

肆、系統建構

系統發展及建構力求符合使用性原則，以達到教學目的為主要目標，並儘量做到控制物件的程度，與教學概念緊密結合，希望能透過互動的形式達到經驗性目標，創造愉悅的學習經驗。

所有的設計原則並非能在同一個畫面中全部實現，有些原則在某些狀況下會相互抵觸，例如一致性的設計，有時某些狀況並不全然適合一致性，犧牲某種程度的一致性，可能反而更容易使用（Precess, 2001），因此在設計上就必須有取捨。

不同的設計、建置階段，分別以焦點團體、電子郵件、電話訪談的方式，請輔導團的老師們、與即將實際使用本系統內容實施教學的兩位老師，參與往返的測試評估與修正，以確認是否符合老師教學上的需求。經過數次的再設計、再建立與再評估之後，始完成實施教學之版本。

一、第一階段：系統開發環境與過程

爲了讓老師可以隨時將教材帶著走，在沒有網路的環境、不同的電腦作業系統版本上都能執行，本系統選擇以 Flash 8 爲設計工具，該軟體具備優良的製作動畫能力，搭配程式語言 Action Script 可以設計互動控制的介面，若有必要，也能存取資料庫，記錄使用者的學習歷程；也能播放影音媒體、甚至製作視訊聊天室。

因此，本系統是以網路爲基礎（Web-based）但可離線使用的軟體，只要有瀏覽器，無論是 IE、Fire Fox，只要安裝 Flash Player 就能使用，未來也可以放在網路上供人下載或直接使用學習。

爲了能縮短建置的時程，同時儘量能達成快速產出成品的開發模式，研究者以程式語言將諸多互動控制撰寫成共用之功能模組，利用陣列、變數，搭配不同的物件名稱，即可快速產生不同的互動元件。

例如平面幾何圖形的互動模式爲一個功能模組；挑戰應用的兩倍線段、兩角相加或相減，雖然動畫過程相異，但操作模式相同，只需改變題目及答案陣列、修改作圖動畫，就能使用同一個功能模組，快速完成題目的變化；此外，無論是尺規作圖或是挑戰應用的作圖區，都能旋轉、搬移作圖區，也是共用一個功能模組。這樣功能模組化的方式，縮短大量的開發時程。

表 4 本研究設計之功能模組

模組名稱	功能重點描述	使用部份
主選單	利用多維陣列變數，增修主選單的選項	整體介面主選單
手風琴選單	使用者點選步驟，即會播放該步驟之動畫	作圖步驟操作選單 (包含挑戰應用作圖)
概念－物件對應模組	利用迴圈使變數、物件名稱有不同的組合，使概念與物件快速產生對應	基本幾何圖形 1. 點、直線、線段 2. 角的形成 3. 常見的角 平面幾何圖形 1. 三角形 2. 四邊形與多邊形
拼圖模組	使用者可拖曳物件，系統自動判斷正確性並做出回應	基本幾何圖形 1. 餘角 2. 補角 3. 對頂角
旋轉模組一	當使用者拖曳滑鼠，物件會跟著旋轉	圓規 圓 (半徑、圓心角、扇形)
旋轉模組二	當使用者拖曳滑鼠，物件會跟著旋轉，同時線段、弧線段以及弓形面積跟著改變	圓 (弦、弧、弓形)
旋轉模組三	作圖區的旋轉按鈕，可供使用者將圖形旋轉至適當的角度以比對題目角度	尺規作圖 挑戰應用
移動模組	使用者可直接拖曳作圖區	尺規作圖 挑戰應用
答題模組	利用多維陣列變數，判斷作圖步驟中的題目、答題選項及使用者所點選的答案是否正確	挑戰應用

二、使用者介面

從需求分析得知，本系統的使用情境將會是在教室中進行的理解與行動等學習活動，老師將透過本系統講解幾何的概念，並希望能導引學生發展出題目變化的解題技巧。在課堂上，每位老師的教學進度可能會有所不同，加上每所學校所採用的教科書版本也可能相異，因此除了要對於幾何的教學內容有一整體性的架構，也要能讓老師自行安排上課的先後順序以及上課進度，甚至是段考前的整體複習，在不同的單元之間切換內容。

在原形設計時，由於重點是在內容的設計、測試，研究者暫時以最快速、簡便的方式，使用 Flash 內建的按鈕製作選單，這樣的選單介面，與大部份的遊戲軟體選單操作方式類似。點選某個單元進入內容之後，以在內容頁放置「選單」按鈕，讓使用者可以重回主選單選擇下一個要進入的部份。

然而，這樣的操作介面，不太能瞭解整套系統或是教學內容的架構；其次，在教學情境中，教師有可能要在單元之間跳躍，如此就要往返於主選單－內容頁之間，可能造成時間的浪費與操作動作的繁瑣。

在作圖動畫的操作部份，原形的設計原本以播放器的概念，以「||」、「▶」符號對應（Mapping）「暫停」、「播放」等操作。但是如此一來，使用者並無法得知究竟有多少步驟，或者教師在教學過程中，需要跳步驟、特別重播某個作圖的步驟時，就會有困難。

爲了讓使用者在步調、順序、媒體上都能獲得充份的控制權，以符合使用性目標的迅速、功能性、易學、易記，也讓使用者可以看到整體的架構，以符合設計原則可視性、預視性，讓使用者可以快速的找到要點選的單元、跳至要播放的作圖步驟，在研究 Flash 8 的組件之後，決定正式版本的選單，使用 Menu Bar 下拉式選單作爲系統的整體選單，讓使用者一目瞭然整體的架構，也可以在單元之間游走跳選（圖 15）。

表 5 設計概念－整體操作介面

使用性目標	設計原則	互動控制程度
迅速性、功能性 易學性、易記性	可視性、預視性、回饋	步調、順序



圖 15 主選單操作介面（基本幾何圖形下拉）

至於作圖動畫的操作介面，則使用 Accordion 手風琴式選單，作圖有幾個步驟從選單上就可以知道，步驟的作圖說明文字就在下方，使用者點選時，面板即滑動展開，無論點選哪個步驟，選單高度都相同，不會因為每個步驟的文字過多，造成頁面太長的問題（圖 16）。

