

國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士班
碩士論文

指導教授：邱美虹博士

周金城博士

以新興臉部微表情分析技術探討
電腦互動 POEC 與師生共構教學之成效
— 奈米級鐵粉燃燒認知衝突實驗

Effects of Computerized Interactive POEC and
Student/Teacher Co-construction Instructions Analyzed by
the Use of Novel Facial Micro-expressions Technique
– Burning Nano-iron Cognitive Conflict Experiment

研究生：謝秉桓

中華民國 103 年 1 月

誌 謝

進入科教所之後，我都一直認為我是個十分幸運的人，從進入科教所的那一刻直到完成論文的這一天，有太多太多的貴人幫忙，在這短短的文字中沒辦法一一道謝，也沒辦法用這短短的文字表達我內心的感謝。

首先要感謝兩位指導教授邱美虹教授和周金城教授，邱老師您就像我學術上的母親一般，從我一進入科教所就受到老師您的帶領，引領我進入科學教育這廣博的領域，也讓我脫離大學時代對化學的學習挫折感。也感謝周老師對本論文的臉部微表情分析的指導，在論文發展的各階段只要遇到困難遲滯不前時，都能夠在周老師那裏得到解決辦法，若沒有周老師您的指導，我可能現在還在寫前三章吧！

另外要感謝 group 的文龍學長、建坪學長、曉蘭學姐、弘民學長、玉如學姐，若沒有文龍學長一開始在人臉計畫的帶領和啟發就沒有這篇論文。建坪學長更是督促我在實習階段持續進行研究的推手，更從您身上學到了建模的知識和做研究的態度。若沒有一次又一次和曉蘭學姐在 meeting 或以外的時間對此篇論文的討論，論文也不會如此順利。弘民學長和玉如學姐在研究室中認真做事，還要應付我這個很吵的研究生的問題，十分的感謝你們。

感謝百興學長、頌沛學長、佳誠學長，不論是以前在地下室打桌球還是來我家小酌，在大家玩得正 high 的同時，你們都能不厭其煩的應付我偷問一些研究上的問題，雖然不在同一個 group 你們都還是傾囊相授且毫不藏私，也說明科教所是個和樂的大家庭。啟華、漢森、立維，感謝你們不管在研究階段的幫忙還是每天在生活中互相照顧、課業上互相幫忙勉勵，謝謝你們！兄弟！

最後感謝我身邊最親近的那個人，雖然妳看我準備研究所，正在準備教甄的妳就順便報名一下就考上了，兩年就畢業了，但是沒有妳的鼓勵和督促我也沒辦法順利完成。還有最重要的是我的父母親在經濟上對我的支援，讓我這不成材的兒子不用擔心經濟上的問題。未來我將全力以赴，不再讓你們失望。

摘要

本研究試圖以臉部微表情分析電腦互動 POEC 與師生共構教學之成效，其中研究內容可分為四個研究目的，分別為：(1)探討使用「可燃的鐵」認知衝突實驗影片進行教學是否具有概念改變成效；(2)探討有無使用 POEC 策略進行教學，學生學習歷程的學習成就與臉部微表情變化差異之關係；(3)探討學生觀察「可燃的鐵」教學影片時有無使用師生共構，學習成就與臉部微表情變化差異；(4)探討學生觀察「可燃的鐵」實驗影片之實驗結果時，臉部微表情變化情形。

由於本研究選擇「可燃的鐵」實驗進行教學，此一實驗是以草酸鐵製備奈米級鐵粉，並由高處往下倒落產生自燃的認知衝突現象，主要教導學生表面積與反應速率概念，反應速率概念主要為國中二年級下學期內容，也因此本研究選擇國中二年級學生並於上學期進行施測（共 115 名），以「可燃的鐵」概念問卷施以前後測，並在施測同時錄影收集受測學生之臉部微表情資料，並以臉部微表情辨識軟體進行事後分析。

本研究之研究結果發現：(1)「可燃的鐵」實驗是一個極佳的認知衝突實驗；(2) 使用具認知衝突情境的認知衝突實驗影片進行教學成效佳；(3) 經歷認知衝突情境的學生較容易產生概念改變；(4) 實驗影片教學中必須加入「預測」步驟；(5) 歷經認知衝突後仍須經由教學才可產生概念改變；(6) 實驗影片教學中「慢速重播」步驟是絕對必要的。

關鍵字：臉部微表情、認知衝突、POEC、師生共構

Abstract

This study attempts to figure out the effectiveness of computerized interactive POEC and student/teacher co-construction instructions which analyzed by the use of novel facial micro-expressions technique. The research purposes are as the following:

1. Investigate the effectiveness of conceptual change which use “burning nano-iron” cognitive conflict experiment film to teach.
2. Investigate the relationships between students’ learning achievement and facial micro-expressions change whether the use POEC strategies or not.
3. Investigate the differences between students’ learning achievement and facial micro-expressions change whether the use of student/teacher co-construction instructions or not, when students watching instructional videos.
4. Investigate the situations of facial micro-expressions changes, when students watching the results of “burning nano-iron” cognitive conflict experiment film.

This study chooses “burning nano-iron” experiment as teaching material. “Burning nano-iron” experiment makes iron powder by diiron trioxalate. Then the iron powder pour down and burn. It’s a cognitive conflict phenomenon for students. It can also teach students the concept of “reaction rate and surface area”. The concept of “reaction rate and surface area” will be taught at the second semester of eighth grade. Therefore, choose 115 eighth grade students and hold at the first semester. Impose pretest-posttest by “burning nano-iron” concept questionnaire. Collect students’ face video and analyzed by facial micro-expressions recognition system.

The research results are as the following:

1. “Burning nano-iron” experiment is an excellent cognitive conflict experiment.
2. Using cognitive conflict experiment which contains cognitive conflict situations to teach has good effect.

3. Students who experience cognitive conflict situations are more prone to conceptual change.
4. “Predict” step must be added to the teaching of experimental film.
5. After the cognitive conflict still have to teach to achieve conceptual change.
6. “Slow playback” step must be added to the teaching of experimental film.

Keywords: facial micro-expressions, cognitive conflict, POEC, student/teacher co-construction

目錄

第壹章	緒論	1
第一節	研究動機.....	3
第二節	研究目的與問題.....	5
第三節	名詞釋義.....	7
第四節	研究範圍與限制.....	9
第貳章	文獻探討	11
第一節	臉部表情與科學教育之相關研究.....	11
第二節	認知衝突與概念改變相關研究.....	15
第三節	POEC 教學法相關研究	20
第四節	師生共構相關研究.....	22
第五節	小結.....	24
第參章	研究方法	25
第一節	研究設計.....	25
第二節	研究對象.....	28
第三節	教學與教材設計.....	29
第四節	研究工具.....	35
第五節	研究流程.....	40
第六節	資料分析.....	43
第肆章	研究結果與討論	49
第一節	實驗影片教學前後概念學習情形.....	49
第二節	實驗影片教學中臉部微表情變化與概念學習情形.....	53
第三節	「可燃的鐵」概念問卷試題分析結果.....	69
第四節	討論.....	76

第伍章	結論與建議	79
第一節	結論.....	79
第二節	建議.....	82
參考文獻.....		85
壹、中文部分.....		85
貳、英文部分.....		86
附錄.....		90
附錄一	臉部資料分析使用同意書.....	90
附錄二	可燃的鐵實驗流程.....	92
附錄三	可燃的鐵概念問卷.....	94
附錄四	食譜組教學投影片	99
附錄五	POEC 組與(POEC) _{S/T} 組教學投影片	103
附錄六	食譜組與 POEC 組教學影片之初稿投影片	113
附錄七	(POEC) _{S/T} 組教學影片之初稿投影片	117

表 次

表 2-2-1	學習者面對異例的反應.....	17
表 3-1-1	受測學生分組差異表.....	26
表 4-1-1	三組學生「可燃的鐵」概念問卷組內前後測之t檢定摘要表.....	50
表 4-1-2	三組學生概念問卷後測描述性統計量.....	51
表 4-1-3	三組學生概念問卷前後測組間單因子共變數分析(ANCOVA).....	51
表 4-1-4	三組學生概念問卷前後測組間單因子共變數分析(ANCOVA)之事後比較.....	52
表 4-2-1	臉部微表情資料取樣成功百分(%).....	54
表 4-2-2	POEC 組和(POEC)S/T 組受測學生觀察認知衝突實驗影片表情變化次數及頻率.....	65
表 4-2-3	POEC 組和(POEC) _{S/T} 組之教學期間表情變化頻率.....	67
表 4-3-1	三組學生不同類型試題前後測答對率(%)差異比較.....	69
表 4-3-2	三組學生氧化還原試題各題前後測答對率(%)差異比較.....	70
表 4-3-3	三組學生反應速率試題各題前後測答對率(%)差異比較.....	72
表 4-3-4	三組學生可燃的鐵實驗試題各題前後測答對率(%)差異比較.....	73

圖 次

圖 1-0-1 「情緒」和「學習」之近二十年研究發表次數.....	1
圖 1-0-2 「臉部表情」和「學習」之近二十年研究發表次數.....	2
圖 2-1-1 Chiu et al. (2014) 理論架構圖.....	13
圖 2-2-1 Chi 本體樹組織架構圖.....	18
圖 3-1-1 研究架構圖.....	26
圖 3-3-1 三組投影片流程圖.....	30
圖 3-3-2 正立金相顯微鏡.....	32
圖 3-3-3 10x100 倍正立金相顯微鏡下鐵粉圖像.....	33
圖 3-3-4 食譜組與 POEC 組教學影片範例圖.....	34
圖 3-3-5 (POEC) _{S/T} 組教學影片範例圖.....	34
圖 3-4-1 研究概念圖.....	36
圖 3-4-2 FaceReader 臉部微表情辨識系統分析示意圖.....	38
圖 3-5-1 研究流程圖.....	41
圖 3-5-2 研究甘梯圖.....	42
圖 3-6-1 研究樹狀圖 1.....	45
圖 3-6-2 研究樹狀圖 2.....	46
圖 3-6-3 研究樹狀圖 3.....	47
圖 3-6-4 研究樹狀圖 4.....	48
圖 4-2-1 食譜組之受測學生臉部微表情及前後測成績學習歷程分析圖.....	55
圖 4-2-2 POEC 和 (POEC) _{S/T} 組之受測學生實驗預測及臉部微表情學習歷程分析圖.....	57
圖 4-2-3 POEC 組之受測學生實驗預測、臉部微表情及前後測成績學習歷程分析圖.....	58
圖 4-2-4 (POEC) _{S/T} 組之受測學生實驗預測、臉部微表情及前後測成績學習歷	

程分析圖.....	59
圖 4-2-5 POEC 組概念問卷前後測結果與表情變化關係圖.....	61
圖 4-2-6 (POEC) _{S/T} 組概念問卷前後測結果與表情變化關係圖.....	61
圖 4-2-7 POEC 和(POEC) _{S/T} 組之受測學生實驗預測、臉部微表情、實驗解釋及 前後測成績學習歷程分圖.....	63
圖 4-2-8 「鐵粉由高處掉落燃燒」畫面.....	65
圖 4-2-9 「鐵粉引燃桌面之面紙」畫面.....	65
圖 4-2-10 POEC 組和(POEC) _{S/T} 組受測學生觀察認知衝突實驗影片表情變化次 數及頻率關係圖.....	66

第壹章 緒論

在一般人的生活經驗中，都知道「臉部表情(facial expression)」和「情緒(emotion)」兩者之間存在著緊密的關係，甚至在中文裡「喜、怒、哀、樂」可以同時表達一個人的情緒，也可以代表著人的臉部表情。一直以來，許多學者都有對臉部表情與情緒之關係進行研究，而有記載的文獻甚至可以追溯到十九世紀中期（引自 Kring 和 Sloan，2007）。然而臉部表情真的能夠代表情緒嗎？而情緒的改變會影響學習嗎？如果能夠影響的話那又是如何影響的呢？

其實和情緒相關的研究一直都持續的在進行，研究者由 Web of Science 資料庫進行關鍵字搜索（至 103 年 1 月 14 日），先以「emotion（情緒）」和「learning（學習）」兩個關鍵字進行查詢，可查詢到近二十年內共有 3667 篇相關論文，且主要分佈在腦神經科學、心理學、教育以及行為科學，論文的數量和年份的關係可見圖 1-0-1，由圖中顯示情緒與學習相關的研究有越來越受到重視的趨勢。若將關鍵字聚焦到本研究之所關心之情緒指標「facial expression（臉部表情）」並和「learning（學習）」進行查詢，則可查詢到近二十年內共有 891 篇相關論文，且論文數量與年份之趨勢也是逐漸受到重視的快速上升（見圖 1-0-2）。

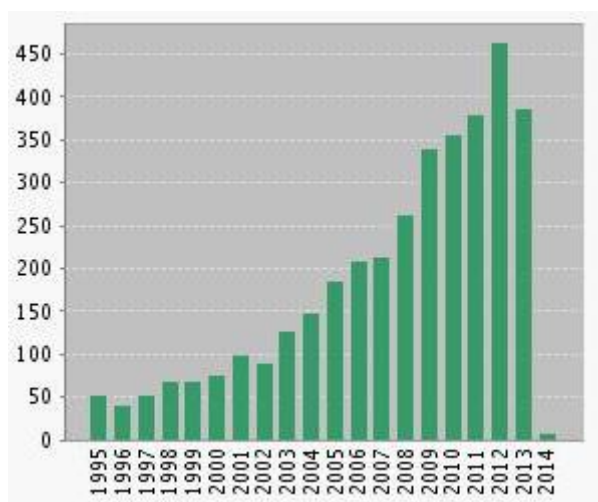


圖 1-0-1 「情緒」和「學習」之近二十年研究發表次數

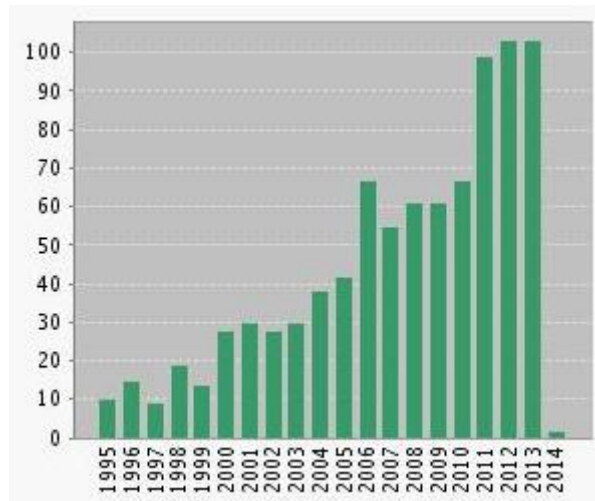


圖 1-0-2 「臉部表情」和「學習」之近二十年研究發表次數

而本研究試圖探討能否以臉部表情為指標，並藉由臉部微表情資料探討學生使用實驗影片進行科學學習。且藉由臉部微表情辨識系統提供即時的生理訊息，可彌補先前情緒相關研究中大部分使用自陳問卷的缺點，研究者期望能以臉部微表情辨識系統為工具，討論實驗演示影片中加入不同元素後，能否對學生的科學學習造成影響，最後再藉由此些影響討論臉部微表情辨識系統可否作為科學學習的研究工具。

第一節 研究動機

研究者就在讀國立台灣師範大學科學教育研究所時有幸接受邱美虹教授的指導，並加入其「科學教育中概念改變和建模實驗室」團隊，並參與了國科會「人臉表情辨識系統在科學教育上的應用—發展測驗與研究輔助工具」研究計畫（簡稱人臉計畫），在參加入臉計畫的過程中也很幸運地接受另一位計畫主持人，也就是國立台北教育大學周金城副教授的指導，在兩位老師的指導下也使的研究者對臉部微表情在科學教育上的應用有更進一步的認識並引起我以臉部微表情為主題進行研究的研究動機。而研究者在執行人臉計畫的過程中常有機會使用到臉部微表情辨識系統分析受測學生的臉部微表情，並了解以臉部微表情進行科學教育相關研究在科學教育領域是極具發展潛力的，臉部微表情作為即時的生理訊號觀察學生學習科學概念時的表情變化，能夠應用在各種科學教育領域的研究。

研究者在執行人臉計畫時常會遇到一些技術上的問題。通常在進行臉部微表情研究時，都會使用以電腦撥放影片與投影片的方式進行，同時對學生表情錄影，而影片內容主要為具有認知衝突的反直覺實驗演示影片，並希望藉由認知衝突引發學生的概念改變。然而研究指出，人們的情緒系統是複雜且容易出錯的

（Sylwester, 1994），在研究者進行研究計畫時也常遇到在事後晤談學生中，學生回答他自己在看到實驗影片中的反直覺現象有感到驚訝，但由錄影的臉部微表情分析結果卻顯示沒有任何的表情改變，亦或是學生個性較為內斂，在實驗影片的反直覺現象出現後，有感受到驚訝卻不輕易的表現在臉部微表情上。

因此研究者認為，台灣學生個性較為保守內向，在實行人臉計畫時，受測學生對陌生的研究人員無法卸下心防，因此無法明確的表達情緒，以致研究可能失準。然而，本研究的受測對象為研究者任教國中之學生，希望藉由此方便取樣的方式避免受測者對於陌生人的警戒心與緊張的情緒，進而呈現出最真實的情緒，增加研究資料的可信度。

另外，在執行人臉計畫時由於研究工具的限制，實驗演示的部分必須以實驗

影片的方式進行，其實使用實驗影片的方式進行教學由來已久，由於器材上或空間上的限制，身處教學現場的教師有時必須以實驗演示影片取代實驗室教學和課堂演示實驗，甚至近年風行的 E 化網路教學平台上，實驗影片也是很重要的一个讓學生體驗實驗效果的方法。然而回顧文獻卻很難找到實驗影片的相關研究，也難以得到一個「好的實驗影片的規準」，然而使用實驗影片進行教學，與演示法教學策略是極為相似的，也因此研究者認為「POEC 教學法」(邱美虹等人，2005)可能適用在實驗影片教學上，POEC 教學法一直以來都被認為適用於實驗演示的教學策略，若能將其元素加入實驗影片，研究者認為應該能對學生藉由實驗影片所進行的科學學習有正面的影響。另外，現今實驗影片的教學部分時常流於幻燈片式或是直述式的教學，對於學生而言缺乏吸引力，無法引起學生的學習動機，而研究者認為將教學影片的內容等同於教師實際演示，影片中加入教師與學生的角色，在教學影片中加入師生共構(Clement 2002, 2008)的歷程，以設計過的蘇格拉底式對話讓影片中的師生建構出實驗影片的教學目標，能夠讓觀賞實驗影片的學生能夠藉此學習。

因此本研究之研究設計主要是將學生分為三組：第一組為傳統教組，猶如一般常見之實驗演示影片，一步一步循著實驗步驟進行，並以類似幻燈片的教學進行實驗教學；第二組為 POEC 組，將實驗影片中加入 POEC 的步驟，要求學生預測實驗結果的步驟，要學生解釋理由並外顯化「比較」的歷程；第三組則為 (POEC)_{S/T} 組，亦即 POEC 與師生共構組，除了在影片中有 POEC 步驟外，在教學的部分將一般幻燈片式的教學改為師生共構之教學。研究者會探討此三組學生經操弄後前後測概念問卷結果與臉部微表情之改變，探討臉部微表情做為科學學習研究工具的成效。

第二節 研究目的與問題

研究者希望能以臉部微表情為指標，並藉由臉部微表情資料分析實驗影片進行科學學習時，POEC 教學法和師生共構對學生學習的影響。在一系列不同的實驗影片教學後分析學生的概念問卷與臉部微表情資料，以了解 POEC 教學法之成效以及師生共構對於學生科學學習的影響，並希望所得到的結果能夠給予設計實驗影片的教師實質的建議，此即為本研究的主要研究目的。

根據本研究之研究背景與動機以及上述說明，本研究的研究目的歸納如下，並基於下列四點研究目的，延伸出以下之研究問題：

研究目的 1. 探討使用「可燃的鐵」認知衝突實驗影片進行教學是否具有概念改變成效。

問題 1-1 「可燃的鐵」實驗是否為一有效的認知衝突實驗？

問題 1-2 使用「可燃的鐵」實驗進行概念改變教學是否有效？

問題 1-3 使用「可燃的鐵」實驗進行概念改變教學對何種概念較具成效？

研究目的 2. 探討有無使用 POEC 策略進行教學，學生學習歷程的概念成就與臉部微表情變化差異之關係。

問題 2-1 使用 POEC 策略進行教學與非 POEC 策略進行教學，學生學習歷程中概念成就有無差異？差異為何？

問題 2-2 使用 POEC 策略進行教學與非 POEC 策略進行教學，學生學習歷程中臉部微表情變化有無差異？差異為何？

研究目的 3. 探討學生觀察「可燃的鐵」教學影片時有無使用師生共構，概念成就與臉部微表情變化差異。

問題 3-1 學生觀察「可燃的鐵」教學影片時有無使用師生共構，概念成就差異為何？

問題 3-2 學生觀察「可燃的鐵」教學影片時有無使用師生共構，臉部微表情變化差異為何？

研究目的 4. 探討學生觀察「可燃的鐵」實驗影片之實驗結果時，臉部微表情變化情形。

問題 4-1 學生觀察「可燃的鐵」實驗影片之實驗結果時，各階段臉部微表情變化頻率模式為何？

第三節 名詞釋義

壹、臉部微表情

臉部微表情為人類臉部不同部位肌肉變動所產生，通常被用以表達人類的情緒，而 Ekman(1999)的研究中，將人類表情除了中性(neutral)外，包括其他六種基本表情，包括：快樂、驚訝、噁心、悲傷、生氣以及害怕。而此七種表情分類日後也成為臉部微表情變化的指標。本研究所使用的臉部微表情分析軟體便是以 Ekman 的臉部微表情分類標準為基礎設計。

貳、認知衝突

本研究使用實驗影片進行教學，而實驗影片中包含認知衝突實驗—可燃的鐵，而認知衝突此一說法源自於皮亞傑的自我協調理論 (Piaget, 1970)，學習者遇到無法理解的事物時會有同化與調適的作用，其中無法理解的事物便被視為認知衝突。而本研究中則依據 Posner 等人(1982)提出之概念改變模式(conceptual change model, CCM)中提到學生產生概念改變的四個條件的第一個條件「學習者不滿意其原有概念」，而將使學習者產生不滿意原有概念的過程稱為認知衝突，而研究中的認知衝突實驗便是用以引起受測學生概念改變的。

參、POEC 教學法

邱美虹等人(2005)認為學生在科學學習的過程中，若使用 POE 教學策略應該要加上「比較」的步驟，而 POE 教學策略代表「預測(Prediction)-觀察(Observation)-解釋(Explanation)」(White & Gunstone, 1992)，改變為「預測(Prediction)-觀察(Observation)-解釋(Explanation)-比較(Comparison)」教學法，認為學生應該對觀察到的現象和預測做比較，才能達到學生在學習的過程中，針對衝突的知識進行思考的目的(邱美虹等人合著，2005)。本研究將使用 POEC 教

學法，以了解此教學法對學生使用實驗影片進行科學學習的影響。

肆、師生共構

「共構」一詞英文為 co-construction，較常用於社會建構相關的文獻中，用以表示學生互動討論建構知識的過程，常使用課室觀察的相關方式進行研究 (Brown, Reveles & Kelly, 2005 ; Keys & Bryan, 2001 ; Rafal, 1996; Roth & Roychoudhury, 1993 ; Tao & Gunstone, 1999)。而 Clement (2002, 2008)提到「師生共構 student/teacher co-construction」並認為師生共構是教師和學生共同產生想法並建構模型的歷程。在本研究中將師生共構歷程認為是教師和學生共同建立知識的互動歷程。

第四節 研究範圍與限制

本研究有下列三項研究的範圍與限制：

- 一、臉部微表情辨識系統為一項新興科技，而目前技術為國外開發，雖然程式中有東方臉孔的模式，但其臉部資料庫開發仍主要以西方人的臉為主，經過多次施測後發現，臉部微表情辨識系統中對於人的情緒並未達到能準確判斷該受測者之情緒的程度，目前只能達到判斷「有無臉部微表情轉變」的程度，而本研究也將以有無表情轉變為基準，不做出過度的推論。
- 二、本研究使用立意取樣並使用臉部微表情辨識系統為研究工具，而此工具施測過程較為繁雜，資料分析過程也較為繁複，因此研究對象共計 115 名，不宜過度推論。
- 三、本研究主要探討學生使用實驗影片進行科學學習之狀況，研究結果也較適合套用在使用實驗影片進行科學教學的狀況下，一般課室教學的情境並不能完全套用。
- 四、受到研究工具之限制，以及為了控制各項變因，本研究選擇使用電腦投影片與影片的方式呈現，而並非選擇教師親自演示並教學的方式，然而此方式進行教學研究摒除了師生間互動的人為因素，在課室教學現場應因教師的參與而有所修正。

第貳章 文獻探討

本章主要討論過去的研究與相關文獻，並分為五個部分。第一節為臉部表情與科學教育之相關研究，討論過去對於脸部表情與情緒的相關研究，再討論脸部表情與科學教育相關研究；第二節為認知衝突與概念改變相關研究，討論使用認知衝突進行概念改變教學相關研究；第三節為 POEC 教學法相關研究，探討 POEC 教學法之成效與使用時機；第四節為師生共構相關研究，探討師生共構於教學上之成效；第五節則對前四節內容進行綜合討論。

第一節 脸部表情與科學教育之相關研究

脸部表情相關研究在近二十年來蓬勃的發展，作者在 Web of Science 電子資料庫中以“facial expressions (脸部表情)”為關鍵字對相關組題進行搜尋，發現自 1994 至 2014 年初一共有 14624 篇相關文獻（至 103 年 1 月 14 日）而其中包括了脸部表情辨識（例如：Hammal, Couvreur, Caplier, & Rombaut, 2007）此類的文獻，而這也是本研究之脸部微表情辨識研究工具的理論基礎。不過令人訝異的是，若將這些文獻對其進行不同領域的分類，發現與教育有直接相關的文章總共才 147 篇，這些文章中更沒有任何與科學教育有直接相關的文章出現。因此邱美虹教授與其研究團隊利用脸部微表情辨識進行科學教育相關的先驅研究，並於 2013 年底發表了相關的研究結果，而本研究便是以此研究(Chiu et al., 2014)結果為基礎進行。

一、脸部表情與情緒

進行脸部微表情的相關研究前，所有的研究者想必都問過自己這個問題：「為什麼我們要了解脸部表情？」。脸部表情是情緒最主要的傳達方式，而作者相信研究者對脸部表情感到興趣進而深入研究的研究者內心必定會有一個研究假設，

此一假設即是「受測者的臉部表情代表著他們的情緒」。

對於人類情緒的相關研究有著極為悠久的歷史，甚至可以回推到十九世紀 Charles Darwin 其著作 *The Expression of the Emotions in Man and Animals*，Darwin (1896)提到臉部表情具有一般性(universal)以及與生俱來的特性。到了近代，因科技的進步，對於情緒的測量也有了多樣化的方式及進展。其中 Mauss & Robinson (2009)的研究中整理了近代各種情緒相關的測量方式，其中包括：自我報告、驚嚇反應幅度、fMRI、聲音特色、膚電、觀察員評斷（臉部微表情）...等。而其中使用觀察員評斷臉部微表情的方法，是利用 Ekman (1999) 的研究將人類的臉部表情分為除了中性(neutral)之外，還有其他六種基本表情，包括：快樂、驚訝、噁心、悲傷、生氣以及害怕。而此七種表情的分類方式主要是依照臉部不同部位肌肉之變化作為區隔，而 Ekman 也將此七種表情分類做出臉部表情的編碼系統並被廣泛使用，此一系統被稱為「Facial Action Coding System（臉部動作編碼系統）」(FACS; Ekman & Friesen, 1978; Ekman, Friesen, & Hager, 2002)，在早期的臉部辨識研究主要使用具有臉部動作辨識執照的觀察員進行觀察員評斷，其主要評斷的方式是觀察員對某一片段之受測者照片進行評斷，而評斷的規準就是依照 FACS 所訂下的編碼規則對一張張的照片進行觀察員評斷。而本研究所使用之臉部微表情辨識系統是將此一方法經由電腦自動化，但仍依照 FACS 的標準以一秒鐘擷取數張畫面進行編碼的方式辨識表情。

