

盲 矿 预 测

(第二輯)

成 都 地 质 学 院

一九八二年九月

目 录

- | | |
|------------------------------|-------------|
| 一、岩控矿床的统计预测 | 朱章森 |
| 二、层控矿床的统计预测 | 杨 龙 王方戎 朱章森 |
| 三、矿产统计预测的数学方法 | 胡远来 姜若维 |
| 四、成矿地质特征权系数的确定及预测 | 朱章森 |
| 五、加权特征分析—资源评价的一种方法 | 骆俊峰 游 逊译 |
| R. SINDING-LARSEN | |
| I. M. BOTBOL | |
| R. B. McCAMMON | |
| | |
| 六、化探中目标选择的区域化多变量逼近 | |
| I. M. BOTBOL | |
| R. B. McCAMMON | |
| G. B. GoIT | |
| | 庞加研译 |
| 七、根据地质图数据估计矿产资源的回归模型 | |
| C. F. CHUNG. F. P. Agterberg | |
| | 朱核力译 |

一、岩控矿床的统计予測

朱章森

岩控矿床顾名思义是岩浆岩控制的矿床, 主要指一些与岩浆有关的矿床, 其中包括二类, 一类是与岩浆岩成矿专属性有关, 为基性超基性岩中铬铁矿, 钒钛磁铁矿, 花岗岩中钨矿、铌-钽矿以及斑岩型铜矿、钼矿等。另一类与岩体空间上关系密切, 为矿体分布在岩体接触带中在特定地质条件下只要找到某一部位就可以找到矿体等。由于二者成矿条件不同, 所采取预测方法也就不一样, 前者主要用成矿专属性的理论, 运用一些属性分类的统计方法如聚类分析, 判别分析、因子分析(含对应分析)、回归分析等。后者主要研究标志地质特征空间分布的统计方法来进行盲矿预测, 如趋势面分析等。以下按成矿有关岩类分别叙述:

一、基性—超基性岩体含矿性预测

基性—超基性岩体中含有铬铁矿、铜镍硫化物(铂)矿、钒钛磁铁矿等矿床。引起了地质工作的普遍重视并进行了研究, 以期在大量岩体中, 尽快找出具有工业价值的矿产资源, 数学计算方法也是众多研究方法中的一种。我国从本世纪五十年代是用单变量统计或元素比值作为预测标志, 现在已发展到用多元统计方法对岩体含矿性进行预测, 上述方法都是依据成矿专属理论为基础。

一、化学元素比值方法

吴利仁在1963年以 m/f 比值(即 $\frac{Mg^{2+} + Ni^{2+}}{Fe^{3+} + Fe^{2+} + Mn^{2+}}$ 作为区分基性、超基性岩及其有关矿产的标志, 他以166个样品的 m/f 值的频率分布曲线, 得到了三个峰尖和二峰谷, 三个峰尖分别为1、2、10。二个峰谷在2和6—7处。据此吴利仁把基性、超基性岩以 m/f 值分为五类,

岩石类型	m/f 值	矿化有关类型
镁质超基性岩	>6.5	铬铁矿
铁质超基性岩	2—6.5	硫化铜镍矿
富铁质超基性岩	0.5—2	钒钛磁铁矿、碳酸盐矿床
铁质基性岩	0.5—2	单一岩体硫化铜镍矿
富铁质基性岩	0—0.5	单一岩体钒钛磁铁矿

王恒升等1966年对中国超基性岩研究后, 用 m/f 及 S 值来阐明成矿专属性, 他们提出:

岩石类型	m/f 值	S 值
含铬铁矿超基性岩	7.5—12.5	30.8—45.3

含硫化物铜、镍、钴矿超基性岩	3.5—9	33.5—45.3
含铬、镍、铂矿超基性岩	4.5—6	36—60
含硫化物铜、镍超基性岩	1—6	36—60.4

同年杨绍修综合了世界含矿基性超基性岩的岩石化学成分,提出了类似的统计数值。

以上都是以岩石化学成分单变量或比值作为统计指标,判定岩体的岩石类型,由于不同矿产与一定的岩石类型有关,从而指出了含矿类型,但它不能确定该类岩体某种矿产是否具有工业价值,同时上述数值标志中,有重叠部分。因此,仅用该标志难于有效评定岩体含矿性。由于比值法可以简明、直观的区分各岩类,因此 m/f 值在地质工作中还广泛采用,作为一个地质标志。

二、利用元素分布特征评价岩体含矿性

1968年И. А. 马拉霍夫用数理统计方法,研究苏联乌拉尔超基性岩的含矿(铬)性后他指出,不含矿(铬)超基性岩中, Cr_2O_3 呈正态分布,而含超基性岩中, Cr_2O_3 呈对数正态分布。

1976年黑龙江省地质局科研所铬矿组,对含矿(铬)与非铬超基性岩中,铬尖晶石分布取得同样结论,他们认为与铬矿化有关的铬尖晶石在含矿岩相中的分布往往是由某种特定地质因素所决定(如岩体产状、岩相和构造条件),造成 Cr_2O_3 在岩体中分布不均匀性,是成矿的必要条件。

1974年夏林圻对我国南北地区超基性岩含矿性的矿化元素分布统计,他统计了八个岩体 Cr_2O_3 含量的平均值($\bar{X}$),均方差(σ_x),变化系数(V),三阶中心矩(μ_3),偏倚系数(C_s),成矿系数(per)等。

