

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組生活與應用科學科

040808

臺北市立麗山高級中學

指導老師姓名

吳明德

盛寶徵

作者姓名

郭沛群

蔡淞宇

胡嘉元

任笙豪

超電容運輸系統

壹、摘要：

在此研究中，希望能以超電容的特性，嘗試將超電容結合電動模型車，製作一個運輸系統。其中包含超電容的充放電研究，馬達的扭力與電功率的關係，並結合自動控制程式，量測車輛的加速與放電關係；藉此說明超電容在功率上面的傑出性能。



舊金山市無軌電力公車

另外，我們結合了電容與車輛驅動能量上的文獻研究，運用在內湖 222 公車的部分路線計算，行駛距離與損耗能量的關係。最後評估超電容應用在電動代步車上的可行性。

何謂“超電容”？超電容利用的是電子吸附的物理原理，並無異於傳統電容。但因成分的不同，使得超電容的電容量遠大於傳統電容。並且超電容擁有以下特性：

- 一、電快速且放電持久
- 二、容量較普通電容大出許多
- 三、在瞬間提供極大的功率
- 四、放電效率極高
- 五、環壽命次數高

貳、研究動機：

1890~1990 年全世界人口數和能源消耗量

年 別	1890	1910	1930	1950	1970	1990
全世界人口數 (億)	14.9	17.0	20.2	25.1	36.2	53.2
全世界能源總消耗量 ($\times 10^{12}$ 瓦-年)	1.00	1.60	2.28	3.26	8.36	13.73

資料來源：Scientific American 地球能源專刊(1900年9月) 第112頁

高一的物理課本中，寫到了這段話：「由上表清楚地顯示近一個世紀內，世界人口成長和能源消耗之間的關係。『能源危機』不只是指出將來能源的可能匱乏，也是標示出由於能源的大量使用，造成對人類生存環境的污染和危害。」「能源危機」似乎已成爲一個國際間的主要議題，引起了我們很大的共鳴，希望找出一個新的解決方式，爲這世界盡一份心力。

現今的燃油車，造成了大量的石油消耗，然而目前的機動車輛僅電聯車與捷運是採用電纜線作爲能量供應。因電池在儲存電力上，有許多的因素，例如：功率較低、充電較慢等的缺點。所以想利用超電容克服這些缺點，並應用在短距離及固定行駛路線上。

參、研究目的：

- 一、超電容充放電之量測
- 二、測量馬達轉矩與電功率之關係
- 三、製作以電力驅動模型車的性能量測
- 四、電動車自動控制程式之設計
- 五、電動機之轉換效率測試
- 六、製作電動模型車於行駛時之能量轉換關係圖
- 七、以 222 公車部分路線爲例，統計迷你巴士行駛距離及耗能之研究
- 八、評估超電容應用在電動代步車上的可行性

肆、研究設備及器材：

- 一、 超電容(2.5V ,1A ,10F)-----十個
- *(將五個串聯為一組，再以兩組並聯之)
- 二、 LEGO 組：
- (一) 自製電動車-----一組
- (二) 光感應器-----兩條
- *(置於 Robot Control Box 上)
- (三) LEGO 電動機-----兩組
- (四) Robot Control Box-----一組
- *(將編輯完成的軟體輸入至 Robot Control Box，使電動車能依指令移動)
- (五) Robot-----一套
- *(LEGO 之電腦編輯軟體)
- (六) LEGO 輪圈-----兩個
- *(置於發電機及電動機上使用，且在上面鑽一洞，綁上釣魚線)
- 三、 PASCO 組：
- (一) 智能滑輪-----一組
- (二) 電壓感應器-----一組
- (三) 電流感應器-----一組
- *(電壓及電流感應器可代替三用電表)
- 四、 釣魚線-----一捆
- 五、 鱷魚夾-----數條
- 六、 法碼(20~50g 之間)-----數個
- 七、 電刷及銅片-----各兩個
- 八、 自製 222 公車詳細資料-----一份

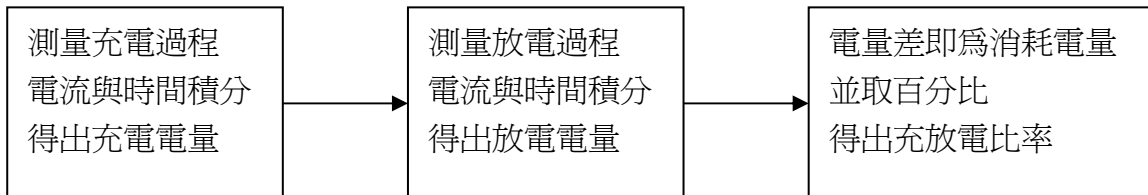
伍、研究過程或方法：

一、量測 PC10 超電容充放電效能：

計算超電容在充電及放電前後的電量差，得出每次充放電的效能百分比。

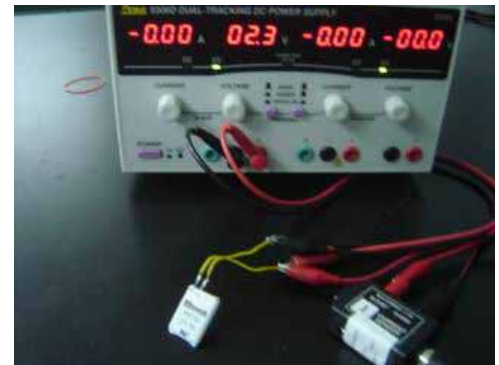
由 $Q=It$ 使用 pacso 分別量測充放電的電流變化及時間，取積分得到總電量。

超電容充放電實驗流程：



實驗一：

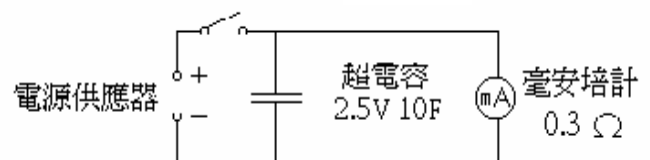
我們使用安培計及電源供應器上的安培讀數以攝影法取得電流數據，統計後整理成圖表，求得充放電電量，換算出充放電比率。實驗裝置如圖(一)：



圖(一)

