

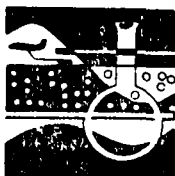
燕山地区超镁铁质、镁铁质岩带 隐伏岩体的预测方法

李树梁 李英华

(冶金部天津地质研究院)

对燕山地区1/100万比例尺重磁资料经数据处理后,推断出深部构造及其派生的断裂体系;再据后者对已知岩体的控制特征,用大比例尺航磁图和地质图,建立了该区已知岩体的地质、构造和地球物理场的一次标志和组合标志。确立了超镁铁质、镁铁质岩体的数学模型。初步预测了8万km²范围内的隐伏岩体。还进行了多组判别分析、R因子分析、模糊R型因子分析以缩小靶区。

关键词 隐伏岩体预测;超镁铁质-镁铁质岩体的数学模型;多组判别分析;R因子分析;模糊R因子分析



问题的提出

物探与化探 以往对燕山地区超镁铁质、镁铁质岩带的研究和找矿工作,多侧重表露岩体,已探明的铬铁矿储量,不能满足工业生产的需求。近年的研究工作转向隐伏构造和隐伏岩体的预测。借助电子计算技术和地质统计学方法,从三维空间提取与地质成矿有关的信息,为深入研究深部构造、控矿标志和开展成矿预测,提供了可行的条件。

与超镁铁质、镁铁质岩 有关地质构造的地球物 理特征

分析区域地球物理场特征,是提取深部构造信息的途径,可藉以探讨超镁铁质、镁

铁质岩与深部构造及其断裂体系的关系。

区域重、磁异常是地表及其下部一定深度内各种地质体间物性差异的反映。根据重、磁场波谱理论,深部场源与低频段的频谱对应;浅源的谱则集中在高频段。对燕山地区1/100万比例尺重、磁资料进行最小均方差滤波后,提取了重力和航磁的区域场。提取区域场的最小均方差滤波器的频率响应为:

$$H = \frac{|S(\omega)|^2}{|S(\omega)|^2 + |N(\omega)|^2} \\ = \frac{1}{1 + K_0 \exp[2\omega(h_1 - h_2)]}$$

式中: $S(\omega)$ 、 $H(\omega)$ 分别为区域场和局部场的频谱; $K_0 = b/a = e^{b-a}$; a 、 b 、 h_1 、 h_2 为根据实际波谱特征估算的场源参数。