二、臉部表情與科學教育

經由文獻的搜尋，發現近代幾乎沒有任何臉部表情與科學教育相關的研究，然而將臉部表情用於科學教育研究具有易觀察且方便運用的特性，因此 Chiu et al. (2014)的研究正式將臉部微表情用於觀察學生進行科學學習的用途。然而，在科學教育的領域一直有一大部分的學者試圖結合生理訊號進行科學教育的實證研究，而這些生理訊號主要以腦波儀和眼動儀為大宗。腦波技術和眼動儀相關技術在科學教育的相關研究已經趨於成熟，而臉部微表情的相關科學教育研究則在起

步階段，也因此進行臉部微表情研究時會選擇含有「認知衝突」的相關題材著手以引起學生的臉部微表情變化並觀察學生進行科學學習或概念改變的過程與臉部微表情之間的關係。

Chiu et al. (2014) 研究中主要探討臉部微表情 (facial microexpression state, FMES) 的變化能否用以判別認知衝突的瞬間，由於引起認知衝突是概念改變發生的四個條件之首 (Posner et al., 1982)，也因為如此，若受測學生的先前知識與其所看到的實驗結果有不同，便會產生認知衝突，概念改變就會發生。而此研究中的研究問題有以下兩點：

1. 概念衝突能夠引發臉部微表情的變化嗎？
2. 「缺乏臉部微表情變化」能夠成為缺乏概念改變的指標嗎？

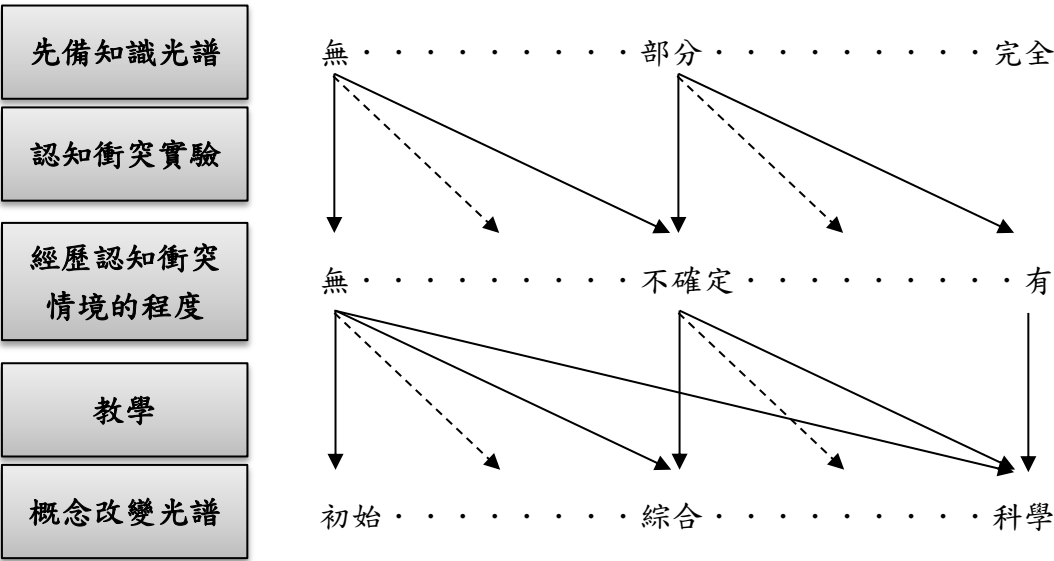


圖 2-1-1 Chiu et al. (2014) 理論架構圖

圖 2-1-1 為 Chiu et al. (2014) 的研究理論架構圖，由圖中可看到在研究的一開始，研究者必須先了解學生的先備知識程度，而先備知識的程度猶如一道連續的光譜，光譜越左側表示受測學生對於理解實驗內容之先備知識越少，反之光譜越靠右側則表示受測學生擁有越多理解實驗內容所需要的先備知識，在研究中則會先以前測測得先備知識程度。而受測學生的先備知識則會和異例實驗內容相互作

用而產生認知衝突。至於受測學生所經歷之認知衝突程度則由沒有經歷認知衝突情境到有經歷認知衝突情境，若學生經歷了不同程度的認知衝突情境後經過教學則會產生不同程度的概念改變，概念改變的程度也由少到多分別為初始模型、綜合模型到科學模型，且概念改變也如同光譜具連續性。學習者在經歷異例實驗和實驗後教學後，其過程會以如圖 2-1-1 中的路徑產生概念改變，而這些路徑並不會由光譜的右側往左側前進，也就是說有較多先備知識的學生其經歷認知衝突情境的程度會較高，概念改變的光譜也會較靠近科學模型。

結果顯示，大部分對異例實驗做了錯誤預測的學生經歷認知衝突時都有被偵測到臉部微表情變化。更進一步可發現，缺乏臉部微表情變化可成為較低程度概念改變的指標，而存在著臉部微表情變化會使概念改變的可能性加倍。研究結果證實，臉部微表情變化可用於偵測學習者是否意識到衝突概念，並觀察學習者科學理解的過程。

第二節 認知衝突與概念改變相關研究

一直以來認知衝突都被認為是學生學習並產生概念改變的一個重要過程，對於認知衝突（cognitive conflict）一詞可追溯到皮亞傑的自我協調理論（self-regulation）（Piaget, 1970），其中提到了當人們遇到無法理解的事物時，便會經由同化（assimilation）與調適（accommodation）的作用進行理解，同化指的是當個體遇到了無法理解的事物時，運用既有的基模略為調整並解決問題；調適則是當個體遇到了無法理解的事物且既有的基模無法有效應對時，便改變基模以符合需求。也因此皮亞傑的自我協調理論可說是使用認知衝突的教學策略的開端。

另外，Posner 等人（1982）提出之概念改變模式（conceptual change model, CCM）中提到學生產生概念改變的四個條件：1.學習者不滿意其原有概念（dissatisfaction） 2.學習者對新概念有初步的理解（intelligible） 3.新概念看起來似乎是合理的（plausible） 4.新概念必須是豐富而據預測力的（fruitful），其中的第一點「不滿意其原有概念」也就是認知衝突在概念改變中所扮演的角色。也因此藉由提供學生反直覺的實驗的確是能夠使學生對其原有概念產生不滿足並引起概念改變。

若以模型與建模教學的觀點來解釋「使用認知衝突進行概念改變教學」，必須先提到 Halloun (1996)提出的問題解決建模歷程，將歷程分為「模型選擇」、「模型建構」、「模型效化」、「模型分析」和「模型調度」。認為問題解決的建模歷程必須先確認與描述現象的系統組成，接著建模目的將會被確認，期望結果能有效。隨後，選擇適當理論來評論，並選擇和建構一個適當的模型。最後，此模型被操弄與分析，若它持續地有效，則可推論問題的結論（引自劉俊庚與邱美虹，2010）。而邱美虹（2007）延續此一架構，加入了「模型重建」的元素，並說明了模型重建是由於學習者對於建立的模型感到不滿意，使用不同於先前的面向與變數來重新解釋，建構一個新模型。而相較於使用認知衝突策略的概念改變教學，認知衝突所扮演的角色就是使學習者對現有的模型不滿意，產生模型重建的步驟。

但是使用認知衝突進行教學策略的研究並不是一直都很順利的，文獻指出認知衝突使學生們成功產生概念改變會依學生們的先備知識而有不同的結果

(Limón & Carretero, 1997)，換句話說，先備知識程度不同的學生在經歷認知衝突後，概念改變的程度也不盡相同。因此有學者提出學習者遇到認知衝突時會有三種不同的歷程發生 (Merenluoto & Lehtinen, 2004)，包括：無相關認知歷程 (no-relevant perception track)、對理解的錯覺歷程 (illusion of understanding track) 和經歷認知歷程 (experience of conflict track)，而主要是學習者對反直覺現象產生新觀點的靈敏度導致學習者進入三種不同的歷程，影響此靈敏度的因素又可分為認知和動機兩部分，認知的部分主要是先備知識的程度、動機的部分則是對新觀點產生注意力的傾向。當兩因素都達到一定程度後才有可能經由「經歷認知歷程」達到概念改變，而在此歷程中「歧異容忍度 (Tolerance of Ambiguity)」對於能否概念改變扮演著很重要的角色，歧異容忍度越低的學習者其靈敏度越低，會對反直覺現象失去信任，甚至產生忽略現象的行為，而歧異容忍度越高的學習者越容易達成概念改變。換句話說，具有高先備知識的學習者越有可能進入「經歷認知歷程」，而這些學習者中，高「歧異容忍度」的學習者容易達到概念改變。

而這篇研究的結果也呼應了 Chinn 與 Brewer (1998) 的研究，在這篇研究中將科學家和進行科學學習的學生他們面對異例時產生的反應分為八種類型 (見表 2-2-1)，分別為：忽略 (ignoring) 異例、拒絕 (rejecting) 異例、不確定異例的有效性 (being uncertain about the validity of the data)、暫時擱置 (abeyance) 異例、重新詮釋 (reinterpreting) 異例、周圍理論改變 (peripheral theory change) 以及接受異例並改變理論 (theory change)，研究結果發現學生們大部分都不知道理論和異例資料之間的差別，也不拒絕承認異例資料的真實性。

由以上研究發現，利用認知衝突進行概念改變教學是可行的，但是要有效的成功實行是有難度的，首先必須讓認知衝突概念能夠被理解，且必須要讓學生能察覺到認知衝突的存在 (Hewson & Hewson, 1984)，也發現不論是先備知識、認識論信念甚至是動機因素都會影響到使用認知衝突進行概念改變教學。

表 2-2-1 學習者面對異例的反應（Chinn & Brewer, 1993；引自邱美虹，2000）

反應的類型	反應的特徵		
	個體是否接受訊息	個體是否解釋訊息	個體是否改變理論
忽略異例的存在	否	否	否
否認異例	否	是	否
排除異例	是或也許 ^a	否	否
將異例擱置一旁	是	尚未 ^b	否
重新詮釋異例	是	是	否
外圍理論的改變	是	是	是，部分改變 ^c
理論的改變	是	是	是 ^d

a：個體可能接受該訊息為有效的，或者對該訊息仍是否有效持不可知的態度。

b：個體期望未來該訊息能為目前的理論所解釋。

c：只有保護帶上的信念被改變。

d：核心信念被改變。

因此，使用認知衝突進行概念改變教學的認知因素包括了學生的先備知識程度和認識論信念，而這些認知的因素也都會影響到教師教學素材的選擇，而這些素材所期盼達到的概念改變內容則與科學概念的本體論性質相關，Chi(1992,1994)提出科學概念應依本體論進行分類（ontological categories），而提出本體論分類架構（見圖 2-2-1），在此分類架構中，科學概念依不同的概念特性以本體論角度進行分類，分別分為物質（matter）、過程（process）與心智狀態（mental state）三類別。物質類別指的是特定屬性的東西，並依存在的屬性分為自然與人造；過程類別則表示事件發生可能會有順序性、因果關係抑或是突現的現象；心智狀態類別則為情意的類別，可分為情緒和意圖兩部分。而後 Chi 在 2005 年的研究將本體樹分類規則進一步修正，將過程類別下一層的分類修改為直接過程（direct process）和突現過程（emergent process），而直接過程與巨觀現象有關，突現過程則與微觀粒子運動相關。

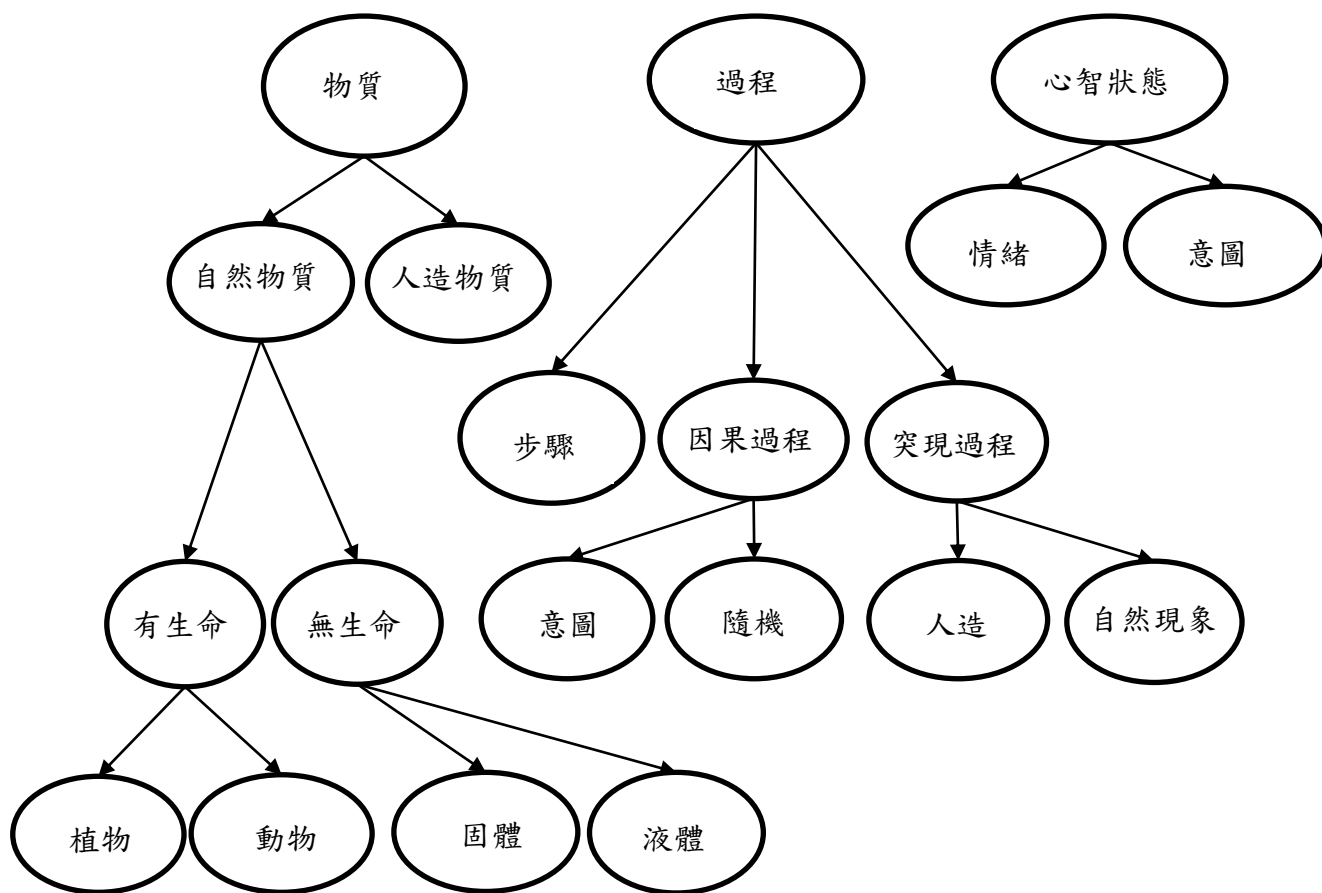


圖 2-2-1 Chi 本體樹組織架構圖 (Chi, 1992；1994；引自邱美虹，2000)

Chi(1992)同時也指出概念改變可分為本體樹「類別內的改變」和「類別間的改變」，類別內的改變因為本體類別中概念的屬性是類似或相同的，也因此概念改變較容易發生，也因此本體類別內的改變屬弱重建；而類別間的概念改變因本體類別中概念的屬性不同，概念改變的難度提高，因此本體類別間的概念改變屬強重建。藉由 Chi 對於科學概念的本體論分類和概念改變理論，本研究可將學生對於鐵粉的金屬本質、氧化還原反應和接觸面積與反應速率分別區分為物質類別、直接過程和突現過程。並由此種概念分類了解教學內容中的概念改變難易。

由以上認知衝突與概念改變的文獻探討，研究者認為使用具認知衝突的教學策略進行教學，的確有能夠使學生產生概念改變並引起學生科學學習興趣的潛力。但也同時同意具認知衝突的教學策略並不一定都能達到概念改變，也因此必須從概念的根本出發，並讓學生理解到概念與自身認知的不一致性，再令其願意修正

自身的理論。

第三節 POEC 教學法相關研究

White 與 Gunstone (1992) 提出 POE 教學策略，「預測(Prediction)-觀察(Observation)-解釋(Explanation)」，並記載與其著作 *Probing Understanding* 中。學生必須先預測某事件的結果，並提出理由；預測完成後，觀察事件的發生並描述事件發生的過程；最後必續將預測和觀察之間產生的衝突進行解釋並試圖解決。而許多研究都使用 POE 作為研究中的教學策略 (Costu, Ayas & Niaz, 2012; Palmer, 1995)，且 POE 教學策略也在實行於教學現場並被應用 (許良榮、蔣盈姿，2005；楊凱悌、邱美虹、王子華，2009)。

POE 教學策略的特色之一在於學生必須自行決定運用何種推理，並讓學生知道他們是運用自己的推理進行預測。而在書中提及，POE 教學策略與演示實驗教學被廣為連結，並有著很多優點，包括當教師堅持學生必須進行預測時，學生更能夠了解演示中所涉及的情境；預測的推理使得觀察有了焦點；針對具爭議的觀察結果進行討論使學習更有價值。這些優點也是使研究者在本研究中選擇此一教學法進行教學設計的原因。

邱美虹等人(2005)將 POE 教學策略加入比較(comparison)的步驟成為 POEC 教學法「預測-觀察-解釋-比較」，並認為學生應該對觀察到的現象和預測做比較，才能達到學生在學習的過程中，針對衝突的知識進行思考的目的。其實施程序如下：

1. 向學生說明實驗裝置與實驗程序，請學生預測將會發生的結果，並寫下預測的理由。
2. 進行實驗，並請學生觀察現象是否與預測的情形符合。
3. 無論是否符合，請學生提出解釋的理由。
4. 再將觀察的現象與之前的預測做一比較，以便下結論。

經由 POEC 教學策略將會有效幫助學生澄清自我觀念，而邱美虹等人(2005)加入比較步驟是凸顯 White 與 Gunstone (1992) 提出之 POE 策略中對於具爭議

的觀察結果進行討論的步驟，學生必須對其預測的推理與觀察結果中衝突的部分進行比較與討論，而外顯化「比較」步驟將有助於學生討論並使學習更具價值。本研究將以 POEC 教學策略為基礎，加入教學步驟並配合認知衝突實驗影片進行教學，以實驗影片教學此種類似演示法的教學中加入 POEC 的元素，試圖找出製作實驗影片的規準。

第四節 師生共構相關研究

「共構(co-construction)」用以表示學生互動討論建構知識的過程，常使用課室觀察的相關方式進行研究 (Brown, Reveles & Kelly, 2005 ; Keys & Bryan, 2001 ; Rafal, 1996; Roth & Roychoudhury, 1993 ; Tao & Gunstone, 1999)。co-construction 一詞是由 Collaborative (共同) 和 construction (建構) 兩單字組合成的。而共構中的建構泛指社會建構，Vygotsky 所提出的社會建構指的是知識的建構受到社會情境和知識脈絡的影響 (Vygotsky, 1978)，換句話說知識不是個體單獨建構而成，而是個體與環境互動而成的。

在 Tao 與 Gunstone (1999) 研究指出共構是合作學習 (Collaborative learning) 所提供給學生的學習經驗，而在此研究中使用以電腦為工具的合作學習方式進行學習，並讓學習者能藉由電腦分享理解的結果，並由不同的理解結果中產生衝突已導致學生們的概念改變，研究結果中提到若要產生概念改變，學習者必須有兩個條件：1. 學習者必須於認知層面深入參與教學；2. 學習者能夠反思並重建他們的概念。因此此研究說明了使用合作學習時能夠產生知識的社會建構，而在建構過程中產生概念改變，藉此說明了共構的重要性。雖然共構於學習中是很重要的，但作者提到若要達到長期且穩定的概念改變，需要學習者個人建構且自行產生理解。

而「師生共構」一詞由字面上的意思即是教師與學生之間的共構過程，文獻上發現 Clement (2002, 2008) 提到「師生共構 student/teacher co-construction」並認為師生共構是教師和學生共同產生想法並建構模型的歷程。而 Clement 的研究中有提到理想中建構模型的歷程「幾乎所有」的想法都應該是由學生提出，而非教師，而在實際的教學中，教師在教學過程中常會提出一些對學生想法的修正以達到教學目標。這樣的結果表現出建構模型的教學過程中，教師和學生都會提出想法並且共同評論這些想法的正確性，以達到教學目標。而在本研究是使用投影片

進行電腦教學，為達到師生共構，因此在投影片中加入教師與學生討論過程，將教學內容分配給教師與學生兩角色分別提出，並相互討論以達教學目標。

第五節 小結

由文獻探討可知，對於情緒相關研究已有悠久的歷史，而臉部表情是情緒最直接的表達方式，然而卻很少研究是臉部表情與科學教育相關的，直到 Chiu et al. (2014)使用臉部微表情分析軟體進行認知衝突與概念改變相關研究。而由研究結果中可知道臉部微表情確實能應用在科學教育的研究上，也發現到使用演示法進行實驗教學，若實驗中含有容易產生認知衝突之內容，學生便容易在教學過程中產生教學變化，另外又為了資料取得與分析，便將演示實驗移至電腦上撥放並進行教學。因此研究者認為綜合以上兩點，以臉部微表情為主之科學教育研究最能夠直接的給予實驗影片教學實質的建議。

而實驗中必須要具有產生認知衝突情境之內容，因此回顧了認知衝突與概念改變相關的文獻，文獻中發現若要學習者能夠在具有認知衝突的教學策略中，成功產生概念改變是需要條件的。換言之，若直接對學生使用具認知衝突的教學策略並沒有想像中容易。必須讓認知衝突概念能夠被理解，且必須要讓學生能察覺到認知衝突的存在（Hewson & Hewson, 1984），且不論先備知識、認識論信念甚至是動機因素都會影響到使用認知衝突進行概念改變教學。也因此教師端對於使用認知衝突的教學策略，最能夠事先解決的問題就是認知衝突概念的本體論性質(Chi 1992,1994)，教師必須藉由了解教材中概念的性質與本體論分類，調整教學內容中各概念的教學比重，以使得學習者更容易於教學前後產生概念改變。

除了教學內容外，細部的教學策略也很重要，POEC 教學策略(邱美虹等人，2005)便極為適合實驗影片教學，由於實驗影片教學的性質與演示法雷同，若將這些步驟外顯化放入教學影片中，想必會有所成效。另外，學生在實驗演示教學中常常會只對衝突內容有印象，在教學部分卻不一定有所成效，因此研究者在文獻中搜尋到了師生共構的教學方式 Clement (2002, 2008)，利用師生間的對話建構知識，並試圖將此方法運用在實驗影片教學中。

第參章 研究方法

本章共分為六節，主要說明本研究之架構流程與方法。第一節為研究設計，說明研究設計之理念與架構；第二節為研究對象，介紹受測者的背景；第三節為教學與教材設計，說明兩個研究中所使用之教材的設計原則；第四節為研究工具，包含了概念問卷和學習動機問卷的內容；第五節為研究流程，介紹本研究完整的流程與順序；第六節為資料分析，說明研究所收集之量化與質性資料的分析方式。

第一節 研究設計

本研究試圖以臉部微表情辨識系統探討 POEC 教學法以及師生共構對學生科學學習的學習成效與學習動機之影響，圖 3-1-1 為本研究之研究架構圖，其中將本研究之架構主要分為「研究設計」與「研究工具」進行探討。

「研究設計」的部分又分為「教學設計」和「教材設計」兩部分，「教學設計」中說明本研究將受測學生分為三組進行，三組分別命名為：「食譜組」、「POEC 組」和「(POEC)_{S/T} 組」，此三組間的差異來自於實驗影片教學中，POEC 教學以及師生共構歷程之有無（見表 3-1-1），以下分別介紹三組之差異：

1. **食譜組**：本組全名為「食譜式認知衝突實驗影片教學組」，簡稱「食譜組」，本組實驗影片仿造一般市面上實驗影片之拍攝手法，有如食譜式實驗模式，先給予實驗題目、介紹實驗器材並依照實驗步驟進行拍攝，最後加入幻燈片式的教學解說實驗原理，整部影片過程中沒有使用 POEC 教學，相較於 POEC 教學而言，本組主要減少了「P—預測」的步驟，且「E—解釋」和「C—比較」兩步驟也內隱化，教師不會在過程中提及此二步驟，但研究者認為受測學生在學習的歷程中會經歷此二步驟。另外，本組教學過程中無任何師生共構歷程。

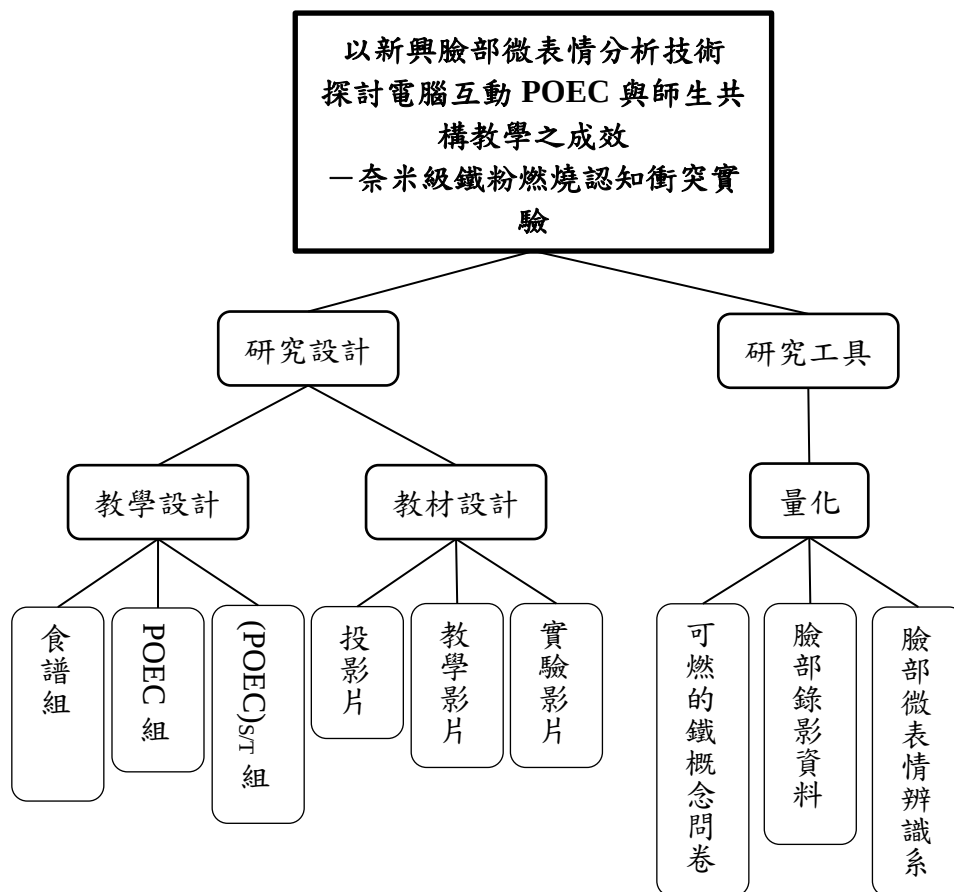


圖 3-1-1 研究架構圖

表 3-1-1 受測學生教學過程差異表

組別	教學過程差異	
	POEC 教學法	師生共構
1. 食譜組	無	無
2. POEC 組	有	無
3. (POEC) _{S/T} 組	有	有

2. **POEC 組**：本組使用 POEC 教學，但無任何師生共構歷程，此組影片相較於食譜組的影片之最大差異有三部分，第一部分是「P—預測」的步驟，影片中將直接要求學生對於鐵粉倒出後會發生什麼現象進行預測，而預測的投影片屬於二階段選項，第一階段會先要求學生預測鐵粉由高處往下倒會發生什麼現象，第二階段再解釋原因；第二部分則會在學生觀察到鐵粉自燃的現象後要求學生進行「E—解釋」的步驟解釋原因，解釋步驟之投影片也與預測步驟之二階段選項雷同，第一階段先問學生看到鐵粉往下倒發生什麼現象，再請學生進行解釋；第三部分要學生就其解釋之原因和其預測之結果進行比較，即外顯化「C—比較」的步驟。

3. **(POEC)_{ST} 組**：本組的實驗影片等同於 POEC 組之步驟，使用 POEC 教學法，但在觀察實驗結果後的教學影片部分將以「師生共構」的方式呈現，在影片中加入教師與學生的角色，前兩組的教學是以一般教學中常使用的幻燈片式教學，本組加入此二角色後將以類似蘇格拉底式問答的方式，讓教學影片部分中的教學目標在影片中教師和學生的問答中逐步呈現。

