

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

第三名

080820

化磁力為動力－永磁動力的探討與應用

學校名稱：臺北市士林區天母國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳思彤	羅文杰
小六 高頊言	陳逸凌
小六 楊閔翔	
小六 蕭博瀚	

關鍵詞：磁動機、馬達、能量守恆

摘 要

六年級學到電磁鐵單元，知道電能生磁的原理，便對馬達轉動感到好奇。又從影片看到竟有不用電，就能轉的磁動機，若因此解決能源問題該有多好。於是便針對：外部磁鐵長度、滾筒磁軌強度、軌距、縮幅、間隔等變項設計實驗，發現

- 1.由運轉變項實驗數據，所預估的最佳組合，可有效提高運轉效能
- 2.由效能提昇，對運轉變項產生的相互影響，證實磁力永動設計不可行
- 3.利用磁動機特有的運轉型態，成功發展出機電複合的節能馬達

磁力永動雖然失敗，原本很洩氣，幸好沒放棄，才有機會發展出新型態的節能馬達！經測試發現：省電達 83%還多出 6.4 倍運轉時間。沒想到只是應用所學，堅持到最後，竟設計出實用的發明，讓我們終於體會到科學研究的艱辛！

關鍵詞：磁動機、馬達、能量守恆

壹、研究動機

以前就對會動的馬達感到好奇，一直想瞭解其中原理。這種利用電力所產生的磁力，使馬達轉動的設計真是巧妙，只是馬達要有電才能動，當時突發奇想：要是有一種只靠磁力就能轉動的機器，來解決令人頭痛的能源問題該有多好啊！

偶然在 youtube 網站上，竟然看到有一種只靠排列各種磁鐵的磁力，不用電就能轉動的磁動機。這引起我們極大的興趣，加上這學期有上到電磁鐵的單元，剛好利用所學，來深入探討磁動機轉動的秘密，除了能一探究竟外，希望未來能將這種設計應用到日常生活中。

貳、研究目的

- 一、探討影響磁動機運轉的因素。
- 二、分析、歸納磁動機運轉變項間的相互影響。
- 三、利用實驗發現，提升磁動機運轉的效率。
- 四、將所設計的磁動機，實際應用到日常生活中。

參、研究設備及器材

一、磁動機實驗組

(一)磁動機變項實驗台

- 1.上部磁鐵組：強力磁鐵、磁鐵固定套、磁鐵固定桿、固定桿穩定軸承
- 2.下部磁鐵組：強力磁鐵、磁鐵固定套、磁鐵固定座、滑動板、滑軌
- 3.機台固定組：機台底座、支撐架、軸承穩定軌道

(二)自製磁力檢測儀器

- 1.磁吸力測量器：數字式彈簧秤、彈簧秤固定架、可調整螺絲
- 2.磁動力測量器：轉速計、速度感應貼條

二、歷代磁動機

- (一)一代磁動機：初步評估可行性的試驗機，以測試可運轉的磁鐵排列組合
- (二)二代磁動機：將部分零件換成隨手可得的材料，減少摩擦力，使機器運轉耗損降低
- (三)三代磁動機：根據磁動機實驗變項結果，將磁動力的利用，調整到最佳狀態
- (四)四代磁動機：在動力應用最大，運轉耗損最小，結合電磁鐵，發展節能馬達

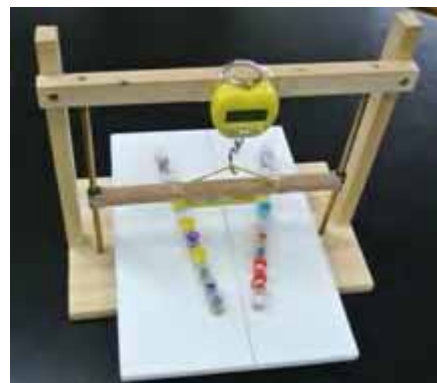
三、實驗儀器：彈簧秤、轉速計、DV

三、器材規格

(一) 磁動機變項實驗台

1.材料規格

- (1)底座與支撐座：1.5cm 厚木心板、木條
- (2)滑動底板：1cm 厚珍珠板、滑軌
- (3)磁鐵支架：圓木棒、線性軸承 x 2(內 6mm；外 1.2cm)
- (4)鉤磁鐵：1.2cm x 0.3cm
- (5)磁鐵套：吸管(內徑 1.2cm)、圖釘
- (6)磁鐵套軌道：0.5cm 厚、15cm 長木條，磁鐵套
- (7)彈簧秤：5g~20kg
- (8)速度感應條：反光貼條(0.5 x 1cm)、塑膠片(1 x 24cm)



圖：磁動力實驗台

2.磁吸力測量器(操作步驟)

- (1)轉動調整螺絲，使上、下磁鐵調到所需間距
- (2)固定下部磁鐵在滑動板上
- (3)推滑動板，使上、下部磁鐵靠近到所需間距
- (4)記錄彈簧秤上的數值
(+為吸力、-為斥力)



調整間距



推滑動板



記錄數值

3.磁動力測量器(操作步驟)

- (1)轉動調整螺絲，使上、下磁鐵調到所需間距
- (2)調整下部磁鐵軌道夾角後，固定在滑動板上
- (3)將滑動板滑至起點後放手，讓上、下部磁鐵，因吸力而拉動滑動板
- (4)以轉速計測量滑動板上，速度感應貼條，記錄滑動板的速度



轉速計及貼條(左)、速度測量(右)

(二) 測量工具與儀器



數字式彈簧秤(20kg)



彈簧秤(200g)



轉速計



DV 錄影機

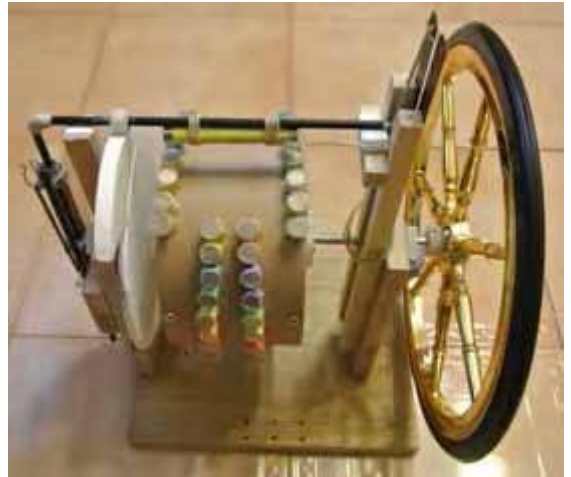
(三) 原型磁動機(一代機)

- 1.底座：28 x 22(cm)、1.5cm 厚木心板
- 2.滾筒：直徑 15cm、寬 8cm 塑膠管
- 3.軸心：直徑 0.8cm 的實心鋼棒
- 4.鈷磁鐵：1.2cm x 0.3cm(300 顆)
- 5.飛輪：現成的玩具輪子
- 6.軸心支撐架：20 x 8(cm)、1.5cm 厚木心板兩片
- 7.滾筒支撐架：長型木板鑽孔(0.8cm)，固定滾筒與軸心



(四) 二代磁動機(新增或修改)

- 1.滾筒：紙卷(15 x 12cm)、磁鐵套、磁鐵
- 2.磁鐵套：珍珠板、圖釘
- 3.固定板：PU 塑膠板、螺絲、塑鋼土
- 4.外部磁鐵固定軌：鐵尺 x2
- 5.外部磁鐵阻尼器：彈簧、碳纖維管、掛勾
- 6.弧形太極板：珍珠板
- 7.支撐架滑軌：木條、線性軸承、固定器
- 8.外部磁鐵支架：碳纖維管、塑膠軸承、磁鐵、L 鐵棒、塑鋼土



(五) 三代磁動機(修改)

- 1.依實驗結果，以最佳化磁鐵排列組合
- 2.滾筒：直接在紙卷上(15x12cm)挖洞(1.2x0.9cm)，再把磁鐵塞入洞中固定
- 3.磁鐵排列依據
 - (1)動力為主：3 顆一組(0.9cm)緊貼排列
→轉速提昇
 - (2)省材為主：2 顆一組(0.6cm)靠近排列
→轉速提昇



(六) 四代磁動機(改良)

- 1.利用電磁鐵原理，將第三代磁動機，改良為環保磁、電混合的節能馬達
- 2.動力相同下，可**省電 83%以上**
- 3.耗電相同下，可多運轉 **6.4 倍時間**
- 4.可調整**轉速**與**方向**
- 5.可利用其它動力，如：風力、水力等天然能源，取代電力，而為真正環保、節能的磁動機



