

「磁場不規則變化」對砲兵磁針定向之影響與因應之道

壹、作者：耿國慶 備役中校

貳、單位：陸軍飛彈砲兵學校目標組

參、審查委員：

謝敏華上校

黃君武上校

徐坤松中校

張鐘岳上校

肆、審查紀錄：

收件：100 年 01 月 14 日

初審：100 年 01 月 18 日

複審：100 年 01 月 21 日

綜審：100 年 02 月 21 日

伍、內容提要：

- 一、砲兵定向為影響測地與射擊精度關鍵因素之一，目前區分為磁針、陀螺儀測定與天體觀測等三種方式，其中磁針定向器材因價格低且作業簡單，使用最普遍。惟近期諸多科學研究報告警示，地球磁場正在持續減弱，甚至將出現零磁場，未來地球或許還會發生磁極反轉之不規則現象，亦將導致指北針不再指向北方？此推論顛覆了吾人習以為常的地球磁場觀念，且對未來磁針定向之精度與可靠性產生危機意識。
- 二、運用磁針定向年代久遠，早在黃帝時代已有記錄，18 世紀後始用於砲兵定向，惟影響磁針定向精度之因素甚多，實非最佳之定向方式。尤當地球磁場不規則變化發生時，將導致地磁北極不穩定、磁偏常數變化增大、磁針無法歸北與定向，以及地圖偏角圖數值錯誤等問題，致嚴重影響定向能力與精度。
- 三、國軍砲兵部隊目前磁針定向之器材比例甚高，為確保砲兵定向能力與精度，宜採不受地球磁場影響之「陀螺儀」定向為主，積極研發「天文定向模組」、改良磁針性能與落實磁偏校正作業，並將「陀螺儀」、「天文定向模組」與現有磁針定向器材混合編組、複式運用，俾確保砲兵戰力。

「磁場不規則變化」對砲兵磁針 定向之影響與因應之道

作者：耿國慶雇員教官

提要

- 一、砲兵定向為影響測地與射擊精度關鍵因素之一，目前區分為磁針、陀螺儀測定與天體觀測等三種方式，其中磁針定向器材因價格低且作業簡單，使用最普遍。惟近期諸多科學研究報告警示，地球磁場正在持續減弱，甚至將出現零磁場，未來地球或許還會發生磁極反轉之不規則現象，亦將導致指北針不再指向北方？此推論顛覆了吾人習以為常的地球磁場觀念，且對未來磁針定向之精度與可靠性產生危機意識。
- 二、運用磁針定向年代久遠，早在黃帝時代已有記錄，18 世紀後始用於砲兵定向，惟影響磁針定向精度之因素甚多，實非最佳之定向方式。尤當地球磁場不規則變化發生時，將導致地磁北極不穩定、磁偏常數變化增大、磁針無法歸北與定向，以及地圖偏角圖數值錯誤等問題，致嚴重影響定向能力與精度。
- 三、國軍砲兵部隊目前磁針定向之器材比例甚高，為確保砲兵定向能力與精度，宜採不受地球磁場影響之「陀螺儀」定向為主，積極研發「天文定向模組」、改良磁針性能與落實磁偏校正作業，並將「陀螺儀」、「天文定向模組」與現有磁針定向器材混合編組、複式運用，俾確保砲兵戰力。

關鍵字：磁極反轉、磁針定向、天文定向、陀螺儀

壹、前言

砲兵定向為影響測地與射擊精度關鍵因素之一，目前砲兵常用之定向方式區分為磁針、陀螺儀（定位定向系統）測定與天體觀測等三種方式。其中磁針測定即使精度最差，然基於價格低與作業簡單等考量，仍為各國砲兵所普遍使用（砲兵各類型定向裝備性能比較，如表一）。惟近期諸多科學研究報告警示，地球磁場正在持續減弱，甚至將出現零磁場，未來地球或許還會發生「磁極反轉」（Earth's Magnetic Field to Reverse）之不規則現象，亦將導致指北針不再指向北方？此一現象不僅前所未見，且將造成極為嚴重之影響，國軍砲兵除須正視此一影響外，亦須採取有效之因應措施，以確保戰力。

表一

砲兵各類型定向方式（裝備）性能比較表			
區分	磁針	陀螺儀	天體觀測
裝備組成	管式指北針、測角儀、三腳架	陀螺儀、輕型經緯儀、電源供應器、三腳架	經緯儀（方向盤）、三腳架
精度	$>\pm 20$ 密位 （視環境電磁影響程度而定）	$<\pm 0.3$ 密位	$<\pm 0.15$ 密位
價格	低	極高	極低
定向時間	2-3 分鐘 （方向盤）	3.5 分鐘	5 分鐘
與其他裝備之相容性	簡單	極複雜	無
電力需求	不需要	特殊電源	無
維修方式	簡單	複雜	無
限制	1. 易受電磁干擾 2. 磁場缺乏穩定性	作業範圍限於南北緯 75 度之間	受天候限制
附記	定位定向系統（ULISS-30）屬陀螺儀定向。		

