

作品名稱：萬獸之王最高機密

初小組 應用科學科 第壹名

縣市：台北市

作者：鍾介恆、古家全、王宣平

校名：碧湖國民小學

指導老師：詹秀玉、陳秀玲

關鍵詞：四連桿機構、動力系統、推力、拉力、速度慢力量大、
負重、摩擦力



作品名稱：萬獸之王最高機密 41 屆全國中小學科展 初小組 應用科學科 第壹名

一、 研究動機

想做一隻力量最大的萬獸之王。

二、 研究目的

- (一) 怎樣才能做出一隻像四隻腳走獸走路的機器獸？
- (二) 怎樣才能做出拉力最大的機器獸？
- (三) 怎樣才能做出推力最大的機器獸？

三、 研究設備 (見照片 1, 2)

四、 研究過程

研究一：怎樣應用以上的材料和工具做一隻會四隻腳走路的機器獸？

(一)製作方法：

參考中華創意發展協會萬獸之王製作指導手冊習作。〔2〕

(二)發現與討論

- 1、我們做的機器獸晃來晃去歪著走、腳步亂、又走走停停，為什麼？
- 2、一次次維修拆解黏合很麻煩，且容易損壞元件，有沒有比熱熔膠更好的接合方法？

研究二：做一隻可以走直線的機器獸。

(一) 製作方法 同研究一，螺帽接合的部份改以黑色和橘色塑膠管取代。

(二) 發現與討論 剛開始可以走直線，可是走一段後又會偏。

研究三：機器獸為什麼還是不能走直線？

做一隻鑽孔由直徑 3mm 改為直徑 2.8mm，塑膠管取代螺絲螺帽的機器獸。

發現與討論

- 1、不走直線主要原因是長短腳，左右兩側結合螺絲鬆緊不同，沒對稱。
- 2、搖搖晃晃是因為鑽孔之孔徑太大。
- 3、黏合兩支曲柄軸，接合方向的角度偏離 180 度時，發現機器獸的腳步會變得很怪。

研究四：曲柄軸接合方向的角度和機器獸行走的關係。

(一)方法

- 1、做一對曲柄軸，兩洞距 1cm。
- 2、使曲柄軸方向呈 0、45、90、180 度四種角度接合。
- 3、讓機器獸按四種角度各跑一公尺遠各三次。
- 4、每次實驗動力控制相同，就是換新電池並測電壓。
- 5、觀察與紀錄各個機器獸跑一公尺遠所花的平均時間。

(二) 結果見下表 3

表 3 曲柄接合方向角度與機器獸行走關係

曲柄接合方向角度	0 度	45 度	90 度	180 度
走路的樣子	像四腳等長的兔子跳	像跛腳	像小馬跳	像四隻腳的走獸
第 1 次 (秒)	71.37	44.37	19.38	12.14
第 2 次 (秒)	71.22	47.56	20.66	13.22
第 3 次 (秒)	70.20	47.62	22.53	12.59
平均 (秒)	70.39	46.51	20.85	12.65
速度 (公尺/秒)	0.014	0.022	0.048	0.079

(三) 討論：從表 3 得知

- 1、曲柄軸方向呈 180 度接合時，機器獸就可以像四隻腳的走獸走路，走得穩而且速度最快，力量也較大。
- 2、89.10.28 依以上研究心得做一隻我們的第一代萬獸之王參加初賽，在第一輪比賽中

我們就被淘汰出局了。

(四) 失敗經驗檢討做為更深入研究的基礎

- 1、 我們的機器獸只能推贏加工技術不良的衰弱機器獸。
- 2、 拉力大推力就大嗎？怎樣測量？
- 3、 速度快推力就變小嗎？怎樣變慢速度？
- 4、 我們的機器獸沒做腳掌被推時易打滑站不穩。
- 5、 比賽中好多機器獸的心臟(齒輪組)很快就鬥壞了。所以我們先從強化齒輪組改良做起。

研究五：怎樣強化齒輪組？ 方法：改善組裝的技術強化齒輪組使不易磨損。

研究六：怎樣測量拉力和推力？〔4〕

(一) 方法 製作拉力和推力測試台。

表 4 拉力測試結果

水量〈g〉	彈簧被拉長的長度〈cm〉					g / cm
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	3 次平均		
50	4.5	3	3	3.5	14.3	
100	5.5	6.5	6	6	16.7	
150	8	9	8	8.3	18.1	
200	10	12	9.5	10.5	19.0	
250	12.5	13	12.5	12.6	19.7	
300	15.5	14	15.5	15	20.0	
平均拉長一公分的拉力					18.0 g/cm	

