

新手設計行為與思考模式探討

蔡錫錚¹ 李建寬² 葉則亮³ 張佩芬⁴

¹ 國立中央大學機械工程學系助理教授 ² 國立中央大學機械工程學系研究生
³ 國立中央大學光機電工程研究所副教授 ⁴ 國立中央大學學習與教學研究所助理教授

國科會計畫編號：NSC-96-2516-S-008-001-MY2

摘要

本文透過三個不同的設計案例來探討新手設計行為與思考模式。設計行為與思考模式分別從設計程序與應用設計輔助思考工具做為分析依據。從分析結果本文列舉出目前欠缺設計經驗的大學生在工程設計上，常見的設計行為與思考模式的特點，並提出未來在工程設計教學與研究應加強之方向。

關鍵字：新手、設計行為、思考模式、工程設計

1. 前言

在國內產業轉型的過程中，工程設計領域的需求也隨著增加。而這個領域對工科學生的要求就不只侷限在一般的工程或科學知識，反而有更多要求對進入此一產品或相關設計領域中的工科學生能具有創造力、與團隊溝通能力。但在升學主義的桎梏下，台灣的學生普遍上思考模式反而逐漸僵化，遇到問題缺乏主動探索、也少有創新求變的精神，這些現象早已讓教育學者深以為憂。但是若學生的觀點，他們又是如何看待此一現象？做為學習終站的大學教師的我們，是否也應從學生角度來反思？

就我們七年來於大學工學院中投入工程創意設計與實踐的教學經驗，我們清楚的從學生身上看到了一種「緊繃」的展現：大學生的工程創造能力需要加強的不只是腦力激盪出創意產品點子而已，他們一方面需要在各階段遭逢問題時養成創意多元解決途徑的習慣；另一方面也需要更強的先備知識的運用能力，使得創意想法不會因為無能實踐而受到嚴重的打折。

而我們從創意設計實踐歷程的挫折分析中[1]，警覺到創意實踐新手的困境的原因之一，係在於習慣分析思考的學生無法適應設計的思考模式。設計思考模式其實是分析的逆向思考。在工程中要讓設計結果有所依據，必須先進行分析工作。這樣的分析工作已佔據了工學院課程的絕大部份。但是一個工程問題的設計結果，卻是學生做分析題時已被假設成搭好的舞台。學生並無法也不會去仔細構思此一設計結果從何而來。所以實作新手通常非常缺乏關於分析逆向思考所必要的條件之知識，也因此經常找不到可用的元件或材料，尤其當系統的複雜度略增，可以被權衡

取捨的參數變多時，就無法憑著直覺做設計的推演。因此最基礎的問題是當學生面對設計題目時，只會從已經有圖表的題目中做查表動作，卻沒有認知到，解決設計問題所需要的依據是什麼，它所對應的分析問題是什麼？而且新手也不知道做設計需要從分析著手，去了解系統與現象的特徵、現象與效果的關係、調變元件特性與尺寸對這個關係的影響，然後把這個關係與設計條件相結合來得到設計的結果。

基於此一想法，本研究嘗試從教學活動中所收集之學生設計檔案進行分析，希望從中可以找出現階段工程設計教育下學生更明確的設計行為與思考模式，藉此做為設計教學內容的反思，進而可以提供日後教學方法改進之依據。

2. 設計思考行為分析方法

2.1 設計流程理論

從思考心理學的觀點，設計工作大致上可以包括幾個階段：目標分析、目標決定、尋找解法、分析解法與決定解法。對設計者而言，這些步驟不見得是一連串的連續過程，而是依照設計者的思維進行。Badke-Schaub與Stempfe從觀察設計者在設計過程中的思考方向，歸納出兩種如圖1所示的主要設計思考流程[2][3]。我們以此兩種流程的分析模式可清楚印證對學生設計思維過程的觀察，並且提供我們進一步分析學生設計專案的依據。

根據[2][3]的觀察研究，通常一般設計者或新手在產生一個問題的概念後，會直接對此概念加以評估，若是能立即獲得一個問題解法，則設計者將採用此一概念；若是無法直接產生問題的解決方式，則設計者將試圖找出其他問題概念。通常只有在其他成員對設計概念有所質疑時，才會再分析此概念，進行評估。整體流程大致即如圖1之流程I所示。此一流程的優點是可以快速地決定出一個解法，同時對團隊而言，較不會牽涉到太複雜或是太多的問題，而且較容易來解決設計問題。但由於受限於設計者本身的認知能力，因此當問題越複雜，設計的結果越容易出錯。所以此一思考流程較適用於定義完整、清楚的設計問題。對隨著設計進展而困難度增加的問題，很容易陷入無法解決問題的情況。

