

## 壹、背景與動機

高中物理對於大多數學生而言是不容易學習的，部份原因在於物理課裡常常會有(a)單以方程式難以理解，而需要利用三維動態圖像來了解的物理，或是(b)列出方程式後，需要以高等或繁複的數學來解，而常讓學生迷惑於解數學方程式而非學物理概念。

高中程式設計對於大多數學生而言也是不容易學習的。傳統程式設計課程(例如：C、Java、Visual Basic)，對於初學者而言，有許多的學習障礙，例如：(1)一般程式語言是專門設計給專業程式設計人員使用，對於初學者而言過於龐大且複雜。(2)抽象的程式概念不易於課堂講述，傳統教學通常讓學生輸入資料後獲得輸出結果，對於指令所造成的電腦內部改變一無所知。(3)傳統教學使用的範例多是處理數字與符號，不易吸引學生的注意。

如果高中物理不好學，程式設計本身也不好學，那麼將這二個不好學的科目混在一起，學生會不會物理也學不好，程式設計也學不好呢？對於高中物理來說，核心概念有(1)觀念(2)公式(3)圖像。大部分學生會把注意力集中在(2)公式上，所以，物理就不容易學得好。高中物理有四個重要的大概念(1)坐標(2)向量(3)系統(4)相對速度，而這四個大概念可以用程式來表達，例如：給定一個物體的初始位置與速度，在物體受力後會發生什麼事呢？能否預測物體運動的軌跡？我們可用以下的演算法：(1)給定一個時間  $t$ ，計算物體的受力情形。(2)假設一個很短的瞬間  $\Delta t$ ，運用牛頓第二運動定律計算物體新的速度。(3)在  $t+\Delta t$  的時間點，運用物體的新速度來計算物體的新位置。(4)重複上面 3 個步驟。

對於程式設計來說，Stein(1998)提出資訊科學的教學方式，應從“Computation is calculation”模式轉換成“Computation is interaction”模式。他認為程式範例的輸入與輸出不應該只是數值，應該是可被觀察到的事物。為了幫助初學者能夠更有

效地學習程式設計，許多學者認為視覺化環境有助於程式設計的學習，能夠降低程式設計的學習門檻，對於提升學習興趣有幫助(Kelleher & Pausch, 2005)。

就力學單元來說，中學階段的物理教學所學習的都是看到的現象，而藉由學生對於物理學科的理解，引導他們學習程式是一個很好的開始，因此，台大物理系石明豐教授結合了這二項特性，運用 Python 語言與 VPython 套件所研發出來的 VPhysics 跨領域課程能夠有效降低物理與程式設計學習的困難度。

Python 是以優雅簡單為設計的程式語言，擁有極其豐富且功能完整的套件庫，可以輕鬆地完成很多常見的任務。目前美國排名前四十的資訊系所，有超過 80%採用 Python 當作第一個教學程式語言，相較於 C 與 Java 語言，學生可以用較少的力氣和時間就能掌握程式語言的邏輯和用法。此外，它的 3 維空間模組 VPython，能夠讓學生在學習物理的同時，很輕易地將高中物理課程內容中所需要的「三維空間展示」、「動態變化」、或「現象模擬」表現出來。

此套高中物理模擬程式設計課程，共有九大主題：(1)物體的一維等速運動(2)物體的一維等加速運動(3)物體的三維運動(4)力的合成(5)等速率圓周運動(6)虎克定律和簡諧運動(7)動量(8)彈性碰撞(9)行星公轉。與傳統物理教育不同的是，藉由程式語言的引入，透過 VPython 程式執行的三維動態影片和結果，則可以讓學生在電腦的三維顯示中「看到」到底發生什麼事，例如以自由落體來說，就是運用一個迴圈(while loop)來表示：當球拋出去後，(a)判斷球是否碰到地，如果不是，球就按照重力加速度，計算速度，再計算位置，然後再回到(a)作下一瞬間的判斷，如果碰到地的話，就停止。

```
while ball.pos.y > ball.radius:  
  
    rate(1000)  
  
    # 速度 = 速度 + 加速度 * 時間間隔  
  
    vy = vy + a * dt  
  
    # 位置 = 位置 + 速度 * 時間間隔  
  
    ball.pos.y = ball.pos.y + vy * dt
```