資料來源：作者自製

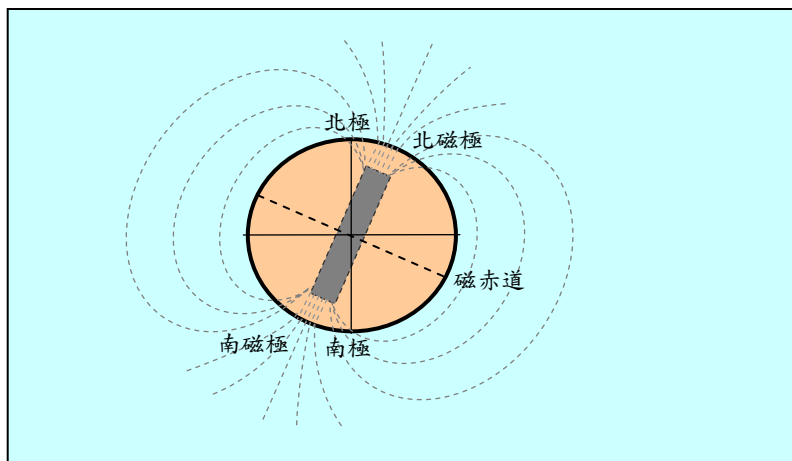
貳、地球磁場內涵

通常在使用者的認知裡，磁針藉由地球磁場指向磁北，極為理所當然，因此甚少探討地球磁場的知識。惟為研究當前地球磁場特殊之不規則變化，須先瞭解地球磁場內涵。

地球為一個各圈層差異旋轉的分層球體，即地殼、上地幔、下地幔、外核與內核旋轉之角速度不同，其中內核快速旋轉，由固態鐵所組成，外核則為黏滯性很低的導電液態鐵，在差異旋轉與宇宙中各種天體的作用力下，在外核尤其是內、外核交界處形成快速旋轉之環狀電流，從而生成地球磁場。惟受宇宙中天體磁場直接影響，加上地球內部流體移動之不規則性，致地磁南北極與地軸南北極並不一致，且隨時皆有微小變化。

一、 地球磁場：

「地球磁場」(The Earth's Magnetic Field) 就像是一個貫穿地球中心與南北極成一角度之大棒狀磁鐵所形成之磁場（如圖一），北磁極軸位於加拿大群島距地球轉軸 1,200 英哩處。俄羅斯科學家宣稱，事實上磁子午線由加拿大北方巴查斯特島 (Bathurst Is) 地下約 2,300 英哩，穿過北冰洋，幾乎達到西伯利亞之泰美爾半島 (Taimyr Peninsula)。在地球上任何地點，指北針會振盪而指向北磁極。惟當磁暴中，其振盪指向將不穩定¹。其它研究表明，地球磁場正處於一個反轉過程中，過去 200 年地球磁場之北磁極已經移動超過 1,100 公里，且地球磁場之強度亦正以每 100 年 5% 之速度減弱。



圖一：地球磁場（磁場軸與地球自轉軸成一角度）

資料來源：厲保羅譯著，《天文學》（台南：復漢出版社，民國 76 年 1 月再刷），頁 31。

¹ 厲保羅譯著，《天文學》（台南：復漢出版社，民國 76 年 1 月再刷），頁 31。

二、地磁單位與南北極：

（一）地磁單位：

一磁極以單位力（達因，dyne）排斥等量極至一單位距離（公分），此磁極稱為「單位極」，此磁極產生之磁場強度稱之為「單位磁場」，以「高斯」（gauss，以發明者命名）為單位。惟磁力測量需量測物體之微小變化，故一般均以「伽瑪」（gamma， γ ）為量度單位， $1\gamma=10^{-5}$ 高斯。

（二）地磁南北極：

地球磁場隨緯度而變化。在低緯度及赤道地區約為 25,000 γ ，且磁傾角極小；隨著緯度增加，磁場強度減少。在高緯度及南北極附近，磁力線垂直，磁場強度約為 75,000 γ 。在南緯 70 度、東經 150 度及北緯 70 度、西經 95 度附近，磁傾角分別接近 ± 90 度，此為目前地磁南北極。因磁針具備「同級相斥，異級相吸」之特性，故磁針指向地磁北極者為磁針南極，指向地磁南極者則為磁針北極²。

三、地磁變化：

「國際地磁與氣流物理研究學會」（International of Geomagnetism and Agronomy, IOGA）自 1955 年即對地球磁場展開有系統之調查工作，因地球構造至今仍未能完全為世人所瞭解，故 IOGA 研究所得之地球磁場暫時命名為「國際地磁參考場」（International Geomagnetic Reference Field, IGRF），由 IGRF 蒐集各國對地球磁場之觀測資料，經過「位能場」（Potential Field）分析，可將地球磁場來源歸納為地球內部、地球外部與非場性。而地磁變化週期亦因此三種所引起，通常其變化型態可區分為世紀變、年變、日變等規則性之變化與不規則性之變化（如圖二）。

（一）規則性變化：

1. 世紀變（Secular variation）：

地球內部之帶電流體因溫度不同而產生對流，此種變化係長年間漸次之變化，其週期可能達數百年之久，振幅約為每年數十伽瑪。世紀變之性質如鐘擺運動，即磁子午線逐漸偏至一方向之極限後，即行折返，偏向另一方向，如此週而復始，世紀變之週期因地點不同而有所差異。由數百

