

國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士班
碩士論文

指導教授：楊文金 博士

自主多模態影音學習系統對
化學鍵結概念學習效應分析

A study of the effect of self-paced video
learning system on chemistry bonding concept

研究生：謝之琄

中華民國 102 年 8 月

摘要

隨著資訊科技的快速發展與網際網路的日益普遍，電腦多媒體融入教學的趨勢日趨明顯，其具有操作上的便利性與個人學習進度的掌控性，使得各式各樣數位學習教材倍出，並以電腦多媒體做為學習的平台。本研究以坊間某數位學習高中化學課程做為研究的素材，來瞭解學生對於使用電腦多媒體進行學習的情形，研究對象以 16 位學生使用學習系統進行八隅體與路易士結構概念的科學學習，於實驗進行的同時側錄學生於電腦螢幕介面的使用情形，來探討自主多模態影音學習系統課程與學習介面的使用對於化學概念學習成效的影響。

研究結果顯示經由自主多模態影音學習系統進行八隅體與路易士結構概念學習，對於概念的整體理解達顯著差異($p = .00 < .05$)。部分概念在論述方式上不夠明確可能使學習者產生混淆，而對於涵蓋多種概念的情形舉例說明也略顯不足。整體而言，研究對象後測答題表現皆有相當的進步，此外，自主性進行學習更能提升學習系統對於學習的成效。

對於學習系統建議(1)在課程概念上：課程內容應增加涵蓋數種路易士結構畫法原則、具有價數的路易士結構與共振情形的舉例說明。在概念呈現上，應多加利用電腦多媒體所具備的優勢，以三度空間的立體結構、電腦模擬或動畫的形式來輔助教學，透過多重表徵的方式來幫助學生連結抽象分子符號和分子內部微觀結構兩表徵間的關係，更能增進學生對於微觀分子結構的認知理解情形。(2)在介面功能上：於投影片中增加超連結功能，利用關鍵字連結相關結構進行補充說明。

關鍵字：多媒體、多重表徵、學習成效、學習行為、八隅體規則、路易士結構

Abstract

As the rapid development of information technology and the Internet, it becomes more and more popular to adopt multimedia system into teaching and learning. For student users, multimedia system is quite accessible to them. They can control their studying schedule by themselves. Therefore, a great variety of digital multimedia learning materials have emerged nowadays. One specific digital learning material of chemical course for high school is chosen as the research source. Our research focuses on understanding how students achieve learning in the process of using the video learning system. We invite 16 students to watch chemical Octet Rule and Lewis Structure video lessons and record their state of how they interact with the system interface. Then we analyze the result and discuss how self-paced video learning system and its interface influence learning of chemical concepts.

The research result indicates that when learning Octet Rule and Lewis Structure from self-paced video learning system, it reaches the significant difference for understanding the overall concept ($p = .00 < .05$). However, it is not clear enough when illustrating some concepts and it may get our research participants confused. Also, it gives insufficient examples to support some conditions that cover multiple concepts. As a whole, our research participants all have great improvement in the later examination performance. Moreover, the self-paced video learning system has better result for those participants who are more willing to do self-learning.

For our recommendations to the digital learning system: Firstly, in the aspect of course concept, it is suggested to add more drawing principles covering several Lewis Structures and more examples for illustrating Lewis Structure with valence electrons and resonance condition into course content. In the concept presentation, the advantages of computer multimedia should be highly utilized to

assist teaching through multiple representations, such as three-dimensional structure, computer simulations or animations. It can help students build the linking of abstract molecule symbols and internal microstructure of molecules. It can foster students' cognitive understanding of the microcosmic molecular structure. Secondly, in the aspect of functionality of system interface, adding hyperlinks into slides to let learners link to related structures by keywords and make further explanations.

Keyword : multimedia 、 multiple representation 、 learning effect 、 learning behavior 、 Octet Rule 、 Lewis Structure

目次

第壹章	緒論.....	1
第一節	研究動機與背景.....	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	研究範圍與研究限制.....	7
第貳章	文獻探討.....	9
第一節	多媒體.....	9
第二節	八隅體與路易士結構概念.....	15
第三節	學習歷程.....	19
第參章	研究方法.....	21
第一節	化學概念分析.....	21
第二節	自主多模態影音學習系統介紹.....	29
第三節	研究工具.....	34
第四節	研究對象.....	41
第五節	研究流程.....	42
第六節	資料處理與分析.....	45
第肆章	研究結果與討論.....	49
第一節	八隅體與路易士結構概念問卷答題情形.....	49
第二節	概念問卷進步率與退步率分析.....	59

第三節	課程影片時間及字數與答題進步率的關係.....	86
第四節	學習行為與概念問卷答題表現分析.....	90
第五節	學習情意問卷分析.....	109

第伍章 結論與建議.....113

第一節	結論.....	113
第二節	建議.....	119

參考文獻.....121

中文部分.....	121
英文部分.....	125

研究附錄.....126

附錄一	八隅體與路易士結構概念課程影片內容分析.....	126
附錄二	八隅體與路易士結構概念問卷.....	146
附錄三	學習情意問卷.....	149

圖 目 次

圖 2-1-1	多媒體關聯圖.....	9
圖 2-2-1	丙烷分子的表徵方式.....	16
圖 3-1-1	HNO ₂ 的路易士結構與形式電荷.....	25
圖 3-1-2	O ₃ 的共振結構.....	27
圖 3-2-1	自主多模態影音學習系統預設介面截圖.....	29
圖 3-2-2	自主多模態影音學習系統介面版面配置情形.....	30
圖 3-2-3	自主多模態影音學習系統影片控制軸區配置情形.....	31
圖 3-2-4	自主多模態影音學習系統介面控制區配置情形.....	32
圖 3-2-5	自主多模態影音學習系統小節概念點選區配置情形.....	33
圖 3-5-1	研究流程圖.....	44
圖 4-1-1	概念問卷前、後測答對率.....	51
圖 4-2-1	問卷各題進步率與退步率分布圖.....	59
圖 4-4-1	研究對象倒轉與快轉路徑與課程影片概念時間軸對應情形.....	93

表 目 次

表 2-2-1	Pardo 分子路易士結構畫法程序.....	18
表 3-3-1	研究工具設計要點.....	34
表 3-3-2	問卷各概念題數分配與概念層次分布情形.....	35
表 3-3-3	問卷試題之雙向細目表.....	36
表 3-3-4	問卷概念內容、題目、影片時間與口述字數的對應表.....	38
表 4-1-1	研究對象前測成績分布.....	50
表 4-1-2	正式研究對象前測成績分布.....	50
表 4-1-3	問卷前、後測答題情形基本統計量.....	51
表 4-1-4	概念問卷前、後測成對樣本t考驗.....	52
表 4-1-5	各概念題數分配情形.....	53
表 4-1-6	八隅體介紹前、後測成對樣本t考驗.....	54
表 4-1-7	八隅體規則前、後測成對樣本t考驗.....	54
表 4-1-8	路易士結構的畫法前、後測成對樣本 t 考驗.....	55
表 4-1-9	路易士結構的共振前、後測成對樣本 t 考驗.....	55
表 4-1-10	鍵數、鍵長與鍵能前、後測成對樣本 t 考驗.....	56
表 4-1-11	概念問卷各題基本統計分析.....	56
表 4-2-1	A01 題目與概念 1-1 內容.....	60
表 4-2-2	A02 題目與概念 3-4 內容.....	61
表 4-2-3	A05 題目與概念 5-3 內容.....	62
表 4-2-4	A06 題目與概念 2-1 內容.....	62
表 4-2-5	A07 題目與概念 3-1 內容.....	63
表 4-2-6	A08 題目與概念 1-2 內容.....	64

表 4-2-7	A10 題目與概念 3-7 內容.....	64
表 4-2-8	A14 題目與概念 2-2 內容.....	65
表 4-2-9	A15 題目與概念 3-2 內容.....	66
表 4-2-10	A18 題目與概念 3-7 內容.....	67
表 4-2-11	A19 題目與概念 5-1 內容.....	68
表 4-2-12	A09 題目與概念 2-3 內容.....	70
表 4-2-13	A11 題目與概念 5-2 內容.....	71
表 4-2-14	A16 題目與概念 4-1 內容.....	72
表 4-2-15	A17 題目與概念 3-7 內容.....	73
表 4-2-16	A20 題目與概念 3-3 內容.....	75
表 4-2-17	A04 題目與概念 3-6 內容.....	77
表 4-2-18	A04 各選項前、後測作答情形.....	78
表 4-2-19	A03 各選項前、後測作答情形.....	80
表 4-2-20	A03 題目與概念 2-4 內容.....	80
表 4-2-21	A12 各選項前、後測作答情形.....	82
表 4-2-22	A12 題目與概念 4-1 內容.....	82
表 4-2-23	A13 各選項前、後測作答情形.....	83
表 4-2-24	A13 題目與概念 3-5 內容.....	83
表 4-3-1	各概念所佔影片時間、口述字數、投影片字數比例.....	86
表 4-3-2	相關係數的強度大小與意義.....	87
表 4-3-3	Pearson 相關係數.....	89
表 4-3-4	R^2 決定係數.....	89
表 4-4-1	探索式學習研究對象介面操作行為次數統計.....	90
表 4-4-2	各概念課程影片區間總觀看時間比例與問卷答題情形.....	97

表 4-4-3	探索式學習之研究對象答題情形（課程影片觀看時間＞100%）	..102
表 4-4-4	探索式學習之研究對象答題情形（課程影片觀看時間＜100%）	..103
表 4-4-5	接受式學習之研究對象答題情形.....	103
表 4-5-1	自主多模態影音學習系統需改進部分與意見情形.....	110

第壹章 緒論

本章將於第一節說明研究的動機與背景、第二節為研究目的、第三節為研究問題、第四節為主要名詞釋義、第五節為研究範圍與研究限制。

第一節 研究動機與背景

現代社會科技的進步日新月異，隨著資訊科技愈來愈發達，電腦多媒體融入教學的趨勢日趨明顯，知識內容不僅可採用數位化的方式迅速進行傳遞，且具備融合多種媒體方式來呈現資訊的優勢。事實上在面對著從小就接觸大量影音、聲光刺激的下一代，其接收新資訊的方式不再以文字紀錄為主，書本更不再只是獲得知識的唯一管道，取而代之的為兼具影音與聲光的多媒體資訊，多媒體動畫的使用將是新世代課程設計中不可或缺的重要一環(吳宏達、陳淑華、陳建良,2006)。因此針對不同性質的課程在教學上也出現許多運用多媒體融入教學的輔助工具，例如化學上可藉由多媒體 3D 的立體圖來觀察原子模型立體呈現出各種角度，在生物課程中常極為重要的人體器官結構與血液循環的動態路徑圖也能清楚的由多媒體動畫進行模擬，其中多媒體 power point 簡報除了運用於教學上外，更是一般企業廣泛使用的報告方式之一。且資訊科技運用於教學中其範疇相當廣，例如可將抽象化的教材具體呈現、提供實物演練的經驗，或是提供學校無法提供問題解決的環境(江蕙茹，2002)。

資訊科技的快速發展，利用網路來從事學習活動，是一件越來越便利的事情，因此使數位式學習(e-learning)漸漸成為個人學習新知識、新技能的有利工具，且正逐漸地普及與被認同(廖雅玲，2011)。隨著網際網路的日益普遍，在正式課堂後的補救學習領域上也發展出許多利用電腦多媒體做為教學媒介的工具，電腦多媒體在操作上的便利性與個人學習進度的掌控性，對於學習者而言是有所助益的。因資訊科技的應用，使學習更具多元化、個別化，使學習效果更為提升(王曉璿，1999)。顏龍源(2000)指出資訊科技是一種問題解決的工具，也是合作學習的工具，更是訊息傳遞的工具，並認為「資訊融入教學」的操作型定義是「將

資訊科技中可供教學所用的各項優勢資源與媒體，適切且平順地置入各科教學過程的各個環節中」（何耿旭，2012）。

因應這波電腦多媒體融入教學的潮流，數位學習或線上學習網站也如雨後春筍般湧現，各式各樣的多媒體輔助學習教材亦不斷的推陳出新，並以電腦多媒體做為學習的平台。柯文容（2012）也指出教育的資訊化過程，並非只是充實與應用這些資訊硬體設備而已，其中最重要的軟性科技—數位教材，扮演著資訊融入教學成功與否的重要角色（柯文容、林啟超、張珮鳳，2012）。

由於化學概念經常涉及抽象概念與微觀的物質結構，與在一般實驗過程中無法觀察的現象，因此在化學概念的學習上通常較為困難。Wu, Krajcik & Soloway 提到相關文獻指出化學表徵學習困難的兩個觀點：首先，由符號和分子內部組成較為抽象的表徵，學生無法以感官上的直覺來理解（Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1988）；其次，學生藉由他們的理解所構成概念的基礎，來想像表徵間關聯的能力（Keig & Rubba, 1993）。因此本研究以坊間某數位學習高中化學課程「八隅體與路易士結構」做為研究的素材，八隅體與路易士結構概念為學習化學鍵結與分子形狀所必須具備的基本概念，其所涉及表徵間的轉換是困難的，以 Keig & Rubba（1993）提出 H_2O 化學式與結構式之間的轉換為例，首先必須畫出 H_2O 正確的化學結構，並具有共價鍵與分子形狀的概念理解，由分子式轉換到結構式，需要識別每一個 H 原子有一根單鍵，具有一個價電子與 O 原子共用，最後以沒有共用的電子對來決定分子的形狀。顯示在進行化學概念學習時，需將肉眼可見的物質連結至以化學符號表示的分子式，再以結構式的表徵方式做分子結構的呈現，學習歷程經由巨觀的現象、符號的形式到微觀的物質結構表徵層面，才得以完成的完整的概念學習，其所經歷的過程是抽象且繁複的轉換。

本研究以自主多模態影音學習系統來進行八隅體與路易士結構概念的學習，學習系統內容包括課程影片的播放、授課者口語說明、power point 簡報的重點提示與自主學習介面的操作，藉由研究對象使用學習系統進行高中化學課程八隅體與路易士結構概念的科學學習，進一步來探討學習系統對於概念學習的成效影響與學習系統介面的使用情形。

第二節 研究目的

本研究的目的為藉由學生使用自主多模態影音學習系統進行高中化學課程八隅體與路易士結構概念的科學學習，來探討自主多模態影音學習系統課程與學習介面的使用情形對於化學概念學習的成效影響。

研究主要以研究對象使用自主多模態影音學習系統學習「八隅體與路易士結構」概念來進行，並觀察使用自主多模態影音學習系統介面的學習行為，將其與概念問卷的答題情形做進一步的資料分析與相關探討。

- 一、 探討自主多模態影音學習系統於化學概念的學習效應。
- 二、 探討自主多模態影音學習系統介面功能對於學習成效的影響。

第三節 研究問題

根據研究目的探討自主多模態影音學習系統於八隅體與路易士結構概念的學習效應與系統介面功能對於學習成效的影響，所發展出的研究問題如下：

一、自主多模態影音學習系統於八隅體與路易士結構概念的學習效應為何？

1-1 自主多模態影音學習系統的整體效應情形為何？

1-2 自主多模態影音學習系統課程內容的優、缺點為何？

1-3 自主多模態影音學習系統課程影片時間及字數與答題進步率是否具有相關性？

二、自主多模態影音學習系統介面功能對於學習成效的影響為何？

2-1 自主多模態影音學習系統介面功能的使用情形為何？

2-2 自主多模態影音學習系統概念學習時間對答題表現有何影響？

2-3 探索式學習與接受式學習學生課程影片觀看時間對答題表現有何影響？

2-4 探索式學生倒轉情形對答題表現有何影響？

三、對於自主多模態影音學習系統介面功能有何建議與需求？

第四節 名詞釋義

一、自主多模態影音學習系統

多媒體是以數位化的方式組織文字、相片、視覺藝術、聲音、動畫、影像；而當多媒體的使用者或是觀看者，可以自主性操作多媒體內的元件或元素在任何時間傳遞與上傳，叫做互動式多媒體（李賢輝，1999）。多媒體整合了許多媒體的溝通媒介與傳播方式，除了生活上的運用外，更可進一步的應用於教學中。Oliver and Herrington（1995）更將多媒體定義為，是一種教育的媒介傳導體，對於教導與學習上提供相當重要的幫助（褚麗娟、李承霖、郭靜蘭，2011）。

本研究所使用的電腦多媒體為結合文字、圖片、聲音、影像等多種學習模態，介面並具備可依學習者本身學習進度自行控制的「自主式」功能，包括課程影片播放區的影片拉霸、播放鍵（暫停鍵）、停止鍵、倒轉鍵、快轉鍵與音量鍵，投影片頁面觀看、小節概念點選功能，將其運用於化學概念的科學學習上，在此定義為「自主多模態影音學習系統」。

二、學習成效

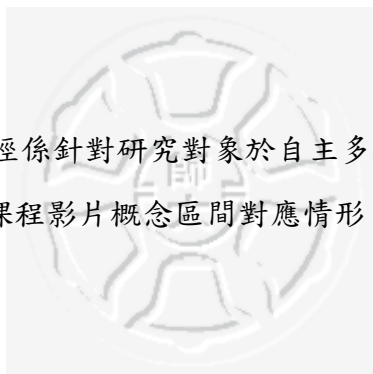
本研究所指的學習成效係針對使用自主多模態影音學習系統進行八隅體與路易士結構概念學習之研究對象，於八隅體與路易士結構概念問卷前、後測的作答情形，進步率高、退步率低的學生則學習成效愈好，進步率低、退步率高的學生則學習成效愈差。

三、學習行為

本研究所指的學習行為係針對研究對象在使用自主多模態影音學習系統進行學習時於介面的操作行為，包括課程影片播放時影片拉霸、播放鍵（暫停鍵）、停止鍵、倒轉鍵、快轉鍵與音量鍵，投影片頁面觀看、小節概念點選等學習系統功能的操作情形。

四、學習路徑

本研究所指的學習路徑係針對研究對象於自主多模態影音學習系統進行學習時倒轉、快轉的過程與課程影片概念區間對應情形，為學習者實際進行學習的經過情形。



五、學習歷程

本研究所指的學習歷程係針對研究對象自主性的操作系統介面功能的學習行為，以及進行學習時倒轉快轉路徑與課程影片概念區間對應情形，所呈現出個人學習的歷程。

第五節 研究範圍與研究限制

一、研究範圍限定

- (一) 本研究的實驗對象為台北市某公立高中二年級學生 16 位，根據 189 位學生八隅體與路易士結構概念問卷前測成績，以其中成績較不理想的 16 位學生做為正式研究對象。
- (二) 本研究的概念範圍以自主多模態影音學習系統高中化學課程「八隅體與路易士結構」概念做為研究的素材，自主多模態影音學習系統包含教學影片的播放結合授課者口語說明、power point 簡報的重點提示與與可自行操作控制播放進度與時間等學習介面功能。
- (三) 本研究的焦點為探討使用自主多模態影音學習系統進行八隅體與路易士結構概念學習的效應分析，並藉由學生使用自主多模態影音學習系統介面的學習行為來探討介面的使用與學習成效間的關係。

二、研究限制

- (一) 本研究的研究對象為台北市某公立高中二年級學生，可能與其他地區或類型學校的學生有所差異，因此研究結果不宜過度推論至所有高中生。此外，由於本研究參與的人數有限，因此不宜推論至大樣本的參與者，而學生的行為表現亦不宜做過度的詮釋。
- (二) 本研究所使用的課程內容為高中化學「八隅體與路易士結構」概念，因此結論不宜過度推論至其他概念或不同學科領域的教學與學習。



第貳章 文獻探討

本章主要介紹與本研究相關的理論文獻，第一節為多媒體的介紹，由多媒體的定義與所提供的學習環境，發展至多媒體融入教學做為輔助工具，運用電腦多媒體進行數位學習，多媒體應用於教學上的相關研究。第二節為化學概念的學習困難，從化學表徵的觀點到多重表徵的應用，介紹八隅體規則與路易士結構畫法的程序。第三節為學習歷程與學習行為，藉由學習者使用電腦多媒體進行學習時的學習路徑與學習行為之歷程來推論學習者的學習情形。

第一節 多媒體

一、多媒體的定義

多媒體是以數位化的方式組織文字、相片、視覺藝術、聲音、動畫、影像；而當多媒體的使用者或是觀看者，可以自主性操作多媒體內的元件或元素在任何時間傳遞或上傳，叫做互動式多媒體（李賢輝，1999）。一般生活中較為常見的多媒體為電腦，其可將文字、圖片、影像、聲音、視訊等加以整合，相較於以往傳統只有文字或者靜態的圖像，多媒體可以同時滿足使用者於視覺與聽覺上的感官訊息。Blatterner & Dannenberg（1992）將多媒體彼此間的關聯圖示如圖 2-1-1（嚴心好，2004）。

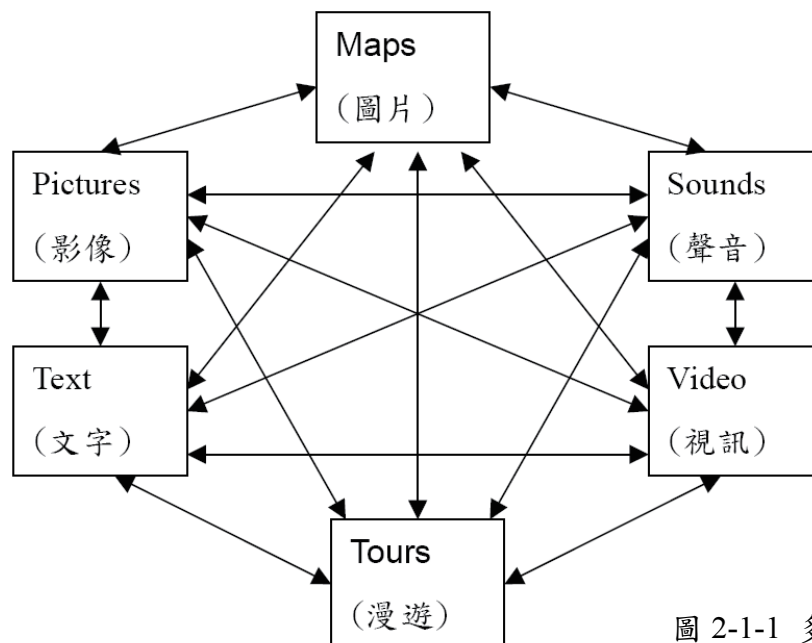


圖 2-1-1 多媒體關聯圖

關於不同的多媒體傳播媒介，包括文字(text)、圖片(picture)、圖形(graphics)、影像(images)、聲音(audio)視訊(video)、動畫(animation)，所做的說明如下：

文字：為最基本的一種傳遞媒介，可以很直接的表達所要傳達的訊息，大多數的多媒體都包含文字。

圖片：利用圖片的方式，可以將實際的物質做最真實的呈現。

圖形：透過圖形的方式來呈現一些較難表達的訊息。

影像：利用動態的影像，有助於資訊的傳達，在多媒體中極具重要性。

聲音：利用聲音做為傳播媒介的方式，早期應用在收音機、廣播上，到後來的電視機則結合影像輔以音訊的方式來傳播訊息。

視訊：為一連串影像的集合，通常會加入聲音，囊括數種媒介的方式更能適切的傳達訊息。

動畫：由許多靜止的畫面以一定的速度連續播放，因而在視覺上產生動態的畫面，相較於靜止的畫面為較生動的傳播方式。

由此可知，多媒體整合了許多媒體的溝通媒介與傳播方式，除了生活上的運用外，更可進一步的應用於教學中。Oliver & Herrington (1995) 更將多媒體定義為，是一種教育的媒介傳導體，對於教導與學習上提供相當重要的幫助(褚麗絹、李承霖、郭靜蘭，2011)。

而戴嬋玲(1996)進一步將電腦多媒體依人機關係分為「互動式(交談式)電腦多媒體」及「自動式(全動式)電腦多媒體」，前者強調於使用者可以較自主的選擇訊息與順序，以達到使用上的最大效率，多運用於學校教學、資料查詢、顧客導覽；後者主要用於例行的展示播放上，強調內容及聲光效果，如櫥窗展示，公司簡介等(林彥銘，2004)。對照本研究所使用的電腦多媒體為結合文字、圖片、聲音、影像等多種學習模態與可自行操作控制播放進度與時間等學習介面的功能，運用於化學概念的科學學習上，在此將其定義為「自主多模態影音學習系統」。

二、多媒體提供的學習環境

由於現代社會資訊科技的發達，電腦多媒體融入教學的趨勢日趨明顯，相較於從前以書本、文字內容，教師口述來獲取新資訊的方式，現在的學生從小就接觸到大量的影音、媒體、網路等等，其接收新資訊的方式顯得更加多元化，教育與知識的傳遞不再侷限於課本上的內容，多媒體教材的應用更能生動的模擬與增加學生學習的興趣，因此在教學的層面上依不同性質的課程也出現許多運用多媒體融入教學的輔助工具，呈現更多元的教學方式。

多媒體應用於教學上的趨勢，除了多媒體的硬體設備外，軟體方面之數位教材因應而生，利用電腦多媒體進行數位學習的情形也日趨普遍。根據行政院國家科學委員會所訂之「數位學習國家型計畫總體規劃書」，其認為數位學習（e-learning）產業涵括數位學習工具（載具及輔具）研發、數位學習網路環境建置、數位教材內容開發、以及數位學習活動的設計等，一般將數位學習定義為「學習者透過資訊通訊科技為媒介，利用數位化的教材與教學方式，整合線上及非線上的學習策略與教學活動所進行的學習方式。」（張素卿，2005）。隨著資訊科技的發展，數位學習提供了在家學習的一個管道，學生可透過電腦多媒體的方式依據本身的進度隨時進行學習，亦可做為程度較低的學生補救學習之用，滿足不同學習者的需求；因此，數位教材的內容與呈現方式，對於學習的影響相對之下也日趨重要。

顏龍源(2000)指出資訊科技是一種問題解決的工具，也是合作學習的工具，更是訊息傳遞的工具，並認為「資訊融入教學」的操作型定義是「將資訊科技中可供教學所用的各項優勢資源與媒體，適切且平順地置入各科教學過程的各個環節中」（何耿旭，2012）。資訊科技運用於教學中其範疇相當廣，例如可將抽象化的教材具體呈現、提供實物演練的經驗，或是提供學校無法提供問題解決的環境（江蕙茹，2002；林昱成，2008）。

除了提供一般課室教學無法呈現關於課程中較為抽象與微觀的概念，關於多媒體所提供的視覺性、聽覺性與實際操作的介面，更廣範應用於多媒體的教學上。

Mayer認為多媒體教學的內容提供的是富有視覺性、聲色性之動態畫面，更強調如善加運用多媒體教學，將有助於教學並提高學生之學習瞭解。對於以多媒體輔助教學方式的研究結果也發現，此種教學方式可以改善教學品質，減少學習者理解與認知上的負擔，同時在結合視覺與聽覺多重刺激訊息傳達過程中，可以讓學習者注意力更為集中（Mayer，1990；Phillips，1997；Sissel，2000；褚麗絹、李承霖、郭靜蘭，2011）。

沈中偉（2001）也指出隨著網際網路的發展、電腦教室有空調設備、可使用電腦遊戲軟體或下載遊戲軟體、使用資訊或多媒體配備比一般在教室上有趣等因素，使大多數學習者都渴望上電腦課，希望改變傳統一般教習者教導單純課程內容的講述式教學的上課方式，將課堂轉換成一個具聲光音效、同時擁有視覺與聽覺刺激的教學模式，引入多媒體科技對於資訊化時代的學習者應具有正面提升的效果（吳宏達、陳淑華、陳建良，2006）。

此外，在人體生理感官方面也有相關的研究可做為依據，根據電腦科技研究公司（Computer Technologies Research Cooperation 簡稱 CTRC）在 1993 年的一份研究報告，人類與媒體之間的學習關係如下（曾瑞譙，2009）：

- (1) 用視覺對所看到的知識學習保留率為 20%
- (2) 用聽覺的學習保留率為 30%
- (3) 同時用視覺與聽覺的學習保留率為 50%
- (4) 同時用視覺與聽覺及實作的學習保留率為 80%

研究發現，同時用視覺與聽覺及實作的學習的保留率為80%最高，而多媒體在感官上的呈現方式進一步由陳彙芳、范懿文（2000）認知負荷對多媒體電腦輔助學習成效之影響研究發現，在多媒體電腦輔助學習的理解與應用能力方面的學習成效，其多媒體資訊的呈現方式應以單一視覺加聽覺的方式較為適宜，因為單一視覺加聽覺感官刺激的學習效果相較於沒有聽覺刺激或過多的視覺刺激的多媒體電腦輔助學習來的更佳。因此，多媒體所提供結合視覺性、聽覺性多重刺激訊息傳達的學習是極為有效率的學習工具，而本研究使用的自主多模態影音學習系統所提供的即是以單一視覺加聽覺的方式搭配自主式學習介面的學習環境。

三、多媒體應用於教學上的助益

運用多媒體融入教學內容與活動來提升學習成效上也有許多相關的研究，游朝煌（1994）指出多媒體的目的在於提供充分之溝通管理，適應學習認知上之個別差異，並以最佳的呈現方式將教學內容表達出來；同時，教學策略若經由多媒體教學，可提供不同的溝通管道，使學習者獲取最佳效果（徐易稜，2001）。

De Jong & Van Joolingen（1998）指出模擬式電腦輔助教學主要的優點是可以讓學習者透過電腦去瞭解無法接觸的現象或看不見的現象，增加認知的機會以達成學習目標。此外，模擬式的學習系統亦具備互動性高、提高學習動機、滿足個別化教學需求、使用者自行控制學習進度、保存學習紀錄、多路徑的學習管道、及可立即獲得回饋等多媒體輔助教學的優點（李世忠，1992；何榮桂、郭再興，1996；林建佑，2008）。林建佑（2008）數位化的模擬式學習因具有強大的多媒體功能，可將抽象的概念以具體的圖形或動畫呈現，即可運用於電子學學習中以加強學習成效，研究結果發現所建置之模擬學習系統可提升電子學的學習成效。吳哲旭（2008）結合輔助教學策略之模擬式學習系統之研究—以電子學為例的研究中也發現，在模擬式的教學環境中，輔以適當的學習策略，可有效的提升學習者的學習成效。

李忠屏（2004）數位科技輔具生字教學系統對國小二年級學生國語科學習成效之研究以「數位科技輔具生字教學系統」進行教學，研究結果顯示此教學系統在注音與部首的學習上具有良好的表現，透過數位科技電腦的學習方式，讓學生可自行控制與重覆練習，達成學習生字之目的。

以電腦多媒體輔助化學概念學習的研究，吳昌家（2001）以電腦動畫輔助教學對於國中生學習「粒子概念」的研究中，發現相較於傳統式教學，電腦動畫的輔助教學更可以幫助學生於粒子概念的學習上。李偉新（2002）以所發展設計的化學多媒體輔助教材研究中發現，化學多媒體輔助教材可成為提高學習興趣的課後參考資訊來源，藉以彌補傳統教學的不足；並能提供學習者網路教學資源與進行互動式的學習，解決學習障礙與個別差異的問題。

在吳宏達、陳淑華、陳建良（2006）關於互動式教學軟體融入電化學相關概念學習的成效探討的研究發現，多媒體動畫的實驗組在表現上大多優於對照組，證明使用多媒體對於電化學相關概念的學習與課程內容的表徵方式是較有效的，且在各學習成就組的整體概念與相關子概念的學習上，各學習成就者學習成效都有一定成效，特別是中學習成就組與傳統課程組相較提升最為顯著。

由這些研究發現，利用電腦多媒體來輔助教學，包括模擬式電腦輔助教學、電腦動畫輔助教學、互動式教學軟體等等，對於釐清課程中抽象概念，或增進學生學習動機與興趣上，具有相當的學習成效。

第二節 化學概念的學習困難

化學概念經常涉及抽象概念與微觀的物質結構，與在一般實驗過程中無法觀察的現象，Johnstone (1993) 提出化學的學習可以分為三種面向：巨觀表徵 (macroscopic representation)、微觀表徵 (microscopic representation)、符號表徵 (symbolic representation)。巨觀表徵為可觀察的現象，如冰溶化、糖溶解於水中、硫具有臭味等等；微觀表徵為無法被直接觀察到的情形，如原子結構、化學鍵結等等；而符號表徵則是將化學反應以化學式的方式來表示反應的變化，如 $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ 等等。

由於許多學生對於化學的理解是從生活細節上感官的經驗來獲得，因此對於化學概念傾向停留在感官的層級，而無法想像分子內部微觀的變化和符號的表徵 (e.g., Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1986; Gabel et al., 1987; Wu, Krajcik & Soloway, 2001)。Wu, Krajcik & Soloway 提到相關文獻指出化學表徵學習困難的兩個觀點：首先，由符號和分子內部組成為較抽象的表徵，學生無法以感官上的直覺來理解 (Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1988)；如果學生無法詳盡的連結現象跟表徵間的關係，則不能將新知識連結至他們的認知結構，要使表徵意義被學生理解，在教學上，技術上的工具或化學課程應該幫助學生去建構抽象分子符號和分子內部微觀變化兩者間的連結。其次，學生藉由他們的理解所構成概念的基礎，來想像表徵間關聯的能力 (Keig & Rubba, 1993)，例如： H_2O 化學式與結構式之間的轉換，首先必須畫出 H_2O 正確的化學結構，並具有共價鍵與分子形狀的概念理解，由分子式轉換到結構式，需要識別每一個 H 原子有一根單鍵，具有一個價電子與 O 原子共用，最後以沒有共用的電子對來決定分子的形狀，水的分子式 H_2O ，可以明確表達分子的組成成分與原子比例關係，但無法顯示鍵角與成鍵的數目。因此，表徵間的轉換是困難的，個人需要對於構成概念其基礎概念的理解，並藉由原先的表徵與推論細節去建構目標表徵的詮釋 (Keig & Rubba, 1993)。

Verena Steiner (2003) 對於化學概念的學習也提到「一個是由於還沒有理解

的專業概念太多，另一個是由於感到結構太複雜，一個典型的例子就是化學，它至少出現在三個不同的水平面上：宏觀水平面、原子和分子水平面以及符號水平面（即化學式水平面）。在發生化學反應時，例如燃燒：人們看到的是宏觀水平面...在分子和原子水平面上發生什麼是看不見的，但人們必須能夠想像這些小微粒，以便表達這些燃燒反應。這種想像隨後就必須再進入下一個水平面上，即符號水平面，用化學式紀錄在紙上。難怪在上化學實驗課時人們常常會感到愕然。因為在人們所觀察的宏觀水平面和符號水平面之間裂了一個大缺口」（林天陽，2009）。顯示在化學概念學習時，需將所看到的現象連結至物質分子結構的反應，再將反應的過程以化學式的方式做呈現，學習歷程經由巨觀的現象、微觀的內部反應，進而到符號的表徵層面才得以完成完整的概念學習，其所經歷的過程是抽象且繁複的轉換，因此在化學概念的學習上通常較為困難。

為了解決化學概念抽象與微觀特性所造成的學習困難，相關研究進而以多重表徵的方式來幫助學生進行化學概念學習，多重表徵 (Multiple Representation) 為以多種不同的表徵方式來呈現相同的概念，例如同時利用文字與圖片來解釋鹽溶於水。Ainsworth (2008) 指出運用多重表徵於概念的學習上是非常有力的教學工具，將使學生的學習更具有成效，由於一個概念基本上涵蓋許多面向，但是單一表徵往往只能呈現出概念其中的一部分，而透過多重表徵的方式，有助於幫助學生對概念的理解。例如：丙烷分子2D與3D結構所呈現出三種不同的表徵，如圖2-2-1所示（引自 Wu, Krajcik & Soloway, 2001），其中圖(A)為丙烷的結構式，可以表明分子內原子的種類、數目及結合情形，但無法表示三度空間的立體結構；圖(B)為丙烷3D立體結構的分子模型，可以看出分子鍵角與幾合結構；圖(C)丙烷3D立體結構以直鏈狀呈現，與圖(A)在平面上所呈現的結構式相似。因此，透過多重表徵的方式，連結各表徵間的關係，更能增進對分子結構的認知理解。

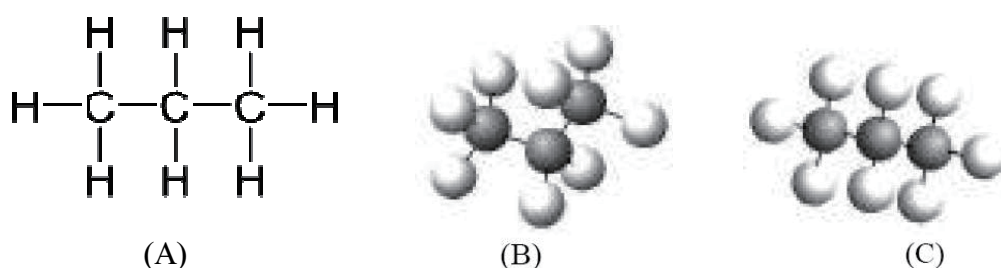


圖2-2-1 丙烷分子的表徵方式（引自 Wu, Krajcik & Soloway, 2001）

Boulter & Buckley (2000) 主張表徵的方式為描述模型是如何做呈現，表徵的方式主要分為下列五種：

- 1.具體的 (Concrete)：指三度空間的實體模型。
- 2.言語的 (Verbal)：指被聽到的、被讀到的、被描述的、被解釋的、被陳述的、辯論的、類比和隱喻的模型。
- 3.視覺的 (Visual)：指被看到的視覺上的模型表徵。
- 4.數學的 (Mathematical)：指公式、方程式與一些模擬。
- 5.動作的 (Gestural)：指物體移動的動態過程。

這五種表徵方式可以單獨存在，或互相搭配形成混合的表徵模式 (mixed)。

本研究使用的課程主題八隅體與路易士結構概念為學習化學鍵結與分子形狀所必須具備的基本概念。八隅體規則為原子藉由得失電子或與其他原子共用電子的方式，使其與鄰近的惰性氣體具有相同的電子排列方式，即其最外層的電子組態為 ns^2np^6 ，共有8個價電子最為安定；路易士結構，即以一個點表示價殼層中的一個電子，再將價電子分布在元素符號的周圍，而分子的路易士結構可表示元素的價電子排列與分子的鍵結情形。