## 貳、引進 VPhysics 課程

筆者在 2015 年 8 月 10 日參加教育部資訊教育總藍圖世界咖啡館活動時，得知台大物理系石明豐教授正在推廣 VPhysics 程式設計課程。VPhysics 是甚麼？V 代表視覺化(Visual)、虛擬化(Virtual)，和透過電腦程式語言(VPython)，最後邁向 Victory of Physics。有些物理現象即使透過文字描述、圖片表達、動畫展示，仍然無法幫助學生理解，若能透過程式設計模擬物理現象，將有助於學生認識我們身處的世界是如何運作的。而高中程式設計教學的目的，除了繼續充實學生的程式設計技能及增進電腦科學知識之外，亦可以幫助學生藉由程式設計學習物理、化學、數學知識。因此，我們於 2015 年 9 月 8 日邀請石明豐教授蒞臨南港高中辦理的高中資訊教師跨校社群聚會中分享課程設計。



圖 1 石明豐教授講解 VPhysics 課程

## 參、進行課程發想

筆者自 99 學年度起引進 Scratch 教學軟體作為程式設計的工具，在多年的教學實務中累積了 Scratch12 堂課，不僅推廣到校內國中部學生，也有出版書籍推

廣到全國各地國中小。然而，Scratch 運用拼積木的方式來寫程式，雖然容易上手，可讓學生很快地產生成就感，但就像小孩子寫作文，因為認識的國字不夠多，只能寫注音文一樣，終究只是過渡期；當他們認識的國字夠多時，即應擺脫注音文的寫法，因為豐富的文字能讓他們表達更高層次及更多樣化的想法。同理，積木式程式語言也只是輔助表達的工具而已，若能由積木式程式語言提升至文字式語言，將可大大增進學生的程式設計表達能力。因此，筆者認為 Python 就是一個很好的選擇。筆者一直希望讓學生能夠從積木式的 Scratch 語言進化到文字式語言，然而這種進化存在著鴻溝，在尋訪了許多 Python 教材之後，由於一直找不到適合的入門教材，所以一直停留在積木式語言，無法繼續往前進。在經過石明豐教授 3 小時精彩的介紹後，筆者拜訪了石明豐教授建置的 VPhysics 官網課程，並且仔細地評估了這份高中物理模擬程式設計課程在南港高中實施的可能性。筆者認為透過物理模擬動畫創作來呈現程式執行結果，讓學生能觀察程式執行的歷程，逐步建立一個正確的概念機器，有助於降低初學程式設計的困難。因此，我們初步評價這份高中物理模擬程式設計課程應是目前找到最適合的入門教材，經過一年的準備，決定正式在高一普通班資訊課程中實施。

由於筆者本科是資訊，對於高中物理的印象僅停留在 25 年前念高中準備大學聯考時的程度，所以對於筆者來說準備高中物理課程是辛苦的。除了石明豐教授網站上所提供的九個主題說明文件外，我們也跟學校物理老師要了現行高中物理教科書來研讀。起初在自由落體與拋體運動部份都還能應付，到了動量與彈性碰撞部份就比較生疏，筆者遍尋了網路上的物理教學影片(物理怪客、可汗學院、酷課雲、均一)，就比較知道如何講解物理概念，而其間遇到不太懂的地方，很感謝石明豐教授給予即時有效的指導，及學校物理老師的教學經驗分享。

#### **肆、課程實施**

在 105 學年度筆者以任教的高一 4 個班級學生為對象進行 16 節 VPhysics 課程。採用臺灣大學物理系石明豐教授所編寫的高中物理模擬程式設計課程，經筆者依南港高中學生程度稍微加以改編與簡化。除了講解物理動畫程式外，也特別

設計了小作業提供學生課堂練習。為了能夠順利進行教學，筆者建置了一個課程網站，除了將課堂上需用到的程式碼製作成網頁，方便學生參考外，也開發了作業繳交功能，學生把老師指定的作業完成後，要上傳(1)心得(2)程式碼(3)執行結果(擷圖)。此外，學生可以觀摩全班作業的心得。