² 吳經民，〈磁力測量簡介〉《測量技術通報》（台北），第 92 期，聯勤測量署、民國 79 年 6 月，頁 24。

年來磁偏角與磁傾角記錄觀察之，推斷世紀變之週期約為 500 年，世紀變為各種變化中影響最鉅者³。

2. 年變 (Annual variation)：

以一年為週期之變化，此種變化以夏季為大，約為冬季之兩倍。每年變化約為 0.15 至 0.6 密位。

3. 日變 (Diurnal variation)：

地球外部之電離層受日光能照射而膨脹收縮，故日間與夜間磁場強度不同。此種變化週期約為 1 日，平均幅度約為 50 伽瑪至 100 伽瑪。通常因地點、時間不同而異，就地點而言，高緯度處變化較大；就時間而言，夏季較大於冬季。

(二) 不規則性變化：

1. 磁暴 (Magnetic storm)：

由地表磁性物質與空間電流所引起之不規則變化，稱為「磁暴」，最常發生於「太陽黑子」(Sunspots，又稱為日斑)增加、地震、火山爆發與「北極光」(Aurora polaris)出現期間。磁暴發生時，水平磁場變化最大，約為一般日變化之數十倍，垂直磁場變化之幅度則較小。通常磁暴之磁場強度從數伽瑪至 1,000 伽瑪，以往曾有一刻鐘劇烈變化 90 密位，惟此種情況甚少發生，通常變化皆小於 18 密位⁴。

2. 地磁減弱、零磁場與磁極反轉：

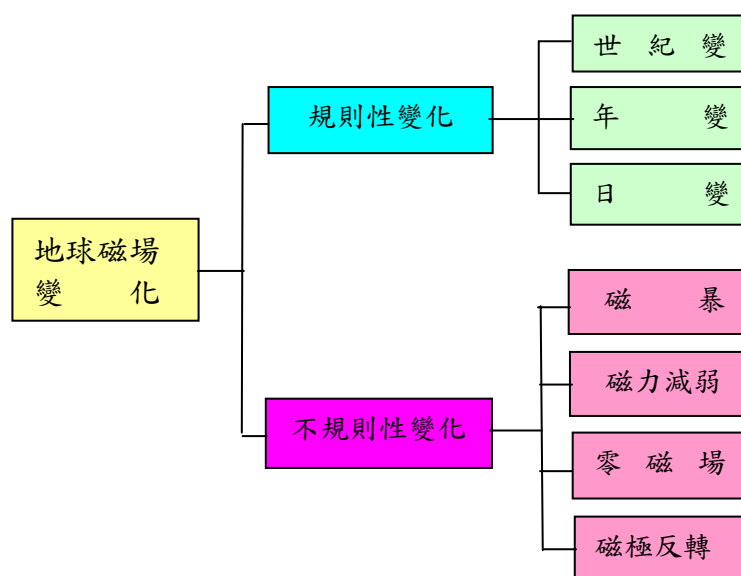
1837 年在高斯 (Carl Friedrich Gauss) 發明測量地磁方法之前，並無任何相關測量數據資料可查，惟基於航海人員利用太陽或恆星來判斷羅盤之準確度，並將其嚴謹的紀錄於航海日誌中。研究人員利用航海日誌，即可判斷並蒐集更早之地磁強度資料。另外，考古學家發現陶器或磚塊皆含有磁性礦物，可保存燒製而成當時之地磁方向，亦可提供科學家有關地磁方向與強度之概念。

地球物理學家 David Gubbins 領導的英國 University of Leeds 團隊將此兩種證據所提供之資料整合，根據所蒐集之數百種組數據顯示，自 1590 至 1840 之間，地球磁場之強度相當穩定，幾乎無改變。爾後根據近一個半世紀之地磁量測資料，地球磁場正在持續減弱 (1840 年迄今減少 10%)，如果磁場強度持續下降，甚至將出現「零磁場」，未來或許還會發生「磁極反轉」(磁場衰減為磁極反轉過程中的一種現

³ 江儀助，《測量學》，(台北市：徐氏基金會出版部、民國 62 年)，頁 207。

⁴ 江儀助，《測量學》，(台北市：徐氏基金會出版部、民國 62 年)，頁 207。

象），不僅將使指北針不再指向北方，更嚴重的是將會使地球失去對太陽風暴之保護⁵。



圖二：地球磁場變化區分示意

資料來源：作者自製

叁、磁針定向緣起

磁針定向在我國歷史中出現甚早，且佔有重要地位，因此指南針與印刷術、火藥等被稱為中國人的三大發明。磁針定向基於作業簡單與價格低之優點，即使歷經數千年後，仍為世人最常用之定向方法。磁針定向緣起如下：

一、黃帝時期：

西元前 26 世紀，黃帝大戰蚩尤於逐鹿時，即已利用磁針指向南北兩磁極之特性，發明了指南車。

二、戰國時期：

戰國時期開始利用「司南」（如圖三）作為指南之工具，據韓非（約西元前 280 至前 233 年）所著韓非子，有度中記載：先王立司南以端朝夕。鬼谷子中記載：鄭人之取玉也，載司南之車，為其不惑也。說明早於西元前 3 世紀即發明了司南，戰國時期已普遍使用。

三、東漢、三國時期：

東漢時期王充（西元 27 至 79 年）在論衡中肯定的說：司南之杓，投之於地，其柢指南。北宋沈括（西元 1031 至 1095

⁵ Science Now：A Sailor's Magnetism Fall in Earth's Magnetic Field is Erratic。

年)在夢西筆談中有：「方家以磁石磨成針，則能指南；然常微偏東，不全南也」之記載，說明他是世界上最早發現磁偏角之科學家。東漢時張衡（西元 78 至 139 年）最早發明用機械指示方向之指南車，由於它的製造方法失傳，三國時，馬鈞又重新製造出指南車（如圖四）⁶。

