

國立交通大學

理學院科技與數位學習學程

碩 士 論 文

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

Visual Guiding in Algebra Instructional Materials Design—
Systems of First-order Algebraic Equations in Variables as an Example

研 究 生：吳嘉惠

指 導 教 授：陳明璋 博士

中 華 民 國 一 百 年 七 月

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

Visual Guiding in Algebra Instructional Materials Design—
Systems of First-order Algebraic Equations in Variables
as an Example

研究生：吳嘉惠

Student：Chia-Hui Wu

指導教授：陳明璋

Advisor：Ming-Jang Chen



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
July 2011
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百年七月

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

學生：吳嘉惠

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

本研究探討不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對學生學習成就表現與認知負荷差異的影響；以七年級數學二元一次聯立方程式單元為教材設計主題，採準實驗研究法於七年級常態班級進行實驗。並藉此研究初步發展認知負荷量表以及觀察專業知識反轉效應。

實驗結果分析得到：

- 1.不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對於低先備知識學生(未學過學生)的學習成就有顯著的差異。融合代數教材設計原則的視覺引導教材設計，有助於低先備知識學生的學習成就表現。
- 2.不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對於低學習成就學生的學習成就有顯著的差異。融合代數教材設計原則的視覺引導教材設計於示例教學上，有助於低學習成就學生的學習成就表現。
- 3.不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對於高先備知識學生(已學過學生)的困難度認知負荷有顯著的差異。視覺引導教材皆能降低高先備知識學生的困難度認知負荷，而融合代數教材設計原則的教材，能降低更多。
- 4.不同的視覺引導教學設計於示例教學上，以效應值和學習者投入學習的觀點判斷，有專業知識反轉效應的產生。但對於高先備知識學習者和高學習成就學習者無負面影響。

關於初步發展的認知負荷量表，未臻成熟，有待未來繼續發展。

關鍵字：二元一次聯立方程式、多媒體學習、認知負荷

Visual Guiding in Algebra Instructional Materials Design — Systems of First-order Algebraic Equations in Variables as an Example

Student : Chia-Hui Wu

Advisor : Ming-Jang Chen

Degree Program of E-Learning
National Chiao Tung University

Abstract

In this study, we use different visual guiding materials to the worked-example teaching. The purpose is to discuss how the visual guiding materials can have effect both on students' performance and their cognitive load. Our study designed the unit of systems of first-order algebraic equations in variables of mathematics for the seventh grade, and with quasi-experimental design, the experiment targets the classes of normalized class assignment. Meanwhile, we try to develop the rating scales of the cognitive load as a pilot study and explore the expertise reversal effect.

The results are as follows.

Firstly, the worked-example teaching with different visual guiding materials remarkably encourage learners of low prior knowledge. The material with the algebra material design principles is really helpful to the learners in their performance.

Secondly, the worked-example teaching with different visual guiding materials remarkably encourage learners of low achievement in their performance. The material with the algebra material design principles is also helpful to the learners.

Thirdly, the worked-example teaching with different visual guiding materials cause significant effect on the cognitive load of the difficulty from the learners of high prior knowledge. Visual guiding materials, especially those by algebra material design principles, can reduce the cognitive load of the difficulty more prominently.

Finally, the worked-example teaching with different visual guiding materials principles lead to expertise reversal effect in view of the effect size and learners' involvement. However, there is no negative impact on the learners of high prior knowledge and of high achievement

in their performance.

Nevertheless, there are still problems for the pilot study of the rating scales of cognitive load, and thus it remains to be improved with future studies.

Keywords: systems of first-order algebraic equations in variables, multimedia learning, cognitive load



誌謝

2011，夏，我實現了一個夢想！

謝謝夢想製造機—上天，感謝你沒忘了我的夢想，在工作 10 年後賞了我這個機會。

謝謝夢想指導者—陳明璋教授，感謝您費心教導與不厭其煩提點我這駑鈍的學生，使我的研究更紮實，專業知識與教學知能更精進。

謝謝夢想把關者—李榮耀教授、曹雅玲教授與譚甯君教授，感恩您們口考時惠予我專業又精闢的建議，使本論文能更完備。

謝謝夢想同行者—實驗室的同學，怡君、勃毅、真瑜、忠韻、志青、于芳和純慧，有你們並肩走過，學習之路充滿歡笑與感動。

謝謝夢想協力人—后里國中的工作夥伴，由於您們對我業務上總總的幫忙、支援與包容，才能讓我更專心、無罣礙於學業上。

謝謝夢想應援團—親愛的好友們，感恩大家每每在我挫折、低落時給予很多的關心與鼓勵，使我可以快速充滿元氣。

謝謝夢想大後盾—我最摯愛的家人，感激您們的支持與體諒，在我無力時總能提供最堅強、最溫暖的依靠。

兩年，所有的點點滴滴在心頭。

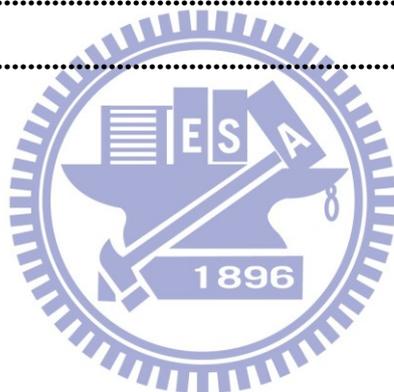
最後，謹以此論文獻給助我圓夢的每一個人。

目次

中文摘要	I
英文摘要	II
誌謝	V
目次	VII
表次	X
圖次	XIII
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與背景	1
1.2 研究目的	2
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	7
2.1 認知負荷理論	7
2.1.1 認知負荷類型	8
2.1.2 認知負荷效應	10
2.1.3 認知負荷測量	15
2.1.4 對於本研究的幫助	22
2.2 多媒體學習理論	25
2.2.1 多媒體學習理論三大認知假設	25
2.2.2 多媒體認知學習的五個步驟	28
2.2.3 多媒體設計原則	28
2.2.4 對於本研究的幫助	33
2.3 適性指標	34
2.3.1 適性指標的定義	34
2.3.2 適性指標設計原則	35
2.3.3 適性指標與多媒體學習理論之設計原則	36
2.4 代數教材設計原則	38
2.4.1 教學內容結構化	38
2.4.2 教材呈現區塊化	38
2.4.3 建立訊息關聯	40
2.4.4 口語簡化解說	42

2.4.5 對於本研究的幫助	42
2.5 專業知識反轉效應	43
2.5.1 專業知識反轉效應的類型	43
2.5.2 專業知識反轉效應的判斷	46
第三章 研究方法	47
3.1 研究步驟	47
3.2 研究對象	48
3.3 研究設計	54
3.3.1 研究法	54
3.3.2 研究變項與假設	54
3.3.3 實驗流程	56
3.4 研究工具	57
3.4.1 教材修改	57
3.4.2 實驗工具	63
3.5 資料分析	75
3.5.1 SPSS	75
3.5.2 Effect size	75
3.5.3 學習效率 (Instructional Efficiency)	76
3.5.4 投入分數 (Instructional Involvement Score)	78
3.5.5 綜合學習成效與投入分數	79
第四章 研究結果與討論	81
4.1 受試學生測驗資料	81
4.1.1 整體	82
4.1.2 以是否學過再分組	85
4.1.3 以學習成就區分	90
4.2 資料分析與假設說明	98
4.2.1 學習成就分析	98
4.2.2 認知負荷分析	107
4.2.3 學習成就與認知負荷暨專業知識反轉效應分析	120
4.3 認知負荷量表分析	127
4.3.1 因素分析	127
4.3.2 信度分析	132
4.3.3 相關性分析	134
4.3.4 逐步迴歸分析	138
4.4 研究結果摘要	144
4.4.1 學習成就部份結果	144
4.4.2 認知負荷量部份	145

4.4.3 專家反轉效應部份	145
4.4.4 認知負荷量表部份	146
第五章 研究結論與建議	147
5.1 研究結論	147
5.2 建議	148
5.3 未來研究	150
參考文獻	153
中文文獻	153
英文文獻	155
附錄一 修改頁面呈現	160
附錄二 前測卷	173
附錄三 學習單	174
附錄四 後測卷	177
附錄五 認知負荷量表版本	179



表次

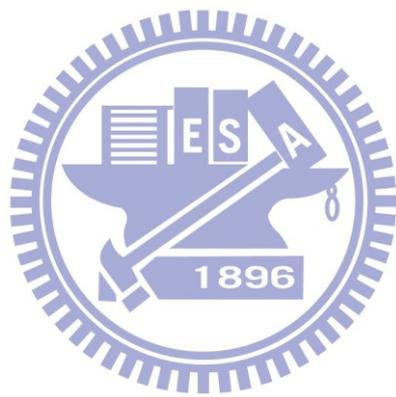
表 1	認知負荷與心智成效相關研究所使用的測量方法	16
表 2	認知負荷兩個向度分類關係表	17
表 3	NASA-TLX 評定量表	18
表 4	SWAT 評定量表	19
表 5	國內認知負荷量表相關研究彙整表	20
表 6	三種測量方式與三種認知負荷之間存在的可能關係	24
表 7	信號原則的使用方式	30
表 8	適性指標教材設計原則	35
表 9	適性指標與多媒體學習理論之設計原則	37
表 10	產生專業知識逆轉效應的教學設計或形式	44
表 11	受試母群體上學期班級人數與數學科階段評量成績一覽表	48
表 12	整體受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 T 檢定摘要表	49
表 13	整體受試學生前測平均獨立樣本 T 檢定摘要表	49
表 14	未學過受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 T 檢定摘要表	50
表 15	已學過受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 T 檢定摘要表	50
表 16	未學過受試學生前測成績獨立樣本 T 檢定摘要表	50
表 17	已學過受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 T 檢定摘要表	51
表 18	高成就受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 T 檢定摘要表	51
表 19	中成就受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 T 檢定摘要表	52
表 20	中成就受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 T 檢定摘要表	52
表 21	低成就受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 T 檢定摘要表	52
表 22	低成就受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 T 檢定摘要表	53
表 23	教材設計比較表	55
表 24	教學實驗總流程表	56
表 25	實驗組教材原始頁和修正頁一覽表	57
表 26	對照組教材原始頁和修正頁一覽表	60
表 27	階段學習成就測驗預試信度	63
表 28	階段學習成就測驗預試難度	64
表 29	階段學習成就測驗預試鑑別度	65
表 30	代入消去法計算題給分標準	65
表 31	加減消去法計算題給分標準	66
表 32	認知負荷量表	68
表 33	評定量表形式比較	69
表 34	1993 年至 2007 年研究之認知負荷測量應用形式彙整	71
表 35	受試學生人數、各項測驗平均數及標準差、EFFECT SIZE 摘要表	82

表 36	代入消去法整體認知負荷量表.....	83
表 37	加減消去法整體認知負荷量表.....	84
表 38	未學過受試學生人數、各項測驗平均數及標準差、EFFECT SIZE 摘要表.....	85
表 39	已學過受試學生人數、各項測驗平均數及標準差、EFFECT SIZE 摘要表.....	85
表 40	未學過受試學生代入消去法認知負荷量表.....	86
表 41	未學過受試學生加減消去法認知負荷量表.....	87
表 42	已學過受試學生代入消去法認知負荷量表.....	88
表 43	已學過受試學生加減消去法認知負荷量表.....	89
表 44	高成就受試學生人數、各項測驗平均數及標準差、EFFECT SIZE 摘要表.....	90
表 45	中成就受試學生人數、各項測驗平均數及標準差、EFFECT SIZE 摘要表.....	90
表 46	低成就受試學生人數、各項測驗平均數及標準差、EFFECT SIZE 摘要表.....	91
表 47	高成就受試學生代入消去法之認知負荷量.....	92
表 48	高成就學生加減消去法之認知負荷量.....	93
表 49	中成就學生代入消去法之認知負荷量.....	94
表 50	中成就學生加減消去法之認知負荷量.....	95
表 51	低成就學生代入消去法之認知負荷量.....	96
表 52	低成就學生加減消去法之認知負荷量.....	97
表 53	整體學生代入消去法成就測驗成績獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	98
表 54	整體學生加減消去法成就測驗成績獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	99
表 55	未學過學生代入消去法成就測驗成績獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	100
表 56	已學過學生代入消去法成就測驗成績獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	100
表 57	未學過學生加減消去法成就測驗成績獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	101
表 58	已學過學生加減消去法成就測驗成績獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	101
表 59	高成就學生代入消去法成就測驗成績獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	103
表 60	中成就學生代入消去法成就測驗成績獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	103
表 61	低成就學生代入消去法成就測驗成績獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	104
表 62	高成就學生加減消去法成就測驗成績獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	104
表 63	中成就學生加減消去法成就測驗成績獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	105
表 64	低成就學生加減消去法成就測驗成績獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	105
表 65	代入消去法認知負荷量獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	107
表 66	加減消去法認知負荷量獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	108
表 67	未學過學生代入消去法認知負荷量獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	109
表 68	未學過學生加減消去法認知負荷量獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	110
表 69	已學過學生代入消去法認知負荷量獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	111
表 70	已學過學生加減消去法認知負荷量獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	112
表 71	高成就學生代入消去法認知負荷量獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	114
表 72	高成就學生加減消去法認知負荷量獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	115
表 73	中成就學生代入消去法認知負荷量獨立樣本 <i>T</i> 檢定摘要表.....	116

表 74	中成就學生加減消去法認知負荷量獨立樣本 T 檢定摘要表.....	117
表 75	低成就學生代入消去法認知負荷量獨立樣本 T 檢定摘要表.....	118
表 76	低成就學生加減消去法認知負荷量獨立樣本 T 檢定摘要表.....	119
表 77	代入消去法學習效率與投入分數數值 (整體)	120
表 78	代入消去法學習效率與投入分數數值 (以是否學過區分)	121
表 79	代入消去法學習效率與投入分數數值 (以學習成就區分)	122
表 80	加減消去法學習效率與投入分數數值 (整體)	123
表 81	加減消去法學習效率與投入分數數值 (以是否學過區分)	124
表 82	加減消去法學習效率與投入分數數值 (以學習成就區分)	125
表 83	專業知識反轉效應分析結果總表	126
表 84	KMO 值的判斷準則	127
表 85	代入消去法 KMO 取樣適當性與 BARTLETT 球形檢定	128
表 86	代入消去法因素分析—共同性	128
表 87	代入消去法因素分析—轉軸後成份矩陣	129
表 88	加減消去法 KMO 取樣適當性與 BARTLETT 球形檢定	130
表 89	加減消去法因素分析—共同性	130
表 90	加減消去法因素分析—轉軸後成份矩陣	131
表 91	代入消去法信度分析數據表	132
表 92	加減消去法信度分析數據表	133
表 93	相關係數的強度大小與意義	134
表 94	代入消去法認知負荷量表各題項相關係數矩陣	135
表 95	加減消去法認知負荷量表各題項相關係數矩陣	136
表 96	認知負荷量對整體學生在代入消去法後測總分的逐步多元迴歸分析摘要表 ..	138
表 97	認知負荷量對對照組在代入消去法後測總分的逐步多元迴歸分析摘要表	139
表 98	認知負荷量對實驗組代入消去法後測總分的逐步多元迴歸分析摘要表	139
表 99	認知負荷量對整體學生在加減消去法後測總分的逐步多元迴歸分析摘要表 ..	141
表 100	認知負荷量對對照組在加減消去法後測總分的逐步多元迴歸分析摘要表 ...	142
表 101	認知負荷量對實驗組在加減消去法後測總分的逐步多元迴歸分析摘要表 ...	142
表 102	學習成就分析結果摘要表	144
表 103	認知負荷量分析結果摘要表	145
表 104	認知負荷量表分析結果	146

圖次

圖 1 認知負荷的屬性與認知負荷架構的定義	22
圖 2 不同類型認知負荷可能的配置圖	23
圖 3 多媒體學習認知模型	25
圖 4 多媒體學習認知模型之旁白處理過程	26
圖 5 多媒體學習認知模型之圖像處理過程	26
圖 6 多媒體學習認知模型之字幕處理過程	27
圖 7 不同形式的訊息可以在工作記憶中轉換表徵	27
圖 8 多媒體認知學習的五個步驟	28
圖 9 區塊化過程範例	39
圖 10 上下對齊過程範例	40
圖 11 建立二維圖像關係過程範例 1	41
圖 12 建立二維圖像關係過程範例 2	41
圖 13 研究流程	47
圖 14 量表發展基本流程	67
圖 15 選取訊息	72
圖 16 組織相關訊息和整合相關訊息	73
圖 17 學習效率圖	77
圖 18 教學投入分數圖	79
圖 19 學習效率與學習投入分數圖	79
圖 20 代入消去法之學習效率與投入分數圖 (整體)	120
圖 21 代入消去法之學習效率與投入分數圖 (以是否學過區分)	121
圖 22 代入消去法之學習效率與投入分數圖 (以學習成就區分)	122
圖 23 加減消去法之學習效率與投入分數圖 (整體)	123
圖 24 加減消去法之學習效率與投入分數圖 (以是否學過區分)	124
圖 25 加減消去法之學習效率與投入分數圖 (以學習成就區分)	125



第一章 緒論

本章共分五節，主要說明本研究之研究動機與背景、研究目的、研究問題、研究範圍與研究限制。

1.1 研究動機與背景

鑒於教育部推動的各項資訊相關計畫，資訊融入教學儼然為主要趨勢，唯在真實的教育現場中，資訊融入仍面臨些許問題，導因於多數媒材設計僅將文本照本宣科轉為多媒體呈現，反著眼於有趣、美觀及聲光效果的變化上，忽略了教學本質與目的。因而大量必要與非必要的資訊同時呈現，使學習者忙於訊息的搜尋與比對，造成注意力與學習資源的損耗；而教學者也常因教學媒介之關係，不自覺地加速展演教材，讓學習者無法同步接收教學者正在傳達的訊息並進行學習處理，如此學習必然無效。綜觀以上，多媒體的教材設計是最大癥結所在。

國內、外皆有學者對此問題提出改善之道。John Sweller 在 1988 年將心智工作負荷引進教育界，以學習認知與心智負荷的角度廣泛地探討如何使學習更有效率，Sweller 陸續提出認知負荷效應，提供教材設計者作為教材設計的參考，近期共歸納出十四項認知負荷效應 (Sweller, 2010)。而 Mayer (2009) 的多媒體學習理論提供了一個多媒體學習的認知模型，說明了人類資訊處理的系統，並根據大量的實驗研究提出了十二項多媒體設計原則，Mayer 建議多媒體教材如依循其原則進行教材設計，可讓學生獲得最好的學習成效。

然而，在課堂教學環境主要的學習模式為教學者引導，教學的步調與訊息呈現由教學者掌控，同時間必須兼顧班級的整體性和個別性，又資訊融入使教材呈現畫面有所侷限，為此銜接與重整也就相對重要。陳明璋博士針對以上並參酌認知心理學、認知負荷理論以及多媒體學習理論，提出了以課堂授課為導向之激發式動態呈現教學 (Trigger-based Animation Instruction) 之概念，以 MS PowerPoint 為教學媒介及外掛增益集 AMA (Activate Mind Attention) 為輔助，讓教材設計者能依授課需求，設計出視覺化並具高度呈現彈性，且能配合課堂教學互動之多媒體教材，使更輕易地達成與學習者的認知互動 (陳明璋，2008)。除此，亦能藉由彈性地控制訊息的呈現，適時地突顯訊息間的關聯，以協助學習者順暢地選取、組織與整合教材訊息，進而降低學習者的學習負荷。林煜庭 (2008) 續以激發式動態呈現教材設計理念為基礎，從視覺認知理論、認知神經科學及資訊視覺化等領域切入，進行研究探討提出了「適性指標」(adaptive pointer)，

其具有「協助視覺搜尋」以及「引導注意力」的特性，藉此視覺物件以引導學習，增進學習。所以，激發式動態呈現教學融入適性指標提供了一個利於教學者有效掌握訊息的教學環境，能使教學者輕鬆地講述教材進行視覺引導，能使學習者降低視覺搜尋負荷將注意力與時間充分挹注在學習上。

而在數學教學領域中，代數教材之設計為研究者備感困難之範疇，特以解方程式之單元為最，因其間只有符號與式子的運算處理，屬單一功能的語象表徵，如要理解必須不斷地在上、下式子間進行瀏覽比對 (Duval, 2006)；代數不但缺乏圖像輔助，也無視覺情境，鮮能與生活體驗連結。在學習過程中，學習者不易了解運算的內容與目的，常常淪為制式化演算或死記硬背。謝東育 (2009) 亦有相同的感受，故以激發式動態呈現教學為基底，配合適性指標，聚焦於注意力引導，結合多媒體學習與認知負荷理論的觀點，提出了四項代數教材設計原則—教學內容結構化、教材呈現區塊化、建立訊息關聯與口語解說，期以改善、促進學習者學習。謝東育以準實驗研究法，選擇七年級數學二元一次聯立方程式單元為教材設計主題，對此單元學習成就低落的學生進行補救教學補救教學證實了代數教材設計原則確實能有效幫助學習。而後，曾椿惠 (2010) 和葉子榕 (2010) 分別利用代數教材設計原則，針對一元一次方程式之應用問題和二元一次方程式應用問題進行教材設計，實施於補救教學上，皆獲得顯著差異。

分析謝東育 (2009) 的教材，可見以適性指標設計原則或再加入代數教材設計原則之教材設計，其主要的概念就是「視覺引導」，教材呈現利用視覺物件來引導注意力，藉由結構化和區塊化、上下對齊的畫面編排方式減少學習者的視覺搜尋，並強化訊息間的關聯性。唯教學現場仍以常態編班教學為主，如將上述之視覺引導教材運用於常態編班教學上，是否能同時兼顧全班學生的學習？而對於不同先備知識學生、不同學習成就的學生又會產生什麼影響？是以，本研究將以解二元一次聯立方程式為主題進行探討，延續謝東育 (2009) 之研究建議，發展更精確的認知負荷量表，並透過實驗觀察專業知識反轉效應是否會產生。

1.2 研究目的

基於上述研究動機與背景，本研究的目的是如下：

1. 探討以不同的視覺引導教材設計於示例教學上，學生的學習成就表現。
2. 探討以不同的視覺引導教材設計於示例教學上，學生的認知負荷量差異。
3. 初步發展認知負荷量表，評量教材對於學習者所產生的負荷量。

4. 探討以不同的視覺引導教材設計於示例教學上是否產生專業知識反轉效應。

1.3 研究問題

1. 不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對於學生的學習成就表現是否有影響？
2. 不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對於學生的認知負荷是否有影響？
3. 不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對於專家學生是否有專業知識逆轉效應產生？

1.4 研究範圍與限制

1. 研究範圍

研究主題範圍為七年級數學科解二元一次聯立方程式。

2. 研究限制

本研究的教學實驗在設計之初務求嚴謹，但因現實環境限制仍產生諸多變因，影響施測結果。現將實際操作過程中可能遭遇到的限制分述如下，應在施測前先行尋覓解決之道，將變因所帶來之影響降到最低。為力求教學實驗的嚴謹性，減少真實教學現場可能產生的諸多變因，於實驗前規劃妥善，使變因影響施測的結果降到最低。可能遭遇的限制分述如下：

(1) 主題限制

對於不同代數主題，仍需設計不同實驗與教材加以印證，無法類推。

(2) 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七年級學生作為施測母群體，所抽取之樣本數有限，極容易有代表性不足之疑，若能推廣至其他鄉鎮學校或跨縣市，採集更多樣本即能合理推論研究結果。

(3) 受試人員限制

由於部分受試樣本非研究者任教之班級，對研究者的教學模式、口語速度、音量、音色等均不熟稔，非研究者任教之受試學生的不適應有可能會影響施測結果。又因於常態教學，必受補習班超前進度影響，因此於分析時得特別再區分。

(4) 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. 視覺引導

本研究中所稱之視覺引導教材為以「適性指標」或以「適性指標」和「代數教材設計原則」所設計之教材呈現形式。因教材呈現為利用視覺物件來引導注意力，並藉由結構化和區塊化、上下對齊的畫面編排方式減少學習者的視覺搜尋，並強化訊息間的關聯性。

2. 適性指標

適性指標為一種「視覺物件」，能協助「視覺搜尋」以及「引導注意力」。教學者可適時彈性地操控此物件，其變化包含由隱藏轉變成顯示、由顯示轉變成隱藏、改變顏色、改變大小、改變形狀或是移動位置等。狹義的適性指標是外加的輔助符號，用以凸顯物件、或建立物件間的關聯、或凸顯訊息之間的關係。廣義的適性指標包含訊息的結構化、視覺化、內容本身的凸顯以及附加的輔助元件。

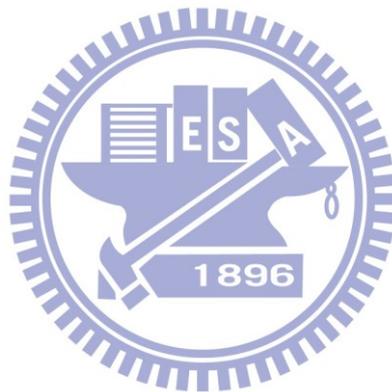
3. 專業知識反轉效應

對於低先備知識學習者有效的教學設計或技術，之於高先備知識者可能會失去效力且有負面的結果，這就是專業知識反轉效應。簡單的說，對於新手 (novice) 有用的不見得對專家 (expert) 有效。在此新手指的是經驗有限的學習者 (learners with limited

experience) 或低先備知識的學習者 (low-prior knowledge) 或低專業知識的學習者 (learners with low expertise) ，反之為專家。在本研究中，未學過的學生和低學習成就的學生視為新手，已學過的學生和高學習成就的學生視為專家。

4. 示例教學

在進行學習程序性知識教學時，給予學習者解題示例 (worked example) — 完整的解題或解決步驟，讓學習者研讀並做為參考。本研究教學皆以解題示例進行教學。



第二章 文獻探討

2.1 認知負荷理論

Clark, Nguyen 和 Sweller (2006) 說認知負荷理論是一套通用的學習原則，已被證明能造就一個有效的學習環境並使人類學習認知過程發揮到淋漓盡致。Kalyuga (2009) 以為認知負荷理論是一個學習與教學的理論，描述教學設計對人類認知架構的影響。van Gog 和 Paas (2008) 指出認知負荷理論的宗旨是針對學習者的認知結構去安排有效的教學設計。Beckmann (2010) 認為認知負荷理論的主要目標是提出教學設計和教學教材如何促進人類學習技能與獲取知識。

認知負荷理論對人類認知架構 (cognitive architecture) 有四項基本假定 (Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998)，條列說明如下：

1. 工作記憶 (working memory) 的容量有限

工作記憶的容量有限，只能同時儲存 7 ± 2 個項目或元素，若要進行組織、對比、比較等處理，則同時間僅能處理 2-3 個 (Sweller, et al., 1998)。而工作記憶能處理訊息的時間也有限，若未經更新練習 (refreshed by rehearsal)，大約 20 秒就會遺忘消逝 (van Merriënboer & Sweller, 2005)。

因此，一次要處理的訊息量如果過多，或是要處理的元素間關聯性很複雜，就會很容易超出工作記憶的負荷量（容量與時間限制）。以上的容量限制與時間極限僅適用於從感官記憶所獲取的新訊息；當處理的訊息提取自長期記憶，則工作記憶限制便會減弱 (Leahy & Sweller, 2005)。

2. 長期記憶 (long term memory) 的容量無限

長期記憶的容量是無限的，它儲存了已學過的知識與技能，例如 $3 \times 7 = 21$ 或拼出“我”的注音符號。長期記憶的強度與存取的速度與練習有關，當練習越多回，其熟悉度就越高，則強度與往後提取回存的速度就會增加。Kalyuga (2009) 說越充分的闡述和越深入的教材處理能成就更好的長期記憶。

而專家 (expert) 與新手 (novice) 的區別就在於長期記憶儲存的內容與其豐富度。

3. 知識是以基模 (schema) 型態存於長期記憶中

Sweller 等人 (1998) 指出根據基模理論 (Schema Theory) ，知識是以基模的形式儲存於長期記憶中。而且基模的顯著機制便是組織與儲存知識，並減少工作記憶的負荷量。例如，當幼童看到一個穿著黑白條紋衣著的人，幼童會說那是斑馬的衣服，因為黑白條紋與斑馬是幼童記憶中的基模；而國中生則會說那是囚犯裝，因其基模中除了斑馬還包含了囚犯。

4. 基模運作的自動化 (automation) 是基模建構的重要過程

所有的訊息處理要不是透過自覺的控制處理，便是透過自動化處理。而自覺處理為意識所控制，會占用工作記憶的空間；而自動化處理僅需要少量的心智負荷，亦即最少的工作記憶負荷 (Sweller, et al., 1998) 。自動化發生在廣泛與足夠的練習之後，基模自動化可以釋放工作記憶容量予其他的活動能順暢運作；熟悉的任務隨著自動化可以更準確而流暢的進行，陌生的任務亦能伴隨自動化程序獲得更多的認知資源，使學習效率達至最高，因此自動化是基模建立的重要過程。

2.1.1 認知負荷類型

新的訊息在形成基模儲存於長期記憶之前，必須在工作記憶中經過處理，處理過程中所產生的負荷分為以下三種類型。

1. 內在認知負荷 (Intrinsic cognitive load)

內在認知負荷取決於教材或任務本質（複雜度、困難度和元素間的關聯程度）與學習者專業程度（所具備的先備知識或經驗）之間的交互作用 (Kalyuga, 2009; Paas, Tuovinen, Tabbers, & van Gerven, 2003) 。

如複雜度高的教材，其元素間有高交互作用，則導致高內在認知負荷；以電子迴路為例，要了解整個電子迴路的運作比指出迴路中個別的電子元件來的困難，所以前者的內在認知負荷高於後者。又如第二語言的學習新手，每個單字都是獨立的元素，但對於該語言有一定程度的學習者，則一句話或一段落在工作記憶被處理時僅是一個獨立的元素，雖然教材相同，但因學習者的專業程度不同導致相異的內在認知負荷。

Kalyuga (2009) 提到如果內在認知負荷超出工作記憶的容量，那麼我們就必須適當去管理它，例如將最初的目標 (initial goal) 切割成數個必要處理過程在工作記憶限度下的子目標 (sub-goals) 。也就是說將教材分割成較小的部份，讓學習者逐步地處理教材的內容。van Merriënboer, Kirschner 和 Kester (2003) 也有相似的建議，他們說減低內在

認知負荷可透過從簡單到困難的支架輔助而達成。

倘若學習任務或教材之於學習者太過簡單，而使認知容量未使用，則學習者將學得很少甚至無學習產生。總之，教材的設計者不能直接去影響內在認知負荷，但能間接地管理。

2. 外在認知負荷 (Extraneous or Ineffective cognitive load)

外在認知負荷是額外的負載，源於不良的教材設計 (Paas, et al., 2003)，其包括的粗劣的介面設計、不佳的多媒體展演形式和不當的任務順序。相對於內在認知負荷和有效認知負荷，外在認知負荷是無關於學習和表現的認知資源活動，Kalyuga (2009) 又稱之為壞 (bad) 的、徒勞無益的 (unproductive) 和無建設性的 (non-constructive) 負荷。

Kalyuga (2009) 歸納出了四種典型的教學情況使外在認知負荷產生，茲分述如下。

(1) 空間／時間分散注意力情況 (spatial or temporal split-attention situation)：將相關內容的表徵分開呈現使得學習者必須大量進行搜尋和比對的過程。

(2) 過多訊息情況 (excessive information situation)：訊息變換的步驟或速度過大，以至於大量新的元素進入工作記憶或太快進入工作記憶區，而無法成功地與長期記憶的架構整合。

(3) 引發搜尋情況 (induced search situation)：未提供適當的引導，無法補足有限的知識，而迫使學習者使用隨機程序 (random procedures) 去搜尋。

(4) 重複情況 (redundancy search situation)：因為外部的引導使得學習者必須在相同內容卻以不同表徵呈現的教材間耗費認知資源去進行參照比對。

因此，為了消除或減少外在認知負荷，改善教材展演形式或教學程序的設計可能是學習極重要的關鍵。

3. 有效認知負荷 (Germane or Effective cognitive load)

有效認知負荷是一種基模建置與自動化的過程的負荷，透過特意設計的各種認知活動促進學習者學習，加強學習成果和增加學習動機。上述的活動可能會明顯地增加總認知負荷，但是有助於學習的，除非總認知負荷早已超過工作記憶的容量 (Kalyuga, 2009)。Paas (2003)、Kalyuga (2006) 與 van Gog 和 Paas (2008) 都指出有效認知負荷與外在認知負荷都可被教材設計者直接操控。

若學習任務的內在認知負荷低時，外在認知負荷並不會對學習造成影響；反之，當內在認知負荷高時，就得留意是否超出工作記憶的容量，適度地增加有效認知負荷，盡

量避免外在認知負荷。而有效的學習即是減少不相關的負荷、增加相關的負荷並管理內在負荷 (Clark, et al., 2006) , 這與 Mayer (2009) 主張的多媒體學習認知理論之三種認知處理過程相同, 前述之認知處理過程將於下節中探討。這樣的觀念亦與 van Gog 和 Paas (2008) 所提的優化學習 (optimize learning) 概念一致, 所謂優化學習並非全力減低學習者工作記憶的負荷, 而是避免工作記憶的超載或無負載, 因為以上兩種狀況都會使學習惡化, 所以當超載時應減少無貢獻的外在認知負荷, 適度地調整有效認知負荷, 當無負載時, 應增加促進學習的有效認知負荷。

2.1.2 認知負荷效應

為了使學習有效、使學習優化, 如上段所述, 要減少外在認知負荷、增加有效認知負荷, 並適當管理內在認知負荷。因此 Sweller 等人 (1998) 根據之前認知負荷理論的相關研究結果先提出了七項教學設計原則; 而後 Sweller (2004) 再依據眾多實驗證據發展為十一項教學設計原則; 近期 Sweller (2010) 將其延伸為十四項教學設計原則, 提供教學設計者和教學者作為教學設計與教學實施的準則, 使其能藉由這些教學設計原則有效地引領學習者快速學習、深入學習。教學設計原則所產生的效應 (effect) 與其主要影響的認知負荷類型, 分別說明如下:

1. 開放目的效應 (Goal-free effect) — 外在認知負荷

所謂的開放目的 (goal-free) 就是讓學習者在沒有具體的目標下盡可能地表達個人思考過程中任何步驟或結論(如說出你能找到的角度或盡可能計算出你能求出的變數)。而傳統的問題解決 (solving conventional problems) , 因限制學習者的想法, 使學習者侷限於某個框架下進行認知處理, 導致學習增加了沉重的認知負荷(如請求出 $\angle ABC$ 的角度或計算出汽車最後的速度)。

之於傳統目標問題, 這種非特定或無目的的問題能減少工作記憶的負荷 (Sweller, 2004) , 當開放目的的問題比傳統問題引發更多的學習時, 開放目的效應 (Goal-free effect) 就發生。但僅適用於解決方式之數量是有限的領域, 以及那些所求出的解決方式和過程是有教育性意義的 (Sweller, 2004) 。

2. 工作示例效應 (Worked example effect) — 外在認知負荷

在學習程序性的知識時, 如果學習者是新手, 那麼給予解題工作示例 (worked example) — 完整的解題或解決步驟, 讓其研讀並做為參考, 如此會比只給予問題讓學習

者去解決來得好。

Sweller (2004) 提了這樣一個例子：若使新手在毫無知識依靠下去解決一個問題，學習者將藉由隨機摸索、測試去得到一個結果，這過程就像基因適應環境一樣。可若適當地給予參照例子，則學習者便能快速且精準地進行學習。即工作示例可以減低無謂探索與資源耗費並減少學習時間，也就是能減少外在認知負荷 (Kalyuga, 2009; Sweller, 2004)；而當工作記憶的負荷減少，就會有更多認知空間去獲取知識使其形成基模儲存在長期記憶中。

3. 完成問題效應 (Problem completion effect) — 外在認知負荷

完成問題 (completion problems) 是給定一個特定的目標狀態，提供學習者部分的解決方案，要求學習者繼續完成它 (Sweller, et al., 1998)。也就是工作示例的修改，保留部分解題或解決步驟，剩下的由學習者自行完成。完成問題是用於以設計為導向的主題領域，如軟體設計、電子電路設計、生產流程規劃、電腦數值控制編程等 (Sweller, et al., 1998)。且有大量的證據表示，相對於傳統問題解決，完成問題與工作示例一樣，能降低外在認知負荷、減少心力付出、促進基模建立並引發更好的學習轉化 (Paas, 1992; Sweller, et al., 1998)。

4. 分散注意力效應 (Split-attention effect) — 外在認知負荷

許多多媒體展演包含了互相關聯的圖像與文字，如果這些圖像和文字未整合在一起，就空間安排而言是分離的，那麼分散注意力效應就會發生。因為學習者需要進行圖像和文字的搜尋與比對，這不僅與學習無關還浪費了大量的工作記憶資源，也抑制了學習，即便展演的方式是以工作示例來呈現 (Kalyuga, 2009)。

同樣地，當口語解說與相對應的圖像不同步出現，學習者就必須將先出現的表徵保留在工作記憶中，等待另個表徵出現，才能開始比對與整合。暫存和比對都需要耗費額外的工作記憶資源，這也是分散注意力效應。分散注意力效應常發生在真實的教育環境中 (Sweller, et al., 1998)，而此效應導致了外在認知負荷。為此，教學設計者在教學設計時應認真地留意並消弭這個問題。此與 Mayer (2001; 2009) 的空間接近原則和時間接近原則有異曲同工之妙。

5. 形式效應 (Modality effect) — 外在認知負荷

Mayer (2009) 的多媒體原則提到以雙碼形式展演學習教材會比僅採用一種形式呈現來得有效果。而當學習者接受圖像搭配口語解說之形式與圖像搭配文字解說之形式的教材呈現，前者的學習成效會優於後者，這便是形式效應 (Kalyuga, 2009)。

因為圖像與口語解說分別進入視覺通道和聽覺通道，不會有通道阻塞和資源不足的問題；若是圖像和文字解說，兩者同屬視覺形式，即會有爭通道之問題產生。又以人類的認知系統來看，當同時使用視覺和聽覺兩種處理器，工作記憶即能擴展應用 (Sweller, 2010)。此效應與多媒體設計原則之形式原則 (Modality principle) 一樣。

6. 重複效應 (Redundancy effect) — 外在認知負荷

在前述的分散注意力效應 (Split-attention effect) 與形式效應 (Modality effect) 中，教材包含了視覺表徵和聽覺表徵的訊息，而其訊息因為獨立呈現時無法將完整的概念傳達，因此需要整合兩者使相輔相成讓學習者容易理解。如果單一訊息無法被單獨處理，藉由物理性的整合就會減少注意力分散，進而降低認知負荷 (Sweller, et al., 1998)。

倘若圖像、文字和口語解說都傳達同樣的內容，而且僅用圖像、文字或口語解說其一便能將訊息傳達清楚，那麼當多碼同時被展演就會產生重複效應 (Sweller, 2004)，所謂的重複就是教材內容的重複。如果教材內容經由一種訊息就可以理解，卻同時呈現多種型態的重複訊息，此時學習者必須對整合的訊息進行比對與處理，而這些非關學習且干擾學習的過程，導致外在認知負荷增加。因此消除重複的教材訊息可以促進學習、增加學習成果，這與多媒體學習理論之重複原則 (Redundancy principle) 的部分概念相仿。

7. 專業知識反轉效應 (Expertise reversal effect) — 外在認知負荷

對於低先備知識學習者有效的教學設計或技術，之於高先備知識者可能會失去效力且有負面的結果，這就是專業知識反轉效應。簡單的說，對於新手有用的不見得對專家有效 (Kalyuga, 2007; Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003)；專業知識反轉效應即是教學設計的成效與學習者知識程度的相關性與改變。因為大多數的教材設計內容都是固定的，而且是概括的設計，並預設學習者皆為新手 (Schnotz, 2010)，因此當教材使用於一般教學時，便有可能產生專業知識反轉效應。Kalyuga (2009) 指出專業知識反轉效應最重要的涵義就是設計有效且高效的多媒體認知環境，以符合學習者不同的程度或不斷改變的專業知識豐富度。

本研究之教材設計原使用於補救教學中，亦即使用於專業知識低的學習者身上，但本研究改於常態教學中實施，而常態教學中本有不同學習成就之學生，故本研究目的之一為探討專業知識反轉效應是否會發生。茲將此效應引發的類型歸納整理於本章最末節。

8. 引導漸減效應 (Guidance fading effect) — 外在認知負荷

就新手學習而言，先給工作示例 (worked example)，而後進行問題完成 (completion problems)，當相關知識逐漸豐富時最後給予完整的問題解決 (full problems) (Sweller, 2004; Sweller, 2010)；換句話說，隨著學習者的專業知識增長，範例與提示已由內在認知負荷轉為多餘的外在認知負荷，因故所需的引導就必須漸漸減少，以避免專業知識逆轉效應的產生。

9. 獨立互動元素效應 (Isolated-interacting elements effect) — 內在認知負荷

當教材包含了很多高交互作用的元素，若同時在工作記憶中處理，會造成大量的內在認知負荷，導致超出工作記憶容量，則學習和理解受到極大的阻礙 (Sweller, 2004; Sweller, 2010)。因此，至少要有一部分的互動元素先在工作記憶中被獨立處理 (processed in isolated form)，而後組合儲存在長期記憶中；當分別學習完獨立元素後，再學習原始的教材，這時因為學習內容的獨立基模已建置，所以最初的高交互作用對於學習者已轉變為低交互作用，在工作記憶處理時不僅不會造成負荷超量，也因為基模的自動化使學習更深入。

獨立互動元素效應是藉由人為的方式去改變元素互動性的內在認知負荷；雖然無法改變最初學習任務或目標的內在認知負荷，但可將任務分割成數個學習次任務或次目標間接降低 (Sweller, 2010)，如此便能透過延遲元素互動性學習，促進學習成效。

10. 整體—模組效應 (Molar-Modular effect) — 內在認知負荷

整體—模組 (Molar-Modular) 形式多用於工作示例 (worked example) 上。整體形式 (molar) 就是傳統教科書上的解題形式，以整體的觀點，側重於問題的類別和整體解決方案及其相關的程序 (Gerjets, Scheiter, & Catrambone, 2004, 2006)。就像食譜或處方，給定一個方法或程序，讓學習者去依循。這種整體化形式有著高度的內在認知負荷，即工作記憶區必須同時處理所多必要的訊息。例如：(1) 確定任務特點，(2) 提供公式，(3) 輸入數值，然後 (4) 計算。

模組 (modular) 形式，即是將複雜的解決方案分解成更小且有意義又能分開傳達與被理解的解決方案元素 (Gerjets, et al., 2004, 2006)；也就是將目標分割成數個子目標，分開達成然後統合。這與獨立互動元素效應 (Isolated-interacting elements effect) 的概念是相同的。以引導的方式去讓學習者逐步推導出數個結果，然後再歸納彙集成最後結論。

Gerjets 等人 (2004) 建議在最初的技能或理解上，先使用模組化形式，而後再切換至整體化形式使技能和理解繼續發展。所以何時使用模組化，何時又該使用整體化就是

教材設計者與教學者既重要又艱鉅的難題了，這必須依據學習者的能力與問題的結構特徵來判斷。

11. 變化效應 (Variability effect) — 有效認知負荷

變化效應是指提供不同問題狀態和情境的題目讓學習者去練習，藉由題目的變化促使其基模發展，而進一步強化學習轉化的能力。

高度變化的題型雖然會增加學習或練習過程中的認知負荷，卻是獲得更好的轉化效果，因此所增加的認知負荷與學習是直接相關的，Sweller (1998) 推斷所增加的是有效認知負荷，而非外在認知負荷。雖然一般常有增加認知負荷即會損害學習，而教學設計也常著眼於減低外在認知負荷，但只要在工作記憶的容量限度下，增加有效認知負荷遠比減少外在認知負荷來的有效，而這也是優化學習的概念。

12. 元素交互作用效應 (Element interactivity effect) — 內在認知負荷

元素交互作用效應指的是一當教材的元素交互作用是低的，其內在認知負荷就是低的，即便教材不良的設計引發了外在認知負荷，其外在認知負荷也不會是影響學習的重要關鍵，因為總認知負荷不會超過工作記憶容量 (Leahy & Sweller, 2005; Sweller, 2010)。也就是說，當元素交互作用低，就不會有前面所提到的認知負荷效應；反之，當教材的元素交互作用高時，因內在認知負荷高，就得去考量外在認知負荷對於學習的妨礙。本效應結合了元素交互作用的內外認知負荷，因此效應可說是認知負荷理論和認知負荷效應的核心 (Sweller, 2010)。

