

石油工人學習參考

磁 法 勘 探

蔡 陞 健編著



石油工业出版社

內 容 提 要

这是一本給地球物理勘探技工和初級技術人員看的書。書里用比較淺近的原理講述了什么是磁、地磁和岩石的磁性，接着便用主要的篇幅介紹了磁力儀的作用原理、構造和使用，磁法勘探野外工作方法、資料的原理與解釋以及應用等。本書中沒有高深的理論和複雜的公式，文字也比較淺顯，講解具體，由淺入深，並符合我國現場地球物理勘探工作的實際情況，估計有高小以上至初中文化程度的讀者是能夠看懂的，可以作為他們的学习材料。

統一書號：T15037·389

石油工人学习叢書

磁 法 勘 探

蔡 陸 健編著

*

石油工業出版社出版（地址：北京六國飯店石油工業部內）

北京市書刊出版業營業許可證出字第083號

石油工業出版社印刷廠印刷

新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 印張1 $\frac{1}{2}$ * 30千字 * 印1—2,000冊

1958年7月北京第1版第1次印刷

定價(10)0.26元

U52
T186

序 言

磁法勘探是地球物理勘探方法中应用最早的一种。远在十七世紀时，就开始用簡單的磁性仪器——地質罗盤（罗盤的磁針支持在一个非常尖的尖端上，可以水平地和垂直地摆动）来寻找埋藏不深而磁性很强的鉄矿。但是由於当时罗盤的灵敏度很低，这个方法沒有得到广泛的应用。

直到本世紀初，由於科学技术的进步，研究出了高精度的磁法勘探仪器——磁力仪（或称“磁秤”），磁法勘探才被广泛的应用。不过当时也仅限于勘测磁性較大的鉄矿产地。

在石油工業中，应用磁法勘探来研究一个地区的地質情况，在苏联是从1926年开始的。在勘测过程中，証实了高精度的磁法勘探在解决石油地質問題上有很重要的作用。

我国广泛的应用磁法勘探，是在中华人民共和国成立以后才开始，而在石油工業中应用磁法勘探不过是近几年的事情。但是在这短短的几年中，磁法勘探已經显示出了它在解决含油区区域地質問題上的重要作用。磁法勘探和重力勘探的配合工作，提供了划分含油远景区的重要根据。我国目前进行石油勘探的各个区域，都已經进行了或正在进行着磁法勘探工作。

目 录

序 言

第一节 磁法勘探的簡單原理.....	1
一、磁場.....	1
磁体和磁極 磁極的相互作用 磁場和磁場强度	
二、岩石的磁性.....	4
物体的磁化 岩石的磁化率 岩石的剩余磁化	
三、地球的磁場.....	8
地球磁場要素 正常磁場和磁異常 地磁場的变化	
第二节 磁力仪的原理与应用.....	12
一、磁力仪的原理和構造.....	12
刀口式垂直磁力仪原理 刀口式垂直磁力仪的構造 扭絲式 磁力仪 水平磁力仪	
二、磁力仪在測量前应做的准备工作.....	19
磁力仪的技术檢查 測定仪器格值 溫度系数的測定	
三、磁力仪的野外觀測工作.....	22
磁力仪的操作方法 野外日变站的觀測	
第三节 磁法勘探的工作方法.....	25
一、准备工作.....	25
磁測工作的类型 磁測工作的設計	
二、野外工作.....	27
測点網的佈置 磁測数据的整理	
三、室內工作.....	32
室內資料整理 磁法結果的簡單解釋	
四、磁法勘探举例.....	42
和儲油構造有关的磁異常 和斷裂有关的磁異常 与上复磁 性沉积岩的厚度变化有关的磁異常	

第一节 磁法勘探的簡單原理

一、磁場

磁体和磁極 早在兩千多年以前，我們的祖先就已經知道有一種含鐵的矿石能够吸引鐵制的物体，这种矿石叫做**磁鉄矿**，这种吸引鐵制物体的特性就叫做**磁性**。具有磁性的物体称为**磁体**。磁鉄矿是一种天然磁体。

像天然磁体这样能長期保持磁性的磁体叫做**永磁体**，人造磁鉄就是永磁体的一种。人造磁鉄是用鋼或鋼的合金制成的。由於用途不同，人造磁鉄的形狀也不同，平常有**条形磁鉄**、**蹄形磁鉄**和**磁針**三种。

