

# 四驅車的驅動馬達 之線圈電阻的發熱研究

高小組應用科學科第三名

台北市立萬福國民小學

作者：楊世宇

指導教師：黃家耀、林佩珍

## 一、研究動機

在日常生活中我們有許多家用或實驗用電器用品，我們發現這些電器用品有一個共同的毛病，就是如果機體過熱的話，就會停止運轉。四驅車就是一個好例子，當它跑軌道有一段時間後，車子的馬達就會發熱，跟著車子就越來越慢，再來就不動了。我們對四驅車馬達線圈發熱車子就越來越慢，甚至於不動了之問題相當有興趣，故擬探討四驅車當車的核心因素。

## 二、研究目的

- (一) 探討溫度與電阻的關係。
- (二) 了解馬達線圈的電流與驅動力之關係。
- (三) 探討為什麼四驅車的馬達發熱，車子就會越來越慢，甚至於停下來。
- (四) 模擬四驅車的馬達溫度變化的實驗，量測其馬達線圈在驅車運轉時的電阻變化。
- (五) 使用並製做熱電偶，動態量取四驅車運轉時供電電池及馬達的溫度變化，並了解其關聯。

## 三、文獻探討

(一) 溫度與電阻的關係 (二) 歐姆定律 (三) 電流的磁效應 (四) 減少磨擦力的方法 (五) 用熱電偶量測量溫度的方法：(1) 用電表量取不同金屬材料細線兩端之電位差。(2) 了解熱電偶量得之電壓與溫度之對應關係。

#### 四、研究設備器材

1.微歐姆電表 (Good Will Instrument , 型號LCR-8152)。2.保溫鍋。3.水銀溫度計。4.微電壓計 (GW Multi-meter GDM 8045G )。5.熱電偶。6.筆記本、相機、方格紙、尺、筆。

#### 五、研究過程或方法與結果

##### (一) 研究過程：

- 1.了解電阻是什麼。了解電表的用法。了解電流與電壓的關係。了解什麼是歐姆定律。
- 2.測試出對溫度較敏感的電阻器。
- 3.探討電阻在不同溫度下的變化值。找出溫度與電阻的數學關係。
- 4.找出四驅車飆駛後當車之主要原因。

##### (二) 研究方法與結果： 研究方法摘要

A.電阻與溫度 (25~95°C) 關係之探討。

實驗一：觀察電阻—溫度變化之關係，測試出對溫度較為敏感的電阻器定。

實驗二：電測電阻在不同溫度下的變化值。

B.四驅車馬達的電阻—溫度變化之動態、靜態及馬達溫度變化模擬的探討。

實驗三：模擬四驅車跑軌道時馬達的電阻—溫度變化，並量測馬達的線圈與溫度變化之關係。

實驗四：以熱電偶動態量測四驅車跑軌道時馬達及電池。

實驗五：的溫度值。並做對照實驗。

實驗一：測試出對溫度較為敏感的電阻器並坐電阻與溫度現象的觀察。

1.找出可做為電阻器的材料如車尾燈鎢絲、吹風機的鎳鉻絲…如圖 (1,2)

。

2.首先把水燒到100°C，到入保溫鍋中，以微歐姆計的鱷魚夾分別夾在各電阻器上，把電阻器放入保溫鍋水中，如圖(3)。並觀察微歐姆計上數據的變化。(保溫鍋可使水溫緩慢下降並與電阻器達成熱平衡)重複觀察溫度下降與微歐姆計讀數變化若干次。

結果 (實驗一)：

(1)對溫度較為敏感的電阻器—鎢絲經由此實驗我們發現，在測試了許多電阻中，於溫度 (100-30



鎳鉻絲 (圖1)

