

運用 TRIZ 方法改良機車駐車架設計

朱冠誌* 劉家煒* 陳家豪**
國立成功大學機械工程學系
台南市大學路 1 號

摘要：現今工業產品的生命週期日益縮短，工程師在開發、改良產品時所允許的時間與資源也相對被壓縮。然而，市場大眾對產品的品質並未有絲毫的放鬆。為提升企業在市場上的競爭力，以最迅速的設計流程來達到最多的設計目標已成必然的趨勢，而“設計自動化”就是此一趨勢下的最佳選擇。本文經由結合創新設計、幾何建模結合應力分析以及環保化設計評估來探討設計自動化如何對工程師在各個設計階段所能提供的幫助與提升設計工作的效率。

關鍵字：TRIZ 方法、創新設計、電腦輔助設計

1 前言

對於駐車架改良的初步工作，先以市面上相關專利產品選定其一作為競爭對手產品，而以現有產品中極為普遍的 125C.C. 速克達所用的駐車架作為假定的我方產品，接著以品質機能展開表（QFD）對兩方產品所測量得到或是推估的各設計變數和顧客需求作初步的分析。

對於駐車架改良的重點是因應女性機車騎士的需求，試圖將腳架作創新設計或是改良，使得女性騎士能在體重和力氣較遜於男性的條件下仍能輕易把 125 C.C. 的速克達架起。同時，對於腳架改良後的構造也力求儘量簡化，並保有現行腳架操作簡便、耐用和便宜的優點。

1.1 競爭產品駐車架簡述

本文所假定的競爭產品為現行專利中一個以電動馬達作為輔助動力的電動駐車架：該

設計以螺桿傳導省力、自鎖的特性帶動腳架作剪刀式垂直推出的動作來達成垂直升起車體的目的。其優點為藉由輔助動力達到省力的理想狀態；缺點為構造複雜、螺桿和電動馬達成本高、電動馬達可靠度以及使用電動馬達消耗電瓶電量頗大，對於將機車當做短程代步工具的使用者在電瓶充電並不充分的情形來說來說並不理想。

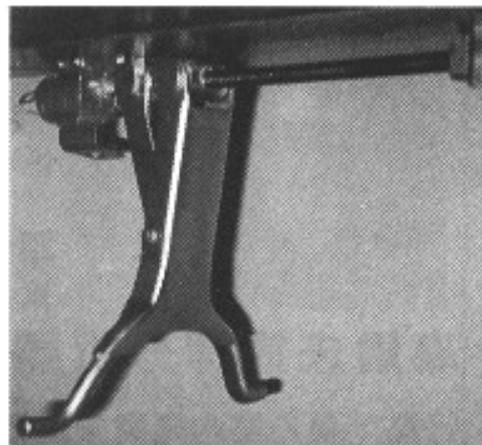


圖 1. 馬達輔助動力駐車架

* 碩士班研究生；** 指導教授

1.2 基本限制條件與分析

駐車架舉升車身的功能，基本上是運用槓桿原理來產生舉升力，而槓桿原理的執行需要最基本的 3 個元件：支點、輸入桿及輸出桿。為求客觀起見，假定使用者的條件為：騎士體重 40 公斤；車體重量 100 公斤。預估達到的理想功能為使用者在上述條件下將車體舉升時手部拉抬的力量不超過 20 公斤。相較之下，而現有產品所需手部拉抬力量約 38 公斤，這樣的負荷以大部分女性的條件來說並不容易，同時也間接限制了重型速克達在女性使用市場的開拓。

在駐車架實際操作的過程中，騎士不單站立於車架施力臂之上，同時手部做出也向上抬起車體的動作，所以手部作用力產生的反作用力透過騎士的腳部一同施加於施力臂之上，這也是為什麼騎士的體重影響手部啟動力甚鉅的原因。

2 訂定設計需求

針對前面章節的探討與分析，接著採用品質機能展開法（QFD）來訂定顧客的需求與技術參數間的關連性。QFD 中所考慮的技術參數如下表所示：

表 1. QFD 中的技術參數

技術參數 (Technical Parameter) 項目
腳架支撐點數
腳架橫向支點距離
腳架架起後之升起行程
手部啟動力大小
腳架收納的方式
腳架接點自由度
輔助動力
支點接觸面的形狀

