

國立交通大學

理學院科技與數位學習學程

碩 士 論 文

激發式動態教學結合電子白板
應用於幾何教學之研究
-以外角定理為例

A Study of Trigger-based Animation Instruction
with Interactive Whiteboard In Geometry Teaching –Example
of Exterior Angle Theorem

研究生 ： 陳世易

指導教授 ： 陳明璋 博士

中華民國一百零一年六月

激發式動態教學結合電子白板應用於幾何教學之研究
-以外角定理為例

A Study of Trigger-based Animation Instruction
with Interactive Whiteboard In Geometry Teaching – Example
of Exterior Angle Theorem

研究生 : 陳世易 Student : Shih-Yi Chem

指導教授 : 陳明璋 Advisor : Ming-Jang Chen



國立交通大學

理學院科技與數位學習學程

碩士論文

A Thesis

Submitted to Degree Program of E-Learning

College of Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

In

Degree Program of E-Learning

Jun 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零一年六月

激發式動態教學結合電子白板應用於幾何教學之研究 -以外角定理為例

學生：陳世易

指導教授：陳明璋 博士

國立交通大學理學院科技與數位學習學程

中文摘要

本研究以八年級「外角定理」單元為教材設計的主題，探討激發式動態教學(TAI)結合電子白板應用於常態班級課堂授課，對學生學習成效及認知負荷之影響。

本實驗採二因子準實驗研究設計，自變項為教學因子(「TAI」與「非「TAI」)及硬體操控因子(「白板觸控」與「滑鼠操控」，而依變項為「學習成效」與「認知負荷」。研究對象為新北市立某國民中學四個班級的 119 名國中八年級學生，-

實驗結果分析得到：

1. 教學因子部分，在常態編班的課堂使用「激發式動態教學」的效果高於「非激發式動態教學」。特別對中低成就的學生而言，在後測成績、認知負荷、學習效率、投入心力差異都達到顯著水準。
2. 硬體操控因子部分，有無使用電子白板並沒有太明顯的差異，不管是高、中、低成就的學生，在後測成績、認知負荷、學習效率、投入心力的差異程度沒有達到顯著水準。
3. 教學因子與硬體操控因子之間的交互作用沒有顯著差異
4. 整體來看，後測成績與困難度認知負荷相關性達顯著水準
5. 本實驗的教材沒有專業知識反轉效應產生。

關鍵字：激發式動態教學、電子白板、幾何、認知負荷

A Study of Trigger-based Animation Instruction with Interactive Whiteboard In Geometry Teaching – Example of Exterior Angle Theorem

Student : Shih-Yi Chen

Advisor : Ming-Jang

Chen

Degree Program of E-Learning
National Chiao Tung University

Abstract

In this study, the topic of teaching material is Exterior Angle Theorem for eighth-grade students. This study investigated the respective effects of “Trigger-based animation instruction with interactive whiteboard on the learning effectiveness of students in a normal grouping education system. The research was a 2*2 factorial quasi-experimental design. Four eighth-grade classes from a juniorhigh school participated in this study.

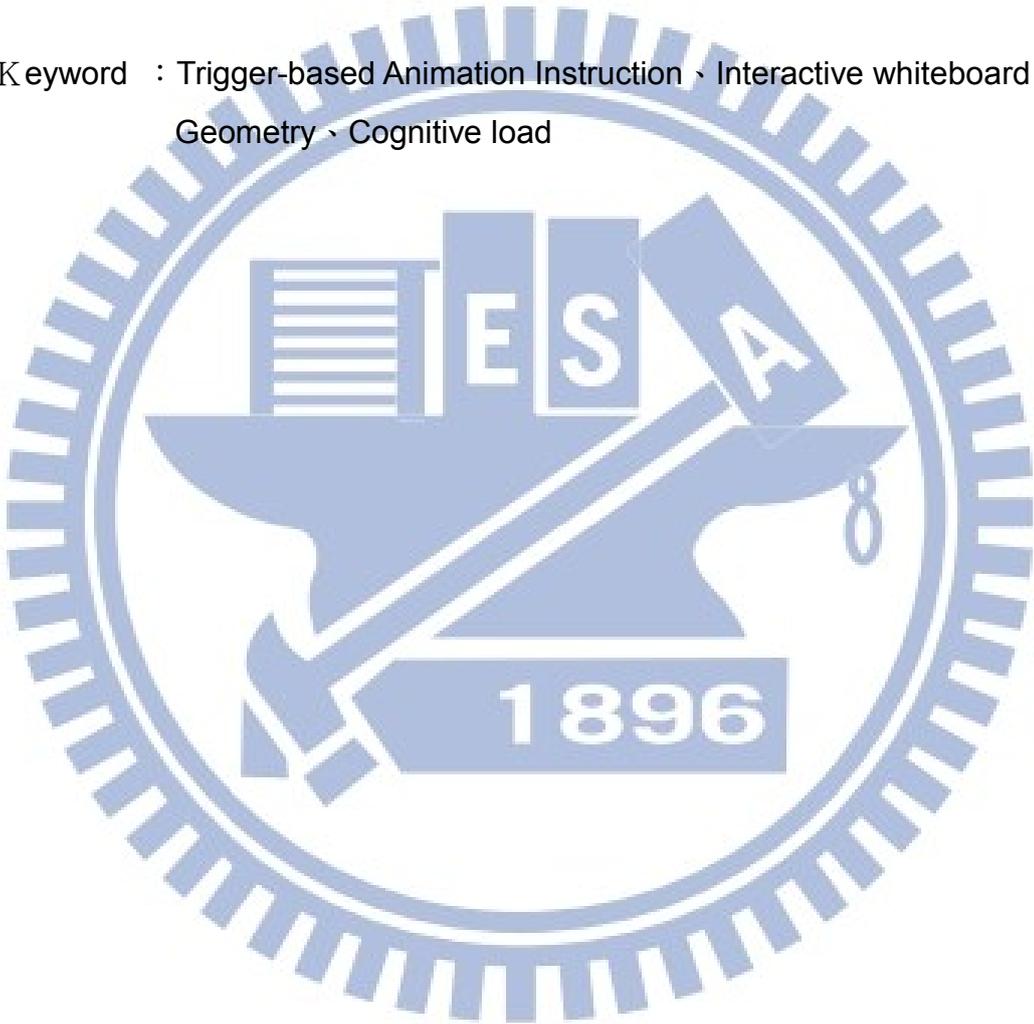
Summarized results:

1. About the Instruction Factor : Students who received Trigger-based animation instruction performed better in immediate posttest than those who received digital instruction. The students with middle academic achievements performed better in posttest, cognitive load, learning efficiency and mental effort.

Abut the Hardware-Controlling Factor : There weren't obvious differences between using interactive whiteboard manipulation and not. There was no significant effect in posttest, cognitive load ,learning efficiency and mental effort on higher, middle, and lower academic achievements students.

2. There was no significant interaction between the instruction factor and hardware-controlling factor.
3. There was significant interaction between posttest performance and the the cognitive load of the difficulty.
4. No reversal of professional knowledge was found in the experimental instruction.

Keyword : Trigger-based Animation Instruction 、 Interactive whiteboard 、 Geometry 、 Cognitive load



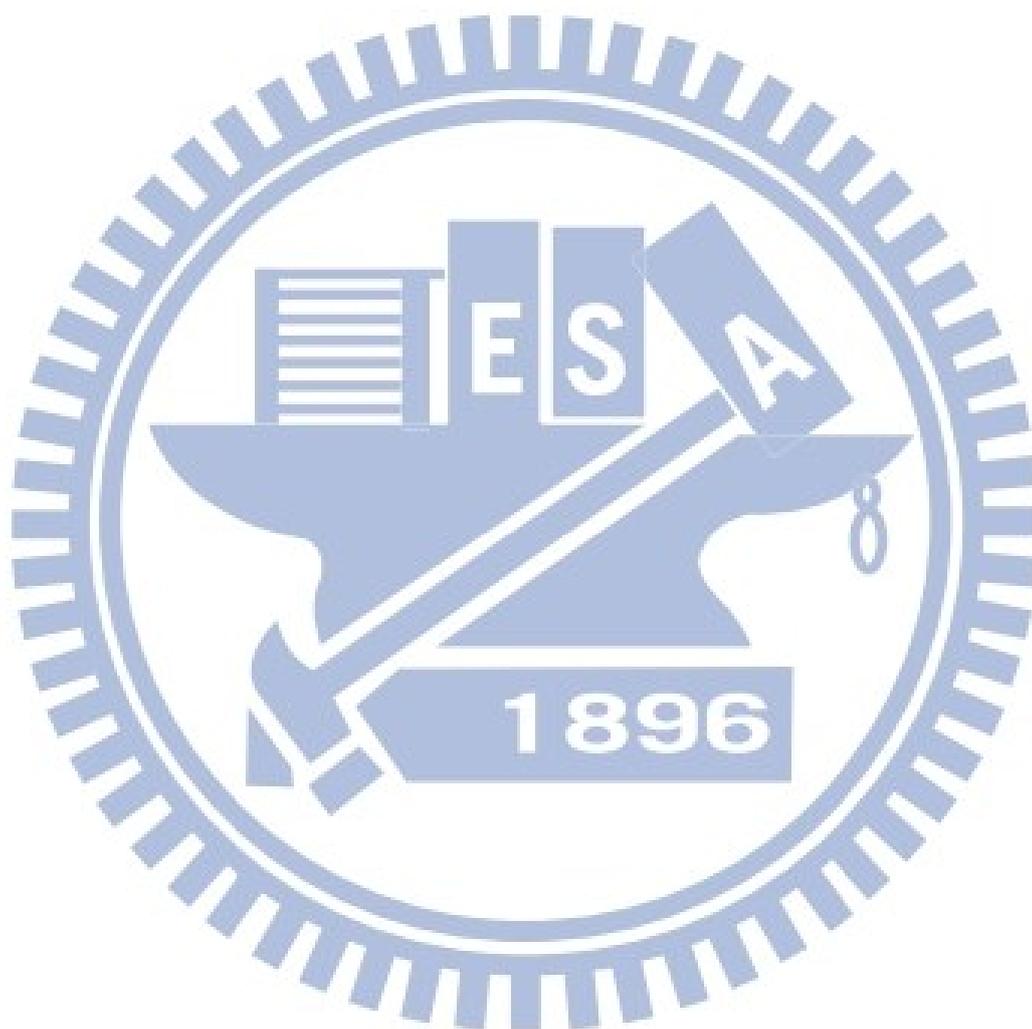
目 錄

中文摘要	i
Abstract	ii
目 錄	iv
誌 謝	viii
表 目 錄	ix
圖 目 錄	xiii
第一章 緒論	1
1-1 研究背景與動機	1
1-2 研究目的	3
1-3 研究問題	3
1-4 研究範圍與限制	3
1-5 名詞解釋	4
第二章 文獻探討	6
2-1 能力指標中的數學證明	6
2-2 視覺搜尋與注意力引導	7
2-2-1 注意力處理系統	8
2-2-2 特徵整合理論	9
2-2-3 視覺搜尋與注意力對本研究之影響	12
2-3 多媒體學習理論	14
2-3-1 多媒體學習理論的定義	14
2-3-2 訊息處理的過程	14
2-3-3 多媒體學習理論之認知假設與教學設計原則	15
2-4 認知負荷理論	17
2-4-1 認知負荷類型	17
2-4-2 認知負荷理論的教學設計原則	19
2-5 激發式動態教學	23
2-5-1 AMA 系統	23
2-5-2 激發式動態呈現與其基本模式	24

2-5-3 激發式動態教學與其特點.....	25
2-5-4 激發式動態之相關研究.....	26
2-6 互動式電子白板	27
2-6-1 基本介紹.....	27
2-6-2 互動式電子白板與教學.....	28
2-6-3 互動式電子白板之相關研究.....	29
第三章 研究方法	30
3-1 研究流程	30
3-2 研究設計	31
3-2-1 研究方法.....	31
3-2-2 研究變項與假設.....	31
3-2-3 實驗流程.....	35
3-3 研究對象	35
3-3-1 整體學生立足點一致	36
3-3-2 高成就學生立足點一致	39
3-3-3 中成就學生立足點一致	42
3-3-4 低成就學生立足點一致	45
3-4 研究工具	49
3-4-1 實驗教材.....	49
3-4-2 實驗工具.....	53
3-5 資料分析	57
3-5-1 二因子變異數分析(Two-Way ANOVA)	57
3-5-2 效果值(Effect Size)	59
3-5-3 學習效率(Instructional Efficiency)	59
3-5-4 投入分數 (Instructional Involvement Score)	61
第四章 研究結果與發現	63
4-1 各組學生之學習成就方面	63
4-1-1 在整體學生階段學習成效方面.....	63
4-1-2 在高成就學生階段學習成效方面.....	68
4-1-3 在中成就學生階段學習成效方面.....	73

4-1-4 在低成就學生階段學習成效方面.....	78
4-2 各組學生認知負荷方面.....	83
4-2-1 在整體學生認知負荷方面.....	83
4-2-2 在高成就學生認知負荷方面.....	90
4-2-3 在中成就學生認知負荷方面.....	97
4-2-4 在低成就學生認知負荷方面.....	104
4-3 學習成就與認知負荷相關性分析.....	110
4-3-1 非 TAI 結合滑鼠操控組.....	111
4-3-2 非 TAI 結合白板觸控組.....	112
4-3-3 TAI 結合滑鼠操控組.....	113
4-3-4 TAI 結合白板觸控組.....	115
4-4 學習效率與投入分數分析.....	117
4-4-1 整體學生方面.....	117
4-4-2 不同學業成就方面.....	119
4-4-3 不同組別方面.....	121
4-5 研究結果摘要.....	122
4-5-2 認知負荷考驗部分.....	124
4-5-3 學習成就與認知負荷相關性部分.....	125
4-5-4 專業知識反轉效應.....	126
第五章 結論與建議.....	127
5-1 研究結論.....	127
5-2 檢討與建議.....	128
5-2-1 對於教學之建議.....	128
5-2-2 對於未來研究之建議.....	130
參考文獻.....	132
1. 中文文獻.....	132
2. 英文文獻.....	134
附錄.....	135
1. 前測問卷.....	135
2. 後測試卷.....	136

3. 上課感受量表	138
4. 實驗組教材	139



誌 謝

每本論文的產生，背後都有許多的支持者。感謝澆灌知識與品格，鼓勵我不要放棄的明璋老師；感謝在 FB 互相安慰、討論功課，三不五時再搞笑一下的依萍、淑媛、敏惠、玫瑰、建巖、駿碩和其他同學們；感謝同事不時提供建議，讓我可以做得更漂亮；感謝全力配合的任課班學生們；感謝始終如一的陪伴，陪我歡笑也陪我一起承擔壓力的好妻子—宣羽，更感謝時時更新我給我力量的上帝。

兩年的光陰中，經歷第一次的住院開刀，也經歷親人的過世。一次次在台北—新竹往返路上總是不停跟上帝禱告，求神給我恩典給我力量，讓我可以撐下去。而今我終於可以說，我畢業了。



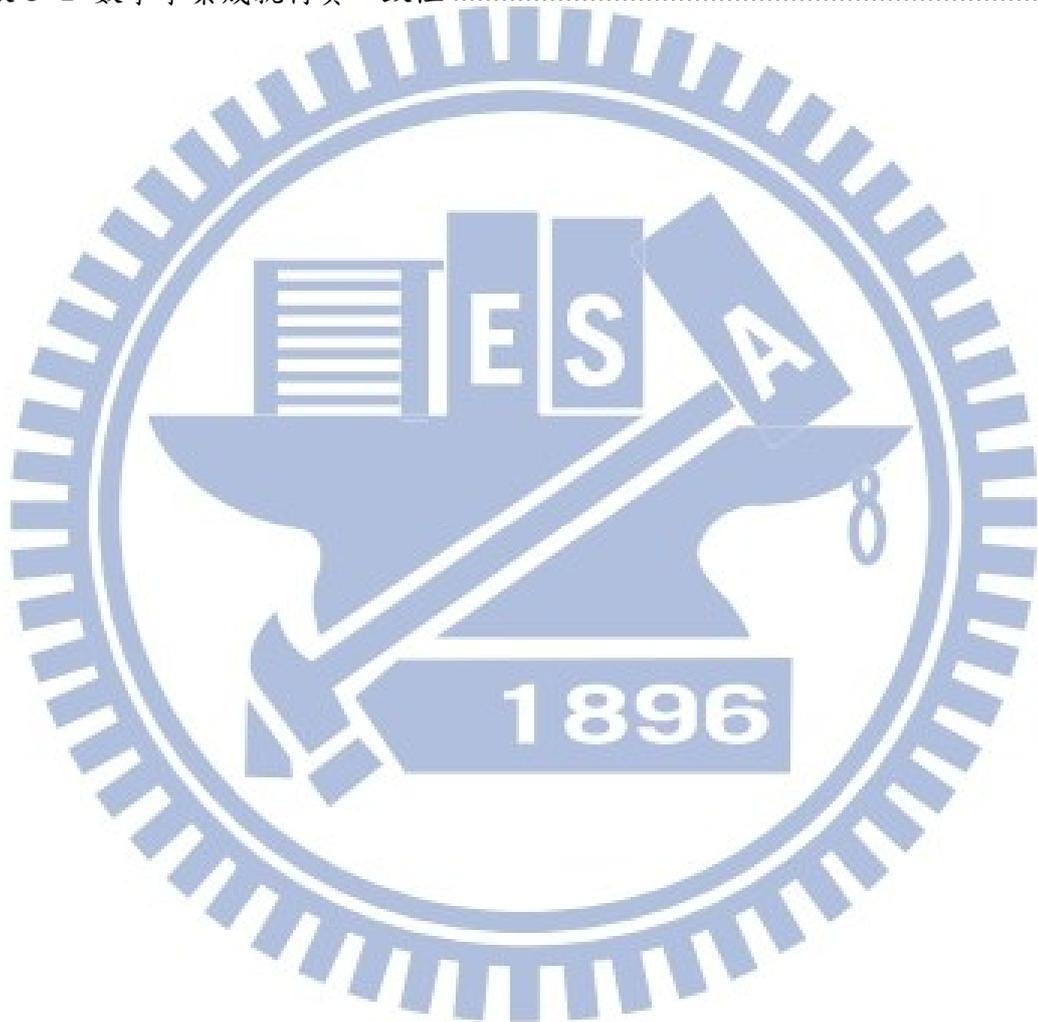
表 目 錄

表 2-1 兩種注意力處理系統	8
表 2-2 「突出」特徵的作用	13
表 3-1 二因子實驗設計分組	34
表 3-2 教學實驗總流程表	35
表 3-3 整體學生上學期三次數學段考平均 平均及標準差摘要表	36
表 3-4 整體學生上學期三次數學段考平均 變異數同質性檢定	37
表 3-5 整體學生上學期三次數學段考平均 變異數分析摘要表	37
表 3-6 整體學生前測成績 平均及標準差摘要表	38
表 3-7 整體學生前測成績 變異數同質性檢定	38
表 3-8 整體學生上學期三次數學段考平均 變異數分析摘要表	39
表 3-9 高成就學生上學期三次數學段考平均 平均及標準差摘要表	40
表 3-10 高成就學生上學期三次數學段考平均 變異數同質性檢定	40
表 3-11 高成就學生上學期三次數學段考平均 變異數分析摘要表	41
表 3-12 高成就學生前測成績 平均及標準差摘要表	41
表 3-13 高成就學生前測成績 變異數同質性檢定	42
表 3-14 高成就學生上學期三次數學段考平均 變異數分析摘要表	42
表 3-15 中成就學生上學期三次數學段考平均 平均及標準差摘要表	43
表 3-16 中成就學生上學期三次數學段考平均 變異數同質性檢定	43
表 3-17 中成就學生上學期三次數學段考平均 變異數分析摘要表	44
表 3-18 中成就學生前測成績 平均及標準差摘要表	44
表 3-19 中成就學生前測成績 變異數同質性檢定	45
表 3-20 中成就學生前測成績 變異數分析摘要表	45
表 3-21 低成就學生上學期三次數學段考平均 平均及標準差摘要表	46
表 3-22 低成就學生上學期三次數學段考平均 變異數同質性檢定	46
表 3-23 低成就學生上學期三次數學段考平均 變異數分析摘要表	47
表 3-24 低成就學生前測成績 平均及標準差摘要表	47
表 3-25 低成就學生前測成績 變異數同質性檢定	48
表 3-26 低成就學生前測成績 變異數分析摘要表	48

表 3-27 教材主要特色及差異 舉例說明	50
表 3-28 前測試卷難度與鑑別度	54
表 3-29 前測試卷信度	54
表 3-30 後測試卷難度與鑑別度	55
表 3-31 後測試卷信度	55
表 3-32 幾何證明 給分標準	56
表 4-1 整體學生後測成績 平均及標準差摘要表	64
表 4-2 整體學生後測成績 變異數同質性檢定	65
表 4-3 整體學生後測總分 變異數分析摘要表	65
表 4-4 整體學生後測計算題 變異數分析摘要表	66
表 4-5 整體學生後測說明題 變異數分析摘要表	67
表 4-6 高成就學生後測成績 平均及標準差摘要表	69
表 4-7 高成就學生後測成績 變異數同質性檢定	69
表 4-8 高成就學生後測總分 變異數分析摘要表	70
表 4-9 高成就學生後測計算題 變異數分析摘要表	71
表 4-10 高成就學生後測說明題 變異數分析摘要表	72
表 4-11 中成就學生後測成績 平均及標準差摘要表	74
表 4-12 中成就學生後測成績 變異數同質性檢定	74
表 4-13 中成就學生後測總分 變異數分析摘要表	75
表 4-14 中成就學生後測計算題 變異數分析摘要表	76
表 4-15 中成就學生後測說明題 變異數分析摘要表	77
表 4-16 低成就學生後測成績 平均及標準差摘要表	78
表 4-17 低成就學生後測成績 變異數同質性檢定	79
表 4-18 低成就學生後測總分 變異數分析摘要表	80
表 4-19 低成就學生後測計算題 變異數分析摘要表	81
表 4-20 低成就學生後測說明 教學因子獨立樣本 T 檢定摘要表	82
表 4-21 低成就學生後測說明題 教學因子獨立樣本 T 檢定摘要表	82
表 4-22 整體學生上課感受 平均及標準差摘要表	84
表 4-23 整體學生認知負荷 變異數同質性檢定	84
表 4-24 整體學生上課意願 變異數分析摘要表	85

表 4-25 整體學生困難度 變異數分析摘要表	86
表 4-26 整體學生耗費心力 變異數分析摘要表	87
表 4-27 整體學生理解程度 變異數分析摘要表	88
表 4-28 整體學生投入努力 變異數分析摘要表	89
表 4-29 高成就學生認知負荷 平均及標準差摘要表	91
表 4-30 高成就學生認知負荷 變異數同質性檢定	92
表 4-31 高成就學生上課意願 變異數分析摘要表	92
表 4-32 高成就學生困難度 變異數分析摘要表	93
表 4-33 高成就學生耗費心力 變異數分析摘要表	94
表 4-34 高成就學生理解程度 變異數分析摘要表	95
表 4-35 高成就學生投入努力 變異數分析摘要表	96
表 4-36 中成就學生認知負荷 平均及標準差摘要表	98
表 4-37 中成就學生認知負荷 變異數同質性檢定	99
表 4-38 中成就學生上課意願 變異數分析摘要表	99
表 4-39 中成就學生困難度 變異數分析摘要表	100
表 4-40 中成就學生耗費心力 變異數分析摘要表	101
表 4-41 中成就學生理解程度 變異數分析摘要表	102
表 4-42 中成就學生投入努力 變異數分析摘要表	103
表 4-43 低成就學生認知負荷 平均及標準差摘要表	105
表 4-44 低成就學生認知負荷 變異數同質性檢定	106
表 4-45 低成就學生上課意願 變異數分析摘要表	106
表 4-46 低成就學生困難度 變異數分析摘要表	107
表 4-47 低成就學生理解程度 變異數分析摘要表	108
表 4-48 低成就學生認知負荷 教學因子獨立樣本 T 檢定分析	109
表 4-49 低成就學生認知負荷 硬體操控因子獨立樣本 T 檢定分析	110
表 4-50 相關係數的強度大小與意義	110
表 4-51 「非 TAI 結合滑鼠操控」組 後測成績與認知負荷的相關矩陣表	111
表 4-52 「非 TAI 結合白板觸控」組 後測成績與認知負荷的相關矩陣表	113
表 4-53 「TAI 結合滑鼠操控」組 後測成績與認知負荷的相關矩陣表	114
表 4-54 「TAI 結合白板觸控」組 後測成績與認知負荷的相關矩陣表	116

表 4-55 整體學生 學習效率與投入分數摘要表	118
表 4-56 不同學業成就學生 學習效率與投入分數摘要表	120
表 4-57 各組學生 學習效率與投入分數摘要表	121
表 4-58 後測成績二因子變異數檢定顯著性 摘要表	122
表 4-59 認知負荷二因子變異數檢定顯著性摘要表	125
表 4-60 各組後測成績與認知負荷相關性 摘要表	126
表 5-1 數學學業成就特質一致性	130



圖目錄

圖 2-1 特徵整合理論架構圖	10
圖 2-2 用顏色區隔不同條件	12
圖 2-3 利用開關解決圖形重疊的問題	12
圖 2-4 多媒體學習認知模型	15
圖 2-5 互動式電子白板架構圖	27
圖 3-1 二因子變異數分析流程圖	58
圖 3-2 學習效率	60
圖 3-3 投入分數	62
圖 3-4 綜合學習效率與投入分數 資料來源:(吳嘉惠 ,2011) p.59	62
圖 4-1 整體學生後測總分二因子剖面圖	66
圖 4-2 整體學生後測計算題二因子剖面圖	67
圖 4-3 整體學生後測說明題二因子剖面圖	68
圖 4-4 高成就學生後測總分二因子剖面圖	70
圖 4-5 高成就學生後測計算題二因子剖面圖	71
圖 4-6 高成就學生後測說明題二因子剖面圖	73
圖 4-7 中成就學生後測總分二因子剖面圖	75
圖 4-8 中成就學生後測計算題二因子剖面圖	76
圖 4-9 中成就學生後測說明題二因子剖面圖	77
圖 4-10 低成就學生後測總分二因子剖面圖	80
圖 4-11 低成就學生後測計算題二因子剖面圖	81
圖 4-12 整體學生上課意願二因子剖面圖	86
圖 4-13 整體學生困難度二因子剖面圖	87
圖 4-14 整體學生耗費心力二因子剖面圖	88
圖 4-15 整體學生理解程度二因子剖面圖	89
圖 4-16 整體學生投入努力二因子剖面圖	90
圖 4-17 高成就學生上課意願二因子剖面圖	93
圖 4-18 高成就學生困難度二因子剖面圖	94
圖 4-19 高成就學生耗費心力二因子剖面圖	95

圖 4-20 高成就學生理解程度二因子剖面圖	96
圖 4-21 高成就學生投入努力二因子剖面圖	97
圖 4-22 中成就學生上課意願二因子剖面圖	100
圖 4-23 中成就學生困難度二因子剖面圖	101
圖 4-24 中成就學生耗費心力二因子剖面圖	102
圖 4-25 中成就學生理解程度二因子剖面圖	103
圖 4-26 中成就學生投入努力二因子剖面圖	104
圖 4-27 低成就學生上課意願二因子剖面圖	107
圖 4-28 低成就學生困難度二因子剖面圖	108
圖 4-29 低成就學生理解程度二因子剖面圖	109
圖 4-30 整體學生 學習效率與投入分數視覺化圖像	119
圖 4-31 不同學業成就學生 學習效率與投入分數視覺化圖像	121



第一章 緒論

1-1 研究背景與動機

在科技發達的現代，電腦的普及帶來許多形式的改變，其中也包含上課型態的轉變。特別是 E 世代的學生，對電腦接受程度相當高，也習慣從電腦畫面上接受訊息，因此對老師而言，上課不再只是【一隻粉筆走天下】，老師在課堂授課時開始學習搭配各種多媒體展演或是電腦輔助教學。隨著教科書市場的開放，書商提供教學光碟、課本 ppt、動畫展示、甚至是電子教科書，網路上也可以輕易找到許多示範影片或 flash 等素材；在硬體部分，教室內開始裝設電腦與投影機，學生不用專程跑到視聽教室，有些學校還配備互動式電子白板。

從表面來看，「資訊融入教學」在軟體與硬體兼備情形下似乎是水到渠成，然而在現實中的落實與執行，卻沒有那麼簡單。早在十年前，天下雜誌曾針對教師運用資訊網路的能力進行調查，當時只有五分之一的教師在課堂上使用電腦或網路輔助教學。到 2006 年，稍微好一點，根據吳易靜(2006)的調查，有將近半數的老師有使用電腦或網路輔助教學的經驗。可是根據陳義汝(2005)問卷調查結果，老師使用電腦軟硬體的目的是多半還是在準備教學方面，以及行政工作方面。而數學老師將電腦在上課時使用以及使用在學生作業相關方面的次數連前面的一半的都不到。缺乏設備與軟硬體的使用不便是數學老師嘗試將資訊融入課堂授課時，首先面對的兩個問題。另一方面，黃陽明(2008)的問卷調查顯示資訊科技難以融入數學教學的主要障礙是「時間不足」和「相關教材的開發、獲得不易」。

課堂使用資訊教育的最大問題其實不是老師的資訊能力不足，而是沒有「以課堂授課為導向」的相關教材。他人所製作的多媒體往往有侷限性，而且無法修改，並非針對自己課堂需求量身訂做，所以多半作為傳統課堂學習的輔助而已。有心自製教材的老師，卻有資訊專業素養的限制，缺乏簡單好操作的教材製作平台，無法設計出「以課堂授課為導向，以學生學習為中心」的教學教材(洪榮忠, 2008)。例如 GSP、Geogebra 是現今較普遍使用的動態幾何軟體，透過動點的操控，讓學生覺察幾何性質(黃楷智, 2011; 楊子賢, 2011; 葉進安, 2010)。但這樣的教學法，似乎只有幾何性

質之介紹或體驗，學生對於幾何學習所需要的表徵轉換、圖形分解、分析推理能力，就顯得非常薄弱。

Duval(2006)認為數學牽涉到表徵與表徵之間的轉換與處置，特別在幾何單元，學生必須在文字表徵與圖像表徵之間來來回回進行處理，在認知負荷上是沉重的；有時學生必須將圖形分解、有時學生要在腦海中憑空勾勒出幾何圖形，將有用處的訊息分離出來；有時需要添加輔助線，達成特殊的目的。因為解題策略的多變性，讓學生無所適從，不知從何著手，在學習上，就變得困難重重。在教材設計上，如何幫助學生擷取有用的訊息，或是在表徵之間建立連結也不是件容易的事情。如何在教學時幫助學生建立表徵之間的「動態鏈結」，讓學生在表徵轉換之間沒有障礙，就成為教材設計時必須面對的問題。

陳明璋博士所發展的 AMA 增益集，是建立在 Powerpoint 平台之下的增益集，只要有基礎的 Powerpoint 操作能力就能操控。但使用 AMA 增益集所具備的激發式動態呈現，搭配多媒體設計原則與認知負荷理論，就可以輕易建構一個適合教師和學生互動的課堂教學活動環境。透過激發式動態呈現，可以幫助將必要訊息突顯出來，並幫助學生建立表徵之間的「動態鏈結」，在學習上對學生是有幫助的。(李政憲, 2007; 李進福, 2006; 陳明璋, 2008; 謝東育, 2009; 蘇柏奇, 2005)

本研究嘗試按照認知負荷理論的教材設計原則，結合激發式動態呈現，設計適合的教材，將訊息進行切割重組，並在視覺與聽覺上同步，引導學生的搜尋與思考，使學生在訊息的選取組織上不用太費力，並給予學生足夠時間結合舊經驗，形成新的知識，以達到學習的目標。

另互動式電子白板日漸盛行，因互動式電子白板具有觸控與電子墨水的功能，能即時將教師的動作呈現於螢幕上，英國自 2002 年開始有計畫引入課堂之中，政府自 2005 年迄今也投入大量經費供各校添購互動式電子白板。由於教師本身也是吸引學生注意的元素之一，若教師課堂授課使用多媒體時，與學生之間不是隔著電腦使用滑鼠操控，而是站立於電子白板前與學生直接相對，藉由電子白板來操控頁面進行，再以電子墨水的板書輔助，對於學生的學習是否有所幫助呢？

基於此想法，當研究者以激發式動態教學的精神完成幾何單元的教材設計之後，除了與非激發式動態的教材互相比較，另一方面也將以有無使用互動式電子白板列入實驗變項來進行實驗，以了解教學加入電子白板時，對學生學習是否會有幫助。

1-2 研究目的

本研究嘗試使用激發式動態教學，結合多媒體設計原則與認知負荷理論，在圖像表徵與文字表徵之間進行連結，同時在口語與視覺上給予學生適當的引導。希望幫助學生在學習幾何單元時，能降低認知負荷，減少不必要的注意力發散，使學生能專注在教材內容上。

為了解教材與硬體操控模式的互動關係，本研究設計完成之教材，會分成兩組，一組使用電子白板觸控，另一組使用滑鼠操控。研究方向主要分為兩個面向，一方面了解激發式動態呈現的教材跟沒有激發式動態呈現的教材對學生學習會產生怎樣的影響；另一方面也了解有無電子白板對學生的學習會有何影響；最後，本研究也嘗試了解，在教材與硬體之間，何者對學生的學習是真正有幫助的。

1-3 研究問題

本研究要探討的問題是：在課堂幾何教學時，使用激發式動態呈現之教材，輔以電子白板，

- a. 對學生學習成就上有何影響，及交互作用是否顯著？
- b. 對學生認知負荷有何影響，及交互作用是否顯著？
- c. 專業知識反轉效應是否存在？

1-4 研究範圍與限制

1. 研究範圍：

本研究發展的教材內容以九年一貫八年級課本康軒版為主，以「三角形外角定理」為研究範圍

2. 主題限制：

本研究僅針對「三角形外角定理」單元討論，因此對於不同的數學教學主題仍需設計不同的實驗與教材加以印證，無法類推。

3. 母群體限制：

本研究囿於人力、物力、時間等因素，僅能以研究者任教學校之國中八年級學生四個做為施測母群體，因為樣本為便利抽樣，且樣本數有限，因此研究結果無法推論至其他班級、甚至全國國民中學的學生。

4. 受試人員限制：

受試樣本雖均為研究者任教之班級，但因所講授之單元非教學進度內之內容，學生在知悉自身為被研究者的情形下，可能會產生預期心理、過度表現或不敢表現，以致影響實驗成果。

5. 施測時間限制

樣本班級的教學與施測時間點不相同，稍微影響學生學習和受測的心態，可能會間接影響施測結果。

1-5 名詞解釋

1. 激發式動態呈現(Trigger-based Animation, 簡稱 TA)

激發式動態呈現是指在Powerpoint簡報軟體上，將一個物件當成激發器來控制一連串的動態呈現，使用者可隨時控制訊息的開或關。本實驗中，教學因子的實驗組教材會使用激發式動態呈現，而對照組教材將不使用激發式動態呈現。