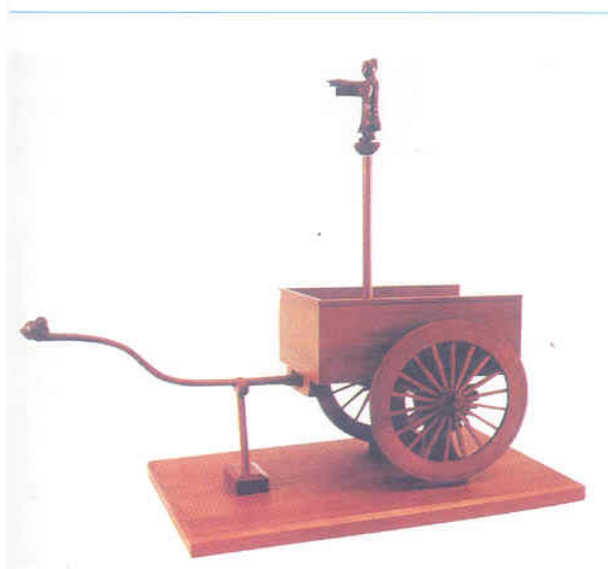
四、近代：

18 世紀後，測量、座標系統與地圖繪製等，皆以北方為方位基準，因此磁針改採指北為準。爾後以磁針定向的軍用器材相繼問世（如方向盤、指北針等），且廣泛使用在判定與指示方位、導航，以及砲兵測地、觀測、射向賦予等作業。



圖三：戰國時代所使用之「司南」

資料來源：《中國軍事百科全書—軍事學術Ⅱ》，軍事科學出版社、1997 年、北京，頁 804。



圖四：三國時代馬鈞所製造之「指南車」

資料來源：《中國軍事百科全書—軍事學術Ⅱ》（北京：軍事科學出版社，1997 年），頁 804。

⁶ 《中國軍事百科全書—軍事學術Ⅱ》（北京：軍事科學出版社，1997 年），頁 804。

肆、磁場不規則變化對磁針定向之影響

國軍砲兵現行使用之 M2 方向盤、CS/PAS-2 雷觀機與 TS75A 指北針等器材，皆以磁針定向為主，須經過「磁偏校正」(Declination) 利用「磁偏常數」將磁方位角修正為「方格方位角」，方可符合砲兵使用需求。因影響磁針定向精度之因素甚多，致並非最佳之定向方法。尤當地球磁場變化極不穩定，強度正持續下降，甚至可能出現零磁場或發生磁極反轉之不規則變化時，將嚴重影響磁針定向器材之精度與可行性。其影響分述如下：

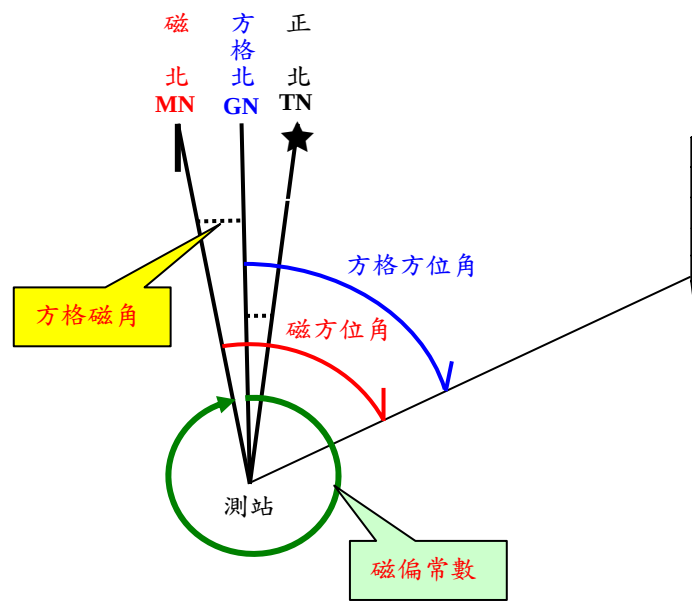
一、地磁北極不穩定：

地磁南北極原本行緩慢之規律性變化，磁針無論在地球任何地點，皆可經振盪而指向北磁極。當地球磁場變化不穩定且強度持續下降等不規則變化出現時，磁針易震盪減緩、頻率降低，亦可能出現振盪數次即驟然停止或劇烈振盪良久不停等兩種不正常現象，其原因為北磁極對磁針之吸引力減弱後，磁針將產生迷向狀態。如磁針性能不佳（如磁針生鏽、磁力消退、均重不當、樞軸磨損）時，其情況更為嚴重，實難獲得良好之定向結果。

二、磁偏常數變化增大：

「磁偏常數」全名為「磁針方格偏差常數」(Declination constant)，除包含「方格磁角」外，亦與器材「磁針性能」關係密切（如圖五）。以磁針定向之器材須利用符合精度要求且與影響磁針之物體保持安全距離（如表二）之「磁偏校正站」，經過四個方位基準點或同一個方位基準點行兩次校正，獲得平均磁偏常數，方可藉由北磁極，測得符合軍圖與砲兵需求之「方格方位角」。

