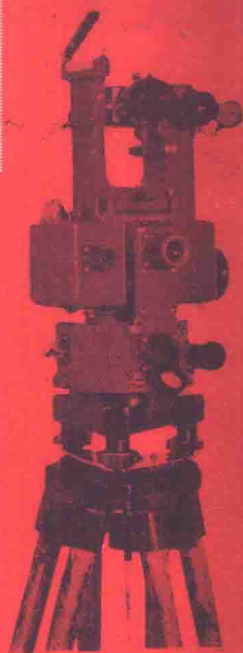
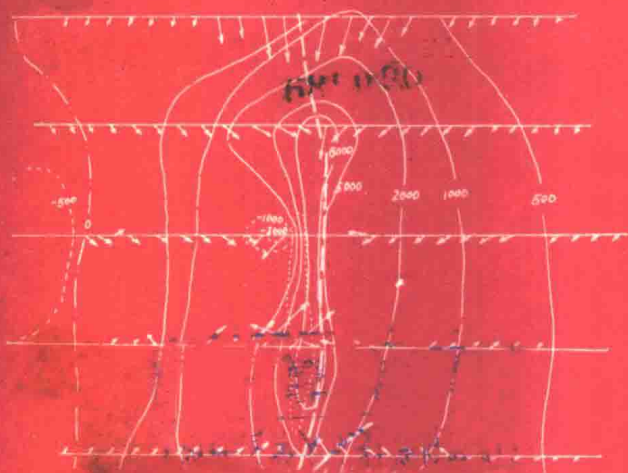


王 廷 权 黄 志 森



定向水平磁力仪及 水平向量磁异常测量

地 质 出 版 社

定向水平磁力仪及水平向量 磁异常测量

王廷权 黄志森 编著

地质出版社

定向水平磁力仪及水平向量磁异常测量

王廷权 黄志森 编著

*

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版
(北京西四)

地质印刷厂印刷
(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张: $3\frac{7}{8}$ · 字数: 80,000

1980年11月北京第一版·1980年11月北京第一次印刷

印数 1—2,260 册·定价 0.75 元

统一书号: 15038 · 新 557

前 言

在地面磁法勘探中，水平向量磁异常测量应占有重要地位。由于以往对水平向量磁异常在理论上和观测方法上存在着错误，以及没有定向水平磁力仪，长期以来，这项工作未能广泛开展。目前，北京地质仪器厂已研制成功并批量生产定向水平磁力仪，为水平向量磁异常测量的广泛开展和应用于找矿工作创造了条件。

鉴于目前各省物探队都有了定向水平磁力仪，水平磁测工作正在逐步开展，为了使各省从事磁测工作的同志对定向水平磁力仪和水平磁测的野外工作方法、资料整理及其应用等有关问题有一个较系统和全面的了解，使这项工作能较顺利地、广泛地开展起来，我们编写了这本小册子。其内容主要针对以上要求，着重介绍国产定向水平磁力仪的结构、构造及仪器的检修与校正方法；详细讨论了水平向量磁异常的观测方法及室内资料整理方法；并对水平磁测资料的应用问题作了扼要的提示和展望。可供野外磁测工作者和物探技术人员参考。由于笔者水平有限，实践经验不足，收集的材料不够丰富，难免会有许多不足和错误之处，恳请同志们批评指正。

在这本小册子的编写中，福建物探队参与试验并提供大量资料；朱梅生同志参加理论计算；丁鸿佳、王兴邦同志也给予了大力协助；傅良魁、管志宁同志对本书进行审阅，并提出了宝贵的修改意见，谨此表示衷心感谢。

绪 言

地面磁法勘探中，地磁场垂直分量磁异常 (Z_a) 和水平分量磁异常 (H_a) 的测定工作，都具有同等重要的意义。但长期以来，无论国内、国外，基本上只应用了垂直分量磁异常 (Z_a)，或者用实测的 Z_a 值换算为剖面上的水平分量磁异常 (H_{ap}) 来加以应用 (这种换算是以许多假设条件为前提，与实测的 H_{ap} 是存在很大误差的)。而对水平分量磁异常的直接测量，则是非常少的。更谈不上广泛应用实测的 H_a 、 H_{ap} 以及由实测的 H_a 、 H_{ap} 和 Z_a 求得的总向量磁异常 T_a 和 T_{ap} 来解决地质问题了。

