

磁 秤

丁 鴻 佳 著

地 質 出 版 社

磁 秤

丁 鴻 佳 著

地質出版社

1958·北京

磁 秤

著 者	丁 鴻 佳
出版者	地 質 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3号

北京市書刊出版業營業許可證出字第050号

發行者	新 華 書 店
印刷者	天 津 人 民 印 刷 厂

印数(京)1—1,000册 1958年3月北京第1版

开本31"×43"¹/₂₅ 1958年3月第1次印刷

字数90,000 印張 1²/₅

定价(10)0.60元

目 錄

第一章 儀器的種類、構造和原理	5
第一節 儀器的構造	5
(一) Askania 絲懸式垂直磁秤	5
(二) Askania 刃口式垂直磁秤及水平磁秤的構造	8
(三) M-2 磁秤的構造	8
第二節 儀器的原理	9
(一) 幾個定義	9
(二) 儀器的原理	11
(三) 公式的推導	14
(1) 刃口式垂直磁秤	14
(2) 刃口式水平磁秤	17
(3) 絲懸式垂直磁秤	19
(四) 溫度係數的原理	22
第二章 垂直磁秤轉向差的原理、公式及其調節	28
第一節 轉向差的原理	29
(一) 轉向差的原理	29
(1) 方位不准引起的轉向差	29
(2) 懸絲不平引起的轉向差	35
(二) 轉向差的排列與組合	36
(1) 由方位差及懸絲不平兩種原因引起的轉向差的組合	36
(2) 由平行於磁系的水泡不平引起的轉向差及其與上述兩種原因的組合	38
(3) 由外界原因引起的轉向差	39
第二節 轉向差的公式	40
(一) 由方位差引起的轉向差	40
(二) 由方位差引起的誤差	47
(三) 由刀座不平(相當於懸絲不平)引起的轉向差	48
(四) 絲懸式磁秤轉向差的公式	50
第三節 轉向差的實際調節	52

(一) M-2 磁秤	52
(二) Askania 刃口式	58
(三) 絲懸式	61
第四節 Askania 水平磁秤的定向檢查	62
第三章 儀器的檢修、檢驗與安裝	64
第一節 M-2 儀器的檢驗、檢修與校正	64
第二節 Askania 刃口式磁秤的校正與調節	70
(一) 光系的原理和調節	70
(二) 彈簧片的問題	71
(三) Askania 的開關問題	72
第三節 絲懸式磁秤的校正、調節和檢修	72
(一) 毛病的現象、根源和校正	72
(二) 儀器的裝配和大修	78
第四節 M-2 足架的拆卸法	84
第四章 有關儀器的一些其他問題	86
第一節 溫度係數與格值的測定問題	86
第二節 關於儀器性能以及測量精確度的一些問題	87
第三節 絲懸式磁秤的緯度調節問題	89
第四節 關於磁秤檢修室的問題	91
第五節 對機械式磁秤的評價以及對今後製造儀器的看法	92
參考文獻	95
附錄一 絲懸式儀器的結構、拆卸及校正	96
附錄二 制動螺絲	106

第一章 仪器的种类、構造和原理

这里所叙述的仪器，是我國目前所应用的，并未包括各种新型仪器，亦未包括已經过时的仪器。我國目前（1956年以前）在地面磁法勘探中所用的仪器有下列几种：

- （一）Askania 絲懸式垂直磁秤；
- （二）Askania 刃口式垂直磁秤及垂直水平兩用磁秤；
- （三）M-2 型垂直磁力仪。
- （四）我國东北科学仪器館自制仿 Askania 刃口式磁秤。

第一節 儀器的構造

（一）Askania 絲懸式垂直磁秤 （以下簡稱絲懸式磁秤）絲懸式磁秤的構造可分三大部分：

（1）光学鏡筒部分 这是一般的普通的光学鏡筒，利用它來讀数。目鏡部分由二塊透鏡合成。在它下面有一塊三稜鏡，三稜鏡底下有一塊刻度玻璃，刻度玻璃上一半刻有三条綫，兩边的綫上并有正（+）負（-）号，另一半面上刻有 0—60 格的刻度。三稜鏡即安置在三條綫上（三稜鏡的大小，只占据刻度玻璃大小的一半）。物鏡也有二塊透鏡合成。光綫投向三稜鏡，由三稜鏡成直角反射向下，結果三条綫就变成了光源，經物鏡后，成为平行光束，經下面磁系上的平