Pardo (1989) 指出，根據不同原子的價電子數，遵照八隅體規則，畫出分子的路易士電子結構，決定鍵結電子對 (bonding pair 簡稱B.P) 和未鍵結電子對 (孤對電子 lone pair 簡稱L.P) 的數目，依據形式電荷的計算找出最穩定的結構，以價殼層電子對互斥理論 (Valence Shell Electron Pair Repulsion-VSEPR) 來判斷分子的形狀。

Pardo (1989) 利用八隅體規則，計算電子數畫分子結構的方法，其目的在於畫出合理的路易士結構，但也可判斷 σ 鍵、 π 鍵及孤對電子數，利用已知的B.P 和L.P 數目來判斷分子結構的形狀。這裡欲探討的部分為Pardo以八隅體規則與原子的價電子數畫出合理路易士結構的程序，表2-2-1以 CO_2 為例：

表2-2-1 Pardo分子路易士結構畫法程序（引自 Pardo，1989）

分子路易士結構畫法程序	以CO ₂ 為例
(a) 計算各原子價電子數的總合。	$4 + (2 \times 6) = 16$ (C) (O)
(b) 所有原子皆滿足八隅體的總電子數。	$3 \times 8 = 24$ 3 原子 $\times$ 8 電子/原子 = 24 個電子
(c) 計算共用的電子數 (b-a)。	總電子數24，價電子數16，故共用電子數為 $24 - 16 = 8$ 個電子
(d) 將每個元素置於中心原子的周圍(在AB _x 形式的分子中，通常以電負度最小的原子為中心原子)。	O C O (B) (A) (B)
(e) 計算鍵結區域數(每一個鍵結區域為兩原子間結合的區域)。	CO ₂ 有2個鍵結區域
(f) 找出σ電子數(每一個單鍵為一對σ電子)，分子中，2個電子形成一個鍵，σ電子數是鍵結區域的兩倍。	$2 \times 2 = 4$ 2 鍵結區域 $\times$ 2 電子/鍵結區域 = 4 個σ電子， 形成兩個單鍵
(g) 畫出單鍵。	O—C—O
(h) 決定π電子數。若π電子存在，則步驟(g)畫出的某些單鍵必為多鍵(雙鍵或參鍵)，π電子數即為總共用電子數減去σ電子數(c-f)。	共用電子數8，σ電子數4，π電子數 $8 - 4 = 4$ ， 則CO ₂ 結構可能為兩個雙鍵O=C=O，或一個參鍵 O≡C—O 或 O—C≡O。 由於參鍵結構中氧原子的形式電荷不為零，使得參鍵結構具有較高的能量較不穩定，而雙鍵結構中氧的形式電荷皆為零，為最小能量較為穩定。
(i) 計算未共用電子總數為(a-c)。	總價電子數16，共用電子數16，故未共用電子數為 $16 - 8 = 8$ 個電子
(j) 分配未共用電子數，使各原子遵守八隅體規則。	O=C=O

第三節 學習歷程與學習行為

以教育心理學的角度來看，學習是有計畫的接受一連串教學活動後，個體在行為表現上形成改變或思維上產生轉換的現象（梁瑛心、林聰吉、張君維、許正岳，2010）。在認知心理學的角度，學習歷程為學習者內在的學習心理歷程，經由刺激與反應構成聯結，個體對於情境的刺激有所認知，經由對事物的認識、辨別、理解後所表現出來的行為反應歷程。

由教學與學習的角度而言，梁瑛心、林聰吉、張君維、許正岳（2010）指出學習歷程為個體在某一特定學習目標的期間中，將學習個體在這段學習期間，所有相關有意義的內容有系統的加以記載，包括知識或技能的學習成效、心理測驗、特殊表現、教師評比、同儕回應、自我評估或生涯規劃皆屬於學習歷程的內容。

學習歷程是有目的、有組織地蒐集學習者在一段時期中與學習過程或成果相關之資料的彙整。由於學習者需參與有關內容、評判標準等的選擇的決定，並記錄自我反省的證據，學習歷程不但可用來展現學習者在某領域學習的努力、進步與成就情形，亦可提供學習者自我反思其認知過程改變或學習策略運用的實際情形（林孟鴻，2001）。因此，藉由學習者的學習歷程可以顯現學習者在進行學習時的成長與進步的學習情形。

利用電腦多媒體進行數位學習（e-learning）的情形日趨普遍，學習者以資訊科技為媒介，利用數位化的教材與教學方式來進行學習。學習者在網路上進行瀏覽、搜尋、學習評量及合作學習活動。透過記錄、追蹤及分析這些學習活動，可以讓教師更瞭解學習者在網路學習環境中的學習者的學習進度以及上課狀況等學習者的資料（林清賀，1999；林建佑，2008）。在網路化學習環境中所謂的學習歷程可以用「學習路徑」來解釋，學習者在不同的網路節點上，依照順序連結的方式瀏覽網頁教材時所產生的結構化圖形，可用來輔助教學及自我學習（謝章冠、陳年興2001；林建佑，2008）。

本研究於實驗過程中以電腦螢幕側錄軟體側錄研究對象使用自主多模態影音學習系統介面功能的操作行為，包括課程影片播放時影片拉霸、播放鍵（暫停鍵）、停止鍵、倒轉鍵、快轉鍵與音量鍵，投影片頁面觀看、小節概念點選等介面功能的操作，即為學習者的學習行為。而研究中研究對象於自主多模態影音學習系統進行學習時倒轉、快轉路徑與課程影片概念區間對應情形，即為學習者學習之路徑。由學習者自主性的操作系統介面功能的學習行為，以及進行學習時倒轉快轉路徑與課程影片概念區間對應情形，呈現出個人的學習歷程，研究進一步以學習者使用自主多模態影音學習系統進行學習時的學習行為與學習路徑來推論學習者於各概念的學習情形。

第參章 研究方法

本章內容包括八隅體與路易士結構概念分析、自主多模態影音學習系統介紹、研究工具、研究對象、研究流程、資料處理與分析。藉由研究對象使用自主多模態影音學習系統進行「八隅體與路易士結構」概念的學習，探討自主多模態影音學習系統對於化學概念學習的成效影響與學習系統介面的使用情形。

本章內容包括第一節化學概念分析、第二節自主多模態影音學習系統介紹、第三節研究工具、第四節研究對象、第五節研究流程與第六節資料處理與分析，詳述如下。

第一節 化學概念分析

本研究所使用的自主多模態影音學習系統課程內容，以化學概念「八隅體與路易士結構」做為研究素材，課程概念分為五小節：八隅體介紹、八隅體規則、路易士結構的畫法、路易士結構的共振、鍵數、鍵長與鍵能，共17個子概念。以下依據自主多模態影音學習系統課程影片內容概念進行分析。（概念教學時間區間與長度、投影片所呈現的方式與內容文字、轉錄授課者口述內容相關整理請參閱附錄一）

一、八隅體介紹：

1-1 八隅體定義：當一個原子的周圍滿足八個電子，其價層被填滿而安定。

一個原子軌域可容納兩個電子，當原子外圍的1個s軌域及3個p軌域，四個軌域皆填滿為8個電子趨於穩定，原子一般會透過得到、失去或分享電子來達成八隅體。

1-2 典型元素的價電子數與其族數相同。

週期表由左而右可分為18族，傳統上將週期表分為A族與B族，A族

為主族元素，又稱為典型元素，為 1A 至 8A 共有 8 族，其價電子數與族數相同，1A 族有 1 顆價電子、2A 族有 2 顆價電子、3A 族有 3 顆價電子、.....、8A 族有 8 顆價電子。

價電子為原子核外分布在最外殼層的電子，而原子的化學性質取決於其最外層的價電子數，週期表中同一縱行的元素即為同一族，同族元素因其價電子數相同，所以化學性質也相似。

二、八隅體規則：

2-1 八隅體規則：當原子與原子結合時，傾向擁有與惰性氣體相同的八個價電子數。

典型元素與其他原子共用價電子時，通常達到鈍氣之電子組態，即其最外層的電子組態為 ns^2np^6 ，共有 8 個價電子最為安定。由於氫僅具有一個 s 軌域，最多只能置入 2 顆電子，因此當氫與其他原子共用電子時，只能達到與 He 相同的 2 個價電子數，即達到電子組態 $1s^2$ 就視同滿足八隅體。而原子藉由得失電子或與其他原子共用電子的方式，使其與鄰近的惰性氣體具有相同的電子排列方式，稱為八隅體法則。

2-2 以 I A、II A、III A 族為中心原子之化合物，中心原子周圍的電子數比八個少。

由 I A、II A、III A 族為中心原子所形成的化合物是為離子化合物，以離子鍵的方式做鍵結，離子鍵為金屬原子與非金屬原子間電子的轉移，陰陽離子間產生的靜電作用力所形成，I A、II A、III A 族元素在形成化合物時，易失去電子以 IA^+ 、 IIA^{2+} 、 $IIIA^{3+}$ 陽離子形態做鍵結，故以其為中心原子之化合物未能滿足 8 個價電子。

2-3 總價電子數為奇數之化合物，不可能滿足八隅體。

兩原子在鍵結成分子時共用一對價電子形成單鍵，在路易士結構中這種

共用電子對所形成的鍵結稱為鍵結電子對，而分子中未共用的電子對稱為孤電子對。由於鍵的生成是由兩個價電子共用而成，八隅體即原子滿足8個價電子的狀態穩定存在，因此當總價電子數為奇數時，必有一個價電子無法成鍵或成對，不可能滿足八隅體。

2-4 涉及d軌域的鍵結，中心原子周圍之電子數可以超過八個。

原子的軌域需要以三個量子數來描述，主量子數 n 、角量子數 ℓ 和磁量子數 m_ℓ 。其中主量子數用來描述軌域的大小，表示電子與原子核間的距離，與電子能量極為相關，當 n 愈大時，電子具有的能量愈大，所佔的軌域也愈大， $n=1、2、3、4、\dots$ 依序為K、L、M、N.....，用來表示電子的主殼層。角量子數 ℓ 則表示軌域的形狀， ℓ 為 $0、1、2、3、\dots、(n-1)$ 的正整數，依序可用s、p、d、f.....表示。磁量子數 m_ℓ 表示軌域方向或副層軌域數， $m_\ell = 0、\pm 1、\pm 2、\pm 3、\pm \ell$ ，原子中每一個主殼層都具有一個s軌域，s軌域的電子在原子核周圍呈對稱的球形分布，而主量子數 $n=2$ 以上的主殼層才會有p軌域，p軌域包括 $p_x、p_y、p_z$ 三種在空間位向上不同的p軌域，軌域形狀呈啞鈴形。而主量子數 $n=3$ 以上才會有d軌域，d軌域具有五種在空間位向上不同而能階相同的d軌域。

每一主殼層中含有 n^2 個原子軌域，每個軌域中最多填入2個電子，由此可推知，s軌域共可容納2個電子，p軌域共可容納6個電子，d軌域共可容納10個電子，因此具有d軌域的原子在鍵結時，其周圍的電子數則有可能超過8個電子才呈現穩定狀態。

2-2~2-4 概念總結

以下為路易士結構中常見到的三種不符合八隅體規則的情況：

- (1)以 I A、II A、III A族為中心原子之化合物，中心原子周圍的電子數比八個少。
- (2)總價電子數為奇數之化合物，不可能滿足八隅體。
- (3)涉及d軌域的鍵結，中心原子周圍之電子數可以超過八個。

三、路易士結構的畫法：

3-1 路易士結構的畫法：H原子一定排在最旁邊，電負度小的原子通常在中心。

路易士結構又稱為路易士電子點式，在表示時以一個點代表價殼層中的一個電子，再將價電子分布在元素符號周圍。在學習路易士結構的畫法時，有些基本的原則須要遵循，H原子僅有s軌域，最多只能容納2個電子形成單鍵，無法做為中心原子，因此在排列時置於末端周圍。電負度為原子對於共用電子對的相對吸引力，電負度大的原子對共用電子對的吸引力愈大，電負度小的原子對共用電子對的吸引力則愈小，因此電負度較小的原子易和其他原子共用電子產生鍵結，在路易士結構上多居於中心，為中心原子。現今常見的元素電負度，是利用原子在鍵結形成分子時兩者間電負度的差異，經由計算所得的相對電負度。

3-2 路易士結構的畫法：O原子或鹵素通常在外圍，除非在過氧化物或超氧化物中，O與O彼此通常不連接。

由於氧的電負度為3.5，而鹵素的電負度都偏大，氟為4、氯為3.5，所以在形成共價鍵結時，氧原子通常位於分子的外圍，但是在與氫鍵結時，由於氫原子僅具有s軌域，最多只能容納2個電子，相較於氧更不適合做為中心原子，因此在與氫鍵結的過氧化物或超氧化物中，氧原子相連接做為中心原子。

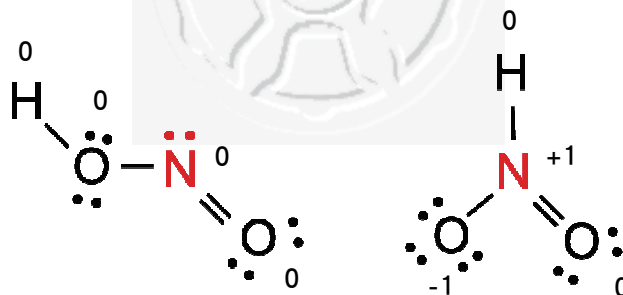
3-3 路易士結構的畫法：含氧酸中，H原子通常接在O原子上。

在含氧酸的路易士結構中，一般而言H原子會接在O原子上，雖然在滿足八隅體的前提之下，亦可畫出H未與O連接的結構，然而實際上必須還要考慮形式電荷（formal charge）的概念，形式電荷有助於得知合理的路易士結構，形式電荷具有以下原則：

- 對於中性分子，形式電荷總和為0較具有形式電荷來得合理。
- 形式電荷愈小，則結構愈趨於穩定合理。

- c. 電負度大的原子較容易具有負的形式電荷。
- d. 所有元素的形式電荷總和=化合物或原子團所帶電荷數。

例：HNO₂的路易士結構與形式電荷表示如圖3-1-1。



圖(一)

圖(二)

圖3-1-1 HNO₂的路易士結構與形式電荷

以上兩種HNO₂的路易士結構中各原子皆滿足八隅體規則，因此需進一步考慮形式電荷的合理性，經由結構可知兩種結構的總電荷數皆為0，但圖(一)中各原子的形式電荷皆為0，相較於圖(二)中N的形式電荷為+1、O的形式電荷為-1而言，可以判斷出圖(一)為較合理的路易士結構式。

同樣的在判斷共振結構中那一結構較為穩定時，也是利用形式電荷的概念，分子的形式電荷愈小，電負度大的原子具有負的形式電荷為較合理的路易士結構。

3-4 路易士結構的畫法：總價電子數的計算。

在畫分子的路易士結構時，除了基本的原子排列原則，還要將各組成原子的價電子數加總，再做電子的分配。典型元素的價電子數與其族數相同，1A族有1顆價電子、2A族有2顆價電子、3A族有3顆價電子、.....、7A族有7顆價電子。此外，分子帶正電為陽離子時要減掉其正電荷數，例：NH₄⁺有5+4-1=8個價電子；帶負電為陰離子時則要加上其負電荷數，例：NO₃⁻有5+18+1=24個價電子。

3-5 路易士結構的畫法：先將電子分配給外圍原子，剩下的再分配給中心原子，末端原子通常遵守八隅體。

依據基本的原子排列原則，算出總價電子數後，原子間先以單鍵做鍵結，2個價電子形成一根鍵，剩下的價電子則先分配給外圍原子，因為外圍原子的電負度較大易拉電子，所以外圍優先滿足八隅體，待外圍原子滿足八隅體後，剩下的電子再分配給中心原子，因此中心原子較有可能出現八隅體的例外，末端原子則通常遵守八隅體。

3-6 路易士結構的畫法：在C、N、O等二週期元素中較可能形成雙鍵或參鍵的鍵結情形。

路易士結構中原子在排列時，先以2個價電子形成單鍵做鍵結，剩下的電子再以滿足八隅體做電子的分配，形成分子間的第二根鍵、第三根鍵，稱為 π 鍵。 π 鍵是由兩個結合原子之軌域(p或d)平行，以側邊對側邊的方式重疊，形成鍵結的電子雲分布在二核的連心線，即核間軸上下方的對稱位置。原子間 π 鍵的形成，兩原子間距離必須靠得夠近才得以產生鍵結，所以通常發生在第二週期的C、N、O這些半徑較小、原子距離較近的元素上。

3-7 路易士結構的畫法：綜合概念—例子

路易士結構可用來表示化合物的結構，依據路易士結構畫法的基本原則，舉例說明。路易士結構畫法的基本原則如下：

- (1)H原子一定排在最旁邊，電負度小的原子通常在中心。
- (2)O原子或鹵素通常在外圍，除非在過氧化物或超氧化物中，O與O彼此通常不連接。
- (3)含氧酸中，H原子通常接在O原子上。
- (4)總價電子數的計算。
- (5)先將電子分配給外圍原子，剩下的再分配給中心原子，末端原子通常遵守八隅體。
- (6)在C、N、O等二週期元素中較可能形成雙鍵或參鍵的鍵結情形。

四、路易士結構的共振：

4-1 路易士結構的共振：有些分子的路易士結構具有兩種或兩種以上的結構皆能符合路易士結構的電子分配。

對於某些無法僅用單一路易士結構來表示，同時具有兩個或兩個以上皆能滿足八隅體的路易士結構分子，在表示時以共振結構的形式表示之。不同的路易士結構是因為 π 鍵或未鍵結電子對所配置的位置不同所造成，電子在兩軌域間不停跳躍，形成 π 鍵不定域的狀態，共振結構用來表示將電荷平均分布在兩個或兩個以上的原子上。然而，事實上共振結構並不存在，真實粒子的結構也並非這些共振結構所呈現的狀態，在價鍵理論中，由於無法用單一結構來準確表示物質的結構，因此必須要藉助共振的想法來表達。

五、鍵數、鍵長與鍵能：

5-1 具有共振結構者，鍵數有可能為分數。

鍵數為兩原子間共用價電子成鍵的數目，為鍵的級數亦稱為鍵級。由於共振結構是將電荷平均分布在兩個或兩個以上的原子上，形成 π 鍵不定域的狀態，故在計算鍵數時，可能會有分數的情況發生。

以 O_3 的共振結構為例，分子中O與O所連接的位置有兩個地方，所形成的鍵共有三根，一個單鍵和一個雙鍵，因此O與O原子間的鍵數為 $3 \div 2 = 3/2$ 。

圖3-1-2為 O_3 的共振結構：

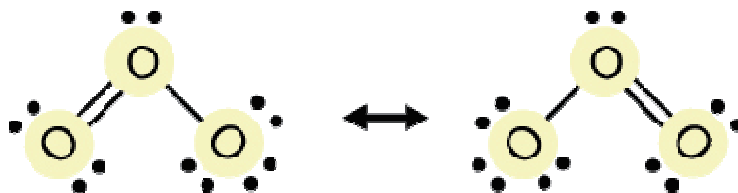


圖 3-1-2 O_3 的共振結構

5-2 鍵數愈多者，鍵能通常較大，鍵能：參鍵>雙鍵>單鍵。

5-3 鍵數愈多者，鍵長通常較短，鍵長：單鍵>雙鍵>參鍵。

鍵數亦稱為鍵級，表示兩原子間共用價電子成鍵的數目。鍵能 $D(X-Y)$ 為氣相中破壞 1 莫耳 $X-Y$ 所需的平均 ΔH ，鍵能愈大者，其化學鍵的結合力愈強，鍵數愈多，鍵能通常愈大，參鍵>雙鍵>單鍵。鍵長 r_e 為原子核到原子核間最穩定的距離，當原子愈小時，原子間的距離較接近，鍵長愈短，反之亦然；單鍵的能量比較弱，原子間的距離較遠，鍵長就比較長，單鍵>雙鍵>參鍵，因此鍵的級數愈大，鍵長就愈短，但能量就愈大。以下為C原子間的鍵數、鍵長、鍵能的關係：

單鍵： $D(C-C) = 348 \text{ kJ}$ $r_e = 0.154 \text{ nm}$

雙鍵： $D(C=C) = 614 \text{ kJ}$ $r_e = 0.134 \text{ nm}$

參鍵： $D(C \equiv C) = 839 \text{ kJ}$ $r_e = 0.120 \text{ nm}$

※ 鍵數：參鍵>雙鍵>單鍵；

鍵能：參鍵>雙鍵>單鍵；

鍵長：單鍵>雙鍵>參鍵。

第二節 自主多模態影音學習系統介紹

一、自主多模態影音學習系統介面全圖

自主多模態影音學習系統主要利用電腦播放由視訊影片、圖片、文字與投影片結合而成的多模態影音學習介面，介面並具有可自行操控的自主式功能，可依據使用者個人的學習進度做調整。圖 3-2-1 為自主多模態影音學習系統預設學習介面全圖的截取圖像。

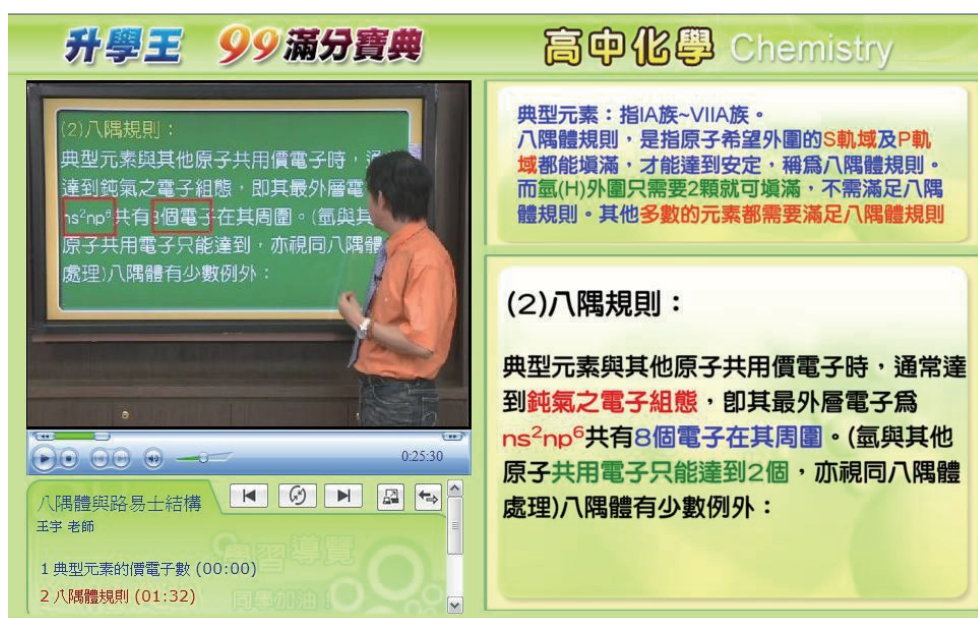


圖 3-2-1 自主多模態影音學習系統預設介面截圖

二、自主多模態影音學習系統介面之版面配置

自主多模態影音學習系統介面在版面配置上，除了介面上方區域的系統名稱與科目外，主要區分為影片區與投影片區兩大區塊，影片區包括影片播放區、影片控制軸、介面控制區與小節概念點選區；投影片區包括重點概要補充投影片與主要學習內容投影片。以下就學習系統介面中各區塊功能與按鍵的介紹詳述之，各區塊的版面配置位置與所佔比例如圖 3-2-2 所示：

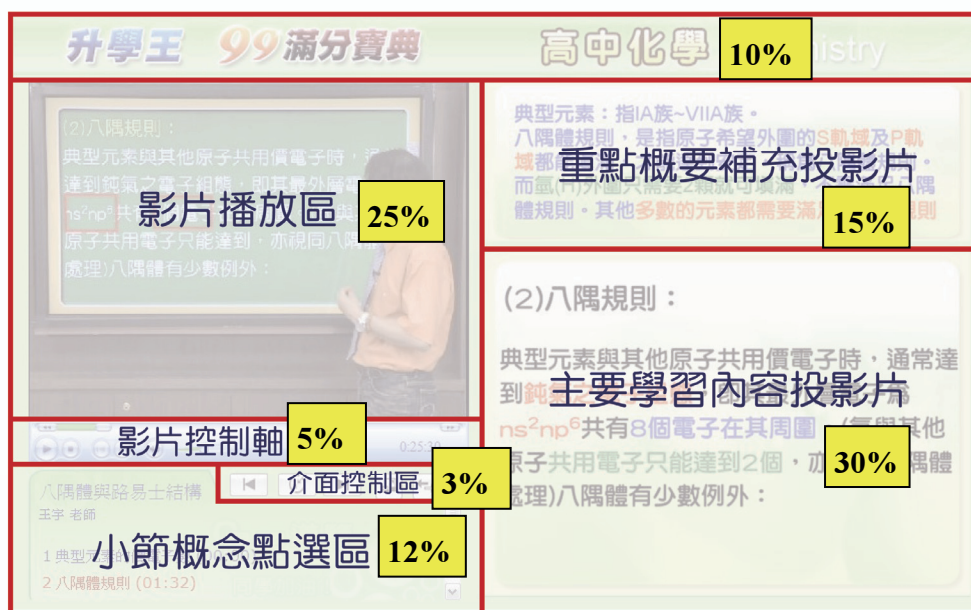


圖 3-2-2 自主多模態影音學習系統介面版面配置情形

學習系統介面上方的部份為系統名稱與科目，主要標示此學習系統名稱與正在播放的科目，所占版面為整個學習系統界面的 10%，剩下的介面主要分為左右兩大區塊，左半部為影片區，包括影片播放區 25%、影片控制軸 5%、介面控制區 3%與小節概念點選區 12%；右半部為投影片區，包括重點概要補充投影片 15%與主要學習內容投影片 30%。

(一)影片區

1. 影片播放區（25%）

影片播放區主要為課程教學影像的播放，影像中電子白板所呈現的文字即為此課程的主要學習內容，與右半部主要學習內容投影片上的文字一致，藉以輔助授課者進行教學，並可進一步利用電子白板的功能做學習重點的書寫與相關概念的補充。

2. 影片控制軸（5%）

影片控制軸這個區塊中各個按鍵的功能主要用來操控影片播放區影片的播放，包括影片拉霸、播放鍵（暫停鍵）、停止鍵、倒轉鍵、快轉鍵與音

量鍵。影片拉霸可以在影片播放的時間範圍內隨時將影片播放內容移至想停留的時間點，更具備快速快轉與倒轉的功能；播放鍵可以立即開始進行影片的播放，影片正在播放時使用播放鍵則具有暫停鍵的功能，在影片進行中可隨時使用暫停鍵做停頓；停止鍵可以使進行中的影片停止播放，回復至影片一開始的播放模式；快轉鍵和倒轉鍵則可依據影片的播放進度做快轉與倒轉的動作。

此外，在影片控制軸右側的 5 碼數字為影片播放進行時間的標示，可以更明確得知影片正在進行的時間。影片控制軸於自主多模態影音學習系統介面中所在區域位置與各按鍵配置位置如圖 3-2-3 所示：

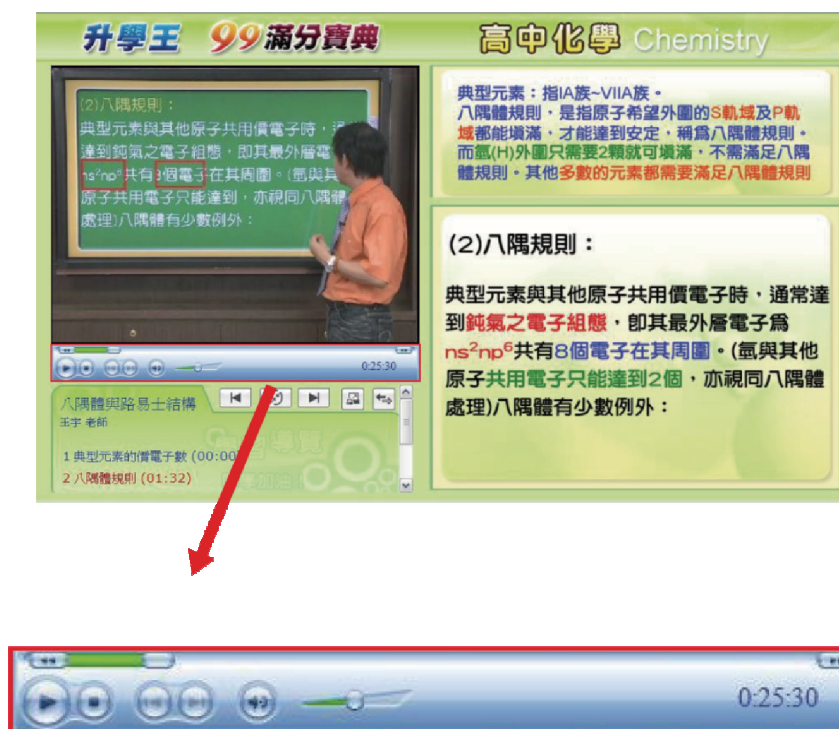


圖 3-2-3 自主多模態影音學習系統影片控制軸區配置情形

3. 介面控制區 (3%)

介面控制區主要功能為學習系統介面的操作，由左至右依序為投影片頁面向前鍵（投影片倒轉）、影片與投影片同步鍵、投影片頁面向後鍵（投影片快轉）、影片最大化、影片與主要學習內容投影片位置互換。

由於影片播放時，學習系統介面右半部的投影片區會依據影片所播放的內容，同步進行更換投影片的動作，因此若發生在影片播放的同時未能及時看完投影片的情況，即可使用介面控制區的投影片頁面向前鍵觀看上一頁投影片，再利用影片與投影片同步鍵，則投影片可立即回復至影片進行所播放的段落，介面控制區按鍵的操作僅為投影片之用並不會影響到影片播放的進行。

影片最大化按鍵可將影片放大至電腦全螢幕的比例觀看，換言之，介面中其他區塊會自動隱藏，重覆點選即可回復至預設的版面配置。最右側的影片與主要學習內容投影片位置互換按鍵，可將影片播放區與主要學習內容投影片區做位置上的互換，即影片播放區影像的部份由學習系統介面的左上側換至右下側，主要學習內容投影片則由原先的右下側移至左上側，使學習者可以依本身的習慣來做位置上的些微調整。介面控制區於自主多模態影音學習系統介面中所在區域位置與各按鍵配置位置如圖 3-2-4 所示：

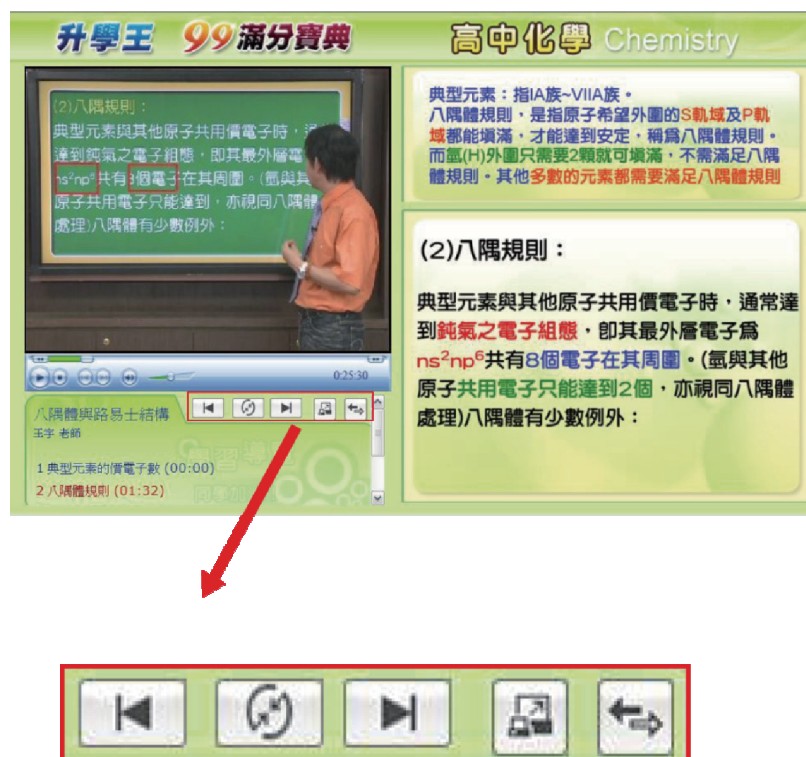


圖 3-2-4 自主多模態影音學習系統介面控制區配置情形

4. 小節概念點選區 (12%)

小節概念點選區為標示影片課程中各小節主要概念的名稱，最上方所顯示的為主題概念名稱與授課老師名字，接下來的部分為影片內容中各小節概念名稱與各小節開始播放的時間點，以條列的方式簡單明瞭的將此單元中各小節概念呈現出來，學習者可以依本身的需求直接點選小節概念進行學習。小節概念點選區於自主多模態影音學習系統介面中所在區域位置與各按鍵配置位置如圖 3-2-5 所示：

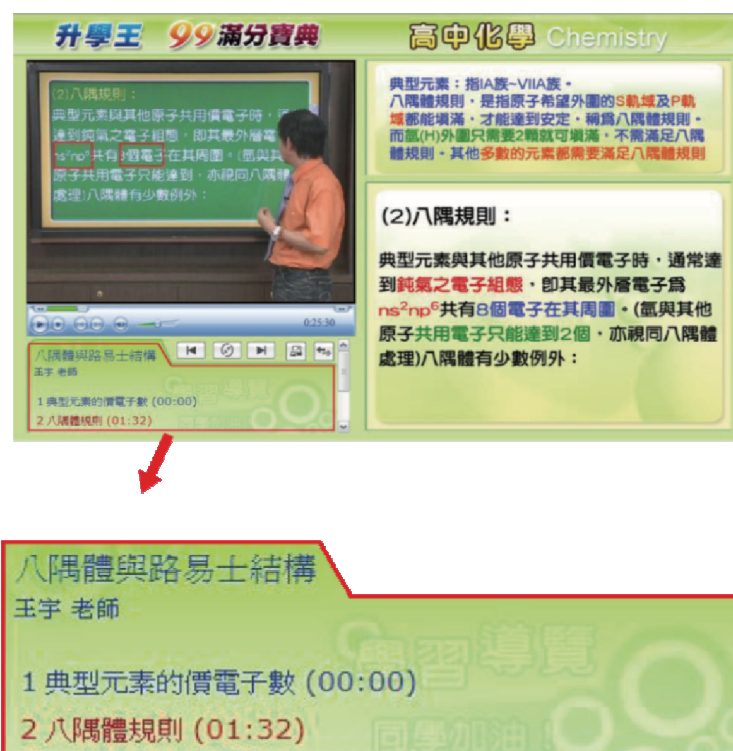


圖 3-2-5 自主多模態影音學習系統小節概念點選區配置情形

(二) 投影片區

投影片區的課程內容投影片包含主要學習內容投影片與重點概要補充投影片，主要學習內容投影片中文字與影像播放區中電子白板所呈現的文字一致，為此課程的主要學習內容，占整個學習系統介面版面的 30%；而重點概要補充投影片則為影片中老師所提及的重要概念，將其口述內容做文字化補充，占整個學習系統介面版面的 15%，利用投影片將學習內容文字化，在觀看影像與聲音的同時，更加強學習者學習時視覺上的記憶。

第三節 研究工具

本研究以高中化學課程「八隅體與路易士結構」概念，做為研究自主多模態影音學習系統對化學概念學習效應的主題，研究工具主要以量化工具「八隅體與路易士結構概念問卷」為主，並且側錄研究對象使用自主多模態影音學習系統時的學習行為，搭配學習情意問卷。

一、八隅體與路易士結構概念問卷

概念問卷經由指導教授與化學、科學教育研究相關背景的化學教師審查，就題目內容的適切性與可行性進行討論與修正，以建立專家效度，問卷題目共20題，包含17題單選題與3題非選題。預試對象為台北市某高中二年級學生67名，利用預試的信度來檢驗題目的一致性，問卷信度Cronbach's α 值為0.726，故以預試階段的研究工具做為正式施測的研究工具。本研究前測與後測皆使用同一份問卷，藉此比較學生在使用自主多模態影音學習系統進行化學概念學習前後的作答情形，八隅體與路易士結構概念問卷的設計要點如表3-3-1所示。

表3-3-1 研究工具設計要點

研究工具	題目類型	問卷內容	使用目的
八隅體與路易士結構概念問卷 (參閱附錄二)	單選題	內容涵蓋高中化學課程	自主多模態影音學習系統於
	非選題	八隅體與路易士結構相關概念	八隅體與路易士結構概念課程中學生的學習情形。
學習情意問卷 (參閱附錄三)	複選式簡答題	自主多模態影音學習系	1.瞭解學生使用自主多模態
	開放式簡答題	統對學生學習的影響、對於系統的建議與需求	影音學習系統在情意面向的影響。 2.做為改進學習系統的參考依據。

本研究使用的研究工具「八隅體與路易士結構概念問卷」，係經由自主多模態影音學習系統化學課程內容所設計出，利用課程內容分析出的概念進行問卷的出題，八隅體與路易士結構概念課程共分為五小節：八隅體介紹、八隅體規則、路易士結構的畫法、路易士結構的共振、鍵數、鍵長與鍵能。

概念層面共分為「知識」、「理解」和「應用」三大認知層次，各概念題數分配與概念層次分布情形如表3-3-2，而概念內容、概念層面與題目對應關係之雙向細目表，如表3-3-3所示。

表3-3-2 問卷各概念題數分配與概念層次分布情形

小節	知識	理解	應用	題數	百分比
1.八隅體介紹	1、8	—	—	2	10%
2.八隅體規則	6、9	3、14	—	4	20%
3.路易士結構的畫法	2	7、15、4	10、13、17、18、20	9	45%
4.路易士結構的共振	—	—	12、16	2	10%
5.鍵數、鍵長與鍵能	—	5、11	19	3	15%
題數	5	7	8	20	—
百分比	25%	35%	40%	—	100%