存在上述情况，是由于过去国内外一些科学家和磁测工作者，例如美国的 G. A. 海兰德 (Heiland) 和苏联的 A. A. 罗加契夫等人，都是把具有任意方向的水平向量磁异常 H_a 错误地认为是指向磁北的，因而把 H_a 与地磁水平分量的代数差 ΔH 等同看待，并且采取了令磁系摆动面沿磁南北向的错误观测方法。因此，在这种错误理论和错误观测方法的影响下，严重妨碍了水平磁测工作的开展。

自从我国科学家傅承义教授于 1957 年著文“水平向量磁异常测量方法的一种改进”^[1]发表后，明确指出了：水平磁异常是一个任意方向的平面向量，只有测出其两个分量后才能获得真正的 H_a 的大小和方向。文中还提出了令磁系摆动面平行和垂直磁性体走向进行两个方位观测，用实测的 $H_{a//}$ 和 $H_{a\perp}$ 来确定 H_a 的大小和方向这一新的观测方法，从而

在理论上和观测方法上为水平磁测的开展指出了正确的途径。

由于新的观测方法要求水平磁力仪上配备瞄准方位的装置，而原有的国内外的旧式水平磁力仪不能满足此要求，因此，自1959年以来，福建、广东、四川等省物探队都先后自制瞄准装置，开展水平磁测的试验工作。经过多年的实践，在观测方法上有了进一步的改进；例如，福建物探队总结了令磁系沿正常磁北偏东、偏西不同角度进行观测的经验，作出了当瞄准方位的精度达到 $1'-3'$ 时，令磁系沿正常磁北偏东、偏西各 45° 的观测方法为最好的结论。此外，在野外工作方法、资料整理等方面还摸索出许多宝贵的经验。但由于自制的瞄准装置的瞄准方位精度只能达到 $12'$ 左右，未能满足野外工作的要求。近年来，国内外虽然生产了各种新型的电子式磁力仪，例如磁饱和式磁力仪、核子旋进式磁力仪以及更高灵敏度的铷蒸汽、铯蒸汽光泵磁力仪等，其精度与灵敏度虽较高，但亦只能测量垂直磁异常 Z_a ，或地磁总强度的代数差值 ΔT 。它们均不能测量矢量 H_a 和 T_a 。因此，水平磁测工作仍然受到仪器条件的限制，不能广泛开展起来。

根据我国磁测工作的需要，北京地质仪器厂自行设计并全部采用国产材料，创制出定向水平磁力仪，其瞄准方位精度达 $1'$ ，能满足野外工作要求。这样，便为水平磁测的广泛开展创造了有利条件。

我国幅员广大，矿产资源丰富，开展水平磁测，将能更有效地发现磁异常。随着地质勘探工作对物探工作提出越来越高的要求，需要对磁测资料进行大量的定量计算工作。这就需要垂直磁测与水平磁测资料相互补充，以提高计算和解释推断工作的精度。

应用定向水平磁力仪进行水平向量磁异常测量，能够获得足够精度的水平向量磁异常 H_a 及其方位角 ϕ 、水平向量磁异常 H_a 在测线方向的分量 H_{ap} ，以及水平向量磁异常在平行和垂直磁性体走向方向上的分量 $H_{a//}$ 和 $H_{a\perp}$ 。同时进行垂直磁异常测量时，还可获得相应的总向量磁异常 T_a 及其与地面的倾角 I ，和总向量磁异常沿剖面方向的分量 T_{ap} 及其有效倾角 I_p 。有了上述众多的磁异常参数，毫无疑问，它必将为应用各种计算或解释方法（特征点、任意点解析法、切线法、列线图法、积分法、直接法、选择法，特别是矢量解释法），对磁测资料进行定量解释广开道路，这对提高磁测资料的推断解释水平，促进物探仪器的革新，提高物探学科水平将有重要的意义。

