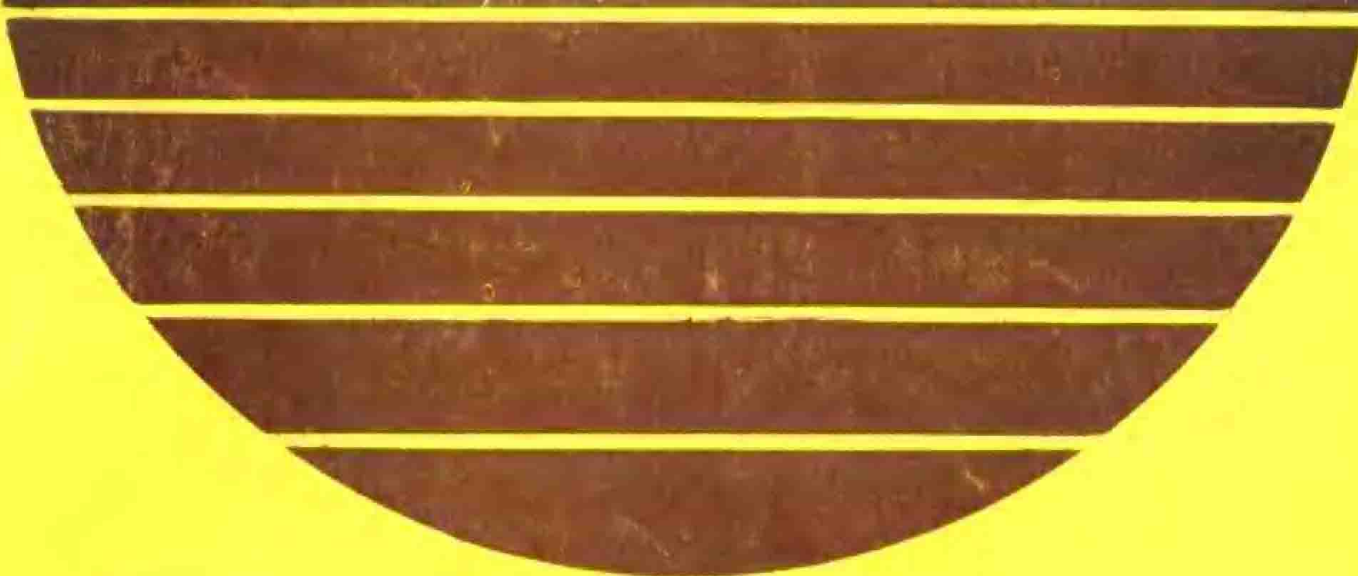
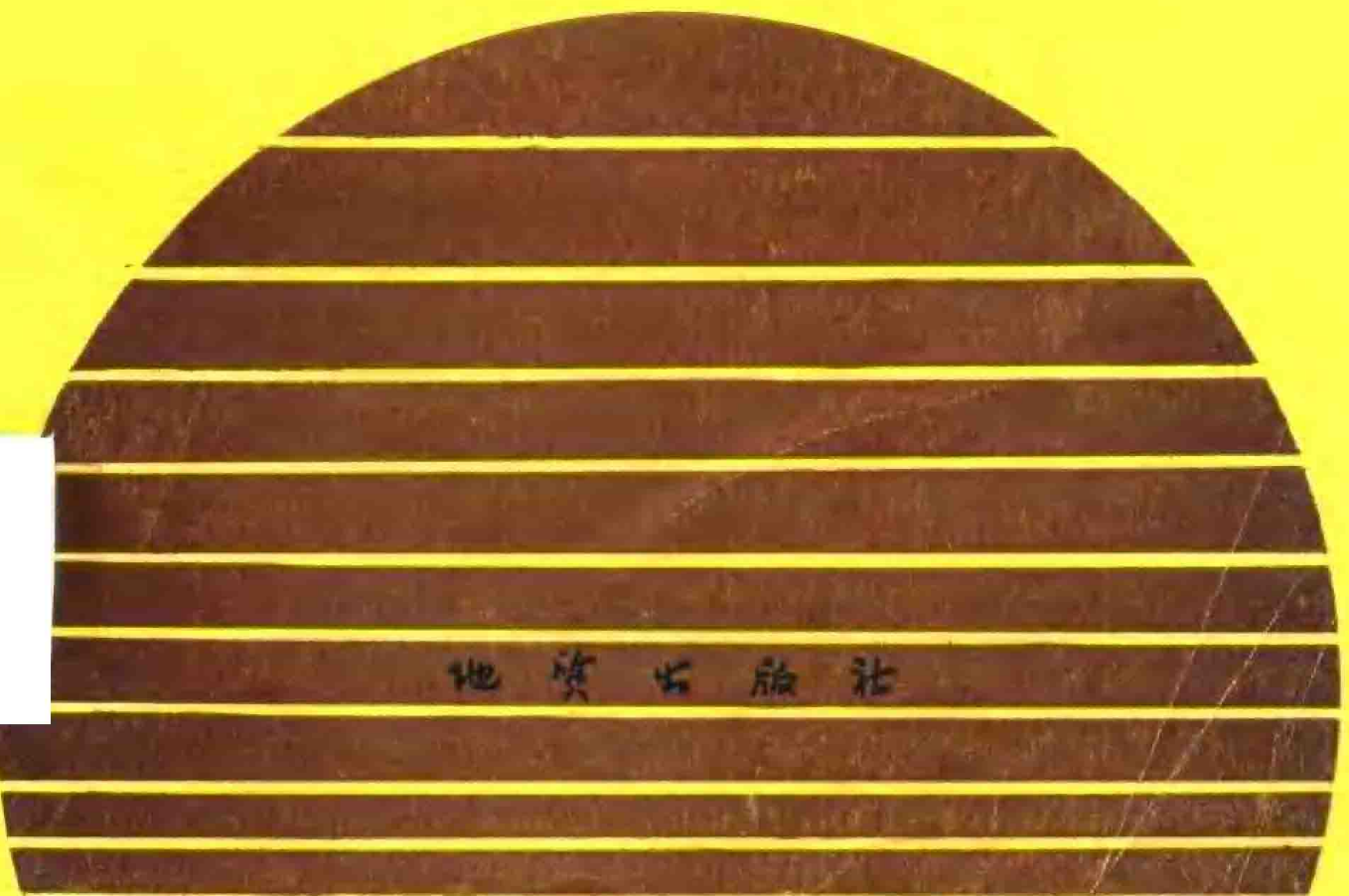