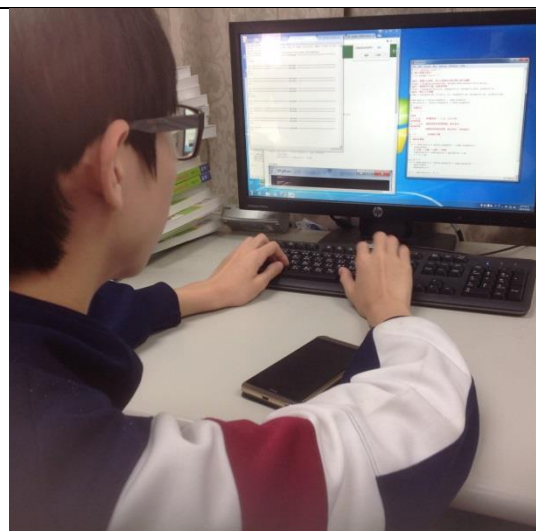


圖 2 學生學習後自己練習程式編輯與學習



圖 3 全班同學專注 VPhysics 物理模擬學習

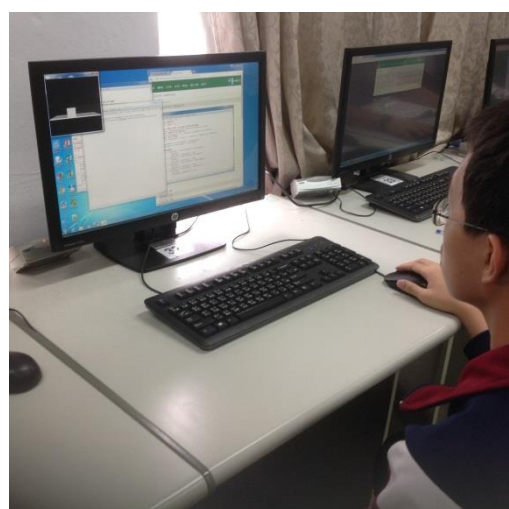


圖 4 學生設計出物理模擬的視覺化學習

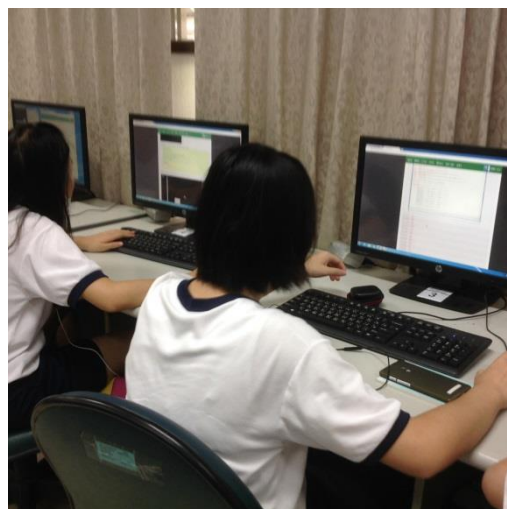


圖 5 學生能依照教學進行作業解題

在這次的教學實驗中，Python 程式語言對於學生是全新的知識，而物理概念有些是國中理化課程學過(例如：自由落體，虎克定律)，有些是高二物理才會學到的概念(例如：動量，彈性碰撞，等速率圓周運動)，所以學生除了學習程式外，也要學習一點物理概念，因此課程本身是有某種程度的困難度，在每周的課程中，除了示範與講解的程式碼外，教師也會要求指定作業讓學生動手改程式，

並且寫下心得。在課程進行的過程中，許多學生表示課程有難度，但是在教師的堅持下，學生一點一滴地挑戰自己，到後來的作業中，學生在心得上表示「簡單一點點」、「很難，但是好玩」。陪伴學生走過困難的學習過程，到後來讓學生自己從中發現辛苦學習後所帶來的樂趣與成就感，是教師教學最大的收穫。