而流程II與一般設計方法或創意解題方法所介紹的設計程序相類似。在思考流程中，設計者會先針對一個或是數個設計概念加以分析，之後再評估分析後的結果。若是能找到滿足問題的解法，則設計者將接受該概念，若是無法找到有用的問題解法，則對已被排除的問題解法再做進一步的分析，或是再試圖找出其他新的解法。對設計者而言，在設計初期對問題的概念就必須有較縝密的思考與分析，因此需要投入較多的時間與認知能力。但優點是可以降低錯誤解的風險。相較於思考流程1，當設計任務越複雜，則運用流程2處理設計問題的成功率越高[4]。

2.2 設計過程中之概念表達與思考工具應用

對於設計過程中，設計者如何使用概念表達與思考工具本研究使用Otsson [5]之分類。圖2為各個不同階段所使用的輔助工具，其中定義與特點為

- BAD (Brain Aided Design)：係以語言、文字等方式進行表達與思考，使用此一方式多僅能處理較抽象且屬整體的概念。
- MAD (Model Aided Design)：透過模型的製作，可以協助設計者對整體的概念設計可以更具體的方式進行思考與判斷。
- PAD (Pencil Aided Design)：透過紙筆的作業方式，將概念以抽象方式呈現在眼前，設計者可以透過圖像增減快速擬出設計細節。
- CAD (Computer Aided Design)：以電腦輔助設計軟體做為工具，進行明確與詳細的細部尺寸設計。

在上述四種不同的設計輔助工具中，屬於具有較高創新可能性的概念設計階段方式有BAD、PAD與MAD，而在工程設計教育中常做為必備教學內容的CAD則因其參數化與操作複雜特性，並不適合做為概念設計階段之輔助。

由於這四種設計輔助工具具有獨特性，因此可以由學生設計案例中所應用之程度做為學生思考模式之判斷依據。

3. 案例觀察

為能從學生的設計表現中找出他們的作為與特點，我們從大學部學生在不同課程或競賽中的專題製作歷程檔案進行觀察與分析。以下共有四個設計案例，因為無法將案例所有細節逐一呈現，在下述中將以簡要形式記錄重要之設計方案轉變過程。

3.1 案例一 – 發票整理盒

此一案例為92學年度之「開放式創意機械工程設計」課程中之專題製作。學生們原始的想法是希望能設計製作出能以自動方式將凌亂之發票以電動裝置自動吸入並逐張整理妥當。

因此學生對產品設定兩個主要功能，一是「能自動吸入發票」，二是「可壓制發票」，此為兩個可獨立執行的功能。在產品規劃時已有相對應的解法，整體設計概念是使用一電動馬達，利用齒輪機構分別帶動「發票吸入機構」之磨擦輪以及「發票壓制機構」的圓輪，如圖3所示。因此在產生初步設計構想後，即著手進行將產品具體化的工作。

具體化的過程中，除了不停地遇到零件材料與規格不符的問題，如不易找到要求規格的齒輪、電磁鐵等。在克服困難而將產品實作完成後，又因測試失敗使得必須改變設計功能，甚且徹底摒棄原先的設計構想。設計構想改變流程整理於圖4，其中在壓制發票功能的機構設計上共更改了四次，最後的成品則放棄原先極佳、由馬達驅動的全自動構想，而改由需手動連桿式開關帶動壓發票裝置（圖5）。

3.2 案例二 – 投籃機

此案例為94學年度之大三學生專題製作，學生被要求製作一具有操控功能，能使一定數目之塑膠球能依所判斷之距離與角度，而加以設定，並快速地、準確地連續投入目標之中的機構裝置。

學生因應專題題目之需求條件，經過討論後將機構分為4個部份，進行初步設計構想：

- 投擲系統：彈簧擊球裝置，以彈簧帶動擊擊鎚將球擊出，彈簧位能由電動馬達帶動儲存。
- 補給系統：以日內瓦輪機構設計成類似左輪手槍之補給系統。
- 瞄籃系統（水平）：以螺桿—連桿機構方式帶動投射機構之水平轉動，以控制方向。
- 瞄籃系統（垂直）：以繩索控制機構來調整機台重心從而改變仰角。