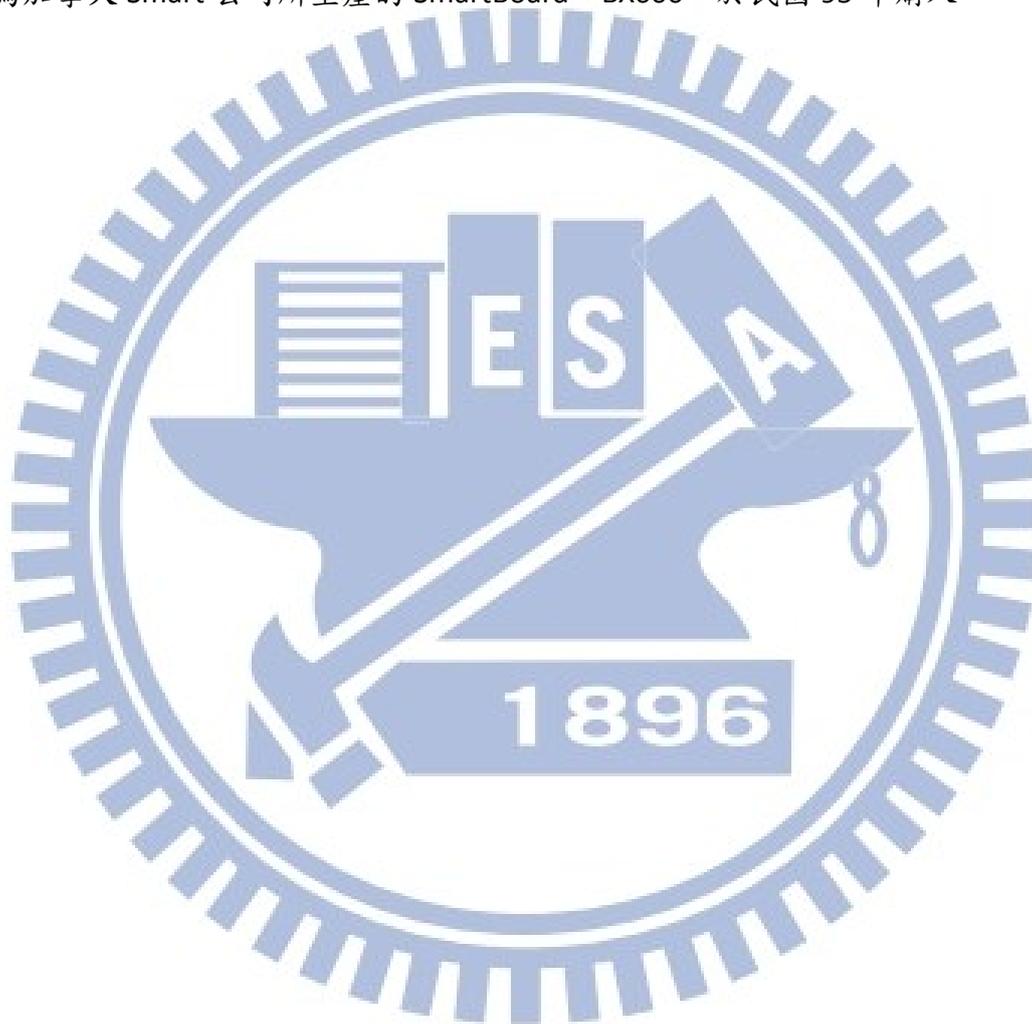
2. 激發式動態教學法(Trigger-based Animated Instruction, 簡稱 TAI)

激發式動態教學法是以認知負荷理論、多媒體教學理論及認知心理學為基礎、並以激發式動態呈現為工具所發展出動態數位內容的設計方法以及展演環境。在教材會預先埋藏各樣訊息，根據課堂中學生的反應與需要將訊息激發出來。

激發式動態教學法的優點是與學生有極佳的互動性，而且教學流程具有彈性，能針對學生反應，即時顯現相關的訊息；另一方面訊息經過切割，學生不須同時處理大量訊息，可以有效降低認知負荷，增進學習者的學習。

3. 電子白板

互動式電子白板 (Interactive White Board, 簡稱 IWB), 主要結合投影機與電腦, 提供教師更近似黑板教學的工具。一方面, 電子白板可以當成投影螢幕, 將電腦的畫面呈現出來, 另一方面, 整塊電子白板很像大型觸控板, 老師可以在上面直接書寫、繪圖、移動物件, 並以觸控方式操控電腦畫面。如此便同時在使用電腦多媒體的同時, 也兼顧傳統黑板書寫優勢。本研究所使用之互動式電子白板為加拿大 Smart 公司所生產的 SmartBoard BX600, 於民國 95 年購入。



第二章 文獻探討

2-1 能力指標中的數學證明

設計「外角定理」的教材之前，要先了解現階段能力指標對於此單元的教學目標為何。在教育部現行九年一貫的數學科課程綱要(教育部, 2003)中，根據學生的學習方式與思考型態兩項特徵，將學生的學習分成四個階段，各階段的主要內涵分別是：

第一階段 (1~3 年級)：具體操作，視覺

第二階段 (4~5 年級)：具體表徵、察覺形式

第三階段 (6~7 年級)：類化具體表徵、辨識形式間的關係

第四階段 (8~9 年級)：符號表徵，非形式演繹

如果從能力指標分年細目來看，下列幾個是跟幾何證明有直接相關的

- 8-s-06 能理解線對稱的意義，以及能應用到理解平面圖形的幾何性質。
- 8-s-14 能用線對稱概念，理解等腰三角形、正方形、菱形、箏形等平面圖形。
- 8-s-16 能舉例說明，有一些敘述成立時，其逆敘述也會成立；但是，也有一些敘述成立時，其逆敘述卻不成立。
- 8-s-17 能針對幾何推理中的步驟，寫出所依據的幾何性質。
- 9-s-12 能認識證明的意義。

按照課程綱要能力指標的設計，分年細目 8-s-06,8-s-14 中，八年級的學生要能夠解釋等腰三角形、正方形、菱形、箏形等平面圖形的幾何性質，解釋的方法是利用線對稱的概念，或者說利用摺紙的方式來進行非形式化的演繹；分年細目 8-s-16 中，學生可能知道一個定理的逆敘述未必成立，而課本中說明逆敘述不成立的方式就是舉反例來說明。

在分年細目 8-s-17 中，八年級的學生被要求能分辨每個幾何推理步驟所依據的幾何性質，或用填空的方式將幾何推理完成。而九年級學生被要求根據已知與求證，完成幾何推理，但分年細目 9-s-12 也限制「僅要讓學生初步認識證明的意義，因此推理的步驟以二、三個步驟為限」，所以不會進行複雜的幾何證明。也就是說，此階

段的學生學生要能熟悉各種幾何的表徵，並能建立直觀式的論證分析，只是證明過程不一定是嚴謹的。

在教學上，形式化的證明不是八年級學生所必須具備的能力，因此在課堂中，我們不要求學生寫出嚴謹的證明，但希望學生學習利用數學符號表徵，將幾何推理過程以形式或非形式的方式表達出來。

有一些學者也提出類似的看法。林政輝(2002)的研究中指出，很多學生使用經驗論證來說明理由，因為他們覺得舉例是明顯也最容易明瞭的方式。陳創義(2003)發現對國中生而言，幾何認知上較偏重概念心像，概念定義還不夠完整，所以讓學生要根據定義來判別，將圖形做分類，並不成熟。另一方面，如果題目為文字題，沒有圖形，學生必須從心像中，抽取或建立圖形內部元素間的關係，對學生而言有很大的困難。曾尹姿(2005)讀了 Usiskin 的相關研究，發現只有 8% 的學生能達到層次 3，這表示多數學生未達形式演繹期，即使完成中學幾何課程仍有 40% 仍在層次 3 以下

許多教育研究者都不認為形式證明是數學證明的學習目標，而強調證明教學必須使學生在學習中瞭解證明的意義。李宜芬(2002)讀了 Harel & Sowder 的文章後認為學生的證明行為，會被其證明基模所支配，所以，數學證明的學習目標，並不是既定的形式證明，而是幫助學生關於什麼是數學上足以構成檢驗 (justification) 的，能夠訂出自己的標準。Healey & Hoyles 也認為證明是數學思考與演繹推理的核心，數學證明的教學並非強調證明的形式，而是在數學活動中呈現證明的意義。(李宜芬, 2002)

由於不同幾何層次有其對應的數學語言，因此設計教材時，也必須針對八年級學生挑選適合的數學用詞，讓學生先在心像中產生非形式化證明過程，再引導學生理解幾何推論的步驟，並以自己的方式書寫出來。就教學目標而言，只要學生能理解幾何推理的步驟，並使用數學符號簡單描述，不管是形式或非形式的推理過程，都算達成此階段的教學目標，

2-2 視覺搜尋與注意力引導

過去我們認為視覺的生成是光子經過角膜折射後聚焦在視網膜上，對視網膜產生刺激，視網膜上的視覺細胞再透過視神經將訊息傳達到大腦，經由大腦解釋之後，我們就可以看見影像。也有人將這整個歷程系統比喻成照相機，大腦的視覺系統只是很認真蒐集和處理外界訊息。可是 Medina(2009)在許多研究中發現，大腦會按照我們

過往的記憶與經驗自己選取訊息、組織訊息，猜測訊息，甚至自動將缺空的部分填補起來。也就是說「眼見的不一定是真的」，大腦會自動處理眼睛所看到的，決定什麼優先處理，什麼可以忽略不管，之後才成為我們的視覺畫面。

更進一步，Treisman(2006)認為大腦決定了我們看到什麼，或者注意力跟我們的視覺有很大的關聯。以下我們將從注意力的角度來看視覺搜尋。

2-2-1 注意力處理系統

Pashler(1999)認為注意力現象有兩個主要的特徵：選擇性和容量限制。因為同一時間內，人能夠執行的心智處理是有限的，所以只能選擇性地維持注意力，隨著刺激，心智系統會不斷地根據情境優先分配一些感官資訊，而其他大部分的訊息就自動忽略了。Broadbent 的瓶頸理論就是這樣的論點。當然透過練習與環境，也可以將容量提高。

從注意力系統來看，人類的注意力系統不是單一的，而是包含不完全獨立且互相影響的兩個注意力系統：自動處理與控制處理(Hillyard & Hansen, 1986)。事實上，教學的過程中，這兩種注意力系統也不斷彼此交互運行。如果是突然出現或移動的物件、聲音，學習者就會自動處理，往那邊望過去或仔細聆聽。如果是教學者以手勢、顏色、或口語引導，期待學習者專注在某個物件，這就屬於控制處理。下表 2-1 為兩種注意力處理系統的比較。

表 2-1 兩種注意力處理系統

	自動處理 (automatic process)	控制處理 (controlled process)
處理速度	快速的，經常在 1 秒內完成	較慢的，需要 1 秒或 2 秒以上才能完成
耗費之資源	需要少量的心力	耗費許多心力
意識	無法知覺或省察到心智的處理	能意識到心智的處理
資訊處理方式	平行地 (parallel) 處理	序列地 (serial) 處理

資料來源：李鈴茹.(2009). p.30

事實上，教學的過程中，這兩種注意力系統也不斷彼此交互運行。如果是突然出現或移動的物件、聲音，學習者就會自動處理，往那邊望過去或仔細聆聽。如果是教學者以手勢、顏色、或口語引導，期待學習者專注在某個物件，這就屬於控制處理。由於自動處理需要心力比較少，處理也比較快速，所以在教材設計時，我們希望幫助學生更多的自動處理，減少控制處理。要達到這目標，就必須在視覺上能吸引學生的注意力，以下將從特徵整合理論探討注意力與視覺的關係。

2-2-2 特徵整合理論

特徵整合理論 (Feature Integration Theory) 由 Treisman 提出 (A. M. Treisman & Gelade, 1980)。他認為不同型態的基本視覺特徵會透過一個快速的初始平行歷程分別登錄在不同的特徵圖 (feature map) 中，例如色彩圖 (color maps)、方位圖 (orientation maps) (葉素玲, 1999b)。比較特別的是，不同的顏色會登記在不同的色彩特徵圖中，而非將所有的色彩視覺訊息登記在同一張特徵圖中，再經由這些所有的色彩特徵圖來建構出色彩維度的視覺訊息。同樣的，不同方位如水平方位、斜角方位以及垂直方位...等視覺訊息也會登記在不同的方位圖中。特徵圖如圖 2-1 所示。

在所有特徵圖中，位置圖 (Map of Locations) 亦稱為主要位置地圖 (Master map of locations)，因為位置圖不僅只是記錄關於位置的訊息而已，也包含了這個位置涉及哪些特徵圖的索引資料。注意力會先以序列的方式，針對主要位置地圖內每個被記錄的特定位置進行掃描，此時被掃描位置的各個特徵圖所記錄的訊息會進入短期記憶，並按各個特徵進行組合 (A. Treisman & Souther, 1985)。因此當注意力探照燈掃描到某個位置時，便可依照索引資料存取與這個位置相關的特徵圖。

特徵整合理論包含兩個階段—前注意階段以及注意階段。前注意階段以快速且平行的方式將各種基本視覺特徵登錄在適當的特徵圖中；而注意階段則是由注意力像探照燈一樣有次序地進行掃描，並將同一位置的特徵結合起來，整合成一個完整的物體訊息 (葉素玲, 1999b)。

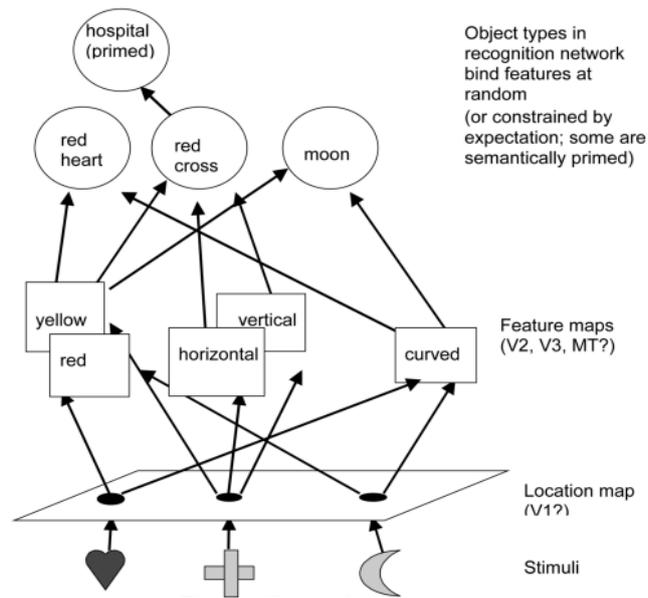


圖 2- 1 特徵整合理論架構圖

資料來源(A. M. Treisman & Gelade, 1980)

關於注意力搜尋，林煜庭整理其特點如下：(林煜庭, 2008)

1. 特徵搜尋 (Feature search)：

如果目標物與干擾物在某一個視覺特徵存在明顯的差異，例如紅色目標物與一堆綠色干擾物放在一起時，搜尋就不會被干擾，此時搜尋速度會非常快速。

2. 結合搜尋 (Conjunction search)：

當目標物與干擾物沒有存在明顯的視覺特徵差異時，例如字母「F」與一堆字母「E」放在一起，此時就不是平行搜尋，而是需要使用注意力將主要位置地圖內的各個物件循序掃描，並且將各特徵圖內的訊息結合後成為完整的物體訊息，這樣的搜尋速度很慢，而且如果要掃描的物件越多，所需花費的時間就越久。

3. 搜尋非對稱性 (Search Asymmetry)：

不同基本特徵的存在或是缺乏對視覺搜尋速度有不同的影響。Treisman 跟 Sato 的研究指出(A. Treisman & Sato, 1990)，大小的搜尋速度是最快的，其次是顏色，再來是移動

4. 特徵抑制((The Feature Inhibition Hypothesis))

如果預先告知要搜尋的目標，視覺系統可先將特定視覺特徵的干擾抑制住，直接搜尋剩下的特徵。若剩下的特徵與特徵搜尋條件相符，即可進行平行式搜尋，如此搜尋速度會加快。可是如果沒有先告知要搜尋的目標是什麼，就無法知道要先被抑制的視覺特徵是哪一個，所以就不能採用特徵抑制的方式進行搜尋。

事實上，當學生看到畫面時，在沒有任何引導的時候，大腦就會開始自行運作，隨意選取訊息，隨意組織，有意義的就留下來，沒意義的就自動忽略。我們希望製作的教材可以「悅人的眼目，且是可喜愛的，能使人有智慧」(聖經創世紀 3:6)，透過注意力的引導，讓學生可以將有限的心智資源投注在我們所期待的內容上。本研究所設計的教材，除了進行適當切割之外，還盡可能透過顏色與突現吸引學生的注意力，讓學生可以進行不耗費注意力的平行性「特徵搜尋」，盡可能避免耗費注意力的序列性「結合搜尋」。並且在口語與畫面上讓學生知道要搜尋的是什麼，使學生可以很快搜尋到特定的教學內容，而不會被其他干擾物所影響。

2-2-3 視覺搜尋與注意力對本研究之影響

學生在學習幾何說明題時，常常面對一個問題，就是要在圖形中找出適當的已知條件。有時我們會透過顏色來表達相同的長度，如圖 2-2，這樣學生在視覺選取上，因為具備相同的視覺特徵，很容易將等長的邊辨識出來，只要再確認中間相等的夾角，就知道左右兩個三角形是全等的。

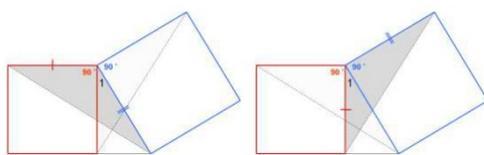


圖 2-2 用顏色區隔不同條件

資料來源:(林煜庭, 2008) p. 40

但若只單純用顏色區隔兩組相等的邊，學生只會看到三角形的邊，很難看到每一個三角形，一方面是因為被著色的是邊而不是三角形本身。另一方面當圖形互相重疊，會互相干擾。因此我們必須要將合適的子圖凸顯出來，好讓學生可以看到整體的三角形。

林煜庭提出的解決方法就是透過開關的設計，將希望學生注意的三角形凸顯出來，而暫時用不到的就隱藏起來，一次只顯示一個三角形，如圖 2-3，這樣可以改善圖層相疊的問題(林煜庭, 2008)

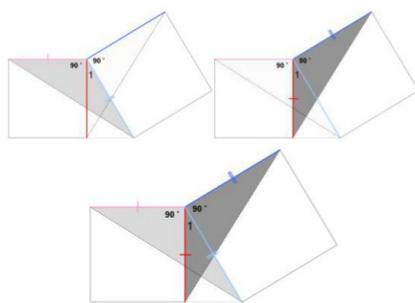


圖 2-3 利用開關解決圖形重疊的問題

資料來源:(林煜庭, 2008) p. 41

此外，使用「突出(salience)」也幫助學生學習，Pashler 認為物件突出時，會在感知的面向產生局部的對比，使學生的注意力被吸引過去 (Pashler, 1999)，例如顏色變化、方向變化、物件移動、或是突然性地出現消失都是一種「突出」。這樣不只

可以減少減少學生搜尋的時間，另一方面也可以捕捉住學生的注意力。相關研究整理如表 2-2

表 2-2 「突出」特徵的作用

作用	說明	出處
減少 視覺搜尋	突出的物件有助於減少視覺搜尋的時間，讓人能夠很快地找到這些目標	Treisman & Gelade(1980)
	當受試者若知道突出的特徵與任務有關時，視覺搜尋會更有效率	Yantis & Egeth (1999)
捕捉注意力	顏色突出的元件，可觀察到自動的注意力捕捉機制	Turatto, Galfano, Gardini, & Mascetti (2004)
	突然出現的物件和移動的物件，可發現捕捉注意力的現象，並且會引起眼睛的移動。	Abrams & Christ(2003) ; Godijn & Theeuwes, (2002); Oonk & Abrams(1998)
	物件出現移動，會比出現刺激的特徵，更能有效捕捉注意力	Hillstrom & Chai(2006)

資料來源：(李鈴茹, 2009),p.33

設計教材時，如果能將一連串的動態呈現用按鈕來控制，讓教材在教師的掌握下，隨著課堂教學活動的進行，選擇性的運作，以步驟化、非循序的方式呈現，如此一方面可以將訊息切割，將不重要的部分隱藏或淡化，讓學生只看到目前最重要的訊息；另一方面透過「突出」來捕捉住學生的注意力，減少搜尋的時間，引導學生的學習，這樣對學生的學習是有很大幫助的。

2-3 多媒體學習理論

傳統板書教學在幾何推理單元上有許多的不方便，因此使用多媒體來輔助教學便成為一種思考的方向。隨著科技發展，硬體的投影機、電子白板，軟體的動態幾何、動態呈現....，各類型多媒體工具也不斷發展創新。

我們在製作多媒體時，必須考慮「人機介面」，也就是從學生的角度考慮所呈現訊息的適當性，或者說，製作教材的人必須考量學生的感官對於處理訊息的限制，來設計數位教材呈現方式。因為真正影響學習成效的因素除了在於這些媒體所顯示的內容外，也包括了內容呈現的方式，因此本節將針對多媒體學習理論及教學設計原則進行介紹。

2-3-1 多媒體學習理論的定義

多媒體學習 (Multimedia Learning) 指的是利用「文字(Word)」與「圖像(Picture)」來呈現教材內容的方式進行學習。其中「文字」有兩種呈現方式，一種是透過視覺通道的印刷文字，另一種是透過聽覺通道的口述文字。「圖像」則區分為靜態圖像與動態圖像。(Mayer, 2002)

2-3-2 訊息處理的過程

Mayer(2009)認為人類會透過耳朵(聽覺通道)與眼睛(視覺通道)接收多媒體訊息時，會依序進行以下三種認知處理過程，如圖 2-4：

1. 選取(Select)：

當學習者接觸到文字或圖像等多媒體訊息時，會自動選取對其有意義的文字或圖像，將其儲存在工作記憶區中。

2. 組織(Organize)：

學習者在工作記憶區中，將選取後的文字與圖像加工分別成為一個連貫的、有整體性的語文模型(Verbal Model)和圖像模型(Pictorial Model)。

3. 整合(Integrate)

最後，學習者在工作記憶區中，將語文模型及圖像模型加以配對、連結，並與長期記憶中既有的基模加以融合，形成外在關聯，這就是多媒體學習的認知過程。

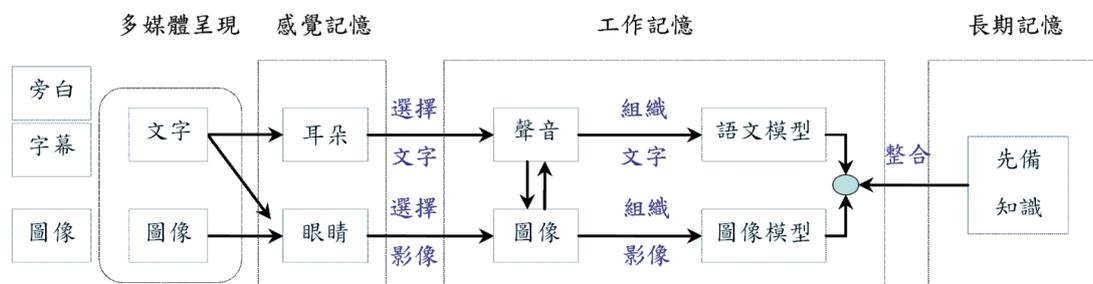


圖 2-4 多媒體學習認知模型

資料來源：廖真瑜(2011) p.9

2-3-3 多媒體學習理論之認知假設與教學設計原則

Mayer 在 2002 年的論文中，提出多媒體學習的架構，並提出三個基本假設：雙通道假設(Dual-channel Assumption)、有限容量假設(Limited-capacity Assumption)及主動處理假設(Active-processing Assumption) (Mayer, 2002)。在此分述如下：

1. 雙通道假設(Dual-channel Assumption)

根據 Paivio 的雙碼理論 (Dual-coding Theory)，Mayer 認為人類視覺通道與聽覺通道是獨立分開的，當訊息被呈現到眼睛時，該訊息會由視覺通道進入工作記憶區，如圖表、字幕等，當聽覺訊息被呈現到耳朵時，則會由聽覺通道進入工作記憶區，如演講、旁白等 (Mayer,2002) ，

2. 有限容量假設 (Limited-capacity Assumption)

Mayer 認為人類的視覺通道與聽覺通道一次所能處理的訊息量是有限的。所以當大量的訊息湧入時，我們無法完全接收訊息，僅能將少部分的訊息保留於工作記憶中，這些訊息很可能是片段的。

3. 主動處理假設(Active-processing Assumption)

Mayer 認為當訊息出現時，學習者會主動進行認知處理，並將所接收到的訊息與既有經驗、知識和基模一併整合。

從這三個假設來看，創造一個具有「非必要訊息最少化」、「核心且必要訊息要強調」及「培養學習者主動學習」的學習環境是對一個教學設計者的挑戰。因此教學者應該考量如何適當的切割訊息、呈現訊息，使學習者能夠將注意力投注在重要訊息上以進行有意義的學習。

Mayer 為解決上述三個問題，提出了十二項的多媒體教材設計原則，可分為三大類，陳述如下。

1. 減低外在處理的設計原則：

- 一致性原則 (Coherence Principle)、
- 信號原則 (Signaling Principle)
- 重複原則 (Redundancy Principle)
- 空間接近原則 (Spatial Contiguity Principle)
- 時間接近原則 (Temporal Contiguity Principle)

2. 管理本體處理的設計原則：

- 分割原則 (Segmenting Principle)、
- 事先訓練原則 (Pre-training Principle)
- 形式原則 (Modality Principle)；

3. 增加衍生處理的設計原則

- 多媒體原則 (Multimedia Principle)、
- 個人化原則 (Personalization Principle)、
- 聲音原則 (Voice Principle)
- 圖像原則 (Image Principle)

因此我們在設計教材時，也盡量依循 Mayer 的設計原則，在訊息內容上事先切割並埋藏在頁面中，透過按鈕操控而顯現必要的訊息，隱藏非必要的訊息。畫面的呈現也依循『接近原則』，文字說明盡量貼近對應的圖形位置，在時間上也要與口語結合，不造成訊息的重複或讓教材變成字幕機的角色。

由於 Mayer 的多媒體設計原則與 Sweller 所提出的十四項教材設計原則有些接近，我們將於後文統整說明

2-4 認知負荷理論

Sweller 在 1998 年的論文詳細說明了認知負荷理論的架構，認知負荷的來源以及涉及教材設計的相關原則，並且也提出了四個認知負荷的假設：①工作記憶區容量有限②長期記憶區容量無限③知識和技能是以基模（Schema）的型態儲存於長期記憶區中④基模運作自動化是基模建構的重要過程(Sweller et al., 1998)。Sweller 的認知負荷理論，看起來跟上一節所論述 Mayer 的多媒體學習理論有很多類似的部分，但是 Mayer 較偏重訊息處理，而 Sweller 較偏向認知與工作記憶。兩者皆強調「有限工作記憶」與「主動處理訊息」

本節將探討與教材設計關係較密切的「內在增生負荷（intrinsic cognitive Load）」、「外在認知負荷（extraneous cognitive load）」與「增生認知負荷（germane cognitive load）」，並說明多媒體學習理論與外在認知負荷的關係。

2-4-1 認知負荷類型

1. 內在增生負荷（Intrinsic Cognitive Load）：

對學生而言，一份教材是否稱為「困難」，取決於兩個因素：一個是教材本身的複雜性，另一個是學習者本身的程度。

教材的複雜度即教材本身元素之間相互關聯的程度，學習者面對元

素間相互關連程度較低的教材時，其內在認知負荷較低；反之，當面對元素間相互關連程度較高的教材時，其內在認知負荷較高。當然，學習者本身的程度也影響內在認知負荷，如果學習者已經擁有自動化的高階基模，就可以減低工作記憶的認知負荷；但若學習者缺少相關基模，在處理訊息，就會有較高的認知負荷。例如同樣的棋局，對生手而言就是密密麻麻，難以處理；但對於專業棋手而言，那只是一組組的棋譜而已，一眼就知道後續該怎麼做(Lee & Kalyuga, 2011)

從多元表徵的角度來看，學生要在圖像表徵、文字表徵與授課者的口語表徵中來來回回進行轉換，同時將有用的訊息分離出來，因此內在認知負荷算是高的。另一方面，從學習者來看，學生在八年級下學期開始剛接觸幾何論證，沒有太多的相關基模可以輔助處理，工作記憶的認知負荷也是高的。

因此在教材設計的文字與口語敘述上，必須盡量貼近學生既有的基模，讓學生進入自動化處理、同時，在訊息量上盡量避免一次給予太多訊息，來減少工作記憶的認知負荷。

2. 外在認知負荷 (Extraneous Cognitive load) :

Clark 等人(Clark, Nguyen, & Sweller, 2006)認為外在認知負荷是指學習者所感受到的心智負荷，但卻不是適合學習目標而且會浪費有限的認知資源的認知負荷。當一個教材設計呈現方式不良或訊息組織不良時，學習者無法專注在必要的訊息上，導致注意力分散，此時外在認知負荷就是高的。因此教材設計者應致力於降低外在認知負荷，讓學習者更能善用有限的工作記憶區來處理與學習內容相關的資訊(Sweller et al.,1998;李進福,2006;林煜庭,2008)。

3. 增生認知負荷 (Germane Cognitive load)

過去 Sweller 等人除了前兩類認知負荷之外，還有一種增生認知負荷，主要是透過一些外在認知負荷，例如「針對解題示例 (example) 提問」或是「未完成的解題示例 (incomplete)」，來幫助學習者基模的架構， (Sweller et al., 1998)。

雖然增生認知負荷與學習成效相關，但近年來，Lee 跟 Kalyuga 認為增生認知負荷跟內在認知負荷之間很難完全區隔，例如訊息給太多、給太少、或是不對稱，到底是增生認知負荷的問題還是內在負荷的問題呢？因此他們從工作記憶的角度來看，考慮認知負荷對工作記憶是否有效，不再將增生認知負荷區分出來，只將認知負荷界定成有益的內在認知負荷(Productive Cognitive Load)與無用的外在認知負荷(Wasteful Cognitive Load)。Lee 跟 Kalyuga 認為這樣的理論框架就清楚且足夠，不會顯得冗餘。(Lee & Kalyuga, 2011)

不管怎麼分類，學者們一致的想法就是整體認知負荷的總和不可以超過工作記憶負荷的限制。因為人的注意力有限，工作記憶也有限，學習者的注意力必須從無用的外在負荷中退出，並直接投注到與學習相關的程序中，特別是將注意力投注到基模的建構(Sweller et al., 1998)。

我們所需要注意的就是設計教材時，在不超過工作記憶的負擔下，盡可能提供有益的內在認知負荷，減少不必要的外在負荷。(Sweller et al., 1998; 李進福, 2006; 蘇柏奇, 2006)。基於此論點，Sweller(2010)歸納認知負荷理論在各學科領域的研究結果，提供一系列有實驗支持的教材設計原則。

2-4-2 認知負荷理論的教學設計原則

1. 自由目標效應 (Goal Free Effect)

傳統教學是目標導向教學，學習者的想法與解題目標被侷限住。學習者不是從自己現有的基模出發，而是從教師所給的訊息內容去解讀分析，容易對學習者造成極大的認知負荷。因此當學習者面對的題目不是唯一解法時，Sweller 主張應採開放目標的方式教學，給予學習者自由思考的空間，使其不受教師目標的限制，可多重表達個人的歷程，啟發創造力，因而可降低外在認知負荷。

2. 示例效應 (Worked Example Effect)

教師在教導有關程序性知識 (procedure knowledge) 時，如果學生在這領域是新手，教師若給予一些實例的示範，將可協助學生對問題有所理解，藉此建構較完整的解題基模，以減少學生面對問題與解題時產生的認知負荷。

3. 問題完成效應 (Completion Problem Effect)

只提供問題的部分解答，要求學生去完成解題，這樣會比單純的提供完整解答來得好。因為每個學生的學習能力不同，如果完整提供解題範例有時會限制學習者的思考方向，無法做較精緻化的研讀與判斷。同時更因問題與示例同時置入工作記憶佔據運作空間，造成外在認知負荷。若將示例呈現一半的解法，另一半由學生自行完成，可以降低學生的外在認知負荷。

4. 分散注意力效應 (Split-Attention Effect)

分散注意力效應可視為認知負荷中的一個現象。學習者面對許多不同來源訊息時，必須先將這些訊息加以參照整合，才能開始學習。如果這些訊息的呈現時很分布很混亂、或出現時間不一致，都可能使學習者分散其注意力，使認知負荷增加 (Sweller et al., 1998)。因此，為減少額外的負荷，許多研究驗證，將相同內容訊息以實際整合的方式呈現，而不是靠心力去整合時，可以減低工作記憶區的負荷量、去除分散注意力的效應 (Mousavi, et al., 1995)。

為避免注意力的分散，設計教材的時候可按照多媒體教材設計原則 (Mayer, 2005) 中的空間接近原則與時間接近原則妥善安排訊息位置，避免學習者產生過多的外在認知負荷。此外視覺搜尋中的群化原則與特徵獨立原則，也可以幫助學生集中注意力，減少認知負荷。(林煜庭, 2008)

5. 重複效應 (Redundancy Effect)

當學習者面對的訊息雖然可以多元呈現，但僅需單獨呈現就可了解時，若將大量的訊息同時置入學習者的工作記憶當中，反而增加學習者的認知負荷，不利教材學習。

Mayer 的多媒體設計原則中也有提到重複原則：學習者的學習成效在「動畫+旁白」的多媒體教材中，比呈現「動畫+旁白+文字」的多媒體還要好(Mayer & Clark, 2009)。只是 Mayer 從雙通道的角度來看，他認為文字跟圖像如果同時從視覺通道進入，兩者會產生干擾。而 Sweller 認為學習者會在文字與圖像二者間嘗試建立關聯，此樣子不只沒有加強學習效果，反而會造成認知負荷。

不管是 Mayer 所提「重複原則」或是 Sweller 所提「重複效應」都強調訊息要適量提供，如果一次給予過量訊息，學生在吸收與組織上都會過載，以致無法負荷。

6. 形式效應(Modality Effect)

Mousavi 跟 Sweller(1995)實驗證實，若教材已有「以視覺呈現的圖片」，此時若將「印刷文字」改以「聲音文字」表達，則可與原來的圖相配合，經由視覺及聽覺兩通道來接收訊息，而不會因文字、圖片都以視覺呈現而分散了注意力。

在 Mayer 的形式原則(Mayer, 2002)，也講到『文字訊息以口述文字的方式呈現會比印刷文字有更好的效果』。Mayer 是從訊息來源解釋，他認為若訊息同時從一個通道進來，會造成無法負荷；而 Sweller 從工作記憶解釋，他認為訊息在工作記憶處理時，會彼此互相干擾。

因此在設計教材時，也要注意訊息從哪個通道進入，如果是非語言系統的訊息(圖像表徵)，以視覺模式來處理；如果是語言系統的訊息(文字、口白)就以聽覺模式來處理。

7. 變化效應 (Variability Effect)

教師進行教學時若能配合學生的認知，營造有變化的學習情境或轉換問題的狀態，將有助於學習者運用多元的訊息處理管道，建立其學習基模。(宋曜廷, 2000)。

8. 專業知識反轉效應 (Expertise Reversal Effect)

有些訊息或程序對生手而言是必要的，但對於專業程度較高的學習者而言，可能變成多餘，甚至造成反效果(Kalyuga, 2007)。因為大部分教材設計時都是將學習者預設成先備經驗薄弱的新手，所以會將展演速度減緩，將內容拆解細分。然而這樣的教材雖然對新手有效，但對於先備經驗充足的專家而言，可能會得到反效果。

我們希望設計出來的教材能因應不同程度的學習者，對各階層的學生都能幫助學習，也就是沒有專業知識反轉效應產生。在 4-4 中我們將引入「學習效率」(詳閱 P.59)與「投入分數」(詳閱 p.61)來判斷是否有專業知識反轉效應發生。首先將學習成就表現分數轉為 Z_p ，再將感受量表中的「投入心力」分數轉為 Z_c ，藉以了解學習者動機及負荷之方法，最後以整體和高中低學習成就作為樣本區分進行討論。