「教材設計」中分為「實驗影片」和「教學影片」兩部分，本研究三組受測學生都將使用電腦輔助教學並使用 Powerpoint 投影片，投影片的內容將包含「實驗影片」和「教學影片」兩部分。

「研究工具」主要以量化為主，包括「可燃的鐵概念問卷」、「臉部錄影資料」和「臉部微表情辨識系統」三部分，研究者先對受測學生以「可燃的鐵概念問卷」施以前測，並在學生的學習過程中全程錄影，臉部錄影資料之內容將以臉部微表情辨識系統進行進一步分析，學習結束後再施以「可燃的鐵概念問卷」之後測，並將對這些量化結果進行進一步分析比較。

第二節 研究對象

本研究研究對象之選取共分為兩階段。第一階段為預試階段，希望能夠由預試中測得受測者的迷思概念並確定研究工具之效度與穩定性，而第二階段為正式階段，將正式將受測學生分為三組進行施測。

研究樣本的選取乃採立意取樣。研究者先與選定之國中的行政人員聯繫並說明研究目的，在學校課餘時間並不影響教學進度的狀況下進行研究，並於施測前取得「臉部資料分析使用同意書」(見附錄一)，而本研究選取了新北市中和區一所完全中學之國中部進行施測，第一階段將選擇八年級三個班 86 名學生進行預試，第二階段正式施測將選擇八年級三個班級 115 名學生進行正式施測，其中將每班學生分為三組，依照施測前一次段考之理化科成績排名進行分組。

會選取八年級學生作為研究對象，是因為本研究試圖了解了解學生學習過程中 POEC 教學法和師生共構過程對其學習的影響以及其臉部微表情的變化，而本研究的教學內容和八年級下學期探討「影響反應速率的因素」之章節內容雷同，因此研究對象必須選擇還未學習此章節之學生，而根據九年一貫課程綱(教育部，2008)要「科學與技術認知」部分的第三階段，國小五年級到六年級的「認識物質」的能力指標有：「探討氧及二氧化碳的性質；氧的製造、燃燒之瞭解、**氧化**(生鏽)等，二氧化碳的製造、溶於水的特性、空氣污染等現象」和「認識促進**氧化反應**的環境」，根據此兩個能力指標，了解到小學高年級學生將學到基本的**氧化反應**的知識。而課綱中「科學與技術認知」部分的第四階段，也就是國一到國三階段的能力指標才談到「知道氧化作用就是物質與氧化合，而還原作用就是氧化物失去氧」，因此研究者認為選取尚未學習到八年級下學期影響反應速率因素章節之學生作為研究對象最為適當。

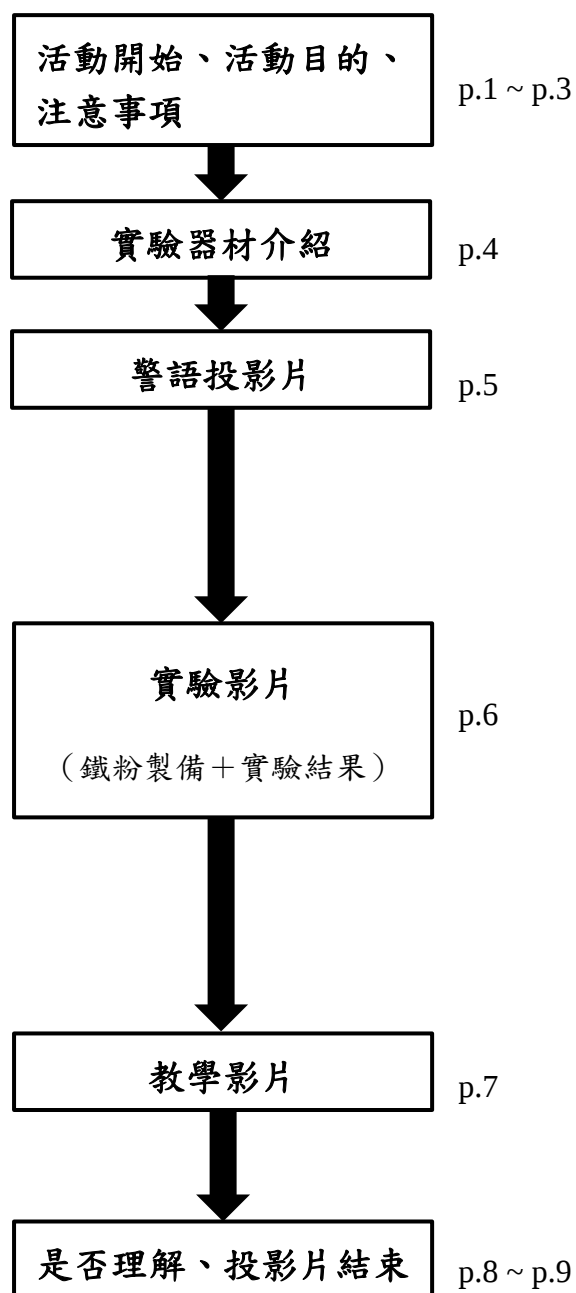
第三節 教學與教材設計

壹、投影片

本研究之研究設計將受測學生分為三組，並施以不同的教材，其中食譜組的學生之投影片架構與 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組不同，(見圖 3-3-1)，由先前的研究設計中可知，食譜組和 POEC 組以及食譜組和(POEC)_{S/T} 組的投影片差異在於有無 P (預測)、E (解釋) 和 C (比較) 三步驟，而 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組的差異在於教學影片內容，因此投影片結構上此兩組並無差異，而教學影片的差異將於後面章節進行說明。

以下將以 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組的投影片流程說明投影片內容以及與食譜組之差異 (見圖 3-3-1)，詳細投影片內容請見附錄三、附錄四，而在本研究中，為確定學生有了解每一張投影片的內容，研究者對每一張投影片進行錄音，所以學生們必須確定聽完了所有投影片的內容，才可繼續進行。首先，在施測的一開始會先確定學生是否已經準備就緒，因此會先有三張投影片讓學生理解活動目的與注意事項並再次確定他已經準備好了。之後會有一張介紹實驗器材的投影片，讓學生了解接下來的實驗影片會用到的器材與藥品。介紹完實驗器材後便直接進入實驗影片的藥品製備階段，在這段影片內容中學生將看到可燃的鐵實驗流程前半段，直到鐵粉由高處倒落前暫停 (食譜組則無暫停，實驗影片直接撥放到實驗結果出現)，在學生了解了鐵粉的製備過程之後，接下來的投影片將讓學生預測鐵粉由高處往下倒會發生什麼情況 (食譜組並未使用 POEC 教學法，因此投影片中不會有任何要求學生預測或解釋的投影片)，其中的投影片內容包括二階段選項，第一階段選項將要求學生預測鐵粉將會：不會改變、結塊或是燃燒，預測結束後將依學生預測結果進入第二階段，第二階段是依照前三種預測結果衍伸出的四個解釋選項，學生將依其所選的預測進行預測的解釋。待學生預測解釋後將會進入一個警語投影片，此投影片的用途在於再次提醒學生在觀察實驗

食譜組



POEC 組、 (POEC)_{S/T} 組

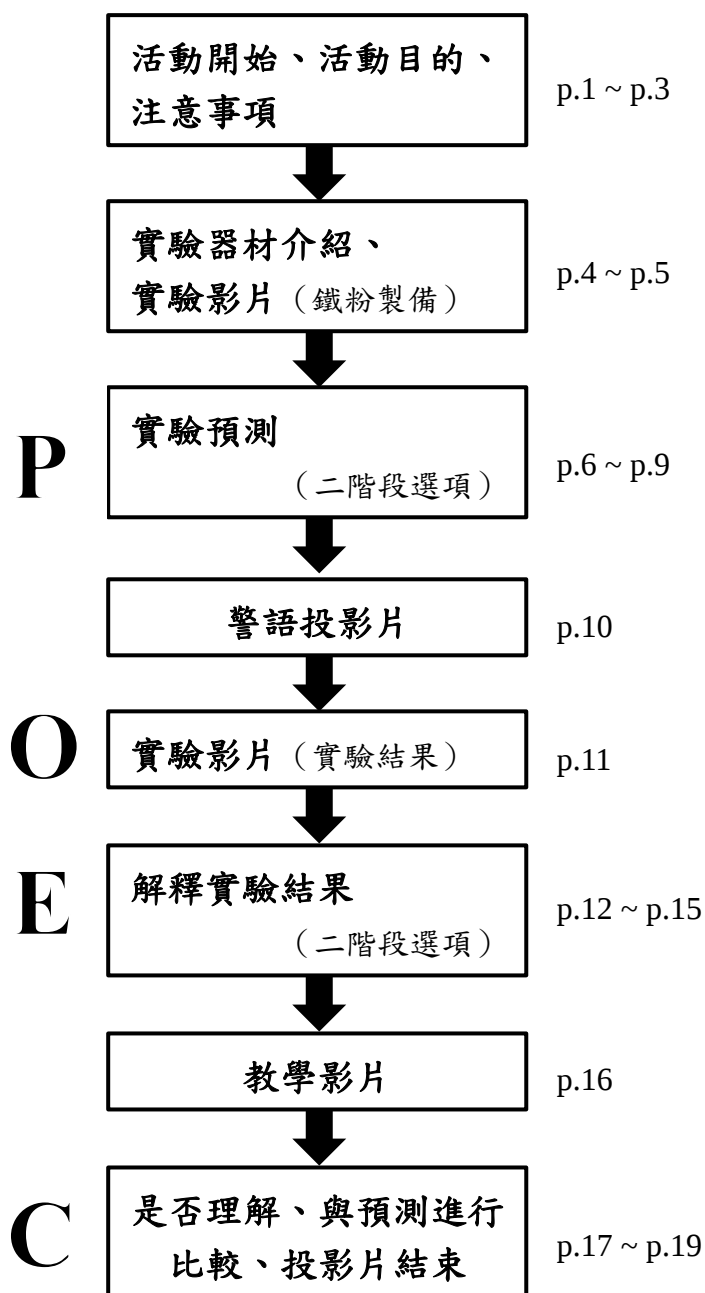


圖 3-3-1 三組投影片流程圖

影片時切勿左搖右晃或是觸摸臉部導致關鍵時刻臉部辨識失敗(因為食譜組的實驗影片中間並沒有暫停，所以在實驗器材介紹完後就會直接進入警語投影片)，而後便直接進入實驗影片觀察實驗結果，觀察完鐵粉燃燒之現象後，會再請學生對於所觀察到的現象進行解釋，與實驗預測投影片相同，解釋實驗結果的投影片一樣為二階段選項，除了題幹略為修改之外，選項與實驗預測階段完全相同。學生解釋完所觀察到的實驗結果後，便直接進入教學影片，食譜組和 POEC 組的教學影片內容相同，而(POEC)_{ST} 組與其餘兩組不同之處將在稍後章節進行敘述。教學影片結束後，會有一系列檢驗學生學習成果的投影片，包括學生是否理解教學影片內容、比較教學後之理解與預測理解是否一致，最後的投影片會要求學生結束後靜待老師處理，以方便進行概念問卷後測。

貳、實驗影片

本研究之教學與教材設計主要以實驗影片為主，因此本研究選擇蕭次融(2011)所發表之實驗「可燃的鐵」(詳細實驗流程請參照附錄二)，會選擇此實驗的原因主要有三：首先，由於本研究的研究工具主要使用臉部微表情辨識系統，因此研究者會希望受測學生在施測過程中能夠有明顯的情緒變化，而此實驗最主要可使學生了解鐵的可燃性，鐵在極微小的尺度下能夠自燃，而此種劇烈氧化還原產生的燃燒作用對尚未學習過相關知識的學生而言是極具視覺效果的，因此選用此實驗較能使受測學生在觀察實驗的過程中產生表情的變化。

第二，依 Posner, Strike, Hewson 和 Gertzog(1982)所提出之概念改變模式(conceptual change model, CCM)中提到學生產生概念改變的四個條件：1.學習者不滿意其原有概念(dissatisfaction) 2.學習者對新概念有初步的理解(intelligible) 3.新概念看起來似乎是合理的(plausible) 4.新概念必須是豐富而據預測力的(fruitful)，其中第一項「學習者不滿意其原有概念」若以 Piaget 的同化與調適來解釋，便是認知衝突使學生無法以舊經驗同化，便產生概念改變。而本研究所使

用的「可燃的鐵」實驗對於大部分學生而言是極具衝突的，因為他們大部分都有金屬不可燃的迷思概念，當鐵粉自然現象在學生眼前發生，這是極為衝突的視覺效果，也是本研究選擇此實驗的重要因素。

第三，此實驗的科學概念和八年級下學期探討的「影響反應速率的因素」有極大的相關，而其中「接觸面積為影響反應速率的因素」在教科書中會自成一節，這也是研究者選擇尚未學習此章節的學生進行施測的因素之一，另外對這些學生演示此實驗也可讓他們早點接觸到未來的課程，對他們的學習也算是另一種幫助。

而可燃的鐵實驗在蕭次融老師的推廣下，儼然已成為化學科教學中教導表面積與反應速率關係的極佳認知衝突實驗，但在相關文獻中一直沒有說明極細的鐵粉到底有多細？文獻中也只提到此實驗中之鐵粉「幾近奈米級」，而研究者在進行正式施測前對可燃的鐵實驗進行了許多次的試做，在第一次進行可燃的鐵實驗時，完全沒有任何防護措施下進行實驗，結果也一如文獻中的記載，鐵粉在半空中燃燒，研究者與研究夥伴們當然十分興奮當天也多做了許多次鐵粉實驗，但當隔天研究者卻發現有咳嗽與呼吸困難的症狀出現，更讓研究者相信由草酸鐵製備出的鐵粉應該是有達到奈米等級的，研究者為了證實此想法，便將草酸鐵製備出的鐵粉帶到國北教大自然科學教育學系何慧瑩老師實驗室進行檢測（感謝何慧瑩老師出借儀器及指導教授周金城老師協助），檢測方式是利用「正立金相顯微鏡」進行觀察，結果發現以 10x100 倍的顯微鏡觀察發現鐵粉最細可達 1 μ m 以下（見圖 3-3-3），也就是達到奈米級標準的意思，更能夠篤定的說「由草酸鐵製備的鐵粉達奈米級」。



圖 3-3-2 正立金相顯微鏡

（照片攝於：2013 年 10 月 17 日）

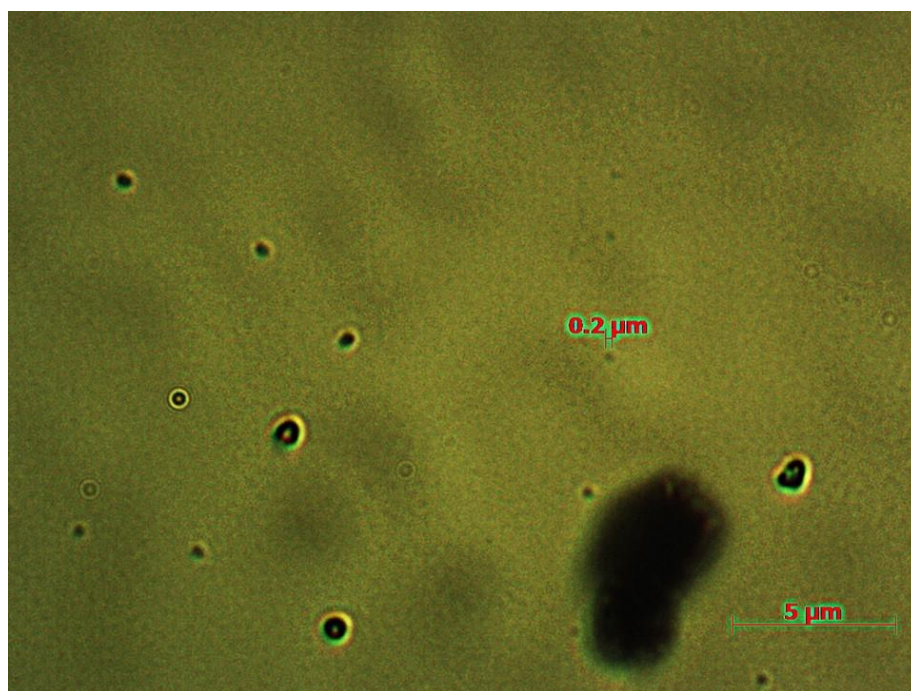


圖 3-3-3 10x100 倍正立金相顯微鏡下鐵粉圖像

參、教學影片

本研究之教學影片分為兩個版本，其中食譜組和 POEC 組的教學影片內容相同，而(POEC)_{S/T} 組與其餘兩組不同，前者屬於傳統之教學影片，類似幻燈片式的教學，其中之教學內容詳見附錄四、附錄五，教學內容的編制主要是依照圖 3-4-1 的研究概念圖，配合可燃的鐵概念問卷一起發展，內容主要分為氧化還原反應和反應速率兩部分，詳細包括了：燃燒三要素在燃燒和滅火的應用、反應速率與表面積的關係。而(POEC)_{S/T} 組頭影片則是加入了師生共構的成分，換句話說，此組投影片加入了學生和教師的角色，主要以師生對話的方式建構學習目標，其中內容類似（以圖 3-3-4、3-3-5 為範例）：

生：老師，鐵粉為什麼會燒起來呢？

師：說到物質燃燒的原因就不得不提到「燃燒三要素」！！

生：燃燒三要素？那是什麼？沒聽過～

師：物質燃燒需要可燃物、助燃物和達到燃點三個條件，缺一不可。

生：老師！！那滅火呢？滅火也要燃燒三要素都不存在嗎？？

師：其實要使燃燒現象中止，只要移除任一要素就可以使火熄滅囉～～

生：真的嗎？那如果只移除可燃物？……

也因為使用了師生共構的方式進行教學，使兩部教學影片的長度不同，食譜組和 POEC 組的教學影片全長三分二十五秒，(POEC)_{S/T} 組教學影片全長四分二十秒，其中多出來的部分主要是對話內容，並不影響教學目標，而長度改變也會影響臉部微表情變化之計算方式，此一部分之臉部微表情分析將會以臉部微表情變化頻率的方式進行比較，詳細內容於第四章會再次說明

燃燒三要素

- 物體燃燒需要：可燃物、助燃物和達到燃點三個條件，缺一不可。
- 依據燃燒三要素，要使燃燒現象中止，必須移除任一要素：
 1. 移除可燃物
例如：烤肉移除木炭、煮完菜關掉瓦斯。
 2. 移除助燃物
例如：增加二氧化碳濃度，以降低氧氣濃度。
 3. 降低溫度
例如：灑水降低溫度，使其低於燃點。

老師！！那滅火呢？滅火也要燃燒三要素都不存在嗎？？



其實要使燃燒現象中止，只要移除任一要素就可以使火熄滅囉～～

真的嗎？那如果只移除可燃物？



圖 3-3-4 食譜組與 POEC 組教學影片範例圖

圖 3-3-5 (POEC)_{S/T} 組教學影片範例圖

第四節 研究工具

本研究所使用的研究工具以量化為主，包括：可燃的鐵概念問卷、臉部錄影資料和臉部微表情辨識系統。

壹、「可燃的鐵」概念問卷

一、問卷內容

本研究所使用之概念問卷根據研究概念圖（圖 3-4-1）發展而成，其內容主要依據教學與教材內容中「可燃的鐵」實驗之概念所構成，而概念圖依據實驗原理構成分類，圖中灰色的部分代表其為實驗原理之一，但因學生認知能力未達可理解該概念之程度，因此概念問卷和教學與教材內容中均未提及。

「可燃的鐵」實驗依原理分類可分為「反應速率」和「氧化還原反應」兩部分，而依照現行教科書內容（引自，南一版國民中學自然與生活科技 2 下），其中反應速率相關之章節將影響反應速率之因素分為：濃度、溫度、接觸面積和催化劑四類，而本研究將關注接觸面積此一部份，並希望學生理解在不同尺度下物質的接觸面積差異帶來的影響。另外，氧化還原反應的部分又分為巨觀和微觀兩個層次，在巨觀的部分將會複習學生們在國小階段所學過的劇烈氧化還原反應和緩慢氧化還原反應，在劇烈氧化還原反應的部分同時複習燃燒現象的三要素，而微觀層級的部分則討論到粒子運動，至於氧化還原反應中電子轉移的概念太過艱深，故暫不提及。另外還會檢測學生是否能連結奈米尺度下接觸面積大的特性與粒子碰撞的關係，以及粒子碰撞能夠摩擦生熱導致鐵粉達到燃點燃燒的概念。

本問卷試題可分為三部分。包括：氧化還原試題 11 題、反應速率試題 7 題和可燃的鐵實驗試題 9 題，其中氧化還原和反應速率試題主要為應用試題，類似國二下學期相關章節之試題，而可燃的鐵實驗試題將直接測驗學生是否了解，並能夠推測可燃的鐵實驗現象。

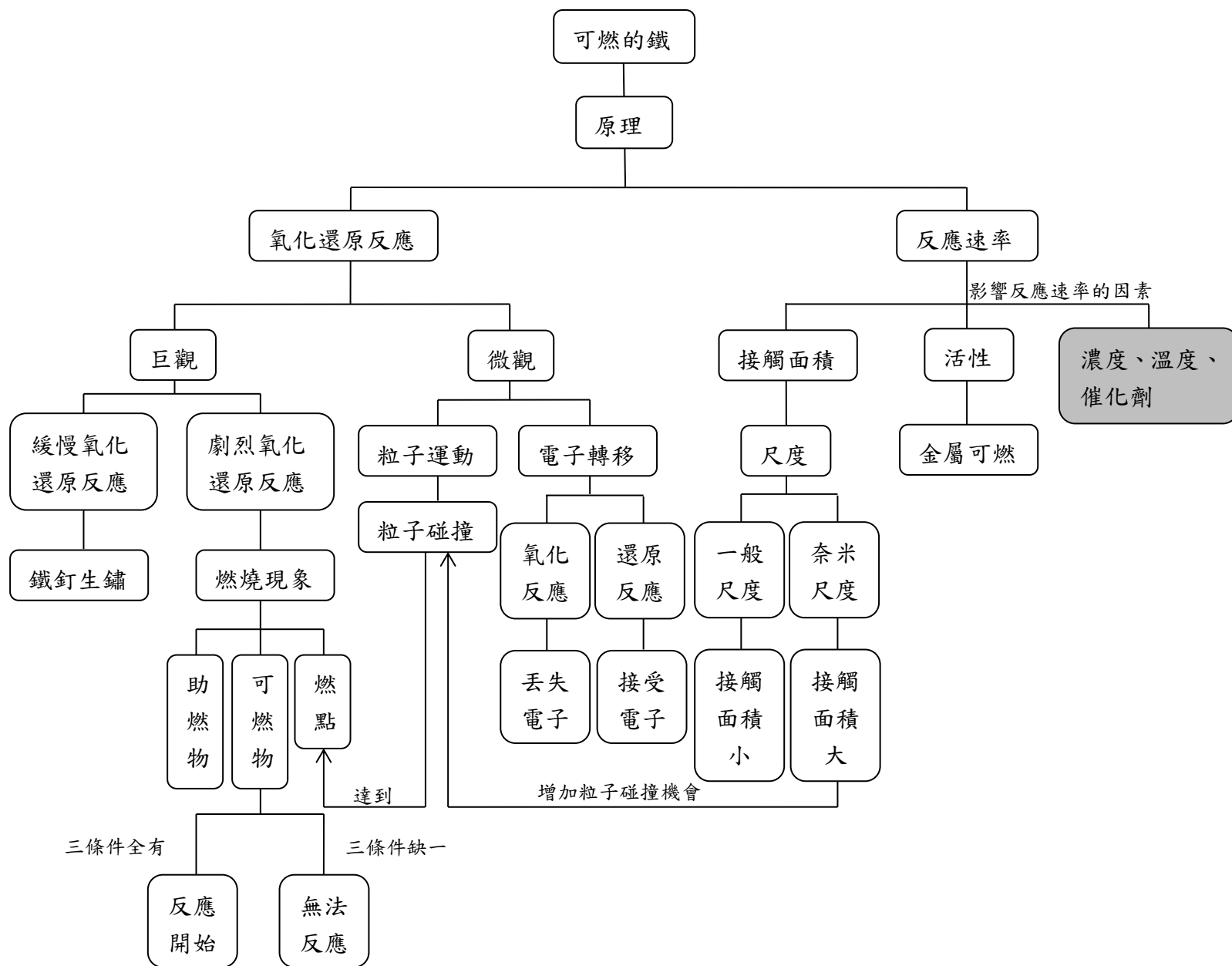


圖 3-4-1 研究概念圖

二、實施與計分

本概念問卷採團體施測，測驗時間大約二十分鐘，分別在實驗影片教學前後各實施一次前後測。本問卷依照研究概念圖設計，共有 27 題選擇題，由受測學生選擇奇認為正確之答案，選擇正確得 1 分，錯誤則 0 分。

三、信度與效度

本概念問卷依照概念圖設計而成，經由一位國中在職正式教師修改字句，並確認本問卷之難度為國中學生能力範圍內，後再經由兩位科學教育背景之博士和一位科學背景之國立大學教授進行專家審查完成。本概念問卷之 Cronbach's α 值為 0.80。

貳、臉部錄影資料和臉部微表情辨識系統

本研究最重要的部分就是要收集受測學生臉部錄影資料，而受制於硬體設施，收集臉部錄影資料是需要許多準備工作的，於正式施測前研究者先進行了為期兩週的試測，為求收集之臉部資料穩定且能夠達分析之標準。另外在施測前也必須要確定許多細節，包括：

1. 確定學生額頭必須露出，否則系統無法辨識。
2. 若學生眼鏡為膠框眼鏡必須更換為金屬框，否則系統無法辨識。
3. 確定電腦容量足夠裝載所有錄製的臉部錄影資料。

另外，施測前的指導語也是十分重要的，尤其學生可能在看到注意事項其中之一是要求他們以最舒服的坐姿進行施測，學生們可能會坐得太舒服導致臉部錄影資料超出鏡頭範圍，以下為施測前指導語重點：

1. 以最舒服的姿勢坐好，再將椅子往前挪至桌子前，確定後便不要再移動。
2. 施測時切勿摸頭摸臉或以手撐住頭部。
3. 會有一個錄製基礎表情的影片與一個投影片。

4. 投影片內容每一頁都有錄音，請聽完每頁的錄音內容再按「下一頁」。
5. 按「下一頁」請按一次即可，學校電腦效能不佳，若按很多次會跳頁導致研究失敗。

最重要的是，在施測結束後必須提醒受測學生切勿洩漏教學內容，以防止學生之間互相討論教學內容，以致研究失效。

而本研究之臉部微表情辨識資料乃使用 FaceReader 臉部微表情辨識系統，此系統能夠對人的臉部肌肉進行定位並分析臉部微表情，並產生即時的資訊給研究者。FaceReader 的系統操作介面中，主視窗的左上角可見到受測者的臉部影像，而此系統的最大好處是除了可將受測學生的臉部影像錄製後進行事後分析，也可即時對學生表情進行分析。而本研究乃採取事後分析的方式，以市面上販售之網路攝影機架設於電腦螢幕上，在學生觀看實驗影片進行科學學習時進行錄影，此種即時分析的研究方式也是臉部微表情辨識最大的優點。

另外，FaceReader 系統對臉部微表情的分析方式（見圖 3-4-2），首先會將受測學生的臉部依照其系統內部的人臉資料庫對受測者的臉部進行定位，並標定出偵測臉部微表情所必須要的臉部肌肉，同時會偵測受測者臉部影像的品質，此一影像品質和系統能否判讀臉部微表情有極大的相關，若臉部微表情品質不夠高便可能無法進行施測。

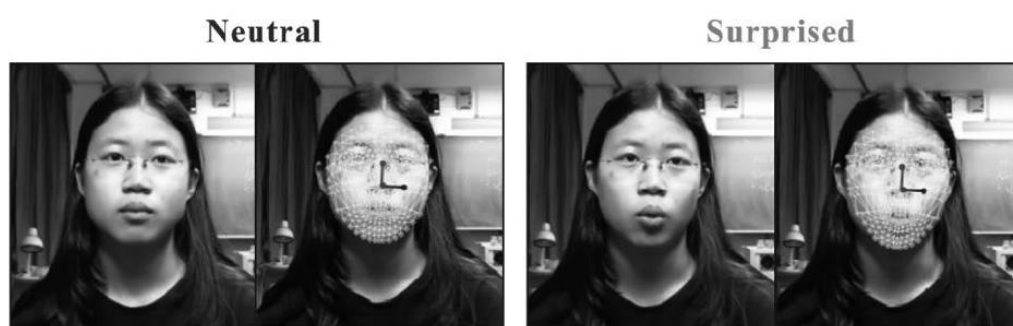


圖 3-4-2 FaceReader 臉部微表情辨識系統分析示意圖（引自 Chiu et al., 2014）

依照臉部肌肉的不同變化，系統會依照 Ekman(1999)的研究，將臉部表情除

了中性(neutral)外，分為六種情緒，包括：快樂 (happy)、悲傷(sad)、生氣(angry)、驚訝(surprised)、嚇一跳(scared)、令人噁心的(disgusted)。並在操作介面中以圓餅圖、折線圖和柱狀圖表示，給予研究者連續的情緒變化資訊。

