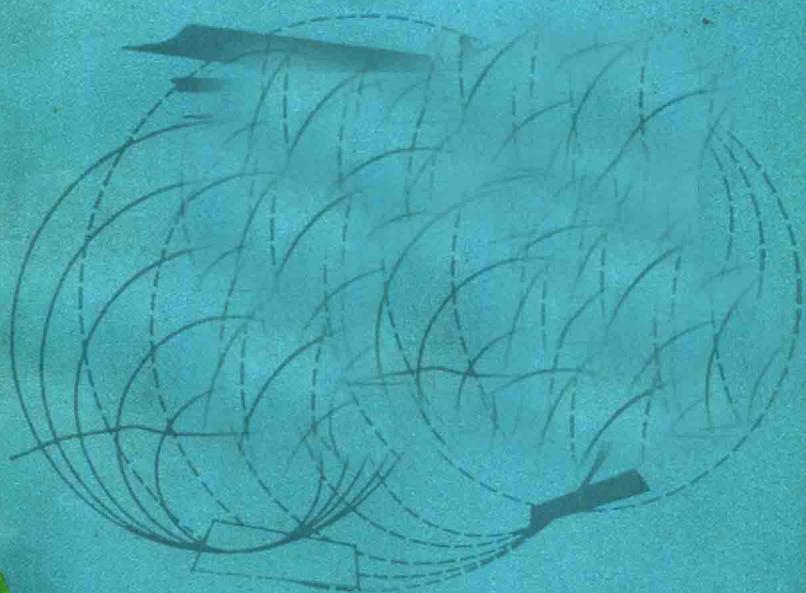


航空地球物理方法

P·胡德 S·H·沃德



地质出版社

航空地球物理方法

〔加〕P. 胡德 〔美〕S.H. 沃德 著

王启辉 等译

地质出版社

**Advances in
GEOPHYSICS**

VOL. 13

1969

Academic Press • New York and London

航空地球物理方法

〔加〕P.胡德 〔美〕S.H.沃德 著

王启辉 等译

*

国家地质总局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 • 各地新华书店经售

*

1977年3月北京第一版 • 1977年3月北京第一次印刷

印数1—4,650册 • 定价0.40元

统一书号: 15038 • 新184

毛主席语录

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

1960 0

前 言

本书根据1969年纽约和伦敦出版的《地球物理进展》(Advances in Geophysics)第13卷第一部分“航空地球物理方法(Airborne Geophysical Methods)”译出,作者为P. 胡德(Hood)和S. H. 沃德(Ward)。

内容分航空磁法、航空电磁法、航空放射性、航空重力及其他航空遥测方法等五部分。从方法原理、仪器设计、测量方法、资料整理、解释和实例,以及未来的发展都作了简单概括的叙述,重点是介绍现用仪器的原理、特点和设计中应考虑的因素。

本书在内容上偏重于实际应用的叙述,但缺少具体实践的素材。适于从事航空物探工作和仪器试制工作的同志参考。

译稿曾请王廷良、申宁华、陈邦彦、朱大绥以及北京地质仪器厂和北京第三研究所的同志作了部分校对,在此深致谢意。

目 录

1. 航空磁测方法	1
1.1 概论	1
1.2 地磁场	1
1.3 航空磁力仪	2
1.4 航磁测量技术	31
1.5 航磁资料的整理	35
1.6 梯度仪	38

参 考 文 献

2. 低频航空电磁方法	46
2.1 概论	46
2.2 感应式航空电磁系统的基本原理	46
2.3 航空电磁系统的类型	51
2.4 航空电磁系统的设计	58
2.5 解释	77
2.6 测量方法	82
2.7 可能的未来发展	83
2.8 结论	84

参 考 文 献

3. 航空放射性测量方法	90
3.1 概论	90
3.2 航空闪烁计数器	91
3.3 航空闪烁能谱仪	93
3.4 航空放射性测量技术	96

参 考 文 献

4. 航空重力方法	103
4.1 概论	103
4.2 航空重力仪	107
4.3 航空重力梯度仪	114

参 考 文 献

5. 其他航空遥测方法	122
5.1 概论	122
5.2 航空摄影	123
5.3 紫外线方法	123
5.4 红外线方法	123
5.5 微波辐射计	127
5.6 雷达方法	128

参 考 文 献

符号说明	134
------------	-----

1. 航空磁测方法

1.1 概 论

关于航磁方法在矿产勘探方面的应用已有很多著述。对于技术水平的综合评论已在本丛书的第一卷发表^[6]。它仅仅涉及到当时应用的磁通门式即饱和式航空磁力仪，虽然地磁场感应式磁力仪在矿产勘探方面曾有过应用。近十年来的巨大发展，使航磁仪器多样化，因而本章要谈到航空磁力仪的现代技术水平。今后十年，象前十年一样，仪器还会发生许多变化。其中有两点可以预料：一是航磁资料整理的完全自动化，二是航磁梯度仪的广泛应用。

