

磁阻传感器与地磁场实验

(FB525 型磁阻传感器与地磁场实验仪)

实 验 讲 义

杭州精科仪器有限公司

磁阻传感器与地磁场测量

【概述】

地磁场的数值比较小, 约 10^{-5}T 数量级, 但在直流磁场测量, 特别是弱磁场测量中, 往往需要知道其数值, 并设法消除其影响, 地磁场作为一种天然磁源, 在军事、工业、医学、探矿等科研中也有着重要用途。本实验采用新型坡莫合金磁阻传感器测定地磁场磁感应强度及地磁场磁感应强度的水平分量和垂直分量; 测量地磁场的磁倾角, 从而掌握磁阻传感器的特性及测量地磁场的一种重要方法。由于磁阻传感器体积小, 灵敏度高、易安装, 因而在弱磁场测量方面有广泛应用前景。

【实验原理】

物质在磁场中电阻率发生变化的现象称为磁阻效应。对于铁、钴、镍及其合金等磁性金属, 当外加磁场平行于磁体内部磁化方向时, 电阻几乎不随外加磁场变化; 当外加磁场偏离金属的内部磁化方向时, 此类金属的电阻减小, 这就是强磁金属的各向异性磁阻效应。

磁阻传感器由长而薄的坡莫合金(铁镍合金)制成一维磁阻微电路集成芯片(二维和三维磁阻传感器可以测量二维或三维磁场)。它利用通常的半导体工艺, 将铁镍合金薄膜附着在硅片上, 如图 1 所示。薄膜的电阻率 $\rho(\theta)$ 依赖于磁化强度 M 和电流 I 方向间的夹角 θ , 具有以下关系式:

$$\rho(\theta) = \rho_{\perp} + (\rho_{\parallel} - \rho_{\perp}) \cos^2 \theta \quad (1)$$

其中 $\rho_{\parallel}$ 、 $\rho_{\perp}$ 分别是电流 I 平行于 M 和垂直于 M 时的电阻率。当沿着铁镍合金带的长度方向通以一定的直流电流, 而垂直于电流方向施加一个外界磁场时, 合金带自身的阻值会生较大的变化, 利用合金带阻值这一变化, 可以测量磁场大小和方向。同时制作时还在硅片上设计了两条铝制电流带, 一条是置位与复位带, 该传感器遇到强磁场感应时, 将产生磁畴饱和现象, 也可以用来置位或复位极性; 另一条是偏置磁场带, 用于产生一个偏置磁场, 补偿环境磁场中的弱磁场部分(当外加磁场较弱时, 磁阻相对变化值与磁感应强度成平方关系), 使磁阻传感器输出显示线性关系。

磁阻传感器是一种单边封装的磁场传感器, 它能测量与管脚平行方向的磁场。传感器由四条铁镍合金磁电阻组成一个非平衡电桥, 非平衡电桥输出部分接集成运算放大器, 将信号放大输出。传感器内部结构如图 2 所示。图中由于适当配置的四个磁电阻电流方向不相同, 当存在外界磁场时, 引起电阻值变化有增有减。因而输出电压 U_{out} 可以用下式表示

为:

$$U_{\text{out}} = \left(\frac{\Delta R}{R} \right) \times U_b \quad (2)$$

对于一定的工作电压, 如 $U_b = 5.00\text{V}$, FB525 型磁阻传感器输出电压 U_{out} 与外界磁场

的磁感应强度成正比关系：

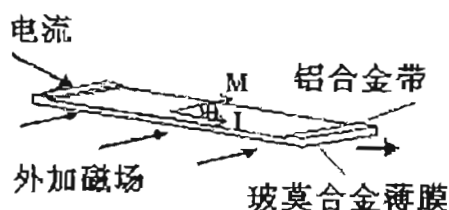


图1 磁阻传感器的构造示意图

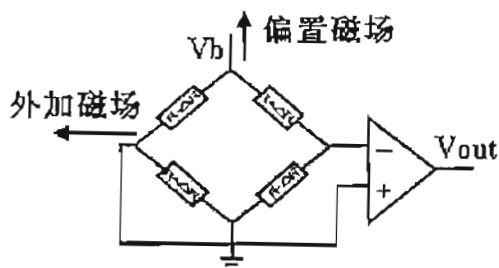


图2 磁阻传感器内的惠斯登电桥

$$U_{out} = U_0 + KB \quad (3)$$

(3) 式中，K 为传感器的灵敏度，B 为待测磁感应强度。\$U_0\$ 为外加磁场为零时传感器的输出电压。

由于亥姆霍兹线圈的特点是在其轴线中心点附近产生较宽范围的均匀磁场区，所以常用作弱磁场的标准磁场。亥姆霍兹线圈公共轴线中心点位置的磁感应强度为：

$$B = \frac{8\mu_0 \cdot N \cdot I}{5^{3/2} R} \quad (4)$$

式中 N 为单只线圈匝数，I 为线圈流过的电流强度，R 为亥姆霍兹线圈的平均半径，\$\mu_0\$ 为真空磁导率。

【实验装置】

测量地磁场装置如图 3 所示。它主要包括底座、转轴，带角度刻度的转盘、磁阻传感器的引线、亥姆霍兹线圈、地磁场实验仪主机(包括三位半数字式电压表、数字式电流表、亥姆霍兹线圈励磁用恒流源、3mA 恒流源等)

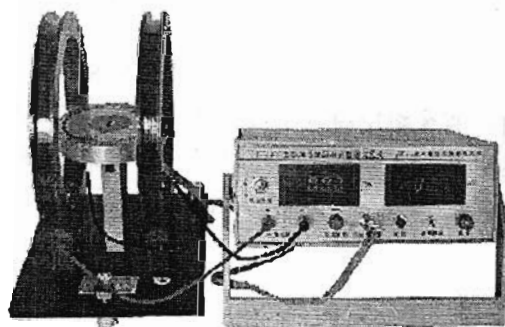


图3 用亥姆霍兹线圈磁场对磁阻传感器定标

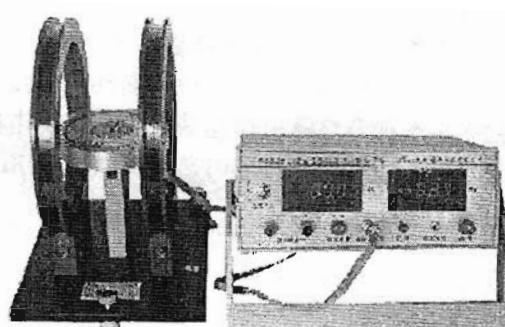


图4 用定标后的实验仪测定地磁场

【实验内容】

一、必做实验内容：

1. 先将亥姆霍兹线圈按串联方式连接, 磁阻传感器放置在亥姆霍兹线圈公共轴线中点, 使传感器的管脚和磁感应强度方向平行。即使传感器的感应面与亥姆霍兹线圈轴线垂直。用亥姆霍兹线圈产生的磁场作为已知的标准磁感应强度, 测定并计算出(磁阻传感器)地磁场实验仪的灵敏度 K' 。以上步骤完成后, 拆除亥姆霍兹线圈的励磁电流连接线。

2. 磁阻传感器已经平行固定在转盘上, 先利用水准器指示, 调节地磁场实验仪的底脚螺丝, 把转盘调节到水平状态。然后左右水平旋转转盘, 寻找到传感器输出电压最大的方向, 这个方向就是地磁场磁感应强度的水平分量 $B_{//}$ 的方向。记录此时传感器输出电压 U_1 后,

再旋转转盘 180° 左右, 寻找到传感器输出最大负电压的方向, 记录传感器输出电压 U_2 (负值), 由 $|U_1 - U_2|/2 = K'B_{//}$, 求得当地地磁场水平分量 $B_{//}$ 。