然而，對於上表中不能量化的技術參數如"輔助動力"與"支點接觸面的形狀"的設計

改善方向與方法在目前的階段仍甚為模糊，因此擬尋求不同的設計思考方法的幫助各項技術參數（特別是不能量化的技術參數）來達到改善要求。

3.1 TRIZ 設計方法的導入

藉由品質機能展開（QFD）來界定駐車架的技術參數以及各技術參數與競爭產品的目前數值和改善目標值之後。接著導入 TRIZ 設計方法作為改良設計的進階方法，並以商用套裝軟體 TechOptimizer 3.5 Professional Edition 作為輔助工具。首先技術參數輸入產品分析模組（Product Analysis Module）的計畫參數、概述以及各目標的現值、期望值與技術參數的變數限制，並比照 QFD 所決定出的優先順序來決定各計畫參數的重要性。

3.2 建立功能結構圖

將駐車架身起車身及支撐車身的過程以功能模型來表示（見附錄圖 3）。其中，整個駐車架的功能模型中包括了 3 個元素型態：不可改變設計的超系統（Supersystem）—斜坡、地面、騎士的腳和手部；產生功能的元件（Component）—車架施力臂、駐車架本體以及駐車架底座；功能的受方（Product）—車體。在建立系統中的各元素後，隨即定義個元素間的交互作用，附錄圖 3 中，紅色表示有害的作用如“斜坡傾斜車體”；藍色表示有益的作用如“駐車架本體舉起車身”，但是在“車架施力臂架起駐車架本體”這個作用以藍色虛線表示的意義為有用但是效率不夠理想的作用。除此之外，動作本身尚須定義其對各個計畫參數的影響方向及程度，以作為下一步評估系統理想性以及修剪（Trimming）系統功能結構和品估改善效率的依據。

3.3 修剪並評估系統的功能結構

定義並且建立了駐車架的功能結構之後，下一步是藉由 TechOptimizer 3.5 中的修剪功能來對系統評估，並建議將系統中不必要的元素或是元素間不必要、有害的作用加以刪除（或是建議刪除），以達到簡化系統、減少有害作用的目的。

然而，現有的駐車架儘管在使用上效率不足，但是單就簡化構造的要求來看，實際上已算是完善的設計（總元件數目只有 3 個）。因此修剪的功能在此一階段並不能提供理想的幫助，在此也揭露出了一個問題：本產品目前的設計改進主要是提升系統的效率，而非簡化或是刪除系統元件。

在修剪的過程之後，接對對系統分析並提供可能的解決方向極可能的解決方案。在解決方案中，Problem Manager 將所有的系統分成：效率、品質的改進（Efficiency、Quality）；簡化（Simplifying）；使用者定義（User-Defined）三大類型的問題，並分別指定效果（Effects）、預測技術演化趨勢（Prediction）或是矛盾解決法則（Principles）來作為問題解決的方向。

3.4 問題解決步驟

分析並定義問題後，在問題分類上可依照問題的潛在重要性加以選擇並尋求解決的建議。其中，“增加效率”類型的問題中比重最大的兩個問題：“增加車架施力臂架起駐車架本體的力矩”與“增加騎士的腳部下壓車架施力臂的力道”兩項，由前面的章節就可以瞭解到施力臂與架起車身的力矩及腳部的下壓力道都與槓桿原理的施力臂有關，因此加長施力臂的長度可視為基本的解決方案之一。

至於斜坡對於車身傾斜造成車身在架起時輪胎易卡到的有害作用，則採取提升駐車架

架起後的車體升高行程的方式—加長駐車架主體即可，但是加長駐車架同時也會增加受力臂長度，造成需要更大的施力，因此駐車架主體所能增加的尺寸也極為有限且需要非常小心的考慮此部分的尺寸設計。

3.5 使用者定義的問題

關於使用者定義的問題，第一個為產生輔助動力，在此將導入矛盾矩陣作為問題導引。

在產生輔助動力這個問題，由競爭產品（馬達輔助動力駐車架）可瞭解，想要增加的是系統自動化的程度（Extent of automation），不想要的結果是系統的複雜性（Device complexity），由矛盾矩陣的搜尋可得到 3 個解決法則：

