

用统计分析方法研究燕山岩带隐伏基性—超基性岩体赋存的地质地球物理模式

李英华 李树良

提 要 本文旨在燕山岩带作决策模拟的基础上进一步缩小预测隐伏基性—超基性岩体的靶区。通过选择能充分表征预测岩体的航磁异常一次标志,组合标志构成多个变量作多元统计分析,提取与预测岩体密切相关的信息,圈定岩体异常并进行分类。从而建立本区基性超基性岩体的地质地球物理模式以及评价其找矿意义。

关键词 统计分析 异常分类 建立模式

随着统计分析在地质各个领域的广泛应用和深入发展,在地球物理位场资料的解释中也认为是一种很有前途的方法。我们在这方面做了一些探讨性的工作,首先在燕山岩带用特征分析(即决策模拟)预测基性超基性岩体的分布,其作法是选择7个能表征本区预测岩体的地质地球物理特征的变量,通过一定的数学模型,求出已知控制单元与预测单元的最优相似度,从四千多个异常中筛选出296个认为与预测岩体关系密切的异常。

本文叙述了在上述工作的基础上,采用多组判别分析、R型因子分析、模糊R型因子分析,从众多纷繁的信息中提取最具典型特征的关键信息对航磁异常进行分类的工作方法及所取得的地质效果。

一、地质和地球物理特征概述

研究区位于二级构造单元内蒙地轴和燕山沉降带的相邻接部位。通过决策模拟筛选出来的296个异常主要分布在内蒙地轴和燕山沉降带分界线附近的赤城——承德——平泉——凌源的深大断裂带或区域性断裂带上,处于三级或四级构造单元的隆起边缘部位。这些断裂基本上是Ⅱ级或Ⅲ级构造单元的分界线,控制了全区的构造格局和各个地质时代的岩浆活动,岩体的规模,产出方式和岩相。区内岩浆活动具强烈、多旋回性、规模大、分布广等特点。同一时代的岩浆旋回在不同地区的岩性有明显的差异,而在同一地区不同时代的岩浆旋回的岩性亦差异很大,但有一个共同的特点是都侵位于太古界古老的片麻岩系中。因而构成了较复杂的地球物理环境。

本区能引起较强磁异常的岩(矿)石主要有八类,经对本区历年来所测岩矿标本的磁化率和剩余磁化强度作粗略统计,磁性从强到弱依次排列为:1. 鞍山式铁矿(包括部分磁铁片麻岩);2. 磁铁石英岩;3. 铁磷矿和钒钛磁铁矿;4. 橄榄岩类(包括纯橄榄岩、辉橄岩、橄辉岩);5. 角闪岩、辉石岩类;6. 闪长岩类(包括变质闪长岩);7. 玄武岩、安山岩类;8. 各类片麻岩

(不包括含铁片麻岩)。

航磁异常是岩(矿)石磁性的综合反映,宏观上很难区分出超基性岩体与其它磁性岩体。但考虑到同一地区各种地质作用的迭加程度、岩相分异作用、岩体产生的方式、形态和规模、岩矿成分组合等因素形成的地质内在规律的差异性,导致地球物理场的“微观表征”也必然有差异性。这里所谓“微观表征”是指由于上述各种地质因素对反映磁场性质的某些组合标志的影响作用是随机、微小、均匀的,或在某一特殊情况下个别因素的影响起显著作用。若选取的标志的统计特性服从正态分布或对数正态分布的规律,就有可能通过某些统计分析方法找出识别各类岩体的标志和规律。

二、建立统计模型

(一)预测对象标志的选择

统计标志的选择合理与否直接关系着统计方法的效果。根据研究对象的性质和特点按下述原则选取:

遵循从已知到未知的原则,并尽量做到随机均匀抽样。为此选择的模型单元异常的强度、规模大小各异,几乎遍及全区。如超基性岩有小张家口。较强的异常、赤城黄土坎较弱的异常、密云穆家峪中强异常、承德地区赋存铬的高寺台较强异常、大庙式含钒钛磁铁矿的特强磁异常,还有含铁磷矿具有强烈铬矿化的罗匠沟强磁异常等。

选取最能反映岩体赋存磁性特征的四个变量,即综合反映地质体磁性强弱的一次标志航磁异常强度 ΔT ; 组合标志磁场梯度 g , 定义为在异常平面图上,极大值 ΔT_{max} 与极大值中心到零值线或趋于正常场等值线的垂直距离的比, g 主要与地质体的产状和埋深有关; 组合标志似磁场密度 ρ 和似磁矩 M , ρ 定义为 ΔT_{max} 与异常半极值等值线所围面积的比, M 定义为 ΔT_{max} 与异常半极值等值线所围面积的乘积。异常半极值的范围一般可粗略认为是地质体的边界在地面的投影。因此 ρ 和 M 在一定程度上反映了磁性体赋存的形态、规模、埋深、产状的特征和磁场的强弱。这是两个互相消长的变量,在一定的组合条件下可突出各类岩体的“共性”和“个性”。