肆、研究過程及方法

一、磁動機的設計與製作

(一)探討磁動機磁鐵**外形**排列的型式

1.由影片分析，評估理想的運轉方式

方式一：由磁鐵**長度**控制滾筒中磁力的強度

A：強→弱，**一圈循環**：重量不平均

B：強→弱，**半圈循環**：重量雖平均，但無法維持完整圓形，影響外部磁鐵的靠近

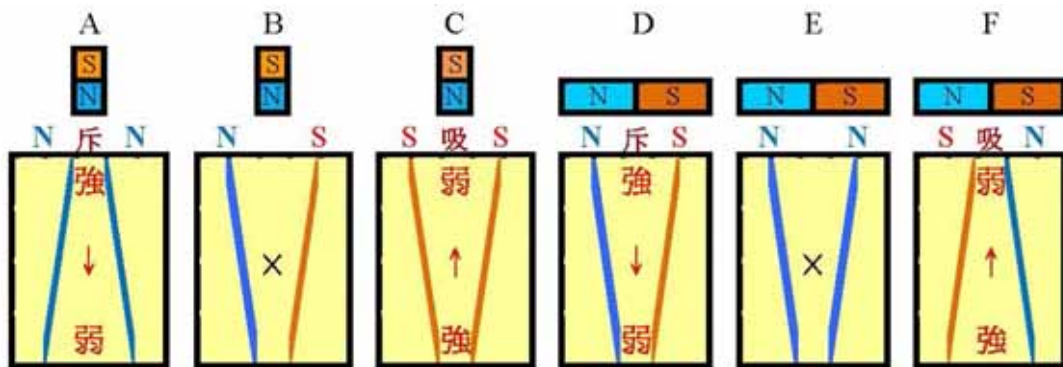
方式二：由磁鐵**大小**和**距離**的組合，來控制磁力強度

A：大小不同、高度相同：磁鐵大小有限，無法配出所需的組合

B：調整滾筒上兩排磁鐵的距離：磁力強弱組合多，可維持完整圓形，有利外部磁鐵靠近，提昇磁鐵推力



2.推論磁動機磁鐵**磁極**的排列組合，並用原型磁動機驗證



發現：

(1)六種組合中，B、E 不能動

(2)**A**、**C**、**D**、**F** 的外部磁鐵，經過節點(滾筒兩排磁鐵寬、窄排列交界處)都要抬起，不然會被**斥力擋住**或**吸力拉住**

(3)**A**、**D** 靠**斥力**，外部磁鐵需不斷施力**一直壓**，才有足夠**斥力推**滾輪

(4)**C**、**F** 靠**吸力**，外部磁鐵**不需施力**，只要維持**一定高度**，就有足夠**吸力拉**滾輪

(5)**C** 外部磁鐵和滾輪**接觸面**比 **F** 小，及**距雙軌寬**處比 **F** 遠，**吸力**也比 **F** 小

(6)綜合發現，決定採 **F** 的磁鐵排列，做為磁動機磁鐵的標準組合



(二)改良原型磁動機(二代機)

1.目的：**減少摩擦**損耗，提高運轉效率

2.原則：就地取材、加工簡單、便於拆裝、多重組合、提高精度

3.做法

(1)底座與支架：固定螺絲改成**不鏽鋼**材質

(2)轉軸：加裝模型店買來的**軸承**

(3)滾筒：以報廢**紙捲**用支撐板撐起，好裝在轉軸上

(4)固定板：可同時鎖住支撐板和轉軸，使滾筒固定在轉軸上

(5)磁鐵：沒辦法還是得買現成的**強力磁鐵**

(6)磁鐵固定套：將珍奶**吸管**做成固定套，以圖釘和熱融膠固定在紙捲上

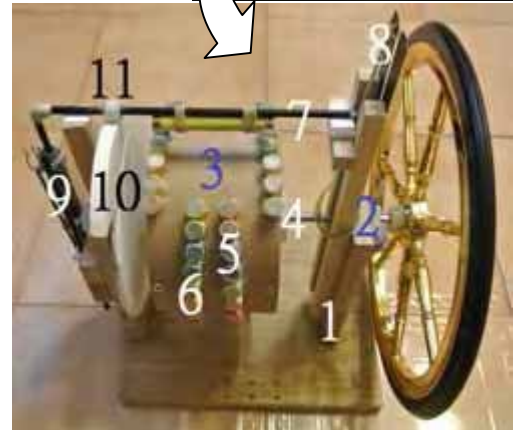
(7)外部磁鐵支撐架：將木棒改為**碳纖維**減重，並加裝**線性軸承**減少摩擦

(8)外部磁鐵固定軌：用**鐵尺**固定外部磁鐵支撐架

(9)外部磁鐵阻尼器：用**彈簧**調整外部磁鐵對滾筒中磁鐵的磁力

(10)弧形太極板：控制滾筒**節點**對**上部磁鐵**的升降

(11)支撐架軸承：減少**太極板**與**支撐架**的摩擦



(三)原理推論

1.**上部磁鐵**(**長度固定**)與滾筒中**雙軌磁鐵**(由**窄→寬**)**相吸**

2.**吸力**對滾筒的**拉力**增加，轉速**變快**

3.節點處則產生**斥力**，上部磁鐵若不抬起，會**擋住**滾筒轉動

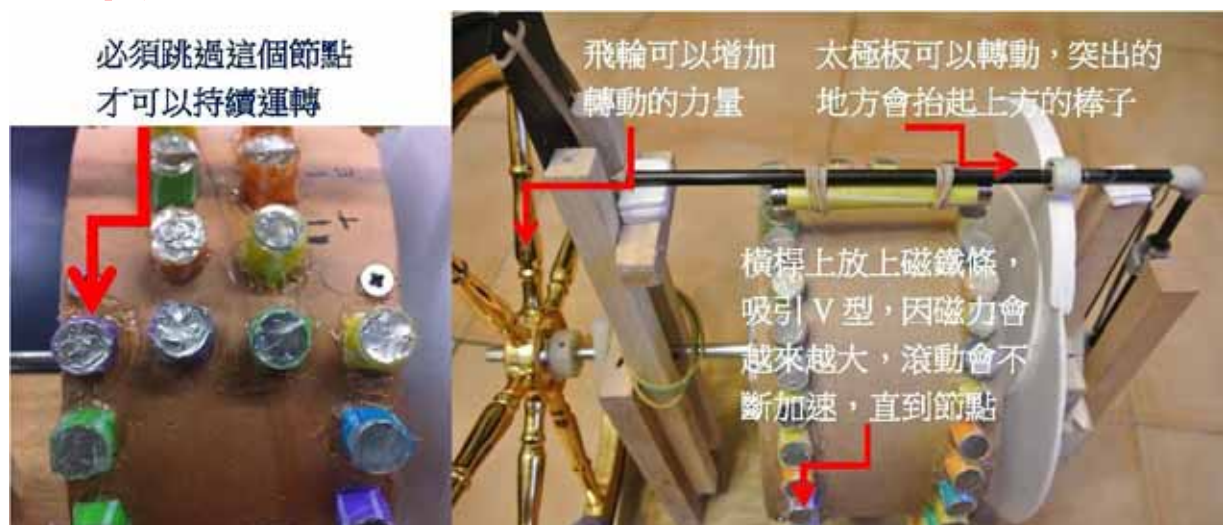
4.利用滾筒轉動的**推力**，經過弧形太極板，便可以**抬起**磁鐵

5.當**太極板**移走時，磁鐵便會落下，重新再循環轉動



(四)實際測試

可自行轉 **3-4** 圈，但無法持續，研判如果只靠本身磁力可能無法持續轉動：**當滾筒帶動太極板，抬起橫桿並越過節點後，在斥力產生時需用手輕壓橫桿，滾筒便能不停的加速旋轉 (100~120rpm)**



二、變項探討與實驗設計

在測試時發現有很多變因，似乎會影響磁動機運轉，像磁鐵**長度**、**強度**、**距離**等，這些還可能會**相互影響**，要是能瞭解這種關係，就可以把磁動機調整到**最佳狀態**。

但磁動機結構緊密，變因不好控制，所以針對要探討的變項，設計**磁動機實驗台**與自製**檢測工具**，方便各種實驗操作。



(一)磁鐵的**磁力強度**對吸力的影響

操作

- 1.將**6顆**磁鐵，以**1、2、3顆**，分成**3組**，塞入一條磁軌中
- 2.再以相反的磁極，製做另一條相同的磁軌
- 3.測量3種**磁力強度**磁鐵，對**3、6、9(cm)**長度磁鐵的**吸力**

