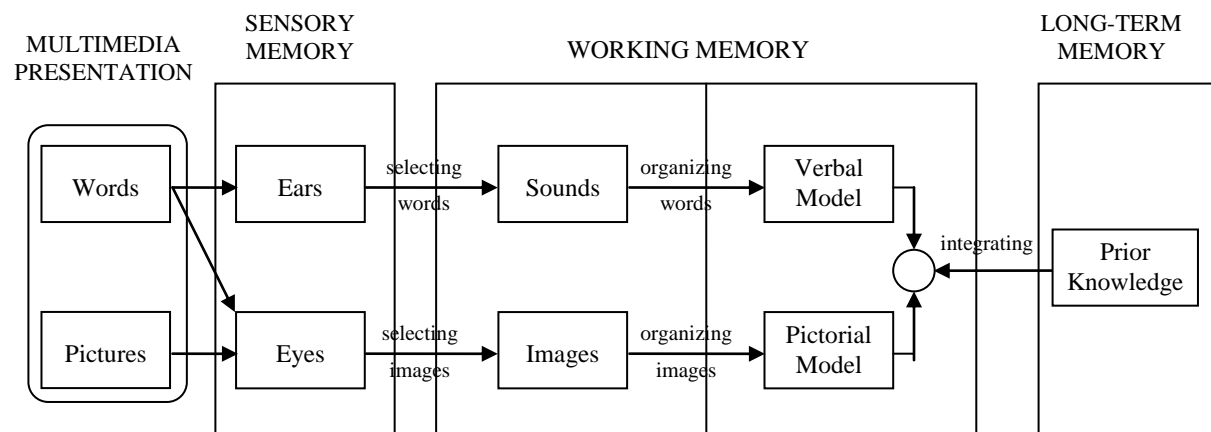


圖 2-1-3 多媒體學習的認知理論 (Mayer, 2003)

Mayer (2003) 的研究也提出了多媒體學習的四個效應：(1)多媒體效應—不論在文本或電腦學習環境，學生藉由圖片與文字的學習較單獨文字的學習效果為佳。(2)一致效應 (coherence effect)—不論在文本或電腦學習環境，學生對排除無關訊息的學習比納入無關訊息的學習效果為佳。(3)空間接近效應 (spatial contiguity effect)—不論在文本或電腦學習環境，學生對文字接近相關圖形的學習比文字遠離相關圖形的學習效果為佳。(4)個人效應 (personalization effect)—在電腦學習環境上不論以口說或文字方式呈現，學生對對話型式的學習比正式型式的學習效果為佳。

在多媒體的設計上，Mayer (1999) 發現將資訊分段依序呈現(如動畫、聲音分段交錯依序呈現)比一次呈現所有的資訊(動畫、聲音依序呈現)，有較佳的學習成效。Moreno 和 Mayer (1999) 指出動畫與旁白同步呈現學習效果好，並且強調聲音效果優於書面文字。Mayer 和 Gallini (1990) 以科學教科書為教材，研究發現將圖片與文字同時整合在同一頁有較佳的學習效果。後來Mayer 和 Sims (1994) 以多媒體教學方式作實驗，發現「圖文整合同時呈現」學習效果較佳，也證實了雙重編碼理論在多媒體應用上的效果(見圖2-1-4)。

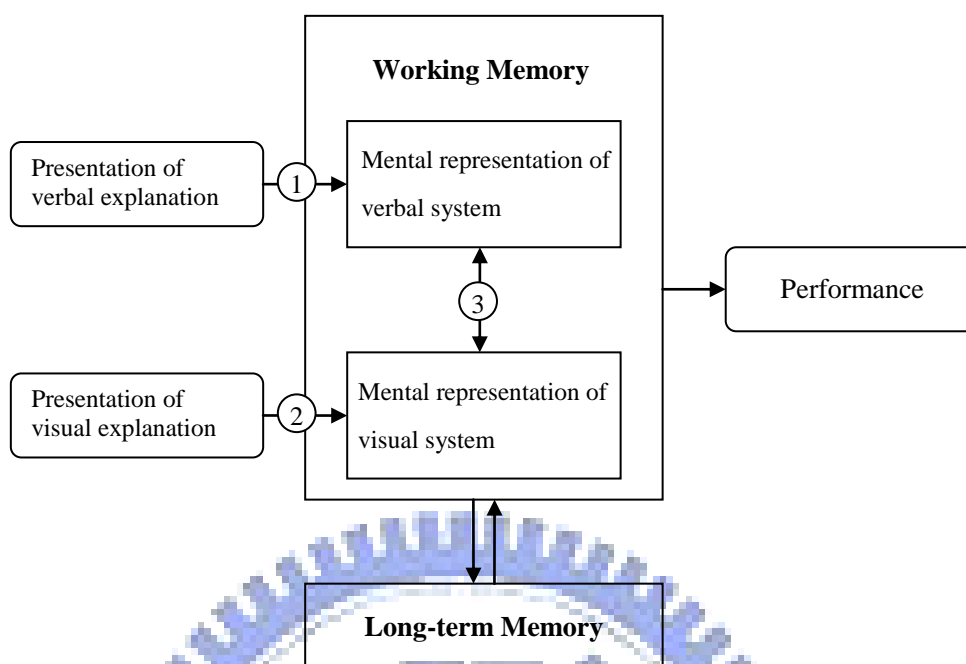


圖2-1-4 雙碼理論之多媒體學習示意圖 (Mayer和 Sims, 1994)

針對靜態圖片與動態畫面呈現的不同學習效果，Park 和 Hopkins (1992) 在文獻回顧的研究中提出了六種可有效率使用動態視覺呈現 (dynamic visual display, DVD) 的教學情況：(1) 示範程序性任務之連續動作；(2) 模擬複雜系統行為的因果模型；(3) 提供不可見系統功能與行為的外顯表徵；(4) 呈現文字困難表達的任務；(5) 提供抽象及象徵性概念視覺的類比；(6) 將注意力聚焦於特定任務或表徵。Lewalter (2003) 的研究比較純文字、動態圖文與靜態圖文何者較有利於學生學習，結果發現圖文並呈的效果均顯著優於純文字，但動態與靜態圖文兩者對學生學習成效並無顯著差異。

Lowe (2003) 也認為雖然愈來愈多的動畫教學試圖取代靜態圖片的呈現，但動畫教學卻並不一定有利於學生的學習，學生在處理動畫訊息時可能面臨與靜態圖片相似，甚至更多的挑戰，原因在於 (1) 動畫的呈現使學習者被迫承受處理更多訊息的負擔，此點也如 Sweller 所提出的「認知負荷」理論 (Sweller & Chandler, 1994)；(2) 減低了學習者進行有價值的訊息處理活動的程度。Gerlic & Jausovec (2001) 研究 40 位預備教師以文本（含文字和圖形）與多媒體課程學習物理課程時，發現進行多媒體課程

並同時操作電腦時，一方面需要較多的心智活動，另一方面在大腦各區域間的合作又顯示較少的訊息轉移。

本研究綜合上述多媒體組合的優點，設計靜態圖文整合及動態影片呈現方式之雙重情境學習事件，在靜態圖文整合部分，採圖片與文字上下配置並同時出現，供學習者隨時參照；在動態影片呈現部分，則採影片搭配旁白同步呈現，讓學習者能更聚焦於影片內容。受試者在學習過程中，以認知神經科學相關研究為基礎，記錄學生在進行此二種不同呈現方式之多重表徵學習時腦波的相關資料，期能以不同角度分析學習者面對多重表徵時的認知處理相關訊息，以提供未來設計有助於學生學習之多媒體素材或文本之參考。

第二節 工作記憶與認知負荷理論

多重表徵的科學課程設計，除了在內容上針對學習者常有的另有概念進行概念改變外，學習者的工作記憶容量和影響認知負荷的因素，都是決定學習效果的重要因素。

一、工作記憶理論

Baddeley和Hitch 於1974年提出多元件工作記憶 (multicomponent working memory) 概念，強調工作記憶系統中各個元件功能的重要性，認為我們的工作記憶能力是有限的，能夠暫時儲存及操弄感官系統所收錄的訊息，以理解、學習及推理複雜的認知任務，並將此認知的運作系統分成中央執行系統 (central executive)、視覺空間模版 (visuospatial sketchpad) 和語音迴路 (phonological loop)，並在2000年增加事件緩衝器 (episodic buffer)。四者主要功能分述如下：(Baddeley, 2000, 2001, 2003) (圖2-2-1)

1. 中央執行器：負責注意力的控制，協調及監控各子系統的運作，適當分配有限的認知資源以處理不同訊息，而不論由聲音或影像進入的訊息都可與長期記憶溝通或結合。
2. 視覺空間模版：整合來自感官收錄或長期記憶的空間、視覺、動覺相關訊息成為單一

的表徵，並進行短暫的儲存及操弄，以等待中央執行器的處理。

3. 語音迴路：與語音的知覺（語音儲存；phonological store）與產生（發音複誦元件；subvocal rehearsal component）有關，可將聽覺複誦或語文理解所收錄的訊息短暫的儲存及操弄，以等待中央執行器的處理。
4. 事件緩衝器：事件緩衝器是一個有限容量的暫時儲存系統，由中央執行器所控制，可有意識的自長期記憶提取、反思、操弄及修飾訊息，以整合來自不同來源的訊息，形成一個單一的事件表徵。

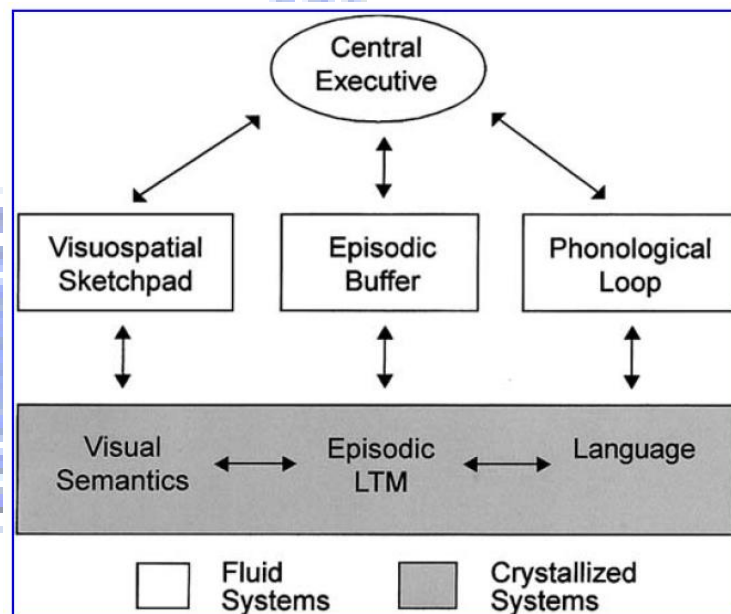


圖2-2-1 工作記憶模型 (Baddeley, 2000)

Engle 基於工作記憶有限而提出工作記憶容量 (working memory capacity) 觀點，認為每個人的工作記憶容量大小不同，因而有不同的智力表現，工作記憶容量主要牽涉兩個不同的重要活動，即訊息處理與儲存，前者是指將訊息接收至大腦，後者則是將訊息理解後進行儲存（暫時將訊息維持在活化的狀態），兩者同時發生且相互競爭，結果可以預測未來的學術或智力活動，也證明了人的工作記憶容量真的非常有限 (Rosen & Engle, 1998)。

由上述文獻可知，實徵研究顯示工作記憶與學習確實呈現顯著的關連。處理資訊系統的認知容量是有限的，並非無窮大，因此若將所有的學習內容全部都擠在同一時段

中，可能導致學習者無法利用工作記憶處理所有的內容資訊，造成了高認知負荷，降低學習成效。

二、認知負荷理論

Sweller (1988) 提出認知負荷理論 (cognitive load theory)，將認知負荷理論引進教學設計中，認為認知負荷與短期記憶及工作記憶所能負荷的記憶單位數目有關，如果學習內容遠超過學習者的工作記憶，那麼學習者的理解力和學習能力將會下降，亦即認知負荷理論對人類認知架構的基本假定是根據 Baddeley 的工作記憶理論，強調人類工作記憶容量是很有限的。Paas 和 Van Merriënboer (1994) 也定義「認知負荷」是將一特定工作加諸於學習者認知系統時所產生的負荷，也就是工作記憶的負荷。

Sweller 和 Chandler 研究為何有些教學素材難以學習，以認知負荷理論觀點分析：(1) 當處理高度認知活動及被設計來因應有限的工作記憶和強調我們高效率的長期記憶時，基模的獲得及自動化是主要學習機制。(2) 有限的工作記憶使同時同化多重要素的訊息是困難的。(3) 在多重要素交互作用的情況下，它們必須同時被同化。(4) 結果，當處理高度交互作用要素的教材時，學習者需承受較高的認知負荷。(5) 高度交互作用要素和有關的認知負荷可能來自學習素材的內在性質及其呈現的方式。(6) 若內在的要素交互作用和隨之的認知負荷較低時，來自教學設計的外在認知負荷便較不重要，反之，當需處理高度內在要素交互作用的學習素材時，外在的認知負荷則是學習容易或困難的關鍵。因此當學習素材有高度要素交互性時，未必有利於學習，尤其新的學習素材若含大量訊息，將可能比含較少訊息的素材更難以學習 (Sweller & Chandler, 1994)。

Sweller 等人也以教學設計的觀點，將認知負荷的來源分為三類：(Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998)

1. 內在認知負荷 (intrinsic cognitive load)：內在認知負荷源自教學內容的性質，也就是教學內容本身的難易程度，主要影響因素是教學內容之要素交互性 (elements interactivity)，若教學內容要素交互性高，代表學習者需同時處理較多要素，將產生

較高的工作記憶負荷，此內在認知負荷無法藉由結構性教學或教材呈現方式而改變。

2. 外在認知負荷 (extraneous cognitive load)：外在認知負荷源自教學內容的呈現方式及學習者必須從事的活動。外在認知負荷可藉由教學設計而降低，使學習者更能利用有限的工作記憶來處理與學習內容相關的資訊。
3. 相關認知負荷 (germane cognitive load)：相關認知負荷則源自學習者基模之建構，也是外在認知負荷的一種。適當的教學設計，可以降低外在認知負荷，卻會提高相關認知負荷，在此過程中，學習者藉由獲得基模及使其自動化讓學習更有意義。

根據 Sweller 等人的研究，當學習者必須分散注意力來整合圖片與文字時，將會讓有限的工作記憶容量過度負荷而抑制學習（分散注意力效應；split-attention effect），但此時若將文字訊息以聲音方式呈現時，工作記憶反而可因同時使用視覺與聽覺通道而擴大（感覺通道效應；modality effect），也就是說，雙重表徵的呈現並不是降低外在認知負荷，而是擴增工作記憶的容量，此效應將有助於解決分散注意力所產生的認知負荷問題。後來的研究也同樣發現此效應：學習者由動畫搭配聲音比動畫搭配文字可獲得較好的學習成果 (Guan, 2006; Mayer, 2001)。

因此本研究綜合上述文獻，選取圖文整合與影片搭配聲音作為學習表徵，記錄學習者在學習與概念改變的歷程中，腦波相關的變化。

第三節 腦波與科學學習

認知神經科學以人的大腦作為一個訊息處理系統，研究大腦如何登錄外界或內在環境所進入的各式訊息，這些訊息又如何形成表徵儲存於大腦，並待日後被提取、處理，進而產生對外界輸出的訊息。由於不同的大腦區域在進行不同認知活動時所產生的電位變化，在頭皮上的強度及分布情形會有所不同，而可據以推論進行此認知作業時所涉及的認知歷程，此電位變化就是腦波，大腦皮質內神經細胞藉由改變細胞膜對帶電離子穿透性的方式傳遞訊號，這個過程會沿著細胞膜產生電流，當一大群神經細胞同時活動時

，伴隨電流所產生的電場變化，即可以在頭皮上加以量測，得到腦波的電訊號，再利用腦波儀將頭皮電極記錄下來電訊號加以放大後，以波型顯示腦細胞活動的記錄圖，便是腦電圖 (electroencephalograms；EEGs)，可用來評估大腦細胞活動的狀況，提供我們探索大腦功能的許多資訊。利用電極黏貼法可測量各種不同頻率的腦波，這也是目前研究者最常採用的方法，而其電極位置標定則常採用國際10-20制 (international 10-20 system)，電極之使用為19個均勻分布於頭皮上，分別對應大腦的額葉 (frontal lobe)、頂葉 (parietal lobe)、顳葉 (temporal lobe) 與枕葉 (occipital lobe)，再加上兩側的耳電極，共21個電極（見圖2-3-1）。

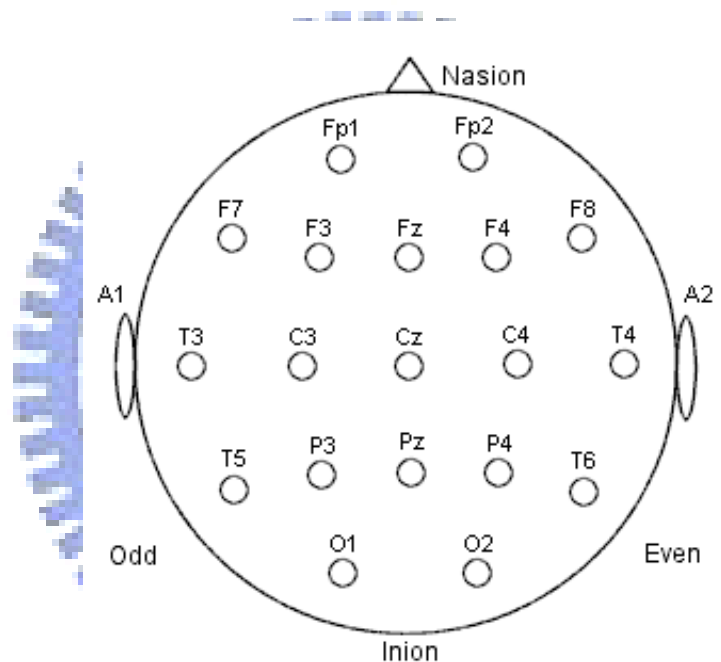


圖2-3-1 國際10-20制電極位置標定

目前較普遍的腦波分析方式有頻率面分析 (frequency domain analysis) 與時間面分析 (time domain analysis) 兩種，頻率面分析以頻譜分析 (spectral analysis) 為代表，以快速傅立葉轉換 (fast Fourier transformation, FFT) 將過濾過的腦波分解為頻譜功率圖 (spectral-power plot)，再以統計方法比較不同情境下某段頻率之平均功率是否有差異；時間面分析則以事件相關電位為代表 (event-related potentials, ERP)，可對作業引起腦部活動在時間上的變化，提供有用的訊息，但因大部分ERP訊號隱藏於腦波的背景訊號裡，故需以多次引發之腦波反應加以平均後才可獲得 (Andreassi, 2000)。

儘管許多文獻支持多重表徵有利於學習者的科學學習 (Tsui & Treagust, 2003, 2004; Prain & Waldrip, 2006)，但究竟為何有利於學習卻沒有太多答案，原因之一是我們並不瞭解人類如何整合多重表徵，也無法直接觀察人類思考之認知歷程，而後 Gerě 和 Jaušvec 開始利用腦電圖研究學習者面對多媒體與文本等不同學習表徵時的不同認知歷程，結果顯示腦波的相關測量確實可提供有關學習者在科學學習歷程中大腦運作的資訊 (Gerě & Jaušvec, 1999)。

Gerě 和 Jaušvec 研究40位預備教師以文本（含文字和圖形）與多媒體課程學習物理課程時，進行 α 波功率（分為 α_1 , 7.9-10.0 Hz與 α_2 , 10.1-12.9 Hz）、 α 波同調性之測量發現(1)多媒體學習之 α_1 與 α_2 在O1、O2、T5、T6均顯著低於文本學習，顯示多媒體學習過程中需要較多的心智活動，也符合目前所知顳葉與枕葉之聽覺與視覺收錄功能。(2)文本學習呈現較高的同調性，顯示文本學習比多媒體學習有更多大腦各區域的合作。綜合兩者，進行多媒體課程並同時操作電腦一方面需要較多的心智活動，另一方面在大腦各區域間又顯示較少刺激訊息的轉移 (Gerě & Jaušvec, 2001)。

同調性是計算在特定頻率下大腦兩個區域間EEG訊號的相關性，數值介於0到1之間，可用以解釋大腦區域間的訊息傳遞；在認知任務進行時，大腦各部位同調性增高可能是有效率完成任務之功能性機制 (Weiss & Rappelsberger, 1996)。

Molle 等人研究文字與臉部記憶任務中，發現以 α_2 去同步化加上 θ 同步化 (α_2 desynchronization + θ synchronization) 較個別波更能區分有意圖的登錄 (encoding)，結果顯示在左額葉區文字優於臉部學習，而在右頂葉區則臉部再認優於文字。其計算方式如下： $\alpha_2\text{-DS} = [\alpha_2\text{-MR} - \alpha_2\text{-L} / \alpha_2\text{-MR}] \times 100$ ； $\theta_S = [\theta_{MR} - \theta_L / \theta_{MR}] \times 100$ ， $\alpha_2\text{-MR}$ 及 θ_{MR} 代表休息時的 α_2 及 θ 波，而 $\alpha_2\text{-L}$ 及 θ_L 代表學習時的 α_2 及 θ 波 (Molle, Marshall, Fehm, & Born, 2002)。

Jaušvec 和 Jaušvec (2000) 也利用 α 波及 α 波同調性探討問題複雜度和問題類型與腦波活動的關係，比較 α_1 (7.9-10.0 Hz) 與 α_2 (10.1-12.9 Hz) 在不同心智功能上的表現，發現在簡單與複雜問題上， α_1 、 α_2 及其同調性均無顯著差異；在問題表徵形式（圖形或文字）上，圖形任務在所有位置的 α_1 均明顯較低，顯示了高心智活動；同調性則與問題

解決所需創造力階層有關，所呈現的大腦間各區域合作具任務特定性 (task-specific)。

Jaušvec 和 Jaušvec (2004) 比較不同智商 (IQ) 學生之工作記憶 (WM) 任務及圖像學習任務不同的腦波活動，發現：(1) 在WM任務中，高智商組之 θ 波增加 (θ 同步化； θ synchronization，代表高度心智活動) 在最初500nm，而低智商組則在整個任務中 (2000nm) θ 波均增加，尤其是後段任務 (1000-2000nm)，顯示高智商組比之低智商組有較快且較有效率的訊息處理能力，也據以提出擁有較快速訊息處理能力的高智商組，在工作記憶之問題解決任務上也能有較快的學習過程，並使之更自動化，來降低學習時的認知負荷。(2) 在圖像學習任務中則發現3個波段的 α 波 (lower-1, 6.17-8.16 Hz；lower-2, 8.17-10.16 Hz；upper α , 10.17-12.16 Hz) 均有去同步 (desynchronization)現象，且發現低智商組之upper α 波在額葉區有較大去同步化，高智商組在頂-枕葉腦區有較大去同步化，顯示高智商組在學習過程中之心智負荷較低，且此區在空間訊息之收錄與提取佔重要地位，因此認為高智商組在訊息處理之選擇策略較正確，可將注意力做較適當的分配。

Papousek 和 Schuster研究大學生文字流暢性任務 (word fluency tasks) 及心智運算任務 (mental arithmetic tasks) 中的大腦之不對稱性，分析 α 波 (8-12 Hz)、 β 波 (12-30 Hz) 及腦波偏側化係數 (laterality coefficients, LC； $LC = ((L - R)/(L + R)) \times 100$)，提出 (1) 半腦間的不對稱性比之左或右半腦活化程度更重要。(2) 額端不對稱 (frontopolar asymmetry) 與情緒之相關性和背外側不對稱 (dorsolateral frontal asymmetry) 相反，當額端不對稱轉移至右側，焦慮感減少。(3) 文字流暢性任務之效果只有在 β 波被發現，顯示認知處理亦與 β 波相關 (Papousek & Schuster, 2004)。

綜合以上文獻，可發現與認知活動或科學學習有關的研究，較多聚焦於 θ 、 α 與 β 波的量測， α 波的變化與心智活動程度呈相反的關係，高度心智活動時呈現 α 節律之降低，稱之 α 阻斷 (alpha blocking) 或 α 去同步化 (alpha desynchronization)，而 θ 與 β 波與心智活動則成正向關係；然而近期的研究也發現高心智活動不一定伴隨 α 之去同步化，在特定情況下 α 波之振幅或功率強度反而會增加 (Cahn & Polich, 2006; Klimesch, Sauseng, & Hanslmayr, 2007; Searns & Searns, 1999; Ward, 2003)。另外，也愈來愈多研究在著力於分析認知歷程中大腦各部位之同調性，以明瞭大腦在認知處理過程中不同腦區間的合

作關係。

EEG 應用於科學教育上之研究尚不多見，而根據上述文獻，學生以不同方式呈現多重表徵進行科學學習，應可觀察到不同的 EEG 類型。

第四節 概念改變相關理論

學生概念的主要來源為感官的印象 (sensual impression)、日常用語 (everyday language)、大腦與生俱來的構造 (innate structures of the brain)、學生在社會環境中的學習 (learning in students' social environments) 及教學 (instruction)，在這些概念形成的過程中，感官的限制、日常生活的經驗或用語、老師或教科書提供錯誤資訊或錯誤說明……等，都可能成為學生的另有概念 (Duit, 1991)。根據建構主義觀點，學生帶著這些包含了許多另有概念的先備知識進入科學教室，有意義的理解與學習必須把在教室裡所獲得的新訊息與自己的原有知識加以連結，以固化新的訊息或知識。當學生需要推理或理解某一科學現象時，學生開始進行認知過程，並在大腦的工作記憶區與自己原有的知識架構創造關連性，甚至影響自己對問題的觀察和結論（觀察是理論蘊含），進而儲存於腦中的長期記憶區，發展出個人的理論和模式。換言之，學生的先備知識是先前經過固化的長期記憶，也是使現階段學習有意義的工具，但另一方面卻要被改變，此一矛盾的情況，勢必使得概念改變更加困難，尤其另有概念常是合乎自己的一套邏輯，且能應用於日常生活層面，是以改變既有的已固化記憶，一方面需打破原有連結，一方面又需產生新的連結，必然需要耗費更多認知資源。因此學生的概念為何難以改變，也一直是研究者關注的焦點。

Chi等人從本體分類論 (ontological categories) 的角度來分析概念架構，他們的理論假設學生以本體論範疇之「本體樹」(ontological trees) 來察覺事物，指出概念可分為三個類別 (categories)：物質 (matter)、過程 (process)、心智狀態 (mental state)，且物質、過程、心智狀態三大分類在本質上是互相獨立的，當學生學習科學概念時，發生在相同本體樹內的概念改變不會太困難，但由一個本體樹到另一個本體樹的概念改變對學生而

言則是困難的，因為兩個本體樹類別之間有不可共量性 (incommensurable)，所以這種概念改變為跨越本體類別間的概念改變 (across ontological conceptual change)，又稱劇烈的概念改變 (radical conceptual change) (Chi, Slotta, & Leeuw, 1994)。

Thagard (1992) 則提出一個包含9個不同程度的概念改變形式的模型，將科學概念以樹狀結構表示，這些結構包含種類關係（如鳥類、哺乳類、爬蟲類是動物）、部分關係（如鳥類有羽毛和鳥喙）、概念和連結概念的規則間的關係（如鯨魚吃沙丁魚），而這關係同時也是概念本身的一部份，他用這些想法創造了一系列的改變形式，將概念改變方式分為三種：(1) 概念加成或刪除 (concept addition or deletion)：一個概念被加入（移出）某概念系統。(2) 枝幹躍遷 (branch jumping)，一個概念由一概念系統轉到另一系統。(3) 樹狀轉移 (tree switching)：概念間的組織原理改變了，此種轉變是最為劇烈的。枝幹躍遷與樹狀轉移較不常發生。不過，當它們發生時，Thagard認為此時通常涉及理論替換，常見於科學革命。

She (2002, 2003, 2004a, 2004b, 2005) 則提出概念階層性愈高，概念改變愈不容易，因為當概念的階層性愈高時，表示其所包含的相關基礎概念愈多，此種概念的建構或改變難度自然就愈高，因此概念的階層性才是影響學生概念理解是容易或困難的最主要原因，較高階層的概念若未建立在基礎的階層概念上，將使得概念改變困難。而若能依循概念階層設計教學活動，突破學生之另有概念及所欠缺之心智狀態，劇烈的概念改變並不一定需要曠日費時。亦即以一系列循序漸進之學習事件，使每個事件均包含前個事件之概念，可協助學生完成概念之連結，達到概念改變之目的。

Pintrich則提出動機信念可能直接影響概念改變，學生進行概念改變的過程中有四種動機構念會影響著學生概念改變的中間歷程，此四種動機構念分別為：目標、價值、自我效能以及控制信念。因此如果我們能理解學生對其在學習社群中所扮演的角色以及其動機信念，應可更瞭解學生概念改變之機制 (Sinatra & Pintrich, 2002)。

也有學者以社會學觀點來看概念改變，認為 (1)概念化與概念改變根深蒂固於信念、意見和先備知識。(2)不同文化來源或不同社會階層所學習的知識本體不同。(3)教

師或學生帶入教室有關社會的質樸理論可能抑制概念形成。(4)認知機制不能解釋學校和教室所有的事，因為社會在多方面影響著教育。因此學校科目的概念改變或以教學為基礎的概念改變需透過教師引導或同儕支持，亦即有意圖的概念改變需要社會文化的和認知的構想，因為有意圖的重組知識體系並不容易，它不但費時費力，且學生總傾向保持先備知識，也並不精於利用新證據修正其心智模式 (mental model) (Schnotz, Vosniadou, & Carretero, 1999; Sinatra & Pintrich, 2002)。

Vosniadou 和 Brewer 的模型則提出在知識論為前提下，可能促進或強迫概念改變，以知識論為前提包括個人用來判斷什麼構成現象、現象需要解釋及因果的解釋可用來說明現象的準則，這概念改變需要緩慢漸進的過程而不是理論突然的轉移，瞭解改變通常牽涉較小的改變，這較小的改變可用來解釋在新的訊息、教學、加入、刪除、重新組織或增強概念間的關係等等的基礎上調整心理模型的重要信念的改變。Vosniadou 和 Brewer將知識的重建情形分為二類：整體 (global) 與特定領域 (domain-specific) 的重建。按皮亞傑之認知發展階段論而言，人類認知能力之發展是循一絕對、整體的形式發展出來，而與他們接觸的經驗或待教教材無關。此種將認知發展認為是整體重建的論點，已受到強烈的批評；因為證據顯示個體知識的發展，是與待教教材的領域有關 (domain-dependent)，而認知發展是循著特定領域之推理方式展現出來 (Behrendt & Dahncke, 2001; Sinatra & Pintrich, 2002)。

另外，在科學本身之發展歷程中，概念轉變也曾被科學家用來描述知識的成長情形。科學史家Kuhn 在「科學革命的結構」一書中描述：在某科學社群工作之科學家通常依循他們自己的典範 (paradigm) 去從事「解謎」 (puzzle-solving) 工作。假如既存之典範無法解釋異例 (anomaly) 現象時，則會發生典範轉移 (paradigm shift)。典範轉移是「格式塔」 (gestalt) 式的轉換，舊典範被新典範取代。認為學生的學習與科學家工作類似，因此概念改變過程亦有所相似 (Kuhn, 1970)。

本研究所呈現的概念改變之教學內容設計是參考She (2003) 針對「熱膨脹」概念之雙重情境學習模式的研究。而She (2002, 2003, 2004a, 2004b, 2005) 提出之雙重情境學習

模式中所謂的雙重 (dual) 有三層含意，一是所設計的情境學習事件一方面製造學生認知的不協調，一方面提供其新的心智架構；二是情境學習過程中一方面要激發其概念重整的動機，一方面要挑戰學生原本的科學信念。三是科學概念的本質與學生對科學的信念的雙重交互影響。而所謂情境學習 (situated learning) 則強調概念的改變必須架構在科學概念的本質與學生對科學概念的信念這兩個基礎之上，教師需瞭解學生要建構完整的科學概念所缺少的心智架構，再根據學生所缺少的心智架構設計一系列由淺而深、緊密相關的情境學習事件，且每一學習事件必須架構在前一學習事件之上，藉以輔助學生的概念改變。而DSLML的教學內容及施行則包含以下六個階段，階段一：分析科學概念屬性，以瞭解建構此科學概念所需的心智架構。階段二：找出屬於此科學概念常見的另有概念，此階段需要瞭解學生所存有的先備概念以及學生對於此概念的理解。階段三：分析學生對於建構新的科學概念所缺少的心智架構。藉由第一階段和第二階段的資料比較分析，可以找出學生對於建構新的科學概念所缺少的心智架構，來作為設計一連串的DSLML情境學習事件的依據。階段四：設計雙重情境學習事件。此階段運用的原理是先設計一連串雙重情境事件讓學生的另有概念無法解決問題，產生不平衡、不滿足的認知狀態。試著將學生所缺少的心智架構導入，慢慢讓學生建構較接近科學概念的概念輪廓。階段五：進行雙重情境學習模式的教學。情境事件讓學生能親自體驗、操作、思考驗證其想法，試著將學生所缺少的心智架構導入，慢慢讓學生建構較接近科學概念的概念輪廓。階段六：挑戰情境學習事件。這個階段可以檢驗學生是否真的在教學過程中獲得原來缺少的心智架構，能運用解決類似的情境學習事件，其理論架構及運作機制見圖2-5-1及圖2-5-2。

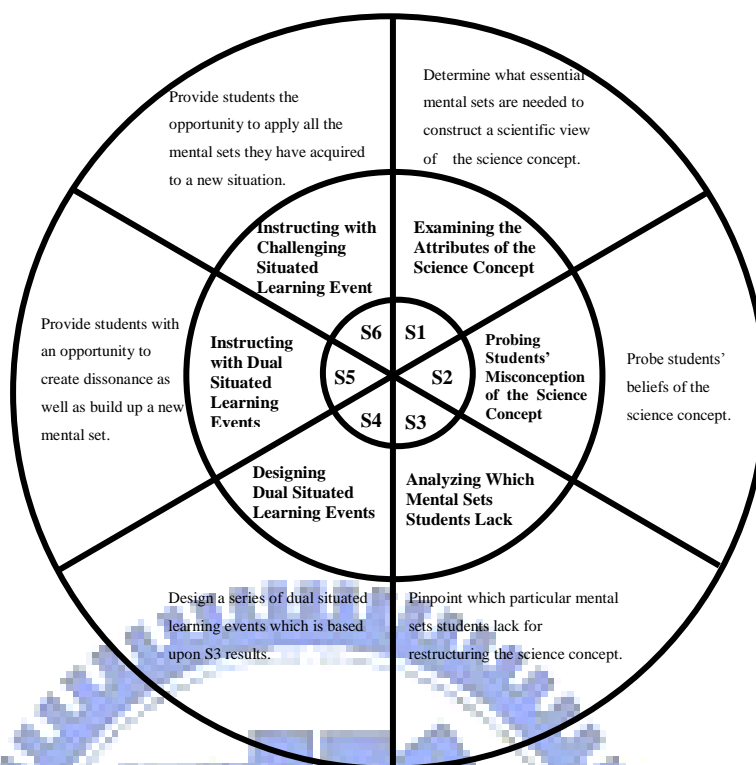


圖2-4-1 雙重情境學習模式 (She, 2004)

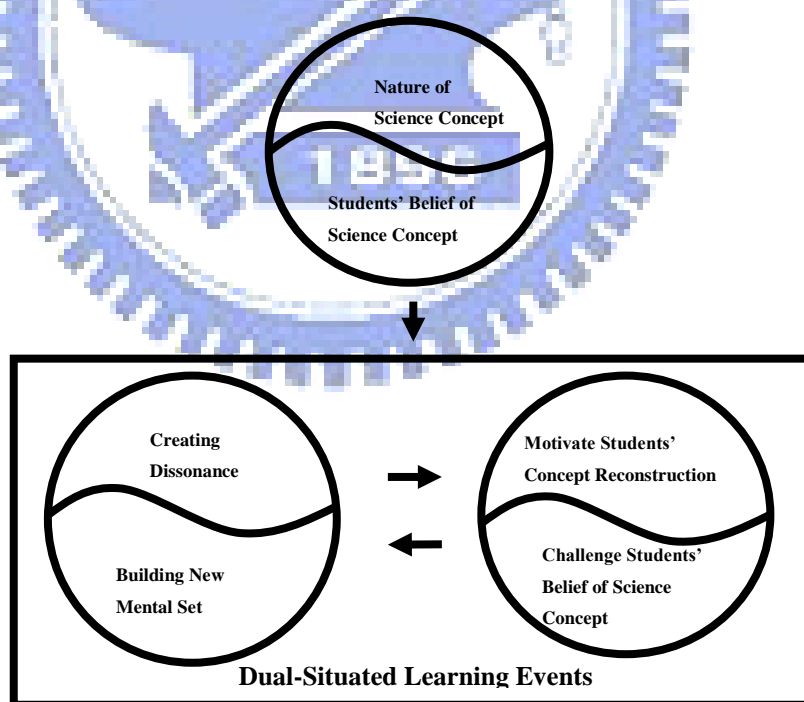


圖2-4-2 雙重情境學習模式的運作機制 (She, 2004)

雙重情境學習模式可促進學生有關物質 (matter)、過程 (processes) 及階層屬性

(hierarchical attributes) 理解上激烈的概念改變，與先前有關概念改變模型有個最大的不同之處，先前的模型或機制並無法有效的及高效率的帶來激烈的概念改變，但DSLMM則可加速激烈的概念改變，使概念改變不再如此困難，不再一定需要緩慢或漸進的過程。然而想達成此一目標，教師需要知道學生科學概念的先備信念，及這些概念的性質，再藉由挑戰學生有關科學概念的知識論和本體論，造成學生先備知識的不一致，並提供必要的心智支持，讓學生重新建構更多這些概念的科學觀點，才能夠對概念改變過程有所助益。換言之，面對難以改變的概念，教師更需思量整個科學概念抽象與微觀之處，及學生已存在的迷思概念或另有概念，設計其所需的情境學習事件，讓抽象成為具體，讓不可見變為可見，方可讓學生一步緊接著一步，循序漸進去經驗所缺乏的心智形式來建構特定的概念，也才有可能幫助學生在短時間內發生概念改變。因此 DSLM 最關鍵之處即為情境學習事件之設計，如何謹慎且適當選擇衝突事件或教學方法，也將是教師促成學生激烈概念改變之最大挑戰。另外，在連串的心智架構或情境學習事件中，如何協助學生找到自己的學習起始點，讓學生由起始點開始進行情境學習活動，將也可讓學習更有效率。

而在「熱膨脹」另有概念的研究部分，絕大部分的學生認為「在水槽內點燃蠟燭，倒蓋廣口瓶待蠟燭熄滅後，瓶內的水位上升」的原因與消耗氧氣有關 (Brick & Lawson, 1999; Kwon & Lawson, 2000; Peckham, 1993; She, 2003)，而其最主要的原因是許多教科書或研究提及以此實驗來驗證空氣中含有21 %的氧氣 (Brick & Lawson, 1999; Fang, McWherter, & Gilbert, 1998; Peckham, 1993)，但 Brick 和 Lawson (1999) 的研究發現蠟燭熄滅後，瓶內的水位會迅速上升的原因幾乎完全是由於氣體的熱膨脹（科學概念），而非消耗氧氣（另有概念），亦即燃燒中的蠟燭加熱了瓶內空氣使之膨脹後溢出瓶外，待蠟燭熄滅後，仍留在瓶內的氣體冷卻收縮，使得瓶內的壓力小於瓶外，而牽引外面的水進入以平衡廣口瓶內外壓力，只是在某些狀況下，碰巧上升的水位接近廣口瓶容積的21 %，也讓許多學生持有「蠟燭燃燒消耗了 21 % 的氧氣，而使水位上升了 21 %」之另有概念。She (2003) 的研究更進一步請32個九年級學生預測「在水槽內點燃一根、三根、五根三組蠟燭，倒蓋廣口瓶待蠟燭熄滅後，瓶內水位上升高度是否相同」，結果 40.1%

的學生認為因為5根蠟燭消耗較多氧氣，所以水位上升高度最高；9.4%的學生認為5根蠟燭佔有較多體積，所以水位上升高度最高；37.5%的學生認為因為三組蠟燭消耗等量的氧氣，所以水位上升高度相同；而僅有 3.1 %的學生指出五根蠟燭產生較多的熱使瓶內空氣膨脹，在蠟燭熄滅後隨之冷卻收縮，所以水位上升高度最高。因此本研究即根據 She (2003) 的研究中所指出的三個另有概念，分析學生欠缺的心智架構，進行概念改變內容及不同表徵學習之設計，以四個雙重情境學習事件，配合事件晤談方式，循序建立學生的心智架構，希望一方面能促進學生概念改變，一方面能瞭解學生在面對不同表徵學習時的認知歷程。