9. 引導漸減效應 (Guidance Fading Effect)

在教學初始，可先給予新手完整的示例，這樣對學習是好的；但是隨著學習者的專業知識逐漸增長，這些鷹架反而造成專業知識反轉效應。所以在適當時候應逐步抽離這些鷹架，使學習者自行完整的解決問題。

10. 獨立互動元素效應 (Isolated-interacting Elements Effect)

如果教材屬於高元素互動性，此時先將沒有元素互動性部分呈現出來，然後再呈現有互動的情形，這樣的結果會比會比呈現包含互動的完整訊息兩次，學習效果更好。

11. 整體- 模組效應 (Molar-Modular Effect)

教學者先將主目標分割為數個有意義的子目標，並引導學習者逐一理解完成每個子目標後，最終再予以統合成最後結論。

Mayer 的多媒體設計原則中的切割原則是指將多媒體教材分割

成數個小片段，讓學習者擁有較足夠的時間及能力從每一個片段中選擇文字及影像並加以組織及整合。兩者皆強調將複雜的訊息切割好幾個小片段(或模組)，讓學生有足夠的時間或心力可以進行處理。

12. 元素交互作用效應 (Element Interactivity Effect)

對於元素交互作用高的教材內容時，因為內在認知負荷已較高，如果教材設計不良的話，會造成注意力分散效應和重複效應，使得外在認知負荷也過高，整體的認知負荷就會超過工作記憶容量

對於內在認知負荷高的幾何證明，要特別在乎圖形、文字、與口語之間的交互作用，避免造成學生認知負荷過高。

13. 想像效應 (Imagination Effect)

當學習者學習已經建立起相關的基模，只要透過想像就能自動解決問題，不需再透過示例再重新學習概念與處理程序。如此教師不需再增加額外解釋的步驟，也可以避免專業知識反轉效應產生。

14. 自我解釋效應 (Self-explanation Effect)

利用引導的方式取代直接教導，一方面可促使學習者提取相關基模至工作記憶區進行處理，也可在逐步引導的過程中讓學生專注於學習。

2-5 激發式動態教學

2-5-1 AMA 系統

陳明璋教授於 2002 年成立 Informath 工作室，期盼開發出適合數學科教材設計及教學開發的軟體，在數度嘗試之後，最終以 PowerPoint 簡報系統為平台，結合 Powerpoint 軟體中的優點，編寫出一個增益集，開發出 Mathematical Presentation System (數學簡報系統, MathPS)，再經過不斷開發創新，不再侷限在數學科，涵蓋數學教育、視覺設計、以及計算機圖學方面等，因此改名為 Activate Mind Attention

系統（簡稱 AMA），使其運用的範圍更廣（陳明璋，2008）。

AMA 核心功能有激發式動態呈現 (Trigger-based Animation, TA)，及結構式複製繪圖法 (Structural Cloning Method, SCM)。本研究主要是應用激發式動態呈現，將一個物件當按鈕來控制一連串的動態呈現，讓教材在教師的掌握下，隨著課堂教學活動的進行，選擇性的運作，以步驟化、非循序的方式呈現，吸引學生的注意力，引導學習，降低認知負荷，兼顧全班的整體性及個別性，同步的達到適性教學的效果。

2-5-2 激發式動態呈現與其基本模式

激發式動態呈現的基本模式共有七種，分述如下：(陳明璋, 2008)

1. 開關/關閉/突顯：

在訊息的上方加設一個透明的開關，當開關被觸發時，可以激發、關閉物件，也可以改變物件性質，藉以凸顯訊息。

2. 多元開關：

可將不同物件顯示在相同位置的按鈕，當按鈕被觸發時，物件會個別呈現在顯示區內。

3. 序列式激發：

透過同一個激發器來控制一連串的動態呈現，這一連串的動態可以是逐一呈現(一個接一個出現)、並列呈現(一次同時出現好幾個)，也可以是漸次排他產生(下一個物件出現時，上一個物件消失)。

4. 串接式激發：

串接式激發也是透過激發來控制一連串的動態呈現。與序列式激發不同處在於每一個被激發呈現的物件本身，將會成為下一個即將被激發的物件之激發器。

5. 全開關（關閉）：

使用一個開關物件控制一批物件，同時出現或消失。

6. 一對一開關：

以群組物件的方式設定開關或關閉。第一群當作激發器，另一群當作被激發的物件，依兩群物件圖層的順序，將激發器與被激發物件之間建立起一對一的關係。

7. 動態表格：

可設定表格全開關、行開關、列開關、以及個別開關，用來控制與其有行列關係的資料。

2-5-3 激發式動態教學與其特點

激發式動態教學 (Trigger-based Animated Instruction, TAI)是以認知負荷理論、多媒體教學理論及認知心理學為基礎、並以激發式動態呈現為工具所發展出動態數位內容的設計方法以及展演環境。其特點說明如下：(陳明璋, 2008)

1. 激發注意：

突顯主要訊息，淡化或關閉次要訊息，在視覺上協助學生搜尋訊息、或發現訊息間的關聯。激發式動態教學的教材會將主要訊息突顯出來，將次要訊息淡化或關閉，使學生在搜尋上不用費力，可以專注在訊息間的關聯上，對學生學習是有幫助的。

2. 分段切割：

因為工作記憶區的含量有限，激發式動態教學的教材會先進行內容分析，按前後訊息的關聯度做有意義的分段切割，使學生不用同時處理大量訊息，並可以在工作記憶區內完整的保留、整合。

3. 多重組合：

激發式動態教學的教材經過分段切割後，內容可分組、群化、區塊化，由不同的激發器控制。同時相同的訊息也可由不同的激發器控制，適時出現。一個激發器可以同時控制好幾個物件，一個物件也可以同時被好幾個激發器控制。

4. 彈性激發：

激發式動態教學的教材訊息可以按照展演者預先設定的順序或按照課堂現狀隨意的被激發。在課堂授課時，許多老師會藉由提問引起學生興趣，但學生回饋的答案可能天馬行空以致偏離原來設定的主題。透過激發式動態呈現，可以將學生最可能的幾種反應事先埋藏，再根據學生的反應，適時激發出對應訊息，如此具有開放的思考，但授課主題卻不會發散出去。

5. 平順連貫：

激發式動態教學的教材並非全自動展演的，而是由展演者依據課堂情境控制。可以依據現場學生狀況調整速度。

6. 溝通互動：

教學過程中，透過設計良好的教材，師生能夠互動溝通無礙。所以激發式動態教學的教材會有清楚具體的標示，讓學生指出自己心目中的答案，以達到溝通互動。

7. 適性教學：

激發式動態教學的教材會依據課堂情境及學生上課狀況適性教學，訊息的呈現順序、速度、組合與移除完全由展演者控制調整。

2-5-4 激發式動態之相關研究

近幾年陸續有一些人使用激發式動態呈現來設計教材，而且也發現在學習成效與認知負荷都比一般的數位教學來的更好，達到顯著差異。

在代數與函數圖形部分：洪榮忠以二元一次方程式圖形為主題，發現與一般的傳統簡報教學相比激發式動態呈現的教學設計更可以協助低學業成就的學生，不論在學習成就上或是認知負荷的降低上都有較佳的表現(洪榮忠, 2008)。同樣的，謝東育與葉子榕利用激發式動態教學配合代數教材設計原則進行二元一次聯立方程式應用問題的補救教學，發現確實能幫助學生學習(葉子榕, 2010; 謝東育, 2009)。謝謹謙以一

元二次函數圖形為主題，研究結果發現對高成就學生而言，激發式動態教學在「概念理解」與「解題思考」的題型上，比非激發式動態教學還好(謝謹謙, 2011)。

在幾何部分，張祐誠將激發式動態呈現運用於尺規作圖上，發現將動畫開關直接設在圖形上比設在旁邊的說明文字上更好(張祐誠, 2008)。黃建欽將激發式動態教學應用於幾何三角形外心上，發現學生在學習成效上包含記憶、轉化測驗都有較佳的表現，而且認知負荷也降低(黃建欽, 2009)。鄭勃毅將激發式動態教學應用於重心幾何證明，發現與傳統板書教學相比有顯著差異，特別對於複雜的證明過程，激發式動態教學結合分離元素交互作用效果更好。(鄭勃毅, 2011)

不管是代數或是幾何單元，運用激發式動態教學於課堂授課，對學生都有一定程度的幫助，不只對低成就學生有幫助，在幾何部分對高成就學生也有幫助。因此本研究將激發式動態教學融入幾何證明的教材設計中，設計適合常態班級的教材。

2-6 互動式電子白板

2-6-1 基本介紹

互動式電子白板(Interactive whiteboard, IWB) 既是投影螢幕也是一塊大型的壓力感應式白板，使用者在電子白板上書寫或其他操作時，會透過電腦藉由單槍投影機即時將畫面投影出來。互動式電子白板的架構圖如圖 2-5 所示

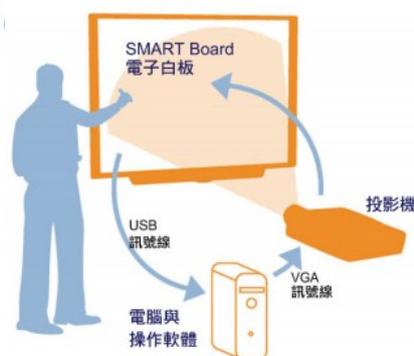


圖 2- 5 互動式電子白板架構圖

資料來源：smartboard 使用手冊

不同公司的 IWB，在感應原理上與價位上有所不同，有些是電磁觸控、有些是壓力觸控、還有些是利用紅外線或雷射來感應，但是在操作上都是大同小異的。本實驗所使用的是加拿大 Smart 公司所生產的 SmartBoard BX600，於民國 95 年購入。

2-6-2 互動式電子白板與教學

IWB 原先的目的是商業簡報及教育訓練，英國政府於 2002 開始大力推廣 IWB，並於各教室內添購 IWB，之後在各國教育界引起注意。我國教育部與國科會於 95 年擴大推動「資訊融入教學 ICT 計畫」，開始全面補助各縣市、各國中小購進 IWB，期盼能推動教學 e 化，對學校教學產生實際上的助益。

各校的採購人員為爭取經費，在這幾年間也拼命採購 IWB，但很可惜，採購時卻沒有注意到實際使用狀況，許多老師對此新科技感到陌生，也沒有配套的教材，因此使用度一直不高，研究者自身任教學校的 IWB 甚至放在空教室，乏人問津。

事實上，當教室引進 IWB 之後，可以應用的功能非常強大，在此簡述如下(陳惠邦,2006):

1. 代替傳統黑板的展示或教學呈現功能：

直接在 IWB 上面進行板書講解，或將互動白板當成螢幕，透過 PC 及投影機將教學素材投影於其上。

2. 以教師為主導的媒體操作平台：

教師透過 IWB 操控 PC，開啟相關的學習材料或媒體，以配合講解。

3. 以教師為中心的展示平台：

教師應用 IWB 軟體功能如圖像化、動態化等，或引用互動白板資料庫中的教材、遊戲等進行教學。

4. 師生互動學習平台：

教師應用 IWB 相關軟體功能（拉幕、聚光燈、超連結、捷徑、部件與方塊、

書寫辨識或語音辨識)及其資料庫中的教學素材,並經網際網路擷取相關的教學資源,設計符合師生互動的教學活動

2-6-3 互動式電子白板之相關研究

現在電子白板已經慢慢普及,只是使用情形並不踴躍。黃貞菁(2010)在針對國中教師所做的問卷調查卻發現目前國中老師實際運用電子白板的時間不多,這當中有許多因素,包含學校硬體數量不足、研究者自身資訊能力受限,或擔心影響到課程進度等種種因素。儘管如此,仍有許多研究者嘗試將電子白板融入課堂授課中。

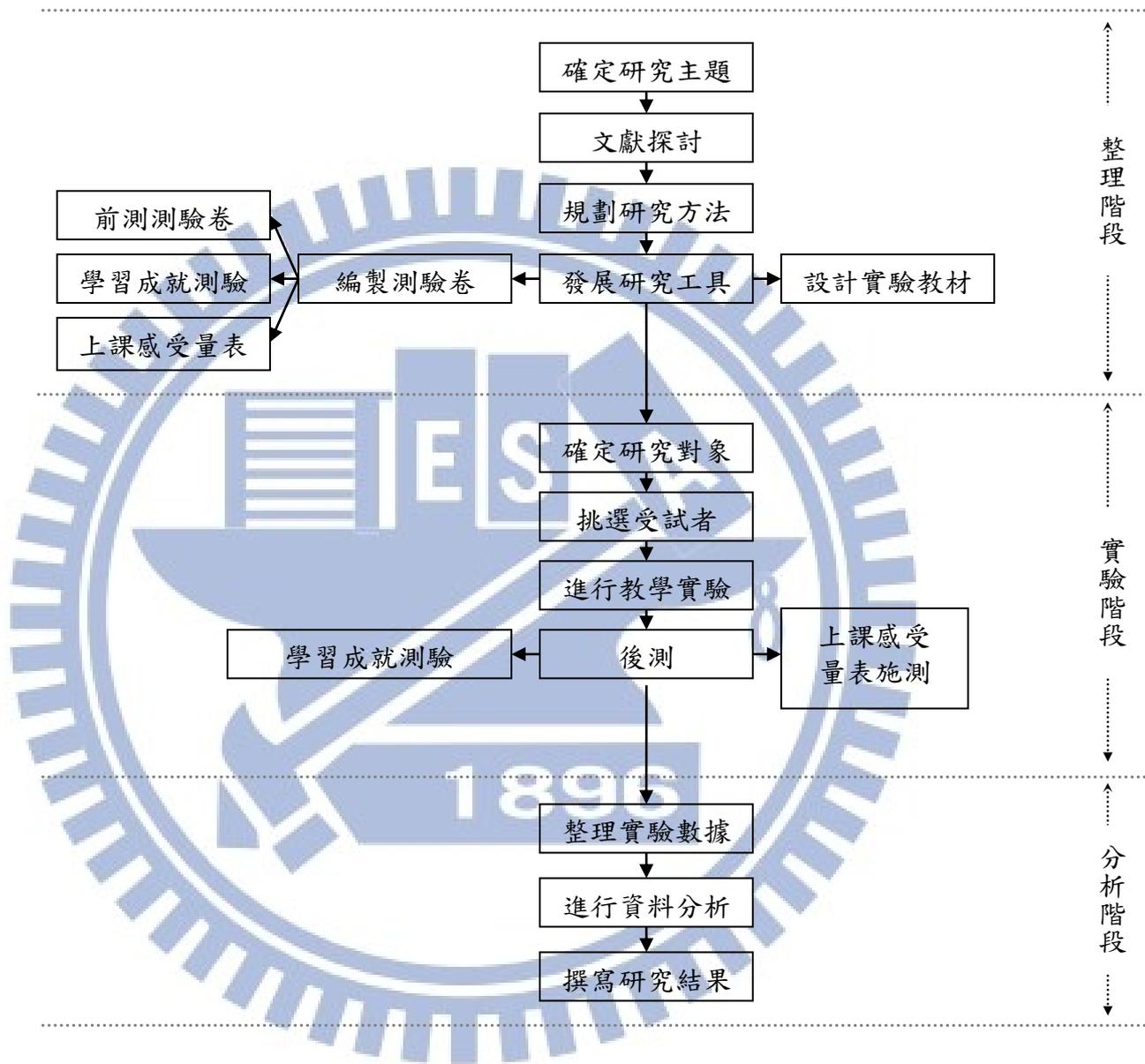
在國小階段,電子白板算是蠻好的教學輔具,可以提高學生的上課興趣,進而提升學習成效(李俊賢, 2007; 林永裕, 2011; 張豐今, 2010)。國中部分,涂華娟(2011)針對七年級學生使用電子白板搭配電子教科書,發現雖然學生學習成效沒有比較好,但學生對學好這門學科卻顯得信心十足。李昆霖(2011)將電子白板融入「一元一次方程式」課堂授課中,發現學生在學習過後的分析能力有助益,對於數學學習自我認知態度上也具有正向的幫助。陳燕鳳(2011)與黃巽煌(2011)在各自研究中將電子白板融入「一元二次方程式」課堂授課中,雖然整體上學習成就與學習態度沒有明顯差異,但學生跟老師的互動顯然優於對照組。似乎對國中階段學生而言,使用電子白板只對上課態度有幫助,對學習成就幫助不大。

研究者認為,國小階段課程與國中相比相對簡單,所以當學生的學習興趣被提升,學生專心聽課或願意投入心力來上課時,學習成效就會有差異。而國中階段的學生雖然對電子白板融入教學有興趣,可是因著教材自身的複雜度,並無法透過提高上課興趣使學習成效跟著提升。同時國小的研究者在教材設計上給予學生上台操弄的可能,學生與老師之間是有互動的;而國中的研究者卻不是自製教材,僅用書商所提供之教學簡報或是電子教科書,在教學法上仍以講述為主,因此學習成效有限。

基於上述研究,如果在國中教材設計上也給予學生互動的可能性,而非單純只是講述,那電子白板除了提升學習興趣之外,是否也可以提升學業成就呢?針對此問題,研究者將嘗試製作具有與學生互動能力的教材,並結合電子白板,看看對學生的學習興趣與學習成就是否產生影響。

第三章 研究方法

3-1 研究流程



3-2 研究設計

3-2-1 研究方法

本研究旨在研究課堂中使用激發式動態教學結合電子白板對於學生階段學習成效是否有顯著影響，及其交互作用是否顯著。在不影響正常教學進度及不打破授課班級的完整性之下，盡可能避免其他因素對實驗產生干擾，本研究採用準實驗設計，樣本採方便樣本，利用研究者自身任教之國中八年級共四個班進行實驗。

若從內在效度來看，本設計的優點在於分成「TAI 結合白板觸控」、「TAI 結合滑鼠操控」、「非 TAI 結合白板觸控」及對照組-「非 TAI 結合滑鼠操控」作為參照，各組人數為 26~32 之間，組與組之間可交叉比較。若從上學期段考平均來看，四組無顯著差異。而其他可能干擾因素如：授課教師、教學環境、教學內容、測驗工具與時間也妥善控制。

在缺點部分，由於採方便樣本，無法擴及全校班級及其他學校。在學生部分，雖然任課教師相同，但面對實驗，學生仍會產生好奇心理，故授課前仍先告知所有參與學生：『因研究者製作了一份多媒體教材，希望藉由現場教學來了解教材設計是否恰當，因此需要學生共同體驗，好讓研究者可以精益求精。』藉此鼓勵學生認真作答，並藉此減低參與學生心理上的干擾因素。

3-2-2 研究變項與假設

1. 研究變項

(1) 自變項

按教材設計與硬體操控模式，採二因子設計，共分為「TAI 結合白板觸控」、「TAI 結合滑鼠操控」、「非 TAI 結合白板觸控」、「非 TAI 結合滑鼠操控」等四組，茲分述如下：

①硬體操控模式：

硬體操控模式依照有無使用電子白板分成「白板觸控」與「滑鼠操控」兩種方式。使用「白板觸控」時，老師會站立於電子白板前，利用電子白板觸控功能來控制畫面，並使用電子墨水書寫功能作為輔助，在此不使用電子白板的其它功能。使用「滑鼠操控」時，老師授課時位於電腦旁並使用滑鼠來控制畫面，若有需要時再移動到投影畫面前進行補充說明。

②教材設計與教學：

教材設計與教學依照有無使用激發式動態呈現分成「TAI」與「非 TAI」二類教材。「TAI」組使用激發式動態教學法，利用激發式動態呈現之教材，結合認知負荷理論與多媒體設計原則，事先預藏一些開關，針對學生可能的反應，將對應的訊息激發出來，教師可適性控制展演流程。

「非 TAI」組使用之教材靜態畫面與「TAI」組相同，只是沒有預埋開關，展演流程按教師事先設定循序撥放，再輔以口語補充。

兩份教材主體呈現畫面，在顏色、版面配置、文字敘述、圖像元素都相同，只是「TAI」組有預埋按鈕及對應訊息，和階段性的提問，而「非 TAI」組無預埋按鈕與階段性提問。在 3-4-1 會針對兩組教材進行更完整的介紹。

③參與學生的數學學業成就特質：

依整體學生前測成績由高到低排序，區分成高成就學生(27%)、中成就學生(46%)、低成就學生(27%)

(2) 依變項

①學習成就（後測）

②認知負荷（上課感受問卷）

2. 控制變項

①授課教師：

授課教師皆為同一人。由於課堂授課是以老師為主體，所以不同的教師風格，對學生的「科學態度」及「數學態度」會發生影響(洪志成, 1986)。學生對教師行為的知覺也會影響學生的學業成就(徐蓓蓓, 1983)。因此任課老師與上課模式必須減少差異，盡可能一致。

此研究中，有 4 個班級參與實驗，皆為研究者自身之授課班級，且均至少授課半年以上，學生已熟悉研究者自身的授課風格與口語表達方式，且教學進度一致。因此在「授課教師」變項上沒有差異。

②教學環境

四組教學地點為同一間視聽教室，使用相同電腦、相同投影機，教室亮度也相同。所有教材皆投影到投影布幕前的電子白板上。學生的視角及跟螢幕間的距離也相同，因此在「教學環境」變項上沒有差異。

③教材內容

不管是「TAI」組或是「非 TAI」組的教材，上課教學時間相同、教材主題單元相同，且統一於段考後隔天施測，確保學生進度一致，而且因段考剛結束，補習班尚未開始進度，不會受補習班的干擾。因此在「教材內容」變項上沒有差異。

④測驗問卷

四組學生在教學實驗前後所作前測、後測及上課感受問卷量表，其題目內容、施測時間、給分標準均相同。

3. 研究假設

對幾何的教學現場而言，學生必須同時接受到圖像的表徵，文字敘述的表徵，與老師口語上的表徵，Duval(2006)認為學生必須在各

種表徵間來來去去，表徵轉換的能力也影響了學生學習的表現。同時因為工作記憶有限，學生無法同時處理大量訊息。所以如何幫助學生在表徵之間進行選取、組織、處置、轉化，是很多人所關注的。透過激發式動態呈現，可以事先隱藏部分必要訊息，等有需要時再彈現出來，因此學生不用同時處理大量訊息，可有效減低認知負荷。

林煜庭在探討許多文獻後，認為在設計課堂授課的多媒體教材時，如果能在視覺上提供適當的引導，會提供學生更好的學習效果。透過激發式動態呈現，學生的注意力會被引導到突顯與加強的訊息，不會造成注意力的分散。(林煜庭, 2008)

除了在教材與畫面呈現上，提供視覺的引導外，針對同一份教材而言，教師在課堂中的口語、肢體動作與硬體操控模式，會不會也達到引導的效果，引導學生去關注必要的訊息。

本研究基於上述問題，採教材設計與硬體操控模式之二因子設計，將學生分成下列四組，如表 3-1

表 3-1
二因子實驗設計分組

因子	硬體操控模式		合計人數
	白板觸控	滑鼠操控	
教學模式 TAI	實驗組 1 (32 人)	實驗組 2 (32 人)	64 人
非 TAI	實驗組 3 (26 人)	對照組 (29 人)	55 人
合計人數	58 人	61 人	119 人

本研究根據研究目的與研究問題，提出下列研究假設：

分別將「TAI 結合白板觸控」、「TAI 結合滑鼠操控」、「非 TAI 結合白板觸控」及「非 TAI 結合滑鼠操控」運用在常態編班班級之教材設計上，並進行課堂授課：

假設1. 不同的教材設計與硬體操控模式對學生學習成就會產生顯著的差異

假設2. 不同的教材設計與硬體操控模式對學生學習成就有顯著的交互作用

假設3. 不同的教材設計與硬體操控模式對學生的認知負荷有顯著差異

假設4. 不同的教材設計與硬體操控模式對學生的認知負荷有顯著的交互作用

假設5. 不同的教材設計與硬體操控模式，學生學習成就與認知負荷有顯著相關

假設6. 對於高成就數學學習成就的學生專業知識反轉效應差

3-2-3 實驗流程

本研究之實施步驟、實驗內容與時間分配如表3-2。

表 3-2
教學實驗總流程表

步驟	內容	時間
A	起始行為測驗(前測)	10 分鐘
B	課程教材教學	40 分鐘
C	階段成就測驗(後測)	20 分鐘
D	上課感受量表問卷	10 分鐘

3-3 研究對象

本研究的研究對象採方便抽樣，以研究者自身任教之新北市某國民中學八年級四個班的學生作為研究對象，避免諸多干擾與不便。

實驗規劃階段先根據學生上學期三次段考成績作為初步分組依據。但考量上學期皆為代數內容與本實驗所需之「幾何能力」仍有稍微差異，為求謹慎，在實驗前另進行前測，以了解學生起點行為與「幾何能力」。

前測題中包含兩題先備知識與三題預備授課內容，並根據前測成績，將學生分成高成就學生(27%)、中成就學生(46%)、低成就學生(27%)

3-3-1 整體學生立足點一致

為確保各組程度相當，分別以「上學期三次數學段考平均」及「前測成績」為依據，進行二因子變異數分析，確保各組立足點一致。

1. 以「上學期三次數學段考平均」進行二因子變異數分析

表 3-3 為各組上學期三次數學段考平均之描述性統計量，「TAI 結合白板觸控」組共計有 32 名、「激發式動態」共計有 32 名、「非 TAI 結合白板觸控」共計有 26 名、對照組有 29 名。

表 3-3
整體學生上學期三次數學段考平均 平均及標準差摘要表

教學	硬體	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
激發式動態	電子白板	32	67.07	21.417
	滑鼠操控	32	61.34	27.008
	總數	64	64.21	24.351
一般數位	電子白板	26	63.58	28.485
	滑鼠操控	29	54.48	28.233
	總數	55	58.79	28.460
總數	電子白板	58	65.51	24.666
	滑鼠操控	61	58.08	27.582
	總數	119	61.70	26.356

由 Levene 統計量可知 $F = 2.179, p = .094 > .05$ 未達到 .05 的顯著水準，表示整體學生數學段考平均成績之變異數具有同質性，可進行二因子變異數分析。同質性檢定結果如表 3-4

表 3-4
整體學生上學期三次數學段考平均 變異數同質性檢定

Levene 檢定	df1	df2	p
2.179	3	115	.094

將各組學生上學期三次數學段考平均成績進行二因子變異數分析後得到 $F = 1.221, p = .305 > .05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為各組程度相同。教學因子 $F = 1.144, p = .287 > .05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為各組程度相同。硬體操控 f 因子 $F = 2.351, p = .128 > .05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為各組程度相同。變異數分析結果如表 3-5。

表 3-5
整體學生上學期三次數學段考平均 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	1.221	.305	.031
截距	1	649.365	.000	.850
教學	1	1.144	.287	.010
硬體	1	2.351	.128	.020
教學 * 硬體	1	0.121	.728	.001
誤差	115			
總數	119			
校正後的總數	118			

以「前測成績」進行二因子變異數分析表 3-6 為各組前測成績之描述性統計量，「TAI 結合白板觸控」組共計有 32 名、「TAI 結合滑鼠操控」共計有 32 名、「非 TAI 結合白板觸控」共計有 26 名、對照組有 29 名。

表 3-6
 整體學生前測成績 平均及標準差摘要表

教學	硬體	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
激發式動態	電子白板	32	15.06	5.622
	滑鼠操控	32	14.25	6.496
	總數	64	14.66	6.040
一般數位	電子白板	26	13.00	5.713
	滑鼠操控	29	13.59	7.604
	總數	55	13.31	6.722
總數	電子白板	58	14.14	5.708
	滑鼠操控	61	13.93	6.993
	總數	119	14.03	6.373

由 Levene 統計量可知 $F = 1.761, p = .159 > .05$ 未達到 .05 的顯著水準，表示整體學生前測成績之變異數具有同質性，可進行二因子變異數分析。同質性檢定結果如表 3-7

表 3-7 整體學生前測成績 變異數同質性檢定

Levene 檢定	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>p</i>
1.761	3	115	.159

將各組學生前測成績進行二因子變異數分析後得到 $F = .560, p = .643 > .05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為程度相同。教學因子 $F = 1.336, p = .250 > .05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為程度相同。硬體操控因子 $F = .009, p = .924 > .05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為程度相同。變異數分析結果如表 3-8

表 3-8
整體學生上學期三次數學段考平均 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	0.560	.643	.014
截距	1	561.734	.000	.830
教學	1	1.336	.250	.011
硬體	1	0.009	.924	.000
教學 * 硬體	1	0.352	.554	.003
誤差	115			
總數	119			
校正後的總數	118			

由「上學期三次數學段考平均」及「前測成績」的檢定結果，可知各組無顯著差異，在教學因子上與硬體操控因子上也無顯著差異，各組學生程度可視為一致。

3-3-2 高成就學生立足點一致

為確保各組程度相當，分別以「上學期三次數學段考平均」及「前測成績」為依據，進行二因子變異數分析。

1. 以「上學期三次數學段考平均」進行二因子變異數分析

表 3-9 為各組高成就學生上學期三次數學段考平均之描述性統計量，「激發式動態+電子白板」組共計有 9 名、「激發式動態+滑鼠操控」共計有 10 名、「一般數位+電子白板」共計有 3 名、對照組有 10 名。

表 3-9

高成就學生上學期三次數學段考平均 平均及標準差摘要表

教學	硬體	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
激發式動態	電子白板	9	87.56	13.243
	滑鼠操控	10	80.70	13.317
	總數	19	83.95	13.379
一般數位	電子白板	3	89.78	9.970
	滑鼠操控	10	79.40	19.973
	總數	13	81.80	18.343
總數	電子白板	12	88.11	12.109
	滑鼠操控	20	80.05	16.535
	總數	32	83.07	15.341

由 Levene 統計量可知 $F = 1.025, p = .396 > .05$ 未達到 .05 的顯著水準，表示高成就學生數學段考平均成績之變異數具有同質性，可進行二因子變異數分析。同質性檢定結果如表 3-10

表 3-10

高成就學生上學期三次數學段考平均 變異數同質性檢定

Levene 檢定	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>p</i>
1.025	3	28	.396

將各組高成就學生上學期三次數學段考平均進行二因子變異數分析後得到 $F = .697, p = .562 > 0.05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為程度相同。教學因子 $F = .005, p = .942 > .05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為程度相同。硬體操控因子 $F = 1.902, p = .179 > .05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為程度相同。變異數分析結果如表 3-11

表 3- 11

高成就學生上學期三次數學段考平均 變異數分析摘要表

來源	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
校正後的模式	3	0.697	.562	.070
截距	1	728.793	.000	.963
教學	1	0.005	.942	.000
硬體	1	1.902	.179	.064
教學 * 硬體	1	0.079	.780	.003
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

2. 以「前測成績」進行二因子變異數分析

表 3- 12 為各組高成就學生前測成績之描述性統計量，「激發式動態+電子白板」組共計有 9 名、「激發式動態+滑鼠操控」共計有 10 名、「一般數位+電子白板」共計有 3 名、對照組有 10 名。

表 3- 12

高成就學生前測成績 平均及標準差摘要表

教學	硬體	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
激發式動態	電子白板	9	22.00	2.500
	滑鼠操控	10	21.30	2.541
	總數	19	21.63	2.477
一般數位	電子白板	3	23.33	1.528
	滑鼠操控	10	21.90	1.969
	總數	13	22.23	1.922
總數	電子白板	12	22.33	2.309
	滑鼠操控	20	21.60	2.234
	總數	32	21.88	2.254

由 Levene 統計量可知 $F = 1.539, p = .226 > .05$ 未達到 .05 的顯著水準，表示高成就學生前測成績之變異數具有同質性，可進行二因子變異數分析。同質性檢定結果如表 3- 13

表 3-13
高成就學生前測成績 變異數同質性檢定

Levene 檢定	df1	df2	p
1.539	3	28	.226

將各組高成就學生前測成績進行二因子變異數分析後得到 $F = 1.221$, $p = .607 > .05$, 顯示各組無顯著差異, 可視為程度相同。教學因子 $F = 1.144$, $p = .287 > .05$, 顯示各組無顯著差異, 可視為程度相同。硬體操控因子 $F = 2.351$, $p = .128 > .05$, 顯示各組無顯著差異, 可視為程度相同。變異數分析結果如表 3-14

表 3-14
高成就學生上學期三次數學段考平均 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	1.221	.607	.031
截距	1	649.365	.000	.850
教學	1	1.144	.287	.010
硬體	1	2.351	.128	.020
教學 * 硬體	1	0.121	.728	.001
誤差	115			
總數	119			
校正後的總數	118			

由「上學期三次數學段考平均」及「前測成績」的檢定結果, 可知各組高成就學生無顯著差異, 在教學因子上與硬體操控因子上也無顯著差異, 各組高成就學生程度可視為一致。

3-3-3 中成就學生立足點一致

為確保各組程度相當, 分別以「上學期三次數學段考平均」及「前測成績」為依據, 進行二因子變異數分析

1. 以「上學期三次數學段考平均」進行二因子變異數分析

表 3-15 為各組中成就學生上學期三次數學段考平均之描述性統計量，「TAI 結合白板觸控」組共計有 20 名、「TAI 結合滑鼠操控」共計有 12 名、「非 TAI 結合滑鼠操控」共計有 16 名、對照組有 7 名。

表 3-15

中成就學生上學期三次數學段考平均 平均及標準差摘要表

教學	硬體	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
激發式動態	電子白板	20	62.97	15.830
	滑鼠操控	12	68.33	24.045
	總數	32	64.98	19.123
一般數位	電子白板	16	69.78	23.780
	滑鼠操控	7	64.81	16.118
	總數	23	68.27	21.492
總數	電子白板	36	66.00	19.753
	滑鼠操控	19	67.03	21.047
	總數	55	66.35	20.020

由 Levene 統計量可知 $F = 1.025, p = .396 > .05$ 未達到 .05 的顯著水準，表示中成就學生數學段考平均成績之變異數具有同質性，可進行二因子變異數分析。同質性檢定結果如表 3-10

表 3-16

中成就學生上學期三次數學段考平均 變異數同質性檢定

Levene 檢定	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>p</i>
1.025	3	28	.396

將各組中成就學生上學期三次數學段考平均進行二因子變異數分析後得到 $F = 1.221, p = .305 > .05$ ，顯示各班無顯著差異，可視為程度相同。教學因子 $F = 1.144, p = .287 > .05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為程度相同。硬體操控因子 $F = 2.351, p = .128 > .05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為程度相同。變異數分析結果如表 3-17

表 3-17

中成就學生上學期三次數學段考平均 變異數分析摘要表

來源	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
校正後的模式	3	1.221	.305	.031
截距	1	649.365	.000	.850
教學	1	1.144	.287	.010
硬體	1	2.351	.128	.020
教學 * 硬體	1	0.121	.728	.001
誤差	115			
總數	119			
校正後的總數	118			

2. 以「前測成績」進行二因子變異數分析

表 3-18 為各組中成就前測成績之描述性統計量，「TAI 結合白板觸控」組共計有 20 名、「TAI 結合滑鼠操控」共計有 12 名、「非 TAI 結合滑鼠操控」共計有 16 名、對照組有 7 名。

表 3-18

中成就學生前測成績 平均及標準差摘要表

教學	硬體	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
激發式動態	電子白板	20	13.20	2.802
	滑鼠操控	12	14.75	2.667
	總數	32	13.78	2.814
一般數位	電子白板	16	13.69	3.156
	滑鼠操控	7	14.29	2.498
	總數	23	13.87	2.928
總數	電子白板	36	13.42	2.931
	滑鼠操控	19	14.58	2.545
	總數	55	13.82	2.836

由 Levene 統計量可知 $F = 1.710, p = .177 > .05$ 未達到 .05 的顯著水準，表示中成就學生前測成績之變異數具有同質性，可進行二因子變異數分析。同質性檢定結果如表 3-19