表 6 設計概念－動畫操作介面

使用性目標	設計原則	互動控制程度
迅速性、功能性 易學性、易記性	可視性、預視性、回饋	步調、順序、媒體

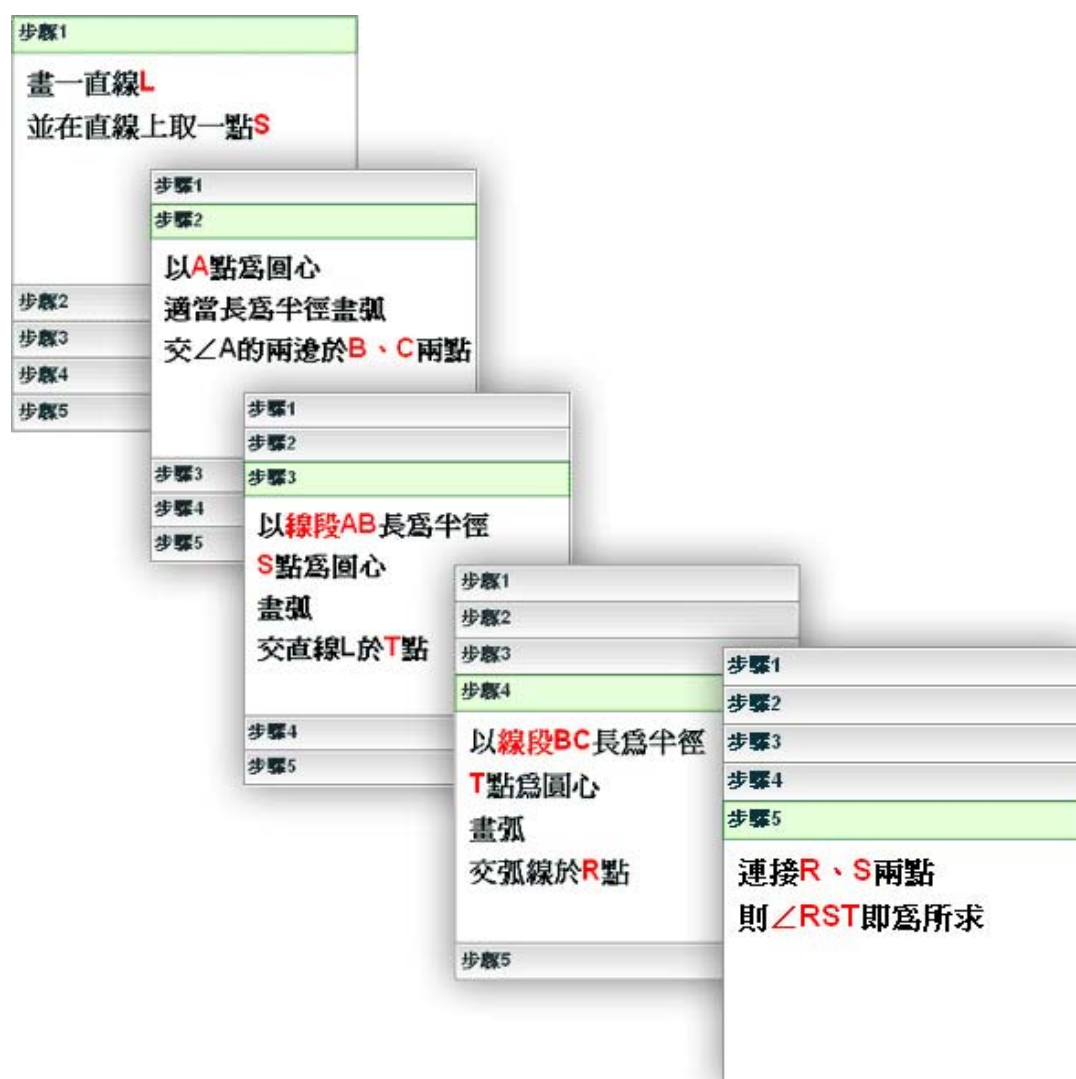


圖 16 作圖步驟動畫操作選單（步驟 1～步驟 5）

三、內容及互動設計

本系統旨在「等角作圖」的教學，但是在學等角作圖之前，必需先瞭解點、直線、線段、角、圓等相關概念，因此在內容架構上，也需要將「基本幾何圖形」、「平面幾何圖形」中的圓放在內容中。

「點、直線、線段」、「角的形成」、「常見的角」旨在瞭解其定義，因此使用簡單的文字按鈕、配合圖像來表達每個名詞的概念。

這三者的操作方式具有一致性（consistency），都是點選某個名詞之後，該名詞會變色，圖片也會換成該名詞所表達的靜態或動態圖像。使用者在操作的同時，畫面內容給予的回饋（feedback），強化文字與圖像、動畫的扣連，藉此達到本系統的教學目標。

1. 點、直線、線段

點、直線、線段的部份，右下方圖像區域上所有點、線的初始狀態為半透明狀，使用者點選某個選項，如直線，該選項的文字會變彩色，同時右方的圖所指陳的部份會變為實色、並配合動畫來展演指陳的概念。如直線 L 會以動畫方式表現往兩邊延伸長度（圖 17）。

表 7 設計概念—點、直線、線段

使用性目標	設計原則	互動控制程度	學習活動
迅速性、功能性 易學性、易記性	可視性、預視性 回饋	步調、順序	理解—互動式圖 文、動畫

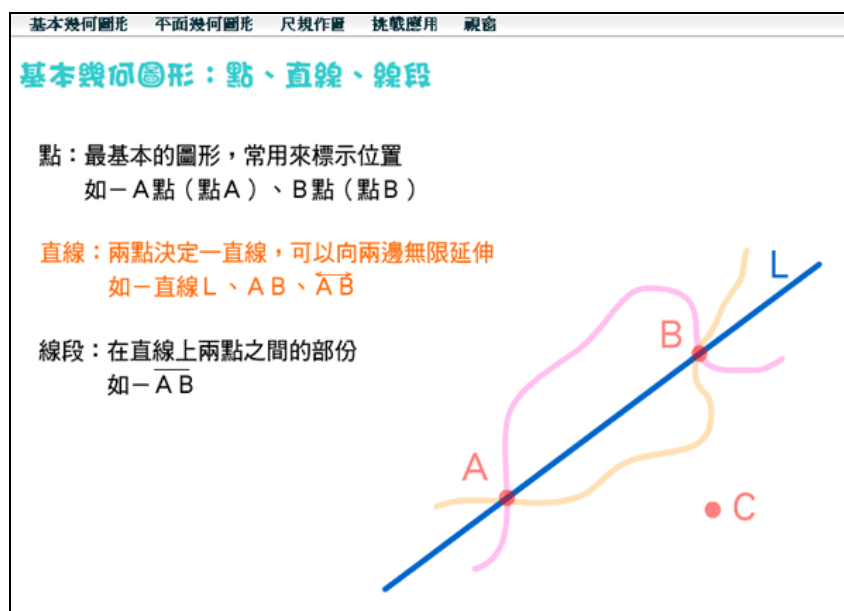


圖 17 內容畫面—點、直線、線段

2. 角的形成

當使用者將滑鼠移至某角選項上，會出現該角的唸法如「角 DEC 或角 CED」，點選該角則選項會變色(如圖 18 之 $\angle AED$)，並於右方的圖顯示指陳的角(黃色部份)。