記錄：吸力

分析：當**兩條磁軌軌距**與**長形磁鐵長度相同**，**間隔固定**時，**改變磁軌內磁力強度**，對吸力改變的影響



(二)磁軌與外部磁鐵的**間距**對吸力的影響

操作：**異極**的兩條磁軌，以**3、6、9(cm)**軌距，滑過與**軌距同寬**的**長形磁鐵**下，測量兩者在**0.5、1、1.5(cm)**間距時的吸力變化

記錄：吸力

分析：當**軌距**與**長形磁鐵長度**同時增加，透過磁鐵吸力改變，分析**上、下間距**與**長形磁鐵長度**的相互影響



(三)外部磁鐵(**長**)與磁軌**軌距**(**寬**)，的**長寬比**對吸力的影響

操作：**異極**的兩條磁軌，以**1、3、6、9(cm)**軌距，分別滑過長度**3、6、9(cm)**的**長形磁鐵**下，測量吸(斥)力變化

記錄：吸力、斥力

分析：當外部磁鐵與磁軌軌距**長寬比**不同時，除吸力改變外，很可能在某一比例時，**吸力**還可能會變成**0**或**斥力**，由長寬比例對吸力的影響，便能根據**外部磁鐵的長度**，算出適合的**磁軌軌距範圍**



(四)磁軌**軌距縮幅**對推力的影響

操作：

- 1.異極的兩條磁軌，根據長形磁鐵長度**3、6、9、12cm**，**起點**由軌距與長形磁鐵**同寬**，**終點**軌距分別縮至**2/3、1/2、1/3、0**長形磁鐵的長度比例
- 2.測量不同長度長形磁鐵，在各種**磁軌縮幅比例**下的**推力**

記錄：推力



分析：

- 1.軌距**縮幅大**，產生的**推力不一定大**。縮幅大，會**加大前、後段的吸力差**。造成前段(或後段)的**吸力可能消失**或產生斥力，，導致**無法全程加速**
- 2.**縮幅小**，雖**減緩前、後段吸力差**，但可能會**降低吸力所造成的推力**

(五)磁軌內磁鐵**間隔**對推力的影響

操作：異極的兩條磁軌內，分別以 **0、0.5、1、1.5、2 倍** 磁鐵寬度的**間隔**排列，並以最佳磁軌縮幅比，測量推力

記錄：推力

分析：

- 1.磁鐵間隔**太密**，會使吸力**差距不明顯**，除對**推力提升有限**，也浪費磁鐵
- 2.**太寬**影響**吸力連貫**，造成**推力降低**，所以由各種間隔的推力比較，應該有一個最佳間隔比



三、根據磁動機實驗定訂檢測的標準

- (一)**吸力**：測量橫桿上的磁鐵與磁軌中的磁鐵，往下拉到測量所需高度時，**彈簧秤**上所顯示的**拉力(正數)**
- (二)**斥力**：用繩子綁住橫桿上的磁鐵，透過滑輪往下拉到測量所需高度時，**彈簧秤**上所顯示的**斥力(負數)**
- (三)**推力**：在滑動板移動的路徑距離(**24cm**)，貼上反光貼紙(每隔 **0.5cm** 貼一張，共 **24** 張)，便是**速度感應條**。當板子滑動、反射**轉速計**貼紙**頻率**，便可推算**速度與推力**
- (四)**轉速**：利用**轉速計**測量滾筒或飛輪的**轉速**



吸力/斥力測量



速度/推力測量



轉速測量

四、實驗操作過程



磁動機實驗器材組裝



操作實驗

伍、研究結果

實驗一：磁鐵的磁力強度對吸力的影響

說明：磁軌中不同**磁力強度 1vs2vs3(顆)**的磁鐵，軌距保持與橫桿上**長形磁鐵長度 3、6、9(cm)**相同，及**間距(0.5cm)**一致下，測量兩者的**吸力**

結果：

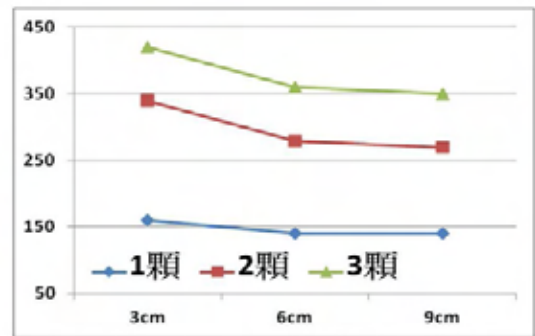
表：磁軌磁力強度與外部磁鐵長度的相互影響(倍數)

長度 強度	3cm	6cm	9cm	平均		3cm	6cm	9cm	3cm	6cm	9cm	3cm	6cm	9cm
弱：1 顆	160	140	140	147	1 顆	1	0.88	0.88	1	1	1	1	0.88	0.88
中：2 顆	340	280	270	297	2 顆	1	0.82	0.79	2.13	2.00	1.93	2.13	1.75	1.69
強：3 顆	420	360	350	377	3 顆	1	0.86	0.83	2.63	2.57	2.50	2.63	2.25	2.19
平均	307	260	253			外部磁鐵長度對			磁軌磁力強度對			外部磁鐵越長會		
間距 1cm、單位：公克						吸力影響較小			吸力影響較大			抵消磁軌的磁力		

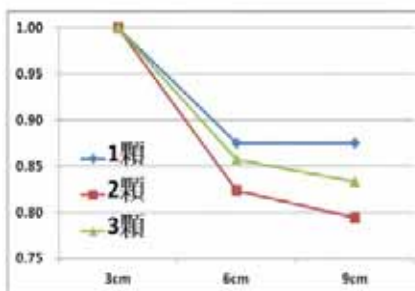
間距 1cm、單位：公克

發現：

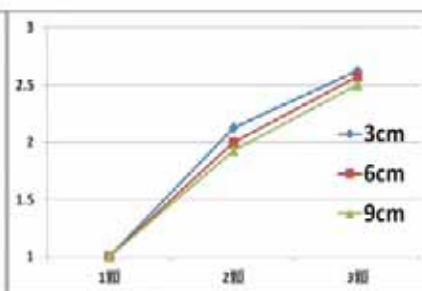
- 1.磁軌中**磁鐵強度越強**，吸力就**越大**(147g→377g)
- 2.外部磁鐵**長度越長**，吸力反而**變弱**(307g→253g)
- 3.吸力與**磁軌強度成正比**；與**外部磁鐵長成反比**
- 4.磁軌中磁力強度增加 3 倍，吸力只增加 **2.56 倍**
- 5.外部磁鐵磁力強度增加 3 倍，吸力降到 **82.4%**
- 6.**磁鐵數量**增強磁力幅度，比縮短**磁鐵長度**明顯，兩者相互影響，磁力最高可增加 **2.63 倍**



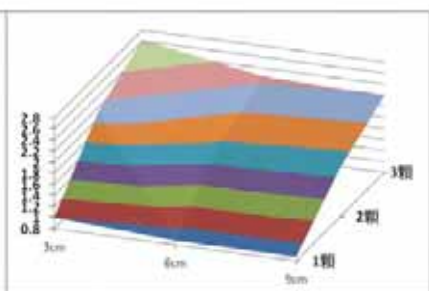
圖一：磁軌強度與外部磁鐵長的影響



外部磁鐵長度對吸力影響



磁軌磁鐵數量對吸力影響



外部磁鐵與磁軌磁鐵相互影響

思考：

- 1.本以為加長外部磁鐵長可增強吸力，但意外發現剛好相反，試了十幾次後證實：外**部磁鐵長度越長、數量越多、吸力反而減弱**
- 2.增加磁軌中磁鐵數量，可提高吸力強度，且效果比縮短外部磁鐵長度要好，但增加磁軌中磁力強度，需增加不少磁鐵數量，這樣一來要花不少錢在買磁鐵上
- 3.**縮短**外部磁鐵與磁軌**間距**，能否在不增加磁鐵數量下，提高吸力呢？

實驗二：磁軌與外部磁鐵的間距對吸力的影響

說明：磁軌中相同磁力強度(3 顆)的磁鐵，軌距保持與橫桿上長形磁鐵長度 3、6、9(cm)相同，在不同間距 0.5、1、1.5(cm)下，測量兩者的吸力

結果：

表：磁軌與外部磁鐵間距的相互影響(倍數)