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n,$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$\mu_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3$$

$$Pcr = \mu_3 \times 1000$$

从表1统计中可知不含矿的甘肃岩体中, Cr_2O_3 比较接近正态分布,三阶中心矩(μ_3)数值很小,且为负值,偏倚系数为-0.591,分布曲线偏倚程度不大,近于对称,稍有负偏,均方差与变化系数较小,这些特点也证实 Cr_2O_3 分布较为均匀,大部分数据集中于平均含量0.32%附近,造成 $\mu_3 < 0$,出现负偏倚,因此本岩中 Cr_2O_3 分散,不利于富集成矿。

七个含矿岩体 Cr_2O_3 的频率分布特点,可以看出,含矿岩体 Cr_2O_3 平均含量值、均方差、变化系数等均较不含矿岩体含量为高,偏倚系数(C_s)均大于0.5, $\mu_3 > 0$,分布曲线明显“正偏”。这些特点表明含矿岩体中 Cr_2O_3 分布不均匀,而且高含量者较多,所以有利于 Cr_2O_3 富集成矿。

该文作者指出含矿规模愈小,分布曲线愈近于对称-正态分布。含矿规模愈大,分布曲线正偏程度愈强。而且三阶中心矩 μ_3 值的大小可以近似定量的反映出这一规律性变化。

表1 陕、甘、青某些超基性岩体中 Cr_2O_3 的概率分布统计表

岩体名称	铬矿地质评价	样品数	Cr_2O_3 含量变化区间(%)	均法 $\bar{x}$	均方差 σ_x	变化系数 V	三阶中心矩 μ_3	偏倚系数 C_s	成矿系数 Pre
甘E	无矿	40	0.36—0.45	0.32	0.07	22.03	-0.000204	-0.591	-0.204
A	矿化	60	0.20—0.77	0.37	0.109	29.47	0.000899	0.69	0.899
H	矿化	36	0.25—0.76	0.41	0.103	24.91	0.001618	1.46	1.618
L	小矿	25	0.20—1.0	0.49	0.246	50.04	0.013105	0.88	13.105
Ln	小矿	20	0.06—1.28	0.47	0.296	62.45	0.037977	1.427	37.987
青E	小矿	62	0.08—1.85	0.54	0.312	57.80	0.063865	2.09	63.865
S	中矿	46	0.04—1.72	0.57	0.291	51.16	0.048292	1.95	48.292
D	大矿	37	0.15—1.99	0.64	0.376	58.75	0.063549	1.19	63.549

岩体含矿性评价

三阶中心矩 μ_3 值

变化系数 per

矿化岩体

$\mu_3 < 0.01$

0.5—10

含小型矿床岩体

$0.01 < \mu_3 < 0.03$

10—30

含中型矿床岩体

$0.03 < \mu_3 < 0.05$

30—50

含大型矿床岩体

> 0.05

> 50

从上表统计的规律对照前表的统计数值,可知青海Ln岩体和青海E岩体的变化系数很高,与该二岩体已查明的铬铁矿的规模太不相称,而分别与含矿规模中等的陕西S岩体和大型矿床的D岩体 Per 值大致相似,并结合二岩体的地质情况,夏氏预测在该二岩体进一步工作有可能发现中至大型铬矿床的评价。

1980年叶良和对北祁连山超基性岩三氧化二铬变化性及岩体含矿(铬)性进行了研究,他除了证实夏氏上述统计规律外,经过统计后提出,从 Cr_2O_3 统计分布曲线对比表明成矿岩体与微弱矿化或不含矿岩体有明显的差别,其特点:

成矿岩体

(1)统计分布曲线呈正偏倚,小于平均含量的样品频数最大。

(2)峰凸低,峰幅大,分布的级别范围大,频数差别相对较小。

(3)出现大于2%的高含量样品,其频率占5%左右。

不含矿岩体的特点为:

(1)统计分布曲线呈正态分布。

(2)峰凸高,峰幅小,分布级别窄,频数差别大,大部分集中于平均含量一级。

(3)没有出现大于2%的样品。

该文作者据岩体含矿(铬)性评价的综合地质标志,提出了一个岩体成矿(铬)分类,见表2。

表2

超基性岩成矿(铬)分

岩体成矿(铬)分类	Cr ₂ O ₃ 的鉴别标志					含矿岩相的
	平均含量 $\bar{X}(\%)$	变异系数 $V(\%)$	分异指数 E	自然分布 类型	统计分布类型	产状和规律
I 大中型矿岩体	>0.8	>60	>1.5	单峰或多 峰波浪型	正偏峰凸低 峰幅大Cr ₂ O ₃ >2%占5—10%	含矿岩相成带 产出具一定规模
II 小型矿岩体	0.4—0.8	40—60	1—1.5	混杂型	过渡型 正态峰凸高	含矿岩相具一 定规模的异离体 或贯入体
III 矿化及不含 矿岩体	<0.4	<40	<1	平稳型	峰幅小 Cr ₂ O ₃ <1%	含矿岩相为小型 异离体或单相岩体

(据叶良和)

三、序列类比法统计岩体含矿性

当在某一成矿带中,赋存一系列基性超基性岩,其中部分岩体的含矿性进行了较充分的地质研究。当对各岩体作了同样项目的化学分析或物相分析,可作序列类比法统计其方法步骤如下:

