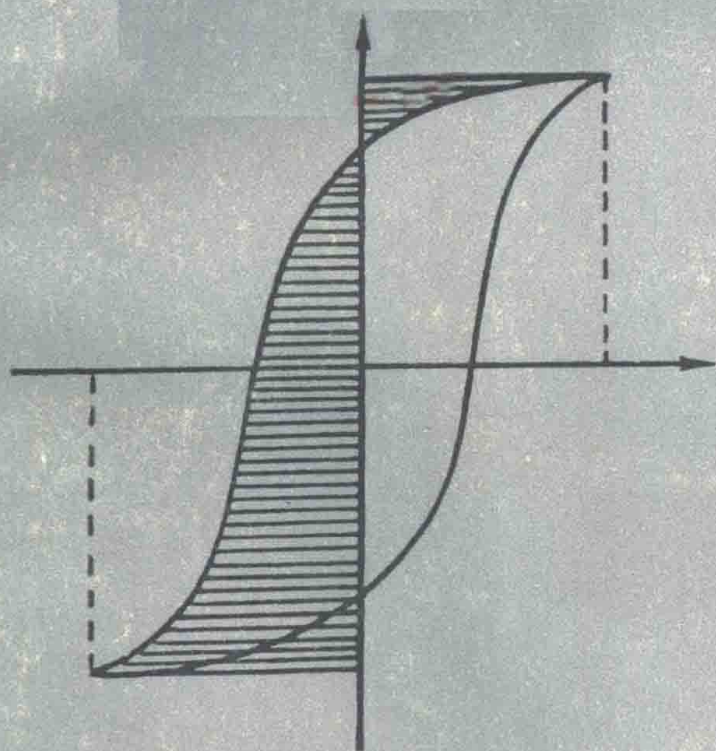


高等学校教学用书

磁性测量原理

周文生 编



電子工業出版社

高等学校教学用书

磁性测量原理

周文生 编著

内 容 简 介

本书共分九章，包括磁性测量的主要领域：静态和动态磁性测量、本征磁性的测量及磁结构的讨论。对各种磁性测量方法及原理作了较详尽的阐述，对不同方法在使用条件、灵敏度、测量精度作了比较。此外，对国内外的一些新方法、新技术也作了介绍和详述，反映了磁性测量的先进水平，是一本较实用的教学参考书。

磁 性 测 量 原 理

周文生 编著

责任编辑：宋玉升

*

电子工业出版社出版(北京海淀区万寿路)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
山东电子工业印刷厂印刷

*

开本：850×1168毫米1/32 印张：22 字数：570千字

1988年5月第一版 1988年5月第一次印刷

印数：1—1500册 定价：4.35元

ISBN7-5053-0089-X/TN48

序 言

关于磁性测量的教学参考书,在国内外出版界一向是很少的。过去国内只有几个大学的磁学专业曾参考苏联的教本,编写过几种讲义。近年来,磁性测量方法发展很快,除了传统的一些测量方法外,诸如核物理方法中的中子衍射,穆斯堡尔谱分析,核磁共振谱分析等,都在磁结构分析中成为精密测量手段。此外,微波器件测量,各种精密磁强计等也都在磁性测量中得到了应用与发展。因此磁性测量的内容已远远超过了五、六十年代的范围。

本书是作者在多年教授磁性测量课程的基础上编写而成的。全书内容丰富,系统完整,文字简炼,论证清楚,反映了现代磁性测量的水平。各章末附有重要参考文献、既便于自学,也为进一步研究原著,指示门径、书中介绍的各种较新的测量方法,也是研究工作人员必须理解的重要手段。

