

地磁学与地电学

——第4章 磁力资料的解释应用

陈 涛

地球物理学院
中国石油大学（北京）

2024/4/22

课前测试

- ❑ 垂直磁化时，球体产生的剖面磁异常
- ❑ 向下延拓的目的
- ❑ 为什么要进行化磁极
- ❑ 频率域数据处理的步骤
- ❑ 人机交互反演方法的特点



课前知识

应用地磁学的适用场景

- ✓ 固体矿产的普、详细查；
- ✓ 油气构造的普查；
- ✓ 煤田构造的普查；
- ✓ 某些地质问题研究；
- ✓ 工程地质、国防探查、地震预报、考古等。

课前知识

应用地磁学解决问题的前提

- ✓ 探测对象与围岩（或周围环境）有**磁性差异**，由这种差异引起的磁场变化，能为现代**磁力仪**测出来；
- ✓ 与探测对象无关的**干扰因素**产生的干扰磁场与探测对象产生的**磁场**相比，足够小或有明显的特征，可以被分辨出或消除。

目 录

地磁部分章节

第四章 磁力资料的解释应用

1. 解释的一般原则

1. 解释的一般原则

■ 磁异常的地质解释

根据磁测资料、岩（矿）石（目标物）的磁性资料以及地质和其它物化探资料，运用磁性体、磁场理论和地质理论解释推断引起磁异常的地质原因及其相应地质体（目标体）的空间赋存状态，平面展布特征，矿产和地质构造或其它目标体分布的全过程。

1. 解释的一般原则

- ✓ 以地质为依据
- ✓ 以岩石物性为基础
- ✓ 循序渐进，逐步深化
- ✓ 定性与定量、正演与反演、
平面与剖面解释相结合
- ✓ 综合解释
- ✓ 多次反馈，不断修正



1. 解释的一般原则

■ 以地质为依据

就是要充分占有地质资料，掌握已有地质规律，建立测区内可能有的几种地质模型，以此指导磁异常的正反演解释。

善于利用磁异常与地质资料不一致的地方，经细致对比分析与深入解释，提出新的见解，进而深化地质解释，修正或提出新的地质结论。

1. 解释的一般原则

■ 以岩石物性为基础

岩石物性是基础，是联系地质与地球物理场的桥梁，是减少磁异常反问题多解性的重要途径。

把地质规律与岩石物性结合起来就可以建立合理的物理—地质模型，作为磁异常解释的初始模型。



1. 解释的一般原则

■ 循序渐进，逐步深化

由于不同比例尺、不同网度和精度的磁测工作其解决地质问题的重点和深度不一样，一般应遵循由粗到细、由区域到局部逐渐深入细致的原则，尽量借鉴地质、地球物理条件相似地区的解释经验与方法，指导待研究区的解释工作。

1. 解释的一般原则

■ 定性与定量、正演与反演、 平面与剖面 解释相结合

- a) 定性与定量解释的结合可以使两者互为补充，逐渐深化；
- b) 正演和反演相结合可以不断修改补充原有解释模型，减少反演解释的多解性；
- c) 平面解释与剖面解释相结合，一方面利用典型剖面的精细解释控制修正平面解释，另一方面也可利用平面解释的总体规律来指导剖面模型建立。

1. 解释的一般原则

■ 综合解释

为了克服磁异常反问题的多解性以及磁法勘探应用的局限性，有条件时，应尽可能进行综合地质、地球物理解释，这样才能正确确定异常的地质原因，增进地质效果。

1. 解释的一般原则

■ 多次反馈，不断修正

由于地质现象的复杂性，对其认识很难一次完成。

- a) 在解释过程中应通过多次正反演、多次反馈不断修改物理—地质解释模型，使解释结果最佳符合当前的地质、地球物理资料；
- b) 每当补充新的资料，或通过验证发现新问题，则又应利用反馈的资料再解释，故解释工作是一个不断反馈、解释、不断深化的过程。

目 录

地磁部分章节

第四章 磁力资料的解释应用

1. 解释的一般原则
2. 定性解释和定量解释

2. 定性解释和定量解释

■定性解释

- ✓ 初步解释所引起磁异常的地质原因。
- ✓ 根据实测磁异常的特点，结合地质特征运用磁性体与磁场的对应规律，**大体判定**磁性体的形状、产状及其分布。

2. 定性解释和定量解释

■定性解释

一、将磁异常进行分类

根据异常的特点（如极值、梯度、正负伴生关系、走向、形态、分布范围等）和异常分布区的地质情况，并结合物探工作的地质任务进行异常分类。例如，普查时，往往先根据异常分布范围，把异常分为区域异常和局部异常。

2. 定性解释和定量解释

■定性解释

二、由“已知”到“未知”

先从已知地质情况着手，根据岩（矿）石**磁性参数**，对比磁异常与**地质构造或矿体等**的关系。找出异常与矿体，岩体或构造的对应规律，确定引起异常的**地质原因**，并以此确定对应规律。指导条件相同的未知区异常的解释。

2. 定性解释和定量解释

■定性解释

三、深入研究区内的岩、矿石磁性

（对区内各类岩矿石）采集不同数量的定向标本，进行磁参数测定。了解感磁和剩磁的大小和方向。并用正演公式，粗略估算异常分布范围内各类岩矿石所引起的异常强度。然后与实测异常对比，以判断实测异常是地表还是地下深部岩、矿体所引起。

2. 定性解释和定量解释

■定性解释

四、对异常进行详细分析

- ✓ 磁性体形状初步判断：根据磁异常的平面和剖面特征；利用磁异常的空间变化特征。
- ✓ 磁性体倾向的初步判断：根据 Z_a 异常特征判断倾向；根据 T_a 异常特征判断倾向。

2. 定性解释和定量解释

■ 定量解释

- ✓ 在定性解释基础上进行，补充初步地质解释的结果。
- ✓ 根据磁性地质体的几何参数和磁性参数的可能数值，结合地质规律，进一步判断场源的性质。
- ✓ 提供磁性地层或基底的几何参数（主要是埋深、倾角和厚度）在平面或沿剖面的变化关系，以便于推断地下的地质构造。
- ✓ 提供磁性地质体在平面上的投影位置、埋深及倾向等，以便合理布置探矿工程，提高矿产勘探的经济效果。

2. 定性解释和定量解释

■定量解释

在定量解释工作中应注意下列问题:

- (1) 根据工作目标任务合理选择定量解释方法;
- (2) 根据地形、地理与地质特点合理选择处理转换与定量解释方法;
- (3) 平面与剖面相结合, 合理组合使用反演方法。

目 录

地磁部分章节

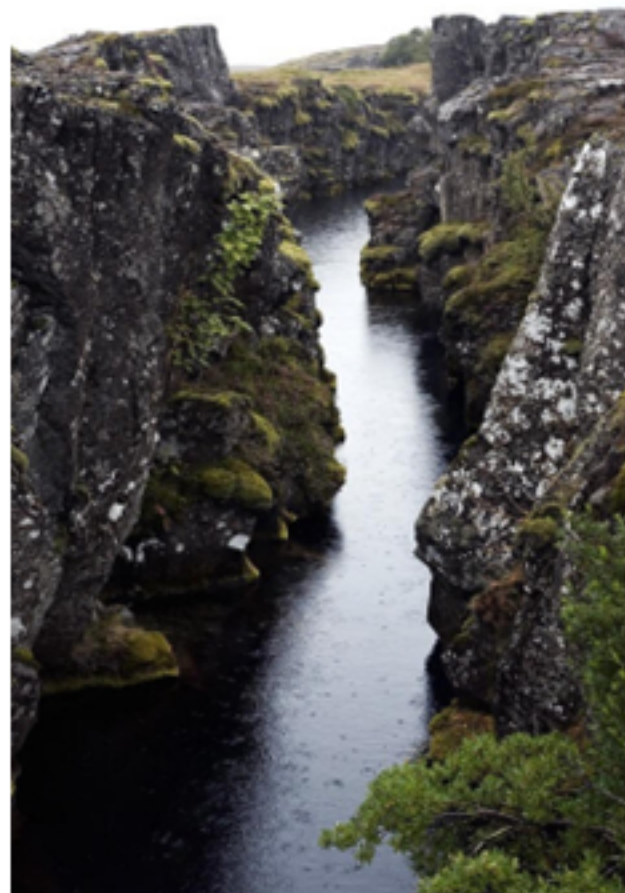
第四章 磁力资料的解释应用

1. 解释的一般原则
2. 定性解释和定量解释
3. 应用

3. 应用

■ 推断断裂、破碎带以及褶皱

- ✓ 断裂的产生或者改变了岩石的磁性；
- ✓ 或者改变了地层的产状；
- ✓ 或者沿断裂带伴有后期或同期岩浆活动；
- ✓ 或者沿断裂两侧具有不同的构造特点。

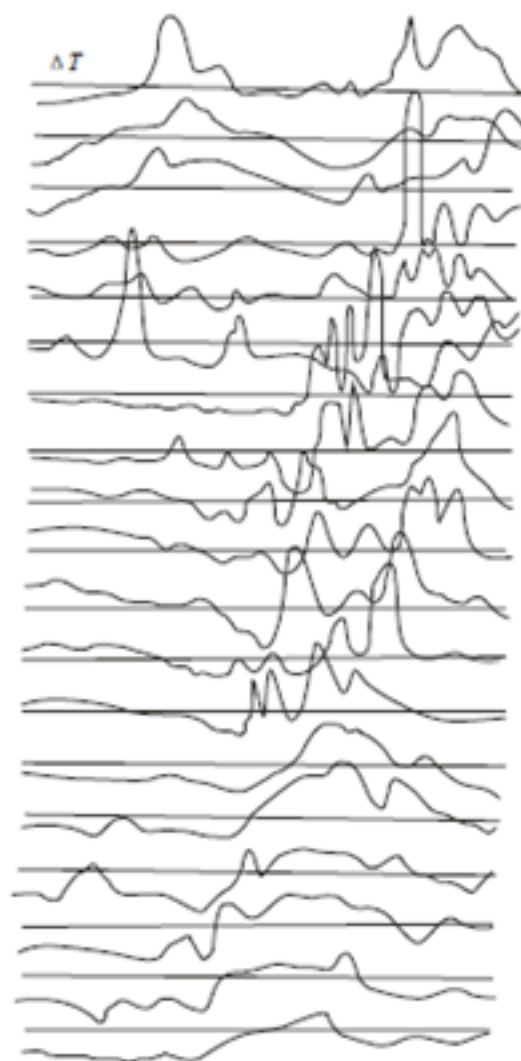


3. 应用

■ 断裂

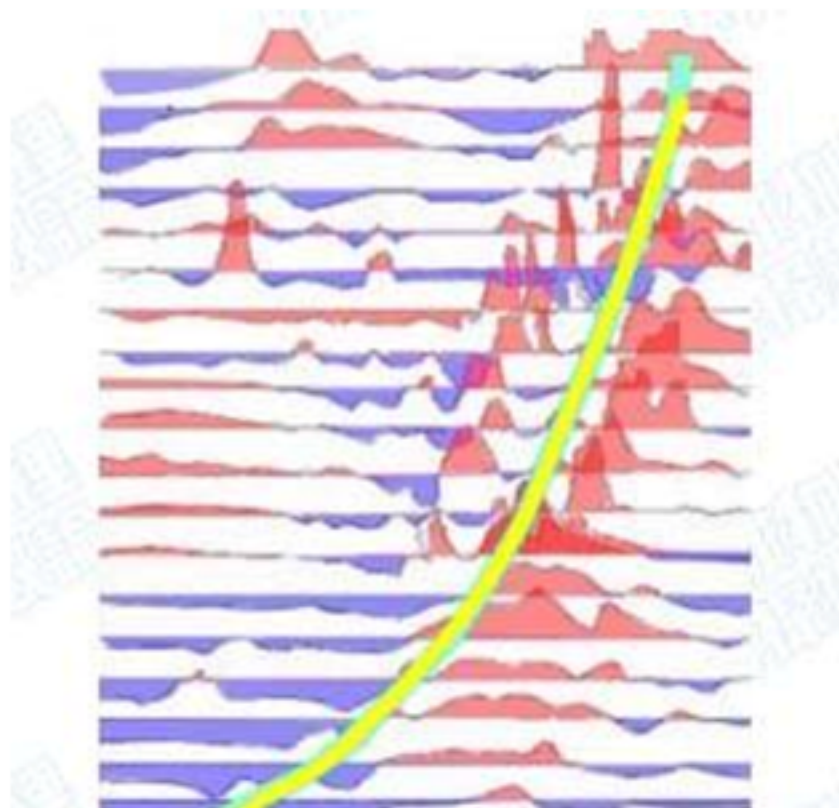
1. 沿断裂有**磁性岩脉（岩体）充填**，这时沿断裂方向会有高值带状异常（或线型异常带）分布；
2. 若沿断裂方向因**岩浆活动**不均匀，可能产生断续的串珠状异常；
3. 有些断裂破碎带范围较大，构造应力比较复杂，既有垂直变位也有水平变位和扭转现象，在这种情况下会造成**雁行排列**的岩浆活动通道，因此，在这类构造上就会出现雁行状异常带。

深大断裂带常可能是一个巨大的金属成矿带，如长江中、下游深大断裂带就是一个金属矿成矿带。



3. 应用

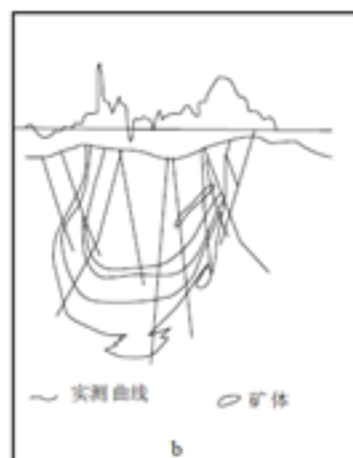
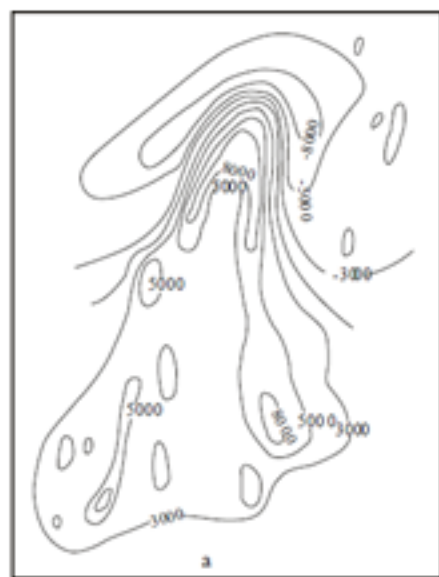
■ 断裂



郯城-庐江深大断裂磁场图，该断裂长约800 km，其磁异常以正异常形式出现。

3. 应用

■ 褶皱



一个半封闭型向斜状矿床上的 Z_a 异常
a.—平面等值线图；b.—剖面图

在某些油气盆地，在沉积地层中常存在的磁性标志层，岩石受力发生弯曲，磁性层也随之褶皱，而形成背斜和向斜。

一般背斜轴部上方会出现高值正异常，而在向斜两翼上方为升高的正异常，在向斜轴部为相对低的平缓异常。

当背斜轴部被剥蚀掉时，其异常类似于两个相隔一定距离，倾斜方向不同的板状体异常迭加。

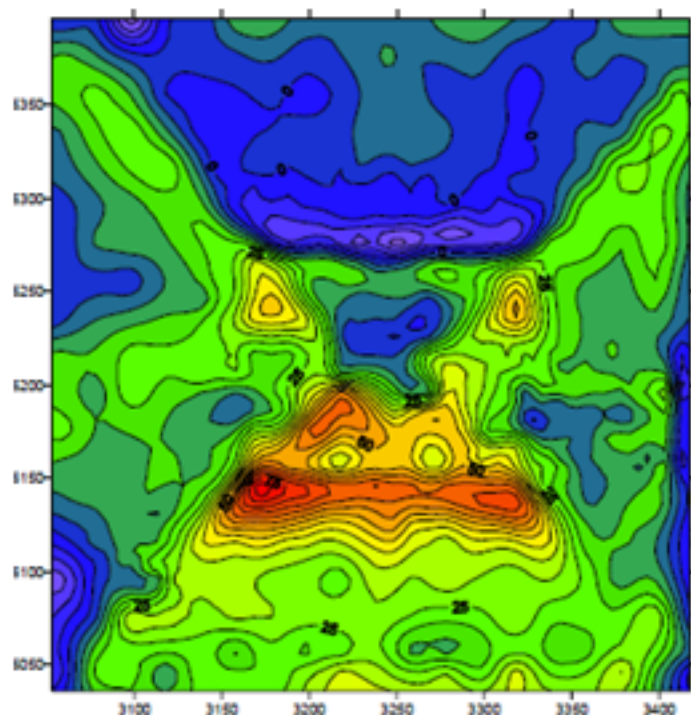
3. 应用

■ 秦始皇帝陵考古

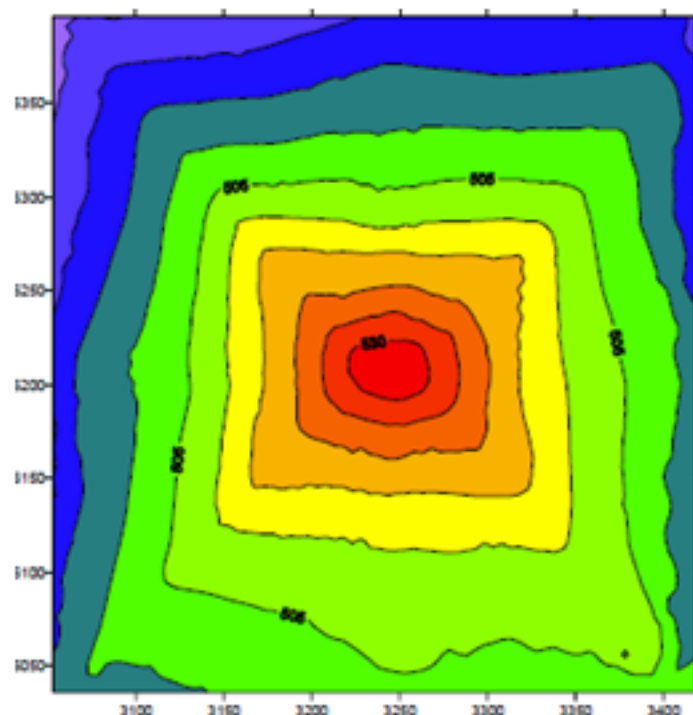


3. 应用

■ 秦始皇帝陵考古



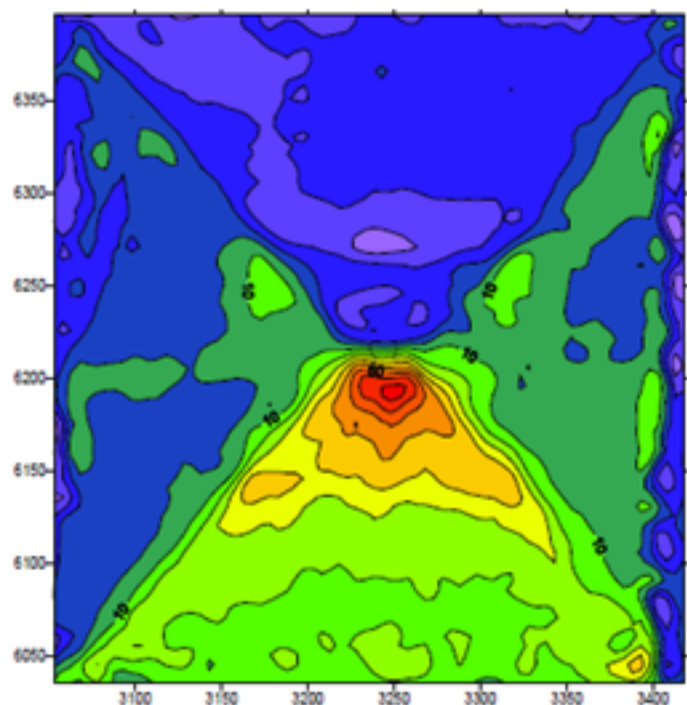
实测磁异常数



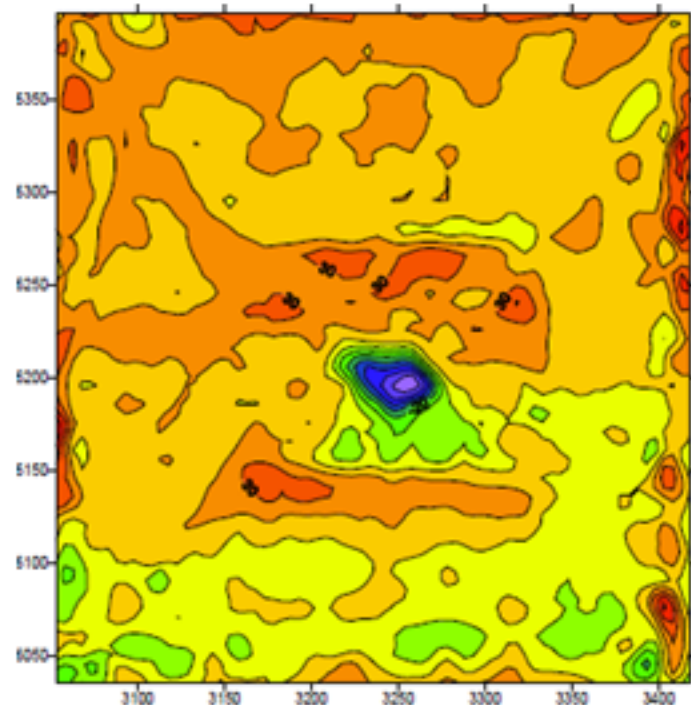
地形数据

3. 应用

■ 秦始皇帝陵考古



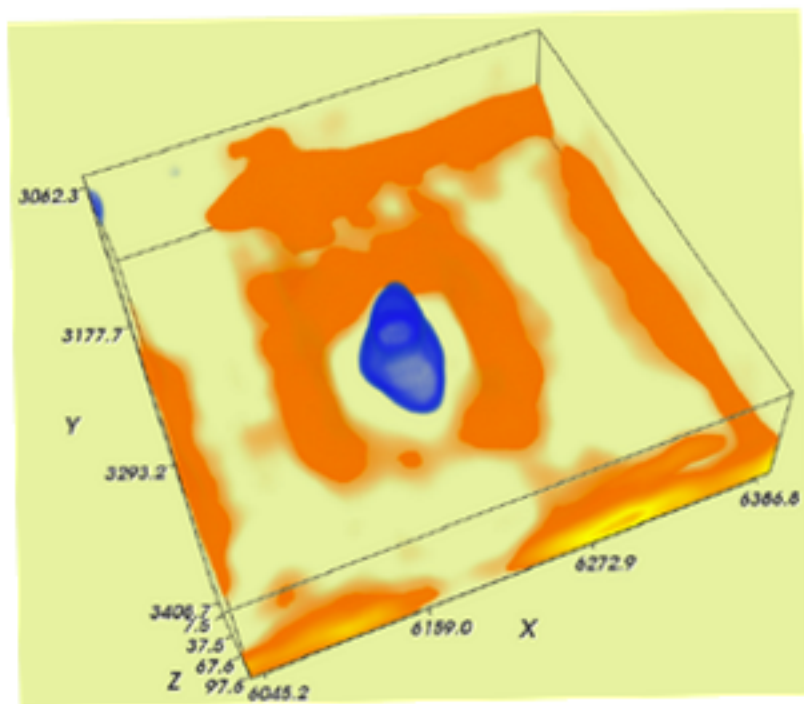
平顶锥体模型磁异常



剩余 = 实测 - 模型

3. 应用

■ 秦始皇帝陵考古



地宫透视图

3. 应用

■ 石油天然气勘探

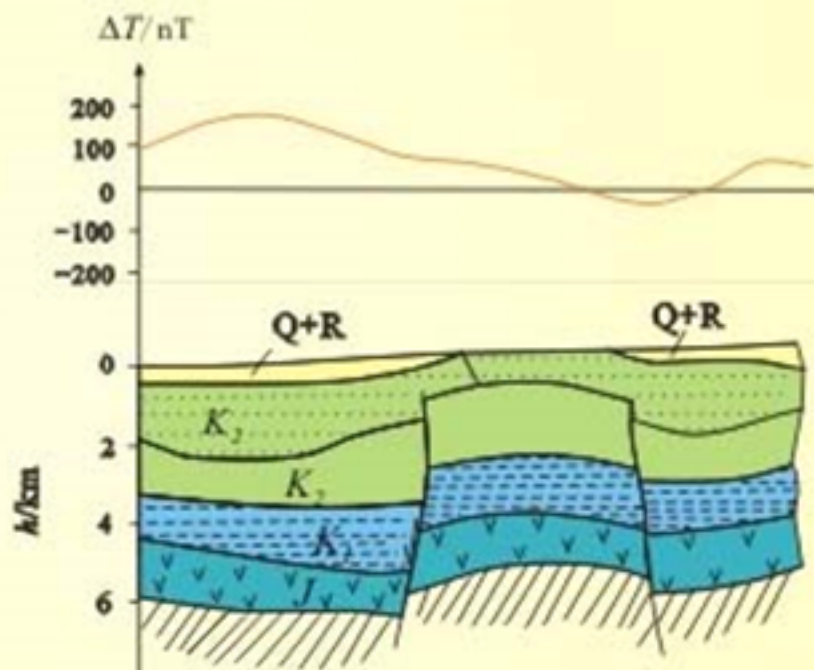
- 大多数沉积岩几乎都是无磁性的，而下伏火成岩和基岩通常是有磁性的。
- 根据磁测资料确定了基岩的深度，也就确定了沉积物的厚度。
- 如确定了基岩的起伏，因基底面起伏能在上覆沉积岩中产生有利于油气聚集的构造起伏，因而能为油气勘查提供有用资料。

3. 应用

■ 石油天然气勘探



(a) 1 2 3



3. 应用

■ 成矿区圈定

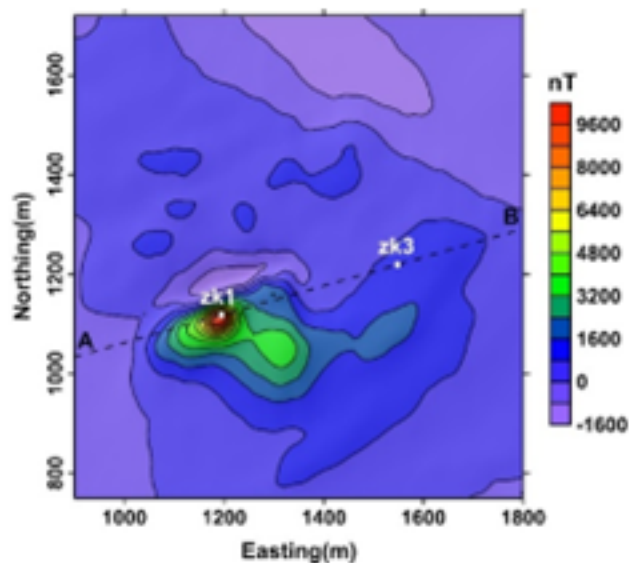


利用磁资料时，主要应考虑两方面的条件，一是成矿和控矿条件；二是矿与围岩的磁性差异。

3. 应用

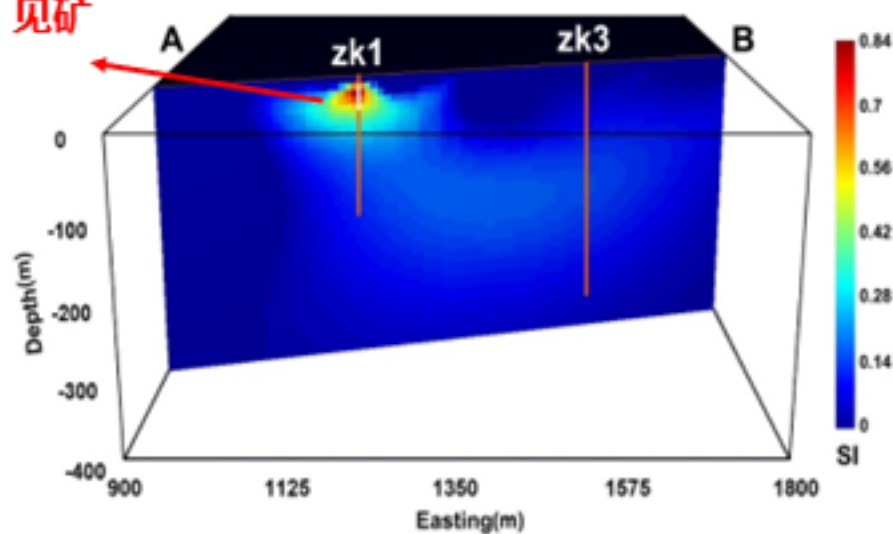
■ 成矿区圈定

磁总场异常



磁力三维反演

见矿



3. 应用

■ 重磁震综合解释研究羌塘盆地构造

一、项目概况

二、工作量和主要成果

三、数据处理方法原理

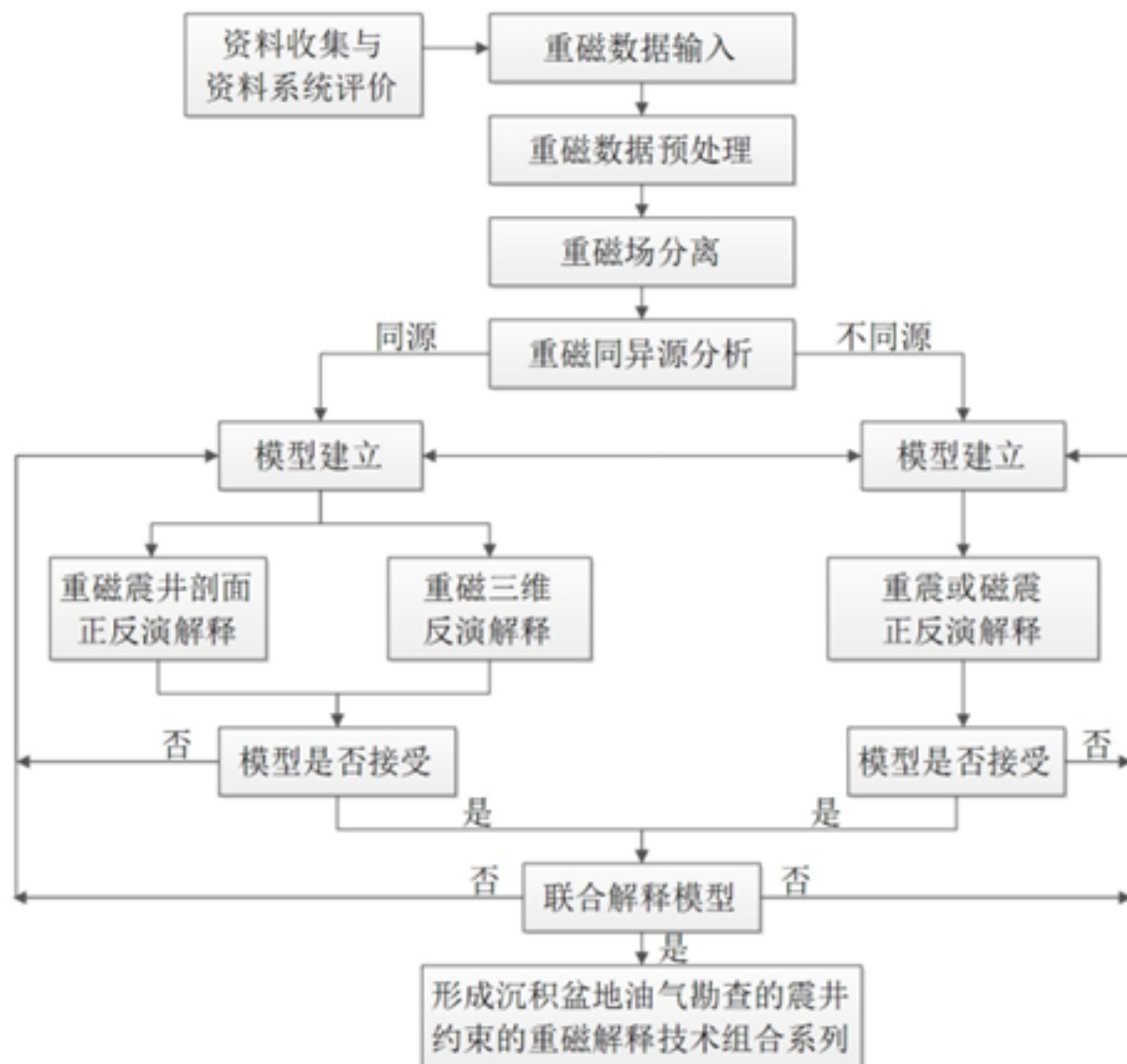
四、羌塘盆地重磁异常和处理

五、南北剖面重磁震综合解释

六、处理结果认识

七、羌塘盆地重磁三维成像

技术路线



工 作 内 容	设计工作量	实际工作量
1:20万重力面积资料处理和反演解释	10 万 km ²	约22.8 万 km ²
1:20万磁力面积资料处理和反演解释	10 万 km ²	约22.3 万 km ²
剖面1：东经90° 南北重磁震剖面综合反演解释	200 km	约170 km
剖面2：东经88.5° 南北重磁震剖面综合反演解释	230 km	约250 km
重磁震综合解释研究 羌塘盆地构造成果	10 万 km ²	约22万 km ²
成果图件	9套	14套