表 8 設計概念—角的形成

使用性目標	設計原則	互動控制程度	學習活動
迅速性、功能性 易學性、易記性	可視性、預視性 回饋	步調、順序	理解—互動式圖 文

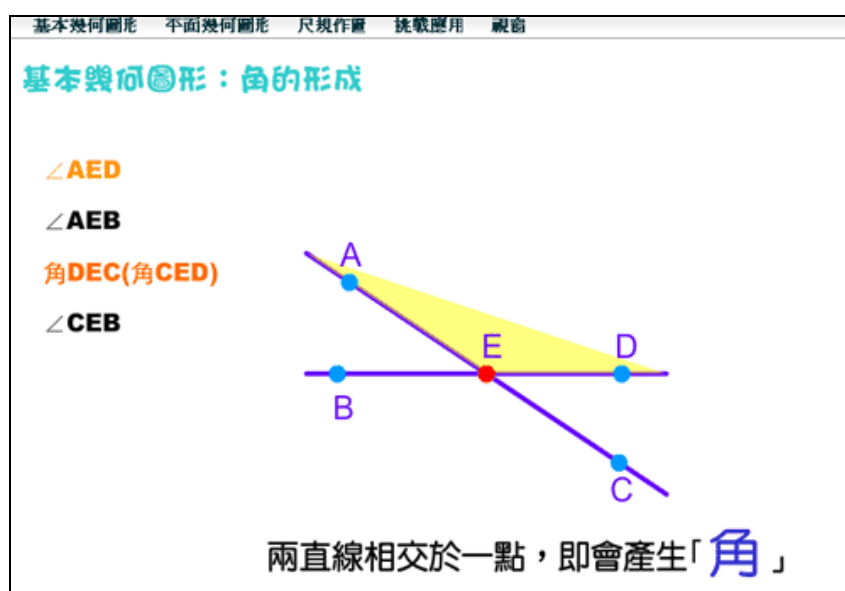


圖 18 內容畫面—角的形成

3. 常見的角

使用者點選某角度的定義，該說明文字會變色，並於右方的圖顯示指陳的角度（圖 19）。

表 9 設計概念—常見的角

使用性目標	設計原則	互動控制程度	學習活動
迅速性、功能性 易學性、易記性	可視性、預視性 回饋	步調、順序	理解—互動式圖 文

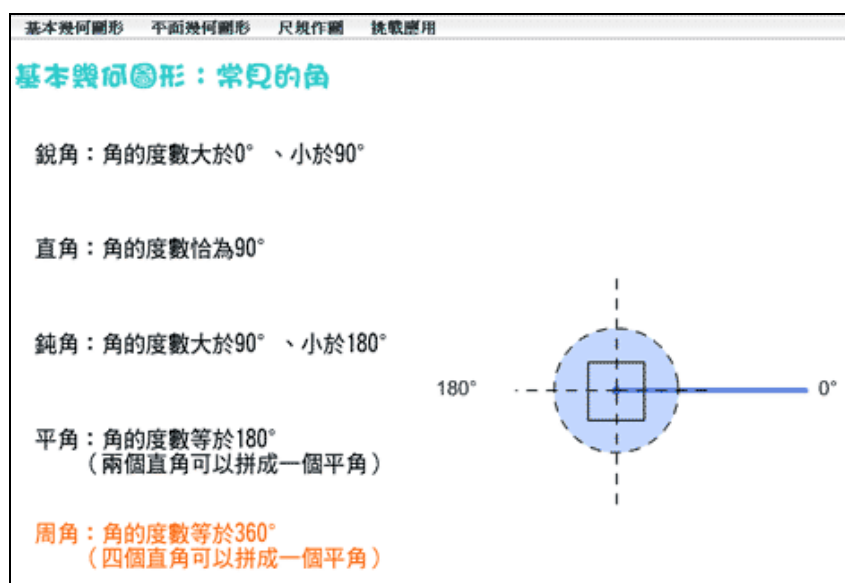


圖 19 內容畫面—常見的角

4. 餘角、補角、對頂角

至於餘角、補角，除了從文字上瞭解每個名詞的意義之外，如果能以圖來表達它的概念，是最直接的；但是光是圖形，研究者認為不足以充分表達，因此設計讓使用者可以拖曳角度，將之拼在一起，呈現兩角形成餘角或是補角後的圖像，或是兩對對頂角的形成，同時出現相關的文字說明。希望透過角物件的互動操作與回饋，強化對於學習內容的印象（圖 20）。

表 10 設計概念－餘角、補角、對頂角

使用性目標	設計原則	互動控制程度	欄位
有效性	回饋	物件	互動式圖文

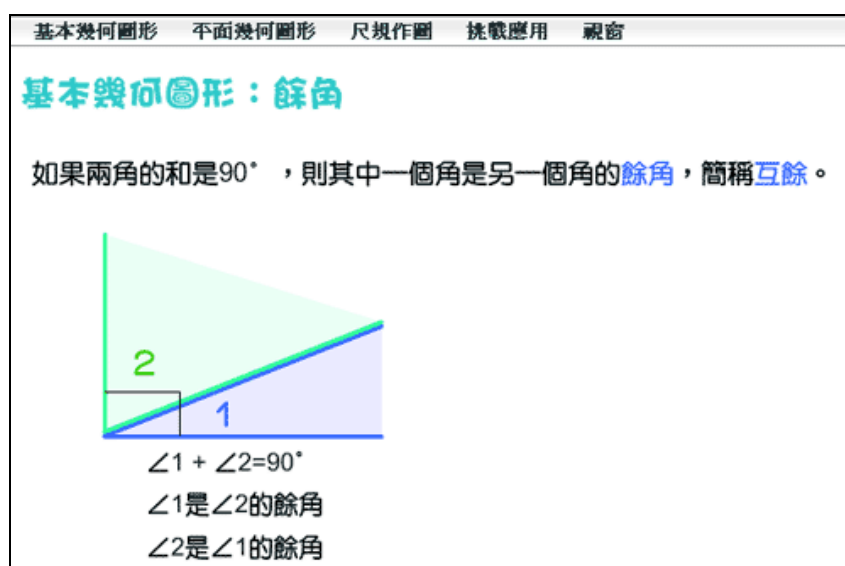


圖 20 內容畫面－餘角

5. 圓規

圓規的部份，在畫面上顯示一圓，圓規的一端為圓心，張開的距離為半徑，當滑鼠移至針尖、筆上時，會分別出現「針尖」與「筆」的字樣；點選半徑時，則出現半徑的說明文字「圓心到圓周上的距離 都相等」，拖動半徑時則旋轉半徑。希望透過圓規物件的互動操作，能讓使用者體認到針尖的位置就是圓心、圓規的旋轉可以畫出一圓，並強化針尖與筆之間的距離就是半徑。