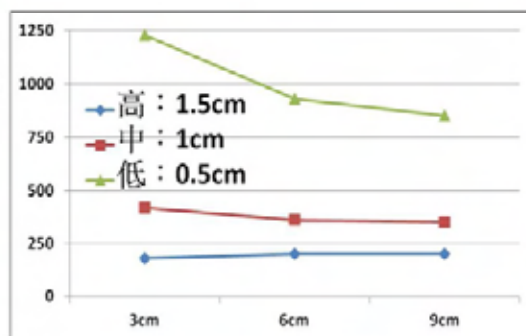
間距 \ 長度	3cm	6cm	9cm	平均	間距 \ 長度	3cm	6cm	9cm	間距 \ 長度	3cm	6cm	9cm	間距 \ 長度	3cm	6cm	9cm
高：1.5cm	180	200	200	193	1.5cm	1	1.11	1.11	1.5cm	1	1	1	1.5cm	1	1.11	1.11
中：1cm	420	360	350	377	1cm	1	0.86	0.83	1cm	2.33	1.80	1.75	1cm	2.33	2.00	1.94
低：0.5cm	1230	930	850	1003	0.5cm	1	0.76	0.69	0.5cm	6.83	4.65	4.25	0.5cm	6.83	5.17	4.72
平均	610	497	467													

磁力強度(3 顆)、單位：公克

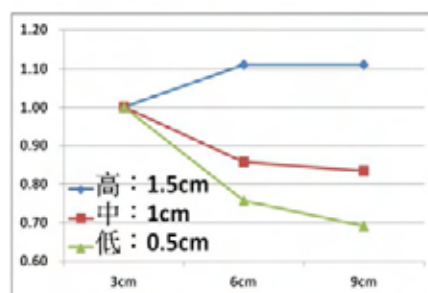
外部磁鐵長度對吸力影響較小
上下磁鐵間距對吸力影響較大
外部磁鐵越長會抵消間距的磁力

發現：

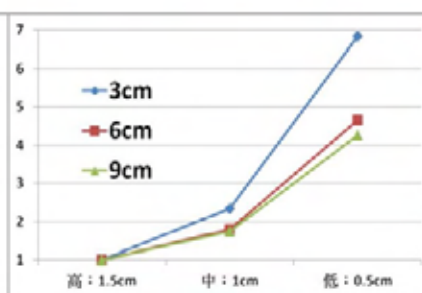
- 1.上、下磁鐵間距越近，吸力就越大(193g→1003g)
- 2.外部磁鐵長度越長，吸力反而變弱(610g→467g)
- 3.吸力與上下間距成正比；與外部磁鐵長成反比
- 4.上下間距縮短 1/3，吸力增加 5.2 倍
- 5.外部磁鐵磁力強度增加 3 倍，吸力降到 69%
- 6.上下間距增強磁力幅度，比縮短磁鐵長度明顯，兩者相互影響，磁力最高可增加 6.83 倍
- 7.當外部磁鐵越長時：間距高，可減少吸力差距；間距低，吸力差距反而升高



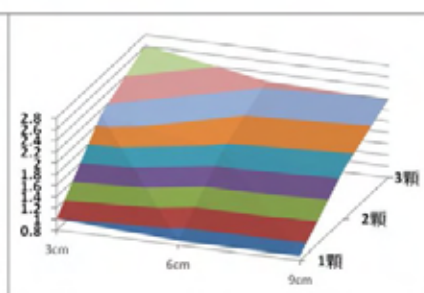
圖一：上下間距與外部磁鐵長的影響



外部磁鐵長度對吸力影響



上下間距對吸力影響



外部磁鐵與上下間距相互影響

思考：

- 1.縮短磁軌與外部磁鐵的距離，可以在不增加磁鐵的數量下，有效提高吸力的強度，而且效果也比增加外部磁鐵長度好
- 2.間距縮短可有效提昇吸力，但要注意上部磁鐵越長，對間距低的吸力降幅越明顯
- 3.外部磁鐵長度，對吸力的提昇或下降，還要看間距的高低，顯然外部磁鐵的長度與磁軌的軌距之間，應該有一個最佳比例，好產生較大的吸力

實驗三：磁軌軌距與外部磁鐵長度對吸力的影響

說明：異極的兩條磁軌，以 **3、6、9(cm)** 軌距以 **0.5、1、1.5(cm)** 間距，分別滑過 **長度 3、6、9(cm)** 的 **長形磁鐵**，測量 **吸力** 的變化

結果：

表：磁軌軌距與外部磁鐵長度對吸力的影響

上下間距 軌距	長度	0.5cm				1cm				1.5cm			
		短 3cm	中 6cm	長 9cm	平均	短 3cm	中 6cm	長 9cm	平均	短 3cm	中 6cm	長 9cm	平均
吸力	窄 3cm	1230	160	0	464	420	140	0	187	180	90	0	90
	中 6cm	170	930	160	420	100	360	140	200	80	200	110	130
	寬 9cm	00	150	850	334	0	120	350	157	0	70	200	90
	平均	467	413	337	406	174	207	164	181	87	120	104	104
吸力 倍數	窄 3cm	1	0.13	0	1	1	0.33	0	1	1	0.50	0.01	1
	中 6cm	0.14	0.76	0.13	0.91	0.24	0.86	0.33	1.07	0.44	1.11	0.61	1.44
	寬 9cm	0	0.12	0.69	0.72	0	0.29	0.83	0.84	0.01	0.39	1	1
	平均	1	0.89	0.72		1	1.19	0.94		1	1.38	1.19	

單位：公克、倍數

發現：

1. **磁鐵長度、軌距寬度**比與吸力的相互影響

- (1) 兩者 **長寬比相同**，吸力 **最大**(850g→1230g)
- (2) 長度與寬度 **同時增加**，吸力 **變弱**(1230g→850g)
- (3) 兩者 **長寬比不同**，吸力 **降幅加大**(1230g→150g)
- (4) 兩者 **長寬比超過 3 倍**，吸力 **消失**

2. **上下間距**對磁鐵長度與軌距寬度比的相互影響

(1) **間距越大**

(0.5→1.5cm)，平均吸力
(337→104g) **越小**

(2) **短窄組合**(1230→180g)
降幅，比 **寬長組合**
(850→200g) **大**

(3) 長度與寬度 **同時增加**

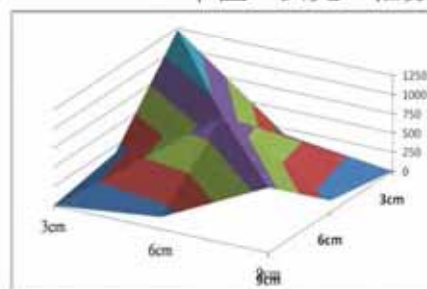
(3vs3→9vs9)，吸力 **變弱幅度縮小**，甚至 **不變**(69→83→100%)

3. **提高上下間距**，雖然 **降低長寬比相同**組合的吸力，但也減少與 **長寬比不同**組合的差距

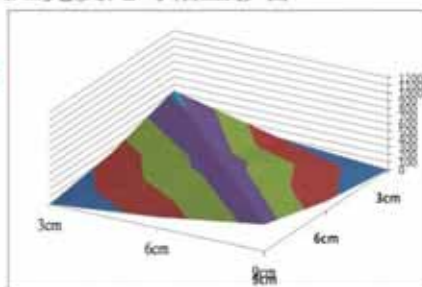
4. **上下間距**增強磁力幅度，比縮短 **磁鐵長度**明顯，兩者相互影響，磁力最高可增加 **6.83 倍**

思考：

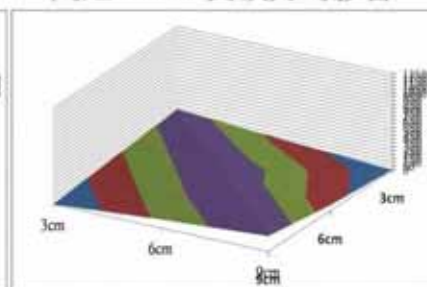
1. 外部 **磁鐵長度**、磁軌 **軌距寬度**、兩者 **上下間距**，都可用來調整吸力：間距拉高，能感應較大範圍的長寬比組合，但吸力強度會降低；間距放低，吸力強度雖增加，但能感應的長寬比組合範圍會縮小
2. 顯然以上三種變項，相互排列組合，就能使滾筒轉動，但要怎樣組合？當間距固定，軌距縮幅，對外部磁鐵所形成的吸力差，應該是轉動滾筒的最大關鍵