主要成果

1、重磁面积资料处理及解释

分别对1:20万重力资料（面积约22.8万 km^2 ）和1:20万磁力资料（面积约22.3万 km^2 ）进行了处理，根据处理结果，结合已知地质资料，对羌塘盆地构造有了进一步认识，划分了盆地边界和断裂，圈定了岩浆岩分布范围。

2、重磁剖面资料处理及解释

对两条重磁剖面（长度约420 km）进行了人机交互式反演，获得了两条南北剖面的精细解释成果。

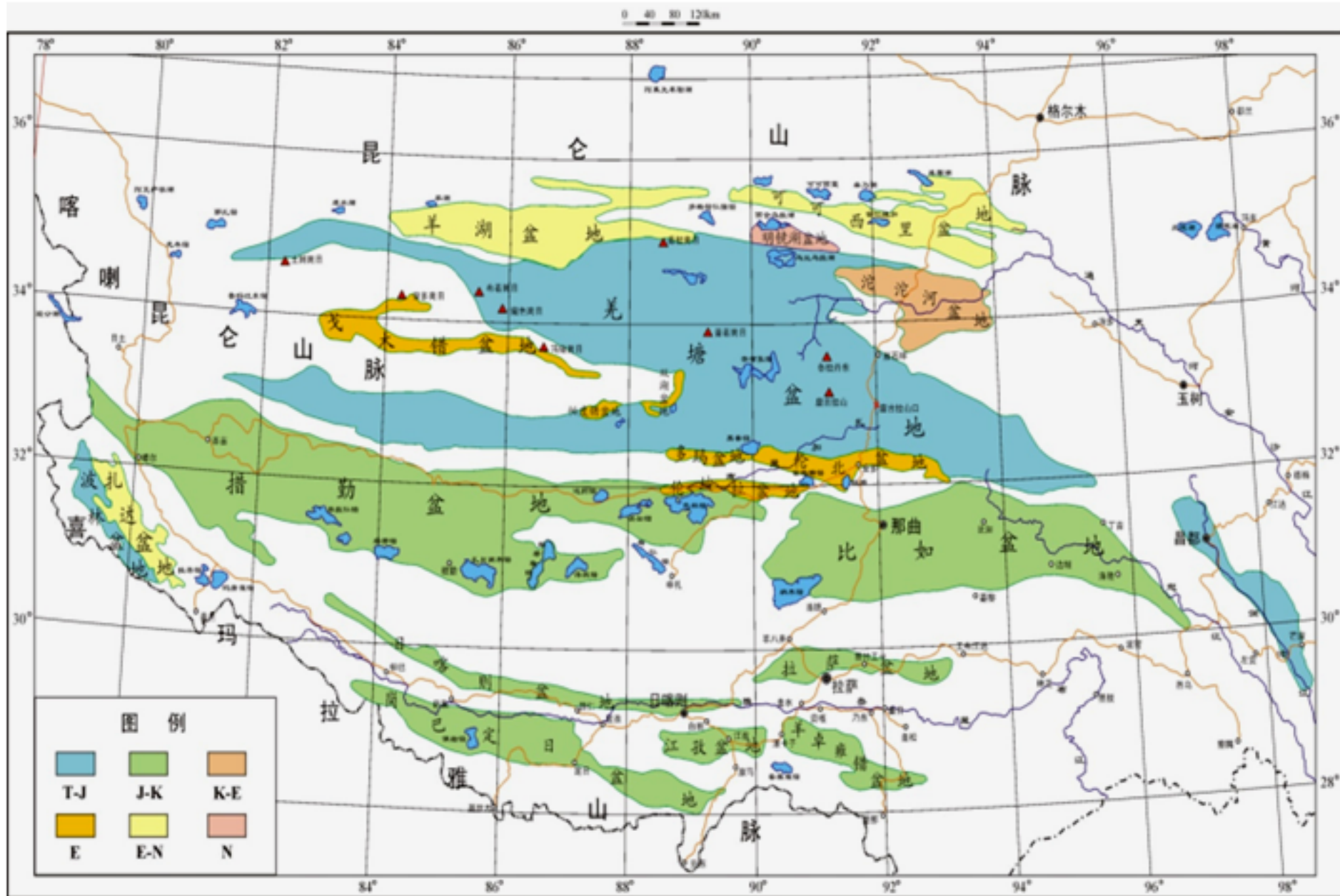
3、主要界面埋深分别利用重磁数据反演获得了新生界底界、结晶基底和磁性基底的埋深情况。

4、圈定油气远景区域

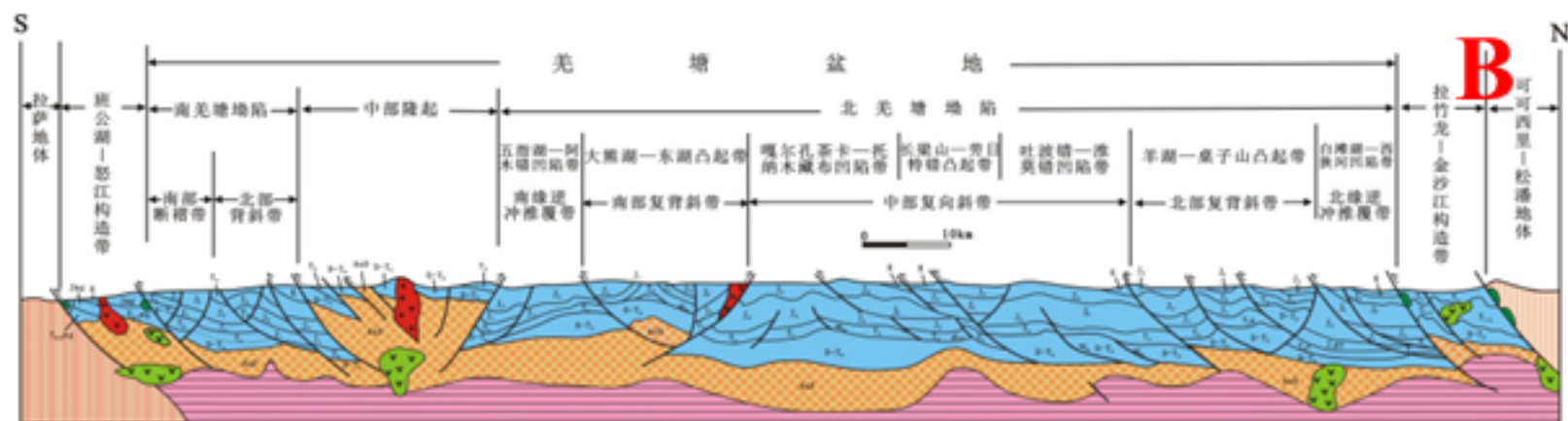
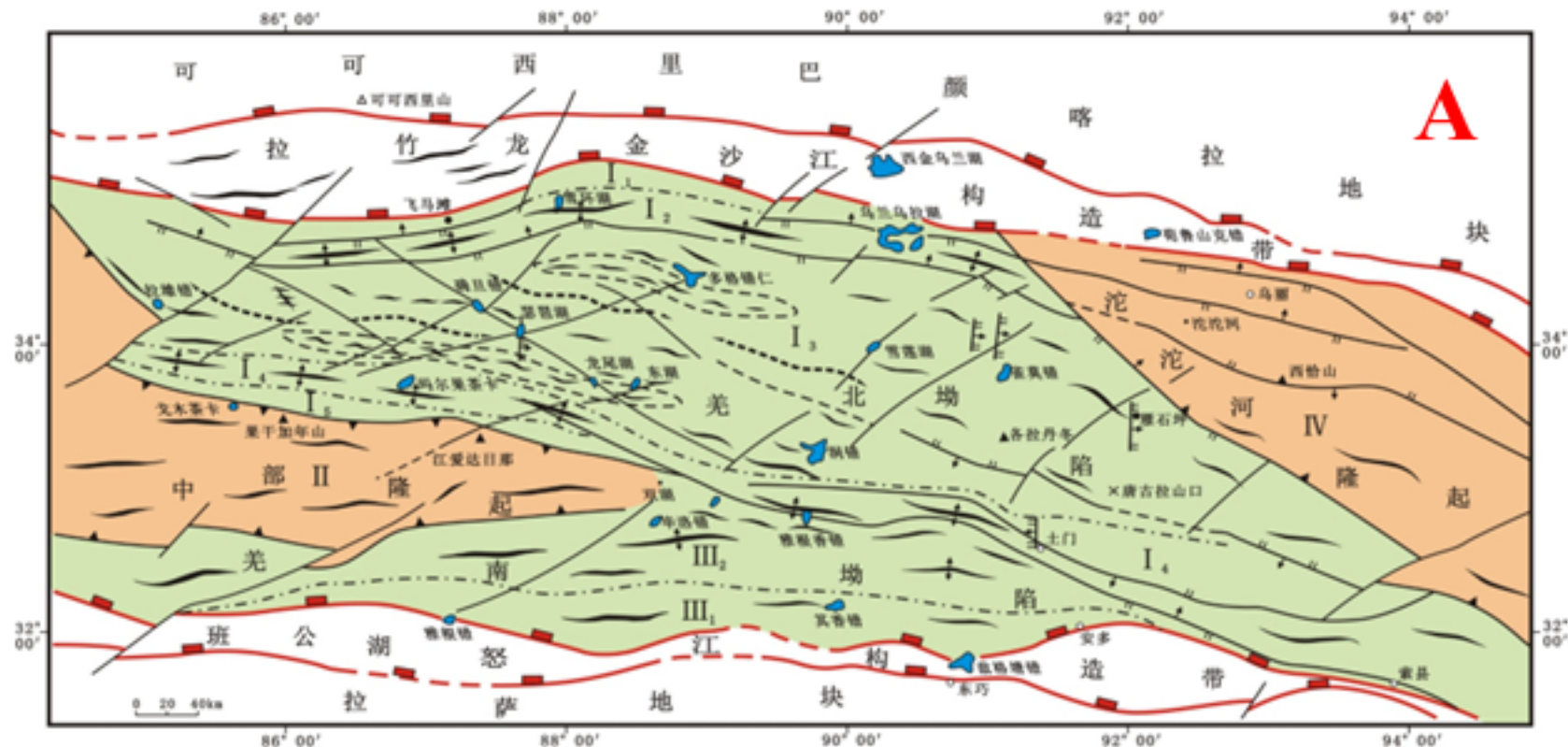
根据本次研究获得的断裂构造和火成岩分布成果，基于构造和火成岩与油气保存关系，圈定了油气远景区域。

5、地下三维密度、磁化率分布

利用59976个剩余重力异常数据进行了三维反演，获得了266340 km^2 范围的地下0-39 km范围内的三维密度结构。利用51663个磁力异常数据进行了三维反演，获得了206712 km^2 范围的地下0-35 km范围内的三维磁化率结构。



羌塘盆地位置



羌塘盆地构造单元平面图 (A) 和剖面图 (B)

前人工作

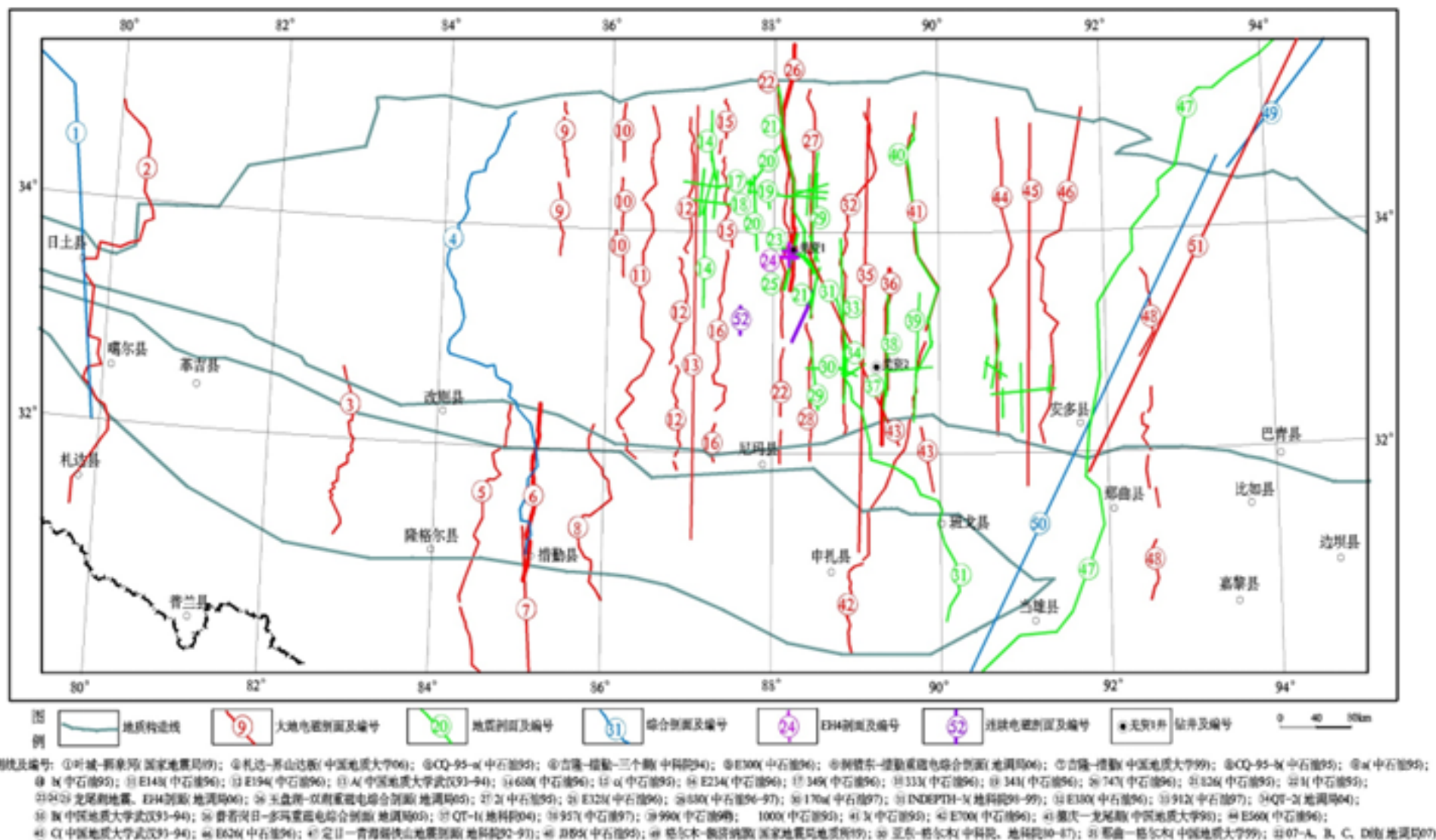




表 2-2 南羌塘区块物性分层表

	地 层 岩 组	分层厚度 (m)	物性特征		
			密度 (10^3 kg/m^3)	磁化率 ($4\pi \times 10^{-6} \text{ SI}$)	
石	石坪顶组（局部分布）	780	2.72	2.72	3986
	唢呐湖组、康托组	694	2.46	2.46	24
牛堡组、夏里	索瓦组、夏里组、布曲组、色哇组 曲色组、日干配错组	4355	2.63	2.66	9
那	日干配错组玄武岩（局部分布）	1269		2.85	221
肖芽	土门格拉组	550		2.54	4
	鲁谷组	1123		2.69	7
鲁谷	鲁谷组玄武岩（局部分布）	1126		2.77	1000
塔里来	塔里来组、日湾茶卡组、茶桑组	3564		2.59	8
	前奥陶系		2.71	2.71	43

数据处理方法原理

- 一、重磁场频率域处理技术
- 二、位场分离方法
- 三、边界识别方法
- 四、重磁快速正则化界面正反演方法
- 五、欧拉反褶积确定场源位置和深度
- 六、二维人机交互反演
- 七、重磁三维反演原理
- 八、重磁三维反演数据处理流程

一、重磁场频率域处理技术

- 1、将空间域重磁异常进行傅里叶变换，转化为频率域异常；
- 2、根据运算方法的不同，乘以不同的因子；
- 3、再对计算结果进行傅里叶逆变换，得到空间域结果。

傅氏变换
$$S(u, v, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} s(x, y, z) \exp[-2\pi i(ux + vy)] dx dy$$

磁化极因子
$$H(u, v) = \frac{1}{(il \frac{u}{s} + im \frac{v}{s} + n)^2} = \frac{1}{[i \cos I \cos(\theta - D) + \sin I]^2}$$

延拓因子
$$H_{up} = \exp(2\pi z \sqrt{u^2 + v^2}), z < 0 \quad H_{down} = \exp(2\pi z \sqrt{u^2 + v^2} \cdot S), z > 0$$

$$(2\pi i u)^n \quad (2\pi i v)^n; \quad [2\pi(u^2 + v^2)^{1/2}]^n$$

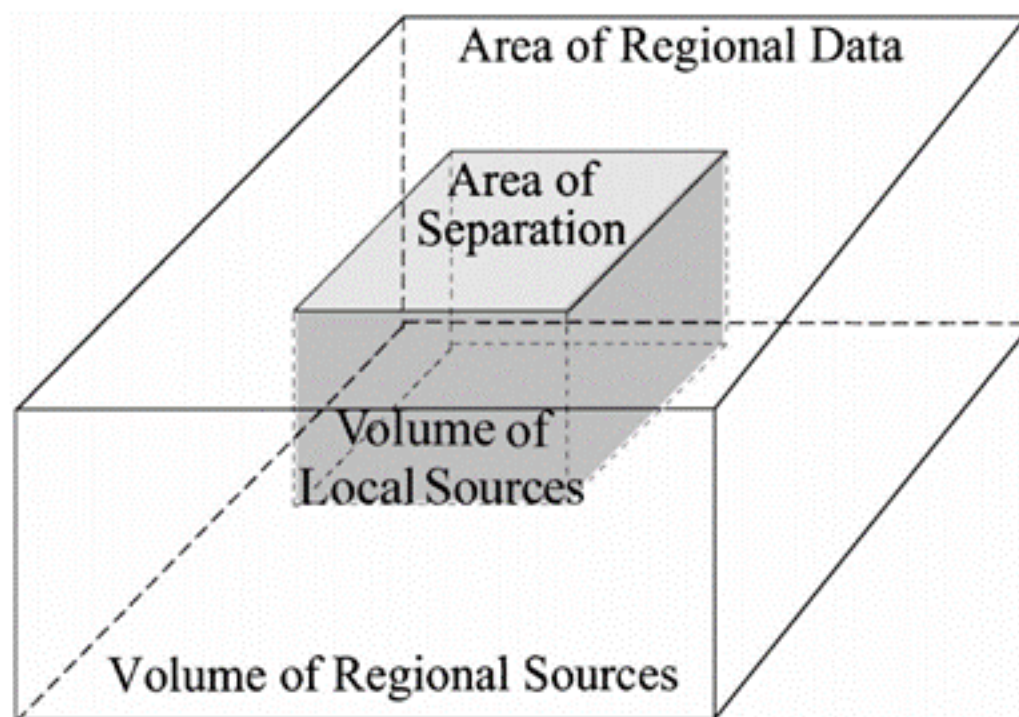
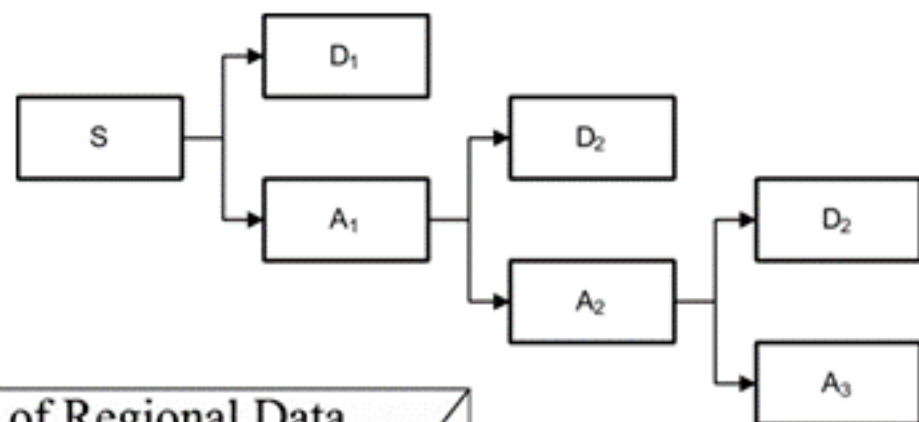
水平导数因子

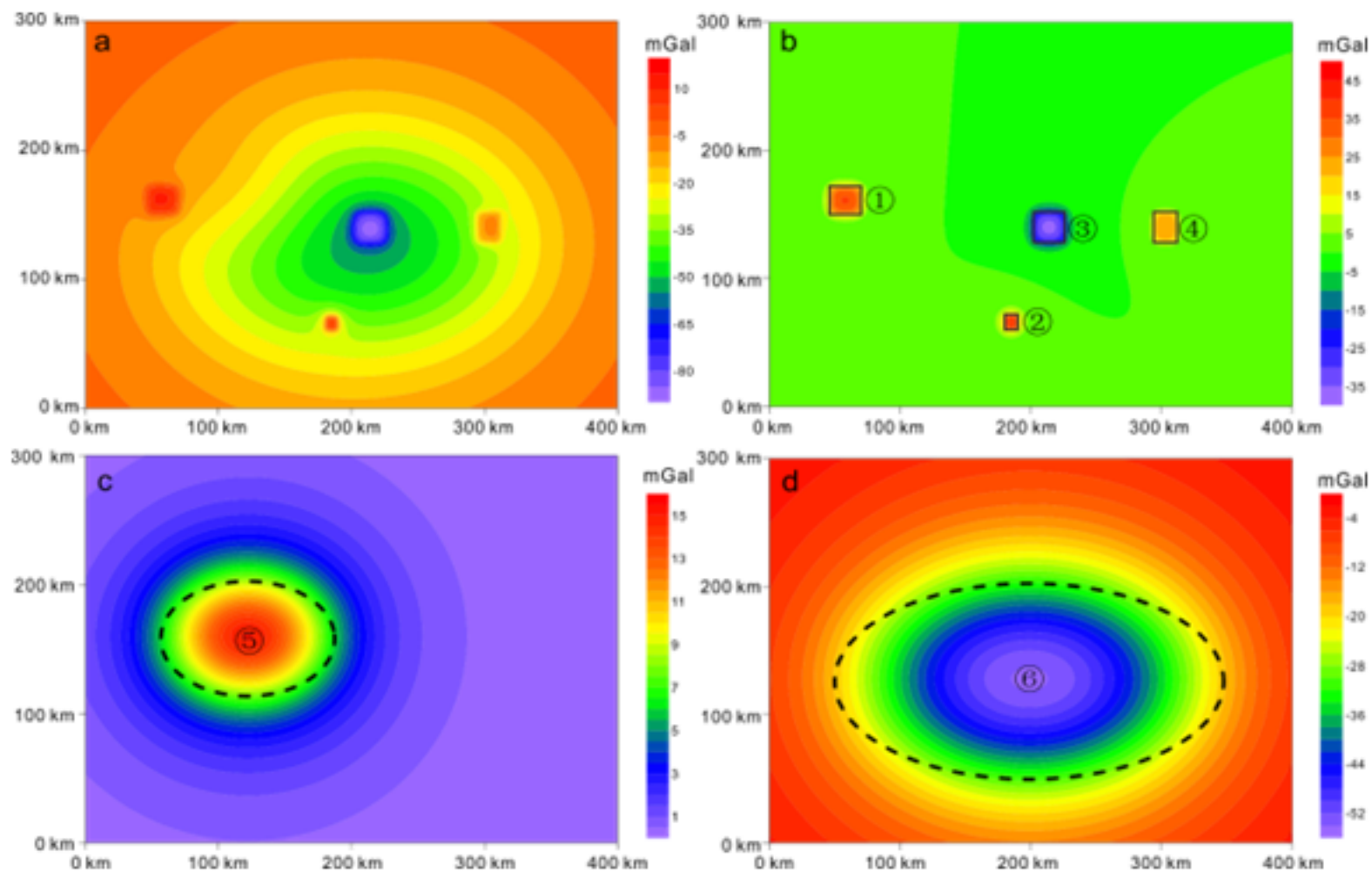
垂直导数因子

傅氏逆变换
$$s(x, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S(u, v, z) \exp[2\pi i(ux + vy)] du dv$$

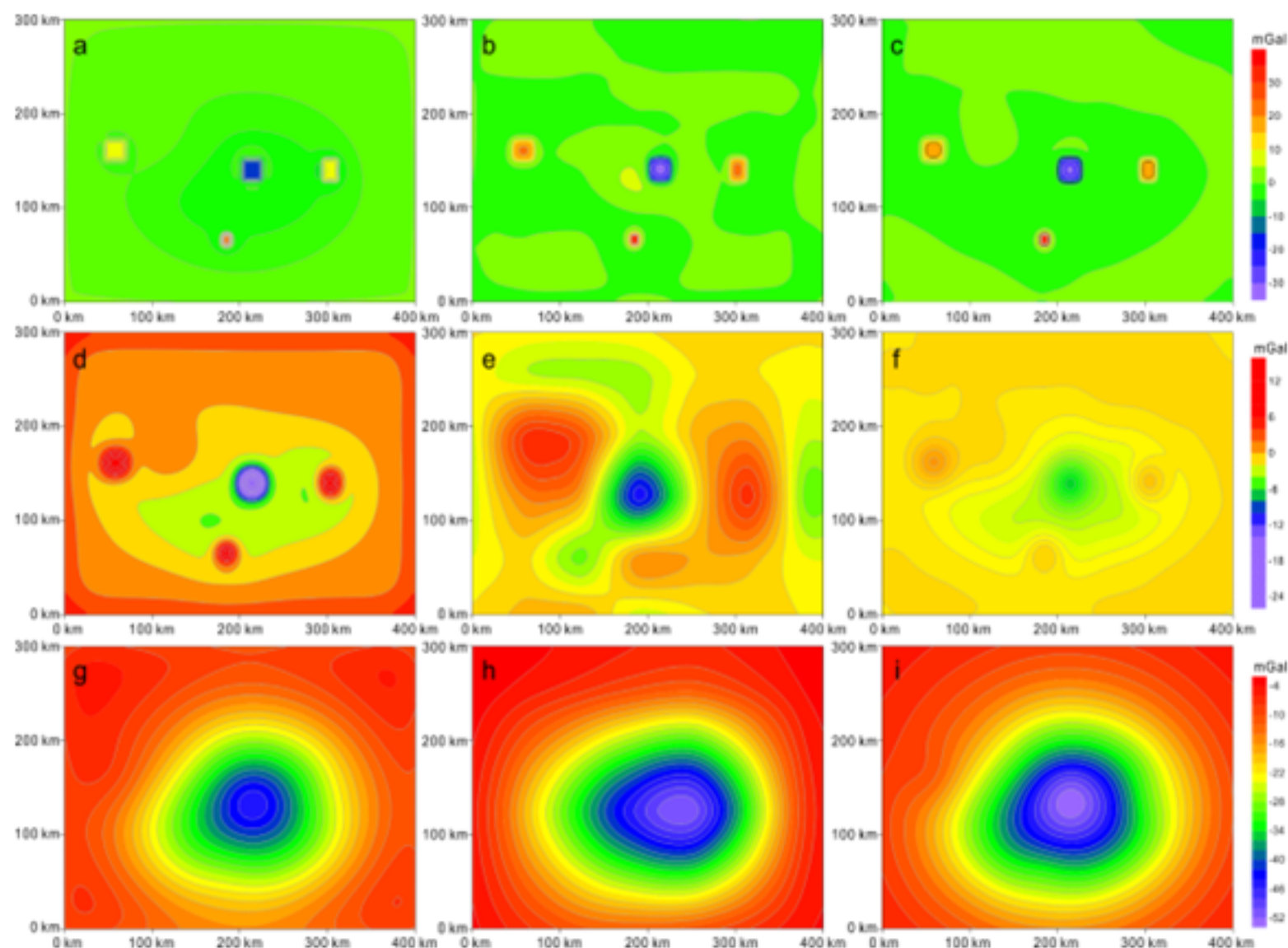
二、位场分离方法

- 1、匹配滤波法
- 2、小波多尺度分析法
- 3、反演剥离法





a-总场； b-浅源场； c-中源场； d-深源场



a-匹配滤波法浅源；b-小波多尺度分析法浅源；c-反演剥离法浅源；d-匹配滤波法中源；e-小波多尺度分析法中源；f-反演剥离法中源；g-匹配滤波法深源；h-小波多尺度分析法深源；i-反演剥离法深源