℃) 中，以汽車車尾燈燈內鎢絲最為敏感，即電阻快速隨溫度變化。

(2) 鎳鉻絲是對溫度 (100-30°) 較為不敏感的電阻器。

(3) 從實驗一中我發現，電阻在不同的溫度下就有不同的電阻值。

實驗二：電阻在不同溫度下的變化。

1. 以鎳鉻絲 (如圖 1) 及汽車車尾燈燈內的鎢絲 (圖 2) 做為本實驗之電阻器。

2. 首先要將水燒到沸騰 (100℃)，然後到倒入保溫鍋中，再與微歐姆計的鱈魚夾在鎢絲電阻的電線上，(如圖 3)。再把鎢絲電阻放入保溫鍋的水中，使與水溫達到平衡的溫度。

3. 溫度每降 5℃ 記錄一次微歐姆計的電阻值。

4. 最後將實驗結果做成直角座標圖，數據如表(1)及作圖如圖(4)。

5. 4. 重複 2、3 的實驗五次，並取得各次實驗數據的平均值。

結果 (實驗二)：

1. 車尾燈泡鎢絲電阻器之溫度越高電阻就越大：

(1) 經由此實驗我們發現水溫在 25-100℃ 間，溫度越高，電阻就越大，溫度越低，電阻就越小。

(2) 實驗中須要有一個對溫度 (室溫至沸水的溫度，25-100℃) 較敏感的電阻以便易於觀察電阻與溫度之關係。我們找到了車尾燈內的鎢絲及吹風機內的鎳鉻絲 (如圖 1) 等我們發現車尾燈內的鎢絲對上述溫度有較敏感的變化。

(3) 依實驗結果的數據作成座標圖後發現，座標圖上面的數據用筆連起來後幾乎成一直線 (可取數學上的迴歸線，regression line)，我們便可知道車尾燈鎢絲電阻器在此溫度範圍 (25-100℃) 是成正比的。也就是說，溫度高的話，電阻也會隨著變大，溫度低的話，電阻也會隨著下降。

電阻 R 與溫度 t 的數學關係：

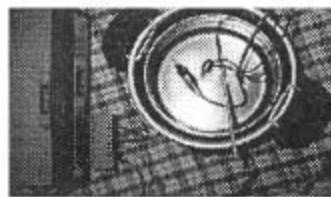
實際上的數值如 (表 1a)。  $2.68 = 2.18(\alpha) \times 49$   $R = R_0 + \alpha t$

$R_0$ : 25℃ 鎢絲的電阻。  $\alpha$ : 0.0102 由上式求得該鎢絲的電阻常數。

(4) 預測四驅車內驅動馬達轉軸線圈電阻—溫度之 (R-t) 圖，應為類似 (電阻應隨溫度升高)。



(圖2)車尾燈鎢絲

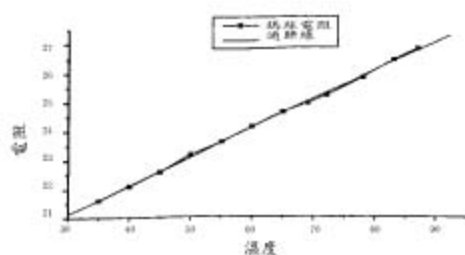


(圖3)把鎢絲電阻放入保溫鍋的水中，使與水溫達到平衡的溫度

2. 鎳鉻絲溫度越高（25-100°C之間）電阻就越小，與預期相反。

(1) 經由此實驗我們發現，溫度越高，鎳鉻絲電阻就越小，溫度下降，電阻反而升高。

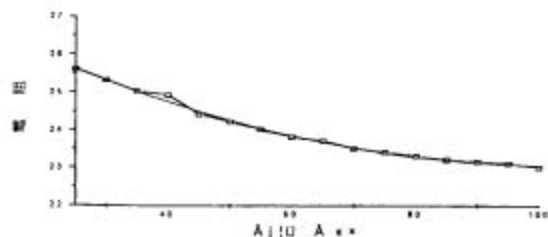
(2) 依實驗結果的數據作成座標圖後如（表2）及（圖5），我們發現，座標圖上面的數字用筆連起來後近似成一曲線（可取數學上的迴歸線，regression line），電阻跟溫度似乎是成反比的關係（本結果需要更多數據進一步實驗以確定是否均成曲線）。本實驗發現鎳鉻絲，溫度升高（25-100°C之間）隨著變小，溫度低的話，電阻會隨著增大。