當地球磁場變化不穩定且強度持續下降等不規則變化出現時，方格磁角變化亦屬不規則，如未依定期與不定期校正規定實施，原磁偏常數短時間內即可能失效，致方格方位角不精確，影響測地精度與射擊效果。



圖五：磁北、方格北與磁偏常數示意

資料來源：作者自製

表二

M2 方向盤與影響磁針之物體保持之安全距離對照表		
項次	影響磁針之物體	安全距離
1	電力線	150 公尺
2	電器設備	150 公尺
3	鐵道	75 公尺
4	重型與中型火砲、戰車	75 公尺
5	輕型火砲、載重車	50 公尺
6	電話線、鐵絲網	30 公尺
7	鋼盔、步槍等	10 公尺

資料來源：FIELD ARTILLERY SURVEY (FM6-2) ,DEPARTMENT OF THE ARMY,9/1978,p7-9。

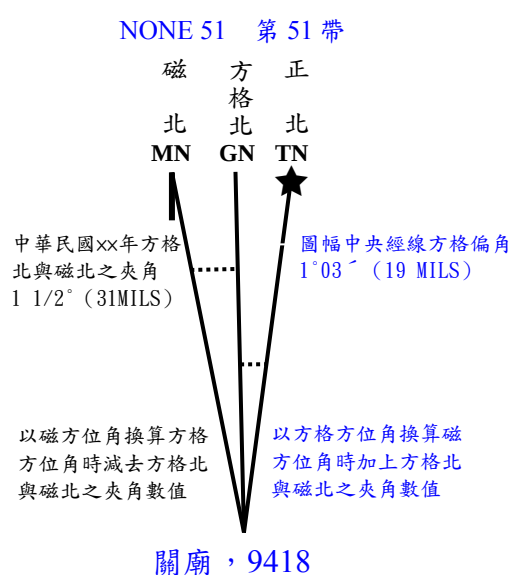
三、無法歸北與定向：

磁針在地球磁場穩定狀態下，皆可經由短暫振盪而指向北磁極。當磁場強度持續下降，甚至出現「零磁場」或發生「磁極反轉」不規則變化時，「零磁場」將導致磁針失去北磁極之吸引力，而無法歸北；「磁極反轉」則使磁針僅能「歸南」，而無法指北，方位角將相差 3200 密位。基於此種狀況下磁針器材將完全失去定向能力，砲兵如依賴磁針定向，測地與射擊、觀測等作業勢將無法遂行。

四、 偏角圖數值錯誤：

每幅軍用地形圖中央下方，均詳細標繪偏角圖（如圖六），其中正（真）北與圖幅中央方格線之夾角謂之製圖角或「收斂角」（Grid convergence），為計算所得之固定值。惟方格北與磁北之夾角（方格磁角），因磁偏變化並非始終保持同一方向，故每次修訂地圖時，應重新標示正確之磁偏數值⁷。惟地球磁場發生不規則變化時，方格磁角變化既迅速且劇烈，軍圖之偏角圖與實際數值將差異甚大。

如某砲兵部隊此時運動超過 40 公里，無法利用該地區設置之磁偏校正站獲得方向盤、雷觀機之正確之磁偏常數，須採「換算」（原地區磁偏常數＋原地區方格磁角－新地區方格磁角）方式因應，惟因為使用軍圖偏角圖中的錯誤方格磁角數值，致造成較大之方位誤差。



圖六：軍用地形圖方位偏角圖示意

資料來源：作者自製

⁷吳經民，〈磁力測量簡介〉《測量技術通報》（台北），第 92 期，聯勤測量署、民國 79 年 6 月，頁 28。

伍、因應之道

目前國軍砲兵部隊採磁針定向之器材比例甚高，惟磁針定向有其不易克服之先天缺點，尤當地球磁場不規則變化之際，其定向精度不僅無法滿足砲兵測地、射向賦予與觀測需求，甚至有喪失指北能力之隱憂。特參考先進國家砲兵作法並針對現況，研擬可行與有效之因應之道。

一、改採陀螺儀定向：

「陀螺儀」(Gyroscope)即正(真)北定向儀。「正(真)北」(True north)為「北天極」(Celestial North Pole)所在之位置(如圖七)，其位置亙古不變，並非像磁北般變化不定，軍用地形圖與砲兵使用之方格北即由正(真)北經「方格偏差修正」(Convergence)而來。目前國軍砲兵編制之「定位定向系統」(ULISS-30)雖屬陀螺儀裝備，惟其數量不足，無法滿足砲兵定向需求。如砲兵可全部採陀螺儀定向，則地球磁場各種變化所造成之影響，即可迎刃而解。