本书定名为原理是恰当的。磁性测量是一门实验方法,必须通过反复实践,才能精通。因此参考本书阐述的原理,配合若干磁学实验和测量,可使学者获益良多。

由于本书具有以上优点,我很高兴将其介绍给磁学的教学及科学研究工作者,作为有用的参考书。

郭贻诚

1984年8月于山东大学

目 录

重要符号表	1
导言	7
第一章 磁场的产生	10
§ 1.1 永久磁铁	10
1.1.1 选用性能优良的永磁材料	11
1.1.2 进行合理的磁路设计	12
§ 1.2 磁场线圈	17
1.2.1 亥姆霍兹线圈	17
1.2.2 螺线管	21
1.2.3 螺绕环	23
§ 1.3 电磁铁	26
1.3.1 电磁铁的磁路和极间的磁场	26
1.3.2 磁极头的设计	28
1.3.3 轭铁	34
1.3.4 电磁铁实例	36
§ 1.4 超导磁体	39
§ 1.5 脉冲磁场	40
1.5.1 电容放电式脉冲磁场发生器	41
1.5.2 可控硅脉冲磁场发生器	45
§ 1.6 本章小结	51
参考资料	54
第二章 磁场的测量	57
A. 基于电磁感应的办法	57
§ 2.1 磁通测量法	57
2.1.1 磁通测量法的基本原理	57
2.1.2 冲击法	62
2.1.3 磁通计法	73
2.1.4 电子积分器法	74

2.1.5	转动线圈法	80
2.1.6	振动线圈法	83
§ 2.2	磁通门磁强计	86
§ 2.3	磁性薄膜磁强计	93
2.3.1	磁性薄膜的磁性	93
2.3.2	磁性薄膜磁强计的工作原理及结构	95
B.	基于磁场电效应的方法	105
§ 2.4	霍尔效应法	105
2.4.1	基本原理	105
2.4.2	误差来源	107
2.4.3	测量	109
§ 2.5	磁电阻效应法	111
C.	基于磁共振的方法	113
§ 2.6	核磁共振和电子自旋共振磁强计	115
2.6.1	高场核磁共振磁强计	115
2.6.2	高场电子自旋共振磁强计	122
2.6.3	核子自由运动共振磁强计	122
§ 2.7	光泵共振磁强计	126
D.	基于超导约瑟夫逊效应的方法	129
§ 2.8	超导量子干涉器件磁强计	129
2.8.1	约瑟夫逊效应	129
2.8.2	SQUID磁强计的工作原理	133
E.	基于磁光效应的方法	143
§ 2.9	法拉第效应法	143
§ 2.10	本章小结	145
参考资料		148
第三章	磁化强度及其他静态磁性参数的测量	157
§ 3.1	冲击法(I)——用冲击法测定闭路样品的磁性	157
3.1.1	测量原理	158
3.1.2	样品及初、次级线圈	159
3.1.3	测量方法	161

3.1.4	误差分析	166
§ 3.2	冲击法(I)——用冲击法测定开路样品的磁性	168
3.2.1	磁化装置	169
3.2.2	测定内场 H_i 的探测线圈	171
3.2.3	测量方法	173
§ 3.3	电子磁通计	181
3.3.1	光电积分放大器	182
3.3.2	电子积分运算放大器	185
3.3.3	数字积分器	195
§ 3.4	振动样品磁强计及振动线圈磁强计	202
3.4.1	基本原理	202
3.4.2	探测线圈	205
3.4.3	振动系统	211
3.4.4	测检系统	211
3.4.5	振动线圈磁强计	215
§ 3.5	本章小结	215
	参考资料	221
第四章	磁化强度、磁化率及居里温度的测量	227
§ 4.1	磁秤法	227
4.1.1	基本原理	227
4.1.2	非均匀磁场的产生	229
4.1.3	磁秤的几种结构	232
4.1.4	利用均匀磁场测量弱磁性(古依法)	242
§ 4.2	用交流互感电桥测量低场磁化率	243
§ 4.3	测量磁化强度的其它方法	247
4.3.1	环形样品饱和磁化强度的测量	247
4.3.2	电流线圈替代法	248
4.3.3	铁磁共振法	250
§ 4.4	居里温度的测量	252
	参考资料	255
第五章	磁各向异性的测量	260
§ 5.1	转矩磁强计	261