13. 想像效應 (Imagination effect) — 有效認知負荷

當學習者被要求想像一個過程或概念時，其表現會超越被要求研讀同樣過程和概念的學習者，這即是想像效應 (Cooper, Tindall-Ford, Chandler, & Sweller, 2001; Leahy & Sweller, 2004; 2005)。以認知負荷理論的觀點來看，學習者對於教材內容進行想像時會提取相關的基模至工作記憶中進行處理，也就是說想像效應促使基模自動化；因此想像效應能提升有效認知負荷，加強學習效果。

但想像效應的前提是一學習者早已具備相關知識的基模。若學習者的基模尚未建立，想像指令只會產生外在認知負荷讓工作記憶超載並讓想像指令失效。為此，先備知識低的學習者適用研讀指令來建立基模 (Leahy & Sweller, 2004; Sweller, 2010)。此與專業知識逆轉效應有關聯。

14. 自我解釋效應 (Self-explanation effect) – 有效認知負荷

自我解釋效應是另一種使用認知負荷理論來進行分析的效應。而此效應與想像效應有關，其認知處理方式也與其類似，即是要求學習者嘗試去解釋一個新的過程或新的概念；Sweller (2010) 指出這樣的動作引導認知資源（有效認知負荷）去處理有關的互動元素（內在認知負荷）。

自我解釋效應和想像效應都不是透過改變教材來降低外在認知負荷，是藉由鼓勵學習者進行與一般學習不同的活動而為之；一般學習活動因為訊息的互動元素之故，導致外在認知負荷增加，而這兩個效應可以將偏離的認知資源重新導向，進而減少外在認知負荷。換句話說，教學者可以引導並鼓勵學習者去使用認知過程，取代直接教導，以消除與學習無關的活動 (Sweller, 2010)。

2.1.3 認知負荷測量

測量 (measurement) 在社會科學領域佔有很重要的地位，測量是運用一套符號系統去描述被觀察對象的某個行為或特質的過程。從統計分析的觀點看來，測量是將研究者所關心的現象予以具體化 (邱皓政, 2010)。而在認知負荷理論中，學習者的認知負荷量是學者們關注的焦點；在認知處理過程中，所謂的內在認知負荷、外在認知負荷及有效認知負荷被認定深深地影響學習者的理解、吸收以及表現，這些抽象又無形的特質即必須以科學化和標準化的測量來獲取，以進一步驗證理論與實際狀況是否相符。因此認知負荷測量一直以來都是認知負荷學派研究的重點主題。

關於認知負荷測量，Eggemeier (1988) 提出三類認知負荷主要的測量方法：

1. 主觀測量法 (subjective techniques)

主觀測量法是基於學習者能藉由反思，將自己在認知過程中所付出的心智努力與心智負荷量化。利用評定量表 (rating scales) 對應出其數值，進而統計測量出學習者的負荷量。近期的研究有些採用 Bratfish, Borg 和 Dornic (1972) 所修訂的9點等級量表版本，等級介於「1」至「9」，對應「非常，非常低的心智努力」到「非常，非常高的心智努力」。而也有部分研究採用類似的7點等級量表來測量，如表 1。

表 1

認知負荷與心智成效相關研究所使用的測量方法

研究	認知負荷測量方法	學習效率分析
Sweller (1988)	PS, ST	
Paas (1992)	RS9	
Paas & van Merriënboer (1993)	RS9	ME
Paas & van Merriënboer (1994b)	RS9, HRV	ME
Cerpa, Chandler, & Sweller (1996)	RS9	ME
Chandler & Sweller (1996)	ST	
Marcus, Cooper, & Sweller (1996)	RS7, ST	ME
Tindall-Ford, Chandler, & Sweller (1997)	RS7	ME
Yeung, Jin, & Sweller (1997)	RS9	ME
de Croock, van Merriënboer, & Paas (1998)	RS9	
Kalyuga, Chandler, & Sweller (1998)	RS7	ME
Kalyuga, Chandler, & Sweller (1999)	RS7	ME
Tuovinen & Sweller (1999)	RS9	ME
Yeung (1999)	RS9	ME
Kalyuga, Chandler, & Sweller (2000)	RS7	ME
Kalyuga, Chandler, & Sweller (2001)	RS7	ME
Kalyuga, Chandler, Tuovinen, & Sweller (2001)	RS9	ME
Mayer & Chandler (2001)	RS7	
Pollock, Chandler, & Sweller (2002)	RS7	ME
Stark, Mandl, Gruber, & Renkl (2002)	RS9	
Tabbers, Martens, & van Merriënboer (2002)	RS9	
Tabbers, Martens, & van Merriënboer (in press)	RS9	
Van Gerven, Paas, van Merriënboer, Hendriks, & Schmidt (2002)	RS9	ME
Van Gerven, Paas, van Merriënboer, & Schmidt (2002a)	RS9	ME
Van Gerven, Paas, van Merriënboer, & Schmidt (2002b)	PR	
Van Gerven, Paas, van Merriënboer, & Schmidt (2002c)	RS9, ST	ME
van Merriënboer, Schuurman, de Croock, & Paas (2002)	RS9	ME

註：研究依時間順列表列。PS = 生產系統; ST = 次要任務方法; RS = 等級評定量表(9點或7點); ME = 學習效率; HRV = 心率變異性; PR = 瞳孔反應。

資料來源：擷取自“Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory.” by Paas, F., Tuovinen, J., Tabbers, H., & Van Gerven, P., 2003, *Educational psychologist*, 38(1), p.63. doi:10.1207/S15326985EP3801_8

雖然自我評估可能會出現問題，Gopher 和 Braune (1984) 已經證明，人類能給予一個數值去顯示他們自覺的心理負擔。除此，它也被證明對於規模相對較小的認知負荷差異，它們是敏感、有效的、可靠且非侵入的 (Paas, van Merriënboer, & Adam, 1994)。多數主觀的測量是多層面的，因為在評定量表中可以分析對應的變量，如精神的努力，疲

勞和挫折，這些是高度相關 (Nygren, 1991)。

2. 生理測量法 (physiological techniques)

生理測量法是基於認知功能的變化會反映在生理參數這樣的假設。利用生理上的指標，如眼睛活動（眼球的移動、瞳孔大小、閃爍頻率）、心跳的速度及變化、大腦活動（腦波），來評估認知負荷量的大小或變化 (Paas, et al., 2003; Paas, et al., 1994; Sweller, et al., 1998)。

3. 任務和表現測量法 (task- and performance-based techniques)

任務和表現測量法是利用目標性任務的特點（如教材難易）和表現等級（如反映時間、準確性和錯誤率）來獲取學習者的心智努力。

而 Brünken、Plass 和 Leutner (2003) 將認知負荷測量方式歸類成兩個向度：「客觀性」—主觀或客觀，「因果關係性」—直接或間接。客觀性向度測量使用主觀的自評評估資料或客觀的行為觀察、生理狀態或表現觀察。而因果關係向度測量方法的分類是依據行為實際特徵與測量的觀察。表 2 為 Brünken 等人所提出的認知負荷測量兩向度關係表。

表 2
認知負荷兩個向度分類關係表

客觀性 (Objectivity)	關係性 (Causal Relationship)	
	間接 (Indirect)	直接 (Direct)
主觀 (Subjective)	自我評量心智努力	自我評量壓力等級 自我評量教材難易
	生理測量 行為評量 學習成效評量	腦部活動測量 (如功能磁共振造影) 雙重任務表現

資料來源：“Direct measurement of cognitive load in multimedia learning.” by Brünken, R., Plass, J., & Leutner, D., 2003, *Educational psychologist*, 38(1), p.55.

doi:10.1207/S15326985EP3801_7

1. 間接/主觀：學習者回想學習的認知歷程，並依照付出的心智努力程度填寫量表。使用後測問卷的方式去測量學習者在了解學習教材的過程中所付出的心智努力 (Paas, et al., 1994)。近年來這方法常應用，它能可靠地獲得主觀的心智付出感覺。

2. 直接/主觀：由學習者自我評量教材的難易程度，這與認知負荷的強度有直接的關聯，是敏感度高的方法。但會因任務的困難度、學習者個別的能力程度或不同的注意力過程而有所差異。
3. 間接/客觀：測量學習成效是最常見的方法，但學習者個別差異的研究皆顯示學習者的特徵高度地影響學習表現 (Mayer, 2001; Plass, Chun, Mayer, & Leutner, 1998)。而測量生理相關的訊息（如心跳、瞳孔擴張、眼動儀等測量），雖然客觀，卻僅是利用注意或引導力間接地證實與認知負荷的相關性 (Brünken, et al., 2003)。
4. 直接/客觀：直接且客觀的評量方法有二，一是利用神經影像、功能性核磁共振、陽電子放射等觀察腦部活動來斷定認知負荷的變化，但以上測量均須精密的儀器，且所費不貲。二為雙重任務表現，就是給予受測者主要任務與次要任務，藉由兩個任務進行所產生的負荷來測量。

另外，對岸學者張智君和朱祖祥（1995）也認為主觀評定是一項重要的認知負荷測量技術，雖然應用廣泛且有使用簡易、敏感度高等優點，但最大的問題即是無法明確地分辨認知負荷、心理負荷及任務壓力等對心理負荷的成分。因此以 Hart 和 Staveland (1988) 設計的 NASA-TLX 評定量表 (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index)，如表 3，與 Reid 和 Nygren (1988) 設計的 SWAT 評定量表 (Subjective Workload Assessment Technique)，如表 4 為基礎，將心理負荷評定項目設定為八點，分別為「任務難度」、「時間壓力」、「緊張程度」、「注意要求」、「疲勞程度」、「成就知覺」、「心理努力」與「生理努力」，進行眼動觀察實驗，並施以主觀衡量，再將所的數據進行敏感度、相關性及因素分析。最後將「任務複雜性」、「任務壓力」、「心理努力」與「疲勞和緊張水平」確立為主觀評定的四個維度。

表 3
NASA-TLX 評定量表

維度	兩極	描述
心理需求 (Mental demand)	低／高	需要多少的心理和知覺活動？（如思考、決定、計算、記憶、搜尋等）任務是容易的還是吃力的？簡單的或困難的？嚴格的還是容許失誤的？
生理需求 (Physical demand)	低／高	需要多少的生理活動？（如推、拉、旋轉、控制、活動等）任務是容易的還是吃力的？緩慢還是快的？平緩的還是激烈的？悠閒的還是費力的？

（續下頁）

維度	兩極	描述
時間需求 (Temporal demand)	低／高	任務或任務元素呈現的速度，讓你感受到多少時間壓力？是緩慢而悠閒的？還是迅速且狂暴的？
表現 (Performance)	好／差	完成任務目標後的成就感和滿意度為何？
努力 (Effort)	低／高	為了達到你的表現水準，付出了多少生理和心理的努力？
挫折程度 (Frustration level)	低／高	在任務當中所感受到的不安全感、挫折感、煩躁、緊張等。

資料來源：“Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research.” by Hart, S., & Staveland, L.,1988, Human mental workload, 1, 139-183.

表 4

SWAT 評定量表

維度	描述
時間負荷 (Time load)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低負荷：常有空閒時間，活動幾乎不被干擾中斷。 2. 中負荷：偶有空閒時間，活動不常被干擾中斷。 3. 高負荷：幾乎沒有空閒時間，活動經常被干擾中斷。
心智努力負荷 (Mental effort load)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低負荷：極低有意識的心智努力與精神需求，幾乎是自動化處理，僅需要少量的注意力甚至不用。 2. 中負荷：中等程度有意識的心智努力與精神需求，適度複雜的活動導致不確定、無法預期與不熟悉，因此需要相當的注意力。 3. 高負荷：必須付出大量的心智努力與精神，很複雜的活動需要完全的注意力。
心理壓力負荷 (Psychological stress load)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低負荷：有點困惑，冒險，挫折，或焦慮存在，並輕鬆地被接受 2. 中負荷：因為困惑、挫折與焦慮導致適度的壓力，增加了工作負荷。為了維持適當的表現需要大量的彌補。 3. 高負荷：由於混亂，沮喪或焦慮導致極高度的壓力，需要極大的決心和自我控制。

資料來源：“The subjective workload assessment technique: A scaling procedure for measuring mental workload.” by Reid, G., & Nygren, T.,1988, Human mental workload, 185-218.

而國內對於認知負荷測量之研究，應屬以郭秀緞（2006）最為深入，其除探討 Paas 等人（1994）所提之單維度 9 點量表（unidimensional ninth-grade scale），亦引進 NASA-TLX 評定量表與 SWAT 綜合比較，並加入自身於教育現場多年的經驗，歸納擬訂一六向度的認知負荷量表。該量表經過國小四、五、六年級的學生預試，而後進行敏感度、因素及信度分析；結果顯示其認知負荷量表有足夠的敏感度以區別不同的任務，因素分析所得的 KMO 值為.9，解釋變異量為 72.23%，而 Cronbach α 係數為.92 表示有極佳的信度。

除此，國內宋曜廷（2000）以 Paas 等國外學者（Paas & Merriënboer, 1994; Sweller, et al., 1998）之負荷評定方法：「投入心力」與「感受到的困難度」兩項，對學習者進行閱讀認知負荷之自我評估。其後，眾多國內研究者（李幸玟，2009；郭璟瑜，2003；楊培渝，2006；潘伯正，2009；謝宗憲，2008；謝東育，2009；謝財旺，2006）皆引用並延續宋曜廷所應用之認知負荷量表作為研究工具；以下將部分國內相關研究之認知負荷量表彙整如下表 5，作為發展研究工具之認知負荷量表參考。

表 5

國內認知負荷量表相關研究彙整表

研究 認知負荷測量技術	認知負荷量表問題	量表依據
宋曜廷（2000） 7 點數字評定量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 我覺得自己在學習這份教材時 （非常容易—非常困難） 2. 我覺得我花了很大的心力才能看懂這份教材 （非常不同意—非常同意） 	Paas, 等人 (1994)
郭璟瑜（2003） 7 點數字評定量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 我認為單元二的內容在學習上 （非常容易—非常困難） 2. 我覺得我花了很大的心力，才能記得單元二的內容 （非常容易—非常困難） 	宋曜廷（2000）
郭秀緞（2005） 7 點數字評定量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 我覺得我花了很大的心力才看得懂這個題目 （非常不同意—非常同意） 2. 我覺得我花了很大的心力才解出這題的答案 （非常不同意—非常同意） 3. 我覺得這份數學題目 （非常容易—非常困難） 	Sweller, 等人 (1998)
郭秀緞（2006） 9 點圖示評定量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 我覺得我花了多少的心力，才能解出這些題目的答案 （極小—極大） 2. 我覺得要完成這些題目的答案，困難度是 （極容易—極困難） 3. 我覺得完成這些題目的過程中，我所感受到的挫折感是 （極小—極大） 4. 我覺得在解答這些問題時，我心中所感受到的壓力是 （極小—極大） 5. 我覺得完成這些題目，過程中我必須付出的注意力是 （極小—極大） 6. 我覺得在解答這些問題時，我心中必須同時記住的项目或數字是 （極少—極多） 	Paas (1994) NASA-TXL SWAT 郭秀緞（2005）

(續下頁)

研究 認知負荷測量技術	認知負荷量表問題	量表依據
楊培渝 (2006) 7點數字評定量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 我認為此閱讀測驗內容在學習上的難度如何？ (非常容易—非常困難) 2. 我覺得我花了很大的時間與心力，才能閱讀測驗的內容。 (非常不同意—非常同意) 	宋曜廷 (2000)
謝財旺 (2006) 7點數字評定量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 我認為此教材的內容在學習上是容易。 (非常同意—完全不同意) 2. 我覺得我很輕鬆就能記得此教材的內容。 (非常同意—完全不同意) 3. 我覺得此教材的內容對我學習歷史之是很有幫助。 (非常同意—完全不同意) 4. 我覺得此教材的內容很有趣。 (非常同意—完全不同意) 5. 學習此教材的內容讓我有信心學好。 (非常同意—完全不同意) 	Cerpa, Chandler, & Sweller (1996) Kalyuga (2000) 宋曜廷 (2000)
謝宗憲 (2008) 5點數字評定量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 我看這個小燈泡導電的動畫會不會很困難？ (非常容易—非常困難) 2. 我覺得我要花一段時間，才能知道小燈泡導電動畫教學的內容。 (非常不同意—非常同意) 	宋曜廷 (2000)
蘇義賢 (2008) 7點數字評定量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在老師進行「插座」教學時，我花了很大的心力才了解「插座接線原理」？ (非常不同意—非常同意) 2. 在老師進行「插座」教學時，我認為「插座接線原理」這個課程？ (非常容易—非常困難) 	郭秀緞 (2006)
李幸玟 (2009) 9點圖示評定量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在觀看網頁的教材時，我花了很多心力才了解裡面的知識 (非常、非常不同意—非常、非常同意) 2. 在學習網頁的教材時，我覺得教材內容 (非常、非常容易—非常、非常困難) 	宋曜廷 (2000)
呂鳳琳 (2009) 9點圖示評定量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 這些證明題的寫法讓你讀下去的意願如何？(閱讀意願) (非常不願意—非常願意) 2. 你覺得這些證明題的困難度如何？(困難度) (非常容易—非常困難) 3. 你覺得理解這些證明題需要花費的心力如何？(花費心力) (非常輕鬆—非常費力) 4. 你有多少把握看懂這些證明題？(信心指數) (非常有把握—非常沒把握) 5. 你投入多少努力來了解這些證明題？(投入努力) (非常少—非常多) 	相關文獻 認知負荷領域專家討論 修正
潘伯正 (2009) 7點數字評定量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 認為此教材的內容在學習上是容易的。 (非常同意—完全不同意) 2. 我覺得我很輕鬆就能記得此教材的內容。 (非常同意—完全不同意) 3. 我覺得此教材的內容對我學習數學知識很有幫助。 (非常同意—完全不同意) 4. 我覺得此教材的內容很有趣。 (非常同意—完全不同意) 5. 學習此教材的內容讓我有信心學好。 (非常同意—完全不同意) 	Cerpa, Chandler, & Sweller (1996) Kalyuga (2000) 宋曜廷 (2000) 謝財旺 (2006)
謝東育 (2009) 7點數字評定量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 我認為代入消去法的內容在學習上很容易 (非常同意—完全不同意) 2. 我覺得我花了很少的心力，就能學會代入消去法的教材內容 (非常同意—完全不同意) 	郭璟瑜 (2003)
高誌忠 (2009) 5點數字評定量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 我認為此數學測驗內容在學習上的難度如何？ (非常容易—非常困難) 2. 我覺得我花了很大的時間與心力，才能完成數學測驗的內容。 (非常容易—非常困難) 	宋曜廷 (2000)

2.1.4 對於本研究的幫助

1. 在認知負荷效應中，本研究教材設計主要應用的為：

工作示例效應 (Worked example effect) 、分散注意力效應 (Split-attention effect) 、獨立元素互動效應 (Isolated-interacting elements effect) 、整體－模組效應 (Molar-modular effect) 和元素交互作用效應 (Element interactivity effect) 。

2. 認知負荷測量之文獻探討助於認知負荷量表的擬訂

在前述國內關於認知負荷測量的研究中，我們發現不論認知負荷量表的題數為何？皆是將各題加總視為總認知負荷，但各題項之間所測得的認知負荷種類或有重疊，如何能視為總負荷量？

2010 年之前，認知負荷研究領域都將人類學習的總負荷量視為內在認知、外在認知和有效認知負荷的加總。Paas 等人 (2003) 在其文章中引用了 Xie 和 Salvendy 於 2000 年所提出的認知負荷屬性與架構定義之圖來說明認知負荷為內在認知、外在認知與有效認知的總和關係，如圖 1。

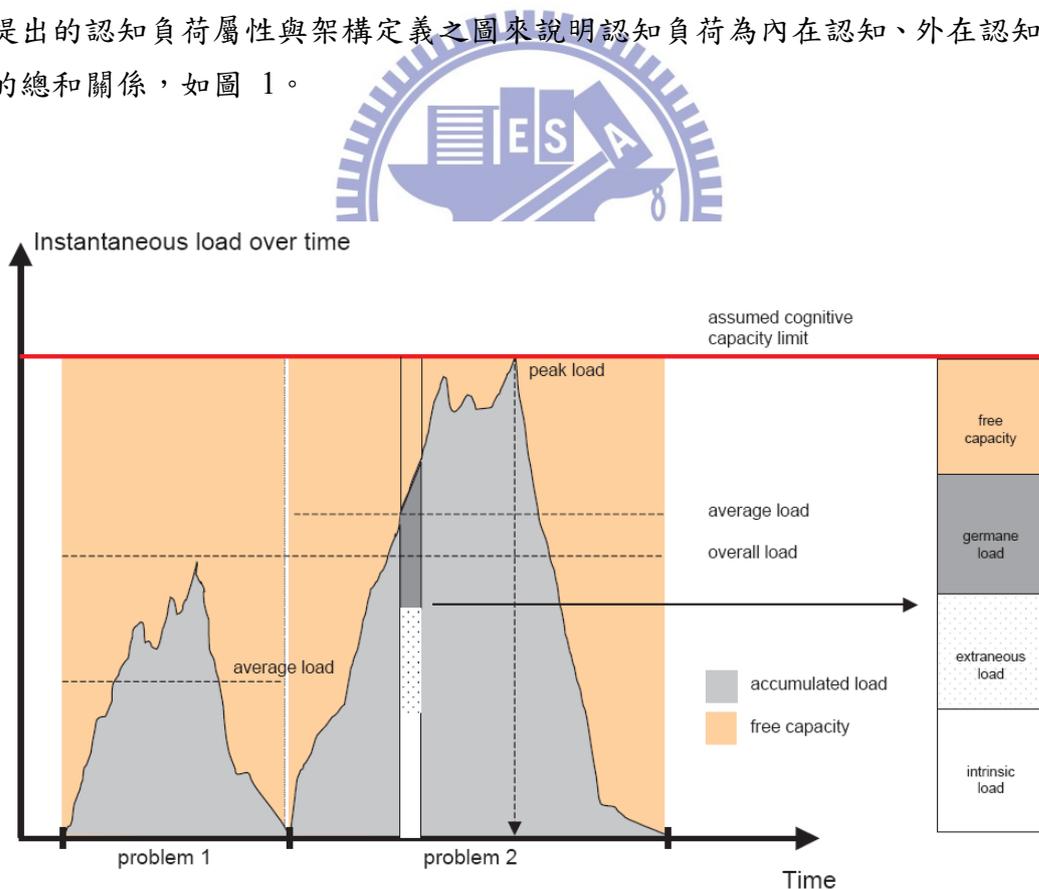


圖 1 認知負荷的屬性與認知負荷架構的定義

資料來源：“Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory.” by Paas, F., Tuovinen, J., Tabbers, H., & van Gerven, P., 2003, *Educational psychologist*, 38(1), p.63-71. doi: 10.1207/S15326985EP3801_8

而 Kalyuga (2009) 在其書中亦以圖例說明認知負荷總量為三種型態的認知負荷加總。Kalyuga 以粗框長方形代表學習者有效的工作記憶容量，亮區為重要的認知負荷（內在認知負荷與有效認知負荷），暗區為無關的認知負荷（外在認知負荷），如圖 2。

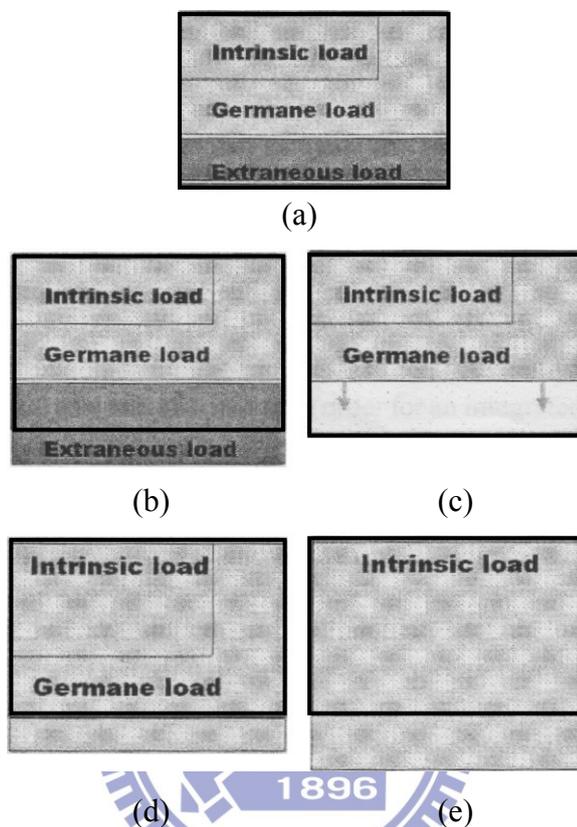


圖 2 不同類型認知負荷可能的配置圖

註：(a) 總負荷量在工作記憶的容量之內；(b) 負荷過量，應降低外在認知負荷；(c) 仍有未使用的工作記憶空間，可試著增加重要認知負荷；(d) 負荷過量，取消原欲增加的有效認知負荷活動；(e) 負荷過量，可利用分段或切割任務以降低教材的複雜性。
翻譯自：*Managing cognitive load in adaptive multimedia learning* (p.41), by Kalyuga, S., 2009, New York: Information Science Publishing.

然而，Sweller (2010) 認為總認知負荷是內在負荷和外在負荷的加總，而有效認知負荷純粹是一個工作記憶資源處理互動元素所產生內在認知負荷的一個函數，當總認知負荷變化時，有效認知負荷與外在認知負荷便有了互補關係，即一增一減。但如何獲取正確的總負荷量？或分開獲取內在、外在和有效認知負荷，到目前而言都是個難題。Paas 等人 (2003) 提出了同樣的質疑—沒能夠使用一種測量技術來區分認知負荷理論的內在認知負荷、外在認知負荷和有效認知負荷三者的組成。

Ayres (2006) 提出了如果保持外在認知負荷與增生認知負荷的形成，僅改變教材元素的交互作用，讓教材的複雜度不同，便可藉由主觀測量，也就是自我評估教材的困難度及成就表現的錯誤率來測得內在認知負荷。在他的研究中發現，當學習者的內在認知負荷高，即錯誤率也較高，同時也發現高先備知識學習者具有較好的基模去衡斷教材內在的複雜性。

而 DeLeeuw 和 Mayer (2008) 的研究指出，可利用測量學習者的反應時間 (Response time) 度量外在認知負荷，自我評估努力程度 (Effort rating) 獲取內在認知負荷，及由自我評估教材的困難度 (Difficulty rating) 獲取有效認知負荷，其關係如表 6 所示。唯此三項度量真能單純地個別獲取外在、內在和有效認知負荷嗎？或許僅適用於 DeLeeuw 和 Mayer 當時的實驗設計，研究者認為此部分仍有討論的空間。

表 6
三種測量方式與三種認知負荷之間存在的可能關係

測量的方式	認知負荷的種類
反應時間 (Response time)	外在認知負荷：當教材中包含了多餘的文字則學習者會浪費認知資源，導致次要任務的反應時間變慢。
心力評估 (Effort rating)	內在認知負荷：當教材是較困難的，必須更認真地理解它，因此需要投入更多的心力。
困難度評估 (Difficulty rating)	有效認知負荷：學習者在轉化測驗當中如果表現的比較好，就代表在學習過程中學得較深入也就是這份教材對於他是較容易的。

資料來源：“A comparison of three measures of cognitive load: Evidence for separable measures of intrinsic, extraneous, and germane load.” by DeLeeuw, K., & Mayer, R., 2008, *Journal of Educational Psychology*, 100(1), p.223. doi:10.1037/0022-0663.100.1.223

研究者認為，要將三種認知負荷分開測得，實有困難之處，尤其在真實的教學現場和對實際的課程設計而言，就單一題目要測得單一負荷實屬不可能。而要以一、二題認知負荷自我評估作為總認知負荷量，研究者以為也有失精確，故將在此研究中發展新的認知負荷量表，以不同的面向去評估學習者的認知負荷，並藉由各面向去審視教材設計的影響。相關量表發展於下一章之研究工具 (3.4.2) 呈現。

2.2 多媒體學習理論

多媒體學習 (multimedia-learning) 是由 Mayer 等多位學者在 20 世紀末所提出。多媒體學習被定義為從文字 (印刷的文字、口語的文字) 與圖片學習 (靜態的插圖、圖片、圖表、照片、地圖；動態的：動畫、影片、互動圖像)。因此，Mayer (2009) 認為多媒體學習可精確定稱作雙模式 (dual-mode)、雙型式 (dual-format)、雙碼 (dual-code) 或雙通道 (dual-channel) 學習。

多媒體學習理論提供了一個多媒體學習的認知模型，說明了人類資訊處理的系統，如圖 3。

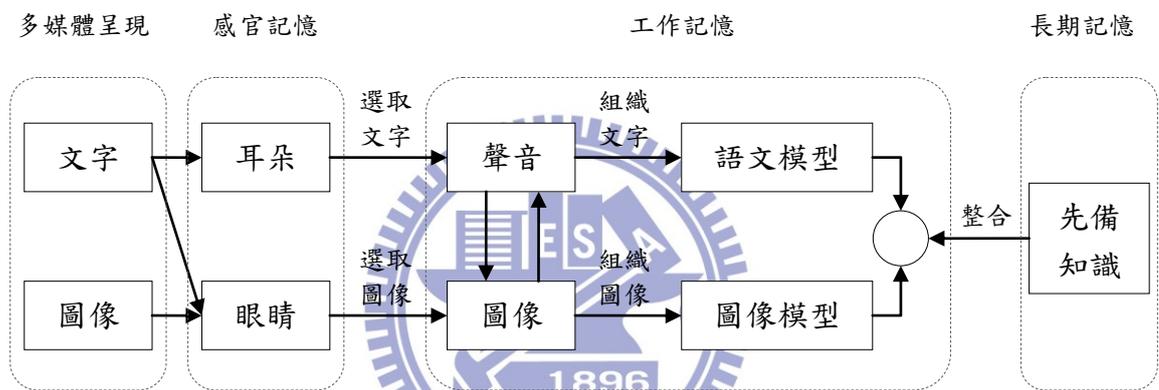


圖 3 多媒體學習認知模型

資料來源：修改自 *Multimedia learning* (2nd ed.) (p.61), by Mayer, R. E., 2009, New York: Cambridge University Press.

2.2.1 多媒體學習理論三大認知假設

而多媒體學習理論還有三大認知假設，分別為雙通道假設 (Dual channels)、容量有限假設 (Limited capacity)、主動處理假設 (Active processing) (Mayer, 2009)：

1. 雙通道假設 (Dual-channel Assumption)

人類的資訊處理系統擁有兩個獨立的通道，一個為聽覺通道 (auditory/verbal channel)，另一為視覺通道 (visual/pictorial channel)。當訊息以聲音 (講述、非語言聲音) 的形式被展演，則由耳朵接收，進入聽覺通道處理，如圖 4；若訊息以圖像的方式

被展演，則由眼睛接收，進入視覺通道處理，如圖 5、圖 6；而不同形式的訊息在工作記憶區中可以彼此轉換成另一種表徵，如圖 7。

雙通道假設的概念在認知心理學其實有很長的歷史且與 Paivio 的雙碼理論 (Clark & Paivio, 1991) 及 Baddeley 的工作記憶模型 (Baddeley, 1992; Baddeley, 1998) 有著相似之處與密切的關聯。

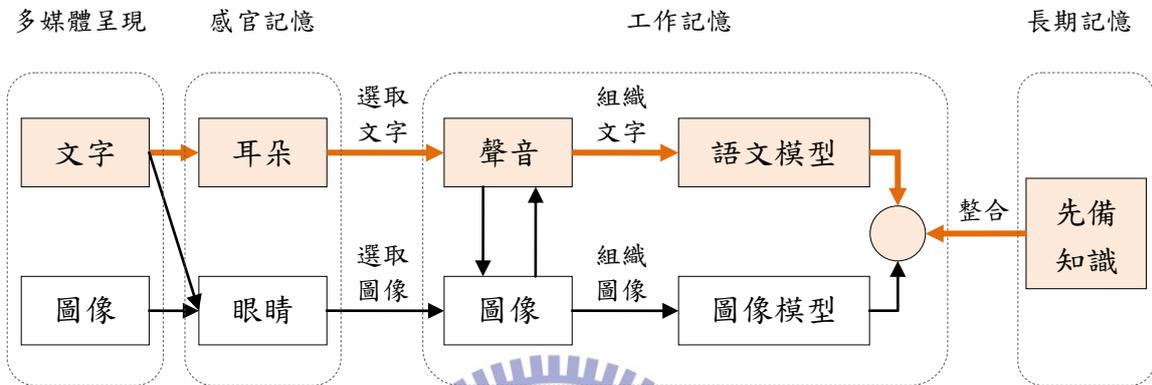


圖 4 多媒體學習認知模型之旁白處理過程

資料來源：修改自 *Multimedia learning* (2nd ed.) (p.77), by Mayer, R. E., 2009, New York: Cambridge University Press.

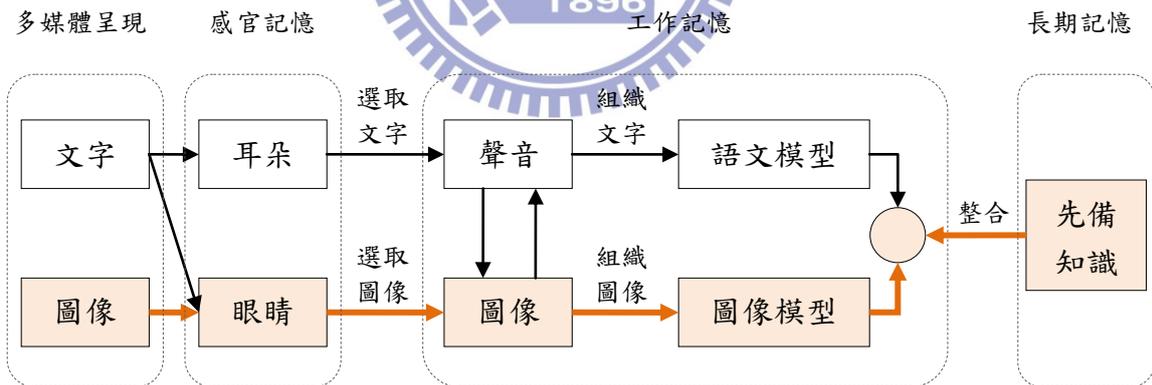


圖 5 多媒體學習認知模型之圖像處理過程

資料來源：修改自 *Multimedia learning* (2nd ed.) (p.77), by Mayer, R. E., 2009, New York: Cambridge University Press.

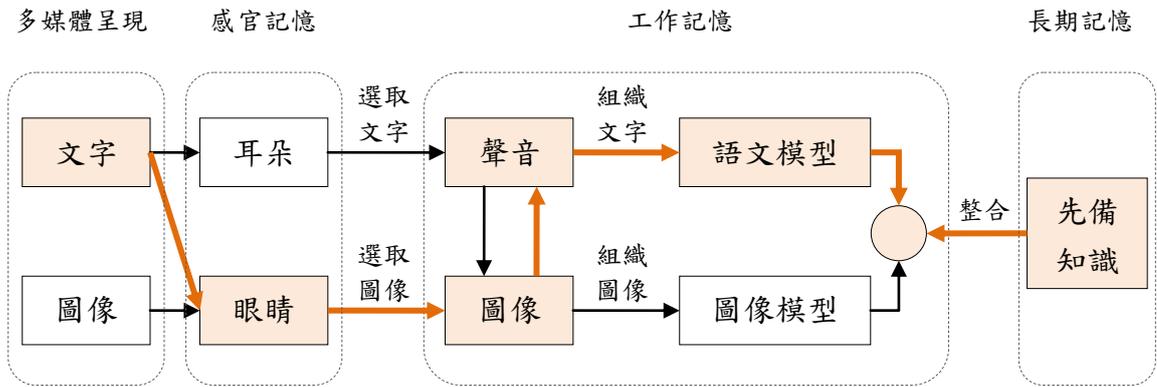


圖 6 多媒體學習認知模型之字幕處理過程

資料來源：修改自 *Multimedia learning* (2nd ed.) (p.77) , by Mayer, R. E., 2009, New York: Cambridge University Press.

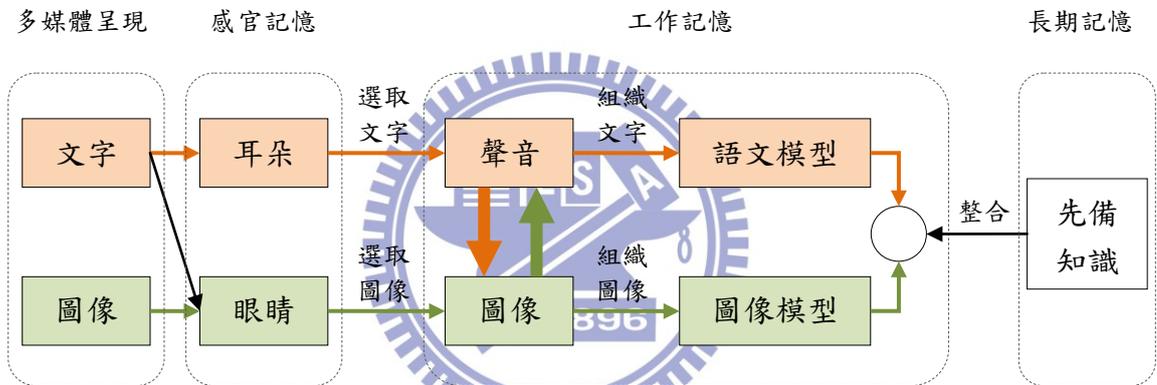


圖 7 不同形式的訊息可以在工作記憶中轉換表徵

資料來源：修改自 *Multimedia learning* (2nd ed.) (p.77) , by Mayer, R. E., 2009, New York: Cambridge University Press.

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

每個通道在同一時間能處理的訊息量是有限的，這與 Chandler 和 Sweller (1991) 的認知負荷理論和 Baddeley (1998) 的工作記憶理論的中心主張相同。也就是心理掌握和操弄文字與圖片的工作記憶是有限的，但長期記憶是無限的。

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

人類在接受到訊息後，會主動將其與原存在於長期記憶中的經驗、知識整合成一致的表徵 (Mayer, 2009)。這個主動處理的過程包含了集中注意力於被給予的訊息，將得到的訊息加以組織，而後與舊有的經驗與知識整合 (Mayer & Moreno, 2003; Mayer, 2009)。Wittrock (1989) 也提出了相同的假設。

2.2.2 多媒體認知學習的五個步驟

基於以上的三個假設，Mayer (2009) 指出學習者在多媒體環境中若要學得好必須遵循五個認知的過程：(1) 選擇相關的文字、(2) 選擇相關的圖像、(3) 組織選擇的文字進入語文模型、(4) 組織選擇的圖像進入到圖像模型及 (5) 整合語文和圖像表徵，如圖 8。

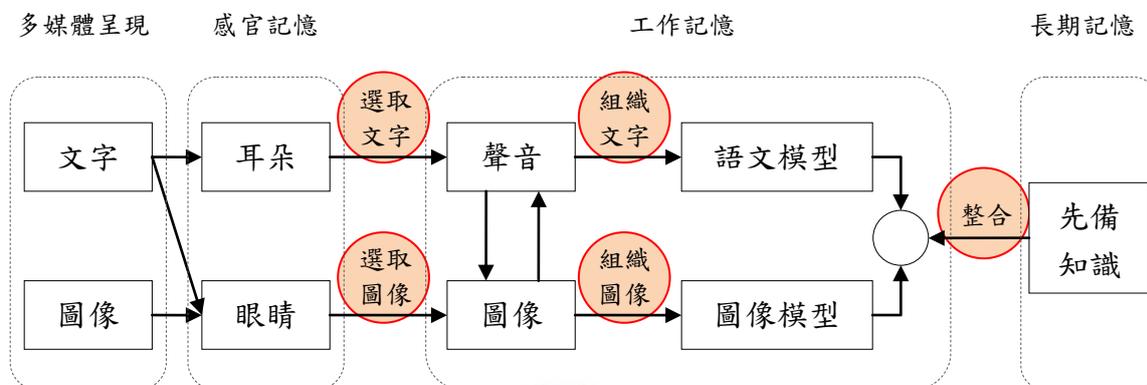


圖 8 多媒體認知學習的五個步驟

資料來源：修改自 *Multimedia learning* (2nd ed.) (p.61), by Mayer, R. E., 2009, New York: Cambridge University Press.

2.2.3 多媒體設計原則

除此之外，根據 DeLeeuw 和 Mayer (2008) 以及 Mayer (2009) 的多媒體學習認知理論與 Clark, 等人 (2006) 的認知負荷理論，Mayer 指出在學習的過程中有三種認知的處理方式導致認知負荷的產生，分別為外在的認知處理 (Extraneous Cognitive Processing)、本體的認知處理 (Essential Cognitive Processing) 和衍生的認知處理 (Generative Cognitive Processing)。

- (1) 外在的認知處理 (extraneous processing)：在認知負荷理論中稱之為外在認知負荷；這個過程是因為教材不良的設計導致，與學習目標無關，如相對應的文字與圖片在不同頁，而引發視覺的掃描與訊息的搜尋。如果外在處理耗費了學習者可運用的認知資源，那麼學習者便沒有辦法從事其他的學習處理，例如上段所述之選取、組織和整合步驟，最後導致毫無學習產生。

- (2) 本體的認知處理 (Essential Cognitive Processing)：此在認知負荷理論稱為內在認知負荷；理解教材是最主要的認知過程，這過程根據教材的複雜度，如有多少交互作用元素必須在同一時間點上被記憶。而這個處理與圖 8 中的選取步驟相關，如果學習者在學習過程中主力都在本體的認知處理上，則學習一定是死記硬背的，記憶的表現雖然好，但轉移的表現將是糟糕的。
- (3) 衍生的認知處理 (Generative Cognitive Processing)：認知負荷理論中稱為增生認知負荷；這是組織教材以及連結先備知識的深層認知過程，即是圖 8 中組織和整合的步驟，衍生的認知處理也與學習者的動機和先備知識有高度的相關。如果學習者致力於本體認知處理和衍生認知處理，那麼學習者將建立起有意義的學習，其記憶和轉化表現一定俱佳。

基於上述的三種認知處理可以斷定有限的認知容量是教材設計的最大挑戰 (Mayer, 2009)，而這三種認知處理分別引出不同的教材設計問題，依序為不良的教材設計編排、固有的教材複雜性以及無激發的溝通方式。

為了解決以上三種問題，Mayer 提出了三大類共十二項的多媒體教材設計原則。第一類為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)；第二類為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)；第三類為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)。此十二項原則依序分述如下：

1. 一致性原則 (Coherence Principle)

當教材中不包含多餘且不相關的部分時，學習者將學得比較好 (Mayer, 2009)，也就是說使教材與教學目標一致，屏除不恰當的文字與圖像，淘汰有趣但不相干的聲音和音樂，排除不需要的文字與符號。

2. 信號原則 (Signaling Principle)

信號可以導引學習者的認知過程。適時地在教材中增加語言信號包括：大綱、標題、聲音強調和指標字，或增加視覺信號：箭頭、特殊顏色、閃爍、指示手勢及淡化，都能正確引導學習者的注意力。此與研究所使用之適性指標大有相關，茲將各項信號的使用方式表列如下，如表 7。

表 7

信號原則的使用方式

分類	特徵	使用方式
語言信號 Verbal Signaling	大綱 Outline	在課程開始解說之前，先將大綱呈現出來
	標題 Headings	在每一節開始加入標題，此標題是與大綱息息相關的
	強調聲音 Vocal emphasis	以更大的音量或是更慢的速度念出關鍵字
	指標字 Pointer words	在文中加下指標字，如：首先...第二...第三...
視覺信號 Visual Signaling	箭頭 Arrows	以箭頭指出圖像的重要或要強調的部位
	特殊顏色 Distinctive colors	用特別醒目的顏色來強調圖像的概念
	閃爍 Flashing	用閃爍的方式顯示圖像的特定元件
	指示手勢 Pointing gestures	是一種螢幕上的機制，可指出圖像的某個部分
	淡化 Graying out	將圖像中其餘部位淡化，以讓正在描述的主題能夠獲得更多的重視

資料來源：整理自 *Multimedia learning* (2nd ed.) (p.110、p.112) , by Mayer, R. E., 2009, New York: Cambridge University Press.