3. 将带有磁阻传感器的转盘平面调整为铅直, 并使装置沿着地磁场磁感应强度水平分量 $B_{//}$ 方向放置, 只是方向转 90° 。转动调节转盘, 分别记下传感器输出最大和最小时转盘指示值和水平面之间的夹角 β_1 和 β_2 , 同时记录此最大读数 U_1' 和 U_2' 。由磁倾角 $\beta = (\beta_1 + \beta_2)/2$ 计算 β 的值。

4. 由 $|U_1' - U_2'|/2 = K'B$, 计算地磁场磁感应强度 B 的值。并计算地磁场的垂直分量 $B_{\perp} = B \cdot \sin \beta$ 。

在做本实验时须注意: 为了保证测量结果的准确性, 实验仪器周围一定范围内不应存在铁磁性金属物体。

二. 选做内容:

用 FB525 型磁阻传感器与地磁场实验仪测量载流圆线圈(单只线圈通电)轴线上的磁场分布, 并与理论值进行比较计算实验误差。

【实验数据范例】

亥姆霍兹线圈每个线圈匝数 $N = 400$ 匝, 线圈的半径 $R = 10\text{cm}$; 真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{N/A}^2$ 。

亥姆霍兹线圈轴线上中心位置的磁感应强度为(二个线圈串联)

$$B = \frac{8\mu_0 \cdot N \cdot I}{5^{3/2} R} = \frac{8 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 400}{5^{3/2} \times 0.100} \times I = 35.97 \times 10^{-4} I \text{ (T)}$$

式中, B 为磁感应强度, 单位 T (特斯拉); I 为通过线圈的电流, 单位 A (安培)。

一. 在本公司二楼仪器调试车间内, 测量地磁场各参量。

1. 先测量地磁场实验仪灵敏度 K' (标定):

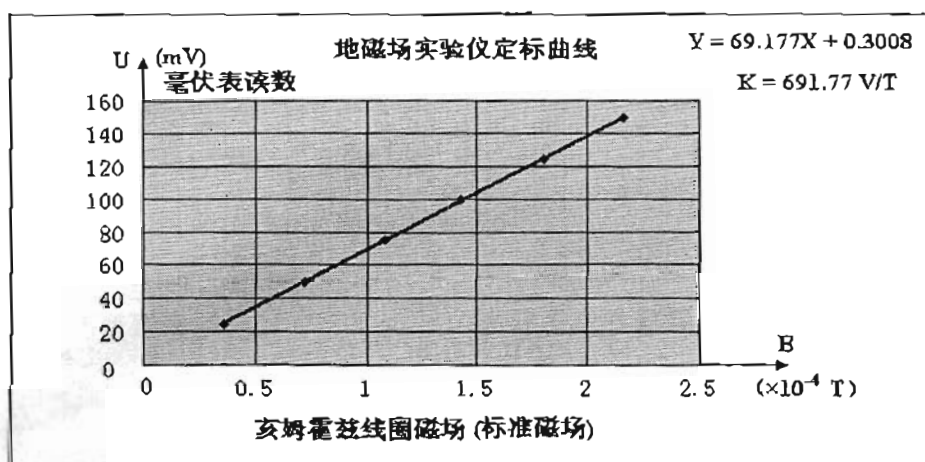
表 1 中, 正向输出电压 U_1 是指亥姆霍兹线圈励磁电流为正方向时测得的磁阻传感器产生的输出电压, 而反向 U_2 是指励磁电流为反向时, 传感器输出电压, $\bar{U} = (|U_1| + |U_2|)/2$ 。采用测正向和反向二次测量, 目的是为了消除地磁场水平分量对亥姆霍兹线圈磁场产生的影响。此外, 采用正向、反向二次测量还可以在计算时抵消毫伏表初读数, 从而消除毫伏表初读数对测量值的影响。也就是说毫伏表可以不必调零。

