

中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯

國小組

物理科

科別：物理科

組別：國小組

作品名稱：電磁列車新幹線

關鍵詞：電磁鐵、鐵罐線圈、開關

編號：080105

學校名稱：

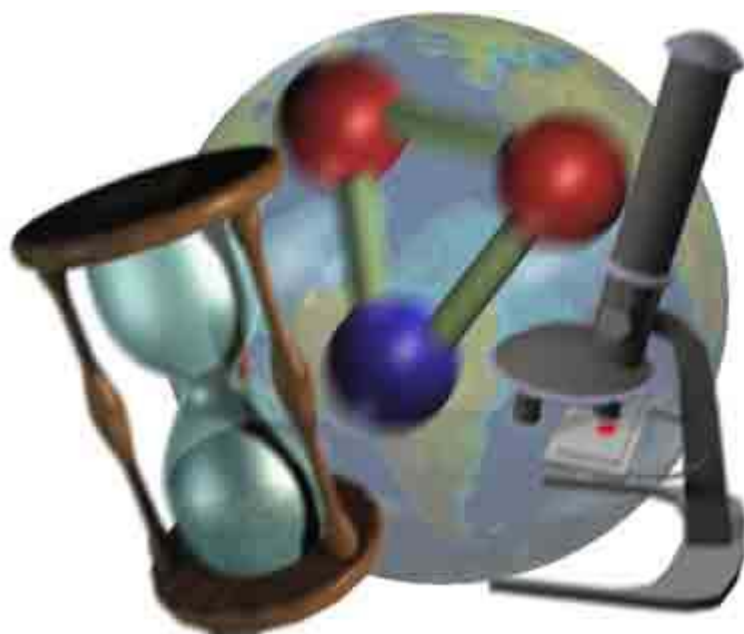
台北縣中和市中和國民小學

作者姓名：

金克杰、鄭劭偉、姜仕鴻

指導老師：

陳乾榮



摘要

在自然課中我們學到電磁鐵的原理，瞭解線圈通電會產生磁力，於是我們開始改裝電磁鐵，經由改變不同直徑、不同繞圈數的鐵罐、不同材質的罐子，找出電磁線圈最強磁力的結構。其次我們再來研究電磁列車為什麼不能前進的原因，原因是電力太小？磁場的問題？或者是其他的原因？依據所觀察到的現象，大膽假設小心求證，然後依據失敗的原因，我們建立了鐵罐線圈內部的磁場模型，依照這個模型，我們知道了火車不能前進的原因，我們試了幾種方法去克服那些困難，在大家努力之下，終於建立了火車前進與後退的模型，再經由開關的切換，終於使火車能前進後退了。還有一個問題就是火車計時的問題，我們研究碼錶的計時結構，做出碼錶計時電路。最後，鐵罐線圈的種類、各種車廂的外型都可能與火車速度有關係，我們製作了圓桶形線圈、錐形線圈及幾種車廂外型，去研究哪一種車廂外形是最棒最快的。

壹、研究動機

上學期，我們資優班舉辦科學園遊會，因為學校附近有捷運，所以我們做磁浮列車，但由於時間與經驗、技巧不佳等因素，所以我們的磁浮列車一直沒有成功。剛好自然課第三單元「電與磁的奇妙世界」有教到電磁鐵的原理，老師在試驗充磁器，鐵棒差一點就飛出來了，啊！運用電磁鐵的磁力來拉動火車，嗯！這個主意很不錯喔！我們一定要打造一台屬於我們自己的電磁列車。

貳、研究目的

- 一、研究不同直徑的鐵罐，對磁力大小有什麼影響。
- 二、研究漆包線繞不同線圈數，對磁力大小有什麼影響。
- 三、研究不同材質的罐子，對磁力大小有什麼影響。
- 四、觀察電磁列車在鐵罐線圈內行走的情形。
- 五、探討電磁列車為何不能前進。
- 六、研究電磁列車如何前進、後退。
- 七、研究電磁列車如何煞車。
- 八、如何解決電磁列車計時的問題。
- 九、探討線圈隧道的外型、火車車廂外型及鐵軌斷電處對電磁列車車速的影響。

參、研究設備器材

手套、漆包線 5 捲、開喜烏龍茶空罐 1 個、津津蘆筍汁空罐 10 個、紙筒 3 個、模型小火車 1 台、軌道 14 節、L 型鐵片 34 片、木板(111.5cm×14.4cm×1.4cm)2 塊、鐵片剪刀、剪刀、開罐器、華司 24 片、電線一捆、鐵皮一大張、尖嘴鉗、剝線鉗、碼錶 2 個、螺絲起子、螺絲 3 包、微動開關 4 個、18 接頭開關 2 個、熱縮管套 2 條、乾電池、電源供應器 2 台、三用電表、銲槍、銲錫、長條形磁鐵、美工刀、磅秤、透明膠帶、標籤紙、鋸子。

肆、研究過程

一、實驗一：研究不同直徑的鐵罐，對磁力大小有什麼影響。

- (一) 用開罐器將罐頭、開喜烏龍茶鐵罐和津津蘆筍汁鐵罐底部用開罐器挖除。
- (二) 在兩端切口處用膠帶黏上，不然手會被割傷。
- (三) 將漆包線繞在牛奶鐵罐（直徑 10 公分）、開喜烏龍茶（直徑 6.4 公分）和津津蘆筍汁（直徑 5.2 公分）的鐵罐上，各繞 150 圈。
- (四) 把漆包線兩端的漆用砂紙刮除，分別接上同 1 顆 1 號乾電池。
- (五) 把指南針放在鐵罐口，鐵罐的開口方向和指南針成 90 度垂直，比較 3 個罐子讓指南針偏轉角度大小，接線圖如圖 1。

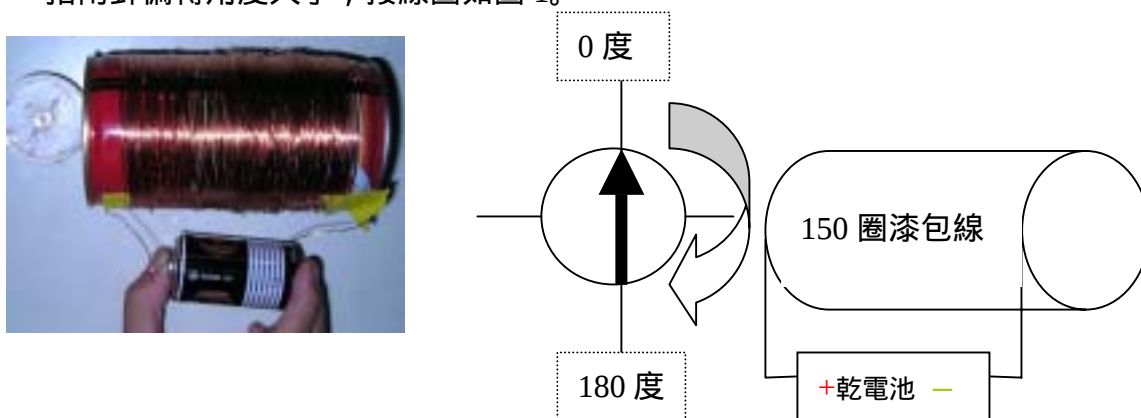


圖 1. 150 圈漆包線量測磁力接線圖

二、實驗二：研究漆包線繞不同線圈數，對磁力大小有什麼影響。

實驗方法像實驗一，只是在 3 個津津蘆筍汁鐵罐上，各繞上 100、150、200 圈的漆包線，接線圖如圖 1，只是改變線圈圈數，看 3 者的指南針偏轉角度大小做比較。

三、實驗三：研究不同材質的罐子，對磁力大小有什麼影響。

實驗方法像實驗一，用和津津蘆筍汁鐵罐直徑（5.2 公分）一樣的紙筒及寶特瓶，用 3 種材質的罐子做實驗如圖 2，接線圖如圖 1，各繞 200 圈的漆包線，看 3 者的指南針偏轉角度大小做比較。



圖 2. 津津蘆筍汁鐵罐
紙筒罐及寶特瓶罐圖

四、實驗四：觀察電磁列車在鐵罐內行走的情形。

- (一) 把津津蘆筍汁鐵罐繞上 200 圈後成為鐵罐線圈，把漆包線兩端的漆用砂紙刮除，接上 1 顆乾電池。

- (二) 把 3 節軌道放在鐵罐內，並把火車放在軌道上。
- (三) 把水平儀放在桌子上，。
- (四) 接線圖如圖 3，觀察火車行走的情形。
- (五) 線圈如步驟（一），把 1 顆乾電池改接 8 顆乾電池（12 伏特）及電源供應器（20 伏特）。
- (六) 把 3 節軌道放在鐵罐線圈內，並把火車放在軌道上。
- (七) 觀察火車行走的情形。

