

經濟部標準檢驗局 104 年度
自行研究計畫

報告書編號：104-53

有限元素法應用於 車用千斤頂檢驗工作之模擬分析

經濟部標準檢驗局臺南分局 編印

中華民國 104 年 11 月 30 日

目 錄

壹、研究緣起與目的.....	1
貳、汽車用伸縮型螺旋千斤頂概述.....	1
2-1 汽車用輕便式伸縮型螺旋千斤頂之作用原理	1
2-2 CNS 4076 汽車用伸縮型螺旋千斤頂性能試驗 ...	3
參、研究方法.....	4
3-1 汽車用伸縮型螺旋千斤頂測試樣品與實驗設備..	4
3-2 有限元素法概述.....	6
3-3 建構伸縮型螺旋千斤頂之模型、負載與邊界條件	7
肆、研究結果.....	10
4-1 千斤頂油壓試驗機試驗結果.....	10
4-2 有限元素法分析結果	12
伍、結論與建議.....	15
六、參考資料.....	16

壹、研究緣起與目的

汽車用輕便式螺旋千斤頂係常見配備於汽車上的簡易維修工具，當汽車駕駛者在郊外或深夜發生輪胎洩氣的狀況時，只要藉由正確地操作千斤頂，便可輕鬆頂舉車身單邊，進行補胎、換胎等簡易工作，到就近的修車廠更詳盡維修，節省等待救援的時間與金錢。

汽車用輕便式螺旋千斤頂早於民國 83 年由經濟部標準檢驗局公告為應施檢驗商品，須經檢驗合格，始可運出廠場、輸入或進入市場銷售，檢驗標準係依據中華民國國家標準 CNS 4076 汽車用輕便式螺旋千斤頂(以下簡稱 CNS 4076)。檢驗項目含外觀檢查、構造及尺度檢查、負載運作檢查、耐負載試驗、傾斜負載試驗…等；目前多數千斤頂皆能符合檢驗標準，若能針對螺旋千斤頂樣品加以分析研究，了解其損壞原因，不僅能提升檢驗知識與累積經驗，提供改善建議，提供廠商可用之意見交流，間接確保消費者使用安全之權益。

本次研究將運用有限元素法(Finite Element Method)及電腦執行數值運算，分析車用千斤頂承受負載時，其應力分布狀況；再將數值模擬分析結果，與實體千斤頂受載重破壞的情形比較，期能更精準分析掌握車用千斤頂受載而破壞之原因加以改善與預防。

貳、汽車用伸縮型螺旋千斤頂概述

2-1 汽車用輕便式伸縮型螺旋千斤頂之作用原理

依據 CNS 4076 標準將汽車用螺旋千斤頂分類為普通型螺旋千斤頂、保險桿型螺旋千斤頂、車體型螺旋千斤頂與伸縮型螺旋千斤頂。伸縮型螺旋千斤頂因具有結構簡單、體積小、易收藏、操作簡便與價

格便宜等多項優點，故為目前市面上常見配備於小轎車使用之螺旋千斤頂；其作用原理說明如下：

汽車用螺旋千斤頂的作用原理主要係「螺紋原理」與「槓桿原理」〔1〕，重物舉升前與舉升後及桿件力量分析的示意圖如圖 1、圖 2 所示。

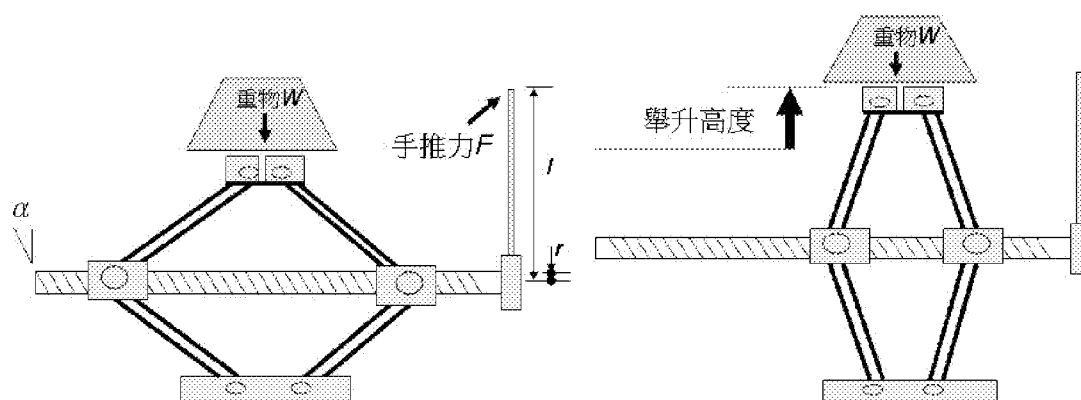


圖 1 汽車用伸縮型螺旋千斤頂舉升前與舉升後示意圖

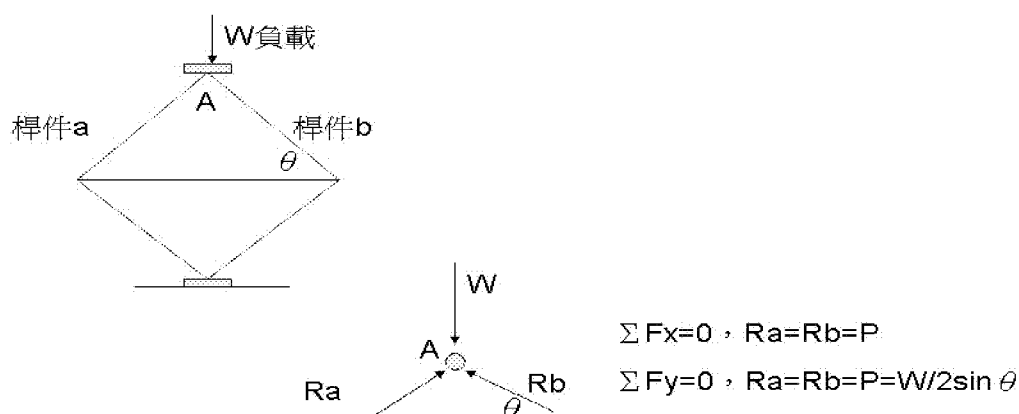


圖 2 伸縮型螺旋千斤頂之桿件力量分析圖

以下綜述幾項螺旋原理與槓桿原理應用的重要公式，負載操作升降伸縮型螺旋千斤頂時，其結構隨鞍座行程位置改變而產生不同的菱形變化，使各桿件(摺合臂)受力亦隨操作進給產生變化，桿件受力 P

