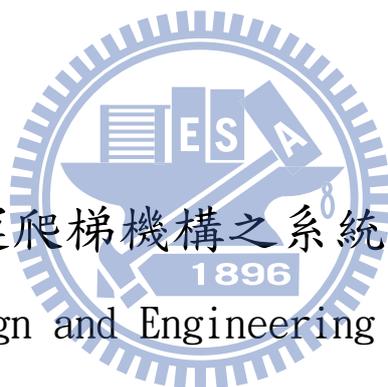


國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩士論文



輔助重物搬運爬梯機構之系統設計與工程分析

The Design and Engineering Analysis of

Heavy Load Stair-Climbing Mechanism

研究生：林政達

指導教授：鄭璧瑩 博士

中華民國九十九年八月

輔助重物搬運爬梯機構之系統設計與工程分析

The Design and Engineering Analysis of
Heavy Load Stair-Climbing Mechanism

研究生：林政達

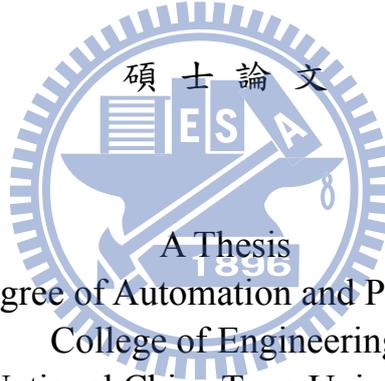
Student : Jeng-Dar Lin

指導教授：鄭璧瑩 博士

Advisor : Dr. Pi-Ying Cheng

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程



Submitted to Degree of Automation and Precision Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
In

Automation and Precision Engineering

August 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年八月

輔助重物搬運爬梯機構之系統設計與工程分析

研究生：林政達

指導教授：鄭壁瑩 博士

國立交通大學工學院精密與自動化工程學程碩士班

摘要

台灣的輔具產業缺乏研發上的投資及訓練，更缺乏整體性的輔具設計開發。目前學術界雖然有許多爬梯機的設計，但大部份皆在開發階段。已商品化者則因構造複雜與價格昂貴，使得爬梯機的使用不易普及。本研究為新型爬梯機構設計，期盼能夠提供結構簡單和準確動作之爬梯機構，作為爬梯機構使用者之另一種新選擇。本研究並將所收集之專利及文獻加以整理分類與分析，以作為開發新型爬梯機構之參考方向。

本研究利用系統化的分析問題方法，將爬梯機做一創新設計改善。將顧客需求透過品質機能展開 (QFD)，有效率轉換為產品功能特性，以便快速找到產品需改善的問題點，最後將結合解決發明問題理論 (TRIZ) 創意問題的改善方法，利用矛盾矩陣表，得到多方面考量的設計概念。本研究之結果依照 TRIZ 分析後所提供之建議，對於爬梯機設計及功能特性上，皆有進一步的創新改善。藉由 SolidWorks 建立 3D 模型，以 COSMOS-Motion 模擬運動，再利用 COSMOSWorks 進行應力、應變、及位移分析，以確定設計之爬梯機所需的剛性。新設計的爬梯機，可減少馬達輸出功率，因此可用較小馬達。以縮小實驗機測試，讓原本負載 60kg 的爬梯機，加裝預先儲能機構後，負載可提高至 70kg 以上。藉此驗證原本設計荷重 200kg 的爬梯機。

關鍵字：品質機能展開、解決發明問題理論、爬梯機

The Design and Engineering Analysis of Heavy Load Stair-Climbing Mechanism

Student : Jeng-Dar Lin

Advisor : Dr. Pi-Ying Cheng

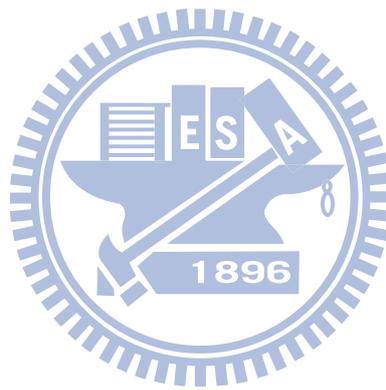
Degree of Automation and Precision Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

The assistive technology is lack of sufficient fund in researching, and evaluations of ergonomic engineers and machinery designers in Taiwan. Presently, academic research works on stair-climbing mechanism and most of them are still at the developing stage. Commercialized products are with complex structure and high price so that they are not popular for the users. The objective of this research is to design the stair-climbing mechanism which is expected to provide simply-constructed, and precise in movement. This research collects kinds of stair-climbing mechanism from patent and literature for classifies and analyses that provides excellent references to design of future stair-climbing mechanism.

Therefore, the problem is analyzed systematically to improve the stair-climbing mechanism by innovation design. Making survey from the customers through Quality Function Deployment (QFD). It is effective way to transforms the product function and characteristic, so the problem can be found and improved fast. Finally it will unify Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ), the method to improve creativity question. Using contradictory matrix table to obtain design concept and suggestion that from various aspects will be consider. Result of the research defers to the suggestion of TRIZ analysis, it still has the further innovation improvement regarding the functional design of stair-climbing mechanism. Using SolidWorks build the 3D model. Furthermore, COSMOSMotion for kinematics simulation, COSMOSWorks is used to analyze stress, stain, and displacement, so as to confirm the intensity of the stair-climbing mechanism designed. This reserch use these methods to design the stair-climbing mechanism. That use smaller motor than befor stair-climbing mechanism to climbing stairs. To design the new stair-climbing can load 200 kg. The scale stair-climbing carry more than 70kg from 60kg after mount the spring.

Keywords: QFD, TRIZ, Stair-climbing



誌謝

感謝指導教授 鄭璧瑩博士，在課堂中教導追求學問，及灌輸我們做研究的方法及態度，過程中老師的治學態度的嚴謹與認真之外，對學生總是不斷的鼓勵與適度的建議。於就讀研究所期間，適逢全球的經濟不景氣，及工作轉換的巨變之際，對論文的方向及著力點感到茫然困惑時，感謝指導教授指引，在以既有的研究架構上釐清論文方向，重新引導題目，使得論文內容更為充實，以及理論分析的指導，研究觀念及方法的訓練，才能順利完成此論文。

感謝審查委員陳大潘教授、金大仁教授、楊秉祥助理教授精譬的指點，增益原來不足之處，讓此論文更加的完整豐富。感謝國立交通大學蕭國模教授、金大仁教授灌輸正確的有限元素法觀念；蔡佳霖教授導引體驗 MATLAB；均豪公司即叔建立電腦輔助分析實務運用的基礎；英信引領敲開 COSMOSWorks 大門；朝程在電控上針貴的指導；國睦公司陳建宏課長啟發此研究領域。

感謝電腦整合設計與製造實驗室的成員勝龍、光耀、紹詩、芳岳、子澤、俊龍、維廷、漢嘉、首余及專班的瑞海、富隆、方有互相勉勵及協助，讓我在這個路上並不孤獨。感謝二專同學昭誥、健文、明彬；二技同學國峰、嘉隆、信德、雯；地球村 Joey 老師、Sam、小嫻、Louis，在繁忙的日子裡，適時的調節壓力，才能維持動力。

感謝父母、弟朋達、弟媳聿盈支開家中的雜務，讓我心無旁騖，才能完成碩士學業。

林政達 謹誌

2010.8

目錄

摘要	.....	i
Abstract	.....	ii
圖目錄	.....	viii
表目錄	.....	xiii
第一章 緒論	.....	1
1.1 背景與動機	.....	1
1.2 文獻回顧	.....	3
1.3 論文架構	.....	5
第二章 產品研究與專利分析	.....	7
2.1 相關產品	.....	7
2.2 專利分析	.....	9
第三章 基本理論	.....	16
3.1 設計原理概論	.....	16
3.1.1 普遍設計方法學	.....	16
3.1.2 公理性設計理論	.....	17
3.1.3 品質機能展開理論	.....	18
3.1.4 解決發明問題理論	.....	18
3.2 QDF 理論	.....	19

3.3	TRIZ 理論.....	23
3.3.1	Contradiction Matrix 矛盾矩陣	25
3.3.2	39/48 項系統特徵參數	25
3.3.3	40 Principle 40 原理	27
3.4	COSMOSWorks 概論.....	29
3.4.1	有限元素分析基本概念.....	30
3.4.2	COSMOSWorks 基本介紹	33
第四章	功能設計	34
4.1	設計分析	34
4.1.1	以 QFD 設計爬梯機.....	36
4.1.2	以 TRIZ 設計爬梯機.....	36
4.1.3	以 QFD 再設計驗證爬梯機.....	41
4.2	概念設計	46
第五章	工程分析及模擬	51
5.1	運動學分析	51
5.1.1	速度與加速度分析.....	51
5.1.2	COSMOSMotion 的運動分析	54
5.2	CAE 靜態工程分析	62
5.3	CAE 動態工程分析	67

5.3.1	結構剛性分析.....	67
5.3.2	彈簧力反作用力分析.....	71
5.4	挫曲分析.....	74
第六章	實作及功能驗證.....	80
6.1	實作.....	80
6.1.1	第一次實作測試.....	80
6.1.2	第二次實作測試.....	82
6.2	功能驗證.....	84
6.2.1	荷重測試.....	84
6.2.2	爬梯測試.....	87
6.3	實驗機 CAE 驗證.....	88
6.4	討論.....	90
第七章	結論與未來展望.....	92
	參考文獻.....	94
	附錄 A.....	97
	附錄 B.....	101
	附錄 C.....	103
	附錄 D.....	110



圖目錄

圖 1. 1 爬梯中的輪椅示意圖	2
圖 1. 2 可拆式連桿機構示意圖	4
圖 1. 3 六連桿機構示意圖	4
圖 1. 4 墊塊式上下階梯之輔助裝置	4
圖 1. 5 複合輪式上下階梯之電動輔助裝置	4
圖 1. 6 論文架構圖	6
圖 2. 1 支撐桿式爬梯機構各專利示意圖	12
圖 2. 2 複合輪式爬梯機構各專利示意圖	13
圖 2. 3 鍊式爬梯機構各專利示意圖	14
圖 2. 4 滑台式爬梯機構各專利示意圖	14
圖 2. 5 爬梯機發展歷程	15
圖 3. 1 普遍設計方法學功能結構簡圖	16
圖 3. 2 設計過程模型	17
圖 3. 3 從功能域到物理域的轉換	17
圖 3. 4 品質屋示意圖。粗虛線為 QFD 每個階段所共用的矩陣	20
圖 3. 5 旅行箱設計之品質屋內容	22
圖 3. 6 五層 QFD	23

圖 3. 7 TRIZ 與舊設計方式的比較	23
圖 3. 8 節點自由度位移	30
圖 3. 9 元素應力	30
圖 3. 10 上列元素簡化後的剛度矩陣	31
圖 3. 11 CAE 的使用流程 (紅底部分為 COMOSWorks 自動設定)	32
圖 3. 12 SolidWorks 與 COSMOSWorks 整合使用狀況	33
圖 4. 1 設計流程圖	34
圖 4. 2 由矛盾矩陣中挑選 40 原理流程圖	37
圖 4. 3 滑台式爬梯機	41
圖 4. 4 鍊條鉤爪式爬梯機	41
圖 4. 5 支撐式爬梯機	41
圖 4. 6 複合輪式爬梯機	41
圖 4. 7 凸輪設計機構運轉 4 個象限示意圖	43
圖 4. 8 螺桿式示意圖	44
圖 4. 9 齒條式示意圖	44
圖 4. 10 中空式支撐桿-正視圖	45
圖 4. 11 側邊挾持式支撐桿-剖視圖	45
圖 4. 12 爬梯機構的細部圖面	47
圖 4. 13 爬梯機構結合於推車的立體圖及三視圖	48

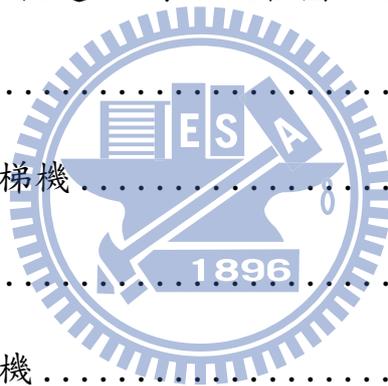


圖 4. 14 爬梯機構位於 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 垂直昇高動作狀態示意圖	49
圖 4. 15 爬梯機構位於 180° 時，進行爬梯動作狀態示意圖.....	49
圖 4. 16 爬梯機構位於 $180^{\circ} \sim 0^{\circ}$ 時動作狀態示意圖.....	50
圖 5. 1 爬梯機構各部位關係示意圖	52
圖 5. 2 零件互動關係對應圖	55
圖 5. 3 支撐桿位移-時間關係圖	57
圖 5. 4 支撐桿速度-時間關係圖	57
圖 5. 5 支撐桿加速度-時間關係圖	58
圖 5. 6 爬梯機主體位移-馬達旋轉角度關係圖	60
圖 5. 7 爬梯機主體速度-馬達旋轉角度關係圖	60
圖 5. 8 爬梯機主體加速度-馬達旋轉角度關係圖	61
圖 5. 9 精簡模型的網格及相關設定示意	63
圖 5. 10 爬梯機構於 33° 時的靜態負荷，應力狀況示意圖.....	64
圖 5. 11 爬梯機構於 33° 時的靜態負荷，變形狀況示意圖.....	64
圖 5. 12 爬梯機構於 98° 時的靜態負荷，應力狀況示意圖.....	65
圖 5. 13 爬梯機構於 98° 時的靜態負荷，變形狀況示意圖	65
圖 5. 14 爬梯機構於 180° 時的靜態負荷，應力狀況示意圖	66
圖 5. 15 爬梯機構於 180° 時的靜態負荷，變形狀況示意圖	66
圖 5. 16 爬梯機構於 33° 時的動態負荷，應力狀況示意圖.....	68

圖 5. 17 爬梯機構於 33°時的動態負荷，變形狀況示意圖.....	68
圖 5. 18 爬梯機構於 98°時的動態負荷，應力狀況示意圖.....	69
圖 5. 19 爬梯機構於 98°時的動態負荷，變形狀況示意圖.....	69
圖 5. 20 爬梯機構於 180°時的動態負荷，應力狀況示意圖.....	70
圖 5. 21 爬梯機構於 180°時的動態負荷，變形狀況示意圖.....	70
圖 5. 22 彈簧模擬設定及網格示意圖	72
圖 5. 23 受力位移示意圖	72
圖 5. 24 彈簧在不同線徑的變形量、k 值比較圖.....	73
圖 5. 25 彈簧在不同線徑的變形量、彈簧力比較圖	74
圖 5. 26 動力模擬負載示意圖	75
圖 5. 27 支撐桿在動力模擬時的位移-時間對照圖	76
圖 5. 28 支撐桿在動力模擬時的速度-時間對照圖	76
圖 5. 29 支撐桿在動力模擬時的加速度-時間對照圖.....	77
圖 5. 30 爬梯機構於 180°時，模態一的挫曲狀況示意圖.....	78
圖 5. 31 爬梯機構於 180°時，模態二的挫曲狀況示意圖.....	79
圖 6. 1 手推車外型圖	80
圖 6. 2 支撐桿及軸承座變形	81
圖 6. 3 不均勻的變形	82
圖 6. 4 修改後爬梯機	82

圖 6. 5 無彈簧預力側視圖	83
圖 6. 6 無彈簧預力正視圖	83
圖 6. 7 有彈簧預力側視圖	84
圖 6. 8 有彈簧預力正視圖	84
圖 6. 9 爬梯機荷重測試流程	85
圖 6. 10 爬梯機荷重測試	86
圖 6. 11 爬梯機撐起狀態	87
圖 6. 12 爬梯機完成爬梯動作	87
圖 6. 13 直接以手推車爬階梯快到臨界點的情況	88
圖 6. 14 實驗機的 CAE 設定狀態	89
圖 6. 15 實驗機在 180° 的應力狀況示意圖	89
圖 6. 16 實驗機在 180° 的變形狀況示意圖	90

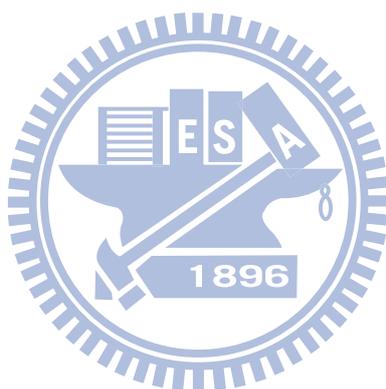
表目錄

表 1. 1 衛生署對醫療用爬梯機構定義及分類.....	2
表 2. 1 爬梯機比較一覽表	8
表 2. 2 爬梯機的種類及說明	9
表 3. 1 39 項矛盾參數	25
表 3. 2 新增 9 項矛盾參數.....	27
表 3. 3 40 原理	27
表 4. 1 爬梯機的種類及代表公司	35
表 4. 2 爬梯機的部份品質屋.....	36
表 4. 3 改進系統特徵參數篩選說明表.....	38
表 4. 4 篩選過後的爬梯機矛盾矩陣.....	39
表 4. 5 TRIZ 40 原理適用比較表.....	40
表 4. 6 可運用的原理.....	40
表 4. 7 爬梯機的品质屋.....	42
表 4. 8 機構性能的比较.....	42
表 4. 9 動力源的比较.....	45
表 4. 10 支撐桿的形式.....	45
表 4. 11 美國政府將醫療用爬梯機構列為 3 級.....	46
表 5. 1 零件互動關係對應表.....	55

表 5. 2 馬達旋轉角度-支撐桿位移對照表	56
表 5. 3 馬達旋轉角度-支撐桿速度對照表	57
表 5. 4 馬達旋轉角度-支撐桿加速度對照表	58
表 5. 5 馬達旋轉角-爬梯機主體位移對照表	59
表 5. 6 馬達旋轉角-爬梯機主體位速度照表	60
表 5. 7 馬達旋轉角-爬梯機主體加速度對照表.....	61
表 5. 8 爬梯機零件一覽表	62
表 5. 9 材料性質一覽表	63
表 5. 10 爬梯機構的最大應力及最大變形值。.....	67
表 5. 11 爬梯機動態時於最大應力及最大變形值	71
表 5. 12 彈簧在不同線徑的 k 值比較表.....	73
表 5. 13 彈簧在不同線徑的彈簧力比較表	74
表 5. 14 挫曲負載係數說明表	78
表 6. 1 爬梯機荷重測試比較	86
表 6. 2 爬梯機在 180°時 CAE 結果的比較	90
表 6. 3 70kg 與 200kg 設定比較表	91

符號說明

A	面積
B	支點
C	滑塊
D	滑塊
E	材料彈性模數
F	力
I	剖面最小慣性矩
L	被動連桿長
O	連桿旋轉中心
R	主動連桿長
T	動能
a	滑塊加速度
k	勁度
m	質量
v	滑塊速度
x	連桿端點與最大伸長點距離
y	連桿端點與連桿旋轉中心距離
θ	主動旋轉角
φ	被動旋轉角
σ	應力



第一章 緒論

1.1 背景與動機

輪子的發明，讓人類可以更方便的移動，以及加快人類移動的速度，也因此孕育出各種道路及道路品質也日益提升。在點與點之間的移動變快的同時，也加速了都市快速發展，都市中的建築多半擁有 2 層以上的樓層，也區分為有電梯及無電梯的建築。在無電梯的建築當搬運重物時即會遇到階梯這樣的障礙，既使是有電梯的建築，也會有將一樓地板提升的狀況，例如：交大的工程五館。這些都會嚴重影響搬運的順暢度。雖然「無障礙空間」在世界上日益被重視及執行，但還是有很多場合無法讓重物搬運用於無障礙空間或缺少無障礙空間的場合。因此國外在 20 世紀中期即陸續展開此類機構的發展，近幾年，在日本及歐洲則將此產品延伸到醫療器材上，進行輪椅的上下階梯搬運，如圖 1. 1 所示[1]，以因應該地區的傳統建築有的階梯狀況。

在英文的使用上，Stair climbing 除了表示為輔助於階梯升降的機構外，也用於運動健身器材的階梯攀爬健身器，及爬階梯運動比賽，如國內每年舉行的台北 101 金融中心大樓的登高比賽。而在中文的使用上，相關器材也有多種說法，目前國內的主管機關中，衛生署因應醫療設備的分級需要，將其命名為「爬梯式」輪椅如表 1. 1 所示[2]，將此設備列為醫療設備的最高等級—3 級。本研究文中將以「爬梯機」表示此類機構。



圖 1. 1 爬梯中的輪椅示意圖

表 1. 1 衛生署對醫療用爬梯機構定義及分類

 衛生署科技計畫 醫療器材重分類分級資料庫查詢系統 <input type="radio"/> 使用說明 <input type="radio"/> 我國醫療器材管理模式	
代碼 (Code)	O.3890
中文名稱 (Chinese Name)	爬梯式輪椅
英文名稱 (English Name)	Stair-climbing wheelchair
等級 (Class)	3
鑑別 (Description)	爬梯式輪椅是醫療使用之輪式器材，可供行動受限於坐姿的患者行動時使用。此器材經由兩個無末端的帶子軌道置於輪椅之下，並可調整階梯角度來爬昇階梯。
查驗登記 (Product Registration)	是 (YES)
申請GMP (Require GMP)	是 (YES)

1.2 文獻回顧

國內陸續有公司進行此產品的開發，但在包括醫院、康健中心…等醫療機構，都陸續從國外引進此設備用於坐於輪椅上的患者。部分與大學合作的醫療機構，也將國外產品改良，讓其更適合於國內的使用環境。

廖嘉郁提出在手動輪椅上加裝一組可拆式連桿機構，如圖 1. 2 所示 [3]，機構尺寸的合成，則是使用最佳設計方法，以理想足部軌跡曲線為目的，找出各組機構的最佳尺寸。最後在電腦上對所合成出之最佳尺寸進行動態模擬，並選取其中耦點軌跡曲線較理想的兩個構想試作出原型，將之安裝在輪椅上測試。將爬梯連桿組裝於輪椅的大輪軸心上，再以手動方式驅動連桿組，使輪椅升到障礙物之上。在實務的運用上是障礙克服用的升降機構，可以在大面積的障礙物上運行。

謝宗融提出在電動輪椅上加裝一組六連桿機構，如圖 1. 3 所示 [4]，利用機構合成之方法，在確立設計需求與設計限制後，再不斷修改符合攀階功能的機構，以便找出適合本研究所需要之攀階輪椅機構，最後進行尺寸合成，將所設計之機構成功應用至機械裝置上。再利用 Pro/MECHA- NICA 進行應力、應變、及位移之分析，以確定該設計輪椅所需之強度。再配合財團法人自行車暨健康科技工業研究發展中心來進行實機試驗。其功能使輪椅升到障礙物之上。在實務的運用上是障礙克服用的升降機構，可以在大面積的障礙物上運行。



圖 1. 2 可拆式連桿機構示意圖

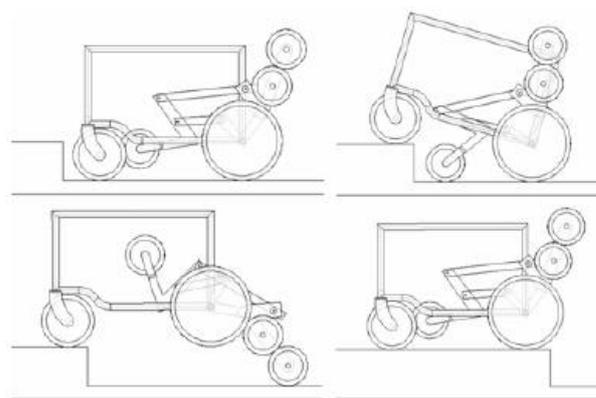


圖 1. 3 六連桿機構示意圖

鄭璧瑩博士設計一種具跨越障能力的輪型機器人如圖 1. 4 所示 [5]，以置放墊塊的方式分段減小台階的斷差高度，使輪型機器人能以較小的馬達扭力需求跨越一般同輪徑載具所不能跨越的台階。

賴泓昇構想複合輪式上下階梯之電動輔助裝置，如圖 1. 5 所示 [6]，以 2 個輪子交替行進，以跨越障礙。

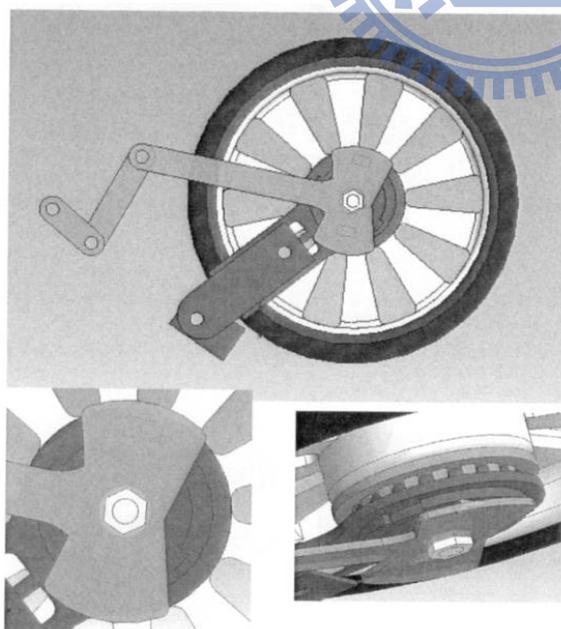


圖 1. 4 墊塊式上下階梯之輔助裝置

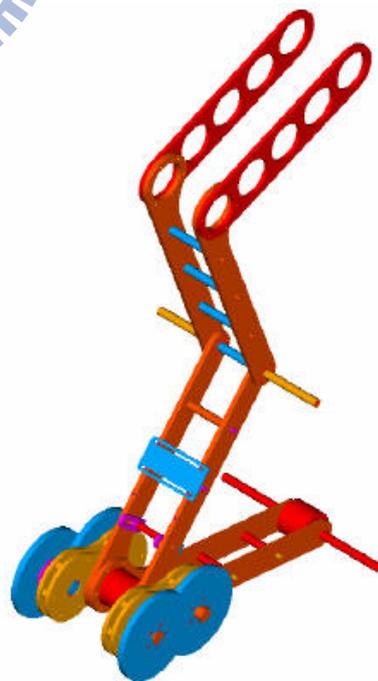


圖 1. 5 複合輪式上下階梯之電動輔助裝置

1.3 論文架構

第一章 緒論：說明本論文研究之動機與背景、文獻回顧與論文架構的介紹。

第二章 產品研究與專利分析：藉由對市面上的產品，及專利的蒐集及整理，來了解爬梯機所要的功能特性。

第三章 基本理論：介紹本研究所要用的設計理論—品質機能展開 (QFD)、解決發明問題理論 (TRIZ)。及模擬分析的電腦輔助工程 (CAE) 理論及軟體 COSMOSWorks。

第四章 功能設計：以第三章的設計理論來設計爬梯機，先以品質機能展開確認規格，再以解決發明問題理論設計幾種爬梯機輪廓，最後再回到品質機能展開評定擇優所要的爬梯機型式。依此結論再以 SolidWorks 建立 3D CAD 模型。

第五章 工程分析及模擬：以 COSMOSMotion、COSMOSWorks 對此 3D CAD 模型進行 CAE 模擬，確定爬梯機的性能。

第六章 實作及功能驗證：將設計成果具體實體化，以驗證設計功能。

第七章 結論與未來展望：討論此設計結果，並討論其未來發展的趨勢及跨學科研究的方向。

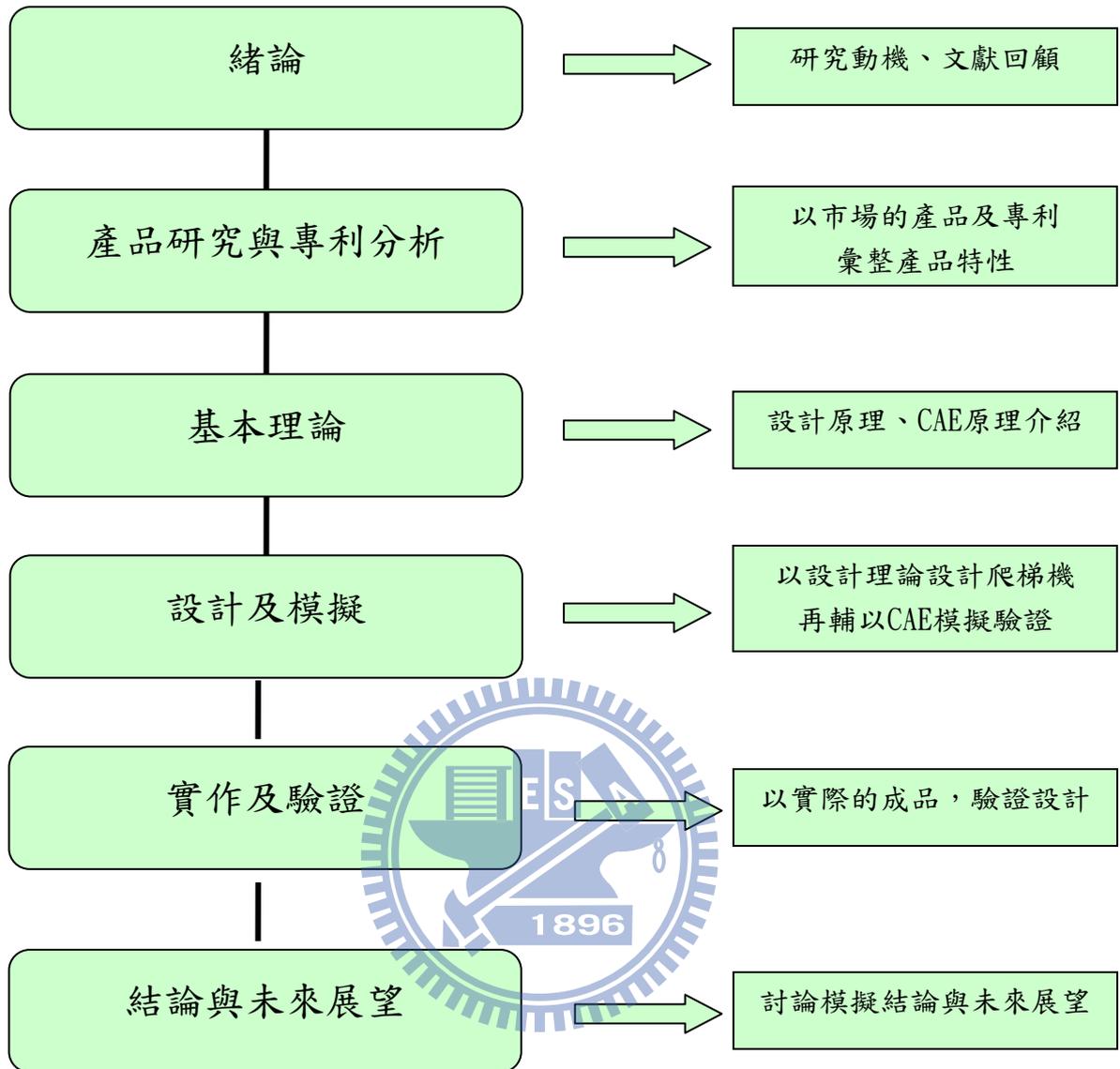


圖 1. 6 論文架構圖

第二章 產品研究與專利分析

2.1 相關產品

歐洲因其歷史文化及生活環境關係，在古蹟建築內，增設現代化升降設備會危害建築的結構，故歐洲在開發此類產品的態度最為積極，因此開發以附加的方式的爬梯機構，包括有階梯爬升椅 (Chair Lift)、階梯爬升機 (Stair Lift)、及本研究的爬梯機。目前市面上的主要產品概述如表 2. 1 所示 [7] [8] [9] [10]。在美國，爬梯機則幾乎為搬運重物用的手推車，而 Johnson & Johnson 公司發展的 iBOT 4000 雖然性能優異，但由於曲高和寡、售價達 US\$30,000 導致市場反應不佳，也於去 (2009) 年結束營業。



表 2. 1 爬梯機比較一覽表

製造商	AAT	SANO	TGR	Alber	AAT	HERCILES	SANO
機型	C141	PT Uni	SCOIATTOLO	Scalamobil S30	C-Max U1	SR 1750	MTK 190
爬升機構	支撐桿	支撐桿	複合輪	複合輪	支撐桿	履帶	支撐桿
外觀尺寸 cm	138 H 45 W 30 D	113 H 76 W 38.5 D	110 H 56 W 80 D	114 H 73 W 55 D	109 H 48.5 W 91.5 D	32 H 72 W 119 D	152 H 51 W 51 D
重量 kg	26	27.6	52	24.5	31.7	175	38
負載 kg	140	130/160	160	120	160	1000	190
功率 V;Ah	2x12; 5	12; 5.2	12; 55	2x12; 3.4	2x12; 5	110/220	2x12
馬達功率 w			150	175		750	
爬梯速度 Step/M	8 - 30	10/14/18	20	6-16	8-23	3 m/min	8-18
梯高 cm		20.5~23	4 ~ 20	25	21		
續航力 Steps	30	300 ~ 500	1350	300	150-300		170
							