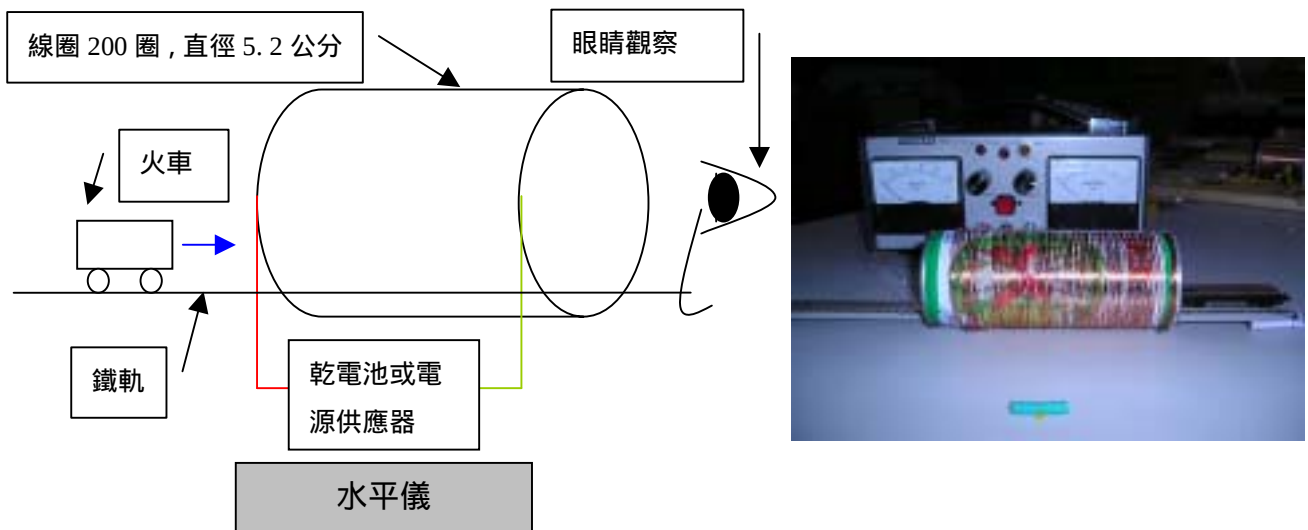


圖 3. 火車行走測試圖

五、實驗五：探討電磁列車為何不能前進。

- (一) 比較使用乾電池及電源供應器的鐵罐線圈，它們磁力的不同。

線圈分別接上一顆乾電池、8 顆乾電池與電源供應器，把指南針放在鐵罐線圈口，鐵罐線圈口和指南針成 90 度垂直如圖 1，看 3 者的指南針偏轉角度大小做比較。

- (二) 大家一起動動腦，建立鐵罐線圈內部的火車來回運動模型及磁力分佈模型。

六、實驗六：研究電磁列車如何前進、後退

- (一) 討論如何讓火車前進不被吸回。

1. 利用火車來回運動模型，討論如何讓火車前進而不會被吸回。

- (1) 用錐形鐵罐線圈，一個隧道連接一個隧道。

製作錐形鐵罐軌道：把津津蘆筍汁鐵罐兩端開口剪下來，再捲成像錐形的樣子如圖 4（一邊直徑 5.2 公分，另一邊直徑 3.2 公分），繞製線圈的方法跟前面實驗 4 一樣，把鐵軌放進錐形鐵罐線圈內，再放進火車並校正鐵軌水平，然後線圈接上電源供應器，開始測試。

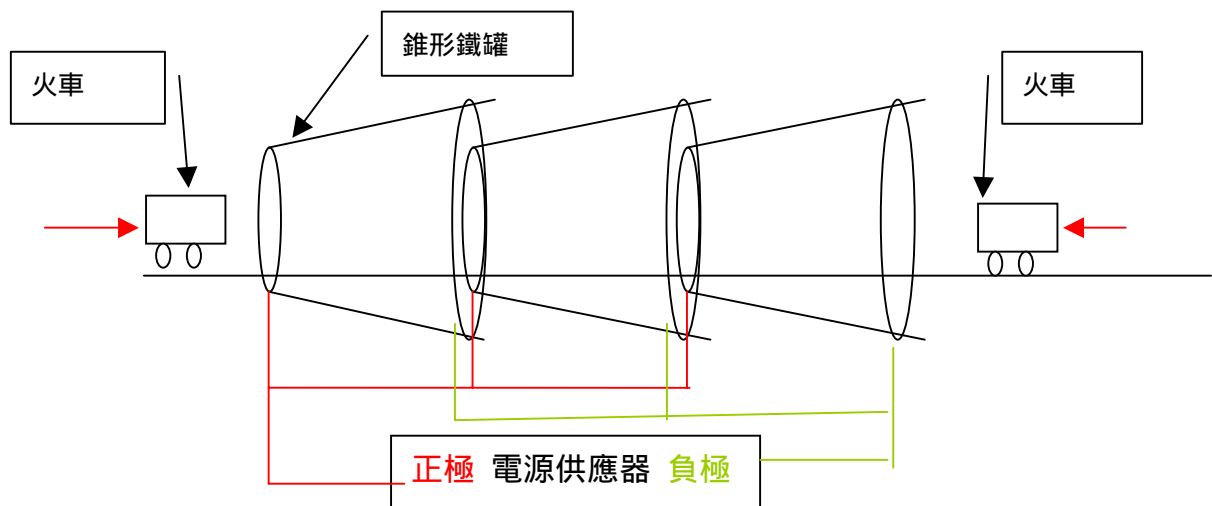


圖 4 .錐形鐵罐線圈測試圖

(2) 把開關置入隧道內，利用開關來切換如圖 5。

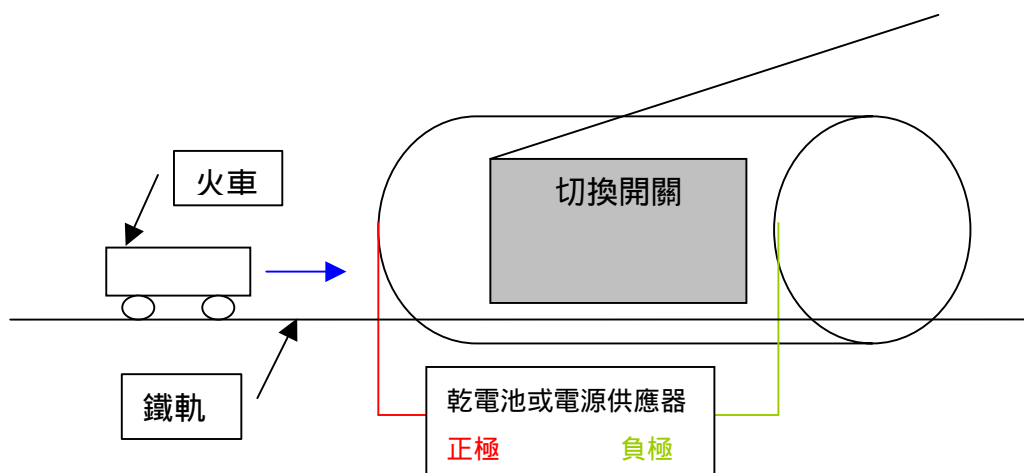


圖 5.切換開關放置圖

(3) 把鐵軌當成開關，利用火車的車輪來切換。

(二) 建立火車前進後退切換電路模型。

七、實驗七：研究電磁列車如何煞車

（一）討論如何讓火車停止

1. 煞車皮使輪子減速而煞車。
2. 把線圈全部通電，用磁力使火車吸在鐵罐正中央，建立火車煞車電路模型。

八、實驗八：解決電磁列車計時的問題

（一）把碼錶拆開來，看裡面有什麼構造，有哪些開關。

（二）利用微動開關建立電磁列車計時器。

九、實驗九：探討鐵罐線圈外型、火車車廂外型及鐵軌斷電處對電磁列車車速的影響

（一）圓筒形線圈隧道

1. 量測各種車廂外型在圓筒形線圈隧道前進的速度
 - （1）把 5 節圓筒形電磁鐵隧道，用 L 形角鐵固定在木板上。
 - （2）把其中一條鐵軌的接縫鐵片，用斜口鉗剪掉，再用挫刀磨平接縫的鐵片。
 - （3）把電線銲接在每一節獨立通電的鐵軌上。
 - （4）把 7 節鐵軌及焊接在上面的電線，穿過圓筒形電磁鐵隧道，用華司墊高，調整和他們一樣高，斷電處設在距離隧道口往內 7 公分（正中央）的地方，再用螺絲鎖緊，並校正鐵軌的直線性。
 - （5）依照我們前面所設計的前進後退切換電路（實驗六的結果與討論），一邊接在圓筒形線圈上，另一邊接在切換開關及鐵軌上。
 - （6）把 2 組微動開關鎖在隧道的兩頭如圖 6。
 - （7）把微動開關的接頭接上碼錶的啟動開關上。
 - （8）把電源供應器（20 伏特）的電源接到前進電路上。
 - （9）我們製作了幾種車廂外型，分別是平板形、大半月 L 形、小車廂型、大車廂型、磁鐵型車廂如圖 7。