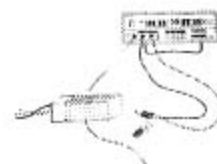
圖(4) 汽車車尾燈燈內的鎳絲電阻與溫度關係圖

溫度 °C	電阻 (歐姆)
84	2.68
83	2.64
78	2.57
72	2.52
69	2.49
65	2.46
60	2.41
55	2.37
50	2.32
45	2.24
40	2.21
35	2.18

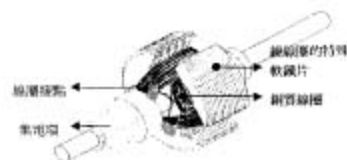
表一(a):車尾燈燈內的鎳絲 35-84°C 之電阻值



(圖 5) 溫度越高，鎳鉻絲電阻就越小，溫度下降，電阻反而升高。



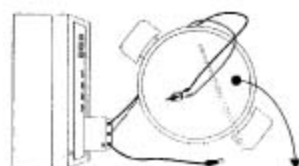
(圖 3A)



(圖 3B) 四驅車馬達的電樞



(圖 3C)



(圖 3D) 透視圖

溫度 C	電阻 (毫歐)
100	23
95	23.1
90	23.15
85	23.2
80	23.3
75	23.4
70	23.5
65	23.7
60	23.8
55	24
50	24.2
45	24.4
40	24.9
35	25
30	25.3
25	25.6

表二：鎳鉻絲 25-100°C 的電阻值



熱電偶緊密接觸四驅車馬達外殼之溫度，以量取四驅車停跑時馬達的溫度值。  
(圖九)



(圖十)

實驗三：模擬四驅車跑軌道時馬達的電阻—溫度變化。

1. 模擬四驅車跑軌道時馬達的溫度變化，四驅車由室溫（25°C）起跑直至停車當駛不動，馬達溫度燙手（約80°C以上）。

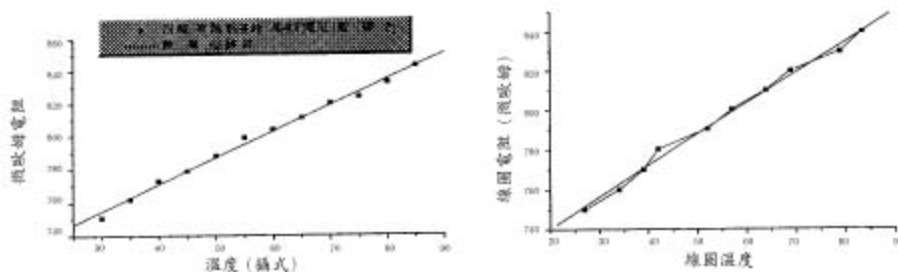
2. 首先將約100°C的水放入保溫鍋，然後將微歐姆電表的鱷魚夾夾在四驅車驅動馬達軸心線圈兩端的接點，然後將四驅車馬達放入內部~95°C水溫的保溫鍋中，馬達線圈與水溫達成平衡並隨水的溫度變化，以模擬四驅車跑軌道時馬達的溫度。

3. 量測馬達線圈的溫度—電阻變化（25-95°C之間）。並記錄微歐姆電表的電阻值。

(1) 每降10微歐姆記錄一次量到的水溫，直到室溫。

(2) 重複2、3的實驗五次，並取得各次實驗數據的平均值。

(3) 最後將實驗結果做成直角座標圖如圖（6,7）及數據如表（3）。



(圖6,7) 模擬四驅車跑軌道時馬達的電阻—溫度變化。

結果（實驗三）：

1. 模擬四驅車驅動馬達溫度變化過程：剛開始時水溫度是 $\sim 95^{\circ}\text{C}$ 以模擬四驅車馬達發熱時的熱度（ $80^{\circ}\text{C}$ 以上）。本實驗馬達電阻於溫度為 $92^{\circ}\text{C}$ 時開始量測。隨後溫度降下來後，馬達的電阻也漸漸變小。