2.2 專利分析

專利的種類上，美國自 20 世紀 60 年代開始陸續開發各式各樣的爬梯機構，日本及歐洲後續也加入此市場，其中的形式主要分為五種，如表 2. 2 所示：

表 2. 2 爬梯機的種類及說明

支撐桿式	以支撐桿將所要爬梯的機構撐起或放下至下一階的階梯。
複合輪式	以兩個以上的輪子，交替運動將主體推上或下降。
履帶式	以履帶一次跨越數個階梯，如爬坡般進行爬梯運動。
分離滑台式	主結構分為兩部份，當一邊固定時，另一部分則滑移到所要前往的階梯。
鍊條式	在主結構上有一組鍊條，鍊條進行循環運動時，其上的鉤爪鉤住階梯以進行爬梯運動。

將相關專利概述如下：

在支撐桿式的結構中。

U. Alber[11]以馬達驅動曲柄(20)轉動，帶動受限於套管(22)而呈現公轉直線運動的爬梯桿(24)，隨著套管(22)擺動而進行爬梯動作，如圖 2. 1 a 所示。

U. Alber[12]再提出以馬達經由軸(19)帶動曲柄(20)轉動，軸(19)同時也帶動鏈輪(29)以 1:1 速比帶動曲柄(20)另一端的鏈輪，讓曲柄(20)另

一端上的支撐桿組(22)(24)在曲柄(20)轉動時，保持不變的狀況以進行爬梯動作，如圖 2. 1 b 所示。

U. Alber[13]讓動力驅動方式，改以動力與支撐桿之間以齒輪的連結，如圖 2. 1 c 所示。

U. Alber[14]以圓周運動帶動桿件(15)進行直線運動（本體移動為曲線，正好避開階梯），桿件(15)中間的支點從動於連結件(17)的圓周運動，使桿件(15)上端支點拘束於桿型連結件上為往復運動，帶動桿件(15)自由端進行爬梯動作，實施例為貨運，實際也運用於醫療上，如圖 2. 1 d 所示。

M. Alber[15]讓支點(30)拘束筒件(18)只能擺動，旋轉件(28)以旋轉方式帶動套於筒件(18)的桿件(20)往復運動及擺動，使桿件(20)自由端進行爬梯動作，如圖 2. 1 e 所示。

K. S. Mobus[16]以 2 個同轉向的軸心引導曲柄連動桿件同時進行徑向及軸向移動（類似逆向的蒸氣火車驅動輪），如圖 2. 1 f 所示。

J. Bierma[17]讓馬達(15)驅動轉動件(13)旋轉，帶動被槽(11)往復拘束的桿件(9)擺動，與固定右支點而只能擺動的桿件(8)，分別以支點連結支撐桿(5)行程的爬梯路徑(18)，如圖 2. 1 g 所示。

J. Bierma[18]用動力組(8)轉動有支點(L)的曲柄(9)，再與有輪子(13)的筒件(10) 以另一支點結合，筒件(10)套於因支點(S)而一起擺動的軸件(11)，此擺動以輪子(13)與階梯接觸來進行爬梯動作，如圖 2. 1 h 所示。

S. B. Wessic[19]以馬達(33)上的齒輪(25)，帶動齒輪(36)，使的結合一起的支桿(37)一起轉動，支桿(37)上的輪(42)攀越上一階，完成爬梯動作如圖 2. 1 i 所示。

W. Gemeinhardt[20]則是最早以手動攀越方式的機構，支桿輪(31)與連桿(37)(41)(29)(29'')以支點與主體(23)結合成 4 連桿機構，當攀越輪(27)遇到障礙時，支桿輪(31)抵在地面當支點，用 4 連桿輔助，使攀越輪(27)攀越階梯如圖 2. 1 j 所示。

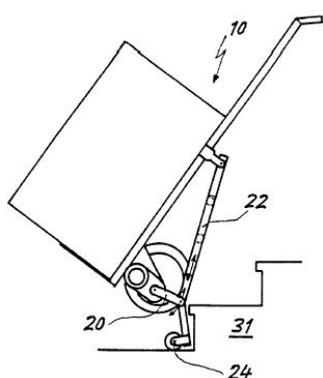


圖 2. 1 a

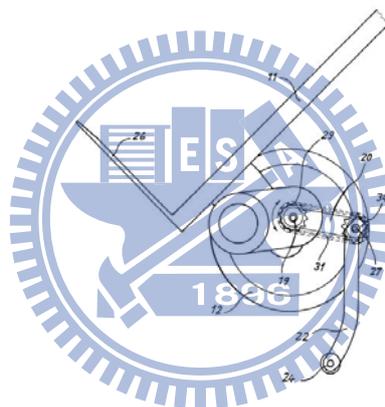


圖 2. 1 b

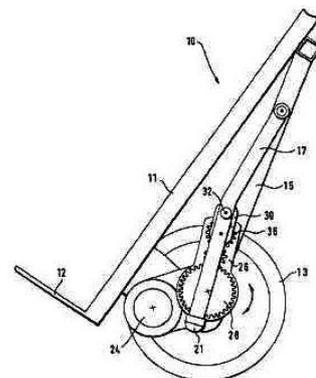


圖 2. 1 c

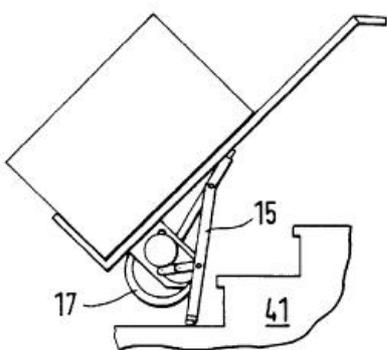


圖 2. 1 d

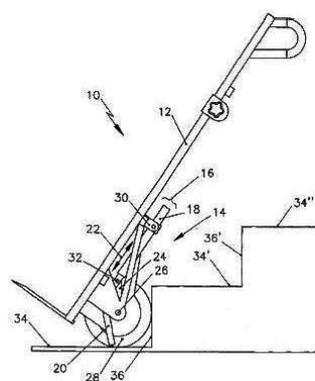


圖 2. 1 e

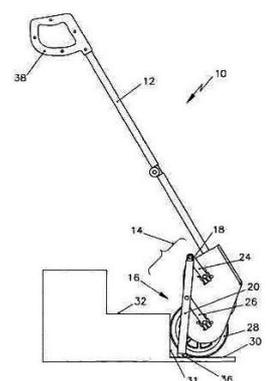


圖 2. 1 f

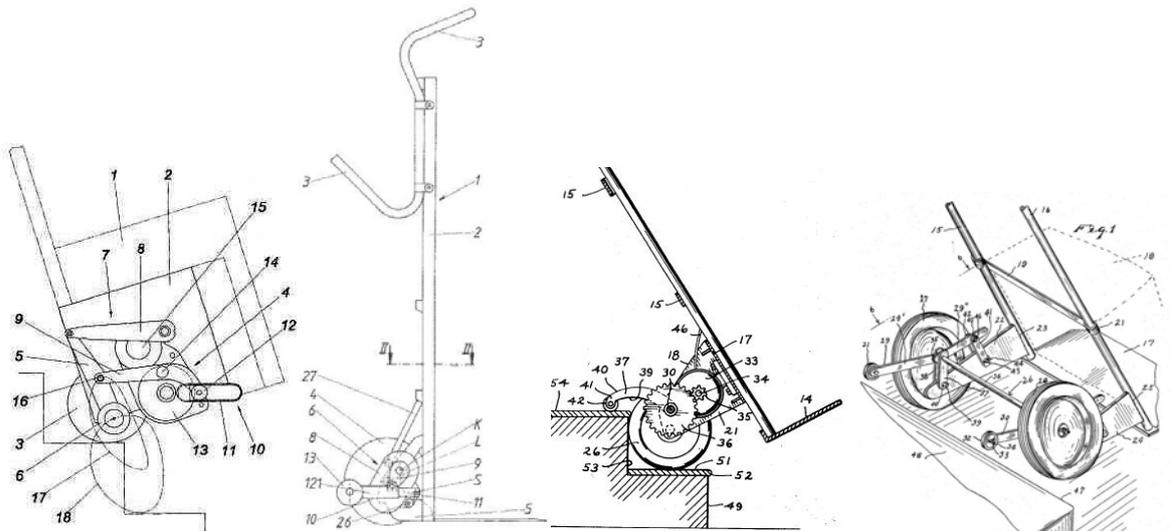


圖 2. 1 g 圖 2. 1 h 圖 2. 1 i 圖 2. 1 j
圖 2. 1 支撐桿式爬梯機構各專利示意圖

複合輪式則分別有 2 輪式、3 輪式及多輪式。且在 3 輪以上時，輪子同時也是平地運輸的輪子，專利概略如下。

T. Emilio[21]在電動輪椅上裝爬梯機構，以齒輪、鏈條、鏈輪搭配三輪繞爬梯軸心達成爬梯動作，如圖 2. 2 a 所示。

J. Reimann[22]複合輪傳動機構，以三輪繞爬梯軸心達成爬梯動作，以齒輪搭配讓三輪上下階梯，如圖 2. 2 b 所示。

2 輪式則有 U. Alber[23]以輪(12)以支點(28)與骨架(31)(19)結合，再一起與主體擺動結合在支點(20)，爬梯時以馬達驅動輪時，輪(12)圓殼外緣上的小頂輪(18)撐起整個主體，讓主體上之小輪登至上一階，如圖 2. 2 c 所示。

U. Alber[24]以馬達帶動鏈條使鏈輪(21a)(21b)轉動，使與其偏心的輪(17a)(17b)呈現公轉，同時輪(17a)(17b)中心(19a)(19b)有鏈輪與鏈輪

(21a)(21b)連動，讓 2 個輪(17a)(17b)公轉轉動，來進行爬梯動作。輪(17a)(17b)有煞車機構，當有一輪上下階時，另一輪則煞住不動，如圖 2. 2 d 所示。

B. Thomas[25]以 2 個輪(17a)(17b) 公轉轉動，來進行爬梯動作。其爬梯速度，以感測器偵測在快抵達階梯時，速度會降下以達緩著地，如圖 2. 2 d 所示為上一專利的性能提升。

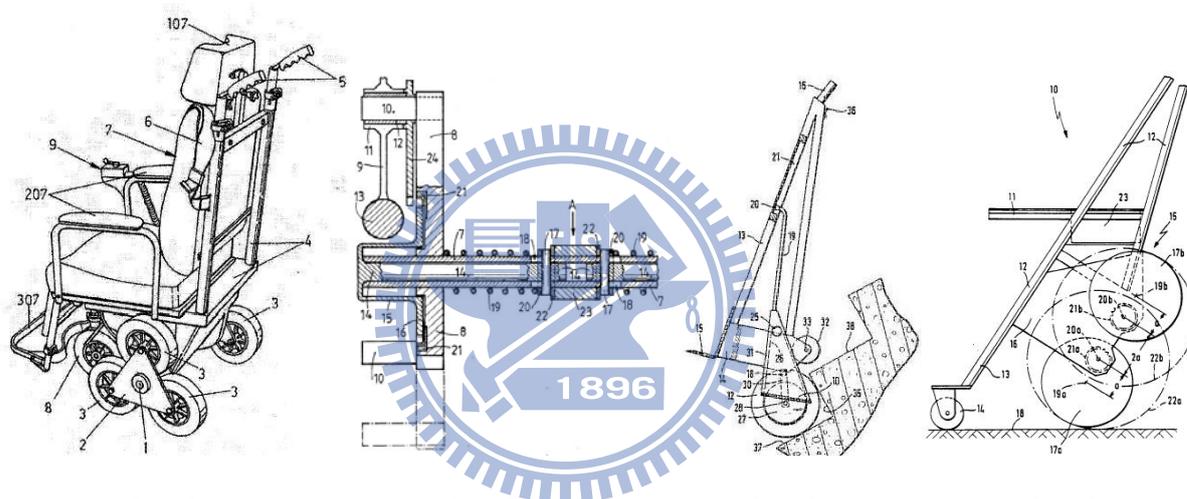


圖 2. 2 a

圖 2. 2 b

圖 2. 2 c

圖 2. 2 d

圖 2. 2 複合輪式爬梯機構各專利示意圖

E. Trougouboff[26]在爬梯部(23)固定於鏈條(3)上，當鏈條(3)進行循環運動時，爬梯部(23)抵住階梯進行上下階梯動作。當感測輪(14)因階梯邊緣落差，而藉由支臂(15)讓輪(10)停止轉動，如圖 2. 3 a 所示。然後以專利FR2527155[27]裝感測輪(40)(47)因階梯邊緣落差，而牽引棘爪(35)去阻止棘輪(31)及所固定的輪(15)繼續轉動，防止輪子滾下階梯，如圖 2. 3 b 所示。

C. N. Mortenson[28]以運動跑道型機構，內部自成循環，輔助爬結實靠住階梯，減少手推車與階梯間的摩擦，都使用於貨物搬運。專利包含此機構於不用時可以收納，如圖 2. 3 c 所示。

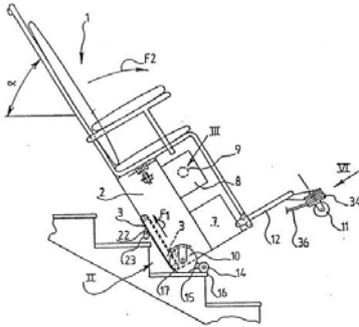


圖 2. 3 a

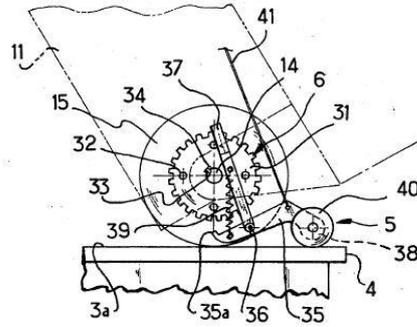


圖 2. 3 b

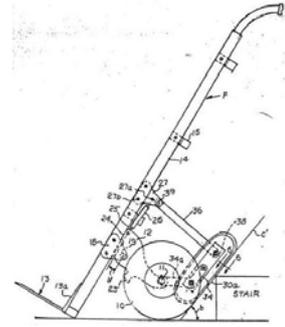


圖 2. 3 c

圖 2. 3 鍊式爬梯機構各專利示意圖

C. E. Rhodes [29]將主體分為 2 部分，有輪子部分(12)先上階梯，乘載部分(35)再上去。反之，則乘載部分先下階梯。都用在貨物用 Stair Climber。本專利的專利點是在以導螺桿來帶動爬梯動作，如圖 2. 4 所示。

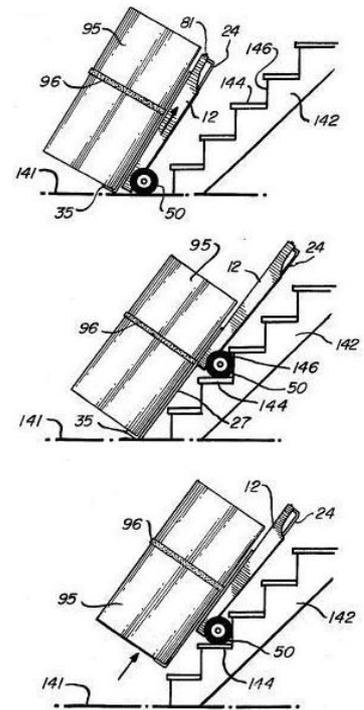


圖 2. 4 滑台式爬梯機構各專利示意圖

經由專利的研判，雖然美國沒有研發半自動形式的爬梯機構，但歐洲品牌有申請美國專利，可知歐洲產品有銷往美國。而且爬梯機在早期為簡易的使用單純的機械式，到後來隨著人口高齡化、女性進入勞動市場及運

送物品日益重量化，以人力驅動的機構已經無法負荷相關作業，則完全演進到需要外掛動力組，來完成爬梯的作業。歸納上列內容，爬梯機構的發展歷程為越來越方便及省力，如圖 2. 5 所示：



圖 2. 5 爬梯機發展歷程

第三章 基本理論

3.1 設計原理概論

為了讓產品快速的推陳出新，世界各國競相發展各式設計理論或是將別人的設計理論加以推演，檀潤華[30]針對世界各地，及不同思考方式及特性，分別舉出幾個設計理論：

3.1.1 普遍設計方法學

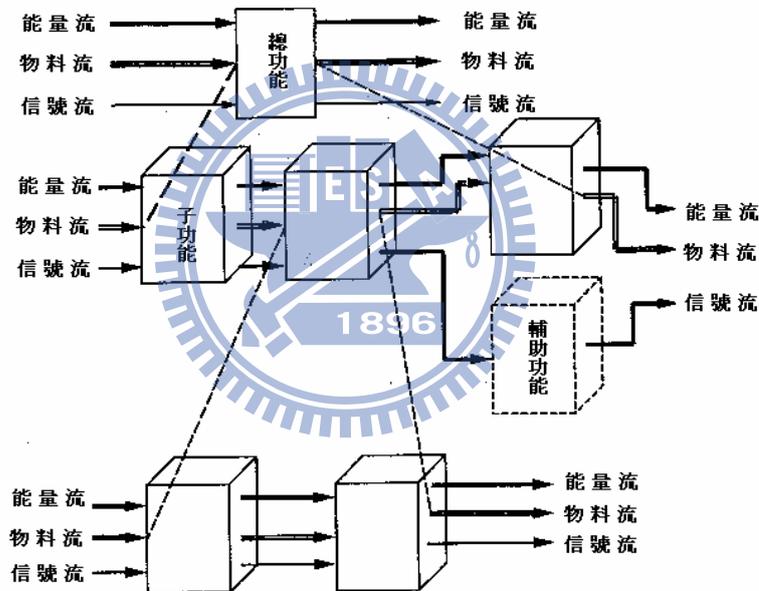


圖 3. 1 普遍設計方法學功能結構簡圖

Pahl 及 Beitz 將德國經年累月的設計經驗總結一個學理，稱為普遍設計方法學 (Comprehensive Design Methodology)。該方式為在概念設計時，先行建立整體架構，主功能建立後，在分支次功能，在依序分之下，到最後的執行面如圖 3. 1 所示[30]。物料流、能量流、信號流建立輸出輸入機能就成了產品的架構，此理論對產品定義、技術設計和細部設計皆有

效，但因為理論是建立在概念形成後在去分項規劃，所以不適合於概念設計。且原理是建立在經驗法則上的歸納，所以也偏向適合於經驗較為豐富的设计人員。

3.1.2 公理性設計理論

公理性設計 (Axiomatic Design, AD) 由美國麻省理工學院 (MIT) 的设计理論研究小組所提出。设计過程如圖 3. 2 所示 [30]。

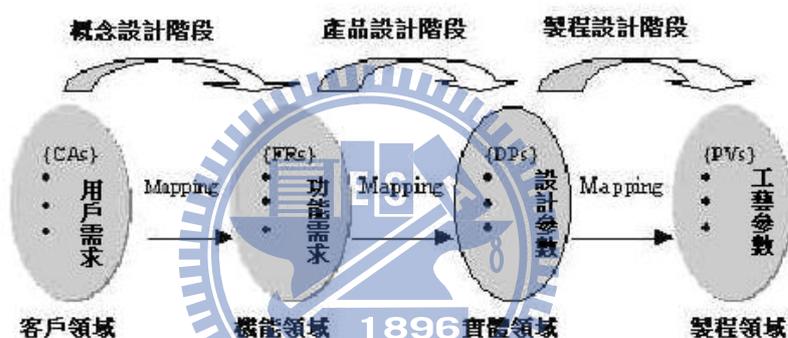


圖 3. 2 設計過程模型

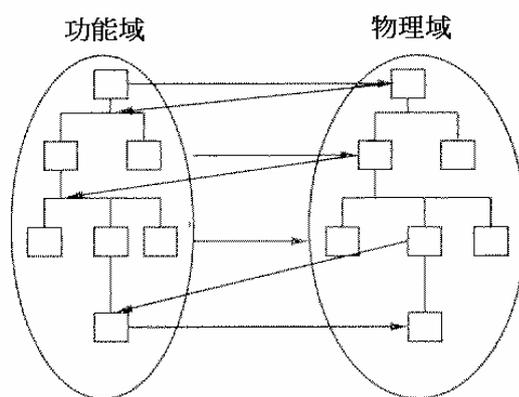


圖 3. 3 從功能域到物理域的轉換

概念設計是從功能需求轉換到設計參數，如圖 3. 3 所示 [30]，轉換的詳細表示。該原理的核心是在轉換過程中功能需求與設計參數滿足獨立

性與最小信息這兩條公理。滿足這 2 條公理則理論解即為最佳化解。所以優點在於能在設計過程中判斷該設計結構是否為最佳化設計。但若設計不能滿足獨立性，就需要靠經驗解決。

3.1.3 品質機能展開理論

品質機能展開 (Quality Function Deployment, QFD) 由日本赤尾洋二 (Yoji Akao) 與水野滋 (Shigeru Mizuno) 所提出，除了日本以外，也被我國及美國廣泛的使用。

設計者為了縮短產品開發週期，須先確實釐清客戶的產品需求 (在實際的狀況中客戶的需求總是天馬行空，甚至客戶也不了解自己的需求)，新產品依此為基礎往後展開。QFD 經由品質屋 (House of Quality, HOQ) 建立客戶所要功能及產品功能之間的關連性，其相互關係可以一直延續到製造過程。

QFD 雖然在各種行業中被廣泛使用，但其只定義出產品功能的概略目標，但沒有確切的提供如何達成這些功能的具體方法及規則。

3.1.4 解決發明問題理論

解決發明問題理論 (Theory of Inventive Problem Solving, 原俄文 Теории Решения Изобретательских Задач, ТРИЗ, 英文音譯 Teoriya

Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch, TRIZ) 為俄羅斯 Genrich Altshuller 提出。其理論於 1950 年代開始發展，直到蘇聯解體此理論才為西方國家所知。

G. Altshuller 堅信有一種理論，可以整理出發明問題的原理，不僅能提高發明的成功率、縮短發明週期，也使發明問題具有可見性。其核心為技術系統進化理論，即技術系統一直處於進化之中，解決衝突是其進化的推動力。將工作原理過程具體化，提出了規劃、算法與發明原理，及普遍性工具供設計人員使用，以盡快得到滿意的解。

檀潤華所歸納出這些方式中，本研究將使用 QFD 及 TRIZ 的設計法則，故對此二者再深入介紹。



3.2 QDF 理論

品質機能展開其定義為：[31] 「一種結構化的技術方法，將形成品質保證的職能或業務，依目的、手段系列作步驟的細部展開，使得經由組織中業務機能的展開，完成品質活動，確保客戶的需求得到滿足。」傅鶴齡[32] 以工程的角度作了下列說明「讓設計人員在設計過程中，對產品有一個明確之指標，在量化數據與客戶需求一致下，有一具體之概念，據此可以縮短設計時間，同時及早注意到生產製造之限制及那些是要優先處理之問題；不但可以降低設計及多餘之工程變更外，更可使產品早日上市，增加

市場之競爭力。」因此 QFD 是全面性的功能衡量指標，不只著重在設計層面，往前推展到企劃，向後延伸到生產。

主要的內含在於每一階段以矩陣來表達「需求(What)」與「方法(How)」之間的關係，並佐以符號、數字來表示二者之間的關係強度。「方法(How)」的目標值與予以「量化(How much)」置於矩陣底部，也就是品質屋的雛型，如圖 3. 4 粗虛線區域所示。然後將此矩陣延伸至不同階段。

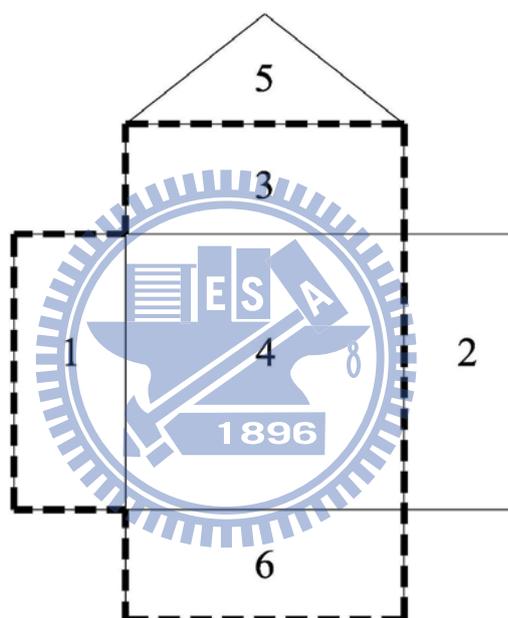


圖 3. 4 品質屋示意圖。粗虛線為 QFD 每個階段所共用的矩陣

在 QFD 中，設計原理主要使用為品質屋，圖 3. 4 所示的全部 6 個區域即為品質屋，經由品質屋可以有效建立客戶所要的需求及品質，必免設計過程中，因為對客戶的需求有錯誤的認知，而造成不必要的時間、成本及品質的浪費，傅鶴齡對品質屋的 6 個區域說明如下[32]。並以旅行箱的設計舉例顯示品質屋所要列出的內容，如圖 3. 5 所示[33]。

(1) 客戶的需求，轉條列為數據、文字，依重要性依序由上往下排

列。在 QFD 中後續的工作程序都依此展開。

- (2) 規劃中矩陣：含市場調查研究及策略規劃，本研究中沒有市場調查，直接使用策略規劃。其中要包含下列訊息。量化市場的資訊、產品的策略標的、客戶的分等。
- (3) 技術配合：完成產品的程度？資源是否充足？技術瓶頸？關鍵技術？
- (4) 關聯表：包括客戶需求、技術獲得及技術難易度。即第 1、3 項之間的關聯性說明，技術能量評估。
- (5) 技術性能之相關性：第 3 項的技術項目之間的相關性。相關性高，則數字高。即 2 個技術會彼此相互影響，因此要建立替代方案 (Alternate Technology)。
- (6) 技術矩陣：包括技術性能、競爭者技術等級。其具體要呈現出依客戶需求的優先順序，對第 3 項所述的技術進行排名、量化競爭者能力、技術性能等級。



圖 3. 5 旅行箱設計之品質屋內容

完成品質屋的設計及企劃之後，將所建立的資訊往下游製程的生產、品管展開，即為5層的QFD，如圖3.6所示[32]，為一般產品即可使用的流程。設計階段包含了前3層，如圖3.6框選所示，但並非表示由設計/研發單位獨立完成這3層。視公司規模而定，由設計單位的上下游單位合力完成這3層，上游單位包括業務/行銷、專案、企劃...等單位；下游單位包括生產/製造、品管、物料...等單位。後2層雖然在QFD系統內所佔部份較小，但卻是產品開發流程中，動員人力、物力最龐大的一環，故在前3層所形成的不良現象，要進行設計變更外，對後2層所造成的影響就是重工及物料報廢。可謂不得不謹慎。

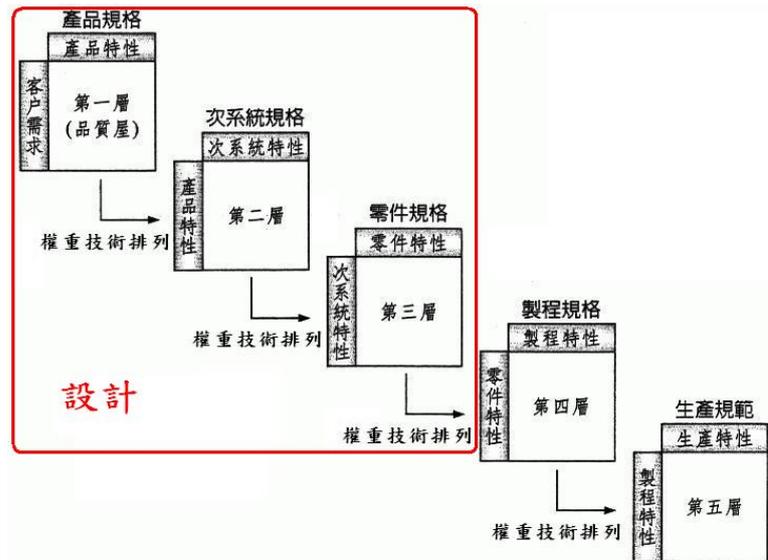


圖 3. 6 五層 QFD

3.3 TRIZ 理論

國內 TRIZ 推廣團體將翻譯為「萃思」[34]。其涵義為將盲目的天馬行空的想法及旁徵左引的思考法式及個人經驗萃練出來。即其主要的目的是，將設計發明的手法，建構成為一套標準的作業流程。用可遵循的流程，按部就班來完成設計，讓工程師在設計過程中，不至於沒有方向可以遵守，或是往錯誤的方向去思考。Rantanen 則比較了以往舊的設計概念及有系統的程序對產品創新設計—TRIZ，如圖 3. 7 所示[35]。

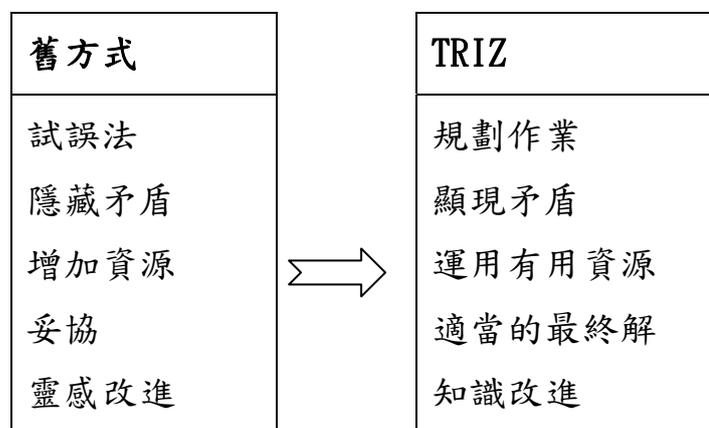


圖 3. 7 TRIZ 與舊設計方式的比較

由於 TRIZ 是原自俄羅斯，因此 Le Shulyak、Steven Rodman 在將 TRIZ 引進美國時也遇到翻譯的問題，包括專業術語，有詞不達意的問題[36]。在美國因不少人介紹 TRIZ 的狀況下，也產生 TRIZ 不同的翻譯狀況，本文則是採用 L. Shulyak、S. Rodman 的版本為主，配合其他不同版本為輔。幸運的是，一些重要原理的序號，英文版都維持與 G. Altshuller 俄文原文一樣的序號，但隨著 TRIZ 系統在美國持續發展，TRIZ 系統也日益增大，發生了英文版文新增內容，而沒有俄文版本的狀況[37]。

在 G. Altshuller 的構思中，TRIZ 以專利的集思廣益概念來解決工程問題，當初的理論形成，是用於工程上的發明，但在傳到西方國家之後，也開始有人將其運用在管理的層面，嘗試以創新方式來解決管理上的問題，美國有人提出解決管理的問題[38]。如今 TRIZ 的創新已經是發展到全面性的創新。

TRIZ 的精隨，即在對於整個結構尋求通盤創新，以 40 原理、39 參數來有系統解決創新的問題。這種想法與早期台灣從仿冒起家，只知其然不知其所以然，進展到如今以參考國外設計，或是自行研發，需要發揮新的技巧，TRIZ 即為適合的工具。後面陸續介紹其相關原理及技巧。

3.3.1 Contradiction Matrix 矛盾矩陣

矛盾矩陣表為 TRIZ 中功能強大且最易於學習使用的工具，藉由 39 項改進及惡化的系統特徵參數，再以 40 原理針對矩陣的衝突處提出解決方式，大幅縮短解決問題的時間。改進的系統特徵參數為在設計產品時，所要提升的議題。惡化的系統特徵參數則是在提升該議題時，相對所會遇到的阻礙，即是矛盾。例如：改進強度時，則會重量會增加、體積變大…等。藉由矩陣的對應出所提供 40 原理方案，來解決設計問題，而不用四處摸索，詳附錄 A 所示 [39]。

3.3.2 39/48 項系統特徵參數

在矛盾矩陣中的優化的參數與惡化的參數都是相同的內容，彼此間的關係是對立的，在要改善設計的過程中，會遭遇到被惡化的因子（參數），則可配合矩陣表中建議的設計原理來解決此對立關係。G. Altshuller 所提出的有下列 39 項。如表 3. 1 所示。

