

運用眼球追蹤法探討國小科學與非科學教師 在電流動畫中的注意力分佈與其概念之研究

學生：蔡金成

指導教授：余曉清教授

國立交通大學理學院網路學習學程碩士班

摘要

本研究主要目的為探討電流概念相關之網路多媒體動畫對教師電流另有概念之概念改變學習成效，並進一步以 Eye-Tracking 技術探討不同學科背景教師，在觀看動畫教學時眼球凝視點次數 (number of fixations)、凝視時間 (fixation duration) 和視線軌跡 (scanpath) 的差異，以及其眼動與概念建構間的關係。

研究對象為 36 位新竹市部分國小的教師，依研究設計分為科學相關學科背景與非科學相關學科背景兩組，科學相關 15 人與非科學相關 21 人進行「電流概念」主題的動畫教學與眼球追蹤，實驗前後以晤談的方式了解不同學科背景教師對於電流的另有概念與概念改變的情形。

研究結果顯示不同學科背景的國小教師在電流相關概念上的認知情形有顯著差異，並存在許多另有概念，而電流概念多媒體動畫能幫助教師進行概念改變，兩組後測訪談成績都顯著大於前測成績；另外不同學科背景的 Eye-Tracking 資料雖沒有高度顯著差異，但發現科學背景教師在動畫區域上凝視點平均時間都較非科學背景教師長，科學背景教師的視線軌跡大部分的時間都在觀看動畫的物件如何動作，剩餘的時間才會瀏覽說明文字和鑲嵌文字；非科學背景教師的視線軌跡大部份的時間在瀏覽文字和鑲嵌文字區域，瀏覽動畫區域的時間較短。造成科學教師在許多概念的獲得成效遠高於非科學教師，如：電子流與電流、電池化學能轉換成電能與導線中的粒子有原子等概念。除此之外，發現不論科學與非科學教師當其眼球注意力分佈與平均凝視時間都相近時，概念獲得百分比也相近，如：電子通過導線的方式與導線中粒子的大小等概念。因此本研究除了證明注意力分佈與概念建構的程度有密切的關係，同時本研究設計除動畫與聲音外，輔以文字說明，卻不同於以往學者研究結果，可以達到完整的概念改變。



Use Eye-tracking System to Investigate Science and Nonscience Elementary School Teachers' Concepts Involving the Animation of Electric Current and their Attention

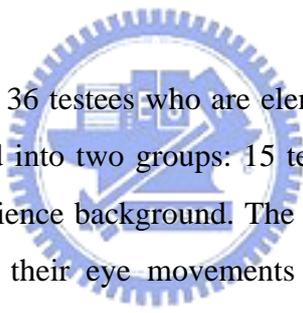
Student : Chin-Cheng Tsai

Advisor : Dr.Hsiao-Ching She

National Chiao Tung University College of Science Degree program of E-learning

ABSTRACT

The main purpose of this research is to study the learning effect of multi-media animations of electric current on teachers' reformation of extra concept. The research uses Eye-Tracking system to study the number of fixations, fixation duration and scanpath of teachers with different subject-learning backgrounds. It explains the relationship between eye movements and the concept reformation.



This research has 36 testees who are elementary school teachers of Hsinchu City. They are divided into two groups: 15 testees with science background and 21 testees with non-science background. The teachers watch the animation about electric current while their eye movements are tracked. Before and after the animation, they are interviewed with questions on electric current. The results are scored to monitor their concept reformation.

The result is that among the teachers of different learning background, there are very different concepts and extra concepts on electric current. The electric current animation helps the teachers to precede their concept changes. The post interview scores are higher than the pre interview scores for both groups. Although the eye-tracking data are not very sharply different among teachers of different learning background, the mean fixation duration of teachers with science background looked at the animation longer. Most of the time, their eyes trace the movements of the object. The teachers with non-science background look at the literal descriptions longer. The result is that the teachers with science background have a better learning achievement than the teachers of non-science

background, such as concepts about electron flow and electric current, the transformation of battery chemical energy change to electricity and the existence of atoms in the wire. Besides, the research tells that when the mean fixation duration and the eyeball concentration for both groups are similar, the percentages of concepts they acquire are very similar. This is shown in concepts such as the traveling patterns of electrons and the size of the granule in the wire. This research proves that there is a close relationship between the attention degree and the development of concept. Unlike the results of previous scholastic researches, this research designs an animation with pictures, sounds and literal descriptions. It has a better achievement on the concept reformation.



誌謝

在一段漫長焚膏繼晷的日子後，終於完成碩士論文，手裡捧著多少辛酸血淚編織而成的著作，心中充滿無限的感激與悸動！

論文得以付梓，要感謝的人太多，那就謝天吧！除了上天的恩德外，心中最感恩的是余曉清教授對我的指導與關懷！在余老師的教導下，踏入深不可測的科學教育領域，老師嚴謹的研究態度，誨人不倦的教學精神，身為學生們學習效法的典範。在寫論文的過程中，老師不斷地教導我們論文的分析方法，從不同的角度去探討與分析實驗結果，不時的鼓勵與關心，論文歷經老師的數次費盡苦心修改與指導，使我能順利通過口試畢業。另外感謝中原大學官英華教授在口試時細心地指正論文的錯誤，讓論文可以更加完備，更要感謝理學院專班莊祚敏主任對專班的規劃與奉獻，及給予本論文寶貴的意見與指教，使本論文能夠更加完善。

同時要感謝建功國小的郭校長及各處室主任與同事，在進修期間給予的支持與幫忙，讓我無後顧之憂全力以赴！此外，非常感謝許多建功的同事及外校的學長姐與學弟妹在百忙之中撥空參與實驗，使本研究得以順利完成。還要感謝專班及教研所的同學、助教及學弟妹，平時的幫忙與鼓勵打氣，才能順利修完學分與論文。還有在寫論文期間幫我很多忙與鼓勵我的怡君學姐、夙涓學妹、姿津學姐、怡仁、冠慧、格瑜學弟、倩嫻學妹、鳳琴、國銘、亞蘭、秀予、景盛、昌能學長、秀霞、蕙慈、淑芬、煒錚學長及阿丹，在此致上最誠摯的謝意與感激。

最後要感謝生我育我含辛茹苦栽培我的父母，如果沒有兩位菩薩辛苦的養育與無私的付出，就沒有今天身心健全的我，所以如果我有值得喝采的榮耀，都是父母的功勞。謹以此論文獻給在進修期間所有曾經鼓勵、幫助我的所有老師與朋友，祝福大家心怡如意、心想事成！

蔡金成謹誌

民國九十六年七月



目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	iii
誌謝.....	v
目錄.....	vii
表目錄.....	ix
圖目錄.....	xi
第一章 緒論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的.....	3
第三節 研究問題.....	4
第四節 名詞釋義.....	5
第五節 研究範圍與限制.....	7
第二章 文獻探討.....	8
第一節 另有概念、概念改變及教師另有概念相關研究.....	8
第二節 電學概念相關研究.....	16
第三節 眼球追蹤相關研究.....	22
第四節 多媒體相關研究.....	28
第三章 研究方法.....	31
第一節 研究對象.....	31
第二節 研究設計.....	32
第三節 研究流程.....	34

第四節 研究工具.....	35
第五節 資料分析.....	42
第四章 研究結果與討論.....	44
第一節 不同學科背景教師電流概念及概念改變成效分析.....	44
第二節 不同學科背景教師觀看「導線內部粒子的排列情形」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析.....	48
第三節 不同學科背景教師觀看「電子流的意義」與「電流與電子流」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析.....	56
第四節 不同學科背景教師觀看「電路中電子流的方向」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析.....	72
第五節 不同學科背景教師觀看「電子通過導線的方式」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析.....	81
第六節 不同學科背景教師觀看「電子如何讓燈泡亮起來」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析.....	90
第五章 結論與建議.....	99
第一節 結論與討論.....	99
第二節 建議.....	107
參考文獻.....	109
附錄一：電流概念類別評分表.....	120

表目錄

表 1：有關「教師另有概念」之研究一覽表.....	14
表 2：國小教師的基本電路概念特性.....	15
表 3：教師人口統計變項分析表.....	31
表 4：電流概念晤談大綱.....	35
表 5：不同學科背景國小教師電流概念訪談前測敘述性統計表.....	44
表 6：不同學科背景國小教師電流概念訪談前測獨立樣本 T 檢定摘要表...	45
表 7：不同學科背景國小教師電流概念晤談大綱前測得分摘要表.....	46
表 8：不同學科背景國小教師電流概念訪談前後測敘述性統計與成對樣本 T 檢定摘要表.....	46
表 9：不同學科背景變項對電流概念訪談後測之單因子共變數分析摘要表	47
表 10：動畫一眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定摘要表.....	49
表 11：不通電導線內微觀粒子種類的概念改變分析.....	54
表 12：動畫二眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定摘要表.....	58
表 13：動畫三眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定摘要表.....	60
表 14：電流與電子流的概念改變分析.....	70
表 15：動畫四眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定摘要表.....	73
表 16：通路、燈泡發光與通電導線內變化的概念改變分析.....	79
表 17：動畫五眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定摘要表.....	82
表 18：電子通過導線方式的概念改變分析.....	89
表 19：動畫六眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定摘要表.....	91
表 20：微觀通電導線內變化的概念改變分析.....	98



圖目錄

圖 1：Osborne 的電流模組	18
圖 2：交叉撞擊模式	19
圖 3：衰減模式	19
圖 4：共享模式	19
圖 5：八種並聯電路的電流模式(Magnusson et al., 1997)	20
圖 6：Broadbent 過濾器模型（修改自 Sternberg, 2003）	24
圖 7：Treisman 減弱模型（修改自 Sternberg, 2003）	25
圖 8：Deutsch & Deutsch，Norman 模型（修改自 Sternberg, 2003）	25
圖 9：研究架構圖	32
圖 10：研究流程圖	34
圖 11：導線內部粒子的排列情形動畫縮圖	36
圖 12：電子流的意義動畫縮圖	36
圖 13：電流與電子流動畫縮圖	37
圖 14：電路中電子流的方向動畫縮圖	37
圖 15：電子通過導線的方式動畫縮圖	38
圖 16：電子如何讓燈泡亮起來動畫縮圖	38
圖 17：眼球追蹤系統裝置	39
圖 18：螢幕與 CCD 架構圖	39
圖 19：瞳孔與角膜反射點位置	40
圖 20：PCCR 方法	40
圖 21：眼球追蹤施測情境	41

圖 22：眼球追蹤施測受試者與螢幕距離.....	41
圖 23：以 NYAN 軟體進行瞳孔位置校正.....	41
圖 24：NYAN 眼睛偏離校正視窗.....	41
圖 25：眼球凝視動畫之視線軌跡範例.....	43
圖 26：動畫「導線內部粒子的排列情形」之動畫與文字區域範圍.....	48
圖 27：代號 A 科學背景教師瀏覽「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡一.....	50
圖 28：代號 A 科學背景教師瀏覽「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡二.....	51
圖 29：代號 A 科學背景教師瀏覽「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡三.....	51
圖 30：代號 A 科學背景教師瀏覽「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡四.....	52
圖 31：代號 B 非科學背景教師瀏覽「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡一.....	53
圖 32：代號 B 非科學背景教師瀏覽「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡二.....	53
圖 33：動畫「電子流的意義」之鑲嵌文字、動畫與文字區域範圍.....	56
圖 34：動畫「電流與電子流」之鑲嵌文字、動畫與文字區域範圍.....	57
圖 35：代號 C 科學背景教師瀏覽「電子流的意義」動畫之視線軌跡一....	62
圖 36：代號 C 科學背景教師瀏覽「電子流的意義」動畫之視線軌跡二....	62
圖 37：代號 C 科學背景教師瀏覽「電子流的意義」動畫之視線軌跡三....	63
圖 38：代號 D 非科學背景教師瀏覽「電子流的意義」動畫之視線軌跡一	64
圖 39：代號 D 非科學背景教師瀏覽「電子流的意義」動畫之視線軌跡二	64
圖 40：代號 D 非科學背景教師瀏覽「電子流的意義」動畫之視線軌跡三	65

圖 41：代號 E 科學背景教師瀏覽「電流與電子流」動畫之視線軌跡一.....	66
圖 42：代號 E 科學背景教師瀏覽「電流與電子流」動畫之視線軌跡二.....	66
圖 43：代號 E 科學背景教師瀏覽「電流與電子流」動畫之視線軌跡三.....	67
圖 44：代號 F 非科學背景教師之「電流與電子流」動畫視線軌跡一.....	68
圖 45：代號 F 非科學背景教師之「電流與電子流」動畫視線軌跡二.....	68
圖 46：代號 F 非科學背景教師之「電流與電子流」動畫視線軌跡三.....	69
圖 47：代號 F 非科學背景教師之「電流與電子流」動畫視線軌跡四.....	69
圖 48：動畫「電路中電子流的方向」之鑲嵌文字、動畫與文字區域範圍.	72
圖 49：代號 G 科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡一	75
圖 50：代號 G 科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡二	75
圖 51：代號 G 科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡三	76
圖 52：代號 G 科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡四	76
圖 53：代號 D 非科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡一	77
圖 54：代號 D 非科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡二	78
圖 55：代號 D 非科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡三	78
圖 56：動畫「電子通過導線的方式」之動畫與文字區域範圍.....	81
圖 57：代號 H 科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡一	84
圖 58：代號 H 科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡二	84
圖 59：代號 H 科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡三	85
圖 60：代號 H 科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡四	85

圖 61：代號 D 非科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡一	86
圖 62：代號 D 非科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡二	87
圖 63：代號 D 非科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡三	87
圖 64：代號 D 非科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡四	88
圖 65：動畫「電子如何讓燈泡亮起來」之鑲嵌文字、動畫與文字區域範圍	90
圖 66：代號 G 科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡一	93
圖 67：代號 G 科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡二	93
圖 68：代號 G 科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡三	94
圖 69：代號 G 科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡四	94
圖 70：代號 D 非科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡一	95
圖 71：代號 D 非科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡二	96
圖 72：代號 D 非科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡三	96
圖 73：代號 D 非科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡四	97

第一章 緒論

本章共分為五節，主要說明本研究的背景及動機、研究的目的、研究問題、重要的名詞釋義以及本研究的範圍和限制。

第一節 研究背景與動機

現今國小自然與生活科技領域教師大多由兼行政教師擔任，多數為非相關科系畢業之教師，並無學習過相關學科的課程，而教師所具備的學科知識深深影響其教學成效，不論在選擇課程教材、教學深度與廣度或在評量學生學習成效上，都與教師對學科知識的瞭解息息相關。Schoon(1995)在研究中發現：許多國小職前教師將他們的迷思概念歸因於學校及教師的教學。楊馥華(民95)指出許多教師有學科知識不足與擁有另有概念的現象，容易在教學過程中，把錯誤的概念教給學生，使學生產生迷思概念。此外，教育部(民92)自九十二年九月開始推動教育部補助試辦教師專業發展評鑑實施計畫，評鑑內容包含課程設計與教學，相信不久之後，全國中小學教師都必須接受教師專業發展評鑑。因此，了解教師的另有概念與提昇教師學科知識的研究，有助於提昇教師專業素養。

近年來資訊科技與網際網路的發達，使得教師在教學時可方便取材自多媒體素材，且多媒體的呈現，也可以讓抽象的科學概念變得具體化，突顯多媒體學習之重要性。然而，多媒體的設計如果只是一股腦兒的加入文字、圖片、聲音、動畫及影片，或甚只是將課本的內容加上絢麗的聲光效果而已，可能無法提高學習者的學習成效。

Chandler & Sweller (1991) 在圖文的編排設計研究中，發現在需要整合來源完全不同但相互依存的資源時會產生無效的教學，因為這樣的資訊可能會造成很重的認知負荷，例如：分離的圖文。Mayer (2001)也指出當多媒體的訊息形式為單一來源時，如：圖形與文字的組合，則視覺感官必須同時接收兩種訊息，容易產生認知負荷。由此可知，多媒體的呈現方式對於學習的成效有顯著的影響，多媒體設計者在設計教學動畫時應該參考相關的理論，才能達到藉由多媒體提高學習成效的目的。

如果教師在職前教育中形成了迷思概念，將會使學生在學習相關概念上

易於產生相同或類似的迷思概念，教師的迷思概念和學生的迷思概念一樣難以改變，除了來自於概念的抽象、微觀與動態外，主要是因為概念的階層性越高時，要達到概念改變就越不容易(She,2002)。近幾年來國內外科學教育對於迷思概念的研究，以電學概念為主題的研究很多，主要是因為電學是屬於比較抽象的概念，同時也是不容易學跟教的概念之一（葉俊豪、陳瓊森，民84； Garnett & Treagust, 1992; Viard & Francoise, 2001）。不過在這些研究中，大部分是以學生為研究對象，對於教師的迷思概念研究卻是寥寥可數。此外，在電學中電流的部份大部分都是探討電流的方向，極少探討到導線中粒子的排列、電子的碰撞與流動的情形等屬於較抽象微觀的概念(Heller & Finley,1992)，因此，研究者希望能以在職國小自然科教師為研究對象，探討與電流微觀概念相關的迷思概念，以做為改進教學、提昇教師素質的參考。

眼球追蹤法運用在心理學領域研究中近四十年，開始有一些研究者，用科學的方法來研究，當我們在做不同認知作業時，眼球的移動方式是不是也可以反應一些不同的認知歷程，如：注意力運作的機制 (Egeth & Yantis, 1997)、偏好態度 (Shimojo, et al., 2003)、語文閱讀理解歷程（詹益綾，民94），甚至也成為測謊與臨床疾患的診斷工具 (Holzman, 2000)。本研究希望藉由眼球追蹤法探討不同學科背景教師在觀看電流教學動畫時，眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、動畫與文字區域凝視點的平均時間值(mean fixation duration)、動畫與文字區域凝視時間的百分比(percentage)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)有何異同，以了解科學背景與非科學背景學習者在學習過程中，注意力分佈與知識建構的關係，作為將來改進電流概念教學與科學概念動畫設計的參考。

第二節 研究目的

本研究一方面藉由訪談國小教師，了解國小具有自然科學背景教師與非自然科學背景教師對電流概念的認知。另一方面，則利用眼球追蹤系統(Eye-Tracking System)來探究國小教師在觀賞動畫教學時，對動畫與文字注意力分佈情形與概念改變的關係，並綜合研究結果提出相關建議。

因此本研究之研究目的如下：

- 一、探討不同學科背景的國小教師在電流相關概念上的認知情形及其另有概念。
- 二、比較不同學科背景之教師在觀看電流教學動畫時眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、動畫與文字區域凝視點的平均時間值(mean fixation duration)、動畫與文字區域凝視時間的百分比(percentage)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)是否有差異。
- 三、瞭解電流動畫教學是否有助於概念改變。
- 四、探討不同學科背景之教師在觀看電流教學動畫時，眼球追蹤資料及視線軌跡(scanpath)與電流概念改變的關係。

第三節 研究問題

本研究旨在探討電流教學動畫對教師的電流另有概念之概念改變學習成效，並進一步探討不同學科背景教師，在觀看動畫教學時眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、動畫與文字區域凝視點的平均時間值(mean fixation duration)、動畫與文字區域凝視時間的百分比(percentage)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)有何差異，及其與概念改變的關係。本研究的問題如下：

- 一、不同學科背景之國小教師在教學前電流相關概念上的認知情形及其另有概念有何差異。
- 二、不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫時眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、動畫與文字區域凝視點的平均時間值(mean fixation duration)、動畫與文字區域凝視時間的百分比(percentage)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)有何差異。
- 三、不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫前後概念有何差異。
- 四、不同學科背景之教師在觀看電流教學動畫時，眼球追蹤資料及視線軌跡(scanpath)與電流概念改變有何關係。

第四節 名詞釋義

一、國小科學相關背景教師

所謂國小科學相關背景教師，是指依據師資培育法規定取得正式資格，且在公立國民小學任職之合格教師，包括教師兼主任，教師兼組長、導師、各專任教師及聘期在一年以上之代理教師，且在職前所主修之科目為自然科學相關學科，不包含主修數學相關學科之教師。

二、眼球運動(eye movement)

當我們閱讀或看或搜尋某一些事物，我們的眼球便會產生不連續的跳動現象，其機制概可分為兩類，一類是無意識的眼球運動，多跟生理病理特徵有關。另一類則是有意識的眼球運動，多跟注意力轉移、更高層次的記憶、理解認知過程有關。不論是有意識或無意識的眼球動作，基本上都是由凝視(fixation)和急速跳躍(saccade)反覆交替所組成，若將一系列凝視落點依時序列出，即形成所謂的視線軌跡(scanpath) (唐大崙、張文瑜，民 95)。

三、眼球追蹤系統(eye-tracking system)

眼球追蹤系統是一套可以分析眼球凝視與移動軌跡的記錄器，本研究所使用之眼球追蹤系統為非接觸式紅外線視訊系統「Eye Gaze」，此系統為雙眼眼球追蹤系統，系統配有兩部 CCD、LED 及監視器的 PC 個人電腦，利用分析軟體 (NYAN) 進行眼球位置資料的擷取、紀錄與分析，詳細介紹請參考研究工具。

四、視覺注意力(visual attention)

探討視覺的注意力可透過兩種方式來進行：內隱視覺注意力 (covert visual attention) 和外顯視覺注意力 (overt visual attention)。內隱視覺注意力係指在沒有眼動的情況下探討注意力的運作；而外顯視覺注意力則指在眼睛能自主移動的情況下，吾人注意到視野中出現或存在的物體 (Findlay & Gilchrist, 2003)。

五、多媒體 (multimedia)

Mayer(2001) 將其相關研究的多媒體定義為文字(words)及圖片

(pictures)；文字指的是語文型式(verbal form)，包含書寫的視覺文字(printed words)及口語表達的文字(spoken words)二種；圖片指的是圖像型式(pictorial form)，包含靜態圖(插圖、座標圖、圖解、照片、地圖)與動態圖(動畫、影片)二種。本研究將實驗中的動畫定義為低互動的多媒體，單純以動態圖像、聲音與文字的方式讓教師瀏覽學習，輔以簡單的元件控制進入下一階段動畫。

六、概念改變(conceptual change)

廣義的概念改變包含了概念建構與重建 (conceptual construction & reconstruction)。學習者的概念架構會隨著自身的心智發展、周圍環境的刺激或生活經驗累積等因素，促使其認知結構出現分化和統整的現象。可能是概念的從無到有、由簡至繁的擴充，也可能是部分概念的修正、甚至概念轉移與重建等，都可稱之為「概念改變」。

七、評量基準系統(the rubric scoring system)

用以作為非結構化開放性問題的評分系統。研究者首先對問題做分析，將可能的概念類別列出，再根據學習者不同的作答情形，依據概念類別給分。在評分過程為了避免研究者的主觀因素，及求取在成績評量上有更高的信度，商請同校另一位自然科學系畢業之自然與生活科技教師協同評分，以建立評分者信度（游文楓、余曉清，民95）。

第五節 研究範圍與限制

一、研究範圍：

(一) 研究對象

本研究的對象是新竹市的 36 位國小現職教師。其中科學相關科系畢業教師 15 名，非科學相關科系畢業教師 21 名。

(二) 研究內容

研究內容主要探討國小教師微觀的電流概念，以動畫教學及晤談方式進行，因研究對象為國小教師故不涉及其他艱深的概念，故電流概念限制在大學普通物理學範圍內與電流部份相關的概念，包括電位差、電流、電阻、電路等部份。

二、研究限制：

本研究基於人力、時間的因素，研究結果僅限於新竹市國小，不適宜推論至其他地區。

本研究所使用的工具眼球追蹤系統(Eye-Tracking System)，因國小教師近視的比率很高，配戴眼鏡或隱形眼鏡的情形非常普遍，而在進行眼球追蹤的研究時眼鏡的玻璃及金屬框與隱形眼鏡很容易反光，使系統誤判為角膜反光點，發生無法定位瞳孔位置的情形，增加施測的困難與分析的誤差。

第二章 文獻探討

本章旨在探討與本研究相關之文獻。全章共分四節，第一節探討另有概念、概念改變及教師另有概念相關研究；第二節探討電學概念相關研究；第三節探討眼球追蹤相關研究；第四節探討探討多媒體相關研究。

第一節 另有概念、概念改變及教師另有概念相關研究

本研究依據科學教育中另有概念、概念改變及教師另有概念之相關文獻進行了理論以及應用的分析與比較。

一、另有概念

(一) 另有概念的探究

概念的形成本是需要經過學習的，過去哲學家們主張，嬰兒從誕生的那一刻，隨著環境的刺激越多與年紀的增長，就開始不斷的累積知識與經驗，給予什麼就吸收什麼，這些知識與經驗構成了個人對於這個世界的概念，許多研究(Wandersee, Mintzes & Novak, 1994) 指出每位學生在進入學校接受教育前，雖然已經擁有豐富的概念，但這些想法常常有異於學校所要教的正統科學。同時，學生傾向保護他們原有的想法，在傳統的教學方法之下，這些想法不容易改變，並且可能成為學習的阻礙。

對於學生接受正式的教育之前，所自行發展出來的概念，由於不同的研究者和不同的團體，或研究動機、理論觀點的不同，使用以描述這些相關概念的名詞也有所不同。這些概念便被標以學生概念(student conception)、兒童科學(children science)、先前概念(preconception)、迷思概念(misconception)、另有概念(alternative conception)或另有架構(alternative framework)，而名稱是依研究者對知識本質的觀點而定(Gilbert & Watts, 1983)。其中最為通行的是迷思概念 (misconception)，但從概念的角度，這些與科學家概念不同的想法亦是學生經過長期學習的結果，只是他們提出的想法跟「專家」不一樣，老師或研究者仍應重視學生想法 (Wandersee et al.,1994)，因此本研究採取「另有概念」(alternative conception) 來稱呼在教學前的這些教師既有知識或經

驗、想法。

從建構論者的觀點來看，學習通常是在學習者瞭解自我既有的知識與接受新的知識之交互作用中進行的。又從學習與發展的過程具有連續性的特性而言，個體在學習某一新概念時，總是基於先前的概念，因此先前概念必定會對於學習造成某程度上的影響，有些對學習具有正面的效果，能幫助對新概念的理解，有些則產生負面作用，妨礙新概念的建立。

另有概念和專家的科學概念有很大的差距，為什麼學生會有另有概念呢？另有概念對學習有什麼影響呢？許多研究結果 (Osborne & Gilbert, 1980; Carey, 1985) 顯示學生在科學學習上的迷思概念難以經由課堂上的教學而改變，因此對於另有概念的成因及不易放棄的現象學者們紛紛提出說明：(1)學生從生活經驗中建立起對於自然界各種現象的直覺概念(Driver, 1989)；(2)學生難以理解抽象的概念 (Brown, 1993)；(3)學生無法直接觀察到肉眼不可見的微小分子 (Brook et al., 1984; Gabel et al., 1987)。

也有學者 (Head, 1986) 指出產生另有概念的原因是由於學習者與環境及兩者的交互作用而產生。在兒童的成長過程中會與週遭的人產生互動，這可能使兒童從其他人身上得到一些另有概念，另一方面兒童觀察自然界現象時，經過本身的歸納整理後得到一些他們自以為正確但卻與科學家想法相異的概念。

Stepans 等人 (1986) 對於學生的另有概念可能的來源，提出下列六點解釋：

1. 教師對於學童的迷思概念缺乏察覺心 (awareness) 及興趣。
2. 日常生活語言和隱喻。
3. 「只有教就馬上會學到」的假設。
4. 「話語用字就可代表是否理解」的假設。
5. 教科書呈現了概念。
6. 過分強調講述法。

由認知觀點來看，Fisher 與 Lipson (1986) 認為最常見的另有概念產生的原因有：心智運作中注意力的問題、解決問題時心智處理過程的錯誤、學習產生的新信念與原有信仰系統衝突、沒有聯結到先備知識等等。

由此可見產生另有概念的來源甚多，這些來源提供了學生認知架構的基礎，影響學生如何學習和學習的成果，因此在探究學生的學習歷程與成效之前，應先了解學生先前所具有的概念，做為教學改進的參考。

(二) 科學概念的建構與改變的困難

Lawson(1988)將概念定義為『概念＝心智模式＋語詞』，並強調教師無法將心智模式傳授給學習者，教師只能教導語詞，學習者必須由活動中親身經驗才能學習得到心智模式，教師藉由教導語詞意義的機會，使學習者能連結心智模式及語詞，而獲得概念。

假若學習者的另有改變，進行了概念改變，則對某科學（如電流概念）的心智模式也會被修正，因此心智表徵將會趨向完整性。

學生改變他們既存的概念來建構正確的科學知識，為何如此困難？有些學者從學生個人和學習情境的角度來解釋，Carey (1986) 的概念改變理論指出缺乏科學知識和經驗的兒童在面對自然現象時，只能引用日常生活中熟悉的類似經驗做為範例，將新的概念類比包含進原有的概念架構中，因而使得概念架構十分錯綜複雜而不易轉移。Burbules 和 Linn (1988) 指出當學生原先的經驗，能夠部分的支持他們的另有概念時，概念轉移的難度將更為提高，因為這些經驗會增強他們對另有概念的信念，讓他們無法釐清經驗與另有概念之間的關係。Driver (1989)亦認為學生的生活經驗，深植於他們直觀式的科學概念之中，互相緊密結合而造成概念轉移的困難。

Chi (1992) 從本體論的角度來探討概念改變，由其不相容理論中，指出學生不了解科學概念，並非因為這些概念是複雜或是抽象的，而是學生原有的想法事件基模與待學的基模彼此不相容，正因為這種不相容性，要學生放棄原有的想法、觀點或進行同化的過程，是一項非常困難的工作。

亦有學者從概念本身的角度來解釋，有些科學概念太過抽象 (Brown, 1993)或是微觀 (Brook, 1984)，學生無法有效的理解而造成改變的困難。如果教師在教學前已有另有概念，將會使學生在學習相關概念上易於產生相同或類似的另有概念，教師的另有概念和學生的另有概念一樣難以改變，除了來自於概念的抽象、微觀與動態外，主要是因為概念的階層性越高時，要達到概念改變就越不容易(She,2002)。

二、概念改變理論與認知歷程

近年來，學者以認知心理學的觀點來探討學生的學習，甚至已將學生的學習視為概念的改變。但科學教育學者發現迷思概念阻礙了學生學習科學概

念，長久以來，相關研究（Fisher, 1985; Head, 1986）都指出對於學生在科學上概念的改變是很困難達成的，因此在此針對概念改變與重建的認知歷程進行探討。

在有關概念改變的文獻中，有許多學者對概念改變的認知過程有不同的詮釋。「概念改變」一詞通常包括過程和結果；Chi (1994) 從本體論的角度來探討，將概念分為物質 (substance)、過程 (processes) 和心智狀態 (mental states) 三個類別的本體樹，彼此相互獨立。所謂「物質」是指擁有靜態特定條件的概念，包含了概念的狀態和屬性；「過程」則是動態發生事件的概念，可能有前後序列或因果關係；「心智狀態」則是抽象情意心理狀態的概念。Chi (1992)也指出概念改變可分成「本體樹內的概念改變」(within ontological conceptual change) 與「本體樹間的概念改變」(across ontological conceptual change)。其中「本體樹內的概念改變」是指概念改變發生於同一本體樹內的，可以視為是「信念的修正」(belief revision)，概念的結構僅產生局部變化。而「本體樹間的概念改變」，則是指概念改變發生於不同的本體樹之間，概念的結構將產生重大根本的變化。他認為將概念改變作如此的區別，才有助於我們對學習、發展，和科學發現的了解。Chi (1992)和 Thagard (1992)皆知覺到改變存在於由微弱的修正到本質重建的連續過程，且他們將本質的概念改變視為知識架構的重組。

學者 Vosniadou(1994) 將 Piaget 認知發展理論中「同化」(assimilation) 和「調適」(accommodation)，更進一步詮釋成為兩種概念改變的形式「弱重建」(Weak restructuring) 和「徹底重建」(radical restructuring)。認為概念改變簡單的形式稱為弱重建，在此歷程中，學習者僅增加新的資訊當作自己本身的知識，用來解釋其他特殊的原理，並沒有改變自己原本認知的架構。而徹底重建類似 Kuhn (1970)曾提出整個典範轉移的「科學革命」(scientific revolution)，在新概念加入時，原有的核心概念架構必須修改，甚至重新建構，這被認為這是較困難發生且有意義的概念改變，且通常需要透過有系統的教學法。

大部分的人提到概念改變就會想到 Posner, Strike, Hewson 和 Gertzog (1982) 所提出的概念改變模式(conceptual change model, CCM)，基於皮亞傑「調適」的觀點，認為概念的改變是指個體對於概念從不滿意到滿意的狀態。Posner 等人(1982)所提出概念改變的四個條件為：1.學習者必須對現有概念感到不滿意(dissatisfaction)，或者自己的概念無法解釋所觀察到的現象，否則

是不會改變他們所用以思考的概念。換言之，當同化仍然合理時，人們是不會進行調適的。2.新的概念必須是可以理解的 (intelligible)：新的概念通常不是反直覺 (counterintuition)，就是不可理解，所以很難形成概念改變，因此新的概念必須是可理解的，個體才可能進行概念改變。3.新的概念必須是合理的 (plausible)：光是理解新概念的意義是不夠的，還必須能夠以此新概念來解釋其周遭所發生的現象，也就是學生必須體會到新概念是可以相信與應用的。4.新的概念必須是豐富的 (fruitful)：新概念解決了學習者現有的問題，因此得到學習者的認同。

概念生態是概念改變模式的另一個要件，說明了概念之間複雜的關係。內容主要指出新概念必須與學生既有的概念生態產生連結，概念改變才有可能發生 (Strike & Posner, 1985)，因此對於學習者本身來說，概念與概念間的理解與推論能力，便是學習者概念改變容易與否的重要關鍵。

從另一個角度來看概念改變，概念的改變也可以說是知識的重建的歷程。Carey (1985) 的研究指出，認為兒童對人和動物的概念會隨著年齡的增加而有較完整的認識，許多知識的獲得會以增加、刪除、普遍化和區分等屬性的方式來改變概念結構，不需進行認知結構上的重大改變，因此這種形式的概念改變稱為弱重建 (weak restructuring)，也就不屬於根本的概念改變。此區分的觀點有助於更深入了解概念改變的困難性。

三、有關教師另有概念的研究

(一) 學科知識與學科教學知識間的關係

學科教學知識 (pedagogical content knowledge, 簡稱 P.C.K.) 首先由 Shulman (1986) 提出。乃結合了學科知識 (content knowledge) 及教學知識 (pedagogical knowledge) 而成。

Shulman (1987) 將教師知識分為學科內容知識、一般教學法知識、課程知識、學科教學知識、關於學生以及學生特性的知識、教育環境脈絡的知識及關於教育目的、目標、價值以及教育哲學與歷史淵源的知識等七項。這七類知識中，Shulman 認為學科教學知識最為重要，那是融合了學科知識以及教學法的知識，亦即教師同時考慮教材、教法、及學生性等因素，經過組織、展示與修正，以進行教學。

簡紅珠 (民 83) 認為學者們對教師知識組成成份有不同的認定，但其中

有四種教師知識可被視為教師知識的重要基石，且是研究的焦點。這四種知識分別為：一般教學法知識(general pedagogical knowledge)、學科知識(subject matter knowledge)、學科教學知識及情境知識(knowledge of context)。

段曉林（民 85）支持從建構主義的觀點探討學科教學知識的本質，強調知識是個人依過去的經驗與所處的情境，交互作用而建構出的產物。因此，學科教學知識是教師在教學情境中與情境內之學生、教室文化等相互作用，再將其學科知識以教師個人認為適合的方式表徵出來，以便做有意義的溝通。學科教學知識的內涵包括：學科知識、教學知識、學生知識、評量知識、情境與文化知識、和課程知識等六項。

賴慶三（民 86）認為自然科教學能力包含三項表徵：科學知識、教學知識和科學教學知識。這三項知識表徵的原型，則是學科知識、教學知識、學科教學知識。他進一步指出職前教師在師資培育自然科教學能力的養成方面，應該得到充分的機會與時間，用以奠定完整深厚的科學知識基礎。

由此可知，學科教學知識是教師知識最重要的一環，它源自於學科知識，且深受學科知識的影響。

（二）教師另有概念的研究

關於教師的另有概念研究不少，許多研究都指出教師具有另有概念(見表 1)。

表 1：有關「教師另有概念」之研究一覽表

研究者	研究內容	研究對象	研究方法
Heller & Finley(1992)	直流電路	中、小學教師 16 名	紙筆測驗、晤談
楊文金 (民 81)	基本電路	國小教師 171 名	紙筆測驗、晤談
陳柏棻 (民 82)	動物分類	職前教師 98 名	紙筆測驗、晤談
張敬宜、熊召弟和陳順其 (民 83)	教師對學生「生態平衡」概念發適切性	國小教師 812 名	問卷
王美芬 (民 81)	月亮	職前教師 174 名	問卷
謝秀月 (民 84)	熱與溫度	師院非數理系一年級學生 205 名	紙筆、晤談 v 圖
謝秀月、郭重吉 (民 80)	熱與溫度	師院學生 4 名國小六年級學生 5 名	晤談
黃萬居 (民 85)	酸鹼	國小教師	開放式紙筆測驗、晤談
邱弘毅 (民 87)	天氣概念	職前國小教師 508 名 在職國小教師 444 名	問卷、晤談
周育廉 (民 90)	空氣概念分類	職前教師及在職師共 151 名	紙筆測驗、晤談
張頌憫 (民 91)	動物生殖概念	國小教師 257 名	紙筆測驗、晤談
黃怡菱 (民 92)	氣體粒子概念	職前及在職國中自然科教師 338 名	問卷
張凱惠 (民 95)	全球暖化概念	國小教師 121 名	問卷

資料來源：內容摘錄自楊馥華 (民 95)，本研究者整理

其中，楊文金 (民 81) 為探究國小教師對於基本電路的概念特性，對 171 位國小教師以紙筆測驗施測，其中 39 位作進一步晤談，另外晤談十二位具有理、工科碩士學位之專科教師，以比較兩類樣本想法的差異。研究結果發現：專家傾向於以電壓來思考基本電路的問題，生手則以電流來思考，表 2 呈現國小教師基本電路概念特性。