3. 重複原則 (Redundancy Principle)

當學習者接受的教材為圖像與旁白，所得的學習成效比圖像、旁白和字幕同時出現的教材好。因為圖像和字幕同為視覺通道所處理，而通道的容量有限，如同時出現，視覺通道會負荷過量，有些訊息會因為選擇而遺漏。因此 Mayer (2008) 認為兩碼比三碼好，即「少就是多 (less is more) 」。

可是在以下幾種情況下則字幕是有助於學習的：(1) 多媒體沒有圖像展示；(2) 圖像和字幕是循序展演的或展演的速度緩慢；(3) 旁白是非母語或教材內容是專業的、困難的 (Clark & Mayer, 2008; Mayer, 2009) 。因此要適當地取決重複訊息是否該出現。在之後的原則中，會發現重複原則與多媒體原則和形式原則其實有相關之處，但不盡然相同。而與 Sweller 所提之重複效應僅有部分概念相似。

4. 空間接近原則 (Spatial Contiguity Principle)

教材中彼此相關的圖片與文字如果位置接近，學習者便不必花費時間進行搜尋，減少了視覺搜尋的認知耗費，學習者則能更專注於教材本身。如此的教材呈現稱之為合併展示 (integrated presentation) (Mayer & Moreno, 2003) 或整合設計 (integrated design) (Mayer, 2009)。而對應的文字與圖像整合同時出現更容易使學習者建立起兩者之間的心智表徵關聯，根據多媒體認知理論，有意義的學習即取決於此。

反之，如果相關的圖像與文字是分離的，學習者將忙於搜尋資訊並比對圖文，伴隨著額外的認知處理 (Extraneous processing)。這樣的教材展示稱為分離展示 (separated presentation) (Mayer & Moreno, 2003) 或分離設計 (separated design) (Mayer, 2009)。

因此整合展示可以將額外的認知處理降到最低。因此整合展示可以將額外的認知處理降到最低。而當教材複雜時應實際教學必須呈現高複雜度畫面時，就需變通運用格式塔原理的群化原則，引導、協助學習者連結文字及圖像，降低搜尋所需花費的認知資源 (謝東育, 2009)。

5. 時間接近原則 (Temporal Contiguity Principle)

當對應的視覺和聽覺教材先後接續著出現，學習者必須要努力去保留先出現的表徵於該通道的工作記憶區，直到另外一個教材出現並進入另一個通道中。為保留先出現的表徵所耗費的認知空間，將造成認知負荷過量。相對的，對應的視覺與聽覺教材同步展演，即同時將兩種表徵保留在工作記憶區中，並使學習者更容易同時建立彼此的關聯，如此可將認知負荷降到最低 (Mayer & Moreno, 2003)。

根據多媒體學習認知理論，同步展演與學習者接受教材的過程相當契合，也與人腦的工作方式一致 (Richard E. Mayer, 2009)。

6. 分割原則 (Segmentation Principle)

所謂分割原則是一種可以協助學習者管理必要認知處理程序的一種教材設計技巧 (Mayer, 2009)。將一份複雜的教材分割為多個循序展演的小部分，並提供展演者或學習者能控制的機制，讓學習者充分了解之後再進入下一個步驟，也可讓學習者順利建立起教材間的關聯。

當教材內容是複雜的、教材展演的速度是快的或是學習者對於教材內容並不熟悉，這時候便要使用分割原則。分割原則類似模組化展演 (modular presentation)，就像解題示例切割成有意義的步驟區塊並循序地展演。此原則與認知負荷理論的獨立互動元素效應 (Isolated-interacting elements effect) 和整體—模組效應 (Molar-Modular effect) 有相

似之處。

7. 事先訓練原則 (Pre-training Principle)

如果學習者在學習之前，已經知道學習主題的概念特徵和其內容的專有名詞，而後進行學習，這時候學習者能學習得更深入、學得比較好 (Mayer, 2009)。而此原則跟平日所說之「預習」十分相似，當學生事先瀏覽過未學過的課程，則會先在心中建立起基本基模，正式進入課程時，這些基模即被喚起，與課程內容建立起關聯。

相同地，當教材的複雜度高、展演速度快以及對於學習者是陌生的，那麼也適合使用事先訓練原則。

8. 形式原則 (Modality Principle)

學習者在「動畫+旁白」的教材中獲得比在「動畫+文字」的教材較佳的學習成效 (Mayer, 2009)。多媒體教材中，當文字與圖像一起呈現時，眼睛必須同時去接收圖像和文字，因此視覺通道同時湧進圖像和文字訊息，造成視覺通道阻塞、認知負荷過重，影響學習成效。或者，在接受訊息時，交相比對圖像和文字之間的關聯性，導致訊息接收不完整，影響到之後的組織和整合作業。認知負荷理論同樣也考慮到了工作記憶的兩個處理訊息通道，並提出了「形式效應」 (Modality effect)。

9. 多媒體原則 (Multimedia Principle)

因為當相關的文字和圖像一起呈現時，學習者能建立兩者之間的關連並進行心智整合；文字和圖像兩種不同的表徵促進工作記憶的增生過程 (generative processing)，始學習能更深化、內化。因此教材同時呈現「文字+圖像」的學習效果比僅有「文字」學習的效果好 (Mayer, 2009)，也就是兩碼優於單碼的原則。

10. 個人化原則 (Personalization Principle)

以對話的方式 (conversational style) 講述課程會比以形式化 (formal style) 的講述來得好 (Mayer, 2009)。對話方式是使用「我」和「你」一、二人稱，避免使用第三人稱，以及在講述過程中增加直接感受的句子，這種講述方式讓學習者覺得教學者好像是他們的交談對象，因而會更努力地去嘗試理解教學者想要傳達的訊息，所以學習者會學得比較好。

11. 聲音原則 (Voice Principle)

教材的旁白以友善的人聲呈現會優於機器聲呈現 (Richard E. Mayer, 2009)。

12. 圖像原則 (Image Principle)

當教學者或演講者的影像出現在教材的畫面中，學習者不盡然會學得比較好，這與沒有教學者影像出現的教材幾乎沒有差異 (Richard E. Mayer, 2009)。而且教學者或演講者的影像也會造成學習者的干擾，導致額外的處理過程。

2.2.4 對於本研究的幫助

1. 本研究之教材設計修改將以信號原則 (Signaling Principle)、時間接近原則 (Temporal Contiguity Principle)、空間接近原則 (Spatial Contiguity Principle)、分割原則 (Segmentation Principle) 和個人化原則 (Personalization Principle) 為主軸，以其他多媒體設計原則為輔。

2. 多媒體學習也包含了學習認知的成份在其中，為此理論的核心亦為認知負荷表編製所憑藉。



2.3 適性指標

林煜庭(2008)根據視覺認知理論提出了一種多媒體學習認知引導的機制—適性指標。其研究顯示—於課堂授課中，使用具有適性指標設計的教材，會使學生的學習成效優於沒有適性指標教材的課堂授課。

2.3.1 適性指標的定義

所謂適性指標是一種以激發式動態方式呈現的視覺物件，其具有運動特徵(motion)，如突然出現(new object)、瞬變(transient)、接近(looming)、突然由靜而動(new motion)、閃爍(flicker)、運動方向(direction)以及運動一致性(coherence)效果。林煜庭(2008)指出，運動特徵具有兩個獨特的功能：(1)運動特徵具有獨特的「吸引注意力(capturing attention)」的能力。(2)運動特徵可以「動態改變」觀察者注意力投注的位置。

因此，適性指標能吸引學習者的注意力，引導學習者更有效地學習或協助學習者進行視覺搜尋。且元素交互作用高的教材內容經常伴隨較高的認知負荷量，故可藉由適性指標協助導引學習者的視覺注意力，進而降低外在認知負荷，加強學習者對元素交互作用高的教材內容的理解。

實際運用上，適性指標所採用的視覺特徵通常不需要學習或練習便能自動化地處理，幾乎不必耗費注意力資源。李鈴茹(2009)和謝東育(2009)從使用的角度歸納出適性指標有以下三個主要用途。

- (1) 引導注意力。
- (2) 協助選取相關圖文碼。
- (3) 協助組織相關圖文碼。

以上三個主要用途與Mayer多媒體學習理論的五個認知處理過程重合，也就是說適性指標與多媒體學習教材設計原則的使用都能幫助學習者達成更好的學習。

2.3.2 適性指標設計原則

適性指標是一種協助視覺搜尋以及引導注意力的視覺物件，在設計上涉及視覺認知科學、教材內容以及教學策略等因素（林煜庭，2008）。林煜庭（2008）在其研究中，將適性指標彙整成七項原則，以下以表列方式呈現，詳如表 8。在謝東育（2009）的研究中，實驗組與對照組的教材設計皆使用了適性指標之各項原則，本研究將繼續以適性指標做為教材修改設計之依據。

表 8
適性指標教材設計原則

原則	說明
標示原始位置原則	<ol style="list-style-type: none">1. 滑鼠啟動點應與目標物所在位置相同。2. 適性指標應含有位置資訊，不論是「直接出現在目標物所在位置」或是「指出目標物的方位」，即位置訊息越多訊息越穩定。3. 同一的物件或目標物之指標在不同頁面出現時位置要相同，也就是頁面定位。
特徵獨立原則	<ol style="list-style-type: none">1. 指標應採用單一特徵，因其辨認效果與被搜尋速度最好、最快。2. 指標與待搜尋物沒有共同的視覺特徵，尤其不能與干擾物特徵相同，以避免指標成為干擾物。3. 避免使用前一個用來標示干擾物的特徵來標示目標物。
通道原則	教材設計時，當同一畫面某類型的視覺特徵太多時，應採用其他特徵來凸顯目標物。
群化原則	<ol style="list-style-type: none">1. 目標物群化：建立各目標之間的關聯性。2. 干擾物群化：將干擾物以質感辨認的方式整群忽略，有助於目標搜尋。
明度差異原則	目標物或適性指標與干擾物的明度差異越大，凸顯效果越好。
引導原則	由下而上強調目標物，由上而下抑制干擾物。
觸發原則	要有動態視覺特徵：新物件出現 (new object onset) 或新動作產生 (new motion onset)。

資料來源：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，p.284-288。碩士論文，國立交通大學，新竹市。

2.3.3 適性指標與多媒體學習理論之設計原則

1. 適性指標與信號原則 (Signaling Principle)

林煜庭 (2008) 在其研究中指出，適性指標與信號原則的目標相同，理念也都是希望經由適當的提是能引導學習者將注意力投注在重要的教材內容上，如此可免學習者的注意力被不相關或不重要的內容吸引，造成認知資源不必要的浪費。林煜庭認為兩者的關鍵差異在於「對學習者注意力的引導方式」，爰其文獻探討中，信號原則僅是靜態的底線和粗黑體的呈現，相對於適性指標而言缺乏了「動態引導」與「重新導向」。

但 Mayer (2009) 再版的 *Multimedia Learning* 一書中所提及的信號原則 (見本章 2.2.3)，已將提示的信號原則歸納為語言信號和視覺信號兩大類，在視覺信號所包含的幾項特徵，如箭頭、特殊顏色、閃爍、指示手勢及淡化等，也已具備了林煜庭 (2008) 所定義適性指標的動態特徵。從中亦能發現 Mayer 所提的多媒體信號原則與林煜庭彙整的適性指標七大原則有概念重合之處，足見中西之研究結果日趨一致。

2. 適性指標與其他相關原則

林煜庭 (2008) 發現適性指標對於多媒體學習理論之空間接近原則 (Spatial Contiguity Principle)、時間接近原則 (Temporal Contiguity Principle)、一致性原則 (Coherence Principle)、形式原則 (Modality Principle)、重複原則 (Redundancy Principle)、信號原則 (Signaling Principle) 以及個別差異原則 (Individual Difference Principle) 所探討的教材設計問題可能可以提供改善的方法；又認知負荷理論之重複效應 (Redundancy Effect) 與上述多媒體學習設計原則一致性原則、形式原則、重複原則和個別差異原則相關。其相關因素的歸納與探討如下表 9。(其中個別差異原則已在 Mayer 已在其著作 *Multimedia Learning* (2nd ed.) 中移除)

表 9

適性指標與多媒體學習理論之設計原則

	多媒體教材設計原則 之教材設計問題	適性指標的解決方法
適性指標 與 空間接近原則	<ol style="list-style-type: none"> 1. 圖像附近沒有足夠的空間容納所有的文字訊息。 2. 文字訊息影響圖像的辨認。 3. 兩個訊息在畫面中有距離，並且無法接近。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 適性指標具有可開、可關的特性，教學者可依學習者的學習狀況，適時以適性指標「顯示文字訊息」，也可在不需要時「隱藏文字訊息」，讓文字訊息呈現時所需要的總空間減少，並且可避免學習者在關注圖像時被文字訊息所干擾。 2. 利用適性指標引發視覺物件的群化作用配合格氏塔群化原理來改善。
適性指標 與 時間接近原則	<p>需要互相比較之圖層位置重疊且無法分割，所造成無法同時表達兩個圖像觀念的困擾。</p>	<p>利用適性指標的適性開關，以新出現物件來引導學習者看到目前教學者說明的物件，或是將不必要的訊息加以隱藏，使教材可在不同時間點呈現當下個別的狀態，亦可運用適性指標之透明度圖層來區隔兩種狀態，便於互相加以比較(以圖層區隔)。</p>
適性指標 與 重複效應 相關之原則	<p>同一份教材設計之教學狀況下，無法兼顧字幕與旁白是否同時出現或僅呈現其中一項。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 適性指標的設計可以依據個別差異情況進行適當的回應，對於高先備知識的學習者可隱藏累贅的訊息，對於低先備知識的學習者則顯示必要的訊息。 2. 著重口述文字時，可以將文字訊息關閉，符合形式原則與重複原則的精神。 3. 當學習者對保持口述文字的內容感到吃力時，可適時開啟文字訊息，讓視覺通道協助認知歷程的處理，充分發揮雙通道的效能。

資料來源：整理自林煜庭（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，p.38-42。碩士論文，國立交通大學，新竹市。

2.4 代數教材設計原則

由於代數教材缺乏視覺情境，學習者較難形成心象，且代數教材不易與生活經驗結合，以致於學習者在學習、解題過程淪為制式化，只知其然不知其所以然。因此，謝東育(2009)提出了代數教材設計原則，針對代數教材的多媒體展演設計提出了(1)教學內容結構化、(2)教材呈現區塊化、(3)建立訊息關連，以及(4)口語簡化解說之四項原則。

2.4.1 教學內容結構化

結構化是分析教學內容，將其要傳達的訊息依其概念或性質作適當的分段，這與 Mayer (2009) 提出的分割原則 (Segmenting principle) 和 Sweller (2010) 提出的獨立互動性元素效應 (Isolated-interacting elements effect) 和整體—模組效應 (Molar-Modular effect) 有相似之處。因有些代數運算步驟繁複，極易超過工作記憶所能負荷，故將訊息分段切割，再適當編排順序，使學習者在學習過程中，依序學習且清楚知道目標在哪裡。

以解二元一次聯立方程式為例，解聯立方程的主要目標就是要得到兩個未知數。細究過程可將其切成三個子目標：(1) 分別藉由代入或加減的動作消去二元一次方程式其中一個未知數，使其變為一元一次方程式；(2) 再以等量公理或移項法則進行求解；(3) 而後將所得未知數代回原式得被消去之未知數，則得兩個未知數。而每個子目標，仍可視問題的複雜度再行切割，如此能讓學習者接續地完成子目標，並達成主目標。此概念完全符合多媒體學習理論的管理本體處理以及認知負荷理論的管理內在認知負荷。

2.4.2 教材呈現區塊化

區塊化即是將以分段切割的訊息，打破傳統由上而下、由左而右的編排方式，依設計者或教學者講述的需求來安排訊息呈現的位置。區塊化與 Mayer (2009) 多媒體學習理論的空間接近原則 (Spatial Contiguity Principle) 與認知負荷理論 (R. C. Clark, et al., 2006; J Sweller, 2010) 的分散注意力效應 (Split-attention effect) 有相近之處。

謝東育 (2009) 指出傳統的代數展演結構因缺乏視覺情境，學習者在上下比對算式的學習過程中，欠缺廣度與深度，僅能理解上下列算式的單一概念，往往演算到最後已經觀念混淆，必須再從起始算式重新逐列學習。而代數運算通常冗長繁複，所以謝東育

認為應將整個代數解題過程區分成數個大區塊，也就是將解題的數個小步驟合成為大步驟，讓每個大步驟都有其子目標；則學習者可循序漸進地以區塊化學習，去了解每個大步驟，而後串連起即可完成整個解題過程。此概念即是管理內在認知負荷的方法。

就教師課堂授課而言，區塊化可讓教師容易引導、講述，可使學習者容易理解記住現階段的大步驟及重點。如學習過程中有問題，可以回到不清楚的區塊重新教學或學習。區塊化亦能讓學習者的學習有累積性，並隨時可觀前顧後迅速找到相關訊息。

區塊的呈現方式可利用空間位置安排、符號標示、內容色彩...等視知覺完形心理學的概念，來讓學習者清楚地分類與區隔（謝東育，2009）。如圖 9 將解題過程分為兩大區塊（左：求出 y、右：求出 x），使學習者易於區分、方便觀察，完成第一個子目標的學習後，再作下一階段的學習。

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

解法

取代第②式的x

$$\begin{array}{l} x=2y \dots\dots\dots ① \\ x + y=27 \dots\dots\dots ② \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 4 \Rightarrow x=2 \cdot 9 \qquad \Rightarrow 2y + y=27 \qquad 1 \\ 5 \Rightarrow x=18 \qquad \Rightarrow 3y=27 \qquad 2 \end{array}$$

代回第①式的y

$$\begin{array}{l} \Rightarrow \begin{cases} x=18 \\ y=9 \end{cases} \qquad \Rightarrow y=9 \qquad 3 \end{array}$$

#

圖 9 區塊化過程範例

2.4.3 建立訊息關聯

謝東育（2009）歸納了兩種操作方式來建立訊息間的關聯，其目的是為了讓學習者了解各元素間的展演關係，其中包含了上下列算式的關聯和區塊間的關聯。

1. 對齊

在解題步驟的演變中，使式子間的元素（包括文字符號、數字、運算符號、性質符號及等號）上下對齊，如圖 10，因上下對齊，可使學習者在處理相關習題時不必耗費多餘的時間進行符號與數字的搜尋，因可降低外在認知負荷。而逐列演算時，僅使一個單一元素變化，將元素交互作用 (element interactivity) 將至最低，當教材的交互作用減低即代表其複雜度 (complexity) 也變低，為此可減少內在認知負荷的產生。

但對齊之於先備知識低的學習者或許可以達到上段所述同時降低內、外在認知負荷；但同樣的編排其內、外在認知對於高先備知識的學習者可能都是低的，如此是否會造成專業知識逆轉效應？有待實驗釐清。

主題二 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x + 5y = 350 \\ 3x + 3y = 270 \end{cases}$

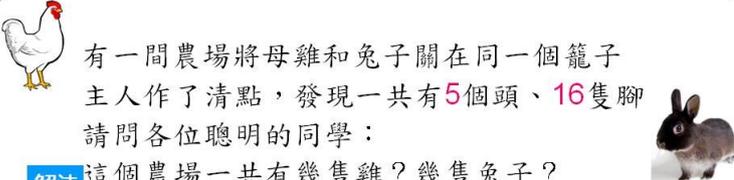
解法

$\begin{cases} 3x + 5y = 350 \\ 3x + 3y = 270 \end{cases}$	→ -)	$\begin{cases} 3x + 5y = 350 \dots\dots\dots ① \\ 3x + 3y = 270 \dots\dots\dots ② \end{cases}$	
		代回②式	
3	→	$3x + 3 \cdot 40 = 270$	→ $2y = 80$ 1
4	→	$3x + 120 = 270$	→ $y = 40$ 2
5	→	$3x = 270 - 120$	
6	→	$3x = 150$	→ $\begin{cases} x = 50 \\ y = 40 \end{cases}$ #
7	→	$x = 50$	

圖 10 上下對齊過程範例

2. 二維圖像關係

因為教材結構化和區塊化的原則，教材必須依其內容分割，而受限於簡報畫面的限制，各區塊無法像傳統一樣採連貫且單一方向的排列。因此如果區塊內或區塊間有對應關係時，僅採文字敘述是不足的，此時利用線段、箭頭並搭配適性指標就能加強其間的關聯性，也同時達成注意力引導之效。如圖 11 和圖 12 為建立二維圖像關係之範例。



有一間農場將母雞和兔子關在同一個籠子
主人作了清點，發現一共有5個頭、16隻腳
請問各位聰明的同學：
這個農場一共有幾隻雞？幾隻兔子？

解法想法

我們可假設母雞有 x 隻、兔子有 y 隻

	雞	兔	總數	列式
隻數	x	y	5	$x + y = 5$ ①
腳數	$2x$	$4y$	16	$2x + 4y = 16$ ②

圖 11 建立二維圖像關係過程範例 1

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 2x + 6y = x + 41 \\ 3x + 4y = 39 \end{cases}$

解法

① $2x + 6y = x + 41$ ①

② $3x + 4y = 39$ ②

1 $\Rightarrow 2x - x = 41 - 6y$

2 $\Rightarrow x = 41 - 6y$

3 $\Rightarrow 3(41 - 6y) + 4y = 39$

4 $\Rightarrow 123 - 18y + 4y = 39$

5 $\Rightarrow -18y + 4y = 39 - 123$

6 $\Rightarrow -14y = -84$

7 $\Rightarrow y = 6$

8 $\Rightarrow x = 41 - 6 \cdot 6$

9 $\Rightarrow x = 41 - 36 = 5$

$\begin{cases} x = 5 \\ y = 6 \end{cases}$ #

圖 12 建立二維圖像關係過程範例 2

藉由對齊和二維圖像關係兩項操作原則的運用，可使學習者在各區塊內透過上下比對理解子目標、建立起各區塊彼此訊息的關聯性及輕鬆統整相關概念而完成學習。

2.4.4 口語簡化解說

謝東育(2009)指出因為代數語言缺乏真實生活語意的想像，如果教師講解時直接口述算式，逐一將每個元素或符號讀出，會使抽象概念較弱學習者陷入茫然。謝東育認為應以 Mayer (2009) 的多媒體學習理論之個人化原則 (Personalization Principle) — 以口語對話 (Conversational style) 的方式說明會比專業術語形式講解更有效用，搭配適性指標的安排來進行教學引導，譬如：「看這個紅色的箭頭」、「注意這個藍色框框」、「代入紅色的 y 」等，利用口語明確地導引學習者將注意力聚焦在教師講解的訊息上。如此便能讓學習者減少搜尋比對的負荷，並能順暢地建立式子之間的關聯。

李鈴茹(2009)也在其研究中提出了「口語化解說」 (Oral elaboration)，李鈴茹認為如果學習者能夠減低聽覺編碼過程所造成注意力和工作記憶的耗損，讓更多的資源使用在高階的認知處理上，那麼對於學習應該是有助益的。

2.4.5 對於本研究的幫助

本研究係延續謝東育(2009)之研究，所以前述之代數教材設計原則除「口語簡化解說」外，餘仍為教材修正之依據。研究者認為，口語簡化解說早已普遍地應用在各種教學上，不該僅使用於多媒體教學上，或侷限於代數教材設計上。於傳統教學中，即常見以口語簡化的引導方式，如：「看這行黃色的式子」、「合併綠色框框內的所有數字」、「計算斜線部分面積」等。倘若僅將口語簡化解說運用在實驗組教學，而對照組以制式甚至是以朗讀式子的方式來解說，在此肯定會造成另一個變因，深深影響學習者的學習。為此，本研究將口語簡化解說從代數教材設計原則中移除。

2.5 專業知識反轉效應

2.5.1 專業知識反轉效應的類型

如 2.1.2 所述，專業知識反轉效應 (Expertise reversal effect) 就是因為多數教材在設計時都忽略了考慮學習者的程度，以致於僅對新手或專家其一有效。譬如新手適合的教學引導 (instructional guidance) 可以減少工作記憶的負荷並彌補新手基模的不足，進而有效地建立起基模；但專家在已有基礎的狀況下又無法避免這些引導訊息，即必須將接收到的訊息與長期記憶中的基模去進行匹配 (cross-referencing) 與整合 (integrating)，因而增加工作記憶的負荷也同時減少學習的資源。所以，對新手最佳的教學形式、技巧與程序，可能會阻礙專家的流暢學習，造成專業知識反轉效應，反之亦然 (Kalyuga, 2009)。在 Kalyuga 等人 (2003) 和 Kalyuga (2007) 的文章中分別舉出了數項專業知識反轉效應的教材設計類型，茲將其彙整如表 10。

其中「1. 引導漸減效應 (Guiding fading effect)」和「5. 工作示例效應 (Worked example effect)」二類歸納出新手需要詳細的引導與工作示例，但對於專家多餘的引導會造成訊息與基模框架重疊導致工作記憶同時處理相同訊息而認知負荷過量，且過多的工作示例對於專家無益，反倒是利用問題解決可以促進專家基模的建構與自動化而增強學習效果。在「6. 獨立或互動元素效應 (Isolated or Interacting elements effect)」此項談到元素的交互作用與學習者的專業知識有關，因此將對於新手複雜的教材以獨立元素處理，便能使新手逐步學習並建立基模，但把相同的教材實施於專家身上則太過簡單而導致無學習產生。「9. 超文本和超媒體教學 (Instructional Hypertext and Hypermedia)」此項歸納出新手適合結構文本而專家適合線性文本，因為好的結構形式增強低知識學習者的理解，因外部結構補償內部概念結構的缺乏，而外部的結構對於專家是無幫助的。

根據上述分析，本研究以不同的視覺引導教材設計於工作示例教學上，應用了「教材內容結構化」、「教材呈現區塊化」、「建立訊息關聯」及「適性指標」等原則；就將教材結構化、區塊化而言，教材的交互作用被降低了，步驟的展演架構也從線性呈現轉為區塊和二維形式，如此的教學設計是為了降低工作記憶的處理，應是適合新手的。另外，建立訊息關聯與適性指標是教學者引導學習者的注意力之輔助，也是協助學習者迅速建立相關訊息關聯的設計，目的仍是減少學習者搜尋與比對訊息的處理過程，藉此降低認知資源的付出，所以仍適合新手。且謝東育 (2009) 的研究所得結論即是「以適性指標設計原則結合代數教材設計原則運用在教學設計上，對需進行補救教學的學生其學習成就表現有顯著差異。」，從其結論可得本研究教材的確適合新手。

表 10

產生專業知識逆轉效應的教學設計或形式

教材設計或效應	學習者類型	新手	專家	例子或備註
		詳細的引導彌補先備知識的不足，可有效地逐步建立起基模。	多餘的引導導致工作記憶與基模同時處理相同的問題，導致認知負荷過量。	
1. 引導漸減效應 (Guiding fading effect)		傳統的示例+同類型的練習題 (example-problem pairs)	練習題並附上範例，需要時可參考 (problem-example pairs) 或漸退的示例 (backward faded worked example)	Ex：電路分析 (Reisslein, et al., 2006)
		直接幫助>間接幫助 (hint)	無差異	
2. 分散注意力與多餘效應 (Split-attention & Redundancy effects)		整合相關圖片與文字元素減少視覺搜尋 (visual search)，進而減低工作記憶的需求。	消除多餘的訊息類型是專家的有利特徵 (minimal single representation)	Ex1：電氣工人學習電路圖，新手需要圖+文；專家只需要圖 (Kalyuga, Chandler, and Sweller, 1998)。 Ex2：文字教材，新手需要文字+註釋；專家僅需閱讀文字 (Yeung, Jin, and Sweller, 1998)。
3. 文本處理 (Text Processing)		增加額外的說明，補足原文本的連貫性有利於低先備知識的閱讀者。	增加額外的說明，對於先備知識高者是冗餘的。	Ex1：高中生物文本，新手適合增加額外的說明以增加連貫性，專家就不需要加強的說明文字 (McNamara, et al., 1996)。
		不熟悉的字詞解釋增加上文本上方 (整合的)	附註在文本尾端 (傳統的)	
4. 形式與多餘效應 (Modality & Redundancy effects)		新手同時接收視覺圖像結合聽覺解說的學習效率比較好。(圖+口語 > 圖+字幕)	口語解說對於專家失去優勢。	
5. 工作示例效應 (Worked example effect)		恰當的例子展演往往被視為一種好的學習方法。示例教學對於新手心智負荷較低，也能學得比較好。	經驗越多示例教學越沒有優勢，反是問題解決可充分促進基模建構與自動化。	Novices→Experts: 示例 (Worked example fading out) →問題解決 (problem solving) →探索性學習 (exploratory)
6. 獨立或互動元素效應 (Isolated or Interacting elements effect)		所以新手適合元素獨立教材，當困難教材的交互作用元素被人為地處理，部分的基模漸漸形成。	如果學習者已有特定領域的基模，那麼成套的交互作用元素即被併入基模中，且成為為一個單獨的元素。	元素的交互作用關係與學習者的專業程度有關。如果元素交互作用對於學習者是高的，則心智活動會超過有限的工作記憶造成負荷過量，而因學習失效。
7. 想像效應 (Imagination effect)		新手沒有適合的架構以支持想像的進程，試圖想像很容易失敗。	專家能依指示去想像，不會導致認知負荷過量，而且想像一個程序或一組關係能增進相應基模的自動化，從而提升學習表現。	Cooper 等人 (2001) 專家：想像 > 示例 新手：示例 > 想像

(續下頁)

教材設計或效應	學習者類型	新手	專家	例子或備註
8. 動態圖像表徵 (Dynamic Visual Representations)		靜態呈現好	動態呈現好	二次函數的平移 (Kalyuga, 2007) 在知識與教學形式間有顯著的交互作用：當學習者的專業知識提升動畫組的表現優於靜態圖片組
		模擬圖像 > 操作圖像	模擬圖像 < 操作圖像	
		成套的靜態圖片	動畫	根據認知負荷理論，連續動畫過於苛求新手的認知，因其有高度的傳遞性。
9. 超文本和超媒體教學 (Instructional Hypertext and Hypermedia)		不適合超文本的學習環境	可以處理和弄懂無排序的片段文字，且能掌握閱讀的中斷，並與原有的知識架構連結，不會造成認知負荷過量。	
		結構的超文本 (hypertext structures) 一層次超文本 (hierarchical) 和混合超文本 (mixed) 優於線性文字 (linear text)	線性文本優於結構文本 但新手與專家在結構超文本間無顯著差異	好的文字結構形式增強低知識學習者的理解，因其補償內部概念結構的缺乏
		層次化地圖 (hierarchical map) 學得較多	無顯著差異，但語意式地圖 (semantic network map) 有高強度	外部結構為新手帶來益處，但對專家示沒有必要的。 學習文字教材的認知負荷通常取決於文本的結構，這與學習者的知識水準有關。
		知識地圖 (knowledge maps) > 關鍵術語表 (lists of key terms)	關鍵術語表最佳	
10. 學習任務排序 (Sequencing of Learning Tasks)		複雜的訊息可連續獨立呈現其效果比同時呈現好	無差異	新手在學習結構複雜的教材適用引導良好且速度慢的教學程序，其可降低認知負荷，但對於經驗豐富的學習者反而會增加最多的認知負荷。
		循序學習—新手應學會試算表功能再融入數學概念	可同時	利用試算表學習數學概念 (Clarke et al. 2005)

不過 Schnotz (2010) 在“Reanalyzing the expertise reversal effect” 一文中對於專業知識反轉效應提出了幾項質疑：

1. 如果為低專業知識學習者的最佳學習模式，即代表不會超出低專業知識學習者工作記憶容量，又為何會讓高專業知識學習者負荷過量呢？
2. 新手需要圖示配合文字的展演模式，不會負荷過量，那怎麼可以假設會超出專家的負荷呢？

3. 對於專家，整合與交叉比對多餘的引導，使其與現有的知識架構重疊造成外在認知負荷，但這樣的負荷真的存在嗎？
4. 對於專家，當訊息不是新的時候，則被視為多餘的，因此不會造成進一步學習，以上看似合理？

研究者認為 Schnotz 的質疑不無道理，值得玩味。以實際教學現場與教學經驗，我們知道在常態編班教學中，一種教學模式實難滿足各種不同程度或成就的學習者，而為了顧及整體，不放棄任何一個人，教學者通常會採取最淺顯、最詳細的教學模式，因為當最底層的學生能學好，中上程度的學生一定也能理解，只是其學習心態會有所不同。研究者認為，在無法因材施教下（能力分班教學或分組教學），此方式應是最佳模式；雖這樣的教材教法之結構是強的、教學引導是多又詳盡的，但中、高成就學習者應具有快速篩選訊息的機制，他們會去選取覺得需要的部份，跳躍覺得不需要的步驟，特別在我們的教材設計運用了對齊與二維圖像，讓學習者的視覺搜尋能迅速地在上下行間掃描進而建立起訊息間的關係，因此不會產生訊息比對或基模架構重疊等的外在認知負荷，而內在認知負荷本就較低，當然就不會導致中、高成就學生的學習受阻。唯以上想法是否正確，仍需要進一步做深入探討。

由於本次實驗於常態編班教學實施，面對的學習者的先備知識與學習成就皆不同，欲藉此一探本實驗教材是否會如表列等眾多實驗產生專業知識反轉效應，亦或無專業知識反轉效應？並以各種數據加以分析本實驗教材是否適用於常態編班教學上？

2.5.2 專業知識反轉效應的判斷

根據文獻，專業知識反轉效應的判斷可藉由 effect Size、學習效率 (Instructional Efficiency) 和投入分數 (Involvement Scores) 來判斷。因其三種數據與資料分析有關，不僅能評估專業知識反轉效應是否產生，還能分別比較兩種教材設計之差異、學習者學習效率優劣與學習者投入的高低，故將此三項專業知識反轉效應的判斷方式置於第三章之 3.5.2~3.5.4 資料分析中再說明。

第三章 研究方法

此章共分為五節說明研究方法與步驟：研究流程、研究對象、研究設計、研究工具及資料分析方法。

3.1 研究步驟

本研究流程共分為整理準備階段、施測實驗階段及成效分析階段三個部分，研究流程如圖 13：

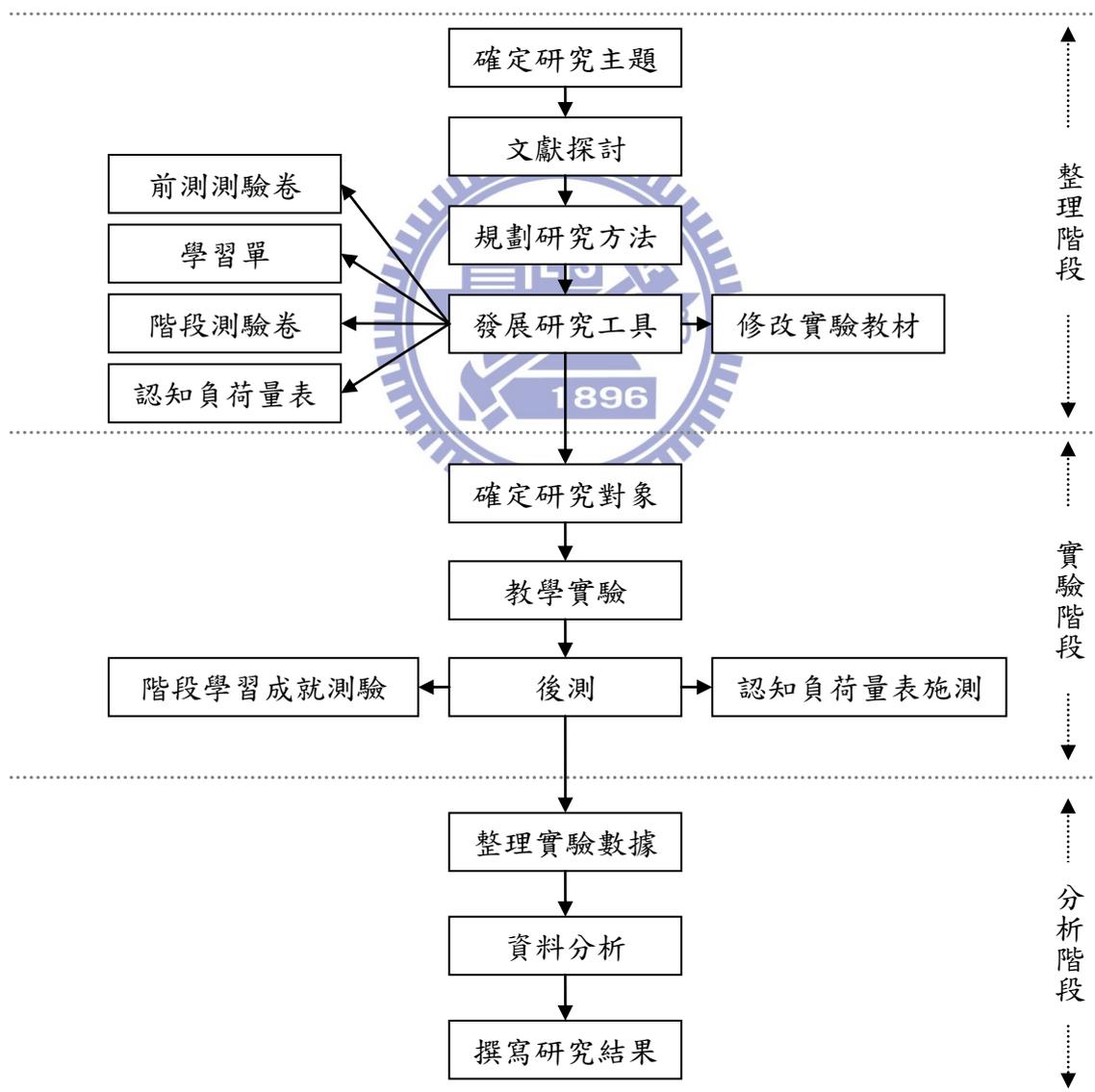


圖 13 研究流程

3.2 研究對象

本研究的研究對象係依便利抽樣方式，從研究者所任教之台中市某國中一年級中取樣四班，爰新生入學編班以 S 型常態編班，依據上學期三階段數學成就評量測驗分數平均當為取樣標準，如表 11。

是以 702、709 為研究者原任教班級，故再擇與這兩班人數、組成、平均與環境接近之兩班級做為實驗樣本。702 與 705 皆有資源班學生，教室同在三樓；709 和 710 無資源班學生，教室在四樓。為使實驗組與對照組立足點均等，705 和 709 設定為實驗組，對照組為 702 和 710，組中一班為原任教、一班非原任教，且非原任教之班級先於實驗前進入該班代課一至二堂，期以消滅新奇效應。

表 11

受試母群體上學期班級人數與數學科階段評量成績一覽表

班級	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	
人數	31	30	31	31	30	33	32	33	33	33	34	
階段評量成績	一	58.97	57.33	51.48	57.42	58.67	54.79	58.63	65.58	64.61	64.73	57.41
	二	54.68	55.00	46.45	52.16	54.03	47.18	52.09	61.24	59.12	59.79	51.26
	三	66.32	63.07	50.58	60.13	66.13	59.27	58.63	68.73	67.13	67.03	62.59
平均	59.99	58.47	49.50	56.57	59.61	53.75	56.45	65.18	64.33	63.75	57.09	
組別	對照		實驗				實驗		對照			

利用獨立樣本 t 檢定來考驗兩組上學期階段性評量成績，兩樣本的平均數各為 62.04 和 61.23，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 3.584, p = .061$)，即代表實驗組與對照組的離散情形無明顯差別。由假設變異數相等，其 t 值等於 0.209、 $df = 123$ 、 $p = .835 > .05$ ，呈現考驗結果未達顯著，因此兩組程度可視為相同，檢定資料如表 12。

表 12

整體受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=62$)		對照組($n=63$)		$t(123)$	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
上學期階段 評量平均	62.05	19.90	61.23	23.61	0.209	.835	-6.92	8.55	0.03

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

同樣利用獨立樣本 t 檢定來考驗兩組前測總分，兩樣本分別為 11.54 和 10.15，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 0.378$, $p = .540$)，即代表實驗組與對照組的離散情形無明顯差別。由假設變異數相等，其 t 值等於 0.540、 $df = 123$ 、 $p = .930 > .05$ ，也呈現考驗結果未達顯著，因此兩組程度可視為相同，檢定資料如

表 13。

表 13

整體受試學生前測平均獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=62$)		對照組($n=63$)		$t(123)$	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
前測總分	11.54	7.99	10.15	8.42	0.540	.930	.354	-1.58	0.17

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

因依正常進度教學，實無法克服補習進度超前的影響，故後續分析會以「是否學習過」代入消去法與加減消去法這兩個單元為樣本區隔。為確定實驗、對照兩組之已學過與未學過兩群人的立足點是否相等，亦進行上學期階段評量和前測的獨立樣本 t 檢定。

階段評量在未學過部分，兩樣本的平均數各為 52.69 和 48.01，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 3.950$, $p = .052$)，即代表實驗組與對照組的離散情形無明顯差別。由假設變異數相等，其 t 值等於 0.924、 $df = 55$ 、 $p = .359 > .05$ ，也呈現考驗結果未達顯著，因此兩組程度可視為相同，檢定資料如表 14。

表 14

未學過受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 *t* 檢定摘要表

變項	實驗組(<i>n</i> =27)		對照組(<i>n</i> =28)		<i>t</i> (55)	<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>	
上學期階段 評量平均	52.69	16.84	48.01	21.05	0.924	.359	-5.46	14.82	0.25

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

階段評量在已學過部分，兩樣本的平均數各為 72.29 和 72.51，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 2.466, p = .121$)，即代表實驗組與對照組的離散情形無明顯差別。由假設變異數相等其 *t* 值等於 -0.049、 $df = 64$ 、 $p = .961 > .05$ ，呈現考驗結果未達顯著，因此兩組程度可視為相同，檢定資料如表 15。

表 15

已學過受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 *t* 檢定摘要表

變項	實驗組(<i>n</i> =32)		對照組(<i>n</i> =34)		<i>t</i> (64)	<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>	
上學期階段 評量平均	72.29	16.18	72.51	19.67	-0.049	.961	-9.11	8.67	-0.01

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

再就前測成績分成未學過及已學過進行獨立 *t* 考驗，未學過兩樣本的平均為 5.78 和 3.96，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 2.290, p = .136$)，故離散無明顯差別，為假設變異數相等，其 *t* 值等於 1.08、 $df = 53$ 、 $p = .286 > .05$ ，呈現考驗結果亦未達顯著，所以再得兩組程度可視為相同，檢定資料如表 16。

表 16

未學過受試學生前測成績獨立樣本 *t* 檢定摘要表

變項	實驗組(<i>n</i> =27)		對照組(<i>n</i> =28)		<i>t</i> (53)	<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>	
前測	5.78	6.82	3.96	5.61	1.08	.286	-1.56	5.19	0.29

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

已學過兩樣本平均為 16.41 和 15.39，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 2.699$ ， $p = .105$)，離散也無明顯差別，為假設變異數相等，其 t 值等於 0.680、 $df = 63$ 、 $p = .499 > .05$ ，呈現考驗結果一樣未達顯著，所以得兩組程度可視為相同，檢定資料如表 17。

表 17

已學過受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=32$)		對照組($n=34$)		$t(63)$	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
前測	16.41	5.21	15.39	6.68	0.680	.499	-1.96	3.987	0.17

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

另，謝東育（2009）於補救教學進行二元一次聯立方程式的研究，補救教學係以此單元學習成就低落之學生為實驗對象。為應證謝東育之研究結果，後續分析再分以學習成就高、中、低進行討論；為確立實驗組與對照組之高、中、低成就學生之立足點，仍以獨立樣本 t 檢定進行考驗。

在高學習成就部分，實驗組和對照組的階段性評量平均分別為 87.87 和 88.40，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 0.957$ ， $p = .335$)；實驗組和對照組的前測分數平均分別為 17.20 和 16.53，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 0.240$ ， $p = .627$)，故離散皆無明顯差別。階段評量和前測皆為假設變異數相等，其 df 皆為 32， t 值與顯著性呈現考驗結果亦未達顯著，所以確定兩組程度無差異，檢定資料如表 18。

表 18

高成就受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=15$)		對照組($n=19$)		$t(32)$	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
上學期階段 評量平均	87.87	6.29	88.40	7.12	-0.230	.820	-5.30	4.226	-0.079
前測	17.20	6.04	16.53	5.96	0.325	.747	-3.54	4.890	0.112

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

在中學習成就部分，實驗組和對照組的階段性評量平均分別為 61.58 和 63.75，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 0.009$ ， $p = .927$)，故離散無明顯差別，假設變異數相等，其 $t = -0.893$ ， $df = 55$ ， $p = .376 > .05$ ，呈現考驗結果未達顯著，所以確定兩組程度無差異，檢定資料如表 19。

表 19

中成就受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=33$)		對照組($n=24$)		$t(55)$	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
上學期階段 評量平均	61.58	9.01	63.75	9.08	-0.893	.376	-7.02	2.69	-0.234