由於在期末必須完成實物進行競賽，因此學生在設計概念討論妥善後即以分工方式進行。由於各部份之設計在設計概念確定後並無任何進一步討論與變動，因此所有零件由個別的負責人購買之後，即開始進行組裝。

在第一次組裝時由於個別組件製作無法有一致進度，即因先後順序而造成配合問題。例如組裝後到的補給系統安裝在機架上，會產生重心不穩現象，加上垂直瞄籃系統亦無法承受此力矩，於是學生直接拆開在成品上以試誤法來重組。

之後所有組件到齊後，學生在時間壓力下，所有的作為皆是在邊做邊改，尤其各零件間是否會互干涉成為了最終組合時是否會出現問題的重要因素。最後學生棄守原始設計目標，只求能將球射出參加競賽即可，而完成圖6之成品。而在競賽時即因結構設計錯誤，造成無法順利自動擊球。

3.3 案例三 – 「泡泡花燈」

本案例為學生自組團隊參加勝光科技96年度「燃料電池創意應用競賽」，參與學生皆為修畢機械設計之大四學生，同時學生作品亦獲第三名成績佳績。

開始時由個別組員提出想法，並於線上進行討論。經由所有成員的討論，決定以其中一為同學的想法—光纖植物，做為下次開會改進提案或是更具體想法之基礎（圖7）。

第二次討論焦點則集中在功能的增加上。學生分別提出不同的功能以使設計能更吸引人，如：芳香劑（類似插電香）、小盆栽、燈泡（或LED）裝飾等。最後決定以一個燃料槽做為設計主體，並整合盆栽功能為設計重點。在設計構想則使槽的內部可做旋轉運動來帶動裝飾物的盆景。圖8是簡單的示意圖。基本構想則是以花盆的外壁設計成存放甲醇的燃料槽夾層，讓使用者感覺不到燃料槽的存在。並在燃料槽內部擺放水草、石頭、假魚等裝飾，假魚則由馬達帶動，產生游動的效果，營造出「水世界」的氣氛。

從圖8之設計稿畫出之後，每一位成員皆集中焦點在如何完成機構設計，此時在機械系所學的機械設計即派上用場。學生們以常見的馬達-軸帶動的方式直接進行最後的初步草圖設計。在設計過程中，有成員提及軸心密封設計難度過高，是否能夠換個方式去思考，或是乾脆捨去。然而在考慮到有設計元素都能顧及的前提下。其他團員皆表示反對替換想法，認為可以透過機械設計來達成。

但由於有過多不確定的問題，於是尋求教師的協助，希望能藉由老師的經驗來解決其中問題。教師則針對原始設計架構，提供在軸承支撐、密封設計的改善設計，但也提出可能產生的問題。教師同時希望學生們能重新回到原始目標，再去思考可能有那些設計解法，此時組員也開始有新的想法。

圖9為學生最後的設計成品，圖10為各主要組件的配置。在此學生揚棄以機械力直接帶動的設計，改為由燃料電池所產生的電力供應馬達泵，將空氣打入燃料槽產生氣泡，來驅動假魚在水中悠游，如此讓原本水中世界可以呈現更自然的生氣。同時增加夜燈功能，利用光敏電阻所組成的電路，晚上即亮起浪漫的柔光（圖9右）。

4. 新手設計行為之特點

為瞭解新手設計行為之特點，我們整理出上述案例中在設計思考上，應用設計輔助工具的程度，歸納於表1中。由表中與圖2對照，我們可以很清楚看到學生相當依賴可以提供他們具像思考的輔助工具，尤其是模型製作，甚至成為協助他們進行設計變更的主要思考工具。在此一基礎上，我們見到做為設計新手的學生不只有以下不足處，更有優異表現地方。

4.1 概念具創意

一般而言，學生的專題皆有不錯的創意概念。這一點應該是國內工程設計教育中的共識。除上述之案例外，我們亦從其他學生自選之專題也都可以見到，只要關於生活事物的題目，學生皆能提出許多超出教師想像的概念。

