

工程設計

南台科大電子系 黎 靖

設計、發明、創造

上述相似名稱的意義或許因人而異，它們卻涵蓋著很寬廣的活動範圍，從最新造型服飾的設計到令人讚賞之建築的設計，到面紙生產機器的開發。此處我們關心的是**工程設計**(engineering design)。design 這個字起源於拉丁文 designare，意謂著 "指派或規劃"。韋伯字典給它的定義是 "行動或工作的起草或計劃，…，構思、發明一創製"。工程設計定義成 "為了詳細並且具體界定一個程序、一個裝置或一個系統，而應用不同技術與科學原理的過程。設計可以很簡單或很複雜、很容易或很困難、數學形式或非數學形式。它可以包含很瑣碎的問題或者很重要的問題"。設計是工程應用的根本。然而，工程問題的複雜性往往需要我們將問題結構化，分解設計，以闡釋與指定主題相關的觀念。教科書上典型問題具有 "已知 A、B、C 及 D，求 E" 的形式。不幸地，現實的工程問題卻很少如此結構化。工程科系畢業的學生如果只會在教科書尋求解決問題的指引，將是徒然無效。不結構化的問題常導致所謂的"**白紙徵候群**"，工程師面對著白紙沉思而無法確定如何著手解決定義不明確的問題。

大多數工程教育偏重在問題的分析，這是相當必要的。工程師必須瞭解如何分析不同型態的系統，例如機械的、電機的、熱力或流體的系統。分析工作必須同時對數學技巧和系統功能之物理原理有透澈的瞭解。但是，必定要實質存在的系統才可以作分析，一張白紙並沒有提供任何分析的對象，所以工程設計練習的第一個步驟就是**合成**，也就是把所需的元件組合在一起。

除了訓練之外，設計工程師實際上也一直面對著將**未結構化的問題予以結構化的挑戰**。工程師嘗試分析之前，必須使用工程方法仔細定義問題，以確保獲得問題的正確答案。許多現存系統都具有優秀的工程解答，但是，卻因為設計結果不符合分析問題的實況而不被採用。

有許多設計程序的研究試圖提供方法將問題結構化，有些研究提供了數十個設計步驟，有些研究僅提供幾個設計步驟。表 1-1 是作者多年的經驗所得到工程設計的 10 個步驟。

迭代(iteration)：詳細討論各步驟之前，必須先瞭解設計程序並不是按步就班、一路到底的過程。基本上，設計程序是一種迭代過程，是一種前後反覆演練的過程。迭代的意思就是重覆地回到原先的狀態。譬如你的偉大構想分析起來違反了熱力學第二定律，你可以回到構想階段重新尋求更好的構想。或者，你也許要回到設計程序更早的步驟，重新研究問題的背景，以期更深入認識問題。雖然實際設計程序可能需要反覆迭代設計的步驟，為求簡單起見，我們將依照表 1-1 的順序逐項討論。

表 1-1 設計程序

-
1. 辨識需求
 2. 背景研究
 3. 目標敘述
 4. 工作規範
 5. 構思發明
 6. 分析與設計
 7. 選擇
 8. 細部設計
 9. 雛體模型及測試
 10. 生產
-

1. 辨識需求

設計的第一個步驟通常決定在別人。你的老闆或客戶可能說：「我們需要...。」這種需求敘述往往簡短而不明確，它與結構化的問題敘述有一大段距離。例如，問題敘述可能是「我們需要開發一部割草機。」

2. 背景研究

這是整個設計程序最重要的一個步驟。不幸地，它也是最常被忽略的步驟。此處的研究是指從相關的物理、化學或其他方面去瞭解問題的背景資料。同時也應該瞭解是否有相似的問題已經獲得答案，才不致於浪費精力在不必要的地方。假如很幸運能在市面上找到一個成品，購買它可能比重新研究開發更經濟。通常沒有那麼幸運，你可能要多去探討問題，瞭解相似產品和技術的發展情形。專利文件與技術報告是很好的資料來源，假如你發現的答案仍是別人的專利，你大概只能購買這個專利或成品、設計不與該專利衝突的答案、或者是放棄計劃。在背景研究階段必定要使用充分的時間和精神，以免導致針對錯誤的問題得到好答案的窘況。

3. 目標敘述

一旦已經完全瞭解原始敘述的問題背景，你應該將問題敘述整理成更有條理的目標敘述，而且是簡要、概括、不作預測答案的修飾之敘述，這個敘述必須指出具體的功能。例如已經研究眾多的割草方法與發明之後，可能要「設計一個更好的割草機」。聰明的設計者可能會將目標敘述改寫成「設計一個使草變短的方法」。原始的問題敘述明確地指出割草機，多數人馬上會聯想到旋轉刀葉及吵雜的引擎。為了讓構想階段更成功，應該避免造成這種印象，應該使用更概括、更簡明的敘述。請練習列舉十種裁短草皮的方法。你如果只想設計一個更好的割草機，這十種構想的方法可能都不會出現，所以你應該將設計的功能具體化，以免限制了你的創造能力。

4. 工作規範

瞭解問題的背景，並且明白地寫出目標敘述，你就可以列出工作規範了。這是定

義系統要作些什麼的操作規範，而不是定義系統要如何作的設計規範。在這個階段就決定要如何來完成目標是不智的，應該留待構思階段再作決定。工作規範的目的是仔細地定義與限制問題，使問題能被解決，而且是根據事實求解。工作規範應包含使用對象(成人、小孩、幼兒、.....等)、使用環境(室內、室外、工廠、.....)、動力來源(自備、外來、.....)、成本、功能(防笨措施)、及環保等。表 1-2 是 "草皮裁短機" 範例的工作規範。