表 3- 19

中成就學生前測成績 變異數同質性檢定

Levene 檢定	df1	df2	p
1.710	3	51	.177

將各組中程度學生前測成績進行二因子變異數分析後得到 $F = .386$,
 $p = .763 > 0.05$, 顯示各組無顯著差異, 可視為程度相同。教學因子 $F = .077$,
 $p = .782 > .05$, 顯示各組無顯著差異, 可視為程度相同。硬體操控因子 $F = .001$,
 $p = .974 > .05$, 顯示各組無顯著差異, 可視為程度相同。變異數分析結果如表 3-
 20。

表 3- 20

中成就學生前測成績 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	0.386	.763	.022
截距	1	503.020	.000	.908
教學	1	0.077	.782	.002
硬體	1	0.001	.974	.000
教學 * 硬體	1	0.760	.387	.015
誤差	51			
總數	55			
校正後的總數	54			

由「上學期三次數學段考平均」及「前測成績」的檢定結果, 可知各組中成就學生無顯著差異, 在教學因子上與硬體操控因子上無顯著差異, 各組中成就學生程度可視為一致。

3-3-4 低成就學生立足點一致

為確保各組程度相當, 分別以「上學期三次數學段考平均」及「前測成績」為依據, 進行二因子變異數分析

1. 以「上學期三次數學段考平均」進行二因子變異數分析

表 3-21 為各組低成就學生上學期三次數學段考平均之描述性統計量，「TAI 結合白板觸控」組共計有 3 名、「TAI 結合滑鼠操控」共計有 10 名、「非 TAI 結合滑鼠操控」共計有 7 名、對照組有 12 名。

表 3-21

低成就學生上學期三次數學段考平均 平均及標準差摘要表

教學	硬體	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
激發式動態	電子白板	3	33.00	15.144
	滑鼠操控	10	33.60	17.084
	總數	13	33.46	16.037
一般數位	電子白板	7	38.19	27.128
	滑鼠操控	12	27.70	12.080
	總數	19	31.56	19.014
總數	電子白板	10	36.63	23.407
	滑鼠操控	22	30.38	14.511
	總數	32	32.33	17.618

由 Levene 統計量可知 $F = 2.448, p = .084 > .05$ 未達到 .05 的顯著水準，表示低成就學生數學段考平均成績之變異數具有同質性，可進行二因子變異數分析。同質性檢定結果如表 3-22

表 3-22

低成就學生上學期三次數學段考平均 變異數同質性檢定

Levene 檢定	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>p</i>
2.448	3	28	.084

將各組低成就學生上學期三次數學段考平均進行二因子變異數分析後得到 $F = .528, p = .666 > 0.05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為程度相同。教學因子 $F = .002, p = .962 > .05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為程度相同。硬體操控因子 $F = .456, p = .505 > .05$ ，顯示各組無顯著差異，可視為程度相同。變異數分析結果如表 3-23

表 3-23

低成就學生上學期三次數學段考平均 變異數分析摘要表

來源	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
校正後的模式	3	0.528	.666	.054
截距	1	81.828	.000	.745
教學	1	0.002	.962	.000
硬體	1	0.456	.505	.016
教學 * 硬體	1	0.574	.455	.020
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

2. 以「前測成績」進行二因子變異數分析

表 3-24 為各組低成就前測成績之描述性統計量，「TAI 結合白板觸控」組共計有 3 名、「TAI 結合滑鼠操控」共計有 10 名、「非 TAI 結合滑鼠操控」共計有 7 名、對照組有 12 名。

表 3-24

低成就學生前測成績 平均及標準差摘要表

教學	硬體	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
激發式動態	電子白板	3	6.67	5.774
	滑鼠操控	10	6.60	3.098
	總數	13	6.62	3.572
一般數位	電子白板	7	7.00	3.697
	滑鼠操控	12	6.25	4.330
	總數	19	6.53	4.019
總數	電子白板	10	6.90	4.067
	滑鼠操控	22	6.41	3.737
	總數	32	6.56	3.784

由 Levene 統計量可知 $F = 1.569$, $p = .219 > .05$ 未達到 .05 的顯著水準，表示低成就學生前測成績之變異數具有同質性，可進行二因子變異數分析。同質性檢定結果如表 3-25

表 3-25
低成就學生前測成績 變異數同質性檢定

Levene 檢定	df1	df2	p
1.569	3	28	.219

將各組中程度學生前測成績進行二因子變異數分析後得到 $F = .054$,
 $p = .983 > 0.05$, 顯示各組無顯著差異, 可視為程度相同。教學因子 $F = .000$,
 $p = .996 > .05$, 顯示各組無顯著差異, 可視為程度相同。硬體操控因子 $F = .064$, p
 $= .802 > .05$, 顯示各組無顯著差異, 可視為程度相同。變異數分析結果如表 3-26

表 3-26
低成就學生前測成績 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	0.054	.983	.006
截距	1	67.642	.000	.707
教學	1	0.000	.996	.000
硬體	1	0.064	.802	.002
教學 * 硬體	1	0.045	.834	.002
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

由「上學期三次數學段考平均」及「前測成績」的檢定結果, 可知各組低成就學生無顯著差異, 在教學因子上與硬體操控因子上也無顯著差異, 各組低成就學生程度可視為一致。

3-4 研究工具

3-4-1 實驗教材

本研究所使用之教材均為自製教材，教材設計範圍為『三角形外角定理』，符合九年一貫數學科能力指標「8-s-27 能利用三角形內角和為180度的性質，解決多邊形內角和、與外角和定理的問題。」，對應的課本章節為八年級第二學期第三章。教材製作平台為Powerpoint 2010簡報軟體搭配AMA外掛增益集，以認知負荷理論為基礎，使用多媒體設計原則來安排各教學元素。在教材製作過程中，不斷與五位任教十年以上之數學老師與指導教授共同討論與研究，最終版本作為實驗之用。

本研究教學因子區分為「TAI」組與「非TAI」組，兩者靜態畫面大致相同。差別在於「TAI」組使用激發式動態呈現，而「非TAI」組沒有使用激發式動態呈現。

「TAI」組根據學生上課可能的反應，事先預埋一些按鈕，作為突顯與補充內容之用。在課堂授課中，適時使用按鈕激發內容。同時在每一個階段性提問時，也會將問句以文字方式呈現出來，在互動中完成課程。

「非TAI」組沒有事先預埋按鈕，在課堂授課中，研究者以板書或是口語來進行突顯與補充內容，在每一個階段性提問時，僅用口語呈現問句。

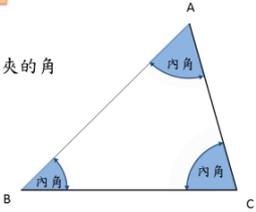
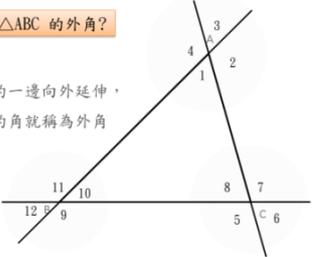
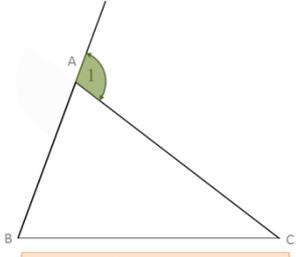
本實驗所使用之教材，特別在意表徵之連結，期盼透過視覺編排，吸引學生注意力，而能進入自動化的處理過程。使學生不用在表徵連結與轉換上耗費太多心力，藉以降低認知負荷。

首先在圖形上，由於圖形關係複雜，學生不一定能立即找到對應的圖形表徵，故最重要的內角與外角分別以藍色、紅色為主；證明過程中的輔助角以綠色為準。輔助文字也盡量貼近圖形表徵本身，以減低學生認知負荷。在元素編排上，也依循「空間接近原則」(Mayer,2009)

在此將教材主要特色及差異，舉例說明如表 3-27 完整教材畫面置於附錄 4。

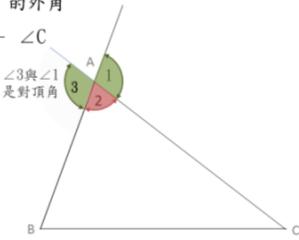
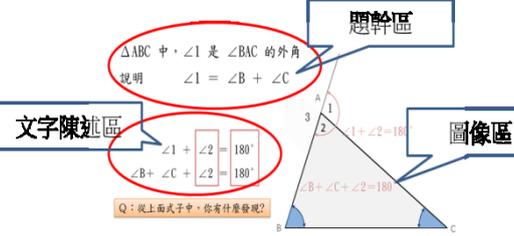
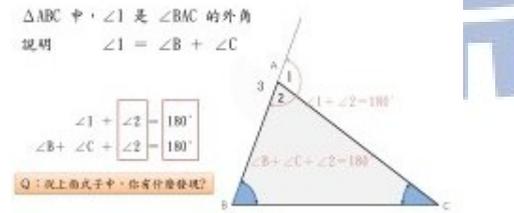
表 3-27

教材主要特色及差異 舉例說明

教材 頁碼	畫面	說明
p.2	<p data-bbox="363 510 539 544">Q: "內角"是什麼</p> <p data-bbox="363 589 587 645">三角形的任意兩邊所夾的角就稱為內角</p> 	<p data-bbox="917 465 1404 813">「TAI」組的教材三個內角都有按鈕，可根據學生所選答案任意出現，出現無固定順序。而「非TAI」組教材沒有按鈕，三個內角一次全部呈現。其餘部分與「TAI」組相同</p>
p.4	<p data-bbox="363 1025 587 1059">Q: 那些角是 $\triangle ABC$ 的外角?</p> <p data-bbox="363 1126 587 1182">如果把三角形的一邊向外延伸，與另一邊所夾的角就稱為外角</p> 	<p data-bbox="917 1014 1404 1305">「TAI」組在每個角度都預埋按鈕，根據學生的答案激發突顯。內角與外角以不同顏色區分。而「非TAI」組沒有按鈕，需用板書或手勢突顯</p>
p.6	 <p data-bbox="427 1798 691 1821">Q: $\angle 1$ 稱為 $\angle A$ 的 "_____"</p>	<p data-bbox="917 1507 1404 1910">「TAI」組問句以填充題方式突顯出來，待學生回答後，再出現空格內的文字。而「非TAI」組無此問句，直接用口語發問</p> <p data-bbox="917 1821 1404 1910">如此設計符合認知負荷教學設計原則的「獨立互動元素效應」</p>

(接下頁)

表 3-27 (續)

教材 頁碼	畫面	說明
p.8	<p>$\triangle ABC$ 中，$\angle 1$ 是 $\angle BAC$ 的外角 說明 $\angle 1 = \angle B + \angle C$</p>  <p>$\angle 3$ 與 $\angle 1$ 是對頂角</p> <p>Q: $\angle 1$ 跟哪個角相加是 180° ?</p>	<p>預期學生的答案是 $\angle 2$，但「TAI」組會預埋學生回答 $\angle 3$ 的可能性，這是錯誤答案，看現場狀況突顯。</p>
p.11	 <p>文字陳述區</p> <p>題幹區</p> <p>圖像區</p> <p>說明 $\angle 1 = \angle B + \angle C$</p> <p>$\angle 1 + \angle 2 = 180^\circ$ $\angle B + \angle C + \angle 2 = 180^\circ$</p> <p>Q: 從上面式子中，你有什麼發現?</p>	<p>右側圖像區說明完畢之後，保留部分訊息。接下來左側開始出現文字說明，授課重心移到左側。此部份兩份教材皆相同。</p>
p.12	<p>$\triangle ABC$ 中，$\angle 1$ 是 $\angle BAC$ 的外角 說明 $\angle 1 = \angle B + \angle C$</p>  <p>$\angle 1 + \angle 2 = 180^\circ$ $\angle B + \angle C + \angle 2 = 180^\circ$</p> <p>Q: 從上面式子中，你有什麼發現?</p>	<p>使用紅色方框突顯，讓學生更清楚看到上下式的關係。除問句外，兩份教材其餘畫面皆相同</p>

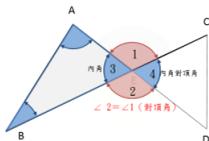
(接下頁)

表 3-27 (續)

p.17

\overline{AD} 與 \overline{BC} 相交於 E 點，
說明 $\angle A + \angle B = \angle C + \angle D$

Q: $\angle A + \angle B$ 會等於哪個角?

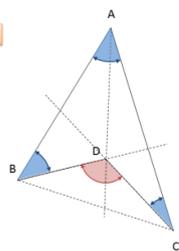
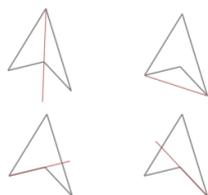


預期學生的答案是 $\angle 1$ ，但「TAI」組會預埋學生回答 $\angle 2$ 、 $\angle 3$ 、 $\angle 4$ 的可能性，並預備對應訊息內容；而「非 TAI」組沒有預埋按鈕，須以口語或板書補充。

p..25

$\angle BDC$ 和 $\angle A$ 、 $\angle B$ 、 $\angle C$ 有什麼關係呢?

Q: 怎麼畫，才會讓這圖形變成兩個三角形?

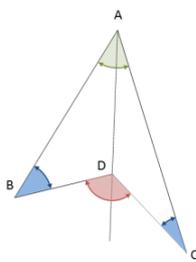


透過連接一線段使原圖形產生兩個小三角形，共有四種線段連接法。學生提出自己答案後，老師再對應激發。此部份兩份教材皆相同。

如此設計符合認知負荷教學設計原則的「自由目標效應」可配合學生基模再接再續發展。

P.38

說明 $\angle BDC = \angle BAC + \angle B + \angle C$



紅 = 藍 + 綠

捨棄形式化的嚴謹證明步驟，採用顏色把角度適當分組，讓學生用整群來看，而非逐一檢視每個角，這樣就很容易理解整個推理的步驟。此部份兩份教材皆相同。

如此設計符合能力指標的「非形式演繹。」

3-4-2 實驗工具

本實驗工具共分成：前測問卷、學習單、學習成就測驗卷及上課感受量表四大類。

1. 前測問卷

前測問卷兩題，目的為再確認實驗組與對照組是否等質，並藉由問卷了解學生是否具有足夠的先備經驗，前測問卷如附錄。

(1) 信度

試卷效度採內容效度(Content Validity)與專家效度。內容效度指測驗题目的適切性與代表性，專家校度敦請指導教授及四位教學年資 10 年以上之數學科教師審閱後提供編修上之建議，並加以修正而成。

(2) 鑑別度與難易度

實驗教材為八年級課程，研究者於施測前先利用任教學校常態編班之九年級一個班約 30 人，進行鑑別度與難易度分析。將整體得分由高排到低排序後，取前 27% 為高分群，後 27% 為低分群，利用公式

$$\text{難度 } P = \frac{P_H + P_L}{2} \quad \text{鑑別度指數 } D = P_H - P_L$$

(P_H ：高分組該題的答對率； P_L ：低分組該題的答對率)

計算出前測卷整體難度.56，鑑別度.62，信度.715，故前測成績具有可信度。前測各題難度與鑑別度如表 3-28，信度如表 3-29

表 3-28

前測試卷難度與鑑別度

	平均	前測 1	前測 2	前測 3	前測 4	前測 5
難度	.56	.88	.73	.47	.45	.29
鑑別度	.62	.24	.55	.90	.82	.58

表 3-29

前測試卷信度

Cronbach's Alpha 值	項目的個數
.715	5

2. 學習成就測驗

學習成就測驗係由研究者依據實驗單元編製而成，編製與修正過程如下：

(1) 試題編擬

研究者根據八年級數學領域教科書「康軒版」課本、習作、教師手冊編製而成，完成試題共三題，皆為幾何說明題。

(2) 效度

試卷效度採內容效度(Content Valifity)與專家效度。內容效度指測驗题目的適切性與代表性，並透過雙向細目表來檢核評量目標與難易度，並邀請校內另一位資深數學老師共同檢核，一致性達.93。專家校度敦請指導教授及四位教學年資 10 年以上之數學科教師審閱後提供編修上之建議，經數次預試修訂之後定稿

(3) 鑑別度與難易度

後測試卷因難以找到同質性的預試樣本，故以雙向細目表進行內容效度檢核，同時與四位任教十年以上之數學老師共同討論制定，故具有專家效度。

實驗結束後，將整體後測得分由高排到低排序後，取前 27%為

高分群，後 27% 為低分群，利用公式

$$\text{難度 } P = \frac{P_H + P_L}{2} \quad \text{鑑別度指數 } D = P_H - P_L$$

(P_H ：高分組該題的答對率； P_L ：低分組該題的答對率)

計算出後測卷整體難度.44，鑑別度.70，信度.835，故後測成績具有可信度。

後測各題難度與鑑別度如表 3-30，信度如表 3-31

表 3-30

後測試卷難度與鑑別度

	平均	後 1	後 2	後 3	後 4	後 5	後 6	後 7	後 8
難度	0.44	0.54	0.27	0.55	0.55	0.42	0.37	0.48	0.38
鑑別度	0.70	0.48	0.52	0.79	0.81	0.72	0.62	0.92	0.75

表 3-31

後測試卷信度

Cronbach's Alpha 值	項目的個數
.835	8

(3) 評分量表

研究者以同一學校九年級學生 30 名進行預試，查看學生對於幾何說明題的可能性答案，並與兩位任教時二十年以上之數學老師依照學生的答題完整性共同建立幾何說明題給分的量表。評分標準如表 3-32

表 3-32

幾何證明 給分標準

分段	說明
給分	
0	<ul style="list-style-type: none"> ● 亂寫，毫無頭緒 ● 圖上標示完全與解題無關
1	<ul style="list-style-type: none"> ● 僅將題目給定的已知條件標示在圖上 ● 直接根據圖上的尺寸、角度 妄自猜測 ● 如：認定五芒星每個角都相等
2	<ul style="list-style-type: none"> ● 在圖上標示或利用算式表達局部幾何性質，如"三角形內角和 180"、"平角 180" ● 根據附圖，添加幾何性質 如題七中：$\angle A = \angle C$ or $\triangle ABE \sim \triangle CDE$
3	<ul style="list-style-type: none"> ● 舉例證明:利用數字代入，推得結果 ● 或有部分推理，但與結論無關 ● 證明過程不完整，上下式有大落差 ● 直接使用現階段未學到的幾何性質，如"圓心角=圓周角的 2 倍"
5	<ul style="list-style-type: none"> ● 在圖上推演或利用算式得到結論 ● 利用代數的方法，假設未知數，推得結論 ● 完整寫出證明，並陳述每個式子所依據的性質 ● 能將過程條理寫出

3. 上課感受量表

在認知處理過程中，不管是有效的內在增生負荷或是無效的外在增生負荷，都是抽象又無形的，很難透過科學化和標準化的測量來獲取。因此本研究採用 Eggemeier(1988)所提出的主觀測量法，實驗教學後由學生依上課內容、學習過程的直覺感受來填寫上課感受量表。

本研究使用之感受量表參酌左台益等人(2011)與呂鳳琳(2009)所採用之幾何證明閱讀理解感受量表並稍加修改。該量表從閱讀意願、困難度、花費心力、信心指數與投入努力等五個向度，來評估學生閱讀的感受，其中困難度及花費心力為反向題，量表具專家效度及良好的信度標準。本研究探討學生上課的感受，所以將其中「證明題」修改為「上課內容」，將「閱讀意願」改成「聽課意願」，並將原來的李克特氏量表由九點改成七點尺度測量（非常不同意—非常同意），詳見附錄 3

3-5 資料分析

本研究採量化分析，使用的資料分析軟體為 PASW 18.0 與 MS Excel2010，分析方法包括：二因子變異數分析、效果值、學習效率、投入分數、綜合學習效率與投入分數，茲說明如下：

3-5-1 二因子變異數分析(Two-Way ANOVA)

本研究資料之分析與處理係使用 PASW18.0 統計套裝軟體進行分析，其虛無假設的顯著水準 α 皆設為 .05 等級。若分析的顯著性 $p > .05$ ，代表接受虛無假設，即未達顯著差異，若顯著性 $p < .05$ ，代表拒絕虛無假設，即達顯著差異。欲分析資料有受試者上學期三次數學段考平均、前測分數，以及『外角定理』的學習成就測驗、上課感受量表。

由於本研究討論教學與硬體操控兩種因子對學生學習的影響及其交互作用是否顯著，故採用二因子變異數分析(Two-Way ANOVA)來檢驗兩個因子對學生學習成就測驗的影響及兩個因子因子間的交互作用。上課感受量表也採用二因子變異數分析來檢測各組是否有顯著不同及兩個因子間的交互作用

在二因子變異數分析之前，必須先做變異數同質性檢驗(F檢定)，以

確定變異數是否相等，若 $Sig > .05$ 代表兩變數無顯著的差異，也就是“假設兩個變項的變異數是相等的”，可以進行變異數分析；反之若 $Sig < .05$ 代表兩變數有顯著的差異，也就是“不假設兩個變項的變異數是相等的”，因此不能進行二因子變異數分析，需轉換數據或使用其他統計方法。

圖3-1為二因子變異數分析的流程圖。如果A、B兩個因子的交互作用存在而且是顯著的，就不個別看A、B兩因子的主效應是否顯著，而看A、B兩因子的簡單效應，也就是檢定在不同B類別下的A效應和不同A類別下的B效應。如果A、B兩個因子的交互作用不顯著，則可個別看A因子與B因子的主效果。

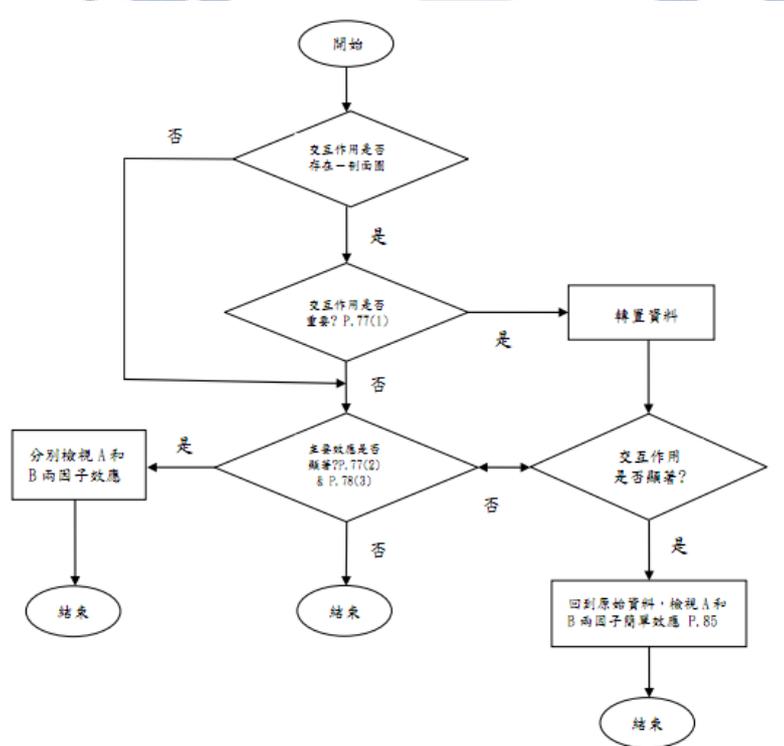


圖 3-1 二因子變異數分析流程圖

資料來源:(取自吳明隆, 2000),p.72

因為統計學家對於交互作用不顯著時，是否應再執行一個不含交互作用的二因子變異數分析，各有各的看法，尚無定論。本研究採用的是吳明隆(2000)所建議，使用含有交互作用的二因子變異數分析來檢定A或B的主效果。同時因為本研究教學因子與硬體操控因子都只有2個類別，

所以比較單純因子主效果即可，不需進行事後比較。

3-5-2 效果值(Effect Size)

除了檢驗統計上有無達到顯著的程度，我們也必須考量研究者所獲得的效果有用或有價值的程度大小，這就是效果值(Effect Size)的概念。

在 ANOVA 檢定中， η^2 是最常用來檢定效果值的方法，計算公式(1)如下：

$$\eta^2 = \frac{SS_{effect}}{SS_{total}} \quad (\text{SS 為平方和}) \dots\dots\dots(1)$$

由公式(1)可知， η^2 的範圍介於 0 至 1 之間，其意義就是指自變項可以解釋依變項變異數所佔的百分比。因而效果值愈大時，就表示依變異項可以被自變項解釋的百分比愈大；反之效果值愈小時，就表示依變異項可以被自變項解釋的百分比愈小。

Cohen(1988)提出， η^2 值在 .06 以下屬微弱關聯、在 .06~.14 之間屬中度關聯、在 .14 以上屬強度關聯。有鑑於以上因素，本研究將於透過單因子變異數分析確定該實驗檢定在 .05 顯著邊緣或達顯著時，即採用 η^2 來判斷教學效果值大小。

3-5-3 學習效率(Instructional Efficiency)

二因子變異數分析檢定的顯著性與效果值，只是單獨比較學習成就表現或上課感受的差異性，但學習表現相同不代表付出的心力也相同。若有兩個學習者學習成就表現相同，但是其中一位付出心力少，另一位付出心力多，我們就可以說前者的學習效率就比後者高。

認知負荷理論學者 Clark 等人(2006)提出了視覺化的學習效率 (Instructional Efficiency) 公式及效率圖像 (Efficiency Graph) 做為學習效率的評估方法。

先將任務表現分數及認知負荷量轉化成 Z 分數 (Z score)，學習效率的計算公式(2)如下，

$$E = \frac{Z_p - Z_c}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (2)$$

($Z = \frac{X - \bar{X}}{\sigma}$; Z_p = 學習成就表現分數 ; Z_c = 認知負荷分數)

若以認知負荷量為橫軸坐標，學習成就表現為縱軸坐標，即可把此二者的 Z 分數標示於坐標平面上，如圖 3-2 所示。

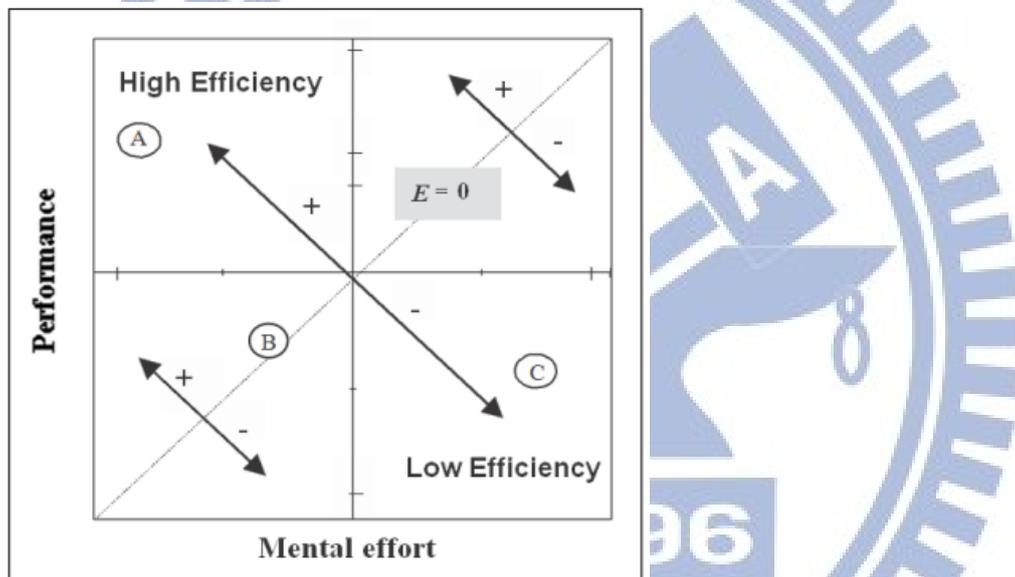


圖 3-2 學習效率

資料來源：(取自吳嘉惠,2011),p.77

如果畫出來的點落於 B 區，也就是直線 E=0 上，此時 $Z_p = Z_c$ ，代表認知負荷與學習成就表現是一致的。若點落在 A 區(直線左上方)，此時 $Z_p > Z_c$ ，代表學習者的學習成就表現高且認知負荷量低，即為高學習效率 (High-instructional Efficiency)；反之若點落於 C 區(直線右下方)，此時 $Z_p < Z_c$ ，代表學習者的學習成就表現差而認知負荷量高，即為低學習效率 (Low-instructional Efficiency)，

學習效率可用來當成教材呈現方式或教學策略影響學習效果的評估

指標，也可以看成個體所投入的心智努力對學習成效的貢獻程度。此外，學習效率也被認為是判斷專業知識反轉效應是否發生的一種方法(Clark, et al., 2006)，因此本研究亦將以此來評估各實驗之學習效率。

故在此研究中，也將利用學習效率來探討專業知識逆轉效應是否產生。而在學習效率中的其 Z_c 指以認知負荷分數進行計算。在之前諸多研究中，困難度常常被用來代表整體認知負荷，因此在計算學習效率時，有研究者採用心智努力(mental effort)，也有研究使用困難度(difficulty)作為 Z_c ，本研究採用心智努力當成 Z_c 。

3-5-4 投入分數 (Instructional Involvement Score)

Paas 從學習的動機來看，他認為學習者在學習前，會先評估學習的內容，如果認定是已先學過的或者內容過度簡單時，學習者將不會投入大量的心力去學習；然而對一個生手而言，雖然學習內容對其是困難的，但也是新鮮的、具有挑戰性的，因此他們往往願意投入更多的心力學習。當學習者投入很高時，其付出心力也會比較多，如果付出心力多，則表現自然比較好。

基於這樣的想法，Pass 同樣利用學習成就表現跟認知負荷的值，提出了學習投入分數 (Instructional Involvement Score) 的計算，計算公式(3)如下：

$$I = \frac{Z_p + Z_c}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

$$\left(Z = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} \right) ; Z_p = \text{學習成就表現分數} ; Z_c = \text{認知負荷分數}$$

學習投入分數之視覺化圖像如圖 3-3，如果畫出來的點落於直線 $I=0$ 的右上角區域表示高參與，如果畫出來的點落於直線 $I=0$ 的左下角區域表示低參與。藉此，不僅可觀察專業知識逆轉效應，也能順帶探究學生的投入狀況。

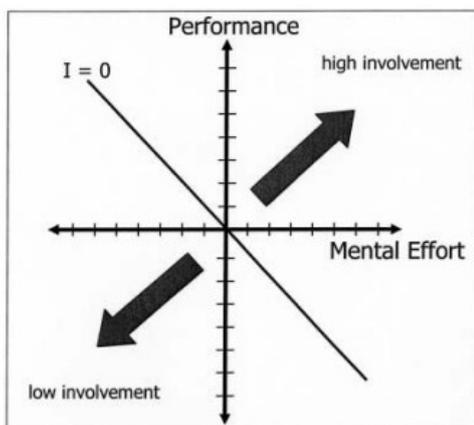


圖 3-3 投入分數

資料來源：(引自吳嘉惠, 2011),p.79

因為學習效率與投入分數計算時運用的數值是一樣的，兩者座標的縱軸與橫軸也是相同的，因此我們可以把這兩者的圖形重疊，如圖 3-4。此時 $E=0$ 與 $I=0$ 這兩條直線會互相垂直，並把座標平面分割成四個區塊。

在這四個區塊中，上方橘色區塊 I 為高效率高投入，是最理想狀態；下方灰色區塊 II 為低效率低投入，是最不理想狀態；而左側紫色區塊 III 為高效率低投入，右側黃色區塊 IV 為低效率高投入。

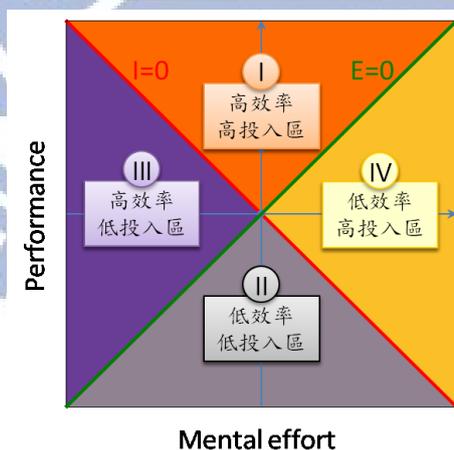


圖 3-4 綜合學習效率與投入分數

資料來源：(吳嘉惠, 2011) p. 59

第四章 研究結果與發現

本章將針對教學實驗後，受測學生所填寫之學習成就測驗及上課感受問卷數據進行分析。本章共分為四節，第一節探討不同教材與教學方式對學生學習成就表現影響及其交互作用，第二節探討不同教材與教學方式對學生認知負荷的影響及其交互作用，第三節探討不同教材與教學方式與認知負荷的相關性，第四節探討本研究的教材是否有產生專家反轉效應。

4-1 各組學生之學習成就方面

4-1-1 在整體學生階段學習成效方面

假設 1-1：

不同的教材設計與硬體操控模式對整體學生學習成就有顯著影響

假設 2-1：

不同教材設計與硬體操控模式對整體學生學習成就有顯著的交互作用

考驗假設 1-1 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同的教材設計與硬體操控模式對整體學生學習成就表現上沒有顯著的差異

考驗假設 2-1 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同教材設計與硬體操控模式對整體學生學習成就交互作用不顯著

由表 3-3 至表 3-8 可知各群組之整體學生立足點一致。為了解不同的教材設計與硬體操控模式對常態編班整體學生學習成就表現之影響及其交互作用是否顯著，以下將使用二因子變異數分析，檢驗各群組整體學生「後測總分」、「計算題得分」與「說明題得分」。各群組後測成績之描述性統計量如表 4-1

表 4-1
整體學生後測成績 平均及標準差摘要表

	組別	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>
後測總分	TAI 結合白板觸控	32	21.563	9.500	[18.14, 24.99]
	TAI 結合滑鼠操控	32	20.594	10.144	[16.94, 24.25]
	非 TAI 結合白板觸控	26	15.077	11.038	[10.62, 19.54]
	非 TAI 結合滑鼠操控	29	15.345	12.356	[10.64, 20.04]
	總和	119	18.370	11.024	[16.37, 20.37]
後測計算題	TAI 結合白板觸控	32	16.719	6.971	[14.21, 19.23]
	TAI 結合滑鼠操控	32	15.750	7.466	[13.06, 18.44]
	非 TAI 結合白板觸控	26	12.038	8.057	[8.78, 15.29]
	非 TAI 結合滑鼠操控	29	11.552	8.580	[8.29, 14.82]
	總和	119	14.176	7.985	[12.73, 15.63]
後測說明題	TAI 結合白板觸控	32	4.844	3.484	[3.59, 6.10]
	TAI 結合滑鼠操控	32	4.844	3.691	[3.51, 6.17]
	非 TAI 結合白板觸控	26	3.038	3.883	[1.47, 4.61]
	非 TAI 結合滑鼠操控	29	3.793	4.169	[2.21, 5.38]
	總和	119	4.193	3.827	[3.50, 4.89]

由 Levene 統計量可知「後測總分」、「後測計算題」與「後測說明題」皆未達到 .05 的顯著水準，表示整體學生後測成績之變異數皆具有同質性，可進行二因子變異數分析。整體學生後測成績之變異數同質性檢定如表 4-2。

表 4-2

整體學生後測成績 變異數同質性檢定

	Levene 檢定	分子自由度	分母自由度	顯著性
後測總分	2.329	3	115	.078
後測計算	1.294	3	115	.279
後測證明	1.757	3	115	.159

1. 以整體「後測總分」進行二因子變異數分析

將各群學生後測總分進行二因子變異數分析後得到 $F = 2.972, p = .035 < .05, \eta^2 = .072$ 達顯著水準，顯示各群學生後測總分有顯著的差異，且達到中度關聯。教學主效果 $F = 8.785, p = .004 < .05, \eta^2 = .071$ 達顯著水準，且達到中度關聯。硬體操控主效果 $F = .031, p = .860 > .05, \eta^2 = .000$ 未達顯著水準。故拒絕虛無假設 H_0 ，接受假設 1-1，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在整體學生學習成就上有差異。變異數分析摘要表如表 4-3