表3-3-3 問卷試題之雙向細目表

概念內容	對應題號	概念層面
1-1 八隅體定義：當一個原子的周圍滿足八個電子，其價層被填滿而安定。	01	知識
1-2 典型元素的價電子數與其族數相同。	08	知識
2-1 八隅體規則：當原子與原子結合時，傾向擁有與惰性氣體相同的八個價電子數。	06	知識
2-2 以 IA、IIA、IIIA 族為中心原子之化合物，中心原子周圍的電子數比八個少。	14	理解
2-3 總價電子數為奇數之化合物，不可能滿足八隅體。	09	知識
2-4 涉及 d 軌域的鍵結，中心原子周圍之電子數可以超過八個。	03	理解
3-1 路易士結構的畫法：H 原子一定排在最旁邊，電負度小的原子通常在中心。	07	理解
3-2 路易士結構的畫法：O 原子或鹵素通常在外圍，除非在過氧化物或超氧化物中，O 與 O 彼此通常不連接。	15	理解
3-3 路易士結構的畫法：含氧酸中，H 原子通常接在 O 原子上。	20	應用
3-4 路易士結構的畫法：總價電子數的計算。	02	知識
3-5 路易士結構的畫法：先將電子分配給外圍原子，剩下的再分配給中心原子，末端原子通常遵守八隅體。	13	應用
3-6 路易士結構的畫法：在 C、N、O 等二週期元素中較可能形成雙鍵或參鍵的鍵結情形。	04	理解
3-7 路易士結構的畫法：綜合概念—例子	10	應用
	17	應用
	18	應用
4-1 路易士結構的共振：有些分子的路易士結構具有兩種或兩種以上的結構皆能符合路易士結構的電子分配。	12	應用
	16	應用
5-1 具有共振結構者，鍵數有可能為分數。	19	應用
5-2 鍵數愈多者，鍵能通常較大，鍵能：參鍵>雙鍵>單鍵。	11	理解
5-3 鍵數愈多者，鍵長通常較短，鍵長：單鍵>雙鍵>參鍵。	05	理解

八隅體與路易士結構概念問卷包括 17 題單選題與 3 題非選題，共 20 題。以自主多模態影音學習系統八隅體與路易士結構課程內容所分析的概念做為問卷出題的方向；並依據授課者講述概念的時間長度與口述字數，做為每一個概念對應題數的參考，各小節概念影片時間長度平均為 1 分 25 秒，口述字數平均為 468 字，原則上一個概念對應一個題目，少部分例外的情況如下：

【3-7 路易士結構的畫法：綜合概念—例子】

3-7 主要概念內容為綜合 3-1~3-6 路易士結構的畫法之各項基本原則，舉例進行路易士結構畫法的實際演練，影片時間長度為 3 分 19 秒，口述字數 1136 字，因此概念 3-7 所對應的題數為三題，藉此檢視學生對於路易士結構的畫法之各項基本原則的理解情形。

【4-1 路易士結構的共振：有些分子的路易士結構具有兩種或兩種以上的結構皆能符合路易士結構的電子分配。】

4-1 概念主要說明路易士結構的共振情形，授課內容以 SO_2 的共振結構為例，影片時間長度為 5 分 15 秒，口述字數 1637 字，在題數的分配上為兩題。

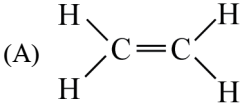
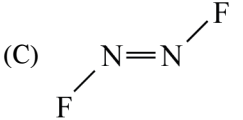
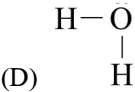
【5-2 鍵數愈多者，鍵能通常較大，鍵能：參鍵 > 雙鍵 > 單鍵。】

【5-3 鍵數愈多者，鍵長通常較短，鍵長：單鍵 > 雙鍵 > 參鍵。】

5-2 鍵能與 5-3 鍵長的概念在課程影片中於同一段落進行講解，一併說明鍵數、鍵長與鍵能間的關係，因此影片的時間長度與口述字數合併計算。

概念內容、影片時間長度、口述字數與八隅體與路易士結構概念問卷所對應的題目內容，如表3-3-4所示。

表3-3-4 問卷概念內容、題目、影片時間與口述字數的對應表

概念內容	對應題目	影片時間	口述字數
1-1 八隅體定義：當一個原子的周圍滿足八個電子，其價層被填滿而安定。	01 以下關於八隅體規則與路易士結構的敘述何者「錯誤」？ (A)當原子與原子結合時，傾向擁有與惰性氣體相同的價電子數 (B)路易士結構可表示化合物中價電子的結合情形 (C)所有原子在形成穩定化合物時，各原子均遵守八隅體規則 (D)週期表中同族元素具有相同的價電子數。	00'30"	175 字
1-2 典型元素的價電子數與其族數相同。	08 下列何組的兩元素，其電子排列有相同的最外層電子數？ (A) ₂ He、 ₁₉ K (B) ₃ Li、 ₁₁ Na (C) ₇ N、 ₁₄ Si (D) ₉ F、 ₁₀ Ne。	01'00"	354 字
2-1 八隅體規則：當原子與原子結合時，傾向擁有與惰性氣體相同的八個價電子數。	06 元素 A 有 5 個價電子，與氫以共價鍵結時，則 A 的氯化物之化學式應為？ (A)AH ₃ (B)AH ₄ (C)AH ₂ (D)AH。	01'33"	537 字
2-2 以 IA、IIA、IIIA 族為中心原子之化合物，中心原子周圍的電子數比八個少。	14 下列哪些分子的電子點式，其每個原子（氫除外）均遵循八隅體規則？ (A)NaF (B)BF ₃ (C)CH ₄ (D)BeF ₂ 。	01'07"	388 字
2-3 總價電子數為奇數之化合物，不可能滿足八隅體。	09 下列哪些分子的路易士結構，「不符合」八隅體規則？ (A)NO (B)CO ₂ (C)H ₂ O (D)HCl。	00'28"	159 字
2-4 涉及 d 軌域的鍵結，中心原子周圍之電子數可以超過八個。	03 下列哪些分子的路易士結構，「不符合」八隅體規則？ (A)Cl ₂ (B)CO (C)H ₂ S (D)SF ₆ 。	00'26"	149 字
3-1 路易士結構的畫法：H 原子一定排在最旁邊，電負度小的原子通常在中心。	07 下列各化合物的路易士結構畫法，何者「錯誤」？ (A)  (B) H—N≡C (C)  (D) 	01'05"	370 字

3-2 路易斯結構的畫法： O 原子或鹵素通常在外圍，除非在過氧化物或超氧化物中，O 與 O 彼此通常不連接。	15 下列那個分子的路易士結構中 O 與 O 「未」連接在一起？ (A)N ₂ O ₄ (B)K ₂ O ₂ (C)H ₂ O ₂ (D)F ₂ O ₂ 。	02'07"	689 字
3-3 路易斯結構的畫法： 含氧酸中，H 原子通常接在 O 原子上。	20 請畫出 HNO ₃ 分子的路易士結構。	00'18"	121 字
3-4 路易斯結構的畫法： 總價電子數的計算。	02 下列各分子中，何者的總價電子數最少？ (A)CH ₃ ⁺ (B)OH ⁻ (C)NH ₄ ⁺ (D)NH ₃ 。	01'02"	361 字
3-5 路易斯結構的畫法： 先將電子分配給外圍原子，剩下的再分配給中心原子，末端原子通常遵守八隅體。	13 下列化合物中，何者的中心原子具有孤對電子？ (A)NO ₂ ⁺ (B)PO ₃ ³⁻ (C)H ₂ CO (D)CCl ₄ 。	01'53"	646 字
3-6 路易斯結構的畫法： 在 C、N、O 等二週期元素中較可能形成雙鍵或參鍵的鍵結情形。	04 下列那個分子的鍵結方式較「不易」發生？ (A)C=C (B)P=P (C)O=O (D)N≡N。	01'28"	469 字
3-7 路易斯結構的畫法： 綜合概念—例子	10 下列化合物(1)HF (2)H ₂ O (3)CH ₄ (4)NH ₃ ，依其孤對電子數目「由多到少」排列為？ (A)(1)>(2)>(3)>(4) (B)(3)>(4)>(2)>(1) (C)(4)>(3)>(2)>(1) (D)(1)>(2)>(4)>(3)。 17 下列那些分子的路易士結構中「未」含有雙鍵？ (A)CO ₂ (B)HNO ₂ (C)H ₂ CO ₃ (D)N ₂ O。 18 請畫出 NO ₂ ⁻ 分子的路易士結構。	03'19"	1154 字
4-1 路易斯結構的共振： 有些分子的路易士結構具有兩種或兩種以上的結構皆能符合路易斯結構的電子分配。	12 下列各分子或離子，何者「沒有」共振現象？ (A)NO ₃ ⁻ (B)O ₃ (C)CO ₃ ²⁻ (D)PO ₄ ³⁻ 。 16 下列硫的化合物中，S—O 的鍵數何者最大？ (A)SO ₄ ²⁻ (B)SO ₂ (C)SO ₃ (D)SO ₃ ²⁻ 。	05'15"	1665 字
5-1 具有共振結構者， 鍵數有可能為分數。	19 請算出 NO ₂ ⁻ 分子中 N—O 的鍵數為_____。	00'41"	249 字
5-2 鍵數愈多者，鍵能通常較大，鍵能：參鍵 > 雙鍵 > 單鍵。	11 下列雙原子分子的化學鍵能何者最大？ (A)H ₂ (B)O ₂ (C)N ₂ (D)F ₂ 。	01'47"	537 字
5-3 鍵數愈多者，鍵長通常較短，鍵長：單鍵 > 雙鍵 > 參鍵。	05 下列有關乙烷、乙烯、乙炔分子中 C—C 鍵長的比較，哪一個是正確的？ (A)C ₂ H ₆ < C ₂ H ₄ < C ₂ H ₂ (B)C ₂ H ₂ < C ₂ H ₆ < C ₂ H ₄ (C)C ₂ H ₂ < C ₂ H ₄ < C ₂ H ₆ (D)C ₂ H ₄ < C ₂ H ₆ < C ₂ H ₂		

二、學習情意問卷

學習情意問卷主要用來瞭解學習者於自主多模態影音學習系統使用上的建議與需求，問卷題目總共四題，包括一題複選式簡答題與三題開放式簡答題。

複選式簡答題的題目為「自主多模態影音學習系統中，你覺的需要改進的部分為何(可複選)?並進一步說明簡單的理由。」簡單的列出幾個在學習系統介面的使用上會遇到的問題，包括①整體介面的版面配置位置②整體介面的版面配置大小③投影片的字型大小④影片應加上字幕⑤可控制將不需要的介面隱藏⑥影片中授課講話速度的調整，為了避免其他需要改進卻沒列出的疏漏，故增加⑦其他的選項，學生可自行填入除了①～⑥外系統需要改進的地方，藉此瞭解學生對於學習系統使用上的需求。

開放式簡答題共有三題，針對學習者本身的情意面向所設計，包括「自主多模態影音學習系統與一般傳統課室教學比較，對你本身而言最大的差異性為何?」與「自主多模態影音學習系統中，對你在學習上最有幫助的是那一個部分?並進一步說明簡單的理由。」，欲瞭解研究對象在使用自主多模態影音學習系統時對其本身的助益情形，最後附加提問「對於自主多模態影音學習系統，你是否還有其他的建議或需求?」，做為學習系統往後改進的參考依據。

第四節 研究對象

一、預試對象

首次預試對象為新北市某高中二年級學生30位，預試問卷題目為15題單選題，預試問卷以spss 20.0統計軟體進行分析，利用預試的信度來檢驗問卷題目的一致性，預試信度Cronbach's α 值為0.427。一般而言，信度Cronbach's α 值應達到0.7以上，為問卷題目應達到的信度標準。由於此次施測的人數與題目數量皆不足，以致於信度未達標準，因此增加施測的人數與題目數量，並將不適合的題目加以修正，以進行第二次預試。

第二次預試對象為台北市某高中二年級學生67位，預試問卷題目包括17題單選題和3題非選題，共20題。預試問卷以spss 20.0統計軟體進行分析，利用預試的信度來檢驗題目的一致性，預試信度Cronbach's α 值為0.726達信度標準，故以此預試階段的研究工具做為正式施測的研究工具。

二、正式研究對象

首先以台北市某高中二年級學生 189 位進行八隅體與路易士結構概念問卷的前測，採其中前測成績較不理想 12 分（60%）以下的 16 位學生做為正式研究對象。

正式研究對象以電腦單機進行自主多模態影音學習系統八隅體與路易士結構概念的學習，並於實驗過程中以電腦螢幕側錄軟體進行側錄，藉此觀察研究對象在使用自主多模態影音學習系統學習時於介面上的操作行為。

由於參與實驗的16位研究對象中，其中一位的側錄影片在存檔過程中出現錯誤情形，以至於無法進行自主多模態影音學習系統介面操作行為分析，故有關學習行為與問卷答題表現關係以15位研究對象來進行分析。

第五節 研究流程

本研究的研究流程與步驟之實施程序如圖 3-5-1 所示，研究流程為根據研究的理論架構，透過研究工具、研究對象概念問卷的答題情形與使用自主多模態影音學習系統時的學習行為進行相關的探討與分析。

本研究以自主多模態影音學習系統化學課程「八隅體與路易士結構」概念做為研究的素材，針對課程裡涵蓋的相關概念內容進行概念分析，進而發展設計出主要的研究工具「八隅體與路易士結構概念問卷」。利用預試問卷結果來檢驗研究工具的適切性，待研究工具就緒後，進行八隅體與路易士結構概念問卷前測，採前測成績較不理想的學生做為正式研究對象，以個人電腦單機進行自主多模態影音學習系統化學概念的學習，於學習後進行概念問卷後測，以概念問卷的答題表現來探討自主多模態影音學習系統對於學生學習成效的影響，並觀察研究對象使用自主多模態影音學習系統時的學習行為，藉此驗證本研究的研究目的與研究問題。最後以統計工具分析所得資料，並依據實驗所得結果撰寫研究報告。

以下就研究流程各階段進行敘述：

一、擬定計畫

根據研究對象以自主多模態影音學習系統學習八隅體與路易士結構概念的情形，來探討學習系統的使用與學習成效間的關係。因此就自主多模態影音學習系統化學課程概念與學生學習成效及學習行為進行相關的文獻探討與蒐集，確定研究的方向來形成研究目的與問題。

二、研究分析

根據所使用的自主多模態影音學習系統化學課程概念內容，進行八隅體與路易士結構相關概念的分析，做為發展研究工具的重要依據。

三、發展研究工具

經由研究分析出自主多模態影音學習系統化學課程所涵蓋的八隅體與路易士結構相關概念內容，進而發展設計出本研究主要的研究工具「八隅體與路易士結構概念問卷」，以此問卷搭配自主多模態影音學習系統，瞭解學習系統對學生學習成效的影響與操作介面時的學習行為，並就研究對象使用自主多模態影音學習系統在情意面向的影響設計學習情意問卷。

四、研究工具評估

本研究所使用的研究工具「八隅體與路易士結構概念問卷」，預試問卷經由指導教授與化學、科學教育研究相關背景的化學教師審查，就題目內容的適切性與可行性進行討論與修正，以建立專家效度，且利用預試的信度來檢驗題目的一致性，將不適合的題目經過修正後做為正式施測時的研究工具。

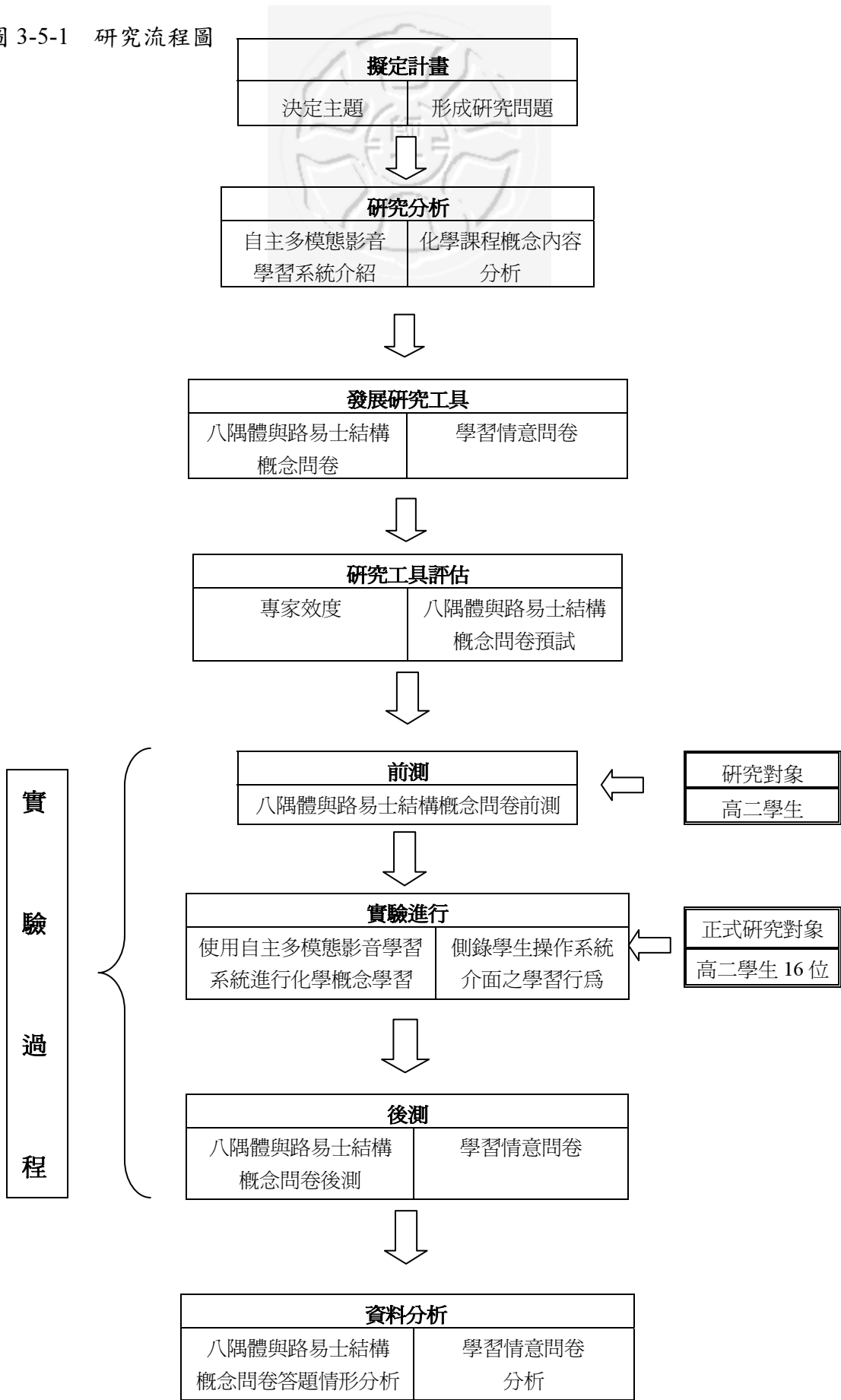
五、實驗過程

本研究的實驗過程主要為研究對象於電腦單機進行自主多模態影音學習系統化學概念的學習，採用的主題為高中化學課程「八隅體與路易士結構」概念，研究對象於非課堂時間集體於電腦教室，採一人一機的方式使用自主多模態影音學習系統進行八隅體與路易士結構概念的學習，課程時間長度約30分鐘，實驗過程中以電腦螢幕側錄軟體側錄研究對象使用學習系統介面的操作行為，在實驗進行前研究對象皆已做過八隅體與路易士結構概念問卷的前測，於課程影片觀看完畢後進行八隅體與路易士結構概念問卷的後測與學習情意問卷的施測。

六、資料分析

以研究對象於八隅體與路易士結構概念問卷的作答情形與自主多模態影音學習系統化學概念內容進行相關的分析與探討，藉此瞭解自主多模態影音學習系統進行學習學生學習成效的影響；以學習系統介面的操作行為來瞭解自主多模態影音學習系統介面配置與功能的使用上，對於學生學習上的幫助與學習成效的影響；並以學習情意問卷來瞭解學習者於自主多模態影音學習系統使用上的建議與需求，做為往後改進的參考依據。

圖 3-5-1 研究流程圖



第六節 資料處理與分析

一、八隅體與路易士結構概念問卷答題情形

(一) 概念問卷整體效應分析

1. 計算概念問卷前、後測平均答對題數與平均答對率，將研究對象答對題數除以總題數，即得到答對率；將所有研究對象的答對率加以平均計算，則得到整份問卷的平均答對率。

$$\text{平均答對題數} = \frac{\text{答對題數的總和}}{\text{總人數}} \quad \text{答對率} = \frac{\text{答對的題數}}{\text{總題數}} \times 100\%$$

2. 概念問卷效果量的計算，以Cohen所提出的d係數： $d = \frac{\text{mean}_1 - \text{mean}_2}{\sqrt{(\text{SD}_1^2 + \text{SD}_2^2)/2}}$ ，利

用概念問卷前、後測答對題數的平均數及標準差做計算。

3. 利用spss進行成對樣本t考驗，用來檢驗研究對象使用自主多模態影音學習系統進行化學概念學習前後，在整體表現上是否達顯著差異。

(二) 概念問卷各概念答題情形

利用spss進行成對樣本t考驗，用來檢驗各概念題目在前、後測表現上是否達顯著差異。

(三) 概念問卷各題答題情形

$$\text{計算各題前、後測的答對人數與答對率：} \quad \text{答對率} = \frac{\text{答對人數}}{\text{全部人數}} \times 100\%$$

利用spss進行成對樣本t考驗，用來檢驗各子概念所對應的題目在前、後測表現上是否達顯著差異。

二、概念問卷進步率與退步率分析

依據研究對象概念問卷前、後測答題情形，以進步率50%與退步率25%做為分類的基準點，將題目分為四大類：(一)進步率高、退步率低；(二)進步率低、退步率低；(三)進步率低、退步率高；(四)進步率高、退步率高，依分類情形進行題目與課程影片內容的相關分析與探討。

$$\text{進步率} = \frac{\text{後測答對題數}}{\text{前測答錯題數}} \times 100\% \quad \text{退步率} = \frac{\text{後測答錯題數}}{\text{前測答對題數}} \times 100\%$$

三、課程影片時間及字數與答題進步率的關係

將各小節概念於課程影片裡所佔的時間比例、授課者口述內容字數比例、系統所呈現的投影片字數比例，分別與研究對象在八隅體與路易士結構概念問卷答題進步率進行線性迴歸，來探討各變項與答題進步率間的關係。

四、學習行為與概念問卷答題表現分析

(一)研究對象於自主多模態影音學習系統介面功能使用情形分析

依據實驗過程中電腦螢幕側錄研究對象使用自主多模態影音學習系統進行學習時介面上的操作行為，可分為兩大類學生：探索式學習學生與接受式學習學生，以探索式學習學生進行介面操作行為次數統計。

(二)由研究對象概念學習時間與答題表現關係檢視自主多模態影音學習系統

研究對象在觀看課程影片的過程中，依據本身的學習情形進行倒轉與快轉的動作，分析其倒轉與快轉路徑與課程影片概念時間軸對應情形，以原始概念課程影片區間時間定為1，依重覆觀看時間計算比例，以研究對象於各概念課程影片區間總觀看時間的比例情形與所對應題目的答題表現關係進行分析討論。

(三)探索式學習與接受式學習學生課程影片觀看時間與答題表現關係

以自主多模態影音學習系統課程影片觀看時間，將探索式學習學生細分為大於影片時間長度與小於影片時間長度二組，由各組整體課程影片觀看時間與答題情形來探討自主多模態影音學習系統對於學習上的成效影響。

(四)由探索式學生倒轉情形與答題表現關係檢視自主多模態影音學習系統

由研究對象觀看課程影片過程中倒轉與快轉路徑與課程影片概念時間軸對應情形，探討其重覆觀看三次以上區間所對應到的概念與問卷答題表現關係。

(五)由探索式學生快轉情形與答題表現關係探討其行為意義

由研究對象觀看課程影片過程中倒轉與快轉路徑與課程影片概念時間軸對應情形，快轉區間所對應到的概念與問卷答題表現關係，探討其快轉行為意義。

五、學習情意問卷分析

依據研究對象的作答情形，將開放式的意見內容進行分類與整理，複選式簡答題則統計出各項目的人次與意見，藉此得知學習者的需求與建議，做為往後自主多模態影音學習系統修正與改進的參考依據。



第肆章 研究結果與討論

本章第一節為八隅體與路易士結構概念問卷答題情形分析，包括研究對象前測成績表現情形、概念問卷整體答題情形、各概念答題情形、各題答題情形；第二節為概念問卷進步率與退步率分析，依據研究對象前、後測答題情形將題目分為四大類進行相關的分析與探討；第三節為自主多模態影音學習系統課程影片時間及字數與答題進步率的關係；第四節為研究對象學習行為與概念問卷答題表現分析；第五節為學習情意問卷分析。

第一節 八隅體與路易士結構概念問卷答題情形

一、概念問卷整體效應分析

(一)研究對象前測成績表現情形

前測以台北市某高中二年級學生 189 名進行八隅體與路易士結構概念問卷的施測，採其中前測成績較不理想 12 分（60%）以下的學生做為正式研究對象。前測成績分布如表 4-1-1 所示，前測成績 12 分以下的學生共有 19 位，佔整體的 10.05%。考量學生參與後續實驗的意願，正式參與研究的學生為 16 位，正式研究對象前測成績分布如表 4-1-2 所示，以下關於八隅體與路易士結構概念問卷前、後測分析討論皆以 16 位正式研究對象的表現做為研究分析的依據。

表 4-1-1 研究對象前測成績分布

研究對象			
分數(總分 20 分)	人數(人)	百分比(%)	合計
20 分	1 人	0.53%	189 人
19 分	9 人	4.76%	
18 分	27 人	14.29%	
17 分	38 人	20.11%	
16 分	38 人	20.11%	
15 分	36 人	19.05%	
14 分	16 人	8.47%	
13 分	5 人	2.65%	
12 分	6 人	3.17%	
11 分	7 人	3.70%	
10 分	2 人	1.06%	
9 分	2 人	1.06%	
8 分	1 人	0.53%	
2 分	1 人	0.53%	

表 4-1-2 正式研究對象前測成績分布

正式研究對象			
分數(總分 20 分)	人數(人)	百分比(%)	合計
12 分	4 人	25%	16 人
11 分	7 人	43.75%	
10 分	1 人	6.25%	
9 分	2 人	12.5%	
8 分	1 人	6.25%	
2 分	1 人	6.25%	

(二)概念問卷前、後測答對率

八隅體與路易士結構概念問卷題目共有20題，採用二元計分法，作答出正確答案即得1分，16位研究對象前測平均答對題數為10.19題，答對率為50.95%；後測平均答對題數為13.69題，答對率68.45%，表4-1-3為前、後測答題情形的基本統計量。由此可知，研究對象於使用自主多模態影音學習系統進行八隅體與路易士結構概念學習後，在後測問卷的答題表現上較前測增加3.5題，高出17.5%的進步比率。概念問卷前、後測答對率如圖4-1-1所示。

表 4-1-3 問卷前、後測答題情形基本統計量

	平均數	個數	標準差	平均數的標準誤
前測	10.19	16	2.482	.621
後測	13.69	16	2.387	.597

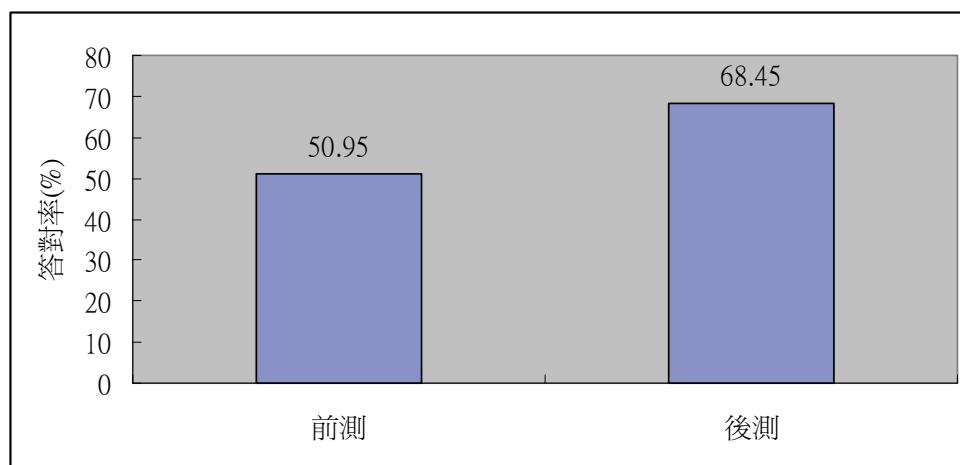


圖 4-1-1 概念問卷前、後測答對率

(三)概念問卷效果量



效果量(Effect Size)可用來判斷實驗結果實際顯著性(Practical significance)之程度，本研究以 Cohen 所提出的 d 係數做計算 ($d = \frac{\text{mean}_1 - \text{mean}_2}{\sqrt{(SD_1^2 + SD_2^2)/2}}$)，

利用概念問卷前、後測答對題數的平均數及標準差計算其效果量。根據 Cohen 的標準，若其值小於 0.2 表示實際顯著性為低，介於 0.2 至 0.5 表示實際顯著性為低至中等，而 0.5 至 0.8 表示實際顯著性為中至高等，高於 0.8 表示具有相當大的實際顯著性。

依據前、後測答對題數的平均數及標準差可計算出 Cohen's d 值為 1.437，表示八隅體與路易士結構概念問卷在效果量上具有極大的實際顯著性。

(四)概念問卷成對樣本 t 考驗

將研究對象八隅體與路易士結構概念問卷前、後測整體答題情形進行成對樣本 t 考驗，結果如表 4-1-4 所示，t 值為 7.519，p 值為 .000 達顯著差異 ($p < .05$)。表示研究對象在問卷前、後測整體表現上達到顯著的進步，在經由使用自主多模態影音學習系統進行化學概念學習後，對於八隅體與路易士結構概念整體的理解是有所助益的。

表 4-1-4 概念問卷前、後測成對樣本 t 考驗

	成對變數差異		t	顯著性
	平均數	標準差		
後測－前測	3.500	1.862	7.519	.000

二、概念問卷各概念答題情形

依據自主多模態影音學習系統化學課程內容，將八隅體與路易士結構概念分為五小節：八隅體介紹、八隅體規則、路易士結構的畫法、路易士結構的共振、鍵數、鍵長與鍵能。八隅體與路易士結構概念問卷題目共 20 題，概念題數的分配情形如表 4-1-5。

表 4-1-5 各概念題數分配情形

概念	題號	題數	百分比
1.八隅體介紹	1、8	2	10%
2.八隅體規則	3、6、9、14	4	20%
3.路易士結構的畫法	2、4、7、10、13、15、17、18、20	9	45%
4.路易士結構的共振	12、16	2	10%
5.鍵數、鍵長與鍵能	5、11、19	3	15%
		20	100%

以研究對象概念問卷前、後測答題情形，對各概念題目進行成對樣本t考驗，藉此得知研究對象使用自主多模態影音學習系統進行八隅體與路易士結構概念學習的情形，以下就各概念題目進行成對樣本t考驗的分析與討論：

1. 八隅體介紹

八隅體與路易士結構課程內容之第一小節概念為八隅體介紹，相關概念題目共有2題，題數比例占整份問卷的10%。課程內容主要將先前高一基礎化學學習過與此課程相關的概念做連結與複習，並就八隅體定義做基本的介紹。八隅體介紹成對t考驗分析結果如表4-1-6所示，其t值為2.782，p值為.014達顯著差異（ $p < .05$ ），表示學生在此概念的學習表現上有顯著的進步。

表 4-1-6 八隅體介紹前、後測成對樣本 t 考驗

概念 1	成對變數差異		t	顯著性
	平均數	標準差		
八隅體介紹_後測 八隅體介紹_前測	.21875	.31458	2.782	.014

2. 八隅體規則

第二小節概念為八隅體規則，相關概念題目共有4題，題數比例占整份問卷的20%。課程內容首先介紹八隅體為傾向擁有與惰性氣體相同的八個價電子數達穩定的結構，接著依序說明三種常見不符合八隅體規則的情形，將例外情形舉例並做總結，重複加強學生記憶。八隅體規則成對t考驗分析結果如表4-1-7所示，其t值為2.611，p值為.020達顯著差異 ($p < .05$)，表示學生在此概念的整體學習表現上有顯著的進步。

表 4-1-7 八隅體規則前、後測成對樣本 t 考驗

概念 2	成對變數差異		t	顯著性
	平均數	標準差		
八隅體規則_後測 八隅體規則_前測	.15625	.23936	2.611	.020

3. 路易士結構的畫法

第三小節概念為路易士結構的畫法，共有七個相關子概念，問卷題目共有9題，為八隅體與路易士結構概念問卷中題數最多的小節，題數比例占整份問卷的45%。課程內容依3-1~3-6路易士結構畫法之各項基本原則做說明，3-7總結以上基本原則並舉例畫出合理的路易士結構。路易士結構的畫法概念成對t考驗分析結果如表4-1-8所示，其t值為4.954，p值為.000達顯著差異 ($p < .05$)，表示學生經由自主多模態影音學習系統學習後在此概念的學習表現上有顯著的進步。

表 4-1-8 路易士結構的畫法前、後測成對樣本 t 考驗

概念 3	成對變數差異		t	顯著性
	平均數	標準差		
路易士結構的畫法_後測 路易士結構的畫法_前測	.16667	.13456	4.954	.000

4. 路易士結構的共振

第四小節概念為路易士結構的共振，概念題目共有2題，題數比例占整份問卷的10%。主要在說明路易士結構的共振情形，在課程影片中首先就共振的定義做說明，以SO₂的共振結構為例，依據路易士結構畫法的原則逐步畫出SO₂共振結構。路易士結構的共振成對t考驗分析結果如表4-1-9所示，其t值為1.826，p值為.088未達顯著差異（ $p < .05$ ）。

表 4-1-9 路易士結構的共振前、後測成對樣本 t 考驗

概念 4	成對變數差異		t	顯著性
	平均數	標準差		
路易士結構的共振_後測 路易士結構的共振_前測	.25000	.54772	1.826	.088

5. 鍵數、鍵長與鍵能

第五小節概念為鍵數、鍵長與鍵能，相關概念題目共有3題，題數比例占整份問卷的15%。課程內容首先介紹鍵數的計算，並提及鍵數為分數時大多為共振結構的情形，接著一併說明鍵數、鍵長與鍵能三者間的關係，舉出氧原子與氮原子為例，內容多以表格的方式做呈現，一併說明鍵數、鍵長與鍵能三者間的關係。鍵數、鍵長與鍵能成對t考驗分析結果如表4-1-10所示，其t值為1.518，p值為.150未達顯著差異（ $p < .05$ ）。

表 4-1-10 鍵數、鍵長與鍵能前、後測成對樣本 t 考驗

小節概念 5	成對變數差異		t	顯著性
	平均數	標準差		
鍵數、鍵長與鍵能_後測 鍵數、鍵長與鍵能_前測	.14583	.38430	1.518	.150

由各概念成對樣本 t 考驗的結果可知，研究對象於自主多模態影音學習系統八隅體與路易士結構概念課程之八隅體介紹、八隅體規則、路易士結構的畫法概念達顯著差異 ($p < .05$)，顯示研究對象經由自主多模態影音學習系統學習在後測答題表現上有顯著的進步情形。而路易士結構的共振與鍵數、鍵長與鍵能概念 t 考驗則未達顯著差異 ($p < .05$)。

三、概念問卷各題答題情形

八隅體與路易士結構概念問卷題目共20題，其內容涵蓋17個子概念，欲瞭解自主多模態影音學習系統對化學概念學習成效的影響，以研究對象概念問卷前、後測答題情形，對各題進行成對樣本 t 考驗，概念問卷前、後測各題答對人數、答對率、成對樣本 t 考驗的分析結果如表4-1-11，對應的概念內容可參考表3-3-3 問卷試題雙向細目表。基於文字陳述上的流暢性，以下關於八隅體與路易士結構概念問卷各題目的分析與討論，在題號的部分皆加上「A」，以A01、A02…A20來表示。

表4-1-11 概念問卷各題基本統計分析

子概念	對應題號	前測/後測	答對人數	答對率	平均數	標準差	t	顯著性
概念 1-1	A01	前測	12	75%	.2500	.4472	2.236	.041*
		後測	16	100%				
概念 1-2	A08	前測	13	81%	.1875	.4031	1.861	.083
		後測	16	100%				
概念 2-1	A06	前測	14	88%	.0625	.2500	1.000	.333
		後測	15	94%				
概念 2-2	A14	前測	5	31%	.5000	.6325	3.162	.006*
		後測	13	81%				

概念 2-3	A09	前測	14	88%	—	—	—	—
		後測	14	88%				
概念 2-4	A03	前測	9	56%	.0625	.6800	.368	.718
		後測	10	63%				
概念 3-1	A07	前測	12	75%	0	.5164	0	1.000
		後測	12	75%				
概念 3-2	A15	前測	10	63%	.1250	.6191	.808	.432
		後測	12	75%				
概念 3-3	A20	前測	0	0%	.2500	.4472	2.236	.041*
		後測	4	25%				
概念 3-4	A02	前測	11	69%	.1875	.5439	1.379	.188
		後測	14	88%				
概念 3-5	A13	前測	6	37%	.1875	.7500	1.000	.333
		後測	9	56%				
概念 3-6	A04	前測	5	31%	0	.6325	0	1.000
		後測	5	31%				
概念 3-7	A10	前測	12	75%	.1875	.4031	1.861	.083
		後測	15	94%				
	A17	前測	0	0%	.1875	.4031	1.861	.083
		後測	3	19%				
	A18	前測	5	31%	.3750	.6191	2.423	.029*
		後測	11	69%				
概念 4-1	A12	前測	7	44%	.0625	.8539	.293	.774
		後測	8	50%				
	A16	前測	1	6%	.4375	.5124	3.416	.004*
		後測	8	50%				
概念 5-1	A19	前測	8	50%	.1875	.6551	1.145	.270
		後測	11	69%				
概念 5-2	A11	前測	6	37%	.1875	.5439	1.379	.188
		後測	9	56%				
概念 5-3	A05	前測	13	81%	.0625	.5737	.436	.669
		後測	14	88%				