表 1-2 工作規範

-
1. 自己供應動力的裝置。
 2. 防腐蝕的裝置(室外)。
 3. 成本低於 100 美元的裝置。
 4. 在 50 英尺處噪音強度低於 80dB 的裝置。
 5. 每小時裁短 1/4 畝草地的裝置。
 6. ...等等。
-

注意，這些規範限制了我們的設計，卻不致於過度限制工程師的創意。第一項規範如果要求使用汽油引擎就不是很恰當，可能有其他的動力來源可以選擇。同樣地，第二項規範如果指定使用不銹鋼元件就很不智，因為有許多比不銹鋼便宜的防蝕材料(塑膠、碳纖維、鍍鋅鋼板、塗油漆)可選擇。簡言之，工作規範應該儘可能完整且廣泛地定義問題，以明確界定所要完成的結果。完成的設計也將按照工作規範一一驗收。

5. 構思與發明

這個步驟同時充滿了樂趣與挫折。對大多數設計者而言，這個階段最有滿足感，也最困難。有許多研究都在探討 "創造力" 的現象，多數研究也同意創造力是人類的特質。年輕孩子也都顯示了很高度的創造力，人類出生之後幾年內天賦的創造力就會發展到一個相當程度。有人認為西方教育傾向於壓抑孩子的創造力，鼓勵一元化。從幼稚園的著色畫到模仿教科書的書寫型式，壓抑個人使之與社會的特性一致。這樣也許能避免變成無政府主義的社會，但是也產生了削減個人創造力的效應。有些人宣稱創造力可以教出來，有些人認為創造力是天賦的，但是並沒有任何證據支持這兩個理論。而且一個人喪失的創造力也許還可以再激發出來。研究報告指出大多數人並沒有完全開發其潛在的創造力，你可以運用不同的技巧來增強創造力。

創造程序：許多技巧被開發來增強或激發創意性地解決問題的能力。如同設計程序被定義出來一般，事實上，創造程序也可以定義如表 1-3。創造程序是設計程序的一個子集合，構思與發明可以區分成四個子步驟。

表 1-3 創造程序

-
- a. 構想產生
 - b. 挫折期
 - c. 潛伏期
 - d. 行動
-

5.1 構想產生

構想產生是這些子步驟內最困難的一個，即使很富創造力的人也會有困難針對需求來發明。在這個階段，你必須沈浸在問題裡，並找出任何相關的資訊。讓你的想像力自由奔馳，開放自我接觸任何即使只是隱約相關的事物。用意在於廣泛的蒐集資料，以便不尋常及看似無關的元素可以漸漸的依次浮現出來。在這個階段，樂於接納新知，開放胸襟仔細聆聽是最重要的技巧。

我們平常慣於立即切入答案的思考模式，就像心理學家所稱，「例行公事」的陷阱會造成「功能上的僵化」；我們只用最顯而易見的角度來看待問題，也用同樣的方法來思索問題，結果，往往就像我們笑稱的得了「心理硬化症」---心態愈來愈僵化。

另一種接受新資訊的障礙在於「自我審查」，亦即禁錮創意精靈內在聲音。這股自我批判之聲向你耳語：「他們會認為我很笨」，「這永遠不會成功」或「顯然就是如此」。我們必須辨認出這股聲音，用足夠的勇氣削減它的破壞力，不斷用馬克·吐溫的話提醒自己：「任何想出新鮮點子的人，在成功前，都是凡人眼中的怪人。」

5.2 挫折期

構思的目的都是要產生大量的構想而不在乎其品質。但是，有時候你的靈感可能會枯竭，當理性、分析的心智竭力搜尋超乎能力極限的解答時，就會產生**挫折**，進入創造程序的挫折期。由於它是如此令人不愉快，所以常被忽略。

史丹福大學傑姆·何林斯曾經在對世界傑出年青企業家教授創意的課堂上說：「如果你和那些真正從事創作工作者交談，他們一定會侃侃而談，在那電光交錯之前，他們的準備工作是何等的漫長、焦慮、挫折。雖然每次的突破都讓他們往前邁進一大步，可是在腦汁尚未榨乾前，這一步，無論如何，是跨不出去的。」

事實上，沒有人樂在焦慮或絕望之中，但是那些創意終生的人們最後都能接受，那段焦慮時期是創作必須的過程。接受這不可避免「黎明前的黑暗」對自己有多方面的助益；一旦將此「黑暗」視為必須的前奏，你就比較不會把這種挫折感看作是個人的能力不足，或是貼上「不良」的標籤。以較積極的態度面對焦慮，即使遭逢挫折，仍樂意繼續試著去解決問題。

根據資料顯示，人們無法解決問題的原因，通常不是問題無解，而是他們在時機未成熟前就已放棄。因此「堅持」才是我們最強大的盟友！真理告訴我們，當我們意識到是該停止努力的時候，也就是，理智向問題「投降」的時候！

5.3 潛伏期

當你的知覺關心著其他事物，你的潛意識可能仍努力地解決問題，這就是所謂的潛伏期。突然，在不經意的時間、地點，一個構想會蹦出來，而且它很明顯地就是問題的答案，於是就找到了需要的構想。稍後的分析也許曾發現這個構想仍有些缺失，你可以回到先前的步驟，反復迭代尋找更多構想、作更多研究、或許重新定義問題的敘述。

