

地磁学与地电学

——第2章 磁力仪与磁测工作

陈 涛

地球物理学院
中国石油大学（北京）

2024/3/20

课前测试

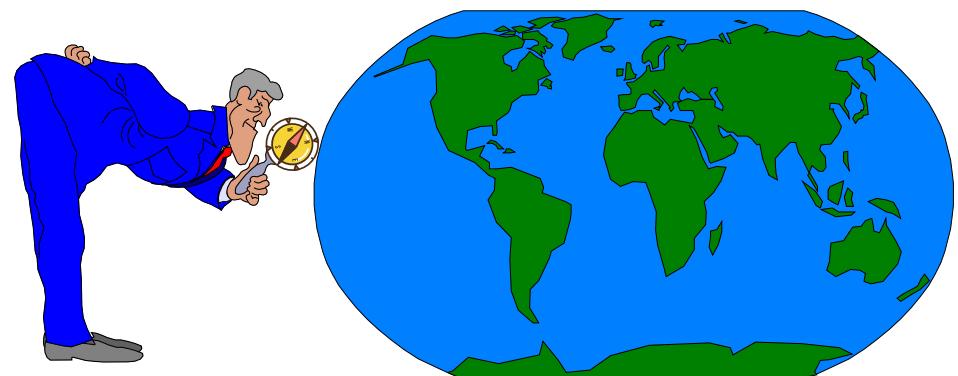
- 地磁三要素
- 地球磁场的组成
- 简述IGRF?
- 表征物质磁性的物理量



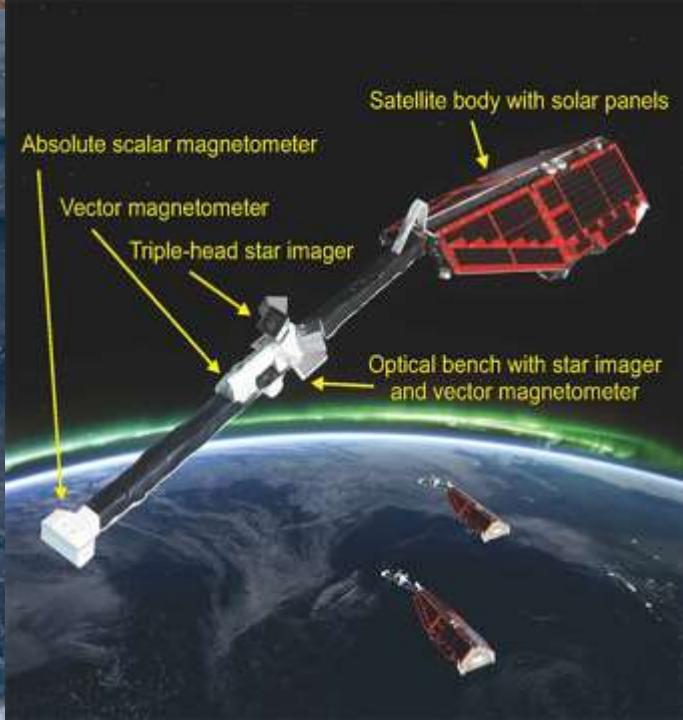
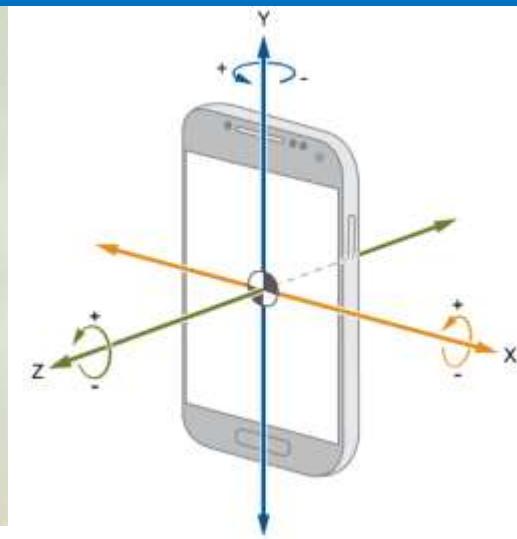
课前知识

- 地球具有磁场，地球上岩石、矿石具有不同的磁性，可以产生不同的磁场，使地球磁场在局部地区发生变化，出现磁场异常。
- 地磁学主要研究地磁场空间分布和随时间变化的规律，以及地磁场的组成、起源和应用。

地磁学的发展离不开
观测仪器的发展。



课前知识



目 录

地磁部分章节

第二章 磁力仪与磁测工作

1. 磁力仪的发展

1. 磁力仪

■对磁力仪性能的要求

- ✓ 能准确测定所选择的**地磁要素或其相对变化**，不受其它要素的影响 ΔZ (H) ；
- ✓ 能测出**强弱不等的磁异常**（灵敏度、稳定度、测程）；
- ✓ **抗干扰能力**（温度、磁性材料、地磁纬度变化）；
- ✓ **条件**（野外：轻便；航空：连续、运动状态）

1. 磁力仪

■按照发展历史分类

- **第一代磁力仪**：利用永久磁铁与地磁场之间相互力矩作用原理，或者利用感应线圈加上辅助机械装置。**机械式磁力仪、感应式航空磁力仪等。**
- **第二代磁力仪**：利用核磁共振特性（**质子磁力仪**）；利用高磁导率软磁合金材料（**磁通门磁力仪**），辅以复杂的电子线路。还有**光泵磁力仪**等。
- **第三代磁力仪**：利用低温量子效应，**超导磁力仪**。

1. 磁力仪

■按照内部结构分类

► **机械式磁力仪：**悬丝式磁力仪、刃口式磁力仪。



悬丝式磁力仪

► **电子式磁力仪：**质子磁力仪、磁通门磁力仪、光泵磁力仪、超导磁力仪。



1. 磁力仪

■按照测量的地磁场参数及其量值分类

► 相对测量仪器：悬丝式磁力仪 (ΔZ) 、

刃口式磁力仪 (ΔZ 、 ΔH)



► 绝对测量仪器：质子磁力仪、磁通门磁力仪

悬丝式磁力仪

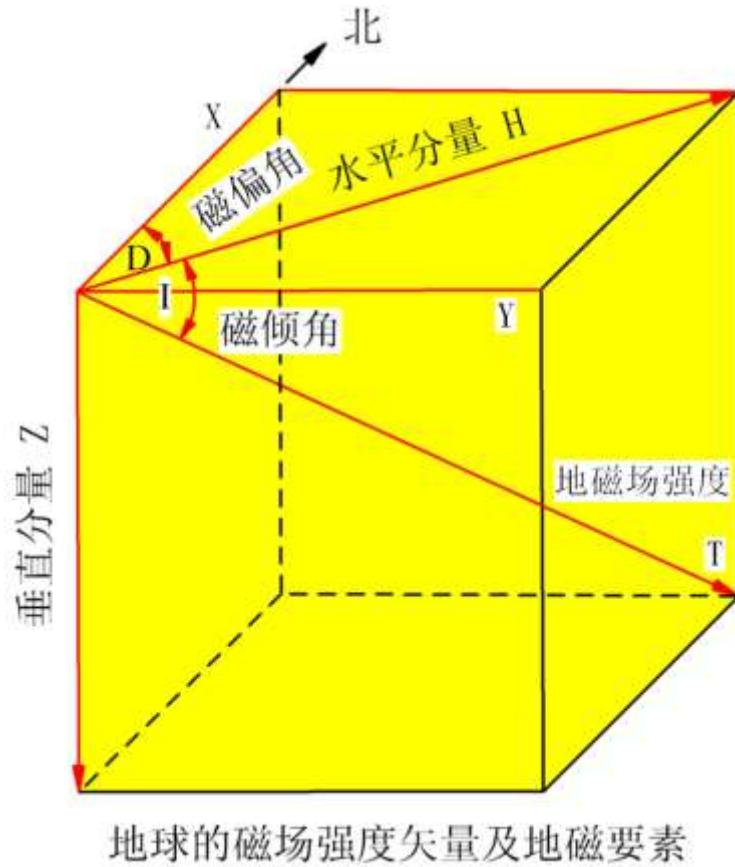
光泵磁力仪、超导磁力仪等，

(地磁场总强度 T)



磁通门磁力仪

- 磁偏角D
- 磁倾角I
- 总磁场强度T
- 垂直磁场强度Z
- 水平磁场强度H
- 水平X分量（北向）
- 水平Y分量（东向）



GSM-19T标准质子磁力仪



PM-2质子磁力仪（梯度）



1. 磁力仪

■按照测量领域分类

► 地面磁力仪



► 航空磁力仪



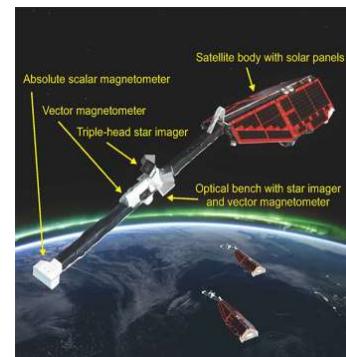
► 海洋磁力仪

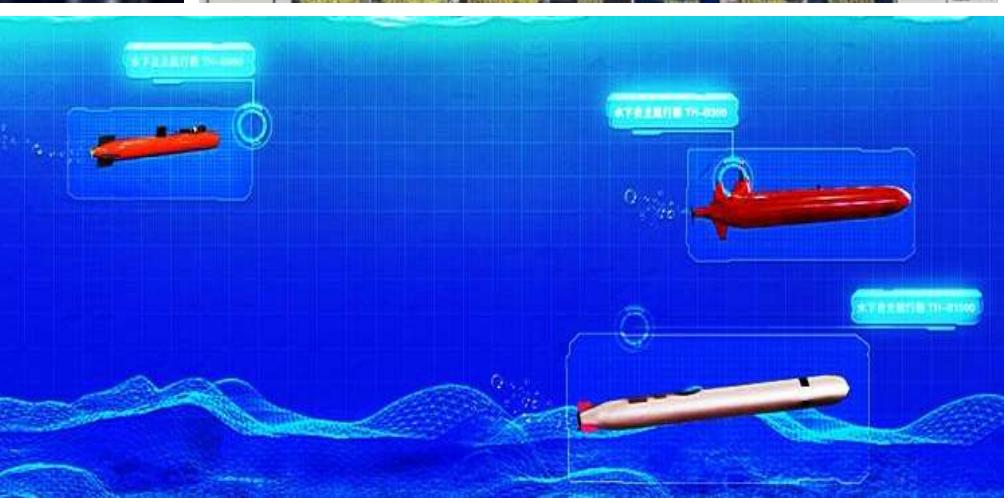
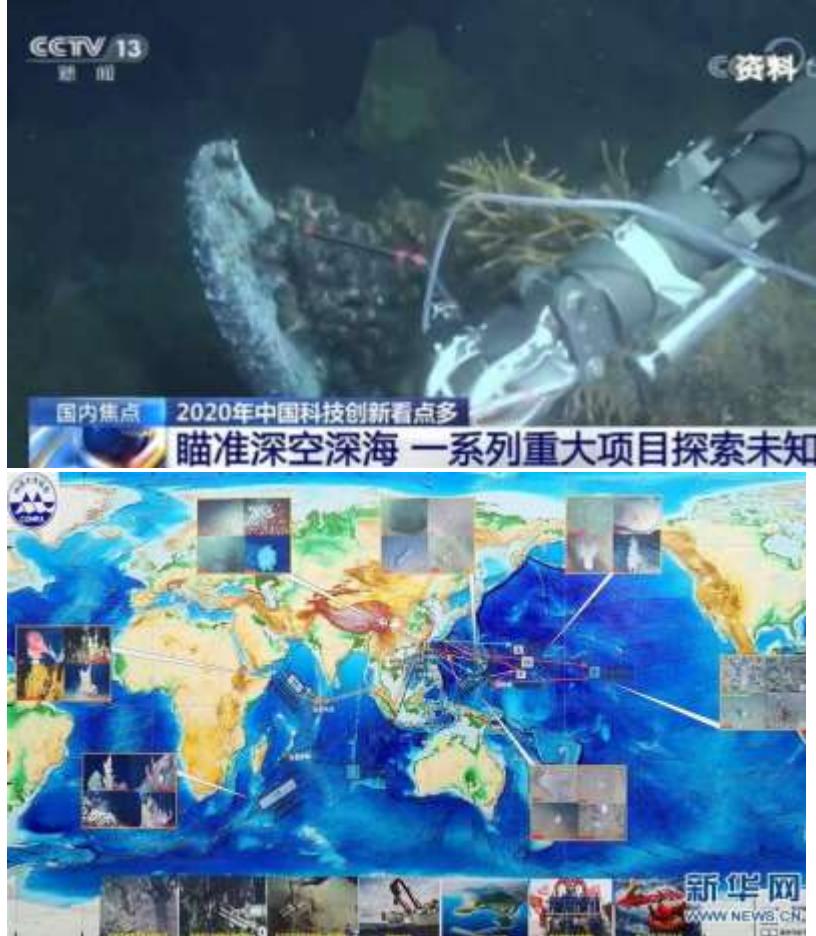


► 井中磁力仪



► 卫星磁力仪





天山电影制片厂 汇夏电影发行有限公司 世纪
TIANSHAN FILM STUDIO HUXIA FILM DISTRIBUTION CO., LTD. PRODUCT BY

出品人 张一昂 吴国东
Presented by ZHANG YIANG GU GUODONG

The poster features a vast, rugged landscape with a deep blue lake in the background under a cloudy sky. In the foreground, large, stylized red Chinese characters '生死劫' are constructed from stone blocks. The characters are partially buried in the ground, with some blocks missing, giving them a weathered and broken appearance. On the far right, three silhouetted figures stand on a rocky outcrop. The title '生死劫' is written vertically along the left side of the image. At the bottom, there is promotional text in English and Chinese.

制片人 黄群英 监制文 杜鹃
Scriptwriter HUANG QUNYING HU JIENWEN DU JUAN
摄影指导 多烈·M
Camera Operator MURAT - M
美术指导 张效春
Art Designer ZHANG XIAOCUN
主演 王洛勇 杨承文 艾尼瓦尔·阿不都拉
Starring WANG LUOYONG YANG SHENGWEN ANWAR-ABDULLA

導 演 東 露
Directed by DONG LIN

卷之三

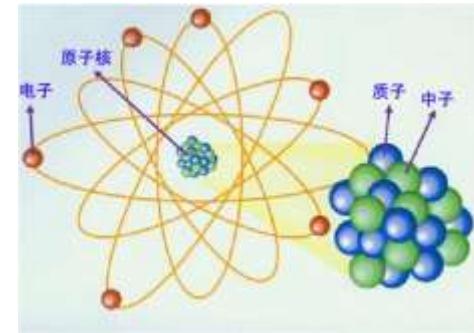
1. 磁力仪

■质子磁力仪



1. 磁力仪

■ 质子磁力仪

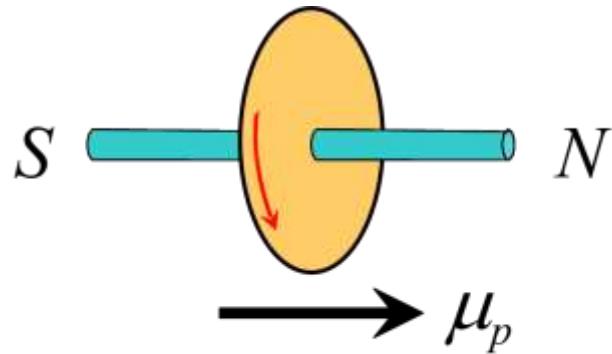


水 (H_2O) 的“核子顺磁性”，在外磁场作用下：

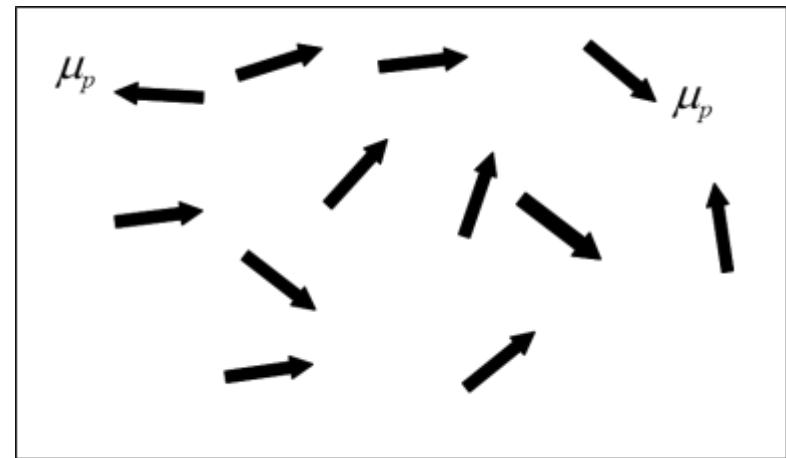
- ✓ 轨道电子受到磁力作用，发生微弱运动，显示出水的抗磁性。
- ✓ 质子自旋磁矩方向，逐渐转到外磁场方向，表现出“核子顺磁性”。

1. 磁力仪

■ 质子磁力仪



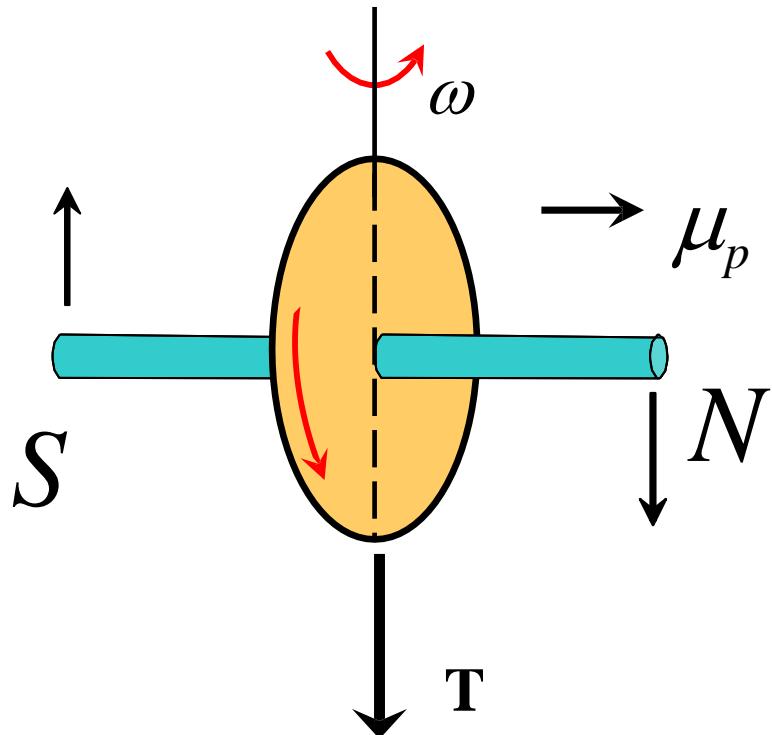
(质子自旋磁矩)