* : $p < .05$

由分析結果得知，概念問卷前、後測 t 考驗達顯著差異 ($p < .05$) 的題目共五題為 A01、A14、A16、A18 與 A20：

A01 對應概念【1-1 八隅體定義：當一個原子的周圍滿足八個電子，其價層被填滿而安定。】，前測答對人數 12 人、答對率為 75%；後測答對人數為 16 人、答對率達 100%，原本答錯的學生於後測時皆答對，進步率為 100%，退步率為 0%。其 t 值為 2.236，p 值為 .041 達顯著差異 ($p < .05$)。

A14 對應概念【2-2 以 IA、IIA、IIIA 族為中心原子之化合物，中心原子周圍的電子數比八個少。】，前測答對人數為 5 人，後測答對人數為 13 人，答對率為 81%，其 t 值為 3.162，p 值為 .006 達顯著差異 ($p < .05$)。

A16 對應概念【4-1 路易士結構的共振：有些分子的路易士結構具有兩種或兩種以上的結構皆能符合路易士結構的電子分配。】，前測答對人數僅 1 人，後測答對人數增為 8 人，答對率為 50%，其 t 值為 3.416，p 值為 .004 達顯著差異 ($p < .05$)。

A18 對應概念【3-7 路易士結構的畫法：綜合概念—例子】，前測答對人數為 5 人，後測答對人數為 11 人，答對率為 69%，其 t 值為 2.423，p 值為 .029 達顯著差異 ($p < .05$)。

A20 對應概念【3-3 路易士結構的畫法：含氧酸中，H 原子通常接在 O 原子上。】，為非選題，研究對象在前測答題表現上並不理想，16 人中無人答對，答對率為 0%，經由使用自主多模態影音學習系統學習的進步情形也有限，僅 4 人進步，後測答對人數為 4 人，答對率為 25%，t 值為 2.236，p 值為 .041 ($p < .05$) 達顯著差異。

顯示這些概念經由自主多模態影音學習系統學習後，學習效果有明顯的提升，在後測答題表現上有顯著的進步情形，其餘概念皆未達顯著，因此，進一步以概念問卷進步率與退步率的面向來檢視自主多模態影音學習系統對於學生的助益情形為何。

第二節 概念問卷進步率與退步率分析

此小節將利用問卷進步率與退步率情形來分析自主多模態影音學習系統的優、缺點，針對研究對象八隅體與路易士結構概念問卷前、後測各題的作答情形，分析其進步與退步的比率，進步率為研究對象前測答錯的題數於後測答對的題數所佔的比例，退步率則反之，其計算方式為：

$$\text{進步率} = \frac{\text{後測答對題數}}{\text{前測答錯題數}} \times 100\% \quad \text{退步率} = \frac{\text{後測答錯題數}}{\text{前測答對題數}} \times 100\%$$

分析以進步率 50%與退步率 25%做為分類的基準點，將題目分為：(一)進步率高、退步率低；(二)進步率低、退步率低；(三)進步率低、退步率高；(四)進步率高、退步率高四大類，圖 4-2-1 為問卷各題進步率與退步率的分布圖，以下就各類題目依序進行說明。

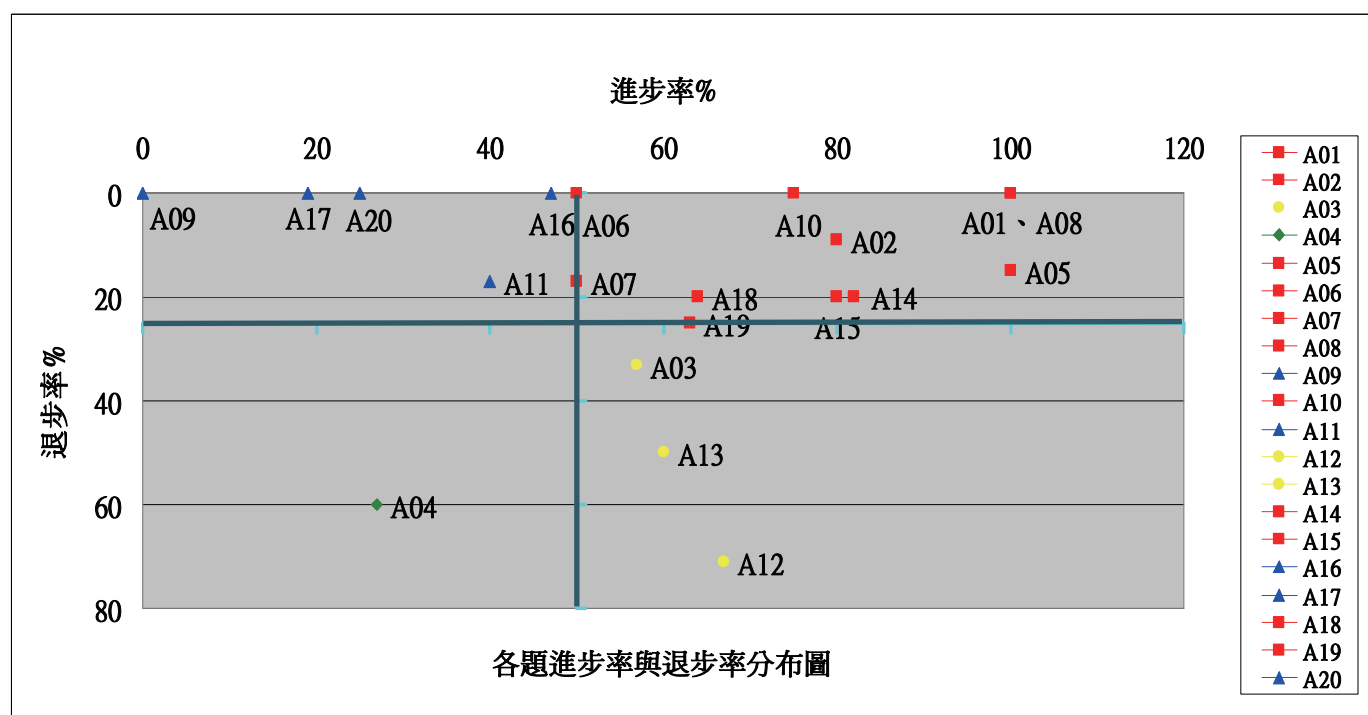


圖 4-2-1 問卷各題進步率與退步率分布圖

(一)進步率高、退步率低：(進步率 $\geq 50\%$ 、退步率 $\leq 25\%$)

八隅體與路易士結構概念問卷題目共 20 題，分布在第一類的為進步率高、退步率低的題目，進步與退步的答題情形界於進步率 $\geq 50\%$ 、退步率 $\leq 25\%$ 的範圍內，共有 11 題，於問卷中所佔比例為 55%。理想狀態下為概念問卷中所有題目皆分布於此區塊，這一類的題目表示學生經由自主多模態影音學習系統進行學習後，在學習效果上產生明顯提升，於後測的答題表現達到相當的進步情形。

進步率高、退步率低的題目有 A01、A02、A05、A06、A07、A08、A10、A14、A15、A18、A19，共 11 題。其中 A01、A05 與 A08 為進步率最高的題目，皆達到 100%的進步率，表示前測作答錯誤的學生經由使用自主多模態影音學習系統學習後，於後測的作答上皆正確，進步情形達到百分之百，且 A01 與 A08 的退步率為 0%，後測的整體答對率達 100%。

1. A01

A01 的進步率為 100%、退步率為 0%，前測答對人數 12 人，後測答對人數 16 人，答對率為 100%，答題情形為 4 人進步，0 人退步。表 4-2-1 為 A01 題目與所對應概念 1-1 內容。

表 4-2-1 A01 題目與概念 1-1 內容

題號	A01
概念 1-1	路易士結構可表示元素的價電子排列與分子的鍵結情形。
題目	以下關於八隅體規則與路易士結構的敘述何者「錯誤」？ (A)當原子與原子結合時，傾向擁有與惰性氣體相同的價電子數。 (B)路易士結構可表示化合物中價電子的結合情形 (C)所有原子在形成穩定化合物時，各原子均遵守八隅體規則 (D)週期表中同族元素具有相同的價電子數

所對應的概念內容為八隅體定義，當一個原子的周圍滿足八個電子，其價層被填滿而安定。題目內容為八隅體規則與路易士結構的基本概念，包括主族元素中，同族元素具有相同的價電子數，因此同族元素化學性質相似；八隅體規則為原子藉由得失電子或與其他原子共用電子的方式，達成與其鄰近的惰性氣體具有

相同的價電子數；路易士結構式可表達分子的鍵結情形。課程影片中授課老師口述說明「八隅體就是一個原子它希望它周圍能夠滿足八顆電子。」，並於 2-2、2-3、2-4 概念提及八隅體例外情況，證實並非所有原子在形成穩定化合物時，皆能滿足八隅體規則。因此，在答題時能夠很清楚判斷出(C)敘述錯誤。

2. A02

A02 的進步率為 80%、退步率為 9%，在前、後測的答題表現上皆有不錯的成績，前測答對人數 11 人，後測答對人數 14 人，答對率為 88%，答題情形為 4 人進步，1 人退步。表 4-2-2 為 A02 題目與所對應概念 3-4 內容。

表 4-2-2 A02 題目與概念 3-4 內容

題號	A02
概念 3-4	路易士結構的畫法：總價電子數的計算。
題目	下列各分子中，何者的總價電子數最少？ (A)CH ₃ ⁺ (B)OH ⁻ (C)NH ₄ ⁺ (D)NH ₃ 。

所對應的概念內容為總價電子數的計算，在課程影片中授課老師以 H₂O 為例，依照總價電子數的計算步驟進行講解「H₂O 到底有多少價電子數，各位很清楚 H 有 1 顆，2 個 H，所以每個 H 1 顆的話，2 個 H 就 2 顆，再來 O 呢？O 有幾顆？O 是 6A 族有 6 顆，所以全部加起來它有幾個價電子？有 8 個價電子，我們要先知道你有幾個價電子以便做分配。……，要先算出總價電子數，那麼而且呢，在算的時候要記得，如果帶正要記得扣掉，帶負要記得加上來。」，而投影片上文字呈現「算出總共價電子數，將各組成原子之價電子數相加，如果為多原子之陽離子，則要減掉其正電荷數，例 NH₄⁺ 5+4-1=8 個價電子，若為陰離子則要加上其負電荷數。」與「帶「+」電者，必須扣除。帶「-」電者，必須加回。」，投影片將總價電子數計算方式以文字的方式列出，且以 NH₄⁺ 為例，更進一步加深學生對於總價電子數計算方式的印象。

3. A05

A05 的進步率為 100%、退步率為 15%，前測答對人數 13 人，後測答對人數 14 人，答對率為 88%，答題情形為 3 位進步、2 位退步，3 位進步者於前測皆

選擇(A) $C_2H_6 < C_2H_4 < C_2H_2$ ，顯示進步者原先對於鍵數與鍵長對應關係之理解是完全相反的。表 4-2-3 為 A05 題目與所對應概念 5-3 內容。

表 4-2-3 A05 題目與概念 5-3 內容

題號	A05
概念 5-3	鍵數愈多者，鍵長通常較短，鍵長：單鍵>雙鍵>參鍵。
題目	下列有關乙烷、乙烯、乙炔分子中 C—C 鍵長的比較，哪一個是正確的？ (A) $C_2H_6 < C_2H_4 < C_2H_2$ (B) $C_2H_2 < C_2H_6 < C_2H_4$ (C) $C_2H_2 < C_2H_4 < C_2H_6$ (D) $C_2H_4 < C_2H_6 < C_2H_2$ 。

所對應的概念內容為鍵數與鍵長的關係，在課程影片中授課老師將鍵數、鍵長與鍵能的概念一併做講解，口述內容提到「鍵的級數越大，長度就越小，但能量就越大，請記得是這樣，就是同樣的原子，形成的鍵，級數越大，那麼就越短，當然能量就越大。……，鍵越大，能量就越大，長度就越短。」，簡單的說明三者間的對應關係，而投影片上文字呈現「雙鍵，鍵能大，鍵長短。單鍵，鍵能小，鍵長長。同樣原子中：鍵級數↑ 鍵能↑ 鍵長↓。」，即點出題目裡三個常見的有機分子乙烷、乙烯、乙炔中 C—C 鍵長的判斷，利用鍵長：單鍵>雙鍵>參鍵的原則進行作答。

4. A06

A06 的進步率為 50%、退步率為 0%，前測答對人數 14 人，後測答對人數 15 人，答對率為 94%，答題情形為 1 位進步。表 4-2-4 為 A06 題目與所對應概念 2-1 內容。

表 4-2-4 A06 題目與概念 2-1 內容

題號	A06
概念 2-1	八隅體規則：當原子與原子結合時，傾向擁有與惰性氣體相同的八個價電子數。
題目	元素 A 有 5 個價電子，與氫以共價鍵結時，則 A 的氫化物之化學式應為？ (A) AH_3 (B) AH_4 (C) AH_2 (D) AH 。

所要測驗的概念為原子在鍵結時，傾向擁有與惰性氣體相同的八個價電子數，因此穩定的結構以滿足八個價電子數為原則，在課程影片中授課老師口述內容「我們講的是 1A 到 7A，跟其他原子共用電子的時候，通常希望達到 8A 的狀況，也就

是 s 軌域也滿，p 軌域也滿，這樣可以讓它最安定，這個叫做八隅體規則。……，所以除了 H 這種少數的原子之外，大半 A 族元素都希望藉著鍵結來滿足所謂的八隅體。」，說明原子鍵結時傾向擁有與惰性氣體相同的八個價電子數，而投影片上文字提及「氫(H)外圍只需要 2 顆就可填滿，不須滿足八隅體規則，其他多數的元素都需要滿足八隅體規則。」，對照題目中元素 A 有 5 個價電子，而 H 氫原子的價電子數為 1，故 A 與 3 個 H 原子鍵結所形成的 AH_3 分子可達到穩定的結構。

5. A07

A07 的進步率為 50%、退步率為 17%，前測答對人數 12 人，後測答對人數 12 人，前、後測的答對率皆為 75%，答題情形為 2 人進步、2 人退步。表 4-2-5 為 A07 題目與所對應概念 3-1 內容。

表 4-2-5 A07 題目與概念 3-1 內容

題號	A07
概念 3-1	路易士結構的畫法：H 原子一定排在最旁邊，電負度小的原子通常在中心。
題目	下列各化合物的路易士結構畫法，何者「錯誤」？ $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \diagdown \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$ (A) $\text{H}-\text{N}\equiv\text{C}$ (B) $\begin{array}{c} & & \text{F} \\ & \diagdown & / \\ & \text{N} = \text{N} \\ & / & \diagdown \\ \text{F} & & \end{array}$ (C) $\begin{array}{c} \text{H}-\ddot{\text{O}} \\ \\ \text{H} \end{array}$ (D)

所對應的概念內容為路易士結構的畫法其中一項排列原則，即 H 原子一定排在最旁邊，電負度小的原子通常在中心。在課程影片中授課老師口述內容直接點明兩項基本原則「像 H，H 它根本不能當中心，為什麼，因為 H 它只能接一根鍵，它怎麼能當中心呢？所以它一定會在邊邊，在邊邊或者在最尾巴，為什麼，它不能再接出去了嘛。……，第二點呢，電負度比較小的通常排在中心。」，並畫出 $\text{H}-\text{O}-\text{C}$ 分子中原子的鍵結位置為例「比方說，我今天接 H，那這邊是接 O，我 O 還可以再接別的阿，可是 H 已經不能再接了嘛，對不對？我這裡還可以再接 C 或接什麼都有機會嘛，對不對？但是 H 一定放邊邊。」。投影片則以文字的方式做重點補充「H 原子一定在最旁邊，在所有原子之最末端。」與「電負度較小之原子通常排在中心。」。掌握 H 多排在外圍，C、N、F、O 電負度大小的關係，就能判斷出正確的結構。

6. A08

A08 的進步率為 100%、退步率為 0%，前測答對人數 13 人，後測答對人數 16 人，答對率為 100%，答題情形為 3 人進步。表 4-2-6 為 A08 題目與所對應概念 1-2 內容。

表 4-2-6 A08 題目與與概念 1-2 內容

題號	A08
概念 1-2	典型元素的價電子數與其族數相同。
題目	下列何組的兩元素，其電子排列有相同的最外層電子數？ (A) ₂ He、 ₁₉ K (B) ₃ Li、 ₁₁ Na (C) ₇ N、 ₁₄ Si (D) ₉ F、 ₁₀ Ne。

所要測驗的概念為典型元素的價電子數與其族數相同，在課程影片中授課老師以 A 族做說明「A 族來講，1A1 顆、2A2 顆、3A3 顆等等……、7A7 顆，8A 因為安定所以我們很少提到它，就說你有幾個外圍的電子。」，簡單扼要的指出此概念的重點，並舉出同為 IA 族的 Li 與 Na 為例「最外層都 1 顆叫 1A 族，所以它有 1 個價電子，所以最外層有幾顆大概就是所謂價電子有幾個。」。而投影片上文字呈現「典型元素(A 族元素)之價電子數與其族數相同。」與「IA 族有 1 個價電子；IIA 族有 2 個價電子，依此類推。」，亦說明價電子數與族數間的關係。學生只要能夠掌握這項原則，從選項中找出兩元素為同族者，便能選出正確答案。

7. A10

A10 的進步率為 75%、退步率為 0%，前測答對人數 12 人，後測答對人數 15 人，答對率為 94%，答題情形為 3 位進步。表 4-2-7 為 A10 題目與所對應概念 3-7 內容。

表 4-2-7 A10 題目與概念 3-7 內容

題號	A10
概念 3-7	路易士結構的畫法：綜合概念—例子
題目	下列化合物(1)HF (2)H ₂ O (3)CH ₄ (4)NH ₃ ，依其孤對電子數目「由多到少」排列為？ (A)(1)>(2)>(3)>(4) (B)(3)>(4)>(2)>(1) (C)(4)>(3)>(2)>(1) (D)(1)>(2)>(4)>(3)。

A10 為測驗學生對於路易士結構的畫法之各項原則所延申出來的題型，主要應用【3-1 路易士結構的畫法：H 原子一定排在最旁邊，電負度小的原子通常在中心。】，需先畫出各選項正確的路易士結構，再計算其孤對電子數目來回答問題。由於選項中的 HF、H₂O、CH₄ 與 NH₃ 皆為較常見的化合物，學生對於其結構具有基本的認識，因此前測答題情形即有不錯的表現，前測答對率為 75%，在課程影片中授課老師直接點明兩項基本原則「像 H，H 它根本不能當中心，為什麼？因為 H 它只能接一根鍵，它怎麼能當中心呢？所以它一定會在邊邊，在邊邊或者在最尾巴，為什麼？它不能再接出去了嘛。……，第二點呢，電負度比較小的通常排在中心。」，更加強學生對於此概念的印象。

8. A14

A14 的進步率為 82%、退步率為 20%，前測答對人數 5 人，後測答對人數 13 人，答對率為 81%，答題情形為 9 位進步、1 位退步。表 4-2-8 為 A14 題目與所對應概念 2-2 內容。

表 4-2-8 A14 題目與概念 2-2 內容

題號	A14
概念 2-2	以 IA、IIA、IIIA 族為中心原子之化合物，中心原子周圍的電子數比八個少。
題目	下列哪些分子的電子點式，其每個原子（氫除外）均遵循八隅體規則？ (A)NaF (B)BF ₃ (C)CH ₄ (D)BeF ₂ 。

所對應的化學概念為以 IA、IIA、IIIA 族為中心原子之化合物，中心原子周圍的電子數少於八個。在課程影片中授課老師指出「1A2A3A 族的化合物，周圍電子往往比 8 個少。……，所以 1A2A3A 基本上它並沒有這個滿足八隅體。……，第一個就是針對 1A2A3A，通常它們的化合物，如果你要討論的話，它往往是違背，就是不遵守八隅體規則。」，言語上多次強調由於 1A2A3A 族為中心原子的化合物其電子數少於 8 個，故沒有滿足八隅體規則，並舉出 2A 族化合物 BeF₂ 為例來做說明，投影片上一併以文字做概念的呈現「IA、IIA、IIIA 族之化合物，周圍電子比 8 個少。」。此題掌握以 IA、IIA、IIIA 族為中心原子即無法符合八隅體規則的原則，排除 IA、IIA、IIIA 族化合物的選項即可，由後測的表現可知大部分學生在以 IA、IIA、IIIA

族為中心原子之化合物不遵守八隅體規則的概念理解情形是增加的，共有 9 位進步，為八隅體與路易士結構概念問卷中進步人數最多的一題。

9. A15

A15 的進步率為 67%、退步率為 20%，前測答對人數 10 人，後測答對人數 12 人，答對率為 75%，答題情形為 4 位進步、2 位退步。表 4-2-9 為 A15 題目與所對應概念 3-2 內容。

表 4-2-9 A15 題目與概念 3-2 內容

題號	A15
概念 3-2	路易士結構的畫法：O 原子或鹵素通常在外圍，除非在過氧化物或超氧化物中，O 與 O 彼此通常不連接。
題目	下列那個分子的路易士結構中 O 與 O 「未」連接在一起？ (A)N ₂ O ₄ (B)K ₂ O ₂ (C)H ₂ O ₂ (D)F ₂ O ₂ 。

所對應的概念內容為路易士結構畫法中 O 原子的連接位置，依 O 與 O 除非在過氧化物或超氧化物中，否則通常不連接的原則來做判斷。在課程影片中授課老師首先指出 O 與 H 在路易士結構畫法中的位置「O 或者鹵素通常在外圍，H 是在最外圍，……，因為 O 跟鹵素的電負度都很大。」，並於課程影片中畫出 C₂H₅—O—H 分子中各原子的鍵結位置進行說明「舉例，……，舉個這個 C₂H₅，這叫做乙基，那這時候它接了個什麼，接了個 OH，O 接 H，各位這裡說 O 原子或鹵素通常在外圍，也就是因為它們並不能當中心嘛，因為中心電負度小，O 跟鹵素電負度頗大，所以通常在外圍，那我再強調如果有 H，H 在更外圍。」。

接著說明 O 與 O 連接時的特殊情形「O 跟 O 除非在過氧化物或超氧化物，不然彼此通常不連接。」，於課程影片裡以 H₂O₂ 為例，於電子白板上畫出 H₂O₂ 分子中各原子的鍵結位置進行說明「有一個特殊的結構，就是像過氧化物，比方說過氧化氫，它是兩個 O 真的接在一起，那麼它形成的特殊結構有它的安定性，……，一個 O 它有 6 個價電子，它靠這個 O 共用一個，靠這個 H 共用一個去滿足八隅體，所以會有這樣的特殊結構，叫做過氧化物。……，除了過氧化物等特殊的結構之外，我們說 O 很少自己接在一起，因為 O 去接別人比較好，因為它可以從別人身上抓電子，畢竟 O 的

電負度比較大。」。

投影片則以文字做重點式概念的呈現「O 原子(或鹵素)通常在外圍，相當對稱的包圍中心原子。而 O 與 O 除非在過氧化物(或超氧化物)，彼此通常不連接。」、「氧(O)、鹵素，電負度很大，容易成為外圍。」、「氧—氧連結只出現在「過氧化物」中。」。選項中的 H_2O_2 為影片中所舉的例子，且在【概念 3-7 路易士結構的畫法：綜合概念—例子】課程投影片中呈現 H_2O_2 與 N_2O_4 結構的例子，而 K_2O_2 與 F_2O_2 的結構可依 H_2O_2 對應畫出，在答題上並不算困難。

10. A18

A18 為非選題，進步率為 64%、退步率為 20%，前測答對人數 5 人，後測答對人數 11 人，答對率為 69%，答題情形為 7 位進步、1 位退步。前測答錯情形為孤對電子數目錯誤的有 6 人，單鍵、雙鍵鍵數錯誤的有 2 人，剩下的 3 人沒有作答；後測答錯情形分析，孤對電子錯誤的有 4 人，單鍵、雙鍵鍵數錯誤的有 1 人。表 4-2-10 為 A18 題目與所對應概念 3-7 內容。

表 4-2-10 A18 題目與概念 3-7 內容

題號	A18
概念 3-7	路易士結構的畫法：綜合概念—例子
題目	請畫出 NO_2^- 分子的路易士結構。

題目請學生畫出 NO_2^- 合理的路易士結構，在課程影片中以甲醛 (HCOH) 為例，「先把電負度小的放中間，對阿，把大的放旁邊，或者是 H 優先放旁邊嘛，對不對，那再來我們說，請你把電子數算出來，……，加起來有 12 個價電子，我們先用 C 中心嘛連接外圍，所以先畫單鍵，……，我們說過優先給旁邊嘛，……，給完之後發現中心沒有滿足八隅體，再把這兩顆拿來共用，所以什麼叫 π 鍵，當你把分子都畫完之後發現中心不能滿足八隅體，再把旁邊的電子對拉回來形成的就叫 π 鍵，這就叫 π 鍵。」。並依據路易士結構的畫法之各項基本原則步驟做說明「你要按照剛剛的原則，誰當中心誰當旁邊嘛，再來先把電子分配完之後把剩的先給旁邊，給完再給中間，不夠再拉 π 鍵回來，這樣就可以完整的去尋求這些粒子它的排列方式。」。

利用先前所學路易斯結構的畫法之各項原則，【3-1 路易斯結構的畫法：H 原子一定排在最旁邊，電負度小的原子通常在中心。】與【3-2 路易斯結構的畫法：O 原子或鹵素通常在外圍，除非在過氧化物或超氧化物中，O 與 O 彼此通常不連接。】以 N 做為中心原子，O 位於外圍且彼此不連接；利用【3-4 路易斯結構的畫法：總價電子數的計算。】與【3-5 路易斯結構的畫法：先將電子分配給外圍原子，剩下的再分配給中心原子，末端原子通常遵守八隅體。】計算 NO_2^- 的總價電子數，並依電子分配順序由外而內的原則做分配，電子分配完成後與【3-6 路易斯結構的畫法：在 C、N、O 等二週期元素中較可能形成雙鍵或參鍵的鍵結情形。】相呼應，在 N 與 O 間形成雙鍵的共振結構，畫出合理的 NO_2^- 結構。

11. A19

A19 為計算填充題，進步率為 63%、退步率為 25%，前測答對人數 8 人，後測答對人數 11 人，答對率為 69%，答題情形為 5 人進步、2 人退步。表 4-2-11 為 A19 題目與所對應概念 5-1 內容。

表 4-2-11 A19 題目與概念 5-1 內容

題號	A20
概念 5-1	具有共振結構者，鍵數有可能為分數。
題目	請算出 NO_2^- 分子中 N—O 的鍵數為_____。

對應鍵數的概念為具有共振結構時，其鍵數有可能為分數，題目延續 A18 畫出 NO_2^- 合理的路易士結構，以所畫出的結構進行 N—O 鍵數的計算。在課程影片中以 O_3 為例，說明共振結構之鍵數的計算「有時候這樣有時候這樣，代表說它有時候雙鍵有時候單鍵，我們就平均叫它叫做 1 又 2 分之 1 鍵，或著叫做總共三根分成兩個地方就叫 2 分之 3，2 分之 3 其實就是 1 又 2 分之 1 嘛，……，只要你們鍵是分數，通常是共振來的啦。」，投影片上文字亦呈現「因為 3 個鍵，連接 2 個地方，有共振結構者，鍵數才有可能為分數。」、「當共振結構發生時，鍵數可以發生分數的情形。」。依據課程內容舉 O_3 為例，其鍵數的計算方式為三個鍵分給兩個地方，平均為 1 又 2 分之 1 鍵的情形，可以推論出 NO_2^- 中 N—O 的鍵數。

A19 前測答對人數為 8 人，相較 A18 答對人數多出 3 人，原則上在計算 A19 N—O 的鍵數之前，應先畫出 NO_2^- 合理的路易士結構後才能作答，分析 A19 答對人數較多的原因，為 A18 答錯的 11 人中有 6 人為孤對電子錯誤，並不影響此題 N—O 鍵數的計算，因此前測出現 A19 答對人數較 A18 多的情形。

小結：

對於自主多模態影音學習系統而言，研究對象經由自主多模態影音學習系統進行八隅體與路易士結構概念學習後，有 11 題（55%）於後測的答題表現達到相當的進步情形，顯見課程內容中多數概念能夠有效的幫助學習者學習，於後測學習表現上產生明顯提升。

(二)進步率低、退步率低：(進步率<50%、退步率≤25%)

八隅體與路易士結構概念問卷中分布在第二類的為進步率低、退步率低的題目，共有 5 題，進步與退步的答題情形界於進步率<50%、退步率≤25%的範圍內，所佔比例為 25%。此區塊的題目有 A09、A11、A16、A17、A20，這一類的題目進步或退步的比例皆不高，表示學生使用自主多模態影音學習系統學習後對學習效果並沒有產生顯著的影響。

1. A09

A09 的進步率為 0%、退步率為 0%，前、後測的答對人數皆為 14 人，答對率 88%，前、後測答錯的 2 位為相同兩人，其中一位前測選(C) H_2O ，後測選(D) HCl ；另一位前、後測皆選(D) HCl 。表 4-2-12 為 A09 題目與所對應概念 2-3 內容。

表 4-2-12 A09 題目與概念 2-3 內容

題號	A09
概念 2-3	總價電子數為奇數之化合物，不可能滿足八隅體。
題目	下列哪些分子的路易士結構，「不符合」八隅體規則？ (A)NO (B) CO_2 (C) H_2O (D) HCl 。

所要測驗的概念為當化合物的總價電子數為奇數時，無法滿足八隅體，由於一根鍵必須由兩個電子鍵結而成，因此當總價電子數為奇數時，必定會餘下一個電子，無法符合八隅體規則。課程影片中授課老師以奇數電子的情況做解釋「全部的電子數是奇數個，所以呢，奇數個你怎麼樣都不會滿足，八隅體一定是 4 對嘛，4 對才滿足八隅體，42 得 8，你要 4 對，你是奇數怎麼成對呢，最後一定有 1 顆不成對嘛，所以它這個叫不滿足。」，舉出 NO 與 NO_2 的例子做說明，投影片上文字一併呈現「奇數個價電子之化合物，例 NO_2 共有 17 個價電子，不可能滿足 8 隅體。」，並點出此概念規則「當外圍價電子總數為「奇數個」時，不需遵守八隅體。」。此題在作答時，將各選項分子的總價電子數算出，其為奇數者則不符合八隅體規則。

2. A11

A11 的進步率為 40%、退步率為 17%，前測答對人數 6 人，後測答對人數 9 人，答對率為 56%，答題情形為 4 人進步、1 人退步。表 4-2-13 為 A11 題目與所對應概念 5-2 內容。

表 4-2-13 A11 題目與概念 5-2 內容

題號	A11
概念 5-2	鍵數愈多者，鍵能通常較大，鍵能：參鍵>雙鍵>單鍵。
題目	下列雙原子分子的化學鍵能何者最大？ (A)H ₂ (B)O ₂ (C)N ₂ (D)F ₂ 。

所對應的概念內容為鍵數與鍵能的關係，鍵數愈多者，鍵能通常較大。課程影片中授課老師以 O₂ 單鍵與 H₂O₂ 雙鍵的結構為例，來說明「鍵的級數越大，長度就越小，但能量就越大，請記得是這樣，就是同樣的原子，形成的鍵，級數越大，那麼就越短，當然能量就越大。」；主要學習內容投影片中以表格的方式呈現 N₂（參鍵）、N₂F₂（雙鍵）、N₂H₄（單鍵）三者間鍵能與鍵長的關係，口述概念重點「鍵越大，能量就越大，長度就越短。」；重點概要補充投影片以「雙鍵，鍵能大，鍵長短。單鍵，鍵能小，鍵長長。同樣原子中：鍵級數↑ 鍵能↑ 鍵長↓。」，簡單的說明鍵數、鍵長與鍵能三者間的相互關係。

題目為相同原子所構成的雙原子分子鍵能的比較，需先畫出各選項分子的路易士結構，以計算成鍵的數目，再比較其鍵能大小：參鍵>雙鍵>單鍵。由於自主多模態影音學習系統課程內容主要以相同原子所形成不同鍵數的分子做鍵能的比較，題目各選項則為不同雙原子分子鍵能的比較，因此，對於不能將鍵能與鍵數的關係做連結的學生而言，在不同分子的鍵數轉換上，課程內容幫助學習的情形並不顯著。

3. A16

A16 的進步率為 47%、退步率為 0%，前測答對人數 1 人，後測答對人數 8 人，答對率為 50%，答題情形為 7 人進步、0 人退步。表 4-2-14 為 A16 題目與

所對應概念 4-1 內容。

表 4-2-14 A16 題目與概念 4-1 內容

題號	A16
概念 4-1	路易士結構的共振：有些分子的路易士結構具有兩種或兩種以上的結構皆能符合路易士結構的電子分配。
題目	下列硫的化合物中，S—O 的鍵數何者最大？ (A)SO ₄ ²⁻ (B)SO ₂ (C)SO ₃ (D)SO ₃ ²⁻ 。

A16 為路易士結構共振概念的進階題目，除了共振的概念外並涉及 5-1 鍵數概念，在課程影片中授課老師首先就共振的定義做說明「共振就是說，來各位請看，不只一種結構，有兩種或兩種以上的結構都可以怎麼樣，符合八隅體的原則。」，舉 SO₂ 共振為例，依據路易士結構畫法的原則逐步畫出 SO₂ 結構，並說明 SO₂ 共振的情形「你要形成 π 鍵，是因為中心的硫沒有滿足八隅體，所以從旁邊借兩顆過來共用，對他沒損失，對他有收穫，可是你一定要拉這個氧嘛？難道你不能拉這個氧，可以，……，不管長這樣或長那樣，都能夠滿足八隅體規則，都能夠符合路易士結構的要求，那就叫做此二結構共同存在，這個行為就叫共振。」。在講解判斷共振的情形「先確定有 π 鍵，才再確定 π 鍵不定域，不見得一定要在那個地方，這的行為就叫共振。」時，投影片一併呈現「共振：A)先確定有「 π 鍵」、B)再確定「 π 鍵」不固定位置，可以替換則稱之「共振」」。而所涉及 5-1 鍵數概念，課程影片以 O₃ 為例，做共振結構之鍵數的計算，投影片也指出「因為 3 個鍵，連接 2 個地方，有共振結構者，鍵數才有可能為分數。」、「當共振結構發生時，鍵數可以發生分數的情形。」。

因此首先要能畫出各選項硫化物合理的路易士結構，再計算各選項化合物中 S—O 鍵之鍵數，才得以回答問題，此題在前測的答對人數僅 1 人，後測答對人數增為 8 人，雖然進步率僅 47%，但以人數而言，進步人數增加 7 人。由答題情形可知，學生對於連接多個原子又帶有價數的離子較難畫出正確的結構，而鍵數的計算在課程影片中僅以 O₃ 為例，並無選項中如 SO₃²⁻ 的結構，因此，畫出正確結構並計算正確鍵數的複雜結構對於學生而言是較為困難的。

由此可知，自主多模態影音學習系統課程對於共振結構的畫法在教學內容上

略顯不足，僅著重於基本電子對共用的共振概念定義的說明，應該加強各種共振結構的實例，尤其是分子的共振結構屬於微觀的表徵層面，學生在共振概念的學習上較為困難，課程內容呈現上應多加利用電腦多媒體所具備的優勢，以三度空間的立體結構或電腦動畫的形式來輔助教學，幫助學生去建構分子內部電子微觀的分佈情形，透過多重表徵的方式，連結各表徵間的關係，更能增進學生對於共振結構的認知理解。在舉例上，除了中性分子外，以帶正電荷與帶負電荷的離子或中心原子連接兩個原子、三個原子的共振結構加以說明，來幫助學習者判斷複雜結構的共振情形；在鍵數的計算上，由於共振結構的鍵數在計算上較為困難，應該增加共振結構的實例做鍵數計算的練習，加深學習者對於共振結構與其鍵數的熟悉度。

4. A17

A17 的進步率為 19%、退步率為 0%，前測答對人數 0 人，後測答對人數 3 人，答對率為 19%，答題情形為 3 人進步、0 人退步。表 4-2-15 為 A17 題目與所對應概念 3-7 內容。

表 4-2-15 A17 題目與概念 3-7 內容

題號	A17
概念 3-7	路易士結構的畫法：綜合概念—例子
題目	下列那些分子的路易士結構中「未」含有雙鍵？ (A)CO ₂ (B)HNO ₂ (C)H ₂ CO ₃ (D)N ₂ O。

A17 為路易士結構畫法的進階題目，需要利用先前所學【3-1 路易士結構的畫法：H 原子一定排在最旁邊，電負度小的原子通常在中心。】與【3-2 路易士結構的畫法：O 原子或鹵素通常在外圍，除非在過氧化物或超氧化物中，O 與 O 彼此通常不連接。】，將各選項中原子的基本排列位置畫出，依據【3-3 路易士結構的畫法：含氧酸中，H 原子通常接在 O 原子上。】進行含氧酸(B) HNO₂、(C) H₂CO₃ 中 H 原子與 O 原子的連接，最後以【3-5 路易士結構的畫法：先將電子分配給外圍原子，剩下的再分配給中心原子，末端原子通常遵守八隅體。】與【3-6 路易士結構的畫法：在 C、N、O 等二週期元素中較可能形成雙鍵或參鍵

的鍵結情形。】做電子分配形成雙鍵或參鍵的情形。

課程影片中以甲醛為例，依路易士結構畫法之基本原則畫出 HCOH 合理的結構，對照 A17 為路易士結構畫法的進階題目，屬於較困難的題型，需要利用先前所學 3-1~3-6 路易士結構的畫法之基本原則，逐步畫出各選項中合理的路易士結構，再判斷是否具有雙鍵或參鍵的情形，其中要注意(B) HNO_2 、(C) H_2CO_3 選項中 H 原子與 O 原子的連接位置，(D) N_2O 具有參鍵的結構。