为了便于各种数学运算且不影响各种形式的统计和互相对比,在进行统计分析之前,对数据进行标度(即变换比例尺),即把四个变量的取值单位都化为: ΔT 为 10^3 nT , g 为 10^3 nT/km , ρ 为 10^3 nT/km^2 , M 为 $10^3 \text{ nT} \cdot \text{km}^2$ 。

按上述原则选取了三类标准模型单元共 114 个,其中 A 类: 46 个已知或按前人资料推断为超基性岩的异常、B 类: 36 个已知沉积变质铁矿异常、C 类: 32 个一般片麻岩、火山岩异常。并分别对三大类异常的各个变量作统计分布曲线,基本上服从正态或对数正态分布,有些变量呈双峰混合分布。

(二)多组判别分析和 R 型因子分析

主要的方法和步骤如下:

1. 首先用 114 个模型单元的特征量数据在贝叶斯准则下建立判别函数, 这个判别函数必须满足误判平均损失最小的原则。据贝氏判别分析原则^[3]建立的本区判别函数为:

$$Y_A = -1.6909 + 0.086559\Delta T + 0.50434g + 0.52409\rho + 1.0546M$$

$$Y_B = -2.0051 - 1.6666\Delta T + 1.4093g + 1.0794\rho + 0.90390M$$

$$Y_C = -1.1530 - 0.75111\Delta T + 0.06710g + 0.61679\rho + 1.54680M$$

Y_A 、 Y_B 、 Y_C 分别表示 A、B、C 三大类模型单元的判别函数。

2. 用服从 F 分布的统计量 F_P , $(V_A + V_B - P - 1) \frac{V_A + V_B - P - 1}{(V_A + V_B - 2)P} \cdot \frac{V_A V_B}{V_A + V_B} D^2$ (P 为第一自由度, 即变量数; $V_A + V_B - P - 1$ 为第二自由度; D^2 为马氏距离), 检验上述判别函数对区分 A · B · C 三大类岩体的有效性是否显著, 检验结果见表(1)。

统计量检验结果表

Table 1. Results of the checked statistical values

表 1

统计量 方 法	F_{12}	F_d	F_{23}	F_d	F_{13}	F_d	A 类 回判率	B 类 回判率	C 类 回判率
多组判别	6.5398	2.5	11.5861	2.52	2.7593	2.5	58.62%	83.87%	81.25%
因子计量判别	9.9312	2.5	19.905	2.52	5.0947	2.5	50%	84.38%	87.5%

说明:置信度 $\alpha = 5\%$

F_{12} ——超基性岩与沉积变质铁矿之间的统计量。

F_{13} ——超基性岩与火山岩、片麻岩间的统计量。

F_{23} ——铁矿与火山岩、片麻岩间的统计量。

3. 对 296 个预测单元的特征量数据进行多组判别分析计算, 判别分类结果见表(2)

判别分类结果表

Table 2. Discrimination grouping result

表 2

分类数 方 法	类 别	A	B	C	多组判为 A	多组判为 B	多组判为 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	130			
因子计量判为 A						16	12
因子计量判为 B					15		9
因子计量判为 C					3	2	

因子载荷

表 3

Table 3. Factor load

公因子 \ 变 量	ΔT	g	q	M
1	0.93462	0.82355	0.73227	0.55040
2	0.16647	-0.23431	-0.55870	0.81125