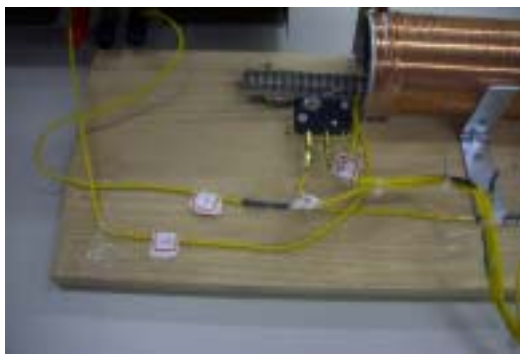


圖 6 微動開關固定位置圖

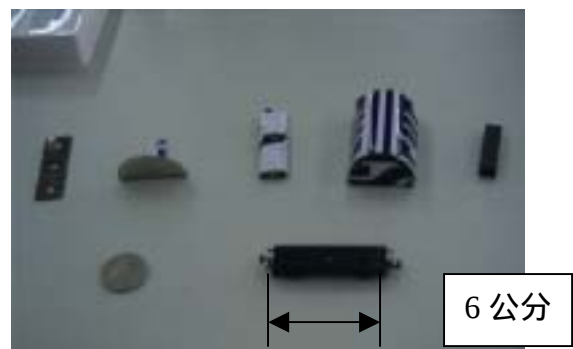


圖 7 圓筒形隧道車廂外型圖

- (10) 放置水平儀，校正鐵軌，依次把各種車廂外型的火車放在鐵軌上，把碼錶歸零，按下電源供應器的開關，火車衝過終點，讀取碼錶的時間如圖 8，比較各種外型車廂火車的速度。



圖 8 圓桶形鐵罐線圈隧道測試情形

2. 不同位置之鐵軌斷電處，對火車前進、後退速度的影響

- (1) 軌道架設如上一小節所述，斷電處分別設在距離隧道口 4 公分 10 公分，以 1 公分為調整單位如圖 9。
- (2) 把連續前進後退電路的切換開關設在後退方向，校正鐵軌。
- (3) 將車廂形火車放在隧道口（直徑 5.2 公分），啟動電源供應器開關，看車子走完全程花了多少時間。
- (4) 重複上述步驟，改變斷電處位置，量測火車行走的時間。

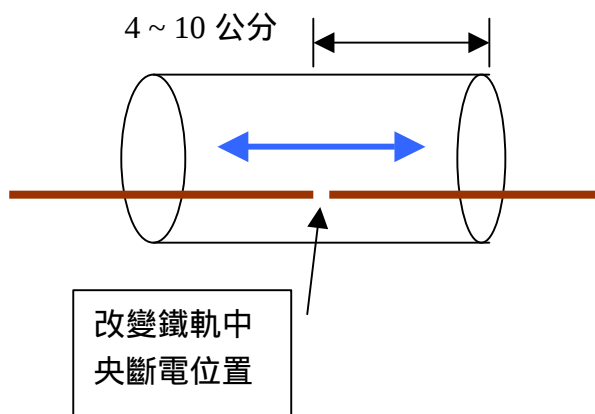


圖 9. 改變鐵軌斷電位置圖

(二) 錐形電磁鐵隧道

1. 各種車廂外型在錐形電磁鐵隧道前進的速度

- (1) 錐形線圈隧道的製作方法如同圓筒形線圈隧道。
- (2) 我們製作了平板形、小半月 L 形、車廂、磁鐵型等 4 種車廂外型如圖 10。



圖 10.錐形隧道車廂外型圖

- (9) 放置水平儀，校正鐵軌，依次把各種車廂外型的火車放在鐵軌上，把碼錶歸零，按下電源供應器的開關，火車衝過終點，讀取碼錶的時間如圖 11，比較各種車廂外型火車的速度。



圖 11. 圓桶形鐵罐線圈隧道測試情形

2.不同位置之鐵軌斷電處，對火車前進、後退速度的影響

- (1) 軌道架設如上一小節所述，斷電處分別設在距離隧道口 6 公分 12 公分，以 1 公分為調整單位類似圖 9。
- (2) 將車廂型火車放在大的隧道口（直徑 5.2 公分），調整斷電處，並校正鐵軌。
- (3) 校正鐵軌，啟動電源供應器開關，看車子走完全程花了多少時間。
- (4) 將車廂型火車放在小的隧道口（直徑 3.2 公分），調整斷電處，並校正鐵軌。
- (5) 校正鐵軌，啟動電源供應器開關，看車子走完全程花了多少時間。

伍、研究結果

- 一、不同直徑的鐵罐，對指南針偏離角度的實驗結果如表 1（控制變因是不同的直徑，其他實驗條件不變）。

鐵罐種類 偏離角度	罐頭鐵罐 (直徑 10 公分)	烏龍茶鐵罐 (直徑 6.4 公分)	蘆筍汁鐵罐 (直徑 5.2 公分)
第一次 (度)	28	33	38
第二次 (度)	26	32	39
第三次 (度)	25	31	36
平均 (度)	26.4	32	37.3

表 1. 不同直徑鐵罐對指南針偏離角度實驗結果

我們發現津津蘆筍汁罐偏轉角度最大（37.3 度），磁力最強。

- 二、研究漆包線繞不同線圈數，對指南針偏離角度的實驗結果如表 2。

在實驗一中，我們發現用津津蘆筍汁鐵罐的偏轉角度較大，所以在實驗二中，我們仍然使用津津蘆筍汁鐵罐，但改變漆包線的圈數，來量測指南針的偏轉角度，實驗結果如下表 2（控制變因是不同的圈數，其他實驗條件不變）。

圈數 偏離角度	100	150	200
第一次 (度)	32	38	45
第二次 (度)	31	39	46
第三次 (度)	32	36	44
平均 (度)	31.7	37.3	45

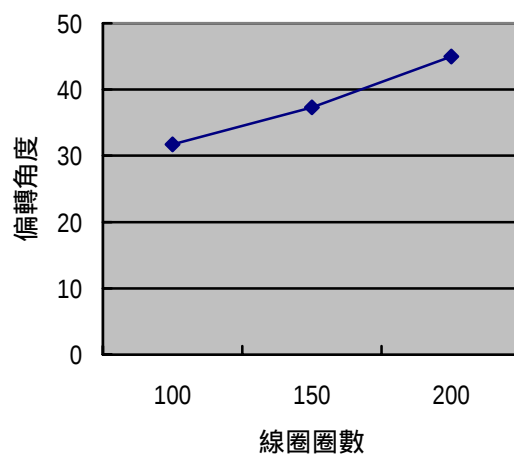


表 2. 不同繞圈數對指南針偏離角度實踐結果

我們發現津津蘆筍汁罐繞 200 圈之偏轉角度最大（45 度），磁力最強。

- 三、研究不同材質的罐子，對指南針偏離角度的實驗結果如表 3。

在實驗二中，我們發現用津津蘆筍汁鐵罐繞 200 圈的偏轉角度較大，所以在實驗三中，我們仍然使用津津蘆筍汁鐵罐，使用直徑（5.2 公分）及圈數（200 圈）相同，但材質不同的罐子，來量測指南針的偏轉角度，實驗結果如表 3（控制變因是不同材質的罐子，其他實驗條件不變）。

材質 試驗次數	鐵罐	紙筒	保特瓶
第一次（度）	45	29	32
第二次（度）	46	31	31
第三次（度）	44	30	29
平均（度）	45	30	30.7

表 3.不同材質對指南針偏離角度實驗結果

我們發現鐵罐的偏轉角度最大，所以磁力最強。

四、觀察電磁列車在鐵罐內行走的情形。

- （一）利用 1 顆乾電池接上圓筒形線圈，發現火車不會動，我們以為電路接錯了，但是把指南針放在鐵罐線圈開口處，發現指南針會偏轉，所以圓筒形線圈仍然是通電的，代表我們的電路沒有接錯。
- （二）我們認為有可能是一顆乾電池電力不足，所以我們改用 8 顆乾電池（12 伏特）來做實驗，結果發現火車雖然會走，但是火車通過鐵罐線圈中央處約 2 公分後，就會倒車來回運動，最後停在圓筒形線圈中央處。
- （三）我們改用電源供應器，因為電源供應器只能供應 20 伏特，所以我們就用 20 伏特來做實驗，我們發現火車雖然速度變快了，但行走到一半時，火車還是會被吸回到鐵罐線圈中間，只是速度快一點，火車運動的情形如圖 12。

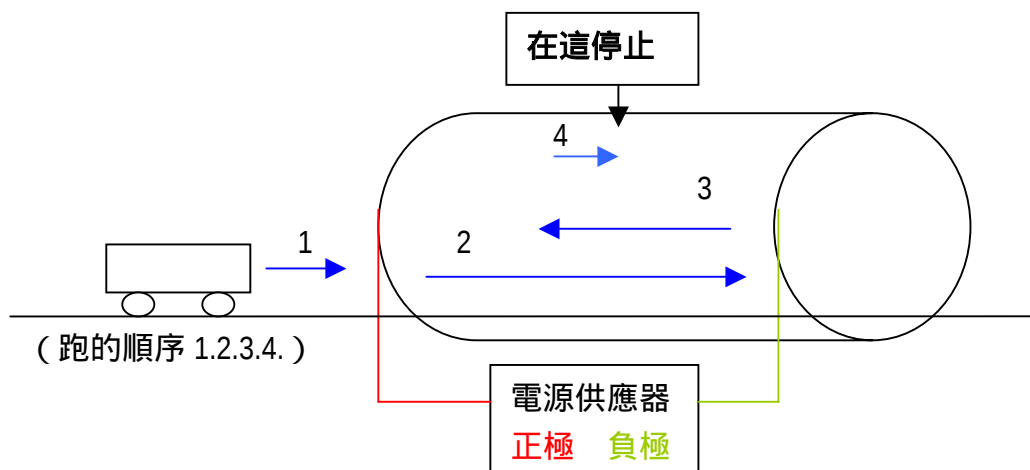


圖 12．火車來回運動路線圖

五、探討電磁列車為何不能前進。

- （一）在實驗 4 中，我們認為是一顆乾電池的電力太弱了而拉不動火車，所以我們就用 8 顆乾電池及電源供應器來加強電力，指南針的偏轉角度如下表 4。

電力 指南針	1 顆乾電池 1.5 伏特	8 顆乾電池 12 伏特	電源供應器 20 伏特
偏轉角度	45 度	90 度	90 度
轉動速度	慢	快	非常快
磁力大小	小	中	大