此外，研究者希望能做到拖拉圓規筆端時，圓會跟著放大縮小，以表達當針尖、筆的距離變大或縮小時，所作出的圓也會跟著變大或縮小。但研究者對於數學並不內行，因此請老師協助提供此部份的計算公式。

完成之後，希望使用者能藉由互動操作拖曳圓規的筆端，改變圓的大小、角度，進而了解圓規兩端之間的距離與畫出來的圓有什麼相關性（如圖 21）。

表 11 設計概念－圓規

使用性目標	設計原則	互動控制程度	學習活動
有效性	可視性、預視性 回饋	物件	理解－互動式圖文

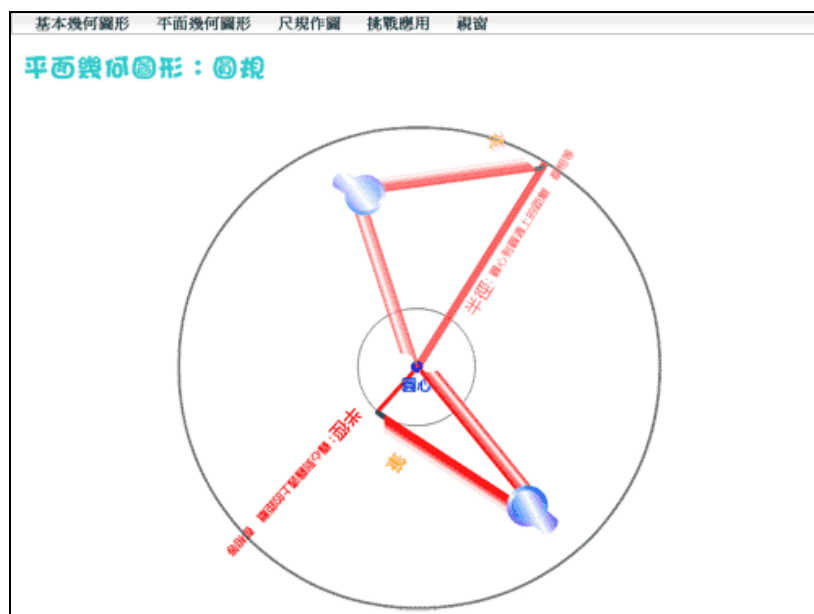


圖 21 內容畫面－圓規

6. 圓

使用者若點選圖形中的專有名詞，即會出現該名詞的定義。弦在此版本為固定長度，弧、弓形則就此弦顯示所屬的固定圖形區塊。除了圓心、圓周之外，其他的物件只要拖曳滑鼠，就會繞著圓心旋轉（圖 22）。

表 12 設計概念－圓

使用性目標	設計原則	互動控制程度	學習活動
有效性	可視性、預視性 回饋	物件	理解－互動式圖 文

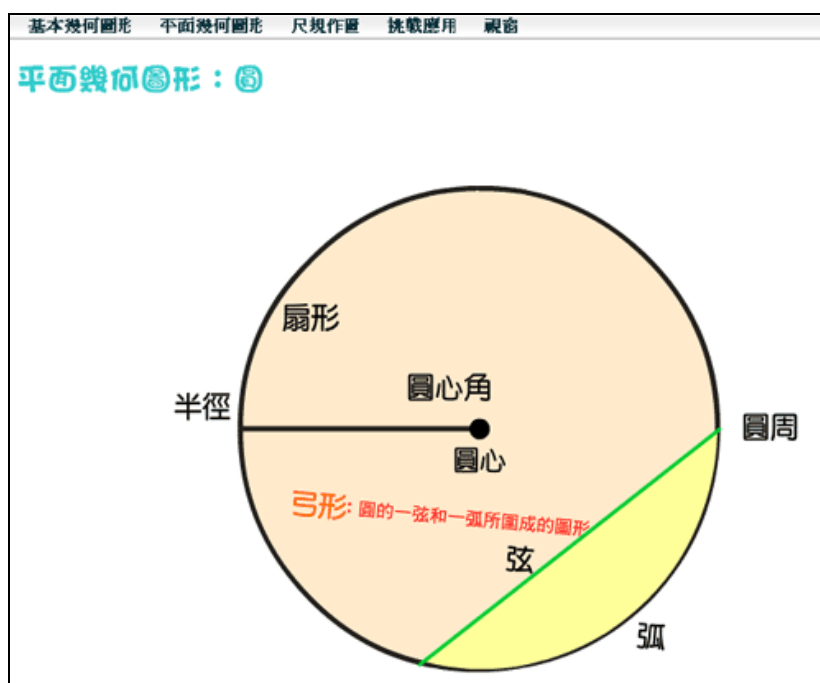


圖 22 內容畫面－圓

7. 等角作圖（方法一、二）

尺規作圖的部份，在左方放置步驟選單，點選某步驟，即會播放該步驟的作圖動畫。右下方的兩個旋轉按鈕，讓使用者可以旋轉作圖區域的角度。當滑鼠移至作圖區，使用者可以拖動作圖區的位置，甚至與題目區重疊，檢視作出來的角度，是否真的與題目角相等（圖 23）。