对重、磁区域场垂向二次导数异常分析表明,本区深部断裂有12条(图1),基本上分为北东、近东西、北北东和北西向4组。推断本区以断裂变动为特征,4组不同方向

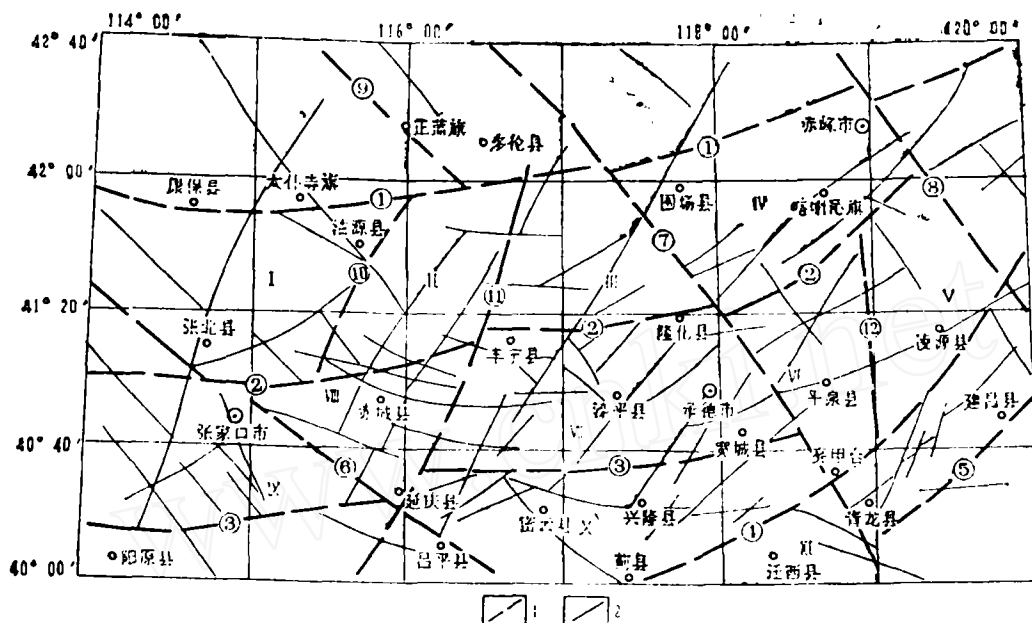


图 1 燕山地区深部构造推断图

图例：1—根据布格重力区域场推断的深大断裂，2—根据航磁区域场推断的断裂；深部断裂编号：①康保—赤峰，②张家口—隆化—朝阳，③阳原—延庆—宽城，④蔚县—凌源，⑤青龙—建昌，⑥—延庆—张北，⑦青龙—多伦，⑧—赤峰—建平，⑨苏尼特—正蓝旗，⑩崇礼—沽源，⑪延庆—多伦，⑫亮甲台—喀喇沁；块断编号：I—张北—沽源，II—上黄旗，III—张三营，IV—围场—赤峰，V—凌源，VI—平泉，VII—滦平—承德，VIII—赤峰，IX—张家口，X—密云—兴隆，XI—迁西

的断裂围成的块体组成基本构造轮廓。沉积盖层的发育、变形及岩浆活动，均受深部断裂多期活动的明显控制。

根据异常的强度、形态、走向，各异常间的相互关系、分布规律，以及地层与岩体受断裂控制的特征，将全区划分为11个块断。各断块太古代原岩建造和岩体分布特点都有所不同。例如，迁西群上方磁场的分布呈正负相间的条带状，异常强度的背景值大，异常延伸方向近东西，与区域构造线方向一致。据前人资料认为，迁西群原岩建造为超基性、基性火山岩和火山碎屑岩。单塔子群原岩建造主要是基性和中酸性火山岩、碎屑岩，其磁场强度明显地低于迁西群。由此可以说明，不同断块上区域磁场的差异反映了原岩建造的不同，也反映了不同原岩建造变质岩系间的相互关系。

综合分析了本区重力、磁力、地震和大

地电磁测深的结果，认为本区上地幔顶部存在一低速高导的软流层。它的活动对区内构造起控制作用。在上地幔软流层强烈活动的地区，由于莫霍面上隆的不均一性，造成了莫霍面的波状起伏，地壳基底破裂；上地幔物质沿深断裂上升，使地壳表层和上地壳出现张性断裂，形成了本区深部断裂及其派生的断裂体系，并控制了岩体的分布格局。

隐伏岩体的预测

我们采用特征分析方法对区内隐伏岩体进行了初步预测。从已知与岩体有关的地球物理场、地质构造等信息中选出有代表性的特征量，以求解特征向量的数学方法来确定特征量的综合特征，藉以反映已知岩体的各种地质、地球物理场因素的特定组合。

建立数学模型是预测的基础。模型的可信度取决于已知岩体特征的代表性，建立理

想模型首要的是选择有代表性的标准单元。

为了提高资料的精度，并与区域地质图对应，将4个测区1/5万比例尺的航磁图缩编为1/20万比例尺的地质航磁综合图。分析表明，本区壳体规模不等，多数岩体侵位于太古界中上部，受东西向深大断裂及其派生的北东、北西向断裂控制。岩体异常可分两类：一类规模较大，其边界与异常基本吻合，此类异常的强度为1000~2000 nT；另一类为成群出现的小岩体，反映了叠加异常的特征，强度在1000 nT左右。综合考虑上述特点，统计已知岩体异常的半极值，确定其标准单元为4×4 km²，预测单元与之相同，全区共划分为4300个。