$$P = \frac{W}{2 \sin \theta} \text{-----} (1)$$

其中 θ 為桿件與螺桿之夾角，當桿件接近水平狀態， θ 接近 0 時， $\sin \theta$ 值趨近於零，致使桿件與螺桿受力非常大，伸縮型螺旋千斤頂便無法使用舉升負載，因此，通常伸縮型螺旋千斤頂之有效升程為自桿件與螺桿成 30° 夾角以上至最大升程。

2-2 CNS 4076 汽車用伸縮型螺旋千斤頂性能試驗

茲節錄汽車用伸縮型斤頂檢驗標準 CNS 4076 之部分內容〔2〕，

貨品號列	8425.42.00.10-9
中文貨名	其他車用輕便千斤頂（限檢驗車用輕便螺旋千斤頂）
附圖	汽車用伸縮型螺旋千斤頂
檢驗標準	CNS 4076 汽車用輕便式螺旋千斤頂
檢驗項目	1. 外觀檢查：應無砂孔、裂痕、生鏽、毛頭。且須表面平滑、無落沙，電鍍及塗裝良好。 2. 構造及尺度檢查：構造檢查各部份無鬆動之現象。尺度檢查升程 120 mm 以上，閉合高度 220 mm 以下。

	3. 機械性能檢查 負載運作檢查：在鞍座上加以<u>最大使用負載之 120% 之負載</u>，由全升程之<u>最低位置到最高位置</u>(但如為伸縮型千斤頂則為由全升程之<u>中央位置到最高位置</u>)反覆頂高<u>三次</u>時必須為如下之情形；全行程之運作狀況必須圓滑確實，本體及各部份不得有使用上有害之異常。若有輔助螺桿，應可確實地於其作用之最高位置停止，試驗後其運作要良好。 耐負載試驗：以<u>最大使用負載之 150% 垂直靜負載</u>加於最大伸展狀態之千斤頂 3 分鐘，各部位應無永久變形、破壞或其他異常現象，但<u>伸縮型係在升程之中點試驗</u>。 傾斜負載試驗：將千斤頂伸至最長位置，底座墊以傾斜 6° 之傾斜板，以相當於最大使用負載之垂直靜負載加於鞍座或掛鉤 3 分鐘，各部位不得有有害之永久變形，破壞及其他異狀。但伸縮型千斤頂則為在全升程之中央位置，放置於對傾斜面成 45° 之位置進行試驗。車體型及保險桿型千斤頂傾斜向掛鉤側放置。
--	---

參、研究方法

汽車用伸縮型螺旋千斤頂之檢驗依據標準為 CNS 4076，其中機械性能檢查包含有負載運作檢查、耐負載試驗與傾斜負載試驗，本次研究以負載運作檢查與耐負載試驗為分析狀態；再以有限元素分析軟體(ANSYS)分析上臂結構承受負載時的應力與應變情形，由分析的結果實際的樣品受負載的結果做比較分析。實驗設備與樣品說明如下：