(一) 陀螺儀作業原理：

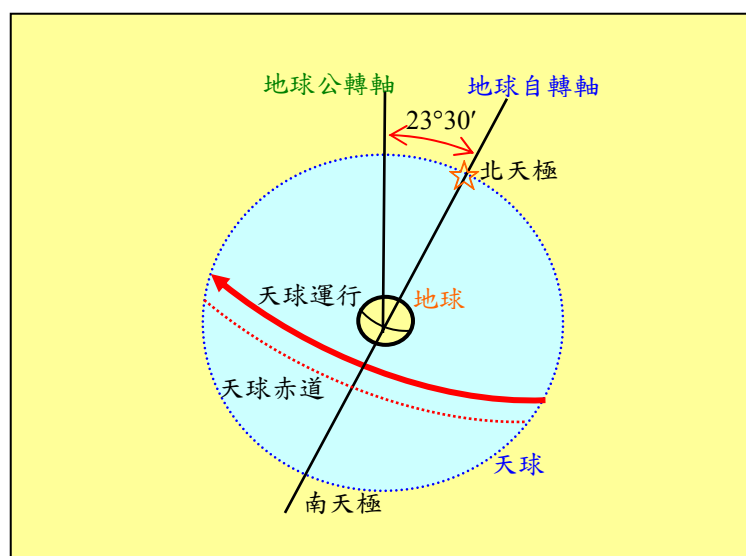
「陀螺儀」為測定「正(真)北」方位角之器材，可於3分鐘內提供0.3密位(公算偏差，PE)精度之定向資料。通常由陀螺儀本體(如圖八)、輕型經緯儀、三腳架與電源供應器等組成。作業原理為陀螺儀本體軸保持水平且陀螺高速旋轉時，由於受地球自轉影響，陀螺旋轉軸向著測站子午面兩側沿橢圓軌道進動。通過對進動之觀測，可確定正(真)北方向，再經由架在陀螺儀上的經緯儀(方向盤)觀測地面目標，即可確定地面目標之正(真)北方位角⁸。爾後透過方格偏差修正，即可將正(真)北方位角，轉換為方格方位角。

(二) 運用實例與效益：

1981年，美軍砲兵納編「定位定向系統」(PADS)作為測地主要裝備後，仍考量傳統測地定向之重要性，於1986年起汰除M2A2方向盤，改採「輕型方位陀螺儀」(Survey instrument, azimuth gyro, lightweight, SIGAL)(如圖九)；並於1995年決定採購陀螺儀為基礎之「火砲射向賦予與定位系統」(Gun Laying and Positioning System, GLPS)717套(如圖十)，配賦至牽引砲或非

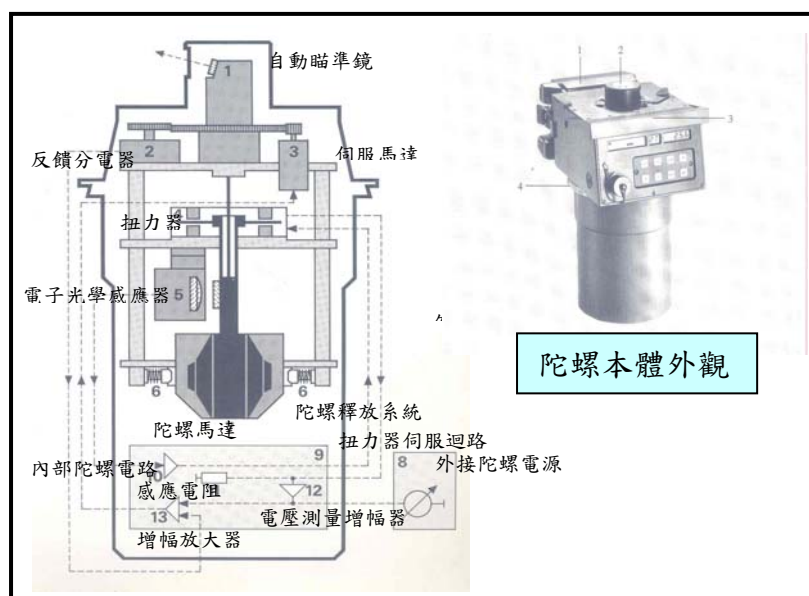
⁸ 《中國軍事百科全書—軍事地理測繪氣象》(北京：軍事科學出版社，1997年)，頁543。

M109A6 式自走砲每個六門砲之砲兵連或四門砲之砲兵排乙套⁹，俾有效解決戰場上日益升高之定位、定向問題。陀螺儀不僅定向精度極高，且不受地形、天候與外界磁場影響，因此並無磁針定向之各項缺點，當地磁減弱、零磁場，甚至磁極反轉之際，亦不受影響，誠宜作為砲兵營傳統測地、射向賦予之主要定向裝備（方向盤磁針定向為輔），俾確保方位之精度與統一。



圖七：北天極位置示意

資料來源：Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft), United States Marine Corps, 2000, chapter9, Figure 9-16。



圖八：瑞士 WILD 公司 SKK3 方位陀螺儀本體構造

資料來源：WILD SKK3 AZIMUTH GYROSCOPE, Wild Leitz Group。

⁹ Mark Hewish and Rupert Pangelley, Achieving battlefield awareness, The benefits of accurate land navigation and positioning, Janes International Defense Review, 5/1997, p46-47。



圖九：美軍砲兵測地使用之「輕型方位陀螺儀」(SIGAL)

資料來源：The LSI-astronics automatic lightweight inertial northfinding Equipment (ALINE)，Lear Siegler,INC.Astronics Division。



圖十：美軍砲兵連（排）編配之「火砲射向賦予與定位系統」(GLPS)