2. 四驅車由室溫起跑，故驅動馬達的溫度應是由室溫（ $25^{\circ}\text{C}$ ）上升至燙手的溫度（ $80^{\circ}\text{C}$ 以上）。

3. 模擬四驅車跑軌道時馬達的電阻—溫度實驗結果，我們可知到當時四驅車在跑時內部馬達的電阻大小是由溫度的高低來產生變化。

4. 作成座標圖後，我們發現，四驅車驅動馬達內線圈的電阻和溫度是成正比，與實驗二（一）之結論相同。

實驗四：1. 以熱電偶量測四驅車跑軌道時馬達的溫度及供電電池值。

2. 馬達散熱與驅車能力之對照實驗。

馬達外殼及供電電池之溫度不易以溫度計於短時間量測。故用熱電偶緊密接觸四驅車馬達外殼，以量取四驅車停跑時馬達的溫度值。以裝有外車殼（馬達A）及沒裝外車殼之（馬達A、B），並均加裝一組相同的副電池做為電源切換及對照實驗。

1. 熱電偶製作與溫度校正：

(1) 取鉦鉚—鉦二條合金之金屬細線一端絞緊另一端連接微電壓計（GW Multi-nmeter GDM 8045G），故成熱電偶。如下圖。

(2) 首先要將水燒到 $100^{\circ}\text{C}$ ，然後到倒入保溫鍋中，把熱電偶放入保溫鍋的水中，使與水溫達到平衡的溫度。

(3) 溫度每 $1^{\circ}\text{C}$ 記錄一次微電壓計的電壓值。

(4) 重複2、3的實驗五次，並取得各次實驗數據的平均值。最後將實驗結果做成溫度—電壓之直角座標圖，數據如表(4)及作圖如圖(8)。上圖之數學關係可由（表八）或迴歸線軟體獲得

量到的電壓(Y)=A+B×X(溫度)

Y=A+B×X由表八計算可得

A -1.49796

B 0.0442

\*\*Y(量到的電壓)，X為量到的溫度。

由老師指導解出未知數A、B。

(本數學分析為指導老師)

表四：熱電偶溫度-電壓關係圖

實 驗 四			
溫度 C		電壓 (伏特)	
80	2.048	63	1.285
79	1.984	62	1.240
78	1.945	61	1.190
77	1.91	60	1.145
76	1.861	59	1.115
75	1.837	58	1.070
74	1.773	57	1.043
73	1.725	56	0.987
72	1.674	55	0.945
71	1.645	54	0.907
70	1.586	52	0.820
69	1.558	51	0.740
68	1.518	50	0.660
67	1.463	48	0.620
66	1.429	47	0.580
65	1.375	46	0.540
64	1.320	45	0.500

## 2. 馬達散熱與驅車能力之對照實驗：

(1) 四驅車 A (有裝車殼)，跑軌道直到動彈不得時，量取馬達及電池溫度 (電磁仍有電量見下表中電池之電壓值)，以熱電偶緊密接觸四驅車馬達外殼，以量取四驅車停跑時馬達的溫度值。

(2) 四驅車 A 及 B (拿下車殼，馬達 B 於外殼加塗佈黑色高散熱材料，) 跑軌道直到停止時 (電池電量幾乎耗盡)，以熱電偶緊密接觸四驅車馬達外殼之溫度，以量取四驅車停跑時馬達的溫度值。對照本實驗之 (一) 4 的溫度—電壓之直角座標圖，讀出溫度。