表 3. 1 39 項矛盾參數

1. Weight of moving object 移動件的重量。
2. Weight of stationary object 靜止件的重量。
3. Length of moving object 移動件的長度。
4. Length of stationary object 靜止件的長度。
5. Area of moving object 移動件的面積。
6. Area of stationary object 靜止件的面積。
7. Volume of moving object 移動件的體積。
8. Volume of stationary object 靜止件的體積。
9. Speed 速度。
10. Force/Intensity 力。

11. Tension/Pressure 張/壓力。
12. Shape 外型。
13. Stability of composition 組件穩定性。
14. Strength 強度。
15. Time of action of a moving object 移動件耐久性。
16. Time of action of a stationary object 靜止件耐久性。
17. Temperature 溫度。
18. Brightness 亮度。
19. Energy spent by a moving object 移動件耗能。
20. Energy spent by a stationary object 靜止件耗能。
21. Power 功率。
22. Loss of energy 能量損耗。
23. Loss of substance 物質損耗。
24. Loss of information 遺漏資訊。
25. Loss of time 時間浪費。
26. Amount of substance 物質數量。
27. Reliability 可靠度。
28. Accuracy of measurement 測量精度。
29. Accuracy of manufacturing 製造精度。
30. Object-affected harmful factors 外在有害因素。
31. Object-generated harmful factors 副作用。
32. Manufacturability 可製造性。
33. Convenience of use 使用便利。
34. Repairability 再維修性。
35. Adaptability 適合度。
36. Complexity of a device 裝置複雜性。
37. Complexity of control 控制複雜性。
38. Level of automation 自動化等級。
39. Capacity / Productivity 生產力。

M. Darrell 於 2003 年，於 G. Altshuller 的 39 項系統特徵參數之後，再提出 9 項系統特徵參數，如表 3. 2 所示 [37]，其中部分可以明顯看出是因應資訊業的發展所衍生出來項目，而這些也正是俄羅斯的弱項，及這幾十年才蓬勃發展的項目，如下列所示。共 48 項系統特徵參數，並且搭配了 40 原理，形成了新的 48*48 的矩陣。

表 3. 2 新增 9 項矛盾參數

40. Amount of information 資訊數量。
41. Noise 噪音。
42. Harmful emission 有害的散播。
43. Compatibility / Connectability 相容性、連結性。
44. Trainability/Operability/Controllability 訓練性、操作性、控制性。
45. Security 維安。
46. Safety / Vulnerability 安全。
47. Aesthetics / Appearance 美學、外觀。
48. Ability to Detect / Measure 可探查、測量。

3. 3. 3 40 Principle 40 原理

40 原理為矛盾矩陣中遇到問題時，提供解決問題的方案。最原始為俄文，包括英文在翻譯過程中，也產生不同版本，在不同的翻譯狀況下，英文已經有些差異。下面內容為整理不同版本而成，但以 G. Altshuller 1997 年版本為主 [40]，所舉的例子，則是參照書中所述的原理及範例，再嘗試舉出不同例子，訓練自己創造及聯想的能力。如表 3. 3 所示。在 G. Altshuller 提出 40 原理時，也對 40 個原理下定義，讓使用者能夠更清楚的了解其內容以及使用，而不會只針對其字面上的意義去推論，詳附錄 C。

表 3. 3 40 原理

1. Segmentation 分割。 例：模組化增加生產速率。
2. Extraction 移除 (Taking out 提煉)。 例：分離式冷氣。
3. Local quality 局部品質。 例：表面熱處理。
4. Asymmetry 非對稱性。 例：航空母艦艦橋邊較小，使重心落於中心。
5. Combining (Consolidation、Merging) 結合。

例：手機包含 MP3、PDA、GPS…等功能。
6. Universality 多用性。 例：飛機機翼兼做油箱。
7. Nested 堆疊 (Connection 接合)。 例：伸縮天線。
8. Counterweight (Anti-weight、Counterweight) 配重。 例：沖床以大圓盤帶動衝擊曲柄。
9. Prior Counteraction 預先抵銷。 例：砲座先向前動，減少後座力的距離。
10. Prior Action 預先動作。 例：於鑽大孔之前先鑽小導孔。
11. Beforehand Cushioning (Precaution、Cushion in Advance) 預先緩衝。 例：安全氣囊。
12. Equipotentiality 等位能。 例：工廠碼頭與貨車平台同高度。
13. Inversion 逆向 (Do it in reverse 逆向、The other way round 反面)。 例：跑步機，人無位移，地面位移。
14. Spheroidality 球體化 (Spheroidality curvature 球體化 曲面化)。 例：滑鼠、軌跡球。
15. Dynamics (Dynamicity) 動態。 例：ABS 剎車系統。
16. Partial or excessive actions 部分或過量動作。 例：IC 顯影製程的光罩。
17. Another dimension (Transition into a new dimension) 異次元。 例：自動化倉儲系統。
18. Mechanical vibration 機械震動。 例：震動送料機。
19. Periodic action 週期動作。 例：閃爍警示燈。
20. Continuity of useful action 有用的連續動作。 例：連續沖模。
21. Skipping (Rushing Though) 快速跳過。 例：微小鑽頭以高轉速鑽孔。
22. Convert harm into benefit 壞變好 (Blessing in disguise or turn lemons into lemonade 善意偽裝)。 例：鋁材外層氧化鋁可以保護內層的鋁不再氧化。
23. Feedback 回饋。 例：自動化設備中的感測器。
24. Intermediary (Mediator) 媒介。 例：AB 膠。
25. Self-service 自助。 例：錐形孔增加孔軸對準效率。
26. Copying 複製。

例：模擬試驗。
27. Dispose 可棄式 (Cheap short-living objects 便宜短期物)。 例：免洗餐具。
28. Mechanics substitution (Replacement of mechanical system) 取代機械。 例：滾球滑鼠變為光電滑鼠。
29. Pneumatic or hydraulic constructions 氣液壓。 例：氣墊船。
30. Flexible shells and thin films (Flexible membranes or thin films) 繞性殼或薄膜。 例：玻璃與玻璃之間加膠膜為安全玻璃。
31. Porous materials 多孔材質。 例：自潤軸承。
32. Color changes (Changing the color) 換色。 例：加熱變色的金爐。
33. Homogeneity 均質性。 例：Michelin Tweel 免充氣輪胎。
34. Discarding and recovering (Rejecting and regenerating parts) 去除及再生。 例：充電電池。
35. Transformation of properties 特性轉換 (Parameter changes 改變參數)。 例：液態氧可以在小空間儲存大容量。
36. Phase Transition 相變更。 例：水灌入石縫，低溫時水結冰膨脹，將石頭撐開。
37. Thermal expansion 熱膨脹。 例：熱電偶。
38. Accelerated oxidation 加速氧化 (Strong oxidants 強氧化劑)。 例：氧乙炔、燃料電池。
39. Inert Environment 惰性環境 (Inert atmosphere 惰性氣體)。 例：電弧焊的氣體。
40. Composite Material 複合材料。 例：機械手臂牙叉。

3.4 COSMOSWorks 概論

有限元素法(Finite Element Analysis、FEA)在1940年代開始發展，但由於需要依靠龐大的運算過程，在以手工計算的年代，其便利性不若以

解析的方式求解。但在電腦快速發展環境下，有限元素法越來越成熟，有限元素法之於 CAE，圖學之於 CAD。

3.4.1 有限元素分析基本概念

有限元素分析為將一結構分成許多微小元素(element)，每一元素可有若干節點(node)，而每一點可有若干自由度，如圖 3.8 所示[41]。每一個元素由力學分析求得平衡方程式，各元素之平衡方程式再以連續性(continuity)條件連結，可得到整體結構之平衡方程式，進而可求得結構之受負荷後之位移變形，進一步求得結構應力、應變等，以完成結構之力學分析，如圖 3.9 所示[41]。

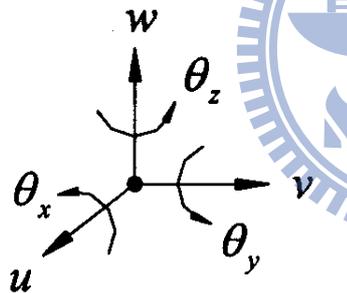


圖 3.8 節點自由度位移

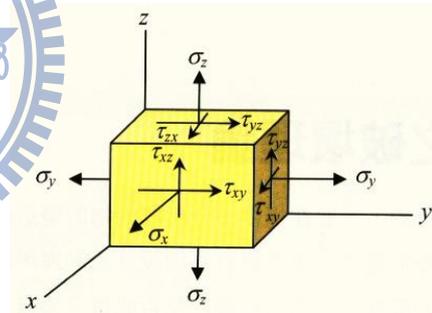


圖 3.9 元素應力

結合上述 2 項元素計算每個元素剛度矩陣，再求得整體結構之結構勁度矩陣，如圖 3.10 所示[41]。再代入所設定之位移限制及外力負荷條件，最後再求解聯立方程組，以得到所有節點位移及節點外力之初始結果。

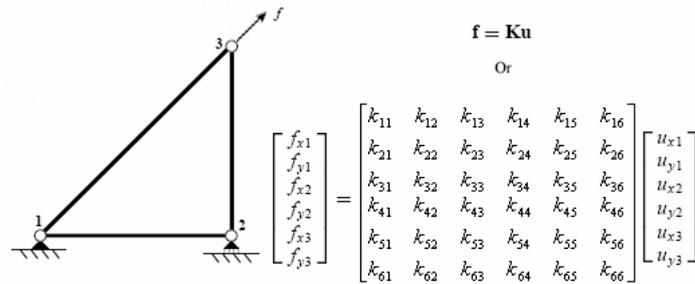


圖 3. 10 上列元素簡化後的剛度矩陣

一般的有限元素分析軟體，經由前處理(pre-processing)、求解(solution)、後處理(post-processing)三個步驟來得到所要的解，其內容分別如下，及流程如圖 3. 11 所示[41]。

前處理

- 定義元素形式。
- 定義材料性質。
- 定義元素幾何性質。
- 建構實際結構之有限元素模型分割。



求解

- 設定位移限制及外力負荷。
- 一般軟體有兩種設定方式，一是直接在節點或元素上設定位移限制及外力負荷，一是將位移限制及外力負荷設定在所建構之幾何模型上。
- 進行求解。

後處理

- 將分析結果進行處理。
- 分析結果為龐大的數據資料，以繪圖功能之後處理器對分析結果作圖形顯示。



圖 3. 11 CAE 的使用流程（紅底部分為 COMOSWorks 自動設定）

在一般構造或外型較為簡單的結構以解析方式去求各種結果，用數值方法去求解反而繁瑣，但隨著產品日益複雜，解析求解方式漸漸無法滿足需求，再加上因電腦的進步，彌補數值方式需要龐大運算的缺點，而快速發展起因於有限元素法的電腦輔助工程（CAE）。目前市面上有諸多電腦輔助工程軟體，如 ANSYS、COSMOSWorks。

3.4.2 COSMOSWorks 基本介紹

Cosmos 原本由專職於從事工程分析軟體開發的 SRAC 公司，於 1982 年發展出來，直到 2002 年與 SolidWorks 合併，改名為 COSMOSWorks。使得 CAE 的工作中的前置作業與 3D 的實體模型整合，以避免檔案轉換過程中所產生的瑕疵，造成工程分析過程中不必要的障礙。並沿用已被廣泛熟悉的 SolidWorks 的介面，以及大量由軟體自行判斷所要使用分析工具的模式，及大量使用自動執行功能。使得 COSMOSWorks 較以往的 CAE 軟體有更大的親合力，如圖 3.12 所示 [42]（紅底白字為 COSMOSWorks）。減輕了使用者的操作負擔，加快了分析的便利性。而此特性同樣的也在 COSMOSMotion 與 SolidWorks 的相容介面中出現。2009 年 COSMOSWorks 改名為 SolidWorks Simulation，讓使用者顧名思義的了解軟體功能。在本研究中，將配合 SolidWorks 運用到 COSMOSWorks 及 COSMOSMotion 這二套 CAE 軟體。

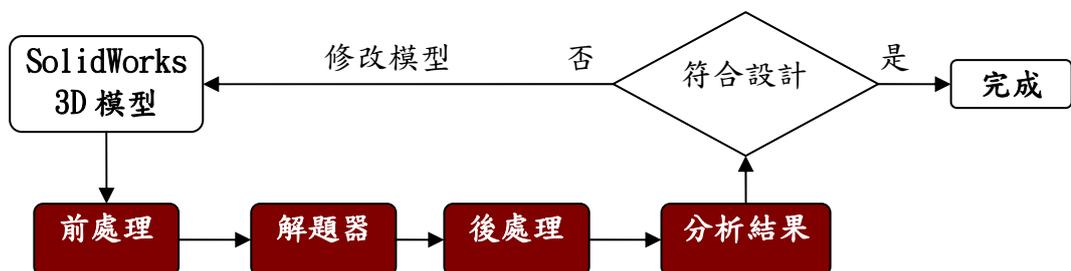


圖 3.12 SolidWorks 與 COSMOSWorks 整合使用狀況

第四章 功能設計

本研究的設計，將以 TRIZ 及 QFD 設計理論，針對爬梯機現況，進行功能的設計改良，後續再進行細部規劃設計，並進行模擬及分析，流程如圖

4. 1 所示。

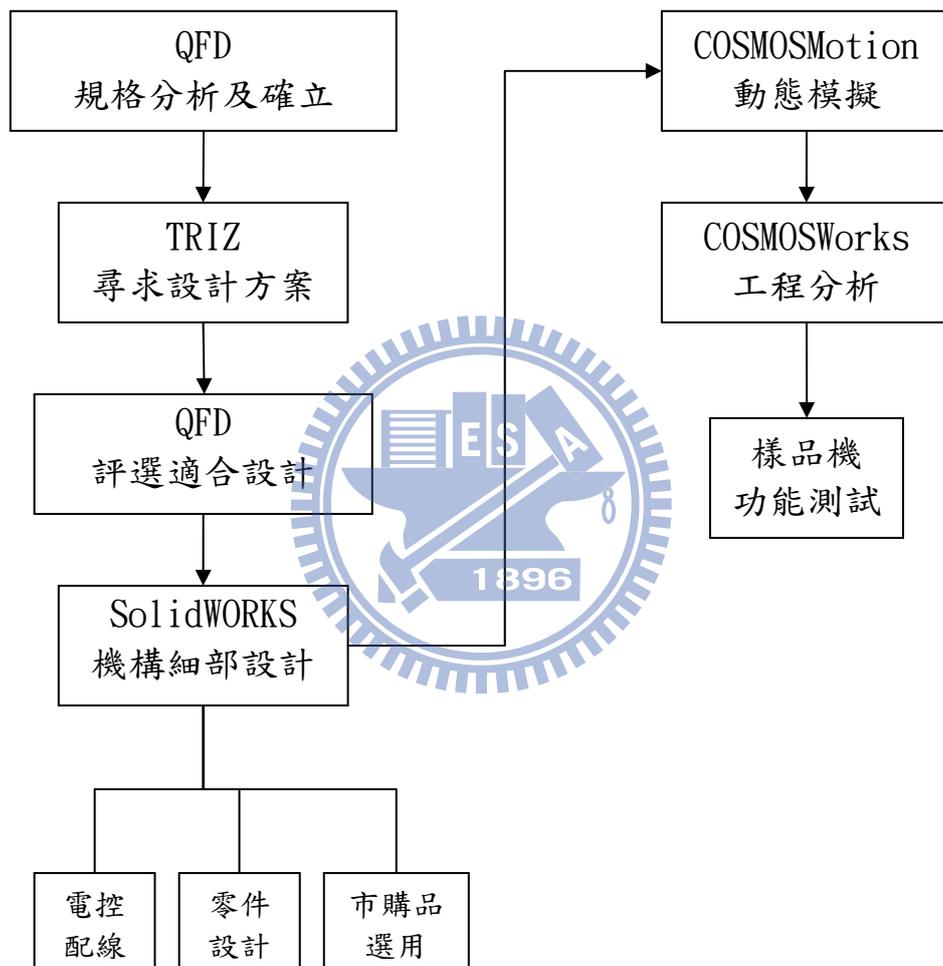


圖 4. 1 設計流程圖

4.1 設計分析

最佳設計為符合客戶設計，並非以最昂貴的方式來從事設計，以二次大戰的軍備為例，美國認為在戰場上使用的武器，一定會損傷及報廢，因

此以裝備在戰場出任務數次後，就需要後送大修的概念來設計武器，而非將武器設計的非常精良耐用，以增加武器生產的速度，使戰場的士兵都有充分的火力。德國則為製造品質優良的武器，以致生產速度降低，而造成前線士兵無足夠火力掩護，且武器也因戰火的損耗同樣也要後送大修。因此最佳設計為設計出符合客戶所要的產品，就如同房車市場有不同價位等級、性能等級及使用區隔，符合所設定客戶層需求的設計即為最佳設計。

爬梯機的機構，經由專利及相關產品型錄資料的歸納，種類概分為下列幾款，除了 iBOT 4000 因價格遠高於市場需求而被淘汰外，依然活躍於不同的市場，如表 4. 1 所示。

表 4. 1 爬梯機的種類及代表公司

支撐桿式	ATT
複合輪式	TGR、Aluweld S.A.。
履帶式	TGR。
分離滑台式	Hercules
鍊條式	Lectrotruck
全自動式	Johnson & Johnson

在了解市場上的種類之後，依據前章所述的設計理論來進行爬梯機的設計。

4.1.1 以 QFD 設計爬梯機

爬梯機在國內的使用不普遍，因此本研究相關功能皆國外產品的型錄及網站，來設定客戶需求。首先以品質屋來定義爬梯機規格，此爬梯機因應大部份民眾容易使用的大眾化產品，使用價格因素及省力的加權比重較高。所展開的品質屋如表 4. 2 所示。

由於 QFD 理論的運用最主要是
在確保設計產品的品質及規格符合

客戶所需，即符合規格定義的內容，因此經驗法則還是會左右了設計概念的成形。所以爬梯機的品質屋所展開出的技術矩陣還是追隨現有市場的導向，所開出的產品內容與既有經驗相關及契合市場需求。

4.1.2 以 TRIZ 設計爬梯機

前一節運用品質屋中的客戶需求及技術配合一起歸納出爬梯機的設計主軸。本節再將爬梯機想要設計的議題，及其所會遇到的障礙，從矛盾矩陣中來挑選出適合的 40 原理，以勾勒出設計概念，程序如圖 4. 2 所示。

表 4. 2 爬梯機的部分品質屋

						重要度
	構造簡單	電動	材料	成本	外表輪廓簡單	
便宜	15 ⁵			9 ³		3
省力		15 ⁵				3
易維護	2 ²				2 ²	1
防異物進入	1 ¹				3 ³	1
輕巧	6 ³		10 ⁵			2
權重總分	24	15	10	9	5	
量化 / 規格	連桿 / 凸輪	馬達 / 油壓缸	鋁合金	鋼結構	平順外表	

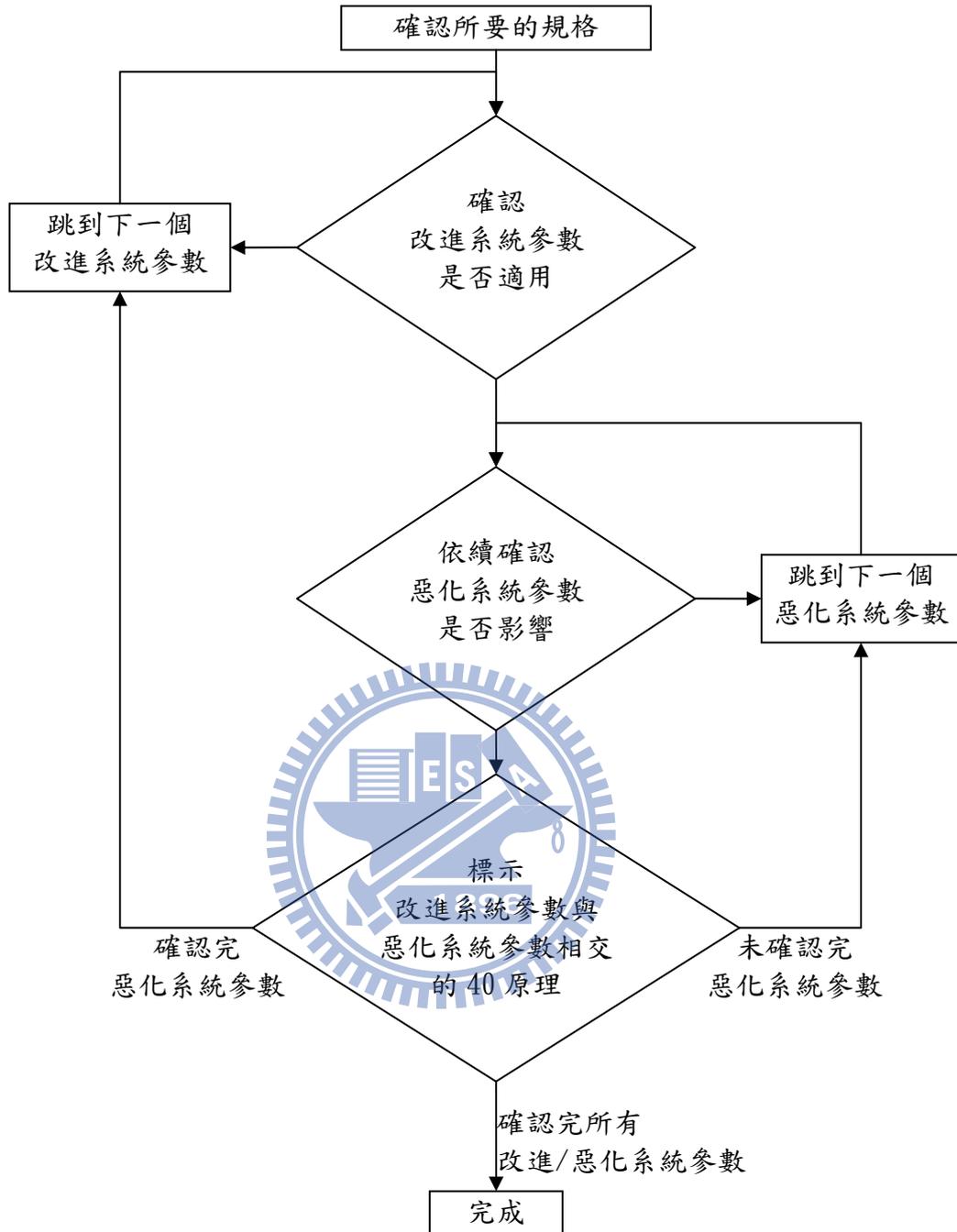


圖 4. 2 由矛盾矩陣中挑選 40 原理流程圖

經由上述的流程，開始選擇所要的設計原理，由於此為系統設計，所以選擇出來的設計原理數量眾多，因此再從中篩選比較需要的改進系統特徵參數，以及對保留下來的改進系統特徵參數，篩除影響比較小的惡化系統特徵參數，以減少所要的設計原理數量，在不同的情況下，篩選的內容

也會有不同。篩選保留下來的改進系統特徵參數因素如下表所示：

表 4. 3 改進系統特徵參數篩選說明表

	序號	特徵參數名稱	說明
留下的特徵參數	1	移動件的重量	爬梯機為移動機械
	11	張/壓力	承載物會產生張/壓力
	13	組件穩定性	爬梯機為組合機械
	21	功率	爬梯機有動力源
	22	能量損耗	爬梯機有動力源
	27	可靠度	確定爬梯機的使用狀況
	32	可製造性	確定爬梯機可以製造
未留下的特徵參數	10	力	與「11 張/壓力」類似而未選
	14	強度	以 CAE 模擬代替
	16	移動件耐久性	非量產品先暫不考慮
	19	移動件耗能	與「22 能量損耗」類似而未選
	29	製造精度	研究作品先暫不考慮
	33	使用便利	研究作品先暫不考慮
	34	再維修性	研究作品先暫不考慮
	36	裝置複雜性	研究作品先暫不考慮
	37	控制複雜性	研究作品先暫不考慮
	39	生產力	研究作品先暫不考慮

設計的過程中先以篩選過的改進系統特徵參數所導引出的設計原理來進行設計構想，若無法有突破的創新設計，再擴大放寬設計原理的數量，將原本的 39X39 矩陣，如附錄 B 所示，刪除其中無關的部份，整理後如表 4. 4 所示。此次的研究以篩選過的改進系統特徵參數就導引出適合的設計

原理來進行爬梯機設計。

表 4. 4 篩選過後的爬梯機矛盾矩陣

系統特徵參數 矛盾矩陣		惡化的系統特徵參數						
		1 移動 件的 重量	11 張 / 壓力	13 組 件 穩 定 性	27 可 靠 度	32 可 製 性	36 裝 置 複 雜 性	37 控 制 複 雜 性
改 進 的 系 統 特 徵 參 數	1 移動件的重量			1, 35 19, 39				28, 29 26, 32
	11 張/壓力				10, 13 19, 35		19, 1 35	
	13 組件穩定性					35, 19		
	21 功率				19, 24 26, 31		20, 19 30, 34	19, 35 16
	22 能量損耗	15, 6 19, 28						
	27 可靠度		10, 24 35, 19					
	32 可製性	28, 29 15, 16	35, 19 1, 37					

經由上表的矛盾矩陣中所整理出的發明原理中，顯示克服不同的矛盾狀況，會有不同的解決方式，但也會有以一種發明原理，解決數種不同矛盾。將相同部份整理裁併後，歸納出下列的原理，再過濾區分出可以運用的原理，做為後續設計所要遵循的原理，如表 4. 5 所示。過程中，可以體認到，TRIZ 的設計原理是一種歸納的方式，依照所要的需求整理出設計方向，但大部分還是要靠常識及經驗去過濾不適合的設計方向。

表 4. 5 TRIZ 40 原理適用比較表

可運用的原理	不適用的原理	
1 分割	6 多用性	31 多孔材質
10 預先動作	15 動態	32 換色
19 週期動作	16 部分或過量動作	34 去除及再生
20 有用的連續動作	24 媒介	35 特性轉換
29 氣液壓	26 複製	37 熱膨脹
	28 取代機械	39 惰性環境
	30 繞性殼或薄膜	

此外也發現這些原理也被市場產品所運用，而運用上也非單獨使用一種原理，多半會結合數種原理一起使用，而這種集合各種原理的優點，也是矛盾矩陣的精髓所在，證明 TRIZ 的矛盾矩陣及 40 發明原理可以有系統的收集到創意的點子，表 4. 6 所示為發明原理對應於爬梯機的運用。

表 4. 6 可運用的原理

TRIZ 發明原理	運用方式
1 分割	分離式機台，廣泛的使用於超重負荷搬運機具市場上，如圖 4. 3 所示 [44]。
10 預先動作	可以將能量儲存於爬梯機動作的空行程上。
19 週期動作	以鍊條帶動鉤爪鉤住階梯，以上下階梯，如圖 4. 4 所示 [45]。或驅動曲柄來帶動支撐桿，如圖 4. 5 所示，或是運用凸輪、齒條。
20 有用的連續動作	以鍊條帶動鉤爪鉤住階梯，以上下階梯，如圖 4. 4 所示；螺桿式將連續的旋轉動作改為直線動作，圖 4. 8。
29 氣液壓	以油壓推機台的分離部份，如圖 4. 3 所示。



圖 4. 3 滑台式爬梯機

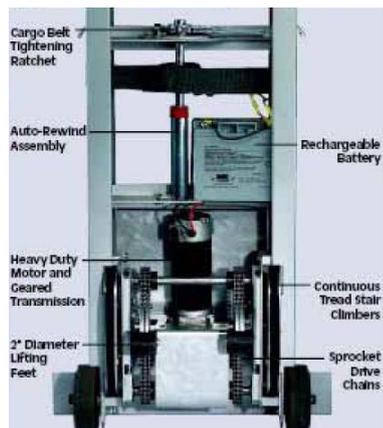


圖 4. 4 鍊條鉤爪式爬梯機



圖 4. 5 支撐式爬梯機



圖 4. 6 複合輪式爬梯機

這些原理的交互運用，可以印證於現有產品；相同的一個產品也可以被數個設計原理印證。同時也推展出一些尚未被運用的概念，這些將要運用的原理將於 4.1.3 節繼續展開與討論。

4.1.3 以 QFD 再設計驗證爬梯機

將 4.1.1 節所展開的品質屋，搭配 TRIZ 所引導出的設計想法及市面上現有產品，再補充技術矩陣表 4.7 所示。以比較各項設計的優劣。將表 4.6 中藉由 TRIZ 40 原理所推展出的具體機構進行討論比較，如表 4.8 所示，

以了解適用性，從中選擇適合的機構。

表 4. 7 爬梯機的品質屋

	品質屋					重要順序	產品—凸輪	產品—油壓缸	產品—連桿	產品—複合輪
	構造簡單	電動	材料	成本	外表輪廓簡單					
便宜	15 ⁵			9 ³		3	5	4	5	3
省力		15 ⁵				3	4	4	4	4
易維護	2 ²				2 ²	1	4	2	5	4
防異物進入	1 ¹				3 ³	1	2	2	5	4
輕巧	6 ³		10 ⁵			2	2	2	5	3
權重總分	24	15	10	9	5					
量化 / 規格	連桿 / 凸輪	馬達 / 油壓缸	鋁合金	鋼結構	平順外表					

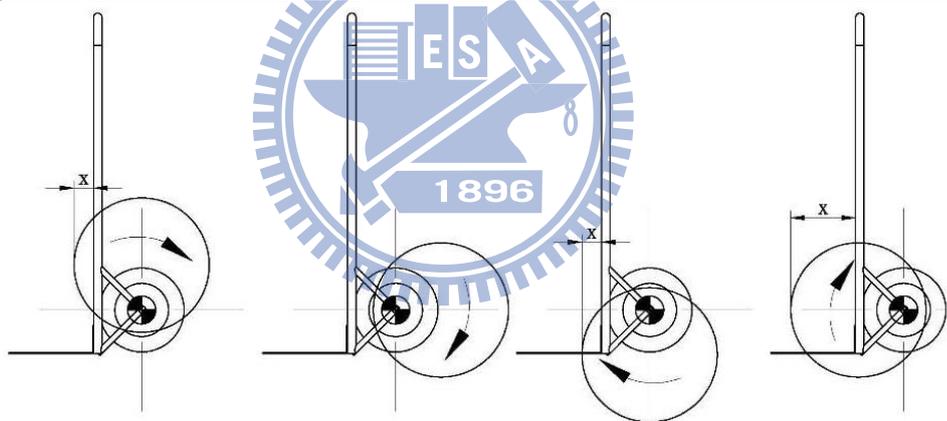
+ 強關聯性
 * 中關聯性
 - 弱關聯性

關聯積分1-5
 右上角為關聯分
 左下角為加權分

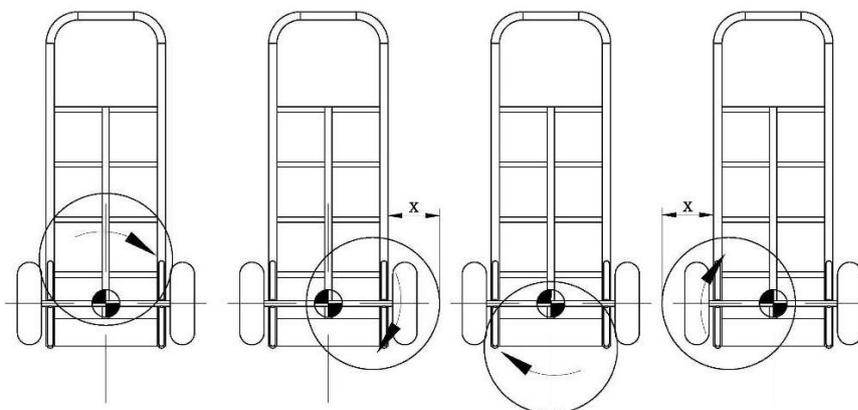
表 4. 8 機構性能的比较

機構類型	功能描述
油壓缸機構	如圖 4. 3 所示，有大的輸出力，但其組合為油壓缸、動力單元 (Power Units)、電源供應組，使其機台本身就有大的空重，適用於超荷重的場合。
氣壓缸機構	空壓缸不像油壓缸需要像動力單元、電源供應組多樣的附加組件，但由於氣壓缸所需的高壓氣體多由空壓機 (Compressor) 供應，空壓機因為其龐大的體積及重量，以及動作時伴隨著高噪音，因此皆為固定的形式。而與空壓機連結的氣管將限制爬梯機的行動。且氣體具有可壓縮性，導致爬梯的行程將因為載重不同而不同。故市面上未有空壓的爬梯機。
鍊條鉤爪式	如圖 4. 4 所示，適合於高荷重場合，但鍊條的使用有下列缺點，需要定期上油、及衍生的油脂對環境污染問題、鍊條會隨使用時間增加而磨耗伸長，要定期調整鍊輪中心距，鍊條及鉤爪易磨損階梯。