4. 对所有数据进行 R 型因子分析, 因子载荷见表 (3)。利用因子计量复上述步骤作多组判别分析。检验结果和判别分类结果分别见表 (1) 和表 (2)。

5. 以第一个公因子为 x 轴, 第二个公因子为 y 轴作点阵图 (图 1)。

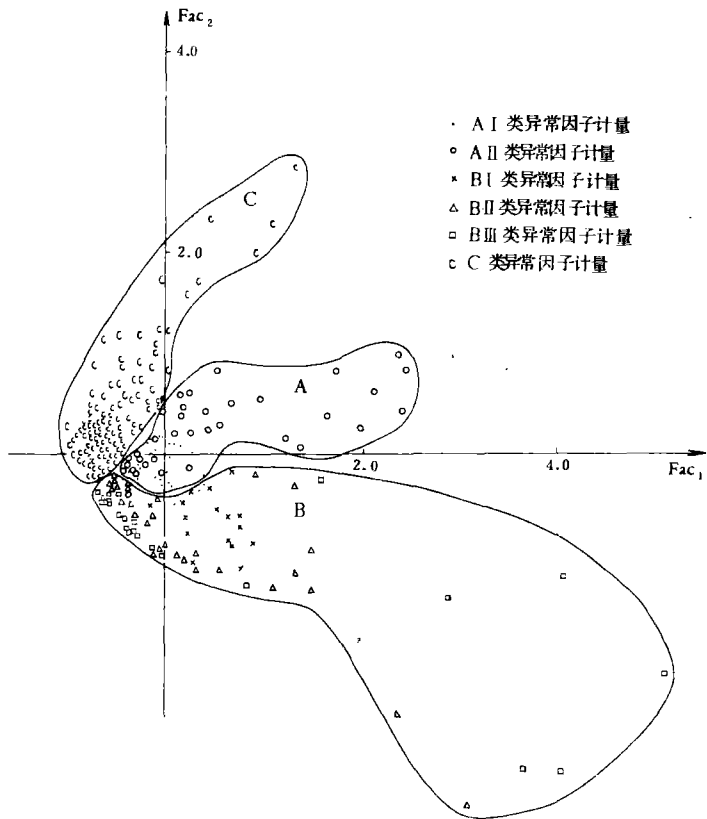


图 1 296 个异常的因子计量点阵图

Fig. 1. Plot showing clusters of 296 factors of anomaly

从表 (2) 中可看到两种方法的判别分类基本一致, 尤其对各类岩 (矿) 石的典型异常, 如超基性岩类的高寺台和穆家峪岩体, 两种方法均判为 A 类, 典型的石人沟、苇子沟、八岔沟沉积变质铁矿, 两种方法均判为 B 类。对 C 类的判别两种方法基本一致从表 (1) 可看到: C 类的回判率最高, F 统计量最大, 而用因子计量作多组判别的 F 统计量均比用原始数据时大得多。这就表明对 C 类的判别效果最显著, 而用因子计量作多组判别的有效性比用原始数据更显著。

表 (3) 的因子载荷表示第一个公因子主要包括 ΔT 、 g 、 ρ , 第二个公因子主要是 M 。因而用这两个公因子作出的点阵图 (图 1) 能清楚地显示出 A、B、C 三类岩体的分界线, 尤其 C 类分布非常集中, 与其余两类的分界线更清晰。为了进一步说明各类岩 (矿) 石间磁性特征

的差异, 以 ΔT 为 x 轴 (相同数值的 ΔT 取其对应的 ρ 或 M 的平均值作图), ρ 和 M 为 Y 轴作

出统计的特性曲线图(图2)。同时以 ΔT 为自变量, q 或 M 为因变量建立回归方程,作出回归直线(图3、图4)。从这三个图中看到C类和A、B类磁性特征的明显差异。C类的 ρ 几乎不随 ΔT 的增大而增大, $\Delta T \sim \rho$ 回归直线的斜率最小,几乎平行于 x 轴,而 M 却随着 ΔT 的增大迅速上升, $\Delta T \sim M$ 的回归直线斜率最大,与 x 轴的交角 $77^\circ 32'$,可见C类岩体和A、B类不属于同一类岩体。与地质资料对照,这类异常基本上反映了太古界的一般片麻岩类,安山岩、次安山岩、流纹岩、石英斑岩、闪长积岩等中基性岩体。

综上所述,C类的划分基本上是符合客观情况的,但A、B两类间还存在着混迭现象。因为这两类特征量的差异性具有中介过渡的性质,亦即存在着一条“亦此亦彼”、“非此非彼”的模糊介线。模糊统计就是研究和处理事物的模糊现象的,所以我们引用模糊R型因子分析,对用前述两种方法筛选出来的150个A、B类异常再作一次判别分类。

(三) 模糊R型因子分析

模糊R型因子分析和普通的R型因子分析的区别在于首先要建立一个适合

于研究对象的隶属函数^[2]构成模糊矩阵,再计算其模糊相关矩阵,然后按一般R型因子分析步骤和求解过程,最后获得因子分析的结果。

要分清模糊事物从“亦此亦彼”到“非此即彼”的层次界线,关键是所建立的隶属函数是否符合事物的隶属规律。我们对基性超基性岩的4个特征量作了仔细分析,反复对比后,建立了隶属函数: $f(x) = e^{-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}$ σ —某变量的均方差; x —某变量的数值。 $\bar{x}$ —某变量的平均值。当 $x \rightarrow \bar{x}$, $f(x) \rightarrow 1$,即隶属度最大,当 x 远离平均值时隶属度变小。可看到这正好是