由研究對象答題情形來看，前測答對人數 0 人，後測答對人數 3 人，對照 A17 為路易士結構畫法的進階題目，屬於較困難的題型，僅有少數人可自行整合概念 3-1~3-6 路易士結構的畫法之基本原則，進而應用至各選項結構中，大部分學生對於涵蓋多種概念的題型，在作答上依然有其困難度存在。根據研究指出化學表徵學習困難的觀點，由符號和分子內部組成為較抽象的表徵，學生無法以感官上的直覺來理解 (Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1988; Wu, Krajcik & Soloway, 2001)，因此，如果學生無法詳盡的連結現象跟表徵間的關係，則不能將新知識連結至他們的認知結構。由於畫出合理的路易士結構尚需考慮含氧酸中 H 原子與 O 原子的連接位置、電負度小的原子通常為中心、雙鍵與參鍵的情形，其表徵的方式將由符號表徵的分子式轉換為微觀表徵的結構，為使表徵意義被學理解，在概念 3-7 路易士結構畫法的綜合概念上，應該由各項畫法原則舉實例做說明，進而以涵蓋多種原則的結構做練習，且應該加強建構抽象分子符號和分子內部微觀變化兩者間的連結關係來幫助學習者學習。

5. A20

A20 為非選題，進步率為 25%、退步率為 0%，前測答對人數 0 人，後測答對人數 4 人，答對率為 25%，答題情形為 4 人進步、0 人退步。前測答錯情形為 H 原子與 O 原子連接位置錯誤的有 7 人，單鍵、雙鍵鍵數錯誤的有 3 人，將 HNO_3 分子以 H^+ 與 NO_3^- 離子形式分別畫出的有 3 人，剩下 3 人為答題不完整或沒有作答；後測答錯情形分析，H 原子與 O 原子連接位置錯誤的有 5 人，單鍵、雙鍵鍵數錯誤的有 2 人，將 HNO_3 分子以 H^+ 與 NO_3^- 離子形式分別畫出的有 3 人，

剩下 2 人為答題不完整或沒有作答。表 4-2-16 為 A20 題目與所對應概念 3-3 內容。

表 4-2-16 A20 題目與概念 3-3 內容

題號	A20
概念 3-3	路易士結構的畫法：含氧酸中，H 原子通常接在 O 原子上。
題目	請畫出 HNO_3 分子的路易士結構。

A20 所對應的化學概念為含氧酸中，H 原子通常接在 O 原子上，題目為畫出 HNO_3 合理的路易士結構，所牽涉概念為含氧酸中 H 原子與 O 原子在結構中的排列位置，並要考慮雙鍵的情形，屬於較為困難的題型，前測並無人答對，對照自主多模態影音學習系統課程影片內容，授課老師以口述說明 H 與 O 在含氧酸結構中的連接情形「含氧酸一定是 H 接 O，這個 H 跟 O 在一起的時候，H 才會因為被 O 拉而帶正，帶正才會斷鍵成雙，所以 H 跟 O 在一起。」，並未實際畫出含氧酸的路易士結構例子，學習者可能無法將此原則與路易士結構做實際連結，以致於整體的答題情形並不理想，僅 4 人進步。因此，自主多模態影音學習系統在此概念上應該就含氧酸的實例做補充，減少出現多數學生將 H 原子接在中心原子 N 上的情形，幫助學習者更熟悉 H 原子與 O 原子在路易士結構中的排列位置。

小結：

自主多模態影音學習系統對於此類題目的學習效果並沒有產生顯著的影響，學生大多依據原本對概念的認知來作答，檢視自主多模態影音學習系統在課程內容上，應加強路易士結構畫法由各項畫法原則舉實例做說明，進而以涵蓋多種原則的結構做練習來幫助學習者學習；在共振結構的概念上應加強各種共振結構的實例，以帶不同電荷的離子之共振結構加以說明，來幫助學習者判斷複雜結構的共振情形；在鍵數的計算上，由於共振結構其鍵數在計算上較為困難，應該增加共振結構的實例做鍵數計算的練習，加深學習者對於共振結構與其鍵數的熟悉度；對於 H 原子與 O 原子在路易士結構中的排列位置，應以含氧酸結構做實例的說明，更能幫助學習者學習。此外，對於涉及符號與微觀表徵間轉換的概念是困難的，個人需要對於構成概念其基礎概念的理解，並藉由原先的表徵與推論細節去

建構目標表徵的詮釋 (Keig & Rubba, 1993)。因此，自主多模態影音學習系統在概念呈現上，應該加強建構抽象分子符號和分子內部微觀變化兩者間的連結關係，運用電腦多媒體具備的優勢，以三度空間的立體結構、電腦模擬或動畫的形式來輔助教學，幫助學習者依據路易士結構畫法的各項規則去建構微觀的分子結構模型。

(三)進步率低、退步率高：(進步率<50%、退步率>25%)

八隅體與路易士結構概念問卷中分布在第三類的為進步率低、退步率高的題目，共有 1 題為 A04，進步與退步的答題情形界於進步率<50%、退步率>25%的範圍內，佔整份問卷比例的 5%。表示學生經由自主多模態影音學習系統學習後，後測的答題表現非但沒有達到顯著的進步，原先答對的學生其退步情形更高達 60%，以下進一步探討 A04 題目內容與學生答題表現間的關係。表 4-2-17 為 A04 題目與所對應概念 3-6 內容。

表 4-2-17 A04 題目與概念 3-6 內容

題號	A04
概念 3-6	路易士結構的畫法：在 C、N、O 等二週期元素中較可能形成雙鍵或參鍵的鍵結情形。
題目	下列那個分子的鍵結方式較「不易」發生？ (A)C=C (B)P=P (C)O=O (D)N≡N。

A04 的進步率為 27%、退步率為 60%，退步率較進步率高出 33%的百分比，答題情形為 3 人進步、3 人退步，前、後測的答對人數皆為 5 人，答對率僅 31%。所對應的概念內容為 C、N、O 等元素較可能形成雙鍵或參鍵的鍵結情形，由於形成雙鍵或參鍵的 π 鍵要原子靠的夠近才得以形成，C、N、O 皆為二週期元素，半徑較小較易形成 π 鍵。在課程影片中授課老師先以 $N \equiv N$ 為例，對雙鍵與參鍵做說明，「比方說 N 跟 N 先形成第一根鍵，第一根鍵就是叫做 σ 鍵最安定，可是發現不夠，不夠再形成第二根鍵就變雙鍵，再形成第三根鍵就變參鍵，不管是雙鍵參鍵都叫什麼鍵，都叫多鍵。」，再介紹 π 鍵形成的原因「 π 鍵是比較不容易形成的，要原子靠的夠近才會形成，所以通常發生在 C、N、O 這些元素。……， π 鍵會形成 π 鍵，是因為中心不滿足八隅體從旁邊拉回來，形成第二根鍵叫 π 鍵或第三根叫 π 鍵，那會有 π 鍵的一定是 C、N、S、O，其中 C 跟 N 跟 O 都是二週期，因為它比較容易靠近去形成 π 鍵」。投影片上以文字呈現二週期的元素較易形成多鍵的情形「必要時將單鍵改為雙鍵或叁鍵、多鍵之情形在 C，N，S，O 等少數幾個元素較可能發生。」，並就 σ 鍵和 π 鍵做簡單說明，以 $N \equiv N$ 為例「當鍵結形成時，第一根鍵必為「 σ 鍵」，其次的雙鍵、參鍵則為「 π 鍵」。例： $N \equiv N$ 」。

A04 前、後測答對人數皆為 5 人，前測答錯的 11 人中有 10 人選(A) $C=C$ 、1 人選(C) $O=O$ ；後測答錯的 11 人中有 9 位選(A) $C=C$ 、2 位選(C) $O=O$ ，答題情形為 3 人進步、3 人退步。表 4-2-18 為 A04 各選項前、後測作答情形。

表 4-2-18 A04 各選項前、後測作答情形

前測		後測	
選項	人數	選項	人數
(A) $C=C$	10	(A)	7
		(B)	3
(B) $P=P$	5	(A)	1
		(B)	2
		(C)	2
(C) $O=O$	1	(A)	1
(D) $N\equiv N$	0	—	—

由研究對象答題情形來看，3 位進步者在前測答題時皆選擇(A) $C=C$ ，而 3 位退步者在後測答題時其中 1 位選(A) $C=C$ 、2 位選(C) $O=O$ ，(C) $O=O$ 於後測僅退步這兩位學生選擇，由於在一般情況下 $O=O$ 較為學生所熟悉為可輕易判斷出的結構，因此在前測回答出正確答案(B) $P=P$ ，卻在後測選擇(C) $O=O$ 的情況有違常理，進一步推論於後測選擇(C) $O=O$ 的兩位學生在前測採取猜測方式作答之可能性。分析發現由於(D) $N\equiv N$ 為學生較常接觸到的分子結構，以往在介紹 N_2 時多會提及，且 $N\equiv N$ 為課程影片中授課老師所舉的例子，學生對於 $N\equiv N$ 參鍵結構印象較為深刻，因此前、後測皆無人選(D)。除了少數研究對象選擇的(C)與無人選擇的(D)外，(A)與(B)為多數人二擇一的選項，顯示學生在碳碳雙鍵與磷磷參鍵兩者間無法做判斷，以下進一步探討使其產生困擾的可能原因：

(1) 排除 $O=O$ 與 $N\equiv N$

研究對象在作答時可能不考慮各選項雙鍵或參鍵的結構，直接將結構式轉換為分子式， $C=C$ 寫成 C_2 、 $P=P$ 寫成 P_2 、 $O=O$ 寫成 O_2 、 $N\equiv N$ 寫成 N_2 ，以原先所具備的先備知識做為判斷的依據， O_2 與 N_2 為較耳熟能詳的分子，課程影片中亦舉出 $N\equiv N$ 的例子做說明，因此優先將 $O=O$ 與 $N\equiv N$ 刪去。

(2) 排除 $P \equiv P$ 選擇 $C \equiv C$

排除 $O=O$ 與 $N \equiv N$ 後，剩下的 $C \equiv C$ 與 $P \equiv P$ 學生可能以 P 與 N 同為 5A 族元素來做判斷，認為 $N \equiv N$ 結構既然存在，則 $P \equiv P$ 應為合理的結構，故選擇 $C \equiv C$ 為較不易發生的鍵結情形。

(3) 排除 $C \equiv C$ 選擇 $P \equiv P$

選擇 $P \equiv P$ 較不易形成參鍵者，應有注意到課程影片裡強調的概念內容提及， C 、 N 、 O 等二週期元素在鍵結時較可能有雙鍵或參鍵的情形發生。由於形成雙鍵或參鍵的 π 鍵要原子靠的夠近才會形成， C 、 N 、 O 皆為二週期，半徑較小較易形成 π 鍵，因此形成雙鍵或參鍵的情形較可能發生於 C 、 N 、 O 等元素上。

值得注意的是，課程影片中所提及的概念可能因為語意上的表達不清，以致於對概念的理解具有不同的詮釋，A04 所對應的概念內容為【3-6 路易士結構的畫法：在 C 、 N 、 O 等二週期元素中較可能形成雙鍵或參鍵的鍵結情形。】，課程內容中授課老師僅舉出 $N \equiv N$ 的例子做介紹，對於 C 、 N 、 O 等元素形成多鍵的解釋為：位於第二週期的元素半徑較小，因此原子間距離較近較易形成 π 鍵。並未針對特定元素偏向形成雙鍵或參鍵之一，與形成的多鍵分子為相同元素或不同元素所鍵結而成做進一步的解釋。

概念所造成語意上的理解問題：其一， C 、 N 、 O 等元素如果形成多鍵，究竟為雙鍵還是參鍵，或者特定的元素會偏向於形成雙鍵或參鍵其中之一。其二，元素在形成多鍵時，所指的雙鍵或參鍵結構的情形，應為兩個相同的元素鍵結而成的分子，或是不同元素所構成的分子來形成，這些概念詮釋上的差異皆是影響作答的因素。在課程影片內容應針對概念的解釋再加以補充說明，以 C 為例：在一般情況下 C 以雙鍵或參鍵鍵結時，可能為 C 與不同元素間鍵結，例如： $C \equiv O$ ；或者 C 與 C 鍵結外再另接其他元素，例如： C_2H_4 ，由此可知 C 在不同的情況下會有特定的鍵結方式，同樣的 N 與 O 元素在多鍵的鍵結時，也會以特定的鍵結方式存在於自然界中。因此，像這種會引起學生混淆的論述方式是需要授課者加以解釋的，否則學生可能就本身的認知來判斷其中的關係。

(四)進步率高、退步率高：(進步率 $\geq 50\%$ 、退步率 $> 25\%$)

八隅體與路易士結構概念問卷中屬於第四類的為進步率高、退步率高的題目，共有 3 題，答題情形界於進步率 $\geq 50\%$ 、退步率 $> 25\%$ 的範圍內，佔整份問卷比例的 15%。此區塊的題目有 A03、A12、A13，表示研究對象使用自主多模態影音學習系統學習後，在這類型題目上同時會有相當比例的進步與退步情形發生，以下進一步就題目內容與學生的答題表現做相關的分析與討論。

1. A03

A03 的進步率為 57%、退步率為 33%，前測答對人數 9 人，答錯的 7 人中有 2 位選(A) Cl_2 、3 位選(B) CO 、2 位選(C) H_2S ；後測答對人數 10 人，答對率為 63%，答錯的 6 人中有 4 位選(B) CO 、1 位選(C) H_2S 、1 位未作答，答題情形為 4 位進步、3 位退步。表 4-2-19 為 A03 各選項前、後測作答情形；表 4-2-20 為 A03 題目與所對應概念 2-4 內容。

表 4-2-19 A03 各選項前、後測作答情形

前測		後測	
選項	人數	選項	人數
(A) Cl_2	2	(B)	2
(B) CO	3	(B)	1
		(D)	2
(C) H_2S	2	(D)	2
(D) SF_6	9	(B)	1
		(C)	1
		(D)	6
		未作答	1

表 4-2-20 A03 題目與概念 2-4 內容

題號	A03
概念 2-4	涉及 d 軌域的鍵結，中心原子周圍之電子數可以超過八個。
題目	下列哪些分子的路易士結構，「不符合」八隅體規則？ (A) Cl_2 (B) CO (C) H_2S (D) SF_6 。

測驗的概念為八隅體規則的例外：涉及 d 軌域的鍵結時，中心原子周圍之電子數可以超過八個來畫出合理的路易士結構，但所畫出的結構為不符合八隅體規則。在課程影片中授課老師提出涉及 d 軌域時不符合八隅體規則的原因「一旦多了 d 軌域，那軌域數就不只 4 個，所以它就不見得 8 個就安定，它可能往往會超過 8 個，那就不遵守八隅體規則。……，d 軌域，通常一個原子接超過四根鍵通常就是超過八隅體了。」，且投影片上文字內容也提及 d 軌域的鍵結情形發生於第三週期後的元素上「涉及 d 軌域的鍵結，其周圍之電子數可以超過 8 個，在週期表第 3 週期以後之元素才有 d 軌域參與鍵結。」。

由於此部分在課程影片內容講述的重點主要在於如何判斷八隅體規則的例外情形，在說明時僅以第三週期後的元素因具有 d 軌域參與鍵結，則不符合八隅體規則來下定論，課程影片中並未對 d 軌域做詳盡的講解，而 d 軌域為涉及原子結構的微觀表徵，學生對於這種抽象的概念在學習上較困難，因此，學生在作答時可能以關鍵字「d 軌域」做判斷使作答正確，但對 d 軌域概念無法完全理解亦為可能造成退步的原因。

2. A12

A12 的進步率為 67%、退步率為 71%，前測答對人數 7 人，答錯的 9 人中有 3 位選(A) NO_3^- 、1 位選(B) O_3 、5 位選(C) CO_3^{2-} ；後測答對人數 8 人，答對率為 50%，答錯的 8 人中有 4 位選(A) NO_3^- 、1 位選(B) O_3 、3 位選(C) CO_3^{2-} ，答題情形為 6 位進步、5 位退步。表 4-2-21 為 A12 各選項前、後測作答情形；4-2-22 為 A12 題目與所對應概念 4-1 內容。

表 4-2-21 A12 各選項前、後測作答情形

前測		後測	
選項	人數	選項	人數
(A) NO_3^-	3	(D)	3
(B) O_3	1	(A)	1
(C) CO_3^{2-}	5	(A)	1
		(B)	1
		(D)	3
(D) PO_4^{3-}	7	(A)	2
		(C)	3
		(D)	2

表 4-2-22 A12 題目與概念 4-1 內容

題號	A12
概念 4-1	路易士結構的共振：有些分子的路易士結構具有兩種或兩種以上的結構皆能符合路易士結構的電子分配。
題目	下列各分子或離子，何者「沒有」共振現象？ (A) NO_3^- (B) O_3 (C) CO_3^{2-} (D) PO_4^{3-} 。

測驗的概念為路易士結構的共振情形，某些無法僅用單一路易士結構來表示，同時具有兩個或兩個以上皆能滿足八隅體的路易士結構分子，在表示時以共振結構的形式表示之。在課程影片中授課老師口述內容首先就共振的定義做說明「共振就是說，來各位請看，不只一種結構，有兩種或兩種以上的結構都可以怎麼樣，符合八隅體的原則。」，舉出 SO_2 共振為例。而與共振相關的概念【5-1 具有共振結構者，鍵數有可能為分數。】中以 O_3 為例，做共振結構之鍵數的計算，因此，相較於題目其他選項，較易判斷(B) O_3 具有共振結構，前、後測僅一人選擇(B) O_3 ，而其他具價數的離子結構需以路易士結構畫法之各項原則，將合理的路易士結構畫出，再判斷其是否具有共振的情形。

由於題目所涉及的概念較多，需整合相關概念來答題，在畫出結構的過程中某個環節出錯即可能影響最後的結果，尤其是分子的共振結構屬於微觀的表徵層面，學生在共振概念的學習上較為困難，自主多模態影音學習系統課程內容呈現上應多加利用電腦多媒體所具備的優勢，以三度空間的立體結構或電腦動畫的形

式來輔助教學，幫助學生去建構分子內部電子微觀的分佈情形，透過多重表徵的方式，連結各表徵間的關係，更能增進學生對於共振結構的認知理解。且課程概念內容中並無以複雜結構為例做說明，學生對於具有價數的結構仍然不熟悉，應加強各種共振結構的實例，除了中性分子外，以帶正電荷與帶負電荷的離子或中心原子連接兩個原子、三個原子的共振結構加以說明，來幫助學習者判斷複雜結構的共振情形。

3. A13

A13 的進步率為 60%、退步率為 50%，前測答對人數 6 人，答錯的 10 人中有 4 位選(A) NO_2^+ 、6 位選(C) H_2CO ；後測答對人數 9 人，答對率為 56%，答錯的 7 人中有 5 位選(A) NO_2^+ 、2 位選(C) H_2CO ，答題情形為 6 位進步、3 位退步。表 4-2-23 為 A13 各選項前、後測作答情形；表 4-2-24 為 A13 題目內容與所對應概念 3-5 內容。

表 4-2-23 A13 各選項前、後測作答情形

前測		後測	
選項	人數	選項	人數
(A) NO_2^+	4	(A)	1
		(B)	1
		(C)	2
(B) PO_3^{3-}	6	(A)	3
		(B)	3
(C) H_2CO	6	(A)	1
		(B)	5
(D) CCl_4	0	—	—

表 4-2-24 A13 題目與概念 3-5 內容

題號	A13
概念 3-5	路易士結構的畫法：先將電子分配給外圍原子，剩下的再分配給中心原子，末端原子通常遵守八隅體。
題目	下列化合物中，何者的中心原子具有孤對電子？ (A) NO_2^+ (B) PO_3^{3-} (C) H_2CO (D) CCl_4 。

A13 對應的概念內容為路易士結構畫法中電子分配優先順序的原則，依此原則將各選項化合物的路易士結構畫出，再判斷其中心原子是否具有孤對電子。課程影片中授課老師口述說明路易士結構畫法中電子分配順序由外而內的原則「先從外圍分配，就是說，讓每一個原子的周圍都能夠形成八隅體，因為鍵結之目的就是要能滿足八隅體。……，電子在我們做動作的時候是先給外圍，因為畢竟外圍呢，電負度比較大優先滿足八隅體，最後剩的再給中心。」，兩個原子間 π 鍵之形成「旁邊都滿足八隅體，就中心沒有，沒關係，旁邊的原子再把它身上的電子再共用回來，這個就形成兩個原子間的第二根鍵，這叫 π 鍵，所以 π 鍵之所以形成，是因為整個電子都分配完了以後發現中心沒有滿足八隅體再從外面分配回來。」，投影片上文字內容也指出中心原子與末端原子電子分配的情形「中心原子較有可能有八隅體之例外發生，末端原子則通常遵守八隅體。因此先將電子分配給外圍之原子，剩下的再分配給中心原子。」，而電子分配時的優先順序為「當鍵用完，剩下的電子要分配，使每個原子滿足「八隅體規則」，且優先滿足「外圍」。」。

前、後測答題錯誤情形含有雙鍵結構的(A) NO_2^+ 與(C) H_2CO 皆有人作答，由於(C) H_2CO 為課程概念 3-7 所舉的例子，影片中依據路易士結構畫法的各項原則逐步畫出 H_2CO 的結構，對於學生而言較有印象，因此前測選擇(C) H_2CO 的 6 位學生，於後測作答時其中 5 位選擇正確(B) PO_3^{3-} ；(A) NO_2^+ 在概念 3-7 路易士結構的表格中也有呈現 NO_2^+ 結構，但沒有進一步做說明，因此相較於 H_2CO 在判斷上較為困難，3 位退步者於後測皆選擇(A) NO_2^+ ；而無人選擇的(D) CCl_4 其路易士結構為四根單鍵，在孤對電子的判斷上較沒有問題。

對照自主多模態影音學習系統課程影片內容，授課老師在概念講解上以口述說明路易士結構畫法中電子分配順序由外而內的原則，與兩個原子間共用電子形成 π 鍵，研究指出化學表徵學習困難的觀點，符號和分子內部組成為較抽象的表徵，學生無法以感官上的直覺來理解 (Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1988；Wu, Krajcik & Soloway, 2001)。由於選項中化合物須利用 3-1 以電負度小的原子為中心原子、3-4 總價電子數的計算之基本原則將路易士結構畫出，才能正確回答是否含有孤對電子，其表徵的方式將由符號表徵的分子式轉換為微觀表徵的結構，

為使表徵意義被學生理解，課程概念應可利用多媒體動畫的方式來呈現 3D 分子結構，更能幫助學生連結抽象分子符號與微觀分子結構間轉換關係。

小結：

自主多模態影音學習系統於此類題目具有相當的進步與退步情形，課程中對於涉及較複雜的概念所做說明不完整，以已知的定論做判斷，可能會造成學生在概念上無法完全理解，所得到的知識為片段的零碎的概念。且對於學生而言，需自行整合相關概念的題型在作答上仍然較為困難，自主多模態影音學習系統對於涵蓋多種概念的情形舉例說明略為不足，在課程概念內容應增加涵蓋數種路易士結構畫法原則的結構、具有價數的路易士結構與共振情形的舉例說明。此外，由於分子結構屬於微觀的表徵層面，自主多模態影音學習系統課程內容呈現上應多加利用電腦多媒體所具備的優勢，以三度空間的立體結構或電腦動畫的形式來輔助教學，幫助學生連結由符號表徵的分子式轉換為微觀表徵的結構，更能增進學生對於分子結構的認知理解。

第三節 課程影片時間及字數與答題進步率的關係

本節將探討自主多模態影音學習系統化學課程中，各概念於課程影片裡所佔的時間比例、授課者口述內容字數比例、系統所呈現的投影片字數比例，與研究對象在八隅體與路易士結構概念問卷答題進步率的關係，將三個變項分別與答題進步率進行線性迴歸，來探討各變項與答題情形間的關係。表 4-3-1 為各概念所對應的題目所佔影片時間、口述字數、投影片字數比例。

表 4-3-1 各概念所佔影片時間、口述字數、投影片字數比例

概念	題號	進步率	影片時間	百分比	口述字數	百分比	投影片字數	百分比
概念 1-1	A01	100%	00'30"	1.96%	175 字	2.08%	54 字	2.24%
概念 1-2	A08	100%	01'00"	3.92%	331 字	3.93%	272 字	11.26%
概念 2-1	A06	50%	01'33"	6.08%	533 字	6.33%	187 字	7.74%
概念 2-2	A14	82%	01'07"	4.38%	368 字	4.37%	93 字	3.85%
概念 2-3	A09	0%	00'28"	1.83%	158 字	1.88%	78 字	3.23%
概念 2-4	A03	57%	00'26"	1.70%	148 字	1.76%	47 字	1.95%
2-2~2-4	—	—	01'31"	5.95%	519 字	6.16%	137 字	5.67%
概念 3-1	A07	50%	01'05"	4.25%	370 字	4.39%	135 字	5.59%
概念 3-2	A15	67%	02'07"	8.30%	689 字	8.18%	121 字	5.01%
概念 3-3	A20	25%	00'18"	1.18%	120 字	1.42%	15 字	0.62%
概念 3-4	A02	80%	01'02"	4.05%	356 字	4.23%	105 字	4.35%
概念 3-5	A13	60%	01'53"	7.39%	646 字	7.67%	167 字	6.92%
概念 3-6	A04	27%	01'28"	5.75%	461 字	5.47%	123 字	5.09%
概念 3-7	A10	75%	03'19"	13%	1136 字	13.49%	159 字	6.58%
	A17	19%						
	A18	64%						

概念 4-1	A12	67%	05'15"	20.59%	1637 字	19.44%	398 字	16.48%
	A16	47%						
概念 5-1	A19	63%	00'41"	2.68%	249 字	2.96%	179 字	7.41%
概念 5-2	A11	40%	01'47"	6.99%	526 字	6.24%	145 字	6.01%
概念 5-3	A05	100%						
平均值	—	—	01'25"	5.56%	468 字	5.56%	134 字	6.01%

一、相關係數 (r) 與決定係數 (R^2)

Pearson 提出的相關係數 r 值介於 ± 1 間，愈接近 ± 1 時，表示變項間的關聯性愈大，而 $r = \pm 1$ 稱為完全正相關或完全負相關， X 與 Y 的關係呈一直線，一般情況下幾乎不會有此情形發生；多數情況為兩個變項間未達完全相關， X 與 Y 的關係是分佈在一個區域內，則以數學的方式求得最具代表性的迴歸線。表 4-3-2 為相關係數的強度大小與意義。

表 4-3-2 相關係數的強度大小與意義

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

R^2 (coefficient of determination) 決定係數，是用來解釋線性迴歸的配適度，主要用來探討 y 的總變異中能夠被 x 解釋的比例，其值介於 0~1 間，當 R^2 愈趨近於 1.0 時，表示此模式愈具解釋力； $R^2 = 0$ 時，代表依變數與自變數沒有線性關係； $R^2 \neq 0$ 時，代表依變數被自變數所解釋的比率。由於 R^2 會受到樣本大小的影響呈現高估的現象，樣本愈小愈容易出現高估，因此大多採用調整後的 R^2 (將誤差變異量和依變數的總變異量除以自由度 (df))，以避免樣本太小而高估整個迴歸模式的解釋力。

二、線性迴歸結果分析

將各小節概念於課程影片中所佔時間比例、授課者口述內容字數比例、系統呈現投影片字數比例分別與八隅體與路易士結構概念問卷答題進步率進行線性迴歸分析，探討各變項與進步率間的線性關係。

（一）課程影片時間與答題進步率的關係

以課程影片時間為自變項，各題進步率為依變項進行迴歸，分析結果課程影片時間與進步率的 Pearson 相關係數為 -0.009 ，其值介於 0.10 以下，屬於非常微弱的負相關；而 R^2 為 0.000 ，調整後的 R^2 為 -0.055 ，表示進步率被課程影片時間解釋的比率極低。

（二）課程內容口述字數與答題進步率的關係

以課程內容口述字數為自變項，各題進步率為依變項進行迴歸，分析結果課程內容口述字數與進步率的 Pearson 相關係數為 -0.016 ，其值介於 0.10 以下，屬於非常微弱的負相關；而 R^2 為 0.000 ，調整後的 R^2 為 -0.055 ，表示進步率被課程內容口述字數解釋的比率極低。

（三）課程內容投影片字數與答題進步率的關係

以課程內容投影片字數為自變項、各題的進步率為依變項進行迴歸，分析結果課程內容投影片字數與進步率的 Pearson 相關係數為 0.099 ，其值介於 0.10 以下，屬於微弱的正相關；而 R^2 為 0.010 ，調整後的 R^2 為 -0.045 ，表示進步率被課程內容投影片字數解釋的比率極低。

線性迴歸分析結果發現，概念問卷中各題進步率與課程影片中所佔時間比例、授課者口述內容字數比例、系統呈現投影片字數比例，其 Pearson 相關係數依次為 -0.009 、 -0.016 與 0.099 ，僅為非常微弱的相關性；調整後的決定係數 R^2 依次為 -0.055 、 -0.055 、 -0.045 ，進步率被自變項解釋的比率很低，表示進步率與三變項間沒有顯著的線性關係。課程影片時間、課程內容口述字數、課程內容投影片字數與進步率迴歸結果 Pearson 相關係數、 R^2 決定係數如表 4-3-3、表 4-3-4 所示。

表 4-3-3 Pearson 相關係數

		進步率	影片時間	口述字數	投影片字數
Pearson 相關	進步率	1.000	-.009	-.016	.099
	影片時間	-.009	1.000	—	—
	口述字數	-.016	—	1.000	—
	投影片字數	.099	—	—	1.000

表 4-3-4 R^2 決定係數

	R	R 平方	調過後的 R 平方	估計的標準誤
影片時間	.009	.000	-.055	28.62098
口述字數	.016	.000	-.055	28.61848
投影片字數	.099	.010	-.045	28.48298

整體而言，由於各概念的重要性與難易程度不一，有些概念本身就較為複雜，授課者在課程裡花較多時間進行講解與說明，但因為涵蓋多種概念，學生不一定能完全理解，因此儘管在課程影片裡所佔的時間比例較高，但與學生的進步情形並沒有達到顯著的正比關係。由此可知，各小節概念於課程影片中所佔時間比例、授課者口述內容字數比例、系統呈現投影片字數比例與問卷答題進步率沒有達到顯著的相關性屬合理的情形。

第四節 學習行為與概念問卷答題表現分析

本節將由研究對象自主多模態影音學習系統介面的使用情形，以研究對象課程概念學習時間、探索式學習與接受式學習學生課程影片觀看時間、探索式學生倒轉情形的答題表現關係，來檢視自主多模態影音學習系統對於學習成效的影響。並以探索式學生快轉情形與答題表現關係探討其行為意義為何。

一、研究對象於自主多模態影音學習系統介面功能使用情形

研究以自主多模態影音學習系統進行八隅體與路易士結構概念課程的學習，並於實驗過程中以電腦螢幕側錄軟體進行側錄，參與實驗的16位研究對象中，由於其中一位前測成績為9分的研究對象在側錄影片在存檔過程中出現錯誤情形，以至於無法進行自主多模態影音學習系統介面操作行為分析，故後續以15位研究對象來進行問卷答題表現與學習行為的分析。

依據自主多模態影音學習系統介面功能的使用情形，研究對象可分為兩大類：(一)探索式學習：主動的使用學習系統介面的功能，自行掌控學習進度、(二)接受式學習：被動的依照課程影片順序播放，未進行其他學習相關行為。表4-4-1為探索式學習研究對象介面操作行為次數統計。

表4-4-1 探索式學習研究對象介面操作行為次數統計

研究對象 操作行為	20530	20629	20911	20915	20926	20811	21008	總計/次
倒轉	1	3	3	13	3	3		26
快轉	1				1	14	2	18
暫停				3		2		5
投影片向前頁				2				2
投影片向後頁				1				1
影片/投影片同步				2				2
影片最大化			5	1			1	7
影片/投影片互換				1				1

分析發現，探索式研究對象於自主多模態影音學習系統介面的操作行為主要以使用影片控制軸區的影片拉霸來進行課程影片的倒轉與快轉，以播放鍵（暫停鍵）來決定播放的速度。介面控制區的投影片頁面向前鍵（投影片倒轉）、投影片頁面向後鍵（投影片快轉）、影片與投影片同步鍵、影片與主要學習內容投影片位置互換的功能僅一位學習者於課程一開始摸索介面或課程結束後的空檔時間做短暫的操控。小節概念點選區的使用情形，主要以拉軸大致瀏覽整體課程所涵蓋的小節概念為何，並未進一步做直接點選小節概念進行學習的動作。

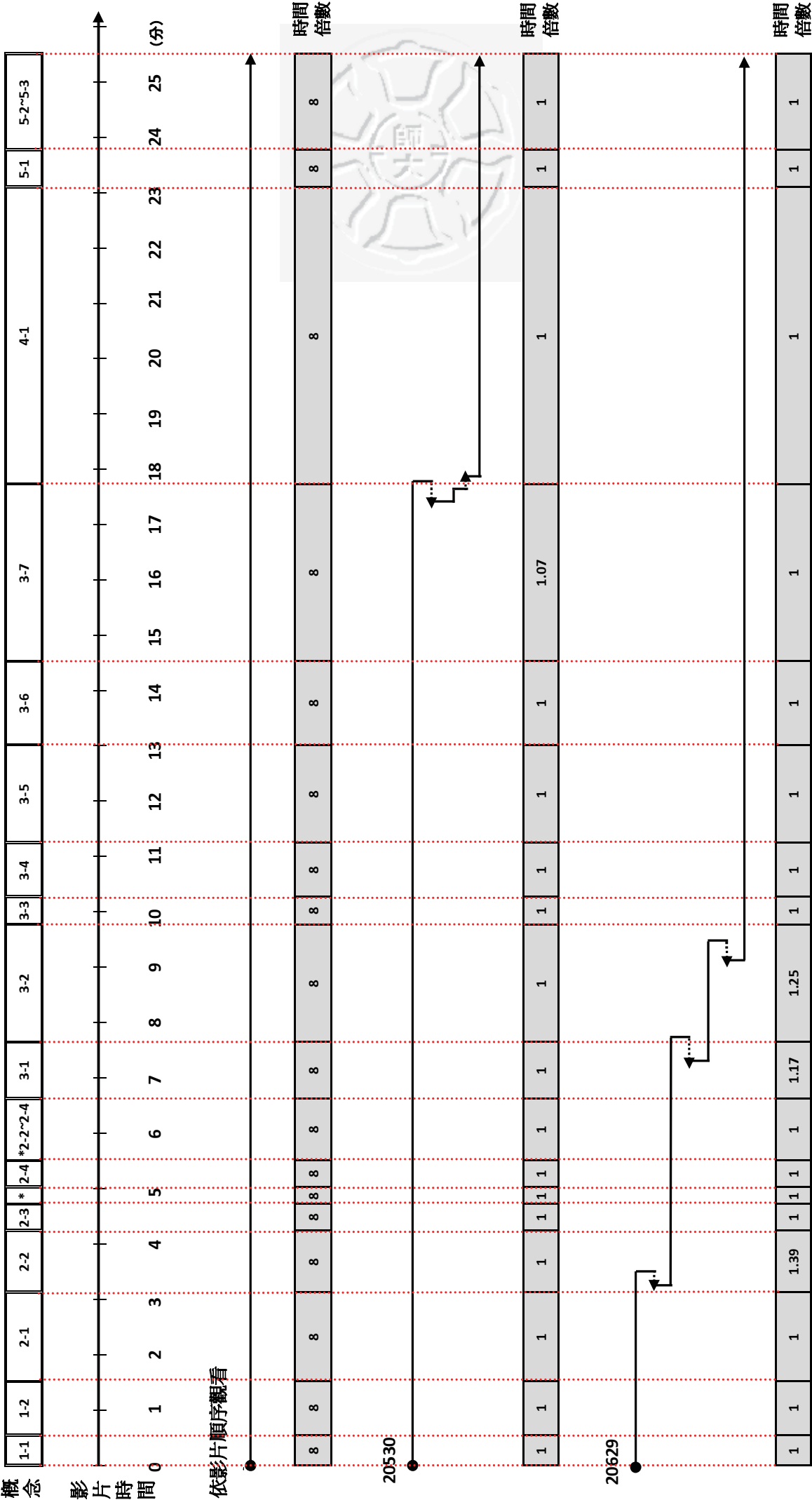
由研究對象於自主多模態影音學習系統介面的操作行為可知，多數介面功能對於學習者而言是沒有發生功用的，使用時仍然以一般影片觀看經常操控的影片控制軸區之倒轉、快轉、暫停的功能為主。故在介面設計的同時，可以將學習者實際操作時的使用情形納入考慮，以學習者的需求為主要導向，做為介面修正上的參考依據。

二、由研究對象概念學習時間與答題表現關係檢視自主多模態影音學習系統

由於參與自主多模態影音學習系統使用情形研究的16位研究對象皆為自願參加，假定為理性的學習者，想要進一步做化學概念的加強與學習，推論研究對象於自主多模態影音學習系統課程影片倒轉與快轉的學習行為，其行為意義是在進行自主性學習搜尋的動作，而倒轉的情形為觀看課程影片過程中學習遇到障礙，因此在不懂的段落做迴轉的動作，進行自發性的主動學習。