三、边界识别方法

1、斜导数边界识别

$$ETilt = a \tan \left(\frac{g_{zz}}{\sqrt{g_{xz}^2 + g_{yz}^2 + g_{zz}^2}} \right)$$

$$E\theta = a \cos \left(\frac{\sqrt{\left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^2}} \right)$$

2、高阶导数边界识别

$$Thdr = \sqrt{\left(\frac{\partial Tilt}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial Tilt}{\partial y} \right)^2} \quad EThdr = a \tan \left(\frac{\frac{\partial Tilt}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial Tilt}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial Tilt}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial Tilt}{\partial z} \right)^2}} \right)$$

3、归一化标准差边界

$$Nstd = \frac{\sigma(g_{zz})}{\sigma(g_{xz}) + \sigma(g_{yz}) + \sigma(g_{zz})}$$

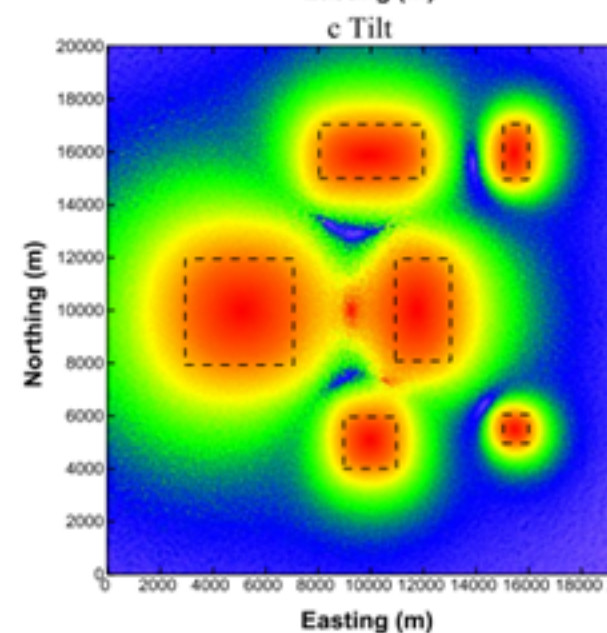
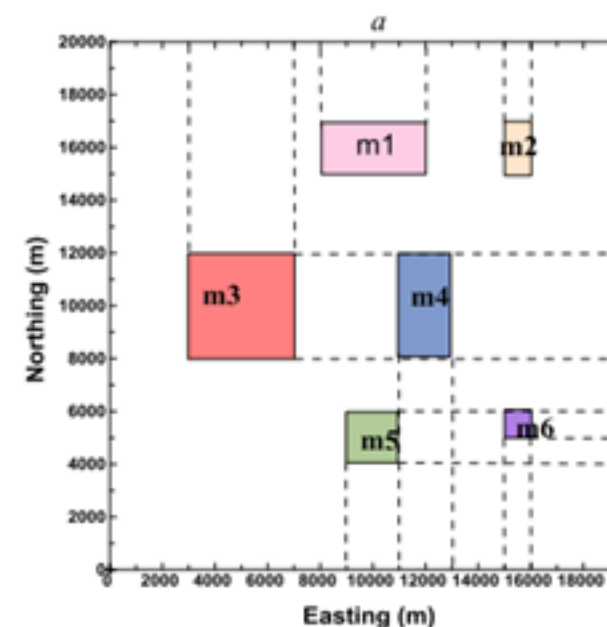


图 3-6 边界识别
模型位置；b-模型正演重力异

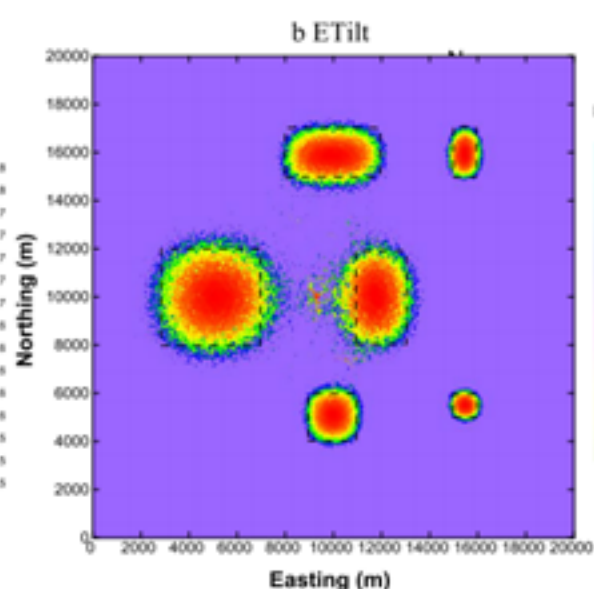
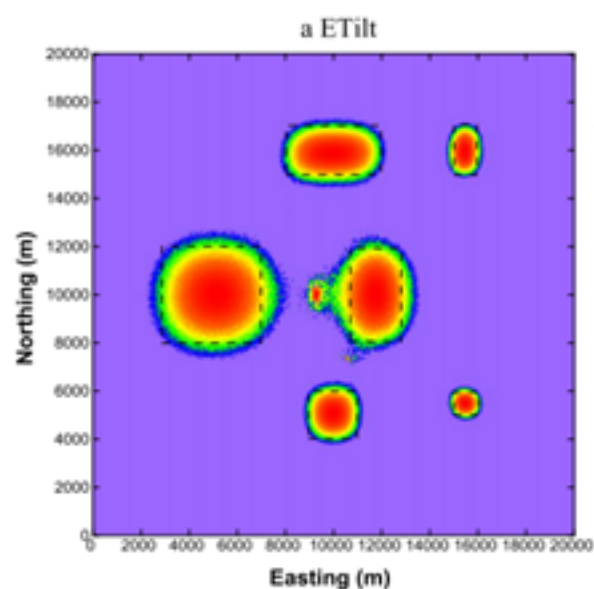


图 3-7 ETilt 法识别结果图
a-含 0.02% 噪声；b-含 0.2% 噪声

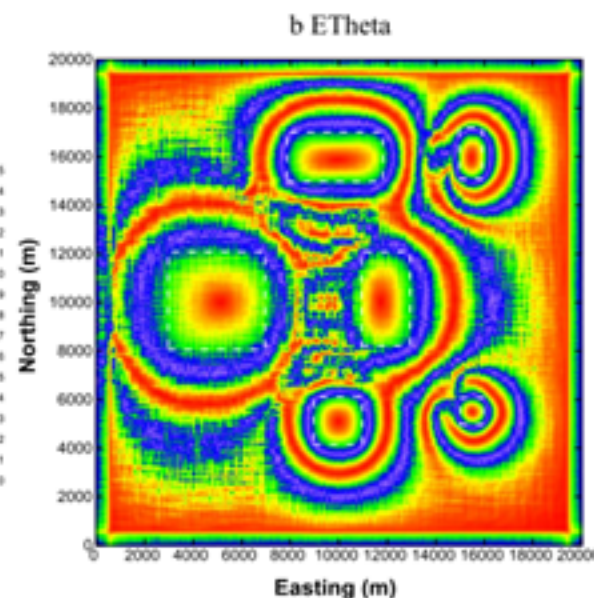
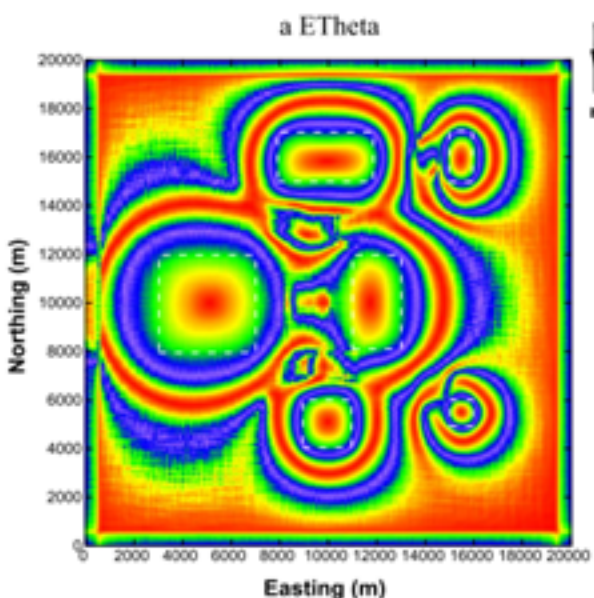


图 3-8 ETheta 法识别结果图
a-含 0.02% 噪声；b-含 0.2% 噪声

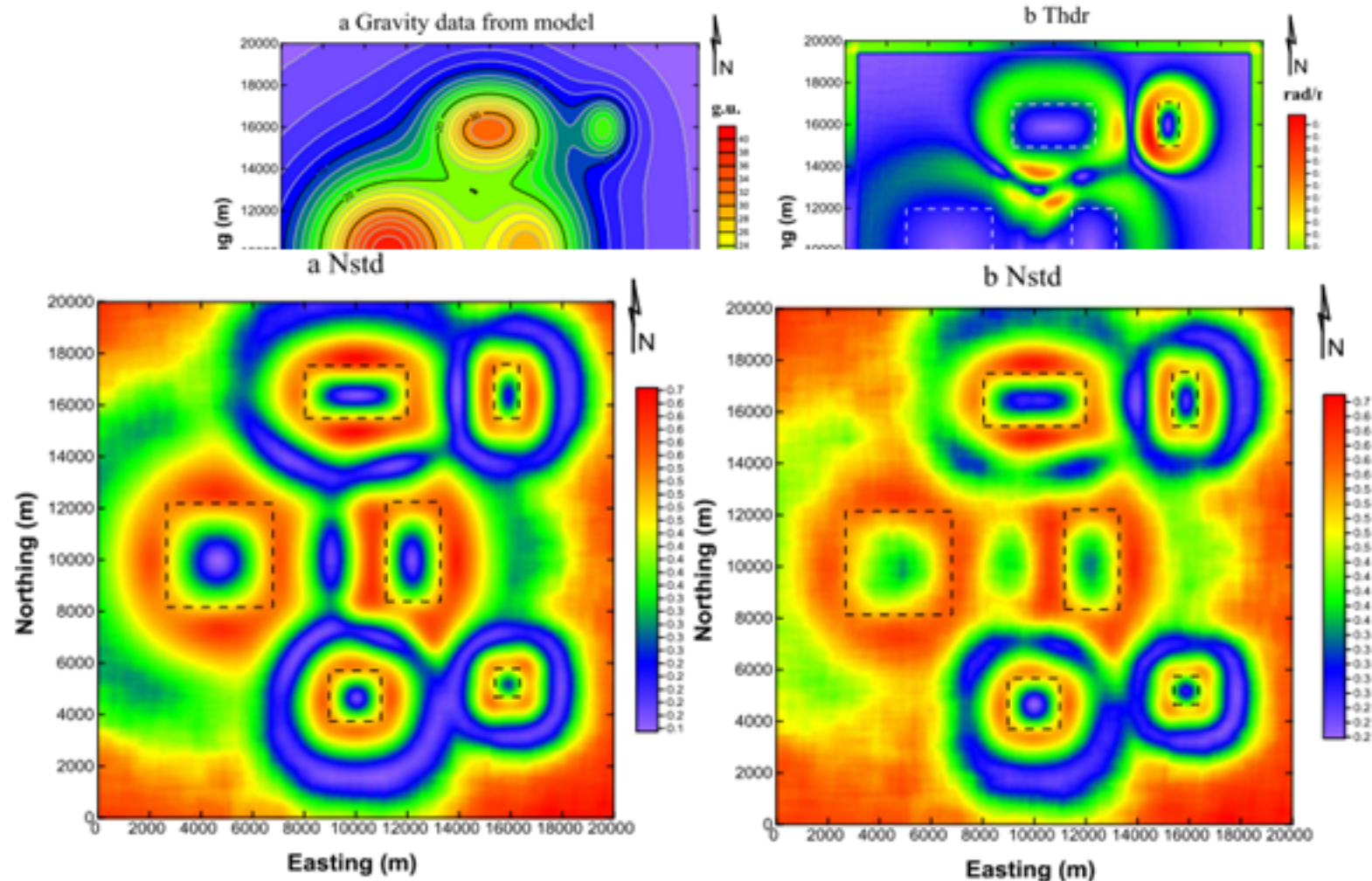


图 3-11 Nstd 法边界识别结果图

a-含 0.02%噪声；b-含 0.2%噪声

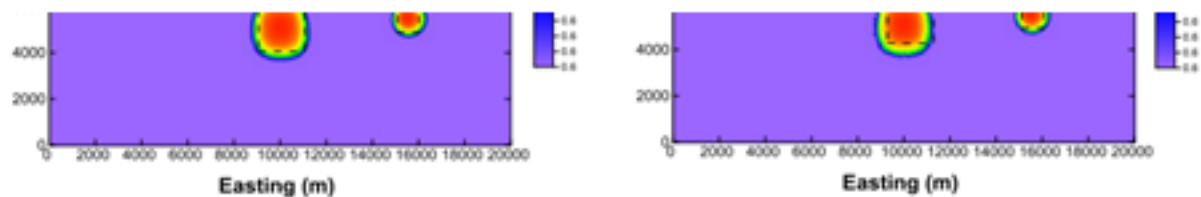


图 3-10 EThdr 法识别效果图

a-0.02%噪声识别结果；b-0.2%噪声识别结果

四、重磁快速正则化界面正反演方法

$$F[\Delta g(x, y, 0)] = -2\pi G\rho \exp(-sh) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-s)^{n-1}}{n!} F[\Delta h^n]$$

Parker界面正演公式

$$F[Z_a(x, y, 0)] = 2\pi J \exp(-sh) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-s)^n}{n!} F[\Delta h^n]$$

$$F[\Delta h_{i+1}] = -\frac{\exp(sh)}{2\pi G\rho} F[\Delta g] - \sum_{n=2}^{\infty} \frac{(-s)^{n-1}}{n!} F[\Delta h_i^n]$$

Oldenburg界面反演公式

$$F[\Delta h_{i+1}] = -\frac{\exp(sh)}{2\pi G\rho} F[\Delta g] - \sum_{n=2}^{\infty} \frac{(-s)^{n-1}}{n!} F[\Delta h_i^n]$$

$$F[\Delta h_1] = -\frac{\exp(sh)}{2\pi G\rho} F[\Delta g] B(s)$$

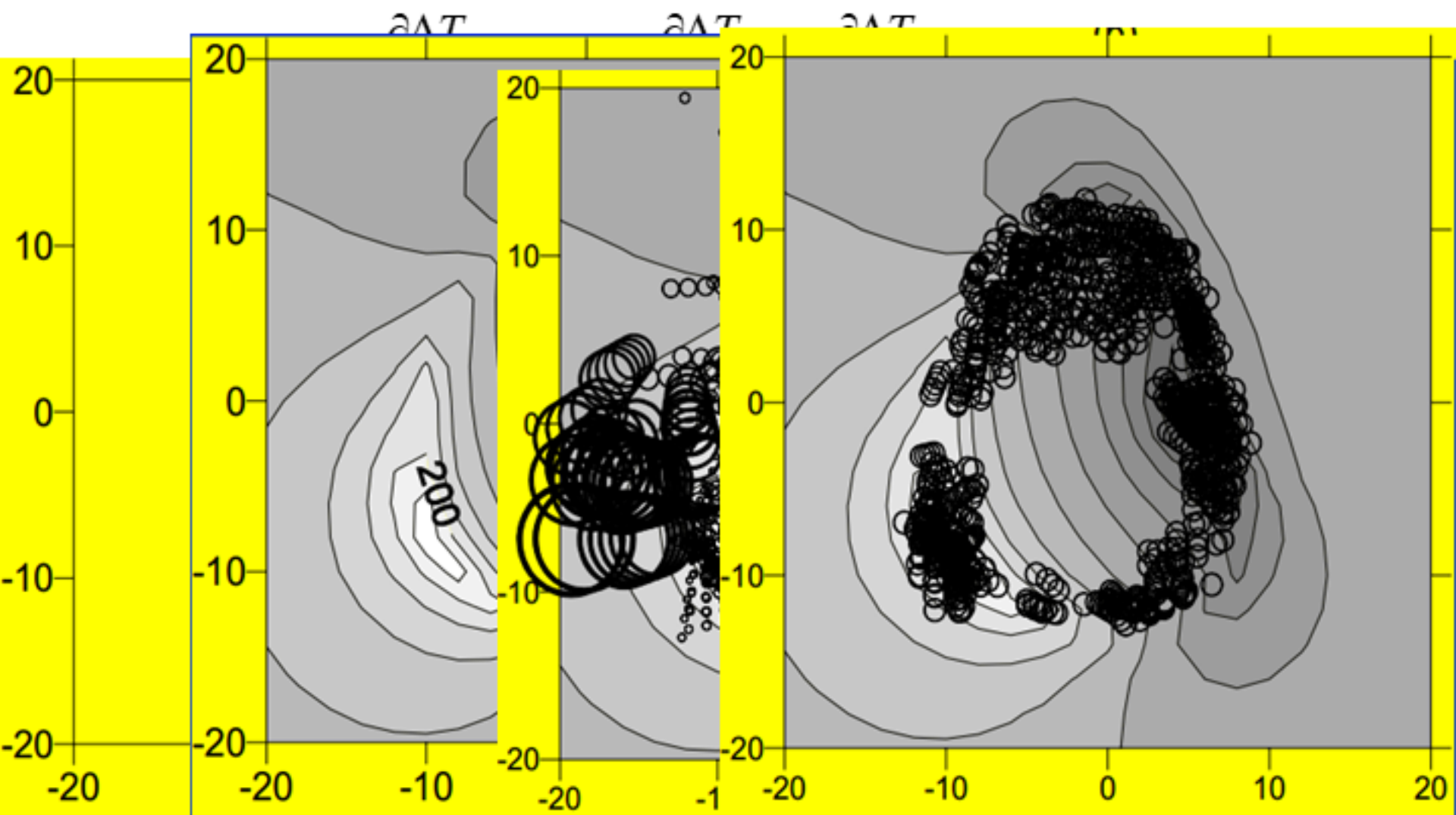
项目组实现

$$F[\Delta h_2'] = -\frac{\exp(sh)}{2\pi G\rho} \{F[\Delta g] - F[\Delta g_1]\} B(s)$$

$$\Delta h = \sum_{i=1}^n \Delta h_i'$$

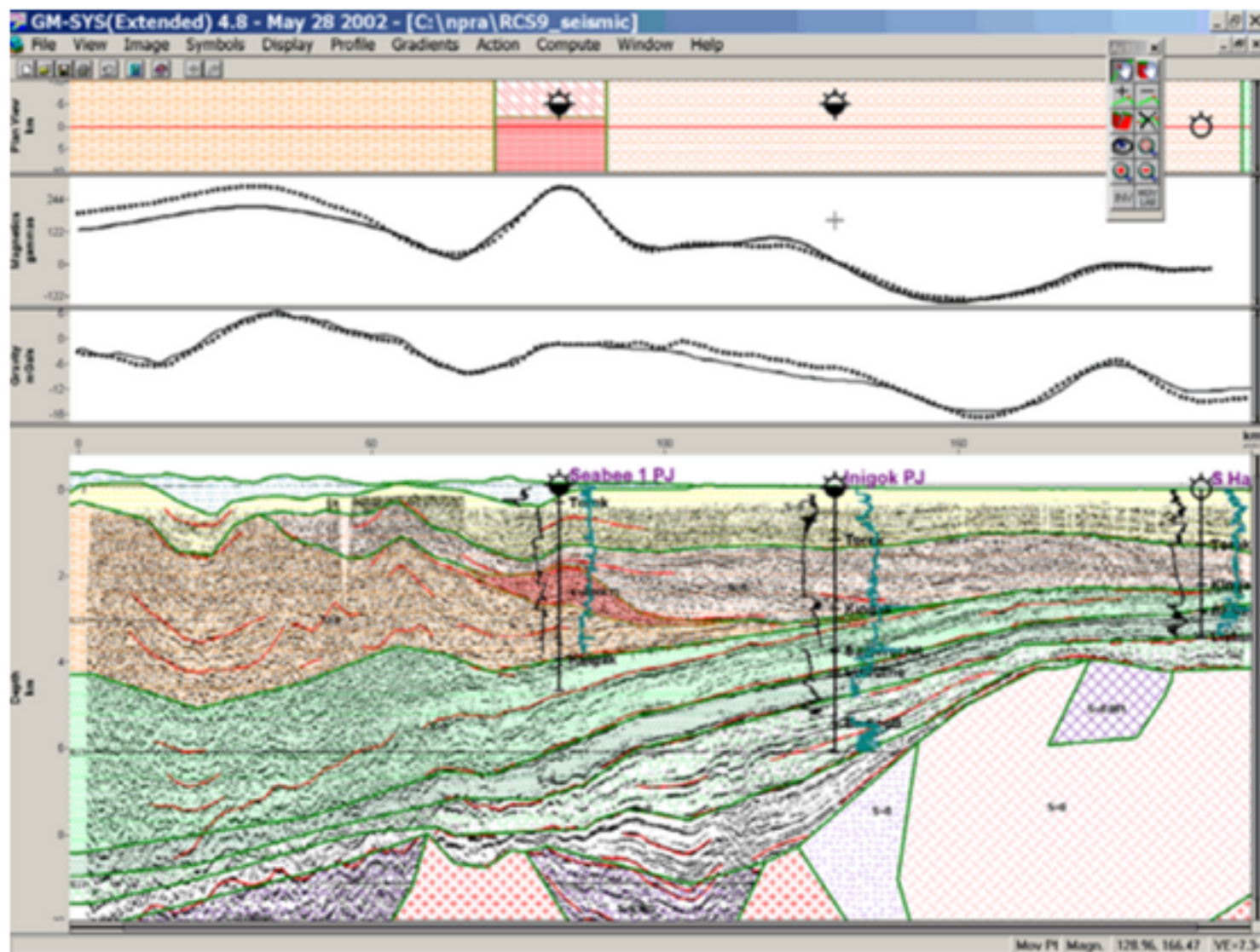
五、欧拉反褶积确定场源位置和深度

欧拉方程



六、二维人机交互反演

Oasis-GMSYS软件



七、重磁三维反演原理

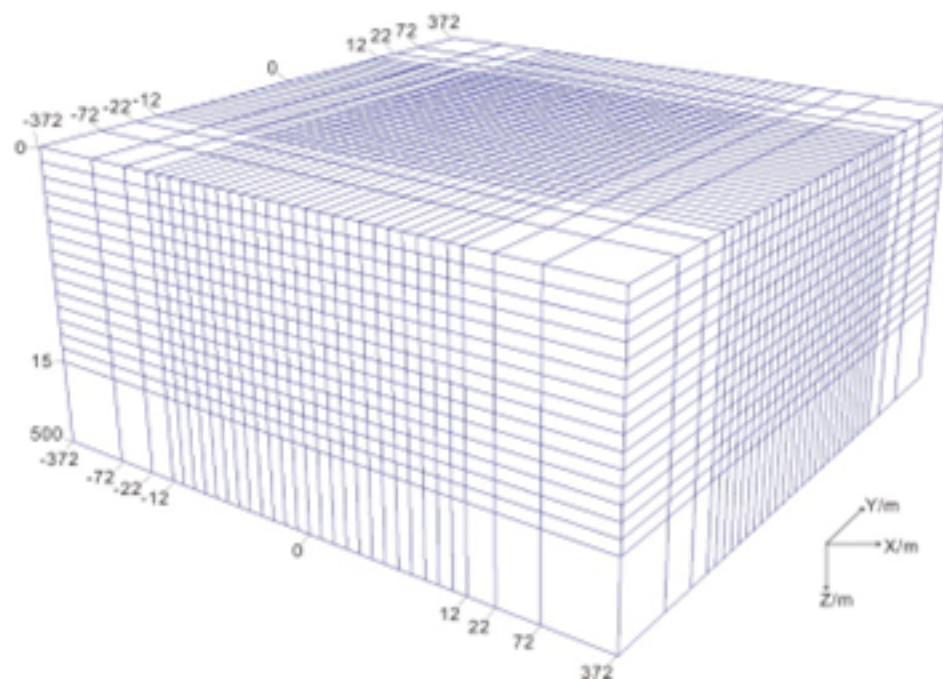
模型目标函数

$$\phi_m(\bar{\rho}, \bar{\rho}_0) = \alpha_s \iiint_V (\bar{\rho} - \bar{\rho}_0)^2 dv + \alpha_x \iiint_V \left[\frac{\partial(\bar{\rho} - \bar{\rho}_0)}{\partial x} \right]^2 dv +$$

$$\begin{aligned} \phi_m &= (\bar{\rho} - \bar{\rho}_0)^T (W_s^T W_s + W_x^T W_x + W_y^T W_y + W_z^T W_z) (\bar{\rho} - \bar{\rho}_0) \\ &= (\bar{\rho} - \bar{\rho}_0)^T W_m^T W_m (\bar{\rho} - \bar{\rho}_0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_d &= (\bar{d}_{obs} - \bar{d}_{pred})^T (\bar{d}_{obs} - \bar{d}_{pred}) = (\bar{d}_{obs} - G_k \bar{\rho})^T (\bar{d}_{obs} - G_k \bar{\rho}) \\ &= \|\bar{d}_{obs} - G_k \bar{\rho}\|^2 \end{aligned}$$

$$\phi = \|\bar{d}_{obs} - G_k \bar{\rho}\|^2 + \mu \|W_m (\bar{\rho} - \bar{\rho}_0)\|^2$$



$$\phi(\lambda) = \|\vec{d}_{obs} - G_k \vec{\rho}\|^2 + \mu \|W_m(\vec{\rho} - \vec{\rho}_0)\|^2 - 2\lambda \sum_{j=1}^M \left[\ln \left(\frac{\rho_j - a_j}{b_j - a_j} \right) + \ln \left(\frac{b_j - \rho_j}{b_j - a_j} \right) \right]$$