1. 样品分类分组:可根据含工业价值矿床的岩体,矿化岩体及无矿岩体等分为三类,也可以与岩石类型结合在一起进行分类。

2. 选择变量,将地化调查中样品分析项目作为变量然后用统计方法,挑选出能区分上述分类的变量。

3. 以各行作为各组岩体及待判岩体,各列为有效变量,构成数据矩阵表,用算术平均法取得各组岩体各变量的均值,然后以含矿岩体与无矿岩体各变量均值之比,如比例中某一变量比值较其他变量比值差异较大时,则可以适当加大该变量的权。

4. 作出对应于各变量的岩体排列顺序

5. 计算序和分数值

6. 按序和大小排列岩体顺序,根据已知岩体的序和值来评价岩体含矿性。

7. 用占探工程检验评价结果。

为了更好的说明上述方法现把川冶地605队对康滇地轴北段超基性岩体的含矿性用序列类比法评价试验简述如下:

川冶地605队对康滇地轴北段超基性岩体进行了地化调查,找寻Cu-Ni矿化物矿床,在调查中用随机取样方法采取地表及深部工程中的新鲜岩石或弱风化岩石(其主要评价指标无明显变化),当一个岩体含有不同岩相时分别进行取样,在66个岩体中,选择了740个样品。样品里岩石定名主要以野外肉眼鉴定为主,镜下鉴定为辅。

样品加工后作Ni、Co、Cr、Cu、SNi、S、V、Ti、Mn、Zn、TFe、MgO、GaO、等项目的分析。

样品分组,考虑到岩体地化特征在垂向上的变化的影响,将地表样品和深部工程样品分作两套数据各自统计对比,对杂岩体中不同岩相均分别编号,各自作为一个基本单位参加统计对比,据此把岩体分为四类①含矿岩体—有工业价值矿体或具数千吨以上的表外矿的岩体;②弱矿化岩体—含较小规模的表外矿;③无矿蛇纹岩体—无硫化镍矿化的蛇纹岩体;④无矿岩体—无硫化镍矿化杆栏岩—辉长岩类岩体。

评价标志选择,该队采用座标作图法来选取变量,以横座标为各变量,纵座标为各含量值,用四个符号分别表示四组岩类的各变量值。编成图件从该图上明显的看到 SNi 、 S 、 Ni 、 SNi/Ni 、 Cr/V 、 MgO/CaO 、 Ni/Fe 等指标含矿岩体与无矿岩体相差两倍以上,对于地表单个含矿、弱矿化、非矿岩体只有 SNi 差异最明显,其余各变量均有不同程度的交插。最后选出了 SNi 、 S 、 Ni 、 SNi/Ni 、 MgO/CaO 组成综合指标(也可用其他统计方法选择变量)。

地表超基性岩的评价。表3为地表超基性岩体地化特征表,从该表含矿与非含岩体均值中 SNi 在两类岩体中的比值为7.8,而其余各项比值为2.5—3.2,故将 SNi 的序数予以加权(乘以3)。

按变量的均值大小把岩体排列成下表,表4。

按岩体序和得分排列成表,表5。

按序和大小岩体排列成表,表6。

从序列中已知含矿岩体排列在17位以前,已知非矿岩体排列在26位以后,认为22、31、20、21、28、30、32、27、33诸岩体为含矿岩体。特别在5号岩体以前的七个岩体成矿可能性更大。

四、判别分析预测基性超基性岩含矿性

判别分析是一种分类方法,其特点是根据两类或多类个体的某些属性来判别两类或多类个体。当两类或多类事物具有完全不同的属性时,很容易将其分开;但当两类或多类事物的几种特征非常相似时,若只靠一种特征往往很难正确地将两者(多类)分开,因为这种特征的观测值有很大的重叠性,假使我们测定了两类事物的几种特征(即几个变量),并找出它们的适当的线性组合,就可使重叠程度大大减小,从而正确地分辨两类或多类事物,这种线性组合(即判别函数)可以作为一种标志,借以区分两类(或多类)事物。

用于判别分析的准则,常用的有:

(1) 费歇(Fisher)准则,即组间均值差与组内方差之比要大,也就是要求组之间的均值差愈大愈好,而组内方差要小。

(2) 贝叶斯准则(Bayes),即以归属某类的概率最大或错分损失量最小的原则。

判别分析应用同时,必需注意以下问题:

(一) 分类齐全

判别分析作为一种归类方法,与其他归类方法不同之点,是在事先必需已知研究区内所存在的不同母体(这里指含矿类),对母体的了解是否详尽或符合实际,在很大程度上影响归类判别的效果。