1.2 地 磁 场

任何航磁测量的基本目的，都是用图表示出地磁场(T)在一给定水平面的空间变化。空间任何一个特定点上的地磁场，包括由距离很大的源引起的几个随时间变化的分量，概括于表1。

在勘探测量方面，唯一有意义的异常是由岩石的感应和剩余磁化引起的异常；但是在地磁测量上，最有意义的是测量地球主要磁场的变化。由于这个原因，低飞行高度的勘探测量通常在1000呎或更低些，而地磁场测量是高飞行高度，通常在10,000呎以上。在这两种情况下，地磁场的短期时间变化都产生了干扰，应该消除掉。这种干扰常常是影响航磁

表 1 地 磁 场 分 量

名 称	源	时 间 关 系	空 间 关 系	强 度
偶极	深 部	慢速减弱	接近偶极	25,000— 70,000 γ
长期变化	地球核心 (3000公里)	1—100年	随机且向西偏移	每年 $\pm$ 10—100 γ
日变	外部—与太阳黑子有关	24小时(周期 27日, 12个月, 11年)	与磁纬度和太阳黑子活动性有关	10—100 γ
微脉冲	外 部	0.002—0.1赫	与日变一样, 加磁暴	一般1—10 γ , 高达500 γ
音频电磁	外 部	1—1000赫	与日变一样, 加雷电活动性	每秒0.01 γ
大地电流 效 应	浅 部	0.002—1000赫	地质	每秒0—0.01 γ
岩石感应 磁 化	浅部, 向下到13哩居里点地热	长期变化	地质—随岩石中磁铁矿百分率变化	0—50,000 $\times$ 10 ⁻⁶ emu/cc
岩石剩余 磁 化	同 上	随地质年代有些衰减	地质	0—200,000 $\times$ 10 ⁻⁶ emu/cc

测量最终精度的部分因素。

在宇宙中测量磁场方面, 所用的磁力仪必须能够测量很弱的磁场, 而且对于定向必须是敏感的。

1.3 航空磁力仪

用于航空测量的磁力仪不是绝对值测量仪器, 就是相对值测量仪器。前者测量整个环境磁场, 后者仅仅记录相对于任意基线的变化值。可以测向量, 也可以是测无向量; 在模拟记录中是连续的还是断续的, 决定于所利用的一定类型的仪器。

下面在航空磁力仪的介绍中, 用大部分篇幅介绍在航空测量中具有最大用途的磁力仪, 虽然一些新的发展无疑在不

久的未来将得到成功的运用。所讨论的仪器如下：

- (1) 地磁场感应式磁力仪；
- (2) 饱和式磁力仪；
- (3) 质子旋进磁力仪—自由和自旋；
- (4) 光吸收磁力仪；
- (5) 电子束磁力仪；
- (6) 霍尔效应磁力仪。

1.3.1 地磁场感应式磁力仪

地磁场感应式磁力仪是用于航测的第一种磁力仪^[30]。它的基本原理是大家所熟悉的，即当一个导体在磁场中移动时，导体上便产生电流，这种现象在十九世纪中期被法拉第所发现。1936年苏联最初使用的航空磁力仪灵敏度大约是100伽偶，用它测量地磁场的垂直分量。它利用了一个常平架悬接装置，使线圈旋转轴保持在一个水平面上。第二次世界大战后几年里伦德伯格^[31]制造了一台装在直升飞机上的地磁场感应式磁力仪(图1)，用压缩空气使旋转线圈或转子作1800赫转动。这个转子不接外部电路，即避免利用滑动环，但是它连结一个适当的电容，该电容形成一个闭合调谐电路。次级耦合线圈有一个交流感应电压，它的强度决定于垂直环境场(ambient field)，因为转子的轴是水平的。垂直环境场的主要部分被一个赫姆霍兹线圈系统所消掉。该装置的灵敏度大约是25伽偶，对于矿产勘探，这个灵敏度是足够的。

1.3.2 饱和式磁力仪

关于饱和式磁力仪的早期历史和它在第二次世界大战期间反潜艇战斗中的应用，弗罗姆(Fromm)^[13]曾概略地介绍过。鲍尔斯雷(Balsley)^[6]和詹森(Jensen)^[23]对于最初几次利用饱和式磁力仪进行航空磁测的情况曾做过介绍。