第三章 研究方法

本研究針對學生另有概念，進行靜態圖文與動態影片二種不同表徵之教學設計，希望一方面能促進學生概念改變，一方面能瞭解學生的認知歷程，因此針對學生事件晤談結果、腦波資料進行探究。本章將分別就研究對象、研究設計、研究流程、研究工具、教學設計及資料的蒐集與分析等分別敘述與說明。

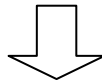
第一節 研究對象

本研究以來自新竹地區三所高中的20名高一學生為對象，分為靜態圖文組與動態影片組二組，每組各十人，且男女比例各半，受試者均進行有關「熱膨脹」概念之科學學習，靜態圖文組與動態影片組均包括三到四組雙重情境學習事件，每組雙重情境學習事件以圖文並呈或影片加旁白呈現方式進行教學，在學習前，先請受試者針對該科學問題做預測，並在不同表徵學習後，以事件晤談 (Interview-about-events) 方式進行討論，且全程均以腦波儀蒐集受試者進行「熱膨脹」概念學習時的腦波資料。

第二節 研究設計

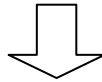
本研究採用準實驗設計法。研究的自變項為靜態圖文與動態影片二種不同表徵之學習，依變項為學習者的「熱膨脹概念之事件晤談結果」及「腦波資料，包括：大腦各部位腦波功率強度 (power; μV^2)、同調性 (coherence) 及拓樸圖 (topography)」。在概念改變的歷程分析方面，採用不同表徵學習前、後之事件晤談結果加以分析，並交叉分析晤談時的腦波資料，最後以腦波資料和事件晤談分析結果來探討受試者在「熱膨脹概念」的概念改變歷程，並比對不同表徵學習時的腦波資料，以探討不同表徵學習對概念改變之影響。本研究之研究設計架構如圖3-2-1所示，並進一步納入研究目的及研究問題後，整理本研究之研究架構如圖3-2-2所示。

事件晤談：請受試者針對3~4組有關「熱膨脹」概念之雙重情境學習事件進行預測



隨機以不同表徵呈現雙重情境學習事件：

1. 以靜態圖片加文字表徵呈現
2. 以動態影片加聲音表徵呈現



事件晤談：請受試者針對3~4組有關「熱膨脹」概念之雙重情境學習事件進行解釋



分析受試者事件晤談之 結果（概念分析與統計）	分析受試者大腦各部位腦波 功率強度（spectral power； μV^2 ）、同調性（coherence）及 拓樸圖（topography）	交叉分析受測者事件晤談 結果與腦波資料
---------------------------	--	------------------------

圖3-2-1 研究設計架構圖

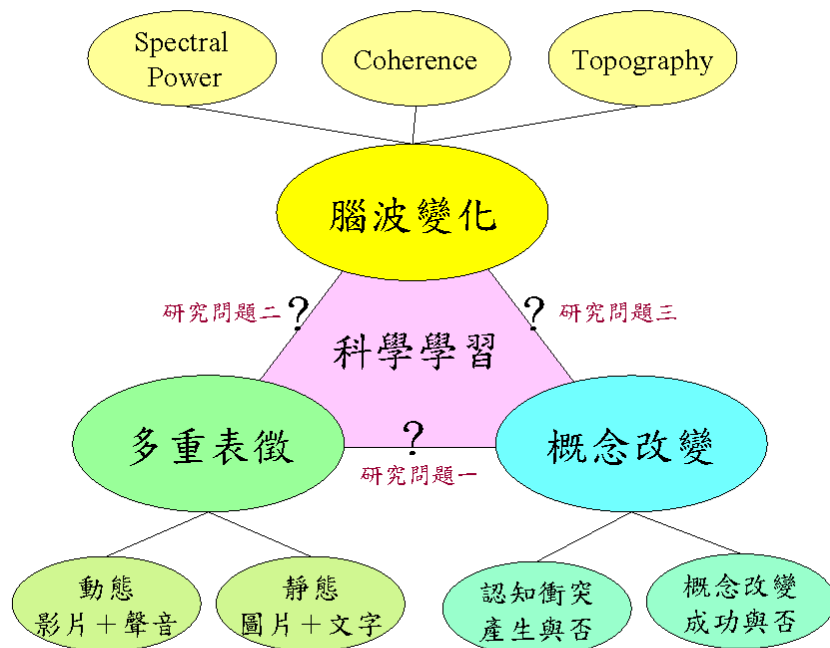


圖3-2-2 研究架構圖

第三節 研究流程

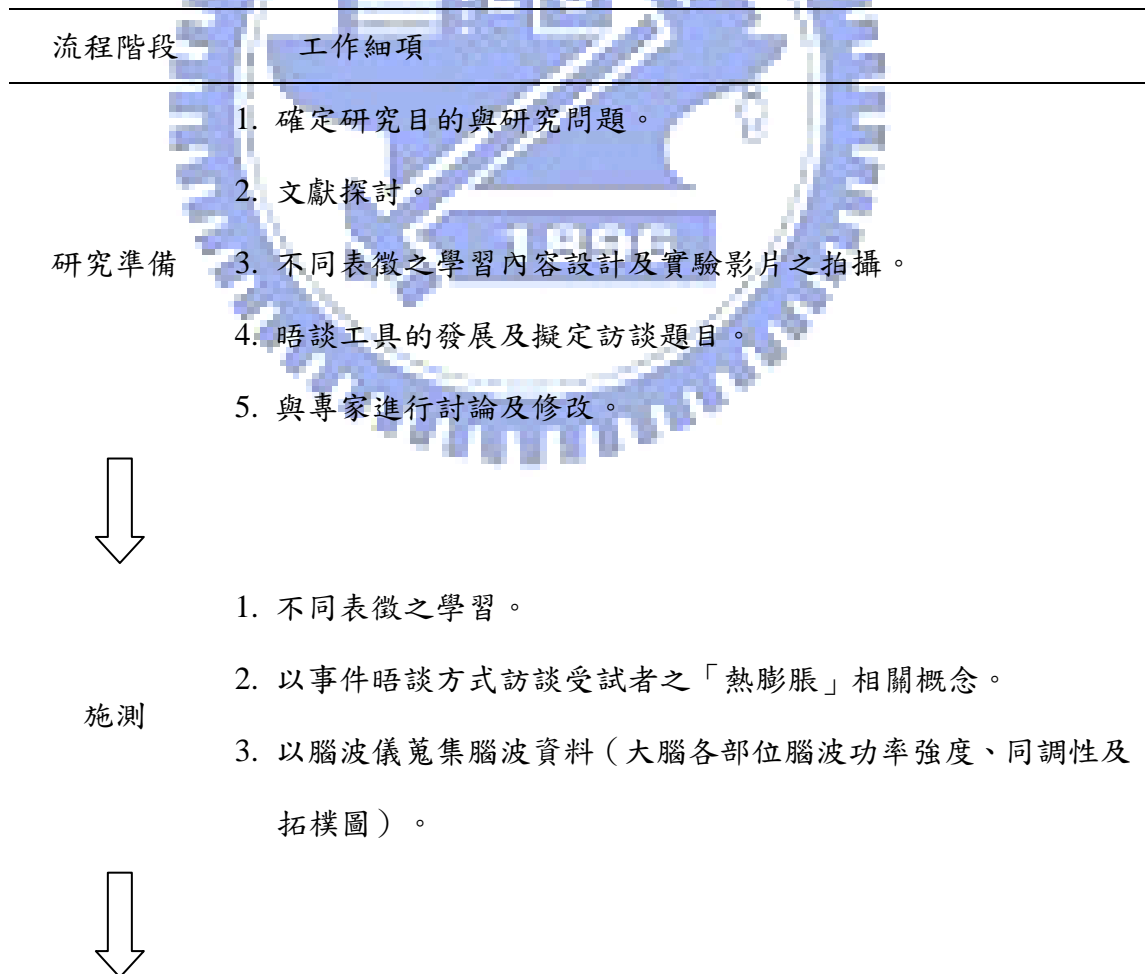
本研究流程分為三個階段，依序為研究準備、施測（包括：不同表徵之學習、腦波資料之蒐集、事件晤談）、資料分析及彙整等。

第一階段：在確立研究目的與研究問題後即進入研究準備階段。工作項目包括蒐集相關文獻、進行不同表徵之學習內容設計及拍攝實驗影片，晤談工具的發展及擬定訪談題目、並與專家進行討論及修改。

第二階段：接著進入施測階段。工作項目包括不同表徵之學習、事件晤談，且全程均以腦波儀蒐集腦波資料。

第三階段：最後是資料分析和彙整階段，將研究期間所蒐集到的所有資料進行彙整分析與撰寫結論報告。

研究流程如圖3-3-1。



1. 資料彙整與分析，包括受試者事件晤談之結果（概念分析與統計）、腦波資料（大腦各部位腦波功率強度、同調性及拓模圖）。
資料分析
 2. 結果討論與撰寫研究報告。
 3. 專家建議與修改。
-

圖3-3-1 研究流程圖

第四節 概念改變學習內容設計

協助學生建構「熱膨脹」科學概念之學習設計，則以DSLM理論為架構，分析學生另有概念及所需之心智架構，再據以進行雙重情境學習事件之設計（見表3-4-1）：

階段一：分析科學概念屬性，以瞭解建構此科學概念所需的心智架構。「熱膨脹」屬微觀且抽象的科學概念，學生所需心智架構為（1）蠟燭根數愈多，水位上升高度愈高，且三根及五根蠟燭之水位上升高度大於廣口瓶高度的五分之一，迫使學生思考水位上升並非由於氧氣之消耗，進而探索其他可能之影響因素。（2）蠟燭燃燒提供熱能，使廣口瓶內氣體體積膨脹而溢出瓶外，蠟燭熄滅後，氣體體積恢復原狀但氣體分子數減少，廣口瓶內壓力減小，於是瓶外的水進入瓶內以平衡內外壓力。（3）若氣體不溢出瓶外，水位將不會上升，進一步驗證「與消耗氧氣無關」，且與「熱膨脹致使氣體溢出瓶外」有關。

階段二：找出屬於此科學概念常見的另有概念，此階段需要瞭解學生所存有的先備概念以及學生對於此概念的理解。根據 She (2003) 的研究，對「在水槽內點燃一根、三根、五根三組蠟燭，倒蓋廣口瓶待蠟燭熄滅後，瓶內水位上升高度是否相同」的預測，40.1%的學生認為因為5根蠟燭消耗較多氧氣，所以水位上升高度最高；9.4%的學生認為5根蠟燭佔有較多體積，所以水位上升高度最高；37.5%的學生認為因為三組蠟燭消耗等量的氧氣，所以水位上升高度相同。

階段三：分析學生對於建構新的科學概念所缺少的心智架構。藉由第一階段和第二階段的資料比較分析，找出學生對於建構新的（熱膨脹）科學概念所缺少的3項心智架

構，以此作為設計一連串的雙重情境學習事件的依據。

階段四：設計雙重情境學習事件，使學生的另有概念無法解決問題，產生不平衡、不滿足的認知狀態。本研究共設計4個雙重情境學習事件：

學習事件一：在水槽內點燃一根、三根、五根三組蠟燭，倒蓋廣口瓶待蠟燭熄滅後，三組蠟燭瓶內水位上升高度不同，藉以破除水位上升是因為蠟燭燃燒用掉五分之一氧氣，思考水位上升應該另有原因。

學習事件一～2：在水槽內點燃各5根之三組蠟燭，但分別點燃1根、3根及5根，倒蓋廣口瓶待蠟燭熄滅後，三組蠟燭瓶內水位上升高度仍然不同，藉以破除水位上升高度不同是因為蠟燭的體積，思考水位上升高度不同應該另有原因。

學習事件二：將學習事件一水槽中的清水置換為肥皂水，讓學生可看見因熱膨脹溢出的氣體所產生的泡泡，進而思索水位上升是否與熱膨脹而致氣體溢出有關。

學習事件三：將學習事件二之廣口瓶置換為兩端中空的玻璃管，並在玻璃管一端黏貼蠟紙袋，藉由蠟紙袋可膨脹收縮的特性，容納蠟燭燃燒而膨脹的氣體，因此氣體不被推出玻璃管外，以讓學生進一步驗證水位上升「與消耗氧氣」無關（一樣消耗氧氣，玻璃管內水位卻沒有上升），且與「熱膨脹致使氣體溢出瓶外」有關（氣體未溢出瓶外，水位即未上升）。

階段五：進行雙重情境學習模式的學習。這個階段藉由呈現雙重情境學習事件，以協助學生建構更多有關熱膨脹的科學概念。首先要求學生依序針對階段四所設計的3或4個學習事件進行預測並解釋原因，接著在呈現學習事件後，請學生比較與先前預測或原有之先備知識之相異處，並試著解釋可能原因，藉以建立學生較符合科學觀點的概念。

階段六：挑戰情境學習事件。這個階段可以檢驗學生是否真的在學習過程中獲得原來缺少的心智架構，而能加以運用以解決類似的情境學習事件。本研究採用之挑戰事件為學習事件一的簡化設計，在水槽內點燃一根蠟燭，倒蓋廣口瓶待蠟燭熄滅後，請學生解釋瓶內水位是否會上升，並詳述其過程，以檢驗學生是否可將學習過程中所獲得的心智架構應用至相似的情境。

表3-4-1 熱膨脹概念改變學習內容設計

雙重情境學習模式組成	熱膨脹概念各組成階段內容
階段一：分析概念屬性，以瞭解所需的心智架構	(1) 蠟燭愈多，水位上升高度愈高 (2) 蠟燭燃燒使氣體受熱膨脹而溢出 (3) 若氣體不溢出瓶外，水位將不會上升
階段二：找出常見的另有概念	(1) 5 根蠟燭消耗較多氧氣，所以水位上升高度最高 (2) 5 根蠟燭佔有較多體積，所以水位上升高度最高 (3) 三組蠟燭消耗等量的氧氣，所以水位上升高度相同
階段三：分析學生所缺少的心智架構	由第一階段和第二階段，找出學生對於建構新的(熱膨脹)科學概念所缺少的三項心智架構
階段四：設計雙重情境學習事件	4 個雙重情境學習事件 (1) 點燃一、三、五根蠟燭 (2) 三組均為五根蠟燭，但僅點燃一、三、五根 (3) 肥皂水 (4) 蠟紙袋
階段五：進行雙重情境學習模式的學習	學生依序針對階段四所設計的3或4個學習事件進行預測並解釋原因，接著呈現學習事件，再請學生比較與先前預測或先備知識之相異處，並試著解釋可能原因
階段六：挑戰情境學習事件	學習事件一的簡化設計

第五節 研究工具

本研究運用的工具，包括：靜態圖文與動態影片二種不同表徵學習之設計、事件晤談工具的發展、腦波儀等。

一、靜態圖文與動態影片二種不同表徵學習之設計

根據She (2003)的研究，面對「在水槽內點燃蠟燭，倒蓋廣口瓶待蠟燭熄滅後，瓶內的水位上升」的原因，絕大部分的學生認為與消耗氧氣有關（另有概念），而並非由於熱膨脹（科學概念），因此本研究先針對學生另有概念，利用雙重情境學習模式之概

念改變理論設計四組雙重情境學習事件，再綜合文獻探討之多媒體教學組合的優點，進行靜態圖文整合及動態影片呈現之教學課程設計，在動態影片呈現部分，先進行實驗過程之影片拍攝，再進行配音，將影片搭配旁白同步呈現，讓學習者能更聚焦於影片內容。在靜態圖文整合部分，擷取實驗過程影片中之重要關鍵製成圖片，採圖片與文字上下配置同時出現，供學習者隨時參照。此靜態圖片與文字整合文本與動態影片搭配旁白二者即作為本研究之不同表徵教學素材，其中靜態圖文組包含6張（學習事件一、一～2）或8張（學習事件二、三）圖文整合之投影片，每張播放8秒鐘，動態影片組長度則為48秒（學習事件一、一～2）或64秒（學習事件二、三）。

二、「熱膨脹概念」事件晤談工具的發展

為了研究兒童對科學現象所說或所寫的文字的意義，Osborne等人使用事例晤談 (Interview-about- Instances) 的方法成功地探知兒童對科學概念的解釋層面，提供了兒童對外在世界觀點的指標 (Osborne & Gilbert, 1979)，而後為了能夠更直接的深入探究兒童對這些觀點的特別看法，Osborne等人稍微修改了事例晤談的方式，而發展出事件晤談 (Interview-about-Events) 法，訪談者將物理學科上的事件（如水的沸騰、蒸發、凝固之三態循環）加以呈現，並針對每個事件詢問受訪者看到什麼，再要求以他（她）的觀點加以解釋，以獲知受訪者對此科學概念之觀點，並進一步研究受訪者對此概念所擁有的科學知識，及如何連結受訪者觀點與科學家的觀點 (Osborne, 1980)

因此為蒐集學生在靜態圖文或動態影片之不同表徵學習前的先備概念，與經過靜態圖文或動態影片之不同表徵學習後的概念成長和概念改變的質化相關資料，以深入分析學生的概念成長和概念改變狀況，本研究所進行之訪談即參照事件晤談的方法加以設計，發展「熱膨脹概念」事件晤談工具。在進行不同表徵學習之前與之後，以此晤談工具進行晤談並錄音，並於實驗後予以逐字轉錄，以分析受試者的概念成長和概念改變狀況。

此工具包含3～4組有關熱膨脹概念之學習事件題組，每個題組搭配靜態圖文表徵

或動態影片表徵呈現實驗過程及結果，由2~3個核心問題及數個相關接續問題組成晤談內容（見附錄一），晤談內容舉例如下：

學習事件一

- （一）學習事件情境說明：以圖文並呈（見圖3-4-1及圖3-4-2）及口頭解說方式向受試者加以說明。

取三個廣口瓶標示甲、乙、丙，分別固定一根、三根、五根蠟燭於水槽內，再注入適量清水。

點燃蠟燭後，同時將甲、乙、丙瓶倒蓋於燃燒中的一根、三根、五根蠟燭上。

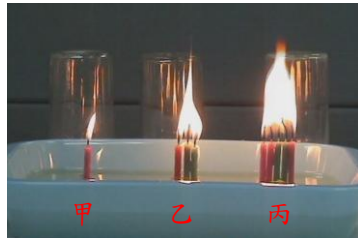


圖3-5-1 學習事件一情境說明一



圖3-5-2 學習事件一情境說明二

- （二）請受試者預測當蠟燭熄滅後，三個瓶子內的水位是否會上升？哪一個瓶子內水位上升的高度最高？為什麼？
- （三）不同表徵學習：隨機分組，受試者或面對靜態圖文表徵進行學習，或面對動態影片表徵進行學習。

1. 動態影片表徵學習：以附旁白之動態影片播放實驗過程及結果，長度為48秒。配音稿一方面配合影片之實際狀況，一方面配合靜態圖文整合組之文字說明所提示之訊息，全文如下：取甲、乙、丙三個廣口瓶，分別固定一根、三根、五根蠟燭於水槽內，再注入適量清水。點燃蠟燭後，同時將廣口瓶倒蓋於燃燒中的三組蠟燭上。很快的，丙瓶燭火就熄滅了，在燭火熄滅後，丙瓶內的水位開始上升。接著，乙瓶和甲瓶燭火也依序熄滅了，在燭火熄滅後，瓶內的水位也開始上升。當三個廣口瓶內水位上升停止後，可明顯觀察到水位高度是丙瓶>乙瓶>甲瓶。

2. 靜態圖文表徵學習：以6張靜態圖文整合投影片（見圖3-4-3至3-4-8）播放實驗過程及結果，每張播放8秒，共計48秒。

取三個廣口瓶標示甲、乙、丙，分別固定一根、三根、五根蠟燭於水槽內，再注入適量清水。

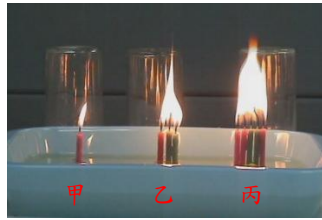


圖3-5-3 學習事件一圖文投影片一

點燃蠟燭後，同時將甲、乙、丙瓶倒蓋於燃燒中的一根、三根、五根蠟燭上。

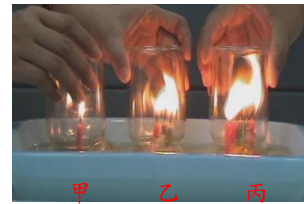


圖3-5-4 學習事件一圖文投影片二

很快的，丙瓶燭火就熄滅了，在燭火熄滅後，丙瓶內的水位開始上升。



圖3-5-5 學習事件一圖文投影片三

接著，乙瓶燭火跟著也熄滅了，在燭火熄滅後，乙瓶內的水位也開始上升。



圖3-5-6 學習事件一圖文投影片四

最後，甲瓶燭火也熄滅了，在燭火熄滅後，同樣觀察到甲瓶內的水位開始上升。

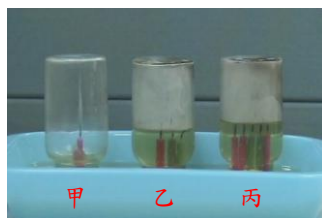


圖3-5-7 學習事件一圖文投影片五

結果，三個廣口瓶內水位上升停止後，可明顯觀察到水位高度：丙瓶>乙瓶>甲瓶

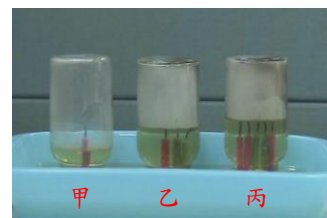


圖3-5-8 學習事件一圖文投影片六

- （四）請受試者比對先前預測與所呈現的實驗結果，並根據受試者所提出另有概念進行訪談，破除水位上升是因為蠟燭燃燒用掉五分之一氧氣，思考水位上升應該另有

原因。

(五) 若學生回答蠟燭體積造成水位上升高度不同，則進行學習事件一～2，否則便進入學習事件二。

三、腦波儀

本研究使用之腦波儀為Neuron公司所製造之Neuron-Spectrum-5，如圖3-4-9所示，主要功能為即時監控及收集腦波活動，並利用“Neuron-Spectrum” EEG software儲存所收集的數據。



圖3-5-9 Neuron-Spectrum-5 腦波儀

頭皮電極 (electrode) 之連接採國際 10-20 電極標示法 (10-20system)，10-20 系統的基礎是電極位置與其下方腦皮層之間的關係，每一點都有一個字母以及編號或搭配另一個字母來指出半剖面上的位置，字母 F 代表位於額葉 (frontal lobe)，字母 P 代表位於頂葉 (parietal lobe)，字母 T 表示位於顳葉 (temporal lobe)，字母 O 代表位於枕葉 (occipital lobe)，字母 C 代表位於頭頂中央區 (central area)，字母 Fp 則表示為額極 (frontal pole)，字母 z 是指在鼻根 (nasion) 到枕骨隆突 (inion) 之中線上；雙數編號代表右半腦，而奇數編號是指左半腦，編號愈小表示與中線位置愈近。

腦波量測時所有腦波資料均儲存於電腦硬碟中，放大率 (Gain) 為 20000，取樣頻率 (sampling rate) 為 200 (點/秒)，高頻截止 (High cut) 為 35Hz，低頻截止 (Low cut) 為 0.3Hz，記錄的電極為 Fp1、Fp2、Fz、F3、F4、F7、F8、T3、T4、T5、T6、Cz、C3、C4、Pz、

P3、P4、O1、O2等19個電極，電極連接採單極連接法 (monopolar montage)，所有電極均相對於左耳 (A1)與右耳 (A2)二電極，參考電極為Fpz，接地電極連接於頸部，實驗前所有電極點阻抗值均調整至20k Ω 以下。

在受試者進入實驗室時，即告知腦波儀之實驗前置工作，包括測量頭圍、標定電極位置、以少許磨砂膏做頭皮清潔、於頭皮安置電極並連接系統，並告知實驗過程中所使用之電極僅與頭皮表面接觸，為非侵入式的裝置，中間也僅以生理食鹽水作為導電物質，裝置本身對人體無任何侵害性，也不會對腦部造成影響，以讓受試者放鬆心情。

第六節 資料蒐集與分析

本研究期間所蒐集的資料，包括受試者事件晤談之結果、腦波資料（大腦各部位腦波之功率強度、同調性及拓撲圖）。

當實驗結束後，開始進行資料的整理與分析，「熱膨脹概念」之事件晤談結果，進行概念分析與統計，以探討教學前後概念改變的情形；腦波儀所蒐集之腦波訊號，以Matlab 及EEGlab 進行獨立成份分析 (Independent Component Analysis, ICA)，濾除存在於腦波中的干擾波成份後，再以快速傅立葉轉換獲得頻譜面相關數據。此腦波相關數據再以SPSS 12.0套裝軟體進行統計分析，以探討學習者在不同表徵學習時的思考及認知歷程。

第四章 研究結果與討論

本章主要依據腦波記錄資料及事件晤談分析之結果，進行統計分析並與研究目的進行驗證，藉以了解高一學生在不同表徵（靜態圖文、動態影片）學習時大腦各部位 θ （4~7.9 Hz）、lower α ($\alpha 1$ ；7.9~10 Hz)、upper α ($\alpha 2$ ；10.1~12.9 Hz)、lower β ($\beta 1$ ；13~17.9 Hz)、upper β ($\beta 2$ ；18~24.9 Hz)、 γ (25~35 Hz)等不同頻率之腦波功率強度是否有所差異，及不同頻率之腦波功率強度與學生概念改變歷程之間是否有所關聯。

第一節 雙重情境學習事件晤談結果之認知歷程分析

本研究之事件晤談工具包含四組有關「熱膨脹」概念之雙重情境學習事件題組，每個題組均搭配靜態圖文表徵（圖片加文字）或動態影片表徵（影片加旁白）呈現實驗過程及結果，並由2~3個核心問題及數個相關接續問題組成晤談內容。在施測過程中，每個題組均先請受試者進行預測，其後隨機以不同表徵呈現雙重情境學習事件之實驗過程及結果，之後再與受試者進行晤談討論，協助受試者產生新的論點，並於施測全程均予以錄音。施測後將事件晤談之全程錄音轉為逐字稿，再針對每組雙重情境學習事件，將學生學習之概念改變歷程區分為預測階段、表徵階段及解釋階段，以分析受試者在預測階段及解釋階段之認知歷程，並進一步探討受試者在預測階段所提出之想法及理由是否與表徵階段所呈現實驗過程及結果不一致而產生認知衝突，以及受試者經呈現雙重情境學習事件與晤談討論後是否能夠概念改變成功，結果如表4-1-1及4-1-2所示：

一、雙重情境學習事件一

由表4-1-1、4-1-2的實驗一中發現，在預測階段之問題一「在水槽內點燃蠟燭，倒蓋廣口瓶待蠟燭熄滅後，瓶內水位是否會上升」，100%的受試者都認為水位會上升，原因則均為「蠟燭燃燒消耗掉了氧氣」，此100%的學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相同，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「無衝突」。

在預測階段之問題二「一、三、五根蠟燭燃燒後瓶內的水位高度何者較高」，85%的學生提出「廣口瓶內氧氣含量相同而使水位上升會一樣高」，此部份學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中將會發現與自己的預測結果相異，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「衝突」，另外15%的學生則提出「五根蠟燭會消耗掉較多氧氣而使瓶內水位上升最高」，此部份學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相同，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「無衝突」，但此二類預測均非本實驗中造成瓶內水位上升的正確科學概念。

在解釋階段，55%的學生經由所呈現的雙重情境學習事件，放棄原有心智架構，認為瓶內水位上升應與氧氣之消耗無關，此部份學生認知原有心智架構並不可行，因此在是否概念改變成功上，被分類為「成功」；另有45%的學生則分別提出「五根蠟燭佔有較多體積」、「消耗掉氧氣」、「五根蠟燭燃燒消耗掉較多氧氣」、「燃燒別種氣體」、「國中做過類似實驗」等原因，認為瓶內水位上升必然仍與消耗氧氣有關，此部份學生未察覺原有心智架構之不可行，因此在是否概念改變成功上，被分類為「不成功」。

二、雙重情境學習事件一～2

實驗一～2之進行與否端視受試者在實驗一中是否提及有關蠟燭體積會影響瓶內水位高度之論點，結果共有圖文組六位學生進行實驗一～2。由表4-1-1、4-1-2的實驗一～2中發現，在預測階段之問題一「同樣放置五根的三組蠟燭，但只點燃其中一、三、或五根，蠟燭熄滅後水位是否會上升」，100%的受試者仍然認為瓶內水位會上升，原因仍為「蠟燭燃燒消耗掉了氧氣」，此100%的學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相同，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「無衝突」。

在預測階段之問題二「三組蠟燭熄滅後瓶內的水位高度何者最高」，83%的學生提出「蠟燭數量相同而使水位上升會一樣高」，此部份學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相異，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「衝突」，另外17%的學生則提出「五根蠟燭會消耗掉較多氧氣而使瓶內水位上升最高」，此部份

學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相同，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「無衝突」，但此二類預測仍均非本實驗中造成瓶內水位上升的正確科學概念。

在解釋階段，83%的學生經由所呈現的雙重情境學習事件，放棄原有心智架構，認為瓶內水位上升高度不同應與蠟燭體積無關，此部份學生認知原有心智架構並不可行，因此在是否概念改變成功上，被分類為「成功」；另有17%的學生則仍提出「五根蠟燭燃燒消耗掉較多氧氣」，認為五根蠟燭將瓶內氧氣燃燒得較完全而使水位上升最高，此部份學生未察覺原有心智架構之不可行，因此在是否概念改變成功上，被分類為「不成功」。

三、雙重情境學習事件二

由表4-1-1、4-1-2的實驗二中發現，將實驗一水槽內的清水置換為肥皂水後，在預測階段之問題一「哪一個瓶子內水位上升最高」，80%的受試者根據實驗一提出五根蠟燭瓶內水位上升最高，此部份學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相同，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「無衝突」，20%的學生則分別以「肥皂水離子不同、猜測、答題技巧」預測水位上升一樣高或一根蠟燭瓶內最高，此部份學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相異，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「衝突」。

在預測階段之問題二「瓶外水面是否產生泡泡」，35%的學生提出因為「擾動、氣體會跑出去、太熱蒸發、直覺」等原因，而認為「會產生泡泡」，此部份學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相同，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「無衝突」，另外65%的學生則提出「沒有理由會產生泡泡、氣體不會跑出瓶外、沒有壓力讓氣體溶入水中」等原因，而認為「不會產生泡泡」，此部份學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相異，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「衝突」，但以上預測仍均未提出本實驗中造成瓶內水位上升的正確

科學概念。

在解釋階段，50%的學生經由所呈現的雙重情境學習事件後，放棄原有心智架構，並在晤談討論中逐步經由「泡泡的產生，推測有氣體跑出去，連結到蠟燭燃燒所提供的熱能讓氣體跑出去，在蠟燭熄滅溫度下降後，水進入瓶內填補壓力差」而建立新的「成功」的心智架構，因此在是否概念改變成功上，被分類為「成功」；另有50%的學生則分別提出「氧氣消耗、燃燒、水蒸氣凝結、蠟燭熄滅後的煙、氣體分子溶入水中、熱對流、瓶外的水想進入瓶內、氣體變得活潑、空氣的體積，瓶外的空氣想進入瓶內、燃燒產生其他物質」等原因解釋何以瓶外水面產生泡泡，此部份學生未能經由雙重情境學習事件之呈現及晤談討論中，建立新的或可行的心智架構，因此在是否概念改變成功上，被分類為「不成功」。

四、雙重情境學習事件三

由表4-1-1、4-1-2的實驗三中發現，再將實驗二裝置中的廣口瓶改為黏貼蠟紙袋的中空玻璃管後，在預測階段之問題一「瓶外水面是否會產生泡泡」，45%的學生提出「氣體會往上跑而不會跑出去」，因此瓶外水面不會產生泡泡，5%的學生提出「視蠟紙袋的極限而定」，而認為瓶外水面不一定會產生泡泡，此50%的學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相符，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「無衝突」，另外50%的學生則分別以「氣體會跑出去、蠟紙袋應無作用、根據實驗二、擾動」等原因預測瓶外水面會產生泡泡，此部份學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相異，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「衝突」。

在預測階段之問題二「蠟紙袋是否會膨脹與收縮」，55%的學生提出「蠟燭燃燒使空氣受熱往上，而使蠟紙袋膨脹，待蠟燭熄滅溫度下降後，蠟紙袋收縮」，而認為「蠟紙袋會膨脹與收縮」，此部份學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相同，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「無衝突」，另外40%的學生則提出「蠟燭燃燒使空氣受熱往上」，而認為「蠟紙袋會膨脹而不會收縮」，5%的學生

則提出「蠟燭燃燒消耗氧氣」，而認為「蠟紙袋會收縮而不會膨脹」，此45%的學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，都發現與自己的預測結果相異，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「衝突」。

在預測階段之問題三「瓶內水位是否會上升」，25%的學生提出「氣體不會跑出去」，而認為瓶內水位不會上升，5%的學生提出「蠟紙袋有其極限」，而認為瓶內水位不一定會上升，此部份學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相符，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「無衝突」，另外70%的學生則提出「根據實驗一及實驗二、壓力差、消耗氧、猜測、消耗氧且氣體溢出、蠟紙袋有極限」等原因，而認為瓶內水位會上升，此部份學生在隨後所呈現的雙重情境學習事件中，發現與自己的預測結果相異，因此在是否產生認知衝突上，被分類為「衝突」。

在解釋階段，70%的學生經由所呈現的雙重情境學習事件後，放棄原有心智架構，並在晤談討論中逐步經由「泡泡沒有產生，推測沒有氣體跑出去，連結到蠟紙袋的膨脹提供了氣體膨脹的空間，因此瓶內空氣體積並未改變而使水位並不會上升」而建立新的「成功」；另有30%的學生則分別提出「燃燒前後壓力差、溫度改變、空氣體積相同、氣體燃燒」等原因，此部份學生能經由雙重情境學習事件之呈現及晤談討論中尚無法適切的解釋整個實驗所蘊含之科學概念，因此在是否概念改變成功上，被分類為「不成功」。

五、挑戰事件

在挑戰事件中，採用一般教科書上較單純之實驗裝置（在水槽內僅點燃一根蠟燭，倒蓋廣口瓶待蠟燭熄滅後，瓶內水位上升），請學生運用以上四個實驗所建構之心智模式來解釋此相似的情境事件，結果由表4-1-2的挑戰事件中發現，95%的學生均能應用所建立新的心智架構，完整敘述整個實驗的正確科學概念，因此在是否概念改變成功上，被分類為「成功」；另有5%的學生尚無法藉由以上四個雙重情境學習事件建立完整的心智架構，僅提出「燃燒產生對流，讓空氣跑出去」而造成瓶內水位上升，因此在是否

概念改變成功上，被分類為「不成功」。

受試者S001：「一開始因為五根蠟燭燃燒讓那個氣體加熱，體積膨脹，所以就跑出水瓶外，那跑出水瓶外之後，它就會因為裡面的溫度不同而跑出不一樣的氣體到水瓶外，那冷卻之後氣體再縮小，因為冷卻之後可能就應該是都變成，變回一樣的溫度，但是一開始跑出的氣體已經不一樣了，所以說裡面剩下的氣體就不一樣多，那水位上升就會不一樣高。」

受試者S012：「點燃蠟燭然後把廣口瓶放上去，然後瓶子裡面的空氣受熱體積膨脹，然後會有一部分的空氣跑出去，就膨脹之後，就空氣會跑出去，但是看不出來，因為看不出來有空氣跑出去，那當蠟燭熄滅之後，裡面的空氣冷卻了，就會發現體積變小，所以會有水補上來。」

小結：本研究針對學生的另有概念及所需的心智架構，設計四個由淺而深、緊密相關的雙重情境學習事件，且每一個學習事件都架構在前一個學習事件之上，藉以輔助學生的概念改變。其中實驗一及實驗一～2 由學生另有概念為起始點，讓學生產生認知之不和諧，思考是否原有心智架構並不可行，進而建立「瓶內水位上升並非由於消耗了氧氣」之關鍵概念；實驗二及實驗三則提供學生新的訊息，逐步將學生所缺少的心智架構導入，慢慢讓學生建構較完整的科學概念，並連結所有所需之心智架構以建立「氣體受熱膨脹」之關鍵概念，達到概念改變之目的。而學生的先備知識受到挑戰時，一方面需打破自己原有已固化的長期記憶之連結，一方面則需根據現階段的學習產生新的連結，因此在整個概念改變歷程中可看到學生不斷遊移於舊有概念與新訊息間，不時還會試圖保護自己原有的理論架構而提出前後矛盾之論點，也據以推測此一思考與整合過程勢將耗費許多認知資源，期望可由其不同頻率腦波的功率強度得到學生概念改變歷程之相關認知訊息。

表4-1-1 預測階段概念及其與學習事件之呈現是否產生衝突之認知歷程分析表

預測與學習事件之呈現結果		人數	%	預測	預測階段所持理由
實驗一	問題一 無衝突	20	100%	瓶內水位會上升	蠟燭燃燒消耗掉氧氣(20)
	衝突	0	0	瓶內水位不會上升	
	問題二 無衝突	3	15%	丙瓶水位最高	五根蠟燭消耗掉較多氧氣(3)
	衝突	17	85%	一樣高(16)、不知道(1)	三個廣口瓶氧氣含量相同(16)

實驗一～2	問題一	無衝突	6	100%	瓶內水位會上升	燃燒用掉氧氣(6)
		衝突	0	0	瓶內水位不會上升	
	問題二	無衝突	1	17%	丙瓶水位最高	五根蠟燭會消耗掉較多氧氣(1) 氧氣含量相同且蠟燭體積相同(5)
		衝突	5	83%	一樣高	
實驗二	問題一	無衝突	16	80%	丙瓶水位最高	根據實驗一(16)
		衝突	4	20%	一樣高(3)	肥皂水離子不同(1)、答題技巧(1)、猜測(1)
		甲瓶最高(1)				猜測(1)
	問題二	無衝突	7	35%	瓶外水面會產生泡泡	擾動(4)、氣體跑出去(1)、太熱蒸發(1)、直覺(1)
		衝突	13	65%	不會產生泡泡(11)	沒有理由會產生泡泡(9)、氣體不會跑出瓶外(1)、沒有壓力讓氣體溶入水中(1)
		瓶內產生泡泡(2)				燃燒後氣體溶於水(1)、下意識(1)
實驗三	問題一	無衝突	9	45%	瓶外水面不會產生泡泡(9)	氣體往上所以不會跑出去(9)
			1	5%	不一定(1)	視蠟紙袋的極限而定(1)
		衝突	10	50%	瓶外水面產生泡泡(10)	氣體跑出去(5)、蠟紙袋應無作用(2)、根據實驗二(2)、擾動(1)
	問題二	無衝突	11	55%	蠟紙袋會膨脹收縮	蠟紙袋會先膨脹，待蠟燭熄滅後收縮(11)
		衝突	9	45%	只膨脹(8) 只收縮(1)	氣體受熱讓蠟紙袋膨脹(8) 氧氣用掉(1)
	問題三	無衝突	5	25%	瓶內水位不會上升	氣體不會跑出去(5)
			1	5%	不一定(1)	視蠟紙袋的極限而定(1)
		衝突	14	70%	瓶內水位上升	根據實驗一、二(4)、壓力差(1)、消耗氧(5)、猜測(2)、蠟紙袋有極限(1)、消耗氧且氣體溢出(1)

註：() 內數字為提出該理由之學生人數

表 4-1-2 解釋階段概念及概念改變成功與否之認知歷程分析表

	概念 改變	人數	%	解釋階段所持理由
實驗一	不成功	9	45%	五根蠟燭佔有較多體積(5)、消耗氧氣 (1)、五根蠟燭燃燒消耗掉較多氧氣(1)、燃燒別種氣體(1)、國中做過類似實驗(1)

	成功	11	55%	瓶內水位上升應與消耗掉氧氣無關(11)
實驗一～2	不成功	1	17%	五根蠟燭消耗掉較多氧氣(1)
	成功	5	83%	一、三、五根蠟燭瓶內水位上升高度不同與蠟燭體積無關(5)
實驗二	不成功	10	50%	氧氣消耗(15)、燃燒(8)、水蒸氣凝結(2)、蠟燭熄滅後的煙(2)、氣體分子溶入水中(2)、熱對流(2)、瓶外的水想進入瓶內(2)、氣體變得活潑(2)、空氣的體積(2)，瓶外的空氣想進入瓶內(1)、燃燒產生其他物質(1)
	成功	10	50%	氣體受熱膨脹（由泡泡產生推測有氣體溢出，進而推測原因為蠟燭提供熱能而使瓶內氣體受熱膨脹溢出瓶外）
實驗三	不成功	6	30%	燃燒前後壓力差(2)、溫度(1)、空氣體積相同(2)、氣體燃燒(1)
	成功	14	70%	氣體受熱膨脹（由泡泡沒有產生推測沒有氣體跑出去，連結到蠟紙袋的膨脹提供了氣體膨脹的空間，因此瓶內空氣體積並未改變而使水位並不會上升）
挑戰事件	不成功	1	5%	熱對流(1)
	成功	19	95%	氣體受熱膨脹（蠟燭提供熱能使瓶內氣體受熱膨脹而部份溢出瓶外，蠟燭熄滅後氣體體積縮小，而使水進入瓶內填補其壓力差）

