

投稿類別：工程技術類

篇名：

古代“指南車”再現

作者：

鍾坤峰。臺北市立松山高級工農職業學校。機械科三年仁班

指導老師：

林俊呈老師

沈嵩博老師

壹●前言

一、研究動機

在遠古時代人類就能夠辨別方向，一開始人類是靠在夜裡觀察星星，在白天根據太陽來辨別方向，但雨天該如何辨別方向？古人絞盡腦汁終於想到兩種方法解決了這種指向的問題，一種是用磁性的方法，另一種則是用指南車來辨識方向。還記得國中校外教學參觀科學博物館時第一次看到指南車複雜的齒輪組在精密的運行，使指南車有生命般的指向同一方向，令我深深地感到著迷，並且敬佩起古人高深的智慧，在網路上搜尋指南車，發現有人將它做出來，於是便開始了我們的研究與探討。

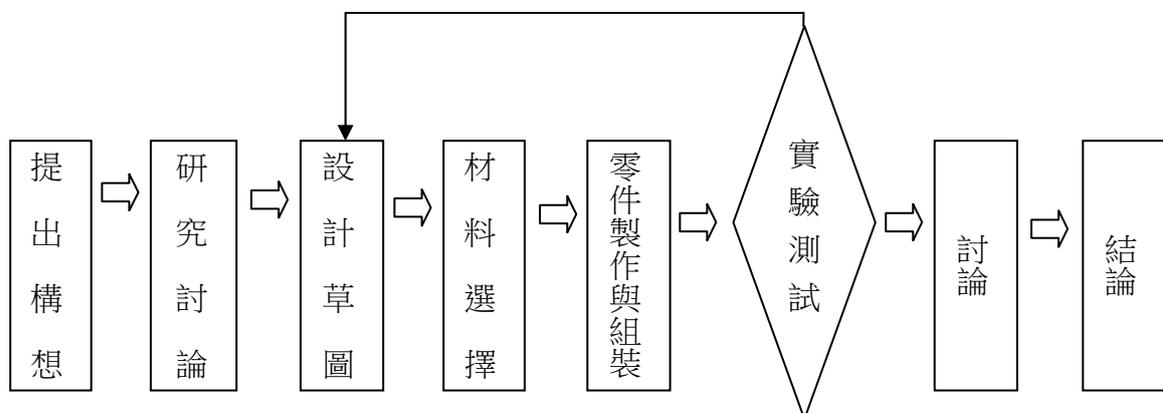
現在大家普遍都是利用指北針、指南針、羅盤來辨識方向，但是如果到某些磁場異常的地方，例如澎湖、大屯山區之前有發生指針發生偏轉，導致迷失方向。像這些磁場異常的地方這些儀器就無法使用，這時古代的指南車就可以派上用場，指南車是由若干個機械齒輪組合而成，並沒有磁極，不會像指北、南針因為磁場的關係而影響，不會因外在因素受干擾，就算到磁場異常的地區，都能讓你知道方位，所以我們將對此進行研究。

二、研究目的

本研究的目的探討古代指南車製作方法，並了解其優缺點且利用機械科現有的設備製作指南車，該使用何種加工方法較簡單，此機械加工又有什麼事項需要注意；本研究目的分別敘述如下：

- (一)探討古代指南車如何以傳統機械加工完成。
- (二)探討古代指南車的原理。

三、研究程序



貳●正文

一、文獻探討

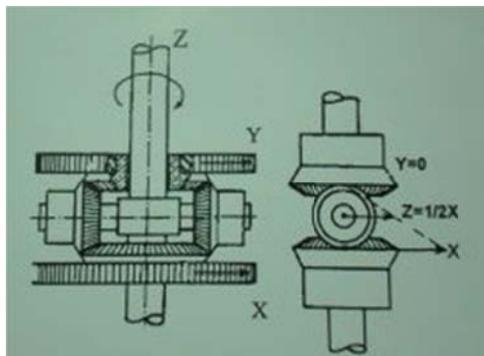
(一) 指南車的歷史

古時候的人類就能夠靠著白天的太陽和夜裡的星星來分辨方位，但是在氣候不佳的時候就無法使用這兩種方法，所以發明了「指南車又稱司南車，傳說中指南車乃是由軒轅皇帝或周公發明。史書又記載了三國時魏國馬鈞製作司南車」。【註一】利用這種方式就可以不必考量氣候的問題了。