表 4-3

整體學生後測總分 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	2.972	.035*	.072
截距	1	336.074	.000	.745
教學	1	8.785	.004*	.071
硬體操控	1	.031	.860	.000
教學 * 硬體操控	1	.098	.755	.001
誤差	115			
總數	119			
校正後的總數	118			

圖 4-1 為整體學生後測總分的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .098$ ， $p = .755 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式對整體學生學習成就交互作用不顯著。

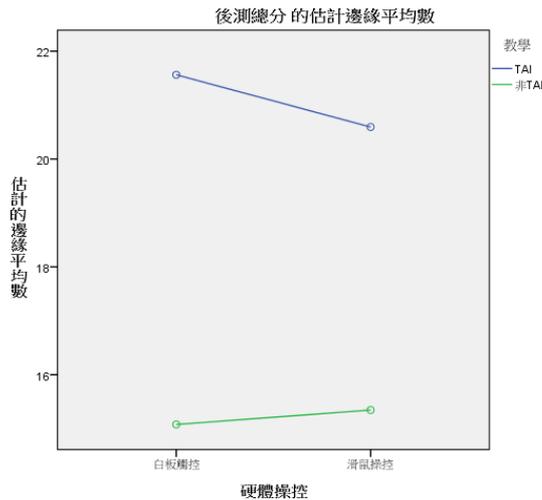


圖 4-1 整體學生後測總分二因子剖面圖

2. 以整體學生「後測計算題」進行二因子變異數分析

將各群學生後測計算題進行二因子變異數分析後得到 $F = 3.350$, $p = .022 < .05$, 效果值 $= .080$, 顯示各組有顯著差異, 且達中度關聯。教學主效果 $F = 9.674$, $p = .002 < .05$, $\eta^2 = .078$, 顯示各組有差異, 且達中度關聯。硬體操控主效果 $F = .260$, $p = .611 > .05$, $\eta^2 = .002$, 顯示各組無顯著差異。故拒絕虛無假設 H_0 , 接受假設 1-1, 顯示不同的教材設計與硬體操控模式在後測計算題上有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-4

表 4-4 整體學生後測計算題 變異數分析摘要表

來源	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
校正後的模式	3	3.350	.022*	.080
截距	1	385.663	.000	.770
教學	1	9.674	.002*	.078
硬體操控	1	.260	.611	.002
教學 * 硬體操控	1	.029	.866	.000
誤差	115			
總數	119			
校正後的總數	118			

圖 4-2 為整體學生後測計算題的二因子剖面圖, 交互作用因子 $F = .029$, $p = .886 > .05$, 並未達顯著水準, 故接受虛無假設 H_0 , 顯示不同教材設計

與硬體操控模式在後測計算題上交互作用不顯著。

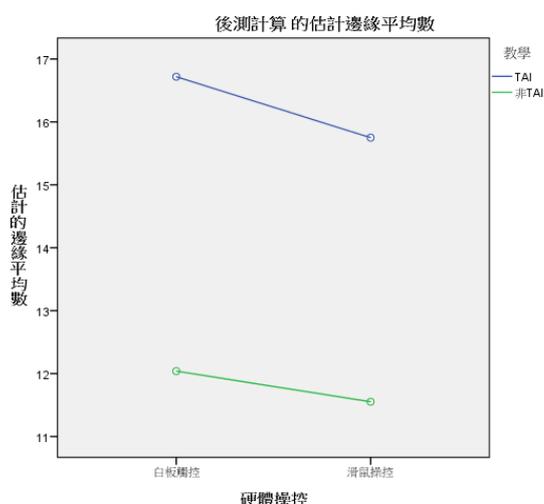


圖 4-2
整體學生後測計算題二因子剖面圖

3. 以整體學生「後測說明題」進行二因子變異數分析

將各群學生後測計算題進行二因子變異數分析後得到 $F = 1.531, p = .21 > .05, \eta^2 = .038$ ，顯示各組沒有顯著差異。教學主效果 $F = 4.166, p = .044 < .05, \eta^2 = .035$ ，顯示各組有顯著差異，且達低度關聯。硬體操控主效果 $F = .291, p = .591 > .05, \eta^2 = .003$ ，顯示各組無顯著差異。故拒絕虛無假設 H_0 ，接受假設 1-1，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在後測計算題上有差異。變異數分析摘要表如表 4-5

表 4-5
整體學生後測說明題 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	1.531	.210	.038
截距	1	139.391	.000	.548
教學	1	4.166	.044*	.035
硬體操控	1	.291	.591	.003
教學 * 硬體操控	1	.291	.591	.003
誤差	115			
總數	119			
校正後的總數	118			

圖 4-3 為整體學生後測說明題的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .291$ ， $p = .591 > .05$ ， $\eta^2 = .003$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在整體學生說明題交互作用不顯著。

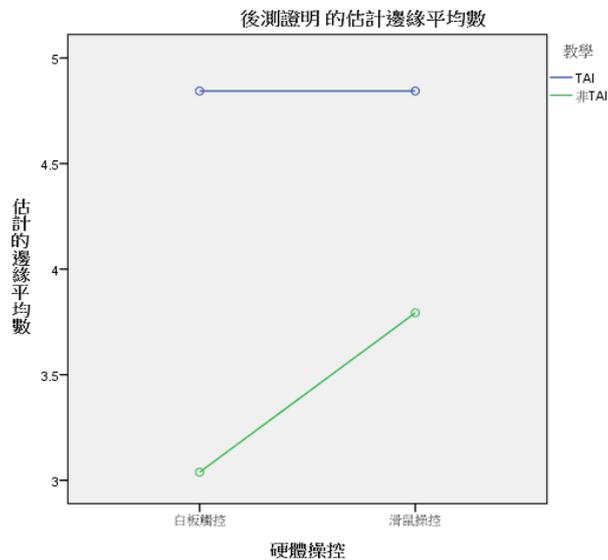


圖 4-3
整體學生後測說明題二因子剖面圖

4-1-2 在高成就學生階段學習成效方面

假設 1-2：

不同的教材設計與硬體操控模式對高成就學生學習成就有顯著影響

假設 2-2：

不同教材設計與硬體操控模式對高成就學生學習成就有顯著的交互作用。

考驗假設 1-2 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同的教材設計與硬體操控模式對高成就學生學習成就表現上沒有顯著的差異

考驗假設 2-2 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同教材設計與硬體操控模式對高成就學生學習成就交互作用不顯著。

由表 3-9 至表 3-14 可知各群組之高成就學生立足點一致。為了解不同的教材設計與硬體操控模式對常態編班高成就學生學習成就表現之影響及其交互作用是否顯著，以下將使用二因子變異數分析，檢驗各群組高成就學生「後測總分」、「計算題得分」與「說明題得分」。各群組高成就學生後測成績之描述性統計量如表 4-6

表 4-6 高成就學生後測成績 平均及標準差摘要表

	組別	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>
後測總分	TAI 結合白板觸控	9	32.222	6.667	[27.10, 37.35]
	TAI 結合滑鼠操控	10	30.700	3.945	[27.88, 33.52]
	非 TAI 結合白板觸控	3	31.667	5.033	[19.16, 44.17]
	非 TAI 結合滑鼠操控	10	28.300	3.945	[25.48, 31.12]
	總和	32	30.469	4.971	[28.68, 32.26]
後測計算題	TAI 結合白板觸控	9	24.000	4.359	[20.65, 27.35]
	TAI 結合滑鼠操控	10	22.500	3.206	[20.21, 24.79]
	非 TAI 結合白板觸控	3	22.333	5.033	[9.83, 34.84]
	非 TAI 結合滑鼠操控	10	20.100	2.424	[18.37, 21.83]
	總和	32	22.156	3.691	[20.83, 23.49]
後測說明題	TAI 結合白板觸控	9	8.222	2.682	[6.16, 10.28]
	TAI 結合滑鼠操控	10	8.200	1.932	[6.82, 9.58]
	非 TAI 結合白板觸控	3	9.333	1.155	[6.46, 12.20]
	非 TAI 結合滑鼠操控	10	8.200	2.201	[6.63, 9.77]
	總和	32	8.313	2.132	[7.54, 9.08]

由 Levene 統計量可知「後測總分」、「後測計算題」與「後測說明題」皆未達到 .05 的顯著水準，表示高成就學生後測成績之變異數皆具有同質性，可進行二因子變異數分析。高成就學生後測成績之變異數同質性檢定如表 4-7。

表 4-7
高成就學生後測成績 變異數同質性檢定

	Levene 檢定	分子自由度	分母自由度	顯著性
後測總分	1.413	3	28	.260
後測計算	1.105	3	28	.364
後測證明	2.565	3	28	.075

1. 以高成就學生「後測總分」進行二因子變異數分析

將各群高成就學生後測總分進行二因子變異數分析得到 $F = 1.082, p = .373 > .05, \eta^2 = .104$ ，未達顯著水準。教學主效果 $F = 1.082, p = .373 > 0.05, \eta^2 = .104$ 未達顯著水準。硬體操控主效果 $F = .553, p = .463 > 0.05, \eta^2 = .019$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在高成就學生學習成就上沒有差異。變異數分析摘要表如表 4-8

表 4-8
高成就學生後測總分 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	1.082	.373	.104
截距	1	955.887	.000	.972
教學	1	.553	.463	.019
操控	1	1.513	.229	.051
教學 * 操控	1	.215	.646	.008
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

圖 4-4 為高成就學生後測總分的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .215$ ， $p = .646 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式對高成就學生學習成就交互作用不顯著。

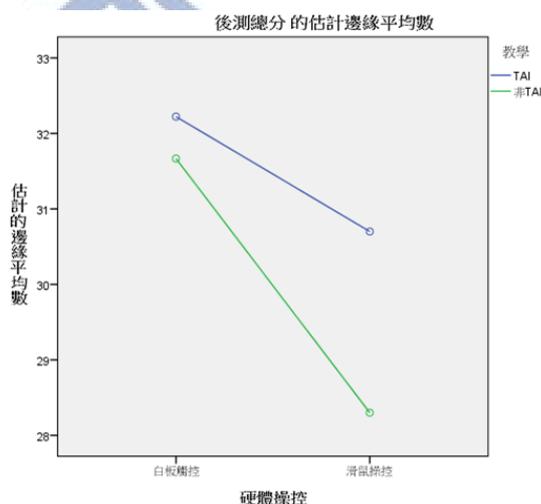


圖 4-4
高成就學生後測總分二因子剖面圖

2. 以高成就學生「後測計算題」進行二因子變異數分析

將各群高成就學生後測計算題進行二因子變異數分析後得到 $F=1.988, p = .139 > 0.05, \eta^2 = .176$ ，未達顯著水準。教學主效果 $F = 2.064, p = .162 > 0.05, \eta^2 = .069$ ，未達顯著水準。硬體操控主效果 $F = 1.740, p = .198 > 0.05, \eta^2 = .059$ ，未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在後測計算題上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-9

表 4-9
高成就學生後測計算題 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	1.988	.139	.176
截距	1	987.278	.000	.972
教學	1	2.064	.162	.069
硬體操控	1	1.740	.198	.059
教學 * 硬體操控	1	.067	.797	.002
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

圖 4-5 為高成就學生後測計算題的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .067, p = .797 > 0.05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在後測計算題上交互作用不顯著。

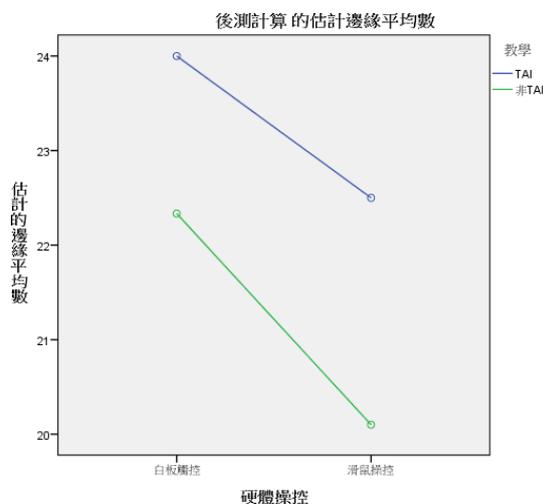


圖 4-5
高成就學生後測計算題二因子剖面圖

3. 以高成就學生「後測說明題」進行二因子變異數分析

將各群高成就學生後測說明題進行二因子變異數分析後得到 $F = .235$,
 $p = .872 > .05$, $\eta^2 = .025$, 未達顯著水準。教學主效果 $F = .390$,
 $p = .537 > 0.05$, $\eta^2 = .0145$, 未達顯著水準。硬體操控主效果
 $F = .422$, $p = .521 > 0.05$, $\eta^2 = .015$, 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 , 顯
 示不同的教材設計與硬體操控模式在後測說明題上沒有顯著差異。變異數分析摘
 要表如表 4- 10

表 4- 10
 高成就學生後測說明題 變異數分析摘要表

來源	df	F 檢定	顯著性	η^2
校正後的模式	3	.235	.872	.025
截距	1	364.533	.000	.929
教學	1	.390	.537	.014
硬體操控	1	.422	.521	.015
教學 * 硬體操控	1	.390	.537	.014
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

圖 4- 6 為高成就學生後測說明題的二因子剖面圖, 交互作用因子 $F = .235$,
 $p = .872 > .05$, $\eta^2 = .025$, 未達顯著水準, 故接受虛無假設 H_0 , 顯示不同教
 材設計與硬體操控模式在高成就學生說明題交互作用不顯著。

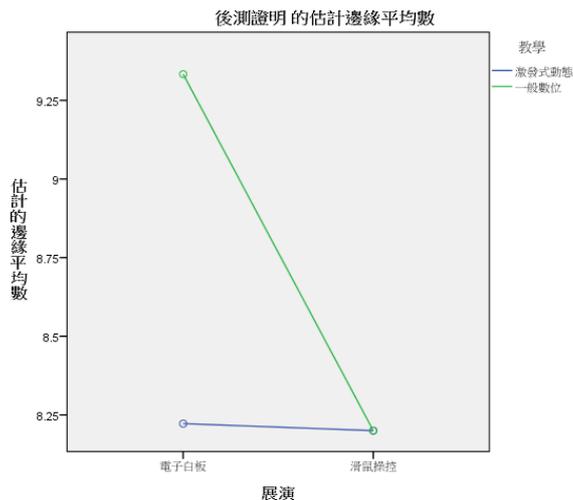


圖 4-6 高成就學生後測說明題二因子剖面圖

4-1-3 在中成就學生階段學習成效方面

假設 1-3：

不同的教材設計與硬體操控模式對中成就學生學習成就有顯著影響

假設 2-3：

不同教材設計與硬體操控模式對中成就學生學習成就有顯著的交互作用

考驗假設 1-3 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同的教材設計與硬體操控模式對中成就學生學習成就表現上沒有顯著的差異

考驗假設 2-3 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同教材設計與硬體操控模式對中成就學生學習成就交互作用不顯著

由表 3-15 至表 3-20 可知各群組之中成就學生立足點一致。為了解不同的教材設計與硬體操控模式對常態編班中成就學生學習成就表現之影響及其交互作用是否顯著，以下將使用二因子變異數分析，檢驗各群組中成就學生「後測總分」、「計算題得分」與「說明題得分」。各群組中成就學生後測成績之描述性統計量如表 4-11

表 4-11

中成就學生後測成績 平均及標準差摘要表

	組別	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>
後測總分	TAI 結合白板觸控	20	18.350	5.878	[15.60, 21.10]
	TAI 結合滑鼠操控	12	21.667	6.583	[17.48, 25.85]
	非 TAI 結合白板觸控	16	16.438	8.672	[11.82, 21.06]
	非 TAI 結合滑鼠操控	7	14.714	11.206	[4.35, 25.08]
	總和	55	18.055	7.809	[15.94, 20.17]
後測計算題	TAI 結合白板觸控	20	14.400	4.935	[12.09, 16.71]
	TAI 結合滑鼠操控	12	17.000	5.543	[13.48, 20.52]
	非 TAI 結合白板觸控	16	13.563	6.207	[10.25, 16.87]
	非 TAI 結合滑鼠操控	7	11.000	7.506	[4.06, 17.94]
	總和	55	14.291	5.915	[12.69, 15.89]
後測說明題	TAI 結合白板觸控	20	3.950	2.762	[2.66, 5.24]
	TAI 結合滑鼠操控	12	4.667	3.576	[2.39, 6.94]
	非 TAI 結合白板觸控	16	2.875	3.686	[0.91, 4.84]
	非 TAI 結合滑鼠操控	7	3.714	3.861	[0.14, 7.28]
	總和	55	3.764	3.339	[2.86, 4.67]

由 Levene 統計量可知「後測總分」、「後測計算題」與「後測說明題」皆未達到 .05 的顯著水準，表示中成就學生後測成績之變異數皆具有同質性，可進行二因子變異數分析。中成就學生後測成績之變異數同質性檢定如表 4-12。

表 4-12

中成就學生後測成績 變異數同質性檢定

	Levene 檢定	分子自由度	分母自由度	顯著性
後測總分	1.546	3	51	.214
後測計算	0.505	3	51	.680
後測證明	1.149	3	51	.338

1. 以中成就學生「後測總分」進行二因子變異數分析

將各群中成就學生後測總分進行二因子變異數分析得到 $F = 1.569$, $p = .208 > .05$, $\eta^2 = .084$ 未達顯著水準。教學主效果 $F = 3.925$, $p = .052 > 0.05$, $\eta^2 = .071$ 未達顯著水準。硬體操控主效果 $F = .126$, $p = .723 > 0.05$, $\eta^2 = .002$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在中成

就學生學習成就上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-13

表 4-13

中成就學生後測總分 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	1.569	.208	.085
截距	1	252.997	.061	.832
教學	1	3.925	.052	.071
硬體操控	1	.126	.723	.002
教學 * 硬體操控	1	1.269	.265	.024
誤差	51			
總數	55			
校正後的總數	54			

圖 4-7 為中成就學生後測總分的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = 1.269$, $p = .265 > 0.05$, $\eta^2 = .024$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在中成就學生學習成就上交互作用不顯著。

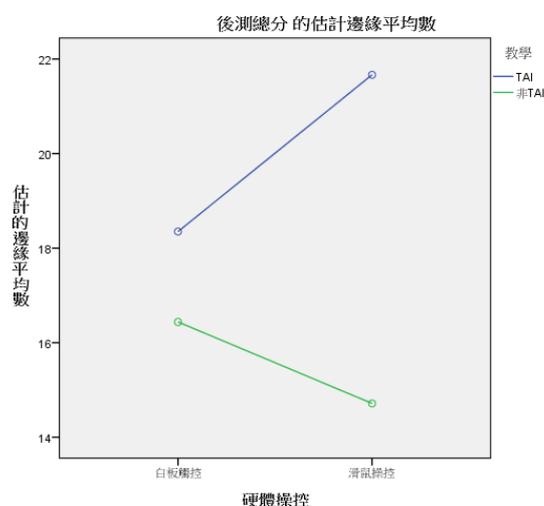


圖 4-7 中成就學生後測總分二因子剖面圖

2. 以中成就學生「後測計算題」進行二因子變異數分析

將各群中成就學生後測計算題進行二因子變異數分析後得到 $F = 1.709$, $p = .176 > 0.05$, $\eta^2 = .091$ ，未達顯著水準。教學主效果 $F = 4.101$, $p = .048 < 0.05$, $\eta^2 = .074$ ，顯示各組有顯著差異，且達中度關聯。硬體操控主效果 $F = .000$, $p = .991 > 0.05$, $\eta^2 = .418$ ，顯示各組無顯著差異。故拒絕虛無假設 H_0 ，接受假設 1-3，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在後測計算題上有

顯著差異。變異數分析摘要表如表 4- 14

表 4- 14

中成就學生後測計算題 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	1.709	.176	.091
截距	1	274.699	.529	.843
教學	1	4.101	.048*	.074
硬體操控	1	.000	.991	.418
教學 * 硬體操控	1	2.338	.132	.043
誤差	51			
總數	55			
校正後的總數	54			

圖 4- 8 為中成就學生後測計算題的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = 2.338$, $p = .132 > 0.05$, $\eta^2 = .043$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在後測計算題上交互作用不顯著。

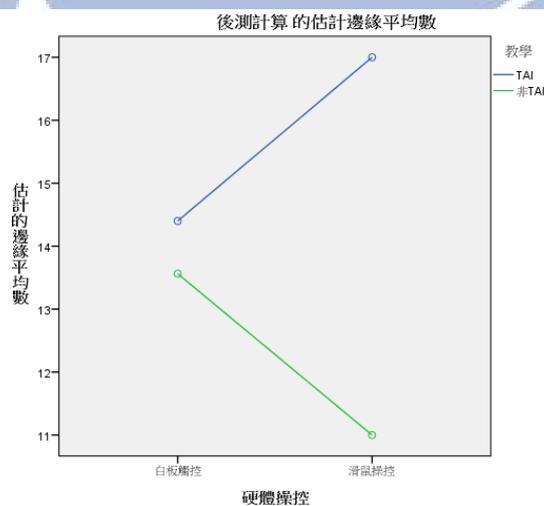


圖 4- 8

中成就學生後測計算題二因子剖面圖

3. 以中成就學生「後測說明題」進行二因子變異數分析

將各群中成就學生後測計算題進行二因子變異數分析後得到 $F = .679$, $p = .568 > .05$, $\eta^2 = .038$ ，未達顯著水準。教學主效果 $F = 1.069$, $p = .305 > 0.05$, $\eta^2 = .020$ ，未達顯著水準。硬體操控主效果 $F = .629$, $p = .431 > .05$, $\eta^2 = .012$ ，顯示各組無顯著差異。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在後測計算題上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-15

表 4-15
中成就學生後測說明題 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	.679	.568	.038
截距	1	60.155	.503	.541
教學	1	1.069	.305	.020
硬體操控	1	.629	.431	.012
教學 * 硬體操控	1	.003	.950	.669
誤差	51			
總數	55			
校正後的總數	54			

圖 4-9 為中成就學生後測說明題的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .003$ ， $p = .950 > .05$ ， $\eta^2 = .669$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在中成就學生說明題交互作用不顯著影響

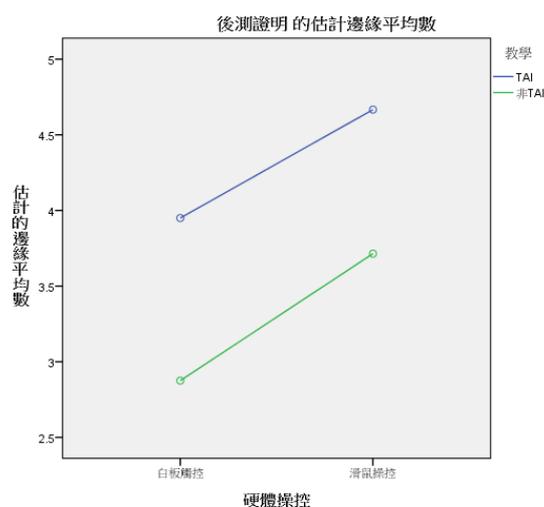


圖 4-9
中成就學生後測說明題二因子剖面圖

4-1-4 在低成就學生階段學習成效方面

假設 1-4：

不同的教材設計與硬體操控模式對低成就學生學習成就有顯著影響

假設 2-4：

不同教材設計與硬體操控模式對低成就學生學習成就有顯著的交互作用

考驗假設 1-4 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同的教材設計與硬體操控模式對低成就學生學習成就表現上沒有顯著的差異

考驗假設 2-4 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同教材設計與硬體操控模式對低成就學生學習成就交互作用不顯著

由表 3-21 至表 3-26 可知各群組之低成就學生立足點一致。為了解不同的教材設計與硬體操控模式對常態編班整體學生學習成就表現之影響及其交互作用是否顯著。以下將使用二因子變異數分析，檢驗各群組低成就學生「後測總分」、「計算題得分」與「說明題得分」。各群組低成就學生後測成績之描述性統計量如表 4-16

表 4-16
低成就學生後測成績 平均及標準差摘要表

	組別	n	M	SD	95% CI
後測總分	TA+電子白板	3	11.000	10.536	[-15.17, 37.17]
	TA+滑鼠操控	10	9.200	5.160	[5.51, 12.89]
	一般+電子白板	7	4.857	6.842	[-1.47, 11.18]
	一般+滑鼠操控組	12	4.917	5.992	[1.11, 8.72]
	總和	32	6.813	6.518	[4.46, 9.16]

(接下頁)

表 4-16(續)

	組別	n	M	SD	95% CI
後測計算題	TA+電子白板	3	10.333	9.609	[-13.54, 34.20]
	TA+滑鼠操控	10	7.500	3.979	[4.65, 10.35]
	一般+電子白板	7	4.143	5.815	[-1.23, 9.52]
	一般+滑鼠操控組	12	4.750	5.895	[1.00, 8.50]
	總和	32	6.000	5.775	[3.92, 8.08]
後測說明題	TA+電子白板	3	0.667	1.155	[-2.20, 3.54]
	TA+滑鼠操控	10	1.700	2.003	[0.27, 3.13]
	一般+電子白板	7	0.714	1.496	[-0.67, 2.10]
	一般+滑鼠操控組	12	0.167	0.389	[-0.08, 0.41]
	總和	32	0.813	1.469	[0.28, 1.34]

由 Levene 統計量可知「後測總分」與「後測計算題」未達到 .05 的顯著水準，表示「後測總分」與「後測計算題」之變異數皆具有同質性，可進行二因子變異數分析。而「後測說明題」達到 .05 的顯著水準，無法直接進行二因子變異數分析，經由對數、倒數轉換，依然達到 .05 的顯著水準，為避免統計錯誤，僅使用獨立樣本 T 檢定分別檢驗兩個因子的顯著性，而不檢驗交互作用。低成就學生後測成績之變異數同質性檢定如表 4-17。

表 4-17
低成就學生後測成績 變異數同質性檢定

	Levene 檢定	分子自由度	分母自由度	顯著性
後測總分	0.872	3	28	.467
後測計算	1.959	3	28	.143
後測證明	5.815	3	28	.003*

1. 以低成就學生「後測總分」進行二因子變異數分析

將各群低成就學生後測總分進行二因子變異數分析得到 $F = 1.473, p = .243 > .05, \eta^2 = .136$ 未達顯著水準。教學主效果 $F = 4.058, p = .053 > 0.05, \eta^2 = .126$ 未達顯著水準。硬體操控主效果 $F = .113, p = .739 > 0.05, \eta^2 = .004$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在低成就學生學習成就上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-18

表 4-18
低成就學生後測總分 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	1.473	.243	.136
截距	1	33.536	.216	.544
教學	1	4.058	.053	.126
硬體操控	1	.113	.739	.004
教學 * 硬體操控	1	.129	.722	.004
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

圖 4-10 為低成就學生後測總分的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .129$, $p = .722 > 0.05$, $\eta^2 = .004$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在低成就學生學習成就上交互作用不顯著。

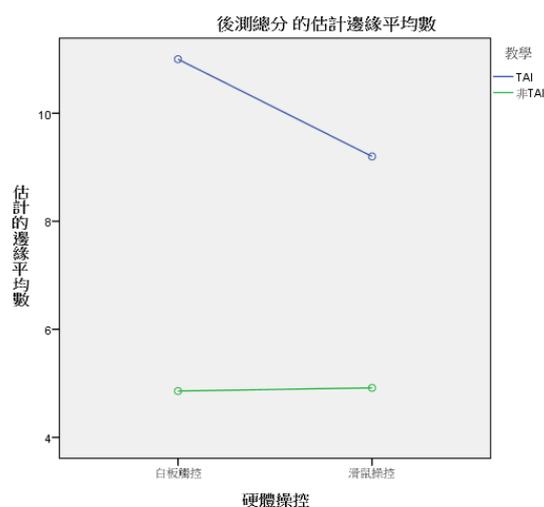


圖 4-10 低成就學生後測總分二因子剖面圖

2. 以低成就學生「後測計算題」進行二因子變異數分析

將各群低成就學生後測計算題進行二因子變異數分析後得到 $F = 1.245$, $p = .312 > 0.05$, $\eta^2 = .117$ ，顯示各組沒有顯著差異。教學主效果 $F = 3.720$, $p = .063 > 0.05$, $\eta^2 = .074$ ，顯示各組沒有顯著差異。硬體操控主效果 $F = .230$, $p = .634 > 0.05$, $\eta^2 = .008$ ，顯示各組無顯著差異。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在後測計算題上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-19

表 4-19
低成就學生後測計算題 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	1.245	.312	.117
截距	1	33.241	.445	.542
教學	1	3.720	.063	.117
硬體操控	1	.230	.634	.008
教學 * 硬體操控	1	.550	.464	.019
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

圖 4-11 為低成就學生後測計算題的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .550$, $p = .464 > 0.05$, $\eta^2 = .019$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在後測計算題上交互作用不顯著。

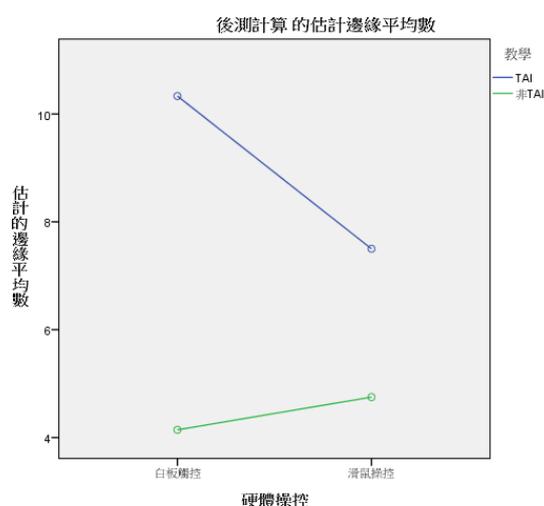


圖 4-11
低成就學生後測計算題二因子剖面圖

3. 以低成就學生「後測說明題」進行獨立樣本 T 檢定

教學因子部分，變異數同質性 Levene 檢定達顯著 ($F = 8.581$, $p = 0.006$)，即代表「TAI 結合滑鼠操控」與「非 TAI 結合滑鼠操控」的離散情形有明顯差別。由變異數不相等的假設，顯示 $t = 1.956$, $df = 16$, $p = 0.068$ ，呈現考驗結果未達顯著，因此兩組平均未達顯著差異。獨立樣本 T 檢定摘要表如表 4-20

表 4-20

低成就學生後測說明 教學因子獨立樣本 T 檢定摘要表

變項	TAI (<i>n</i> = 13)		非 TAI (<i>n</i> = 19)		<i>t</i> (16)	<i>p</i>	95% CI		Cohen's <i>d</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>			<i>LL</i>	<i>UL</i>	
後測 說明	1.46	1.854	0.37	0.955	1.956	0.068	-0.089	2.276	0.789

硬體操控因子部分，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著($F = 0.096$, $p = 0.759$)，即代表「電子白板」與「滑鼠操控」的離散情形沒有明顯差別。由變異數相等的假設，顯示 $t = -0.288$, $df = 30$, $p = 0.776$ ，呈現考驗結果未達顯著，因此兩組平均未達顯著差異。獨立樣本 T 檢定摘要表如表 4-21

表 4-21 低成就學生後測說明題 教學因子獨立樣本 T 檢定摘要表

變項	白板觸控 (<i>n</i> = 10)		滑鼠操控 (<i>n</i> = 22)		<i>t</i> (30)	<i>p</i>	95% CI		Cohen's <i>d</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>			<i>LL</i>	<i>UL</i>	
後測 說明	0.70	1.337	0.86	1.552	-0.288	0.776	-1.325	0.998	-0.110

4-2 各組學生認知負荷方面

不同教材設計與硬體操控模式對學生認知負荷的影響及其交互作用是否顯著。學生部分將按整體、高成就、中成就、低成就三個群體來討論。認知負荷將按照從「聽課意願」、「學習困難度」、「耗費心力」、「理解程度」、「耗費努力」五個方向來評估。

4-2-1 在整體學生認知負荷方面

假設 3-1：

不同的教材設計與硬體操控模式對整體學生認知負荷有顯著的差異

假設 4-1：

不同教材設計與硬體操控模式的交互作用對整體學生認知負荷有顯著影響

考驗假設 3-1 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同的教材設計與硬體操控模式在整體學生認知負荷上沒有顯著的差異

考驗假設 4-1 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同教材設計與硬體操控模式的交互作用在整體學生認知負荷上沒有顯著影響

表 4-22 為各組整體學生認知負荷之描述性統計量，為了解不同的教材設計與硬體操控模式在對於常態編班整體學生其認知負荷之影響及兩因子之交互作用是否顯著，以下將使用二因子變異數分析，檢驗各組整體學生「上課意願」、「困難度」、「耗費心力」、「理解程度」與「投入努力」

表 4-22
 整體學生上課感受 平均及標準差摘要表

	組別	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>
上課意願	TAI 結合白板觸控	32	5.625	1.454	[5.10, 6.15]
	TAI 結合滑鼠操控	32	5.500	1.626	[4.91, 6.09]
	非 TAI 結合白板觸控	26	5.269	1.485	[4.67, 5.87]
	非 TAI 結合滑鼠操控	29	4.724	1.306	[4.23, 5.22]
	總和	119	5.294	1.498	[5.02, 5.57]
困難度	TAI 結合白板觸控	32	3.188	1.355	[2.70, 3.68]
	TAI 結合滑鼠操控	32	3.281	1.853	[2.61, 3.95]
	非 TAI 結合白板觸控	26	3.154	1.541	[2.53, 3.78]
	非 TAI 結合滑鼠操控	29	3.690	1.628	[3.07, 4.31]
	總和	119	3.328	1.600	[3.04, 3.62]
耗費心力	TAI 結合白板觸控	32	3.281	1.464	[2.75, 3.81]
	TAI 結合滑鼠操控	32	3.375	1.963	[2.67, 4.08]
	非 TAI 結合白板觸控	26	3.154	1.405	[2.59, 3.72]
	非 TAI 結合滑鼠操控	29	3.966	1.569	[3.37, 4.56]
	總和	119	3.445	1.635	[3.15, 3.74]
理解程度	TAI 結合白板觸控	32	5.531	1.164	[5.11, 5.95]
	TAI 結合滑鼠操控	32	5.000	1.796	[4.35, 5.65]
	非 TAI 結合白板觸控	26	4.769	1.557	[4.14, 5.40]
	非 TAI 結合滑鼠操控	29	4.862	1.356	[4.35, 5.38]
	總和	119	5.059	1.497	[4.79, 5.33]
投入努力	TAI 結合白板觸控	32	4.031	1.694	[3.42, 4.64]
	TAI 結合滑鼠操控	32	4.219	1.913	[3.53, 4.91]
	非 TAI 結合白板觸控	26	4.346	1.441	[3.76, 4.93]
	非 TAI 結合滑鼠操控	29	4.414	1.500	[3.84, 4.98]
	總和	119	4.244	1.647	[3.94, 4.54]

由 Levene 統計量可知「上課意願」、「困難度」、「耗費心力」、「理解程度」與「投入努力」皆未達到 .05 的顯著水準，表示整體學生認知負荷之變異數皆具有同質性，可進行二因子變異數分析。整體學生認知負荷之變異數同質性檢定如表 4-23

表 4-23

整體學生認知負荷 變異數同質性檢定

	Levene 檢定	分子自由度	分母自由度	顯著性
上課意願	0.887	3	115	.450
困難度	0.737	3	115	.532
耗費心力	1.402	3	115	.245
理解程度	2.358	3	115	.075
投入努力	2.077	3	115	.107