(3) 重複 (三) 之實驗五次，記錄熱電偶之電壓，並取平均值。如表 (5)。

	起跑電池電壓 (伏特)	當車電池電壓 (伏特)	馬達溫度 °C	當車時熱電偶電壓 (伏特)	驅車時間 (分)
裝有外車殼(馬達 A) (充電飽合之 Ni-Cd)	1.40V	1.21V	78	1.93V	28分，直到動彈不得換上新電池，四驅車也不一定立刻再跑。
沒裝外車殼(馬達 A) (充電飽合之 Ni-Cd)	1.40V	1.08V	57	1.10V	維持相當長驅動時間，不會驟停。換上新電池，四驅車可立刻再跑。
沒裝外車殼(馬達 B) (改良型散熱馬達並塗佈黑)	1.40V	0.97V	49	0.5V	維持相當長驅動時間，不會驟停。換上新電池，四驅車可立刻再跑。

表五：驅動前後之電池電壓，以熱電偶緊密接觸四驅車量取當車時馬達外殼之熱電偶電壓並換算成驅動馬達之溫度。

結果 (實驗四)：

### 1. 裝有外車殼 (馬達 A)：

(1) 四驅跑車 (本實驗所用之規格，有車殼) 當車時，溫度平均約升高至 75~78°C。

(2) 當車時換上新電池，四驅車不一定立刻再跑，有時仍然動彈不得。

(3) 無論新舊電池均須等待片刻後均能再跑。惟不更換電池，再起動後車速慢條斯理 (概電能已消耗甚多)。更換電池，再起動後車速較快，惟車速仍小於原室溫起動時。

### 2. 沒裝外車殼：

(1) 馬達 A：車殼取下，因散熱較佳，四驅跑車跑到電池耗盡為止才停。但車速由極快漸趨平緩，維持相當長驅動時間，不會驟停。換上新電池，四驅跑可立刻再跑，惟車速較慢。

(2) 馬達 B：同上述，惟其於外殼加塗佈黑色高散熱材料，散熱能力更佳，當

實驗三(1)		實驗三(2)	
溫度 C	電阻	溫度 C	電阻
92	907	83.5	840
90	873	79	830
85	843	69	820
80	833	64	810
75	824	57	800
70	820	52	790
65	811	42	780
60	804	39	770
55	799	34	760
50	788	27	750
45	779		
40	773		
35	762		
30	751		

表三：四驅車驅動馬達裡的電阻值與溫度關係。

車時之溫度更低。

特別是電能幾乎耗盡。當車瞬間，量其電壓低至0.97V。

3. 當車瞬間，車體提起馬達均仍可轉動。可推論當車馬達非即刻完全停止，但驅動力不足。

4. 上述1、2之結果比較，可充分說明溫度升高使馬達線圈電阻增高，電流減小，電流磁效應產生之推力不足是當車之重要原因，而非電池耗盡。

實驗五：(1)以熱電偶動態量測四驅車跑軌道時馬達及供電電池的溫度值。

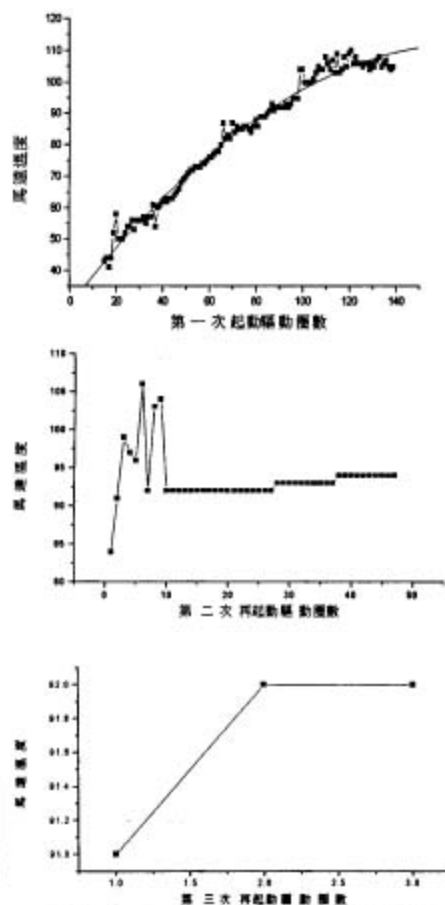
(2)電池殘能使車再驅動與溫度變化關係之量測實驗。

(一)以裝有外車殼(馬達A)及沒裝外車殼之(馬達A、B)。於四驅車背負熱電偶計(YF162型，裝有兩組熱電偶線)，於四驅車驅動時瞬間讀取馬達及電池之溫度。如圖(11)及表(6)。