表 2：國小教師的基本電路概念特性

特性類型	概念敘述
電池提供固定電流	不論電路的結構如何，相同的電池提供固定的電流
消耗電流	燈泡發亮要消耗電流
意義簡併	電能的意義等同電流又等同電
順序推理	電流是從電池一端開始流出，然後逐漸覆蓋整個電路
局部推理	以局部的電路結構分析，而無整體的將電路視為一個系統
兩種電流	正電流和負電流分別從電池正負極流出

資料來源：內容摘錄自楊文金（民 81）

Heller 和 Finley(1992)的研究中要求十六位中、小學教師（其中有五位中學教師和十一位小學教師，均曾修過大學的科學課程，如物理、化學、生命科學或地球科學等）回答一些簡單的直流電路問題，題目包括電池、電線及燈泡的串、並聯電路問題。研究者先利用開放式紙筆測驗，再利用個別晤談，以深入探查受試者在電流方面的迷思概念。研究結果顯示：受測的教師持有一些核心概念（hard-core ideas，有可能是正確的概念或迷思概念），如電池是能量的來源，釋放固定的電流（或能量）到電路中等概念。

在眾多教師另有概念研究中，僅有少數研究教師的電學相關概念，因此，本研究想進一步探究教師電學概念中的電流微觀概念與抽象能量概念，了解不同學科背景教師所擁有的電流另有概念。

第二節 電學概念相關研究

學生的迷思概念是頑固也不易發生改變的，在國內外科學教育的研究中，我們可以知道『電學』在物理中，是一個重要的概念，但卻是不容易學跟教的概念之一（葉俊豪、陳瓊森，民 84；Garnett & Treagust, 1992; Viard & Francoise, 2001）；另外電化學是屬於較無法直接觀察的抽象概念（廖怡雯，民 88；Garnett & Treagust, 1992; Sanger & Greenbowe, 1997）。因此我們在『電學概念』教學上的設計，應該從學生具有哪些迷思概念出發，針對學生具有的迷思概念，進行教學的設計，以下是學生在學習電學概念時，所具有的迷思概念：

一、靜電迷思概念

在電學研究的領域與文獻部分，很少涉及靜電單元，因此在教材設計之前，事先諮詢過一些教學經驗豐富的老師，請他們提供學生在學習此部分時，可能會具有的迷思概念，簡述如下：

1. 面對庫侖靜電力，學生無法處理兩個以上的變數。
2. 靜電感應時，學生以為正、負電均會移動。
3. 感應起電的過程中，學生無法理解手接觸導體，可能會使電荷流失或增加。

二、電壓迷思概念

一般來說，電流是學生處理電路問題之主要概念，大部分學生認為因為有電流，所以電路上才会有電位差，因此電位差對學生來說，只是電流產生之「結果」而不是導致電流「原因」（Cohen et al., 1983），因此大多數的學生學生視電池為一供應固定電流之裝備(Psillos, Koumaras, & Tiberchien, 1988；Licht, 1991)。Psillos 等人(1988)一方面認為學生無法一次處理兩個變數，也就是一個簡單的電路中，當電路斷路的時候，學生雖然可以理解電路上沒有電流，但是無法了解電路還是具有電壓的；陳啟明和陳瓊森（民 81）則提出高一學生的對於電壓的迷思概念有串聯電路上，任兩點的電壓等於電池提供的電壓。

三、電流迷思概念

根據 Osborne 和 Freyberg(1985)對紐西蘭 40 位 8-12 歲的學生所做的實驗，歸納出學生對於簡單電路中對電流的模組，包括四種（見圖 1：Osborne 的電流模組）：

(1)單極(unipolar model)，即電流從電池的正極流出到達燈泡之後，被燈泡消耗完畢，並沒有電流回到電池的負極，而不僅僅是國中生在學習電學會具有此迷思概念，到了大學之後，雖然學生學習過電學概念，但 Fredette 和 Lockhead(1980)的研究發現美國大專學生仍存有此類型迷思概念；

(2)撞擊 (clashing currents model)，即電流從電池的正、負極流出，到燈泡匯集；

(3)電流消耗 (attenuation model)，也就是電流從電池的正極流出後，經過燈泡時會消耗部分的電流，回到電池負極的電流會變小，可能把電流的流動，視為能量的流動，Shipstone(1988)的研究中，也有此相同的發現；而電學的迷思概念中，對於電流的衰減，在許多研究中發現無論何種教學方法，學生對於電流流經燈泡之後會減少概念仍難以克服（邱美虹、林靜雯，民 91）。

(4)電流不變科學模式(equal currents in return path)，此模式為科學的模式，也是正確的電流模式，電流經過燈泡只是消耗能量，並不會變小。

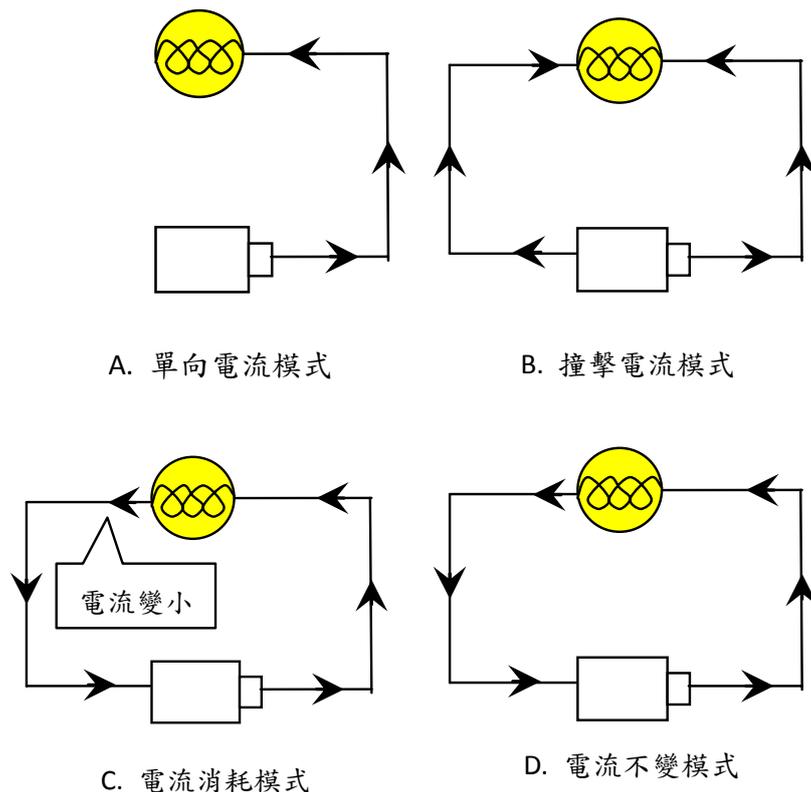


圖 1：Osborne 的電流模組

而 Licht(1991)根據電學的相關研究之後，歸納學生在電流部分所具有的迷思概念有下列四種：

(1)電池流出的電流固定：學生認為電池流出的電流是固定的，與電路的連接方式、燈泡的個數無關。

(2)電路是相互關連且互相影響的：學生認為電路的改變只是局部的(local)、連續的(sequential)，無法考慮全體電路，並認為電流是順流而下的。在局部的部分中，學生無法體認到電路中某部份之改變會影響電路之其他部份，也就是當兩個燈泡並聯時，學生會認為電流被兩個燈泡均分，而無法考慮到當燈泡並聯時，整個電路的電阻會減半；另外，在連續的部分，學生認為加在燈泡前之元件會影響流經燈泡之電流，而加在燈泡後之元件則不會影響流經燈泡之電流(Shipstone, 1984)。

(3)無法處理相關的概念：學生無法有效的區分出相關連的概念，例如電流、電壓、能量與電力的概念區分。

(4)對抗電阻想法：學生認為電阻越大，若電流需要通過大電阻，會需要更多的能量，因此電流需要越大，才能順利通過，而 Steinberg(1983)研究指

出有部分的學生認為電流流過燈泡時，會摩擦燈泡的鎢絲而使燈泡發光。

若將簡單電路擴充成串聯的電路再加以細分，上述四種電路中的 B 模式可分離出交叉撞擊型(crossing current model)，見圖 2，此模式中，電流從電池兩端出發，於燈泡匯集並撞擊，然後再個別流回電池；C 模式亦可再區分為衰減模式(圖 3)，即電流通過燈泡會被消耗，經過第二個燈泡時，因電流變小，故燈泡變暗了，另外還有共享模式(圖 4)，電流會被兩個燈泡消耗，因此電流越變越小 (Magnusson, Boyle & Templin, 1997)。

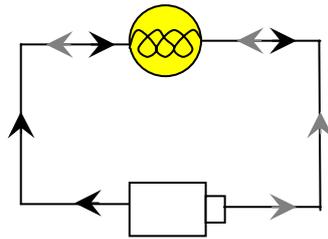


圖 2：交叉撞擊模式

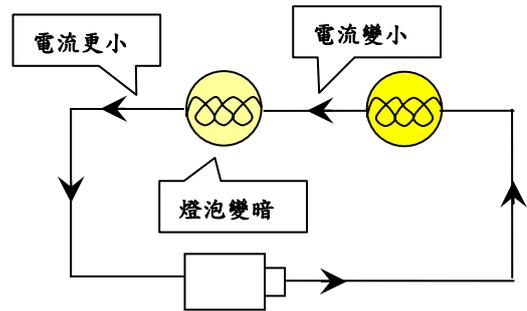


圖 3：衰減模式

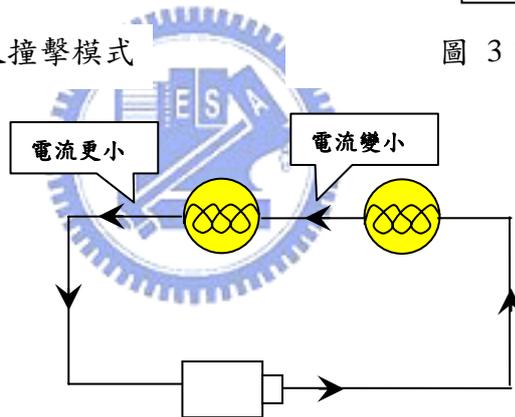


圖 4：共享模式

在並聯的電路中，Magnusson 等人(1997)認為過去的研究過於著重在串聯電路，但串聯與並聯對學生而言，具有不同的知覺，會影響其思考而導致不同模式的發展，根據其研究結果歸納出學生所具有的八種並聯電路的電流模式：1.撞擊模式、2.雙向跳躍模式、3.雙向迂迴模式、4.雙向分支模式、5.跳躍模式(bouncing model)、6.繞圈模式(loop model)、7.迂迴模式(serpentine model)及 8.科學模式，如圖 5(Magnusson et al., 1997)；但這套分類方法只有電流方向的描述，電流更微觀的情形則沒有那麼詳盡。

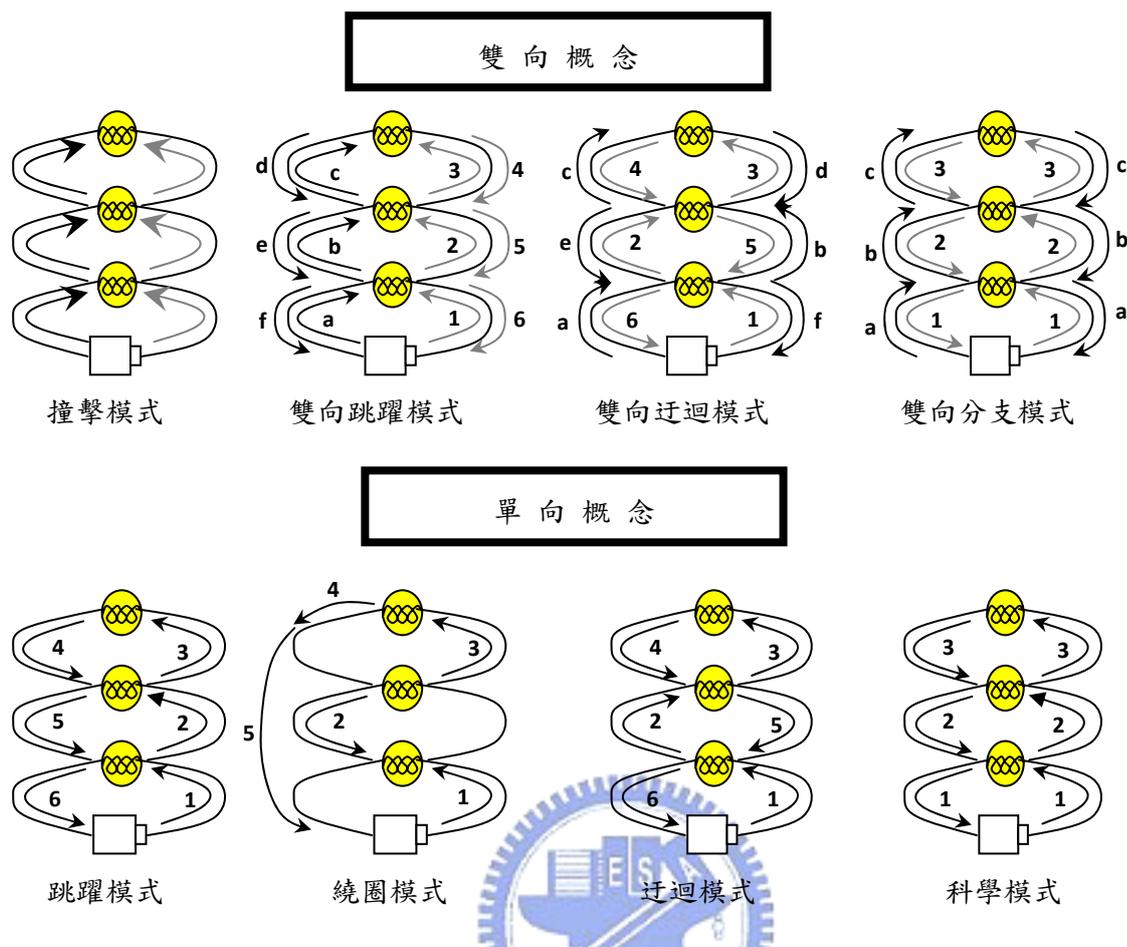


圖 5：八種並聯電路的電流模式(Magnusson et al., 1997)

王淑琴與郭重吉（民 83）利用紙筆測驗和 DOE 晤談來探究 109 位修完大一普通物理的大學生在電學方面的另有架構，研究結果發現學生在電學方面共通的另有架構有：(1)在直流電路迴路法則方面—電池提供定值電流與局部的推理。(2)在電流微觀機制方面—鋼珠模型、順序推理法則與受阻模式。(3)在電學中與能量有關的概念方面—泛用歐姆定律、電位差與電位能同義及電阻大則消耗能量多。這些另有概念顯示出學生欠缺電流巨觀到微觀的完整概念與能量轉換間整體性的概念。因此，本研究希望藉由動畫模擬電流的巨觀到微觀的概念與能量轉換的概念，幫助有類似另有概念的國小教師概念改變。

四、電阻迷思概念

Shipstone (1984)認為兒童對電阻最早的觀念即是一個阻礙電荷的「阻礙

物」，這樣的想法容易結合順序推理的模式，使得電流受到電路中相繼元件的影響而遞減。

另外，Liegeois & Mullet (2002)認為學生在處理歐姆定律的時候，需要考慮到下列因素，包括確認兩兩變因的相互關係，如電壓與電流、電阻與電流、電阻與電壓；以及了解電壓固定之下，電流與電阻成反比；最後需要知道，在處理變數時可能會需要考慮到獨立運作。

Viard & Françoise (2001)根據過去的電學研究中，一些學者認為學生在教學前對於電阻概念並未具有先有概念，這個假定是不正確的，有關電阻的日常用語，實際上是造成正式電阻概念理解困難的根源。

五、小結

綜觀國內外有關學生電學另有架構方面的研究，大多限於直流電路迴路法則的範圍，僅少數提及電流微觀機制和電學中與能量有關概念的另有架構（王淑琴、郭重吉，民 83）；而教師電學迷思概念的研究，也著重在基本電路範圍（Heller & Finley, 1992；楊文金，民 81）；因此，本研究為了了解教師在電流微觀機制和電學中與能量有關之概念，設計電流動畫教學與電流概念晤談大綱，希望藉此能更深入了解教師微觀的電流概念與抽象的能量概念，同時使教師相關的另有概念改變為正確的科學概念。

第三節 眼球追蹤相關研究

人類的眼睛負責大腦與外在世界的溝通，又稱為靈魂之窗。蔡介立（民 95）指出眼睛利用短暫靜止的時間來接收外界的資訊，並需要不斷的移動，才能掌握完整的訊息。因此從眼球凝視的位置和停留時間，反映出大腦認知系統對資訊的選擇與處理的時間。

一、眼球運動與注意力的關係

唐大崙（民 95，9 月）指出「眼動儀(眼球凝視追蹤技術)」(Eye tracking) 為貼近自然狀態的心智量測技術，監控眼球運動不只要知道心智運作結果，也可以揭開隨時間改變的歷程，即監控眼球相當於隨時監控認知歷程。眼動儀(眼球凝視追蹤技術)使用在工作記憶資源分配上的測量，用以評估學習者與教學工具的互動，藉由呈現圖片與文字整合的不同形式，能顯示出學習者獲得訊息時的差異，旁白的講解也會影響學習者內容的注視。在 Hughes (2003) 等人利用眼動儀(眼球凝視追蹤技術)，研究發現：受試者看文字的時間明顯高於看圖片的時間。在頁面上搜尋資料時，人們常用文字來定位，用圖片來驗證。用文字來建構意義，而圖片是用來驗證以及加強連結。唐大崙、莊賢智（民 94）也指出我們的認知系統對於文字與圖片的處理方式也大不相同，當我們再觀看圖片與閱讀文字的時候，眼球動作與注意力的移轉方式差異甚大。在閱讀文字訊息時，眼球會沿著一行行的文字做上下或左右的移動，並伴隨著輪流進行的眼球跳躍動作(saccade)及眼球凝視停頓(fixation)動作。閱讀文字時的跳躍幅度與平均凝視時間比觀看圖片時要小而短，而且閱讀文字時的視線動向有由左至右、由上至下的規律可尋，觀看圖片時就沒有此類規律(Henderson & Hollingworth, 1999)。不管是瀏覽圖片或閱讀文字，每個人的凝視時間與凝視位置並不完全相同，端視個人的閱讀策略與知識經驗而定(Hyona et al., 2002)。

凝視時間的長短可能反映外界訊息的複雜度，與讀者內在的訊息處理深度，凝視軌跡也是一種直接反應個體注意力分佈與認知策略的指標(Just & Carpenter, 1976; Williams, Loughland, Green, Harris & Gordon, 2003)。例如當外界影像訊息量越複雜，凝視時間就越長(MackWorth & Morandi, 1967; Baker & Loeb, 1973; Antes, 1974)，或者當我們正在對凝視目標進行更深入的思索

時，則對該目標的凝視時間也越長(Salvucci & Anderson, 1998)。

近年來，主動視覺 (active vision) 的觀點漸漸受到重視 (Findlay & Gilchrist, 2003; Henderson, 2003)，強調眼球運動和外顯注意力的重要性，認為選擇性和主動性是人類視覺資訊處理的重要特徵。主動視覺的觀點認為視覺的主要功能並非只是被動地去產生一個關於外在環境的視覺表徵，而是主動地透過眼球運動去探索外在的環境、辨識物體，並進一步導引個體的行為動作。正常的視覺注意力便是藉由眼球運動在環境中主動的探索與接收各種視覺訊息，當眼球被注意力引導到某一特定感興趣的訊息或區域時，該訊息或區域便在眼球凝視的過程中得到最佳且高解析度的視覺處理。

因此，由主動視覺的觀點可得知眼球運動產生的視線軌跡可以說是一種最直接的注意力分佈指標，那究竟注意力和眼動之間的關係如何呢？學者們針對兩者之間的關係陸續提出解釋的理論：Henderson (1996) 提出「序列性注意力理論」(Sequential Attention Model)，即強調注意力的轉移引導著眼球運動，注意力先轉移之後眼球才跟著移動，兩者間有先後次序的關係。McPeck 等學者(2000)所提出之「跳躍眼動的並存歷程」(concurrent processing of saccades)的理論，在視覺搜尋的歷程中，注意力和眼球運動是同時運作的，眼球運動系統可同時計畫兩個移向不同目標的跳躍眼動。

Rizzolatti 等人(1987) 提出注意力的前運動理論 (Premotor theory of Attention)，認為視覺注意力可說是跟隨跳躍眼動的計畫執行所產生的，而內隱之視覺注意力現象即為眼球運動系統執行跳躍眼動的結果。而此理論也得到較多研究結果的支持。

許多研究已經顯示，我們的眼球運動絕非隨意發生的，而是依照即時的作業目的，主動地導向視覺環境中重要和具訊息性的區域 (Findlay & Gilchrist, 2003)。Hoffman 與 Subramaniam (1995)的研究顯示，注意力的導引是跳躍眼動的準備和執行的基本要素，在實際執行跳躍眼動之前，注意力會先被導引向跳躍眼動的目標，因而加強對目標刺激的偵測；且兩者之間為強制性(obligatory)的關係，即一旦要執行跳躍眼動，注意力便無法被導引到和跳躍眼動不同方向的位置。相當多使用雙重作業的研究結果都支持這項看法 (Deubel & Schneider, 1996; Gersch et al., 2004; Kowler, Anderson, Doshier & Blaser, 1995; Kustov, & Robinson, 1996; Schneider & Deubel, 1995; Shepherd, Findlay & Hockey, 1986)。而在其他非使用雙重作業的實驗中也是獲得相似的結果，例如當促發物(prime)出現在跳躍眼動的落點時，才會對該位置的目標

偵測產生顯著的促發效果(priming effect; Godijn & Pratt, 2002)。故目前的學者一致同意注意力和眼球運動系統(oculomotor system)在功能上的關係是緊密相關的，而非獨立運作的兩個系統：執行跳躍眼動到某一區域會伴隨注意力移動到相同的區域，我們無法將注意力和眼睛分別移向不同的地方；此外，注意力會比跳躍眼動早一步轉移到跳躍眼動的目標，並加速跳躍眼動的執行(Corbetta, 1998; Findlay & Gilchrist, 2003; Hoffman, 1998)。

注意力的研究，有著許多的研究理論，包括許多注意力模型，這些模型主要的區別是過濾器的位置不同。我們將過濾機制分成早期過濾機制和晚期過濾機制。早期過濾機制以 Broadbent 過濾器模型和 Treisman 減弱模型為例子說明。晚期過濾機制以 Deutsch & Deutsch, Norman 模型說明。

以下參閱 Sternberg (2003)，將上述模型說明如下：

Broadbent(1958)指出人類處理外界進入的訊息為有限量，因此需要過濾排除不必要的訊息，選擇必須的資訊進入深層的分析階段加以辨識、解析與儲存於記憶中。感覺刺激的多重管道會遇到一個注意力的過濾器，此過濾器只會讓一個管道的訊息通過，之後進入知覺歷程。此理論即「過濾理論」，又稱「瓶頸理論」(bottleneck theory)，如圖 6。

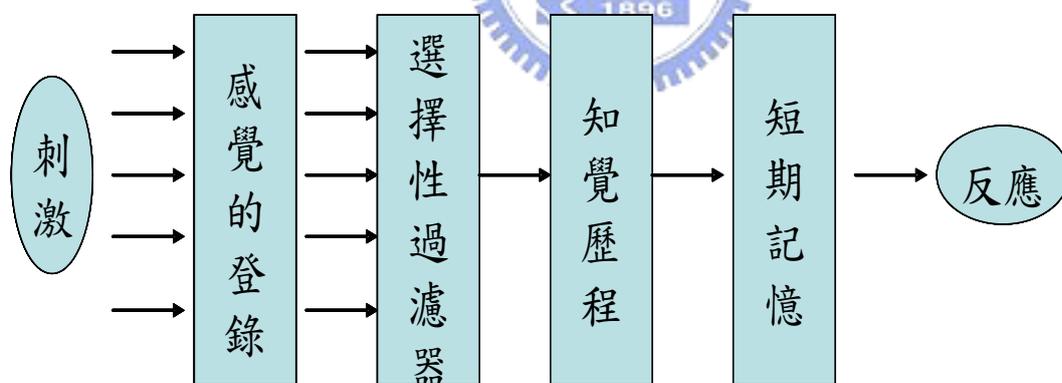


圖 6：Broadbent 過濾器模型 (修改自 Sternberg, 2003)

Treisman (1960)對 Broadbent 的過濾器模型進一步改良，提出減弱模型理論(attenuation model)。認為注意力包括三階段，第一階段：讓非目標刺激減弱通過。第二階段：對於非目標型態的刺激，仍讓其減弱通過。第三階段：注意力集中在可順利到達此階段的刺激，即刺激強度是要大於閾值(threshold)，才可被偵測到，圖 7。

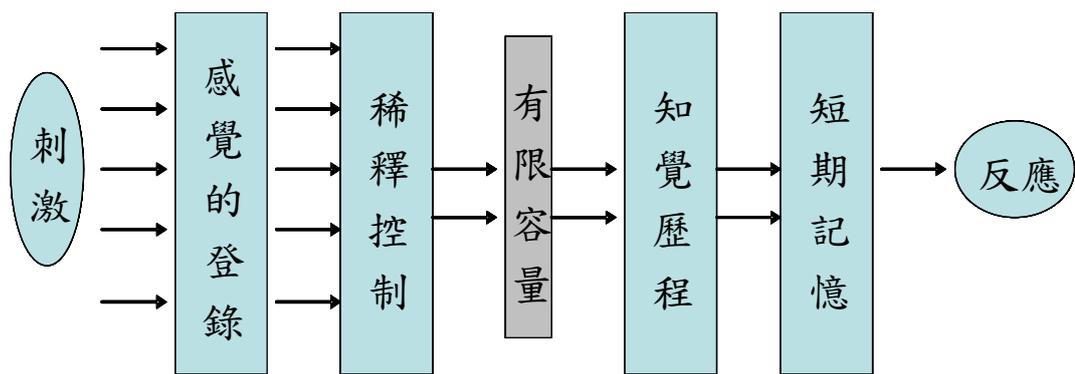


圖 7：Treisman 減弱模型（修改自 Sternberg, 2003）

以注意「發生」的時間分類，「過濾理論」與「減弱理論」屬於「早期選擇理論」，兩者皆認為注意發生選擇作用在訊息處理的早期，即在刺激尚未辨識前，注意力就先介入影響。Broadbent 的過濾器作用是阻斷所有的非目標刺激，Treisman 的減弱模型，則是減弱非目標物的強度。「晚期選擇理論」則認為刺激獲得辨識之後，注意力才發生。此模型為 Deutsch & Deutsch 在 1963 年提出，後來 Norman 在 1968 年也提出一樣的論點，如圖 8。

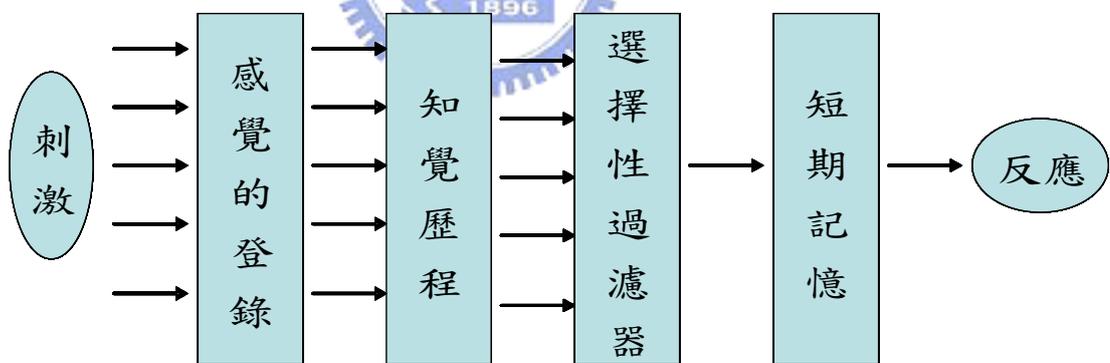


圖 8：Deutsch & Deutsch, Norman 模型（修改自 Sternberg, 2003）

綜合上述文獻，注意力與眼球運動的方向是有一致性的。當注意力被某個顯眼事物吸引至一個重要的位置時，緊接著眼球運動就跟著注意力而來，可說是如影隨形。因此，本研究比較不同學科背景之教師在觀看電流教學動畫時眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、凝視動畫與文字的平均時間值(mean fixation duration)、文字與動畫區域凝視時間的百分比(percentage)與視線軌跡(scanpath)是否有差異，以了解不同學科背

景教師學習時的注意力分佈情形。

二、眼球追蹤技術的應用

追蹤眼球運動方式也可藉以探討運動系統與視覺系統的協調機制(Steinbach & Held, 1968; Wexler & Klam, 2001)、探討各種注意力運作的機制(Egeth & Yantis, 1997)、廣告呈現的效果(Pieters, Rosbergen, Edward & Wedel, 1999)、偏好態度(Shimojo et al., 2003)、語文閱讀理解歷程(Pickering, Traxler & Crocker, 2000), 甚至也成為測謊與臨床疾患的診斷工具(Holzman, 2000; Dionisio, Granholm, Hillix & Perrine, 2001)、人機介面設計良窳的評估工具等等。有上百篇的心理學文獻也證實：凝視位置的改變，即反映注意力的改變；凝視時間可能反映個體心智處理歷程的複雜度與深度(Salvucci & Anderson, 1998)。

Rayner (1998)將眼動追蹤研究的發展切割成四個時期，第一階段為 1879 年至 1920 年。此階段關心的議題包括眼球跳躍時其所產生的視覺壓抑現象(saccadic suppression)、跳躍延遲現象(saccadic latency) 和有效視覺區(the region of effective vision)的研究。這段期間內，很多基礎的眼球運動特徵和事實均被發現，但是因為此一時期的眼球追蹤方法多具有侵入性，即便不具侵入性的眼球攝影設備，其誤差也極大，不適合探討較為高層的視覺認知歷程。

第二階段為 1930 年至 1958 年。因為行為學派(Behaviorism)的觀點盛行，使得眼動追蹤實驗只在許多應用性質的行為研究和眼球運動追蹤本身的科技上有深入的探討。在 1970 年至 1990 年間，則開始有人進行關於眼動追蹤之閱讀方面的研究，並在短短 20 年間，該被挖掘的題目幾乎已被挖掘殆盡，此被歸為第三階段。第四階段則從 1990 年中期至今，眼球追蹤技術和研究發展讓追蹤測量更為精準，價格上也允許實驗器材更易取得。這期間不少的研究工作著重於眼動資料的分析方法和對不同眼動系統的特性加以分析，更重要的是此時期測量技術的進步，讓記錄眼動的龐大資料能夠直接連結到電腦，進行同步分析與資料統計。隨著追蹤技術的改良，能夠更隨意地研究人類眼球移動時的認知過程，甚至做到眼球運動與顯示畫面的互動。

Duchowski(2002)指出，現階段的眼球追蹤運用範圍相當廣，從系統上可以對分(dichotomized)成具有診斷性(diagnostic)和互動性(interactive)的功能。以診斷性來說，眼球追蹤資料是用來輔助診斷使用者介面良窳的客觀和量化

證據，並確定使用者的注意模式(attentional patterns)或理論模型。就互動機制而言，則是由於電腦計算上的功能增強，使得瀏覽圖片當下，能對受測者視線所在位置進行選擇(selective)和隨看隨現(gaze-contingent)的運用與輔助。其中，選擇特別是指利用眼球運動代替滑鼠(mouse)與鍵盤(keyboard)的輸入功能；而隨看隨現主要在對受測者注視中心(fovea)與周圍視覺(peripheral vision)的複雜圖像環境進行不同的區隔處理。

綜觀上述文獻，現今研究多著眼於心理學或認知學相關領域的研究，在科學教育領域的研究才剛起步，同時，以往研究的素材多為靜態的圖文整合，或者是以播放投影片的方式來施測，以動畫為實驗素材的研究寥寥可數，因此，本研究為與以往不同的科教領域外，進一步以動畫為素材，探討不同學科背景教師在瀏覽動畫的認知歷程與注意力分佈情形，更希望能藉由多媒體提昇受試者概念改變的成效。



第四節 多媒體相關研究

一、動畫的特性

一般常見的動畫所指的是由許多靜止的圖片，以一定的速度（如每秒 16 張）連續播放時，肉眼因視覺殘象產生錯覺，而誤以為畫面活動的作品，如此一來，便能製作出動畫的效果。

Mayer 和 Moreno (2002)對於動畫在多媒體學習中的角色提出說明，認為動畫是仿效物體運動的一部電影。並將動畫的組成分為三部份：圖像片 (Picture)、動作 (Motion)與模擬 (Simulated)。因為動畫不僅是圖像的表徵，同時也可描繪出物體運動的方式，更重要的是動畫中所組成的物件都是人經由繪圖或者是其他模擬方式產生而成。經由上述定義可知描繪真實物體移動的影片 (video) 與靜止物體的圖示 (illustration) 並不屬於動畫。

Weiss 等人 (Weiss, et al., 2002) 由動畫的特性及目的面向切入，來描述動畫的本質：首先，動態與靜態的視覺是相關的，因此適合用於動畫的理論基礎就如同適合用於圖片或其他靜態視覺，而這相關理論基礎便是指認知負荷理論。其次，依使用的課程性質的不同，動畫具有不同的特定目的，例如當動畫被使用在電腦教學環境時，動畫應該具有修飾 (Cosmetic function)、吸引注意 (Attention gaining function)、促進 (Motivation function)、呈現 (Presentation function)與說明 (Clarification function) 五種功能，因此設計者在設計每個動畫時都必須熟悉其目的。第三，動畫中的物理屬性，包含顏色、畫素、密度、尺吋大小、角度...等，這些因素都會影響到動畫的表面結構與仿照真實世界的精確度。

因動畫具有上列特性，因此有助於學習者學習事物的結構、功能與流程，但圖片只能由學習者自行想像整個動態過程，因此動畫對於學習者理解教材內容有較好的學習效果。

而動畫的製作方式，由於電腦科技的進步，現在也有許多利用電腦動畫軟體，直接在電腦上繪製出來的動畫，目前較常見之動畫製作軟體有 Photoimpact-GIF Animator、Macromedia Flash.....等。其中，Flash 是一套集動畫製作、向量繪圖、互動設計，多媒體網頁製作於一身的多功能軟體，使用 Flash 來製作多媒體，能整合文字、聲音、圖片、動畫、互動式設計等，

因此本研究使用 Flash 設計一系列電流概念的動畫。

二、多媒體中文字與動畫之相關研究

在 Hughes (2003) 等人利用眼球追蹤技術研究發現：受試者看文字的時間明顯高於看圖片的時間，在頁面上搜尋資料時，人們常用文字來建構意義，而圖片是用來驗證以及加強連結。唐大崙(民 95，9 月)也指出學習者看圖與看文字的方式不同，通常閱讀文字具有方向性，平均凝視時間約為 200-250ms，視線跳躍幅度約 2-4 度，有視覺(字形)，聽覺(字音)，與記憶(字義)的特化神經活動，瀏覽圖片則無方向性，平均凝視時間約為 250-300ms，視線跳躍幅度約 4-6 度，有關於物體辨認的特化神經活動。

Paivio(1986)的雙重編碼理論(Dual-Coding Theory)指出，人類擁有兩套互動但又獨立處理不同類別資訊的系統，一為專門處理語文方面的語文系統(verbal system)：另一個圖像系統(visual system)專門處理視覺資訊。他的實驗研究證明：當學習者回想時，對文字加圖片的回想能力優於只有文字的回想。Mayer & Gallini (1990)以科學教科書為教材，研究發現將圖片與文字同時整合在同一頁有較佳的學習效果。後來 Mayer & Sims (1994)以多媒體教學方式作實驗，發現「圖文整合同時呈現」學習效果較佳。

Mayer(1999)發現將資訊分段依序呈現(如動畫、聲音分段交錯依序呈現)比一次呈現所有的資訊(動畫、聲音依序呈現)，有較佳的學習成效。Mayer & Moreno (1999)指出動畫與旁白同步呈現學習效果好，並且強調聲音效果優於書面文字。Mayer (2001)認為學習者可從動畫搭配聲音表達文字中得到比動畫搭配視覺文字較佳的學習成果。視覺中的文字、圖片、動畫皆利用到工作記憶模式中的視覺圖像系統。當文字以聲音表達呈現，聲音表達文字是使用到聽覺語音系統，而圖片、動畫則是使用到視覺圖像系統，當任務執行時，包括兩種系統(視覺與聽覺)，則兩種系統彼此可支援，進而降低認知負荷。Guan (2006)同樣發現動畫配上旁白對於學習成效有正面的影響。

吳宇穎(民 94)根據 Mayer(2001)的多媒體學習認知理論，以 83 位中正大學學生為研究對象。進行不同多媒體組合方式(動畫+文字、動畫+旁白、動畫+旁白+文字)的實驗，研究結果發現：不同的多媒體組合方式顯著影響學習者的學習成效，其中學習成效表現的高低依序為動畫+旁白組、動畫+文字組、動畫+旁白+文字組。若實驗動畫改為學習者自行操控，不同的多

媒體組合方式對學習成效並無顯著的影響，但顯著影響學習者的學習時間，其中動畫+旁白組與動畫+文字組所花費的學習時間皆少於動畫+旁白+文字組。

但也有學者實驗結果與上述相反。江書楷、陳美紀、林美純（民 95）對 145 位在職進修的成人進行施測，探討文字文本與聲音文本二種不同訊息設計方式對視覺風格和聽覺風格的學習者在統計學「變異數分析」單元學習成效是否產生差異，研究結果與 Clark & Mayer (2003)所提出的形式原則相違背。發現螢幕上以文字文本來講解圖表、動畫時，其學習成效的表現，比起用聲音文本敘述來講解圖表、動畫為佳。而螢幕上以文字文本來講解，比以聲音文本敘述來講解為佳，此結果與學習者在訊息處理過程中偏好某種學習風格無直接關係。江書楷等推斷可能是教材複雜度較高與動畫介面的操控權由受試者控制有關。