實驗二：

這次實驗將測量超電容的充放電效能。



充電能量：紀錄超電容充電前後的電流變化，當電源供應器的電流降至 0A 時，與時間積分後利用 $Q = \int I(t)dt$ ，為充電的電量。

放電能量：紀錄超電容放電前後的電流變化，與時間積分後利用 $Q = \int I(t)dt$ ，為所放出的電量。

最後以公式(放電能量 Wh(連續) / 輸入充電能量 Wh) $\times 100\%$ 換算出充放電比率。

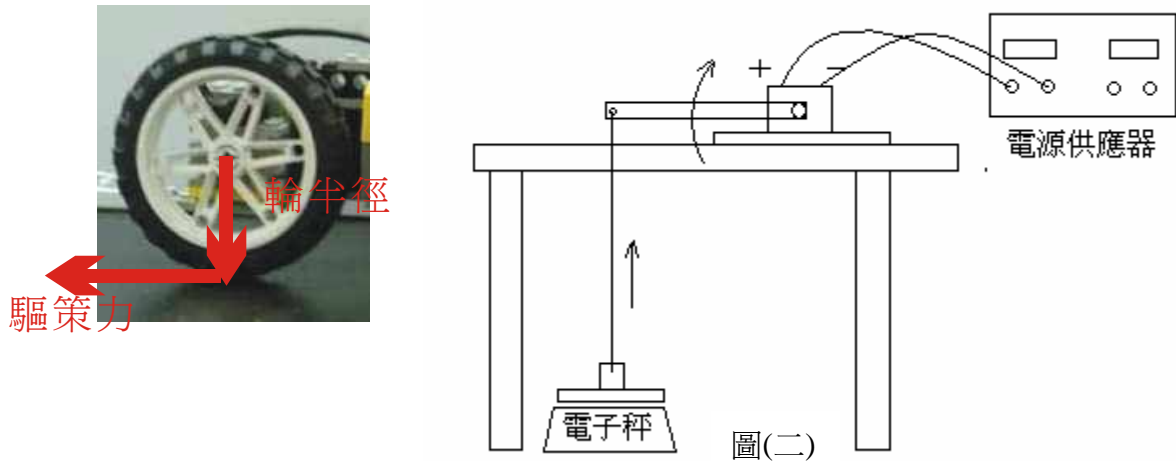
二、超電容的基本性能檢測：

測量超電容放電前後的電壓變化，乘上電容後應為所放出的電量。利用 $C=Q/\Delta V$ ，求出超電容理論值的電量；再與規格比較是否符合。

超電容規格：五顆 10F2.5V 串聯後成為一組，再以相同兩組並聯(共十顆電容)

三、求得馬達轉矩對功率之關係圖：

為瞭解電動車在啟動時所需的驅策力 F ，我們利用 $\tau = r * F$ (圖二)，得馬達在不同電功率時的 τ 。我們改變供給電源的電壓，使樂高馬達能提起重物，並且讀取重物在磅秤上的減少量，求得馬達在不同電壓下的轉矩。將轉矩與電功率對應後製成圖表。實驗裝置如下圖：



四、測量摩擦係數：

模型車基本資料: 電源: 超電容x10 (12.5V)

動力: 直流馬達 x2

當車輛在剛啟動時，如果驅動力大於胎面與地面的最大靜摩擦力，就會造成輪胎空轉；反之驅動力小於滾動時的最大靜摩擦力，就無法驅動車輛。還有在行駛過程中輪子滾動所造成的阻力也須考慮進去。

此個實驗中我們將測出：

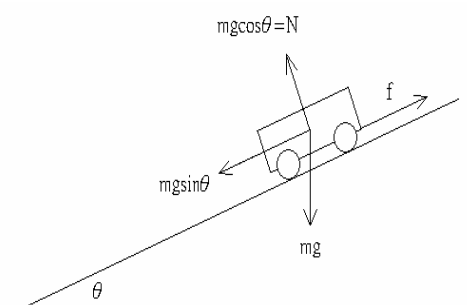
- 車輪滑動時的最大靜摩擦力係數
- 車輪滾動時的動摩擦係數

右圖為裝置 10 個超電容的樂高電動車



步驟一：最大靜摩擦係數測量

我們將車輛放在平板上，再慢慢提高板子的一端，使 θ 角增加(如圖三)，當車輛開始移動的瞬間， $\tan \theta$ 為最大靜摩擦係數。



圖(三)

$$f = N \mu_k = \mu_k mg \cos \theta = mg \sin \theta$$

$$\mu_k = \cos \theta / \sin \theta = \tan \theta$$

步驟二：滾動時的動摩擦係數 C_r 測量

空氣阻力以及輪圈摩擦力滾動阻力係數 C_r 測量，使用重物拉動車子使之產生加速度，帶入下式求出動摩擦係數。實驗裝置如(圖四)：

$$(F - f) = (mg - \mu N) = (M + m)a$$

$$\mu = [mg - (M + m)a] / N$$

； $M = 0.34\text{kg}$ ， $m = 0.1\text{kg}$ 。



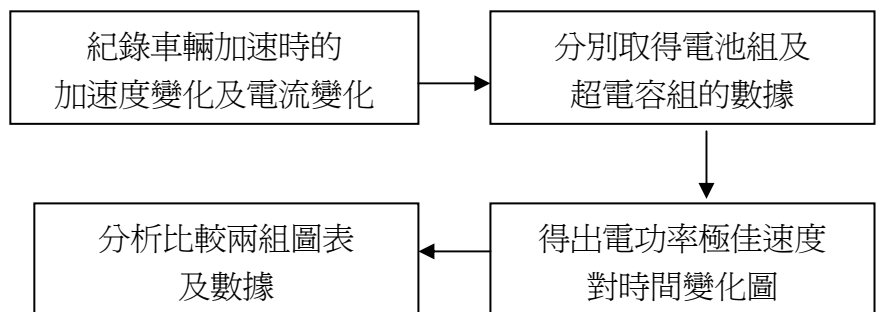
圖(四)

在求得摩擦係數後，於電子秤測量惰輪的支撐力。得到惰輪在行駛中的阻力，如右圖。



五、電功率和加速度關係：

我們將實驗分成電池組和超電容組，各電源的電壓固定為12V，接上安培計及 pasco 智能滑輪同時紀錄電流及加速度變化。將數據整理後做分析及比較。

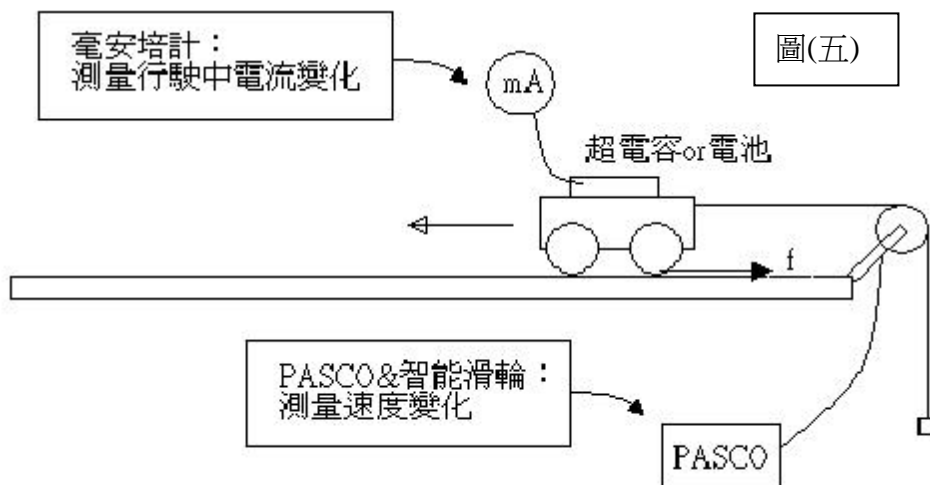


電功率和加速度實驗流程：

電路示意圖：



實驗裝置示意圖：



由先前實驗二的結果，我們已經可以從瞬時電功率(P)推得轉矩 τ ，除以驅動輪半徑得到驅動力 F，扣掉實驗三所測得的阻力(f)，再除以質量得到加速度變化(圖五)。

六、求出行駛時之理論加速度 a：

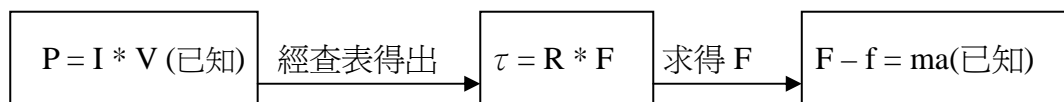
由牛頓第二運動定律可得知，合力 $F-f=ma$

將扭矩公式： $\tau = r \times F$ 以及輪胎滾動阻力公式為 $F_r = mgC_r$ 帶入，得出公式(一)：

$$(\tau / r) - C_r(2/3mg) = ma$$

公式(一)