勘探地球物理专辑

第一辑

磁法勘探



地质出版社

勘探地球物理专辑

第一辑

磁法勘探

地质出版社

内 容 提 要

本书共收集29篇文章,分四个方面:磁法在研究区域构造和解决区域地质问题方面的应用,磁法在寻找有色、贵重和非金属矿产方面的应用,磁法解释方法的研究成果,磁参数的研究及应用。这些文章从不同的侧面反映了近年来我国物探工作者在扩大磁法勘探应用范围、深入研究磁性机理方面取得的成就。内容丰富,有助于读者开扩视野,启迪思路,促进磁法勘探的进一步发展。

勘探地球物理专辑

第 一 辑

磁 法 勘 探

*

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑:张怀素

地质出版社出版

(北京 西四)

妙峰山印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本:787×1092 1/16 印张:16 7/8 字数:231,000

1985年12月北京第一版·1985年12月北京第一次印刷

印数:1—1,695册 定价:4.00元

统一书号:13038·新165

前 言

在勘探地球物理的各种方法中，磁法勘探的历史最悠久，测量覆盖面积最大，积累的资料最丰富，找铁矿的效果最好。随着国民经济建设的发展，磁法的应用范围在不断扩大，研究的深度和广度也不断提高。为了交流经验，中国地质学会勘探地球物理专业委员会于1983年10月在昆明召开了“磁法应用经验交流会”。在会议论文的基础上，我们又增选了一些文章，编成这个专辑。目的是使读者开扩视野，启迪思路，以促进磁法勘探的进一步发展，充分发挥它在解决地质问题方面的能力。

本书共收集29篇文章，涉及内容较广，概括起来有四个方面：

1. 磁法在研究区域构造和解决区域地质问题上的应用，共10篇；
2. 磁法在寻找有色金属、贵金属、非金属矿产方面的应用，共7篇；
3. 磁法解释方法的研究成果，共7篇；
4. 磁参数的研究和应用，共5篇。

这些文章的深度有限，有的还只是尝试，但是如果读者从中看到磁法的广阔前景，进一步扩大磁法的应用范围，就将使作者与编、审者感到莫大欣慰。

在本书编写工作中曾得到云南省地质矿产局物化探队的大力支持。周三立、何贤臣、宋永庆、苏瑞民同志组成编纂小组，为稿件的收集、整理、审阅、修改做了大量工作。全稿最后由管志宁、翟培英、何贤臣同志审定。在工作中还曾得到阚筱玲、吴海成同志的大力支持。河北物探大队绘图室承担了大量绘图、修图以及稿件誊抄工作。在此一并致以衷心的感谢。

本书中使用的CGS制单位与SI制对比，一些常用量的换算式如下：

磁场强度 $1\text{Oe} = 10^3/4\pi\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$

磁感应强度(B) $1\text{Gs} = 10^{-4}\text{Wb}\cdot\text{m}^{-2} = 10^{-4}\text{T}$

$1\gamma = 1\text{nT} = 10^{-9}\text{T}$

磁 矩 $1\text{CGSM} = 4\pi \times 10^{-10}\text{Wb}\cdot\text{m} = 10^3\text{A}\cdot\text{m}^2$

目 录

研究区域构造

利用华北航磁资料反演磁性界面,推断深部地质构造·····	管志宁 安玉林 谭应佳 (1)
用功率谱方法研究东北地区磁性界面及其与构造的关系···	穆石敏 李世华 叶水盛 (15)
在庐枞地区应用重磁资料研究地质问题的初步成果·····	宦鹏德 (23)
康滇地轴北段航磁资料处理结果·····	刘武斌 (31)
利用航磁资料探讨准噶尔地区的基底性质问题·····	江远达 (39)
磁法在1:5万区域地质调查中的应用·····	胡清德 黄天祥 (42)
磁测在中性火山岩带中寻找火山口的地质效果·····	孙志杰 (53)
航磁异常轴向统计在区域构造研究中的应用·····	董学斌 穆石敏 (60)
航磁资料在确定断裂构造中的应用·····	张福安 李昌基 田玉俊 宋绍军 (65)
利用磁场增量及延拓变换分离深成场源磁场的尝试·····	王 黔 (74)

寻找有色、贵重、非金属等矿产及在考古方面的应用

磁法在浮图峪地区寻找铁、铜、多金属矿的效果·····	潘佩璋 张光炎 翟培英 (81)
磁法在寻找有色金属矿中的应用·····	王振疆 (88)
磁法在甘肃某铜镍矿普查勘探中的应用·····	冯天驷 (96)
磁法在山东普查金伯利岩中的应用·····	王兴昌 (110)
磁法在煤田火烧区上的应用·····	张秀山 (118)
热储和磁异常的关系·····	赵淑珍 (125)
磁法和古地磁测量在考古工作中的应用·····	常 勇 (128)

解 释 方 法

磁变法研究——区分矿与非矿磁异常的方法·····	吴宣志 张百山 白大明 (133)
斜坡地形上磁异常的解释方法·····	郭绍雍 (146)
斜坡地形条件下磁异常的频谱直接解释法·····	朱文孝 李锦才 (156)
重磁解释中有限元法“曲化平”·····	黄永亨 (168)
利用非线性规划方法解释二维磁异常的若干问题·····	夏江海 (174)
利用重磁资料研究地壳厚度的尝试·····	蔡尚中 (188)
不损失点的重磁异常圆滑及求导数方法·····	罗维俊 (197)