表 4. 不同電力接上線圈之磁力比較表

在實驗 4 中，我們以為 1 顆乾電池的電力不足而改用 8 顆乾電池，用了 8 顆乾電池之後火車就可以動了，但是會被吸回來如圖 12，我們認為可能是衝力不夠，要加強電池的電力，因為電池很快就沒電了，所以我們就使用電源供應器，使用電源供應器之後，火車衝得很快，但是被吸回來的速度也很快，所以我們認為火車衝不過隧道不是電力的問題。

- (二) 火車來回運動模型如圖 12，一開始受線圈的電磁力拉動前進（1 號箭頭），進入隧道中間後繼續前進（2 號箭頭），受到中間的磁力拉回去（3 號箭頭），最後再回到中間（4 號箭頭），所以我們認為中間的磁力最強。
- (三) 由前面的實驗，我們認為鐵罐線圈的正中央是磁力最強的地方，兩邊是磁力最弱的地方，我們建立了鐵罐線圈磁力分佈模型如下圖 13，中間的磁力最強，我們訂為 10，旁邊比較弱，我們假設只有 5。

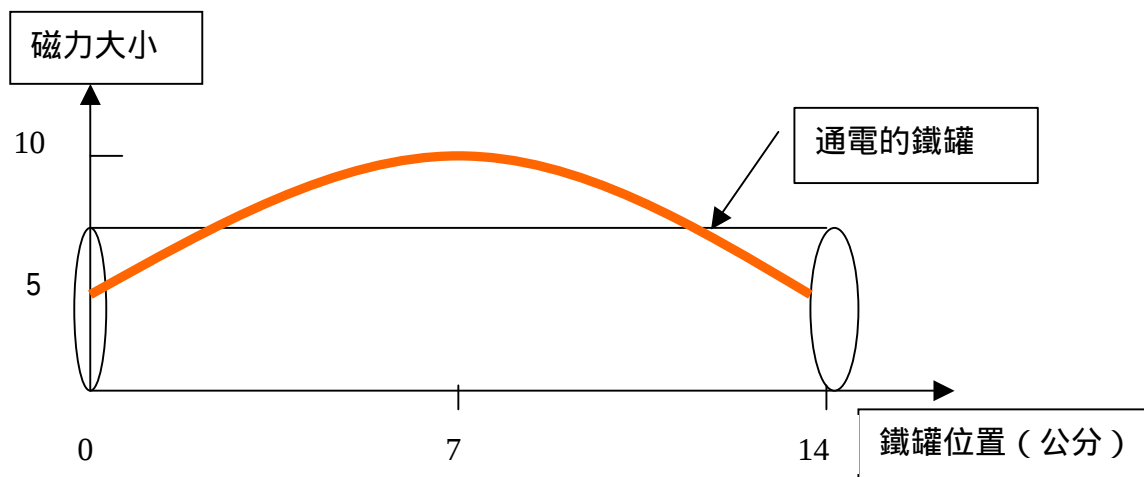


圖 13. 鐵罐線圈磁力分佈模型

由上面的鐵罐線圈磁力分佈模型，我們可以說明為什麼火車會在鐵罐線圈內來回運動（如圖 11），最後停在中間的地方。

六、研究電磁列車如何前進、後退。

(一) 如何讓火車前進不被吸回。

1. 從鐵罐線圈磁力分佈模型中，我們認為要讓火車繼續前進有 2 種方法，第一

種是一定要讓火車的前面有更大的磁力，拉著火車繼續前進。第 2 種方法是當火車前進到中間時（如圖 12 的 2 號箭頭），中間的最強磁力馬上消失，讓車子利用慣性繼續前進。

（1）讓火車前面有更大的磁力

根據實驗一的結果，如果要產生更大的磁力，可以縮小鐵罐的直徑，所以我們製作了錐形鐵罐，連接的方式如前面實驗過程的圖 4。在這個實驗中，我們發現火車不管從哪一邊進去，火車前進時都會被拉回到剛進去那一節罐子的中央處左右，所以罐子的中央處的磁力仍大於小端的開口處，我們認為這個方法並不可行。

（2）利用切換開關

在圖 12 鐵罐線圈磁力分佈模型，我們發現火車前進至甲線圈中央處時，如果能即時斷電，使中央處最大磁力消失，則火車可以利用慣性持續前進，同時在中央處能啟動下一節鐵罐線圈的話，火車就可以持續前進，如圖 14。

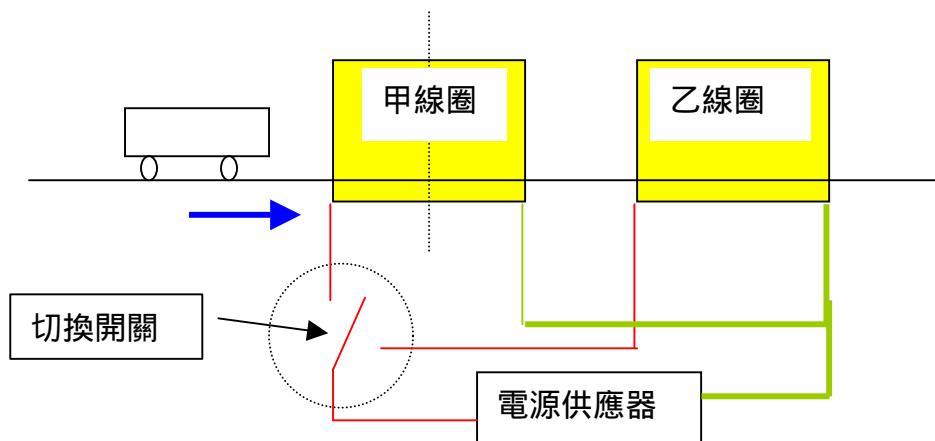


圖 14. 火車前進開關表示圖

當火車走到中央的時候，我們可以利用火車本身的慣性切動開關如圖 14，但是我們買到的切換開關都很大顆，放不進鐵罐線圈裡面，所以把切換開關放進鐵罐線圈的方法無法成功。

（3）利用軌道切換

記得老師曾說過我們買的軌道會導電，那我們就可以利用軌道當作切換開關，我們在前面所遇到的問題（開關太大顆，塞不進去鐵罐線圈）不就可以解決了嗎！我們大家想了好久，終於想到利用鐵軌及車輪切換的電路，在這裡我們接線圖如圖 15，鐵軌 A 和鐵軌 B 中間要切斷，讓它不通電。

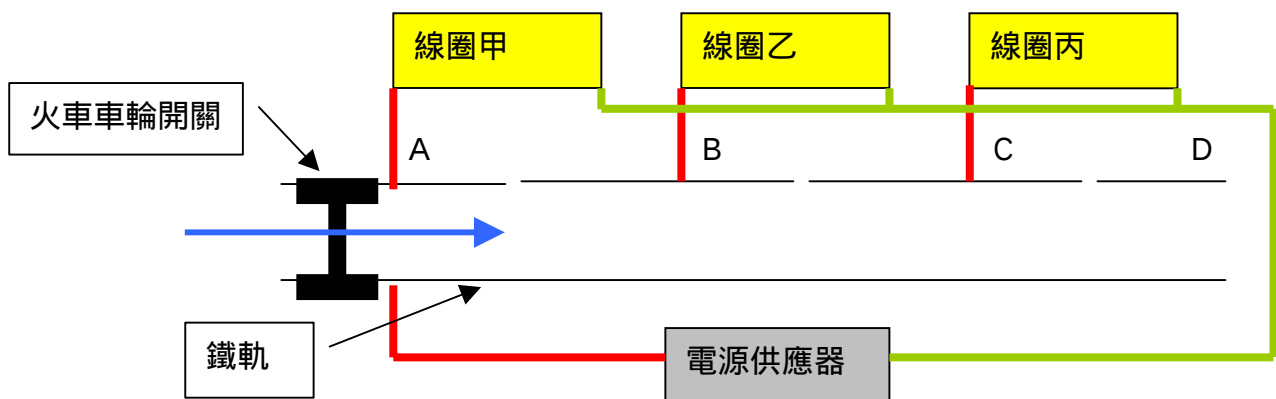


圖 15.鐵軌前進電路圖

在這裡我們用火車車輪當開關（火車的車輪要先焊接導通，我們焊接了好幾個輪子才成功），當火車走道鐵軌 A 時，線圈甲導通產生磁力，拉著火車向前走，當火車走到鐵軌 B 時，線圈甲不導通，所以線圈甲不再產生磁力把火車往回拉，而線圈乙卻導通了，產生磁力把火車往前拉，以此類推，火車就會前進抵達終點如圖 15。