溶液中氢的原子磁矩，在无外磁场作用时，它们任意指向。

1. 磁力仪

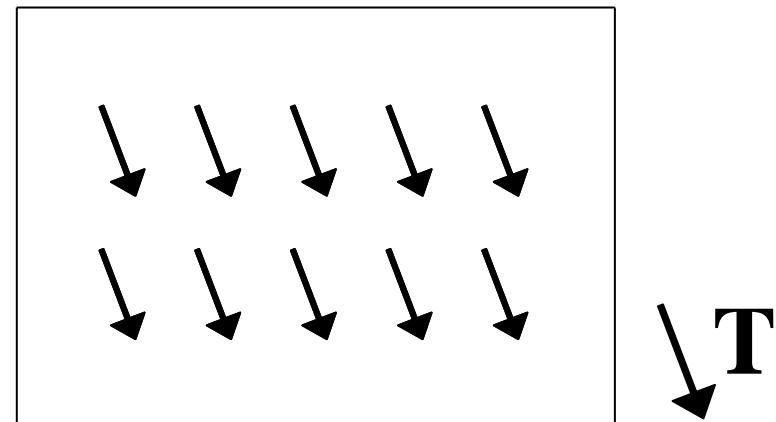
■ 质子磁力仪



(有外磁场, 质子进动现象)



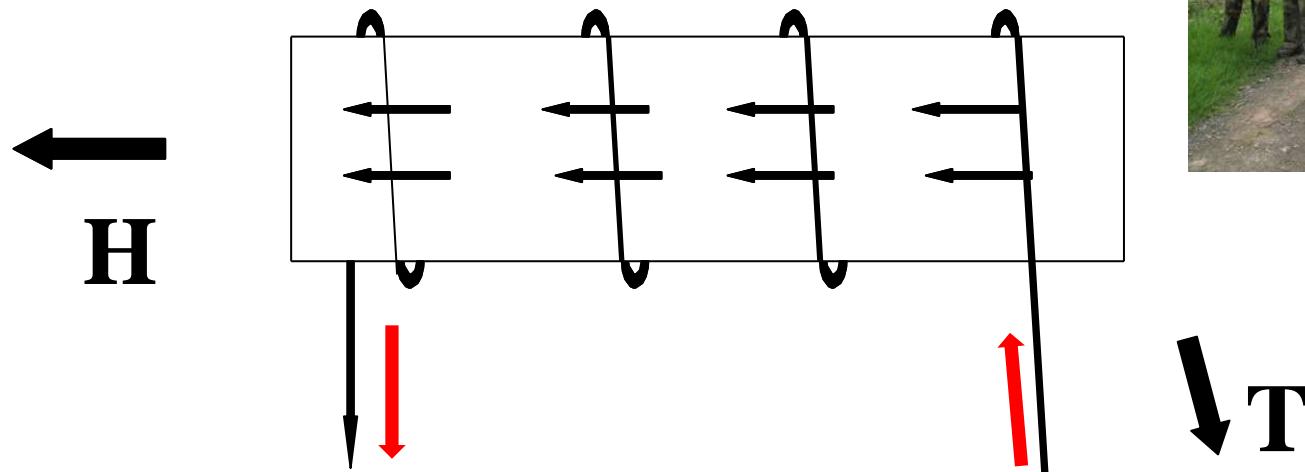
Larmor precession



核子顺磁性

1. 磁力仪

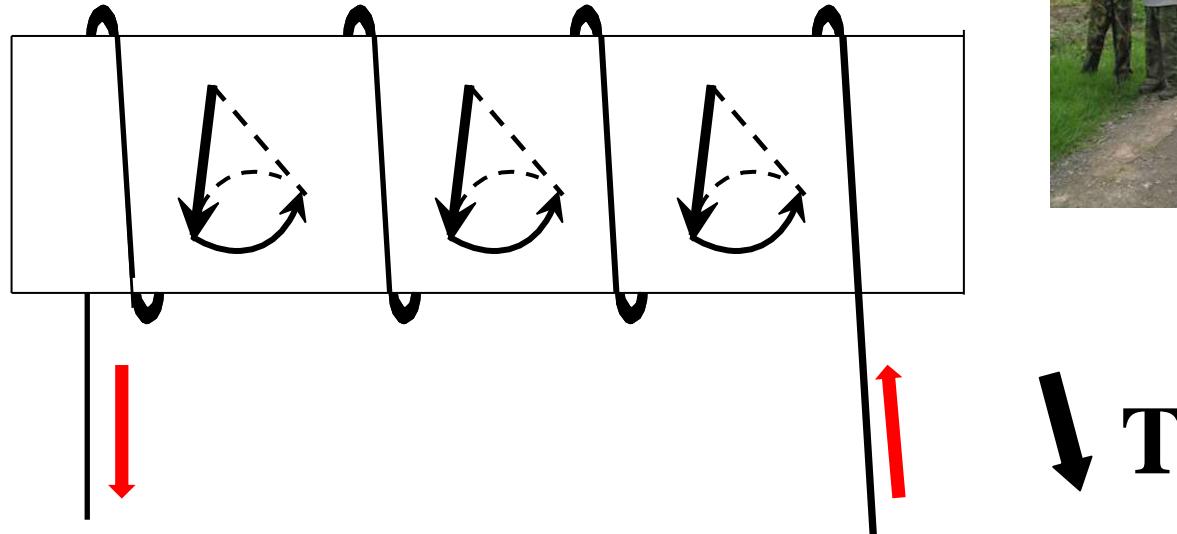
■ 质子磁力仪



当在近于垂直地磁场 T 的方向施加约 50 奥斯特的人工磁场时，由于这一磁场远远大于地磁场，则原来沿地磁场方向的质子自旋轴都转至磁化磁场方向。

1. 磁力仪

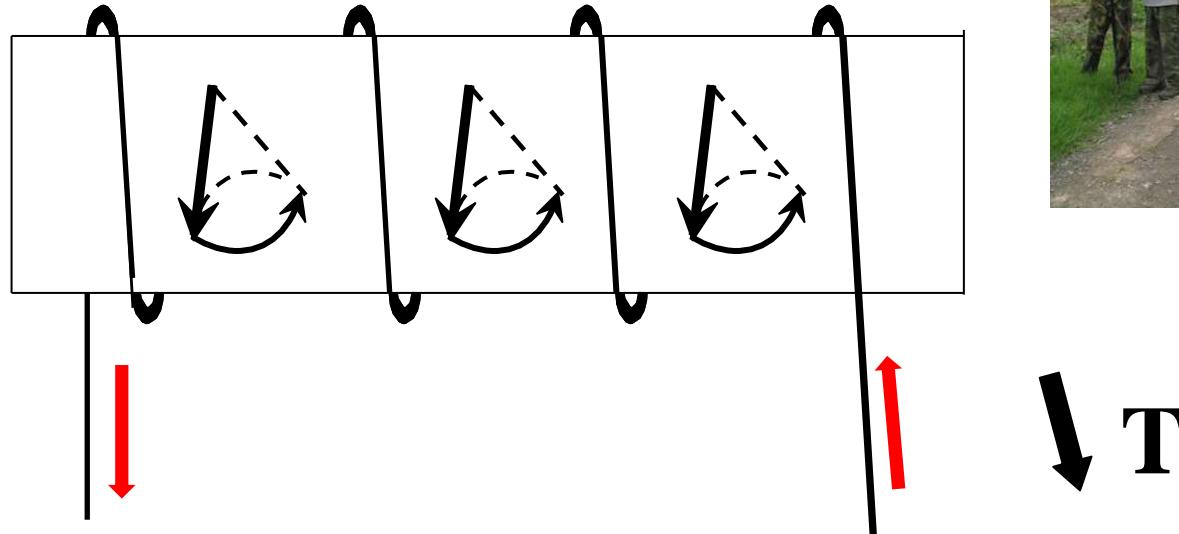
■ 质子磁力仪



当切断电流，使人工磁场突然消失，氢质子则在原有的**自旋惯性力**及**地磁场力**的共同作用下，各自以相同的相位绕地磁场方向进动。这种现象称为**质子进动**，也称**核子进动**。

1. 磁力仪

■ 质子磁力仪

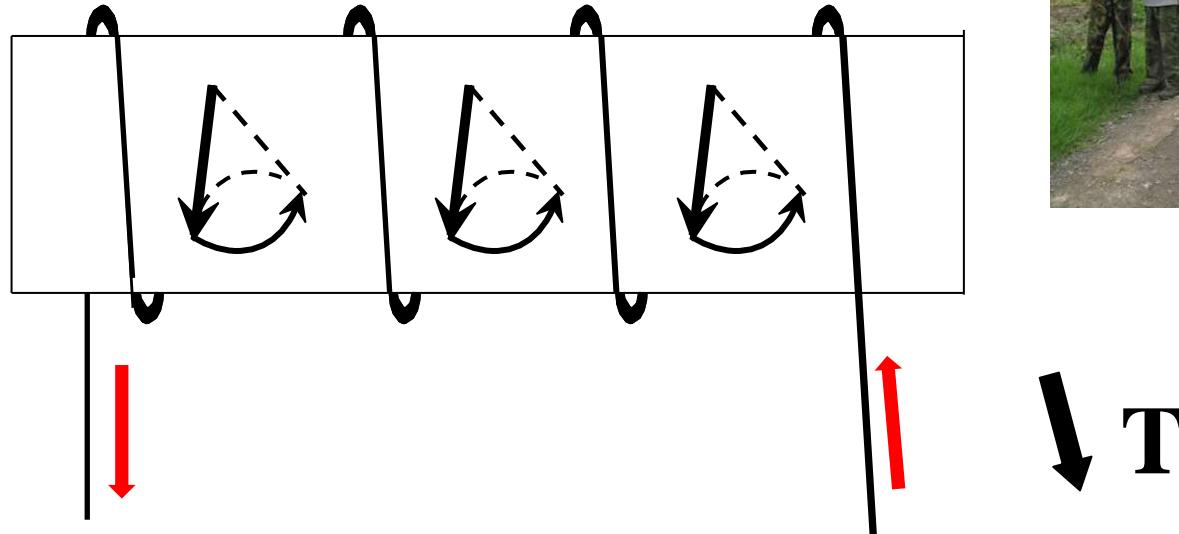


$$\omega = \gamma_P T$$

$$\gamma_P = (2.6751987 \pm 0.0000075) \times 10^8 \text{ (T}^{-1}\text{s}^{-1}\text{)}$$

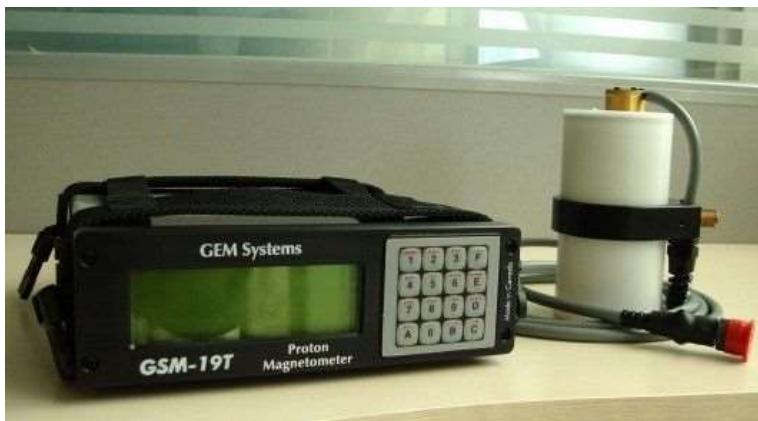
1. 磁力仪

■ 质子磁力仪



$$T = \frac{2\pi}{\gamma_P} f = 23.4874 f \text{ (nT)}$$

使用质子磁力仪时，应该怎么样摆放磁探头？



目 录

地磁部分章节

第二章 磁力仪与磁测工作

1. 磁力仪的发展
2. 野外磁测工作（地面）

2. 磁测工作

本节主要介绍磁法勘探所能完成的地质任务；编写技术设计的主要原则以及在野外工作中的主要方法技术。

自二十世纪80年代中期以来，我国磁测工作无论井中、地面、航空、海洋、卫星测量均使用高精度磁力仪器，仪器分辨率已达到 0.1 nT ，可以提取数纳特的有效信息。为此制定了相应的工作规范，上述各阶段的具体内容和技术要求可参阅相应的规范。下面分别简介各阶段工作中的基本问题。

2. 磁测工作

磁测工作按其观测领域不同，分为井中、地面、航空、海洋及卫星磁测等。任何磁测量工作，必须有正确的工作方法和技术，才能获得完整而准确的数据，为磁异常资料的分析解释及获得可靠的地质结论提供基础。

2. 磁测工作



为什么主机和探头
相距较远？



2. 磁测工作

四个阶段：

- 1、踏勘设计阶段；
- 2、野外施工阶段；
- 3、数据处理阶段；
- 4、解释分析和提交成果报告阶段

2. 磁测工作

- 踏勘设计阶段

接受任务后，首先要收集有关工区的地质、地球物理等资料，并组织现场踏勘，编写本区磁测工作设计书，报请上级主管部门批准后方能施工。

资料收集能力，沟通交流能力，文字能力。

2. 磁测工作

- 野外施工阶段

包括仪器设备的性能检查，测区测网的敷设、基点及基点网的建立、观测磁异常、物性标本采集和测定，质量检查、室内预处理计算及绘制各种野外成果图件。

清晰的逻辑，扎实的专业积累，动手能力

2. 磁测工作

- **数据处理阶段**

根据所获得的磁测资料及地质任务，提出相应
数据处理方案，为磁异常的分析解释提供资料。

专业知识，计算机能力，分析问题能力

2. 磁测工作

- 解释分析和提交成果报告阶段

根据数据处理结果，并结合其它的地质、地球物理资料对特定的地质问题给出分析结论，提交成果报告。

逻辑思辨能力，文字能力

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

■ 工作任务

根据重磁测量所承担的地质任务及勘探对象的不同，可以分为：区域重磁调查；能源重磁测量；矿产重磁测量；水文及工程重磁测量；天然地震重磁测量等。

应用地磁学涉及的领域

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

■ 工作任务

- **区域重磁调查**
- 1. 研究地壳深部构造。例如地壳厚度的变化（莫霍面的起伏），深大断裂的可能部位及延伸情况，上地幔密度的不均匀性及研究地壳的均衡状态、居里面的起伏等。
- 2. 研究大地及区域地质构造，**划分构造单元**；研究结晶基底的起伏及其内部成分与构造，**圈定沉积盆地范围**；研究沉积岩系各密度、磁性**界面的起伏与内部构造**。

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

■ 工作任务

- **区域重磁调查**
- 3. 追索、圈定与围岩有明显密度、磁性差异的隐伏岩体或岩层，追索两侧岩石密度、磁性有明显差异的断裂，进行覆盖区的**基岩地质、构造填图**。
- 4. 根据区域地质，构造及矿产分布规律，为划分**成矿远景区**提供重磁场信息。
- 5. 区域重磁调查的结果还对**地球形状**的研究以及为**导弹、宇航飞行、潜艇监测**提供极为重要的基础资料。例如，若忽视重力异常的影响，则发射10000 km的洲际导弹落点误差可达10 km量级。

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

■ 工作任务

- 能源重磁测量

可以在沉积覆盖区域块速、经济地圈出对寻找石油、天然气或煤有远景的盆地；在圈定的盆地内研究沉积层的厚度及内部构造、寻找有利于储存油气或煤的各种局部构造。

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

■ 工作任务

- **矿产重磁测量**

包括金属矿产及非金属矿产有关的重磁测量，且多与其它物探方法相配合，**圈定成矿带**；在条件有利时，可确定**控矿构造或圈定成矿岩体**；直接**发现埋藏较浅、体积较大的岩体**或对已知矿体进行追踪等。

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

■ 工作任务

- 水文及工程重磁测量

随着大型工程项目的增多和城市高层建筑的出现，工程勘查项目大大增加，重磁力仪精度的提高，已开始了在这一方面的应用。主要任务是：研究浮土下基岩面的起伏和有无**隐伏断裂、空洞**，以确保厂房或大坝等工程的安全；寻找**水源**，如利于储水的地下溶洞、破碎带、地下河道等；**危岩、滑坡体**的监测等；**地面沉降**研究；在**地热田的勘测**开发过程中，发现热源岩体，监视地下水的升降以及水蒸汽的补给情况，以便更合理、持久地开发地热田。

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

■ 工作任务

- 天然地震重磁测量

它可分为台站重磁测量和流动重磁测量两种形式。其主要任务是研究重磁场在台站点上或沿某一地震活动带重磁场随时间的变化。在台站上的观测结果是临震预报的手段之一；流动重磁的观测结果是中长期预报的手段之一。

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

■ 野外磁测工作设计

一、测区、测网的确定

应根据高精度磁测工作的具体任务，确定测区范围。测区范围必需保证探测成果轮廓完整，周围有一定面积的正常场背景。测区范围应尽可能地包括少量已知区，即地质情况清楚，过去已作过磁测工作并经验证的地段。与过去工作过的磁测工区相衔接时，必须有一定数量的重迭测线，并尽量包括过去工作过的基点或基线点。

对于地面详查磁测工作，比例尺的确定以不漏掉最小有意义的研究对象产生的异常为原则；至少2~3条线穿过探测对象，每条线上应有3~5个点落在研究对象上；点距一般取（1/2~1/10）线距。

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

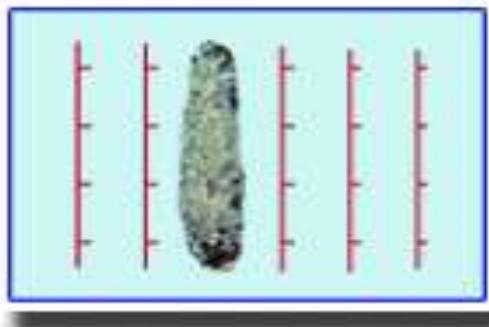
■ 野外磁测工作设计

一、测区、测网的确定

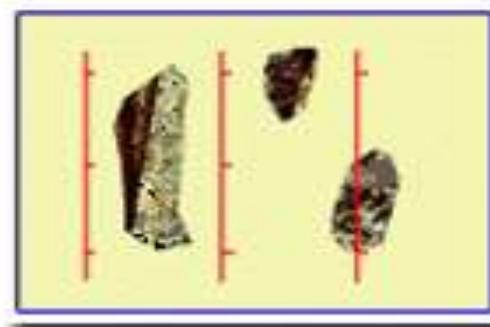
路线测量一般用于概查或普查阶段，重磁测点是沿交通方便的道路布置，测点大致均匀分布，线距没有严格要求。