磁 参 数 研 究

提高金属矿床岩矿石磁性应用研究效果的若干途径·····	李色篆 (207)
-----------------------------	-----------

利用岩石物性预测岩体含矿性的尝试.....	刘蓓莉(222)
某菱铁矿区的磁性研究.....	罗泽雍 王国旗(230)
区域岩石磁性的某些特征.....	姜 枚 王秀琨 王德夫(241)
人控磁化场岩矿石磁性测量的方法技术.....	邵洁莉(250)

利用华北航磁资料反演磁性界面，推断深部地质构造

管志宁 安玉林 谭应佳

开展区域物探工作，研究区域及深部地质构造，寻找开发深部矿产资源，已日益为地质、物探工作者所重视。根据区域磁测资料确定磁性界面的工作，对研究区域及深部地质构造具有重要意义。我国大部分地区已有百万分之一航磁资料，在此基础上可以广泛开展深部构造的研究工作。为此，我们开展了反演磁性界面方法的研究。我们综合分析研究了已有频率域直接反演方法中存在的问题，作了必要的改进，提出了一个速度较快、精度较高、抗干扰能力较强的直接反演方法^[1]。为了验证方法的可靠性，首先在起伏界面的理论模型上进行反演，取得可靠结果后，再在京津地区固安、霸县一带已知磁性基底深度资料的地区，利用航磁资料进行反演，结果与磁性基底十分吻合。在这些试验结果的基础上，进而对华北全区作反演，得出了深、浅两层磁性界面的深度图。以此为基础，综合其它地质和地球物理资料，作出了华北地区的推断构造图。考虑到文献^[1]已详细地阐明了直接反演方法的原理和验证效果，本文将重点论述利用磁性界面推断华北地区深部构造的成果，对有关方法只作简要说明。

一、频率域直接反演磁性界面的方法

(一) 基本原理

设磁性单界面，磁化强度 J 可以恒定，也可沿水平方向变化。若 J 恒定，称为常 J 单界面，其剖面如图1所示。界面顶深起伏变化为 $h_{\pm\eta}$ ，界面平均深度为 h 。界面以上复盖层磁化强度为零，界面以下岩石磁化强度为常数 J ，方向垂直向下。界面上方水平面上的场称为界面场。对于变 J 情况，只是以水平方向有变化的 $J_{\pm\eta}$ 代替 J ，可得变 J 单界面。这里界面反演是指：给定界面起伏平均深度 h 及垂直磁化强度 J ，利用已知界面场 $Z_{\pm\eta}$ ，求解界面起伏 $\Delta h_{\pm\eta}$ 值 ($h_{\pm\eta} - h$)。为解这样的反问题，自然需要研究 $Z_{\pm\eta}$ 与 $\Delta h_{\pm\eta}$ 的一般关系式。众所周知，变 J 单界面场 $Z_{\pm\eta}$ 的积分表达式为

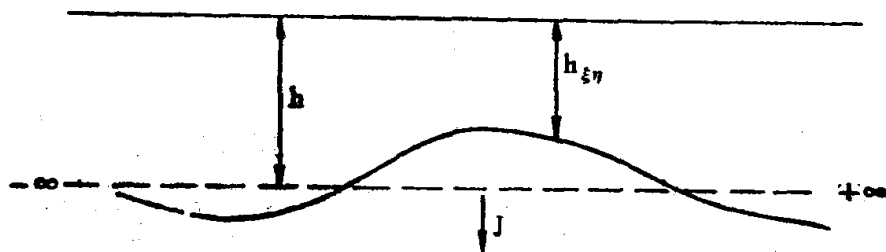


图 1 常 J 单界面剖面示意图

$$Z_{xy} = \iint_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{h+\Delta h_{\xi\eta}}^h J_{\xi\eta} \frac{2\xi^2 - [(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2]}{[(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + \xi^2]^{5/2}} d\xi \right\} d\xi d\eta \quad (1)$$

式中 x, y, z 为求界面场的点的坐标, ξ, η, ζ 为界面点的坐标。设 z 轴向下, $oxyz$ 为左旋。从上述积分式严格求出 Z_{xy} 和 $\Delta h_{\xi\eta}$ 的简单关系式是困难的, 但可以求出一定条件下的近似关系式。若假设

$$|\Delta h_{\xi\eta}| \ll h \quad (2)$$

则有

$$(1) \text{ 式变为 } Z_{xy} \cong \iint_{-\infty}^{\infty} \left\{ -J_{\xi\eta} \cdot \Delta h_{\xi\eta} \right\} \frac{2h^2 - [(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2]}{[(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + h^2]^{5/2}} d\xi d\eta \\ = M_{\xi\eta}^{xy} * K_{\xi\eta}^{xy} \quad (3)$$

式中 $*$ 为褶积符号, 而

$$M_{\xi\eta}^{xy} = -J_{\xi\eta} \cdot \Delta h_{\xi\eta} \\ K_{\xi\eta}^{xy} = \frac{2h^2 - (x^2 + y^2)}{(x^2 + y^2 + h^2)^{5/2}} \quad (4)$$

函数 $K_{\xi\eta}^{xy}$ 相当于中心埋深为 h 的磁偶极子的几何因子, 函数 $M_{\xi\eta}^{xy}$ 相当于该偶极子的偶极矩。可见, 在条件(2)的约束下, 界面场 Z_{xy} 近似等于放置在 h 面上、等效偶极矩为 $M_{\xi\eta}^{xy}$ 的磁偶极层的磁场。可以看出, (3)式即为变 J 单界面正问题的近似表达式。