討論 分析拉力測試結果，從表 4，得知彈簧伸長的長度成正比例增加，表示拉力測試結果可參考，計算平均拉力為 18g/cm。

表 5 推力測試結果

結果 個數	可拖動 U 型磁鐵的水量(g)			
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均
1	200	150	250	200
2	425	400	380	402
3	600	650	550	600
平均推動每個 U 型磁鐵的推力				200.3 g/一個

討論 分析推力測試結果表 5 及圖 6 得知，U 型磁鐵個數成正比例增加，表示推力測試結果可參考，計算平均推力為 200.3g/1 個 U 型磁鐵。

研究七：腳掌和力量的關係如何？

(一) 方法 (照片 3)

(二) 結果如下表 6，表 7

表 6 腳掌拉力測試結果 18.0g/cm

有無腳掌	沒有	有	加砂紙	加氣球
第 1 次	0.5	1.5	2	5.5
第 2 次	1	1.5	2.5	5.2
第 3 次	0.5	1	2	5.2
彈簧平均長度 (cm)	0.6	1.3	2.2	5.3
拉力 gw	10.8	23.4	39.6	95.4

表 7 腳掌推力測試結果 200.3g/1 個 U 型磁鐵

有無腳掌	沒有	有	加砂紙	加氣球
第 1 次	1	2	3	5
第 2 次	1	2	3	5
第 3 次	1	2	3	5
U 型磁鐵個數	1	2	3	5
推力 gw	200.3	400.6	600.9	1001.5

(三) 討論：從表 6 表 7 得知

- 1、有腳掌而且腳掌穿氣球套時力量最大
- 2、沒有腳掌力量最小（拉力 10.8g/cm，推力 200.3g/個）。

研究八：負重與和力量的關係

(一)方法：見照片 4

(二)結果：如下表 8，9

表 8 負重與和拉力的關係 18g/1cm

負重	沒有	前端負重	中間負重	後端負重
1 次	3	12	9	3
2 次	2.5	11	8.5	3
3 次	3	11.5	9	3
彈簧平均長度	2.8	11.8	8.8	3
拉力 gw	50.4	212.4	158.4	54

表 9 負重與和推力的關係 200.3g/1 個 U 型磁鐵

負重	沒有	前端負重	中間負重	後端負重
1 次	5	6	4	3
2 次	5	6	4	3
3 次	5	6	4	3
U 型磁鐵平均（個）	5	6	4	3
推力 gw	1001.5	1201.8	801.2	600.9

(三)討論：從表 8 及表 9 得知

- 1、前端負重力量最大（拉力 212.4 g/cm，推力 1201.8g/個）。
- 2、中間或後端負重力量變小。
- 3、負重超過負荷馬達會當機。

89.11.11 參加全國決賽，我們依新的研究的心得，做一隻我們的第二代萬獸之王，發現還有 8 隻力量更大的機器獸。

- 4 發現力量要大，速度還要更慢，前後腳步很小，腳步均勻，且走得很穩。

研究九：速度變慢機器獸的力量就會變大嗎？

(一)方法：略 (二)結果見下表 10、表 11、表 12

表 10 曲柄兩孔距離與速度的關係

曲柄 兩孔距離	0.8cm	1cm	1.5cm	2.0cm
第 1 次	24.34	24.31	22.81	11.47
第 2 次	24.75	24.28	22.65	12.26
第 3 次	25.10	24.56	22.09	12.47
平均（秒）	24.73	24.38	22.52	12.01
速度（公尺/秒）	0.040	0.041	0.044	0.083

表 11 曲柄兩孔距離與拉力的關係 18g/1cm

曲柄	兩孔距離	0.8cm	1cm	1.5cm	2.0cm
拉力 彈簧平均 長度	第 1 次	9	8	8	5
	第 2 次	8.5	8	7.5	4
	第 3 次	8.	8	7.5	6
	平均長度 (cm)	8.2	8	7.6	5
拉力 (gw)		147.6	144	136.8	90

表 12 曲柄兩孔距離與推力的關係 200.3g/1 個 U 型磁鐵

曲柄兩孔距離	0.8cm	1cm	1.5cm	2.0cm	
磁鐵 單位 (個)	第 1 次	5	5	2	1
	第 2 次	5	5	2	1
	第 3 次	5	5	2	1
	平 均	5	5	2	1
推力 gw		1001.5	1001.5	400.6	200.3