因此，本研究參考以上文獻結果設計可供學習者自行操控進度的電流概念教學動畫，但考慮到每個人的學習方式不同，有的人可能需要說明文字輔助理解，故除了動畫與旁白外，同樣在動畫下方呈現說明文字。由於 Mayer (1999, 2001)的研究並未針對極複雜且難以理解的科學知識進行研究，是以我們研究在同時呈現動畫、文字與聲音下是否有助於科學概念建構，將可留給更多學者深入探討，及未來研究者在針對科學學習的動畫設計改進之參考。

第三章 研究方法

本研究針對不同背景的國小教師其熱傳遞相關概念、觀看電流教學動畫時凝視區域，進行探究及瞭解電流動畫教學是否有助於概念建構。

本章將針對研究對象、研究設計、研究流程、研究工具、教學設計及資料的蒐集與分析等分別敘述說明。

第一節 研究對象

本研究是以新竹市部份國小的現職教師為對象，教師人數共 36 人。本研究將教師分為兩組，實驗組為科學相關學系之國小教師，共 15 人；對照組為非科學相關學系之國小教師，共 21 人。教師人口統計變項分析如表 3：

表 3：教師人口統計變項分析表



變項	人數	%
性別		
男	13	36.1
女	23	63.9
教育背景		
一般大專院校畢業	8	22.2
師範院校畢業	28	77.8
學科背景		
非科學相關學系	21	58.3
科學相關學系	15	41.7
教學科別		
非科學相關類科	23	63.9
科學相關類科	13	36.1

第二節 研究設計

本研究採用實驗設計法，以新竹市國小現職教師，分為科學相關學系（N=15）與非科學相關學系（N=21），作為研究對象。在實施動畫教學前先進行晤談，包括口語的回答與繪製相關概念的心智表徵圖，將口語資料與圖畫進行分析，了解不同學科背景的國小教師其電流概念是否有差異。接著在教師學習多媒體教材時記錄其眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、文字與動畫區域凝視時間的百分比(percentage)、凝視動畫與文字的平均時間值(mean fixation duration)與視線軌跡(scanpath)資料，以了解不同學科背景教師學習多媒體教材時的認知過程。為了解動畫教學是否有助於教師的電流概念建構，於動畫教學完成後立即進行晤談（同樣包括口語的回答與繪製相關概念的心智表徵圖）。研究的背景因素為電流概念訪談前測，自變項為學科背景分組，依變項為電流概念訪談後測及注意力分佈資料：眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、文字與動畫區域凝視時間的百分比(percentage)、凝視動畫與文字的凝視點平均時間值(mean fixation duration)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)資料，研究架構如圖 9。

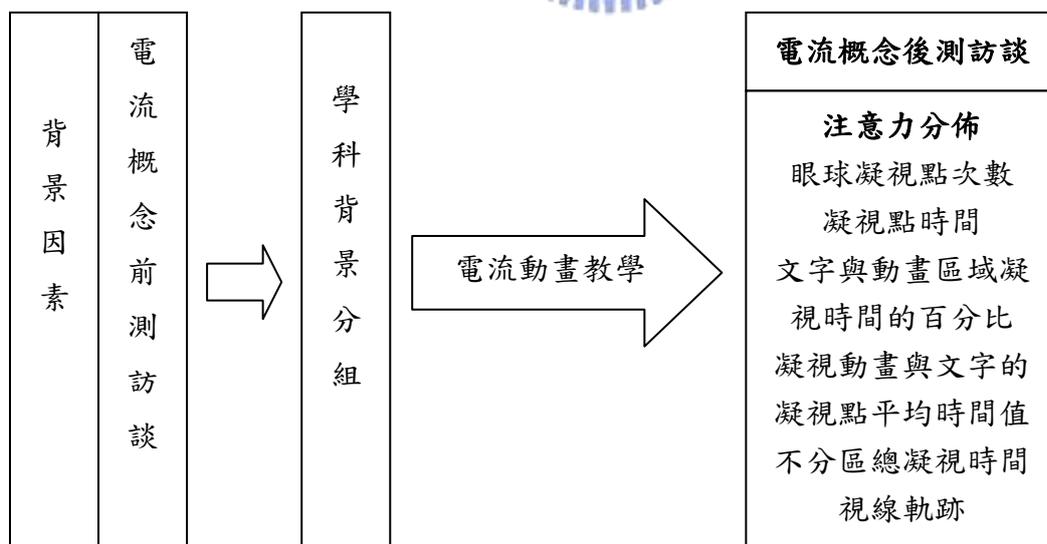


圖 9：研究架構圖

- 一、背景因素：為電流概念訪談前測。在進行動畫教學前先對受試者進行質性訪談（前測）並錄音，製作逐字稿利用評量基準系統（the rubric scoring system)分析不同學科背景教師之電流概念是否有顯著差異。
- 二、自變項：不同的學科背景是本研究的自變項，分為科學相關學系畢業與非科學相關學系畢業。
- 三、依變項：本研究之依變項為教師的「電流概念訪談後測」與「注意力分佈」。在這些教師觀看動畫教學時，使用眼球追蹤系統(eye-tracking system)記錄下期間受試者的眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、文字與動畫區域凝視時間的百分比(percentage)、凝視動畫與文字的平均時間值(mean fixation duration)與視線軌跡(scanpath)資料，以進行資料分析。完成動畫教學後立即進行質性訪談（後測）並錄音，製作逐字稿利用評量基準系統(the rubric scoring system)分析，探討電流動畫教學是否有助於電流概念建構。



第三節 研究流程

研究流程規劃成三階段，依序為研究準備、動畫教學、資料分析三階段。

第一階段：研究準備。先訂定與確立研究目的與問題之後即進入研究準備階段，工作項目包括蒐集相關文獻及製作動畫，並製作前後測訪談題目與評量基準系統(the rubric scoring system)的概念類別評分表，與自然與生活科技教師討論並進行修改。

第二階段：動畫教學。這一階段主要是進行電流動畫的教學，包括電流概念訪談（前測）、動畫教學呈現電流巨觀與微觀的概念，與電流概念訪談（後測）等，在教學時使用眼球追蹤系統(eye-tracking system)記錄受試者的眼球凝視點次數 (number of fixations)、凝視時間(fixation duration)與視線軌跡(scanpath)資料。

第三階段：資料分析。對將研究期間所蒐集到的所有資料進行彙整分析與撰寫結論報告。研究流程如圖 10。



圖 10：研究流程圖

第四節 研究工具

本研究所使用的研究工具包含「電流概念晤談大綱」、「電流教學動畫」、「電流概念類別評分表」、「眼球追蹤系統」等四種。

一、電流概念晤談大綱

本研究的研究目的之一是要瞭解不同學科背景的國小教師在電流相關概念上的認知情形及其另有概念，以及本研究所設計之電流動畫教學是否有助於概念建構，因此根據相關文獻編製四題電流概念晤談大綱，由一位科學教育專家檢驗，以求其專家效度。晤談大綱為問答題，在徵得受試者同意後進行晤談，晤談由研究者親自實施，採個別晤談的方式，晤談時間約十分鐘，並錄音記錄為逐字稿。此訪談於動畫教學前（前測）、動畫教學後（後測）施測於所有受試者。電流概念晤談大綱如表 4。

表 4：電流概念晤談大綱

-
- 一、有導線、電池與燈泡三種材料，要怎麼連接才能形成通路？電池為何可以使燈泡發光？形成通路後，導線內會有什麼變化？（請繪圖說明）
- 二、你認為在一條導線當中，內部粒子的種類為何？（請繪圖說明）
- 三、什麼是電流？什麼是電子流？（請繪圖說明）
- 四、電子通過導線的方式有哪些？請你從微觀的角度來解釋通路導線內的電子如何讓燈泡亮起來？請說明理由。（請繪圖說明）
-

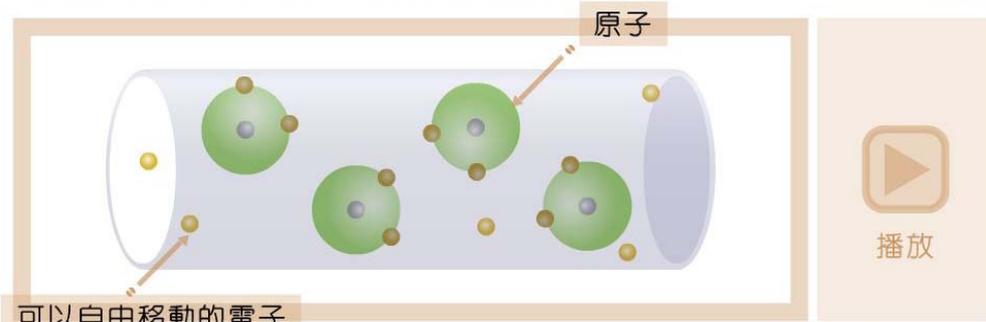
二、電流教學動畫

為了進行電流概念教學，研究者參考大學普通物理學範圍內與電流部份相關的概念，包括電位差、電流、電阻、電路等部份為範圍，由研究者自行錄製聲音旁白，以 Macromedia Flash 8 professional 設計電流教學動畫，原電學動畫之內容由五位中等教育科學教師與二位科教學者設計課程內容，後由其中選取六個動畫，即「導線內部粒子的排列情形」、「電子流的意義」、「電流與電子流」、「電路中電子流的方向」、「電子通過導線的方式」及

「電子如何讓燈泡亮起來」，動畫包含標題、鑲嵌文字、動畫與說明文字，可由受試者自行控制學習進度。各動畫擷取縮圖如圖 11、圖 12、圖 13、圖 14、圖 15 及圖 16。

導線內部粒子的排列情形

下一個動畫



說明

導線中有原子排列，原子間隙有少數可自由移動的電子。

圖 11：導線內部粒子的排列情形動畫縮圖

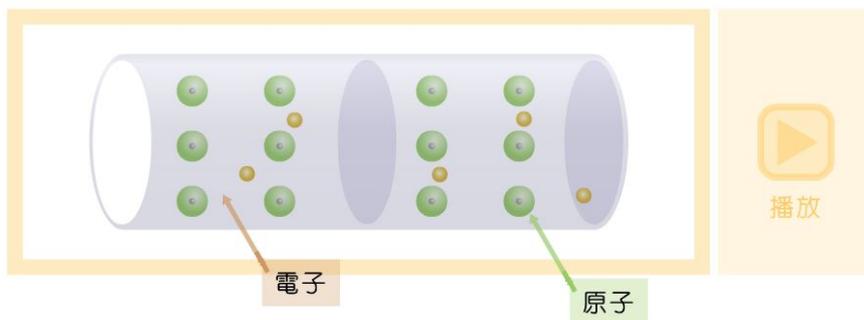


電子流的意義

下一個動畫



導線內有負電荷在移動，即稱導線上有電子流。



說明

當導線中可自由移動的電子，大致往相同的方向流動時，則我們稱為導線中有電子流。

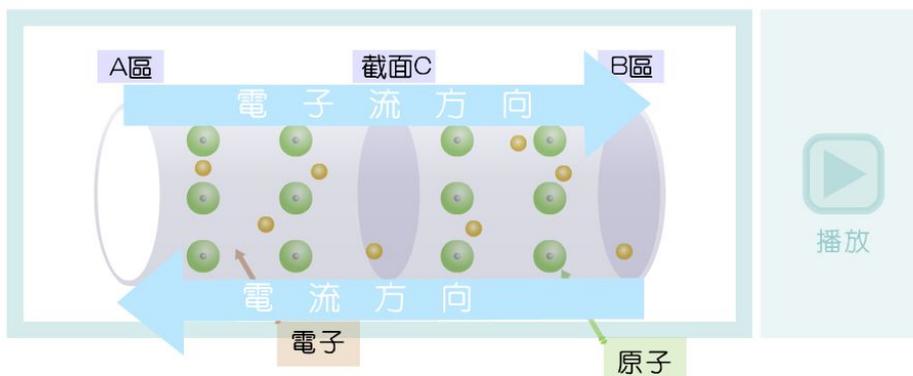
圖 12：電子流的意義動畫縮圖

電流與電子流

下一個動畫



- 電子流 ▶ 電子由A往B區流動。
- 電 流 ▶ 就有如正電荷由B往A流動。



說明

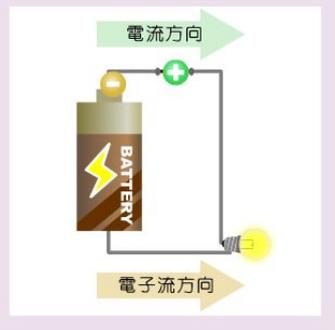
以截面C為基準，電子流就是電子在導線中由A區往B區流動，雖然正電荷不移動，但是習慣上，我們以相對於電子流的方向，定義為電流方向，就像正電荷在導線中由B區往A區流動。

圖 13：電流與電子流動畫縮圖



電路中電子流的方向

下一個動畫



電子流	電子從電池負極 ▶ 燈泡 ▶ 電池正極。
電 流	就如同正電荷從電池正極 ▶ 燈泡 ▶ 電池負極。

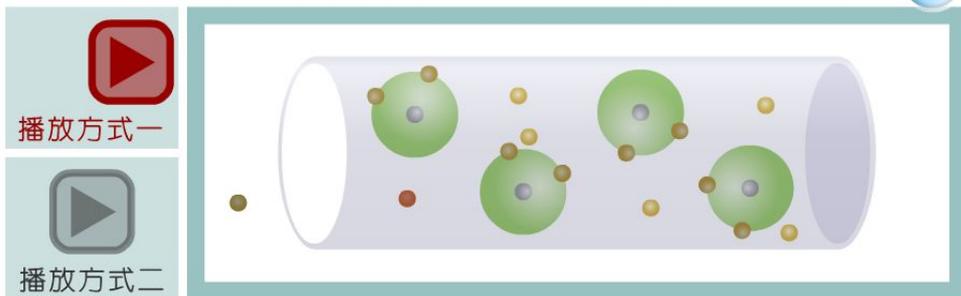
說明

電子流，就如同電路中，電子從電池的負極經過燈泡回到電池的正極。而電流，就如同正電荷從電池的正極經過燈泡再回到電池的負極。

圖 14：電路中電子流的方向動畫縮圖

電子通過導線的方式

下一個動畫 



說明

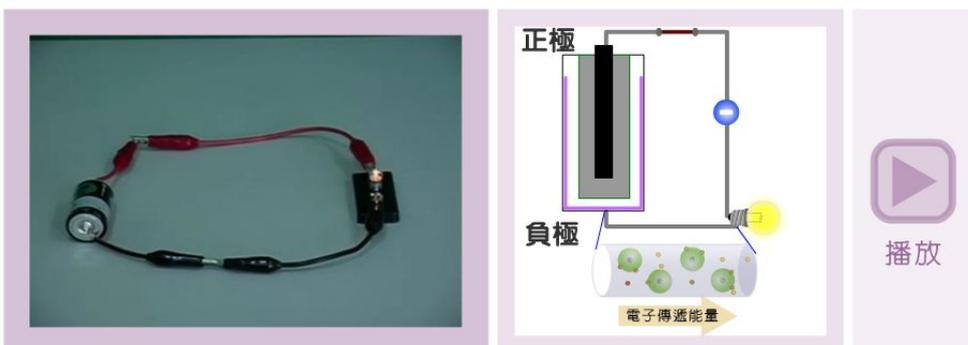
電子可能以下列兩種方式通過導線
(1)與電子或原子碰撞
(2)極短距離內可穿越原子間的縫隙

進去與出來的電子不一定是同一個，但進去與出來導線的電子數目相同。

圖 15：電子通過導線的方式動畫縮圖

電子如何讓燈泡亮起來

重看所有動畫 



電子流

電池負極（低電位）▶ 燈泡 ▶ 電池正極（高電位）

能量轉換

電池化學能 ▶ 電子動能 ▶ 熱能、光能 ▶ 電子動能

說明

電池正負極產生電位差，內部物質經化學反應產生化學能，提供電子由負極往正極移動的動能，鎢絲消耗能量放出熱量使溫度升高到一定溫度，燈泡就亮了。

圖 16：電子如何讓燈泡亮起來動畫縮圖

三、電流概念類別評分表

為探討受試者其所具備之電流概念及瞭解動畫教學是否有助於概念建構，根據「電流概念晤談大綱」編製概念類別評分表，研究者首先對問題做分析，將可能的概念類別列出，再根據學習者不同的作答情形，依據概念類別給分。評分表共四大題，每個概念類別配分 1 分，總分 27 分，其中單純問答的題目 12 分，包含繪圖說明的題目共 15 分，總得分越高，表示電流概念越完整；得分越低，表示對電流概念越不清楚。在評分過程為了避免研究者的主觀因素，及求取在成績評量上有更高的信度，商請同校另一位自然科學系畢業之自然與生活科技教師協同評分，以建立評分者信度(inter-rater reliability)，本評分表之評分者信度為 91.48%，表示研究者與另一位評分者所評定的成績有很高的一致性；並經由一位科學教育專家檢驗，以取得專家效度。概念類別評分表如附錄一。

四、眼球追蹤技術

本研究使用的眼球追蹤系統為雙眼眼球追蹤系統(Binocular Eye Tracking)，為貼近自然狀態的心智測量技術，藉由紀錄眼球運動，能進一步了解心智運作與認知歷程。系統裝置包括兩部 CCD、LED 及監視器的 PC 個人電腦，利用分析軟體(NYAN)進行眼球運動資料的擷取、紀錄與分析，系統裝置如圖 17，螢幕與 CCD 架構如圖 18。

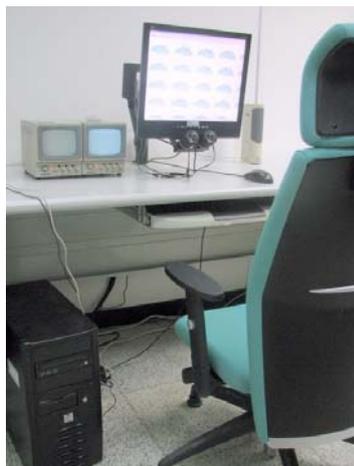


圖 17：眼球追蹤系統裝置

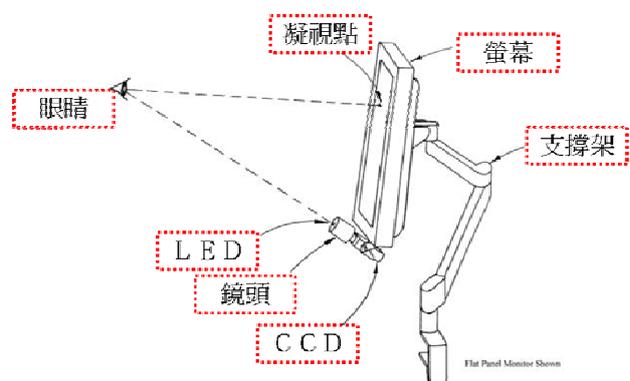


圖 18：螢幕與 CCD 架構圖

追蹤的原理為 Pupil-Center/Corneal-Reflection 瞳孔中心/角膜反光點法 (PCCR)也就是將紅光線的 LED 光源置於 CCD 攝影機的鏡頭中心，則可以從 LED 光源在眼球角膜外圍反射出來的反光點(glint)，與從視網膜反射的亮眼 (Bright-eye)之間相對位置的改變來檢測視線，說明如圖 19、圖 20。

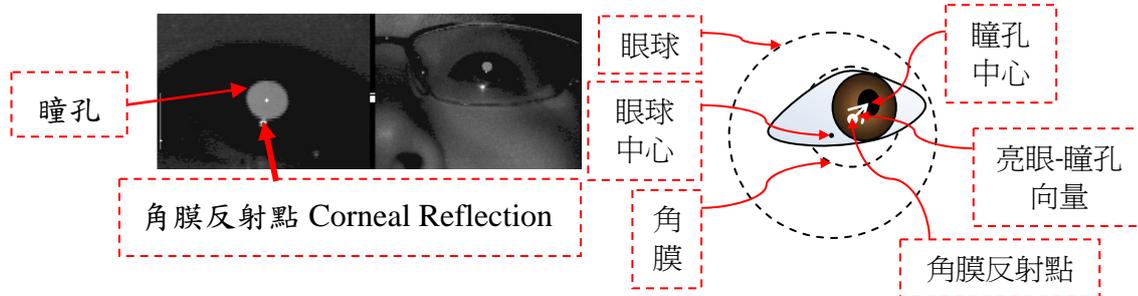


圖 19：瞳孔與角膜反射點位置

圖 20：PCCR 方法

實驗進行時受試者以自然、舒適的姿勢進行實驗，雙眼距離螢幕約 75 公分處，可小幅度的移動頭部但不可將雙眼移出 CCD 鏡頭外（移動幅度必須小於 3 公分），如圖 21、圖 22。在觀看動畫前，需先用 NYAN 軟體進行瞳孔位置的追蹤校正，如圖 23；若受試者眼睛偏離太多，系統會彈跳出校正的視窗，等眼睛回到鏡頭範圍內且出現“GOOD”字樣時，才能繼續施測，如圖 24。

本實驗之眼球追蹤系統取樣率為 50Hz，每 1/50 秒取樣一次，將眼球移動的向量經計算對應螢幕的座標，在本研究中受試者的視線在螢幕動畫上某一位置停留超過 50 毫秒以上才定義為凝視點(fixation)，50 毫秒以下則為跳視(saccade)。本研究主要分析整個教學過中受試者凝視文字區域及動畫區域的凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、凝視動畫與文字的平均時間值(mean fixation duration)、文字與動畫區域凝視時間的百分比(percentage)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)。



圖 21：眼球追蹤施測情境



圖 22：眼球追蹤施測受試者與螢幕距離



圖 23：以 NYAN 軟體進行瞳孔位置校正

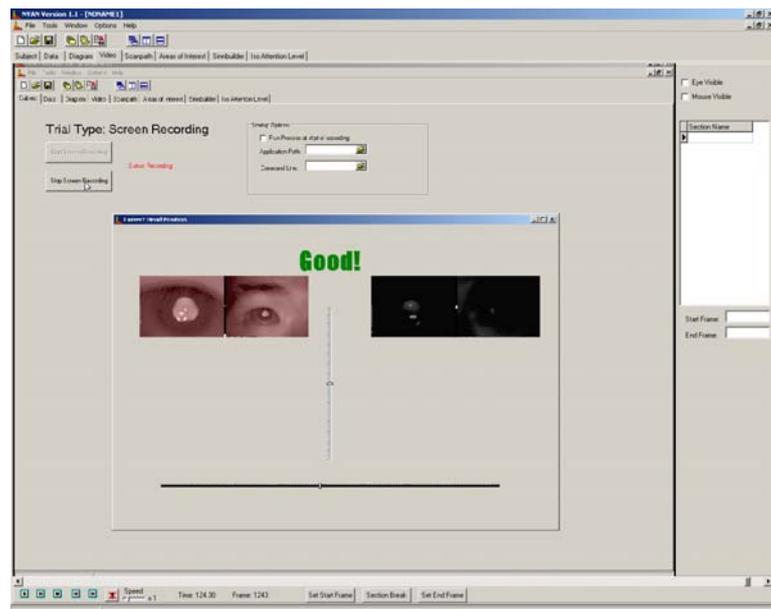


圖 24：NYAN 眼睛偏離校正視窗

第五節 資料分析

研究期間所蒐集的資料為電流概念前後訪談資料及動畫教學時的注意力分佈資料，包括凝視文字區域及動畫區域的凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、凝視動畫與文字的凝視點平均時間值(mean fixation duration)、文字與動畫區域凝視時間的百分比(percentage)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)。

動畫教學與訪談結束後，隨即將蒐集到的資料進行整理與分析，其中將訪談資料依電流概念類別評分表評定之前後測分數與注意力分佈的數據資料，以 SPSS 10.0 套裝軟體進行統計分析。另外受試者看動畫的視線軌跡(scanpath)則以質性分析的方式探討科學學科背景與非科學學科背景教師有何差異。

一、電流概念訪談資料：在訪談時錄音，將內容繕打成逐字稿，依電流概念類別評分表評定受試者回答之概念與繪製之電流概念心智表徵圖，將得分進行概念的量化統計。以電流概念前測訪談分數為共變項，進行 ANCOVA 分析，比較不同學科背景（科學相關與非科學相關）在電流概念後測訪談分數上有何差異。

二、注意力分佈資料：以 NYAN 分析軟體進行眼球運動資料的擷取、紀錄與分析，並將原始資料匯出，根據每個受試者看動畫的時間區段，將資料切割為每個動畫的資料，接著訂定每個動畫主要的概念區域，依座標範圍由切割好的資料算出文字與動畫區域的凝視點次數(number of fixations)與凝視點時間(fixation duration)。再將不同學科背景（科學相關與非科學相關）變項，凝視鑲嵌文字區域、動畫區域及文字區域的凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)，鑲嵌文字、動畫與文字區域除以三個區域凝視時間的百分比(percentage)，每一個凝視鑲嵌文字、動畫與文字區域凝視點的平均時間值(mean fixation duration)及觀看整個動畫且包含所有區域之不分區總凝視時間(total duration)等變項，進行 T 考驗分析，考驗不同學科背景教師在眼球追蹤數據資料，是否有顯著差異，因樣本數較少，故主要以 Cohen's d 值做為顯著效果大小的指標。

三、視線軌跡(scanpath)資料：以視線軌跡(scanpath)縮圖進行分析探究，比較每個動畫中，科學學科背景與非科學學科背景教師的視線軌跡(scanpath)有何差異，藉以了解不同背景之受試者在動畫學習的認知過程中，所注意的區域有何差別；由於視線軌跡屬於質性資料，無法呈現所有受試者資料，故選擇該組大部分教師有類似軌跡之典型教師的視線軌跡，分別以代號表示。如圖 25 所示，每一圓圈代表一凝視點(fixation)，圓圈大小代表凝視時間長短，圓圈越大表示受試者凝視的時間越久，圓圈內有三排數字上層表示 frame，單位是 0.1 秒，中間為凝視點中心的座標，下層為凝視的時間，單位是 0.001 秒，圓圈外圍數字表示凝視點的順序編號，實心線段表示凝視路徑。

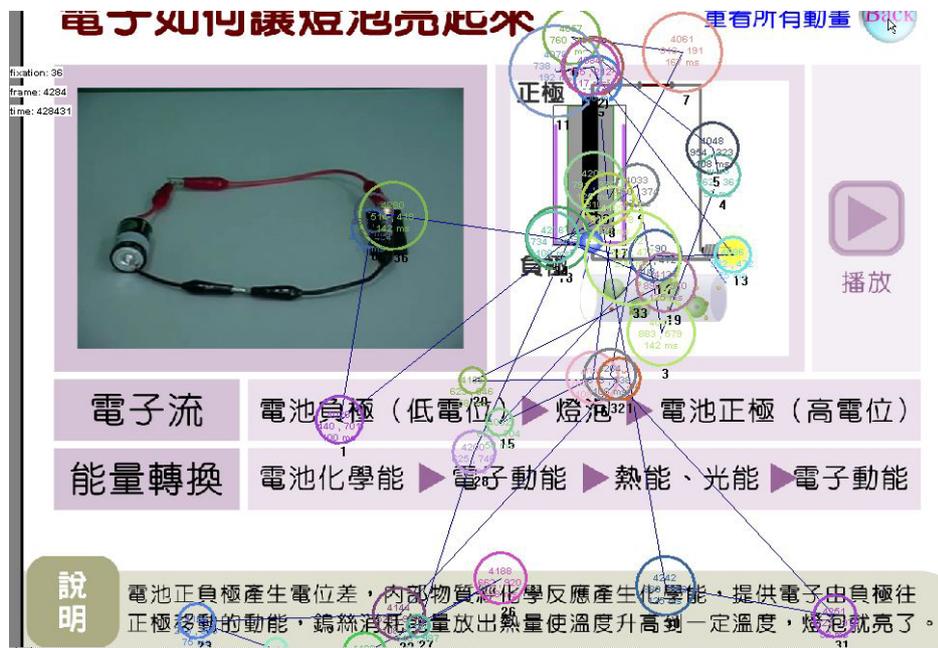


圖 25：眼球凝視動畫之視線軌跡範例

第四章 研究結果與討論

第一節 不同學科背景教師電流概念及概念改變成效分析

本研究以電流概念訪談大綱，針對 36 位國小教師進行訪談，訪談結束後製作逐字稿，再以電流概念類別評分表進行評分，共四大題，每個概念類別配分 1 分，總分 27 分，其中單純問答的題目 12 分，包含繪圖說明的題目共 15 分，總得分越高，表示電流概念越完整；得分越低，表示對電流概念越不清楚。

根據研究問題一「不同學科背景之國小教師在電流相關概念上的認知情形及其另有概念有何差異」與研究問題三「不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫前後概念有何差異」進行分析與討論，敘述性與推論性統計之分析結果如下。

一、電流概念訪談前測之比較

(一) 不同學科背景國小教師電流概念訪談前測之得分情形

本研究以 36 位國小教師為樣本，其中 15 位學科背景是科學相關，21 位學科背景是非科學相關，得分如表 5 所示，科學相關學科背景教師最低分 4，最高分 17，平均數為 10.00，標準差為 4.24，非科學相關學科背景教師最低分 3，最高分 14，平均數為 6.81，標準差為 2.68，可以看出科學相關學科背景國小教師前測成績之平均數較非科學相關學科背景國小教師高。

表 5：不同學科背景國小教師電流概念訪談前測敘述性統計表

學科背景	人數	最低分	最高分	平均數	標準差
非科學相關	21	3	14	6.81	2.68
科學相關	15	4	17	10.00	4.24

(二) 不同學科背景國小教師電流概念訪談前測獨立樣本 T 檢定摘要

表 6：不同學科背景國小教師電流概念訪談前測獨立樣本 T 檢定摘要表

	非科學相關		科學相關		t	p
	mean	SD	mean	SD		
訪談前測	6.81	2.68	10.00	4.24	-2.570*	.018

綜合表 5 與表 6 得知，不同背景國小教師之電流概念訪談前測得分達顯著差異，科學相關學科背景國小教師的電流概念明顯優於非科學相關學科背景國小教師。

(三) 不同學科背景國小教師電流概念晤談大綱前測得分情形

本研究晤談大綱由四個題目組成：

- (1) 有導線、電池與燈泡三種材料，要怎麼連接才能形成通路？電池為何可以使燈泡發光？形成通路後，導線內會有什麼變化？（請繪圖說明）
- (2) 你認為在一條導線當中，內部粒子的種類為何？（請繪圖說明）
- (3) 什麼是電流？什麼是電子流？（請繪圖說明）
- (4) 電子通過導線的方式有哪些？請你從微觀的角度來解釋通路導線內的電子如何讓燈泡亮起來？請說明理由。（請繪圖說明）

各題的得分情形如表 7 所示，各題的得分平均數與標準差都是科學相關學科背景國小教師高於非科學相關學科背景國小教師。其中非科學背景教師對於導線內部粒子、電流與電子流及微觀導線與能量轉換概念較薄弱，可能存在許多另有概念；而科學背景教師只有微觀導線與能量轉換概念較不清楚，可能存在另有概念。

表 7：不同學科背景國小教師電流概念晤談大綱前測得分摘要表

題號	學科背景	平均數	標準差
1	非科學相關學系	3.9	1.48
	科學相關學系	4.67	1.4
2	非科學相關學系	1.14	1.49
	科學相關學系	1.53	1.25
3	非科學相關學系	0.33	0.58
	科學相關學系	2.13	1.46
4	非科學相關學系	1.43	0.98
	科學相關學系	1.67	1.45

二、電流概念訪談前後測之敘述性統計分析

本研究以 36 位國小教師為樣本，其中 15 位學科背景是科學相關，21 位學科背景是非科學相關，電流概念訪談前後測得分情形比較如表 8 所示，可以看出不論是科學相關或非科學相關學科背景國小教師，訪談後測成績的平均數均明顯優於訪談前測成績的平均數，各組前後測之成對樣本 T 檢定也都達到顯著效果。

表 8：不同學科背景國小教師電流概念訪談前後測敘述性統計與成對樣本 T 檢定摘要表

學科背景	訪談前測		訪談後測		平均差 (後-前)	t
	mean	SD	mean	SD		
非科學相關	6.81	2.68	14.86	2.95	8.05	14.304***
科學相關	10.00	4.24	16.67	2.41	6.67	7.468***

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

三、電流概念訪談前後測之推論性統計分析

本研究以單因子共變數分析 (One-way ANCOVA)，來分析不同學科背景國小教師在電流概念訪談後測得分是否有差異。資料分析時，「學科背景」

為自變項，以控制變項「概念訪談前測成績」與依變項「概念訪談後測成績」間的共變為基礎進行調整，可得到排除控制變項「概念訪談前測成績」影響的單純統計量。共變數分析結果，二個水準平均數為 14.86、16.67，調整後的平均數為 15.447、15.841，Levene 的變異數同質性檢定不顯著 ($F_{(1,34)}=1.238, p=.274$)，表示樣本的離散情形沒有明顯差別，另外，組內迴歸係數同質性考驗結果顯示學科背景與前測成績的交互作用項不顯著 ($F_{(1,32)}=1.727, p=.198$)，表示各組內共變項與依變項的線性關係具有一致性，可以進行共變數分析。共變項效果達到顯著 ($F_{(1,33)}=19.538, p=.000$)，表示共變項對於依變項的解釋力高，不同學科背景國小教師電流概念訪談後測之組間效果變異數 ($F_{(1,33)}=0.205, p=.654$) 則沒有顯著差異，如表 9 所示。

表 9：不同學科背景變項對電流概念訪談後測之單因子共變數分析摘要表

變異來源	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>
共變量 (訪談前測)	1	105.411	105.411	19.538***
組間 (學科背景)	1	1.105	1.105	.205
組內 (誤差)	33	178.040	5.395	
總和	36	9058.000		

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

由表 9 得知，不同學科背景國小教師的電流概念訪談後測得分沒有顯著差異。綜合表 8 與表 9 的結果，可以回答研究問題三「不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫前後概念有何差異」，表示電流教學動畫對於不同學科背景之國小教師的電流概念改變有很大的幫助，且科學相關學科背景國小教師後測成績的平均數高於非科學相關學科背景國小教師，但未達顯著差異。

第二節 不同學科背景教師觀看「導線內部粒子的排列情形」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析

根據研究問題二「不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫時眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、動畫與文字區域凝視點的平均時間值(mean fixation duration)、動畫與文字區域凝視時間的百分比(percentage)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)有何差異」與研究問題四「不同學科背景之教師在觀看電流教學動畫時，眼球追蹤資料及視線軌跡(scanpath)與電流概念改變有何關係」，本節主要探討36位不同學科背景之國小教師，在觀看「導線內部粒子的排列情形」動畫教學時眼球追蹤系統所記錄資料及觀看動畫時的視線軌跡，與相關概念類別有何關係。

一、眼球追蹤資料動畫與文字區域之範圍

「導線內部粒子的排列情形」動畫與文字區域計算範圍如圖 26，動畫範圍僅計算研究者欲觀察之重要區域。

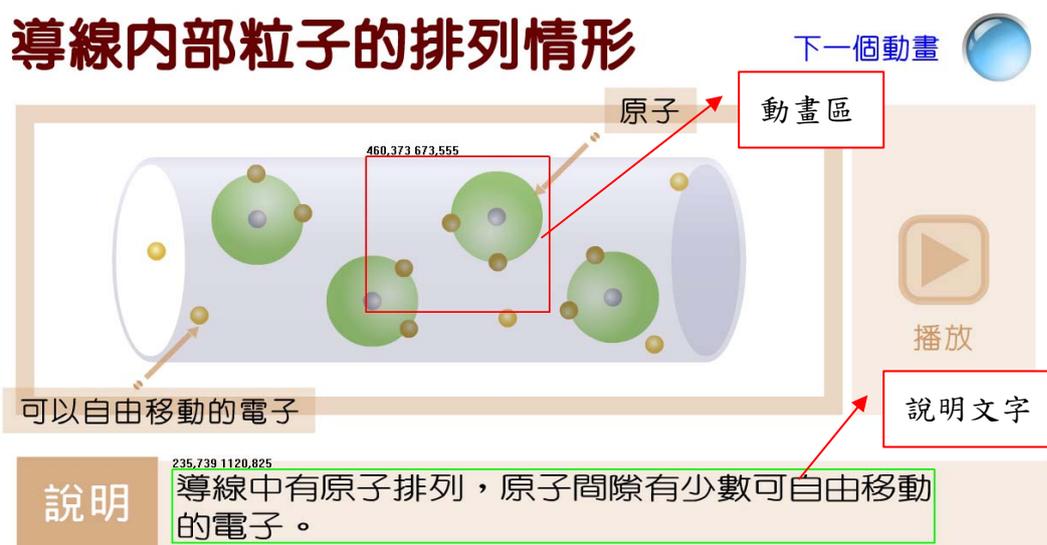


圖 26：動畫「導線內部粒子的排列情形」之動畫與文字區域範圍

二、不同學科背景教師眼球追蹤資料之敘述性統計與獨立

樣本 T 檢定分析

「導線內部粒子的排列情形」動畫之眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定如表 10，其中不分區總凝視時間指觀看整個完整動畫且包含所有區域之凝視時間。

表 10：動畫一眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定摘要表

項目	學科背景	人數	平均數	標準差	t	Cohen's <i>d</i>	Effect size
動畫區凝視點次數	科學相關	15	12.80	10.43	.012	.004	
	非科學相關	21	12.76	8.69			
動畫區凝視時間	科學相關	15	1976.47	1761.49	.220	.073	
	非科學相關	21	1859.62	1417.89			
動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	0.58706	0.30538	.649	.218	S
	非科學相關	21	0.52146	0.29470			
動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	148.07012	55.37516	.781	.276	S
	非科學相關	21	135.89798	28.32271			
文字區凝視點次數	科學相關	15	12.73	10.77	-.308	-.105	
	非科學相關	21	13.95	12.34			
文字區凝視時間	科學相關	15	1304.93	1191.74	-.490	-.167	
	非科學相關	21	1517.76	1345.85			
文字區凝視時間百分比	科學相關	15	0.41294	0.30538	-.649	-.218	S
	非科學相關	21	0.47854	0.29470			
文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.8416	18.0104	1.700	1.603	M
	非科學相關	21	91.2061	34.5927			
不分區總凝視時間	科學相關	15	8153.47	3451.07	-.611	-.207	S
	非科學相關	21	8892.00	3658.15			