註：（）內數字為提出該理由之學生人數

而儘管本研究所設計之4個雙重情境學習事件均為2或3個核心問題所構成，但對學生整個概念改變過程而言，其預測、表徵及解釋三個階段之思考與學習為連續，且不適宜分割，因此在腦波資料分析上，我們將同一題組問題加以合併。當受試者在同一學習事件之題組中有任何一個問題所預測之結果，與其後表徵階段所呈現的實驗過程及結果不相同，則在認知衝突分組中被分類為「衝突」，而對於題組中每一個問題之預測，均與表徵階段所呈現的實驗過程及結果相同，則在認知衝突分組中被分類為「無衝突」；而在每個學習事件之解釋階段，若受試者最終能提出每個事件所定義的關鍵概念，則歸類為「概念改變成功」，否則便歸類為「概念改變不成功」，且為進一步瞭解學生在四個雙重情境學習事件中認知衝突產生及概念改變成功與否與不同表徵呈現之間的關係，本研究進行交叉比較，結果如表4-1-3所示：發現在實驗一中有17位受試者產生認知衝突，其中圖文組有8位，而影片組有9位；11位受試者概念改變成功，其中圖文組有3

位，而影片組有8位。實驗一～2僅6位圖文組受試者進行，其中5位產生認知衝突，5位概念改變成功。在實驗二中有14位受試者產生認知衝突，圖文組與影片組各佔7位；10位受試者概念改變成功，圖文組與影片組各佔5位。在實驗三中有15位受試者產生認知衝突，其中圖文組有7位，而影片組有8位；14位受試者概念改變成功，其中圖文組有8位，而影片組有6位。可明顯發現除實驗一概念改變成功人數差異較大外，兩種不同表徵之學習對產生認知衝突與否或概念改變成功與否上，並無太大影響；而實驗一為認知衝突產生最劇烈之階段，推測呈現予動態影片可能更直接衝擊學生原有的科學信念，可能也提供了學生不得不相信之直接證據，如影片組受試者S013所言：「還是不太相信，雖然說親眼看到。」

此部份數據顯現當學生帶著另有概念開始進行科學學習時，即使他們觀察到與自己想法互相矛盾的現象，卻仍不斷試圖保護個人原有的理論與知識架構，於是在新舊訊息間努力區辨，是以綜觀四個學習事件，受試者認知衝突之產生比例均很高，而在概念改變是否成功部份，實驗一及實驗一～2之放棄原有心智架構相對於實驗二及實驗三之建立新的心智架構而言似乎較為容易，概念改變成功比例較高，而建立新的心智架構由實驗二之50%，實驗三70%，乃至於挑戰事件之95%，則有逐漸進步之趨勢，顯示本研究所設計之雙重情境學習事件的確有助於學生達成有關「熱膨脹」概念改變之目的。

表4-1-3 認知衝突/概念改變成功與否與不同表徵之交叉比較結果

		概念改變不成功				概念改變成功			
		實驗 一	實驗 一~2	實驗 二	實驗 三	實驗 一	實驗 一~2	實驗 二	實驗 三
無認知衝突	圖文組	2	1	2	0	0	0	1	3
	影片組	0	0	2	1	1	0	1	1
認知衝突	圖文組	5	0	3	2	3	5	4	5
	影片組	2	0	3	3	7	0	4	5
總 計		9	1	10	6	11	5	10	14

第二節 不同表徵呈現學習事件下三個不同學習階段之概念改變

歷程腦波資料分析

一、不同表徵與不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析

本研究設計四組「熱膨脹」情境學習事件，每組情境學習事件分別以圖片加文字或影片加旁白兩種不同表徵呈現，受試者隨機分為兩組各十人分別以此兩種不同表徵呈現學習事件進行「熱膨脹」概念學習，在呈現學習事件前，先請受試者針對該科學問題進行預測（預測階段），並在呈現學習事件（表徵階段）後，以事件晤談方式與受試者進行討論，協助受試者產生新的論點（解釋階段），全程以腦波儀蒐集受試者概念學習過程之腦波資料後，將此概念改變歷程之腦波資料加以區分為預測、表徵、解釋三個階段，即以此三個不同學習階段為受試者內因子，兩組受試者所接受之不同表徵呈現學習事件（圖文組、影片組）為受試者間因子，進行重複量數統計分析，分別分析學生 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 、 γ 等不同頻率腦波之活動。由於實驗一～2為選擇事件，端視受試者是否需該學習事件釐清「蠟燭體積是否影響水位」概念，結果共6位受試者進行實驗一～2，且均集中於圖文組，因此針對實驗一～2僅進行不同學習階段之腦波分析。結果如表4-2-1所示：

在實驗一中發現受試者在概念改變歷程之三個不同學習階段（預測、表徵、解釋階段）間之 θ ($p = .000$)、 $\alpha 1$ ($p = .006$)、 $\beta 1$ ($p = .000$)、 $\beta 2$ ($p = .000$)、 γ ($p = .000$) 達顯著差異，以 sidak 法進行事後比較均呈現預測階段顯著大於表徵階段或解釋階段顯著大於表徵階段。以不同表徵呈現學習事件間則均無顯著差異。且除了 θ ($p = .035$)外，學習階段與表徵呈現間均無交互作用。進而針對 θ 進行單純主要效果考驗，結果如表4-2-1-1所示，學習階段在圖文及影片兩個獨立因子的水準下均達顯著差異，在圖文水準下為 $F(2, 34) = 3.713$ ， $p = .045$ ，在影片水準下為 $F(2, 34) = 7.097$ ， $p = .006$ ，呈現預測階段顯著大於表徵階段，表示不同學習階段下其 θ 功率強度的確有所不同，且在圖文與影片條件下均一致。另一方面，表徵呈現在預測、表徵、解釋三個相依因子的水準下均未達顯著差異，在預測階段水準下為 $F(1, 53) = 2.164$ ， $p = .159$ ，在表徵階段水準下為 $F(1, 53) = 0.348$ ，

$p = .562$ ，在解釋階段水準下為 $F(1, 53) = 3.292$ ， $p = .087$ ，顯示在不同學習階段，圖文與影片兩類表徵均無差異。

在實驗二中發現受試者在三個不同學習階段間之 θ ($p = .000$)、 $\alpha 1$ ($p = .002$)、 $\alpha 2$ ($p = .007$)、 $\beta 1$ ($p = .000$)、 $\beta 2$ ($p = .006$) 達顯著差異，以不同表徵所呈現學習事件間則同樣均無任何顯著差異，且學習階段與表徵呈現間也並無任何交互作用，以 sidak 法進行事後比較，結果均呈現預測階段顯著大於表徵階段、解釋階段顯著大於表徵階段或解釋階段顯著大於預測階段。

在實驗三中發現受試者在三個不同學習階段間之 θ ($p = .000$)、 $\alpha 1$ ($p = .000$)、 $\beta 1$ ($p = .000$)、 $\beta 2$ ($p = .005$)、 γ ($p = .023$) 達顯著差異，以不同表徵所呈現學習事件間亦無任何顯著差異，且學習階段與表徵呈現間也無交互作用，以 sidak 法進行事後比較，結果均呈現預測階段顯著大於表徵階段及解釋階段顯著大於表徵階段。

在實驗一～2中發現受試者在三個不同學習階段間之 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 、 γ 有較明顯差異，但並未達顯著水準。

小結：以上結果顯示受試者在預測、表徵、解釋三個不同概念學習階段之腦波活動顯著的有所差異，意味著學習者在概念改變歷程中，由個人先備知識為出發點，歷經認知衝突、打破原有心智架構而建立新的的心智架構過程中，腦波資料的確可以提供我們相關訊息，在無法直接觀察學習者之認知思考歷程下，獲得學習歷程中大腦運作的資訊，並可進一步探討學習者之認知處理過程。而以圖片加文字或影片加旁白兩種不同表徵進行概念學習上，受試者所呈現之各頻率腦波功率並無太大差異。

表 4-2-1 不同表徵呈現學習事件下三個不同學習階段之重複量數分析結果

		變異來源	N	F	P	事後比較
θ	實驗一	學習階段（預測、表徵、解釋）	19	9.722	.000***	1>2(.002)；3>2(.018)
		表徵呈現（圖文、影片）	19	1.504	.237	
		學習階段×表徵呈現	19	3.699	.035*	
	實驗二	學習階段（預測、表徵、解釋）	20	13.401	.000***	1>2(.019)；3>2(.001)
		表徵呈現（圖文、影片）	20	2.913	.105	

		學習階段×表徵呈現	20	.462	.633	
	實驗三	學習階段（預測、表徵、解釋）	20	14.735	.000***	1>2(.001)；3>2(.000)
		表徵呈現（圖文、影片）	20	.190	.668	
		學習階段×表徵呈現	20	.572	.569	
	實驗一～2	學習階段（預測、表徵、解釋）	6	1.295	.316	
α1	實驗一	學習階段（預測、表徵、解釋）	19	6.941	.006**	1>2(.001)；3>2(.027)
		表徵呈現（圖文、影片）	19	.201	.660	
		學習階段×表徵呈現	19	2.427	.117	
	實驗二	學習階段（預測、表徵、解釋）	20	7.737	.002**	1>2(.038)；3>2(.016)
		表徵呈現（圖文、影片）	20	.092	.765	
		學習階段×表徵呈現	20	.508	.606	
	實驗三	學習階段（預測、表徵、解釋）	20	12.099	.000***	1>2(.002)；3>2(.002)
		表徵呈現（圖文、影片）	20	.331	.572	
		學習階段×表徵呈現	20	.426	.656	
	實驗一～2	學習階段（預測、表徵、解釋）	6	1.636	.243	
α2	實驗一	學習階段（預測、表徵、解釋）	20	1.431	.254	
		表徵呈現（圖文、影片）	20	.949	.344	
		學習階段×表徵呈現	20	.661	.486	
	實驗二	學習階段（預測、表徵、解釋）	20	6.741	.007**	3>1(.006)；3>2(.044)
		表徵呈現（圖文、影片）	20	.472	.501	
		學習階段×表徵呈現	20	1.360	.268	
	實驗三	學習階段（預測、表徵、解釋）	20	1.468	.245	
		表徵呈現（圖文、影片）	20	1.044	.320	
		學習階段×表徵呈現	20	.788	.446	
	實驗一～2	學習階段（預測、表徵、解釋）	6	1.140	.335	
β1	實驗一	學習階段（預測、表徵、解釋）	19	13.558	.000***	1>2 (.005)；3>2(.000)
		表徵呈現（圖文、影片）	19	.041	.842	
		學習階段×表徵呈現	19	1.568	.227	
	實驗二	學習階段（預測、表徵、解釋）	20	22.263	.000***	1>2 (.003)；3>2(.000)
		表徵呈現（圖文、影片）	20	.421	.525	
		學習階段×表徵呈現	20	1.902	.177	
	實驗三	學習階段（預測、表徵、解釋）	20	15.481	.000***	1>2 (.004)；3>2(.000)
		表徵呈現（圖文、影片）	20	.004	.949	
		學習階段×表徵呈現	20	.543	.585	
	實驗一～2	學習階段（預測、表徵、解釋）	6	3.688	.063	1>2 (.017)
β2	實驗一	學習階段（預測、表徵、解釋）	19	12.783	.000***	1>2 (.002)；3>2(.000)

		表徵呈現（圖文、影片）	19	.027	.872		
		學習階段×表徵呈現	19	.680	.513		
γ	實驗二	學習階段（預測、表徵、解釋）	20	8.457	.006**	1>2 (.047); 3>2(.001)	
		表徵呈現（圖文、影片）	20	.279	.604		
		學習階段×表徵呈現	20	.774	.410		
	實驗三	學習階段（預測、表徵、解釋）	20	6.220	.005**	3>2(.018)	
		表徵呈現（圖文、影片）	20	.060	.809		
		學習階段×表徵呈現	20	.281	.757		
	實驗一～2		學習階段（預測、表徵、解釋）	6	3.249	.082	
	實驗一	學習階段（預測、表徵、解釋）	19	15.393	.000***	1>2 (.001); 3>2(.000)	
		表徵呈現（圖文、影片）	19	.319	.580		
		學習階段×表徵呈現	19	.534	.591		
	實驗二	學習階段（預測、表徵、解釋）	20	3.731	.064	3>2(.026)	
		表徵呈現（圖文、影片）	20	.289	.597		
		學習階段×表徵呈現	20	.982	.344		
	實驗三	學習階段（預測、表徵、解釋）	20	4.616	.023*		
		表徵呈現（圖文、影片）	20	.016	.901		
		學習階段×表徵呈現	20	.308	.698		
	實驗一～2		學習階段（預測、表徵、解釋）	6	5.510	.052	

註：* p< 0.05, ** p< 0.01, *** p< 0.001

註：事後比較之 1=預測，2=表徵，3=解釋

表 4-2-1-1 實驗一-θ 之單純主要效果摘要表

實驗一-θ之單純主要效果	自由度	人數	F	P	事後比較
學習階段					
圖文組	2	10	3.713	.045*	
影片組	2	9	7.097	.006**	1>2 (.047)
表徵呈現					
預測階段	1	20	2.164	.159	
表徵階段	1	20	.348	.562	
解釋階段	1	19	3.292	.087	

註：* p< 0.05, ** p< 0.01

註：事後比較之 1=預測，2=表徵，3=解釋

二、靜態圖文或動態影片表徵在不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析

由表 4-2-1 可發現學生之各頻率腦波功率在概念改變歷程之三個不同學習階段有顯著差異，而在兩種不同表徵形式之呈現上則無，為了進一步明瞭兩種不同表徵之呈現，在各學習階段之腦波功率有何差異，接著分別針對圖文與影片兩種不同表徵之呈現進行三個學習階段之重複量數分析，並以 sidak 法進行事後比較，藉以釐清不同表徵呈現下，三個學習階段之各頻率腦波功率是否均有所差異，結果如表 4-2-2 所示：

在實驗一中可發現圖文組受試者 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 波功率之平均數在預測階段均大於表徵階段、在解釋階段均大於表徵階段、且在預測階段均大於解釋階段；而 θ ($p = .045$)、 $\beta 2$ ($p = .025$)及 γ ($p = .023$)在預測、表徵、解釋三個學習階段間之差異均達顯著水準；在事後比較部份， $\alpha 1$ ($p = .007$)、 $\beta 1$ ($p = .033$)、 $\beta 2$ ($p = .017$)、 γ ($p = .023$)之解釋階段均顯著大於表徵階段。影片組受試者 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 功率之平均數在預測階段均大於表徵階段、在解釋階段均大於表徵階段，且 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 功率之平均數在解釋階段均大於預測階段；而 θ ($p = .006$)、 $\alpha 2$ ($p = .047$)、 $\beta 1$ ($p = .000$)、 $\beta 2$ ($p = .002$)及 γ ($p = .001$)在預測、表徵、解釋三個學習階段間之差異均達顯著水準；在事後比較部份， θ ($p = .047$)、 $\alpha 1$ ($p = .005$)、 $\beta 1$ ($p = .004$)、 $\beta 2$ ($p = .025$)、 γ ($p = .017$)之預測階段均顯著大於表徵階段，且 $\beta 1$ ($p = .001$)、 $\beta 2$ ($p = .016$)、 γ ($p = .020$)之解釋階段均顯著大於表徵階段。

在實驗二中可發現圖文組受試者 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 功率之平均數在預測階段均大於表徵階段、在解釋階段均大於表徵階段、且在解釋階段均大於預測階段；而 θ ($p = .010$)、 $\alpha 2$ ($p = .037$)、 $\beta 1$ ($p = .004$)、 $\beta 2$ ($p = .003$)及 γ ($p = .014$)在預測、表徵、解釋三個學習階段間之差異均達顯著水準；在事後比較部份， θ ($p = .010$)、 $\beta 1$ ($p = .008$)、 $\beta 2$ ($p = .004$)、 γ ($p = .014$)之解釋階段均顯著大於表徵階段。影片組受試者 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 功率之平均數在預測階段均大於表徵階段、在解釋階段均大於表徵階段，且在解釋階段均大於預測階段；而 θ ($p = .012$)、 $\alpha 1$ ($p = .047$)、 $\alpha 2$ ($p = .024$)、 $\beta 1$ ($p = .002$)

在預測、表徵、解釋三個學習階段間之差異均達顯著水準；在事後比較部份， β_2 ($p = .037$) 之預測階段顯著大於表徵階段， θ ($p = .044$)、 β_1 ($p = .001$)、 β_2 ($p = .042$) 之解釋階段均顯著大於表徵階段，且 α_2 ($p = .045$) 之解釋階段顯著大於預測階段。

在實驗三中可發現圖文組受試者 θ 、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 及 γ 功率之平均數在預測階段均大於表徵階段、在解釋階段均大於表徵階段、且 θ 、 α_2 、 β_1 、 β_2 及 γ 波在解釋階段均大於預測階段；而 α_1 ($p = .050$)、 β_1 ($p = .002$)、 β_2 ($p = .003$) 及 γ ($p = .006$) 在預測、表徵、解釋三個學習階段間之差異均達顯著水準；在事後比較部份， β_1 ($p = .028$)、 β_2 ($p = .029$)、 γ ($p = .025$) 之預測階段均顯著大於表徵階段， β_1 ($p = .012$)、 β_2 ($p = .017$)、 γ ($p = .013$) 之解釋階段均顯著大於表徵階段。影片組受試者 θ 、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 及 γ 功率之平均數在預測階段均大於表徵階段、在解釋階段均大於表徵階段，且 θ 、 α_1 、 β_1 、 β_2 及 γ 波功率在解釋階段均大於預測階段；而 θ ($p = .000$)、 α_1 ($p = .001$)、 β_1 ($p = .004$) 在預測、表徵、解釋三個學習階段間之差異均達顯著水準；在事後比較部份， θ ($p = .008$)、 α_1 ($p = .002$) 之預測階段均顯著大於表徵階段，且 θ ($p = .001$)、 α_1 ($p = .019$)、 β_1 ($p = .015$) 之解釋階段均顯著大於表徵階段。

在實驗一～2 中可發現 6 位圖文組受試者之 θ 、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 及 γ 功率之平均數在預測階段均大於表徵階段、在解釋階段均大於表徵階段，僅 β_1 及 γ 接近顯著水準；在事後比較部份， β_1 ($p = .017$) 之預測階段顯著大於表徵階段。

小結：綜觀四個實驗可明顯發現不論以何種表徵呈現學習事件，其三個學習階段之各頻率腦波功率大抵均有顯著差異，且均顯現預測大於表徵，解釋大於表徵，解釋大致大於預測階段之趨勢。顯示影響受試者腦波功率強度者並不在於學習事件所呈現的表徵形式，而在於受試者由自身原有心智架構，歷經認知衝突，到設法建立新的的心智架構等三個不同階段之概念改變歷程中，在產生認知不和諧與形成新論點上設法折衝以找出合理的解釋時，大腦需重整與聯繫所有可能的想法，是以腦波功率在預測及解釋階段較強，而相對於單純的呈現學習事件階段，似乎也顯示在被動接收訊息之際，較不易進行主動思考。

表 4-2-2 圖文與影片表徵呈現下三個學習階段之重複量數分析結果

				M	SD	N	F	P	事後比較
θ	實驗一	圖文組	預測	2.177	1.183	10	3.713	.045 [*]	
			表徵	1.824	.977	10			
			解釋	1.956	.865	10			
		影片組	預測	2.733	.928	9	7.097	.006 ^{**}	1>2(.047)
			表徵	2.032	.992	9			
			解釋	2.894	1.359	9			
	實驗二	圖文組	預測	2.162	1.530	10	5.950	.010 [*]	3>2(.010)
			表徵	1.690	.881	10			
			解釋	2.389	1.222	10			
		影片組	預測	3.104	1.357	10	7.518	.012 [*]	3>2(.044)
			表徵	2.397	1.110	10			
			解釋	3.408	1.270	10			
	實驗三	圖文組	預測	2.696	1.247	10	3.431	.055	
			表徵	2.193	1.028	10			
			解釋	2.999	1.651	10			
		影片組	預測	3.018	1.078	10	18.131	.000 ^{***}	1>2(.008) ; 3>2(.001)
			表徵	2.172	.690	10			
			解釋	3.319	1.073	10			
	實驗一~2	圖文組	預測	1.761	1.073	6	1.295	.316	
			表徵	1.677	1.251	6			
			解釋	1.915	1.168	6			
α1	實驗一	圖文組	預測	1.887	1.477	10	4.005	.063	3>2(.007)
			表徵	1.386	.958	10			
			解釋	1.723	1.113	10			
		影片組	預測	1.980	.804	9	4.371	.062	1>2(.005)
			表徵	1.158	.535	9			
			解釋	2.531	2.015	9			
	實驗二	圖文組	預測	1.935	1.729	10	3.212	.089	
			表徵	1.406	.979	10			
			解釋	2.728	2.467	10			
		影片組	預測	2.548	2.027	10	5.178	.047 [*]	
			表徵	1.334	.540	10			
			解釋	2.801	2.087	10			

$\alpha 2$	實驗三	圖文組	預測	2.356	1.894	10	3.560	.050 [*]	1>2(.002) ; 3>2(.019)
			表徵	1.738	1.111	10			
			解釋	2.264	1.688	10			
		影片組	預測	2.006	.856	10	11.233	.001 ^{**}	
			表徵	1.309	.545	10			
			解釋	2.113	.984	10			
	實驗一~2	圖文組	預測	1.408	1.307	6	1.636	.243	3>1(.045)
			表徵	1.322	1.388	6			
			解釋	1.452	1.452	6			
	實驗一	圖文組	預測	2.390	2.758	10	1.032	.376	
			表徵	1.443	.808	10			
			解釋	1.960	1.768	10			
		影片組	預測	1.411	.394	9	3.723	.047 [*]	
			表徵	1.224	.392	9			
			解釋	1.623	.554	9			
	實驗二	圖文組	預測	1.769	1.742	10	3.976	.037 [*]	
			表徵	1.559	1.022	10			
			解釋	2.401	2.196	10			
		影片組	預測	1.469	.445	10	4.639	.024 [*]	
			表徵	1.426	.574	10			
			解釋	1.736	.419	10			
$\beta 1$	實驗三	圖文組	預測	2.311	1.911	10	1.243	.312	3>2(.033)
			表徵	1.797	1.033	10			
			解釋	2.411	2.574	10			
		影片組	預測	1.648	.447	10	.356	.705	
			表徵	1.511	.664	10			
			解釋	1.575	.446	10			
	實驗一~2	圖文組	預測	1.428	1.384	6	1.140	.335	
			表徵	1.310	1.047	6			
			解釋	1.815	2.179	6			
	實驗一	圖文組	預測	1.006	.690	10	2.705	.120	
			表徵	.738	.491	10			
			解釋	.942	.569	10			
		影片組	預測	1.054	.344	9	18.634	.000 ^{***}	
			表徵	.644	.217	9			
			解釋	1.113	.388	9			

β_2	實驗二	圖文組	預測	.948	.717	10	10.084	.004**	3>2(.008)
			表徵	.701	.455	10			
			解釋	1.038	.675	10			
		影片組	預測	1.209	.767	10	12.887	.002**	1>2(.037) ; 3>2(.001)
			表徵	.704	.299	10			
			解釋	1.270	.551	10			
	實驗三	圖文組	預測	1.086	.647	10	8.785	.002**	1>2(.028) ; 3>2(.012)
			表徵	.831	.501	10			
			解釋	1.157	.706	10			
		影片組	預測	1.104	.433	10	7.695	.004**	3>2(.015)
			表徵	.727	.316	10			
			解釋	1.199	.533	10			
	實驗一~2	圖文組	預測	.867	.577	6	3.688	.063	1>2(.017)
			表徵	.741	.529	6			
			解釋	.851	.646	6			
β_2	實驗一	圖文組	預測	1.010	.669	10	4.539	.025*	3>2(.017)
			表徵	.697	.489	10			
			解釋	.918	.631	10			
		影片組	預測	.945	.417	9	9.607	.002**	1>2(.025) ; 3>2(.016)
			表徵	.593	.279	9			
			解釋	.976	.537	9			
	實驗二	圖文組	預測	.945	.749	10	7.971	.003**	3>2(.004)
			表徵	.621	.452	10			
			解釋	.957	.630	10			
		影片組	預測	1.259	1.445	10	4.105	.070	3>2(.042)
			表徵	.622	.394	10			
			解釋	1.192	.947	10			
	實驗三	圖文組	預測	1.023	.622	10	8.492	.003**	1>2(.029) ; 3>2(.017)
			表徵	.721	.467	10			
			解釋	1.061	.664	10			
		影片組	預測	1.047	.829	10	2.455	.114	
			表徵	.728	.468	10			
			解釋	1.238	1.031	10			
	實驗一~2	圖文組	預測	.832	.530	6	3.249	.082	
			表徵	.638	.438	6			
			解釋	.754	.472	6			

γ	實驗一	圖文組	預測	.478	.365	10	4.684	.023 [*]	3>2(.023)
			表徵	.332	.372	10			
			解釋	.464	.383	10			
		影片組	預測	.424	.262	9	12.356	.001 ^{**}	1>2(.017) ; 3>2(.020)
			表徵	.211	.126	9			
			解釋	.403	.272	9			
	實驗二	圖文組	預測	.456	.383	10	5.490	.014 [*]	3>2(.014)
			表徵	.296	.300	10			
			解釋	.467	.387	10			
		影片組	預測	.783	1.389	10	2.206	.171	
			表徵	.248	.233	10			
			解釋	.632	.795	10			
	實驗三	圖文組	預測	.530	.382	10	6.945	.006 ^{**}	1>2(.025) ; 3>2(.013)
			表徵	.348	.340	10			
			解釋	.558	.439	10			
		影片組	預測	.554	.667	10	1.988	.166	
			表徵	.297	.290	10			
			解釋	.662	.797	10			
	實驗一~2	圖文組	預測	.409	.229	6	5.510	.052	
			表徵	.285	.141	6			
			解釋	.352	.181	6			

註：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

註：事後比較之 1 = 預測，2 = 表徵，3 = 解釋

三、不同學習階段下兩種不同表徵之概念改變歷程腦波資料分析

由表4-2-1的結果可知接受不同表徵呈現學習事件之受試者其各頻率腦波功率並無顯著差異，而由表4-2-2的結果可知不論圖文組或影片組之受試者均顯示在不同學習階段間之各頻率腦波功率具一致之趨勢，為進一步比較在每個學習階段下受試者接受靜態圖文或動態影片兩種不同表徵呈現時，其各頻率腦波功率是否有所差異，因此再以不同表徵呈現為固定因子，概念改變歷程之預測、表徵、解釋階段各頻率腦波功率為依變數，進行單因子多變量分析，以期獲得圖文與影片表徵呈現在各學習階段之直接比較，結果如表4-2-3所示：

在實驗一中發現以兩種不同表徵呈現學習事件在 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 之各頻率腦波功率均無顯著差異，但在表徵呈現階段，則發現圖文組之 θ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 功率之平均數均大於影片組， $\alpha 1$ 及 $\alpha 2$ 功率之平均數均小於影片組，但差異均未達顯著水準。

在實驗二中發現以兩種不同表徵呈現學習事件在 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 之各頻率腦波功率均無顯著差異，但圖文組之 θ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 功率之平均數在預測、表徵、解釋三個階段均小於影片組，而 $\alpha 2$ 功率之平均數在三個階段則大於影片組，但差異均未達顯著水準。

在實驗三中亦發現以兩種不同表徵呈現學習事件在 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 之各頻率腦波功率均無顯著差異，而在表徵呈現階段，則發現圖文組之 $\beta 2$ 功率之平均數小於影片組，而 $\alpha 1$ 及 $\alpha 2$ 功率之平均數則大於影片組，但差異均未達顯著水準。

小結：以上結果顯示在預測、表徵及解釋三個學習階段，以圖文或影片兩種不同表徵呈現學習事件，其各頻率腦波平均功率均無顯著差異。且各頻率腦波功率在三個實驗中的兩種不同表徵呈現上並無一致的趨勢，因此推測受試者以本研究所操弄之兩種不同表徵呈現進行科學概念學習時，對大腦活動是否活躍並無顯著之影響。

表4-2-3 不同學習階段下圖文與影片表徵呈現之單因子多變量分析結果

				Mean	SD	N	Wilks' λ	單變量 F	p	事後比較
θ	實驗一	預測	圖文	2.177	1.183	10	0.735	1.277	0.274	
			影片	2.733	0.928	9				
		表徵	圖文	1.824	0.977	10		0.211	0.652	
			影片	2.032	0.992	9				
		解釋	圖文	1.956	0.865	10		3.292	0.087	
			影片	2.894	1.359	9				
	實驗二	預測	圖文	2.162	1.530	10	0.793	2.125	0.162	
			影片	3.104	1.357	10				
		表徵	圖文	1.690	0.881	10		2.491	0.132	
			影片	2.397	1.110	10				
		解釋	圖文	2.389	1.222	10		3.346	0.084	
			影片	3.408	1.270	10				

	實驗三	預測	圖文	2.696	1.247	10	0.905	0.383	0.544
			影片	3.018	1.078	10			
		表徵	圖文	2.193	1.028	10		0.003	0.959
			影片	2.172	0.690	10			
		解釋	圖文	2.999	1.651	10		0.263	0.614
			影片	3.319	1.073	10			
$\alpha 1$	實驗一	預測	圖文	1.887	1.477	10	0.786	0.028	0.869
			影片	1.980	0.804	9			
		表徵	圖文	1.386	0.958	10		0.397	0.537
			影片	1.158	0.535	9			
		解釋	圖文	1.723	1.113	10		1.204	0.288
			影片	2.531	2.015	9			
	實驗二	預測	圖文	1.935	1.729	10	0.872	0.530	0.476
			影片	2.548	2.027	10			
		表徵	圖文	1.406	0.979	10		0.041	0.841
			影片	1.334	0.540	10			
		解釋	圖文	2.728	2.467	10		0.005	0.943
			影片	2.801	2.087	10			
	實驗三	預測	圖文	2.356	1.894	10	0.791	0.283	0.601
			影片	2.006	0.856	10			
		表徵	圖文	1.738	1.111	10		1.202	0.287
			影片	1.309	0.545	10			
		解釋	圖文	2.264	1.688	10		0.060	0.810
			影片	2.113	0.984	10			
$\alpha 2$	實驗一	預測	圖文	2.390	2.758	10	0.935	1.107	0.307
			影片	1.411	0.394	9			
		表徵	圖文	1.443	0.808	10		0.541	0.472
			影片	1.224	0.392	9			
		解釋	圖文	1.960	1.768	10		0.299	0.592
			影片	1.623	0.554	9			
	實驗二	預測	圖文	1.769	1.742	10	0.885	0.278	0.604
			影片	1.469	0.445	10			
		表徵	圖文	1.559	1.022	10		0.129	0.723
			影片	1.426	0.574	10			
		解釋	圖文	2.401	2.196	10		0.885	0.359
			影片	1.736	0.419	10			

	實驗三	預測	圖文	2.311	1.911	10	0.936	1.144	0.299
			影片	1.648	0.447	10			
		表徵	圖文	1.797	1.033	10		0.543	0.471
			影片	1.511	0.664	10			
		解釋	圖文	2.411	2.574	10		1.023	0.325
			影片	1.575	0.446	10			
β_1	實驗一	預測	圖文	1.006	0.690	10	0.652	0.035	0.853
			影片	1.054	0.344	9			
		表徵	圖文	0.738	0.491	10		0.282	0.602
			影片	0.644	0.217	9			
		解釋	圖文	0.942	0.569	10		0.568	0.461
			影片	1.113	0.388	9			
	實驗二	預測	圖文	0.948	0.717	10	0.743	0.618	0.442
			影片	1.209	0.767	10			
		表徵	圖文	0.701	0.455	10		0.000	0.986
			影片	0.704	0.299	10			
		解釋	圖文	1.038	0.675	10		0.710	0.411
			影片	1.270	0.551	10			
	實驗三	預測	圖文	1.086	0.647	10	0.907	0.006	0.940
			影片	1.104	0.433	10			
		表徵	圖文	0.831	0.501	10		0.312	0.584
			影片	0.727	0.316	10			
		解釋	圖文	1.157	0.706	10		0.023	0.882
			影片	1.199	0.533	10			
β_2	實驗一	預測	圖文	1.010	0.669	10	0.751	0.062	0.807
			影片	0.945	0.417	9			
		表徵	圖文	0.697	0.489	10		0.318	0.580
			影片	0.593	0.279	9			
		解釋	圖文	0.918	0.631	10		0.046	0.833
			影片	0.976	0.537	9			
	實驗二	預測	圖文	0.945	0.749	10	0.872	0.372	0.549
			影片	1.259	1.445	10			
		表徵	圖文	0.621	0.452	10		0.000	0.999
			影片	0.622	0.394	10			
		解釋	圖文	0.957	0.630	10		0.427	0.522
			影片	1.192	0.947	10			

	實驗三	預測	圖文	1.023	0.622	10	0.930	0.005	0.943
			影片	1.047	0.829	10			
		表徵	圖文	0.721	0.467	10		0.001	0.972
			影片	0.728	0.468	10			
		解釋	圖文	1.061	0.664	10		0.208	0.654
			影片	1.238	1.031	10			
γ	實驗一	預測	圖文	0.478	0.365	10	0.894	0.131	0.722
			影片	0.424	0.262	9			
		表徵	圖文	0.332	0.372	10		0.853	0.369
			影片	0.211	0.126	9			
		解釋	圖文	0.464	0.383	10		0.155	0.699
			影片	0.403	0.272	9			
	實驗二	預測	圖文	0.456	0.383	10	0.840	0.517	0.481
			影片	0.783	1.389	10			
		表徵	圖文	0.296	0.300	10		0.162	0.692
			影片	0.248	0.233	10			
		解釋	圖文	0.467	0.387	10		0.348	0.562
			影片	0.632	0.795	10			
	實驗三	預測	圖文	0.530	0.382	10	0.921	0.009	0.924
			影片	0.554	0.667	10			
		表徵	圖文	0.348	0.340	10		0.132	0.721
			影片	0.297	0.290	10			
		解釋	圖文	0.558	0.439	10		0.131	0.722
			影片	0.662	0.797	10			

註：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

四、不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析

由表 4-2-1 及 4-2-1-1 的結果可知接受不同表徵呈現學習事件之受試者並未顯著影響其各頻率腦波功率，僅三個學習階段間達顯著差異，因此將所有受試者合併進行三個學習階段之重複量數分析，並以 sidak 法進行事後比較，結果如表 4-2-4 所示：

在實驗一中可發現受試者之 θ ($p = .001$)、 $\alpha 1$ ($p = .012$)、 $\beta 1$ ($p = .000$)、 $\beta 2$ ($p = .000$) 及 γ ($p = .000$) 功率在預測、表徵、解釋三個學習階段間之差異均達顯著水準。事後比

較部份，顯示 θ ($p = .003$)、 α_1 ($p = .001$)、 β_1 ($p = .005$)、 β_2 ($p = .002$)、 γ ($p = .001$) 功率在預測階段均顯著大於表徵階段；同時 θ ($p = .042$)、 α_1 ($p = .044$)、 β_1 ($p = .000$)、 β_2 ($p = .000$)、 γ ($p = .000$) 功率在解釋階段均顯著大於表徵階段；但在預測與解釋階段則並無顯著差異。

在實驗二中可發現受試者之 θ ($p = .000$)、 α_1 ($p = .001$)、 α_2 ($p = .009$)、 β_1 ($p = .000$)、及 β_2 ($p = .006$) 功率在預測、表徵、解釋三個學習階段間之差異均達顯著水準。事後比較部份，顯示 θ ($p = .016$)、 α_1 ($p = .038$)、 β_1 ($p = .003$)、 β_2 ($p = .044$) 功率在預測階段均顯著大於表徵階段；同時 θ ($p = .001$)、 α_1 ($p = .012$)、 α_2 ($p = .046$)、 β_1 ($p = .000$)、 β_2 ($p = .001$)、 γ ($p = .026$) 功率在解釋階段均顯著大於表徵階段；只有 α_2 ($p = .007$) 功率在解釋階段則顯著大於預測階段。

在實驗三中可發現受試者之 θ ($p = .000$)、 α_1 ($p = .000$)、 β_1 ($p = .000$)、 β_2 ($p = .004$) 及 γ ($p = .022$) 功率在預測、表徵、解釋三個學習階段間之差異均達顯著水準。事後比較部份，顯示 θ ($p = .001$)、 α_1 ($p = .001$)、 β_1 ($p = .003$)、 γ ($p = .016$) 功率在預測階段均顯著大於表徵階段；同時 θ ($p = .000$)、 α_1 ($p = .002$)、 β_1 ($p = .000$)、 β_2 ($p = .016$)、 γ ($p = .001$) 功率在解釋階段均顯著大於表徵階段；但在預測與解釋階段則並無顯著差異。

在實驗一～2 中可發現 6 位圖文組受試者之 θ 、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 及 γ 功率在預測、表徵、解釋三個學習階段間之差異均未達顯著水準，但仍顯現其平均數在預測均大於表徵及解釋均大於表徵階段之趨勢。事後比較部份，顯示 β_1 ($p = .017$)、 β_2 ($p = .016$)、 γ ($p = .016$) 功率在預測階段均顯著大於表徵階段；同時 β_2 ($p = .001$)、 γ ($p = .001$) 波平均功率在解釋階段均顯著大於表徵階段；但在預測與解釋階段則並無顯著差異。

小結：綜觀四個實驗可明顯發現受試者在主要的三個雙重情境學習事件中，其預測、表徵、解釋三個不同概念學習階段之 θ 、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 及 γ 波功率強度均達顯著差異，且均呈現預測階段大於表徵階段，解釋階段大於表徵階段，而解釋階段亦大致大於預測階段或與預測階段相仿之趨勢。顯示受試者帶著自身原有的先備概念進行

科學學習時，在思考及推理科學問題以預測其可能結果之際，需提取長期記憶中有關此問題的知識架構，並在工作記憶區與現階段所面對的科學問題產生關連性，因此大腦活動開始活躍；而在呈現學習事件階段，儘管受試者可能發現與自己的預測不同而產生認知不和諧，但推測此階段仍處於單純接受訊息之情況，而較無法在接收訊息的同時，整合所有相關想法，因此顯現預測階段各頻率腦波平均功率均顯著大於表徵階段；直到最後解釋階段開始將原有論點架構於新的訊息上，並逐步連結所有訊息以設法找出新的可能論點，因此大腦各部位活動在此階段最為活躍，而在各頻率腦波功率顯現解釋階段顯著的大於表徵階段，甚或預測階段。且由此部份數據看來，腦波資料的確有助於我們進一步瞭解學習者在科學學習之概念改變歷程中的訊息的處理與認知思考的過程。

表 4-2-4 不同學習階段腦波之重複量數分析結果

			人數	M	SD	F	P	事後比較
0	實驗一	預測	19	2.441	1.079	8.033	.001**	1>2(.003) ; 3>2(.042)
		表徵	19	1.923	.962			
		解釋	19	2.400	1.194			
	實驗二	預測	20	2.633	1.489	13.791	.000***	1>2(.016) ; 3>2(.001)
		表徵	20	2.044	1.041			
		解釋	20	2.899	1.321			
	實驗三	預測	20	2.857	1.146	15.075	.000***	1>2(.001) ; 3>2(.000)
		表徵	20	2.182	.852			
		解釋	20	3.159	1.365			
α1	實驗一~2	預測	6	1.761	1.073	1.295	.316	
		表徵	6	1.677	1.251			
		解釋	6	1.915	1.168			
	實驗一	預測	19	1.931	1.175	6.107	.012*	1>2(.001) ; 3>2(.044)
		表徵	19	1.278	.774			
		解釋	19	2.106	1.611			
	實驗二	預測	20	2.241	1.861	7.943	.001**	1>2(.038) ; 3>2(.012)
		表徵	20	1.370	.771			
		解釋	20	2.765	2.224			