标准单元的数量和数学模型标志个数间的关系，直接影响模型的可靠性。一般取标准单元数比标志个数大2倍以上。据此，提取了7个与岩体有关的标志，22个标准单元。7个标志分别定义为：

ΔT ——航磁异常强度，为异常最大封闭等值线值，单位为nT；

ΔT_l ——航磁异常长轴方向；

ΔT_m ——似磁矩，为异常强度与该异常半极值等值线围成面积的乘积，单位为nT·km²；

ΔT_p ——磁场密度，为异常强度与异常半极值面积之比，单位为nT·km²；

Ar——太古界变质岩系的分布；

L——单元内断裂的展布；

σ ——单元内岩体的出露情况。

特征分析以各标准单元诸变量间的匹配关系为计算基础。对比标准单元中各变量的匹配数与不匹配数研究其相互关系。为此，将原始数据转换为逻辑变量。逻辑变量可取三态，即“+、○、-”；也可取二态，即“0、1”，本文取二态。对 ΔT 、 ΔT_m 、 ΔT_p 在赋予逻辑值之前，先分组统计标准单元中之原始数据，确定常见值范围。统计结果，3个量的频率分布曲线均符合正态分

布；在常见值范围内逻辑值赋1，否则赋0。 ΔT_l 、L均为与断裂有关的量，有断裂通过赋1，否则赋0。Ar、 σ 在单元内出现赋1，否则赋0。

根据标准单元中最后选出的标志，采用乘积矩阵主分量法建立数学模型。该方法不只是考虑一个变量，而是考虑所有变量在模型中的共存关系。运算方法是将各标准单元中原始数据转换成逻辑变量，构成矩阵A。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1p} \\ a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2p} \\ \vdots \\ a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{np} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0, 1, \dots, 1 \\ 1, 1, \dots, 1 \\ \vdots \\ 1, 0, \dots, 0 \end{bmatrix}$$

用A阵左边乘其转置矩阵A'后，得乘积矩阵B： $B = A'A$ 。

①求出B矩阵在实数域内所有特征值 λ_i ；②求出最大特征值 λ_{max} 所对应的特征向量 $x_{p \times 1}$ 。 $x_{p \times 1}$ 的各元素就是每个变量的权系数。

按上述步骤计算结果 $\lambda_{max} = 113.1131$ ，权系数分别为： $b_1 = 0.1612$ ， $b_2 = 0.1513$ ， $b_3 = 0.1190$ ， $b_4 = 0.1432$ ， $b_5 = 0.1093$ ， $b_6 = 0.1468$ ， $b_7 = 0.1691$ 。

由此建立的本区超镁铁质岩体的数学模型为：

$$y = 0.1612\Delta T + 0.1513\Delta T_l \\ + 0.1190\Delta T_m + 0.1432\Delta T_p \\ + 0.1093Ar + 0.1468L + \\ + 0.1691\sigma$$