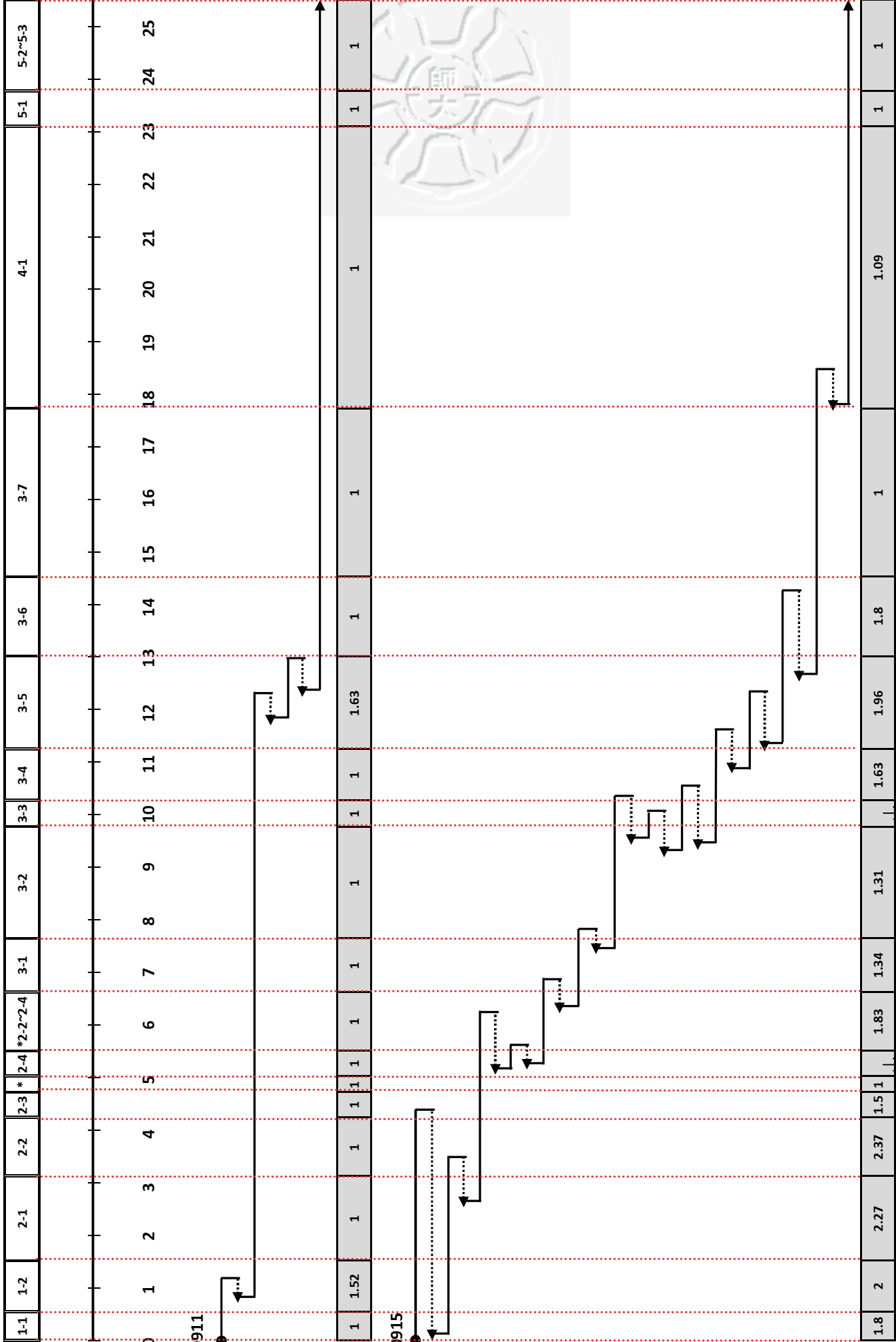
研究對象在觀看課程影片的過程中，依據本身的學習情形進行倒轉與快轉的動作，分析其倒轉與快轉路徑與課程影片概念時間軸對應情形，以原始概念課程影片區間時間定為1，依重覆觀看時間計算比例，如圖4-4-1所示。圖中最上方為概念欄，各概念依所屬影片時間區間對應下方以影片時間為單位的數線，以縱向虛線做概念時間區間的分隔，往下各數線為研究對象觀看課程影片的路徑，箭頭為課程影片播放的方向，數線由左至右以橫向實線為實際觀看的部分，虛線為進行倒轉或快轉的範圍區間，箭號向左為倒轉、向右為快轉，而縱向實線則為進行倒轉或快轉動作的起始點與終止點。圖中數線依序為接受式研究對象（8人）與探索式研究對象個別的觀看路徑，在每條數線下方依各概念做觀看次數的統計，概念影片區間完整觀看一次定為1，如有倒轉或快轉的情形則依重覆觀看的時間計算比例，圖中最下方為統計研究對象於各概念課程影片區間總觀看時間的比例情形，因此，如該概念區間並無人進行倒轉或快轉的行為，則總觀看時間為15。

圖 4-4-1 研究對象倒轉與快轉路徑與課程影片概念時間軸對應情形



備註：「*」課程影片區間亦為概念2-2~2-4部分。

概念



影片時間

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 (分)

20911

20915

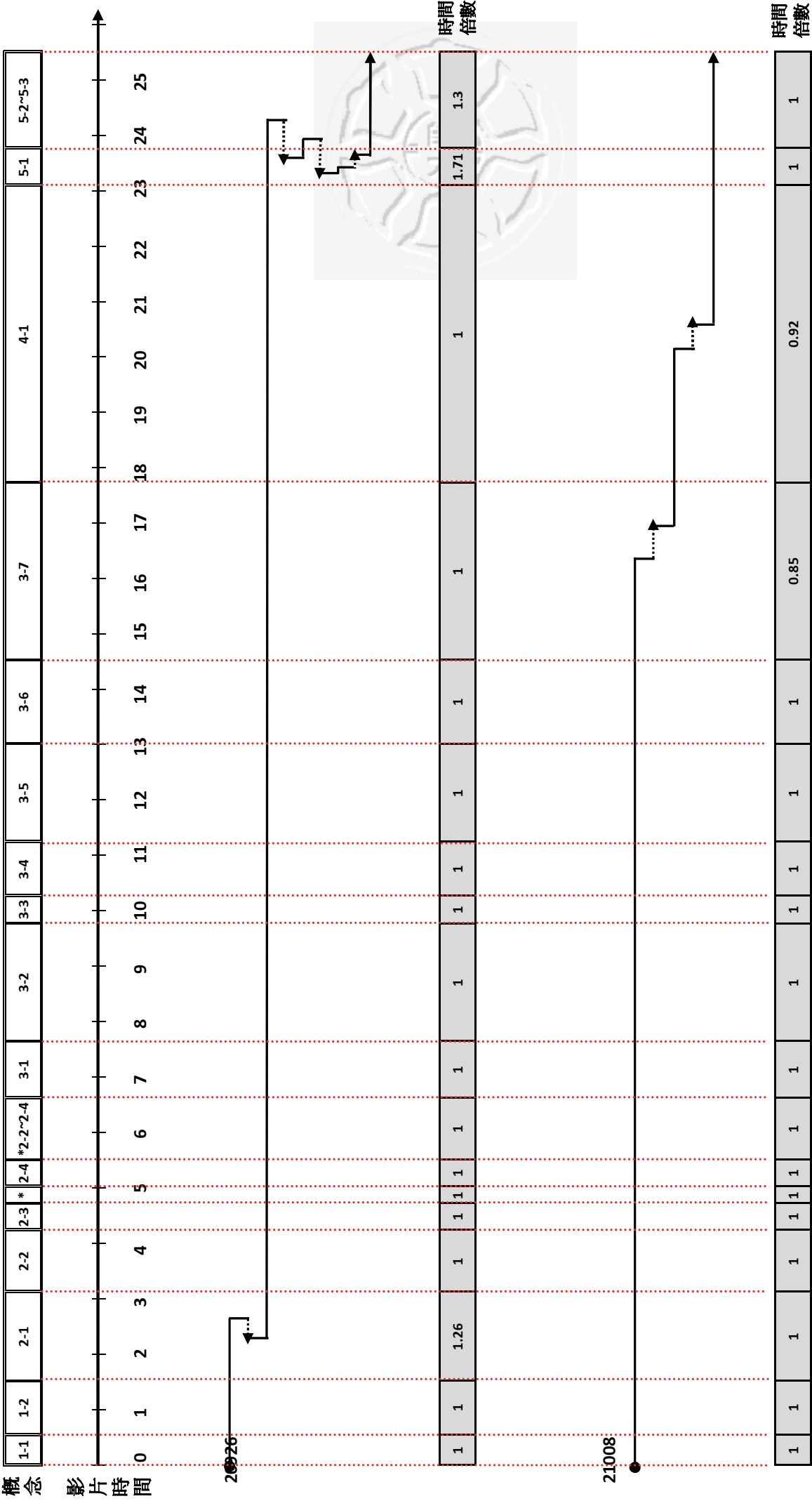
1.8 2 2.27 2.37 1.5 1 1.83 1.34 1.31 1.63 1.96 1.8 1 1.09 1 1

2.35

3.94

時間
倍數

時間
倍數



概念

影片時間

20926

21008

時間
倍數

時間
倍數

根據研究對象於各概念課程影片區間總觀看時間的比例情形與所對應題目進行分析討論，依課程影片順序觀看的總觀看時間為15，而總觀看時間比例高於16以上概念有：概念1-2、概念2-1、概念2-2、概念2-4、概念3-3、概念3-5與概念3-6，相較於其他概念而言，推測可能為學生在使用自主多模態影音學習系統時較有問題的部分，以致花較多時間在概念的學習上。研究對象於各概念課程影片區間總觀看時間比例與問卷對應題目的前、後測答對率如表4-4-2所示。

表 4-4-2 各概念課程影片區間總觀看時間比例與問卷答題情形

概念	課程影片區間	總觀看時間比例	問卷對應題目	前測答對率	後測答對率
1-1	00:00~00:30	15.80	A01	75%	100%
1-2	00:31~01:30	16.52	A08	81%	100%
2-1	01:31~03:03	16.21	A06	88%	94%
2-2	03:04~04:10	16.33	A14	31%	81%
2-3	04:11~04:38	15.50	A09	88%	88%
2-2~2-4	04:39~04:59	15.00	—	—	—
2-4	05:00~05:25	16.35	A03	56%	63%
2-2~2-4	05:26~06:35	15.83	—	—	—
3-1	06:36~07:40	15.65	A07	75%	75%
3-2	07:41~09:47	15.30	A15	63%	75%
3-3	09:48~10:05	17.22	A20	0%	25%
3-4	10:06~11:07	15.47	A02	69%	88%
3-5	11:08~13:00	16.85	A13	37%	56%
3-6	13:01~14:28	16.63	A04	31%	31%
3-7	14:29~17:47	15.01	A10	75%	94%
			A17	0%	19%
			A18	31%	69%
4-1	17:48~23:02	14.62	A12	44%	50%
			A16	6%	50%
5-1	23:03~23:43	15.39	A19	50%	69%
5-2	23:44~25:30	14.93	A11	37%	56%
5-3			A05	81%	88%
平均值	—	—	—	50.95%	68.45%

由總觀看時間比例較高的概念對應研究對象前測答題情形來看，前測平均答

對率為50.95%，其中概念2-2、概念3-3、概念3-5與概念3-6前測答對率皆低於50%，顯示學生願意花費較多的時間在原先不會的概念上進行學習，然而這些概念在經由較多時間學習後，其後測的答題表現是否得到相對的成效呢？

概念 2-2、概念 3-3、概念 3-5 與概念 3-6 後測答對率依序為 81%、25%、56% 與 31%，僅概念 2-2 答對率 81%高於平均值 68.45%，其餘概念的答對率均低於平均值，究竟為何研究對象自發性的主動學習仍然無法幫助答題？以下進一步以自主多模態影音學習系統中概念 3-3、概念 3-5 與概念 3-6 課程內容與概念問卷答題情形來探討學習系統無法有效幫助學習者學習的可能原因。

概念 3-3【路易士結構的畫法：含氧酸中，H 原子通常接在 O 原子上。】對應的題目 A20 為非選題，進步率為 25%、退步率為 0%，答題情形為 4 人進步、0 人退步；前測答對人數 0 人，後測答對人數 4 人，答對率為 25%。題目為畫出 HNO_3 分子的路易士結構。所牽涉概念為含氧酸中 H 原子與 O 原子在結構中的排列位置，並要考慮雙鍵的情形，屬於較為困難的題型，前測並無人答對，對照自主多模態影音學習系統課程影片內容，授課老師在概念講解上僅以口述說明 H 與 O 在含氧酸結構中的連接情形，並未實際畫出含氧酸的路易士結構例子，學習者可能無法將此原則與路易士結構做實際連結，以致於整體的答題情形並不理想，僅 4 人進步。自主多模態影音學習系統在此課程概念上所講解內容與時間並不多，由研究對象前、後測答題情形得知，在含氧酸中 H 原子與 O 原子的連接位置的概念上學習較為困難，因此課程內容應該增加概念說明，就含氧酸的實例做補充，以幫助學習者更熟悉 H 原子與 O 原子在路易士結構中正確的排列位置。

在此概念進行自主性倒轉與快轉學習行為的學生，其觀看影片時間比例分別為 20915 的 3.94 與 20811 的 0.28，兩位問卷答題表現皆為進步的情形，占後測答對人數 4 人中的 50%。20915 前測答題錯誤情形為在畫 HNO_3 路易士結構時，以 H 接在 N 上形成 N—H 鍵結，對應重覆聽講的課程內容所強調的「比方說硝酸啦，請注意，含氧酸一定是 H 接 O」，有助於畫出 HNO_3 路易士結構中 H 的正確連接位置 O—H，20915 在這個概念所屬的影片區間倒轉的次數高達三次，重覆加強含氧酸中 O—H 連接位置的印象，顯見對於此概念欲求理解不斷重覆加強的情

形，而在後測答題時確實能畫出正確 HNO_3 中 $\text{O}-\text{H}$ 鍵結的位置。

概念 3-5 【路易士結構的畫法：先將電子分配給外圍原子，剩下的再分配給中心原子，末端原子通常遵守八隅體。】對應的題目為 A13，進步率為 60%、退步率為 50%，答題情形為 6 位進步、3 位退步；前測答對人數 6 人，後測答對人數 9 人，答對率為 56%。題目為中心原子之孤對電子判斷，利用路易士結構畫法中電子分配優先順序的原則，將各選項化合物的路易士結構畫出，再判斷中心原子是否具有孤對電子，對照自主多模態影音學習系統課程影片內容，授課老師在概念講解上以口述說明路易士結構畫法中電子分配順序由外而內的原則，與兩個原子間共用電子形成 π 鍵，並未進一步就原則舉例做說明。由於選項中化合物須利用概念 3-1 以電負度小的原子為中心原子、概念 3-4 總價電子數的計算之基本原則將路易士結構畫出，才能正確回答是否含有孤對電子，需自行整合相關概念來答題，對於學生而言相對困難，後測仍有 7 人作答錯誤。檢視自主多模態影音學習系統對於涵蓋多種概念的情形舉例說明略為不足，在課程概念內容應增加涵蓋數種路易士結構畫法原則的結構、具有價數的路易士結構的舉例說明，以幫助學習者整合相關概念應用於各種結構的畫法中。

在此概念進行自主性倒轉學習行為的三位學生，觀看影片時間倍數分別為 20911 的 1.63、20915 的 1.96 與 20811 的 1.26，問卷答題表現 20911 與 20811 皆為進步的情形、20915 為前、後測皆答題正確，進步情形占進步 6 人中的 33%，答對率占後測答對人數 9 人中的 33%。由此也可發現，對於依影片播放順序觀看一次聽不太懂的學生而言，學習者藉由自主性的倒轉重覆觀看欲理解的概念內容有助於學習。

概念 3-6 【路易士結構的畫法：在 C、N、O 等二週期元素中較可能形成雙鍵或參鍵的鍵結情形。】對應的題目為 A04，進步率為 27%、退步率為 60%，答題情形為 3 人進步、3 人退步；前、後測答對人數皆為 5 人，答對率為 31%。題目為判斷較不易發生的分子鍵結情形，對照自主多模態影音學習系統課程影片內容，授課老師在概念講解上先以 $\text{N}\equiv\text{N}$ 為例，對雙鍵與參鍵進行說明，再介紹 π 鍵形成的原因為原子靠的夠近才得以形成，而 C、N、O 皆為二週期元素，故

半徑較小較易形成 π 鍵。由答題情形可知學生經由自主多模態影音學習系統學習後，後測的答題表現非但沒有達到顯著的進步，原先答對的學生其退步情形更高達60%，對照課程影片中所提及的概念，推論可能因為語意上的表達不清，以致於產生語意上的理解問題：其一，C、N、O等元素如果形成多鍵，究竟為雙鍵還是參鍵，或者特定的元素會偏向於形成雙鍵或參鍵其中之一。其二，元素在形成多鍵時，所指的雙鍵或參鍵結構的情形，應為兩個相同的元素鍵結而成的分子，或是不同元素所構成的分子來形成。這些概念詮釋上的差異，皆是影響A04答題情形的因素，因此在課程影片中針對會引起學生混淆的論述方式是需要授課者加以解釋說明的，避免學生可能就個人的認知來判斷其中的關係。

在此概念進行自主性倒轉學習行為的兩位學生，觀看影片時間倍數分別為20915的1.8與20811的1.83，問卷答題表現20915為前、後測皆答題錯誤、20811為進步的情形，進步情形占進步3人中的33%。20811前測答題選(A) $C=C$ ，而選項中的 $C=C$ 、 $O=O$ 、 $N\equiv N$ 皆為課程影片中所提及的元素，對應重覆聽講的課程內容中不斷強調的「C、N、O為二週期，較易形成 π 鍵」，更進一步加深研究對象於後測選出正確(B) $P\equiv P$ 的依據。

由研究對象學習行為分析發現，學習者在欲求理解的概念區間進行重覆觀看後仍然無法解決問題，檢視自主多模態影音學習系統在課程概念內容所做說明與舉例可能略顯不足，或其論述方式使學習者產生混淆的情形，以致於無法幫助學習者有效學習。根據研究指出化學表徵學習困難的觀點，由符號和分子內部組成較為抽象的表徵，學生無法以感官上的直覺來理解(Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1988; Wu, Krajcik & Soloway, 2001)。由於畫出合理的路易士結構尚需考慮含氧酸中H原子與O原子的連接位置、電子分配順序由外而內的原則、電負度小的原子通常為中心、雙鍵與參鍵的鍵結情形，其表徵的方式將由符號表徵的分子式轉換為微觀表徵的結構，為使表徵意義被學生理解，自主多模態影音學習系統在概念呈現上，應該加強建構抽象分子符號和分子內部微觀變化兩者間的連結關係，運用電腦多媒體具備的優勢，以三度空間的立體結構、電腦模擬或動畫的形式來輔助教學，幫助學習者建構微觀的分子結構模型，並增加涵蓋數種路易士結構畫

法原則的結構做舉例說明，以整合相關概念於各種結構的畫法中。此外，可建立分子結構的資料庫，資料庫中分子結構可以囊括分子式、結構式、電子點式與分子模型的方式做完整的呈現，且可與課程內容所提及的分子結構相似的其他分子做連結，在課程進行時投影片區所出現的化合物皆可採取超連結的方式與資料庫做連接，幫助學生加強課程內容之外其他分子的結構與表示方式。

三、探索式學習與接受式學習學生課程影片觀看時間與答題表現關係

由於探索式學習學生於介面上的操作學習行為多數以倒轉與快轉為主，進行課程概念的重覆觀看，故以研究對象課程影片觀看時間與答題情形來探討自主多模態影音學習系統對於學習上的成效影響。依據觀看影片時間長度，探索式學習學生可分為大於影片長度與小於影片長度兩組，八隅體與路易士結構概念課程影片時間總長度為25分30秒，探索式學習觀看影片時間 $>100\%$ 的學生，平均觀看時間為119.63%，進步率為56%，退步率為25%；而觀看影片時間 $<100\%$ 的學生，平均觀看時間為90.75%，平均進步率同為56%，退步率為14%；接受式學習的學生平均觀看時間為100.59%，進步率為49%，退步率為16%。三組學生於進步率與退步率上的差異並不明顯。研究對象觀看影片時間比例、進步率與退步率、前、後測答對題數情形如表4-4-3、4-4-4、4-4-5所示。

表 4-4-3 探索式學習之研究對象答題情形（課程影片觀看時間 $>100\%$ ）

學生	觀看時間%	進步率	退步率	前測 答對題數	後測 答對題數	答題情形
20530	101.83%	56%	18%	11 題	14 題	進步 5 題 退步 2 題
20629	104.90%	62.5%	8%	12 題	16 題	進步 5 題 退步 1 題
20911	113.14%	60%	40%	10 題	12 題	進步 6 題 退步 4 題
20915	168.76%	56%	9%	11 題	15 題	進步 5 題 退步 1 題
20926	109.54%	44%	50%	2 題	9 題	進步 8 題 退步 1 題
平均	119.63%	56%	25%	9.2 題	13.2 題	進步 5.8 題 退步 1.8 題

表 4-4-4 探索式學習之研究對象答題情形（課程影片觀看時間＜100%）

學生	觀看時間%	進步率	退步率	前測 答對題數	後測 答對題數	答題情形
20811	84.31%	56%	18%	11 題	14 題	進步 5 題 退步 2 題
21008	97.19%	56%	9%	11 題	15 題	進步 5 題 退步 1 題
平均	90.75%	56%	14%	11 題	14.5 題	進步 5 題 退步 1.5 題

表 4-4-5 接受式學習之研究對象答題情形

學生	觀看時間%	進步率	退步率	前測 答對題數	後測 答對題數	答題情形
20528	100%	56%	0%	11 題	16 題	進步 5 題 退步 0 題
20618	100%	45%	11%	9 題	13 題	進步 5 題 退步 1 題
20903	102.94%	25%	37.5%	8 題	8 題	進步 3 題 退步 3 題
20925	100.72%	37.5%	16%	12 題	13 題	進步 3 題 退步 2 題
21006	100.13%	56%	18%	11 題	14 題	進步 5 題 退步 2 題
21015	101.31%	62.5%	8%	12 題	16 題	進步 5 題 退步 1 題
21031	99.54%	44%	18%	11 題	13 題	進步 4 題 退步 2 題
21027	100.06%	62.5%	16%	12 題	15 題	進步 5 題 退步 2 題
平均	100.59%	49%	16%	10.75 題	13.5 題	進步 4.4 題 退步 1.6 題

由前、後測答對題數來看，前測答對題數以影片觀看時間＞100%之探索式學生平均9.2題最低、接受式學習學生10.75題居中、影片觀看時間＜100%之探索式學生11題最高，經由自主多模態影音系統學習各組學生後測答對題數皆有所增加，影片觀看時間＞100%之探索式學生其後測答對題數增加4題、影片觀看時間＜100%之探索式學生其後測答對題數增加3.5題、接受式學習學生後測答對題數增加2.75題，發現前測表現較不理想的學生藉由課程影片的重覆觀看來幫助學習後，在後測表現上確實產生最大的進步情形；而前測平均表現較好的探索式學生，

雖然其影片觀看時間 $<100\%$ ，但後測答題表現上仍然高於接受式學習學生。

在進、退步答題情形上，影片觀看時間 $>100\%$ 之探索式學生平均進步5.8題、退步1.8題；影片觀看時間 $<100\%$ 之探索式學生平均進步5題、退步1.5題；接受式學習學生平均進步4.4題、退步1.6題，主動使用學習系統介面功能，自行掌控學習進度的探索式學習學生，其進步情形相較於接受式學習學生而言是較高的。

整體而言，自主多模態影音學習系統對於研究對象的答題表現皆有相當的進步情形，其中依課程影片播放順序觀看的接受式學習學生經由一次學習，即有平均2.75題的進步，顯見自主多模態影音學習系統對於多數正常觀看的學習者而言，具有一定的學習效果；而自主多模態影音學習系統對於主動使用學習系統介面功能，自行掌控學習進度的探索式學習學生來說更有4題與3.5題的進步情形，由此推論，瞭解並依個人需求運用自主多模態影音學習系統進行學習，對於本身想要做進一步概念的加強與學習的探索式學生來講，自主多模態影音學習系統經由學習者自主性的學習方式，更能提升學習系統對於學習者學習的成效。

四、由探索式學生倒轉情形與答題表現關係檢視自主多模態影音學習系統

研究對象於重覆觀看課程影片區間概念對應題目答題表現，來檢視自主多模態影音學習系統課程內容，分析結果研究對象其答題表現多為進步的情形，對於想要理解的概念內容，藉由重覆觀看的自主性學習來加強概念內容的學習，而由部分研究對象在課程影片特定區間倒轉兩次以上的行為，推論學習者本身可能明確的知道不懂的地方為那一部分，具備自我監控的能力，因此在特定的區間內進行重覆搜尋的動作，在學習的過程中倒轉第一次仍然不懂，再進行第二次甚至第三次的倒轉。研究對象於重覆觀看三次以上區間所對應到的概念，後測表現多數為原先已答對的題目或進步的情形，但還是有少部分為前測答題錯誤，經過三次重覆觀看，後測仍然答錯的情形發生，以下進一步分析重覆觀看多次後仍無法幫助答題的原因：

20915在A14的答題表現上為前、後測皆答錯的情形，所對應的概念為【2-2 以IA、IIA、IIIA族為中心原子之化合物，中心原子周圍的電子數比八個少。】，所提及1A2A3A族的化合物為離子鍵結的情形，對照題目可判斷僅(C) CH_4 為非1A2A3A族的化合物。此概念區間重覆觀看的學生包括20915共有三位，其中一位前、後測皆作答正確，一位為進步的情形，而其他未進行重覆觀看的12人中有8位進步、3位前、後測皆作答正確、1位前、後測皆作答錯誤，整體的進步率為82%，答對率為81%，可知多數人在自主多模態影音學習系統學習概念2-2的學習上是進步的情形。

20811在A17的答題表現上為前、後測皆答錯的情形，所對應的概念為【3-7 路易士結構的畫法：綜合概念—例子】，由自主多模態影音學習系統於概念3-7課程內容來看，課程影片中以甲醛為例，依路易士結構畫法之基本原則畫出 HCOH 合理的結構。何以學習者重覆觀看多次，在學習的過程中倒轉第一次不懂，再進行第二次甚至第三次的倒轉，後測仍然答錯，推論概念3-7課程內容似乎無法幫助答題，對照A17為路易士結構畫法的進階題目，屬於較困難的題型，各選項中的化合物以3-1~3-6路易士結構的畫法之基本原則，逐步畫出合理的路易士結構，

需整合相關概念來進行答題。前測答對人數0人，後測答對人數3人，顯示自主多模態影音學習系統於此概念課程並無法幫助多數人學習，對照A17各選項分子，路易士結構的畫法尚需考慮含氧酸中H原子與O原子的連接位置、電負度小的原子通常為中心、雙鍵與參鍵的情形，僅有少數人可自行整合概念3-1~3-6應用至各選項的結構中。

由於畫出合理的路易士結構尚需考慮含氧酸中H原子與O原子的連接位置、電負度小的原子通常為中心、雙鍵與參鍵的情形，其表徵的方式將由符號表徵的分子式轉換為微觀表徵的結構，為使表徵意義被學生理解，自主多模態影音學習系統在概念 3-7 路易士結構畫法的綜合概念上，應該由各項畫法原則舉實例做說明，進而以涵蓋多種原則的結構做練習，並加強建構抽象分子符號和分子內部微觀變化兩者間的連結關係來幫助學習者學習。

五、由探索式學生快轉情形與答題表現關係探討其行為意義

研究對象觀看課程影片過程中進行快轉行為的學生有三位，其快轉行為的意義為何？是否為具備後設認知對於自我認知歷程的主動監控和調整，清楚知道那些概念為原本已經瞭解的概念，透過控制自我的思想模式，因而進行快轉的動作呢？以下進一步就研究對象快轉行為與答題情形做相對應分析：

20530 學生觀看課程影片時間長度為 25 分 58 秒，佔總時間長度的 101.83%，由課程影片 17:54 倒轉至 17:25，繼續觀看至 17:38 再快轉至 17:55，顯示學習者本身所要重覆聽講的區間為 17:25~17:38，快轉的情形為略過已觀看一次的課程內容。

20811 學生觀看課程影片時間長度為 21 分 30 秒，佔總時間長度的 84.31%，快轉的次數更高達 14 次，快轉情形所對應的課程影片概念區間有 4 題為原先已答對的題目、4 題為答錯的題目，進步的題目有 4 題為 A04、A14、A18、A20；退步的 2 題為 A15 與 A19。正常觀看無快轉行為所對應的答題情形有 5 題為前、後測皆答題正確、進步的題目有 1 題為 A13，其中 A13 於所對應的概念 3-5 區間有進行倒轉的情形。依據答題表現分析，由於快轉的行為將部分課程內容略過未學習，因此快轉區間所對應到的題目中 8 題與前測作答情形相同，學習者原先會的題目還是會；原先錯的題目還是錯，而進步的 4 題為 A04、A14、A18 與 A20，其中 A04 與 A18 皆為先倒轉觀看後再進行快轉的情形，A04 對應的影片區間由 17:48 倒轉至 12:31，觀看至 13:17 再快轉至 13:32，可以發現學習者在進行搜尋的動作，明確知道那個段落的課程內容是想要再重覆觀看的，其快轉片段僅為倒轉區間中的一小部分，並非完全沒有聽講而跳過的情形；A18 由 17:48 倒轉至 12:31，在 16:05—17:10 區間內進行快轉，於 17:51 又倒轉至 17:43，故在此概念區間內重覆觀看三次，而其快轉區間實為第一次已聽過的概念內容，因此 A04 與 A18 皆為答題進步的情形。

21008 學生觀看課程影片時間長度為 24 分 47 秒，佔總時間長度的 97.19%，快轉的次數為 2 次，所對應的課程影片概念區間有 1 題前、後測皆答題正確、3

題前、後測皆答題錯誤、1 題進步，由其答題表現來看，快轉略過的課程區間答題情形多與前測相同。

由研究對象觀看課程影片過程快轉情形對應答題表現分析發現，部分情形為學習者倒轉時間點迴轉過頭，因而進行快轉，其他情形似乎只是在各段落區間隨意進行快轉行為，由 21008 快轉略過的課程區間所對應到的 5 題中即有 3 題為前、後測皆答題錯誤；20811 快轉頻繁對應答題表現，在略過的課程影片概念區間有 8 題持平，4 題進步、2 題退步的情形來看，學習者並不具備後設認知的能力，無法對於自我認知歷程進行主動監控和調整，並非清楚知道那些概念為原本已經瞭解的概念而進行快轉的行為。

第五節 學習情意問卷分析

學習情意問卷主要用來瞭解學習者對於自主多模態影音學習系統使用上的建議與需求，問卷題目總共四題，包括一題複選式簡答題與三題開放式簡答題。針對學習者本身的情意面向所設計，欲瞭解研究對象在使用自主多模態影音學習系統時對其本身的助益情形，以下進一步就情意問卷作答情形做分析與討論。

根據「自主多模態影音學習系統與一般傳統課室教學比較，對你本身而言最大的差異性為何？」回答情形，將結果分為三種層面（1）自主多模態影音學習系統的使用上：7人（43.75%），自主多模態影音學習系統可進行倒轉、快轉與暫停的功能，對於沒有聽清楚的課程內容可重覆聽講；做筆記的同時可先將影片做暫停，不會因此沒有聽到課程內容。（2）人際層面互動上：6人（37.5%），使用自主多模態影音學習系統時不會被其他同學干擾，較能專心；但與老師沒有互動，無法隨時進行發問。（3）硬體呈現上：3人（18.75%），自主多模態影音學習系統數位化的上課方式具有新鮮感；與一般教室黑板的使用不同；使用電腦觀看易感到疲累。

以「自主多模態影音學習系統中，對你在學習上最有幫助的是那一個部分？並進一步說明簡單的理由。」瞭解使用自主多模態影音學習系統時對於學習者的助益情形，依據回答情形將結果分為三種層面（1）自主多模態影音學習系統介面使用上：11人（68.75%），自主多模態影音學習系統可進行倒轉，對於沒有聽清楚的課程內容可重覆聽講；做筆記時可先將影片做暫停。（2）自主多模態影音學習系統課程內容上：2人（12.5%），投影片與表格的整理可以更了解上課內容（3）硬體呈現上：3人（18.75%），使用自主多模態影音學習系統學習較為新奇，引起興趣。

由研究對象情意問卷的回答情形可以得知，自主多模態影音學習系統對於學習上最大的幫助為其介面使用上影片播放的操作，包括倒轉、快轉、暫停等功能，使學習者可以依本身的學習進度做調整，相較於一般傳統課程室教學，自主多模態影音學習系統在操作上的便利性與個人學習進度的掌控性上，對於學習者而言

是有所幫助的。而自主多模態影音學習系統在課程內容上，主要學習內容投影片、重點概要補充投影片與表格方式的呈現，將課程概念做文字化整理亦能幫助學習。在人際層面互動上，多數問題為使用自主多模態影音學習系統缺乏與授課者實際互動，遇到問題時無法立即進行發問，但好處是不會受到其他同學或外在環境干擾，較能專心學習。在硬體呈現上，以電腦多媒體進行學習的方式相較於傳統上課方式具有新鮮感，較感到興趣，在結合視覺與聽覺的多媒體教學讓學習者注意力更為集中，但長時間以電腦來觀看對於視覺上可能造成負擔。

複選式簡答題為「自主多模態影音學習系統中，你覺的需要改進的部分為何（可複選）？並進一步說明簡單的理由。」簡單的列出幾個在學習系統介面的使用上會遇到的問題，包括①整體介面的版面配置位置②整體介面的版面配置大小③投影片的字型大小④影片應加上字幕⑤可控制將不需要的介面隱藏⑥影片中授課講話速度的調整，為了避免其他需要改進卻沒列出的疏漏，故增加⑦其他的選項，學生可自行填入除了①～⑥外系統需要改進的地方，藉此瞭解學生對於學習系統使用上的需求。統計結果顯示，研究對象認為自主多模態影音學習系統需要改進的部分與所給的意見如下表4-5-1所示：

表4-5-1 自主多模態影音學習系統需改進部分與意見情形

需改進部分	人數比例	意見
①整體介面的版面配置位置	2人（9.09%）	20618：影片習慣置右邊 21031：版面有點擠
②整體介面的版面配置大小	2人（9.09%）	21006：影片區塊應大一點、投影片區塊應小一點 21031：版面有點擠
③投影片的字型大小	0人	
④影片應加上字幕	7人（31.82%）	20530：更清楚授課者所講的話 21027：講話速度有時太快就過了
⑤可控制將不需要的介面隱藏	5人（22.73%）	21015：小節概念點選區可隱藏
⑥影片中授課講話速度的調整	2人（9.09%）	
⑦其他	4人（18.18%）	20627：可增加圖片 20911：授課者字應好看些 20915：投影片與影片內容應更一致 21008：全螢幕時影片畫質應加強

由研究對象回答情形可知，多數人認為自主多模態影音學習系統需要改進的部分為「影片應加上字幕」(31.82%)，對於聽不清楚的內容或講話速度太快的片段，可藉由字幕的呈現來幫助理解；「可控制將不需要的介面隱藏」(22.73%)，由研究對象介面的操作行為發現，絕大部分自主多模態影音學習系統介面功能未被使用，學習系統介面各區塊的完整呈現對於學習者而言可能太過複雜，可控制學習時將不需要的介面區塊隱藏，保留對自己有所幫助的來進行學習，綜合以上建議可做為往後自主多模態影音學習系統做修正與改進的參考依據。

最後以「對於自主多模態影音學習系統，你是否還有其他的建議或需求？」，做為自主多模態影音學習系統往後改進的參考依據。問卷意見顯示，多數人沒有提出其他的建議或需求，部分提出在課程內容中可以加入題目做說明；在學習系統版面配置上區塊過多，內容會被分散，對於課程內容與版面位置呈現上可做為改進自主多模態影音學習系統的參考。



第五章 結論與建議

本研究以研究對象使用自主多模態影音學習系統進行高中化學課程八隅體與路易士結構概念的科學學習，並觀察研究對象使用學習系統介面時的學習行為，探討自主多模態影音學習系統課程與學習介面的使用情形對於化學概念學習的成效影響。本章將總結研究的結果，提出對自主多模態影音學習系統化學課程八隅體與路易士結構概念在課程內容上的建議，並就學習者使用自主多模態影音學習系統介面的行為做為未來系統介面改進的方向與依據。

第一節 結論

一、自主多模態影音學習系統的整體效應

利用研究對象於八隅體與路易士結構概念問卷的答題情形，來探討自主多模態影音學習系統的整體效應，研究結果顯示，問卷前測平均答對題數為 10.19 題，答對率為 50.95%，經由自主多模態影音學習系統化學課程八隅體與路易士結構概念的學習，後測平均答對題數為 13.69 題，答對率為 68.45%。概念問卷前、後測成對樣本 t 考驗， t 值為 7.519， p 值為 .000 達顯著差異 ($p < .05$)；概念問卷效果量 Cohen's d 值為 1.437 具有極大的實際顯著性，表示研究對象經由使用自主多模態影音學習系統進行學習後，對於八隅體與路易士結構概念整體理解情形是有所提升的。

自主多模態影音學習系統在八隅體與路易士結構課程中共分為五小節，其中八隅體介紹、八隅體規則、路易士結構的畫法概念達顯著差異 ($p < .05$)，而路易士結構的共振、鍵數、鍵長與鍵能未達顯著差異，顯示研究對象在使用自主多模態影音學習系統學習八隅體介紹、八隅體規則、路易士結構的畫法概念的學習成效是有所提升的。課程內容所涵蓋的 17 個子概念，前、後測成對 t 考驗達顯著差異為概念 1-1、概念 2-2、概念 3-3、概念 3-7、概念 4-1，顯示這些概念經由自主多模態影音學習系統學習後，在後測答題表現上確實有顯著的進步，其餘概

念皆未達顯著，因此，進一步以概念問卷進步率與退步率的面向來檢視自主多模態影音學習系統對於學生的助益情形為何。

二、自主多模態影音學習系統課程內容的優、缺點

利用問卷進步率與退步率情形來分析自主多模態影音學習系統課程內容的優、缺點，依據概念問卷前、後測答題情形，以進步率 50%與退步率 25%做為分類的基準點，將題目分為四大類，研究結果顯示：

(一) 進步率高、退步率低：

對於自主多模態影音學習系統而言，理想狀態下為概念問卷中所有題目皆分布於此區塊，分析結果有 11 題（55%）的題目經由自主多模態影音學習系統進行學習後，在學習效果上產生明顯提升，於後測的答題表現達到相當的進步情形，顯見課程內容中多數概念能夠有效的幫助學習者學習。

(二) 進步率低、退步率低：

由進步率與退步率皆偏低的情形來看，學生大多依據原本對概念的認知作答，自主多模態影音學習系統對於此類題目的學習效果並沒有產生顯著的影響，分析結果有 5 題（25%），檢視自主多模態影音學習系統課程中，對於不同雙原子分子鍵能的比較、共振結構的畫法在課程內容僅著重於基本電子對共用的共振概念定義的說明、授課老師以口述說明 H 與 O 在含氧酸結構中的連接情形，未實際畫出含氧酸的路易士結構例子皆為課程內容中需要加強的部份。