複合輪式	如圖 4. 6 所示，可以讓輪胎有較久的使用時間，但缺點為佔用空間大，動力系統要傳遞到每個輪胎，形成構造的龐雜。
凸輪式	構造簡單，但有大空間須求，如圖 4. 7 列出了 2 種凸輪設計各 4 個象限的狀況示意圖，可知圖中的「X」為超出允許範圍，因此可知凸輪不適用於此產品。
導螺桿式	如圖 4. 8 所示，連續的旋轉動作轉變為直線動作。但此機構有怕異物進入的疑慮，及螺桿導套太長有加工上的問題，及螺牙受損即功能失效的風險。
齒條式	如圖 4. 9 所示，構造簡單、耐用。但機構有怕異物進入的疑慮，及齒輪的齒間隙會造成振動，若改為精密齒輪或是斜齒輪則成本激增。在一般的使用場合，因齒條的齒面凹凸形狀，導致其在線性運動時，會有不穩定的狀況，因此齒條為固定件。



a 型一的凸輪設計



b 型二的凸輪設計

圖 4. 7 凸輪設計機構運轉 4 個象限示意圖

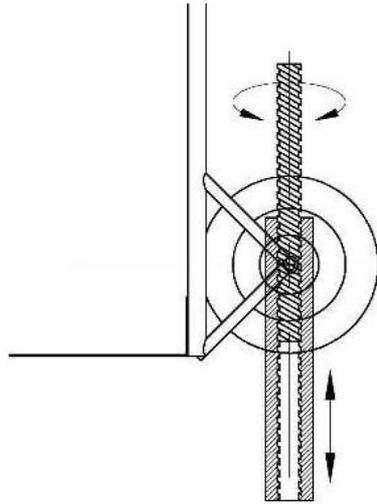


圖 4. 8 螺桿式示意圖

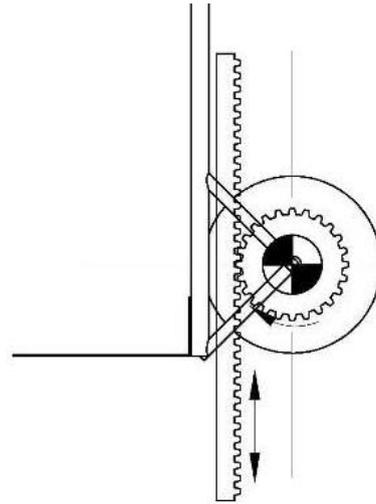


圖 4. 9 齒條式示意圖

產品的優劣並非為絕對性的好壞，而是相對於產品的規格。以油壓缸機構為例，此設計並非為不良設計，而是一開始的規格所設定要輕巧的機構，油壓缸系統的重量多在 40 公斤以上。若是在超荷重的場合，該設計反而是被廣泛運用，再次驗證最佳設計是符合客戶需求的這個理念。

表 4. 6 中矩陣所導引出一項為連桿式。在所有的爬梯機構中，以支撐桿式因為其構造精巧，因此其所佔的空間及操作範圍都比其他類型的爬梯機構還小，適合台灣地小人稠，空間利用極致的場合，在非極大荷重的場合容易使用，因此採用支撐桿式為此次研究的對象。

在確定使用連桿式的支撐桿的方向後，則需要對支撐桿進行細部設計，此部份則還是須要依靠經驗去完成。

在動力源的選擇上，將市面上常見的形式以表 4. 9 比較，最後選擇以馬達為動力源，此也為市面上爬梯機最廣泛使用的動力源。再搭配減速機降低馬達的轉速，以符合爬梯機所需要的轉速[48]。

表 4. 9 動力源的比較

機構類型	功能描述
油壓缸機構	詳表 4. 8。
氣壓缸機構	詳表 4. 8。
馬達	氣液壓缸的最原始動力，也是以馬達帶動壓縮機及幫浦，以產生高壓氣體及液體，來推動氣液壓缸。馬達可以算是所有的動力源的最初始源頭。

支撐桿以連桿方式來達成動作，連桿的種類眾多，以滑動的支撐桿來

簡化聯桿機會，支撐桿的滑動方式可有下列形式：

表 4. 10 支撐桿的形式

機構類型	功能描述
中空式	圖 4. 10 所示，支撐桿中間挖空，直線往復運動導引則在中間挖空部分。
側邊挾持式	圖 4. 11 所示，在側邊開槽，直線往復運動導引則在挾持開槽部分。

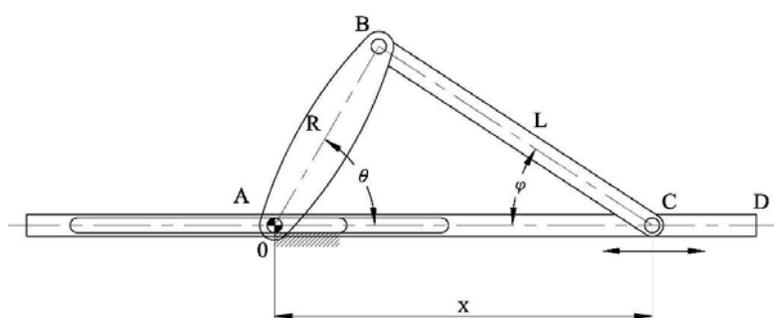


圖 4. 10 中空式支撐桿-正視圖

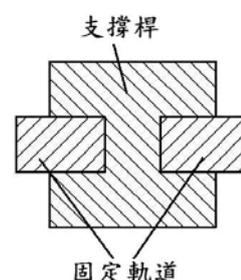


圖 4. 11 側邊挾持式支撐桿-剖視圖

此兩型皆有相同缺點：挖空部份會導致結構強度變弱，需要加大支撐桿的尺寸以維持支撐桿剛性；及支撐桿需要加工的部份多，製造加工過程

較為複雜，因此而不適用。直線軸承及滑軌[57]為目前市場廣泛使用的直線運動市購品零組件，故本研究以此當作輔助桿零件。

4.2 概念設計

爬梯機構的使用範圍，包括了人員及物品的搬運。在人員的運送上，牽涉到人員生命安全。除了我國的衛生署之外，美國的最高醫療管理機關—健康及人類服務部(DHHS)所轄美國食品藥品監督管理局(FDA)也將其列為醫療設備的最高等級—3級，如表 4. 11 所示[47]。英國牛津大學在校內的爬梯機也發行使用手冊[49]，指導校內人員使用，如附錄 C，故表示此機構最重要的還是在操作的安全性。因此本研究以貨物搬運來進行，避免論及醫療設備涉及的人身安全，也降低在後續實驗中造成人員不必要傷害的風險。

表 4. 11 美國政府將醫療用爬梯機構列為 3 級



The screenshot shows the FDA website interface for a product classification search. The header includes the FDA logo and the text 'U.S. Food and Drug Administration' and 'Department of Health and Human Services'. Below the header, there are navigation links for 'FDA Home Page', 'CDRH Home Page', 'Search', and 'A-Z Index'. A 'Questions?' link is also present. The main content area displays search results for a product, with a 'New Search' link and a 'Back To Search Results' link. The product details are as follows:

Product Classification Database	
Device	Wheelchair, Stair Climbing
Regulation Description	Stair-climbing wheelchair.
Regulation Medical Specialty	Physical Medicine
Review Panel	Physical Medicine
Product Code	IMK
Submission Type	PMA
Regulation Number	890.3890
Device Class	3
GMP Exempt?	No
Recognized Consensus Standard	

設計主軸是將爬梯機構（構造示意圖如圖 4. 12 所示[5]）加裝於市購的手推車上，結合後為動力輔助手動爬梯載具[5]，爬梯機構的動作如下。動力來源為馬達（1）（實務使用上為直流馬達，本研究以交流馬達代替，增加實驗的便利性）與減速機（2）結合，以達到所要的轉速。藉由貫穿減速機的傳動軸（3），將動力傳到旋轉運動的主動連桿（4），主動連桿再將動力經由被動連桿（5）傳到支撐桿（6），被直線軸承（7）所限制的支撐桿則進行直線運動，爬梯機構則是藉此直線運動，將馬達的旋轉動力轉換為爬梯的動力。

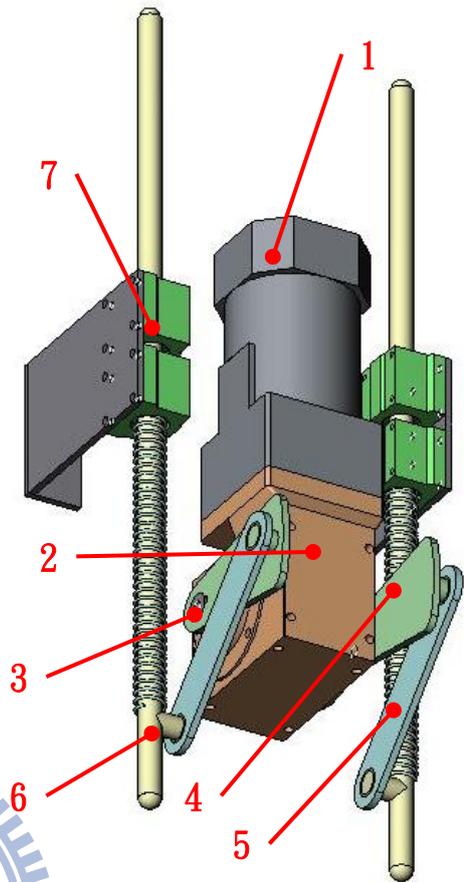


圖 4. 12 爬梯機構的細部圖面

於階梯上操作的狀況如圖 4. 13 所示[5]。本研究的爬梯機規格為配合現實使用的狀況有下列的限制條件：

- ◇ 以國立交通大學工程五館為模擬對象，要克服高 160mm、深 270mm 的階梯，所以機構的爬梯往復行程必須大於 160mm。
- ◇ 主動連桿的長度不可超出推車的範圍，所以主動連桿的長度定為 100，其行程即可達 200mm，符合大於 160mm 的需求。
- ◇ 為避免支撐桿露出於手推車之外，妨礙手推車的其他操作功能。設

定支撐桿內縮於車體之內 5mm。

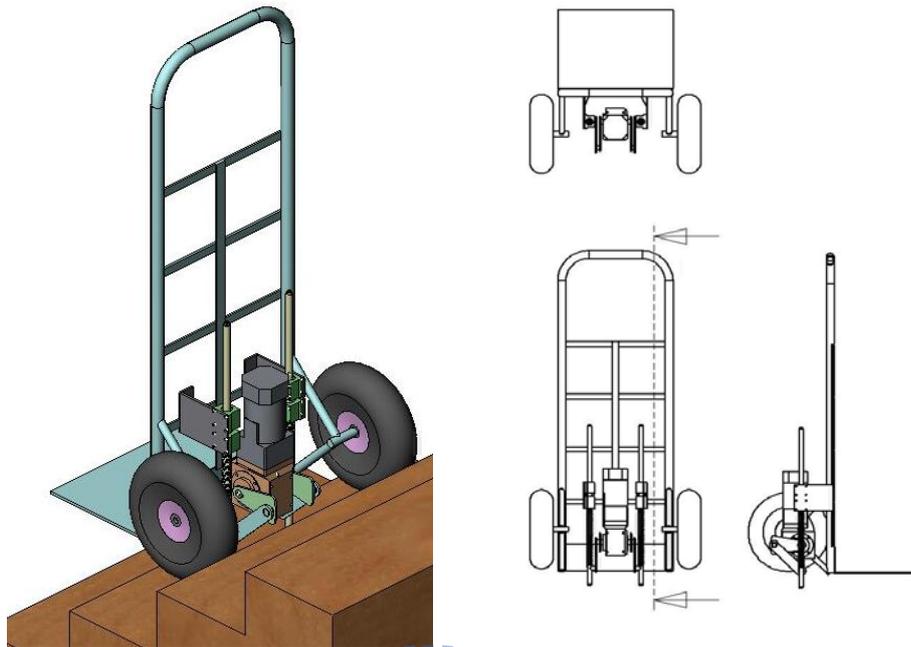


圖 4. 13 爬梯機構結合於推車的立體圖及三視圖

爬梯機構於進行爬梯動作可概分為三個階段，下階梯則反之：

階段一： 垂直升高動作。從 0° ~ 180° 時，爬梯機構支撐桿逐漸伸長，將手推車往高處頂起，到 180° 時到達最高點，如圖 4. 14 所示。圖 a 為 45° 、圖 b 為 90° 、圖 c 為 135° 、圖 d 為 180° 。

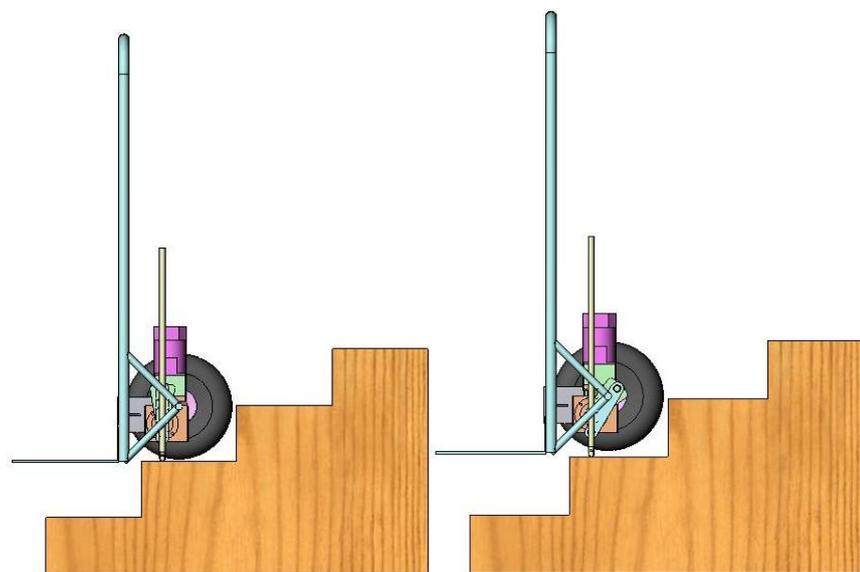


圖 a 45° 狀態

圖 b 90° 狀態

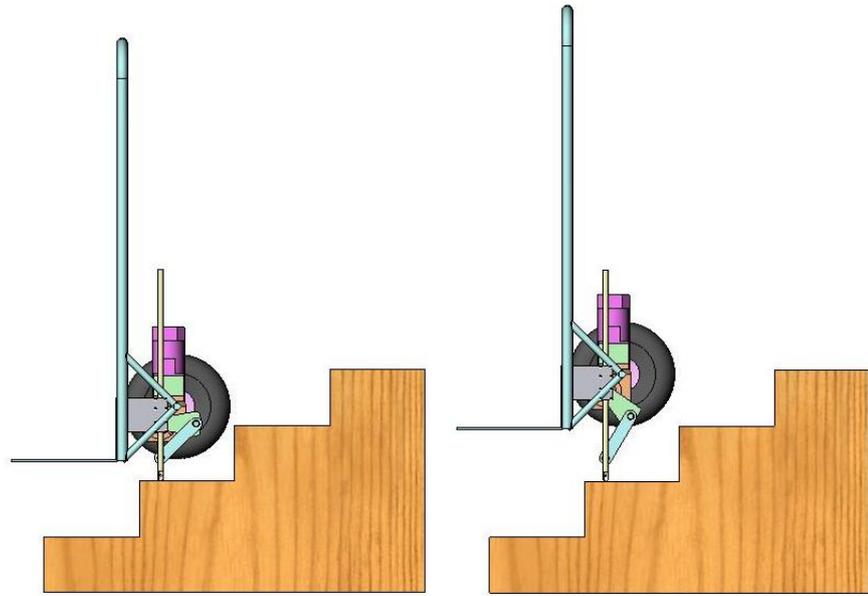


圖 c 135° 狀態

圖 d 180° 狀態

圖 4. 14 爬梯機構位於 0°~180° 垂直昇高動作狀態示意圖

階段二：在最高點時，爬梯機的輪胎已經高於下一階階梯的梯面，可以順勢將爬梯機放置於下一階階梯的梯面。如圖 4. 15 a 圖所示。再將爬梯機傾倒，則爬梯機就爬到下一階梯，如圖 4. 15 b 圖所示。

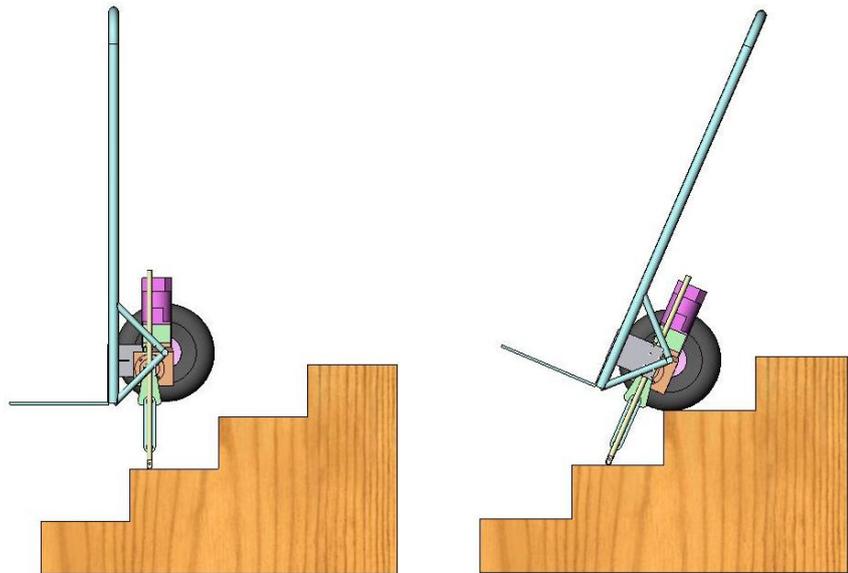


圖 a 最高點狀態

圖 b 爬上階梯狀態

圖 4. 15 爬梯機構位於 180° 時，進行爬梯動作狀態示意圖

階段三： 從 180° ~ 0° 時，爬梯機機構支撐桿逐漸縮短，最後縮到機構的內部，如

圖 4. 16 所示，圖 a 為 225° 、圖 b 為 270° 、圖 c 為 315° 、圖 d 為 360° 。在此階段爬梯機構為空行程。支撐桿沒有承受任何外再負荷。藉由 TRIZ 所發明的儲存能量的功能，運用在此階段。

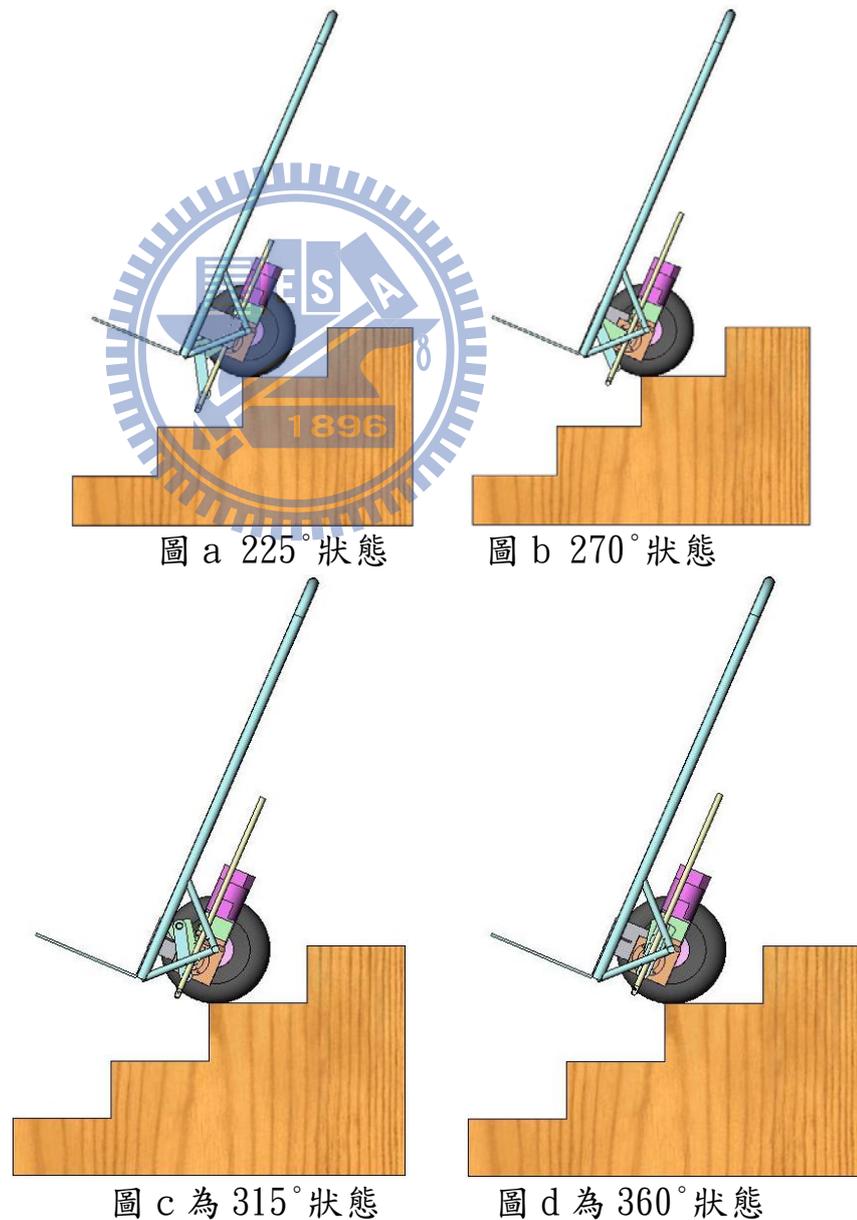


圖 4. 16 爬梯機構位於 180° ~ 0° 時動作狀態示意圖

第五章 工程分析及模擬

本章將以工程的角度，探討第四章以設計理論所開發的爬梯機構功能及結構狀況，分析其工程特性。

5.1 運動學分析

爬梯機構為一動態機構，在運動狀態下的動態負荷，對結構負擔較大於其靜態時的負擔，故先了解機構的運動狀況。以利於後續針對動態狀態下的負荷狀況進行 CAE 分析及與靜態工程分析相互比較。

5.1.1 速度與加速度分析

在機構分析過程中，關於位移、速度、加速度的分析方式有列數種

[50]，

- ◇ 圖解法 Graphical、
- ◇ 三角幾何法 Trigonometry、
- ◇ 向量迴路法 Vector Loop、
- ◇ 舜心法 Instant Center、
- ◇ 相對速度法 Relative Velocity、
- ◇ 相對加速度法 Relative Acceleration、

上列的多數方式運用於少量及特定角度的分析時極為便利，本文採用

代數方式建立微分方程式[51][52]，雖然在建立過程中比其他方式稍為繁雜，但方便於往後對於不同角度的狀況分析。

爬梯機構的結構示意如圖 5. 1 所示，其相對關係如下

- D 點與階梯面接觸，
- D 點與 C 點位於相同桿件上，及有相同的運動方向，
- C 點與 O 點的距離變化代表爬梯功能的進行，
- 支撐桿本身無進行旋轉運動。

忽略桿件的剛性問題，將其視為剛體，則 D 點的位移、速度、加速度皆與 C 點相同。

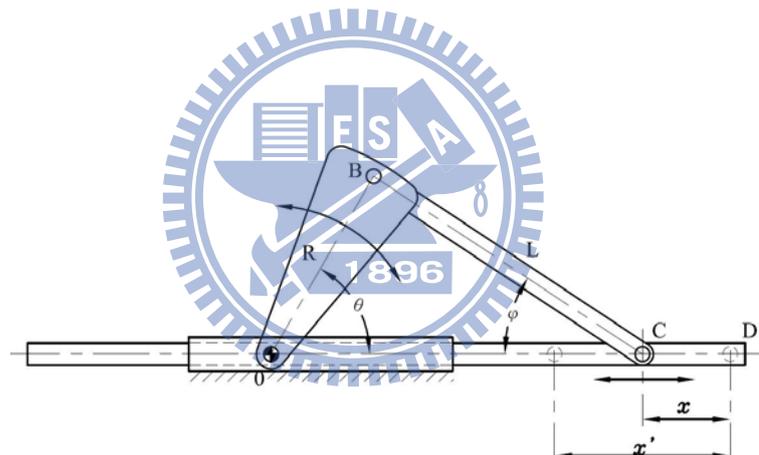


圖 5. 1 爬梯機構各部位關係示意圖

設節點 O、B、C 分別組成連桿 R、連桿 L

$$OB = R, BC = L$$

由示意圖得關係式如下

$$L \sin \phi = R \sin \theta$$

$$\sin \phi = \frac{R}{L} \sin \theta \tag{4-1}$$

$$\ominus \sin^2 \phi + \cos^2 \phi = 1$$

$$\cos^2 \phi = 1 - \sin^2 \phi \quad (4-2)$$

代 (4-1) 入 (4-2)

$$\cos^2 \phi = 1 - \left(\frac{R}{L} \sin \theta\right)^2$$

$$\cos \phi = \sqrt{1 - \left(\frac{R}{L} \sin \theta\right)^2}$$

以二項式近似定理簡化

$$\sqrt{1 - \left(\frac{R}{L} \sin \theta\right)^2} = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{R}{L} \sin \theta\right)^2 \quad (4-3)$$

設 y 為 C 點與 O 點的距離，與連桿 R 及連桿 L 的關係式

$$y = R \cos \theta + L \cos \phi$$

設 x 為連桿端點與最大伸長點的距離

$$\begin{aligned} x &= R + L - y \\ &= R + L - (R \cos \theta + L \cos \phi) \\ &= R + L - R \cos \theta - L \cos \phi \\ &= R(1 - \cos \theta) + L(1 - \cos \phi) \end{aligned} \quad (4-4)$$

代 (4-3) 入 (4-4)

$$\begin{aligned} x &= R(1 - \cos \theta) + L \left\{ 1 - \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{R}{L} \sin \theta\right)^2 \right] \right\} \\ x &= R(1 - \cos \theta) + \frac{(R \sin \theta)^2}{2L} \end{aligned} \quad (4-5)$$

令

$$\theta = \omega \cdot t$$

代入 (4-5)，對 x 一階微分得速度 v ，

$$v = \frac{dx}{dt} = R\omega \left[\sin \theta + \frac{R}{2L} \sin(2\theta) \right] \quad (4-6)$$

對 x 二階微分得加速度 a

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = R\omega^2 \left[\cos \theta + \frac{R}{L} \cos(2\theta) \right] \quad (4-7)$$

在實際的運用上，爬梯機的速度約為一分鐘爬 10 階階梯，即 10 rpm。

分別將爬梯機構的主動連桿 R 、被動連桿 L 長度及轉速帶入上列三個方程

式，再分別帶入所要的角度，(4-5) 式可得位移、(4-6) 式可得速度 v 及

(4-7) 式可得加速度 a 。D 點在不同角度時的位移、速度及加速度之間的

解析解關係，可以用 Matlab 程式作成比較表，詳附錄 E[52]。



5.1.2 COSMOSMotion 的運動分析

在電腦輔助工程上，COSMOSMotion 提供了直接以 SolidWorks 3D CAD 模型直接運動模擬（也可以接受其他軟體 3D CAD 模型轉成 IGS 檔案格式），可以不用經過其他介面轉換，直接對相關零件進行運動分析，分析其位移、速度、加速度，加強了設計過程中，以既有的步驟來完成一連串的作業程序，加強了設計程序的連續性，避免在不同程式間的轉換所造成的資料失真，及修改後重新設定內部參數。

將先前以 SolidWorks 建立完成的 3D 模型零件，在 COSMOSMotion 的狀

態下，定義各零件之間的相關互動關係，如表 5. 1 所示。再以「shaft 20」為旋轉的主動端，帶動「Link-20-1」旋轉所有的設定完成後如圖 5. 2 所示。再執行運動模擬。

表 5. 1 零件互動關係對應表

零件 1	零件 2	關係
Link-20-1	Link-20-2	旋轉
Link-20-2	Support	旋轉
Link-20-1	shaft 20	旋轉
Frame support	Support	軸向滑動

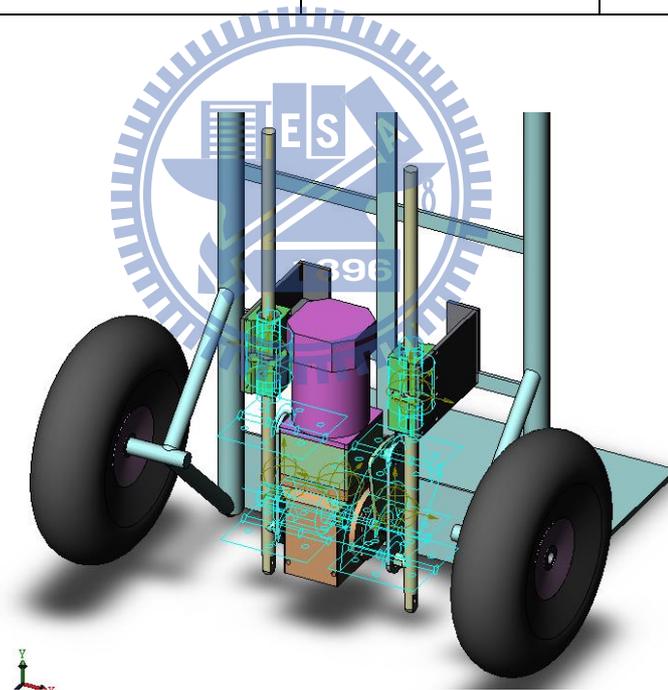


圖 5. 2 零件互動關係對應圖

經由運動模擬後，即可得到每個零件的位移、速度、加速度。本研究所要了解的為支撐桿與爬機機構本體之間的關係，及爬梯機構與地面之間的關係。

1. 支撐桿與爬機機主體之間的關係：由於爬梯的動作，主要是在進行

上下運動（即 Y 方向），所以求 Y 方向的數據。

◇ 支撐桿位移：所得的數據以每 10° 為單位，列表如表 5. 2 所示，

由表可看出在 180° 時，位移轉變方向。繪成關係圖如圖 5. 3

所示，位移座標 -5 表示支撐桿內縮於爬梯機內 5mm。

◇ 支撐桿速度：所得的數據以每 10° 為單位列表如表 5. 3 所示，

由表可看出分別在 116° 、 224° 時，速度轉變方向。繪成關係圖

如圖 5. 4 所示。

◇ 支撐桿加速度：所得的數據以每 10° 為單位列表如表 5. 4 所示，

由表可看出分別在 82° 、 180° 、 278° 時，加速度轉變方向。繪

成關係圖，如圖 5. 5 所示。

，經由上列的數據，可以得到爬梯機構的原始運動狀態，其中的加

速度可進一步用來分析爬梯機的動態作用力狀況。

表 5. 2 馬達旋轉角度-支撐桿位移對照表

角度	位移	角度	位移	角度	位移
10	194.83	130	53.81	250	97.29
20	193.48	140	34.30	260	118.40
30	191.11	150	17.90	270	137.29
40	187.51	160	5.55	280	153.13
50	182.37	170	-2.13	290	165.70
60	175.27	180	-4.73	300	175.27
70	165.70	190	-2.13	310	182.37
80	153.13	200	5.55	320	187.51
90	137.29	210	17.90	330	191.11
100	118.40	220	34.30	340	193.48
110	97.29	230	53.81	350	194.83
120	75.27	240	75.27	360	195.27

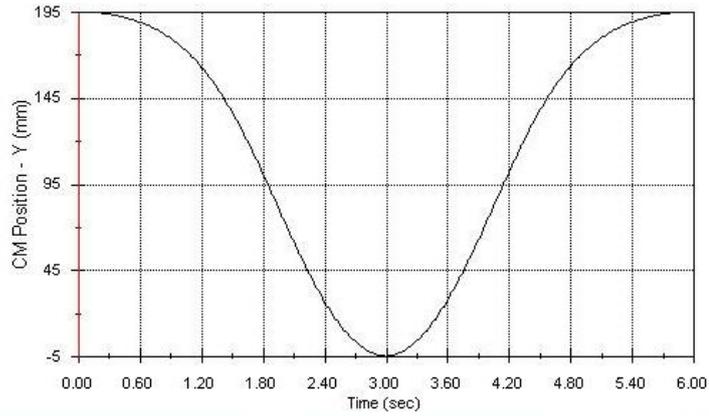


圖 5. 3 支撐桿位移-時間關係圖

表 5. 3 馬達旋轉角度-支撐桿速度對照表

角度	速度	角度	速度	角度	速度
10	-5.29	130	-124.22	243	132.53
20	-11.02	140	-108.77	244	132.56
30	-17.68	150	-87.04	245	132.50
40	-25.85	160	-60.61	250	130.84
50	-36.22	170	-31.08	260	121.13
60	-49.47	180	0.00	270	104.72
70	-65.97	190	31.08	280	85.13
80	-85.13	200	60.61	290	65.97
90	-104.72	210	87.04	300	49.47
100	-121.13	220	108.77	310	36.22
110	-130.84	230	124.22	320	25.85
115	-132.50	240	131.91	330	17.68
116	-132.56			340	11.02
117	-132.53			350	5.29
120	-131.91			360	0.00