对数界限法实现上下界约束

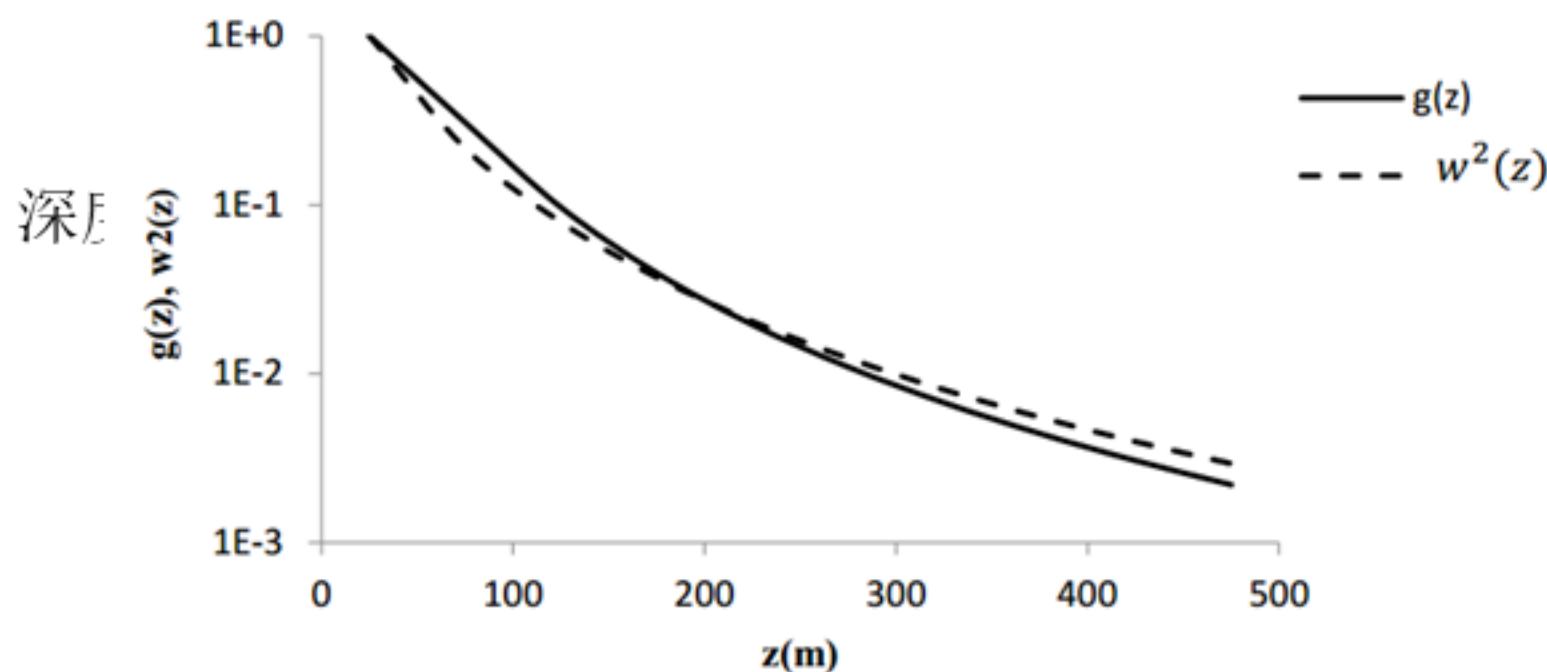
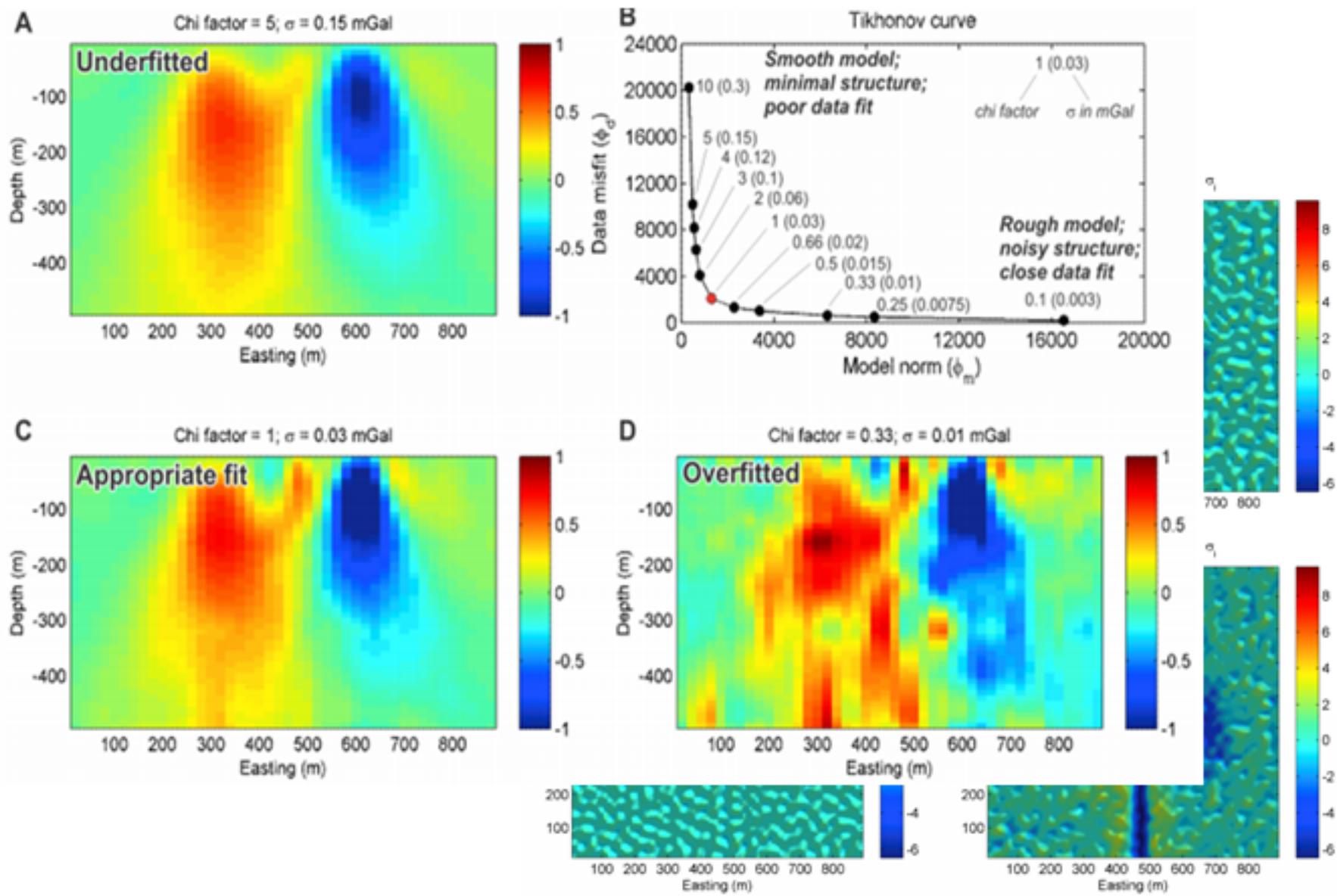
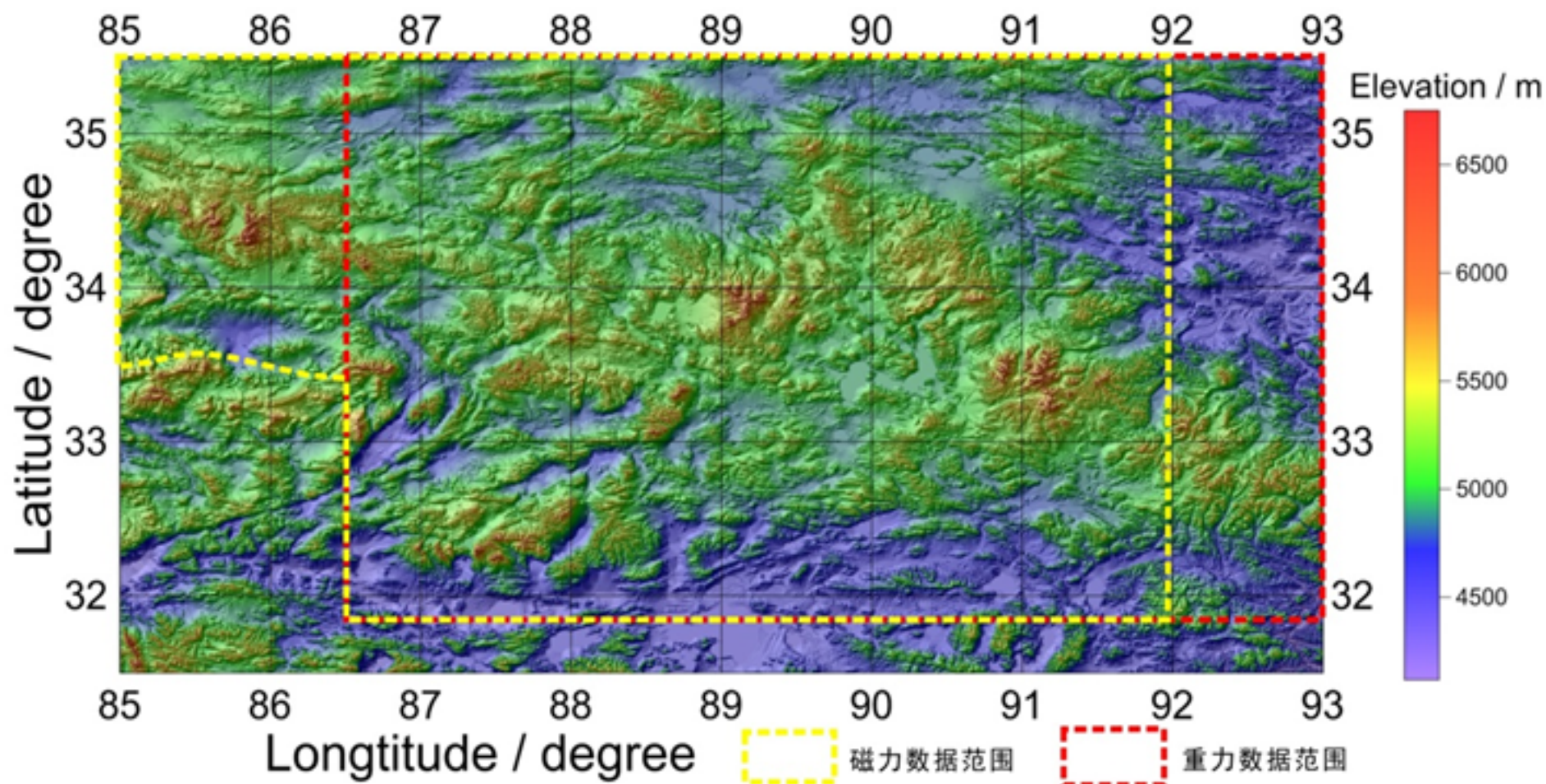


图 4-2 重力核函数 $g(z)$ 与函数 $w^2(z)$ 拟合示意图

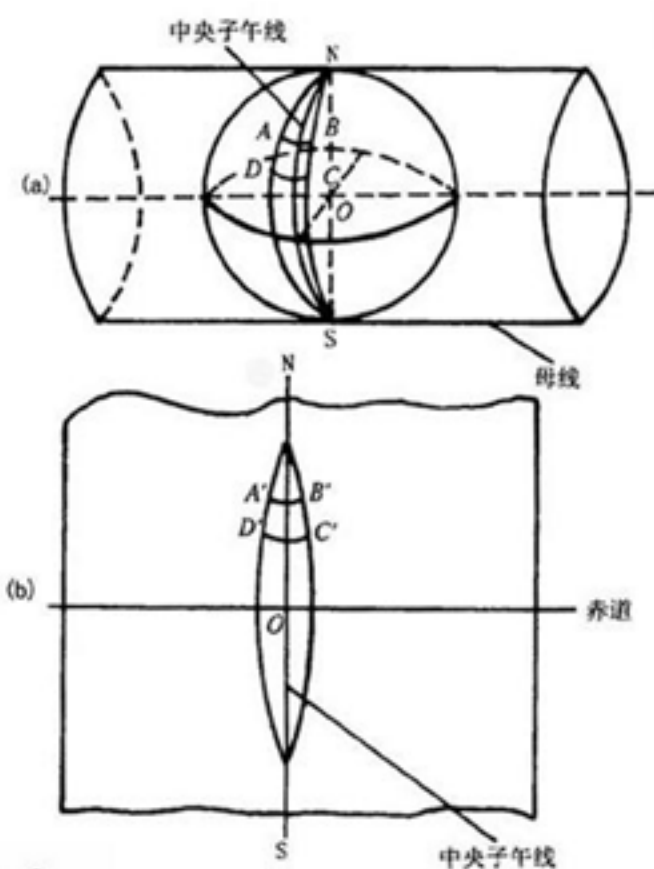
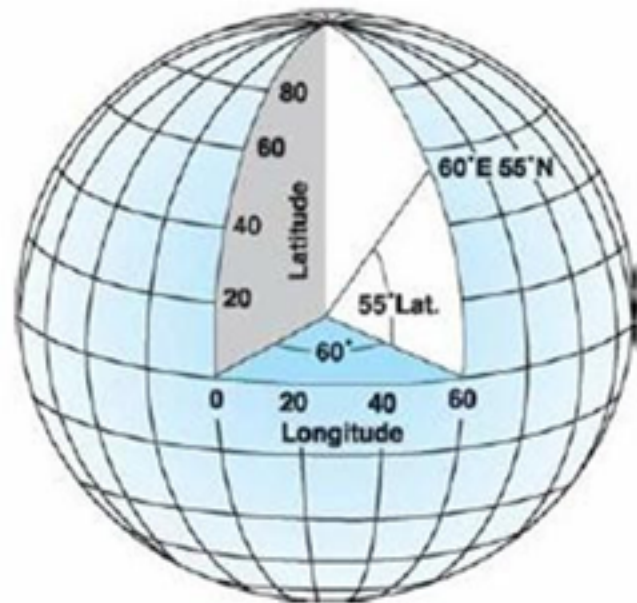
八、重磁三维反演数据处理流程



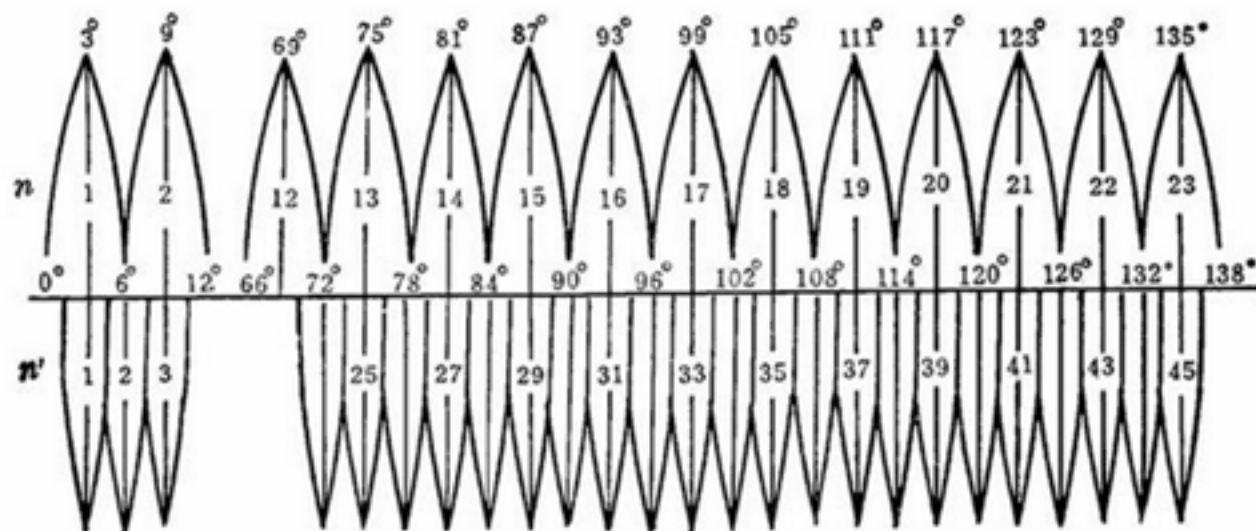
羌塘盆地重磁异常处理解释



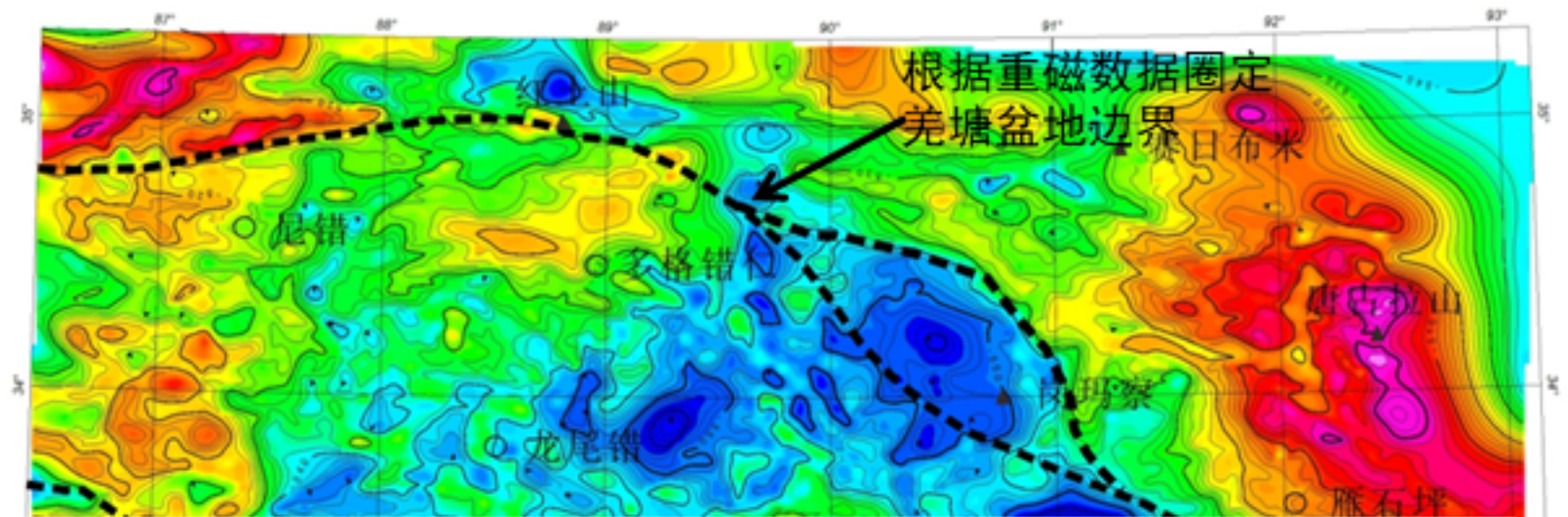
研究区高程及重磁数据范围示意图



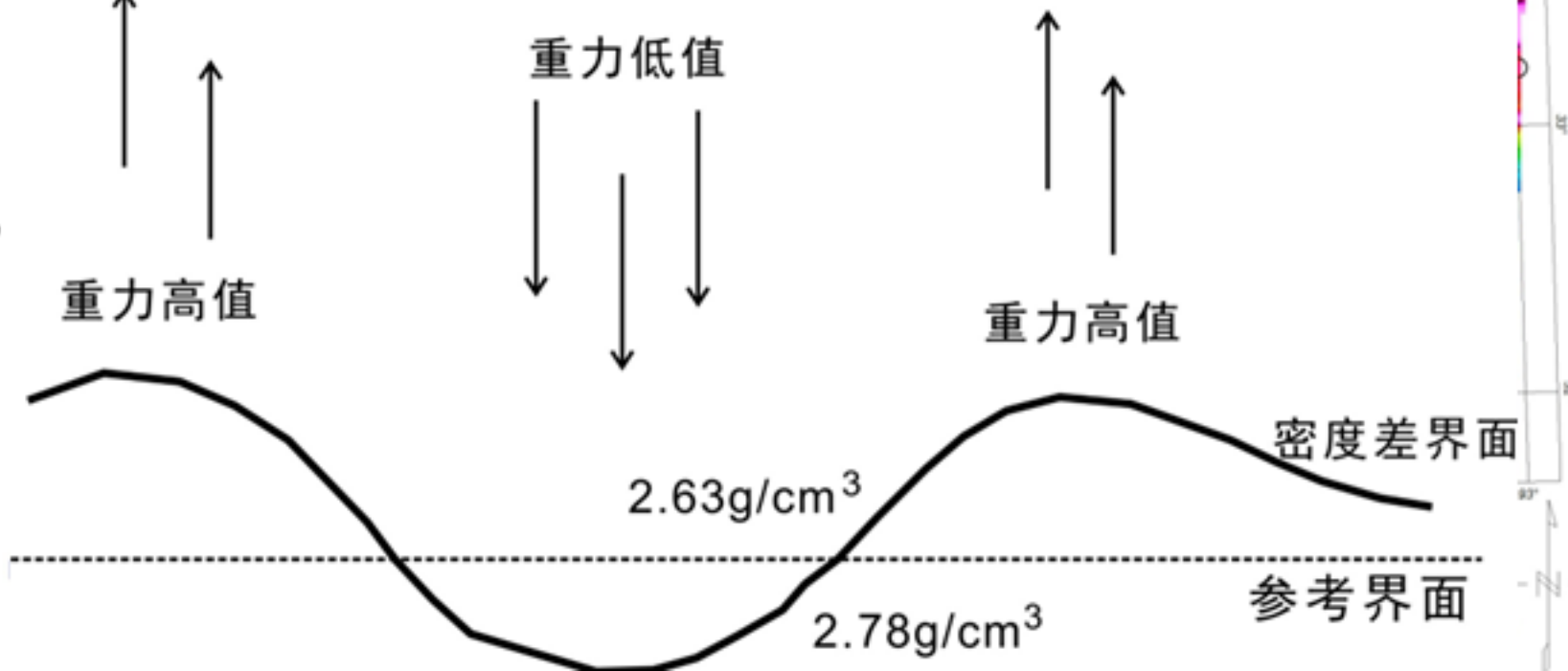
坐标转换：高斯——北京54



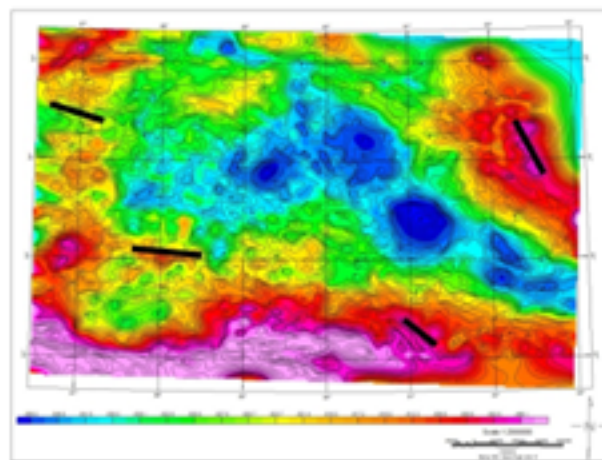
布格重力异常图



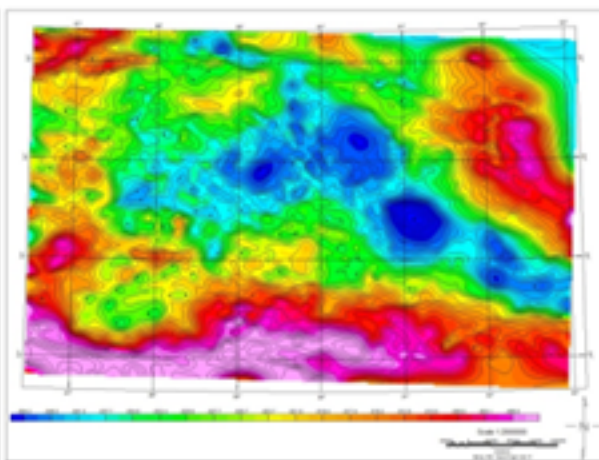
重力低异常
反映的中生
界沉积洼槽,
为有利含油
气区带。



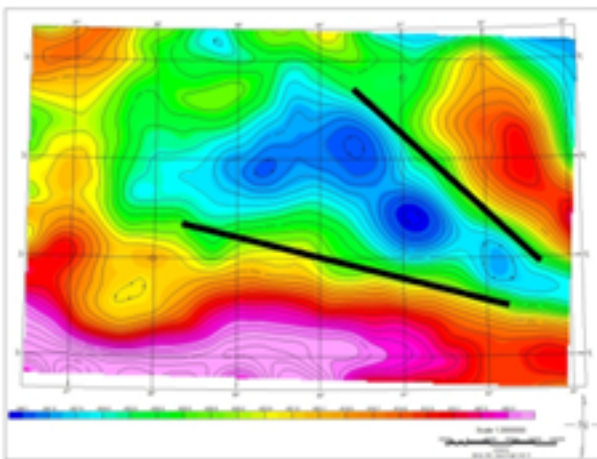
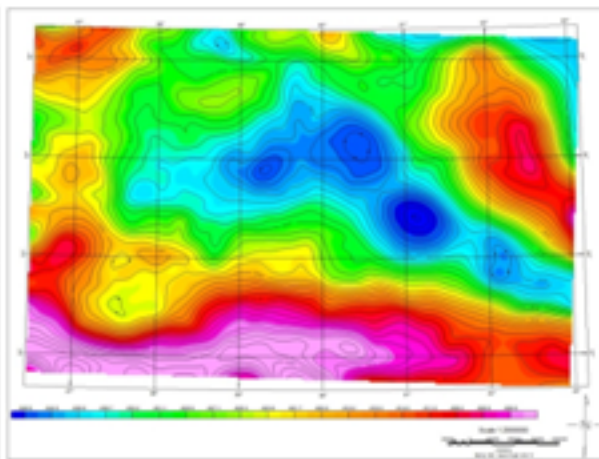
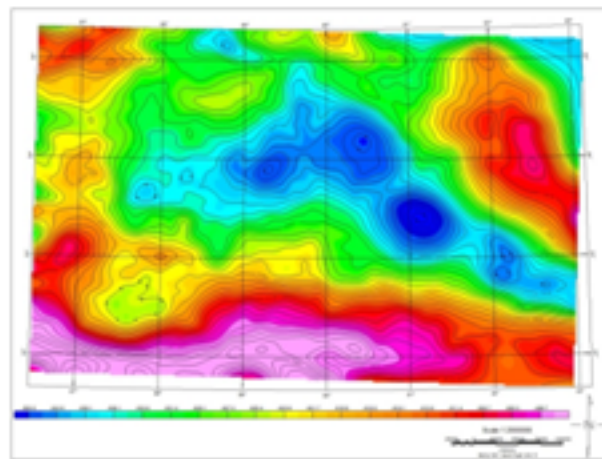
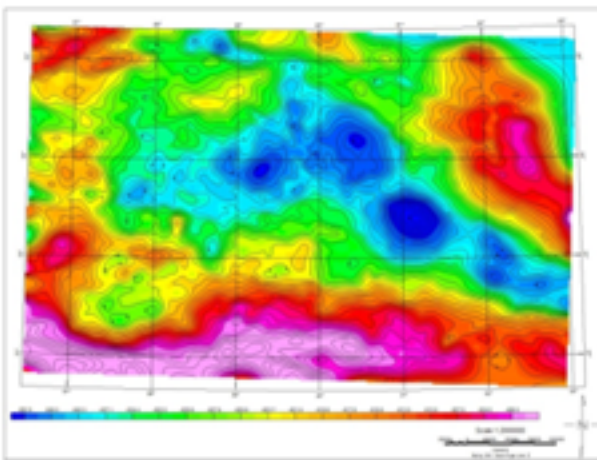
1 km