本研究主要觀察受測學生的臉部微表情在實驗教學影片撥放過程中的兩段時間是否產生變化：第一部分是當學生觀察到實驗影片中鐵粉自燃的現象時，是否有臉部微表情變化；第二部分則教學影片中，學生進行教學時，其臉部微表情變化頻率之差異。

第五節 研究流程

本研究之研究流程可分為三個階段：準備階段、實驗階段和分析階段，詳細流程如圖 3-5-1，詳細時間規畫之研究甘梯圖如圖 3-5-2。

準備階段分為五個部分：確立研究方向、形成研究問題、文獻探討、研究設計和發展研究工具。在研究準備階段甚至到實驗階段，研究者都會不斷地進行文獻探討對研究的細部內容進行修正，在研究準備階段一開始，研究者先確立研究方向而後形成研究問題進而產生研究設計，在方向、問題以及設計都完成以後研究者將著手發展研究工具，準備階段大約為期一年，自民國 101 年九月至民國 101 年八月。

實驗階段即進入正式施測，為期兩個月，自民國 102 年九月至民國 102 年十月，正值 102 學年度上學期，研究者曾於新北市某一完全中學實習，將利用實習完成後返回學校施測，而正式施測包括：前測、正式教學以及後測。前測內容包括學習動機問卷和概念問卷，用以了解學生對自然科的學習動機以及教學內容之先前概念。正式教學如本章之第一節所述，共分為三組，分別為：「食譜組」、「POEC 組」和「POEC-師生共構組」，對三組受測者進行教學時將同時錄影錄音。正式教學結束後將馬上進行後測與晤談，而後測內容也包括概念問卷與學習動機問卷，後測結束後將進行晤談，晤談內容將請受測者自陳所學到的內容以及他們在學習過程中的情緒反應，最後再請他們給予本研究回饋。

實驗階段結束後將進入分析階段，分析階段將自民國 102 年十月至民國 103 年二月共四個月，在分析階段研究者將進行資料分析，而分析方法將在本章第六節詳細說明，資料分析結束後將撰寫資料分析結果並完成論文。

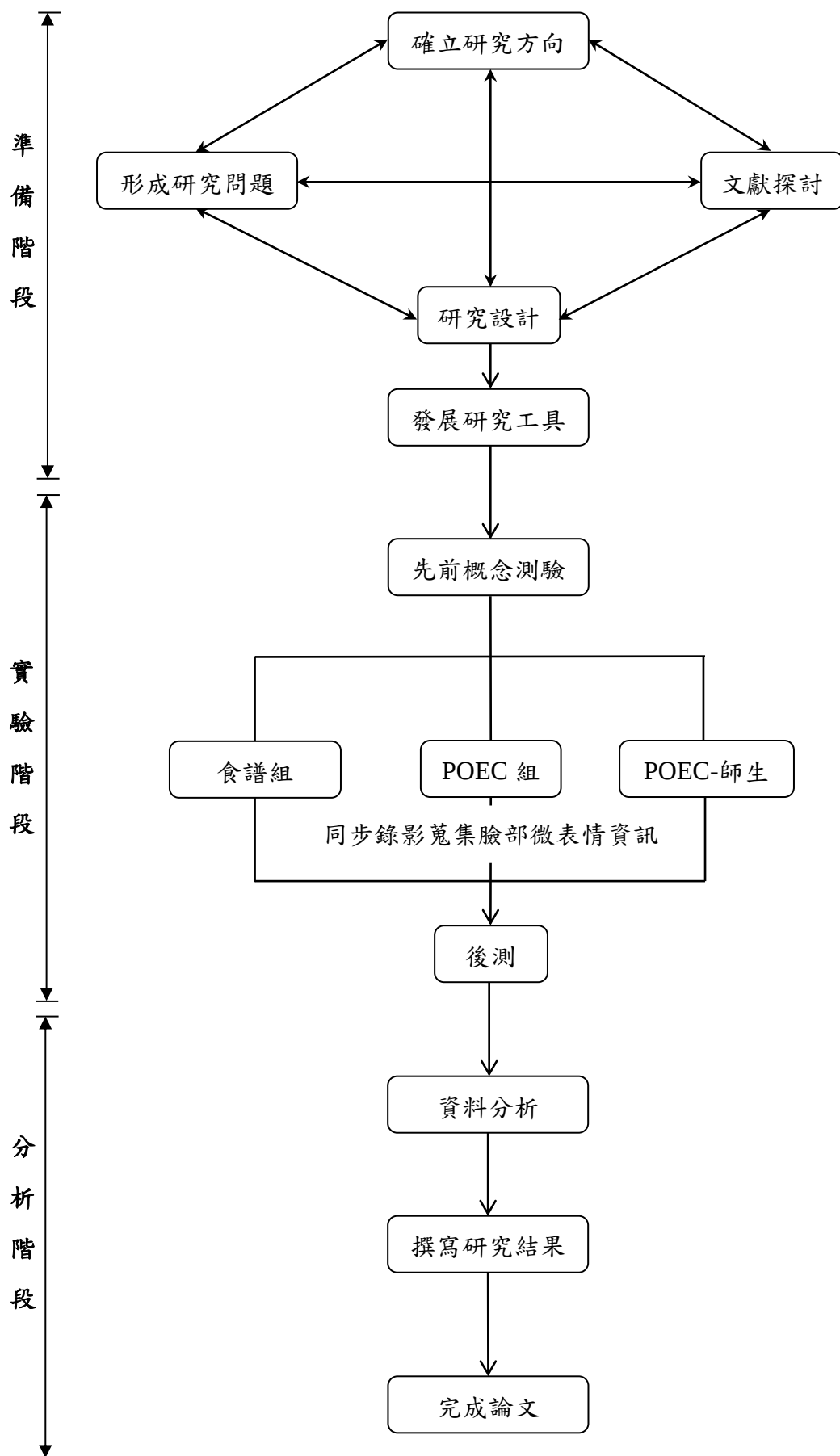


圖 3-5-1 研究流程圖

時間		年	101	101	102	102	102	102	102	102	103
		月	10	12	02	04	06	08	10	12	02
準備階段	確立研究方向		■								
	形成研究問題			■							
	文獻探討		■	■	■	■	■	■	■	■	
	研究設計		■	■	■	■	■	■	■	■	
	發展研究工具			■	■	■	■	■	■	■	
實驗階段		正式施測							■		
分析階段	資料彙整與分析								■		
	撰寫研究結果								■	■	
	完成論文									■	

圖 3-5-2 研究甘梯圖

第六節 資料分析

本研究所收集之資料主要為量化資料，資料的來源主要有「可燃的鐵概念問卷」和「臉部微表情資料」，可燃的鐵概念問卷主要是為了了解受測學生在施測前後各組概念和不同概念上的差異。「臉部微表情資料」則是對受測學生的臉部進行錄影，事後對錄影資料使用臉部微表情辨識系統進行分析，分析施測過程的特定片段情緒有無變化，以及特定片段中的臉部微表情變化頻率。

圖 3-6-1 至圖 3-6-4 為本研究之研究樹狀圖，依照「研究目的—研究問題—研究工具—資料分析」的架構流程互相對應，由研究目的衍伸出研究問題，並由研究問題製作研究工具，以研究工具收取資料後再進行資料分析。而以下將會以研究工具分項討論資料分析方法。

壹、使用「可燃的鐵」認知衝突實驗影片進行教學是否具有概念改變成效

本研究將先探討使用「可燃的鐵」認知衝突實驗影片進行教學是否具有概念改變成效，研究者先使用「可燃的鐵」概念問卷和臉部微表情資料進行學習歷程分析，以探討「可燃的鐵」實驗使否為有效的認知衝突實驗。而後再對概念問卷的前後測結果進行組內 t 檢定，探討受測學生於受測前後概念有無改變，「可燃的鐵」實驗教學是否有效。最後再對概念問卷後測結果進行試題分析，探討「可燃的鐵」實驗教學對不同的概念成效差異。

貳、有無使用 POEC 策略進行教學，學生學習歷程的概念成就與臉部微表情變化差異之關係

本研究食譜組未使用 POEC 策略進行教學，而 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組都有

使用 POEC 教學策略，因此研究者將「可燃的鐵」概念問卷前後測結果進行共變異數分析（ANCOVA），觀察概念成就之差異，再比較不同組學生於施測過程中臉部微表情變化狀態，進行學習歷程分析，觀察學生學習歷程之差異。

參、 探討學生觀察「可燃的鐵」教學影片時有無使用師生共構，概念成就與臉部微表情變化差異。

本研究食譜組和 POEC 組的教學影片未使用師生共構，而(POEC)_{S/T} 組的教學影片中加入了師生共構的元素，因此研究者將「可燃的鐵」概念問卷前後測結果進行共變異數分析（ANCOVA），觀察概念成就之差異，最後再對有無使用師生共構學生觀察教學影片時的臉部微表情資料進行分析，先統計學生於教學時的臉部微表情總次數，再計算其臉部微表情變化頻率，觀察學生有無使用師生共構時的差異。

肆、 學生觀察「可燃的鐵」實驗影片之實驗結果時，臉部微表情變化情形。

學生觀察「可燃的鐵」實驗影片之實驗結果的階段是本研究中非常重要的一部份，學生在此一階段看到了實驗結果也經歷了認知衝突情境，研究者試圖於此階段關差學生臉部微表情變化情形，首先先將實驗結果影片分為四段，前兩段分別為鐵粉落下及鐵粉點燃面紙，後兩段為前兩段之慢速重播，再對此四段影片進行臉部微表情變化頻率分析，找出臉部微表情變化情形。

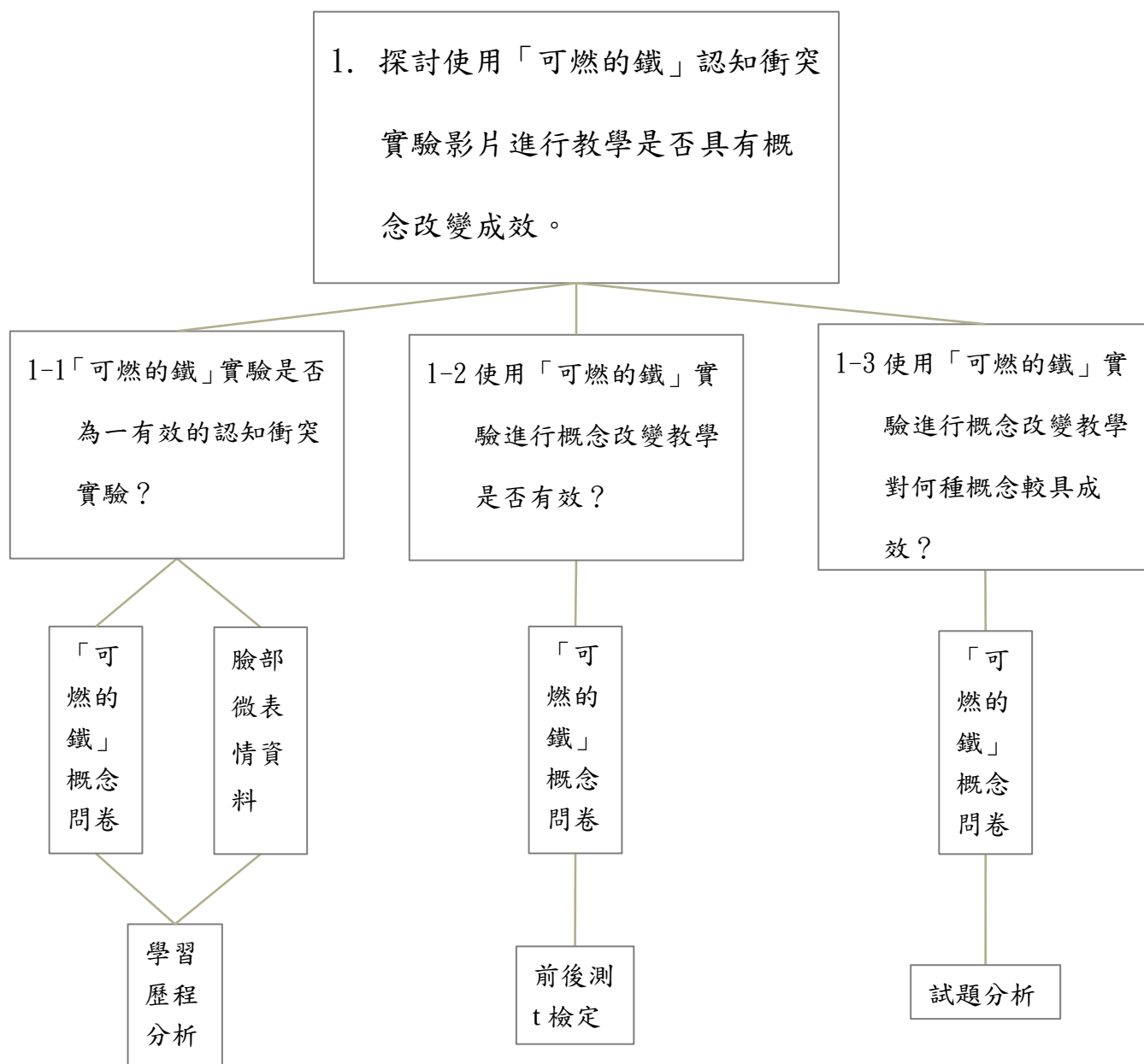


圖 3-6-1 研究樹狀圖 1.

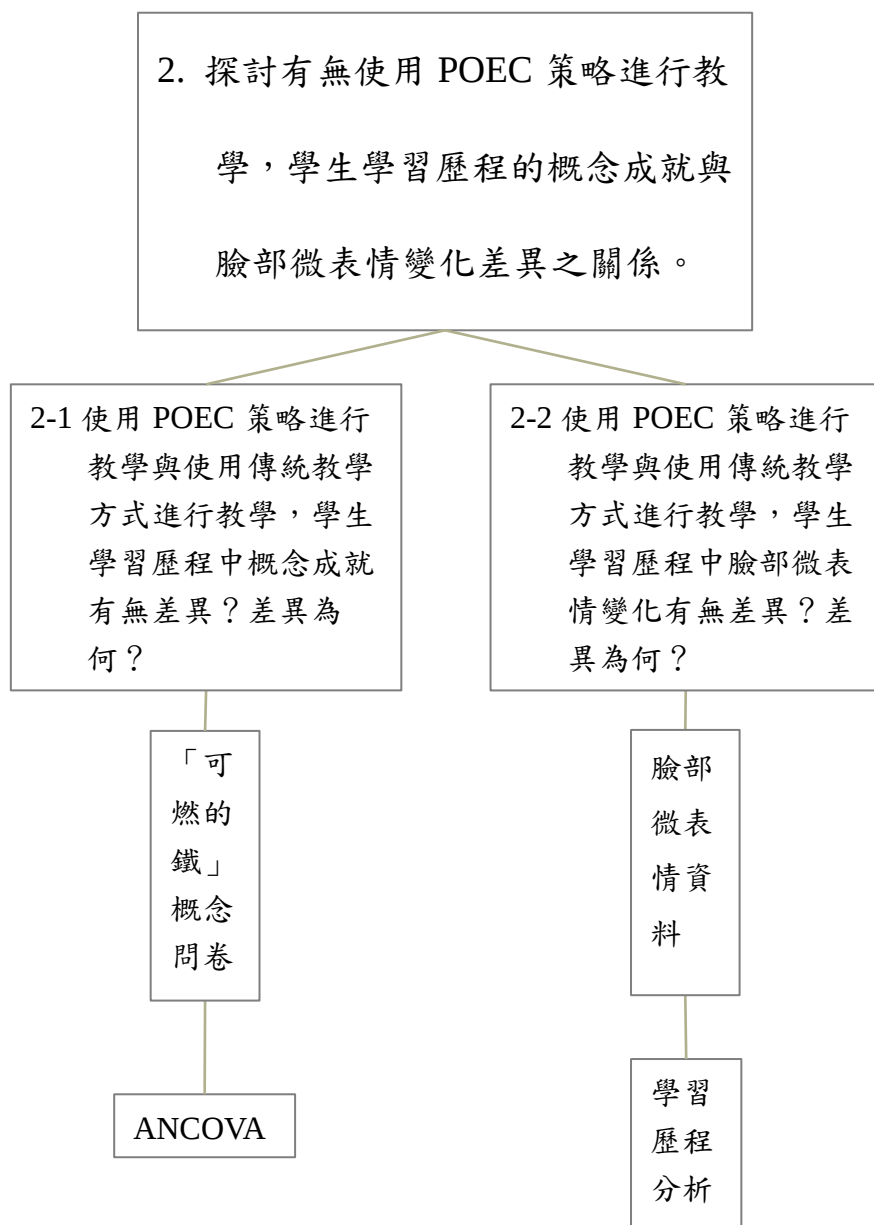


圖 3-6-2 研究樹狀圖 2.

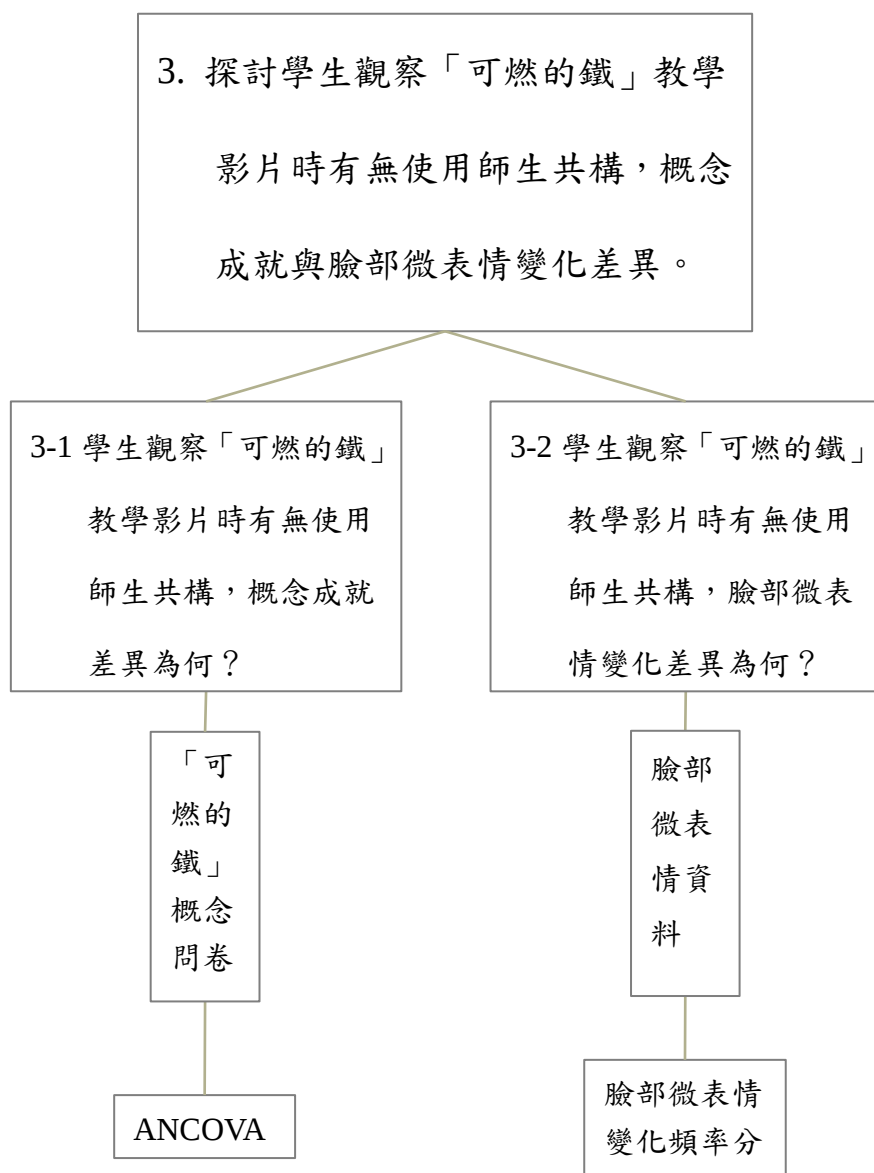


圖 3-6-3 研究樹狀圖 3.

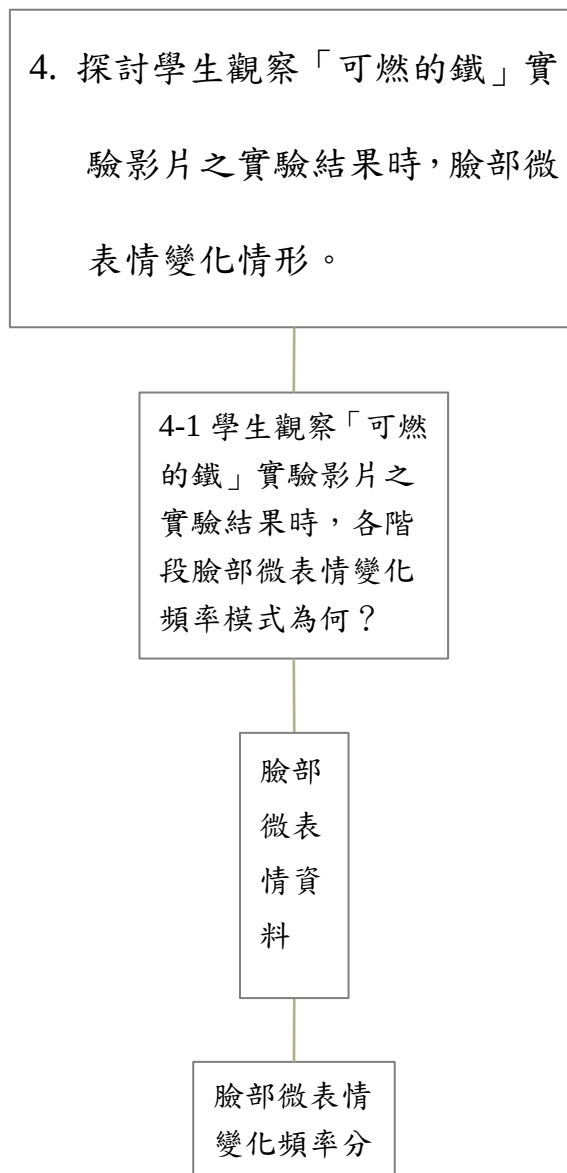


圖 3-6-4 研究樹狀圖 4.

第肆章 研究結果與討論

本章共分為四節，主要說明本研究之研究結果與結果討論。第一節為實驗影片教學前後概念學習情形，討論學生受測前後概念問卷填答之結果；第二節為實驗影片教學中臉部微表情變化與概念學習情形，討論學生受測過程中的臉部微表情變化與概念學習間的關係；第三節為「可燃的鐵」概念問卷試題分析結果，藉由試題分析探討教學成效；第四節則對研究結果進行綜合討論。

第一節 實驗影片教學前後概念學習情形

本研究試圖探討學生在使用實驗影片進行科學學習之成效，而其中使用了「可燃的鐵」概念問卷進行前後測以了解學生對於可燃的鐵實驗的學習成效，是否在學習的前後產生概念改變，研究者預期使用實驗影片進行科學學習是具成效的，因為使用實驗影片進行教學可讓學生明確觀察到實驗過程的變化，也可以更仔細觀察到實驗結果，並且由重複播放實驗結果的過程中再次檢視實驗過程以及思考導致實驗結果的原因。而後將對不同組的學生之概念問卷結果進行比較，試圖尋找組與組之間經過不同操弄後的差異。

一、全體受測學生施測前後之「可燃的鐵」概念問卷結果

本研究於學生正式使用實驗影片進行科學學習的前後施予「可燃的鐵」概念問卷以觀察學生在使用實驗影片學習的前後有無產生概念改變，而本次測驗分三組進行，其中包括食譜組 39 人、POEC 組 39 人以及(POEC)_{S/T} 組 37 人，將三組學生前後測「可燃的鐵」概念問卷施測結果進行組內 t 檢定（見表 4-1-1），檢定後可發現不論是食譜組、POEC 組亦或是(POEC)_{S/T} 組前後測之顯著性均達到 $p = .000$ ，表示施測學生之「可燃的鐵」概念問卷前後測結果均達顯著，可以說明「使用具有認知衝突情境的認知衝突實驗影片進行教學是極具成效的」。

表 4-1-1 三組學生「可燃的鐵」概念問卷組內前後測之 t 檢定摘要表

組別	測驗	個數	平均數	標準差	p 值
傳統教學	pre	39	17.72	4.18	.000***
	post	39	20.92	4.34	
POEC	pre	39	17.67	3.38	.000***
	post	39	20.82	4.81	
(POEC) _{S/T}	pre	37	17.51	4.09	.000***
	post	37	20.51	3.85	

* : $p < .05$ ** : $p < .01$ *** : $p < .001$

由於本研究試圖探討使用能夠使學生產生認知衝突情境的認知衝突實驗影片在不同的教學流程和教學影片中的差異，而研究設計中的三組操弄都有使用實驗影片教學，因此三組學生於前後測分數達顯著也是能夠預料的，所以研究者得到「使用具有認知衝突情境的認知衝突實驗影片進行教學是極具成效的」的結論，而學校教師也可以在特定狀況下，像是實驗內容具有高危險性、實驗器材學校無法負擔或是實驗本身較耗時費力無法在實驗課完成...等，類似的時間空間不允許的狀況下，教師們可以使用實驗影片進行教學，而實驗影片的內容則是以能夠產生學生認知衝突情境的內容為佳。

二、受測學生組與組之間施測前後「可燃的鐵」概念問卷差異

研究者為了觀察本研究三組操弄中各組間之差異，對三組學生之「可燃的鐵」概念問卷進行單因子共變數分析(ANCOVA)，此方法是以「可燃的鐵」概念問卷之前測結果做為共變數，「可燃的鐵」概念問卷之後測結果做為依變數，並將組別視為固定因子進行分析，分析結果發現三組之間未達顯著性（見表 4-1-2 與表

4-1-3)。研究者進一步進行「可燃的鐵」概念問卷前後測組間單因子共變數分析之事後比較，比較結果也顯示未達顯著差異（見表 4-1-4），而事後研究者也曾試圖對不同學習成就，以及不同試題屬性進行組與組之間進行單因子共變數分析均未達顯著差異。

由單因子共變數分析結果可知，單就概念問卷前後測的差異來說，本研究的三組操弄間並無顯著差異。這樣的結果更凸顯出研究者必須要就受測學生的學習歷程進行研究分析，而不能單純就前後測結果妄下結論，因此研究者認為除了前

表 4-1-2 三組學生概念問卷後測描述性統計量

組別	平均數	標準差	個數
傳統教學	20.92	4.34	39
POEC	20.82	4.81	39
(POEC) _{S/T}	20.51	3.85	37
總數	20.76	4.32	115

表 4-1-3 三組學生概念問卷前後測組間單因子共變數分析(ANCOVA)

來源	型 I 平方和	df	平均平方和	F	p 值
校正後的模式	1171.48	3	390.49	45.17	.000
截距	49545.82	1	49545.82	5730.49	.000
概念前測成績	1170.30	1	1170.30	135.36	.000
組別	1.18	2	.59	.07	.934
誤差	959.71	111	8.65		
總數	51677.00	115			
校正後的總數	2131.183	114			

表 4-1-4 三組學生概念問卷前後測組間單因子共變數分析(ANCOVA)之事後比較

(I) 組別	(J) 組別	平均差異 (I-J)	標準誤差	p 值	差異的 95% 信賴區間	
					下界	上界
傳統教學	POEC	.06	.67	.928	-1.26	1.38
	(POEC) _{S/T}	.24	.68	.723	-1.10	1.58
POEC	傳統教學	-.06	.67	.928	-1.38	1.26
	(POEC) _{S/T}	.18	.68	.790	-1.16	1.52
(POEC) _{S/T}	傳統教學	-.24	.68	.723	-1.58	1.10
	POEC	-.18	.68	.790	-1.52	1.16