第一次起動		第二次起動		第三次起動	
起始:馬達26℃ 電池 26℃		起始:馬達84℃ 電池 50℃		起始:馬達91℃ 電池 50℃	
當車瞬間:馬達 105℃電池70℃		當車瞬間:馬達 96℃電池64℃		當車瞬間:馬達 92℃電池58℃	
15	43	1	84	1	91
16	44	2	91	2	92
17	41	3	99	3	92
18	44	4	97		
19	52	5	96		
20	58	6	106		
21	50	7	92		
22	50	8	103		
26	54	12	92		
27	56	13	92		
~~~~~		~~~~~		~~~~~	
35	57	21	92		
36	61	22	92		
37	54	23	92		
38	60	24	92		
39	61	25	92		
~~~~~		~~~~~		~~~~~	
127	106				
128	106				
129	104				
130	106				
135	106				
136	107				
137	105				
138	104				
139	105				

表(6):熱電偶動態量測四驅車跑軌道時馬達及供電電池的溫度值及電池殘能使車再驅動與溫度變化關係之量測。

※因版面空間之故，數據未能全部列入。



圖(11)熱電偶動態量測四驅跑車軌道時馬達及供電電池的溫度值及電池殘能使車再驅動與溫度變化關係之量測。



(二) 待四驅車再起動時讀取時瞬間讀馬達及電池之溫度。

(三) 待四驅車第三次起動時讀取時瞬間讀馬達及電池之溫度。(直至不起動為主)。

結果(實驗五)：

1. 由圖(11)及表(6)，馬達溫度變化與轉動圈數成正比關係，其驅動時因軌道之形狀弧度產生不同的出力及阻抗，故溫度成上下振盪。

2. 馬達溫度變化與轉動圈數成正比關係，惟非線性。由圖(11)及表(6)於驅動一段時間後溫度上升達飽和及與散熱平衡(第一次起動升至 $105^{\circ}\text{C}$ )。此時電池溫度亦升至相當高並維持一段時間(第一次起動升至 $70^{\circ}\text{C}$ )，車速亦減緩。此時因溫度升高之故，電池之電流輸出及馬達電子阻均升高使馬達因電流磁效應產生之推力減少終至當車。

3. 溫度下降後產生再起動，直至電能幾忽耗盡為止。

4. 第一次再起動起動再電池為 $50^{\circ}\text{C}$ 馬達 $84^{\circ}\text{C}$ 為，此時因溫度均降，電流漸增使電流效應之迫推力足以再驅動車子。惟轉速與驅動時間均急速減少。

5. 第二次再起動起動再電池 $50^{\circ}\text{C}$ 為馬達為 $91^{\circ}\text{C}$ 其原理同2。惟已成強弩之末，只轉幾圈及即停。

6. 本實驗之馬達當車溫度比實驗四之結果高出許多，主要乃因此為動態量取，背負熱電偶計，馬達負載加大許多之故且為動態瞬間量取，沒有延詞遲。

## 七、討論

(一) 實驗中須有一個對溫度較敏感的電阻(室溫至沸水的溫度， $25-100^{\circ}\text{C}$ )，以便了解溫度與電阻關係。我們發現車尾燈內的鎢絲對上述溫度有較敏感的變化。

(二) 電阻與溫度變化之關係：實驗結果僅在 $25-95^{\circ}\text{C}$ 間討論，並未討論更高或更低溫度。依實驗四、五之熱電偶對馬達的溫度量測來看，電阻值溫度變化在此溫度範圍內研討是恰當的。