剖面测量多用于专门性测量，剖面线方向应垂直地质体走向，并尽可能通过地质体在地面投影的中心部位，测点不能偏离剖面线，在接近正常值区点距可大些。

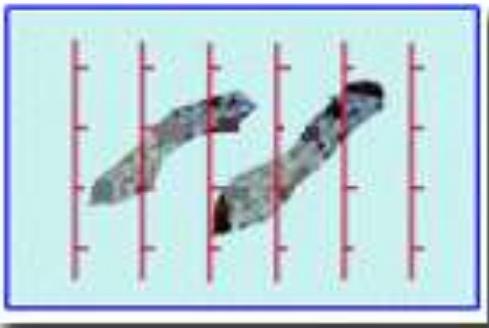
哪种测网布设更为合理？



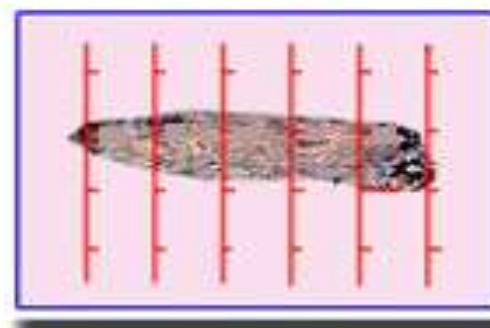
测网布置（1）



测网布置（2）



测网布置（3）



测网布置（4）

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

■ 野外磁测工作设计

二、比例尺的确定（勘查任务）

1、磁测普查阶段

在小比例尺地质填图中，磁测用于探测**结晶基底的起伏**及构造，研究**沉积盖层形态**，追索**大断裂**。

中、大比例尺填图中，磁测用于确定接触带，**圈定岩体**。

2、磁测详查阶段

研究磁异常形态特征来**寻找和评价矿产**。

磁测任务及相应的比例尺及测网

地质工作阶段	比例尺	线 距	点 距	测量方法
区 测 填 图	1: 1 000 000	10 000		航空磁测和海洋 磁 测
	1: 500 000	5 000		
	1: 200 000	2 000	200~1 000	
	1: 100 000	1 000	100~500	
	1: 50 000	500	50~250	航空、海洋和地 面 磁 测
	1: 25 000	250	25~100	
找 矿	1: 10 000	100	10~50	地 面 磁 测
	1: 5 000	50	5~20	
勘 探	1: 2 000	20	4~10	
	1: 1 000	10	2~5	
	1: 500	5	1~2	

磁测任务及相应的比例尺及测网

比例尺	长 方 形 测 网			正 方 形 测 网	
	线距(m)	点距(m)	每平方公里测点数	线距=点距(m)	每平方公里测点数
1:50000	500	50—250	40—8	500	4
1:25000	250	25—100	100—40	250	16
1:10000	100	10-50	1000—200	100	100
1:5000	50	5—20	4000—1000	50	400
1:2000	20	4—10	12500—5000	20	2500
1:1000	10	2—5	50000—20000	10	10000
1:500	5	1—2	200000—100000	5	40000

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

■ 野外磁测工作设计

三、磁测精度

真值是未知的，等精度重复观测 \rightarrow 真值

真值误差理论（均方误差来表示偶然误差的大小）：

均方根误差

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (B_{i1} - B_{i2})^2}{2N}}$$

N ——检查的点数；

B_{i1} , B_{i2} —— i 点上两次读数

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

■ 野外磁测工作设计

三、磁测精度

真值是未知的，等精度重复观测 \rightarrow 真值

真值误差理论（均方误差来表示偶然误差的大小）：

若同一观测点上检查观测次数多于两次，均方根差为：

N ——检查的点数；

$M = N \times K$

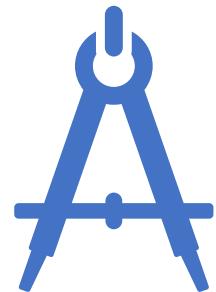
$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K (B_{ij} - \bar{B}_i)^2}{M - N}}$$

检查观测的原则

“一同三不同”



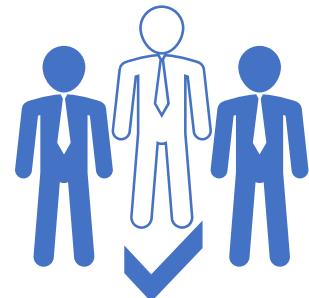
同一位置



不同仪器



不同时间



不同操作手

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

■ 野外磁测工作设计

三、磁测精度

特高精度 均方误差 $\leq 2 \text{ nT}$

高精度 均方误差 $\leq 5 \text{ nT}$

中精度 均方误差 $6 \sim 15 \text{ nT}$

低精度 均方误差 $> 15 \text{ nT}$

如何根据地质任务确定磁测精度?

- 首先要考虑磁测的地质任务，探测对象的最小有意义的磁异常强度 (T_{max} 低)，根据误差理论知道，大于3倍均方根误差的异常是可信的；
- 而根据物探图件要求，能正确刻画某地质体异常形态至少要有2条非零等值线，等值线的间距不得小于3倍均方误差。

因此，通常确定磁测精度为：

$$m < (1/5 \sim 1/6) T_{max} \text{ 低}$$

在考虑上述原则的同时，在不影响完成磁测约定的主要任务下，照顾到将来磁测资料的综合利用可适当提高磁测精度。

2. 磁测工作——踏勘设计阶段

■ 野外磁测工作设计

三、磁测精度

磁测精度（误差）

- ✓ 仪器误差；
- ✓ 测量误差；
- ✓ 改正误差；
- ✓ 处理计算误差等

磁测 总误差 (nT)	野外观测均方误差 (nT)					基点、高程及 正常场改正误差 (nT)			
	总计	操作及点位误差	仪器一致性误差	仪器噪声误差	日变改正误差	总计	正常场改正误差	高程高正误差	总基点改正误差
5	4.36	2.65	2.0	2.0	2.0	2.45	1.0	1.0	2.0
2	1.56	1.1	0.7	0.5	0.7	1.212	0.7	0.7	0.7
1	0.87	0.7	0.3	0.3	0.3	0.497	0.28	0.28	0.3

$$m^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2 + m_6^2 + m_7^2$$

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 野外施工

- 1、仪器的检查与标定
- 2、基点、基点网建立测量
- 3、日变观测
- 4、测线观测
- 5、质量检查
(实习阶段详细介绍)

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 野外施工

一、仪器的检查与标定

- 噪声水平测定
- 开工仪器观测均方根误差测定
- 开工仪器一致性试验
- 开工主机一致性试验
- 开工探头一致性
- 开工探头高度试验
- 中期噪声试验
- 中期仪器一致性试验
- 收工仪器噪声试验
- 收工仪器一致性试验

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 野外施工

二、基点、基点网建立测量

基点的选择：总基点，其位置必须实地确定，要求是：

- ✓ 位于正常磁场内；
- ✓ 磁场的水平梯度和垂直梯度变化较小；
- ✓ 附近没有磁性干扰物（特别是可移动磁性干扰物）；
- ✓ 所在地点能长期不被占用，有利于标志的长期保存。

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 野外施工

二、基点、基点网建立测量

仪器校正点：用于了解一天或一段工作时间内仪器性能是否正常。

- ✓ 位于磁场梯度较小处，即避免在异常上或磁场变化杂乱处，并应设立标志；每次对校正点观测时的**点位和高度尽可能一致**；
- ✓ 附近没有可移动磁性干扰物；
- ✓ 在观测路线上或其它便于使用的地方。

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 野外施工

二、基点、基点网建立测量

基、测点观测： 用于了解一天或一段工作时间内仪器性能

- ✓ 每个闭合观测单元的观测，必须始于校正点，终于校正点。
- ✓ 长剖面工作，如一天内不能结束工作并回到校正点进行观测，须在当日观测的剖面末端设2-3个连接点，次日观测从重复各连接点的观测开始，并于剖面观测结束后回到校正点观测。

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 野外施工

三、日变观测

在高精度磁测时必须设立日变观测站，以便消除地磁场周日变化和短周期扰动等影响，这是提高磁测质量的一项重要措施。

日变观测站，必须设在正常场（或平稳场）内，温差小、无外界磁干扰和地基稳固的地方，观测时要早于出工的第一台仪器，晚于收工的最后一台仪器。日变观测站仪器采用自动记录方式，记录时间应不大于0.5 min。

日变站有效作用范围

日变站有效作用范围与磁测精度有关，低精度测量时，一般在半径50-100 km范围之内，可以认为变化场差异微小；

高精度磁测时，最大有效范围一般以半径25 km设一个站为宜。

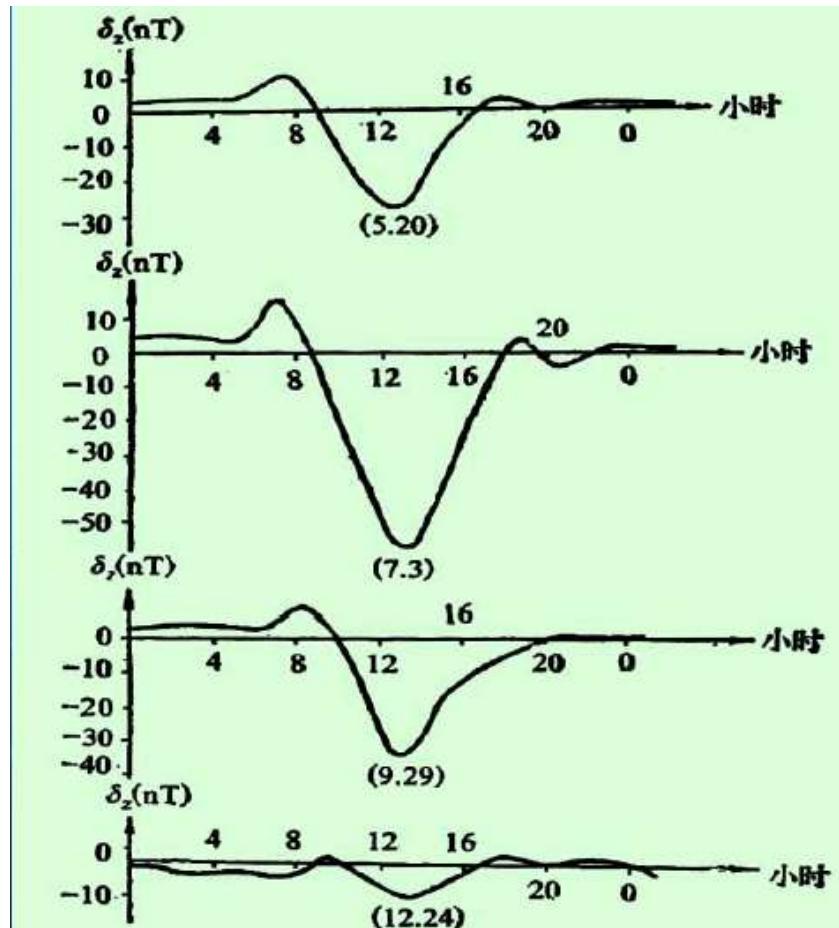


图 2.1—9 我国南方城市不同季节的Z日变曲线

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 野外施工

四、测线观测



- (1) 进行观测点观测时，一般作单次观测（两次）即可满足精度要求；
- (2) 观测时，观测人员必须“去磁”即不能带小刀、发卡、皮带扣、鞋扣等磁性物品，必须携带的磁性物件和其它有磁性的设备应离开测点一定距离。这个距离可以通过试验确定，以不影响观测结果为原则；
- (3) 根据质子磁力仪的原理，探头朝向尽量东西方向。

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 野外施工

四、测线观测



(4) 观测时应保证点位正确，同时每次观测时探头的高度均应保持一致；观测时如遇有事故（如仪器受震），仪器性能可能发生突然变化时，应即回到震前测过的几个测点（点位要正确）上作重复观测，必要时应加到校正点上作重复观测，以检查仪器性能，当确认仪器性能正常后，方可继续观测；

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 野外施工

四、测线观测



(5) 当观测结果出现如下变化时必须采取的相应措施： a. **当相邻两测点读数相差较大时，或当有值得注意的地质现象时，须加观测点；** b. **当相邻测线的异常特征明显不一致时，须加测线；** c. **当测区边缘发现可能有意义的异常或值得注意的地质现象时，须追踪观测；** d. **随时注意异常与周围地质现象之间的关系，记于备注栏内，必要时需试测岩石磁性或采集标本；** e. **遇有磁性干扰物（如铁路、厂房、井场、高压线、有磁性的岩坎或岩石堆等）时，须合理移动点位，避开干扰，并加注记以备日后核查。**

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 野外施工

五、质量检查

- (1) 高精度磁测工作的质量检查率不应低于3%—5%，精测剖面的质量检查率应达到10%，绝对点数不少于30点。质量检查点的分布要均匀。
- (2) 当检查结果误差超过设计规定，或在某些地段存在明显系统误差时，应适当增加检查量，以提高检查结果的可信度。
- (3) 高精度磁测的质量要分测区，分比例尺，分工作性质（面积性工作，剖面性工作）评价。计算均方误差时，可将误差过大的个别点舍弃，但舍弃数不得超过相应检查点数的1%。

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 野外施工

五、质量检查

(4) 磁性参数测定的质量检查率应达10%。检查时对仪器安置，标本体积测定和装盒等，均需要重新进行。磁化率和剩余磁化强度的测定质量，以平均相对误差为评价标准。

(5) 当发现野外观测阶段的工作不够完善，或因资料整理和异常研究需要时，要及时地补做一定的野外工作。

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 观测结果的预处理和图示

一、正常场校正

(正常场水平梯度校正)

二、高度改正

(正常场垂直梯度校正)

三、日变改正

(对于机械式磁力仪：包括温度等改正)

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 观测结果的预处理和图示

磁测数据通过整理得测点相对于基点磁场差值，还要进行日变改正、正常场改正、高度改正等。

$$\Delta T = T - T_0 - T_1 - T_2 - T_3$$

T—观测值、 T_0 —正常场校正值

T_1 —日变校正值、 T_2 —高度校正值

T_3 —背景场（常数，通常为均值）

如何进行正常场改正？

当进行大面积高精度磁测工作时，必须用国际地磁参考场 IGRF 模型进行正常场改正。

国际地磁参考场：1986年在华盛顿召开的“地球基本磁场的描述”会议上，通过了1965年代国际地磁参考场（IGRF），后经国际地磁学和高空物理学会执行委员会及世界地磁测量部的同意，作为世界通用的主磁场标准。如IGRF-13包括了2019年代的地磁场模型及一个预测的长期的变化模型。

如何进行日变改正?

消除地磁场静日变化对观测结果的影响称为日变改正（严格地说，变化磁场中包含了静日变化，长期变化，还有扰动变化），其幅值一般为 $0.01\sim 5$ nT，有时可达 $10\sim 20$ nT。必须对地磁场的这种短周期变化进行改正。日变改正的一种做法是设立日变站，如用质子磁力仪自动记录，设置记录地磁场日变的读数时间间隔为 $5\sim 20$ s。（MP4等质子磁力仪可以不用外加微机进行自动日变校正）

什么是高度改正?

正常地磁场随高度增加而衰减，其垂向梯度为：

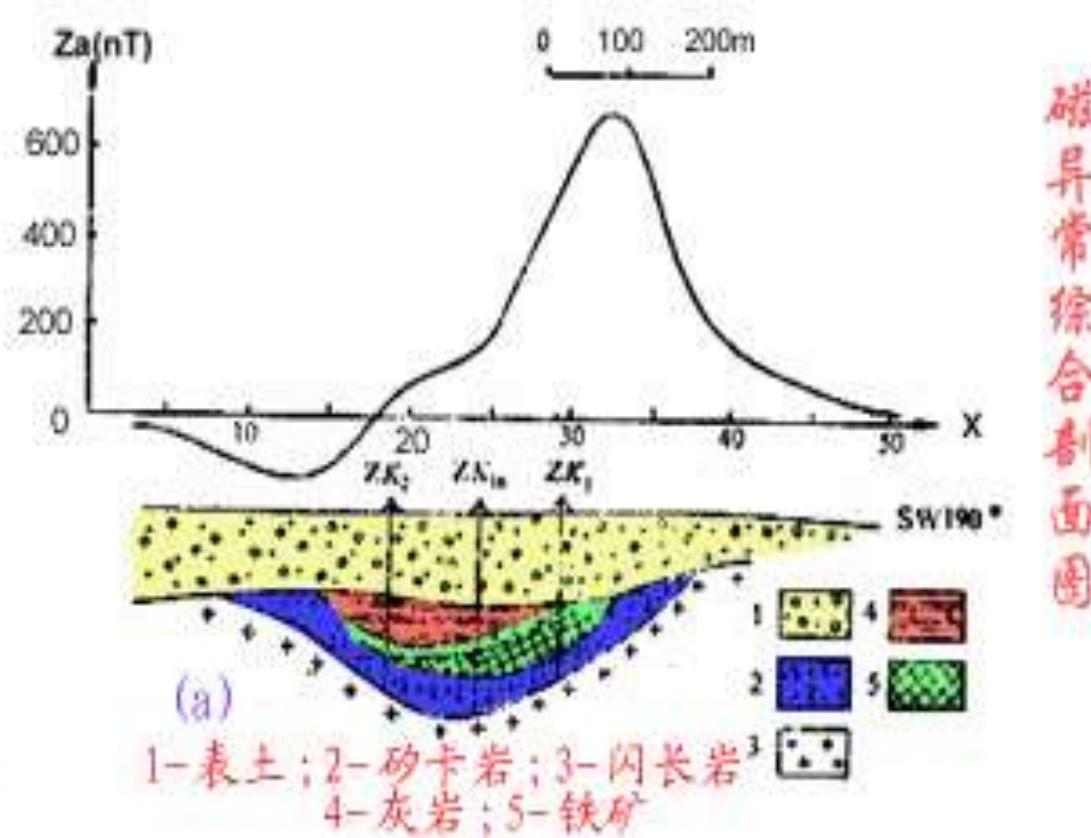
$$\frac{\partial T_0}{\partial R} = -\frac{3T_0}{R}$$

式中 T_0 是当地正常地磁场强度， R 为地球半径。
如 $T_0=50000$ nT时，地磁场垂直梯度为-0.024 nT/m。

在山区进行磁测时，必须消除由于高度变化所造成的影响。高度改正从总基点高程起算，以 $T_0=50000$ nT为例，沿每42 m高差改正1 nT,比总基点高42 m时加1 nT,比总基点低42 m时减1 nT。