(二) 指南車原理【註二】

(1) 斜齒輪周轉輪系

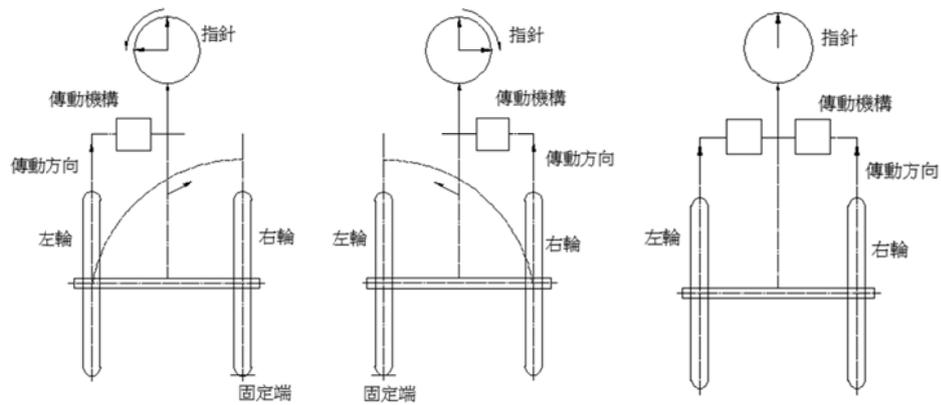
有兩個輸入齒輪X跟Y，一個輸出軸Z軸，輸出軸轉速為輸入齒輪的一半： $Z = (X+Y)/2$ 。Y輪不動時，Z軸的轉速是X輪的一半： $Z = (X+0)/2$ 。X輪不動時，Z軸的轉速是Y輪的一半： $Z = (0+Y)/2$ 。上下輪轉速一樣但轉向相反時，Z軸呈靜止： $Z = (X+Y)/2 = 0$ ，如圖（一）所示。



圖（一）資料來源: 玩具物理學

(2) 動作解析

- 1、當車子向右轉，車身順時針轉動 90° 則指針逆時針轉動 90° 如圖（二）所示。
- 2、車子向左轉，車身逆時針轉動 90° 則指針順時針轉動 90° 如圖（三）所示。
- 3、車子直線前進，兩傳動齒輪旋轉角度相互抵消，使指針不轉動如圖（四）所示。



圖（二）

圖（三）

圖（四）

(三) 齒輪

指南車使用差速齒輪，其原理是當車輛直線行駛時兩車輪轉速相等。車輛轉彎時兩車輪轉速不等，這時差動機構輸出這個差值，驅動指示機構。(註一)我們認識的齒輪有分成很多種，例如：正齒輪、外接齒輪、內接齒輪、螺旋齒輪、人字齒輪、齒條與小齒輪、針齒輪、直齒斜齒輪、斜方齒輪、冠狀齒輪、螺旋斜齒輪、蝸線斜齒輪、雙曲面齒輪、戟齒輪、螺輪、蝸桿與蝸輪，但是為了要讓兩車輪轉速相同，所以我們採用的齒輪的齒數與模數都必須相同。我們使用的正齒輪是**外接正齒輪**，使兩嚙合的齒輪轉向相反。【註三】則斜齒輪用斜方齒輪，斜齒輪兩軸正交，且齒輪大小相等，(齒數相等，轉速比1:1)。【註三】