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

中學習成就部分的前測分數，實驗組和對照組平均分別為 11.84 和 11.96，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 0.017$, $p = .898$)，故離散無明顯差別。階段評量和前測皆為假設變異數相等，其 $t = -0.056$, $df = 53$, $p = .956 > .05$ ，考驗結果未達顯著，所以確定兩組程度無差異，檢定資料如表 20。

表 20

中成就受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=32$)		對照組($n=23$)		$t(53)$	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
前測	11.84	7.43	11.96	7.34	-0.056	.956	-4.17	3.94	-0.016

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

在低學習成就部分，實驗組和對照組的階段性評量平均分別為 35.48 和 32.40，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 1.037$, $p = .316$)，為假設變異數相等，其 $t = 1.10$, $df = 32$, $p = .280 > .05$ ，考驗結果一樣未達顯著，所以確定兩組程度無差異，檢定資料如表 21。

表 21

低成就受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=14$)		對照組($n=20$)		$t(32)$	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
上學期階段 評量平均	35.48	9.22	32.40	7.11	1.10	.280	-2.63	8.78	0.373

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

低學習成就前測分數部分，實驗組和對照組平均分別為 3.67 和 1.58，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 6.433, p = .017$)，為不假設變異數相等，其 $t = 1.325, df = 29$ ， $p = .202 > .05$ ，呈現考驗結果未達顯著，所以確定兩組程度相等，檢定資料如表 22。

表 22

低成就受試學生上學期數學科階段評量平均獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=12$)		對照組($n=19$)		$t(29)$	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
前測	3.67	4.81	1.58	3.237	1.325	.202	-1.23	5.41	0.510

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。



3.3 研究設計

3.3.1 研究法

本研究在探討以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對學生的學習成就和認知負荷是否產生影響？實驗設計以課堂授課為主，在不違反正常教學進度與不破壞授課班級的完整性之下，盡可能避免其他的干擾因素，本研究使用準實驗研究法。

就內在效度而言，本設計的優點在於有實驗、控制兩組可供比較。學生之上學期階段性評量及前測成績顯示兩組並無顯著差異，各方可能干擾因素如：教學時間、教學內容、測驗工具與時間也妥善控制。

至於缺點方面，因受試班級採便利抽樣，非原任教班級其心理因素，如對老師的熟稔程度等無關變項較無法控制，故實驗組和對照組中各有原任教班與非原任教班級。在本研究中，除事先以代課方式自然進入非原授課班級中彼此熟悉外，仍先告知所有學生，因研究者製作了一份多媒體教材，希望藉由實際上課了解教材設計是否得當，因此需要多些班級來體驗，好讓研究者可以精益求精，將教材修改得更加完善。因此受測的四個班級學生皆認為上課所看到的多媒體教材是相同的，藉此減低受測學生的敏感性等心理干擾因素。



3.3.2 研究變項與假設

1. 研究變項

(1) 控制變項

- A. 授課教師：授課教師皆為同一人，為避免學生新奇效應，非原授課班級於實驗前偶爾借課至該班以多媒體進行教學。
- B. 授課環境：皆在原班級教室上課。
- C. 教材內容：實驗組和對照組上課的教材主題單元、授課時間均相同。
- D. 測驗問卷：實驗組和對照組在教學實驗後所作的階段學習成就測驗（後測）及認知負荷問卷量表，其題目內容、施測時間、給分標準均相同。

(2) 自變項

教材設計方式：實驗、對照組兩組教材設計比較如表 23：

表 23

教材設計比較表

	實驗組	對照組
適性指標	✓	✓
代數教材設計原則	✓	×

實驗組：教材以代數教材設計原則設計，教材元素由適性指標引導學生學習。

控制組：教材以傳統循序方式來設計，教材元素由適性指標引導學生學習。

(3) 依變項：

A. 階段學習成就（轉化測驗）

B. 認知負荷（認知負荷評量）



2. 研究假設

在謝東育（2009）的研究顯示，使用適性指標設計原則結合代數教材設計之教材在補救教學課堂授課中，學生的學習成效會優於沒有代數教材設計原則的課堂授課。依據其研究可知代數教材設計原則對於補救教學的學生是有助益的。若將其應用在常態教學上，學生的學習成就是否也有顯著差異？本研究基於上述問題，並根據文獻探討、研究目的和研究問題提出以下的假設：

假設 1-1：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於整體學生的學習成就表現有顯著差異。

假設 1-2：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於未學過學生或已學過學生的學習成就表現有顯著差異。

假設 1-3：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於不同學習成就學生的學習成就表現有顯著差異。

假設 2-1：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於整體學生的認知負荷有顯著差異。

假設 2-2：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於未學過學生或已學過學生的認知負荷有顯著差異。

假設 2-3：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於不同學習成就學生的認知負荷有顯著差異。

假設 3：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，會產生專業知識反轉效應。

3.3.3 實驗流程

本研究教學階段、實驗流程與時間分配如下表 24：

表 24

教學實驗總流程表

階段別	步驟	內容	時間
前置	I	前測	15 分鐘
第一階段	I	課程教材教學（代入消去法）	45 分鐘
	II	階段學習成就轉化測驗（後測）	20 分鐘
	III	認知負荷量表	5 分鐘
第二階段	I	課程教材教學（加減消去法）	45 分鐘
	II	階段學習成就轉化測驗（後測）	30 分鐘
	III	認知負荷量表	5 分鐘

3.4 研究工具

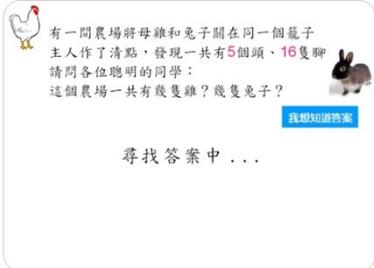
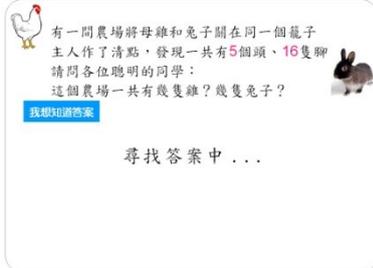
3.4.1 教材修改

本研究係依據謝東育（2009）所製作之教材進行修改，教材範圍為七年級第二冊第一章第二節之二元一次聯立方程式，教材版本同樣為康軒版。謝東育設計之初已歸納分析學生解二元一次聯立方程式的錯誤原因，並將這些原因列為教材設計之重點，所以本研究便不再重新探討其迷思概念與錯誤原因。

實驗所用之教材為以 PowerPoint 2003 簡報軟體及 AMA 外掛增益集為作業平台進行設計，修改時亦同。實驗與對照兩組教材不同之處在於：實驗組教材結合適性指標，再加上代數教材設計原則—「教學內容結構化」、「教材呈現區塊化」以及「建立訊息關聯」三大概念來安排教材元素在簡報畫面的相對位置，對照組僅使用適性指標設計原則，藉此探討代數教材設計原則在教學上能否提升學生學習成就。除了教材元素在簡報畫面安排的相對位置不同，舉凡內容文字、口語引導、講述時間與滑鼠操作方式等皆屬控制變項，兩組皆相同。

茲將修改之處，利用表格對照形式呈現重點修改頁面，實驗組教材如表 25，對照組教材如表 26，其餘修改頁面置附錄一。

表 25
實驗組教材原始頁和修正頁一覽表

頁碼	原始	修正
1		

修正說明：

1. 將「我想知道答案」的藍色按鈕移至左方，以與後續頁統一；為適性指標—「標示原始位置原則」。

（續下頁）

2

有一間農場將母雞和兔子關在同一個籠子
主人作了清點，發現一共有5個頭、16隻腳
請問各位聰明的同學：
這個農場一共有幾隻雞？幾隻兔子？

想法

我們可假設母雞有x隻、兔子有y隻
把農場主人清點的結果，列成下列算式：

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$

這個算式怎麼解啊？

有一間農場將母雞和兔子關在同一個籠子
主人作了清點，發現一共有5個頭、16隻腳
請問各位聰明的同學：
這個農場一共有幾隻雞？幾隻兔子？

解法

我們可假設母雞有x隻、兔子有y隻

	雞	兔	總數	列式
隻數	x	y	5	$x + y = 5$ ----- ①
腳數	2x	4y	16	$2x + 4y = 16$ ----- ②

修正說明：

1. 移除黃色卡通圖案，避免不必要的干擾；多媒體設計原則—「一致性原則」。
2. 將假設與列式表格化，以利學習者對照；代數教材設計原則—「二維圖像」。

3

有一間農場將母雞和兔子關在同一個籠子
主人作了清點，發現一共有5個頭、16隻腳
請問各位聰明的同學：
這個農場一共有幾隻雞？幾隻兔子？

想法

我們可假設母雞有x隻、兔子有y隻
把農場主人清點的結果，列成下列算式：

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$

這個算式怎麼解啊？

有一間農場將母雞和兔子關在同一個籠子
主人作了清點，發現一共有5個頭、16隻腳
請問各位聰明的同學：
這個農場一共有幾隻雞？幾隻兔子？

解法

我們可假設母雞有x隻、兔子有y隻

	雞	兔	總數	列式
隻數	x	y	5	$x + y = 5$
腳數	2x	4y	16	$2x + 4y = 16$

二元一次聯立方程式
二元一次聯立方程組

修正說明：

1. 因「二元一次聯立方程式」對於學習者是新名詞，所以增加文字呈現按鈕，逐步導引學習者進入主題。

9

主題二 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x = 2y \\ x + y = 27 \end{cases}$

想法

要同時找出x、y太難，所以若能先解決其中一項，
把聯立方程式變成只有一個未知數的方程式，
那就可輕易地先將一個未知數求出來。

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x = 2y \\ x + y = 27 \end{cases}$

想法

要同時找出x、y太難，所以若能先解決其中一項，
把聯立方程式變成只有一個未知數的方程式，
那就可輕易地先將一個未知數求出來。

修正說明：

1. 將右上角的主題大小及顏色修改，避免視覺重點偏移，也避免與步驟指示箭頭顏色重複；適性指標—「特徵獨立原則」、「通道原則」、「群化原則」及「明度差異原則」相關。
2. 後續頁皆同。

(續下頁)

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$ 所以 $x=18, y=9$ 是聯立方程式的解

開始解題

解法

取代第②式的 x

$$\begin{aligned} x &= 2y & \text{--- ①} & & x + y &= 27 & \text{--- ②} \\ x &= 2 \cdot 9 & & & 2y + y &= 27 & \\ & = 18 & & & 3y &= 27 & \\ & & & & & & y = 9 \end{aligned}$$

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

解法

取代第②式的 x

$$\begin{aligned} x &= 2y & \text{--- ①} & & x + y &= 27 & \text{--- ②} \\ 1 & \rightarrow x = 2 \cdot 9 & & & 2y + y &= 27 & \\ 2 & \rightarrow x = 18 & \text{取代第②式的 } y & & 3y &= 27 & \\ 3 & \rightarrow \begin{cases} x = 18 \\ y = 9 \end{cases} & & & & & \end{aligned}$$

10

修正說明：

1. 最後答案呈現於解題最後，並以「#」標示；考慮到步驟的累積性與銜接性，即多媒體設計原則－「空間接近原則」，亦避免學習者視覺跳躍。
2. 將雲朵形圖說文字去除，改以隱藏開關在題目旁顯示答案；可引導驗算概念；亦具有多媒體設計原則－「空間接近原則」。
3. 加強代入符號之顏色，以強調重點；適性指標－「觸發原則」。
4. 修正步驟箭頭，使其特徵一致；適性指標－「特徵獨立原則」。
5. 增加步驟底線與標號，以增加溝通性。

16

主題二 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=350 \\ 3x+3y=270 \end{cases}$ 所以 $x=50, y=40$ 是聯立方程式的解

開始解題

解法

$$\begin{aligned} 3x + 5y &= 350 & \text{--- ①} \\ 3x + 3y &= 270 & \text{--- ②} \\ \hline & & \rightarrow & & 2y &= 80 \\ & & & & & y = 40 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3x + 3 \cdot 40 &= 270 \\ 3x + 120 &= 270 \\ 3x &= 270 - 120 \\ 3x &= 150 \\ x &= 50 \end{aligned}$$

主題二 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=350 \\ 3x+3y=270 \end{cases}$

解法

$$\begin{aligned} 3x + 5y &= 350 & \text{--- ①} \\ 3x + 3y &= 270 & \text{--- ②} \\ \hline & & \rightarrow & & 2y &= 80 \\ & & & & & y = 40 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3x + 3 \cdot 40 &= 270 \\ 3x + 120 &= 270 \\ 3x &= 270 - 120 \\ 3x &= 150 \\ x &= 50 \end{aligned}$$

$$\begin{cases} x = 50 \\ y = 40 \end{cases}$$

修正說明：

1. 增加消去符號。
2. 箭頭引導近可能改為直線，減少轉折，以降低視線追尋；代數教材設計原則－「建立關連性」和格式塔原理 (Gestalt Law) －「連續法則」。
3. 其餘同頁碼 10。

表 26

對照組教材原始頁和修正頁一覽表

頁碼	原始	修正
1		

修正說明：

1. 將「我想知道答案」的藍色按鈕移至左方，以與後續頁統一；類似適性指標—「標示原始位置原則」。

2		<thead> <tr> <th></th> <th>雞</th> <th>兔</th> <th>總數</th> <th>列式</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>隻數</td> <td>x</td> <td>y</td> <td>5</td> <td>$x + y = 5$ ①</td> </tr> <tr> <td>腳數</td> <td>2x</td> <td>4y</td> <td>16</td> <td>$2x + 4y = 16$ ②</td> </tr> </tbody>		雞	兔	總數	列式	隻數	x	y	5	$x + y = 5$ ①	腳數	2x	4y	16	$2x + 4y = 16$ ②
	雞	兔	總數	列式													
隻數	x	y	5	$x + y = 5$ ①													
腳數	2x	4y	16	$2x + 4y = 16$ ②													

修正說明：

1. 移除黃色卡通圖案，避免不必要的干擾；多媒體設計原則—「一致性原則」。
2. 將假設與列式表格化，以利學習者對照；代數教材設計原則—「二維圖像」。

3		
---	--	--

修正說明：

1. 因「二元一次聯立方程式」對於學習者是新名詞，所以增加文字呈現按鈕，逐步導引學習者進入主題。

(續下頁)

4

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$
 所以 $x=2, y=3$ 是這個算式的解

解法

x	0	1	2	3	4	5
y	5	4	3	2	1	0
是否符合第①式	x	x	*	x	x	x

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$
 所以 $x=2, y=3$ 是這組聯立的解

解法

x	0	1	2	3	4	5
y	5	4	3	2	1	0
是否符合第①式	x	x	*	x	x	x

修正說明：

1. 將雲朵形圖說文字改成直線型圖說文字。

5

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$
 也就是雞有 2 隻，
兔子有 3 隻

解法

x	0	1	2	3	4	5
y	5	4	3	2	1	0
是否符合第①式	x	x	*	x	x	x

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$
 也就是雞有 2 隻，
兔子有 3 隻

解法

x	0	1	2	3	4	5
y	5	4	3	2	1	0
是否符合第①式	x	x	*	x	x	x

修正說明：

1. 將雲朵形圖說文字改成直線型圖說文字。

9

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

想法

要同時找出 x, y 太難，所以若能先解決其中一項，把聯立方程式變成只有一個未知數的方程式，那就可輕易地先將一個未知數求出來。

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

想法

要同時找出 x, y 太難，所以若能先解決其中一項，把聯立方程式變成只有一個未知數的方程式，那就可輕易地先將一個未知數求出來。

修正說明：

1. 將右上角的主題大小及顏色修改，避免視覺重點偏移，也避免與步驟指示箭頭顏色重複；適性指標—「特徵獨立原則」、「通道原則」、「群化原則」及「明度差異原則」相關。
2. 後續頁皆同。

(續下頁)

主 題 二 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$ 所以 $x=18, y=9$ 是聯立方程式的解

開始解題

解法

$$\begin{cases} x=2y & \text{--- ①} \\ x+y=27 & \text{--- ②} \end{cases}$$

將①式代入②式

$$\begin{cases} 2y+y=27 \\ 3y=27 \\ y=9 & \text{--- ③} \end{cases}$$

將③式代入①式

$$\begin{cases} x=2 \cdot 9 \\ x=18 \end{cases}$$

主 題 二 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

解法

$$\begin{cases} x=2y & \text{--- ①} \\ x+y=27 & \text{--- ②} \end{cases}$$

將①式代入②式

$$\begin{cases} 2y+y=27 \\ 3y=27 \\ y=9 & \text{--- ③} \end{cases}$$

將③式代入①式

$$\begin{cases} x=2 \cdot 9 \\ x=18 \\ y=9 & \text{--- #} \end{cases}$$

10 修正說明：

1. 最後答案呈現於解題最後，並以「#」標示；考慮到步驟的累積性與銜接性，即多媒體設計原則—「空間接近原則」，亦避免學習者視覺跳躍。
2. 將雲朵形圖說文字去除，改以隱藏開關在題目旁顯示答案；可引導驗算概念。
3. 加強代入符號之顏色，以強調重點；適性指標—「觸發原則」。
4. 修正步驟箭頭，使其特徵一致；適性指標—「特徵獨立原則」。

17

主 題 二 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=350 \\ 3x+3y=270 \end{cases}$ 所以 $x=50, y=40$ 是聯立方程式的解

開始解題

解法

$$\begin{cases} 3x+5y=350 & \text{--- ①} \\ 3x+3y=270 & \text{--- ②} \end{cases}$$

①-②

$$\begin{cases} 2y=80 \\ y=40 & \text{--- ③} \end{cases}$$

將③式代入②式

$$\begin{cases} 3x+3 \cdot 40=270 \\ 3x+120=270 \\ 3x=270-120 \\ 3x=150 \\ x=50 \end{cases}$$

將③式代入①式

$$\begin{cases} 3x+5 \cdot 40=350 \\ 3x+200=350 \\ 3x=350-200 \\ 3x=150 \\ x=50 \end{cases}$$

修正說明：

1. 增加消去符號
2. 其餘同頁碼 10。

3.4.2 實驗工具

本實驗工具共分成：前測試卷、學習單、階段學習成就測驗卷及認知負荷量表四大類。

1. 前測試卷

前測試卷兩題，目的為再確認實驗組與對照組是否等質，並藉由試卷獲知學生於該兩單元之學習情況，以區別真正的學習成效。前測試卷詳見附錄二。

2. 學習單

為讓學生於學習當中，除了專注聽講，亦能集中注意力並實際練習，因此設計學習單加強學習效果。學習單上題目皆為教材示例題，希望學生聽完講解後可自行解題，若有不懂之處可抬頭再看布幕上的過程，亦能藉此練習時間發問。此學習單不作任何評分與分析。學習單詳見附錄三。

3. 階段學習成就測驗卷

採謝東育（2009）所編製之試卷，試卷題目無記憶試題皆為轉化題型。該卷之設定具備專家效度、良好信度，其難度與鑑別度皆適中。但為求精確，研究者於任教學校以便利取樣方式再行施測，樣本為八年級一常態班，人數 29 人，所得之信度在水準之上，見表 27；難度適當，見表 28；鑑別度優良，見表 29。階段學習成就測驗卷詳見附錄四。

（1）信度

表 27

階段學習成就測驗預試信度

	代入消去法 Cronbach's α 值	加減消去法 Cronbach's α 值
謝東育（2009）	.704	
研究者	.981	.963

(2) 難度

當測驗分數是常態分布時，從成績最高分向下取總人數的 27% 為高分組，從最低分向上取總人數的 27% 為低分組（吳明隆，2007）。分別計算高分及低分組在每一試題的答對人數及百分比，再將兩組在每一試題的答對百分比相加除以 2，藉此計算出各題的難度指數（郭生玉，1995），計算公式(1)如下：

$$P = \frac{P_H + P_L}{2} \quad (1)$$

（P：難度指數； P_H 高分組答對某題的百分比； P_L 低分組答對某題的百分比）

P 值越大代表題目越容易，數值越小代表題目越難；當 $P \leq .25$ ，則分數分布是正偏，當 $P \geq .80$ 分布是負偏，因此測驗的難度介於 0.2~0.8 之間，為難度適當（吳明隆，2007；郭生玉，1995）。

表 28

階段學習成就測驗預試難度



難度	代入消去法 第一題	代入消去法 第二題	加減消去法 第一題	加減消去法 第二題	加減消去法 第三題
謝東育（2009）	.36	.65	.31	.43	.72
研究者	.59	.56	.68	.63	.61

(3) 鑑別度

以每一試題在高分組的答對人數百分比減去低分組的答對人數百分比，算出鑑別指數（郭生玉，1999），計算公式(2)如下：

$$D = P_H - P_L \quad (2)$$

（D：鑑別度指數； P_H 高分組答對某題的百分比； P_L 低分組答對某題的百分比）

鑑別力的評鑑標準，若鑑別指數在 .4 以上，則試題非常優良；D 介在 .30~.39 為優良，但可能需要修改；D 介於 .20~.29 尚可，但通常需要修改；D 為 .19 以下即為劣，

須淘汰或修改（郭生玉，1995）。

表 29

階段學習成就測驗預試鑑別度

鑑別度	代入消去法 第一題	代入消去法 第二題	加減消去法 第一題	加減消去法 第二題	加減消去法 第三題
謝東育（2009）	.64	.43	.25	.89	.30
研究者	.83	.88	.64	.74	.78

（4）給分標準

施測題型均為計算題，單題成績計算採部分給分，給分標準依據謝東育（2009）所提加以修訂，過程與謝東育以共同批改樣本試卷模式進行討論再修正，所定給分標準如下表 30 和表 31。

所有試卷為求公平、客觀，由研究者本人及同校任教 12 年之資深數學教師一名，分別進行評定給分，而後兩人對於分數相異之試卷進行討論，取得共識後，再予給分。

表 30

代入消去法計算題給分標準

給分標準判斷	分數
完全正確	10
代入概念正確，計算雖錯誤，但有將未知數算出	8
有做到初步的代入步驟，有算出兩個未知數	7
有做到初步的代入步驟，有將未知數其一算出	6
做到初步的代入步驟，未算出兩個未知數	4
將其中一式整理成 $x=000000$ 或 $y=#####$	2
未寫 或 以加減消去法計算	0

表 31

加減消去法計算題給分標準

給分標準判斷	分數
完全正確	10
轉換倍數、加減消去概念正確， 計算雖錯誤，但有將未知數算出	9
轉換倍數、加減概念消去正確， 計算雖錯誤，但有將未知數其一算出	8
轉換倍數、加減消去概念正確，但未將未知數算出	7
有做到初步的式子轉換，但加減消去引用錯誤， 惟計算過程正確，有算出兩個未知數	6
有做到初步的式子轉換，但加減消去引用錯誤， 惟計算過程正確，未算出兩個未知數	5
1.有做到初步的式子轉換，但未進行加減消去 2.式子轉換錯誤，加減消去引用錯誤	3
有做到式子整理，但未轉換倍數	2
未寫 或 以代入消去法計算	0



4. 認知負荷量表

從前人的研究中，可獲得現有的認知負荷量表，唯研究者及研究室團隊認為影響認知負荷量表的向度應更多、更廣，方能準確獲取學習者各項度的負荷，而非以一概之；謝東育(2009)於其研究中也建議發展更精確之認知負荷量表；van Gog 和 Paas (2008) 也認為在未來的研究中，也應該使用其他的主觀評定 (subjective rating) ，如 Hart 和 Staveland (1988) 所設計的 NASA-TLX 評定量表。因此在本研究中，嘗試修定與編制新的認知負荷量表，以期獲得更精準的認知負荷量。

邱皓政 (2010) 提出量表編製的流程主要工作包括準備階段、預試階段、正式階段與維護階段等，其流程如圖 14，本研究依此流程制定認知負荷量表。

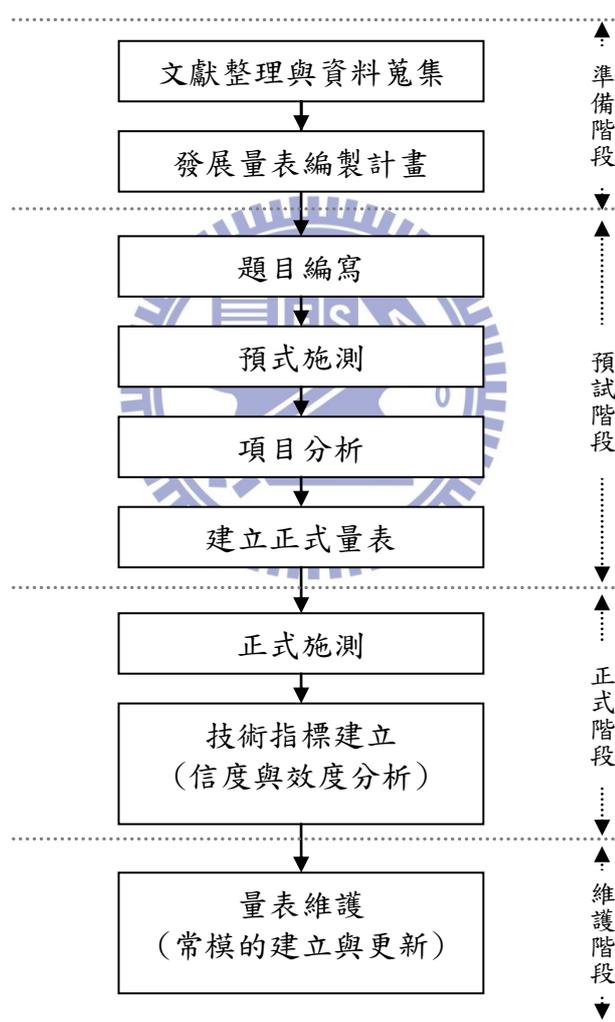


圖 14 量表發展基本流程

資料來源：邱皓政 (2010)。《量化研究與統計分析 (第五版)》(頁 13-3)。台北市：五南。

立基第二章認知負荷測量之文獻探討，本研究認知負荷量表之編制以 Paas 等人 (1994) 所制定之認知負荷測量—心智負荷 (mental load)、心智努力 (mental effort) 和表現 (performance) 為基礎，輔以宋曜廷 (2000) 和郭秀緞 (2006) 研究所用之評定量表，綜合 Hart 和 Staveland (1988) 所設計的 NASA-TLX 評定量表與 Reid 和 Nygren (1988) 所提出的 SWAT 評定量表，暨參酌眾研究中所使用認知負荷量表，加入多媒體學習理論和認知負荷理論的觀點而擬定。本研究編製認知負荷量表問卷，如表 32。

表 32

認知負荷量表

感受問題	非常不同意	不同意	有點不同意	普通	還算同意	同意	非常同意
1. 在學習之前，我認為「代入消去法」在學習上是容易的...	1	2	3	4	5	6	7
2. 在學習過程中，我實際上用了很少心力.....	1	2	3	4	5	6	7
3. 聽完老師講解後，我覺得「代入消去法」的難易度是簡單的	1	2	3	4	5	6	7
4. 在老師的引導、講解過程中，找到相關訊息是容易的.....	1	2	3	4	5	6	7
5. 在老師的引導、講解過程中，我有足夠的時間思考.....	1	2	3	4	5	6	7
6. 在這堂課的學習過程中，我覺得是順暢的.....	1	2	3	4	5	6	7
7. 這堂課的學習過程中，我覺得沒有壓力.....	1	2	3	4	5	6	7
8. 上這堂課後我覺得我對學好「代入消去法」有信心.....	1	2	3	4	5	6	7
9. 這堂課的學習過程中，我覺得有成就感.....	1	2	3	4	5	6	7
10. 我覺得學習過程中，必須同時處理很多訊息.....	1	2	3	4	5	6	7

認知負荷量表理應於實驗施測前先進行預試分析、修改，但因時間因素及樣本因素，故將此次研究設定為量表初步探討 (pilot study)，亦即量表發展僅進行至預試階段；未來研究應進行更多的實驗，採集更多的資料樣本加以分析探討。以確立量表的正確性、實用性，使其更加完備。

量表編擬過程中，幾經研究室團隊共同討論，進行題目增減、措辭修改及順序調整等修正。因此此量表具備專家效度，即是內容效度 (content validity)。量表編製版本變更詳見附錄五。版本間除了問題變革外，另為評定量表格式的變更；一般常用的評定量

表有三種（郭生玉，1995）：

- (1) 數字評定量表 (numerical rating scale)：最簡單的一種，只要在系列數字之中畫上記號即可。這種形式的量表，先有一個敘述句描述要測得的行為或特質，然後有一系列的程度數字讓評定者圈選。
- (2) 圖示評定量表 (graphic rating scale)：為數字評定量表加上圖示，評定者在評定時在圖示上畫上記號。有的會在圖示的兩極加上簡易的文字，有的會在每個評分點上加上簡易的文字，讓數字意義更加具體。
- (3) 敘述圖示量表 (descriptive graphic rating scale)：兩極或各評分點的文字以描述性的方式呈現，讓意義更加明確，這種方式很清楚地定義了評定點代表的程度或行為。

其形式整理如表 33，研究者認為以圖示評定量表或敘述圖示量表應較能更精準地獲取學習者真實的感受，但考慮量表評定者為國中生，如量表太過複雜或者文字敘述太多，可能也會造成作答上的認知負荷過量，便改採用以數字評定量表配合矩陣化形式。王文科和王智弘（2009）指出矩陣形式有以下的優點：將空間做最有經濟的使用、填答者可以迅速地填寫這些題目也可以比較不同題之答案。

表 33
評定量表形式比較

形式	範例
數字評定量表 (numerical rating scale)	<p>5=幾乎總是，4=時常是，3=有時候是，2=很少是，1=幾乎沒有</p> <p>※使用上列數字的意義評定參加學校活動之情形</p> <p>1. 他是否主動參與班中的各種活動？</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4 5</p> <p>2. 他是否虛心接受別人的意見？</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4 5</p> <p>3. 他參與課堂上討論的程度如何？</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4 5</p>
圖示評定量表 (graphic rating scale)	<p>1. 他是否主動參與班中的各種活動？</p> <p style="text-align: center;"> 幾乎總是 幾乎沒有 </p> <p style="text-align: center;">5 4 3 2 1</p> <p>2. 他是否主動參與班中的各種活動？</p> <p style="text-align: center;"> 100 % 10 % 0 % </p> <p style="text-align: center;">5 4 3 2 1</p> <p style="text-align: center;">幾乎總是 時常是 有時是 很少是 幾乎沒有</p>

(續下頁)

形式	範例
	<p>1. 他是否主動參與班中的各種活動？</p>
敘述圖示量表 (descriptive graphic rating scale)	<p>2. 他參與課堂上討論的程度如何？</p>

資料來源：整理自郭生玉（1995）。**心理與教育測驗**（頁 309-313）。台北縣：精華書局。

本量表認知負荷題目，共十題，以李克特氏量表採七點尺度測量（非常不同意—非常同意），針對學習者對教材內容、學習過程所感受到的各種向度進行自我評估，在教學演示及階段成就測驗後馬上蒐集，可知其直覺感受。量表各題文字描述與欲評估之向度，茲條列如下：

(1)「在學習之前，我認為「代入消去法」在學習上是容易的」

此為心智負荷 (mental load) 的測量。此測量是以任務或環境為中心的向度 (Paas, et al., 1994)，心智負荷來自任務和主題的特徵之間的交互作用；基於學習者目前的知識，所預期的負荷會有所不同。因此，它提供了一個認知能力的預期要求指標，可以認定是一個先前估計的認知負荷 (Paas, et al., 2003; Paas, et al., 1994)。

(2)「在學習過程中，我實際上用了很少心力」

本題為心智努力 (mental effort) 的測量。心智努力以人為主體的向度 (Paas, et al., 1994)，是指為了適應工作或學習的需求，實際的認知資源運用，因此它能確切地反應出真實的負荷。

而心智努力的自我評估也被認為可測得內在認知負荷 (DeLeeuw & Mayer, 2008)。

(3)「聽完老師講解後，我覺得「代入消去法」的難易度是簡單的」

事實上，困難度 (difficulty) 的測量常常被應用在認知負荷的測量上，被視為是一種心智努力，見表 34。Paas、Tuovinen、Merriënboer 和 Darabi (2005) 認為如果任務不致於太容易或太困難，困難度的評估會與心智努力的評估產生高度相關；但 Paas 等人也指出困難度僅是一個認知負荷其中一個面向，尤其是在極容易或極困難的任務中。同樣地，van Gog 和 Paas (2008) 提到心智努力和困難度兩者雖有一定程度上的關係，但這兩個問題可能導致不同的解釋，心智努力涉及到一個過程，是多方面的，而困難度為任務本身的特質。而且這兩者的差異會在極端的時候更加顯著，有研究顯示，如果學習者看到一個問題是非常困難的，他將不會主動投入大量的精力在這個問題上。

而 Ayres (2006)、DeLeeuw 和 Mayer (2008) 分別認為困難度可測得內在認知負荷和增生認知負荷。

表 34

1993 年至 2007 年研究之認知負荷測量應用形式彙整

研究	認知負荷測量技術
Paas & Van Merriënboer (1994)	ME (9-pt effort)
Cerpa, Chandler, & Sweller (1996)	ME (9-pt difficulty)
Marcus, Cooper, & Sweller (1996)	ME (7-pt difficulty)
Tindall-Ford, Chandler, & Sweller (1997)	ME (7-pt effort)
Yeung, Jin, & Sweller (1997)	ME (9-pt difficulty)
Kalyuga, Chandler, & Sweller (1998)	ME (7-pt difficulty)
Kalyuga, Chandler, & Sweller (1999)	ME (7-pt difficulty)
Tuovinen & Sweller (1999)	ME (9-pt effort)
Yeung (1999)	ME (9-pt difficulty)
Kalyuga, Chandler, & Sweller (2000)	ME (7-pt difficulty)
Camp, Paas, Rikers, & Van Merriënboer (2001)	ME (5-pt effort)
Kalyuga, Chandler, & Sweller (2001)	ME (7-pt difficulty)
Kalyuga, Chandler, Tuovinen, & Sweller (2001)	ME (9-pt difficulty)
Cuevas, Fiore, & Oser (2002)	ME (7-pt difficulty)
Pollock, Chandler, & Sweller (2002)	ME (7-pt difficulty; 9-pt difficulty)
Van Gerven, Paas, Van Merriënboer, & Schmidt (2002)	ME (9-pt difficulty)
Van Merriënboer, Schuurman, De Croock, & Paas(2002)	ME (9-pt effort)
Carlson, Chandler, & Sweller (2003)	ME (7-pt effort)
Van Gerven, Paas, Van Merriënboer, Hendriks, & Schmidt (2003)	ME (9-pt difficulty)
Hummel, Paas, & Koper (2004)	ME (9-pt effort)
Kalyuga, Chandler, & Sweller (2004)	ME (7-pt difficulty; 9-pt difficulty)
Kester, Kirschner, & Van Merriënboer (2004)	ME (9-pt effort)
Moreno (2004)	ME (10-pt difficulty)
Salden, Paas, Broers, & Van Merriënboer (2004)	ME (5-pt effort)
Halabi, Tuovinen, & Farley (2005)	ME (5-pt effort)
Kalyuga & Sweller (2005)	ME (9-pt difficulty)
Moreno & Valdez (2005)	ME (7-pt difficulty)
Corbalan, Kester, & Van Merriënboer (2006)	ME (7-pt effort)
Kalyuga (2006)	ME (9-pt difficulty)
Kester, Kirschner, Van Merriënboer (2006)	ME (9-pt effort)
Kester, Lehnen, Van Gerven, & Kirschner (2006)	ME (NASA-TLX)
Ngu & Rethinasamy (2006)	ME (7-pt effort)

Salden, Paas, Van der Pal, & Van Merriënboer (2006)	ME (5-pt effort)
Salden, Paas, & Van Merriënboer (2006)	ME (5-pt effort)
Hasler, Kersten, & Sweller (2007)	ME (9-pt effort)
Paas, Van Gerven, & Wouters (2007)	ME (9-pt effort)
van Gog, Paas, & Van Merriënboer (in press)	ME (9-pt effort)

註：pt = point; ME = mental effort。擷取自“Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research.” by van Gog, T., & Paas, F., 2008, *Educational psychologist*, 43(1), p.19. doi: 10.1080/00461520701756248

(4) 在老師的引導、講解過程中，找到相關訊息是容易的

倘若教材設計妥善，教學者引導恰當，則學習者應能毫不費力看到教學者要呈現的內容或訊息，當學習者的注意力能正確地被導向教學者正在講述的訊息，即代表教學者與學習者之間溝通無礙，學習者也能與教學者同步，也就是說學習者不會投入認知資源在無關的訊息上或耗費認知資源在搜尋相關訊息上。研究者認為此與教材設計和教學者引導息息相關，應可獲取學習者在外在認知的負荷量。而外在認知負荷即是額外的負載，源於不良的教材設計 (Paas, et al., 2003)。

以多媒體學習理論的角度來看，透過教學者的注意力引導，學習者應可更快、更清楚地尋找到當下教學者想傳達的訊息，因此在於選取文字和圖像的處理過程應能更快速與容易，同文獻探討 Mayer (2009) 指出本體的認知處理 (Essential Cognitive Processing) 與選取的步驟有關，所以此題除了能獲得外在認知，亦能得到內在認知，如圖 15。

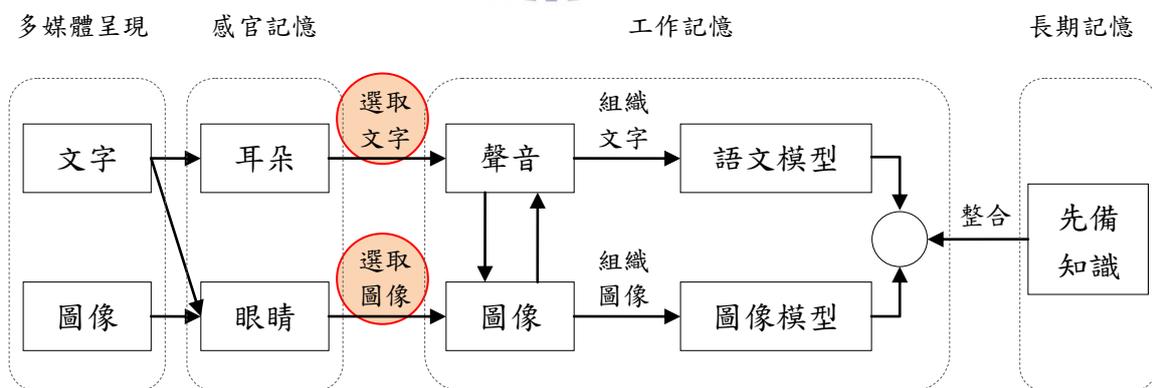


圖 15 選取訊息

資料來源：修改自 *Multimedia learning* (2nd ed.) (p.61), by Mayer, R. E., 2009, New York: Cambridge University Press.

(5) 在老師的引導、講解過程中，我有足夠的時間思考

接續第四題，如學習者能容易地找到相關訊息，則自然能與教學者講述過程同步處理，並將所獲得著訊息進行組織與整合。時間在學習上是一個重要的關鍵點，如果時間充分，則學習者在選取、組織與整合訊息等處理過程上皆能從容應付，相對地學習效果一定比較好。在 NASA-TLX 評定量表中有「時間需求」這一項，於 SWAT 評定量表中也有「時間負荷」的維度。因此，學習者若有足夠的時間思考，其認知負荷應是低的，反之亦然。在文獻探討中，DeLeeuw 和 Mayer (2008) 提及反應時間能測得外在認知負荷。

同樣以多媒體學習理論的角度來看，選取相關訊息後，如能有足夠的時間可以思考，便代表學習者能有效地組織相關訊息並提取相關的先備知識加以整合。為此，組織與整合的步驟無礙，其工作記憶認知負荷應是低的，且學習效果是好的，又組織與整合的步驟與衍生的認知處理 (Generative Cognitive Processing) 相關，故亦能獲取有效認知負荷，如圖 16。

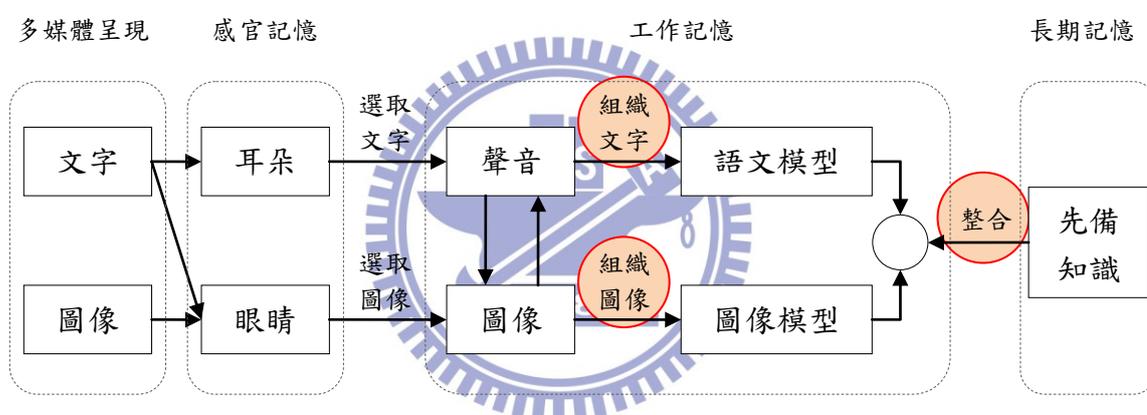


圖 16 組織相關訊息和整合相關訊息

資料來源：修改自 *Multimedia learning* (2nd ed.) (p.61), by Mayer, R. E., 2009, New York: Cambridge University Press.