一个磁体的各处所表現的吸引鐵或鋼制物体的力量是不同的。如果我們把一塊磁体放到一盒鉄釘子或鉄屑中去，再拿出来就会看到，在靠近磁体兩端的地方吸得最多，中間就較少或者很少，这表示在这兩端的磁性最强，我們就叫这两点为**磁極**。

一个可以自由旋轉的磁針或是一个用綫悬挂起来的条形磁鉄，在它靜止下来的时候总是一端大約指南，另一端大約指北。我們把指南一端的磁極，叫做**南極**，通常用S来表示；指北的磁極叫做**北極**，用N来表示。

磁極的相互作用 現在我們来做一个簡單的实验：如果拿一个条形磁鉄，讓它的北極靠近一个可以自由旋轉的磁針的北極，就可以看出这两个北極互相排斥；如果拿磁鉄的北

極靠近磁針的南極，或者拿磁鐵的南極靠近磁針的北極，就可以看到南極和北極互相吸引。因此我們可以得出一條規律，就是同名的磁極互相排斥，異名的磁極互相吸引。

磁極之間的作用，除了在性質上有互相排斥和互相吸引的不同外，它們之間作用力的大小也是不同的。為了要研究磁極間作用力的大小，就必須要了解磁極強度這個概念。兩個磁極如果它們對第三個磁極在距離相等時作用力不同，那我們就說作用力大的磁極的磁極強度比作用力小的磁極的磁極強度大；如果它們對第三個磁極的作用力相同，那我們就說它們的磁極強度相等。

18世紀末葉的法國物理學家庫倫，仔細地研究了磁極間相互作用的数量關係後，得出了一條關於磁極間相互作用的定律，就是兩磁極間的吸引力或排斥力和它們的磁極強度的乘積成正比，和它們之間距離的平方成反比。這條定律我們就稱為庫倫定律。

庫倫定律說明，在距離不變時，如果在兩個相互作用的磁極中有一個磁極的磁極強度增加了一倍，那麼它們之間的作用力也增加一倍。如果兩個磁極的磁極強度各增加一倍，那麼它們之間的作用力就為原來的4倍。如果它們的磁極強度不變，而它們之間的距離增加一倍的話，那麼它們之間的作用力就只有原來的 $\frac{1}{4}$ 。反之如距離縮小為原來的一半，則作用力為原來的4倍。

磁場和磁場強度 把一個磁針移到一個磁體的附近，就可以發現它們之間有相互作用。兩個磁體的這種相互作用，並不是由於互相接觸而發生的，因為在它們沒有接觸之前就有了作用；也不是通過周圍的空氣而發生的，因為如果把它

們放到真空中去，它們彼此還是發生作用。這種現象說明，在磁體周圍的空間有了一種特殊的性質，就是具有磁作用。這種具有磁作用的空間就叫做磁場。兩個磁體的相互作用，也可以看作是一個磁體的磁場對另一磁體的作用。

把一個可以自由轉動的小磁針放在磁場的各個點上，除了像前面所說的磁場對磁針的作用力大小不同外，我們還可以看到小磁針靜止的方向也不同。這說明在磁場內的各個點上作用力的方向不同。為了說明磁場的這種性質，我們要引入一個叫做磁場強度的矢量，所謂矢量，就是說它不但有一個數量，而且還有一定的方向。我們把一個磁極強度等於1的北極，放在磁場內的一點上，這個磁極強度等於1的北極，在這點所受到的作用力的大小和方向，就是這一點的磁場強度。

儘管不同的磁極放在磁場內的同一點上，由於它本身磁極強度不同，所受到的作用力也不同，但是這一點的磁場強度卻是一個固定不變的值。所以只要測量出磁場內各點的磁場強度，就能根據它們來研究引起這個磁場的磁體的一般特徵如形狀、大小等。磁法勘探就是應用這個方法，以特制的儀器——磁力儀，測量出地面上各點的磁場強度，用來推斷引起磁場變化（或者叫做異常磁場）的磁體的特徵。

一般磁場強度的單位用奧斯特(Θ)來表示。在後面我們要講到，地球周圍的空間是一個磁場，在北京附近地球磁場的強度大約在0.5Θ左右。奧斯特這個單位對磁法勘探來講，顯得太大了，所以在實際工作中多採用伽瑪γ為磁場強度的單位，1伽瑪等於十萬分之一奧斯特，也就是 $1\Theta = 100,000\gamma$ 。