表2 航空磁力仪的类型

磁力仪	原理	类型	制造者	测量分量	记录 (A—模拟) (D—数字)	灵敏度	状况	装 配
地磁场感应式(向量传感器)	旋转线圈		伦德伯格(Lundberg) [加]	Z	A(连续)	25 γ	过时	装在直升飞机上
饱和式(向量传感器)	可饱和铁心	峰压	海湾石油公司(Gulf Oil Co.) [美] Mark-III型	T	A(连续)	< 1 γ	现代	舱内
		二次谐波	AN/ASQ-3, 8, 10 [美] AM-13 [苏] NOI. VAM-1, -2 [美] D.O. [加]	ΔT 滤波 T X, Y, Z X, Y, Z	A(连续) A(连续) D和A(连续) D和A(连续)	< 1 γ 2 γ	现代 现代 现代 现代	舱内 吊舱 舱内 舱内
质子旋进式(无向量, 绝对值)	氢质子自由旋进	反比	瓦里安协会(Varian Assoc.) [美] V-4910, V-4912, V-4914	T	A, 每0.5秒 D和A, 每0.6秒	1 γ < 1 γ	被替代 现代	吊舱 吊舱或舱内
			埃利奥特兄弟公司(Elliott Bros.) [英] EMD-14和 EMD-21 埃尔塞克-威斯康星(Elseco-Wisconsin) [英, 美]	T	D和A, 每0.5秒 D和A, 每1秒~7秒	1—3 γ 2—0.5 γ	现代 现代	吊舱或舱内 吊舱

续表

磁力仪	原理	类型	制造者	测量分量	记录 (A—模拟, D—数字)	灵敏度	状况	装 配
		直接读数	巴林格公司(Barringer Research)AM-101〔加〕	T	D, A和显示, 每1秒	1或5 γ	现代	吊舱或舱内
			加拿大地质调查所 Telmag	T	D和A, 每2秒	0.1 γ	现代	吊舱或舱内
			澳大利亚矿产资源局 BMR	T	A, 每0.5 秒	1 γ	现代	吊舱或舱内
			普雷克拉(Prakla) 〔西德〕PM-22和PM-24	T	D和A, 每1秒	2 γ	现代	吊舱
			瓦里安协会〔美〕 V-4937A	T	D和A, 每1 秒或0.5秒	1或2 γ	现代	吊舱
			AYaAM-6〔苏〕	T	A, 每1秒	1 γ	现代	吊舱

续表

磁力仪	原理	类型	制造者	测量分量	记录 (A—模拟, D—数字)	灵敏度	状况	装配
质子旋进 式(无向量, 绝对值)	氢质子的 强制旋 进	欧佛豪泽 (Overhan- ser)	南航公司(Sud Aviation) 〔法〕MP-121, MP-122	T	D和A, 每1秒	0.1 γ	现代	吊舱
光吸收式 (无向量, 绝对值)	光泵	铂蒸气 铂蒸气 亚稳态氦	CSP/OGG〔法〕 瓦里安协会〔美〕V-4916 得克萨斯仪器公司 (Texas Instr.)〔美〕	T T T	D和A(连续) D和A(连续) D和A(连续)	0.01 γ 0.05 γ 0.05 γ	现代 现代 在发展	吊舱 吊舱 吊舱
电子束或 指示管式 (向量传感 器)	电子束 偏斜		埃利奥特兄弟公司〔英〕 EMD-13	T	A(连续)	10 γ	现代	舱内

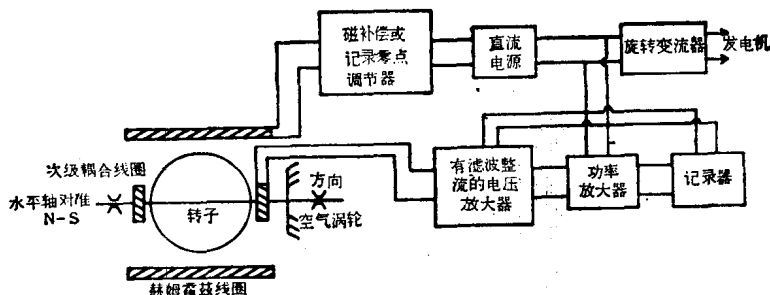


图 1 地磁场感应式磁力仪

饱和式磁力仪或饱和铁心的灵敏元件是一个不长的、高导磁率的铁磁性物质，它具有狭窄的磁滞迴线，铁心上面绕有一个或多个线圈，并连接到交流激励源和指示电路。有两个基本的电路，即峰值电压和二次谐波类型^[52]，两者都是向量传感型的仪器。

1.3.2.1 峰压饱和式磁力仪

这种磁力仪的基本线路示于图 2，它很成功地应用在海湾牌 Mark-III 型仪器中。它实际上包括一个坡莫合金杆，周围绕有两组线圈，即直流偏压线圈和磁力仪主线圈。主线圈的一半绕组是一个方向，另一半绕组是相反方向，形成两个元件。用振荡器的音频电流激励主线圈，在环境磁场的作用下，输出是正的和负的尖峰形状的信号。直流电流通过偏流线圈抵消大部分地磁场(T)。图 3 表示脉冲形成过程。直流偏压线圈消除除了一小部分增量(ΔT)以外的整个地磁场，加在激励线圈铁心 A 、 B 上的磁场，在任何给定瞬间都将是 $(\Delta T + H_e \sin 2\pi ft)$ 和 $(\Delta T - H_e \sin 2\pi ft)$ ，这里 H_e 是由振荡频率为 f 的激励电流作用下引起的外加场的最大值。关于这个线路的最普通的解释，是因为磁场增量 ΔT 使两铁心中的一个对另一个