显然, 由(3)式易于导出反问题解的近似表达式。因为已知 Z_{xy} 、 h 求 $M_{\xi\eta}^{xy}$, 相当于解由(3)式给出的褶积方程。求得 $M_{\xi\eta}^{xy}$ 后, 即可求出 $\Delta h_{\xi\eta}$ 值。设 Z_{xy} 、 $K_{\xi\eta}^{xy}$ 、 $M_{\xi\eta}^{xy}$ 的富里叶系数分别为 $\tilde{Z}_{mn}$ 、 $\tilde{K}_{mn}^{xy}$ 、 $\tilde{M}_{mn}^{xy}$, 若在频率域求解 $M_{\xi\eta}^{xy}$, 则有

$$\tilde{K}_{mn}^{xy} = 4\pi^2 f e^{-2\pi f h} \\ \tilde{M}_{mn}^{xy} \cong \frac{\tilde{Z}_{mn}}{\tilde{K}_{mn}^{xy}} = \frac{\tilde{Z}_{mn}}{4\pi^2 f} e^{2\pi f h} \quad (5)$$

式中 $f = (u^2 + v^2)^{1/2}$, u, v 为 x, y 方向的波数。进而有

$$M_{\xi\eta}^{xy} = \sum_{m,n} \tilde{M}_{mn}^{xy} e^{i2\pi(u\xi + v\eta)} \\ \Delta h_{\xi\eta} = -\frac{1}{J_{\xi\eta}} M_{\xi\eta}^{xy} \quad (6)$$

$\sum_{m,n}$

为简写求和记号, 表示对 M, N 个富氏系数反变换求和。(6)式即为变 J 单界面

反问题解的近似表达式。若以 J 代替 $J_{\xi\eta}$, 即得常 J 单界面反问题解的近似表达式。需指出: 从不同条件出发, 同样可以导出(6)式。这些条件有: $|\Delta h_{mn}| \ll h$, Δh_{mn} 为 $\Delta h_{\xi\eta}$ 的富

氏系数: $f \cdot |\Delta h_{mn}| = \frac{|\tilde{Z}_{mn}|}{4\pi^2 J_{\xi\eta}} e^{2\pi f h} \leq 0.01$ 。只要界面比较宽缓, 这些条件易于满足, 故应用(6)式反演时, $|\Delta h_{\xi\eta}| \ll h$ 的条件可以大大放宽。

(二) 反问题解的稳定求法

在单界面直接反演求解过程中, 首先要算出 $M_{\xi\eta}^{xy}$ 。由 $M_{\xi\eta}^{xy}$ 的频谱 $\tilde{M}_{mn}^{xy}$ 表达式(5)第二式可见, 式内包含一个下延拓因子。该因子是一个高频放大器, 无论是计算误差还是 $\tilde{Z}_{mn}$ 中的高频干扰, 都可被它放大, 使 $\tilde{M}_{mn}^{xy}$ 值不可靠。由带有误差的 $\tilde{M}_{mn}^{xy}$ 经反变换求 $M_{\xi\eta}^{xy}$ 的过程是不稳定的, 从而导致反问题解 $\Delta h_{\xi\eta}$ 的不稳定性。为此, 需要消除具有高频的计算误差

和包含于 $\tilde{Z}_{mn}$ 中的高频干扰。我们根据A.H.吉洪诺夫等所著《不适定问题的解法》(地质出版社, 1979年)一书中第六章“求具有以 l_2 度量为近似系数的富里叶级数和的稳定方法”,提出了一种实用的正则化稳定因子 $\tilde{f}_{\alpha}^{mn}$ 如下:

$$\tilde{f}_{\alpha}^{mn} = 1 / \{ 1 + \alpha \cdot e^{\beta(f-f_0)\lambda_x} \} \quad (7)$$

式中 $\lambda_x = m \cdot \Delta x$; $f_{mn} = \sqrt{m^2 + n^2 (\lambda_x / \lambda_y)^2} / \lambda_x$; $\beta \geq \alpha$; f_0 为要消除的高频信号谱的最小波数。有了 $\tilde{f}_{\alpha}^{mn}$, 就可以由下式求得低频信号 S_{xy} 的稳定近似值 S_{xy}^0 ,

$$S_{xy}^0 = \sum_{m,n}^{M,N} \{ \tilde{S}_{mn} \cdot \tilde{f}_{\alpha}^{mn} \} e^{i2\pi(x\tilde{m} + y\tilde{n})} \quad (8)$$

它称为 S_{xy} 的正则解。

下面我们进一步把正则化稳定因子 $\tilde{f}_{\alpha}^{mn}$ 用于 $M_{\xi\eta}^{\xi\eta}$ 的稳定求解, 并求得稳定近似解 $\Delta h_{\xi\eta}^0$ 。

在界面反问题中, 设 $Z_{xy}^* = Z_{xy} + N_{xy}$, 其中 N_{xy} 为干扰异常, 显然有

$$\tilde{Z}_{mn}^* = \tilde{Z}_{mn} + \tilde{N}_{mn}^*$$

$$\text{以及 } \tilde{M}_{\xi\eta}^{mn} = \frac{\tilde{Z}_{mn}^*}{4\pi^2 f} e^{2\pi i f h} + \frac{\tilde{N}_{mn}^*}{4\pi^2 f} e^{2\pi i f h} = \tilde{M}_{\xi\eta}^{mn} + \tilde{N}_{mn}^*$$

进一步假设

$$\tilde{N}_{mn}^* = \begin{cases} \tilde{Z}_{mn}^*, & f \geq f_0 \\ 0, & f < f_0 \end{cases} \quad (9)$$

则 $\tilde{M}_{\xi\eta}^{mn}$ 中的干扰 $\tilde{N}_{mn}^*$ 的能量 δ_0^2 为

$$\delta_0^2 = \sum_{m,n}^{M,N} \left| \frac{\tilde{N}_{mn}^*}{4\pi^2 f} e^{2\pi i f h} \right|^2 \quad (10)$$

另外, 可根据 Z_{xy}^* 平面等值线图选定 f_0 , 它等于要消除的局部干扰异常 N_{xy} 最大水平尺寸的倒数 λ^{-1} 。此后, 选 $\tilde{M}_{\xi\eta}^{mn}$ 为 $\tilde{S}_{mn}$, 选 $\frac{\tilde{N}_{mn}^*}{4\pi^2 f} e^{2\pi i f h}$ 为 $\tilde{N}_{mn}^*$, 再由下式

$$\Phi(\alpha) = \sum_{m,n}^{M,N} \frac{\{ \alpha \cdot e^{\beta(f-f_0)\lambda_x} \}^2}{\{ 1 + \alpha \cdot e^{\beta(f-f_0)\lambda_x} \}^2} |\tilde{M}_{\xi\eta}^{mn}|^2 = \delta_0^2$$