105 學年度下學期筆者再以任教的高一 4 個班級學生為對象，進行 8 週 16 節的 VPhysics 課程。在第一次實施 VPhysics 課程時，原本擔心課程難度高一學生是否能接受，所以在進入 VPhysics 課程之前，安排了較有教學經驗的 Turtle 海龜畫圖作為前導課程，希望讓學生先熟悉一下 Python 解題。但是在實際教授過 VPhysics 課程後，筆者覺得這個考量是多餘的，因此，在第二次實施時，就決定在經過 Scratch 課程後直接進入 VPhysics 課程。在第一次實施時，由於學生對於程式解題缺乏經驗，為了能夠繳交作業，部份學生間會使用社交軟體流程序碼，部份學生會用手機去翻拍先做出來同學的程式碼。在基於鼓勵學生學習的立場上，筆者並沒有嚴格地禁止學生進行這樣的行為，最主要的考量是希望他們的注意力能夠繼續維持在課程主題上面。因此，當第二次實施時，為了鼓勵讓學生動腦筋想，動手去做，並且為了讓學生保持動力繼續學習非考科的程式設計，不要因為作業想不出來而放棄學習，所以，筆者在讓學生想了一陣子解法後，由教師主動提供程式碼解答圖片給學生參考，主要的考量是程式解題和數學解題有點雷同，要能夠主動去想，想不出來就去參考解答反思自己為什麼沒有想到，所以筆者認為看解答還蠻重要的，就像孔子說的「學而不思則罔(一味依賴解答)，思而不學則殆(做不出來還堅持不看解答)」。而程式碼圖片化的用意，是希望學生看了解答後，還能夠自行將程式碼打過一遍，再去執行。

106 學年度上學期筆者再以任教的高一 4 個班級學生為對象，進行第三次 VPhysics 課程。在經過二學期共 8 個班的試教後，筆者對於這套 VPhysics 課程與學生的反應已經有了充份的認識與掌握，也從一次又一次的講解中，了解到學生比較容易聽不懂哪個部份，或在實作上容易遇到的問題。加上在電腦教室的上課習慣是一邊操作電腦，一邊對著螢幕講課。因此，筆者便於暑假預錄了講課的內

容，並且加上影片後製效果，筆者認為以播放影片的效果不會輸給老師親自操作，因此，第三次上課就改成放影片給學生跟著操作。這次的教學改用播放影片的方式來講解，由於筆者之前已經講演了 8 次，對於學生在哪邊比較容易有疑惑，比較容易聽不懂，比較需要停下來練習都有考量在影片中，因此實際教學也都能夠順利地進行。經過了這次的成功經驗，筆者認為透過教學影片的方式可以幫助其它教師們複製教學，所以筆者決定將這 16 部教學影片捐贈給均一教育平台。

在教學影片到位之後，筆者開始進行教學網站改進，朝向翻轉之路邁進，希望這次的自主、翻轉、共學教學實驗能提高學生的接受度。在 106 學年度下學期以筆者任教的高一 4 個班級學生為對象進行翻轉實驗，讓學生自備耳機跟著影片自學並且完成作業。

## 伍、經驗分享

程式設計課程本身就有它的難度，從多年的程式教學經驗中發現，學生學習程式設計的心態需要好好的調整。很多學生一開始學習程式設計，是抱持著試試看的心態，看看我適不適合學習寫程式，一旦新鮮感沒有，就覺得程式設計不好玩了，尤其是遇到困難一點的教材，如果沒有老師適時的鼓勵與輔導，很容易放棄。因此，我們在進行這份課程時，花了很多力氣在調整學生的心態。我們會跟學生說，你會不會想要試試看自己適不適合學英文，試試看自己適不適合學數學，因為你知道它的重要，所以要花時間與力氣去克服困難，而這件事同樣也發生在學習寫程式。如果學程式設計和學應用軟體一樣簡單，三兩下輕輕鬆鬆就學會，那你也不要太高興，因為別人也可以輕輕鬆鬆就學會，這項技能反而沒有什麼價值。正是因為程式設計是困難的，所以才值得去挑戰，而老師設計的作業雖然困難，但是對於你來說是可以應付的難度，而且老師也提供了影片與解答的鷹架輔助，還有不懂的可以跟同學討論，向老師請教，重點是你要願意花時間花力氣去學習程式設計。

由於第一年實施尚處於摸索與調整階段，上下學期指派的作業不盡相同，進度也不盡相同。為了達到一致性，因此筆者針對這 8 個班級共同實施的前 6 次

作業主題進行心得分析。本教學實驗對象是高一不分組學生，依學生目前高二文理分班資料作為學生就讀高一時的文理組傾向進行分析，此外，也依學生的性別不同進行分析。筆者運用結巴(jieba)套件進行學生作業心得的中文斷詞，統計出現次數最多前 100 個用詞，發現「難」、「有趣」、「好玩」、「同學」、「解答」等出現次數較為頻繁，我們將這幾個用詞進行了分組統計，以了解教材難易度(難)、學習感受(好玩、有趣)，還有解題過程(同學、解答)等向度來觀察。