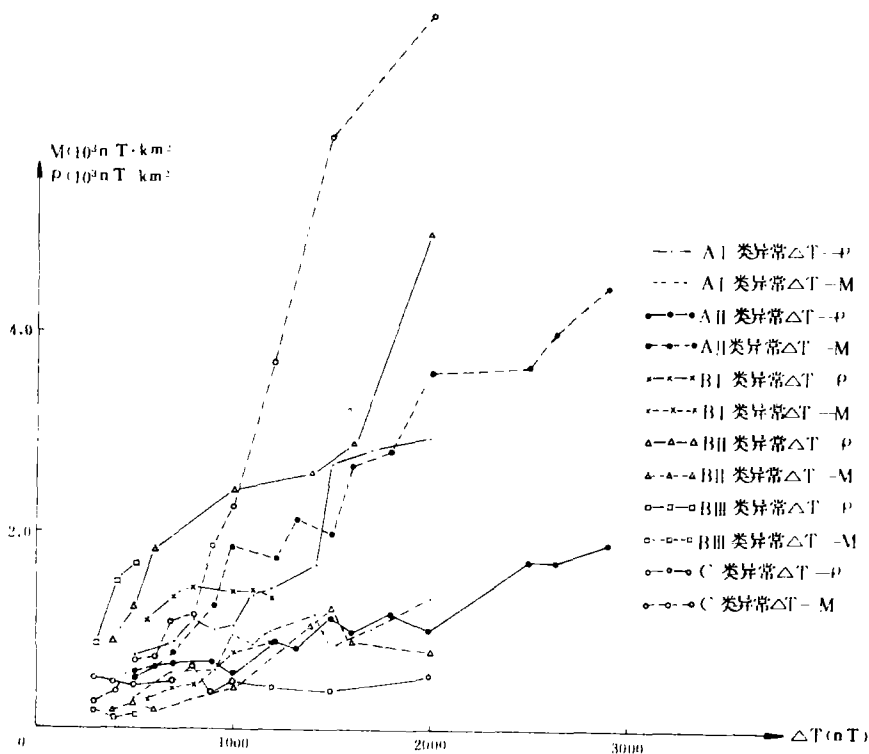


图2 各类异常 $\Delta T - q$ $\Delta T - M$ 统计特性曲线

Fig. 2. Statistical characteristic curve of $\frac{\Delta T - q}{\Delta T - M}$ of various type of anomaly

一个 $K = 1$ 的模糊正态分布函数 ($u(x) = e^{-\frac{K(x-a)^2}{2\sigma^2}}$ 其中 $K > 0$), 与概率正态分布仅相差一个归一化的因子 $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ 。这就意味着对于既有随机性又存在着模糊性的地球物理特征数据来说, 这个隶属函数是合适的。

经模糊 R 型因子分析后, 四个变量转变为三个公因子, 因子载荷如下表(表 4)。对 150 个 A、B 类异常计算了因子计量, 继而用因子计量在费歇准则下作了模糊两组判别分析 ($F = 4.533, F_{\alpha} = 2.64, F > F_{\alpha}$), 并由计算机绘出了判别分类图(图 5)。图 5 表明 A、B 类之间有一条清晰的分界干, A 类较集中, B 类较分散, 判得属 A 类的异常 82 个, 属 B 类的异常 68 个。

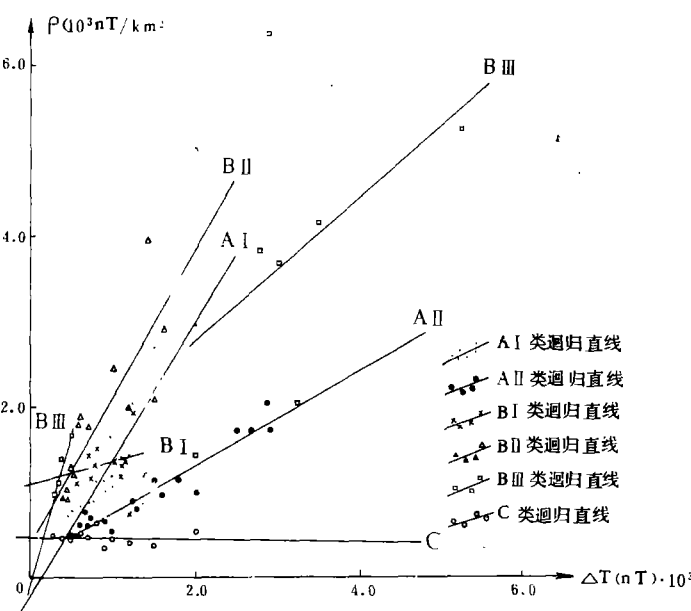


图 3 A 和 B 类异常 $\Delta T-P$ 回归关系

Fig. 3. Showing regression analysis pattern of ΔT -p of A and B type anomaly

因子载荷

表 4

Table 4. Factor Load

公因子 \ 变量	ΔT	g	q	M
1	0.92709	0.56598	0.17753	0.85778
2	0.00243	0.31146	0.91896	-0.39832
3	-0.241010	0.76302	-0.33377	-0.17488

三、统计结果的综合分析与基性超基性岩的地质—— 地球物理模式及其找矿意义的探讨

(一) 综合各种统计方法所获信息进行异常分类

三种不同的统计方法对 A、B 类的判别虽然不完全一致, 但都不同程度地发挥了各自的综合、定量、最优化的特点, 如最后作的模糊分析判类能层次更分明地反映各类岩(矿)石的磁性特征。经与地质资料和已知岩(矿)异常对比, 发现三种方法的结合真是相得益彰, 确实起到了