將數值帶入，得到理論加速度 a。

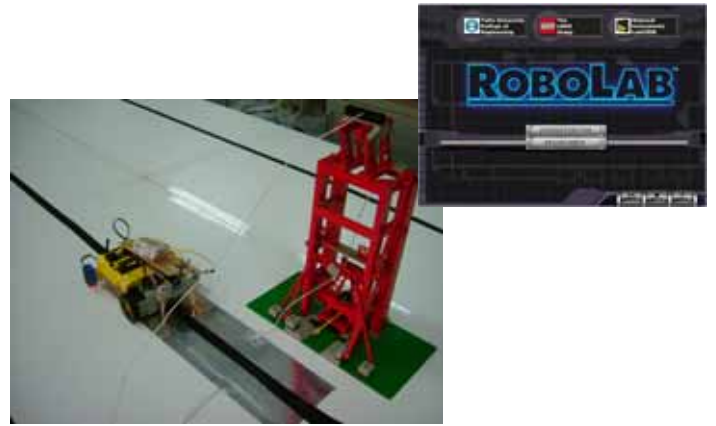


P：電功率(W)	τ ：轉矩(Nxm)	f：摩擦力($\mu \times mg$)
I：電流 (A)	R：輪半徑 (m)	m：車重(Kg)
V：電壓 (12V)	F：驅動力 (N)	a：加速度(v/s)

七、設計樂高控制程式：

樂高控制程式必須條件：

- (一)可沿著黑線行走
- (二)可自行停止在電源供應處
- (三)可在停止 15 秒後自動啓動

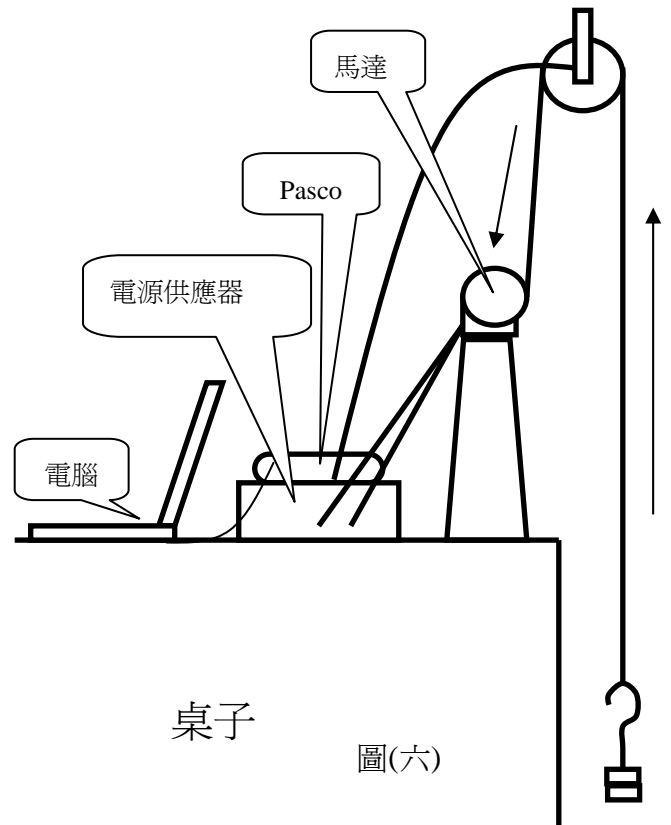


控制程式實驗過程：

目前的控制程式已有轉彎的功能，且可繞行軌道，並且能在只有 2 個光感應裝置的前提下讓機器人做出在特定地點停止的動作，且在一定時間後再度前進。

八、改變電壓，測出電動機轉換效率：

我們提供各種電壓，測出在不同的電壓下，同一部馬達是否會隨著電壓而改變轉換效率，如右圖(六)。



圖(六)

利用公式(二)：

$$W = Pt = IV \Delta t = \Delta U + \Delta E_k$$

原來的電壓因為會在其他裝置的電阻上消耗能量，故把測電壓感應器接於發電動機前，將測得的實際電壓帶入公式三，算出轉換效率。

$$E = 1/2 I (\text{馬達轉動慣量}) \omega^2$$

公式(三)

$$v = r\omega \quad (r \text{ 爲輪圈半徑，測得 } v \text{ 求出 } \omega, \text{ 並將 } \omega \text{ 帶入})$$

因此我們所以修正了公式 2，並且將公式 3 及公式 4 加入，得出公式 5：

$$W = IV \Delta t * (\text{轉換效率百分比}) \rightarrow (\Delta U + \Delta E_k) + 1/2 I \omega^2 + k v^2 h$$

算出馬達的轉動慣量：

我們以重物落體所提供的動能帶動發電機(無發電狀態)，測出高度、重量、時間、轉軸半徑帶入公式四，以求得轉動慣量。

$$E = \frac{1}{2} I_{(\text{馬達轉動慣量})} \omega^2$$

$$v = r\omega \quad (r \text{ 為輪圈半徑，測得 } v \text{ 求出 } \omega, \text{ 並將 } \omega \text{ 帶入})$$

因此我們所以修正了公式(二)，並且將公式(三)加入，得出公式(四)：

$$P = IV * t * (\text{轉換效率百分比}) \rightarrow (U + Ek) + \frac{1}{2} I_{(\text{馬達轉動慣量})} \omega^2 + k v^2 h$$

利用公式(四)，且加以推廣之，得出公式(五) $mgh = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I_{(\text{馬達轉動慣量})} \omega^2 + k v^2 h$ 。最後利用重物落體，得出高度(m)、速度(m/s)。

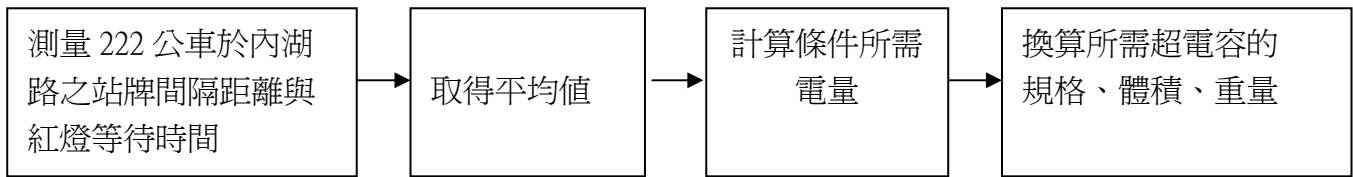
九、量測電動模型於行駛時之能量轉換效率：

將電動模型車充飽至 14V，在觀察連續行駛期間，觀察每單位電壓降下的行駛距離及時間，利用公式求得電能轉換與力學能的關係。右圖(七)為電動模型車的行駛過程。



圖(七)