(三) 進步率低、退步率高：

為自主多模態影音學習系統中最有問題的部分，分析結果有 1 題（5%），學生經由學習系統學習後，後測的答題表現非但沒有達到顯著的進步，原先答對學生其退步情形更高達 60%，檢視自主多模態影音學習系統課程概念內容，授課者概念上語意的表達不清，以致與學生在概念詮釋上有所差異，造成語意上的理解問題。

(四) 進步率高、退步率高：

自主多模態影音學習系統於此類題目具有相當的進步與退步情形，分析結果有 3 題（15%），檢視自主多模態影音學習系統課程內容，對於涉及較複雜的概念所做說明不完整，以已知的定論做判斷，可能會造成學生在概念上無法完全理解，對於涵蓋多種概念的情形舉例說明略為不足，無法幫助學生有效的整合相關概念。

由於分子的路易士結構屬於微觀的表徵層面，其所涉及符號與微觀表徵間的轉換是困難的，因此，自主多模態影音學習系統在以抽象化學符號轉換為分子結構的路易士結構畫法之概念呈現上，應多加利用電腦多媒體所具備的優勢，以三度空間的立體結構、電腦模擬或動畫的形式來輔助教學，透過多重表徵的方式來幫助學生連結抽象分子符號和分子內部微觀結構兩表徵間的關係，更能增進學生對於微觀分子結構的認知理解情形。

三、自主多模態影音學習系統課程影片時間及字數與答題進步率的關係

研究以線性迴歸來分析自主多模態影音學習系統概念課程影片時間及字數與答題進步率的關係，分析結果得知，概念問卷各題進步率與課程影片中所佔時間比例、授課者口述內容字數比例、系統呈現投影片字數比例，其 Pearson 相關係數依次為 -0.009 、 -0.016 與 0.099 ，僅為非常微弱的相關性。整體而言，由於各概念的重要性與難易程度不一，有些概念本身就較為複雜，授課者在課程裡花較多時間進行講解與說明，但因為涵蓋多種概念，學生不一定能完全理解，因此，課程影片內容中佔較高比例時間與字數的概念與其問卷答題進步率的關聯性並不高。

四、自主多模態影音學習系統介面功能的使用情形

由研究對象於自主多模態影音學習系統介面功能使用情形分析發現，其操作行為以一般影片觀看經常操控的影片控制軸區之倒轉、快轉、暫停的功能為主，多數介面功能對於學習者而言是沒有發生功用的，故在介面設計的同時，可以將學習者實際操作時的使用情形納入考慮，以學習者的需求為主要導向，做為介面修正上的參考依據。

五、自主多模態影音學習系統概念學習時間與答題表現關係

根據研究對象於各概念課程影片區間總觀看時間的比例情形與所對應題目答題情形，學習者在欲求理解的概念區間進行重覆觀看後仍然無法幫助學習的概念為概念3-3、概念3-5與概念3-6，皆屬於路易士結構的畫法相關原則，檢視其原因為自主多模態影音學習系統在課程概念內容所做說明與舉例可能略顯不足，或其論述方式使學習者產生混淆的情形，以致於無法幫助學習者有效學習。

由於路易士結構的畫法屬於較為抽象的概念，其表徵的方式由符號表徵的分子式轉換為微觀表徵的結構，為使表徵意義被學生理解，自主多模態影音學習系統在概念呈現上，應該加強建構抽象分子符號和分子內部微觀變化兩者間的連結關係，運用電腦多媒體具備的優勢，以三度空間的立體結構、電腦模擬或動畫的形式來輔助教學，幫助學習者依據路易士結構畫法的各項規則去建構微觀的分子結構模型。且自主多模態影音學習系統在課程概念內容應增加涵蓋數種路易士結構畫法原則的結構做舉例說明，並建立分子結構的資料庫，在課程進行時投影片區所出現的化合物皆可採取超連結的方式與資料庫做連接，幫助學生認識分子結構的其他表示方式與課程內容之外其他相似的分子結構。

六、探索式學習與接受式學習學生課程影片觀看時間與答題表現關係

整體而言，自主多模態影音學習系統對於研究對象的答題表現皆有相當的進步情形，其中依課程影片播放順序觀看的接受式學習學生經由一次學習，即有平均2.75題的進步，顯見自主多模態影音學習系統對於多數正常觀看的學習者而言，具有一定的學習效果；而自主多模態影音學習系統對於主動使用學習系統介面功能，自行掌控學習進度的探索式學習學生來說更有4題與3.5題的進步情形。因此，自主多模態影音學習系統對於瞭解並依個人需求運用學習系統進行自主性學習的探索式學生而言，更能提升學習系統對於學習的成效。

七、探索式學生倒轉情形與答題表現關係

由研究對象於重覆觀看課程影片區間的概念對應問卷答題表現，來檢視自主多模態影音學習系統課程內容，分析結果在答題表現上多為進步的情形，少數經由具備自我監控能力的研究對象多次重覆觀看仍然答題錯誤，分析自主多模態影音學習系統在概念 3-7 路易士結構畫法的綜合概念上相關的實例說明略嫌不足，且合理的路易士結構尚需考慮含氧酸中 H 原子與 O 原子的連接位置、電負度小的原子通常為中心、雙鍵與參鍵的情形，其表徵的方式將由符號表徵的分子式轉換為微觀表徵的結構，為使表徵意義被學生理解，路易士結構的畫法相關概念應由各項畫法原則舉實例做說明，進而以涵蓋多種原則的結構做練習，並加強建構抽象分子符號和分子內部微觀變化兩者間的連結關係來幫助學習者學習。

八、對於自主多模態影音學習系統介面功能的建議與需求

由研究對象學習情意問卷的回答情形可以得知，自主多模態影音學習系統包括影片播放的操作功能與投影片將概念做文字化整理，使學習者可以依本身的學習進度做調整，在操作上的便利性與個人學習進度的掌控性上，對於學習者而言是有所幫助的。在自主多模態影音學習系統其他需求部分為「影片應加上字幕」（31.82%），針對聽不清楚的內容或講話速度太快的片段，可藉由字幕的呈現來幫助理解；「可控制將不需要的介面隱藏」（22.73%），系統介面各區塊的完整呈

現對於學習者而言可能太過複雜，建議可控制學習時將不需要的介面區塊隱藏，保留對自己有所幫助的來進行學習，綜合以上建議與需求可做為往後自主多模態影音學習系統介面功能修正與改進的參考依據。

本研究所使用的自主多模態影音學習系統為電腦多媒體結合文字、圖片、聲音、影像等多種學習模態，包括課程影片的播放、授課者口語說明、power point 簡報的重點提示，並具有可自行操作控制播放進度與時間等學習功能介面，相較於以往傳統只有文字或者靜態的圖像，學習系統所提供結合視覺與聽覺多重刺激訊息亦可同時滿足使用者於視覺與聽覺上的感官訊息。而自主多模態影音學習系統所具備操作上的便利性與個人學習進度的掌控性，使得學習者可依據本身的學習進度透過電腦多媒體的方式隨時進行學習，亦可做為程度較低的學生補救學習之用，滿足不同學習者的需求；並可成為提高學習興趣的課後參考資訊來源，藉以彌補傳統教學的不足，提供學習者自主式的學習方式，解決學習障礙與個別差異的問題。

第二節 建議

一、對於自主多模態影音學習系統建議

本研究結果顯示，自主多模態影音學習系統課程在整合多種概念的實例說明上稍嫌不足，學生對於路易士結構畫法概念上的理解較為困難，由於畫出合理的路易士結構尚需考慮含氧酸中H原子與O原子的連接位置、電負度小的原子通常為中心、雙鍵與參鍵的鍵結情形，其表徵的方式由符號表徵的分子式轉換為微觀表徵的結構，建議課程內容在呈現上應多加利用電腦多媒體所具備的優勢，以三度空間的立體結構、電腦模擬或動畫的形式來輔助教學，幫助學習者依據路易士結構畫法的各項規則去建構微觀的分子結構模型。此外，分子結構資料庫的建置，在課程進行時於投影片區所出現的化合物皆可採取超連結的方式與資料庫做連結，幫助學生加強課程內容之外其他分子的結構與表示方式，藉由透過多重表徵的方式，連結各表徵間的關係，更能增進學生對於分子結構的認知理解。

對於自主多模態影音學習系統課程內容建議：在共振概念上，應加強各種共振結構的實例，以帶不同電荷的離子之共振結構加以說明，來幫助學習者判斷複雜結構的共振情形；在鍵數的計算上，由於共振結構其鍵數在計算上較為困難，應該增加共振結構的實例做鍵數計算的練習，加深學習者對於共振結構與其鍵數的熟悉度；對於H原子與O原子在路易士結構中的排列位置，應以含氧酸結構做實例說明；在路易士結構畫法的綜合概念上，應該由各項畫法原則舉實例做說明，進而以涵蓋多種原則的結構做練習來幫助學習者學習。

自主多模態影音學習系統介面功能部分，僅有少數人操作介面功能，顯示學習者在進行學習時並沒有迫切的需求，應該思考在使用自主多模態影音學習系統的同時，介面功能對於學習者實質上需求的必要性。而所提出介面可改進的部分為「影片應加上字幕」與「可控制將不需要的介面隱藏」，可因應個別化的需求，採取更加人性化的設計方式，做為自主多模態影音學習系統修正與改進的參考依據。此外，超連結的功能也是自主多模態影音學習系統未來可以發展的方向，利用課程投影片區的關鍵字或畫面結構，進行點選後直接連結至系統資料庫或相關

概念補充說明，使學習者在課程學習時，可依本身的需求做相關概念的連結，充分發揮學習系統於個人學習進度的掌控性，在學習流程的操作上更加便利與彈性。

二、對於未來研究建議

本研究以化學課程八隅體與路易士結構概念為主題，課程內容中關於根據八隅體規則與路易士結構畫法畫出合理分子結構的過程，建議可多加利用電腦多媒體具備的優勢，以三度空間的立體結構、電腦模擬或動畫的形式來輔助教學，透過多重表徵的方式來幫助學生連結抽象分子符號和分子內部微觀結構兩表徵間的關係，以路易士結構畫法的各項規則去建構微觀的分子結構模型，使學習者更認識存在於生活中物質之化學結構的真實面貌；對於其他如：原子結構、化學平衡、化學電池等較為微觀與抽象的化學概念，更可利用多媒體進行模擬或 3D 動畫的方式協助學生將抽象的化學概念做具體的呈現。

根據研究對象的學習行為，在未來研究中可進一步以學習者的觀點來探討學生於自主多模態影音學習系統八隅體與路易士結構概念的學習情形，藉由個別訪談來得知學生對於概念感到學習困難的部分與原因；並可依據研究對象進行倒轉與快轉的起始點與課程概念的關聯性，探討授課者於課程進行中的口語提示或關鍵字對於學習行為的影響，以授課者在特定的時間點進行關鍵字的重點提示，是否引起學習者進行倒轉或快轉行為之概念連結的動機，其對於學習成效上的影響與助益情形，做為未來研究的方向。

參考文獻



中文部分：

王泓斌(2002)。互動超媒體設計應用於虛擬資訊空間之研究。國立成功大學工業設計研究所碩士論文，未出版。

何耿旭(2012)。教學影片融入合作學習對七年級學生整數運算學習成就的影響。國立台南大學應用數學系碩士論文，未出版。

李賢輝(1999)。天馬行空—話說多媒體概論與實務。財團法人資訊工業策進會。

李忠屏(2004)。數位科技輔具生字教學系統對國小二年級學生國語科學習成效之研究。屏東師範學院教育科技研究所碩士論文，未出版。

李偉新(2002)。中學化學多媒體輔助教材之製作。國立台灣師範大學化學研究所碩士論文，未出版。

余泰魁(2007)。科技媒介學習環境之學習成效比較研究。國立台灣師範大學教育心理與輔導學系，教育心理學報，民96，39卷，1期，69-90。

呂益準(2005)。以混成軌域之電腦多媒體教導學生判斷分子形狀。國立台灣師範大學化學研究所碩士論文，未出版。

林彥銘(2004)。互動式多媒體展示研究以國立自然科學博物館為例。國立雲林科技大學視覺傳達設計研究所碩士論文，未出版。

林建佑(2008)。認知風格對模擬學習成效及學習歷程影響之研究。國立台灣師範大學工業科技教育研究所碩士論文，未出版。

林昱成(2008)。遊戲式模擬軟體之設計與研究：以小學自然科槓桿原理學習為例。國立台灣師範大學資訊教育研究所碩士論文，未出版。

林宗翰(2010)。網路輔助教學平台應用於國小學童社會科學學習之研究。國立屏東教育大學資訊科學研究所碩士論文，未出版。

林明志(2007)。學生學習行為模式對其學習成效的影響。國立台灣師範大學物理研究所碩士論文，未出版。

林孟鴻 (2001)。應用歷程檔案建立網路學習輔助機制。國立中山大學資訊管理研究所碩士論文，未出版。

林天陽 (2009)。以科學史電腦多媒體素材應用於國中「原子結構」輔助教學之成效研究。國立台灣師範大學化學研究所碩士論文，未出版。

東森數位科技出版 (2011)。升學王—滿分寶典—頂尖高中系列—基礎化學 (1A)。新北市：東森數位科技股份有限公司。

東森數位科技出版 (2011)。升學王—滿分寶典—頂尖高中系列—基礎化學 (2)。新北市：東森數位科技股份有限公司。

東森數位科技出版 (2011)。升學王—滿分寶典—頂尖高中系列—選修化學 (上)。新北市：東森數位科技股份有限公司。

邱皓政 (2006)。量化研究與統計分析 (基礎版) —SPSS 中文視窗版資料分析範例解析。五南出版社。

吳宏達、陳淑華、陳建良 (2006)。互動式教學軟體融入電化學相關概念學習的成效探討。中華民國第 22 屆科學教育學術研討會論文彙編，811-817。

吳哲旭 (2008)。結合輔助教學策略之模擬式學習系統之研究—以電子學為例。國立台灣師範大學工業科技教育研究所碩士論文，未出版。

吳昌家 (2001)。電腦動畫輔助教學對國中學生粒子概念學習成效之研究。國立台灣師範大學化學研究所碩士論文，未出版。

卓憲瑞 (2008)。探究多重表徵教學對於八年級學生學習化學平衡概念與概念改變的影響。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版。

姚德瑜 (2001)。網路教學之學習行為對學習效果之影響。中央大學人力資源管理研究所碩士論文，未出版。

俞克斌、施淑娟、許天維 (2012)。高中數學之電腦化適性診斷與學習系統—以矩陣單元為例。測驗統計年刊，第二十輯，77-113。

柯文容、林啟超、張珮鳳 (2010)。運用 ARCS 動機理論之互動式多媒體圖畫書設計探究：以數學課程認識時間與日期為例。TANET2010 臺灣網際網路研討會。

- 徐易稜 (2001)。多媒體呈現方式對學習者認知負荷與學習成效之影響研究。國立中央大學資訊管理研究所碩士論文，未出版。
- 陳彙芳、范懿文 (2000)。認知負荷對多媒體電腦輔助學習成效之影響研究。資訊管理研究，2，45-60。
- 陳秋炳等編撰 (2010)。普通高級中學 基礎化學(一)。台南市：翰林出版社。
- 陳秋炳等編撰 (2011)。普通高級中學 基礎化學(二)。台南市：翰林出版社。
- 陳秋炳等編撰 (2012)。普通高級中學 基礎化學(上冊)。台南市：翰林出版社。
- 連廷嘉、施智元 (2009)。傳統和數位教學情境設計理論與應用。課程與教學，26卷，4期，43-50。
- 梁瑛心、林聰吉、張君維、許正岳 (2010)。以知識管理的策略建構學生學習歷程的行動研究方案。第九屆離島資訊技術與應用研討會論文集，無頁碼。
- 黃國禎 (2008)。學習歷程與評量。台南大學，97 科技融入教學，ch9。
- 黃長司等編撰 (2001)。高中教科用書 化學(上冊)。台中市：大同資訊企業股份有限公司。
- 曾瑞譙 (2009)。電腦輔助教學軟體使用後之效益分析—科技接受模式的觀點與應用。新竹教育大學教育學報，26卷，2期，127-164。
- 曾孟慧 (2006)。問題本位學習教學模式對五年級學童數學學習的數學態度和後設認之之影響。中原大學教育研究所碩士論文，未出版。
- 張素卿 (2005)。多媒體概述。資訊新知，民 94，21 期，25-30。
- 馮怡青 (2010)。影響離島公務人員數位學習能力因素之探討—以金門縣政府所屬公務人員為例。銘傳大學公共事務學系碩士論文，未出版。
- 褚麗絹、李承霖、郭靜蘭 (2011)。沉浸經驗於互動式多媒體教材學習效果之影響。文化事業與管理研究，6，1-24。
- 葉名倉等編撰 (2010)。普通高級中學 基礎化學(一)。台南市：南一書局。
- 葉名倉等編撰 (2011)。普通高級中學 基礎化學(二)。台南市：南一書局。
- 葉名倉等編撰 (2012)。普通高級中學 選修化學(上)。台南市：南一書局。

楊鵬耀 (2006)。科學概念學習與資訊科技應用。北縣教育，課程理論與教師專業，56期，86-89。

廖雅玲 (2011)。建構適性化數位式學習機制之研究。朝陽科技大學工業工程與管理系碩士論文，未出版。

劉俊庚 (2011)。探討模型與建模對於學生原子概念學習之影響。國立台灣師範大學科學教育研究所博士論文，未出版。

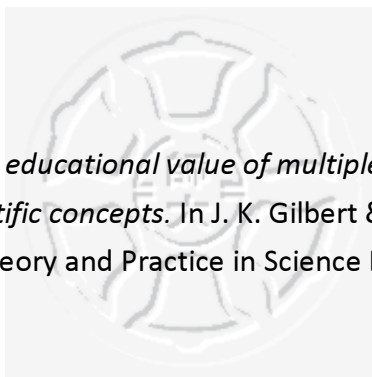
戴嬋玲 (1996)。電腦多媒體應用漫談。資訊與教育，54期，10-13。

嚴心好 (2004)。高中化學多媒體動畫教材之製作。國立台灣師範大學化學研究所碩士論文，未出版。

物質的構造與特性：八隅體與路易士結構 (2012)。光碟資料庫：升學王—滿分寶典—頂尖高中系列—基礎化學 (二)。東森數位科技股份有限公司。

Verena Steiner (2003)。60分鐘抓住學習的兔子—10倍速遊戲學習法 (車雲譯)。台北市：如何出版社有限公司。

英文部分：



- Ainsworth, S. (2008). *The educational value of multiple representations when learning complex scientific concepts*. In J. K. Gilbert & M. Reiner & M. Nakhlel (Eds.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (pp.191-208) New York: Springer.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1988). *Theories, principles and laws*. *Education in Chemistry*, May, 89-92.
- Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). *Constructing a typology of models for science education*. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (eds.), *Developing models in Science Education*, (pp.41-57). Netherlands : Kluwer academic Publisher.
- De Jong, T. , and Van Joolingen, W. R. (1998). *Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains*. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201.
- Johnstone, A. H. (1993). *The development of chemistry teaching*. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- Keig, P. F., & Rubba, P. A. (1993). *Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge*. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 883-903.
- Mayer, T. , Kibble, M. and Anderson, T. (1990). *Learning about Learning Form Hypermedia for Learning*. Springer, Berlin.
- Oliver, R. and Herrington, J. (1995). *Developing Effective Hypermedia Instructional Materials*. *Australian Journal of Educational Technology*, 11(2), 8-22.
- Pardo, J. Q. (1989). *Teaching a Model for Writing Lewis Structures*. *Journal of Chemical Education*, 66(6), 456-458.
- Wu, H.-K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). *Promoting conceptual understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom*. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821 - 842.

附錄一 八隅體與路易士結構概念課程影片內容分析

自主多模態影音學習系統於八隅體與路易士結構課程中所涵蓋的概念內容、各概念影片時間區間與長度、轉錄授課者口述內容、投影片所呈現的方式與內容文字依概念順序列表整理如下：

1. 概念1-1課程影片內容分析

小節概念內容	1-1 八隅體定義：當一個原子的周圍滿足八顆電子，其價層被填滿而安定。
影片時間區段	00:00~00:30 (00'30")
投影片字數	重點概要補充投影片：54 字
投影片總字數	54 字
投影片內容文字	以軌域解釋「八隅體」：原子的外圍具有 1 個 s 軌域及 3 個 p 軌域，共 4 個軌域。每一個軌域可放 2 顆電子，共 8 顆電子。
影片口述內容字數	175 字
影片口述內容文字	來，同學們，我們在這個國中就是八九年級的時候，學校老師上課可能會提到所謂的八隅體。其實八隅體就是一個原子它希望它周圍能夠滿足八顆電子，那以我們高中來講，就是因為同一個主殼層，就同一個距離它會有一個 s 軌域跟三個 p 軌域，總共四個軌域，那一個軌域可以放兩個電子，所以放八個剛好安定，是這樣子來的。那麼所以我們這段主要跟各位介紹八隅體以及所謂的路易士結構式。
投影片呈現方式	 以軌域解釋「八隅體」： 原子的外圍具有1個s軌域及3個p軌域，共4個軌域。每一個軌域可放2顆電子，共8顆電子。

2. 概念1-2課程影片內容分析

小節概念內容	1-2 典型元素的價電子數與其族數相同。
影片時間區段	00:31~01:30 (01'00")
投影片字數	主要學習內容投影片：42 字(40%)+表格 63 字(60%) 重點概要補充投影片：36、47、84 字
投影片總字數	272 字
投影片內容文字	分子或多原子離子之路易士結構(電子點式) (1)典型元素(A 族元素)之價電子數與其族數相同：

多原子或分子，其結合的方式，必須將本身的「價電子」拿出來做分享才能結合。

以 A 族元素而言，共有 8 族。IA 族有 1 個價電子；IIA 族有 2 個價電子，依此類推。VIII A(念作 8A)安定，較少提到

原子外圍的電子填充規則：

第一層最多 2 顆；第二層最多 8 顆以鈉 Na 為例，有 11 顆電子，由內而外為：2→8→1。最外圍有 1 顆電子。以鋰 Li 為例，有 3 顆電子，由內而外為：2→1。最外圍有 1 顆電子

影片口述內容字數 331 字

影片口述內容文字 好，那麼在講這個之前，我們就說針對多原子或者是多原子的粒子，包括分子，它們呢，必須把價電子拿出來做分配或做分享，所以我們必須先讓各位知道一下，就是說，以 A 族而言，你們過去就週期表以 A 族 B 族，A 族來講，1A1 顆、2A2 顆、3A3 顆等等，7A7 顆，8A 因為安定所以我們很少提到它，就說你有幾個外圍的電子，我舉例，因為各位可能聽說過第一層放 2 顆，所以比方說 Na，Na 是 11 號，它第一層放 2 顆，第二層放 8 顆，那第三層就剩 1 顆，因為第一層 2 顆滿了，第二層 8 顆滿了，這以後我們會跟各位說明清楚，那第三層剩一顆。那麼這個這個 Li 呢，Li 是 3 號，第一層 2 顆，第二層 1 顆，所以最外層都 1 顆叫 1A 族，所以它有 1 個價電子，所以最外層有幾顆大概就是所謂價電子有幾個，是這樣說的，好，所以 1A 到 7A 它的價電子數大概是這樣。

投影片呈現方式

分子或多原子離子之路易士結構(電子點式)

(1)典型元素(A族元素)之價電子數與其族數相同：

	IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA
價電子數	1	2	3	4	5	6	7

多原子或分子，其結合的方式，必須將本身的「價電子」拿出來做分享才能結合。

以A族元素而言，共有8族。IA族有1個價電子；IIA族有2個價電子，依此類推。VIII A(念作8A)安定，較少提到

原子外圍的電子填充規則：
第一層最多2顆；第二層最多8顆
以鈉Na為例，有11顆電子，由內而外為：2→8→1。最外圍有1顆電子。
以鋰Li為例，有3顆電子，由內而外為：2→1。最外圍有1顆電子

3. 概念2-1 課程影片內容分析

小節概念內容 2-1 八隅體規則：當原子與原子結合時，傾向擁有與惰性氣體相同的八個價電子數。

影片時間區段 01:31~03:03 (01'33")

投影片字數 主要學習內容投影片：90 字

重點概要補充投影片：97 字	
投影片總字數	187 字
投影片內容文字	(2)八隅規則： 典型元素與其他原子共用價電子時，通常達到鈍氣之電子組態，即其最外層電子為 ns^2np^6 共有 8 個電子在其周圍。(氫與其他原子共用電子只能達到 2 個，亦視同八隅體處理)八隅體有少數例外： 典型元素：指 IA 族~VIII A 族。 八隅體規則，是指原子希望外圍的 S 軌域及 P 軌域都能填滿，才能達到安定，稱為八隅體規則。而氫(H)外圍只需要 2 顆就可填滿，不需滿足八隅體規則。其他多數的元素都需要滿足八隅體規則
影片口述內容字數	533 字
影片口述內容文字	那麼現在各位請看，所謂的八隅體規則，基本上它是說典型元素，這是針對 A 族 A 族，A 族就 1A 到 7A，8A 算是鈍氣，鈍氣它基本上不參與化學變化居多，所以我們講的是 1A 到 7A，跟其他原子共用電子的時候，通常希望達到 8A 的狀況，也就是 s 軌域也滿，p 軌域也滿，這樣可以讓它最安定，這個叫做八隅體規則。 所以考試的時候說，何者不須遵守八隅體規則？以各位來講，目前的階段大概要知道 H 不須遵守，因為 H 只有 1 顆，它只停在第一圈，第一圈只要 2 顆就能滿足了，不需要 8 顆，所以這裡面就說，來各位請看，我們這裡有寫，那麼這裡寫這樣對各位來講就可能很清楚，就說各位請看，就說這裡叫做 n，n 就是你到底在那一圈，離核愈遠 n 愈大，你在那一圈我不曉得，那有 s 軌域，有 p 軌域，我剛說 s1 個 p3 個加起來 4 個，42 得 8 可以有 8 個電子有 8 個電子，這 8 個電子都滿了叫安定，都滿了很對稱安定，這叫做八隅體規則。 所以我們今天除了少數的 H，除了少數的像 H，它不需要滿足，因為 H 它就這麼一圈，第一圈而已，因為第一圈只要 2 顆就夠了，所以除了 H 這種少數的原子之外，大半 A 族元素都希望藉著鍵結來滿足所謂的八隅體。 當然這時候各位請注意，八隅體規則基本上還是有一些例外的，這些例外我們等下上課的時候會提到，OK，好，那麼現在呢，大概各位有一點點這樣的概念。

投影片呈現方式

(2)八隅體規則：

典型元素與其他原子共用價電子時，通常達到鈍氣之電子組態，即其最外層電子為 ns^2np^6 共有 8 個電子在其周圍。(氫與其他原子共用電子只能達到 2 個，亦視同八隅體處理。)

典型元素：指 IA 族~VIII A 族。

八隅體規則，是指原子希望外圍的 S 軌域及 P 軌域都能填滿，才能達到安定，稱為八隅體規則。而氫(H)外圍只需要 2 顆就可填滿，不需滿足八隅體規則。其他多數的元素都需要滿足八隅體規則

4. 概念2-2 課程影片內容分析

小節概念內容	2-2 以 I A、II A、III A 族為中心原子之化合物，中心原子周圍的電子數比八個少。
影片時間區段	03:04~04:10 (01'07")
投影片字數	主要學習內容投影片：21 字 重點概要補充投影片：72 字
投影片總字數	93 字
投影片內容文字	① I A，II A，III A 族之化合物，周圍電子比 8 個少。 I A、II A、III A 為金屬，常常成為「離子」，本身的價電子會向外轉移。 元素－元素結合：共價鍵→遵守八隅體規則 電子轉移(正負相吸)：離子鍵→不一定遵守八隅體
影片口述內容字數	368 字
影片口述內容文字	我們現在來看一下，在這裡就是說，1A2A3A 族的化合物，周圍電子往往比 8 個少，那這個理由很簡單，就是說，1A2A3A 基本上都是金屬，那金屬通常是形成離子鍵，形成離子鍵通常是它的價電子轉移出去，所以以後我們會跟各位講清楚，如果元素跟元素在一起共用電子叫共價鍵，如果是電子轉移靠正負相吸叫離子鍵，離子鍵不見得要遵守八隅體規則，共價鍵其目的在於遵守八隅體，我再重覆一遍，離子鍵就是說，我的電子給你，你帶負我帶正，我們會在一起是因為正負相吸，共價鍵是你的跟我的共用，讓我們滿足八隅體，這兩個的前提是不一樣的，所以 1A2A3A 基本上它並沒有這個滿足八隅體。 那麼第二個，第一個就是針對 1A2A3A，通常它們的化合物，如果你要討論的話，它往往是違背，就是不遵守八隅體規則，因為它兼具離子性，如果它像離子鍵，或者像就它是離子鍵或者有離子鍵的概念的話，它就是正負相吸嘛，它根本不需要滿足八隅體。

投影片呈現方式

① I A，II A，III A 族之化合物，周圍電子比 8 個少。

② 奇數個價電子之化合物，例 NO_2 共有 17 個價電子，不可能滿足 8 隅體。

③ 涉及 d 軌域的鍵結，其周圍之電子數可以超過 8 個，在週期表第 3 週期以後之元素才有 d 軌域參與鍵結。

IA、IIA、IIIA 為金屬，常常成為「離子」，本身的價電子會向外轉移。
 元素－元素結合：共價鍵→遵守八隅體規則
 電子轉移(正負相吸)：離子鍵→不一定遵守八隅體

5. 概念2-3 課程影片內容分析

小節概念內容	2-3 總價電子數為奇數之化合物，不可能滿足八隅體。
影片時間區段	04:11~04:38 (00'28")
投影片字數	主要學習內容投影片：31 字 重點概要補充投影片：47 字
投影片總字數	78 字
投影片內容文字	②奇數個價電子之化合物，例 NO ₂ 共有 17 個價電子，不可能滿足 8 隅體。 ※當外圍價電子總數為「奇數個」時，不需遵守八隅體。 ※電子總數「超過 8 個」，也不需遵守八隅體規則
影片口述內容字數	158 字
影片口述內容文字	第二個，有少數的，很少數少數的這個粒子，這個奇數的電子，這少數的這些東西，我們這麼說，它們是很特殊的存在，因為某些特殊因素而存在，可是它畢竟全部的電子數是奇數個，所以呢，奇數個你怎麼樣都不會滿足，八隅體一定是 4 對嘛，4 對才滿足八隅體，42 得 8，你要 4 對，你是奇數怎麼成對呢，最後一定有 1 顆不成對嘛，所以它這個叫不滿足。
投影片呈現方式	

- ① I A, II A, III A 族之化合物，周圍電子比 8 個少。
 ② 奇數個價電子之化合物，例 NO₂ 共有 17 個價電子，不可能滿足 8 隅體。
 ③ 涉及 d 軌域的鍵結，其周圍之電子數可以超過 8 個，在週期表第 3 週期以後之元素才有 d 軌域參與鍵結。

※當外圍價電子總數為「奇數個」時，不需遵守八隅體。
 ※電子總數「超過 8 個」，也不需遵守八隅體規則

6. 概念2-4 課程影片內容分析

小節概念內容	2-4 涉及 d 軌域的鍵結，中心原子周圍之電子數可以超過八個。
影片時間區段	05:00~05:25 (00'26")
投影片字數	主要學習內容投影片：47 字
投影片總字數	47 字
投影片內容文字	③涉及 d 軌域的鍵結，其周圍之電子數可以超過 8 個，在週期表第 3 週期以後之元素才有 d 軌域參與鍵結。
影片口述內容字數	148 字

影片口述內容文字 第三個就是涉及 d 軌域，這 d 軌域各位還不是那麼熟，因為我們如果到原子的外圍，第一圈第二圈等等，它只要滿足 s 滿 p 滿就好，可是如果到外面一點點，它有 s 軌域有 p 軌域又有 d 軌域，一旦多了 d 軌域，那軌域數就不只 4 個，所以它就不見得 8 個就安定，它可能往往會超過 8 個，那就不遵守八隅體規則，ok，所以請各位記起來。

投影片呈現方式

- ① I A, II A, III A 族之化合物，周圍電子比 8 個少。
- ② 奇數個價電子之化合物，例 NO_2 共有 17 個價電子，不可能滿足 8 隅體。
- ③ 涉及 d 軌域的鍵結，其周圍之電子數可以超過 8 個，在週期表第 3 週期以後之元素才有 d 軌域參與鍵結。

7. 概念 2-2~2-4 課程影片內容分析

小節概念內容	2-2~2-4 概念總結
影片時間區間(一)	04:39~04:59 (00'21")
投影片字數	主要學習內容投影片：99 字
投影片總字數	99 字
投影片內容文字	① I A, II A, III A 族之化合物，周圍電子比 8 個少。 ② 奇數個價電子之化合物，例 NO_2 共有 17 個價電子，不可能滿足 8 隅體。 ③ 涉及 d 軌域的鍵結，其周圍之電子數可以超過 8 個，在週期表第 3 週期以後之元素才有 d 軌域參與鍵結。
影片口述內容字數	132 字
影片口述內容文字	所以我們目前，我們在這裡所看到的，基本上就都是跟各位提，就是說，你看到那些結構，考試的時候，因為我們還是要針對測驗考試而來，說下列那些例子不須遵守八隅體規則，各位，第一題就是這個，為什麼，因為它兼具離子性嘛，第二題就是這個，因為它本身先天條件就不夠嘛，因為奇數嘛。
影片時間區間(二)	05:26~06:35 (01'10")
投影片字數	重點概要補充投影片：38 字
投影片總字數	38 字
投影片內容文字	不滿足八隅體規則例子： BeF_2 ：IIA 族化合物 NO/NO_2 ：電子總數為奇數個 PCl_5 ：電子總數超過 8 個
影片口述內容字數	387 字

影片口述內容文字 舉例，各位， BeF_2 它是 2A 族的化合物，它就沒有滿足八隅體，那為什麼可以不滿足八隅體？因為它兼具離子性，離子性是有正負相吸的感覺，所以我因為正負相吸的安定，可以可以，這個不需要一定要滿足八隅體而存在。

再來像這個電子數為奇數，例如 NO 或者 NO_2 ，它們因為像 NO_2 它有一些共振結構略為安定，所以它電子數為奇數還是能存在，只不過還蠻活潑的，很容易再兩個兩個兩個 NO_2 變 N_2O_4 ，因為兩個奇數變偶數就會滿足八隅體。

第三個，是你如果一個中心原子鍵結太多了接五根鍵，一根鍵都 2 顆電子，那就爆掉啦，對不對，這一定是扯到 d 軌域，那就不遵守八隅體規則了。

所以各位，這三個是考試的時候很常出現，說下列何者不遵守或不符合八隅體規則？答案是，1A2A3A 的化合物，或者是電子數為奇數，或者是用到 d 軌域，ok，我想大家清楚，老師我怎麼知道那 d 軌域，通常一個原子接超過四根鍵通常就是超過八隅體了。ok，好，那麼所以這個讓各位知道說有這樣個現象。

投影片呈現方式

- ① I A，II A，III A 族之化合物，周圍電子比 8 個少。
- ② 奇數個價電子之化合物，例 NO_2 共有 17 個價電子，不可能滿足 8 隅體。
- ③ 涉及 d 軌域的鍵結，其周圍之電子數可以超過 8 個，在週期表第 3 週期以後之元素才有 d 軌域參與鍵結。

不滿足八隅體規則例子：

BeF_2 ：II A 族化合物

NO/NO_2 ：電子總數為奇數個

PCl_5 ：電子總數超過 8 個

8. 概念 3-1 課程影片內容分析

小節概念內容	3-1 路易士結構的畫法：H 原子一定排在最旁邊，電負度小的原子通常在中心。
影片時間區段	06:36~07:40 (01'05")
投影片字數	主要學習內容投影片：67 字 重點概要補充投影片：68 字
投影片總字數	135 字
投影片內容文字	(3) 路易士結構之畫法： ① 將分子中之原子適當排列，其排列原則如下： (a) H 原子一定在最旁邊，在所有原子之最末端。 (b) 電負度較小之原子通常排在中心。

路易斯結構畫法：

A) 氫：只有一顆電子(一根鍵)，絕不可能當中心。

B) 電負度：對電子的相對吸引力。

電負度越小，容易被其他元素分享電子成為中心。

影片口述內容字數 370 字

影片口述內容文字 那麼，請各位再注意，那我們現在就是說，剛剛把前提講完，要遵守八隅體，那些可以不遵守，接著我們說，那我們怎麼去畫路易斯結構，這有一個原則。

第一個第一個，它說將分子中的原子適當排列，怎麼排列呢？這個，如果你不能當中心，你一定排外面嘛，像 H，H 它根本不能當中心，為什麼？因為 H 它只能接一根鍵，它怎麼能當中心呢？所以它一定會在邊邊，在邊邊或者在最尾巴，為什麼？它不能再接出去了嘛，對不對？比方說，我今天接 H，那這邊是接 O，我 O 還可以再接別的阿，可是 H 已經不能再接了嘛，對不對？我這裡還可以再接 C 或接什麼都有機會嘛，對不對？但是 H 一定放邊邊，第一點。

第二點呢，電負度比較小的通常排在中心，什麼叫電負度比較小，電負度是對電子的相對吸引力，小就代表電子抓不動會跟別人分享，所以因為你電負度小，大家都想要分享你的電子，所以往往你是個中心原子，通常擺在中心。

投影片呈現方式

(3) 路易斯結構之畫法：

① 將分子中之原子適當排列，其排列原則如下：

(a) H 原子一定在最旁邊，在所有原子之最末端。

(b) 電負度較小之原子通常排在中心。

路易斯結構畫法：

A) 氫：只有一顆電子(一根鍵)，絕不可能當中心。

B) 電負度：對電子的相對吸引力。

電負度越小，容易被其他元素分享電子成為中心

9. 概念3-2 課程影片內容分析

小節概念內容	3-2 路易斯結構的畫法：O 原子或鹵素通常在外圍，除非在過氧化物或超氧化物中，O 與 O 彼此通常不連接。
影片時間區段	07:41~09:47 (02'07")
投影片字數	主要學習內容投影片：69 字 重點概要補充投影片：52 字
投影片總字數	121 字