为考察上述模型的可信度，选择了本区一已知岩体单元的逻辑值进行检验，其类比系数均在0.7以上。

全区4300个预测单元中各单元取值和赋

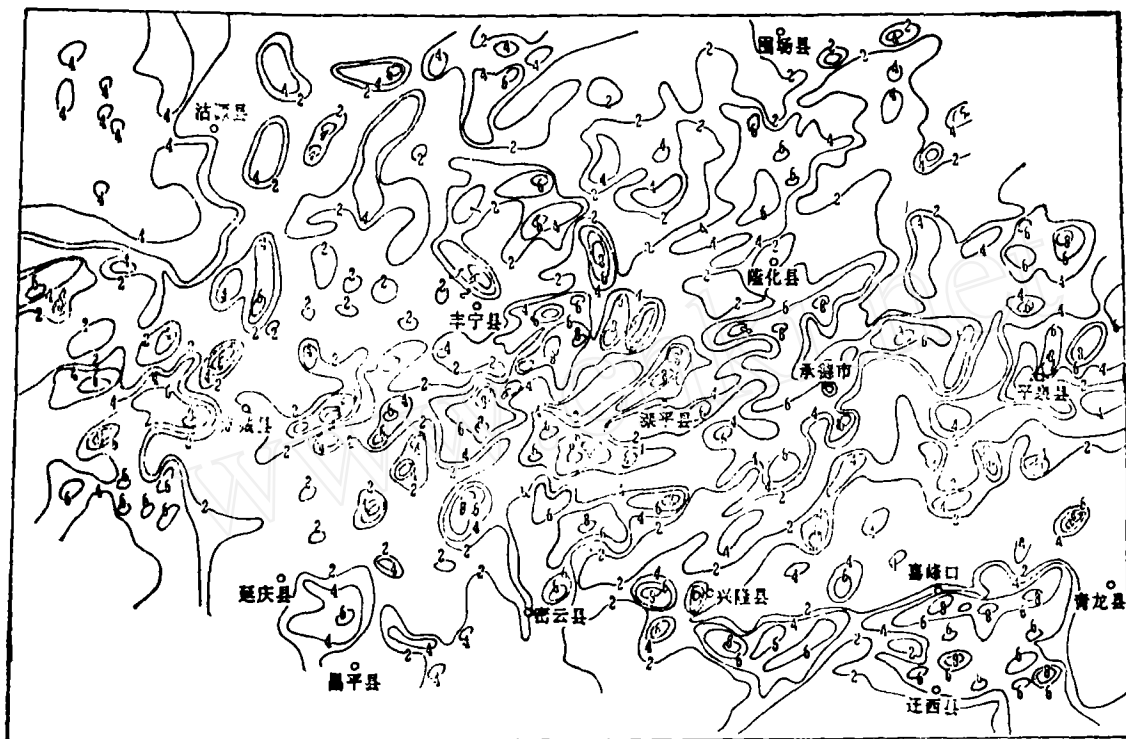


图 2 燕山岩带特征分析成果图

(类比系数等值线间隔为 $n \times 10^{-1}$)

值原则均同于标准单元。由上述模型计算出每个单元的类比系数；并做极差正则化处理，使类比系数化到 $[0, 1]$ 之间。全区大于0.6的共有296个，占单元总数的6.9%。用类比系数绘成了平面等值线图（图2），等值线长轴方向基本呈东西和北东向，与区域构造线方向吻合。类比系数大于0.6的单元基本上处于深大断裂或区域性断裂的两侧。

预测单元的分类

特征分析的结果缩小了预测范围，给出了初步预测结果，但并不排除混进了磁铁矿和火山岩异常。为此有必要采用多组判别分析、R型因子分析、模糊R型因子分析，对上述预测结果进行客观分类。

统计分析方法的核心是建立统计模型。统计模型采用的标志是否合适，将直接影响

统计方法的效果。特征分析标志 A_r 和 L 已经决定了预测单元的存在，因此，在选择统计标志时去掉 ΔT_1 、 σ 和 L ，增加 ΔT_0 ；该量定义为 ΔT_{max} 与极大值中心到0值线或正常场垂直距离的比值，单位为 $10^3 nT/km$ 。

对预测单元进行分类，实际上就是对磁异常分类。为此，选择了已知的超镁铁质岩、磁铁矿和火山岩异常114个，分别记为A、B、C三类的标准模型单元。A类46个，B类36个，C类32个；经频率分布统计，证明呈对数正态或正态分布。

R型因子分析是把为数众多的变量减少为几个新因子，就因子包含着原始变量的信息；判别分析是以某种最优化准则为分类基础，并综合考虑各种因素。

用上述114个单元的特征量在贝叶斯准则下建立的判别函数分别为：

$$y_A = -1.6091 + 0.0865\Delta T +$$

表 1

方法	F_{12}	F_{α}	F_{23}	F_{α}	F_{13}	F_{α}	回 判 率 (%)		
							A 类	B 类	C 类
多组判别	6.5398	2.15	11.586	2.52	2.7593	2.5	58.62	83.87	81.25
R型因子	9.9312	2.5	19.905	2.52	5.0947	2.5	50	84.28	87.5