(6) 在這堂課的學習過程中，我覺得是順暢的

第 4、5 題評估是否容易找到相關訊息和是否有足夠時間思考，兩題息息相關，假定容易找到相關訊息也有足夠的時間思考，則學習過程便是順暢的。若學習過程中不容易找尋到相關訊息或無足夠的時間思考，那麼學習過程即會感受到障礙與不順。因此，順暢程度就時間因素與上兩題應有密切的關係。

再以多媒體學習理論看來，如果學習是順暢的，那麼選取、組織與整合之學習步驟亦也是通暢的。所以訊息在整個認知模型裡的所有路徑應是暢行無阻的。

(7) 這堂課的學習過程中，我覺得沒有壓力

壓力的來源有許多，可能是心理方面、生理方面或是環境方面影響。壓力值的評估在 NASA-TLX 和 SWAT 評定量表皆有使用。郭秀緞 (2006) 訂定之認知負荷量表第 4 題亦為壓力值的獲取。

(8) 上這堂課後我覺得我對學好「代入消去法」有信心

謝財旺 (2006) 和潘伯正 (2009) 在其研究中的認知負荷量表，皆有信心評估題。謝財旺之認知負荷表信度分析，Cronbach's α 值為 0.837 達到顯著水準。呂鳳琳 (2009) 提出幾何證明閱讀理解感受量表作為學習者認知負荷量的探討，呂鳳琳將第四題—「你有多少把握看懂這些證明題？(非常有把握—非常沒把握)」定義為信心指數的探討，其認為非常有把握為有信心，則認知負荷量低，如非常沒把握則信心低，認知負荷量高。又在教育研究常使用的學習態度量表，也有「信心」之面向，即代表信心層面對於學習過程與學習表現有深切的關係。因此將此列入認知負荷量表之評估題目之一。

(9) 這堂課的學習過程中，我覺得有成就感

在 NASA-TLX 評定量表「表現」維度中，測量了學習者於完成任務目標後所感受的滿意度和成就感。在 NASA-TLX 評定量表「挫折程度」維度中，評估了學習者在學習過程中所承受的挫折感；同樣地在 SWAT 評定量表中，心理壓力負荷亦測量了挫折。

成就感與挫折感互為相對感受，如覺有高成就感，即為低挫折感。本量表擬訂以正向名詞敘述，所以此題以成就感高低來評估認知負荷量。

(10) 我覺得學習過程中，必須同時處理很多訊息

基於認知負荷的假設—工作記憶的容量有限 (Clark, et al., 2006)，因此在學習過程中如果需要同時處理很多訊息，勢必將造成認知負荷過量。同樣地，在多媒體學習理論中也提及有限的容量 (Mayer, 2001; Mayer, 2009)，如果相關訊息同時湧入，也會造成通道阻塞。DeLeeuw 和 Mayer (2008) 也指出理解教材是最主要的認知過程，這過程根據教材的困難度，例如有多少交互作用元素必須在同一時間點上被記憶。

因此研究者認為，學習者如果必須在同一時間處理或同時記憶很多訊息，那麼其認知負荷相對地會比較高。而此項除關乎教學者的引導、教材設計的良窳，也和教材複雜度與困難度密切相關。本題依據郭秀緞 (2006) 認知負荷量表第 6 題「我覺得在解答這些問題時，我心中必須同時記住的項目或數字是」加以修改。

3.5 資料分析

本研究採量化分析，以 SPSS 為基本統計分析工具，輔以 MS Excel 進行 Effect Size、學習效率 (Instructional Efficiency) 和投入分數 (Instructional Involvement Score) 的數據整理與繪圖。茲分述如下：

3.5.1 SPSS

以 SPSS 12.0 作為資料統計分析的工具，其虛無假設的顯著水準 α 皆設為 .05 等級。欲分析資料有代入消去法、加減消去法兩單元的階段學習成就測驗、認知負荷測驗，以及受試者上學期數學科學期成績及前測分數。

為比較實驗、對照兩組是否因教材設計不同，而產生顯著差異，故採獨立樣本 t 檢定來考驗階段學習成就測驗平均數的差異；認知負荷量表亦採用獨立樣本 t 檢定來檢測兩組是否有顯著不同；受試者上學期數學科學期與前測成績也以獨立樣本 t 檢定來考驗兩組程度可否視為相同。

為取得認知負荷量表的信度、效度、各題間相關係數和迴歸方程式，將分別以信度分析、因素分析、雙變數相關和逐步迴歸進行。

3.5.2 Effect size

而互相比較兩組運用不同原則設計的教材是否有差異，可藉由計算 effect size 來確認教學方式是否有效。Mayer (2009) 使用 Cohen's d 值來當作 effect size，計算公式(3)如下：

$$\text{Cohen's } d = \frac{M_1 - M_2}{\sigma_{\text{pooled}}} \quad (3)$$

$$(\sigma_{\text{pooled}} = \sqrt{\frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}{2}}, M_1 - M_2 : \text{實驗組平均} - \text{控制組平均}, \sigma : \text{標準差})$$

Effect size 的值若小於.2 則是小效果，若為.5 左右即為中效果，如果值約為.8，則屬大效果，倘若值>1 即是強效果 (Clark & Mayer, 2008; Mayer, 2009; 王文科、王智弘，

2009)。

Effect size 除能比較兩組運用不同原則設計的教材是否有差異，Mayer (2001) 在所著之多媒體學習 (Multimedia Learning) 之個人差異原則 (Individual Differences Principle) 章節中指出 effect size 的差異可判別因學習者本身的高、低先備知識而造成學習成就的差異。這便是 Kalyuga、Ayres、Chandler 和 Sweller (2003) 提出的專業知識反轉效應 (Expertise Reversal Effect)。Kalyuga (2007) 指出如果在研究中，新手所得的 effect size 是正值，而專家的 effect size 是負值，就是實際的專業知識逆轉效應，但在某些狀況下，未能得到真正的逆轉，也可從兩者差異去判讀是否有顯著差異。故研究中亦要藉由 effect size 來分析實驗組之教材是否讓高學習成就者（專家）產生專業知識逆轉效應。

3.5.3 學習效率 (Instructional Efficiency)

如前面所述，獨立 t 檢定與 effect size 僅就學習表現或認知負荷單獨進行差異比較，同樣的學習表現其背後可能有高低不同的認知負荷，同樣的認知投入，其學習表現不見的相同。假設甲和乙兩學習者，學習表現相同，但甲付出較少的心力，乙付出較多，那麼甲的學習效率比乙高；若丙和丁兩學習者所付出的心力相等，丙的學習成就優於丁，則丙的學習效率比丁好。因此僅就學習成就或認知負荷單項分析有其缺陷。

因此，認知負荷理論學者 Paas 和 van Merriënboer (1993) 提出了視覺化的學習效率 (Instructional Efficiency) 公式及效率圖像 (Efficiency Graph)，利用任務表現分數與認知負荷量來清楚呈現學習者真正的學習成效。首先將任務表現分數及認知負荷量轉化成 Z 分數 (Z score)，以認知負荷量為橫軸坐標，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，如下圖 17。結合兩者可明確地判別學習效率為何 (Paas, et al., 2003; Paas & van Merriënboer, 1993)，也可比較在不同的教學條件之下對學習的影響 (van Gog & Paas, 2008)。計算公式(4)如下：

$$E = \frac{Z_p - Z_c}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

$$(Z = \frac{x - \bar{x}}{s}; Z_p : \text{學習表現 } Z \text{ 分數}; Z_c : \text{認知負荷 } Z \text{ 分數})$$

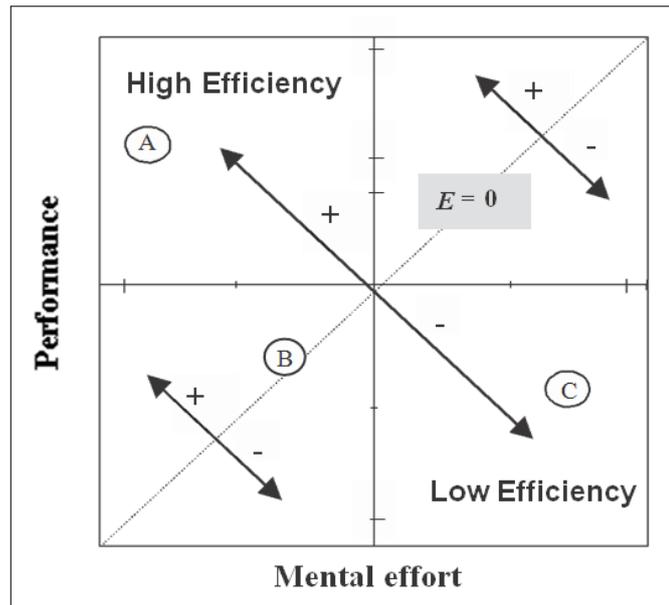


圖 17 學習效率圖

資料來源：“Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory.” by Paas, F., Tuovinen, J., Tabbers, H., & van Gerven, P., 2003, *Educational psychologist*, 38(1), 63-71. doi: 10.1207/S15326985EP3801_8

若學習者的任務表現高，認知負荷低，則為高學習效率 (high-instructional efficiency)，其坐標會落在左上區域 A 區；若任務表現差，認知負荷又高，即為低學習效率 (low-instructional efficiency)，則坐標會落在右下區域 C 區。

Paas 和 van Merriënboer (1993) 認為這比單獨分析學習表現或認知負荷，更能敏銳地反應出整體學習狀態。van Gog 和 Paas (2008) 也說結合認知負荷與學習表現的計算提供我們一個在學習效果上更好、更微妙的量化指標，即是認知基模獲得、建立或自動化結果的效率，亦是一個在不同教學條件下的量化指標。

而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)。van Gog 和 Paas (2008) 也認為學習效率是專業知識的指標，可判斷學習者專業知識的程度或後天的認知結構。

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，正如 3.4.2 研究工具認知負荷量表第三題「困難度」之說明，在之前眾多研究中，困難度也常被用來當作總認知負荷測量，因此在學習效率的計算，即有研究者使用心智努力 (mental effort) 作為 Z_c ，亦有研究使用困難度 (difficulty) 當作 Z_c 。本研究將視量表分析的結果再決定使用心智努力 (mental effort) 或困難度 (difficulty)。

3.5.4 投入分數 (Instructional Involvement Score)

雖然目前認知負荷理論的擁護者都以認知效率 (cognitive efficiency/instructional efficiency) 來解釋專業知識反轉效應，但 Paas、Tuovinen、van Merriënboer 和 Darabi (2005) 認為動機觀點可提供的另一種有意思的解釋。因為個人學習動機會帶動學習活動的認知分配，如果學習內容對於學習者已是學習過的、簡單的或無挑戰性的，那麼學習者將不會投入大量的心力去學習；換句話說，如果心力的付出被認為是一種能源浪費或者非成功的必要條件，學生便不會主動付出足夠的心力 (Paas, et al., 2005)。特別是專家或是先備知識高的學習者，他們會依據過去經驗所形成的基模決定要付出多大的心力去達成目的，這便是所謂的成功模式。反而對於新手或先備知識低的學習者，因為學習內容是新鮮的、困難的或具有挑戰性的，他們投入的心力卻是更多。因此 Paas, 等人提出了學習投入分數 (Instructional Involvement Score) 的計算，這是基於動機、心智努力和表現是正相關的假設，所以當學習者投入很高時，其心力付出也會比較多，如果心力付出多，則表現自然比較好，而且心智努力和表現都包含了動機的認知成分。其計算公式(5)如下：

$$I = \frac{Z_p + Z_c}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

$$(Z = \frac{x - \bar{x}}{s}; Z_p: \text{學習表現 } Z \text{ 分數}; Z_c: \text{認知負荷 } Z \text{ 分數})$$

此公式與學習效率很類似，所運用的數值是一樣的，只是算法不同。因此計算同時不僅可以得到教學效率，並能獲得學習者的動機，可謂一石二鳥。教學投入分數之視覺化圖像如圖 18，座標圖之右上角區域表示高參與，左下角區塊表示低參與。藉此，不僅可觀察專業知識逆轉效應亦能順帶探究學生的投入狀況。

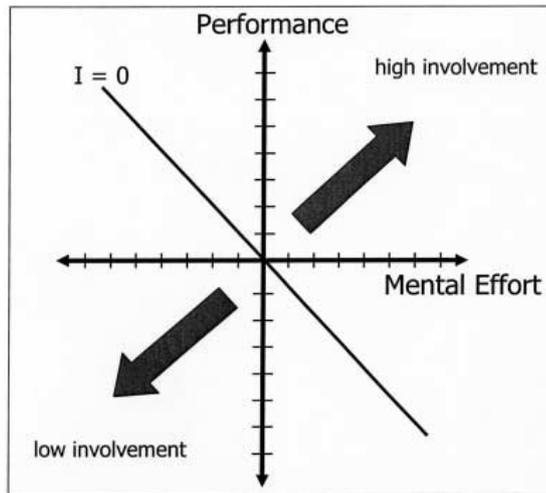


圖 18 教學投入分數圖

資料來源：“A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: Optimizing learner involvement in instruction.” by Paas, F., Tuovinen, J. E., van Merriënboer, J. J. G., & Aubteen Darabi, A., 2005, *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 25-34. doi: 10.1007/BF02504795

3.5.5 綜合學習成效與投入分數

因學習效率與投入分數於座標平面上所標示之位置是相同的，基於此觀點便將兩者重疊，如圖 19，而 $E = 0$ 和 $I = 0$ 兩線垂直將平面分隔成四個區塊，如以 $E = 0$ 為 x 軸， $I = 0$ 為 y 軸，則第一象限為高效率高投入，第二象限為高效率低投入，第三象限為低效率低投入，第四象限為低效率高投入。為此，第一象限為最理想狀態，第三象限為最不理想狀態 (Kalyuga, 2009)。

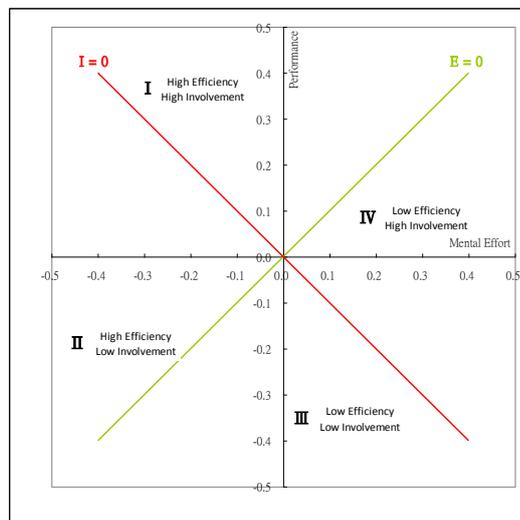


圖 19 學習效率與學習投入分數圖

第四章 研究結果與討論

本章將針對受試學生於教學實驗後，所收集的學習成就和認知負荷的數據作分析，來檢驗本研究的假說。本章共分為三節，第一節為整理受試學生之描述性統計資料；第二節為研究假設的檢驗與說明；第三節為結果摘要。

4.1 受試學生測驗資料

數據資料呈現以下幾個現象：

1. 本次為常態編班教學，對象包含各類學生，已於前章將資料以是否學過與學習成就等方式區分，進行上學期數學階段成就與前測成績分析。不論以何種方式區分，實驗組與對照組皆無明顯差異，可視為程度相當。
2. 在描述性統計資料中，實驗組的學習成就成績大部分領先對照組，少部分反之。
3. 在認知負荷量表各向度中的認知負荷量，在各種區分下實驗組所得之數值大部分低於對照組，少部分高於對照組。唯「心智努力」與「同時處理訊息量」不論如何區分，所得之平均值都相近。
4. 利用在各種條件下區分樣本的實驗與控制兩組施測所得的平均值與標準差計算出的 effect size，在-0.03~1.26 之間。將依據 Mayer (2009) 所述之規則，判斷教學方式是否有效。

但僅憑平均數字的高低，不能斷定是否顯著，因其差異值可能是樣本選取所造成的誤差。因此仍需用研究法的統計檢定概念來作驗證，以確定先前的假設成立與否。

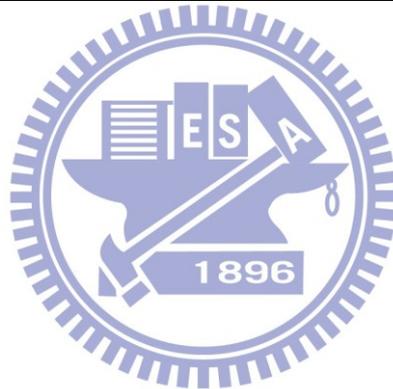
4.1.1 整體

1. 學習成就部份

表 35

受試學生人數、各項測驗平均數及標準差、effect size 摘要表

	分組	人數	平均數	標準差	effect size
上學期 階段評量平均	實驗組	62	62.05	19.90	
	對照組	63	61.23	23.61	
前測總分	實驗組	59	11.54	7.99	
	對照組	61	10.15	8.42	
代入消去法 總分	實驗組	60	15.10	6.41	0.48
	對照組	59	11.63	8.69	
加減消去法 總分	實驗組	61	24.25	8.33	0.38
	對照組	62	20.40	11.61	



2. 認知負荷量表部分

表 36

代入消去法整體認知負荷量表

認知負荷面向	分組	人數	平均數	標準差
心智負荷	實驗組	60	3.50	1.71
	對照組	59	3.90	1.66
心智努力	實驗組	60	4.43	1.67
	對照組	59	4.46	1.48
困難度	實驗組	60	3.08	1.91
	對照組	59	3.39	1.78
尋找相關訊息	實驗組	60	2.63	1.52
	對照組	59	3.03	1.73
充分時間思考	實驗組	60	2.70	1.59
	對照組	59	2.68	1.75
過程順暢負荷	實驗組	60	2.65	1.89
	對照組	59	2.73	1.74
壓力	實驗組	60	2.97	1.82
	對照組	59	2.69	1.66
信心負荷	實驗組	60	3.00	1.71
	對照組	59	3.22	1.85
成就感負荷	實驗組	60	3.18	1.62
	對照組	59	3.29	1.57
同時處理訊息量	實驗組	60	3.85	1.72
	對照組	59	4.31	1.58

表 37

加減消去法整體認知負荷量表

認知負荷面向	組別	個數	平均數	標準差
心智負荷	實驗組	61	3.62	1.86
	對照組	63	3.90	1.67
心智努力	實驗組	61	4.18	1.69
	對照組	63	4.25	1.52
困難度	實驗組	61	3.03	1.68
	對照組	63	3.62	1.68
尋找相關訊息	實驗組	61	2.74	1.44
	對照組	63	3.05	1.66
充分時間思考	實驗組	61	2.69	1.57
	對照組	63	2.73	1.56
過程順暢負荷	實驗組	61	2.70	1.59
	對照組	63	2.90	1.67
壓力	實驗組	61	2.85	1.73
	對照組	63	3.17	1.85
信心負荷	實驗組	61	3.02	1.69
	對照組	63	3.41	1.61
成就感負荷	實驗組	61	3.15	1.47
	對照組	63	3.51	1.50
同時處理訊息量	實驗組	61	3.77	1.55
	對照組	63	3.81	1.70

4.1.2 以是否學過再分組

1. 學習成就部份

(1) 未學過

表 38

未學過受試學生人數、各項測驗平均數及標準差、effect size 摘要表

	分組	人數	平均數	標準差	effect size
上學期 階段評量平均	實驗組	28	52.69	16.84	
	對照組	29	48.01	21.05	
前測總分	實驗組	27	5.78	6.82	
	對照組	28	3.96	5.61	
代入消去法 總分	實驗組	27	12.56	7.50	0.58
	對照組	26	7.85	8.65	
加減消去法 總分	實驗組	28	21.11	9.69	0.72
	對照組	29	13.41	11.62	

(2) 已學過

表 39

已學過受試學生人數、各項測驗平均數及標準差、effect size 摘要表

	分組	人數	平均數	標準差	effect size
上學期 階段評量平均	實驗組	32	72.29	16.18	
	對照組	34	72.51	19.67	
前測總分	實驗組	32	16.41	5.205	
	對照組	33	15.39	6.680	
代入消去法 總分	實驗組	32	17.16	4.552	0.42
	對照組	33	14.61	7.587	
加減消去法 總分	實驗組	32	27.19	5.778	0.10
	對照組	33	26.55	7.450	

2. 認知負荷量表部分

(1) 未學過

表 40

未學過受試學生代入消去法認知負荷量表

認知負荷面向	組別	個數	平均數	標準差
心智負荷	實驗組	27	4.22	1.60
	對照組	26	4.81	1.10
心智努力	實驗組	27	4.44	1.72
	對照組	26	4.69	1.49
困難度	實驗組	27	4.37	1.82
	對照組	26	4.23	1.84
尋找相關訊息	實驗組	27	3.22	1.74
	對照組	26	3.73	1.93
充分時間思考	實驗組	27	3.52	1.65
	對照組	26	3.31	2.09
過程順暢負荷	實驗組	27	3.70	2.15
	對照組	26	3.58	1.86
壓力	實驗組	27	3.93	1.80
	對照組	26	3.35	1.70
信心負荷	實驗組	27	4.22	1.50
	對照組	26	3.88	1.77
成就感負荷	實驗組	27	3.70	1.68
	對照組	25	3.84	1.52
同時處理訊息量	實驗組	27	3.93	1.64
	對照組	26	4.46	1.86

表 41

未學過受試學生加減消去法認知負荷量表

認知負荷面向	組別	個數	平均數	標準差
心智負荷	實驗組	28	4.29	1.86
	對照組	29	4.66	1.52
心智努力	實驗組	28	4.04	1.64
	對照組	29	4.41	1.52
困難度	實驗組	28	3.86	1.67
	對照組	29	4.24	1.66
尋找相關訊息	實驗組	28	3.39	1.47
	對照組	29	3.72	1.85
充分時間思考	實驗組	28	3.39	1.71
	對照組	29	3.14	1.64
過程順暢負荷	實驗組	28	3.36	1.68
	對照組	29	3.69	1.65
壓力	實驗組	28	3.46	1.84
	對照組	29	3.93	1.85
信心負荷	實驗組	28	3.64	1.52
	對照組	29	4.03	1.50
成就感負荷	實驗組	28	3.93	1.36
	對照組	29	4.03	1.40
同時處理訊息量	實驗組	28	3.93	1.54
	對照組	29	3.55	1.64

(2) 學過

表 42

已學過受試學生代入消去法認知負荷量表

認知負荷面向	組別	個數	平均數	標準差
心智負荷	實驗組	32	2.88	1.60
	對照組	33	3.18	1.69
心智努力	實驗組	32	4.44	1.68
	對照組	33	4.27	1.46
困難度	實驗組	32	1.97	1.18
	對照組	33	2.73	1.44
尋找相關訊息	實驗組	32	2.09	1.09
	對照組	33	2.48	1.35
充分時間思考	實驗組	32	1.97	1.15
	對照組	33	2.18	1.24
過程順暢負荷	實驗組	32	1.78	1.07
	對照組	33	2.06	1.32
壓力	實驗組	32	2.19	1.47
	對照組	33	2.18	1.47
信心負荷	實驗組	32	1.94	1.08
	對照組	33	2.70	1.76
成就感負荷	實驗組	32	2.72	1.46
	對照組	33	2.88	1.50
同時處理訊息量	實驗組	32	3.72	1.78
	對照組	33	4.18	1.31

表 43

已學過受試學生加減消去法認知負荷量表

認知負荷面向	組別	個數	平均數	標準差
心智負荷	實驗組	32	3.03	1.71
	對照組	34	3.26	1.54
心智努力	實驗組	32	4.31	1.77
	對照組	34	4.12	1.53
困難度	實驗組	32	2.25	1.30
	對照組	34	3.09	1.53
尋找相關訊息	實驗組	32	2.13	1.13
	對照組	34	2.47	1.24
充分時間思考	實驗組	32	2.03	1.12
	對照組	34	2.38	1.42
過程順暢負荷	實驗組	32	2.09	1.25
	對照組	34	2.24	1.39
壓力	實驗組	32	2.28	1.46
	對照組	34	2.53	1.60
信心負荷	實驗組	32	2.41	1.62
	對照組	34	2.88	1.53
成就感負荷	實驗組	32	2.44	1.22
	對照組	34	3.06	1.46
同時處理訊息量	實驗組	32	3.63	1.60
	對照組	34	4.03	1.75

4.1.3 以學習成就區分

1. 學習成就部分

(1) 高成就

表 44

高成就受試學生人數、各項測驗平均數及標準差、effect size 摘要表

	分組	人數	平均數	標準差	effect size
上學期 階段評量平均	實驗組	15	87.87	6.29	
	對照組	19	88.40	7.12	
前測總分	實驗組	15	17.20	6.04	
	對照組	19	16.53	5.96	
代入消去法 總分	實驗組	15	19.27	1.28	0.59
	對照組	19	16.47	6.59	
加減消去法 總分	實驗組	15	29.47	0.99	-0.04
	對照組	18	29.11	2.49	

(2) 中成就

表 45

中成就受試學生人數、各項測驗平均數及標準差、effect size 摘要表

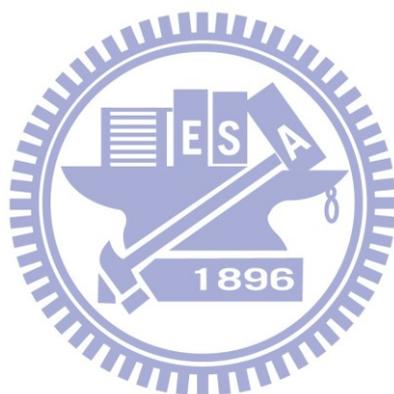
	分組	人數	平均數	標準差	effect size
上學期 階段評量平均	實驗組	33	61.58	9.01	
	對照組	24	63.75	9.08	
前測總分	實驗組	32	11.84	7.43	
	對照組	23	11.96	7.34	
代入消去法 總分	實驗組	32	15.53	6.18	0.13
	對照組	23	14.70	6.78	
加減消去法 總分	實驗組	33	24.27	8.12	-0.03
	對照組	24	24.50	9.10	

(3) 低成就

表 46

低成就受試學生人數、各項測驗平均數及標準差、effect size 摘要表

	分組	人數	平均數	標準差	effect size
上學期 數學段考平均	實驗組	14	35.48	9.22	
	對照組	20	32.40	7.11	
前測總分	實驗組	12	3.67	4.81	
	對照組	19	1.58	3.24	
代入消去法 總分	實驗組	13	9.23	6.47	1.26
	對照組	17	2.06	4.78	
加減消去法 總分	實驗組	13	18.15	9.76	1.18
	對照組	20	7.65	7.92	



2. 認知負荷部分

(1) 高成就

表 47

高成就受試學生代入消去法之認知負荷量

認知負荷面向	組別	個數	平均數	標準差
心智負荷	實驗組	15	2.80	1.78
	對照組	19	3.05	1.62
心智努力	實驗組	15	4.53	1.69
	對照組	19	4.37	1.67
困難度	實驗組	15	1.80	0.94
	對照組	19	2.21	1.08
尋找相關訊息	實驗組	15	1.80	0.68
	對照組	19	2.53	1.22
充分時間思考	實驗組	15	1.80	1.27
	對照組	19	1.84	0.96
過程順暢負荷	實驗組	15	2.07	1.44
	對照組	19	1.89	1.10
壓力	實驗組	15	2.40	1.50
	對照組	19	2.05	1.43
信心負荷	實驗組	15	1.73	1.10
	對照組	19	2.42	1.81
成就感負荷	實驗組	15	2.73	1.28
	對照組	19	2.79	1.32
同時處理訊息量	實驗組	15	4.00	1.73
	對照組	19	4.84	1.12

表 48

高成就學生加減消去法之認知負荷量

認知負荷面向	組別	個數	平均數	標準差
心智負荷	實驗組	15	2.73	1.91
	對照組	19	3.26	1.56
心智努力	實驗組	15	3.93	1.71
	對照組	19	3.84	1.74
困難度	實驗組	15	1.93	1.34
	對照組	19	2.74	1.63
尋找相關訊息	實驗組	15	1.93	1.22
	對照組	19	2.37	1.17
充分時間思考	實驗組	15	2.07	1.62
	對照組	19	2.00	1.25
過程順暢負荷	實驗組	15	1.73	0.96
	對照組	19	1.74	0.99
壓力	實驗組	15	2.27	1.39
	對照組	19	2.32	1.53
信心負荷	實驗組	15	1.93	1.44
	對照組	19	2.68	1.60
成就感負荷	實驗組	15	2.20	1.21
	對照組	19	3.21	1.40
同時處理訊息量	實驗組	15	4.00	1.69
	對照組	19	4.05	1.68

(2) 中成就

表 49

中成就學生代入消去法之認知負荷量

認知負荷面向	組別	個數	平均數	標準差
心智負荷	實驗組	32	3.47	1.65
	對照組	23	3.74	1.57
心智努力	實驗組	32	4.16	1.67
	對照組	23	4.78	1.57
困難度	實驗組	32	2.88	1.76
	對照組	23	3.26	1.71
尋找相關訊息	實驗組	32	2.63	1.50
	對照組	23	2.48	1.62
充分時間思考	實驗組	32	2.72	1.51
	對照組	23	2.22	1.57
過程順暢負荷	實驗組	32	2.44	1.70
	對照組	23	2.17	1.50
壓力	實驗組	32	2.84	1.61
	對照組	23	2.30	1.52
信心負荷	實驗組	32	2.97	1.58
	對照組	23	2.74	1.60
成就感負荷	實驗組	32	3.28	1.82
	對照組	22	2.73	1.52
同時處理訊息量	實驗組	32	3.69	1.73
	對照組	23	4.35	1.82

表 50

中成就學生加減消去法之認知負荷量

認知負荷面向	組別	個數	平均數	標準差
心智負荷	實驗組	33	3.52	1.62
	對照組	24	3.75	1.73
心智努力	實驗組	33	4.06	1.71
	對照組	24	4.54	1.32
困難度	實驗組	33	3.12	1.58
	對照組	24	3.38	1.53
尋找相關訊息	實驗組	33	2.85	1.33
	對照組	24	2.54	1.50
充分時間思考	實驗組	33	2.64	1.48
	對照組	24	2.17	1.17
過程順暢負荷	實驗組	33	2.70	1.40
	對照組	24	2.67	1.49
壓力	實驗組	33	2.73	1.42
	對照組	24	2.88	1.80
信心負荷	實驗組	33	3.12	1.62
	對照組	24	2.96	1.40
成就感負荷	實驗組	33	3.21	1.39
	對照組	24	2.92	1.38
同時處理訊息量	實驗組	33	3.64	1.43
	對照組	24	3.42	1.93

(3) 低成就

表 51

低成就學生代入消去法之認知負荷量

認知負荷面向	組別	個數	平均數	標準差
心智負荷	實驗組	13	4.38	1.50
	對照組	17	5.06	1.14
心智努力	實驗組	13	5.00	1.63
	對照組	17	4.12	1.05
困難度	實驗組	13	5.08	1.55
	對照組	17	4.88	1.45
尋找相關訊息	實驗組	13	3.62	1.76
	對照組	17	4.35	1.73
充分時間思考	實驗組	13	3.69	1.60
	對照組	17	4.24	1.72
過程順暢負荷	實驗組	13	3.85	2.34
	對照組	17	4.41	1.50
壓力	實驗組	13	3.92	2.36
	對照組	17	3.94	1.48
信心負荷	實驗組	13	4.54	1.39
	對照組	17	4.76	1.25
成就感負荷	實驗組	13	3.46	1.45
	對照組	17	4.59	1.12
同時處理訊息量	實驗組	13	4.08	1.75
	對照組	17	3.65	1.46

表 52

低成就學生加減消去法之認知負荷量

認知負荷面向	組別	個數	平均數	標準差
心智負荷	實驗組	13	4.92	1.80
	對照組	20	4.70	1.46
心智努力	實驗組	13	4.77	1.59
	對照組	20	4.30	1.53
困難度	實驗組	13	4.08	1.66
	對照組	20	4.75	1.29
尋找相關訊息	實驗組	13	3.38	1.61
	對照組	20	4.30	1.59
充分時間思考	實驗組	13	3.54	1.45
	對照組	20	4.10	1.37
過程順暢負荷	實驗組	13	3.85	1.91
	對照組	20	4.30	1.42
壓力	實驗組	13	3.85	2.41
	對照組	20	4.35	1.63
信心負荷	實驗組	13	4.00	1.53
	對照組	20	4.65	1.14
成就感負荷	實驗組	13	4.08	1.38
	對照組	20	4.50	1.28
同時處理訊息量	實驗組	13	3.85	1.77
	對照組	20	4.05	1.40

4.2 資料分析與假設說明

4.2.1 學習成就分析

1. 整體－實驗組、對照組

假設 1-1：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於整體學生的學習成就表現有顯著差異。

考驗假設 1-1 的虛無假設 H_0

H_0 ：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於整體學生的學習成就表現沒有顯著差異。

利用獨立樣本 t 檢定來考驗兩組在代入消去法的學習成就表現成績，兩樣本的總分平均數各為 15.10 和 11.63，變異數同質性 Levene 檢定達顯著 ($F = 19.88, p = .000$)，則兩組不假設變異數相等，其 t 值等於 2.48、 $df = 106.65$ 、 $p = .015 < .05$ ，達顯著水準，應棄卻虛無假設 H_0 ，因此兩組在總分的表現有顯著差異，因 t 值為正，因而實驗組總分平均顯著高於對照組平均。檢定資料如表 53。

表 53

整體學生代入消去法成就測驗成績獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=60$)		對照組($n=59$)		t	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
代入消去總分	15.10	6.41	11.63	8.69	2.479	.015*	0.70	6.25	0.48

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

在加減消去法部分，兩樣本的總分平均數各為 24.25 和 20.40，變異數同質性 Levene 檢定達顯著 ($F = 17.32, p = .000$)，接受兩組不假設變異數相等，其 t 值等於 2.11、 $df = 110.70$ 、 $p = .037 < .05$ ，達顯著水準，應棄卻虛無假設 H_0 ，因此兩組在加減消去法的表現有顯著差異，因 t 值為正，因而實驗組總分平均顯著高於對照組平均。檢定資料如表 54。

表 54

整體學生加減消去法成就測驗成績獨立樣本 *t* 檢定摘要表

變項	實驗組(<i>n</i> =61)		對照組(<i>n</i> =62)		<i>t</i>	<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>	
加減消去總分	24.25	8.326	20.40	11.61	2.112	.037*	.237	7.448	0.38

註：CI= 信賴區間；LL= 上界；UL= 下界。

p* < .05. *p* < .01.

綜合以上不同主題的後測成績資料分析結果：假設 1-1 成立，即「以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於整體學生的學習成就表現有顯著差異」。

由於兩組學生在尚未施以教學實驗前可視為程度相當、無顯著差異，但從上述資料分析結果發現施測後差異顯著。導因可能為教材設計不同，但因整體學生包含的變因太大，如是否已學過，所以後續將再以其他方式區分樣本進行分析。

從整體的 effect size 看來，代入消去法=0.48，加減消去法=0.38，在教學設計上皆屬中偏小效果。



2. 以是否學過分組－實驗組、對照組

假設 1-2：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於未學過學生或已學過學生的學習成就表現有顯著差異。

考驗假設 1-2 的虛無假設 H_0

H_0 ：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於未學過學生或已學過學生的學習成就表現沒有顯著差異。

利用獨立樣本 t 檢定來考驗兩組在未學過學生代入消去法的學習成就表現成績，兩樣本的總分平均數各為 12.56 和 7.85，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 2.038$, $p = .160$)，則兩組假設變異數相等，其 t 值等於 2.115、 $df = 49.398$ 、 $p = .039 < .05$ ，達顯著水準，應棄卻虛無假設 H_0 ，因此兩組總分有顯著差異，因 t 值為正，因而實驗組平均顯著高於對照組平均。檢定資料如表 55。

表 55

未學過學生代入消去法成就測驗成績獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=27$)		對照組($n=26$)		t	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
代入消去總分	12.56	7.50	7.85	8.65	2.12	.039*	0.252	9.17	0.58

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

在已學過學生部分，實驗組和對照組的代入消去法平均分別為 17.16 和 14.61，變異數同質性 Levene 檢定達顯著 ($F = 15.53$, $p = .000$)，接受兩組不假設變異數相等，其 t 值等於 1.65、 $df = 52.67$ 、 $p = .105 > .05$ ，未達顯著水準，應接受虛無假設 H_0 ，因此兩組總分沒有顯著差異，因 t 值為正，檢定資料如表 56。

表 56

已學過學生代入消去法成就測驗成績獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=32$)		對照組($n=33$)		t	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
代入消去總分	17.16	4.55	14.61	7.59	1.65	.105	-.552	5.652	0.42

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

再就加減消去法進行分析，兩組在未學過學生加減消去法的學習成就表現成績，兩樣本的總分平均數各為 21.11 和 13.41，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 1.994$ ， $p = .164$)，即兩組假設變異數相等，其 t 值等於 2.710、 $df = 55$ 、 $p = .009 < .05$ ，達顯著水準，因此兩組總分有顯著差異，應拒絕虛無假設 H_0 ，因 t 值為正，因而實驗組平均顯著高於對照組平均。檢定資料如表 57。

表 57

未學過學生加減消去法成就測驗成績獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=28$)		對照組($n=29$)		t	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
加減消去總分	21.11	9.69	13.41	11.62	2.710	.009**	2.004	13.38	0.72

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

已學過學生部分，實驗組和對照組的代入消去法平均分別為 27.19 和 26.55，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 0.614$ ， $p = .436$)，即兩組假設變異數相等，其 t 值等於 0.387、 $df = 63$ 、 $p = .700 > .05$ ，未達顯著水準，接受虛無假設 H_0 ，因此兩組總分沒有顯著差異，檢定資料如表 58。

表 58

已學過學生加減消去法成就測驗成績獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=32$)		對照組($n=33$)		t	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
加減消去總分	27.19	5.778	26.55	7.450	.387	.700	-2.670	3.954	0.10

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

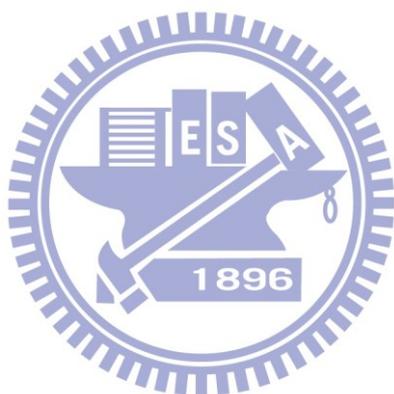
綜合以上不同主題的後測成績資料分析結果：假設 1-2 部分成立，即「以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於『未學過』學生的學習成就表現有顯著差異」，但「以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於『已學過』學生的學習成就表現沒有顯著差異」。

依據此項分析，可以應證 Kalyuga 等人 (2003) 所說—證據顯示大量的認知負荷效應可用於教學設計上，但是事實上僅適用在經驗有限的學習者身上。

就其 effect size 而言，對於未學過學生代入消去法 = 0.58，加減消去法 = 0.72，在教

學設計上就屬中偏大效果。其結果與 t 檢定分析所呈現一致，本研究之教材設計對未學過學生產生明顯效果。

如將未學過的學生視為新手，已學過的學生視同為專家，並依據 Mayer (2001) 和 Kalyuga (2007) 判定專業知識反轉效應的方式（如前章 3.5.2 所呈現），代入消去法未學過和已學過的 effect size 的差距為 0.16，就 effect size 而言是小效果；而在加減消去法未學過和已學過的的差距為 0.62 為中強效果。所以就 effect size 看來，加減消去法有專業知識逆轉效應的產生。而此專業知識反轉效應，應只能說明加入代數教材設計原則的視覺引導教材對於未學過的學生有較明顯的成效，對已學過的學生無明顯的成效且無害，而不是未學過學生的表現優於已學過學生的表現。



3. 以學習成就區分—實驗組、對照組

假設 1-3：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於不同學習成就學生的學習成就表現有顯著差異。

考驗假設 1-3 的虛無假設 H_0

H_0 ：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於不同學習成就學生的學習成就表現沒有顯著差異。

利用獨立樣本 t 檢定來考驗兩組在高學習成就學生代入消去法的學習成就表現成績，兩樣本的總分平均數各為 19.27 和 16.47，變異數同質性 Levene 檢定達顯著 ($F = 11.033$ ， $p = .002$)，接受兩組不假設變異數相等，其 t 值等於 1.806、 $df = 19.705$ 、 $p = .086 > .05$ ，未達顯著水準，應接受虛無假設 H_0 ，因此兩組總分沒有顯著差異，檢定資料如表 59。

表 59

高成就學生代入消去法成就測驗成績獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=15$)		對照組($n=19$)		t	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
代入消去總分	19.27	1.280	16.47	6.586	1.806	.086	-.436	6.022	0.59

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

在中學習成就學生代入消去法的學習成就表現成績，兩樣本的總分平均數各為 15.53 和 14.70，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 0.950$ ， $p = .334$)，兩組假設變異數相等，其 t 值等於 0.475、 $df = 53$ 、 $p = .637 > .05$ ，未達顯著水準，接受虛無假設 H_0 ，因此兩組總分沒有顯著差異，檢定資料如表 60。

表 60

中成就學生代入消去法成就測驗成績獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=32$)		對照組($n=23$)		t	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
代入消去總分	15.53	6.175	14.70	6.779	.475	.637	-2.691	4.362	0.13

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

而在低學習成就學生代入消去法的學習成就表現成績，兩樣本的總分平均數各為 9.23 和 2.06，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 1.844, p = .185$)，兩組假設變異數相等，其 t 值等於 3.498、 $df = 28$ 、 $p = .002 < .05$ ，達顯著水準，應拒絕虛無假設 H_0 ，因此兩組總分有顯著差異，且實驗組優於對照組，檢定資料如表 61。

表 61

低成就學生代入消去法成就測驗成績獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=13$)		對照組($n=17$)		t	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
代入消去總分	9.23	6.470	2.06	4.776	3.498	.002**	2.972	11.37	1.26

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

加減消去法部分，兩組在高學習成就學生的學習成就表現成績，兩樣本的總分平均數各為 29.47 和 29.11，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 1.751, p = .195$)，兩組假設變異數相等，其 t 值等於 0.518、 $df = 31$ 、 $p = .608 > .05$ ，未達顯著水準，應接受虛無假設 H_0 ，因此兩組總分沒有顯著差異，檢定資料如表 62。

表 62

高成就學生加減消去法成就測驗成績獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=15$)		對照組($n=18$)		t	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
加減消去總分	29.47	0.99	29.11	2.49	0.52	.608	-1.04	1.76	0.19

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

在中學習成就學生加減消去法的學習成就表現成績，兩樣本的總分平均數各為 24.27 和 24.50，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 0.169, p = .683$)，兩組假設變異數相等，其 t 值等於 -0.099、 $df = 55$ 、 $p = .921 > .05$ ，未達顯著水準，接受虛無假設 H_0 ，因此兩組總分沒有顯著差異，檢定資料如表 63。

表 63

中成就學生加減消去法成就測驗成績獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=33$)		對照組($n=24$)		t	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
加減消去總分	24.27	8.12	24.50	9.10	-0.10	.921	-4.82	4.37	-0.03

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

而在低學習成就學生加減消去法的學習成就表現成績，兩樣本的總分平均數各為 18.15 和 7.65，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 0.246, p = .624$)，兩組假設變異數相等，其 t 值等於 3.398、 $df = 31$ 、 $p = .002 < .05$ ，達顯著水準，應拒絕虛無假設 H_0 ，因此兩組總分有顯著差異，且實驗組總分明顯優於對照組，檢定資料如表 64。

表 64

低成就學生加減消去法成就測驗成績獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=13$)		對照組($n=20$)		t	p	95% CI		Cohen's d
	M	SD	M	SD			LL	UL	
加減消去總分	18.15	9.76	7.65	7.92	3.40	.002**	4.20	16.81	1.18

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

綜合以上不同主題的後測成績資料分析結果：假設 1-3 部分成立，即「以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於『低學習成就』學生的學習成就表現有顯著差異」，其與謝東育 (2009) 之研究結果相同，謝東育在補救教學上得到顯著的差異，而補教教學之學生原是低學習成就之學生。

但「以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於『高學習成就』和『中學習成就』學生的學習成就表現沒有顯著差異」。

針對 effect size 分析，對於低學習成就學生代入消去法 = 1.26，加減消去法 = 1.18，皆為大效果。

就獨立樣本 t 檢定和 effect size 所得，代數教材設計原則之於高、中學習成就學習者，並沒有明顯的差別。但對低學習成就的學生可見明顯的影響，推論因代數教材設計原則可能在教學者的引導解說下，低學習成就學習者能更快速的搜尋、組織、理解、整合、應用教材所傳達的訊息，促進低學習成就者較好的學習成效。

同樣依據 Mayer (2001) 和 Kalyuga (2007) 判定專業知識反轉效應的方式，在代入

消去法低學習成就和高學習成就的 effect size 的差距為 0.67，就 effect size 而言是中偏大效果；而在加減消去法低成就和高成就的差距為 0.99 接近強效果。所以就 effect size 看來，代入消去法與加減消去法在視覺引導教材設計加入代數教材設計原則之下，有專業知識逆轉效應的產生。但研究者認為以 effect size 的差距來判斷，還是只能說明教材設計對於低成就的學生有明顯的成效，對高成就的學生沒有明顯的成效，而不是低成就的表現優於高成就的表現。



4.2.2 認知負荷分析

1. 整體—實驗組、對照組

假設 2-1：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於整體學生的認知負荷有顯著差異。

考驗假設 2-1 的虛無假設 H_0

H_0 ：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於整體學生的認知負荷沒有顯著差異。

利用獨立樣本 t 檢定來考驗兩組在代入消去法的認知負荷量各面向負荷，兩樣本的各面向變異數同質性 Levene 檢定達皆未顯著，即都假設變異數相等，在雙尾顯著性 p 均 $>.05$ ，未達顯著水準，即接受虛無假設 H_0 ，因此實驗組和對照組在認知負荷各面向無顯著差異，檢定資料如表 65。

表 65

代入消去法認知負荷量獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=60$)		對照組($n=59$)		t	p	95% CI	
	M	SD	M	SD			LL	UL
心智負荷	3.50	1.71	3.90	1.66	-1.289	.200	-1.010	.214
心智努力	4.43	1.67	4.46	1.48	-.084	.933	-.597	.549
困難度	3.08	1.91	3.39	1.78	-.906	.367	-.977	.364
搜尋相關訊息	2.63	1.52	3.03	1.73	-1.342	.182	-.991	.190
充分時間思考	2.70	1.59	2.68	1.75	.072	.943	-.584	.628
順暢度負荷	2.65	1.89	2.73	1.74	-.237	.813	-.738	.580
壓力負荷	2.97	1.822	2.69	1.664	.849	.398	-.362	.906
信心負荷	3.00	1.707	3.22	1.848	-.676	.501	-.866	.425
成就感負荷	3.18	1.621	3.29	1.567	-.374	.709	-.691	.472
同時處理訊息	3.85	1.716	4.31	1.567	-1.510	.134	-1.052	.142

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

利用獨立樣本 t 檢定來考驗兩組在加減消去法的認知負荷量各面向負荷，兩樣本各面向變異數同質性 Levene 檢定達皆未顯著，即都假設變異數相等，在雙尾顯著性 p 均 $>.05$ ，未達顯著水準，即接受虛無假設 H_0 ，因此實驗組和對照組在認知負荷各面向無顯著差異，檢定資料如表 66。