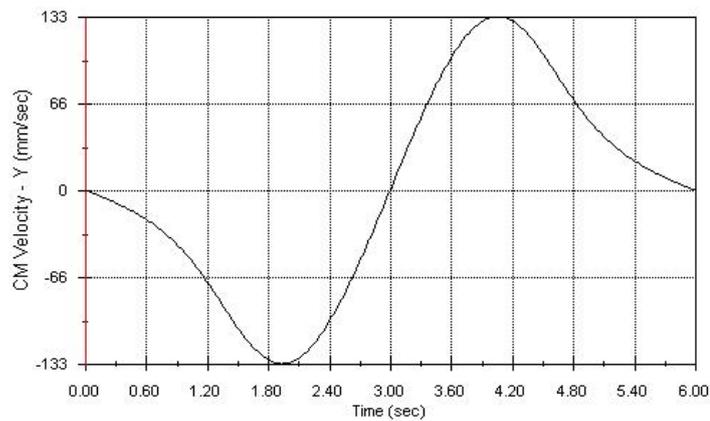


圖 5. 4 支撐桿速度-時間關係圖

表 5. 4 馬達旋轉角度-支撐桿加速度對照表

角度	加速度	角度	加速度	角度	加速度
10	-32.6209	130	70.76297	250	-33.3067
20	-36.6422	140	113.1383	260	-81.2623
30	-43.8446	150	146.096	270	-111.924
40	-54.8741	160	169.4555	277	-119.5
50	-70.2161	170	183.3716	278	-119.6
60	-89.2293	180	187.99	279	-119.6
70	-108.32	190	183.3716	280	-119.348
80	-119.348	200	169.4555	290	-108.32
81	-119.6	210	146.096	300	-89.2293
82	-119.6	220	113.1383	310	-70.2161
83	-119.5	230	70.76297	320	-54.8741
90	-111.924	240	20.43294	330	-43.8446
100	-81.2623			340	-36.6422
110	-33.3067			350	-32.6209
120	20.43294			360	-31.3321

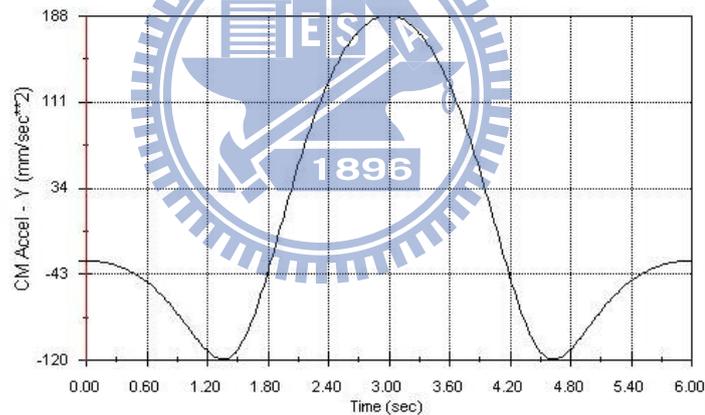


圖 5. 5 支撐桿加速度-時間關係圖

2. 爬梯機主體與地面之間的關係：爬梯的動作，是垂直於地面上下運動（即 Y 方向），來進行爬梯，因此求垂直方向的數據，可以了解使用者實際的使用狀況。爬梯的過程中，馬達轉動的前 30° 爬梯機構的支撐桿尚未接觸到地面所以數據為 0。當馬達轉動到達 180° 時，以人力來將爬梯機從最高點放到上一階梯上，此以人為方式來

控制爬梯機的方向，故動作在 30° 、 180° 為非連續性。

- ◇ 爬梯機主體位移：所得的數據以每 10° 為單位，列表如表 5. 5 所示，表中在 180° 後，因為已經完成爬上上一階的動作，所以位移皆在 160 mm 位置。繪成關係圖如圖 5. 6 所示；
- ◇ 爬梯機主體速度：所得的數據以每 10° 為單位，列表如表 5. 6 所示，表中在 180° 後，因為已經完成爬上上一階的動作，所以速度皆為 0 mm/sec，因此只有在 116° 的速度改變方向有被表現出來。繪成關係圖如圖 5. 7 所示；
- ◇ 爬梯機主體加速度：所得的數據以每 10° 為單位，列表如表 5. 7 所示，表中在 180° 後，因為已經完成爬上上一階的動作，所以速度皆為 0 mm/sec，因此只有在 82° 的加速度改變方向有被表現出來。繪成關係圖如圖 5. 8 所示。

表 5. 5 馬達旋轉角-爬梯機主體位移對照表

角度	位移	角度	位移	角度	位移
10	0.00	130	136.36	250	160.00
20	0.00	140	155.87	260	160.00
30	0.00	150	172.26	270	160.00
40	2.66	160	184.62	280	160.00
50	7.80	170	192.30	290	160.00
60	14.90	180	194.90	300	160.00
70	24.47	190	160.00	310	160.00
80	37.04	200	160.00	320	160.00
90	52.88	210	160.00	330	160.00
100	71.77	220	160.00	340	160.00
110	92.87	230	160.00	350	160.00
120	114.90	240	160.00	360	160.00

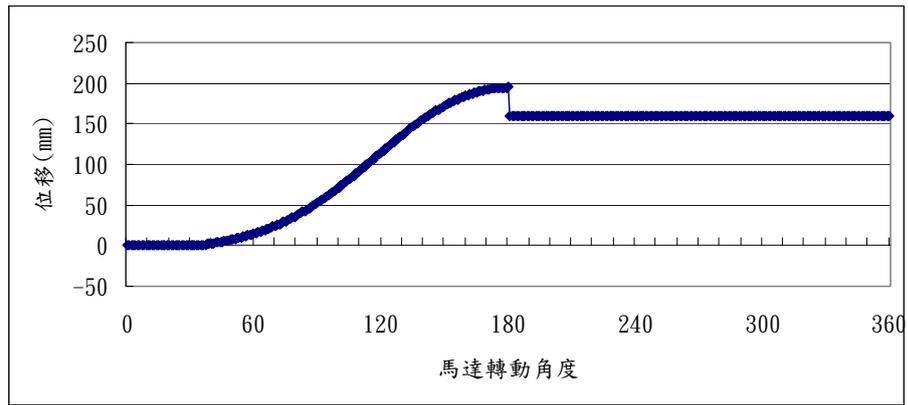


圖 5. 6 爬梯機主體位移-馬達旋轉角度關係圖

表 5. 6 馬達旋轉角-爬梯機主體位速度照表

角度	速度	角度	速度	角度	速度
10	0.00	130	124.22	243	0.00
20	0.00	140	108.77	244	0.00
30	0.00	150	87.04	245	0.00
40	25.85	160	60.61	250	0.00
50	36.22	170	31.08	260	0.00
60	49.47	180	0.00	270	0.00
70	65.97	190	0.00	280	0.00
80	85.13	200	0.00	290	0.00
90	104.72	210	0.00	300	0.00
100	121.13	220	0.00	310	0.00
110	130.84	230	0.00	320	0.00
115	132.50	240	0.00	330	0.00
116	132.56			340	0.00
117	132.53			350	0.00
120	131.91			360	0.00

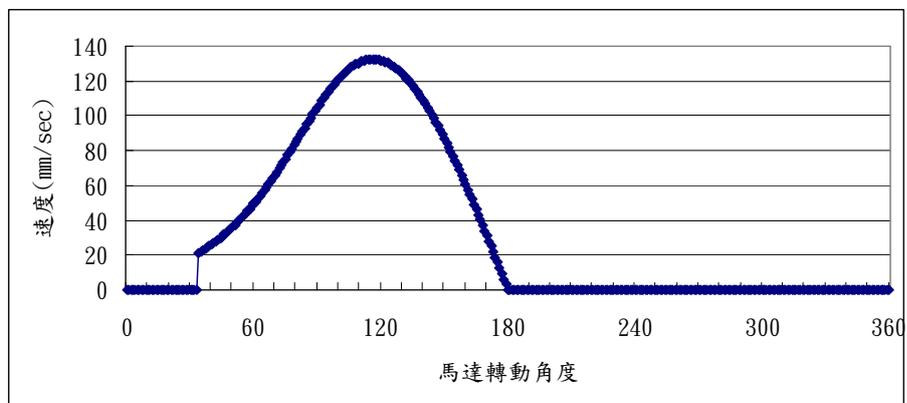


圖 5. 7 爬梯機主體速度-馬達旋轉角度關係圖

表 5. 7 馬達旋轉角-爬梯機主體加速度對照表

角度	加速度	角度	加速度	角度	加速度
10	0	130	-70.763	250	0
20	0	140	-113.138	260	0
30	0	150	-146.096	270	0
40	54.87407	160	-169.455	277	0
50	70.21612	170	-183.372	278	0
60	89.22933	180	-188	279	0
70	108.3201	190	0	280	0
80	119.3476	200	0	290	0
81	119.59	210	0	300	0
82	119.63	220	0	310	0
83	119.47	230	0	320	0
90	111.9236	240	0	330	0
100	81.26231			340	0
110	33.30665			350	0
120	-20.4329			360	0

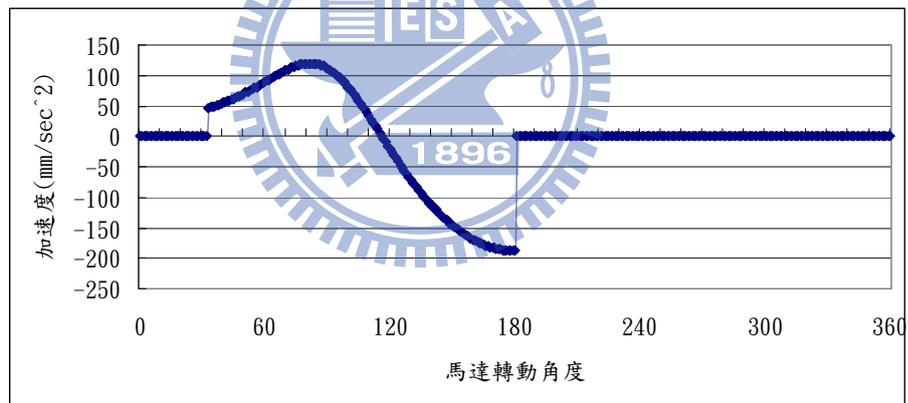


圖 5. 8 爬梯機主體加速度-馬達旋轉角度關係圖

由速度及加速度圖中可得到爬梯機構在支撐桿過了 180° 以後都為無作用狀態，而本爬梯機構則是運用這段閒置的行程，加上預力機構，以預先儲存能量，以達到分散能量的功效，及降低馬達使用功率。

5.2 CAE 靜態工程分析

爬梯機構 CAE 分析，分別進下列設定，以模擬爬梯機構操作時靜態的狀況。在模擬過程中所有爬梯機構的零組件被裁適到如表 5. 8 所示，避免其他無關的零組件妨礙運算過程。

表 5. 8 爬梯機零件一覽表

項目	品名	材質	數量
1	DU16	青銅	4
2	Support	合金鋼	2
3	Link-20-1	AISI 1020	2
4	Link-20-2	AISI 1020	2
5	Frame base	AISI 1020	2
6	Frame support	AISI 1020	2
7	frame rib	AISI 1020	2
8	LU16UU	1060 鋁合金	4
9	6-40-30NEOM-I-14	1060 鋁合金	1
10	CM09IG90SAF	1060 鋁合金	1
11	CG09B5S14	1060 鋁合金	1
12	base power	AISI 1020	1
13	shaft 20	AISI 1020	1

將推車及被搬運物品的重量設為 200kg，重量被平均分配到左右 2 組爬梯機構上，由於使用整體進行工程分析相關耗時，故將整個結構進行模型裁減，推車本體重量約 25kg，新模型也將維持原重量，並設定下列分析條件，如圖 5. 9 所示。

1. 施加荷重：扣掉推車 25kg，以 175 公斤作用於平板上，如粉紅色箭頭所示。
2. 支撐桿底部固定，模擬置於地面狀況，如綠色箭頭所示。
3. 模擬人力使推車組不傾倒，於側板設定滑動面，如綠色箭頭所示。

4. 重力向下。

模型名稱: Stair climb 990624
 標題名稱: 33A
 網格類型: 實體網格

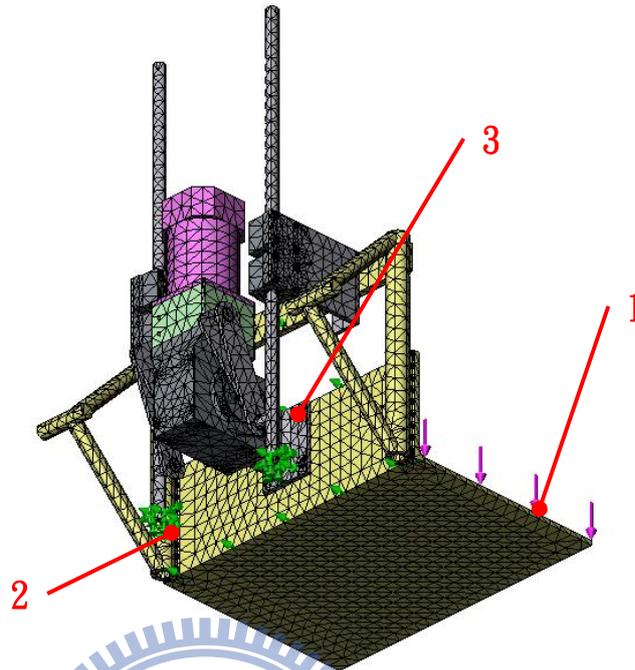


圖 5. 9 精簡模型的網格及相關設定示意

✧ 爬梯機所用的材料包括 AISI 1020、青銅、合金鋼、1060 鋁合金，以 SolidWork 的內定材料性質。如表 5. 9 所示。為避免最大的變形及發生在手推車上（手推車的體積相對大於爬梯機構），將手推車材料性質的機械特性增加 1000 倍。

表 5. 9 材料性質一覽表

	AISI 1020	青銅	合金鋼	1060 合金
彈性模數 N/m^2	2×10^{11}	1.1×10^{11}	2.1×10^{11}	6.9×10^{10}
Poisson 比	0.29	0.37	0.28	0.33
剪力模數 N/m^2	7.7×10^{10}	4.1×10^{10}	7.9×10^{10}	2.7×10^{10}
抗拉強度 N/m^2	4.2051×10^8	2.5506×10^8	7.2383×10^8	6.8936×10^7
降伏強度 N/m^2	3.5157×10^8	8.2723×10^7	6.2042×10^8	2.7574×10^7
密度 g/mm^3	7.9	8.7	7.7	2.7

於進行升降動作時，分析下列角度的分解動作所產生的應力及變形，

如圖 5. 10 ~ 圖 5. 15 所示：

- ◇ 主動桿旋轉至 33° 時，支撐桿開始接觸地面。
- ◇ 主動桿旋轉至 98° 時，支撐桿加速度最快，表示受力最大。
- ◇ 主動桿旋轉至 180° 時，支撐桿將離開地面。

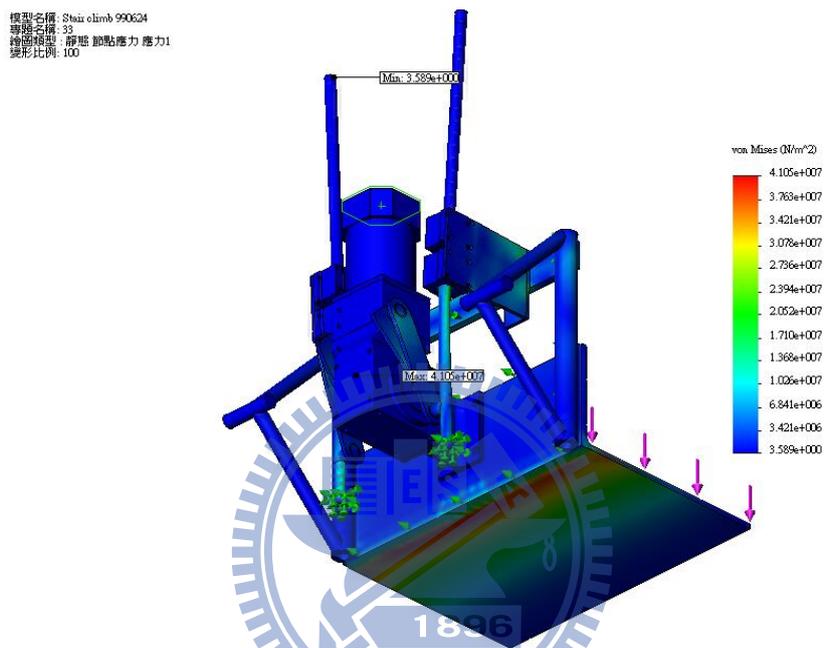


圖 5. 10 爬梯機構於 33° 時的靜態負荷，應力狀況示意圖

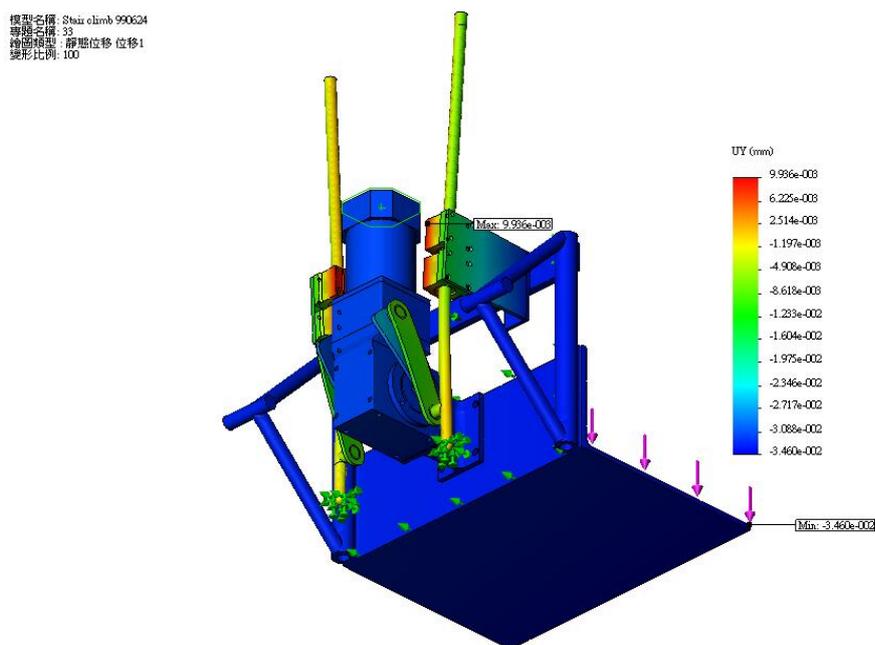


圖 5. 11 爬梯機構於 33° 時的靜態負荷，變形狀況示意圖

模型名稱: Stair climb 990624
 專題名稱: 98
 繪圖類型: 靜態 節點應力 應力1
 變形比例: 100

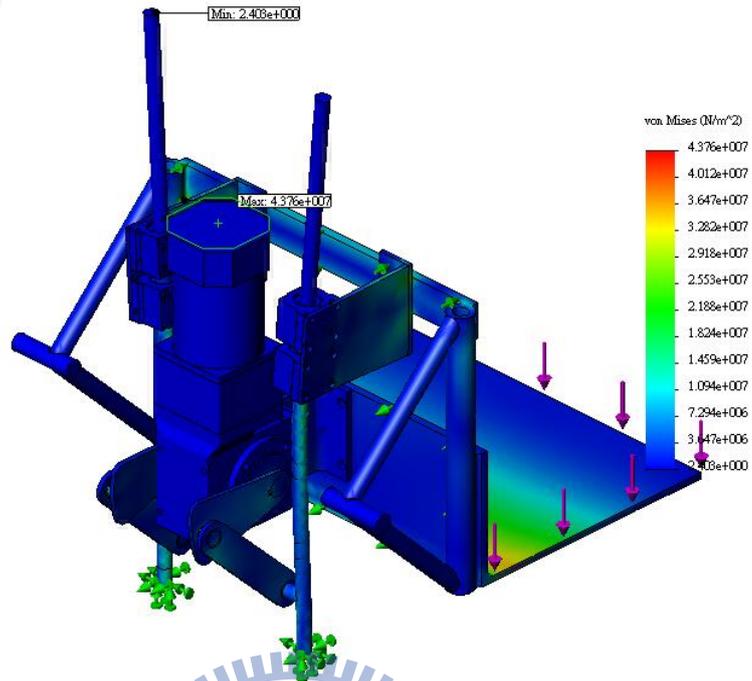


圖 5. 12 爬梯機構於 98° 時的靜態負荷，應力狀況示意圖

模型名稱: Stair climb 990624
 專題名稱: 98
 繪圖類型: 靜態位移 位移1
 變形比例: 100

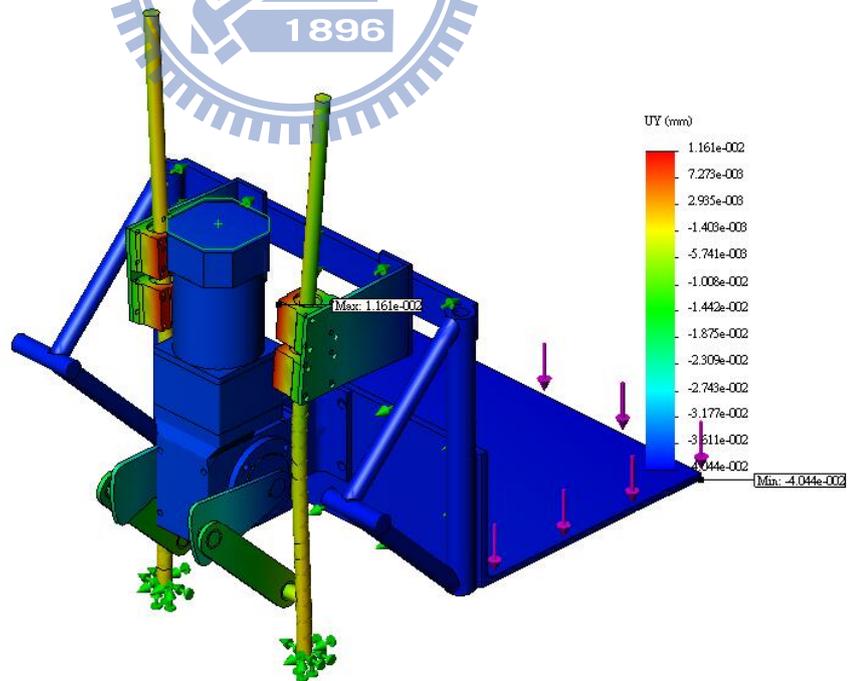


圖 5. 13 爬梯機構於 98° 時的靜態負荷，變形狀況示意圖

模型名稱: Steir climb 990624
 專題名稱: 180
 繪圖類型: 靜態 節點應力 應力1
 變形比例: 100

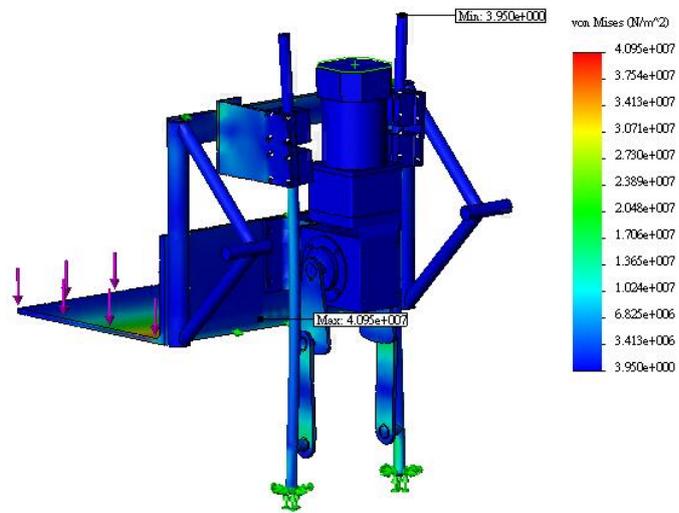


圖 5. 14 爬梯機構於 180° 時的靜態負荷，應力狀況示意圖

模型名稱: Steir climb 990624
 專題名稱: 180
 繪圖類型: 靜態位移 位移1
 變形比例: 100

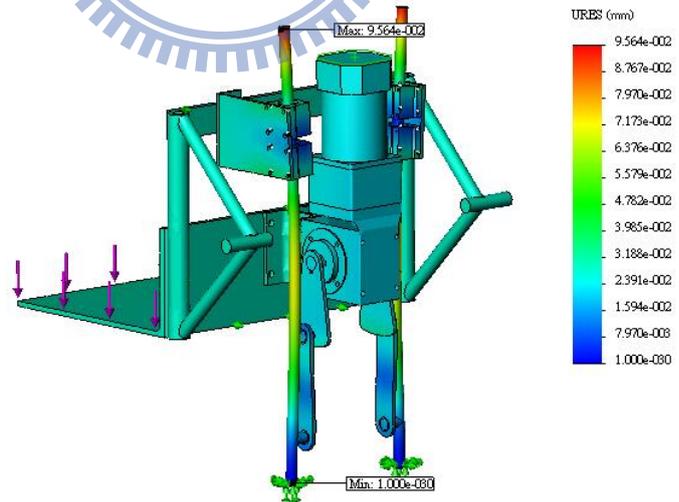


圖 5. 15 爬梯機構於 180° 時的靜態負荷，變形狀況示意圖

在經由 COSMOSWorks 模擬後所得的數據整理，如表 5. 10 所示。在實物上，爬梯機的動作在 33°~180°，其它角度皆為空行程，爬梯機構無受力，故忽略不計。

表 5. 10 爬梯機構的最大應力及最大變形值。

角度	最大應力 N/mm ²	最大變形 mm
33°	4.10464e+007	0.0099362
98°	4.37641e+007	0.011611
180°	4.09509e+007	0.0956358

5.3 CAE 動態工程分析

5.3.1 結構剛性分析

爬梯機構 CAE 分析，除了在上述四個角度的靜態負荷外，也有其他角度的負荷。此外還有其在運動狀態下的動態負荷。其對結構的負擔較大於其他靜態角度的影響，故也針對動態狀態下的負荷狀況進行 CAE 分析。依據牛頓第二運動定理

$$\Sigma F = \Sigma m \Sigma a \quad (5.1)$$

將上表所得的各象限角於運動時的加速度乘上重量。預計重量為 200 kg，因有 2 組支撐桿，每組各分擔 100kg，在 CosmosWorks 中，在原有的 200kg 之外，再分別加上爬梯動作時加速度所產生的新負荷，及馬達傳動軸轉動時的扭力 200Nm，重新執行 FAE，其結果如圖 5. 16 ~ 圖 5. 21 所示：

模型名稱: Stair climb 990624
 專題名稱: 33T
 繪圖類型: 靜態節點應力 應力1
 變形比例: 100

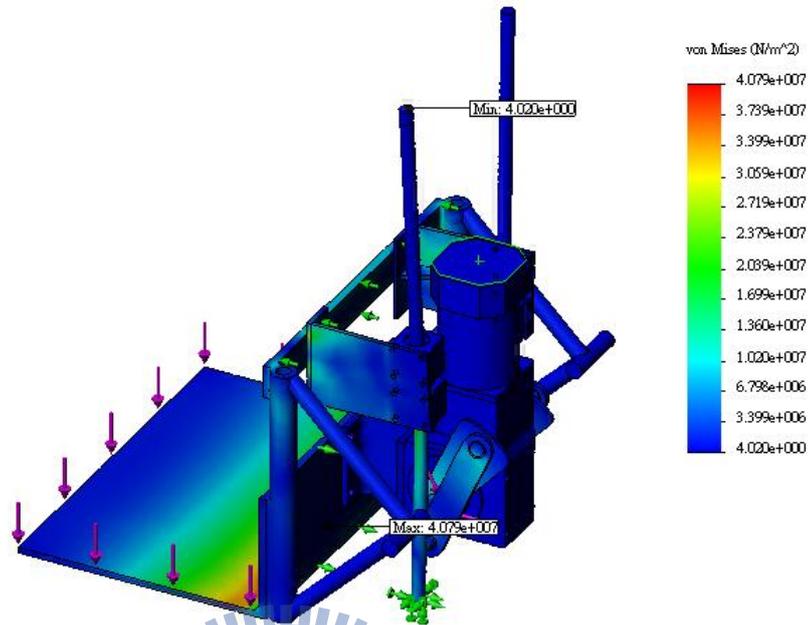


圖 5. 16 爬梯機構於 33° 時的動態負荷，應力狀況示意圖

模型名稱: Stair climb 990624
 專題名稱: 33T
 繪圖類型: 靜態位移 位移1
 變形比例: 100

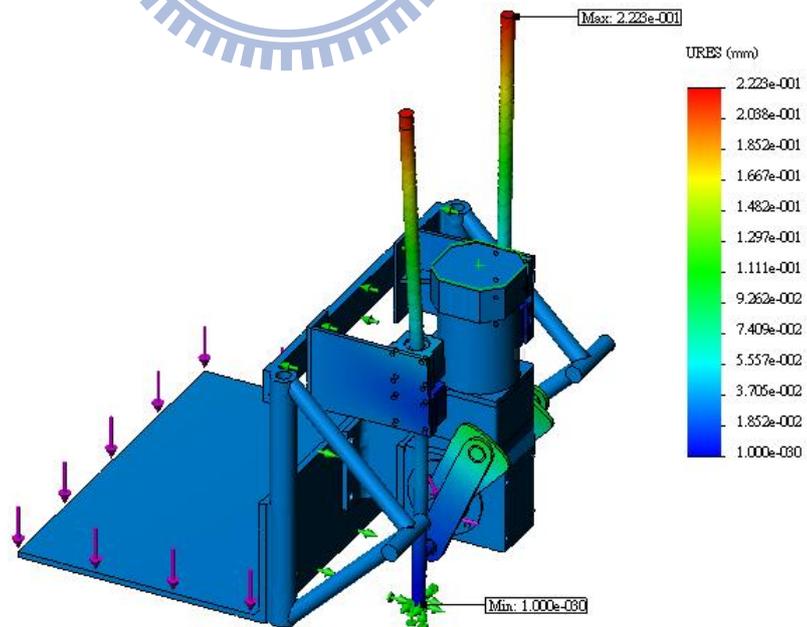


圖 5. 17 爬梯機構於 33° 時的動態負荷，變形狀況示意圖

模型名稱: Stair climb 990624
 專題名稱: 98T
 繪圖類型: 靜態 節點應力 應力1
 變形比例: 100

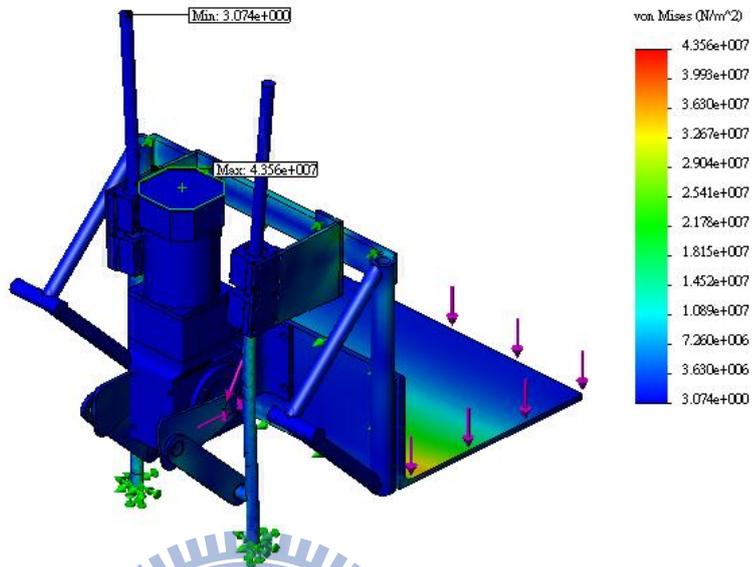


圖 5. 18 爬梯機構於 98° 時的動態負荷，應力狀況示意圖

模型名稱: Stair climb 990624
 專題名稱: 98T
 繪圖類型: 靜態 位移 位移1
 變形比例: 100

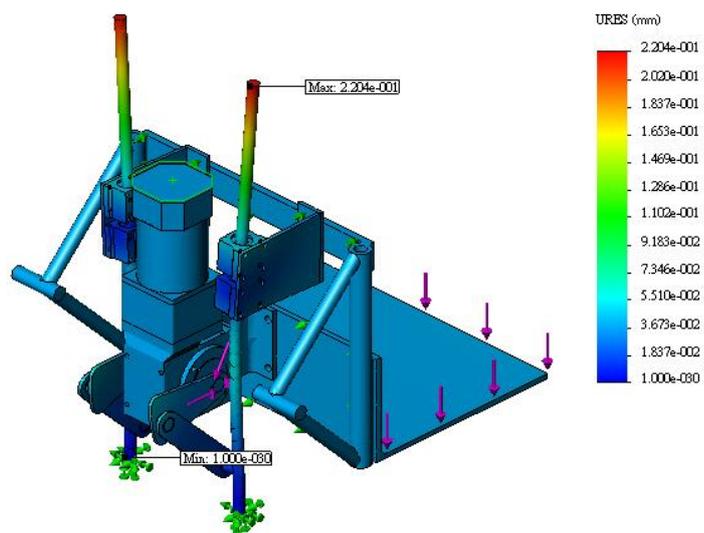


圖 5. 19 爬梯機構於 98° 時的動態負荷，變形狀況示意圖

模型名稱: Steir climb 990624
 專題名稱: 180T
 繪圖類型: 靜態 節點應力 應力1
 變形比例: 100

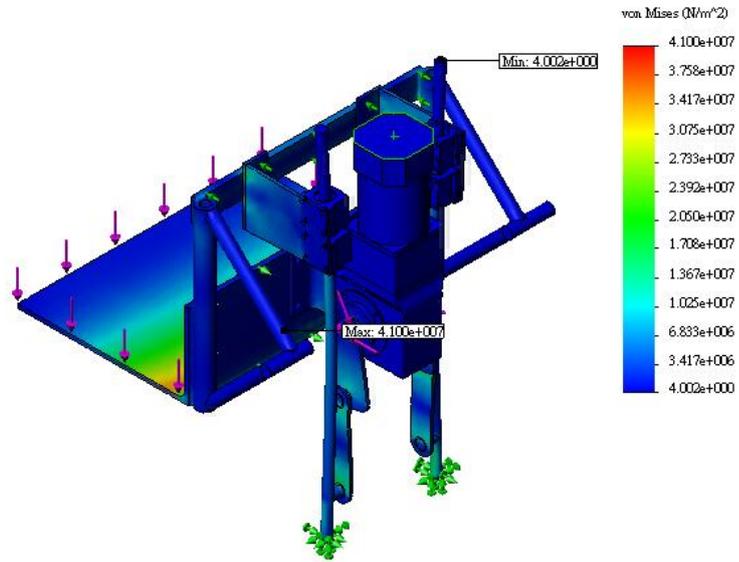


圖 5. 20 爬梯機構於 180° 時的動態負荷，應力狀況示意圖

模型名稱: Steir climb 990624
 專題名稱: 180T
 繪圖類型: 靜態位移 位移1
 變形比例: 100

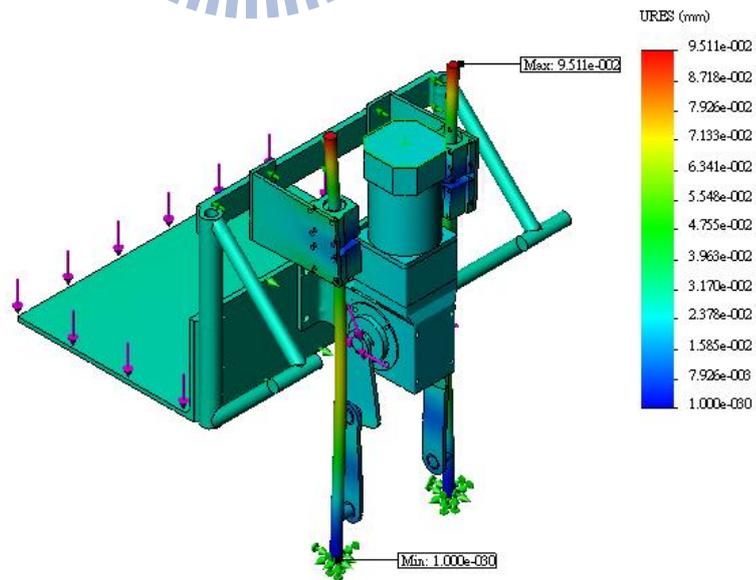


圖 5. 21 爬梯機構於 180° 時的動態負荷，變形狀況示意圖

將 COSMOSWorks 模擬後所得的數據整理如表 5. 11 所示，加上動態負荷及馬達扭矩後，結果將更貼近於真實狀況。同上節所述，空行程部分，數據皆為 0 則不表示出來。