十、實地測試 222 公車於臺北市內湖路之站牌間隔距離與紅燈等待時間：



我們測量 222 公車在內湖路站牌與站牌之間間隔距離以及各個紅燈等待的時間。

得到當停靠站牌與等待紅燈時，所需的充電時間；還有公車在站牌與站牌間的最遠距離。

十一、計算所需之最少超電容個數：

依照書籍所得到的資料，經由總能量守恆定理可得知：提供電能

$E = \text{動能 } E_k + \text{對抗空氣阻力所做的功 } W + \text{摩擦力所做的功 } W。$

進而得到公式(六)：

$$\frac{1}{2} C \Delta V^2 = \frac{1}{2} m v^2 + \left(\frac{1}{2} C_D \rho A v^2 \right) S + mgh - E(\text{煞車回充能量}) + f S$$

計算依據：

(一) 目前可直接訂購取得的最大超電容規格為 **TC-2700**

(2.5V, 625A, 2700F)

(二) 於台北市公車處蒐集資料後，設 222 公車(三菱 6D16-3AT3 型)

半滿載的情況下約為 5000KG

(三) 公車最高速限為 40km/hr, 11m/s

(四) C_D 會因車種的不同而改變，一般轎車約為 0.2~0.3，卡車約為 0.5~0.8，空氣阻力常數最大可至 2；故我們假設公車的 C_D 為 1

(五) 由 $D=M/V$ 可算得空氣密度 $\rho \approx 1.29(\text{g/l})$

(六) 222 公車(三菱 6D16-3AT3 型)之車頭截面積為 8.085m^2

(七) 由圖(十)可知站牌平均間距為 0.32km，測得站數 22 站，全長為 6.95km。為了安全起見，我們計算上使用 8km 作為安全長度。

C：電容量(F)
 V：伏特數(V)
 m：物體質量(kg)
 v：速度(m/s)
 C_D ：空氣阻力常數
 ρ ：空氣密度(g/l)
 A：截面積(m^2)
 S：位移(m)
 E：煞車回充能量
 g：重力加速度
 h：最大高度



十三、評估超電容應用於電動代步車上的可能性：

依電動代步車的廠商所提供的資料後，將其資料帶入(公式六)總能量守恆定理：提供電

能 $E = \text{動能 } E_k + \text{對抗空氣阻力所做的功 } W + \text{摩擦力所做的功 } W$ ，作為計算。

$$\frac{1}{2} C \Delta V^2 = \frac{1}{2} m v^2 + \left(\frac{1}{2} C_D \rho A v^2 \right) S + mgh - E(\text{煞車回充能量}) + f S$$

C :	電容量(F)
V :	伏特數(V)
m :	物體質量(kg)
v :	速度(m/s)
C_D :	空氣阻力常數
ρ :	空氣密度(g/l)
A :	截面積(m^2)
S :	位移(m)
E :	煞車回充能量
g :	重力加速度
h :	最大高度

計算依據：

(一)目前可直接訂購取得的最大超電容規格為 **TC-2700**

(2.5V , 625A , 2700F)

(二)康揚電動代步車(KP-40 型)之總重約 200KG

(三)康揚電動代步車最高速度為 12km/hr , 3.33m/s

(四) C_D 會因車種的不同而有所改變，一般轎車約為 0.2~0.3，卡車約為 0.5~0.8，空氣阻力常數最大可至 2；故我們假設電動代步車的 C_D 為 0.5

(五)由 $D=M/V$ 可算得空氣密度 $\rho \approx 1.29(g/l)$

(六)康揚電動代步車(KP-40 型)之車頭截面積為 $0.6m^2$

(七)由資料可知康揚電動代步車的航程可達 45km , 45000m。

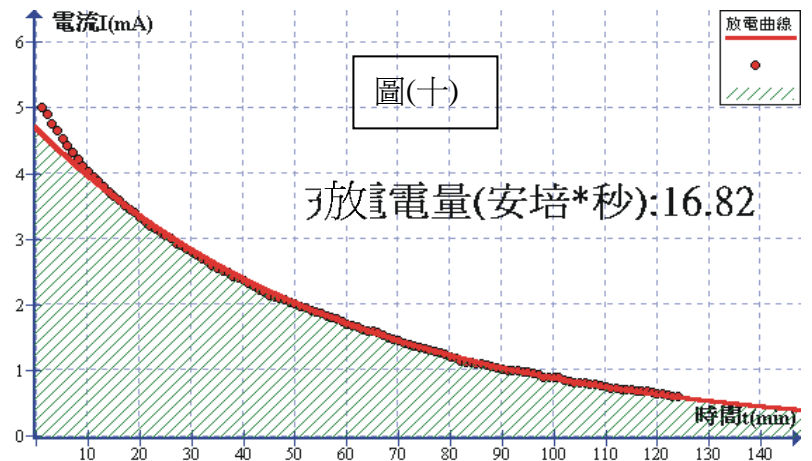
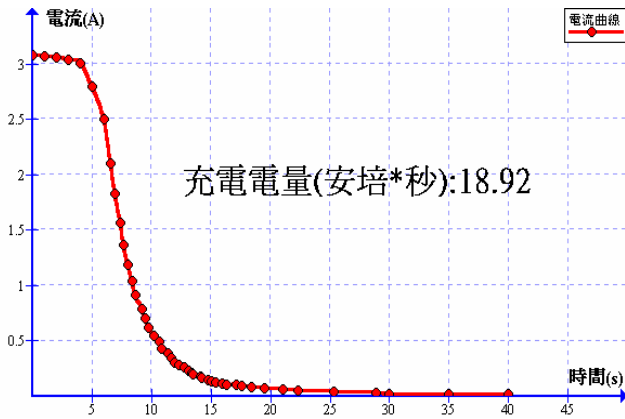


康揚電動代步車

陸、研究結果：

一：超電容充放電之量測

此為單顆超電容的充放電電流變化圖(橫座標為時間，縱座標為電流)。充電圖(圖九)，當電流變化減少到曲線斜率趨近於零時，關閉電源供應器，則為放電狀態(圖十)。其所圍面積分別為充電電量以及放電電量。