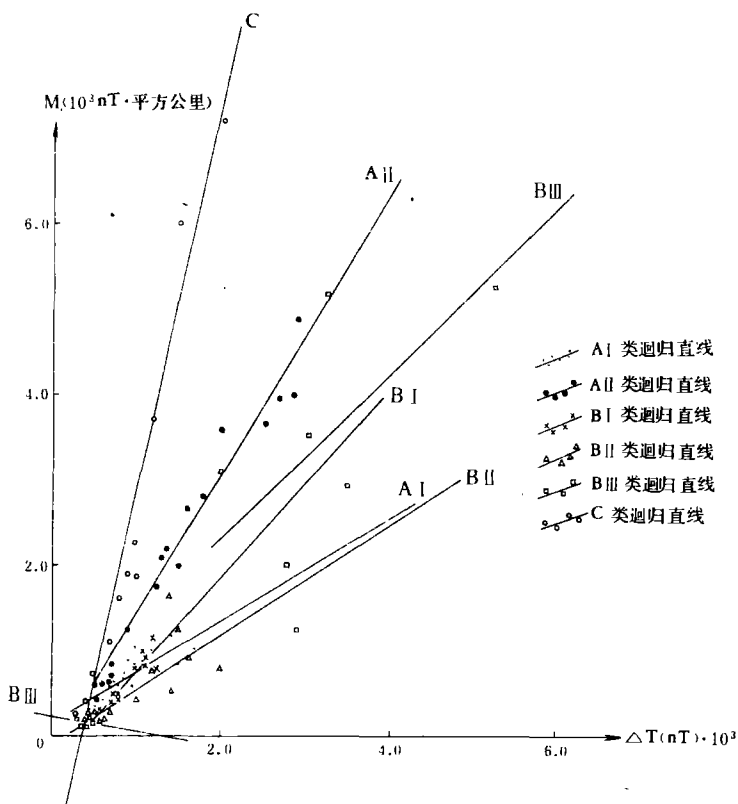


图4 A和B类异常 ΔT — M 回归关系图

Fig. 4. Showing ΔT — M regression analysis pattern of A and B itpe anomaly

互相补充、互相印证的作用。从而为异常的分类提供了有意义的信息和依据。从以下三方面阐述异常分类的依据:

1. 三种统计方法的判别类型: 凡有两种方法以上判为A类或B类的异常(如多组判为A, 因子计量判为A, 模糊因子判为B, 则记作AAB, 其余BBA、ABA、BAB、均依此类推)定为A类或B类, 若三种方法判类不一致, 则以模糊因子计量的判类为准, 如CAB型, 归为B类。

2. 各类异常在模糊R型因子计量点阵图中的分布: 从因子载荷得知, 第一个因子主要包含 ΔT 和 M , 第二个因子主要包含 ρ , 这三个量的组合关系能较好地反映了岩(矿)石赋存的规律和特征。因此以第二个因子为 x , 第一个因子为 y , 分别作出A类和B类的因子计量点阵图(图6a、6b)。从这两图可看到A类基本上沿第二因子轴分布, 近似于平行第一因子轴而排列, 反之, B类沿 y 轴分布, 呈平行于 x 轴

而排列。根据异常在点阵图中的分布特征及其组合标志的磁性特征, 又把异常分为 A_I 、 A_{II} 、 B_I 、 B_{II} 和 B_{III} 类, 各类异常数与判别类型的关系如下表(表5)。

3. 组合标志的统计特征: 从图6可清楚地看到同一级次的 ΔT 所对应的各类岩体的 ρ 由大到小的排列次序为 $B_{III} \rightarrow B_{II} \rightarrow B_I \rightarrow A_I \rightarrow A_{II}$, M 则反之, 由大到小为 $A_{II} \rightarrow A_I \rightarrow B_I \rightarrow B_{II} \rightarrow B_{III}$ 。再看图4和图5, $\Delta T \sim \rho$ 和 $\Delta T \sim M$ 的回归直线斜率由大到小的排列也有上述类似的关系。只是其图景更能展示各类岩(矿)石磁性特征的层次变化。图4和图5近似地互成镜像, 这对于 M 居首位的C类和 ρ 居首位的 B_{III} 类(ΔT 的2000nT以下), A_I 类、 A_{II} 类和 B_{II} 类都很清楚, 但 B_I 类和2000nT以上的 B_{III} 类始终夹在 A_I 类、 B_{II} 类和 A_{II} 类之间, 这反映了铁矿和基性、超基性岩间的磁性过渡。

综上所述, A_I 类主要反映了规模不太大, 梯度相对较小的一类基性超基性岩体, 如平泉的冀C—79—84, 穆家峪水漳岩体均属此类。 A_{II} 类反映的岩体规模和梯度均较 A_I 类大, 高寺台含铬超基性岩体, 小张家口和西穆家峪的纯橄榄岩、榴辉岩均属此类。 B_I 类实际是A类和B类间的过渡类型, 主要反映一些含铁较高的基性杂岩体, 如冀C—79—22、冀C—79—26、冀C