磁力綫 为了研究方便起見，我們常常用磁力綫来表示磁場。例如我們上面談到，一个可以自由旋轉的小磁針在磁

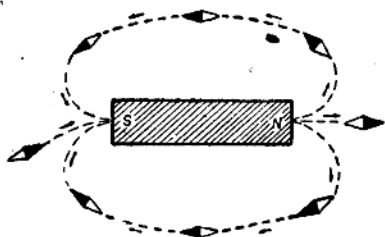


圖1 磁力綫

場內靜止时的方向不同，它所靜止的方向，就是該点磁場强度的方向。通过磁針在各点靜止的方向（磁場强度的方向）所順連而成的綫叫**磁力綫**（如圖1）。磁力綫的方向是从北極出来进入南極。

我們不但可以用磁力綫来形象地表示出磁場强度的方向，同时还可以用它来形象地表示出磁場强度的大小。为了达到这个目的，我們就需要規定磁力綫的疎密和磁場强度

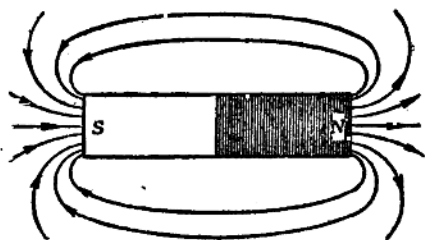


圖2 用磁力綫表示的条形磁铁的磁場

的大小之間的一定关系。这样在磁場强度大的地方，磁力綫就密一些，在磁場强度小的地方，磁力綫就稀一些。圖2就是以磁力綫表示的条形磁铁的磁場。

二、岩石的磁性

物体的磁化 用一个磁体吸引鉄釘子的一端，則鉄釘子的另外一端也就具有了磁性，可以吸引另外的鉄釘子。同时

从简单的实验就可以知道，只要铁钉子在磁场中即使不和磁体接触，也同样可以得到磁性。这种物体在磁场中得到磁性的现象叫磁感应。

一个原来没有磁性的物体变成了磁体，我们就说这个物体磁化了。物体所以会磁化，是因为组成物体的每一个小微粒都像是一个小磁体。这种小磁体就叫做分子磁体。通常物体内部各个分子磁体的排列是紊乱的，没有一定的方向。它们的磁作用互相抵消，所以不表现为磁体。

物体的磁化事实上就是通过外界磁场的作用，使物体内部分子磁体的排列有了一定的规律，每个分子磁体首尾相接就形成为一个整个的大磁体。



圖 3

岩石的磁化率 不仅铁具有磁化的特性，在自然界中，绝大部分的物体在磁场中，受到磁作

用都会被磁化。但是在同一磁场强度下，不同的物体，磁化的能力也不相同。也就是说，同样大小及同样形状的物体，在强度相同的磁场中，磁化后的磁极强度大小也可能不同。一般我们用**磁化率**这个名词来表示一个物体的磁化能力，如果物体的磁化能力大，我们就说它的磁化率大；反之，我们就说它磁化率小。在自然界中，磁铁矿的磁化率非常大，有时可以大到1，而一般岩石如石灰岩、石膏等的磁化率，就非常小，只有百万分之一或更小。

有些物体磁化率甚至可以小于零。也就是在磁场中如有这种物体存在，在这种物体附近的磁场强度就比原来的磁场

强度要弱一些。这种磁化率为负数的物体叫做逆磁体，如水、石油、鹽等多为逆磁体。磁化率大於零的物体就叫順磁体。此外还有一种物質，叫做鉄磁性物質。所謂鉄磁性物質，就是具有很高的磁化率的物質，而且它的磁化率大小是随着温度和磁化磁場的强度而改变，如鉄、鈷、鎳等，都屬於鉄磁性物質。

假如我們將鉄磁性物質加热，就可以看到物体的磁化率也隨之增加。但当加热到一定的温度时，物体的磁化率就达到了最大值，当温度一超过这点时，物体的磁性就突然消失。这个温度我們就叫做該物体的居礼点。从圖 4 的曲綫可以看出，在磁化磁場等於 0.39 时（大約相當於地磁場），鉄

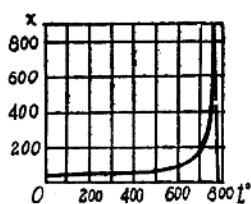


圖 4 鉄的磁化率和温度的关系曲綫

的磁化率随温度变化的情况如下：当温度在 500°C 以下时，磁化率的变化不显著，当超过 500°C 时，鉄的磁化率就随着温度的增加而急驟上升，在 750°C 附近达到最大值后就突然下降为零。这就是說鉄的居礼点大約等於 750°C。我們还知道，鎳的居礼点为 370—380°C，鈷稍高於 1000°C。