目 录

绪言

第一章 仪器 (CSS-1 型悬丝式水平磁力仪)	1
§ 1.1 磁力仪部分的结构原理	1
§ 1.2 仪器的结构	7
§ 1.3 仪器的用途及主要特点	16
第二章 仪器的检修与校正	19
§ 2.1 仪器的检修要求	19
§ 2.2 仪器的检修与校正	23
第三章 水平向量磁异常及观测方法讨论	34
§ 3.1 水平向量磁异常的基本概念	34
§ 3.2 水平向量磁异常测量的任务	35
§ 3.3 以往水平磁异常观测方法存在的问题	36
§ 3.4 观测方法的进一步改进	40
§ 3.5 观测误差的理论计算	41
§ 3.6 小结	55
第四章 水平向量磁异常测量的野外工作方法	57
§ 4.1 测地工作的任务及精度要求	57
§ 4.2 各项常数的测定	63
§ 4.3 仪器的检查对比	71
§ 4.4 水平向量磁异常测量的野外工作布置	73
§ 4.5 水平向量磁异常测量的野外观测步骤	75
§ 4.6 地球水平磁场日变化测量	78

§ 4.7 野外工作质量检查和评价.....	81
第五章 水平向量磁异常测量的室内资料整理方法	84
§ 5.1 原始资料的检查、各项改正和计算.....	84
§ 5.2 各项磁异常参数的计算.....	86
§ 5.3 图件的绘制.....	91
第六章 水平磁测资料的应用.....	97
主要参考文献.....	115

第一章 仪 器

(CSS-1型悬丝式水平磁力仪)

CSS-1 型水平磁力仪是测量地磁场水平分量相对值的仪器。结构与一般水平磁力仪相比较, 主要不同之处是: 它具有专门的定向装置。由于它定位精度较高, 而且又不受地磁场的干扰, 因此可以在不同方位上测量地磁场水平分量。

§ 1.1 磁力仪部分 的结构原理

CSS-1 型水平磁力仪的装置原理与一般垂直磁力仪的装置原理大致相同, 即磁力矩与重力矩和扭力矩相平衡 (见图 1—1)。

其平衡方程式为:

$$\begin{aligned} MH \cos \theta &= MZ \sin \theta + \\ mg(a \cos \theta + d \sin \theta) &+ 2C\theta \\ &+ \frac{1}{2} C\varphi \end{aligned} \quad (1.1)$$

式中:

M ——磁钢的磁矩,
CGSM 单位;

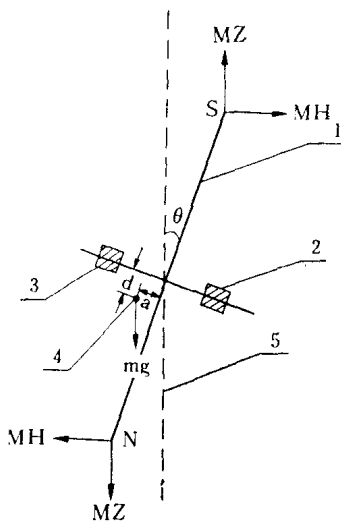


图 1—1 原理结构示意图

- 1—磁钢（磁棒）；2—温度螺丝，
3—纬度螺丝；4—磁系重心，
5—铅垂线

H ——与磁系摆动面方向一致的水平磁场强度，用奥斯特为单位，相当于 10^5 伽玛；

Z ——垂直磁场强度，单位同上；

m ——磁系的质量，克；

g ——重力加速度，980 厘米/秒²；

a ——重心到支点之间的水平距离，厘米；

d ——重心到支点之间的垂直距离，厘米；

C ——悬丝两支点长度一半的扭转常数，达因·厘米/弧度；

φ ——扭鼓偏转的角度，用弧度表示；

θ ——磁轴与铅垂面之间的夹角。

上式有必要说明一下。该式是为了照顾我们国家的传统。当扭鼓度为零度时的公式和1958年丁鸿佳同志著的《磁秤》一书中丝悬式磁力仪的公式一致。国内所有大专院校的教科书，基本上也采用了这一公式。