3-1 汽車用伸縮型螺旋千斤頂測試樣品與實驗設備

分析樣品選用國內車廠進口報驗之汽車用伸縮型螺旋千斤頂作為分析樣品，標稱負載 950 kg，如圖 3，其零件材質清單，如表 1。

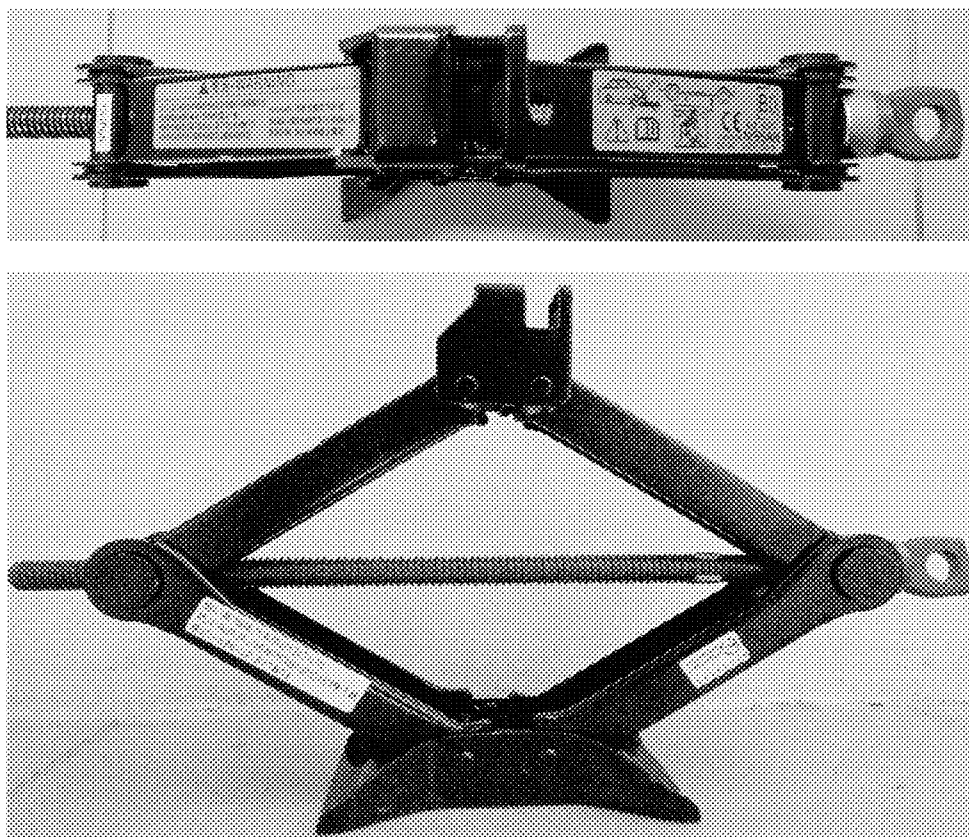


圖 3 汽車用伸縮型螺旋千斤頂樣品之俯視圖與正視圖

表 1 車用伸縮型螺旋千斤頂樣品之零件材質清單〔3〕

編號	主要零件名稱	材 料	尺 寸 與 機 械 性 質
1	螺桿	SWRCH35K	$\phi 11.67\text{mm}$
2.	上臂	ST44	厚度 $t=1.5\text{mm}$ 彈性模數 $E=210\text{Gpa}$ 浦松比 $\nu=0.3$ 降伏強度 $\sigma_y=1034\text{MPa}$
3	下臂	B510L	$t=2.0\text{mm}$
4	鞍座	B510L	$t=2.5\text{mm}$
5	底座	SAPH440	$t=2.0\text{mm}$

實驗設備為高鐵科技股份有限公司生產 KT-F-159 型「5/10 噸油壓千

斤頂試驗機」〔4〕，搭配電腦、U25 力量負載顯示器〔5〕與 U58 軟體系統之介面〔6〕，讓操作者能擷取、儲存千斤頂檢驗過程之負載、位移等數據於電腦，如圖 4。

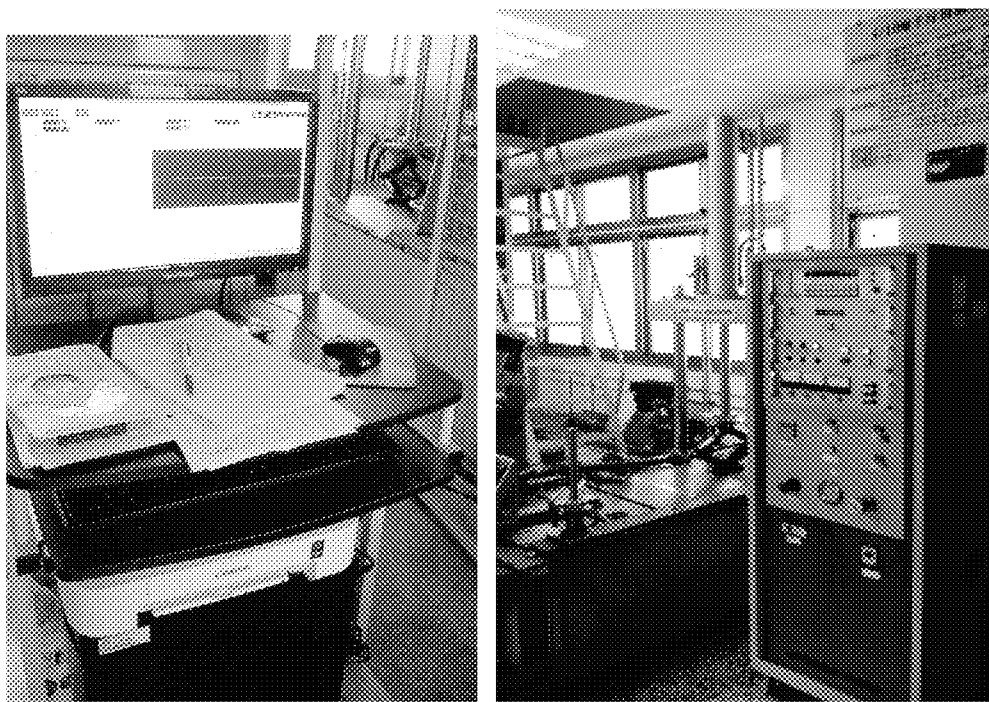


圖 4 電腦 U58 軟體系統與 5/10 噸千斤頂油壓試驗機

3-2 有限元素法概述

面對形狀、邊界條件、負載條件複雜的許多工程問題時，若要依靠求解統御方程式得到精確的解析解，是非常有限的，大部分工程問題必須以數值分析方法來得到近似解。隨著電腦運算能力的提升，需要大量運算的數值方法，便可用於解複雜的工程問題。

有限元素法係一種結構分析數值方法，使用有限元素分析軟體可以定義複雜結構的幾何形狀，再將結構劃分網格為若干小塊，這些小塊稱為有限元素 (element)，它們可以是三角形、四邊形、四面體、六面體或其他形狀，易於為電腦記錄和鑒別，相鄰元素的共用接合點即是節點 (node)，利用節點結合元素；給定結構不同的負載及邊界

條件，分析在這個負載與邊界條件下，結構所產生的應力、變形量等。

簡化以方程式 $[K]\{D\} = \{F\}$ 說明，給定的負載外力向量為 $\{F\}$ ，邊界條件位移向量為 $\{D\}$ ，經由有限元素分析軟體的處理方式，利用共用節點上產生交互作用的概念，將各單獨元素的元素剛性矩陣，組合成為整體系統的系統剛性矩陣 $[K]$ 。在解大型的線性方程式，一般是用線性代數法，將矩陣化為三角形矩陣後，求出第一個未知數，再反代回去一一求出其他未知數。解這個系統方程式，可說是有限元素分析整個程序中，最耗費電腦運算時間和記憶空間的部分。

