

國立臺灣師範大學科學教育研究所

碩士論文

指導教授：楊芳瑩博士

利用眼球追蹤技術

探討科學圖文閱讀歷程與概念理解之關係

Using Eye Tracking Technique to Explore the  
Relation between Science Text and Graphics  
Reading and Concept Understanding

研究生：黃堯琮

中華民國 101 年 1 月

## 誌謝

這篇論文的形成，我必須感謝的人非常多，雖然我很想說「那就謝天吧！」，但是有些感恩的心無法就這樣搪塞。最感謝的莫過於指導教授楊芳瑩老師，每日每夜不辭辛勞地督促生性偷懶的我，還要在出國之前抽空幫我口試，真的是令我銘感五內永不忘記。接著，就是家人的支持。忙論文的期間，總是無法回家陪伴父母，姊姊訂婚結婚我也是僅盡微薄之力，這段時間辛苦你們了；另一個常被我冷落的就是女朋友，謝謝妳總是不計較我忙論文而疏忽妳這件事情。還有研究室的大家：靜文姐總是詼諧地提醒我進度壓力、怡君學姐天南地北無限制式地聊天、易儒學長超級廣泛無邊無疇各方面的大力用力猛烈引領和幫助、又亭的技術以及學術協助、小草和志明的支援、婉如的幫忙、沁靜、家琦等等，能夠跟你們一起作研究，我真的很開心，也很感謝你們以及老天爺的安排。不能忘記這些年的室友們，爺爺的進度報告、譽馨的紅豆湯圓、暉智、昭同我們一起散步談心。最後永宏、楊淇、文宏、孟珊、蕙琳、亭誼、雪碧、湘虎、以及這些年一起上課的同學們，謝謝你們，我不會忘記我們曾經一起在大老們面前搞笑的。還是有很多給予我協助的人，謝謝你們。回顧這兩年多的時間，日子過得很充實也很辛苦，求學之路不好走，但是有你們一路相伴，也能將苦澀轉化為甘甜。礙於我文筆不佳，感激之情遠勝過我所打的，謝謝你們。

## 摘要

由於教科書是學生閱讀學習的主要依據，而且科學教科書中充斥著許多不同類型的圖片，科學教科書的圖文閱讀歷程與概念理解之間是否存在關係值得進一步探討。本研究主要使用眼球追蹤系統，針對高一學生的化學教科書圖文閱讀歷程進行紀錄，並且使用半結構式問卷測驗概念理解程度，進而探討閱讀歷程與概念理解之間的關係。眼球追蹤資料透過彙整後，使用 SPSS 19 軟體進行描述性統計、相關分析，並與概念理解分數進行單因子變異數分析 (ANOVA)。結果發現，學生在文字部份所花費的凝視時間，普遍都比在圖片部份高。並且閱讀科學圖片本身就足以協助對文本概念的理解，理論示意圖會達到更關鍵的效果。

**關鍵字：**圖文閱讀、眼球追蹤、教科書、化學教育。

## Abstract

Owing to textbook is a basis when student learning by reading, and there are all kind of graphics filled in scientific textbook. It is worth to figure out that is there any relation between both graphic and text reading in scientific textbook and concept understanding. This study used eye tracking technique to record high school first grade student's reading progress while they are reading both text and graphic in chemistry textbook. We also used semi-structured questionnaire to exam the degree of student's concept understanding, and further, to figure out the relation between reading progress and concept understanding. We used SPSS19 to treat our data collect by eye tracking and receive result like descriptive statistics, correlation analysis, and even used both eye tracking data and degree of student's concept understanding to receive one-way ANOVA result. The outcome is student generally spent more fixation time on text then on graphic, and reading scientific graphic itself can sufficiently help student's concept understanding in textbook. In all kind of graphic, theory diagram will have a better effect.

**Key word :** graphic and text reading, eye tracking, textbook, chemistry education.

## 目次

誌謝.....	一
摘要.....	二
目錄.....	四
圖目錄.....	六
表目錄.....	七
第一章 緒論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的與待答問題.....	3
第三節 研究範圍及限制.....	3
第四節 研究的重要性.....	4
第五節 名詞解釋.....	4
第二章 文獻探討.....	7
第一節 科學教科書的特性與內容.....	7
第二節 科學圖片的性質.....	9
第三節 視覺注意力和訊息處理.....	12
第四節 眼動儀與圖文閱讀的相關研究.....	15
第五節 研究架構.....	16
第三章 研究方法.....	18
第一節 研究對象.....	18
第二節 研究設計.....	19
第三節 研究流程.....	19
一、工具準備與確定主題階段.....	20
二、正式施測階段.....	21
三、結果分析階段.....	22
第四節 研究設備.....	23
第五節 研究工具.....	24
一、化學課文文本.....	24
二、閱讀理解問卷.....	25
三、眼球追蹤儀.....	26
第六節 資料處理.....	26
一、受試者概念理解探討.....	26
二、閱讀歷程分析.....	28
三、閱讀歷程與概念理解交叉分析.....	30
第四章 資料呈現與分析.....	31
第一節 閱讀歷程整體表現.....	31
第二節 閱讀理解表現.....	34

第三節 閱讀歷程與閱讀理解表現之交叉分析.....	34
一、閱讀時間與理解表現的相關分析.....	35
二、整體閱讀歷程與理解表現之差異.....	37
三、文字區域的閱讀差異.....	38
四、圖片區域的閱讀差異.....	43
五、不同頁面內容的閱讀差異.....	45
六、圖文交互閱讀的差異.....	53
第五章 綜合討論與展望.....	55
第一節 研究結果及推論.....	55
第二節 在教育上的建議.....	64
第三節 未來的研究方向.....	65
參考文獻.....	67
附錄一、沈澱反應熟悉度量表.....	70
附錄二、實驗用教科書文本.....	71
附錄三、閱讀理解問卷.....	75
附錄四、問卷專家審查表.....	76
附錄五、評分標準專家審查表.....	77
附錄六、施測家長同意書.....	80
附錄七、概念區域劃分依據.....	80

## 圖次

圖 2-3.1 大腦控制的自主性眼球運動假設模型.....	12
圖 2-5.1 研究架構圖.....	17
圖 3-3.1 工具準備與確定主題流程.....	20
圖 3-3.2 施測流程.....	22
圖 3-4.1 研究設備圖.....	23
圖 3-5.1 實驗用文本.....	24
圖 4-2.1 分數分佈圖.....	34
圖 4-3.1 全文凝視時間平均數的比較圖.....	38
圖 4-3.2 淨離子 1 各變項平均數的比較圖.....	41
圖 4-3.3 淨離子 2 各變項平均數的比較圖.....	42
圖 4-3.4 概念解釋各變項平均數的比較圖.....	44
圖 4-3.5 全圖統計各變項平均數的比較圖.....	47
圖 4-3.6 概念示意(卡通圖)各變項平均數的比較圖.....	49
圖 4-3.7 概念示意(巨觀到微觀)各變項平均數的比較圖.....	52
圖 4-3.8 圖文交互閱讀次數平均的比較圖.....	54
圖 5-1.1 沈澱 2(左)與淨離子 2(右)的頁面比較.....	62

## 表次

表 2-2.1 圖形功能歸納.....	11
表 3-6.1 閱讀理解問卷評分標準.....	27
表 3-6.2 眼動儀資料庫中提取用來分析的部份.....	29
表 3-6.3 文字部份與圖片部份的區域分類及定義.....	29
表 4-1.1 文字與圖片各區域眼動儀數據的全班平均值.....	32
表 4-1.2 各頁面圖文交互閱讀的全班平均值與標準差.....	33
表 4-2.1 分數的相關統計數值.....	34
表 4-3.1 文字部份與圖片部份的眼動指標與概念理解分數的相關分析.....	35
表 4-3.2 各頁面的眼動指標與概念理解分數的相關分析.....	36
表 4-3.3 全文本與閱讀理解的分析.....	37
表 4-3.8 「淨離子 1」與閱讀理解的分析.....	39
表 4-3.9 「淨離子 2」與閱讀理解的分析.....	40
表 4-3.4 「概念解釋」閱讀歷程與內容理解的分析.....	43
表 4-3.5 全圖統計與閱讀理解的分析.....	45
表 4-3.6 概念示意(卡通圖)與閱讀理解的分析.....	48
表 4-3.7 概念示意(巨觀到微觀)與閱讀理解的分析.....	50
表 4-3.10 圖文交互閱讀次數與閱讀理解的分析.....	53





# 第一章 緒論

本章節將描述本研究的「研究背景與動機」、「研究目的與待答問題」、「研究範圍及限制」及「研究的重要性」，並在「名詞解釋」中解釋說明本文的關鍵詞。

## 第一節 研究背景與動機

科學學習的範疇無邊無際，可以從大至天體、星系，或者小至電子、夸克。而人的肉眼能力有限，無法看到所有想要探究與學習的內容。由於我們的肉眼存在太多限制，許多的發明家、科學家，嘗試各種管道去克服視覺限制，有些創造了儀器，有些建構了理論，這些前人的努力使我們對自然界有不同尺度的瞭解。而對於無法直接操作儀器進行觀察的學習者，科學家與教育者盡可能用圖、表，讓他們能直接學習相關的概念。因此，在科學的書籍中，出現許許多多、琳瑯滿目的圖片，有彩色的、有黑白的、有圖片上有寫字的、也有純照片的，種類繁多但意義不盡相同。教育者普遍相信在學習的過程中，若是能將一些微觀、巨觀現象或理論圖片化，能夠讓學習者更能夠理解與想像這些科學內容的深意。即使都是以圖片來呈現，一個概念也可以用不同的圖片形式來呈現，例如食鹽的概念可以用一整包食用鹽的照片來表示，也可以用化學式  $\text{NaCl}$  表示，更可以畫出鈉原子與氯原子的結合示意圖來表現。特別是在化學上，對於同一個概念以不同的圖片形式呈現，也就是對於同一概念擁有多元表徵(Hoffman & Laszlo, 1991)，而不同類型的表徵蘊藏著不同的概念，學生在透過不同的表徵作學習時，也會理解不同的概念。

在台灣以至於世界各國，學生在大學以前所接受的科學教育，主要是學校科學課程輔以科學教材，而教科書就是主要的科學教材來源，因此，閱讀教科書基本上已是科學學習的一環，Moody(2000)亦指出，教科書在科學學習中扮演著關

鍵的角色。翻開教科書，可見圖文並茂，不同形式的圖表也經常交錯出現於課文中，然而教育研究上關於學生如何閱讀科學教科書，以及科學教科書中圖文呈現如何影響學生學習等問題的探討並不多見，因此，本研究嘗試以現行教科書為材料，進行課文閱讀理解研究，目的在探究學生之科學課文閱讀歷程與內容理解的關係。

閱讀歷程的研究方法有許多，可以透過晤談由受試者回憶或者放聲思考 (think aloud)，也可以用問卷來讓受試者親自寫下，但是如果可以更清楚明確地知道學習者的閱讀歷程，就能更準確的知道學習者閱讀困難及教科書學習策略。眼動儀是一種視覺注意力的偵測儀器，它能偵測與記錄使用者的視線落點。我們的研究將透過眼動儀的這個特性，將學生對於教科書的閱讀歷程記錄下來，並且探討學生的概念理解，研究此二者之間的關係。

本實驗除了在研究學生的閱讀歷程與概念理解之間的關係外，也期許能從文本、圖片與概念理解三者之間的關係，進一步探討教科書在目前教育上的角色，以及能夠更大幅度的輔助學生學習之具體建議與詳細的改進方針。

## 第二節 研究目的與待答問題

本研究目的在利用眼球追蹤技術探討台灣北部地區高中學生的科學教科書（化學學科）閱讀歷程，與科學概念理解之關係。基於上述目的與研究動機，本研究設定之待答問題如下：

- 一、台灣北區高中學生在閱讀化學課文時，其視覺注意力於圖文之分配為何？
- 二、針對不同類型圖片，學生閱讀化學課文是否有著不同的視覺注意力分配？
- 三、台灣北部地區高中學生於化學課文閱讀後，對科學概念的理解程度如何？
- 四、學生閱讀化學課文後，對科學概念的理解程度是否與化學課文的閱讀歷程有關？

## 第三節 研究範圍及限制

由於研究對象和研究工具的限制，本研究成果的通則化與推論上將受到某些條件影響。茲將本研究的限制範圍說明如下：

1. 本研究以新北市某國立高中一年級一個班級的學生為主要研究對象，由於該校為男女合校之高級中學，且入學時經過篩選，平均學科成績 PR 值接近，因此研究推論的範圍應侷限在和本研究背景類似之學校與學生。
2. 本研究主要針對學生概念理解與閱讀歷程行為的關係進行分析探討，其他影響因素的探究未列於研究中。

## 第四節 研究的重要性

以下對本研究的重要性作一說明：

1. 台灣現行教育制度之下，中學生仍然以升學考試為主要學習目標。因此，探討中學生閱讀歷程與概念理解之間是否存在關聯性，對於仍需花費大量時間在對文本作理解的學生而言，是個非常重要的訊息。而對於老師以及家長而言，這樣的研究將可提供協助學生作有效率學習的相關訊息。
2. 本研究以教科書為原始材料，並以還原教科書為原則，初步探討閱讀教科書與概念理解之間的關係，期許能發現改進科學教科書的契機與關鍵。

## 第五節 名詞解釋

茲將本研究所涉及之重要名詞與其操作定義，分別解釋說明如下，以協助讀者瞭解並利於此論文之閱讀與瞭解。

### 一、視覺注意力

注意力是一種可以將有限的心理資源在某一個時間點上專注於某個訊息的能力，其中視覺注意力是專指當眼睛自主移動時，將注意力集中於視野中出現的物體上 (Findlay & Gilchrist, 2003)。視覺注意力會專注於欲處理的某物件，並且將會看見我們對該物件的操弄(Land, 2007)。

## 二、閱讀歷程

本研究所探討之閱讀歷程，為受試者在閱讀研究者由市售教育部審定的教科書中所節錄編列的文本時，由眼動儀所紀錄下來的視覺注意力於不同圖文區域的時間與分配狀況。

## 三、概念理解

本研究所指之概念理解，是以「沈澱反應」與「淨離子方程式」等化學之領域特定知識。在資料分析中，所指的概念理解即為受試者在沈澱反應與淨離子方程式的測驗中，根據題意與閱讀內容進行回答的理解程度。

## 四、凝視點

正常狀況下，一般人使用雙眼閱讀訊息。也就是說，訊息是透過我們雙眼傳達到我們的大腦，進而做訊息處理，而雙眼在閱讀時的注意力位置，便稱為凝視點。根據蔡介立(2006)指出，紀錄眼球凝視的時間與位置，可反應大腦對資訊的選擇與處理時間。相關研究顯示一般人平均凝視點的時間為 200~250 毫秒 (Rayner, 1998)。為求謹慎，本研究所採取的凝視點標準為 150 毫秒。

## 五、眼動儀

本研究所提及之眼動儀，為眼球運動追蹤儀器組。本儀器組是雙攝影機、單紅外光源器，搭載 faceLAB Seeing Machines4.5 軟體系統，施測過程中僅以紅外線照射虹膜，反射至雙攝影機進行紀錄，不對受試者施以紅外線以外的任何限制，提供一個可以在最接近自然閱讀的姿勢，進行頭部姿勢、眼球運動、凝視點以及凝視時間等資料的蒐集。

## 六、圖文交互閱讀

本研究所探討的圖文交互閱讀為受試者的閱讀歷程中，在研究者所定義的文字區域與圖片區域交替閱讀情形，稱為圖文交互閱讀。主要的計算方式為：閱讀者在凝視文字區域後轉而凝視圖片區域，此即算一次的交互閱讀，反之亦然。

## 第二章 文獻探討

根據研究動機與目的，本章節將針對「高一學生對於科學圖表閱讀歷程與概念理解之關係」相關理論與研究進行探討，主要分成「科學教科書的特性與內容」、「科學圖片的性質」、「視覺注意力和訊息處理」及「眼動儀與圖文閱讀的相關研究」等小節，並提出研究架構。

### 第一節 科學教科書的特性與內容

#### 一、科學教科書的特性

教科書在教學上占有極重要的角色，老師上課時需要靠它來與學生資訊同步，學生上課時也需要靠它來作為上課的依循，下課後更是溫習課業的依據，不分學科都是同樣情況。科學教科書的格式和其他科學文本的文章形式有很大的不同，閱讀時所需的能力也不盡相同。Mallow(1991)指出科學刊物大致上可以分成四種不同的層次：

##### (一)、大眾刊物：

泛指報紙或者一般刊物、雜誌所刊登的科學文章。一般來說，此類文章的標題聳動、鮮明，且議題貼近生活，由於目的是使用社會大眾容易理解，用字遣詞會避開艱深的專有名詞。此類刊物的閱讀速度可以像讀報一般的快捷，不會有太多需要停頓注意的地方；因為不容易出現數據分析、判斷等資料。對有名的科學家專訪，或者引據某有名科學機構都會特別的舉列，目的為增加可信度、並且突顯主題的重要性。

## (二)、大眾科學刊物：

此類刊物以科學雜誌、月刊為主。此類刊物用字遣詞適中，不會過於艱深，但若讀者是全盤無任何科學知識背景，也無法完全理解文章所表達的意思，甚至可能在單字詞間拘泥而無法理解。因此閱讀速度也會較第一種刊物慢，對讀者程度的要求也較高。但是因為仍然是以科學普及等類似原因為發刊目的，不會有最即時的資訊，所以讀者以非專業領域的科學家或是對科學有興趣、略有接觸的一般民眾。

## (三)、科學研究文章：

此類文章所指為期刊論文等特定領域的刊物。此類文章是由從事科學研究的科學家所撰寫，是屬於該專業的文章，具有該研究領域所特有的寫作格式、圖表、和特殊名詞，並且會在其中詳細解釋研究過程與成果。此類文章的閱讀速度緩慢，即使是此領域的專家，仍會在某些重要的地方深究。讀者以同一領域的研究者、科學家、學者等專業人員為主，非同一領域的科學家便很難理解此類文章。

## (四)、科學教科書：

科學教科書並沒有一定的書寫模式，上述三者都有可能成為教科書，隨著年齡與背景知識的增長而逐漸加深閱讀難度。但是不管哪種類型的科學文章，如果要理解教科書的內容，讀者都需要如同科學家閱讀科學研究文章般地仔細，一字一句地審視內文，並且註記自己理解後的解釋，需要時反覆背誦內文。科學教科書不僅僅是「傳達」新訊息與概念，更有協助理解、促進理解的積極功能(許良榮, 1994)。近年來，科學教科書不斷地修訂，並且除了配合許多教育原理，更強化了原先不足的情意陶冶功能，如引起動機、延伸閱讀、科學史的融入等等，都使科學教科書不再只是單純傳遞知識的文章。



## 二、科學教科書的基本內容

科學文本最早期是被認為當作科學實驗紀錄與實驗發現的工具，隨著知識的累積和時間的推移，逐漸轉化而自成為一種文體，擁有科學領域特殊的用詞語法和圖文呈現模式（洪月女、靳知勤，2008），因此，科學文本對讀者的要求不同於其他文本。有許多研究指出，科學文本的閱讀理解與讀者的領域特定的能力相關(Perkins & Simmons, 1988; Gagné et al., 1993)。儘管科學文本有不同形式，其內容結構有其共通處，Peacock(1995)將科學文本內容要求做了以下分類，而這些分類也是科學教科書內容的基本元素：

- (一)、本質的(intrinsic)要求：文本想要表達的概念或是想法本身理解的困難度。
- (二)、文意的(linguistic)要求：文中出現的文字、子句、詞語之關係，以及文章中使用的時機。
- (三)、視覺的(visual)要求：文中使用的圖片、圖表、示意圖以及符號的意涵。
- (四)、形式的(formatic)要求：文章與圖片在同頁與前後頁的編排以及圖文之間的關係。
- (五)、社會學上的(sociological)要求：文中使用的隱喻、雙關、或狀聲詞等等。

由上述的討論可知，目前科學教科書設計主要的目的為傳達科學知識、協助科學學習並提升學習者的科學興趣，而內容的呈現則以概念或解釋相關文字、視覺物件為主，並有特定的圖文編排之要求。

## 第二節 科學圖片的性質

目前臺灣中小學教科書經過多次修改後，已經大幅提高圖片的使用；特別是自然科，由於該科知識本身就是從自然中發現而得，所以往往使用許多圖片來輔

助學生對自然科學的理解。但是，圖形的種類各有不同，配合閱讀的時機點也不同。

根據 Levin(1982)表示，圖形在學習上大致上分成四種功能：表徵功能、組織功能、詮釋功能、轉換功能，以下分別解釋之：

1. 表徵功能 (representation)：

具有表徵功能的圖片是教科書中最常出現的圖片類型，圖片本身內容與課文重疊，可以將文章中所描述之人、事、物、概念、現象等等，具體的呈現出來，讓學生增加更多的學習機會與資源。