間距 0.5cm 對吸力的影響



間距 1cm 對吸力的影響



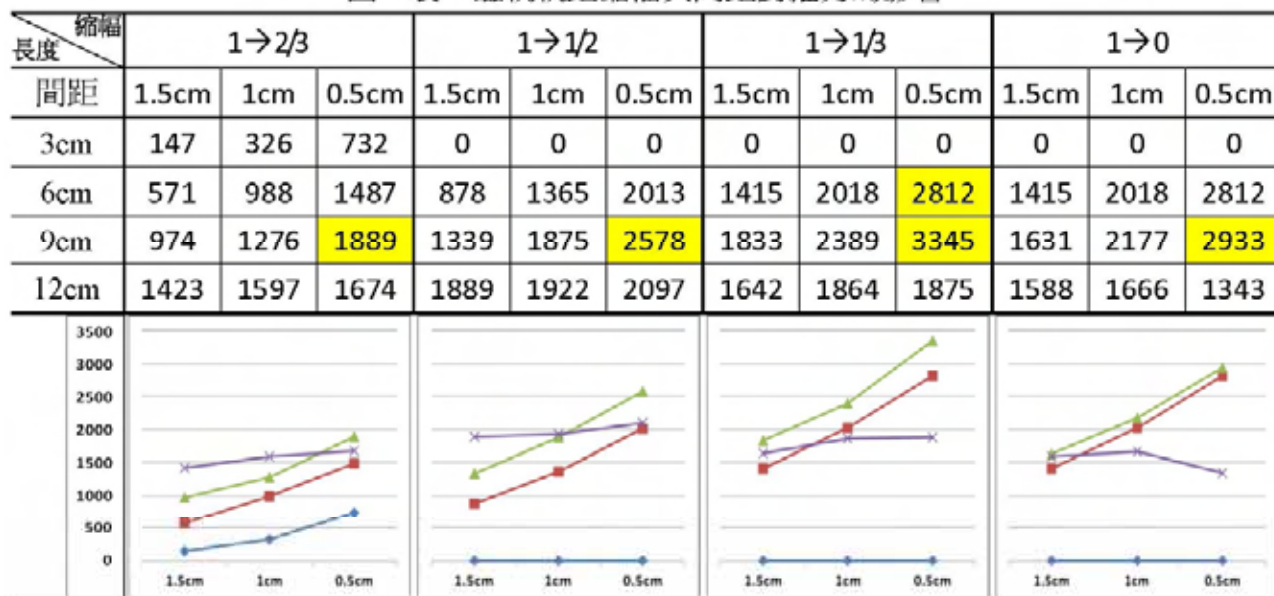
間距 1.5cm 對吸力的影響

實驗四：磁軌軌距縮幅對推力的影響

說明：異極的兩條磁軌，縮幅分別由長形磁鐵長度 3、6、9、12(cm)開始，分別縮至 2/3、1/2、1/3、0 長形磁鐵長度為止，記錄不同間距 1.5、1、0.5(cm)滑動板速度的變化

結果：

圖、表：磁軌軌距縮幅與間距對推力的影響



(長度：3cm、6cm、9cm、12cm)、磁力強度 3 顆、單位：速度

Ps:速度的測量是以 20cm 的塑膠片每隔 0.5cm 貼上 0.5cm 寬轉速計的反光貼紙，當滑動板因為磁軌縮幅產生移動時，利用轉速計測量貼紙的頻率便可推算移動速度。當轉速計數值為 20(rpm)時，表示滑動板 1 分鐘移動 20cm(dpm)

發現：

- 1.磁軌軌距縮幅對速度影響：(1/3) > (0) > (1/2) > (2/3)
- 2.軌距縮幅配合縮小間距，速度會增加(1.5cm→1047dpm、0.5cm→1724dpm)
- 3.軌距縮幅小於 1/3，速度反而會變慢(1/3→3345dpm、0→2933dpm)。由實驗三結果推測，軌距縮幅過大(1→0)，可能使磁鐵與磁軌長寬比過大，造成吸力消失
- 4.軌距縮幅(12cm)超過外部磁鐵長度(3~9cm)，速度也會變慢(9cm→2020dpm、12cm→1715dpm)，原因也可能和前項相同
- 5.軌距縮幅過大(1→0)，除長寬比過大，使吸力集中某一段，造成推力時有時無；而軌距縮幅過小(1→2/3)，吸力雖然平均，但吸力差距過小，反而使推力降低

思考：

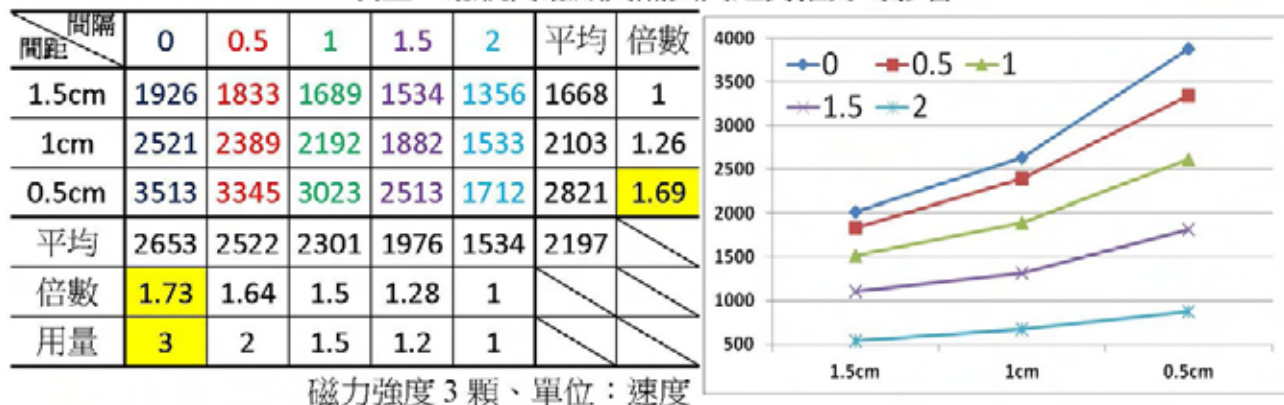
- 1.要有較大的推力，就要有較寬的磁軌範圍，但也會增加外部磁鐵長度，與滾筒寬度，使得重量、體積都增加，反而又消耗掉原先所增加的推力
- 2.若適當調整磁軌中磁鐵的間隔，除可節省磁鐵用量與滾筒重量外，對推力的提昇會有幫助嗎？

實驗五：磁軌內磁鐵間隔對推力的影響

說明：異極的兩條磁軌內，分別以 **0、0.5、1、1.5、2** 倍的磁鐵寬度間隔排列，以 **1/3** 磁軌縮幅比，並測量各間隔磁軌的推力

結果：

表五：磁軌內磁鐵間隔與間距對推力的影響



發現：

- 1.磁鐵**間隔**越**小**(2→0 倍)，**速度**越**快**(1534→2653dpm)
- 2.磁鐵間隔配合**縮小間距**(1.5→0.5cm)，**速度**會**增加**(1668→2821dpm)
- 3.縮小間隔，雖然可以提高速度(1.73 倍)，但也要增加磁鐵數量(3 倍)；但縮小上下間距，所增加的速度(1.69 倍)差不多，卻不用增加磁鐵數量
- 4.縮小間隔對速度的提昇的效果，在從 **1→0.5 倍** 的時候，**增幅**最明顯(1.5→1.64)，間隔再縮(0.5→0)，增幅則下降(1.64→1.73)
- 5.在考量**節省磁鐵**用量及**減輕滾筒重量**，磁軌內磁鐵間隔在 **0.5 倍**時，推力雖**下降 5%**，但卻可**節省 33%**的磁鐵使用量

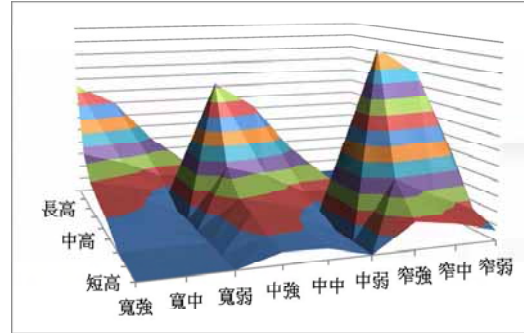
思考：透過實驗可看出變項間的相互影響後，在**節省材料**又**不會降低運轉效能**下，應該可以歸納出最好的**變項組合**，讓滾筒運轉更有效率