但是若往設計求解方向去探討，可以見到在解法上欠缺創意，箇中原因係由不同因素所造成，分別敘述於後。

4.2 概念設計階段分析不足

由三個案例來看，學生的思考過程皆如圖1之程序I，尤其在已有粗略的設計雛形下，往往容易忽略問題分析的重要性。此與人類的設計思維有關，當面對問題時，通常會傾向於避免太複雜的分析並儘量找出可滿足問題的解法，而不是找出最佳的解法[2][3]。因此我們可以見到設計新手習慣從專利或是現存相關的產品中擷取需要的功能載體，但他們卻無法仔細對產品功能進行解構與分析，往往要到尋找零件材料時，才會發現到現存規格品無法滿足產品功能需求，或是產品已經成形後，經由測試後才發現並未考量到其他影響因素。也因此學生很容易捨棄了原始不錯的創意構想，而牽就原本就薄弱的零件知識或加工能力，改採他們能力所及的解決方案。這一點我們可以從「發票整理盒」一例中見到。

又如案例二之投籃機設計例中，負責擊發機構之學生，在初期即與同伴討論過彈簧、氣壓式等等的擊發裝置，並經過計算，認為彈簧會是不錯的選項，於是決定利用彈簧當擊發動力源。但因為有太多不確定性需要考慮，也沒有把握是否能算對，所以並沒有考慮相關的限制條件，因此造成後續與其他組件搭配與配合等問題，而影響到整體的功能。

4.3 易執著於既定設計解、較少評估設計解

如同前述，無經驗學生會傾向於簡單的設計解，所以當設計概念略有具體成形，且已有自認可行的設計時，多會依既定的目標前進，反而較不會在各個階段反思與評估設計解是否仍滿足原來目標。「泡泡花燈」即是典型實例。當學生在討論原設計馬達傳動假魚設計的可行性，發現此方案不太可行時，卻不會直接捨去，而是一直去進行細節改變。而要是想不出解決方法時，整個團隊進度就停滯不前，因為成員總是相信有解決方法，只是現在不知道，畢竟這是他們所熟悉的解法。

4.4 圖像思考能力不足

從我們的觀察，學生在思考所遇到的問題時，仍習慣採取條列式的方法。但是這種方式卻無法釐清產品設計中事物之間的關係，而且很容易讓人以凌亂無

序的方式來添加重點，從而使其間的先後順序與關係更加混淆。而圖形思考卻可以透過圖像的記載，以視覺呈現的效果，逐步釐清問題點。而在面對設計問題時，所謂「新構想」也是舊構想的新觀點與新組合。透過圖形的記錄（如同記憶體般）設計者對問題思考的資訊也就不斷從紙上到眼、腦、手再到紙面，進行連續的循環[6]。

而國內大學生在傳統工程設計教育中即一直欠缺圖像思考的訓練，也因此學生在設計點子的實踐過程中，無法處理複雜的設計資訊，而造成設計品質不佳的狀況。如在案例一與案例三中，學生雖然提出不錯的設計概念圖，但是卻無法更進一步在圖面細節上進行分析與思考，以找出原設計概念的問題。因此在「自動發票整理盒」例子中，學生無法從詳細設計圖面建立自信，卻從不足的實務經驗與實作能力中捨棄原有設計，而做設計的退縮。

4.5 設計與實物實作觀念混淆

幾乎目前國內大專院校的學生之專題實作教學活動皆需完成實品，但對於不熟悉加工方法的學生而言，無法在抽象的圖面作業中理解出具體的成品。因此對於設計基本繪圖作業方式，多抱持著畏懼的感覺，認為過於麻煩且充滿不確定，所以往往就在大致概念成形後就直接進入成品製作。

由案例「發票整理盒」與「投籃機」可以見到學生在實物製作上投注相當大心力。在「發票整理盒」實例中，學生在設計解的分析全仗實物模型，亦即透過MAD的方式，但卻欠缺在PAD的事前分析，反而造成時間之延宕與材料的耗費。而「投籃機」更是完全以實物方式變更、修改來解決設計問題。也因此原本期待學生能以實作成品方式來與設計繪圖能力有相輔相成效果，以增加創新設計能力，結果通常是在磨練學生的工藝能力。當然如果從學生學習效果來看，第二次的設計歷程當然也就有改善空間，由「泡泡花燈」之案例來看，學生已有前次經驗，因此可以在實作成品上減少過多的不必要的時間浪費。