研究区存在的含矿性类型,在判别分类中必需齐全。假使工作目的仅仅光为了寻出

表3 地 表 超 基 岩 体 地 球 化 学 特 征 表

类 别	编 号	S	SNi	Cu	Co	Xi	Cr	V	SX _i	SX _j	Cr	Fe	MgO	Fe ²⁺	CaO	MgO	m/f	Ni/Fe	岩 性 及 矿 化
									$\frac{S}{X_i}$	$\frac{S}{X_j}$	$\frac{Cr}{V}$			$\frac{Fe^2+}{MoO}$				$\times 1000$	
含	1	834	220	494	70	880	1988	380	0.23	0.25	52	10.66	23.7	40.36	2.41	12.3	3.8	8.3	$\sigma-\lambda-\omega$ 深部工程控制数千吨表外矿
矿	2	2170	459	581	87	1181	1519	300	0.39	0.21	51	9.62	31.63	41.28	4.13	7.6	4.5	12.2	$\sigma-\lambda-\omega$ 数万吨表外矿
岩	3	1646	148	819	61	670	1450	690	0.22	0.1	21	7.79	21.01	28.8	10.82	2	3.7	18.6	$\sigma-\lambda-\omega$ 小型矿床
体	4	1844	370	119	73	895	1220	1320	0.41	0.22	9	8.79	25.59	34.38	3.84	7.5	4.1	11.2	$\sigma-\lambda-\omega$ 小型矿床
	5	1808	185	89	64	814	974	330	0.23	0.14	29	8.34	23.66	32.0	9.39	2.5	3.9	9.8	$\sigma-\lambda-\omega$ 中型矿床
	6	1032	286	161	72	778	694	420	0.36	0.07	17	9.39	22.97	32.36	7.3	3.1	3.4	9.3	$\sigma-\lambda-\omega$ 中型矿床
	X	2022	280	307	71	869	1274	570	0.31	0.16	29.7	9.57	25.75	34.86	6.28	5.8	3.9	9.6	
弱	7	2062	101	130	54	340	580	1000	0.29	0.05	6	10.3	22.6	32.9	6.72	3.3	3.1	3.3	$\sigma-\lambda-\omega-\sigma$ 弱矿化
矿	8	858	124	306	66	610	1190	1150	0.2	0.14	10.3	7.39	91.48	28.87	12.13	1.7	3.12	8.3	$\sigma-\lambda-\omega$ 在 $\lambda-\lambda\sigma$ 岩相中具弱矿化
化	9	374	114	60	83	780	1113	950	0.15	0.3	11	10.47	24.22	34.69	10.67	2.3	3.2	7.5	$\sigma-\lambda-\omega$ 在 $\sigma-\lambda\sigma$ 岩相中具弱矿化
岩	X	1098	113	165	69	577	363	1030	0.21	0.16	9	9.4	22.8	32.9	9.84	2.4	3.14	5.4	
体	10	2172	27	130	36	108	210	900	0.14	0.01	2	8.83	10.98	19.81	9.7	1.13	1.7	1.1	σ
	11	394	31	118	41	363	980	1900	0.09	0.08	5	10.57	17.69	28.26	13.24	1.3	2.4	3.4	λ
无	12	406	25	104	116	303	3300	620	0.08	0.06	53	9.32	21.32	30.64	8.11	2.6	3.1	3.2	$\lambda\sigma$
矿	14	347	42	386	34	311	480	520	0.13	0.12	9	8.20	22.02	30.22	11.55	2	3.7	3.7	λ
岩	15	479	64	313	40	423	437	510	0.15	0.13	9	9.33	18.77	28.09	13.67	1.4	2.8	4.5	σ
体	16	420	28	474	68	548	1580	1130	0.05	0.07	13	9.55	21.48	31.63	12.13	1.7	3.1	5.7	σ
	X	700	36	237	57	343	1165	940	0.31	0.68	9	9.3	16.71	28.01	11.4	1.69	2.8	2.9	
蛇	17	811	207	27	71	3221	1929	100	0.06	0.25	192	5.69	36.95	42.62	0.18	205	9.01	55.5	f 具含镍磁铁矿化 晋宁期岩体
纹	18	210	20	10	50	2800	1300	100	0.07	0.1	130	5.72	37.79	43.49	0.27	140	9.24	45.5	f
岩	19	520	74	249	127	1129	3995	800	0.06	0.14	49	10.8	31.51	41.59	0.02	31	4.04	10.5	全蛇纹石化杆栏岩
体	X	347	100	95	83	2303	2408	330	0.04	0.16	124	7.4	35.42	42.6	0.49	125.3	7.43	37.2	

注: 1. σ 杆栏岩 λ 辉石岩 ω 辉长岩 S 闪长岩 f 蛇纹岩

2. SNi < 200r/g 者在计算 SNi/Ni 时均以 Ni = 200r/g 计算

表4 对应于各变量的岩体排列顺序

表4	对应元素的质量百分数/%																																														
元素	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
变量项目																																															
SNi	2	4	26	22	31	30	6	20	32	28	1	17	21	33	5	27	40	3	8	9	7	44	35	45	19	15	14	24	37	41	36	25	11	48	16	10	12	47	43	18	39	29	34	46	23	42	38
S	33	22	6	31	10	2	7	20	5	39	20	4	3	21	26	24	8	1	44	27	30	17	38	25	40	28	41	45	19	23	15	29	34	16	12	11	9	35	14	36	37	48	18	46	17	42	43
Ni	17	18	42	39	35	20	33	27	22	2	28	31	4	19	26	1	47	40	5	9	6	21	20	45	3	8	44	36	16	37	34	46	15	33	11	7	14	12	24	21	25	41	29	23	10	48	38
SNi/Ni	33	4	2	20	6	26	7	21	31	1	22	5	3	28	8	30	32	41	10	24	44	9	25	15	27	10	48	14	5	11	29	37	12	39	35	19	36	17	16	46	34	47	43	42	23	18	38
MgO/CaO	1	36	2	4	21	26	27	22	45	28	31	7	6	20	37	12	5	40	9	24	34	3	14	24	47	8	16	15	23	11	11	46	25	39	10	33	48	28	38	30	19	35	32	18	42	17	43