(三)討論：

從表 10，表 11，表 12 得知

- 1、 曲柄孔距越小，腳步越小，速度越慢，力量越大
- 2、 曲柄最小只能做到 0.8cm，再小鑽孔易裂開，齒輪與螺絲無法並排鎖上。

研究十：力量大小與後軸旋轉點位置的關係如何？

(一) 方法：略

(二) 結果如下表 13，14：

表 13 第三代萬獸之王後軸旋轉點位置與拉力大小的關係 18g/1cm

後腳孔距	1.5cm	3cm	4.5cm	
彈 簧 長 度	1	0	7	
	2	0	7.5	
	3	0	7	
	平均	0 走兩步	5.3	7.2
拉 力 gw		0	95.4	129.6

表 14：推力大小與後軸旋轉點位置的關係 200.3g/個

後腳孔距	1.5cm	3cm	4.5cm	
磁 鐵 個 數	1	6	8	
	2	6	8	
	3	6	8	
	平均	6	8	
推 力 gw		200.3	1201.8	1602.4

(三)討論：分析表 13，表 14 得知

- 1、發現後軸旋轉點越高，後腳搖擺幅度越大，後腳就大步，後軸旋轉點越低，搖擺幅度變小，後腳就走小碎步。
- 2、一次次做機器獸研究很耗時，我們參考機構方面的書，知道機器獸四腳傳動走路的原理叫做四連桿曲柄搖桿機構，於是想到用做四連桿機構模型來操作的方法，應該可以更方便做分析。〔3〕

研究十一、操作四連桿模型，分析四桿長度之組合與四桿傳動的關係

(一) 方法：見照片 5

- 1、以自製第三代萬獸之王的四桿尺寸為基準，桿 1 固定不變。
- 2、調整桿 2、桿 3 桿 4 長度

(二)結果：

表 15 四連桿模型操作結果

組一	模擬長度 單位：mm				
	x 表示不會走			○會走	
AD 桿 1	100	100	100	100	100
AB 桿 2	8	15	25	35	45
BC 桿 3	95	95	95	95	95
CD 桿 4	55○	55○	55○	55○	55○
	45○	45○	45○	45○	45x
	35○	35○	35○	35x	35x
	25○	25○	25x	25x	25x
	15○	15x	15x	15x	15x
組二	模擬長度 單位：mm				
AD 桿 1	100	100	100	100	100
AB 桿 2	8	15	25	35	45
BC 桿 3	85	85	85	85	85
CD 桿 4	55○	55○	55○	55○	55x
	45○	45○	45○	45x	45x
	35○	35○	35x	35x	35x
	25○	25x	25x	25x	25x
	15x	15x	15x	15x	15x
組三	模擬長度 單位：mm				
AD 桿 1	100	100	100	100	100
AB 桿 2	8	15	25	35	45
BC 桿 3	75	75	75	75	75
CD 桿 4	55○	55○	55○	55x	55x
	45○	45○	45x	45x	45x
	35○	35x	35x	35x	35x
	25x	25x	25x	25x	25x
	15x	15x	15x	15x	15x

(三)討論：從表 15 的分析得知

- 1、曲柄(桿 2)越長，連桿(桿 3)越短不能傳動的情形越多。
- 2、模型操作只能幫助我們找出可以走的四桿尺寸，但卻看不出力量較大的是哪些組合。
- 3、網路上是否有軟體，可以協助我們做分析？