2. 組織功能 (organization)：

圖片的組織功能，主要提供了與課文內容相關的巨觀結構，或是將課文中文章內容較為鬆散的部份，用結構式圖片將其串連。此功能可以描述事件發生先後或者概念的發展順序等具有時間性與空間性的資訊，協助學生閱讀理解。

3. 詮釋功能 (interpretation)：

圖片的詮釋功能主要使用於課文中比較不容易理解、或者讀者不熟悉的概念，透過類似隱喻、類比的方式，或是透過相似的例子加以解釋，增加文章本身的可理解度。

4. 轉化功能 (transformation)：

如同修辭學中的轉化，圖片的轉化功能主要透過將文字中的訊息轉化成特殊的圖片，可能是具體圖像、或者抽象符號，目的皆為幫助記憶，使讀者更容易增加對文章中關鍵訊息的印象。

此四種功能與課文結構的關係，可以表示如表 2-2.1。從理解導向方面來看，不論文本內容訊息結構是巨觀或微觀，圖片的詮釋功能都能使文本內容更具有意義（例如：詮釋概要、分類，或者詮釋概念、細節等），都能使讀者更加理解文本的訊息。從記憶導向方面來看，在巨觀結構中，圖片的組織功能可以讓訊息更

加的具有關聯性，亦可使文章內容不至於結構鬆散(前者像是星圖、生物分佈圖，後者如概念圖等)。然而在記憶導向的微觀結構中，圖片的表徵功能通常代表的訊息量較小，往往一個概念或一個現象就必須使用一個圖片來表徵，所以蘊含的資訊很少，最常見是直接用照片來表示。圖片的轉化功能同樣屬於記憶導向的微觀結構，與表徵功能的限制類似，對於增加可記憶性的概念量有限，一般常見的是將難以觀察或者肉眼不可見的物體使用卡通圖來表示。

表 2-2.1 圖形功能歸納(修改自 Levin, 1982; 許良榮, 1996)

		主要認知功能	
		理解導向 (Comprehension-Directed)	記憶導向 (Memory-Directed)
文本 訊息 的 層次	巨觀結構 (Macrostructure)	詮釋 (interpretation 註1)	組織 (organization 註2)
	微觀結構 (Microstructure)	詮釋 (interpretation 註1)	表徵 (representation 註3) 轉化 (transformation 註4)

註 1：更具有意義

註 2：更具有關聯性

註 3：更具體

註 4：更容易記憶

不同類型的圖片可能蘊含不同的概念與資訊，也會因為有不同的功能，對閱讀理解和認知產生不同的協助。因此，在閱讀理解的研究中，圖片部份的探討是不可或缺的。

### 第三節 視覺注意力和訊息處理

#### 一、視覺注意力與訊息處理的關係

注意力是一種可以將有限的心理資源在某一個時間點上專注於某個訊息的能力，其中視覺注意力是專指當眼睛自主移動時，將注意力集中於視野中出現的物體上 (Findlay & Gilchrist, 2003)。雖然知識與資訊傳遞的型式並非只能由眼睛接收，但是日常生活中我們通常以視覺閱讀資訊比較龐大的訊息先接收。當我們在閱讀的時候，視覺的資訊必須由眼睛接收而進入大腦，再由大腦進一步的做資訊的處理。

Krauzlis (2005) 指出，眼睛正在看什麼的同時，也決定了之後要注視的目標。先前眼睛所看的東西經過大腦一連串的內在認知系統(包含注意力、知覺、記憶…等)處理，會形成一種選擇 (deciding making) 或者是驅動力，靠著這樣的機制，大腦控制著眼睛進行自主式的眼球運動—掃視 (saccade) 與追看 (pursuit)，來使眼球運動以看到所選擇看到的下一個目標物。

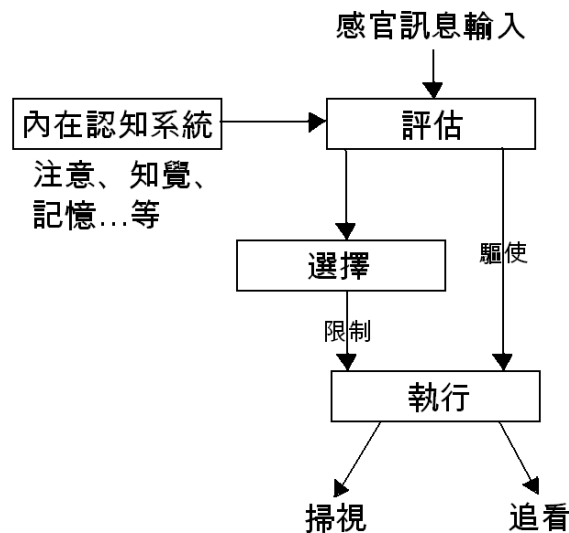


圖 2-3.1：大腦控制的自主性眼球運動假設模型 (譯自 Krauzlis, R. J., 2005)

由 Atkinson 和 Shiffrin 所提出的訊息處理論中描述，外界訊息的輸入，首先經感官登錄，接著會傳入短期記憶。訊息在短期記憶中短暫停留，此時資訊會與從長期記憶中所提取、搜尋出來的訊息在運作記憶運作處理。如果長期記憶裡的資訊和新進資訊相似，這個新資訊就會和原本長期記憶中搜尋出的相似資訊一起被輸出並除存到長期記憶中。長期記憶裡沒有的新訊息便會被遺忘。心不在焉時，感官往往會忽視訊息而不予登錄，造成「視而不見，聽而不聞」的現象。

視覺注意力和訊息處理的關係，Land(2007)認為有兩個重點：其一為視覺注意力會專注於所欲處理的物件；另一為當視覺注意力專注於某一物件上時，常常能看到我們對此物件的操弄動作。這兩個重點可以用 Land、Mennie 以及 Rusted(1999)對泡茶工作中的視覺注意力研究來清楚解釋。這項研究主要在觀察當一個人執行「泡一壺茶」的工作時的視覺注意力所在，結果發現，視覺注意力的所在幾乎只專注於在處理的物件上，例如當要打開水槽旁水龍頭，以便在茶壺中加入水時，視覺注意力幾乎只會落在水龍頭的開關上，而不會落在水槽邊、窗台前，水槽下的櫃子上等其他地方，甚至極少落在茶壺上或水龍頭的出水口上。當水龍頭的水打開後，視覺注意力才會接著注意水龍頭的出水口和茶壺壺口。這解釋了 Land(2007)提到的第一個重點：視覺注意力會專注於所欲處理的物件上。而泡茶工作的研究中同時也觀察到，當視覺注意力在水龍頭開關上時，同時可以觀察到手對水龍頭開關的操弄動作，例如扭開水龍頭或扭緊水龍頭；當視覺注意力在茶壺上時，也可觀查到手對茶壺的操弄動作，例如傾斜茶壺以便將茶壺口對準水龍頭出水口流出的水。這也解釋了 Land(2007)提到的第二個重點：當視覺注意力專注於某一物件上時，常常能看到我們對此物件的操弄動作。因此，我們可以知道，當我們的視覺注意力集中於某一物件上時，通常可以象徵著我們正在處理著這一個物件的資訊。

## 二、注意力與眼球追蹤技術

在閱讀過程中，許多訊息皆是透過我們雙眼傳達到我們的大腦。而雙眼在凝視時的落點，本研究便將其稱為凝視點。在我們想要探索或瞭解事件時，在眼球凝視之前，我們的注意力已經早先一步察覺。(Hoffman & Subramaniam, 1995)。但是，若是刺激迅速而複雜的出現，眼球的運動將優先注意力對刺激作反應(He & Kowler, 1992)。因此當我們在閱讀時，眼球運動和注意力有密切相關性。根據蔡介民(2006)指出，紀錄眼球凝視的時間與停留位置，將反應大腦對資訊的選擇與處理時間。眼球追蹤技術即是用眼動儀來蒐集受試者的凝視點資料，透過這些資料的紀錄研究者可以瞭解受試者在閱讀文本時凝視點的移動，將眾多凝視點透過時間的串連，就會形成凝視軌跡。眼動儀所模擬出的凝視軌跡與受試者事後所進行的訪談資料十分吻合(Cook, 2006)，因此能將眼球凝視軌跡模擬成受試者的閱讀歷程。

一般而言，凝視點大概會在同一字節內五到九個不同點上，此一字節的凝視時間總和約 100 到 500 毫秒。閱讀中大部分凝視點的凝視時間會在約 200 到 350 毫秒之間 (Reichle et al., 1998)。至於眼球在閱讀時出現的不穩定動態視線表現會被眼動儀紀錄成掃視 (Saccade)。掃視一般認為是眼球視線由前一個凝視點移動到下一個凝視點的動態過程，在掃視的過程中幾乎沒有任何資訊會被擷取 (Wolverton & Zola, 1983)。因此，研究者在分析眼動儀資料時，所提取的主要分析資料是眼球的凝視點紀錄，而掃視紀錄則不列入討論。

由上述文獻探討可以知道，眼球凝視、注意力與訊息處理之間有很密切的關聯性，本研究即利用眼球追蹤技術將受試者的眼球凝視點串連，討論受試者對科學教科書（化學學科）閱讀歷程，與科學概念理解之關係。

## 第四節 眼動儀與圖文閱讀的相關研究

閱讀在目前臺灣教育上，始終還是一個主要的知識獲取的方式；不論是中學生、大學生、研究生、甚至社會人士、研究員等等，仍然是靠閱讀來增進知識。如何透過有效的閱讀來提高知識獲得的效率，已經有許多研究對此進行討論，其中當然也包括化學的部份(邱鴻麟&高紹源, 1997; Beerenwinkel et al, 2011)。眼動儀可以透過凝視點的追蹤來判斷受試者正在閱讀文本中的什麼部位，並且將其以量化資料直接記錄下來，省去許多之前透過質性研究方法可能會造成的問題：例如某些受試者遺忘自己的閱讀歷程、捏造假的閱讀歷程、或者受試者覺得該歷程不重要而未詳述等，在人為上可能會出現遺漏，都可以避免。當然，透過儀器收集資料免不了也會所誤差，但是在同一台機器的情況上，我們可以將儀器所產生的誤差視為統一化，在整合分析之際，再進行校正將誤差排除。

由於眼動儀本身儀器限制，收集資料比較費時且繁雜，但仍然有許多學者專家努力不懈地擴充眼動儀的應用和資料，其中有許多研究討論到眼球運動與綜合圖文閱讀之間的關係。例如：Underwood 等人(2004)提到圖片上的凝視時間會明顯高於在句子上的凝視時間，不論圖片與句子同時出現或者句子比圖片先出現。相反地，如果文字部份先閱讀再看圖，圖片的凝視點會比單純圖片或者先看圖時所使用的凝視點少，這表示文本先閱讀的情況能使閱讀歷程比較簡約。這個結果與以下兩個研究結果相符：首先是 Carroll 等人(1992)的研究－關於人們如何注視包含一個單純圖片與相關概念的卡通圖，以及 Rayner 等人(2001)在人們注視含有文字資訊與圖片資訊的廣告時，對眼球運動的研究，此研究指出在比較識別文字與圖片時，識別句子中的文字用到的處理時間以及凝視情況都明顯比識別圖片中的物件來得少。

Hannus and Hyona (1999)使用眼球追蹤技術對國小學童在科學教科書的學習進行研究。作者發現圖片在圖文並茂的內容中可以幫助學習，但是非圖文並茂

的內容卻不存在這種現象。作者同時也指出，根據眼動資料表示，文字部份影響學習的大部分，而學生看懂圖片之後便不再仔細審查了，但這個研究結果與 Koran and Koran (1980)不同。Koran and Koran 認為，大多數的研究都只探討單一圖片對文字的影響，但是當研究類推到存在許許多多不同圖片的真實教科書時，將無形中增加學習元件的複雜度。

一部分的研究指出，眼球運動模式並不是隨機的，而且學習者傾向將大部分的注意力集中在他們認為在螢幕上較為不尋常、或者不一致的區域。Loftus and Mackworth (1978)指出觀察者會輕易地凝視在比較不常出現在螢幕上的物件，甚至有更高的凝視時間。Underwood 等人(2008)提出當螢幕呈現不和諧的物件，觀察者會投以更多的凝視以及更長時間的凝視時間。一些文獻也指出，對於畫面的記憶與在該畫面的凝視點數有相關，以及凝視點越多，認知程度也就越高 (Christianson et al., 1991; Loftus, 1972)。

綜合上述研究的看法，閱讀的材料若不屬於讀者的預期，那麼凝視點與凝視時間都會相對增加；單一圖片所得的研究結果，在論述以及應用上的說服力略顯薄弱；以及圖文之間的凝視時間是存在差異的。

## 第五節 研究架構

綜合上述的文獻，科學教科書在科學學習上仍然是不可或缺的一環，然而科學教科書中不僅僅只有文字，另外還有一個很重要的角色-圖片，它擁有許多可以協助閱讀理解的功能。化學在圖片與表徵上的應用相當廣泛 (Hoffman & Laszlo, 1991)，因此，圖表在化學教科書上的重要性也是不容忽視的。所以研究者認為在探討化學教科書閱讀歷程的同時，對於圖文交互閱讀的情形也是必須要去注意的。而我們在閱讀上雖然不會將太多時間的注意力投注在圖片上，但它



卻依然可以協助我們學習。透過眼球追蹤系統，對閱讀時眼球的凝視點進行追蹤，讓我們可以更容易地知道受試者的閱讀歷程，再搭配受試者對閱讀概念理解問卷的回饋，我們將可以詳細地比對兩者之間的關係。本實驗即是以此想法為依據，並佐證上列之文獻進行實驗設計，詳細的研究架構如圖 2-5.1。

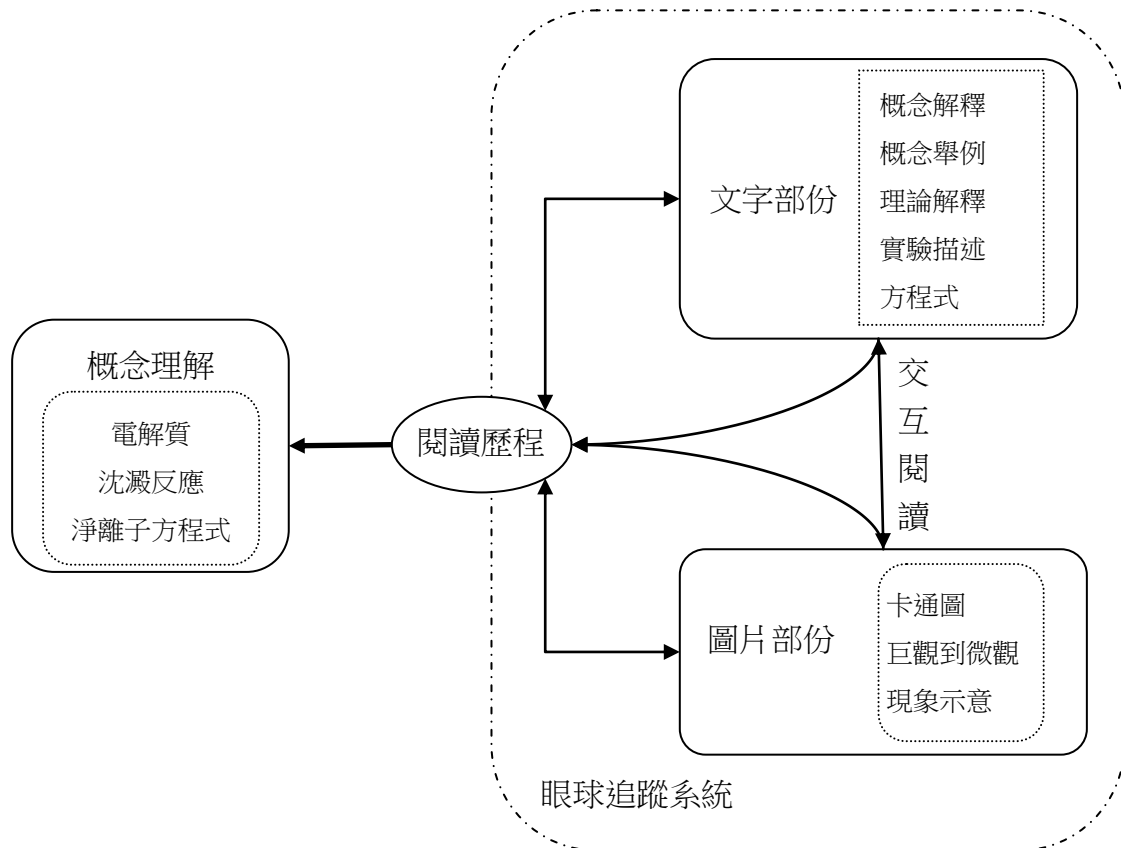


圖 2-5.1 研究架構圖

## 第三章 研究方法

本章節將呈現本研究之設計與研究工具使用，將細分為研究對象、研究設計、研究流程、研究工具和資料分析等逐項作詳細說明。

### 第一節 研究對象

本實驗的受試者為新北市某國立高中一班級的學生。選用高一學生的主要原因為，從國中課程二年級學生剛開始接觸物理與化學，但卻是兩個科目合併課程進行教學，很難將物理與化學的部份作完整的切割；到了高中，物理與化學分別獨立成一個學科，使研究者可以就單一學科進行研究。物理與化學此二科的科目內容雖有相關，但是不論是從研究探討的方向、或者是從教學方面都存在很大的差異，而且學生對於這兩個科目的喜好程度也不一定相同，隨著高中分科開始之後，會慢慢出現差異。根據這個想法，高一學生對於化學的好惡程度將會是最低的時候，因此使用高一學生討論閱讀歷程應當是比較不具個人情緒部份的。

另一方面，由於配合施測學校的行政作業，物理與化學分成上下學期輪流教學。而施測班級為下半學年進行化學的教學，因此本次研究資料蒐集時間由 2011 年五月中，該校第二次段考結束後開始，一直至五月底資料蒐集完畢。由於本研究希望學生在未接受學校教學之前進行此研究，因此與該班級的化學老師確認期間學校之化學進度皆沒有教到施測的章節。且為避免影響學生正常上課，每天利用學生午休以及第八節空白課程時間進行施測，一天約安排二至五人。正式施測班級為一班，經整理後獲得之概念理解有效樣本為 31 人，眼球追蹤資料有效樣本為 27 人。

## 第二節 研究設計

本研究主要研究變項為「高一學生化學課文的閱讀歷程」與「教科書閱讀之概念理解」。研究材料為講解「沈澱反應」與「淨離子方程式」之內容，在閱讀過程中以眼球追蹤系統紀錄受試者的閱讀歷程，並以文本理解開放性問卷來得知受試者於閱讀過後所獲得的概念理解。

本研究主要探討：

- 一、台灣北區高中學生在閱讀化學課文時，其視覺注意力於圖文之分配為何？
- 二、針對不同類型圖片，學生閱讀化學課文是否有著不同的視覺注意力分配？
- 三、台灣北部地區高中學生於化學課文閱讀後，對科學概念的理解程度如何？
- 四、學生閱讀化學課文後，對科學概念的理解程度是否與化學課文的閱讀歷程有關？

本研究素材為教育部審定之高中化學教材，取其中之一個小節作為科學閱讀文本；而概念理解的問卷是由高中現職化學教師及通過教師檢定之國中自然與生活科技代課教師聯合審查，以求符合高一學生之程度；細部工具資料將於研究工具之章節詳細說明。