### (一)教材難易度

以文組與理組的學生來看，普遍文組同學會比理組同學覺得困難，除了「兩牆間反彈」單元，理組學生比文組學生反應困難的比例略高一些外，其他單元皆顯示：文組學生反映出教材困難的比例都比理組學生高。以男女性別來看，女生組反映出教材困難的比例都比男生高。其中在「自由落體觸地反彈」與「兩牆間反彈」兩個作業，更是接近六成的女生覺得學習困難。整體來看，文組與女生感受到教材難度的比例高於理組與男生。

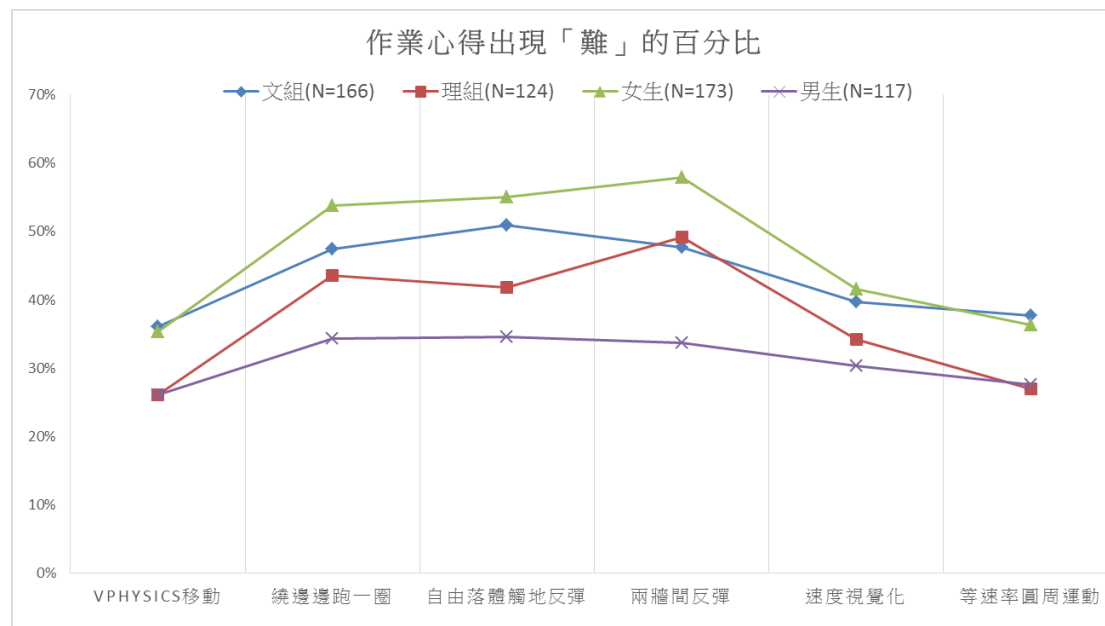


圖 6 教材難易度用詞分析

### (二)學習感受

在開始接觸這個課程時，約有 1/5 的學生能感受到「有趣」與「好玩」，然而，隨著物理觀念越來越多，程式設計越來越複雜，不管是文組與理組的分別，



或是男生與女生的分別，感受到有趣與好玩的比例就降低。文組和女性的學生一開始（如第一單元的 VPhysics 移動）覺得「有趣」、「好玩」的比例較理組和男性學生略高，但隨著課程持續進行和教材難度增加（如第六單元的等速率圓周運動），男生和理科學生覺得「好玩」、「有趣」的比例已明顯較文組學生和女生高。至於中間單元（如第五單元的速度視覺化）顯示文組和女生反應「有趣」、「好玩」的比例較理組和男生高，我們推測可能與單元內容屬性或教材較容易有關。