註：1. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. Cohen's *d* 值中，S 表示 $0.2 < \text{Cohen's } d < 0.5$, effect size=small; M 表示 $0.5 < \text{Cohen's } d < 0.8$, effect size=medium; L 表示 $\text{Cohen's } d > 0.8$, effect size=large

3. 不分區總凝視時間指觀看整個完整動畫且包含所有區域之凝視時間

由表 10 可發現，在「動畫區凝視點次數」、「動畫區凝視時間」、「動畫區凝視時間百分比」、「動畫區凝視點平均時間」及「文字區凝視點平均時間」項目，科學背景教師的平均數都大於非科學背景教師；而在「文字區

凝視點次數」、「文字區凝視時間」、「文字區凝視時間百分比」及「不分區總凝視時間」項目，非科學背景教師的平均數大於科學背景教師。表示科學背景教師花較多的時間注視動畫區域，在動畫區域有較多的凝視次數，注視動畫區域的時間比例較高，動畫與文字區域每個凝視點平均時間也較長；非科學背景教師則花較多的時間注視文字區域，在文字區域有較多的凝視點，注視文字區域的時間比例較高，不分區總凝視時間也較長。

進行 T 考驗的結果除了「文字區凝視點平均時間」項目的 Cohen's *d* 值達中度顯著效果外，「動畫區凝視時間百分比」、「文字區凝視時間百分比」、「動畫區凝視點平均時間」及「文字區凝視點平均時間」及「不分區總凝視時間」項目的 Cohen's *d* 值都達低度實用顯著性差異，表示不同學科背景教師在動畫一的眼球追蹤資料，在動畫與文字區的凝視時間百分比、凝視點平均時間及不分區總凝視時間項目達中低度實用顯著性差異。

三、不同學科背景教師之視線軌跡分析

(一) 科學背景教師之視線軌跡分析

一位代號 A 的科學背景教師觀看「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡，如圖 27、圖 28、圖 29 及圖 30，選擇的依據為找該組大部分教師有類似軌跡之典型教師其視線軌跡。

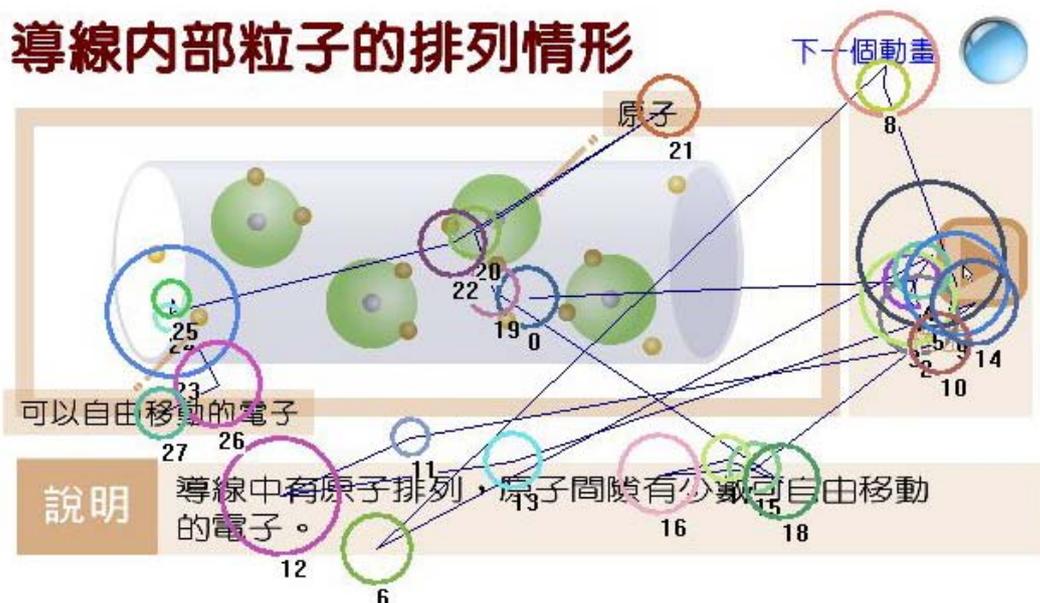


圖 27：代號 A 科學背景教師瀏覽「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡一

導線內部粒子的排列情形

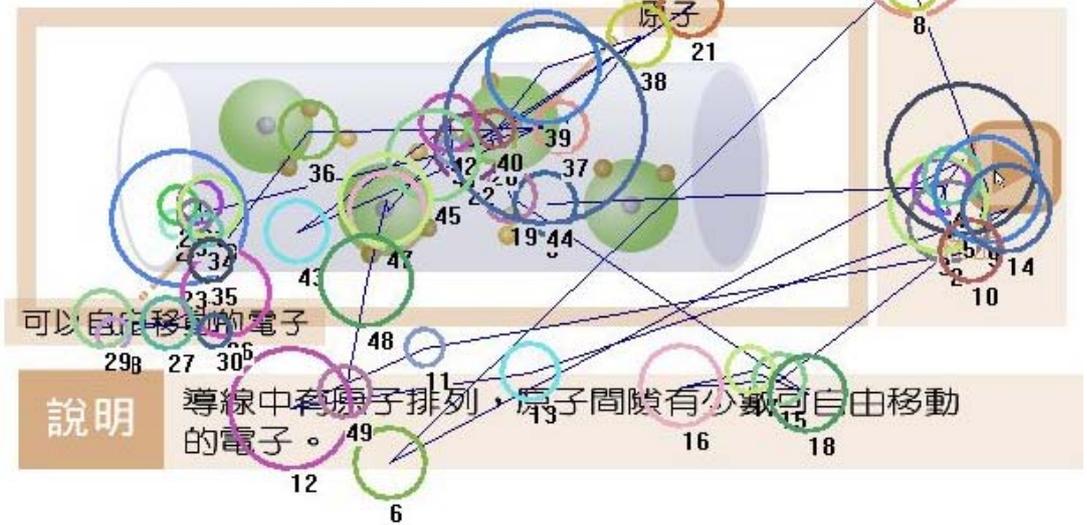


圖 28：代號 A 科學背景教師瀏覽「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡二

導線內部粒子的排列情形

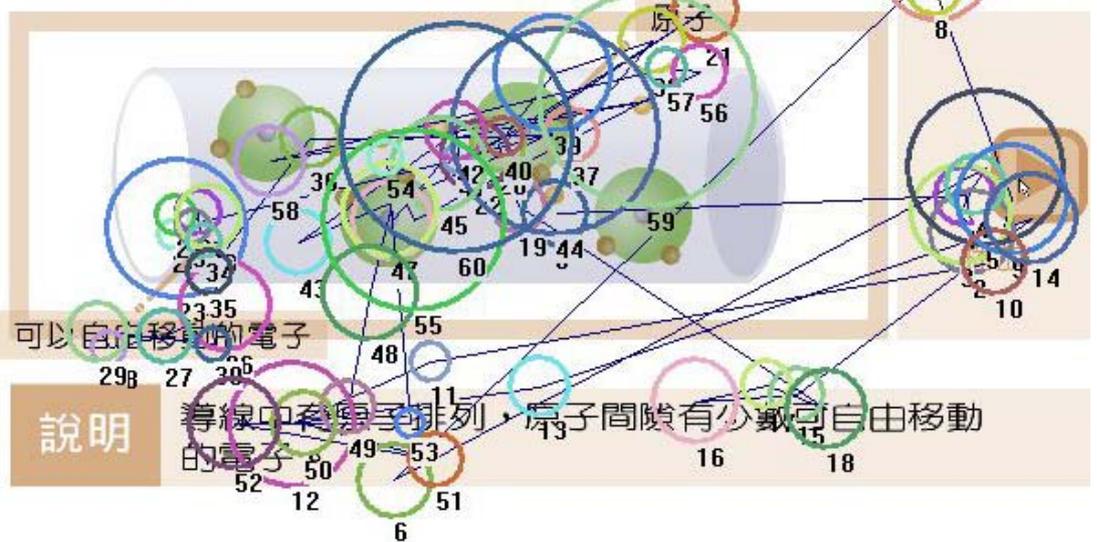


圖 29：代號 A 科學背景教師瀏覽「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡三

導線內部粒子的排列情形

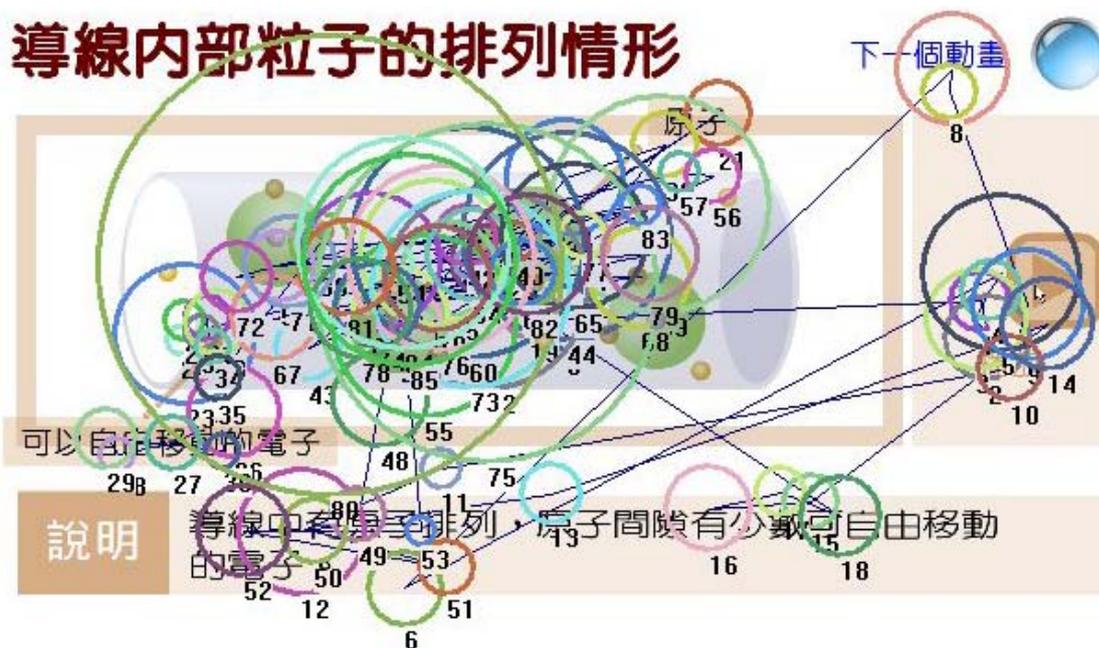


圖 30：代號 A 科學背景教師瀏覽「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡四

一開始瀏覽文字區域，看完說明文字後，接著瀏覽動畫區，如圖 27，從第 19 個到第 48 個凝視點主要觀看動畫內的鑲嵌文字及原子外層電子，其中第 44 個點凝視較久的時間，如圖 28，從第 49 點到第 53 點又回到文字區，觀看「導線中有原子排列」說明文字，繼續回到動畫區瀏覽，從其中第 55、59、60、62、73、75 及第 80 個點凝視較久的時間，如圖 29 與圖 30，主要觀看原子及原子間隙可自由移動的電子。由此可知，該科學背景教師先瀏覽完說明文字後，繼續觀看動畫與動畫上的鑲嵌文字，中間折返至說明文字後，接著花較長的時間在瀏覽動畫重要的細節部份。

(二) 非科學背景教師之視線軌跡分析

一位代號 B 的非科學背景教師觀看「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡，如圖 31 及圖 32，選擇的依據為找該組大部分教師有類似軌跡之典型教師其視線軌跡。

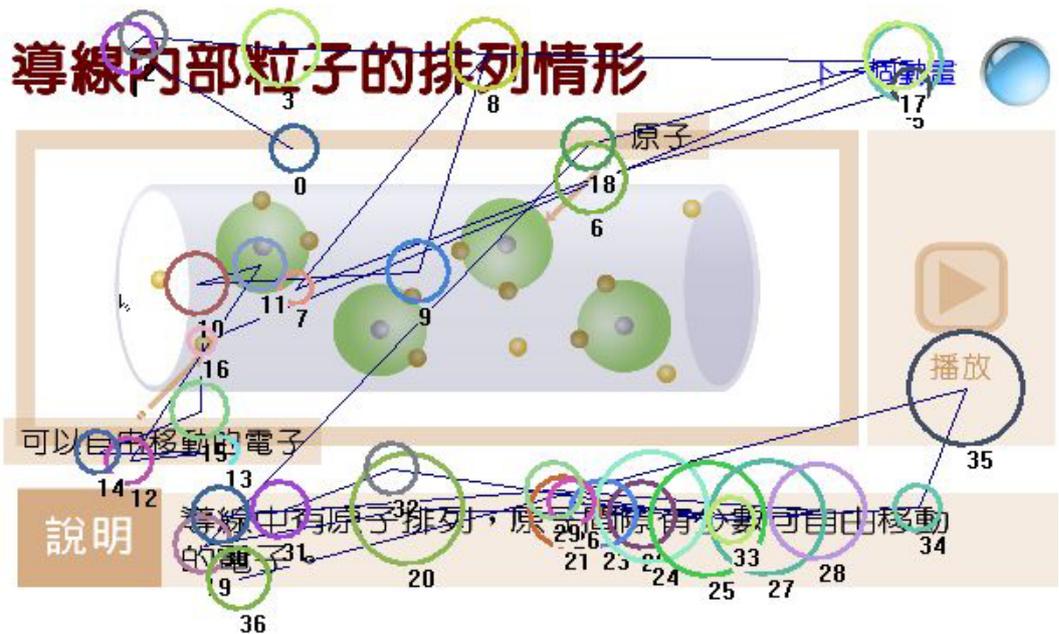


圖 31：代號 B 非科學背景教師瀏覽「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡一

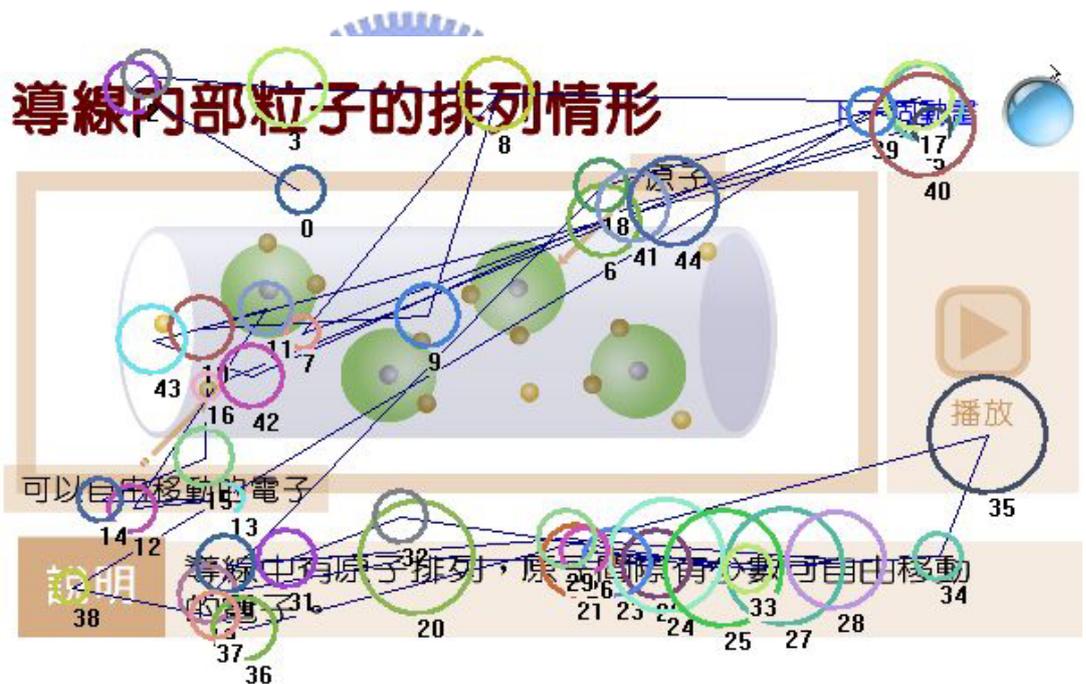


圖 32：代號 B 非科學背景教師瀏覽「導線內部粒子的排列情形」動畫之視線軌跡二

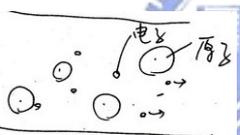
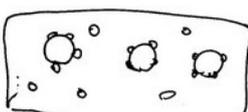
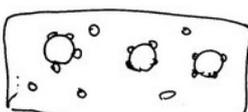
一開始隨意瀏覽，受旁白影響會去看標題文字，動畫區內主要看動畫的鑲嵌文字說明，從第 19 到 36 個點繼續瀏覽第一列與第二列說明文字來回兩次，如圖 31，研究者發現該教師會分心去看操作按鈕的文字，花很少的時間在觀看動畫內容，如圖 32。由此可知，該非科學背景教師會依照旁白瀏覽說

明文字完後，再觀看動畫中原子、原子外層電子及原子間隙可自由移動的電子的分佈情形。

四、不同學科背景教師之概念改變分析

晤談大綱二「你認為在一條導線當中，內部粒子的種類為何？（請繪圖說明）」主要探討教師是否有粒子的概念，是屬於抽象、微觀、物質與過程的心智架構，概念改變分析如表 11。

表 11：不通電導線內微觀粒子種類的概念改變分析

概念類別	非科學相關 學科背景		科學相關 學科背景		
	前測%	後測%	前測%	後測%	
2 你認為在一條導線當中，內部粒子的種類為何？（請繪圖說明）					
2-1 粒子種類					
2-1-1 原子		29.2%	83.3%	26.7%	93.3%
2-1-2 自由電子		29.2%	79.2%	86.7%	100.0%
2-2 粒子大小					
2-2-1 原子較大顆		25.0%	87.5%	20.0%	86.7%
2-2-2 自由電子較小顆		16.7%	87.5%	20.0%	86.7%

由表 11 顯示，非科學相關與科學相關學科背景國小教師在概念類別 2-1-1、2-1-2、2-2-1 與 2-2-2 的人數百分比皆有明顯增加，表示許多教師在電流動畫教學後概念產生改變，所擁有科學概念的比例增加，迷思概念的比例也相對減少。眼球追蹤資料證明科學背景教師在動畫區的凝視時間百分比及動畫與文字區凝視點平均凝視時間顯著大於非科學背景教師，一位科學背景教師在觀看動畫時，視線軌跡集中在動畫區，觀看導線內粒子的分佈情形，可以呼應眼球追蹤統計資料，所以在概念類別「2-1-1 原子」中，科學背景教師的原子概念後測百分比 93.3%，高於非科學背景教師的 83.3%，顯示在動畫教學中注意力分佈區域不同確實會影響學習者的概念建構。

而大部分科學相關學科背景的教師，在動畫教學前已具有「2-1-2 自由電子」粒子種類的概念，雖然眼球追蹤資料顯示科學背景教師在動畫區的凝視時間百分比及每個凝視點平均凝視顯著大於非科學背景教師，科學背景教師的自由電子概念類別後測百分比比較非科學背景教師高，但非科學背景教師在文字區凝視時間的百分比也高於非科學背景教師，且非科學背景教師的自由電子概念類別前後測進步的百分比科學背景教師多，顯示動畫教學確實會幫助不同學習者自由電子概念類別的概念建構。

另外，在概念類別 2-2-1 與 2-2-2，非科學背景教師後測百分比與科學背景教師相近，由兩組各一位代表 A 和 B 的視線軌跡發現，「粒子大小」在動畫上可以明顯看出，科學與非科學背景教師都在動畫一開始就分別凝視原子與自由電子，研究者推論非科學教師容易注意到粒子大小顯著的差異，科學教師除了注意粒子大小外，凝視時間較久，還有注意其在導線內分佈的情形，可以呼應兩組在動畫與文字區的凝視點次數與凝視時間無顯著差異的現象；即當視線軌跡所呈現的注意力分佈點，和眼球在動畫及文字區之凝視點次數與凝視時間皆相近時，其概念獲得的人數百分比相似，顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。



第三節 不同學科背景教師觀看「電子流的意義」與「電流與電子流」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析

根據研究問題二「不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫時眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、動畫與文字區域凝視點的平均時間值(mean fixation duration)、動畫與文字區域凝視時間的百分比(percentage)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)有何差異」與研究問題四「不同學科背景之教師在觀看電流教學動畫時，眼球追蹤資料及視線軌跡(scanpath)與電流概念改變有何關係」，本節主要探討36位不同學科背景之國小教師，在觀看「電子流的意義」動畫教學時眼球追蹤系統所記錄資料及觀看動畫時的視線軌跡，與相關概念類別有何關係。

一、眼球追蹤資料動畫與文字區域之範圍

(一)「電子流的意義」動畫之動畫與文字區域範圍

「電子流的意義」鑲嵌文字、動畫與文字區域計算範圍如圖 33，動畫範圍僅計算研究者欲觀察之重要區域，鑲嵌文字指動畫旁與動畫整合之摘要。

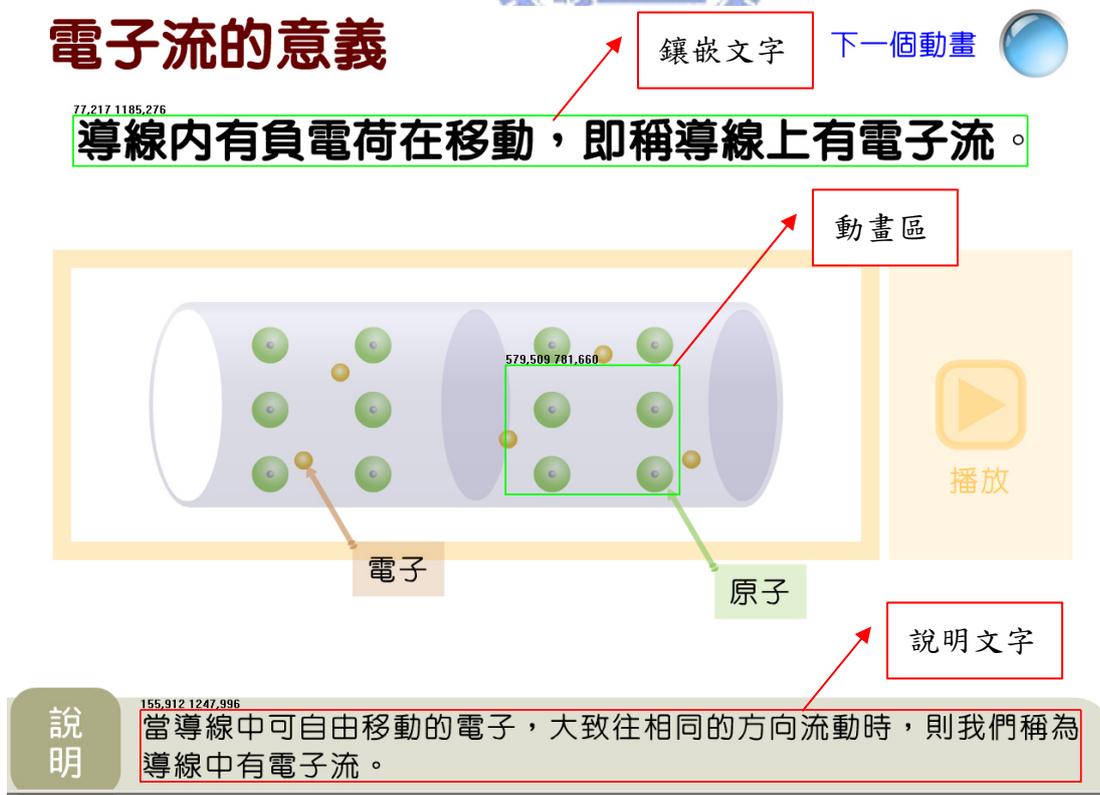


圖 33：動畫「電子流的意義」之鑲嵌文字、動畫與文字區域範圍

(二) 「電流與電子流」動畫之動畫與文字區域範圍

「電流與電子流」鑲嵌文字、動畫與文字區域計算範圍如圖 34，動畫範圍僅計算研究者欲觀察之重要區域，鑲嵌文字指動畫旁與動畫整合之摘要。

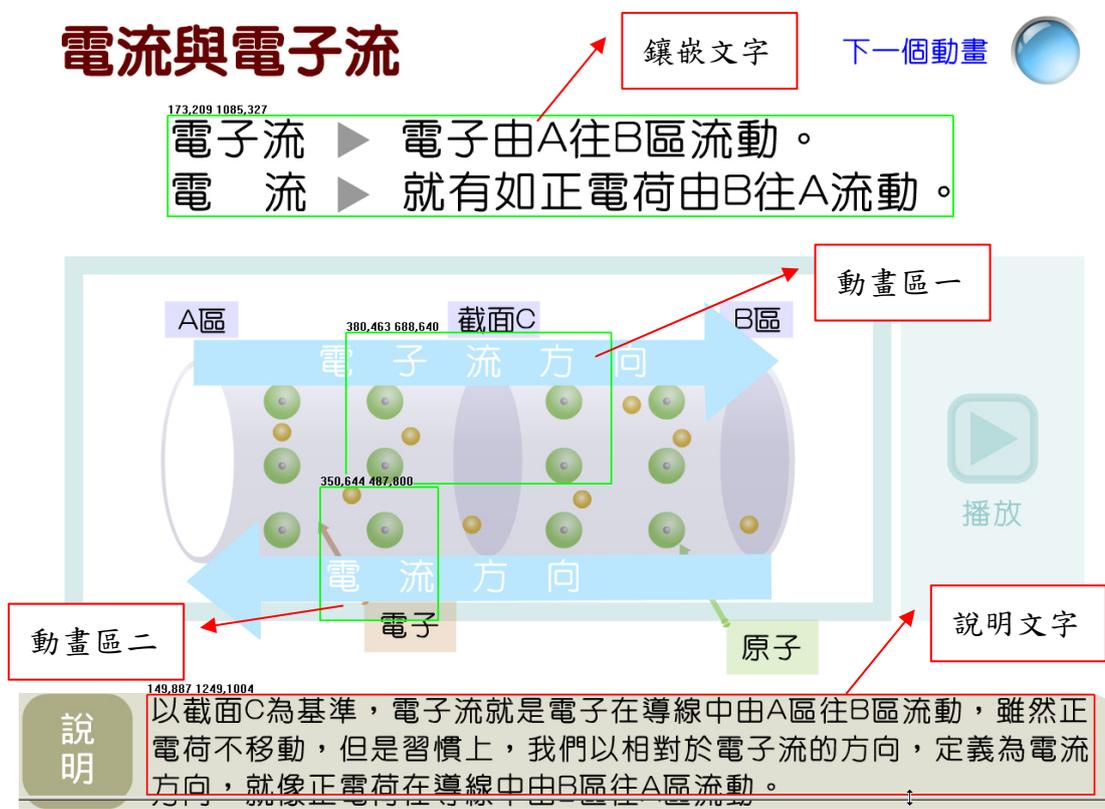


圖 34：動畫「電流與電子流」之鑲嵌文字、動畫與文字區域範圍

二、不同學科背景教師眼球追蹤資料之敘述性統計與獨立樣本 T 檢定分析

(一) 「電子流的意義」動畫之眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定

「電子流的意義」動畫之眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定如表 12，其中鑲嵌文字區指動畫旁與動畫整合之摘要文字，與文字區之說明文字不同。

表 12：動畫二眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定摘要表

項目	學科背景	人數	平均數	標準差	t	Cohen's <i>d</i>	Effect size
鑲嵌文字區凝視點次數	科學相關	15	9.00	6.70	-1.105	-.362	S
	非科學相關	21	12.05	9.85			
鑲嵌文字區凝視時間	科學相關	15	1002.00	727.47	-.635	-.220	S
	非科學相關	21	1195.38	1003.52			
鑲嵌文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.32405	.22123	-.236	-.080	
	非科學相關	21	.34282	.24425			
鑲嵌文字區凝視點平均時間	科學相關	15	106.84	34.43	1.198	.396	S
	非科學相關	21	94.68	26.48			
動畫區凝視點次數	科學相關	15	8.87	6.37	.830	.282	S
	非科學相關	21	7.00	6.84			
動畫區凝視時間	科學相關	15	1301.80	1169.04	.820	.274	S
	非科學相關	21	995.43	1059.41			
動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	.36542	.26993	.572	.196	
	非科學相關	21	.30793	.31481			
動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	134.92659	32.05506	.593	.205	S
	非科學相關	21	127.14183	42.95464			
文字區凝視點次數	科學相關	15	12.87	14.12	-.263	-.087	
	非科學相關	21	14.05	12.66			
文字區凝視時間	科學相關	15	1420.07	1617.55	-.168	-.056	
	非科學相關	21	1505.05	1406.91			
文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.31053	.24649	-.449	-.152	
	非科學相關	21	.34925	.26104			
文字區凝視點平均時間	科學相關	15	85.9893	56.4731	.119	.039	
	非科學相關	21	84.0158	43.1810			
不分區總凝視時間	科學相關	15	7489.47	2881.76	-.980	-.340	S
	非科學相關	21	8665.71	3950.53			

註：1. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. Cohen's *d* 值中，S 表示 $0.2 < \text{Cohen's } d < 0.5$, effect size=small; M 表示 $0.5 < \text{Cohen's } d < 0.8$, effect size=medium; L 表示 $\text{Cohen's } d > 0.8$, effect size=large

3. 不分區總凝視時間指觀看整個完整動畫且包含所有區域之凝視時間

4. 鑲嵌文字區指動畫旁與動畫整合之摘要文字，與文字區之說明文字不同

由表 12 可發現，在「鑲嵌文字區凝視點平均時間」、「動畫區凝視點

次數」、「動畫區凝視時間」、「動畫區凝視時間百分比」、「動畫區凝視點平均時間」及「文字區凝視點平均時間」項目，科學背景教師的平均數都大於非科學背景教師；而在「鑲嵌文字區凝視點次數」、「鑲嵌文字區凝視時間」、「鑲嵌文字區凝視時間百分比」、「文字區凝視點次數」、「文字區凝視時間」、「文字區凝視時間百分比」及「不分區總凝視時間」項目，非科學背景教師的平均數大於科學背景教師。表示科學背景教師花較多的時間注視動畫區域，在動畫區域有較多的凝視次數，注視動畫區域的時間比例較高，鑲嵌文字、動畫與文字區每個凝視點平均時間較長，非科學背景教師則花較多的時間注視鑲嵌文字與文字區域，在鑲嵌文字與文字區域有較多的凝視次數，注視鑲嵌文字與文字區域的時間比例較高，不分區總凝視時間較長。

進行 T 考驗結果顯示，「鑲嵌文字區凝視點次數」、「鑲嵌文字區凝視時間」、「鑲嵌文字區凝視點平均時間」、「動畫區凝視點次數」、「動畫區凝視時間」、「動畫區凝視點平均時間」及「不分區總凝視時間」項目的 Cohen's *d* 值達低度實用顯著性差異，表示不同學科背景教師在動畫二的眼球追蹤資料，在鑲嵌文字與動畫區的凝視點次數、凝視時間、凝視點平均時間，動畫區凝視點平均時間及不分區總凝視時間項目達低度實用顯著性差異。

(二) 「電流與電子流」動畫之眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定

「電流與電子流」動畫之眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定如表 13，其中動畫區凝視時間百分比包含動畫區一與動畫區二的凝視時間，動畫區凝視點平均時間為動畫一加上動畫二的凝視時間除以凝視點次數。

表 13：動畫三眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定摘要表

項目	學科背景	人數	平均數	標準差	t	Cohen's <i>d</i>	Effect size
鑲嵌文字區凝視點次數	科學相關	15	20.80	12.21	-2.488*	-.801	L
	非科學相關	21	35.52	22.95			
鑲嵌文字區凝視時間	科學相關	15	2456.53	1523.73	-1.763	-.62	M
	非科學相關	21	3765.05	2562.32			
鑲嵌文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.28407	.17801	-1.515	-.515	M
	非科學相關	21	.37961	.19237			
鑲嵌文字區凝視點平均時間	科學相關	15	119.13	26.20	2.555*	.827	L
	非科學相關	21	101.228	15.80			
動畫區一凝視點次數	科學相關	15	13.87	8.08	.087	.029	
	非科學相關	21	13.62	8.61			
動畫區一凝視時間	科學相關	15	1909.20	1135.66	.836	.280	S
	非科學相關	21	1601.19	1055.87			
動畫區二凝視點次數	科學相關	15	5.80	2.68	1.795	.617	M
	非科學相關	21	3.95	3.28			
動畫區二凝視時間	科學相關	15	673.87	316.19	1.603	.555	M
	非科學相關	21	464.29	429.20			
動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	.28783	.12958	.855	.292	S
	非科學相關	21	.24722	.14755			
動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	131.72419	33.86801	2.121*	.689	M
	非科學相關	21	112.23959	21.25603			
文字區凝視點次數	科學相關	15	32.80	21.87	-.452	-.156	
	非科學相關	21	36.81	28.94			
文字區凝視時間	科學相關	15	3889.53	2815.76	-.269	-.092	
	非科學相關	21	4171.29	3275.43			
文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.42810	.23002	.731	.245	S
	非科學相關	21	.37318	.21678			
文字區凝視點平均時間	科學相關	15	111.5048	14.7116	1.683	.530	M
	非科學相關	21	94.9950	41.4560			
不分區總凝視時間	科學相關	15	13008.87	5848.22	-.710	-.243	S
	非科學相關	21	14558.86	6853.17			

註：1. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. Cohen's *d* 值中, S 表示 $0.2 < \text{Cohen's } d < 0.5$, effect size=small; M 表示 $0.5 < \text{Cohen's } d < 0.8$, effect size=medium; L 表示 $\text{Cohen's } d > 0.8$, effect size=large

3. 不分區總凝視時間指觀看整個完整動畫且包含所有區域之凝視時間

4. 鑲嵌文字區指動畫旁與動畫整合之摘要文字，與文字區之說明文字不同

由表 13 可發現，在「鑲嵌文字區凝視點平均時間」、「動畫區一凝視點次數」、「動畫區一凝視時間」、「動畫區二凝視點次數」、「動畫區二凝視時間」、「動畫區凝視時間百分比」、「動畫區凝視點平均時間」、「文字區凝視時間百分比」及「文字區凝視點平均時間」項目，科學背景教師的平均數都大於非科學背景教師；而在「鑲嵌文字區凝視點次數」、「鑲嵌文字區凝視時間」、「鑲嵌文字區凝視時間百分比」、「文字區凝視點次數」、「文字區凝視時間」及「不分區總凝視時間」項目，非科學背景教師的平均數大於科學背景教師。表示科學背景教師花較多的時間注視動畫區域，在動畫區域有較多的凝視次數，注視動畫與文字區域的時間比例較高，鑲嵌文字、動畫與文字區每個凝視點平均時間也較長；非科學背景教師則花較多的時間注視鑲嵌文字與文字區域，在鑲嵌文字與文字區域有較多的凝視點，注視鑲嵌文字區域的時間比例較高，不分區總凝視時間較長。

進行 T 考驗結果顯示，「鑲嵌文字區凝視點平均時間」與「鑲嵌文字區凝視點次數」項目的 Cohen's d 值達高度顯著效果，「鑲嵌文字區凝視時間」、「鑲嵌文字區凝視時間百分比」、「動畫區二凝視點次數」、「動畫區二凝視時間」、「動畫區凝視點平均時間」及「文字區凝視點平均時間」項目的 Cohen's d 值達中度實用顯著性差異，而「動畫區一凝視時間」、「動畫區凝視時間百分比」、「文字區凝視時間百分比」及「不分區總凝視時間」項目的 Cohen's d 值達低度實用顯著性差異，表示不同學科背景教師在動畫三的眼球追蹤資料，包括：鑲嵌文字區域的凝視點次數與凝視時間，動畫區域一的凝視時間，動畫區域二的凝視點與凝視時間，鑲嵌文字、動畫與文字區域凝視時間的百分比，鑲嵌文字、動畫與文字區域凝視點平均時間及不分區總凝視時間都有實用顯著性差異。