表 1 本公司二楼仪器调试车间内测量实验仪灵敏度数据记录

励磁电流 I(mA)	磁感应强度 B(10^{-4} T)	U(mV)		平均 $ U $ (mV)
		正向 U_1 (mV)	反向 U_2 (mV)	
± 10.0	0.3597	24.9	-24.8	24.9
± 20.0	0.7194	50.0	-50.0	50.0
± 30.0	1.0791	75.1	-75.1	75.1
± 40.0	1.4380	99.8	-99.8	99.8
± 50.0	1.7985	124.5	-124.6	124.5
± 60.0	2.1582	149.3	-149.3	149.3

表 2 用 Excel 对表 1 数据进行处理

B_N ($\times 10^{-4}$ T)	电压 (mV)	$Y_i - \bar{Y}$	$Y_i - \bar{Y}$	$\Delta X_i \cdot \Delta Y_i$	ΔX_i^2	ΔY_i^2	相关系数 r
0.3597	24.9	-0.897	-62.37	55.97	0.8054	3890.0	0.99997
0.7194	50	-0.538	-37.27	20.04	0.2892	1389.1	
1.0791	75.1	-0.178	-12.17	2.17	0.0317	148.1	
1.4280	99.8	0.171	12.53	2.14	0.0292	157.0	
1.7985	124.5	0.541	37.23	20.15	0.2931	1386.1	
2.1582	149.3	0.901	62.03	55.89	0.8119	3847.7	
7.5429	523.6			156.3701	2.2604	10818.0	
1.25715	87.267				1.503474	104.0095	



用最小二乘法拟合, 得到该地磁场实验仪灵敏度 $K' = 691.77(\text{V/T})$, 相关系数为:

从表 2 中数据及曲线看出, 地磁场测定仪的线性度是非常理想的。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^6 (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^6 (X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^6 (Y_i - \bar{Y})^2}} = \frac{156.37011}{1.5034745 \times 104.0095} = 0.99997 \quad (\text{按照 } 3\text{mA})$$

恒流工作电流计算, 磁阻传感器本身的灵敏度约为 $K = 25\text{V/T}$, 信号经仪器放大后, 得到地磁场实验仪总的灵敏度(转换系数) $K' = 691.77(\text{V/T})$;

2. 测量地磁场的水平分量 $B_{//}$; 总磁感应强度 B_{Σ} ; 地磁场的垂直分量 $B_{\perp}$, 磁倾角 β 。

实验操作方法:

(1) 将亥姆霍兹线圈与直流电源的连接线拆去。用水准仪仔细调节底板上螺丝使转盘达到水平。按一下复位按钮。(复位按钮可消除磁阻传感器因剩磁而产生测量误差, 在测量过程中, 应记住经常反复使用该功能按钮)

(2) 把转盘刻度调节到角度 $\theta = 0^\circ$ 。仔细左右调节底座方向, 使磁阻传感器输出最大电压。目的是使磁阻传感器的感应面与地磁场水平分量方向垂直。

(3) 测量地磁场水平分量:

测量出 $B_{//}$ 对应的电压 $U_{//}$, 将磁阻传感器水平旋转 180° 左右, 再测出地磁场水平

分量 $B'_{//}$ 对应的电压 $U'_{//}$, ($U'_{//}$ 应该和 $U_{//}$ 符号相反, 也就是一正一负,) 如此重复测量 5 组实验数据, 一一记录到表格 3 中。然后用平均值代入公式, 计算出测量地点的地磁场水平分量 $B_{//} = \bar{U}_{//} / K' = (|U_{//}| + |U'_{//}|) / 2K'$ 。