置信度 $\alpha=5\%$; F_{12} —超镁铁质岩与铁矿之间统计量; F_{13} —超镁铁质岩与火山岩之间统计量; F_{23} —铁矿与火山岩之间统计量。

表 3

公因子	ΔT	ΔT_g	ΔT_p	ΔT_m
1	0.93462	0.82355	0.73227	0.55040
2	0.16647	-0.2341	-0.55870	0.81125

表中公因子 1 包括 ΔT 、 ΔT_g 、 ΔT_p 公因子 2 为 ΔT_m 。

以第 1 公因子为横轴,第 2 公因子为纵轴作点阵图(图 3),3 类异常间的界限比较清楚。C 类相对集中,A、B 类存在混叠现象,A 类有 5 个点落入 B 区。为了对 A、B 类进一步客观划分,又对这两类作了模糊 R 型因子分析。

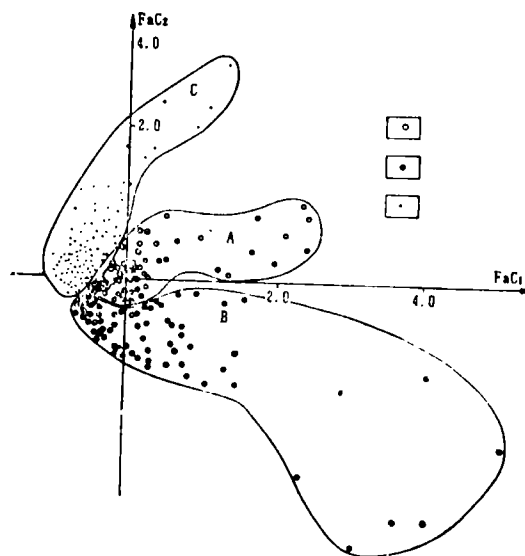


图 3 296个异常的因子计量点阵图

1—A类异常因子计量; 2—B类异常因子计量;
3—C类异常因子计量

模糊 R 型因子分析和普通因子分析的区别在于,首先建立一个适合于研究对象的隶

$$\begin{aligned}
 &+0.5043\Delta T_g+0.5241\Delta T_p \\
 &+1.0546\Delta T_m, \\
 y_B = &-2.0051-1.6666\Delta T+ \\
 &+1.4093\Delta T_g+1.0794\Delta T_p \\
 &+0.9039\Delta T_m, \\
 y_C = &-1.1530-0.7511\Delta T+ \\
 &+0.0671\Delta T_g+0.6167\Delta T_p \\
 &+1.5468\Delta T_m
 \end{aligned}$$

用服从 F 分布的统计量对上述判别函数的显著性进行检验:

$$\begin{aligned}
 &F_P(N_A+N_B-P-1)= \\
 &= \frac{N_A+N_B-P-1}{(N_A+N_B-2)P} \cdot \frac{N_A N_B}{N_A+N_B} \cdot D^2
 \end{aligned}$$

式中 P 为第一自由度,即变量数。 N_A+N_B-P-1 为第二自由度, D^2 为马氏距离。检验结果见表 1。

对 296 个初步预测单元的特征量进行多组判别分类结果见表 2,同时对其进行了 R 型因子分析,因子载荷列如表 3。

表 2

方 法	A	B	C	多组判别		
				A	B	C
多组判别	59	78	159			
因子计量判别	67	83	146			
两种方法一致判别	39	58	129			
因子计量判别 A					16	12
因子计量判别 B				15		9
因子计量判别 C				3	2	