哇！！我們的火車終於可以前進了，耶！！衝吧！衝吧！做到這裡我們大家都好高興，利用鐵軌及車輪切換的方法終於成功了！

（二）建立火車前進後退切換模型。

在前面，我們利用鐵軌及車輪的切換，順利的讓火車向前走，但是，我們認為光是前進還不夠，所以我們想讓火車後退，在這裡我們認為當火車走道鐵軌 D 時，線圈丙導通產生磁力，拉著火車向後退，當火車走到鐵軌 C 時，線圈丙不導通，所以線圈丙不再產生磁力把火車往回拉，而線圈乙卻導通了，產生磁力把火車往後

拉，以此類推，火車就會退回到起點，電路圖如圖 16。

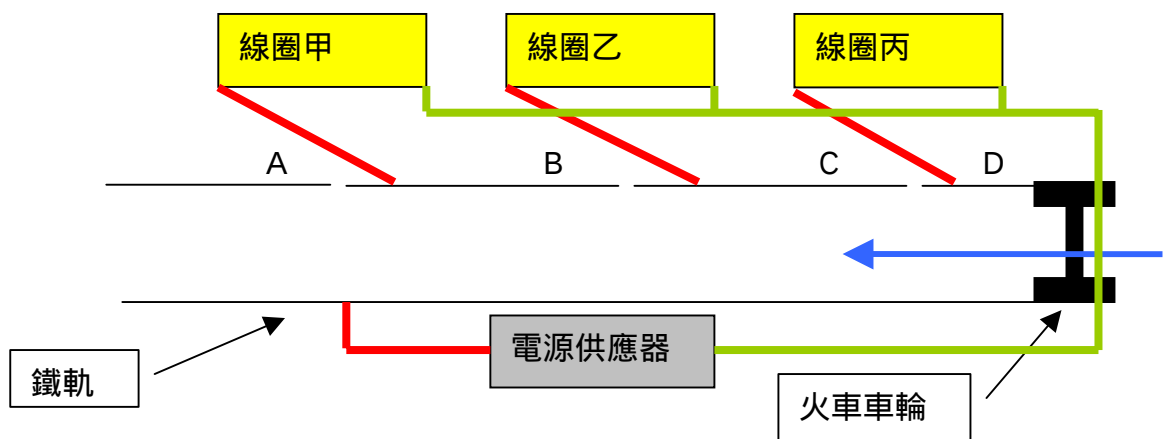


圖 16.火車後退電路圖

耶！！！我們的火車終於可以後退了，耶耶耶！！！做到這裡，我們已經知道要如何前進後退了，只要把線圈甲由鐵軌 A 接到鐵軌 B（以此類推），火車就可以後退了，所以我們認為只要加一些切換開關就可以控制車子的方向了！它的電路圖如圖 17。

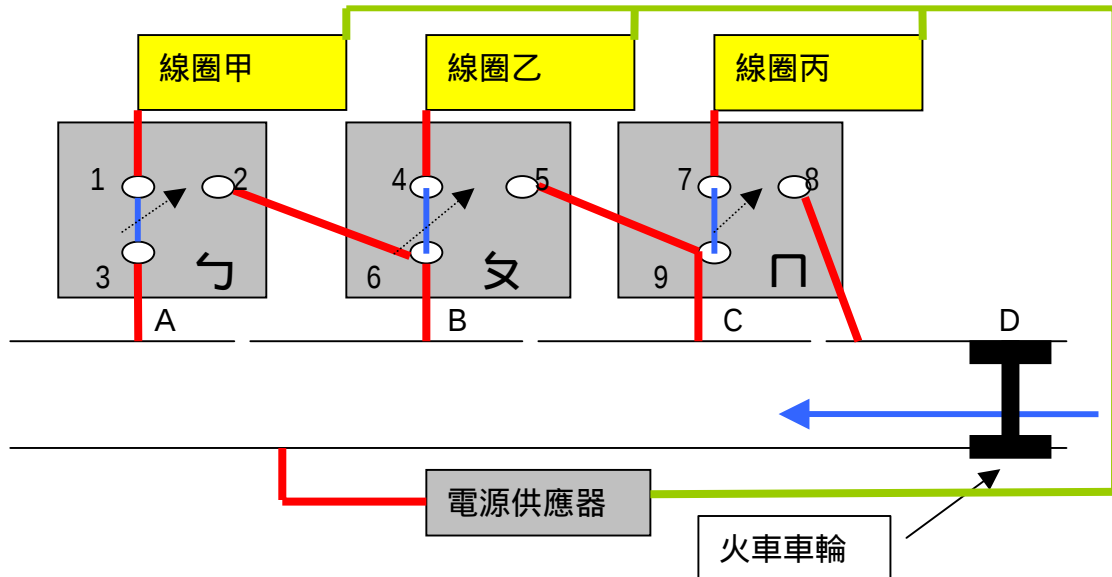


圖 17.火車前進後退切換電路圖

在這裡我們有 3 組開關，分別是開關ㄅ、開關ㄆ、開關ㄇ，它們要同時切換，前進時 1、3 導電，4、6 導電，7、9 導電，後退時 1、2 導電，4、5 導電，7、8 導電。接下來就是如何接這種開關，後來我們就和老師一起去電子材料行問老闆，有沒有這種開關，或來老闆就拿給我們 1 個 18 接頭兩段式同步開關，它的接點圖如圖 18，只要把開關接上鐵罐線圈及鐵軌，我們的電磁列車就要出發了！YA！

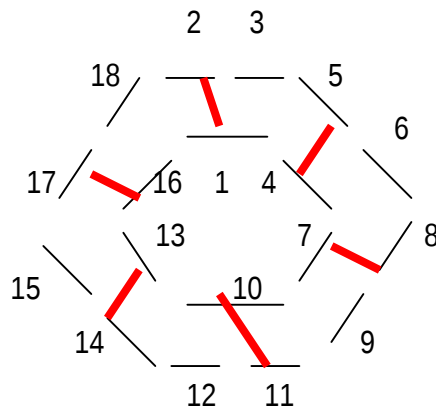


圖 18. 18 接頭兩段式同步開關接點圖

七、研究電磁列車如何煞車

(一) 討論如何讓火車停止

1. 利用火車來回運動模型，討論如何讓火車靜止。

(1) 裝煞車皮使輪子減速而煞車。

因為車輪太小，無法裝上煞車皮，也沒辦法控制，所以這個方法失敗。

(2) 把線圈全部通電，用磁力使火車吸在鐵罐正中央。

在實驗 4 我們發現鐵罐中間磁力最強，火車會被吸到中間，而無法前進，所以我們可以利用這種原理來煞車，方法是把線圈全部通電，也就是鐵軌不斷電，這樣子火車在煞車時會停在某一節線圈的中央處，所以我們認為只要加一些切換開關就可以煞車了！它的電路圖如圖 19。