5.1.1	基本原理及磁(晶)各向异性常数的确定	262
5.1.2	仪器结构	266
5.1.3	仪器的校准	268
5.1.4	误差来源	269
5.1.5	转矩磁强计的其他应用	270
§ 5.2	转动样品磁强计	278
5.2.1	基本原理	278
5.2.2	仪器结构	280
5.2.3	测量	282
§ 5.3	铁磁共振法	286
5.3.1	测量单晶体的磁晶各向异性常数	286
5.3.2	测量多晶体的磁晶各向异性常数	291
§ 5.4	根据磁化曲线测定磁(晶)各向异性常数	292
5.4.1	测量单晶主要晶轴方向的磁化曲线,从而测定 K_1 、 K_2	292
5.4.2	对于具有单轴各向异性的材料,磁化过程为一致转动的情况,根据磁化曲线测定单轴各向异性常数	293
5.4.3	根据趋近饱和定律测定多晶样品的磁晶各向异性常数	294
§ 5.5	测定磁(晶)各向异性的其他方法	296
5.5.1	扭摆	296
5.5.2	交流感应法	300
§ 5.6	本章小结	304
参考资料		305
第六章	磁致伸缩的测量	310
§ 6.1	应变电阻法	311
§ 6.2	机械光杠杆法	315
§ 6.3	光干涉法	318
§ 6.4	铁磁共振法	324
§ 6.5	根据趋近饱和定律测定多晶样品的磁致伸缩系数	330
参考资料		333
第七章	动态磁性的测量	337
§ 7.1	交流磁化曲线的一般测量	337
7.1.1	用伏特计、安培计测量交流磁化曲线	337

7.1.2	用交流电位计测量交流磁化曲线和损耗	339
§ 7.2	交流磁化特性的自动测量	342
7.2.1	交流磁滞回线的自动测量	343
7.2.2	交流磁化曲线的自动测量	349
7.2.3	磁导率曲线的自动测量	350
7.2.4	交、直流叠加磁化的测量	354
§ 7.3	硅钢片及其他软磁材料交流损耗的测量	354
7.3.1	艾泼斯坦方圈和瓦特计法	356
7.3.2	硅钢带损耗的连续自动测量	363
7.3.3	利用时间分割乘法器测量交流损耗	368
§ 7.4	复数磁导率的测量(I)——交流电桥法	371
7.4.1	带有被测样品的线圈(或同轴线)的等效电路	372
7.4.2	交流四臂电桥的工作原理	385
7.4.3	导纳电桥的结构及工作原理	392
7.4.4	低频磁损耗的分离	394
7.4.5	交流电桥法测量高磁感下的磁损耗	395
§ 7.5	复数磁导率的测量(I)——谐振法	400
7.5.1	Q表	400
7.5.2	LCCG 型高频电感电容测量仪	405
7.5.3	长度固定的短路同轴线谐振腔	406
7.5.4	长度可变的同轴线谐振腔	409
§ 7.6	脉冲磁场中的测量	419
7.6.1	开关时间 τ 和开关系数 S_w 的测试	420
7.6.2	感应信号与抗干扰性能的测试	421
参考资料		423
第八章	旋磁材料微波磁性的测量	427
§ 8.1	旋磁材料的微波磁性	427
§ 8.2	旋磁材料样品对谐振腔的微扰理论	428
8.2.1	引言	428
8.2.2	含有旋磁介质的体系中,电磁场理论的一个基本关系式	429
8.2.3	谐振腔复数谐振频率的微扰公式计算	431
8.2.4	样品中内场的准静磁(电)近似	441