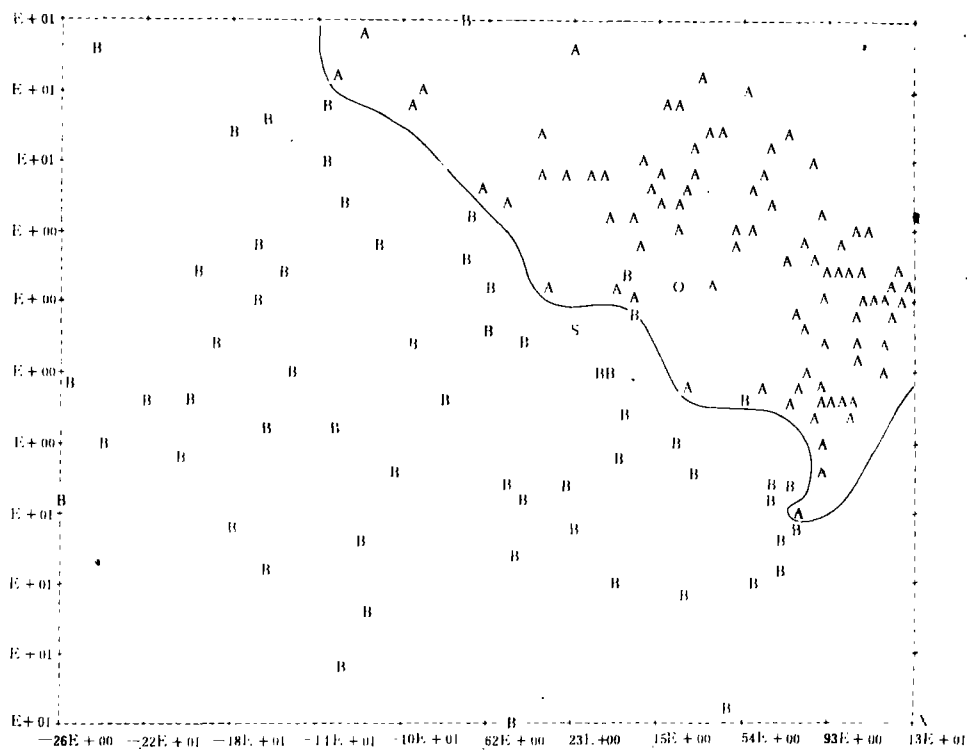


图 5 模糊因子计量判别分类图

Fig. 5. Plot showing discrimination grouping of fuzzy factors

异常分类与判别类型的关系

表 5

Table 5. Relation of anomaly grouping and discrimination type

分类数 分类 \ 类型	AAA	ABA	BAA	AAB	CAA	BBA	BAB	CAB	ABB	BBB	CBB	总 数
A _I	19	10	3									32
A _{II}	10		10	9	7							36
B _I						11	1	2	1	3		18
B _{II}						10	1	2	1	13	3	30
B _{III}						3	1	2	3	12	6	27

—79—117、冀 C—59—43 均属此类。前两个异常均为一半反映磁铁石英岩,一半反映超基性

岩,后者为含铁较高的基性杂岩体。 B_{II} 类主要反映沉积变质铁矿,如密云的太师屯、兴隆的八岔沟、石人沟、丰宁的苇子沟等。 B_{III} 类主要反映磁性较强的与含钒钛磁铁矿和铁磷矿有关的基性超基性岩,有名的大庙钒钛磁铁矿和冀 C—59—17a、冀 C—59—18f 等已知铁磷矿均属此类。有意思的是这几类岩(矿)石在图 1 的因子计量点阵图上分布也很有规律, A_I 和 B_I 类处于中心部位, A_{II} 和 B_{II} 、 B_{III} 类分别从其上部 and 下部呈半环形分布,显得层次清楚。这就再次表明,三种方法异曲同工,最终取得了一致的效果。

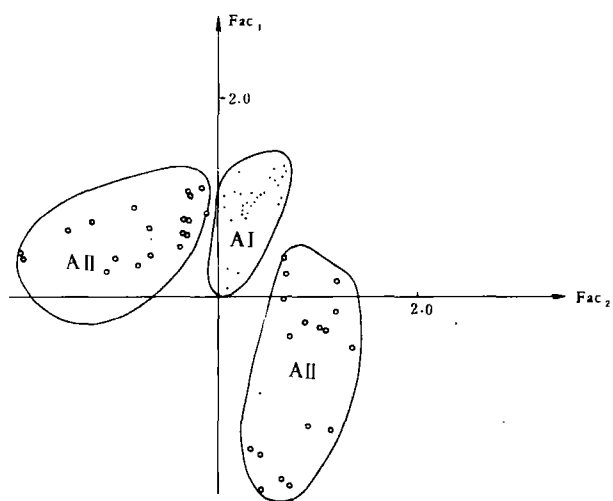


图 6a A 类异常的模糊 R 因子计量点阵图

Fig. 6a. Clusters of fuzzy R factor of A type anomalies

(二)基性——超基性岩的地质地球物理模式

由于本区构造运动复杂,岩浆活动的多旋回性,决定了本区的基性超基性岩不是简单的磁场表征,伴随着复杂的地质环境产生了其特定的多层次的模式。通过前述一系列工作可发现除 B_{II} 类异常为鞍山式铁矿外,其余各类异常均与基性超基性岩有关。各类异常的平面分布情况如图 7 所示。图 7 表明 B_{II} 类主要分布在兴隆—迁西一带,其余各类在预测区内几条深大断裂或区域性大断裂的两侧近旁以及断裂交叉地带均有分布。主要集中在以下的深断裂带内: 1、赤城——承德——平泉深断裂带; 2. 丰宁——隆化深断裂带; 3. 汤河口——曹家路大断裂带; 4. 兴隆——喜峰口大断裂带; 5. 隆化——围场大断裂带。稍加分析,还可注意到 A_{II} 类和其余各类的分布往往是相间出现或 B_I 、 A_I 、 B_{III} 类围绕着 A_{II} 类呈环或弧形排列。这除了是构造因素外,可能与岩相分异、岩性变化导致岩体磁性特征的变异有关。