此部份的設計，希望能解決老師們傳統教學上所遇到的困境：在黑板上作好的圖不能被搬動、或是當作圖的方向、角度不同時，學生不能舉一反三。

老師在教學操作時，可以用不同的角度進行作圖的展示，也能直接搬移作圖區，真實呈現作圖的結果與題目相等。

表 13 設計概念—等角作圖

使用性目標	設計原則	互動控制程度	學習活動
迅速性、功能性 有效性 易學性、易記性	可視性、預視性 回饋	步調、順序 媒體、物件	理解—互動式動 畫

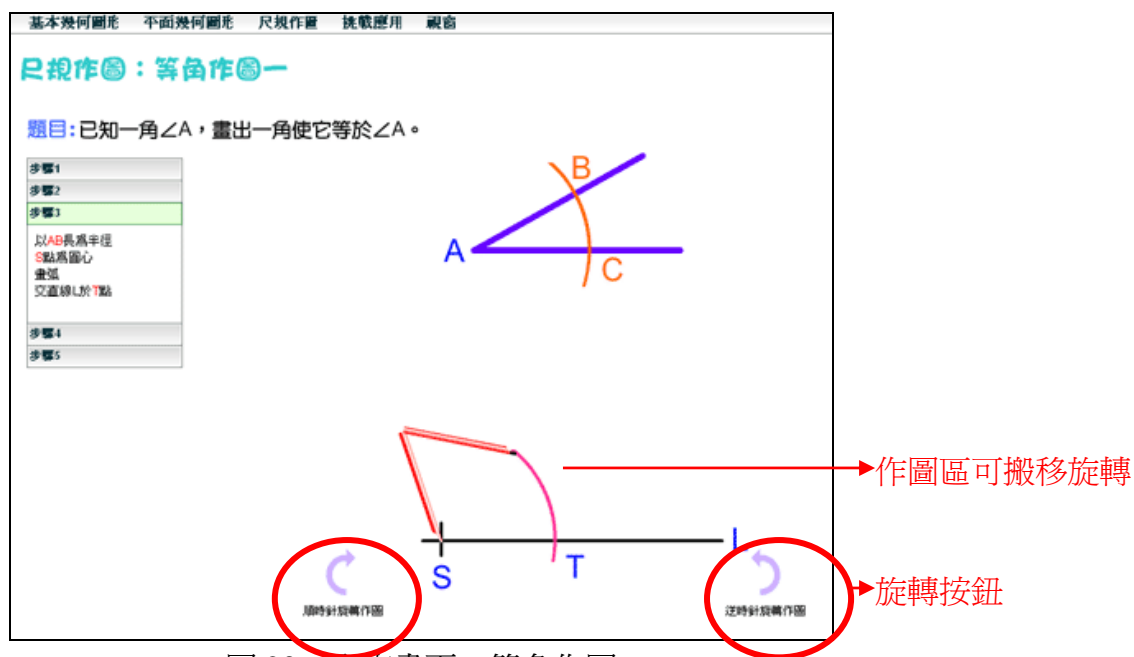


圖 23 內容畫面—等角作圖

8. 挑戰應用

挑戰應用的設計，是希望在理解的學習活動之後，馬上以行動式的學習活動，讓使用者馬上可以應用理解活動中所學的認知來解題，也是增加學習樂趣的方式之一。因此這部份特別強調系統設計的經驗性目標，即具娛樂性、滿足、激發創造力等。

研究者將各點（A、B、C、S、U）及線段（AB、BC、EF）做成可點選之選項，在作圖步驟的文字描述中以黃色方框標示出待答的問題，使用者點選正確的點、或線段，即會出現綠色圈圈提示答對，並出現下一步驟的文字描述；錯誤則會出現紅色叉叉提示答錯，答對之後才能進行下一題的作答（圖 24）。

表 14 設計概念—等角作圖

使用性目標	設計原則	互動控制程度	學習活動
迅速性、功能性 有效性 易學性、易記性	可視性、預視性 回饋	步調、順序 媒體、物件	理解—互動式動 畫

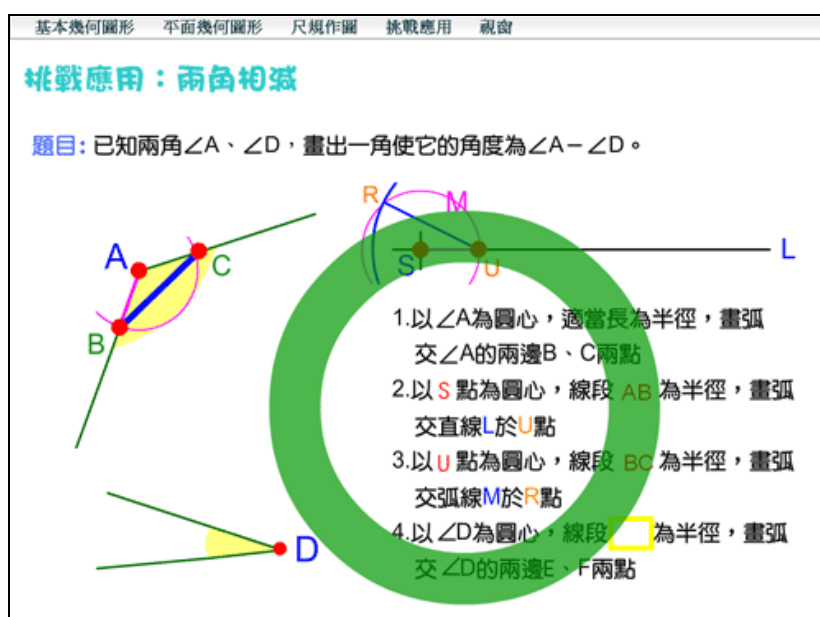


圖 24 內容畫面—挑戰應用

不過，這樣的互動操作方式研究者並不確定是否符合使用者的習慣，因此只有做一題兩角相減，待使用者測試過後再進行修正調整。

四、第二階段：系統測試與修正

爲了解檢視先前所建構的系統，是否確實符合老師的教學需求、教學內容的正確性，以及有哪些功能應該再增加，哪些設計上的缺點應該加以改進，在系統正式版本 1.0 完成後，請老師們進行小規模的測試評估，並提出修正建議，作爲研究者在正式實施教學測試評估之前，發展和修正的重要依據。這部份正是與 Horton (2006) 所提出的 build→evaluate→re-analyze→re-design→re-build 的精神相同。

研究者將此一正式版 1.0 以電子郵件寄出，請輔導團的老師們討論，再一併將修正意見回覆。信件內容並未提及任何操作方式，以便測試系統的易學、易用程度。

同時，輔導團協助研究者安排新竹縣竹東鎮某國中的兩位老師，要使用本系統教學，因此之後修正的版本也一併請這兩位老師審視，進行初步的評估測試，以確認系統的設計是否符合老師實際在教學上的需求。

在老師們的回覆中，未反應或問及系統的操作介面等相關問題，也不會發生找不到內容的問題，顯示本系統在整體互動設計上，已達到易學性、易記性、迅速性的使用性目標。

前後測試與修正往返的次數約爲五次，從 1.1 至實際評估版 1.5 版。以下以修正內容的屬性分類，系統化地描述設計、修正過程。

(一) 教學概念的完整性與正確性

1. 平面基本圖形的完整性

S 老師與 T 老師認爲，基本幾何圖形中有完整呈現點、直線、線段以及角度相關的概念，在平面基本圖形中卻只有圓規及圓形，似乎不夠完整，應該加入三角形、四邊形與多邊形等概念，才能完整呈現平面基本圖形的全貌。但是老師顧及研究者所需的製作時間，距離教學實施的日期只有一週左右，老師並不要求要將此部份的內容實際呈現出來，只要在選單能窺見其架構即可。