5. 結論與展望

本研究透過三個典型的學生設計案例，分析出今日國內大學生常見的設計行為與思考模式。這些欠缺設計經驗的大學生的設計行為特點多來自於學習方法的欠缺與不足，尤其透過案例「泡泡花燈」的分析可以發現，若能掌握到設計新手在設計行為的特點與思考模式，在他們設計過程適當階段適當的導引，對他們獨立思考與正確設計觀念的養成有正面的意義。

同時本研究亦注意到在今日數位學習工具逐漸成熟普及，但是學生卻習於快速卻膚淺的接收數位資訊，而無法做深層的設計思考。這問題改善的可能性應自以下方向進行：

- 圖像表達與思考能力的建立：在對上述案例的分析中，我們發現在他們的設計挫折中，有很大的比例來自於學生圖形表達與思考能力的不足，因而提早放棄在紙面上設計，而直接進行實物的製作 [1]，此由案例一與二最為明顯。但是目前大學機械系的課程設計，卻是無法完全解決這樣的問題。除了製圖課程比重的下降，部份教師與學生亦往往將紙面設計的焦點轉移到CAD軟體工具，而忽略了徒手繪圖(Sketch)在問題解決上仍扮演相當大的角色[6][7][8]。是以未來在工程設計教學中，徒手繪圖應扮演相當大的角色。
- 設計方法的引進與個案式修正：近代工程設計方法學[9][10][11][12]多以設計程序的角度切入，因此極適合引進於工程設計教學活動中。但若僅以課本形式進行方法上的知識探討，以我們過去經驗並無法達成功效，必須加強在學生個別之差異。而學生個別之差異之探討對未來工程設計教育而言，益形重要，此亦應是國內工程設計教育應努力方向。

6. 致謝

本論文承蒙國立中央大學「96年度發展國際一流大學及頂尖研究中心計畫—卓越教學」計畫以及國科會研究計畫NSC-96-2516-S-008-001-MY2之補助使得以順利完成。

7. 圖表彙整

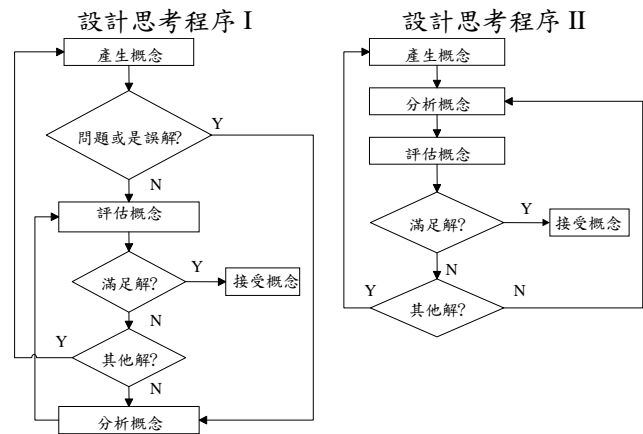


圖1 兩種不同之設計程序 [2] [3]

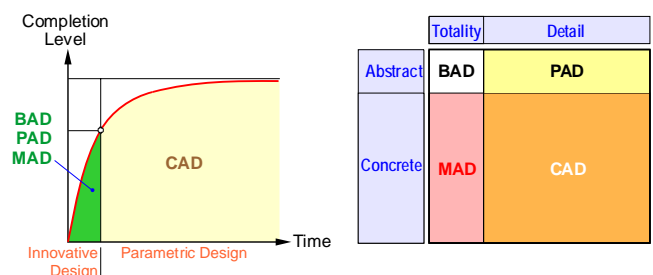


圖2 設計不同階段與輔助工具 [5]