後測的問卷統計分析外，也應該利用學習時的臉部微表情資料進行分析，利用臉部微表情此一最直接的生理訊號對學生的學習歷程進行分析，並將學習歷程分析結果與問卷分析結果相互比較。以下內容為臉部微表情分析，用以了解學生學習各階段的表情變化結果並與概念問卷結果進行比對分析。

第二節 實驗影片教學中臉部微表情變化與概念學習情形

本研究試圖藉由臉部微表情辨識技術對學生的實驗影片教學學習歷程進行分析與討論，而在本研究中三組學生都使用能夠使學生產生認知衝突情境的認知衝突實驗影片為主軸進行教學。三組研究工具各有不同的差異，食譜組和 POEC 組的差別主要在於教學影片中觀察認知衝突實驗影片前 P（預測）步驟的投影片和觀察認知衝突實驗後 E（解釋）投影片的有無，換言之，即食譜組沒有 P 和 E 步驟的投影片，POEC 組有 P 和 E 的投影片。另外 POEC 組和 (POEC)_{S/T} 組都包含著以 POEC 為主軸的教學法，兩組間最大的差異在於教學步驟中研究者所給予施測學生的教學影片的內容，(POEC)_{S/T} 組的內容包含師生共構歷程，教學影片中多了教師與學生的角色並以師生對話的方式呈現，但 (POEC)_{S/T} 組和其他兩組的教學影片中所要帶給學生的教學內容是完全一樣的，只是加入了師生共構歷程。然而在先前的分析中，三組學生的概念問卷前後測結果並無顯著差異，但這三組學生在學習歷程中，臉部微表情變化及概念改變學習歷程皆有些微差異，由以下分析便可窺知一二。

本研究於施測過程中對所有的受測學生都有進行臉部錄影，並將錄影結果以 FaceReader 5.0 臉部微表情辨識軟體進行學習歷程臉部微表情分析。由於軟硬體的限制，進行臉部微表情分析時必須注意學生的坐姿、教室的採光或是臉部面對電腦螢幕的角度...等相關的環境因素，因此在樣本的收集上有一定的困難度。而本研究中一共對 115 位學生進行施測，而經過分析後一共有 93 個樣本成功分析，這些成功的樣本在關鍵取樣時間中並無明顯無法判斷之表情變化（Unknown），研究中取樣成功率高達 80.9%（詳見表 4-2-1），若扣除研究者之人為操作問題，單就環境因素而言，取樣成功率應可達九成。先前的研究經驗中，大樣本施測取樣成功率從未有本研究的高成功率，會有如此的高成功率，其中最主要的因素還是要感謝邱美虹教授研究團隊進行國科會人臉計畫累積下來大量的研究經驗，讓本研究的施測能夠快速、準確且大量進行，另外臉部微表情辨識軟體的持續進步

也是取樣成功率成長的原因之一。

表 4-2-1 臉部微表情資料取樣成功百分率(%)

組別	成功樣本數	總樣本數	取樣成功率
傳統教學	31	39	79.5
POEC	31	39	79.5
(POEC) _{S/T}	31	37	83.8
總和	93	115	80.9

一、各組受測學生學習歷程分析

由於本研究強調使用能夠產生認知衝突情境的認知衝突實驗影片進行教學，在對學生進行學習歷程分析中，最重要的取樣片段就是觀察認知衝突實驗影片的步驟，在可燃的鐵實驗研究設計中，最能使學生達到認知衝突情境的片段就屬鐵粉由高處往下倒並燃燒的影片，此影片全長 1 分 3 秒，但整個影片中「鐵粉由高處往下倒」的動作重播了一次，因此若不包括慢動作重播的部分，「鐵粉由高處往下倒」的影片片段一共有 26 秒，而研究者希望受測學生能在此 26 秒鐘有達到表情變化（例如：由中性轉變為快樂或是由驚訝轉變為生氣），研究者假設學生若產生表情變化，就是代表學生在這段時間相較於先前觀賞實驗準備步驟時來的更為專注，也代表著學生內在嘗試著對鐵粉往下倒且開始燃燒的現象進行解釋，若受測學生有產生表情變化代表有受到認知衝突實驗影片的刺激，經歷了認知衝突情境，試圖使學生們達到 Posner, Strike, Hewson 和 Gertzog(1982)概念改變四個條件中的第一個條件「學習者不滿意其原有概念」。

圖 4-2-1 至圖 4-3-6 為研究者仿照 Chiu et al. (2014)的分析方式，依照不同的分析需求所區分出的學習歷程分析圖，這些歷程分析圖分別代表著食譜組、POEC 組和(POEC)_{S/T} 組的受測學生在整個施測流程中的表現，在進行歷程分析

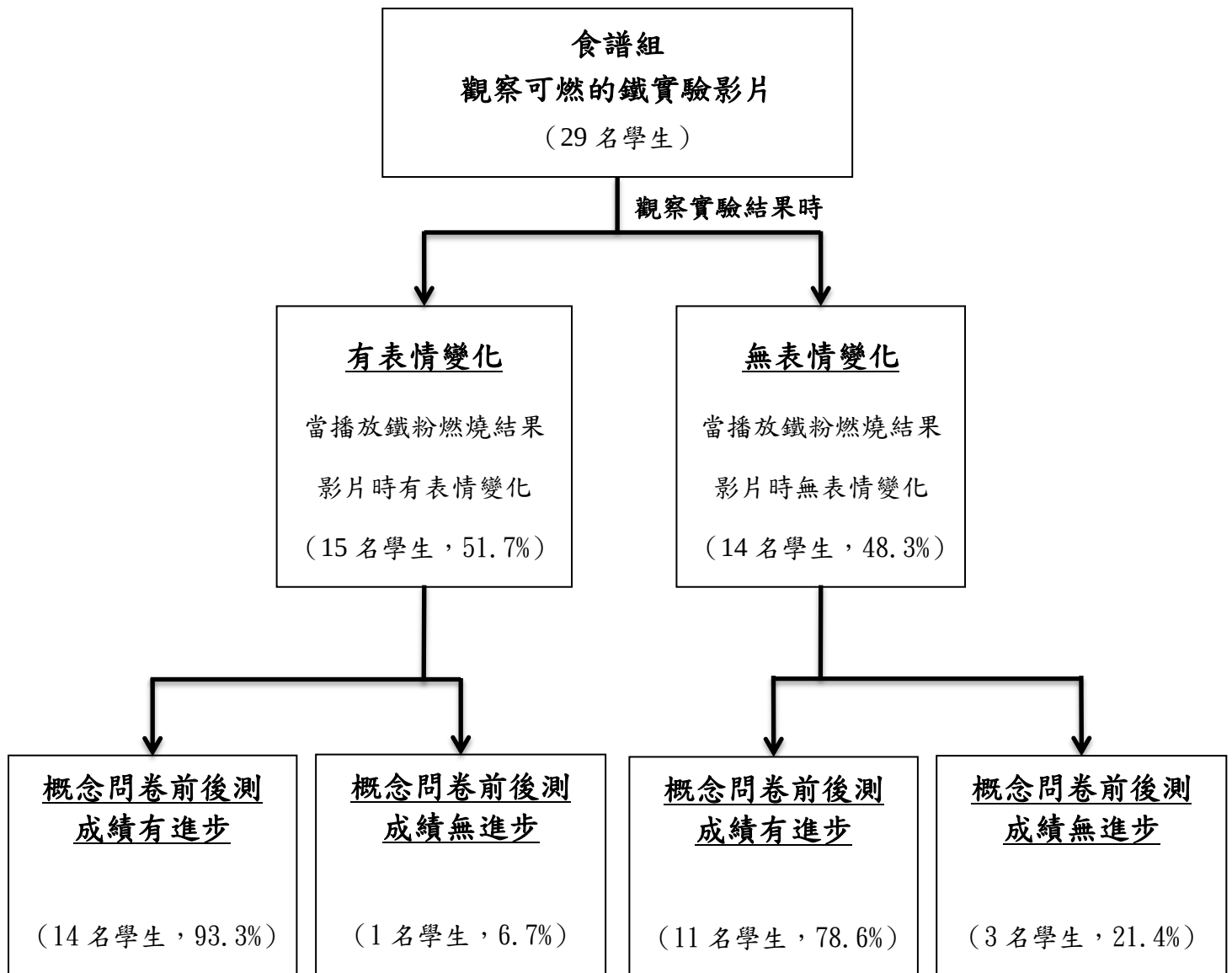


圖 4-2-1 食譜組之受測學生臉部微表情及前後測成績學習歷程分析圖

前研究者事先篩選並剔除了一些受測學生，這些受測學生於概念問卷後測第 27 題鐵粉掉落是否會燃燒的問題未能答對，研究者認為這些受測學生屬於無效樣本。

首先，圖 4-2-1 的學習歷程分析圖代表著食譜組在學習歷程中的變化，整組 31 位受測學生，在觀察實驗結果影片後分別有部分學生有表情變化、有部分未產生表情變化，而這些學生在概念問卷前後測分別有不同的結果。研究者首先發現在學習歷程分析圖的最底層中，觀察實驗影片時有表情變化且可燃的鐵問卷前後測有進步的學生，佔所有觀察實驗影片有表情變化學生的 93.3%；而觀察實驗影片無表情變化但可燃的鐵問卷前後測也有進步的學生，佔所有無表情變化學生中的 78.6%。相較起來有表情變化的學生較容易在可燃的鐵問卷前後測達進步。

此一結果與 Chiu et al. (2014)所得到的結果類似，由臉部微表情變化能夠偵測學習者是否意識到認知衝突，並進一步的產生學習的效應，在本研究中有表情變化的學生較容易在可燃的鐵問卷前後測達到進步便可說明此事，而不單單在食譜組可以見到此結果，POEC 組和(POEC)_{S/T} 組的學生學習歷程分析圖中也可以見到相同的結果（見圖 4-2-3、圖 4-2-4），也因此本研究可再次得到臉部微表情變化能夠偵測學習者是否意識到認知衝突，且經歷認知衝突情境的學生較容易產生概念改變。

圖 4-2-2 則是 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組兩組學生之學習歷程分析圖，這兩組學生都是使用 POEC 教學法，為一的差別在教學影片上，因此將此兩組學生合併進行學習歷程分析。圖 4-2-2 中，兩組學生一共 54 位，其中的 50 位 92.6%在 POEC 教學中的 P 步驟（預測）中，對可燃的鐵實驗中鐵粉往下倒提出了錯誤的預測（鐵粉結塊或不會改變），九成以上的受測學生對可燃的鐵實驗預測錯誤，代表「可燃的鐵」實驗對學生來說的確是一個極佳的認知衝突實驗。

另外，圖 4-2-2 的最底層為預測錯誤學生觀察實驗影片後的臉部微表情變化情形，又由於本研究主要探討學生「學習」的歷程，所以若學生在預測鐵粉的步驟中預測正確則將不列入討論。最底層的臉部微表情變化結果發現：POEC 組和

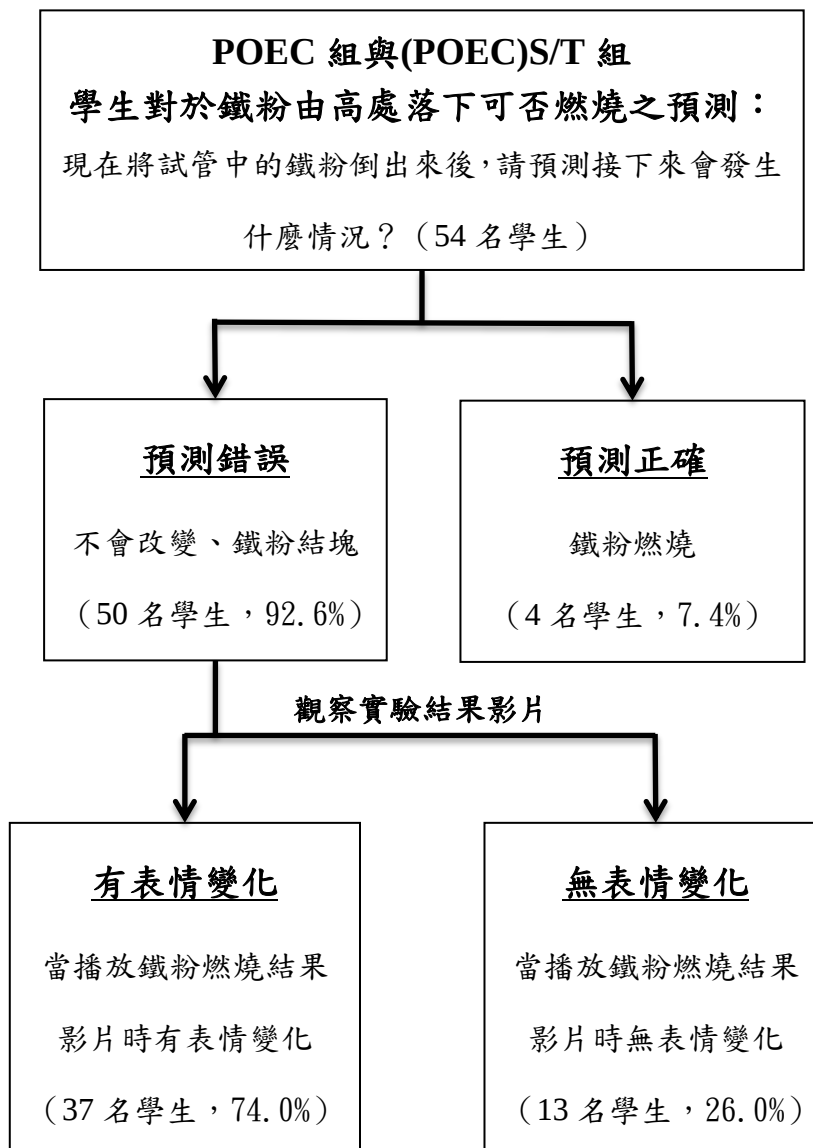


圖 4-2-2 POEC 和(POEC)_{S/T} 組之受測學生實驗預測及臉部微表情學習歷程分析圖

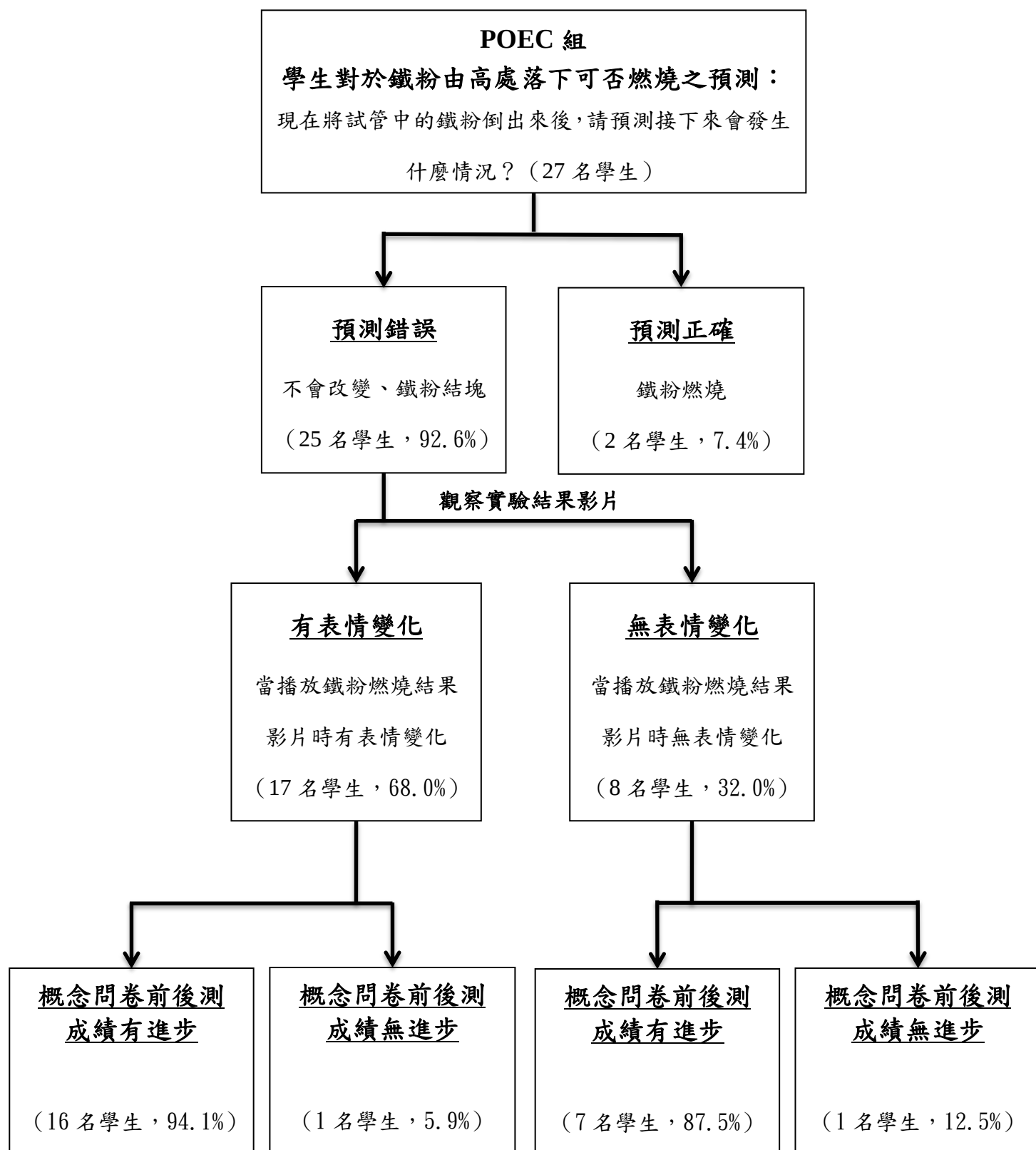


圖 4-2-3 POEC 組之受測學生實驗預測、臉部微表情及前後測成績學習歷程分析

圖

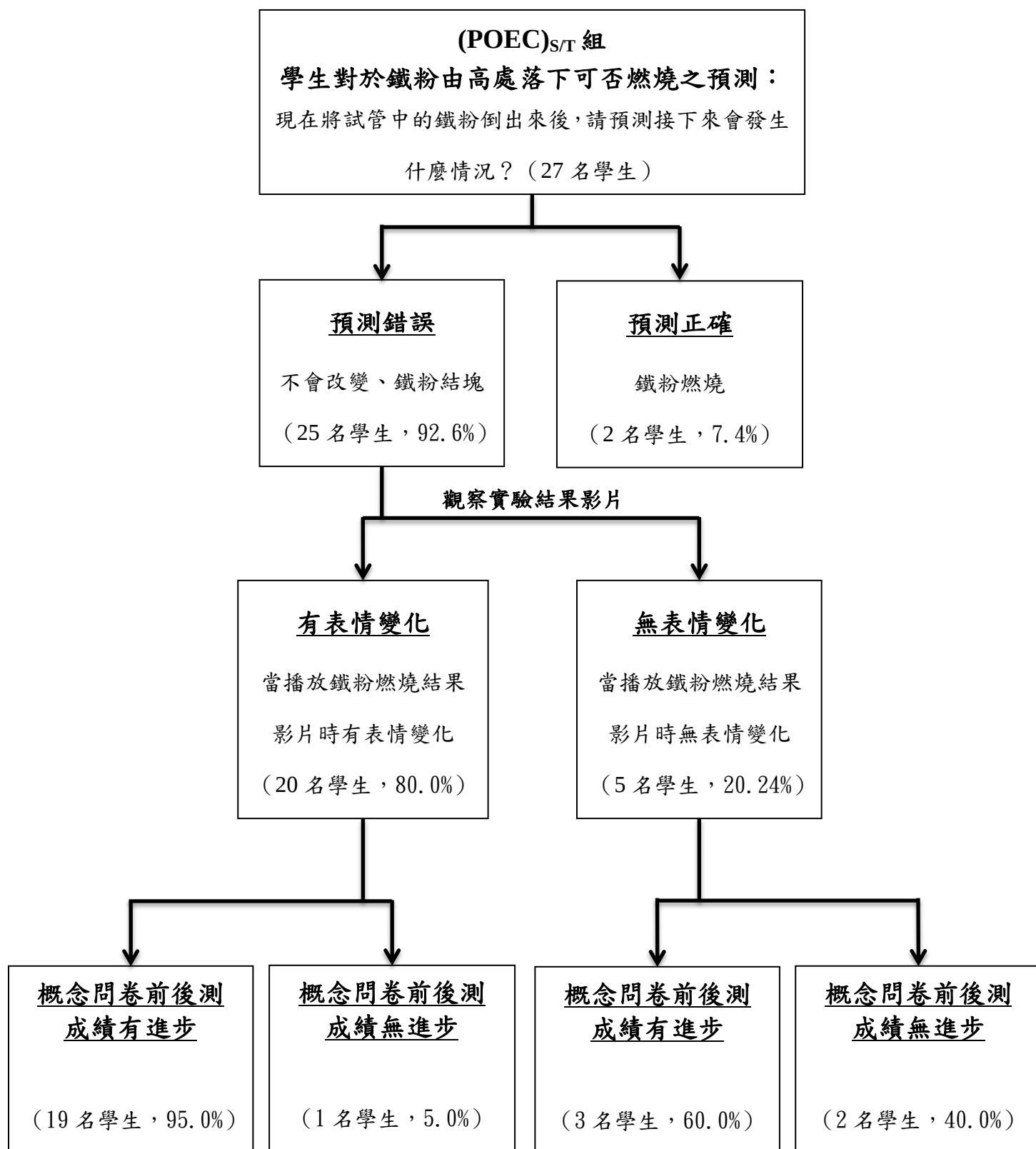


圖 4-2-4 (POEC)_{S/T} 組之受測學生實驗預測、臉部微表情及前後測成績學習歷程分

析圖

(POEC)_{S/T}組的受測學生有表情變化的占了74.0%，無表情變化占了26.0%。另外，由圖 4-2-1 還可發現在食譜組的學生其觀察實驗結果影片時，有表情變化的學生和無表情變化的學生比例幾乎是一比一（有表情變化：51.7%；無表情變化：48.3%）。比對圖 4-2-1 和圖 4-2-2 的結果即可發現：**在實驗影片教學中加入「預測」步驟，受測學生有表情變化的比例較高。**

根據邱美虹等人（2005）的研究指出，學生應該對觀察到的現象和預測做比較，才能達到學生在學習的過程中，針對衝突的知識進行思考的目的。而本研究提供了受測學生認知衝突實驗影片，因此在實驗影片教學中加入預測的步驟發現有較多學生有表情變化可證明「預測」的確能使學生在學習的過程中針對衝突的知識進行思考，也較容易使學生歷經認知衝突情境，因此研究者認為教師在教學現場不論是實驗課或是在課室中使用演示實驗進行教學時，應該都要加入預測的步驟。

圖 4-2-1 至圖 4-2-4 的學習歷程分析之資料分析方法主要仿效 Chiu et al. (2014)研究中的分析方法，依照施測前後的順序性進行學習歷程分析，由學生對認知衝突實驗的預測步驟開始，記錄學生預測正確與否後，在記錄學生在觀察認知衝突實驗影片時有無表情變化，最後再記錄學生們的概念問卷前後測答題情形，以觀察學生們概念改變光譜。但在本研究進行研究設計時發現，從記錄學生觀察認知衝突實驗影片到學生概念問卷前後測結果之間，若視為由觀察實驗影片到後測結果兩步驟間其實是經歷非常多步驟的，學生或許會在這段期間學習歷程產生改變，若研究者無法在這段期間觀察到學習歷程的改變是非常可惜的。因此，研究者在設計 POEC 組和(POEC)_{S/T}組教學投影片時，特別在學生們觀察完認知衝突實驗影片後加入 POEC 教學法中 E（解釋）步驟的投影片，事實上 White & Gunstone (1992) 提出的 POE 教學策略和邱美虹等人（2005）提出的 POEC 教學法中，解釋的步驟都可視為必然會發生的，且通常都會將教學法的重點放在 P（預測）上，但在本研究中希望能夠觀察學生在 O（觀察）步驟後概念有無產生改變，

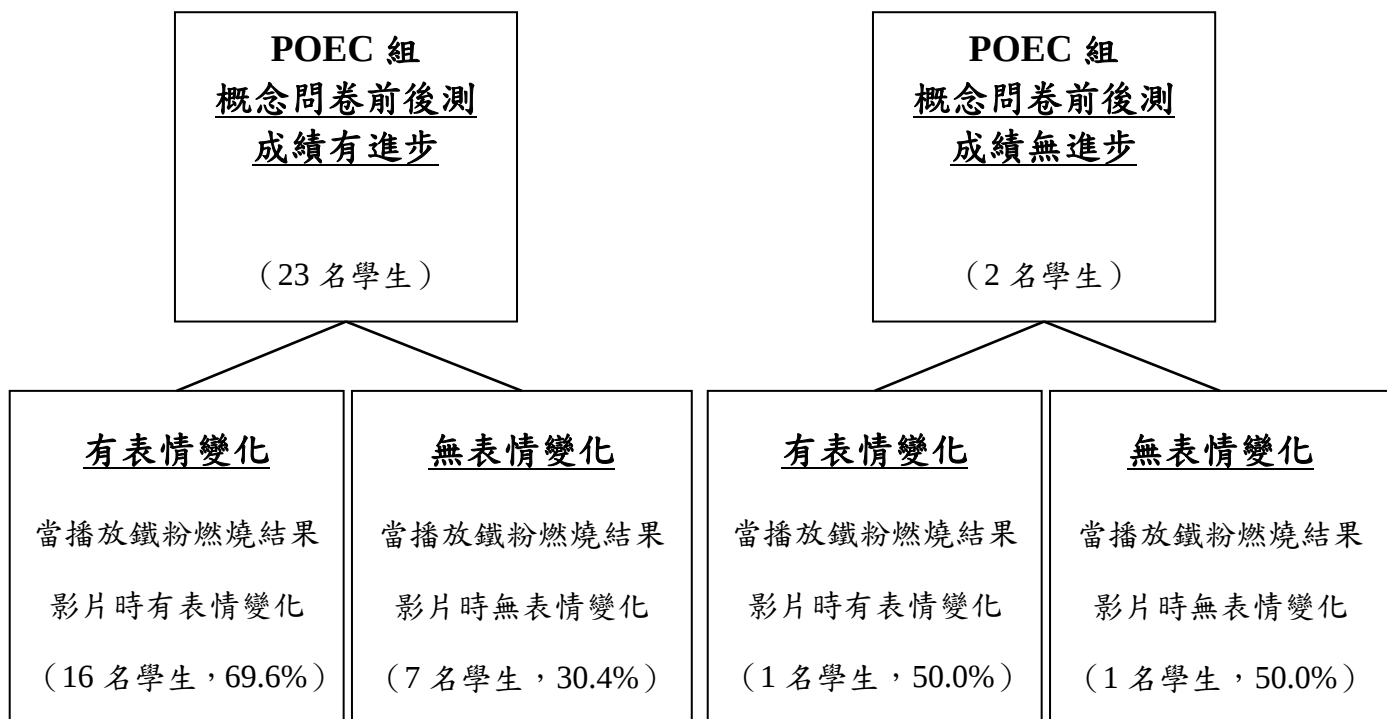


圖 4-2-5 POEC 組概念問卷前後測結果與表情變化關係圖

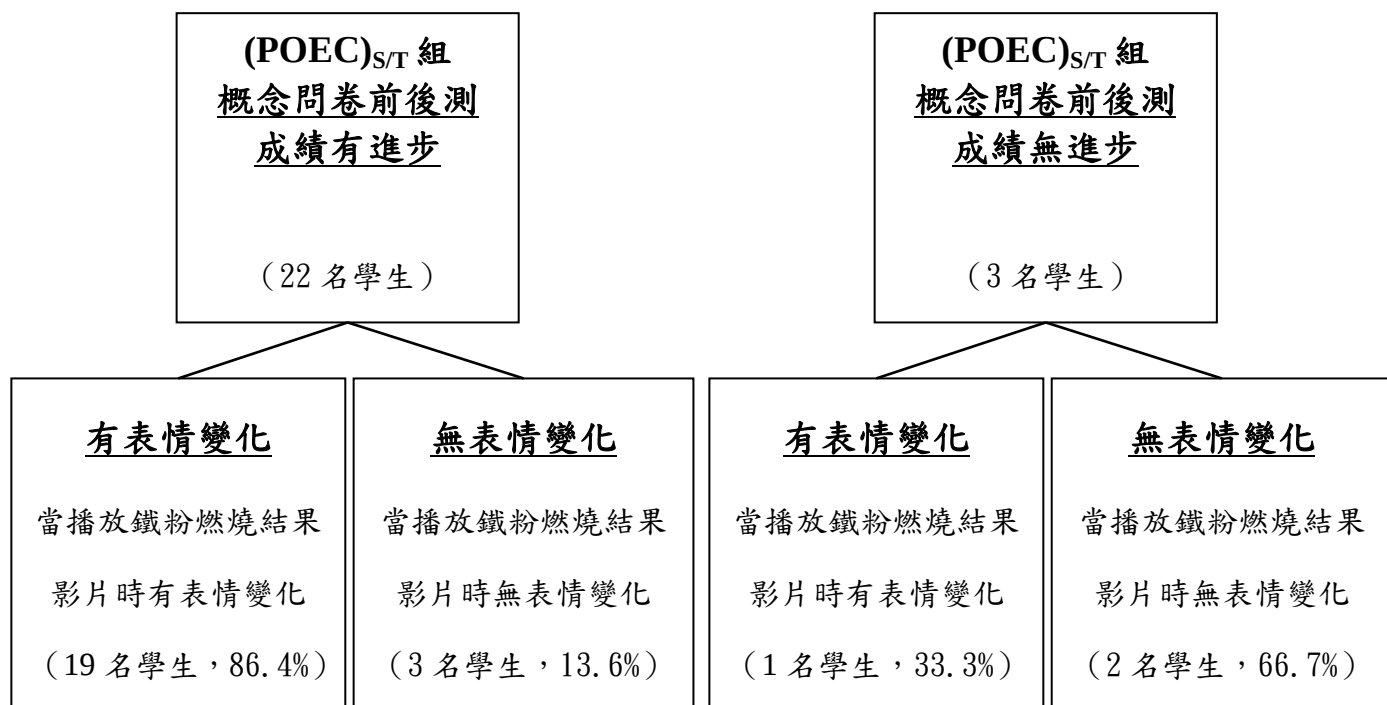


圖 4-2-6 (POEC)_{S/T} 組概念問卷前後測結果與表情變化關係圖

因此在投影片的設計中加入了 E（解釋）步驟的投影片，要求受測學生對在 O（觀察）步驟觀察到的結果進行解釋，以觀察學生在觀察完認知衝突實驗影片後有無對其概念直接產生變化。另外，在教學投影片設計中，經過 E（解釋）步驟後就直接進入教學影片，也因此學習歷程分析中加入 E（解釋）步驟分析，也可間接的使最後的概念結果分析完整的呈現出教學影片對學生的影響。