不過研究者整理三角形、四邊形與多邊形的概念之後，利用元件的可複製性，以基本幾何圖形中「常見的角」的模式，以一致性的設計原則，製作出內容如下（圖 25、圖 26、圖 27）：

表 15 設計概念—等角作圖

使用性目標	設計原則	互動控制程度	學習活動
有效性	可視性、預視性 回饋、一致性	步調、順序	理解—互動式圖文

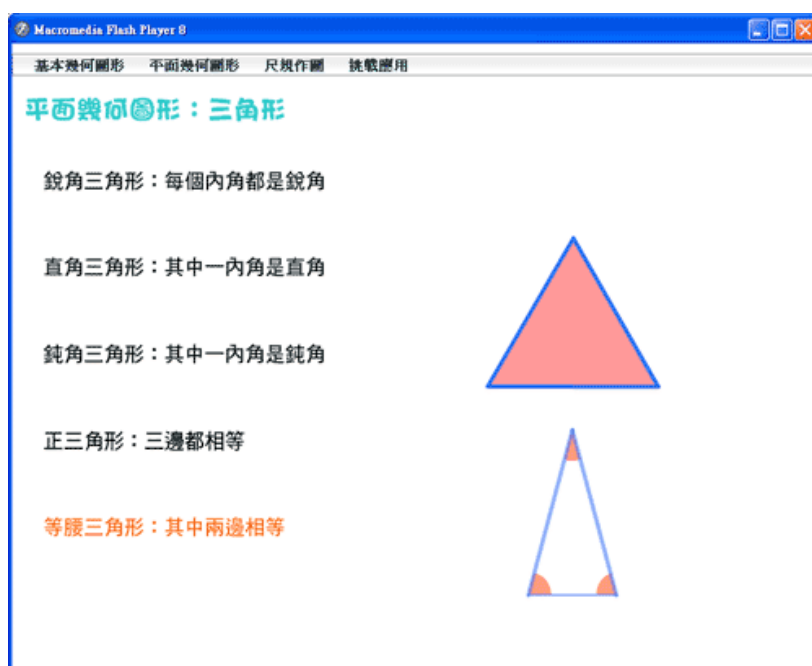


圖 25 內容畫面—三角形



圖 26 內容畫面－多邊形



圖 27 內容畫面－四邊形

完成此部份後，請 S 老師與 T 老師測試評估，老師認為四邊形與多邊形的概念整理得很清楚，不過在平行四邊形的定義上有些錯誤，立即提供正確的定義，並協助確認箏形是否為菱形、正方形是否為箏形的類別之一等教學概念上的正確性。

2. 等線段作圖

A 老師反應，在進行尺規作圖教學時，通常會先進行等線段的教學，有了這樣的基礎，才能進行等角作圖的教學，顯示在教學主題所需要的先備知識不夠完整，因此研究者在尺規作圖中插入子單元「等線段作圖」，設計互動的模式與等角作圖相同，保有此部份的一致性（圖 28）。