综上所述,本区基性超基性岩的地质地球物理模式归纳如下: 1. 与赋存铬有关的岩性类型一般从中心相到边缘相为纯橄榄岩——辉橄岩——橄辉岩——辉石岩——角闪岩。此类岩体磁性中等或较强,与 A_{II} 类异常较为密切,其次是 A_I 类异常。

2. 岩性主要为偏于基性的辉长岩、角闪岩、辉石岩类,或由变质闪长岩分异出来的超基性岩,伴有强烈的铬、铂、镍矿化或含有钛铁矿,周围往往分布有磁性较强的磁铁石英岩。 A_I 、 B_I 类异常与此类岩体关系较密切,其次是 A_{II} 类异常。

3. 与钒钛磁铁矿和铁磷矿有关的高铁基性超基性岩,如辉不角闪岩、角闪岩、辉长岩等。 B_{III} 类异常主要反映了此类岩体。其次为 A_I 类和 B_I 类异常。

尚需说明的是各类异常与岩(矿)石间的关系也并不是截然分开的,其中不乏有互相混淆的例子,同时在 A_I 、 A_{II} 类异常中,还有可能存在磁性较强的玄武岩类的基性火山岩,主要分布

在隆化——围场的断裂带上。这是因为地质和地球物理现象都具有综合性、随机性、模糊性、多解性的特点。上述的分类模式仅为最大可能性而已,但不失其参考价值。

(三)预测与铬有关的超基性岩远景区

1. 平泉地区:该区位于承德——凌源深断裂带,与高寺台超基性岩体在一条线上,区内次一级断裂构造发育,包括有已知的罗匠沟铁磷矿床(即冀C-59-18f₁异常范围内有峰值达480r的分散流异,判为A_{II}类的冀C-79-86和冀C-59-18i异常,判为A_I类冀C-79-99和冀C-79-84异常。在冀C-79-86和冀C-79-99之间有一范围较大的120r的铬分散流异常,在冀C-59-18i异常范围

内有一走向与磁异常相近的120r的铬分散流异常,局部峰值达220r。在冀C-79-84异常处出露有纯橄榄岩——橄榄岩——辉橄岩——辉石岩——角闪岩类型的超基性岩。因此,无论是构造、岩性、物化探异常方面都可视为寻找与铬有关的超镁铁岩的有利地段。

2. 龙关——赤城一带:该区位于赤城——承德——凌源深断裂带区,内次一级构造非常发育,分布有7个A_{II}类,4个A_I类,一个B_I类,2个B_{III}类异常。小张家口地区出露的中心相为纯橄榄岩型的超基性岩具强烈的铬矿化。区内出露有含钛磁铁矿的角闪岩认为是寻找与铬和钛磁铁矿有关的超基性岩有利地段。

3. 头沟——五道河子一带:该区位于承德——平泉深断裂带上,在高寺台岩体正东,分布有4个判为A_I类,一个判为B_I类的异常。该区多处有铬分散流异常,处于有利地质构造部位,可作为进一步工作的远景区。