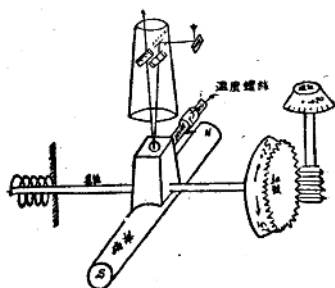


圖 1. 絲懸式磁秤構造示意圖

与刃口式磁秤的差別 1—用懸絲代替刃口，避免了刃口的誤差；2—阻尼用整個銅塊而不用銅片，讀数較快；3—开关自动保險（关住时夾得很牢，使磁系不致搖動）；4—磁系为一磁棒且軸不在棒之中間因而不用 緯度調節螺絲；5—灵敏度螺絲在反射鏡底下及在支点之上；6—用改变懸絲扭力的裝置代替加補磁的设备

面反光鏡反射后，即成像在刻度尺上。當磁系偏轉時，像亦隨之偏轉（參看附錄一，圖1）。

（2）儀器內部^① 這一部分由三大部分組成，即：1.扭鼓部分；2.磁系部分；3.彈簧部分。這三大部分由一圓形的玻璃軸、石英軸、鋁軸或噴鋁的玻璃軸聯結起來。

1.扭鼓部分 由一附有刻度及齒輪的圓盤及一旋扭組成。其中并包括調整懸絲松緊的裝置及固定懸絲一端的裝置（參看附錄一，圖3

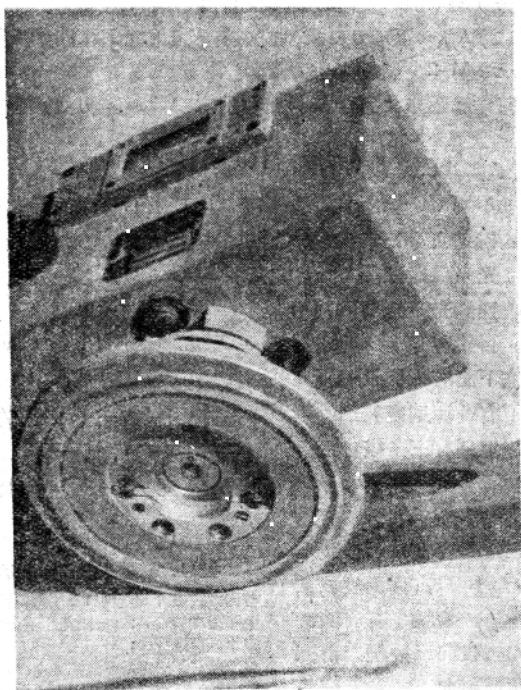


圖 2. 絲懸式儀器底盤內部圖

①參看圖51。

及圖4，螺絲B是固定懸絲裝置，而銅圈B則是調整懸絲松緊的裝置，即圖54上箭头所示）。

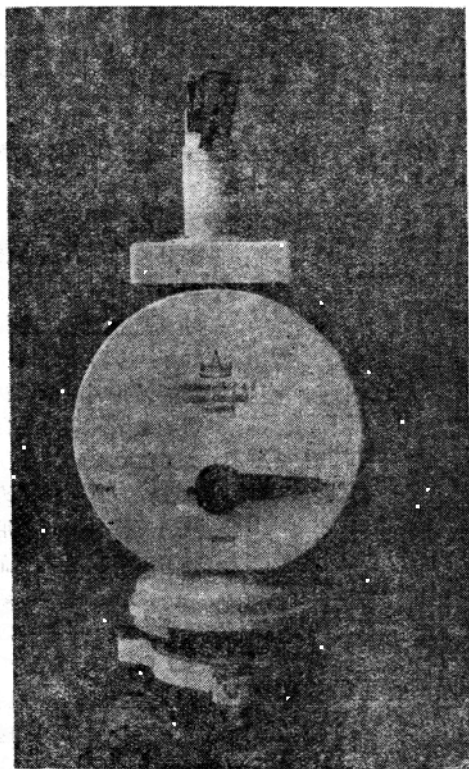


圖3. Askania刃口式垂直、水平兩用磁秤外觀圖

2. 磁系部分 这是仪器最重要最中心的部分。磁系本身包含有：磁棒、懸絲、灵敏度螺絲、溫度螺絲及平面反光鏡等。磁系裝置上兩旁有四個小錐體，能使磁系裝入磁系部分卡子內。这一部分并裝有阻尼框，使夾子開啓的偏心輪裝置以及能調節夾子的裝置（參看附錄