圖 4-2-5 和圖 4-2-6 為 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組概念問卷前後測結果與表情變化關係圖，圖 4-2-1 至圖 4-2-4 皆為依照施測流程順序之學習歷程分析圖，但若將概念問卷前後測有無進步為主，分為有無表情變化進行分析，結果發現兩組受測學生中若概念問卷前後測有進步，有表情變化的比例都比無表情變化的比例為多（POEC 組：69.6% > 30.4%；(POEC)_{S/T} 組：86.4% > 13.6%），而概念問卷前後測無進步的學生人數過少，因此不列入討論。得到有表情變化的學生比例比無表情變化的學生要多的結果，就某種程度而言，也可說明臉部微表情變化可作為概念改變的指標。相較於 Chiu et al. (2014)的研究，其研究中發現低程度的概念改變學生較少表情變化，而本研究得到了有概念改變的學生中大部分都有表情變化的結果，研究者認為會有此差異主要是對受測學生而言概念的難度不同導致研究結果中有些微的不同，但總的來說將本研究之結果比對 Chiu et al. (2014)的研究結果，更可說明以臉部微表情指標觀察學生概念改變的重要性。

圖 4-2-7 為 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組學生的學習歷程分析圖，圖中包括了對實驗影片的預測、觀察實驗影片時有無表情變化、觀察完實驗影片後對實驗現象的解釋是否正確以及最後概念問卷成績有無進步。而 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組兩組的差別在於教學影片，而本研究的學習歷程分析中並無找到兩組之間的差異，研究者推估是因為教學內容除了呈現方式，教學中的概念並沒有任何差異所造成，因此圖 4-2-7 仍是將兩組學生合併討論以探討學生學習歷程的趨勢。而圖 4-2-7 的歷程分析圖中可發現：對於實驗影片，不論是有表情變化或是無表情變化的學生，在觀察完實驗影片後對實驗影片進行解釋，大部分學生仍無法正確解釋，且解釋正確和解釋錯誤學生間的比例並沒有因其對實驗影片有無表情變化而有所

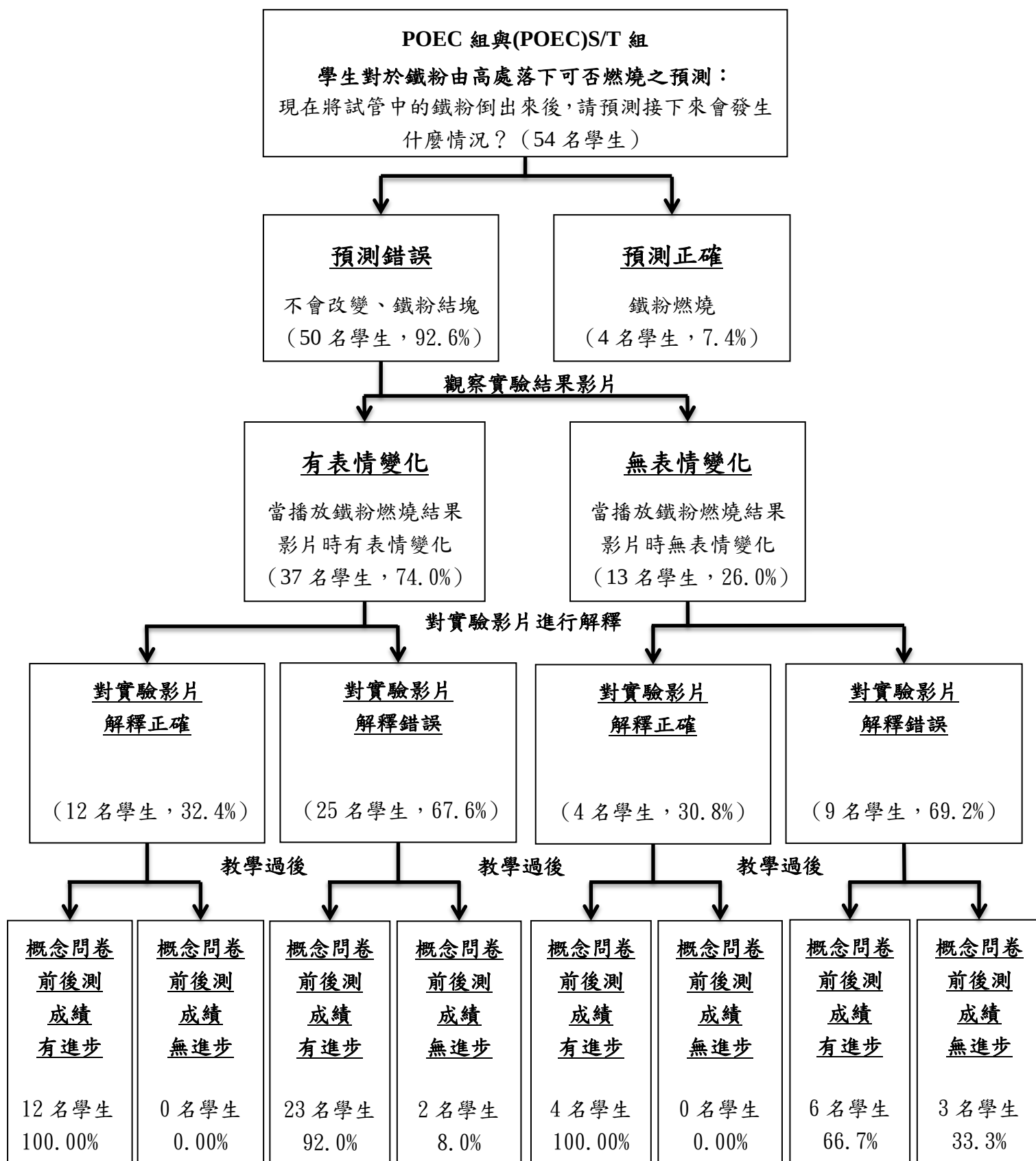


圖 4-2-7 POEC 和(POEC)_{S/T} 組之受測學生實驗預測、臉部微表情、實驗解釋及前後測成績學習歷程分析圖

差異。會有這樣的結果，其實也並不令人感到意外，首先我們必須要知道一直以來概念改變的文獻中都會提到：概念改變是困難的（邱美虹，2000）。而在 Chiu et al. (2014) 的研究結果中也說明了：觀察實驗影片時的臉部微表情變化可視為學生有無歷經認知衝突情境的生理訊號。也因此**學生經歷認知衝突情境後仍須經由教學才能產生概念改變**。

其他的文獻同時也指出：巨微觀概念間的轉換是學習化學概念的重要課題，而生手學生相較於專家學生通常較無法在巨微觀概念間進行轉換(Johnstone , 1991 ; Kozma & Russell, 1997)，而本研究之研究樣本都是國中二年級學生，根據謝秉桓等人（2014）的研究指出：現行自然科教科書在二年級上學期第六章才第一次正式提及物質的粒子概念，因此本研究的施測學生對於巨微觀概念的轉換應屬生手階段，在觀察可燃的鐵實驗影片後、尚未進行教學前未產生概念改變也是可理解的。

另外，在圖 4-2-7 還可以看到**實驗預測錯誤的學生**，不論他們在觀察實驗影片時有沒有產生表情變化，就算他們對實驗的解釋錯誤，經過教學後仍有高百分比的學生概念問卷前後測成績進步（92.0%、66.7%）。這樣的結果能夠應證 Chiu et al. (2014) 研究架構圖（圖 2-1-1）的正確性，學生歷經認知衝突情境再經過教學後，其概念改變程度只會增加。這樣的結果也再次的證明了使用具有認知衝突情境的認知衝突實驗進行教學的有效性。

二、POEC 組和(POEC)_{S/T} 組觀察認知衝突實驗影片期間臉部微表情變化頻率分析

研究者在資料分析過程中嘗試對步驟 O（觀察）進行細部的分析，其中對 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組兩組學生一起進行分析是因為食譜組的學生在觀察實驗影片前有先進行預測的步驟，研究者擔心這樣的教學步驟會造成學生間的差異，因此先將食譜組的學生剔除不納入分析。

POEC 組和(POEC)_{S/T} 所使用的認知衝突實驗影片中，讓學生們觀察實驗結

果的影片一共一分零三秒，而其中又可分為第一次撥放和重複慢速撥放兩部分，而此兩部分的內容又可分為「鐵粉由高處掉落燃燒」和「鐵粉引燃桌面之面紙」（相關影片畫面見圖 4-3-8 和圖 4-3-9）。認知衝突實驗影片會先撥放第一次「鐵粉由高處掉落燃燒」和「鐵粉引燃桌面之面紙」後慢速重播「鐵粉由高處掉落燃燒」和「鐵粉引燃桌面之面紙」，而這四部分分別歷經了 12、14、16、21 秒，再將此四部分的臉部微表情變化次數依樣本個數、影片時間進行計算表情變化頻率之計算，計算結果可見表 4-2-2 和圖 4-2-10。



圖 4-2-8 「鐵粉由高處掉落燃燒」畫面



圖 4-2-9 「鐵粉引燃桌面之面紙」畫面

表 4-2-2 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組受測學生觀察認知衝突實驗影片表情變化次數及頻率

實驗影片片段	平均每人 表情變化次數 (次)	影片時間 (秒)	表情變化頻率 (次 / 10 秒)
鐵粉由高處掉落燃燒	1.44	12	1.20
鐵粉引燃桌面之面紙	1.79	14	1.28
鐵粉由高處掉落燃燒 —慢動作重播	2.03	16	1.27
鐵粉引燃桌面之面紙 —慢動作重播	2.53	21	1.21

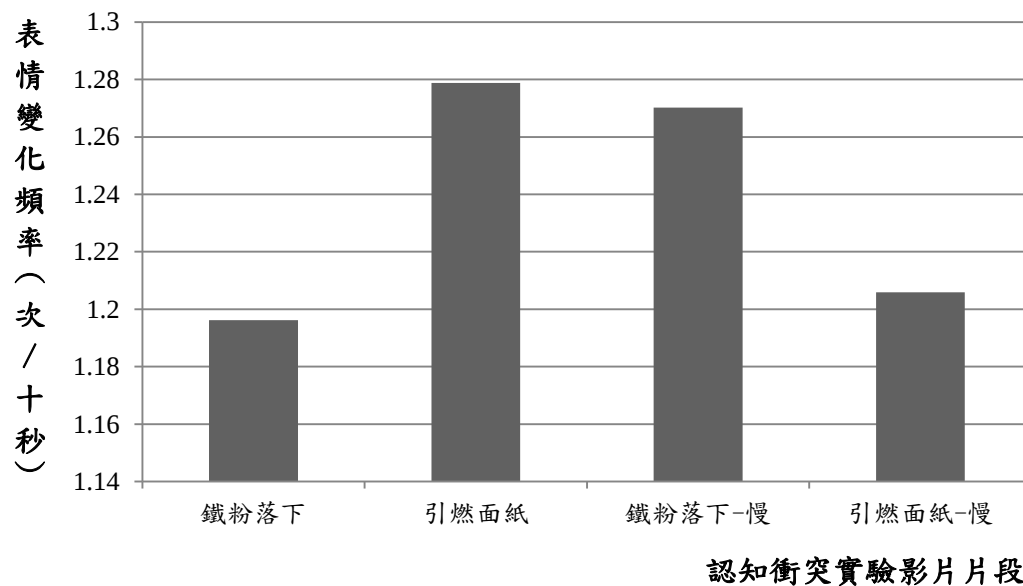


圖 4-2-10 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組受測學生觀察認知衝突實驗影片表情變化次數及頻率關係圖

表 4-2-2 和圖 4-2-10 中可見 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組學生觀察認知衝突實驗表情變化頻率結果，結果發現：影片一開始鐵粉燃燒和最後鐵粉引燃面紙的慢動作重播表情變化頻率較低，而第一次撥放粉引燃面紙和慢動作重播鐵粉燃燒時的表情變化頻率較高。

會有這樣的結果，研究者認為和先前有進行預測步驟的學生較容易產生表情變化的原因類似，幾乎所有的受測學生對於鐵粉的預測都是錯誤的，也因此他們對於認知衝突實驗影片的預期與結果是不同的，更可以說他們甚至沒有預期到鐵粉會燃燒的結果發生，也因為如此在第一次看到了鐵粉發生燃燒現象時他們在短短的 12 秒內沒有反應過來；然而在第二階段的鐵粉引燃面紙時，因實驗設計鐵粉燃燒引燃面紙對學生們的視覺衝擊是非常強烈的，所以學生們開始有表情變化；也因此進入第三階段重複慢動作撥放鐵粉往下倒燃燒的影片時，學生們也會有表情變化，也同時可以讓學生們再次的回顧先前並未產生反應的片段，同時他們也對此有進行思考並成功地讓學生產生認知衝突情境；到了最後的鐵粉引燃面紙慢動作重播階段，也因為學生們都可預期會發生面紙引燃的現象，學生們沒有表情

變化也是可以預期的。由以上的討論，研究者得到了以下的結論：第一，由學生臉部微表情變化頻率可再次證明：**可燃的鐵實驗是一個確實能讓學生產生認知衝突情境的認知衝突實驗**。第二，由受測學生在認知衝突實驗影片的四個階段的臉部變化頻率分布，若要學生真的看到教師們所期望讓學生看到的部分（如本研究中的鐵粉由高處掉落燃燒片段），對於教學現場的教師而言，**不論是在教室進行演示實驗或是使用實驗影片進行教學，「慢速重播」的步驟是絕對有必要存在的。**

三、POEC 組和(POEC)_{S/T} 組教學期間臉部微表情變化頻率分析

在先前的資料分析結果中，都未能發現 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組之間的差距，而這兩組的研究設計的差異在於有無使用師生共構的方式進行教學，雖然未能夠在概念問卷前後測結果和學習歷程分析中發現差異，但研究者表情變化頻率分析中，將 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組兩組的教學期間表情變化頻率進行計算，而兩組學生使用不同的教學影片，POEC 組的教學影片時間全長三分二十五秒，(POEC)_{S/T} 組學生使用的教學影片長度為四分二十秒，經計算後發現 POEC 組學生每十秒鐘會產生 0.98 個表情變化，(POEC)_{S/T} 組學生會產生 1.14 個表情變化（見表 4-2-3）。

表 4-2-3 POEC 組和(POEC)_{S/T} 組之教學期間表情變化頻率

組別	樣本數	每人平均表情 變化次數	教學影片時間	表情變化頻率(次/10 秒)
POEC	31	20	3 分 25 秒	0.98
(POEC) _{S/T}	31	29.65	4 分 20 秒	1.14

這樣的結果也在研究者的預料內，Tao 與 Gunstone（1999）的文獻中指出，雖然使用共構的方式在學習中是很重要的，但要達到長期且穩定的概念改變需要加上學生自己本身的理解與建構。也可以說使用師生共構進行概念改變教學仍需

要學生本身的配合，而本研究中所選擇的實驗內容較為簡單，學生本身的理解與建構變能夠達到概念改變，也因此本研究中所看到建構的效益較不明顯。

另外在本研究中，教學影片所介入的時間只有四分二十秒，在這短短的四分多鐘進行建構，對學生來說是不夠的。而且，學生所看到的實驗影片中的師生共構是間接的，真正的師生共構應該是直接在課室中教師與學生的互動，但本研究受制於必須使用電腦進行研究，所以選擇使用間接的師生共構。

最後結果中仍發現使用師生共構的學生在進行教學時有較多的臉部微表情變化，因此研究者認為：教師進行實驗教學時仍應加入師生共構的教學方式，尤其在越困難的教學內容中更應使用師生共構。

第三節 「可燃的鐵」概念問卷試題分析結果

在了解了本研究中學生臉部微表情變化和學習歷程後，接下來要了解學生在可燃的鐵實驗中學到了什麼概念？可燃的鐵實驗教給了學生什麼？由於先前章節提及本研究中的「可燃的鐵」概念問卷中，組與組之間並無顯著差異。因此本章節將對三組學生在氧化還原、反應速率和可燃的鐵實驗試題中各題的答題結果進行試題分析，並討論受測學生在本研究的學習成果。

表 4-3-1 為三組學生在不同類型試題前後測答對率的差異比較，研究者將三組學生（共 115 名）前後測問卷中不同題型（氧化還原 11 題、反應速率 7 題和可燃的鐵實驗 9 題）分別計算出各題型的答對率，並進行相依樣本雙樣本平均數考驗（paired t-test）。分析結果發現，受測學生在三種不同題型中都有良好的表現，不論是氧化還原、反應速率還是可燃的鐵實驗相關試題前後測都有達到顯著差異（三種題型 p 值皆小於.001），既然得到如此的結果，接下來的內容將會深入對每種題型中各試題進行分析。

表 4-3-1 三組學生不同類型試題前後測答對率(%)差異比較

題型	前測答對率	後測答對率	t 值	p 值
氧化還原	68.0	77.2	-5.58	.000***
反應速率	66.8	80.7	-6.72	.000***
可燃的鐵實驗	61.2	73.8	-7.12	.000***

*：p < .05 **：p < .01 ***：p < .001

一、各組受測學生於氧化還原試題之試題分析

表 4-3-2 為三組學生在 11 題氧化還原試題中，各題前後測答對率的差異比較，研究者將氧化還原的 11 題試題依照所有受測學生前後測答題情形計算出前後測答對率，並進行相依樣本雙樣本平均數考驗（paired t-test）。

表 4-3-2 三組學生氧化還原試題各題前後測答對率(%)差異比較

題號	前測答對率	後測答對率	t 值	p 值
1	79.1	72.2	1.72	.088
2	93.0	90.4	.90	.368
3	86.1	82.6	.85	.396
11	42.6	64.4	-4.30	.000***
12	60.0	80.9	-3.49	.001**
13	22.6	52.2	-5.23	.000***
14	89.6	93.9	-1.39	.167
15	83.5	83.5	.00	1.000
16	40.9	66.1	-4.83	.000***
17	78.3	86.1	-1.69	.095
18	70.4	76.5	-1.22	.225

* : $p < .05$ ** : $p < .01$ *** : $p < .001$

結果發現，「可燃的鐵」概念問卷的前三題題目前後測答對率都未達顯著，除了未達顯著外，更發現這三題題目的前測答對率都略為比後測答對率高。這三題題目主要是為了要確定學生有無正確的氧化還原概念，以作為理解可燃的鐵實驗的先備知識，所以這三題試題的內容包括了「鐵生鏽和燃燒現象是何種反應？」、「何種氧化還原反應反應速率較快？」的試題，而這些內容其實都是受測學生國小自然課的上課內容，大部分的學生們都擁有基本的氧化還原反應的先備知識，也因此學生們在這三題題目的前測答對率都高達八成或八成以上，然而在本研究的教學影片中未再次正式提及氧化還原反應的快慢以致後測答對率的現象發生，但前測的高答對率已足以證明「學生在受測前已擁有足夠的氧化還原先備知識」。

另外在第 11 題到第 18 題這八題題目主要將聚焦在燃燒三要素上，燃燒三要

素的概念在教學影片中是一大重點，但相較於反應速率與可燃的鐵實驗間的關係，燃燒三要素與可燃的鐵實驗間的關係較為薄弱。分析結果發現，除了第 15 題，其餘七題題目的後測答對率皆高於前測答對率，這樣的結果表示受測學生有成功的學習到大部分的燃燒三要素概念。而依照題目內容進行探討，由第 11 題至第 13 題，這三題題目主要在討論「燃燒和滅火與燃燒三要素的關係」以及「金屬的可燃性」，在教學影片中有直接提及到燃燒與滅火分別需要幾項燃燒要素的存在，也因此第 11 題和第 12 題前後測顯著性都有到達顯著（第 11 題 $p = .000$ ；第 12 題 $p = .001$ ），而第 13 題更直接的問到了金屬可否燃燒的問題，由前測答對率極低的現象（22.6%）即可發現金屬可否燃燒對大部分國二學生是一個普遍的迷思概念，受測學生在施測前大部分不認為金屬能夠燃燒，甚至在研究者對即將升上國三的學生進行研究預測時也發生相同的現象，而本研究中不僅教學影片有直接提及金屬可燃燒的概念，教學的主要內容就是在說明金屬鐵粉的燃燒現象，也因此第 13 題的部分學生前後測答對率有極大的差異， t 值也是這八題中最小的（ $t = -5.23$ ），代表學生在經過可燃的鐵實驗影片教學後對於金屬可否燃燒已產生概念改變。

另外，第 14 題到第 18 題這五題題目研究者以題組題的方式出題，試圖測驗學生們對於「燃燒和滅火與燃燒三要素的關係」可否進行應用。其中第 14 題和第 15 題分別測驗學生們對燃燒三要素的基本知識，以實際的例子測驗學生燃燒三要素和例子中實際的對應情形，而燃燒三要素的基本概念在學生們國小階段便已有初步的認識，因此這類的題目對學生而言並不構成困難，也因此他們的前測答對率便高達八成以上（89.6%、83.5%），且前後測並無顯著差異（第 14 題 $p = .167$ ；第 15 題 $p = 1.000$ ）。而第 16 題到第 18 題則對學生們燃燒與滅火和燃燒三要素間的關係以應用題的方式測驗，結果發現，除了第 16 題二氧化碳滅火器滅火的題目，學生們並不是很了解二氧化碳滅火器的原理，也因此教學前後在前後測達到顯著（ $p = .000$ ）。而第 17、18 題也因為學生們對燃燒三要素原本就有一定程度的理解，也因此未達顯著（第 17 題 $p = .095$ ；第 18 題 $p = .225$ ）。

研究者發現，由概念問卷中第 11、12 題以及第 16、17、18 題互相比較發現，學生在燃燒三要素應用題（第 16、17、18 題）的前測結果中顯現出對燃燒三要素有一定程度的理解，但卻無法在燃燒三要素理論的歸納題組（第 11、12 題）中得到好的成績，代表學生們在先前的燃燒概念學習流於現象的解釋，而未對燃燒概念的現象進行歸納。教學成果也表現出學生們能夠接受燃燒三要素理論的歸納結果（第 11 題 $p = .000$ ；第 12 題 $p = .001$ ）。

二、各組受測學生於反應速率試題之試題分析

表 4-3-3 為三組學生在 7 題反應速率試題中，各題前後測答對率的差異比較，研究者將反應速率的 7 題試題依照所有受測學生前後測答題情形計算出前後測答對率，並進行相依樣本雙樣本平均數考驗（paired t-test）。

表 4-3-3 三組學生反應速率試題各題前後測答對率(%)差異比較

題號	前測答對率	後測答對率	t 值	p 值
4	76.5	82.6	-1.41	.162
5	70.4	88.7	-3.87	.000***
6	53.9	54.8	-1.56	.877
7	83.5	87.0	-.85	.396
8	67.8	84.4	-4.48	.000***
9	57.4	85.2	-5.71	.000***
10	58.2	81.7	-4.44	.000***

*： $p < .05$ **： $p < .01$ ***： $p < .001$

結果發現，7 題反應速率試題的後測答對率皆高於前測答對率，代表**可燃的鐵實驗教學對於反應速率的概念教學是有效的**。概念問卷中的反應速率試題皆以應用題的方式出題，而 7 題題目中除了第 4、6、7 題外，其他四題題目前後測皆

達顯著，此一結果與研究者預測相同，因為反應速率概念與本研究中的教學實驗有著最直接的關係。而第 4、6、7 題中，第 4 題和第 7 題都是直接且巨觀的表面積與反應速率試題，學生在前測就已經能夠掌握這兩題，也因此這兩題的前測答對率都偏高（76.52%、83.48%），且前後測無顯著差異。而第 5 題則是因為在題目中以微觀方式出題，並在題目中探討到碰撞學說的基本概念，而這些概念在教學中並未直接提及，對學生而言屬於遠遷移，也因此前後測答對率都偏低。

三、各組受測學生於可燃的鐵實驗試題之試題分析

表 4-3-4 為三組學生在 9 題可燃的鐵實驗試題中，各題前後測答對率的差異比較，研究者將可燃的鐵實驗的 9 題試題依照所有受測學生前後測答題情形計算出前後測答對率，並進行相依樣本雙樣本平均數考驗（paired t-test）。

表 4-3-4 三組學生可燃的鐵實驗試題各題前後測答對率差異比較

題號	前測答對率	後測答對率	t 值	p 值
19	73.0	69.7	1.00	0.319
20	61.7	60.9	.15	0.880
21	47.8	38.3	1.88	0.063
22	70.4	76.5	-1.35	0.179
23	36.5	86.1	-9.12	.000***
24	51.3	73.0	-3.54	0.001**
25	97.4	94.8	1.00	0.319
26	94.8	73.9	4.983	.000***
27	16.5	90.4	-17.21	.000***

*：p < .05 **：p < .01 ***：p < .001

可燃的鐵實驗試題是研究者依可燃的鐵實驗的主要原理「接觸面積與反應速率」設計題目，題目中使用了「鐵釘」、「鋼絲絨」和「鐵粉」三種不同表面積的鐵，另外還使用了「擺放兩週」、「以酒精燈點燃」和「由高處落下」三個情境搭配出九個題目。結果發現，除了第 23、24、27 題後測答對率大於前測，且 p 值達顯著（第 23 題 $p = .000$ ；第 24 題 $p = .001$ ；第 27 題 $p = .000$ ），其餘題目皆未達顯著或是後測答對率未大於前測。其中第 23 題和第 27 題分別是「鋼絲絨可否在酒精燈下燃燒？」以及「鐵粉由高處落下可否燃燒？」的題目，而學生們在施測過程中已經目睹了相關的現象，也因此都能答對且前後測達顯著。而第 24 題為「鐵粉若以酒精燈加熱會發生的變化」，學生在這題的前後測達顯著，這樣的結果可以表現出學生雖未能直接看到鐵粉以酒精燈加熱燃燒的現象，但本研究的反應速率與表面積概念的教學已經能讓學生進行如此的推論，換句話說，**本研究對反應速率與表面積概念的教學是極具成效的**。然而在第 19、20、21 三題，題目是以擺放兩週為情境問學生不同表面積的鐵會產生的變化，然而在教學影片中並未直接提及緩慢氧化還原變化（如鐵生鏽）相關內容，也因此這三題題目學生的後測答對率略為少於前測答對率，但未達顯著（第 19 題 $p = .319$ ；第 20 題 $p = .880$ ；第 21 題 $p = .063$ ）。另外第 22 題和第 25 題則是問學生「鐵釘以酒精燈加熱」和「鐵釘由高處落下」的變化，學生在一般的生活經驗中就可得知鐵釘加熱或由高處落下並不會產生變化，因此前後測未達顯著（第 22 題 $p = .179$ ；第 25 題 $p = .319$ ）是可預期的。然而第 26 題則是問學生「鋼絲絨由高處落下」會產生的變化，由於教學影片中只提到「酒精燈加熱可使鋼絲絨燃燒」和「鐵粉由高處落下會燃燒」此二現象，並提到這些現象都與表面積有關，也因此當題目中問到「鋼絲絨由高處落下」時，學生們由教學中學習到鋼絲絨的表面積相較於鐵釘是較大的，也學到表面積與反應速率有關，但並未親眼驗證鋼絲絨由高處落下的現象，也因此導致前測答對率較後測高，且達顯著（ $p = .000$ ）的現象。雖然這樣的結果是可預期的，但研究中應盡量避免此種題目，或應該在教學中加入鋼絲絨落下之影片，以免造成學生的迷思概念。

四、小結

由試題分析結果中可發現，「可燃的鐵」概念問卷對於反應速率和表面積相關的概念此類與實驗影片教學最直接相關的內容特別的有效，也代表著問卷設計有配合研究與教學進行。另外，學生們對於概念問卷的結果也是直接且正面的，若教學中有直接提到的概念或情境，學生們都能夠答對，甚至一些相關的應用題組也都能達到良好的答對率（如：第 5、8、9、10、16 題）。不過有部分題目的前測答對率過高（如：第 2、25、26 題），降低了題目的鑑別度，研究者應在往後研究避免此現象發生。

第四節 討論

“Tell me and I forget. Teach me and I remember. Involve me and I learn.”