表 2.3 個技術矛盾解決法則

矛盾解決法則
15. 動態 (Dynamic parts)
24. 中介物 (Intermediary)
10. 先前動作 (Preliminary action)

上述法則中，解決法則“10. 先前動作”的解釋如下：

- 事先完成全部的動作或至少完成部分動作。
- 安置物體使他們能行動起來而不會浪費時間在等待行動。

在駐車架升起的過程中，使用者共經過了 . 將駐車架下踩，並站立在其上。 . 利用體重與手臂的力量舉起車體。 . 將車體架起 3 個步驟。如果依照 10. 先前動作的解釋，能使 3 個步驟連續起來而不用暫停（尤其是、兩個步驟是架起車身的關鍵），則要在系統中安置新的物體（見附錄圖 4）來達到需求。

第二個問題，增加舉升車體的力量 (Increase the force to hoist the motorcycle)，在這個問題中，想要增加的是力量 (Force)，不想要改變的是騎士的體重/移動物體的重量 (Weight of moving object)，搜尋矛盾矩陣所找出的解決法則為：

表 3.4 個技術矛盾解決法則

矛盾解決法則
8. 平衡力 (Weight compensation)
1. 區隔 (Segmentation)
37. 熱膨脹 (Thermal expansion)
18. 機械振動 (Mechanical vibration)

其中關於 "8. 平衡力" 的說明為：

- 為了補償物體的重量可以連接另一個具有舉升力的物體。
- 為了補償物體的重量可和環境提供之空氣動力或水力互動。

對於上述兩種解釋，以 (a) 的解釋較易達成且可能性較高，因此暫時以 (a) 一在系統中加入具有舉升力的物體來補償車身的重量。綜合上述，為了達到改善的目標，將在原系統中新增兩個物體來達成需求。

3.5.1 修改原有的功能結構

如前所述，將在功能結構中新加入兩個產品元件分別為“先前動作所需元件”以及“補償車身重量所需元件”。但是兩樣元件都會產生駐車架重量增加、構造複雜程度二項有害的副作用。將新的功能結構再做一次修剪得到的改善結果：元件數量減少 20%；有害功能減少 33%；系統交互作用的複雜程度減少 11%。

3.5.2 解決方案

運用 Tech Optimizer 3.5 所提供的解決方案 — Substance : Move/Move solid substance/Swamp vehicle 的例子：

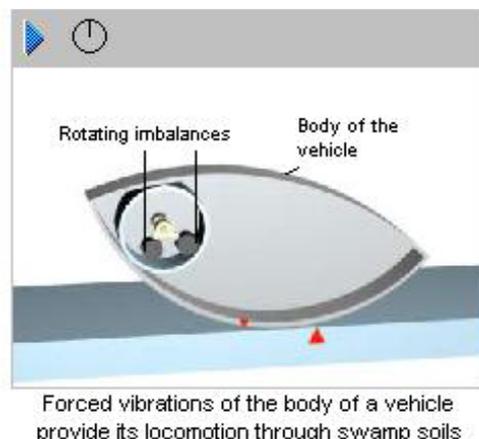


圖 2. 解決案例說明—Swamp vehicle

上述例子為運用圓弧面的擺動來達到移動物體的目的。在原來架起駐車架的過程中，從開始到架起車身共分為 3 個步驟，但是架起駐車架基本上是一個利用力矩來達到舉起物體的過程，原駐車架底座的設計 (見附錄圖 1) 分為 2 個平面，分別是支撐“ . 將駐車架下踩，並站立其上”時的第一個平面；“ . 將車體架起”時使車體穩定的第二個平面。因此在步驟 到 之間的步驟 “ . 利用體重與手臂的力量舉起車體” 必須從 的靜止狀態克服兩個平面間的轉折達到狀態 ，這也是造成手部需要相當大的啟動力的主要原因。因此在改良設計中引入圓弧設計的觀念，將駐車架底座設計成圓弧面，使得原來的三個步驟改良成從開始到架起車身為止融合成為一個流暢的擺動動作，將原設計步驟 中的擺動動作預先產生來達到改善目標。