## 第三節 研究流程

本研究之研究流程分為「工具準備階段」、「正式施測階段」和「結果分析階段」等三階段進行，此將研究流程依階段性發展分述如下：

## 一、工具準備與確定主題階段

工具準備與確定主題階段執行期間為 99 年 11 月至 100 年 4 月，如圖 3-3.1 所示。

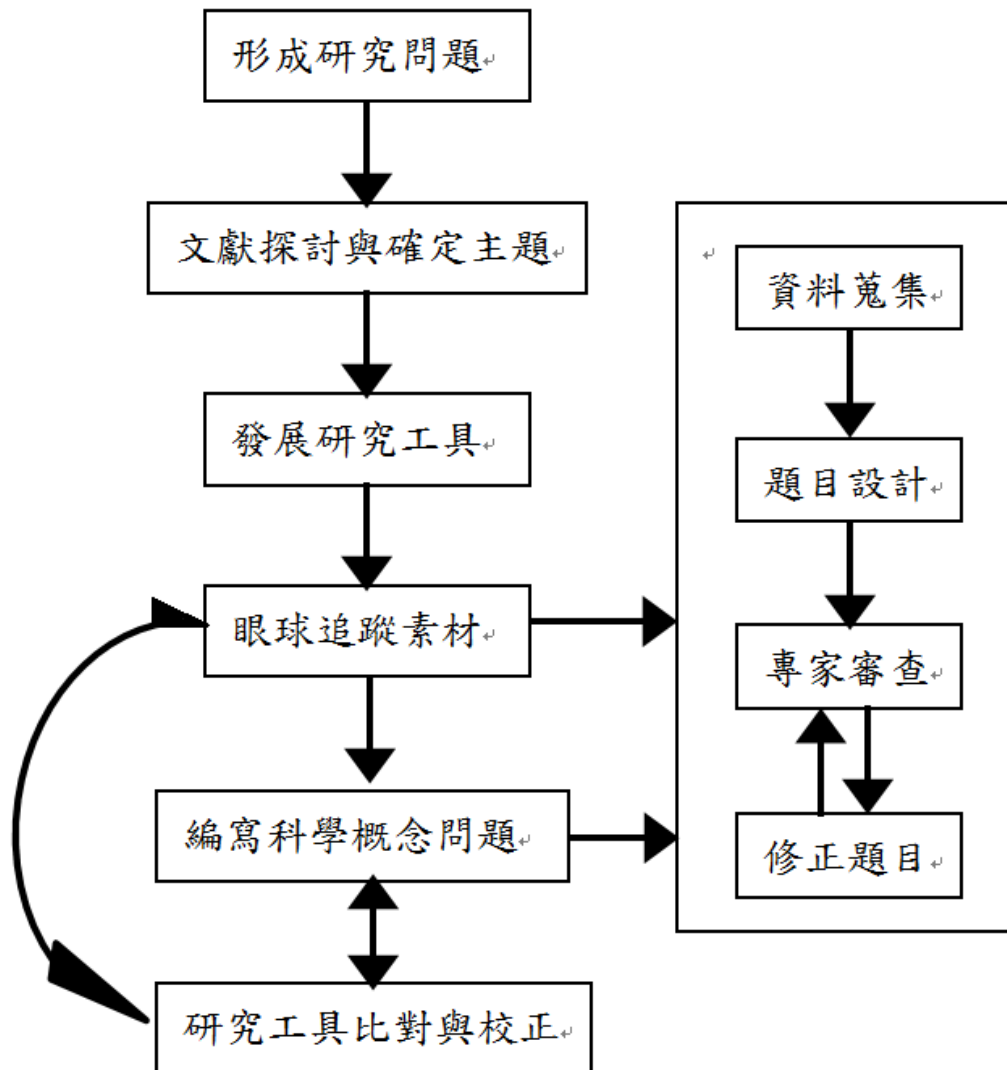


圖 3-3.1 工具準備與確定主題流程

主題確定之後，研究者便著手進行市售教育部審定高一基礎化學教科書的分析以及實驗文本的設計，其中包括文本選定、圖片分析、圖文配置等工作，目的在於要將使文本更具有代表性。而且在與指導教授討論過後，將圖文配置與圖片選擇在最大的限度內，調整至與真實教科書相仿，希望受試者可以在接受實驗時，

閱讀文本資料如同看教科書一般自然且真切，如此一來，本研究所收集到的資料才會更有意義。

在科學概念問題撰寫與選擇方面，主要仍舊根據教科書中所提及之「電解質」、「沈澱反應與淨離子方程式」兩概念進行編撰，除了與指導教授討論與修訂外，另外商請一位高中現職化學科教師進行專家內容效度審查。

## 二、正式施測階段

本研究正式施測階段之執行期間為 100 年 5 月至 100 年 6 月，施測主要流程如圖 3-3.2。本研究是向施測學校商借教室進行施測，因此在設置儀器時較為麻煩。由於眼動儀是一系列的儀器組(詳見第四節研究設備)，在施測前研究者需將儀器架設並且校正。

在施測之前需先對受試者進行凝視點校正。透過攝影機對受試者進行特徵追蹤，加上 faceLAB 系統所提供之工具，受試者的凝視點可以與眼動儀同步。如此一來，即可透過凝視點的追蹤紀錄來瞭解受試者的凝視點位置。若是未能通過眼動儀之校正，意味著眼動儀所偵測到的凝視點與受試者本身之凝視點不同，意即宣告此受試者無法進行接下來的實驗，即使勉強進行，該筆資料也將是無效樣本。本次實驗自願參與研究之高一學生為 40 人，通過眼動儀校正人數為 31 人，眼動儀校正成功率約為 75%。

通過校正後，隨即開始進行文本閱讀。本次文本閱讀使用方式是將研究者設計過的文本，將其轉換成圖片形式透過 GazeTracker7.0 系統，以投影片的方式呈現在受試者面前，受試者可以透過滑鼠來自行決定前往下一頁的時間。當受試者在閱讀前，研究者會告知受試者在閱讀完畢後，將有概念理解問卷需要受試者填寫，以提醒受試者仔細閱讀。問卷填寫完畢後，研究者亦擬了一份沈澱反應熟

悉度量表(見附錄一)，用以透過學生對题目的熟悉程度，瞭解學生對於此部份章節內容是否熟悉。

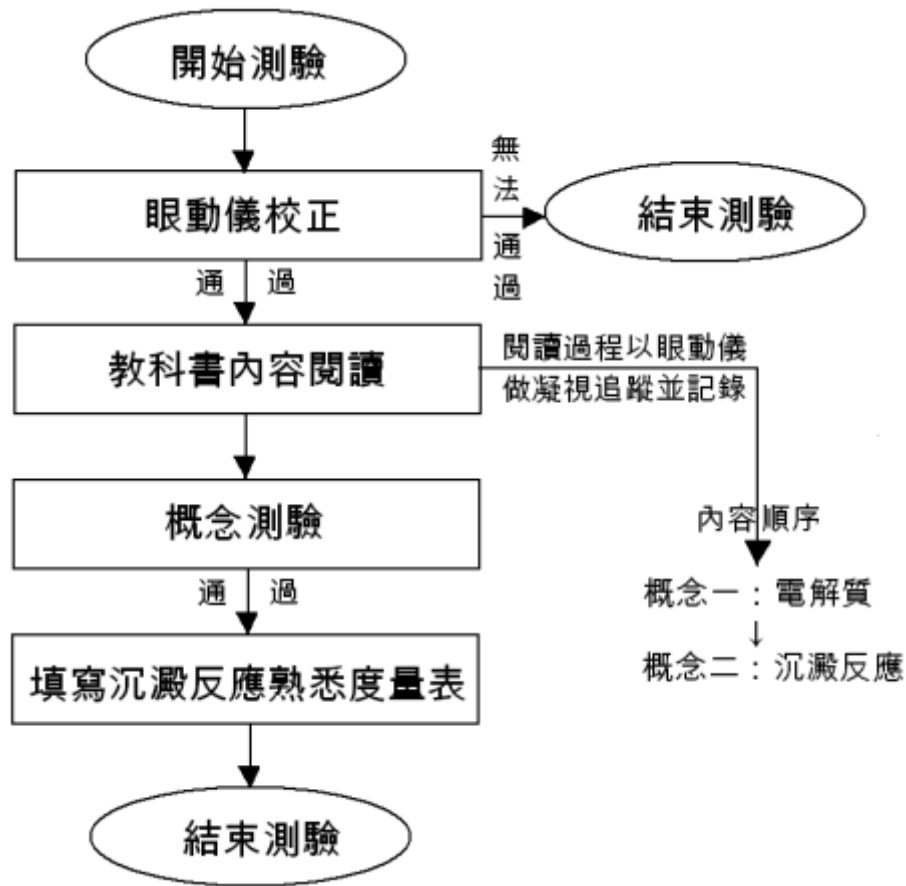


圖 3-3.2 施測流程

### 三、結果分析階段

此階段執行期間為 100 年 7 月至 100 年 11 月，主要工作內容為「資料分析」和「撰寫論文」兩大主要工作。初步整理凝視點資料及分析後，發現有 4 位學生雖有通過眼動儀校正，但在凝視點的資料上卻不完整，於是研究者與指導教授討論後，決定將此四位受試者的樣本視為無效，予以刪除。

本研究所蒐集資料，以 SPSS 19(Statistical Package for the Social Science)統計軟體進行量化的分析。此階段期間經過不斷與指導教授討論，最後提出結果研究與建議，完成論文報告。

## 第四節 研究設備

硬體方面使用兩台 Dell 筆記型電腦、一台眼動儀、一台受試者使用螢幕與滑鼠以及螢幕切換器。筆記型電腦中，一台作為眼動資料收集端，與眼動儀連接，利用 FackLab 4.5 作校正；另一台為文本資料展示端，利用網頁與眼動資料蒐集軟體 GazeTracker7.0 呈現文本資料，並以 GazeTracker7.0 紀錄，兩台筆記型電腦以網路跳線連接以便資料傳輸(圖 3-4.1)。

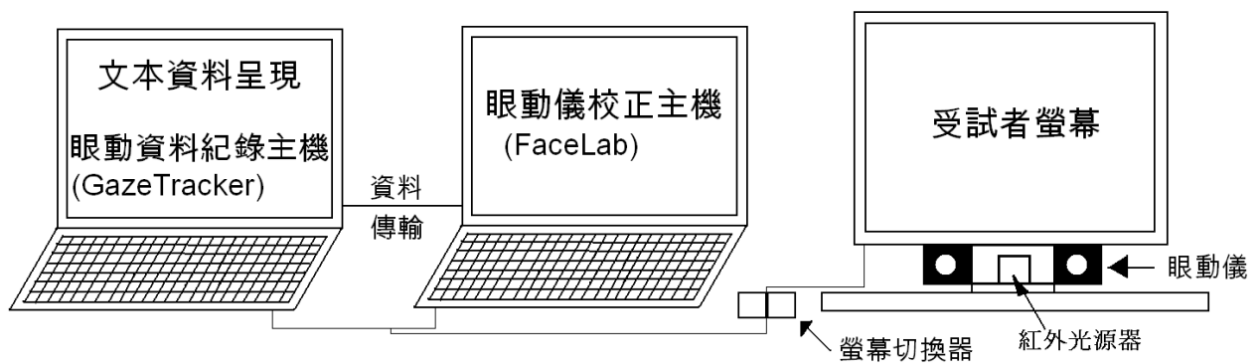


圖 3-4.1 研究設備圖

FaceLab 取樣率為 60HZ (每秒取樣 60 次)，其具有紅外線裝置精靈，讓攝影機 (Sony FCB-EX480B) 於三個不同方式下設定，能提供精確凝視的紅外線裝置位置控制，以提高凝視追蹤的精確度。FaceLab 使用焦點成像技術，在研究中可以容許受試者頭部做垂直及平行的移動 $\pm 25$  mm，仍保持凝視追蹤能力；瞳孔角膜模式，在採樣率 60 Hz 下達  $0.01^\circ$  的高解析度。

## 第五節 研究工具

本研究工具包括「化學課文文本」、「閱讀理解問卷」、「眼球追蹤儀」三個類別，以下分別詳細介紹之。

### 一、化學課文文本

文本材料取自通過教育部審定，依據教育部民國九十七年修正發布之「普通高級中學必修科目基礎化學課程綱要」，市售之普通高級中學基礎化學（一）課本共兩個版本 H 版本與 L 版本。取 H 版本其中的「4-2.1 電解質與非電解質」小節之部份文字，以及所對應的圖共三張；取 L 版本的「4-3.1 沈澱反應的實例」與「4-3.2 沈澱反應的反應式」兩小節文字與其所對應的圖共三張。由於目的在原始重現教科書上的編輯，研究材料將每一個小節的教科書文字內容和圖片搭配，共呈現在七個頁面上，如圖 3-5.1。若有兩面文字皆需配合同一張圖者，則在兩個頁面上重複呈現同一張圖。詳細的文本請見附錄二。



圖001食鹽水的導電性實驗

**First: 電解質與非電解質** 在國中時，同學曾學過：將兩支電極插入食鹽水中，接上直流電源後，電路中的燈泡會發亮（圖 001）。然而，將兩支電極改插入糖水中，燈泡則不亮。類似食鹽，其水溶液可以導電的物質，稱為**電解質 (electrolyte)**。例如，氫氧化鈉、氨、硫酸、醋酸……等。反之，其水溶液無法導電的物質，則稱為**非電解質 (non-electrolyte)**。例如，葡萄糖、蔗糖、乙醇、甘油……等。

為什麼電解質的水溶液能夠導電呢？瑞典化學家阿瑞尼斯提出了**電解質的解離理論 (the theory of electrolytic dissociation)**，說明電解質水溶液的導電現象，其內容如下：

1. 電解質溶於水時，會解離成帶電荷的原子或原子團，稱為離子。
  2. 帶正電荷的離子稱為陽離子，帶負電荷的離子稱為陰離子；溶液中陽離子所帶的正電荷總和等於陰離子所帶的負電荷總和，故溶液呈電中性。
  3. 當電流通入電解質溶液時，陽離子往負極移動，陰離子往正極移動，故電解質溶液能導電。
- 有些電解質於熔融態時，其陰、陽離子可自由移動，因此也能導電。例如，食鹽、氫氧化鈉等。

圖 3-5.1 實驗用文本



首先，從章節內容來看，第四章的內容含有比較多國中未曾學習到的部份；從圖片來看，第四章所要傳達的內容也比較有圖片存在的必要，第四章的圖片多樣性也較高，對於研究圖片與文本間閱讀歷程幫助較大。再者，由於本次研究目的為探究閱讀歷程與概念理解間的相關性，因此需要受試者事先並未受過類似主題的教育；且為配合施測學校方便的時間，第四章的進度更能避免學校在受試之前已進行教學，因此，文本設計的部份優先選擇使用高一基礎化學第四章-「常見的化學反應」。其中又以「沈澱反應」中的圖片與文字相互之間的關聯性，比較能探討閱讀理解。因此研究者選擇「沈澱反應」作為主要研究材料內容。

研究者在挑選過程中，分析了市售化學教科書共五個版本，發現「沈澱反應」在其中四個版本有詳加介紹，另一個僅以實際反應作為例子略為提到。根據教育部民國九十七年修正發布之「普通高級中學必修科目基礎化學課程綱要」，其中高級中學基礎化學(一)物質變化主題，「四、常見的化學反應」當中，沈澱反應是列為教材編撰的內容之一。因此在選擇上，優先從詳加介紹的版本進行挑選。

## 二、閱讀理解問卷

針對電解質與沈澱反應概念，研究者設計了五題測驗題，由於不想侷限學生的思考邏輯以及判斷，全部以問答題的形式進行測驗（見附錄三），其類型為半結構型問卷。既不是規範所有答案給受試者選擇，也不是全面開放的讓受試者天馬行空地表達意見。取而代之的是，由施測者先行設計一系列與主題相關的問題，讓受試者以發表意見的方式回答問題，根據對問題的答案判斷受試者對於閱讀的理解程度。問題本身設計部份，經過一位現職國立高中化學教師的專家審查，確認其通過專家效度，可測試高一學生是否理解並綜合運用此二概念，相關文件詳見附錄四。考慮到學生程度不一，除了文本挑選尚未進行教學的單元外，在問卷背後也有讓學生填寫熟悉程度量表，以判斷學生的程度。

### 三、眼球追蹤儀

本研究所使用的眼球追蹤儀為雙攝影機、單紅外光源器，搭載 faceLAB Seeing Machines 4.5 軟體系統，施測過程中僅以紅外線照射虹膜，反射至雙攝影機進行紀錄，不對受試者施以紅外線以外的任何限制，提供一個可以在最接近自然閱讀的姿勢，進行頭部姿勢、眼球運動、凝視點以及凝視時間等資料的蒐集。

本研究進行前有事先在受試班級作過解說本實驗屬於非侵入式實驗，是屬於相當安全的實驗。但由於受試者為高一學生，尚未成年，因此在即便是非侵入式實驗，為避免不必要的誤會，在解說過後隨即對施測班級所有學生發放家長同意書，接受施測與否以家長同意書（見附錄六）為主要依據。

研究進行前，會優先根據受試者習慣調整座椅以及滑鼠位置，讓受試者可以在最自然的方式下進行閱讀，再根據此座位進行 faceLAB 進行眼動儀校正。

## 第六節 資料處理

本研究主要是閱讀歷程透過眼動儀進行分析，因此在資料處理上主要分成三大階段：第一部份為受試者概念理解探討，第二部份為眼動儀資料處理，第三部份為變異交叉分析，分別說明如下：

### 一、受試者概念理解探討

受試者在閱讀文本之後，需填寫研究者設計的閱讀理解問卷，由於使用半結構型問卷，因此在分析閱卷之時需要擬評分標準以茲判斷。根據閱讀概念問卷的問題數目以及學生回答對此概念的理解程度，每題至多給 2 分，至少 0 分，滿分

為 8 分。詳細評分標準如表 3-6.1，此一評分標準經過一位現職國立高中化學教師的專家審查，確認其通過專家效度，足以評斷高一學生之概念理解程度。

表 3-6.1 閱讀理解問卷評分標準

評分標準		
題目	得分	評分標準
1. 已知 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 為強電解質，請問 1M、500mL 的 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 水溶液中會解離出多少 mol 的 $\text{Na}^+$ 離子？	+1	寫出「1mole $\text{Na}^+$ 離子」或其他相同意義答案
	+0	作答不明、塗鴉、或者與上列答案不同
2. 已知 $\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$ 與 $\text{NaF}_{(\text{aq})}$ 會反應生成 $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 及 $\text{CaF}_2$ 沈澱。以下為甲乙兩人之看法： 甲：淨離子反應式應該是： $\text{Ca}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{F}^{-}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{CaF}_2(\text{s})$ ； 乙：淨離子反應式應該是： $\text{Na}^{+}_{(\text{aq})} + \text{Cl}^{-}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 。 你認為甲乙兩人何者看法是正確的？為什麼？	+2	判斷甲對並且解釋 $\text{CaF}_2$ 為主要生成物
	+1	僅判斷甲對而未提到主要生成物
	+0	判斷乙對、全對或者作答不明、塗鴉
3. 試寫出 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_{2(\text{aq})}$ 與 $\text{KI}_{(\text{aq})}$ 反應，產生 $\text{PbI}_2$ 沈澱的淨離子反應式。	+2	完整寫出「 $\text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^{-} \rightarrow \text{PbI}_2$ 」
	+1	未寫出反應係數、標明電荷數
	+0	作答不明、塗鴉、或者與上列答案不同
4. 分別盛取 500mL、1M 的碳酸 ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) 水溶液與硫酸 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 水溶液，測量兩者之 pH 值，發現兩者 pH 值並不相同，為什麼？	+1	提及兩者解離程度不同(強弱酸)
	+0	作答不明、塗鴉、或者與上列答案不同
5. $\text{AgNO}_3$ 水溶液與 $\text{NaCl}$ 水溶液的反應中，若將 $\text{AgNO}_3$ 水溶液替換成 $\text{Ag}$ 金屬，請問兩者反應是否相同？為什麼？	+2	回答不同，因為銀金屬無法取代銀離子參與反應
	+1	回答不同，但沒有解釋或者未解釋與上列相同
	+0	作答不明、塗鴉、或者與上列答案不同

## 二、閱讀歷程分析

此部份之資料處理，主要是將眼動儀所輸出的大量眼動資料做分類並且提取研究所需之項目（詳細項目請見表 3-6.2 以及附錄七），作為閱讀歷程的分析指標，並且將文本分為文字與圖片兩類區域，進一步分析區域間的注意力之分配狀況，以呈現學生的課文閱讀歷程。文字區域的區分與描述經學科與科教專家審查，而圖片的分類則根據 Chen & Yang (2011) 的圖表類型做分類，並有 2 位研究者共同確認。各圖文區域的定義分別詳述如下：

1. 文字區域：由於文章本身存在許多不同的內容，因此根據內容將文本中文字區域分類為概念解釋區域、概念舉例區域、理論解釋區域、實驗描述區域、方程式區域等五種，各種區域的分類方式詳見表 3-6.3。
2. 圖片區域：根據圖片的表徵形式及概念表達方式不同，大致將圖片區域分類為現象解釋、概念解釋（卡通圖）、概念解釋（巨觀到微觀）等三種，各種區域的分類方式詳見表 3-6.3。

除了圖文區域的閱讀紀錄外，本研究另計算了受試者圖文的交互閱讀次數，即從文字部份轉移到圖片部份的次數，加上圖片部份轉移到文字部份的次數。這一項數據預期可以提供我們瞭解學生如何進行閱讀理解。

表 3-6.2 眼動儀資料庫中提取用來分析的部份

原文	中文	意義說明
Total fixation duration	全凝視時間	眼動儀判讀為凝視的總時間
Total time not fixed	未凝視時間	眼動儀判讀為閱讀但非凝視的時間
Fixation count	凝視點數	在該區塊內，所有的凝視點數量
Average fixation duration	平均凝視時間	凝視點平均花費時間
Percent time spent in zone	區間內時間百分比	同一畫面內，該區塊所花的時間百分比
Percentage of total fixations	全凝視點百分比	同一畫面內，該區塊凝視點數的百分比
Percent time fixated related to time in zone	區間內凝視時間比率	凝視時間佔該區塊所有時間的百分比