本次研究採用有限元素軟體 ANSYS [7]，它可應用於結構分析、熱分析、流體動力學分析、電磁分析…等領域，使用的方法步驟簡述如下

1. 前處理(Preprocessor)

- a. 設定元素類型、材料特性與幾何尺寸等參數。
- b. 建立有限元素分析模型(modeling)
- c. 模型網格化(meshing)
- d. 定邊界條件及施加負載(Loads)。

2. 求解(Solution)

3. 後處理(Postprocessor)及圖像處理

3-3 建構伸縮型螺旋千斤頂之模型、負載與邊界條件

以有限元素法分析伸縮型螺旋千斤頂的結構應力，選取上臂桿件進行分析，該桿件受力狀況近似為二力桿件，即外荷重只作於接點上，各接點皆為鉸接，且桿件只承受軸拉或軸壓力。上臂材料性質如表 1，板材厚度 1.5mm，斷面形狀及尺寸如圖 5。建構千斤頂上臂桿件的分析模型網格化如圖 6。

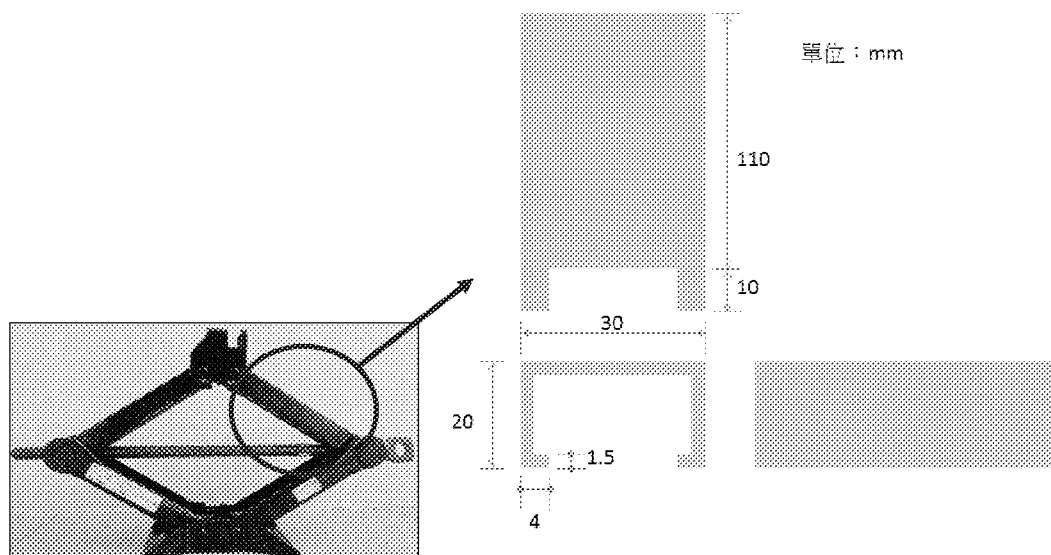


圖 5 伸縮型螺旋千斤頂上臂桿件與有限元素模型尺寸標示

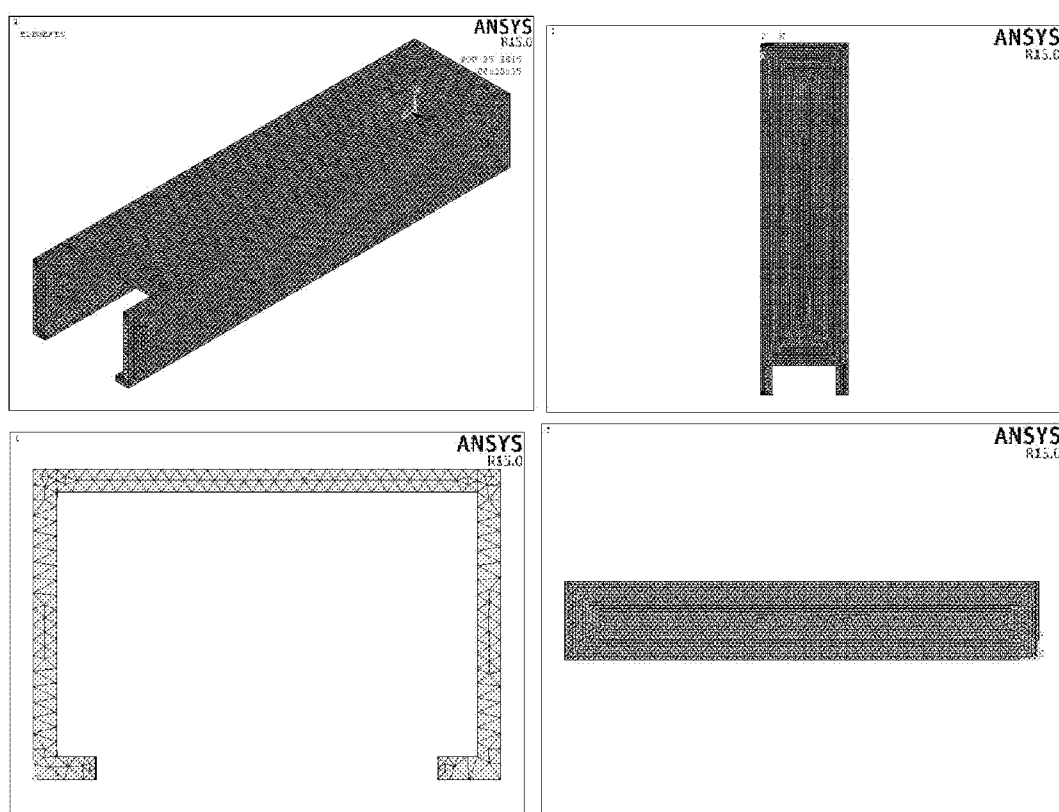


圖 6 伸縮型螺旋千斤頂上臂桿件有限元素模型

接著說明施加千斤頂樣品的負載與邊界條件，先說明桿件受負載之情形，當伸縮型螺旋千斤頂位於全升程之中點位置($\theta=30^\circ$)，油壓試驗機之壓盤於千斤頂鞍座上施加向下負載 $W(\text{kg})$ 時，由式(1)可知，