1. 以整體「上課意願」進行二因子變異數分析

將各群整體學生上課意願進行二因子變異數分析得到 $F = 2.189, p = .093 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = 4.342, p = .039 < .05, \eta^2 = .036$ 達顯著水準，且達到高度關聯；硬體操控主效果 $F = 1.523, p = .219 > .05$ 未達顯著水準。故拒絕虛無假設 H_0 ，接受假設 3-1，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在整體學生上課意願上有差異。變異數分析摘要表如表 4-24

表 4-24

整體學生上課意願 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	2.189	.093	.054
截距	1	1,512.199	.230	.929
教學	1	4.342	.039*	.036
硬體操控	1	1.523	.219	.013
教學 * 硬體操控	1	.598	.440	.005
誤差	115			
總數	119			
校正後的總數	118			

圖 4-12 為整體學生上課意願的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .598, p = .440 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在整體學生上課意願交互作用不顯著。

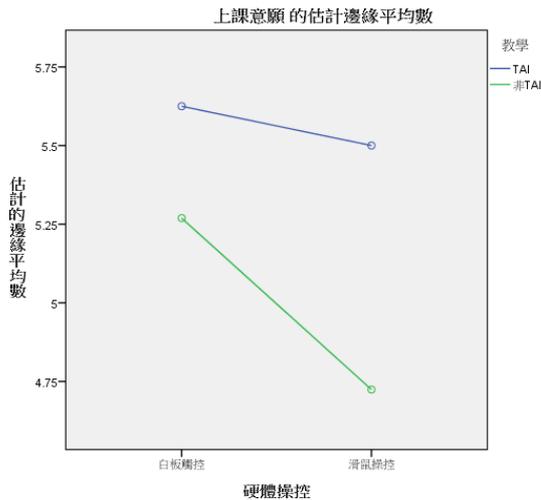


圖 4-12 整體學生上課意願二因子剖面圖

2. 以整體「困難度」進行二因子變異數分析

將各群整體學生困難度進行二因子變異數分析得到 $F = .682, p = .564 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = 1.04, p = .401 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = 1.133, p = .289 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在整體學生困難度上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-25

表 4-25

整體學生困難度 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	.682	.564	.017
截距	1	506.732	.917	.815
教學	1	.401	.527	.003
硬體操控	1	1.133	.289	.009
教學 * 硬體操控	1	.558	.456	.004
誤差	115			
總數	119			
校正後的總數	118			

圖 4-13 為整體學生困難度二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .558, p = .456 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式對整體學生困難度交互作用不顯著。

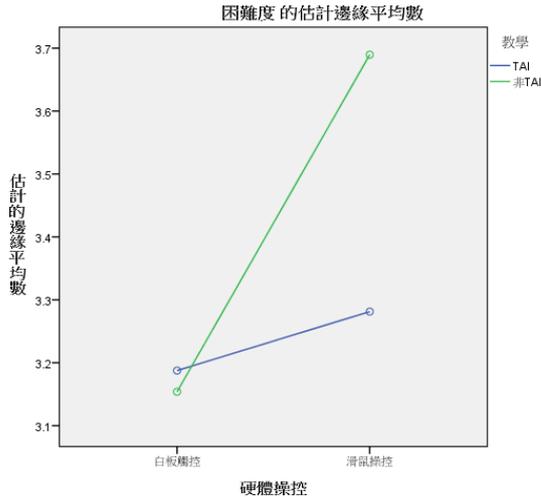


圖 4-13 整體學生困難度二因子剖面圖

3. 以整體「耗費心力」進行二因子變異數分析

將各群整體學生耗費心力進行二因子變異數分析得到 $F = 1.395, p = .247 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = .598, p = .440 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = 2.287, p = .133 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在整體學生耗費心力上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-26

表 4-26

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	1.395	.247	.035
截距	1	529.456	.482	.821
教學	1	.598	.440	.005
硬體操控	1	2.287	.133	.019
教學 * 硬體操控	1	1.438	.232	.012
誤差	115			
總數	119			
校正後的總數	118			

圖 4-14 為整體學生耗費心力的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = 1.438$ ， $p = .232 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在整體學生耗費心力上交互作用不顯著。

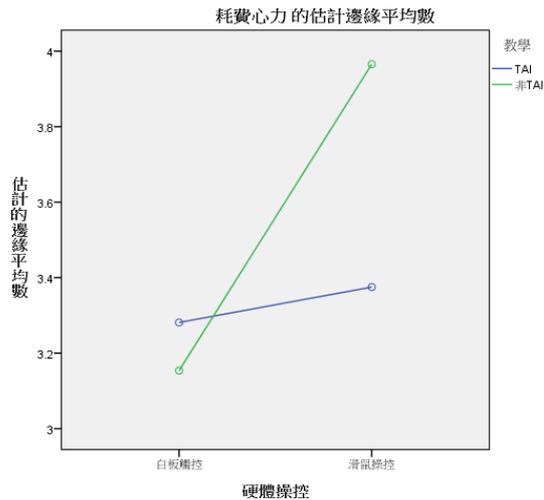


圖 4-14 整體學生耗費心力二因子剖面圖

4. 以整體「理解程度」進行二因子變異數分析

將各群整體學生理解程度進行二因子變異數分析得到 $F = 1.593, p = .194 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = 2.707, p = .102 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = .642, p = .424 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在整體學生理解程度上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-27

表 4-27

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	1.593	.194	.039
截距	1	1,358.748	.562	.921
教學	1	2.707	.102	.022
硬體操控	1	.642	.424	.005
教學 * 硬體操控	1	1.302	.256	.011
誤差	115			
總數	119			
校正後的總數	118			

圖 4-15 為整體學生理解程度的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = 1.302, p = .256 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在整體學生理解程度上交互作用不顯著。

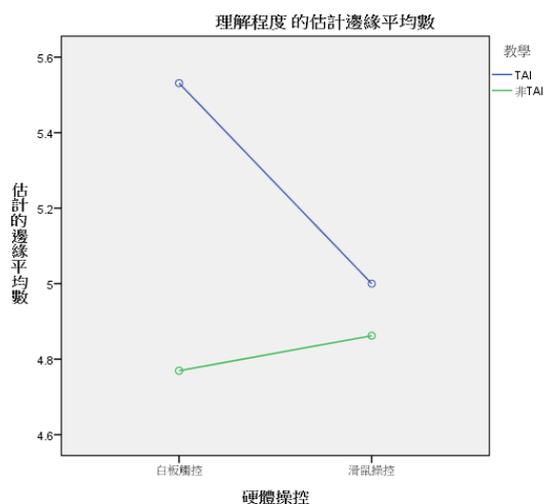


圖 4-15 整體學生理解程度二因子剖面圖

5. 以整體「投入努力」進行二因子變異數分析

將各群整體學生投入努力進行二因子變異數分析得到 $F = .311, p = .817 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = .695, p = .405 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = .174, p = .677 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在整體學生投入努力上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-28

表 4-28

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	.311	.817	.008
截距	1	774.097	.694	.870
教學	1	.695	.405	.006
硬體操控	1	.174	.677	.001
教學 * 硬體操控	1	.038	.844	.000
誤差	115			
總數	119			
校正後的總數	118			

圖 4-16 為整體學生投入努力的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = 1.302, p = .256 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在整體學生投入努力上交互作用不顯著。

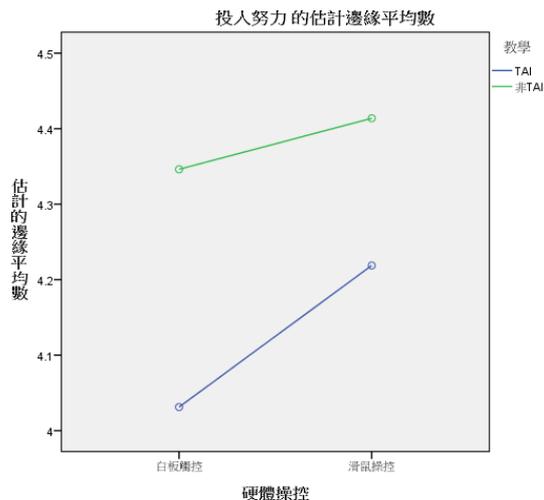


圖 4-16 整體學生投入努力二因子剖面圖

4-2-2 在高成就學生認知負荷方面

假設 3-2：

不同的教材設計與硬體操控模式對高成就學生認知負荷有顯著的差異

假設 4-2：

不同教材設計與硬體操控模式對高成就學生認知負荷有顯著的交互作用

考驗假設 3-2 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同的教材設計與硬體操控模式在高成就學生認知負荷上沒有顯著的差異

考驗假設 4-2 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同教材設計與硬體操控模式在高成就學生認知負荷上交互作用不顯著

表 4-29 為各組高成就學生認知負荷之描述性統計量，為了解不同的教材設計與硬體操控模式在對於常態編班高成就學生其認知負荷之影響及兩因子之交互作用是否顯著，以下將使用二因子變異數分析，檢驗各

組高成就學生「上課意願」、「困難度」、「耗費心力」、「理解程度」與「投入努力」。

表 4-29
高成就學生認知負荷 平均及標準差摘要表

	組別	n	M	SD	95% CI
上課意願	TAI 結合白板觸控	9	5.778	0.972	[5.03, 6.52]
	TAI 結合滑鼠操控	10	5.700	1.337	[4.74, 6.66]
	非 TAI 結合白板觸控	3	5.333	1.155	[2.46, 8.20]
	非 TAI 結合滑鼠操控	10	5.300	1.418	[4.29, 6.31]
	總和	32	5.563	1.216	[5.12, 6.00]
困難度	TAI 結合白板觸控	9	2.333	1.118	[1.47, 3.19]
	TAI 結合滑鼠操控	10	2.500	1.650	[1.32, 3.68]
	非 TAI 結合白板觸控	3	2.000	1.732	[-2.30, 6.30]
	非 TAI 結合滑鼠操控	10	2.700	1.337	[1.74, 3.66]
	總和	32	2.469	1.367	[1.98, 2.96]
耗費心力	TAI 結合白板觸控	9	2.556	1.590	[1.33, 3.78]
	TAI 結合滑鼠操控	10	2.600	1.265	[1.70, 3.50]
	非 TAI 結合白板觸控	3	1.667	1.155	[-1.20, 4.54]
	非 TAI 結合滑鼠操控	10	3.100	1.792	[1.82, 4.38]
	總和	32	2.656	1.516	[2.11, 3.20]
理解程度	TAI 結合白板觸控	9	6.444	1.014	[5.67, 7.22]
	TAI 結合滑鼠操控	10	5.800	1.619	[4.64, 6.96]
	非 TAI 結合白板觸控	3	6.000	1.000	[3.52, 8.48]
	非 TAI 結合滑鼠操控	10	5.600	1.430	[4.58, 6.62]
	總和	32	5.938	1.343	[5.45, 6.42]
投入努力	TAI 結合白板觸控	9	3.111	1.616	[1.87, 4.35]
	TAI 結合滑鼠操控	10	4.300	1.567	[3.18, 5.42]
	非 TAI 結合白板觸控	3	3.667	2.309	[-2.07, 9.40]
	非 TAI 結合滑鼠操控	10	3.500	1.650	[2.32, 4.68]
	總和	32	3.656	1.658	[3.06, 4.25]

由 Levene 統計量可知「上課意願」、「困難度」、「耗費心力」、「理解程度」與「投入努力」皆未達到 .05 的顯著水準，表示高成就學生認知負荷之變異數皆具有同質性，可進行二因子變異數分析。高成就學生認知負荷之變異數同質性檢定如表 4-30。

表 4-30
高成就學生認知負荷 變異數同質性檢定

	Levene 檢定	分子自由度	分母自由度	顯著性
上課意願	0.310	3	28	.817
困難度	0.924	3	28	.441
耗費心力	0.286	3	28	.835
理解程度	1.125	3	28	.355
投入努力	0.376	3	28	.770

1. 以高成就學生「上課意願」進行二因子變異數分析

將各群高成就學生上課意願進行二因子變異數分析得到 $F = .305, p = .821 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = .697, p = .410 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = .012, p = .913 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在高成就學生上課意願上沒有差異。變異數分析摘要表如表 4-31

表 4-31
高成就學生上課意願 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	.305	.821	.031
截距	1	478.182	.854	.944
教學	1	.697	.410	.024
硬體操控	1	.012	.913	.000
教學 * 硬體操控	1	.001	.965	.899
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

圖 4-17 為整體學生上課意願的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .001, p = .965 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式對高成就學生上課意願交互作用不顯著。

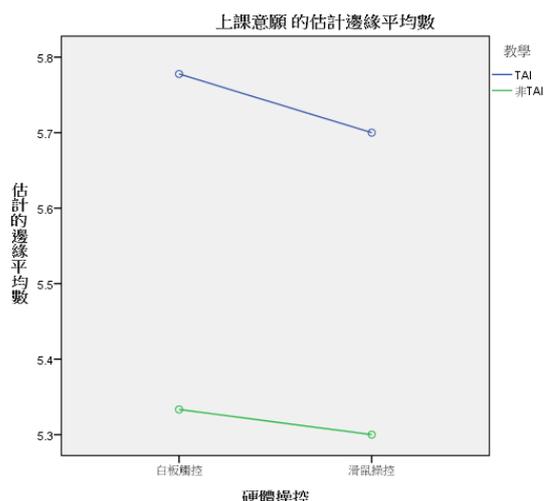


圖 4-17 高成就學生上課意願二因子剖面圖

2. 以高成就學生「困難度」進行二因子變異數分析

將各群高成就學生困難度進行二因子變異數分析得到 $F = .225, p = .877 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = .013, p = .907 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = .576, p = .454 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在高成就學生困難度上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-32

表 4-32

高成就學生困難度 變異數分析摘要表

來源	df	F 檢定	顯著性	η^2
校正後的模式	3	.225	.877	.023
截距	1	69.766	.361	.713
教學	1	.013	.907	.000
硬體操控	1	.576	.454	.020
教學 * 硬體操控	1	.218	.643	.007
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

圖 4-18 為高成就學生困難度二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .218, p = .643 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在高成就學生困難度上交互作用不顯著。

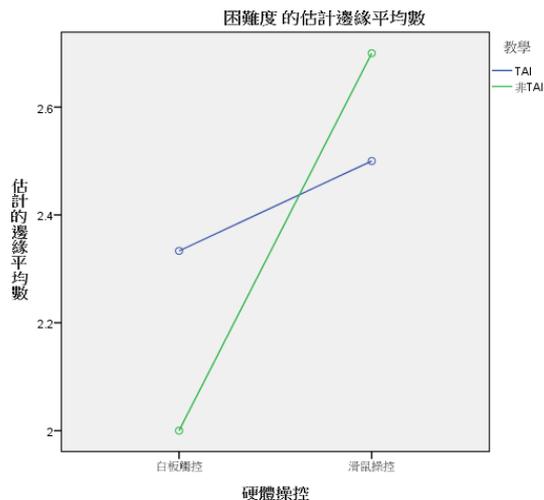


圖 4-18 高成就學生困難度二因子剖面圖

3. 以高成就學生「耗費心力」進行二因子變異數分析

將各群高成就學生耗費心力進行二因子變異數分析得到 $F = .709, p = .554 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = .099, p = .755 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = 1.434, p = .241 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在高成就學生耗費心力上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-33

表 4-33 高成就學生耗費心力 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	.709	.554	.070
截距	1	64.626	.387	.697
教學	1	.099	.755	.003
硬體操控	1	1.434	.241	.048
教學 * 硬體操控	1	1.266	.270	.043
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

圖 4-19 為高成就學生耗費心力的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = 1.266, p = .270 > .05$ ，未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式對高成就學生耗費心力交互作用不顯著。

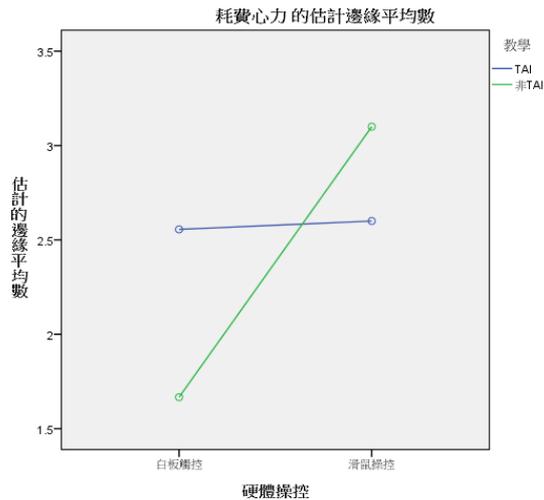


圖 4-19 高成就學生耗費心力二因子剖面圖

4. 以高成就學生「理解程度」進行二因子變異數分析

將各群高成就學生理解程度進行二因子變異數分析得到 $F = .652, p = .587 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = .345, p = .561 > .05$ 未達顯著水準。而硬體操控主效果 $F = .907, p = .348 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在高成就學生理解程度上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-34

表 4-34 高成就學生理解程度 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	.652	.587	.065
截距	1	473.033	.448	.944
教學	1	.345	.561	.012
硬體操控	1	.907	.348	.031
教學 * 硬體操控	1	.049	.825	.001
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

圖 4-20 為高成就學生理解程度的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .049, p = .825 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在高成就學生理解程度上交互作用不顯著。

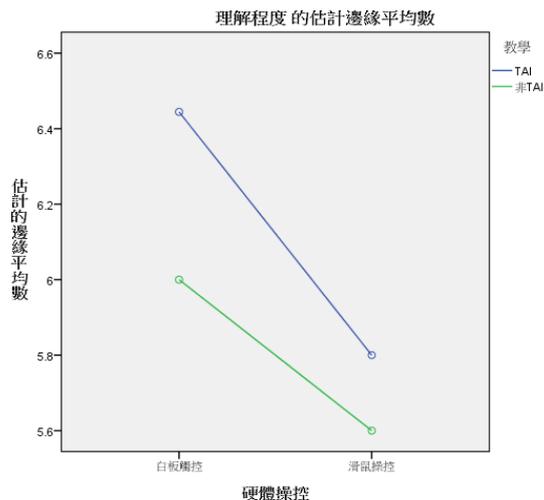


圖 4-20 高成就學生理解程度二因子剖面圖

5. 以高成就學生「投入努力」進行二因子變異數分析

將各群高成就學生投入努力進行二因子變異數分析得到 $F = .843, p = .481 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = .033, p = .856 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = .580, p = .452 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在高成就學生投入努力上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-35

表 4-35 高成就學生投入努力 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	.843	.481	.082
截距	1	118.140	.481	.808
教學	1	.033	.856	.001
硬體操控	1	.580	.452	.020
教學 * 硬體操控	1	1.022	.320	.035
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

圖 4-21 為高成就學生投入努力的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = 1.022, p = .320 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在高成就學生投入努力上交互作用不顯著。

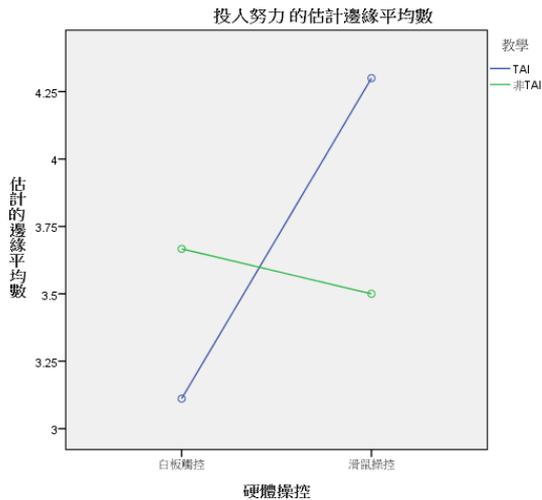


圖 4-21 高成就學生投入努力二因子剖面圖

4-2-3 在中成就學生認知負荷方面

假設 3-3：

不同的教材設計與硬體操控模式對中成就學生認知負荷有顯著的差異

假設 4-3：

不同教材設計與硬體操控模式對中成就學生認知負荷有顯著的交互作用

考驗假設 3-3 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同的教材設計與硬體操控模式在中成就學生認知負荷上沒有顯著的差異

考驗假設 4-3 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同教材設計與硬體操控模式在中成就學生認知負荷上交互作用不顯著

表 4-36 為組中成就學生認知負荷之描述性統計量，為了解不同的教材設計與硬體操控模式對於常態編班中成就學生其認知負荷之影響及其

交互作用是否顯著，以下將使用二因子變異數分析，檢驗各組中成就學生「上課意願」、「困難度」、「耗費心力」、「理解程度」與「投入努力」。

表 4-36
中成就學生認知負荷 平均及標準差摘要表

	組別	n	M	SD	95% CI
上課意願	TAI 結合白板觸控	20	5.600	1.729	[4.79, 6.41]
	TAI 結合滑鼠操控	12	5.417	1.881	[4.22, 6.61]
	非 TAI 結合白板觸控	16	5.313	1.662	[4.43, 6.20]
	非 TAI 結合滑鼠操控	7	4.714	1.496	[3.33, 6.10]
	總和	55	5.364	1.693	[4.91, 5.82]
困難度	TAI 結合白板觸控	20	3.400	1.353	[2.77, 4.03]
	TAI 結合滑鼠操控	12	3.583	2.021	[2.30, 4.87]
	非 TAI 結合白板觸控	16	2.875	1.455	[2.10, 3.65]
	非 TAI 結合滑鼠操控	7	3.429	2.070	[1.51, 5.34]
	總和	55	3.291	1.618	[2.85, 3.73]
耗費心力	TAI 結合白板觸控	20	3.500	1.395	[2.85, 4.15]
	TAI 結合滑鼠操控	12	3.417	1.929	[2.19, 4.64]
	非 TAI 結合白板觸控	16	3.063	1.340	[2.35, 3.78]
	非 TAI 結合滑鼠操控	7	3.714	1.380	[2.44, 4.99]
	總和	55	3.382	1.484	[2.98, 3.78]
理解程度	TAI 結合白板觸控	20	5.200	1.056	[4.71, 5.69]
	TAI 結合滑鼠操控	12	4.833	1.850	[3.66, 6.01]
	非 TAI 結合白板觸控	16	4.875	1.708	[3.96, 5.79]
	非 TAI 結合滑鼠操控	7	5.143	1.215	[4.02, 6.27]
	總和	55	5.018	1.446	[4.63, 5.41]
投入努力	TAI 結合白板觸控	20	4.350	1.694	[3.56, 5.14]
	TAI 結合滑鼠操控	12	3.917	2.109	[2.58, 5.26]
	非 TAI 結合白板觸控	16	4.500	1.317	[3.80, 5.20]
	非 TAI 結合滑鼠操控	7	4.571	1.618	[3.07, 6.07]
	總和	55	4.327	1.656	[3.88, 4.77]

由 Levene 統計量可知「上課意願」、「困難度」、「耗費心力」、「理解程度」與「投入努力」皆未達到.05 的顯著水準，表示中成就學生認知負荷之變異數皆具有同質性，可進行二因子變異數分析。中成就學生認知負荷之變異數同質性檢定如表 4-37。

表 4- 37

中成就學生認知負荷 變異數同質性檢定

	Levene 檢定	分子自由度	分母自由度	顯著性
上課意願	0.499	3	51	.684
困難度	1.058	3	51	.375
耗費心力	0.629	3	51	.599
理解程度	2.338	3	51	.084
投入努力	1.454	3	51	.237

1. 以中成就學生「上課意願」進行二因子變異數分析

將各群中成就學生上課意願進行二因子變異數分析得到 $F = .467, p = .705 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = .979, p = .326 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = .610, p = .438 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在中成就學生上課意願上沒有差異。

變異數分析摘要表如表 4- 38

表 4- 38

中成就學生上課意願 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	.467	.705	.026
截距	1	442.819	.429	.896
教學	1	.979	.326	.018
硬體操控	1	.610	.438	.011
教學 * 硬體操控	1	.172	.679	.003
誤差	51			
總數	55			
校正後的總數	54			

圖 4- 22 為中成就學生上課意願的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .172, p = .679 > .05$ ，未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式對成就學生上課意願無顯著的交互作用。

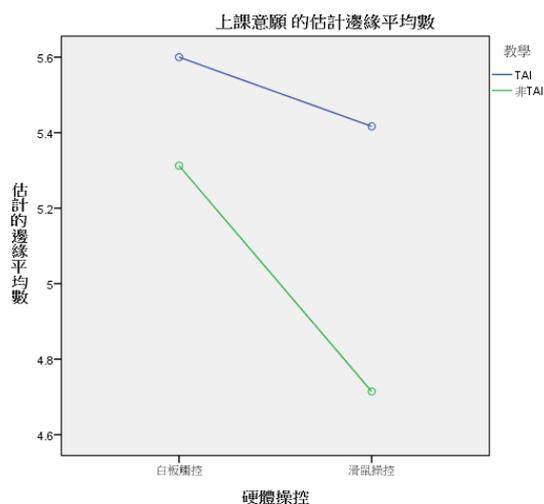


圖 4-22 中成就學生上課意願二因子剖面圖

2. 以中成就學生「困難度」進行二因子變異數分析

將各群中成就學生困難度進行二因子變異數分析得到 $F = .516, p = .673 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = .507, p = .479 > .05$ 未達顯著水準，而硬體操控主效果 $F = .596, p = .443 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在中成就學生困難度上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-39

表 4-39

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	.516	.673	.029
截距	1	193.785	.292	.791
教學	1	.507	.479	.009
硬體操控	1	.596	.443	.011
教學 * 硬體操控	1	.150	.699	.002
誤差	51			
總數	55			
校正後的總數	54			

圖 4-23 為中成就學生困難度二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .150$ ， $p = .699 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在中成就學生困難度上無顯著的交互作用。

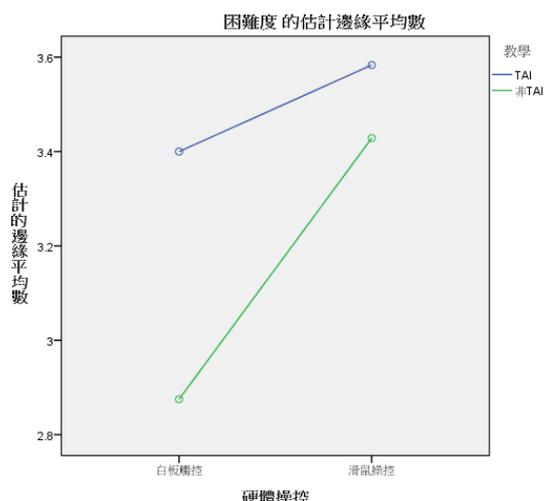


圖 4-23 中成就學生困難度二因子剖面圖

3. 以中成就學生「耗費心力」進行二因子變異數分析

將各群中成就學生耗費心力進行二因子變異數分析得到 $F = .394, p = .757 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = .025, p = .874 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = .418, p = .520 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在中成就學生耗費心力上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-40

表 4-40

中成就學生耗費心力 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	.394	.757	.022
截距	1	242.816	.929	.826
教學	1	.025	.874	.000
硬體操控	1	.418	.520	.008
教學 * 硬體操控	1	.699	.406	.013
誤差	51			
總數	55			
校正後的總數	54			

圖 4-24 為中成就學生耗費心力的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = 1.266, p = .270 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在中成就學生耗費心力上無顯著的交互作用。

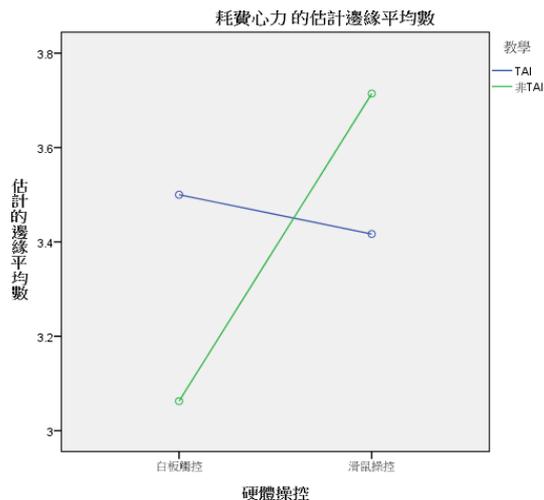


圖 4-24 中成就學生耗費心力二因子剖面圖

4. 以中成就學生「理解程度」進行二因子變異數分析

將各群中成就學生理解程度進行二因子變異數分析得到 $F = .229, p = .875 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = .000, p = .985 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = .013, p = .909 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在中成就學生理解程度上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-41

表 4-41

中成就學生理解程度 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	.229	.875	.013
截距	1	543.094	.490	.914
教學	1	.000	.985	.343
硬體操控	1	.013	.909	.000
教學 * 硬體操控	1	.543	.464	.010
誤差	51			
總數	55			
校正後的總數	54			

圖 4-25 為中成就學生理解程度的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .543, p = .464 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在中成就學生理解程度上交互作用不顯著。

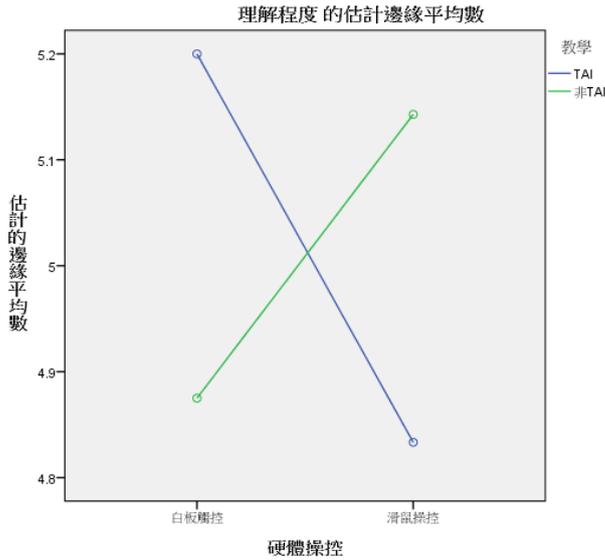


圖 4-25 中成就學生理解程度二因子剖面圖

5. 以中成就學生「投入努力」進行二因子變異數分析

將各群中成就學生投入努力進行二因子變異數分析得到 $F = .342, p = .794 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = .671, p = .416 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = .135, p = .713 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在中成就學生投入努力上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-42

表 4-42 中成就學生投入努力 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	.342	.794	.019
截距	1	311.789	.235	.859
教學	1	.671	.416	.012
硬體操控	1	.135	.713	.002
教學 * 硬體操控	1	.264	.609	.005
誤差	51			
總數	55			
校正後的總數	54			

圖 4-26 為中成就學生投入努力的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = 1.022$,

$p = .320 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在中成就學生投入努力上交互作用不顯著。

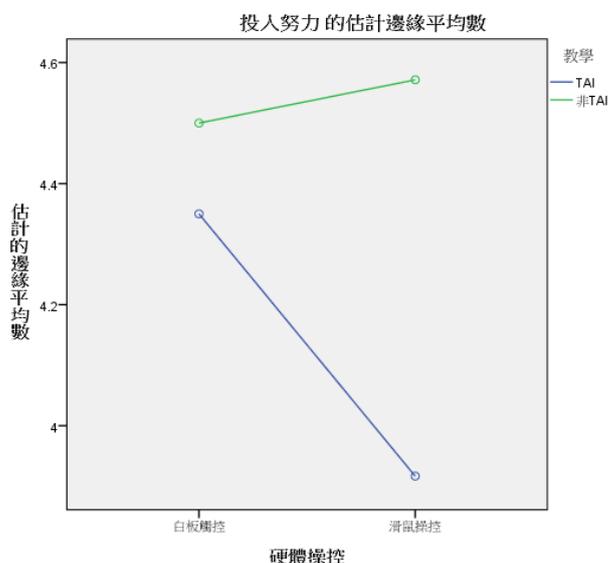


圖 4-26 中成就學生投入努力二因子剖面圖

4-2-4 在低成就學生認知負荷方面

假設 3-4：

不同的教材設計與硬體操控模式對低成就學生認知負荷有顯著的差異

假設 4-4：

不同教材設計與硬體操控模式對低成就學生認知負荷有顯著的交互作用

考驗假設 3-4 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同的教材設計與硬體操控模式在低成就學生認知負荷上沒有顯著的差異

考驗假設 4-4 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

不同教材設計與硬體操控模式在低成就學生認知負荷上交互作用不顯著。

表 4-43 為各組低成就學生認知負荷之描述性統計量，為了解不同的教材設計與硬體操控模式對於常態編班低成就學生認知負荷之影響及其交互作用是否顯著，以下將使用二因子變異數分析，檢驗各組低成就學生「上課意願」、「困難度」、「耗費心力」、「理解程度」與「投入努力」。

表 4-43
低成就學生認知負荷 平均及標準差摘要表

	組別	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>
上課意願	TAI 結合白板觸控	3	5.333	0.577	[3.90, 6.77]
	TAI 結合滑鼠操控	10	5.400	1.713	[4.17, 6.63]
	非 TAI 結合白板觸控	7	5.143	1.345	[3.90, 6.39]
	非 TAI 結合滑鼠操控	12	4.250	0.965	[3.64, 4.86]
	總和	32	4.906	1.353	[4.42, 5.39]
困難度	TAI 結合白板觸控	3	4.333	0.577	[2.90, 5.77]
	TAI 結合滑鼠操控	10	3.700	1.767	[2.44, 4.96]
	非 TAI 結合白板觸控	7	4.286	1.113	[3.26, 5.31]
	非 TAI 結合滑鼠操控	12	4.667	0.985	[4.04, 5.29]
	總和	32	4.250	1.295	[3.78, 4.72]
耗費心力	TAI 結合白板觸控	3	4.000	1.000	[1.52, 6.48]
	TAI 結合滑鼠操控	10	4.100	2.424	[2.37, 5.83]
	非 TAI 結合白板觸控	7	4.000	1.155	[2.93, 5.07]
	非 TAI 結合滑鼠操控	12	4.833	1.030	[4.18, 5.49]
	總和	32	4.344	1.599	[3.77, 4.92]
理解程度	TAI 結合白板觸控	3	5.000	1.000	[2.52, 7.48]
	TAI 結合滑鼠操控	10	4.400	1.776	[3.13, 5.67]
	非 TAI 結合白板觸控	7	4.000	1.000	[3.08, 4.92]
	非 TAI 結合滑鼠操控	12	4.083	0.996	[3.45, 4.72]
	總和	32	4.250	1.270	[3.79, 4.71]
投入努力	TAI 結合白板觸控	3	4.667	1.155	[1.80, 7.54]
	TAI 結合滑鼠操控	10	4.500	2.121	[2.98, 6.02]
	非 TAI 結合白板觸控	7	4.286	1.496	[2.90, 5.67]
	非 TAI 結合滑鼠操控	12	5.083	0.900	[4.51, 5.66]
	總和	32	4.688	1.491	[4.15, 5.22]

由 Levene 統計量可知「上課意願」、「困難度」與「理解程度」的變異數皆未達到 .05 的顯著水準，表示低成就學生這三項認知負荷之變異數具有同質

性，可進行二因子變異數分析。而「耗費心力」、與「投入努力」達到.05的顯著水準，無法直接進行二因子變異數分析，經由對數、倒數轉換，依然還是有顯著，為避免統計錯誤，僅使用獨立樣本 T 檢定分別檢驗兩個因子的顯著性，而不檢驗交互作用。低成就學生認知負荷之變異數同質性檢定如表 4-44。

表 4-44
低成就學生認知負荷 變異數同質性檢定

	Levene 檢定	分子自由度	分母自由度	顯著性
上課意願	2.189	3	28	.111
困難度	1.765	3	28	.176
耗費心力	7.113	3	28	.001*
理解程度	1.785	3	28	.172
投入努力	3.785	3	28	.021*