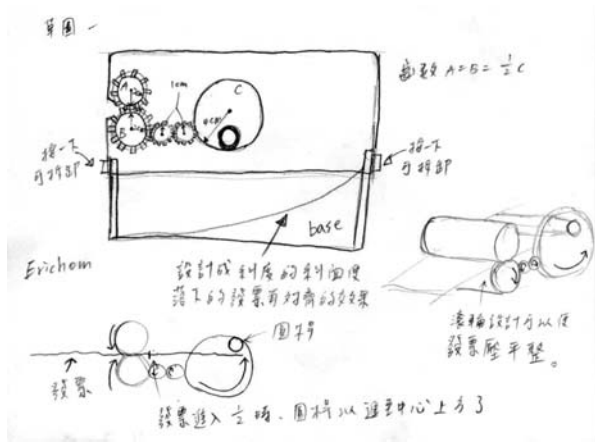


圖3 發票整理盒原始設計構想

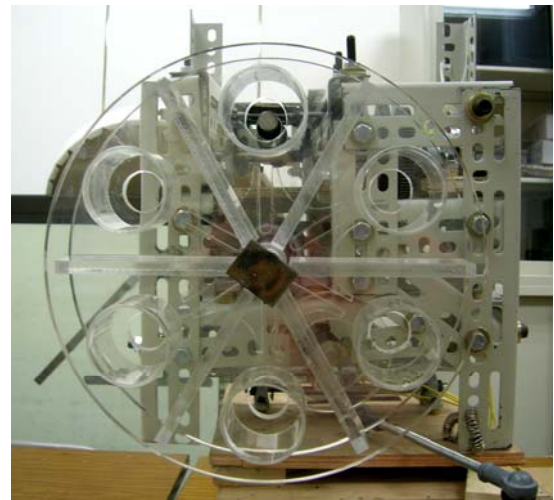


圖6 投籃機成品

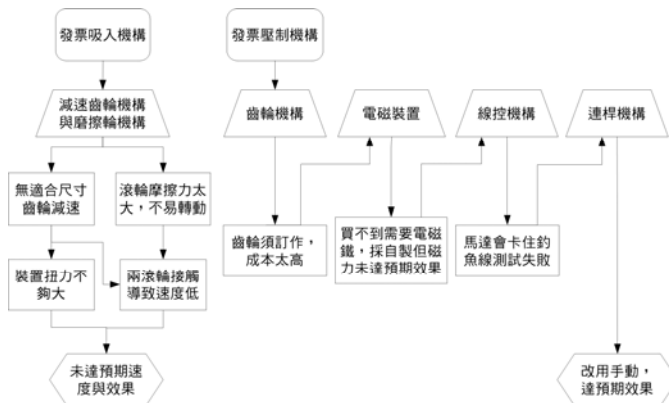


圖4 發票整理盒設計構想改變流程

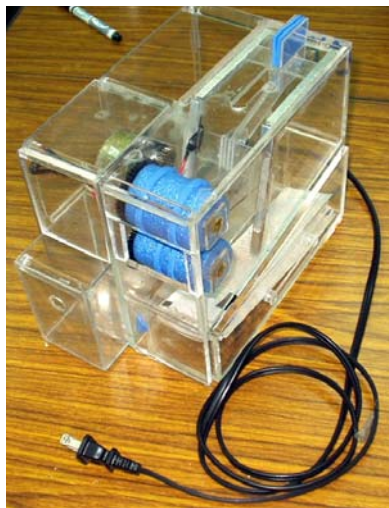


圖5 發票整理盒製作成品

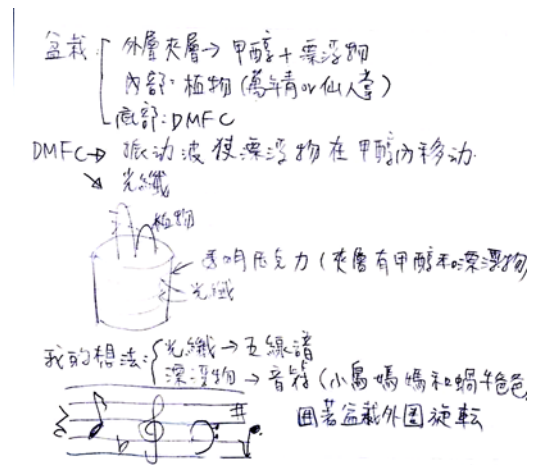
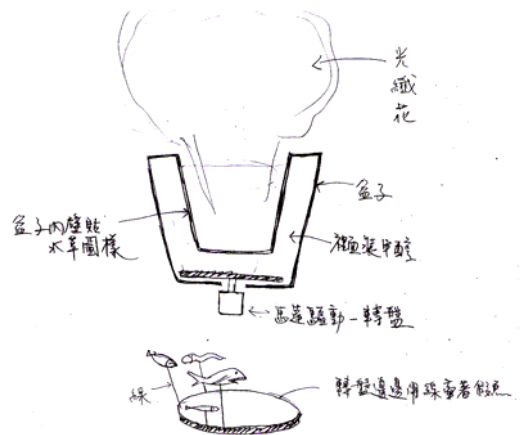