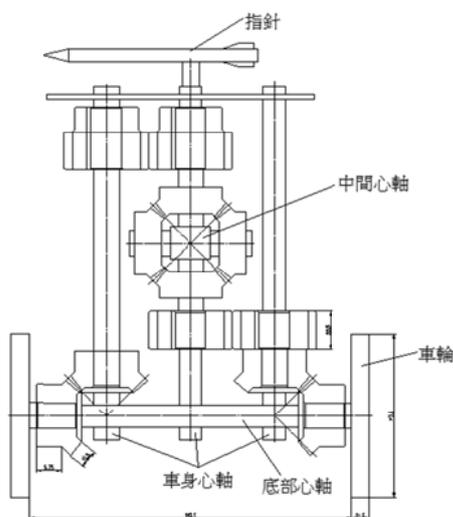
(四) 焊接

銲接是利用高溫或高壓，或兩者兼具的方法，使兩個材料產生原子間的結合力，而結合在一起的製程。【註四】就目前市面上常見的銲接方法分成很多種，例如：電弧銲、氧乙炔氣銲、電阻銲、電阻浮凸銲、端壓銲、電子束銲、爆炸銲、鋁熱銲、雷射銲、摩擦銲、冷銲、電熔渣銲、超音波銲、潛弧銲、電漿銲、氣銲、鍛壓銲，由於我們需要銲接部位的材料是鋁所以採用惰性氣體鎢級電弧銲，惰性氣體鎢級電弧銲的保護氣體為氬氣，此銲接不必清除熔渣，銲道品質好。

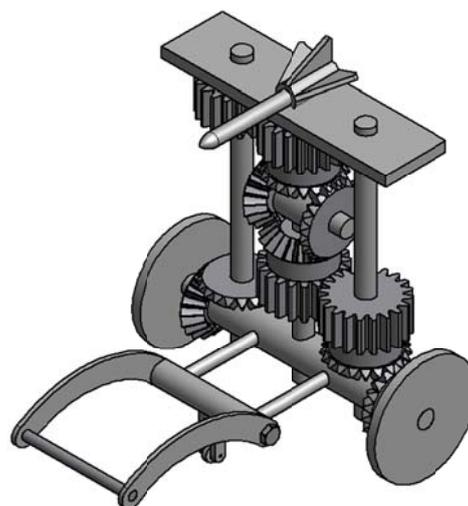
二、指南車設計

如圖（五）所示為本研究的指南車的設計草圖。由圖可知，本裝置主要是由機械齒輪組所組成，搭配心軸與車輪之後，可藉車輪的旋轉運動，使得齒輪組產生運動，使指針保持同一個方向。如圖（六）所示為3D立體組合圖。

為了讓車輪與斜齒輪同時轉動，我們使用焊接的方式，讓車輪與斜齒輪接合在一起。由於心軸與齒輪為餘隙配合，導致心軸會上下滑動，所以我們利用C型扣環將所有的心軸固定。



圖（五）



圖（六）

三、研究設備、器材與材料

本研究所使用的設備、器材與材料除了沒辦法自行製作出來的正齒輪、斜齒輪與C型扣環是在外購買之外，大部分的材料皆為本科工廠現有的為主，如下表（一）。

表（一）使用材料與機台

| 編號 | 材料名稱 | 編號 | 機台名稱 |
|----|----------------------------------|----|-------|
| 1 | 模數1.5 節徑30 齒數20 孔徑 ϕ 8正齒輪×4 | 1 | 傳統車床 |
| 2 | 模數1.5 節徑30 齒數20孔徑 ϕ 8斜齒輪×8 | 2 | 傳統銑床 |
| 3 | C型扣環 ϕ ×8 | 3 | 靈敏鑽床 |
| 4 | 中心軸×5 | 4 | CNC銑床 |
| 5 | 車輪×2 | 5 | 帶鋸機 |
| 6 | 長方形鋁板與指針 | 6 | 電焊機 |

四、加工過程

(一) 車削中心軸

以車床車削中心軸並控制尺寸，我們使用鋁為材料，工件原尺寸為直徑10mm長180mm，車削完成尺寸為直徑8mm長度120mm中心軸（直立的3支），如圖（七）所示為中心軸的車製情形，車削完成後的3支軸如圖（八）所示。



圖（七）



圖（八）

(二) 銑削正齒輪

為了讓指南車攜帶方便，不會太笨重，我們把尺寸盡量控制到最小，原本正齒輪(共4顆)含鼓徑高度約為28mm，如圖（九）所示，我們用CNC銑床以面銑刀一次0.5mm把鼓徑全部銑掉，過程如圖（十）所示，完成後正齒輪高度約為15mm，如圖（十一）所示。