3.5.3 初步改善結果

利用圓弧面與地面接觸來達到移動固態物體的概念，將駐車架底座設計成圓弧形，並且在駐車架本體與底座間安置螺旋彈簧，利用腳架底座下壓時，使彈簧拉伸進而帶動駐車架底座產生反作用力。其細部構造如下圖所示：

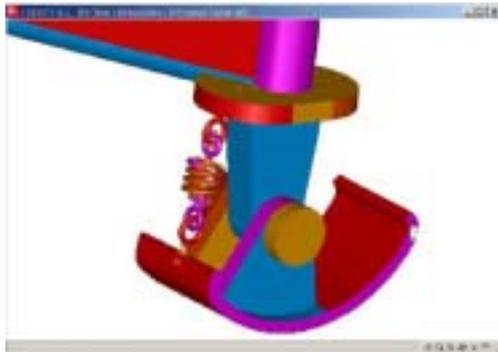


圖 3. 初步改良駐車架構造圖

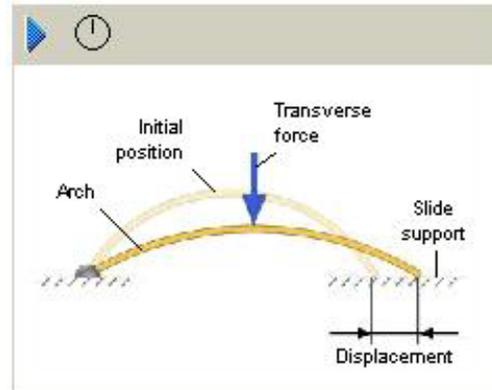
然而，考慮此一設計結果，改良後的駐車架儘管能滿足“省力”的設計要求，但是活動關節的旋轉對的設計就製造性和成本的考量來看並不理想，尤其是拉伸彈簧與旋轉接頭在設計時需詳加考慮基本尺寸以維持功能運作正常，而後的組裝步驟也相較原設計繁複許多，活動關節的耐久性也不若原設計底座採焊接方式牢靠。基於上述諸多設計、生產、使用和維修的可能潛在成本，初步改良的駐車架的實用性並不高，因此將採取進階的設計改善。

3.6 進階改善

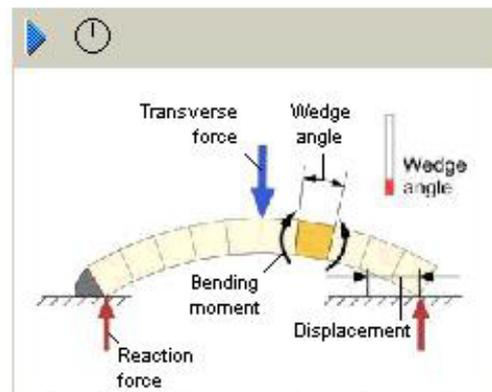
將初步改良後的功能結構圖從理想系統的層面來探討潛在的改善方案。在軟體所建議的各個可能的方式中選擇將“補償車身重量所需元件”原有功能轉由“駐車架底座”來產生。經過兩次的修剪後，原有的“先前動作所需元件”與“補償車身重量所需元件”均被刪除，並把功能皆轉移到“駐車架底座”來產生。接著針對此功能結構圖來尋求解決方案。

3.6.1 進階改良的解決方案

參照 IM-Effect 模組所提供的解決方案中 — Substance : Form/Transverse force affects arch and displacement 的案例，得到以圓弧形金屬薄版受力變形後產生的反作用力（類似機械設計中常用到的薄版彈簧）的解答案例：



Increasing the transverse force increases the displacement of the free end of the arch



Changing the transverse force changes the bending moments in a section

圖 4. 進階解答案例說明—Transverse force affects arch and displacement

參考此案例，得到了一個靈感：利用初步改良的圓弧形駐車架底座的概念加以延伸，使駐車架底座的圓弧造型同時具有圓弧彈簧般的功能來取代螺旋彈簧。經過再次改良後底座設計如附錄圖 2 所示。