表5 各岩体的序数和得分

岩体号	顺序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
统计方式																							
三	和	61	12	80	20	66	29	77	89	119	139	169	179	147	134	178	96	209	140	39	61	25	210
五	和	78	25	127	37	102	63	125	141	158	219	230	233	207	195	234	143	299	195	76	88	43	283
岩体号	顺序	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
统计方式																							
三	和	120	144	30	93	70	183	55	28	53	44	203	142	170	160	214	167	195	135	227	307	106	144
五	和	183	218	51	108	91	270	99	51	102	114	255	189	209	205	297	241	131	208	275	261	153	177

表6 按序和大小排列的岩体顺序

岩 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
岩 号																																															
统计方式	2	4	22	31	6	26	20	33	32	30	21	1	5	28	7	3	8	27	40	17	44	9	24	15	41	10	19	25	45	35	14	37	11	39	36	48	10	12	29	47	34	43	18	23	38	46	42
三序和	2	4	22	31	26	6	20	1	21	28	30	5	32	27	33	7	3	40	8	17	44	9	45	24	35	15	19	37	14	41	36	25	10	11	12	16	39	47	48	34	43	29	42	23	46	38	18
五序和																																															

注: 1. 三序和为 $SNi \times 3 + S + SNi/Ni$, 五序和为 $SNi \times 3 + S + Ni + SNi/Ni + MgO/CaO$ 2. $MgO/CaO > 12$ 者 (即含矿类最高比值) 以 12 - (x-12) 计算排序 3. 2 为已知含矿岩体, 7 为已知弱矿化岩体, 15 为已知无矿岩体。

某一岩类中的矿产，则可以确定一定标准，（常用 m/f 值或岩石显微镜鉴定成果）事先把不属于工作目标的岩体剔除掉，如我们在西昌地区研究时，目的在于寻找铁质基性超基性岩中的铜、镍（铂）矿，钒钛磁铁矿以及具无矿岩类时，预先用 $m/f > 8$ ， $K_2O + Na_2O > 5\%$ 为标准，对样品逐个检验，把镁质超基性岩、碱性超基性岩剔除，这样保证了所有岩体仅限于铁质基性超基性岩。

当以寻找某一岩类中、一种矿产时，常常采用二组判别的方法，如基性岩中钒钛磁铁矿岩体，基性岩中无工业价值的岩体等二类，就认为分类齐全了。如我们在西昌地区研究时，预测岩体包括铜-镍、铬、钒钛磁铁矿等多类矿体，这些矿产又分别在基性岩、超基性岩中，因而我们按岩类、岩相组合及成矿金属元素分为七类。

所谓分类齐全，即未知岩体的地质条件在大前提下应有可能属于已知组中的一组。我们在西昌地区多类判别分类研究中，因为分类中既包括了基性岩、超基性岩不同岩类，又含有铜-镍（铂）硫化物矿，钒钛磁铁矿及铬矿化及其无工业价值岩体，我们在无工业价值的岩体分为二类即无工业价值的基性岩及超基性岩，假使我们不分为二类，那末就可能出现错判现象，如一个基性岩样品，它从造岩元素与钒钛磁铁矿类似，而金属元素上属于无工业价值的岩体，它可能部分判入具钒钛磁铁矿岩体，一部分属无矿岩体，这种错判主要由于分组不齐全。

选择已知岩体，把研究比较清楚的岩体，选在相应的类别中。然后把岩体中有代表性性与典型的样品组成模型矩阵，模型矩阵的代表性与典型性对所建判别函数的好坏具有直接影响。

首先根据样品的地质描述，把一些经过后期变化的样品如风化带、蚀变带、破碎带地下水发育地段的样品捨弃，以后可用逐步判别或因子分析进行样品挑选，把属于本组有代表性的样品选入，其余不属于本类样品则剔除。但每类样品数不能少于变量数，最好不少于50个或32个样品。

变量的取舍

标准样品及样本容量确定以后，变量及其多少也是一个值得认真考虑的问题，一般说来变量增加，可以提高正确的分类概率（当然也不是愈多，分辨率愈高），但变量增多会增加很多人力、物力和计算时间，其计算结果也不便于推广和使用，所以必需是选用分辨能力较强的变量，舍去一些分组作用不大的变量，取舍因素有如下几点

1. 待判类别

变量的取舍与类别有着密切的关系，基性超基性岩石化学组分与矿化是有成因关系的，如含镁高的镁质超基性岩易富集铜镍硫化物矿床，铁质基性岩易富集钒钛磁铁矿。当然，这里所指易富集并不一定富集成具工业价值的矿床，为了判定其是否具工业价值的矿床，必需选择有区分意义的变量，如某些金属元素或比值等。因而，在同一岩类进行有矿与无矿二类判别时，造岩元素常常缺乏分类价值，而金属元素具显著分辨能力。当同时需区分不同岩类及其矿产工业价值时，则必需既选择造岩元素，又选择金属元素作为变量，否则不能取得有效区分各类的目的。

（2）应用方便

选择变量在充分考虑对各类的区分意义外，同时尽可能选择目前地质队常作的一些分析数据，这种的变量组成的判别函数便以推广，

数据的变换与变量的挑选

判别分析利用上述准则,数据必需接近正态分布,并使其方差和协方差相等。这样需将变量进行变换,一般可用:反正弦变换(角度变换),平方根变换,对数变换。

在原选择的一些变量中,可以用逐步判别方法,在给出不同F值的情况下,自挑动选有区分意义的变量,同时也剔除一些区分意义不大的变量。

建立判别函数及检验

把选定的标准岩体及其样本,组成的各组数据矩阵,通过判别方程计算,可拟建立起判别函数,以此判别函数对标准样品自判归类,统计其判别正确率,同时可计算其马氏距离及F统计检验量是否显著。也可以把一些经过详细地质工作虽已证明其归类情况的样品作为待判样品,用判别函数判定归类从而检验其判别函数的正确性。