表 16 設計概念－等線段作圖

使用性目標	設計原則	互動控制程度	學習活動
有效性	可視性、預視性 回饋、一致性	步調、順序 媒體、物件	理解－互動式動 畫

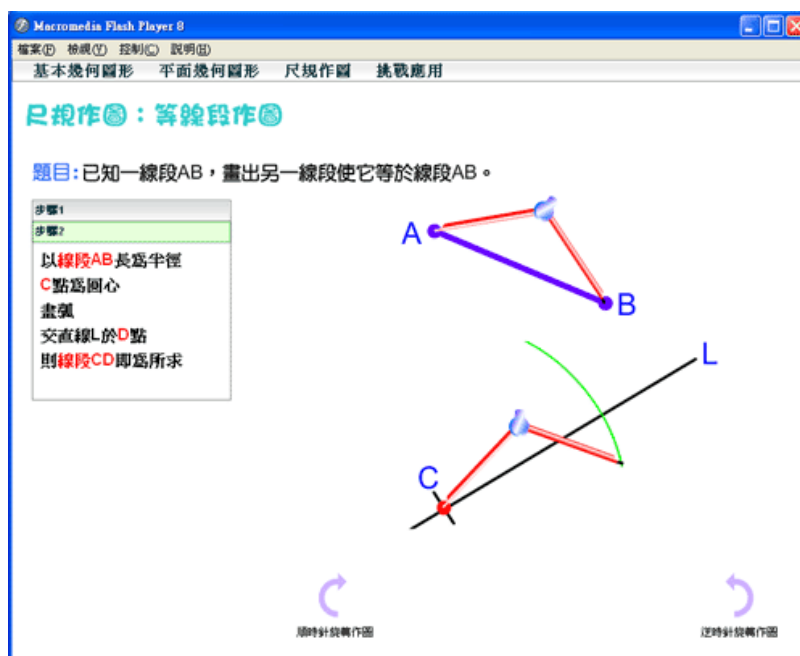


圖 28 內容畫面－等線段作圖

(二) 互動操作的直覺性以及便利性

1. 對頂角

某位老師在意見回覆中寫道：「我在操作對頂角的部份時，經常在拉角度過去的時候彈開，這部份不曉得是不是有什麼操作技巧？」

事實上，對頂角的操作邏輯是無論先選哪個角度，接著拖拉的第二個角度要是第一個角度的對頂角，否則就會將第二個角度彈開，並在下方以紅字出現「不

對哦！再試試看！」，利用「限制」的設計原則，讓使用者能作答正確。

然而，老師會有這樣的疑惑，表示錯誤提示回饋不夠明顯清楚，所以不知道為什麼角被彈開，因此研究者的修正方式為：

- 放大答錯提醒文字
- 加入對、錯音效
- 加入拖曳提醒文字

以強化互動操作的回饋訊息，同時顧及一致性，將餘角、補角、對頂角在完成拼圖後，一律加入「再玩一次」按鈕（圖 29）。

表 17 設計概念－等線段作圖

使用性目標	設計原則	互動控制程度	學習活動
有效性	可視性、預視性 回饋、限制、一致性	物件	理解－互動式圖文

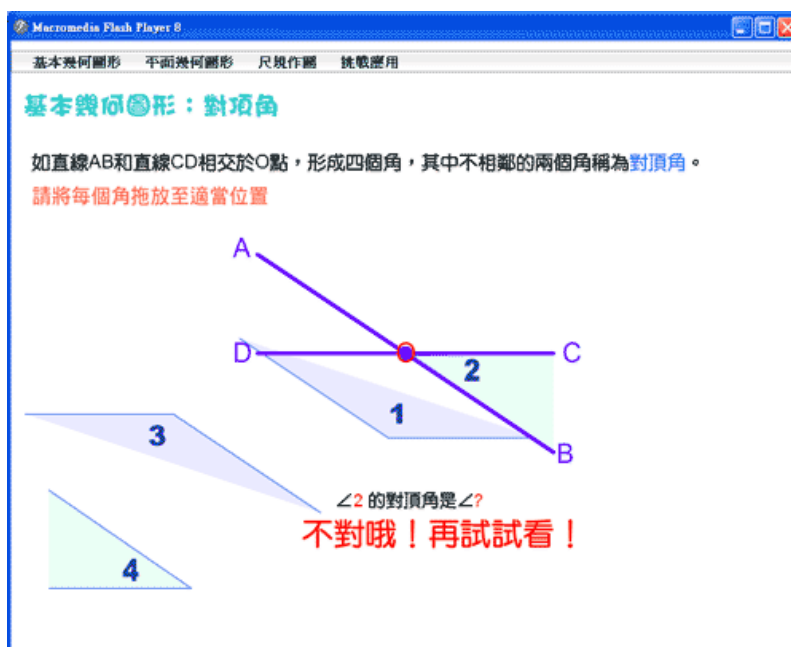


圖 29 內容畫面－對頂角（修正後）

2. 挑戰應用的答題方式

A 老師反應：「在挑戰應用的部份，可能不容易了解問題及答案選擇方法，以及缺少了動畫呈現過程，較為可惜。」顯示單以設計者（研究者）的角度，所設計的互動模式，並不能符合使用者的理解、使用習慣及需求。研究者在思考整體的一致性以及老師所反應的問題之後，作了以下的修正（圖 30）：

- 為符合一致性的原則，將挑戰應用的互動模式改為與尺規作圖相同，同樣能搬動作圖區、轉動作圖的角度。
- 在問題的部份，以文字說明中紅色的「？」代替，讓使用者清楚明白需要作答的部份為何（圖 30-A）。
- 答案選擇的方式，則一律在步驟選單下方出現題目選項按鈕，讓使用者可以透過控制執行（Transaction）來答題（圖 30-B）。
- 答對、答錯、已作答或跳過前面步驟未作答，一律在左下方以紅字出現提示文字，以告知使用者目前作答的狀態，並限制使用者跳過應有的作圖順序（圖 30-C）。
- 答對者，則展演該步驟的動畫，讓使用者有具體的回饋，並確認該步驟的作圖程序。
- 全部答對後，可以重播任何步驟的動畫，讓使用者可以完全控制媒體的播放，享受作答完成的成就感。同時出現「再玩一次」的按鈕，答案選項會隨機重新排列，讓使用者或不同的使用者可以最快的方式再次進行挑戰。

表 18 設計概念－挑戰應用

使用性目標	經驗性目標	設計原則	互動控制程度	學習活動
有效性	愉悅、樂趣、滿足（挑戰、互動）	可視性、預視性 回饋、限制、一致性	步調、順序 媒體、執行 物件	行動－ 練習測驗

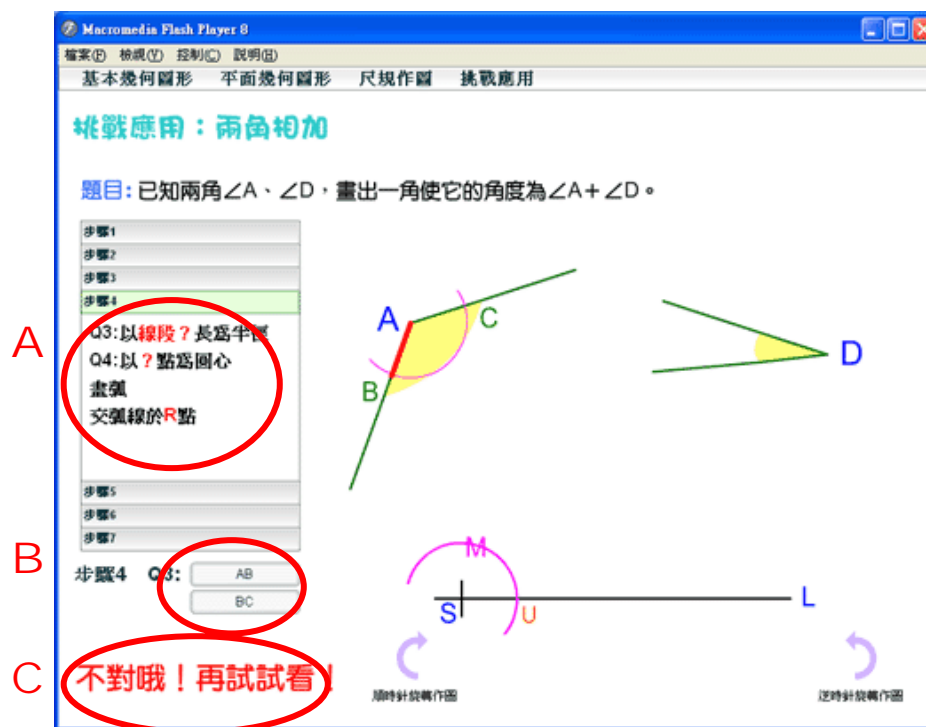


圖 30 內容畫面－挑戰應用（修正後）

調整為這樣的操作模式之後，經老師確認後無論是答題方式、動畫展演作圖步驟等皆能符合互動操作的直覺，因此以相同之模式，增加為「兩角相減」、「兩角相加」以及配合等線段作圖題的「兩倍線段」共三題。希望藉由這些題型的變化，發展出學生的邏輯思考及解題技巧。

3. 圓的專有名詞之操作方式

原先圓的專有名詞需要使用者點選滑鼠，才會出現相關的文字定義及動態圖示。但 T 老師反應，「在上課時老師不可能一直按著滑鼠」，研究者沒有教學經驗，僅以一般使用情境來考量，因此忽略在上課教學情境的需求。經老師提醒，研究者將操作方式改為只要將滑鼠游標放置在文字上，即會產生回饋、出現文字說明及動態圖示。