各計算兩圖區域面積得：

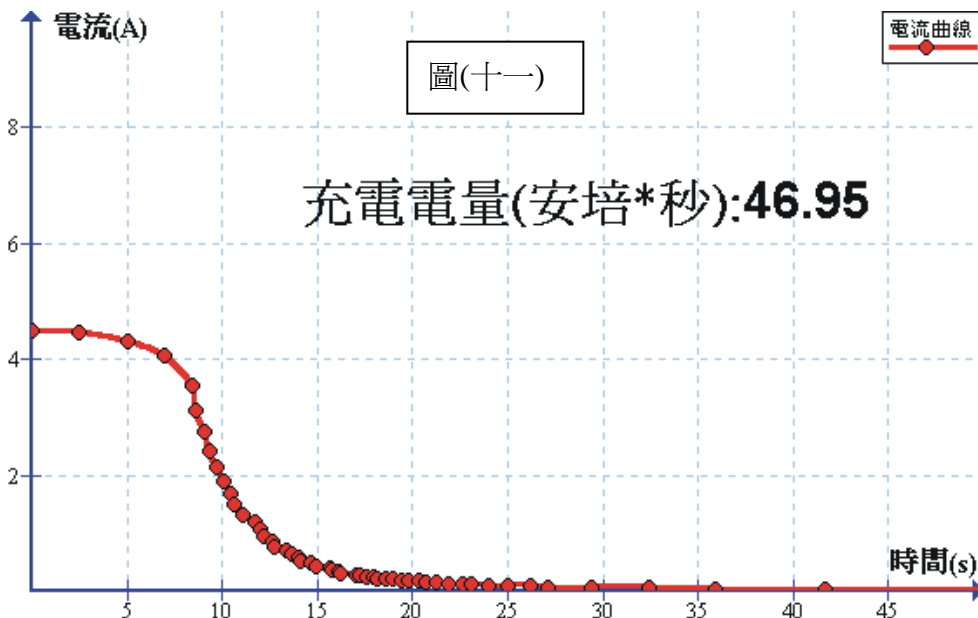
(一)充電電量: 18.92 安培*秒

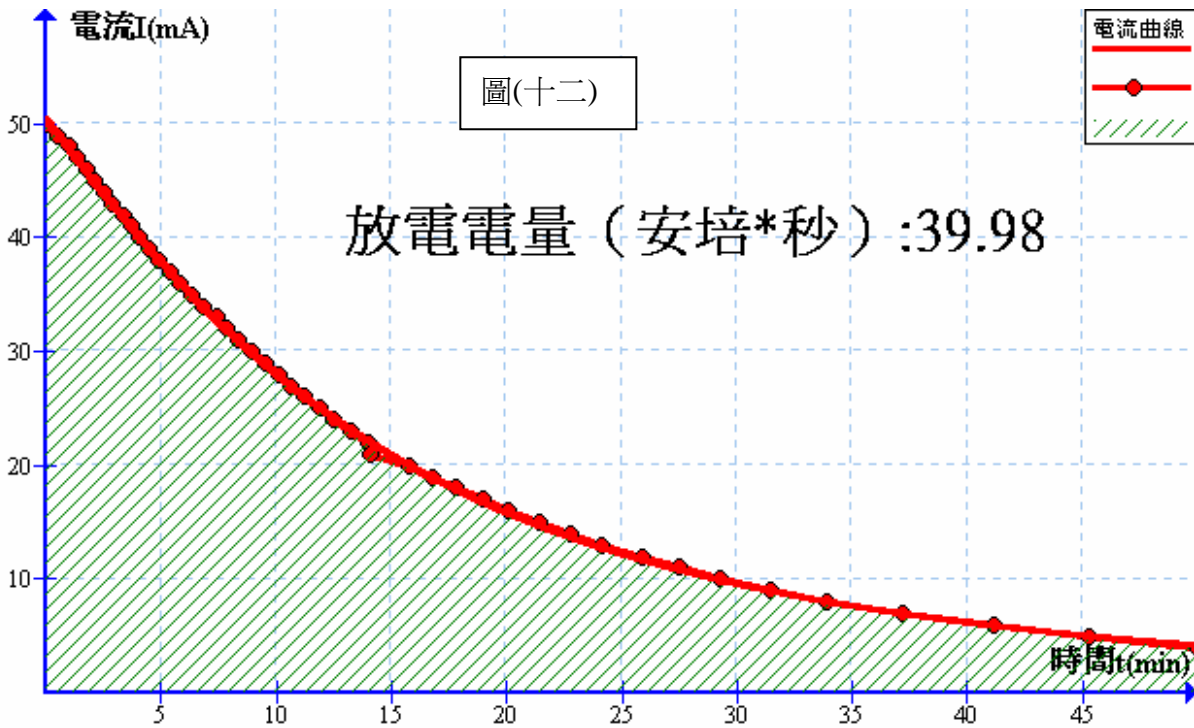
(二)放電電量: 16.82 安培*秒

(三)放電時間達 150 分鐘，遠大於放電時間 13 秒，因此超電容充電時間極短，放電時間極長。

(四)單顆 PC-10 充放電效率: **88%**

下圖(十一)、(十二)各為十顆超電容(12.5V)的充放電電流變化圖。由圖(九)可得知，超電容充電約在 15 秒時，有逆向電壓，造成電流急劇衰減，無法充電。





各計算兩圖區域面積得：

(一) 充電電量: 46.95 安培*秒

(二) 放電電量: 39.98 安培*秒

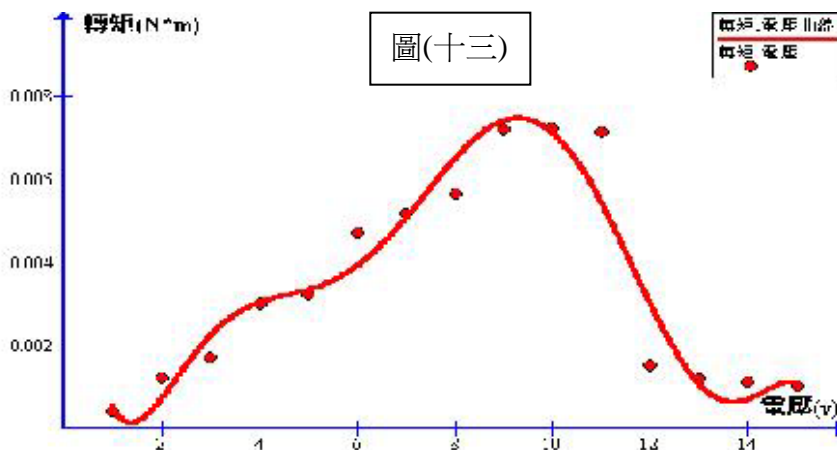
(三) 放電時間達 45 分鐘，遠大於放電時間 15 秒。

(四) 十顆超電容充放電效率: 85%

經由理論得出的 Q 值約為：50 庫侖，而實驗的放電電量 39.98 庫侖大致與其相符。

二：測量馬達轉矩與電功率之關係

在供應不同電壓下，將轉矩與電功率製成圖表(圖十三)：



當電壓 11v 電功率為 4.18W 時，轉矩有最大值 $7.12 \times 10^{-3} \text{ N*m}$ 。

三：摩擦係數測量

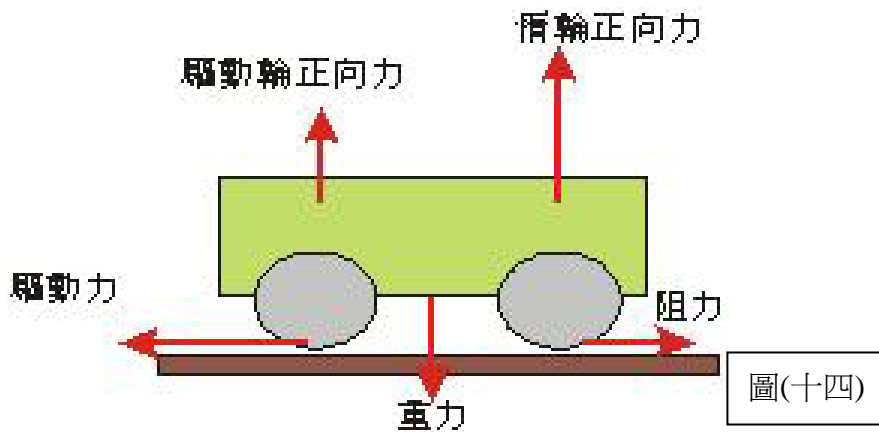
經由實驗測得，驅動輪的正向力 0.143kgw，惰輪的正向力 0.209kgw。