陸、討 論

討論一：歸納磁動機運轉變項間的相互影響

- 1.比較磁軌**磁力強度**與外部**磁鐵長度**，**長寬比**相同時，對**吸力**的影響
 - (1)**磁軌磁力**由**弱到強**，吸力也由**小到大**；外部**磁鐵長度**由**短到長**，吸力卻由**大到小**
 - (2)**增加磁軌磁力強度**，比**縮短外部磁鐵長度**，對吸力提昇的幅度要大
 - (3)增加磁軌磁力，要用掉許多磁鐵；縮短長度省的磁鐵不多，但磁軌寬度縮小，又可能影響運轉



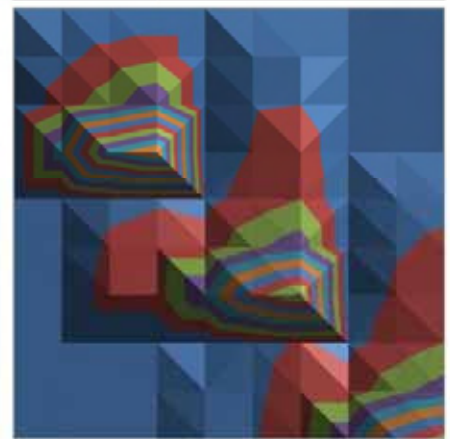
圖：磁力變項相互影響曲面圖

- 2.比較**磁軌**與**外部磁鐵**，**長寬比**相同時，**間距**對**吸力**的影響
 - (1)縮短上下間距，可不增加磁鐵數，大幅提高吸力
 - (2)磁軌**磁力越強**、外部磁鐵**長度越短**、磁軌**軌距越窄**、上下**間距越近**，則磁鐵的吸力就**越強**，反之則**越小**
 - (3)間距小(大)，吸力大(小)，對長度較短(長)的外部磁鐵，吸力影響範圍較大
 - (4)縮小間距，所增加的吸力，會因為上部磁鐵與磁軌長、寬，同時增加而降低
 - (5)磁軌磁力**強度增加**，配合**縮小間距**，會使磁力強度增加的**幅度提昇**，但上部磁鐵與磁軌，若同時加長、加寬的話，則會使增加的幅度下降
 - (6)對吸力增幅的影響

上、下磁鐵的間距 > 磁軌磁力強度 > 磁軌軌距 > 外部磁鐵長度

圖、表：磁鐵強度、長度與磁軌間距對磁力的相互影響

磁軌寬	磁鐵長 強度 間距	3cm			6cm			9cm			型式
		1.5	1	0.5	1.5	1	0.5	1.5	1	0.5	
3cm	1 顆	70	150	480	0	0	0	0	0	0	窄弱
	2 顆	140	260	1060	70	120	150	0	0	0	窄中
	3 顆	180	400	1230	90	140	160	0	0	0	窄強
6cm	1 顆	0	0	0	70	140	410	0	60	80	中弱
	2 顆	70	90	110	140	280	750	70	80	90	中中
	3 顆	80	100	170	200	360	930	110	140	160	中強
9cm	1 顆	0	0	0	0	0	0	70	140	390	寬弱
	2 顆	0	0	0	60	90	120	140	270	700	寬中
	3 顆	0	0	0	70	120	150	200	350	850	寬強
型式		短高	短中	短低	中高	中中	中低	長高	長中	長低	型式



Ps:吸力相近，以相同顏色表示

3.比較磁軌**磁力強度**與外部**磁鐵長度**，**長寬比**與**間距**不同時，對**吸力**的影響

(1)當上方外部**磁鐵長度**固定，改變下方**磁軌寬度**與**上下間距**時發現

- 磁鐵長度**對吸力影響，以與**軌距同寬**時最大
- 長度**短**(3cm)的吸力範圍，會往**大於長度**的方向延伸(2←3→5)
- 長度**中**(6cm)的吸力範圍，延伸(3←6→9)的方向**平均**
- 長度**長**(9cm)的吸力範圍，則往**小於長度**的方向延伸(5←9→11)
- 間距縮短，吸力**範圍變化**幅度：**長 > 中 > 短**；吸力**強度增加**幅度：**中 > 短 > 長**

圖、表：磁軌寬度與上下間距，對磁鐵長度的吸力影響

長度 間距	下部異極磁軌寬度															寬度 型式															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3 c m	1.5	0	50	170	110	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	短高															
	1	0	160	410	210	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	短中															
	0.5	0	350	840	460	270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	短低															
6 c m	1.5	0	0	50	180	200	190	110	50	50	0	0	0	0	0	中高															
	1	0	0	70	290	370	440	240	80	60	0	0	0	0	0	中中															
	0.5	0	0	100	460	910	1230	440	110	70	0	0	0	0	0	中低															
9 c m	1.5	0	0	0	60	80	120	170	190	150	120	0	0	0	0	長高															
	1	0	0	0	90	180	280	320	330	210	120	0	0	0	0	長中															
	0.5	0	0	0	100	110	230	520	750	840	360	180	0	0	0	長低															

(2)當下方**磁軌寬度**固定，改變上方外部**磁鐵長度**與**上下間距**時發現

- 軌距寬度**對吸力影響，以與**長度相同**時最大
- 軌距寬度 6cm**，對**外部磁鐵**的**吸力範圍**最廣(3~9cm)
- 適當的**軌距寬度**範圍，以**外部磁鐵長度±3cm**，才有吸力的作用；**長寬比**低於 **1/3**，吸力幾乎為零
- 縮小上下間距，可提昇吸力，**長度短**、**寬度窄**的效果比較好
- 軌距寬度**，對外部磁鐵吸力影響範圍：**6cm > 3cm > 9cm > 2cm > 12cm**

圖、表：磁軌寬度與上下間距，對磁鐵長度的吸力影響

磁軌 間距	2cm			3cm			6cm			9cm			12cm			2	2	2	3	3	3	6	6	6	9	9	9	12	12	12
	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低
3	140	220	500	220	310	860	70	90	130	0	0	0	0	0	0															
3.6	80	130	260	300	430	720	90	170	200	0	0	0	0	0	0															
4.2	80	160	200	210	350	810	110	180	240	0	0	0	0	0	0															
4.8	60	90	100	210	460	480	130	260	410	0	0	0	0	0	0															
5.4	0	50	70	160	310	640	180	320	330	0	0	0	0	0	0															
6	0	0	0	170	190	230	210	470	840	0	0	60	0	0	0															
6.6	0	0	0	130	150	180	150	440	950	80	110	110	0	0	0															
7.2	0	0	0	0	50	80	190	320	440	90	140	170	0	0	0															
7.8	0	0	0	0	0	0	160	280	370	140	230	410	0	0	0															
8.4	0	0	0	0	0	0	120	220	260	130	310	490	0	0	0															
9	0	0	0	0	0	0	120	150	190	160	300	720	50	70	80															

討論二：利用實驗發現改裝並提昇磁動機的運轉效能

一、由實驗發現，改良第二代磁動機

(一)最佳化變項組合

	動力為主	省材為主	決定
外部磁鐵長度	9cm(30 顆)	6cm(20 顆)	總長 9cm(30 顆)
磁軌磁力強度	3 顆一組 直徑 1.2cm、高 0.9cm	2 顆一組 直徑 1.2cm、高 0.6cm	3 顆一組 直徑 1.2cm、高 0.9cm
磁軌磁鐵間隔	間隔 0，緊貼排列	間隔 1.2cm 排列	間隔 0.6cm 排列
磁軌縮幅	寬 12cm→窄 4cm	寬 6cm→窄 2cm	寬 10.5cm→窄 3.5cm
上下間距	0.5cm	1cm	0.5~1cm
滾筒規格	直徑 15cm、高 16cm	直徑 10cm、高 8cm	直徑 15cm、高 12cm

(二)滾筒改良：直接在紙卷上(直徑 15cm、高 12cm)，挖洞(直徑 1.2cm、深 0.9cm)，再把磁鐵塞入洞中固定，以取代磁鐵套，讓滾筒轉動時，能與外部磁鐵間距，保持在 0.5~1cm 之間