潛伏期是消化所有資料的重要時刻。較之先前準備階段的主動出擊，這個階段則是被動的，所有的步驟都在意識之外進行，在潛意識中發生。我們通常低估了潛意識的力量。潛意識遠比意識更適用於創造力的發揮。然而在潛意識心靈中並沒有「自我審查」的能力，在此，各種想法可以以一種新奇的模式、出乎預料的關聯性，及作出規則外的靈活結合。

潛意識的另一個優點是，它是所有你所知事物的儲藏室，包括你無法一時提昇到意識層面的事物。研究資訊如何在大腦運作的認知行為科學家告訴我們，所有記憶在變成「意識」之前，都是存在於「潛意識」，而所有大腦吸收進來的資訊，只有小於百分之一的一小部份，能夠到達「意識」層面。這告訴我們，潛意識比意識還要豐富，它有更多的資訊可供擷取。

再者，潛意識以超乎文字的方式向我們說話。潛意識所擁有的資訊包括組成感官智能的深層情感及豐富影像。潛意識所知道的，通常以一種可以感受得到的「正確感」預感，較為人所知。我們稱它為「直覺」。

我們的直覺來自龐大的資訊儲藏室，這儲藏室之於「潛意識」而言是本敞開的書籍；反之，「意識」在某程度上則是關閉的。這也就是為什麼，在考試的時候，當我們對某道題目的答案不確定時，第一眼看來似乎正確的答案，就真的是答案。

經過實驗發現，通常人們以預感作成的決定，要比經過理性思考過後所作的決定正確。當我們信任自己的直覺時，我們就真的開始仰仗潛意識的智慧了。

當我們沒有特別目的，只是天馬行空的空想時，我們較能接收到潛意識的洞察力。這也是為什麼作白日夢對於創意這麼重要的原因。將自己沈浸在問題中一陣子，然後把問題擱置一旁，這種思緒的沈澱會為我們帶來豐碩收穫。

任何可以讓你放鬆、作白日夢的時刻，對創意都是有幫助的，如沐浴、長途開車或靜靜的散步。好比，安特利公司的創始人諾倫·布希奈爾，就是在海灘上閒著沒事踢沙子時，得到靈感發展出暢銷的電玩遊戲。

幸運的話，沈浸於問題中再加上白日夢就能得到靈光湧現的結果；突然之間，解答憑空降臨。這個階段通常會獲得所有的榮耀及注目。這是人們不辭勞苦而渴求的時刻，一種「就是這樣！」的感覺。

5.4 行動

但光是只有想法，即使是突破性的頓悟，仍然不能說是有創意的行動。最後一個階段應是---**轉換**，將你的洞察力轉換成**行動**。將靈感轉變成事實，讓你的偉大構想不僅只是稍縱即逝的想法；讓它對你及他人起作用。

任何創意步驟模式都只是概略的囊括了原本相當流暢且能以各種不同路徑完成的過程。一個作家或藝術家可能有一系列的靈感同時進行，從開始到結尾，帶領他完成整個作品；或一個發明家可能發現他人部分工作的時間都花在準備及執行，天才中的百分之九十九，誠如愛迪生所說，是努力，而非靈感。

有許多技術可以改善構想的獲得，而最重要的就是**延遲判斷**，也就是暫時擱置你的鑑定能力，不要在這個階段判斷構想的好壞，應該保留到分析階段再作判斷。這個階段的目的是儘量蒐集更多的設計構想，即使膚淺荒謬的建議也很歡迎，因為它們可能會激發新的觀察或者建議其他更實在答案。

腦力激盪被認為是產生具有創造性答案的好方法，這個技巧需要有一群人，最好是6到15個人，集體嘗試跨越創造力的障礙，亦即害怕被取笑荒謬。在群體中多數人不會因為害怕被取笑而掩飾他對一個主題的真正想法。腦力激盪的原則是任何人都不得取笑或批評別人的建議，即使是很荒謬的建議。必須遵守的規則如下：

1. 不要批評別人的意見。
2. 觀念、意見越多越好。
3. 自由思考，應用想像力，容許異想天開的意見。
4. 能夠將別人的許多觀念，加以組合成改進的意見

討論時，可提供下列問題，供腦力激盪時採用：

1. **其他用途**：它有那些其他用途？將它改良後有何其他用途？
2. **改變**：它像什麼？它提供那些啟示？
3. **修改**：如何將它扭曲成新的形狀？如何改變它的顏色、大小、形狀、聲音、氣味？
4. **擴大**：能增加些什麼而使它改變？
5. **縮小**：能不能使它變小、變短、變輕、變低？能不能使它分割或刪去某一部份？
6. **代替**：能不能將它改作其他用途？能不能用其他材料代替？
7. **重組**：能不能將各部份交換？能不能改變程序或重組因果關係？
8. **反轉**：能不能將它反轉？能不能扮演相反的角色？
9. **聯合**：能不能將各部份聯合？能不能將目標合併？
10. **變形**：能不能改變其形式？能不能將它燒灼、鑽洞、塗漆？