表 3 在公司二楼直接测量地磁场水平分量数据记录

$U_{//正}(mV)$	25.4	25.5	25.5	25.5	25.5
$U_{//反}(mV)$	-14.5	-14.5	-14.5	-14.6	-14.6
$\bar{U}_{//}(mV)$	20.0				

公司二楼直接测量到的地磁场的水平分量， $\bar{U}_{//} = 20.0mV$ ，计算得地磁场水平分量： $B_{//} = 20.0 \times 10^{-3} / 692 = 0.289 \times 10^{-4}(T) = 28.9\mu T$ 。公司二楼的测量数据，与本地区公认值比较，测量误差较大。分析原因是：由于厂房属于钢筋混凝土的结构，其对地磁场的屏蔽作用，使测量到的地磁场水平分量偏小。

(4) 测量地磁场的磁感应强度 $\bar{B}$ 和磁倾角 β ：

此时将转盘转到垂直位置，这时候转盘平面方向即为地磁子午面方向，按顺、逆时针方向转动转盘，寻找出电压 $U_{总}(mV)$ 的最大值，该值即代表地磁场磁感应强度的 $\bar{B}$ ，记录 $U_{总}(mV)$ 数值及对应的转盘的角度值即是磁倾角 $\beta_{正}$ ，再把转盘转动 180° 左右，寻找出 $U'_{总}(mV)$ 最大负电压值，对应的磁倾角 $\beta_{反}$ 。如此测量 6 组数据，把数据记录到表格 4 中。求多次测量的平均值，代入公式计算地磁场磁感应强度的 $\bar{B}$ 和磁倾角 β 值。

表 4 在公司二楼测量磁感应强度 $\bar{B}$ 、磁倾角 β 值的数据记录

$U_{总}(mV)$	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
$U'_{总}(mV)$	-24.9	-24.9	-24.9	-24.9	-24.9	-24.9
$\bar{U}(mV)$	29.95					
$\beta_{正}$	47°0'	44°50'	49°30'	47°20'	46°30'	43°20'
$\beta_{反}$	45°40'	46°30'	44°40'	46°30'	43°50'	48°0'
$\bar{\beta}$	46°6'					

地磁场 $\bar{U} = 29.95\text{mV}$, 计算得地磁场磁感应强度:

$$\bar{B} = 9.95 \times 10^{-3} / 692 = 0.433 \times 10^{-4} (\text{T}) = 43.3 \mu\text{T}, \text{磁倾角 } \bar{\beta} = 46^{\circ}6';$$

计算地磁场水平分量磁感应强度:

$$B_{//} = \bar{B} \cdot \cos \beta = 43.3 \mu\text{T} \cdot \cos 46^{\circ}6' = 30.3 \mu\text{T}$$

计算地磁场垂直分量磁感应强度:

$$B_{\perp} = \bar{B} \cdot \sin \beta = 43.3 \mu\text{T} \cdot \sin 46^{\circ}6' = 31.2 \mu\text{T},$$

表 5 在公司一楼地面测量地磁场水平分量测量数据记录

$U_{//\text{正}} (\text{mV})$	22.3	22.3	22.5	22.3	22.3
$U_{//\text{反}} (\text{mV})$	-22.7	-22.7	-22.6	-22.7	-22.7
$\bar{U}_{//} (\text{mV})$	22.5				

计算得地磁场水平分量: $B_{//} = 22.5 \times 10^{-3} / 692 = 0.325 \times 10^{-4} (\text{T}) = 32.5 \mu\text{T}$,

与资料查得杭州地区的水平分量: $B_{//} = 0.337 \times 10^{-4} (\text{T})$ 比较:

$$E = \left| \frac{32.5 \times 10^{-3} - 33.7 \times 10^{-3}}{33.7 \times 10^{-3}} \right| \times 100\% = 3.5\%$$

地磁场倾角测量误差: (数据来自公司二楼测量值)

$$E = \left| \frac{46^{\circ}6' - 44^{\circ}5'}{44^{\circ}5'} \right| \times 100\% = 4.6\%$$