1. 以低成就學生「上課意願」進行二因子變異數分析

將各群低成就學生上課意願進行二因子變異數分析得到 $F = 1.656, p = .199 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = 1.584, p = .218 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = .601, p = .444 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在低成就學生上課意願沒有差異。變異數分析摘要表如表 4-45

表 4-45
低成就學生上課意願 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	1.656	.199	.150
截距	1	356.977	.794	.927
教學	1	1.584	.218	.053
硬體操控	1	.601	.444	.021
教學 * 硬體操控	1	.811	.375	.028
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

圖 4-27 為低成就學生上課意願的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .811, p = .375 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在低成就學生上課意願上交互作用不顯著。

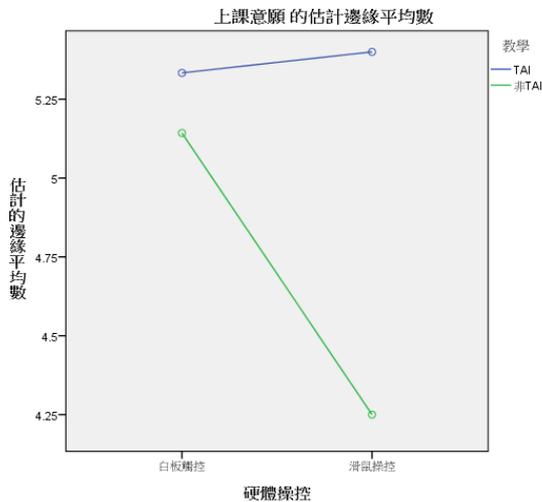


圖 4-27 低成就學生上課意願二因子剖面圖

2. 以低成就學生「困難度」進行二因子變異數分析

將各群低成就學生困難度進行二因子變異數分析得到 $F = 1.023, p = .397 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = .765, p = .389 > .05$ 未達顯著水準。硬體操控主效果 $F = .057, p = .811 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在低成就學生困難度上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-46

表 4-46

低成就學生困難度 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	1.023	.397	.098
截距	1	261.382	.877	.903
教學	1	.765	.389	.026
硬體操控	1	.057	.811	.002
教學 * 硬體操控	1	.932	.342	.032
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

圖 4-28 為低成就學生困難度二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .932$ ， $p = .342 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在低成就學生困難度上交互作用不顯著。

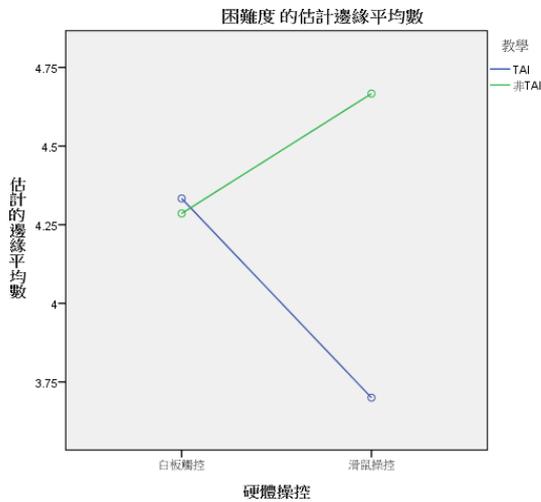


圖 4-28 低成就學生困難度二因子剖面圖

3. 以低成就學生「理解程度」進行二因子變異數分析

將各群低成就學生理解程度進行二因子變異數分析得到 $F = .529$, $p = .665 > .05$ 未達顯著水準；教學主效果 $F = 1.555$, $p = .222 > .05$ 未達顯著水準；硬體操控主效果 $F = .239$, $p = .628 > .05$ 未達顯著水準。故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在低成就學生理解程度上沒有顯著差異。變異數分析摘要表如表 4-47

表 4-47

低成就學生理解程度 變異數分析摘要表

來源	df	F	p	η^2
校正後的模式	3	.529	.665	.053
截距	1	274.260	.358	.907
教學	1	1.555	.222	.052
硬體操控	1	.239	.628	.008
教學 * 硬體操控	1	.418	.522	.014
誤差	28			
總數	32			
校正後的總數	31			

圖 4-29 為低成就學生理解程度的二因子剖面圖，交互作用因子 $F = .543$, $p = .464 > .05$ ，並未達顯著水準，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同教材設計與硬體操控模式在低成就學生理解程度上交互作用不顯著。

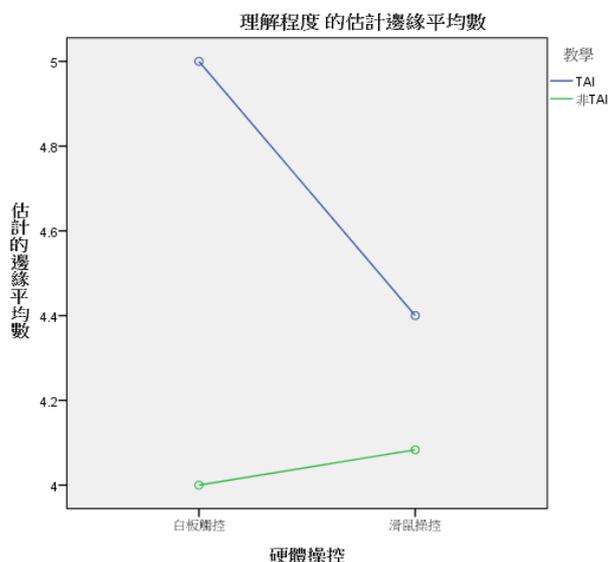


圖 4-29 低成就學生理解程度二因子剖面圖

4. 以低成就學生「耗費心力」、「投入努力」進行獨立樣本 T 檢定分析

將耗費心力($t = -0.695$, $dF = 16.5666$, $p = .497$)與投入努力($t = -0.424$, $dF = 18.354$, $p = .677$)，考驗結果均未達顯著，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在低成就學生理解程度上沒有顯著差異。獨立樣本 T 檢定摘要表如表 4-48

表 4-48

低成就學生認知負荷 教學因子獨立樣本 T 檢定分析

變項	TAI ($n = 13$)		非 TAI ($n = 19$)		t	p	95%		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
耗費心力	4.08	2.14	4.53	1.12	-0.695	0.497	-1.817	0.918	-0.279
投入努力	4.54	1.90	4.79	1.18	-0.424	0.677	-1.493	0.991	-0.166

硬體操控因子部分，不管是耗費心力($t=-0.816, dF = 30, p = .421$)與投入努力($t=-0.730, dF = 30, p = .471$)，考驗結果均未達顯著，故接受虛無假設 H_0 ，顯示不同的教材設計與硬體操控模式在低成就學生理解程度上沒有顯著差異。獨立樣本 T 檢定摘要表如表 4-49

表 4-49

低成就學生認知負荷 硬體操控因子獨立樣本 T 檢定分析

變項	白板觸控 ($n = 10$)		滑鼠操控 ($n = 22$)		t	p	95%		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
耗費心力	4.00	1.05	4.50	1.79	-0.816	0.421	-1.752	0.752	-0.311
投入努力	4.40	1.35	4.82	1.56	-0.730	0.471	-1.588	0.752	-0.278

4-3 學習成就與認知負荷相關性分析

不同教材設計與硬體操控模式之下，學生後測成績與認知負荷之間的關係，可使用 Pearson 積差相關來進行分析。

本研究中將先利用積差相關係數顯著性考驗的機率值 p 來判定後測成績與認知負荷間的相關是否達到顯著水準，之後再從相關係數絕對的大小來判別變項間的關連程度。相關係數的強度判定如表 4-50

表 4-50

相關係數的強度大小與意義

相關係數範圍 (絕對值)	變項關聯程度
1.00	完全相關
.70 至 .99	高度相關
.40 至 .69	中度相關
.10 至 .39	低度相關
.10 以下	微弱或無相關

資料來源：邱皓政(2006)。量化研究與統計分析。台北市：五南。

4-3-1 非 TAI 結合滑鼠操控組

假設 5-1：

「非 TAI 結合滑鼠操控」組的學生，其學習成就與認知負荷有顯著相關

考驗假設 5-1 的虛無假設 H0，敘述如下：

「非 TAI 結合滑鼠操控」組的學生，其學習成就與認知負荷沒有顯著相關

表 4-51 為「非 TAI 結合滑鼠操控」組學生後測成績與認知負荷的相關矩陣表，以下將根據此表分析，藉以了解「非 TAI 結合滑鼠操控」組後測成績與認知負荷的相關性

表 4-51

「非 TAI 結合滑鼠操控」組 後測成績與認知負荷的相關矩陣表

		後測 總分	上課 意願	困難 度	耗費 心力	理解 程度	投入 努力
後測 總分	相 關 顯著性	—					
上課 意願	相 關 顯著性	.473** .01	—				
困難 度	相 關 顯著性	-.511** .005	-.109 .574	—			
耗費 心力	相 關 顯著性	-.394* .035	-.127 .512	.639** 0	—		
理解 程度	相 關 顯著性	.468* .01	.2 .299	-.748** 0	-.573** .001	—	
投入 努力	相 關 顯著性	-.307 .106	.006 .977	.391* .036	.613** 0	-.252 .187	—

** 在顯著水準為.01時 (雙尾)，相關顯著。

* 在顯著水準為.05時 (雙尾)，相關顯著。

1. 後測總分與上課意願、理解程度是中度正相關、與困難度是中度負相關、與耗費心力是低度負相關。表示越願意聽課到最後、理解程度越高、越覺得學習上不困難、越不需要花費心力來理解內容的人，則其後測成績就越高。
2. 困難度與耗費心力是中度正相關、與理解程度是中度負相關、與投入努力是低度正相關。表示越覺得這單元簡單的人，所需要耗費的心力就越少、理解程度就越高、也不需要投入太多努力。
3. 耗費心力與理解程度是中度負相關、與投入努力是中度正相關。表示為了理解這單元內容而耗費心力越少的人、理解程度就越高、所需要投入的努力也越少。

綜合以上資料分析結果：假設 5-1 部分成立，即「非 TAI 結合滑鼠操控」的學生，後測總分與困難度負荷有顯著相關。

4-3-2 非 TAI 結合白板觸控組

假設 5-2：

「非 TAI 結合白板觸控」組的學生，其學習成就與認知負荷有顯著相關

考驗假設 5-2 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

「非 TAI 結合白板觸控」組的學生，其學習成就與認知負荷沒有顯著相關

表 4-52 為「非 TAI 結合白板觸控」組學生後測成績與認知負荷的相關矩陣表，以下將根據此表分析，藉以了解「非 TAI 結合白板觸控」組後測成績與認知負荷的相關性

表 4-52

「非 TAI 結合白板觸控」組 後測成績與認知負荷的相關矩陣表

		後測 總分	上課 意願	困難 度	耗費 心力	理解 程度	投入 努力
後測 總分	相關 顯著性	—					
上課 意願	相關 顯著性	.072 .727	—				
困難 度	相關 顯著性	-.236 .246	-.036 .86	—			
耗費 心力	相關 顯著性	-.38 .056	.018 .932	.801** 0	—		
理解 程度	相關 顯著性	.166 .417	.495* .01	-.435* .026	-.349 .081	—	
投入 努力	相關 顯著性	-.067 .744	.291 .149	.299 .137	.388 .05	.019 .926	—

** 在顯著水準為.01時 (雙尾)，相關顯著。

* 在顯著水準為.05時 (雙尾)，相關顯著。

1. 上課意願與理解程度是中度正相關。表示越願意聽課到最後的人，就越能理解講課內容。
2. 困難度與耗費心力是高度正相關、與理解程度是中度負相關。表示覺得這單元越簡單的人，所耗費的心力就越少、能理解的內容就越多、也不需要投入太多努力。

綜合以上資料分析結果：接受虛無假設 H_0 ，即「非 TAI 結合白板觸控」組的學生，後測總分與認知負荷沒有顯著相關

4-3-3 TAI 結合滑鼠操控組

假設 5-3：

「TAI 結合滑鼠操控」組的學生，其學習成就與認知負荷有顯著相關

考驗假設 5-3 的虛無假設 H0，敘述如下：

「TAI 結合滑鼠操控」組的學生，其學習成就與認知負荷沒有顯著相關

表 4-53 為「TAI 結合滑鼠操控」組學生後測成績與認知負荷的相關矩陣表，以下將根據此表分析，藉以了解「TAI 結合滑鼠操控」組後測成績與認知負荷的相關性

表 4-53

「TAI 結合滑鼠操控」組 後測成績與認知負荷的相關矩陣表

	後測 總分	上課 意願	困難 度	耗費 心力	理解 程度	投入 努力
後測 總分 相關 顯著性	—					
上課 意願 相關 顯著性	.275	—				
困難 度 相關 顯著性	-.407*	-.433*	—			
耗費 心力 相關 顯著性	-.459**	-.424*	.857**	—		
理解 程度 相關 顯著性	.436*	.674**	-.620**	-.549**	—	
投入 努力 相關 顯著性	-.236	-.067	.091	.184	.15	—
	.193	.714	.619	.315	.412	

**．在顯著水準為0.01時（雙尾），相關顯著。

*．在顯著水準為0.05時（雙尾），相關顯著。

1. 後測總分與困難度、耗費心力是中度負相關、與理解程度是中度正相關。表示越覺得學習上不困難、越能理解講課內容、越不需要花費心力來理解內容，則其後測成績就越高。
2. 上課意願與困難度、耗費心力是中度負相關、與理解程度是中度正相關。表示越覺得學習上不困難、越能理解講課內容、越不需要花費心力來理解內容，繼續聽

課到最後的意願越高。

3. 困難度與耗費心力是高度正相關、與理解程度是中度負相關。表示越覺得這單元簡單的人，所需要耗費的心力就越少、能理解的內容就越多。
4. 耗費心力與理解程度是中度負相關。表示理解程度越高的人，為了理解這單元內容，所需要耗費心力就越少。

綜合以上資料分析結果：假設 5-3 部分成立，即「TAI 結合滑鼠操控」組的學生，後測總分與困難度負荷有顯著相關。

4-3-4 TAI 結合白板觸控組

假設 5-4：

「TAI 結合白板觸控」組的學生，其學習成就與認知負荷有顯著相關

考驗假設 5-4 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

「TAI 結合白板觸控」組的學生，其學習成就與認知負荷沒有顯著相關

表 4-54 為「TAI 結合白板觸控」組學生後測成績與認知負荷的相關矩陣表，以下將根據此表分析，藉以了解「TAI 結合白板觸控」組後測成績與認知負荷的相關性

表 4-54

「TAI 結合白板觸控」組 後測成績與認知負荷的相關矩陣表

		後測 總分	上課 意願	困難 度	耗費 心力	理解 程度	投入 努力
後測 總分	相關 顯著性	—					
上課 意願	相關 顯著性	.088 .631	—				
困難 度	相關 顯著性	-.234 .197	-.373*	—			
耗費 心力	相關 顯著性	-.244 .179	-.358*	.769**	—		
理解 程度	相關 顯著性	.273 .131	.465**	-.700**	-.696**	—	
投入 努力	相關 顯著性	-.214 .240	.005 .979	.588**	.582**	-.418*	—

**. 在顯著水準為.01時 (雙尾), 相關顯著。

*. 在顯著水準為.05時 (雙尾), 相關顯著。

1. 上課意願與困難度、耗費心力是低度負相關、與理解程度是中度正相關。表示越覺得學習上不困難、越能理解講課內容、越不需要花費心力來理解內容的人，繼續聽課到最後的意願越高。
2. 困難度與耗費心力是高度正相關、與理解程度是高度負相關、與投入努力是中度正相關。表示覺得這單元越簡單的人，所耗費的心力就越少、能理解的程度就越高、所需要付出的努力也越少。
3. 耗費心力與理解程度是中度負相關、與投入努力是中度正相關。表示理解程度越高，付出努力越多的人，所需要耗費的心力也越少。
4. 理解程度與投入努力是中度負相關。表示理解程度越高的人，所需要耗費的心力也越少。

綜合以上資料分析結果：接受假設 5-4，即「TAI 結合白板觸控」組的學生，後測總分與困難度負荷有關

4-4 學習效率與投入分數分析

本節將藉由第三章所提到的學習效率(p.59)及學習投入分數(p.61)，判斷研究者實驗中所使用的教材是否有專業知識反轉效應發生。Sweller 等學者(J. Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998)使用「投入心力」與「感受到的困難度」兩項之一作為認知負荷評定之方法。

本研究將以「投入心力」作為了解學習者動機及負荷之方法，以下將以學習成就表現分數轉為 Z_p 、以上課感受量表中的「耗費心力」分數轉為 Z_c ，並以整體學生和高中低成就作為樣本區分進行討論。

假設 6-4：

分別將「TAI 結合白板觸控」、「TAI 結合滑鼠操控」、「非 TAI 結合白板觸控」及「非 TAI 結合滑鼠操控」四組運用在常態編班班級之教材設計上，進行課堂授課，對於高成就數學學習成就的學生會產生專業知識反轉效應。

考驗假設 6-4 的虛無假設 H_0 ，敘述如下：

分別將「TAI 結合白板觸控」、「TAI 結合滑鼠操控」、「非 TAI 結合白板觸控」及「非 TAI 結合滑鼠操控」四組運用在常態編班班級之教材設計上，進行課堂授課，對於高成就數學學習成就的學生不會產生專業知識反轉效應。

4-4-1 整體學生方面

就整體分組的學習效率來看，實驗組 1 > 實驗組 2 > 實驗組 3 > 對照組；就整體分組的投入分數來看，實驗組 1 > 實驗組 2 > 對照組 > 實驗組 3。可見對整體的學生而言，「TAI 結合白板觸控」組的學習效率與投入分數是最高的，且 Z 分數坐標落於高效率高投入的區域，代表學生願意投入最多的心力，學習效率也最好。

而「TAI 結合滑鼠操控」組的學習效率與投入分數也是正數， Z 分數

坐標同樣落在高效率高投入的區域，代表學生仍然願意投入心力學習，也得到不錯的學習效率。

另一方面，「非 TAI 結合滑鼠操控」組的認知負荷投入心力 Z_c 是四組中唯一的正數，學習效率是四組最低，且 Z 分數坐標落於低效率高投入的區域，代表課程內容對學生而言是相當困難的，因此學生必須花很多心力在理解課程內容上，可是學習的效率卻很差。

而「非 TAI 結合白板觸控」組的學習效率與投入分數都是負數，且 Z 分數坐標落於低效率低投入的區域，代表課程內容對學生沒有吸引力，學生不願意花費心力來理解課程內容上，因此學習效率很低。

綜上所述，「TAI 結合白板觸控」與「TAI 結合滑鼠操控」這樣的學習方式應用於常態編班的課堂教學是比較合適的，而「非 TAI 結合白板觸控」與「非 TAI 結合滑鼠操控」這樣的學習方式應用於常態編班的課堂教學比較不恰當。

整體學生學習效率與投入分數摘要表如表 4-55，學習效率與投入分數視覺化圖像如圖 4-30。

表 4-55

整體學生 學習效率與投入分數摘要表

	Z_p (Y)	Z_c (X)	學習效率	投入分數
實驗組 1	0.300	-0.093	0.278	0.146
實驗組 2	0.213	-0.036	0.176	0.125
實驗組 3	-0.286	-0.171	-0.081	-0.323
對照組	-0.262	0.326	-0.415	0.045

註： Z_p ：學習成就 Z 分數， Z_c ：上課感受量表耗費心力 Z 分數。

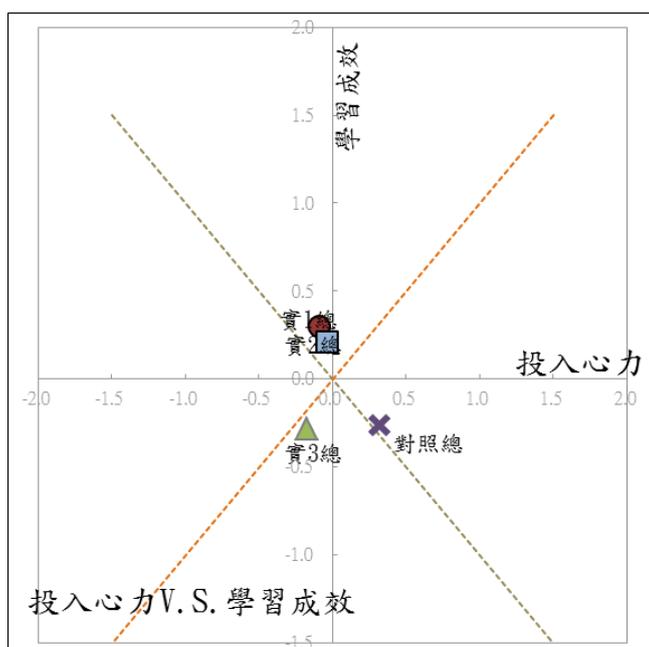


圖 4-30 整體學生 學習效率與投入分數視覺化圖像

4-4-2 不同學業成就方面

不同學業成就學生學習效率與投入分數摘要表如表 4-56，學習效率與投入分數視覺化圖像如圖 4-31。

1. 高成就學生

就高成就學生而言，學習效率：實驗組 3>實驗組 1>實驗組 2>對照組，投入分數：實驗組 1>對照組>實驗組 2>實驗組 3。四組的學習效率與投入分數皆為正數，且 Z 分數坐標落於高效率高投入的區域。因此對高成就學生而言，學生都願意投入心力來理解課堂內容，且得到很好的學習效率，這與上課使用的教材與操控方式關聯不大。

2. 中成就學生

就中成就學生而言，學習效率：實驗組 2>實驗組 3>實驗組 1>對照組，投入分數：實驗組 2>實驗組 1>對照組>實驗組 3，四組之中「TAI 結合滑鼠操控」組的學習效率與投入分數最高，且 Z 分數座標落於高效率高投入的區域。因此對中程度學生而言，「TAI 結合滑鼠操控」組的上課方式可以達到最佳的效果。

另一方面，「非 TAI 結合滑鼠操控」組的學習效率與投入分數皆為負數，且 Z 分數坐標落於低效率低投入的區域，代表「非 TAI 結合滑鼠操控」組的對學生沒有吸引力，學生不願意花費心力來理解課程內容上，因此學習效率很低。這樣的學習方式應用於常態編班的課堂教學也是不恰當的

3. 低成就學生

就低成就學生而言，學習效率：實驗組 1>實驗組 2>實驗組 3>對照組，投入分數：實驗組 1>對照組>實驗組 2>實驗組 3，四組的學習效率與投入分數皆為負數，且 Z 分數坐標落於低效率低投入的區域。顯示對低成就學生而言，課程的內容是艱深困難的，學生必須投入很多心力嘗試理解，可是學習效率並不好。

另一方面，「激發式動態結合電子白板」組的學習效率與投入分數是四組之中最高。也就是說，雖然課程是艱深困難的，但「激發式動態結合電子白板」組的學生依然願意投入心力來嘗試理解，因此對低程度學生而言，「TAI 結合白板觸控」組的上課方式可以達到最佳的效果。

表 4-56

不同學業成就學生 學習效率與投入分數摘要表

學業成就	組別	Zp (Y)	Zc (X)	E	I
高成就	實驗組 1	1.263	-0.537	1.273	0.513
	實驗組 2	1.126	-0.510	1.157	0.435
	實驗組 3	1.213	-1.082	1.623	0.093
	對照組	0.909	-0.204	0.787	0.498
中成就	實驗組 1	0.010	0.041	-0.022	0.036
	實驗組 2	0.309	-0.010	0.226	0.212
	實驗組 3	-0.163	-0.227	0.045	-0.276
	對照組	-0.319	0.172	-0.347	-0.104
低成就	實驗組 1	-0.654	0.347	-0.708	-0.217
	實驗組 2	-0.817	0.408	-0.866	-0.289
	實驗組 3	-1.209	0.347	-1.101	-0.610
	對照組	-1.204	0.857	-1.457	-0.245

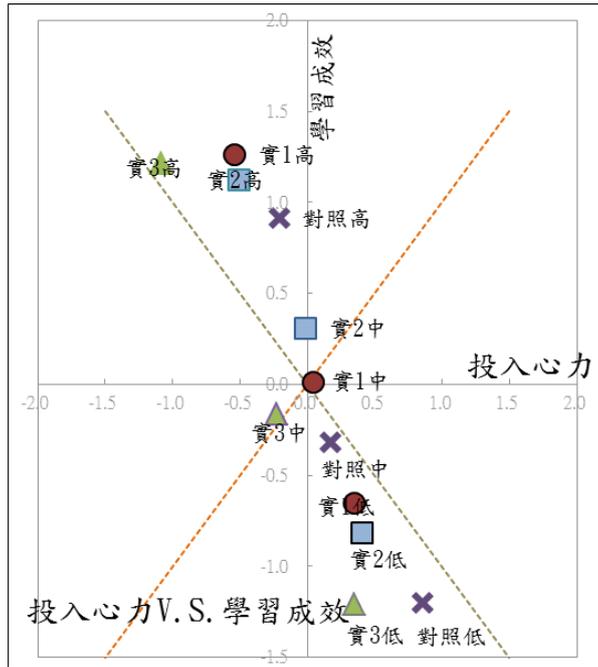


圖 4- 31 不同學業成就學生 學習效率與投入分數視覺化圖像

4-4-3 不同組別方面

將表 4- 56 重新整理，得到各組學生學習效率與投入分數摘要表，如表 4- 57

表 4- 57

各組學生 學習效率與投入分數摘要表

學業成就	組別	$Z_p (Y)$	$Z_c (X)$	E	I
TAI +白板觸控	高成就	1.263	-0.537	1.273	0.513
	中成就	0.01	0.041	-0.022	0.036
	低成就	-0.654	0.347	-0.708	-0.217
TAI +滑鼠操控	高成就	1.126	-0.51	1.157	0.435
	中成就	0.309	-0.01	0.226	0.212
	低成就	-0.817	0.408	-0.866	-0.289
非 TAI +白板觸控	高成就	1.213	-1.082	1.623	0.093
	中成就	-0.163	-0.227	0.045	-0.276
	低成就	-1.209	0.347	-1.101	-0.61
非 TAI +滑鼠操控	高成就	0.909	-0.204	0.787	0.498
	中成就	-0.319	0.172	-0.347	-0.104
	低成就	-1.204	0.857	-1.457	-0.245

1. TAI 結合白板觸控

就學習效率而言：高成就>中成就>低成就，就投入分數而言：高成就>中成就>低成就。所以此組高成就學生最願意投入心力來學習，也得到最好的的學習效率，而低成就學生最不願意投入心力來學習，學習效率也是整組最差的。

2. TAI 結合滑鼠操控

就學習效率而言：高成就>中成就>低成就，就投入分數而言：高成就>中成就>低成就。所以此組高成就學生最願意投入心力來學習，也得到最好的的學習效率，而低成就學生最不願意投入心力來學習，學習效率也是整組最差的。

3. 非 TAI 結合白板觸控

就學習效率而言：高成就>中成就>低成就，就投入分數而言：高成就>中成就>低成就。所以此組高成就學生最願意投入心力來學習，也得到最好的的學習效率，而低成就學生最不願意投入心力來學習，學習效率也是整組最差的。

4. 非 TAI 結合滑鼠操控

就學習效率而言：高成就>中成就>低成就，就投入分數而言：高成就>中成就>低成就。所以此組高成就學生最願意投入心力來學習，也得到最好的的學習效率，而低成就學生最不願意投入心力來學習，學習效率也是整組最差的。

4-5 研究結果摘要

在此將統計結果整理，並檢驗實驗前的假設是否成立

4-5-1 階段學習成效部分**錯誤! 找不到參照來源**。為後測成績檢定顯著性摘要表。由檢定結果可知，教學因子對於整體學生的學習效果有很大的影響力，也就是說在課堂使用動態式激發教學的成效遠遠勝過使用非激發式動態教學。特別對中低成就的學生而言，不管是計算題或是說明題，激發式動態教學的學生得分都比非激發式動態教學的得分高。

表 4-58

後測成績二因子變異數檢定顯著性 摘要表

		後測總分	後測計算題	後測說明題
整 體	教學	.004** 中度關聯	.002** 中度關聯	.044* 低度關聯
	硬體操控	.860	.611	.591
	交互關係	.755	.866	.591
高 成 就	教學	.463	.162	.537
	硬體操控	.229	.198	.521
	交互關係	.646	.797	.537
中 成 就	教學	.052 中度關聯	.048* 中度關聯	.305
	硬體操控	.723	.991	.431
	交互關係	.265	.132	.950
低 成 就	教學	.053 中高關聯	.063 中高關聯	.068 中高關聯
	硬體操控	.739	.634	.776
	交互關係	.722	.464	X

*p < .05 **p < .01

另一方面，硬體操控因子在檢定時都未達.05的顯著水準，也就是說硬體操控模式對學生的學習效果沒有很大的影響力。若從分數來看，用電子白板觸控與滑鼠操控並沒有太明顯的差距，不管是高、中、低成就的學生都是一樣。也就是說假設 1 中，硬體操控模式的不同對學生的學習成就評量並沒有顯著性的差異。

雖然有無電子白板對學生的學習成就評量並沒有顯著的差異，可是激發式動態教學與非激發式動態教學對學生的學習成就評量是有顯著差異，因此假設 1「不同的教材設計與硬體操控模式對學生學習成就會產生顯著的差異」成立。

而在教學因子與硬體操控因子的交互作用部分,檢定時也都未達.05的顯著水準,也就是說教學因子與硬體操控因子不存在顯著性的交互作用,因此「不同的教材設計與硬體操控模式對學生學習成就有顯著的交互作用」不成立,也就是說本實驗中不同的教材設計與硬體操控模式在學生的階段學習成效上交互作用不顯著。

4-5-2 認知負荷考驗部分

表 4-59 為認知負荷檢定顯著性摘要表。由檢定結果可知,教學因子對於整體學生的學習效果未達.05的顯著水準,也就是說使用激發式動態或非激發式動態教學,沒有對學生的認知負荷產生顯著的差異。硬體操控因子對於整體學生的學習效果也未達.05的顯著水準,也就是說有無使用電子白板對學生的認知負荷不會產生顯著的差異。

因此假設 3「不同的教材設計與硬體操控模式對學生的認知負荷有顯著的差異」不成立,也就是本實驗中使用不同的教材設計與硬體操控模式,並沒有對學生的認知負荷上產生顯著的差異。

在教學因子與硬體操控因子的交互作用部分,檢定時也都未達.05的顯著水準,也就是說教學因子與硬體操控因子不存在顯著性的交互作用,因此假設 4「不同的教材設計與硬體操控模式的交互作用對學生的認知負荷有顯著影響」不成立,也就是本實驗中不同的教材設計與硬體操控模式在學生的認知負荷上交互作用不顯著。

從平均數字來看,對照組的「上課意願」比其他三組低很多,只是未達顯著水準。這表示不管使用激發式動態教學或使用電子白板觸控,對學生的上課意願是有幫助的。同時對照組「困難度」與「耗費心力」也是四組之中最高的,這表示對照組在上課時感覺課程比較艱深,也必須耗費更多心力才能理解。

表 4-59

認知負荷二因子變異數檢定顯著性摘要表

		上課意願	困難度	耗費心力	理解程度	投入努力
整體	教學	.039* 低度關聯	.527	.440	.102	.405
	硬體操控	.219	.289	.133	.424	.677
	交互關係	.440	.456	.232	.256	.844
高成就	教學	.410	.907	.755	.561	.856
	硬體操控	.913	.454	.241	.348	.452
	交互關係	.965	.643	.270	.825	.320
中成就	教學	.326	.479	.874	.985	.416
	硬體操控	.438	.443	.520	.909	.713
	交互關係	.679	.699	.406	.464	.609
低成就	教學	.218	.389	.497	.222	.677
	硬體操控	.444	.811	.421	.628	.471
	交互關係	.375	.342	X	.522	X

*p < .05 **p < .01

4-5-3 學習成就與認知負荷相關性部分

表 4-60 為各組後測成績與認知負荷相關性摘要表。由 Pearson 相關來看，「TAI 結合滑鼠操控」組的困難度、耗費心力、理解程度與後測成績的相關性都達到顯著水準；而「非 TAI 結合滑鼠操控」組的上課意願、困難度、耗費心力、理解程度與後測成績的相關性也都達到顯著水準。顯示沒有使用電子白板時，學生只受到教材影響，學習成就評量與認知負荷是有顯著相關的。而使用電子白板情形之下，學生同時受到教材與電子白板影響，學習成就評量與認知負荷並沒有達到顯著水準。因此假設 5「不同的教材設計與硬體操控模式，學生學習成就與認知負荷有顯著相關」在沒有使用電子白板的情形下成立。

表 4-60

各組後測成績與認知負荷相關性 摘要表

	上課意願	困難度	耗費心力	理解程度	投入努力
TAI 結合 白板觸控	.088	=.234	-.244	.273	-.214
TAI 結合 滑鼠操控	.275	-.407*	-.459**	.436*	-.236
非 TAI 結合 白板觸控	.072	-.236	-.380	.417	-.067
非 TAI 結合 滑鼠操控	.473**	-.511**	-.394*	.468*	-.307

** . 在顯著水準為.01時 (雙尾)，相關顯著。

* . 在顯著水準為.05時 (雙尾)，相關顯著。

4-5-4 專業知識反轉效應

就各組而言，學習效率：高成就>中成就>低成就，投入分數：高成就>中成就>低成就；高成就學生 z 分數座標皆落於高效率高投入的區域、低成就學生 z 分數座標皆落於低效率低投入的區域。所以本實驗各組所使用之教材均沒有產生明顯的專業反轉效應。因此假設 6「對於高成就數學學習成就的學生專業知識反轉效應差」成立。

第五章 結論與建議

本研究針對八年級數學幾何單元之「外角定理」，在「TAI 結合白板觸控」、「TAI 結合滑鼠操控」、「非 TAI 結合白板觸控」及「非 TAI 結合滑鼠操控」等四組不同模式下進行教材設計與課堂授課，再對學生學習成效與認知負荷進行探討。此外，本研究亦以「數學學業成就特質」來探討此教材是否會有專業知識反轉效應產生。以下根據研究結果與分析，歸納出結論與建議以作為後續研究之參考。

5-1 研究結論

由 4-5 研究結果可知，在「TAI 結合白板觸控」、「TAI 結合滑鼠操控」、「非 TAI 結合白板觸控」及「非 TAI 結合滑鼠操控」等不同模式下進行教材設計與課堂授課：

1. 「激發式動態教學」比「非激發式動態教學」更能幫助學生學習

就教學因子「激發式動態教學」與「非激發式動態教學」兩種教學方式而言，「激發式動態教學」在學習成就評量上有比較好的表現，不管是計算題或是說明題的表現都達到顯著的程度。特別對中低學習成就的學生而言，「激發式動態教學」的學生在學習效率與投入心力上的表現也優於「非激發式動態教學」。因此在常態編班的班級使用「激發式動態教學」可以幫助學生學習

2. 有無使用電子白板對學生學習沒有顯著幫助

就硬體操控因子「白板觸控」與「滑鼠操控」兩種硬體操控模式而言，有無使用電子白板對學生學習似乎沒有顯著性的影響，在後測的分數上沒有太大差異。在統計檢定上，不管是計算題或是說明題都未達到顯著的程度，而在學習效率與投入分數上也沒有明顯的差別。因此在常態編班的班級使用電子白板無法幫助學生學習