以下提出創意十二訣，供讀者參考：

1. **加一加**：在這件東西上添加些什麼，會有什麼結果？
2. **減一減**：在這件東西上減去些什麼，會怎麼樣呢？
3. **擴一擴**：使這件東西放大、擴展，結果會如何呢？
4. **縮一縮**：使這件東西壓縮、縮小，會怎麼樣呢？
5. **變一變**：改變一下形狀、顏色、音響、味道、氣味，會怎麼樣？改變一下次序會怎麼樣？
6. **改一改**：這件東西還存在什麼缺點？有改進這些缺點的辦法嗎？
7. **聯一聯**：把某些東西或事情聯繫起來，能幫助我們達到什麼目的嗎？
8. **學一學**：有什麼事物可以讓自己模仿、學習一下嗎？
9. **代一代**：有什麼東西能代替另一樣東西嗎？
10. **搬一搬**：把這件東西搬到別的地方，還能有別的用處嗎？
11. **反一反**：如果把一件東西、一個事物的正反、上下、左右、前後、橫豎、裡外，顛倒一下，會有什麼結果？
12. **定一定**：為了解決某一個問題或改進某一件東西，為提高學習、工作效率和防止

可能發生的事故或疏漏，需要規定些什麼嗎？

腦力激盪的成功口訣：

1. 腦力激盪不是自由座談。
2. 腦力激盪避免拋磚引玉。
3. 腦力激盪擔心沉默是金。
4. 腦力激盪歡迎荒謬構想。
5. 腦力激盪拒絕過早批判。
6. 腦力激盪強調以量取質。
7. 腦力激盪可以結合歸納。
8. 腦力激盪鼓勵自由聯想。
9. 腦力激盪每人心胸開放。
10. 腦力激盪能夠營造兼容並蓄。
11. 腦力激盪營造輕鬆氣氛。
12. 腦力激盪採取記錄公開。
13. 腦力激盪激發創造潛能。
14. 腦力激盪允許海闊天空。
15. 腦力激盪偶爾休息一下。

如果是單獨工作就要採用其他技巧，類比和倒置都是有效的方法。可以嘗試找出手邊的問題與其他狀況的類比關係，機械問題可以類比成流體機械或是電機問題。倒置是將問題內外顛倒，例如將移動的物體想像成固定等等，這樣可能有意想不到的發現。

另一種幫助創造力的方法是同義字，描述問題時採用動作動詞，並且列出該動作詞所有可能的同義字，例如：

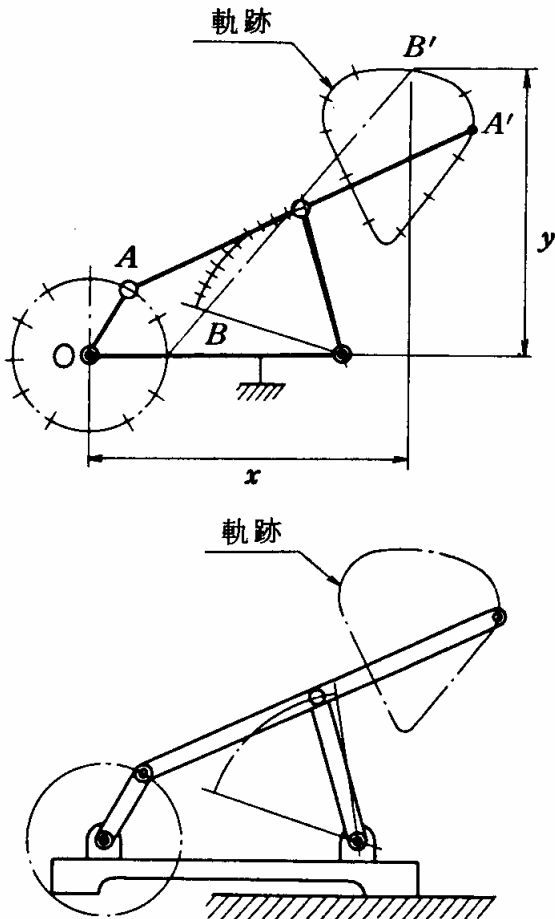
問題敘述：將物體從 A 點**移動**到 B 點。

動作動詞"移動"的同義字可以是**推動、拉動、滑動、剷動、投擲、射出、跳動、噴出**等等。

6. 分析與設計

到達這個階段，問題已經結構化，至少暫時如此。現在你可以使用更複雜的分析技巧檢驗設計的結果。假如分析階段發現問題，就應該回到先前的設計步驟，反覆迭代，以確保成功的設計。

搖桿曲柄機構的運動解析



<數學的解析>

取曲柄的若干個旋轉角度為基準，以計算得與其相連連桿移動時的軌跡點座標值 x, y ，然後把這些軌跡點 A', B', \dots 等連接起來，就可得到整個運動軌跡。

<作圖的解析>

以圓規、三角板等取幾個曲柄之角位移，依連桿的長度作圖，求得 A', B', \dots 各點，如果各連桿之長度（比）固定，則可求得各連桿的運動軌跡。

<實驗的方法>

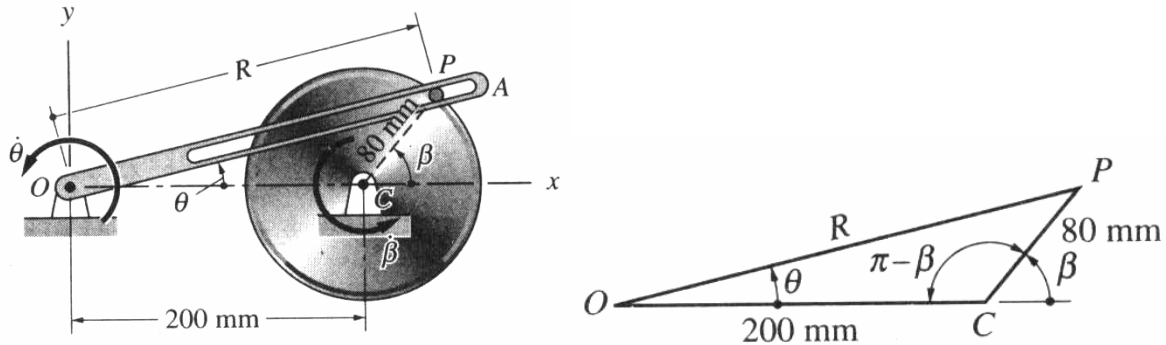
製作一個連結各連桿的實驗裝置，然後實際地使曲柄旋轉，以觀察各連桿實體的運動軌跡。