一，圖3及圖5)。

3.彈簧部分 主要是一彈簧，以及固定懸絲的裝置。彈簧使懸絲拉緊(附錄一，圖3及圖4)。

絲懸式磁秤的裝置，主要是利用懸絲的扭力矩來平衡磁力矩的變化，懸絲同時作為支點，以使重力矩與磁力矩平衡。磁場變化的大小，用光學鏡筒上的讀格來表示。

(3) 儀器下部 這兒主要是一個能轉 180° 的轉盤(附錄一，圖2)。

(二) Askania 刃口式垂直磁秤及水平磁秤的構造

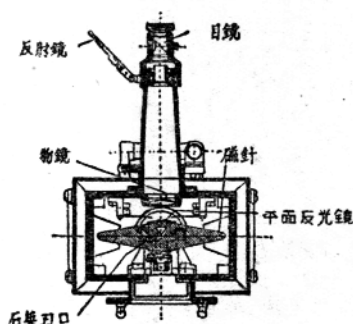


圖4. ①垂直磁秤用以測量垂直強度 Z 的變化。在指定的基點處已知 Z ，將磁秤中的磁針校正到水平位置。磁秤在地上搬至第二處， Z 生變化，於是磁針的一端即向上或向下，其傾角程度幾乎比例於 Z 大小的差異。傾角大小可用光學的方法經過磁針上所附鏡上尺子的反射來測定。(M-2磁秤)

光學鏡筒部分與絲懸式磁秤相仿，僅個別設計稍有更改。儀器下部部分也與絲懸式磁秤相同，只多加了一個防塵的罩子。儀器內部部分特別簡單，就是一個菱形的磁系，上面附有精磨的石英刃口(參閱圖9)。此刃口落在以石英磨製成的刀座上，此刀座作為支點之用。垂直磁秤與水平磁秤唯一的不同點是：垂直磁秤的磁系是水平安置的，水平磁秤是垂直安置的。

(三) M-2磁秤的構造

與上面所說刃口式磁秤相仿，只是零件更簡單些，粗糙些。

光學鏡筒部分是利用本身的刻度作為光源，因此物與像是同一刻度尺。三稜鏡用一塊斜的光學玻璃代替。這種結構的好處是目鏡部分能自由轉動；可是却大大的減低了光學系統的清亮明亮。儀器下部并無

①此圖取自地磁及其應用—А. Г. Калашиников, 陳志強譯 科學出版社 1956年6月。

轉盤，轉盤安置在足架上，結構也不同（參閱圖46，57）。

第二節 儀器的原理

儀器的原理，這几种都是大同小異的，因此，可先敘述一般的原理，再推到个别的儀器。磁秤的原理，概括性的可以這樣講：凡是刀口式儀器，是重力矩和磁力矩平衡（水平的和垂直的）。絲懸式的也一样，所不同的是懸絲不僅僅代替了支點的作用，而且，還產生扭力矩來和磁力矩平衡。

（一） 几个定义 下面先介紹几个定义：

（1） 力矩 如圖5，假定要举起一个重物 W ，我們設法利用一塊木板把它撬起來。在近 W 處，設立一个支點。我們在 A_1, A_2 處用力，根据日常生活的經驗，可以知道在 A_2 處用同样大小的力比在 A_1 處容易把重物撬起，用力点愈往外，愈省力。这里，就有一个力矩的概念在里面。