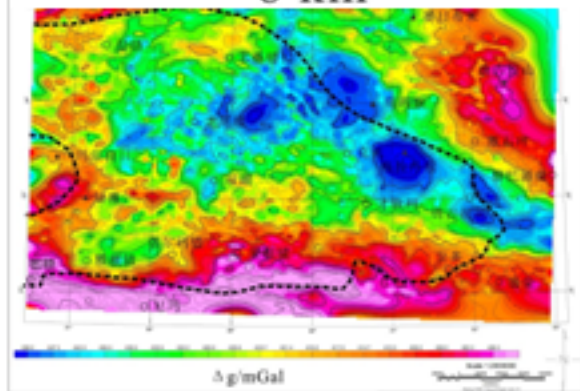
2 km



4 km



8 km

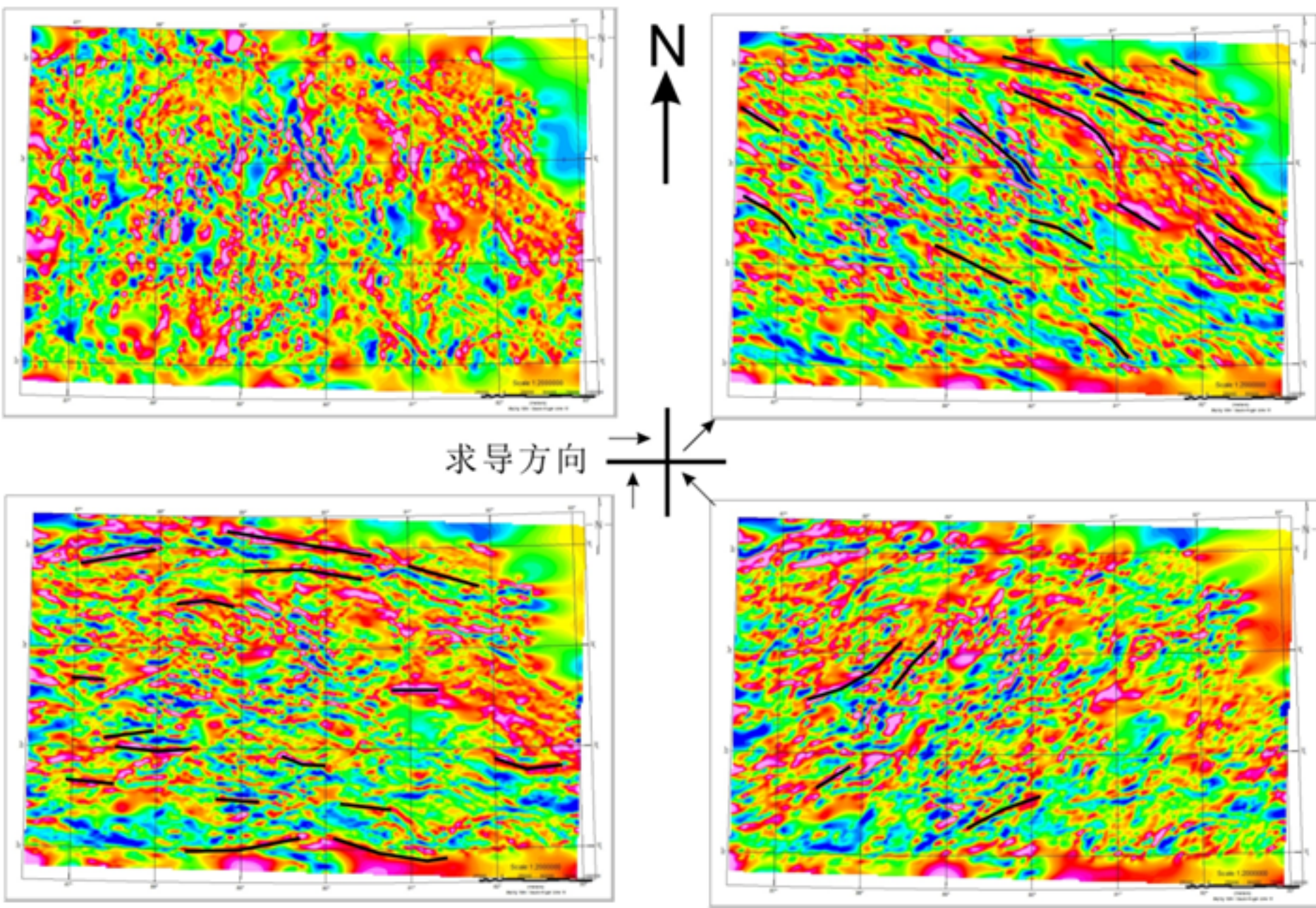


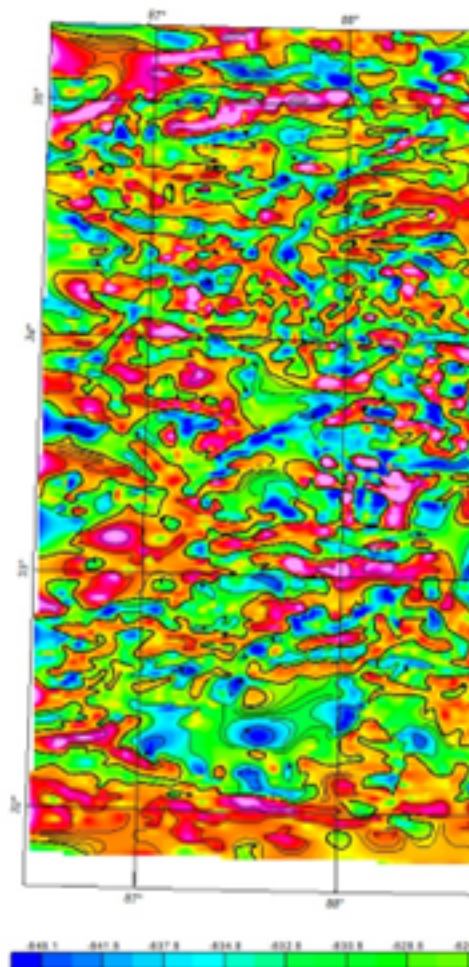
10 km

15 km

重力向上延拓

重力水平方向导数



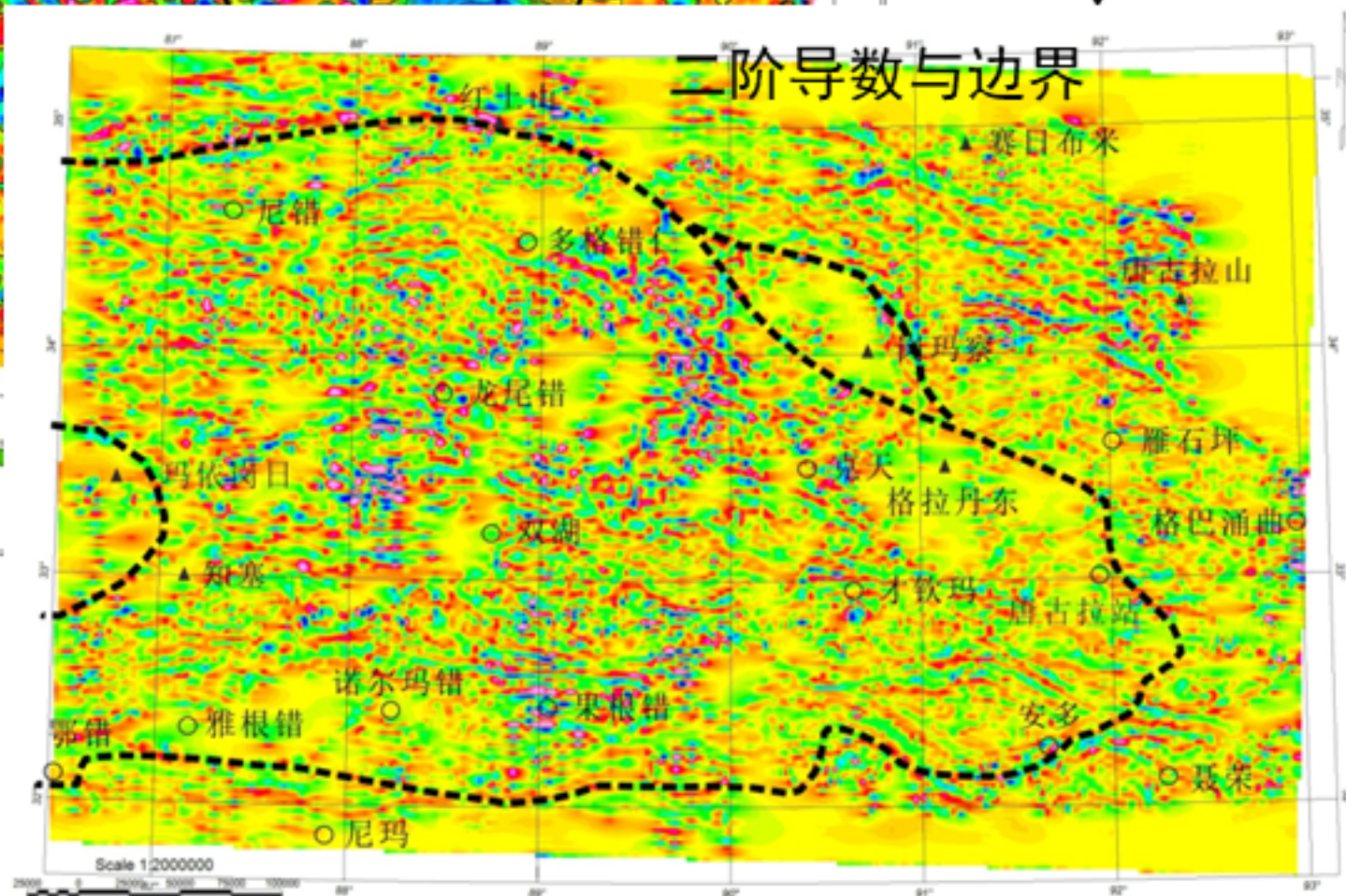


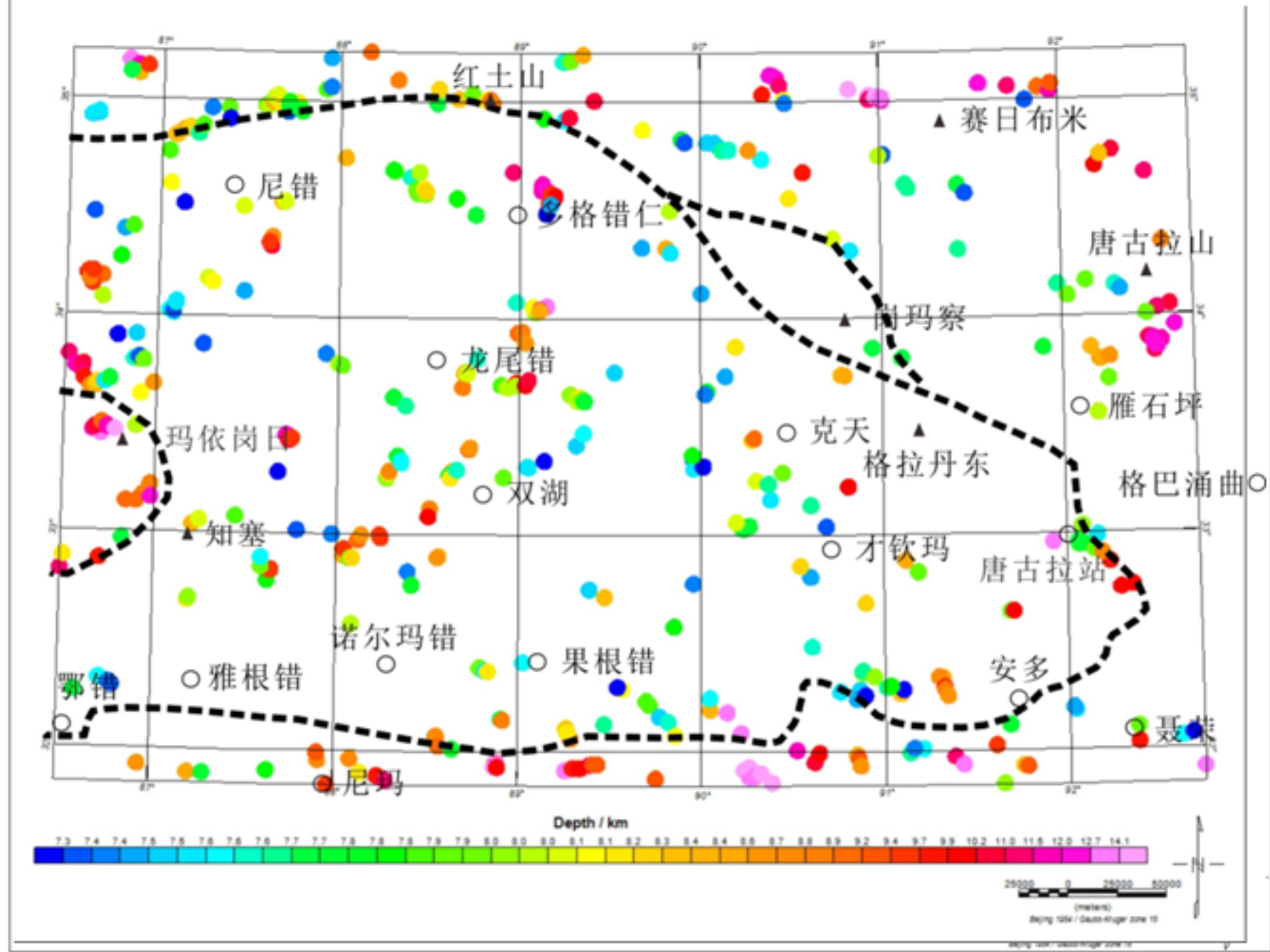
重力垂向一阶导数

(区分相邻异常体)