- 車輪滑動時的最大靜摩擦係數為：0.3
- 由加速實驗求得車輪滾動時的動摩擦係數：0.069

如圖(十四)驅動輪正向力為 mg 時，使車輛穩定加速不打滑的驅動力 F 範圍：

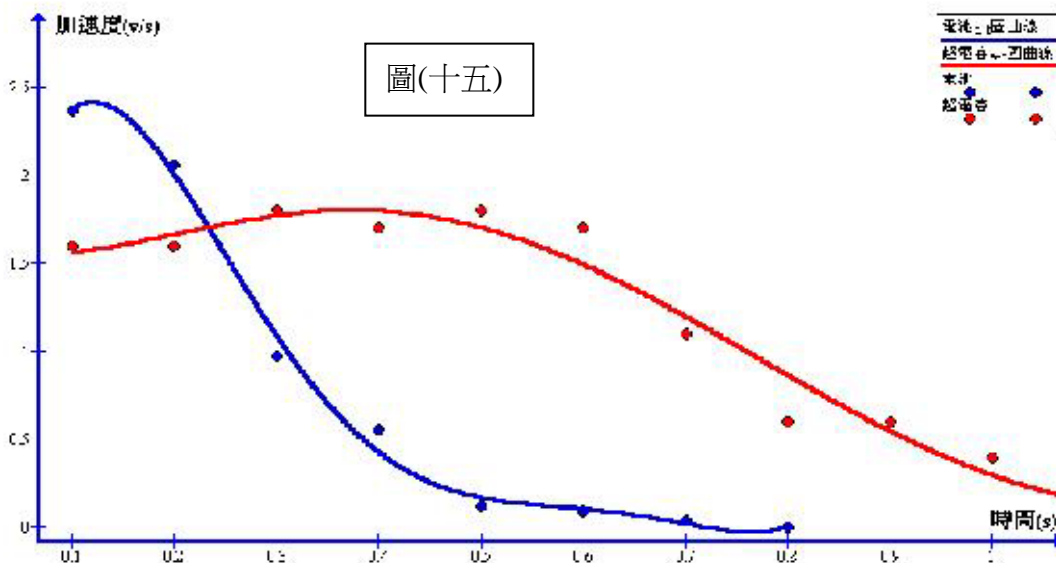
$$F < 0.3 \times 0.143 \times 9.8N$$

車輛行駛中摩擦阻力： $f = 0.069 \times 0.209 \times 9.8N$

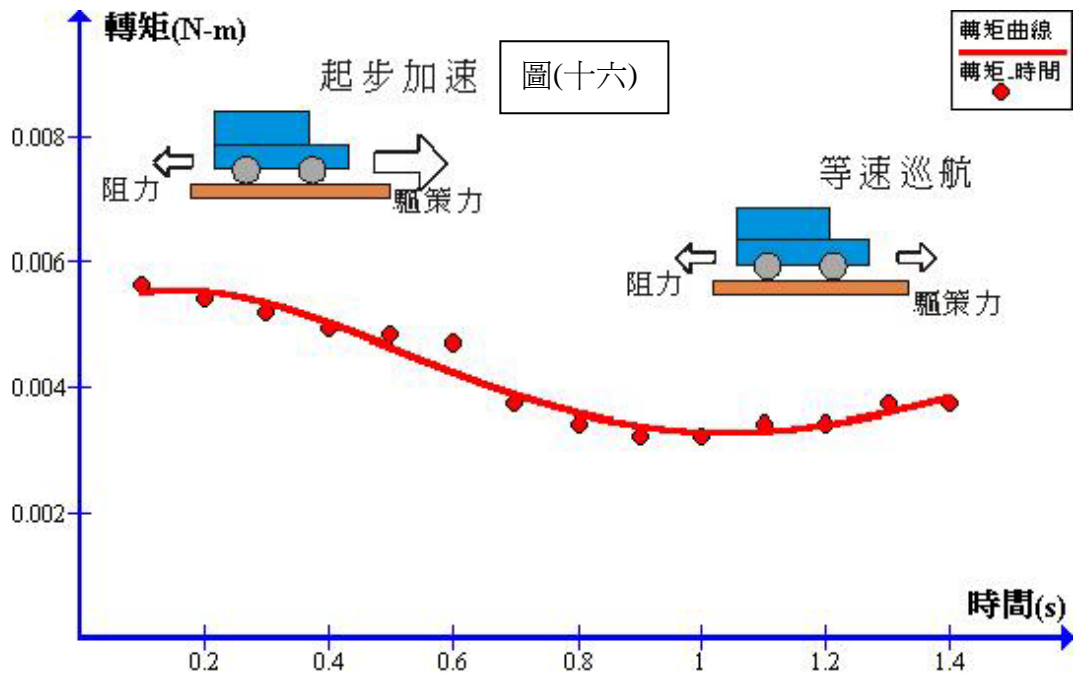


四：電池及超電容電功率和加速度關係比較

如圖(十五)，以加速度來說，雖然電池一開始的加速度較高，但是超電容的加速度卻維持較久的時間，所以速度變化量還是以超電容較多，換言之，以超電容為電源的電動車最高速較以電池為電源的電動車要高。



在車輛起步時，由靜止開始加速，超電容相較於傳統電池，有非常長的持續加速時間。

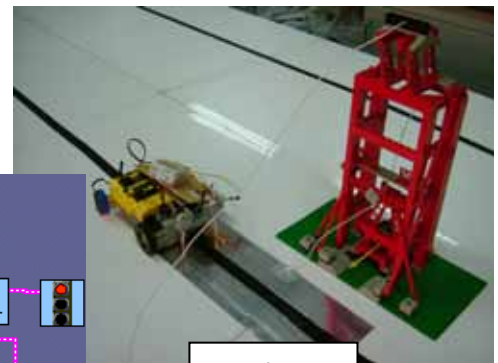
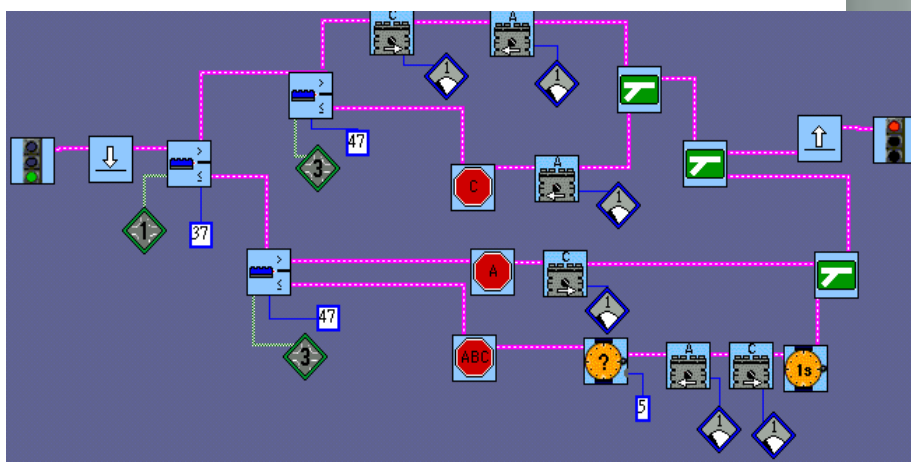