表 5. 11 爬梯機動態時於最大應力及最大變形值

	最大應力 N/mm ²	最大變形 mm
33°	4. 07868e+007	0. 222285
98°	4. 35611e+007	0. 220391
180°	4. 10006e+007	0. 095109

5. 3. 2 彈簧力反作用力分析

在此次研究中，利用 TRIZ 的發明原理所導引出的創新部份為「10 預先動作」將能量儲存於爬梯機動作的空行程上。本研究將以增加彈簧方式來進行，是最簡便的預力方式。

將與彈簧相關機構簡化為彈簧外加 2 端各一個平板，以利 CAE 分析，以彈簧受力後的狀況以求出彈簧 k 值。分別進下列設定，如圖 5. 22 所示：

- ◇ 材料為合金鋼，
- ◇ 一端拘束固定，
- ◇ 另一端沿著軸向施加 1N 的外力，以模擬受力狀況，
- ◇ 線徑 $\varphi 2$ ，
- ◇ 節圓直徑 $\varphi 23$ 。

模型名稱: Spring simulate-spring1
 模型名稱: Spring simulate
 網格類型: 實體網格

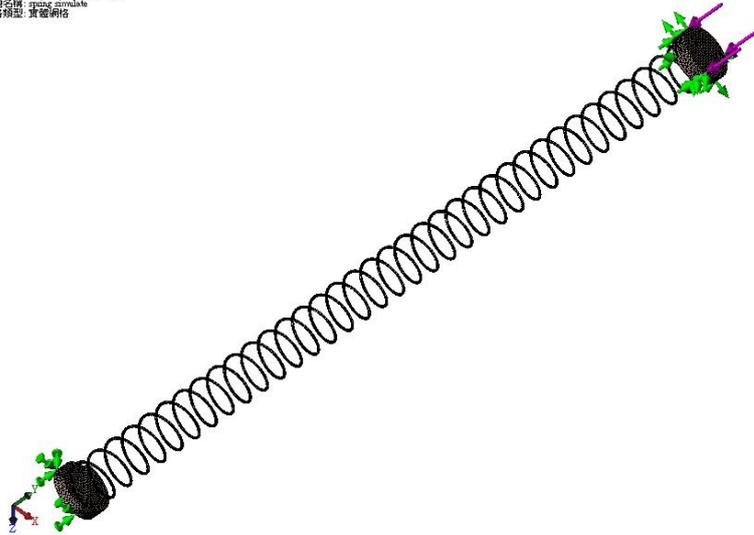


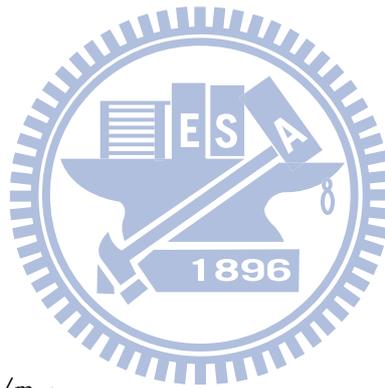
圖 5. 22 彈簧模擬設定及網格示意圖

執行 CAE 分析後，得到沿著軸向變形量為 1.66mm，如圖 5. 23 所示。

彈簧 k 值為

$$k = \frac{F}{x}$$

$$k = \frac{1}{1.66}$$



(5. 2)

所以 k 值為 602 N/m。

模型名稱: Spring simulate
 模型名稱: Spring simulate
 網格類型: 靜態位移 位移1
 變形比例: 22.2x23

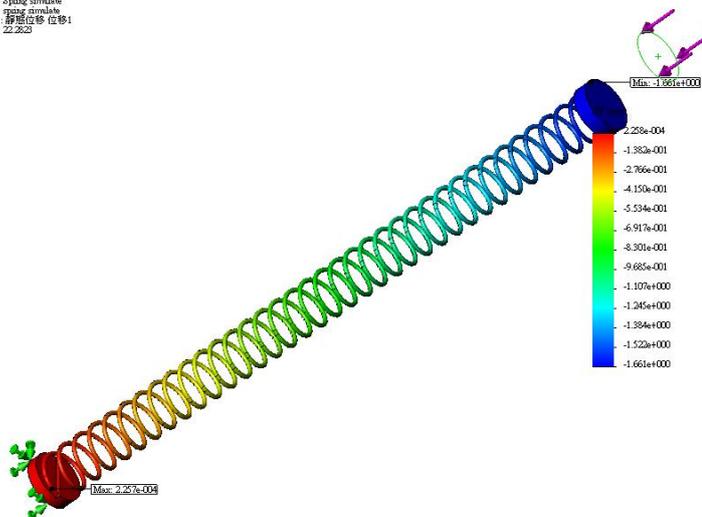


圖 5. 23 受力位移示意圖

依照上面方式，在施力 1N 及節圓直徑 18mm 不變之下，分別求出不同線徑的 $\phi 1.6$ 、 $\phi 1.8$ 、 $\phi 2.3$ 、 $\phi 2.5$ 的 k 值，以了解不同線徑對爬梯機構的影響狀況。將所得數據整理如表 5. 12、圖 5. 24 所示。由表中可知，線徑越大、k 值越大。

表 5. 12 彈簧在不同線徑的 k 值比較表

線徑 (mm)	變形量 (mm)	k 值 (N/m)
1.6	3.81245	262
1.8	2.43374	411
2	1.66051	602
2.3	0.99171	1008
2.5	0.703798	1421

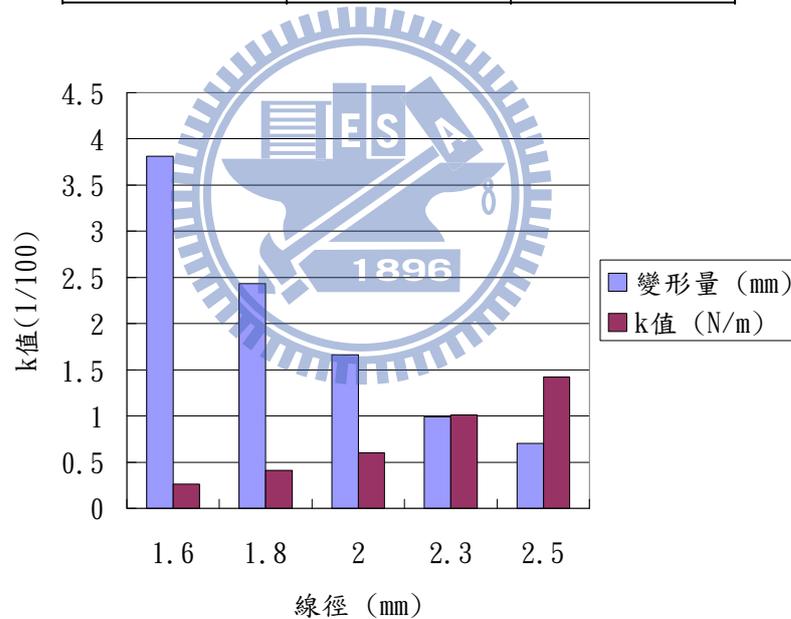


圖 5. 24 彈簧在不同線徑的變形量、k 值比較圖

在實際的運用上，我們需要得到彈簧在爬梯機構會產生多少力，求彈簧的總作用力，以 k 值乘上彈簧作動的距離 0.2 m。如下式

$$F = kx \quad (5.3)$$

$$F = 602 * 0.2$$

得 F 彈簧力為 12.3kg。此機構總共有 2 組彈簧，因此可以減少約 25kg 的荷重負擔。

再分別求出不同線徑的 $\phi 1.6$ 、 $\phi 1.8$ 、 $\phi 2.3$ 、 $\phi 2.5$ 行程 200mm 時的彈簧力。以了解不同線徑對爬梯機構的影響狀況。將所得數據整理如表 5.

13、圖 5. 25 由表中可知，線徑越大、彈簧力越大。

表 5. 13 彈簧在不同線徑的彈簧力比較表

線徑 (mm)	變形量 (mm)	彈簧力 (kg)
1.6	3.81245	5
1.8	2.43374	8
2	1.66051	12
2.3	0.99171	20
2.5	0.703798	28

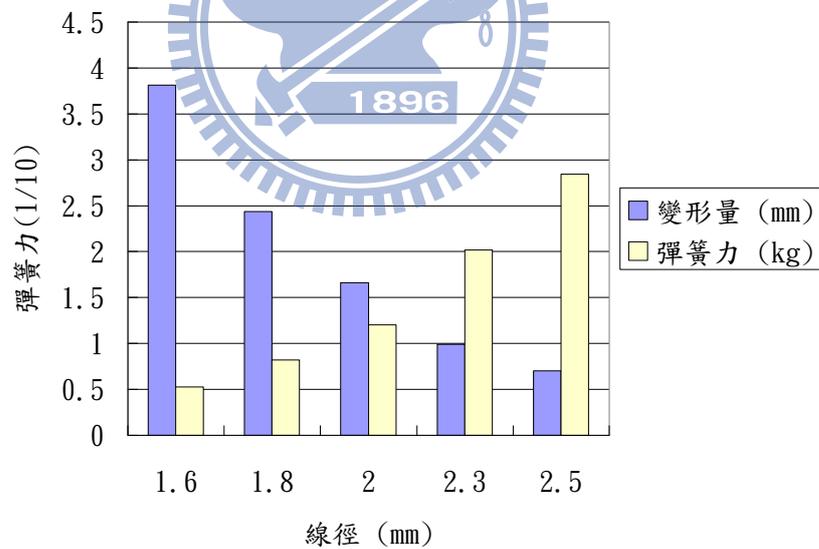


圖 5. 25 彈簧在不同線徑的變形量、彈簧力比較圖

5.4 馬達荷重分析

爬梯機的動力來源為以直交流 110V 馬達，加上齒輪減速機，以產生 90W、10rpm 的動力 [48]，以 COSMOSMotion 進行動力模擬，以了解狀況動力驅動後，爬梯機構的動力狀況，相互間的動作關係，設定如圖 5. 2、表 5. 15 之外，再增加下列設定以進行動力負載模擬：

1. 支撐桿向上的外力各 100 公斤，模擬負載 200 公斤的狀態。
2. 馬達軸 90W 的旋轉負載。

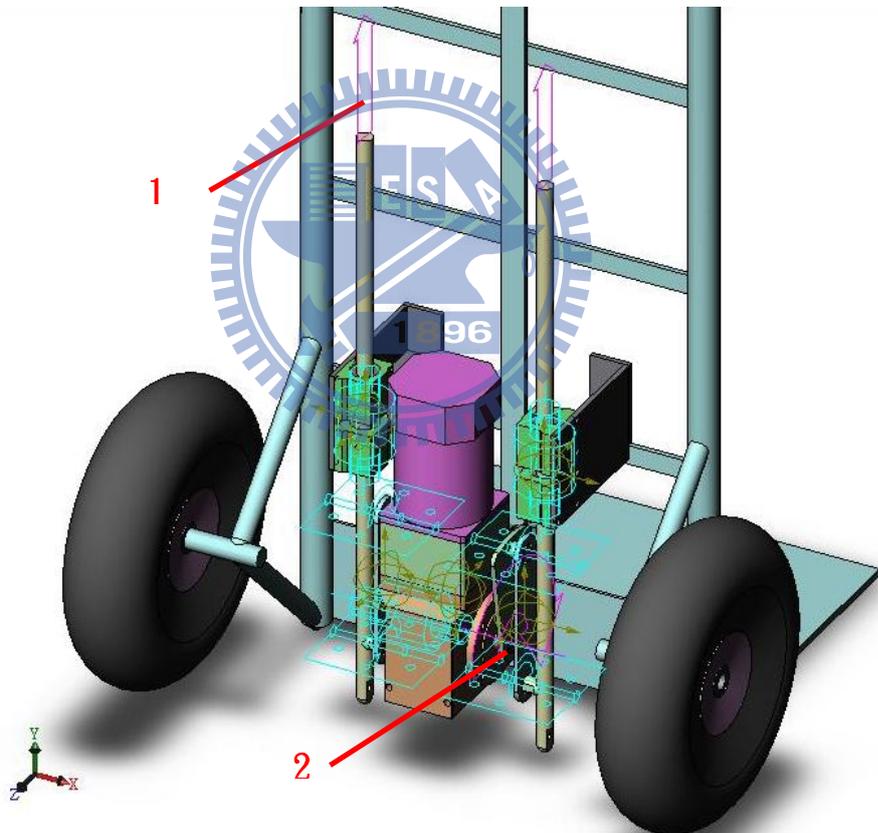


圖 5. 26 動力模擬負載示意圖

爬梯機只在 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 的動作有實際負載，模擬支撐桿相對於爬梯機的相對關係，得到支撐桿位移關係如圖 5. 27 所示，得知約在 0.04 秒時，支撐桿轉到 180° ，已經到達頂點；於支撐桿速度關係如圖 5. 28 所示，在過了

0.04 秒後，速度就急速往反方向回歸；在支撐桿加速度關係如圖 5. 29 所示，在過了 0.04 秒後，加速度也急速往反方向回歸。顯示馬達轉動方向與荷重方向相同所以形成此現象。由可得知 90W 的動力可以順利驅動 200 公斤的負載。

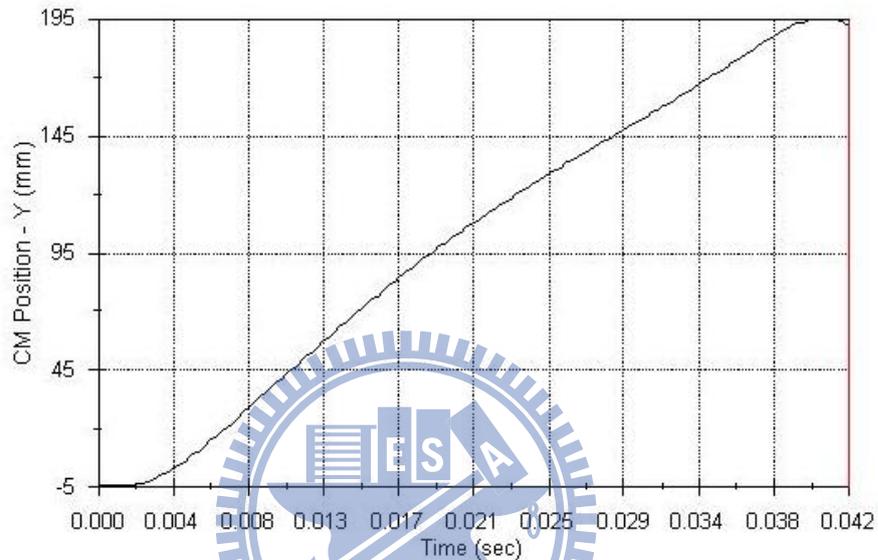


圖 5. 27 支撐桿在動力模擬時的位移-時間對照圖

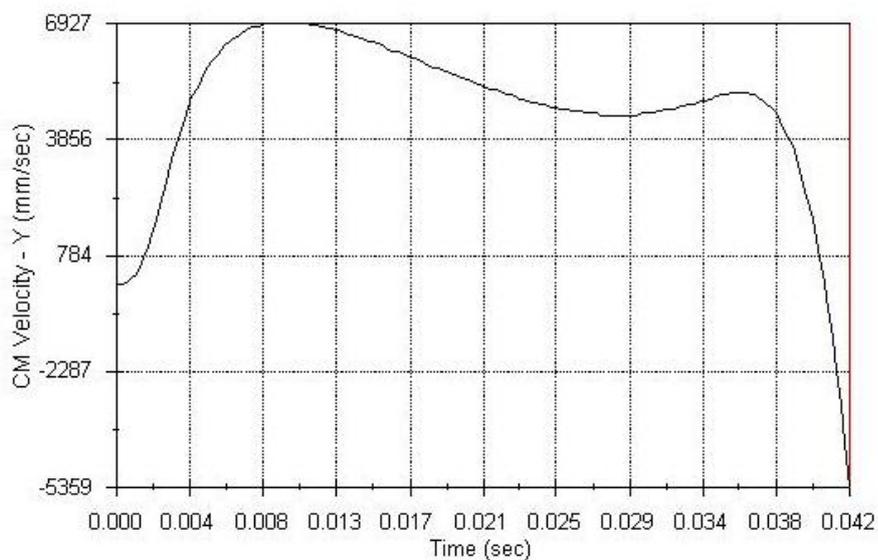


圖 5. 28 支撐桿在動力模擬時的速度-時間對照圖

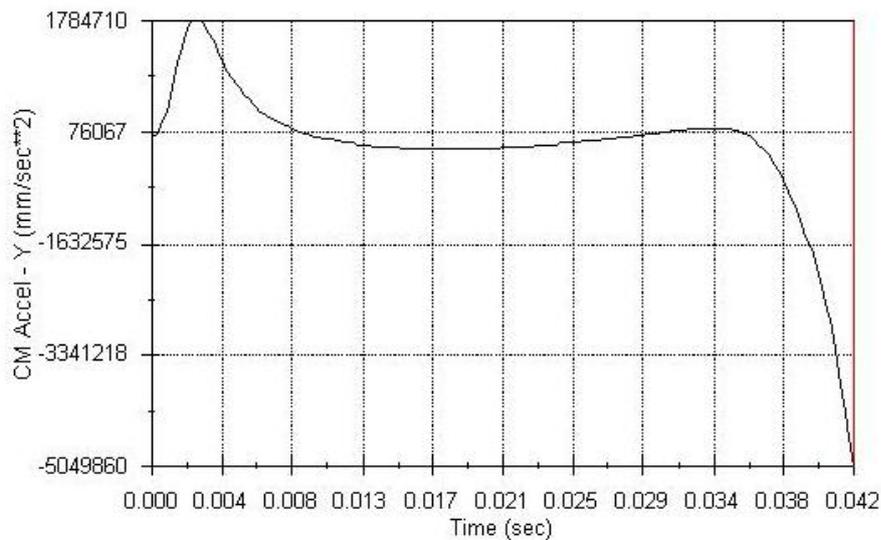


圖 5. 29 支撐桿在動力模擬時的加速度-時間對照圖

5.5 挫曲分析

在上列的強度測試中，結構的強度足以負載結構本身重量及所要承載的重量，即其應力 $\sigma = \frac{P}{A} < \sigma_{all}$ 。但支撐桿為長柱形狀，會在受到軸向力時，

在尚未達到材料的極限強度即發生側彎變形，此變形 $\delta = \frac{PL}{AE} < Specification$ ，

尚在材料可接受應變範圍內，且及在此部位材料強度會急遽衰弱而造成破壞。即為挫曲(Buckling)。造成挫曲的最大負載為臨界載重(Critical Load)

$P_{cr} = \frac{kL}{4} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$ ，即是中性平衡。由此可之挫曲與材料強度無關。J. E. Akin

用挫曲負載係數 (Buckling load factor, BLF) 來判斷材料是否會挫曲，

為臨界載重與荷重的比例，如下式所示 $BLF = \frac{P_{cr}}{P}$ 。判別方式如表 5. 14 所

示 [53]。

表 5. 14 挫曲負載係數說明表

BLF 值	挫曲狀況	註記
$0 < BLF < 1$	預計會挫曲	施加負載超過預計臨界載重。挫曲將發生。
$BLF = 1$	預計會挫曲	施加負載等於預計臨界載重。預計會挫曲。
$-1 < BLF < 0$	可能會挫曲	若反轉負載方向。預計會挫曲。
$BLF = -1$	可能會挫曲	若反轉負載方向。預計會挫曲。
$1 < BLF$	預計不會挫曲	施加負載小於預計臨界載重。
$BLF < -1$	預計不會挫曲	施加負載小於預計臨界載重。既使若反轉負載方向。

本機構在整個操作過程中，在 180° 時為伸長量最多的階段，且在工程分析中，支撐桿在 180° 時也有比較大的變形，故在 180° 進行挫曲模擬。得到 2 種模態如圖 5. 30、圖 5. 31 所示，其 BLF 分別為 68、151 皆大於 1，因此無挫曲的狀況。

模型名稱: Shear climb
 釋放名稱: 180 BLF
 繪圖模態: 挫曲 變形1
 模態 1 負載係數 = 68.28
 變形比例: 2.9043

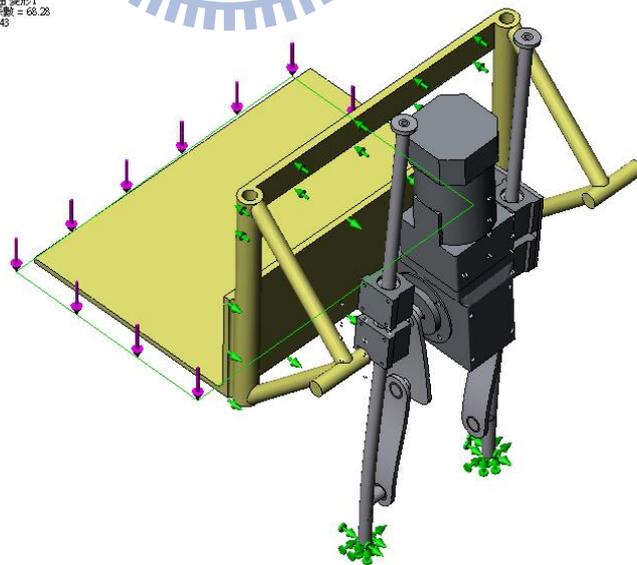


圖 5. 30 爬梯機構於 180° 時，模態一的挫曲狀況示意圖

模型名稱: Stair climb
標題名稱: 180 度 F
繪圖類型: 扭曲 變形 2
模態 2 負載位移 = 151.23
變形比例: 5.16666

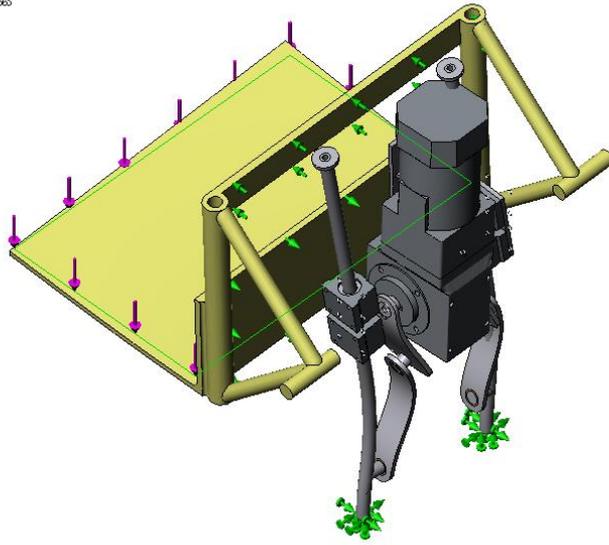
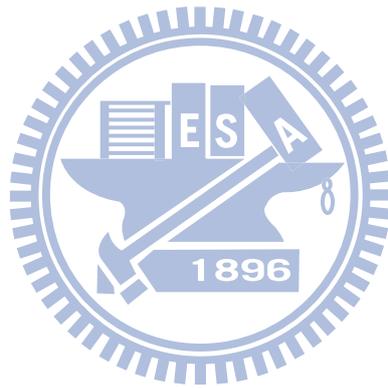


圖 5. 31 爬梯機構於 180° 時，模態二的扭曲狀況示意圖



第六章 實作及功能驗證

第四章以設計理論所設計的節能型式支撐桿爬梯機構，經由第五章的工程分析驗證是可行的。本章將以縮小版本的實物進行實際測試，證明同樣的馬達，在經過新設計後可以增加輸出的功率。

6.1 實作

6.1.1 第一次實作測試

組合下列的零件，建構縮小版的爬梯機。

- ◇ 市購伸縮可摺疊式手推車[54]為負載平台，如圖 6.1 所示。
- ◇ 市購直線軸承[55]、
- ◇ 市購馬達減速機 40W、10rpm[56]、
- ◇ 市購壓縮彈簧、
- ◇ 市購螺絲、螺帽、墊圈…等五金零件、
- ◇ 機械加工零件，包括馬達座、直線軸承座、支撐桿本體座、支撐連桿組，及相關軸心軸套。



圖 6.1 手推車外型圖

縮小的模型的材料配合市購品來組裝，並且以最基礎的機械加工零件進行，在第一次的實驗過程中，爬梯機構受到損傷，分析其原因：

- ◇ 馬達座、直線軸承座皆以鈹金彎折而成，彎折的角度未達到 90° ，造成支撐桿的直線往復運動平行度，同步性不足。
- ◇ 直線軸承的形式只有 2 個固定孔，鎖固力不足，造成支撐桿的直線性定位不足。
- ◇ 模型縮小過程中，尺寸考量不足，馬達座、直線軸承座、支撐桿本體座、及支撐桿的強度不足。
- ◇ 為增加機械加工的方便性，材料規格選用不足，造成強度不足。
- ◇ 以及相關機械加工件的公差配合過大，造成結構的同步狀況不足。

因此造成 2 組支撐桿的爬梯動作有不同步的狀況產生，而造成不均勻的損傷。如圖 6. 2 所示，直線軸承無法穩定的鎖固於固定座上。圖 6. 3 所示，右側支撐桿變型往手推車外側變形，左側支撐桿變型往手推車內側變形，顯示兩支支撐桿的受力狀況不均勻。以第一次實作的經驗為借鏡，再修正以進行第二次的實驗。

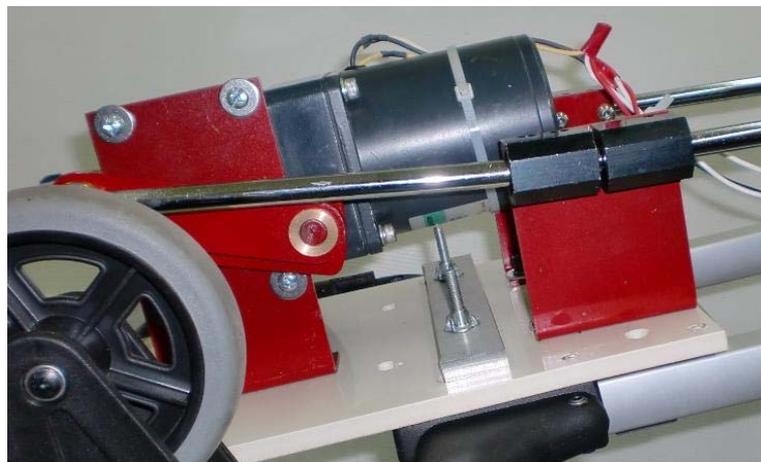


圖 6. 2 支撐桿及軸承座變形



圖 6. 3 不均勻的變形

6.1.2 第二次實作測試

新版的爬梯機針對第一次實驗的問題，進行了下列補強措施，再進行試驗。

- ◇ 馬達座及直線軸承座增加材料厚度，以增加座的剛性，折彎接近 90° ，螺絲固定孔則由雷射切割改為以機械加工，增加螺絲孔的定位精度。
- ◇ 加大直線軸承規格，螺絲孔由 2 孔改為 4 孔 [57]，增加鎖固力，進而增加桿件的定位性，使整體不因為動作而產生位移。
- ◇ 支撐桿固定座材料由塑鋼改為鋁合金，維持輕量化的結構。