表 3-6.3 文字部份與圖片部份的區域分類及定義

	區域分類	分類方式與定義
文字部份	概念解釋	將概念詮釋得令讀者易懂的區域。
	概念舉例	根據概念，具體舉出實際例子的區域。
	理論解釋	將理論描述並且詮釋的區域。
	實驗描述	對實驗所進行的步驟與結果作描述的區域。
	方程式	文字中特別提到，並且刻意突顯的反應方程式。
圖片部份	現象示意	示意目標為真實現象的圖片種類。
	概念示意（卡通圖）	示意目標為概念，且用卡通圖表示的圖片種類。
	概念示意（巨觀到微觀）	示意目標為概念，並且同時存在巨觀與微觀兩種不同尺度的圖片種類。
	圖文交互閱讀	兩部份交替次數總和。

### 三、閱讀歷程與概念理解交叉分析

將受試者之閱讀理解透過問卷的分數，分成高分與低分兩組，將此兩組的各部份區域資料進行變異數分析，包含文字部份、圖片部份、以及圖文交互閱讀次數。分析過程包括在每個變數(如：全凝視時間、圖文交互閱讀次數等)進行變異數同質性檢定，確定高低分組可視為兩個不同的群組，再進一步使用 ANOVA 來判斷是否達到顯著差異。

## 第四章 資料呈現與分析

本章節將逐一呈現本研究所得到的結果，並且從統計上作推論。第一部份為閱讀歷程整體表現，介紹全班整體在文本閱讀上的表現；第二部份為閱讀理解表現，討論閱讀後，全班的概念理解情況；第三部份是閱讀歷程與閱讀理解表現之交叉分析：先將概念理解程度進行分組，再與文本上各區域進行交叉分析。

### 第一節 閱讀歷程整體表現

表 4-1.1 是文字與圖片所有區域從眼動儀紀錄中得到的全班平均值與標準差。從表中數據我們可以得知在文字部份的理論解釋，學生使用最多時間進行閱讀及凝視，最少的部份是方程式；圖片部份，使用最多時間閱讀的是概念示意(概念卡通圖)，最少的是現象示意。從表中我們還可以看到，文字部份在大多數的數據都多過於圖片部份，這也驗證了 Hannus and Hyona (1999)所提到，在眼動儀的資料中，文字部份所佔的時間比圖片部份多。配合字數多寡進行思考會發現，理論解釋仍然是學生使用最多注意力的區域，由於方程式很難用字數去估算，所以從字數來看，注意力最少投注的文字部份是概念解釋區域。

另外，學生在圖片部份所呈現的標準差數值很高，亦即數據的分散程度很嚴重，也就是說，學生對圖片的閱讀情況很不相同。而這個情況在三種類型的圖片都有發生，從統計上來解釋就是學生在閱讀三種類型的圖片時，所花費的時間差異都很大，但是仍然有因為類型不同產生的差異。

表4-1.1 文字與圖片各區域眼動儀數據的全班平均值(括號內為標準差)

平均值(N=27)		區間內時間 百分比(%)	全凝視點 百分比(%)	未凝視時間 (Sec)	區間內凝視 時間比率(%)	平均凝視點 時間(ms)	凝視點數
文字	概念解釋 (字數 213)	28.45 (7.59)	34.23 (8.66)	2.28 (1.02)	75.67 (10.14)	301 (37.9)	23.08 (11.39)
	概念舉例 (字數 68)	18.51 (7.05)	22.48 (8.10)	0.99 (0.61)	75.35 (12.79)	296 (56.4)	12.89 (8.79)
	理論解釋 (字數 207)	34.06 (9.51)	41.70 (9.96)	3.67 (1.62)	79.11 (5.91)	301 (43.1)	49.30 (22.67)
	實驗描述 (字數 158)	24.43 (8.34)	29.46 (9.85)	1.59 (1.07)	76.92 (10.58)	303 (47)	20.62 (12.36)
	方程式	14.32 (4.61)	17.58 (4.71)	0.89 (0.50)	67.25 (12.00)	249 (59.2)	12.25 (6.91)
圖片	概念卡通圖	17.59 (11.22)	20.80 (13.69)	1.16 (0.94)	61.64 (26.03)	284 (42.9)	12.43 (11.01)
	巨觀到微觀	11.64 (6.13)	14.17 (7.91)	1.05 (0.71)	61.38 (19.43)	277 (55.3)	11.09 (8.55)
	現象示意	2.30 (2.36)	2.98 (2.65)	0.40 (0.36)	52.39 (32.00)	249 (83.1)	3.44 (3.62)

圖文交互閱讀是文字區域與圖片區域交替閱讀情形，主要計算方式為：閱讀者在凝視文字區域後轉而凝視圖片區域，此即算一次的交互閱讀，反之亦然。在統計上是以頁面為單位，方便研究者比較。研究者依照文本內容所描述的概念，將文本分成三部份，分別是「電解質」、「沈澱反應」、「淨離子反應式」，再依據同主題的順序編頁，依序編列為電解質 1 (電解質文與現象示意)、電解質 2 (強電解質與概念卡通圖)、電解質 3 (弱電解質與概念卡通圖)、沈澱 1 (沈澱文與巨觀到微觀)、沈澱 2 (沈澱文與巨觀到微觀圖兩張)、淨離子 1 (淨離子文與巨觀到微觀)、淨離子 2 (淨離子文與巨觀到微觀圖兩張)。表 4-1.2 所示即為全班在各部份分頁的圖文交互閱讀狀況。從表中可以看得出來，離散情況只有在「電解質 3」較小，其他頁的標準差都相當大。在全文總計的部份，由峰度與偏態的



數值表示兩個極端的人數較少，大多數學生的圖文交互閱讀情況還是低於平均值。

表4-1.2 各頁面圖文交互閱讀的全班平均值與標準差

	平均數	標準差	偏態	峰度	最小值	最大值	範圍	總和
電解質 1	5.04	4.03	1.52	1.89	1	16	15	136
電解質 2	4.11	3.68	1.25	1.40	0	14	14	111
電解質 3	5.93	4.25	1.35	1.72	1	17	16	160
沈澱 1	3.56	2.50	1.16	.90	0	10	10	96
沈澱 2	5.00	4.67	1.47	1.43	0	17	17	135
淨離子 1	4.07	3.57	1.25	1.38	0	14	14	110
淨離子 2	5.56	5.32	1.11	1.25	0	21	21	150
全文總計	33.26	21.57	1.70	3.69	6	105	99	898

從上述的資料可以發現，在全班的閱讀歷程中，文字部份還是佔據了閱讀時大多數的注意力，而圖片部份較少，又以現象示意的圖片為最少。而圖文交互閱讀的次數則是離散情況很明顯，平均每張圖片四~五次的交互閱讀（全文統計平均=33.26，圖片總數=7）。

## 第二節 閱讀理解表現

閱讀理解問卷經過批改之後，1分者1人、2分者5人、3分者5人、4分者6人、5分者4人、6分者5人、7分者1人、0分與滿分8分者皆為0。有效樣本的結果如圖4-2.1與表4-2.1。

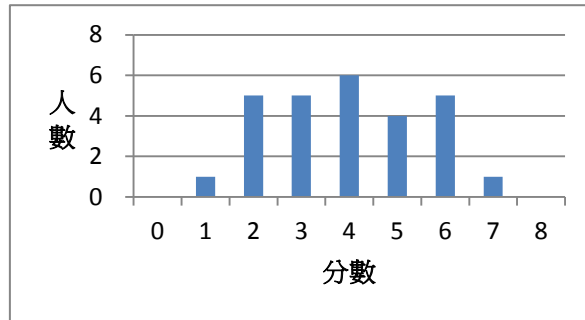


圖 4-2.1 分數分佈圖

表4-2.1 分數的相關統計數值

	個數	最小值	最大值	總和	平均數	標準差	偏態	峰度
分數	27	1.00	7.00	107.00	3.96	1.60	.07	-.96

從統計上的偏態數字看來，閱讀理解問卷的成績很接近常態分佈，峰度接近-1，表示中等分數的人數不如常態分佈般集中，接近兩極端區的人數比起常態分佈多。

## 第三節 閱讀歷程與閱讀理解表現之交叉分析

根據閱讀概念理解問卷所得出來的結果將受試者進行分組，以概念平均得分作為分組依據，分為高分組16人(分數 $\geq 4$ )與低分組11人(分數 $\leq 3$ )。透過這個分組去對文本中各區域的閱讀歷程(全凝視時間、未凝視時間、凝視點數、平均凝視時間、區間內時間百分比、全凝視點百分比、區間內凝視時間比率)進行變異數同質性檢定、以及單因子變異數分析(ANOVA)(詳細文章區域分類請見第三章第六節)。以下列出的分析結果為統計上有顯著或趨近顯著的結果。

## 一、 閱讀時間與理解表現的相關分析

表 4-3.1 是所有文字部份與圖片部份的眼動指標與概念理解分數進行相關分析之後的數值列表。從表中我們可以看到圖片與分數的相關度普遍較文字與分數的相關度高。在實驗描述中，凝視點數與概念理解分數呈現顯著正相關

( $r=0.392, p<0.05$ )。而概念卡通圖中，分別有區間內時間百分比與概念理解分數呈現顯著正相關 ( $r=0.450, p<0.05$ )，未凝視時間與概念理解分數呈現顯著正相關 ( $r=0.480, p<0.05$ )，以及凝視點數與概念理解分數呈現顯著正相關

( $r=0.493, p<0.01$ )。巨觀到微觀的圖片同樣在凝視點數與概念理解分數呈現顯著正相關 ( $r=0.446, p<0.05$ )。

表 4-3.1 文字部份與圖片部份的眼動指標與概念理解分數的相關分析

	區間內時間百分比	全凝視點百分比	未凝視時間	區間內凝視時間比率	平均凝視時間	凝視點數
概念解釋	-0.14	-0.22	0.26	0.25	0.09	0.25
概念舉例	-0.07	-0.09	0.32	-0.02	-0.17	0.24
理論解釋	0.11	0.07	0.12	0.12	0.08	0.14
實驗描述	0.00	0.02	<b>0.37+</b>	-0.05	0.01	<b>0.39*</b>
方程式	-0.02	-0.19	0.28	0.20	0.27	0.23
現象示意	0.01	-0.05	0.07	-0.07	-0.09	0.13
概念卡通圖	<b>0.45*</b>	<b>0.38+</b>	<b>0.48*</b>	0.23	0.27	<b>0.49**</b>
巨觀到微觀	0.26	0.22	<b>0.34+</b>	0.23	<b>0.36+</b>	<b>0.45*</b>

+表示  $p<0.1$ ，\*表示  $p<0.05$ ，\*\*表示  $p<0.01$

表 4-3.2 是將所有實驗文本內容根據頁面不同進行分類，依序編列為電解質 1 (電解質文與現象示意)、電解質 2 (強電解質與概念卡通圖)、電解質 3 (弱電解質與概念卡通圖)、沈澱 1 (沈澱文與巨觀到微觀)、沈澱 2 (沈澱文與巨觀到微觀圖兩張)、淨離子 1 (淨離子文與巨觀到微觀)、淨離子 2 (淨離子文與巨觀到微觀圖兩張)，再與概念理解分數進行相關分析。從表中我們可以看到，在全

部圖文作統計的情況下，圖文交互閱讀的次數與概念理解分數呈現顯著正相關（ $r=0.464$ ,  $p<0.05$ ），未凝視時間與概念理解分數呈現顯著正相關（ $r=0.402$ ,  $p<0.05$ ）。

表 4-3.2 各頁面的眼動指標與概念理解分數的相關分析

	全凝視時間	未凝視時間	平均凝視時間	圖文交互閱讀次數
電解質 1	0.10	0.17	-0.05	0.01
電解質 2	0.25	0.38*	-0.13	0.51**
電解質 3	0.38+	0.41*	-0.07	0.43*
沈澱 1	0.14	0.26	-0.16	0.37+
沈澱 2	0.46*	0.35+	-0.08	0.29
淨離子 1	0.48*	0.45*	0.31	0.40*
淨離子 2	0.31	0.41*	0.15	0.47*
全部圖文	0.35+	0.40*	-0.06	0.46*

+表示  $p<0.1$ , \*表示  $p<0.05$ , \*\*表示  $p<0.01$

從上列表 4-3.1 和表 4-3.2 來看，可以發現圖片閱讀次數越高，概念理解分數越高，尤其是概念示意圖（概念卡通圖和巨觀到微觀）。同樣的，圖文交互閱讀次數高，概念理解分數也越高，此一特性也同樣表現出若配合的圖片是概念示意圖，相關程度更明顯。

## 二、 整體閱讀歷程與理解表現之差異

從最大的層級開始，以全文本(含圖)為單位統計的閱讀上，研究者對全凝視時間、未凝視時間、平均凝視時間進行分析，發現高分組和低分組在全凝視時間以及未凝視時間上，如表 4-3.3 所示，兩組差異雖未達到明顯顯著( $p < .05$ )，但接近顯著 ( $p < 0.1$ )。

表4-3.3 全文本與閱讀理解的分析

### 描述性統計量

		個數	平均數	標準差	標準誤	最小值	最大值
全凝視時間	低分組	11	18.41	8.74	2.64	8.45	39.95
	高分組	16	27.21	13.97	3.49	6.84	57.49
	總和	27	23.62	12.70	2.44	6.84	57.49
未凝視時間	低分組	11	5.35	1.64	.49	2.84	7.53
	高分組	16	7.29	3.42	.85	3.01	16.31
	總和	27	6.50	2.95	.57	2.84	16.31

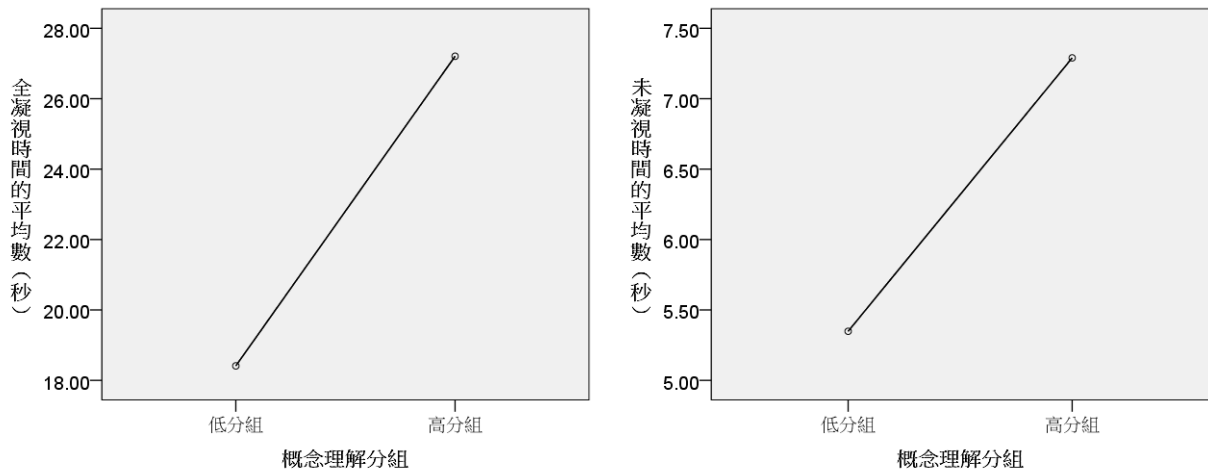
### 變異數同質性檢定

	Levene 統計量	分子自由度	分母自由度	顯著性
全凝視時間	3.28	1	25	.08
未凝視時間	3.07	1	25	.09

### ANOVA

		平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
全凝視時間	組間	504.25	1	504.25	3.42	.076
	組內	3690.88	25	147.64		
	總和	4195.14	26			
未凝視時間	組間	24.56	1	24.56	3.04	.094
	組內	202.10	25	8.08		
	總和	226.67	26			

由上述情況可以得知，高低分的學生在全文閱讀當中會存在些許差異，高分組在凝視時間的總和，以及相對的未凝視時間總和都比低分組多。



(a) 全文本中全凝視時間

(b) 全文本中未凝視時間

圖 4-3.1 全文凝視時間平均數的比較圖

### 三、不同頁面內容的閱讀差異

研究者依照文本內容所描述的概念，將文本分成三部份，分別是「電解質」、「沈澱反應」、「淨離子反應式」，再依據同主題的順序編頁，依序編列為電解質 1、電解質 2、電解質 3、沈澱 1、沈澱 2、淨離子 1、淨離子 2。在淨離子 1 (淨離子文與巨觀到微觀)、淨離子 2 (淨離子文與巨觀到微觀圖兩張) 這兩頁的資料中，高低分組分別在平均凝視時間(淨離子 1)、全凝視時間與未凝視時間都達到顯著；其他頁面在眼動儀上的統計數據皆沒有達到顯著差異。

表4-3.4 「淨離子1」與閱讀理解的分析

描述性統計量

		個數	平均數	標準差	標準誤	最小值	最大值
全凝視時間	低分組	11	16.33	10.36	3.12	3.45	40.62
	高分組	16	34.15	20.41	5.10	7.83	78.01
	總和	27	26.89	19.00	3.66	3.45	78.01
未凝視時間	低分組	11	5.06	2.32	.70	.80	8.72
	高分組	16	8.46	5.05	1.26	3.11	24.75
	總和	27	7.08	4.44	.85	.80	24.75
平均凝視時間	低分組	11	.28	.04	.01	.25	.36
	高分組	16	.32	.05	.01	.27	.41
	總和	27	.30	.05	.01	.25	.41

變異數同質性檢定

	Levene 統計量	分子自由度	分母自由度	顯著性
全凝視時間	3.57	1	25	.07
未凝視時間	1.37	1	25	.25
平均凝視時間	.51	1	25	.48

ANOVA

		平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
全凝視時間	組間	2069.80	1	2069.80	7.07	.013
	組內	7317.97	25	292.72		
	總和	9387.77	26			
未凝視時間	組間	75.32	1	75.32	4.31	.048
	組內	436.97	25	17.48		
	總和	512.29	26			
平均凝視時間	組間	.01	1	.01	4.99	.035
	組內	.05	25	.00		
	總和	.05	26			

表4-3.5 「淨離子2」與閱讀理解的分析

描述性統計量

		個數	平均數	標準差	標準誤	最小值	最大值
全凝視時間	低分組	11	16.28	12.45	3.75	.91	46.67
	高分組	16	28.62	16.37	4.09	4.59	60.66
	總和	27	23.59	15.89	3.06	.91	60.66
未凝視時間	低分組	11	4.76	2.32	.70	.86	7.92
	高分組	16	7.39	3.36	.84	1.65	12.35
	總和	27	6.32	3.21	.62	.86	12.35

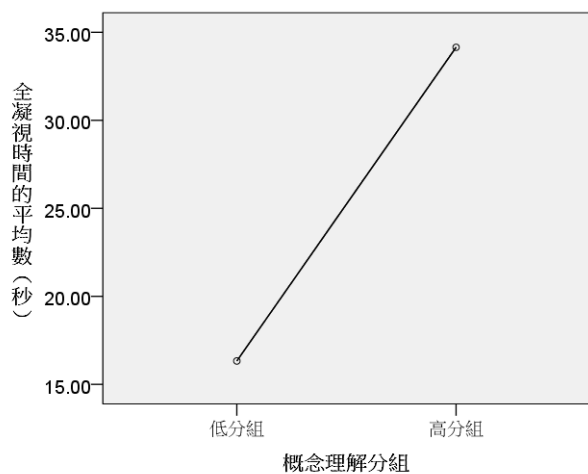
變異數同質性檢定

	Levene 統計量	分子自由度	分母自由度	顯著性
全凝視時間	1.68	1	25	.21
未凝視時間	2.08	1	25	.16

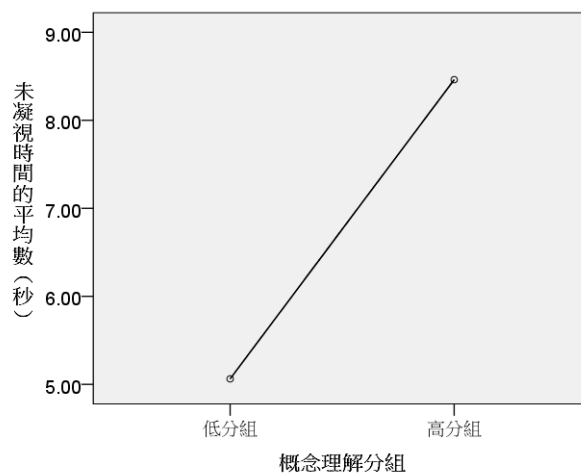
ANOVA

		平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
全凝視時間	組間	994.03	1	994.03	4.46	.045
	組內	5567.92	25	222.72		
	總和	6561.95	26			
未凝視時間	組間	45.25	1	45.25	5.07	.033
	組內	222.98	25	8.92		
	總和	268.23	26			