表 66

加減消去法認知負荷量獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=61$)		對照組($n=63$)		t	p	95% CI	
	M	SD	M	SD			LL	UL
心智負荷	3.62	1.86	3.90	1.67	-0.89	.377	-0.91	0.35
心智努力	4.18	1.69	4.25	1.52	-0.26	.799	-0.65	0.50
困難度	3.03	1.68	3.62	1.68	-1.94	.055	-1.18	0.01
搜尋相關訊息	2.74	1.44	3.05	1.66	-1.11	.269	-0.86	0.24
充分時間思考	2.69	1.57	2.73	1.56	-0.15	.882	-0.60	0.51
順暢度負荷	2.70	1.59	2.90	1.67	-0.68	.496	-0.78	0.38
壓力負荷	2.85	1.73	3.17	1.85	-1.00	.318	-0.96	0.31
信心負荷	3.02	1.69	3.41	1.61	-1.34	.184	-0.98	0.19
成就感負荷	3.15	1.47	3.51	1.50	-1.35	.179	-0.89	0.17
同時處理訊息	3.77	1.55	3.81	1.70	-0.13	.894	-0.62	0.54

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

以整體來看，實驗組和對照組未因教材設計不同，而在認知負荷各面向有顯著差異。因此假設 2-1 不成立，即「以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於整體學生的學習成就表現沒有顯著差異」。

但從平均數看來，不論在代入消去法或加減消去法，實驗組與對照組各面向的負荷量大部分都低於中間值 4，亦即代表負荷量都是中偏低的；且心智負荷代表預估的困難度，所以也能發現經過教學後，實驗組和對照組認為主題單元的困難度都降低了。

2. 以是否學過區分—實驗組、對照組

假設 2-2：適性指標設計原則結合代數教材設計原則之教學設計實施於常態教學上，對於未學過學生或已學過學生的認知負荷有顯著差異。

考驗假設 2-2 的虛無假設 H_0

H_0 ：適性指標設計原則結合代數教材設計原則之教學設計實施於常態教學上，對於未學過學生和已學過學生的認知負荷沒有顯著差異。

利用獨立樣本 t 檢定來考驗未學過學生在代入消去法的認知負荷，實驗與對照兩組的各面向負荷平均，變異數同質性 Levene 檢定達皆未顯著，即都假設變異數相等，在雙尾顯著性 p 均 $>.05$ ，未達顯著水準，即接受虛無假設 H_0 ，因此兩樣本在認知負荷各面向無顯著差異，檢定資料如表 67。

表 67

未學過學生代入消去法認知負荷量獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=27$)		對照組($n=26$)		t	p	95% CI	
	M	SD	M	SD			LL	UL
心智負荷	4.22	1.60	4.81	1.10	-1.547	.128	-1.35	0.17
心智努力	4.44	1.72	4.69	1.49	-0.560	.578	-1.14	0.64
困難度	4.37	1.82	4.23	1.84	.0278	.782	-.87	1.15
搜尋相關訊息	3.22	1.74	3.73	1.93	-1.008	.318	-1.52	0.50
充分時間思考	3.52	1.65	3.31	2.09	0.408	.685	-.826	1.25
順暢度負荷	3.70	2.15	3.58	1.86	0.230	.819	-.98	1.24
壓力負荷	3.93	1.80	3.35	1.70	1.207	.233	-.384	1.54
信心負荷	4.22	1.50	3.88	1.77	0.749	.457	-.057	1.24
成就感負荷	3.70	1.68	3.84	1.52	-0.306	.761	-1.03	0.76
同時處理訊息	3.93	1.64	4.46	1.86	-1.113	.271	-1.50	0.43

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

利用獨立樣本 t 檢定來考驗未學過學生在加減消去法的認知負荷，實驗與對照兩組的各面向負荷平均，變異數同質性 Levene 檢定達皆未顯著，即假設變異數相等，在雙尾顯著性 p 均 $>.05$ ，未達顯著水準，即接受虛無假設 H_0 ，因此未學過學生在加減消去法之認知負荷各面向無顯著差異，檢定資料如表 68。

表 68

未學過學生加減消去法認知負荷量獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=27$)		對照組($n=26$)		t	p	95% CI	
	M	SD	M	SD			LL	UL
心智負荷	4.29	1.86	4.66	1.52	-0.822	.415	-1.270	.531
心智努力	4.04	1.64	4.41	1.52	-0.901	.372	-1.219	.463
困難度	3.86	1.67	4.24	1.66	-0.870	.388	-1.269	.501
搜尋相關訊息	3.39	1.47	3.72	1.85	-0.746	.459	-1.221	.559
充分時間思考	3.39	1.71	3.14	1.64	0.575	.568	-.634	1.144
順暢度負荷	3.36	1.68	3.69	1.65	-0.753	.454	-1.217	.552
壓力負荷	3.46	1.84	3.93	1.85	-0.956	.343	-1.445	.512
信心負荷	3.64	1.52	4.03	1.50	-0.979	.332	-1.193	.410
成就感負荷	3.93	1.36	4.03	1.40	-0.290	.773	-.839	.627
同時處理訊息	3.93	1.54	3.55	1.64	0.895	.375	-.467	1.221

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

在「困難度」這個面向，已學過學生在代入消去法之實驗組與對照組的平均值各為 1.97 和 2.73，變異數同質性 Levene 檢定達未顯著 ($F = 2.235$, $p = .140$)，兩組假設變異數相等，其 t 值等於 -2.319、 $df = 63$ 、 $p = .024 < .05$ ，達顯著水準，應拒絕虛無假設 H_0 ，因此兩組在困難度的負荷有顯著差異，且因 t 值為負，代表對照組「困難度」負荷明顯大於實驗組，檢定資料如表 69。

「搜尋相關訊息」面向，已學過學生在代入消去法之實驗組與對照組的平均值各為 2.09 和 2.48，變異數同質性 Levene 檢定達顯著 ($F = 4.449$, $p = .039$)，則兩組不假設變異數相等，其 t 值等於 -1.288、 $df = 61.003$ 、 $p = .203 > .05$ ，未達顯著水準，即接受虛無假設 H_0 ，因此兩組在「搜尋相關訊息」的負荷無顯著差異，檢定資料如表 69。

在「信心」這個面向，已學過學生在代入消去法之實驗組與對照組的平均值各為 1.94 和 2.70，變異數同質性 Levene 檢定達顯著 ($F = 13.848, p = .000$)，則兩組不假設變異數相等，其 t 值等於 -2.107、 $df = 53.272$ 、 $p = .040 < .05$ ，達顯著水準，應拒絕虛無假設 H_0 ，因此兩組在信心的負荷有顯著差異，且因 t 值為負，代表對照組「信心」負荷指數明顯大於實驗組，檢定資料如表 69。

其他面向經獨立 t 考驗皆為假設變異數相等，且無顯著差異。

表 69

已學過學生代入消去法認知負荷量獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=32$)		對照組($n=33$)		t	p	95% CI	
	M	SD	M	SD			LL	UL
心智負荷	2.88	1.60	3.18	1.69	-0.752	.455	-1.122	.509
心智努力	4.44	1.68	4.27	1.46	0.421	.675	-.616	.946
困難度	1.97	1.18	2.73	1.44	-2.319	.024*	-1.412	-.105
搜尋相關訊息	2.09	1.09	2.48	1.35	-1.288	.203	-.998	.216
充分時間思考	1.97	1.15	2.18	1.24	-0.719	.475	-.805	.379
順暢度負荷	1.78	1.07	2.06	1.32	-0.935	.353	-.876	.318
壓力負荷	2.19	1.47	2.18	1.47	0.016	.988	-.722	.734
信心負荷	1.94	1.08	2.70	1.76	-2.107	.040*	-1.482	-.037
成就感負荷	2.72	1.46	2.88	1.50	-0.436	.664	-.894	.574
同時處理訊息	3.72	1.78	4.18	1.31	-1.196	.236	-1.237	.311

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

在「困難度」這個面向，已學過學生在加減消去法之實驗組與對照組的平均值各為 2.25 和 3.09，變異數同質性 Levene 檢定達未顯著 ($F = 1.057, p = .380$)，兩組假設變異數相等，其 t 值等於 -2.400、 $df = 64$ 、 $p = .019 < .05$ ，達顯著水準，應拒絕虛無假設 H_0 ，因此兩組在困難度的負荷有顯著差異，且因 t 值為負，代表在加減消去法對照組「困難度」負荷也明顯大於實驗組，檢定資料如表 70。

「充分時間思考」面向，已學過學生在加減消去法之實驗組與對照組的平均值各為

2.13 和 2.47，變異數同質性 Levene 檢定達顯著 ($F = 4.708$, $p = .034$)，則兩組不假設變異數相等，其 t 值等於 -1.121、 $df = 62.239$ 、 $p = .267 > .05$ ，未達顯著水準，即接受虛無假設 H_0 ，因此兩組在加減消去法之「搜尋相關訊息」的負荷無顯著差異，檢定資料如表 70。

其他面向經獨立 t 考驗皆為假設變異數相等，且無顯著差異，檢定資料如表 70。

表 70

已學過學生加減消去法認知負荷量獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=32$)		對照組($n=33$)		t	p	95% CI	
	M	SD	M	SD			LL	UL
心智負荷	3.03	1.71	3.26	1.54	-0.582	.562	-1.034	.567
心智努力	4.31	1.77	4.12	1.53	0.479	.633	-.617	1.007
困難度	2.25	1.30	3.09	1.53	-2.400	.019*	-1.536	-.140
搜尋相關訊息	2.13	1.13	2.47	1.24	-1.183	.241	-.929	.238
充分時間思考	2.03	1.12	2.38	1.42	-1.121	.267	-.977	.275
順暢度負荷	2.09	1.25	2.24	1.39	-0.433	.667	-.795	.512
壓力負荷	2.28	1.46	2.53	1.60	-0.656	.514	-1.004	.507
信心負荷	2.41	1.62	2.88	1.53	-1.225	.225	-1.252	.300
成就感負荷	2.44	1.22	3.06	1.46	-1.876	.065	-1.283	.040
同時處理訊息	3.63	1.60	4.03	1.75	-0.978	.332	-1.231	.422

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

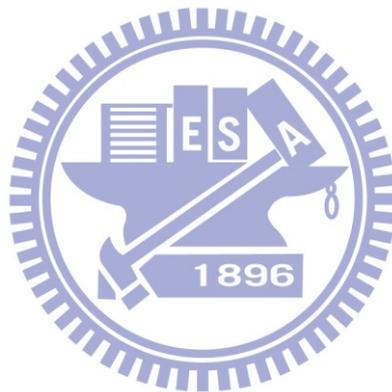
綜合以上不同主題的後測成績資料分析結果：假設 2-2 小部分成立，即「以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於『已學過』學生的認知負荷在『困難度』和『信心』面向有顯著差異」、「以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於未學過學生的認知負荷皆沒有顯著差異」。

若就未學過和已學過兩類學生來比較，已學過學生除「心智努力」和「同時處理訊息量」與未學過學生高低相仿外，其餘各項度的負荷量皆明顯低於未學過學生。已學過之學生已具備基本概念，因此對於兩單元主題之學習皆較能得心應手，故認知負荷相對

較低。

而在代入消去法中，已學過學生的「困難度」和「信心負荷」兩面向有顯著差異。推測因學習者已具備一定的先備知識，當訊息呈現時，學習者會主動去處理感官所獲取的訊息，且與先備知識匹配、組織與整合而重新建立基模，因此再次學習皆使實驗組和對照組的學習者降低了對於教材困難度的評估（爰「心智負荷」為學習前對該單元的困難度評估）。但因「心智負荷」無顯著差異，而「困難度」產生了顯著差異，就代表實驗組在接受運用代數教材設計原則的視覺引導教材後，更能掌握代入消去法的概念與運算過程，進而增加信心。

在加減消去法中，已學過學生的「困難度」一樣有顯著差異。為此，研究者認為雖已學過學習者在學習成效上沒有顯著差異，但在困難度的感受卻有明顯的不同，導因可能是教材內容結構化、呈現方式區塊化與建立訊息關聯所影響。因此，代數教材設計原則的確能達到管理教材本質，減低教材的內在認知負荷。



3. 以學習成就區分－實驗組、對照組

假設 2-3：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於不同學習成就學生的認知負荷有顯著差異。

考驗假設 2-3 的虛無假設 H_0

H_0 ：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於不同學習成就學生的認知負荷沒有顯著差異。

利用獨立樣本 t 檢定來考驗高成就學生在代入消去法的認知負荷，在「搜尋相關訊息」這個面向，高成就學生在代入消去法之實驗組與對照組的平均值各為 1.80 和 2.53，變異數同質性 Levene 檢定達顯著 ($F = 11.988, p = .002$)，即實驗組和對照組不假設變異數相等，其 t 值等於 -2.203、 $df = 29.086$ 、 $p = .036 < .05$ ，達顯著水準，應拒絕虛無假設 H_0 ，因此兩組在「搜尋相關訊息」的負荷有顯著差異，且因 t 值為負，代表對照組「搜尋相關訊息」負荷明顯大於實驗組，檢定資料如表 71。其餘面向未達顯著。

表 71

高成就學生代入消去法認知負荷量獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=15$)		對照組($n=19$)		t	p	95% CI	
	M	SD	M	SD			LL	UL
心智負荷	2.80	1.78	3.05	1.62	-0.433	.668	-1.441	.936
心智努力	4.53	1.69	4.37	1.67	0.284	.778	-1.016	1.346
困難度	1.80	0.94	2.21	1.08	-1.161	.254	-1.131	.310
搜尋相關訊息	1.80	0.68	2.53	1.22	-2.203	.036*	-1.400	-.052
充分時間思考	1.80	1.27	1.84	0.96	-0.111	.913	-.818	.734
順暢度負荷	2.07	1.44	1.89	1.10	0.395	.695	-.714	1.058
壓力負荷	2.40	1.50	2.05	1.43	0.687	.497	-.682	1.377
信心負荷	1.73	1.10	2.42	1.81	-1.370	.181	-1.713	.337
成就感負荷	2.73	1.28	2.79	1.32	-0.125	.901	-.971	.859
同時處理訊息	4.00	1.73	4.84	1.12	-1.717	.096	-1.841	.157

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

一樣利用獨立樣本 t 檢定來考驗高成就學生在加減消去法的認知負荷，在「成就感」這個面向，高成就學生在代入消去法之實驗組與對照組的平均值各為 2.20 和 3.21，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 0.126, p = .725$)，即實驗組和對照組假設變異數相等，其 t 值等於 -2.220、 $df = 32$ 、 $p = .034 < .05$ ，達顯著水準，應拒絕虛無假設 H_0 ，因此兩組在「成就感」的負荷有顯著差異，且因 t 值為負，代表對照組「成就感」明顯低於實驗組，檢定資料如表 72。

其餘面向未達顯著。

表 72

高成就學生加減消去法認知負荷量獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=15$)		對照組($n=19$)		t	p	95% CI	
	M	SD	M	SD			LL	UL
心智負荷	2.73	1.91	3.26	1.56	-0.892	.379	-1.740	.680
心智努力	3.93	1.711	3.84	1.74	0.153	.879	-1.124	1.306
困難度	1.93	1.34	2.74	1.63	-1.544	.132	-1.863	.256
搜尋相關訊息	1.93	1.22	2.37	1.17	-1.058	.298	-1.273	.402
充分時間思考	2.07	1.62	2.00	1.25	0.135	.893	-.936	1.069
順暢度負荷	1.73	0.96	1.74	0.99	-0.010	.992	-.692	.685
壓力負荷	2.27	1.39	2.32	1.53	-0.097	.923	-1.083	.984
信心負荷	1.93	1.44	2.68	1.60	-1.420	.165	-1.828	.326
成就感負荷	2.20	1.21	3.21	1.40	-2.220	.034*	-1.938	-.084
同時處理訊息	4.00	1.69	4.05	1.68	-0.090	.929	-1.239	1.133

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

高成就學生在代入消去法的學習上，「搜尋相關訊息」此題向有顯著差異，代表實驗組學生在搜尋相關訊息的感受上較對照組容易，研究者認為高成就之學生主動處理訊息的機制與能力必定優於中成就與低成就之學生，進而在結構化、區塊化及建立訊息關聯的視覺引導教材學習上產生了此現象。而在加減消去法的認知負荷量上，實驗組的「成就感」負荷顯著低於對照組，研究者推測雖其他題項無顯著差異，但各項微幅的差距導致成就感的不同。以上僅是推測，無法論斷，如藉由訪談或能知其一二。

利用獨立樣本 t 檢定來考驗中程就學生在代入消去法的認知負荷，實驗與對照兩組的各面向負荷平均，變異數同質性 Levene 檢定達皆未顯著，即假設變異數相等，在雙尾顯著性 p 均 $>.05$ ，未達顯著水準，即接受虛無假設 H_0 ，因此中成就學生在代入消去法之認知負荷各面向無顯著差異，檢定資料如表 73。

表 73

中成就學生代入消去法認知負荷量獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=32$)		對照組($n=23$)		t	p	95% CI	
	M	SD	M	SD			LL	UL
心智負荷	3.47	1.65	3.74	1.57	-0.612	.543	-1.156	.616
心智努力	4.16	1.67	4.78	1.57	-1.409	.165	-1.518	.265
困難度	2.88	1.76	3.26	1.71	-0.813	.420	-1.338	.567
搜尋相關訊息	2.63	1.50	2.48	1.62	0.346	.730	-.703	.996
充分時間思考	2.72	1.50	2.22	1.57	1.197	.237	-.339	1.341
順暢度負荷	2.44	1.70	2.17	1.50	0.595	.554	-.625	1.152
壓力負荷	2.84	1.61	2.30	1.52	1.255	.215	-.323	1.402
信心負荷	2.97	1.58	2.74	1.60	0.529	.599	-.640	1.100
成就感負荷	3.28	1.82	2.73	1.52	1.174	.246	-.393	1.500
同時處理訊息	3.69	1.73	4.35	1.82	-1.365	.178	-1.631	.310

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

同樣利用獨立樣本 t 檢定來考驗中程就學生在加減消去法的認知負荷，實驗與對照兩組的各面向負荷平均，變異數同質性 Levene 檢定達皆未顯著，即假設變異數相等，在雙尾顯著性 p 均 $>.05$ ，未達顯著水準，即接受虛無假設 H_0 ，因此中成就學生在代入消去法之認知負荷各面向無顯著差異，檢定資料如表 74。

表 74

中成就學生加減消去法認知負荷量獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=33$)		對照組($n=24$)		t	p	95% CI	
	M	SD	M	SD			LL	UL
心智負荷	3.52	1.62	3.75	1.73	-0.525	.601	-1.131	.661
心智努力	4.06	1.71	4.54	1.32	-1.150	.255	-1.320	.358
困難度	3.12	1.58	3.38	1.53	-0.608	.546	-1.090	.583
搜尋相關訊息	2.85	1.33	2.54	1.50	0.815	.418	-.447	1.061
充分時間思考	2.64	1.48	2.17	1.17	1.292	.202	-.259	1.198
順暢度負荷	2.70	1.40	2.67	1.49	0.078	.938	-.745	.805
壓力負荷	2.73	1.42	2.88	1.80	-0.346	.731	-1.003	.707
信心負荷	3.12	1.62	2.96	1.40	0.397	.693	-.659	.985
成就感負荷	3.21	1.39	2.92	1.38	0.796	.430	-.449	1.040
同時處理訊息	3.64	1.43	3.42	1.93	0.493	.624	-.673	1.112

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

再以獨立樣本 t 檢定來考驗低成就學生在代入消去法的認知負荷，在「成就感」這個面向，低成就學生在代入消去法之實驗組與對照組的平均值各為 3.46 和 4.59，變異數同質性 Levene 檢定未達顯著 ($F = 0.161, p = .691$)，即實驗組和對照組不假設變異數相等，其 t 值等於 -2.403、 $df = 28$ 、 $p = .023 < .05$ ，達顯著水準，應拒絕虛無假設 H_0 ，因此低成就學生在「成就感」的負荷有顯著差異，且因 t 值為負，代表對照組「成就感」明顯低於實驗組，檢定資料如表 75。

其餘面向未達顯著。

表 75

低成就學生代入消去法認知負荷量獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組($n=13$)		對照組($n=17$)		t	p	95% CI	
	M	SD	M	SD			LL	UL
心智負荷	4.38	1.50	5.06	1.14	-1.397	.173	-1.663	.314
心智努力	5.00	1.63	4.12	1.05	1.697	.106	-.205	1.969
困難度	5.08	1.55	4.88	1.45	0.353	.727	-.935	1.324
搜尋相關訊息	3.62	1.76	4.35	1.73	-1.149	.260	-2.052	.577
充分時間思考	3.69	1.60	4.24	1.72	-0.884	.384	-1.801	.715
順暢度負荷	3.85	2.34	4.41	1.50	-0.760	.456	-2.122	.990
壓力負荷	3.92	2.36	3.94	1.48	-0.024	.981	-1.581	1.545
信心負荷	4.54	1.39	4.76	1.25	-0.468	.644	-1.217	.765
成就感負荷	3.46	1.45	4.59	1.12	-2.403	.023*	-2.087	-.166
同時處理訊息	4.08	1.75	3.65	1.46	0.734	.469	-.770	1.630

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

* $p < .05$. ** $p < .01$.

低成就學生在加減消去法的認知負荷量部分，利用獨立樣本 *t* 檢定進行考驗，各面向之負荷量都沒有顯著差異，檢定資料如表 76。

表 76

低成就學生加減消去法認知負荷量獨立樣本 *t* 檢定摘要表

變項	實驗組(<i>n</i> =13)		對照組(<i>n</i> =17)		<i>t</i>	<i>p</i>	95% CI	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>			<i>LL</i>	<i>UL</i>
心智負荷	4.92	1.80	4.70	1.46	.392	.698	-0.938	1.384
心智努力	4.77	1.59	4.30	1.53	.850	.402	-0.657	1.596
困難度	4.08	1.66	4.75	1.29	-1.308	.200	-1.723	.376
搜尋相關訊息	3.38	1.61	4.30	1.59	-1.607	.118	-2.077	.247
充分時間思考	3.54	1.45	4.10	1.37	-1.123	.270	-1.581	.458
順暢度負荷	3.85	1.91	4.30	1.42	-.784	.439	-1.635	.727
壓力負荷	3.85	2.41	4.35	1.63	-.662	.516	-2.097	1.089
信心負荷	4.00	1.53	4.65	1.14	-1.401	.171	-1.596	.296
成就感負荷	4.08	1.38	4.50	1.28	-.900	.375	-1.381	.535
同時處理訊息	3.85	1.77	4.05	1.40	-.369	.715	-1.331	.924

註：CI = 信賴區間；LL = 上界；UL = 下界。

綜合以上不同主題的後測成績資料分析結果：假設 2-3 僅小部分成立，即「以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於『高成就』學生的認知負荷僅在『搜尋相關訊息』和『成就感』兩面向有顯著差異」。

「以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於『低成就』學生的認知負荷在『成就感』面向有顯著差異」，但「以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於『中成就』學生的認知負荷各面向完全沒有顯著差異」。

在以學習成就區分下，除「心智努力」和「同時處理訊息量」外，高成就學生在其餘面向的認知負荷明顯低於中成就學生與低成就學生，而中成就學生又明顯低於低成就學生。如前段發現的單項顯著差異並不能論斷是否因教材而影響，特別是成就感該項，學習者可能會學習過程與評量過程的感受混淆而導致。

4.2.3 學習成就與認知負荷暨專業知識反轉效應分析

於前章時提到，單獨分析學習成就或認知負荷可能有其缺陷存在，因此藉由 Paas, 等人 (1993) 所提之學習效率 (Instructional efficiency) 和 Paas, 等人 (2005) 提出之學習投入分數 (Instructional Involvement Score) 將學習成就與認知負荷加以整合分析。以下所使用的認知負荷量亦即 Z_c ，將以「困難度」所得的數據進行計算，因在認知負荷量表分析時發現 (見本章 4.3)，原先設定之「心智努力」一題，似乎存在著某些問題而導致所測得的值與其他題項無中高度相關，故決定以「困難度」之值作為 Z_c 。

接續將以學習單元為主軸並從整體、是否學過和學習成就作為區分，針對學習效率、投入分數與專業知識反轉效應三項討論。

1. 代入消去法

在代入消去法部份，整體分組而言，代入消去法的學習效率實驗組優於對照組，在投入分數方面實驗組也優於對照組，其數據與視覺化圖像分別如表 77 和圖 20。

表 77

代入消去法學習效率與投入分數數值 (整體)

	Z_p (Y)	Z_d (X)	E	I
對照組	-0.22	0.08	-0.218	-0.10
實驗組	0.22	-0.08	0.215	0.10

註： Z_p =學習成就 Z 分數， Z_d =認知負荷困難度 Z 分數， E =Instructional Efficiency， I =Involvement score

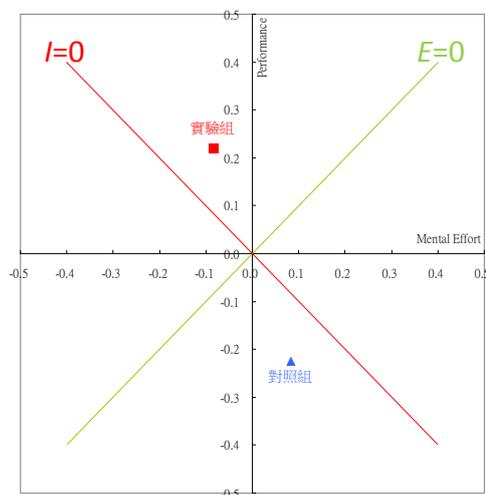


圖 20 代入消去法之學習效率與投入分數圖 (整體)

以是否學過區分，如表 78 和圖 21。在學習效率部分，實驗組學過 > 對照組學過 > 實驗組未學過 > 對照組未學過。就學習效率而言，無專業知識逆轉效應產生。

再就投入分數部分，實驗組未學過 > 對照組學過 > 對照組未學過 > 實驗組學過。在實驗組中，因為學過為先備知識高者，其投入低於先備知識低者，即代表因為已學過所以就會投入較少心力去進行學習，所以就投入分數而言，實驗組有專業知識反轉效應產生。

表 78

代入消去法學習效率與投入分數數值（以是否學過區分）

	Zp (Y)	Zd (X)	E	I
對照組未學	-0.70	0.54	-0.88	-0.10
對照組學過	0.16	-0.27	0.31	-0.08
實驗組未學過	-0.10	0.62	-0.51	0.37
實驗組學過	0.49	-0.68	0.83	-0.14

註：Zp=學習成就 Z 分數，Zd=認知負荷困難度 Z 分數，E=Instructional Efficiency，I=Involvement score

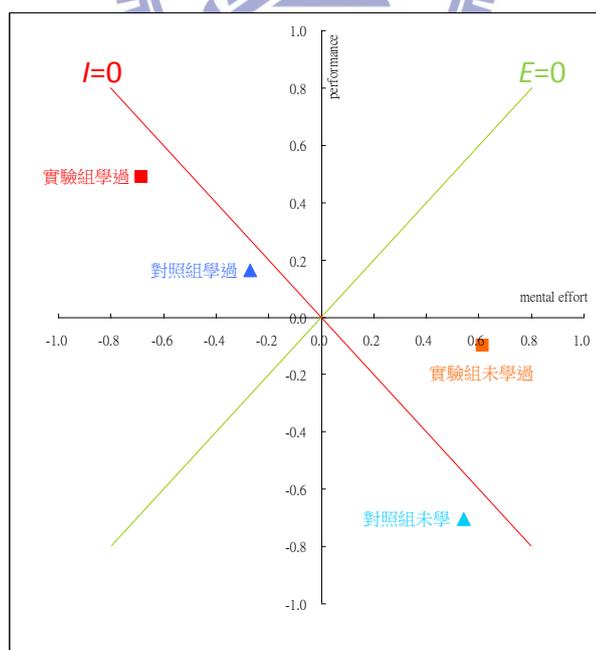


圖 21 代入消去法之學習效率與投入分數圖（以是否學過區分）

以學習成就區分，如表 79 和圖 22。在學習效率部分，實驗組高成就 > 對照組高成就 > 實驗組中成就 > 對照組中成就 > 實驗組低成就 > 對照組低成就。實驗組皆優於對照組，且學習效率與高低成就呈正相關，判斷無專業知識反轉效應產生。

而投入分數部分，實驗組低成就 > 實驗組中成就 > 對照組中成就 > 實驗組高成就 > 對照組高成就 > 對照組低成就。高學習成就者，視為專家，因此在實驗組中，專家投入比新手低，即為專業知識反轉效應產生。

表 79
代入消去法學習效率與投入分數數值（以學習成就區分）

	Zp (Y)	Zd (X)	E	I
對照組高成就	0.40	-0.56	0.67	-0.11
實驗組高成就	0.76	-0.78	1.08	-0.02
對照組中成就	0.17	0.01	0.11	0.13
實驗組中成就	0.28	-0.20	0.33	0.06
對照組低成就	-1.45	0.89	-1.66	-0.40
實驗組低成就	-0.53	1.00	-1.08	0.33

註：Zp=學習成就 Z 分數，Zd=認知負荷困難度 Z 分數，E=Instructional Efficiency，I=Involvement score

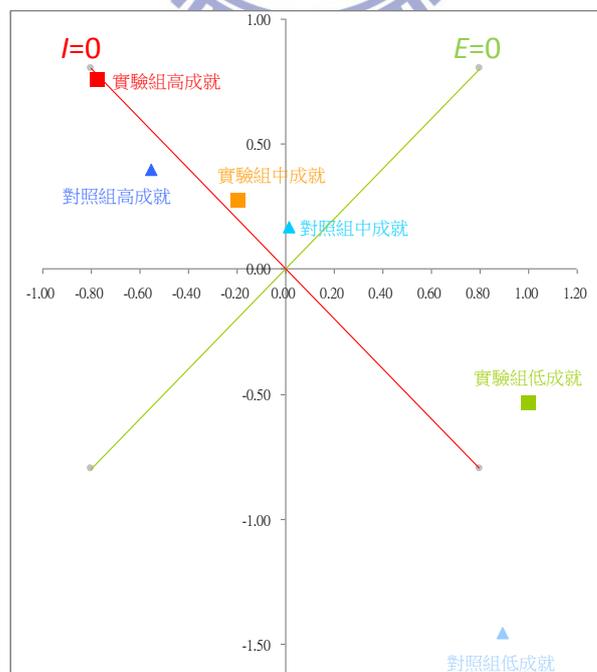


圖 22 代入消去法之學習效率與投入分數圖（以學習成就區分）

2. 加減消去法

加減消去法部分，就整體而言，加減消去法學習效率實驗組 > 對照組，在投入分數方面實驗組 > 對照組，其數據與視覺化圖像分別如表 80 和圖 23。

表 80

加減消去法學習效率與投入分數數值（整體）

	Zp (Y)	Zd (X)	E	I
對照組	-0.19	0.17	-0.25	-0.01
實驗組	0.19	-0.17	0.26	0.01

註：Zp=學習成就 Z 分數，Zd=認知負荷困難度 Z 分數，E=Instructional Efficiency，I=Involvement score

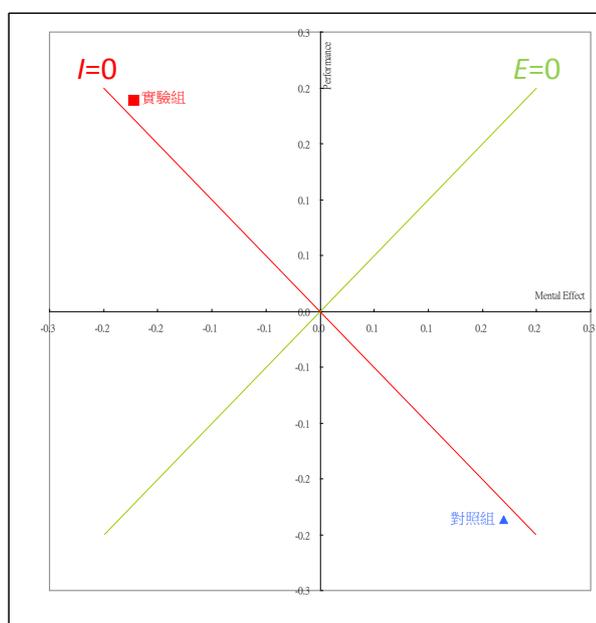


圖 23 加減消去法之學習效率與投入分數圖（整體）

以是否學過區分，數據和視覺化圖像如表 81 和圖 24。在學習效率部分，實驗組學過 > 對照組學過 > 實驗組未學過 > 對照組未學過。就學習效率而言，無專業知識逆轉效應產生。

投入分數部分，對照組學過 > 實驗組未學過 > 實驗組學過 > 對照組未學過。就投入分數而言，對於實驗組有專業知識逆轉效應產生，對照組則否。因學過為先備知識高者，其投入低於先備知識低者，即代表因其已學過所以就會投入較少心力去進行學習。

表 81
加減消去法學習效率與投入分數數值（以是否學過區分）

	Zp (Y)	Zd (X)	E	I
對照組未學	-0.87	0.54	-0.99	-0.23
對照組學過	0.41	-0.16	0.40	0.18
實驗組未學過	-0.13	0.33	-0.33	0.15
實驗組學過	0.48	-0.63	0.78	-0.11

註：Zp=學習成就 Z 分數，Zd=認知負荷困難度 Z 分數，E=Instructional Efficiency，I=Involvement score

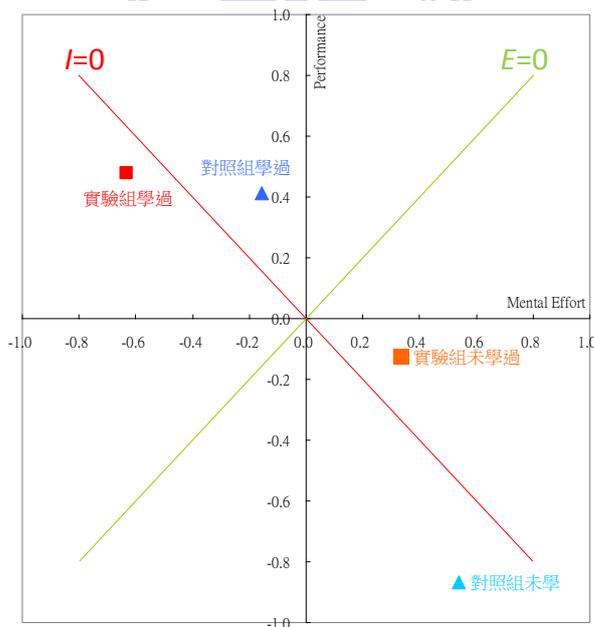


圖 24 加減消去法之學習效率與投入分數圖（以是否學過區分）

如以學習成就區分，如表 82 和圖 25。在學習效率部分，實驗組高成就 > 對照組高成就 > 實驗組中成就 > 對照組中成就 > 實驗組低成就 > 對照組低成就。實驗組皆優於對照組。無專業知識逆轉效應產生。

投入分數部分，對照組高成就 > 對照組中成就 > 實驗組中成就 > 實驗組低成就 > 實驗組高成就 > 對照組低成就。就投入分數觀點，高學習成就者，視為專家，專家投入比新手低，即為專業知識逆轉效應產生，在實驗組則有專業知識反轉效應發生。

表 82

加減消去法學習效率與投入分數數值（以學習成就區分）

	Zp (Y)	Zd (X)	E	I
對照組高成就	0.66	-0.27	0.74	0.20
實驗組高成就	0.70	-0.17	1.07	-0.08
對照組中成就	0.21	0.21	0.13	0.17
實驗組中成就	0.19	-0.09	0.22	0.05
對照組低成就	-1.43	0.06	-1.60	-0.42
實驗組低成就	-0.41	0.35	-0.60	0.03

註：Zp=學習成就 Z 分數，Zd=認知負荷困難度 Z 分數，E=Instructional Efficiency，I=Involvement score

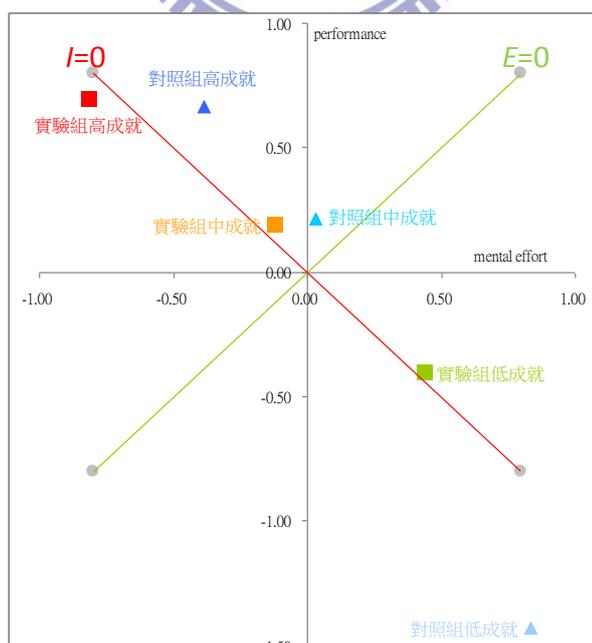


圖 25 加減消去法之學習效率與投入分數圖（以學習成就區分）

3. 綜合討論

專業知識反轉效應的判斷，承 3.5 資料分析該節所述，可利用 effect size、學習效率與投入分數來進行分析，就本節所得之數據判讀，整理出以下結果，如表 83。

在 effect size 分析上，得部份專業知識反轉效應，但依其數據，我們僅能說明實驗組的教材明顯有助於未學過和低學習成就的學生，而對於已學過和中高成就的學生沒有明顯差異，但也無負面影響（因已學過和中高成就學生的 effect size 非負值）。當以學習效率分析，並沒有任何專業反轉效應產生，更獲得不論是未學過還是已學過學生，或以高中低成就區分看來，所有實驗組的學習效率都比對照組高。而以投入分數分析，得實驗組有專業知識反轉效應，而投入分數僅為心理層面的反效，並無損學習成就表現。再加入後測成績和認知負荷量來看，各組內已學過皆優於未學過，高成就都優於中成就優於低成就。

因此，根據本節後測成績的獨立樣本 t 檢定結果、認知負荷量獨立樣本 t 檢定結果以及學習效率數據，再再證明實驗組的教材除了適合未學過和低學習成就的學生外，亦能讓已學過和中高學習成就學生產生學習，而非產生負面的效果或有害其學習。是以，研究者認為本研究之實驗組教材適用於常態編班教學上。

表 83
專業知識反轉效應分析結果總表

分析觀點	結果
effect size	(1) 以是否學過區分：代入消去法無，加減消去法有。 (2) 以學習成就區分：代入消去法有，加減消去法有。
學習效率 (instructional efficiency)	(1) 以是否學過區分：代入消去法無，加減消去法無。 (2) 以學習成就區分：代入消去法無，加減消去法無。
投入分數 (involvement score)	(1) 以是否學過區分：代入消去法實驗組有，加減消去法實驗組有。 (2) 以學習成就區分：代入消去法實驗組有，加減消去法實驗組有。

4.3 認知負荷量表分析

4.3.1 因素分析

為了要證實研究者所設計的測驗的確在測某一潛在特質，並釐清潛在特質的內在結構，能夠將一群具有共同特性的測量分數，抽離出背後構念的統計分析技術便是因素分析 (factor analysis) (邱皓政，2010)。而因素分析目的就是在考驗量表的「建構效度」，因此將以 SPSS 進行因素分析，探討本量表潛在的結構。

而量表或測驗是否適合因素分析，先確認 KMO 值的大小。KMO 是 Kaiser-Meyer-Olkin 的取樣適當性量數，當 KMO 值越大，表示變項間的共同因素越多，越適合因素分析，根據學者 Kaiser 的觀點，KMO 值的判斷準則如下表 84：

表 84

KMO 值的判斷準則

KMO 統計量	因素分析適合性
.90 以上	極適合進行因素分析
.80 以上	適合進行因素分析
.70 以上	尚可進行因素分析
.60 以上	勉強可進行因素分析
.50 以上	不適合進行因素分析
.50 以下	非常不適合進行因素分析

資料來源：吳明隆 (2007)。SPSS 統計應用學習實務：問卷分析與應用統計 (頁 3-9、3-10)。台北縣：知城。

接著，將以學習主題所得之認知負荷量表數據進行因素分析。茲分述如下：

1. 代入消去法

以主成分分析進行抽取因素，由表 85 可得 KMO 取樣適當性檢定為.865，卡方值為 612.622， $p = .000 < .05$ ，表示本量表是適合進行因素分析的。

表 85

代入消去法 KMO 取樣適當性與 Bartlett 球形檢定

Kaiser-Meyer-Olkin 取樣適切性量數		.865
Bartlett 球形檢定	近似卡方分配	612.622
	自由度	45
	顯著性	.000

從表 86 可知各題項之共同性，共同性越高表示該變項與其他變項可測量的共同特質越多，所以「同時訊息處理量」的.963、「心智努力」的.863和「困難度」的.808分居前三，代表此三題的重要性最高。經由直交轉軸後的因素負荷量可得三個成分，也就是這十題應分為三個因素，如表 87。成份一包含了八個向度，可將之定義為「認知負荷」。但成分二僅有「心智努力」一向度，成份三僅有「同時訊息處理量」一向度，實不宜單獨構成一個因素，應考慮刪除之，此卻與上述之共同性結論產生矛盾。而「心智努力」此向度是長期以來被認知負荷研究領域所使用的認知負荷評估的問題，它的信、效度應不容質疑。是以，研究者推測本研究之受試者或許不瞭解「心力」的涵意，導致於此因素分析結果。而「同時訊息處理量」此題應再謹慎探究其原因與定位。

表 86

代入消去法因素分析－共同性

向度	共同性
心智負荷	.598
心智努力	.863
困難度	.808
尋找相關訊息	.623
充分時間思考	.645
過程順暢負荷	.733
壓力	.547
信心負荷	.754
成就感負荷	.674
同時處理訊息量	.963

表 87

代入消去法因素分析—轉軸後成份矩陣

向度	成分一	成分二	成分三
困難度	.895		
信心負荷	.867		
過程順暢負荷	.855		
充分時間思考	.788	-.145	
尋找相關訊息	.769	-.178	
壓力	.710	-.164	-.125
心智負荷	.688	-.348	
成就感負荷	.669	-.420	-.223
心智努力		-.929	
同時處理訊息量			-.981



2. 加減消去法

以主成分分析進行抽取因素，由表 88 可得 KMO 取樣適當性檢定為.858，卡方值為 700.322， $p = .000 < .05$ ，表示本量表是適合進行因素分析的。

表 88

加減消去法 KMO 取樣適當性與 Bartlett 球形檢定

Kaiser-Meyer-Olkin 取樣適切性量數		.858
Bartlett 球形檢定	近似卡方分配	700.322
	自由度	45
	顯著性	.000

從表 89 可知各題項之共同性，共同性越高表示該變項與其他變項可測量的共同特質越多，所以「心智努力」的.915、「同時訊息處理量」的.785、和「過程順暢負荷」的.761分居前三，代表此三題的重要性最高。

經由直交轉軸後的因素負荷量仍得三個成分，這十題應分為三個因素，如表 90。成份一包含了八個向度，可將之定義為「認知負荷」。但成份二僅有「同時訊息處理量」一向度，成份三僅有「心智努力」一向度，與代入消去法所的結果相仿，「心智努力」與「同時訊息處理量」兩向度之設定應重新審視。

表 89

加減消去法因素分析—共同性

向度	共同性
心智負荷	.572
心智努力	.915
困難度	.756
尋找相關訊息	.704
充分時間思考	.719
過程順暢負荷	.761
壓力	.724
信心負荷	.746
成就感負荷	.744
同時處理訊息量	.785

表 90

加減消去法因素分析－轉軸後成份矩陣

向度	成分一	成分二	成分三
困難度	.844	-.169	-.120
信心負荷	.844	-.172	
順暢度負荷	.836	-.242	
充分時間思考	.831	-.145	
搜尋相關訊息	.822	-.159	
壓力	.758	-.364	-.126
成就感負荷	.737	-.333	-.301
心智負荷	.662	-.181	-.319
同時處理訊息	.129	-.872	
心智努力			-.954



4.3.2 信度分析

信度 (reliability) 即是測量的可靠性 (trustworthiness)，係指測量結果的一致性 (consistency) 或穩定性 (stability) (邱皓政，2010)。而總測驗或量表的信度係數 (Cronbach α) 如果在.90 以上，則表示測驗或量表的信度極佳，在.80 以上則為佳，如果介於.70 至.80 間還算可以接受，如果低於.60 應該重新修訂研究工具或重新編制 (吳明隆，2007)。

本研究於代入消去法與加減消去法教學後皆施以認知負荷量表，茲將兩量表獲取之數據以 SPSS 進行信度分析，如表 91 和表 92。

1. 代入消去法

分析結果顯示代入消去法之認知負荷量表的信度係數即 Cronbach α 為.844，表示本量表有好的內部一致性與穩定性。細究量表問題十題中，「心智努力」和「同時訊息處理量」的總相關分別為-.029、-.011 數值偏低且為負，又複相關平方相對也較低，兩項刪除時的信度係數分別為.874 和.875 皆>.844，就分析數據看來應優先考慮刪除，但研究者認為此二題想測得的樣本行為特質在量表中無其他相似題目可取代，因此不建議刪除，但可考慮修正其文字敘述。

表 91
代入消去法信度分析數據表

	項目刪除時的尺 度平均數	項目刪除時的 尺度變異數	修正的項目總 相關	複相關 平方	項目刪除時的 Cronbach's Alpha 值
心智負荷	29.07	95.500	.608	.479	.823
心智努力	28.27	116.917	-.029	.242	.874
困難度	29.54	86.541	.842	.742	.798
尋找相關訊息	29.94	94.826	.666	.586	.818
充分時間思考	30.09	94.256	.683	.593	.816
過程順暢負荷	30.07	89.021	.762	.691	.806
壓力	29.90	94.263	.622	.517	.821
信心負荷	29.65	88.656	.795	.732	.803
成就感負荷	29.51	99.312	.521	.534	.831
同時處理訊息量	28.67	115.967	-.011	.049	.875

2. 加減消去法

分析結果顯示加減消去法之認知負荷量表的 Cronbach α 為.871，表示本量表一樣有好的內部一致性與穩定性。細究量表問題十題中，「心智努力」和「同時訊息處理量」的總相關分別為.097、.209 數值偏低，複相關平方也相對偏低，兩項刪除時的信度係數分別為.894 和.877 皆>.871，就分析數據看來還是應優先考慮刪除，但研究者評估原因如上段所述，「心智努力」和「同時訊息處理量」兩項仍須保留，但可修正。

表 92

加減消去法信度分析數據表

	項目刪除時的尺 度平均數	項目刪除時的 尺度變異數	修正的項目總 相關	複相關 平方	項目刪除時的 Cronbach's Alpha 值
心智負荷	29.31	99.144	.624	.468	.856
心智努力	28.86	118.314	.097	.187	.894
困難度	29.75	94.839	.801	.717	.841
尋找相關訊息	30.19	98.754	.746	.644	.847
充分時間思考	30.37	98.723	.747	.642	.846
過程順暢負荷	30.27	98.721	.708	.709	.849
壓力	30.06	99.589	.600	.632	.858
信心負荷	29.86	95.778	.794	.715	.842
成就感負荷	29.75	102.579	.643	.624	.855
同時處理訊息量	29.29	114.322	.209	.164	.887

4.3.3 相關性分析

兩個連續變項的線性關係，可以利用相關 (correlation) 的概念來描述。而 Pearson 積差相關就是計算兩個等距連續變項關聯時應用最廣也最普遍的統計方法，其相關係數的強度判定如表 93。以下將就代入消去法和加減消去法所測得的認知負荷量表數據進行各題項之間的關聯分析。

表 93

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 (2010)。《量化研究與統計分析 (第五版)》(頁 10-6)。台北市：五南。



1. 代入消去法

在代入消去法認知負荷量表各題項的相關係數矩陣中，如表 94，可發現代入消去法後測總分與題 1、3、4、5、6、8、9 有中度負相關，與題 7 低度負相關，但與題 2 之「心智努力」與題 10「同時處理訊息量」毫無相關，由此可見學習者知覺的整體認知負荷越高其後測總分則越低。

而題 2「心智努力」和題 10「同時處理訊息量」與其他題項幾乎無相關，這與當初設定題目時所預期矛盾，但與前述之因素分析、信度分析所得結果一致，也就是說題 2 和題 10 的題幹敘述或問題設定可能需要再討論修正。

在題 1、3、4、5、6、7、8、9 間，題 3「困難度」分別與題 6「過程順暢負荷」、題 8「信心負荷」有著高度相關；題 4「尋找相關訊息」與題 5「充分時間思考」有高度相關，其餘皆有中、低度相關。從高度相關部分可見學習者自覺教材內容越困難，則其學習過程越不順暢，其信心也就越低；而越容易找尋到相關訊息便越有充分時間思考。

表 94

代入消去法認知負荷量表各題項相關係數矩陣

	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
0.後測總分	—										
1.心智負荷	-.41**	—									
2.心智努力	.034	.160	—								
3.困難度	-.58**	.58**	.013	—							
4.尋找相關訊息	-.48**	.39**	-.109	.69**	—						
5.充分時間思考	-.48**	.39**	-.112	.67**	.70**	—					
6.過程順暢負荷	-.50**	.54**	-.100	.72**	.59**	.63**	—				
7.壓力	-.33**	.39**	.093	.56**	.37**	.48**	.67**	—			
8.信心負荷	-.53**	.63**	-.033	.78**	.61**	.60**	.66**	.47**	—		
9.成就感負荷	-.40**	.38**	-.28**	.53**	.50**	.49**	.49**	.32**	.66**	—	
10.同時處理訊息量	.072	-.004	.000	.047	-.002	-.047	-.012	.046	.006	-.117	—

註：* $p < .05$. ** $p < .01$.