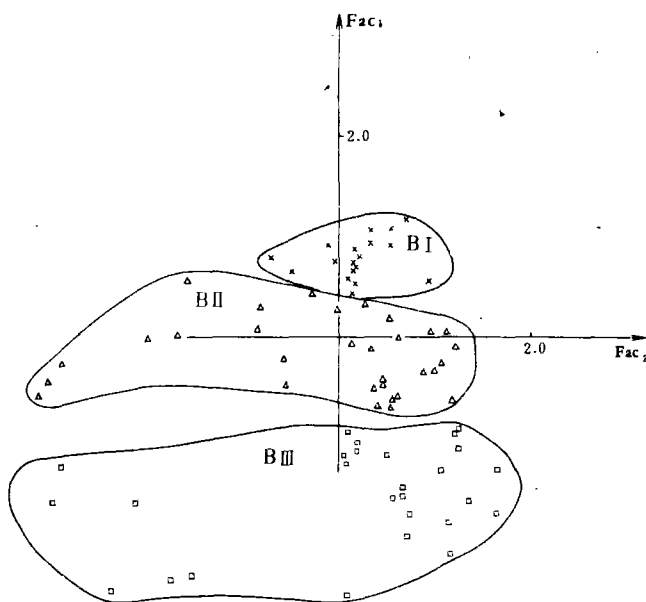


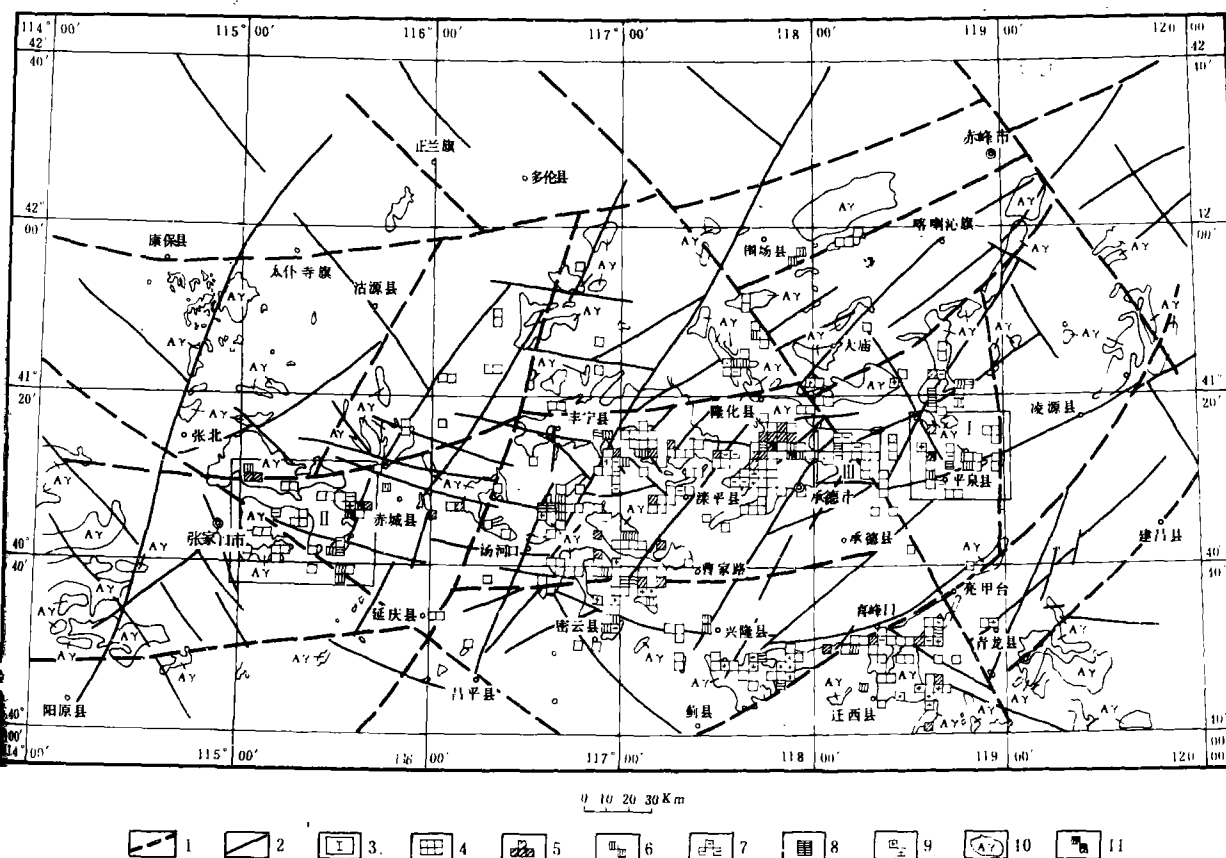
图 6b B类异常的模糊R因子计量点阵图

Fig. 6b. Plot showing clusters of fuzzy R factors of B type anomalies

四、结 论

通过对航磁异常的一次标志 ΔT ,组合标志 g 、 ρ 、 M 作统计分析所获得的综合信息,评价航磁异常与基性超基性岩的关系取得了比较有意义的地质效果。但如果有系统的化探资料或岩石化学资料作为变量参与统计,将会取得更好的效果。由于经验不足,水平有限,谬误之处在

所难免,望批评指正。



1—根据布格重力区域场推断深部壳断裂 2—根据航磁数据处理结果推断隐伏断裂 3—预测区编号 4—C类岩体单元 5—BⅢ类岩体单元 6—AⅡ类岩体单元 7—AⅠ类岩体单元 8—BⅠ类岩体单元 9—BⅡ类铁单元 10—太古代地层 11—已知超基性岩体位置

图7 冀北—辽西地区隐伏断裂推断及基性超基性岩预测图

Fig. 7. Buried fractures and the inferred ultrabasic rock bodies

参考文献

- (1) 汪培庄:《模糊集合论及其应用》,上海科学技术出版社,1983
- (2) 赵鹏大 胡旺亮 李紫金《矿床统计预测》,地质出版社,1983

APPLICATION OF STATISTICAL ANALYSIS TO APPROACHING THE GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL MODEL OF THE BURIED BASIC-ULTRABASIC INTRUSIVES IN YANSHAN BASIC- ULTRABASIC ROCK BELT

Li Yinghua Li Shuliang

Abstract

This paper is aimed at reducing target area for searching blind basic-ultrabasic intrusives on the basis of characteristic analysis. The preliminary magnetic marks of the predicted can be characterized by selection.

Association of marks produce variables for multi-element analysis by which informations closely related to the predicted are extracted and the magnetic anomlies of the selected intrusives are classified. Therefore the geological and geophysical model of Yanshan basic-ultrabasic rock belt, which is of significance for evaluation and ore searching, is established.