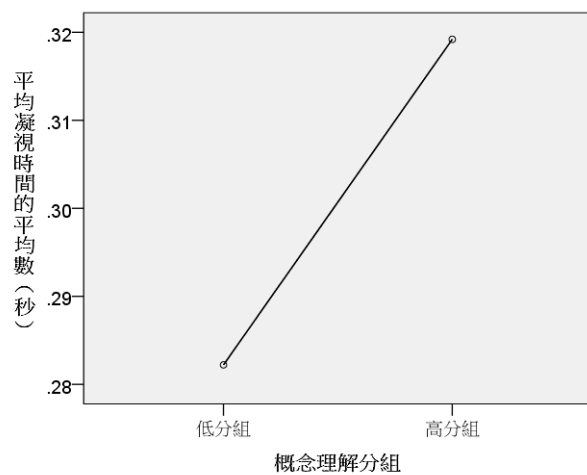




(a) 淨離子 1 全凝視時間

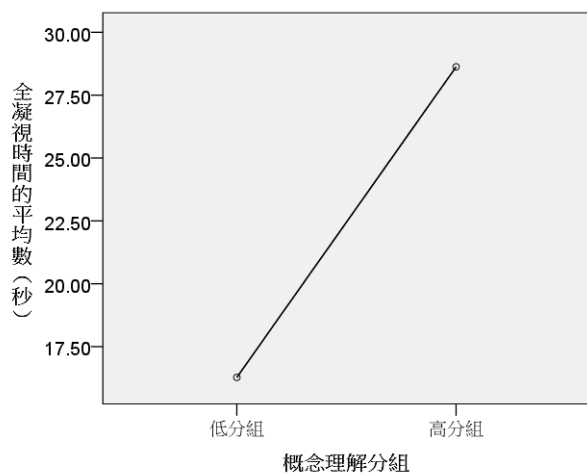


(b) 淨離子 1 未凝視時間

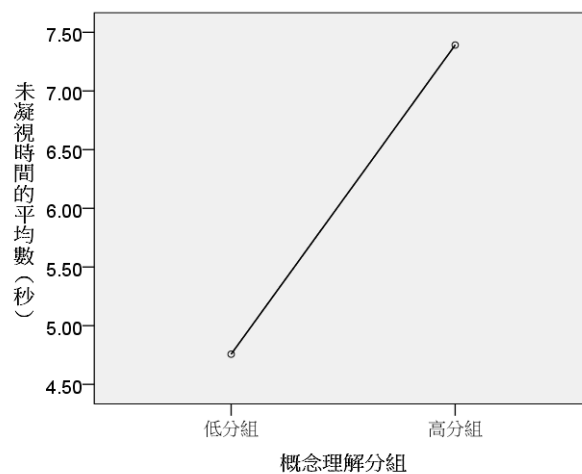


(c) 淨離子 1 平均凝視時間

圖 4-3.2 淨離子 1 各變項平均數的比較圖



(d) 淨離子 2 全凝視時間



(e) 淨離子 2 未凝視時間

圖 4-3.3 淨離子 2 各變項平均數的比較圖

由上列資料顯示全凝視時間與未凝視時間的差異，表示高低分組在淨離子 1、2 此二頁上所花的時間有顯著差異。

#### 四、文字區域的閱讀差異

研究者將文字區域（概念解釋區域、概念舉例區域、理論解釋區域、實驗描述區域、方程式區域）中的未凝視時間、凝視點數、平均凝視時間、區間內時間百分比、全凝視點百分比、區間內凝視時間比率分別進行分析，發現在概念解釋區域中的區間內凝視時間比率以及平均凝視點時間這兩方面的顯著性，如表 4-3.6 所示，達到了接近顯著的情況 ( $p < 0.1$ )。

表4-3.6 「概念解釋」閱讀歷程與內容理解的分析

描述性統計量

		個數	平均數	標準差	標準誤	最小值	最大值
區間內凝視時間比率	低分組	11	72.74	8.25	2.49	58.47	85.33
	高分組	16	77.87	5.80	1.45	68.99	86.65
	總和	27	75.78	7.22	1.39	58.47	86.65
平均凝視點時間	低分組	11	.29	.03	.01	.23	.34
	高分組	16	.31	.03	.01	.27	.39
	總和	27	.30	.03	.01	.23	.39

變異數同質性檢定

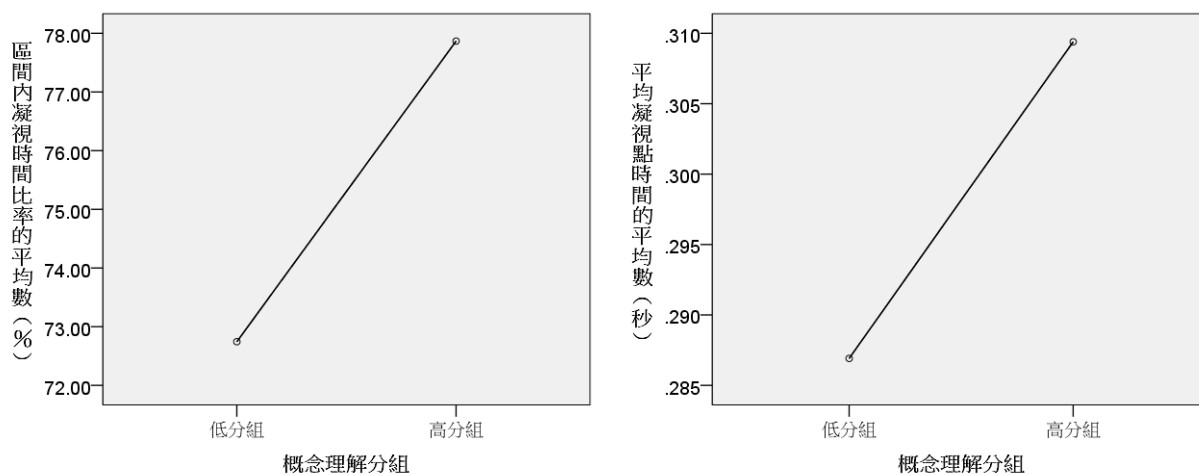
	Levene 統計量	分子自由度	分母自由度	顯著性
區間內凝視時間比率	1.43	1	25	.24
平均凝視點時間	.24	1	25	.63

ANOVA

		平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
區間內凝視時間比率	組間	171.16	1	171.16	3.61	.069
	組內	1185.18	25	47.41		
	總和	1356.34	26			
平均凝視點時間	組間	.00	1	.00	2.93	.099
	組內	.03	25	.00		
	總和	.03	26			

圖 4-3.4 是將上述的顯著性用圖表顯示，橫軸是根據閱讀概念理解問卷評分後的分組，縱軸分別是：(a) 區間內凝視點比率 (b) 平均凝視點時間。用圖表可以明顯發現，雖未達顯著標準，但是在平均數上的差異也頗大。

由上述情況可以得知，概念解釋的文章中高低分學生也會存在部份差異，根據當前資料表示，在概念解釋的段落中，學生凝視的時間會略為高於其他功能的文本段落。



(a) 概念解釋之區間內凝視點比率

(b) 概念解釋之平均凝視點時間

圖 4-3.4 概念解釋各變項平均數的比較圖

## 五、圖片區域的閱讀差異

首先將所有圖片視為一個區域，並且對未凝視時間、凝視點數、平均凝視時間、區間內時間百分比、全凝視點百分比、區間內凝視時間比率進行分析，發現區間內閱讀時間百分比、全凝視點百分比、未凝視時間皆達到顯著，而平均凝視點時間則接近顯著 ( $p < 0.1$ )。

表4-3.7 全圖統計與閱讀理解的分析

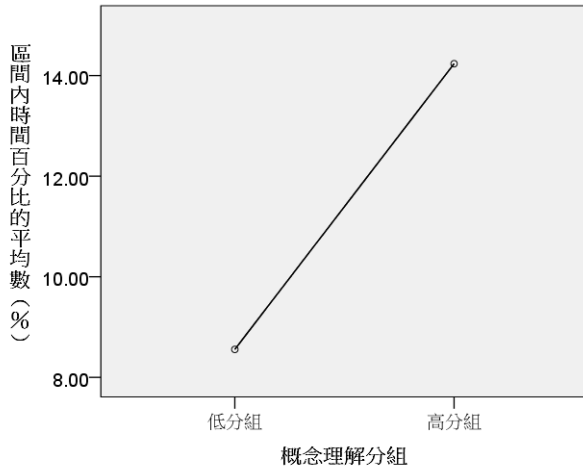
		描述性統計量					
		個數	平均數	標準差	標準誤	最小值	最大值
區間內時間百分比	低分組	11	8.56	5.58	1.68	.40	20.47
	高分組	16	14.24	4.89	1.22	5.02	21.51
	總和	27	11.92	5.82	1.12	.40	21.51
全凝視點百分比	低分組	11	10.62	7.13	2.15	.73	25.59
	高分組	16	17.01	6.74	1.68	5.46	32.78
	總和	27	14.40	7.48	1.44	.73	32.78
未凝視時間	低分組	11	.68	.48	.14	.05	1.50
	高分組	16	1.21	.74	.18	.36	2.62
	總和	27	1.00	.69	.13	.05	2.62
平均凝視點時間	低分組	11	.25	.05	.01	.16	.31
	高分組	16	.28	.05	.01	.20	.37
	總和	27	.27	.05	.01	.16	.37

### 變異數同質性檢定

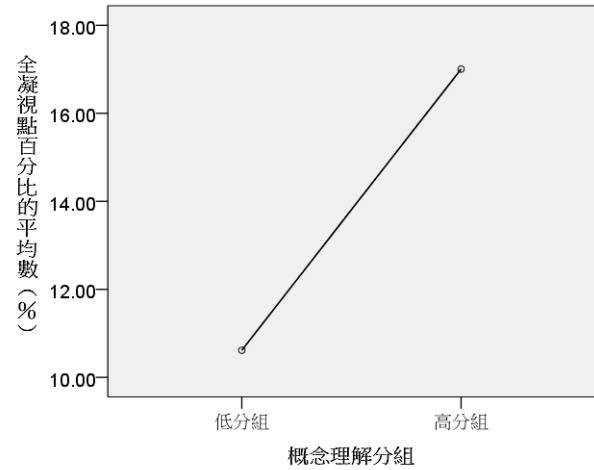
	Levene 統計量	分子自由度	分母自由度	顯著性
區間內時間百分比	.00	1	25	.95
全凝視點百分比	.01	1	25	.92
未凝視時間	2.29	1	25	.14
平均凝視點時間	.17	1	25	.69

## ANOVA

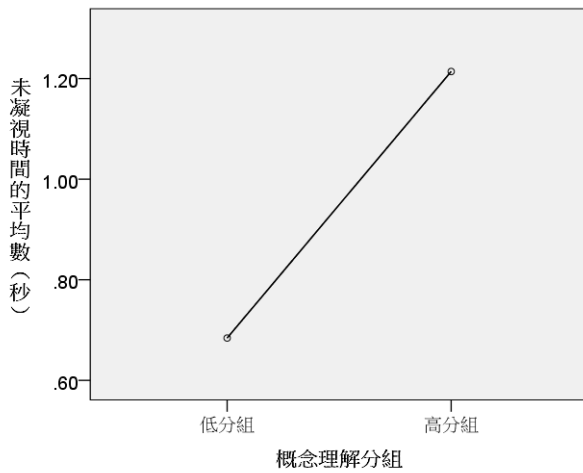
		平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
區間內時間百分比	組間	210.36	1	210.36	7.86	.010
	組內	669.41	25	26.78		
	總和	879.77	26			
全凝視點百分比	組間	266.21	1	266.21	5.60	.026
	組內	1189.47	25	47.58		
	總和	1455.68	26			
未凝視時間	組間	1.83	1	1.83	4.40	.046
	組內	10.41	25	.42		
	總和	12.24	26			
平均凝視點時間	組間	.01	1	.01	3.09	.091
	組內	.06	25	.00		
	總和	.06	26			



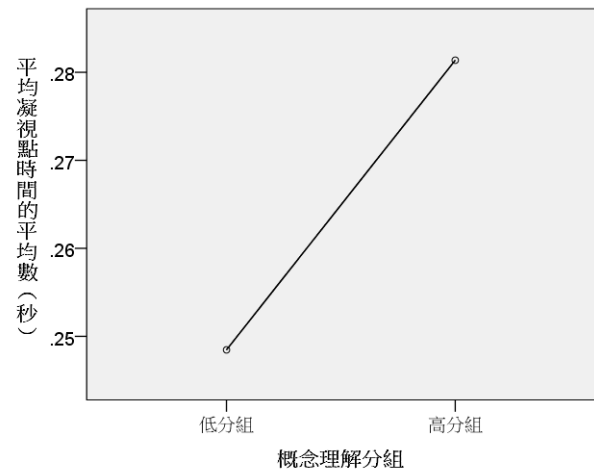
(a) 區間內時間百分比



(b) 全凝視點百分比



(c) 未凝視時間



(d) 平均凝視點時間

圖 4-3.5 全圖統計各變項平均數的比較圖

接著，研究者將本研究所用到的所有圖片歸成三類：現象示意、概念示意(概念卡通圖)、以及概念示意(巨觀到微觀)，再對個別區域的未凝視時間、凝視點數、平均凝視時間、區間內時間百分比、全凝視點百分比、區間內凝視時間比率進行分析。從圖片的閱讀歷程來看，三種圖片類別之中，現象示意閱讀上，高分組和低分組之間，大多數變項沒有達到顯著差異。

而在概念示意(概念卡通圖)中，在區間內時間百分比、全凝視點百分比、以及未凝視時間皆達到顯著差異，如表 4-3.8 所示。

表4-3.8 概念示意(概念卡通圖)與閱讀理解的分析

描述性統計量

		個數	平均數	標準差	標準誤	最小值	最大值
區間內時間百分比	低分組	11	9.82	9.22	2.78	.11	29.78
	高分組	16	22.93	9.31	2.33	4.88	38.33
	總和	27	17.59	11.22	2.16	.11	38.33
全凝視點百分比	低分組	11	12.18	12.24	3.69	.00	39.86
	高分組	16	26.73	11.53	2.88	5.08	47.74
	總和	27	20.80	13.69	2.63	.00	47.74
未凝視時間	低分組	11	.70	.64	.19	.02	1.76
	高分組	16	1.47	1.01	.25	.25	3.64
	總和	27	1.16	.94	.18	.02	3.64

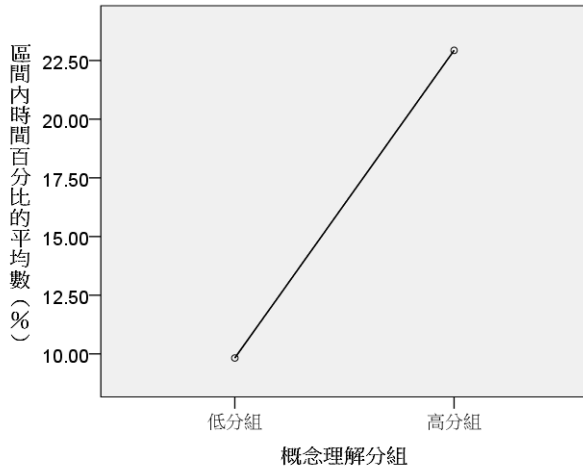
變異數同質性檢定

	Levene 統計量	分子自由度	分母自由度	顯著性
區間內時間百分比	.06	1	25	.81
全凝視點百分比	.01	1	25	.91
未凝視時間	3.62	1	25	.07

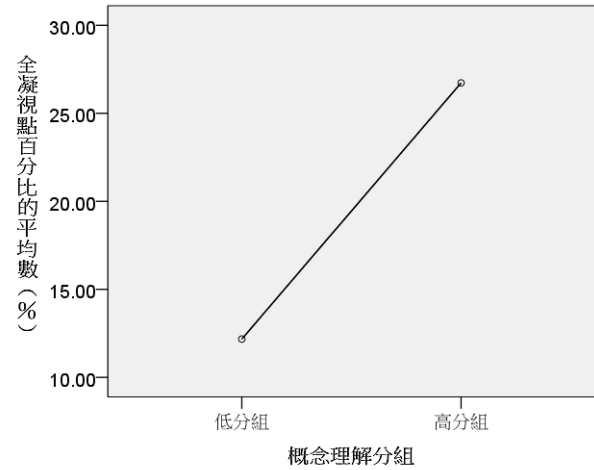
ANOVA

		平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
區間內時間百分比	組間	1120.01	1	1120.01	13.02	.001
	組內	2151.25	25	86.05		
	總和	3271.26	26			
全凝視點百分比	組間	1380.51	1	1380.51	9.89	.004
	組內	3490.99	25	139.64		
	總和	4871.50	26			
未凝視時間	組間	3.85	1	3.85	4.98	.035
	組內	19.32	25	.77		
	總和	23.17	26			

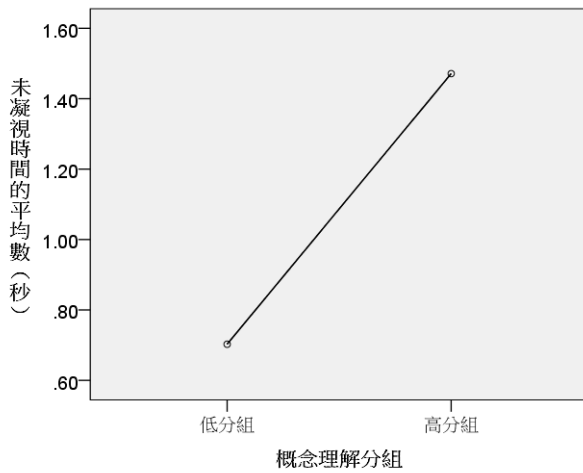




(a) 區間內時間百分比



(b) 全凝視點百分比



(c) 未凝視時間

圖 4-3.6 概念示意(概念卡通圖)各變項平均數的比較圖

在概念示意(概念卡通圖)的數據中顯示,高分組的學生在閱讀文本中使用概念卡通圖的頁面時,閱讀該圖所花的時間較低分組的多。區間內時間百分比代表該區域所使用的時間,比對閱讀全頁面所花的時間;全凝視點百分比代表該區域的凝視點佔整個頁面的百分比。前述兩者與未凝視時間,共同指向的即是在圖片上所花費的閱讀時間量。

而在概念示意(巨觀到微觀)，區間內凝視時間比率、平均凝視點時間、未凝視時間都達到顯著，區間內時間百分比則接近顯著 ( $p < 0.1$ )。

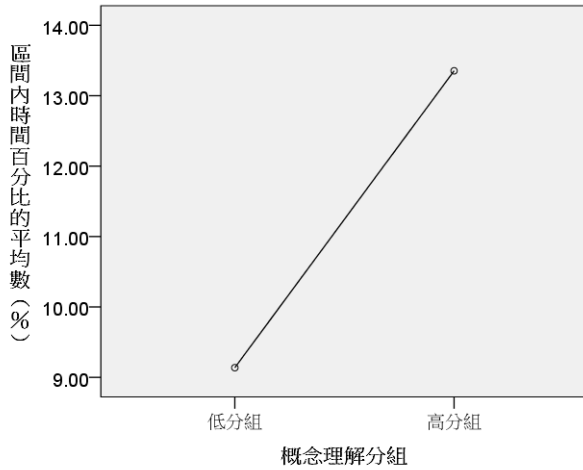
表4-3.9 概念示意(巨觀到微觀)與閱讀理解的分析

		描述性統計量					
		個數	平均數	標準差	標準誤	最小值	最大值
區間內時間百分比	低分組	11	9.14	6.05	1.82	.39	19.77
	高分組	16	13.35	5.74	1.44	3.14	23.06
	總和	27	11.64	6.13	1.18	.39	23.06
未凝視時間	低分組	11	.72	.50	.15	.05	1.47
	高分組	16	1.27	.75	.19	.26	2.61
	總和	27	1.05	.71	.14	.05	2.61
區間內凝視時間比率	低分組	11	52.52	21.42	6.46	16.67	73.46
	高分組	16	67.47	15.86	3.97	28.70	87.95
	總和	27	61.38	19.43	3.74	16.67	87.95
平均凝視點時間	低分組	11	.25	.04	.01	.16	.31
	高分組	16	.30	.05	.01	.21	.39
	總和	27	.28	.06	.01	.16	.39

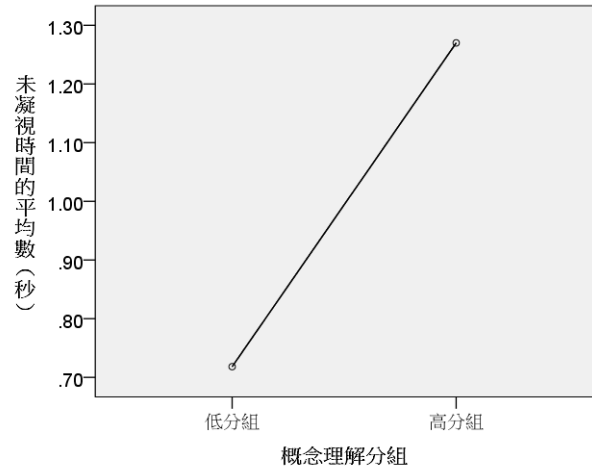
變異數同質性檢定				
	Levene 統計量	分子自由度	分母自由度	顯著性
區間內時間百分比	.01	1	25	.95
未凝視時間	1.62	1	25	.21
區間內凝視時間比率	1.46	1	25	.24
平均凝視點時間	.95	1	25	.34