三、不同學科背景教師之視線軌跡分析

(一) 「電子流的意義」動畫之視線軌跡

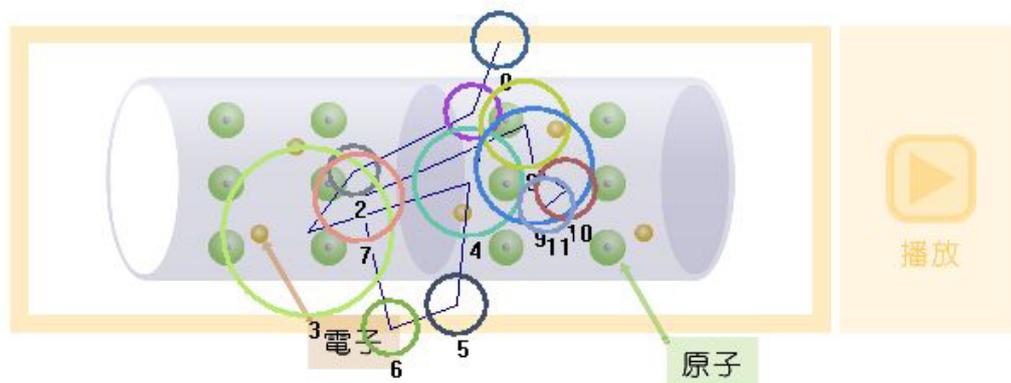
1. 科學背景教師之視線軌跡分析

一位代號 C 的科學背景教師觀看「電子流的意義」動畫之視線軌跡，如圖 35、圖 36 及圖 37，選擇的依據為找該組大部分教師有類似軌跡之典型教師其視線軌跡。

電子流的意義

下一個動畫 

導線內有負電荷在移動，即稱導線上有電子流。



說明

當導線中可自由移動的電子，大致往相同的方向流動時，則我們稱為導線中有電子流。

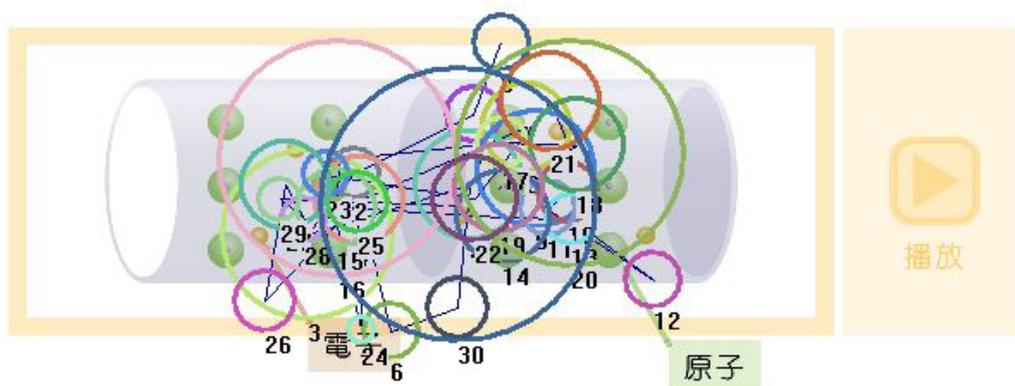
圖 35：代號 C 科學背景教師瀏覽「電子流的意義」動畫之視線軌跡一



電子流的意義

下一個動畫 

導線內有負電荷在移動，即稱導線上有電子流。



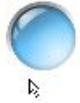
說明

當導線中可自由移動的電子，大致往相同的方向流動時，則我們稱為導線中有電子流。

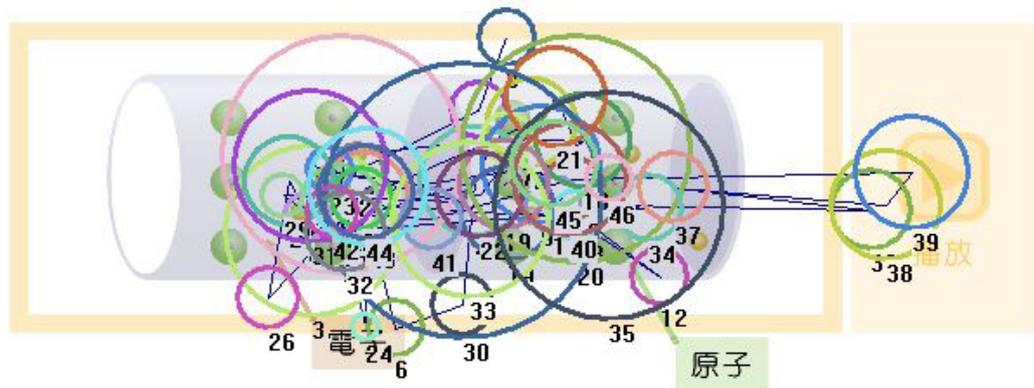
圖 36：代號 C 科學背景教師瀏覽「電子流的意義」動畫之視線軌跡二

電子流的意義

下一個動畫



導線內有負電荷在移動，即稱導線上有電子流。



說明

當導線中可自由移動的電子，大致往相同的方向流動時，則我們稱為導線中有電子流。

圖 37：代號 C 科學背景教師瀏覽「電子流的意義」動畫之視線軌跡三

該科學背景教師從頭到尾都只有看動畫區域，在動畫中央截面左右來回瀏覽原子間隙流動的電子分佈情形，如圖 35，從第 1 到 37 點凝視動畫區，其中第 16、20、30 及 35 個點凝視時間較久，分佈在原子間隙，如圖 36，接著去按重播動畫的按鈕，繼續左右瀏覽動畫，如圖 37。由此可知，該科學背景教師並不會依照旁白先瀏覽完說明文字，主要在觀看動畫中電子的流動情形。

2. 非科學背景教師之視線軌跡分析

一位代號 D 的非科學背景教師觀看「電子流的意義」動畫之視線軌跡，如圖 38、圖 39 及圖 40，選擇的依據為找該組大部分教師有類似軌跡之典型教師其視線軌跡。

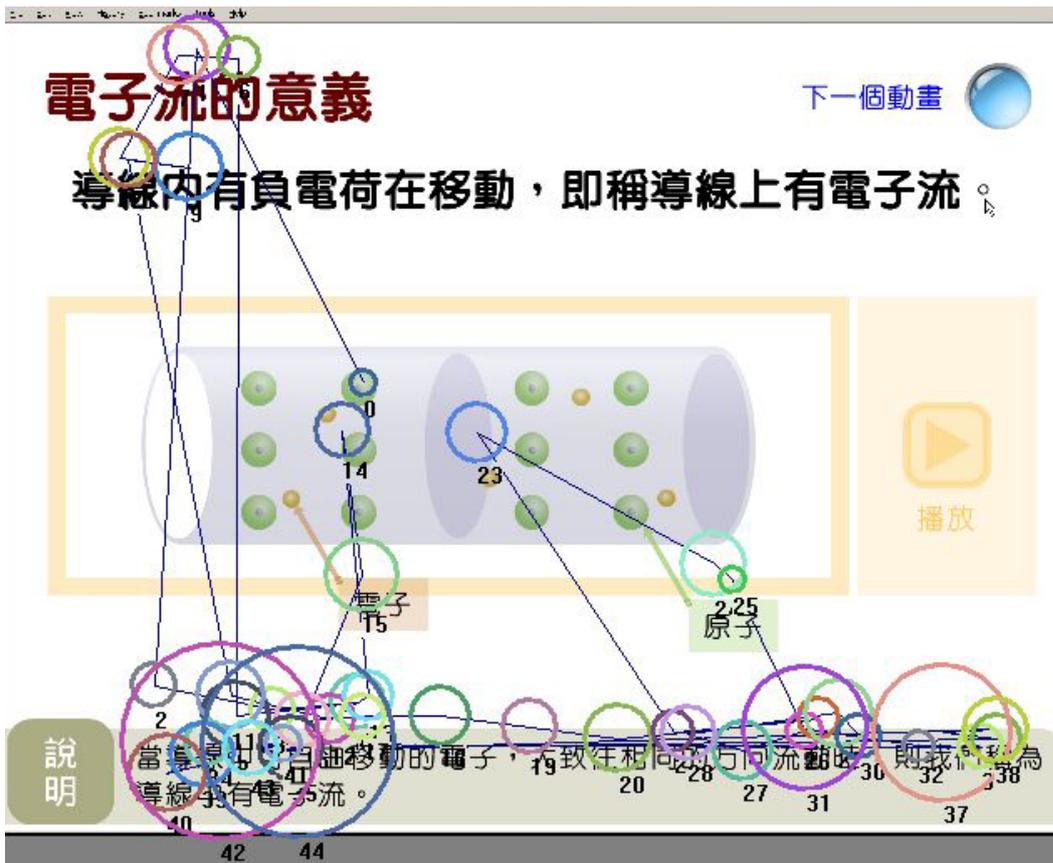


圖 38：代號 D 非科學背景教師瀏覽「電子流的意義」動畫之視線軌跡一

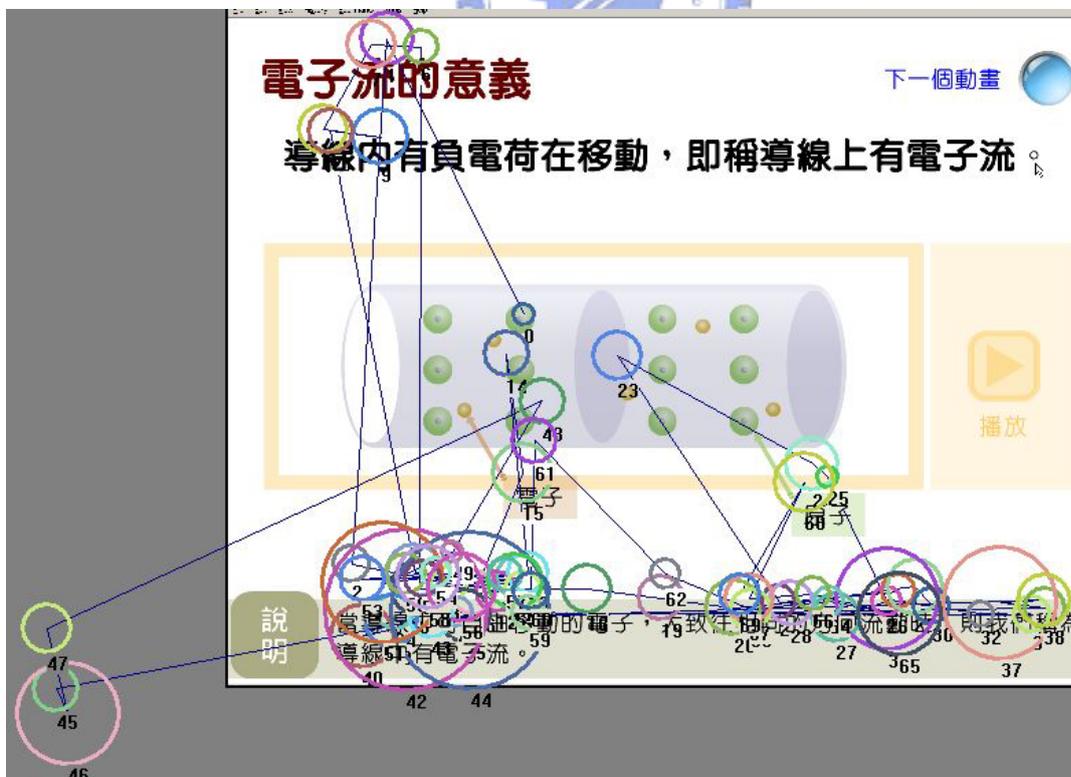


圖 39：代號 D 非科學背景教師瀏覽「電子流的意義」動畫之視線軌跡二

電子流的意義

下一個動畫



導線內有負電荷在移動，即稱導線上有電子流

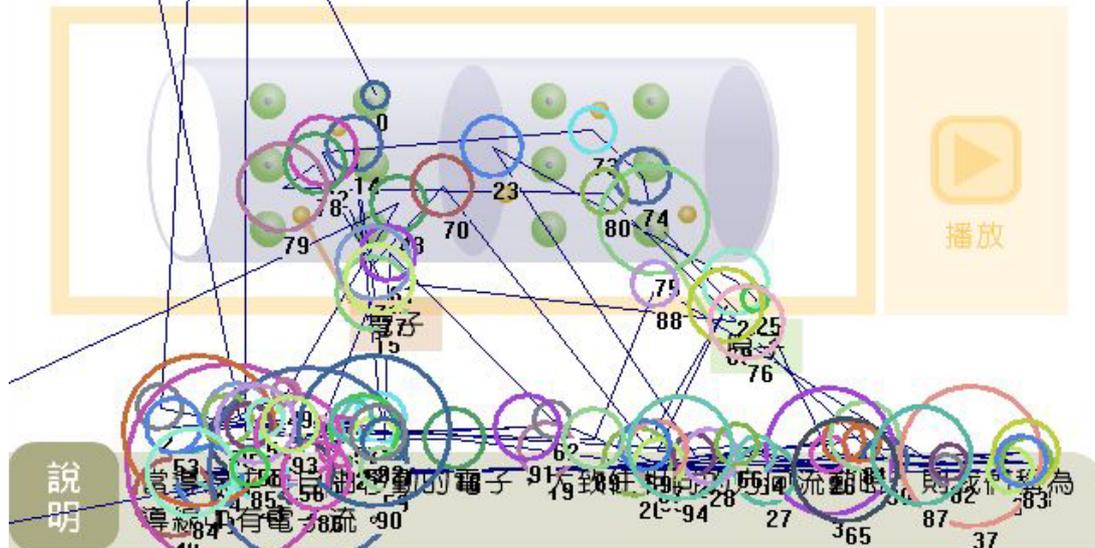


圖 40：代號 D 非科學背景教師瀏覽「電子流的意義」動畫之視線軌跡三

一開始隨旁白瀏覽標題與說明文字，接著在說明文字與動畫間來回瀏覽，從第 11 到 44 點主要瀏覽文字區，其中第 42 與 44 點凝視時間較長，如圖 38，接下來有三個點跑到視窗外，可能是分心所致，從第 48 到 70 點繼續瀏覽說明文字，偶爾返回動畫區，如圖 39，從第 70 點到第 80 點回到動畫區觀看電子流動，最後返回文字區左右瀏覽，如圖 40。由此可知，該非科學背景教師會依照旁白一邊瀏覽說明文字，偶爾觀看動畫，在動畫與文字區域間穿梭瀏覽，主要花時間在瀏覽說明文字。

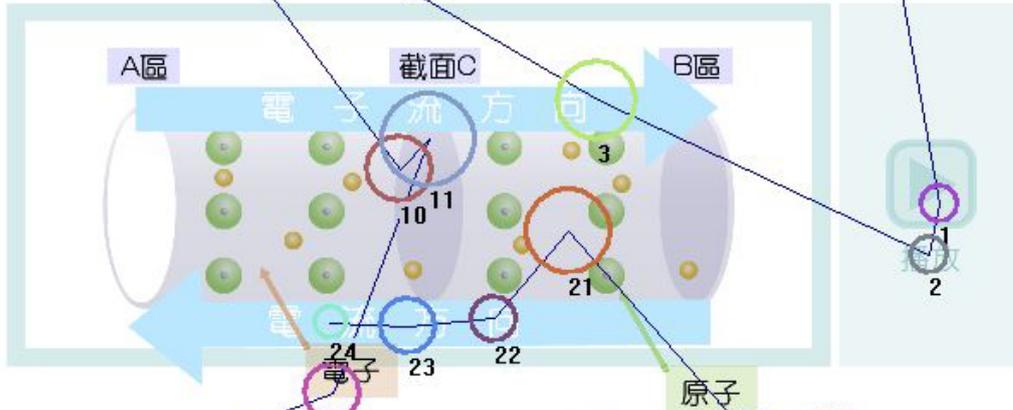
(二) 「電流與電子流」動畫之視線軌跡

1. 科學背景教師之視線軌跡分析

一位代號 E 的科學背景教師觀看「電流與電子流」動畫之視線軌跡，如圖 41、圖 42 及圖 43，選擇的依據為找該組大部分教師有類似軌跡之典型教師其視線軌跡。

電流與電子流

電流 ▶ 電子由A往B區流動。
 電流 ▶ 就有如正電荷由B往A流動。



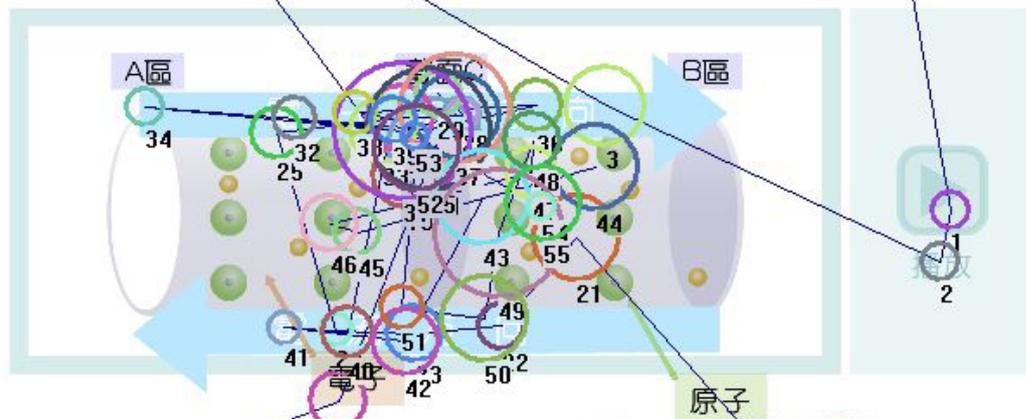
說明

以截面C為基準，電子流就是電子在導線中由A區往B區流動，雖然正電荷不移動，但是習慣上我們以相對於電子流的方向定義為電流方向，就像正電荷在導線中由B區往A區流動。

圖 41：代號 E 科學背景教師瀏覽「電流與電子流」動畫之視線軌跡一

電流與電子流

電流 ▶ 電子由A往B區流動。
 電流 ▶ 就有如正電荷由B往A流動。



說明

以截面C為基準，電子流就是電子在導線中由A區往B區流動，雖然正電荷不移動，但是習慣上我們以相對於電子流的方向定義為電流方向，就像正電荷在導線中由B區往A區流動。

圖 42：代號 E 科學背景教師瀏覽「電流與電子流」動畫之視線軌跡二

電流與電子流

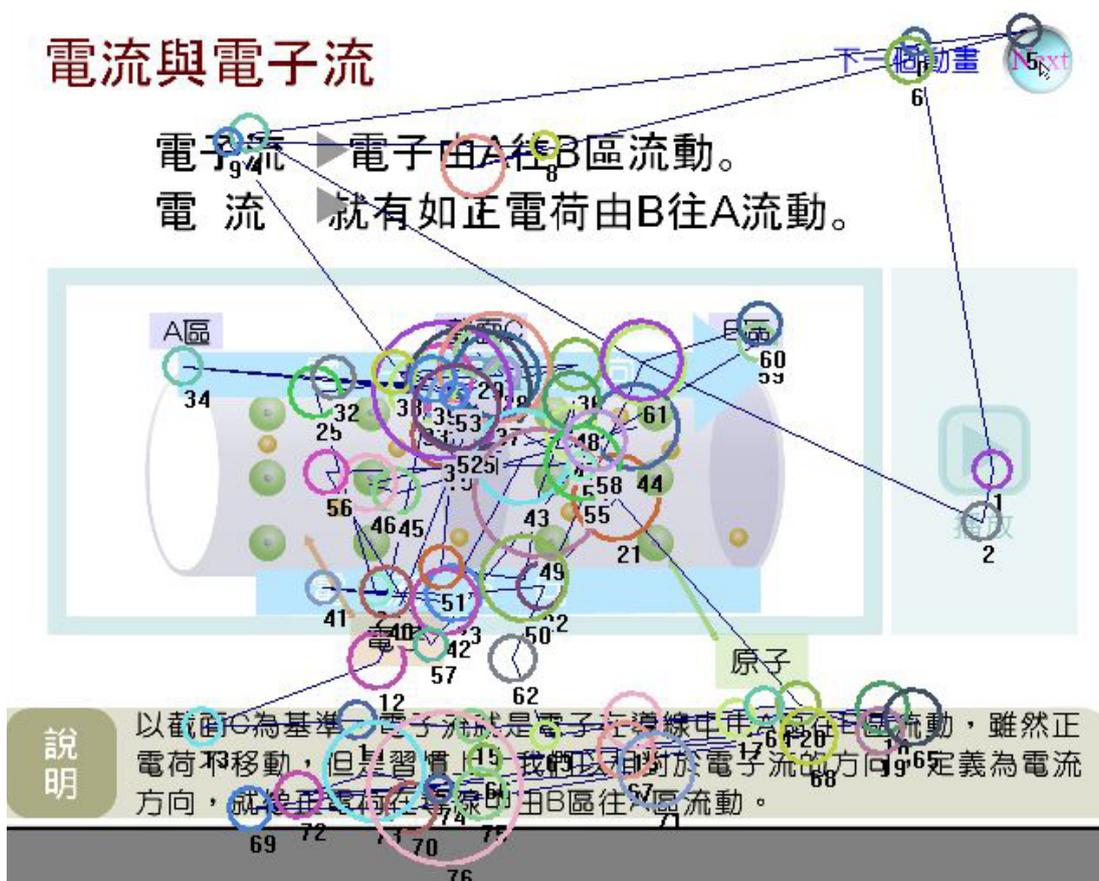


圖 43：代號 E 科學背景教師瀏覽「電流與電子流」動畫之視線軌跡三

一開始瀏覽鑲嵌文字區域，接著瀏覽動畫區截面 C，從第 13 個到第 20 個凝視點瀏覽第一列說明文字，如圖 41，從第 21 點到第 61 點都集中在動畫區，主要瀏覽截面 C、移動中的電子以及標示電子流方向與電流方向的動畫，如圖 42，從第 62 點到第 76 點又回到第二列和第三列的說明文字，如圖 43。由此可知，該科學背景教師並不會依照旁白先瀏覽完說明文字，主要在觀看動畫的運作，最後再回過頭將未看完的說明文字看完。

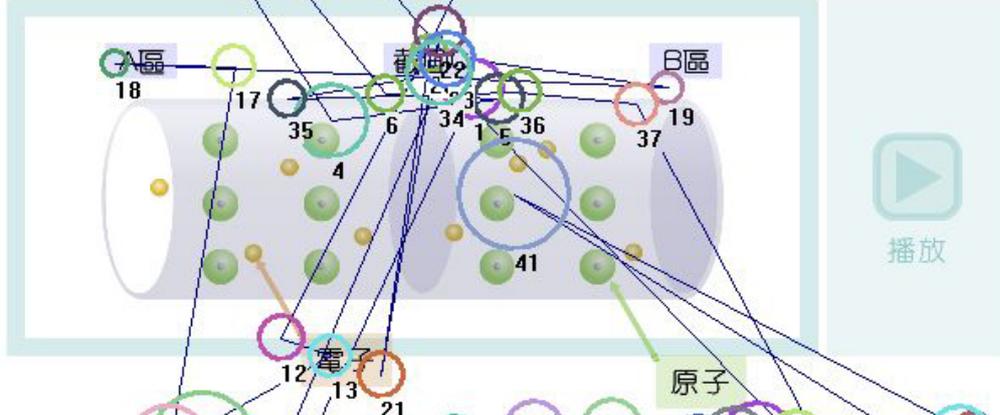
2. 非科學背景教師之視線軌跡分析

一位代號 F 的非科學背景教師觀看「電流與電子流」動畫之視線軌跡，如圖 44、圖 45、圖 46、圖 47，選擇的依據為找該組大部分教師有類似軌跡之典型教師其視線軌跡。

電流與電子流

下一個動畫 

電子流 2 電子由A往B區流動。
電 8 流 3 就有如正電荷由B往A流動。



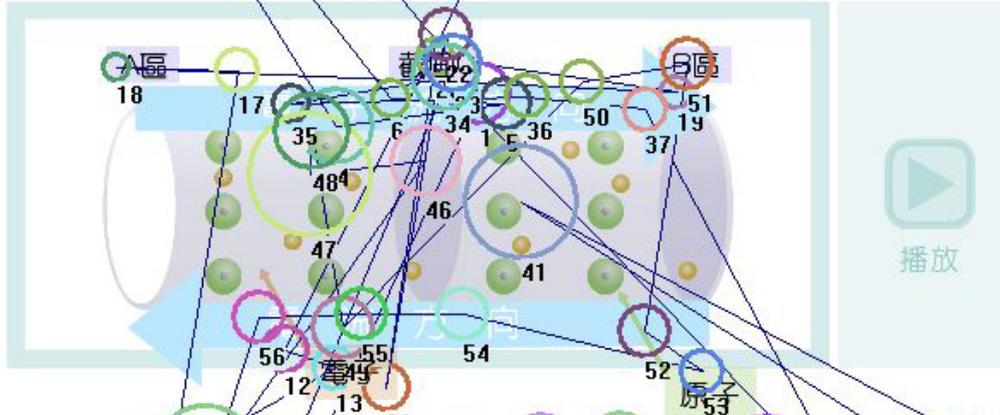
說明 以鐵面為基準，電子流就是電子在導線中由A區往B區流動。雖然正電荷不移動，但是習慣上，我們以相對於電子流動方向，定義為電流方向，就像正電荷在導線中由B區往A區流動。

圖 44：代號 F 非科學背景教師之「電流與電子流」動畫視線軌跡一

電流與電子流

下一個動畫 

電子流 2 電子由A往B區流動。
電 8 流 3 就有如正電荷由B往A流動。



說明 以鐵面為基準，電子流就是電子在導線中由A區往B區流動。雖然正電荷不移動，但是習慣上，我們以相對於電子流動方向，定義為電流方向，就像正電荷在導線中由B區往A區流動。

圖 45：代號 F 非科學背景教師之「電流與電子流」動畫視線軌跡二

電流與電子流

下一個動畫 

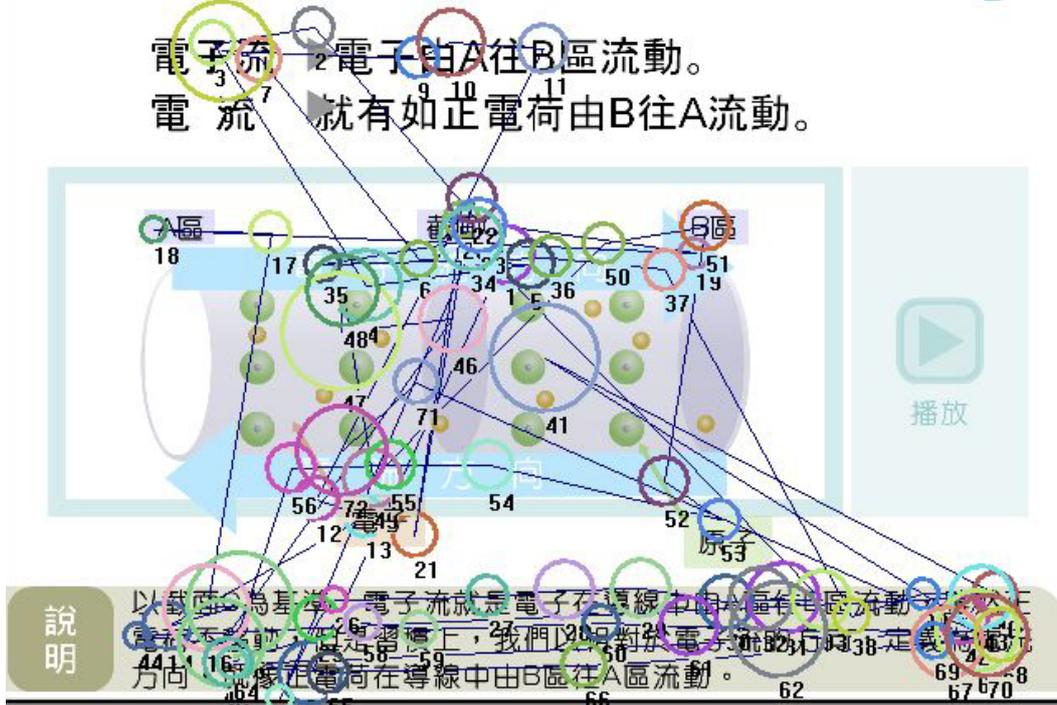


圖 46：代號 F 非科學背景教師之「電流與電子流」動畫視線軌跡三

電流與電子流

下一個動畫 

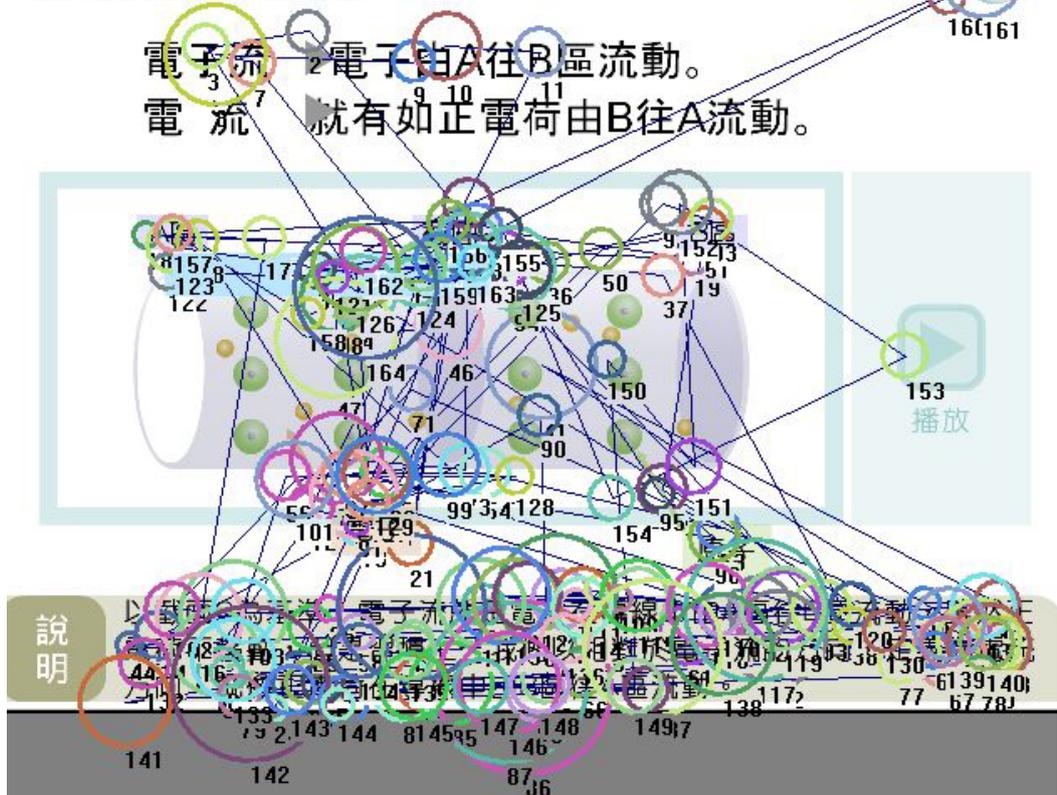


圖 47：代號 F 非科學背景教師之「電流與電子流」動畫視線軌跡四

一開始瀏覽鑲嵌文字區域電子流的說明，接著在說明文字與動畫間來回瀏覽，先看動畫區截面 ABC，繼續瀏覽第一列與第二列說明文字，如圖 44，在動畫區從第 52 到 56 點瀏覽標示電流方向的動畫，如圖 45，從第 57 點到第 70 點又回到第二行和第三行的說明文字，如圖 46，接著同樣在動畫與文字區域間折返瀏覽，動畫區主要觀看圖說文字，較少觀看運動中的電子，如圖 47。由此可知，該非科學背景教師會依照旁白一邊瀏覽說明文字，一邊觀看動畫，看完說明文字後又花了很多時間在動畫與文字區域間穿梭瀏覽。

四、不同學科背景教師之概念改變分析

晤談大綱三「什麼是電流？什麼是電子流？（請繪圖說明）」主要探討教師是否有電流與電子流的概念，是屬於抽象、微觀與過程的心智架構，概念改變分析如表 14。

表 14：電流與電子流的概念改變分析

概念類別	非科學相關 學科背景		科學相關 學科背景	
	前測%	後測%	前測%	後測%
3.什麼是電流？什麼是電子流？（請繪圖說明）				
3-1 什麼是電流				
3-1-1 電流是抽象假想的概念	4.2%	25.0%	40.0%	53.3%
3-1-2 電流是相對於電子流	0.0%	8.3%	6.7%	60.0%
3-1-3 電流就像是正電荷從電池正極往負極流動	4.2%	20.8%	13.3%	26.7%
3-1-4 電流流動方向與電子流相反	4.2%	41.7%	46.7%	80.0%
3-2 什麼是電子流				
3-2-1 電子流流動方向與電流相反	4.2%	37.5%	60.0%	80.0%
3-2-2 電子從電池負極往正極流動	12.5%	79.2%	46.7%	73.3%

由表 14 顯示，非科學相關與科學相關學科背景國小教師在每一個概念類別的人數百分比皆有增加，其中概念類別 3-2-2 有明顯增加，而大部分科學相關學科背景的教師，在動畫教學前已具有「3-1-1 電流是抽象假想的概念」、「3-1-4 電流流動方向與電子流相反」、「3-2-1 電子流流動方向與電流相反」、「3-2-2 電子從電池的負極往正極流動」的概念。

科學與非科學背景教師同樣在 3-2-2 都有進步，非科學背景教師進步幅

度較大，兩組在 3-1-3 進步的幅度卻很小，由動畫二可以發現，科學與非科學背景教師在動畫區凝視點平均時間相近，只有低度實用顯著性差異，由兩組各一位代表 C 和 D 的動畫視線軌跡可以發現，科學背景教師與非科學背景教師都較注意電子流的方向，電流方向凝視點較少，可以呼應眼球追蹤資料，而且大部分的教師在回答何謂電流時，都回答流動方向與電子流反方向，部份科學背景教師則回答電流只是抽象假想的概念或正電荷實際上不會流動，所以概念類別 3-1-3 百分比都很低，導致兩組在概念類別 3-2-2 與 3-1-3 百分比相近，電子流的前後測差異大，電流前後測差異小的結果，且動畫對非科學背景教師有更大的幫助，即當視線軌跡所呈現的注意力分佈點與眼球在分佈區域凝視時間皆相近時，其概念獲得的人數百分比相似，顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。

但科學與非科學背景教師在概念類別 3-1-1、3-1-2、3-1-4 與 3-2-1 答對人數百分比差距極大，科學背景教師明顯高於非科學背景教師。在動畫三中，科學背景教師在動畫區與文字區凝視點平均時間顯著大於非科學背景教師，且 T 值達顯著差異；此外，代表 E 科學背景教師在電子流方向與電流方向的動畫上有很多凝視點，且在「以相對於電子流方向，定義為電流方向」說明文字上有明顯的凝視點；代表 F 非科學背景教師則不斷在動畫與說明文字間來回跳視(saccade)，只注意鑲嵌文字上電子流方向的說明，並沒有看電流方向的說明，可以呼應眼球追蹤資料。另外，動畫中只有電子會移動，電子流方向明顯，電流方向只能參考動畫上的箭頭指示與說明文字，可能造成受試者忽視其電流方向，而有許多的科學背景教師，已有電流概念的先備知識，所以科學背景教師在概念類別 3-1-1、3-1-2、3-1-4 與 3-2-1 的百分比才會明顯高於非科學背景教師；而且動畫中對於概念類別「3-1-1 電流是抽象假想的概念」只有在文字區陳述「正電荷不移動，但是習慣上，我們以相對於電子流的方向，定義為電流方向」，並未直接說明其為抽象假想概念，教學後科學與非科學背景教師各有一部份能將電流類推為抽象假想概念，且科學背景教師的後測百分比 53.3%，高於非科學背景教師的 25.0%，40%的科學背景教師已有先備知識，且眼球追蹤資料顯示科學背景教師在文字區凝視點平均凝視時間顯著高於非科學背景教師，顯示在動畫教學中注意力分佈區域不同確實會影響學習者的概念建構。

第四節 不同學科背景教師觀看「電路中電子流的方向」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析

根據研究問題二「不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫時眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、動畫與文字區域凝視點的平均時間值(mean fixation duration)、動畫與文字區域凝視時間的百分比(percentage)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)有何差異」與研究問題四「不同學科背景之教師在觀看電流教學動畫時，眼球追蹤資料及視線軌跡(scanpath)與電流概念改變有何關係」，本節主要探討36位不同學科背景之國小教師，在觀看「電路中電子流的方向」動畫教學時眼球追蹤系統所記錄資料及觀看動畫時的視線軌跡，與相關概念類別有何關係。

一、眼球追蹤資料動畫與文字區域之範圍

「電路中電子流的方向」鑲嵌文字、動畫與文字區域計算範圍如圖 48。動畫範圍僅計算研究者欲觀察之重要區域，鑲嵌文字指動畫旁與動畫整合之摘要。



圖 48：動畫「電路中電子流的方向」之鑲嵌文字、動畫與文字區域範圍

二、不同學科背景教師眼球追蹤資料之敘述性統計與獨立

樣本 T 檢定分析

「電路中電子流的方向」動畫之眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定如表 15，其中動畫區凝視時間百分比包含動畫區一與動畫區二的凝視時間，動畫區凝視點平均時間為動畫一加上動畫二的凝視時間除以凝視點次數。