上臂桿件與下臂桿件承受壓縮力 $W(\text{kg})$ ，螺桿則承受拉伸力 $\sqrt{3}W(\text{kg})$ ；依此關係施加負載 $W(\text{kg})$ 於上臂桿件之下端斷面的節點上，桿件上端斷面節點設定為邊界條件拘束位移為零，以便了解桿件受力變形狀況。

此外，當負載運作檢查時，除了軸向負載以外，需要轉動操作手柄，將鞍座從半升程位置向上揚升，假設操作手柄長約 0.2m ，參考操作力 20 kg ，所以除了軸向壓力外，還需另施加摩擦扭矩 $4\text{kg}\cdot\text{m}$ ，如圖 7。

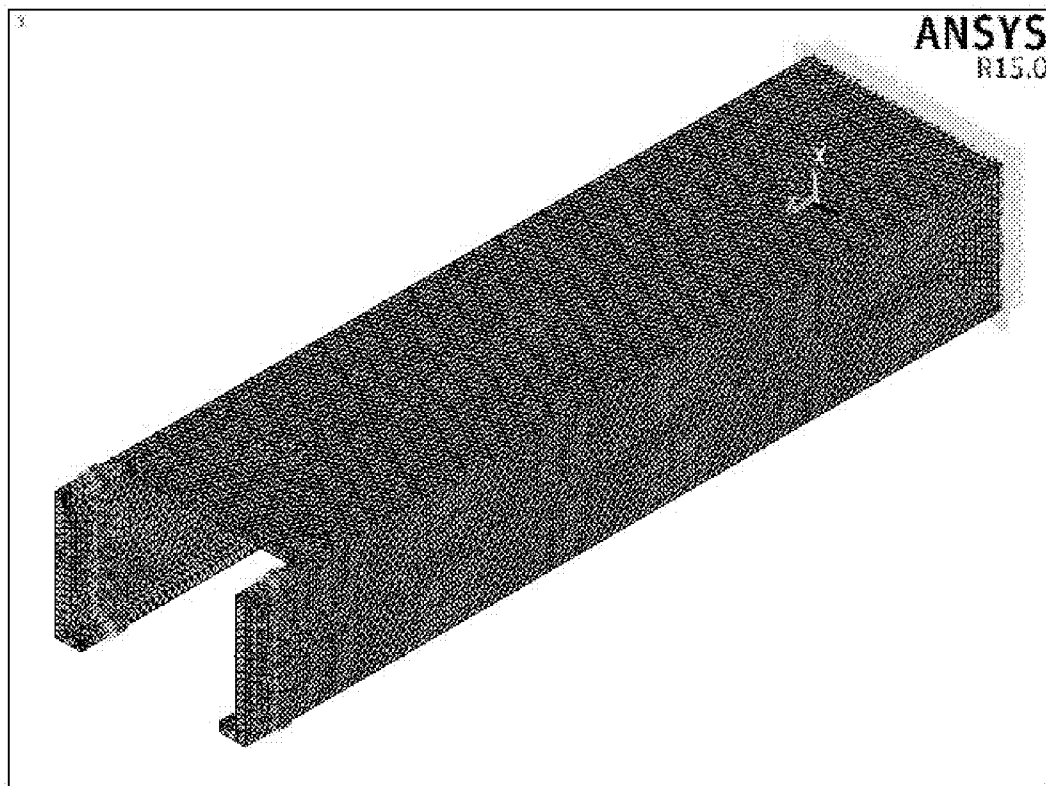


圖 7 有限元素模型受負載與邊界條件圖

肆、研究結果

4-1 千斤頂油壓試驗機試驗結果

選取兩之伸縮型螺旋千斤頂當測試樣品進行耐負載試驗，油壓試驗機之壓盤施加負載壓於千斤頂鞍座上，當負載由零逐漸增加，千斤頂受壓產生變形，油壓機壓盤隨之向下位移，形成負載位移曲線如圖 8 所示。由圖可知，當負載增加，伸縮型螺旋千斤頂受壓產生向下位移，負載愈大，千斤頂鞍座向下位移愈大，當負載達到約 2100 至 2300kg，千斤頂向下位移-4mm 時，千斤頂樣品的上臂下端產生挫曲變形破壞，如圖 9。

當上臂桿件發生挫曲時，雖然立刻停止油壓機的下壓負載，負載值下降到約 1400 kg，但是螺旋千斤頂的上臂桿件因崩潰仍急速向下變形，直到位移值達到約-7 mm，桿件被螺桿與銷接面撐住為止。

分析上臂挫曲變形主因係該處之板材之斷面性質強度不足，板金折未摺壓 L 彎之幾何形狀之補強，因而產生挫曲變形時。上臂桿件承受負載 2100 kg 而挫曲變形，該伸縮型螺旋千斤頂耐負載強度已高於 CNS 4076 要求的 1.5 倍標稱負載，達到 2.2 倍標稱負載。

在實務上，欲增加桿件強度，可以使用較厚的板材，或者選用強度較高的材質，亦或者將板材加工成形，取得較佳斷面性質(截面模數、慣性矩…等)，以符合桿件的使用負載條件要求。