去求解参数 α 值。因为 $\Phi(\alpha)$ 是单调升函数, $0 = \Phi(0) < \delta_0^2 < \Phi(\infty)$, 故对于每一个 δ_0^2 有唯一的解值 α 。据此, 就可以采用类似于0.618法的一维寻查方法很快解出 α 来, $\tilde{f}_{\alpha}^{mn}$ 可完全确定。最后, 按下式求 $M_{\xi\eta}^{\xi\eta}$ 的稳定值 $M_{\xi\eta}^{0\xi\eta}$, 即

$$M_{\xi\eta}^{0\xi\eta} = \sum_{m,n}^{M,N} \left\{ \frac{\tilde{Z}_{mn}^*}{4\pi^2 f} e^{2\pi i f h} \cdot \tilde{f}_{\alpha}^{mn} \right\} e^{i2\pi(x\tilde{m} + y\tilde{n})}$$

进而由

$$\Delta h_{\xi\eta}^0 = - \frac{1}{J_{\xi\eta}} M_{\xi\eta}^{0\xi\eta}$$

求得变 J 单界面反问题解的稳定近似值 $\Delta h_{\xi\eta}^0$ 。以 J 代替 $J_{\xi\eta}$, 由上式即可求得常 J 单界面反问题解的稳定近似值 $\Delta h_{\xi\eta}^0$ 。

为了使解进一步精确, 还可采取线性校正公式, 对 $\Delta h_{\xi\eta}^0$ 作进一步校正, 并把直接反演的结果作初值, 再做迭代反演(可参看文献[1])。

(三) 双界面场的分离

华北地区磁场平均径向能谱曲线呈现深、浅两种磁源的叠加特征, 因此需要分离后采用单界面反演方法计算。下面讨论我们采取的分离方法。

假设同一点两界面的起伏之差为 $dh_{\xi\eta}$ ，有零均值和正态分布，其方差为 σ ，则可从双界面场频谱公式出发：

$$\widetilde{Z}_{mn} = 2\pi \Delta x \Delta y \frac{\sin(\pi u_m \Delta x) \sin(\pi v_n \Delta y)}{(\pi u_m \Delta x) (\pi v_n \Delta y)}$$

$$\sum_{\xi, \eta}^{M, N} \left\{ J_1 e^{-2\pi f h_1} (e^{-2\pi f \Delta h_{1\xi\eta}} - 1) + J_2 e^{-2\pi f h_2} (e^{-2\pi f \Delta h_{2\xi\eta}} - 1) \right\} e^{-i2\pi (u_m \xi + v_n \eta)}$$

式中 J_1 、 h_1 、 J_2 、 h_2 为上、下界面的磁化强度和平均埋深； $\Delta h_{1\xi\eta}$ 、 $\Delta h_{2\xi\eta}$ 分别表示上、下界面上 (ξ, η) 点处的深度与平均埋深之差； Δx 、 Δy 为以点线距分割界面为棱柱体的长度和宽度； u_m 、 v_n 为 x 、 y 方向的波数； M 、 N 为观测点个数。

利用 $dh_{\xi\eta} = \Delta h_{2\xi\eta} - \Delta h_{1\xi\eta}$ 的随机变量性质，可以推导出双界面叠加场的统计分离因子

$$W_1 \cong 1 / \left\{ 1 + \left(\frac{J_2}{J_1} \right) e^{-2\pi f (h_2 - h_1)} e^{2\pi^2 f^2 \sigma^2} \right\}$$

$$W_2 \cong 1 / \left\{ 1 + \left(\frac{J_1}{J_2} \right) e^{2\pi f (h_2 - h_1)} e^{-2\pi^2 f^2 \sigma^2} \right\}$$

及上、下界面场的频谱公式

$$\begin{aligned} \widetilde{Z}_{1mn} &= W_1 \widetilde{Z}_{mn} \\ \widetilde{Z}_{2mn} &= W_2 \widetilde{Z}_{mn} \end{aligned}$$

求得 $\widetilde{Z}_{1mn}$ 、 $\widetilde{Z}_{2mn}$ 后，就可按前述常 J 单界面反演方法求得 $\Delta h_{1\xi\eta}$ 与 $\Delta h_{2\xi\eta}$ 。先求得稳定近似解为

$$\begin{aligned} \Delta h_{1\xi\eta}^0 &= \sum_{\xi, \eta}^{M, N} \left\{ \widetilde{Z}_{1mn} \cdot \widetilde{f}_{\sigma_1}^{mn} \right\} e^{i2\pi (u\xi + v\eta)} \\ \Delta h_{2\xi\eta}^0 &= \sum_{\xi, \eta}^{M, N} \left\{ \widetilde{Z}_{2mn} \cdot \widetilde{f}_{\sigma_2}^{mn} \right\} e^{i2\pi (u\xi + v\eta)} \end{aligned}$$

式中 $\widetilde{f}_{\sigma_1}^{mn}$ 和 $\widetilde{f}_{\sigma_2}^{mn}$ 为上、下界面正则化稳定因子。再进一步求得线性校正解 $\Delta h_{1\xi\eta}$ 、 $\Delta h_{2\xi\eta}$ ，

需要时还可作迭代求得更为精确的解。最后由下式

$$\begin{aligned} h_{1\xi\eta} &= h_1 + \Delta h_{1\xi\eta} \\ h_{2\xi\eta} &= h_2 + \Delta h_{2\xi\eta} \end{aligned}$$