圖7 「泡泡花燈」原始設計構想



利用感光 sensor 白天時供給轉盤動力，晚上時轉盤不動，供給光纖花動力，所以白天時是看到魚在繞，晚上就看到光纖花發亮

問題：絕裝飾 O₂

問題：比較難做的應該是盒子跟底座間的防水，還有感光 sensor 的使用

圖8 「泡泡花燈」概念設計



圖9 「泡泡花燈」成品外觀

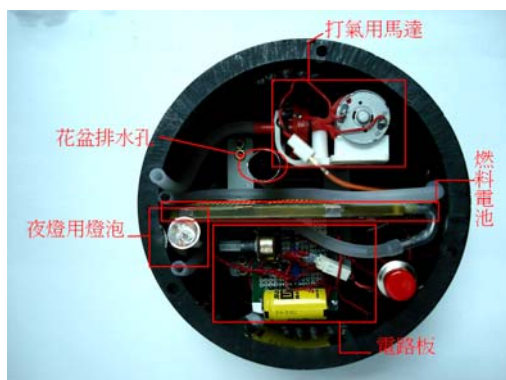


圖10 「泡泡花燈」各組件配置

表1 各案例不同設計輔助工具應用程度評量

| 工具應用 | 案例一 | 案例二 | 案例三 |
|------|------|------|------|
| BAD | ○○ | ○○ | ○○ |
| PAD | ○ | ○ | ○○ |
| MAD | ○○○○ | ○○○○ | ○○○○ |
| CAD | ○○ | ○○ | ○○ |

應用程度：低 ○ → 高 ○○○○

8. 參考文獻

- [1] 葉則亮等“大學工程創意實踐新手的挫折及其評量”，機構與機器設計，中華民國機構與機器原理學會會刊，Vol. 14，No 2，2003，pp. 6-13。
- [2] Badke-Schaub, P., Stempfe, J. “Analysis of solution finding processes in design teams”. in Human Behaviour in Design (ed. by Lindemann), Berlin, Springer-Verlag, 2003
- [3] Stempfe, J., Badke-Schaub, P. “Thinking in design teams – an analysis of team communication”. Design Studies 23, 2002 pp. 473-496.
- [4] 蔡錫錚 林秀芬，“設計方法與創意設計實踐 - 設計方法之教學經驗”。「學習與創造•教育與創新」國際學術研討會。2005年5月20-21日，台北市：政治大學。

- [5] Ottosson, S. “Collaborative product development consideration”. Human Behaviour in Design, Berlin, Springer 2003, pp. 164-173.
- [6] Laseau, Paul. Graphic Thinking for Architects & Designers, 3rd Ed., 2000, Wiley.
- [7] Ullman, D. G. “The Importance of Drawing in the Mechanical Design Process”. Computing & Graphics, Vol. 14, No. 2, 1990, pp. 263-274.
- [8] Viebahn, U. Technical Freehand Drawing. (in German). Berlin: Springer-Verlag, 1993
- [9] Cross, N. Engineering Design Methods. 3rd Ed., 2000, Chichester, John Wiley.
- [10] Jones, J. Christopher. Design Methods, 2nd Ed., 1992, New York, John Wiley & Sons.
- [11] Pahl, G. and Beitz, W. Engineering Design - A Systematic Approach, London: Springer-Verlag. 1996
- [12] Roth, K. Designing with Design Catalogues. Vol. 1, Engineering Design, Vol. 2, Catalogues, 3rd Ed. (in German), 2000, Berlin: Springer Verlag.
- [13] 蔡錫錚 林秀芬 葉則亮，“設計者思考風格與設計行為關連性之研究初探”。第九屆全國機構與機器設計學術研討會，2006年12月9日。高雄：正修科技大學。

A Study on the Design Behaviour and the Thinking Pattern of Novices

S.-J. Tsai¹, C. K. Lee¹, T. L. Yeh² and P.F. Chang³

¹Department of Mechanical Engineering,

²Institute of Opto-Mechatronic Engineering

³Graduate Institute of Learning and Instruction, National Central University

NSC Project No.: NSC-96-2516-S-008-001-MY2

Abstract

The aim of this paper is to explore the design behaviours and the thinking patterns of novices through three case studies. The design behaviours and the thinking patterns were analyzed based on the theory of design processes and the use of the different tools in various design stages. The features of the design behaviours and the thinking patterns from the analysis results of the study were listed in the paper. Finally the corresponding measurements for the engineering design education were also given.

Keywords: novices, design behaviour, thinking pattern, engineering design