$\alpha 2$	實驗三	預測	20	2.181	1.442	12.476	.000***	1>2(.001) ; 3>2(.002)
		表徵	20	1.524	.880			
		解釋	20	2.188	1.347			
	實驗一~2	預測	6	1.408	1.307	1.636	.243	
		表徵	6	1.322	1.388			
		解釋	6	1.452	1.452			
	實驗一	預測	19	1.927	2.031	1.543	.232	
		表徵	19	1.339	.638			
		解釋	19	1.801	1.315			
	實驗二	預測	20	1.619	1.247	6.616	.009**	3>1(.007) ; 3>2(.046)
		表徵	20	1.493	.809			
		解釋	20	2.069	1.576			
	實驗三	預測	20	1.979	1.393	1.484	.242	
		表徵	20	1.654	.858			
		解釋	20	1.993	1.849			
	實驗一~2	預測	6	1.428	1.384	1.140	.335	
		表徵	6	1.310	1.047			
		解釋	6	1.815	2.179			
$\beta 1$	實驗一	預測	19	1.029	.540	12.767	.000***	1>2(.005) ; 3>2(.000)
		表徵	19	.694	.379			
		解釋	19	1.023	.486			
	實驗二	預測	20	1.079	.735	21.254	.000***	1>2(.003) ; 3>2(.000)
		表徵	20	.702	.375			
		解釋	20	1.154	.611			
	實驗三	預測	20	1.095	.536	15.862	.000***	1>2(.003) ; 3>2(.000)
		表徵	20	.779	.411			
		解釋	20	1.178	.609			
	實驗一~2	預測	6	.867	.577	3.688	.063	1>2(.017)
		表徵	6	.741	.529			
		解釋	6	.851	.646			
$\beta 2$	實驗一	預測	19	.979	.550	12.853	.000***	1>2(.002) ; 3>2(.000)
		表徵	19	.648	.396			
		解釋	19	.946	.573			
	實驗二	預測	20	1.102	1.132	8.559	.006**	1>2(.044) ; 3>2(.001)
		表徵	20	.622	.413			
		解釋	20	1.075	.792			

γ	實驗三	預測	20	1.035	.713	6.465	.004 ^{**}	3>2(.016)
		表徵	20	.724	.455			
		解釋	20	1.149	.849			
	實驗一～2	預測	6	.832	.530	3.249	.082	1>2(.016) ; 3>2(.001)
		表徵	6	.638	.438			
		解釋	6	.754	.472			
	實驗一	預測	19	.452	.313	15.537	.000 ^{***}	1>2(.001) ; 3>2(.000)
		表徵	19	.275	.283			
		解釋	19	.435	.328			
	實驗二	預測	20	.619	1.006	3.734	.066	3>2(.026)
		表徵	20	.272	.263			
		解釋	20	.549	.614			
	實驗三	預測	20	.542	.529	4.790	.022 [*]	1>2(.016) ; 3>2(.001)
		表徵	20	.322	.309			
		解釋	20	.610	.628			
	實驗一～2	預測	6	.409	.229	5.510	.052	1>2(.016) ; 3>2(.001)
		表徵	6	.285	.141			
		解釋	6	.352	.181			

註：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

註：事後比較之 1＝預測，2＝表徵，3＝解釋

第三節 認知衝突與概念改變成功與否在不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析

本研究的研究目的之一為探討高一學生在「燃燒之熱膨脹」概念學習時，其大腦各部位活動與概念改變之間是否有關聯，以期能將腦波相關研究應用於科學教育上，進一步瞭解學生在概念改變過程中之認知歷程。因此分別針對表4-1-1及表4-1-2之概念分析統計表進行認知衝突分組與概念改變成功分組，且由表4-2-1、4-2-2、4-2-3的結果可知接受不同表徵呈現學習事件之受試者並未顯著影響其各頻率腦波功率，因此在接著進行之認知衝突分組或概念改變成功分組之統計分析中，均不再考慮受試者是否接受不同表徵之呈現，且由於實驗一～2因為選擇事件，所進行之受試者較少，亦將不列入認知衝

突分組與概念改變成功分組之統計分析。。

一、認知衝突與否在不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析

為瞭解受試者產生認知衝突與否在各頻率腦波功率強度表現上是否有所差異，因此以認知衝突與否為固定因子，以受試者概念改變歷程之預測、表徵、解釋階段之各頻率腦波功率為依變數，進行單因子多變量分析，並以sidak法進行事後比較，結果如表4-3-1所示：

在實驗一中可發現 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 在預測、表徵、解釋三個不同學習階段中，各頻率腦波功率之平均數均顯示認知衝突組大於無認知衝突組之趨勢，且在 θ 之預測階段($p = .053$)、表徵階段($p = .053$)、解釋階段($p = .078$)， $\alpha 1$ 之預測階段($p = .078$) 均達 $p < 0.1$ 之顯著水準，且均為認知衝突組大於無認知衝突組。。

在實驗二中可發現除了 $\alpha 2$ 在解釋階段外， θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 在預測、表徵、解釋三個不同學習階段中，各頻率腦波功率之平均數均顯示無認知衝突組大於認知衝突組之趨勢，但均未達 $p < 0.1$ 之顯著水準。。

在實驗三中可發現除了 θ 在預測階段外， θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 在預測、表徵、解釋三個不同學習階段中，各頻率腦波功率之平均數均顯示認知衝突組大於無認知衝突組，且在 $\alpha 2$ 之表徵階段($p = .052$)， $\beta 1$ 之表徵階段($p = .040$)、解釋階段($p = .098$)， $\beta 2$ 之表徵階段($p = .029$)、解釋階段($p = .049$)均達 $p < 0.1$ 之顯著水準，且均為認知衝突組大於無認知衝突組。

小結： θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 功率強度在認知衝突分組上，實驗一與實驗三呈現較明顯之差異，且大抵均為認知衝突組大於無認知衝突組，顯示當學生以自身原有先備概念提出預測後，卻觀察到與預測不符的結果之際，其在大腦中的認知不和諧，將促使學生設法思考其它可能解答，而造成大腦各部位活動變得活躍；而實驗二所呈現各頻率腦波功率強度趨勢與實驗一及實驗三恰相反，其平均數均顯示無認知衝突組大於認知衝突組之趨勢，但其間差異並未達 $p < 0.1$ 之顯著水準，是以推測應與情境學習事件之設計有

關，在進行實驗二時，無認知衝突學生大抵以實驗一推論五根蠟燭廣口瓶內水位會上升最高，及直觀上推測會有泡泡產生，結果雖與之後所呈現之學習事件間並無衝突，但其預測卻非依據自己所相信的心智架構。不同於實驗一及實驗三之無認知衝突學生均依據自身先備概念或在學習事件中逐步建構且相信之科學概念進行預測，可能因而造成實驗二的結果與實驗一及實驗三較無一致之趨勢。

表4-3-1 產生認知衝突與否在不同學習階段之單因子多變量分析結果

				Mean	SD	N	Wilks' λ	單變量 F	p	事後比較
0	實驗一	預測	無衝突	1.349	0.213	3	0.781	4.315	0.053 [*]	衝突>無衝突
			衝突	2.645	1.053	16				
		表徵	無衝突	0.950	0.224	3		4.307	0.053 [*]	衝突>無衝突
			衝突	2.105	0.938	16				
		解釋	無衝突	1.290	0.430	3		3.506	0.078 [*]	衝突>無衝突
			衝突	2.608	1.181	16				
	實驗二	預測	無衝突	3.168	2.215	6	0.741	1.113	0.305	
			衝突	2.404	1.079	14				
		表徵	無衝突	2.295	1.423	6		0.488	0.494	
			衝突	1.936	0.874	14				
		解釋	無衝突	3.066	1.837	6		0.131	0.722	
			衝突	2.827	1.110	14				
	實驗三	預測	無衝突	2.954	0.943	5	0.622 [*]	0.045	0.834	
			衝突	2.825	1.235	15				
		表徵	無衝突	1.749	0.605	5		1.799	0.196	
			衝突	2.327	0.890	15				
		解釋	無衝突	2.788	1.195	5		0.478	0.498	
			衝突	3.283	1.434	15				
α1	實驗一	預測	無衝突	0.836	0.084	3	0.817	3.524	0.078 [*]	衝突>無衝突
			衝突	2.136	1.171	16				
		表徵	無衝突	0.682	0.213	3		2.254	0.152	
			衝突	1.390	0.793	16				
		解釋	無衝突	0.794	0.210	3		2.566	0.128	
			衝突	2.351	1.643	16				

	實驗二	預測	無衝突	2.404	2.166	6	0.935	0.062	0.805
			衝突	2.172	1.800	14			
		表徵	無衝突	1.517	1.177	6		0.300	0.590
			衝突	1.307	0.567	14			
		解釋	無衝突	2.477	2.103	6		0.136	0.716
			衝突	2.888	2.340	14			
	實驗三	預測	無衝突	1.755	0.691	5	0.869	0.571	0.460
			衝突	2.323	1.612	15			
		表徵	無衝突	1.130	0.300	5		1.361	0.259
			衝突	1.655	0.975	15			
		解釋	無衝突	1.887	1.295	5		0.322	0.577
			衝突	2.289	1.393	15			
$\alpha 2$	實驗一	預測	無衝突	1.103	0.356	3	0.918	0.573	0.460
			衝突	2.081	2.184	16			
		表徵	無衝突	0.931	0.361	3		1.496	0.238
			衝突	1.416	0.657	16			
		解釋	無衝突	1.093	0.432	3		1.033	0.324
			衝突	1.933	1.390	16			
	實驗二	預測	無衝突	2.175	2.218	6	0.723	1.777	0.199
			衝突	1.380	0.419	14			
		表徵	無衝突	1.639	1.351	6		0.271	0.609
			衝突	1.430	0.491	14			
		解釋	無衝突	2.500	2.704	6		0.628	0.438
			衝突	1.884	0.835	14			
	實驗三	預測	無衝突	1.433	0.316	5	0.746	1.026	0.325
			衝突	2.161	1.569	15			
		表徵	無衝突	1.017	0.303	5		4.321	0.052 [*] 衝突>無衝突
			衝突	1.867	0.883	15			
		解釋	無衝突	1.300	0.387	5		0.935	0.346
			衝突	2.224	2.089	15			
$\beta 1$	實驗一	預測	無衝突	0.847	0.392	3	0.953	0.391	0.540
			衝突	1.063	0.567	16			
		表徵	無衝突	0.561	0.290	3		0.419	0.526
			衝突	0.719	0.397	16			
		解釋	無衝突	0.794	0.406	3		0.782	0.389
			衝突						

		衝突	1.066	0.499	16				
實驗二	預測	無衝突	1.379	0.846	6	0.917	1.461	0.242	
		衝突	0.950	0.675	14				
	表徵	無衝突	0.834	0.464	6		1.059	0.317	
		衝突	0.646	0.333	14				
	解釋	無衝突	1.371	0.711	6		1.089	0.310	
		衝突	1.060	0.566	14				
實驗三	預測	無衝突	0.857	0.291	5	0.768	1.335	0.263	
		衝突	1.174	0.582	15				
	表徵	無衝突	0.459	0.122	5		4.873	0.040*	衝突>無衝突
		衝突	0.886	0.420	15				
	解釋	無衝突	0.787	0.347	5		3.048	0.098*	衝突>無衝突
		衝突	1.309	0.629	15				
β2	實驗一	預測 無衝突	0.844	0.473	3	0.980	0.205	0.657	
		衝突	1.004	0.573	16				
	表徵	無衝突	0.549	0.356	3		0.210	0.652	
		衝突	0.666	0.411	16				
	解釋	無衝突	0.770	0.522	3		0.321	0.578	
		衝突	0.978	0.592	16				
實驗二	預測	無衝突	1.350	0.826	6	0.870	0.398	0.536	
		衝突	0.996	1.253	14				
	表徵	無衝突	0.787	0.487	6		1.397	0.253	
		衝突	0.551	0.374	14				
	解釋	無衝突	1.326	0.617	6		0.855	0.367	
		衝突	0.967	0.854	14				
實驗三	預測	無衝突	0.647	0.179	5	0.739	2.084	0.166	
		衝突	1.164	0.781	15				
	表徵	無衝突	0.349	0.098	5		5.654	0.029*	衝突>無衝突
		衝突	0.850	0.460	15				
	解釋	無衝突	0.510	0.098	5		4.476	0.049*	衝突>無衝突
		衝突	1.362	0.883	15				
γ	實驗一	預測 無衝突	0.425	0.267	3	0.986	0.026	0.875	
		衝突	0.457	0.328	16				
		表徵 無衝突	0.247	0.192	3		0.032	0.860	
		衝突	0.280	0.301	16				

	解釋	無衝突	0.380	0.284	3		0.097	0.759
		衝突	0.446	0.342	16			
實驗二	預測	無衝突	0.683	0.462	6	0.818	0.033	0.858
		衝突	0.592	1.181	14			
	表徵	無衝突	0.367	0.359	6		1.125	0.303
		衝突	0.231	0.212	14			
	解釋	無衝突	0.690	0.385	6		0.437	0.517
		衝突	0.489	0.694	14			
實驗三	預測	無衝突	0.297	0.125	5	0.827	1.464	0.242
		衝突	0.623	0.589	15			
	表徵	無衝突	0.140	0.060	5		2.513	0.130
		衝突	0.383	0.335	15			
	解釋	無衝突	0.212	0.065	5		2.954	0.103
		衝突	0.743	0.678	15			

註：* $p < 0.1$

二、概念改變成功與否在不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析

為瞭解受試者概念改變成功與否在各頻率腦波功率強度表現上是否有所差異，因此以概念改變成功與否為固定因子，以受試者概念改變歷程之預測、表徵、解釋階段之各頻率腦波功率為依變數，進行單因子多變量分析，並以 sidak 法進行事後比較，結果如表4-3-2所示：

在實驗一中可發現 β_1 之表徵階段($p = .062$)， β_2 之表徵階段($p = .027$)、解釋階段($p = .080$)， γ 之預測階段($p = .046$)、表徵階段($p = .030$)、解釋階段($p = .027$)在概念改變成功與否兩組間的差異達 $p < 0.1$ 之顯著水準，且均為概念改變不成功組大於概念改變成功組。

在實驗二中可發現 θ 、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 及 γ 在預測、表徵、解釋三個不同學習階段中，各頻率腦波功率之平均數均顯示概念改變不成功組大於概念改變成功組之趨勢，且在 θ 之表徵階段($p = .043$)， α_1 之預測階段($p = .064$)、表徵階段($p = .041$)， β_1 之預測階段($p = .046$)、表徵階段($p = .009$)、解釋階段($p = .19$)， β_2 之預測階段($p = .075$)、表徵階段($p = .024$)、解釋階段($p = .057$)， γ 之表徵階段($p = .065$)在概念改變成功與否兩組間的差異

均達 $p < 0.1$ 之顯著水準，且均為概念改變不成功組大於概念改變成功組。

在實驗三中可發現 θ 、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 及 γ 波在預測、表徵、解釋三個不同學習階段中，各頻率腦波功率之平均數均顯示概念改變不成功組與概念改變成功組並無太大差異，均未達 $p < 0.1$ 之顯著水準。

小結：在實驗一及實驗二概念改變成功與否兩組間具顯著差異部份，各頻率腦波功率均呈現概念改變不成功組大於概念改變成功組，顯示概念改變不成功之學生較無法有效率整合大腦中相關訊息，因而所需耗費之認知資源較多，而概念改變成功之學生則可有效連結相關訊息，建立較正確的科學概念，是以相對的認知負荷較低。而以情境學習事件之設計角度，再進一步針對實驗二及實驗三概念改變成功學生加以比較，在實驗二概念改變成功學生，乃循序由瓶外水面產生泡泡，逐步思考有氣體由瓶內溢出及其原因，進而連結蠟燭提供熱能，造成瓶內氣體受熱膨脹而溢出瓶外，當蠟燭熄滅後氣體體積縮小，水進入瓶內遞補，一步緊接一步，建立完整之科學概念；但在實驗三藉由實驗裝置之改變，學生需將先前實驗所有訊息加以連結，概念改變成功者則需同時連結氣體是否溢出、蠟紙袋是否膨脹收縮及瓶內水位是否上升，所需要認知資源較多，因而可能造成與概念改變不成功學生間並無太大差異。

表4-3-2 概念改變成功與否在不同學習階段之單因子多變量分析結果

		概念 改變	Mean	SD	N	Wilks' λ	單變量 F	p	事後比較
θ	實驗一	預測 不成功	2.272	1.372	9	0.807	0.404	0.534	
		成功	2.592	0.775	10				
		表徵 不成功	2.004	1.144	9		0.117	0.736	
		成功	1.849	0.822	10				
		解釋 不成功	2.292	1.370	9		0.132	0.721	
		成功	2.497	1.078	10				
	實驗二	預測 不成功	3.135	1.550	10	0.762	2.443	0.135	
		成功	2.131	1.310	10				
		表徵 不成功	2.507	1.093	10		4.740	0.043*	不成功>成功

		成功	1.580	0.785	10				
	解釋	不成功	3.238	1.440	10		1.340	0.262	
		成功	2.560	1.164	10				
α1	實驗三	預測	不成功	2.915	0.868	6	0.999	0.021	0.888
			成功	2.833	1.276	14			
		表徵	不成功	2.211	0.316	6		0.009	0.924
			成功	2.170	1.011	14			
		解釋	不成功	3.193	1.059	6		0.005	0.944
			成功	3.144	1.514	14			
α1	實驗一	預測	不成功	1.723	1.416	9	0.561*	0.524	0.479
			成功	2.119	0.947	10			
		表徵	不成功	1.418	1.066	9		0.548	0.469
			成功	1.152	0.390	10			
		解釋	不成功	1.762	1.353	9		0.769	0.393
			成功	2.415	1.827	10			
	實驗二	預測	不成功	3.007	2.293	10	0.715	3.902	0.064* 不成功>成功
			成功	1.476	0.865	10			
		表徵	不成功	1.716	0.855	10		4.837	0.041* 不成功>成功
			成功	1.024	0.508	10			
		解釋	不成功	3.173	2.364	10		0.663	0.426
			成功	2.356	2.118	10			
α2	實驗三	預測	不成功	1.931	0.533	6	0.931	0.247	0.625
			成功	2.288	1.699	14			
		表徵	不成功	1.355	0.458	6		0.304	0.588
			成功	1.596	1.016	14			
		解釋	不成功	2.170	1.018	6		0.002	0.969
			成功	2.196	1.501	14			
α2	實驗一	預測	不成功	1.565	1.330	9	0.919	0.529	0.477
			成功	2.252	2.535	10			
		表徵	不成功	1.333	0.836	9		0.002	0.967
			成功	1.345	0.441	10			
		解釋	不成功	1.929	1.912	9		0.155	0.699
			成功	1.685	0.420	10			

	實驗二	預測	不成功	2.013	1.635	10	0.887	2.115	0.163		
			成功	1.225	0.513	10					
		表徵	不成功	1.725	0.962	10		1.706	0.208		
			成功	1.261	0.580	10					
		解釋	不成功	2.493	2.053	10		1.488	0.238		
			成功	1.644	0.793	10					
	實驗三	預測	不成功	1.495	0.196	6	0.925	1.040	0.321		
			成功	2.187	1.633	14					
		表徵	不成功	1.383	0.529	6		0.850	0.369		
			成功	1.771	0.959	14					
		解釋	不成功	1.549	0.331	6		0.482	0.496		
			成功	2.184	2.196	14					
β1	實驗一	預測	不成功	1.107	0.644	9	0.753	0.343	0.566		
			成功	0.959	0.450	10					
		表徵	不成功	0.863	0.498	9		3.980	0.062*		不成功>成功
			成功	0.541	0.111	10					
		解釋	不成功	1.155	0.623	9		1.288	0.272		
			成功	0.904	0.307	10					
	實驗二	預測	不成功	1.402	0.830	10	0.647*	4.601	0.046*	不成功>成功	
			成功	0.756	0.469	10					
		表徵	不成功	0.910	0.385	10		8.572	0.009**	不成功>成功	
			成功	0.495	0.229	10					
		解釋	不成功	1.462	0.682	10		6.611	0.019*	不成功>成功	
			成功	0.845	0.333	10					
	實驗三	預測	不成功	1.081	0.476	6	0.993	0.006	0.941		
			成功	1.101	0.577	14					
		表徵	不成功	0.796	0.423	6		0.014	0.907		
			成功	0.772	0.422	14					
		解釋	不成功	1.161	0.585	6		0.007	0.936		
			成功	1.186	0.641	14					
	實驗一	預測	不成功	1.149	0.639	9	0.713	1.689	0.211		
			成功	0.826	0.432	10					
		表徵	不成功	0.854	0.492	9		5.871	0.027*		不成功>成功
			成功	0.462	0.133	10					

	解釋	不成功	1.188	0.735	9		3.469	0.080 [*]	不成功>成功
		成功	0.728	0.254	10				
實驗二	預測	不成功	1.551	1.433	10	0.745	3.580	0.075 [*]	不成功>成功
		成功	0.653	0.450	10				
	表徵	不成功	0.824	0.465	10		6.064	0.024 [*]	不成功>成功
		成功	0.420	0.229	10				
	解釋	不成功	1.408	0.971	10		4.134	0.057 [*]	不成功>成功
		成功	0.741	0.366	10				
實驗三	預測	不成功	0.913	0.587	6	0.986	0.239	0.631	
		成功	1.087	0.775	14				
	表徵	不成功	0.692	0.448	6		0.041	0.842	
		成功	0.738	0.474	14				
	解釋	不成功	1.017	0.682	6		0.201	0.659	
		成功	1.206	0.928	14				
γ 實驗一	預測	不成功	0.601	0.347	9	0.735	4.616	0.046 [*]	不成功>成功
		成功	0.319	0.217	10				
	表徵	不成功	0.419	0.362	9		5.596	0.030 [*]	不成功>成功
		成功	0.145	0.059	10				
	解釋	不成功	0.605	0.389	9		5.852	0.027 [*]	不成功>成功
		成功	0.282	0.158	10				
實驗二	預測	不成功	0.924	1.360	10	0.818	1.918	0.183	
		成功	0.315	0.285	10				
	表徵	不成功	0.380	0.330	10		3.872	0.065 [*]	不成功>成功
		成功	0.164	0.105	10				
	解釋	不成功	0.769	0.809	10		2.806	0.111	
		成功	0.330	0.187	10				
實驗三	預測	不成功	0.462	0.441	6	0.965	0.185	0.672	
		成功	0.576	0.575	14				
	表徵	不成功	0.349	0.439	6		0.061	0.808	
		成功	0.311	0.254	14				
	解釋	不成功	0.515	0.542	6		0.188	0.670	
		成功	0.651	0.677	14				

註：^{*} p< 0.1, ^{**} p< 0.01

三、認知衝突/概念改變成功與否在不同學習階段之同調性 (coherence)分析

為進一步探討認知衝突產生與否或概念改變成功與否在不同學習階段下大腦各部位之合作情形，以提供大腦各頻率腦波功率強度外之大腦活動及認知處理訊息，本研究利用 EEGLab 分別計算每位學生三個實驗中之預測、表徵、解釋三階段所蒐集之 19 個電極兩兩之間的同調性，共得每個實驗每個階段各 171 個配對同調性數值，再據以進行認知衝突與否或概念改變成功與否下大腦各部位同調性 (coherence)之分析與比較。

(一) 認知衝突與否在不同學習階段之同調性分析

針對每位學生三個實驗中預測、表徵、解釋三階段各 171 個配對同調性數值，進行認知衝突產生與否之獨立樣本 T-檢定，結果如表 4-3-3、表 4-3-4、表 4-3-5 所示：

在實驗一中，以 θ 觀之，在預測階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，且多位於左右半腦額葉 (frontal lobe)、中央區 (central area)、與後腦區 (posterior area)之間，後腦區包括頂葉 (parietal lobe)、顳葉 (temporal lobe)與枕葉 (occipital lobe)，且同時可見半腦內及半腦間之合作。而無認知衝突學生僅在 Fp1-F3 同調性顯著大於有認知衝突學生；在表徵階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，且集中於右半腦之額葉區與後腦區間，並以跨半腦之遠距合作為主，而無認知衝突學生仍可見 Fp1-F3 同調性顯著大於有認知衝突學生。在解釋階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，主要可見於右腦額葉區與後腦區之間，且以後腦區之 P4 為「主要處理節點」(main processing node, Weiss & Rappelsberger, 1996)，而無認知衝突學生仍只見 Fp1-F3 同調性顯著大於有認知衝突學生。

以 $\alpha 1$ 觀之，在預測階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，多位於左右額葉區之間、額葉區與後腦區之間、中央區與後腦區之間，及後腦區之間，且左半腦額葉區與後腦區之合作高於右半腦；而無認知衝突學生僅在 Fp1-F3 同調性顯著大於有認知衝突學生。在表徵階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突

學生，多位於右半腦額葉區與後腦區，左右半腦中央區與額葉區及後腦區之間。在解釋階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，主要位於左右額葉區之間、中央區與額葉區之間、後腦區之間。

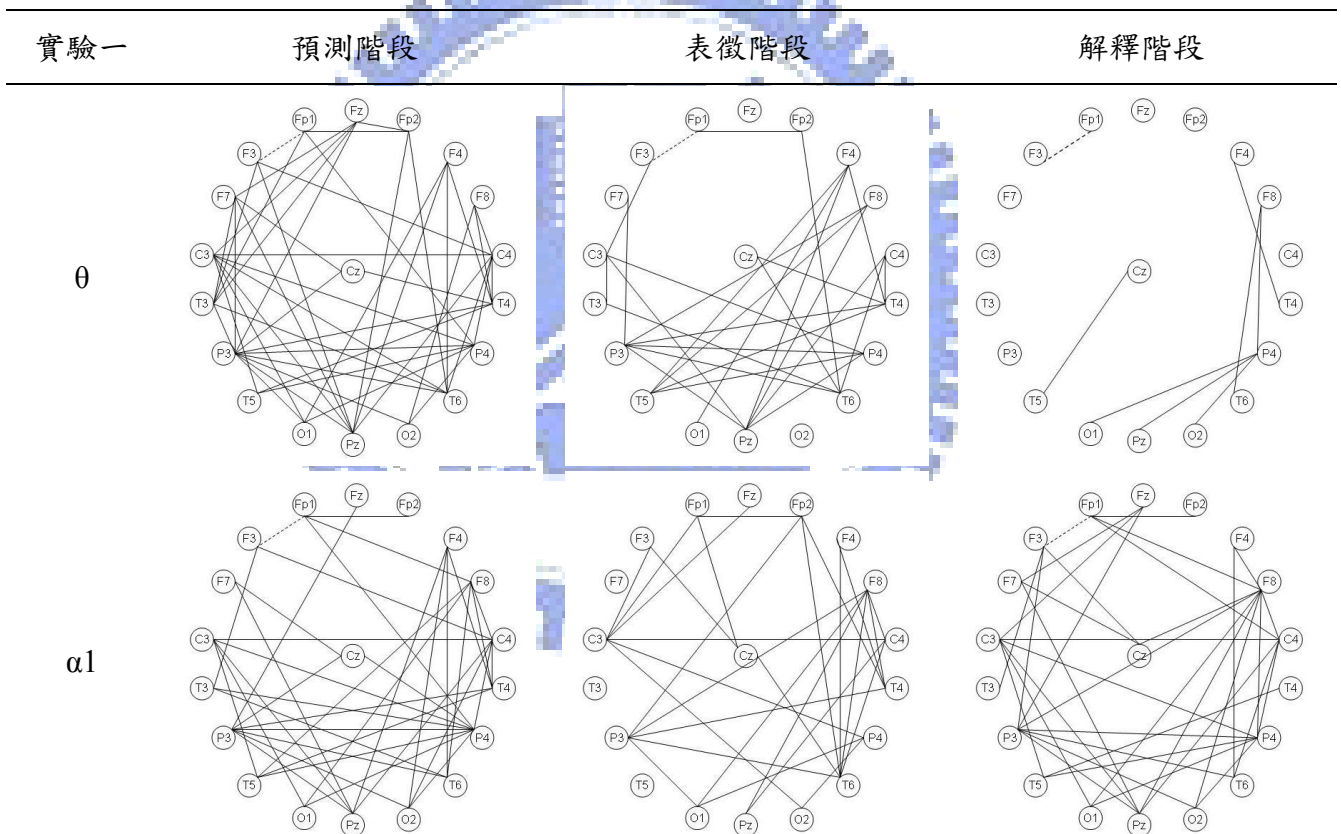
以 $\alpha 2$ 觀之，在預測階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，多位於左右額葉區之間、額葉區與後腦區之間、中央區與後腦區之間，及後腦區之間；而無認知衝突學生僅在 Fp1-F3 同調性顯著大於有認知衝突學生。在表徵階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，可見於右半腦額葉區與後腦區，左右半腦額葉區之間、中央區與額葉區之間，及後腦區之間。在解釋階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，主要位於左右額葉區之間、額葉區與後腦區之間、中央區與後腦區之間，及後腦區之間；而無認知衝突學生僅在 Fp1-F3 同調性顯著大於有認知衝突學生；三個學習階段均呈現以 F8 為「主要處理節點」。

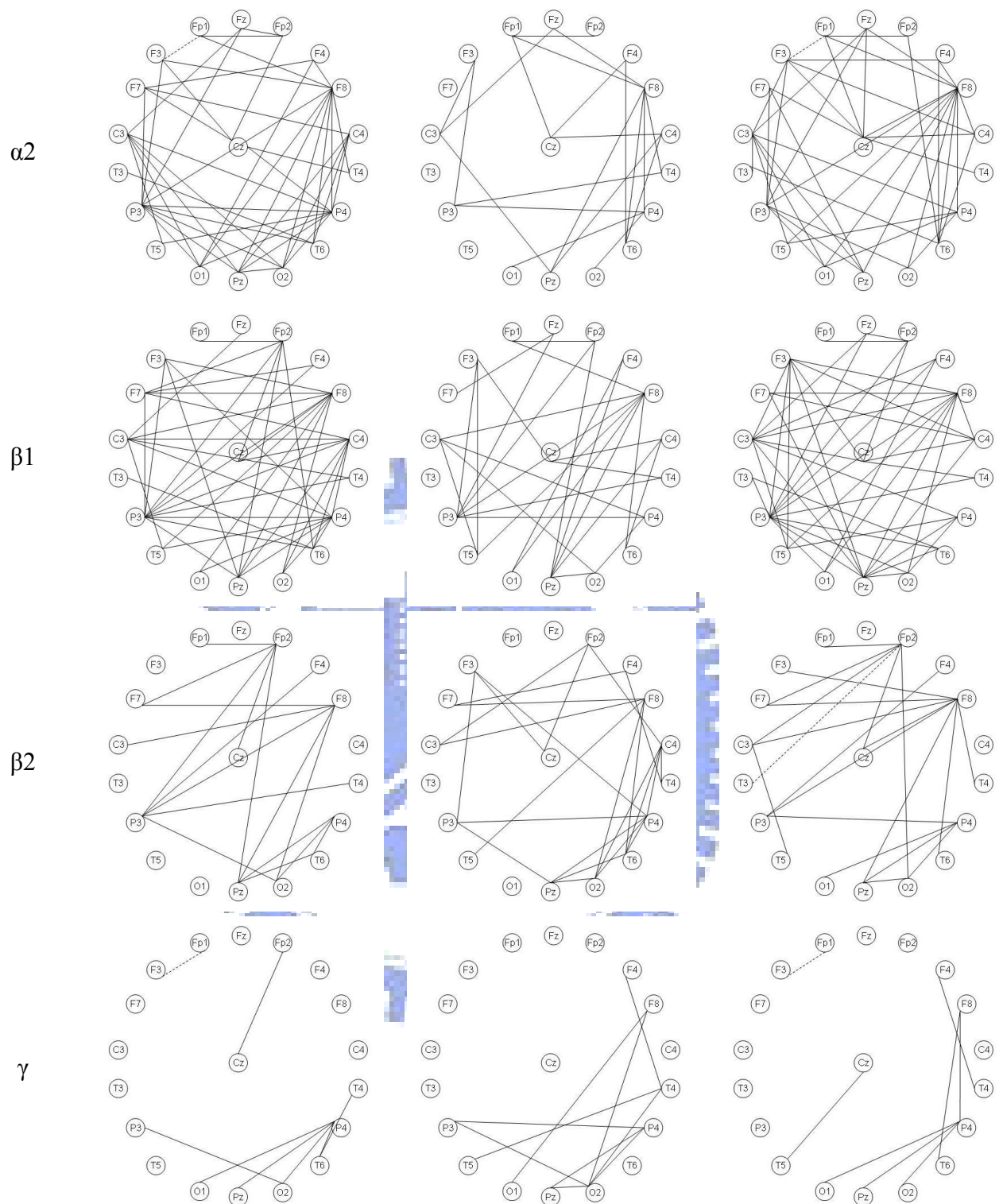
以 $\beta 1$ 觀之，在預測階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，多位於左右額葉區之間、額葉區與中央區之間、額葉區與後腦區之間、中央區與後腦區之間，及後腦區之間。在表徵階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，可見於左右半腦額葉區與後腦區，中央區與後腦區之間為主，且以額葉區與其他腦區之合作為主；在解釋階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，與預測階段相似，但可見增加了 F3 與後腦區間同調性，及減少了 C4 與後腦區之同調性。

以 $\beta 2$ 觀之，認知衝突與否兩組學生各腦區間之同調性差異遠少於 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 與 $\beta 1$ ，在預測階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，多位於 Fp1 與額葉區之間、Fp1 與後腦區之間、F8 與後腦區之間、及後腦區之間，且多見跨半腦之遠距合作。在表徵階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，主要見於右半腦內 Fp2 與中央區之間、F8 與後腦區之間、C4 與後腦區之間，亦呈現於額葉區之跨半腦合作。在解釋階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，與預測階段相似，多見 Fp1、F8、P4 之跨半腦合作；而無認知衝突學生僅在 Fp2-T3 同調性顯著大於有認知衝突學生。

以 γ 觀之，認知衝突與否兩組學生各腦區間同調性差異更小，在預測階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，主要位於後腦區之間、Fp2-Cz 之間；而無認知衝突學生僅在 Fp1-F3 同調性顯著大於有認知衝突學生。在表徵階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，主要見於右半腦內額葉區與後腦區之間、及左右半腦後腦區之間。在解釋階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，呈現以 P4 為「主要處理節點」，另呈現於額葉區與後腦區及 T5-Cz 間的合作；而無認知衝突學生仍僅在 Fp2-T3 之同調性顯著大於有認知衝突學生。

表4-3-3 認知衝突與否在實驗一不同學習階段之同調性之T檢定結果





註：—— 衝突 > 無衝突； - - - - - 無衝突 > 衝突

在實驗二中，以 θ 觀之，在預測階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於認知衝突學生，位於 Fp2-C3、Fp2-P4、Fz-F7 及 C4-P3 之間。在表徵階段，無認知衝突學生

之同調性顯著大於有認知衝突學生，見於左右半腦額葉區之間、F8-C3、C4 與後腦區 P3、T5 之間，且以跨半腦之遠距合作為主。在解釋階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生，僅見於 Fp2-P4。

以 $\alpha 1$ 觀之，在預測階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，位於 F8 與 F4 及 T4 之間。在表徵階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生，以 F7、C4 為「主要處理節點」，且均為跨半腦之遠距合作。在解釋階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，僅見於 F8-T4。

以 $\alpha 2$ 觀之，在預測階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生，位於 F7-F8 及 P3-C4 之跨半腦遠距合作；有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，僅見於 F8-T4。在表徵階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生，呈現以 F7、C4 為「主要處理節點」，且均為跨半腦之遠距合作；另可見有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，位於 F8-T4 之間。在解釋階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生，位於 F7-F8 之間；而認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，則位於 F8-T4 及 C4-T4 之間。

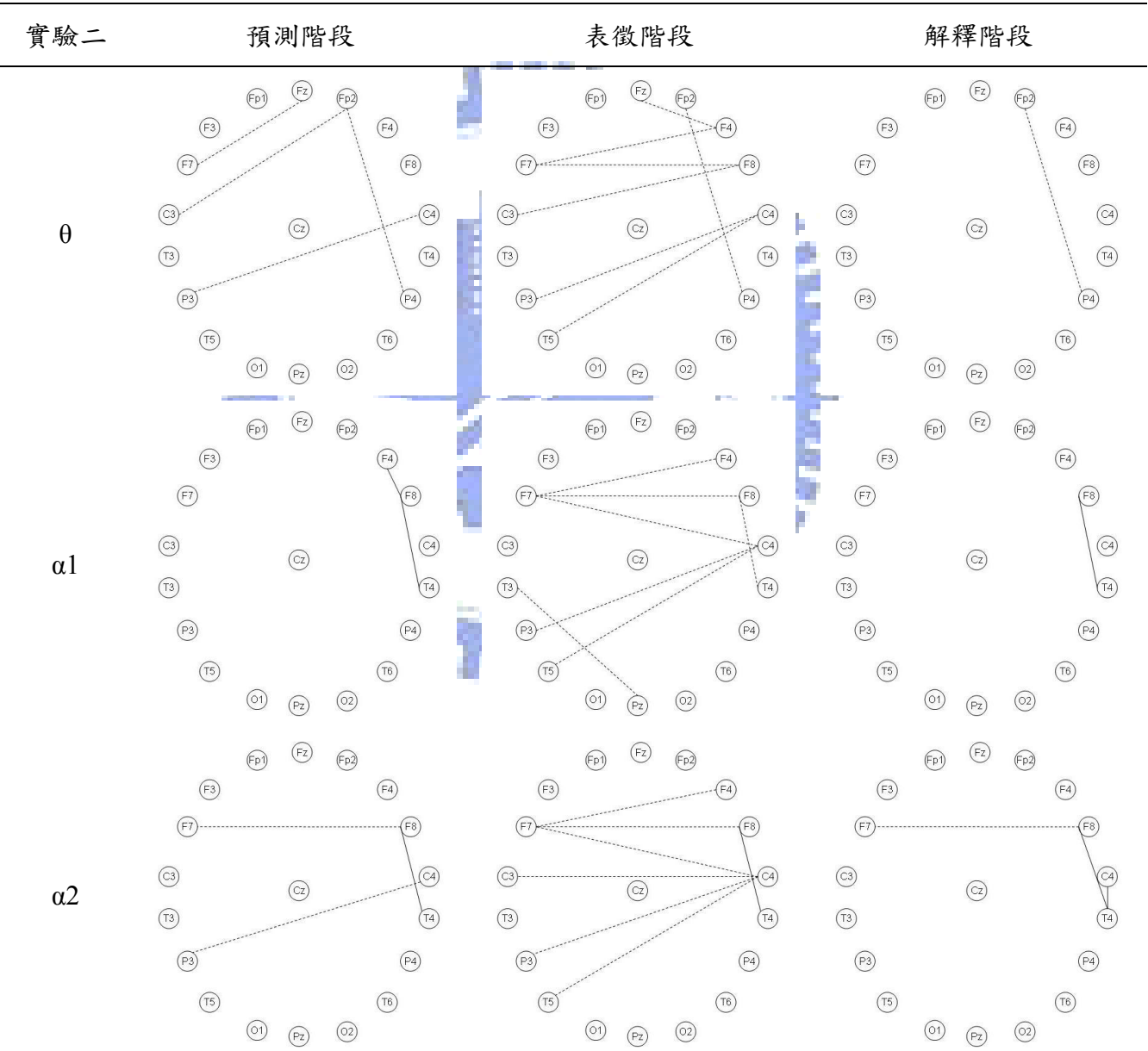
以 $\beta 1$ 觀之，在預測階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生，僅呈現 Fp2-Pz 之遠距合作。在表徵階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生，呈現於 Fp2 與 P4、Pz 之遠距合作，及 F7 與 F4、F8 之跨半腦合作。在解釋階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生，位於 Fp2 與 C3、Pz 之間；而有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，位於 T4 與 F3、F8 之間。