式(1.1)中，如果在某一点 $\theta = 0^\circ$ ，而这时的水平磁场强度 H 为 H_1 ，扭鼓度为 φ_1 ，则

$$MH_1 = \frac{1}{2} C \varphi_1 \quad (1.2)$$

而在另一点， θ 仍然是 0° ，但水平磁场强度 H 变为 H_2 ，自然

$$MH_2 = \frac{1}{2} C \varphi_2 \quad (1.3)$$

所以

$$M(H_2 - H_1) = \frac{1}{2} C (\varphi_2 - \varphi_1)$$

或者为

$$M\Delta H = -\frac{1}{2} C\Delta\varphi \quad (1.4)$$

再写成

$$\Delta H = -\frac{C}{2M} \Delta\varphi \quad (1.5)$$

$$\text{令} \quad D \textcircled{1} = \frac{C}{2M} \quad (1.6)$$

$$\Delta H = D\Delta\varphi$$

D 就是我们平常所说的扭鼓常数。它和扭转常数 C 成正比，而和磁钢的磁矩成反比。公式(1.5)有明确的物理意义，即在 $\theta=0^\circ$ 的条件下，磁场强度的改变 ΔH ，相应于扭鼓度 $\Delta\varphi$ 的改变。其比例常数就是我们的扭鼓常数。也就是说，在 $\theta=0^\circ$ 的条件下，用扭鼓度就可以直接测定磁场强度，也就是我们经常所说的零点读数法。这有很大的优点，因为它和下文所说的与格值和 Z 均无关，扭鼓常数本身就意味着扭鼓度的格值。因此，在精心设计下，用扭鼓度便可以直读磁场强度的伽偶值。它有很大的优越性，误差也最小，这是丝悬式磁力仪改进的重要方向。水平磁力仪尤其应这样做，因为这样可以不用垂直磁力仪，而单独使用。限于当时的条件，

- ① 从公式(1.2) 令 $M=1000$ CGSM单位， H 为0.3奥斯特， φ 为一个弧度。则：

$$C = \frac{2MH_1}{\varphi_1} = \frac{2 \times 1000 \times 0.3}{1} = 600 \text{达因} \cdot \text{厘米/弧度}$$

再从(1.6)公式。仍令 $M=1000$ CGSM单位，扭鼓常数 D ，一般为500伽偶/度左右，即8.33伽偶/1'或0.2865奥斯特/弧度。则：

$$\begin{aligned} C &= 2MD \\ &= 2 \times 1000 \times 0.2865 = 573 \text{达因} \cdot \text{厘米/弧度} \end{aligned}$$

其结果是一致的。

我们没有采用，这是很大的缺陷，留待今后改进。

由公式 (1.1)，令 $\theta=0^\circ$ ，并设 $\varphi=\varphi_0$ ，这时 $H=H_0$ ，则

$$MH_0 = mga + \frac{1}{2} - C\varphi_0 \quad (1.7)$$

当磁系发生偏转，并在可读范围内时， $\theta \leq 1^\circ$ ， $\frac{1}{\cos \theta} \rightarrow 1$ ，

$\theta \rightarrow \sin \theta$ ，所以

$$MH = (MZ + mgd + 2C) \operatorname{tg} \theta + mga + \frac{C}{2} \varphi$$

或可写成：

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{MH - mga - \frac{C}{2} \varphi}{MZ + mgd + 2C} \quad (1.8)$$

考虑到 (1.7) 式

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \theta &= \frac{MH - MH_0 - \frac{C}{2} \varphi + \frac{C}{2} \varphi_0}{MZ + mgd + 2C} \\ &= \frac{M(H - H_0) - \frac{C}{2} (\varphi - \varphi_0)}{MZ + mgd + 2C} \end{aligned} \quad (1.9)$$

由图 1-2 可知：

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} 2\theta &= \frac{2 \operatorname{tg} \theta}{1 - \operatorname{tg}^2 \theta} \\ &= \frac{S - S_0}{f} \end{aligned}$$