【实验注意事项】

1. 测量地磁场水平分量, 须将转盘调节至水平; 测量地磁场 $\bar{B}$ 和磁倾角 β 时, 须将转盘面处于地磁子午面方向。

2. 测量磁倾角应记录不同 β 时, 传感器输出电压 $U_{\text{总}}$, 应取不少于 6 组 β 值, 求其平均值。这是因为测量时, 偏差 1° , $U_{\text{总}}' = U_{\text{总}} \cdot \cos 1^{\circ} = 0.9998 U_{\text{总}}$ 变化很小, 偏差 4° ,

$U_{总}'' = U_{总} \cdot \cos 4^\circ = 0.998 U_{总}$ ，所以在偏差 1° 至 4° 范围 $U_{总}$ 变化极小，实验时应测出 $U_{总}$ 变化很小 β 角的范围，然后求得平均值 $\bar{\beta}$ 。

【思考题】

1. 磁阻传感器和霍尔传感器在工作原理和使用方法方面各有什么特点和区别？
2. 如果在测量地磁场时，在磁阻传感器周围较近处，放一个铁钉，对测量结果将产生什么影响？
3. 为何坡莫合金磁阻传感器遇到较强磁场时，其灵敏度会降低？用什么方法来恢复其原来的灵敏度？

【参考资料】

1. 贾玉润、王公治、凌佩玲主编。大学物理实验，上海复旦大学，1987：492-493
2. 鲁绍曾。现代计量学概论。北京，中国计量出版社，1987：492-493
3. 黄一菲、郑神、吴亮、陆申龙，坡莫合金磁阻传感器的特性研究和应用、物理实验。第22卷第4期，2002，4：45-48
4. Honeywell 公司，固态传感器(磁阻传感器部分)说明书，2001
5. 沈元华、陆申龙主编，基础物理实验，北京：高等教育出版社，2003
6. 黄德星。磁敏器件及其应用[M]。北京：科学出版社，1987
7. 里夫、王秀琴等编著，常用物理常数手册、云南人民出版社、1983、10：157-158

【附录1】地磁场

地球本身具有磁性，所以地球和近地空间之间存在着磁场，称为地磁场。地磁场的强度和方向随地点不同(甚至随时间)而不相同。地磁场的北极、南极分别在地理南极、北极附近，彼此并不重合，如图5所示，而且两者间的偏差随时间不断地在缓慢变化。地磁轴与地球自转轴并不重合，大约有 11° 交角。

在一个不太大的范围内，地磁场基本上是均匀的，可用三个参量来表示地磁场的方向和大小(如图6所示)：

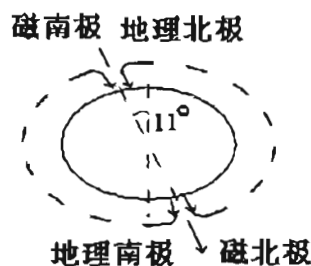


图5 地理南、北极与地磁南、北极

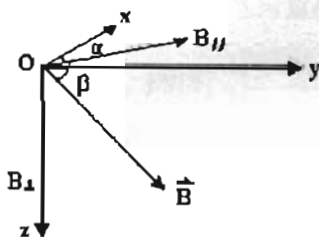


图6 地磁场的磁偏角 α 、磁倾角 β 和水平分量 B_H

- (1) 磁偏角 α ，地球表面任一点的地磁场矢量所在垂直平面(图6中 B_H 与 Z 构成的平面，称地磁子午面)，与地理子午面(图6中 X 、 Z 构成的平面)之间的夹角。

(2) 磁倾角 β , 磁场强度矢量 $\vec{B}$ 与水平面(即图6的矢量 $\vec{B}$ 和OX与OY构成平面的夹角)之间的夹角。

(3) 水平分量 B_H , 地磁场矢量 $\vec{B}$ 在水平面上的投影。

测量地磁场的这三个参量, 就可确定某一地点地磁场 $\vec{B}$ 矢量的方向和大小。当然这三个参量的数值随时间不断地在改变, 但这一变化极其缓慢, 极为微弱。