间场能够产生磁通量，则要求两个铁心之间的匹配在它们的磁性特征上应具有大约 10^6 分之一的一致性，而要制造这样一台可以工作的饱和式磁力仪几乎是不可能的^[44a]。

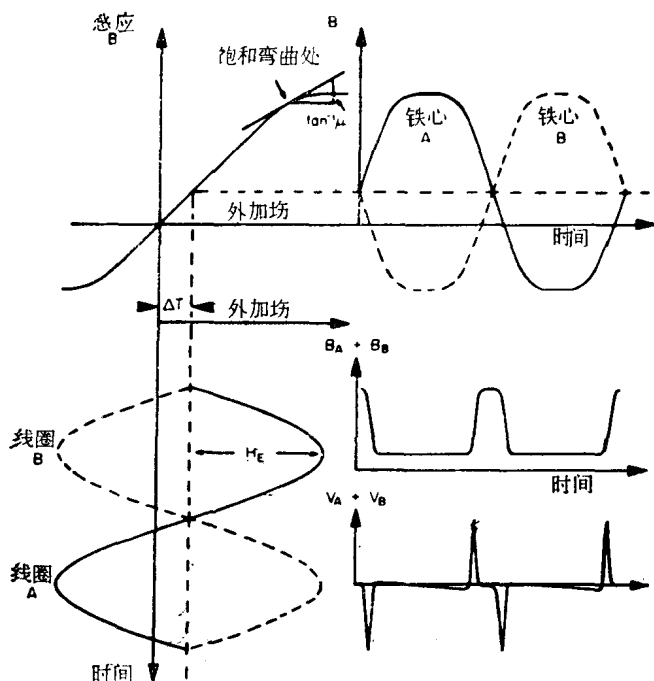


图 3 峰压饱和式磁力仪尖峰信号产生示意图

较好的解释是这样，当铁心不饱和的时候，它们的高导磁率 μ 增加了由于 ΔT 通过次级绕组而产生的通量。当两个铁心饱和的时候（每秒饱和 $2f$ 次），它们的导磁率 μ 便降低了（图 3 BH 曲线的斜率）。由于 ΔT 通过二次绕组的磁通量降低到这样，好象没有坡莫合金铁心一样，即磁通量在次级线圈

中以频率 $2f$ 波动, 所以, 在次级绕组中感应出尖峰电压信号, 它的强度同磁通量和磁场增量 ΔT 成正比。尖峰信号是按照由线圈 A 和线圈 B 的感应($B_A + B_B$)而正负交替变换。应该注意, 磁门的基本功能是一个磁放大器。一个分压电阻通常并联在两元件之一上, 它使线路不平衡, 并使在零磁场时产生强度相等的、正负交替的脉冲。当外加场 ΔT 发生作用时, 在正负尖峰信号强度之间产生差值, 用微分检波器可以测量出这个差值。这种线路在外加场为零时避免了噪声。

航空磁力仪最根本的一点, 就是保持灵敏元件准确地对准平行于地磁场的方向。要获得这个条件, 必须利用两个附加的、相互垂直的定向感应线圈, 并且两个定向感应线圈所在平面应当与测量元件垂直。当测量元件没有对准地磁场的时候, 两个感应线圈出现误差信号, 加到两个伺服马达中的一个或两个上, 驱动安装在常平架上的感应线圈重新对准。利用这种机械作用所获得的定向精度大约是 $\pm 0.1^\circ$, 在50000伽的磁场中由此而引起的可能测量精度大约 ± 0.08 伽。在正常场使用时, 相对测量的实际误差大约是 ± 0.2 伽。补偿线路的校准能够确定磁性数据的绝对值大约为 $\pm 0.5\%$ 或近似 ± 250 伽。

海湾牌 Mark-III 型 410 赫饱和式磁力仪广泛地用于勘探和地质填图, 测量范围250,000伽, 重量219磅(舱内装置), 工作直流电源28伏, 360瓦。10吋宽的纸带记录仪具有五个或六个量程选择开关, 其量程范围为300, 600, 1200, 2400和4800伽。记录带速度可由1~12吋/分, 或者可用多普勒驱动。仪器零点漂移不超过6伽/时。

1.3.2.2 二次谐波型饱和式磁力仪

在现代发展的大部分磁力仪中, 仅仅利用了不平衡电压