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 观测结果的预处理和图示

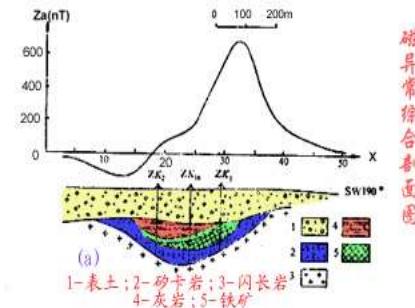


2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 观测结果的预处理和图示

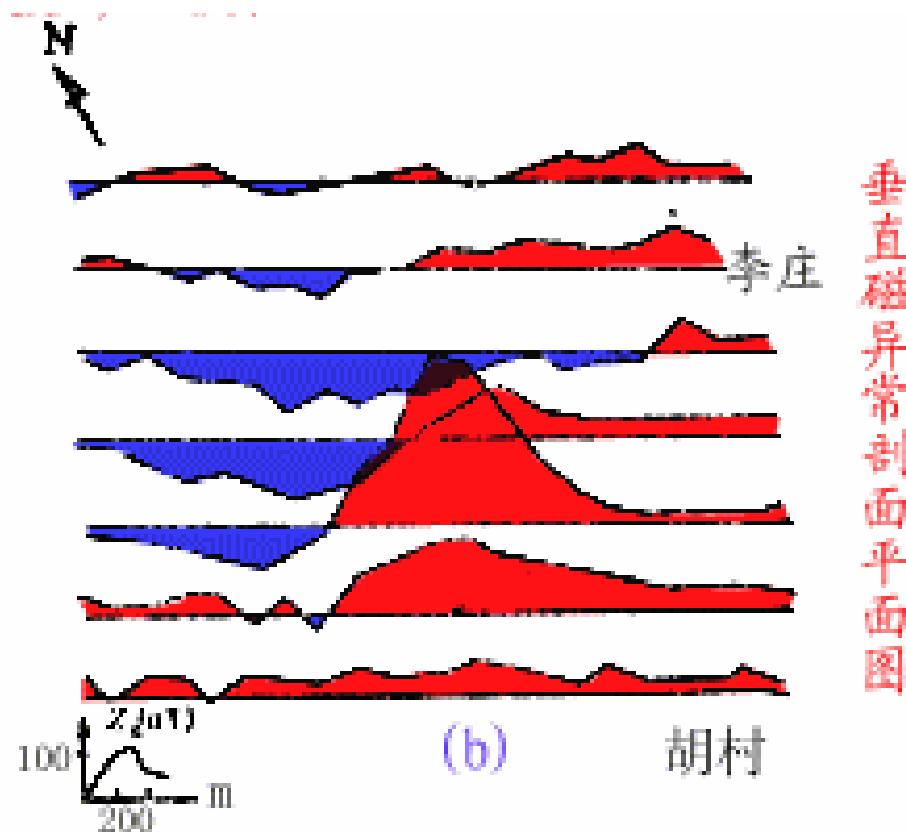
1. 磁异常剖面图

- ✓ 剖面图是表示沿某测线或某特定剖面上异常变化特点的磁异常图。
- ✓ 绘图时，以横坐标表示距离或测点位置，以纵坐标表示磁场的幅值，连成折线，即构成异常剖面图。
- ✓ 纵坐标上每厘米代表的异常值不能小于磁测精度（即磁测均方误差），否则就会把精度范围内的偶然误差放大，另一方面要求尽可能将异常的有效信息反映出来，每厘米代表的异常值又不能过大。



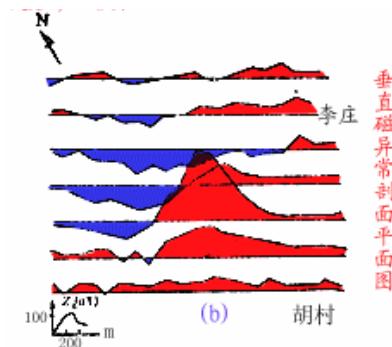
2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 观测结果的预处理和图示



2. 磁测工作——野外施工阶段

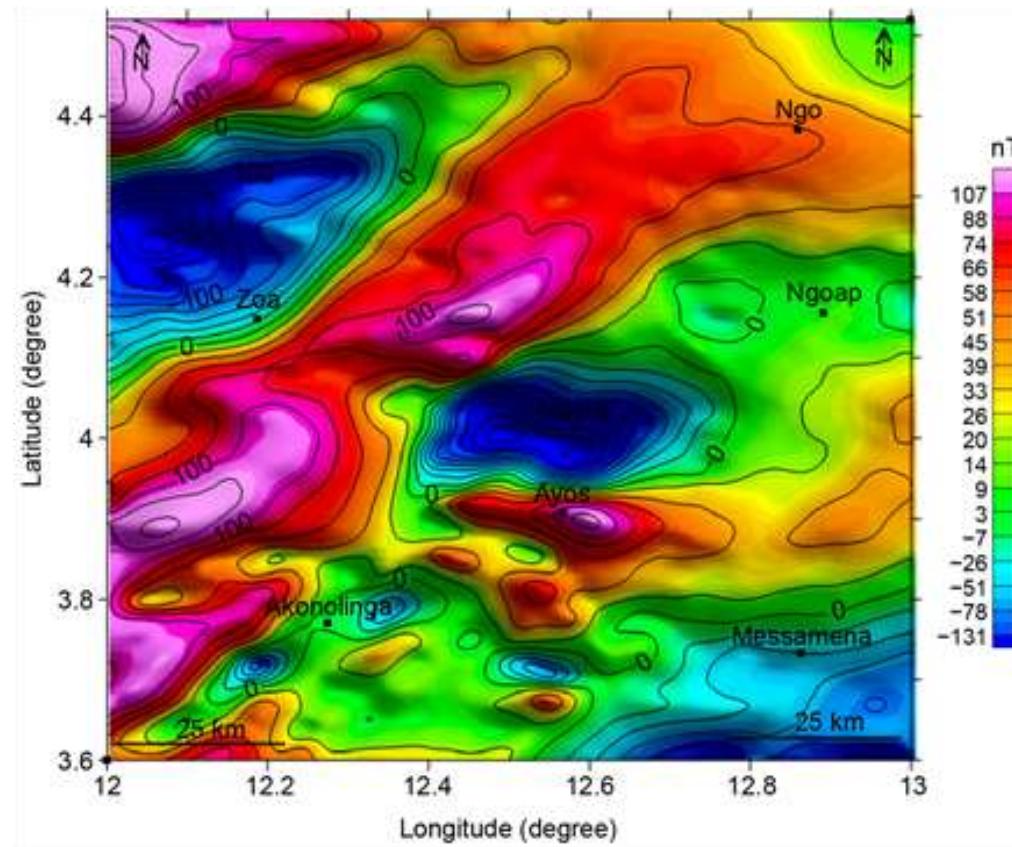
■ 观测结果的预处理和图示



- ✓ 剖面平面图是一种反映磁异常平面分布特征的图件。
- ✓ 它是按工作比例尺绘出测区的全部测线，并绘出各测线的磁异常剖面图而构成的。
- ✓ 剖面平面图的纵比例尺要求与剖面图相同。但比例尺不能过大，以免异常曲线相互穿插难以认别辨认。

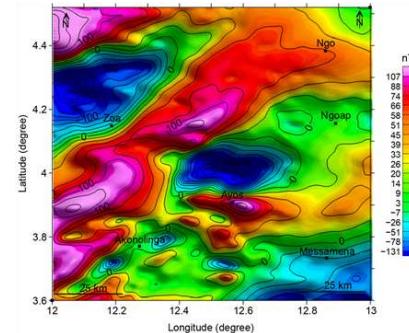
2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 观测结果的预处理和图示



2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 观测结果的预处理和图示



- ✓ 它是利用磁异常等值线来表示磁异常平面分布特征的图件。
- ✓ 按测网形状和磁测比例尺将全部观测点展绘到地形底图上，每个测点均注记出磁异常值，根据异常值勾结出异常等值线，即构成异常平面等值线图。
- ✓ 等值线间隔一般多采用等间隔，但在强弱异常相差悬殊时可采用不等间隔，一般为近等比间隔。起始等值线的数值一般为磁测均方差的2.5—3倍。

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 物性测定



“盲人摸象”



“剖砖引玉”

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 物性测定

为准确确定工作区内不同岩（矿）石的密度及磁性，除了测定方法要可靠、计算要准确以外，采集标本时，要注意按以下要求进行：

1. 应系统地采集测区内不同构造单元及不同岩性的标本，同时要注意它们的代表性。对于分布范围较广的较厚岩层以及测区内的勘探对象及围岩要适当采集较多的标本；而对于薄层或与勘探目的关系不大的岩石可以少采。在异常区内及岩性变化较大的地段应多采集；以于正常区及岩性变化不大的地段可以少采集；

2. 磁测工作——野外施工阶段

■ 物性测定

2. 采集标本时，既要采集浅部的（注意去除受风化的），又要尽量采集深部的。而对磁性资料而言，有利于对不同深度磁性层的区分、解释；
3. 每类标本的数量一般为30~50块，每块标本重量一般在300 g ($8 \times 8 \times 8 \text{ cm}^3$) 左右为宜；
4. 对所采集的标本应及时登记，编号，并注明地点、名称、地质年代及深度等；
5. 有时应考虑其它物性参数测定的要求，如形状、规格和大小，尽量发挥所采集的标本的综合利用价值。

物性测定



KT-10 v2 磁化率仪 (圆形线圈)



KT-10 S/C 磁化率/电导率仪 (矩形线圈)



KT-10 v2 (矩形线圈)



KT-10 S/C (圆柱线圈)

KT-10 磁化率、电导率仪



Qmeter磁化率仪



GSM-19

物性测定

- 传感器采用单探头的**总场测量**装置，将标本靠近探头一定距离，同时在附近设一日变站（使用同类仪器），将每次读数进行日变改正后才能算出标本产生的磁场。
- 用 CSC-61 磁秤脚架做支撑（或自制），其上置两块活动的（带无磁合页）平板。一块水平放置并固定在架上，另一块倾斜可调，使**交角与当地磁倾角相等**，并使**倾向朝北**，置于探头北侧，见图1，板上装有角铝，以防标本盒下滑。

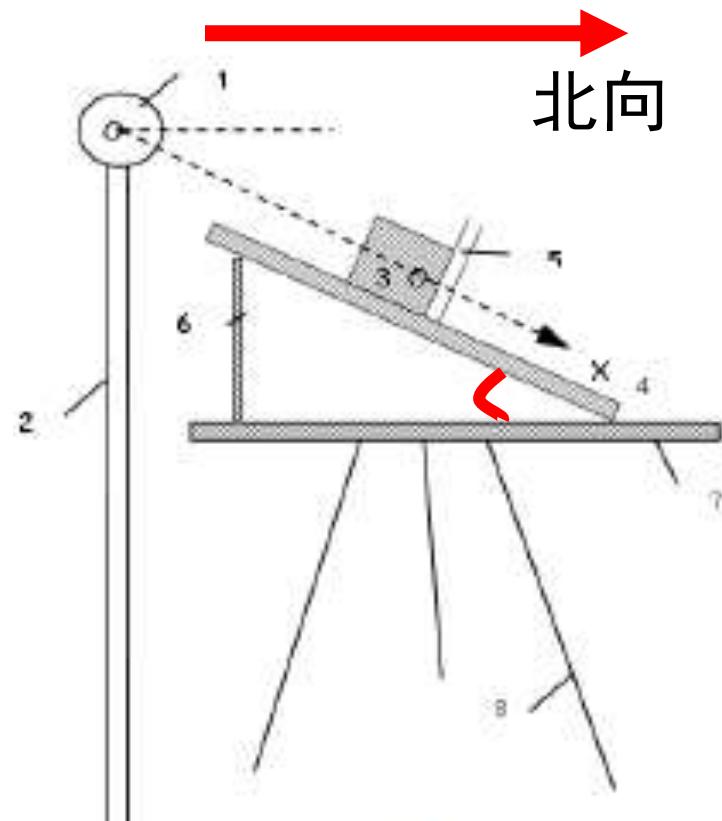


图 1

1.GSM-19T 探头;2.探头支杆;3.标本盒;4.可调倾角的斜板;5.选择及固定标本盒的活动插销;6.固定和调节倾角的螺杆;7.可作水平转动的平板;8.三角架

物性测定

- 标本盒——边长为 10 cm 的正方形木盒，按左螺旋系统规定 X 轴向东，Y 轴向北，Z 轴向下，在 3 个轴向的正向盒面分别标以 2、4、6；在 3 个盒的负面上分别标以 1、3、5，当将这标本盒置于上述标本架倾斜面上，Z 轴与地磁场 T 方向一致。

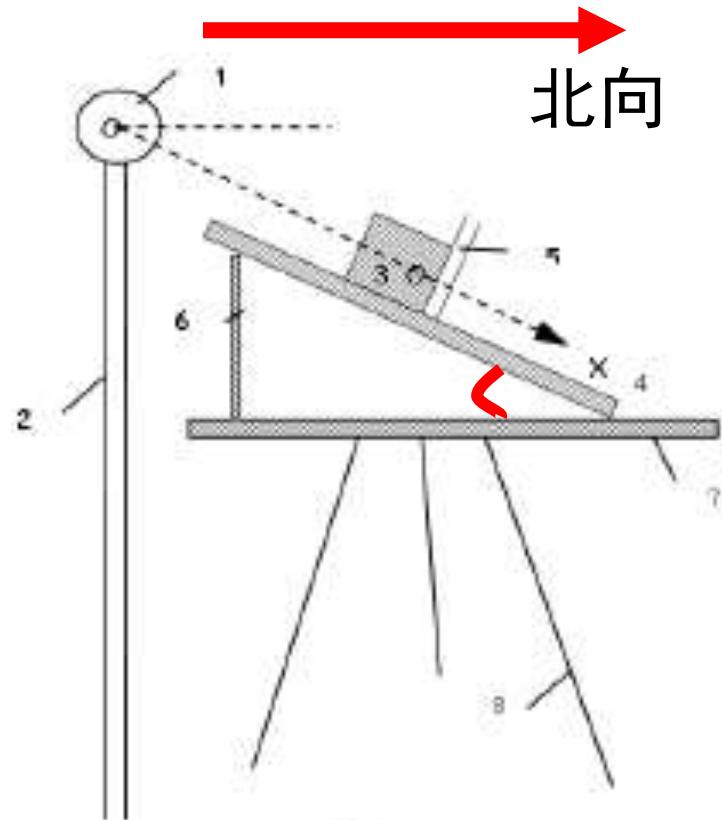


图 1

1.GSM-19T 探头;2.探头支杆;3.标本盒;4.可调倾角的斜板;5.选择 r 及固定标本盒的活动插销;6.固定和调节倾角的螺杆;7.可作水平转动的平板;8.三角架

物性测定

$$\Delta T = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} (xT_0 + Mr) v \sqrt{1 + 3 \sin^2 \phi}$$

$$\Delta T = \frac{\mu_0 m}{4\pi r^3}$$



用质子磁力仪测定岩矿石标本磁性参数应注意的问题

- 利用标本所产生的**磁感应强度值**而非其垂直梯度值进行计算
- 充分考虑并注意闭开质子磁力仪探头内极化磁场对标本磁化所产生的计算误差，因此**待测标本要尽可能远离探头**，最好在**40 cm**以上。若要准确测定弱磁性标本的磁化率，需想办法屏蔽探头极化场对标本的磁化。
- 建议用第一位置测定，因为这一位置更便于将探头中心置于标本偶极子线上，即位置偏差较第二位置小。

2. 磁测工作

数据处理阶段
成果解释，报告提交

2. 磁测工作

■ 磁法勘探（勘探地磁学/应用地磁学）

定义：磁法勘探是通过观测和分析由岩矿石或其它探测对象**磁性差异**所引起的**磁异常**，来研究地质构造、矿产资源或其他探测对象的一种地球物理方法。



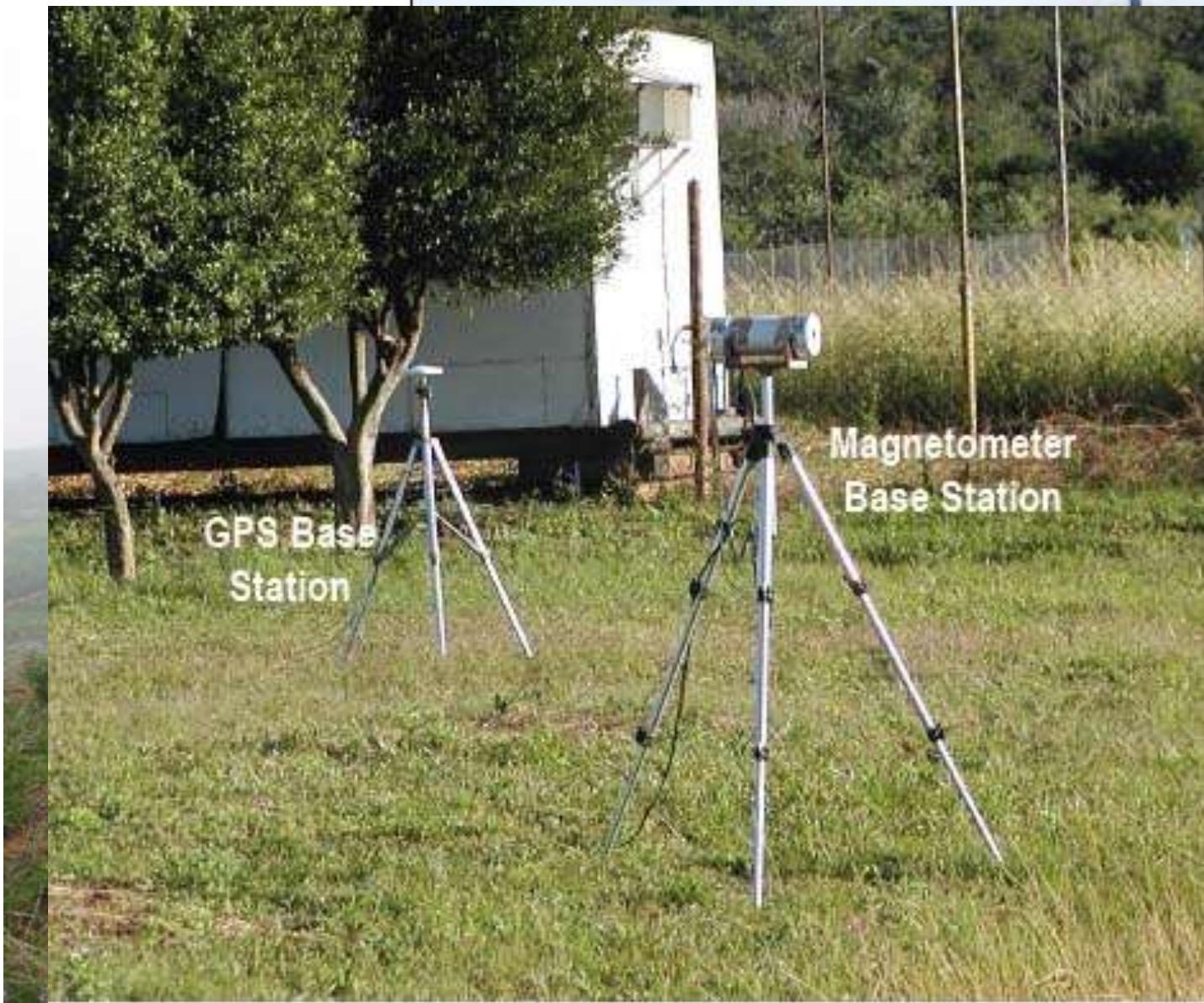
2. 磁测工作

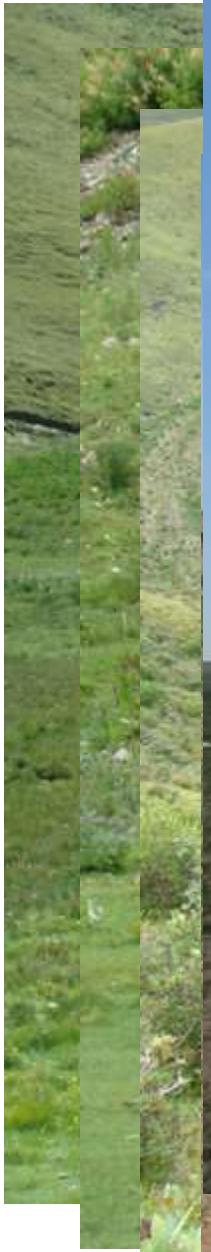
■ 磁法勘探特点

- (1) 经济快捷、效率高、成本低，在许多情况下效果良好；
- (2) 工作领域广，不受地域限制；可广泛应用于空中、海洋、地面与井中；
- (3) 岩石原生剩磁与成岩时的地磁场有关，因而具有记录成岩时地磁场的功能，这是诸多物性参数中最为独特的一个；
- (4) 应用范围广，用于直接寻找磁铁矿及其共生矿床，固体矿产、石油天然气构造普查，地质填图及深部、区域、全球构造研究，城市环境工程勘察，考古及国防等等。