重力垂向二阶导数

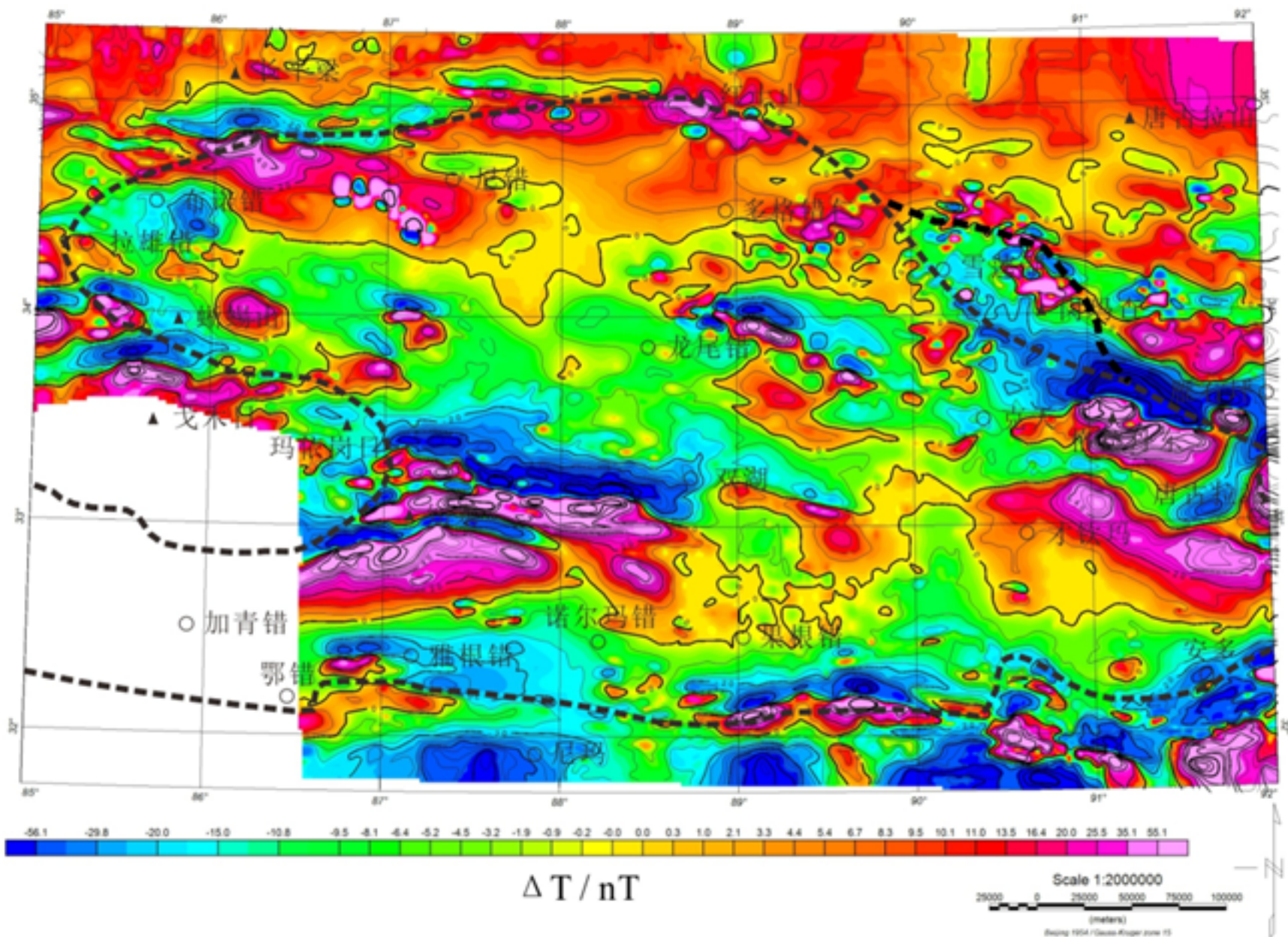
二阶导数与边界



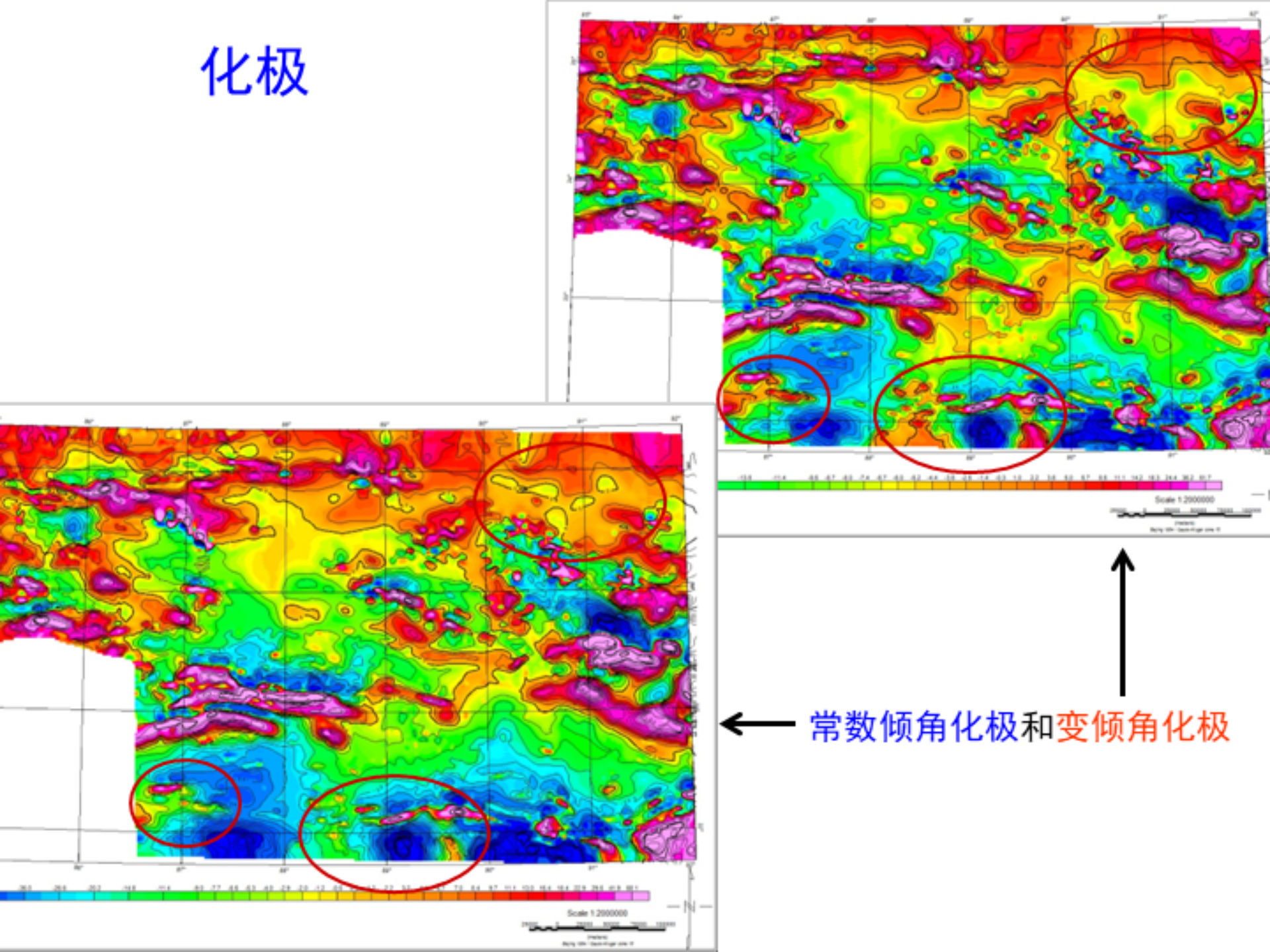


密度源位置和深度

磁原始异常图

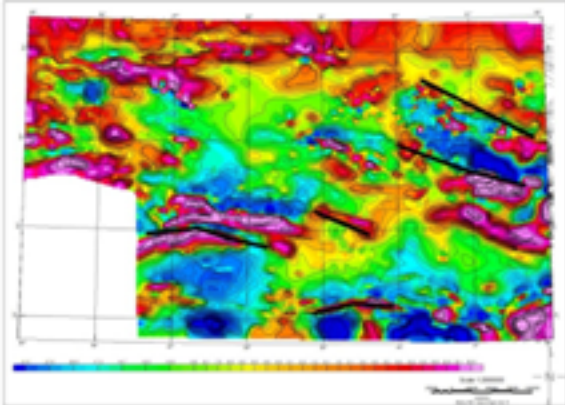


化极

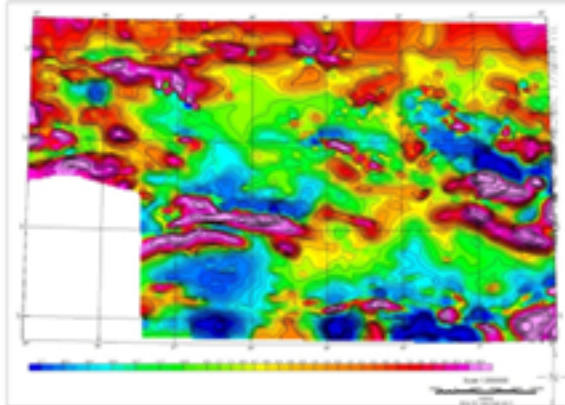


← 常数倾角化极和变倾角化极

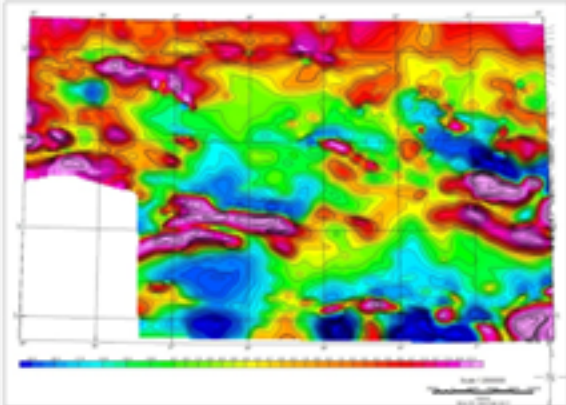
向上延拓



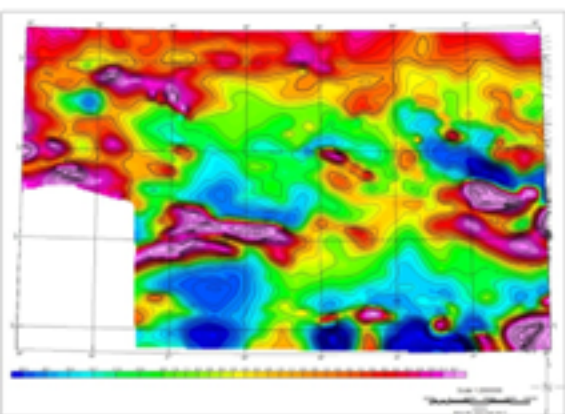
1 km



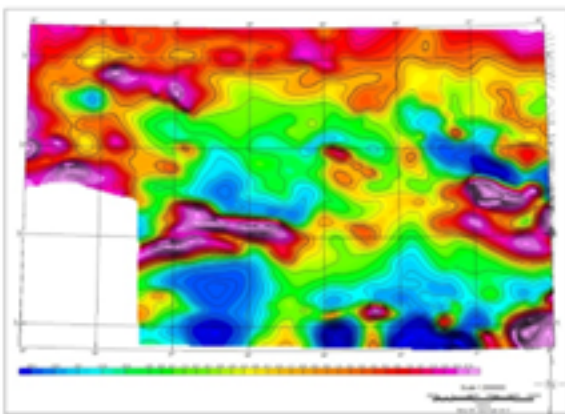
2 km



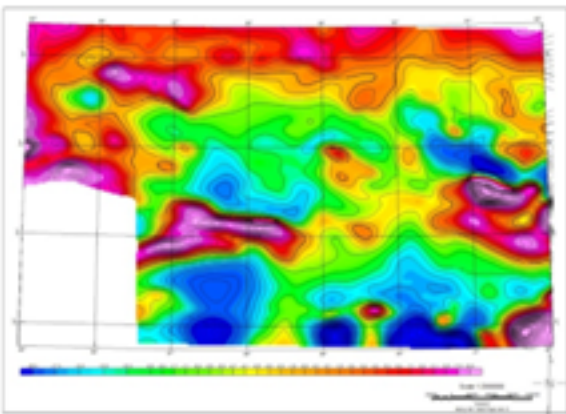
4 km



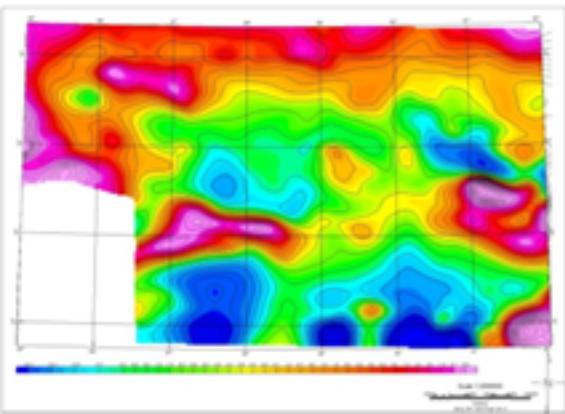
6 km



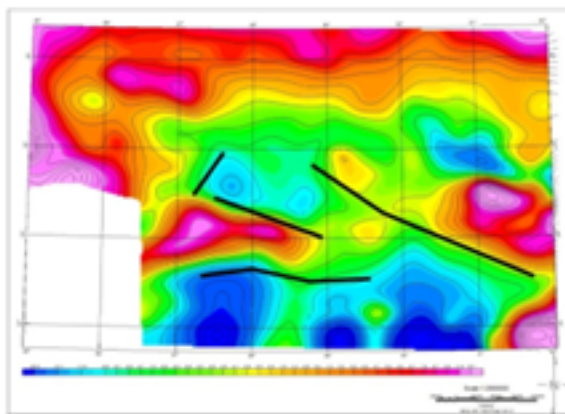
8 km



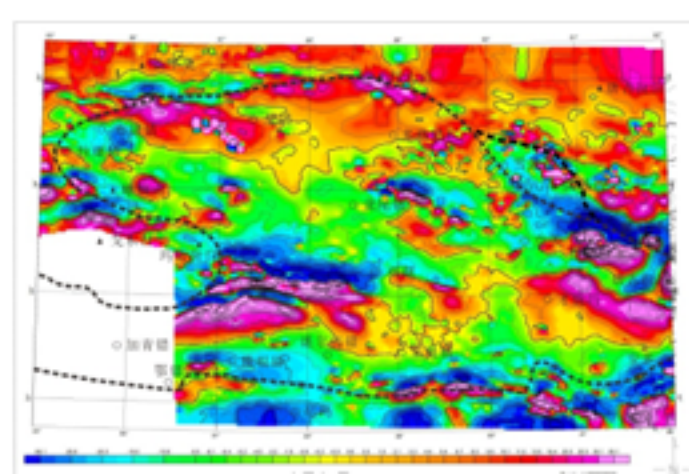
10 km



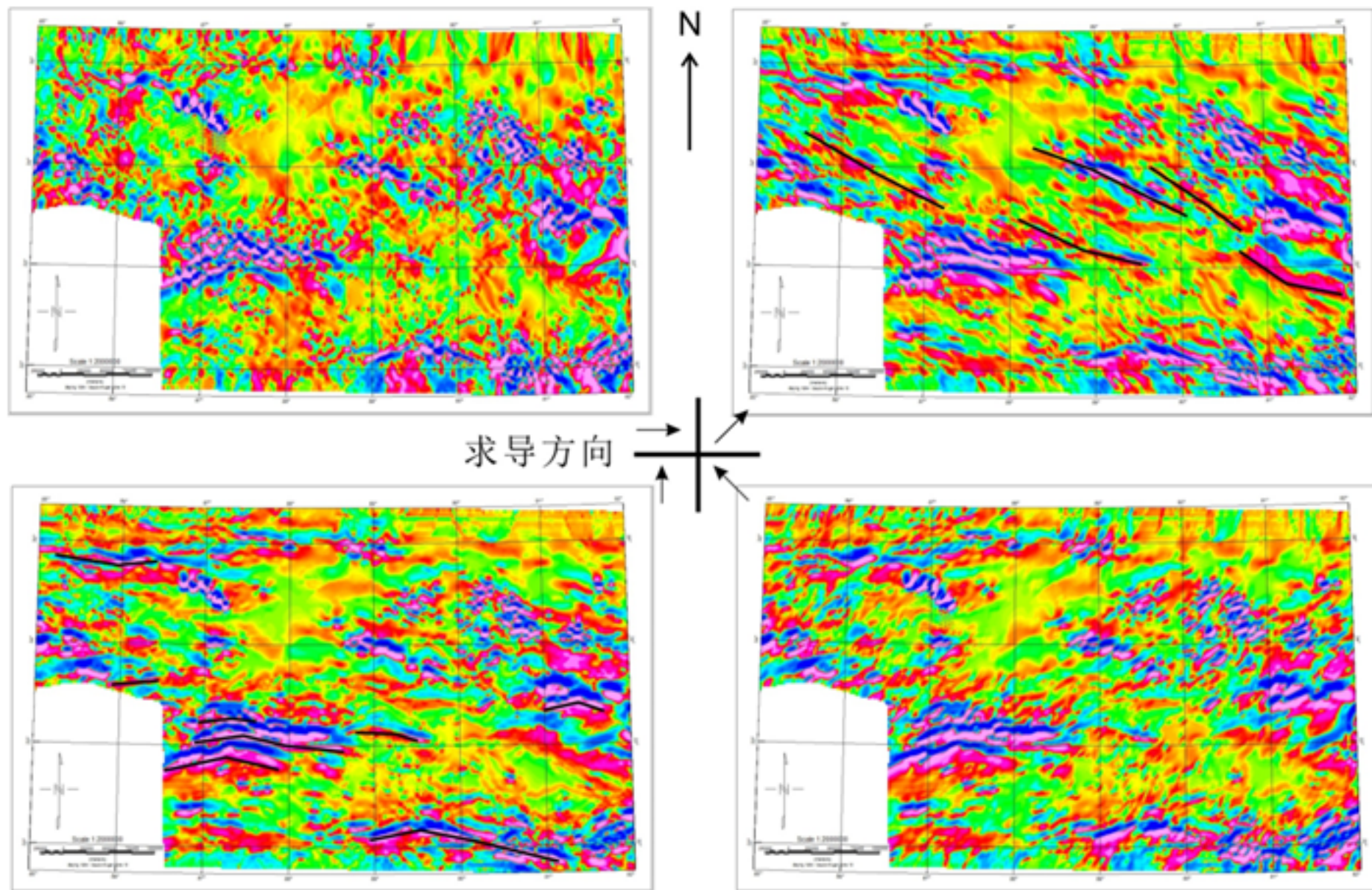
15 km

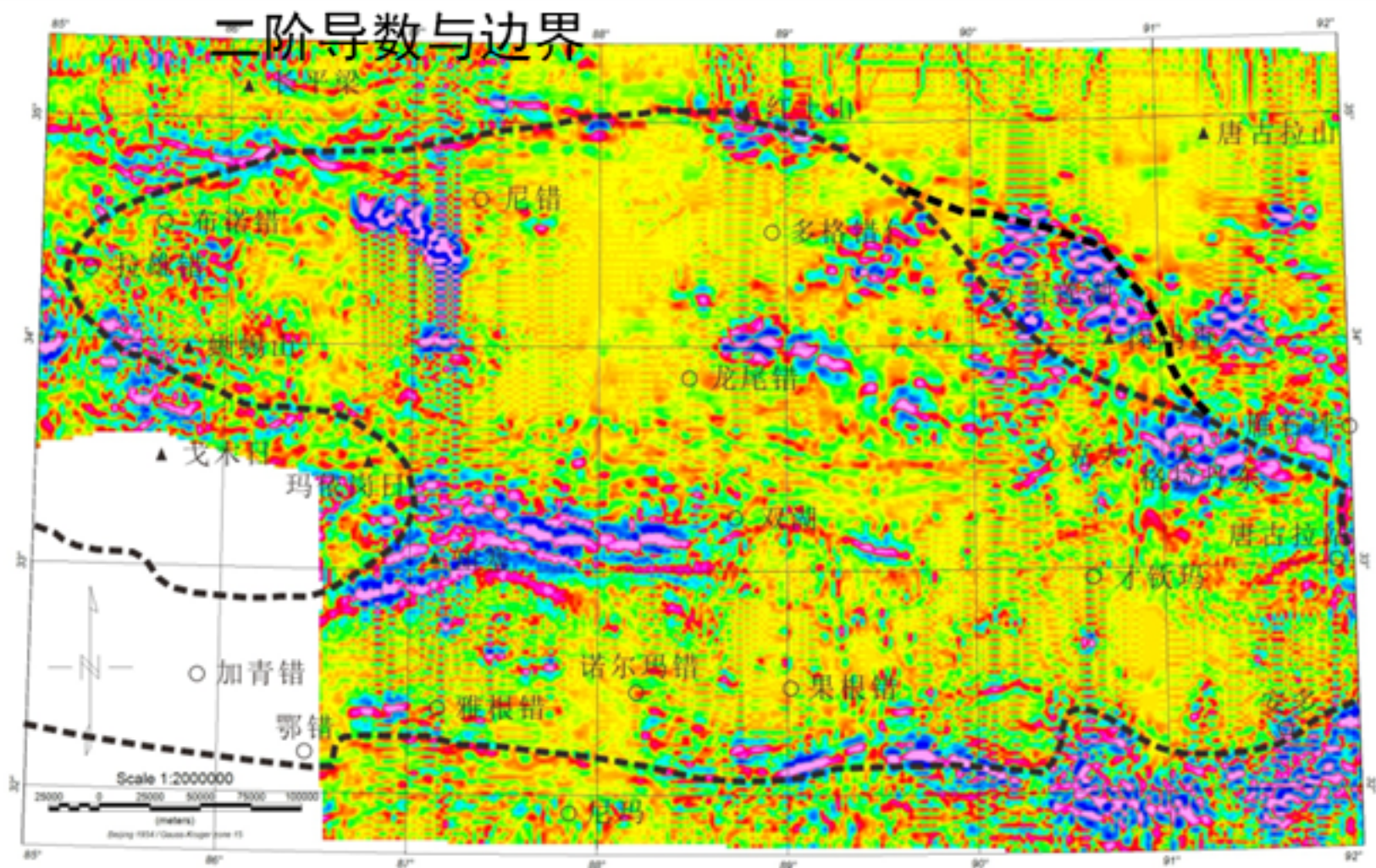


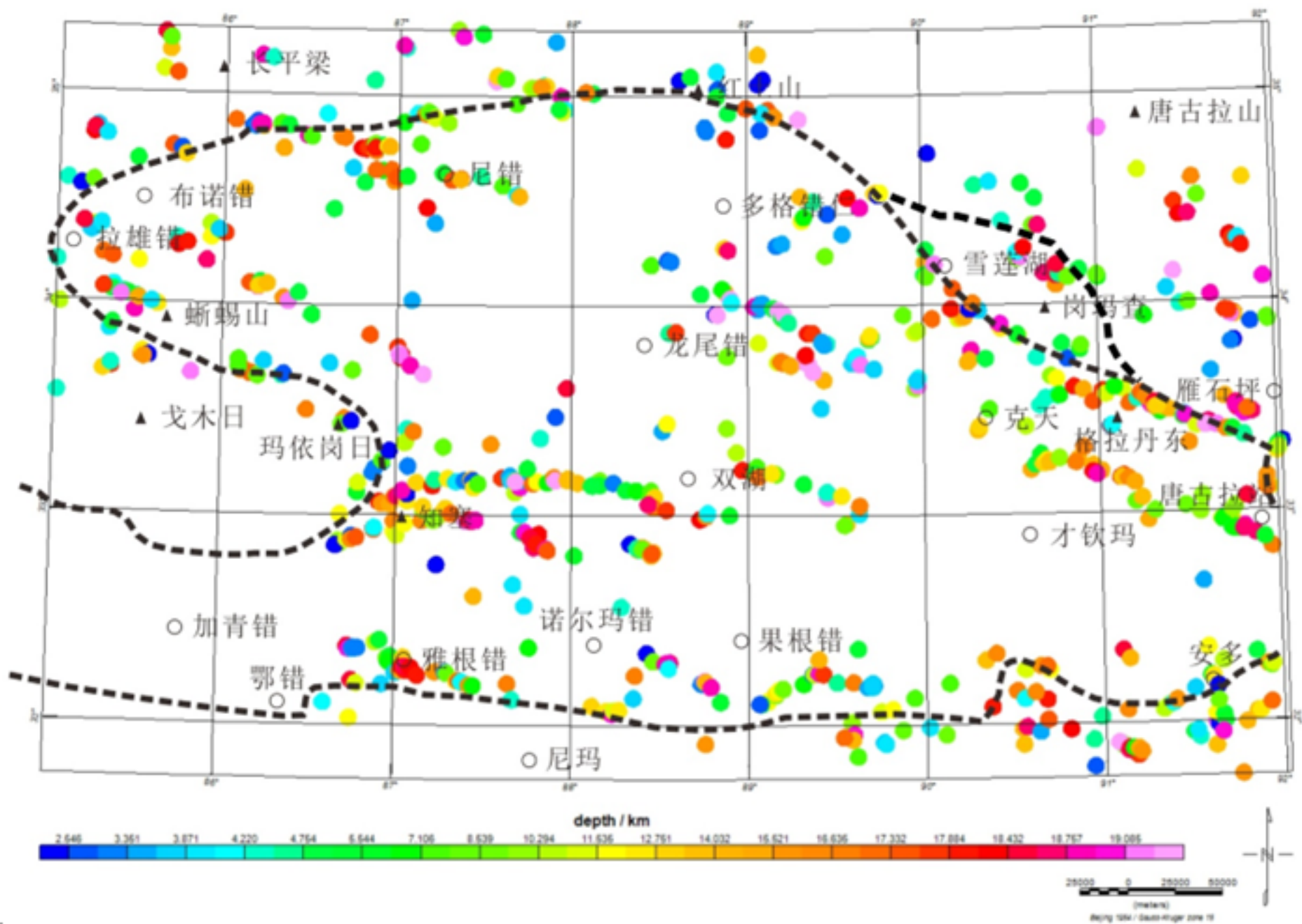
20 km



磁水平方向导数

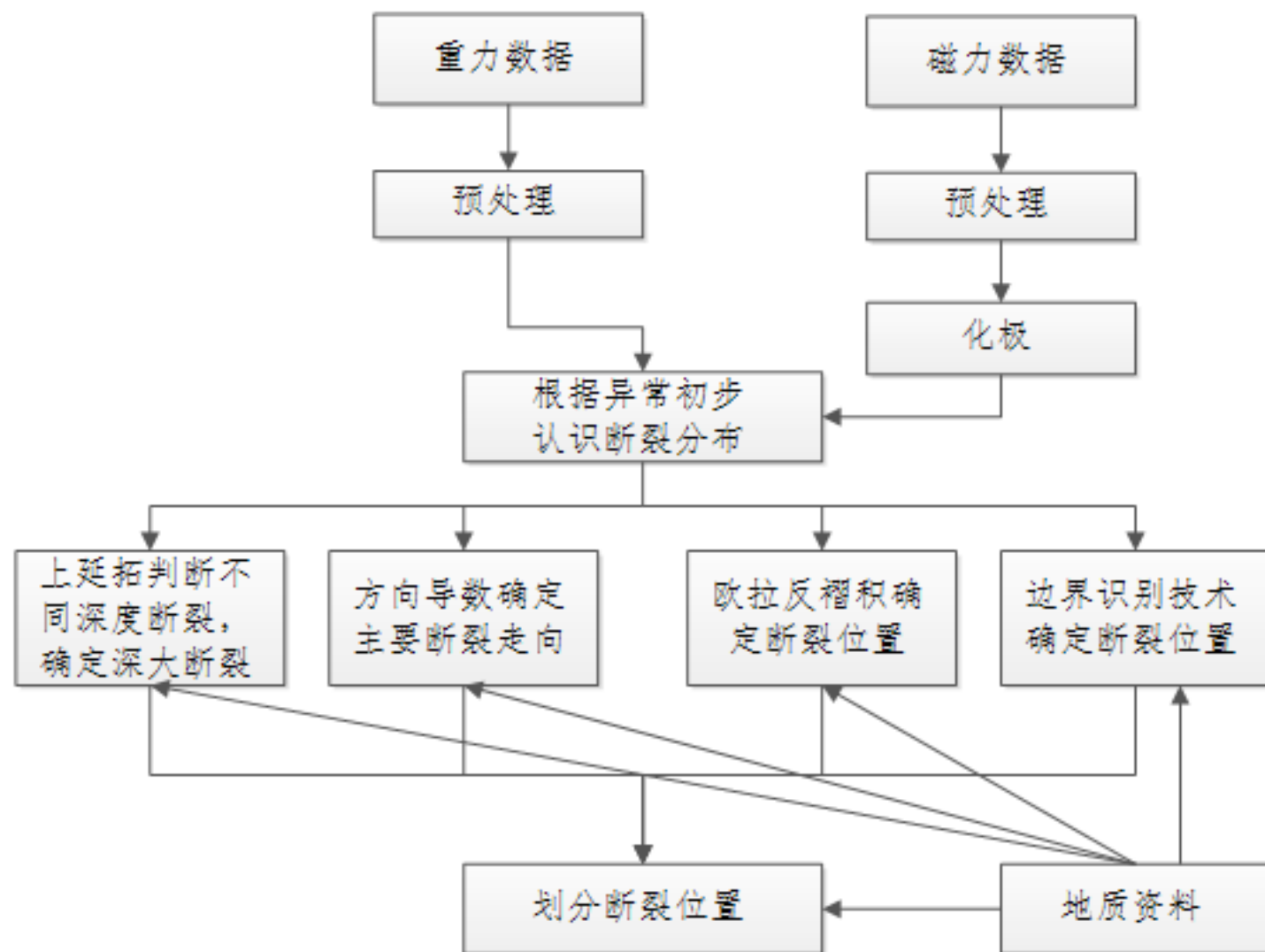






磁源位置和深度

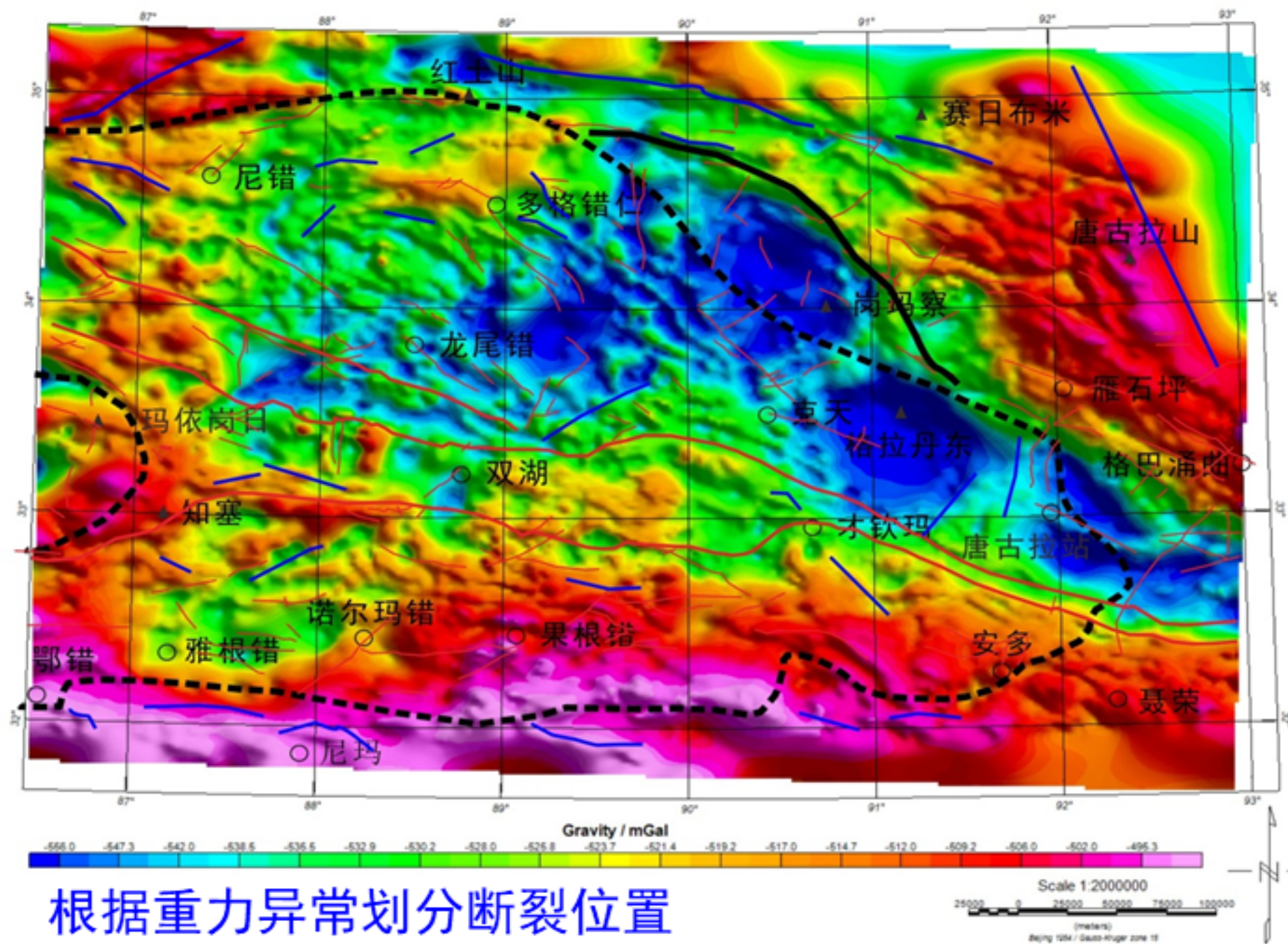
断裂带划分方法

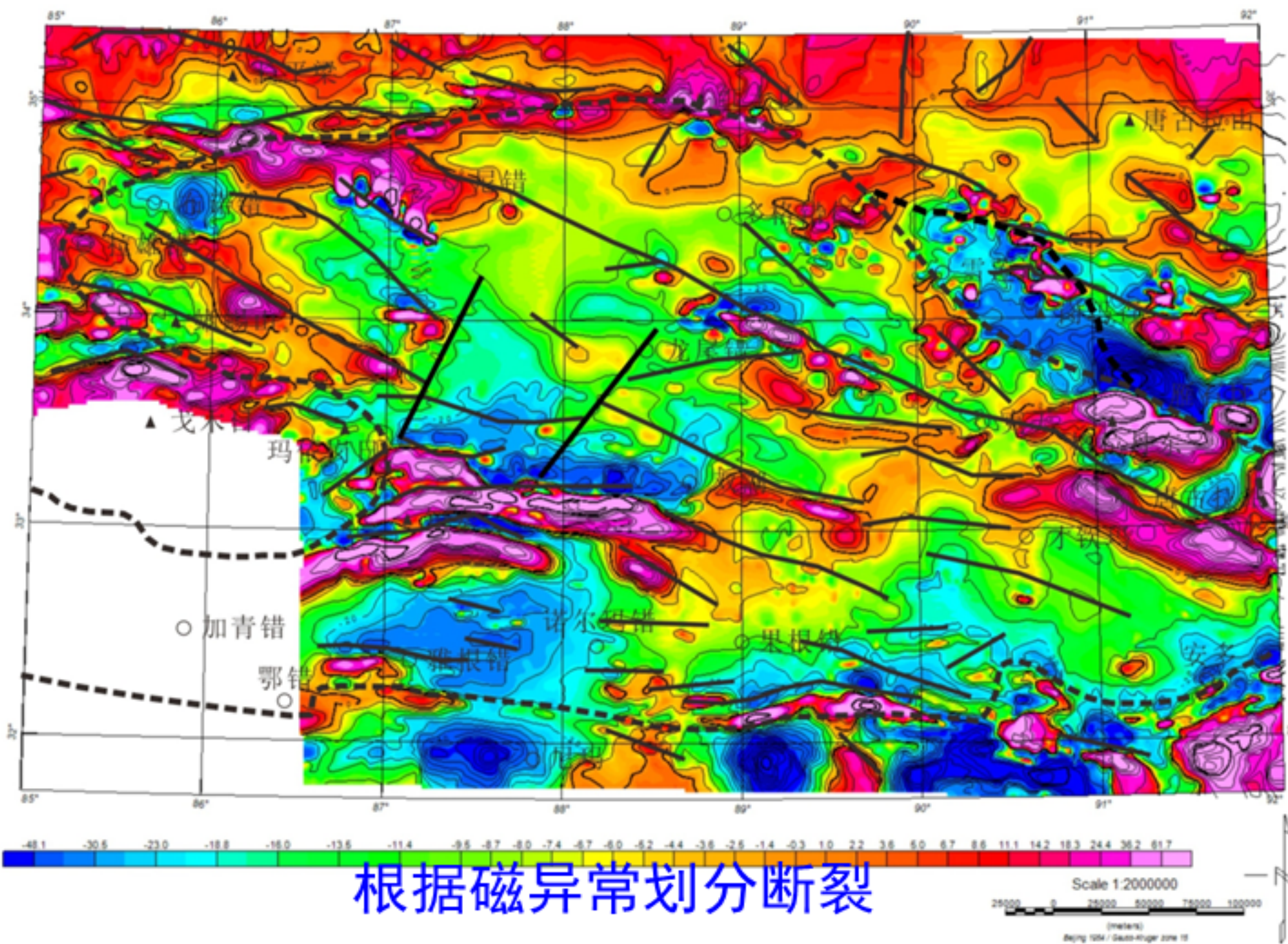


1 km

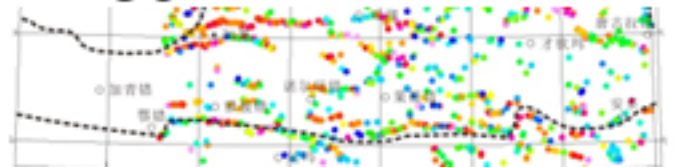
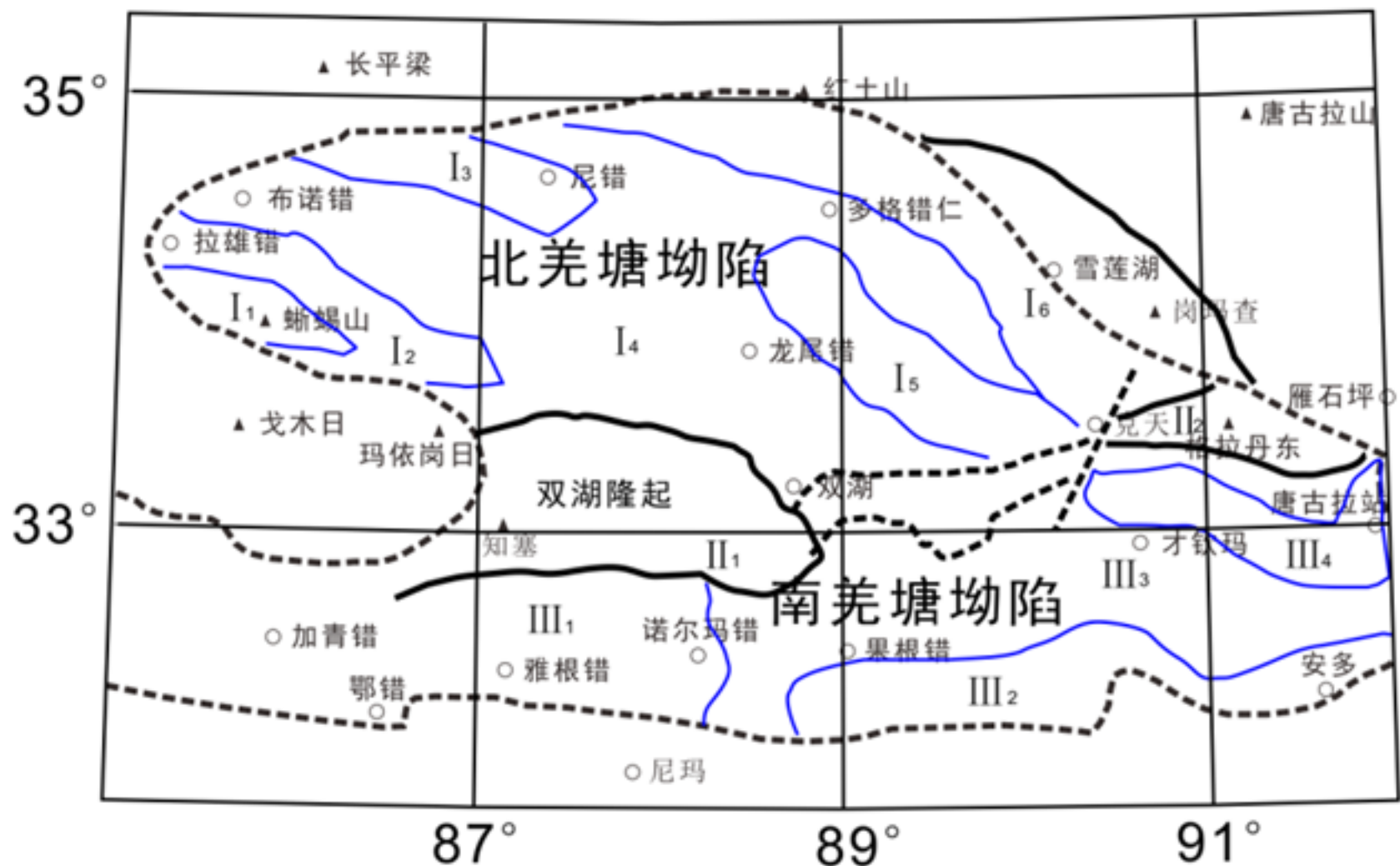
2 km