投影片內容文字 (c) O 原子(或鹵素)通常在外圍，相當對稱的包圍中心原子。而 O 與 O 除非在過氧化物(或超氧化物)，彼此通常不連接。

(d) C 原子之間通常互相連接在一起

氧(O)、鹵素，電負度很大，容易成為外圍。

例： $\text{C}_2\text{H}_5-\text{O}-\text{H}$

氧—氧連結只出現在「過氧化物」

例： H_2O_2 ， $\text{H}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$

影片口述內容字數 689 字

影片口述內容文字 OK，好，這個原則之後，那我們就說下一個動作，這幾個之後下一個動作，O 或者鹵素通常在外圍，H 是在最外圍，那 O 跟鹵素通常在外圍，如果有 H，H 是在最外圍，為什麼？因為 O 跟鹵素的電負度都很大。

那麼所以呢，這個這個，它比方說，我們現在舉例，就說你今天，比方說今天這個結構，剛說我們我們，舉個這個 C_2H_5 ，這叫做乙基，那這時候它接了個什麼，接了個 OH，O 接 H，各位這裡說 O 原子或鹵素通常在外圍，也就是因為它們並不能當中心嘛，因為中心電負度小，O 跟鹵素電負度頗大，所以通常在外圍，那我再強調如果有 H，H 在更外圍。

OK，好，再來這裡還有一個重點就說，O 跟 O 除非在過氧化物或超氧化物，不然彼此通常不連接，因為 O 電負度很大會抓電子，我也大你也大兩個怎麼會靠在一起，所以一定去抓別人嘛，所以會分開，但是有一個特殊的結構，就是像過氧化物，比方說過氧化氫，它是兩個 O 真的接在一起，那麼它形成的特殊結構有它的安定性，因為這個 O 跟這個 O，它從 H 這邊拉 1 顆電子，從這裡拉 1 顆電子，那麼拉完之後呢，本身這兩個再互用，也就是說，一個 O 它有 6 個價電子，這 6 個價電子它 1 個跟 H 作用一個跟 O 作用，對不對？所以一個 O 它有 6 個價電子，它靠這個 O 共用一個，靠這個 H 共用一個去滿足八隅體，所以會有這樣的特殊結構，叫做過氧化物。

而除了過氧化物等特殊的結構之外，我們說 O 很少自己接在一起，因為 O 去接別人比較好，因為它可以從別人身上抓電子，畢竟 O 的電負度比較大。所以這都是幾個基本原則，就說我們在研究這個八隅體的時候的一些基本原則。

再往下看，C 跟 C 就通通接在一起，因為 C 跟 C，C 電負度很小通常當中心，所以有機物就是 C 鏈為中心，所以通常接在一起。

投影片呈現方式

(c) O 原子(或鹵素)通常在外圍，相當對稱的包圍中心原子。而 O 與 O 除非在過氧化物(或超氧化物)，彼此通常不連接。

(d) C 原子之間通常互相連接在一起

(e) 含氧酸中，H 原子常接 O 原子上

氧(O)、鹵素，電負度很大，容易成為外圍。

例： $\text{C}_2\text{H}_5-\text{O}-\text{H}$

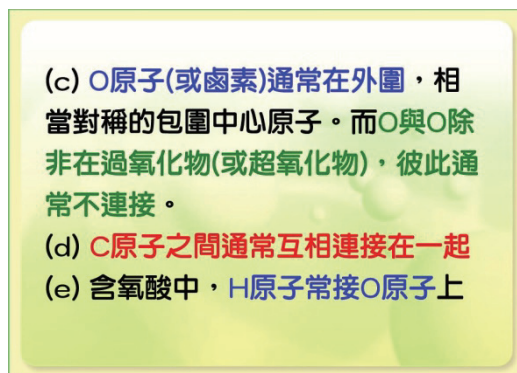
氧—氧連結只出現在「過氧化物」

例： H_2O_2 ， $\text{H}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$

10. 概念3-3 課程影片內容分析

小節概念內容	3-3 路易士結構的畫法：含氧酸中，H原子通常接在O原子上。
影片時間區段	09:48~10:05 (00'18")
投影片字數	主要學習內容投影片：15 字
投影片總字數	15 字
投影片內容文字	(c) 含氧酸中，H 原子常接 O 原子上
影片口述內容字數	120 字
影片口述內容文字	OK，好，那麼再來就是說，如果你知道是含氧酸，比方說硫酸啦，比方說硝酸啦，請注意，含氧酸一定是 H 接 O，這個 H 跟 O 在一起的時候，H 才會因為被 O 拉而帶正，帶正才會斷鍵成雙，所以 H 跟 O 在一起，這幾點都是我們在講路易士結構的時候特別要提醒大家遵守的。

投影片呈現方式



11. 概念3-4 課程影片內容分析

小節概念內容	3-4 路易士結構的畫法：總價電子數的計算。
影片時間區段	10:06~11:07 (01'02")
投影片字數	主要學習內容投影片：68 字 重點概要補充投影片：37 字
投影片總字數	105 字
投影片內容文字	②算出總共價電子數，將各組成原子之價電子數相加，如果為多原子之陽離子，則要減掉其正電荷數，例 NH_4^+ $5+4-1=8$ 個價電子，若為陰離子則要加上其負電荷數。 價電子計算：例： $\text{H}_2\text{O}=1\times 2+6=8$ 帶「+」電者，必須扣除。帶「-」電者，必須加回。
影片口述內容字數	355 字
影片口述內容文字	好，那這個這個是我們所說的這個這個部份。接著我們再看，剛剛這個排列結構都出來之後，我們接著說，請你把總價電子數算出來，因為你要去做分配。

這時候我們舉例，比方說，比方說它叫 H_2O ， H_2O 到底有多少價電子數，各位很清楚 H 有 1 顆，2 個 H，所以每個 H 1 顆的話，2 個 H 就 2 顆，再來 O 呢？O 有幾顆？O 是 6A 族有 6 顆，所以全部加起來它有幾個價電子？有 8 個價電子，我們要先知道你有幾個價電子以便做分配，可是這裡特別告訴我們什麼呢？所以請注意，如果是帶正的話一定要把那個正的動作給做掉，因為正是扣掉嘛，所以我們要減一，帶負的話要加進來，是這個樣子，所以所以呢，這個是要求你把總電子數算出來。

好，知道誰排中間，誰經常排外面，又知道含氧酸氫一定要接氧之後，要先算出總價電子數，那麼而且呢，在算的時候要記得，如果帶正要記得扣掉，帶負要記的加上來。

投影片呈現方式

②算出總共價電子數，將各組成原子之價電子數相加，如果為多原子之陽離子，則要減掉其正電荷數，例 NH_4^+ $5+4-1=8$ 個價電子，若為陰離子則要加上其負電荷數。

③兩個原子間用單鍵連接，即兩個原子間先共用一對電子。

價電子計算：

例： $\text{H}_2\text{O}=1\times 2+6=8$

帶「+」電者，必須扣除。

帶「-」電者，必須加回。

12. 概念3-5 課程影片內容分析

小節概念內容	3-5 路易士結構的畫法：先將電子分配給外圍原子，剩下的再分配給中心原子，末端原子通常遵守八隅體。
影片時間區段(一)	11:08～13:00 (01'53")
投影片字數	主要學習內容投影片：114 字 重點概要補充投影片：53 字
投影片總字數	167 字
投影片內容文字	③兩個原子間用單鍵連接，即兩個原子間先共用一對電子。 ④分配剩下之價電子，使每個原子周圍之電子數盡可能形成八隅體，中心原子較有可能有八隅體之例外發生，末端原子則通常遵守八隅體。因此先將電子分配給外圍之原子，剩下的再分配給中心原子。 每一根「鍵」，代表 2 顆電子。當鍵用完，剩下的電子要分配，使每個原子滿足「八隅體規則」，且優先滿足「外圍」。
影片口述內容字數	646 字
影片口述內容文字	那麼，這個都做完之後，我們就說，來，兩個原子間用單鍵先接起來，因為會鍵結一定至少有一根單鍵，至於後來有沒有第二根鍵待會我們再說嘛，對不對，所以這些都是我們的基本動作唷。

那這個動作我們都做完以後，再來就說，好，鍵結完之後原子間先以單鍵鍵結，可是一根鍵是 2 顆電子，你剛剛已經先算好你有多少價電子，比方說，你有 18 個價電子，除以 2 代表有 9 對，就你畫單鍵已經畫掉五根了，代表用掉五對就剩四對，剩下來的這四對，來注意，剩下這四對，使每個原子就說分配，剩下去分配，先從外圍去分配，先從外圍分配，就是說，讓每一個原子的周圍都能夠形成八隅體，因為鍵結之目的就是要能滿足八隅體，對不對？

好，那麼這個這時候，當然優先讓外圍滿足，為什麼，因為外圍電負度大，中心電負度小，所以外圍先滿足，可是有時候經常分配完了中心不夠了，所以很容易出現中心原子呢不滿足八隅體的現象，這個就出現了，那麼這個旁邊通常會遵守，因為旁邊電負度大嘛通常會遵守，H 除外，要記得 H 除外。

所以呢，這時候我們說電子在我們做動作的時候是先給外圍，因為畢竟外圍呢電負度比較大優先滿足八隅體，最後剩的再給中心，好，剩下再給中心剩下再給中心，好，OK，可是呢，同學說，老師，那我剩下給中心，阿然後呢？萬一中心不夠怎麼辦？都給出去啦，旁邊都滿足八隅體就中心沒有，沒關係，旁邊的原子再把它身上的電子再共用回來，這個就形成兩個原子間的第二根鍵，這叫 π 鍵，所以 π 鍵之所以形成，是因為整個電子都分配完了以後發現中心沒有滿足八隅體再從外面分配回來，這個等一下我們會舉個例子。

投影片呈現方式

②算出總共價電子數，將各組成原子之價電子數相加，如果為多原子之陽離子，則要減掉其正電荷數，例 NH_4^+ $5+4-1=8$ 個價電子，若為陰離子則要加上其負電荷數。

③兩個原子間用單鍵連接，即兩個原子間先共用一對電子。

④分配剩下之價電子，使每個原子周圍之電子數盡可能形成八隅體，中心原子較有可能有八隅體之例外發生，末端原子則通常遵守八隅體。因此先將電子分配給外圍之原子，剩下的再分配給中心原子。

⑤必要時將單鍵改為雙鍵或叁鍵、多鍵之情形在 C, N, S, O 等少數幾個元素較可能發生。

每一根「鍵」，代表 2 顆電子。

當鍵用完，剩下的電子要分配，使每個原子滿足「八隅體規則」，且優先滿足「外圍」。

外圍的電子可以和中心重新組合成「雙鍵」、「叁鍵」。這樣「額外」的鍵，稱為「 π 鍵」

13. 概念3-6 課程影片內容分析

小節概念內容

3-6 路易士結構的畫法：在 C、N、O 等二週期元素中較可能形成雙鍵或參鍵的鍵結情形。

影片時間區段	13:01~14:28 (01'28")
投影片字數	主要學習內容投影片：41 字 重點概要補充投影片：40、42 字
投影片總字數	123 字
投影片內容文字	⑤必要時將單鍵改為雙鍵或叁鍵、多鍵之情形在 C，N，S，O 等少數幾個元素較可能發生。 外圍的電子可以和中心重新組合成「雙鍵」、「參鍵」。這樣「額外」的鍵，稱為「π 鍵」 σ 鍵和 π 鍵： 當鍵結形成時，第一根鍵必為「σ 鍵」。其次的雙鍵、參鍵則為「π 鍵」。 例： $N \equiv N$
影片口述內容字數	461 字
影片口述內容文字	好，那麼請注意多鍵，多鍵就是雙鍵或參鍵對不對，雙鍵或者參鍵叫多鍵，那這個一定怎樣，一定是一根 σ 鍵，各位請注意，比方說 N 跟 N 先形成第一根鍵，第一根鍵就是叫做 σ 鍵最安定，可是發現不夠，不夠再形成第二根鍵就變雙鍵，再形成第三根鍵就變參鍵，不管是雙鍵參鍵都叫什麼鍵，都叫多鍵多鍵，那可是請注意，多鍵是多了第二根第三根，第二根第三根叫做 π 鍵，以後會告訴你 π 鍵是比較不容易形成的，要原子靠的夠近才會形成，所以通常發生在 CNO 這些元素，S 比較特殊，我為什麼要強調 CNO，因為它們都是二週期，週期表的二週期半徑會怎麼樣，比較小比較容易形成 π 鍵，所以會形成 π 鍵除了 S 以外之外，通通是發生在二週期的 CN 或 O，它們形成 π 鍵的能量才會夠，才會接近 σ 鍵它才願意形成，如果形成 π 鍵能量不夠，它可能就尋求別的方法去安定而不再形成 π 鍵。 所以通常 π 鍵會形成 π 鍵，是因為中心不滿足八隅體從旁邊拉回來，形成第二根鍵叫 π 鍵或第三根叫 π 鍵，那會有 π 鍵的一定是 CNSO，其中 C 跟 N 跟 O 都是二週期，因為它比較容易靠近去形成 π 鍵，是這個樣子，好，那麼所以呢，這個都是我們所做的基本動作。

投影片呈現方式

④分配剩下之價電子，使每個原子周圍之電子數盡可能形成八隅體，中心原子較有可能有八隅體之例外發生，末端原子則通常遵守八隅體。因此先將電子分配給外圍之原子，剩下的再分配給中心原子。

⑤必要時將單鍵改為雙鍵或叁鍵、多鍵之情形在 C，N，S，O 等少數幾個元素較可能發生。

每一根「鍵」，代表2顆電子。

當鍵用完，剩下的電子要分配，使每個原子滿足「八隅體規則」，且優先滿足「外圍」。

外圍的電子可以和中心重新組合成「雙鍵」、「參鍵」。這樣「額外」的鍵，稱為「 π 鍵」

σ 鍵和 π 鍵：

當鍵結形成時，第一根鍵必為「 σ 鍵」。其次的雙鍵、參鍵則為「 π 鍵」。

例： $N \equiv N$

14. 概念3-7 課程影片內容分析

小節概念內容	3-7 路易士結構的畫法：綜合概念—例子
影片時間區段	14:29~17:47 (03'19")
投影片字數	主要學習內容投影片：5 字(8%)+表格 58 字(92%) 重點概要補充投影片：96 字
投影片總字數	159 字
投影片內容文字	路易士結構 甲醛結構畫法： A)H_2CO 共有 $2+4+6=12$ 個價電子 B)每個原子鍵結，用掉 3 根鍵(6 個電子)。還剩 6 個電子。剩下的電子給氧，亦滿足八隅體 C)外圍原子都滿足八隅體，仍多一對電子 D)和中心的 C 再生成一鍵，恰好全部滿足八隅體
影片口述內容字數	1136 字
影片口述內容文字	那現在我們就開始要準備來研究路易士結構，來各位，我現在就很清楚的講一個給各位聽，各位來請看。 舉例舉例，這個來講以這個來講，那麼以這個來講，注意，各位同學這個呢叫做什麼？這個叫做甲醛，HCOH 這叫甲醛，那你說老師，你在算的時候是怎麼算的呢？我們來看一下，第一個，我們就說先把電負度小的放中間，對阿，把大的放旁邊，或者是 H 優先放旁邊嘛，對不對，那再來我們說，請你把電子數算出來，H1 顆，兩個 H 就有 2 個價電子，再來 C 呢？C 有幾顆？C 是 4A 有 4 顆，再來 O 呢？O 有幾顆？O 是 6A 有 6 顆，加起來有幾顆？12 顆，加起來有 12 個價電子對不對？ 這 12 個價電子呢，我們先用 C 中心嘛連接外圍，所以先畫單鍵，每一根鍵，每一根單鍵都已經用掉 2 顆囉，都用掉 2 顆囉，對不對，都用掉 2 顆對不對，所以用掉 6 顆就是三對，我總共有六對，用掉三對剩三對嘛，剩下的三對優先給旁邊嘛，有沒有，H 說不要了，我這樣夠了，因為 2 顆就滿足了，因為 H 不需要滿足八隅體，那我剩三對呀剩三對，它不要，它不要，阿就給它，你看一對，對不對，又一對，有沒有，剛剛我們講義上是畫黑色的嘛，對不對，那我現在再點上去的是紅色的，不是 4 顆唷，是再重新點唷，黑的不算唷，那剩三對，這裡一對，這裡兩對，用掉兩對還一對怎麼辦？還一對這時候我們最後再，你看滿足八隅體了，這個不用滿足，這個不用滿足，那這裡呢，246 顆 6 顆，這裡也是 246 顆 6 顆，乾脆剩下 2 顆給它，這一給它呢，對它也滿足八隅體，對它也滿足八隅體，這樣子的話就可以解決一切了。 好，同學那我們再說一遍，各位請看，以老師現在所做的動作各位再看一遍，我剛剛說過它有 12 個價電子，那我這裡用掉一對，用掉一對，再用掉一對，已經怎麼樣，已經用掉三對了，12 顆就六對，用三對還剩三對，那

三對就開始給旁邊，它說不用，它說不用因為夠了，那它要，它這裡給 2 顆，有沒有看到 2 顆，這裡給 2 顆，你看到沒有，就是用掉兩對嘛 還剩一對，這一對如果給它，它沒有滿足八隅體，如果給它，它沒有滿足八隅體，乾脆給它們兩個共用，所以這時候就形成第二根鍵叫 π 鍵，所以 π 鍵有時候就是說，你其實其實我們說過優先給旁邊嘛，所以兩顆兩顆，應該再兩顆給它嘛，給完之後發現中心沒有滿足八隅體，再把這兩顆拿來共用，所以什麼叫 π 鍵，當你把分子都畫完之後發現中心不能滿足八隅體，再把旁邊的電子對拉回來形成的就叫 π 鍵，這就叫 π 鍵。

OK，所以這裡面有很多的結構讓各位參考，這個就是說你要按照剛剛的原則，誰當中心誰當旁邊嘛，再來先把電子分配完之後把剩的先給旁邊，給完再給中間，不夠再拉 π 鍵回來，這樣就可以完整的去尋求這些粒子它的排列方式，OK，好，那麼所以呢，這個我們所畫出來這都是常見的路易士結構，我再重覆一遍，路易士結構在形成的時候，除了 H 之外都能夠滿足八隅體，都能夠滿足八隅體，OK，好。

投影片呈現方式

路易士結構

NH_3	H_2CO	NO_2^+	OCl^-
$\begin{array}{c} \text{H}-\ddot{\text{N}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{O} \end{array}$	$[\text{:}\ddot{\text{O}}=\text{N}=\ddot{\text{O}}\text{:}]^+$	$[\text{:}\ddot{\text{O}}-\ddot{\text{Cl}}\text{:}]^-$
XeF_2	H_2O_2		N_2O_4
$\begin{array}{c} \text{F}-\ddot{\text{Xe}}-\text{F} \\ \cdot \quad \cdot \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H}-\ddot{\text{O}}-\ddot{\text{O}}-\text{H} \\ \cdot \quad \cdot \end{array}$		$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{N}=\text{N} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array}$

甲醛結構畫法：

A) H_2CO 共有 $2+4+6=12$ 個價電子

B) 每個原子鍵結，用掉 3 根鍵 (6 個電子)。

還剩 6 個電子。剩下的電子給氧，亦滿足八隅體

C) 外圍原子都滿足八隅體，仍多一對電子

D) 和中心的 C 再生成一鍵，恰好全部滿足八隅體

15. 概念4-1 課程影片內容分析

小節概念內容	4-1 路易士結構的共振：有些分子的路易士結構具有兩種或兩種以上的結構皆能符合路易士結構的電子分配。
影片時間區段	17:48~23:02 (05'15")
投影片字數	主要學習內容投影片：56、41 字(35%)+圖 76 字(65%) 重點概要補充投影片：47、58、37、38、45 字
投影片總字數	398 字
投影片內容文字	(4)路易士結構之共振： 有些分子之路易士結構不只 1 種，即 2 種或 2 種以上之結構都可以符合路易士結構之電子分配，例如 SO_2。 都可以符合路易士結構，以雙箭頭符號表示共振或用虛線表示 註：近來有些科學家建議之結構 共振：不只 1 種結構可以符合，有 2 種以上的結構可以滿足路易士結構規則。例：SO_2 共有 $6+6 \times 2 = 18$ 個價電子。

SO₂

彼此鍵結完成後，仍剩 7 對電子。必須形成一個「 π 鍵」，才能全部滿足八隅體。但兩個氧皆可和 S 形成 π 鍵，此時稱之「共振」

共振：

A)先確定有「 π 鍵」

B)再確定「 π 鍵」不固定位置，可以替換則稱之「共振」

面對考試時的建議：

雖然「虛線」可以代表共振的形式但仍建議將所有結構都畫出來。

補充資料：

S 當中心時，因為本身是第三週期元素，不一定要滿足八隅體，可以擁有四根以上的鍵結。

影片口述內容字數 1637 字

影片口述內容文字 那再來呢就提到共振，什麼叫共振？請注意，共振就是說，共振就是說，來各位請看，不只一種結構，有兩種或兩種以上的結構都可以怎麼樣，符合八隅體的原則。

那我們來看，例如 SO₂，SO₂ 老師就畫一次給各位看好不好，SO₂ 我們畫圖給各位看，來各位準備來看一下 SO₂，各位 SO₂ 呢，請注意，我打算這樣跟各位來表達，來 SO₂，請注意，SO₂ 一個 S 6A 喔，兩個氧也是 6A，所以幾個價電子呢，6 加上 6 乘 2，看到沒，所以等於多少，三六十八嘛所以代表他有 18 個價電子，OK，18 個價電子，第一點，電子數找出來了，當然要先確定它的電負度比較小當中心，對不對？

好再來，中心先單鍵連接外圍電子，好再來看，我有十八顆就是九對，用掉兩對剩七對，這七對怎麼辦呢，優先給旁邊對不對，旁邊，旁邊讓它滿足八隅體阿，給你這樣，給你這樣，給你這樣，給你三對了，你也給他三對，反正夠嘛，阿就變用掉六對，還剩一對，剩一對就給他了，給完了 OK，給完之後檢查，八隅體了，二四六八嘛，二四六八嘛，可是沒有八隅體怎麼辦，這時候再把其中的某一對拉過來，拉過來之後呢，讓怎麼樣，讓他這兩顆能夠跟別人共用，能夠拿來跟硫共用，這兩顆就不要了，就移到這邊去共用了，這時候對他來講，我是移到這邊並沒有損失喔，所以還是滿足八隅體，對他來講，一對兩對三對四對，也滿足八隅體，所以 π 鍵之形成，是當外圍已經滿足八隅體了，中心還沒有的時候，從外圍拉來讓中心共用，這叫做 π 鍵，第二根鍵叫 π 鍵。

可是呢？各位你應該知道，一定要長這樣嗎，對不對，我們說一定要長這樣嗎，我再重新來做一次的動作，各位，什麼意思呢，我們說，難道一定要長這樣嗎，剛剛已經畫過了，我再重畫一遍，SO 這裡再一個 O，這樣，然後一二三四五六，一二對不對，三四，這兩顆拿過來嘛，變這樣，對不對？

可是一定要長這樣嗎？同學，我也可以怎麼樣，我也可以這樣，這樣，一二三四五六，對不對，八隅體嘛，再來呢，剛我這裡漏畫了，還有兩顆剛沒畫到對不起喔，這樣，來我們現在來看一下，他這裡一樣分配完了嘛，

都分配完了之後，發現，這兩顆這兩顆 OK，這裡的兩顆拉回去跟他形成 π 鍵嘛。

我的意思就是說，你要形成 π 鍵，是因為中心的硫沒有滿足八隅體，所以從旁邊借兩顆過來共用，對他沒損失，對他有收穫，可是你一定要拉這個氧嘛？難道你不能拉這個氧，可以？對不對，既然可以的話，他有時候長這樣，有時候長那樣，不管長這樣或長那樣，都能夠滿足八隅體規則，都能夠符合路易士結構的要求，那就叫做此二結構共同存在，這個行為就叫共振，這樣懂嘛，所以各位記得，要先確定有 π 鍵，才再確定 π 鍵不定域，不見得一定要在那個地方，這的行為就叫共振。

好，所以各位應該也聽懂共振的由來了，那麼我們講義上學的是 SO_2 ， SO_2 剛剛我已經畫給各位看了，那各位請看，在這裡一樣的道理，可以這邊也可以那邊，那麼既然是這樣的話，為什麼我們不畫這樣叫做，他可以兩種或兩種以上的結構穩定存在呢。

但也有一些書上是這樣表達，那我勸各位在平常考試的時候最好兩結構都畫，而不要畫虛線，虛線這樣其實代表電子雲在那邊移動，也對啦，不過我們有時候改考試卷的時候比較嚴格，會要求你兩個都畫出來，你把它各種穩定結構都畫出來，會比畫虛線還要安全一點，OK。好，那麼這個是關於共振的部份。

那麼現在就是說，這個以後到大學會學到，所謂的形式電荷，所以目前來講就是說，老師老師，這兩顆兩顆兩顆兩顆兩顆，這樣對硫來講就十顆，不就不滿足八隅體嗎？

這樣的一個現象，我們到未來在大學學的時候，就會多另外一個敘述，那老師可以稍微告訴你一下，就是說因為硫，這個氧硫砷碲鉍，硫是 6A 族，硫是第三週期，第三週期以後的元素基本上它的鍵結量不見得一定限制在四根鍵，也就是不見得八隅體，所以近代有些科學家認為這樣子會比較好表達，那這個就我們有機會再來討論，因為目前我們高中還是教到這個地方，就是說，盡量讓大家都能夠滿足八隅體，所以對這個結構會比較陌生，不過現在就是說，這樣寫也對，這樣寫好像也行，這樣寫呢也有人在說，而且越來越多人說，不過對考試而言，還是建議各位先以這兩個結構來表示。

投影片呈現方式

(4) 路易士結構的共振：

有些分子之路易士結構不只 1 種，即 2 種或 2 種以上之結構都可以符合路易士結構之電子分配，例如 SO_2 。

共振：

不只 1 種結構可以符合，有 2 種以上的結構可以滿足路易士結構規則。

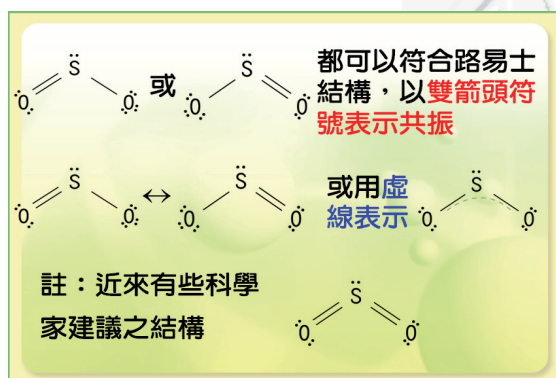
例： SO_2 共有 $6+6 \times 2 = 18$ 個價電子。

SO_2

彼此鍵結完成後，仍剩 7 對電子。

必須形成一個「 π 鍵」，才能全部滿足八隅體。

但兩個氧皆可和 S 形成 π 鍵，此時稱之「共振」



共振：

A)先確定有「 π 鍵」

B)再確定「 π 鍵」不固定位置，可以替換則稱之「共振」

面對考試時的建議：

雖然「虛線」可以代表共振的形式
但仍建議將所有結構都畫出來。

補充資料：

S當中心時，因為本身是第三週期元素，
不一定要滿足八隅體，可以擁有四根以上的鍵結。

16. 概念5-1 課程影片內容分析

小節概念內容	5-1 具有共振結構者，鍵數有可能為分數。
影片時間區段	23:03~23:43 (00'41")
投影片字數	主要學習內容投影片：58 字(40%)+圖 87 字(60%) 重點概要補充投影片：34 字
投影片總字數	179 字
投影片內容文字	(5)鍵數：①兩原子間共用電子之對數 例：②O 與 O 之間鍵數為 3/2 因為 3 個鍵，連接 2 個地方，有共振結構者，鍵數才有可能為分數。 當共振結構發生時，鍵數可以發生分數的情形。 例：O₃，O—O 之間為 3/2 鍵。
影片口述內容字數	249 字
影片口述內容文字	好，那麼所以呢，現在講完這裡之後呢，那麼我們對於所謂的共振結構提完之後，我們接著來提鍵的數目，各位，如果他有三根叫三鍵嘛，如果他一根叫一鍵嘛，兩根叫雙鍵嘛，就這樣對不對？ 可是呢，像剛剛說，這樣有時候這樣有時候這樣，代表說他有時候雙鍵有時候單鍵，我們就平均叫他叫做 1 又 2 分之一鍵，或著叫做總共三根分成兩個地方就叫 2 分之 3，2 分之 3 其實就是 1 又 2 分之一嘛，我一你也一，阿這根共享就 1 又 2 分之 1 嘛，對不對，所以呢，這個呢，你要叫 2 分之 3 叫 1 又 2 分之一都行，只要你們鍵是分數，通常是共振來的啦，來這樣懂嗎。



小節概念內容	5-2 鍵數愈多者，鍵能通常較大，鍵能：參鍵>雙鍵>單鍵。 5-3 鍵數愈多者，鍵長通常較短，鍵長：單鍵>雙鍵>參鍵。
影片時間區段	23:44~25:30* (01'47")
投影片字數	主要學習內容投影片：17 字(17%)+表格 83 字(83%)、 17 字(17%)+表格 83 字(83%) 重點概要補充投影片：39 字
投影片總字數	145 字
投影片內容文字	表(1)氧原子間鍵數與鍵長、鍵能之關係 表(2)氮原子間鍵數與鍵長、鍵能之關係 雙鍵，鍵能大，鍵長短。單鍵，鍵能小，鍵長長。 ※同樣原子中：鍵級數↑鍵能↑鍵長↓
影片口述內容字數	528 字
影片口述內容文字	OK，好，那再來就是說，鍵到底有單鍵雙鍵三鍵甚至有 1 又 2 分之 1 鍵，那鍵的長度跟能量呢？ 我們來看一下，基本上來講，你看以 O ₂ 來講，O ₂ 呢他是什麼呢，他是兩個氧，兩個氧怎麼樣，兩個氧他形成雙鍵，所以各位他是長這樣，O，這個顏色不好，我們來換一下，O 這樣，OK，O，O 跟 O 他是這樣，因為是雙鍵，所以能量比較大，OK？阿因為能量大就靠的比較近，所以鍵長就比較短。 可是這個呢，剛剛你們看過，O 跟 O 長這樣，這邊接氫這邊接氫，這叫做 H ₂ O ₂ ，因為只有單鍵，所以能量就比較弱，你看，而且長度就比較短，阿長度就比較長，對不起，能量弱就離的遠嘛，長度就比較長，所以呢，鍵的級數越大，長度就越小，但能量就越大，請記得是這樣，就是同樣的原子，形成的鍵，級數越大，那麼就越短，當然能量就越大，是這個樣子的。 OK，好，這是以上關於什麼呢，關於鍵的長度，跟鍵的級數的介紹，那麼因為，你要講路易士結構，講完之後就會講單鍵，就會講雙鍵，就會講共

振，接著就講鍵級，鍵級之後接著就會講鍵的能量跟鍵的長度，對不對，所以我們接著講的是鍵長跟鍵能。

剛剛提到的是氧，現在來提氮，氮有三鍵有雙鍵有單鍵，各位，當然形狀後來慢慢再討論，不過我們先看，鍵越大能量就越大，長度就越短，是這個樣子，對不對，我想大家應該可以接受。

投影片呈現方式

表(1)氧原子間鍵數與鍵長、鍵能之關係

分子	鍵級 (O與O)	鍵長 Å	鍵能(千 卡/莫耳)
O ₂	雙鍵	1.21	119
H ₂ O ₂	單鍵	1.48	48

表(2)氮原子間鍵數與鍵長、鍵能之關係

分子	鍵級(N 原子間)	鍵長 Å	鍵能(千 卡/莫耳)	形狀
N ₂ H ₄	單鍵	1.47	39	立體
N ₂ F ₂	雙鍵	1.24	100	平面
N ₂	叁鍵	1.10	225	線形

雙鍵，鍵能大，鍵長短。

單鍵，鍵能小，鍵長長。

※同樣原子中：鍵級數↑鍵能↑鍵長↓

註：「 * 」為影片時間區段內容說明涵蓋5-1與5-2兩個概念。

附錄二

八隅體與路易士結構概念問卷

同學您好：

這是一份關於高二上學期化學課程「八隅體與路易士結構」的概念問卷，目的在於瞭解您對於「八隅體與路易士結構」概念上的理解，測驗的結果將做為學術研究上的重要參考依據，不會公開或做為其他用途，請您放心作答。

※ 注意事項：下列題目皆為單選題，請依照題目敘述選出最合適的一個答案，並將答案填寫於()內，再次感謝您的作答，祝學業進步。

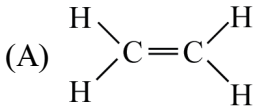
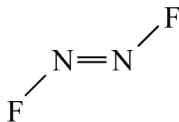
台灣師範大學 科學教育研究所敬致

班級：_____ 姓名：_____ 座號：_____

【說明】下表為部分週期表內容，供回答問題參考。

1						2					
H						He					
3	4					5	6	7	8	9	10
Li	Be					B	C	N	O	F	Ne
11	12					13	14	15	16	17	18
Na	Mg					Al	Si	P	S	Cl	Ar

- () 01. 以下關於八隅體規則與路易士結構的敘述何者「錯誤」？
(A) 當原子與原子結合時，傾向擁有與惰性氣體相同的價電子數。
(B) 路易士結構可表示化合物中價電子的結合情形
(C) 所有原子在形成穩定化合物時，各原子均遵守八隅體規則
(D) 週期表中同族元素具有相同的價電子數
- () 02. 下列各分子中，何者的總價電子數最少？
(A) CH_3^+ (B) OH^- (C) NH_4^+ (D) NH_3 。
- () 03. 下列哪些分子的路易士結構，「不符合」八隅體規則？
(A) Cl_2 (B) CO (C) H_2S (D) SF_6 。

- ()04.下列那個分子的鍵結方式較「不易」發生？
 (A)C=C (B)P≡P (C)O=O (D)N≡N。
- ()05.下列有關乙烷、乙烯、乙炔分子中C—C鍵長的比較，哪一個是正確的？
 (A)C₂H₆<C₂H₄<C₂H₂ (B)C₂H₂<C₂H₆<C₂H₄
 (C)C₂H₂<C₂H₄<C₂H₆ (D)C₂H₄<C₂H₆<C₂H₂。
- ()06.元素A有5個價電子，與氫以共價鍵結時，則A的氫化物之化學式應為？
 (A)AH₃ (B)AH₄ (C)AH₂ (D)AH。
- ()07.下列各化合物的路易士結構畫法，何者「錯誤」？
 (A)  (B) H—N≡C (C)  (D) 
- ()08.下列何組的兩元素，其電子排列有相同的最外層電子數？
 (A)₂He、₁₉K (B)₃Li、₁₁Na (C)₇N、₁₄Si (D)₉F、₁₀Ne。
- ()09.下列哪些分子的路易士結構，「不符合」八隅體規則？
 (A)NO (B)CO₂ (C)H₂O (D)HCl。
- ()10.下列化合物(1)HF (2)H₂O (3)CH₄ (4)NH₃，依其孤對電子數目「由多到少」排列為？
 (A)(1)>(2)>(3)>(4) (B)(3)>(4)>(2)>(1)
 (C)(4)>(3)>(2)>(1) (D)(1)>(2)>(4)>(3)。
- ()11.下列雙原子分子的化學鍵能何者最大？
 (A)H₂ (B)O₂ (C)N₂ (D)F₂。
- ()12.下列各分子或離子，何者「沒有」共振現象？
 (A)NO₃⁻ (B)O₃ (C)CO₃²⁻ (D)PO₄³⁻。
- ()13.下列化合物中，何者的中心原子具有孤對電子？
 (A)NO₂⁺ (B)PO₃³⁻ (C)H₂CO (D)CCl₄。

()14.下列哪些分子的電子點式，其每個原子（氫除外）均遵循八隅體規則？
(A)NaF (B)BF₃ (C)CH₄ (D)BeF₂。

()15.下列那個分子的路易士結構中 O 與 O「未」連接在一起？
(A)N₂O₄ (B)K₂O₂ (C)H₂O₂ (D)F₂O₂。

()16.下列硫的化合物中，S—O 的鍵數何者最大？
(A)SO₄²⁻ (B)SO₂ (C)SO₃ (D)SO₃²⁻。

()17.下列那些分子的路易士結構中「未」含有雙鍵？
(A)CO₂ (B)HNO₂ (C)H₂CO₃ (D)N₂O。

18.請畫出 NO₂⁻ 分子的路易士結構。

19.請算出 NO₂⁻ 分子中 N—O 的鍵數為_____。

20.請畫出 HNO₃ 分子的路易士結構。

附錄三

學習情意問卷

同學您好：

首先謝謝同學們參與自主多模態影音學習系統化學概念學習的研究，以下為關於自主多模態影音學習系統的幾個問題，希望藉由同學們寶貴的意見來瞭解學習系統在使用上的建議與需求，以做為往後修正的參考依據，再次感謝同學們的配合與填寫。

台灣師範大學 科學教育研究所敬致

班級：_____姓名：_____座號：_____

1. 自主多模態影音學習系統與一般傳統課室教學比較，對你本身而言最大的差異性為何？
2. 自主多模態影音學習系統中，對你在學習上最有幫助的是那一個部分？並進一步說明簡單的理由。

3. 自主多模態影音學習系統中，你覺的需要改進的部分為何(可複選)？並進一步說明簡單的理由。

- ① 整體介面的版面配置位置
- ② 整體介面的版面配置大小
- ③ 投影片的字型大小
- ④ 影片應加上字幕
- ⑤ 可控制將不需要的介面隱藏
- ⑥ 影片中授課講話速度的調整
- ⑦ 其他



4. 對於自主多模態影音學習系統，你是否還有其他的建議或需求？