(三) 互動方式與教學概念的關係

1. 弦、弓形及弧

S 老師與 T 老師反應，在弦、弓形及弧的教學概念上，弦是圓周上任兩點所連成的直線，但原先的版本中，弦的長度是固定的，弓形及弧的長度也跟著固定，

這樣較無法充分表達學習的概念，希望能做到像圓規的互動設計，讓弦的長度能隨著使用者的拖曳改變長度，弓形及弧的面積、長度也能隨著弦的長短改變。

由此可見，互動方式如何設計，與教學概念有著非常密切的相關性。原先的設計方式，只能表達弦、弓形及弧是指哪一部份，卻無法表達「任兩點」的概念。為了充分表達教學概念，研究者修正此部份的操作方式，讓使用者可以拖曳弦，以任何角度、長度出現在圓的範圍中，且通過圓心時，會出現「直徑：通過圓心的弦」字樣，動態表現通過圓心的弦就是直徑的概念，如圖 31 即為弦（綠線）的兩個不同的狀態所疊合的示意圖。

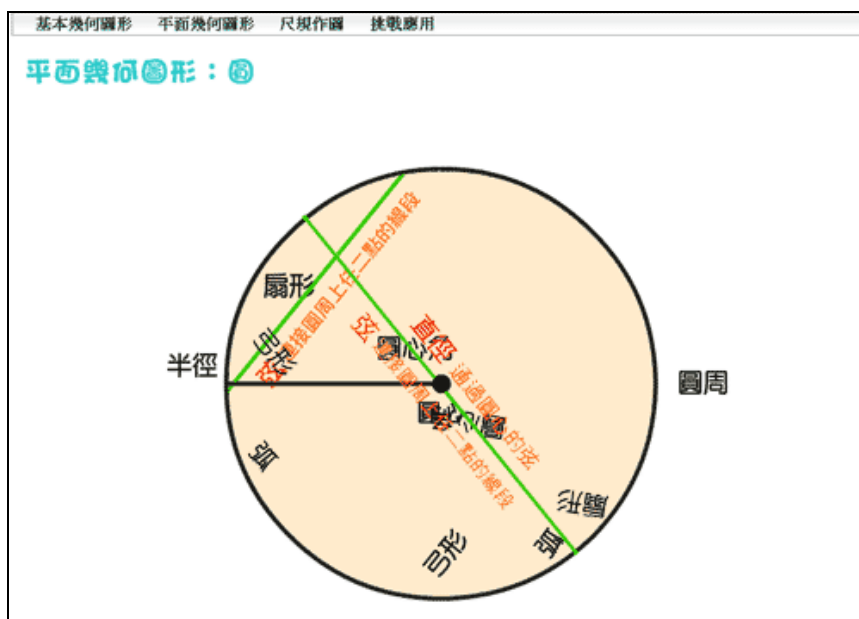


圖 31 內容畫面－圓（修正後的弦）

而弧形是由一弦將圓周分為兩個部份，每個部份都是弧，因此會以顏色閃爍的方式來表達任一部份都是弧，且弧的大小會依據弦的長度改變、並自動判斷優弧或劣弧，更完整表達弧的概念（如圖 32）。而弓形也是援用這樣的互動設計概念（如圖 33）。

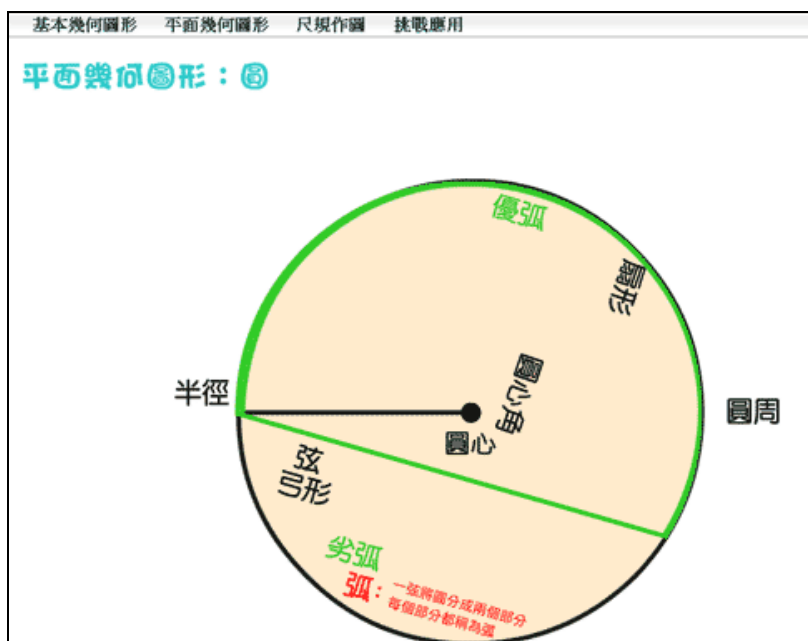


圖 32 內容畫面一圓（修正後的弧）

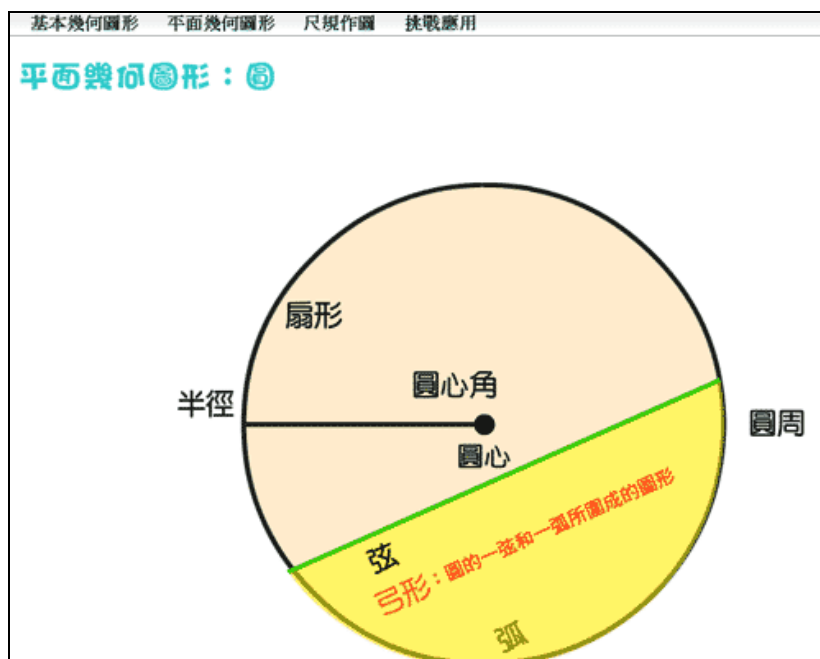


圖 33 內容畫面一圓（修正後的弓形）