標示磁鐵位置

改良後的滾筒

(三)製做三代機



依據實驗決定變項最佳組合



改良前二代磁動機



改良後三代磁動機

(四)測試三代機：變項中考量動力、省材與運轉順暢，在滾筒做了改量，為了解最佳化的效果，於是比較改良前、後的滾筒運轉效能

表：二、三代磁動機，運轉效能比較

測試項目	二代機	三代機	效能提昇
自轉圈數	4.5	5	11%
最高轉速	127	278	2.26 倍

自轉圈數：滾筒由自行起動後，不施加外力，所能轉動的圈數

最高轉速：配合手拉動上部磁鐵橫桿，使滾筒轉動的最高轉速



二代磁動機測速



三代磁動機測速

討論三：整理問題發現與解決過程

一、由變項間相互影響，歸納出能量守恆的現象

由於磁動機的製做相當費時，一個變項調整或設計一個小零件，就要花好幾天，加上沒有很多的參考資料，所有的運轉數據，全部都要想辦法，自行設計實驗，並逐步修正、改良。

從變項的相互影響，與三代機的改良中發現：**上下間距對轉速與橫桿拉力的影響**。於是以不同**間距**，來測試對**橫桿拉力**、最高**轉速**與**自轉圈數**的影響

當我們把測試結果拿給老師看之後，老師先是想了很久，然後只說出：**能量守恆**。這讓我們疑惑，

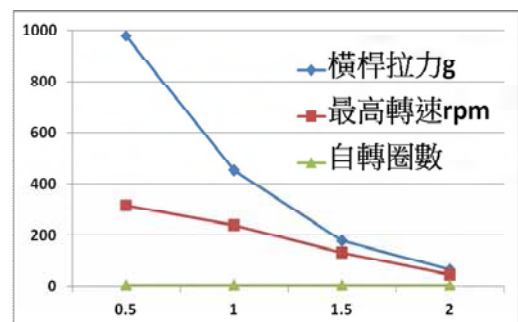
表：間距對轉速與橫桿拉力的影響

上下間距 cm	0.5	1	1.5	2
橫桿拉力 g	978	453	178	65
最高轉速 rpm	316	238	133	47
自轉圈數	5.5	5	5	5.5

到底守恆是什麼意思？經我們一再追問，老師才又講：**天下沒有白吃的午餐！**接著就叫我們先把資料整理成圖表解釋後，自然就會知道。從老師的表情看來，我們應該是踢到鐵板了！

接著按照之前教我們資料解釋的模式，畫好圖之後，從圖中找答案

- 1.調整**間距高低**，就能控制滾筒**轉速**快慢與**推力**大小
- 2.間距**低**，轉速會變**快**，但要拉起橫桿的力量也越**大**
- 3.任何間距的自轉圈數，幾乎都**固定**在 5~5.5 圈，無論如何調整，滾筒都無法靠自己轉下去
- 4.滾筒因間距縮短，而吸力增加，但所提昇的推力，也會因為吸力，而使拉起橫桿的力量增加，這一加一減，使得無論如何調整，自轉圈數始終都維持在 5 圈左右
- 5.用**手提起橫桿**的力量，其實就等於是用手在**轉滾筒**的力量



圖：間距對轉速與橫桿拉力的影響

是不是說沒有一種機器，能靠自己產生的力量一直轉動，除非有外部的力量使它動。難道這就是老師所講的：**天下沒有白吃的午餐！**雖然如此，老師還是教我們往好處想，至少讓我們實際驗證**能量守恆**的定律，還有靠自己**設計實驗**，**證明**網路上的**影片是假的！**

二、由特殊的運轉型態，思考發展節能的馬達可行性

過了幾天又開始討論以後的發展，結論是**雖然遇挫折，至少有收穫**。打起精神，針對磁動機運轉方式，思考未來的發展。先從實驗結果發現磁動機的特點

- 1.一般馬達需要電才能運轉，而我們所設計的磁動機，**不需用電**，只靠上、下磁鐵的吸力，就能產生推力自行加速運轉
- 2.就算要靠外力轉動，也只需在滾筒**轉到節點**時，將橫桿稍微拉起 1~2cm 便可，而馬達則要**全程耗電**，這樣的運轉模式，應該可以**節省**許多寶貴的**能源**。
- 3.透過橫桿上的外部磁鐵，調整與**下方磁軌的間距**，和上方**外部磁鐵的磁極**，就能像馬達一樣能**改變速度**和**轉向**

加上在試作三代機時，用手指抬起橫桿上的外部磁鐵，測試運轉效能，轉速最高可達**278rpm**，和直接用手轉動飛輪相比，兩者的施力就有明顯的差距。因此利用**磁動機運轉**的原理，來**發展節能馬達**的構想相當可行。

討論四：評估磁動機運轉模式與測試節能效率

一、思考滾筒的節點，通過上部磁的方法

方式	做法說明	缺點
機械力	A 滾筒動力推動 利用滾筒轉動時的動力，透過弧形太極板的斜面，在節點通過前，提前將橫桿磁鐵抬起，好減少在節點時過大的吸力，把滾筒拉回	反覆抬起外部的橫桿磁鐵，不利磁動機的高速運轉，橫桿過快的昇降，可能會解體
電磁力	B1 電磁鐵磁力 以電磁鐵取代外部磁鐵，利用通電時產生磁吸力，帶動滾輪加速運轉，在節點通過時則斷電，讓滾筒通過	大部分的時間要用電，只有在節點通過時才斷電，較耗費電力
	B2 強力磁鐵減磁 以漆包線纏繞強力磁鐵，斷電時靠強力磁鐵本身吸力，帶動滾輪加速運轉，在節點通過時則通電，使橫桿上的外部磁鐵減磁(或消磁)，讓滾筒通過	利用電磁鐵，消弱強力磁鐵磁力，可能要耗較強的電力與較多的漆包線，導致線圈過粗，拉大上下間距，影響吸力

二、根據分析結果，設計簡單的機電複合構造

由於以上方法各有缺點與限制，剛好上學期學過電磁鐵，加上才剛上過簡單機械，綜合後我們想出折衷的方法，如下表

方式	做法	運轉
機電複合	C 複合動力循環 利用上課剩餘的電磁鐵材料改裝 1.把外部磁鐵，塞入 1cm 厚的飛機木內 2.再將飛機木，以活動栓固定在支撐板上 3.將電磁鐵固定在橫板上，吸起飛機木 4.在滾筒節點處，貼上 3.5cm 延伸塑膠片 5.將微動開關貼在塑膠片經過的路徑上	1.滾筒受外部磁鐵吸力轉動，轉到節點 2.觸動微動開關，接通漆包線電路 3.起動電磁鐵，與外部磁鐵相吸 4.飛機木內的外部磁鐵被拉起 5.節點順利通過，微動開關中斷電路 6.電磁鐵失去磁性，外部磁鐵落下
特點	1.解決過度撞擊太極板，造成解體，及線圈纏繞過粗，造成耗電與間距過大問題 2.以飛機木將橫桿減重，降低電磁鐵耗電 3.調整塑膠片長度，可控制外部磁鐵的昇降時間點 4.以變壓器電量，做為電磁鐵磁力單位，透過調整電壓大小，來控制磁力 5.簡化設計，減少撞擊與摩擦損耗，使結構穩定耐用，並承受更快轉速	

三、根據機電複合構造，製做節能馬達(四代機)



最佳化滾筒變項



利用省力槓桿取代橫桿



利用電磁鐵吸起槓桿

討論五：節能馬達實測結果

為了能測出磁動機的節能效果，必須和真正的馬達比較，討論了很久，方式決定以

- 1.磁動機**最高轉速**時，**電磁鐵**所需的**耗電量**為基準
- 2.再以市售**9V 馬達**，連接磁動機**帶動滾筒**轉動
- 3.利用**可變電阻**，調整**轉速**與磁動機最高轉速一致
- 4.測量馬達的耗電，並和磁動機的電磁鐵耗電比較