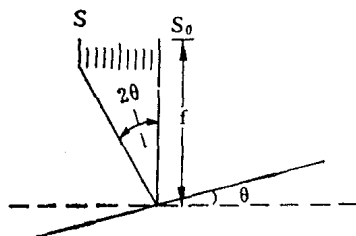


图 1-2 标尺读格与 f 、 θ 之间的关系示意图

由于磁系倾角 θ 很小，所以 $\operatorname{tg}^2 \theta \ll 1$ ，可以略去不计，并有 $\operatorname{tg} 2\theta = 2 \operatorname{tg} \theta$

$$\therefore \quad \operatorname{tg} \theta = \frac{S - S_0}{2f} \quad (1.10)$$

f 是光系的焦距, $2f$ 相当于 5320 读格。

将 (1.9) 式代入 (1.10) 式得:

$$S - S_0 = \frac{2fM[(H - H_0) - D(\varphi - \varphi_0)]}{MZ + mgd + 2C}$$

$$\text{即} \quad H - H_0 = \frac{MZ + mgd + 2C}{2fM} (S - S_0) + D(\varphi - \varphi_0) \quad (1.11)$$

$$\text{令} \quad \epsilon_H = \frac{MZ + mgd + 2C}{2fM} \quad (1.12)$$

ϵ_H 即是水平磁力仪的格值, 得

$$H - H_0 = \epsilon_H (S - S_0) + D(\varphi - \varphi_0) \quad (1.13)$$

该式有明确的物理意义, 即任一点上的水平磁场强度 H 和磁系磁轴真正垂直时的磁场强度 H_0 之差, 等于格值乘上读数之差和扭鼓常数乘上扭鼓度的差数。

ϵ_H 式中和 Z 有关, 即水平磁力仪的格值和垂直磁场 Z 有关。

假定在第一点上, $Z = Z_1$, 则 $\epsilon_H = \epsilon_{H_1}$; 而在第二点上, $Z = Z_2 = Z_1 + \Delta Z$, 显然

$$\epsilon_{H_2} = \epsilon_{H_1} + \frac{\Delta Z}{2f} \quad (1.14)$$

此外, 在第一点上令 $H = H_1$, $S = S_1$, $\varphi = \varphi_1$

$$\text{则} \quad H_1 - H_0 = \epsilon_{H_1} (S_1 - S_0) + D(\varphi_1 - \varphi_0) \quad (1.15)$$

在第二点上令 $H = H_2$, $S = S_2$, $\varphi = \varphi_2$

$$\text{则} \quad H_2 - H_0 = \epsilon_{H_2} (S_2 - S_0) + D(\varphi_2 - \varphi_0)$$

$$= \left(\epsilon_{H_1} + \frac{\Delta Z}{2f} \right) (S_2 - S_0) + D(\varphi_2 - \varphi_0) \quad (1.16)$$

两式相减，得：

$$H_2 - H_1 = \epsilon_{H_1} (S_2 - S_1) + \frac{\Delta Z}{2f} (S_2 - S_0) + D(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (1.17)$$

上式就是野外实际应用的公式。 H 用伽偶表示，格值 ϵ_H 用伽偶/格表示， S 就是读格数， D 用伽偶/度（度是扭鼓度一度）表示， φ 就是读出的扭鼓刻度。

当 $\Delta Z = 0$ ，则

$$H_2 - H_1 = \epsilon_{H_1} (S_2 - S_1) + D(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (1.18)$$

如在同一测点上， ΔZ 自然等于 0，转动扭鼓度，相当于光系内变动了 ΔS 格，则扭鼓常数 D 可表示为：

$$D = \epsilon_H \Delta S \quad (1.19)$$

这就是《磁秤》〔参见文献 3〕一书所表示的公式。同样也是我们常用的公式。

由 (1.17) 式可以看出，格值的测定必须放在基点上。

另外，垂直改正项 $\frac{\Delta Z}{2f} (S_2 - S_0)$ ，由于该型仪器的焦距较长， $2f = 5320$ 读格，同时 S_2 读数只能在 90 到 -30 读格之间，因此 $\frac{S_2 - S_0}{2f}$ 变化甚微。当 ΔZ 在几百伽偶以内时，该项改正可以略去不计；只有当 ΔZ 较大时，才应加该项改正。