經過進階改良後的設計，駐車架底座採圓弧形底板與支底座焊接的方式，如此不僅保有最初原設計構造簡單的優點，強度也比初步改良後採活動關節的方式理想；同時 "圓弧造型底板使架起過程連續流暢" 與 "彈簧的反作用力幫助舉起車身" 的設計目的及優點仍舊保留著。而相對於初步的改良結果來看，元件數量減少 40%；有害功能減少 66%；系統交互作用的複雜程度減少 22%。在此對駐車架的改良設計工作基本上已達成設計目標，接下來進行對設計關鍵零件與尺寸做設計確認與產品生命週期頻估(LCA)的工作。

4.1 設計確認

依照設計基本尺寸與材料 (SAE 1074 / JSMA No.6 SPS6) 經由材料力學的公式計算，若圓弧形底板的末端 (自由端) 受到 170kgw 的地面反作用力 (相當於重量 100kgw 的車體與體重 70kgw 的騎士的總和)，底板末端的變形量約為 3.6 mm。由此可概略瞭解到底座在操作過程中的圓弧底板變形量大致在合理範圍內，故在操作過程中仍能維持基本的圓弧形狀。而理論上圓弧彈簧在自由端受力時，依照目前的設計尺寸，最大應力將會發生在圓弧薄版的固定端 (也就是腳架底座與圓弧薄版焊接的邊界處)，至於較明確的受力狀況，將在下一節中加以討論。

4.2 應用 I - DEAS 作應力分析

以設計的基本尺寸在 I-DEAS 中建立 3-D 模型，並運用 I-DEAS 內建的模組作分析。基本上，進階的改良駐車架的規格尺寸和重量相對於原始駐車架並無太大的改變，因此應力分析將專注於底座圓弧形底板的應變以及應力分佈狀況。經過運算及求解之後，所得到的結果如圖所示，橘紅色區域表示應力最高區域，情況與前節所述的應力最高區域會發生在焊接末端與圓弧底板形的交界處的相當吻合。

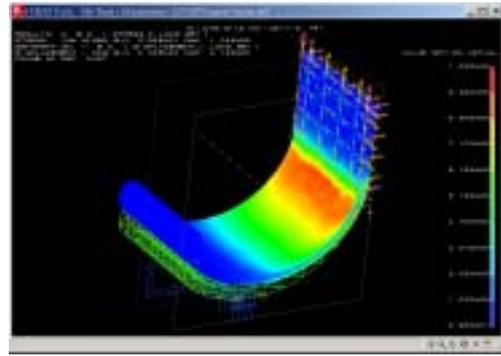


Fig.22 應力分析結果

分析結果中底板所受的最高應力值為 $1.02E06 \text{ millinewton/mm}^2 = 104 \text{ kgw/mm}^2$ ，圓弧形底板材質 SAE 1074 最大抗拉應力介於 $118 \sim 200 \text{ kgw/mm}^2$ 之間，因此設計規格能夠滿足使用狀況的需求。而最大位移量 4.12 mm 發生在自由端，分析的結果與 4.1 節運用公式的計算結果 4.2 mm 相距不遠。

4.3 駐車架設計改良成果

改良後的駐車架施力臂長度由原尺寸的 9cm 變為 11cm，由彈簧所產生舉升車體的力矩 = 騎士體重 \times 圓弧彈簧水平方向長度 = 200 kgw-m ，將新的設計尺寸帶入槓桿原理的計算可推估改良設計後駐車架所需的手部啟動力約 22 kgw。就此一結果來說，改良後的手部啟動力與 20 kgw 相當接近，但與原訂的機車駐車架品質機能展開中的理想值 15 kgw 仍有一段距離，因此還有相當的改善空間。事實上，上述的計算相當簡略，因改良後的駐車架在使用時支點會在圓弧形上變動，而支點初次接觸地面時由於施力點的改變，施力臂、受力臂的長度也會約略增減，在架起車身的過程中圓弧彈簧的反作用力也不會一直維持騎士的體重 (視當時支點所支撐的總重量而定)，甚至圓弧擺動的幫助也不在算式的考量中，但仍可做為改善成效的基本參考。