磁法勘探与重力勘探间的几点差别

- ✧ 磁法异常幅值比重力异常大得多
- ✧ 重力异常反映的地质因素较多，而磁异常反映的地质因素较单一
- ✧ 地质体的磁异常特征比重力异常复杂





Curtin大学地质系老师Christ Spencer的博客文章 "30+ Photos That Prove Being A Geologist Is The Best Job In The World"



乘Globemaster (全球霸王) C-17去南极

Curtin大学地质系老师Christ Spencer的博客文章 "30+ Photos That Prove Being A Geologist Is The Best Job In The World"



在阿拉斯加乘坐RobinsonR44直升机

Curtin大学地质系老师Christ Spencer的博客文章 "30+ Photos That Prove Being A Geologist Is The Best Job In The World"



在巴布亚新几内亚和这个很酷的老兄共乘一条船

Curtin大学地质系老师Christ Spencer的博客文章 "30+ Photos That Prove Being A Geologist Is The Best Job In The World"



不丹骑耗牛

Curtin大学地质系老师Christ Spencer的博客文章 "30+ Photos That Prove Being A Geologist Is The Best Job In The World"



出差都不住宾馆的（阿拉斯加）

目 录

地磁部分章节

第二章 磁力仪与磁测工作

1. 磁力仪的发展
2. 野外磁测工作（地面）
3. 其它磁测工作

3. 其它磁测工作

- 地球磁场绝对测量通常测定*I*、*D*、*H*三要素的绝对值

测量方式：固定点上连续测量，即地磁台

- 磁法勘探则是测定*T*的相对值，三分量磁场，磁梯度

测量方式：野外测点间断测量

►井中磁测

►地面磁测

►航空磁测

►海洋磁测

►卫星磁测

我国1960年后生产的磁力仪：

- ◆ 1960s, 磁测精度： 2-10 nT
- ◆ 1970s~1980s, 磁测精度： 0.1 nT
- ◆ 1990s, 磁测精度： 0.05 nT
- ◆ 现在, 磁测精度： 0.0025 nT

20世纪80年代开始，高精度磁测应用于油气勘探
、煤田勘探、工程勘探、军事等

3. 其它磁测工作

■ 地磁观测（测量）

绝对观测：相对于零点的观测

其值为相对零点的变化

零点是绝对零点



仪器原理决定
观测方法

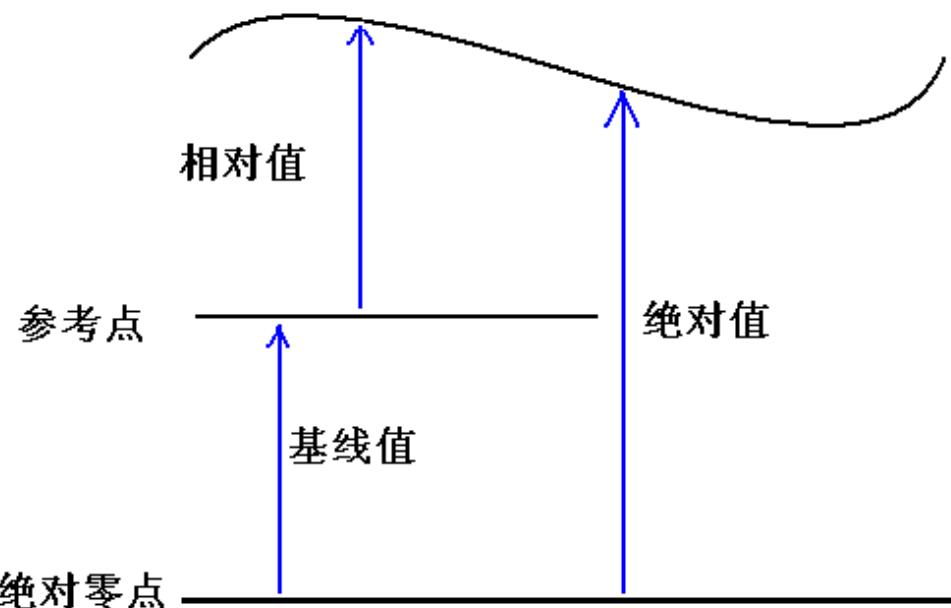
相对观测：相对于某参考点的观测，

其值为相对参考点的变化

参考点为任意一点

3. 其它磁测工作

■ 地磁观测（测量）



采何种观测方式取决于仪器原理
一般地，相对观测无法连续观测

3. 其它磁测工作

陆地表面进行磁场测量一直是获取地磁场信息的主要途径。

地表磁测不仅是编绘国家地磁图的基础，也是建立全球主磁场模型的基本资料来源，更是磁法勘探的主要方法。

地面磁测资料来源于固定地磁台站的连续观测和复测点的定期重复测量。其中，固定台站的连续记录用于周围测点的日变改正以及磁扰消除，也用于更大范围内长期变化修正。

地磁复测点是根据区域地磁图和地磁模型分辨率而设定的台阵，它应该覆盖整个测区，并尽可能均匀分布。一般复测周期为5~10年，也有更短的。不同年代复测点的磁场测量值是研究地磁场长期变化和地磁场建模的基本资料。

Hartland Magnetic Observatory, UK

英国哈特兰地磁台



北京地磁台



►北京地磁台(BJI)

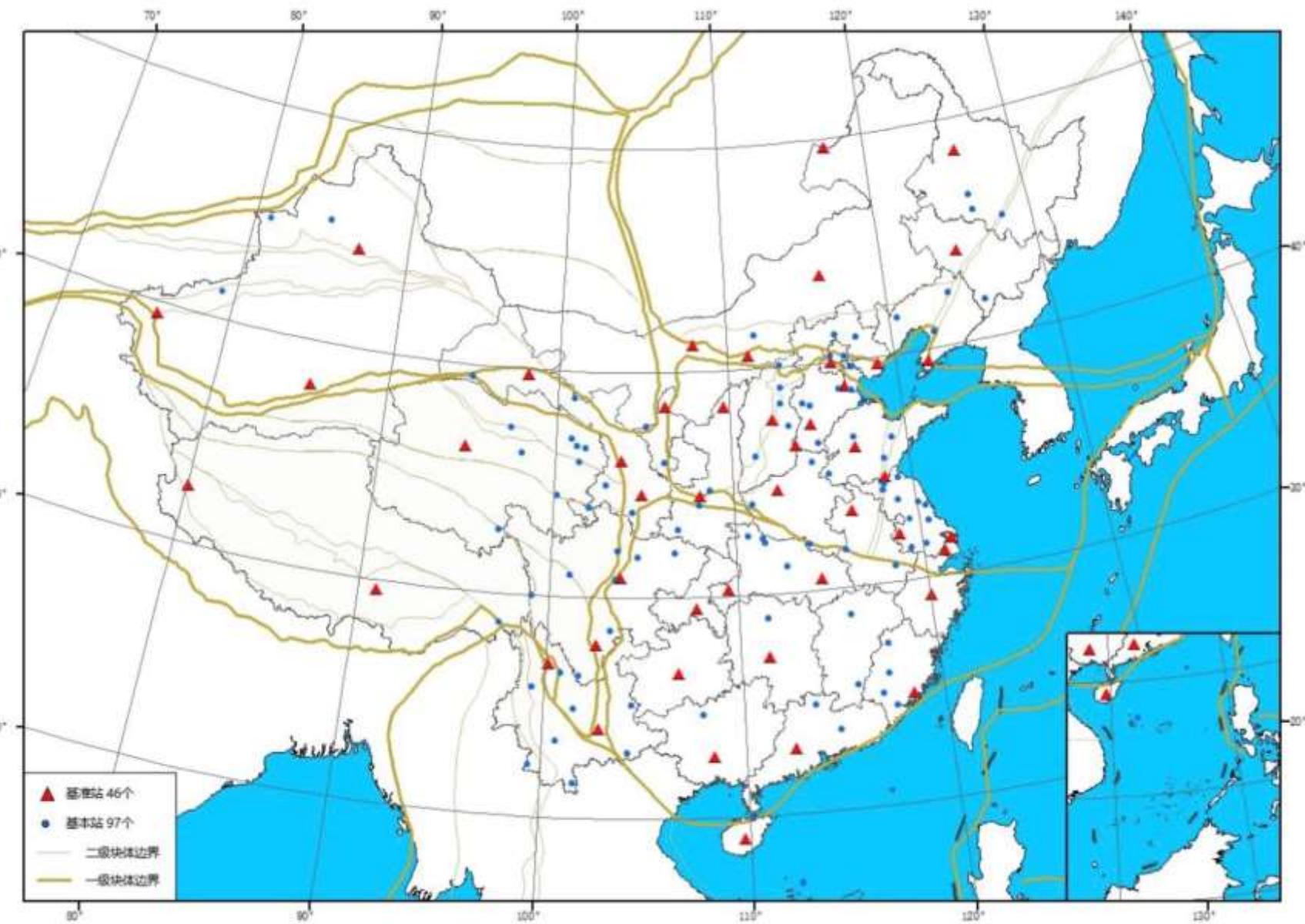
- 台站名称：北京地磁台/白家疃地球物理综合观测站
- 位置：北京市西郊白家疃，距离市区25 km，北纬 40.0度，东经 116.2度，海拔：69 m
- 仪器：
 - 测量D、I仪器：标准磁力仪（Schmidt）
 磁通门经纬仪（CTM-DI）
 磁力仪（CJ6）
 - 测量T仪器：质子旋进磁力仪（DTZ-2）
 - 记录仪器：模拟记录：磁变仪（72型和Mating）
 数字化：磁通门磁力仪（GM3），采样率：
 1 次/s.矢量质子磁力仪（FHD），
 采样率：1次/分

- 工作情况：每周进行两次绝对值和标度值的测量。绝对测量测T、D、I，其它分量的数据通过计算得到。
- 产出资料情况：1957年开始出版地磁观测报告。内容包括：磁偏角（D）、水平强度（H）、垂直强度（Z）的标度值、基线值、时均值、日均值、月均值、季均值、日变幅和D、H、Z、磁倾角（I）、总强度（T）、北向强度（X）、西向强度（Y）的年均值等数据。同时为磁暴报告提供本台磁暴数据、K指数和快变化报告。

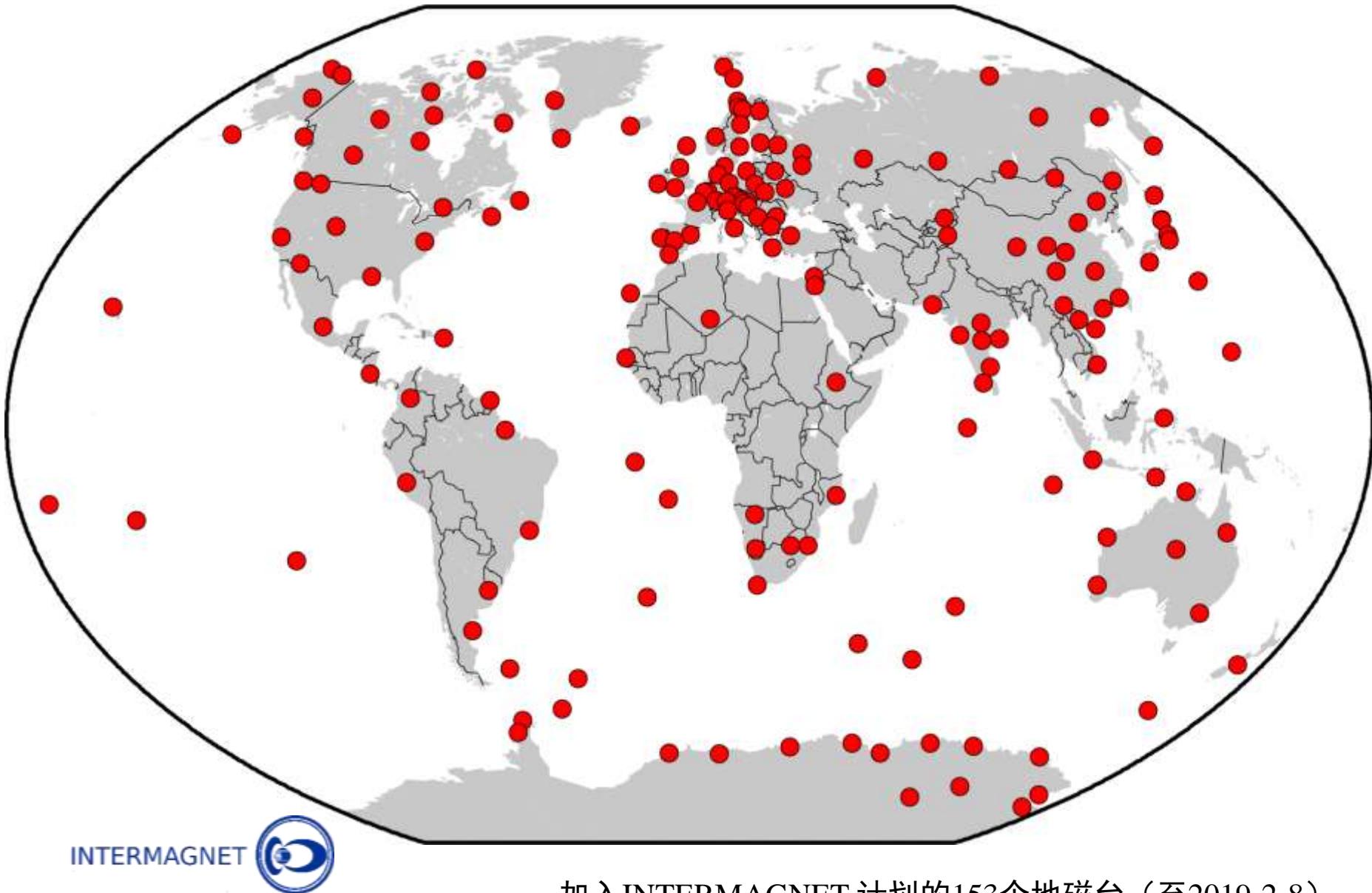




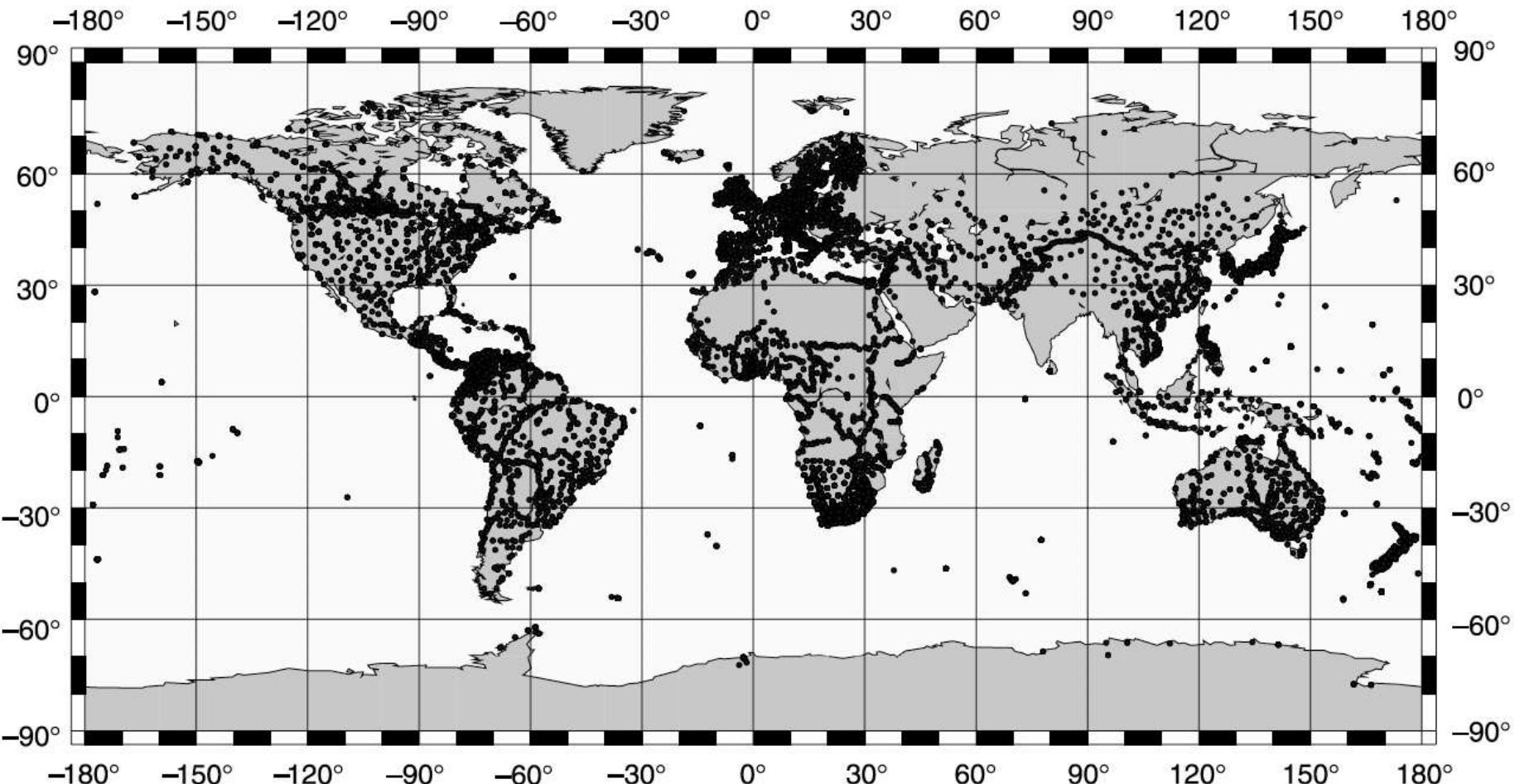
中国地磁台网分布



Locations of currently operating geomagnetic observatories



1900年以来全球地磁复测点分布



占地球表面积70%的海洋：几乎是观察空白区

3. 其它磁测工作

■ 海洋磁法测量

利用船只携带仪器在海洋进行地磁测量，不仅为编绘全球地磁图提供了占地球表面70%的海洋磁场测值，而且为建立全球地磁数据库和全球地壳磁场模型、研究海洋地质和海底资源提供了重要资料。

此外，海洋磁测还是一种探明沉船、礁石等障碍物的海道测量方法。事实上，仅仅为了航海定向，海洋磁测就是绝对必要的。**世界最早的地磁图就是大西洋海区的磁偏角等值线图。**