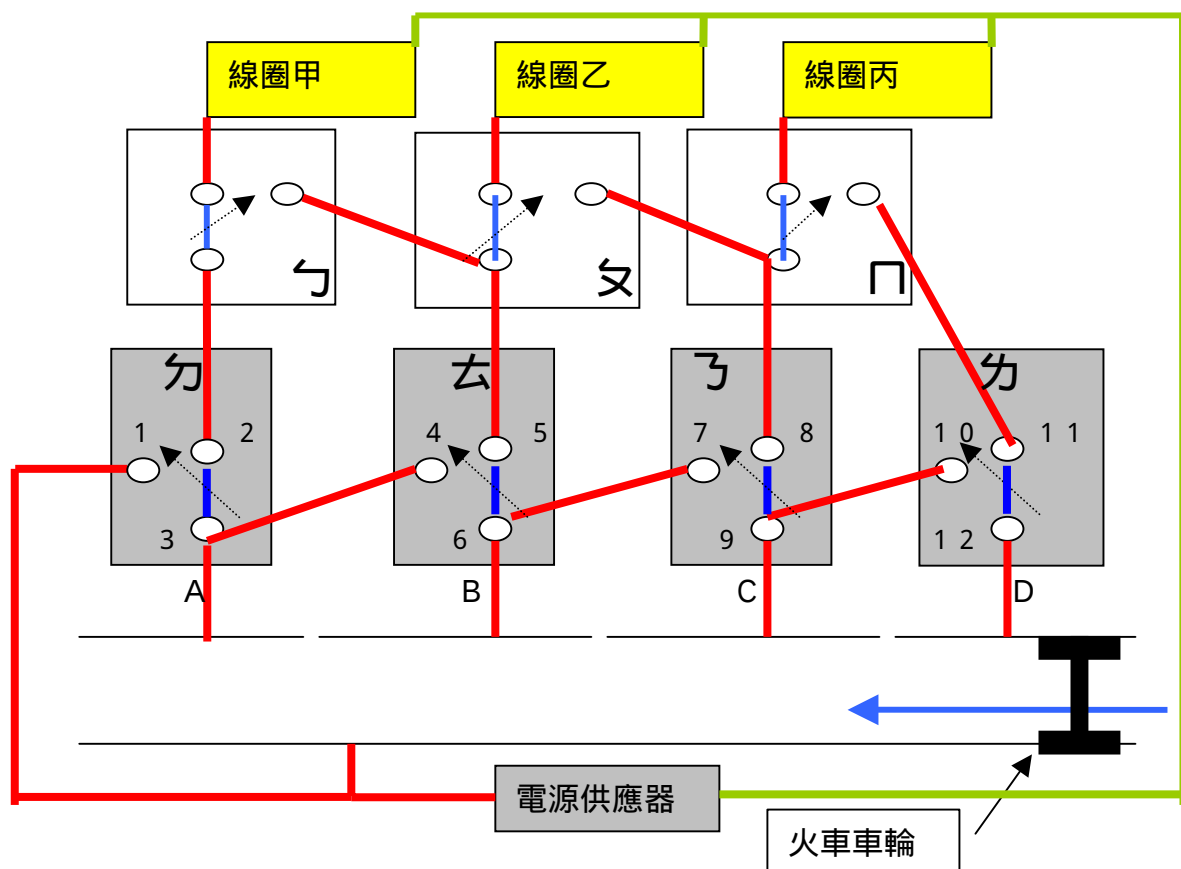


圖 19.火車前進後退、煞車切換電路圖

在這裡我們有 4 組開關，分別是開關 1、開關 2、開關 3、開關 4，它們要同時切換，行進時 2、3 導電，5、6 導電，8、9 導電，11、12 導電；煞車時 1、3 導電，4、6 導電，7、9 導電，10、12 導電。我們就用 1 個 18 接頭兩段式同步開關，它的接點圖如圖 18，只要把開關接上行進切換開關及鐵軌，我們的電磁列車就可以煞車了！YA！

八、解決電磁列車計時的問題。

(一) 我們的列車準備啟動了，但是又出現了計時的問題，我們把碼錶拆開來研究，先瞭解它的構造，它的構造如圖 20 碼錶解剖圖

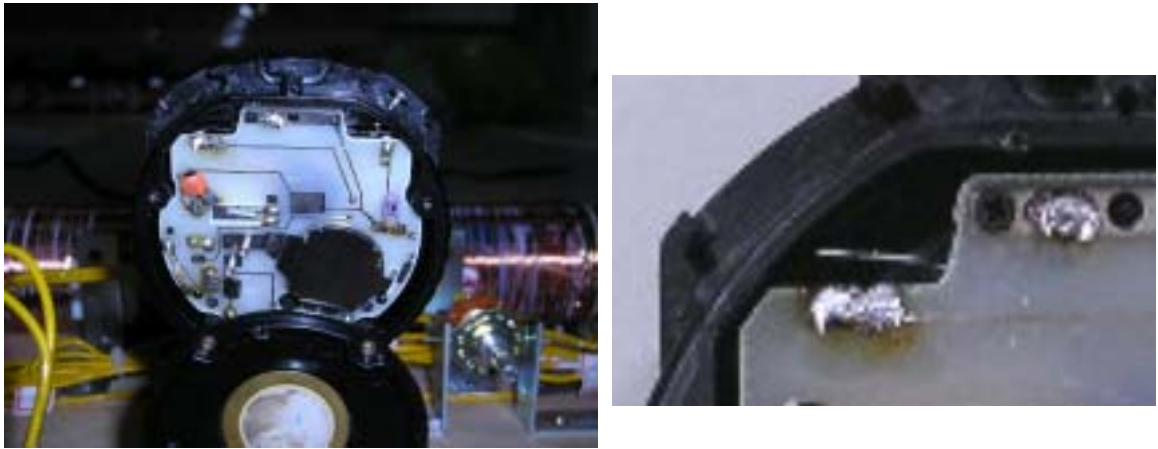


圖 20.碼錶解剖圖

我們發現碼錶裡面有 3 個開關，第 1 個是計時開始、結束，第 2 個是碼錶功能切換，第 3 個是歸零，後來又發現碼錶的計時開始的開關只是兩個鐵片碰一下就開始了，所以我們就去電子材料行找開關，後來找到了微動開關，我們就設計一組開關電路，然後我們就把它接上碼錶，電路圖如圖 21，火車進入時，入口開關 1、2 導通後彈開，碼表 7、8 導通，計時開始，火車離開時，出口開關 4、5 導通後彈開，碼表 7、8 導通，計時結束。

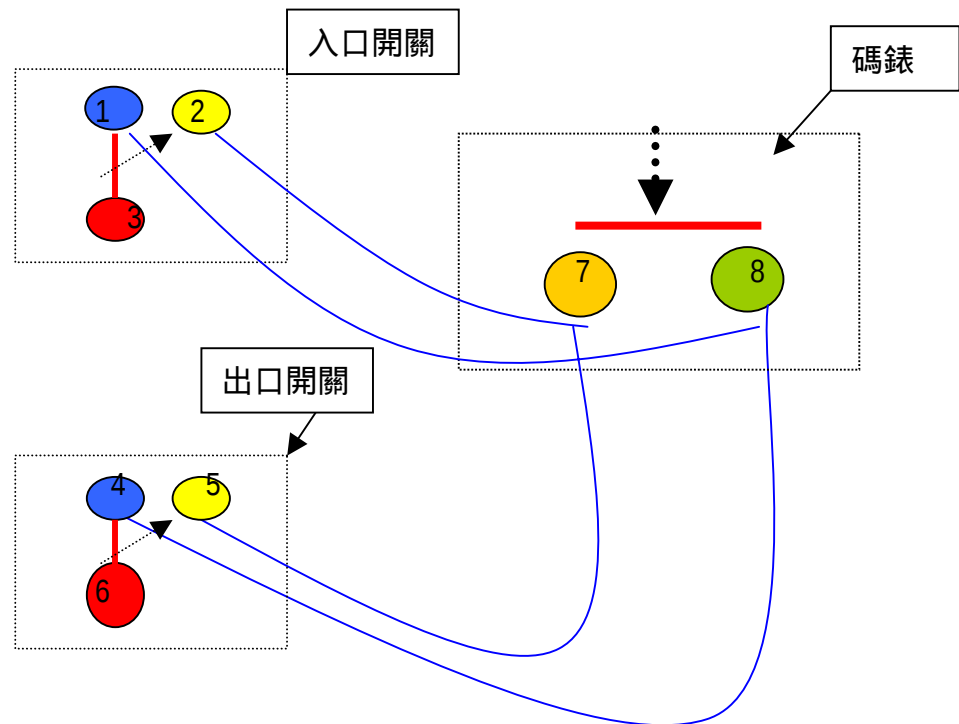


圖 21.計時開關電路圖

九、鐵罐線圈隧道外型、火車車廂外型及鐵軌斷電處對電磁列車車速的影響。

(一) 圓筒形線圈隧道 (隧道全長 73 公分)

1. 斷電處在正中央 7 公分處，各種外型車廂的速度如下表 5。

車廂種類 重量 (克) 試驗次數	平板形 8	大半月 L 形 6	小型車廂 12 註 1	大車廂型 22	磁鐵型 8
第一次 (秒)	1.49	2.71	1.61	0.86	1.49
第二次 (秒)	1.45	2.49	1.63	0.97	1.49
第三次 (秒)	1.49	2.54	1.65	1.02	1.45
平均時間 (秒)	1.48	2.58	1.63	0.95	1.48
平均速度 (公分/秒)	50	28.71	44.78	77.93	50

表 5. 圓筒形線圈隧道內，使用各種不同車箱的速度表

我們發現車廂型速度 (77.9 公分/秒) 最快。

註 1. 小型車廂同時也是下一個錐形鐵罐線圈隧道的測試車廂，我們在這裡跟圓筒型鐵罐隧道的大車廂做比較。

2. 不同斷電處的速度如下表 6 (我們以前面實驗結果最快的車箱型火車，做不同斷電處實驗)

斷電處 (公分) 試驗次數	4	5	6	7	8	9	10
第一次 (秒)	1.13	1.01	0.96	0.86	0.77	0.93	1.02
第二次 (秒)	1.28	1.17	0.97	0.97	0.80	0.86	1.02
第三次 (秒)	1.34	0.96	1.01	1.02	0.81	0.87	0.96
平均時間 (秒)	1.25	1.05	0.98	0.95	0.79	0.89	1.00
平均速度 (公分/秒)	57.61	68.62	73.53	75.81	91.13	82.02	73.00

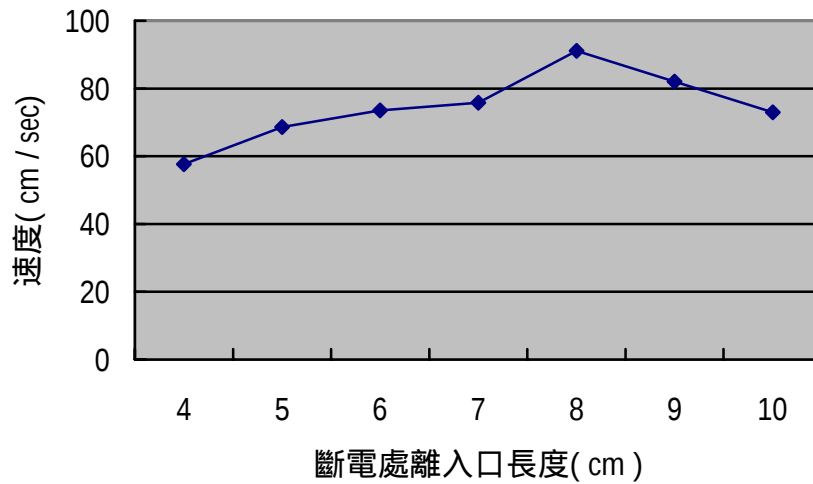


表 5. 圓筒形線圈隧道內，使在不同斷電位置的速度

我們發現在 8 公分處是速度最快 (91.13 cm / sec) 的時候。

(二) 錐形線圈隧道 (隧道長度 72 公分)