4 km

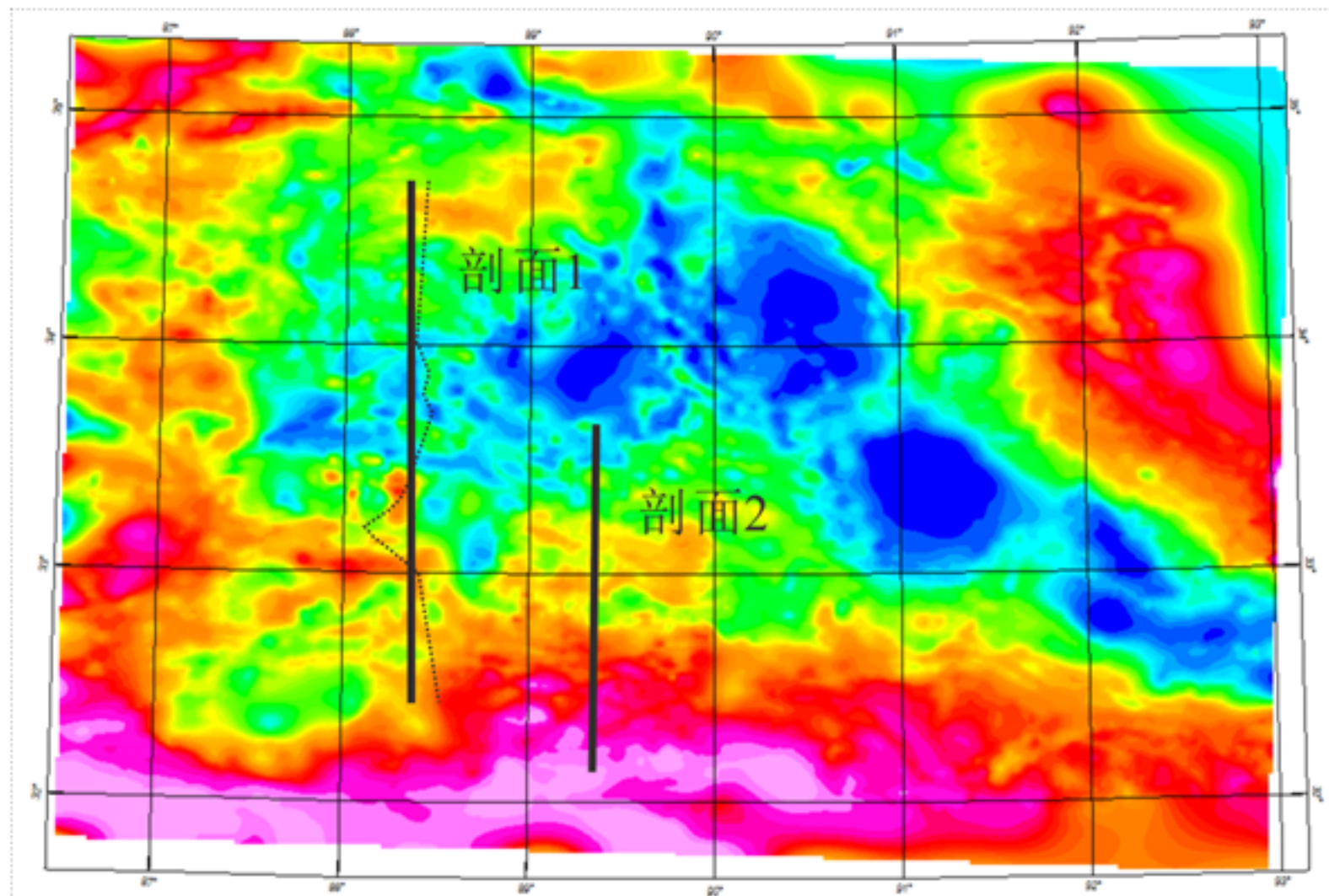




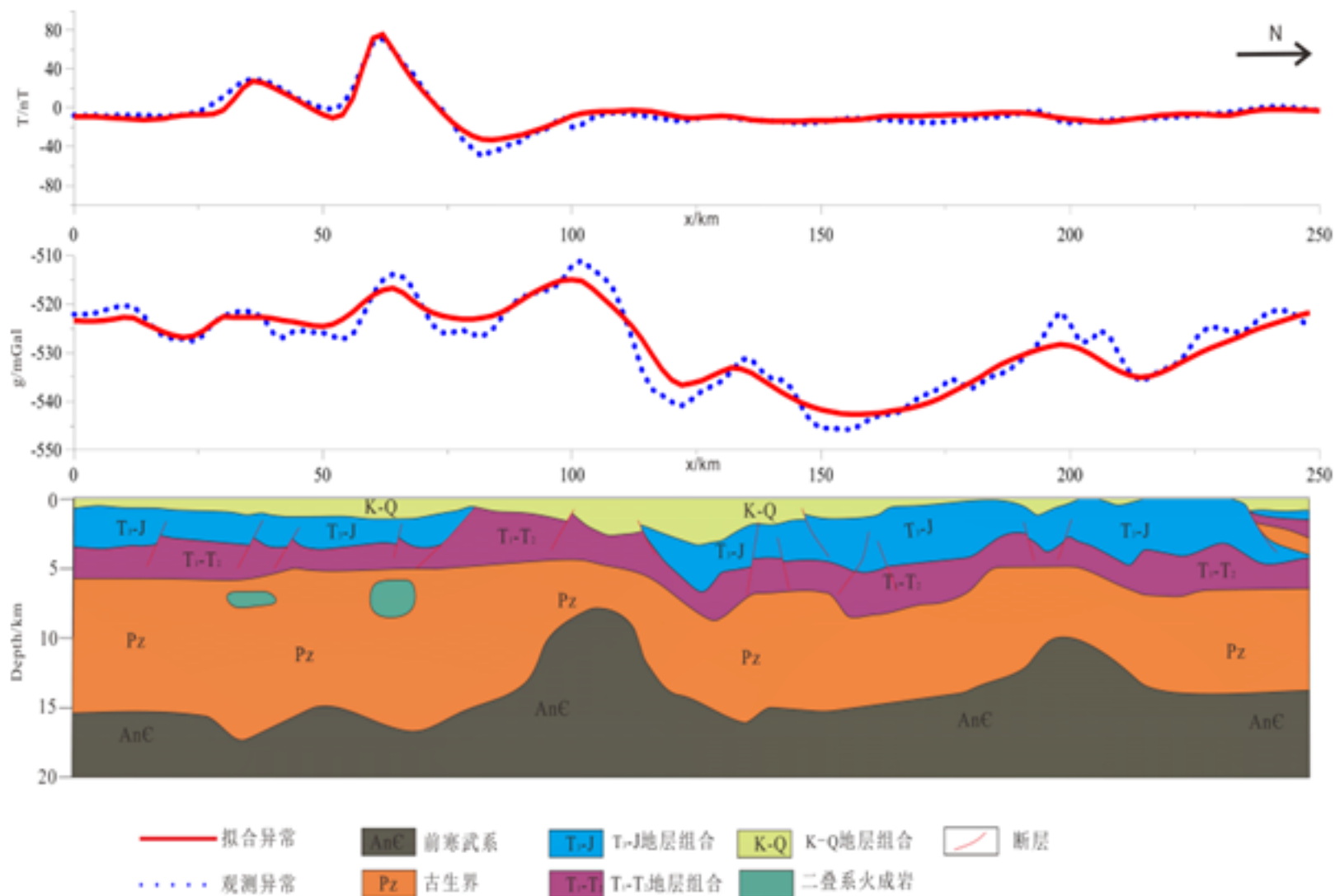
盆地边界和构造分区



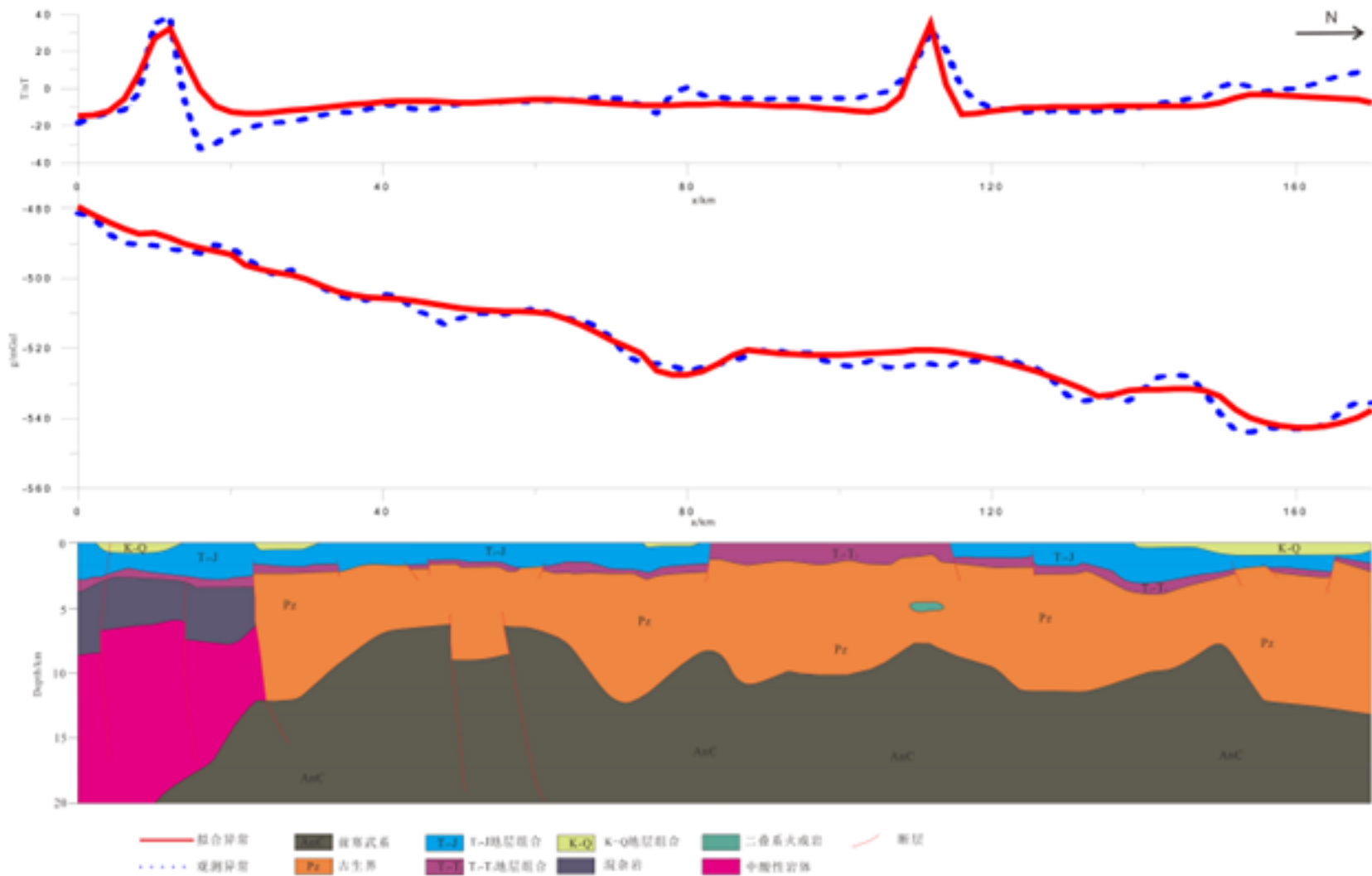
剖面重磁震综合解释



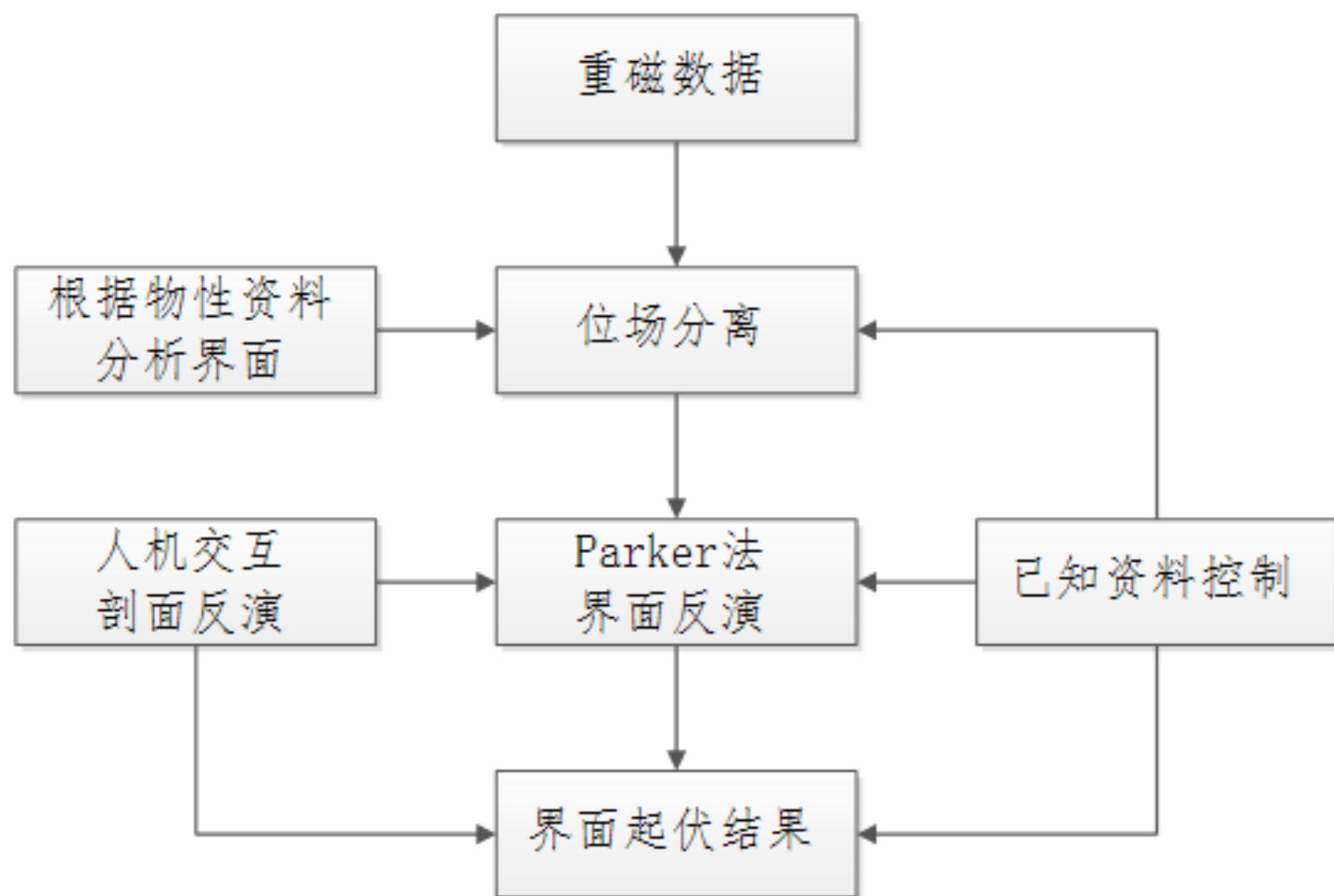
剖面1



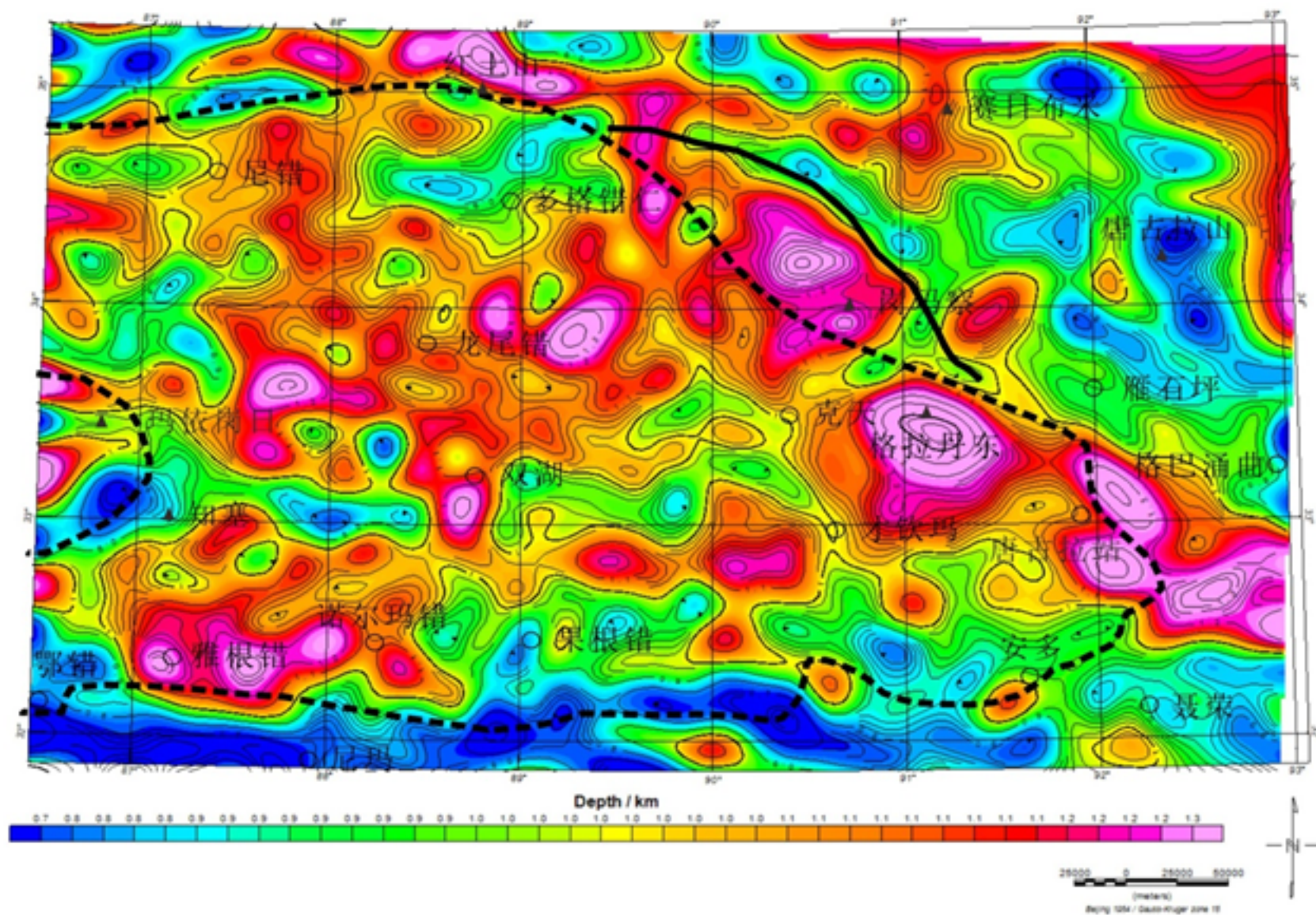
剖面2



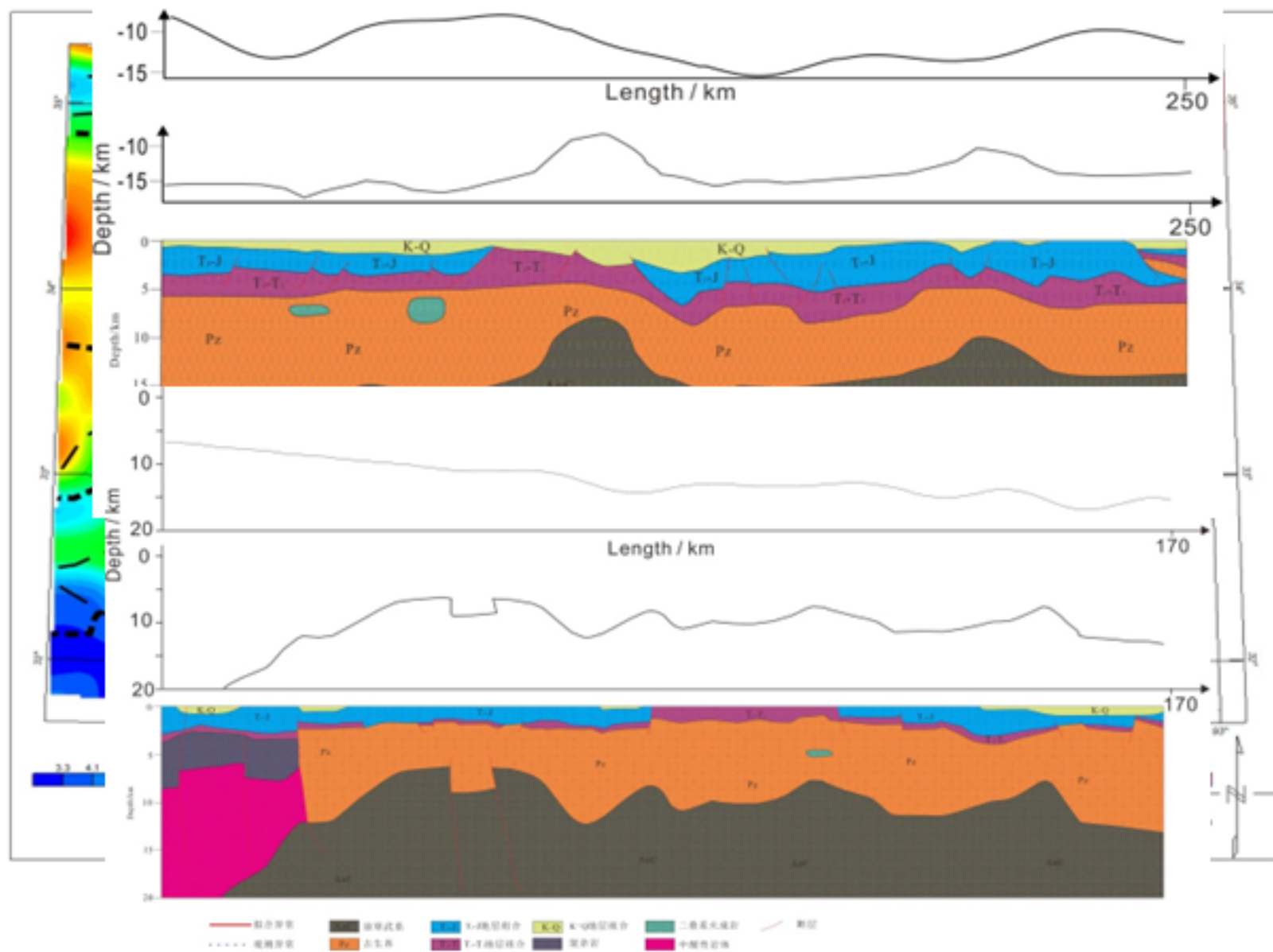
计算界面埋深方法



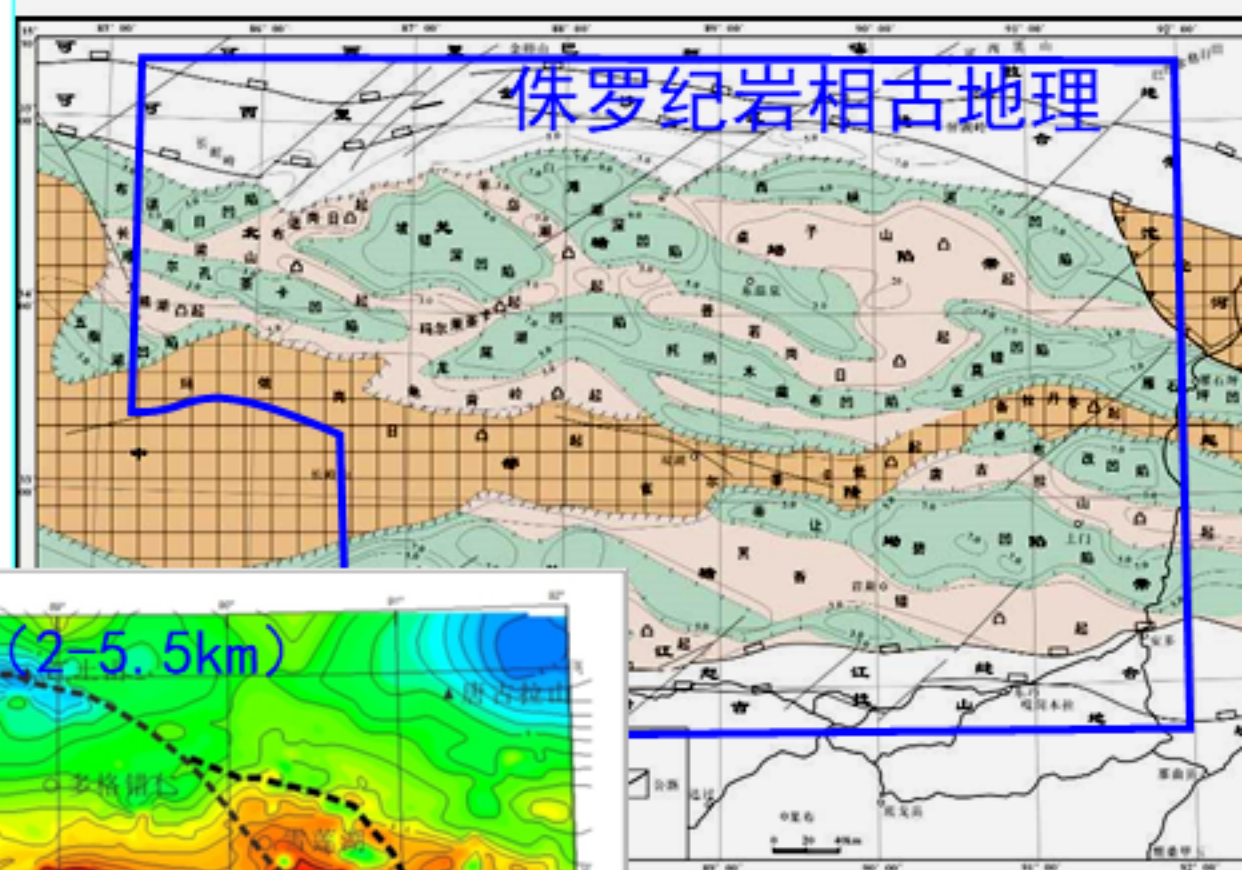
羌塘盆地新生代底界埋深



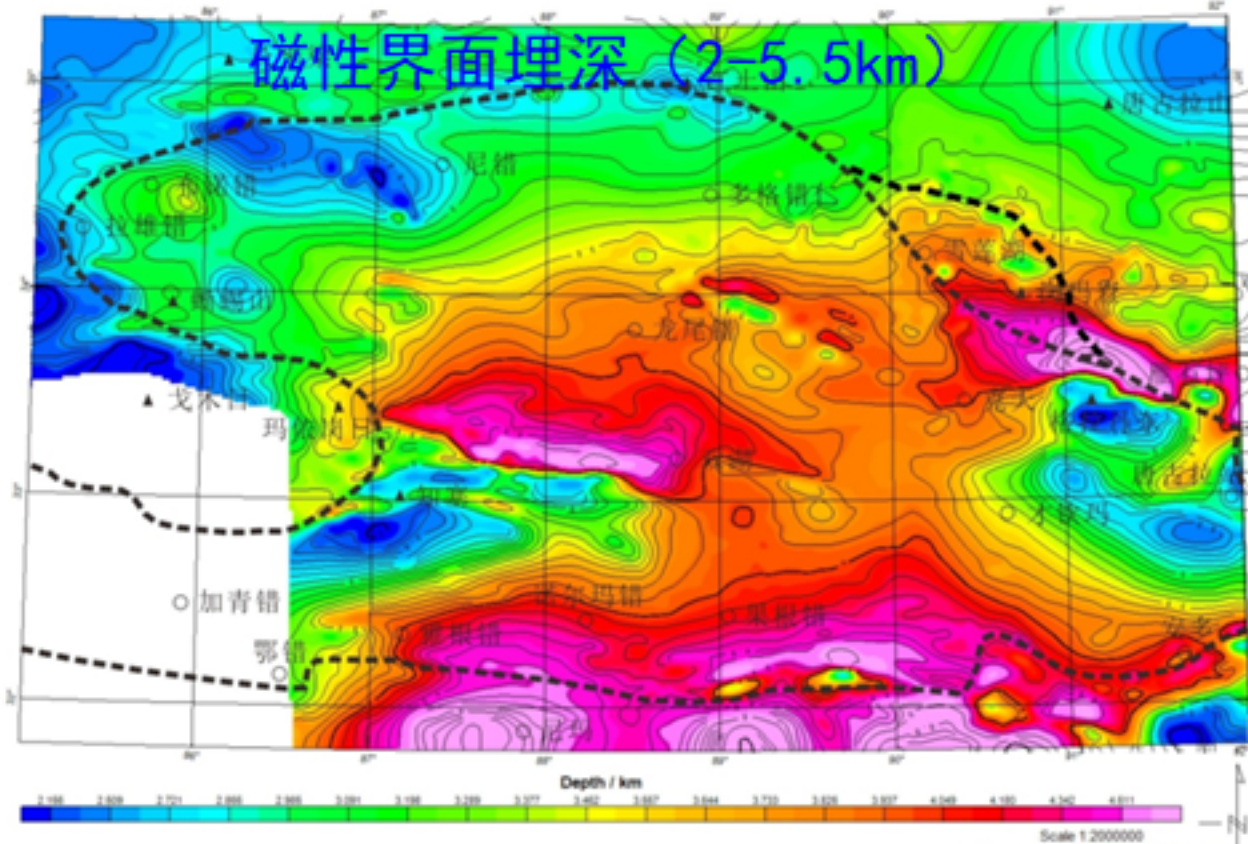
羌塘盆地基底埋深

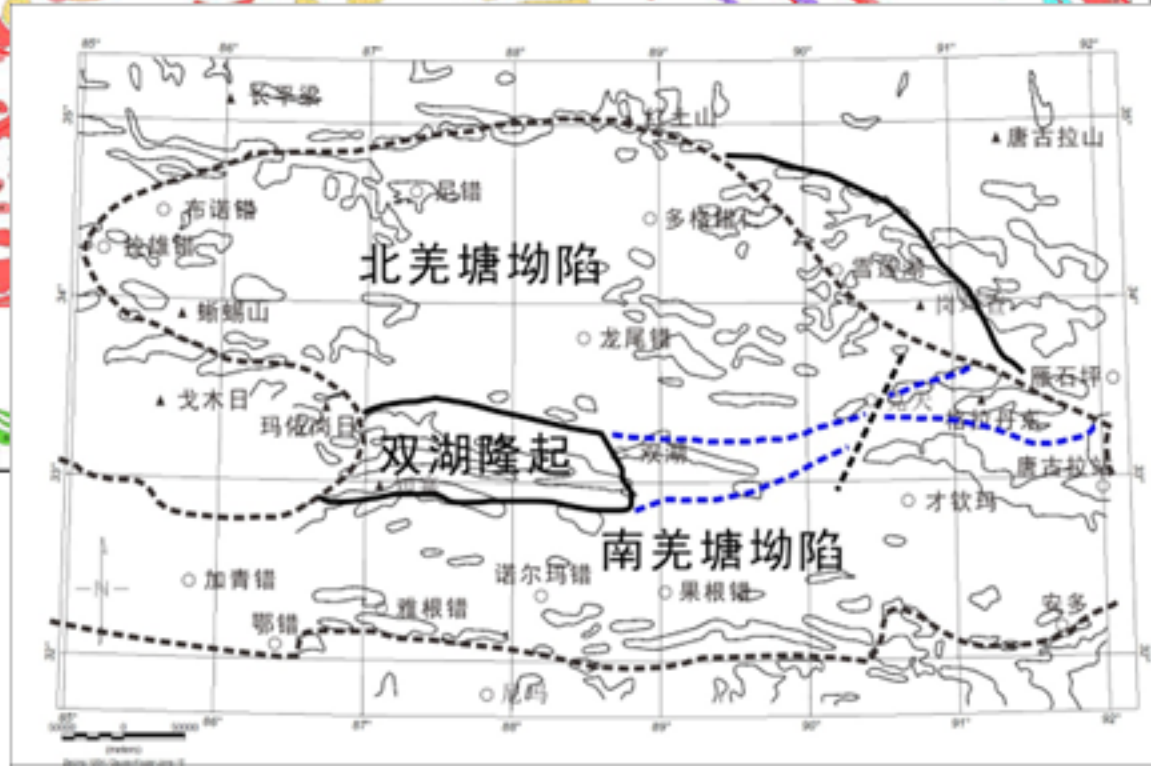
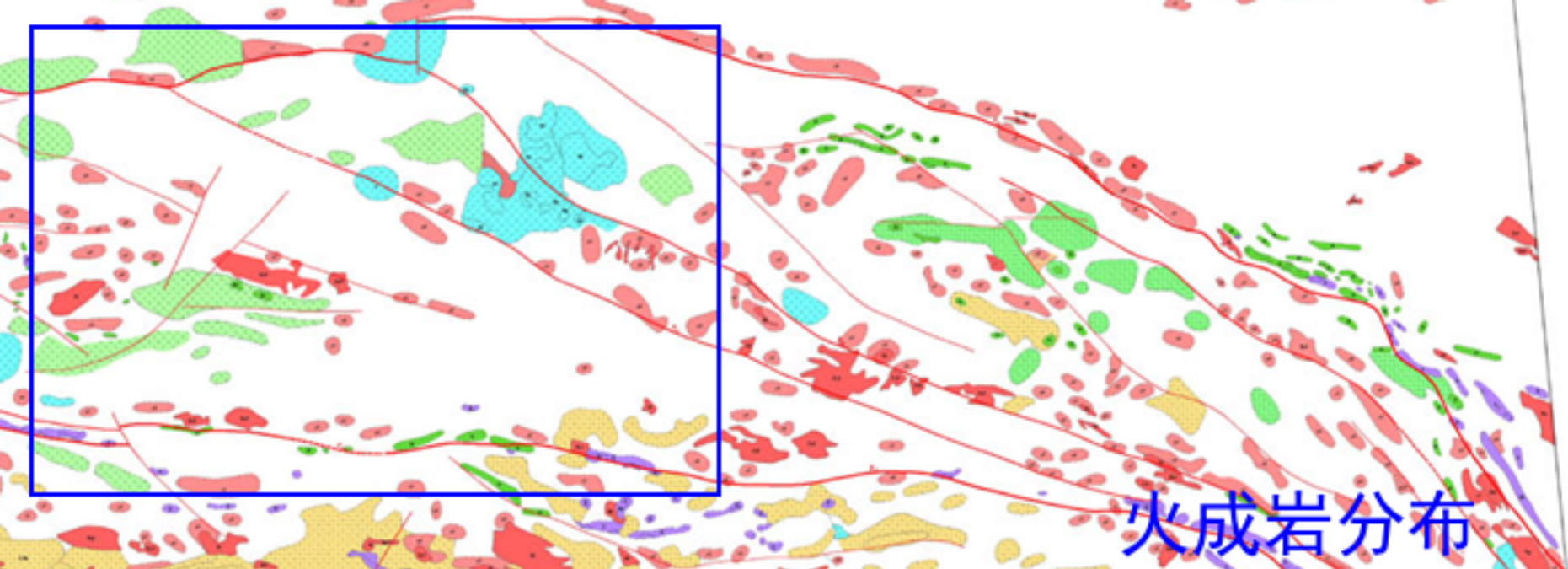


侏罗纪岩相古地理

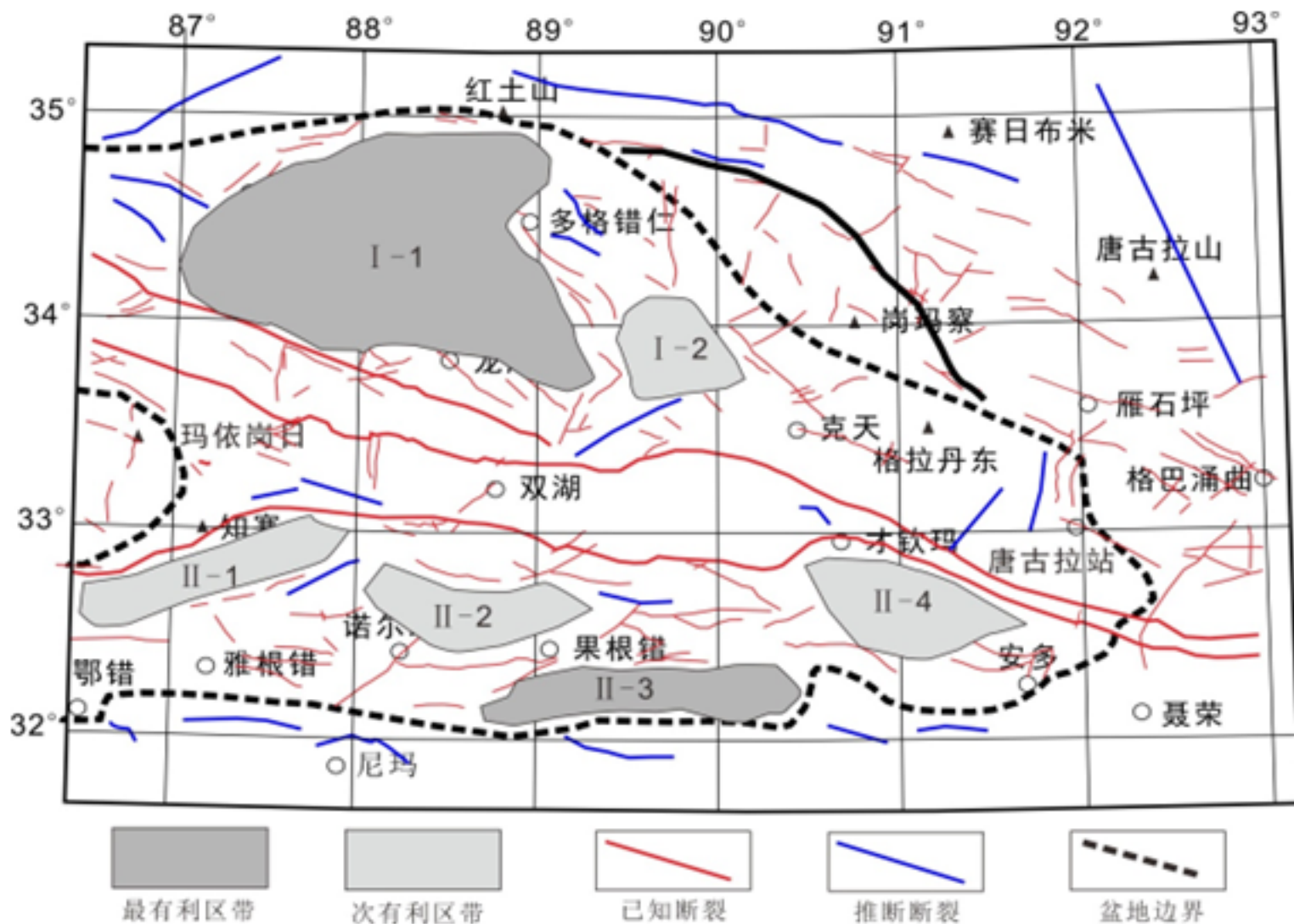


磁性界面埋深 (2-5.5km)