## ANOVA

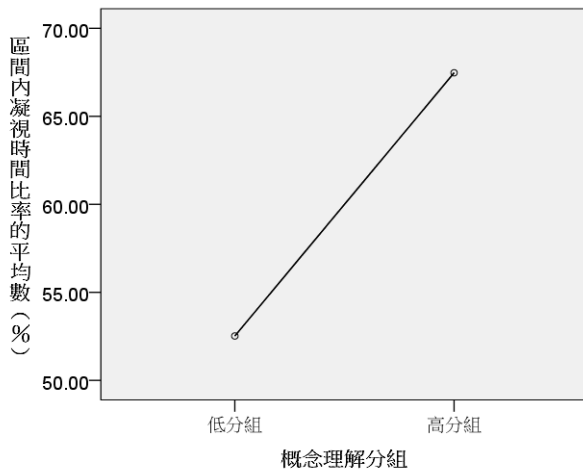
		平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
區間內時間百分比	組間	115.86	1	115.86	3.37	.078
	組內	860.54	25	34.42		
	總和	976.40	26			
未凝視時間	組間	1.99	1	1.99	4.49	.044
	組內	11.04	25	.44		
	總和	13.03	26			
區間內凝視時間比率	組間	1457.68	1	1457.68	4.36	.047
	組內	8360.89	25	334.44		
	總和	9818.57	26			
平均凝視點時間	組間	.02	1	.02	5.78	.024
	組內	.07	25	.00		
	總和	.08	26			



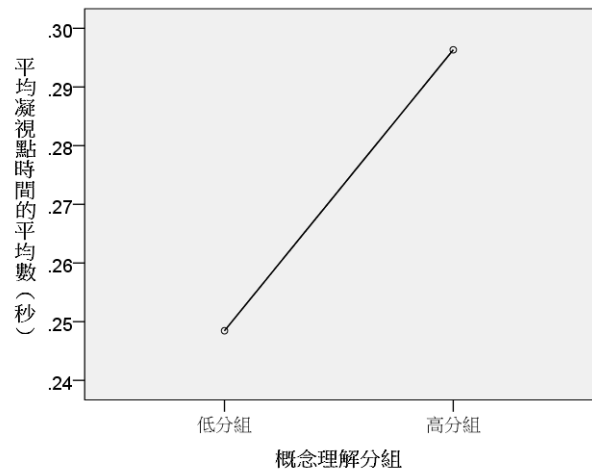
(a)區間內時間百分比



(b)未凝視時間



(c)區間內凝視時間比率



(d)平均凝視點時間

圖 4-3.7 概念示意(巨觀到微觀)各變項平均數的比較圖

而概念示意(巨觀到微觀)的數據中，除了與概念卡通圖類似，高分組的學生的閱讀時間較多之外，對於圖片的凝視情況比低分組的學生多。區間內凝視時間比率表示在此區域內凝視所花時間與視線落於此區全部時間的比率；平均凝視點時間表示閱讀全頁面的時間除以全頁面的總凝視點數。因此，在全頁面中的凝視點數多且在區間內的凝視時間較多，可以瞭解高分組在此區間內的凝視情形較多。

由上述資料可以得知，若從全部圖片作統計，高分組與低分組在區間內時間百分比、全凝視點百分比、未凝視時間、以及平均凝視點時間都達到顯著差異。若分成三個類別：現象示意、概念示意（概念卡通圖）、概念示意（巨觀到微觀），則現象示意在兩組間未存在差異，概念示意（概念卡通圖）與概念示意（巨觀到微觀）中高分組的閱讀時間都較多。

## 六、圖文交互閱讀的差異

根據研究目的而將圖文交互閱讀單獨提出討論。在計算上，若原先視線停留在文字區而移動到圖片區，此狀況視為一次交互閱讀；相同地，若先在圖片區移動到文字區，也算為一次交互閱讀。在這種計算模式下，分析各頁面內高低分組的差異，發現高分組與低分組在全文本平均下的差異接近顯著，而在淨離子2（淨離子文與巨觀到微觀圖兩張）的差異則達到顯著。

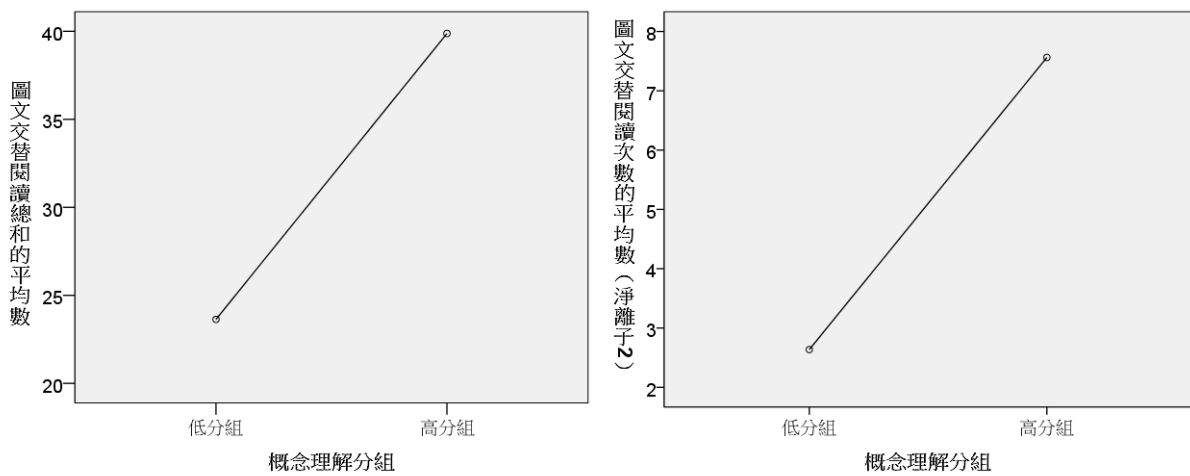
表 4-3.10 圖文交互閱讀次數與閱讀理解的分析

		描述性統計量							
		個數	平均數	標準差	標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值
						下界	上界		
全文平均	低分組	11	3.38	1.80	.54	2.17	4.58	1	7
	高分組	16	5.70	3.46	.87	3.85	7.54	2	15
	總和	27	4.75	3.08	.59	3.53	5.97	1	15
淨離子2	低分組	11	2.64	3.53	1.06	.27	5.01	0	11
	高分組	16	7.56	5.49	1.37	4.64	10.49	0	21
	總和	27	5.56	5.32	1.02	3.45	7.66	0	21

變異數同質性檢定				
	Levene 統計量	分子自由度	分母自由度	顯著性
全文平均	2.64	1	25	.12
淨離子2	1.13	1	25	.30

## ANOVA

		平方和	自由度	平均平方和	F	顯著性
全文平均	組間	35.08	1	35.08	4.14	.053
	組內	211.72	25	8.47		
	總和	246.80	26			
淨離子2	組間	158.18	1	158.18	6.86	.015
	組內	576.48	25	23.06		
	總和	734.67	26			



(a)全文本總和

(b)淨離子第2頁

圖 4-3.8 圖文交互閱讀次數平均的比較圖

由上列資料顯示，高分組在圖文交互閱讀的次數上是普遍高於低分組的，特別是淨離子2（淨離子文與巨觀到微觀圖兩張）此頁更是達到顯著差異。

## 第五章 綜合討論與展望

本章節先以研究結果對研究目的與待答問題進行探討與回應，再反思結果對科學教育上的建議，以及本研究尚需要加強和遺漏之處，方便未來研究的精進。

### 第一節 研究結果及推論

本研究旨在運用眼球追蹤技術探討台灣北部地區高中學生的科學教科書文本閱讀歷程，並使用科學概念理解問卷測驗受試者在閱讀文本之後，對科學概念理解程度，進而探討兩者之關係。基於上述目的，本研究所設定的待答問題如下：一、台灣北區高中學生在閱讀化學課文時，其視覺注意力於圖文之分配為何？二、針對不同類型圖片，學生閱讀化學課文是否有著不同的視覺注意力分配？三、台灣北部地區高中學生於化學課文閱讀後，對科學概念的理解程度如何？四、學生閱讀化學課文後，對科學概念的理解程度是否與化學課文的閱讀歷程有關？接下來將會先整理研究之發現，再逐一回答上述問題。

#### 整體表現

首先，先從受試者的閱讀歷程整體表現來看，根據文獻指出，圖片在圖文並茂的閱讀內容中可以幫助學習 (Hannus and Hyona, 1999)，而且文字部份影響學習的大部分，而學生看懂圖片之後便不再仔細審查了；換句話說，學生在閱讀時會花在圖片上的注意力僅只於將圖片看懂，主要仍然靠文字習得知識。本實驗也發現相同情況，學生在文字部份所花費的凝視時間與凝視點數，普遍都比在圖片部份高。而在圖片部份，學生在閱讀僅以真實照片表示的現象示意圖時，所花費的凝視時間與凝視點數都較其他兩類圖片（概念卡通圖、巨觀到微觀圖）少上許多，因此可以知道，學生不會投注過多注意力在容易理解的圖片。

本實驗也對學生的圖文交互閱讀進行探討，主要計算方式為：閱讀者在凝視文字區域後轉而凝視圖片區域，此即算一次的交互閱讀，反之亦然。資料分析發現學生交互閱讀的情況很不一致，次數分佈也很不集中；簡而言之，有些學生圖文交互閱讀的次數高出平均值很多，相反地，也有些學生次數很少，而這兩極端群組的學生落差很大。普遍來說，圖文交互閱讀的次數是屬於正偏態（次數低的人數較多，平均值高於眾數）；也就是指，大多數學生圖文交互閱讀的次數低於平均值。

本研究在受試者閱讀教科書文本之後，要求受試者填寫科學概念理解問卷，用以瞭解受試者對文本所講述之概念的理解程度。從圖 4-2.1 與表 4-2.1 可以知道，兩極端的人數都偏低，中間人數最多，偏態低於 0.1，屬於類似高斯分佈的情況。這個情況表示，未經教學的學生，在對本教科書文本進行閱讀之後，對概念的理解程度會接近常態分佈。但是峰度接近-1，表示中等分數的人數不如常態分佈般集中，接近兩極端區的人數比起常態分佈多。

## 相關分析以及全文比較

在進行 ANOVA 分析之前，研究者將所有眼球追蹤系統擷取出來的指標（全凝視時間、未凝視時間、凝視點數、平均凝視時間、區間內時間百分比、全凝視點百分比、區間內凝視時間比率）分別與學生的概念理解程度。就閱讀類型來區分，概念卡通圖的指標與概念理解分數的相關程度最高，也最顯著。這代表在概念卡通圖上閱讀時間較長的學生，概念理解分數也是比較高的。其次是巨觀到微觀圖，情況與概念卡通圖類似，也是屬於多數達到顯著正相關的指標。若是依照頁面內容來區分，會發現與閱讀類型相似，若搭配的图片是概念卡通圖以及巨觀到微觀圖，在閱讀時間的部份會與概念理解分數出現顯著正相關。但是另一個值得討論的指標是圖文交互閱讀，因為這個指標，在大部分頁面都與概念理解分數呈現顯



著正相關。這表示在普遍的閱讀情況下，圖文交互閱讀的次數都與概念理解程度呈現正相關。

研究者根據概念的理解程度將受試者分成兩組，閱讀概念理解成績大於或等於 4 分者劃分為高分組，等於或小於 3 分者劃分為低分組。將所有由眼動儀所追蹤紀錄得到的資料分成這兩組進行單因子變異數分析(ANOVA)。

在全文比較中，高分組的全凝視時間和未凝視時間都比起低分組為多，在推論上，若是總閱讀時間比較長，在全凝視時間和未凝視時間都會提高。因此可以推論高分組在整體的閱讀上所花的時間比低分組多，未能構成凝視的時間也比較多。然而，這似乎是個容易預期的推論結果。所以，進一步分析哪些區域、哪些圖片(或哪種圖片)是產生此二者差異，是本研究探討的重點。

## 文字區域部份

研究者將此教科書文本的文字部份分成概念解釋區域、概念舉例區域、理論解釋區域、實驗描述區域、方程式區域等五種，如表 3-6.2 所示。研究分析顯示，除了概念解釋的閱讀歷程外 ( $p < 0.1$ )，其他區域的閱讀歷程並未達到顯著差異。關於此點，研究者認為在平鋪直述的課文當中，學生會花上一定量的時間與專注程度進行閱讀，因此在一般的文章中，學生所花費的時間不會差距太大。

然而，概念解釋與理論解釋同樣是屬於對科學概念或模型的解釋，是什麼原因使得兩者之間有出現不同的表現程度？研究者認為原因出自於熟悉程度。本篇教科書文本唯一出現的理論為電解質解離理論，此一理論在國中已經是必須要學習並且熟練的理論。在台灣現行的制度中，能就讀於國立高中的高一學生，需要一定程度的全面學科知識，因此在國中程度的電解質理論對他們並不陌生，因此高低組學生的閱讀表現沒有太大差異。然而，實驗文本中的概念除了電解質外，還包括沈澱反應以及淨離子反應式的解釋，特別是淨離子反應式，對高一學生

是全新的概念，淨離子反應式雖然是建立在電解質之上，但是一種不同出發點的思維。淨離子反應式除了將所有電解質解離後列出，還多了判斷是否發生反應的想法，並且將不發生反應的離子省略，只餘下實際發生反應並且產生沈澱的離子。因此高分組與低分組在此部份呈現了不一樣的凝視資料，見表 4-3.6、圖 4-3.4。高分組在概念解釋區域內的「區間內凝視時間比率」以及「平均凝視點時間」均略高於低分組，研究者認為這樣的結果表示高分組在此區域所凝視的時間高於低分組，亦即表示高分組學生在概念解釋的文本內容中，會花費較長的凝視時間，而非透過掃視來瀏覽文字。

單純就文字部份而言，根據目前資料顯示，進行閱讀且凝視科學概念解釋類型文字所花費的時間以及科學教科書文本閱讀理解的程度有一定程度的相關。

## 圖片區域部份

而在全圖統計的情況下，高分組與低分組在區間內時間百分比、全凝視點百分比、未凝視時間、以及平均凝視點時間都達到顯著差異。逐一分析可知，高分組的閱讀歷程中視線落於圖片、以及區間內的凝視點數的比例較低分組高，未能構成凝視的時間以及平均每個凝視點所代表的時間，也是高分組多於低分組。整體而言，高分組的閱讀歷程中，閱讀圖片的時間較低分組為高，而且是具有顯著差異的程度。

接著，從圖片的各種分類來進行個別比較。從表 3-6.2 可以知道，圖片主要分成三類別：現象示意、概念示意（卡通圖）、概念示意（巨觀到微觀）。從資料上發現，現象示意圖片的閱讀歷程資料，在兩組間未存在差異；但是概念示意圖片的閱讀歷程資料，多數以顯著差異的程度存在。研究者認為，現象示意類型圖片（例如一般照片），雖是最貼近學生生活的圖片，但就是因為如此，學生凝視

的情況比較少，即使圖片中含有隱藏的知識。而在概念示意圖中，研究者將其分類為僅以卡通圖出現（即“概念卡通圖”）、以及由真實照片放大至微觀卡通圖（即“巨觀到微觀”圖）兩類。此兩者在與閱讀概念理解程度高低分組的資料分析都是有顯著差異的。

先從概念卡通圖來看，高低分組在區間內時間百分比、全凝視點百分比、與未凝視時間上皆達到顯著差異，亦即高分組在此類型圖片所花時間、凝視時間以及掃視與快速閱讀都高於低分組。回顧此類圖片存在之頁面所傳達的內容，是強弱電解質的探討與舉例，都是國中需要熟悉的概念，但是卻有著不同的差異情況。研究者認為可能的原因有兩個，其一是文章結構問題。由於配合卡通圖的文章是概念舉例的關係，常會不由自主地想知道是什麼樣的例子，也因此使受試者產生較多看圖的機會。反觀現象示意的搭配文章，屬於概念解釋與理論解釋，而僅以一張透過電解質溶液導電的真實發亮燈泡照片來輔佐文章，此類圖片對於解釋性的文字配合度較低。可能的原因其二是圖片的結構不同。在卡通圖中有出現文字。由於文字存在於圖片中，使用掃視會發現文字，再進一步凝視並辨別文字，會使得凝視點數增加，而且卡通圖以圖示的方式放大了微觀的結構，這也是使此類圖片比起真實照片更容易令人閱讀的原因之一。

再者看到巨觀到微觀圖，此類圖片的區間內凝視時間比率、平均凝視點時間、與未凝視時間三項資料對高低分組進行分析，都達到了顯著差異；區間內時間百分比未達顯著，但顯著性也低於 0.1。也就是指，高分組在圖片上所花時間僅略為大於低分組，高分組在圖片內所花的凝視時間，以及在圖片上進行掃視與快速閱讀都較低分組多。此類型圖片較上述兩者複雜，因為同時存在卡通圖與真實照片，在閱讀上會更需要花時間與專注。因此，高分組在閱讀時間與凝視點點數上略高於低分組是可以被理解的。比較特別的是，根據原本教科書設計，沈澱反應的內容搭配的圖片，應同時可以幫助理解淨離子反應式，因此使學生自行翻頁對照。但是由於本研究的設備限制以及減少變數等原因，將提到的同一張圖片重複

使用，因此在文本第四頁與第六頁為同一張圖片，第五頁與第七頁為同樣兩張圖片。雖然圖片是相同的，但是由於文字部份是不同內容，所以閱讀圖片的歷程也跟著不同，如圖文交互閱讀次數以及凝視時間上的差異。

以圖片部份的資料作推斷，在進行科學教科書文本閱讀時，閱讀教科書文本中圖片對於閱讀科學概念理解有正相關；其中在概念示意圖的部份，閱讀圖片的時間以及凝視時間較多的學生，在科學閱讀概念理解的程度較高。

## 頁面部份

研究者依照文本內容所描述的概念，將文本分成三部份，分別是「電解質」、「沈澱反應」、「淨離子反應式」，再依據同主題的順序編頁，依序編列為電解質 1、電解質 2、電解質 3、沈澱 1、沈澱 2、淨離子 1、淨離子 2。並且探討高低分組在各頁面上是否存在閱讀上的差異。根據資料顯示，在「淨離子 1」與「淨離子 2」都在全凝視時間與未凝視時間都有達到顯著，而「淨離子 1」則是在平均凝視時間也達到顯著。這亦表示，高分組在這兩頁所凝視的時間與低分組比較起來，高分組閱讀凝視時間較長；且在「淨離子 1」的平均凝視時間顯示，高分組所專注凝視的時間也較長。

此二頁的閱讀內容是淨離子反應的頁面，配合的是概念示意（巨觀到微觀）的圖片，是國中沒有任何學習過的知識。在其他頁面並未出現類似的差異，若是高低分組的差異是一般閱讀習慣，無關閱讀內容，那麼在其他頁面也會是高分組所花的時間較長，而不是像資料顯示只有這兩頁出現差異。淨離子反應式這部份的知識在科學閱讀理解問卷中也是佔有一定部份的分數，若是在這部份閱讀較為仔細，對於問卷分數也是會產生影響。因此研究者認為，高低分組最主要產生差異的原因在於這兩頁屬於新知識的解說，高分組在閱讀時對此兩頁花費時間較長，

低分組花費時間較短。再者，「淨離子 1」是淨離子反應式的主要解說頁，所以高分組在此頁不僅花費時間較長，凝視時間也同時提高。

從頁面與文本內容的資料來解釋，閱讀科學新知識所花費的時間與科學閱讀概念理解有相關，且凝視在解釋區的時間，同樣與概念理解程度有相關。文本的內容除了影響概念理解程度，同時也影響了閱讀歷程。

### 圖文交互閱讀次數部份

高低分組在圖文交互閱讀這部份的差異，是出現在第 7 頁（淨離子 2）以及全文本閱讀( $p=.053$ )的情況上。在全文本閱讀的情況上，比較容易解釋與理解。研究者認為高分組習慣使用圖文交互閱讀來進行對文章或者對圖片的理解，此一閱讀過程有助於增加對於科學閱讀概念的理解程度。相反地，由於低分組使用圖文交互閱讀的情況較少，所以對於文章本身以及圖片的理解程度可能因此不足，進而對於科學閱讀概念的理解程度較低。然後，這樣的說法只能使用在對於全文本閱讀存在差異的情況下。

「淨離子 2」的文章內容是承接在「淨離子 1」淨離子方程式的解說之後，主要的敘述內容是將「沈澱 2」所提到的兩個沈澱反應實驗，透過不斷地轉變原始的方程式，使其最終成為淨離子方程式。文字部份主要是方程式，以及說明配合的圖片為何；而圖片部份則是與「沈澱 2」相同的概念示意（巨觀到微觀）（圖 5-1.1）。研究者認為，導致如此差異性的原因即是出在文章內容。首先，淨離子 2 此頁主要表達的是舉例，將先前講過的反應進一步轉換成淨離子反應式，文字的部份只有反應方程式，相較於其他頁面，比較難單獨從文字中取得資訊。受試者除了方程式之間上下比對外，另一個資訊來源即是文章中提到的對應圖片，圖