表 15：動畫四眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定摘要表

項目	學科背景	人數	平均數	標準差	t	Cohen's d	Effect size																																																																																																																																																																				
鑲嵌文字區凝視點次數	科學相關	15	16.13	12.00	-1.495	-.529	M																																																																																																																																																																				
	非科學相關	21	25.67	22.46				鑲嵌文字區凝視時間	科學相關	15	1904.07	1712.24	-1.094	-.381	S	非科學相關	21	2718.10	2486.30	鑲嵌文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.26349	.19413	-1.645	-.562	M	非科學相關	21	.37989	.21940	鑲嵌文字區凝視點平均時間	科學相關	15	109.60	18.81	1.014	.344	S	非科學相關	21	103.01	19.49	動畫區一凝視點次數	科學相關	15	7.93	8.23	-.006	-.002		非科學相關	21	7.95	9.95	動畫區一凝視時間	科學相關	15	1519.33	1917.77	.292	.098		非科學相關	21	1343.43	1676.86	動畫區二凝視點次數	科學相關	15	18.20	15.86	.272	.090		非科學相關	21	16.90	12.70	動畫區二凝視時間	科學相關	15	3020.67	3413.89	.577	.186		非科學相關	21	2496.71	2026.98	動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	.52311	.25958	.453	.151		非科學相關	21	.48609	.22884	動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	153.8869	33.3216	.479	.164		非科學相關	21	147.8307	39.9891	文字區凝視點次數	科學相關	15	11.07	10.02	-.082	-.028		非科學相關	21	11.52	19.82	文字區凝視時間	科學相關	15	1274.67	1145.81	-.022	-.007		非科學相關	21	1288.14	2217.15	文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.21340	.19567	1.261	.112		非科學相關	21	.13402	.17938	文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M	非科學相關	21	85.7407	41.6765	不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001	
鑲嵌文字區凝視時間	科學相關	15	1904.07	1712.24	-1.094	-.381	S																																																																																																																																																																				
	非科學相關	21	2718.10	2486.30				鑲嵌文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.26349	.19413	-1.645	-.562	M	非科學相關	21	.37989	.21940	鑲嵌文字區凝視點平均時間	科學相關	15	109.60	18.81	1.014	.344	S	非科學相關	21	103.01	19.49	動畫區一凝視點次數	科學相關	15	7.93	8.23	-.006	-.002		非科學相關	21	7.95	9.95	動畫區一凝視時間	科學相關	15	1519.33	1917.77	.292	.098		非科學相關	21	1343.43	1676.86	動畫區二凝視點次數	科學相關	15	18.20	15.86	.272	.090		非科學相關	21	16.90	12.70	動畫區二凝視時間	科學相關	15	3020.67	3413.89	.577	.186		非科學相關	21	2496.71	2026.98	動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	.52311	.25958	.453	.151		非科學相關	21	.48609	.22884	動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	153.8869	33.3216	.479	.164		非科學相關	21	147.8307	39.9891	文字區凝視點次數	科學相關	15	11.07	10.02	-.082	-.028		非科學相關	21	11.52	19.82	文字區凝視時間	科學相關	15	1274.67	1145.81	-.022	-.007		非科學相關	21	1288.14	2217.15	文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.21340	.19567	1.261	.112		非科學相關	21	.13402	.17938	文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M	非科學相關	21	85.7407	41.6765	不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001		非科學相關	21	11431.19	7188.98								
鑲嵌文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.26349	.19413	-1.645	-.562	M																																																																																																																																																																				
	非科學相關	21	.37989	.21940				鑲嵌文字區凝視點平均時間	科學相關	15	109.60	18.81	1.014	.344	S	非科學相關	21	103.01	19.49	動畫區一凝視點次數	科學相關	15	7.93	8.23	-.006	-.002		非科學相關	21	7.95	9.95	動畫區一凝視時間	科學相關	15	1519.33	1917.77	.292	.098		非科學相關	21	1343.43	1676.86	動畫區二凝視點次數	科學相關	15	18.20	15.86	.272	.090		非科學相關	21	16.90	12.70	動畫區二凝視時間	科學相關	15	3020.67	3413.89	.577	.186		非科學相關	21	2496.71	2026.98	動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	.52311	.25958	.453	.151		非科學相關	21	.48609	.22884	動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	153.8869	33.3216	.479	.164		非科學相關	21	147.8307	39.9891	文字區凝視點次數	科學相關	15	11.07	10.02	-.082	-.028		非科學相關	21	11.52	19.82	文字區凝視時間	科學相關	15	1274.67	1145.81	-.022	-.007		非科學相關	21	1288.14	2217.15	文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.21340	.19567	1.261	.112		非科學相關	21	.13402	.17938	文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M	非科學相關	21	85.7407	41.6765	不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001		非科學相關	21	11431.19	7188.98																				
鑲嵌文字區凝視點平均時間	科學相關	15	109.60	18.81	1.014	.344	S																																																																																																																																																																				
	非科學相關	21	103.01	19.49				動畫區一凝視點次數	科學相關	15	7.93	8.23	-.006	-.002		非科學相關	21	7.95	9.95	動畫區一凝視時間	科學相關	15	1519.33	1917.77	.292	.098		非科學相關	21	1343.43	1676.86	動畫區二凝視點次數	科學相關	15	18.20	15.86	.272	.090		非科學相關	21	16.90	12.70	動畫區二凝視時間	科學相關	15	3020.67	3413.89	.577	.186		非科學相關	21	2496.71	2026.98	動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	.52311	.25958	.453	.151		非科學相關	21	.48609	.22884	動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	153.8869	33.3216	.479	.164		非科學相關	21	147.8307	39.9891	文字區凝視點次數	科學相關	15	11.07	10.02	-.082	-.028		非科學相關	21	11.52	19.82	文字區凝視時間	科學相關	15	1274.67	1145.81	-.022	-.007		非科學相關	21	1288.14	2217.15	文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.21340	.19567	1.261	.112		非科學相關	21	.13402	.17938	文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M	非科學相關	21	85.7407	41.6765	不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001		非科學相關	21	11431.19	7188.98																																
動畫區一凝視點次數	科學相關	15	7.93	8.23	-.006	-.002																																																																																																																																																																					
	非科學相關	21	7.95	9.95				動畫區一凝視時間	科學相關	15	1519.33	1917.77	.292	.098		非科學相關	21	1343.43	1676.86	動畫區二凝視點次數	科學相關	15	18.20	15.86	.272	.090		非科學相關	21	16.90	12.70	動畫區二凝視時間	科學相關	15	3020.67	3413.89	.577	.186		非科學相關	21	2496.71	2026.98	動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	.52311	.25958	.453	.151		非科學相關	21	.48609	.22884	動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	153.8869	33.3216	.479	.164		非科學相關	21	147.8307	39.9891	文字區凝視點次數	科學相關	15	11.07	10.02	-.082	-.028		非科學相關	21	11.52	19.82	文字區凝視時間	科學相關	15	1274.67	1145.81	-.022	-.007		非科學相關	21	1288.14	2217.15	文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.21340	.19567	1.261	.112		非科學相關	21	.13402	.17938	文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M	非科學相關	21	85.7407	41.6765	不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001		非科學相關	21	11431.19	7188.98																																												
動畫區一凝視時間	科學相關	15	1519.33	1917.77	.292	.098																																																																																																																																																																					
	非科學相關	21	1343.43	1676.86				動畫區二凝視點次數	科學相關	15	18.20	15.86	.272	.090		非科學相關	21	16.90	12.70	動畫區二凝視時間	科學相關	15	3020.67	3413.89	.577	.186		非科學相關	21	2496.71	2026.98	動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	.52311	.25958	.453	.151		非科學相關	21	.48609	.22884	動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	153.8869	33.3216	.479	.164		非科學相關	21	147.8307	39.9891	文字區凝視點次數	科學相關	15	11.07	10.02	-.082	-.028		非科學相關	21	11.52	19.82	文字區凝視時間	科學相關	15	1274.67	1145.81	-.022	-.007		非科學相關	21	1288.14	2217.15	文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.21340	.19567	1.261	.112		非科學相關	21	.13402	.17938	文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M	非科學相關	21	85.7407	41.6765	不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001		非科學相關	21	11431.19	7188.98																																																								
動畫區二凝視點次數	科學相關	15	18.20	15.86	.272	.090																																																																																																																																																																					
	非科學相關	21	16.90	12.70				動畫區二凝視時間	科學相關	15	3020.67	3413.89	.577	.186		非科學相關	21	2496.71	2026.98	動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	.52311	.25958	.453	.151		非科學相關	21	.48609	.22884	動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	153.8869	33.3216	.479	.164		非科學相關	21	147.8307	39.9891	文字區凝視點次數	科學相關	15	11.07	10.02	-.082	-.028		非科學相關	21	11.52	19.82	文字區凝視時間	科學相關	15	1274.67	1145.81	-.022	-.007		非科學相關	21	1288.14	2217.15	文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.21340	.19567	1.261	.112		非科學相關	21	.13402	.17938	文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M	非科學相關	21	85.7407	41.6765	不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001		非科學相關	21	11431.19	7188.98																																																																				
動畫區二凝視時間	科學相關	15	3020.67	3413.89	.577	.186																																																																																																																																																																					
	非科學相關	21	2496.71	2026.98				動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	.52311	.25958	.453	.151		非科學相關	21	.48609	.22884	動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	153.8869	33.3216	.479	.164		非科學相關	21	147.8307	39.9891	文字區凝視點次數	科學相關	15	11.07	10.02	-.082	-.028		非科學相關	21	11.52	19.82	文字區凝視時間	科學相關	15	1274.67	1145.81	-.022	-.007		非科學相關	21	1288.14	2217.15	文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.21340	.19567	1.261	.112		非科學相關	21	.13402	.17938	文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M	非科學相關	21	85.7407	41.6765	不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001		非科學相關	21	11431.19	7188.98																																																																																
動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	.52311	.25958	.453	.151																																																																																																																																																																					
	非科學相關	21	.48609	.22884				動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	153.8869	33.3216	.479	.164		非科學相關	21	147.8307	39.9891	文字區凝視點次數	科學相關	15	11.07	10.02	-.082	-.028		非科學相關	21	11.52	19.82	文字區凝視時間	科學相關	15	1274.67	1145.81	-.022	-.007		非科學相關	21	1288.14	2217.15	文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.21340	.19567	1.261	.112		非科學相關	21	.13402	.17938	文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M	非科學相關	21	85.7407	41.6765	不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001		非科學相關	21	11431.19	7188.98																																																																																												
動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	153.8869	33.3216	.479	.164																																																																																																																																																																					
	非科學相關	21	147.8307	39.9891				文字區凝視點次數	科學相關	15	11.07	10.02	-.082	-.028		非科學相關	21	11.52	19.82	文字區凝視時間	科學相關	15	1274.67	1145.81	-.022	-.007		非科學相關	21	1288.14	2217.15	文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.21340	.19567	1.261	.112		非科學相關	21	.13402	.17938	文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M	非科學相關	21	85.7407	41.6765	不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001		非科學相關	21	11431.19	7188.98																																																																																																								
文字區凝視點次數	科學相關	15	11.07	10.02	-.082	-.028																																																																																																																																																																					
	非科學相關	21	11.52	19.82				文字區凝視時間	科學相關	15	1274.67	1145.81	-.022	-.007		非科學相關	21	1288.14	2217.15	文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.21340	.19567	1.261	.112		非科學相關	21	.13402	.17938	文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M	非科學相關	21	85.7407	41.6765	不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001		非科學相關	21	11431.19	7188.98																																																																																																																				
文字區凝視時間	科學相關	15	1274.67	1145.81	-.022	-.007																																																																																																																																																																					
	非科學相關	21	1288.14	2217.15				文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.21340	.19567	1.261	.112		非科學相關	21	.13402	.17938	文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M	非科學相關	21	85.7407	41.6765	不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001		非科學相關	21	11431.19	7188.98																																																																																																																																
文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.21340	.19567	1.261	.112																																																																																																																																																																					
	非科學相關	21	.13402	.17938				文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M	非科學相關	21	85.7407	41.6765	不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001		非科學相關	21	11431.19	7188.98																																																																																																																																												
文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.4970	39.1271	1.583	.538	M																																																																																																																																																																				
	非科學相關	21	85.7407	41.6765				不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001		非科學相關	21	11431.19	7188.98																																																																																																																																																								
不分區總凝視時間	科學相關	15	11442.80	8558.77	.004	.001																																																																																																																																																																					
	非科學相關	21	11431.19	7188.98																																																																																																																																																																							

註：1. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. Cohen's d 值中，S 表示 $0.2 < \text{Cohen's } d < 0.5$, effect size=small; M 表示 $0.5 < \text{Cohen's } d < 0.8$, effect size=medium; L 表示 $\text{Cohen's } d > 0.8$, effect size=large

3. 不分區總凝視時間指觀看整個完整動畫且包含所有區域之凝視時間

4. 鑲嵌文字區指動畫旁與動畫整合之摘要文字，與文字區之說明文字不同

由表 15 可發現，在「鑲嵌文字區凝視點平均時間」、「動畫區凝視點次數」、「動畫區凝視時間」、「動畫區凝視時間百分比」、「動畫區凝視點平均時間」、「文字區凝視時間百分比」、「文字區凝視點平均時間」及「不分區總凝視時間」項目，科學背景教師的平均數都大於非科學背景教師；而在「鑲嵌文字區凝視點次數」、「鑲嵌文字區凝視時間」、「鑲嵌文字區凝視時間百分比」、「文字區凝視點次數」及「文字區凝視時間」項目，非科學背景教師的平均數大於科學背景教師。表示科學背景教師花較多的時間凝視動畫區域，在動畫區域有較多的凝視次數，注視動畫與文字區域的時間比例較高，鑲嵌文字、動畫與文字區每個凝視點平均時間較長，不分區總凝視時間也較長；非科學背景教師則花較多的時間注視鑲嵌文字與文字區域，在鑲嵌文字與文字區域有較多的凝視點次數，注視鑲嵌文字區域的時間比例也較高。

進行 T 考驗結果顯示，「鑲嵌文字區凝視點次數」、「鑲嵌文字區凝視時間百分比」與「文字區凝視點平均時間」項目的 Cohen's d 值達中度實用顯著性差異，「鑲嵌文字區凝視時間」及「鑲嵌文字區凝視點平均時間」項目的 Cohen's d 值達低度實用顯著性差異，表示不同學科背景教師在動畫四的眼球追蹤資料，包括：鑲嵌文字區域的凝視點次數、凝視時間、凝視點平均時間與凝視時間的百分比，及文字區凝視點平均時間都有實用顯著性差異。

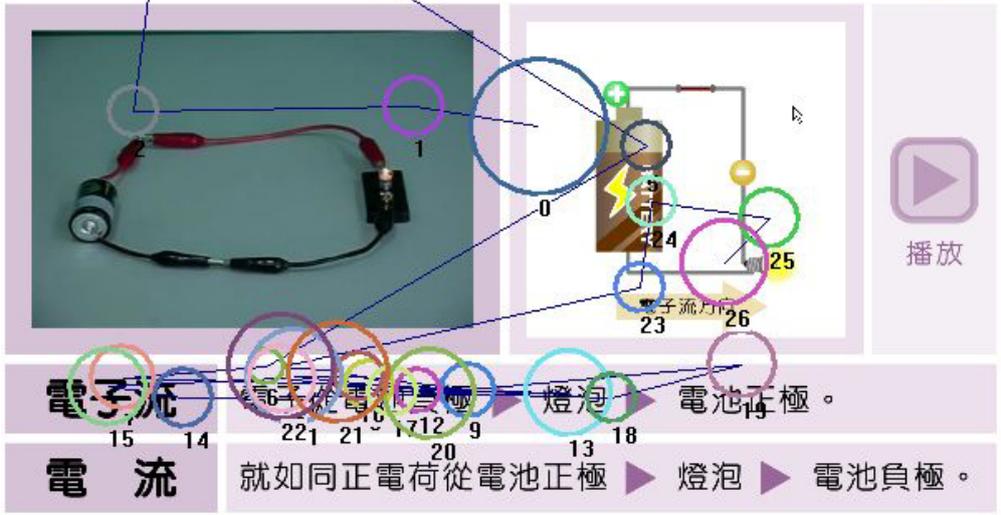
三、不同學科背景教師之視線軌跡分析

(一) 科學背景教師之視線軌跡分析

一位代號 G 的科學背景教師觀看「電路中電子流的方向」動畫之視線軌跡，如圖 49、圖 50、圖 51 及圖 52，選擇的依據為找該組大部分教師有類似軌跡之典型教師其視線軌跡。

電路中電子流的方向

下一個動畫 



電子流 電子從電池負極 → 燈泡 → 電池正極。

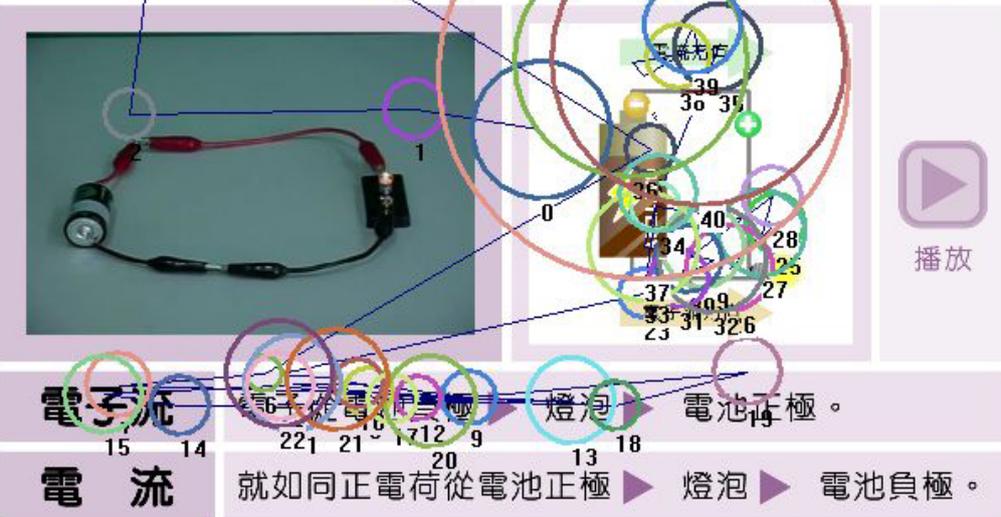
電流 就如同正電荷從電池正極 → 燈泡 → 電池負極。

說明 電子流，就如同電路中，電子從電池的負極經過燈泡回到電池的正極。而電流，就如同正電荷從電池的正極經過燈泡再回到電池的負極。

圖 49：代號 G 科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡一

電路中電子流的方向

下一個動畫 

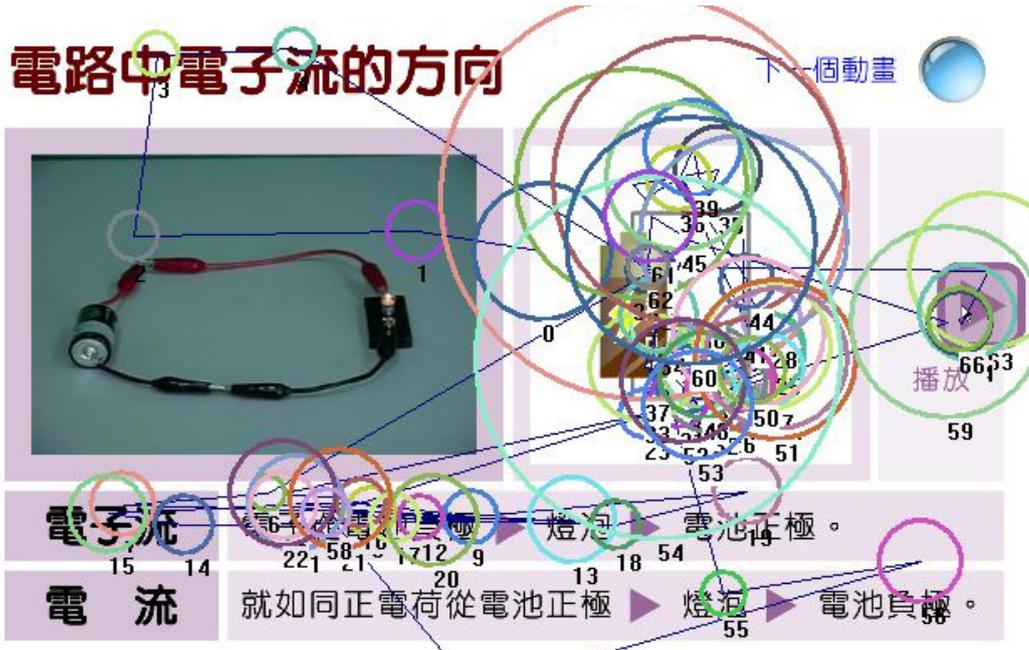


電子流 電子從電池負極 → 燈泡 → 電池正極。

電流 就如同正電荷從電池正極 → 燈泡 → 電池負極。

說明 電子流，就如同電路中，電子從電池的負極經過燈泡回到電池的正極。而電流，就如同正電荷從電池的正極經過燈泡再回到電池的負極。

圖 50：代號 G 科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡二



說明 電子流，就如同電路中，電子從電池的負極經過燈泡回到電池的正極。而電流，就如同正電荷從電池的正極經過燈泡再回到電池的負極。

圖 51：代號 G 科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡三

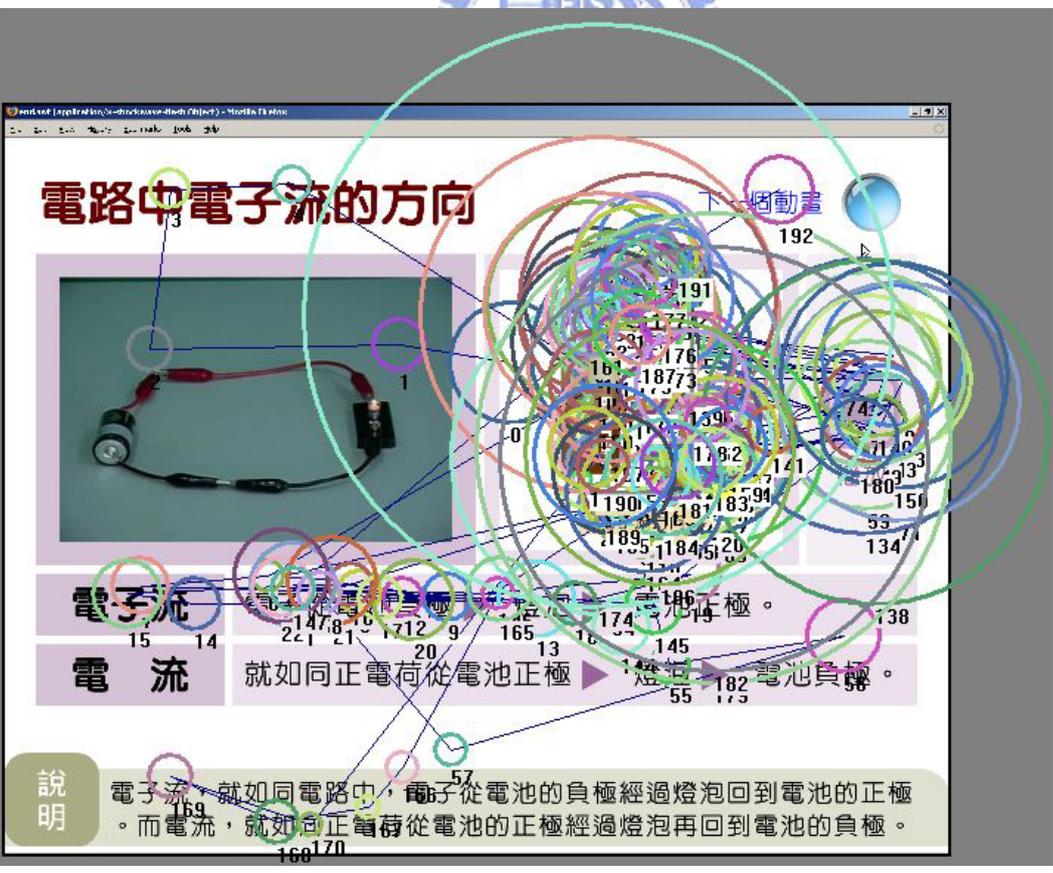


圖 52：代號 G 科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡四

一開始瀏覽鑲嵌文字區域電子流的部份，如圖 49，接著瀏覽動畫中電池負極，並跟著動畫上電荷移動轉移凝視的位置，如第 36 個到第 46 個凝視點，其中第 36 和 37 點凝視時間較長，剛好隨著負電荷回到正極，正電荷從正極離開，經過燈泡，如圖 50，第 54 個凝視點時間也較長，正電荷回到負極，接著從第 55 點到第 58 點瀏覽鑲嵌文字，繼續回到動畫區，在重播按鈕和動畫間隨電荷移動改變凝視位置，如圖 51，在第 166 點到第 170 點到說明文字區，第 171 到 192 點又返回動畫區，其中第 174 與 182 點凝視較久，如圖 52。由此可知，該科學背景教師並不會依照旁白先瀏覽完說明文字，主要跟隨動畫物件的移動而改變凝視位置，最後才再回過頭瀏覽一下說明文字。

(二) 非科學背景教師之視線軌跡分析

一位代號 D 的非科學背景教師觀看「電路中電子流的方向」動畫之視線軌跡，如圖 53、圖 54 及圖 55，選擇的依據為找該組大部分教師有類似軌跡之典型教師其視線軌跡。

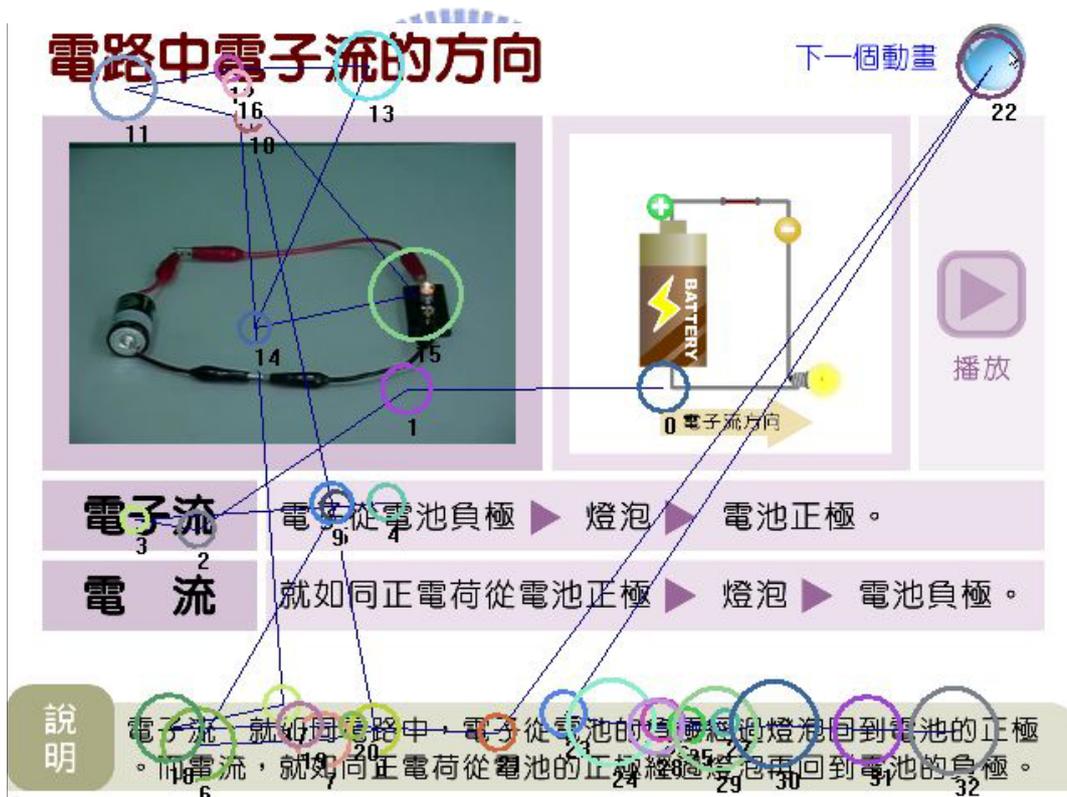


圖 53：代號 D 非科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡一

電路中電子流的方向

電流方向

電子流方向

電子流 電子從電池負極 ▶ 燈泡 ▶ 電池正極。

電流 就如同正電荷從電池正極 ▶ 燈泡 ▶ 電池負極。

說明

電路中，電子在電路中，電子從電池的負極經過燈泡回到電池的正極。就如同正電荷從電池的正極經過燈泡回到電池的負極。

圖 54：代號 D 非科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡二

電路中電子流的方向

電流方向

電子流方向

電子流 電子從電池負極 ▶ 燈泡 ▶ 電池正極。

電流 就如同正電荷從電池正極 ▶ 燈泡 ▶ 電池負極。

說明

電路中，電子在電路中，電子從電池的負極經過燈泡回到電池的正極。就如同正電荷從電池的正極經過燈泡回到電池的負極。

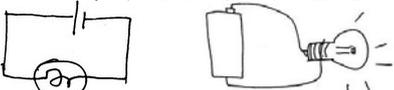
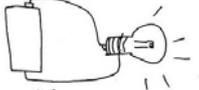
圖 55：代號 D 非科學背景教師之「電路中電子流的方向」動畫視線軌跡三

一開始依旁白瀏覽標題、靜態巨觀圖片，接著從第 17 到 110 點在說明文字區左右瀏覽數次，如圖 53 及圖 54，接著到動畫區從第 111 到 125 點，在正極、負極及燈泡間來回瀏覽，如圖 55。由此可知，該非科學背景教師會依照旁白瀏覽說明文字，並花了很多時間反覆觀看，看完說明文字後花少許時間在動畫元件間穿梭瀏覽。

四、不同學科背景教師之概念改變分析

晤談大綱一「有導線、電池與燈泡三種材料，要怎麼連接才能形成通路？電池為何可以使燈泡發光？形成通路後，導線內會有什麼變化？（請繪圖說明）」主要探討教師是否有通路的概念，是屬於巨觀、抽象、物質與過程的心智架構，概念改變分析如表 16。

表 16：通路、燈泡發光與通電導線內變化的概念改變分析

概念類別	非科學相關 學科背景		科學相關 學科背景	
	前測%	後測%	前測%	後測%
1 有導線、電池與燈泡三種材料，要怎麼連接才能形成通路？電池為何可以使燈泡發光？形成通路後，導線內會有什麼變化？（請繪圖說明）				
1-1 有導線、電池與燈泡三種材料，要怎麼連接才能形成通路？（請繪圖說明）				
1-1-1 以導線連接電池與燈泡形成通路				
	83.3%	87.5%	100.0%	100.0%
1-1-2 圖示中電池正負極與燈泡接點正確連接				
	45.8%	41.7%	93.3%	100.0%
1-2 為何可以使燈泡發光？				
1-2-1 有電	79.2%	66.7%	80.0%	80.0%
1-2-2 鎢絲是高電阻	20.8%	12.5%	33.3%	20.0%
1-2-3 鎢絲溫度達到一定溫度會發光	25.0%	58.3%	53.3%	73.3%
1-2-4 電位差	0.0%	33.3%	0.0%	26.7%
1-3 形成通路後，導線內會有什麼變化？				
1-3-1 有電流	54.2%	29.2%	60.0%	20.0%
1-3-2 有電子流	29.3%	50.0%	40.0%	86.7%
1-3-3 有電場	0.0%	0.0%	6.7%	6.7%
1-3-4 有磁場	4.2%	4.2%	0.0%	6.7%

由表 16 顯示，在概念類別「1-1-2 圖示中電池正負極與燈泡接點正確連接」，科學背景教師的概念後測百分比遠大於非科學背景教師，且非科學背景教師後測低於前測，在動畫四中，科學背景教師在動畫區一及動畫區二凝視時間與動畫區凝視點平均時間較非科學教師長，由視線軌跡可以發現，代表 G 之科學背景教師一開始就凝視負極、燈泡接點與正極，且花很多的時間在動畫上，代表 D 之非科學背景教師在動畫上凝視的次數較少，時間也較短，可能沒有注意到這部份的細節，所以部份教師在繪圖說明時，直接將正負極連結到燈泡的兩側或底端，可見其視線軌跡所呈現的注意力分佈點及眼球在動畫區凝視點平均時間與其在 1-1-1 與 1-1-2 上概念獲得百分比差別大有關，顯示在動畫教學中注意力分佈區域不同確實會影響學習者的概念建構。

此外，非科學相關與科學相關學科背景國小教師皆在概念類別 1-2-3、1-2-4 與 1-3-2 的人數百分比有明顯增加，由動畫的視線軌跡發現，科學與非科學背景教師都有注視說明文字中關於「電位差」與「鎢絲溫度達到一定溫度會發光」，及鑲嵌文字的「電子流」部份，使兩組都在電流動畫教學後建構概念。

然而，概念類別「1-3-1 有電流」相對於「1-3-2 有電子流」，回答該概念類別的教師人數明顯少了許多，而通路中「有電子流」，則顯示科學教師遠多於非科學教師回答此概念，除了科學背景教師可能已有電子流的先備知識外，由兩組的眼球追蹤資料可以發現，在鑲嵌文字區域的凝視點與凝視時間有顯著差異，代表 G 和代表 D 的視線軌跡發現集中在電子流的說明；看完動畫後了解導線內真正流動的是電子流，電流只是假想出來的，可能是導致 1-3-2 後測大幅進步，而 1-3-1 後測大幅退步的原因。

第五節 不同學科背景教師觀看「電子通過導線的方式」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析

根據研究問題二「不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫時眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、動畫與文字區域凝視點的平均時間值(mean fixation duration)、動畫與文字區域凝視時間的百分比(percentage)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)有何差異」與研究問題四「不同學科背景之教師在觀看電流教學動畫時，眼球追蹤資料及視線軌跡(scanpath)與電流概念改變有何關係」，本節主要探討36位不同學科背景之國小教師，在觀看「電子通過導線的方式」動畫教學時眼球追蹤系統所記錄資料及觀看動畫時的視線軌跡，與相關概念類別有何關係。

一、眼球追蹤資料動畫與文字區域之範圍

「電子通過導線的方式」動畫與文字區域計算範圍如圖 56，動畫範圍僅計算研究者欲觀察之重要區域。

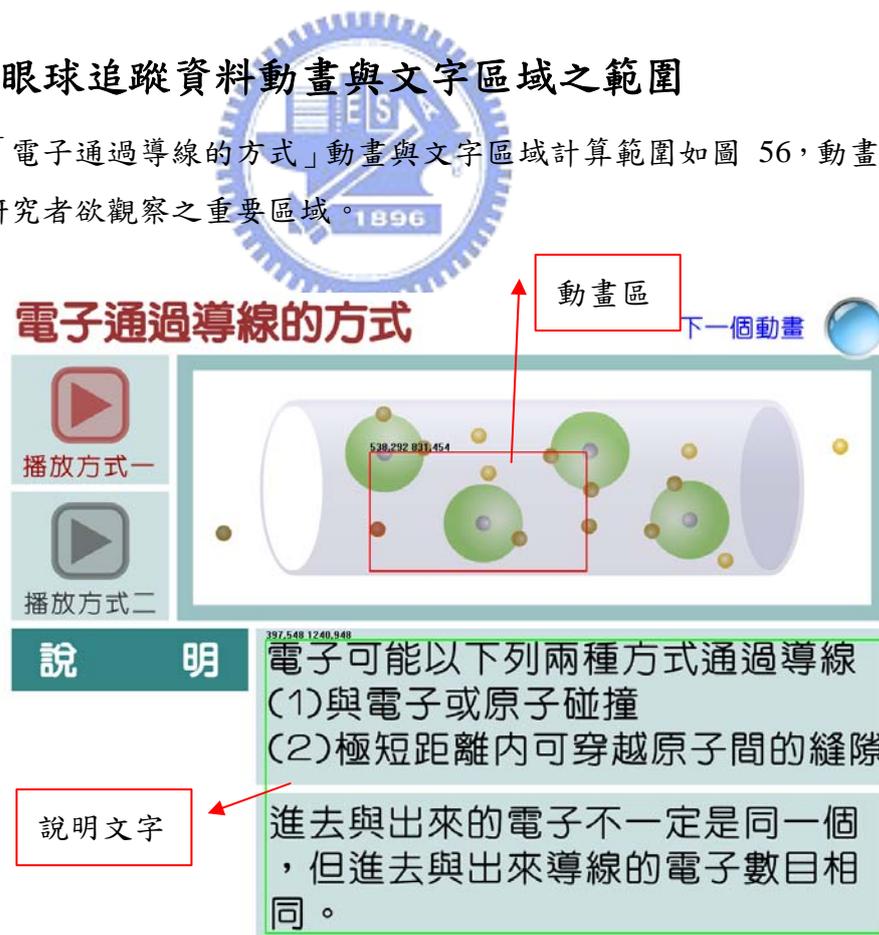


圖 56：動畫「電子通過導線的方式」之動畫與文字區域範圍

二、不同學科背景教師眼球追蹤資料之敘述性統計與獨立

樣本 T 檢定分析

「電子通過導線的方式」動畫之眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定如表 17。

表 17：動畫五眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定摘要表

項目	學科背景	人數	平均數	標準差	t	Cohen's <i>d</i>	Effect size
動畫區凝視點次數	科學相關	15	23.33	10.04	1.650	.570	M
	非科學相關	21	16.62	13.26			
動畫區凝視時間	科學相關	15	3864.33	1928.53	1.891	.643	M
	非科學相關	21	2573.90	2079.17			
動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	.39535	.15372	1.876	.638	M
	非科學相關	21	.29309	.16623			
動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	161.83688	38.72559	.935	.313	S
	非科學相關	21	150.12929	35.83987			
文字區凝視點次數	科學相關	15	57.00	25.83	-.077	-.026	
	非科學相關	21	57.76	31.19			
文字區凝視時間	科學相關	15	5946.80	2683.36	-.112	-.038	
	非科學相關	21	6066.86	3471.64			
文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.60465	.15372	-1.876	-.638	M
	非科學相關	21	.70691	.16623			
文字區凝視點平均時間	科學相關	15	104.11143	13.13219	.219	.074	
	非科學相關	21	103.06839	14.74875			
不分區總凝視時間	科學相關	15	15559.47	5624.43	1.060	.366	S
	非科學相關	21	13185.76	7242.79			

註：1. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2. Cohen's *d* 值中，S 表示 $0.2 < \text{Cohen's } d < 0.5$, effect size=small; M 表示 $0.5 < \text{Cohen's } d < 0.8$, effect size=medium; L 表示 $\text{Cohen's } d > 0.8$, effect size=large

3. 不分區總凝視時間指觀看整個完整動畫且包含所有區域之凝視時間

由表 17 可發現，在「動畫區凝視點次數」、「動畫區凝視時間」、「動畫區凝視時間百分比」、「動畫區凝視點平均時間」、「文字區凝視點平均時間」及「不分區總凝視時間」項目，科學背景教師的平均數都大於非科學背景教師；而在「文字區凝視點次數」、「文字區凝視時間」及「文字區凝視時間百分比」項目，非科學背景教師的平均數大於科學背景教師。表示科學背景教師花較多的時間注視動畫區域，在動畫區域有較多的凝視次數，注視動畫區域的時間比例較高，動畫與文字區域每個凝視點所停留的時間較長，不分區總凝視時間也較長；非科學背景教師則花較多的時間注視文字區域，在文字區域有較多的凝視次數，注視文字區域的時間比例較高。

進行 T 考驗結果顯示，「動畫區凝視點次數」、「動畫區凝視時間」、「動畫區凝視時間百分比」及「文字區凝視時間百分比」項目的 Cohen's d 值達中度實用顯著性差異，「動畫區凝視點平均時間」及「不分區總凝視時間」項目的 Cohen's d 值達低度實用顯著性差異，表示不同學科背景教師在動畫五的眼球追蹤資料，包括：動畫區域的凝視點次數與凝視時間，動畫及文字區凝視時間的百分比，動畫區凝視點平均時間及不分區總凝視時間都有實用顯著性差異。



三、不同學科背景教師之視線軌跡分析

(一) 科學背景教師之視線軌跡分析

一位代號 H 的科學背景教師觀看「電子通過導線的方式」動畫之視線軌跡，如圖 57、圖 58、圖 59 及圖 60，選擇的依據為找該組大部分教師有類似軌跡之典型教師其視線軌跡。

電子通過導線的方式

下一個動畫



播放方式一
13
14
播放方式二

說明

電子可能以下列兩種方式通過導線
(1)與電子或原子碰撞

圖 57：代號 H 科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡一



電子通過導線的方式

下一個動畫



播放方式一
13
3714
播放方式二

說明

電子可能以下列兩種方式通過導線
(1)與電子或原子碰撞
(2)極短距離內以「鑽」原子間的縫隙
進去與出來的電子不一定是同一個
，但進去與出來導線的電子數目相
同。

圖 58：代號 H 科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡二

看完第一行說明文字後，播放第一個動畫，視線跟隨電子碰撞軌跡，如圖 57，接著跟隨旁白與說明文字的出現，瀏覽兩段說明文字，並在動畫與文字間來回對照，如圖 58，看完說明文字後，播放第一個與第二個動畫，視線同時跟隨電子運動的方向移動，如圖 59，重複播放兩個動畫，其中第 136 個點凝視時間較久，如圖 60。由此可知，該科學背景教師除了依照旁白瀏覽說明文字，同時也觀看動畫元件的動作，在動畫與文字區間來回折返，看完說明文字後，兩種動畫各播放兩次，視線都會跟隨電子運動軌跡移動，大部分時間都在觀看動畫。