求得双界面埋深值。

需指出的是，要获得上述解，还需根据其它地质及地球物理资料给定 J_1 、 h_1 和 J_2 、 h_2 ，并选定 $\sigma = \frac{1}{3} (h_2 - h_1)$ 。所得解仅仅是一个特解，不一定是真解。但在 $dh_{\xi\eta}$ 的统计特性成立、更多已知条件无法给定时，该解不失为一最可能解。有关这方面的详细论述可参阅文献[1]。

(四) 反演求解过程①

根据上述分析，总结反演求解过程如下：

1. 对实测航磁资料按正方形网格或矩形网格取数，并作化极处理。
2. 根据地质及地球物理资料，给定 J_1 、 h_1 、 J_2 、 h_2 。按前述双界面场的分离方法，分别求出上、下界面场。

●管志宁、安玉林：利用航磁反演磁性界面若干问题，1983年勘探地球物理综合性学术讨论会论文。

3.根据化极场及上、下界面场的平面等值线图,分别确定要消除的最大干扰异常的水平尺寸 λ_0 ,分别给出最小干扰波数 $f_0 = \lambda_0^{-1}$ 。

4.利用单界面频率域直接反演程序,分别计算出上、下界面的深度。

5.把计算结果与已知深度资料对比,视其吻合与否,再适当调整 J_1 、 h_1 、 J_2 、 h_2 值。可以算出几组界面深度,选出其中最佳结果。

6.若已知 J 的分布,则还可变 J 单界面反演方法,算出变 J 单界面的深度分布。

二、华北地区岩石磁性特征

由本区有关资料提供的物性数据,经整理后列于表1、表2。

表1 变质岩磁参数表

地区 磁性 岩性	华北平原地区	太行山区	济南	莱芜	午阳、许昌	冀东
	$\kappa(10^{-6}\text{CGSM})$	$\kappa(10^{-6}\text{CGSM})$	$\kappa(10^{-6}\text{CGSM})$	$\kappa(10^{-6}\text{CGSM})$	$\kappa(10^{-6}\text{CGSM})$	$J_s(10^{-6}\text{CGSM})$
角闪片麻岩	5—500				780	1000
花岗片麻岩	50—2020	5925—6865 2020	358	105		1400,500
云母片麻岩	50—1000					
闪长片麻岩	1277—3150				3800	2000 200
片岩片麻岩		1277			1280	
辉石斜长片麻岩						900

表2 火成岩磁参数表

地区 磁性 岩性	华北平原山区	华北平原	平山地区	赞皇地区	京西	冀东
	$\kappa(10^{-6}\text{CGSM})$	$\kappa(10^{-6}\text{CGSM})$	$\kappa(10^{-6}\text{CGSM})$	$\kappa(10^{-6}\text{CGSM})$	$\kappa(10^{-6}\text{CGSM})$	$J_s(10^{-6}\text{CGSM})$
闪长岩	1700				2150	
辉长岩	1500		50	50	280	50,300
玄武岩	4070			1500		
花岗岩	50—1000	0—2800		15	2800	
花岗闪长岩			100	30		
安山岩	500—3000					
流纹岩	6—50					
凝灰岩	0—50					

本区主要磁性岩石为磁性片麻岩和火成岩,其中沉积岩的磁性一般不强, κ 均小于 $100 \times 10^{-6}\text{CGSM}$ 。这对航磁是一套非磁性地层,故在表中没有列出。但需指出,处在沉积岩中的安山岩 κ 为 $500 \sim 3000 \times 10^{-6}\text{CGSM}$,在平原内第三系中的玄武岩 κ 可达 $4000 \times 10^{-6}\text{CGSM}$ 。这些磁性岩石与磁性片麻岩和花岗岩相比规模较小,可以通过处理加以消除。从现有资料看,前震旦系变质岩 κ 一般变化在 $100 \sim 2000 \times 10^{-6}\text{CGSM}$ 。变质岩中与火成

岩有关的正片麻岩，一般具有较大的磁性。如闪长片麻岩 κ 为 $1277 \sim 3150 \times 10^{-6} \text{CGSM}$ ，花岗片麻岩为 $50 \sim 2020 \times 10^{-6} \text{CGSM}$ ，角闪片麻岩磁化强度可达 $1000 \times 10^{-6} \text{CGSM}$ 。一般沉积变质岩的磁性较小，如千枚岩、云母片岩的磁化率一般小于 $100 \times 10^{-6} \text{CGSM}$ ，它们与沉积岩没有多大差别。本区磁性变质岩是引起磁异常的主要因素。

本区火成岩具有较强磁性，它随岩性变化而变化。一般基性岩具有较强磁性，中酸性火成岩的磁性相对较弱。如济南辉长岩一般磁化率为 $1500 \times 10^{-6} \text{CGSM}$ ，无棣玄武岩一般为 $4070 \times 10^{-6} \text{CGSM}$ ，花岗岩一般小于 $1000 \times 10^{-6} \text{CGSM}$ 。有些中生代闪长岩也有很强的磁性，如京西闪长岩为 $2150 \times 10^{-6} \text{CGSM}$ ，因此磁性火成岩也能产生一定强度的磁异常。

三、华北地区磁场和前震旦系变质岩的对应关系

由上节讨论可知，本区磁异常主要由磁性片麻岩和火成岩引起。前者比后者分布范围广，规模大，故可认为本区区域磁场主要由磁性片麻岩引起。文献〔2〕中对百万分之一航磁图的分析说明了这一点。本区磁场总的特点是，全区分布着各种走向的、幅值为 $150 \sim 250$ 伽马左右的高值宽大异常带。宽度一般在 $30 \sim 50$ 公里，有的甚至达数百公里。高值带之间的低值带，强度一般在负 100 伽马以内，而且很宽缓。文献〔3〕中指出，这些正异常带是同一套磁性较强的、含有角闪石和磁铁矿的高度混合岩化的角闪片麻岩类有直接的对应关系，如包头、呼和浩特以北的大青山区，山西代县以北的恒山地区，岚县附近的吕梁山区，平陆西北的中条山区等等。介于正异常带间的负磁场在山东新泰新汶一带与泰山杂岩系地层相对应，在五台山区与五台群相对应。由此可见，负磁场也是太古代杂岩系的反映。基于以上分析可以认为，反映这种区域磁场面貌的是太古代变质杂岩系，其中一部分为磁性片麻岩，引起正异常；一部分为弱碱性变质杂岩系，与负磁场相对应。在元古代，本区沉积了滹沱群、嵩山群、佛子岭群等浅变质岩系，它们虽经区域变质，但混合岩化程度很轻，磁性极弱，和一般沉积岩的磁性接近，所以在总的磁场面貌上不能造成明显的影响。由于本区沉积岩磁性很弱，古生代以后的沉积盖层不管有多厚，都不能造成区域性磁异常。它们的存在相当于下覆磁性基底变深，仅使正、负磁场变得平缓而已。