片中有將反應物與生成物作概略性的交待。若是適當使用圖文交互閱讀，可以對文本內容作比較全面性的理解。



(2)在試管中置入10毫升的0.10M氯化鈣溶液，再逐漸滴加少許的0.10M氟化鈉溶液，可以明顯觀察到白色氟化鈣沈澱的生成(圖005)。

(3)在兩個錐形瓶中各置入50毫升的0.10M硝酸銀溶液與0.10M鉻酸鈉溶液，再將兩者混合，可以明顯觀察到磚紅色沈澱的生成(圖006)。

圖005 在氯化鈣溶液中加入氟化鈉溶液，生成白色氟化鈣沈澱。

圖006 硝酸銀溶液與鉻酸鈉溶液混合後，可以明顯觀察到磚紅色沈澱的生成。



圖005的沈澱反應可以表示如下：

$$\text{CaCl}_2(aq) + 2\text{NaF}(aq) \rightarrow \text{CaF}_2(s) + 2\text{NaCl}(aq)$$

$$\text{Ca}^{2+}(aq) + 2\text{Cl}^{-}(aq) + 2\text{Na}^{+}(aq) + 2\text{F}^{-}(aq) \rightarrow \text{CaF}_2(s) + 2\text{Na}^{+}(aq) + 2\text{Cl}^{-}(aq)$$

$$\text{Ca}^{2+}(aq) + 2\text{F}^{-}(aq) \rightarrow \text{CaF}_2(s)$$

圖006的沈澱反應可以表示如下：

$$2\text{AgNO}_3(aq) + \text{Na}_2\text{CrO}_4(aq) \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4(s) + 2\text{NaNO}_3(aq)$$

$$2\text{Ag}^{+}(aq) + 2\text{NO}_3^{-}(aq) + 2\text{Na}^{+}(aq) + \text{CrO}_4^{2-}(aq) \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4(s) + 2\text{Na}^{+}(aq) + 2\text{NO}_3^{-}(aq)$$

$$2\text{Ag}^{+}(aq) + \text{CrO}_4^{2-}(aq) \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4(s)$$

綜觀上述說明，不難發現電解質在水溶液中的反應可用淨離子反應式來彰顯其特性。

圖 5-1.1 沈澱 2(左)與淨離子 2(右)的頁面比較

圖文交互閱讀次數部份的資料結論仍然以閱讀習慣為主，圖片中的資訊以及文字中的資訊都是文本所欲表達的內容，資料顯示圖文交互閱讀次數與教科書文本閱讀概念理解程度有相關，若在文本資訊不足的情況下，圖文交互閱讀亦有助於教科書文本閱讀概念理解。

### 綜合討論與研究問題思考

由文字部份、圖片部份、頁面與文本內容部份、圖文交互閱讀次數部份等綜合來看，學生若是在概念解釋的部份進行凝視閱讀，將有助於概念理解，並且閱讀科學圖片本身就足以協助對文本概念的理解，理論示意圖會達到更關鍵的效果。再者，學生能夠自行辨別出新知識，進而對閱讀歷程進行改變，除了對文字凝視狀況增加外，也會增加交互閱讀的次數，特別是當文字資訊不足的情況。

而本研究所提出的問題是：

### 一、台灣北區高中學生在閱讀化學課文時，其視覺注意力於圖文之分配為何？

根據第一個問題的回答，整體而言，台灣北區高中學生在知識的獲取仍然是以文字部份為主，即便是圖片所蘊含的資訊比較多，仍然會以文字為主要的閱讀探究內容，而圖片僅是輔助文章閱讀的作用。從眼動儀的資料上可以明顯地看到這點，文章的閱讀時間平均都大於圖片的閱讀時間，也就是學生偏重將注意力放在文字部份，而不是圖片部份。

### 二、針對不同類型圖片，學生閱讀化學課文是否有著不同的視覺注意力分配？

至於第二個問題，單純就圖片的部份進行討論，學生在閱讀圖片的情況很不相同，統計上呈現的數據顯示離散程度很高，也就是學生對於圖片的閱讀時間落差很大，有些學生對圖片的閱讀很仔細，也有些學生圖片的閱讀時間幾乎沒有。如果將各種圖片分開討論，我們將可以發現像現象示意的圖片（真實照片），台灣北部地區高一學生多半只是以快速閱讀的方式帶過，而概念示意的圖片則會進行較為仔細的凝視，且會因為搭配文字是否足以滿足概念的學習，適度地增加圖文交替閱讀次數。

### 三、台灣北部地區高中學生於化學課文閱讀後，對科學概念的理解程度如何？

關於第三個問題，台灣北部地區高一學生在閱讀後的科學概念理解程度是呈現接近高斯分佈的常態分佈，代表對於閱讀未完全學習過的文本，並不會達到全面性的吸收；換句話說，大多數高一學生難以僅透過閱讀科學教科書文本來習得未學習的科學概念。

### 四、學生閱讀化學課文後，對科學概念的理解程度是否與化學課文的閱讀歷程有關？

本研究顯示，科學教科書文本的閱讀歷程對於科學概念的理解程度是絕對有關的。由上述的眾多研究結果討論可以得知，台灣北部地區高一學生在概念解釋

的文字、概念示意的圖片等地方進行凝視閱讀，與科學概念較高的理解程度是相當大的關聯的。不論是文字部份、圖片部份、圖文交互閱讀次數等等，高低分組的差異都是存在的。因此在科學概念理解程度與化學課文的閱讀歷程是絕對有關的，而且可以知道是正相關。

本實驗的結果與 Hannus and Hyona(1999)所提到的情況類似，我們可以看到在文字部份閱讀歷程存在的差異比圖片部份少，可以認為本實驗的學生文字部份的閱讀歷程，差異比圖片部份的閱讀歷程少，而這個差異與概念理解的相關性也高。因此本實驗的結果也同樣指出圖片確實有助於圖文並茂的閱讀理解，即使是不同類型的圖片以及不同內容的文本也同樣成立。

## 第二節 在教育上的建議

教科書是學生在中學程度主要依循上課進度的工具，也是教師們在進行科學課程必不可少的利器。因此，若能將本研究的發現應用於教科書上，對未來教育也是助益。再者，本研究探究眾多閱讀歷程及其影響，將此些影響帶入教育中，使學生能進行更促進科學概念理解的閱讀，對於科學學習將也是事半功倍。接著將提出對教育與教學上的建議：

- 一、本研究發現對關鍵的內容進行精讀，是有助於科學概念學習的，因此教學者在協助學生概念理解時，可以用複誦或者背誦的方式請學生將關鍵的內容作精讀的動作。如此一來，學生便會凝視並閱讀關鍵的文章內容，進而提昇科學概念的理解程度。
- 二、在科學教科書文本中放入適當的圖片，對於科學教科書文本閱讀的概念理解是具有相當關鍵意義的。根據本研究發現，單純在教科書中使



用真實照片作為閱讀輔助，對閱讀理解的幫助是微不足道的。真正能對學生的閱讀理解產生關鍵性影響的是完整的文字敘述。學生可以透過完整的文字敘述來理解科學概念，過多與概念理解無關的圖片反而可能會造成注意力的分散，對於閱讀理解可能有害。

- 三、本研究發現台灣北部地區高一學生較高概念理解程度的學生，能判斷閱讀內容是否熟悉，而對閱讀速度進行調整。因此，教學者若能在新知識或者新概念出現之際，對學生進行提醒使其提高閱讀及凝視的專注力，以弭平較低成就的學生對閱讀內容察覺能力較低的狀況，應能提高教學效益。

### 第三節 研究限制與未來可能的研究方向

本研究存在許多根本上的限制，因此未來的研究發展將可以朝此限制進行修正，以讓研究成果可以推廣至更多層面。

#### 一、學科內容及對象限制

本研究主要是以化學科為施測文本，因此僅限推廣於化學或者科學普及內容知識。因此未來可以朝向其他學科：如物理、生物、地球科學、或數學等其他基礎科目，抑或是依然根據化學科，進行高中其他年級的施測。由於化學科的課程安排屬於疊加式（逐年新增部份知識），因此也可將內容作修正，對同類型受試對象進行施測。

## 二、文章結構

本研究的文章取材是以依據教育部民國九十七年修正發布之「普通高級中學必修科目基礎化學課程綱要」，市售之普通高級中學基礎化學（一）課本。未來的研究可以嘗試使用現在高中老師的自編講義、市占率高的補充教材、補教名師的講義等進行施測，或者進行相互比較，務求將學生使用的教材作最大幅度的改善。

## 三、施測方式

本研究所使用的是眼動儀資料配合填寫實驗後的概念理解問卷，若能將問卷也透過電腦螢幕呈現，學生作答時的閱讀順序將也會被眼動儀所紀錄；進而再將圖片也加入問卷中，可探討試題之問題解決策略與閱讀理解間的關係，或者圖片閱讀對學生答題判斷之影響等等。

## 參考文獻

### 中文

- 邱鴻麟和高紹源(民86)。閱讀高中化學教科書後對高一學生所具有之迷思概念影響之研究-勒沙特列原理。 *科學與教育學報*, 1, 235-257.
- 岳修平(譯)(民 87)。 *教學心理學*(原作者: Gagne, E. Yekovich, C., Yekovich, F.)。臺北市: 遠流出版。(原著出版年: 1993)
- 洪月女、靳知勤(民 97)。科學寫作理論與教學之探討。 *課程與教學季刊*, 11(2), 173-192。
- 許良榮(民83)。科學課文的特性與學習。 *科學教育月刊*, 170, 23-36。
- 許良榮(民85)。圖形與科學課文學習關係的探討。 *教育研究資訊*, 4(4), 121-131。
- 蔡介立(民95)。 *眼球運動與閱讀歷程*。眼球追蹤理論與技術研討會。台北市: 國立台灣師範大學。

### 英文

- Atkinson, R.C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. Spence and J. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 2). New York: Academic Press.
- Beerenwinkel, A, & Parchmann, I, & Grasel, C (2011). Conceptual change texts in chemistry teaching: a study on the particle model of matter. *International Journal of Science and Mathematics Education*(9), 5, 1235-1259.
- Carroll, P. J., Young, J. R., & Guertin, M. S. (1992). Visual analysis of cartoons: A view from the far side. In K. Rayner (Ed.), *Eye movements and visual cognition: Scene perception and reading* (pp. 444-461). New York: Springer-Verlag.
- Chen, Y. C. & Yang, F. Y. (2011). Exploring the graphical representations in the high-school Earth Science textbooks. Paper presented at the biennial meeting of European Association for Research on Learning and Instruction, Exeter, England.
- Christianson, S. A., Loftus, E. F., Hoffman, H., & Loftus, G. R. (1991). Eye fixations and memory for emotional events. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 17, 693-701.
- Cook, M. P., Carter, G., & Wiebe, E. N. (2006). Visual representations of DNA: A comparison of salient features for experts and novices. Presented at the

- Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Francisco, CA.
- Findlay, J. M., & Gilchrist, I. D. (2003). *Active vision: The psychology of looking and seeing*. New York: Oxford University Press.
- Hannus, M., & Hyona, J. (1999). Utilization of illustrations during learning of science textbook passages among low- and high-ability children. *Contemporary Educational Psychology, 24*, 95–123.
- He, P., & Kowler, E. (1992). The role of saccades in the perception of texture patterns. *Vision Research, 32*, 2151–2163.
- Hoffmann, R., & Laszlo, R. (1991). Representation in chemistry. *Angewandte Chemie, 30*, 1 - 16.
- Hoffman, J. E., & Subramaniam, B. (1995). The role of visual attention in saccadic eye movements. *Percept. Psychophys, 57*, 787–795.
- Koran, M. L., & Koran, J. J. Jr., (1980). Interaction of learner characteristics with pictorial adjuncts in learning from science text. *Journal of Research in Science Teaching, 17*(5), 477–483.
- Krauzlis R. J. (2005). The control of voluntary eye movements: new perspectives. *The Neuroscientist, 11*, 124-137.
- Land, M. F. (2007). Fixation strategies during active behavior: a brief history. In: R.P.G. van Gompel, M.H. Fischer, W.S. Murray and R.L. Hill, (Eds.), *Eye movements: A window on mind and brain*, (pp. 75-98). Oxford: Elsevier.
- Land, M. F., Mennie, N., & Rusted, J. (1999). The roles of vision and eye movements in the control of activities of daily living. *Perception, 28*, 1311-1328.
- Levin, J. R. (1982). Pictures as prose-learning devices. In A. Flammer & K. Walter (Eds.), *Discourse processing*. (pp. 412-444). New York, NY: North-Holland.
- Loftus, G. R., & Mackworth, N. H. (1978). Cognitive determinants of fixation location during picture viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 4*, 565–572.
- Mallow, J.V. (1991). Reading science. *Journal of Reading, 34*(5), 324-338.
- Moody, D. E. (2000). The paradox of the textbook. In K. M. Fisher, J. H. Wandersee & D. E. Moody (Eds.), *Mapping biology knowledge* (pp. 167–184). Dordrecht: Kluwer Academic.
- Peacock, A. (1995). An agenda for research on text material in primary science for second language learners of English in developing countries. *Journal of Multilingual and Multicultural Development, 16*(5), 389-401.
- Perkins, D. N., & R. Simmons (1988). Patterns of misunderstanding: An integrative model for science, math, and programming. *Review of Educational Research, 58*, 303–326.

- Rayner, K., Rotello, C. M., Stewart, A. J., Keir, J., & Duffy, S. A. (2001). Integrating text and pictorial information: Eye movements when looking at print advertisements. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7(3), 219–226.
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., Fisher, D. L., & Rayner, K. (1998). Toward a model of eye movement control in reading. *Psychological Review*, 105, 125-157.
- Underwood, G., Jebbett, L., & Roberts, K. (2004). Inspecting pictures for information to verify a sentence: Eye movements in general encoding and in focused search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 57(1), 165–182.
- Underwood, G., Templeman, E., Lamming, L., & Foulsham, T. (2008). Is attention necessary for object identification? Evidence from eye movements during the inspection of real-world scenes. *Consciousness and Cognition*, 17, 159–170.
- Wolverton, G. S., & Zola, D. A. (1983). The temporal characteristics of visual information extraction during reading. In K. Rayner (Ed.), *Eye movements in reading: Perceptual and language processes* (pp.41-51). New York: Academic Press.

附錄一：

在此實驗前，對下列類型題目熟悉程度為何？					
題目	非常 不熟悉	不熟悉	普通	熟悉	非常 熟悉
(1) 已經知道 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 是強電解質，請問 1M 的溶液 500ml 會有多少 mol 的 $\text{Na}^+$ 離子被解離到溶液中？				✓	
(2) 請寫出 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 與 KI 反應，產生 $\text{PbI}_2$ 沈澱的淨離子反應式。		✓			
(3) 由課文已經知道 $\text{CaCl}_2$ 會和 NaF 產生 $\text{CaF}_2$ 沈澱以及 NaCl 溶液。甲認為淨離子反應式應該是 $\text{Ca}^{2+} + 2\text{F}^- \rightarrow \text{CaF}_2$ ；乙認為淨離子反應式應該是 $\text{Na}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{NaCl}$ 。你認為誰才是對的？為什麼？		✓			
(4) 同樣取 500mL, 1M 的碳酸( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) 與硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )，為什麼兩者的 pH 值會有不同？					✓
(5) 若 $\text{AgNO}_3$ 與 NaCl 反應中，將 $\text{AgNO}_3$ 替換成 Ag 金屬，有沒有可能發生同樣反應？請說明原因。				✓	

## 附錄二：



圖001食鹽水的導電性實驗

**First: 電解質與非電解質** 在國中時，同學曾學過：將兩支電極插入食鹽水中，接上直流電源後，電路中的燈泡會發亮（圖 001）。然而，將兩支電極改插入糖水中，燈泡則不亮。類似食鹽，其水溶液可以導電的物質，稱為**電解質 (electrolyte)**。例如，氫氧化鈉、氨、硫酸、醋酸.....等。反之，其水溶液無法導電的物質，則稱為**非電解質 (non-electrolyte)**。例如，葡萄糖、蔗糖、乙醇、甘油.....等。

為什麼電解質的水溶液能夠導電呢？瑞典化學家阿瑞尼斯提出了**電解質的解離理論 (the theory of electrolytic dissociation)**，說明電解質水溶液的導電現象，其內容如下：

1. 電解質溶於水時，會解離成帶電荷的原子或原子團，稱為離子。
2. 帶正電荷的離子稱為陽離子，帶負電荷的離子稱為陰離子；溶液中陽離子所帶的正電荷總和等於陰離子所帶的負電荷總和，故溶液呈電中性。
3. 當電流通入電解質溶液時，陽離子往負極移動，陰離子往正極移動，故電解質溶液能導電。

有些電解質於熔融態時，其陰、陽離子可自由移動，因此也能導電。例如，食鹽、氫氧化鈉等。

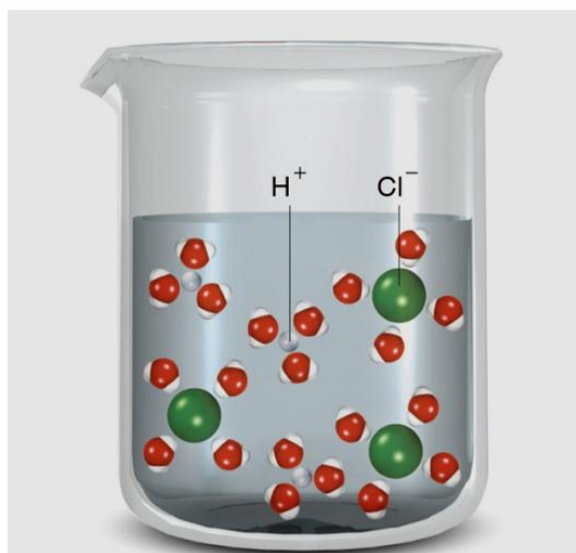
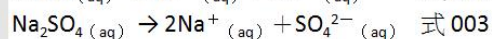
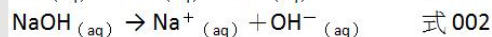
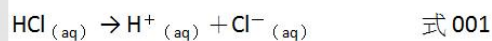


圖002 鹽酸在水中，完全解離成氫離子與氯離子之示意圖。  
( 氫， 氧， 氫 )

依導電性強弱，電解質可分為強電解質與弱電解質兩類。強電解質在水中幾乎完全解離成離子，包括強酸、強鹼及大多數的鹽類。例如，鹽酸（圖 002、式 001）、硫酸、硝酸等強酸，氫氧化鈉（式 002）、氫氧化鉀、氫氧化鋇等強鹼，硫酸鈉（式 003）、食鹽、硝酸鉀等鹽類。



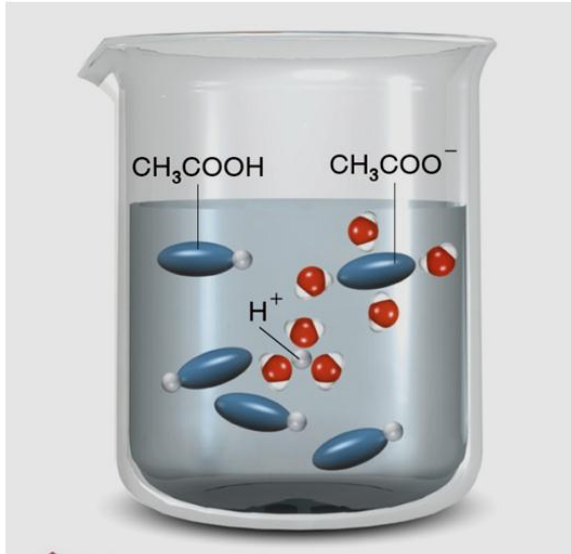
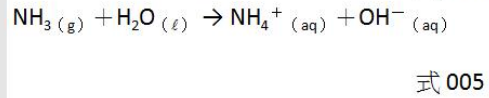
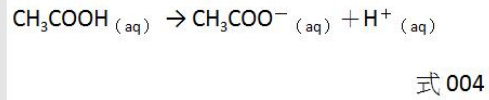


圖003 醋酸在水中，部分解離成醋酸根及氫離子之示意圖。  
(氧，氫，醋酸根)