(二) 非科學背景教師之視線軌跡分析

一位代號 D 的非科學背景教師觀看「電子通過導線的方式」動畫之視線軌跡，如圖 61、圖 62、圖 63、圖 64，選擇的依據為找該組大部分教師有類似軌跡之典型教師其視線軌跡。

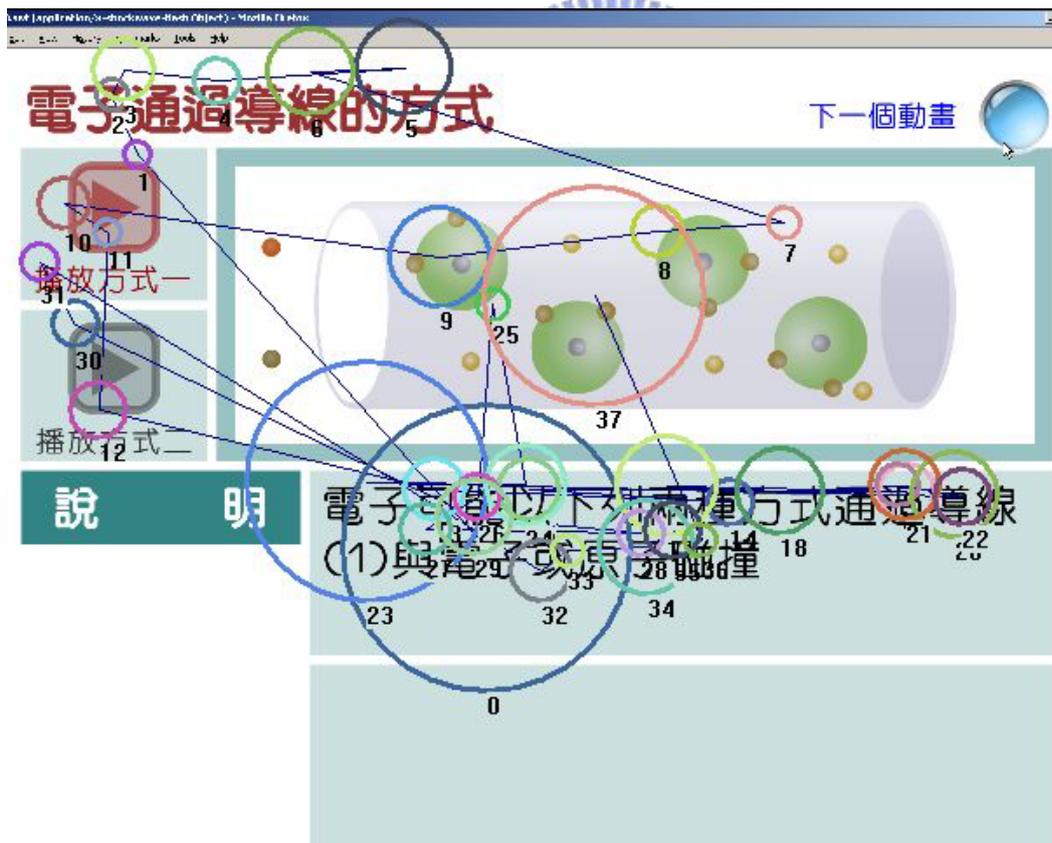


圖 61：代號 D 非科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡一

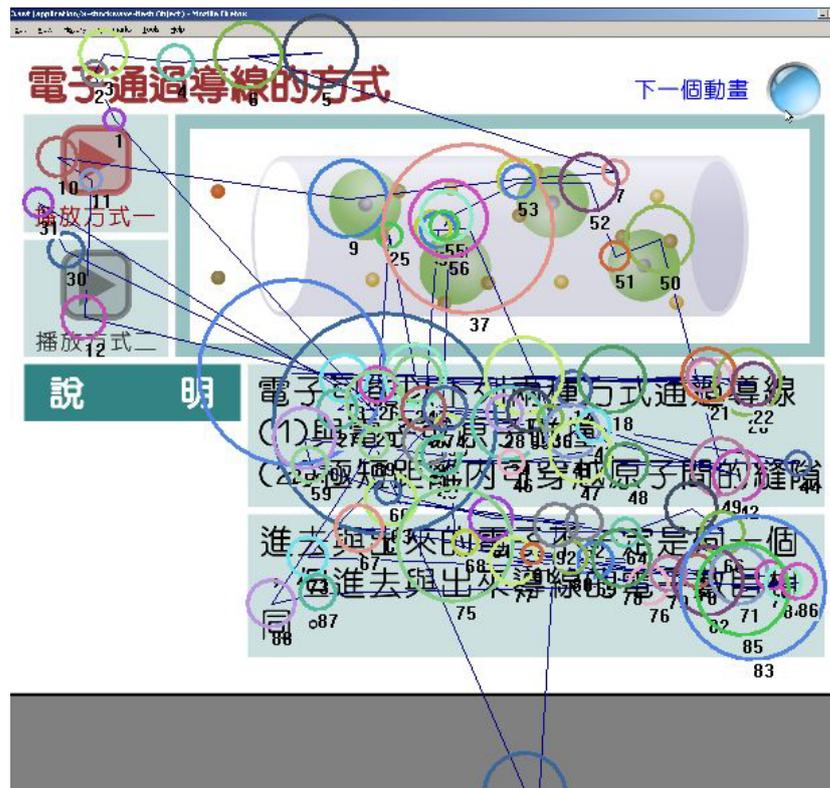


圖 62：代號 D 非科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡二

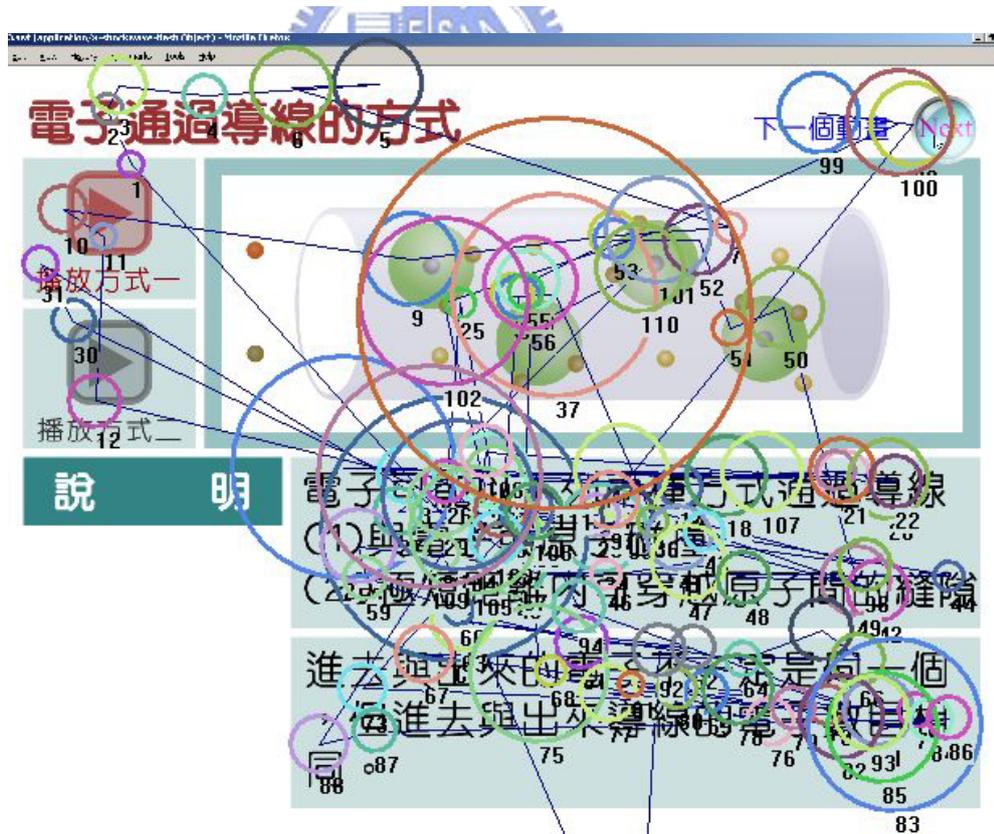


圖 63：代號 D 非科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡三

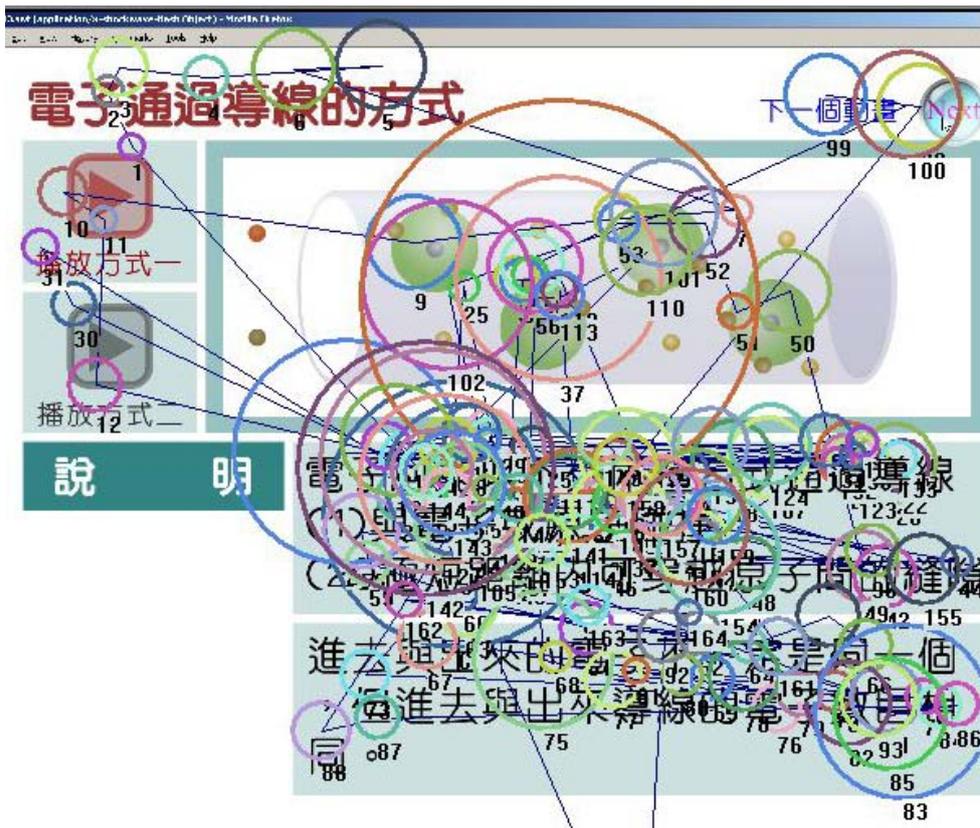


圖 64：代號 D 非科學背景教師之「電子通過導線的方式」動畫視線軌跡四

依旁白瀏覽標題後，接著瀏覽說明文字，並在動畫與文字區間折返瀏覽，如圖 61，第一段說明文字看完後，從第 50 到 56 個點，瀏覽動畫的元件，再繼續瀏覽第二段文字，中間有一個凝視點超出視窗範圍外，可能是暫時分心所致，如圖 62，重複瀏覽第一段文字時，同樣會在動畫與文字區間折返瀏覽，其中第 111 個點凝視時間較長，凝視動畫上的物件，如圖 63，接下來集中瀏覽文字區，偶爾在動畫與文字區間折返瀏覽，如圖 64。由此可知，該非科學背景教師會依照旁白一邊瀏覽說明文字，一邊觀看動畫，大部分的時間都在瀏覽說明文字。

由以上的視線軌跡可以發現，科學與非科學背景教師在觀看「電子通過導線的方式」動畫中的凝視區域相似，因此，兩者的注意力分佈是相似的。

四、不同學科背景教師之概念改變分析

晤談大綱 4-1「電子通過導線的方式有哪些？」主要探討教師是否有電子通過導線方式的概念，是屬於抽象、微觀、物質與過程的心智架構，概念改變分析如表 18。

表 18：電子通過導線方式的概念改變分析

概念類別	非科學相關 學科背景		科學相關 學科背景	
	前測%	後測%	前測%	後測%
4-1 請從微觀的角度來解釋電子通過導線的方式有哪些？（請繪圖說明）				
4-1-1 電子大致往同一方向移動	33.3%	16.7%	6.7%	0.0%
4-1-2 電子經由碰撞穿越	41.7%	83.3%	66.7%	93.3%
4-1-3 電子直接穿越	0.0%	62.5%	20.0%	73.3%

由表 18 顯示，在教學前，科學與非科學背景教師約有一半能回答概念類別「4-1-2 電子經由碰撞穿越」，而缺乏「4-1-3 電子直接穿越」的概念，訪談後測在概念類別 4-1-2 與 4-1-3 的人數百分比有明顯增加，且兩組進步幅度相近，由眼球追蹤資料可以明顯看出，科學背景教師與非科學背景教師在動畫區的凝視點平均凝視時間，只有低度實用顯著性差異，代表 H 與代表 D 的視線軌跡也相似，呼應眼球追蹤資料，證明動畫教學對科學與非科學背景教師在概念改變上的助益很大，及受試者的注意力分佈及凝視點平均時間與概念建構有密切的關係，即當視線軌跡注意力的分佈點與眼球凝視點平均時間皆相近時，其概念獲得的人數百分比相似，顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。

但兩組教師在概念類別「4-1-1 電子大致往同一方向移動」有減少的趨勢，而且科學背景教師在後測時沒有人提到這個概念，研究者認為是該動畫重點在介紹電子流的意義，強調導線內有負電荷流動，且動畫教學內，僅以說明文字呈現，沒有特別強調；受試者在後測時，也沒有適度的引導，而沒有將 4-1-1 的概念說出來，表示電子運動方向的概念未能加強此部份概念建構。

第六節 不同學科背景教師觀看「電子如何讓燈泡亮起來」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析

根據研究問題二「不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫時眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、動畫與文字區域凝視點的平均時間值(mean fixation duration)、動畫與文字區域凝視時間的百分比(percentage)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)有何差異」與研究問題四「不同學科背景之教師在觀看電流教學動畫時，眼球追蹤資料及視線軌跡(scanpath)與電流概念改變有何關係」，本節主要探討36位不同學科背景之國小教師，在觀看「電子如何讓燈泡亮起來」動畫教學時眼球追蹤系統所記錄資料及觀看動畫時的視線軌跡，與相關概念類別有何關係。

一、眼球追蹤資料動畫與文字區域之範圍

「電子如何讓燈泡亮起來」動畫與文字區域計算範圍如圖 65，動畫範圍僅計算研究者欲觀察之重要區域，鑲嵌文字指動畫旁與動畫整合之摘要。

電子如何讓燈泡亮起來 重看所有動畫

鑲嵌文字

動畫區一

動畫區二

說明文字

電子流 電池負極 (低電位) ▶ 燈泡 ▶ 電池正極 (高電位)

能量轉換 電池化學能 ▶ 電子動能 ▶ 熱能、光能 ▶ 電子動能

說明 140,923 1258,998
電池正負極產生電位差，內部物質經化學反應產生化學能，提供電子由負極往正極移動的動能，鎢絲消耗能量放出熱量使溫度升高到一定溫度，燈泡就亮了。

圖 65：動畫「電子如何讓燈泡亮起來」之鑲嵌文字、動畫與文字區域範圍

二、不同學科背景教師眼球追蹤資料之敘述性統計與獨立

樣本 T 檢定分析

「電子如何讓燈泡亮起來」動畫眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定如表 19，其中動畫區凝視時間百分比包含動畫區一與動畫區二的凝視時間，動畫區凝視點平均時間為動畫一加上動畫二的凝視時間除以凝視點次數。

表 19：動畫六眼球追蹤資料敘述性統計與獨立樣本 T 檢定摘要表

項目	學科背景	人數	平均數	標準差	t	Cohen's d	Effect size
鑲嵌文字區凝視點次數	科學相關	15	25.33	25.51	-.567	-.188	
	非科學相關	21	29.76	21.25			
鑲嵌文字區凝視時間	科學相關	15	2664.40	2542.03	-.766	-.258	S
	非科學相關	21	3311.90	2468.97			
鑲嵌文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.3011	.2415	-.045	-.015	
	非科學相關	21	.3043	.1796			
鑲嵌文字區凝視點平均時間	科學相關	15	106.31	23.29	-.624	-.205	S
	非科學相關	21	110.45	16.53			
動畫區一凝視點次數	科學相關	15	11.47	8.05	.255	.089	
	非科學相關	21	10.57	11.75			
動畫區一凝視時間	科學相關	15	1769.07	1411.53	.718	.244	S
	非科學相關	21	1409.24	1531.29			
動畫區二凝視點次數	科學相關	15	5.20	3.55	-.601	-.194	
	非科學相關	21	6.24	6.71			
動畫區二凝視時間	科學相關	15	863.67	718.68	.082	.028	
	非科學相關	21	840.33	911.25			
動畫區凝視時間百分比	科學相關	15	.3042	.1888	1.365	.456	S
	非科學相關	21	.2233	.1652			
動畫區凝視點平均時間	科學相關	15	147.2122	35.2627	1.702	.557	M
	非科學相關	21	130.3247	24.3650			
文字區凝視點次數	科學相關	15	31.67	31.05	-1.259	-.439	S
	非科學相關	21	48.90	46.00			
文字區凝視時間	科學相關	15	3810.67	3706.44	-1.266	-.447	S
	非科學相關	21	6207.24	6608.31			
文字區凝視時間百分比	科學相關	15	.3947	.2840	-.858	-.287	S
	非科學相關	21	.4725	.2565			
文字區凝視點平均時間	科學相關	15	107.8510	34.5853	-.269	.901	L
	非科學相關	21	110.8067	30.9472			
不分區總凝視時間	科學相關	15	14149.67	6015.54	-1.207	-.425	S
	非科學相關	21	17689.90	10127.74			

註：1.* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2.Cohen's d 值中，S 表示 $0.2 < \text{Cohen's } d < 0.5$, effect size=small; M 表示 $0.5 < \text{Cohen's } d < 0.8$, effect size=medium; L 表示 $\text{Cohen's } d > 0.8$, effect size=large

3.不分區總凝視時間指觀看整個完整動畫且包含所有區域之凝視時間

4.鑲嵌文字區指動畫旁與動畫整合之摘要文字，與文字區之說明文字不同

由表 19 可發現，在「動畫區一凝視點次數」、「動畫區一凝視時間」、「動畫區二凝視時間」、「動畫區凝視時間百分比」及「動畫區凝視點平均時間」項目，科學背景教師的平均數都大於非科學背景教師；而在「鑲嵌文字區凝視點次數」、「鑲嵌文字區凝視時間」、「鑲嵌文字區凝視點平均時間」、「鑲嵌文字區凝視時間百分比」、「動畫區二凝視點次數」、「文字區凝視點次數」、「文字區凝視時間」、「文字區凝視時間百分比」、「文字區凝視點平均時間」及「不分區總凝視時間」項目，非科學背景教師的平均數大於科學背景教師。表示科學背景教師花較多的時間注視動畫區域，在動畫區一有較多的凝視次數，注視動畫區域的時間比例較高，動畫區域每個凝視點所停留的時間較長；非科學背景教師則花較多的時間注視鑲嵌文字與文字區域，在鑲嵌文字、動畫區二與文字區域有較多的凝視次數，注視鑲嵌文字與文字區域的凝視點平均時間較長，注視鑲嵌文字與文字區域的時間百分比比較高，且不分區總凝視時間較長。

進行 T 考驗結果顯示，「文字區凝視點平均時間」項目的 Cohen's d 值達高度實用顯著性差異，「動畫區凝視點平均時間」項目的 Cohen's d 值達中度實用顯著性差異，「鑲嵌文字區凝視時間」、「鑲嵌文字區凝視點平均時間」、「動畫區凝視時間」、「動畫區凝視時間百分比」、「文字區凝視點次數」、「文字區凝視時間」、「文字區凝視時間百分比」及「不分區總凝視時間」項目的 Cohen's d 值達低度實用顯著性差異，表示不同學科背景教師在動畫六的眼球追蹤資料，包括：文字區域的凝視點次數與凝視時間，鑲嵌文字及動畫區凝視時間，動畫及文字區凝視時間的百分比，鑲嵌文字、動畫與文字區凝視點平均時間及不分區總凝視時間都有實用顯著性差異。

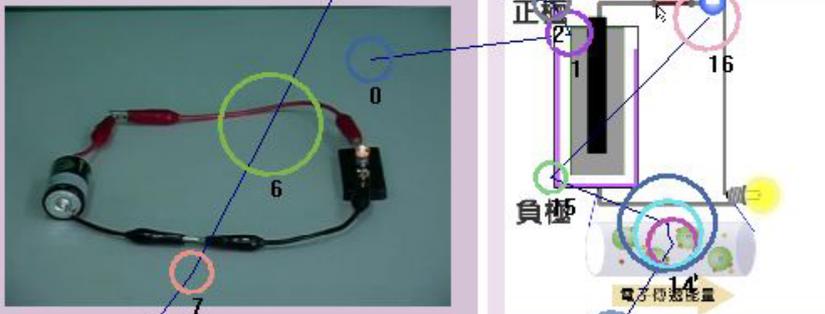
三、不同學科背景教師之視線軌跡分析

(一) 科學背景教師之視線軌跡分析

一位代號 G 的科學背景教師觀看「電子如何讓燈泡亮起來」動畫之視線軌跡，如圖 66、圖 67、圖 68 及圖 69，選擇的依據為找該組大部分教師有類似軌跡之典型教師其視線軌跡。

電子如何讓燈泡亮起來

重看所有動畫 



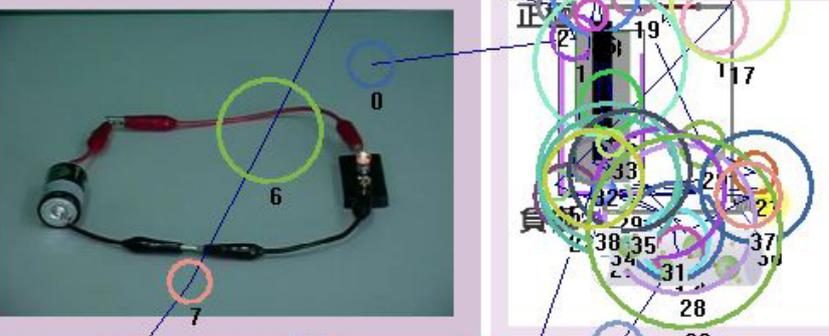
電子流	電池負極 (低電位)	燈泡	電池正極 (高電位)
能量轉換	電池化學能	電子動能	熱能、光能

說明 電池正負極產生電位差，內部物質經化學反應產生化學能，提供電子由負極往正極移動的動能，鎢絲消耗能量放出熱量使溫度升高到一定溫度，燈泡就亮了。

圖 66：代號 G 科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡一

電子如何讓燈泡亮起來

重看所有動畫 



電子流	電池負極 (低電位)	燈泡	電池正極 (高電位)
能量轉換	電池化學能	電子動能	熱能、光能

說明 電池正負極產生電位差，內部物質經化學反應產生化學能，提供電子由負極往正極移動的動能，鎢絲消耗能量放出熱量使溫度升高到一定溫度，燈泡就亮了。

圖 67：代號 G 科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡二

電子如何讓燈泡亮起來

重看所有動畫

電池負極 (低電位) 電池正極 (高電位)

電子流 電池化學能 電子動能 熱能、光能 電子動能

播放

說明

電池正負極產生電位差，內部物質經化學反應產生化學能，提供電子由負極往正極移動的動能，鎢絲消耗能量放出熱能使溫度升高到一定溫度，燈泡就亮了。

圖 68：代號 G 科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡三

電子如何讓燈泡亮起來

重看所有動畫 Back

電池負極 (低電位) 電池正極 (高電位)

電子流 電池化學能 電子動能 熱能、光能 電子動能

播放

說明

電池正負極產生電位差，內部物質經化學反應產生化學能，提供電子由負極往正極移動的動能，鎢絲消耗能量放出熱能使溫度升高到一定溫度，燈泡就亮了。

圖 69：代號 G 科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡四

一開始瀏覽鑲嵌文字區域電子流的部份，接著瀏覽動畫中電子在導線中碰撞的微觀動畫，並跟著動畫上負電荷移動轉移凝視的位置，如圖 66，在動畫區視線集中在正、負極，燈泡及微觀電子碰撞部份，如圖 67，在負極附近的第 52 個凝視點時間也較長，如圖 68，在第 40-44、56-72 及 77-86 個點瀏覽說明文字與鑲嵌文字，期間數次折返動畫區，如圖 69。由此可知，該科學背景教師並不會依照旁白先瀏覽完說明文字，主要跟隨動畫物件的移動而改變凝視位置，最後才再回過頭瀏覽說明文字與鑲嵌文字，大部分的凝視點集中在動畫區。

(二) 非科學背景教師之視線軌跡分析

一位代號 D 的非科學背景教師觀看「電子如何讓燈泡亮起來」動畫之視線軌跡，如圖 70、圖 71、圖 72 及圖 73，選擇的依據為找該組大部分教師有類似軌跡之典型教師其視線軌跡。

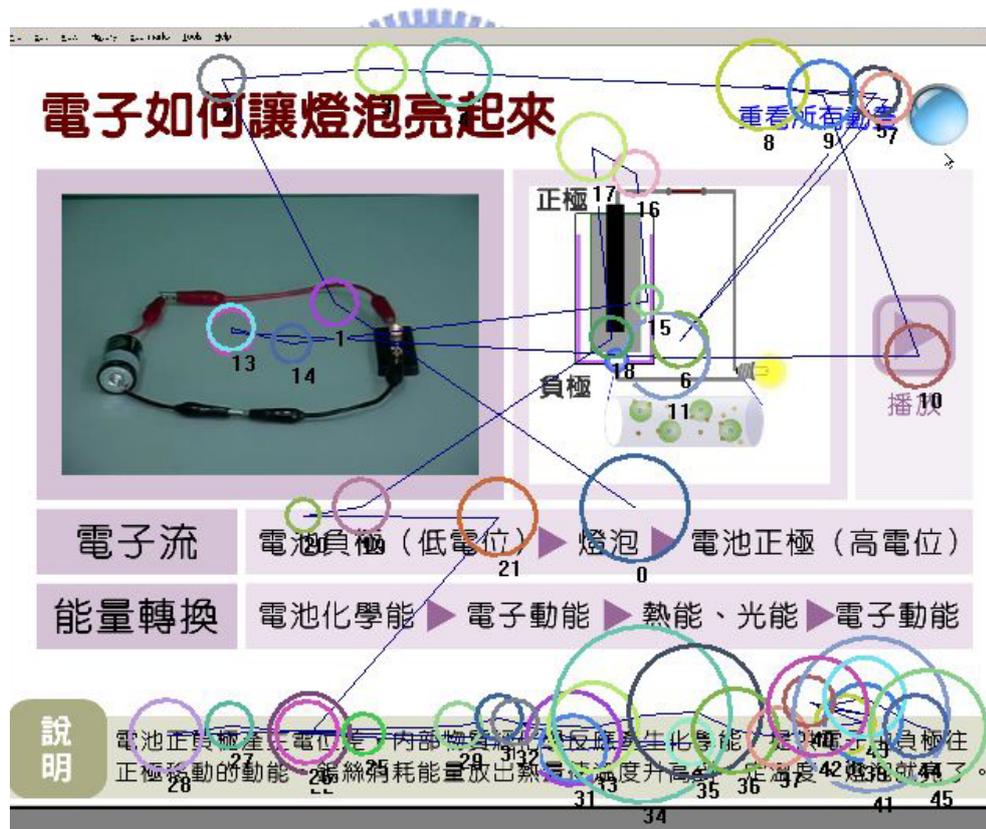


圖 70：代號 D 非科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡一

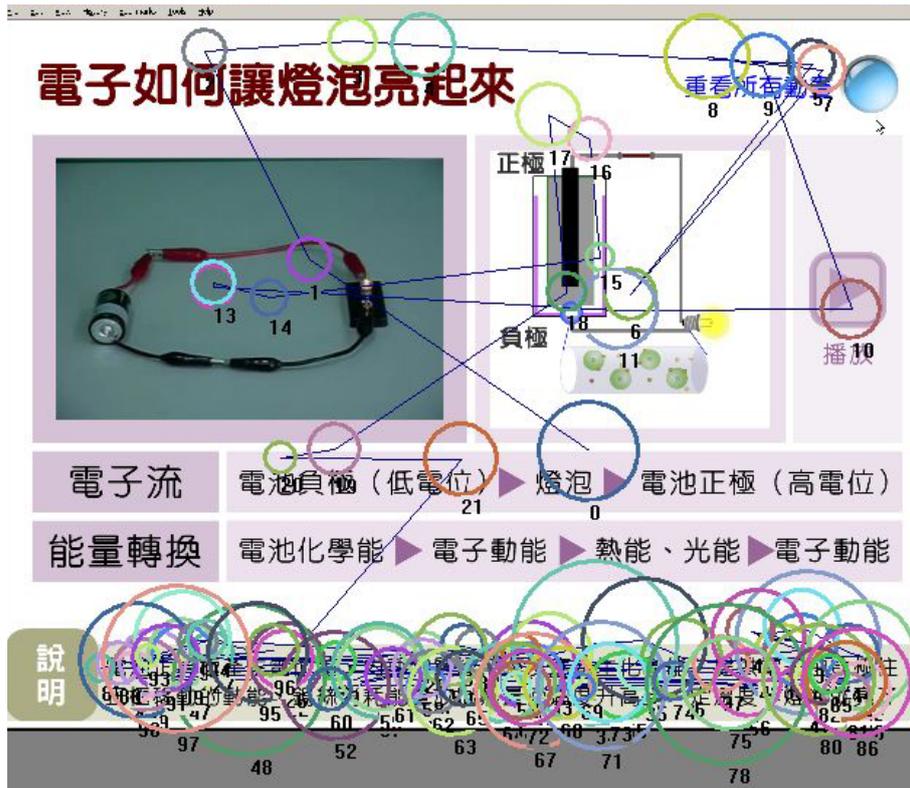


圖 71：代號 D 非科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡二

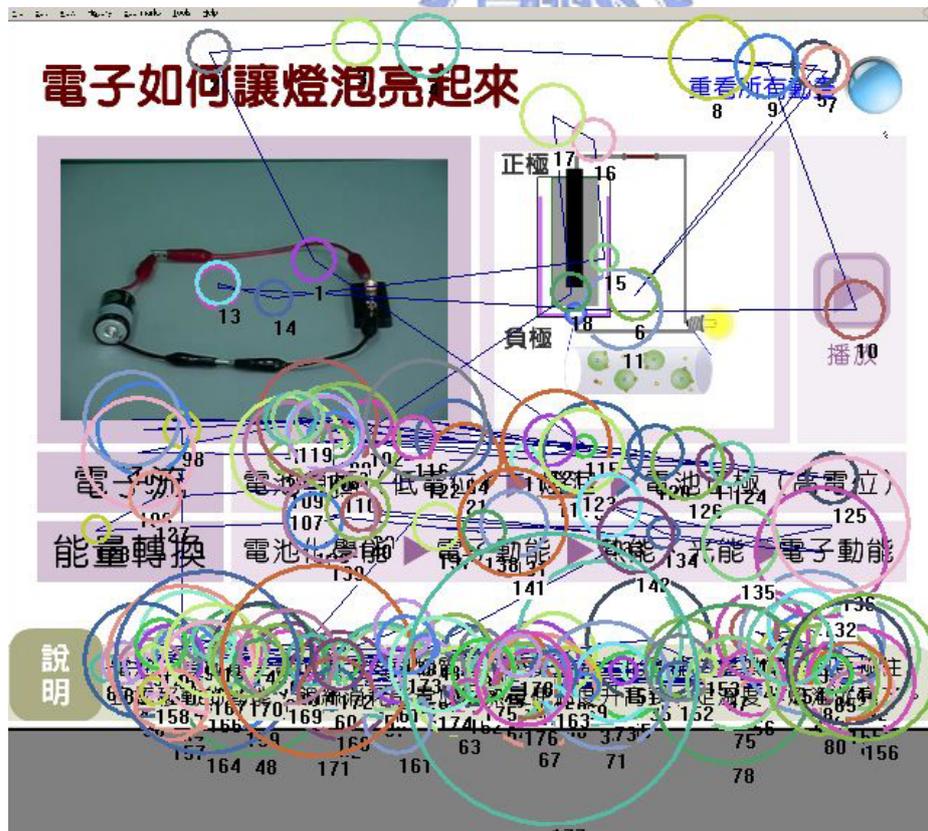


圖 72：代號 D 非科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡三

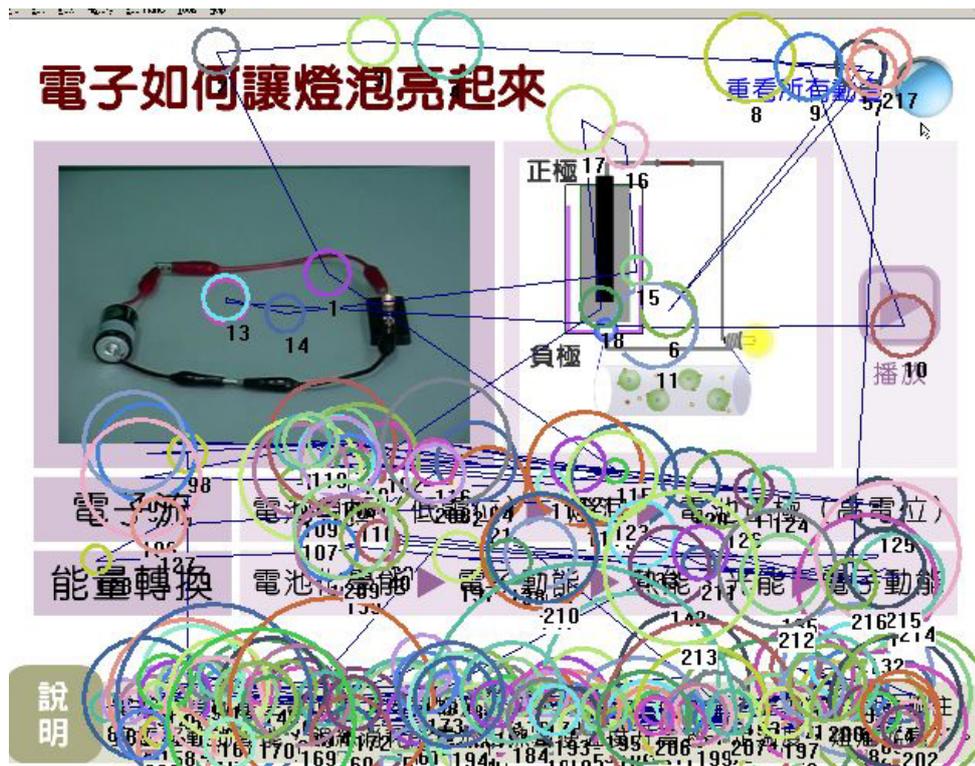


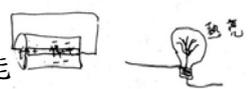
圖 73：代號 D 非科學背景教師之「電子如何讓燈泡亮起來」動畫視線軌跡四

一開始瀏覽標題、靜態圖片及動畫，接著在說明文字區左右瀏覽，如圖 70 及圖 71，從第 98 點到第 142 點瀏覽鑲嵌文字，如圖 72，接著返回說明文字區域，在第 177 點凝視較久的時間，從第 210 點到第 216 點重複瀏覽鑲嵌文字，如圖 73。由此可知，該非科學背景教師花了很多時間在鑲嵌文字與文字區域間來回瀏覽，凝視動畫的時間很短。

四、不同學科背景教師之概念改變分析

晤談大綱 4-2「請你從微觀的角度來解釋通路導線內的電子如何讓燈泡亮起來？請說明理由。（請繪圖說明）」主要探討教師是否有通路導線內能量轉換的概念，是屬於抽象、微觀、物質與過程的心智架構，概念改變分析如表 20。

表 20：微觀通電導線內變化的概念改變分析

概念類別	非科學相關 學科背景		科學相關 學科背景	
	前測%	後測%	前測%	後測%
4-2 請你從微觀的角度來解釋通路導線內的電子如何讓燈泡亮起來？請說明理由。(請繪圖說明)				
4-2-1 電池的化學能轉換成電能 	0.0%	29.2%	0.0%	73.3%
4-2-2 電位差使電子流動	0.0%	45.8%	6.7%	40.0%
4-2-3 電子互相碰撞傳遞電能 	33.3%	62.5%	40.0%	53.3%
4-2-4 電能轉換成光能與熱能	16.7%	66.7%	26.7%	73.3%

由表 20 顯示，非科學相關與科學相關學科背景國小教師皆在概念類別 4-2-1、4-2-2、4-2-3 與 4-2-4 的人數百分比有明顯增加，而且科學教師在後測有高達 73.3% 提出電池的化學能轉換成電能，遠大於非科學教師，由眼球追蹤資料可以明顯看出，科學背景教師在動畫區凝視百分比與凝視點平均時間顯著大於非科學背景教師，動畫區二凝視時間也較非科學背景教師長，另外，代表 G 科學背景教師的視線軌跡主要觀看動畫中電子傳遞能量的部份，可以呼應眼球追蹤資料，顯示在動畫教學中注意力分佈區域不同確實會影響學習者的概念建構。

在概念類別 4-2-2、4-2-3 與 4-2-4 的後測成績中，科學與非科學背景教師有相近的結果，由兩位代表的視線軌跡可以發現都有凝視說明文字，即當視線軌跡注意力的分佈點相近時，其概念獲得的人數百分比相似，顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。

第五章 結論與建議

本研究旨在探討電流教學動畫對教師的電流另有概念之概念改變學習成效，並進一步探討不同學科背景教師，在觀看動畫教學時眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、凝視動畫與文字的平均時間值(mean fixation duration)、文字與動畫區域凝視時間的百分比(percentage)與視線軌跡(scanpath)有何差異，及其與概念改變的關係。本章主要依據第四章資料分析的結果彙整成本研究的結論，並提出一些教學上及後續相關研究的建議。