組成地壳的岩石的磁化率大小，主要決定於岩石成分中所包含鉄磁性物質的多少。所以岩石的磁化率变化范围很大。同时，在不同的温度下和不同的磁化磁場中，所測得的岩石的磁化率也会不同。下面举一些岩石、矿物的磁化率数据作为参考（單位为 c. g. s. M 單位）：

逆磁体

水..... -0.72×10^{-6}

石油..... -0.8×10^{-6}

石英..... 1.2×10^{-6} 鹽..... -0.4×10^{-6}

順磁體

沉 積 岩

石膏..... 0.8×10^{-6} 白云岩..... 14×10^{-6} 煤..... 2×10^{-6} 粘土..... 20×10^{-6} 石灰岩..... 3.8×10^{-6} 含鉄砂岩..... 100×10^{-6}

火 成 岩

石英斑岩..... 15×10^{-6} 花崗閃長岩..... $1000-2000 \times 10^{-6}$ 花崗岩..... $15-650 \times 10^{-6}$ 輝綠岩..... $280-2860 \times 10^{-6}$ 正長岩..... $430-3590 \times 10^{-6}$ 玄武岩..... $1100-4500 \times 10^{-6}$ 輝長岩..... $530-3050 \times 10^{-6}$ 蛇紋岩..... $4000-15000 \times 10^{-6}$

鉄磁性物體

含鉄石英岩..... 550×10^{-6} 鉄鉄礦..... $4000-7000 \times 10^{-6}$ 赤鉄礦..... $100 \times 5000 \times 10^{-6}$ 磁鉄礦..... $10000-1000000 \times 10^{-6}$

岩石的剩余磁化 在实际工作中，我們时常测得在数值上和方向上很特殊的異常磁場，这种異常磁場往往不能用岩石和矿体的磁化率來說明。有时测得的異常磁場，可以比根据理論上計算出来的大很多倍，甚至有的異常磁場的方向也和理論上的相差很多。这种現象，經過很多学者的研究，說明異常磁場的强度除了受引起異常的物体本身在地磁場中磁化結果的影响外，同时还因为岩石在悠久的地質年代中，由於地壳的运动，曾达到过很高的温度，其中所含的鉄磁性物質的磁化率也就远比現在为高，因此岩石曾受到强烈的磁化，以后温度虽然降低，但岩石却保留下来了一部分磁性，我們称这种磁性为**剩余磁化**。物体的剩余磁化强度也直接影响異常磁場的强度。所以我們要研究一个地区的磁場时，不仅要知道該区岩石和矿体的磁化率，也必須知道它們的剩余磁化强度，或簡称**剩磁**。

三、地球的磁場

地球磁場要素 我們知道，如果磁針不受附近磁体的磁作用时，总是大約指南北方向。这个現象說明，地球本身就是一个大磁体，地球周圍的空間就是地球的磁場，地球的磁場就叫做地磁場。

但是我們仔細的觀察一个磁針在地磁場內的靜止方向，就会發現在很多地方磁針不是正指着南北，而是和地球的子午綫方向——也就是正南正北方向之間有一个夾角，这說明地球的磁極和地理的南北極不是重合的。地球的磁性南極在地球北極附近，磁性北極在地球南極附近。磁針靜止时，磁針方向跟这个地方的地球子午綫之間的角度叫做**磁偏角**(D)。

从实验知道，各个地方的磁偏角大小是不同的，就是在同一个地方，磁偏角的大小也是一年一年很慢的变动着。

如果用一个能够在水平和垂直兩個方向轉动的磁針来研究地磁場，我們就会發現，磁針靜止时和水平方向之間也有个角度存在，这个角度叫做**磁傾角**(I)。在地球的磁極上磁傾角为 90° ，別的地方的磁傾角都比 90° 小。例如，北京的磁傾角大約为 57° ；广州的磁傾角約为 32° 。

我們知道，能够向任意方向轉动的磁針，在地磁場里的靜止方向，就是地磁場强度的方向。前面我們提到过，磁場强度是一个矢量，因此地球周圍的空間也可以用一个矢量来表示。如果我們知道了一点的磁傾角和磁偏角，那么我們就知道了这一点磁場强度的方向，如果我們再求得这一点磁場强度的大小，我們就可以划出相当於这一点磁場强度的矢量(如图 5)。