2. 加減消去法

在加減消去法認知負荷量表各題項的相關係數矩陣中，如表 95，可發現後測總分與題 1、3、4、5、6、7、8、9 有中度負相關，但仍與題 2 之「心智努力」與題 10「同時處理訊息量」毫無相關，由此一樣推測學習者知覺的整體認知負荷越高其後測總分則越低。

而題 2「心智努力」與其他題項完全無相關，題 10「同時處理訊息量」與其他題部分低相關、部分無相關，這與當初設定題目時所預期矛盾，但同樣與前述之因素分析、信度分析以及代入消去法所得結果一致，題 2 和題 10 須重新再定義。

在題 1、3、4、5、6、7、8、9 間，題 3「困難度」分別與題 4「搜尋相關訊息」、題 8「信心負荷」有著高度相關；題 4「尋找相關訊息」與題 5「充分時間思考」有高度相關；題 6「過程順暢負荷」與題 7「壓力負荷」有高度相關，其餘皆為中、低度相關。從高度相關部分可見學習者自覺教材內容越困難，則其越不容易搜尋到相關訊息，其信心也就越低；而越容易找尋到相關訊息便越有充分時間思考；覺得學習過程越順暢其壓力負荷也越低。

表 95

加減消去法認知負荷量表各題項相關係數矩陣

	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
0.後測總分	—										
1.心智負荷	-.50**	—									
2.心智努力	-.004	.22*	—								
3.困難度	-.59**	.63**	.111	—							
4.尋找相關訊息	-.62**	.51**	.019	.72**	—						
5.充分時間思考	-.55**	.51**	-.007	.68**	.71**	—					
6.過程順暢負荷	-.56**	.43**	.088	.59**	.57**	.64**	—				
7.壓力	-.49**	.36**	.101	.53**	.54**	.51**	.77**	—			
8.信心負荷	-.57**	.61**	.095	.77**	.63**	.64**	.61**	.53**	—		
9.成就感負荷	-.50**	.43**	-.146	.56**	.60**	.61**	.54**	.37**	.69**	—	
10.同時處理訊息量	-.064	.139	.121	.21*	.20*	.21*	.043	-.007	.19*	.29**	—

註：* $p < .05$. ** $p < .01$.

對照兩個教材主題的認知負荷量表相關係數矩陣所得之關聯性相仿—「困難度」與「信心負荷」呈高度相關，「搜尋相關訊息」與「充分時間」亦呈高度相關。而兩主題察覺的問題也一樣—「心智努力」和「同時處理訊息量」兩向度之認知負荷量之獲取應設法修正。

而 Kalyuga (2009) 和 Paas 等人 (2005) 都指出「心智努力」與「困難度」如在任務或教材不是極端容易或困難時，應有高度相關，如果學習者認定學習任務或教材很容易或很難時，學習者便不會投注太多心力在其上因而降低學習。

在本研究中，代入消去法的心智負荷也就是預設困難度平均值為 3.70，而學習後困難度平均值為 3.24；加減消去法的心智負荷為 3.77，困難度為 3.33。在七點量表中，4 為中間值，而前述四數據接近中間值，因此兩單元之困難度應屬中等。若根據上述文獻應可得困難度與心智努力要成高度相關；但經分析，「心智努力」此項與「心智負荷」、「困難度」為低度相關或無相關，與文獻不符。而在本研究中「心智努力」的獲取實不如研究者預期，但此向度為眾多國內外研究所應用，理應無太大問題，研究者為此深感困惑。



4.3.4 逐步迴歸分析

逐步迴歸分析 (stepwise regression) 是利用各種解釋變項與依變項的相對強弱，來決定哪些解釋變項應納入、何時納入迴歸方程式，也就是說最後能得到一個以最少解釋變項解釋最多依變項變異量的最佳迴歸模型 (邱皓政，2010)。

因此希望以學習成就表現為依變項，藉由逐步迴歸分析取得認知負荷量與學習表現的最佳模型。

1. 代入消去法

首先分析整體學生在代入消去法此單元的部分，經過逐步多元迴歸分析，可統整成下表 96：

表 96

認知負荷量對整體學生在代入消去法後測總分的逐步多元迴歸分析摘要表

投入變相順序	多元相關係數 R	決定係數 R^2	增加解釋量 ΔR	F 值	淨 F 值 ΔF	B	$Beta$
截距						22.471	
困難度	.610	.372	.372	68.654	68.654	-2.048	-.478
充分時間思考	.629	.395	.024	4.503	37.615	-.976	-.203

由上表可得，認知負荷量十個面向，經迴歸模式進行選入或刪除後，進入迴歸模式的變項為「困難度」與「充分時間思考」二項。即代表「困難度」與「充分時間思考」對於代入消去法後測總分的預測力達顯著；其二預測變項與代入消去法後測總分的多元相關係數為.629，其決定係數為.395。

從標準化迴歸係數來看，兩變項的 $Beta$ 值均為負，可見樣本知覺「困難度」越高與「充分時間思考」越不同意者，其後測成績就會越低。

未標準化迴歸方程式：

$$\text{後測成績} = 22.471 + (-2.048) \times \text{困難度} + (-0.976) \times \text{充分時間思考}$$

標準化迴歸方程式：

$$\text{後測成績} = (-0.478) \times \text{困難度} + (-0.203) \times \text{充分時間思考}$$

接著將對照組和實驗組分開進行逐步多元迴歸分析，對照組分析如表 97，經迴歸模式進行選入或刪除後，進入迴歸模式的變項為「困難度」與「成就感」二項。即代表「困難度」與「成就感」對於對照組後測總分的預測力達顯著；其二預測變項與代入消去法後測總分的多元相關係數為.756，其決定係數為.571。

從標準化迴歸係數來看，兩變項的 *Beta* 值均為負，可見樣本知覺「困難度」越低與「成就感」越高者，其後測成績就會越高。

表 97

認知負荷量對對照組在代入消去法後測總分的逐步多元迴歸分析摘要表

投入變相順序	多元相關 係數 <i>R</i>	決定係 數 <i>R</i> ²	增加解釋 量Δ <i>R</i>	<i>F</i> 值	淨 <i>F</i> 值 Δ <i>F</i>	<i>B</i>	<i>Beta</i>
截距						26.033	
困難度	.721	.520	.520	60.628	60.628	-2.903	-.578
成就感	.756	.571	.051	6.584	36.629	-1.485	-.268

未標準化迴歸方程式：

$$\text{後測成績} = 26.033 + (-2.903) \times \text{困難度} + (-1.485) \times \text{成就感}$$

標準化迴歸方程式：

$$\text{後測成績} = (-0.578) \times \text{困難度} + (-0.268) \times \text{成就感}$$

實驗組部份，經迴歸刪除、選入後進入迴歸模式的變項僅剩「困難度」一項，如表 98。也就代表「困難度」對於實驗組後測總分的預測力達顯著；此預測變項與代入消去法後測總分的多元相關係數為.510，其決定係數為.260。從標準化迴歸係數來看，變項的 *Beta* 值均為負，可見樣本知覺「困難度」越低其後測成績就會越高。

表 98

認知負荷量對實驗組代入消去法後測總分的逐步多元迴歸分析摘要表

投入變相順序	多元相關 係數 <i>R</i>	決定係 數 <i>R</i> ²	增加解釋 量Δ <i>R</i>	<i>F</i> 值	淨 <i>F</i> 值 Δ <i>F</i>	<i>B</i>	<i>Beta</i>
截距						20.381	
困難度	.510	.260	.260	20.371	20.371	-1.713	-.510

未標準化迴歸方程式：

$$\text{後測成績} = 20.381 + (-1.713) \times \text{困難度}$$

標準化迴歸方程式：

$$\text{後測成績} = (-0.510) \times \text{困難度}$$

綜合以上，不論以整體分析或以實驗組和對照組各別分析，困難度都是最先被選入的變項，也就是說困難度影響後測分數最顯著。



2. 加減消去法

加減消去法部份，經過逐步多元迴歸分析，可統整成下表 99：

表 99

認知負荷量對整體學生在加減消去法後測總分的逐步多元迴歸分析摘要表

投入變相順序	多元相關 係數 R	決定係 數 R^2	增加解釋 量 ΔR	F 值	淨 F 值 ΔF	B	$Beta$
截距						38.344	
搜尋相關訊息	.622	.386	.386	76.215	76.215	-2.432	-.370
順暢度	.671	.451	.064	14.082	49.268	-1.684	-.268
心智負荷	.692	.479	.028	6.307	36.401	-1.136	-.196

由上表可得，認知負荷量十個面向，經迴歸模式進行選入或刪除後，進入迴歸模式的變項依序為「搜尋相關訊息」、「順暢度」與「心智負荷」三項。即代表「搜尋相關訊息」、「順暢度」與「心智負荷」對於加減消去法後測總分的預測力達顯著；其三預測變項與代入消去法後測總分的多元相關係數為.692，其決定係數為.479。

從標準化迴歸係數來看，三變項的 $Beta$ 值均為負，可見樣本知覺「搜尋相關訊息」越困難、「順暢度」越不佳與「心智負荷」越高者，其後測成績就會越低。

未標準化回歸方程式：

$$\text{後測成績} = 33.344 + (-2.432) \times \text{搜尋相關訊息} + (-1.684) \times \text{順暢度} \\ + (-1.136) \times \text{心智負荷}$$

標準化回歸方程式：

$$\text{後測成績} = (-0.370) \times \text{搜尋相關訊息} + (-0.268) \times \text{順暢度} + (-0.196) \times \text{心智負荷}$$

接續將對照組和實驗組分開進行逐步多元迴歸分析，對照組分析如表 100，經迴歸模式進行選入或刪除後，進入迴歸模式的變項為「搜尋相關訊息」與「順暢度」二項。即代表「搜尋相關訊息」與「順暢度」對於對照組後測總分的預測力達顯著；其二預測變項與加減消去法後測總分的多元相關係數為.679，其決定係數為.461。

從標準化迴歸係數來看，兩變項的 $Beta$ 值均為負，可見樣本知覺「搜尋相關訊息」越容易與「順暢度」越高者，其後測成績就會越高。

表 100

認知負荷量對對照組在加減消去法後測總分的逐步多元迴歸分析摘要表

投入變相順序	多元相關 係數 R	決定係 數 R^2	增加解釋 量 ΔR	F 值	淨 F 值 ΔF	B	$Beta$
截距						36.035	
搜尋相關訊息	.624	.389	.389	38.205	38.205	-2.934	-.423
順暢度	.679	.461	.072	7.840	25.200	-2.304	-.335

未標準化迴歸方程式：

$$\text{後測成績} = 36.035 + (-2.934) \times \text{搜尋相關訊息} + (-2.304) \times \text{順暢度}$$

標準化迴歸方程式：

$$\text{後測成績} = (-0.423) \times \text{搜尋相關訊息} + (-0.335) \times \text{順暢度}$$

實驗組部份如表 101，進入迴歸模式的變項為「搜尋相關訊息」、「順暢度」和「心智負荷」三項。即代表「搜尋相關訊息」、「順暢度」和「心智負荷」對於實驗組後測總分的預測力達顯著；其三預測變項與加減消去法後測總分的多元相關係數為.693，其決定係數為.481。從標準化迴歸係數來看，三變項的 $Beta$ 值均為負，可見樣本知覺「搜尋相關訊息」越容易、「順暢度」越高與「心智負荷」越低者，其後測成績就會越高。

表 101

認知負荷量對實驗組在加減消去法後測總分的逐步多元迴歸分析摘要表

投入變相順序	多元相關 係數 R	決定係 數 R^2	增加解釋 量 ΔR	F 值	淨 F 值 ΔF	B	$Beta$
截距						37.447	
搜尋相關訊息	.612	.374	.374	35.305	35.305	-1.971	-.340
順暢度	.661	.437	.062	6.433	22.495	-1.389	-.264
心智負荷	.693	.481	.044	4.830	17.597	-1.117	-.250

未標準化迴歸方程式：

$$\text{後測成績} = 37.447 + (-1.971) \times \text{搜尋相關訊息} + (-1.389) \times \text{順暢度} \\ + (-1.117) \times \text{心智負荷}$$

標準化迴歸方程式：

$$\text{後測成績} = (-0.340) \times \text{搜尋相關訊息} + (-0.264) \times \text{順暢度} + (-0.250) \times \text{心智負荷}$$

綜合以上，不論以整體分析或以實驗組和對照組各別分析，搜尋相關訊息都是最先被選入的變項，順暢度次之，也就是說在加減消去法的學習上如容易搜尋到相關訊息，學習得順暢度高，則後測分數也就高。

雖代入消去與加減消去皆為解聯立方程式之方法，且所運用的教材設計原則相同，但於認知負荷的向度之分析看來，卻是相異。研究者推測這與單元本質最相關，據教學者經驗，在學習者學完兩種解題方法後，面對不指定解題方法的聯立問題時，學生喜愛使用加減消去法，因學生認為此法可以馬上消去其中一未知數，較代入簡單明瞭。而在學生學習一段時間後再行測驗，仍發現學生對於加減消去法的印象比代入消去法深刻。上述之教學經驗與逐步迴歸分析所得之方程式對照，似乎能彼此印證，換句話說代入消去法其結構較加減消去法略微複雜，所以困難度影響為最，而加減消去法，若能從方程式間比對出未知數間的關聯，也就是說能容易地找到相關訊息，學習者便能即刻進行加消去或減消去，故搜尋相關訊息影響最大。但這是否與兩單元的教學順序有關，或許也值得一探。



4.4 研究結果摘要

將以上資料分析的重點與結果摘要整理如下。

4.4.1 學習成就部份結果

表 102

學習成就分析結果摘要表

研究假設	結論
假設 1-1：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於整體學生的學習成就表現有顯著差異。	1.有顯著差異 實驗組表現優於對照組
假設 1-2：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於未學過學生或已學過學生的學習成就表現有顯著差異。	1.未學過學生有顯著差異 實驗組表現優於對照組 2.已學過學生無顯著差異
假設 1-3：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於不同學習成就學生的學習成就表現有顯著差異。	1.高成就學生無顯著差異 2.中成就學生無顯著差異 3.低成就學生有顯著差異 實驗組表現優於對照組

4.4.2 認知負荷量部份

表 103

認知負荷量分析結果摘要表

研究假設	結論
假設 2-1：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於整體學生的認知負荷有顯著差異。	1. 無顯著差異
假設 2-2：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於未學過學生或已學過學生的認知負荷有顯著差異。	1. 未學過學生無顯著差異 2. 已學過學生部分有顯著差異 代入消去：困難度、信心 加減消去：困難度
假設 2-3：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於不同學習成就學生的認知負荷有顯著差異。	1. 高成就學生部分有顯著差異 2. 中成就學生無顯著差異 3. 低成就學生部分有顯著差異

4.4.3 專家反轉效應部份

假設 3：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，產生專業知識反轉效應。

1. Effect Size

- (1) 以是否學過區分：代入消去法無，加減消去法有。
- (2) 以學習成就區分：代入消去法有，加減消去法有。

2. 學習效率

- (1) 以是否學過區分：代入消去法無，加減消去法無。
- (2) 以學習成就區分：代入消去法無，加減消去法無。

3. 投入分數

- (1) 以是否學過區分：代入消去法實驗組有，加減消去法實驗組有。
- (2) 以學習成就區分：代入消去法實驗組有，加減消去法實驗組有。

4.4.4 認知負荷量表部份

表 104

認知負荷量表分析結果

分析	結論
因素分析	<ol style="list-style-type: none"> 1. KMO 分別為 .885 和 .858 2. 「心智努力」和「同步處理訊息量」二向度無法歸納成分，但其二的共同性又高
信度分析	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cronbach α 分別為 .844 和 .871 2. 「心智努力」和「同步處理訊息量」二向度總相關低
相關分析	<ol style="list-style-type: none"> 1. 「心智努力」和「同步處理訊息量」二向度與其他八向度無相關或低相關 2. 其他八向度彼此間偏向中度、高度相關
迴歸分析	<p>標準化迴歸方程式：</p> <p>整體代入消去法後測成績 $= (-0.478) \times \text{困難度} + (-0.203) \times \text{充分時間思考}$</p> <p>對照組代入消去法後測成績 $= (-0.578) \times \text{困難度} + (-0.268) \times \text{成就感}$</p> <p>實驗組代入消去法後測成績 $= (-0.510) \times \text{困難度}$</p> <p>整體加減消去法後測成績 $= (-0.370) \times \text{搜尋相關訊息} + (-0.268) \times \text{順暢度} + (-0.196) \times \text{心智負荷}$</p> <p>對照組加減消去法後測成績 $= (-0.423) \times \text{搜尋相關訊息} + (-0.335) \times \text{順暢度}$</p> <p>實驗組加減消去法後測成績 $= (-0.340) \times \text{搜尋相關訊息} + (-0.264) \times \text{順暢度} + (-0.250) \times \text{心智負荷}$</p>

第五章 研究結論與建議

本研究是以七年級數學解二元一次聯立方程式之單元進行視覺引導教材設計的示例教學，探討在不同教材設計之前提下，其學習成效和認知負荷所造成的影響，採準實驗研究法進行實驗設計。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的參考。

5.1 研究結論

1. 不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對於低先備知識學生(未學過學生)的學習成就有顯著的差異。融合代數教材設計原則的視覺引導教材設計，有助於低先備知識學生的學習成就表現。
2. 不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對於低學習成就學生的學習成就有顯著的差異。融合代數教材設計原則的視覺引導教材設計於示例教學上，有助於低學習成就學生的學習成就表現。
3. 不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對於高先備知識學生(已學過學生)的困難度認知負荷有顯著的差異。視覺引導教材皆能降低高先備知識學生的困難度認知負荷，而融合代數教材設計原則的教材，能降低更多。
4. 不同的視覺引導教學設計於示例教學上，以效應值和學習者投入學習的觀點判斷，有專業知識反轉效應的產生。但對於高先備知識學習者和高學習成就學習者無負面影響。

5.2 建議

本節依據研究結論及回顧反思整個研究過程所得，分別以教學建議和研究建議二項分述如下：

1. 教學建議

(1) 落實多媒體教材設計

雖然研究結果僅在未學過學生和低學習成就學生身上看到因教材設計不同而學習成就有顯著的差異，但從認知負荷量之心智負荷與困難度獲知，不論是實驗組或對照組的教材都有助於降低困難度；由此可推得單以適性指標輔助設計教材或再增加代數教材設計原則，都能幫助學習者更容易搜尋到相關訊息，進而順暢地思考、組織與整合。拋開這些量化數據，研究者在實驗階段結束後，深刻感受到學生對於類似教學的期待，足見教材設計與教學引導是成功的。而如此的設計模式與精神應落實在其他單元的多媒體教材設計上，讓資訊融入教學不再是盲從的趨勢，而是有助學習與教學的好趨勢。

(2) 應用至傳統教學上

當然，研究者實際上將適性指標、教材結構化、區塊化與建立訊息關聯等原則運用在傳統教學中，利用黑板及彩色粉筆進行類似的視覺引導教學，亦有不錯成效。研究者發現當在教學中加入這些要素，不僅能讓教學者更輕易地掌控訊息的傳達，也能更清楚地呈現教材內容，而學生的反應與理解比例也相對提升。

2. 研究建議

(1) 提前施測時間

本研究實驗教學於正常教學進度下進行，實無法避免補習班超前進度影響，以致於造成樣本隱藏著所多變異。如能在學習者已具備有一元一次方程式的解題概念後，即提前進度實施教學實驗，則樣本的組成結構會單純化，在此狀況下實驗之數據應會較為精確，且資料分析也會較為簡單。亦能真實地獲得實驗教材對學習者學習表現層面和認知負荷量的影響與與深度。

(2) 等量的學前評估

雖本研究施以前測，但前測之題目數量過少，僅能測得籠統的起始行為，無法進行

準確的判斷學習者的確切的起始能力為何？亦無法與後測成績進行分析比對。因此應增加前測題數並使之與後測等量且題型相仿，方能掌握學習者實際的初始能力及後續分析其受教學的影響。

(3) 增加延後測

謝東育(2009)之研究在延後測得顯著的差異性，但本研究因礙於正常進度教學，實施延後測必受其間多數干擾行為影響而捨棄，若將教學時間提前，則延後測必能進行，如此便能再次驗證代數教材設計原則是否有其學習延續性。

(4) 認知負荷分開測量

爰本次研究之認知負荷量獲取是在學習結束接續測驗後實施，因而學習者所評估的認知負荷量可能會受到學習過程和測驗過程兩情況的影響而產生交互作用，雖在認知負荷量表之題幹上清楚的述明學習前、學習中或學習後，且未指測驗部分，但推測學習者應仍會將其感受混淆。若能在學習後即施以一次認知負荷評估，並在測驗的每一題獲取其困難度的負荷，則獲得之數據會更清楚地反映學習者當下的負荷感受，亦能區分各階段的負荷量，並依據分析不同階段的學習成效。為此，於計算學習效率與投入分數時更能清楚地運用所得的負荷量。van Gog 和 Paas (2008) 亦討論了認知負荷測量時間點上的問題，其建議應該明確地區分學習心力 (learning effort)、表現或測驗心力 (performance / testing effort)。

(5) 增加質化分析

進行教學實驗時，不論於實驗組或對照組，研究者皆深切感受教學過程是順暢的，學生反應是佳的，雖兩份教材於展演設計有相異之處，但整體都比以往未以多媒體學習原則、認知負荷理論、代數教材設計原則、適性指標等概念進行媒體設計時來得好。曾隨口詢問學生的看法，學生給的回饋也都是正向的，若增加小組晤談(以學習成就分組)，來記錄與了解學生對教材及教學過程的感受，應對本研究有更大助益。

5.3 未來研究

1. 擴大研究範圍

謝東育(2009)在其未來研究中建議將代數教材設計原則擴大研究範圍至其他代數單元或其他類似知識結構的學習領域上進行實證。而根據文獻，曾椿惠(2010)將此原則應用於一元一次方程式應用問題的補救教學上，葉子榕(2010)應用於二元一次方程式應用問題的補救教學上，皆得此原則之教材設計有助於低學習成就學生學習。而本研究將其運用在二元一次方程式的常態教學上，所得之結果仍與前述三者類似。研究者認為如能排除補習因素於常態班級教學或許能得不同結果。而將結構化、區塊化與建立訊息關聯之原則運用於其他數學單元或其他領域之多媒體教材設計甚至傳統教學上亦能作為未來研究之發展。

2. 擴充設計原則

適性指標設計原則立基於激發式動態呈現教學上，使得教學者能有效地掌控訊息的展演與注意力的引導，協助學習者進行視覺搜尋。而代數教材設計原則同樣以激發式動態呈現為出發點，針對代數主題歸納出了原則，強化教學的視覺引導及建立訊息的關聯，使學習更優化。承上點，如面對不同學習領域、不同主題，除適性指標與代數教材設計原則，後續研究可針對研究主題的知識結構進行分析、統整出其他不同的新原則，以彌補認知負荷理論、多媒體學習理論及激發式動態呈現教學未臻完備之處。

3. 繼續發展認知負荷量表

本研究設計之認知負荷量表實屬初步探討，量表發展僅進行至預試階段，從前章 4.2 認知負荷量分析和 4.3 量表分析明顯得部分題項存在著問題待修正，亦即代表量表仍未成熟；研究者認為對於量表之各題問題設定及問題描述尚須再重新審視，特別以「心智努力」和「同時處理訊息量」此二向度。認知負荷原是無形的，以自我評估方式來獲取最為貼近，但也難避免評估者亂答之嫌；如能克服儀器設備問題，適度加入一些客觀向度，應能更準確界定學習者真正的認知負荷量。另，針對各向度發展不同的實驗教材加以預試評估，並於更大的樣本實施，應可獲取更精確的數值，得到更縝密的分析，作為量表繼續發展的依據。

4. 視覺搜尋的探討

根據李鈴茹（2009）之眼動儀研究，發現適性指標能減少視覺搜尋的時間，並增加對適性指標區的視覺處理。而本研究藉由教材結構化、區塊化的呈現、建立訊息關聯與適性指標的輔助，發現基於以上教材設計的視覺引導讓學習者相對較容易搜尋到相關訊息。唯所獲取的搜尋相關訊息負荷量是否等同於學習者在學習中所進行的視覺搜尋？又視覺的注意力引導是否真能降低學習者的視覺搜尋頻率？而視覺搜尋與學習成效的關係又為何？或許值得進一步探討。

5. 整體教學與適性教學之教材設計研究

近年來，學者 Kalyuga 致力於專業知識反轉效應這方面的探討，並著眼發展「適性教學」，也就是教學應依學習者的程度不同給予相異的教學內容與教學設計，以達最佳學習效果。但於教育現場，常態編班為主流，班級的組成包含各種學習成就知學生，因此，教材應如何規劃與設計才能適用於整體學生，同時不會產生專業知識反轉效應，是實務上須突破的。然而，補救教學這一塊也不容忽視，特別在學生學習狀況逐漸 M 化的此時，研究該如何建置適性的教材，讓不同學習成就的學生能適才適所地進行學習，亦是當務之急。



參考文獻

中文文獻

- 王文科、王智弘 (2009)。教育研究法。台北市：五南。
- 吳明隆 (2007)。SPSS 統計應用學習實務：問卷分析與應用統計。台北縣：知城圖書。
- 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 (碩士論文)。國立臺灣師範大學，台北市。
- 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 (博士論文)。臺灣師範大學，台北市。
- 李幸玟 (2009)。前導組體型式與先備知識在多媒體學習成效與認知負荷上的影響——以國中地理科為例 (碩士論文)。國立嘉義大學，嘉義市。
- 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 (碩士論文)。國立交通大學，新竹市。
- 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 (碩士論文)。國立交通大學，新竹市。
- 邱皓政 (2010)。量化研究與統計分析 SPSS(PASW)資料分析範例。台北市：五南。
- 高誌忠 (2009)。焦慮情境下認知負荷型態對國小六年級學童數學解題活動之影響 (碩士論文)。國立臺北教育大學，台北市。
- 張智君、朱祖祥 (1995)。心理負荷多维主观评定的实验研究。人类工效学，1(2)，4-7。
- 郭生玉 (1995)。心理與教育測驗。台北縣：精華書局。
- 郭秀緞 (2005)。以認知負荷的觀點探討數學問題設計的適切性。教育研究 (高雄師範大學)，13，169-182。

- 郭秀緞 (2006)。以認知負荷理論探討數學問題設計與後設認知策略教學對國小高年級學生數學解題之影響 (博士論文)。國立高雄師範大學，高雄市。
- 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，46(6)，57-63。
- 郭璟諭 (2003)。媒體組合方式與認知型態對學習成效與認知負荷之影響 (碩士論文)。國立中央大學，桃園縣。
- 曾椿惠 (2010)。激發式動態呈現對學習成效與認知負荷影響之研究-以一元一次方程式為例 (碩士論文)。國立交通大學，新竹市。
- 楊培渝 (2006)。認知負荷、焦慮情境對英語閱讀成效之影響 (碩士論文)。雲林科技大學，雲林縣。
- 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 (碩士論文)。國立交通大學，新竹市。
- 潘伯正 (2009)。教材媒體組合方式與知覺偏好對學習成效與認知負荷之影響 (碩士論文)。國立臺北教育大學，台北市。
- 謝宗憲 (2008)。探究媒體格式提升七年級學生電腦模擬電化學學習成效 (碩士論文)。國立嘉義大學，嘉義市。
- 謝東育 (2009)。激發式動態呈現教學設計之研究—以代數為例 (碩士論文)。國立交通大學，新竹市。
- 謝財旺 (2006)。適性化學習環境中學習者訊息處理能力與內容媒體型態的適配性對學習成效的影響 (碩士論文)。國立中山大學，高雄市。
- 蘇義賢 (2008)。電腦模擬教學在高中生活科技之應用-以室內配線教學為例 (碩士論文)。國立嘉義大學，嘉義市。

英文文獻

- Ayres, P. (2006). Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems. *Learning and Instruction, 16*(5), 389-400. doi: 10.1016/j.learninstruc.2006.09.001
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science, 255*(5044), 556-559.
- Baddeley, A. D. (1998). *Human memory : theory and practice* (Rev. ed.). Boston, Mass.: Allyn and Bacon.
- Beckmann, J. F. (2010). Taming a beast of burden-On some issues with the conceptualisation and operationalisation of cognitive load. *Learning and Instruction, 20*(3), 250-264. doi: 10.1016/j.learninstruc.2009.02.024
- Brünken, R., Plass, J., & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational psychologist, 38*(1), 53-61. doi: 10.1207/S15326985EP3801_7
- Bratfisch, O. (1972). Perceived Item-Difficulty in Three Tests of Intellectual Performance Capacity.
- Cerpa, N., Chandler, P., & Sweller, J. (1996). Some conditions under which integrated computer-based training software can facilitate learning. *Journal of Educational Computing Research, 15*(4), 345-367. doi: 10.2190/MG7X-4J8N-CKYR-P06T
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and instruction, 8*(4), 293-332.
- Clark, J., & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review, 3*(3), 149-170.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2008). *E-learning and the science of instruction : proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning* (2 ed.). San Francisco, CA Hoboken, NJ: Pfeiffer ; Wiley.
- Clark, R. C., Nguyen, F., & Sweller, J. (2006). *Efficiency in learning : evidence-based*

guidelines to manage cognitive load. San Francisco: Jossey-Bass.

Cooper, G., Tindall-Ford, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2001). Learning by imagining. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7(1), 68. doi: 10.1037/1076-898X.7.1.68.

DeLeeuw, K., & Mayer, R. (2008). A comparison of three measures of cognitive load: Evidence for separable measures of intrinsic, extraneous, and germane load. *Journal of Educational Psychology*, 100(1), 223. doi: 10.1037/0022-0663.100.1.223

Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61(1), 103-131. doi: 10.1007/s10649-006-000-z

Eggemeier, F. (1988). Properties of workload assessment techniques. *Human mental workload*, 52, 41-62.

Gerjets, P., Scheiter, K., & Catrambone, R. (2004). Designing instructional examples to reduce intrinsic cognitive load: Molar versus modular presentation of solution procedures. *Instructional Science*, 32(1), 33-58. doi: 10.1023/B:TRUC.0000021809.10236.71

Gerjets, P., Scheiter, K., & Catrambone, R. (2006). Can learning from molar and modular worked examples be enhanced by providing instructional explanations and prompting self-explanations? *Learning and Instruction*, 16(2), 104-121. doi: 10.1016/j.learninstruc.2006.02.007

Gopher, D., & Braune, R. (1984). On the psychophysics of workload: Why bother with subjective measures? *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 26(5), 519-532.

Hart, S., & Staveland, L. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Human mental workload*, 1, 139-183.

Kalyuga, S. (2006). *Instructing and testing advanced learners: A cognitive load approach*. New York, USA: Nova Science Publishers, Inc.

Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational Psychology Review*, 19(4), 509-539. doi:

10.1007/s10648-007-9054-3

Kalyuga, S. (2009). *Managing cognitive load in adaptive multimedia learning*: Information Science Publishing.

Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational psychologist, 38*(1), 23-31. doi: 10.1207/S15326985EP3801_4

Leahy, W., & Sweller, J. (2004). Cognitive load and the imagination effect. *Applied Cognitive Psychology, 18*(7), 857-875. doi: 10.1002/acp.1061.

Leahy, W., & Sweller, J. (2005). Interactions among the imagination, expertise reversal, and element interactivity effects. *Journal of Experimental Psychology Applied, 11*(4), 266. doi: 10.1037/1076-898X.11.4.266

Mayer, R., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational psychologist, 38*(1), 43-52. doi: 10.1207/S15326985EP3801_6

Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning* (1st ed.). New York: Cambridge University Press.

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge ; New York: Cambridge University Press.

Nygren, T. (1991). Psychometric properties of subjective workload measurement techniques: Implications for their use in the assessment of perceived mental workload. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 33*(1), 17-33.

Paas, F., Tuovinen, J., Tabbers, H., & van Gerven, P. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational psychologist, 38*(1), 63-71. doi: 10.1207/S15326985EP3801_8

Paas, F., Tuovinen, J. E., van Merriënboer, J. J. G., & Aubteen Darabi, A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: Optimizing learner involvement in instruction. *Educational Technology Research and Development, 53*(3), 25-34. doi: 10.1007/BF02504795

Paas, F., van Merriënboer, J., & Adam, J. (1994). Measurement of cognitive load in instructional research. *Perceptual and motor skills, 79*(1 Pt 2), 419.

- Paas, F. G. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429. doi: 10.1037/0022-0663.84.4.429.
- Paas, F. G. W. C., & Merriënboer, J. J. G. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 122-133.
- Paas, F. G. W. C., & van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 35(4), 737-743.
- Plass, J., Chun, D., Mayer, R., & Leutner, D. (1998). Supporting Visual and Verbal Learning Preferences in a Second-Language Multimedia Learning Environment. *Journal of Educational Psychology*, 90(1), 25-36. doi: 10.1037/0022-0663.90.1.25
- Reid, G., & Nygren, T. (1988). The subjective workload assessment technique: A scaling procedure for measuring mental workload. *Human mental workload*, 185-218.
- Schnotz, W. (2010). Reanalyzing the expertise reversal effect. *Instructional Science*, 38(3), 315-323. doi: 10.1007/s11251-009-9104-y
- Sweller, J. (2004). Instructional design consequences of an analogy between evolution by natural selection and human cognitive architecture. *Instructional Science*, 32(1), 9-31. doi: 10.1023/B:TRUC.0000021808.72598.4d
- 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. doi: 10.1023/A:1022193728205
- van Gog, T., & Paas, F. (2008). Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. *Educational psychologist*, 43(1), 16-28. doi: 10.1080/00461520701756248
- van Merriënboer, J. J. G., Kirschner, P. A., & Kester, L. (2003). Taking the load off a learner's

mind: Instructional design for complex learning. *Educational psychologist*, 38(1), 5-13.
doi: 10.1207/S15326985EP3801_2

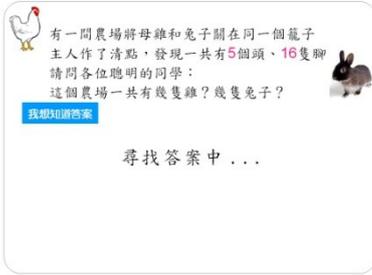
van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning:
Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2),
147-177. doi: 10.1007/s10648-005-3951-0

Wittrock, M. (1989). Generative processes of comprehension. *Educational psychologist*, 24(4),
345-376.