第一節 結論與討論

本節以第四章研究結果與討論，依據各研究工具類別依序說明本研究的主要發現，並分別探討電流概念動畫對於教學前後概念改變歷程的影響，以及不同學科背景教師在觀看電流概念動畫過程中的眼球追蹤資料有何差異，並作成結論。

一、不同學科背景教師電流概念及概念改變成效分析

以下針對研究問題一「不同學科背景之國小教師在電流相關概念上的認知情形及其另有概念有何差異」與研究問題三「不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫前後概念有何差異」，做詳盡的分析與探討，最後歸納為結論。

(一) 研究問題一「不同學科背景之國小教師在電流相關概念上的認知情形及其另有概念有何差異」

本研究以 36 位國小教師為樣本，其中 15 位學科背景是科學相關，21 位學科背景是非科學相關，科學相關學科背景國小教師的電流概念明顯優於非科學相關學科背景國小教師，不同學科背景國小教師電流概念訪談前測達顯著差異。

依據電流概念類別評分表評分後的結果，表示在電流動畫教學後，科學與非科學背景教師在「為何可以使燈泡發光？」問題中回答「鎢絲溫度達到一定溫度會發光」、「電位差」，在「形成通路後，導線內會有什麼變化？」

問題中回答「有電子流」，在「你認為在一條導線當中，內部粒子的種類為何？」問題中回答粒子種類有「原子」和「自由電子」、粒子大小為「原子較大顆」、「自由電子較小顆」，在「什麼是電流？」問題中回答「電流流動方向與電子流相反」，在「什麼是電子流？」問題中回答「電子流流動方向與電流相反」、「電子從電池負極往正極流動」，在「從微觀的角度來解釋電子通過導線的方式有哪些？」問題中回答「電子經由碰撞穿越」、「電子直接穿越」，與在「從微觀的角度來解釋通路導線內的電子如何讓燈泡亮起來？」問題中回答「電池的化學能轉換成電能」、「電位差使電子流動」、「電子互相碰撞傳遞電能」及「電能轉換成光能與熱能」等相關概念上，所擁有科學概念的比例增加，迷思概念的比例也相對減少。

另外，科學與非科學背景教師在「為何可以使燈泡發光？」問題中回答「鎢絲是高電阻」，在「形成通路後，導線內會有什麼變化？」問題中回答「有電流」，與在「從微觀的角度來解釋電子通過導線的方式有哪些？」問題中回答「電子大致往同一方向移動」概念類別有減少的趨勢，而非科學背景教師在「要怎麼連接才能形成通路？」問題中畫出「電池正負極與燈泡接點正確連接」人數減少，在「為何可以使燈泡發光？」問題中回答「有電」概念類別也有減少的趨勢，研究者推論是受試者在後測時，沒有將該概念再度表達出來，並非因動畫教學，使擁有正確科學概念的教師人數減少。然而大部分科學相關學科背景的教師，在動畫教學前已具有自由電子與電子流的概念。

（二）研究問題三「不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫前後概念有何差異」

不論是科學相關或非科學相關學科背景國小教師，訪談後測成績的平均數均明顯優於訪談前測成績的平均數，各組前後測之成對樣本 T 檢定也都達到顯著效果。進行單因子變異數分析後，不同學科背景國小教師的電流概念訪談後測得分沒有顯著差異。可以回答研究問題三「不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫前後概念有何差異」，表示電流教學動畫對於不同學科背景之國小教師的電流概念改變有很大的幫助，雖科學相關學科背景國小教師後測成績的平均數高於非科學相關學科背景國小教師，但未達顯著差異。

二、不同學科背景教師觀看電流動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析

以下針對研究問題二「不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫時眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、動畫與文字區域凝視點的平均時間值(mean fixation duration)、動畫與文字區域凝視時間的百分比(percentage)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)有何差異」與研究問題四「不同學科背景之教師在觀看電流教學動畫時，眼球追蹤資料及視線軌跡(scanpath)與電流概念改變有何關係。」做詳盡的分析與探討，最後歸納為結論。

(一) 不同學科背景教師觀看「導線內部粒子的排列情形」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析

眼球追蹤資料證明科學背景教師在動畫區的凝視時間百分比及動畫與文字區凝視點平均凝視時間顯著大於非科學背景教師，一位科學背景教師在觀看動畫時，視線軌跡集中在動畫區，觀看導線內粒子的分佈情形，可以呼應眼球追蹤統計資料，所以在概念類別「2-1-1 原子」中，科學背景教師的原子概念後測百分比 93.3%，較非科學背景教師 83.3%高，顯示在動畫教學中注意力分佈區域不同確實會影響學習者的概念建構。

而大部分科學相關學科背景的教師，在動畫教學前已具有「2-1-2 自由電子」粒子種類的概念，雖然眼球追蹤資料顯示科學背景教師在動畫區的凝視時間百分比及每個凝視點平均凝視顯著大於非科學背景教師，科學背景教師的自由電子概念類別後測百分比比較非科學背景教師高，但非科學背景教師在文字區凝視時間的百分比也高於非科學背景教師，且非科學背景教師的自由電子概念類別前後測進步的百分比科學背景教師多，顯示動畫教學確實會幫助不同學習者自由電子概念類別的概念建構。

另外，在概念類別 2-2-1 與 2-2-2，非科學背景教師後測百分比與科學背景教師相近，由兩組各一位代表 A 和 B 的視線軌跡發現，「粒子大小」在動畫上可以明顯看出，科學與非科學背景教師都在動畫一開始就分別凝視原子與自由電子，研究者推論非科學教師容易注意到粒子大小顯著的差異，科學教師除了注意粒子大小外，凝視時間較久，還有注意其在導線內分佈的情形，可以呼應兩組在動畫與文字區的凝視點次數與凝視時間無顯著差異的現象；

即當視線軌跡所呈現的注意力分佈點，和眼球在動畫及文字區之凝視點次數與凝視時間皆相近時，其概念獲得的人數百分比相似，顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。

(二) 不同學科背景教師觀看「電子流的意義」與「電流與電子流」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析

科學與非科學背景教師同樣在 3-2-2 都有進步，非科學背景教師進步幅度較大，兩組在 3-1-3 進步的幅度卻很小，由動畫二可以發現，科學與非科學背景教師在動畫區凝視點平均時間相近，只有低度實用顯著性差異，由兩組各一位代表 C 和 D 的動畫視線軌跡可以發現，科學背景教師與非科學背景教師都較注意電子流的方向，電流方向凝視點較少，可以呼應眼球追蹤資料，而且大部分的教師在回答何謂電流時，都回答流動方向與電子流反方向，部份科學背景教師則回答電流只是抽象假想的概念或正電荷實際上不會流動，所以概念類別 3-1-3 百分比都很低，導致兩組在概念類別 3-2-2 與 3-1-3 百分比相近，電子流的前後測差異大，電流前後測差異小的結果，且動畫對非科學背景教師有更大的幫助，即當視線軌跡所呈現的注意力分佈點與眼球在分佈區域凝視時間皆相近時，其概念獲得的人數百分比相似，顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。

但科學與非科學背景教師在概念類別 3-1-1、3-1-2、3-1-4 與 3-2-1 答對人數百分比差距極大，科學背景教師明顯高於非科學背景教師。在動畫三中，科學背景教師在動畫區與文字區凝視點平均時間顯著大於非科學背景教師，且 T 值達顯著差異；此外，代表 E 科學背景教師在電子流方向與電流方向的動畫上有很多凝視點，且在「以相對於電子流方向，定義為電流方向」說明文字上有明顯的凝視點；代表 F 非科學背景教師則不斷在動畫與說明文字間來回跳視(saccade)，只注意鑲嵌文字上電子流方向的說明，並沒有看電流方向的說明，可以呼應眼球追蹤資料。另外，動畫中只有電子會移動，電子流方向明顯，電流方向只能參考動畫上的箭頭指示與說明文字，可能造成受試者忽視其電流方向，而有許多的科學背景教師，已有電流概念的先備知識，所以科學背景教師在概念類別 3-1-1、3-1-2、3-1-4 與 3-2-1 的百分比才會明顯高於非科學背景教師；而且動畫中對於概念類別「3-1-1 電流是抽象假想的概念」只有在文字區陳述「正電荷不移動，但是習慣上，我們以相對於電子流的方向，定義為電流方向」，並未直接說明其為抽象假想概念，教學後科

學與非科學背景教師各有一部份能將電流類推為抽象假想概念，且科學背景教師的後測百分比 53.3%，高於非科學背景教師的 25.0%，40%的科學背景教師已有先備知識，且眼球追蹤資料顯示科學背景教師在文字區凝視點平均凝視時間顯著高於非科學背景教師，顯示在動畫教學中注意力分佈區域不同確實會影響學習者的概念建構。

(三)不同學科背景教師觀看「電路中電子流的方向」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析

在概念類別「1-1-2 圖示中電池正負極與燈泡接點正確連接」，科學背景教師的概念後測百分比遠大於非科學背景教師，且非科學背景教師後測低於前測，在動畫四中，科學背景教師在動畫區一及動畫區二凝視時間與動畫區凝視點平均時間較非科學教師長，由視線軌跡可以發現，代表 G 之科學背景教師一開始就凝視負極、燈泡接點與正極，且花很多的時間在動畫上，代表 D 之非科學背景教師在動畫上凝視的次數較少，時間也較短，可能沒有注意到這部份的細節，所以部份教師在繪圖說明時，直接將正負極連結到燈泡的兩側或底端，可見其視線軌跡所呈現的注意力分佈點及眼球在動畫區凝視點平均時間與其在 1-1-1 與 1-1-2 上概念獲得百分比差別大有關，顯示在動畫教學中注意力分佈區域不同確實會影響學習者的概念建構。

此外，非科學相關與科學相關學科背景國小教師皆在概念類別 1-2-3、1-2-4 與 1-3-2 的人數百分比有明顯增加，由動畫的視線軌跡發現，科學與非科學背景教師都有注視說明文字中關於「電位差」與「鎢絲溫度達到一定溫度會發光」，及鑲嵌文字的「電子流」部份，使兩組都在電流動畫教學後建構概念。

然而，概念類別「1-3-1 有電流」相對於「1-3-2 有電子流」，回答該概念類別的教師人數明顯少了許多，而通路中「有電子流」，則顯示科學教師遠多於非科學教師回答此概念，除了科學背景教師可能已有電子流的先備知識外，由兩組的眼球追蹤資料可以發現，在鑲嵌文字區域的凝視點與凝視時間有顯著差異，代表 G 和代表 D 的視線軌跡發現集中在電子流的說明；看完動畫後了解導線內真正流動的是電子流，電流只是假想出來的，可能是導致 1-3-2 後測大幅進步，而 1-3-1 後測大幅退步的原因。

(四) 不同學科背景教師觀看「電子通過導線的方式」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析

在教學前，科學與非科學背景教師約有一半能回答概念類別「4-1-2 電子經由碰撞穿越」，而缺乏「4-1-3 電子直接穿越」的概念，訪談後測在概念類別 4-1-2 與 4-1-3 的人數百分比有明顯增加，且兩組進步幅度相近，由眼球追蹤資料可以明顯看出，科學背景教師與非科學背景教師在動畫區的凝視點平均凝視時間，只有低度實用顯著性差異，代表 H 與代表 D 的視線軌跡也相似，呼應眼球追蹤資料，證明動畫教學對科學與非科學背景教師在概念改變上的助益很大，及受試者的注意力分佈及凝視點平均時間與概念建構有密切的關係，即當視線軌跡注意力的分佈點與眼球凝視點平均時間皆相近時，其概念獲得的人數百分比相似，顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。

但兩組教師在概念類別「4-1-1 電子大致往同一方向移動」有減少的趨勢，而且科學背景教師在後測時沒有人提到這個概念，研究者認為是該動畫重點在介紹電子流的意義，強調導線內有負電荷流動，且動畫教學內，僅以說明文字呈現，沒有特別強調；受試者在後測時，也沒有適度的引導，而沒有將 4-1-1 的概念說出來，表示電子運動方向的概念未能加強此部份概念建構。

(五) 不同學科背景教師觀看「電子如何讓燈泡亮起來」動畫之眼球追蹤資料、視線軌跡與概念改變分析

非科學相關與科學相關學科背景國小教師皆在概念類別 4-2-1、4-2-2、4-2-3 與 4-2-4 的人數百分比有明顯增加，而且科學教師在後測有高達 73.3% 提出電池的化學能轉換成電能，遠大於非科學教師，由眼球追蹤資料可以明顯看出，科學背景教師在動畫區凝視百分比與凝視點平均時間顯著大於非科學背景教師，動畫區二凝視時間也較非科學背景教師長，另外，代表 G 科學背景教師的視線軌跡主要觀看動畫中電子傳遞能量的部份，可以呼應眼球追蹤資料，顯示在動畫教學中注意力分佈區域不同確實會影響學習者的概念建構。

在概念類別 4-2-2、4-2-3 與 4-2-4 的後測成績中，科學與非科學背景教師有相近的結果，由兩位代表的視線軌跡可以發現都有凝視說明文字，即當視線軌跡注意力的分佈點相近時，其概念獲得的人數百分比相似，顯示注意力的分佈與概念建構有密切的關係。

三、結論

綜合以上六個動畫科學背景與非科學背景教師代表的視線軌跡、兩組的眼球追蹤資料與概念改變分析可以發現：在眼球追蹤資料方面，科學背景教師花較多的時間注視動畫區域，在動畫區域有較多的凝視次數，注視動畫區域的時間比例較高，動畫區域每個凝視點平均凝視時間較長；非科學背景教師則花較多的時間注視鑲嵌文字與文字區域，在鑲嵌文字與文字區域有較多的凝視次數，注視鑲嵌文字與文字區域的時間比例較高，注視文字區域的時間比例較高，且不分區總凝視時間較長。

科學背景教師代表的視線軌跡大部分的時間都在觀看動畫的物件如何動作，剩餘的時間才會瀏覽說明文字和鑲嵌文字；非科學背景教師代表的視線軌跡較易受動畫旁白的影響，依序觀看標題和說明文字，大部份的時間在瀏覽文字和鑲嵌文字區域，瀏覽動畫區域的時間較短。

因而造成科學教師在許多概念的獲得成效遠高於非科學教師，如：電子流與電流、電池化學能轉換成電能與導線中的粒子有原子等概念。除此之外，發現不論科學與非科學教師當其眼球注意力分佈與凝視點平均凝視時間都相近時，概念獲得百分比也相近，如：電子通過導線的方式與導線中粒子的大小等概念。可以回答研究問題二與研究問題四，不同學科背景之國小教師在觀看電流教學動畫時眼球凝視點次數(number of fixations)、凝視點時間(fixation duration)、動畫與文字區域凝視點的平均時間值(mean fixation duration)、動畫與文字區域凝視時間的百分比(percentage)、不分區總凝視時間(total duration)與視線軌跡(scanpath)有顯著差異，且在觀看電流教學動畫時，眼球追蹤資料及視線軌跡(scanpath)與電流概念改變有密切的關係。

本研究結果顯示不同學科背景的國小教師在電流相關概念上的認知情形有顯著差異，並存在許多另有概念，而電流概念多媒體動畫能幫助教師進行概念改變，兩組後測訪談成績都顯著大於前測成績，在可能造成認知負荷情境下，該動畫仍然能幫助教師概念改變，則根據 Mayer & Moreno (1999)的實驗結果，相信單純以旁白搭配動畫呈現的學習效果會更好，而本研究設計除動畫搭配聲音文字的說明外，再加上圖文整合的文字說明，卻與 Mayer(1999, 2001)研究結果完全相反，而可以達到完整的概念改變，可留給更多學者深入探討，及未來研究者在針對科學學習的動畫設計改進之參考；另外不同學科

背景的 Eye-Tracking 資料雖沒有高度顯著差異，但發現科學背景教師在動畫區域上注視的時間比在文字區域上注視的時間長、凝視次數也較多，動畫區域凝視時間的百分比與每一個凝視點的平均凝視時間值都較非科學背景教師高。科學背景教師代表的視線軌跡大部分的時間都在觀看動畫的物件如何動作，剩餘的時間才會瀏覽說明文字和鑲嵌文字；非科學背景教師代表的視線軌跡較易受動畫旁白的影響，依序觀看標題和說明文字，大部份的時間在瀏覽文字和鑲嵌文字區域，瀏覽動畫區域的時間較短。因此本研究除了證明注意力分佈與概念建構的程度有密切的關係，同時本研究設計除動畫與聲音外，輔以文字說明，卻不同於以往學者研究結果，可以達到完整的概念改變。



第二節 建議

根據本研究的結論，以及研究過程的缺失，提出以下各項建議，供教育單位、國小教師及未來的研究者作為參考。

一、對教學與教材設計的建議

本研究結果顯示電流概念多媒體動畫能幫助教師進行電流概念改變，以及了解科學與非科學背景教師在學習動畫時認知歷程與注意力分佈的情形，有先備知識的科學相關學科背景教師在觀看動畫時，會特別著重在動畫元件的設計是否符合科學概念，而說明文字只是扮演配角，但對於初學者而言，還是需要說明旁白或說明文字，以初步了解教材所要表達的涵義；本研究之動畫對於導線內部能量轉換的觀念僅有文字說明，而且非科學背景教師對於電流抽象的概念仍不甚了解，希望未來研究者能設計出幫助建立正確能量轉換與抽象電流概念的動畫；另外，建議教材設計者在設計科學概念動畫前，需要了解該主題應該達成的目標及學生可能的另有概念，所欠缺的心智架構，並需考量使用者介面，需符合學習者的年齡與使用習慣，應用適當的多媒體效果提高學習者學習的動機，若有過多與主題無關的聲色刺激，則會造成學習者的認知負荷，不可不慎！

二、對教育單位與國小教師的建議

在現階段台灣的國小科學教育，普遍存在非專長的教師教授自然與生活科技領域課程，本研究受試者經動畫教學後，仍有部份概念不甚理解，何況是平時沒有參加研習或在職進修的自然科教師，因此，建議師資培育機構能多開在職進修的工作坊或定期的研習，以增加教師進修充電的機會。另外建議非科學相關背景的自然科教師，能多利用課餘時間上網收集資料或參加相關課程的研習，如：國立科學教育館寒暑假的科學實驗工作坊，及新竹教育大學的台灣E教師專業發展學園所開的線上自然科學課程等，都可以充實教師的專業知識與教學能力，否則很容易將錯誤的觀念傳授給學生。

三、對未來研究的建議

(一) 擴大研究範圍

本研究限於人力及物力的考量，因此研究人數有限，課程也僅以電學概

念中的電流部份來實驗，建議未來研究者可以將規模擴大，比較不同學校、不同地區或城鄉差距的地區是否會有相同的結果。研究的主題也可擴大至其他自然科學的概念，比較不同的概念是否會有同樣的差異存在。

(二) 進行更深入的分析

本研究因受限人力與時間的限制，無法繼續做追蹤訪談，故建議未來研究者可增加追蹤訪談，以加強驗證概念改變的成效。此外，影響教師電流相關概念的因素除了學科背景外，還有很多會互相交互作用的因素，例如：由眼球追蹤資料和視線軌跡可以明顯看出，科學背景教師主要觀看動畫中能量轉換的情形，而非科學背景教師主要在瀏覽說明文字，可能是先備知識會影響學習的方式，但同樣能達到概念改變，需要以後的研究者進一步驗證，建議未來研究者可針對各種影響因素進行更深入的交叉分析，以更完整了解影響教師電流概念的因素。

(三) 改良研究設計

除了使用眼球追蹤儀器，另外可配合腦電波圖(electroencephalogram)簡稱 EEG，進行縝密的分析，同時可以在教學前後增加電學概念的成就測驗與教學多媒體的學習態度量表，可更完整分析變項間交互影響的關係，另外，在可能造成認知負荷情境下，本研究之動畫仍然能幫助教師概念改變，則根據 Mayer & Moreno (1999)的實驗結果，相信單純以旁白搭配動畫呈現的學習效果會更好，可留待未來研究者作為動畫設計改進之參考。

(四) 增加對教師的相關研究

由於教師樣本數不像學生一樣容易取樣，難以大量抽樣施測，多以耗費時間和心力的訪談進行施測，所以有關教師的概念研究很少，尤其能配合眼球追蹤系統分析教師認知過程的研究更是寥寥可數，希望未來能有更多研究者探討教師相關背景的學科知識，以提昇教師的專業素養與學生學習的成效。

參考文獻

一、中文部分

王美芬（民81）。我國五、六年級學生有關月亮錯誤概念的診斷及補救教學策略的應用。台北市立師學院學報，23，237-280。

王淑琴、郭重吉（民83）。利用DOE晤談探究大學生電學方面的另有架構。科學教育，5（6），117-139。

江書楷、陳美紀、林美純（民95）。數位學習內容訊息設計與學習風格對學習成效影響之研究—以文字文本與聲音文本為例。當代教育研究季刊，未出版。

吳宇穎（民94）。多媒體組合方式與知覺偏好對學習結果的影響。國立中央大學教育學研究所碩士論文，未出版，桃園縣。

邱弘毅（民87）。職前及在職國民小學教師的天氣概念及其相關迷思概念之探究。國立台中師範學院國民教育研究所碩士論文，未出版，台中市。

邱美虹、林靜雯（民91）。以多重類比探究兒童電流心智模式之改變。科學教育學刊，10（2），109-134。

周育廉（民90）。職前教師與在職教師有關空氣概念分類之研究。國立新竹師範學院數理教育研究碩士論文，未出版，新竹市。

段曉林（民85）。學科教學知識對未來科教師資培育上的啟示。第一屆數理教學及師資培育學術研討會論文彙編，116-142。

教育部（民92）。教育部補助試辦教師專業發展評鑑實施計畫。取自2007年6月30日教育部。網址：

http://www.edu.tw/EDU_WEB/EDU_MGT/EDURES/EDU5741001/1/eval/YC06.doc

陳柏茶（民82）。職前生物教師動物分類另有概念之研究。國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，彰化。

陳啟明和陳瓊森（民81）：探究高一學生對直流電路的迷思概念。科學教育，3, 22-72。

唐大崙（民95，9月）。觀其眸子，人焉廋哉--以眼球追蹤法探索行為背後的歷程。發表於眼動追蹤理論與技術研討會。台北市：台灣師範大學。

唐大崙、莊賢智（民94）。由眼球追蹤法探索電子報版面中圖片位置對注意力分佈之影響。廣告學研究，24，89-104。

唐大崙、張文瑜（民95）。觀其眸子人焉廋哉--以眼球追蹤法探索傳播議題的可能性。發表於2006中華傳播學會年會。台北市：中華傳播學會。

張凱惠（民95）。台北市國小教師全球暖化相關概念之調查研究。臺北市立教育大學科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。

張敬宜、熊召弟和陳順其（民83）。國小教師對小學生「生態平衡」概念發展適切性探討之研究。台北師院學報，7，529-566。

張頌憫（民91）。台中縣市國小自然科教師動物生殖概念之研究。臺中師範學院自然科學教育所碩士論文，未出版，台中市。

黃怡菱（民92）。職前及在職國中自然科教師氣體粒子迷思概念之研究。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。

黃萬居（民85）。國小教師對酸鹼迷思概念之研究。台北市立師院學報，27，105-132。

游文楓、佘曉清（民95）。網路化問題解決教學策略對生物學習成效的影響。科學教育學刊，14(4)，381-400。

蔡介立（民95）。眼球運動與閱讀歷程。發表於眼動追蹤理論與技術研討會。台北市：台灣師範大學。

- 葉俊豪、陳瓊森（民 84）：利用定性與定量測驗來探究高二學生對直流電路的知識結構。**科學教育**，6，156-178。
- 廖怡雯（民 88）。改進學生對電化學瞭解之研究。國立高雄師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，高雄市。
- 詹益綾（民 94）。從眼動資料探討連接詞與閱讀歷程之關係。國立中央大學學習與教學研究所碩士論文，未出版，桃園縣。
- 楊文金（民 81）。在職國小教師對基本電路之概念研究。載於中華民國第八屆科學教育學術研討會論文彙編，499-518。高雄市：國立高雄師範大學。
- 楊馥華（民 95）。台北市國小自然科教師天文相關概念之研究。臺北市立師範學院科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。
- 賴慶三（民 86）。國小職前教師科學教學知識之研究。**台北師院學報**，10，455-500。
- 謝秀月（民 84）。師院非數理系學生熱與溫度概念架構之探討。**台南師院學報**，28，479-507。
- 謝秀月、郭重吉（民 80）。小學、師院學生熱與溫度概念的另有架構。**科學教育**，2，227-247。
- 簡紅珠（民 83）。師範生學科及學科教學知識的基礎。中華民國師範教育學主編，師範教育多元化與師資素質，1-15。台北：師大書苑。

二、英文部分

- Ausubel, D. P. (1968). *Education psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Anderson, C. W., & Smith, E. L. (1987). Teaching Science. In V. Richardson-Koehler (Ed.), *The educator's handbook: A research perspective*. New York: Longman.
- Baker, M. A., & Loeb, M. (1973). Implications of measurement of eye fixations for a psychophysics of form perception. *Perception & Psychophysics*, 13, 185-192.
- Broadbent, D. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press.

- Brook, A., Briggs, H., Bell, B. & Driver, R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of heat : Full report, children's learning in science project*. Leeds, UK, University of Leeds, Centre for Studies in Science and Mathematics Education.
- Brown, D. E. (1993). Refocus core intuitions: a concretizing role for analogy in conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1273-1290.
- Burbules, N. C., & Linn, M. C. (1988). Response to contradiction: Scientific reasoning during adolescence. *Journal of Educational Psychology*, 80, 67-75.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293-332.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Gere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp. 129-186). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- 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.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implication for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2003). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Cohen S, Kamarck T, & Mermelstein R. (1983). A global measure of perceived stress. *J Health Soc Behav*, 24,385-396.
- Corbetta, M. (1998). Frontoparietal cortical networks for directing attention and the eye to visual locations: identical, independent, or overlapping neural systems? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 831-838.

- Deubel, H., & Schneider, W. (1996). Saccade target selection and object recognition: evidence for a common attentional mechanism. *Vision Research*, 36, 1927-1837.
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70, 80-90.
- Dionisio, D. P., Granholm, E., Hillix, W. A., & Perrine, W. F. (2001). Differentiation of deception using pupillary responses as an index of cognitive processing. *Psychophysiology*, 38(2), 205-211.
- Driver, R. (1981). Pupils' alternative frameworks in science. *European Journal of Science Education*, 3(1), 93-101.
- Driver, R. (1989). Students' conception and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11, 481-490.
- Duchowski, A. T. (2002). A breadth-first survey of eye tracking applications. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 1-16.
- Egeth, H. E. & Yantis, S. (1997). Visual attention: control, representation, and time course. *Annual Review of Psychology*, 48, 269-297.
- Findlay, J. M., & Gilchrist, I. D. (2003). *Active vision: The psychology of looking and seeing*. New York: Oxford University Press.
- Fisher, K., & Lipson, J. (1985). Information processing interpretation of errors in college science learning. *Instructional Science*, 14(1), 49-74.
- Fredette, N., & Lockhead, J. (1980). Student conceptions of simple circuits. *The Physics Teacher*, 18(3), 194-198.
- Gabel, D. L., & Samvel, K. V. and Huhn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64, 695-697.
- Garnett, P. J., & Treagust, D. F. (1992). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(10), 1079-1099.
- Gersch, T. M., Kowler, E., & Doshier, B. (2004). Dynamic allocation of visual attention during the execution of sequences of saccades. *Vision Research*, 44, 1469-1483.

- Gilbert, J. K. & Watts, D. M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10, 61-98.
- Godijn, R., & Pratt, J. (2002). Endogenous saccades are preceded by shifts of visual attention: Evidence from cross-saccadic priming effects. *Acta Psychologica*, 110, 83-102.
- Guan, Y. H. (2006). The Effects of Multimedia Presentations on the Learning Efficiency of Assembly Instructions. *ED-MEDIA 2006*, 2541-2547.
- Head, J. (1986). Research into alternative framework: Promise and problem. *Research in Science & Technological Education*, 4(2), 203-211.
- Heller, P. M., & Finley, F. N. (1992). Variable use of alternative conceptions : a case study in current electricity. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 259-275.
- Henderson, J. M. (1996). Visual attention and the attention-action interface. In K.Aikens (Ed.), *Perception: Vancouver Studies in Cognitive Science* (pp. 290-316).Oxford: Oxford University Press.
- Henderson, J. M. (2003). Human gaze control during real-world scene perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 498-504.
- Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (1990). High-level scene perception. *Annual Review of Psychology*, 50, 243-271.
- Hoffman, J. E. (1998). Visual attention and eye movements. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 119-153). East sussex, UK: Psychological Press.
- Hoffman, J. E., & Subramaniam, B. (1995). The role of visual attention in saccadic eye movements. *Perception and psychophysics*, 57(6), 787-795.
- Holzman, P. S. (2000). Eye movements and the search for the essence of schizophrenia. *Brain Research Reviews*, 31(3), 350-356.
- Hughes, A., Wilkens, T., Wildemuth, B. M., & Marchionni, G. (2003). *Text or pictures? An eyetracking study of how people view digital video surrogates*. Image and Video Retrieval, Proceedings Lecture Notes in Computer Science. Retrieved April 23, 2006, from http://www.open-video.org/papers/hughes_civr_2003.pdf

- Hyona, J., Lorch, R. F., Jr., & Kaakinen, J. K. (2002). Individual differences in reading to summarize expository text: evidence from eye fixation patterns. *Journal of Educational Psychology, 94*(1), 44-55.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1976). The role of eye-fixation research in cognitive psychology. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers, 8*, 139-143.
- Kowler, E., Anderson, E., Doshier, B., & Blaser, E. (1995). The role of attention in the programming of saccade. *Vision Research, 35*, 1897-1916.
- Kuhn. T. (1970). *The Structure of Revolutions*. Chicago : Chicago University press.
- Kustov, A. A., & Robinson, D. L. (1996). Shared neural control of attentional shifts and eye movements. *Nature, 384*, 74-77.
- Lawson, A. E. (1988). The acquisition of biological knowledge during childhood: Cognitive conflict or Tabula Rasa. *Journal of Research in Science Teaching, 25*, 185-199.
- Licht, P. (1991). Teaching electrical energy, voltage and current: an alternative approach. *Physics Education, 26*(5), 272-277.
- Liegeois, L., & Mullet, E. (2002). High school students' understanding of resistance in simple series electric circuits. *International Journal of Science Education, 24*(6), 551-564.
- MackWorth, N. H., & Morandi, A. J. (1967). The gaze selects informative details within pictures. *Perception & Psychophysics, 2*, 547-552.
- Magnusson, S. J., Boyle, R. A., Templin, M. (1997). Dynamic science assessment: A new approach for investigating conceptual change. *The Journal of the Learning Science, 6*(1), 91-142.
- Mayer, R. E. (1999). Designing instruction for constructivist learning. In C.M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models, 2*, 141–159.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology, 82*(4), 715-726.

- Mayer, R. E., & Moreno, R. (1999). Cognitive Principles of Multimedia Learning : The Role of Modality and Contiguity, *Journal of Educational Psychology*, 91(2), 358-368.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2002). Animation as an aid to multimedia learning. *Educational Psychology Review*, 14(1), 87-99.
- Mayer, R. E., & Sims, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 86(3), 389-401.
- McPeck, R. M., Skavenski, A. A., & Nakayama, K. (2000). Concurrent processing of saccades in visual search. *Vision Research*, 40, 2499-2516.
- Osborne, R., Bell, B. F., & Gilbert, J. K. (1983). Science teaching and children's views of the world. *European Journal of Science Education*, 5(1), 1-14.
- Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: The implications of children's science*. Auckland, NZ: Heinemann.
- Osborne, R., & Gilbert J. K. (1980). A technique for exploring students' views of the world. *Physics Education*, 15, 376-379.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Pickering, M. J., Traxler, M. J., & Crocker, M. W. (2000). Ambiguity resolution in sentence processing: Evidence against frequency-based accounts. *Journal of Memory & Language*, 43(3), 447-475.
- Pieters, R., Rosbergen, E., & Wedel, M. (1999). Visual attention to repeated print advertising: A test of scanpath theory. *Journal of Marketing Research*, 36(4), 424-438.
- Posner, G.L., Strike, K.A., Hewson, P.W., & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Psillos, D., Koumaras, P., & Tiberchien, A. (1988). Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching sequence on DC circuits. *International Journal of Science Education*, 10(1), 29-43.

- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.
- Rizzolatti, G., Riggio, L., Dascola, I., & Umiltà, C. (1987). Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians: Evidence in favor of a premotor theory of attention. *Neuropsychologia*, 25, 31 – 40.
- Salvucci, D. D., & Anderson, J. R. (1998). Tracing eye movement protocols with cognitive process models. In *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 923-928). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (1997). Common student misconceptions in electrochemistry: galvanic, electrolytic, and concentration cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(4), 377-398.
- Schneider, W. X., & Deubel, H. (1995). Visual attention and saccadic eye movements: Evidence for obligatory and selective spatial coupling. In J. M. Findlay, R. W. Kentridge, & R. Walker, (Eds.), *Eye movement research: Mechanisms, processes and applications* (pp. 317-324). Amsterdam: Elsevier.
- Schoon, K. J. (1995). The origin and extent of alternative conceptions in the earth and space sciences: A survey of pre-service elementary teachers. *Journal of Elementary Science Education*, 7(2), 27-46.
- She, H.C. (2002). Concepts of a higher hierarchical level require more dual situated learning events for conceptual change: a study of air pressure and buoyancy. *International Journal of Science Education*, 24(9), 981-996.
- Shepherd, M., Findlay, J. M., & Hockey, R. J. (1986). The relationship between eye movements and spatial attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38A, 475-491.
- Shimojo, S., Simion, C., Shimojo, E., & Scheier, C., (2003). Gaze bias both reflects and influences preference. *Nature Neuroscience*, 6(12), 1317-1322.
- Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, 6(2), 185-198.
- Shipstone, D. M. etc. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European country. *Internal Journal of Science Education*, 10(3), 303-316.

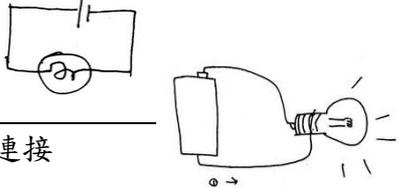
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(1), 4-14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of new reform. *Harvard Educational Review*, 57, 1-22.
- Steinbach, M. J. & Held, R. (1968). Eye tracking of observer-generated target movements. *Science*. 161(3837), 187-188.
- Steinberg, M. S. (1983). Reinventing electricity. *Misconceptions and educational strategies in science and mathematics*(pp792-819). Proceeding of the international seminar(1st, Ithaca). N.Y.
- Stepans, J. I., Beiswenger, R. E., & Dyche, S. (1986). Misconceptions die hard. *Science Teacher*, 63-69.
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1985) .A conceptual change view of learning and understanding, In L. H. T. West & A. L. Pines (Eds), *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando, FL: Academic press.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Treisman, A. M. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 242-248.
- Viard, J., & Francoise, K. L. (2001). The concept of electrical resistance: how Cassirer's philosophy, and the early developments of electric circuit theory, allow a better understanding of students' learning difficulties. *Science and Education*, 10, 267-286.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change[special issue]. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gable (Ed.), *Handbook of research in science teaching and learning*. (pp. 177-210). New York: Macmillan.
- Weiss, R. E., Knowlton, D. S., Morrison, G. R. (2002). Principles for using animation in computer-based instruction: theoretical heuristics for effective design. *Computers in Human Behavior*, 18, 465-477.

Wexler, M & Klam, F. (2001). Movement prediction and movement production. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 27(1), 48-58.

Williams, L. M., Loughland, C. M., Green, M. J., Harris, A. W. F., & Gordon, E. (2003). Emotion perception in schizophrenia: An eye movement study comparing the effectiveness of risperidone vs. haloperidol. *Psychiatry Research*, 120(1), 13-27.



附錄一：電流概念類別評分表

1-1 有導線、電池與燈泡三種材料，要怎麼連接才能形成通路？（請繪圖說明）（相關概念－通路）		
評分標準		配分
以導線連接電池與燈泡形成通路		1
		
圖示中電池正負極與燈泡接點正確連接		1
小計		2
1-2 為何可以使燈泡發光？（相關概念－燈泡發光）		
評分標準		配分
有電		1
鎢絲是高電阻		1
鎢絲溫度達到一定溫度會發光		1
電位差		1
小計		4
1-3 形成通路後，導線內會有什麼變化？（相關概念－通電導線內變化）		
評分標準		配分
有電流		1
有電子流		1
有電場		1
有磁場		1
小計		4
2 你認為在一條導線當中，內部粒子的種類為何？（請繪圖說明）（相關概念－不通電導線內的微觀粒子種類）		
概念類別	評分標準	配分
粒子種類	原子	1
	自由電子	1
粒子大小	原子較大顆	1
	自由電子較小顆	1
小計		4

● 電流概念類別評分表 (續)

3-1 什麼是電流? (請繪圖說明) (相關概念-電流)		
評分標準		配分
電流是抽象假想的概念		1
電流是相對於電子流		1
電流就像是正電荷從電池正極往負極流動		1
電流流動方向與電子流相反		1
小計		4
3-2 什麼是電子流? (請繪圖說明) (相關概念-電子流)		
評分標準		配分
電子流流動方向與電流相反		1
電子從電池負極往正極流動		1
小計		2
4-1 電子通過導線的方式有哪些? (請繪圖說明) (相關概念-電子通過導線的方式)		
評分標準		配分
電子大致往同一方向移動		1
電子經由碰撞穿越		1
電子直接穿越		1
小計		3
4-2 請你從微觀的角度來解釋通路導線內的電子如何讓燈泡亮起來? 請說明理由。(請繪圖說明) (相關概念-微觀通電導線內變化)		
評分標準		配分
電池的化學能轉換成電能	化學能 → 電子 → 鎢絲	1
電位差使電子流動	消耗能量 → 溫度升高 → 光	1
電子互相碰撞傳遞電能		1
電能轉換成光能與熱能		1
小計		4
總計		27