圖（九）



圖（十）



圖（十一）

(三) 銑削斜齒輪

原本斜齒輪(共8顆)含鼓徑高度約為18.5mm，有4顆斜齒輪需要配合軸的尺寸，所以我們用傳統銑床以一次銑0.2mm把鼓徑銑掉2.8mm，成品如圖(十二)所示。還有2顆斜齒輪也要配合軸的尺寸，以同樣的方式把鼓徑銑掉8.2mm，成品如圖(十三)所示。斜齒輪銑削過程如圖(十四)所示。



圖(十二)

圖(十三)

圖(十四)

(四) 車削車身底部心軸

由於車輪與2顆斜齒輪要同步旋轉，所以我們將底部的心軸與要配合的斜齒輪與車輪銲接在一起，軸、齒輪與車輪以鬆配合方式組裝，在配合前要先以準確的控制孔與軸的尺寸公差，才能以孔大軸小的方式進行配合，並保證齒輪與軸不會產生太大間隙。我們把心軸兩側車削為直徑8mm長為21mm，由於這支心軸要支撐全部重量，所以我們將軸中間車削為直徑15mm，總長度為120mm，車削過程如圖(十六)所示。為了要與另外3個軸配合，我們先用中心衝在要鑽的孔上定位，再用直徑8mm的鑽頭依序鑽孔，完成品如圖(十七)。



圖(十六)



圖(十六)

(五) 車削車身中間的心軸

指南車中間的中心軸兩側也要配合斜齒輪，所以我們把兩側車削為直徑8mm，中心軸中間通孔配合直徑8mm的軸，我們用中心衝在要鑽的孔上定位，用鑽床鑽直徑8mm的孔，鑽孔過程如圖（十八）所示，完成後如圖（十九）所示。



圖（十八）



圖（十九）

(六) 製作車輪

車輪我們先用直徑 65mm 長 30mm 的工件，利用帶鋸機把工件鋸到長度剩 7mm，鋸切過程如圖（二十）所示。由於車輪與兩顆斜齒輪要同步旋轉，所以我們用電弧銲接的方式使斜齒輪和車輪連接在一起，「利用低電壓高電流之電銲機，藉助電極與工件間所產生之電弧加熱，使銲接工件及電極熔合為一體」。**【註五】**銲接過程如圖（二十一）所示，銲接完成後如圖（二十二）所示。