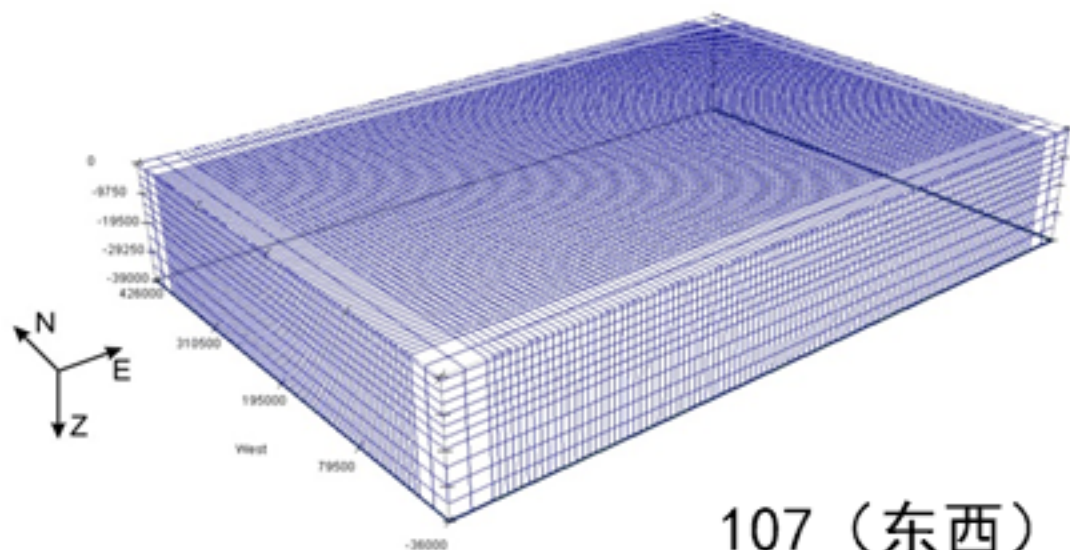




有利区带推断



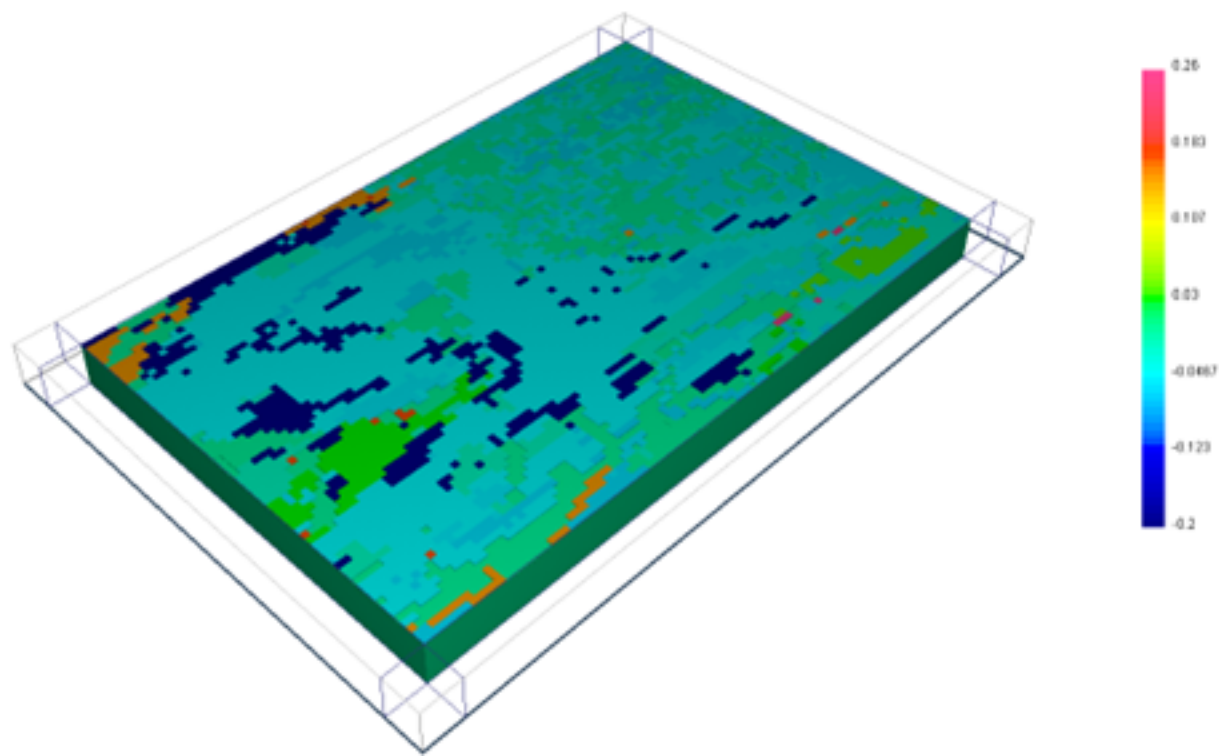
I-1和II-3为最有利区带，I-2、II-1、II-2和II-4为次有利区带



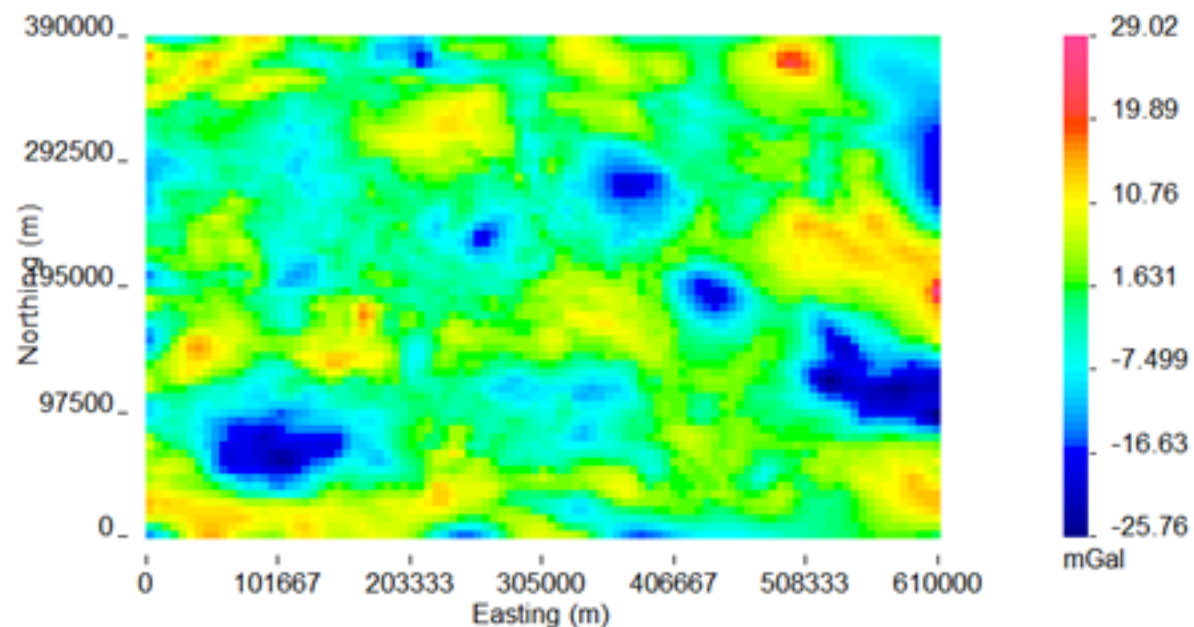
107（东西）×71（南北）×11（垂向）

网格剖分（上）

参考模型（下）



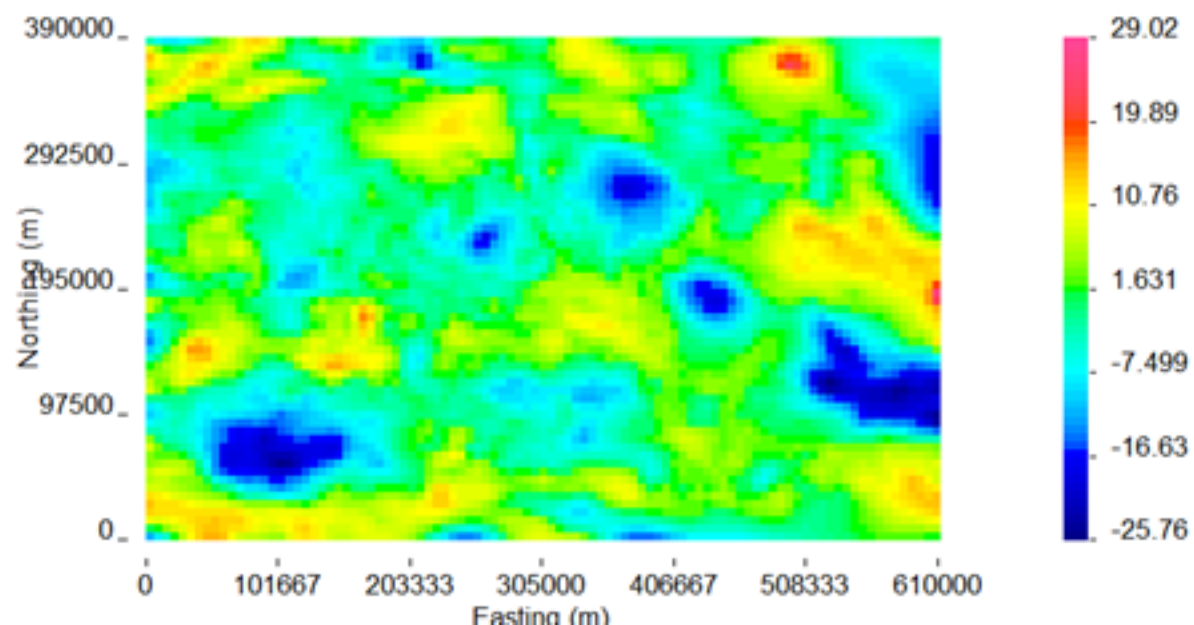
Observed Gravity Data
59976 data

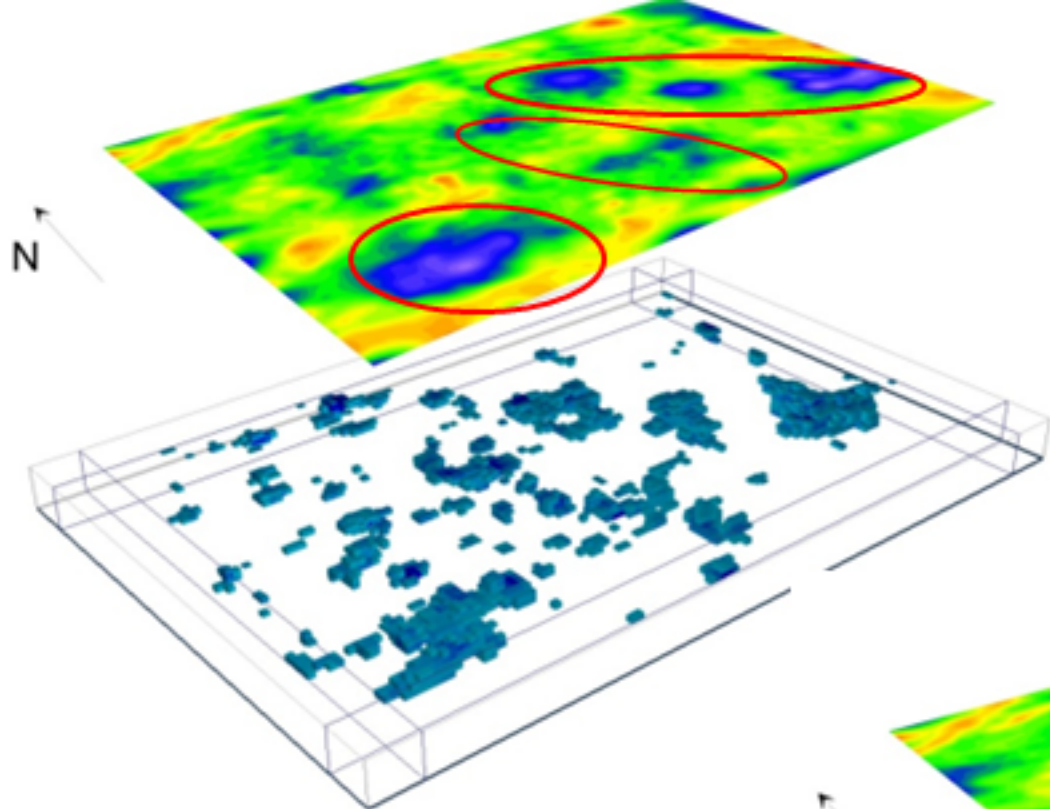


剩余重力异常（上）

反演模型正演异常（下）

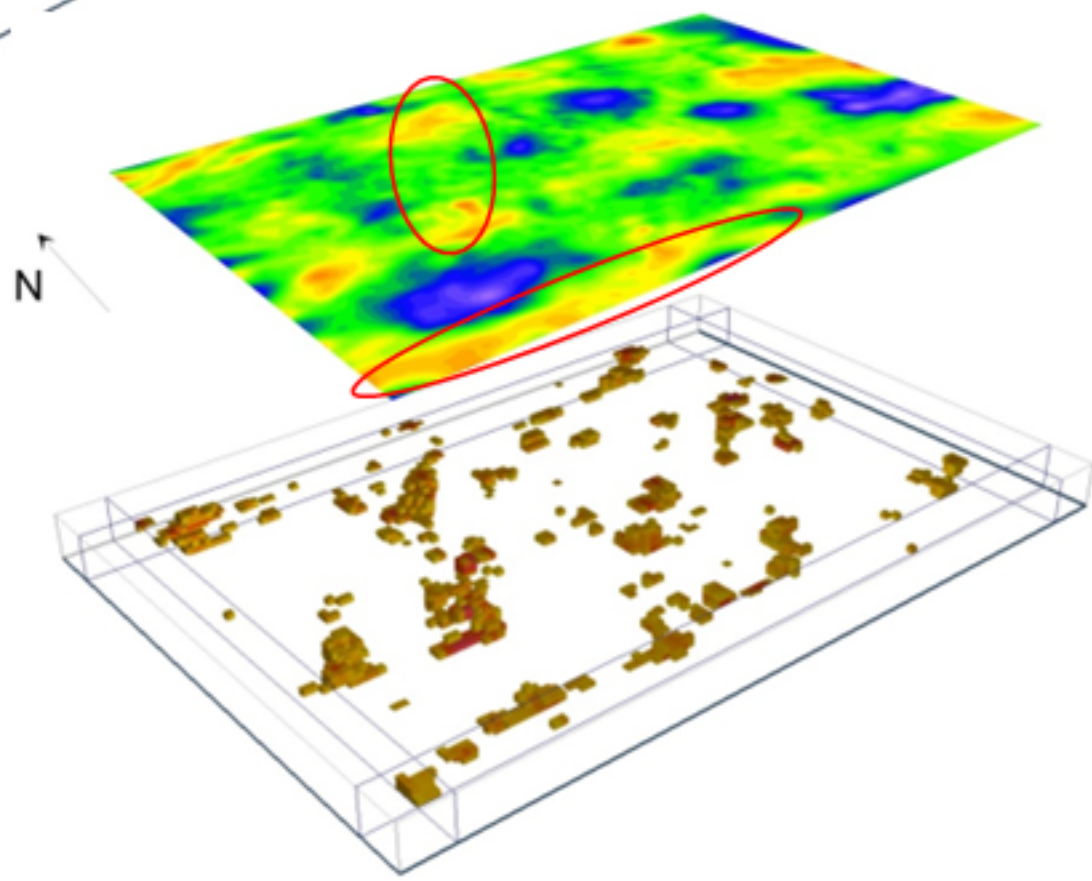
Predicted Data



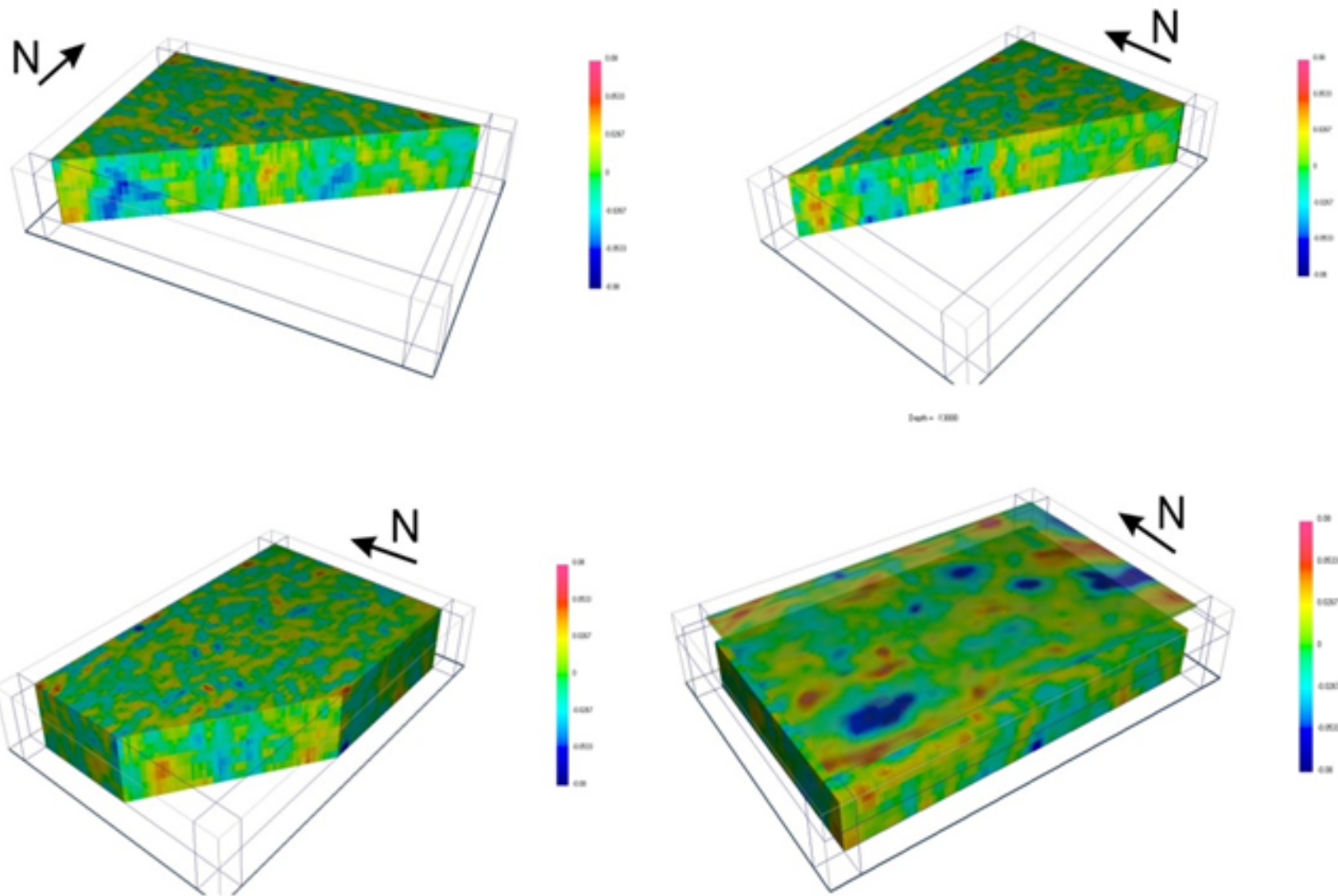


低密度体分布（上）

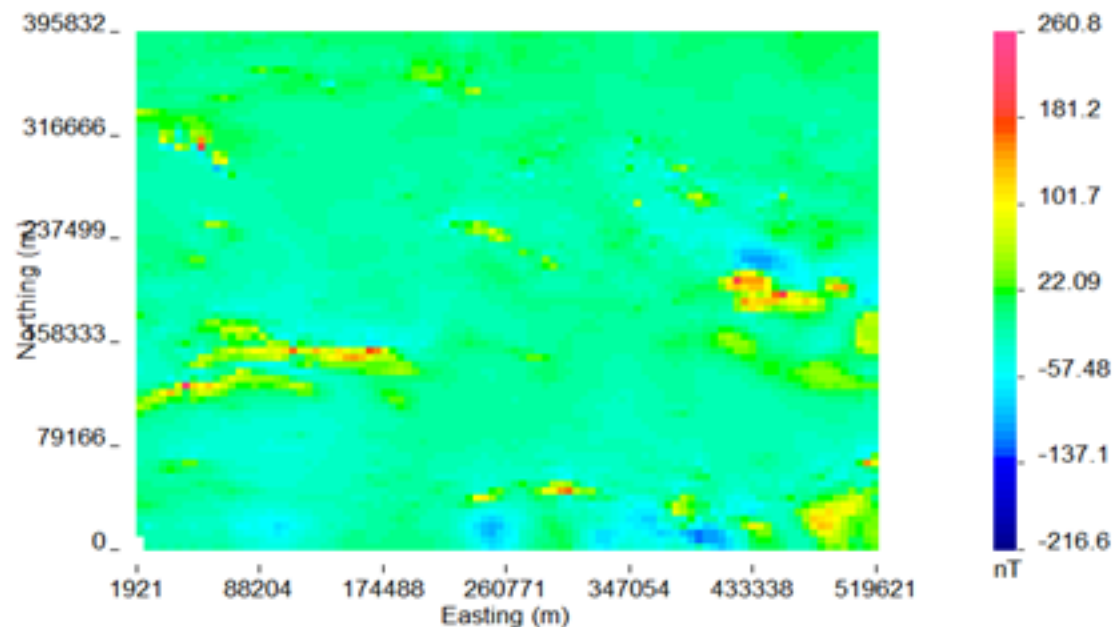
高密度体分布（下）



重力三维反演结果剖面



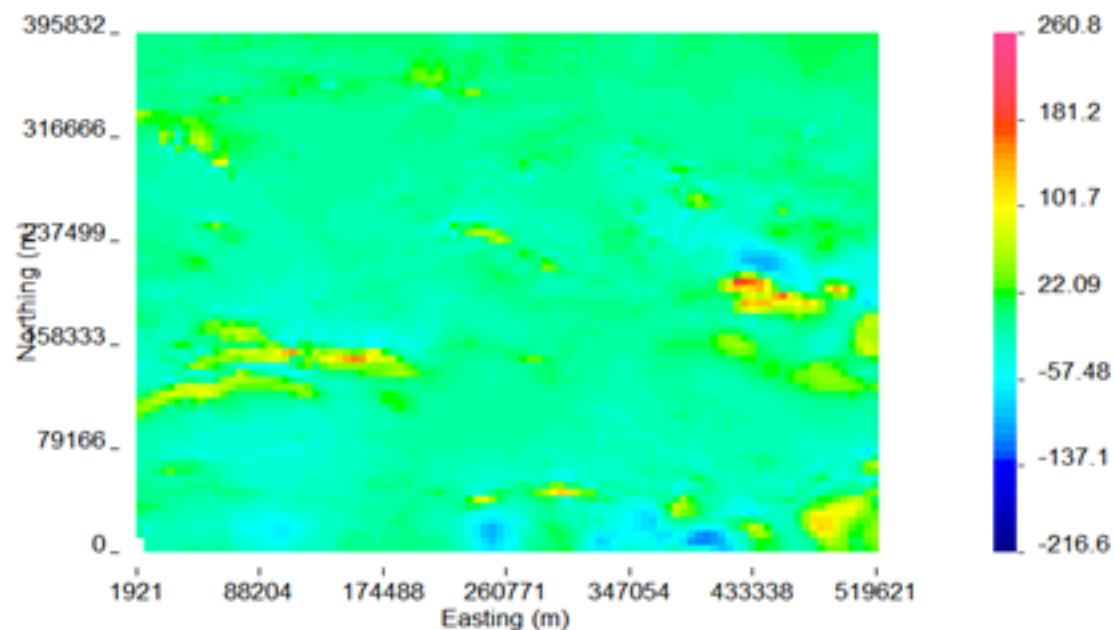
Observed Magnetic Data
51663 data, $I = 90$, $D = 0.67$



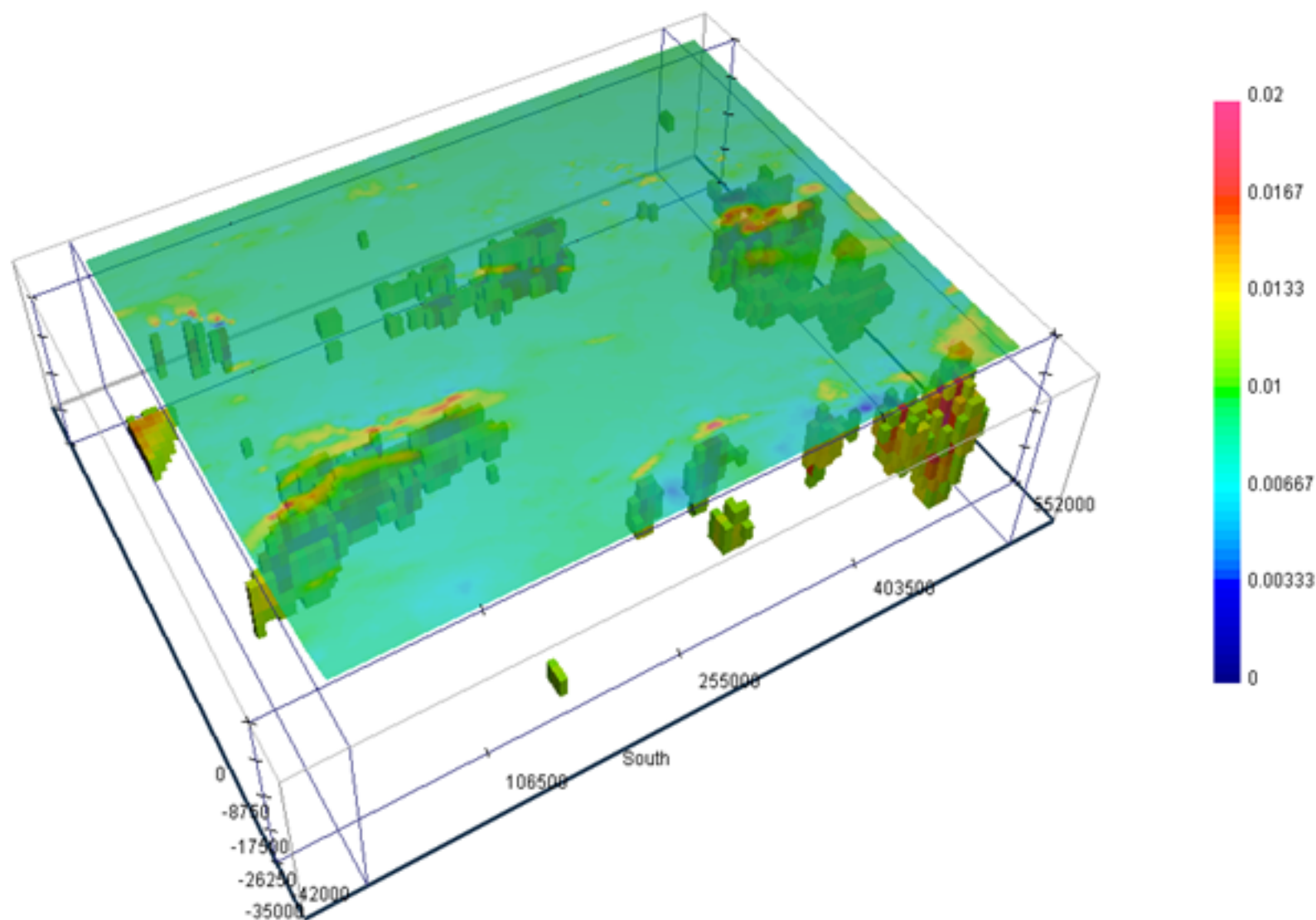
磁异常（上）

反演模型正演异常（下）

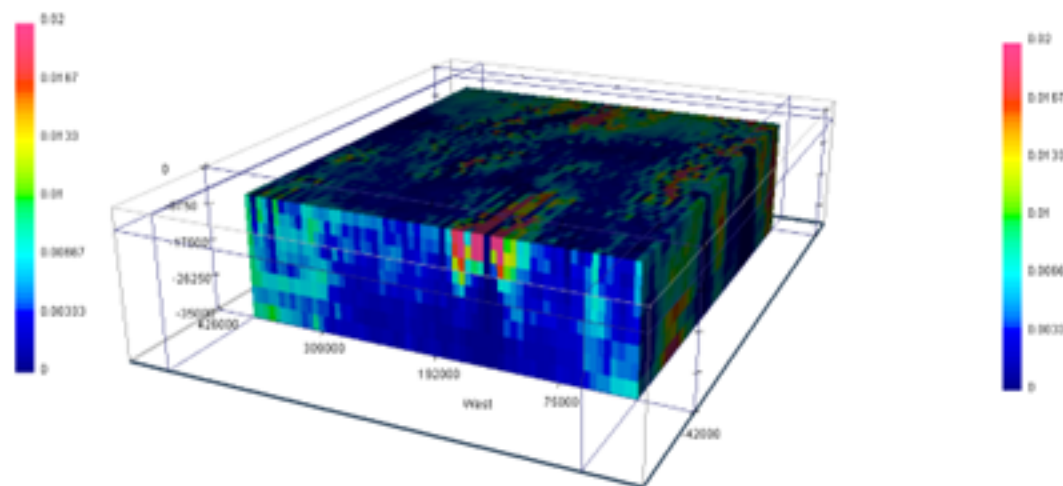
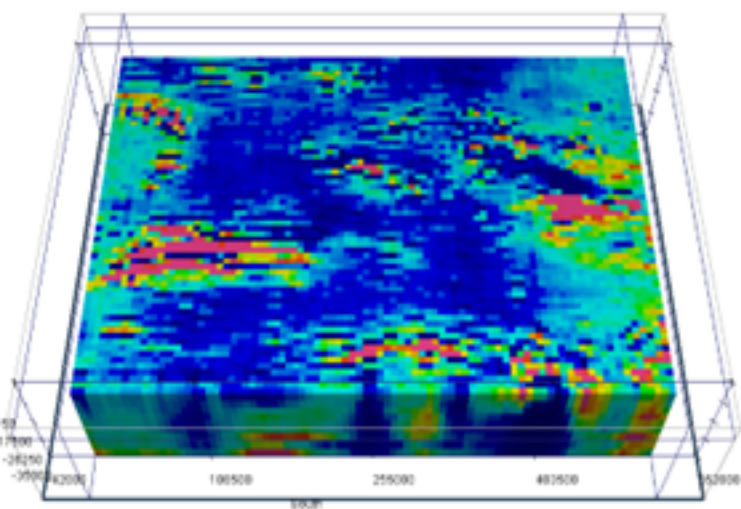
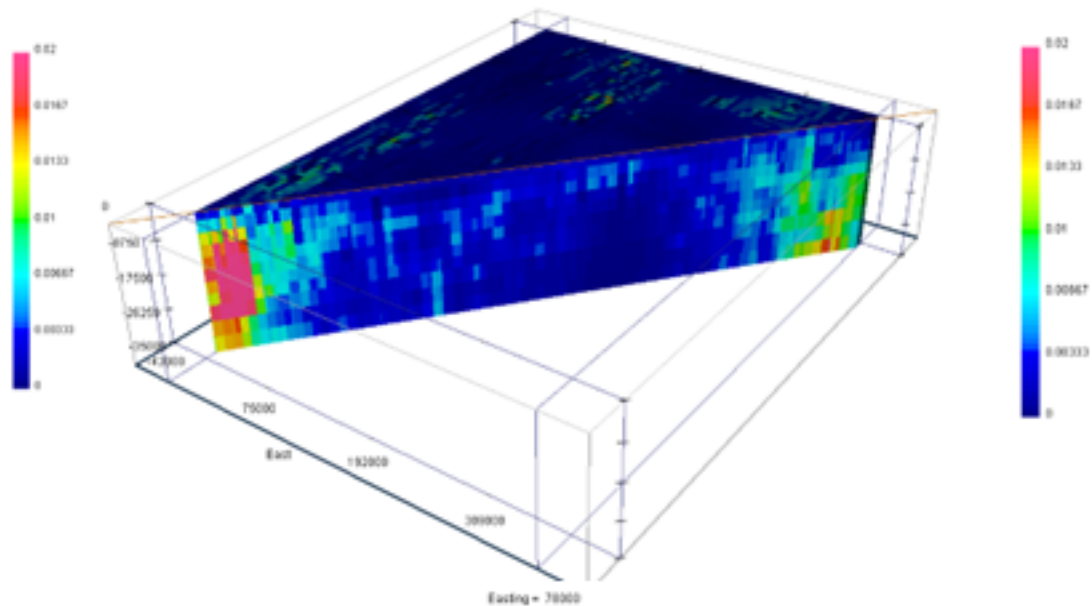
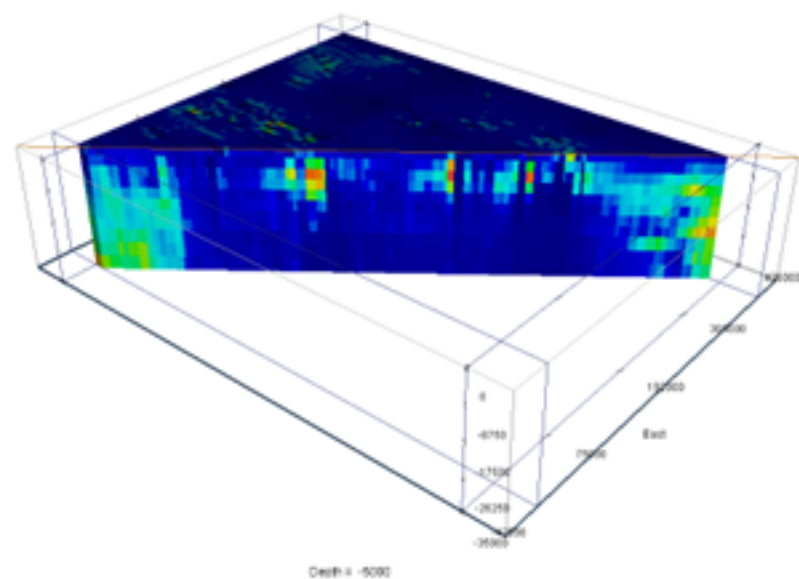
Predicted Data



磁三维反演结果（高磁化率体分布，单位为SI）



磁三维反演结果剖面



认识：

1、羌塘盆地的南北边界两条主要的深大断裂均显示较为明显的高密度、高磁化率异常，北羌塘坳陷下方分布着低密度异常，南羌塘坳陷下方也为低密度异常，二者中间存在着一一条东西走向的高密度、高磁化率异常带，但此异常带从西部延伸到双湖附近停止，在格拉丹东附近仍有高密度、高磁化率异常体存在。

2、双湖区域的异常体没有继续往东部延伸。即使存在中央隆起带，其在双湖以东部分也有不连续的部分，从更大的范围来看，中央隆起带的地球物理特征尤其是重磁场特征，与羌塘盆地南北的可可西里-金沙江缝合带和班公湖-怒江缝合带相比，并非特别明显。双湖区域东部的中央隆起带可能不存在或者缺失，也需要更多的资料证明。

小节

- 解释的一般原则
- 定量解释和定性解释



课后习题

- 定性解释的方法技术
- 定量解释的方法技术



课程结束

陈涛