对未知岩体进行断别,提出岩体含矿性评价(预测)

为了更好的理解,这里举攀枝花—西昌地区基性超基性岩含矿性数学地质研究的例子。

本区岩体按岩石化学成分可分为铁质与镁质超基性岩以及碱性超基性岩,而本区以铁质基性超基性岩数量最多,而且赋存金属矿床,因此作者首先把镁质超基性岩与碱性超基性岩从中区分出来,镁质超基性岩采用刘若新提出的A型镁质超基性岩 $m/f < 8$ 者。碱性超基性岩以 $K_2O + Na_2O > 5\%$,用上述判别标志逐个检验岩体的样品,从而把镁质超基性岩与碱性超基性岩挑选出来,不参加本次计算。经过筛选后的岩体,都是属于铁质基性超基性岩。

铁质基性超基性岩中金属矿物的富集与岩石化学成分有成因上关系,据此作者以岩石化学成分金属矿物组合与矿床工业意义,把岩体分为七类:

- 1.具工业价值的钒钛磁铁矿岩体,属基性岩的单相岩体
- 2.具工业价值的含铬钒钛磁铁矿岩体,本类岩体以基性岩为主的基性超基性复相岩体,即岩体上部为基性岩,下部为超基性岩。
- 3.具工业价值的含铂钒钛磁铁矿岩体,本类岩体研究程度较低,以基性岩为主的基性超基性复相岩体。

第2类与第3类有它类似性,但考虑目前急需铬矿资源。故分别建成二类。

4.不具工业价值的钒钛磁铁矿岩体

本类岩体岩性较为单一的辉长岩或辉绿辉长岩类的单相岩体,肉眼观察金属矿物含量少。

5.含铬含铂贫硫化物铜镍的岩体

本类岩体目前未作详细研究,尚不能评价其工业价值,岩体中有铬铁矿矿物与其它各类区别。

6.具工业价值的硫化物铜镍或硫化铜镍铂矿岩体。

岩体以超基性岩为主的基性超基性岩,岩体含铜、镍硫化物如力马河岩体,有的矿区还含有铂族元素,本应把此二类分开,但由铜镍硫化物类样品太少,不能满足数学模型的要求。故合为一类。

7.不具工业价值的含金属硫化物矿物的岩体,以超基性岩为主的基性超基性岩体,含少量硫化物矿物,不具工业价值。

按上述七类分别把研究比较详细的岩体作为已知岩体，把各样品化学分析结果填写在表内，构成数据矩阵。

1. 变量的挑选与F值的确定

挑选变量的方法基本上与逐优回归中挑选变量的方法相同，挑选的标准是以组间方差与组内方差之比，所组成的F统计量，在给定信度 α 下是否显著为准。

表7 计算中各变量的引入次序及其F值表

引入变量	引入次序	F值	说明
1	MgO	175.04	在取 $\alpha=0.01$ 的信度下 这些变量对判别函数是显著的
2	SiO ₂	56.402	
3	Al ₂ O ₃	39.11	
4	CaO	24.828	
5	TiO ₂	16.657	
6	K ₂ O	12.026	
7	FeO	10.649	
8	Co	7.909	
9	X*	5.365	
10	Cu	4.509	
11	Ni	3.312	
12	MnO	2.218	不显著
13	S	1.592	
14	Cr ₂ O ₃	1.162	

*X组成单斜辉石阳离子总数%

在 $\alpha=0.01$ 的信度下，查自由度为 ∞ 和6的F表，得 $F_{\alpha}=2.80$ ，从表7中可以看出，前11个变量的F值都大于 F_{α} 故选入了11个变量进入判别函数。

2. 归类判别函数的系数

最后判别归类的判别函数可以写为如下的形式：

$$F_m = C_{m0} + \sum_{i=1}^{11} C_{mi} X_i \quad (m=1, 2, \dots, 7)$$

其中变量

$$X_1 = \text{SiO}_2,$$

$$X_2 = \text{Al}_2\text{O}_3,$$

$$X_4 = \text{Ni}$$

$$X_5 = \text{Co},$$

$$X_6 = \text{Cu},$$

$$X_8 = \text{MgO}$$

$$X_9 = \text{CaO},$$

$$X_{10} = \text{K}_2\text{O}$$

系数 C_{m0} 、 C_{mi} 之值见表8

(四) 样品的归类

在求出判别函数之后，我们将第K个样品的值代入判别函数，则可求出判别计量

表 8

各类判别函数表

	一	二	三	四	五	六	七
Cm_0	-289.099	-263.672	-301.92	-305.482	-315.234	-262.999	-277.918
Cm_1	8.308	7.638	8.852	8.749	8.626	8.117	8.317
Cm_2	7.064	5.619	5.584	6.659	6.407	5.491	5.216
Cm_3	10.202	11.516	12.161	10.107	10.830	10.465	10.363
Cm_4	-16.04	-15.858	-18.332	-22.153	21.582	2.854	-32.154
Cm_5	149.005	137.651	136.77	144.588	200.25	135.008	125.839
Cm_6	121.786	115.045	149.173	128.207	126.043	134.497	118.445
Cm_7	5.899	5.021	4.654	5.689	4.829	4.198	4.869
Cm_8	4.376	4.549	4.611	4.52	5.64	4.987	4.619
Cm_9	-1.166	0.527	0.04	-0.588	1.33	0.75	0.753
Cm_{10}	-19.769	-10.23	-11.701	-17.187	-13.993	-12.561	-11.52
Cm_{11}	0.423	0.308	0.227	0.354	0.329	0.224	0.198