汽車用伸縮型螺旋千斤頂950kg

試驗報告

試驗方法：伸縮型螺旋千斤頂-耐負載試驗

列印日期：2015/11/24

試驗人員：劉振南

頁數：1共1頁

編號	試件名稱	力量最大值	最大伸長率	拉伸強度	斷裂值	斷裂伸長率	斷裂強度	定伸應力	最大行程
1	標稱負載950kg 試件數目組：1.000	2262.72kgf	-326.25%	2262.72kgf/mm ² 224.14kgf	-742.75%	224.14kgf/mm ² (EXT)kgf/mm ²	0.227mm		
2	995503DA1A 試件數目組：1.000	2154.22kgf	-325%	2154.22kgf/mm ² 202.62kgf	-522%	202.62kgf/mm ² (EXT)kgf/mm ²	0mm		

最大值	2262.72kgf	-326%	2262.72kgf/mm ² 224.14kgf	-522%	224.14kgf/mm ² 0kgf/mm ²	
最小值	2154.22kgf	-326.25%	2154.22kgf/mm ² 202.62kgf	-742.75%	202.62kgf/mm ² 0kgf/mm ²	
平均值	2258.908kgf	-320.625%	2258.908kgf/mm ² 221.885kgf	-642.375%	221.885kgf/mm ² 0kgf/mm ²	
均勻度	46.87kgf	2.52%	46.87kgf/mm ² 5.42kgf	44.44%	5.42kgf/mm ² 0kgf/mm ²	
變異率	9.28kgf	-2.22%	9.28kgf/mm ² 11.35kgf	-22.61%	11.35kgf/mm ² 0kgf/mm ²	
不可率	4.64kgf	-1.44%	4.64kgf/mm ² 5.52kgf	-15.2%	5.52kgf/mm ² 0kgf/mm ²	
公差率	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