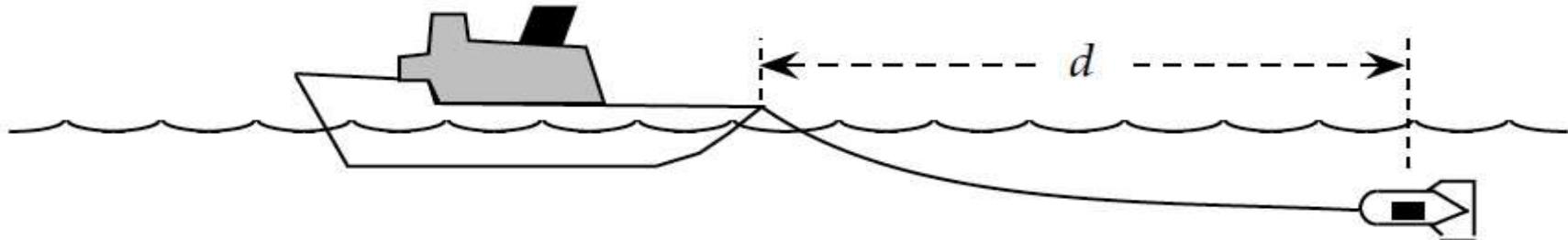
海洋磁异常通常很强，距海底2~5 km的海面上测得磁异常，其峰值幅度可达几百乃至上千nT。海洋磁测最常用的是总强度，而总强度异常所反映的是在磁场平均方向上的变化。

3. 其它磁测工作

■ 海洋磁法测量

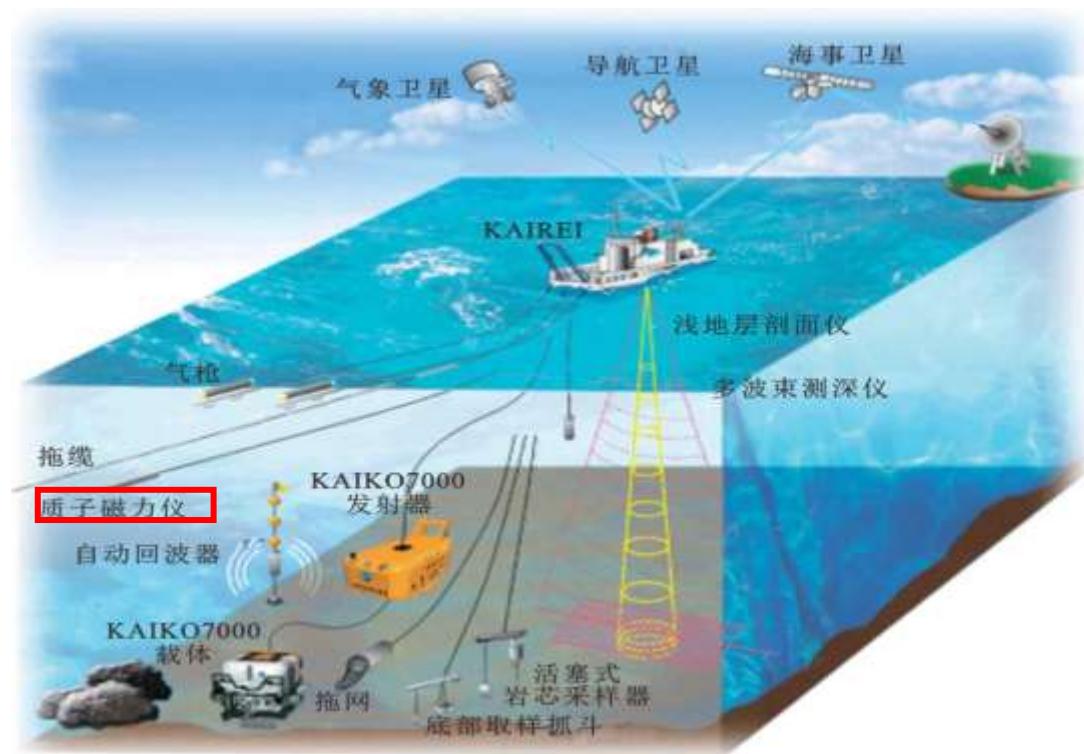
- 在无磁性船上安装地磁仪器
- 用普通的船只拖曳磁力仪
- 将磁力仪沉入海底

第一种方法使用得最早，拖曳式质子旋进磁力仪在20世纪50年代后开始用于总强度测量，拖曳电缆长度大于船长3倍。70年代末，质子旋进式磁力仪才用于海底磁场的直接测量。

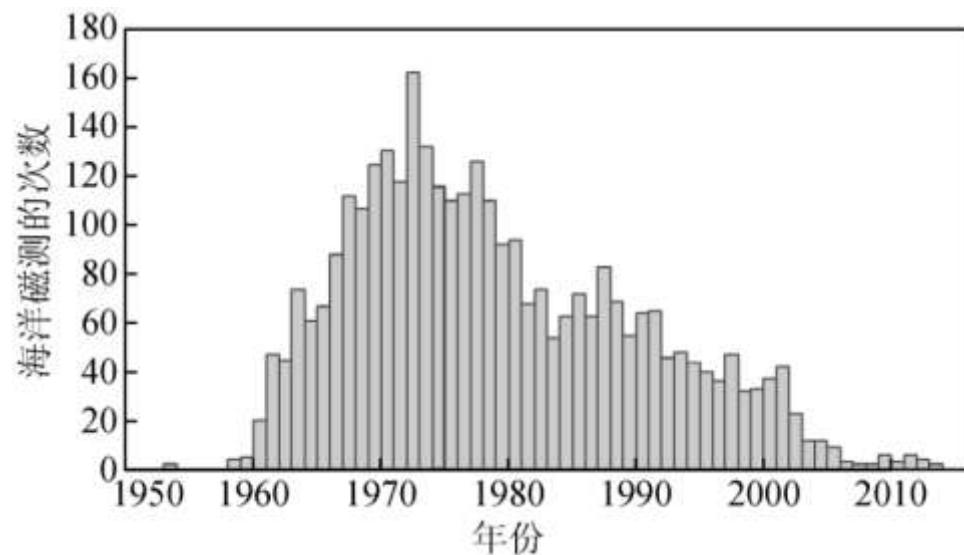


船载磁法测量

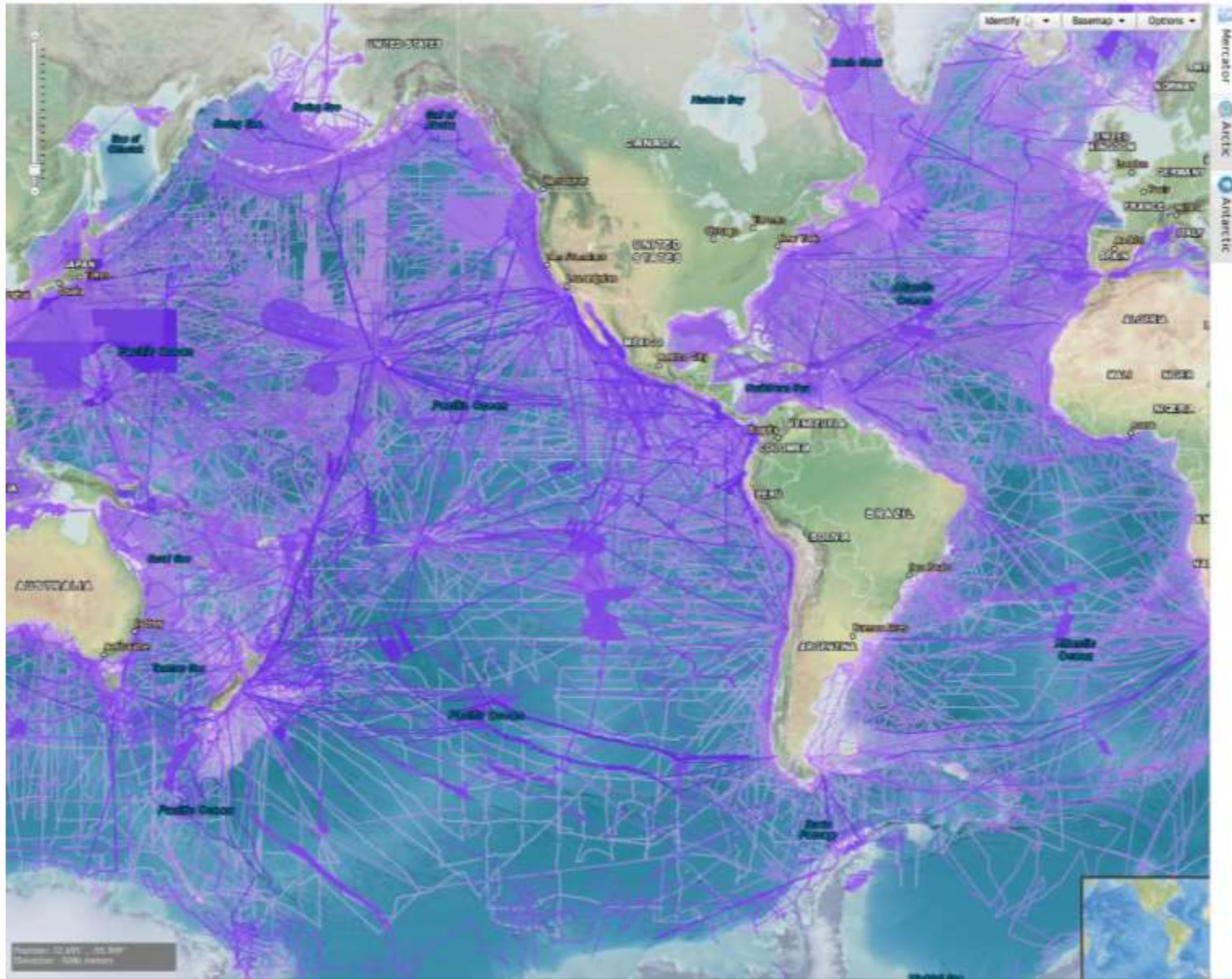
沿着船舶航迹或利用水下航行器从局部和区域尺度探测海底的磁信号



海洋磁测开始于20世纪50年代，在1960s-1980s 达到探测高峰

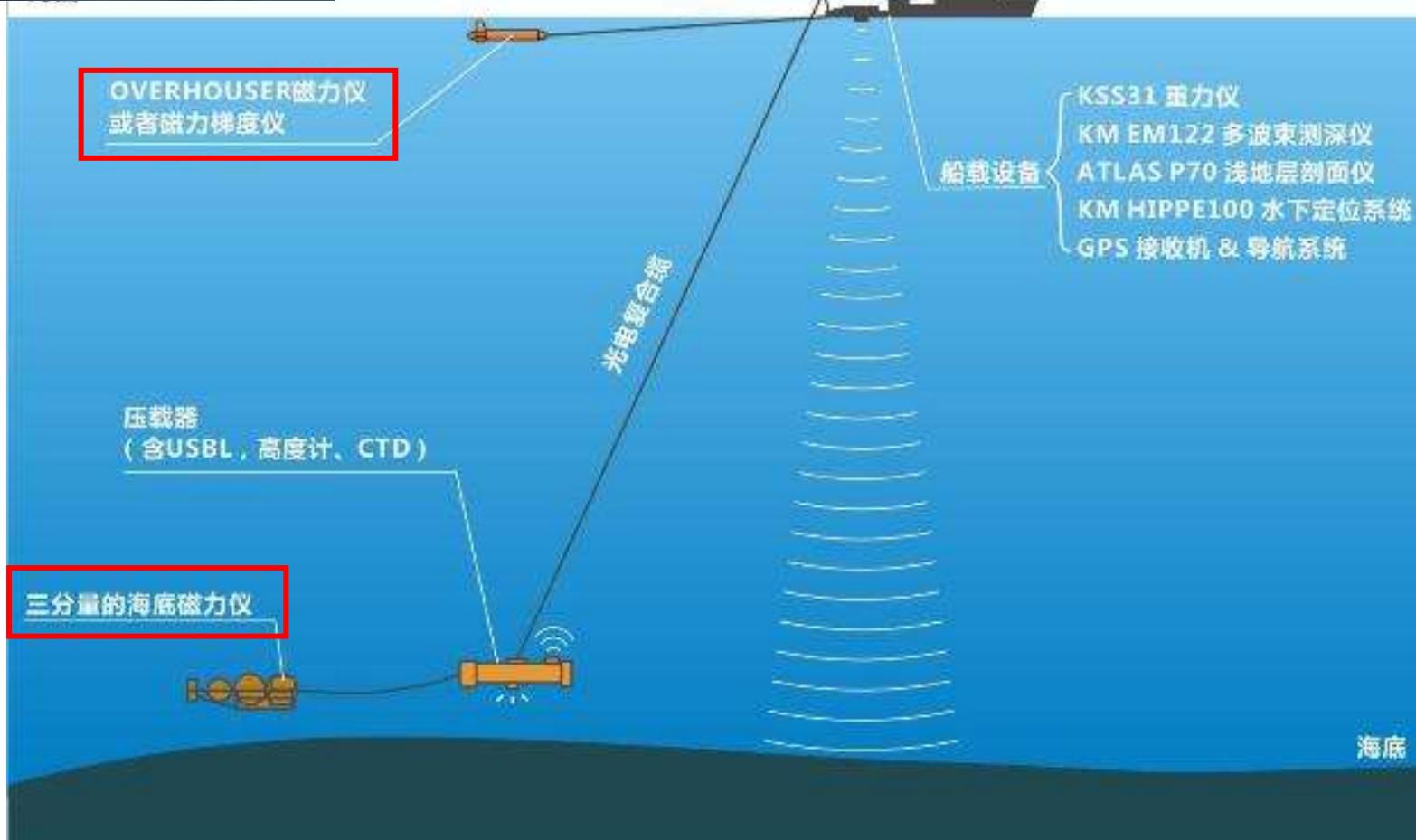


全球船测航线





“海洋六号”综合调查船

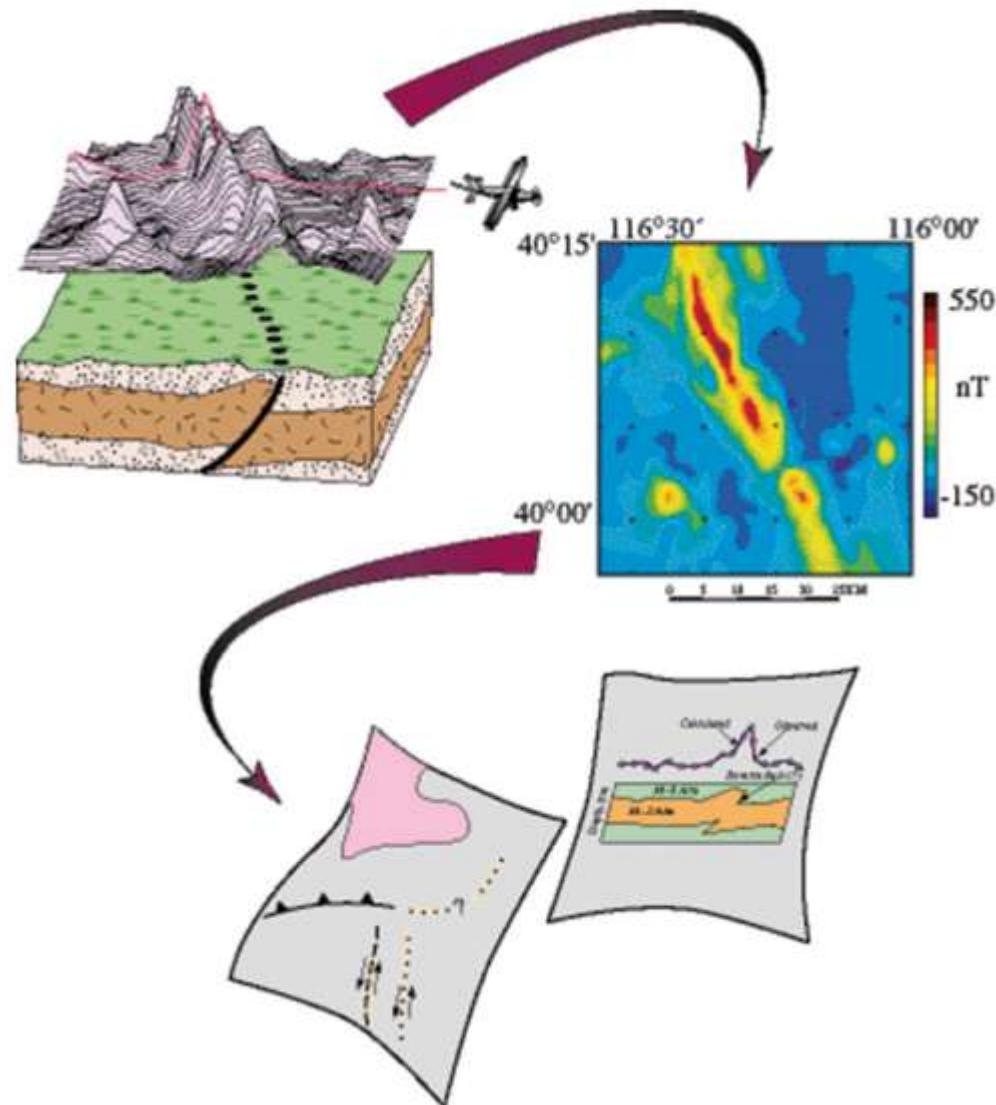




3. 其它磁测工作

■ 航空磁法测量

用飞机携带磁力仪在空中进行地磁测量是速度快、成本低的一种常用磁测方法。



3. 其它磁测工作

■ 航空磁法测量

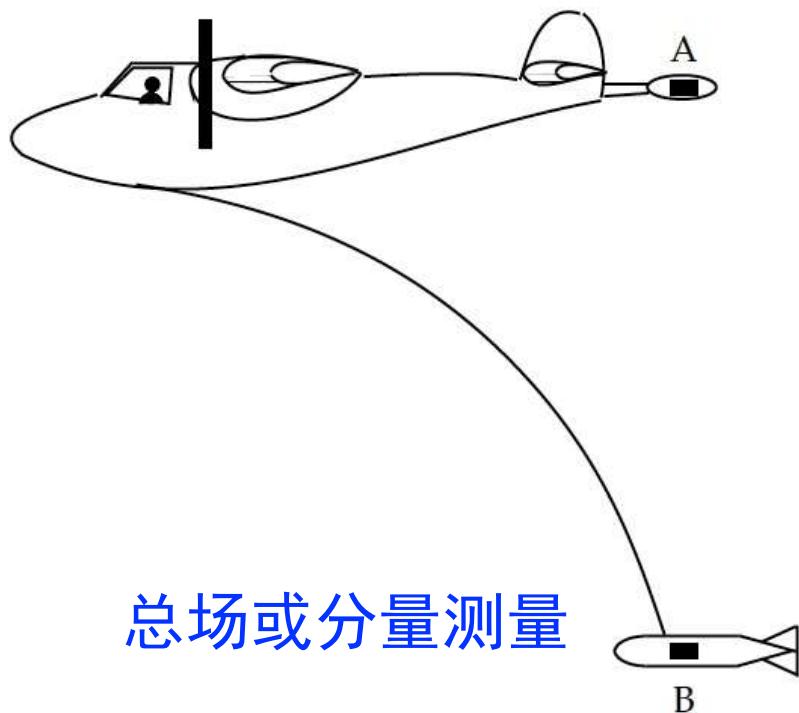
最初的航空磁测是为了潜艇侦查，后来用于探矿，现在航测资料是研究地壳磁场的重要资料。为了减小飞机本身磁场对测量的干扰，要把磁测探头用缆绳拖在机舱外。