1. 斷電處在正中央 7 公分處，各種車廂外形速度如下表 6。

車廂外型 重量-克 速度	平台型 8	小半月 L 型 1	小半月 L 型 加平台型 9	小車廂型 12	磁鐵型 12
第一次 (秒)	1.62	失敗 走不動	1.63	1.83	失敗，走到 一半就被吸 到鐵罐上。
第二次 (秒)	1.69		1.66	1.81	
第三次 (秒)	1.81		1.44	1.69	
平均時間 (秒)	1.71		1.58	1.78	
平均速度 (公分/秒)	42.1		45.6	40.4	

表 6. 錐形線圈隧道使用不同車廂速度表

我們發現小半月 L 加上平台型的車廂是最快的。

2. 不同斷電處速度如下表 7 (我們以前面實驗結果最快的小半月 L 加上平台型做不同斷電處實驗)

從大的隧道口 (直徑 5.2 公分) 進入

斷電處 公分 試驗次數	6	7	8	9	10	11	12
第一次 (秒)	2.75	1.63	1.31	1.28	1.25	1.22	1.31
第二次 (秒)	3.01	1.66	1.28	1.31	1.25	1.25	1.38
第三次 (秒)	2.73	1.80	1.32	1.31	1.25	1.25	1.44
平均時間 (秒)	2.83	1.70	1.30	1.30	1.25	1.24	1.38
速度 (cm / sec)	25.44	42.35	55.38	55.38	57.6	58.06	52.17

從小的隧道口進入 (直徑 3.2 公分) 進入

斷電處 公分 試驗次數	6	7	8	9	10	11	12
第一次	1.28	1.09	1.22	1.31	1.75	1.90	走到第三 節就停了
第二次	1.31	1.12	1.18	1.37	1.72	2.00	
第三次	1.32	1.13	1.19	1.31	1.56	2.06	
平均時間 (秒)	1.30	1.11	1.20	1.33	1.68	1.99	
速度 (cm / sec)	55.38	64.86	60.00	54.13	42.85	36.18	

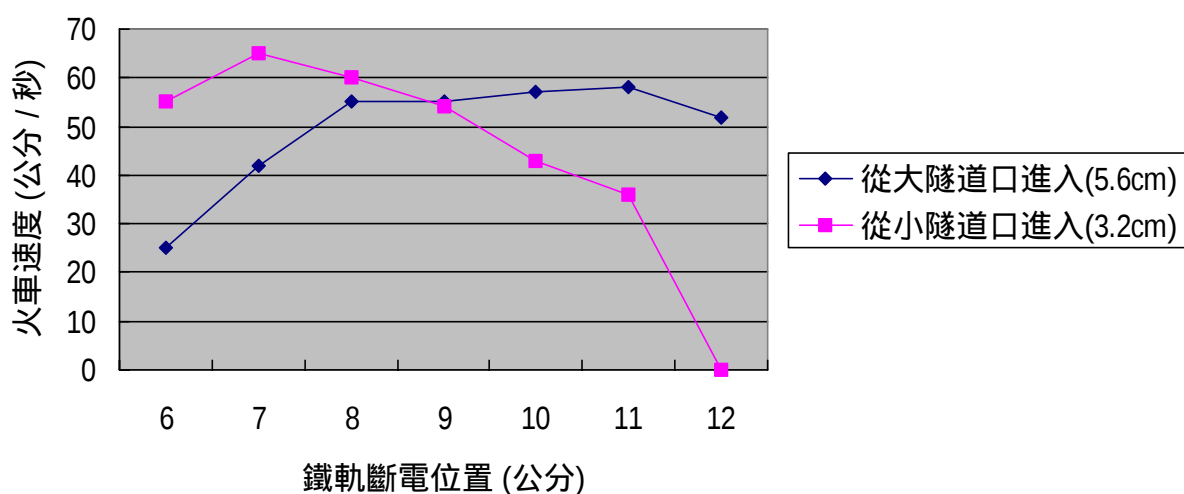


表 7. 錐形線圈隧道不同斷電處的速度

陸、討論

一、研究不同直徑的鐵罐，對磁力大小有什麼影響。

- (一) 在實驗一中我們發現津津蘆筍汁罐的磁力較強，因為它的指南針偏轉角度較大，我們認為直徑愈小的鐵罐磁力愈強。
- (二) 在每次做完實驗後，我們發現鐵罐沒有接上電池依然有磁性，所以我們把線圈的兩端接上電池後，來回改變電池的極性，直到指南針靠近鐵罐時（此時鐵罐線圈不接上電池）不會偏轉為止。

二、研究漆包線繞不同線圈數，對磁力大小有什麼影響。

在實驗二中我們發現線圈數愈多，偏轉角度較大，所以我們認為漆包線繞圈數愈多磁力愈強。

三、研究不同材質的罐子，對磁力大小有什麼影響。

在實驗三中，我們發現紙筒、保特瓶的偏轉角度較鐵罐小，所以我們認為鐵罐的磁力比較強。

四、觀察電磁列車在鐵罐內行走的情形。

- (一) 我們發現電力太小了，圓筒形線圈拉不動火車，所以加大電力，改用 8 顆乾電池，雖然可以拉動火車，但是會被吸回圓筒形線圈的中央處。
- (二) 我們認為可能是電力太小了，火車衝不過去，所以改用電源供應器（20 伏特），但是火車還是會被吸回圓筒形線圈中央處，到這裡，我們認為不是電力的問題，可能是圓筒形線圈中央磁力較強的原因，所以車廂衝過中央磁力最強處後，又會被後面的磁力給吸回去。

五、探討電磁列車為何不能前進。

- (一) 我們發現，當火車行駛到中間時會被吸回中間的原因，是因為圓筒形線圈中央磁力較強的緣故，所以，當火車行駛到後半段時，會因為動力不足而被吸回中間，不能前進，這些都可以用圖 13 的鐵罐線圈磁力分佈模型來解釋。
- (二) 我們覺得把觀察到的現象變成了模型之後，要解決困難比較容易。

六、研究電磁列車如何前進、後退。

- (一) 我們所研究的幾種方法中，在圖 4 因為火車被鐵罐中間的磁力吸住，所以無法前進，在圖 5 因為開關塞不進去就失敗了。
- (二) 我們發現以利用鐵軌來斷電，只要在鐵軌的一頭接上電源，另一頭接上線圈，並利用火車的前輪當成電線，就可以讓火車走到第一個鐵罐的一半時斷電，然後在下一個鐵罐開始通電。後退的道理也是一樣，只是連接的鐵軌不一樣，這些都可以用圖 17 火車前進後退切換電路圖來解釋。

七、研究電磁列車如何煞車。

- (一) 我們發現使用煞車皮的方法行不通，因為車輪太小，無法裝上煞車皮，也沒辦法控制，所以這個方法不可行。
- (二) 在實驗 4 我們發現鐵罐中間磁力最強，火車會被吸到中間，而無法前進，所

以我們可以利用這種原理來煞車，方法是把線圈全部通電，也就是鐵軌不斷電，這樣子火車在煞車時會停在某一節線圈的中央處，所以我們只要加上一個十八接頭兩段式同步切換開關就可以煞車了。

八、如何解決電磁列車計時的問題。

因為瞬間計時和瞬間暫停不是一件簡單的事，我們拆開了碼錶之後才發現裡面有開關，只要把這 2 片鐵片接通就可以計時了。所以我們利用微動開關來啟動碼錶，結果很好，但是要用那種摩擦力比較小的開關，以免火車衝不過去。

九、探討電磁鐵隧道外型、火車車廂外型及鐵軌斷電處對電磁列車車速的影響。

- (一) 我們測量了平板形、小半月 L 形、小車廂（錐形鐵罐的小型車廂）、大車廂、磁鐵型，等 5 種車廂外型，發現大車廂形比較好，應該是車箱的表面積比較大（從表 5 可以發現大車廂比小車廂快，應該是表面積較大的原因），跟鐵罐的間隙比較小，雖然比較重，因為磁力比較大的關係，所以跑得比較快。
- (二) 在圓筒型線圈中，我們從斷電 4 公分處開始測量，但這個結果並不理想。之後測的數都是一樣，直到測試到了八公分，這才發現，這個結果是最好的，為了確定八公分是不是最好，所以我們一直測試到了十公分，最後發現還是八公分的結果最為理想，所以我們便採用了。可是 8 公分有最快的速度，跟我們所建立模型的預測不一樣，我們認為可能與車輪的位置有關係如圖 22。