馬達轉矩和時間的關係如圖(十六)在車輛起步加速的瞬間，超電容可提供相當大的轉矩。等到一秒後等速巡航行駛時驅策力僅需克服阻力，轉矩自然降低。

五：計算理論加速度及實驗測得的加速度

在經由計算電動模型車後求得理論起步(0 至 1 秒)加速度之值約為 1.2m/s^2 ，與實際於 pasco 測得的平均值 1.0m/s^2 大致相符。

六：電動車自動控制程式模擬公車靠站充電之設計



圖(十七)

上圖為超電容電動車及充電站。

本程式以 LEGO MINDSTORMS 控制程式撰寫，由光感測器的不斷監測，控制左右馬達的前進轉速，使車輛可以沿黑線行駛。當兩感測器同時碰到黑線時，則暫停五秒使超電容充電。充電後又可持續行駛。

七：電動機之轉換效率測試

電動機轉換效率測得數據如下頁表(一)：

次	1	2	3	4	5	6
電壓(V)[原]	3	3.5	4.5	5	6	7
電壓(V)[測得]	2.1	2.7	3.8	4	5.2	6.2
電流(A)	0.7	0.7	0.7	1.0	0.8	0.8
高度(m)	1.3	1.7	1.6	1.3	1.5	1.6
速度(m/s)	0.09	0.21	0.34	0.33	0.52	0.64
時間(t)	14	7.8	4.4	4.2	3	2.4
轉換效率	32.34%	35.92%	42.64%	24.13%	37.57%	42.14%

表(一)

測得馬達電能轉動能之效能約為：35%

利用下表，求得馬達的轉動慣量：

	1	2	3
高度(m)	0.5	1.0	1.5
速度(m/s)	2.0	2.7	3.3

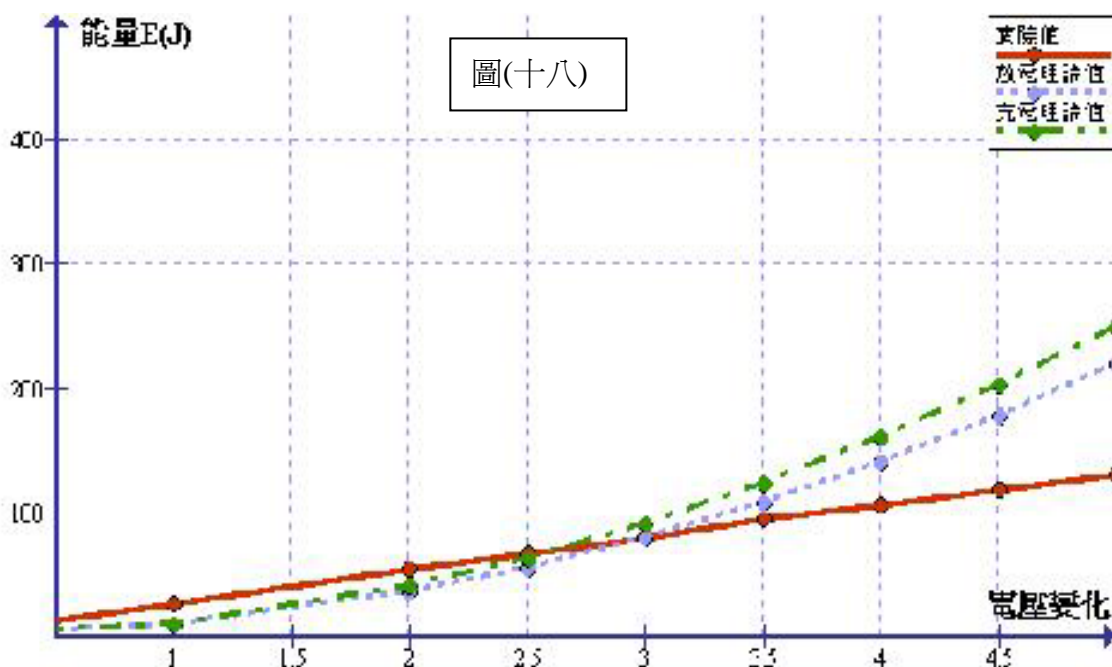
表(二)

測出三個馬達I之值分別為 8.991×10^{-5} 、 1.039×10^{-4} 、 1.036×10^{-4} ，其平均值約為 9.91×10^{-4}

八：能量轉換比較圖

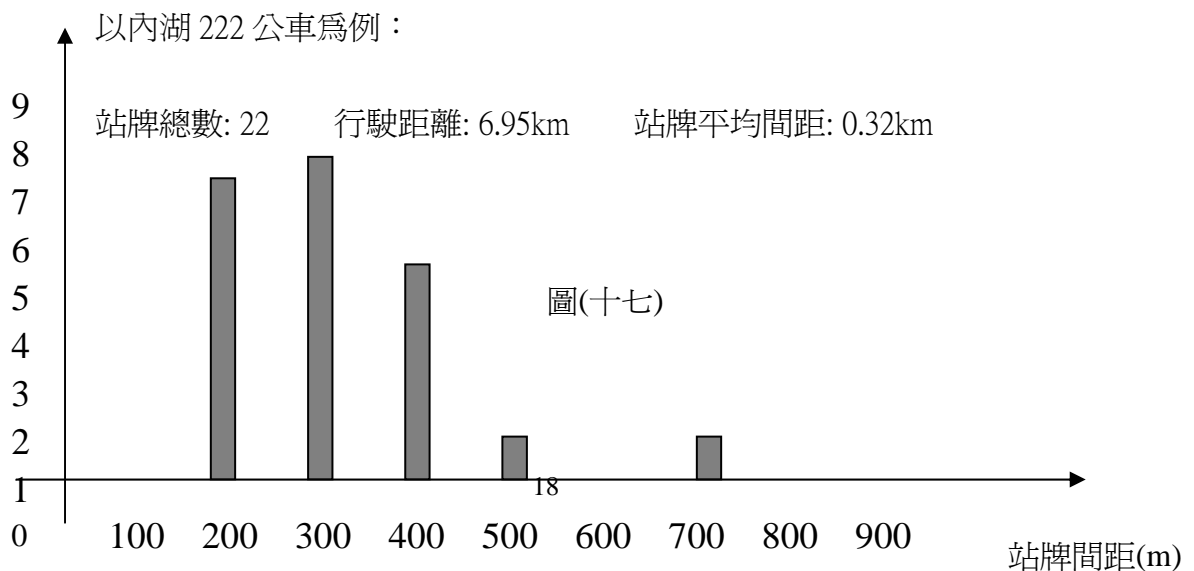
由下圖(十八)可知，車輛所消耗的力學能與先前所實驗出的電容放電能量約略相等。由我們力學能公式得到，在超電容電壓降低 2.5V 以內(由 14V 降至 11.5V 之間)，車輛消耗的力學能居然比電容放出的電能多。在超電容電壓降低超過 2.5V(由 14V 降至 11.5V 以下)，電容放出的電，與車輛消耗的力學能略有差距。

原因可能是我們車輛消耗的力學能公式並未十分精確，造成理論及實驗上的誤差。



九：以 222 公車部分路線為例，統計迷你巴士行駛距離及耗能之研究

實地測試 222 公車於臺北市內湖路得出數據及圖表(十七):