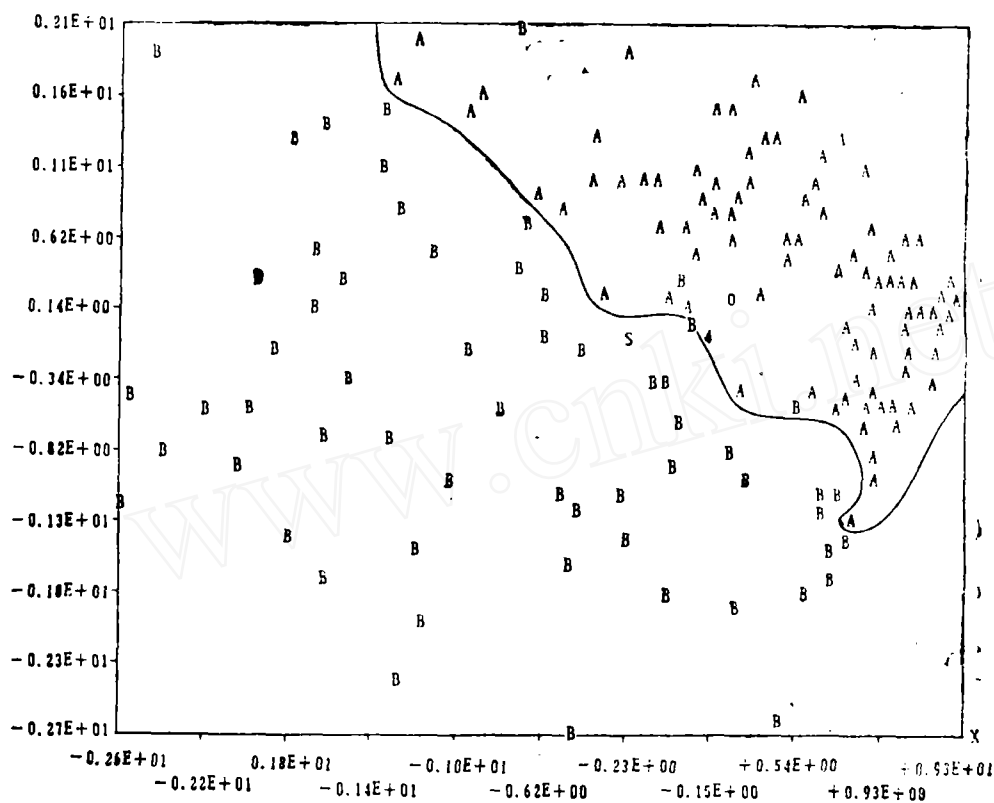


图 4 模糊因子计量判别分类图

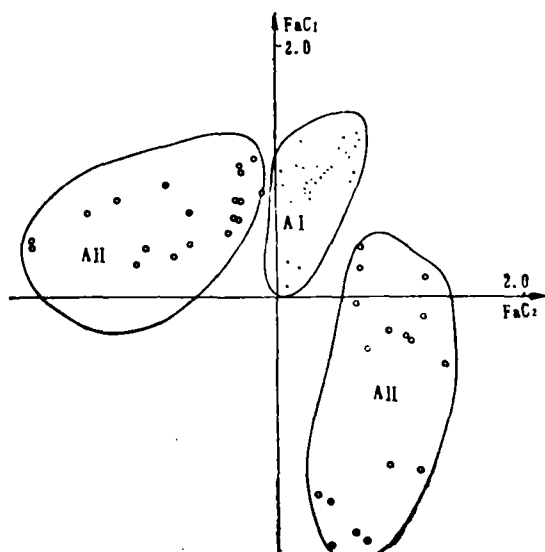


图 5 A类异常的模糊因子计量点阵图

属函数，用此函数构成模糊矩阵；计算模糊矩阵后，按一般R型因子分析步骤和过程求

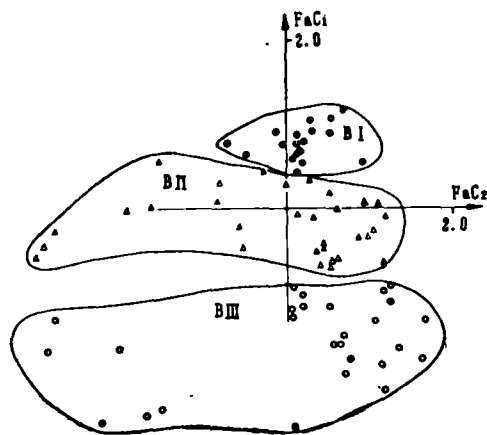


图 6 B类异常的模糊因子计量点阵图

解。

隶属函数为：

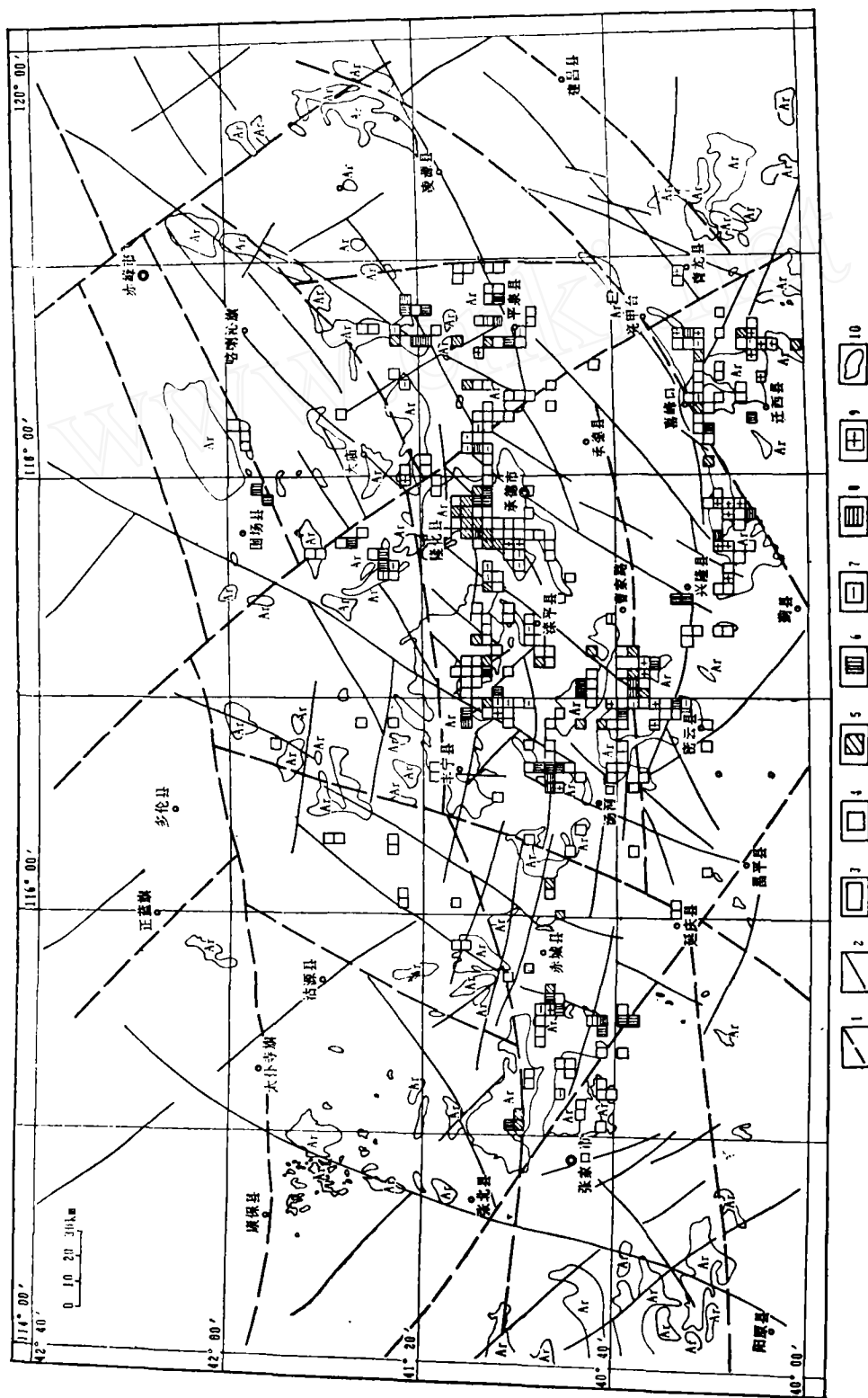


图 7 蕪山地区隱伏斷裂推斷及磁鐵異常趨勢鐵原岩體預測圖

1—根據布格重力區域場推斷的深斷裂；2—根據航磁數據推斷的隱伏斷裂；3—特征分析預測區；4—C類岩體單元；5—B₂類岩體單元；6—A₂類岩體單元；7—A₁岩體單元；8—B₁類岩體單元；9—B₂類鐵礦單元；10—太古代地層

$$f(x) = e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

式中： σ 为变量的均方差， x 为变量值， $\bar{x}$ 为均值。

经模糊R型因子分析后，4个变量转为3个公因子，因子载荷见表4。

表 4

公因子	ΔT	ΔT_g	ΔT_p	ΔT_m
1	0.92709	0.56598	0.17753	0.85778