5 機車駐車架的生命週期評估

對於評估機車駐車架在生命週期期間對環境衝擊的影響，可利用 LCA 分析軟體 SimaPro 來找出其影響。在輸入資料前，先確定各個駐車架的零件及其材料與重量。並依據駐車架所使用的材料來定出其製程，進行 LCA 的分析。經過 SimaPro 計算後，可得到各個機車駐車架的環境衝擊指標值，將之整理如附錄表 1 所示。

從機車駐車架的零件來看，構造的主要材料是鋼，對環境造成一定的影響，而且產品中所使用鋼的重量越重，對環境造成的影響越大。因此在尚未經過改良設計的駐車架中，所使用鋼材的重量是四種機車駐車架中最輕的，自然對環境造成的衝擊在任何方面都是四種駐車架（未經過設計改良、初步改良、進階改良與馬達輔助動力駐車架）中最小的。馬達輔助動力駐車架（假想的競爭產品）在零件上除了機構本體的鋼材外，另外還有其他零件，包括電動馬達與螺桿，而電動馬達中的零件包含電路板、電線、磁鐵等，在環境衝擊指標的影響上佔總影響的大部分，由此可知電動馬達應用在機車駐車架的設計上較難達到環保與成本的要求，雖然電動腳架是最省力的機車腳架，對環境的衝擊卻是四種設計中最大的。

另外二種駐車架是初步改善後駐車架與進階改善後的理想駐車架設計。在初步改善後的設計中，零件中包括圈狀彈簧與活動構造，導致駐車架的重量較重，對環境的影響也稍微較大一些。而理想的腳架則把腳架底部以一片狀彈簧取代，因此腳架本體的重量則減輕了不少，對環境的影響也較改善後的腳架小。

6 結論

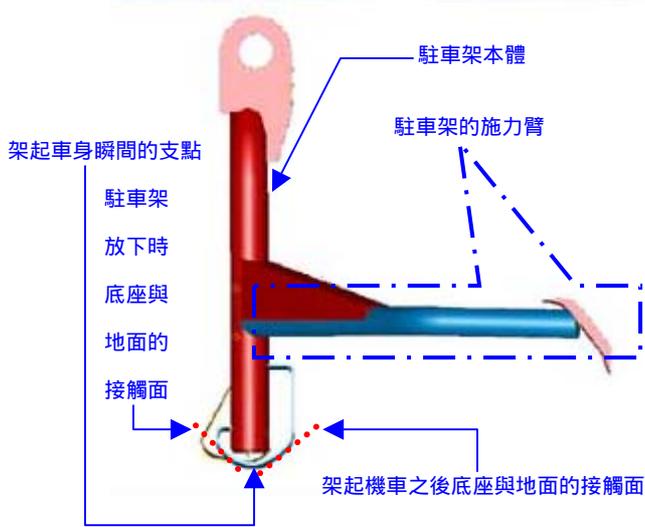
1. TRIZ 方法運用在創新設計的改良上深具潛力。然而，TRIZ 方法並不是任何設計問題的萬靈丹，其主要目的是藉由對問題的

認知來增加設計者的思考廣度。如果運用 TRIZ 方法的設計所有的細部過程都要依照制式推理步驟死板推論，一味要求全部的創新靈感都要在 TRIZ 的推論下產生，忽視了設計師本身的經驗和直覺。這反而使 TRIZ 無限制思考概念產生死角，違背了方法的基本精神，因此唯有靈活運用，才能得到最大的功效。

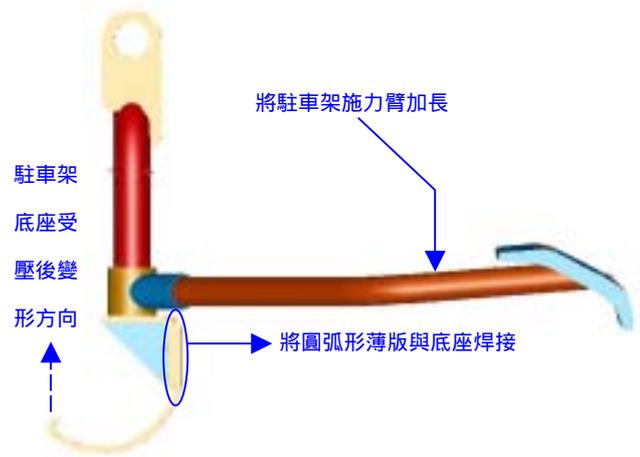
2. 藉由 LCA 軟體來分析產品生命週期各階段的影響，可以快速、簡便地提供產品開發者與設計工程師一個較客觀且正確的分析資料，作為判別產品環保化設計改良的依據，以利在設計流程中加入綠色設計的概念。
3. 本文是在 TRIZ 創新設計後再將 LCA 整合於環保化設計中，評估經過創新設計後的產品對環境的衝擊是否造成不同的影響，以期設計出兼具環保與創新的產品。
4. 從產品的概念構思、展現及基本分析乃至於環保要求的評估，藉由自動化設計的幫助，設計師能大幅縮短設計時間以及同時滿足不同的設計需求，並且降低開發的成本，提昇產品在市場上的競爭力。