通常我們將磁偏角、磁傾角和磁場強度的大小，叫做地磁三要素。

根據世界各國所測得的地磁場強度的資料，可以看出地球表面上磁場強度分佈

的情況同一個磁化得很均勻的球體表面的磁場強度分佈情況很相似，因此可以把地球粗略地認為是一個均勻磁化的球體。在兩極附近，地磁場強度稍高於 0.6θ ，在赤道約為 $0.3-0.4\theta$ 。因此我們知道隨着緯度的增加，地磁場強度的大小也會緩慢的增加。

一般在地面磁法勘探中，並不是直接測量地磁場強度，而是測量它的垂直分量(Z)^①，勘探金屬礦時，有時也測量它的水平分量(H)。地磁場強度的垂直分量，一般我們就稱為垂直磁場強度，或簡稱為垂直磁場；同樣，它的水平分量就稱為水平磁場強度或水平磁場。

垂直磁場在赤道為零，向兩極平均每公里大約增加 6γ ，到兩極為最大。相反，水平磁場在兩極為零，向赤道平均每

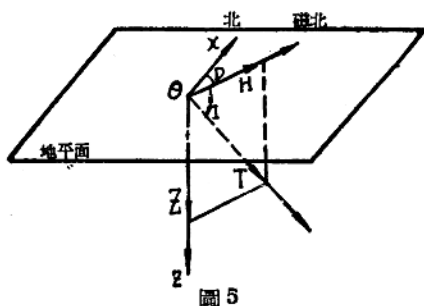
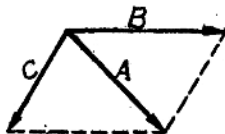
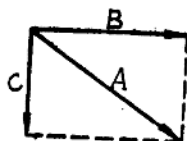


圖 5

① 任意一個向量，全可以按照平行四邊形法，分成兩個方向不同的分量如圖a。圖中A是一個向量，可以分成B、C兩個分量。在磁法勘探中是把地磁場強度T，分成垂直地面的和水平方向的兩個分量——Z和H，如圖b。



(a)



(b)

公里大約增加 3—4%，在赤道為最大。

正常磁場和磁異常 我們再進一步研究全球各地的地磁場資料，就會發現，前面所說把地磁場看成是一個均勻磁化球體的磁場，只是一種近似的看法。實際測得的地磁場和均勻磁化球體的理論磁場，經常有或大或小的區別，這就是通常所說的磁異常。磁異常的面積有大有小，大的可達幾十萬，甚至幾百萬平方公里，小的只有幾十平方公里或者幾平方公里。一般按照磁異常的面積，將磁異常分為三種。一種稱為**大陸性異常**，這種異常面積非常大，有時幾乎佔據整個大陸地區，這類異常，最大的一個在東西伯利亞，異常中心的地磁場強度比起北極上的地磁場強度還要大一點，在磁法勘探中通常就將這種大陸性異常算在正常磁場之內，也就是將我們想像的均勻磁化球體的磁場加上大陸性異常，做為**正常磁場**。另外一種為**區域性異常**，這種異常面積較小，一般為幾十或幾百平方公里，也有達到一兩千平方公里的。最後一種為**局部異常**，它所佔的面積很小，一般只有幾十或幾平方公里。

在磁法勘探中，按照上面的方法進行異常的分類是沒有什麼實際意義的，因為我們進行磁法勘探是要解決地質問題，應當找出那些與地質構造有關的磁異常來，找到了這些異常後，不應僅按它們所佔面積的大小來分類，而主要應根據引起這些異常的原因來分類。至於怎樣區分出這些異常和確定這些異常的成因，雖然是磁法勘探中非常重要的問題，但到目前為止，還沒有一套很成熟的為大家所公認的辦法。對於解決這個問題的一些簡單的步驟和方法，我們將在以後資料解釋部分中談到。

地磁場的变化 前面我們曾談到，地磁場的各个要素並不是固定不變的，根據長時間連續測量地磁場的結果，知道地磁場是隨着時間在改變，經過詳細的分析研究以後，知道地磁場有下面幾種變化：

1. **多年變化** 就是地磁場在很長的時間內的逐漸變化。這種變化在各個地方都不一樣，也沒有什麼固定的規律。根據從1540年起，在倫敦所作的測量磁偏角的資料來看，多年變化可能有週期性，在倫敦它的週期大概是500年，引起這種變化的原因主要是地球內部發生了變化。

2. **日變和年變** 日變就是地磁場在一晝夜間的週期性變化，這種變化在同一緯度的各點上有着同樣的特性，日變的一般特性為白天的變化比夜間強，夏季的變化比冬季強。從測量日變的資料中，完全可以確定日變是與太陽和地球的相對位置有關。地磁場的日變有時可達幾十伽偶，所以在磁法勘探中必須把日變的影響去掉。