3. 「激發式動態教學」與「電子白板觸控」的交互作用不明顯

不管是學習成就評量或是認知負荷，「激發式動態教學」與「電子白板觸控」都不存在顯著的交互作用。

4. 學習成就與認知負荷

沒有使用電子白板時，學生的學習成就與認知負荷有顯著相關。使用電子白板時，學生受到多重因素影響，學生的學習成就與認知負荷沒有顯著相關。

5. 專業知識反轉效應差

本實驗各組所用的教材對於高成就學生而言，均沒有產生明顯的專業反轉效應

5-2 檢討與建議

本節將依據實驗結果對未來之教學提出建議，並對未來研究方向提出建議。

5-2-1 對於教學之建議

1. 激發式動態教學有助於常態編班之課堂授課

大致來看，不管是後測成績、學習效率、投入心力，「激發式動態教學」比「非激發式動態教學」更適合應用於常態編班的課堂授課中，因此建議在教學時可以採用「激發式動態教學」，會得到比較好的學習成果。

「激發式動態教學」的教材有預埋按鈕，可以針對課堂情境，達到彈性激發、溝通互動、適性教學的目的，因此學生對於訊息的吸收處理就比「非激發式動態教學」優秀，這是一般教材很難達到的。

2. 使用電子白板前要考量功能性與必要性

在本研究中，雖然使用電子白板，但對學生學習成效上卻沒有太大幫助。研究者認為本研究中，電子白板僅是「可觸控的投影螢幕」，對學生訊息的選取、組織沒有太大幫助。因此建議在課堂使用電子白板時需思量其必要性與功能性。

3. 課前的訊息處理可以幫助學生學習

激發式動態教學是預先將學生可能的反應先埋藏好，再配合課堂情境激發對應的內容，是「有計畫的突顯」。教材製作者除了安排「主線劇情」之外，也必須要額外安排「支線內容」，如此要花費許多時間心力，但經過處理後再呈現的訊息會比較美觀、與整體畫面契合度高。

相比之下，使用板書或口語進行補充，是屬於「臨時性的突顯」，這種突顯方式的優點是可以隨機應變、隨心所欲，缺點是畫面比較凌亂，可能會增加認知負荷。雖然不用花太多時間事前準備，但效果也甚微。

4. 階段性的提問，可以用文字方式突顯

本研究中「激發式動態教學」的教材還有一個特點，就是在每一個階段性的提問時，畫面也會配合口語將問句突顯出來，而「非激發式動態教學」沒有這樣的設計。

口語提問是一般課堂授課環境下普遍使用的教學方式之一。若能在提問的同時，也將提問文字搭配突顯出來，此時文字就產生提示的效應，學生才能更清楚老師所提問的內容，之前沒有跟上老師教學進程的，也會快步跟上，這樣對學生的學習是有助益的。

5. 設計良好的教材勝過硬體配備

有些老師可能會直接利用書商提供之電子教科書或 ppt 來授課，這種教學模式相當於本研究中之「對照組」；還有些老師會將這些教材配搭電子白板使用，這種教學模式相當於本研究中之「實驗組 3」，事實上這兩種教學模式的後測成績並不理想，認知負荷也偏重。反觀「實驗組 1」與「實驗組 2」皆使用「激發式動態呈現」所設計之教材，雖然操控方式不同，但對學生都有相當程度的助益。

研究者認為設計良好的教材對於學生學習上的幫助，勝過硬體配備所提供的幫助。因此建議在課堂授課時盡可能使用設計良好的教材，更甚於使用電子白板。

當然，如果硬體配備出現問題(如螢幕光暗度、色彩飽和度、電腦運轉速度、教室座位安排、通風...等等)，對學生所造成的干擾，此時硬體配備的負向影響力會抵消掉教材的正向影響力，但此部分不在本研究討論範圍內。

5-2-2 對於未來研究之建議

1. 學生高中低成就的區分依據

研究者在實驗結束後，想了解「前三次段考數學平均」、「前測成績」哪一個的成績表現比較貼近學生實驗後的表現，故按照「前三次段考數學平均」、「前測成績」與「後測成績」，將學生重新分成高成就學生(27%)、中成就學生(46%)、低成就學生(27%)，檢查其相符程度。

表 5-1 為整體學生數學學業成就特質(高、中、低成就)一致性的描述性統計，若以兩種不同成績作為區分依據時，一致性分別為 63.03%與 74.79%，而且有兩位同學在段考成績中屬高成就學生，但在前測與後測的表現上均屬低成就學生。這可能跟學生自身素質有關，或者段考時間與施測時間相距過大也可能跟學生的上課或作答的態度有關。但不可否認，與「前三次段考平均」相比，本實驗中以「前測成績」作為成就區分依據是比較貼近實驗結果的。「上學期三次段考平均」與「前測成績」何者較適合作為學業成就特質的依據，有待更進一步的研究。

表 5-1
數學學業成就特質一致性

區分依據	一致性	
	前三次段考平均	前測成績
完全一致 (高 \leftrightarrow 高、中 \leftrightarrow 中、低 \leftrightarrow 低)	63.03%	74.79%
誤差一階 (高 \leftrightarrow 中、中 \leftrightarrow 低)	35.29%	25.21%
誤差兩階 (高 \leftrightarrow 低)	1.68%	0%

2. 樣本數可進一步擴大

本研究為將任課老師定為控制變項，且受限於研究者自身的人力、物力限制，僅能揀選研究者自身任課之班級共四班，扣除無效問卷與請假同學，有效樣本為 119 人，若區分成四組後，各組再區分高中低成就，人數顯得不足。因此建議將來可以擴大樣本數或擴大施測範圍，繼續進行實驗。

3. 本研究限定電子白板功能

本研究中，原本預期使用電子白板會對學生學習有幫助，但實驗結果顯現，電子白板僅能提升學生的上課意願，卻對學生學習成就沒有幫助。研究者認為因全程由老師操控，加以僅僅使用其觸控功能，未全面發揮電子白板優勢，例如：讓學生上台操作，或是觸控時將手停留久一點，或是使用物件搬移的功能...。因此建議可針對電子白板與激發式動態的配搭進一步研究。

4. 施測時間與內容有限制

本實驗僅挑選幾何單元「外角定理」進行實驗，課程時間為 45 分鐘，在教學因子上有顯著差異，而硬體操控部分卻無顯著差異。研究者認為如果持續施測，對照組與實驗組原本的差異會越來越大，而沒有差異的部分也可能會出現差異。因此建議可將原本實驗時間延長為一周，進行研究。

5. 未進行延宕測

本研究為顧及學生先備知識及對幾何的認知，故在學生學過八下 2-1 單元，了解學過幾何圖形的符號標示並對幾何性質與推演有粗淺認知後，再進行實驗。雖然實驗時學生幾乎未學過外角定理，但一個月後課程進度已包含此單元，若實施延宕測，則存在太多中介因素干擾，會影響實驗結果，故此研究不藉延宕測分析學生記憶保留的狀況。因此建議後續研究者可改換其他時間實驗或選擇其他題材，好進行延宕測，來了解學生記憶保留的狀況。

參考文獻

1. 中文文獻

- 左台益, 呂鳳琳, 曾世綺, 吳慧敏, 陳明璋, & 譚寧君. (2011). 以分段方式降低任務複雜度對專家與生手閱讀幾何證明的影響. *教育心理學報*, 43(閱讀專刊).
- 吳明隆. (2000). *SPSS 統計應用實務*. 台北: 松崗.
- 吳易靜. (2006). *資訊科技融入教學對國中教師創新教學能力之影響--以臺北縣市為例*. 碩士, 國立臺灣師範大學, 台北市.
- 吳嘉惠. (2011). *視覺引導在代數教材設計之探討--以解二元一次聯立方程式為例*. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 呂鳳琳. (2009). *幾何證明不同文本呈現方式對學生認知負荷與閱讀理解影響之研究*. 碩士, 國立臺灣師範大學.
- 宋曜廷. (2000). *先前知識, 文章結構和多媒體呈現對文章學習的影響*. 國立台灣師範大學教育心理與輔導學系博士論文, 未出版, 台北.
- 李宜芬. (2002). *國三學生突破因附圖造成之論證障礙的學習歷程之研究*. 碩士, 國立臺灣師範大學, 台北市.
- 李昆霖. (2011). *應用電子白板教學在七年級學生數學學習之研究--以一元一次方程式為例*. 碩士, 國立嘉義大學, 嘉義市.
- 李俊賢. (2007). *應用數學簡報系統發展國小面積教學模組之行動研究*. 碩士, 國立臺北教育大學, 台北市.
- 李政憲. (2007). *課堂多媒體教材製作與教學運用研究*. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 李進福. (2006). *數學教材設計之研究--以視覺設計理論為基礎*. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 李鈴茹. (2009). *教材設計與解說方式對於學習表現和眼動影響之初探--以三角形內角題目為例*. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 林永裕. (2011). *互動式電子白板融入國小數學角度單元對不同成就四年級學童學習成效與態度之研究*. 碩士, 國立屏東教育大學, 屏東縣.
- 林政輝. (2002). *國中生討論數樣式關係時表達理由能力之成長探究*. 碩士, 國立台灣師範大學, 台北市.
- 林煜庭. (2008). *適性指標: 多媒體學習中一種基於視覺認知理論的引導方式*. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 邱皓政. (2006). *量化研究與統計分析*. 台北: 五南.
- 洪志成. (1986). *台北縣市國中學生數學科自我概念及其有關因素之研究*. 碩士, 國立臺灣師範大學, 台北市.
- 洪榮忠. (2008). *激發式動態呈現教學設計之研究--以二元一次方程式的圖形為例*. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 洪蘭(譯), & Medina, J. (2009). *大腦當家—靈活用腦 12 守則, 學習工作更上層樓*. 台北: 遠流.
- 徐蓓蓓. (1983). 教師個人特質, 師生口語互動與學生對教師行為的知覺, 學生學業成就之關係研究. *教育心理學報*(16), 99-114.
- 涂華娟. (2011). *互動式電子白板融入國中數學科教學之成效*. 碩士, 國立臺南大

- 學, 台南市.
- 張祐誠. (2008). 激發式動態呈現之教學設計之研究-以文導圖模式與觸發模式之比較以尺規作圖為例. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 張豐今. (2010). 互動式電子白板應用於國小數學教學之成效-以國小五年級幾何單元為例. 碩士, 國立臺中教育大學, 台中市.
- 教育部. (2003). 國民中小學九年一貫課程綱要數學學習領域. 教育部.
- 陳明璋. (2008). 一個以授課為導向之數位教材設計及展演環境簡介--Activate Mind Attention (AMA)系統. 國民教育, 48:6 2008.08[民 97.08], P.57-63.
- 陳創義. (2003). 青少年的幾何形狀概念發展研究. 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果精簡報告.
- 陳義汶. (2005). 國中數學教師使用資訊科技融入教學之調查研究. 台南女院學報, 24, 527-550.
- 陳燕鳳. (2011). 資訊科技融入國中數學之成效研究-以互動式電子白板為例. 碩士, 國立彰化師範大學, 彰化縣.
- 曾尹姿. (2005). 電腦媒體運用於國中幾何學習成效之研究-以三角形基本性質為例. 碩士, 慈濟大學, 花蓮縣.
- 黃建欽. (2009). 激發式動態教學對三角形外心的學習成效之研究. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 黃貞菁. (2010). 國中教師運用電子白板進行資訊融入教學之探討. 碩士, 世新大學, 臺北市.
- 黃巽煌. (2011). 電子白板融入國中數學教學之探討. 碩士, 康寧大學, 台南市.
- 黃陽明. (2008). 國中教師資訊融入數學教學現況及相關因素之探討. 碩士, 國立臺南大學, 台南市.
- 黃楷智. (2011). 動態幾何系統 GeoGebra 對數學學習成效與認知診斷影響之研究-以簡易二次函數圖形為例. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 楊子賢. (2011). 幾何動態軟體融入教學的模式對國中學生學習平行四邊形的影響研究. 碩士, 中原大學, 桃園縣.
- 楊凱琳. (2004). 建構中學生對幾何證明閱讀理解的模式. 博士, 國立臺灣師範大學, 台北市.
- 葉子榕. (2010). 激發式動態教學對學習成效與認知負荷影響之研究. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 葉素玲. (1999b). 視覺空間注意力.
- 葉進安. (2010). GSP 融入數學教學對於國中生幾何單元學習成效之研究. 碩士, 國立政治大學, 台北市.
- 廖真瑜. (2011). 多元表徵應用於二元一次聯立方程式文字題列式教學之研究. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 鄭勃毅. (2011). 利用認知診斷評量探討分隔訊息之交互作用對學生學習成效的影響-以三角形重心幾何證明為例. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 謝東育. (2009). 激發式動態呈現教學設計之研究-以代數為例. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 謝謹謙. (2011). 利用認知診斷測驗探討激發式動態教學成效之研究-以簡易二次函數及圖形為例. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.
- 蘇柏奇. (2005). 數學教材設計之研究-以知覺理論為基礎. 碩士, 國立交通大學, 新竹市.

2. 英文文獻

- Clark, R. C., Nguyen, F., & Sweller, J. (2006). *Efficiency in learning: Evidence-based guidelines to manage cognitive load*: Pfeiffer.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd edition)*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Duval, R. (1988). *Graphiques et équations: l'articulation de deux registres*.
- Duval, R. (2006). A Cognitive Analysis of Problems of Comprehension in a Learning of Mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61(1-2), 103-131. doi: 10.1007/s10649-006-0400-z
- Eggemeier, F. T. (1988). Properties of workload assessment techniques. *Advances in Psychology*, 52, 41-62.
- Hillyard, S., & Hansen, J. (1986). Attention: electrophysiological approaches. *Psychophysiology: Systems, processes, and applications*, 227-243.
- Kalyuga, S. (2007). Enhancing instructional efficiency of interactive e-learning environments: A cognitive load perspective. *Educational Psychology Review*, 19(3), 387-399.
- Lee, C. H., & Kalyuga, S. (2011). Effectiveness of on-screen pinyin in learning Chinese: An expertise reversal for multimedia redundancy effect. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 11-15.
- Mayer, R. E. (2002). Multimedia learning. *Psychology of Learning and Motivation*, 41, 85-139.
- Mayer, R. E., & Clark, R. C. (2009). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*: Pfeiffer.
- Mousavi, S. Y., Low, R., & Sweller, J. (1995). Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes. *Journal of Educational Psychology*, 87(2), 319.
- Pashler, H. E. (1999). *The psychology of attention*: The MIT Press.
- Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123-138. doi: 10.1007/s10648-010-9128-5
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Treisman, A. (2006). How the deployment of attention determines what we see. *Visual Cognition*, 14(4-8), 411-443.
- Treisman, A., & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(3), 459.
- Treisman, A., & Souther, J. (1985). Search asymmetry: a diagnostic for preattentive processing of separable features. *Journal of Experimental Psychology: General; Journal of Experimental Psychology: General*, 114(3), 285-315.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive psychology*, 12(1), 97-136.

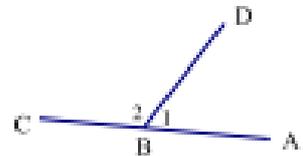
附錄

1. 前測問卷

幾何性質的推理 題本(1)

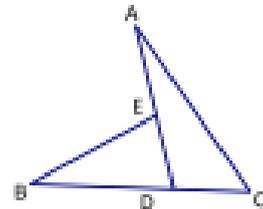
班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____

1. 下圖中，A、B、C 在同一條直線上，
若 $\angle 1 = 78^\circ$ ，則 $\angle 2$ 度數為多少呢？

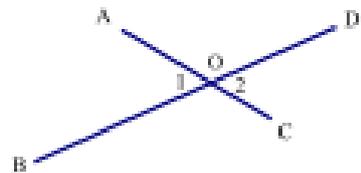


2. $\triangle ABC$ 中，如果 $\angle B = 30^\circ$ ， $\angle C = 40^\circ$ ，那另一內角 $\angle A$ 為幾度？

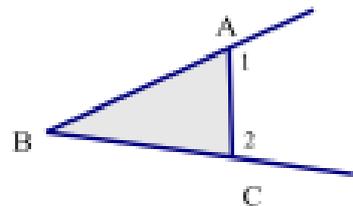
3. 如右圖， $\angle A = 25^\circ$ ， $\angle B = 35^\circ$ ， $\angle C = 45^\circ$
請求出 $\angle AEB$ 的度數



4. 右圖中， \overline{AC} 與 \overline{BD} 相交於 O 點，
請說明 $\angle 1 = \angle 2$



5. 右圖中， $\angle 1$ 、 $\angle 2$ 皆為 $\triangle ABC$ 的一個外角，
請說明 $\angle 1 + \angle 2 = 180^\circ + \angle B$



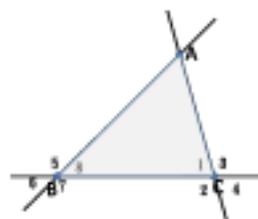
2. 後測試卷

幾何性質的推理 題本(2)

班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____

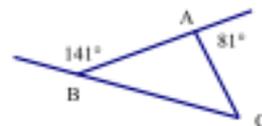
一、計算題：

1. 右圖 $\angle 1 \sim \angle 8$ 中，哪些角應該是內角 $\angle ABC$ 的外角？

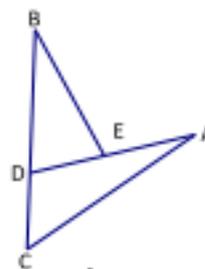


2. 請利用上圖，簡單說明什麼是『外角定理』

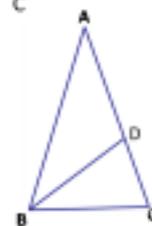
3. 如右圖，請求出 $\angle ACB$ 度數



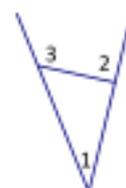
4. 如右圖， $\angle A=20^\circ$ ， $\angle B=45^\circ$ ， $\angle C=50^\circ$
請求出 $\angle AEB$ 的度數



5. 右圖 $\triangle ABC$ 中，D為 \overline{AC} 上的點，且 $\overline{AD} = \overline{DB} = \overline{BC}$ 。
已知 $\angle A=25^\circ$ ，請求出 $\angle ACB$ 度數



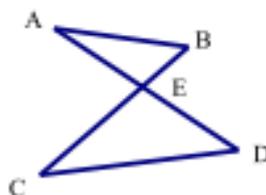
6. 如右圖， $\angle 3=120^\circ$ ，則 $\angle 2$ 與 $\angle 1$ 相差幾度？



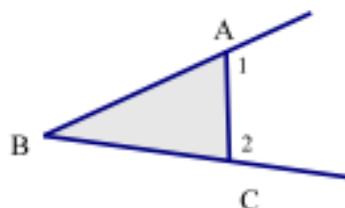
翻下一頁

二、幾何性質證明題：

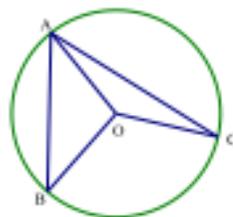
1. 右圖中， \overline{AD} 與 \overline{BC} 相交於E點，
請說明 $\angle A + \angle B = \angle C + \angle D$



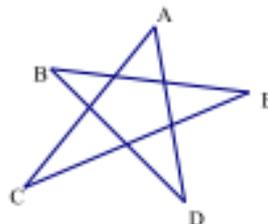
2. 右圖中， $\angle 1$ 、 $\angle 2$ 皆為 $\triangle ABC$ 的一個外角，
請說明 $\angle 1 + \angle 2 = 180^\circ + \angle B$



3. 右圖中，A、B、C三點都在圓O上，
請說明 $\angle BOC = 2\angle BAC$



4. 右圖ABCDE是五芒星，
請說明 $\angle A + \angle B + \angle C + \angle D + \angle E = 180^\circ$



4. 實驗組教材

p.1.

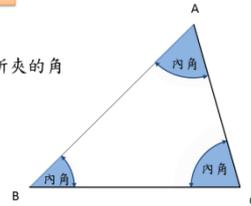
幾何推理之外角定理



p.2.

Q: "內角"是什麼

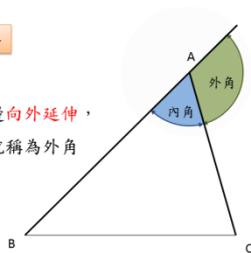
三角形的任意兩邊所夾的角就稱為內角



p.3.

Q: "外角"是什麼

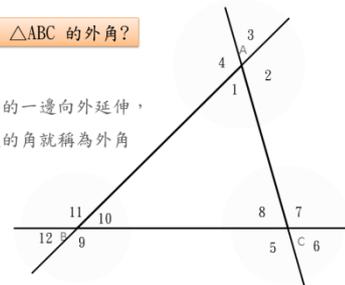
如果把三角形的一邊向外延伸，與另一邊所夾的角就稱為外角



p.4.

Q: 那些角是 $\triangle ABC$ 的外角?

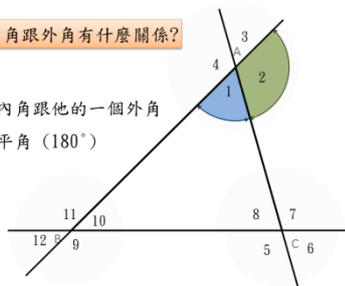
如果把三角形的一邊向外延伸，與另一邊所夾的角就稱為外角



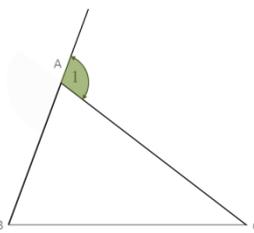
p.5..

Q: A點上的內角跟外角有什麼關係?

同一頂點上，內角跟他的一個外角恰好湊成一個平角 (180°)



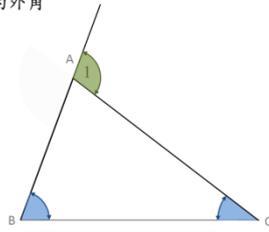
p.6.



Q: $\angle 1$ 稱為 $\angle A$ 的 "外角"

p.7.

△ABC 中，∠1 是 ∠BAC 的外角

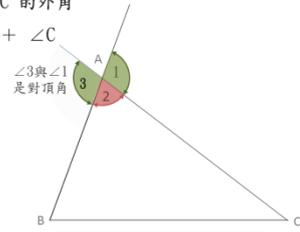


Q : ∠1 與 ∠B+∠C 誰大?

p.8.

△ABC 中，∠1 是 ∠BAC 的外角

說明 $\angle 1 = \angle B + \angle C$

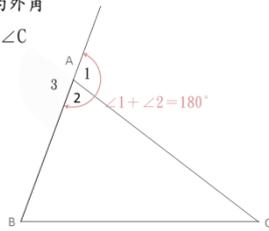


Q : ∠1 跟哪個角相加是 180° ?

p.9.

△ABC 中，∠1 是 ∠BAC 的外角

說明 $\angle 1 = \angle B + \angle C$

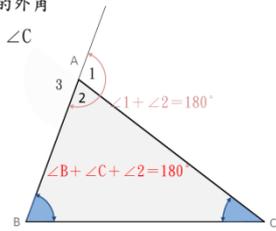


Q : 哪裡選找的到 180° ?

p.10.

△ABC 中，∠1 是 ∠BAC 的外角

說明 $\angle 1 = \angle B + \angle C$

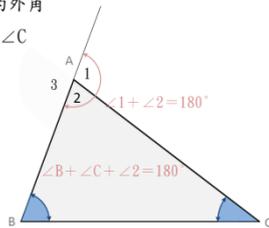


p.11.

△ABC 中，∠1 是 ∠BAC 的外角

說明 $\angle 1 = \angle B + \angle C$

$$\begin{aligned} \angle 1 + \angle 2 &= 180^\circ \\ \angle B + \angle C + \angle 2 &= 180^\circ \end{aligned}$$



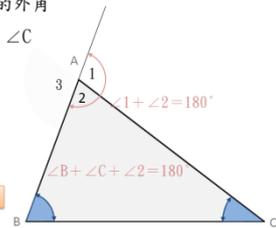
p.12.

△ABC 中，∠1 是 ∠BAC 的外角

說明 $\angle 1 = \angle B + \angle C$

$$\begin{aligned} \angle 1 + \angle 2 &= 180^\circ \\ \angle B + \angle C + \angle 2 &= 180^\circ \end{aligned}$$

Q : 從上面式子中，你有什麼發現?

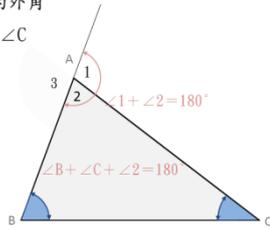


p.13.

$\triangle ABC$ 中， $\angle 1$ 是 $\angle BAC$ 的外角
 說明 $\angle 1 = \angle B + \angle C$

$$\begin{aligned} \angle 1 + \angle 2 &= 180^\circ \\ \angle B + \angle C + \angle 2 &= 180^\circ \end{aligned}$$

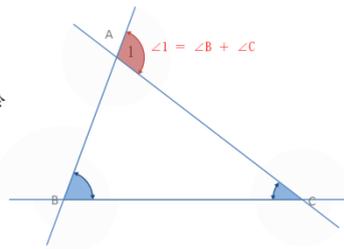
所以 $\angle 1 = \angle B + \angle C$



p.14.

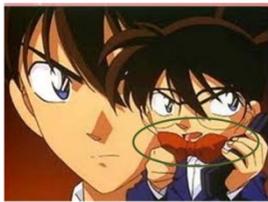
外角定理

三角形的外角 等於
 兩個內對角之和



p.15.

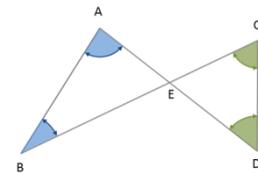
外角定理應用1



p.16.

\overline{AD} 與 \overline{BC} 相交於 E 點，

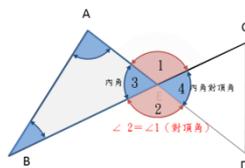
Q : $\angle A, \angle B, \angle C, \angle D$ 的關係?



p.17.

\overline{AD} 與 \overline{BC} 相交於 E 點，
 說明 $\angle A + \angle B = \angle C + \angle D$

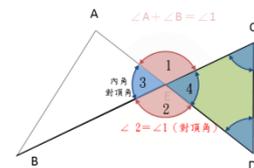
Q : $\angle A + \angle B$ 會等於哪個角?



p.18.

\overline{AD} 與 \overline{BC} 相交於 E 點，
 說明 $\angle A + \angle B = \angle C + \angle D$

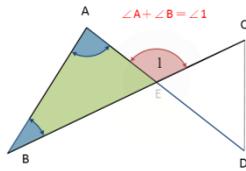
Q : $\angle C + \angle D$ 會等於哪個角?



p.19.

\overline{AD} 與 \overline{BC} 相交於 E 點，
說明 $\angle A + \angle B = \angle C + \angle D$

$\triangle ABE$ 中， $\angle A + \angle B = \angle 1$

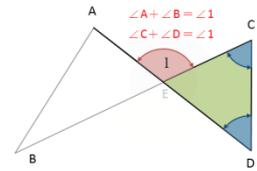


p.20.

\overline{AD} 與 \overline{BC} 相交於 E 點，
說明 $\angle A + \angle B = \angle C + \angle D$

$\triangle ABE$ 中， $\angle A + \angle B = \angle 1$

$\triangle CDE$ 中， $\angle C + \angle D = \angle 1$



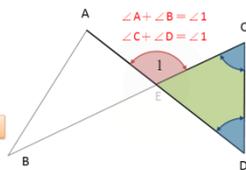
p.21.

\overline{AD} 與 \overline{BC} 相交於 E 點，
說明 $\angle A + \angle B = \angle C + \angle D$

$\triangle ABE$ 中， $\angle A + \angle B = \angle 1$

$\triangle CDE$ 中， $\angle C + \angle D = \angle 1$

Q: 從上面的幾個式子中，你發現了什麼？



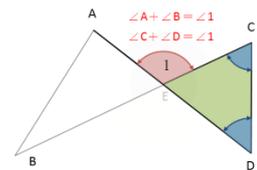
p.22.

\overline{AD} 與 \overline{BC} 相交於 E 點，
說明 $\angle A + \angle B = \angle C + \angle D$

$\triangle ABE$ 中， $\angle A + \angle B = \angle 1$

$\triangle CDE$ 中， $\angle C + \angle D = \angle 1$

所以， $\angle A + \angle B = \angle C + \angle D$



p.23.

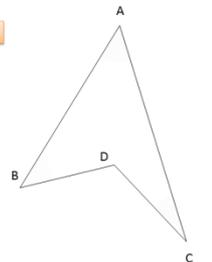
外角定理應用2



p.24.

$\angle BDC$ 和 $\angle A$ 、 $\angle B$ 、 $\angle C$ 有什麼關係呢？

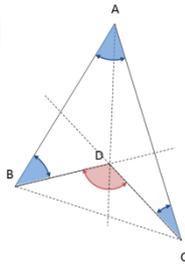
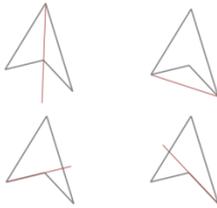
Q: 怎麼畫，才會讓這圖形變成兩個三角形？



p.25.

$\angle BDC$ 和 $\angle A$ 、 $\angle B$ 、 $\angle C$ 有什麼關係呢?

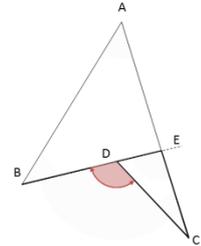
Q: 怎麼畫, 才會讓這圖形變成兩個三角形?



p.26.

說明 $\angle BDC = \angle A + \angle B + \angle C$

延長 \overline{BD} , 與 \overline{AC} 相交於 E 點

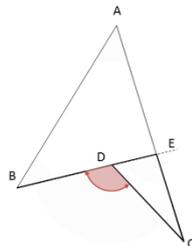


Q: $\angle BDC$ 是哪個三角形的外角?

p.27.

說明 $\angle BDC = \angle A + \angle B + \angle C$

延長 \overline{BD} , 與 \overline{AC} 相交於 E 點

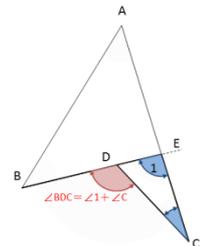


Q: $\angle BDC$ 會等於哪兩個角相加?

p.28.

說明 $\angle BDC = \angle A + \angle B + \angle C$

延長 \overline{BD} , 與 \overline{AC} 相交於 E 點

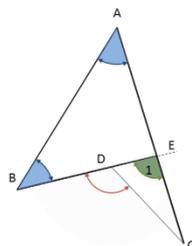


Q: $\angle BDC$ 會等於哪兩個角相加?

p.29.

說明 $\angle BDC = \angle A + \angle B + \angle C$

延長 \overline{BD} , 與 \overline{AC} 相交於 E 點

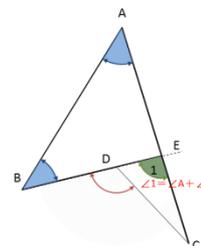


Q: $\angle 1$ 會等於哪兩個角相加?

p.30.

說明 $\angle BDC = \angle A + \angle B + \angle C$

延長 \overline{BD} , 與 \overline{AC} 相交於 E 點

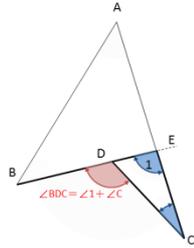


p.31.

說明 $\angle BDC = \angle A + \angle B + \angle C$

延長 \overline{BD} ，與 \overline{AC} 相交於 E 點

$\triangle ABE$ 中， $\angle BDC = \angle 1 + \angle C$



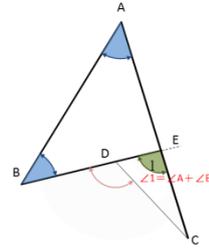
p.32.

說明 $\angle BDC = \angle A + \angle B + \angle C$

延長 \overline{BD} ，與 \overline{AC} 相交於 E 點

$\triangle ABE$ 中， $\angle BDC = \angle 1 + \angle C$

$\triangle CDE$ 中， $\angle 1 = \angle A + \angle B$



p.33.

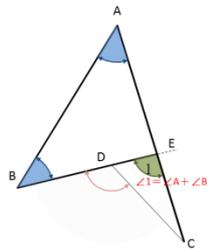
說明 $\angle BDC = \angle A + \angle B + \angle C$

延長 \overline{BD} ，與 \overline{AC} 相交於 E 點

$\triangle ABE$ 中， $\angle BDC = \angle 1 + \angle C$

$\triangle CDE$ 中， $\angle 1 = \angle A + \angle B$

Q：從上面的幾個式子中，你發現了什麼？



p.34.

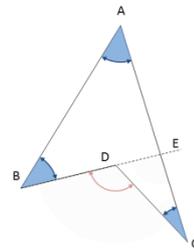
說明 $\angle BDC = \angle A + \angle B + \angle C$

延長 \overline{BD} ，與 \overline{AC} 相交於 E 點

$\triangle ABE$ 中， $\angle BDC = \angle 1 + \angle C$

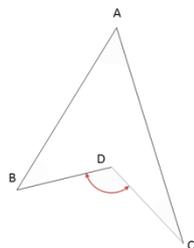
$\triangle CDE$ 中， $\angle 1 = \angle A + \angle B$

因此 $\angle BDC = \angle A + \angle B + \angle C$



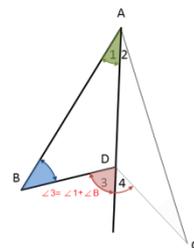
p.35.

說明 $\angle BDC = \angle BAC + \angle B + \angle C$



p.36.

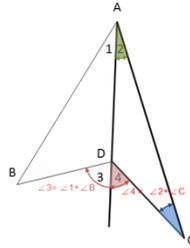
說明 $\angle BDC = \angle BAC + \angle B + \angle C$



Q： $\angle 3$ 會等於哪兩個角相加？

p.37.

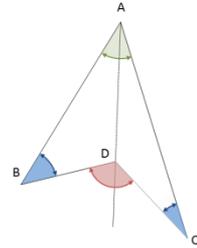
說明 $\angle BDC = \angle BAC + \angle B + \angle C$



Q: $\angle 4$ 會等於哪兩個角相加?

p.38.

說明 $\angle BDC = \angle BAC + \angle B + \angle C$

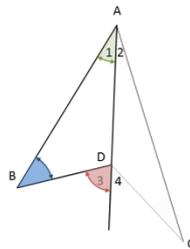


紅 = 藍 + 綠

p.39.

說明 $\angle BDC = \angle BAC + \angle B + \angle C$

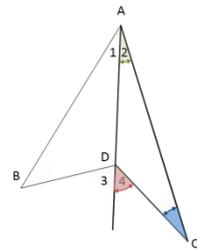
連接 \overline{AD}
 $\triangle ABD$ 中, $\angle 3 = \angle 1 + \angle B$



p.40.

說明 $\angle BDC = \angle BAC + \angle B + \angle C$

連接 \overline{AD}
 $\triangle ABD$ 中, $\angle 3 = \angle 1 + \angle B$
 $\triangle ACD$ 中, $\angle 4 = \angle 2 + \angle C$



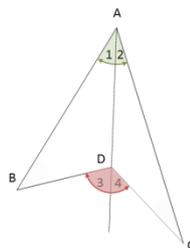
p.41.

說明 $\angle BDC = \angle BAC + \angle B + \angle C$

連接 \overline{AD}
 $\triangle ABD$ 中, $\angle 3 = \angle 1 + \angle B$
 $\triangle ACD$ 中, $\angle 4 = \angle 2 + \angle C$

因此 $\angle BDC = \angle 3 + \angle 4$

Q: 從上面的幾個式子中, 你發現了什麼?



p.42.

說明 $\angle BDC = \angle BAC + \angle B + \angle C$

連接 \overline{AD}
 $\triangle ABD$ 中, $\angle 3 = \angle 1 + \angle B$
 $\triangle ACD$ 中, $\angle 4 = \angle 2 + \angle C$

因此 $\angle BDC = \angle 3 + \angle 4$
 $= \angle BAC + \angle B + \angle C$