MATLAB (MATrix LABoratory) 是一個非常好用的分析軟體，以下為其幾個特色：

- 功能強的數值運算：在 MATLAB 環境中，有超過 500 種數學、統計、科學及工程方面的函數可使用，函數的標示自然，使得問題和解答像數學式子一般簡單明瞭，讓使用者可全力發揮在解題方面，而非浪費在電腦操作上。
- 先進的資料視覺化功能：MATLAB 的物件導向圖形架構讓使用者可執行視覺數據分，並製作高品質的圖形，完成科學性或工程性圖文並茂的文章。
- 高階但簡單的程式環境：做為一種直譯式的程式語言，MATLAB 容許使用者在短時間內寫完程式，所花的時間約為用 FORTRAN 或 C 的幾分之一，而且不需要編譯 (compile) 及連結 (link) 即能執行，同時包含了更多及更容易使用的內建功能。
- 開放及可延伸的架構：MATLAB 容許使用者接觸它大多數的數學原使碼，檢視運算法，更改現存函數，甚至加入自己的函數使 MATLAB 成為使用者所須要的環境。
- 豐富的程式工具箱：MATLAB 的程式工具箱融合了套裝前軟體的優點，與一個靈活的開放但容易操作之環境，這些工具箱提供了使用者在特別應用領域所需之許多函數。現有工具箱有：符號運算（利用 Maple V 的計算核心執行）、影像處理、統計分析、訊號處理、神經網路、模擬分析、控制系統、即時控制、系統確認、強建控制、弧線分析、最佳化、模糊邏輯、mu 分析及合成、化學計量分析。

急回運動範例：Lever-crank mechanism

如下圖所示之急回機構，設 OC 間之距離為 $s=200\text{mm}$ 、曲柄盤的半徑為 $r=80\text{mm}$ ， $\beta=\omega t$ ， $\omega=1\text{ rad/s}$ ，求 θ 、 $d\theta/dt$ 、及 dR/dt 。



(1) 數學分析：

$$R^2 = r^2 + s^2 - 2rs\cos(\pi - \beta) = r^2 + s^2 + 2rs\cos\beta \quad (1)$$

$$\Rightarrow R = \sqrt{r^2 + s^2 + 2rs\cos\beta}$$

$$\text{又 } R\sin\theta = r\sin\beta \quad (2)$$

$$\Rightarrow \theta = \sin^{-1}\left(\frac{r\sin\beta}{R}\right)$$

$$\text{對(1)微分} \Rightarrow \dot{R} = \frac{-rs\omega\sin\beta}{R}$$

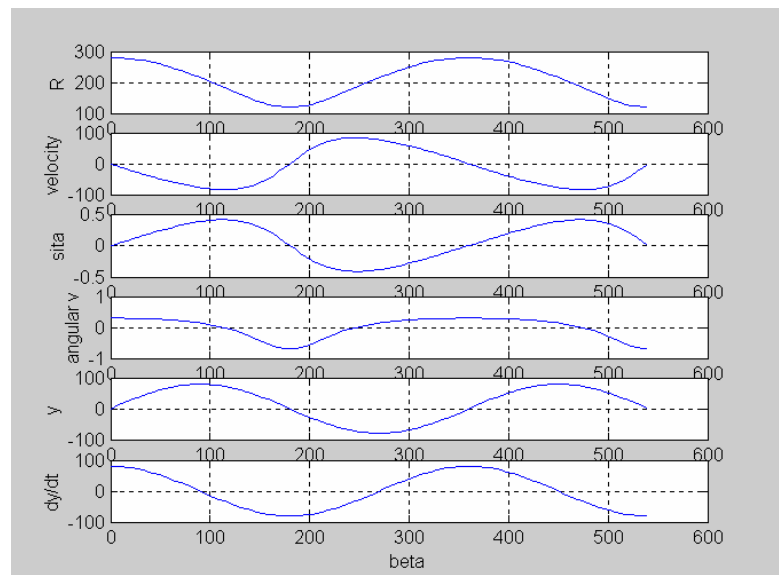
$$\text{對(2)微分} \Rightarrow \dot{\theta} = \frac{r\omega\cos\beta - \dot{R}\sin\theta}{R\cos\theta}$$

$$\text{又 } y = r\sin\beta$$

$$dy/dt = r\cos\beta$$

(2) MatLab 程式：

```
s=200; r=80; w=pi/3;
% w=angular velocity
dwdt=0; % acceration
t=linspace(0,9); beta=w*t;
be = beta*180/pi;
R=sqrt(r^2+s^2+2*r*s*cos(beta));
sita=asin(r*sin(beta)/R);
dRdt=-r*s*w*sin(beta)/R;
dodt=(r*w*cos(beta)-dRdt.*sin(sita))
./.(R.*cos(sita));
subplot(6,1,1), plot(be, R), grid, ylabel('R');
subplot(6,1,2), plot(be, dRdt), grid;
```