航磁测量可以分为两种类型：

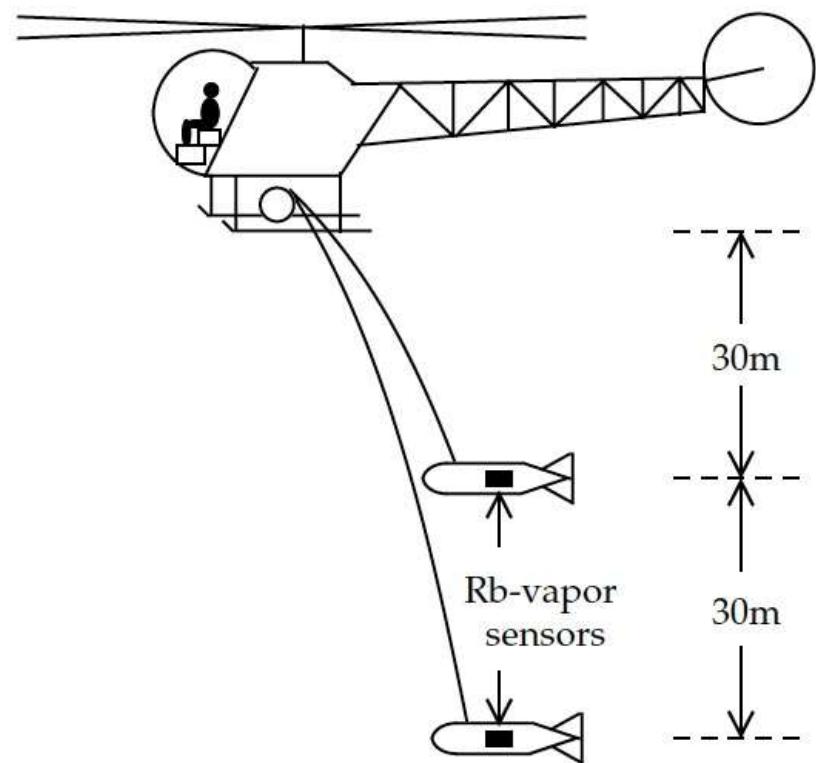
- (1) 用核旋或光泵磁力仪进行地磁总强度标量测量
- (2) 用分量核旋仪或磁通门磁力仪测量地磁分量

3. 其它磁测工作

■ 航空磁法测量



总场或分量测量

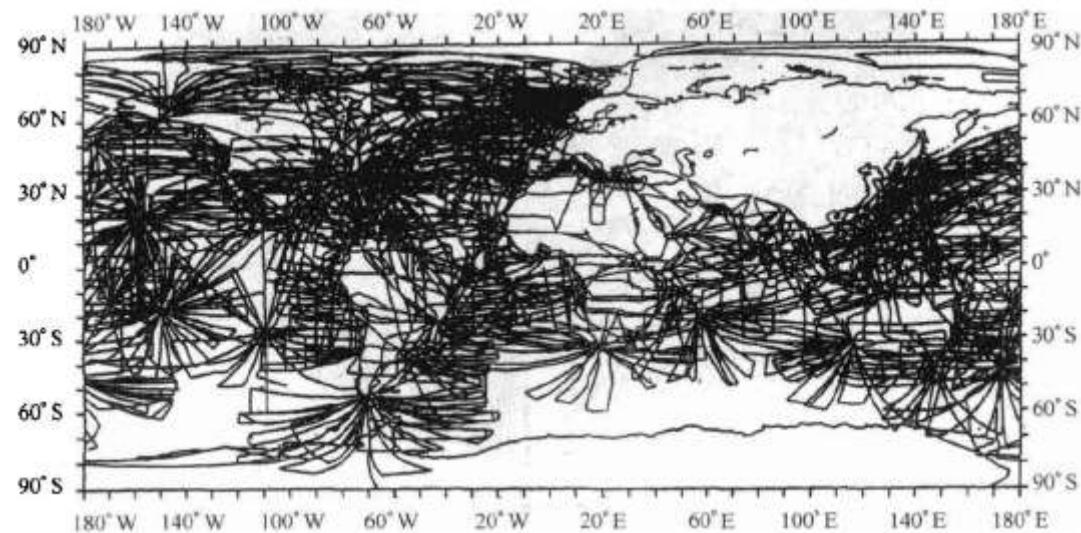


梯度测量

3. 其它磁测工作

■ 航空磁法测量

规模最大的区域性航磁测量是美国海军在1950~1990年的“磁铁”计划中完成的，其目的是为了编制全球地磁图，其是舰船导航必需的图件。



美国航空磁测“磁铁”计划航线图

航遥中心自行研制的灵敏度为2.5 pT的HC-2000型航空氦光泵磁力仪





*Figure 4. New UAV for aeromagnetic acquisition
(Courtesy Fugro Airborne Surveys).*



3. 其它磁测工作

■ 卫星磁法测量

卫星磁测为全球磁场的高精度快速测量提供了有力的工具，开辟了地磁测量的新纪元。通过卫星磁测，可以在短时间内获得全球磁场资料，不仅可以用来建立主磁场模型，而且可以研究全球范围的磁异常分布特点，构建全球地壳磁场模型。此外，卫星磁测可以用来研究地球本体以外的空间地磁场结构和电离层—磁层电流体系。

地面磁测：精度高、费用低、方便易行，但速度太慢。原始磁测资料要进行日变和磁扰改正、不同时期的测量值要进行长期变化改正和通化处理、不同测区的结果要进行比较和拼接、不同类型不同精度仪器在测量前后与标准台仪器比测，确定仪器差并加以改正、高山和荒漠等不易到达的地方缺少数据，所有这些都会影响最后地磁图和地磁场模型结果的精度和可用性。

航空磁测和海洋磁测：速度快，几乎不受地形限制，适用于大面积扫描，极大地弥补了地面磁测的不足，但要进行全球的三份量普测，也非易事。

3. 其它磁测工作

■ 卫星磁法测量

建立全球地壳磁场模型需要有密布全球的测点，人造卫星上天以前，建立磁场模型所用的资料来自地面磁测、航空磁测和海洋磁测。

人造卫星上天以后，卫星磁测成了建立主磁场和地壳磁场模型的主要资料来源。磁测卫星POGO、MAGSAT、Oersted、CHAMP、SAC-C和Swarm相继发射，不仅大大提高了主磁场模型的质量，而且使高精度、高分辨率的地壳磁场模型的建立成为可能。

3. 其它磁测工作

■ 卫星磁法测量

1958年，前苏联发射了第一颗测量地磁场的卫星（“人造地球卫星”3号），上面装有磁通门矢量磁力仪。以后又有美国的“先锋”3号，前苏联的“宇宙”26号、49号、321号等，这些卫星只携带测量总强度的质子旋进磁力仪或光泵磁力仪。

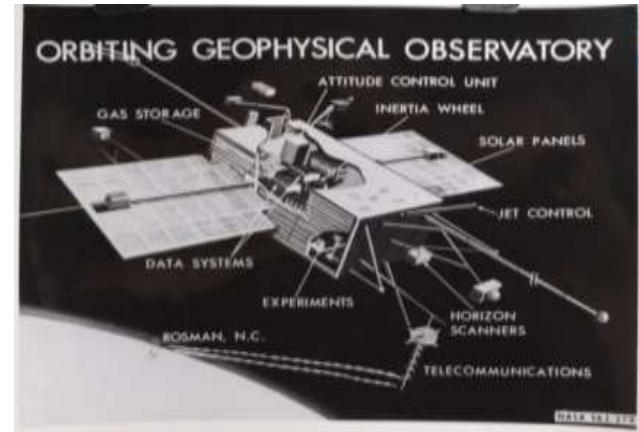
当前卫星装备精度更高的磁力仪，除总强度外，还有矢量磁场三分量测量。

3. 其它磁测工作

■ 卫星磁法测量

- POGO系列卫星

就建立全球磁场模型而言，真正意义上的卫星磁测始于美国的POGO系列卫星（Polar orbiting Geophysical Observatory）在1964.9~1969.6期间，美国先后发射了6颗POGO卫星，进行了各种地球物理实验，其中就有地磁总强度卫星。卫星轨道高度4326~66550 km，倾角71.2°，重量588 kg。

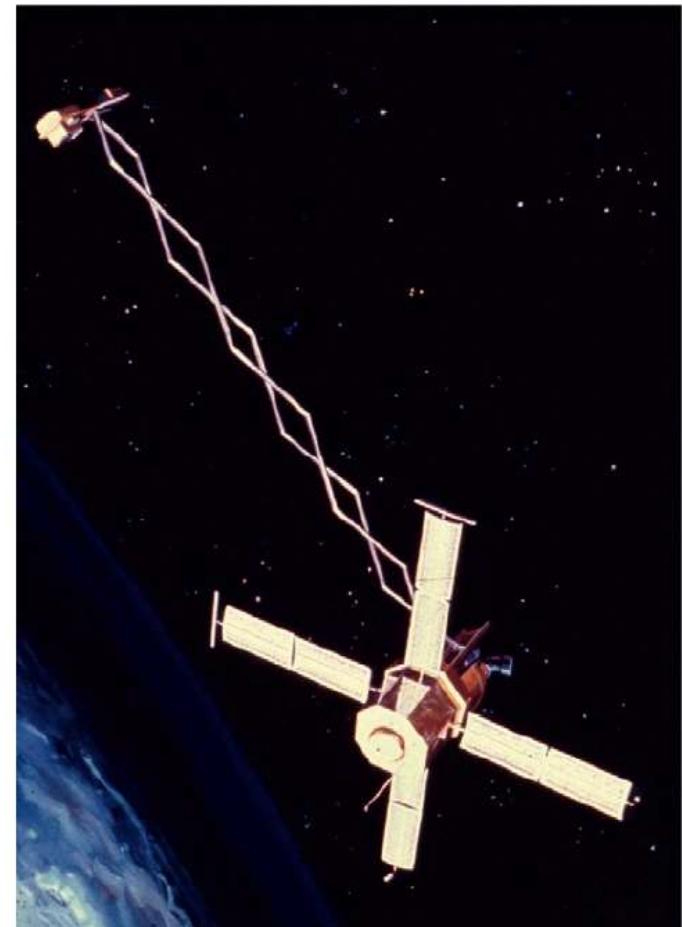


3. 其它磁测工作

■ 卫星磁法测量

- MAGSAT卫星

MAGSAT卫星(Magnetic Satellite, 又叫探险者61号)是1979年10月30日美国地质调查局(USGS)和国家航空航天局(NASA)联合发射的**专用磁测卫星**，卫星重量158 kg。卫星沿晨昏子午面附近的太阳同步轨道运行，轨道倾角96.76°。因此，除了极区很小一块球冠面积外，卫星可以连续地扫描整个地球表面。卫星轨道近地点352 km，远地点561 km，平均高度400 km，近似圆轨道，非常局部的地面磁异常对这一高度的磁场影响很小。卫星装备铯蒸汽**标量磁力仪**和**磁通门磁力仪**，总强度精度为2 nT，分量精度为6 nT。采样频率总强度每秒8次，矢量每秒16次。



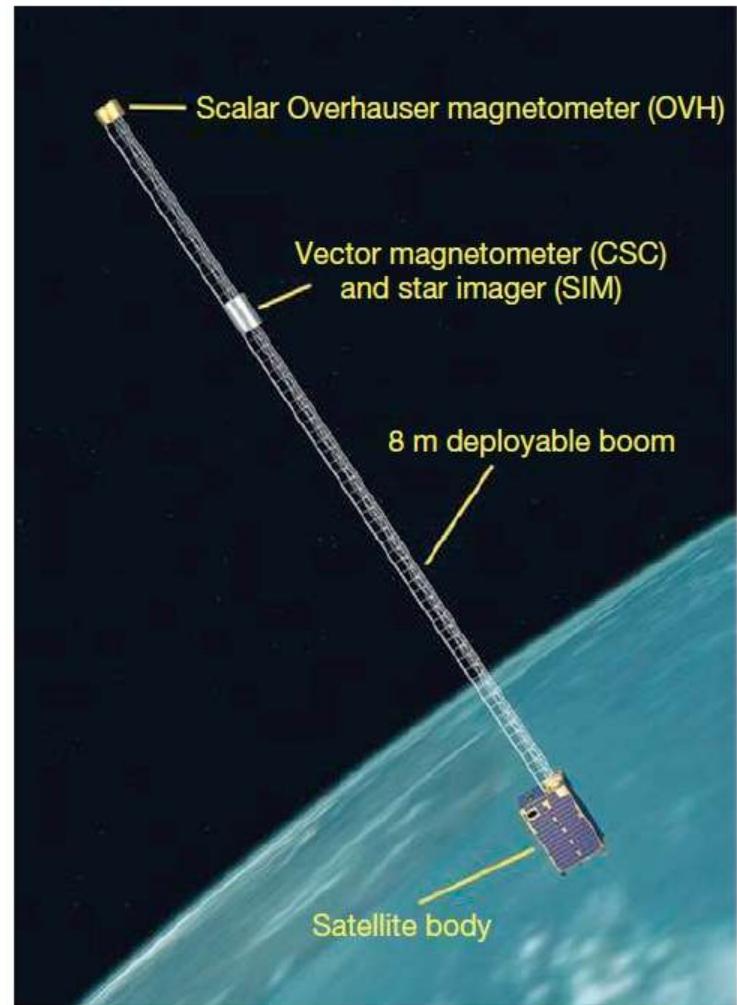
3. 其它磁测工作

■ 卫星磁法测量

• Oersted地磁卫星

1999年2月23日丹麦发射了磁测卫星Oersted。卫星重量62 kg，大小34 cm× 45 cm× 72 cm，伸竿长8 m。卫星近地点约640 km，远地点约850 km，倾角96.5°。卫星的主要目的是**提供高精度全球磁场测量资料**，与MAGSAT相结合，建立新的地磁场模型，研究地磁场长期变化，此外，还要研究太阳风能量向地球空间的传输。

与MAGSAT相比，Oersted地磁卫星在许多方面有重大改进，磁力仪和星成像仪的精度更高。此外，卫星轨道相对于太阳的方向也不同于MAGSAT，所以可以得到关于磁层电流全球分布的新信息。



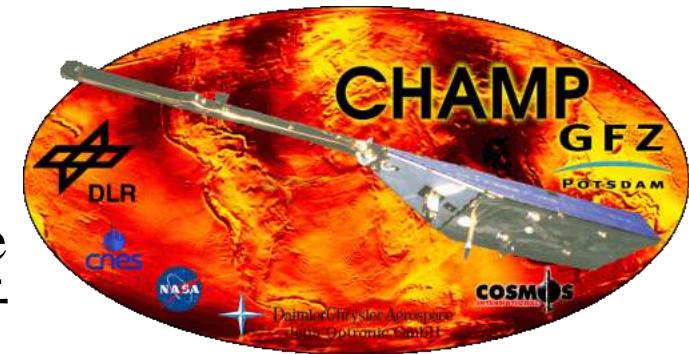
3. 其它磁测工作

■ 卫星磁法测量

• CHAMP卫星

CHAMP卫星(CHAllenging Minisatellite Payload)是德国的一个小卫星计划，于2000年7月15日发射。卫星重522 kg，倾角87.3°，伸竿长4 m。

CHAMP的目的是地球科学与大气科学的研究与应用，由德国波茨坦的GFZ组织管理。卫星上装有磁力仪、加速度计、星体探测器、GPS接收器、离子漂移器等多种有效载荷，共同观测，互相补充，使CHAMP成为一个高精度、多功能的卫星。卫星的近极地轨道、低高度和长周期极其有利于对地观测和全球扫描。所以，CHAMP将第一次同时给出重力场和地磁场的高精度测量资料，为地球位势研究做出重大贡献。此外，CHAMP的掩星观测对大气和电离层研究非常重要，并服务于天气预报和空间天气预报。



GFZ: 亥姆霍兹波茨坦中心，德国地学中心

CHAMP卫星



3. 其它磁测工作

■ 卫星磁法测量

- SAC-C地磁卫星

2000年11月21日，阿根廷/美国合作发射了SAC-C卫星（又称Oersted-2），其目的是研究地球大气、电离层和地磁场的结构和动力学。卫星重475 kg，大小为 $2.1 \text{ m} \times 1.9 \text{ m} \times 1.7 \text{ m}$ ，在固定地方时极地轨道上飞行，从而弥补了Oersted和CHAMP卫星轨道漂移的缺陷。



3. 其它磁测工作

■ 卫星磁法测量

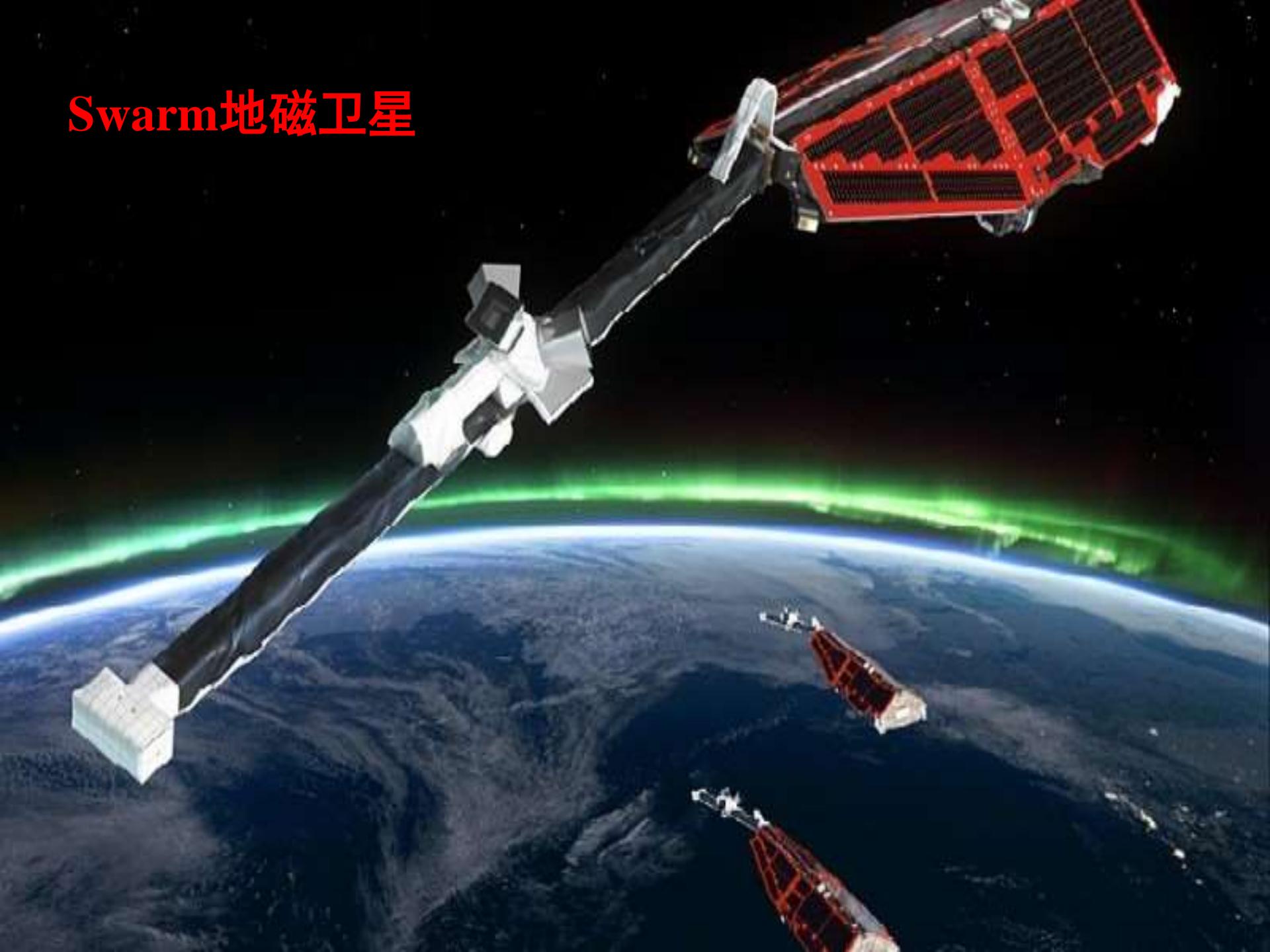
- Swarm地磁卫星

欧洲空间局Swarm（蜂群）卫星，于2013年11月22日由俄罗斯“轰鸣”（Rockot）火箭成功发射。Swarm每颗卫星的发射质量为473 kg，其尺寸为宽1.5 m、高0.85 m、长9.1 m，包括一个长度为4 m的展开臂；星载设备有矢量场磁强计，绝对标量磁强计、电场装置、加速度计、GPS接收机、星敏感器和激光反射器。