【附录 2】我国一些城市的地磁参量(地磁三要素)

地名	地理位置		磁偏角 α (偏西)	磁倾角 β	地磁场水平分量 B_H (μT)	测定年份
	北纬	东经				
齐齐哈尔	47°22'	123°59'	7°34'	64°27'	24.2	1916
长春	43°51'	126°36'	7°30'	60°20'	26.6	1916
沈阳	41°50'	123°28'	6°49'	58°43'	27.7	
北京	39°56'	116°20'	4°48'	57°23'	28.9	1936
天津	39°05'.9	117°11'	4°04'	56°21'	29.3	1916
太原	37°51'.9	112°33'	3°18'	55°11'	30.1	1932
济南	36°39'.5	117°01'	3°36'	53°06'	30.8	1915
兰州	36°03'.4	103°48'	1°15'	53°24'	31.2	
郑州	34°45'	113°43'	0°18'	50°43'	32.0	1932
西安	34°16'	108°57'	3°02'	50°29'	32.3	1932
南京	32°03'.8	118°48'	1°42'	46°43'	33.1	1922
上海	31°11'.5	121°26'	3°13'	45°25'	33.3	
成都	30°38'	104°03'	0°58'	45°06'	34.6	
武汉	30°37'	114°20'	2°23'	44°34'	34.3	
安庆	30°32'	117°02'		44°27'	34.1	1911
杭州	30°16'	120°08'	2°59'	44°05'	33.7	1917
南昌	28°42'.4	115°51'	1°51'	41°49'	34.9	1917
长沙	28°12'.8	112°53'	0°50'	41°11'	35.2	1907
福州	26°02'.2	119°11'	1°43'	27°28'	35.5	1917
桂林	25°17'.7	110°12'	0°05'	36°13'	36.6	1907
昆明	25°04'.2	102°42'	0°04'	35°19'	37.2	1911
广州	23°06'.1	113°28'	0°47'	31°41'	37.5	

FB525 型磁阻传感器与地磁场实验仪

一. 概述:

地磁场作为一种天然磁源,在军事、航空、航海、工业、医学、探矿等科研中有着重要用途。本仪器采用新型坡莫合金磁阻传感器测量地磁场的重要参量,通过实验可以掌握磁阻传感器定标以及测量地磁场水平分量和磁倾角的方法,了解测量弱磁场的一种重要手段和实验方法,本仪器与其他地磁场实验仪(如正切电流计测地磁场实验仪)相比具有以下优点:

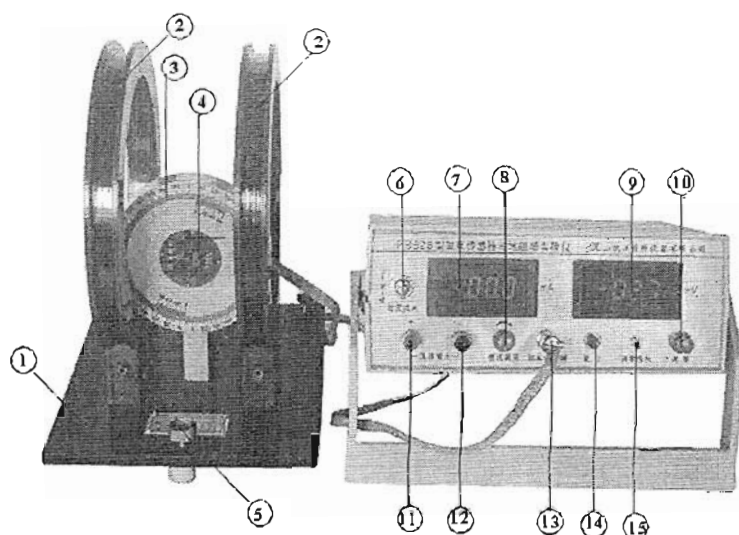
1. 实验转盘经过精心设计,可自由转动,方便地调节水平和铅直。内转盘相隔 180° ,具有两组游标,这样既提高了测量精度,又消除了偏心差。
2. 新型磁阻传感器的最高灵敏度为 50V/T ,分辨率可达 $10^{-7} \sim 10^{-8}\text{T}$,稳定性好。用本仪器做实验,便于学生掌握新型传感器定标,及用磁阻传感器测量弱磁场的方法,测量地磁场参量准确度高;
3. 本仪器不仅可测地磁场水平分量,而且能测出地磁场的大小与方向,这是正切电流计等地磁场实验仪所不能达到的。