2	0.00243	0.31146	0.91896	-0.39832
3	-0.24010	0.76302	-0.33377	-0.17488

对多组判别分析和R型因子分析所得到的150个A、B类异常进行因子计量，再用因子计量在费歇准则下作模糊两组判别 ($F = 4.533$, $F_c = 2.64$, $F > F_c$)，分类结果见图4。从图4可见，A、B类间有一条清晰的分界线；A类集中，B类较分散。属于A类的82个，B类的68个。与普通R型因子分析结果比较，B类异常中混进了A类15个。

上述3种分类方法，发挥了各自的综

合、定量、最优化的特点，判别分类结果与已知的各类异常吻合。为了最后确定A、B类异常，我们采取：凡两种以上方法均判为哪类即划为哪类；若3种方法均不一致，则以模糊因子计量判别为准。

在模糊R因子分析中，第一个因子为 ΔT 和 ΔT_m ，第二个因子为 ΔT_p 。以第二个因子为横轴，第一个因子为纵轴，分别作A、B类因子的计量点阵图（图5、6）；每类异常都相对集中于3处。经过对异常性质、地质条件的分析，又把A类分为A_I、A_{II}，B类分为B_I、B_{II}、B_{III}。

A_I类主要反映规模不大的一类超镁铁质岩体。

A_{II}类主要反映规模较大的一类超镁铁、镁铁质岩体。

B_I类是A、B类间的过渡类型，主要是含铁较高的基性杂岩体。

B_{II}类为沉积变质铁矿。

B_{III}类为磁性较强的含钒钛磁铁矿和铁磷矿的基性岩体。

剔除了C类异常后，296个异常剩下143个A、B类异常，其分类结果见表5。

表 5

类别	AAA	ABA	BAA	AAB	CAA	BEA	BAB	CAB	ADB	ECB	CRB	总数
A _I	19	10	3									32
A _{II}	10		10	9	7							36
B _I						11	1	2	1	3		8
B _{II}						10	1	2	1	13	3	30
B _{III}						3	1	2	3	12	6	27

经过统计分析，最终得到镁铁质、超镁铁质岩预测单元68个。根据区域构造、深部构造推断，根据特征分析和上述3种统计判别分析结果，绘出了综合推断预测图（图7）。在预测的一些有望异常周围，都存在铬分散流异常，为进一步研究提供了依据。

本文蒙我院李义高级工程师提供宝贵意

见，谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] Botbol, J. M., Econ. Geol., 1978, v.73, №4, pp. 534~546.
- [2] 赵鹏大,《矿床统计预测》,地质出版社,1983.
- [3] 汪培庄,《模糊集合论及其应用》,上海科技出版社,1983.