必须指出：在第一、第二两点上读数时，磁系摆动面一定要在同一个方位上，否则该式是没有意义的。用罗盘定向的水平磁力仪，所以不能应用，理由也在于此。这就是说，

当在磁异常区观测时，由于受到磁异常的影响，致使罗盘所定的方位不能满足在同一方位上观测 H_1 和 H_2 的要求，因而产生较大的误差。另外，罗盘本身定向精度也较低，不易定准方位，也要产生较大的误差。

§ 1.2 仪器的结构

本仪器是由磁力仪和定向装置（经纬仪）两部分组成。其结构较为复杂，因此在设计时，既要保证有较高的观测精度，又要使仪器具有结构简单、坚固耐用、体积小、重量轻、操作和检修简便等特点。为此，除了磁系支架、开关和磁力仪主体内部是参照 CS2-61 型垂直磁力仪的结构设计外，其它如磁力仪光系和主体上、下部分均有所更新，如图 1—3 至图 1—6 所示（注：下列各图与出厂仪器略有不同）。

现将仪器的各主要部分简述如下：

一、磁力仪部分

1. 磁力仪主体：

与 CS2-61 型垂直磁力仪的结构基本相同，即由磁系和扭鼓及弹簧三部分组成。磁系的磁棒是直立地装在磁系方块的中心，磁棒顶部装有平面反光镜。磁系方块前后有温度、纬度螺杆及螺母，可以按照测量地区的纬度值加以调节。

2. 磁力仪光系部分：

光系为一准直式望远系统。为使望远镜具有较长的焦距，而又保持较短的筒长，则采用正透镜组、负透镜组以及三次转象棱镜组成消色差系统，焦距 $f = 310$ 毫米左右。

目镜组系统是采用对称型式。其优点是象质好，视场范围也较大，便于观测。另外，光学系统工作距离设计得较长（分划板至场镜距离），使在分划板与场镜间能够放入一全

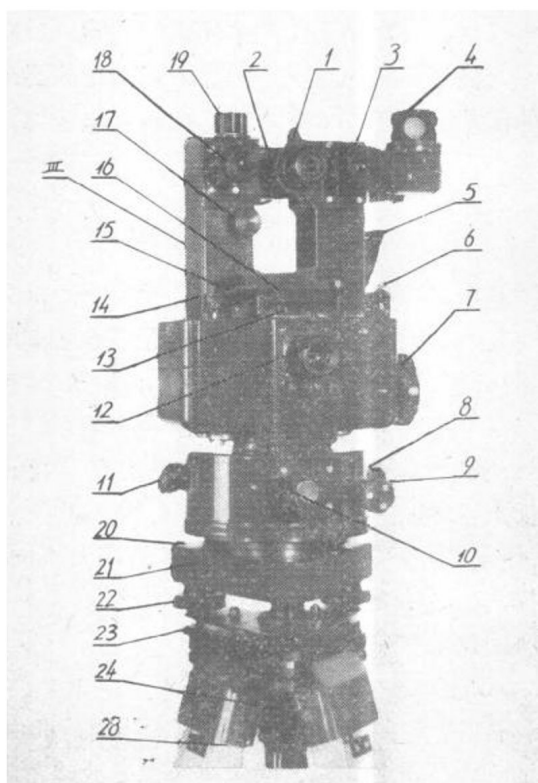


图 1—3 水平磁力仪外貌前视图

- 1—望远镜筒；2—望远镜调焦螺旋；3—磁力仪读数目镜；4—磁力仪外光源转向棱镜；5—水泡反光镜；6—纵水泡；7—磁力仪开关旋钮；8—锁紧机构旋钮；9—水平度盘微调旋钮；10—水平度盘外光源反光镜；11—水平度盘卡紧旋钮；12—水平度盘目镜；13—地区牌（使用地区及仪器指北标志 $\diamond$ ）；14—扭鼓刻度旋钮；15—扭鼓盖；16—横水泡；17—望远镜筒微调旋钮；18—扭鼓读数目镜；19—望远镜筒制动螺丝；20—三齿锁盘；21—基座；22—脚架安平螺丝；23—底板；24—连接螺杆及垂球挂钩；28—脚架腿；Ⅲ—上部支架左侧盖