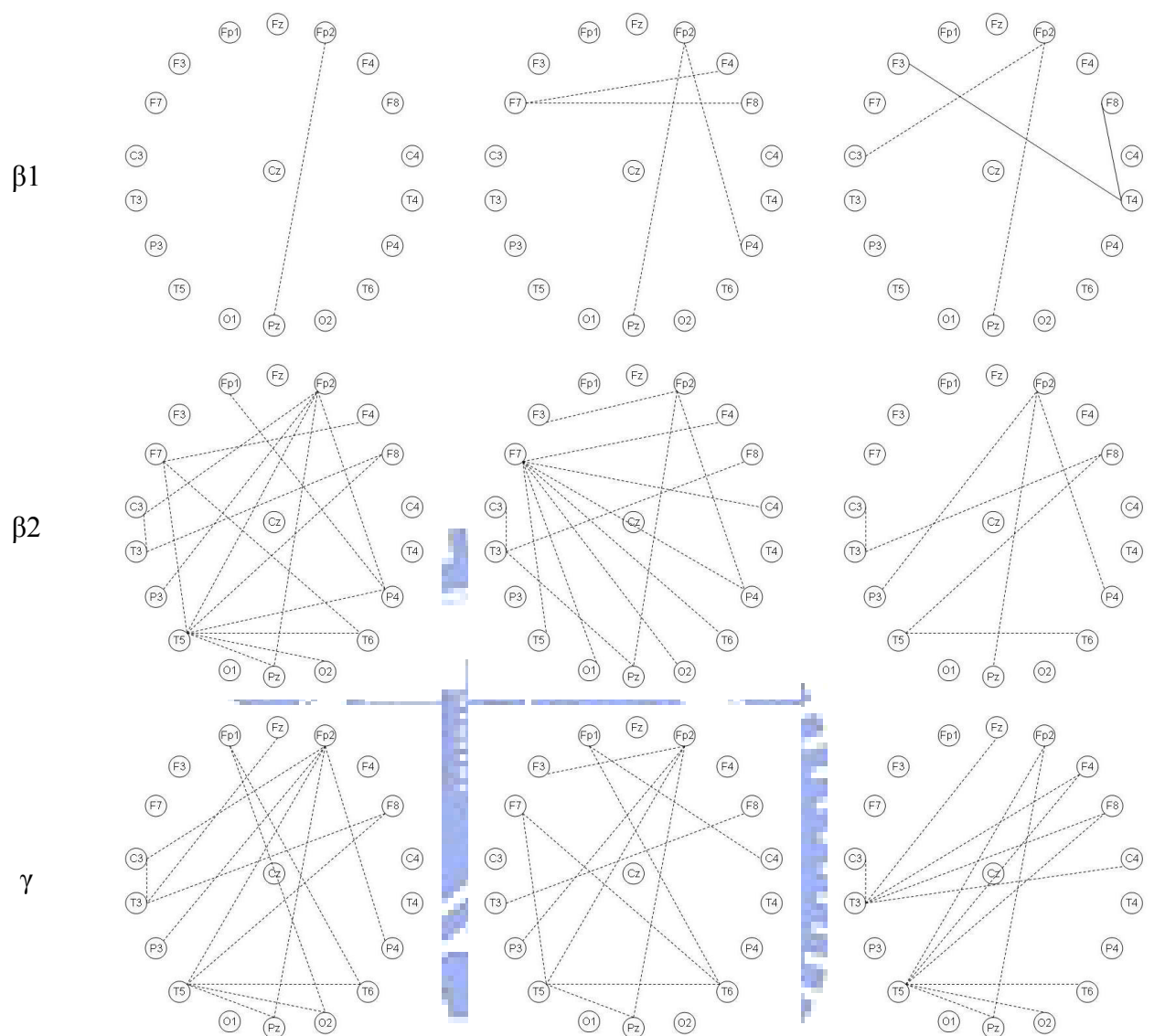
以 $\beta 2$ 觀之，在預測階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生，位於額葉區與中央區之間、額葉區與後腦區之間、及後腦區之間為主。在表徵階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生，以 F7 為「主要處理節點」，可見 F7 與額葉區、中央區、後腦區之間的合作為主。在解釋階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生，可見於 Fp2 與頂葉區、F8 與枕葉區及 T5-T6、C3-T3 之間。

以 γ 觀之，在預測階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生多位

於額葉區與中央區、額葉區與後腦區之間、後腦區之間為主。在表徵階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生，亦位於額葉區與中央區、額葉區與後腦區之間、後腦區之間為主。在解釋階段，無認知衝突學生之同調性顯著大於有認知衝突學生，以 T3、T5 為「主要處理節點」，呈現額葉區與中央區及額葉區與後腦區之合作。

表4-3-4 認知衝突與否在實驗二不同學習階段之同調性之T檢定結果





註：—— 衝突 > 無衝突；----- 無衝突 > 衝突

在實驗三中，以 θ 觀之，在預測階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，多位於左右半腦額葉區與中央區、額葉區與後腦區之間；而無認知衝突學生僅在 T4-O2 同調性顯著大於有認知衝突學生。在表徵階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，則位於 Fp2 與 Cz、T6 之間及 F8-C3 之間。在解釋階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，則位於 F8 與 Cz、T3 之間及 Fp2-Cz 之間。

以 $\alpha 1$ 觀之，在預測階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，位於 Fp2 與 C3、T4、Pz 之間及 F8 與 C3、Cz 之間。而無認知衝突學生則可見在 T4

與 T6、O2 間之同調性顯著大於有認知衝突學生。在表徵階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，可見於右半腦內 Fp2 與 C4、T4、T6 之間，與跨半腦 F8-C3 之合作；而無認知衝突學生則僅在 T4-O2 之同調性顯著大於有認知衝突學生。在解釋階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，位於 Fp2 與 C3、T6 之間；而無認知衝突學生則在 T4-O2 之同調性顯著大於有認知衝突學生。

以 α_2 觀之，在預測階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，以 Fp2 與 C3 為「主要處理節點」，主要呈現左右半腦間額葉區之合作；而無認知衝突學生僅在 T4-O2 之同調性顯著大於有認知衝突學生。在表徵階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，以 Fp2 為「主要處理節點」，呈現 Fp2 與 F7、中央區及後腦區之合作，亦見 C3 與額葉區之合作。在解釋階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，位於 Fp2 與 F7、C3、T4、T6 之間及 F8-C3 之間；而無認知衝突學生則在 T4 與 T6、O2 間之同調性顯著大於有認知衝突學生。

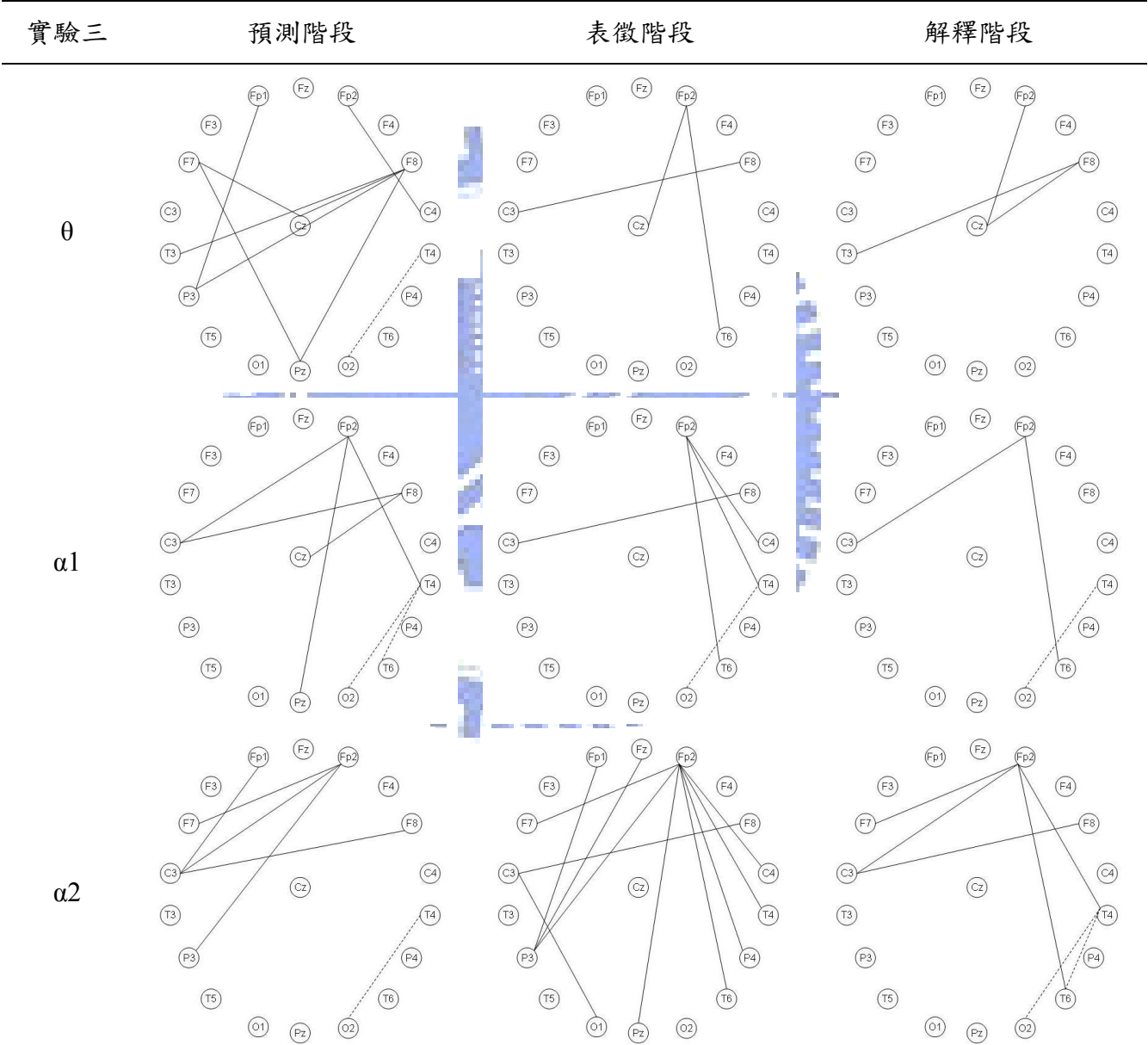
以 β_1 觀之，在預測階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，僅見於 Fp2-F7 之間；而無認知衝突學生之同調性大於有認知衝突學生，則以 T4 為「主要處理節點」，呈現與 P4、T6、O2 之間的短距合作。在表徵階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，可見於左右半腦額葉區與右半腦中央區及後腦區之合作為主，另可見中央區 C4 與後腦區及 O1-P4 間之合作。在解釋階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，可見額葉區與 C3、P3 間之合作；而無認知衝突學生之同調性大於有認知衝突學生，則以 T4 為「主要處理節點」，呈現與 P4、T6、O2 之間的短距合作。

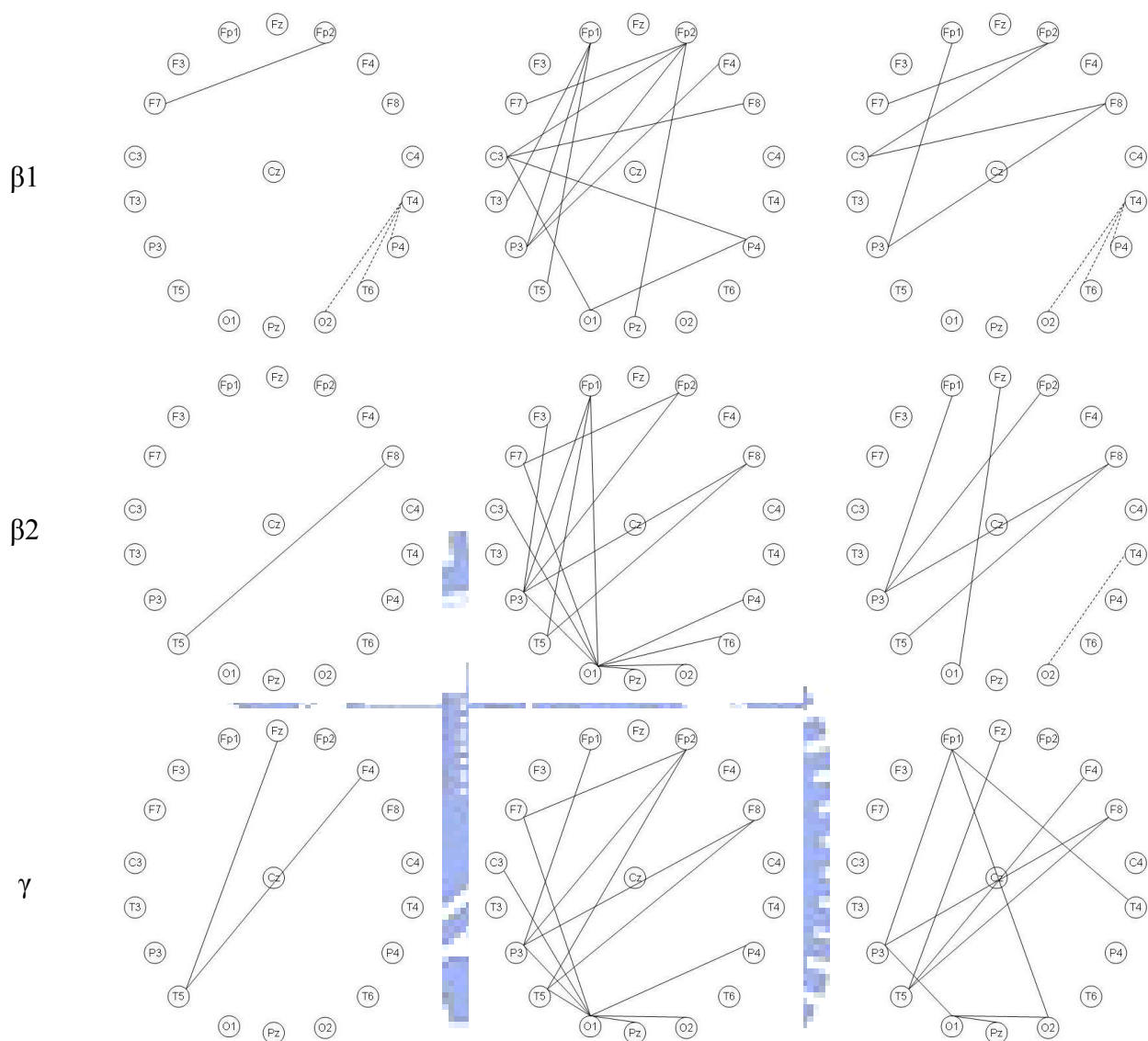
以 β_2 觀之，在預測階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，僅呈現於 F8-T5 之間。在表徵階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，主要見於額葉區與後腦區及後腦區之間的合作為主。在解釋階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，主要見於額葉區與後腦區之間的合作為主；而無認知衝突學生僅在 T4-O2 之同調性顯著大於有認知衝突學生。

以 γ 觀之，在預測階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，僅

見於 T5 與 F4、Fz 之間。在表徵階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，則主要見於額葉區與後腦區及後腦區之間的合作為主。在解釋階段，有認知衝突學生之同調性顯著大於無認知衝突學生，亦主要見於額葉區與後腦區及後腦區之間的合作為主。

表4-3-5 認知衝突與否在實驗三不同學習階段之同調性之T檢定結果





註：—— 衝突 > 無衝突； - - - - - 無衝突 > 衝突

小結：縱觀三個實驗，認知衝突與否兩組學生其同調性呈現之差異與表 4-3-1 各頻率腦波功率強度上之差異結果很類似，即實驗一與實驗三呈現較一致之趨勢，大抵均為認知衝突組大於無認知衝突組，而實驗二則恰相反的顯示無認知衝突組大於認知衝突組之趨勢。而三個實驗中，又以實驗一兩組學生之同調性之差異最明顯，推測亦與情境學習事件之設計有關，在實驗一認知衝突產生之學生正面臨原有科學信念被挑戰，需思索更多相關之可能解答與解釋，因而可能形成在大腦各部位訊息傳遞與處理更為活躍，尤其以額葉與與主司感覺登錄之後腦區之間的合作為最明顯差異。另外實驗一中尚可發現表徵階段與預測、解釋階段相較之下，兩組學生間減少了 θ 、 β_1 在額

葉區之間及 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 在後腦區之間同調性的差異，推測原因為所有學生在表徵階段均需處理由所呈現之雙重情境學習事件中以感覺通道所收錄之相關訊息；而兩組學生在解釋階段之 θ 同調性差異不大，應顯示所有學生在此階段均著力於提取長期記憶中的相關訊息與所登錄之訊息加以比較、連結。且在實驗一各階段各頻率腦波同調性兩組學生之差異上幾乎均可見 F8 為「主要處理節點」，產生衝突學生多可見 F8 與額葉區、中央區、後腦區之合作較為活躍。

在實驗二中產生認知衝突與否學生在各大腦各位置同調性差異並不大，但在 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 及 $\beta 1$ 可見無認知衝突學生在表徵階段有較多跨腦區之合作；而在 $\beta 2$ 及 γ 則可見無認知衝突學生在三個學習階段均有較多額葉與後腦區之間的合作，亦與前一節之推測相同，無認知衝突學生並非依據自己所相信的或新建立之心智架構進行科學推理，與實驗一及實驗三有所不同，可能因而造成實驗二所呈現之趨勢不同，而以同調性間差異來看，似也可印證實驗二無認知衝突學生反而更著力於思考感覺通道所登錄之訊息。

在實驗三中認知衝突產生與否學生在各大腦各位置同調性差異亦不大，與實驗一相仿，大抵均可見產生認知衝突學生有較多額葉與後腦區之間的合作，且兩組學生以表徵階段之 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 同調性有較明顯差異。

（二）概念改變成功與否在不同學習階段之同調性分析

針對每位學生三個實驗中預測、表徵、解釋三階段各 171 個配對同調性數值，進行概念改變成功與否之獨立樣本 T-檢定，結果如表 4-3-6、表 4-3-7、表 4-3-8 所示：

在實驗一中，以 θ 觀之，在預測階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，以 Fp2、F3 為「主要處理節點」，可見其彼此之間及與 C3、Cz、T3 間的合作；而概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，則呈現於 Fz-O2 之間。在表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，位於 F3-F4、F3-Fp2、F7-T4 之間；而概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，則位於 Fz-O2 及 T3-Cz 之間。在解釋階段，概念改變不成功學生之同調性

顯著大於概念改變成功學生，則僅見於 T5-Pz 之間。

以 $\alpha 1$ 觀之，在預測階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，位於 Fp2-F3、Fp2-T3；而概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，則位於 Fz-O2 之間。在表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，僅位於 F3-Fp2 之間；而概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，則位於 Cz-T3、Cz-O2、C3-O2 及 T4-P4 之間。在解釋階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，則僅見於 F3-Fp2 之間。

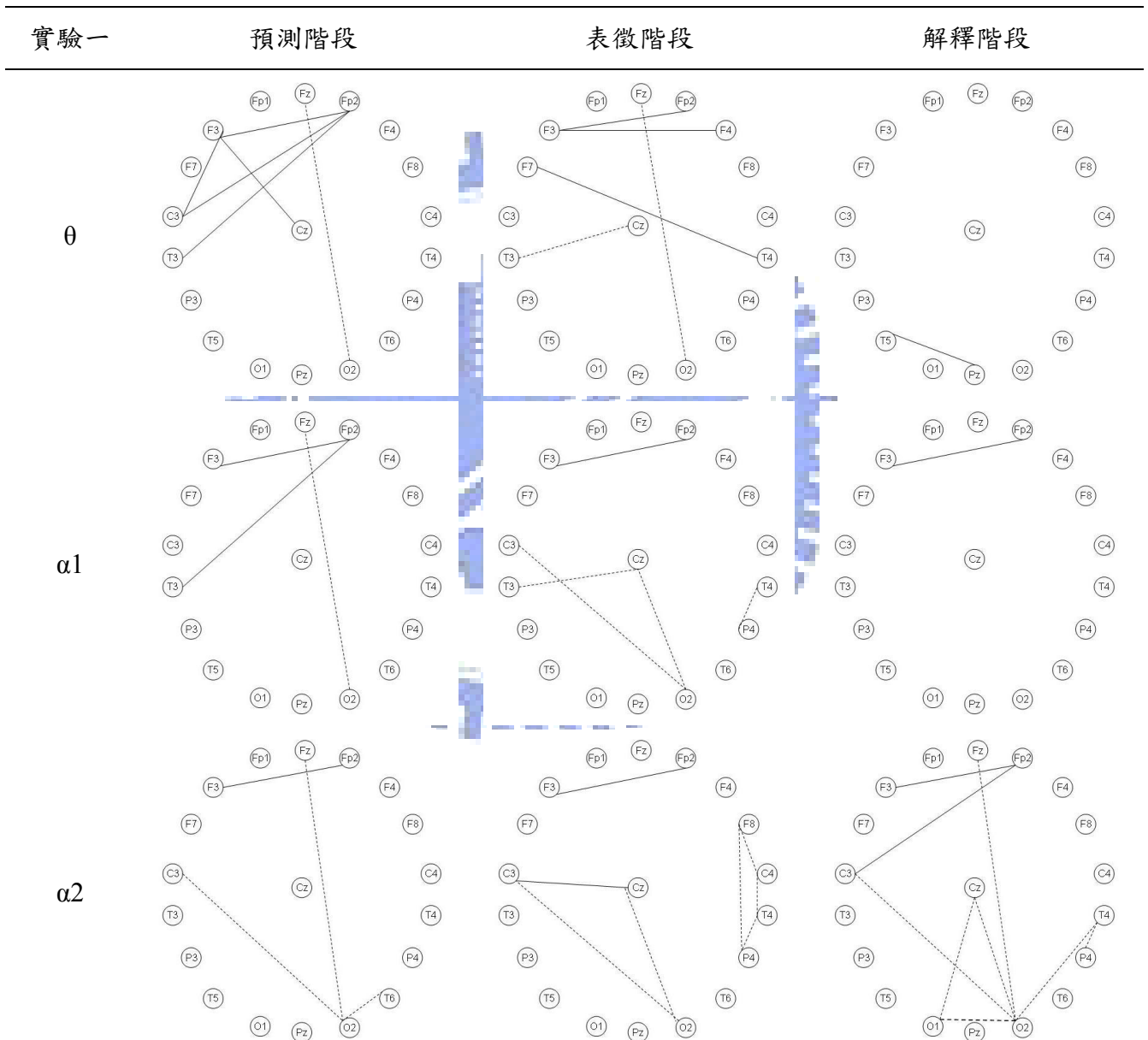
以 $\alpha 2$ 觀之，在預測階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，僅見於 Fp2-F3 之間；而概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，則位於 O2 與 Fz、C3、T6 之間。在表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，位於 F3-Fp2 及 Cz-C3 之間；而概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，則位於 F8 與 C4、P4 之間，T4 與 C4、P4 之間，O2 與 Cz、C3 之間。在解釋階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，位於 Fp2 與 F3、C3 之間；而概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，則以 O2 為「主要處理節點」，分別見其與 O1、C3、Cz、Fz、T4 之合作，另可見 O1-Cz、T4-P4 之合作。

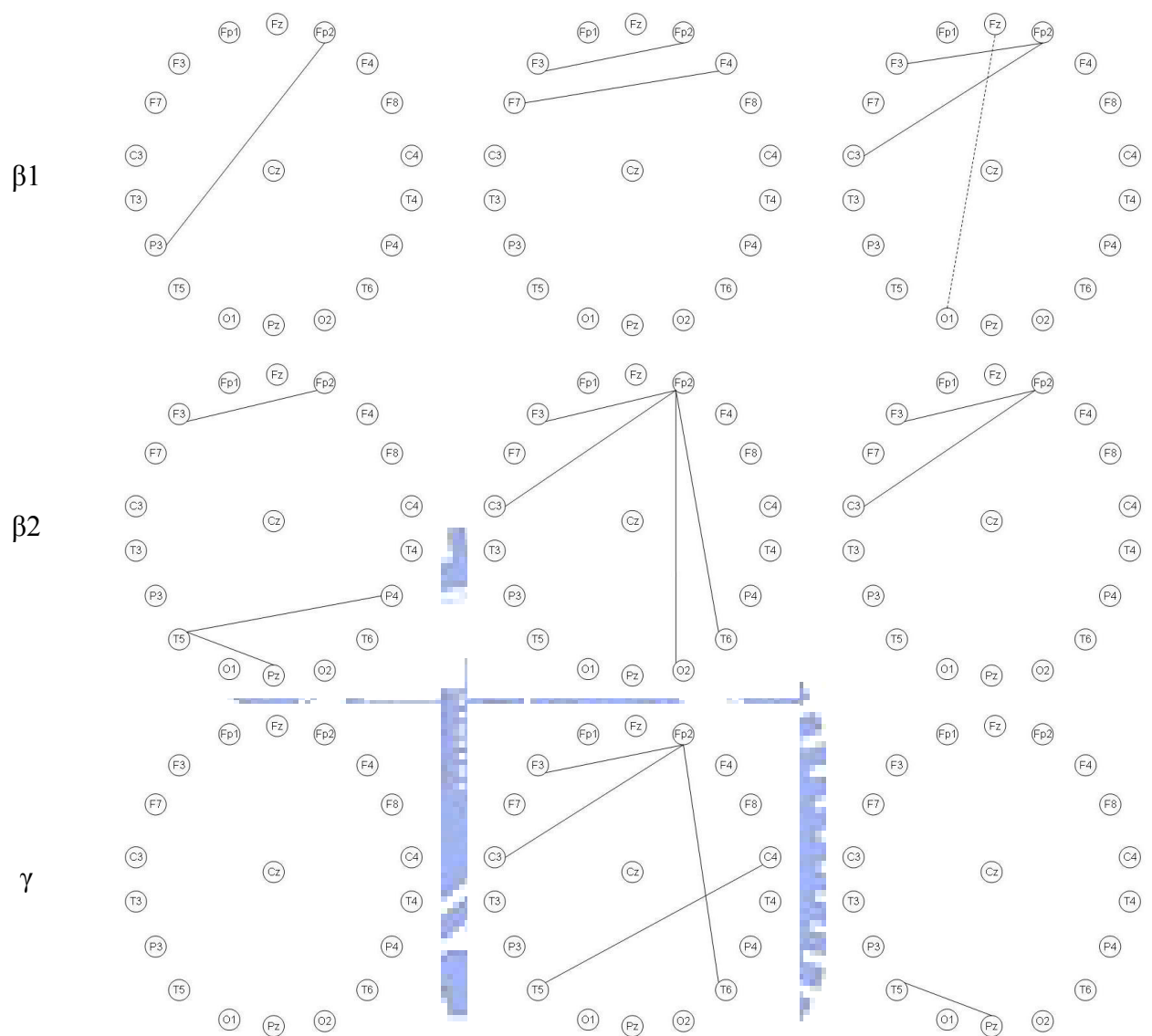
以 $\beta 1$ 觀之，在預測階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，僅見於 Fp2-P3 之間。在表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，呈現於 Fp2-F3 及 F7-F4 之跨半腦間合作。在解釋階段，則概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，位於 Fp2 與 F3、C3 之間；而概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，則僅見於 Fz-O1。

以 $\beta 2$ 觀之，在預測階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，位於 T5 與 P4、Pz 及 Fp2-P3 之間。在表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，則以 Fp2 為「主要處理節點」，可見其與 F3、C3、O2、T6 間之合作。在解釋階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，位於 Fp2 與 F3、C3 之間。

以 γ 觀之，在預測階段，概念改變成功與否兩組學生間之同調性並無顯著差異。在表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，則以 Fp2 為「主要處理節點」，可見其與 F3、C3、T6 間之合作，另可見 T5-C4 間之合作。在解釋階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，則僅見於 T5-Pz 之間。

表4-3-6 概念改變成功與否在實驗一不同學習階段之同調性之T檢定結果





註：—— 不成功 > 成功；----- 成功 > 不成功

在實驗二中，以 θ 觀之，在預測階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，可見額葉區與額葉區、額葉區與中央區、額葉區與後腦區及中央區與後腦區間之合作，且呈現以 F8、C3 為「主要處理節點」，多見跨半腦間之遠距合作。在表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，則主要可見額葉區與額葉區、額葉區與中央區、額葉區與後腦區及中央區與後腦區間之合作，且呈現以 F8、C3、Fz 為「主要處理節點」，多見跨半腦間之遠距合作。在解釋階段，兩組學生之同調性差異與預測、表徵階段相仿，但差異較少，仍見額葉區與額葉區、額葉區與中央區、額葉區與後腦區及中央區與後腦區間之合作，且呈現以 F8、C3 為

「主要處理節點」，多見跨半腦間之遠距合作。

以 $\alpha 1$ 觀之，三個階段概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，均呈現額葉區與額葉區、額葉區與中央區、額葉區與後腦區及中央區與後腦區間之合作，且均可見以 F8、Fz、C4、C3 為「主要處理節點」，多見跨半腦間之遠距合作，但三階段間以預測階段兩組差異部份較多，其次為表徵階段，而以解釋階段最少；而三個階段概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，則均呈現於 Fp2 與 Fz、F4 間之短距合作。

以 $\alpha 2$ 觀之，在預測階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，主要可見於額葉區與額葉區、額葉區與中央區、額葉區與後腦區及中央區與後腦區間之合作。在表徵與解釋階段，情況與預測階段相仿，但減少了部份 F3、C3、Cz 與後腦區間的合作。而三個階段概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，則均呈現於 Fp2 與 Fz、F4 間之短距合作。

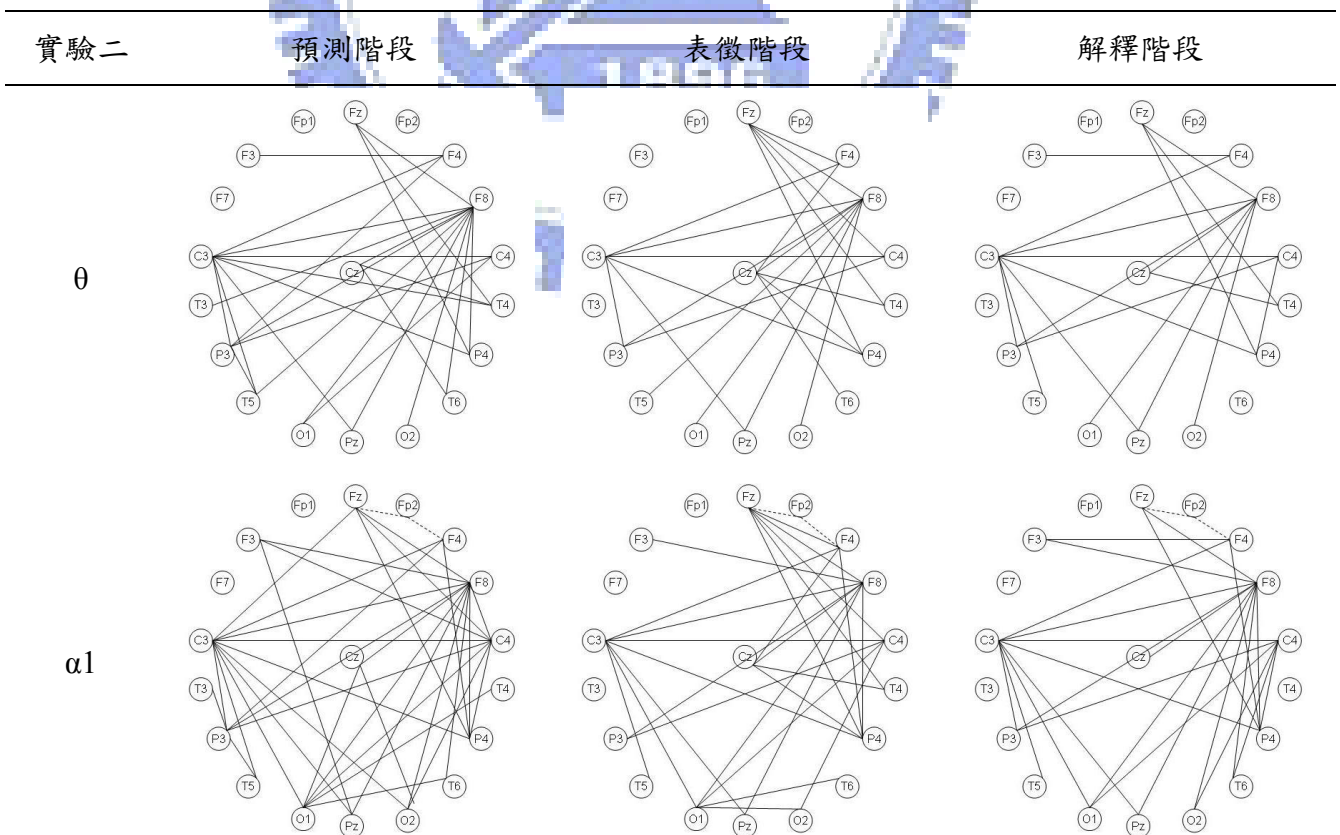
以 $\beta 1$ 觀之，在預測階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，可見額葉區與額葉區、額葉區與中央區、額葉區與後腦區及中央區與後腦區間之合作，且呈現以 F3、F8、C3、C4 為「主要處理節點」；而概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，則呈現於 Fp2 與 Fz、F4 間之短距合作。在表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生部份與預測階段相仿，且更增加額葉區間的合作；而概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生部份則為 Fp2-Fz；在解釋階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，相較之下則較少，可見額葉區與額葉區、額葉區與中央區、額葉區與後腦區、中央區與後腦區及後腦區之間之合作，且以 F8、C4 為「主要處理節點」，呈現其與額葉區與後腦區間之合作；而概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，則呈現於 Fp2 與 Fz、F4 間之短距合作。

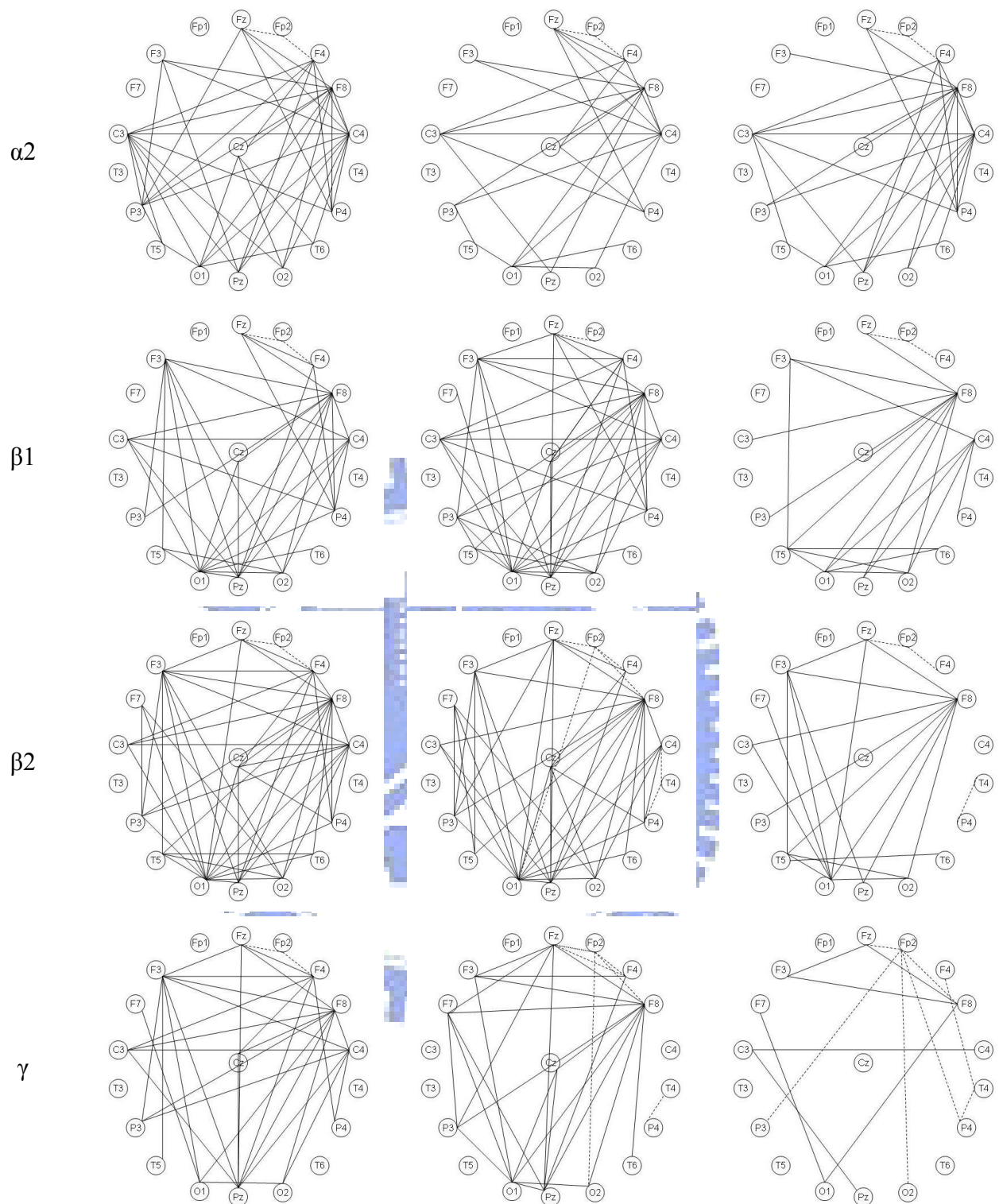
以 $\beta 2$ 觀之，在預測與表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，可見於額葉區與額葉區、額葉區與中央區、額葉區與後腦區及中央區與後腦區及後腦區間之合作。在解釋階段，兩組學生之差異明顯少於預測與表徵階段，

主要呈現額葉區與後腦區之合作。而三個階段概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，在預測階段，為 Fp2 與 Fz、F4 之間，表徵階段為 Fp2 與 Fz、F4、F8、O1 及 T4 與 C4、P4 之間，在解釋階段，則為 Fp2 與 Fz、F4 及 T4-P4 之間。

以 γ 觀之，在預測階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，可見於額葉區與額葉區、額葉區與中央區、額葉區與後腦區及中央區與後腦區及後腦區間之合作。在表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，主要呈現額葉區與後腦區之合作，相較於預測階段，明顯減少了 C3、C4 與各腦區合作上的差異。在解釋階段，兩組學生之差異更明顯少於預測與表徵階段，位於 Fz、F3、F8 之間，O1 與 F7、F8 之間，C3 與 C4、Pz 之間。而三個階段概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，在預測階段為 Fp2 與 Fz、F4 之間，表徵階段為 Fp2 與 Fz、F4、F8、O2 及 T4-P4、Fz-F4 之間，解釋階段則為 Fp2 與 Fz、F8、P3、P4、O2 及 T4 與 F4、P4 之間。

表4-3-7 概念改變成功與否在實驗二不同學習階段之同調性之T檢定結果





註： —— 不成功 > 成功； - - - - - 成功 > 不成功

在實驗三中，以 θ 觀之，在預測及解釋階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，均僅見 P3 與 C3、T3 之間；在表徵階段則為 P3 與 C3、T3

及 C3-T5 之間。而概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，在三個學習階段中僅見於解釋階段之 Fp2-T5。

以 $\alpha 1$ 觀之，在預測及解釋階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，均僅見 P3-C3、P3-T3 之間；而概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，在預測階段，為 Fp2-T5、Fp2-O2 之間，在解釋階段，為 Fp2-T5、Fp2-O1 之間；而在表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，則位於 P3-C3、P3-T3，T3-C3、T3-T5 及 C4-T4、C4-O2 之間。

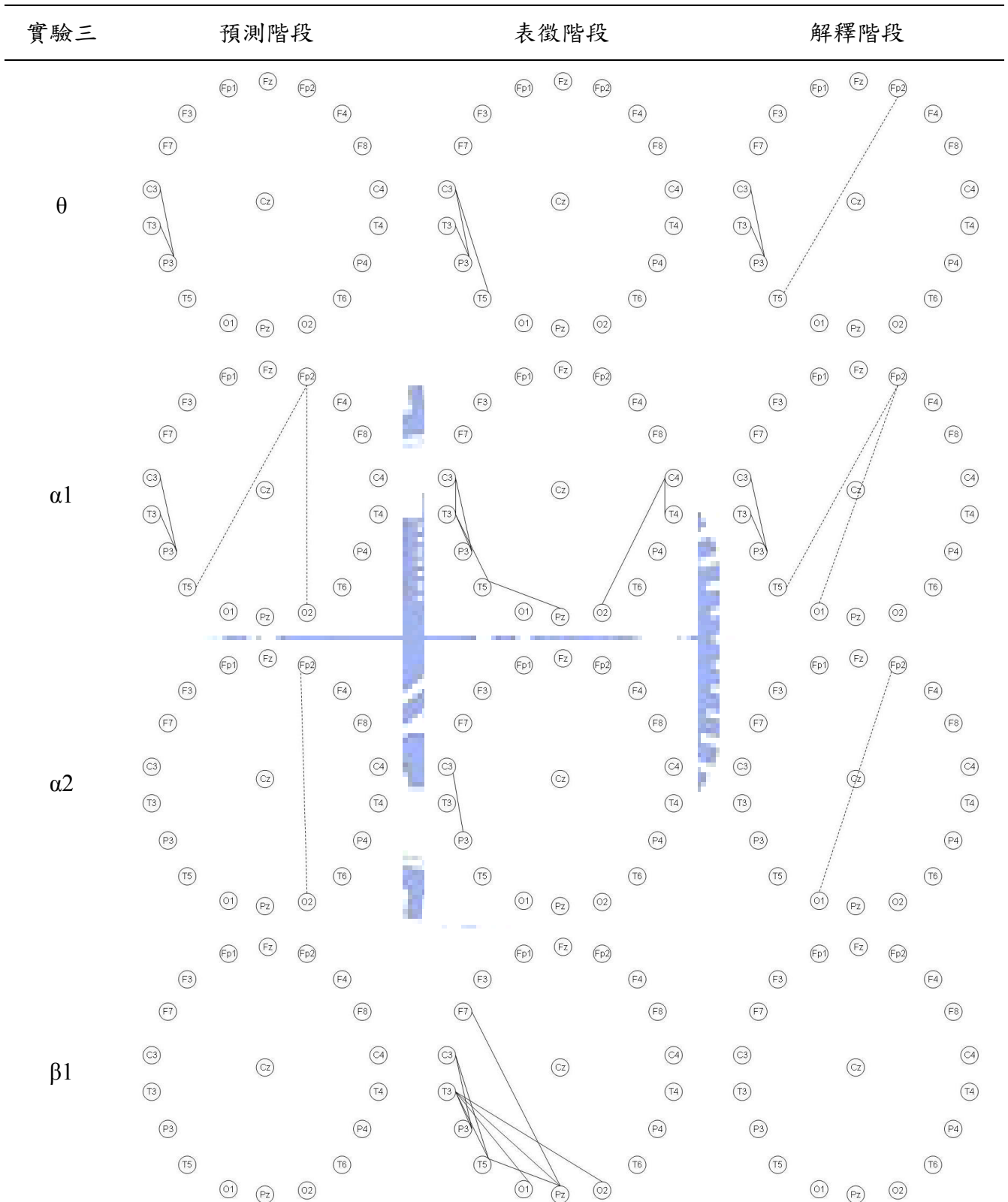
以 $\alpha 2$ 觀之，在預測階段，僅見概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，位於 Fp2-O2 之間。在表徵階段，僅見概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，位於 P3-C3 之間；在解釋階段，概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，僅見於 Fp2-O1。