圖（二十）



圖（二十一）



圖（二十二）

(七) 零件組裝

將完成的各個零件依序組裝，組裝完成後將要固定的地方用 C 型扣環固定住，使心軸不會脫落，指南車完成品如圖（二十三）。



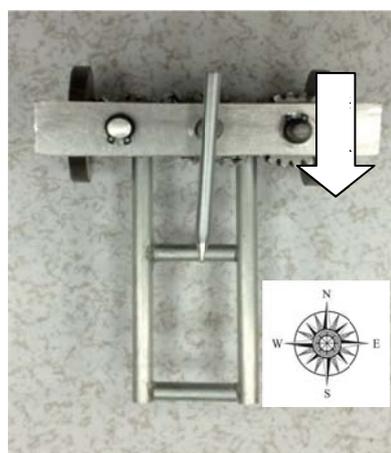
圖（二十三）



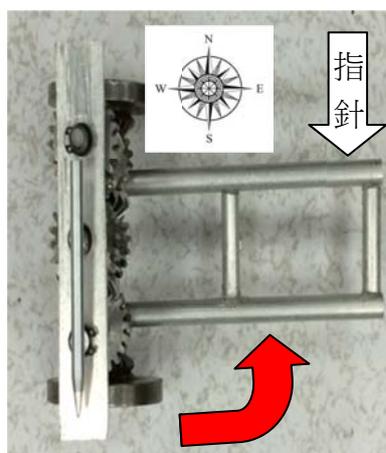
圖（二十四）

五、研究測試

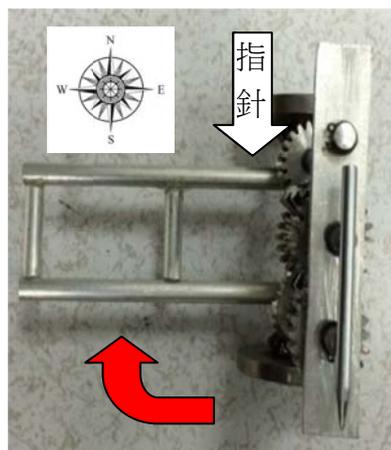
指南車組裝完成之後將指南車放置在桌上，利用電子指南針將方向定位於南方並進行拖行測試，將指南車向箭頭方向拖行指針朝向南方不會轉動（白色箭頭）如圖（二十五），指南車原地逆時針轉 90°（紅色箭頭），指針跟著順時針轉 90°方位不變（白色箭頭），如圖（二十六），指南車原地順時針轉 90°（紅色箭頭），會發現指針跟著逆時針轉 90°方位不變（白色箭頭）如圖（二十七），則將車身向後旋轉 180°，指針依然指向原來方向不動（白色箭頭）如圖（二十八）。



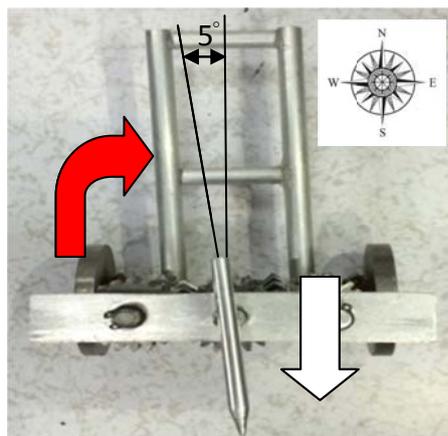
圖（二十五）指南車朝南直行



圖（二十六）指南車轉向東方



圖（二十七）指南車轉向西方



圖（二十八）指南車轉向北

六、研究討論

成品組裝完成之後我們經過了很多次的測驗發現還有很多地方需要再修改，像是車輪的表面是光滑的，所以在與平面接觸時會產生滑動現象導致齒輪無法準確轉動，原地旋轉半圈後指針指向約有 5° 的累積誤差。此外，本研究使用到的齒輪較多，所以成品的重量較重，無法輕易的隨身攜帶在身上，造成使用上的不便。

參●結論

一、研究結果

本研究經過測試後，我們發現製作出的指南車的能夠利用斜齒輪周轉輪系達到指針永遠指向同一方向的效果。但因為沒有設計能讓指南車轉彎的機構，以致於指南車僅能夠直線前進、後退與原地旋轉，才能達到指向效果；另外，本研究發現指南車旋轉半圈之後可能因為輪子的摩擦力不足，導致指南車輪打滑，使指向有些許的偏差產生。

二、未來研究方向或建議

未來本研究將在指南車上加裝能夠任意轉向的機構，使指南車任意行走也能達到指南的效果，不局限於只能原地旋轉。另外，由於車輪的摩擦力不足，所以將於車輪上車削溝槽，並加裝橡皮套或是在車輪表面壓花增加摩擦力，使指南車指向能夠更加精確。

三、實驗心得

這次的專題報告製作指南車的過程中在加工上有一定的困難度，加工過程中遭遇到很多困難是我們以前沒遇到過的，但是經過和組員的討論及老師的幫助過後，讓我們能夠克服困難，能製作出我們想要設計出的成品，雖然指南車還沒達到最完美的程度，但是相信經過修改之後能變得更好，能夠達到最完美的成效。

肆●引註資料

註一、維基百科。**指南車原理**。取自：2015年2月24日。

<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%8C%87%E5%8D%97%E8%BD%A6>

註二、玩具物理學。**指南車**。取自：2015年2月24日。

<http://www.hjjh.kh.edu.tw/toyphysics/12/index.htm>

註三、柯雲龍、潘建安（2012）。**機件原理II**。新北市：台科大。

註四、蔡俊毅、賴育材、李德福（2013）。**機械製造 I**。新北市：台科大。

註五、王千億、王俊傑（2010）。**機械製造 I**。新北市：全華。