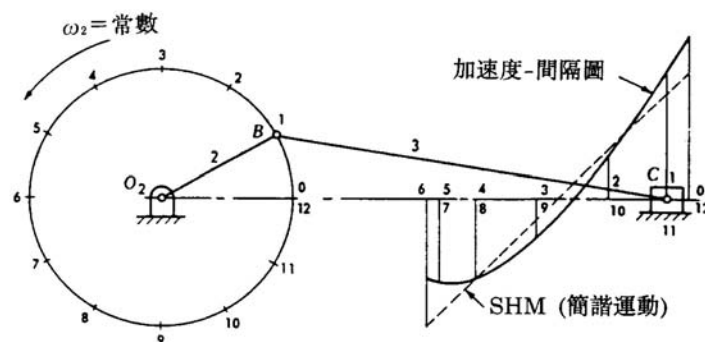


```

ylabel('velocity');
subplot(6,1,3), plot(be,sita), grid;
ylabel('sita');
subplot(6,1,4),plot(be,dodt), grid;
ylabel('angular v');
subplot(6,1,5),plot(be,r*sin(beta)); grid;
xlabel('beta');ylabel('y');
subplot(6,1,6),plot(be,r*cos(beta)); grid;
xlabel('beta');ylabel('dy/dt');

```

曲柄滑塊範例：Slider-crank mechanism



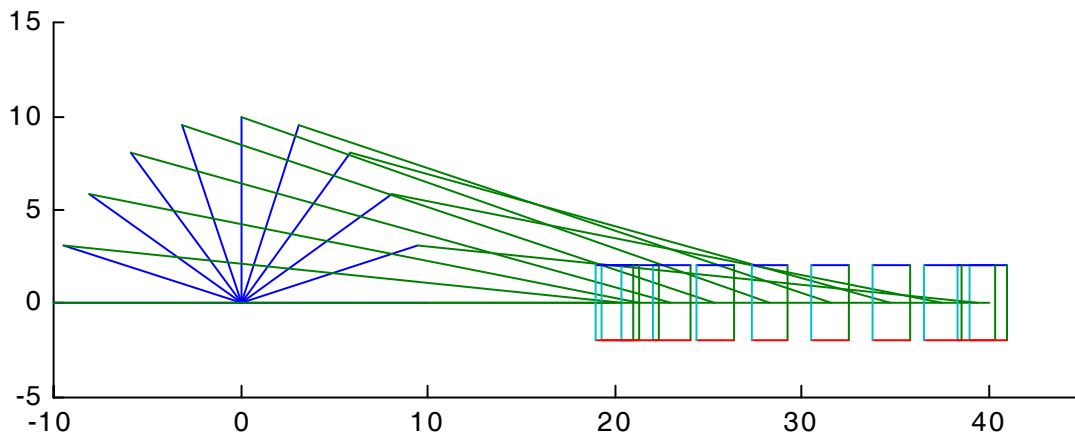
運動狀態視覺化：

```

function slider(r2,r3,w)
% w=angular velocity
t=linspace(0,pi,11);
for i=1:11
    alpha=w*t(i);
    beta=asin(r2*sin(alpha)/r3);
    ca=cos(alpha);
    cb=cos(beta);
    sa=sin(alpha);
    s=r2*ca+r3*cb;
    axis equal
    hold on
    plot([0 r2*ca],[0 r2*sa],[r2*ca s],[r2*sa 0]);
    plot([s-1 s+1],[2 2],[s+1 s+1],[2 -2],[s+1 s-1],[-2 -2],[s-1 s-1],[-2 2]);
end

slider2(10,30,1)

```



以下提供分析時應考慮之重點：

機能性	機器的目的為何，設計是否適當？
	方式選定的根據是否明朗，有否代替案？
	對於經過長時間而起的變化，是否有對應的辦法？
	即使設計困難一些，也要使構造上更容易製作？
	是否消除了機能上的各種阻礙，或是否有緩和化解它？
簡潔化	是否有不必要的部分，可否更簡單一些？
	是否可更多地利用市面上現有的產品？
	對於共通部分或標準化部分是否可以更加廣泛的利用？
	以其他更單純的機能是否能夠代替？
	整個系統的構成元件數量是否已經達到最低限度？
經濟性	是否可以使用更便宜的材料？
	是否可以放寬加工精度及公差範圍？
	是否還有更容易的加工方法？
	是否有成本和效率間矛盾的發生。
	依使用者的立場來看，構造上是否已經足夠充分？
實用性	安全性如何？
	是否需防笨設計？
	振動、噪音、公害、環保等的對策如何？
	構造上是否顧慮到日常保養的快捷性？
	是否容易修理？
	美工外觀設計是否與機能等級相互配合適當？