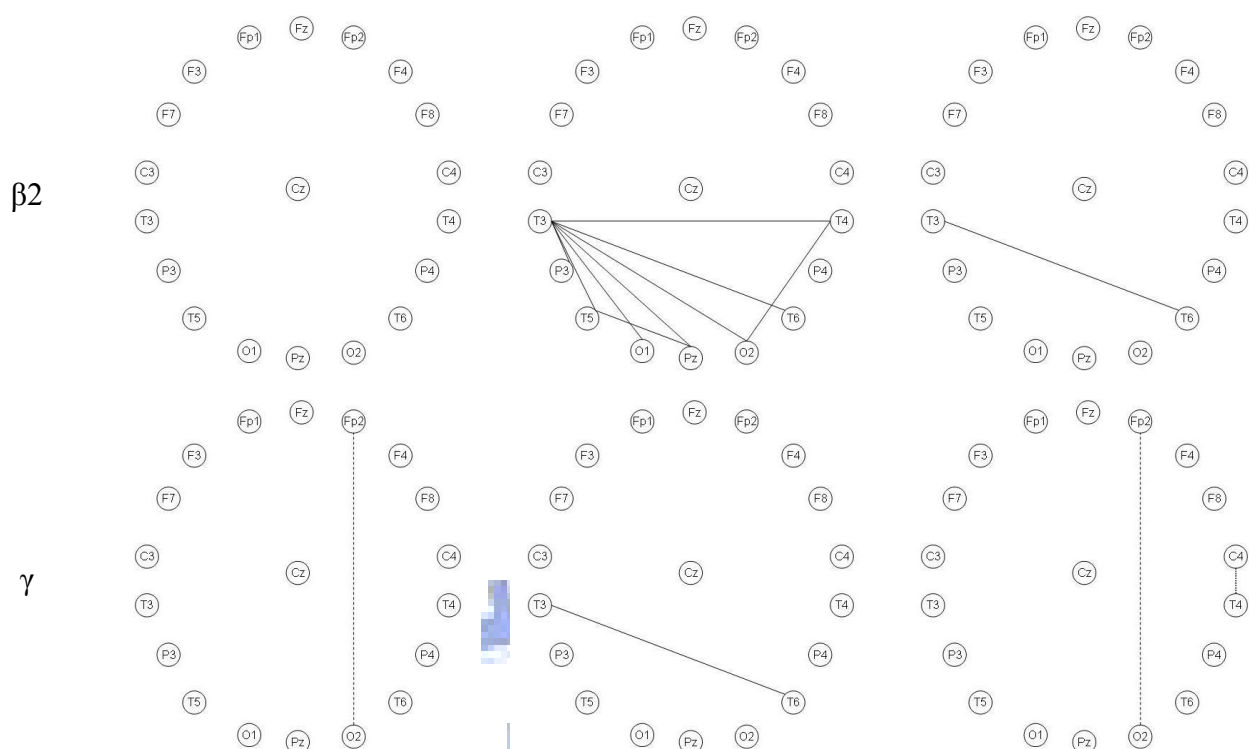
以 $\beta 1$ 觀之，在預測及解釋階段，概念改變成功與否兩組學生間之同調性並無顯著差異。而在表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，以 T3 為「主要處理節點」，可見其與 P3、Pz、T5、O1、O2 間的合作，另可見 C3-P3、C3-T5、F7-Pz 之合作。

以 $\beta 2$ 觀之，在預測階段，概念改變成功與否兩組學生間之同調性並無顯著差異；在表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，則均集中區後腦區之間的合作，以 T3 為「主要處理節點」，可見其與 P3、Pz、T4、T5、T6、O1、O2 間的合作，另可見 T4-O2 間之合作；在解釋階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，則僅見於 T3-T6 之間。

以 γ 觀之，在預測階段，概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，僅見於 Fp2-O2 之間。在表徵階段，概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，僅見於 T3-T6。在解釋階段，概念改變成功學生之同調性顯著大於概念改變不成功學生，見於 Fp2-O2 之間；而概念改變不成功學生之同調性顯著大於概念改變成功學生，則僅見 C4-T4 之短距合作。

表4-3-8 概念改變成功與否在實驗三不同學習階段之同調性之T檢定結果





註：—— 不成功 > 成功；----- 成功 > 不成功

小結：縱觀三個實驗，概念改變成功與否兩組學生其同調性呈現之差異大抵為概念改變不成功組大於概念改變成功組，且兩者間的差異以實驗二最明顯，而實驗三幾乎沒有差異，原因亦與本節第二部份有關腦波功率上之差異的推測相同，在實驗二概念改變成功學生一步接一步，最終可掌握關鍵概念，而概念改變不成功學生卻在嘗試著提出各種可能原因後，仍無法建立其合理性及邏輯性；至於實驗三由於需連結較多訊息，而使概念改變成功或不成功學生均需耗費較多認知資源。

在實驗一中可發現在表徵階段各頻率腦波同調性差異上，概念改變不成功學生多見與額葉位置有關之合作，而概念改變成功學生則多見與後腦區有關之合作。

在實驗二中兩組學生各頻率腦波同調性較明顯之差異在於概念改變不成功學生可見較多額葉區與後腦區間之合作，另可見中央區與額葉區之跨腦區聯繫及中央區與後腦區之合作，顯示概念改變不成功學生著力於思考與處理感覺神經所登錄之訊息，且亦可發現 F8 為其中關鍵之「主要處理節點」，概念改變不成功學生與概念改變成功相比較，幾乎均可見 F8 與額葉區、中央區、後腦區之高度合作關係。

在實驗三中概念改變成功與否學生在各大腦各位置同調性差異均很小，僅在表徵階段之 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 同調性在概念改變不成功學生有較明顯後腦區之間的合作。

四、認知衝突/概念改變成功與否在不同學習階段之拓樸圖 (topography)分析

為進一步瞭解學生在不同學習階段之大腦各部位活化情形對認知衝突或概念改變成功與否的影響，選取二十位受試者中概念改變不成功與概念改變成功之最典型受試者各一人，分別探討其各頻率腦波在拓樸圖 (topography)上之分佈是否有所差異。其中 A 學生在認知衝突與否上，實驗一及三均產生「認知衝突」，實驗二則「無認知衝突」，在概念改變成功與否上，A 學生在三個實驗之解釋階段均無法提出「氣體受熱膨脹」之關鍵論述，因此均被歸類為「概念改變不成功」；而 B 學生在認知衝突與否上，實驗一及二均產生「認知衝突」，實驗三則「無認知衝突」，在概念改變成功與否上，B 學生自實驗二解釋階段後即掌握其中關鍵概念，因此實驗二及三均歸類為「概念改變成功」。兩位受試者之拓樸圖如圖 4-3-3、4-3-4、4-3-5 所示：

在實驗一中可發現在 θ 活化位置，A 學生在預測階段以顳葉 (T4)為主，另可見額葉 (Fp1、Fp2)較輕度的活化。而在表徵與解釋階段以額葉 (frontal lobe)區之活化為主，且除了左側顳葉 (temporal lobe)區外，有全腦區均被活化現象；而 B 學生在三個學習階段均以枕葉區 (occipital lobe)與額葉區(F7、F8)之活化為主，另可見顳葉、頂葉 (parietal lobe)及中央區 (C3、C4)有活化現象，且可發現在表徵階段之額葉 (F7、F8)有較強之趨勢；A、B 學生在 θ 之活化上呈現幾近相反之分佈圖。

在 $\alpha 1$ 活化部份，A 學生在三個學習階段之均以額葉 (Fp1、Fp2、F4)及顳葉 (T4)為主，但在預測與解釋階段可見部份頂葉腦區被活化，另外也可看到表徵階段之顳葉 (T4)活化強於預測與解釋階段；而 B 學生則主要集中於枕葉及部份頂葉腦區，而兩側顳葉及額葉腦區亦見較輕度之活化。

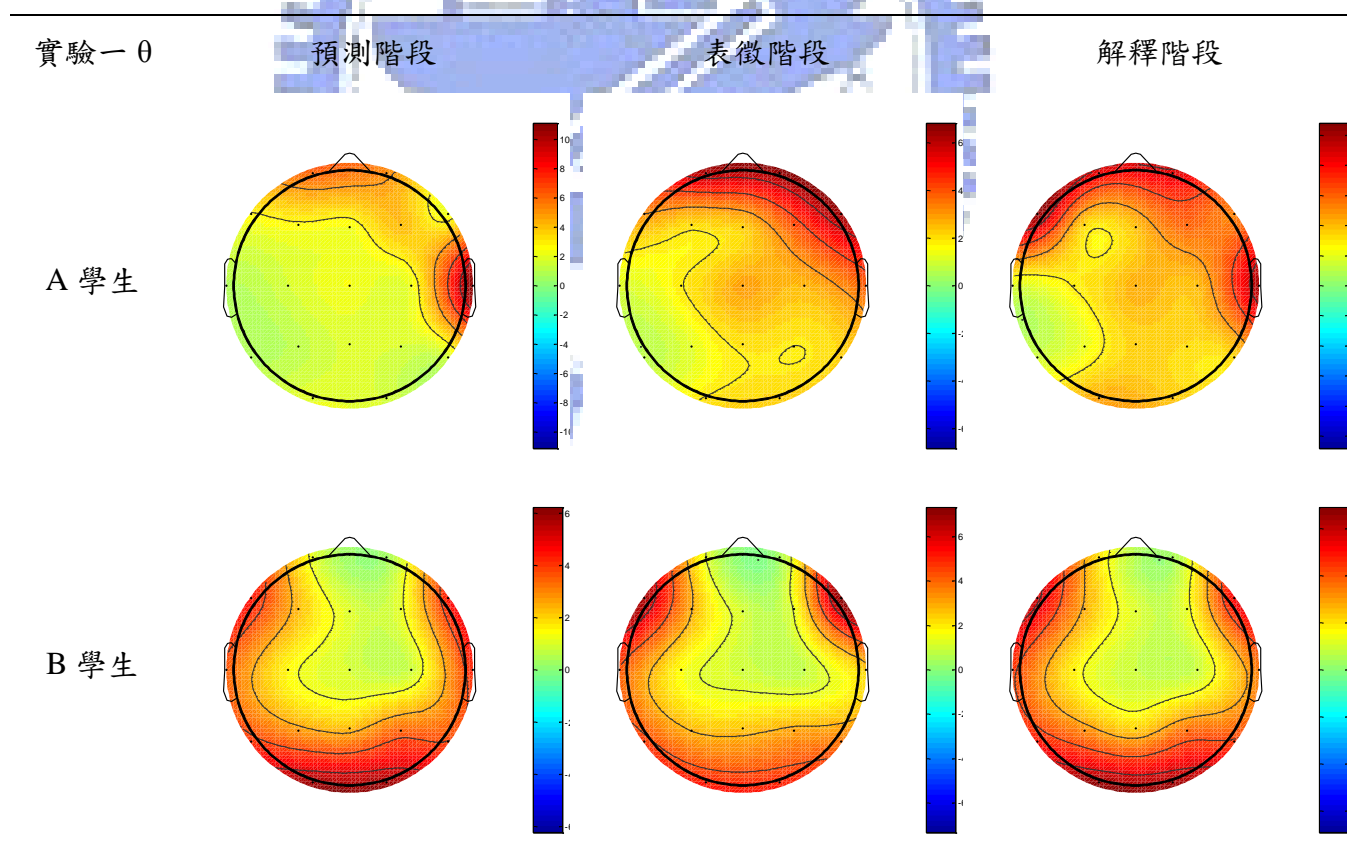
在 $\alpha 2$ 活化部份，A 學生在三個學習階段均主要分佈於額葉 (Fp1、Fp2)及顳葉 (T4)；而 B 學生在預測及表徵階段之活化主要集中於枕葉 (O1、O2)、頂葉 (P3、P4)、

與中央區 (C3、C4)，且伴隨顳葉與部份額葉區之活化，在解釋階段則以枕葉 (O1、O2)、頂葉 (P4)有較強的活化，其次則為中央區 (C3、C4)及左側額葉 (F3、F7)、顳葉 (T3)之活化。

在 β_1 、 β_2 活化部份，A 學生在三個學習階段均主要分佈於前側額葉 (Fp1、Fp2) 與右顳葉 (T4)腦區；而 B 學生在三個學習階段均主要集中於枕葉腦區，其次為部份頂葉、顳葉與額葉腦區，且在解釋階段除仍以枕葉腦區之活化為主外，同時可見額葉 (F3、F4)腦區活化之現象。

在 γ 活化部份，A 學生主要分佈仍於額葉 (Fp1、Fp2)與右顳葉 (T4)腦區，且以額葉腦區之活化較明顯；而 B 學生則以枕葉較活化，部份顳葉與額葉之活化為其次，且相較於預測與表徵階段，解釋階段可看到額葉區較強的活化。

表 4-3-9 實驗一各頻率腦波之拓樸圖



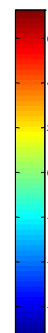
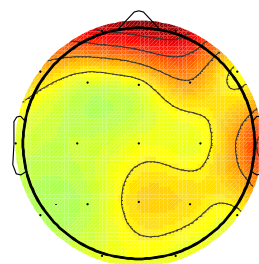
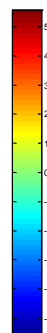
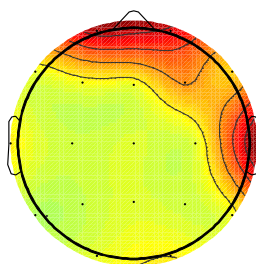
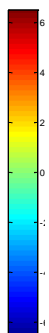
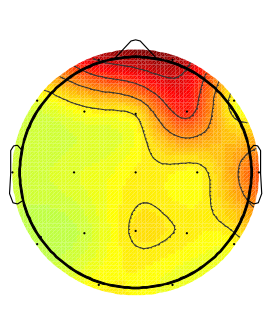
實驗一 $\alpha 1$

預測階段

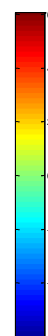
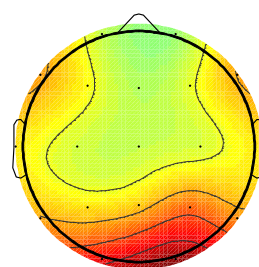
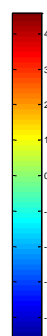
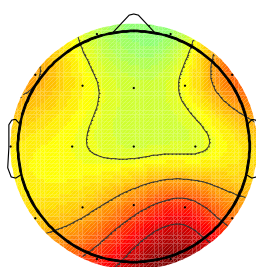
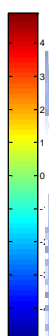
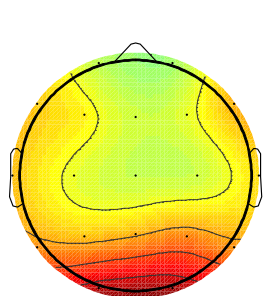
表徵階段

解釋階段

A 學生



B 學生



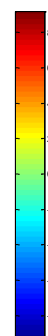
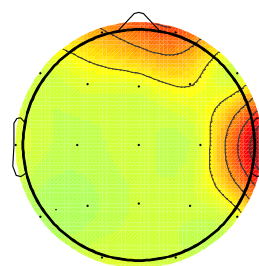
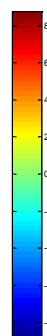
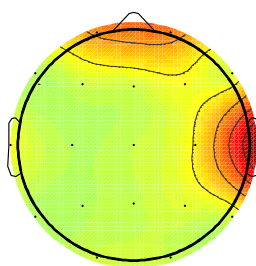
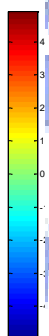
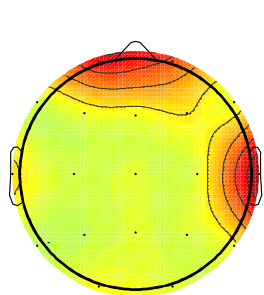
實驗一 $\alpha 2$

預測階段

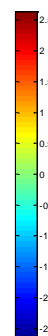
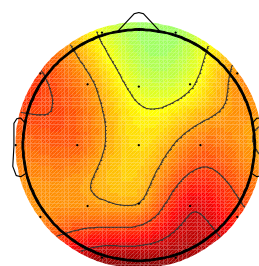
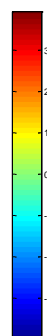
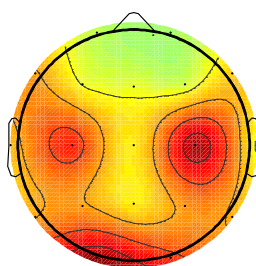
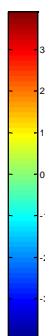
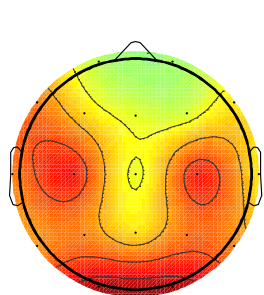
表徵階段

解釋階段

A 學生



B 學生



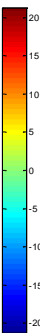
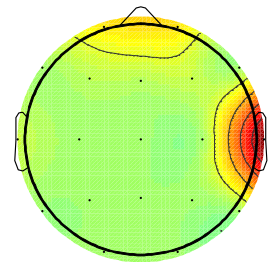
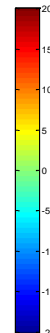
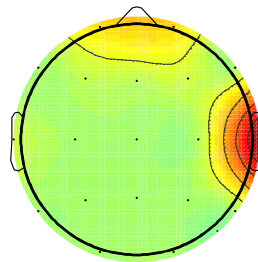
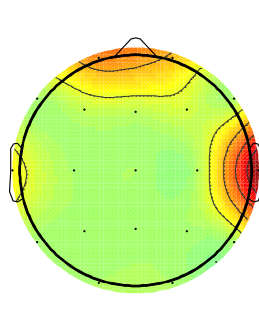
實驗一 β_1

預測階段

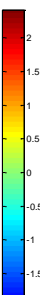
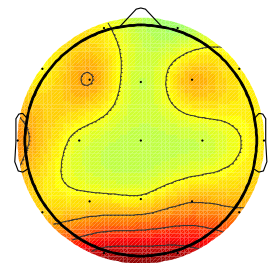
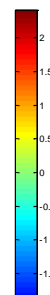
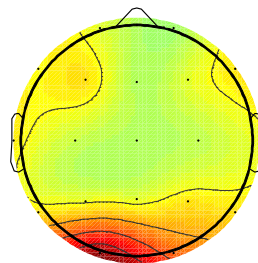
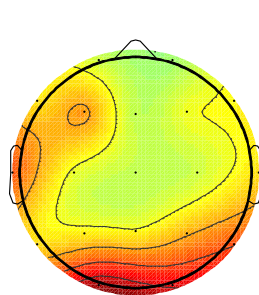
表徵階段

解釋階段

A 學生



B 學生



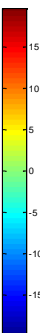
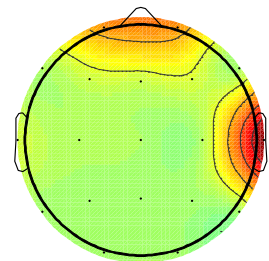
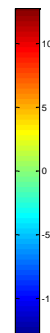
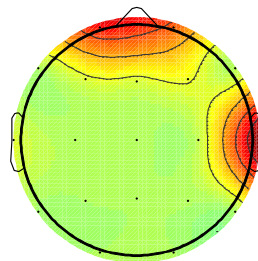
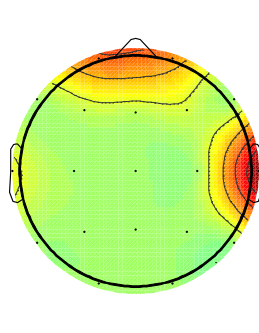
實驗一 β_2

預測階段

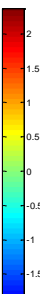
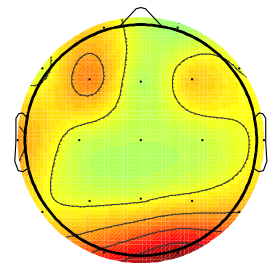
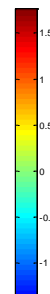
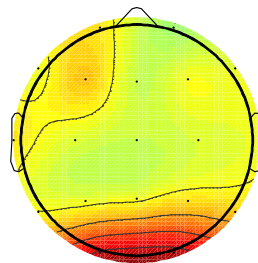
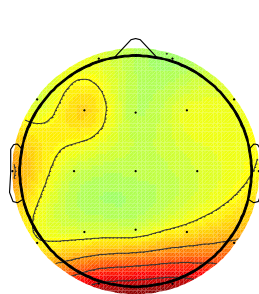
表徵階段

解釋階段

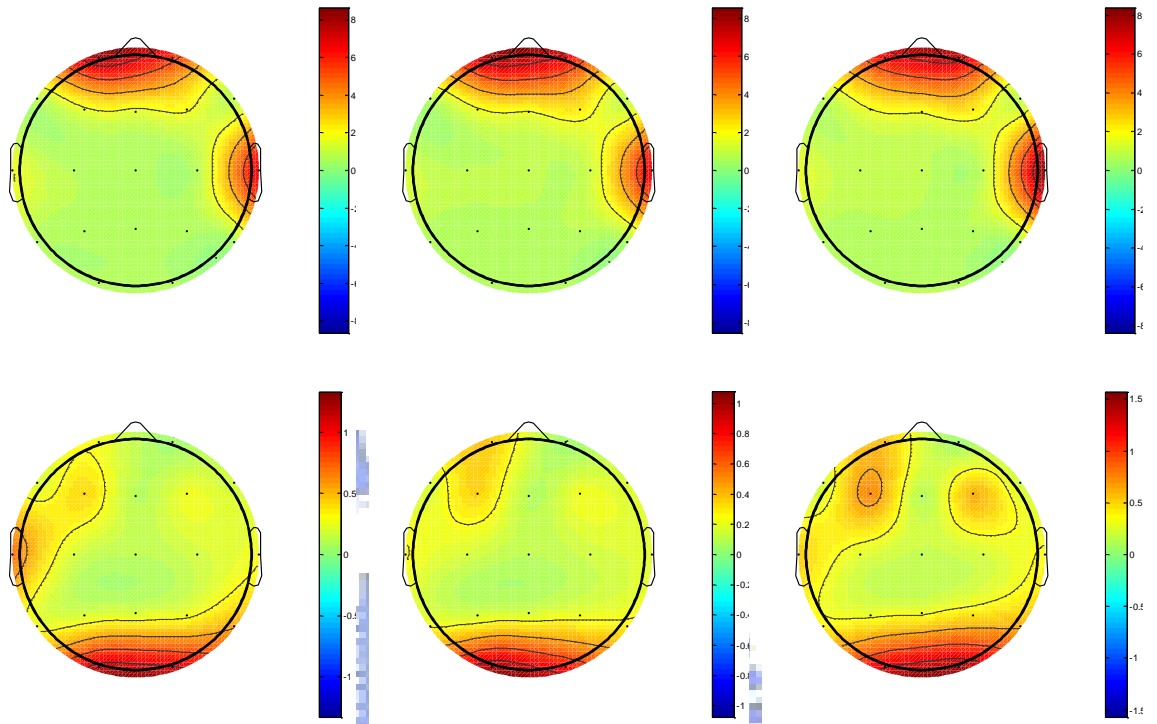
A 學生



B 學生



A 學生



B 學生

在實驗二中可發現在 θ 活化部份，A 學生在預測與表徵階段分佈較廣泛，但以前側額葉腦區有較強活化，而在解釋階段則主要集中在額葉 (Fp1)；而 B 學生在預測與表徵階段均以枕葉區與額葉區 (F7、F8) 之活化為主，另可見顳葉、頂葉及中央區 (C3、C4) 之活化，解釋階段則在額葉 (Fp2) 有較強的活化，並伴隨有顳葉、枕葉區之輕微活化。

在 $\alpha 1$ 活化部份，A 學生在三個學習階段均可見廣泛的分佈，但較強活化則均以前側額葉腦區為主，在預測與解釋階段並伴隨有顳葉 (T4) 腦區之活化；而 B 學生在預測與表徵階段之主要活化均集中於枕葉與部份頂葉腦區，並見兩側顳葉、額葉腦區之共同作用，而解釋階段則可見額葉 (Fp1) 腦區有最強之活化，其次為枕葉 (O1、O2) 與頂葉 (P3)，並伴隨其他部份頂葉、顳葉及額葉 (F8) 之共同作用。

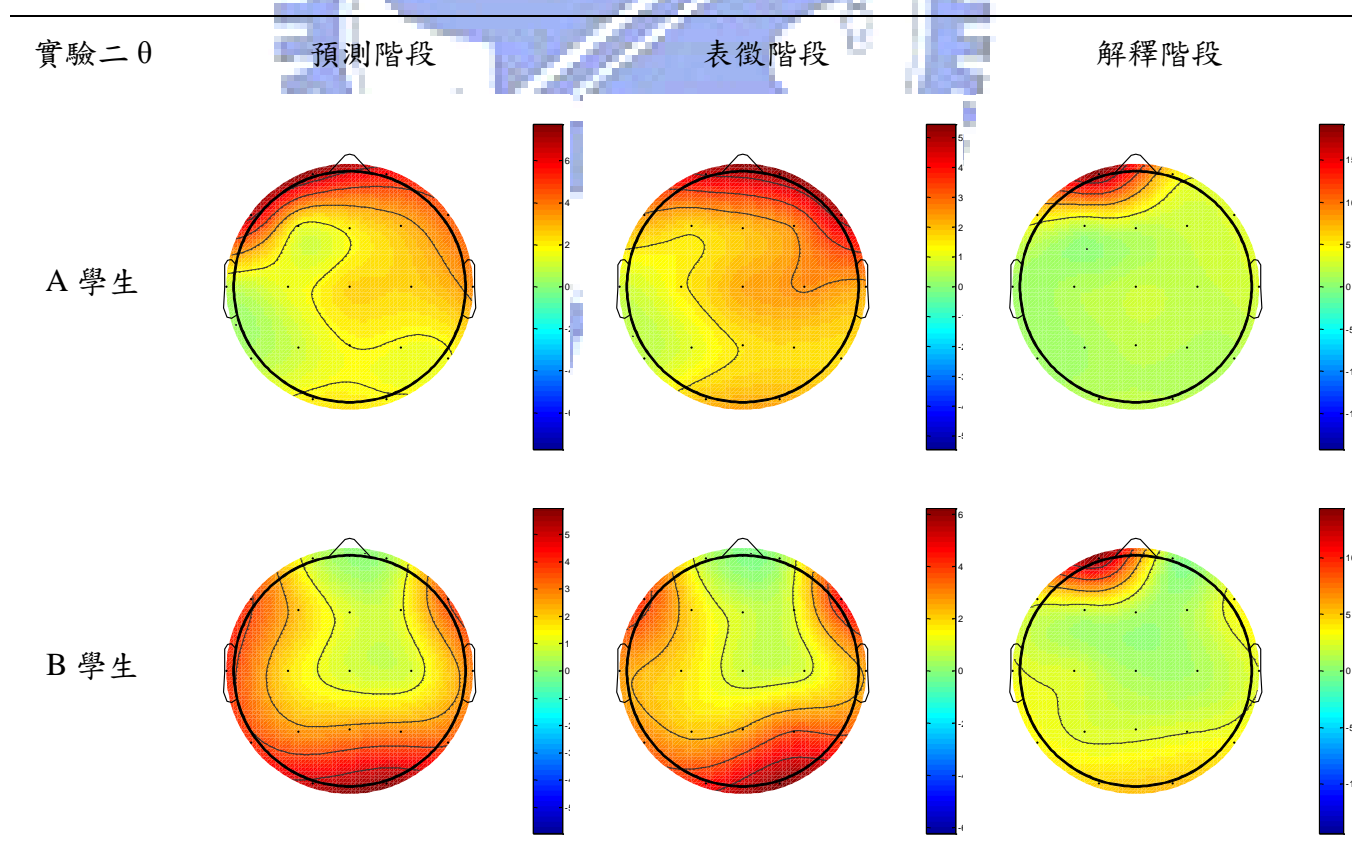
在 $\alpha 2$ 活化部份，A 學生在預測與解釋階段有相似的分佈，主要集中於於額葉 (Fp1、Fp2) 及顳葉 (T4)，表徵階段則以前側額葉 (Fp1、Fp2、F4) 及顳葉 (T4) 為主，

但呈現全腦區較廣泛的分佈；而 B 學生在預測階段主要集中於枕葉，在表徵階段則可看到中央區 (C3、C4)及枕葉、頂葉有較強的活化，而解釋階段以枕葉腦區有較強的活化，其次為額葉 (F7、Fp1)腦區之活化。

在 β_1 、 β_2 活化部份，A 學生主要分佈於額葉 (Fp1、Fp2)與右顳葉 (T4)腦區，其他腦區則較少見到；而 B 學生則可見枕葉區有較強的活化，並伴隨頂葉、顳葉及額葉 (F4)腦區之活化，且在解釋階段均再增加額葉 (Fp1)之輕度活化。

在 γ 活化部份，A 學生在預測與解釋階段有相似的分佈，主要集中於於額葉 (Fp1、Fp2)及右顳葉 (T4)，但在表徵階段則只見額葉 (Fp1、Fp2)，而未見右顳葉 (T4)腦區之活化；而 B 學生在預測與解釋階段亦見相似的分佈，以枕葉腦區之活化為主，另見顳葉 (T3、T6)與額葉 (F4)被活化，表徵階段則較單純以枕葉之活化為主，其次為額葉 (F4)之活化。

表 4-3-10 實驗二各頻率腦波之拓樸圖



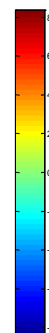
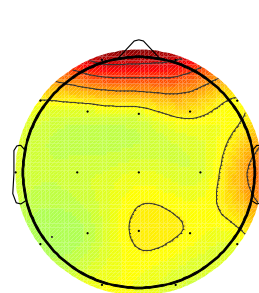
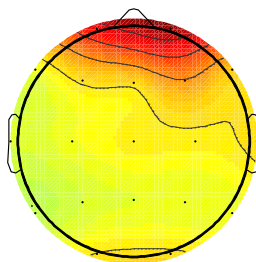
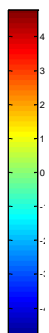
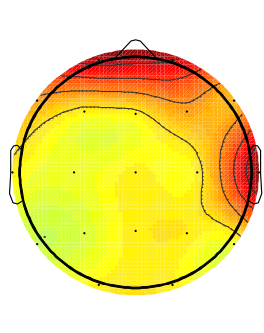
實驗二 $\alpha 1$

預測階段

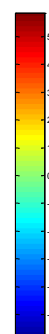
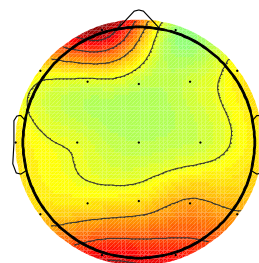
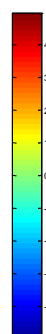
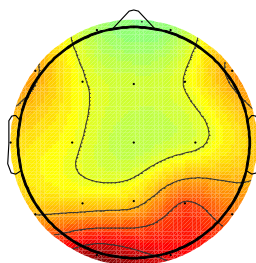
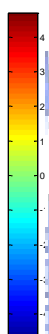
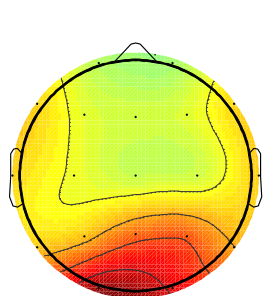
表徵階段

解釋階段

A 學生



B 學生



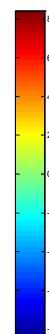
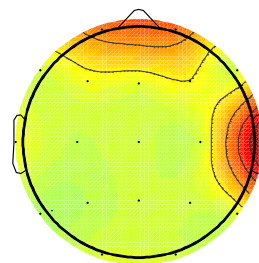
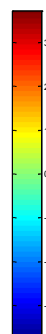
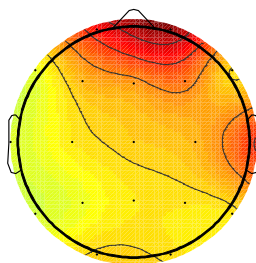
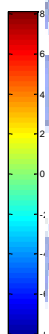
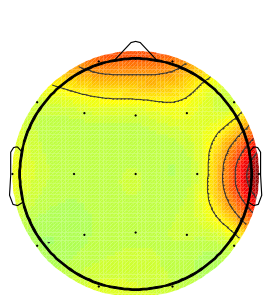
實驗二 $\alpha 2$

預測階段

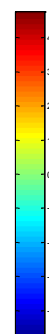
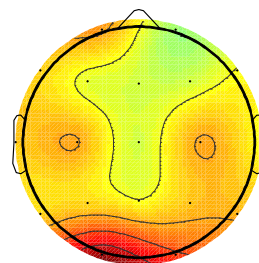
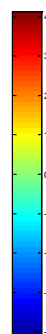
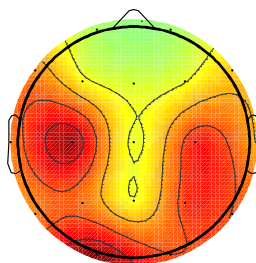
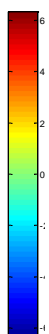
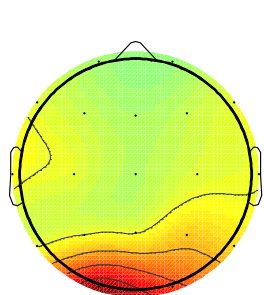
表徵階段

解釋階段

A 學生



B 學生



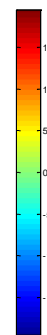
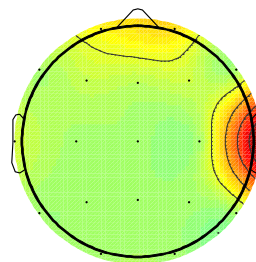
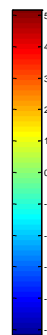
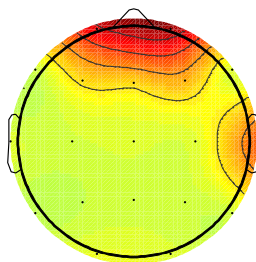
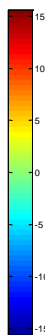
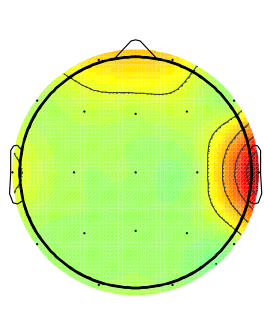
實驗二 β_1

預測階段

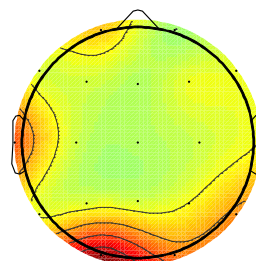
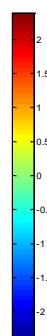
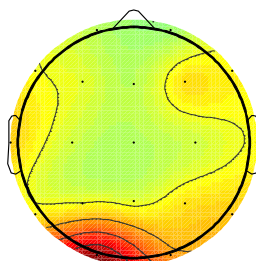
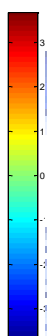
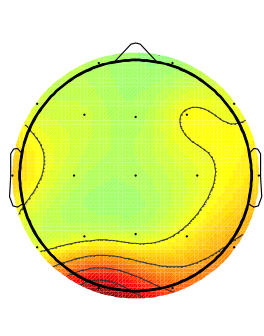
表徵階段

解釋階段

A 學生



B 學生



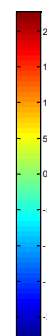
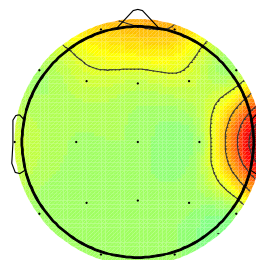
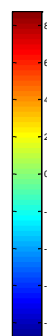
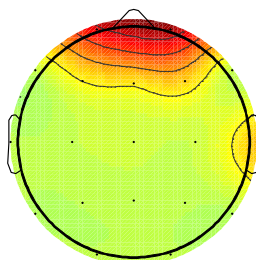
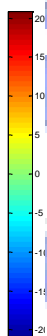
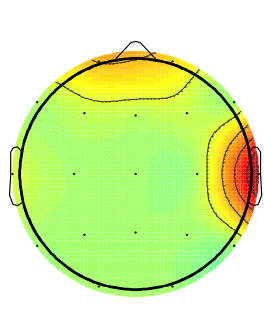
實驗二 β_2

預測階段

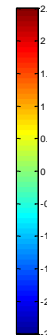
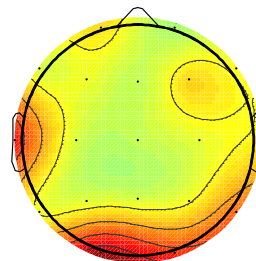
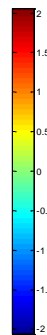
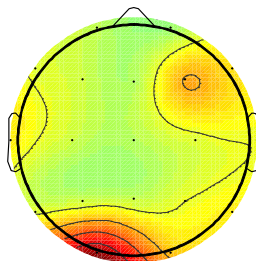
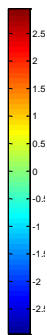
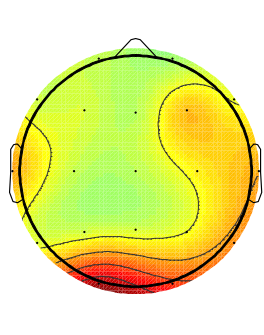
表徵階段

解釋階段

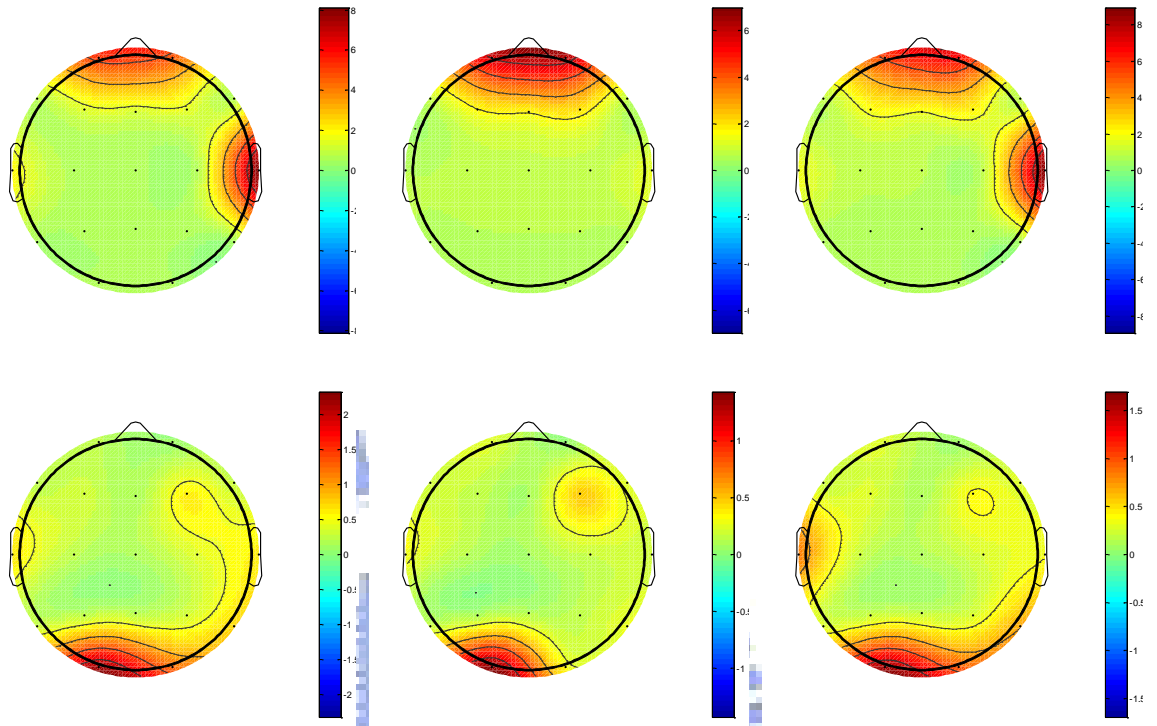
A 學生



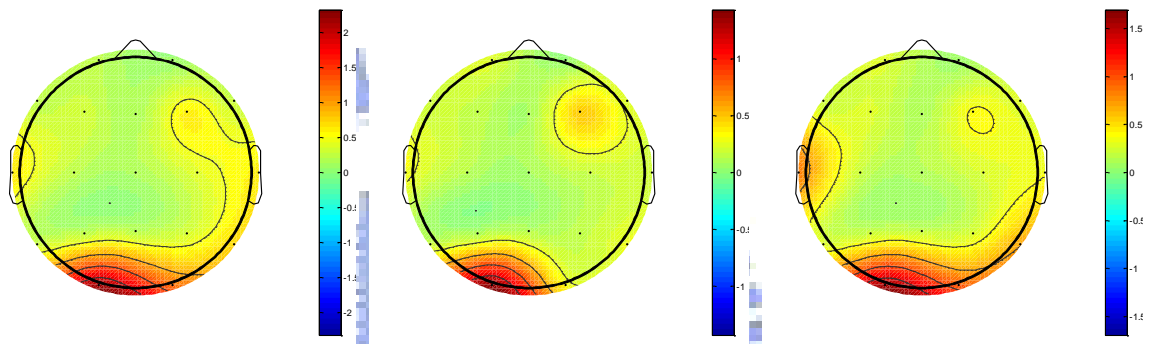
B 學生



A 學生



B 學生



在實驗三中可發現在 θ 活化部份，A 學生在預測與解釋階段均較單純以額葉 (Fp1、F7) 之活化為主，但在表徵階段以前側額葉腦區有較強活化，但可見全腦區廣泛的活化；而 B 學生在三個學習階段可見枕葉、顳葉 (T3)、頂葉 (P4) 與額葉 (F7、F8、F3) 之活化為主，另可見顳葉、頂葉及中央區 (C3、C4) 較輕度之活化。