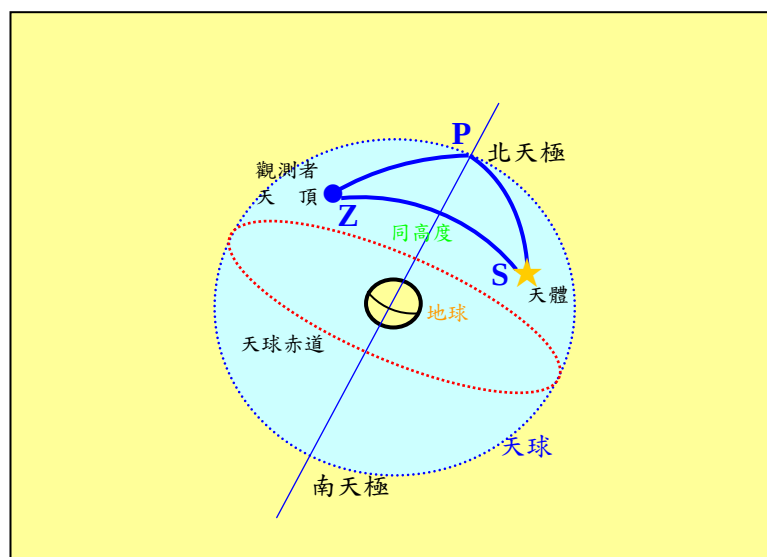
資料來源：Gun Laying and Positioning System (GLPS) .Leica Geosystems AG Defense & Special Projects.9/2002.

二、 研發天文定向模組：

「天體觀測」(Astronomic observation) 為另一種測定真(正)北方位角法。通常區分為「太陽高度法」與「北極星任意時角法」，係透過解「天文三角形」(如圖十一)獲得天體正(真)北方位角，為砲兵常用之定向方法之一，其精度甚佳且不受地球磁場變化影響，惟作業條件極為嚴苛。除易受天候與光害限制(如無法通視天體或正午前後兩小時太陽角度過高且水平方向移動較高度劇烈時，無法作業)、計算繁瑣外，且須經「方格偏差修正」將正北修正為方格北，致使用率較低。

1990 年，以色列憑藉先進之軍事工程技術與特殊作戰需求，研發革命性的「天文定向模組」(ANFM)，除改進天體觀測複雜且冗長之作業方式外，且價格低廉，可為砲兵定向增添另一項新的選擇(如圖十二)。天文定向模組不僅限於觀測太陽或北極星，原內建行星星曆基本資料 61 筆，現已增至 100 筆¹⁰。

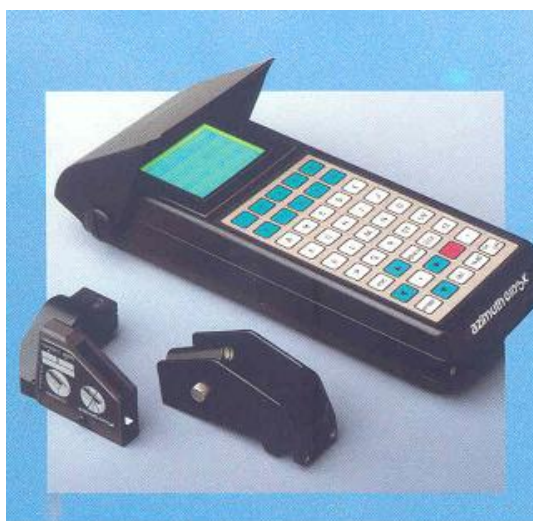
國軍砲兵為求避免磁針受地球磁場變化影響、簡化天體觀測作業與提升定向精度等考量，可參考以色列研發簡單且價格低廉之「天文定向模組」，俾確保多元化之定向能力。



圖十一：天頂 Z、天極 P、天體 S 所構成之天文三角形

資料來源：Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft)，United States Marine Corps，2000，chapter9，Figure 9-16。

¹⁰ 以色列 Azimuth 科技公司簡報，2006 年 5 月。



圖十二：以色列 AZIMUTH 公司研發之「天文定向模組」
(ANFM)

資料來源：NORS-61 AZIMUTH North Seeking Module，Azimuth Ltd 2/1990。

三、混合編組、複式運用：

將所有磁針定向裝備全數改為陀螺儀系統，為解決定向問題根本之道。惟其成本過高，且缺乏彈性，因此多數國家採陀螺儀、天體觀測（天文定向模組）與磁針混合編組、複式運用，俾發揮定向裝備之最高效益。

就以以色列為例：其國防軍砲兵於 1994 年之前，採混合編組與運用方式，將 Wild GG1 或 GG3 陀螺經緯儀（如圖十三）作為砲兵營定向裝備，砲兵連則使用 Wild G10 或 G11 方向盤之磁針定向，俾提供符合精度要求之方位統一。

1994 年之後，以色列「天文定向模組」（ANFM）技術發展成熟，其基本型 NORS-61 已整合在國防軍砲兵連以磁針為基礎之 Wild G10 或 G11 方向盤上，並搭配砲兵營 Wild GG1 或 GG3 陀螺經緯儀複式支援，在經過包括實戰等多項測試後，證實 NORS-61 可提供符合精度要求之統一方格方位，並獲得改進射擊精度之優異成效。當遭遇不良天候狀況時，即使 NORS-61 無法使用，甚至方向盤磁針無法達成預期定向精度時，仍可由營級 Wild GG1（GG3）陀螺經緯儀適切支援¹¹。

¹¹ Isaac Tzadik，Alignment of Artillery Units，Offprint from Issue MILITARY TECHNOLOGY 5/1994，p3。