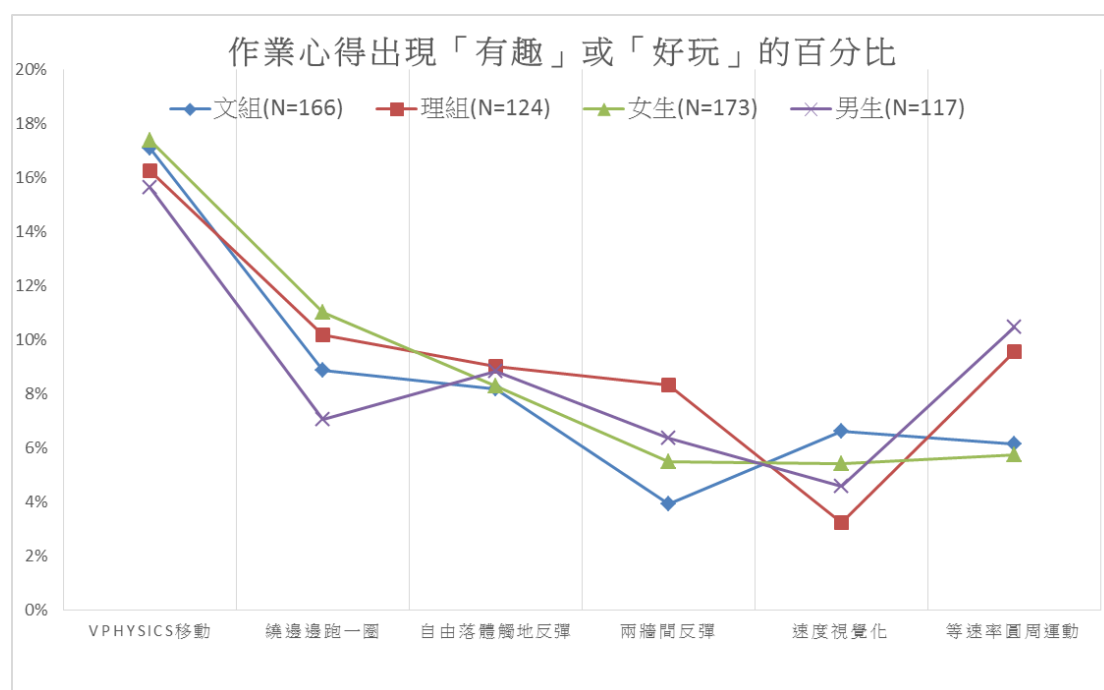


圖 7 學習感受用詞分析

### (三)解題過程

在分析是否藉助「同學」或是「解答」的部分來看，可以發現，會因為學生是否覺得「難」的情形，而必須借重「同學」的經驗分享，或是「解答」的提示，才能順利的解決問題。整體來看，不管是文組與理組的同學，大約有 1/5 的學生會尋求同學或解答的幫忙。除了「自由落體觸地反彈」單元，理組學生比文組學生在解題過程中，出現「同學」或「解答」的比例略高外，其他單元出現此兩個字詞的比例，皆顯示文組和女生組較理組和男生組高。我們推測文組和女生覺得教材難的比例普遍較高，因此在解題過程中需要更多的同儕協助或引導，從心得統計中可以發現，女生表示有尋求幫忙的比例高於男生。