在 $\alpha 1$ 活化部份，A 學生在預測與解釋階段有相似的分佈，主要集中於前側額葉及顳葉 (T4) 腦區，表徵階段則呈現較廣泛的分佈，但較強活化仍以前側額葉腦區為主；而 B 學生在預測階段可見枕葉及顳葉 (T3) 較活化，在表徵及解釋階段則以枕葉及頂葉 (P4) 較活化，且三個學習階段均可見兩側額葉腦區之共同作用。

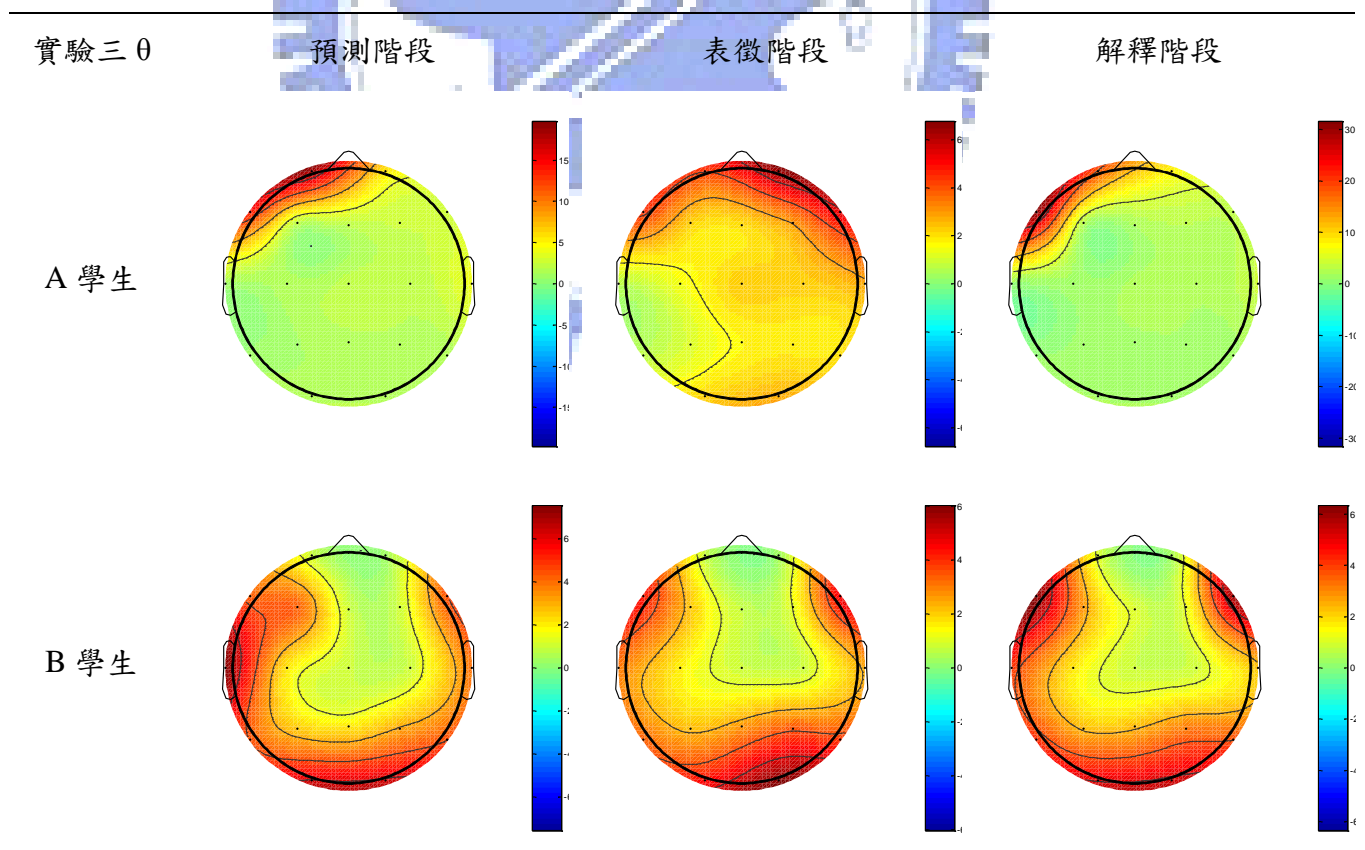
在 $\alpha 2$ 活化部份，A 學生在三個學習階段均有廣泛分佈之趨勢，但均以前側額葉及顳葉 (T4) 腦區為主；而 B 學生在預測階段在枕葉與顳葉 (T3) 腦區有較強活化，在表徵階段則可看到中央區 (C3、C4) 及枕葉、頂葉均有較強的活化，而解釋階段活化腦區以枕葉有較強的活化，並伴隨頂葉、顳葉、中央區 (C3、C4) 及額葉 (F7、F8) 之較輕

度活化。

在 β_1 、 β_2 活化部份，A 學生在預測階段以顳葉 (T4) 有最明顯活化，並伴隨額葉 (Fp1、Fp2) 活化，在表徵階段則有廣泛的活化，但以額葉 (Fp1、Fp2) 腦區有最強活化，在解釋階段則以前側額葉腦區與顳葉 (T4) 為主；而 B 學生在預測與解釋階段均以枕葉區活化最強，另可見頂葉 (P4)、顳葉 (T3、T4)、及額葉 (F3、F4) 之較輕度活化，但在表徵階段則以枕葉 (O1) 為主，伴隨額葉 (F3)、頂葉 (P4) 之輕度活化。

在 γ 活化部份，A 學生在預測與解釋階段有相似的分佈，主要集中於於額葉 (Fp1、Fp2) 及顳葉 (T4)，但在表徵階段則只見額葉 (Fp1、Fp2)，而未見顳葉腦區之活化；而 B 學生在預測階段以枕葉 (O1) 為主要活化，伴隨額葉 (F3、F4)、顳葉 (T3、T4、T6) 之輕度活化，在表徵階段主要活化見於枕葉 (O1)，並伴隨額葉 (F3、F4) 之輕度活化；解釋階段仍以枕葉 (O1) 為主要活化，另見顳葉 (T6) 之輕度活化。

表 4-3-11 實驗三各頻率腦波之拓樸圖



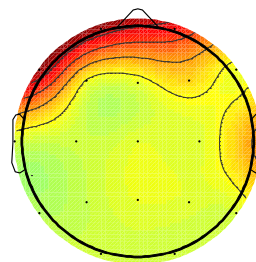
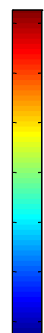
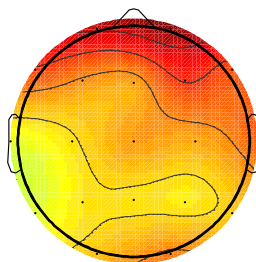
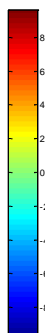
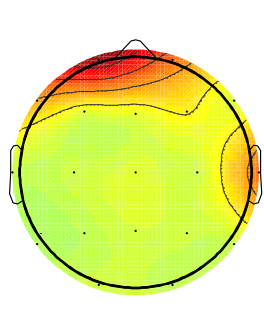
實驗三 $\alpha 1$

預測階段

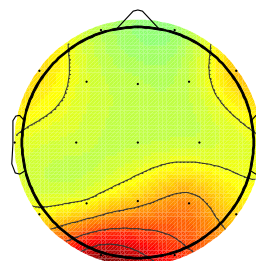
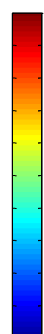
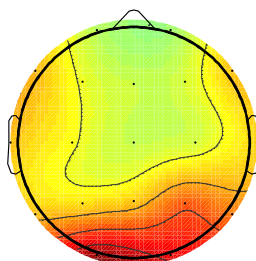
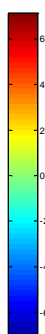
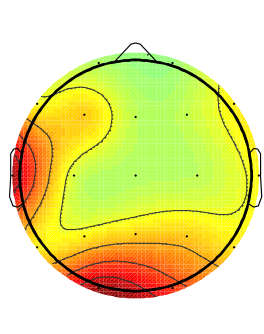
表徵階段

解釋階段

A 學生



B 學生



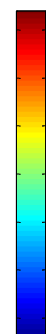
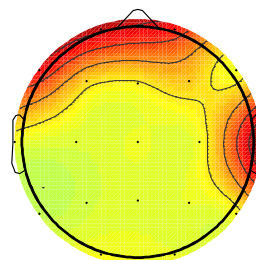
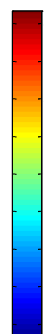
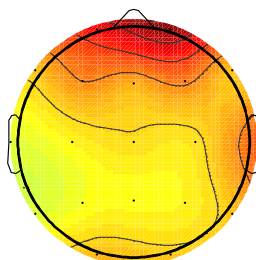
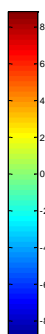
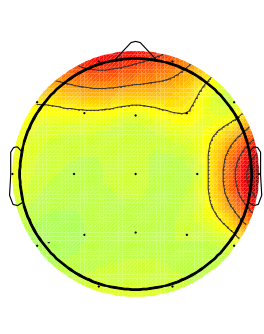
實驗三 $\alpha 2$

預測階段

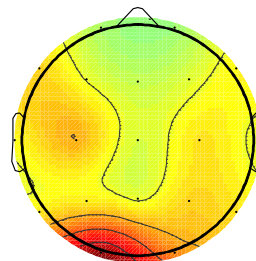
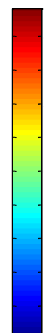
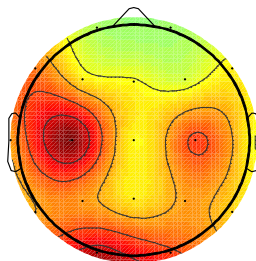
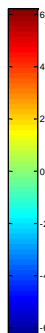
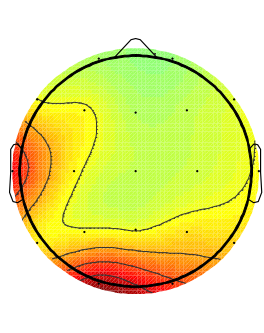
表徵階段

解釋階段

A 學生



B 學生



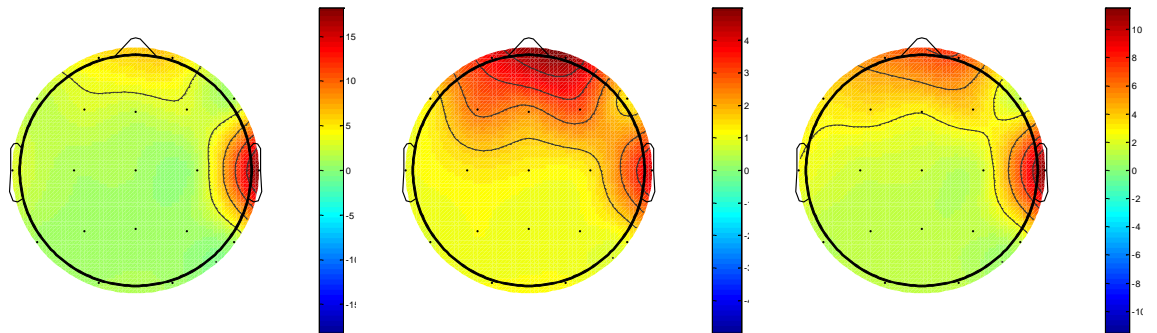
實驗三 β_1

預測階段

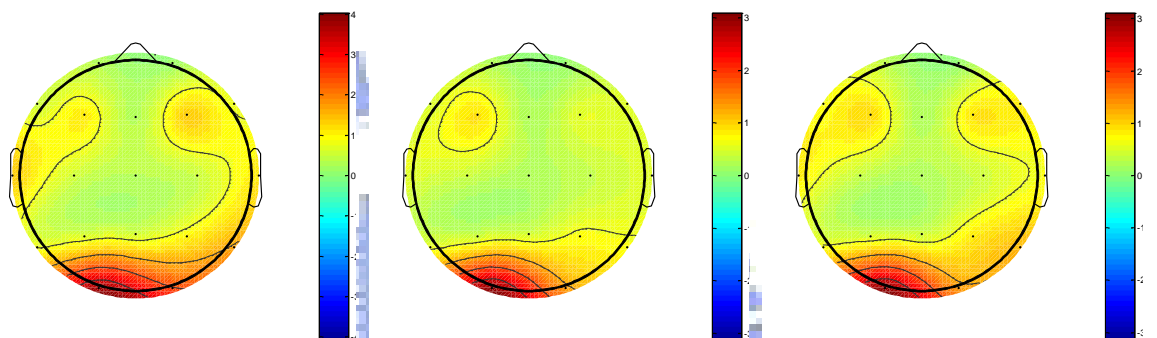
表徵階段

解釋階段

A 學生



B 學生



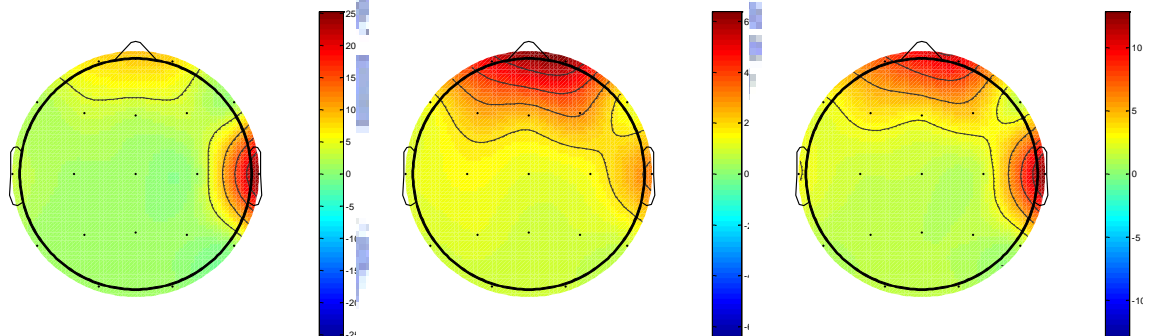
實驗三 β_2

預測階段

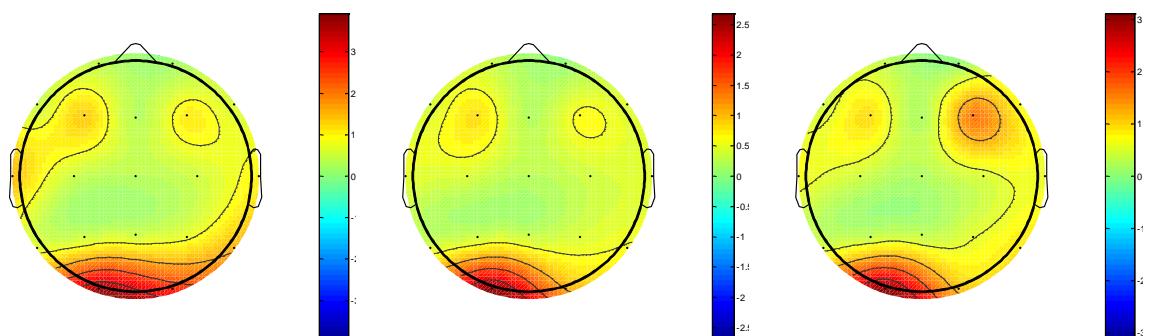
表徵階段

解釋階段

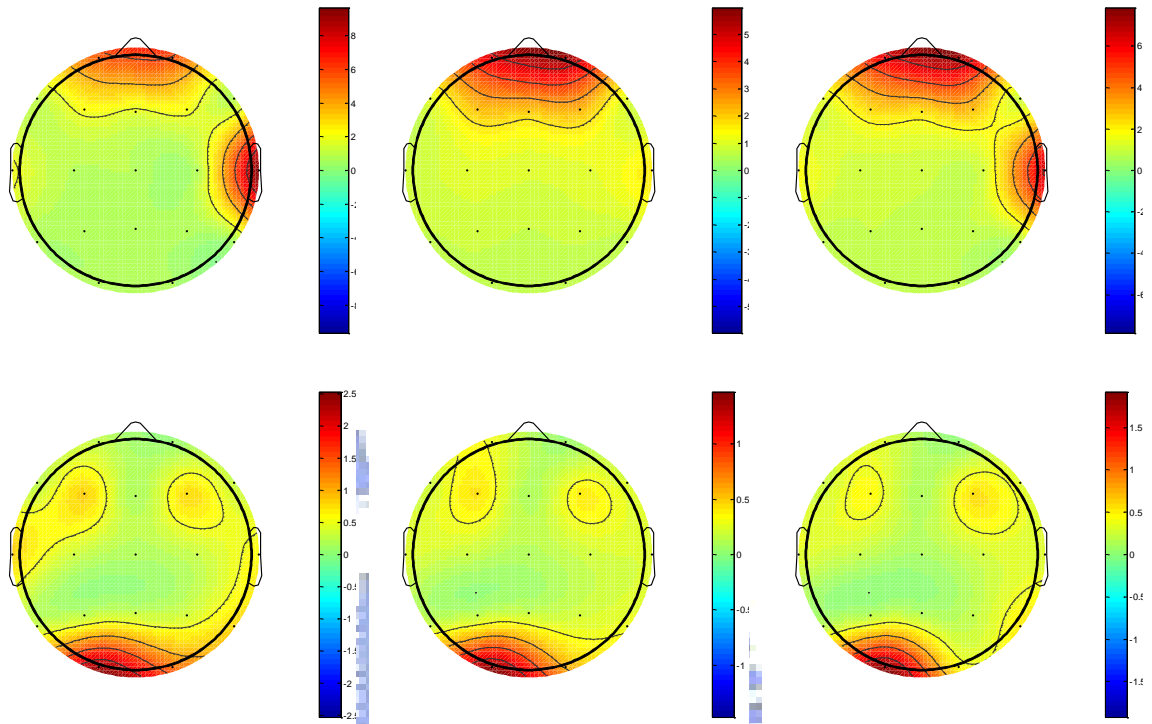
A 學生



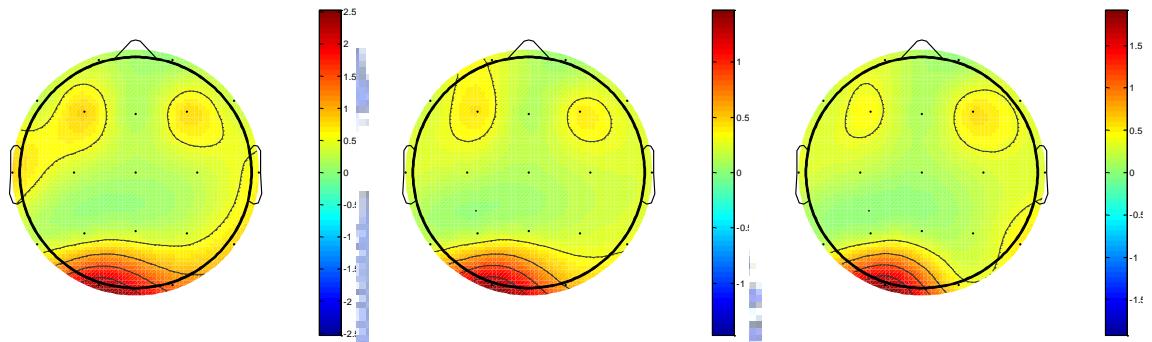
B 學生



A 學生



B 學生



小結：綜觀三個學習事件，可發現 A、B 學生間各頻率腦波活化部位很不相同，A 學生在三個實驗之各頻率腦波，幾乎多以額葉 (Fp1、Fp2) 與顳葉 (T4) 部位腦區為主，以 θ 觀之，發現三個實驗的表徵階段皆呈現大腦各區廣泛活化現象，而此狀況也可在實驗一解釋階段與實驗二預測階段發現；以 $\alpha 1$ 觀之，仍為前側額葉之活化為主，但實驗一預測、解釋及實驗二解釋階段可見有部份頂葉之輕度活化，且實驗三的表徵階段呈各腦區廣泛活化；以 $\alpha 2$ 觀之，在實驗二及實驗三表徵階段可見大腦各部位均廣泛的活化外，其他各階段則較單純集中於額葉 (Fp1、Fp2) 與顳葉 (T4) 部位，但在實驗三解釋階段其額葉活化範圍有擴大現象；以 $\beta 1$ 及 $\beta 2$ 觀之，明顯發現在實驗二及實驗三的表徵階段有前側額葉較強之活化，伴隨較輕度顳葉 (T4) 之活化，但在其餘學習階段，則均呈現顳葉 T4 有較強的活化，伴隨較輕度額葉 (Fp1、Fp2) 之活化，且在實驗三解釋階段其額葉活化範圍有擴大現象；而 γ 之活化則三個實驗各階段均集中於前側額葉與顳葉 (T4) 部位。

由 A 學生在表徵階段多呈大腦各部位廣泛活化之現象，推測其可能較無法由所呈現的雙重情境學習事件與長期記憶之儲存訊息產生有效連結，且 A 學生從頭到尾高度依賴額葉 (Fp1、Fp2)與顳葉 (T4)三個區域，推測其較無法有效率的運用大腦各部位，而致較無法處理感覺器官所收錄之訊息，將之應用於解決所面臨的科學問題。

B 學生則不若 A 學生有高度集中於額葉 (Fp1、Fp2)與顳葉 (T4)之情況，大腦各區活化的部位較多，以 θ 觀之，除實驗二解釋階段外，三個實驗之各學習階段均見兩側額葉、顳葉、頂葉與枕葉之同時活化，而實驗二之解釋階段則代之以額葉 (Fp1)之活化為主，而對照 B 學生之概念改變歷程，也正於此時掌握所有「熱膨脹」關鍵概念，並於此後階段均能正確預測與完整解釋整個實驗之科學概念；以 $\alpha 1$ 觀之，在實驗二解釋階段之前，同樣可見兩側額葉、顳葉、頂葉與枕葉之同時活化，但以枕葉與部份頂葉區有較強之活化，實驗二解釋階段則見額葉 (Fp1)與枕葉均有較強的活化，實驗三預測階段則見顳葉 T3 與枕葉有較強的活化，但至解釋階段則未見顳葉之活化；以 $\alpha 2$ 觀之，三個實驗之表徵階段均可見中央區 (C3、C4)、頂葉與枕葉有較強的活化，實驗一預測與解釋階段亦有類似之情況，但實驗二及實驗三的預測階段則為顳葉 (T3)與枕葉腦區有較強活化，尤以實驗三之顳葉 (T3)作用更加明顯，而實驗二與實驗三之解釋階段則均有較強的枕葉活化，其次為中央區 (C3、C4)，外加頂葉、顳葉之輕度活化，實驗二並另見額葉 (Fp2)之活化；以 $\beta 1$ 及 $\beta 2$ 觀之，三個實驗預測及解釋階段均可見枕葉、頂葉、顳葉及額葉腦區之活化，且大致以枕葉區活化最強，額葉 (F3、F4)為其次，而在表徵階段相較之下活化範圍稍小，較少見其中顳葉之活化；而 γ 之活化則三個實驗各階段均以枕葉與額葉 (F3、F4)為主。

B 學生與 A 學生最大差異為由頭徹尾幾乎均見後腦區之活化，顯示大腦一直在處理感覺神經所收錄之訊息；另外，在 B 學生概念改變成功關鍵之實驗二解釋階段，其 θ 波明顯轉為單純以額葉 (Fp1)之高度活化為主，似乎在此階段將之前所有訊息進行整合與思考；而 $\alpha 2$ 之分佈型態亦與其他頻率波段有所不同，特別顯現其中央區 (C3、C4)之活化，尤以表徵階段為最明顯。整體而言，B 學生似乎較能有效運用大腦各部位，或可推論其採取了與 A 學生截然不同的學習策略或方式，讓大腦活動各司其職，而成功達成概念改

變之目的；且其豁然開朗之實驗二解釋階段，似也可在拓樸圖上之不同見到端倪，而進一步佐證概念改變成功與否應可腦波資料上顯現其間差異。



第五章 結論與建議

本研究運用腦電圖探討高一學生在不同表徵（靜態圖文、動態影片）學習時，大腦各頻率腦波之功率強度，及不同表徵學習之間各頻率腦波之功率強度是否有所差異，並進一步探究大腦各頻率腦波之功率強度、同調性及拓樸圖是否與學生科學概念改變過程有所關連。本章將彙整研究目的與第四章資料分析的結果，做為本研究之結論，並依據本研究之結論提出一些教學上及後續研究上之相關建議。

第一節 結論

本節依據本研究之研究問題與第四章之研究結果與討論，依序說明本研究的主要發現：

一、雙重情境學習事件晤談結果之概念分析

此部份結果針對研究問題一「不同表徵（靜態圖文、動態影片）學習設計對促進高一學生概念改變上是否有差異？」進行探討。

本研究應用雙重情境學習模式(She, 2002, 2003, 2004a, 2004b, 2005)，針對學生的另有概念及所需的心智架構，設計四個有關「熱膨脹」概念之雙重情境學習事件，受試者來自新竹市三所高中之二十位高一學生，結果在實驗一預測階段發現100%的學生均持另有概念，而經實驗二與實驗三的學習之後，挑戰事件則有95%的學生均能概念改變成功，並完整敘述有關「熱膨脹」之正確科學概念，其協助學生在短時間內發生激烈的概念改變，使概念改變不再一定需要緩慢或漸進的過程，與She (2002, 2003, 2004a, 2004b, 2005)的研究結果相符，主要原因應在於一方面設法設計適合之雙重情境學習事件，讓抽象成為具體，讓不可見變為可見，協助學生能夠觀察到物質的改變及瞭解概念發生的過程，使概念改變能架構在科學概念的本質與學生對科學概念的信念之基礎上，一方面

創造學生認知之不和諧、並提供學生新的心智架構。而此促進概念改變之結果，在不同表徵（靜態圖文、動態影片）學習設計上，兩組學生並無太大差異，在提供新的心智架構之實驗二及實驗三，圖文組各有50%及80%的學生概念改變成功，影片組則各有50%及60%的學生概念改變成功，而在最後的挑戰事件，圖文組100%的學生，影片組90%的學生均獲得概念改變成功，顯示以靜態圖片加文字或動態影片加聲音兩種不同表徵所設計之雙重情境學習事件，均能有效促進學生概念改變，此一結果亦符合Mayer (2003)所提出有關學習本質的認知理論，認為所設計的多媒體教學訊息若能符合雙通道假設、有限的能力假設與主動學習假設，將與學生的學習方式一致，而能透過動態或靜態圖片、文字等多媒體教學來促進學生的學習與理解。

二、不同表徵呈現學習事件在不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析

此部份結果針對研究問題二「高一學生在不同表徵（靜態圖文、動態影片）學習過程中所呈現之腦波類型與強度是否有差異？」進行探討。

（一）不同表徵與不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析

將概念改變歷程之腦波資料加以區分為預測、表徵、解釋三個階段，探討此三個學習階段中，在兩種不同表徵之呈現學習事件下，兩組受試者大腦的各頻率腦波功率是否有所差異，結果顯示受試者在主要的三個雙重情境學習事件中，其預測、表徵、解釋三個不同概念學習階段之 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 波功率強度均達顯著差異，而以圖片加文字或影片加旁白兩種不同表徵進行概念學習上，受試者所呈現之各頻率腦波功率則均無顯著差異，且兩者間大抵均無交互作用。在學習階段之顯著差異顯示本研究所探討之學習歷程腦波資料應可提供有關學習者在概念改變歷程中認知處理之相關訊息，此與Gerč & Jaušvec (1999)研究學習者面對多媒體與文本等不同學習表徵時的不同認知歷程，發現腦波的相關測量可提供有關學習者在科學學習歷程中大腦運作的資訊的研究結果相符。而兩種不同學習表徵之無顯著差異結果與 Lewalter (2003)利用放聲想 (think-aloud)

探討學習者之認知思考歷程所提出動態與靜態圖文兩種學習表徵對學生的科學學習成效並無顯著差異相符；但 Gerč 和 Jaušvec (1999, 2001)在學習者進行圖文整合或多媒體課程學習之腦波研究上，則提出不同表徵呈現應可觀察到不同的 EEG 類型，因此本研究針對不同表徵呈現部份再做進一步統計分析。

（二）靜態圖文或動態影片表徵在不同學習階段之分析

分別針對圖文或影片兩種不同表徵之呈現，探討三個學習階段之各頻率腦波功率是否有所差異，結果可明顯發現不論以何種表徵呈現學習事件，其三個學習階段之各頻率腦波功率大抵均有顯著差異，且各頻率腦波功率均呈現預測大於表徵階段，解釋大於表徵階段，且解釋亦大致大於預測階段之趨勢。換言之，兩組學生分別接受靜態圖文與動態影片兩種不同表徵進行學習，在概念改變歷程腦波資料上卻呈現相同之趨勢，顯示影響受試者腦波功率強度者並非來自呈現學習事件之表徵形式，而在於受試者所歷經的概念改變歷程。推測與 Gerč 和 Jaušvec (1999, 2001)的研究最大不同之處應在於本研究以科學學習角度出發，以概念改變理論為主軸，運用雙重情境學習模式協助學生科學概念改變，因此所得概念改變歷程腦波資料主要反映了學生科學學習過程中之較深層的思維與認知處理，而非表象上學習事件所呈現之表徵形式。

（三）不同學習階段下兩種不同表徵之概念改變歷程腦波資料分析

進一步比較在不同學習階段下受試者接受靜態圖文或動態影片兩種不同表徵呈現時，其各頻率腦波功率是否有所差異，結果顯示以圖文或影片兩種不同表徵呈現學習事件下，不論在預測、表徵或解釋之學習階段，其各頻率腦波平均功率均無顯著差異。此部份結果提供與前一分析截然不同的角度，也更加確立在本研究中所操弄的兩種不同表徵對學生概念改變歷程腦波資料並無顯著影響。推測原因一方面是學生在思索科學問題之際，關注之主要焦點可能在於學習事件所提供的訊息本身，而非如何呈現此訊息，且本研究所採用的靜態圖片加文字或動態影片加旁白兩種不同表徵設計，均為經過文獻探討後應用多重表徵概念使學生認知負荷較低之設計，因此學生應均能夠容易的擷取當中

所提供的訊息，此種設計之目的乃在於探究目前教科書與教師最常應用於教學之表徵形式，而由本研究腦波資料分析結果顯示，此二種表徵形式對學生在科學概念改變歷程的影響並無顯著差異。

（四）不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析

由於以不同表徵呈現學習事件並未顯著影響受試者各頻率腦波功率，因此進行三個學習階段之概念改變歷程腦波資料的主要效果分析，結果發現受試者在主要的三個雙重情境學習事件中，其預測、表徵、解釋三個不同概念學習階段之 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 波功率強度均達顯著差異，且均呈現預測大於表徵階段，解釋大於表徵階段，而解釋亦大致大於預測階段或與預測階段相仿之趨勢。顯示由 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 波功率強度可獲知受試者在概念改變過程的認知處理歷程，包括提取長期記憶中的相關訊息至工作記憶區中，與由視覺及聽覺通道新登錄的訊息進行處理與連結；且其在概念改變歷程之不同階段所呈現之各頻率腦波功率強度不同，更顯示學習者在提取訊息、接收訊息與整合訊息之際，其大腦所耗費之認知資源及所產生之認知負荷並不相同，而致大腦之活躍情況亦有所不同。

另外，在本研究中也發現 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 功率強度均呈現一致的增加或減少之趨勢，並未觀察到 α 阻斷之現象，與早期研究指出當高心智活動時， α 功率會降低之結果(Gerš & Jaušvec, 1999, 2000; Klimesch, 1999; Jaušvec, 2000; Jaušvec & Jaušvec, 2000)並不相同，但與近期一些對 α 波的研究發現則相吻合，Jensen等人 (2002)在記憶掃描 (memory-scanning)的研究中發現，當記憶負荷增加時， α 功率隨之增加；而 Cooper等人發現 α 同步化 (α synchronization)與內部或外部注意力負荷增加之非任務相關的抑制作用有關，且源自於內部之注意力負荷使 α 之振幅更顯著增加，顯示在內部導向之心智運作中，大腦需主動的抑制無關訊息。Klimesch等人 (2007)的研究則發現當受試者抑制或控制反應的執行，或大腦執行上而下 (top-down)的控制會引發 α 同步化，因此認為 α 同步化反映了大腦上而下、抑制的控制過程。

而Ward (2003)在文獻回顧中分別指出 θ 與認知處理中的記憶登錄 (encoding)及提取

(retrieval)有密切關係， γ 與決策 (decision making)相關；在回憶過程中，可見 θ 與 γ 波功率同時增高的現象，則與短期記憶或工作記憶等動態的記憶過程有關； α 與 γ 波與動態注意力過程的抑制與選擇較相關；而廣泛的 γ 同步化則與意識 (consciousness)有關；Weiss & Rappelsberger (1996)的研究則指出 β_1 可能主導語意處理過程及更複雜的認知功能。以相關研究對照概念改變歷程所牽涉較深層之認知思考與訊息整合，或可印證本研究在需提出論點之解釋階段，其 θ 、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 及 γ 功率均提高之結果。

三、認知衝突/概念改變成功與否在不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析

此部份結果針對研究問題三「高一學生在不同表徵(靜態圖文、動態影片)學習時，其大腦各頻率腦波功率強度、同調性及拓樸圖與概念改變成功與否是否有關聯？」進行探討。但由於在研究問題一及研究問題二中已確立不同表徵學習之間在概念改變歷程腦波資料上並無顯著差異，因此研究問題三將直接針對「高一學生在有關熱膨脹之科學概念學習過程中，其大腦各頻率腦波功率強度、同調性及拓樸圖與概念改變成功與否是否有關聯？」進行探討。

(一) 認知衝突與否在不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析

本研究探究受試者產生認知衝突與否對概念改變歷程腦波資料的影響，結果顯示 θ 、 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 及 γ 功率強度在實驗一與實驗三呈現較明顯之差異，且均為認知衝突組大於無認知衝突組。對照概念改變之相關理論，當學生認知到原有概念並不足以解決目前所面臨的問題，則有利於提升概念改變之內在動機，如 Posner 等人 (1982) 所提出之概念改變得以發生的 4 個條件中，第一步即為學生需對現有概念不滿意，Clement & Rea-Ramiez (1998)亦提出小心選擇的特定衝突事件可協助新基模的建構，並同時產生內在不一致而發生概念改變。本研究所設計之雙重情境學習事件設計上亦針對學生之另有概念製造其認知之不和諧，而在不同頻率腦波功率強度上也顯示了產

生認知衝突之學生的確使用更多大腦認知資源進行思考及解決問題。

(二) 概念改變成功與否在不同學習階段之概念改變歷程腦波資料分析

本研究探究受試者概念改變成功與否對概念改變歷程腦波資料的影響，結果顯示 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 功率強度在實驗一與實驗二呈現較明顯之差異，且均為概念改變不成功組大於概念改變成功組。根據文獻探討，尚未有相關研究運用腦波來探討學習者在科學學習中之概念改變歷程，因此此部份結果或可提供學生在科學概念改變歷程中大腦運作模式之相關資訊，一方面可顯示概念改變歷程的確可由腦波資料加以呈現，一方面可推論概念改變不成功學生在大腦活動上相對較活躍，卻無法將所登錄訊息與原有概念間做有效連結，而致概念改變無法成功。Grabner (2003) 等人的研究發現智力表現愈好的人耗費愈少的心智資源來完成智力相關的任務，如同Haier等人 (1992) 的研究指出智力之展現不在於大腦多麼認真工作，而在於如何有效率的工作，Jaušvec & Jaušvec (2004) 的研究亦指出高智力者較能抑制與任務無關訊息，而使任務之進行更有效率，或可間接印證此部份結果。

(三) 認知衝突/概念改變成功與否在不同學習階段之同調性分析

本研究探究受試者在科學概念改變過程中，認知衝突產生與否及概念改變成功與否在大腦各部位腦波之同調性上是否有所差異。

結果顯示產生認知衝突與否兩組學生同調性之差異與腦波功率強度之差異結果很類似，即實驗一與實驗三呈現較一致之趨勢，大抵均為認知衝突組大於無認知衝突組，而實驗二則恰相反的顯示無認知衝突組大於認知衝突組之趨勢。三個實驗中，又以實驗一兩組學生之同調性差異最明顯，在 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 之同調性差異大致均呈現有認知衝突學生大於無認知衝突學生，而當中又以 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 與 $\beta 1$ 之同調性差異最為顯著，其差異尤其可見於額葉與後腦區之間及後腦區與後腦區之間，且以較長距離或跨腦區之合作為主；另外實驗一兩組學生之同調性差異幾乎均見以 F8 為「主要處理節點」，產生衝突學生多可見 F8 與額葉區、中央區、後腦區有較多的合作。

實驗一推估是雙重情境學習事件中產生衝擊最大的階段，有認知衝突學生在原先所架構之科學信念無法解決眼前科學問題的情況下，大腦需開始比對原有知識架構與現階段所收錄之感官訊息，以設法解決其間認知之不和諧，可能因而形成在大腦各部位訊息傳遞與處理更為活躍。另外推估實驗二無認知衝突學生並非依據自己所相信或新建立之心智架構進行科學推理，可能因而更需著力於思考感覺通道所登錄之訊息。

而概念改變成功與否兩組學生其同調性之差異大抵均為概念改變不成功組大於概念改變成功組，且兩者間的差異以實驗二最明顯，而實驗三幾乎沒有差異，亦與腦波功率強度之分析結果相似；在實驗二中可發現 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 及 γ 之同調性差異呈現一致之趨勢，大抵均為概念改變不成功組大於概念改變成功組，且明顯可見額葉與後腦區之長距離訊息傳遞，似乎顯示概念改變不成功學生較無法有效率的掌握感覺神經所登錄之訊息；另外亦可見F8為其中關鍵之「主要處理節點」，概念改變不成功學生與概念改變成功學生相比較，幾乎均可見F8與額葉區、中央區、後腦區之高度合作關係。

Weiss & Rappelsberger (2000)在字詞回憶成功與否在 δ 、 θ 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 及 $\beta 1$ 同調性之差異研究中，發現有效的字詞記憶登錄通常伴隨額葉與顳葉/頂葉區間的同調性提高，且愈多長距離電極有同步化現象及愈高比例的跨半腦合作時，字詞回憶表現愈好；並提出 θ 可能與事件記憶之登錄與儲存有關、 $\alpha 2$ 與 $\beta 1$ 可能與語義的處理有關，而在他們的研究中則未發現 $\alpha 1$ 同調性之差異。Haarmann & Cameron (2005)在有關句子記憶與理解之研究中指出 θ 同調性之增加反映了記憶登錄過程之負荷增加。Weiss等人(2000)並發現在登錄抽象字詞會引發較長距離之 θ 同調性，且在回憶字詞過程中多見前腦與後腦之同調性提高。這些研究雖與本研究所進行概念改變歷程之探討有所不同，但推測產生認知衝突學生在面對原有心智架構受到挑戰，與概念改變不成功學生在建立新的「心智架構」時，均需由長期記憶中提取更多相關訊息至工作記憶中，並在工作記憶中維持與思索更多新登錄之訊息，或可據以思考是否產生認知衝突學生與概念改變不成功學生在思考與解決科學問題過程中所產生之認知負荷較高，且較無法具體掌握所登錄之相關訊息。而F8與大腦其他部位之訊息傳遞，是否在科學概念改變歷