$$F_{.k} = C_{m0} + \sum_{i=1}^{11} C_m X_{mi} \quad (m = 1, 2, \dots, 7)$$

再计算此样品来自第m类的概率

$$P_{mk} = \frac{\exp(F_{mk})}{\sum_{i=1}^7 \exp(F_{ik})} \quad (m = 1, 2, \dots, 7)$$

最后就可将此样品划归 P_{mk} 最大一类。

1. 回判归类情况

将242个标准样品分别代入判别函数进行分类，其结果见表9：

2. 利用所得判别函数，我们还进一步对以下三批不同情况的系统样品进行了判别：

第一批，太和岩体各品级钕钛铁矿石12个样品。

第二批，阿七岩体的系统剖面的14个样品剖面上部6个样品中为风化辉长岩、角闪辉长岩、闪长岩的各一个样品，受斜长岩影响的石英闪长岩与斜长岩各一个样品，还有一个铁矿石样品。

第三批，草场岩体占孔深度为230米以下16个系统样品。在样品中除两个可能为浅成相岩石（辉绿辉长岩与似斑状辉长岩）外，其余样品均能代表本岩体。详见表10

表9

242 标准样品的判别归类

判别模型类别	模型样品数	判入各类样品数							判别率
		1	2	3	4	5	6	7	
1	48	48							100%
2	27	1	25					1	92%
3	38	1		27	3			7	71%
4	39			1	38				97%
5	31					26	5		80%
6	36			1		4	31		85%
7	23		1		2			18	79%

表10

三批样品判别结果

名称	样品情况	判入各类样品数						
		1	2	3	4	5	6	7
太和岩体	Fe ₁ 6	1	5					
	Fe ₂ 2		2					
	Fe ₂ +Fe ₃ 4		4					
阿七剖面	上部 风化辉长岩、角闪辉岩或闪长岩 3				3			
	石英闪长岩或斜长岩 2			1	1			
	铁矿石 1		1					
草场钻孔	下部 6				1		7	
	辉长岩 14				14			
	后期浅成相 2	1					1	

(五) 马氏距离

为了检验各类的差异是否显著, 在计算过程中还计算了各类两两间的广义马氏距离D和检验各类两两间差异的F值, 计算结果如表11。

表11 马氏距离与F值表

	一	二	三	四	五	六	七
一		31.933	42.382	12.196	91.431	74.537	37.041
二	21.231		26.403	34.925	75.478	52.126	19.408
三	22.958	18.955		19.694	64.347	39.405	14.504
四	6.512	25.150	11.756		71.527	53.968	18.018
五	55.769	60.089	4.3302	47.579		15.027	43.536
六	41.628	38.815	24.469	33.121	19.372		22.855
七	27.369	17.953	11.650	14.308	37.881	18.710	

在信度 $\alpha=0.05$ 下,查自由度为 ∞ 和11的F分布表,得

$$F_{\alpha=0.05}=1.8$$

而表中F 最小值都为12.196,显然 $F_{ij} > F_{\alpha}=1.8$,这就表明各类两两间的差异是很显著的。

从三批不同情况的系统已知样品的判别结果,可以看出本判别函数,对下述情况的样品不能达到有效的判别:

1.铁矿石样品不能正确的判断。如太和各种品级铁矿石的12个样品,本应金属第一类,结果却有11个样品判入了第二类。

2.成岩后的次生作用(如脉岩侵入,混染带、风化带,……等)可使组分发生变化的样品会发生错判。如阿七岩体系统剖面上部6个样品中为风化辉长岩,受斜长岩侵入影响的石英闪长岩二个样品分别判入3与4类。

3.基性岩脉样品,如草场占孔深度为230米以下的系统样品中两个样品分别判入1类与6类。

除上述情况外本判别函数对所属铁质基性超基性岩体中的样品的判别都是有效的。如阿七岩体剖面余下的6个样品中七个被正确的判入到6类(即硫化物铜镍(铂)矿类)。草场统计样品中余下的14个样品,全部正确判入4类(即不具工业价值的钒钛磁铁矿类)。

二、花岗岩体矿含性预测

我国花岗岩分布很广,与它有关的矿产有钨、锡、(铋、铅)铌、铀、稀土等。我国这些矿产在世界占重要地位,也是我国地质工作者研究比较深入的课题。

(一)元素比值法

花岗岩体与多种矿产有关,许多地质人员按成矿专属性的理论来研究与岩石化学成分之间的关系,从而找出判别含某种矿产的标志。较早有用岩石氧化物的比值作为标志,为用 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 有以下数值标准。

$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \geq 2.17$ 为含锂、钽花岗岩。

$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \geq 1.33$ 为含钽花岗岩。

$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \geq 1.00$ 为含铌-钽花岗岩。

$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \geq 0.81$ 为含铌花岗岩。

$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \geq 0.65$ 为含稀土花岗岩

$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \geq 0.68$ 为含铈、钪花岗岩。

另外,以 $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Ta}_2\text{O}_5$ 的比值作为标志,为