研究十二：電腦四連桿動態分析〔1〕

(一)方法：見照片 6

- 1、網路下載四連桿模擬動態分析教學軟體
- 2、按指令輸入四桿尺寸，操作觀察動態模擬，運動分析圖研判走得好不好。

(二)結果：見表 16

表 16 電腦四連桿模擬動態分析操作結果

組一 模擬長度 單位：mm ◎走得很好 ○會走 × 表示不會走					
AD 桿 1	100	100	100	100	100
AB 桿 2	8	15	25	35	45
BC 桿 3	95	95	95	95	95
CD 桿 4	55 ◎	55 ○	55 ○	55 ○	55 ○
	45 ◎	45 ○	45 ○	45 ○	45x
	35 ◎	35 ○	35○	35x	35x
	25 ○	25 ○	25x	25x	25x
	15 ○	15x	15x	15x	15x
組二 模擬長度 單位：mm					
AD 桿 1	100	100	100	100	100
AB 桿 2	8	15	25	35	45
BC 桿 3	85	85	85	85	85
CD 桿 4	55◎	55○	55○	55○	55x
	45◎	45○	45○	45x	45x
	35○	35○	35x	35x	35x
	25○	25x	25x	25x	25x
	15x	15x	15x	15x	15x
組三 模擬長度 單位：mm					
AD 桿 1	100	100	100	100	100
AB 桿 2	8	15	25	35	45
BC 桿 3	75	75	75	75	75
CD 桿 4	55◎	55○	55○	55x	55x
	45○	45○	45x	45x	45x
	35○	35x	35x	35x	35x
	25x	25x	25x	25x	25x
	15x	15x	15x	15x	15x

(三)發現與討論：從表 16 的分析得知

- 1、電腦模擬結果比模型操作更精密。
- 2、機構理論我們無法完全瞭解，不過觀察運動分析圖與實作經驗對應，發現運動分析圖裡的輸入角、輸出角曲線弧度越平滑表示走得越慢越穩，角速度和角加速度曲線弧度越圓滑，表示走得越好。

研究十三：做一隻永遠的萬獸之王可能嗎？

(一)方法：依四個月來實作研究的心得和理論模擬分析的結果，設計我們的第四代萬獸之王。

(二) 實驗結果如下表 17

表 17 第四代萬獸之王後軸旋轉點位置與速度的關係 公尺/秒

後腳孔距	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm
1 次	0	16.13	18.45	30.82	35.54
2 次	0	16.67	18.20	31.23	35.28
3 次	0	16.54	18.56	31.04	35.70
平均秒/m	0	16.45	18.40	31.03	35.52
速度公尺/秒	0	0.061	0.054	0.032	0.028

表 18 第四代萬獸之王後軸旋轉點位置與拉力的關係 18g/1cm

後腳孔距	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm
1 次	0	2.5	5	7	8.5
2 次	0	3	5.5	7.5	8
3 次	0	3	5	7	9
平均 (cm)	0	3.6	5.3	7.2	8.5
拉力 gw	0	64.8	95.4	129.6	153

表 19 第四代萬獸之王後軸旋轉點位置與推力的關係 200.3g/1 個 U 型磁鐵

後腳孔距	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm
1 次	0	1	6	8	2
2 次	0	1	6	8	2
3 次	0	1	6	8	2
平均 (個)	0	1	6	8	2
推力 gw	0	200.3	1201.8	1602.4	400.6

(二)發現與討論：從表 17-19

1 旋轉點 5cm 時拉力最大，但底板前端上仰，反而推力變小很多。

2 最大的拉力(153gw)贏過第三代萬獸之王(129.6gw)，成為新的第四代萬獸之王。

六、結論

要做好機器獸真不是一件容易的事，因為機構學四連桿的原理，以及電腦動態模擬的角速度與角加速度，我們實在很難了解；不過我們從完全不會做→會做→做一隻力量最大的萬獸之王，從嘗試錯誤中，由做中學，得到以下結論：

(一)、 一定的動力〈電池型號，電壓及馬達固定〉萬獸之王走得越慢，力量越大。

(二)、 曲柄軸兩孔距離越短，前腳的腳步就小，速度會變慢，力量變大。

(三)、 後軸旋轉點的位置越低，後腳擺幅越小走小步，速度會變慢，力量變大。

(四)、 後軸旋轉點的位置也不能太低，因為這時底板會向上傾斜，推力反而會變小。

(五)、 萬獸之王是否走直線，和左右螺絲鬆緊、鑽孔大小、鑽孔位置，是否對稱有關。

(六)、 底板前端負重力量會變大，負重剛好力量最大。

(七)、 腳掌穿橡皮氣球套增加磨擦力，較不打滑力量會變大。

(八)、 雙倍齒輪加潤滑油可以延長齒輪組壽命力量也會變大。

(九)、 四連桿模型操作和電腦動態分析，可以幫我們找出很多力量大的尺寸，所以萬獸之王沒有唯一的尺寸，沒有永遠的萬獸之王，歡迎有心人來挑戰。

七、參考資料

1、網站 網址：<http://140.124.30.2/> “台北科技大學機械系平面四連桿組之輔助教學軟體”
四連桿機構分析與模擬 指導教授：陳正光， 程式設計：許恆嘉