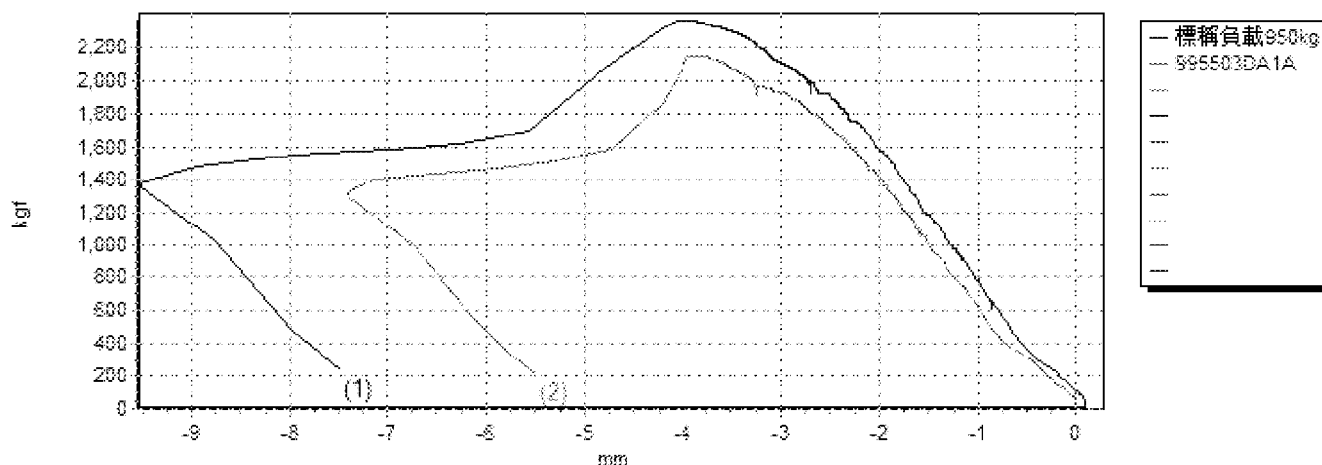


圖 8 螺旋千斤頂受負載時之負載位移圖

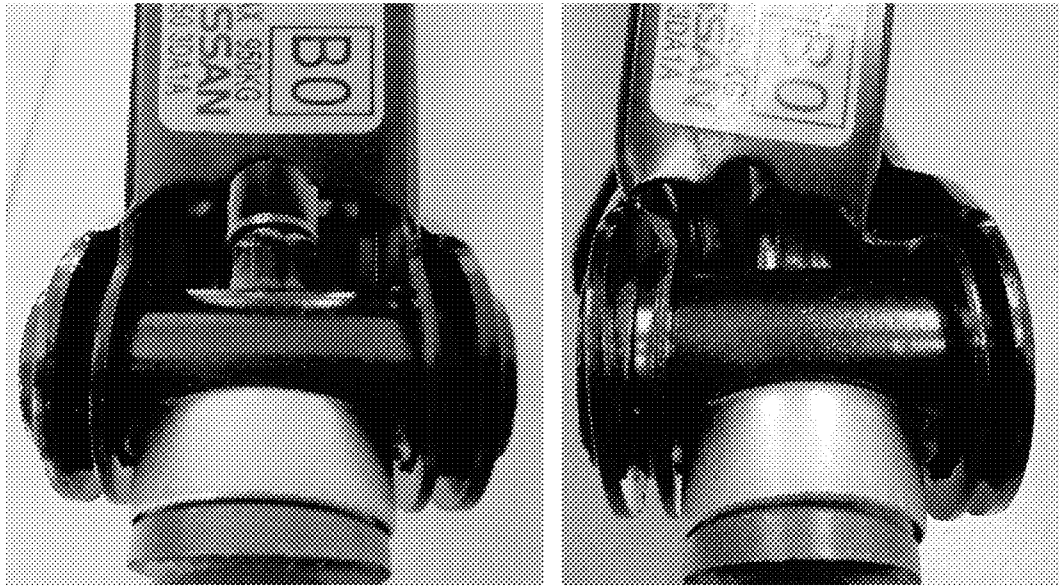


圖 9 千斤頂樣品之上臂挫曲變形前與挫曲變形後之比較

4-2 有限元素法分析結果

從有限元素模型分析計算的結果可知，上臂變形後與未變形幾何外形邊緣線之比較如圖 10，上臂桿件承受壓力後，板材薄弱處向下挫曲變形。

對一個延性材料受到多方向的三維力，常選用 von Mises criterion 判定材料達到降伏狀態否。上臂桿件受力 2.1 噸的 von Mises stress 應力分布如圖 11，最大等效應力 1593MPa 之位置在上臂發生挫曲的位置，因為該處板材斷面性質相對薄弱，且有應力及中效應，所以該處應力最早達到降伏狀態，產生塑性變形進而彎曲。

當螺旋千斤頂做負載運作檢查時，外力負載為軸向壓力 2.1 噸與軸向摩擦扭矩 4 kg-m，則 von Mises stress 應力分布如圖 12，最大等效應力 1817MPa。