基于以上分析，我们认为，太古代磁性角闪片麻岩类是本区可能存在的一个磁性界面（浅层）。它的存在决定了区域磁场的面貌和特征。若注意到有一定规模火成岩的侵入使一些地区的磁性界面复杂化的情况，则可粗略地认为，本区存在一个由磁性角闪片麻岩类和磁性火成岩体（相当规模）顶面组成的磁性界面。

我们把原平面化极场上延 20 公里，计算高平面场的平均径向能谱曲线。可以看出，有两个线性段，表征存在深、浅两层磁源。由于利用能谱曲线不同斜率段求深、浅不同场源的平均深度还存在一定问题，故仅用来定性说明可能存在不同深度的磁源。根据地壳结构成层理论可知，大陆地壳分为复盖层、花岗岩质层和玄武岩质层。玄武岩质层内 Fe_2O_3 和 FeO 的含量比花岗岩质层要多 50% 以上，基性岩比例增加，因而造成两个圈层磁性明显差异，可能造成一个深层磁性界面。由此推测，全区平均径向能谱曲线反映的深源可能为花岗岩质层和玄武岩质层的界面，而浅源可能为磁性变质岩、火成岩的顶面。

四、华北地区磁性界面的反演

我们研究的华北地区是指北纬 32° 至 43° ，东经 105° 至 124° 之间的广大地区。在地理位置上，北起沈阳、赤峰、正蓝旗，南至巴中、南阳、蚌埠一线，东起黄海中部，西至磴口、环县、宝鸡一线。总面积约二百万平方公里。

(一) 取数及化极处理

利用地质矿产部航空物探总队编制的百万分之一 ΔT 平面等值线图，按1厘米 $\times$ 1厘米的方形网格取数，把取得的原始数据重新点绘成平面图，勾出等值线，再与原始等值线图对比，以此校验所取数据的正确性。取本区平均地磁倾角作化极处理。

(二) 界面 J 、 h 的确定及反演

根据华北平原古生界顶面深度图，推测本区前震旦系变质岩基底平均深度在6~8公里左右，并在京津部分地区作典型试验。取 $h=6.5$ 公里， $J=1000 \times 10^{-6}$ CGSM，作频率域直接反演，计算所得界面与实际钻孔控制的深度资料十分接近。

为了确定深层界面的 J 、 h ，我们参考了文献[3]，认为华北地区地壳的速度分层是明显的。 Pc_1 反射波的界面深度为14~20公里，相当于花岗岩质层和玄武岩质层之间的界面。全区深部磁性块体的平均深度为14~16公里，与花岗岩质层和玄武岩质层之间的界面相近。据此，我们选定深层界面的平均深度为16公里。关于 J 的选择，由于缺乏深部物性资料，我们把文献中给出的某些地区区域场源解释结果列于表3，作为参考：

表 3

地 区	加拿大地盾	北安大略区	斯堪的纳维亚地盾	乌克兰地盾	西伯利亚地台
场源深度(公里)	6~8	7~17	2.5~22.5	10~18	10~15
磁化强度(10^{-8} CGSM)	2~8	3	2	2~4	3~4

从上表可以看出，磁化强度在 $3000 \sim 4000 \times 10^{-6}$ CGSM左右。我们取 4000×10^{-6} CGSM作为深层 J 值。

根据上述分析，选定浅层磁界面的 $h=8$ 公里， $J=800 \times 10^{-6}$ CGSM；深层磁界面 $h=16$ 公里， $J=4000 \times 10^{-6}$ CGSM。利用这两对参数作界面场的分离，分离出上界面场和下界面场。对上界面场再分别给定 $h=6.5, 7, 8$ 公里， $J=1000, 800, 700 \times 10^{-6}$ CGSM， $\lambda_0=40, 60, 80$ 公里等几种情况的组合作单界面的反演。把所得结果与已知地质资料对比，然后选定 $\lambda_0=40$ 公里， $h=8$ 公里， $J=800 \times 10^{-6}$ CGSM为上界面的给定参数。反演结果见华北地区浅层磁性界面深度图。对下界面场分别给定 $h=20$ 公里，16公里， $J=4000 \times 10^{-6}$ CGSM， 3000×10^{-6} CGSM， $\lambda_0=80, 100, 160$ 公里，作深层界面的反演。把反演结果加以对比，选定较合理的 $J=4000 \times 10^{-6}$ CGSM， $h=16$ 公里， $\lambda_0=160$ 公里的反演结果作为最终成果（见华北地区深层磁性界面深度图）。

五、利用磁性界面等深度图进行 断裂推断及构造分区

我们利用深、浅两层磁性界面图进行断裂构造划分的标志为：

1. 磁性界面等深度线有一定规律分布的梯度带；
2. 磁性界面反映的两组隆起与拗陷的不同方向的交接带；
3. 有一定规模的等深度线突然变宽或变窄的变化带；
4. 界面反映的隆起与拗陷呈狭窄的线状分布带；
5. 界面反映的等深度线呈有规律的波状起伏变化；
6. 一组隆起与拗陷的转换带。