圖 6. 4 修改後爬梯機

- ◇ 支撐桿材料由鐵棒改回合金鋼棒。
- ◇ 控制盒置於爬梯機手持部份以方便操作，如
- ◇ 圖 6. 4 所示。

實驗分為下列 2 種構造進行，無彈簧預力如圖 6. 5~圖 6. 6 所示。及有彈簧預力如圖 6. 7~圖 6. 8 所示。



圖 6. 5 無彈簧預力側視圖



圖 6. 6 無彈簧預力正視圖



圖 6. 7 有彈簧預力側視圖

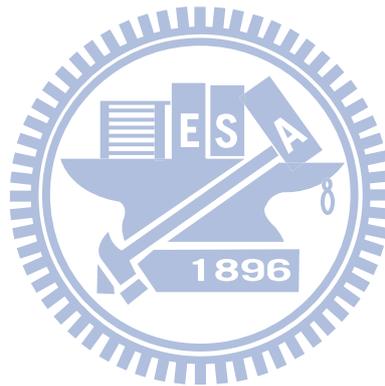
圖 6. 8 有彈簧預力正視圖

6.2 功能驗證

爬梯機分別測試荷重及爬梯 2 種功能，以驗證預力機構的節能狀況，及以支撐桿的爬梯狀況，測試過程及結果如下列述。

6.2.1 荷重測試

爬梯機分別測試有裝彈簧與未裝彈簧 2 種形式的荷重狀況差異，測試流程如圖 6. 9 所示，於手推車上放上荷重物，實際測得爬梯機的負荷情形。



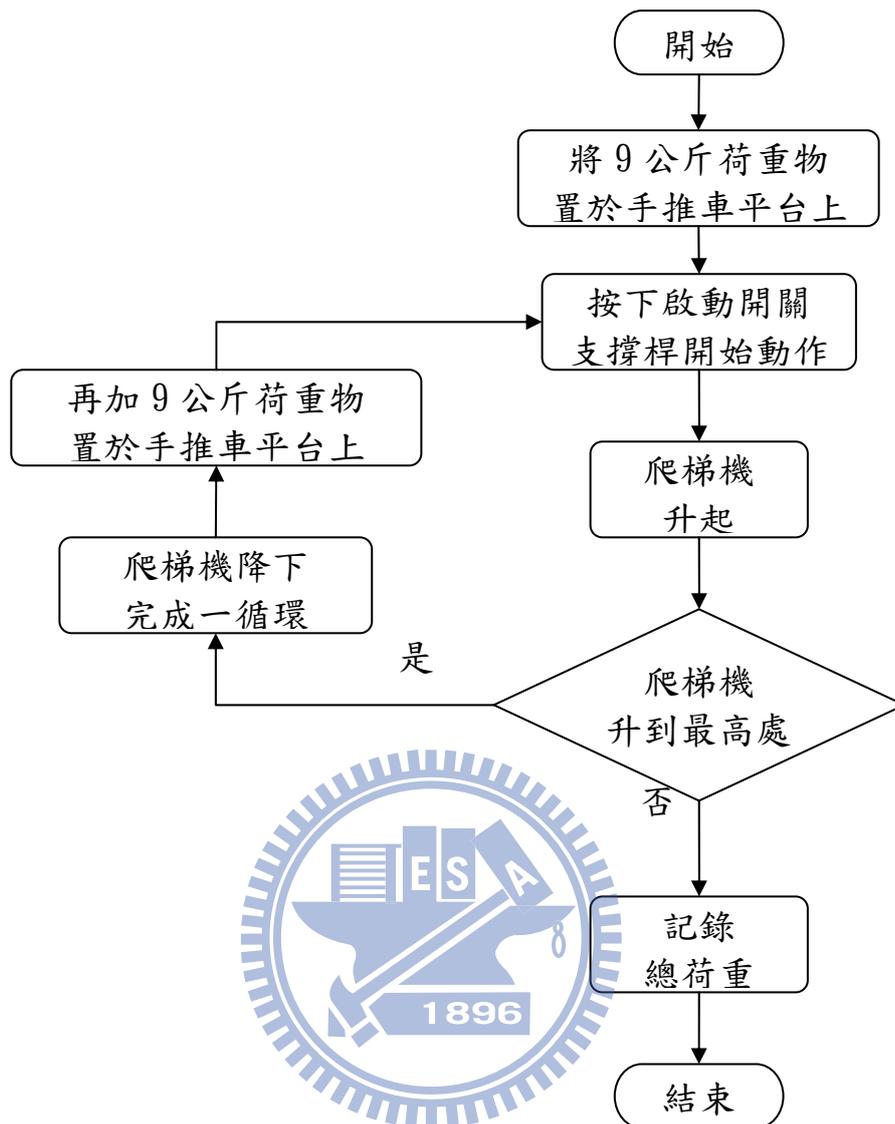


圖 6. 9 爬梯機荷重測試流程

測試情況如圖 6. 10 所示，以每箱 9 公斤的飲料依序堆疊於手推車的平台。得到的數據及負載內容整體如表 6. 1 所示。



圖 6. 10 爬梯機荷重測試

表 6. 1 爬梯機荷重測試比較

構型	最大荷重	負荷內容
未裝彈簧	62 kg	每箱 9 公斤飲料 4 箱、 啞鈴 9 公斤 1 個、 爬梯機 17 公斤。
有裝彈簧	71 kg 以上	每箱 9 公斤飲料 5 箱、 啞鈴 9 公斤 1 個、 爬梯機 17 公斤。

上述測試，因為市購品的手推車最大負荷為 65 公斤（150 英磅），為避免損害手推車結構，故上表中的有裝彈簧部分只測試到 71 公斤，但可知負荷仍然可以再往上加。再與市面上的產品略做比較，一般的產品約相當於

1W 可以負荷 1 公斤，詳表 2. 1。而本研究的機構則 1W 可能負荷 1.5 公斤以上。由實驗可知加上彈簧（預力裝置）後，有較大的荷重表現。

6.2.2 爬梯測試

依照先前原理所得的支撐桿式爬梯機，測試其爬梯功能，

1. 按下操作盒的啟動按鈕，驅動馬達動作，使支撐桿伸出。
2. 支撐桿升至最高位置，如圖 6. 11 所示，放開按鈕，停止馬達動作，
3. 再將爬梯機傾放於階梯上，如圖 6. 12 所示，則爬梯機本體已經完全到達上一階。
4. 按下操作盒的按鈕，讓支撐桿收回至機構內，完成爬梯的動作。



圖 6. 11 爬梯機撐起狀態

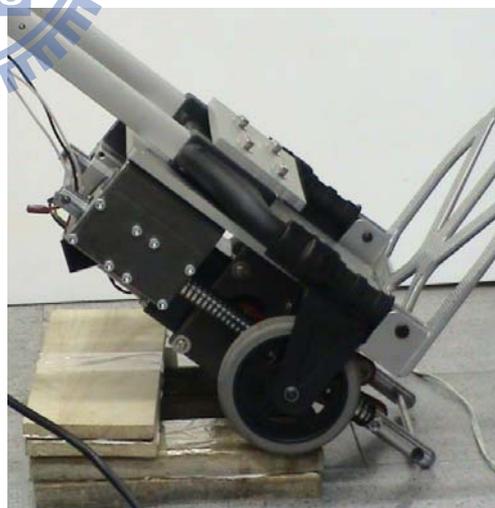


圖 6. 12 爬梯機完成爬梯動作

經由上列測試，可以得知爬梯機可以在高負載下完成爬梯動作，其與一般的手推車的差異，在於手推車在一般平地，人力的操作可能輕易到達 50 公斤以上，但爬階梯時則需要視每個人的體力而定，另外既使體力較大

的人雖然可能以負荷較大的重量，但在爬梯過程中，接近將爬完一階的臨界點時，如圖 6. 13 所示，手推車的荷重會由全荷重，瞬間下降，導致手推車的操作不穩定，發生碰撞而發生危險，或是搬運物品因碰撞而自手推車散落。因此加上爬梯機構可以避免這樣的風險發生。



圖 6. 13 直接以手推車爬階梯快到臨界點的情況

6.3 實驗機 CAE 驗證

將製作實驗機的 SolidWorks 的 3D 模型，以 COMOSWorks 進行爬梯機的支撐桿在 180° 狀態的工程分析，除了載重改為 70 公斤外，皆以 5.3.1 節的設定方式，如圖 6. 14 所示。分別得到最大的應力為 $5.21924e+007 \text{ N/m}^2$ ，如圖 6. 15 所示，應力小於 AISI 1020 的降伏強度 $3.5157e+007 \text{ N/m}^2$ ，如表 5. 9 所示。最大變形 0.0156073 mm 如圖 6. 16 所示。與前一章的分析模擬比較，如表 6. 2 所示，顯示前一章的模擬方式可以運用。

模型名稱: 40W-20-CAE
專題名稱: 專題1
網格類型: 實體網格

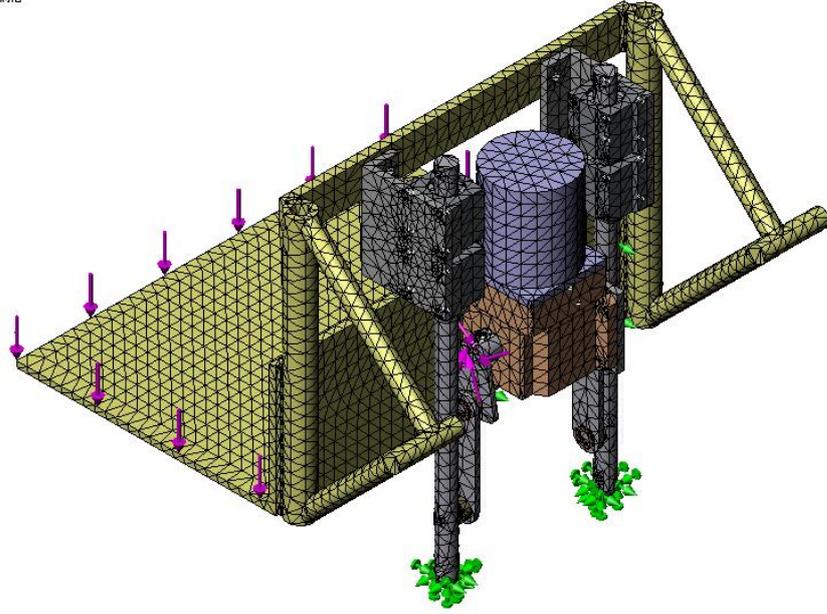


圖 6. 14 實驗機的 CAE 設定狀態

模型名稱: 40W-20-CAE
專題名稱: 專題1
繪圖類型: 靜態 節點應力 應力1
變形比例: 300

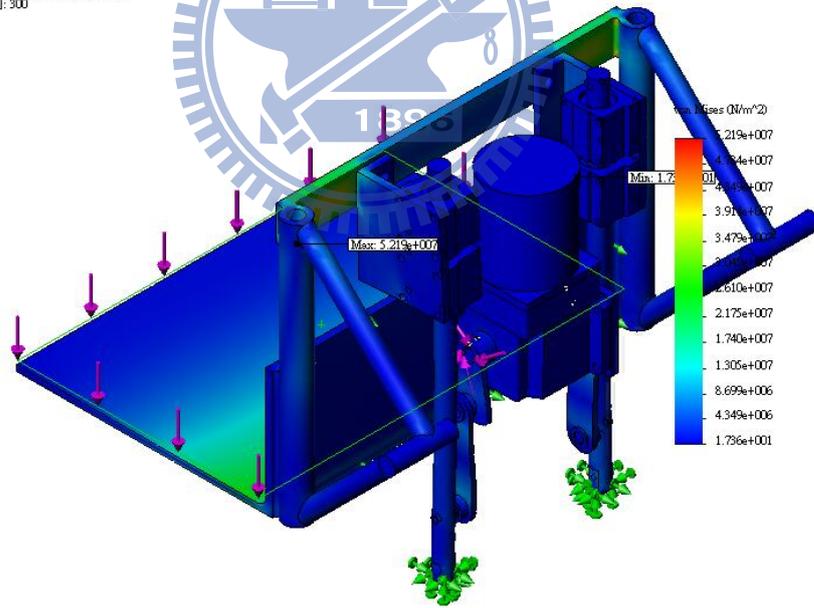


圖 6. 15 實驗機在 180° 的應力狀況示意圖

模型名稱: 40W-2D-CAE
 零件名稱: 導繩1
 繪圖類型: 靜態位移 位移1
 變形比例: 100

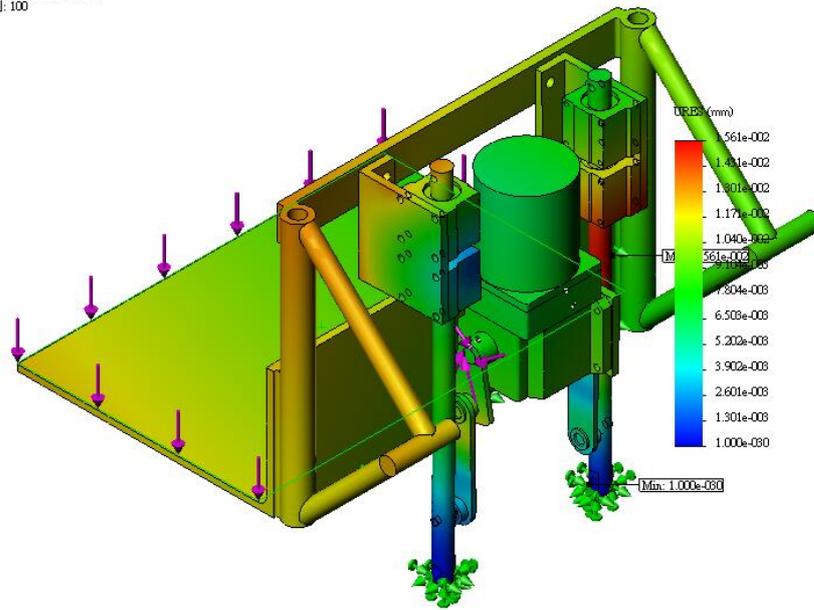


圖 6. 16 實驗機在 180° 的變形狀況示意圖

表 6. 2 爬梯機在 180° 時 CAE 結果的比較

載重	最大應力 N/mm ²	最大變形 mm
70kg	5.21924e+007	0.015607
200kg	4.10006e+007	0.095109

6.4 討論

在現有的產品中，爬梯機自成一套迴路系統，由電池來供應其動力源，會消耗馬達功率的地方，除了荷重物之外，爬梯機及馬達本身的重量也是一個荷重來源，造成動力源加速的消耗。因此已預先儲存能量，將動力分散，不使馬達在特定時間點有大的輸出功率，即表示可以減小馬達功率，相對的馬達體積及重量都變小了，也間接的減少馬達所要承載的實質荷重。

經由實物測試可知，相同功率的馬達，在裝上彈簧（預力/儲能裝置）後，可以增加馬達的荷重。也就是在相同荷重下，有裝彈簧的機構，可以

使用功率小的馬達。並進行 CAE 反推，驗證前一章的 CAE 是可行的。將荷重 70kg 與 200kg 比較如表 6. 3 所示。

表 6. 3 70kg 與 200kg 設定比較表

項目	荷重 70kg	荷重 200kg
CAE 分析	低於降伏強度	低於降伏強度
馬達	40W	90W
轉速	10rpm	10rpm
支撐桿材料	合金鋼	合金鋼

最後並且得到了一個寶貴的教訓，在實驗的過程中，雖然主要在驗證預力的功能，但也不能忽略模型其他部分的基本要求。以免影響實驗的進行。



第七章 結論與未來展望

結論

設計不能完全的憑空想像，企劃部門藉由品質機能展開的方式，將市場所得的資訊，轉換為研發部門所要的規格。研發部門再將此規格藉由 TRIZ 的方式成為具體產品。以品質機能展開來定義設計的目標，及以 TRIZ 來創造設計的內容類型，再回饋到品質機能展開來評定適合的設計。搭配此方式除了可以更準確設計出所需要的產品。除了驗證市場已經有的產品為何被設計成此一型式，及佐證了市場趨勢。TRIZ 可以擷取既有的已運用於其他領域的發明，此研究所得到的增加效率的方式，為以往的爬梯機沒有的特點，但在不同的產業中已經被廣泛使用。

研究的結果，先以 QFD 確立了爬梯機的規格，以 TRIZ 的矛盾矩陣歸納出可運用的設計原理 10 預先動作、19 週期動作、20 有用的連續動作，依據此設計原理，具體的實施內容-預先儲能支撐桿式爬梯機。具有支撐桿輕巧特性，將動力以預先儲能機構儲存在空行程中，而可以減少馬達輸出功率，因此可用較小馬達。設計可以承載 200kg 的爬梯機，以 CAE 完成模擬，再以縮小實驗機測試，讓原本負載 60kg 的爬梯機，加裝預先儲能機構後，負載提高至 70kg 以上。

我們得到的新爬梯機構，可以順利的爬梯，比一般徒手搬運或是以手推車直接拉重物上階梯更為便利。預先儲能機構也讓我們爬梯機較市面

上的產品，有更高的效益。

也確認支撐桿是簡易的方式，雖然本研究是運用於貨物載運，但也廣泛使用於人員載運。

未來的展望

本論文成功的引用不同領域的設計進入到爬梯機構，但此研究未來還有其他可以再深入探討的部份：

1. 以預先儲能機構來降低馬達的功率，或是增加承載的重量，是本研究的重要發現，後續也可以針對此點再精進，探討其他的方式。
2. 目前的支撐桿機構是以市購品改裝，可以從機構學中再深入，探討其他的連桿方式，改善支撐桿的運動功能。
3. 本研究為方便研究，而採用交流電源，實務上，直流馬達會是較為便利的選擇，並可以搭配電池及充電機構的研究。
4. 增加控制功能，讓操作更加便利。

參考文獻

- [1] http://www.aat-online.de/en_home/
- [2] <http://medical.cms.itri.org.tw/classification/detail.asp?number=0.3890>
- [3] 廖嘉郁,「輔助輪椅上下台階連桿機構之設計」,碩士論文,國立成功大學機械工程學系,2001。
- [4] 謝宗融,「攀階輪椅之研發」,碩士論文,國立台北科技大學機電整合研究所,2006。
- [5] 鄭璧瑩,「創意機器人系統設計備忘錄 2008」,交大 CIDM Lab,2008。
- [6] 賴泓昇,「一種上下階梯機構之改良設計」,碩士論文,國立成功大學機械工程學系,2003。
- [7] <http://www.sano.at/>
- [8] <http://www.tgr.it/home-en.html>
- [9] <http://www.alber.de/en>
- [10] <http://www.hercules.com.au/>
- [11] Ulrich Alber, “Transport barrow with frame mounted running wheels, and step climbing device”, Germany Patent 19519109, 1996.
- [12] Ulrich Alber, “Transportation device with motor driven stair climbing device”, Europe Patent 0800997, 1998.
- [13] Ulrich Alber, “Transporting device”, Germany Patent 19745153, 2000.
- [14] Ulrich Alber, “Transporting device”, US Patent 6397960, 2002.
- [15] Markus Alber, “Transportation device with motor driven stair climbing device”, Europe Patent 1731399, 2005.
- [16] Kohler Schmid Mobus, “Transport device with motor driven stepping device”, Germany Patent 102006020313, 2006.
- [17] Jochum Bierma, “Stair-climbing hand truck”, Europe Patent 1454811, 2005.
- [18] Jochum Bierma, “Two-wheel hand truck”, Europe Patent 1109710, 2005.
- [19] Sylvester B. Wessic, “Hand truck step climbing mechanism”, US Patent 2653672, 1953.
- [20] William Gemeinhardt, “Lifting wheel suspension”, US Patent 2689742, 1954.
- [21] Toselli, Emilio, “Stair climbing device”, Europe Patent 1516797, 2005.
- [22] Jean Reimann., “Transmission device”, US Patent 5052237,

- 1991.
- [23] Ulrich Alber, “Hand-operated cart” , Europe Patent 0099061, 1985.
- [24] Ulrich Alber, “Stair-climbing system” , Canada Patent 1313891, 1993.
- [25] Birmanns Thomas, “Wheelchair has paired running wheels for moving up and down steps with a variable speed control to reduce the speed before reaching a step and then increasing the speed to move on the step” , Germany Patent 19912932, 2005.
- [26] Emille Trougouboff, “Apparatus for handling heavy loads such as a trolley or a rolling chair for the handicapped” , US Patent 5036929, 1991.
- [27] Emille Trougouboff, “Appareil pour la manutention de charges” , France Patent 2527155, 1983.
- [28] Carl N. Mortenson, “Automatically shifting stair climber structure for a repositionable hand truck” , Canada Patent 2029274, 1989.
- [29] Chester E. Rhodes, “Power control hand truck” , US Patent 3907138, 1973.
- [30] 檀潤華, 創新設計-TRIZ：發明問題解決理論，第一版，新華書店，2002。
- [31] 全面管理組 QFD 研發小組編, 系統化品質機能展開實務技術手冊，中國生產力中心，1992。
- [32] 傅鶴齡, 系統工作概論，第一版，滄海書店，2007。
- [33] <http://richard.id.oit.edu.tw/index.htm>
- [34] <http://www.triz.org.tw/web/uploads/rule.htm>
- [35] Rantanen, Kalevi, Simplified TRIZ : new problem solving applications for engineers & manufacturing professionals, St. Lucie ; Boca Raton ,Fl. : CRC Press Company, c2002.
- [36] 蕭詠今, 創意快閃—TRIZ 大思維，臺海文化傳播，2006。
- [37] Mann Darrell, Matrix 2003 : updating the TRIZ contradiction matrix, Ieper, Belgium : CREAX, c2003.
- [38] 姜台林編譯, TRIZ 發明問題解決理論，第一版，宇河文化，2008。
- [39] Mann Darrell, TRIZ companion, Leper : Creax, c2002.
- [40] Altshuller Genrich, 40 principles : TRIZ keys to technical innovation, Worcester, MA : Technical Innovation Center, 1997.
- [41] 陳志鏗 李春穎, COSMOS/WORKS 2006 應用解析基礎篇，初版，高立，2007。

- [42] 實威科技公司，COSMOSWorks 電腦輔助工程分析－入門篇 Designer(修訂版)，第二版，全華科技圖書，2008。
- [43] 實威科技公司，COSMOSWorks 電腦輔助工程分析－進階篇 Professional，初版，全華科技圖書，2007。
- [44] <http://www.lectrotruck.com/>
- [45] <http://www.wescomfg.com/>
- [46] <http://ibot4000.com/>
- [47] <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfPCD/PCD SimpleSearch.cfm?db=PCD&id=IMK>
- [48] 利茗機械股份有限公司，減速機型錄，2008。
- [49] <http://www.admin.ox.ac.uk/eop/disab/>
- [50] 顏鴻森、吳隆庸，機構學，第一版，東華書局，2006。
- [51] Barton, Lyndon O., Mechanism analysis : simplified graphical and analytical techniques, New York : M. Dekker, 1984.
- [52] 林達德、李桂芝編輯，農業自動化叢書第十二輯－機電整合，國立台灣大學生物產業機電工程學系編印、行政院農業委員會補助，2003。
- [53] J.E. Akin, Buckling Analysis, 2009。
- [54] <http://welcomproducts.com/2010Vers2/page9/page9.html>
- [55] <http://www.ozak.co.jp/sys20-e.htm>
- [56] ORIENTAL MOTOR CO., LTD., Oriental motor general catalogue 2004/2006, Tokyo, 2006.
- [57] 台灣滾珠工業股份有限公司，產品型錄，2009。

附錄 A

TRIZ 39X39 矩陣。紅底白字為爬梯機會使用到的原理。

		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; transform: rotate(180deg);">Worsening Feature</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; transform: rotate(180deg);">Improving Feature</div> </div>																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Weight of moving object 移動件的重量	+																		
2	Weight of stationary object 靜止件的重量		+																	
3	Length of moving object 移動件的長度			+																
4	Length of stationary object 靜止件的長度				+															
5	Area of moving object 移動件的面積					+														
6	Area of stationary object 靜止件的面積						+													
7	Volume of moving object 移動件的體積							+												
8	Volume of stationary object 靜止件的體積								+											
9	Speed 速度									+										
10	Force/intensity 力										+									
11	Stress or pressure 張/壓力											+								
12	Shape 外型												+							
13	Stability of composition 組件穩定性													+						
14	Strength 強度														+					
15	Time of action of a moving object 移動件耐久性															+				
16	Time of action of a stationary object 靜止件耐久性																+			
	Weight of moving object 移動件的重量																			
	Weight of stationary object 靜止件的重量																			
	Length of moving object 移動件的長度																			
	Length of stationary object 靜止件的長度																			
	Area of moving object 移動件的面積																			
	Area of stationary object 靜止件的面積																			
	Volume of moving object 移動件的體積																			
	Volume of stationary object 靜止件的體積																			
	Speed 速度																			
	Force/intensity 力																			
	Stress / pressure 張/壓力																			
	Shape 外型																			
	Stability of composition 組件穩定性																			
	Strength 強度																			
	Time of action of a moving object 移動件耐久性																			
	Time of action of a stationary object 靜止件耐久性																			
	Temperature 溫度																			
	Brightness 亮度																			
	Energy spent by a moving object 移動件耗能																			

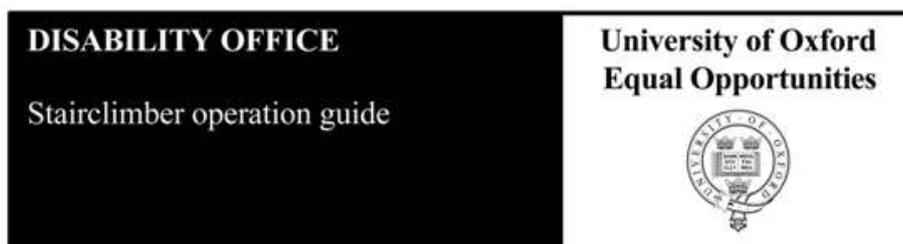
17	Temperature 溫度	36.22, 6.38	22.35, 32	15.19, 9	15.19, 9	3.35, 39.18	36.38	34.39, 40.18	35.6, 4	2.28, 36.30	35.10, 3.21	36.39, 19.2	14.22, 19.32	1.36, 32	10.30, 22.40	19.13, 39	19.18, 36.40	+	32.30, 21.18	19.15, 3.17
18	Brightness 亮度	19.1, 32	2.35, 16	19.32, 16		19.32, 28	2.13, 10	10.13, 19	10.13, 6	26.19, 19	32.30, 27	32.30, 27	32.3, 27	35.18, 27	2.19, 8		32.35, 19	+	32.1, 19	
19	Energy spent by a moving object 移動物件耗能	12.19.2, 8.31		12.28		15.19, 25	35.13, 18	8.35, 35	16.26, 21.2	23.14, 25	12.2, 29	19.13, 17.24	5.19.9, 35	6.18, 27.4			19.24, 3.14	19	+	
20	Energy spent by a stationary object 制止物件耗能		19.9.6, 27					36.37	36.37			29.18, 35					19.2, 36.32			
21	Power 功率	9.36, 38.31	19.26, 17.27	1.10, 36.37		19.38, 13.38	36.6, 38	30.6, 25	15.35, 2	22.10, 35	29.14, 2.40	35.32, 15.31	26.10, 28	19.35, 10.38	16	2.14, 17.25	16.6, 19			19.37
22	Loss of Energy 能量損耗	15.6, 19.28	19.6, 18.9	7.2.6, 13	6.38.7, 17.30	15.28, 30.18	17.7, 7.18	7, 18.35	38.38			14.2, 28					19.38, 32.15			
23	Loss of substance 物質損耗	35.6, 23.40	35.6, 22.32	14.29, 10.39	10, 28.24	36.2, 10.31	10.18, 39.31	1.29, 30.36	3.39, 18.31	10.13, 28.39	14.16, 18.40	3.36, 37.10	29.35, 3.5	30.40, 31.40	3.18, 18.38	27.16, 39.31	21.36, 1.6.13			35.18, 24.5
24	Loss of information 資訊損耗	10.24, 35	10.35, 5	1.28	26	30.26, 30.16		2.22	26.32						10	10	19			
25	Loss of Time 時間損耗	10.20, 37.35	10.20, 26.5	15.2, 29	30.24, 14.5	26.4.5, 16	10.35, 17.4	2.5.34, 10	36.18, 32.18		10.37, 36.5	37.38.4, 10.36	4.10, 15.2	29.3, 28.18	20.10, 3.35	28.20, 10.16	35.29, 21.18			35.38, 34.28
26	Amount of substance 物質數量	35.6, 18.31	27.26, 18.35	29.14, 35.18		15.14, 29	2.18, 40.4	15.20, 28	35.29, 3	35.14, 14.3	10.36, 35.14	15.2, 17.40	14.35, 34.10	3.35, 10.40	3.35, 31	3.35, 39	3.35, 18.18			
27	Reliability 可靠性	3.8.10, 40	3.10.8, 28	15.9, 14.4	15.29, 28.11	17.10, 40.4	32.35, 40.4	3.10, 14.24	2.35, 24.6	21.95, 11.28	8.28, 10.3	10.24, 35.19	6.28, 16.11	32.35, 32.2	2.35, 3.3	34.27, 10	3.35, 13			21.11, 27.19
28	Accuracy of measurement 測量精度	32.35, 28.28	28.35, 25.26	28.26, 5.16	32.28, 3.18	26.28, 32.3	28.28, 32.3	32.13, 2	28.13, 32.2	28.18, 24.36	6.28, 32	8.28, 32	32.35, 13	28.6, 32	28.6, 32	10.26, 28.24	6.1, 32			3.6.32, 32.2
29	Accuracy of manufacturing 製造精度	28.32, 13.18	28.35, 27.9	10.28, 29.37	2.32, 10	26.33, 29.32	2.29, 18.36	35.23, 2	25.10, 35	10.23, 34.36	3.35, 32.30	30.18, 40	3.27, 40			19.26, 19.26	3.32, 32.2			
30	Object-affected harmful factors 外在有害因素	22.21, 19.22	2.22, 13.24	17.1, 39.4	1.19	22.1, 33.28	27.2, 39.135	22.23, 17.2	34.39, 19.27	21.22, 35.28	13.35, 32.18	22.2, 37	22.1.3, 30.18	18.35, 37.1	22.15, 40.33	17.1, 35.2	1.19, 32.13			1.24, 6.27
31	Object-generated harmful factors 副作用	15.39, 28.29	1.39, 1.27	16.22, 1.29	18.39, 15.17	18.39, 26.12	40, 16.40	35.4, 8.1	35.13, 35.12	27.18, 35.19	27.18, 13.27	35.1, 11.13	27.39, 1.3.10	22.2, 32	33.31, 27.1.4	16.22, 35.16	2.24, 27.28			2.35.6, 28.26
32	Manufacturability 可製造性	15.39, 28.29	1.39, 1.27	16.22, 1.29	18.39, 15.17	18.39, 26.12	40, 16.40	35.4, 8.1	35.13, 35.12	27.18, 13.27	35.1, 11.13	27.39, 1.3.10	22.2, 32	33.31, 27.1.4	16.22, 35.16	2.24, 27.28	2.24, 27.28			2.35.6, 28.26
33	Convenience of use 使用便利	25.2, 13.15	6.13.1, 25	13.12, 13.12	1.17, 13.16	1.17, 13.16	1.16, 39.15	4.16, 39.31	18.13, 34	28.13, 35	12, 28.28	15.34, 30	32.36, 3.28	32.40, 3.28	29.3.8, 25	1.16, 25	26.27, 13.17			1.13, 24
34	Repairability 可維修性	2.27, 35.11	2.27, 35.11	1.28, 10.25	3.18, 31	15.13, 32	16.25, 35.11	25.2, 34.9	1, 24.9	1.11, 10	13, 13	1.13.2, 4	11.1.2, 9	11.1.2, 9	11.29, 1	4.10, 15.1	15.1, 15.1			15.1, 15.1
35	Adaptability 適合度	1.6.15, 9	19.15, 29.16	35.1, 29.2	1.35, 16	35.30, 29.7	15.16, 29	15.36, 29	35.10, 14	15.17, 20	35.16, 18.1	15.37, 1.8	35.30, 32.6	13.1, 35	13.1, 35	2.16, 35	8.22, 26.1			19.35, 29.13
36	Complexity of a device 裝置複雜性	26.30, 34.38	2.26, 35.39	1.19, 26.24	26	14.1, 13.16	6.38, 8	34.26, 8	1.16, 28	34.10, 26.16	19.1, 35	29.13, 27.13	2.22, 11.22	2.13, 27.3	10.4, 25.34	2.17, 3.27	24.17, 2.24			29.28
37	Complexity of control 控制複雜性	27.26, 28.13	6.13, 28.1	16.17, 26.24	26	2.13, 18.17	2.39, 30.18	29.1.4, 16	2.18, 26.31	3.4.16, 35	30.26, 40.19	35.38, 37.32	11.22, 39.30	27.3, 15.28	19.29, 6.35	25.34, 35.18	3.27, 26			35.38
38	Level of automation 自動化等級	28.26, 18.35	26.26, 35.10	14.13, 17.28	23	17.14, 13	35.13, 16	35.13, 16	28.10, 2.35	13.36, 1.13	15.32, 18.1	25.13, 6.9		28.2, 19	8.32, 19	2.32, 13				
39	Capacity / Productivity 生產力	35.26, 24.37	26.27, 15.3	18.4, 28.38	30.7, 14.26	10.26, 34.31	10.35, 17.7	2.6.34, 10	35.37, 10.2	26.16, 10.36	10.37, 14	14.10, 34.40	35.3, 22.39	28.28, 10.18	35.10, 2.18	20.10, 18.38	36.21, 26.10			35.10, 38.19