3颗Swarm卫星已进入距离地面高度为500 km的轨道，研究保护地球免受宇宙辐射和太阳风中带电粒子伤害的地球磁场。



Swarm地磁卫星



我国首个地震电磁监测卫星《张衡一号》发射成功

中国酒泉卫星发射中心

2018.02.02

热烈祝贺电磁监测试验卫星任务发射圆满成功

*Congratulazioni per il pieno successo della missione di lancio del
"China Seismo Electromagnetic Satellite"*

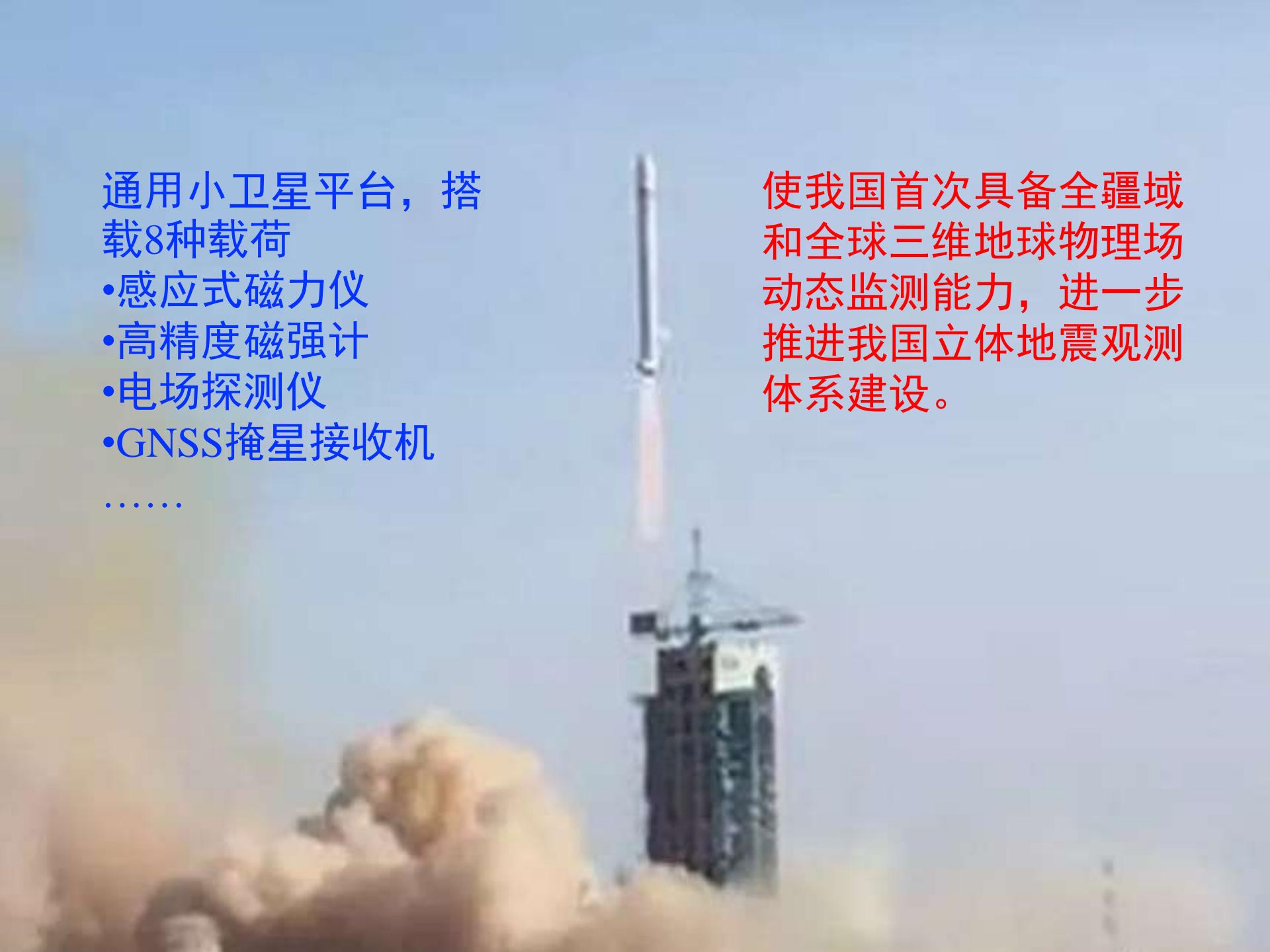
上天入地

通用小卫星平台，搭载8种载荷

- 感应式磁力仪
- 高精度磁强计
- 电场探测仪
- GNSS掩星接收机

.....

使我国首次具备全疆域和全球三维地球物理场动态监测能力，进一步推进我国立体地震观测体系建设。

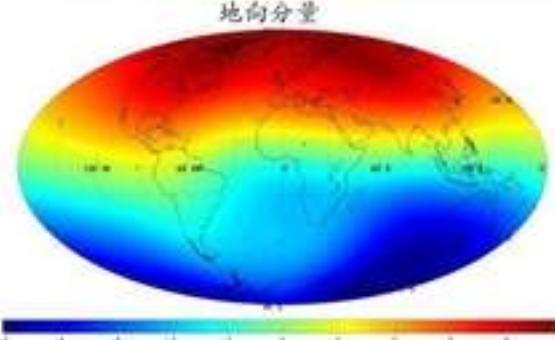
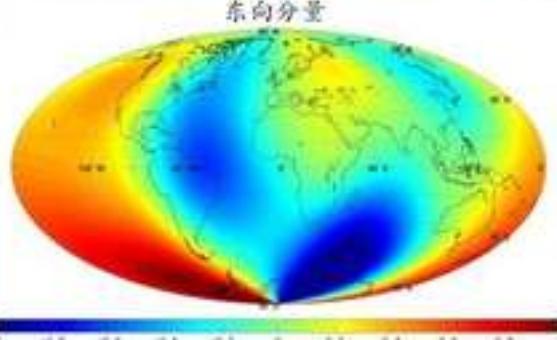
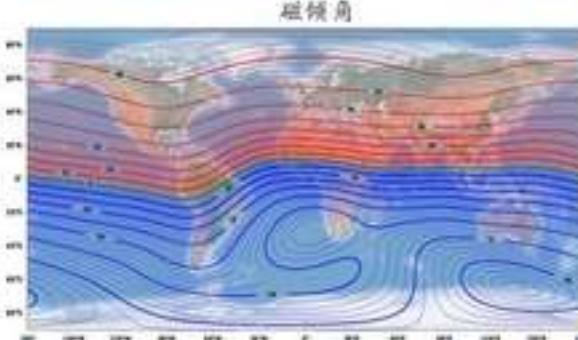
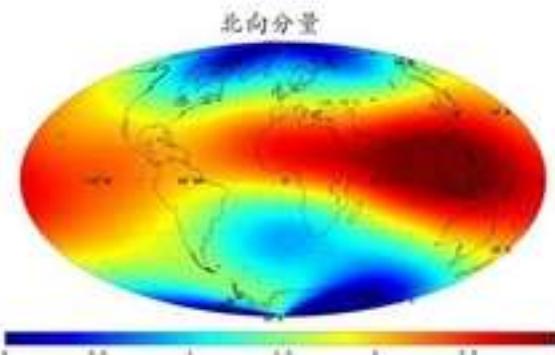
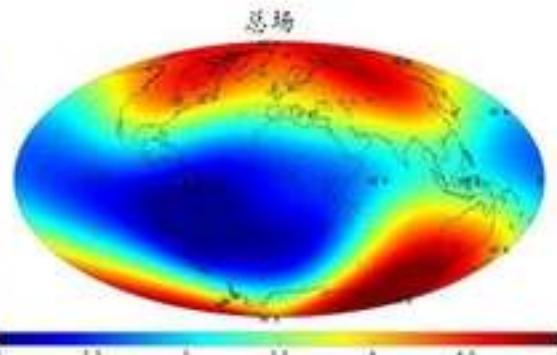
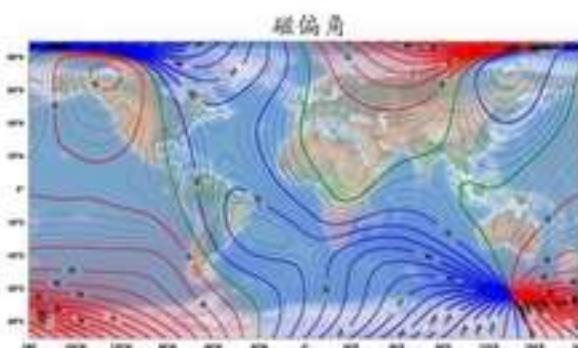




“张衡一号”卫星全球地磁场模型CGGM 2020.0日前发布

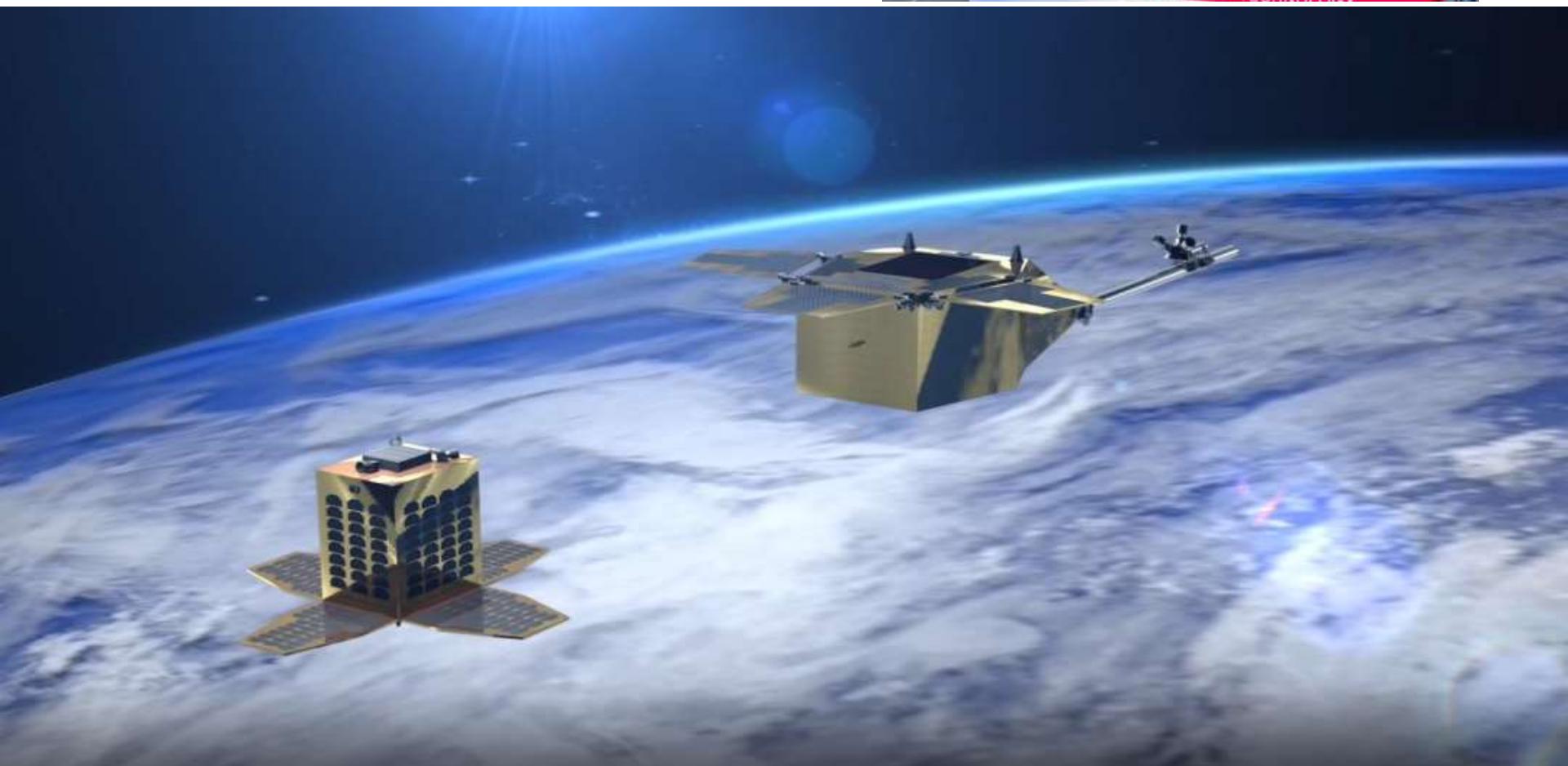
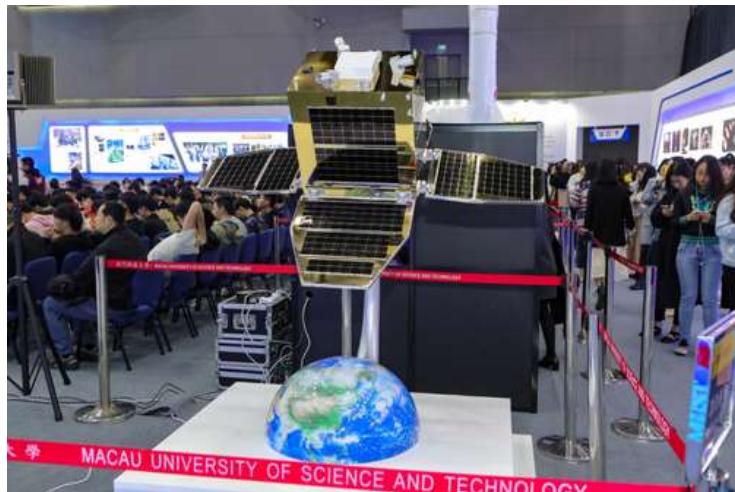
日期：2021年02月18日 09:30 来源：科技部

CGGM 2020.0 模型结果



该模型入选国际地磁与高空物理联合会（IAGA）新一代全球地磁场模型IGRF-13，填补了我国在全球地球物理场地磁信息建模领域的空白，提升了我国在本领域国际学术地位和自主科技实力。

“澳科一号”卫星旨在观测南大西洋上空地球磁场异常区磁场变化的精细特征。而卫星获取的监测数据，有望在天文与地球科学交叉领域（深地、深海、深空）取得有意义的成果。





中央人民政府 驻澳门特别行政区联络办公室

LIAISON OFFICE OF THE CENTRAL PEOPLE'S GOVERNMENT IN THE MACAO S.A.R.

2023年3月8日 星期三



首 页

机构职能

服务指南

专 题

搜索



邮箱

当前位置：首页>>正文

“澳科一号”卫星首次亮相中国航展

发布时间：2022-11-10

来源：珠海特区报

A A⁺

11月8日，第十四届中国航展开幕。记者在位于4号馆的国家航天局展厅了解到，由国家航天局和澳门特别行政区政府联合研制的“澳科一号”卫星首次在中国航展上亮相。

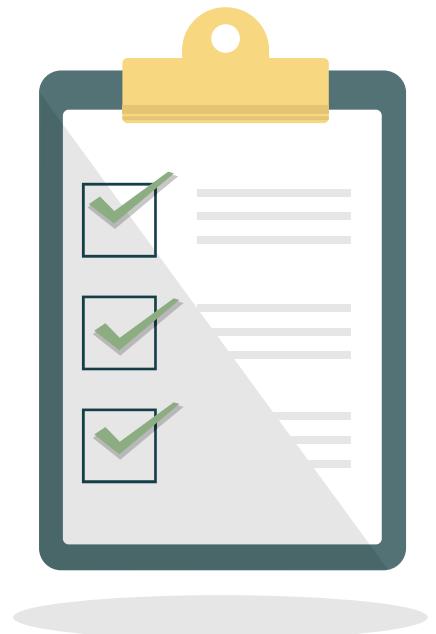
“此次展出的物品为‘澳科一号’卫星A星模型，模型比例为1:2。”现场工作人员告诉记者，“澳科一号”卫星由A星和B星组成。A星是中国首个高精度地磁场探测卫星，与B星共同完成南大西洋异常区能量粒子环境的观测任务。

据了解，“澳科一号”是澳门首颗科学与技术试验卫星，落户于澳门科技大学月球与行星科学国家重点实验室。这是内地与澳门开展航天领域合作的一个成功案例。“澳科一号”卫星旨在观测南大西洋上空地球磁场异常区磁场变化的精细特征。而卫星获取的监测数据，有望在天文与地球科学交叉领域（深地、深海、深空）取得有意义的成果。卫星计划2023年上半年择机发射。

澳门科技大学月球与行星科学国家重点实验室由国家科技部批准，于2018年10月挂牌成立，是天文与行星科学领域唯一一个国家重点实验室。实验室在国家大力发展战略指引下，已开展了多项月球与行星科学的基础研究工作，取得了重要成果。

小节

- 磁力仪器的发展
- 地面磁测工作
- 其它磁测工作



课后习题

- 如何确定重磁测量工作的比例尺及测网密度？
- 怎样选择重磁测量工作的精度？衡量重磁测量精度的标准是什么？
- 哪些因素影响重磁测量的观测精度？而哪些因素又影响重磁异常的精度？
- 磁基点的作用是什么？
- 施工前为什么需要对仪器进行检查试验和必须进行哪些试验？
- 野外工作中，普通点的观测为什么必须起于校正点又终止于校正点？
- 什么条件下磁测量才能有好的地质效果？
- 采集测定磁性岩（矿）石标本时应注意哪些问题？



课程结束

陈涛