圖5. 力矩示意圖

假定用力点与支點間的距離不變，則用力愈大，愈能把重物 W 撬起；此外，假定力的大小不變，則用力点离支點距離愈远，愈容易把重物撬起。

因此，力矩的定义應該是力乘距離。

如以 L 表示力矩， F 表示力， l 表示距離，

$$\text{則} \quad L = F \times l \quad (1-1)$$

这里應該注意， F 与 l 的关系應該是垂直的，

$$\therefore \quad L = F l \sin \theta \quad (1-2)$$

式中 θ 是力 F 的方向与 l 間的夾角。

因为，如圖6所示，假定用力的方向，平行于槓杆，則力矩等于零。不管反方向或正方向，你所用的力全部消耗在支點 O 上，对于举起重物 W ，絲毫不起作用。因此，垂直于木板的力的力矩最大，用力無論向右或向左偏，只能使力矩减小。

(2) 磁力矩 在平衡兩旁，各置一質量相等的鋼球，無疑的，天平將是平衡的。如在右面鋼球下置一磁棒，假定左面鋼球离开磁棒足夠遠，因而磁棒對它不起作用，由於磁棒對鋼球的吸引力，天平右臂槓杆將向下偏轉，很明顯，表示有一力矩作用於天平右臂，而使天平右臂向下傾斜。

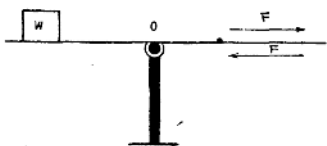
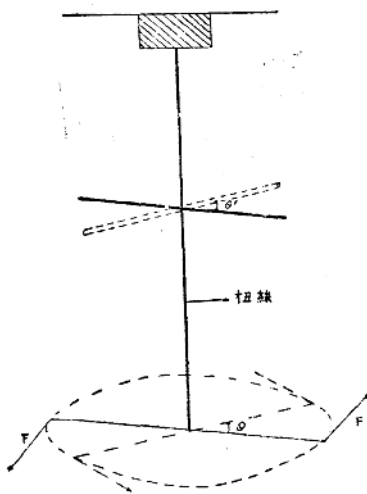


圖 6

由磁力引起的力矩，叫做磁力矩。同樣的，由重力引起的，叫做重力矩。

圖 7. $\theta' < \theta$

表示扭轉的角度（在端上，如圖 7，則指下端扭轉的角度）。根據實驗，知道 L 與 θ 成正比。因此可寫成：

$$L = C \theta \quad (1-3)$$

式中 C 是比例常數，稱為扭轉常數，系與扭絲的性質，長度及半

(3) 地磁 地球好像一塊大磁體，這磁體的北極靠近地球的南極，磁體的南極則在地球的北極附近，愈近兩極，磁性愈強。對於垂直磁場來講，在赤道附近等於零；而水平磁場強度，在赤道附近為最強。

(4) 扭力矩 如在扭絲上，裝置一棒，如圖 7。當扭絲扭轉時，則棒亦跟着旋轉，如有一力矩施於棒上一樣。

由扭絲扭轉產生的力矩，稱為扭力矩。

如以 L 表示扭力矩， θ

徑有关。如扭絲的一端利用一彈簧拉住，如在絲懸式磁秤中，則扭轉常数还与彈簧的拉力有关。

(二) 儀器的原理 儀器的原理，可表示如下：

刀口式： 是以重力矩來和磁力矩平衡。

如以 L 表示重力矩， M 表示磁力矩，則可寫成：

$$L = M \quad (1-4)$$

絲懸式： 是以重力矩加上扭力矩來和磁力矩平衡。如以 L_1 表示重力矩，以 L_2 表示扭力矩，則可寫成：

$$L_1 + L_2 = M \quad (1-5)$$

如圖 8，是一個對稱的磁針，它的重心在中央，它的中心支撐了一個針尖。如把它放在赤道上（把磁針放在垂直磁場強度等於零的地方），則一定能夠平衡。但是，如把磁針從赤道移往北方，由於地磁場 S 極的強度增加，磁針的 S 極將往上偏轉。如再要使它保持原來位置，有二個辦法：第一