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
Energy spent by a stationary object 靜止件耗能	Power 功率	Loss of energy 能量損耗	Loss of substance 物質損耗	Loss of information 遺漏資訊	Loss of time 時間浪費	Amount of substance 物質數量	Reliability 可靠度	Accuracy of measurement 測量精度	Accuracy of manufacturing 製造精度	Object-affected harmful factors 外在有害因素	Object-generated harmful factors 副作用	Manufacturability 可製造性	Convenience of use 使用便利	Repairability 再維修性	Adaptability 適合度	Complexity of a device 裝置複雜性	Complexity of control 控制複雜性	Level of automation 自動化等級	Capacity / Productivity 生產力	
12,36,18,21	6,2,34,19	5,35,3,31	10,24,35	10,35,20,28	3,26,18,31	1,3,11,27	28,27,35,28	28,35,26,18	22,21,18,27	22,35,31,39	27,25,1,36	35,3,2,24	2,27,28,11	28,5,15,8	28,30,38,34	28,29,26,32	26,32,18,19	26,35,18,19	35,3,24,37	
18,19,28,1	15,19,18,22	18,19,28,15	5,8,13,30	10,15,35	19,6,18,26	8,3,8,3	18,26,28	10,1,35,17	2,19,36,24	29,7,8,32	2,27,28,11	19,15,29	19,15,29	1,10,26,39	1,10,26,39	17,15,17,15	17,15,17,15	2,28,35	1,28,15,35	
1,35	7,2,36,39	4,29,23,10	1,24,29	15,2,29	29,36	10,14,28,40	28,32,2,3	10,28,29,37	1,15,17,24	17,16,17	1,28,17	15,29,36,4	10,1,1,10	1,19,36,1,20,24	26,24,26,24	36,1,36,1	17,24,26,18	14,4,28,29	7,28	
12,8	8,28	10,28,24,35	24,26	30,29,14	28,30,28,9	28,9,32,3	26,28,2,32	2,32,22,33	1,19,17,2	13,6,13,18,39	28,24,13,18	15,17,15,13	15,13,16,30	14,1,13	2,36,26,18	28,18,34,2	14,30,28,23	10,26,34,2	7,28	
18,10,32,18	15,17,30,26	10,35,2,39	30,26,26,4	28,30,8,13	2,18,32,35	26,28,2,28	27,2,22,1	40,16,18,4	40,16,18,4	40,16,18,4	40,16,18,4	15,13,15,13	16,30,1,18	1,18,36	30,18,30,18	29,28,35,34	35,34,10,6,2	10,6,2,18,24	35,37,10,2	
17,32	17,7,30	10,14,18,39	30,18,4,18	10,35,4,18	40,4,40,4	32,3,18,36	38,35,40	22,21,17,2	17,2,29,1	15,13,40,1	40,12	15,13,15,13	16,30,1,18	1,18,36	30,18,30,18	29,28,35,34	35,34,10,6,2	10,6,2,18,24	35,37,10,2	
35,6,13,18	7,15,13,18	36,39,34,10	2,22,34,10	2,6,34,10	29,30,40,11	14,1,25,26	2,16,27,35	34,39,30,16	18,27,25,4	35,18,35	1	1,31,2,17,28	2,17,28	1,31,2,17,28	1,31,2,17,28	2,17,28	1,31,2,17,28	2,17,28	1,31,2,17,28	
30,6		10,39,35,34	32,18	35,16,32,18	35,3,16	2,35,16	35,10,24,39	35,10,24,39	35,10,24,39	35,10,24,39	35,10,24,39	35,10,24,39	35,10,24,39	35,10,24,39	35,10,24,39	35,10,24,39	35,10,24,39	35,10,24,39	35,10,24,39	35,10,24,39
18,35,38,2	14,20,19,35	10,13,28,38	13,26	10,19,11,35	27,28	1,24,32,25	36,23,35,21	1,28,2,24	35,18,32,28	34,2,34,2	15,10,10,28	3,34,27,18	10,18	9						
1,16,36,37	18,35,18,37	14,15,40,5	8,35,40,5	10,37,36	14,28,18,38	3,35,13,21	23,24,37,36	28,29,40,18	1,35,13,3	15,37,1,28,3	15,1,18,20	15,17,28,35	36,37,2,36	3,28,10						
10,36,14	2,36,25	10,36,3,37	37,36,4	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38	10,14,38
4,6,2	14	35,29,3,5	35,29,3,5	14,10,36,22	10,40,16	28,32,32,30	22,1,2,35	1,32,17,28	1,32,17,28	1,32,17,28	1,32,17,28	1,32,17,28	1,32,17,28	1,32,17,28	1,32,17,28	1,32,17,28	1,32,17,28	1,32,17,28	1,32,17,28	1,32,17,28
27,4,29,18	32,35,27,31	14,2,30,40	2,14,30,40	95,27,35	15,32,35	13	18	35,24,36,40	30,18,27,39	35,19,35,19	32,35,30	2,35,10,18	34,2,22,28	39,23,40,3	1,8,36,40,3	2,35,36,22	1,8,36,40,3	2,35,36,22	1,8,36,40,3	2,35,36,22
35	10,26,35,28	36,28,31,40	36,28,31,40	29,3,29,10	29,10,3,36	11,3	3,27,3,27	18,35,16,35	11,3,32,40	27,11,15,3	32,40,27,11	3,3	25,28,15,40	29,35,14	10,14,29,35	10,14,29,35	10,14,29,35	10,14,29,35	10,14,29,35	10,14,29,35
19,10,35,38	19,10,35,38	28,27,3,18	28,27,3,18	20,10,28,20	3,35,10,40	11,2,13	3,27,16,40	22,15,33,28	21,38,18,22	27,1,4	12,27,27	28,10,1,35	10,4,13	28,10,1,35	10,4,13	28,10,1,35	10,4,13	28,10,1,35	10,4,13	28,10,1,35
16		27,18,18,38	27,18,18,38	10	3,35,6,40	10,26,24	17,1,40,33	22	36,10	1	1	2				25,34,6,35	35,17,14,19	20,10,16,38	16	

	2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 38		35, 28, 30, 39	3, 17, 3, 10	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	22, 33, 36, 2	22, 35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 18	2, 18, 27	2, 17, 18	3, 27, 35, 31	28, 2, 19, 18	15, 28, 35	17	
32, 35, 1, 15	32, 1, 8	13, 16, 13, 1	13, 1	1, 6	19, 1, 28, 17	1, 19		11, 15, 3, 32	15, 19, 32, 39	32, 39	28, 26	28, 26	16, 17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15, 10	2, 26, 10	2, 25, 18	18	
-	6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5		35, 38, 18, 18	34, 23, 16, 18	18, 21, 11, 27	3, 1, 32	1, 35, 6, 27	2, 35, 6	28, 28, 30	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 27, 28	2, 28, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35	19	
+			28, 27, 18, 31		3, 35, 3, 35	10, 30, 23			10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4				19, 35, 18, 25	1, 6		1, 6	20	
	+	10, 36, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	35, 20, 10, 6	4, 34, 19	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	19, 22, 31, 2	2, 35, 2, 36	28, 10, 10, 34	28, 35, 10, 34	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34	21	
	3, 38	+	35, 27, 2, 37	19, 10	10, 18, 32, 7	7, 19, 25	11, 10, 35	32	21, 22, 36, 2	21, 35, 2, 22	35, 32, 1	2, 19		7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35	22		
28, 27, 12, 31	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31	+		15, 18, 25, 10	6, 3, 10, 24	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28	33, 22, 30, 40	10, 1, 34, 29	32, 28, 2, 24	2, 35, 15, 10	3, 25, 2, 2	35, 10, 28, 24	35, 10, 28, 24	28, 24, 10, 13	35, 10, 18, 10, 23	23		
	10, 19	19, 10		+	24, 28, 28, 32	35, 38, 35	10, 28, 23		22, 10, 1	10, 21, 22	27, 22				35, 33	35	13, 23, 15	24		
1	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 38	24, 28, 28, 32	+	35, 38, 18, 18	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	35, 18, 34	18, 39, 34, 4	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28, 6, 29	6, 29, 32, 10	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30		25		
3, 35, 31	35, 25	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	35, 38, 18, 18	+	18, 3, 28, 40	13, 2, 28, 40	33, 30, 28	35, 38, 28, 31	13, 38, 40, 39	35, 27, 25, 10	1, 11	13, 35, 13, 35	27, 10, 29, 18	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35, 3, 27	13, 29, 3, 27	26	
36, 23	21, 11, 26, 31	10, 11, 35	10, 36, 29, 39	10, 28	10, 30, 4	21, 28, 40, 3	+	32, 3, 11, 32	27, 35, 2, 40	35, 2, 40, 28	27, 17, 40	1, 11	13, 35, 13, 35	27, 10, 29, 18	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	11, 13, 27, 40	1, 13, 2, 27, 39	27	
	3, 6, 32	26, 32, 10, 18	31, 28	28, 32	24, 34, 28, 32	2, 6, 32, 23	5, 11, 1, 23	+	28, 28, 2, 28	3, 33, 4, 17	6, 35, 17, 34	1, 32, 25, 10	1, 32, 13, 11	13, 35, 27, 35	27, 35, 26, 24	28, 2, 10, 34	28, 2, 10, 34	10, 18, 28, 32	28	
	32, 2	13, 32, 35, 31	10, 24	32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1		+	28, 28, 4, 17	1, 32, 25, 10	35, 28		25, 10	26, 2, 18	26, 2, 18, 23	18, 23	32, 39	10, 18, 32, 39	29	
10, 2, 22, 37	19, 22, 31, 2	21, 22, 35, 2	33, 22, 19, 40	22, 10, 2	35, 18, 34	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 26	28, 28, 10, 18	+	28, 28, 4, 17	24, 35, 2, 25	35, 10, 2	35, 10, 22, 31	22, 19, 28, 40	22, 19, 28, 40	22, 19, 28, 40	33, 3, 13, 24	22, 35, 13, 24	30	
19, 22, 18	2, 35, 18	21, 35, 2, 22	10, 1, 34	10, 21, 29	3, 24, 38, 1	24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26		+				19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39	31		
1, 4	27, 1, 12, 24	19, 35, 33	15, 34, 18, 18	32, 24, 10, 34	35, 28, 1, 24		1, 35, 12, 18		24, 2		2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15, 9	27, 26, 15	27, 26, 11, 1	8, 28, 11, 1	8, 28, 1, 12, 3	15, 1, 10, 28	32	
	35, 34, 2, 10	2, 18, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 22	4, 28, 10, 34	12, 36, 8, 40	17, 27, 8, 40	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39	2, 5, 12	+	12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 26, 12, 17		1, 34, 12, 3	15, 1, 28	33		
	15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 2	2, 35, 34, 27		32, 1, 10, 25	2, 28, 1, 16	11, 10, 13	25, 10, 2, 16	35, 10, 35, 11	1, 35, 1, 13	1, 12, 26, 15	+	7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11	35, 1, 13, 11	34, 35, 7, 13	1, 32, 35, 28	34		
	19, 1, 29	18, 15, 1	15, 10, 2, 13		3, 35, 15	8, 24, 10	35, 5, 1, 10	35, 5, 1, 10	35, 11, 32, 31	1, 13, 15, 34	1, 16, 7, 4	+	15, 29, 37, 28	1	27, 34, 35	27, 34, 35	35, 28, 6, 37	35		
	20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2	35, 10, 28, 28		13, 3, 8, 29	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	28, 24, 32	22, 19, 29, 40	19, 1, 1, 13	27, 26, 27, 9	1, 13, 26, 24	28, 15, 28, 37	+	15, 10, 37, 28	15, 10, 24	12, 17, 15, 1, 28	36		
19, 35, 16	18, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 18, 10, 24	35, 33, 27, 22	18, 28, 29, 18	3, 27, 28, 8	27, 40, 28, 26	26, 24, 28, 26	22, 19, 29, 28	2, 21	5, 28, 2, 6	12, 26, 1, 16	1, 35, 27, 4, 1	15, 24, 37, 28	+	34, 21	35, 18, 5, 12, 35, 28	37		
	28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	36, 33, 35, 30	35, 13, 35, 30	11, 27, 10, 34	28, 26, 18, 23	28, 26, 18, 23	2, 33	2	1, 28, 1, 12, 34, 3	1, 35, 13, 35	27, 4, 1, 35	12, 17, 10	+	5, 12, 35, 28	38			
1	35, 20, 10	28, 10, 29, 35	28, 10, 35, 23	13, 15, 23		35, 38	1, 35, 10, 38	34, 28, 32, 1	13, 24, 13, 24	18, 39, 2, 24	35, 28, 1, 28, 7, 10	1, 32, 10, 25	1, 32, 10, 25	1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 28	+	39	
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	

附錄 B

英國牛津大學所公告的爬梯機構使用手冊。



***NB - This machine is only to be operated by trained personnel.**

To go upstairs:-

1. Insert the key. Check that the battery level is sufficient for operation.
2. Check that the incline of the steps to be climbed is not too steep - use the inclinometer. If the arrow is within the green area the steps are manageable.
3. Position the climber so that you can safely manoeuvre the wheelchair user onto the platform. You will need to reverse the wheelchair, pushing it from the front.
4. Put the climber in the park position - the left hand white switch pushed towards 1, so that the climber can't move backwards. Lower the ramp from the front.
5. Carefully push the wheelchair user up the ramp making sure that it doesn't go off the edge of the platform. Engage the brakes on the wheelchair. Attach the four blue straps, two at the front sides and two at the rear, to the wheelchair to ensure that it cannot move. Put the safety belt around the wheelchair user through the sides of the chair.

*** NB If the safety belt is not connected the machine will not operate.**

6. Adjust the headrest so that it is in a comfortable position for the wheelchair user. This will be important when going up and down stairs.
7. Put the climber in the move position - the left hand white switch pushed towards 0. You can now push the climber on its wheels into a position to climb the stairs. To go up stairs the wheelchair user will be facing backwards, i.e. you will be approaching the stairs with your back to them, to go down stairs you will be facing forwards. i.e. the machine is in the same position for going up and down stairs. Make sure that you are square on to the stairs and that there is enough width available, for instance a doorway at the top of the stairs.
8. Explain to the person you're moving what is happening at all times. They may not have used such a climber before so they will need reassurance that they are safe. Information and communication is a good way to achieve this.

9. Press the incline button (up) on the left of the control panel so that the chair tilts backwards. Keep the button pressed until the platform is fully tilted. It automatically stops at the correct point.

10. Set the button on the right of the control panel to go up.

11. Simultaneously press the two white buttons on the handles to operate the machine. If the machine does not move check that the power is on, the reset button released, the platform is fully reclined and that the safety belt is connected. As soon as you release the buttons the machine will stop moving. The tracks will lock and so the machine will not move.

12. At the top of the stairs or at a landing, stop at the appropriate point (marked on the platform) and pivot the machine so that it is flat on the ground. There is a little latitude to this and it will vary with the weight of the chair and person on the platform. In the correct position the machine will easily pivot, if you go too far the machine will fall suddenly which will be shocking for the wheelchair user. If you stop too soon then you will not be able to pivot the machine without great effort and strength. At the correct point it will be easy.

13. Continue operating the machine until it is in a safe position to lower it, unless the next stairs are very close by in which case the machine can be wheeled to the next stairs.

14. Press the incline button (down) on the left of the control panel so that the chair return to the horizontal position. Keep the button pressed until the platform is fully level. It automatically stops at the correct point.

15. Put the climber in the park position - the left hand white switch pushed towards 1, so that the climber can't move backwards. Lower the ramp from the front, release the safety belt and straps. Release the wheelchair brakes and help the wheelchair down the slope.

To go downstairs:- The instructions are the same as above. At the top of a set of stairs or at a landing the you will need to stop at the correct point and pivot the machine downwards.

The machine can climb about 600 steps when fully charged. Please contact the Disability Office for further advice and information.

DISABILITY OFFICE

E-mail: disability@admin.ox.ac.uk
www.admin.ox.ac.uk/eop

Tel: 01865 (2)80459

Fax 01865 (2)80300

**University of Oxford
Equal Opportunities**



附錄 C

TRIZ 40 原理的細部解釋。

原理 1	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 分割物體成幾個獨立的部份。 ◇ 使一個物體容易拆解。 ◇ 增加物體分割的程度。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Divide an object into independent parts. ◇ Make an object easy to disassemble. ◇ Increase the degree of fragmentation or segmentation.
原理 2	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 從一個物體中抽離出干擾的部份或特性，或是單獨保留一個物體的必要部份（或特性）。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Separate an interfering part or property from an object, or single out the only necessary part (or property) of an object.
原理 3	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 改變一個物體的架構從均質到異質，改變外部的環境（或者外部影響）從異質到均質。 ◇ 使物體的各部分功能都在最適條件下運作。 ◇ 使物體的每個部份都能執行一個不同且有用的功能。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Change an object's structure from uniform to non-uniform, change an external environment (or external influence) from uniform to non-uniform. ◇ Make each part of an object function in conditions most suitable for its operation. ◇ Make each part of an object fulfill a different and useful function
原理 4	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 將物體形狀從對稱改變到不對稱。 ◇ 如果一個物體已是不對稱的，可改變它的不對稱度。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Change the shape of an object from symmetrical to asymmetrical. ◇ If an object is asymmetrical, increase its degree of asymmetry.
原理 5	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 聚合相同或相似物件，以進行相同或相似的組裝或平行作業。 ◇ 使作業連續或並行執行；及時地把它們集合起來。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Bring closer together (or merge) identical or similar objects, assemble identical or similar parts to perform parallel operations. ◇ Make operations contiguous or parallel; bring them together in time.

原理 6	
◇ 使一個物體或結構能執行多項功能；消除額外的需要。	◇ Make a part or object perform multiple functions; eliminate the need for other parts.
原理 7	
◇ 物中有物；依次安置每個物體在另一個物體中。	◇ Place one object inside another; place each object, in turn, inside the other.
◇ 使物體的一部分通過另一個部分的空隙。	◇ Make one part pass through a cavity in the other.
原理 8	
◇ 補償那些重力(向下趨勢)的物件，利用合併一些能夠提供舉力的其他物件。	◇ To compensate for the weight of an object, merge it with other objects that provide lift.
◇ 補償那些物件所遭遇的重力(向下趨勢)，讓它與環境相互作用(例如使用整體環境舉力的力量)。	◇ To compensate for the weight of an object, make it interact with the environment (e.g. use aerodynamic, hydrodynamic, buoyancy and other forces).
原理 9	
◇ 如果一個必要的行動會產生有害及無害的效果，先進行反行動以控制有害的效應。	◇ If it will be necessary to do an action with both harmful and useful effects, this action should be replaced with anti-actions to control harmful effects.
◇ 對物體先施以預應力以抵抗將臨的不愉快的工作應力。	◇ Create beforehand stresses in an object that will oppose known undesirable working stresses later on.
原理 10	
◇ 預先導入有用的行動到物體或系統中(全部或部份)。	◇ Perform, before it is needed, the required change of an object (either fully or partially).
◇ 事先安排好對象使他們能從最方便的時間與位置開始運用。	◇ Pre-arrange objects such that they can come into action from the most convenient place and without losing time for their delivery.
原理 11	
◇ 準備緊急措施以應變相對低可靠性的事物。	◇ Prepare emergency means beforehand to compensate for the relatively low reliability of an object.
原理 12	

<ul style="list-style-type: none"> ◇ 在一個潛在可能的環境中，避免改變物體位置（例如，可改變操作條件以避免在重力場中需要調高或調低物體位置）。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ In a potential field, limit position changes (e.g. change operating conditions to eliminate the need to raise or lower objects in a gravity field).
原理 13	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 反向思考(行動)，以解決問題(例如改用加熱而非冷卻一個物件)。 ◇ 使可動的部份(或外部環境)固定，使固定的部份可動。 ◇ 倒置物體(或程式)。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Invert the action(s) used to solve the problem (e.g. instead of cooling an object, heat it). ◇ Make movable parts (or the external environment) fixed, and fixed parts movable. ◇ Turn the object (or process) 'upside down'.
原理 14	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 取代使用直線的部分，表面或形狀，而改用曲線，從平面到曲面，從立方體到球形的結構。 ◇ 使用滾輪，球，螺旋，圓屋頂。 ◇ 從線性到旋轉式的運動，使用離心力。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Instead of using rectilinear parts, surfaces, or forms, use curvilinear ones; move from flat surfaces to spherical ones; from parts shaped as a cube (parallelepiped) to ball-shaped structures. ◇ Use rollers, balls, spirals, domes. ◇ Go from linear to rotary motion, use centrifugal forces.
原理 15	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 允許或設計一個物體使其能依外部環境或過程的特性動態改變到最佳的操作條件。 ◇ 把一個物體分解成能互動的部分。 ◇ 如果一個物體(或者過程)是僵硬而無彈性的，使它可移動或調適。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Allow (or design) the characteristics of an object, external environment, or process to change to be optimal or to find an optimal operating condition. ◇ Divide an object into parts capable of movement relative to each other. ◇ If an object (or process) is rigid or inflexible, make it movable or adaptive.
原理 16	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 如果使用某個解決方法仍無法百分之百的達到目標，利用「稍少」或「略多」的作法，問題或可容易的解決。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ If 100 percent of an object is hard to achieve using a given solution method then, by using 'slightly less' or 'slightly more' of the same method, the problem may be considerably easier to solve.
原理 17	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 轉變為二維或三維的空間運動。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ To move an object in two- or three-dimensional space.

<ul style="list-style-type: none"> ◇ 使用多層的結構而非單層。 ◇ 傾斜物體或靠另一側面置放。 ◇ 使用物體的另一面。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Use a multi-story arrangement of objects instead of a single-story arrangement. ◇ Tilt or re-orient the object, lay it on its side. ◇ Use 'another side' of a given area.
原理 18	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 使一個物體振盪或者振動。 ◇ 增加它的頻率(甚至到超音速)。 ◇ 使用共振頻率。 ◇ 使用壓電振動器而不是機械振動器。 ◇ 使用結合超音波和電磁場的振盪。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Cause an object to oscillate or vibrate. ◇ Increase its frequency (even up to the ultrasonic). ◇ Use an object's resonant frequency. ◇ Use piezoelectric vibrators instead of mechanical ones. ◇ Use combined ultrasonic and electromagnetic field oscillations.
原理 19	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 取代連續的行動，改為週期或者脈動性的行動。 ◇ 如果行動已經週期化，可改變週期大小或者頻率。 ◇ 利用動作中的暫停時間執行其他的行動。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Instead of continuous action, use periodic or pulsating actions. ◇ If an action is already periodic, change the periodic magnitude or frequency. ◇ Use pauses between impulses to perform a different action.
原理 20	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 連續的執行工作；使一個物體的各部份隨時滿載的工作。 ◇ 消除全部閒置或者中間的行動或工作。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Carry on work continuously; make all prts of an object work at full load, all the time. ◇ Eliminate all idle or intermittent actions or work.
原理 21	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 高速的進行一個過程，或者某些步驟(例如有破壞，有害或者危險的行動)。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Conduct a process , or certain stages (e.g. destructible, harmful or hazardous operations) at high speed.
原理 22	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 轉變有害的因數(特別是環境周圍有害的效應)以獲得好的效果。 ◇ 把最初的傷害加到另一個傷害，以消除並解決問題。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Use harmful factors (particularly, harmful effects of the environment or surroundings) to achieve a positive effect. ◇ Eliminate the primary harmful action by adding it to another harmful action to resolve the problem.

<ul style="list-style-type: none"> ◇ 增加傷害因數的程度至它不再有害。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Amplify a harmful factor to such a degree that it is no longer harmful.
原理 23	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 導入回饋（有關後遞，相互校驗）以改進過程或行動。 ◇ 如果已使用回饋機制，改變它的大小或者影響。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Introduce feedback (referring back, cross-checking) to improve a process or action. ◇ If feedback is already used, change its magnitude or influence.
原理 24	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 使用間接的物體或者間接的過程。 ◇ 暫時的併入另一個物體。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Use an intermediary carrier article or intermediary process. ◇ Merge one object temporarily with another (which can be easily removed).
原理 25	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 使一個物體透過執行輔助功能來自我服務。 ◇ 使用廢棄（或者失去）的資源，能源或物質。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Make an object serve itself by performing auxiliary helpful functions. ◇ Use waste resources, energy, or substances.
原理 26	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 除了是一個無法作到，昂貴，易脆的物體，使用更簡單和廉價的複製品。 ◇ 用光學的副本取代一個物體或程式。 ◇ 如果光學副本已在使用的，轉移到紅外線或者紫外線（使用合適，而非一般的照明的環境）。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Instead of an unavailable, expensive, fragile object, use simpler and inexpensive copies. ◇ Replace an object, or process with optical copies. ◇ If visible optical copies are already used, move to infrared or ultraviolet copies.
原理 27	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 用廉價的多個物體取代一個昂貴的物體，妥協某些品質(例如服務年限)。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Replace an inexpensive object with a multiple of inexpensive objects, comprising certain qualities (such as service life, for instance).
原理 28	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 以感官(例如，視覺，聲音，味覺或嗅覺)取代機械方法。 ◇ 使用電場，磁場以及電磁場和物體交互作 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Replace a mechanical means with a sensory (optical, acoustic, taste or smell) means. ◇ Use electric, magnetic and electromagnetic fields to interact with the

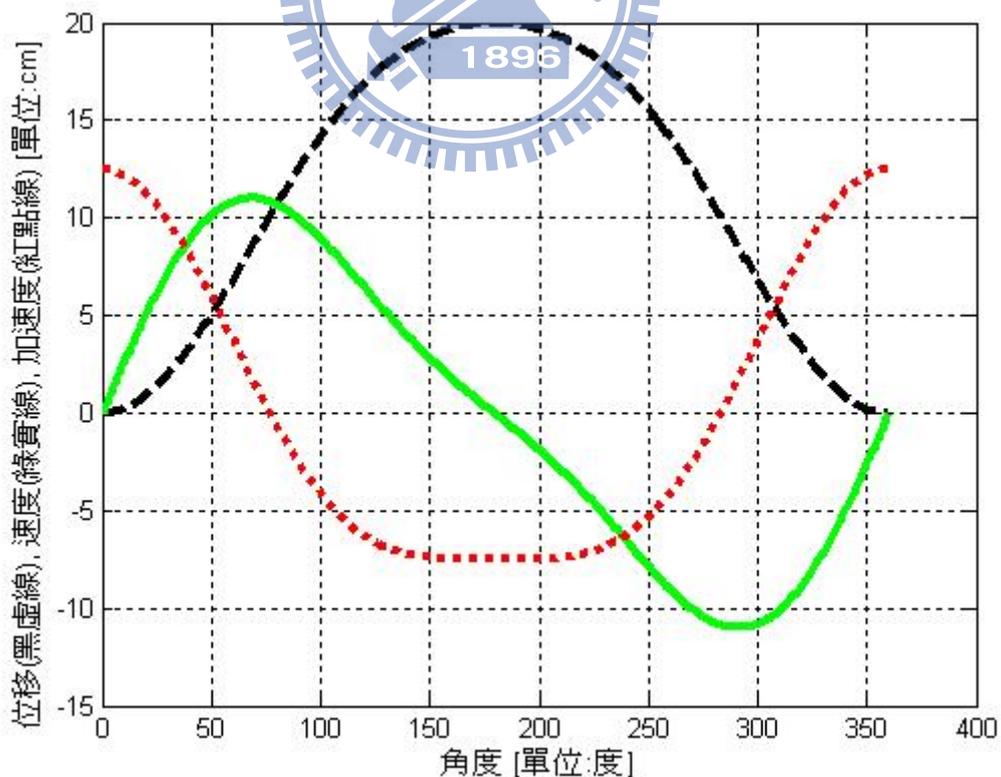
<p>用。</p> <p>◇ 從靜態轉換到動態的領域，從無結構到有結構。</p> <p>◇ 使用場，並連結能與場作用的粒子（例如鐵磁性）、物體或系統。</p>	<p>object.</p> <p>◇ Change from static to movable fields, from unstructured fields to those having structure.</p> <p>◇ Use fields in conjunction with field-activated (e.g. ferromagnetic) particles.</p>
原理 29	
<p>◇ 使用氣體和液體取代固體部分(例如膨脹，充滿的液體，氣墊，液壓靜力，水反應)。</p>	<p>◇ Use gas and liquid parts of an object instead of solid parts (e.g. inflatable, filled with liquids, air cushion, hydrostatic, hydro-reactive).</p>
原理 30	
<p>◇ 使用彈性殼和薄膜取代三維的立體架構。</p> <p>◇ 使用彈性殼和薄膜把物體與外部環境隔離。</p>	<p>◇ Use flexible shells and thin films instead of three dimensional structures.</p> <p>◇ Isolate the object from the external environment using flexible shells and thin films.</p>
原理 31	
<p>◇ 使一個物體多孔或者增加多孔的元素(插入、塗層等)。</p> <p>◇ 如果一個物體已經多孔，在孔隙中導入一種有用的物質或功能。</p>	<p>◇ Make an object porous or add porous elements (inserts, coatings, etc.).</p> <p>◇ If an object is already porous, use the pores to introduce a useful substance or function.</p>
原理 32	
<p>◇ 改變一個物體或者其外部環境的顏色。</p> <p>◇ 改變一個物體或者其外部環境的透明度。</p>	<p>◇ Change the color of an object or its external environment.</p> <p>◇ Change the transparency of an object or its external environment.</p>
原理 33	
<p>◇ 使同質材料的物體相互作用(或者用相同的特性的材料)。</p>	<p>◇ Make objects interacting with a given object of the same material (or material with identical properties).</p>
原理 34	
<p>◇ 移除完成功能的部分物件(透過溶解或蒸發拋棄)或在運作期間立刻修改他們。</p>	<p>◇ Make portions of an object that have fulfilled their functions go away (discard by dissolving, evaporating, etc.) or modify these directly</p>

<ul style="list-style-type: none"> ◇ 直接在運作中，反向回收物體可用的部份。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ during operation. ◇ Conversely, restore consumable parts of an object directly in operation.
原理 35	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 改變一個物體的實體狀態(例如是氣體，液體，或固體)。 ◇ 改變濃度或密度。 ◇ 改變彈性。 ◇ 改變溫度。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Change an object's physical state (e.g. to a gas, liquid, or solid.) ◇ Change the concentration or consistency. ◇ Change the degree of flexibility. ◇ Change the temperature.
原理 36	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 利用相位轉變期間發生的現象(例體積變化、熱的隔絕或散失)。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Use phenomena occurring during phase transitions (e.g. volume changes, loss or absorption of heat, etc.).
原理 37	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 利用材料的熱膨脹(或收縮)。 ◇ 如果熱膨脹已在使用，使用不同熱膨脹係數的複合材料。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Use thermal expansion (or contraction) of materials. ◇ If thermal expansion is being used, use multiple materials with different coefficients of thermal expansion.
原理 38	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 用高純度氧氣替換普通空氣。 ◇ 用純氧替換高純度氧氣。 ◇ 使用爆炸氣體或氧離子輻射。 ◇ 使用電離氧。 ◇ 使用臭氧(電離)替換氧。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Replace common air with oxygen-enriched air. ◇ Replace enriched air with pure oxygen. ◇ Expose air or oxygen to ionizing radiation. ◇ Use ionized oxygen. ◇ Replace ozonized (or ionized) oxygen with ozone.
原理 39	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 以惰性的環境取代正常的環境。 ◇ 加入中性物質或惰性添加物於一個物體中。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Replace a normal environment with an inert one. ◇ Add neutral parts, or inert additives to an object.
原理 40	
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 使用複合(多重)材料轉取代單一材料。 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Change from uniform to composite (multiple) materials.

附錄 D

以 Matlab 程式將 D 點（支撐桿）在不同角度時的位移、速度及加速度之間的關係，表示於下圖，位移以黑虛線表示，速度以綠實線表示，加速度以紅點線表示，單位為公分。

```
function stair_climber(theta,R,L,omega)
if nargin<4, omega=1;end;
deg=pi/180;
theta=theta2*deg;
LL=2*L;
sinx=sin(theta);
cosx=cos(theta);
x=R.*(1-cosx)+(R.*sinx).^2./LL;
V=R*omega.*(sinx+R./LL.*sin(2*theta));
A=R*omega*omega.*(cosx+R./LL.*cos(2*theta));
plot(theta,x,'k--',theta,V,'g',theta,A,'r');
grid on;
xlabel('角度');
ylabel('位移(黑虛線), 速度(綠實線), 加速度(紅點線)');
```



D 點在各角度與位移、速度及加速度之間的關係圖。