這是美國著名的政治家與科學家富蘭克林在演講中所說過的一句中國諺語（出處已不可考），用這句話也可以說明「實驗」在科學教育中的重要性，用講的學生會忘、教學生學生可能是用背的、但是讓學生們參與學生們就學起來了。一直以來在教學現場中，教師時常使用實驗教學、演示實驗或是實驗影片教學的方式增加學生對於課本內容的理解。但是實際上學生真的學會了嗎？假如學生真的學會了，那他們是在哪一階段學會的呢？

本研究便是使用臉部微表情辨識來達到觀察學生使用實驗影片教學時的學習歷程，而結果也是令人滿意的。比對 Chiu et al. (2014)的研究結果發現，其結論中說明缺乏臉部微表情變化可成為較低程度概念改變的指標，而本研究同樣發現觀察實驗影片時臉部微表情變化的學生較容易產生概念改變的相似結果。其中的結果有些許由教材造成的結果差異，Chiu et al. (2014)所選擇的認知衝突實驗分別是水沸騰的實驗和滾球實驗，這兩個實驗分別運用到理想氣體方程式、溫壓與沸點之關係以及重力位能和動能之關係的概念，這些概念相較於本研究中的表面積與反應速率概念而言難度都高過很多，也因此概念改變的難度也會增加，也再次證明了 Limón 與 Carretero (1997) 提到的認知衝突使學生們成功產生概念改變會依學生們的先備知識而有不同的結果的結論。不過無論如何 Chiu et al. (2014) 和本研究都能夠證明在不同的先備知識條件下都能以臉部微表情變化做為概念學習的指標。

另外，Chiu et al. (2014)提到了臉部微表情變化可做為學生有無體驗認知衝突情境的指標。而本研究利用此一指標得到了「預測步驟對於實驗教學極為重要」的結果，加入預測步驟可讓大部分學生們體驗認知衝突情境，這也是教師們嘔心

瀝血準備的演示實驗或實驗影片最希望學生們看到的，相信沒有老師們希望準備了實驗影片，而學生們卻對關鍵的實驗片段置之不理或是沒有發現真正關鍵的實驗片段在哪。另外，「預測」步驟也可用以確定實驗是否能讓學生體驗認知衝突情境，一個好的認知衝突實驗可讓大部分的學生對實驗結果預測錯誤，倘若越多學生對認知衝突實驗預測錯誤，學生們就越容易歷經認知衝突情境，依照 Posner, et al. (1982) 的概念改變條件，讓學生們歷經認知衝突情境對於概念改變教學是一個好的起點。此一結果也再次說明了使用演示法進行科學教學時，邱美虹等人 (2005) 提出之 POEC 教學策略能夠有效的幫助學生澄清自我觀念，甚至在本研究中使用實驗影片進行概念改變教學也一併適用。

就實驗影片而言，本研究之研究結果之一便是：**好的實驗影片一定要有「慢速重播」的步驟**。在科學實驗影片的製作一直都沒有絕對的規準這是很可惜的，實驗影片一直都是生動、有效且絕對安全的實驗教學方式之一，但市面上的實驗影片常流於食譜式實驗，食譜式實驗並不是不好的實驗方式，但若使用在實驗影片教學上則應加入先前所說到的「預測」步驟，讓學生能夠確實地看到實驗影片的關鍵片段。另外，實驗影片的關鍵片段更應該要有「慢速重播」的步驟，尤其在化學實驗中更應該要慢速重播，化學實驗不一定都會有十分顯著的效果，慢速重播變的分外重要，若將實驗影片教學和建模教學比較，實驗影片教學中「觀察實驗影片」的步驟就等同於邱美虹 (2007) 對 Halloun 的問題解決建模歷程加入的「模型重建」元素，觀察實驗影片的時分，學生正經歷認知衝突情境，等同於進行模型重建步驟，而此一步驟對學生概念學習是很重要的，實驗結果若以可燃的鐵實驗為例，若不重複撥放影片長度將只有 26 秒，慢速重播不僅僅只是延長觀察影片的時間，還讓學生更深刻的體驗認知衝突情境，也給學生充分的時間進行模型重建。

在「可燃的鐵」概念問卷試題分析的部分，發現「可燃的鐵」實驗教學中，對於「反應速率和表面積」的相關概念教學特別有效，也建議國中理化科教師在二年級下學期的反應速率章節中，能夠將「可燃的鐵」實驗作為演示實驗，不僅

能夠引起學生的興趣，也能夠利用此反直覺的現象引起學生的認知衝突與概念改變。

另外，本研究在學習歷程分析中有別於 Chiu et al. (2014)的研究，加入了 POEC 教學中 E 步驟（解釋）的分析，藉由加入此一步驟的分析觀察學生在歷經認知衝突情境後有無直接產生概念改變，結果並未發生概念改變。這樣的結果也是預期中會發生的，Chiu et al. (2014)研究的理論架構相同（見圖 2-1-1），學習者經歷認知衝突情境後，必須經過教學才可產生概念改變。

而本研究試圖加入師生共構的元素於教學影片中，然而卻無法在概念問卷等具體的數字中看到成效，研究者認為主要與 Tao 與 Gunstone (1999) 所指出「雖然使用共構的方式在學習中是很重要的，但要達到長期且穩定的概念改變需要加上學生自己本身的理解與建構」有關。雖然問卷結果未達顯著，但在臉部微表情頻率分析中發使用師生共構教學的學生臉部微表情變化次數較多，又由於本研究所選用的實驗內容較簡單，學生可以不需要使用師生共構即可學會研究中的教學內容，因此研究者建議未來相關臉部微表情變化研究若想對教學過程部分進行深入探討，應選擇較困難之實驗內容。

第五章 結論與建議

科學教育研究中以「生物反應特徵」作為研究工具是時常見到的研究方法，應該說科學教育研究者一直以來都不斷地想推陳出新，想出新的方式進行除了問卷、晤談之外的研究工具與研究方法，而近年來隨著科技的進步，使用各種不同生物特徵進行科學教育研究也開始蔚為風潮，隨著眼球追蹤、腦波相關的研究逐漸發展成熟，卻未見到「臉部微表情」此一最直接能夠讓學習者表達、教學者能夠接受到訊息的相關科學教育研究是十分可惜的。而 Chiu et al. (2014)的研究可說是臉部微表情在科學教育的研究很重要的起點，本研究基於前人的研究利用「臉部微表情」為研究工具探討學生們在不同操弄下進行科學學習的概念問卷和臉部微表情變化結果，以及利用認知衝突實驗影片進行概念學習時的臉部微表情變化情形。本研究之研究結果已於第四章研究結果與討論詳細敘述，而本章將對本研究的結論與建議於以下兩節進行說明。

第一節 結論

本研究根據研究結果歸納出以下結論：

壹、「可燃的鐵」實驗是一個極佳的認知衝突實驗

由文獻的探討可知，「可燃的鐵」實驗對反應速率相關概念的教學而言是極佳的化學實驗（蕭次融，2011）。而由 POEC 教學策略進行實驗演示教學，發現超過九成以上的學生對可燃的鐵現象進行預測均無法成功預測，證明了「可燃的鐵」實驗除了在進行反應速率教學是個有效的實驗外，以概念改變教學的角度看來是一個極佳的認知衝突實驗。

貳、使用具認知衝突情境的認知衝突實驗影片進行教學是極具成效的

由全體受測學生施測前後之「可燃的鐵」概念問卷進行組內 t 檢定後可發現，不論食譜組、POEC 組亦或是(POEC)_{S/T} 組前後測結果均達顯著，雖說本研究分為三組設計，但三組受測學生都有使用認知衝突實驗進行概念教學，因此也可說就認知衝突實驗此一變因而言，本研究的三組操弄皆屬於實驗組。而本研究教學所使用的可燃的鐵實驗，對受測學生而言都擁有充分的先備知識能夠理解，也因此大部分學生都能夠在教學後達到概念改變，也因此使用具認知衝突情境的認知衝突實驗影片進行教學是極具成效的。

參、經歷認知衝突情境的學生較容易產生概念改變

Chiu et al. (2014)研究結果中說明了臉部微表情變化可作為歷經認知衝突情境的指標，而本研究由學習歷程分析中發現，有概念改變的學生大部分都有表情變化，因此可以說明經歷認知衝突情境的學生較容易產生概念改變的結論。對照 Posner 等人(1982)提出的概念改變四條件的第一條：學習者對原有概念不滿足，更能說明認知衝突在概念改變教學的重要性。若以建模教學解釋，認知衝突可說是引起學生「模型重建」(邱美虹，2007)的重要步驟，而不論以概念改變教學的角度或建模教學的角度切入，認知衝突對教學的重要性都是無庸置疑的。

肆、實驗影片教學中必須加入「預測」步驟

由研究結果中發現，不同組學生進行實驗影片教學時，有「預測」步驟的組別中，受測學生有表情變化的比例較高，而根據邱美虹等人(2005)提出的 POEC 教學策略中，學生應該對觀察到的現象和預測做比較，才能達到學生在學習的過程中，針對衝突的知識進行思考的目的。由先前研究結果已知道大部分學生對「可燃的鐵」實驗預測都預測錯誤，也說明了此實驗對學生而言是一個認知衝突實驗，再加上「預測」步驟更能夠激起學生對即將觀察到的現象和原本預設的理論進行比較而促進學習。也因此研究者認為在實驗影片中加入「預測」步驟十分的重要。

伍、歷經認知衝突後仍須經由教學才可產生概念改變

本研究在投影片設計中特地將 POEC 教學策略中的「解釋」步驟外顯化，在學生完成觀察實驗結果後要求學生再次解釋其所觀察到的實驗結果，發現一如文獻中所說的「概念改變改變是困難的」，且認知衝突對於概念改變只是一個開端，Posner 等人的概念改變四條件中，認知衝突也只能使其達到一個條件，也因此歷經認知衝突後，大部分學生並不會有概念改變發生，反而是在教學之後才產生概念改變。

陸、實驗影片教學中「慢速重播」步驟是絕對必要的

由臉部微表情變化頻率分析中發現，學生在觀察實驗結果時，影片的前後變化頻率都不高，而表情變化的頻率高峰在第一次撥放的後半段和慢速重播的前半段。由於鐵粉燃燒對學生而言是極具震撼力的認知衝突情境，但在沒有預測心理的前提下，無法第一次觀察鐵粉燃燒就感受到認知衝突，因此慢速重播就更顯重要，另外，在此實驗中實驗結果影片若不重複撥放，長度只有 26 秒，若要學生深刻體驗認知衝突情境，必須要給學生充分的時間，也因此「慢速重播」步驟是絕對必要的。

第二節 建議

本研究根據研究結果歸納出以下建議：

壹、本研究之各組教學經概念問卷結果和臉部微表情變化結果比較後，可得以下

三點「實驗影片製作規準」：

一、實驗影片中必須要有「預測」步驟：由研究結果中可得知，有進行預測步驟之受測學生較容易進入認知衝突情境，教學成效也較佳，因此實驗影片中「預測」步驟是必定要有的。

二、實驗影片必須「慢速重播」實驗結果：由臉部微表情變化頻率分析得知，實驗結果影片第一次撥放時，一開始受測學生臉部微表情變化頻率較低，代表學生在觀看實驗結果的一開始並未感受到認知衝突情境，必須要慢速重播讓學生更深刻體驗認知衝突情境，因此實驗影片必須「慢速重播」實驗結果。

三、實驗影片內容應選擇「具反直覺現象的認知衝突實驗」：本研究之三組受測學生經教學後前後概念問卷結果皆達顯著，代表以認知衝突實驗影片進行教學是極具成效的，而認知衝突實驗的最大特點即是「反直覺」，若實驗中具有與學生預測相反之實驗結果的反直覺現象，學生更容易歷經認知衝突情境，學習效果會更好，因此實驗影片內容應選擇「具反直覺現象的認知衝突實驗」。

貳、本研究使用臉部微表情分析技術進行科學教育研究，而臉部微表情技術為一新興科技，而臉部微表情相關技術最大的優點之一，即是教師們於上課時皆能夠觀察學生的臉部表情，雖然直接觀察臉部表情之判讀準確度不如儀器測量臉部微表情變化，但可利用臉部微表情變化研究之結果套用於課室教學中，以本研究為例，教師便可藉由觀察大部分學生是否有表情變化判斷學生們有

無歷經認知衝突情境，因此研究者建議教師們能夠利用臉部微表情分析結果，並將其用於教學現場。

參、本研究使用「可燃的鐵」實驗作為教學，並在反應速率與表面積概念部分成效佳。而反應速率為目前國中二年級下學期極為重要的章節，而國中的化學教學最常見到學生無法理解次微觀的概念，而教師們正好可藉由「可燃的鐵」實驗引導學生除了學習反應速率概念外，更可學習次微觀概念，而不是利用像是火媒棒點火此一類的巨觀現象學習，反而無法學到次微觀知識。

肆、本研究使用臉部微表情辨識系統進行臉部微表情分析，施測地點為學校視聽教室，仍須將學生移動到特定場域才可進行臉部錄影。研究者建議未來若要進行臉部微表情研究，配合著硬體設備的進步，可考慮將研究場域移至學生熟悉的地方，像是直接在一般課室進行大量施測同時進行臉部錄影，或是將教材移至線上施測，讓受測學生能夠在家進行學習並能同時進行臉部錄影。

伍、本研究選用「可燃的鐵」實驗對國中學生進行施測結果成效佳。研究者建議除了「可燃的鐵」實驗外，未來研究可以選用各種不同的認知衝突實驗並對不同年齡學生進行施測。

陸、本研究之(POEC)_{S/T}組教學影片部分選用「師生共構」方式拍攝，雖無法在概念問卷前後測獲得顯著成效，但仍發現使用「師生共構」教學知學生們臉部微表情變化次數較多。因此研究者建議未來仍可對「師生共構」教學進行研究，但必須選擇較困難之教學內容，並謹慎地對各項變因進行操弄。而本研究中「師生共構」屬於實驗影片內之師生共構，研究者同時也建議可以直接改為課室內教師與學生直接的共構歷程之臉部微表情分析。

柒、由於本研究選用認知衝突實驗進行研究，因此將臉部微表情分析重點擺在實驗結果影片觀察部分。研究者建議可選用其他種教學策略進行相關科學教育研究，並將臉部分析重點放在教學過程中學生臉部微表情變化模式，若能夠發現學生在接受教學時的臉部微表情變化模式，必定是很重要的發現。

捌、受限於臉部微表情分析軟體和資料分析方法，本研究主要觀察學生學習時「臉部微表情有無變化」和「臉部微表情變化次數」。研究者建議，隨著資料分析軟硬體的進步，未來研究可朝「臉部情緒」方向下手，研究學生於學習時的情緒變化。

參考文獻

壹、中文部分

- 邱美虹 (2000)。概念改變研究的省思與啟示。**科學教育學刊**，8(1)，1-34。
- 邱美虹 (2007)。化學教育中建模模式的研發與實踐—子計畫四：以認知師徒制探討建模能力與歷程對學生學習物質科學中「氧化與還原」之影響。行政院國家科學委員會專題研究計畫(NSC 95-2511-S-003-025-MY2)，未出版。
- 邱美虹、林世洲、湯偉君、周金城、張榮耀、王靜璇合著 (2005)。科學創意實驗書。台北市：洪葉文化。
- 南一出版社 (2011)。國民中學自然與生活科技第四冊。台南市，南一。
- 教育部 (2008)。國民中小學九年一貫課程綱要。台北市，教育部。
- 許良榮、蔣盈姿 (2005)。以 POE 策略探究中小學生對物質「可燃性」的另有概念。**科學教育研究與發展季刊**，38，17-30。
- 楊凱悌、邱美虹、王子華 (2009)。應用數位影音融入 POE 教學改善國小高年級學童脊椎動物分類另有概念之效益研究。**科學教育學刊**，17(5)，387-407。
- 謝秉桓、林啟華、曾茂仁、鐘建坪、邱美虹 (印製中)。國三個案學生粒子概念之探討—以擴散作用為例。**科學教育月刊**。
- 蕭次融 (2011)。由趣味化學實驗談化學試題。**科學發展月刊**，462，22-27。
- 劉俊庚、邱美虹 (2010)。從建模觀點分析高中化學教科書中原子理論之建模歷程及其意涵。**科學教育研究與發展季刊**，59，23-54。

貳、英文部分

- Brown, B. A., Reveles, J. M., & Kelly, G. J. (2005). Scientific literacy and discursive identity: A theoretical framework for understanding science education. *Science Education*, 89, 779–802.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Implications for learning and discovery in sciences. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp.129-186). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H. (2005). Common sense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14, 161-199.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & deLeeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts, *Learning and instruction*, 4, 27-43.
- Chiu, M. H., Chou, C. C., Wu, W. L., & Liaw, H. (2014). The role of facial microexpression state (FMES) change in the process of conceptual conflict, *British Journal of Educational Technology*. doi:10.1111/bjet.12126
- Clement, J. (2002). Managing student/ teacher co-construction of visualizable models in large group discussion. *Proceedings of the AETS*, 2002.
- Clement, J. (2008). Student/teacher co-construction of visualizable models in large group discussion. In J. J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model based learning and instruction in science*. Dordrecht: Springer.
- Cos ̧tu B, Ayas A, Niaz M (2012) Investigating the effectiveness of a POE-based teaching activity on students' understanding of condensation. *Instr Sci* 40(1), 47–67
- Darwin, C. R. (1896). *The expression of emotions in man and animals*. New York:

Appleton.

- Ekman, P. (1999). Facial expressions. In T. Dalgleish & M. Power (Eds.), *Handbook of cognition and Emotion*. New York, NY: John Wiley & Sons, Ltd.
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1978). *Facial action coding system: A technique for the measurement of facial movement*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- Ekman, P., Friesen, W. V., & Hager, J. C. (2002). *The facial action coding system*. Salt Lake City, UT: Research Nexus eBook.
- Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(11), 1365-1378.
- Hammal, Z., Couovreur, L., Caplier, A., & Rombaut, M. (2007). Facial expression classification: An approach based on the fusion of facial deformations using the transferable belief model. *International Journal of Approximate Reasoning*, 46, 542-567.
- Hewson, P. W., & Hewson, M. G. A. (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction [Article]. *Instructional Science*, 13(1), 1-13.
- Johnstone A. H. (1991) Why is science difficult to learn? : things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning* 7, 75-83.
- Keys, C. W., & Bryan, L. A. (2001). Co-constructing inquiry-based science with teachers: Essential research for lasting reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 631-645.
- Kozma, R. B. & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 949-968.
- Kring, A. M., & Sloan, D. M. (2007). The facial expression coding system (FACES):

- Development, validation, and utility. *Psychological Assessment*, 19(2), 210-224.
- Limón, M., & Carretero, M. (1997). Conceptual change and anomalous data: A case study in the domain of natural sciences. *Eur. J. Psychol. Educ.*, 12(2), 213-230.
- Mauss, I.B., & Robinson, M.D. (2009). Measures of emotion: a review. *Cognition and Emotion* 23, 209–237.
- Merenluoto, K., & Lehtinen, E. (2004). Number concept and conceptual change: Towards a systematic model of the processes of change. *Learning and Instruction*, 14, 519-534.
- Palmer, D. (1995). The POE in the primary school: An evaluation. *Research in Science Education*, 25(3), 323– 332.
- Piaget, J. (1970). *Genetic epistemology*. E. Duckworth, Trans. New York: Columbia University Press.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Rafal, C. T. (1996). From co-construction to takeovers: Science talk in a group of four girls. *Journal of the Learning Sciences*, 5(3), 279-293.
- Roth, W. M., & Roychoudhury, A. (1993). The concept map as a tool for the collaborative construction of knowledge: A microanalysis of high school physics students. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(5), 503-534.
- Sylwester, R. (1994). How emotions affect learning, *Educational Leadership*, 52(2), 60–65.
- Tao, P. K., & Gunstone, R. F. (1999). Conceptual change in science through collaborative learning at the computer. *International Journal of Science Education*, 21(1), 39-57.
- White, R., & Gunstone, R. F. (1992). Prediction-observation-explanation. In R. White

& R. F. Gunstone, *Probing Understanding* (pp. 44-64). London: The Falmer Press.

Vygotsky, L. (1978). *Mind in society*. Cambridge, MA: Harvard University Press

附錄

附錄一 臉部資料分析使用同意書

國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文

「以臉部表情分析電腦互動 POEC 與師生共構教學之成效

— 奈米級鐵粉燃燒認知衝突實驗 —

臉部資料分析使用同意書

本研究為「以臉部表情分析電腦互動 POEC 與師生共構教學之成效—奈米級鐵粉燃燒認知衝突實驗」，為國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文，研究生為臺灣師範大學科學教育研究所碩士生謝秉桓(新北市立錦和高級中學國中部理化科兼任教師)，指導教授為臺灣師範大學科學教育研究所邱美虹教授與國立臺北教育大學周金城副教授。研究主旨在透過臉部微表情辨識找出在學習歷程中學生最直覺的表情變化，瞭解兩者間的關係以促進學習的效能。

資料收集以學生的臉部反應為主，實驗的時間全程大約 30 分鐘，活動內容是電腦螢幕上以投影片方式逐一呈現，內容包含科學性的問題與科學實驗影片，並同步錄下桌面操作與臉部表情，以利研究人員後續資料分析的需求。

本次臉部反應的資料僅限於學術研究，主要收集學生看到活動內容時的臉部反應，並非強調學生學習成就，且不會將任何個人的資料外漏。在本研究中參與實驗的同學能夠從中學習知識並培養科學興趣，且所收集到的資料將用以建立科學教育的臉部微表情資料庫，對我國未來的科學教育發展實有助益。本研究感謝您的參與，並感謝您的合作與配合。

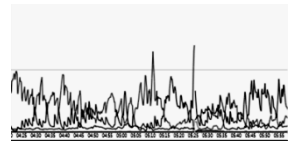
研究生：謝秉桓

以下 四項問題 請您全部作答

一、請問您是否同意讓本計畫擷取您的臉部畫面轉換成數據(如右圖)?

(註：他人無法辨識您個人特徵)

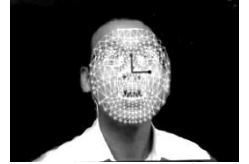
☐同意 ☐不同意



二、請問您是否同意讓本計畫以網格覆蓋呈現您的臉部畫面(如右圖)?

(註：他人不易以網格辨識您個人特徵)

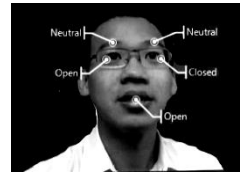
☐同意 ☐不同意



三、請問您是否同意讓本計畫以影像方式呈現您的臉部畫面(如右圖)?