程中有其特別意義，則尚需進一步研究與探討。

（四）認知衝突/概念改變成功與否在不同學習階段之拓樸圖分析

以反應兩極端之兩位典型學生之拓樸圖，探討學生在不同學習階段之大腦各部位活化情形對認知衝突產生與否或概念改變成功與否的影響，結果顯示兩位學生在各頻率腦波活化部位很不相同，概念改變不成功學生之各頻率腦波有高度集中於 Fp1、Fp2 與 T4 之情況，似乎較無法有效率的運用大腦各部位，亦可能導致較無法有效處理感覺神經所收錄之訊息。Ward (2003)的研究指出儘管任何頻率腦波可發生於任何電極位置，但 α 波通常在後腦位置 (posterior sites) 被記錄到， θ 波通常在額葉，而 γ 波則於見於所有感覺皮質，相較之下，概念改變成功學生在概念改變歷程之不同學習階段中，各頻率腦波所活化部位較多，比之概念改變不成功學生，除了可看到額葉區不同位置之活化，還顯現更多枕葉、顳葉與頂葉區的活化，似乎顯示在其思考過程中，額葉可以有效擷取與處理感覺神經所收錄之訊息，並進行整合性之思考與比對，讓大腦之分工上更見其效率。此部份結果對照 Gevins & Smith (2000)的研究發現高能力受試者在策略發展上使用較多的頂葉區，而低能力受試者則顯現更專一的使用額葉區；及相關研究發現後腦區之活化可區辨智力表現之高低 (Haier, White, & Alkire, 2003; Jin et al., 2006)有其相符之處。

Basar 等人 (2001)提出雙通道感覺刺激會使額葉部位 θ 活化增加，代表複雜的任務將增加額葉之認知處理，且 Ward (2003)的研究亦提出 θ 波與認知處理中記憶的登錄與提取有密切關係，因此本研究中概念改變不成功學生在表徵階段之 θ 波多呈大腦各部位廣泛活化之現象，似乎顯示其較無法由所呈現的雙重情境學習事件與長期記憶之儲存訊息產生有效連結，進而進行認知處理；而概念改變成功學生在概念改變發生之關鍵階段呈現了與其前後階段均不相同的拓樸圖， θ 波特別以 Fp1 位置之活化為主，是否與其概念改變成功之間有所關聯，也值得進一步研究。

另外，概念改變成功學生可見 $\alpha 1$ 主要活化於枕葉區，與 Searwards & Searwards (1999)的研究指出 α 波在視覺皮質之活化與視覺覺知 (visual awareness) 有關相符，而相較之

下概念改變不成功學生之 $\alpha 1$ 及 $\alpha 2$ 幾乎均未見枕葉區之活化，或許也印證其無法有效處理學習事件所提供之訊息；而概念改變成功學生之 $\alpha 2$ 除了後腦區之活化外，尚在表徵階段發現其分佈型態與其他頻率腦波不同，特別顯現其中央區C3、C4之活化，Grabner (2003)等人的研究顯示高智力組在專家任務中亦見 $\alpha 2$ 在中央區C3、C4位置之高度活化，與本研究概念改變成功學生相似；而Klimesch等人 (1997)的研究發現 $\alpha 2$ 與語義訊息處理有密切關係，可區分語義記憶表現之好壞。語義概念處理過程是否可延伸至科學概念，或中央區之高度活化與科學概念建構或改變之間是否有相關性，均需進一步探究。

第二節 建議

根據本研究之整個研究過程及結論，提出以下建議，期盼能提供教師教學與後續研究者一些參考。

一、對教學與教材設計上的建議

本研究結果顯示針對「熱膨脹」概念所設計之雙重情境學習事件，使95%的學生概念改變成功，且透過概念改變歷程腦波資料之研究，可探知學生在概念改變歷程中的認知處理狀況，但所設計之靜態圖片加文字與動態影片加聲音兩種不同表徵之呈現上，在概念改變歷程腦波資料上則無顯著差異。換言之，本研究以科學教科書使用頻率最高的圖文並呈及多媒體教學上常用的影片呈現方式所設計之學習事件，均可讓學生從中擷取所需訊息，並在科學概念改變上同樣達到其成效，但究其關鍵乃在於以學生先備概念為出發點，在製造學生認知之不和諧中，鼓勵其發展新的論點，而非僅止於學習事件之呈現，而以概念改變歷程腦波資料來看，單純學習事件之呈現，學生之大腦運作是較不活躍的。因此教科書之編寫或教師之教學上，在關注表徵之形式或表徵之呈現方式之餘，若能在提供訊息或建立概念前後，更加著力於如何促使學生產生認知不和諧及協助學生

連結新舊訊息以產生新的論點，應更有利於學生之概念建構或概念改變。

而面對難以改變的科學概念，本研究所採用之雙重情境學習模式最關鍵之處即為情境學習事件之設計，教師需先明瞭學生所進行學習之科學概念的先備信念，及這些科學概念的性質，再藉由挑戰學生有關這些科學概念的知識論和本體論，造成與學生先備知識的不一致或不和諧，並提供必要的心智支持，讓學生重新建構更多這些概念的科學觀點，才能夠對概念改變過程有所助益。換言之，教師更需思量整個科學概念抽象、微觀與動態過程之特性，在教學設計上設法讓抽象成為具體，讓不可見變為可見，協助學生得以觀察概念發生之過程，並謹慎且適當選擇衝突事件或教學方法，協助學生由起始點開始進行情境學習活動，循序漸進的經驗其所缺乏的心智架構，並據以建構特定的科學概念，也才有可能幫助學生在短時間內發生概念改變。

二、對未來研究的建議

本研究結果顯示針對「熱膨脹」概念所設計之雙重情境學習事件，使 95% 的學生概念改變成功，且透過概念改變歷程腦波資料之研究與分析，可探知學生在概念改變歷程中的認知處理狀況，顯示將腦電圖應用於科學教育上概念改變歷程之研究確然可行，也期望未來能有更多相關研究投入，以能更明瞭學生在科學概念改變過程中的大腦運作模式。

但由於本研究受限於人力與時間，在取樣與分析上均有未臻完善之處，僅以以下幾點建議，期待後續之研究能加以參酌，讓科學教育相關研究亦能結合認知神經科學、認知心理學之研究，以進一步瞭解學生在建構科學概念及概念改變歷程中如何進行訊息處理，進而協助學生之科學學習。

- (一) 本研究所施測之受試者僅侷限於新竹市三所高中之二十位高一學生，且概念改變內容設計僅針對「熱膨脹」概念，建議未來研究者可更擴大施測對象及針對不同的科學課程進行設計，以期明瞭學生在科學學習中之認知歷程是否有其通則性。

- (二) 本研究並未進行追蹤研究，未來若能考量增加受試者之追蹤測，或許能對概念改變之歷程及其成效，以及長期記憶之運作模式有更進一步的瞭解。
- (三) 本研究概括性的分析了大腦各頻率腦波功率強度變化、同調性及拓樸圖，並分別著力於分析其與科學概念改變歷程間的關係，但未能進行更詳盡之交叉比對，而這當中或許能提供更多不同的訊息，可更充分探討科學學習與大腦認知處理模式之相關性。
- (四) 本研究以概念改變理論為主軸，採用貼近學生科學學習方式進行施測，未來或可將腦電圖之研究應用於更多科學學習層面，如結合學生之科學實作、科學讀寫等，以期對學生的科學學習提供不同角度之思維。



參考文獻

- 許良榮、邱月玲 (2003)。不同的科學圖文配置對學生閱讀學習的影響—以「月相改變」為例。台中師院學報，第17期，283-310頁。
- Ainsworth, S. E. (1999). The functions of multiple representations. *Computers and Education*, 33(2/3), 131–152.
- Andreassi, J. L. (2000). *Psychophysiology: Human behavior and physiological response*, 4th ed. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Anglin, G. J., & Stevens, J. T. (1987). Prose-relevant pictures and recall from science text. ERIC Document Reproduction Service No. ED285524.
- Amettler, J., & Pintó, R. (2002). Students' reading of innovative images of energy at secondary school level. *International Journal of Science Education*, 24(3), 285-312.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2001). Is working memory still working? *American Psychologist*, 56(11), 851-864.
- Baddeley, A. (2003). Working memory and language: An overview. *Journal of Communication Disorders*, 36(3), 189-208.
- Barbe, W. B., & Milone, M. N., Jr. (1980). Modality. *Instructor*, 89(6), 44-47.
- Başar, E., Başar-Eroglu, C., Karakaş, S., & Schürmann, M. (2001). Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes. *International Journal of Psychophysiology*, 39, 241-248.
- Behrendt, H., & Dahncke, H. (2001). *Research in science education-past, present, and future*. Kluwer Academic Publishers.
- Brick, J. P., & Lawson, A. E. (1999). The persistence of the candle-and-cylinder

- misconception. *Journal of Chemical Education*, 76(7), 914-916.
- Butcher, K. R. (2006). Learning from text with diagrams: promoting mental model development and inference generation. *Journal of Educational Psychology*, 98(1), 182-197.
- Carney, R. N., & Levin, J. R. (2002). Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review*, 14, 5-25.
- Chang, H. Y., Chiu, M. H. (2004). Assessing science learning via two types of instructional representations, The Annual Meeting of National Association for Research in Science Teaching (NARST), Vancouver, British Columbia.
- Chi, M.T.H., Slotta, J.D., & deLeeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and instruction*, 4, 27-43.
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1241-1257.
- Cooper, N. R., Croft, R. J., Dominey, S. J. J., Burgess, A. P., & Gruzellier, J. H. (2003). Paradox lost? Exploring the role of alpha oscillations during externally vs. internally directed attention and the implications for idling and inhibition hypotheses. *International Journal of Psychophysiology*, 47(1), 65-74.
- Copolo, C., & Hounshell, P. (1995). Using three-dimensional models to teach molecular structures in high school chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 4(4), 295-305.
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students.
- Duit, R. (1991). Students' conceptual framework: consequences for learning science. In Glynn, S. M., Yeany, R. H., & Britton, B. K. (Eds.), *The Psychology of Learning Science*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Fang, C. H., McWherter, C., & Gilbert, G. L. (1998). A simple determination of percent

- oxygen in air. *Journal of Chemical Education*, 75(1), 58-59.
- Gardner, H., & Hatch, T. (1989). Educational implications of the theory of multiple intelligences. *Educational Researcher*, 18(8), 4-10.
- Gevin, A., & Smith, M. E. (2000). Neurophysiological measures of working memory and individual differences in cognitive ability and cognitive style. *Cerebral Cortex*, 10, 830-839.
- Gerě, I., & Jaušvec, N. (1999). Multimedia: Differences in cognitive processes observed with EEG. *Educational Technology Research and Development*, 47(3), 5-14.
- Gerě, I., & Jaušvec, N. (2001). Differences in EEG power and coherence measures related to the type of presentation: text versus multimedia. *Journal of Educational Computing Research*, 25(2), 177-195.
- Gilbert, J. K. (1999). On the explanation of change in science and cognition. *Science & Education*, 8(5), 543-557.
- Glynn, S. M., Yeany, R. H., & Britton, B. K. (1991). The psychology of learning science: Lawrence Erlbaum Associates.
- Grabner, R. H., Stern, E., & Neubauer, A. C. (2003). When intelligence loses its impact: neural efficiency during reasoning in a familiar area. *International Journal of Psychophysiology*, 49(2), 89-98.
- Grimley, M. (2007). Learning from multimedia materials: The relative impact of individual differences. *Educational Psychology*, 27(4), 465 - 485.
- Haarmann, H. J., & Cameron, K. A. (2005). Active maintenance of sentence meaning in working memory: Evidence from EEG coherences. *International Journal of Psychophysiology*, 57, 115-128.
- Haier, R. J., Siegel, B., Tang, C., Abel, L., & Buchsbaum, M. S. (1992). Intelligence and changes in regional cerebral glucose metabolic rate following learning. *Intelligence*, 16, 415-426.

- Haier, R. J., White, N. S., & Alkire, M. T. (2003). Individual differences in general intelligence correlate with brain function during nonreasoning tasks. *Intelligence*, 31(5), 429-441.
- Hannus, M., & Hyönä, J. (1999). Utilization of illustrations during learning of science textbook passages among low- and high-ability children. *Contemporary Educational Psychology*, 24(2), 95-123.
- Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (1999). High-level scene perception. *Annual Review of Psychology*, 50, 243-71.
- Hughes, A., Wilkens, T., Wildemuth, B. M., & Marchionni, G. (2003). Text or pictures? An eyetracking study of how people view digital video surrogates. Image and Video Retrieval, Proceedings Lecture Notes in Computer Science. Retrieved from http://www.open-video.org/papers/hughes_civr_2003.pdf
- Jaušvec, N., & Jaušvec, K. (2000). EEG activity during the performance of complex mental problems. *International Journal of Psychophysiology*, 36(1), 73-88.
- Jaušvec, N., & Jaušvec, K. (2004). Differences in induced brain activity during the performance of learning and working-memory tasks related to intelligence. *Brain and Cognition*, 54, 65-74.
- Jensen, O., Gelfund, J., kouniors, J., & Lisman, P. E. (2002). Oscillations in the alpha band (9-12 Hz) increase with memory load during retention in a short-term memory task. *Cereb. Cortex*, 12, 877-882.
- Jin, S-H., Kwon, Y-J., Jeong, J-U., Kwon, S-W., & Shin, D-H. (2006). Differences in brain information transmission between gifted and normal children during scientific hypothesis generation. *Brain and Cognition*, 62, 191-197.
- Kaakinen, J. K., & Hyönä, J. (2005). Perspective effects on expository text comprehension: Evidence from think-aloud protocols, eyetracking, and recall. *Discourse Processes*, 40(3), 239 - 257.

- Keller, B. A. (1998). Student preferences for representations of functions, *Int. J. Math. EDUC. SCI. TECHNOL.*, 29(1), 1-17.
- Klein, P. D. (2003). Rethinking the multiplicity of cognitive resources and curricular representations: Alternatives to " learning styles " and " multiple intelligences ". *Journal of Curriculum Studies*, 35(1), 45-81.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29, 169-195.
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Pachinger, T., & Ripper, B. (1997). Brain oscillations and human memory: EEG correlates in the upper alpha and theta band. *Neuroscience Letters*, 238(1-2), 9-12.
- Klimesch, W., Sauseng, P., & Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: The inhibition-timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53, 63-88.
- Kuhn, T. S. (1970). The structure of scientific revolutions. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Kwon, Y.-J., & Lawson, A. E. (2000). Linking brain growth with the development of scientific reasoning ability and conceptual change during adolescence. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(1), 44-62.
- Levin, J. R., Anglin, G. J., & Carney, R. N. (1987). On empirically validating functions of pictures in prose. In D. M. Willows & H. A. Houghton (Eds), *Illustrations, graphs and diagrams: Psychological theory and educational practice*. New York: Springer-Verlag.
- Lewalter, D. (2003). Cognitive Strategies for Learning from Static and Dynamic Visuals. *Learning and Instruction*, 13(2), 177-189.
- Lowe, R. K. (2003). Animation and learning: selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction*, 13(2), 157-176.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32(1), 1 - 19.

- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: Using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, 13(2), 125-139.
- Mayer, R. E., & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82, 715-726.
- Mayer, R. E., & Sims. V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words ? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 86, 389-401.
- Weiss, S., & Rappelsberger, P. (2000). Long-range EEG synchronization during word encoding correlates with successful memory performance. *Cognitive Brain Research*, 9(3), 299-312.
- Mintzes, J. J., Wandersee, J. H. & Novak, J. D. (1998). *Teaching science for understanding: A human constructivist view*. Educational Psychology Series (Academic Press). San Diego: CA Elsevier.
- Molle, M., Marshall, L., Fehm, H. L., & Born, J. (2002). EEG theta synchronization conjoined with alpha desynchronization indicate intentional encoding. *European Journal of Neuroscience*, 15(5), 923-928.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: the role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology*, 91, 724-733.
- Osborne, R. (1980). Some aspects of the students' view of the world. *Research in Science Education*, 10(1), 11-18.
- Osborne, R., & Gilbert, J. (1979). Investigating student understanding of basic physics concepts using an interview-about-instances technique. *Research in Science Education*, 9(1), 85-93.
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. (1994). Instructional control of cognitive load in the training

- of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 6(4), 351-371.
- Paivio, A. (1986). *Mental Representation: A Dual Coding Approach*. New York: Oxford University Press.
- Papousek, I., & Schuster, G. (2004). Manipulation of frontal brain asymmetry by cognitive tasks. *Brain and Cognition*, 54(1), 43-51.
- Park, O.-C., & Hopkins, R. (1992). Instructional conditions for using dynamic visual displays: a review. *Instructional Science*, 21(6), 427-449.
- Park, O.-C., & Gittelman, S. S. (1995). Dynamic characteristics of mental models and dynamic visual displays. *Instructional Science*, 23(5), 303-320.
- Peckham, D. G. (1993). A new use for the candle and tumbler myth. *Journal of Chemical Education*, 70(12), 1008-1009.
- Perner, J. (1991). *Understanding the representational mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Pozzer, L. L., & Roth, W.-M. (2003). Prevalence, function, and structure of photographs in high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(10), 1089-1114.
- Prain, V., & Waldrip, B. (2006). An exploratory study of teachers' and students' use of multi-modal representations of concepts in primary science. *International Journal of Science Education*, 28(15), 1843-1866.
- Quyen, M. L. V., Martinerie, J., Adam, C., & Varela, F. J. (1999). Nonlinear analyses of interictal EEG map the brain interdependences in human focal epilepsy. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 127(3-4), 250-266.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.

- Rehder, B., & Hoffman, A. (2005). Eyetracking and selective attention in category learning. *Cognitive Psychology*, 51(1), 1-41.
- Roberts, J. W. (2002). Beyond learning by doing: The brain compatible approach. *Journal of Experiential Education*, 25(2), 281-285.
- Rosen, V. M., & Engle, R. W. (1998). Working memory capacity and suppression. *Journal of Memory and Language*, 39(3), 418-436.
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and Interference in Learning from Multiple Representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141-156.
- Schnotz, W., & Lowe, R. (2003). External and internal representations in multimedia learning. *Learning and Instruction*, 13(2), 117-123.
- Schnotz, W., Vosniadou, S., & Carretero, M. (1999). New perspectives on conceptual change. Amsterdam: Pergamon Press.
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13(2), 227-237.
- Seward, T. V., & Sowards, M. A. (1999). Alpha-band oscillations in visual cortex: part of the neural correlate of visual awareness? *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 35-45.
- She, H. C. (2002). Concepts of a higher hierarchical level require more dual situated learning events for conceptual change: a study of air pressure and buoyancy. *International Journal of Science Education*, 24, 981-996.
- She, H. C. (2003). DSLM instructional approach to conceptual change involving thermal expansion. *Research in Science and Technological Education*, 21(1), 43-54.
- She, H. C. (2004a). Facilitating changes in ninth grade students' understanding of dissolution and diffusion through DSLM instruction. *Research in Science Education*, 34(4), 503-525.
- She, H. C. (2004b). Fostering radical conceptual change through dual-situated learning model. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(2), 142-164.

- She, H. C. (2005). Enhancing eighth grade students' learning of buoyancy: The interaction of teachers' instructional approach and students' learning preference styles. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3(4), 609-624.
- Sinatra, G. M., & Pintrich, P. R. (2002). Intentional conceptual change. NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Slykhuis, D., Wiebe, E., & Annetta, L. (2005). Eye-tracking students' attention to PowerPoint photographs in a science education setting. *Journal of Science Education and Technology*, 14(5), 509-520.
- Stern, E., Aprea, C., & Ebner, H. G. (2003). Improving cross-content transfer in text processing by means of active graphical representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 191-203.
- Sternberg, R. J. (2003). Cognitive psychology (3rd Edition). Belmont, CA: Thomson/Wadsworth.
- Sweller, J. (1988). "Cognitive load during problem solving: effects on learning", *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12(3), 185 - 233.
- Sweller, J., van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Tai, R. H., Loehr, J. F., & Brigham, F. J. (2006). An exploration of the use of eye-gaze tracking to study problem-solving on standardized science assessments. *International Journal of Research & Method in Education*, 29(2), 185-208.
- Thagard, P. (1992). Conceptual revolutions. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science, *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.

- Tsui, C., & Treagust, D. (2003). Learning genetics with multiple representations: A three dimensional analysis of conceptual change. The National Association for Research in Science Teaching, Philadelphia, PA, March 23-26.
- Tsui, C., & Treagust, D. (2004). Conceptual change in learning genetics: An ontological perspective. *Research in Science and Technological Education*, 22(2ov), 185-202.
- Wallace, C. (2004). An illumination of the roles of hands-on activities, discussion, text reading, and writing in constructing biology knowledge in seventh grade. *School Science and Mathematics*, 104(2), 70-78.
- Ward, L. M. (2003). Synchronous neural oscillations and cognitive processes. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 553-559.
- Weiss, S., & Rappelsberger, P. (1996). EEG coherence within the 13-18 Hz band as a correlate of a distinct lexical organisation of concrete and abstract nouns in humans. *Neuroscience Letters*, 209, 17-20.
- Weiss, S., & Rappelsberger, P. (2000). Long-range EEG synchronization during word encoding correlates with successful memory performance. *Cognitive Brain Research*, 9(3), 299-312.
- Wiebe, E. N. (2005). Eye tracking methods for improving engineering graphics instruction. Paper presented at the ASEE Annual Conference & Exposition, Portland, USA.
- Yore, L., & Treagust, D. (2006). Current realities and future possibilities: Language and science literacy-empowering research and informing instruction. *International Journal of Science Education*, 28(2-3), 291-314.

附錄一：「熱膨脹概念」學習事件

學習事件一

- (一) 學習事件情境說明：以圖文並呈（見圖1及圖2）及口頭解說方式向受試者加以說明。

取三個廣口瓶標示甲、乙、丙，分別固定一根、三根、五根蠟燭於水槽內，再注入適量清水。

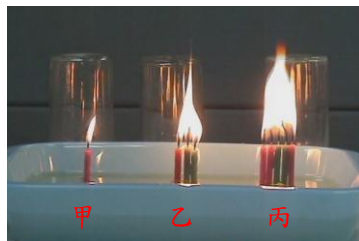


圖1 學習事件一情境說明一

點燃蠟燭後，同時將甲、乙、丙瓶倒蓋於燃燒中的一根、三根、五根蠟燭上。



圖2 學習事件一情境說明二

- (二) 請受試者預測當蠟燭熄滅後，三個瓶子內的水位是否會上升？哪一個瓶子內水位上升的高度最高？為什麼？
- (三) 不同表徵學習：隨機分組，受試者或面對靜態圖文表徵進行學習，或面對動態影片表徵進行學習。

1. 動態影片表徵學習：以附旁白之動態影片播放實驗過程及結果，長度為48秒。配音稿一方面配合影片之實際狀況，一方面配合靜態圖文整合組之文字說明所提示之訊息，全文如下：取甲、乙、丙三個廣口瓶，分別固定一根、三根、五根蠟燭於水槽內，再注入適量清水。點燃蠟燭後，同時將廣口瓶倒蓋於燃燒中的三組蠟燭上。很快的，丙瓶燭火就熄滅了，在燭火熄滅後，丙瓶內的水位開始上升。接著，乙瓶和甲瓶燭火也依序熄滅了，在燭火熄滅後，瓶內的水位也開始上升。當三個廣口瓶內水位上升停止後，可明顯觀察到水位高度是丙瓶 $>$ 乙瓶 $>$ 甲瓶。

2. 靜態圖文表徵學習：以6張靜態圖文整合投影片（見圖3至圖8）播放實驗過程及結果，每張播放8秒，共計48秒。

取三個廣口瓶標示甲、乙、丙，分別固定一根、三根、五根蠟燭於水槽內，再注入適量清水。

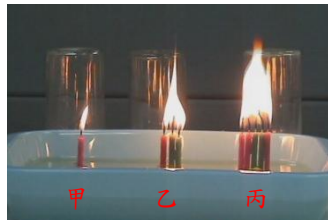


圖3 學習事件一圖文投影片一

點燃蠟燭後，同時將甲、乙、丙瓶倒蓋於燃燒中的一根、三根、五根蠟燭上。



圖4 學習事件一圖文投影片二

很快的，丙瓶燭火就熄滅了，在燭火熄滅後，丙瓶內的水位開始上升。



圖5 學習事件一圖文投影片三

接著，乙瓶燭火跟著也熄滅了，在燭火熄滅後，乙瓶內的水位也開始上升。



圖6 學習事件一圖文投影片四

最後，甲瓶燭火也熄滅了，在燭火熄滅後，同樣觀察到甲瓶內的水位開始上升。

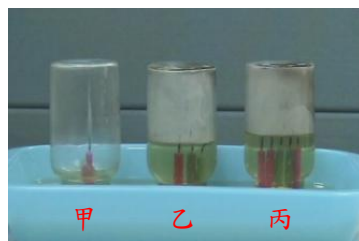


圖7 學習事件一圖文投影片五

結果，三個廣口瓶內水位上升停止後，可明顯觀察到水位高度：丙瓶>乙瓶>甲瓶

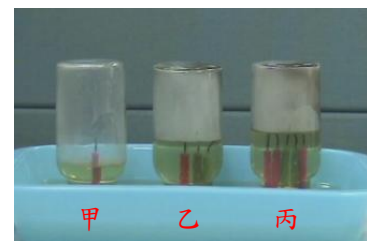


圖8 學習事件一圖文投影片六

（四）請受試者比對先前預測與所呈現的實驗結果，並根據受試者所提出另有概念進行

訪談，破除水位上升是因為蠟燭燃燒用掉五分之一氧氣，思考水位上升應該另有原因。

- (五) 若學生回答蠟燭體積造成水位上升高度不同，則進行學習事件一～2，否則便進入學習事件二。

學習事件一～2

- (一) 學習事件情境說明：以圖文並呈（見圖9及圖10）及口頭解說方式向受試者加以說明。

取三個廣口瓶標示甲、乙、丙，分別固定三組各5根蠟燭於水槽內，再注入適量清水。



圖9 學習事件一～2情境說明一

甲組點燃一根蠟燭、乙組點燃三根蠟燭、丙組點燃五根蠟燭後，同時將甲、乙、丙瓶倒蓋於燃燒中的各組蠟燭上。



圖10 學習事件一～2情境說明二

- (二) 請受試者預測當蠟燭熄滅後，三個瓶子內的水位是否會上升？哪一個瓶子內水位上升的高度最高？為什麼？
- (三) 不同表徵教學：隨機分組，受試者或面對靜態圖文表徵進行學習，或面對動態影片表徵進行學習。

1. 動態影片表徵學習：以附旁白之動態影片播放實驗過程及結果，長度為48秒。配音稿一方面配合影片之實際狀況，一方面配合靜態圖文整合組之文字說明所提示之訊息，全文如下：取甲、乙、丙三個廣口瓶，分別固定三組各5根蠟燭於水槽內，再注入適量清水。甲組點燃一根、乙組點燃三根、丙組點燃五根蠟燭後，同時將廣口瓶倒蓋於燃燒中的各組蠟燭上。很快的，丙瓶燭火就熄滅了，在燭

火熄滅後，丙瓶內的水位開始上升。接著，乙瓶和甲瓶燭火也依序熄滅了，在燭火熄滅後，瓶內的水位也開始上升。當三個廣口瓶內水位上升停止後，可明顯觀察到水位高度是丙瓶>乙瓶>甲瓶。

2. 靜態圖文表徵學習：以6張靜態圖文整合投影片（見圖11至圖16）播放實驗過程及結果，每張播放8秒，共計48秒。

取三個廣口瓶標示甲、乙、丙，分別固定三組各5根蠟燭於水槽內，再注入適量清水。

甲組點燃一根蠟燭、乙組點燃三根蠟燭、丙組點燃五根蠟燭後，同時將甲、乙、丙瓶倒蓋於燃燒中的各組蠟燭上。



圖11 學習事件一～2圖文投影片一



圖12 學習事件一～2圖文投影片二

很快的，丙瓶燭火就熄滅了，在燭火熄滅後，丙瓶內的水位開始上升。

接著，乙瓶燭火跟著也熄滅了，在燭火熄滅後，乙瓶內的水位也開始上升。



圖13 學習事件一～2圖文投影片三



圖14 學習事件一～2圖文投影片四

最後，甲瓶燭火也熄滅了，在燭火熄滅後，同樣觀察到甲瓶內的水位開始上升。

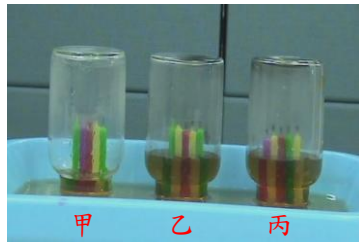


圖15 學習事件一～2圖文投影片五

結果，三個廣口瓶內水位上升停止後，可明顯觀察到水位高度：丙瓶>乙瓶>甲瓶

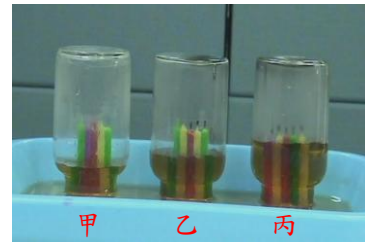


圖16 學習事件一～2圖文投影片六

- (四) 請受試者比對先前預測與所呈現的實驗結果，並根據受試者所提出另有概念進行訪談，破除水位上升高度不同是源自不同支數的蠟燭，思考水位上升應另有原因。
- (五) 進入學習事件二。



- (一) 學習事件情境說明：以圖文並呈（見圖17及圖18）及口頭解說方式向受試者加以說明。

取三個廣口瓶標示甲、乙、丙，分別固定一根、三根、五根蠟燭於水槽內，再注入適量肥皂水。

點燃蠟燭後，同時將甲、乙、丙瓶倒蓋於燃燒中的一根、三根、五根蠟燭上。

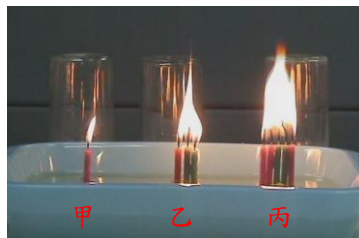


圖17 學習事件二情境說明一



圖18 學習事件二情境說明二

- (二) 請受試者預測當蠟燭熄滅後，哪一個瓶子內水位上升的高度最高？在燃燒過程中，三個瓶子外的水面是否產生泡泡？為什麼？

(三) 不同表徵學習：隨機分組，受試者或面對靜態圖文表徵進行學習，或面對動態影片表徵進行學習。

1. 動態影片表徵學習：以附旁白之動態影片播放實驗過程及結果，長度為64秒。配音稿一方面配合影片之實際狀況，一方面配合靜態圖文整合組之文字說明所提示之訊息，全文如下：取甲、乙、丙三個廣口瓶，分別固定一根、三根、五根蠟燭於水槽內，再注入適量肥皂水。點燃蠟燭後，同時將廣口瓶倒蓋於燃燒中的三組蠟燭上。廣口瓶蓋下後，三個廣口瓶外四周都立刻產生許多泡泡。很快的，丙瓶燭火就熄滅了，在燭火熄滅後，丙瓶內的水位開始上升。接著，乙瓶和甲瓶燭火也依序熄滅了，在燭火熄滅後，瓶內的水位也開始上升。當三個廣口瓶內水位上升停止後，可明顯觀察到水位高度是丙瓶>乙瓶>甲瓶。
2. 靜態圖文表徵學習：以8張靜態圖文整合投影片（見圖19至圖26）播放實驗過程及結果，每張播放8秒，共計64秒。

取三個廣口瓶標示甲、乙、丙，分別固定一根、三根、五根蠟燭於水槽內，再注入適量肥皂水。

點燃蠟燭後，同時將甲、乙、丙瓶倒蓋於燃燒中的一根、三根、五根蠟燭上。

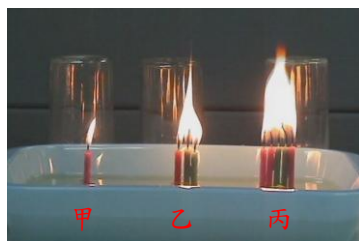


圖19 學習事件二圖文投影片一



圖20 學習事件二圖文投影片二

廣口瓶蓋下後，三個廣口瓶外四周都立刻產生許多泡泡。



圖21 學習事件二圖文投影片三

很快的，丙瓶燭火就熄滅了，在燭火熄滅後，丙瓶內的水位開始上升。

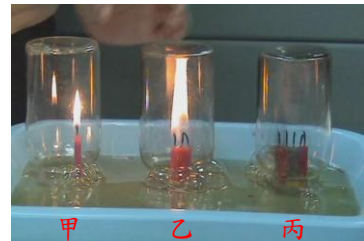


圖22 學習事件二圖文投影片四

接著，乙瓶燭火跟著也熄滅了，在燭火熄滅後，乙瓶內的水位也開始上升。

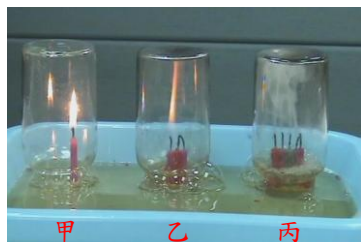


圖23 學習事件二圖文投影片五

最後，甲瓶燭火也熄滅了，燭火熄滅後，同樣觀察到甲瓶內的水位開始上升。

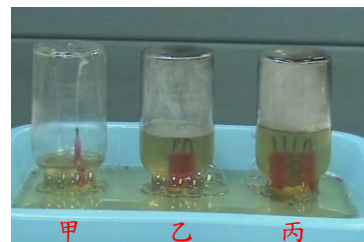


圖24 學習事件二圖文投影片六

結果，三個廣口瓶內水位上升停止後，可明顯觀察到水位高度：丙瓶>乙瓶>甲瓶

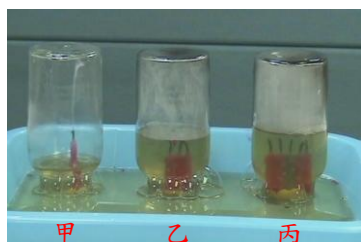


圖25 學習事件二圖文投影片七

此時，三個廣口瓶外都仍然可以看到剛才所產生的泡泡。

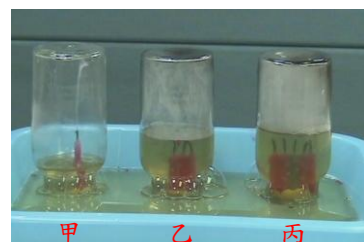


圖26 學習事件二圖文投影片八

(四) 請受試者比對預測與所呈現的實驗結果，並根據受試者所提出另有概念進行訪談，引導受試者思考：水位上升與蠟燭燃燒使瓶內氣體受熱膨脹後，瓶內壓力上

升而致使氣體溢出瓶外有關。

(五) 進入學習事件三。

學習事件三

- (一) 學習事件情境說明：以圖文並呈（見圖27及圖28）及口頭解說方式向受試者加以說明。

取三個兩端開口的中空玻璃管標示甲、乙、丙，再取適當大小的蠟紙摺成袋子形狀，袋子開口處黏貼於玻璃管的一端開口，將一根、三根、五根蠟燭

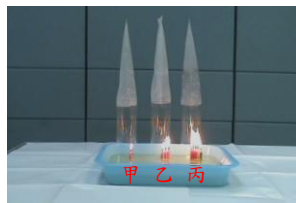


圖27 學習事件三情境說明一

點燃蠟燭後，同時將黏貼著蠟紙袋的甲、乙、丙玻璃管置於燃燒中的一根、三根、五根蠟燭上。



圖28 學習事件三情境說明二

- (二) 請受試者預測在燃燒過程中，三個瓶子外的水面是否會產生泡泡？三個蠟紙袋會不會膨脹？會不會收縮？三個玻璃管內的水位是否會上升？為什麼？
- (三) 不同表徵學習：隨機分組，受試者或面對靜態圖文表徵進行學習，或面對動態影片表徵進行學習。

1. 動態影片表徵學習：以附旁白之動態影片播放實驗過程及結果，長度為64秒。配音稿一方面配合影片之實際狀況，一方面配合靜態圖文整合組之文字說明所提示之訊息，全文如下：取甲、乙、丙三個一端開口、一端黏貼蠟紙袋的中空玻璃管，分別固定一根、三根、五根蠟燭於水槽內，再注入適量肥皂水。點燃蠟燭後，同時將玻璃管放置於燃燒中的三組蠟燭上。很快的，丙瓶上方的蠟紙袋明顯的膨脹起來。接著，乙瓶和甲瓶上方的蠟紙袋也膨脹了。此時，丙瓶燭火熄滅了，在燭火熄滅後，膨脹的蠟紙袋突然收縮成扁平狀，而玻璃管內的水位

並沒有上升。接著，乙瓶和甲瓶燭火也熄滅了，在燭火熄滅後，膨脹的蠟紙袋也突然收縮成扁平狀，且玻璃管內的水位同樣並沒有上升。結果，三個玻璃管上方蠟紙袋都呈現扁平狀，且玻璃管內水位都沒有上升。

2. 靜態圖文表徵學習：以8張靜態圖文整合投影片（見圖29至圖36）播放實驗過程及結果，每張播放8秒，共計64秒。

取三個兩端開口的中空玻璃管標示甲、乙、丙，再取適當大小的蠟紙摺成袋子形狀，袋子開口處黏貼於玻璃管的一端開口，將一根、三根、五根蠟燭

點燃蠟燭後，同時將黏貼著蠟紙袋的甲、乙、丙玻璃管置於燃燒中的一根、三根、五根蠟燭上。

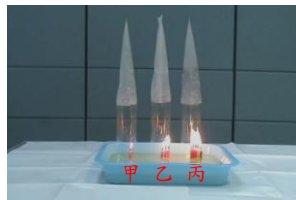


圖29 學習事件二圖文投影片一



圖30 學習事件二圖文投影片二

很快的，丙瓶上方的蠟紙袋明顯的膨脹起來。

接著，乙瓶上方的蠟紙袋也明顯的膨脹了，而甲瓶上方的蠟紙袋也膨脹了，但相對的不是那麼明顯。



圖31 學習事件三圖文投影片三



圖32 學習事件三圖文投影片四

此時，丙瓶燭火熄滅了，在燭火熄滅後，膨脹的蠟紙袋突然收縮成扁平狀，而玻璃管內的水位並沒有上升。

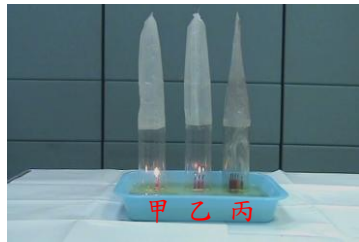


圖33 學習事件三圖文投影片五

接著，乙瓶燭火也熄滅了，在燭火熄滅後，膨脹的蠟紙袋也突然收縮成扁平狀，且玻璃管內的水位同樣並沒有上升。

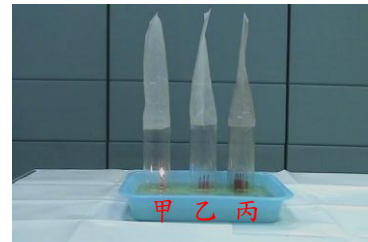


圖34 學習事件三圖文投影片六

最後，甲瓶燭火也熄滅了，在燭火熄滅後，膨脹的蠟紙袋也突然收縮成扁平狀，且玻璃管內的水位同樣並沒有上升。

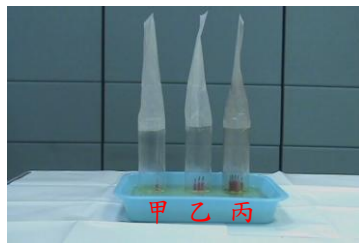


圖35 學習事件三圖文投影片七

結果，三個玻璃管上方蠟紙袋都呈現扁平狀，玻璃管內水位都沒有上升。

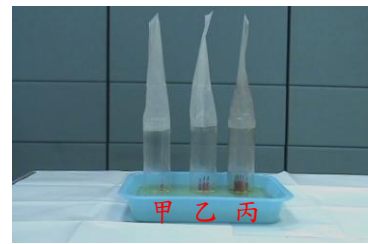


圖36 學習事件三圖文投影片八

- (四) 請受試者比對預測與所呈現的實驗結果，並根據受試者所提出另有概念進行訪談，引出若氣體沒有跑出瓶外，則瓶內水位不會上升。
- (五) 進入挑戰事件。

挑戰事件

請受試者詳述：將一根蠟燭固定於水槽內，再注入適量清水，點燃蠟燭後，取一個廣口瓶倒蓋於燃燒中的蠟燭上。當蠟燭熄滅後，瓶子內的水位是否會上升？為什麼？