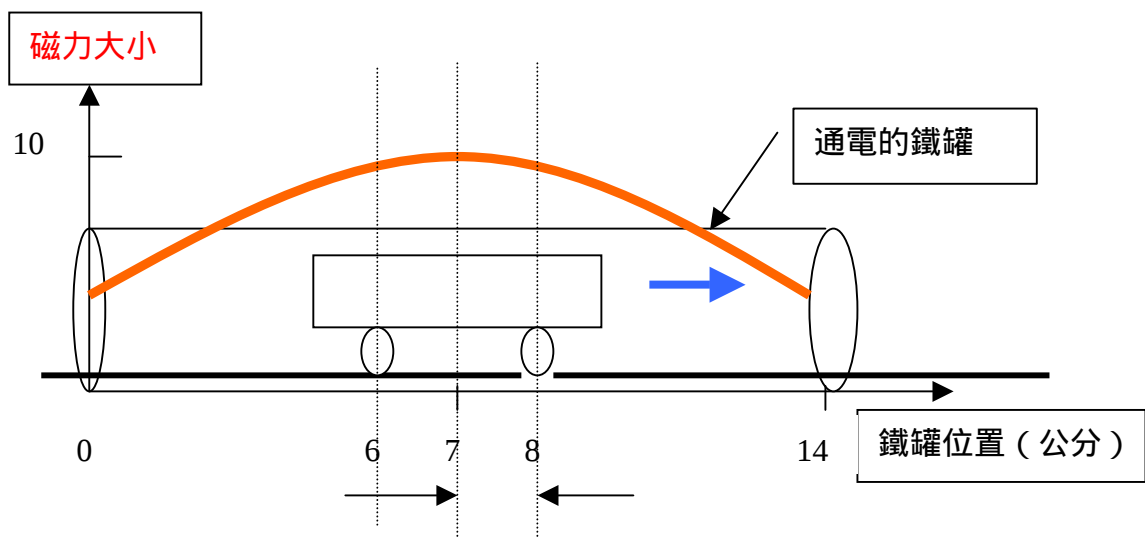


圖 22. 圓筒型鐵罐車輪切換位置圖

當車輪開關走到 7 公分的時候，車箱的正中央約在 6 公分處，車子的拉力還沒有到最大的 10，當車輪開關走到 8 公分的時候，車箱的正中央約在 7 公分處，車子的拉力才有到最大的 10，所以在 8 公分處斷電的速度應該是最快的。

- (三) 在錐形鐵桶線圈實驗中（表 6），我們發現小半月 L 加上平台型比小車箱型要快，原因可能是它們的表面積差不多（請看圖 10），但車箱型的重量卻比較重，所以跑不快。小半月 L 加上平台型比平台型要快，應該是多了一片正前方的鐵片，表

面積多一點，受更多的磁力。

- (四) 在錐形鐵桶線圈實驗中(表 7)，我們發現當火車從直徑較小(3.2 公分)的那一頭進去，是在 7 公分處斷電的速度最快，如圖 23，可是和我們原先預估的位置不一樣(在中央偏直徑較小處)，我們認為是火車中央和車輪開關的距離關係，應該車廂的正上方才是磁力最強處，因為真正受磁力影響的是車廂，當車輪開關走到 7 公分的時候，車箱的正中央約在 8-9 公分處，車子的拉力才有到最大的 10，所以在 7 公分處斷電的速度應該是最快的。相對的，我們發現當火車從直徑較大(5.2 公分)的那一頭進去，是在 11 公分處斷電的速度最快，可是和我們原先預估的位置不一樣(在中央偏直徑較小處)，所以當車輪開關走到 11 公分的時候，車箱的正中央約在 9-10 公分處，車子的拉力已經到最大的 10，根據這兩個判斷，我們預測磁力最強的地方大約在 9 公分處。

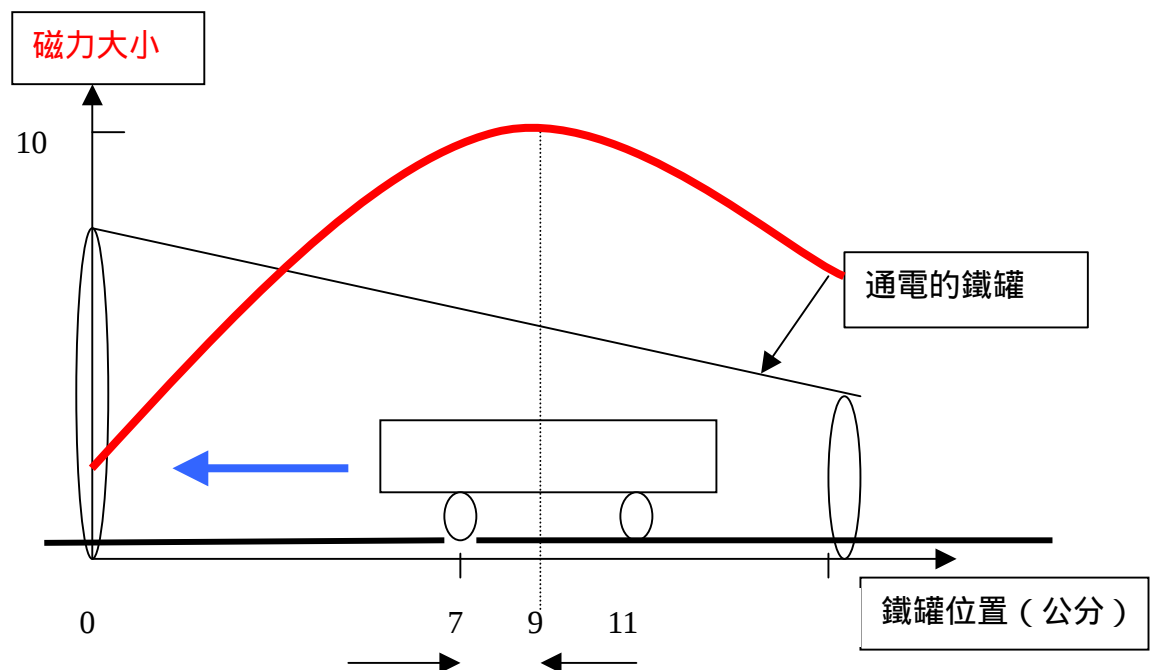


圖 23. 錐型鐵罐車輪切換位置圖

柒、結論

我們在製作的過程中，在切罐子、鑽洞、焊接、鋸木頭、燒熱縮管套、剪鐵皮時，都要非常小心。在每次試車後，我們發現鐵軌跟車輪都會磨損，所以我們每次在試車前都要先把車輪清乾淨，不然實驗時會出現誤差。我們在研究的過程中，常常想到頭腦當機、四肢無力，但看到火車啟動的那一剎那，就覺得我們快樂的飛上天了。

我們如果要製作一台真正的電磁列車，那電磁線圈的隧道直徑愈小愈好，漆包線的繞圈數愈多愈密愈好，隧道的材質用鐵製的比較好，電磁線圈隧道外型最好使用圓筒形，車廂最好使用符合圓筒形線圈隧道截面積的車廂，車廂的截面積與總表面積愈大愈好，車廂與隧道愈靠近愈好。鐵軌的斷電處要設在火車車箱中央與圓筒形線圈中央重疊時，前車輪(車輪開關)正下方的位置。如果同一條鐵軌要做前進與後退，在

圓筒形線圈中央處的兩旁，各設一個鐵軌斷電切換開關，看火車要從哪一邊進來再做切換。

我們知道新幹線是日本最快的火車，但是我們曾經看過 discovery 頻道，新幹線前進的速度有一定的限制，因為它是用馬達帶動輪子，輪子與鐵軌產生摩擦力而前進，可是只要到達非常快的速度，輪子與鐵軌的摩擦力就會減少，輪子就會打滑，就無法再以更高速度前進，而我們的電磁列車就不會有這樣的缺點，電磁列車是以電磁拉力前進，不會像新幹線一樣為了突破更高的速度而讓輪子打滑，只要我們的磁力夠強，就有機會比新幹線更快。

捌、參考資料及其他

- 1.磁浮火車 <http://www.hk.phy.org/articles/maglev//maglev.htm>
- 2.自製電磁鐵 http://content.edu.tw/primary/nature/ks_gc/game/htm/g18.htm
- 3.1 2-4 電磁鐵 <http://tea2.fhjhs.tp.edu.tw/physics/newpage3.htm>
- 4.磁浮時代 <http://web.core.tku.edu.tw/U/U7FanChengHau2002Train/centry3.htm>
- 5.中國土木水利工程學會 <http://www.ciche.org.tw/semimonth/vol7/7-15.asp>
- 6.自然教學指引（五上） 南一書局出版 民國 89 年
- 7.馬達的同線要多粗或多細,馬力才會最強? <http://www.bud.org.tw/answer/9907/990720.htm>
- 8.電磁鐵的奧秘 <http://www.nhctc.edu.tw/class/nature/nature/nnlo/nlo6/1.2.htm>

玖、附件

這些是老師指導我們作實驗的情形。



評語

這個題目想要做新幹線電磁列車，採用電磁力的方式來帶動列車。雖然不是最經濟及有效的方式，但作品充滿創意及小學生對高科技生活中無限的想像。尤其他們用普通的碼錶改良成的計時器，這各設計更是佳作。