☐同意圖片 ☐不同意圖片

☐同意影片 ☐不同意影片



受測人簽名_____

日期_____/_____/_____(西元年/月/日)

監護人簽名_____ (如受測人未滿十八歲)

日期_____/_____/_____(西元年/月/日)

附錄二 可燃的鐵實驗流程

本實驗流程修改自蕭次融(2011)：建築物為了防火災，加設鐵門；廚師要鐵板燒，使用鐵製的鍋盤。在生活的經驗裡，都認為鐵不會著火。鐵可用於防火，但鐵在適當的條件下，不僅會著火，而且還會自行燃燒起來。本實驗讓學生親自體驗鐵粉的自燃。

一、目的

加熱分解草酸鐵，以製備微細的鐵粉。並比較鐵釘、鋼絲絨、與鐵粉的可燃性，進而探討微細鐵粉的自燃。

二、器材

草酸鐵	2 克	蠟燭	1 支
酒精燈	1 個	打火機	1 個
試管與橡皮塞	1 組	鐵釘	1 支
試管夾（鐵製）	1 支	鑷子	1 支
試管架	1 個	鋼絲絨	1 塊
磁鐵	1 個	鋁箔（約 $30 \times 40\text{cm}^2$ ）	1 張
玻棒	1 支	面紙	1 張

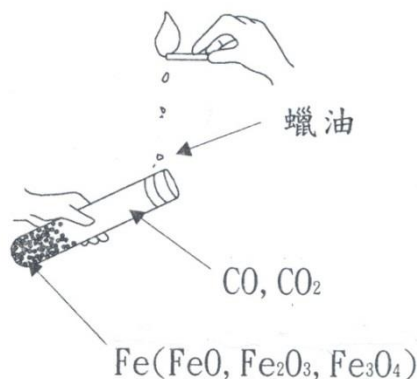
三、實驗步驟

（一）微細鐵粉的製備

1. 用試管取黃色的草酸鐵（ $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）約 2 克。
2. 用試管夾（鐵製）夾住試管，用酒精燈的火焰加熱。注意要先加熱試管的上端，然後加熱試管底部的草酸鐵，並用玻棒攪拌草酸鐵（如圖一），使其受熱均勻。
3. 黃色的草酸鐵受熱分解，逐漸變成灰色粉末而浮動。繼續加熱並攪拌至粉末不再浮動，而且變成黑色。
4. 試管移開火焰後，放置於試管架上，立即蓋上橡皮塞（先輕輕地蓋）。
5. 稍冷（用手可以觸摸）後蓋緊橡皮塞。然後點燃一支蠟燭，用其蠟油密封試管口（如圖二）。



圖一、用玻棒攪拌加熱中的草酸鐵



圖二、用蠟油密封試管口

(二) 微細鐵粉的可燃性

1. 先用磁鐵分別吸住鐵釘與銅絲絨，然後用磁鐵從試管外面吸住微細的鐵粉末，上下移動磁鐵，可見鐵粉隨磁鐵上下移動。
2. 在地面上先鋪一張鋁箔，並在鋁箔的中央部位放置一張面紙後，打開試管口的橡皮塞，略為傾斜地持試管，用食指輕彈試管，使鐵粉紛紛落下，即見鐵粉離開試管，落地途中閃出小小火花（在暗處更明顯）。最後將較多的鐵粉，一起倒在面紙上，即見鐵粉點燃了面紙，使其燃燒起來。

四、補充說明

1. 微細的鐵粉為什麼易燃？

- (1) 微細的粉末，表面積增大，與空氣接觸面增大，所以容易氧化而燃燒。但是若用機械的方式，任憑再怎麼磨細，也得不到本實驗所得那麼細微（奈米級）的粉末，所以不會自燃。
- (2) 草酸鐵受熱分解產生微細的鐵粉末時，所加的能量也活化了粉末的表面。微細的鐵粉末如此活化了，而其表面積又增大，所以容易自燃。

2. 為什麼當微細的鐵粉離開試管口，落地的途中會自燃？

鐵粉掉落時，與空氣摩擦所產生的一點熱，加上活化了的鐵粉與空氣一接觸，即被氧化時所產生的熱，導致鐵粉自燃。

3. 在實驗步驟5，已密封了試管口的試管內微細鐵粉，放置數月並不會失去其自燃發火的性質。
4. 本實驗的要訣在於步驟3，必須加熱至粉末不再浮動，而且變成黑色為止。這個加熱操作要小心，就不會有危險。

若在實驗步驟2，加熱一段時間，粉末有點變成灰色時，移開玻璃棒，並將試管口移近火焰，即見試管口會呈現淡藍色火焰，這是一氧化碳正在燃燒的現象。

附錄三 可燃的鐵概念問卷

____年____班____姓名：____性別：☐男 ☐女

親愛同學你好：

這份問卷主要是要了解你對燃燒、氧化還原和反應速率相關的知識，不是考試喔！你所填答的資料，將會完完全全的保密，所以請你將你對這些科學理論的認識依你的了解進行作答，你所填答的資料將是重要和有意義的，謝謝你的協助和合作！

- 下列何種反應其反應速率最慢？
(A)火藥爆炸 (B)汽油燃燒 (C)木材點燃 (D)鐵生鏽
- 請問鐵生鏽和燃燒現象為下列何種反應？
(A)酸鹼中和反應 (B)氧化還原反應 (C)沉澱反應 (D)脂化反應
- 請問鐵生鏽和燃燒現象的反應速率何者較快？
(A)鐵生鏽 (B)燃燒現象 (C)一樣快
- 阿明在家陪奶奶祭祖，到燒金紙的時候奶奶將金紙攤開成扇形並一張一張摺起來燒，而阿明自己則是一小疊一小疊的燒，請問阿明和奶奶這樣燒金紙的方式會有什麼差別？
(A)奶奶的方法金紙會燒得比較快。
(B)阿明的方法金紙會燒得比較快。
(C)金紙會燒得一樣快。
- 阿呱生病必須服藥，而醫生告知他必須將藥丸磨成粉並佐以開水服用，藥效會較快生效。請問，為什麼藥丸磨成粉服用藥效較快？
(A)藥丸磨成粉後濃度較高，藥效會較好。
(B)部分藥品在粉狀才會有藥效，丸狀則無藥效。
(C)磨成粉狀的藥相較於藥丸接觸面積大，藥效較快。
(D)將藥丸磨成粉的過程中溫度上升增加反應速率，藥效較快。
- 已知化學反應發生時，反應物粒子互相碰撞的機會愈多，反應速率愈快。則下列何項操作無法使反應速率變快？
(A)將反應物顆粒磨成粉末 (B)將可溶性的固體反應物配成溶液

(C)將反應物的溶液稀釋

(D)將固體的反應物削成碎片

7. 在煮火鍋時，媽媽買的火鍋肉片通常都是薄片狀，媽媽說這樣比較容易煮熟。此原理與下列何者較相近？
- (A)在做化學實驗時，通常以酒精燈加熱，反應較快
(B)將藥丸研磨成粉末，再以開水服用，藥效快
(C)吃完的剩菜剩飯，置入冰箱中冷藏，較不易腐敗
(D)利用二氧化錳來促使雙氧水分解
8. 學生生火烤肉時，若使用大塊的木炭，將會難以點燃，但若是將木炭敲碎成小塊的形式，則容易點燃，其原因為何？
- (A)煤塊的重量較大
(B)煤粉與空氣接觸面積較大
(C)煤塊體積比煤粉大
(D)煤塊原子量比煤粉大
9. 工廠存放大量乾燥粉末狀可燃物，常有爆炸的危險，其理由與下列何項因素有關？
- (A)乾燥粉末太乾燥
(B)乾燥粉末顆粒細，接觸面積大
(C)乾燥粉末的活性大
(D)乾燥粉末的濃度大
10. 打開食品或藥品的包裝，經常會看到一些小藥包，可被磁鐵吸住，它的成分是鐵粉，為何不用鐵片或鐵塊？
- (A)鐵塊不會和氧反應
(B)鐵塊活性較小
(C)鐵粉的接觸面積較大
(D)鐵塊較重
11. 檢察官正調查一場火燒房子的案件，所幸並沒有人員傷亡，但是必須揪出縱火的嫌犯。當檢查官在尋找可疑的證物時，他思考著要發生「燃燒」，就要達到「燃燒的三條件」。就燃燒的三要素（可燃物、助燃物、燃點）而言，選出你所認知的燃燒條件與理由為何？
- 其中一個滿足

(A)只要有可燃物作為燃料就有可能自燃，其他有沒有都沒關係。
(B)只要有助燃物幫助燃燒就會發生燃燒，不然根本燒不起來。
(C)只有要達到燃點時，溫度夠高且能量夠大就會燃燒。
 - 其中兩個滿足

(D)燃燒只要有可燃物及助燃物，燃點只是加快反應發生。
(E)燃燒只要有可燃物並且達到燃點，助燃物只是幫助讓火燒的更大。
(F)燃燒只要有助燃物並達到燃點，助燃物就可以自行燃燒。
 - 三個全有

(G)在達到一定溫度的條件及助燃物配合下，可燃物才會發生燃燒。

(H)可燃物、助燃物、燃點最好都達到，但三者對燃燒發生的重要性不同。

12. 「火燒房子時，屋主曾經試圖撲滅，但是最後只能望之興嘆。」雖然僅僅一段對話，檢察官卻對屋主這番供詞頗感興趣，他思考著要讓火「熄滅」，就要達到「熄滅的條件」。就三者(可燃物、助燃物、燃點)而言，選出你所認知的熄滅的條件與理由為何？

● 只要移除其中一種

(A)如果把可燃物移除，燃料不足；沒有幫助燃燒的助燃物，燃燒就會停止；沒有達到燃點，可燃物和助燃物的能量不足。

● 一定要同時移除其中二種

(B)移除可燃物及助燃物，因為達到燃點時兩者都會自行燃燒。

(C)移除可燃物並且降溫至燃點以下，因為助燃物無法讓火燒的更大。

● 三個都需移除

(D) 對於正在燃燒的物質需將三個條件都移除，如只移除一到二個條件，火勢都會繼續燃燒。

13. 金屬是一種具有光澤、富有延展性、容易導電、傳熱等的物質，請問你認為金屬能在空氣中燃燒嗎？

● 不會燃燒

(A)金屬只會變熱，不會燃燒

(B)金屬只能熔化，不能燃燒

(C)金屬只能在空氣中緩慢氧化，所以不會燃燒

● 會燃燒

(D)只要符合燃燒條件即可，並且大部份金屬會反應成金屬氧化物

(E)只要符合燃燒條件即可，大部份金屬都可以氧化變成液態狀產物

[題組]

- 圈叉國中每到八年級都會有童軍露營的活動，到了晚上大家在一起開營火晚會，大家圍著營火唱歌跳舞好不開心，而營火也伴隨著晚會燒了一整個晚上。請問：

14. 營火的結構中，何者為可燃物？

(A)火

(B)木柴

(C)氧氣

(D)氮氣

15. 營火的結構中，何者為助燃物？

(A)火

(B)木柴

(C)氧氣

(D)氮氣



16. 在營火晚會快結束的時候，突然一陣大風吹來，晚會會場旁邊的樹木瞬間著火燃燒，有老師看到便趕緊拿起手邊的二氧化碳滅火器滅火。請問，二氧化碳滅火器滅火的原理主要是下列哪一項？
- (A) 移除可燃物
 - (B) 移除助燃物
 - (C) 降低溫度
 - (D) 移除可燃物和助燃物，並且降低溫度
- 某天小華晚上在新聞上看到「加州森林大火難收拾 州長發布警報」此則新聞，其中看到美國國民警衛隊支援救火，出動了直升機吊載水箱到森林大火的上方倒水滅火，但成效不彰。最後當地的消防局決定開啟防火線，方法是挖出防火溝，並在防火溝附近點火，讓周圍的樹木先燃燒殆盡，當森林大火燒到防火線附近時，便沒有樹木可供燃燒，如此一來森林大火便得到控制。
17. 請問新聞中小華所看到「直升機吊載水箱倒水滅火」的滅火方式，原理為何？
- (A) 移除可燃物
 - (B) 移除助燃物
 - (C) 降低溫度
 - (D) 移除可燃物和助燃物，並且降低溫度
18. 請問新聞中「開啟防火線在防火溝附近點火，讓周圍的樹木先燃燒殆盡」的滅火方式，原理為何？
- (A) 移除可燃物
 - (B) 移除助燃物
 - (C) 降低溫度
 - (D) 移除可燃物和助燃物，並且降低溫度
- 理化實驗室中有相同質量的鐵塊、鋼絲絨（由細如頭髮的鐵絲所組成）以及十分細微的鐵粉（幾近奈米級），試回答以下問題：
19. 小明下課來到實驗室，將鐵釘放在桌上後便忘了將它們收回器材室中，兩個禮拜後小明回到實驗室會發現鐵釘產生了什麼變化？
- (A) 不會改變
 - (B) 生鏽
 - (C) 燃燒
20. 小明下課來到實驗室，將鋼絲絨放在桌上後便忘了將它們收回器材室中，兩個禮拜後小明回到實驗室會發現鋼絲絨產生了什麼變化？
- (A) 不會改變
 - (B) 生鏽
 - (C) 燃燒
21. 小明下課來到實驗室，將鐵粉放在桌上後便忘了將它們收回器材室中，兩個

禮拜後小明回到實驗室會發現鐵粉產生了什麼變化？

(A)不會改變 (B)生鏽 (C)燃燒

22. 阿花下課來到實驗室，將**鐵釘**放到酒精燈上加熱，請問鐵釘會發生什麼變化？

(A)不會改變 (B)生鏽 (C)燃燒

23. 阿花下課來到實驗室，將**鋼絲絨**放到酒精燈上加熱，請問鋼絲絨會發生什麼變化？

(A)不會改變 (B)生鏽 (C)燃燒

24. 阿花下課來到實驗室，將**鐵粉**放到酒精燈上加熱，請問鐵粉會發生什麼變化？

(A)不會改變 (B)生鏽 (C)燃燒

25. 大虎下課來到實驗室，將**鐵釘**由高處落至地面，請問鐵釘會發生什麼變化？

(A)不會改變 (B)生鏽 (C)燃燒

26. 大虎下課來到實驗室，將**鋼絲絨**由高處落至地面，請問鋼絲絨會發生什麼變化？

(A)不會改變 (B)生鏽 (C)燃燒

27. 大虎下課來到實驗室，將**鐵粉**由高處落至地面，請問鐵粉會發生什麼變化？

(A)不會改變 (B)生鏽 (C)燃燒

實驗影片教學 - 鐵粉

如果你準備好了，請點選下面的「活動開始」

[活動開始](#)

活動目的

- 這是一個實驗影片教學，接下來會有一連串的問題與影片，請你仔細觀看內容，然後選擇和你想法最接近的答案選項。
- 若電腦判斷您作答內容並非隨機猜測，將於此教學結束後獲得一個精美的小禮物。

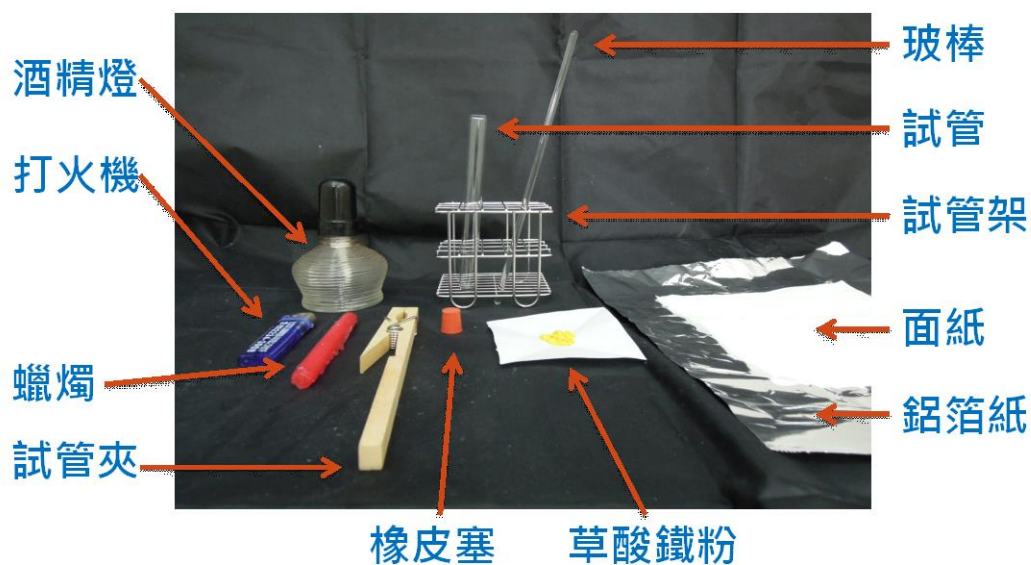
[下一頁](#)

注意事項

- 電腦會記錄你的作答情況，請同學遵守下列的規則：
 - ? 活動開始前，請先確認自己的臉部出現在**畫面的中央**。
 - ? **請勿以手撐下巴**，或出現任何遮住臉部的動作。
- 你已經瞭解上述內容，並準備開始作答？

是的，我已經了解了！！

實驗器材介紹



我已經了解有那些器材

開始觀看影片



影片即將開始。影片結束後請按「下一頁」！

[下一頁](#)

實驗結果解釋與說明



影片即將開始。影片結束後請按「下一頁」!!

[下一頁](#)

- 請問你是否瞭解實驗結果解釋與說明的部份（請點選是或不是）？

1. 是
2. 不是

投影片結束

請在位置上坐好

靜待老師處理

謝謝合作！！

實驗影片教學 - 鐵粉

如果你準備好了，請點選下面的「活動開始」

[活動開始](#)

活動目的

- 這是一個**實驗影片教學**，接下來會有一連串的問題與影片，請你仔細觀看內容，然後選擇和你想法最接近的答案選項。
- 若電腦判斷您作答內容並非隨機猜測，將於此教學結束後獲得一個精美的小禮物。

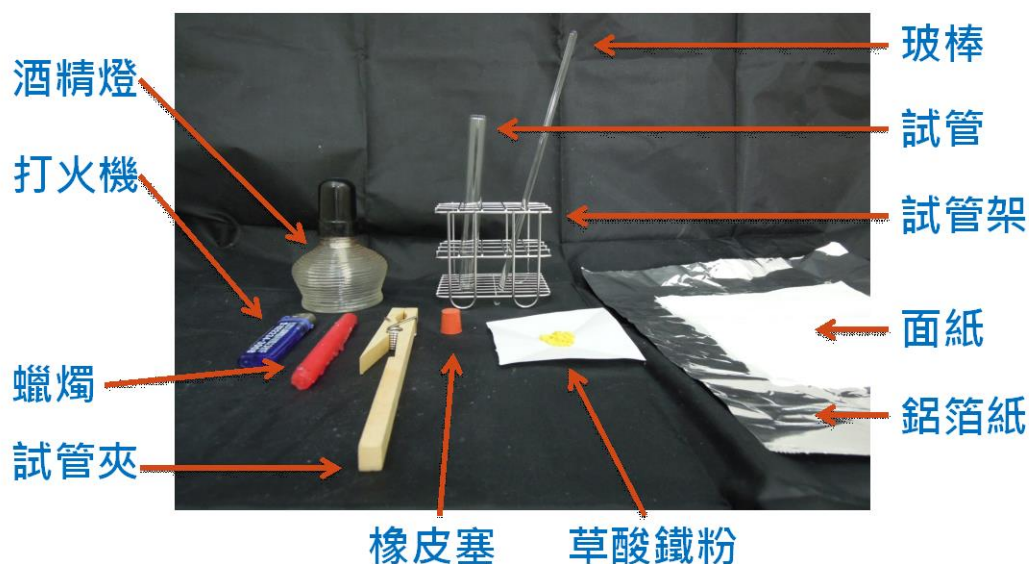
[下一頁](#)

注意事項

- 電腦會記錄你的作答情況，請同學遵守下列的規則：
 - ? 活動開始前，請先確認自己的臉部出現在**畫面的中央**。
 - ? **請勿以手撐下巴**，或出現任何遮住臉部的動作。
- 你已經瞭解上述內容，並準備開始作答？

是的，我已經了解了！！

實驗器材介紹



我已經了解有那些器材

開始觀看影片

實驗開始

影片即將開始。影片結束後請按「下一頁」！

[下一頁](#)

鐵粉實驗

- 現在將試管中的鐵粉倒出來後，請**預測**接下來會發生什麼情況？
(請點選其中一個選項)

1. [不會改變](#)
2. [鐵粉結塊](#)
3. [鐵粉燃燒](#)



(1)不會改變的原因

請問你的理由是(請點選其中一個你認為最符合你想法的選項)

- A. 鐵粉溫度下降，不易產生反應，因此不會改變。
- B. 鐵粉只是尺寸較小的金屬，因此不會改變。
- C. 鐵粉倒出後只接觸到空氣，因此不會改變。
- D. 其他(請寫在桌面上的白紙上)。

(2)鐵粉結塊的原因

請問你的理由是(請點選其中一個你認為最符合你想法的選項)

- A. 鐵粉本身具有磁性，倒出後便互相吸附而結塊。
- B. 空氣中含有水分，鐵粉倒出後被水分子吸附而結塊。
- C. 鐵粉顆粒間互相摩擦產生靜電，使鐵粉聚集在一起。
- D. 其他(請寫在桌面上的白紙上)。

(3)鐵粉燃燒的原因

請問你的理由是(請點選其中一個你認為最符合你想法的選項)

- A. 空氣中的靜電點燃鐵粉，所以鐵粉燃燒。
- B. 鐵粉的總表面積大，較容易產生反應，所以鐵粉燃燒。
- C. 鐵粉仍有餘溫，倒出後便自燃。
- D. 其他(請寫在桌面上的白紙上)。



警告



接下來的影片內容非常重要，請認真觀賞影片，並不要搖晃身軀或頭部，並將臉正對電腦螢幕，敬請配合!!

下一頁

實驗結果



影片即將開始。影片結束後請按「下一頁」!!

[下一頁](#)

觀看實驗結果

- 觀看實驗結果後，請問你看到鐵粉發生什麼樣的變化？
(請點選其中一個選項)

1. [不會改變。](#)
2. [鐵粉結塊。](#)
3. [鐵粉燃燒。](#)

(1)不會改變的原因

請問你的理由是(請點選其中一個你認為最符合你想法的選項)

- A. 鐵粉溫度下降，不易產生反應，因此不會改變。
- B. 鐵粉只是尺寸較小的金屬，因此不會改變。
- C. 鐵粉倒出後只接觸到空氣，因此不會改變。
- D. 其他(請寫在桌面上的白紙上)。

(2)鐵粉結塊的原因

請問你的理由是(請點選其中一個你認為最符合你想法的選項)

- A. 鐵粉本身具有磁性，倒出後便互相吸附而結塊。
- B. 空氣中含有水分，鐵粉倒出後被水分子吸附而結塊。
- C. 鐵粉顆粒間互相摩擦產生靜電，使鐵粉聚集在一起。
- D. 其他(請寫在桌面上的白紙上)。

(3)鐵粉燃燒的原因

請問你的理由是(請點選其中一個你認為最符合你想法的選項)

- A. 空氣中的靜電點燃鐵粉，所以鐵粉燃燒。
- B. 鐵粉的總表面積大，較容易產生反應，所以鐵粉燃燒。
- C. 鐵粉仍有餘溫，倒出後便自燃。
- D. 其他(請寫在桌面上的白紙上)。

實驗結果解釋與說明



影片即將開始。影片結束後請按「下一頁」!!

[下一頁](#)

- 請問你是否瞭解實驗結果解釋與說明的部份（請點選是或不是）？

1. 是
2. 不是

看完實驗解釋後，和自己當初預測的解釋進行比較(請點選其中一個選項)

- A. 實驗動畫的解釋說明內容與我當初預測解釋一致。
- B. 我能了解實驗解釋的內容，而且我能了解自己當初預測與實驗解釋的內容不一致的地方。
- C. 我能了解實驗解釋的內容，但我不清楚自己當初預測與實驗解釋的內容不一致的地方。
- D. 我能了解實驗解釋的內容，但我覺得這個解釋內容不正確。
- E. 我不了解實驗解釋的內容。

投影片結束

請在位置上坐好

靜待老師處理

謝謝合作！！

由先前實驗影片中可看到：

鐵粉由高處倒出後
在半空中燃燒



燃燒三要素

2.助燃物
(氧氣)

3.達到燃點
(溫度)

1.可燃物
(木柴)



燃燒三要素

- 物體燃燒需要：**可燃物**、**助燃物**和**達到燃點**三個條件，缺一不可。
- 依據燃燒三要素，要使燃燒現象中止，必須移除任一要素：
 1. 移除可燃物
例如：烤肉移除木炭、煮完菜關掉瓦斯。
 2. 移除助燃物
例如：增加二氧化碳濃度，以降低氧氣濃度。
 3. 降低溫度
例如：灑水降低溫度，使其低於燃點。

反應速率與表面積

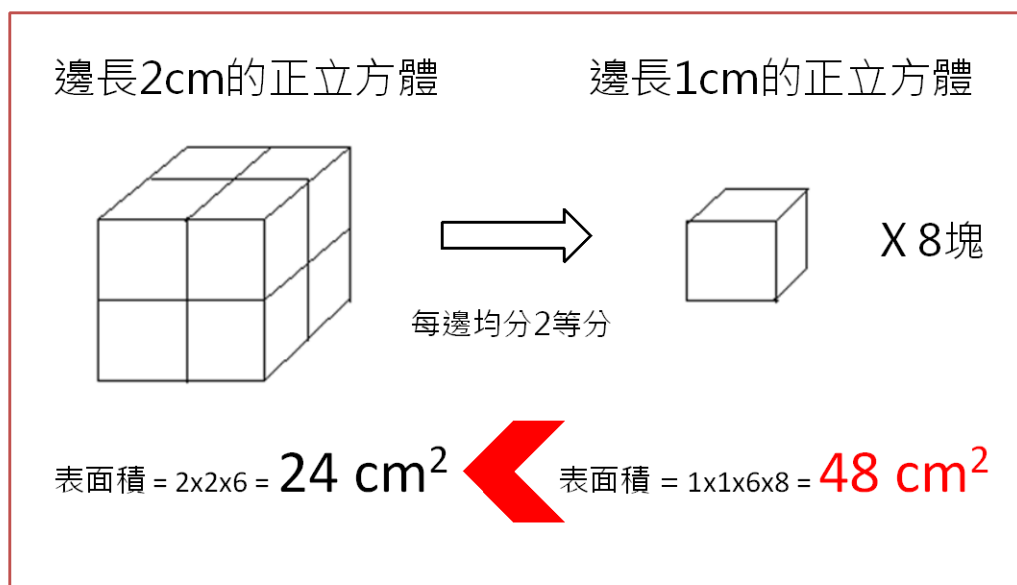
本實驗所使用的是質地極為細緻的**奈米級鐵粉**而不是鐵塊或鐵釘



鐵粉和鐵釘都由鐵所組成，但他們的表面積不一樣，而**表面積和反應速率之間也有絕對的關係**。

簡單來說，**物質顆粒越小，總表面積就會越大**；如此一來**反應速率就會越快**。

反應速率與表面積



反應速率與表面積

由上述之例子可知：鐵粉磨得越細、總表面積就越大。而當物體的**總表面積越大**，單位時間內碰撞的次數也會越多，**越容易發生反應**。

像一般狀況下，鐵釘直接用火加熱並不會燃燒，然而鋼絲絨這種像頭髮一樣細的鐵絲卻能夠加熱後燃燒。

反應速率與表面積

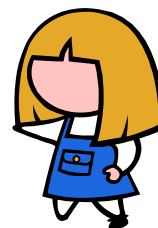


反應速率與表面積

所以在本實驗中，奈米級鐵粉不需要用火點燃，只需將鐵粉由高處往下倒即可燃燒。

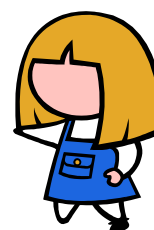
鐵粉由高處落下時，鐵粉與空氣劇烈反應，滿足了燃燒三要素（鐵粉 - 可燃物、氧氣 - 助燃物、劇烈反應 - 達到燃點），因此鐵粉在半空中便開始燃燒。

老師，鐵粉為什麼會燒起來呢？



說到物質燃燒的原因就不得不提到「**燃燒三要素**」！！

燃燒三要素？那是什麼？沒聽過～



2.助燃物
(氧氣)

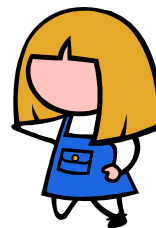
3.達到燃點
(溫度)



1.可燃物
(木柴)

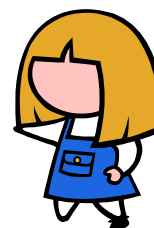
- 物質燃燒需要：**可燃物**、**助燃物**和**達到燃點**三個條件，缺一不可。

老師！！那滅火呢？滅火也要燃燒三要素都不存在嗎？？



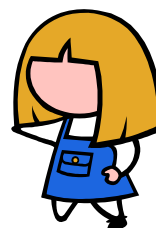
其實要使燃燒現象中止，**只要移除任一要素**就可以使火熄滅囉～～

真的嗎？那如果只**移除可燃物**？



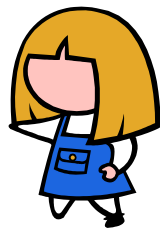
當然可以，就像烤肉的時候把木炭拿走，或是煮完菜把瓦斯關掉一樣。

那如果只**移除助燃物**呢？



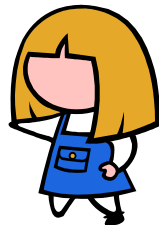
像是使用二氧化碳的滅火器，就是用降低氧氣濃度的方式移除助燃物，達到滅火的效果～

那要怎麼**不達到燃點**呢？

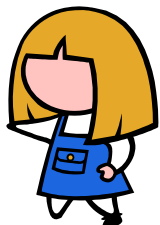


最簡單的方法就是一般火災的時候總是會有消防員灑水滅火，他們所用的方法就是利用灑水降溫，使其低於燃點。

喔！！太好了～那我了解燃燒三要素和滅火的方法了！！



老師，我有另外一個問題！！平常我們拿鐵釘或是圖釘掉到地上也不會燃燒阿，那為什麼這個實驗的鐵會燃燒呢？

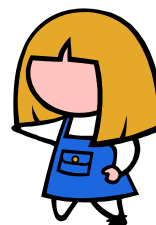




那主要是因為本實驗所使用的是質地極為細緻的**奈米級鐵粉**而不是鐵塊或鐵條。



不懂?? 鐵粉和鐵釘不是一樣的東西嗎?



鐵粉和鐵釘都由鐵所組成，但他們的表面積不一樣，而**表面積和反應速率之間也有絕對的關係**。

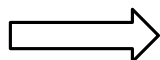
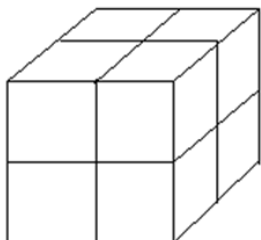
簡單來說，**物質顆粒越小**，**總表面積就會越大**；如此一來**反應速率就會越快**。



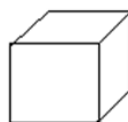
以正立方體為例...

邊長2cm的正立方體

邊長1cm的正立方體



每邊均分2等分



X 8塊

表面積 = $2 \times 2 \times 6 = 24 \text{ cm}^2$



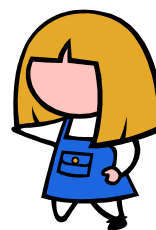
表面積 = $1 \times 1 \times 6 \times 8 = 48 \text{ cm}^2$

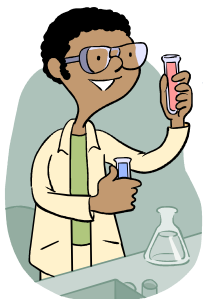
所以老師你的意思是說：鐵粉磨得越細總表面積就越大囉？

沒錯！！

那總表面積跟反應速率又有什麼關係呢？

當物體的**總表面積越大**，單位時間內碰撞的次數也會越多，**越容易發生反應**。





像一般狀況下，鐵釘直接用火加熱並不會燃燒，然而鋼絲絨這種像頭髮一樣細的鐵絲卻能夠加熱後燃燒。



所以在本實驗中，奈米級鐵粉不需要用火點燃，只需將鐵粉由高處往下倒即可燃燒。

鐵粉由高處落下時，鐵粉與空氣劇烈反應，滿足了燃燒三要素（鐵粉 - 可燃物、氧氣 - 助燃物、劇烈反應 - 達到燃點），因此鐵粉在半空中便開始燃燒。

喔～原來是這樣啊～～