圖十三：以色列國防軍砲兵營配賦之 Wild GG1 陀螺經緯儀

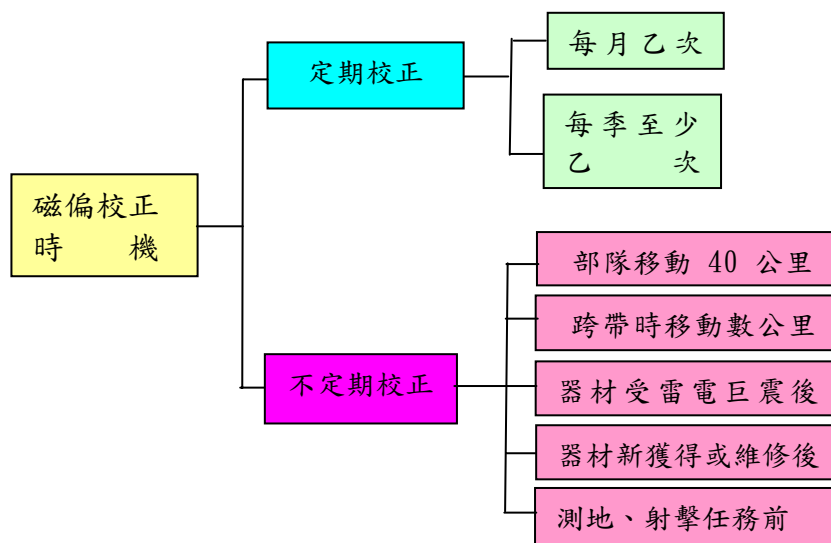
資料來源：WILD GG1 Automatic Gyroscope System，Wild Heerbrugg Ltd。

四、經常實施磁偏校正：

依據 2005 年 5 月 12 日出版的「科學雜誌」（Science），美國瑪利蘭州、巴的摩爾 Johns Hopkins 大學的地球物理學家 Peter Olson 認為無須急著將「羅盤」（磁針）拋棄，有可能地球磁場不再持續下降，只是強度的震盪擾動。如果真是如此，目前磁場減弱現象，並不致即刻造成磁極反轉，或許目前僅在磁場震盪之下端而已。

基於此種推論，現階段國軍砲兵使用磁針定向之裝備（方向盤、雷觀機與指北針等），並無檢討汰除之迫切性，惟須先行建立符合規定之磁偏校正站，並貫徹定期與不定期實施磁偏校正之要求¹²（如圖十四）。基於校正時機係依據地球磁場規則性、不規則性變化與「方格磁角」、磁針性能變化所設計，惟目前不規則性變化目前已增加「磁性減弱」、「零磁場」與「磁極反轉」等三種特殊變數，且地磁減弱為持續漸進的行為，致磁偏校正務須經常（定期）實施，其頻率不得小於每月乙次，且須於每次校正時，逐次紀錄磁偏常數，藉以觀察地磁變化情況，俾確保定向能力與精度。

¹² 《陸軍野戰砲兵測地訓練教範（上冊）第二版》（桃園：國防部陸軍司令部印頒，民國 99 年 11 月），頁 2-55、2-56。



圖十四：磁偏校正時機示意

資料來源：作者自製

五、改良磁針型式與性能：

磁針概分為管式、盤式、數位式等型式，其中以管式磁針最常使用（如 M2 方向盤、CS/PAS2 雷觀機），惟其精度較差；數位式指北針則可在磁性空間中，藉增大「互除法」作用，消除影響磁性之因素，故適合安裝裝甲車內使用。於 1997 年已經過戰場測試，計畫取代 M2 指北針¹³。

目前地球磁場變化極不穩定，尤其在當前磁場強度持續下降之際，致原本使用管式磁針器材之定向精度，日漸無法滿足需求，可考慮更換傳統磁針為數位式磁針，增進定向效能。

六、定期校正地圖偏角資料：

目前國軍使用 93 年版之 1/25,000、1/50,000 軍用地形圖，圖資已逾 7 年之久。鑑於地球磁場不規則性變化問題，為符合使用者對「方格磁角」與「方格偏差修正」運用需求，宜請軍備局生產製造中心 401 廠依據磁力測量結果，適時修訂軍圖偏角圖數值。如無法及時修訂，可通報各部隊參考運用，俾及時掌握正確磁力變化與運用方格磁角數值。

¹³ Mark Hewish and Rupert Pengelley, Achieving battlefield awareness, The benefits of accurate land navigation and positioning, Jane's International Defense Review, 5/1997, pp43。

陸、結語

當 2004 年科學日誌 (Sciencedaily) 刊登「地球磁場即將反轉？」文章後，諸多地球物理學家已開始鄭重警告世人：「地球磁場正逐漸減弱中，下一次的磁極反轉或許已悄然開始，也許此種現象僅是短暫的不規律現象……」¹⁴。此報導雖屬科學研究推論，仍顛覆了吾人習以為常的地球磁場觀念，且開始對未來磁針定向之精度與可靠性產生危機意識。

國軍砲兵部隊目前磁針定向之器材比例甚高，為確保砲兵定向能力與精度，宜採不受地球磁場影響之「陀螺儀」定向為主，積極研發「天文定向模組」、改良磁針性能與落實磁偏校正作業，並將「陀螺儀」、「天文定向模組」與現有磁針定向器材混合編組、複式運用，俾確保砲兵戰力。

¹⁴ Sciencedaily : How Long Does It Take for Earth 's Mangnetic Field to Reverse 。