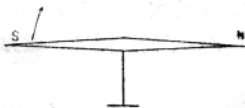


圖 8. 對稱磁針，在赤道上是水平的，往北移時， S 將如箭頭方向偏轉



圖 9. 刀口式磁系圖
左面裝有緯度螺絲、絲桿由鋼鑽做成，取其膨脹係數小。右面裝有溫度螺絲，原理見（四）

個辦法是在 S 極上加一個小重物，使小重物產生的力矩來平衡 S 極向上旋轉的磁力矩。第二個辦法是將針尖略向磁針的 S 極處移動。由

于 S 極处的重量增加了，这增加的重量產生的力矩平衡了磁針 S 極向

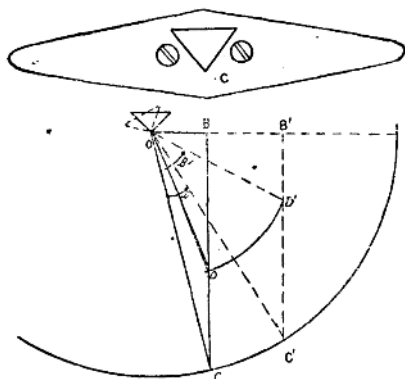


圖 10. 磁秤原理示意圖

为了清楚起见，將重心与支点間的距离故意擴大。这原理对于水平磁秤也是适用的

上轉动的磁力矩。这二种办法在磁秤中都采用着。刀口式磁秤采用第一种办法，絲懸式磁秤采用第二种办法。因此，絲懸式磁秤磁棒兩边的長度是不相等的。刀口式磁秤的具体裝置，就是在 S 極处加了一个小螺絲，我們称它为緯度螺絲，因为当緯度改变时，即垂直磁場強度改变时，可以利用它使磁系平衡，理由就是这一節所講的。

然而，無論是第一种办法也好，第二种办法也好，原理都是一样的，都是重心向 S 極移动（对支点來說）。

磁力矩和重力矩相等而相反的办法使磁系平衡是刀口式磁秤的基本原理。

假定，有一个磁系的重心在 C ，支点在 O ，在当时情况下，磁系是水平的（圖 10）。

由圖 10 知道，此时，重力矩为 $mg \times OB$ 。由公式（1—4）知道，磁力矩 M 的数值，也必须等于重力矩，磁系才能平衡。因此，磁力矩的数值，也一定等于 $mg \times OB$ 。

当外界磁場增加时，磁系轉动一个角度，重心由 C 移至 C' ，磁場增加，表示磁力矩增加，而重力矩也必须相应的增加，才能平衡。由圖 10 知道，此时重力矩为 $mg \times OB'$ ，比刚才增加了 $mg \times BB'$ 。因此，磁系偏轉了一个角度之后，还是能够保持平衡。

$$L=M$$

原平衡公式

$$L + \Delta L = M + \Delta M$$

磁場变动后的平衡公式（1—6）

式中

ΔM 为磁力矩的改变量

ΔL 为相应的重力矩的改变量，在圖 10 上，就是 $mg \times BB'$ 。

从圖 10，还可以解释另一个重要的事实，即假定磁系在水平位置时，那时重心在 D ， D 高于 C 。如果外界磁场的改变量和刚才一样，则重力矩的改变量，必须和刚才一样，才能平衡。从圖 10，明显看出，磁系重心必须偏转至 D' ，才能平衡。

DD' 对支点 O 所张的角度 β' ，比 CC' 对支点 O 所张的角度 β' 大得多。这里能得到的结论是：重心高的磁系，对同样大小的外界磁场的改变，比之重心低的磁系，所偏转的角度要大得多。而单位磁场强度的改变，能使角度偏转多少，或者说，能使磁秤内标尺偏转几格，也就是灵敏度的定义。因此，灵敏度高的磁秤，重心高；反之，灵敏度低的磁秤，重心低。

另一点，需要提醒的是：重力矩的改变，有它的最大限度，即是重心必须要在支点下面，否则，磁系将倒翻。这就意味着，当外界磁场改变太大时，磁系将倒翻，因此，在使用时，就必须小心。为了简单起见，不再讲丝悬式磁秤的原理，因为基本原理是一样的，水平磁秤也一样。

探矿用的磁秤，在现在用的，都是相对测量的仪器。不论那一种的仪器，都是用来做相对测量的。所谓相对测量，就是这一点的地磁场强度，究竟是多少，是不知道的。我们所测出的，只是各点之间的磁场强度的差别。 A 点比 B 点高多少，真正的磁场强度的数值是不知道的。