年變同樣是由地球和太陽的相對位置的變化所引起，不過它的幅度很小，多在10伽偶以下，所以在磁法勘探中沒有什麼意義，同時在去掉日變影響時，也就包括對這種變化的校正。

3. **磁暴** 就是在短時間內地磁場所發生的強烈變化，多發生於高緯度地區（靠近兩極的地區）。在磁暴時，磁場強度的變化常達幾百伽偶，有時甚至超過1000伽偶。在磁暴時磁場的測量工作是無法進行的，野外工作只得停止。根據對磁暴研究的結果，知道磁暴的出現和太陽的黑子有關係。

第二节 磁力仪的原理与应用

一、磁力仪的原理和構造

前面提到，在磁法勘探中，我們主要是測量地磁場強度的垂直分量，也就是垂直磁場。由於在石油地質勘探中，所研究的對象很多是較弱的磁異常（由几十伽偶到几百伽偶），因此就要使用精度很高的儀器。目前我們用來測量垂直磁場的儀器就是垂直磁力儀，或稱磁秤。垂直磁力儀一般分為刀口式和扭絲式兩種，它們只能用來測量兩點間垂直磁場強度之差，而不能測量它們的絕對值。這兩種類型磁力儀的精度，在條件良好時均可高到 ± 10 伽偶左右。

刀口式垂直磁力儀原理 刀口式垂直磁力儀的主要原理就和我們日常所用的秤一樣。我們知道，用秤稱東西時，如果所稱的物體重量改變了，秤桿就要失去平衡向一端傾斜。我們只須將秤錘移動一下，而不須改變秤錘的重量，就可以恢復秤桿的平衡。同時，從秤錘位置移動的多少就可以知道所稱物體的重量改變了多少。磁力儀就是這樣利用重力矩的改變，來平衡磁力矩的改變，從而算出磁場強度的變化。因為在地面上，重力的變化比起磁力的變化要小的多，所以在測量磁場的變化時可以把重力看成是一個固定不變的值，同時重力臂和磁力臂的變化全都可以從儀器的讀數中算出，知道了重力、重力臂和磁力臂的變化後，就容易知道磁場強度的變化。

例如我們將一个只能垂直旋轉的磁棒东—西向的放着，从前面講到的原理可以知道水平磁場的方向全是磁南北向，也就是和这个磁棒的旋轉面垂直，因此水平磁場的作用，不能引起磁棒的旋轉。而垂直磁場的方向在北半球多是向下的，也就是在北半球可以在垂直方向上旋轉的磁針，多是 N 極向下，因此由於垂直磁場的作用，上述磁棒就要以反時針方向旋轉；为了使磁棒能自動的維持平衡，我們在磁棒偏向 S 的一边增加一些重量，使磁棒的重心 O 移在

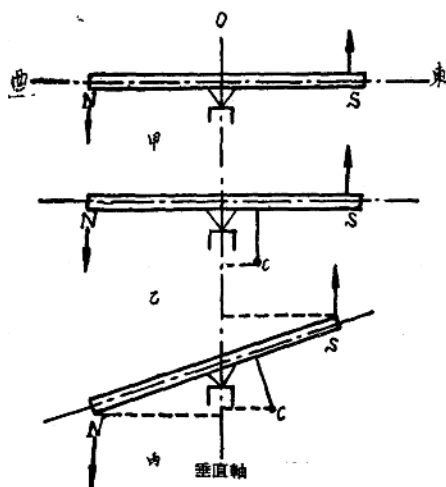


圖 6

磁棒之下偏向 S 的一方(如圖 6 乙)，这样就可使重力的作用与垂直磁場的作用平衡。但当垂直磁場再增加时，磁棒就又要失去平衡，向左傾斜在圖 6 丙中我們可以看出，当磁棒向左傾斜时，磁極距离垂直於磁棒的旋轉軸和地面的垂直軸綫 O 越来越近，而重心距离垂直軸却越来越远。也就是說，虽然垂直磁場加强了，磁力矩加大了，磁棒开始向左傾斜，但在傾斜过程中，由於磁極逐漸接近垂直軸，亦即磁力臂逐漸減小，因而磁力矩也在逐漸減小。同时由於重心逐漸远离垂直軸，重力矩却在慢慢增加。当磁棒傾斜到一定程度时，兩