7. 選擇

技術分析結果指出你已經擁有一些可採用的答案，你必須再選擇一個最佳的答案，予以詳細設計、雛型化、測試。選擇的過程通常會將幾個設計案比較分析。決定

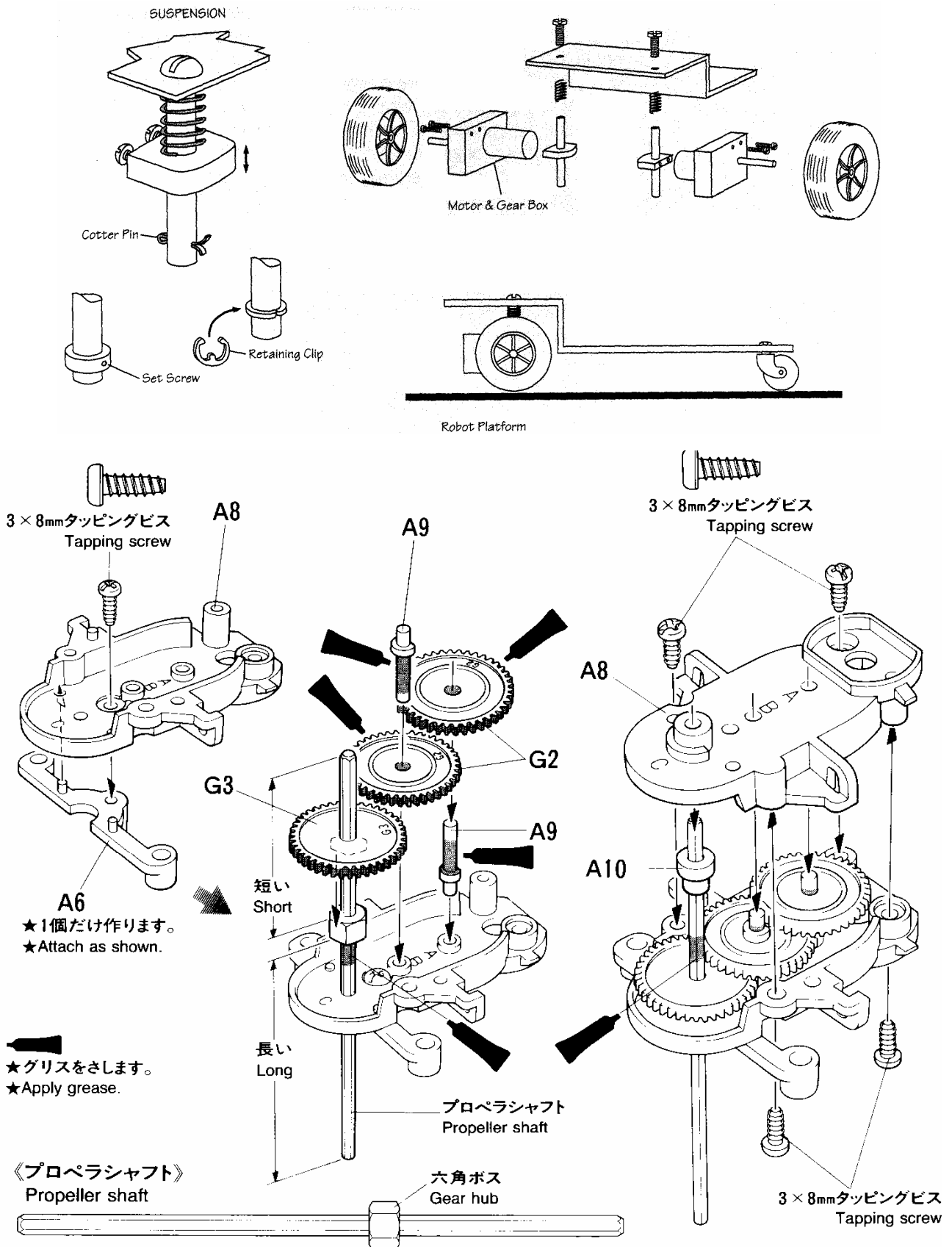
矩陣使用系統化的方式強制你考慮各項因素，有時候它可以幫助你找到最好的答案。草皮裁短機的範例之決定矩陣如圖 1-2，每一個設計都填入一行，各欄則是設計應該考慮的因素，例如成本、操作性、效率、可靠性、安全等等。你可以判斷各項因素的重要程度，酌量給予加權因子。一個設計工程師應該要有能力決定各種影響因素和加權因子。矩陣內各元素則依據一個方便的評分範圍(例如 1 到 10)評分，這種評分是很主觀的。每一個設計的各项影響因素的評分乘上加權因子，最後再相加，就得到每一個設計的配分。決定矩陣的價值在於幫助你將問題從某個層面分解，並且強制你去思考各項因素相對的重要性，結果你可以更具體地選擇最好的設計。

加權因子	成本	安全性	操作性	可靠性	配分
	0.35	0.30	0.15	0.20	1.0
設計 1	3 1.05	6 1.80	4 0.60	9 1.80	5.3
設計 2	4 1.40	2 0.60	7 1.05	2 0.40	3.5
設計 3	1 0.35	9 2.70	4 0.60	5 1.00	4.7
設計 4	9 3.15	1 0.30	6 0.90	7 1.40	5.8
設計 5	7 2.45	4 1.20	2 0.30	6 1.20	5.2

圖 1-2 決定矩陣

8. 細部設計

這個步驟通常要產生詳細的工程圖和完全的組合圖，或是各設計元件之電腦輔助設計檔案。所有的工程圖都必須標註尺寸及材料規格。從工程圖和電腦輔助設計檔案可以將設計雛形化，再進行測試。如果測試時發現缺失，就要反復迭代設計程序。



9. 離體模型及測試

模型：最後，我們還要建立模型測試，以確定設計的正確合用。這通常要建立一個離體模型，儘管數學模式很有用，總是無法完全準確地取代離體模型，而且數學模式也常有簡化的假設條件。離體模型通常不便宜，卻是證實設計最經濟的方法，並且不必按實體的比例建造。建立離體模型時，因次不同的各參數可能使它的運動行為與實體模型有差異。當你開始設計連桿機構，你將發現使用厚紙板代表連桿，使用圖釘表示樞軸以連接連桿的模型能提供機構運動的品質與特性。最好養成製作簡單厚紙板模型的習慣，以運轉觀察連桿組之運動。