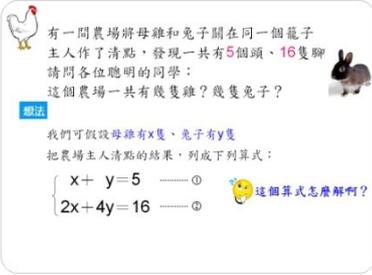
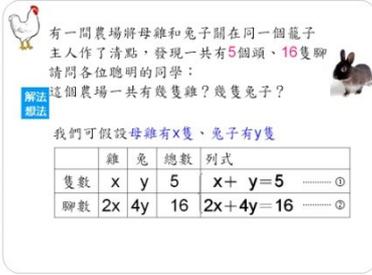
附錄一 修改頁面呈現

實驗組教材

頁碼	原始	修正
1		

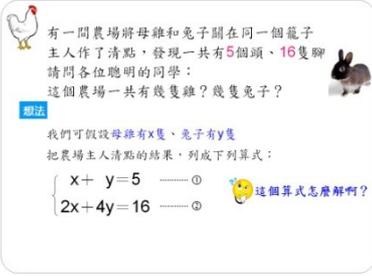
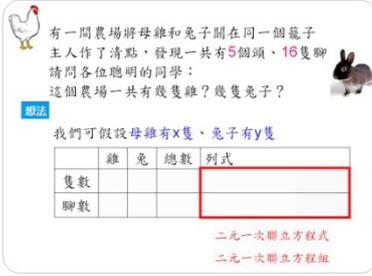
修正說明：

1. 將「我想知道答案」的藍色按鈕移至左方，以與後續頁統一；為適性指標－「標示原始位置原則」。

2		
---	---	--

修正說明：

1. 移除黃色卡通圖案，避免不必要的干擾；多媒體設計原則－「一致性原則」。
2. 將假設與列式表格化，以利學習者對照；代數教材設計原則－「二維圖像」。

3		
---	---	--

修正說明：

1. 因「二元一次聯立方程式」對於學習者是新名詞，所以增加文字呈現按鈕，逐步導引學習者進入主題。

4

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$
 所以 $x=2, y=3$ 是這個算式的解

解法

x	0	1	2	3	4	5
y	5	4	3	2	1	0
是否符合第①式	x	x	*	x	x	x

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$
 所以 $x=2, y=3$ 是這組聯立的解

解法

x	0	1	2	3	4	5
y	5	4	3	2	1	0
是否符合第①式	x	x	*	x	x	x

修正說明：

1. 將雲朵形圖說文字改成直線型圖說文字。

5

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$
 也就是雞有 2 隻，
 兔子有 3 隻

解法

x	0	1	2	3	4	5
y	5	4	3	2	1	0
是否符合第①式	x	x	*	x	x	x

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$
 也就是雞有 2 隻，
 兔子有 3 隻

解法

x	0	1	2	3	4	5
y	5	4	3	2	1	0
是否符合第①式	x	x	*	x	x	x

修正說明：

1. 將雲朵形圖說文字改成直線型圖說文字。

9

主題 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

解法

要同時找出 x, y 太難，所以若能先解決其中一項，把聯立方程式變成只有一個未知數的方程式，那就可輕易地先求出一個未知數出來。

主題 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

解法

要同時找出 x, y 太難，所以若能先解決其中一項，把聯立方程式變成只有一個未知數的方程式，那就可輕易地先求出一個未知數出來。

修正說明：

1. 將右上角的主題大小及顏色修改，避免視覺重點偏移，也避免與步驟指示箭頭顏色重複；適性指標—「特徵獨立原則」、「通道原則」、「群化原則」及「明度差異原則」相關。
2. 後續頁皆同。

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$ 所以 $x=18, y=9$ 是聯立方程式的解

解法

取代第①式的 x

$$\begin{aligned} x=2y & \text{--- ①} & x+y=27 & \text{--- ②} \\ x=2 \cdot 9 & & 2y+y=27 & \\ =18 & & 3y=27 & \\ & & y=9 & \end{aligned}$$

開始解題

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

解法

取代第①式的 x

$$\begin{aligned} x=2y & \text{--- ①} & x+y=27 & \text{--- ②} \\ x=2 \cdot 9 & & 2y+y=27 & \text{--- 1} \\ x=18 & & 3y=27 & \text{--- 2} \\ x=18 & & y=9 & \text{--- 3} \\ y=9 & & & \# \end{aligned}$$

- 10 修正說明：
1. 最後答案呈現於解題最後，並以「#」標示；考慮到步驟的累積性與銜接性，即多媒體設計原則－「空間接近原則」，亦避免學習者視覺跳躍。
 2. 將雲朵形圖說文字去除，改以隱藏開關在題目旁顯示答案；可引導驗算概念；亦具有多媒體設計原則－「空間接近原則」。
 3. 加強代入符號之顏色，以強調重點；適性指標－「觸發原則」。
 4. 修正步驟箭頭，使其特徵一致；適性指標－「特徵獨立原則」。
 5. 增加步驟底線與標號，以增加溝通性。

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} y=3-9x \\ 3x+2y=6 \end{cases}$ 所以 $x=0, y=3$ 是聯立方程式的解

解法

取代第①式的 y

$$\begin{aligned} y=3-9x & \text{--- ①} & 3x+2y=6 & \text{--- ②} \\ y=3-9 \cdot 0 & & 3x+2(3-9x)=6 & \text{--- 1} \\ =3-0 & & 3x+6-18x=6 & \text{--- 2} \\ =3 & & 3x-18x=6-6 & \text{--- 3} \\ & & -15x=0 & \text{--- 4} \\ & & x=0 & \end{aligned}$$

開始解題

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} y=3-9x \\ 3x+2y=6 \end{cases}$

解法

取代第①式的 y

$$\begin{aligned} y=3-9x & \text{--- ①} & 3x+2y=6 & \text{--- ②} \\ y=3-9 \cdot 0 & & 3x+2(3-9x)=6 & \text{--- 1} \\ y=3-0 & & 3x+6-18x=6 & \text{--- 2} \\ =3 & & 3x-18x=6-6 & \text{--- 3} \\ x=0 & & -15x=0 & \text{--- 4} \\ y=3 & & x=0 & \# \end{aligned}$$

- 11 修正說明：
1. 同頁碼 10。

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 2x+6y=x+41 \\ 3x+4y=39 \end{cases}$ 所以 $x=5, y=6$ 是聯立方程式的解

解法

取代第①式的 x

$$\begin{aligned} 2x+6y=x+41 & \text{--- ①} & 3x+4y=39 & \text{--- ②} \\ 2x-x=41-6y & & 3(41-6y)+4y=39 & \text{--- 3} \\ x=41-6y & & 123-18y+4y=39 & \text{--- 4} \\ & & -18y+4y=39-123 & \text{--- 5} \\ & & -14y=-84 & \text{--- 6} \\ & & y=6 & \text{--- 7} \\ x=41-6 \cdot 6 & & & \text{--- 8} \\ =41-36 & & & \text{--- 9} \\ =5 & & & \text{--- 10} \end{aligned}$$

開始解題

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 2x+6y=x+41 \\ 3x+4y=39 \end{cases}$

解法

取代第①式的 x

$$\begin{aligned} 2x+6y=x+41 & \text{--- ①} & 3x+4y=39 & \text{--- ②} \\ 2x-x=41-6y & & 3(41-6y)+4y=39 & \text{--- 3} \\ x=41-6y & & 123-18y+4y=39 & \text{--- 4} \\ x=41-6 \cdot 6 & & -18y+4y=39-123 & \text{--- 5} \\ x=41-36=5 & & -14y=-84 & \text{--- 6} \\ y=6 & & & \text{--- 7} \end{aligned}$$

- 12 修正說明：
1. 同頁碼 10。

15

主題三 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=350 \\ 3x+3y=270 \end{cases}$

解法

$$\begin{array}{r} 350 \\ - 270 \\ \hline 80 \\ = \$ 40 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 270 \\ - 120 \\ \hline 150 \\ = \$ 50 \end{array}$$

開始解題

主題二 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=350 \\ 3x+3y=270 \end{cases}$

解法

$$\begin{array}{r} 350 \\ - 270 \\ \hline 80 \\ = \$ 40 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 270 \\ - 120 \\ \hline 150 \\ = \$ 50 \end{array}$$

修正說明：

1. 同頁碼 9。

16

主題三 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=350 \\ 3x+3y=270 \end{cases}$

解法

$$\begin{array}{r} 3x+5y=350 \text{ ----- ①} \\ -) 3x+3y=270 \text{ ----- ②} \\ \hline 2y=80 \\ y=40 \\ 3x+3 \cdot 40=270 \\ 3x+120=270 \\ 3x=270-120 \\ 3x=150 \\ x=50 \end{array}$$

開始解題

所以 $x=50, y=40$ 是聯立方程式的解

主題二 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=350 \\ 3x+3y=270 \end{cases}$

解法

$$\begin{array}{r} 3x+5y=350 \text{ ----- ①} \\ -) 3x+3y=270 \text{ ----- ②} \\ \hline 2y=80 \text{ ----- 1} \\ y=40 \text{ ----- 2} \\ 3x+3 \cdot 40=270 \text{ ----- 3} \\ 3x+120=270 \text{ ----- 4} \\ 3x=270-120 \text{ ----- 5} \\ 3x=150 \text{ ----- 6} \\ x=50 \text{ ----- 7} \end{array}$$

代回②式

修正說明：

1. 增加消去符號。
2. 箭頭引導近可能改為直線，減少轉折，以降低視線追尋；代數教材設計原則—「建立關連性」和格式塔原理（Gestalt Law）—「連續法則」。
3. 其餘同頁碼 10。

17

主題三 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=4 \\ 2x-5y=11 \end{cases}$

解法

$$\begin{array}{r} 3x+5y=4 \text{ ----- ①} \\ +) 2x-5y=11 \text{ ----- ②} \\ \hline 5x=15 \\ x=3 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2 \cdot 3 - 5y = 11 \\ - 5y = 11 - 6 \\ - 5y = 5 \\ y = -1 \end{array}$$

開始解題

所以 $x=3, y=-1$ 是聯立方程式的解

主題二 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=4 \\ 2x-5y=11 \end{cases}$

解法

$$\begin{array}{r} 3x+5y=4 \text{ ----- ①} \\ +) 2x-5y=11 \text{ ----- ②} \\ \hline 5x=15 \text{ ----- 1} \\ x=3 \text{ ----- 2} \\ 2 \cdot 3 - 5y = 11 \text{ ----- 3} \\ - 5y = 11 - 6 \text{ ----- 4} \\ - 5y = 5 \text{ ----- 5} \\ y = -1 \text{ ----- 6} \end{array}$$

代回②式

修正說明：

1. 同頁碼 16。

18

主題三 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=4 \\ 2x-5y=11 \end{cases}$ 所以 $x=3, y=-1$ 是聯立方程式的解

解法

$$\begin{cases} 3x+5y=4 & \text{--- ①} \\ 2x-5y=11 & \text{--- ②} \end{cases}$$

$$\begin{array}{r} 3x+5y=4 \\ +) 2x-5y=11 \\ \hline 5x=15 \\ x=3 \end{array}$$

開始解題

$$\begin{cases} 3 \cdot 3 + 5y = 4 \\ 9 + 5y = 4 \\ 5y = 4 - 9 \\ 5y = -5 \\ y = -1 \end{cases}$$

主題三 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=4 \\ 2x-5y=11 \end{cases}$

解法

$$\begin{cases} 3x+5y=4 & \text{--- ①} \\ 2x-5y=11 & \text{--- ②} \end{cases}$$

$$\begin{array}{r} 3x+5y=4 \\ +) 2x-5y=11 \\ \hline 5x=15 \\ x=3 \end{array}$$

代回①式

$$\begin{cases} 3 \cdot 3 + 5y = 4 \\ 9 + 5y = 4 \\ 5y = 4 - 9 \\ 5y = -5 \\ y = -1 \end{cases}$$

所以 $x=3, y=-1$ 是聯立方程式的解

修正說明：

1. 同頁碼 16。

19

主題三 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 5x-2y=-4 \\ 3x+4y=8 \end{cases}$ 所以 $x=0, y=2$ 是聯立方程式的解

解法

$$\begin{cases} 5x-2y=-4 \\ 3x+4y=8 \end{cases}$$

$$\begin{array}{r} 5x-2y=-4 \\ +) 10x-4y=-8 \\ \hline 3x+4y=8 \\ \hline 13x=0 \\ x=0 \end{array}$$

開始解題

$$\begin{cases} 3 \cdot 0 + 4y = 8 \\ 4y = 8 \\ y = 2 \end{cases}$$

主題三 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 5x-2y=-4 \\ 3x+4y=8 \end{cases}$

解法

$$\begin{cases} 5x-2y=-4 \\ 3x+4y=8 \end{cases}$$

$$\begin{array}{r} 5x-2y=-4 \\ +) 10x-4y=-8 \\ \hline 3x+4y=8 \\ \hline 13x=0 \\ x=0 \end{array}$$

代回②式

$$\begin{cases} 3 \cdot 0 + 4y = 8 \\ 4y = 8 \\ y = 2 \end{cases}$$

所以 $x=0, y=2$ 是聯立方程式的解

修正說明：

1. 同頁碼 16。

20

主題三 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=8 \\ 4x+3y=7 \end{cases}$ 所以 $x=1, y=1$ 是聯立方程式的解

解法

$$\begin{cases} 3x+5y=8 \\ 4x+3y=7 \end{cases}$$

$$\begin{array}{r} 3x+5y=8 \\ -) 12x+20y=32 \\ \hline 4x+3y=7 \\ -) 12x+9y=21 \\ \hline 11y=11 \\ y=1 \end{array}$$

開始解題

$$\begin{cases} 4x + 3 \cdot 1 = 7 \\ 4x = 7 - 3 \\ 4x = 4 \\ x = 1 \end{cases}$$

主題三 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=8 \\ 4x+3y=7 \end{cases}$

解法

$$\begin{cases} 3x+5y=8 \\ 4x+3y=7 \end{cases}$$

$$\begin{array}{r} 3x+5y=8 \\ -) 12x+20y=32 \\ \hline 4x+3y=7 \\ -) 12x+9y=21 \\ \hline 11y=11 \\ y=1 \end{array}$$

代回②式

$$\begin{cases} 4x + 3 \cdot 1 = 7 \\ 4x = 7 - 3 \\ 4x = 4 \\ x = 1 \end{cases}$$

所以 $x=1, y=1$ 是聯立方程式的解

修正說明：

1. 同頁碼 16。

21

主題三 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=8 \\ 4x+3y=7 \end{cases}$ 所以 $x=1, y=1$ 是聯立方程式的解

解法

$$\begin{cases} 3x+5y=8 \\ 4x+3y=7 \end{cases} \begin{array}{l} \times 3 \\ \times 5 \end{array} \rightarrow \begin{cases} 9x+15y=24 \text{ ①} \\ 20x+15y=35 \text{ ②} \end{cases}$$

$$\begin{array}{r} 9x+15y=24 \text{ ①} \\ -) 20x+15y=35 \text{ ②} \\ \hline -11x=11 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 4 \cdot 1 + 3y = 7 \\ 3y = 7 - 4 \\ 3y = 3 \\ y = 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 11x = 11 \\ x = 1 \end{array}$$

主題二 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=8 \\ 4x+3y=7 \end{cases}$

解法

$$\begin{cases} 3x+5y=8 \\ 4x+3y=7 \end{cases} \begin{array}{l} \times 3 \\ \times 5 \end{array} \rightarrow \begin{cases} 9x+15y=24 \text{ ①} \\ 20x+15y=35 \text{ ②} \end{cases}$$

$$\begin{array}{r} 9x+15y=24 \text{ ①} \\ -) 20x+15y=35 \text{ ②} \\ \hline -11x=11 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 4 \cdot 1 + 3y = 7 \\ 3y = 7 - 4 \\ 3y = 3 \\ y = 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 11x = 11 \\ x = 1 \end{array}$$

$$\begin{cases} x=1 \\ y=1 \end{cases}$$

修正說明：

1. 同頁碼 16。

22

主題三 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} \frac{x}{2} - \frac{y}{3} = 3 \\ \frac{3x}{2} + 2y = 0 \end{cases}$ 所以 $x=4, y=-3$ 是聯立方程式的解

解法

$$\begin{cases} \frac{x}{2} - \frac{y}{3} = 3 \\ \frac{3x}{2} + 2y = 0 \end{cases} \begin{array}{l} \times 6 \\ \times 2 \end{array} \rightarrow \begin{cases} 3x - 2y = 18 \text{ ①} \\ 3x + 4y = 0 \text{ ②} \end{cases}$$

$$\begin{array}{r} 3x - 2y = 18 \text{ ①} \\ -) 3x + 4y = 0 \text{ ②} \\ \hline -6y = 18 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 3x - 2 \cdot (-3) = 18 \\ 3x + 6 = 18 \\ 3x = 18 - 6 \\ 3x = 12 \\ x = 4 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} -6y = 18 \\ y = -3 \end{array}$$

主題二 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} \frac{x}{2} - \frac{y}{3} = 3 \\ \frac{3x}{2} + 2y = 0 \end{cases}$

解法

$$\begin{cases} \frac{x}{2} - \frac{y}{3} = 3 \\ \frac{3x}{2} + 2y = 0 \end{cases} \begin{array}{l} \times 6 \\ \times 2 \end{array} \rightarrow \begin{cases} 3x - 2y = 18 \text{ ①} \\ 3x + 4y = 0 \text{ ②} \end{cases}$$

$$\begin{array}{r} 3x - 2y = 18 \text{ ①} \\ -) 3x + 4y = 0 \text{ ②} \\ \hline -6y = 18 \end{array}$$

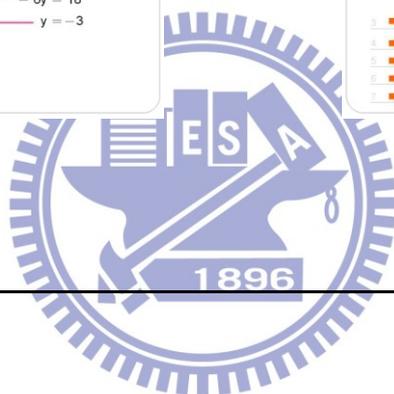
$$\begin{array}{l} 3x - 2 \cdot (-3) = 18 \\ 3x + 6 = 18 \\ 3x = 18 - 6 \\ 3x = 12 \\ x = 4 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} -6y = 18 \\ y = -3 \end{array}$$

$$\begin{cases} x=4 \\ y=-3 \end{cases}$$

修正說明：

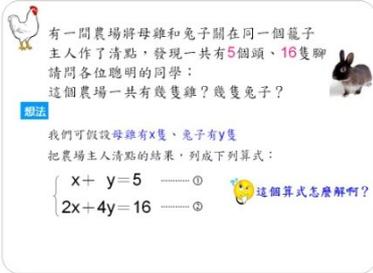
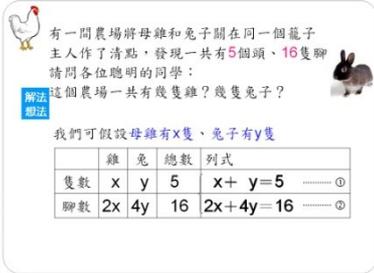
1. 同頁碼 16。



頁碼	原始	修正
1		

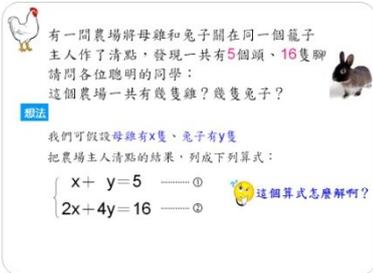
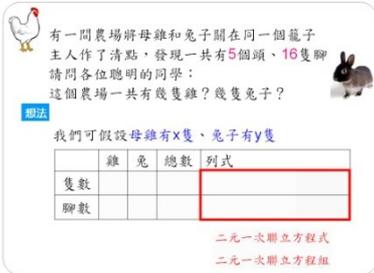
修正說明：

1. 將「我想知道答案」的藍色按鈕移至左方，以與後續頁統一；類似適性指標—「標示原始位置原則」。

2		
---	--	---

修正說明：

1. 移除黃色卡通圖案，避免不必要的干擾；多媒體設計原則—「一致性原則」。
2. 將假設與列式表格化，以利學習者對照；代數教材設計原則—「二維圖像」。

3		
---	---	--

修正說明：

1. 因「二元一次聯立方程式」對於學習者是新名詞，所以增加文字呈現按鈕，逐步導引學習者進入主題。

4

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$
 所以 $x=2, y=3$ 是這個算式的解

解法

x	0	1	2	3	4	5
y	5	4	3	2	1	0
是否符合第①式	x	x	*	x	x	x

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$
 所以 $x=2, y=3$ 是這組聯立的解

解法

x	0	1	2	3	4	5
y	5	4	3	2	1	0
是否符合第①式	x	x	*	x	x	x

修正說明：

1. 將雲朵形圖說文字改成直線型圖說文字。

5

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$
 也就是雞有 2 隻，
 兔子有 3 隻

解法

x	0	1	2	3	4	5
y	5	4	3	2	1	0
是否符合第①式	x	x	*	x	x	x

$$\begin{cases} x + y = 5 & \text{--- ①} \\ 2x + 4y = 16 & \text{--- ②} \end{cases}$$
 也就是雞有 2 隻，
 兔子有 3 隻

解法

x	0	1	2	3	4	5
y	5	4	3	2	1	0
是否符合第①式	x	x	*	x	x	x

修正說明：

1. 將雲朵形圖說文字改成直線型圖說文字。

9

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

想法

要同時找出 x, y 太難，所以若能先解決其中一項，把聯立方程式變成只有一個未知數的方程式，那就可輕易地先將一個未知數求出來。

主題一 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

想法

要同時找出 x, y 太難，所以若能先解決其中一項，把聯立方程式變成只有一個未知數的方程式，那就可輕易地先將一個未知數求出來。

修正說明：

1. 將右上角的主題大小及顏色修改，避免視覺重點偏移，也避免與步驟指示箭頭顏色重複；適性指標—「特徵獨立原則」、「通道原則」、「群化原則」及「明度差異原則」相關。
2. 後續頁皆同。

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

主 題 代 入 消 去 法

所以 $x=18, y=9$ 是聯立方程式的解

開始解題

解法

$$\begin{cases} x=2y & \text{--- ①} \\ x+y=27 & \text{--- ②} \end{cases}$$

將①式代入②式

$$2y + y = 27$$

$$3y = 27$$

$$y = 9 \text{--- ③}$$

將③式代入①式

$$x = 2 \cdot 9$$

$$= 18$$

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

主 題 代 入 消 去 法

解法

$$\begin{cases} x=2y & \text{--- ①} \\ x+y=27 & \text{--- ②} \end{cases}$$

將①式代入②式

$$2y + y = 27$$

$$3y = 27$$

$$y = 9 \text{--- ③}$$

將③式代入①式

$$x = 2 \cdot 9$$

$$= 18$$

$$\begin{cases} x = 18 \\ y = 9 \end{cases} \#$$

10 修正說明：

1. 最後答案呈現於解題最後，並以「#」標示；考慮到步驟的累積性與銜接性，即多媒體設計原則—「空間接近原則」，亦避免學習者視覺跳躍。
2. 將雲朵形圖說文字去除，改以隱藏開關在題目旁顯示答案；可引導驗算概念。
3. 加強代入符號之顏色，以強調重點；適性指標—「觸發原則」。
4. 修正步驟箭頭，使其特徵一致；適性指標—「特徵獨立原則」。

11

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

主 題 代 入 消 去 法

所以 $x=18, y=9$ 是聯立方程式的解

開始解題

解法

$$\begin{cases} x=2y & \text{--- ①} \\ x+y=27 & \text{--- ②} \end{cases}$$

將①式代入②式

$$2y + y = 27$$

$$3y = 27$$

$$y = 9 \text{--- ③}$$

將③式代入①式

$$x + 9 = 27$$

$$x = 27 - 9$$

$$= 18$$

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$

主 題 代 入 消 去 法

解法

$$\begin{cases} x=2y & \text{--- ①} \\ x+y=27 & \text{--- ②} \end{cases}$$

將①式代入②式

$$2y + y = 27$$

$$3y = 27$$

$$y = 9 \text{--- ③}$$

將③式代入①式

$$x + 9 = 27$$

$$x = 27 - 9$$

$$= 18$$

$$\begin{cases} x = 18 \\ y = 9 \end{cases} \#$$

修正說明：

1. 同頁碼 10。

12

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} y=3-9x \\ 3x+2y=6 \end{cases}$

主 題 代 入 消 去 法

所以 $x=0, y=3$ 是聯立方程式的解

開始解題

解法

$$\begin{cases} y=3-9x & \text{--- ①} \\ 3x+2y=6 & \text{--- ②} \end{cases}$$

將①式代入②式

$$3x + 2(3-9x) = 6$$

$$3x + 6 - 18x = 6$$

$$3x - 18x = 6 - 6$$

$$-15x = 0$$

$$x = 0 \text{--- ③}$$

將③式代入①式

$$y = 3 - 9 \cdot 0$$

$$= 3$$

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} y=3-9x \\ 3x+2y=6 \end{cases}$

主 題 代 入 消 去 法

解法

$$\begin{cases} y=3-9x & \text{--- ①} \\ 3x+2y=6 & \text{--- ②} \end{cases}$$

將①式代入②式

$$3x + 2(3-9x) = 6$$

$$3x + 6 - 18x = 6$$

$$3x - 18x = 6 - 6$$

$$-15x = 0$$

$$x = 0 \text{--- ③}$$

將③式代入①式

$$y = 3 - 9 \cdot 0$$

$$= 3$$

$$\begin{cases} x = 0 \\ y = 3 \end{cases} \#$$

修正說明：

1. 同頁碼 10。

13

主題 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 2x+6y=x+41 \\ 3x+4y=39 \end{cases}$ 所以 $x=5, y=6$ 是聯立方程式的解

解法

$$\begin{cases} 2x+6y=x+41 & \text{--- ①} \\ 3x+4y=39 & \text{--- ②} \end{cases}$$

整理①式

$$\begin{aligned} 2x-x &= 41-6y \\ x &= 41-6y & \text{--- ③} \end{aligned}$$

將③式代入②式

$$3(41-6y)+4y=39$$

$$123-18y+4y=39$$

$$-14y=-84$$

$$y=6$$

將③式代入①式

$$x=41-6 \cdot 6$$

$$x=41-36$$

$$x=5$$

開始解題

主題 代入消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 2y=4x-3 \\ 5x+4y=20 \end{cases}$

解法

$$\begin{cases} 2y=4x-3 & \text{--- ①} \\ 5x+4y=20 & \text{--- ②} \end{cases}$$

將①式代入②式

$$5x+2(4x-3)=20$$

$$5x+8x-6=20$$

$$13x=26$$

$$x=2$$

將①式代入①式

$$2y=4 \cdot 2-3=5$$

$$y=2.5$$

將②式代入②式

$$x=2$$

$$y=2.5$$

修正說明：

1. 同頁碼 10。

16

主題 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=350 \\ 3x+3y=270 \end{cases}$

解法

$$\begin{aligned} & \$350 \\ & \begin{array}{r} 3x+5y=350 \\ - (3x+3y=270) \\ \hline 2y=80 \\ y=40 \end{array} \\ & \begin{array}{r} 3x+5y=350 \\ - (3x+3y=270) \\ \hline 2y=80 \\ y=40 \end{array} \end{aligned}$$

開始解題

主題 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=350 \\ 3x+3y=270 \end{cases}$

解法

$$\begin{aligned} & \$350 \\ & \begin{array}{r} 3x+5y=350 \\ - (3x+3y=270) \\ \hline 2y=80 \\ y=40 \end{array} \\ & \begin{array}{r} 3x+5y=350 \\ - (3x+3y=270) \\ \hline 2y=80 \\ y=40 \end{array} \end{aligned}$$

開始解題

修正說明：

1. 同頁碼 9。

17

主題 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=350 \\ 3x+3y=270 \end{cases}$ 所以 $x=50, y=40$ 是聯立方程式的解

解法

$$\begin{cases} 3x+5y=350 & \text{--- ①} \\ 3x+3y=270 & \text{--- ②} \end{cases}$$

①-②

$$2y=80$$

$$y=40$$

將②式代入①式

$$3x+3 \cdot 40=270$$

$$3x+120=270$$

$$3x=270-120$$

$$3x=150$$

$$x=50$$

開始解題

主題 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=350 \\ 3x+3y=270 \end{cases}$

解法

$$\begin{cases} 3x+5y=350 & \text{--- ①} \\ 3x+3y=270 & \text{--- ②} \end{cases}$$

①-②

$$2y=80$$

$$y=40$$

將②式代入①式

$$3x+3 \cdot 40=270$$

$$3x+120=270$$

$$3x=270-120$$

$$3x=150$$

$$x=50$$

修正說明：

1. 增加消去符號
2. 其餘同頁碼 10。

18

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=4 \\ 2x-5y=11 \end{cases}$

主圖 加減消去法

所以 $x=3, y=-1$ 是聯立方程式的解

開始解題

解法

$$\begin{cases} 3x+5y=4 & \text{--- ①} \\ 2x-5y=11 & \text{--- ②} \end{cases}$$

①+②

$$\begin{cases} 5x=15 \\ x=3 & \text{--- ③} \end{cases}$$

將③式代入②式

$$\begin{cases} 2 \cdot 3 - 5y = 11 \\ 6 - 5y = 11 \\ -5y = 11 - 6 \\ -5y = 5 \\ y = -1 \end{cases}$$

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=4 \\ 2x-5y=11 \end{cases}$

主圖 加減消去法

解法

$$\begin{cases} 3x+5y=4 & \text{--- ①} \\ 2x-5y=11 & \text{--- ②} \end{cases}$$

①+②

$$\begin{cases} 5x=15 \\ x=3 & \text{--- ③} \end{cases}$$

將③式代入②式

$$\begin{cases} 2 \cdot 3 - 5y = 11 \\ 6 - 5y = 11 \\ -5y = 11 - 6 \\ -5y = 5 \\ y = -1 \end{cases}$$

修正說明：

1. 同頁碼 17。

19

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 5x-2y=-4 \\ 3x+4y=8 \end{cases}$

主圖 加減消去法

所以 $x=0, y=2$ 是聯立方程式的解

開始解題

解法

$$\begin{cases} 5x-2y=-4 & \text{--- ①} \\ 3x+4y=8 & \text{--- ②} \end{cases}$$

①×2

$$\begin{cases} 10x-4y=-8 & \text{--- ③} \\ 3x+4y=8 & \text{--- ②} \end{cases}$$

將③式代入②式

$$\begin{cases} 3 \cdot 0 + 4y = 8 \\ 4y = 8 \\ y = 2 \end{cases}$$

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 5x-2y=-4 \\ 3x+4y=8 \end{cases}$

主圖 加減消去法

解法

$$\begin{cases} 5x-2y=-4 & \text{--- ①} \\ 3x+4y=8 & \text{--- ②} \end{cases}$$

①×2

$$\begin{cases} 10x-4y=-8 & \text{--- ③} \\ 3x+4y=8 & \text{--- ②} \end{cases}$$

將③式代入②式

$$\begin{cases} 3 \cdot 0 + 4y = 8 \\ 4y = 8 \\ y = 2 \end{cases}$$

修正說明：

1. 同頁碼 17。

20

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=8 \\ 4x+3y=7 \end{cases}$

主圖 加減消去法

所以 $x=1, y=1$ 是聯立方程式的解

開始解題

解法

$$\begin{cases} 3x+5y=8 & \text{--- ①} \\ 4x+3y=7 & \text{--- ②} \end{cases}$$

①×4

$$\begin{cases} 12x+20y=32 & \text{--- ③} \\ 4x+3y=7 & \text{--- ②} \end{cases}$$

將③式代入②式

$$\begin{cases} 4x+3 \cdot 1 = 7 \\ 4x+3=7 \\ 4x=7-3 \\ 4x=4 \\ x=1 \end{cases}$$

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=8 \\ 4x+3y=7 \end{cases}$

主圖 加減消去法

解法

$$\begin{cases} 3x+5y=8 & \text{--- ①} \\ 4x+3y=7 & \text{--- ②} \end{cases}$$

將②式代入①式

$$\begin{cases} 4x+3 \cdot 1 = 7 \\ 4x+3=7 \\ 4x=7-3 \\ 4x=4 \\ x=1 \end{cases}$$

修正說明：

1. 同頁碼 17。

21

主題二 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=8 \\ 4x+3y=7 \end{cases}$ 所以 $x=1, y=1$ 是聯立方程式的解

開始解題

解法

① $3x + 5y = 8$ ----- ①
 ② $4x + 3y = 7$ ----- ②

① $\times 3$ 將②式代入①式
 $9x + 15y = 24$ ----- ③ $4 \cdot 1 + 3y = 7$
 ② $\times 5$ $3y = 7 - 4$
 $20x + 15y = 35$ ----- ④ $3y = 3$
 ③ - ④ $y = 1$
 $11x = 11$
 ⑤ $x = 1$ ----- ⑤

主題二 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} 3x+5y=8 \\ 4x+3y=7 \end{cases}$

解法

① $3x + 5y = 8$ ----- ① 將②式代入①式
 ② $4x + 3y = 7$ ----- ② $4 \cdot 1 + 3y = 7$
 ① $\times 3$ $3y = 7 - 4$
 $9x + 15y = 24$ ----- ③ $3y = 3$
 ② $\times 5$ $y = 1$
 $20x + 15y = 35$ ----- ④ $x = 1$
 ③ - ④ $y = 1$
 $11x = 11$
 ⑤ $x = 1$ ----- ⑤

修正說明：

1. 同頁碼 17。

22

主題二 加減消去法

解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} \frac{x}{2} - \frac{y}{3} = 3 \\ \frac{3x}{2} + 2y = 0 \end{cases}$ 所以 $x=4, y=-3$ 是聯立方程式的解

開始解題

解法

① $\frac{x}{2} - \frac{y}{3} = 3$ ----- ①
 ② $\frac{3x}{2} + 2y = 0$ ----- ②

① $\times 6$ 將②式代入①式
 $3x - 2y = 18$ ----- ③ $3x - 2 \cdot (-3) = 18$
 ② $\times 2$ $3x + 6 = 18$
 $3x + 4y = 0$ ----- ④ $3x = 18 - 6$
 ③ - ④ $3x = 12$
 $-6y = 18$
 ⑤ $y = -3$ ----- ⑤ $x = 4$

主題二 加減消去法

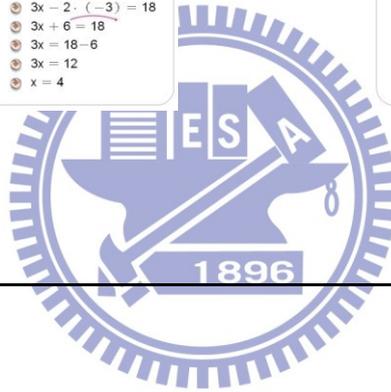
解二元一次聯立方程式 $\begin{cases} \frac{x}{2} - \frac{y}{3} = 3 \\ \frac{3x}{2} + 2y = 0 \end{cases}$

解法

① $\frac{x}{2} - \frac{y}{3} = 3$ ----- ① 將②式代入①式
 ② $\frac{3x}{2} + 2y = 0$ ----- ② $3x - 2 \cdot (-3) = 18$
 ① $\times 6$ $3x + 6 = 18$
 $3x - 2y = 18$ ----- ③ $3x = 18 - 6$
 ② $\times 2$ $x = 4$
 $3x + 4y = 0$ ----- ④ $x = 4$
 ③ - ④ $y = -3$
 $-6y = 18$
 ⑤ $y = -3$ ----- ⑤

修正說明：

1. 同頁碼 17。



附錄二 前測卷

解二元一次聯立方程式 前測

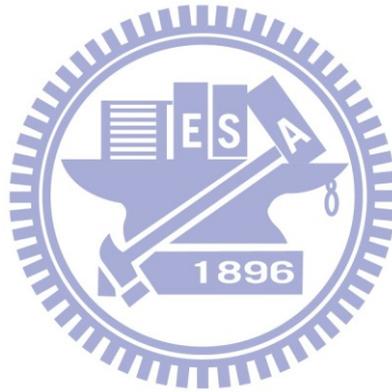
年級:_____ 座號:_____ 姓名:_____

1. 利用『代入消去法』求解

$$\begin{cases} x=2y \\ x+y=27 \end{cases}$$

2. 利用『加減消去法』求解

$$\begin{cases} 3x+5y=350 \\ 3x+3y=270 \end{cases}$$



3. 你學過解「二元一次聯立方程式」這個單元了嗎？

學過了（繼續回答第 4 題）

還沒學過（結束囉！接下來好好學喔！）

4. 你怎麼學的呢？

補習（補習班或家教）

自己預習

家人教的

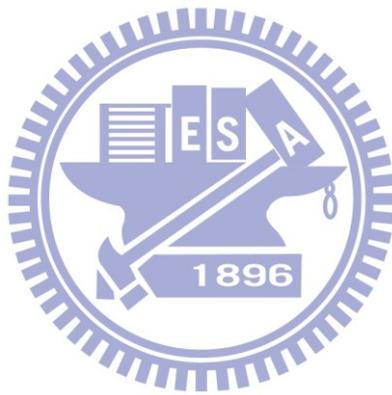
附錄三 學習單

第一單元 代入消去法 學習單

班級: _____ 座號: _____ 姓名: _____

$$1. \begin{cases} x = 2y \\ x + y = 27 \end{cases}$$

$$2. \begin{cases} y = 3 - 9x \\ 3x + 2y = 6 \end{cases}$$



$$3. \begin{cases} 2x + 6y = x + 41 \\ 3x + 4y = 39 \end{cases}$$

$$1. \begin{cases} 3x + 5y = 350 \\ 3x + 3y = 270 \end{cases}$$

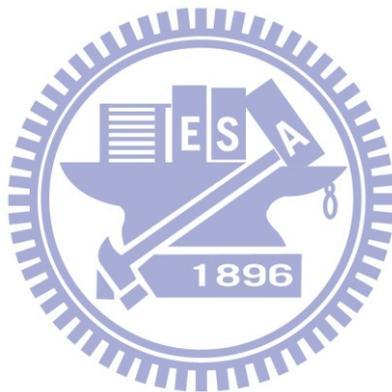
$$2. \begin{cases} 3x + 5y = 4 \\ 2x - 5y = 11 \end{cases}$$



$$3. \begin{cases} 5x - 2y = -4 \\ 3x + 4y = 8 \end{cases}$$

$$4. \begin{cases} 3x + 5y = 8 \\ 4x + 3y = 7 \end{cases}$$

$$5. \begin{cases} \frac{x}{2} - \frac{y}{3} = 3 \\ \frac{3x}{2} + 2y = 0 \end{cases}$$



附錄四 後測卷

第一單元、代入消去法

班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____

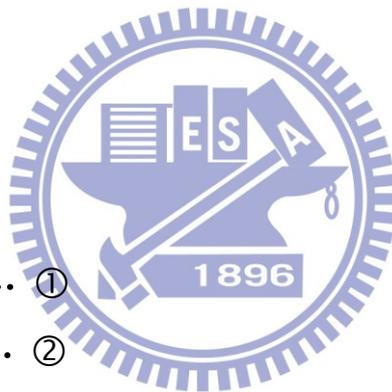
◎請用『代入消去法』計算下列二元一次聯立方程式。(※需列出計算過程)

1.

$$\begin{cases} x = 2y + 3 & \dots\dots\dots ① \\ 5x - 12y = 23 & \dots\dots\dots ② \end{cases}$$

2.

$$\begin{cases} 2x + y = 5 & \dots\dots\dots ① \\ 5x - 3y = 18 & \dots\dots\dots ② \end{cases}$$



第二單元、加減消去法

班級: _____ 座號: _____ 姓名: _____

◎請用『加減消去法』計算下列二元一次聯立方程式。(※需列出計算過程)

1.

$$\begin{cases} 5x + 2y = 17 & \text{..... ①} \\ 5x - 7y = 8 & \text{..... ②} \end{cases}$$

2.

$$\begin{cases} 2x + 5y = -10 & \text{..... ①} \\ 5x - 3y = 6 & \text{..... ②} \end{cases}$$



3.

$$\begin{cases} 3y = -4x - 5 & \text{..... ①} \\ 2x + y = -3 & \text{..... ②} \end{cases}$$

附錄五 認知負荷量表版本

版本一

【認知負荷量表】

※請根據您心中對「代入消去法」這課堂的感受，圈選下列各題的數字。

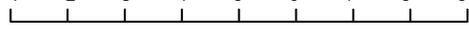
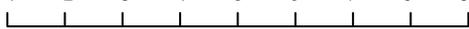
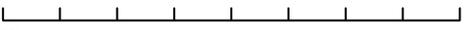
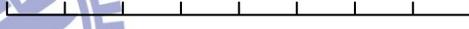
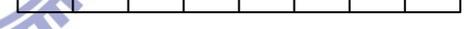
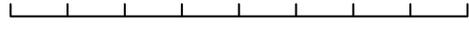
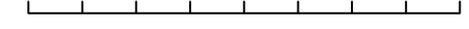
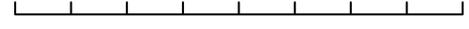
※請注意：每題只能圈選一個數字，數字愈小表示感受力愈弱，數字愈大表示感受力愈強。每個人感受不同，並沒有標準答案。

1、我覺得我在聽講時花了多少的心力	<div style="text-align: center;"> 極少 極多 1 2 3 4 5 6 7 8 9 </div>
2、我覺得「代入消去法」內容的困難度是	<div style="text-align: center;"> 極容易 極困難 1 2 3 4 5 6 7 8 9 </div>
3、在這堂課的學習過程中，我感受到的挫折感是	<div style="text-align: center;"> 極小 極大 1 2 3 4 5 6 7 8 9 </div>
4、對於把「代入消去法」學好，我覺得我的信心是	<div style="text-align: center;"> 極低 極高 1 2 3 4 5 6 7 8 9 </div>
5、我覺得在「代入消去法」的學習過程中，心中所感受到的壓力是	<div style="text-align: center;"> 極小 極大 1 2 3 4 5 6 7 8 9 </div>
6、我覺得這堂課的學習過程中，必須付出的注意力是	<div style="text-align: center;"> 極小 極大 1 2 3 4 5 6 7 8 9 </div>
7、我覺得這堂課的學習過程中，腦中必須同時記憶的方法與步驟是	<div style="text-align: center;"> 極少 極多 1 2 3 4 5 6 7 8 9 </div>
8.這堂課的學習過程中，感覺得疲勞程度是	<div style="text-align: center;"> 極低 極高 1 2 3 4 5 6 7 8 9 </div>

【認知負荷量表】

※請根據您心中對「代入消去法」這課堂的感受，圈選下列各題的數字。

※請注意：每題只能圈選一個數字，數字愈小表示感受力愈弱，數字愈大表示感受力愈強。每個人感受不同，並沒有標準答案。

1、我覺得我在聽講時花了多少的心力	<p style="text-align: center;">極少 極多</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> 
2、我覺得在聽完老師講解後「代入消去法」內容的困難度是	<p style="text-align: center;">極容易 極困難</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> 
3、在這堂課的學習過程中，我感受到的挫折感是	<p style="text-align: center;">極小 極大</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> 
4、對於把「代入消去法」學好，我覺得我的信心是	<p style="text-align: center;">極低 極高</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> 
5、我覺得在「代入消去法」的學習過程中，心中所感受到的壓力是	<p style="text-align: center;">極小 極大</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> 
6、我覺得這堂課的學習過程中，必須付出的專注力是	<p style="text-align: center;">極小 極大</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> 
7、我覺得這堂課的學習過程中，必須同時記憶很多的解題方法與步驟	<p style="text-align: center;">極少 極多</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> 
8、這堂課的學習過程中，感覺得疲勞程度是	<p style="text-align: center;">極低 極高</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> 

【認知負荷量表】

※請根據您心中對「代入消去法」這課堂的感受，圈選下列各題的數字。

※請注意：每題只能圈選一個數字，數字愈小表示感受力愈弱，數字愈大表示感受力愈強。

每個人感受不同，並沒有標準答案。

1.我覺得我在聽講時花了多少的 心力	極少 1	2	少 3	4	普通 5	6	多 7	8	極多 9
2.我覺得在聽完老師講解後「代入消去法」內容的 困難度 是	極容易 1	2	容易 3	4	普通 5	6	困難 7	8	極困難 9
3.在老師的引導、講解過程中容易找到相關訊息嗎？	極不容易 1	2	不容易 3	4	普通 5	6	容易 7	8	極容易 9
4.在老師的引導、講解過程中有足夠的 時間 思考嗎？	極不足 1	2	不足 3	4	剛剛好 5	6	很足夠 7	8	相當足夠 9
5.老師的引導、講解讓你容易理解嗎？	極不容易 1	2	不容易 3	4	普通 5	6	容易 7	8	極容易 9
6.我覺得這堂課的學習過程中，感受到的 壓力 是	極低 1	2	低 3	4	普通 5	6	高 7	8	極高 9
7.我覺得我有 信心 是將「代入消去法」學好	極沒信心 1	2	沒信心 3	4	普通 5	6	有信心 7	8	極有信心 9
8.這堂課的學習過程中，感覺得 疲勞程度 是	極少 1	2	少 3	4	普通 5	6	多 7	8	極多 9
9. 這堂課的學習過程中，我覺得很有 成就感	極不同意 1	2	不同意 3	4	普通 5	6	同意 7	8	極同意 9
10.我覺得學習過程中，必須同時記憶很多的解題方法與步驟	極不同意 1	2	不同意 3	4	普通 5	6	同意 7	8	極同意 9

版本四

【認知負荷量表】

※請根據心中對「代入消去法」這課堂的真實感受，圈選下列各題的數字。

※請注意：每題只能圈選一個數字，數字愈小表示感受力愈弱，數字愈大表示感受力愈強。

每個人感受不同，並沒有標準答案。

1. 在學習之前我認為「代入消去法」在學習上會是容易的	極不同意 1	2	不同意 3	4	普通 5	6	同意 7	8	極同意 9
2. 在學習過程中我實際上用了多少心力	極少 1	2	少 3	4	普通 5	6	多 7	8	極多 9
3. 在聽完老師講解後我覺得「代入消去法」的難易度是	極容易 1	2	容易 3	4	普通 5	6	困難 7	8	極困難 9
4. 在老師的引導、講解過程中，容易找到相關訊息嗎？	極不容易 1	2	不容易 3	4	普通 5	6	容易 7	8	極容易 9
5. 在老師的引導、講解過程中，我有足夠的時間思考嗎？	極不足 1	2	不足 3	4	剛好 5	6	足夠 7	8	相當足夠 9
6. 在這堂課的學習過程中，我覺得順暢嗎？	極不順暢 1	2	不順暢 3	4	普通 5	6	順暢 7	8	極順暢 9
7. 我覺得這堂課的學習過程中，我覺得有壓力嗎？	極低 1	2	低 3	4	普通 5	6	高 7	8	極高 9
8. 上這堂課後我覺得我對學好「代入消去法」有信心嗎？	極沒信心 1	2	沒信心 3	4	普通 5	6	有信心 7	8	極有信心 9
9. 這堂課的學習過程中，我覺得很有成就感	1 極不同意	2	3 不同意	4	5 普通	6	7 同意	8	9 極同意
10. 我覺得學習過程中，必須同時處理很多訊息	極不同意 1	2	不同意 3	4	普通 5	6	同意 7	8	極同意 9

【認知負荷量表】

※請根據心中對「代入消去法」這課堂的**真實感受**，圈選下列各題的數字。

※請注意：每題只能圈選一個數字，每個人感受不同，並沒有標準答案。

感受問題	感受程度						
	非常同意	同意	還算同意	普通	有點不同意	不同意	非常不同意
1. 在學習之前我認為「代入消去法」在學習上會是容易的	1	2	3	4	5	6	7
2. 在學習過程中我實際上用了很少心力	1	2	3	4	5	6	7
3. 在聽完老師講解後我覺得「代入消去法」的難易度是低的	1	2	3	4	5	6	7
4. 在老師的引導、講解過程中，容易找到相關訊息	1	2	3	4	5	6	7
5. 在老師的引導、講解過程中，我有足夠的時間思考	1	2	3	4	5	6	7
6. 在這堂課的學習過程中，我覺得是順暢的	1	2	3	4	5	6	7
7. 我覺得這堂課的學習過程中，我覺得沒有壓力	1	2	3	4	5	6	7
8. 上這堂課後我覺得我對學好「代入消去法」有信心	1	2	3	4	5	6	7
9. 這堂課的學習過程中，我覺得有成就感	1	2	3	4	5	6	7
10. 我覺得學習過程中，不必須同時處理很多訊息	1	2	3	4	5	6	7

【認知負荷量表】

※請根據心中對「代入消去法」這課堂的真實感受，圈選下列各題的數字。

※請注意：每題只能圈選一個數字，每個人感受不同，並沒有標準答案。

感受問題	感受程度						
	非常不同意	不同意	有點不同意	普通	還算同意	同意	非常同意
1. 在學習之前我認為「代入消去法」在學習上會是容易的	1	2	3	4	5	6	7
2. 在學習過程中我實際上用了很少心力	1	2	3	4	5	6	7
3. 在聽完老師講解後我覺得「代入消去法」的難易度是低的	1	2	3	4	5	6	7
4. 在老師的引導、講解過程中，容易找到相關訊息	1	2	3	4	5	6	7
5. 在老師的引導、講解過程中，我有足夠的時間思考	1	2	3	4	5	6	7
6. 在這堂課的學習過程中，我覺得是順暢的	1	2	3	4	5	6	7
7. 我覺得這堂課的學習過程中，我覺得沒有壓力	1	2	3	4	5	6	7
8. 上這堂課後我覺得我對學好「代入消去法」有信心	1	2	3	4	5	6	7
9. 這堂課的學習過程中，我覺得有成就感	1	2	3	4	5	6	7
10. 我覺得學習過程中，不必須同時處理很多訊息	1	2	3	4	5	6	7