本仪器可用于各类高校的基础物理实验、综合性设计性物理实验及演示实验。

二. 仪器技术要求:

- | | |
|--------------|--|
| 1. 磁阻传感器 | 工作电流 3mA 时,灵敏度为 $K = 25\text{V/T}$ |
| 2. 亥姆霍兹线圈 | 单只线圈匝数 $N = 400$ 匝,半径 $R = 10\text{cm}$ 。 |
| 3. 直流恒流源 | 输出电流 $0 \sim 200.0\text{mA}$ 连续可调 |
| 4. 直流电压表 | 量程 $0 \sim 199.9\text{mV}$,分辨率 0.1mV |
| 5. 测量地磁场水平分量 | 不确定度小于 5% |
| 6. 测量磁倾角 | 不确定度小于 5% |
| 7. 转盘转动角度 | 360° ,读数精度: $2'$ |
| 8. 仪器的工作电压 | $\text{AC } 220 \pm 10\text{V } 50\text{Hz}$ |

三. 仪器外形及功能分布:



1. 测试平台底座； 2. 亥姆霍兹线圈； 3. 带角度指示转盘； 4. 磁阻传感器；
 5. 底座水平调节螺栓； 6. 励磁电流换向开关； 7. 励磁电流指示数字电流表；
 8. 励磁电流调节旋钮； 9. 数字电压表； 10. 数字电压表调零旋钮；
 11. 12. 励磁电流输出插座 13. 磁阻传感器工作电源及传感器信号输出插座；
 14. 复位按钮； 15. 数字电压表调零换向开关。

图7 FB525型磁阻传感器与地磁场实验仪外形及功分布图

四. 注意事项:

1. 因磁阻传感器的个性差异，本实验仪与传感器是按编号配对的，按编号配对使用，有利于确保仪器的测量精度；
2. 毫伏表的调零，可消除初读数。如果采用正、反向测量地磁场（或定标）的方法，毫伏表也可不调零，让初读数在数据处理时相互抵消。
3. 测量地磁场水平分量前调零方法：在实验仪转盘处于水平状态下，转动转盘，寻找到磁阻传感器输出电压最大，此时记录转盘读数，然后转动转盘 90° ，这时候把毫伏表读数调到零即可。
4. 由于地磁场是 10^{-5}T 数量级的弱磁场，所以在测量时，要尽量避免外界干扰。
5. 要准确测定本地区的地磁要素，最好选择空旷的室外。

FB201A 型交变磁场测试仪装箱清单

型号规格	单位	数量	备注
FB201A 型交变 磁场实验仪	台	1	测试架 (亥姆霍兹线圈)
FB201 型交变 磁场组合实验仪	台	1	
电源导线	根	1	
屏蔽线	根	1	两头两芯航空插头, 长 85cm
保险丝	支	5	1A
导线	根	2	两头叉长 80cm 红黑各 1 根
导线	根	1	两头接线叉红色 长 15cm
实验讲义 (说明书)	本	1	

装箱人 5

装箱日期 2012 年 8 月