弱電解質在水中僅部分解離成離子，包括弱酸、弱鹼。例如，醋酸（圖003、式004）、碳酸、氫氟酸等弱酸及氨（式005）等弱鹼。



**Second: 沈澱反應** 沈澱反應發生時所生成的沈澱物(precipitate)溶解度很小，這些沈澱物會使原來澄清的溶液變混濁。下列幾個在化學實驗室中經常操作的實驗，可清楚觀察到沈澱反應的現象。

(1)先在錐形瓶中置入200毫升的0.10M硝酸鉛溶液，再逐漸加入一些0.10M碘化鉀溶液，可以明顯觀察到原來澄清的溶液中生成了黃色的碘化鉛沈澱(圖004)。

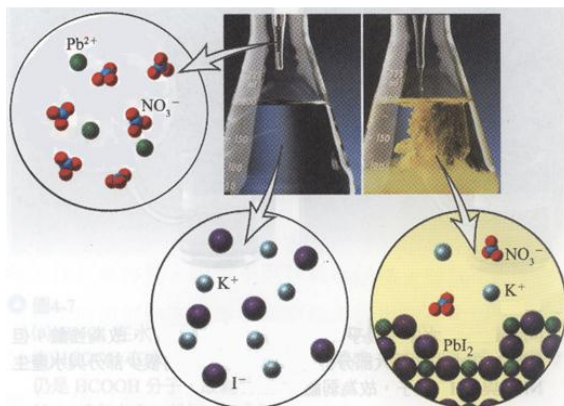


圖004 在硝酸鉛溶液中加入碘化鉀溶液，生成黃色碘化鉛沉澱。



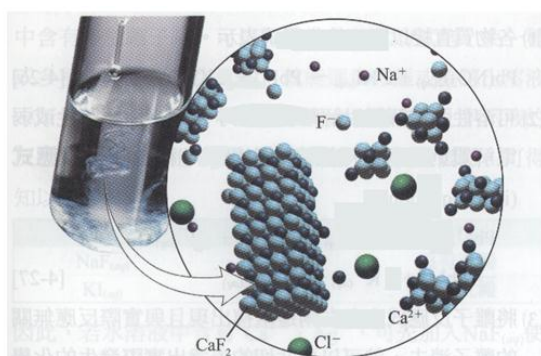


圖005 在氯化鈣溶液中加入氟化鈉溶液，生成白色氟化鈣沉澱。

(2)在試管中置入10毫升的0.10M氯化鈣溶液，再逐漸滴加少許的0.10M氟化鈉溶液，可以明顯觀察到白色氟化鈣沈澱的生成(圖005)。

(3)在兩個錐形瓶中各置入50毫升的0.10M硝酸銀溶液與0.10M鉻酸鈉溶液，再將兩者混合，可以明顯觀察到磚紅色沈澱的生成(圖006)。

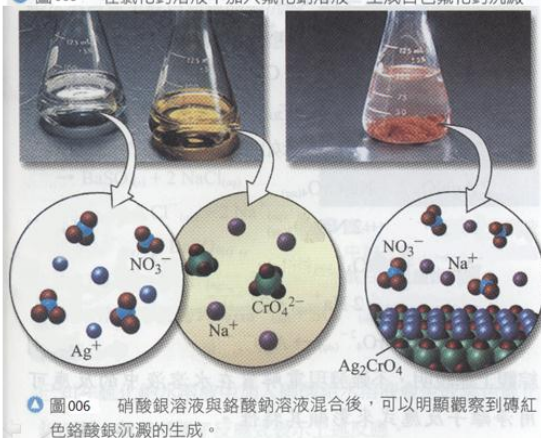
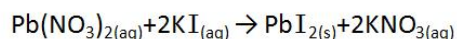


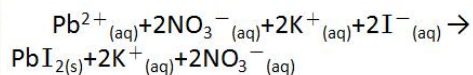
圖006 硝酸銀溶液與鉻酸鈉溶液混合後，可以明顯觀察到磚紅色鉻酸銀沉澱的生成。

沈澱反應的反應式可用下列三種方式來表示，以圖004的沈澱反應為例：

(1)各物質直接以原來的化學式表示。



(2)可溶性強電解質以解離後的離子表示，而難溶性或弱電解質則保留沿用原來的化學式，稱為離子反應式(ionic equation)。



(3)將離子反應式中左右兩邊重複出現且與實際反應無關的離子消去，就可以更貼切地表達出實際發生的化學變化，稱為淨離子反應式(net ionic equation)。

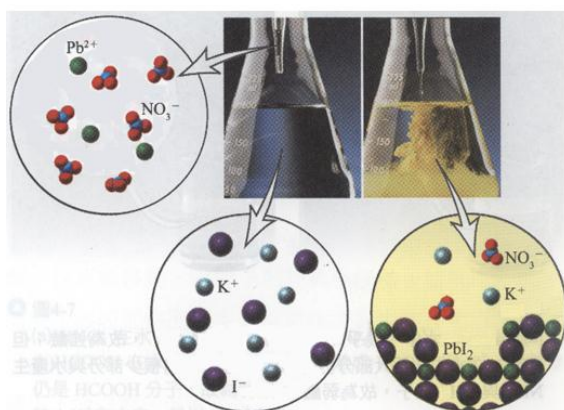
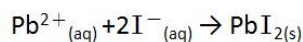


圖004 在硝酸鉛溶液中加入碘化鉀溶液，生成黃色碘化鉛沉澱。

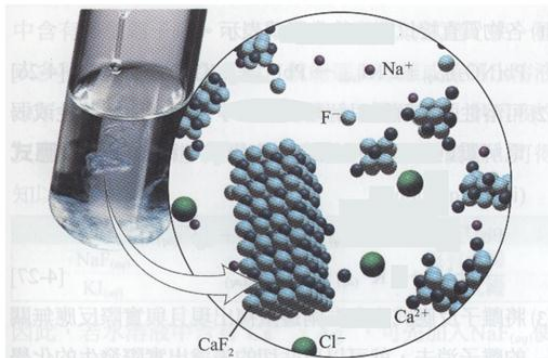


圖005 在氯化鈣溶液中加入氟化鈉溶液，生成白色氟化鈣沉澱。

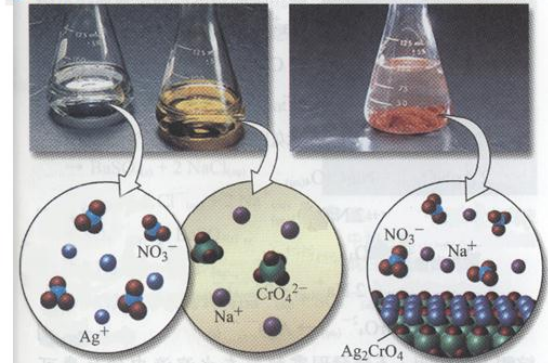


圖006 硝酸銀溶液與鉻酸鈉溶液混合後，可以明顯觀察到磚紅色鉻酸銀沉澱的生成。

圖005的沈澱反應可以表示如下：

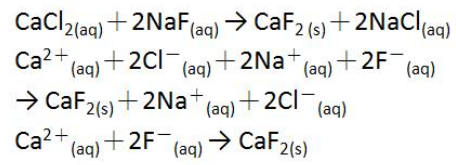
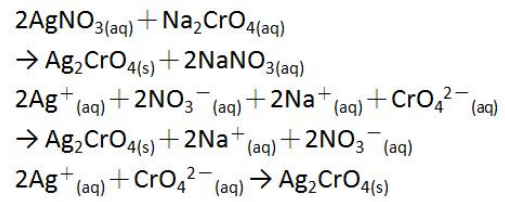


圖006的沈澱反應可以表示如下：



綜觀上述說明，不難發現電解質在水溶液中的反應可用淨離子反應式來彰顯其特性。

### 附錄三

請根據剛剛閱讀的內容，詳盡地回答下列相關問題。

(1) 已知  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  為強電解質，請問 1M、500mL 的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  水溶液中會解離出多少 mol 的  $\text{Na}^+$  離子？

(2) 已知  $\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$  與  $\text{NaF}_{(\text{aq})}$  會反應生成  $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$  及  $\text{CaF}_{2}$  沈澱。以下為甲乙兩人之看法：

甲：淨離子反應式應該是： $\text{Ca}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{F}^{-}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{CaF}_{2(\text{s})}$ ；

乙：淨離子反應式應該是： $\text{Na}^{+}_{(\text{aq})} + \text{Cl}^{-}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 。

你認為甲乙兩人何者看法是正確的？為什麼？

(3) 試寫出  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_{2(\text{aq})}$  與  $\text{KI}_{(\text{aq})}$  反應，產生  $\text{PbI}_2$  沈澱的淨離子反應式。

(4) 分別盛取 500mL、1M 的碳酸( $\text{H}_2\text{CO}_3$ )水溶液與硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )水溶液，測量兩者之 pH 值，發現兩者 pH 值並不相同，為什麼？

(5)  $\text{AgNO}_3$  水溶液與  $\text{NaCl}$  水溶液的反應中，若將  $\text{AgNO}_3$  水溶液替換成 Ag 金屬，請問兩者反應 是否相同？為什麼？

附錄四：

		評量內容								
		針對題目本身		題目 V.S. 學生						
		題目是否測驗該段教科書圖文內容所傳達的概念		高一學生是否容易理解題目內容			題目對高一學生的難易度			
題號	題目測驗的是與教科書相同的概念	題目測驗的是與教科書不同的概念	容易理解	不易理解	可能修正方式	易	易偏中	中	中偏難	難
範例	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	把“溶液”改成“水溶液”			<input type="radio"/>		
1	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		溶液”改成“水溶液			<input type="radio"/>		
2	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		應將原 2、3 兩題調換順序(因兩題為同一概念的測驗，而原第 3 題為判斷題對學生作答方面較容易，原第 2 題為問答題對		<input type="radio"/>			

					學生作答方面較困難，所以應將兩題目交換順序，讓測驗由淺入深。)					
3	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		同上			<input type="radio"/>		
4	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		溶液”改成”水溶液			<input type="radio"/>		
5	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		需將反應物加註水溶液				<input type="radio"/>	

附錄五：

評分標準			合適與否	
題目	得分	評分標準	合適	不合適 (原因)
1. 已知 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 為強電解質，請問 1M、500mL 的 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 水溶液中會解離出多少 mol 的 $\text{Na}^+$ 離子？	+1	寫出「1mole $\text{Na}^+$ 離子」 或其他相同意義答案	✓	
	+0	作答不明、塗鴉、或者與上列答案不同		
2. 已知 $\text{CaCl}_{2(\text{aq})}$ 與 $\text{NaF}(\text{aq})$ 會反應生成 $\text{NaCl}(\text{aq})$ 及 $\text{CaF}_2$ 沈澱。以下為甲乙兩人之看法： 甲：淨離子反應式應該是： $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{F}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{CaF}_2(\text{s})$ ； 乙：淨離子反應式應該是： $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{NaCl}(\text{aq})$ 。 你認為甲乙兩人何者看法是正確的？為什麼？	+2	判斷甲對並且解釋 $\text{CaF}_2$ 為主要生成物	✓	
	+1	僅判斷甲對而未提到主要生成物		
	+0	判斷乙對、全對或者作答不明、塗鴉		
3. 試寫出 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ 與 $\text{KI}(\text{aq})$ 反應，產生 $\text{PbI}_2$ 沈澱的淨離子反應式。	+2	完整寫出「 $\text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^- \rightarrow \text{PbI}_2$ 」		給予 1 分之評分標準應改為：「未寫出反應係數或未標明電荷數」。因為「或者與上列不合」這句話在給予 0 分的評分標準中也有，應更明確指出什麼樣的答案給予 1 分。
	+1	未寫出反應係數、標明電荷數， 或者與上列不合		
	+0	作答不明、塗鴉、或者與上列答案不同		

評分標準			合適與否	
題目	得分	評分標準	合適	不合適 (原因)
4. 分別盛取 500mL、1M 的碳酸(H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )水溶液與硫酸(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )水溶液，測量兩者之 pH 值，發現兩者 pH 值並不相同，為什麼？	+1	提及兩者解離程度不同(強弱酸)	✓	
	+0	作答不明、塗鴉、或者與上列答案不同		
5. AgNO <sub>3</sub> 水溶液與 NaCl 水溶液的反應中，若將 AgNO <sub>3</sub> 水溶液替換成 Ag 金屬，請問兩者反應是否相同？為什麼？	+2	回答不同，因為銀金屬無法取代銀離子參與反應；或者提及可能有極其微量的銀離子解離參與反應		給予 2 分之評分標準應改為：「 <b>回答不同</b> ，因為銀金屬無法取代銀離子參與反應」。因為銀金屬不溶於水(而且 NaCl 水溶液為中性，銀金屬應該不會溶解出銀離子)，再者，即使含有極其微量的銀離子因無法達到 AgCl 之 K <sub>sp</sub> 值，所以也不會有沉澱反應發生。
	+1	回答不同，但沒有解釋或者未解釋與上列相同		
	+0	作答不明、塗鴉、或者與上列答案不同		

附錄六：

**參與研究計畫同意書**

◎ 計畫名稱：數理資訊的訊息處理與問題解決行為模式之分析研究（計畫編號：NSC 98-2511-S-003-047-MY2）

◎ 計畫實施預計期間：民國 100 年五月中旬（5/12 段考之後）～五月底

◎ 參與意願（請家長勾選並簽名）：

同意參與此研究

不同意參與此研究

家長簽名： \_\_\_\_\_

◎ 學生資料

班級： 年 班 座號： 姓名：

附錄七：

**現象示意**



**概念解釋** **電解質與非電解質** 在國中  
學過：將兩支電極插入食鹽水中，接上直流電源後，電路中的燈泡會發亮（圖 001）。然而，將兩支電極改插入糖水中，燈泡則不亮。類似食鹽，其水溶液可以導電的物質，稱為**電解質（electrolyte）**。例如，氫氧化鈉、氨、硫酸、醋酸.....等。反之，其水溶液無法導電的物質，則稱為**非電解質（non-electrolyte）**。例如，葡萄糖、蔗糖、乙醇、甘油.....等。

**理論解釋** 電解質的水溶液能夠導電呢？瑞典化學家阿伏伽德羅提出了**電解質的解離理論（the electrolytic dissociation）**，說明電解質水溶液的導電現象，其內容如下：

1. 電解質溶於水時，會解離成帶電荷的原子或原子團，稱為離子。
2. 帶正電荷的離子稱為陽離子，帶負電荷的離子稱為陰離子；溶液中陽離子所帶的正電荷總和等於陰離子所帶的負電荷總和，故溶液呈電中性。
3. 當電流通入電解質溶液時，陽離子往負極移動，陰離子往正極移動，故電解質溶液能導電。

有些電解質於熔融態時，其陰、陽離子可自由移動，因此也能導電。例如，食鹽、氫氧化鈉等。

Truncation: Off

圖001食鹽水的導電性實驗



概念卡通圖

圖002 鹽酸在水中，完全解離成氫離子與氯離子之示意圖。  
( 氯， 氧， 氫 )

Truncation: Off

概念解釋 性強弱，電解質可分為強電解質與弱電解質兩類。強電解質在水中幾乎完全解離成離子，包括強酸、強鹼及大多數的鹽類。

概念舉例 鹽酸(圖002、式001)、硫酸、硝酸等強酸，氫氧化鈉(式002)、氫氧化鉀、氫氧化鋇等強鹼，硫酸鈉(式003)、硝酸鉀等鹽類。

方程式

$\text{HCl}_{(aq)} \rightarrow \text{H}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$  式001

$\text{NaOH}_{(aq)} \rightarrow \text{Na}^+_{(aq)} + \text{OH}^-_{(aq)}$  式002

$\text{Na}_2\text{SO}_4_{(aq)} \rightarrow 2\text{Na}^+_{(aq)} + \text{SO}_4^{2-}_{(aq)}$  式003



概念卡通圖

圖003 醋酸在水中，部分解離成醋酸根及氫離子之示意圖。  
( 氧， 氫， 醋酸根 )

Truncation: Off

概念解釋 性強弱，電解質可分為強電解質與弱電解質兩類。弱電解質在水中僅部分解離成離子，包括弱酸、弱鹼。例如醋酸(圖003、式004)、碳酸等弱酸及氨(式005)等弱鹼。

概念舉例

方程式

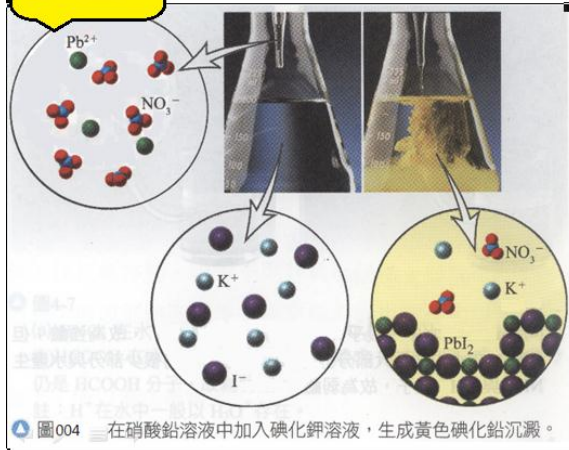
$\text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-_{(aq)} + \text{H}^+_{(aq)}$  式004

$\text{NH}_3_{(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{NH}_4^+_{(aq)} + \text{OH}^-_{(aq)}$  式005

**概念解釋** **沈澱反應** 沈澱反應發生於溶液中，所生成的沈澱物(precipitate)溶解度很小，這些沈澱物會使原來澄清的溶液變混濁。下列幾個在化學實驗室中經常操作，可清楚觀察到沈澱反應的現象。

**實驗描述**

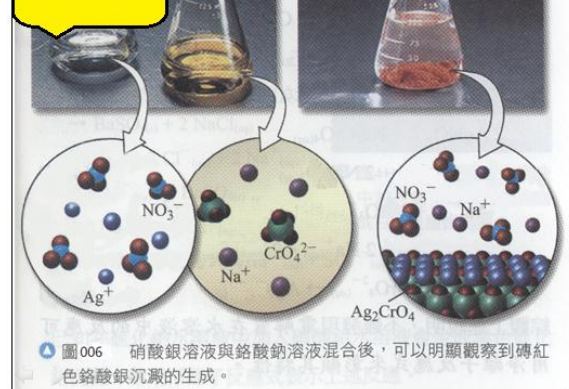
(1)先在錐形瓶中置入200毫升的0.10M硝酸鉛溶液，再逐漸加入一些0.10M碘化鉀溶液，可以明顯觀察到原來澄清的溶液中生成了黃色的碘化鉛沈澱(圖004)。

**巨觀到微觀圖**

**實驗描述** 試管中置入10毫升的0.10M氯化鈣溶液，再逐漸滴加少許的0.10M氟化鈉溶液，可以明顯觀察到白色氟化鈣沈澱的生成(圖005)。

**實驗描述**

兩個錐形瓶中各置入50毫升的0.10M硝酸銀溶液與0.10M鉻酸鈉溶液，再將兩者混合，可以明顯觀察到磚紅色沈澱的生成(圖006)。

**巨觀到微觀圖****巨觀到微觀圖**

Truncation: Off

巨觀到微觀圖

圖004 在硝酸鉛溶液中加入碘化鉀溶液，生成黃色碘化鉛沉澱。

概念解釋 應的反應式可用下列三種方式表示。以圖004的沈澱反應為例：

(1)各物質直接以原來的化學式表示。

方程式

$$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) + 2\text{KI}(\text{aq}) \rightarrow \text{PbI}_2(\text{s}) + 2\text{KNO}_3(\text{aq})$$

概念解釋 (2)可溶性強電解質以解離後的離子表示，而難溶性或弱電解質則保留沿用原來的化學式，稱為離子反應式(ionic equation)。

方程式

$$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{NO}_3^{-}(\text{aq}) + 2\text{K}^{+}(\text{aq}) + 2\text{I}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{PbI}_2(\text{s}) + 2\text{K}^{+}(\text{aq}) + 2\text{NO}_3^{-}(\text{aq})$$

概念解釋 離子反應式中左右兩邊重複出現的、實際反應無關的離子消去，就可以更貼切地表達出實際發生的化學變化，稱為淨離子反應式(net ionic equation)。

方程式

$$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{I}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{PbI}_2(\text{s})$$

Truncation: Off

巨觀到微觀圖

圖006 硝酸銀溶液與鉻酸鈉溶液混合後，可以明顯觀察到磚紅色鉻酸銀沉澱的生成。

方程式 一般反應可以表示如下：

$$2\text{AgNO}_3(\text{aq}) + \text{Na}_2\text{CrO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s}) + 2\text{NaNO}_3(\text{aq})$$

$$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^{-}(\text{aq}) + 2\text{Na}^{+}(\text{aq}) + 2\text{F}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaF}_2(\text{s}) + 2\text{Na}^{+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^{-}(\text{aq})$$

$$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{F}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaF}_2(\text{s})$$

方程式 一般反應可以表示如下：

$$2\text{AgNO}_3(\text{aq}) + \text{Na}_2\text{CrO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s}) + 2\text{NaNO}_3(\text{aq})$$

$$2\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + 2\text{NO}_3^{-}(\text{aq}) + 2\text{Na}^{+}(\text{aq}) + \text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s}) + 2\text{Na}^{+}(\text{aq}) + 2\text{NO}_3^{-}(\text{aq})$$

$$2\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s})$$

結論 這說明，不難發現電解質在水溶液中的反應可用淨離子反應式來彰顯其特性。