(三) 四驅車跑動時馬達散熱與環境溫度有相當關聯。我們選擇在冷氣房做實驗，幾乎恆定在 $21^{\circ}\text{C}$ 。

(四) 設計於車背承載電表並連上熱電偶，如(圖9，10)，可於四驅車跑動時量取馬達及電池電壓值，可瞬間，動態讀取馬達跑動運轉時的溫度。

(五) 由實驗四、五得知：四驅車馬達負載較大時(如背負熱電偶量取馬達溫度)，且因摩擦力增大，跑動時阻撓增加，馬達很容易發燙，電能消耗於熱能

。因此若減少行進間的阻撓，例如加四驅車的升級零件或減輕車重，降低因摩擦力，增進電能運用。此為運用於生活中的環保原則。

（六）在保溫鍋熱水中作變溫電阻量測，但水的電阻遠大於鎢絲及鎳鉻絲金屬或馬達線圈電阻，所以水的導電對實驗影響並不大，可以忽略。

（七）由實驗四了解四驅車馬達通風散熱對驅動相當重要。故對車體之設計改進，散熱裝置，車身對馬達通風之設計等因素使馬達通風散熱良好，值得進一步研究了解。

（八）我們仔細檢驗數據，車尾燈的鎢絲電阻與溫度升高關係為正比，有些近似為反比（吹風機的鎳鉻絲），其物理需待進一步研究了解。

（九）我們曾用電磁爐一邊加熱進行實驗，但我們發現，當電磁爐在運作時，歐姆計上數據亂跳呈現的非常不穩定。其不穩定乃是因為電磁爐產生磁力的干擾。量取數據時，我們必須先把電磁爐關掉，避免電磁爐產生磁力的干擾。

## 八、結論

（一）由實驗三我們可以知道當四驅車在跑時，驅動馬達裡的電阻變大（馬達裡的線圈電阻與溫度升高成正比關係）。根據歐姆定律（定電壓下，電阻大的話，電流就會變小）當四驅車跑軌道一段時間後，它的馬達會發熱，那時電阻會變大，電流就很難通過。當電流小時，驅動馬達裡的線圈磁場也會變小。當驅動力小到某一數值時四驅車即無法驅動（馬達驅動力不足）。所以車子驅動的速度是越來越慢，甚至停止轉動。

（二）由實驗五之表(6)，圖(11)得知馬達溫度變化與跑軌道圈數成正比關係。此結果與實驗三圖(6,7)表(3)溫度變化與線圈電阻升高成正比關係之結論一致，互相呼應。驅動圈數越多，溫度漸升高，電阻漸變大，有正比關係。更由實驗五量取之動態數據可知，驅動時電阻值隨溫度變化呈小幅振盪且非全程線性增加。由迴歸線來看，起跑時前段溫度升高呈線性增加，但驅動一段時間後在接近當車之前一段時間溫度上升達飽而趨於平緩，此時發熱與散熱應接近平衡（第一次起動升至 $105^{\circ}\text{C}$ ）。此時電池溫度亦升至相當高並維持一段時間（第一次起動升至 $70^{\circ}\text{C}$ ），車速亦減緩。此時因溫度升高之故，電池之電流輸出及馬達電子阻均升高使馬達因電流磁效應產生之推力減少終至當車。

（三）車尾燈鎢絲電阻和鎳鉻絲，因材質不同，故電阻對熱的敏感度也不同（實驗一）。車尾燈燈內鎢絲於（ $100\sim 30^{\circ}\text{C}$ ）對溫度較為敏感。電阻與溫度有正比關係，適合模擬馬達線圈電阻一溫度之變化。

(四) 鎳鉻絲對溫度(100-30°C)較為不敏感的電阻器(相對於一汽車尾燈之鎢絲)。且電阻—溫度之變化圖與馬達線圈電阻—溫度之變化斜度相反，如圖(5)。

(五) 馬達線圈的電阻為熱敏型態，且溫度與電阻的上升成正比。由實驗四(結果3)及(表五)可充分說明電流磁效應所產生之推力不足，是四驅車停跑之主要因素之一(另須討論電池發熱因素)。並摘述如下：