測試模型或離體模型時，可以將之與周邊的量測裝置連接，運轉機構以獲得位移、速度、加速度、力量、溫度和其他的參數。有些測試還要控制工作環境的條件，例如溫度和濕度等參數。微電腦使得量測工作可以更準確、更便宜地執行。

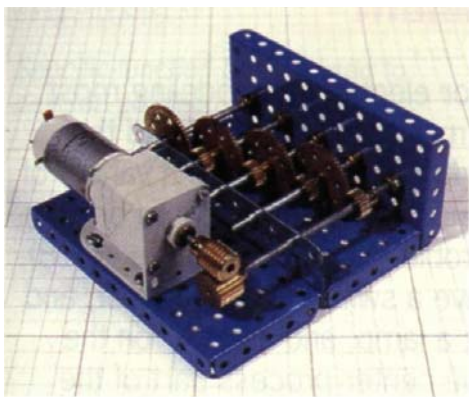
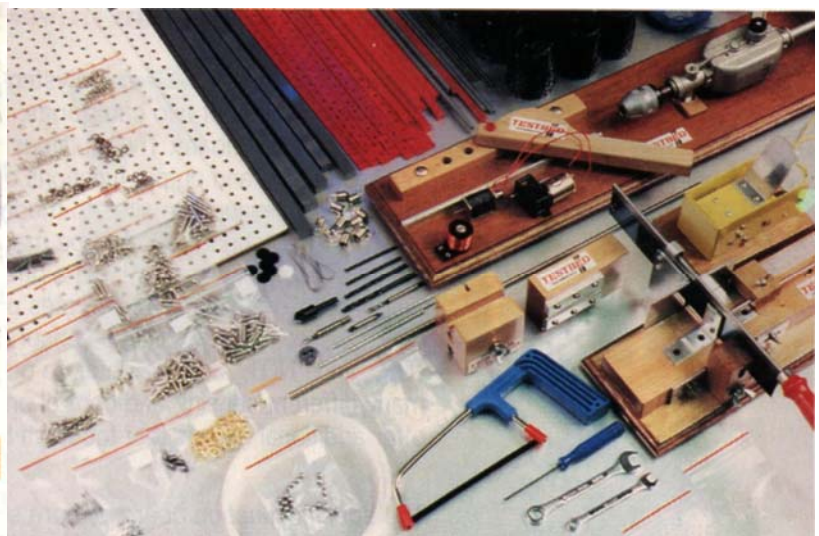


Fig. 10-16

Mechanical model using Meccano™



10. 生產

終於，設計結果要生產了。可能只需要生產一件成品，或是要生產成千上萬的成品。為避免擔負風險、浪費成本、或是量產之後才發現設計有瑕疵，工程師在設計程序的各階段都必須很謹慎。

設計程序廣泛地使用在工程上，工程可以是一個方法、一個研討方式、一個過程、或是解決問題的一種心態。工程方法必須是全面性的，要注意到各細節，要考慮所有的可能性。既要注意到各細節，又要無拘束地發揮想像力，這兩個方向好像有衝突。事實上，這兩個方向卻是共生共榮的。如果只有創意性的構想而無法將構想實現，並沒有好處。所以，為了要完成設計程序的每個階段，你必須面對所有現實的、惱人的、累人的細節。嘗如說，要完成值得信賴的設計工作，就必須完整地定義問題，如果在定義問題時遺漏一些細節，你也許會解決不相干的問題。相同地，你必須徹底研究和問題有關的背景資料，你也要盡全力尋求問題所有可能的解答，然後再深入分析各個可能解答之妥切性。最後，有信心地將選擇的設計確確實實地加工製造。

11.防呆措施(Fool Proof)

範例	說明
火車上緊急門的開關	一般在危險的情況下我們多希望能盡快逃離現場，但火車上緊急門的開關外面有一層防護的玻璃，而且必須要用很大的力量才能打破，就是怕有人勿觸,或不瞭解其功能就輕易的打開它。
密碼設定	在設定密碼時，第一次輸入完成後，還會再一次的要求你輸入密碼，兩次輸入密碼相同才完成手續，就是怕你不經意輸入不正確的密碼。
自排汽車的變速排檔頭	因為自排車的變速方法都是在同一方向上，,而且車子在行進間只能 1.2.3.4.N 檔直接變換，為了避免換錯檔直接排入 R 擋，而造成內部故障，所以在排檔頭上加裝了變換 R 擋時的防呆按鈕，這是為了避免排檔錯誤而設計的
機械沖床的啟動開關	機械沖床，或是氣動壓床，皆有兩段啟動開關，若是其中一段開關未被按下，則機械不會啟動，用於保護操作人員在於精神恍惚時不致受傷. 控制用轉鈕開關先將開關往下壓然後才可轉動，避免使用者誤動開關而造成危險。
瓦斯爐點火開關	新型的瓦斯爐需將轉鈕壓下然後轉動點火持續 3~5 秒才可完成點火程序，如在時間完成前放手則瓦斯開關關閉，可有效預防小孩子因玩弄瓦斯爐而造成危險。
防暴衝裝置	起動引擎時必須先踩煞車才可以起動

排檔安全裝置	當車子不是空檔時不能起動
行車車門自動鎖	當車子移動達 30km/h 以上時車門會自動上鎖防止小孩誤開門造成安全顧慮。
錄音機錄音鍵	錄音機錄音需將 Play 鍵和 Record 鍵通時按下才能錄音
照相機快門	照相機需將鏡頭蓋打開才能按下快門
飛彈發射器之防誤觸裝置	要發射飛彈時才能打開,以防止戰鬥機駕駛誤觸,而發射飛彈