十：計算所需超電容數量

222 公車：將上述條件帶入公式(七)，(在完全轉換的情況下)可算出需N個超電容，N值約為 58 個。假設在轉換途中，損耗 50%，則將需要 116 個超電容。則所佔體積為 0.0705m^3 ；重量為 84.1kg。

康揚電動代步車：將條件帶入公式(七)，(在完全轉換的情況下)可算出需M個超電容，M值為 1 個。假設在轉換途中，損耗 50%，則將需要 2 個超電容。則所佔體積為 $6.96 \times 10^{-5}\text{m}^3$ ；重量為 0.074kg。

十一：比較各電源

電源比較

	比能量 $/(W \cdot h) \cdot Kg^{-1}$	比功率 $W \cdot kg^{-1}$	循環壽命 /次	價格 美元(kw · h)
鉛酸電池	30~50	200~400	400~600	120~150
鎳電池	40~50	150~350	>800	300~350
鎳氫電池	50~70	150~350	>800	150~200
鋰電池	120~140	200~300	1200	150~180
超電容	1~10	<100000	>500000	100~200

我們由電源比較表可以發現到，超電容雖然在比能量方面，遠不及各電池；但是超電容相較於電池的比功率以及循環壽命，卻是遠大於各電池，也就是說超電容可以短時間釋放很大的功率；而超電容以電子吸附的物理原理，與傳統電池為化學反應的差別很大，因此超電容擁有極高的循環壽命。

柒、討論：

一、馬達驅動力之討論

我們所用的馬達在電壓為 11V 時，轉矩可以有最大值，馬達有最好的效率，我們盡量以接近 11V 的電壓，來作為馬達之電源。

二、電動車滾動時的動摩擦係數 C_r

為了得知電能轉換作為驅動時，會因為摩擦力損耗減少車子的加速度。而減少的部分由滾動阻力測量可得到，車輪滾動時的滾動阻力係數為 0.069。

三、馬達轉換效率

依據文獻，發現智能滑輪、馬達、輪圈的轉動慣量及摩擦力、空氣阻力均會損耗能量，所以我們將其因素列入考慮，但是測得的效率還是偏低。

四、以目前的技術來說：

*內燃車：單次加滿油---行駛 500km 以上

*電動車：單次充電---行駛 100~200km

*電容車：單次充電---行駛約 10km

雖然電容車的行使距離遠較內燃車及電動車行駛距離為短。但是電容車卻有些優點，其充電時間極短、不需經由電纜來持續提供電力；並且可以短時間內完成所需的加速。而其應用層面，不乏需要多次起步加速、充電時間短的車輛，而遊園車等的車輛即可應用。

捌、結論：

- 一、 由超電容充放電的實驗結果顯示，十顆(10F)超電容的充放電效率高達 85%，與參考文獻上的數值(90%)相差不大。
- 二、 馬達轉矩在未達到最大值之前，具有輸入的電功率越大，轉矩越大的傾向；但超過最大值時，則輸出的電功率越大，馬達轉矩反而有下降的趨勢。
- 三、 關於馬達扭矩、加速、與消耗電功率的實驗中，我們發現：超電容遠較傳統電池提供更持續的加速，同時也發現，車輛由靜止起步加速時，需要極大的電功率提供足夠的扭矩，直至等速巡航行駛時，所需的電功率會急遽下降。
- 四、 在經由計算後求得模型車理論起步加速度之值約為 1.2m/s^2 ，與實際於pasco測得的平均值 1.0m/s^2 大致相符。
- 五、 在得到樂高直流馬達放電與發電機回收電力的結果顯示，其轉換效率可達 35%。而依據參考文獻中的永磁無刷直流電機，可達到 90%以上；所以如果是使用永磁無刷直流電機作轉換，應可達到更好的效果。
- 六、 利用電動模型車的超電容在不同電壓降時，所釋放電能與量測車輛所消耗的力學能作比較，有部分相當吻合，說明我們採用的能量消耗公式，應可推廣至真實車輛。
- 七、 統計 222 公車各項數據後，利用能量守恆定理，算出行駛 8km至少須 116 顆 2700F，2.5V的超電容，所佔體積為 0.0705m^3 ；重量為 84.1kg。目前超電容的單位重量的儲能能力，遠低於蓄電池，當電動車要完全採用超電容時，目前僅適用於短程固定路線行駛的區間車，而且起訖站需設置充電站，最可能實際應用的是高爾夫球場或遊樂園的交通車，以及作為電動輪椅的電動代步車。當電動車或氣電混合動力車僅部分採用超電容時，用於起步及煞車回充電，可增加功率輸出減少電池充放電次數改進車輛性能。



高爾夫球代步車

玖、參考資料及其他：

- 一、陳清泉、詹宜巨/著 21 世紀的綠色交通工具：電動車 初版 台灣 牛頓 37、38、48、49、72、82、96 西元 2001 年
- 二、楊文杰 民 91 混和動力機車動力分配及性能分析 90 大葉大學車輛工程研究所
- 三、徐業良 機械設計 初版 台灣 全華科技圖書股份有限公司 9-13、10-3、10-19、10-31 86 年 8 月
- 四、龍騰版基礎物理課本
- 五、龍騰版物質科學物理篇(上)冊課本
- 六、龍騰版物理(下)冊課本
- 七、 <http://www.tavrima.com/pub01.html>
- 八、 <http://www.maxwell.com/ultracapacitors/applications/transportation.html>
- 九、 <http://pemclab.cn.nctu.edu.tw/w3news/開授課程/電力電子/report/www/Ultracapacitor>
- 十、 <http://www.zoo.gov.tw>
- 十一、 **超電容的特性：**

(一)重量輕、可小型化，90%以上的充放電效率。

(二)快速充放電充電電流可為數安培至數佰安培。

(三)充放電在十萬次以上。

(四)低內電阻：0.55mΩ~123mΩ@1kHz。

(五)工作溫度：-40℃~70℃。

(六)工作(放電)電壓可依需求設定。

(七)安全、環保電子零件。

(八)高功率及高電能:超電容能提供瞬間高功率，並可延長電池壽命。

(九)高生命週期:一般電池的生命週期以充放電數百次或數千次來衡量，超電容的標準生命週期為 250,000 次充放電，且完全不降低品質效率。

(十)快速充電:超電容的充電時間不需一秒即達成，即使高壓至 100 伏特也是一樣。

(十一)輕薄短小超迷你性：超電容技術利用真正雙極(Bipolar)之構造，此項封裝系統，使超電容能抗拒 50,000g's 的電擊，且能承受嚴苛的環境溫度考驗，因此能製造成超小尺寸產品。



此為 PC-10 2.5V 的超電容

十二、能量效率

$$(\text{放電能量 Wh(連續)} / \text{輸入充電能量 Wh}) \times 100\% = \text{能量效率}(\%)$$

評語

040808 高中組生活與應用科學科 佳作

超電容運輸系統

以超電為運輸系統的能量來源是很特別的想法，雖然基於成本及續航力的考量，目前仍未被實際用於運輸系統中，但本作品之成果仍值得嘉許。

建議電池與超電容混合使用之情形，應進一步找出最佳效能或成本之混合方式。此外，電池製造技術已有長足進步，所以必須考慮電池的改良是否會壓縮超電容的使用空間。