8.2.5	TE _{10n} 场型矩形谐振腔复数谐振频率的微扰公式计算	447
8.2.6	TE _{11n} 场型圆柱形谐振腔复数谐振频率的微扰公式计算	465
§ 8.3	传输(通过)式或反射式谐振腔Q值的改变对传输系数或反射系数的影响	473
8.3.1	传输式谐振腔Q值的改变量与传输系数(或传输功率)的关系	474
8.3.2	反射式谐振腔Q值改变量与反射系数(或反射功率)的关系	475
§ 8.4	微波频率下复数介电常数 $\epsilon(=\epsilon'-j\epsilon'')$ 的测量	478
8.4.1	用矩形谐振腔测量复数介电常数	478
8.4.2	用圆柱形谐振腔测量复数介电常数	487
§ 8.5	铁磁共振线宽 ΔH 的测量	491
8.5.1	引言	491
8.5.2	传输式谐振腔法	492
8.5.3	反射式谐振腔法	501
8.5.4	传输式传输线法	507
8.5.5	反射式传输线法	511
8.5.6	微分曲线法	514
§ 8.6	有效线宽 ΔH_{eff} 的测量	515
8.6.1	有效线宽的引入及其定义	515
8.6.2	用TE _{11n} 场型圆柱腔圆偏振激发测量 ΔH_{eff}	517
8.6.3	用矩形波导谐振腔线偏振激发测量 ΔH_{eff}	521
§ 8.7	旋磁张量磁导率(或磁化率)的测量	527
8.7.1	利用线偏振波, 非简并腔, 薄片样品测量非共振区的旋磁张量磁导率	527
8.7.2	利用圆偏振波、简并腔、小样品测量共振区的旋磁张量磁导率	533
8.7.3	用旋转 DC 磁场法测量多晶样品的旋磁张量磁导率	534
§ 8.8	自旋波线宽 ΔH_L 的测量	539
8.8.1	用平行泵法测量自旋波线宽的计算公式	539
8.8.2	测量装置	546
8.8.3	测量步骤	547
附录A	矩形波导及矩形谐振腔的电磁场分布和有关参量	547

附录B 圆柱形波导及圆柱形谐振腔的电磁场分布和有关参量	551
附录C 用 $TM_{0,0}$ 模式的圆柱腔测量复数介电常数的公式推导	555
参考资料	573
第九章 磁结构的实验研究	577
§ 9.1 磁畴结构的观察	578
9.1.1 胶液技术	578
9.1.2 磁光效应	587
9.1.3 电子射线技术	594
9.1.4 其他方法	600
§ 9.2 中子衍射	601
9.2.1 中子衍射的基本原理	601
9.2.2 中子衍射谱仪的结构	607
9.2.3 原子磁矩及其取向的空间分布——磁有序类型的确定	608
9.2.4 自旋密度的测定——极化中子的应用	611
9.2.5 磁激发的研究——中子的非弹性散射	615
§ 9.3 核磁共振 (NMR)	619
9.3.1 原子核的基本性质及其与电磁场的相互作用	620
9.3.2 核磁共振谱	626
9.3.3 核磁共振谱仪及实验方法	630
§ 9.4 穆斯堡尔效应 (ME)	635
9.4.1 原子核的超精细能级和穆斯堡尔谱	635
9.4.2 原子核对 γ 射线的发射和吸收	638
9.4.3 穆斯堡尔效应的实验装置	642
9.4.4 穆斯堡尔谱线的分析及应用	644
参考资料	650
附录 物理量的基本单位及部分导出单位	656
表1 国际单位制(SI)中各量的量纲式	656
表2 高斯单位制(CGS)中各量的量纲式	659
表3 国际单位制(SI)和高斯单位制(CGS)各物理量的单位 换算关系和数值换算关系	661
常用物理常数	664
索引	665