1. 有裝車殼四驅車雖然車殼有挖空並且輕量化，但散熱能力還是比沒有裝車殼的四驅車差，驅車一段時間後，四驅車驅動馬達因過熱造成當車。須待片刻始能再驅動。(立即裝上新的電池後，四驅車也不一定會繼續轉動，須視馬達溫度升高之值—此值與其負載及與電池匹配之狀況有關)。

2. 沒有裝車殼的四驅車散熱力較強，可維持很長一段時間，而且當車停止運作後，馬達溫度雖升高但換上新電池後可立即再跑。

3. 電池發熱阻抗增加，使輸出電流減少亦是當車因素之一。並設計實驗五動態量取探討電池溫度升高的數值。

(六) 四驅車驅動馬達過熱停止運作，馬達過熱電阻竄升及電池溫度升高為主要因素。當車之因素，馬達線圈電阻及電池供給馬達之電流須一併考量。於實驗三，負載較小，當車溫度較低。可判斷當車時雖馬達溫度低於實驗五之值，但其與電池合併考量之總推力不足。

(七) 馬達溫度升高後線圈的電阻增高。由實驗三之表(3)，圖(6,7)，實驗四表(5)及實驗五表(6)，可計算歸納出實驗中之四驅車由室溫起跑，若馬達線圈的電阻增高約10~20%即會構成推力不足(負載高時，馬達很快升溫而電池尚保有相當之電能，故此值受電池因素影響)。以對馬達A之量測數據，計算本實驗四、五之四驅車馬達線圈的電阻上升率為：

745微歐姆(25°C) 822微歐姆(72°C) ~ 890微歐姆(105°C) 由表3及圖6，7計算出：

$822 = 745 + 745 \times (\sim 10\%)$  — 實驗四低負載之結果。

$890 = 745 + 745 \times (\sim 20\%)$  — 實驗五低負載之結果。

即(1)電阻大則電流小，(2)電阻大磁效應之磁力小(3)電池於高溫時阻抗增加，電流減小。又磁產生的推力 $F$  ( $F = ILB$ ， $I$ —電流， $L$ —導線長度， $B$ —磁場，參考國中理化IVpp.67、74、75)與電流及線圈磁場成正比關係。故在上述因素下，四驅車由室溫起跑，馬達線圈的推力不足，除電池耗盡外，受溫度效應之影響很高，且為主要因素。

(八) 馬達溫度升高，電能轉變消耗為熱能，使馬達的效能降低，由於上述因素，推論電動機車或汽車之電動馬達要有很好的散熱裝置。

(九) 由本實驗對熱電偶之使用，於實驗四以熱電偶量測四驅車跑軌道停止時馬達的溫度值，及動態讀取四驅車跑軌道時馬達的溫度值，如表(4, 5)及圖(8-10)。了解熱電偶是另一個除常用水銀或酒精溫度計外，測量溫度的特殊良好工具及方法。若有精密電壓表量取精細的電壓變化，則由電壓—溫度對照表，如(表8)可換算讀取極小的溫度變化。因熱電偶為金屬，可以量得極高溫(金屬熔解前)或極低溫的溫度，或做為探測深處溫度的探針式溫度計。

## 九、參考資料及其他

1. 國中理化課本第四冊。
2. 熱電偶K型電壓—溫度對照表。
3. 軌道四驅車全百科，青文書局。
4. 數學圖表及數學上的迴歸線繪圖—origin 5.0版繪圖軟體。
5. 驅動馬達為mini-F1(motor A)及Tamiya-(motor B)二型。
6. 微電阻及微電壓測量儀器由師大物理系紅外譜實驗借用，特此誌謝。

## 評語

本作品在探討四驅車的馬達，因溫度的升高導致線圈電阻增加，進而對馬達的驅動能力產生的影響，分析及實驗條理分明，並得具體的結果，對四驅車馬達及驅動系統的設計，為一極有價值的參考。