參考文獻

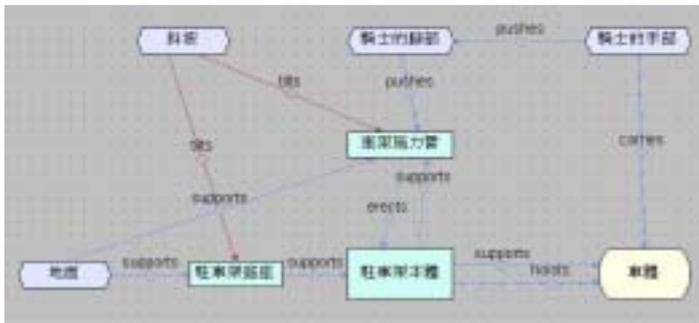
1. J. Terninko, A. Zusman, and B. Zlotin, "Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ," Boca Raton, CRC Press, LLC, 1998.
2. L. J. Candia, "The Altshuller's Contradiction Matrix in the Knowledge Creation of Innovation Case Study: The Honda City," <http://www.triz-journal.com/archives/2000/11/b/index.htm>.
3. 蕭詠今, TechOptimizer 訓練教材, 民國 90 年 5 月。



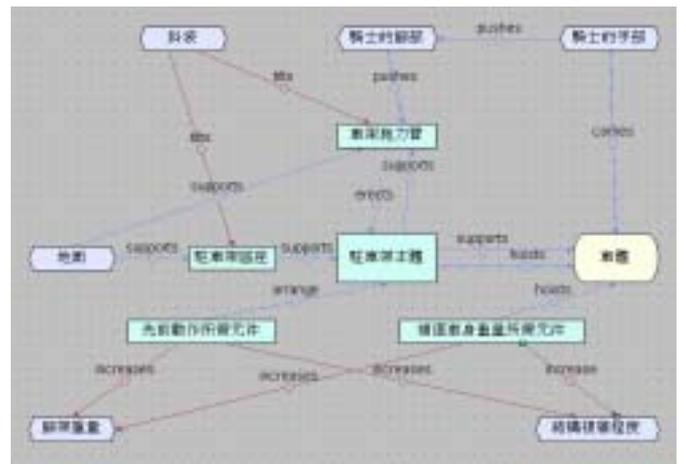
附錄圖 1. 原始駐車架構造



附錄圖 2. 進階改良的駐車架設計



附錄圖 3. 駐車架功能結構圖



附錄圖 4. 以矛盾法則建立的新駐車架功能結構圖

附錄表 1. 4 種駐車架的環境衝擊指標

環境衝擊類別 駐車架類別	Total	溫室 效應	臭氧 破壞	酸化	優氧化	重金屬	致癌 物質	夏季 煙霧	冬季 煙霧
原始的駐車架	0.00722	0.000347	2.48E-06	0.00191	0.000249	0.00291	0.000945	0.000719	0.000133
初步改善後的駐車架	0.0179	0.000864	6.52E-06	0.00473	0.000617	0.00721	0.00234	0.00179	0.000329
進階改善後的駐車架	0.0128	6.25E-04	5.52E-06	0.00339	0.00044	0.00513	0.00165	0.00128	0.000235
馬達輔助動力駐車架	0.062	0.0023	1.96E-05	0.0295	0.000958	0.00853	0.00285	0.0166	0.00126