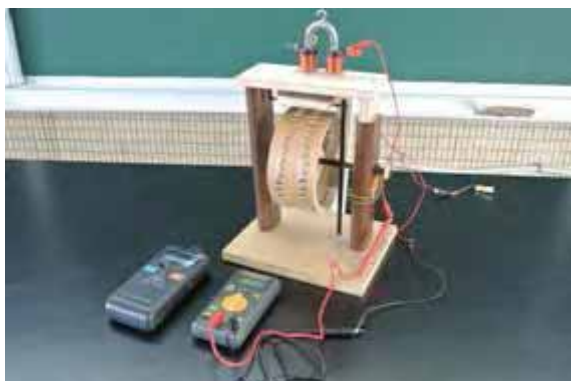
磁動機(左)與馬達(右)效能測試

節能馬達運轉效能測試結果，如下表

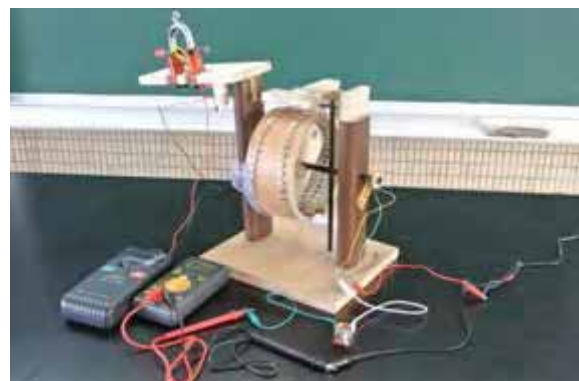
動力	運轉效能	轉速 rpm	電壓 V	電流 mA	功率 W	通電時間	實際耗電	運轉時間
馬達連接運轉		335	12V	424mA	5.1W	全程耗電	5.1W	7 分 23 秒
磁動機運轉		323	12V	1000mA	12W	7.45%	2W	47 分 15 秒
效能		慢 3.6%	相同	多 2.36 倍	多 2.36 倍	少 92.65%	省 83.3%	多 6.4 倍

發現：

- 1.以公式：**功率(W)=電壓(V) × 電流(A)**，計算磁動機與馬達運轉的耗電，兩者差距不大：
磁動機→ $12V \times 1A = 12W$ 、**馬達**→ $12V \times 0.424A = 5.1W$ 。由兩個運轉時，通電的情形發現，磁動機只有在滾筒轉到**節點處**才通電，而馬達則是**全程**都在耗電，但由於轉速過快，電表無法測出兩種區別
- 2.**實際耗電**：為測量實際用電量，於是以通電的**銅片長度**(3.5cm)佔**滾筒圓周**(47cm)的**比例** 7.45%，做為實際的耗電量。以電表所測的 12W 來算，實際耗電→ $12W \times 0.0745 = 0.89W$
- 3.**運轉時間**：為印證實際耗電的推算是否正確，於是再以相同 **8 顆 1.5V 電池**，分別以**電磁鐵**與**馬達**帶動滾筒，**持續運轉到沒電而停止**，比較兩者運轉的**時間長度**，發現馬達帶動滾筒轉了 7 分 23 秒，而電磁鐵卻持續轉了 **47 分 15 秒**
- 4.比較電表測得的功率→**電磁鐵**：**馬達**= $12W : 5.1W$ ，但在**電池電量相同**下，電磁鐵卻比馬達多出 **6.4 倍** 的運轉時間。這種**耗電大**，反而**轉得久**的原因，關鍵極可能是出在磁動機**非全程通電**的耗電型態，可見我們對**實際耗電**的推算想法是正確的



磁動機運轉效能測試



馬達連接運轉效能測試

柒、結 論

一、利用歸納各種磁鐵的排列組合，推論出磁動機特有的運轉模式，加上利用電磁鐵所學到的知識，成功設計出節能馬達，還看到意外的驚喜與發現。透過實驗證明：磁軌的磁力、軌距、縮幅、間隔、與外部磁鐵長度、間距等，各變項間都有會相互影響

二、研究發現整理

(一)各種間距下，磁軌磁力強度與外部磁鐵長度，對吸力的影響

- 1.吸力與磁軌磁力強度，與上下間距成正比，與外部磁鐵長成反比
- 2.當外部磁鐵越長：間距高，可減少吸力差距；間距低，吸力差距反而升高
- 3.對吸力增幅的影響

上、下磁鐵的間距 > 磁軌磁力強度 > 磁軌軌距 > 外部磁鐵長度

(二)各種間距下，外部磁鐵與磁軌軌距的長寬比，對吸力的影響

- 1.兩者長寬比相同，吸力最大
- 2.長度與寬度同時增加，吸力變弱
- 3.兩者長寬比不同，吸力降幅加大
- 4.兩者長寬比超過 3 倍，吸力消失
- 5.兩者上下間距越大

(1)外部磁鐵與磁軌軌距之間的吸力就越小

(2)長度短、軌距窄組合的吸力降幅，比長度長、軌距寬的組合大

(3)長度與寬度同時增加，吸力變弱幅度縮小

(三)磁軌軌距縮幅與間隔，對推力的影響

- 1.磁軌軌距縮幅對速度影響： $(1/3) > (0) > (1/2) > (2/3)$ ，配合縮小間距，速度會再增加
- 2.軌距縮幅大，吸力集中，但推力不平均；縮幅小，吸力平均，但吸力差小而降低推力
- 3.縮小磁鐵間隔，可提高速度，但也增加磁鐵數量；縮小上下間距，也可增加速度，卻不用增加磁鐵數量
- 4.考量節省磁鐵及減輕重量，磁鐵間隔 0.5 倍時，推力下降 5%，卻節省 33%磁鐵用量

(四)根據變項間相互影響的關係，可交叉出最佳組合：外部磁鐵長度→9cm、磁軌磁力強度→3 顆、磁軌磁鐵間隔→0.6cm、磁軌縮幅→10.5cm~3.5cm、上下間距→0.5~1cm、滾筒規格→(直徑 15cm、高 12cm)。變項經最佳化後，可有效提昇效能 2.26 倍

(五)調整間距高低，就能控制滾筒轉速快慢與推力大小，但即使效能再高，滾筒也無法自行轉動，除非有外力使它動，證明了能量守恒的理論

(六)磁動機的特點

- 1.不需用電，只靠上、下磁鐵的吸力，就能產生推力自行加速運轉
- 2.在滾筒轉到節點時，拉起橫桿，便可持續運轉，並節省許多能源
- 3.調整下方磁軌與橫桿上，外部磁鐵的間距、磁極，就能改變滾筒轉速和方向

(七)利用磁動機運轉原理，成功發展節能馬達：配合耗電型態，由導電片佔滾筒圓周比例計算，推算實際耗電只有 7.45%，由實測的運轉時間，更長達 6.4 倍，印證磁動機非全程通電的運轉，的確可以有效節能

三、研究的重要性

- (一)利用磁鐵的排列組合，以簡單的材料，突破器材、技術限制，進行磁動力的實驗
- (二)利用手邊的材料與工具，自製簡單又準確的磁動力測量儀器
- (三)根據實驗發現，歸納變項的相互影響，並有效提昇運轉效能
- (四)由實驗證實能量守恆定律，並推翻網路影片的真實性
- (五)結合並延伸課堂所學，設計並成功改良實用的節能馬達

四、未來發展

- (一)環保動力節能馬達---讓提起橫桿上的外部磁鐵，由電磁鐵改為風力或水力等自然能源，讓節能馬達更具有環保的意義
- (二)磁動機類型研究---實驗發現，磁鐵排列組合非常多，我們所設計的磁動機，只是其中一種，未來要是能多了解各類型的構造，就可能發展出更多環保節能的機器

五、心得與感想

透過這些實驗，讓我們知道了許多有關電與磁的基本概念。從結合、延伸課堂所學，很幸運的由實驗發現，及利用手邊工具與生活用品，製做並發明出實用的節能馬達。希望以後能夠把這個方式用在生活上，節省更多能源，帶來生活的便利。

我們利用磁鐵的排列，產生不同的磁動力，根據檢測工具對不同直徑、磁鐵間隔和強度、磁軌縮幅、外部磁鐵強度...等都可找出其間的交互作用。像是外部磁鐵長度和磁軌寬度相同時，吸力會最強，而且只要有一點外力推動，加上磁鐵的吸力，就可以使磁動機運轉很久。實驗中數據有時不穩定，可能和外力以及熟練度有關，需要再觀察。

原本想要做出永動機，沒想到卻發現是不可能成功的！於是便改做測試磁鐵吸力的實驗，結果發現網路上的影片是不可行的，真是太驚人了！

參考資料

施惠(主編)(民 99)。自然與生活科技 6 上。奇妙的電磁世界 (59-75)。台南市：南一書局

Permanent Magnet Motor V-gate Re-gauging from Roobert33。引自

<http://www.youtube.com/watch?v=bssBA6EzM4>

鐘擺模型。引自 <http://www.youtube.com/watch?v=Ffa9567gvJc>

【評語】 080820

永磁動力的課題選擇非常有吸引同學設計相關的吸力磁力的實驗並研發五代的動力機也可實際操作，團隊解說極具專業表現。