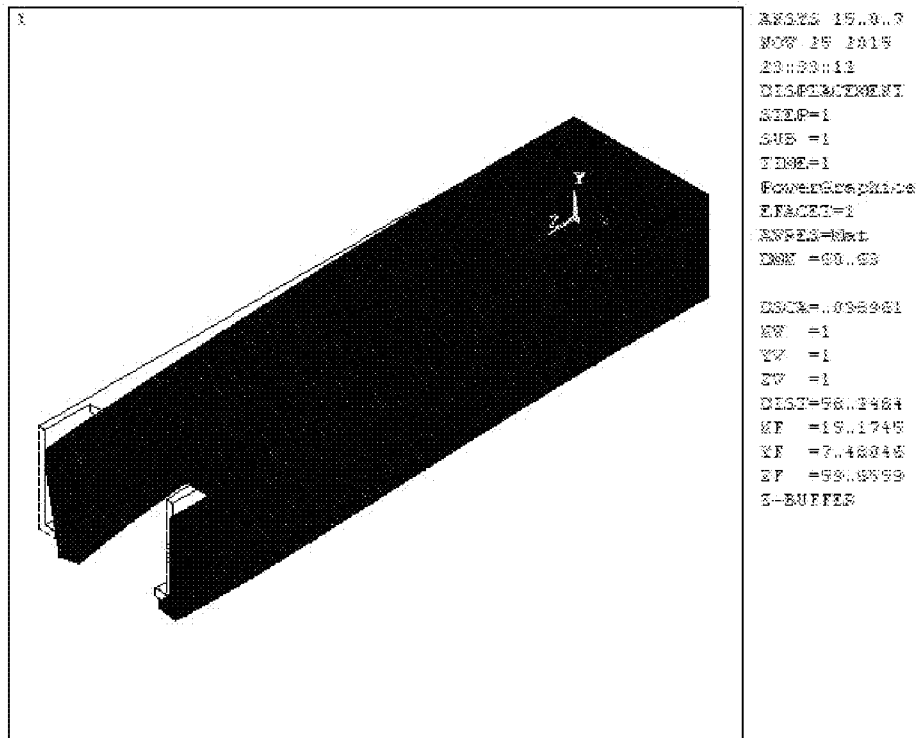


圖 10 上臂變形後與未變形邊緣線

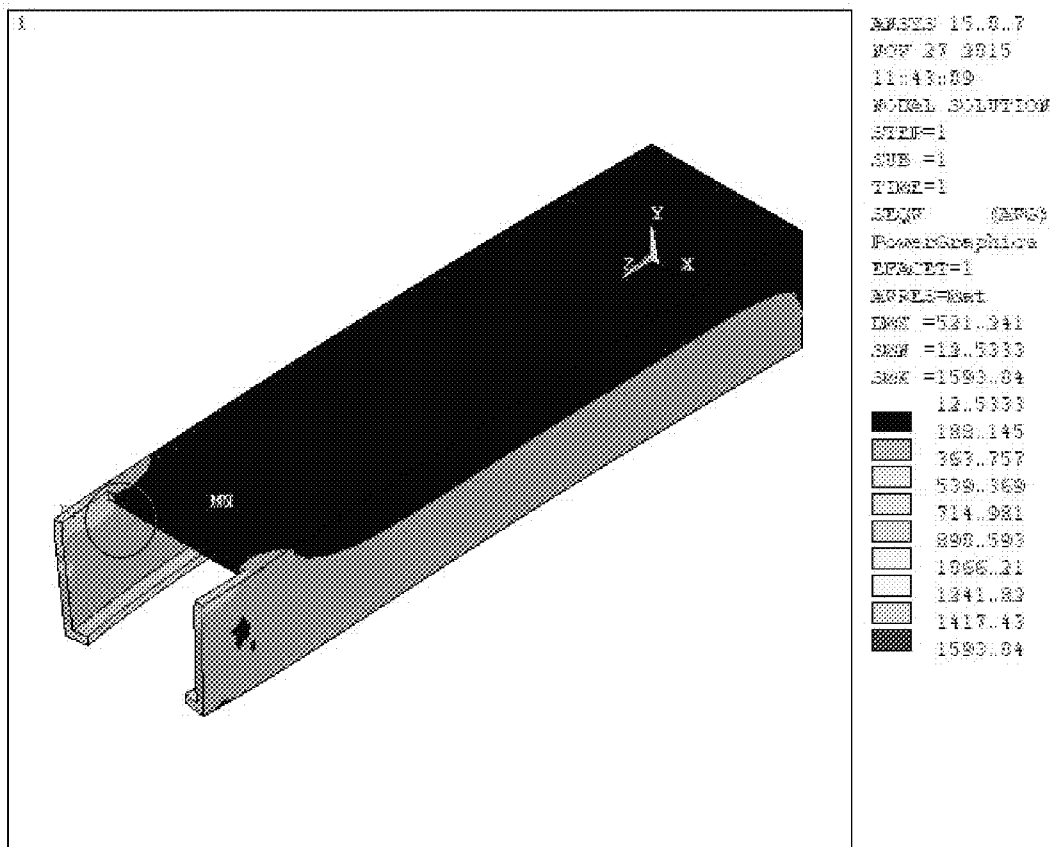


圖 11 負載 2.1 噸，上臂 von Mises stress 分佈情形

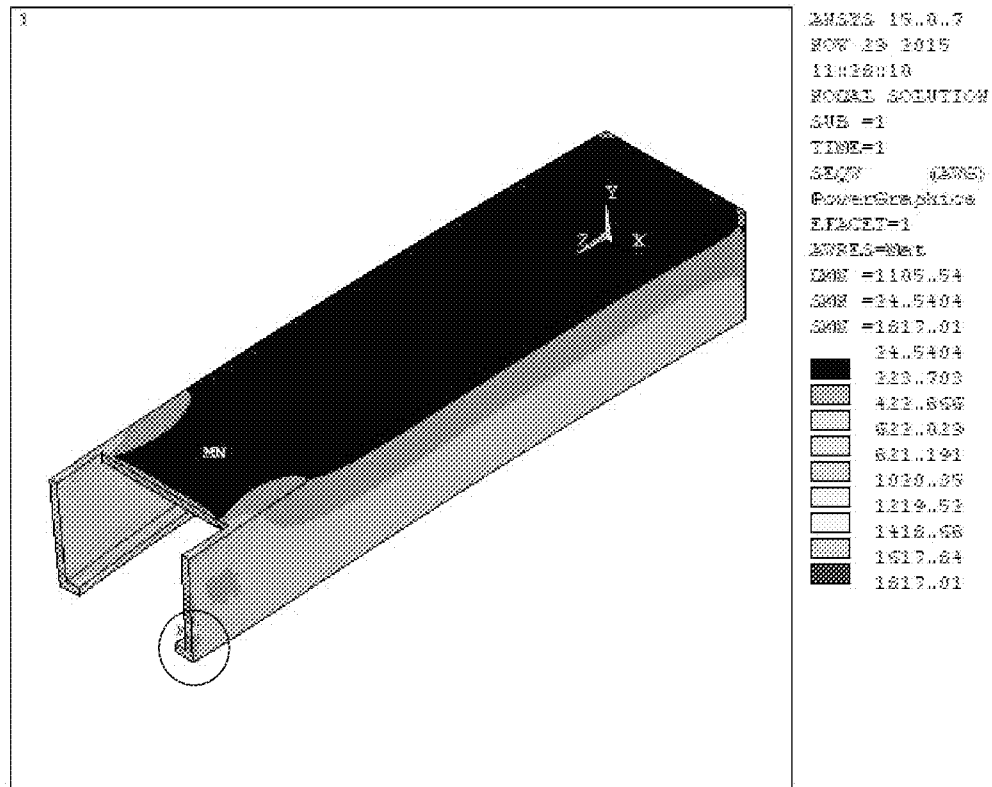


圖 12 負載 2.1 噸及扭矩 4kg-m，上臂 von Mises stress 分佈情形

伍、結論與建議

隨著電腦科技的進步與運算能力的增強，使電腦輔助工程 CAE(Computer Aided Engineering)更廣泛應用於各領域上，從航太業、汽車、船舶工業、醫療、電子…等，都有相當大的效益，透過電腦數值大量快速的運算，輔助求解分析複雜工程和產品的性能，並優化結構等工作，以虛擬測試方式，預測產品性能，達成產品設計、改善性能的效果。

電腦數值運算的有限元素法分析工程問題，雖然功能強大，但是分析者必須對該領域有基本知識，才能建立正確的分析模型、邊界條件、材料特性…，並對結果做出合理正確的解釋，達到準確的模擬分析預測的功效。

本次研究將有限元素法應用於千斤頂檢驗工作的模擬分析，先以結構零件較簡單的伸縮型螺旋千斤頂著手研究。從實驗數據與有限元素法分析結果，圖 9 與圖 11、圖 12 比較，兩者之結果相近，有限元素分析法還可以清楚的了解桿件受負載之後的應力分布情形，提供千斤頂設計、檢驗工作分析的參考依據，此外，還可運用有限元素軟體的電腦數值分析方法，應用於車用液壓千斤頂及構造較為複雜的輪型液壓千斤頂的檢驗工作上。

實驗室可多加練習熟悉的應用，增進分析的能力，確實掌握千斤頂的受力破壞的機制與原因，提升檢驗的信心。

六、參考資料

- 一、賴耿陽譯著，1996，千斤頂設計實務，復漢出版社，台南。
- 二、CNS 4074：1994，汽車用輕便式螺旋千斤頂，經濟部標準檢驗局。
- 三、裕隆汽車製造股份有限公司，2012，汽車用伸縮型螺旋千斤頂型式試驗技術文件/系列型式 99550 3DA1A。
- 四、高鐵科技股份有限公司，1994，千斤頂抗壓試驗機操作說明書。
- 五、高鐵科技股份有限公司，2015，U58 軟體操作手冊。
- 六、高鐵科技股份有限公司，2015，U25 控制面板使用說明書。
- 七、知城數位科技，2001，有限元素分析 ANSYS 與 Matlab，台北市。