若深浅两层磁性界面在同一地带具有相似的断裂标志，则认为该地带存在深断裂。若仅在浅层磁性界面有反映，则认为是浅断裂。在划分断裂的基础上分析浅层磁性界面的特征，进行构造分区。在分区时考虑了下列几点：

1. 把深断裂作为分区的边界；
2. 同一构造区隆起与拗陷的规律、形状、分布方向从总体上看具有相近的特点；
3. 考虑到界面图反映的深度信息，即隆起和拗陷深度定量概念来加以分区；例如平均深度较深的隆起区与较浅的隆起区就可分为不同的构造区。

根据上述考虑并参考文献[4]，我们把华北地区划分出七条主要断裂带和九个构造区，见华北地区磁性界面推断地质构造图（图2）。

六、关于几个地质问题的探讨

（一）华北地台深部构造基本格架

华北地台深层和浅层磁性界面等值线图及浅层磁性界面推断构造图（图3、图4），明确地表现出华北地台深部构造是以隆起、拗陷及断裂组成的基本构造格架。

华北地台深部隆起和拗陷构造在不同地段有不同特点，但从总体来看，在地台范围内为相对隆起，而在其外围则拗陷较深。隆起、拗陷的规模虽然不等（浅层部位规模一般较小，深层部位规模一般较大），但都是以近似等轴状或短轴状为主。隆起、拗陷的排列方向（或其长轴方向）具有一定的规律性，在地台的南、北两部为近东西向，中部为北东向和近南北向，这一特点在深层构造及浅层构造中都表现得比较明显。

深断裂及大断裂是华北地台深部构造格架的重要组成部分。从浅层磁性界面推断构造图中可以清楚看出，发育有近东西向、北东-南西向、近南北向和北西-南东向等四组断裂构造。这四组方向不同的断裂虽然规模大小及特点不同，但必竟将华北地台深部切割成形状和大小不等的断块体。

由此可见，华北地台深部基本构造格架是在隆起、拗陷发展演化基础上形成的断块构造。

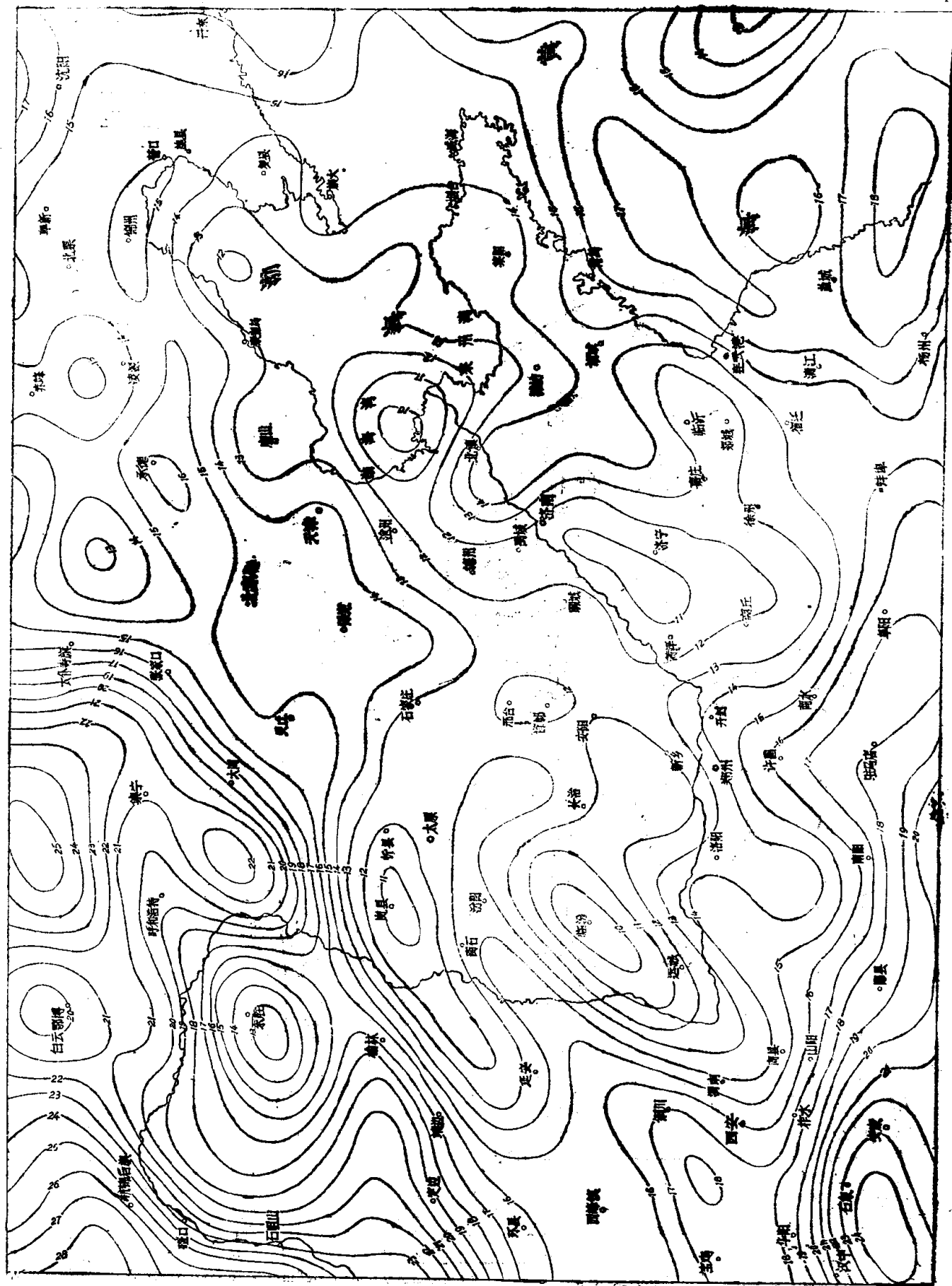


图 3 华北地区深层磁性界面等深度图
等深线单位：公里，界面磁化强度： $J = 4000 \times 10^{-6} \text{CGSM}$ ，界面平均深度： $H = 16$ 公里