重要符号表

$\vec{A}$	磁场的矢量势
B	磁感应强度(磁通密度)
B_s	饱和磁感应强度
B_r	剩余磁感应强度
b	交变磁感应强度
C	电容
C	居里常数
C	磁通耦合系数
$C\phi$	磁通灵敏度
c	光速
c	剩余损耗系数
D	扭力系数
d	直径
d_{hkl}	晶体中晶面的面间距
d	密度
$\vec{E}, E$	电场强度
E	电动势
E	能量
E_H	静磁能
E_s	磁(晶)各向异性能
E_σ	退磁场能
σ	应力能
e	交流电场强度
e	感应电动势
e	电子电荷

e	涡流损耗系数
$\vec{F}$	力
F	自由能
F_{hkl}	散射结构因子
f	频率
f	形状因子
G	电导
g	兰德因子
g	线圈的几何因子
$\vec{H}, H$	磁场强度
H_e	外加恒磁场
H_i	内磁场
H_a	各向异性等效场
H_d	退磁场
H_c	矫顽力
mH_c	内禀矫顽力
ΔH	线宽
h	交变磁场强度
h	普朗克常数
$\hbar$	$h/2\pi$
I, i	电流强度
I	核自旋量子数
I_{klb}	衍射强度
J	转动惯量
J	总量子数
K	线圈常数($H = Ki$)
K	波形因子
$\vec{K}, \vec{k}$	波矢量
K_i	磁晶各向异性常数($i = 1, 2, \dots$)
K_{ui}	单轴磁(晶)各向异性常数($i = 1, 2, \dots$)
L	自感

L, l	长度
$\vec{L}$	力矩
M	互感
M	磁化强度
M_s	饱和磁化强度
M_m	表观饱和磁化强度
M_r	剩余磁化强度
M, m	质量
m	磁矩
m	磁量子数
m	交流磁化强度
N	退磁因子
$\leftrightarrow N$	张量退磁因子
N	线圈匝数
n	线圈匝数密度
$\vec{P}$	动量矩
P	阻尼系数
P	损耗, 功率
P_h	磁滞损耗
P_e	涡流损耗
P_{eff}	气孔率
Q	品质因数
Q	电量
Q	电四极矩
$\vec{q}$	磁相互作用矢量
q	电场梯度
R, r	电阻
R, r	半径
R_H	霍尔系数
r	球坐标
r_m	磁阻

S, s	面积
$\vec{S}$	电子自旋动量矩
S	自旋量子数
S_i	电流灵敏度
S_Q	电量灵敏度
S_Φ	磁通灵敏度
S_w	开关系数
T	周期
T_1	自旋——晶格弛豫时间
T_2	自旋——自旋弛豫时间
T_C	居里温度
T_N	奈尔温度
$T(\omega)$	传输系数
t	时间
U_H	霍尔电动势
V, v	体积
V, v	电压
v	速度
W	磁化功
W	晶体织构度
X, Y, Z	直角坐标系的坐标
x, y, z	直角坐标系的坐标
Y	导纳
Z	阻抗
α	方向余弦
β	方向余弦
β	阻尼度
Γ	谱线宽度
γ	旋磁比
δ	同质异能位移
δ	损耗角
ϵ	介电常数

ϵ_0	真空介电常数
$\leftrightarrow$	
ϵ	张量介电常数
$\mathcal{E}_m$	磁动势
η	信号噪音比
η	磁滞损耗系数
θ	球坐标的垂直角
θ	顺磁居里点
λ	波长
λ	磁致伸缩系数
μ	磁导率
μ_0	真空磁导率
μ	复数磁导率
μ', μ''	复数磁导率的实部和虚部
$\leftrightarrow$	
μ	张量磁导率
μ_{ij}	张量磁导率组元
μ_s	起始磁导率
μ_m	最大磁导率
μ_B	波尔因子
μ_N	核磁子
ρ	电阻率
σ	应力
σ	单位质量的磁矩
σ	散射截面
$d\sigma$	微分散射截面
$\sigma(\gamma)$	r 处的自旋密度
τ	时间间隔
τ	电流密度
τ_s	开关时间
ϕ	磁通量
φ_0	磁通量子
φ	相位

φ	磁位
φ	球坐标中的水平角
χ	磁化率
$\leftrightarrow$	
χ	张量磁化率
ψ	波函数
ω	圆频率