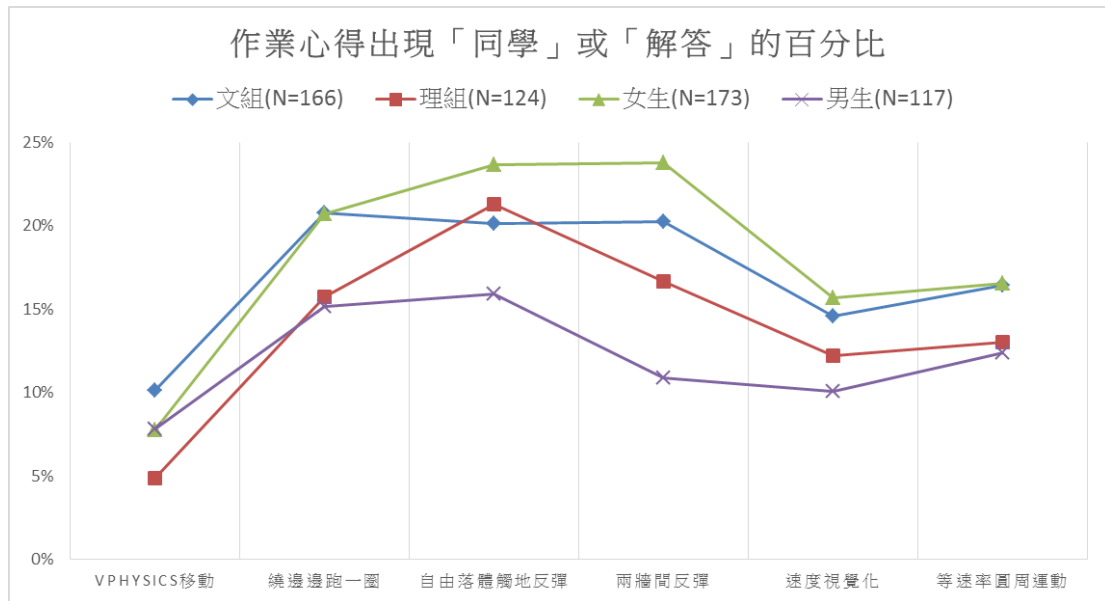


圖 8 解題過程用詞分析

## 陸、創新教學

電腦程式語言是近 70 年才發展出來的知識，不像數學已有千年歷史，而程式設計如何成功地進入教學現場以達到普及化教學，對很多人來說是陌生的。程式設計不比教數學簡單，面對這項新知識，筆者除了從教材本身加以改進外，在教法上也有重大突破。

在教材方面，傳統程式教材是依照語法分類呈現線性發展，像是談到變數，就一次把所有可能的變數資料型態介紹完，學生之後會不會用到並沒有考量到，偏向工具書(字典)性質。雖然對於知識整理得很有條理，但是對於大多數學生而言，這種知識中心的教材和他們的生活經驗是格格不入，無法引起學生的注意。石明豐教授所編撰的高中物理模擬動畫程式設計課程，是以螺旋式安排知識，物理與程式是絞在一起並行，首先安排一個小任務，再引入解決任務的物理或程式知識，接著再安排一個小任務，而這項任務中會用到舊知識，也會介紹新知識。隨著學生所學知識的增長，能夠解決的任務也愈來愈大。正因為此課程與筆者自行研發的「Scratch12 堂課」的概念特質相似，所以筆者更能感受到石明豐教授課程設計的用心與鋪陳。

在教法方面，筆者突破傳統程式教學「見樹再見林」的教法，改為「見林再

見樹」的教法。傳統程式設計課程從基本語法與資料結構入手，示範的例子都是很小的問題，而問題與問題之間缺乏銜接性，學生往往只學到如何解決個別的小問題，對於大問題無法進行拆解，換句話說，就是教師把每顆樹都詳細介紹，但是沒有帶學生看見整片樹林，而學生也在認識每棵樹的細節中失去耐性，這也是目前高中端普及化程式教育所面臨的問題。為了讓學生快速掌握程式設計的用途，我們精心準備了授課網頁(講義)，以提供程式碼的方式讓學生可以複製，到 Python 編輯器貼上，去執行程式碼，看到程式執行的結果後，再回過頭來想程式碼的意義。使用複製貼上教學法一方面是避免讓學生從零開始，因為不慎拼錯的英文字，造成程式無法執行，而有挫折感，另一方面，也讓授課老師不要因為忙著幫學生除錯，而沒有辦法帶學生體會理解程式設計的美好。再者，為了避免學生只是學會複製與貼上的動作，並沒有對程式碼進行閱讀理解，筆者設計了小作業，要求學生能夠針對程式碼關鍵的地方進行修改，以達成課程知識學習理解的目的。換句話說，筆者是先帶學生看到整片樹林，再講解一棵棵的樹木，然後讓學生能夠在欣賞樹林的同時，一一認識樹木的美好。

除了教材教法外，筆者也發展了新的教學技術(網站)來幫助老師進行教學管理。為了改進整個教學流程，筆者試著用 Django(Python)技術來客製化教學網站，成功地翻轉了傳統的教學模式，把以往的老師教課的上課方式，改成教師準備好充分的教材讓學生自學，有效地實現了少教多學(Teach Less, Learn More)的教育哲學。