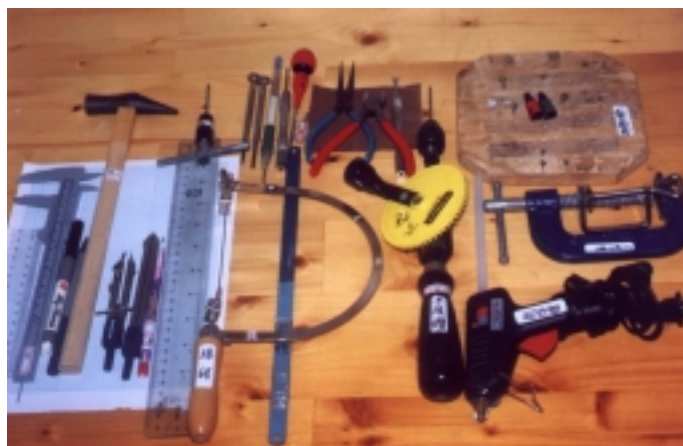
2、“萬獸之王大賽指導手冊”，師大工教系，中華創意發展協會主辦 89.9

3、劉堉“機動學”，東華 67.9，P157-161

4、王培智譯 蘇懿賢校閱“基礎物理”，科學圖庫徐氏 86.10， P112-P120



照片 1 做機器獸的材料



照片 2 做機器獸的工具



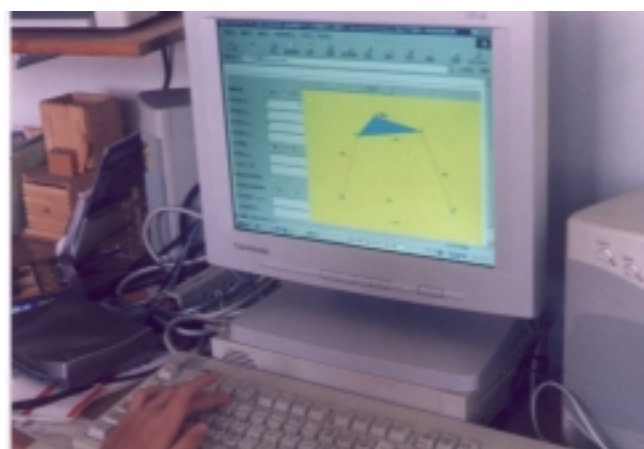
照片 3 拉力實驗



照片 4 推力實驗



照片 5 操作四連桿模型



照片 6 電腦四連桿動態模擬

評語：

探討四腳運動機構的動作及製作的改良，設計一套實驗方法與工具，完成一序列實驗，找出提高拉力的方法，研究過程中得充分瞭解四腳運動的機制，是一個很好的科展作品。

作者簡介

執筆 指導老師 詹秀玉

作者三人是碧湖國小四年級的小朋友，去年九月起，利用假日去參加中華創意協會的萬獸之王創作比賽，獲得冠軍的團隊補助獎金十萬元代表台灣去日本參加比賽，我們研究了三個月不幸失敗。剛好學校這時候舉辦科展，我鼓勵他們參加，他們又重新燃起希望，耐心的檢討失敗原因，繼續研究怎樣才能做一隻力量最大萬獸之王。最後把研究過程和結果寫成作品說明書參加科展，沒想到從校內科展一路打到全國科展都得第一名，真是萬分驚喜。感謝評審教授給我們肯定，也感謝三個家庭的家人陪我們渡過了七個月又苦又甘的難忘日子。

鍾介恆小朋友是主要作者，喜閱讀，擅長推理分析與電腦操作，研究過程中，他負責參考資料的收集、理論基礎的探索、畫設計圖、用熱熔槍組合萬獸之王，上網搜尋應用軟體，用電腦做研究圖表、作品成果發表的網頁、光碟的燒錄，以及評審時負責操作電腦解說。

古家全小朋友操作手搖鑽、線鋸、鐵鎚等工具的能力特別好，所以鋸、切割、鑽孔、組裝等需要用鉗子、鐵鎚的工作都由他負責。三人合作做一隻機器獸至少要兩小時，我們一共做了二十隻，他的加工技術越練越好，最後完成的那隻第四代萬獸之王，沒有現場看小朋友做的人，有時候還真不敢相信是小朋友做的呢！

王宣平小朋友，他負責支援的工作，把做好的零件修毛邊提高精密度，要使用的或使用過的工具、零件、材料等隨時維修定位以方便取用，一起操作機器獸做實驗、準備實驗器材、計時、登記實驗結果等工作，是介恆和家全最得力的助手。