刀口式仪器，每到一个地方，需要调节纬度螺丝，它的道理，就是圖 8 所叙述的。遇到出格时，需要上辅磁。

丝悬式仪器是有地区性的，分华中、华北、华南三种。一般测程在 $30\,000\gamma$ 之内。因此，即使在同一地区，对仪器也要进行挑选，如北京的垂直磁场强度 Z 等于 $45\,500\gamma$ ，而锡林格勒盟的垂直磁场强度 Z

$$\tan \theta = \frac{MZ - mga}{mgd} \quad (1-8)$$

从圖11知道，当磁系偏轉 θ 角时，光系上标綫移动的距离，相当于 2θ 角。

$$\therefore \tan 2\theta = \frac{2 \tan \theta}{1 - \tan^2 \theta} = \frac{S - S_0}{f}$$

此处 f 处是光系物鏡的焦距，

S_0 是 θ 角等于零时的标尺上的讀数，

S 是当角度（水平面与磁系軸之間的夾角）等于 θ 时，标尺上的讀数。

又因为 θ 角不超过 2° ，当大于 2° 时，將超出标尺讀数之外。所以 $\tan^2 \theta$ 与1相較，可略去不計，因此

$$\tan \theta = \frac{S - S_0}{2f}$$

代入公式(1-8)，得到 $S - S_0 = 2f \frac{MZ - mga}{mgd} \quad (1-9)$

当 θ 角等于零时，也就是說 $S = S_0$ 时，从公式(1-7)(1-8)和(1-9)均可得出

$$MZ = mga$$

或者 $a = \frac{MZ}{mg} \quad (1-10)$

如在某一点上，磁場強度是 Z_1 ，則从公式(1-9)，可得

$$S_1 - S_0 = 2f \frac{MZ_1 - mga}{mgd}$$

在另一点上，磁場強度是 Z_2 ，則从公式(1-9)，可得

$$S_2 - S_0 = 2f \frac{MZ_2 - mga}{mgd}$$

上二式相減，得

$$S_1 - S_2 = \frac{2fM}{mgd} (Z_1 - Z_2) \quad (1-11)$$

或者寫成

$$\Delta S = \frac{2fM}{mgd} \Delta Z$$

式中 $\frac{2fM}{mgd}$ 就是儀器的靈敏度，靈敏度的例數，就是格值，

用 ε_s 來表示。

$$\therefore \varepsilon_s = \frac{mgd}{2fM} \quad (1-12)$$

从上式，就可以看到，要减小儀器的格值，或者說是增加儀器的靈敏度，只要减小 d 就行。也就是說，在一般的情況下，只要旋轉儀器磁系下的靈敏度螺絲就行。絲懸式儀器的靈敏度螺絲在磁系平面反光鏡下，只要把鏡子部分旋下來，就可以看到靈敏度螺絲。靈敏度螺絲上有一個在中心的小螺絲，是起加固作用的。擰螺絲時，應將磁系拿住，千萬小心，別崩斷了懸絲。刃口式磁秤在必要的情况下，可以移動磁鋼片。

$$\text{例:} \quad \Delta \varepsilon_s = \frac{m \varepsilon \Delta x}{2fM} \quad (1-13)$$

$$\begin{aligned} \text{設} \quad m &= 1.3 \text{ 克} \\ 2f &= 3333 \text{ 格 (標尺刻格)} \\ M &= 1200 \text{ C.G.S. 單位} \end{aligned}$$

當 Δx 改變 0.05 厘米時，

$$\begin{aligned} \Delta \varepsilon_s &= \frac{1.3 \times 980 \times 0.05}{3333 \times 1200} \\ &= .0000159 \text{ 奧斯特/格} \\ &= 1.59\% \end{aligned}$$

上式中 m 系指靈敏度螺絲的質量。這計算表示，當靈敏度螺絲降低 0.05 厘米時，格值增加 1.59%。

上面公式是這樣推導來的：設 m_1 是整個磁系的質量（不包括靈敏度螺絲的質量）， m_2 表示靈敏度螺絲的質量。從物理上：各個質量對某一軸的力矩之和，等於重心對某一軸的總力矩。所以有 $m_1 x_1 + m_2 x_2 = md$