$\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Ta}_2\text{O}_5$ 值为6—10时为稀土花岗岩

$\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Ta}_2\text{O}_5$ 值为5—10时为铌矿花岗岩

$\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Ta}_2\text{O}_5$ 值 $<1-2.5$ 时为钽矿花岗岩。

有的地质人员的二价金属元素的总和及 Na/Ca 比值,对江西省某些产铀岩体、产铌

-钽岩体、产钨-锡矿岩体和稀土岩体，提出以下成分的变动范围：

	ΣR^{2+}	Na/Ca
产铀岩体	28—70	2.5—15
产钨锡稀土岩体	25—50	7.5—20.5
产钨-钽岩体	5—30	17.5—70

ΣR^{2+} 为 $Fe^{2+} + Mg^{2+} + Ca^{2+}$ (二价金属元素的总和)

1963年以后至今仍有学者对含锡花岗岩标志的比值，如表12。

表 12 含锡花岗岩标志的比值

作 者	比 值	岩 石 或 矿 物	数 值 范 围
Tischendorf and Hejer (1972)	Mg/Ti	正常花岗岩 特殊花岗岩	40 10~0.3
Beus and Sinin (1968)	Mg/Li Zr/Sn	无矿花岗岩 含矿花岗岩 无矿花岗岩 含矿花岗岩	270±80 75±30 76±20 30±10
Tischendorf (1977)	K/Rb	正常花岗岩 特殊花岗岩	>100(最大值300) <100(最小值20)
Beus and Grigorian (1975)	K/Rb	正常花岗岩 与矿化有关的花岗岩	170 130
Taylor et al (1975)	K/Rb	分异花岗岩及伟晶岩	<144
Taylor and Hejer (1960)	Ba/Rb	眼状片麻岩中的长石 伟晶岩中的长石 有经济意义的矿化 伟晶岩的长石	20.6 6.06 1.29
Sbmakin (1973)	Rb/Ba	白云母伟晶岩中的钾长石 稀有金属伟晶岩中的钾长石 白云母伟晶岩中的黑云母 稀有金属伟晶岩中的黑云母 白云母伟晶岩中的白云母 稀有金属伟晶岩中的白云母	0.276 23.2 0.99 62 0.321 1928
Ahrens (1964)	Rb/Ti	花岗岩 伟晶岩 花岗岩中的黑云母 花岗岩中的锂云母	200 115 230 140

M. 博伊瑟维-瓦伊瑶等根据对法国和葡萄牙含锡花岗岩用 Ti_2O/Ta 作为选择详查的区域性标志, 该比值标志的优点在于:

① Ti 和 Ta 在晚期热液蚀变过程中性质稳定, 不象 Rb 、 Li 那样易于淋失

② Ti 和 Ta 在整个岩浆分异过程中自始至终逐渐分馏。

③ 比值变化范围大, 适于作地球化学标志, 在马尔凯地区, 分异不好的最早的花岗闪长岩相为 4900, 而最晚期含锡矿化的钠长石化花岗岩则 < 1 。

在比值统计法探索找矿标志的基础上, 有的地质工作者试图建立一些评价标志的经验公式: 为

$$X = \frac{1}{5} Si_2O + (K_2O + Na_2O) \times \frac{K_2O \times 3}{Na_2O \times 5} \times CaO$$

$X < 19$ 时, 不利于成铀岩体。

还有一些火山岩工作者, 在实际工作中试用以下公式计算的数值来评价含铀火山岩: 如

$$1. \quad \frac{1}{3} SiO_2 + K_2O - (Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO + CaO) > 25$$

$$2. \quad \frac{K_2O}{K_2O + Na_2O + CaO} < 0.1$$

$$3. \quad \frac{K_2O}{K_2O + Na_2O} \times 100 > 70$$

$$4. \quad K_2O/Na_2O < 1 \sim \frac{5}{3}$$

$$5. \quad \frac{\frac{1}{5} SiO_2 + (K_2O + Na_2O) K_2O}{Na_2O} \times \frac{3}{5} Co > 1$$

$$6. \quad \frac{K + Na}{Al} = 0.65 - 0.85$$

当火山岩体化学成分计算数值在上述范围内, 就认为是成铀有利的岩石。但这些计算的经验数据尚未为广大的地质工作者接受。

(二) 判别分析

随着多元统计方法在地质中逐步应用, 花岗岩含矿性的统计研究也得到开展, 用聚类分析、对应分析、判别分析等来分辨其含矿性, 如孙文鹏用二组判别分析区分: 含铀与含钨在花岗岩、含铀与含铌-钽花岗岩、含铀与含稀土在花岗岩、含钨与含铌-钽花岗岩。苟月明对江西含钨与非钨花岗岩用 Q 型聚类分析加以区分, 王传松等用判别分析区分江西花岗岩含钨性。1981 年孙文鹏用模糊聚类法预测华南花岗岩的铀矿, 在作花岗岩类矿产预测时, 必需首先研究矿产与岩体的成因关系, 也即有否专属性, 这是工作成败是关键。

我们在分析了南岭地区钨、铌-钽、铀与稀土矿等矿床的成因特点, 认为钨、铌-钽矿床这二类矿床成因与花岗岩岩石化学成分有密切关系的, 可以用成矿专属性的原则来预测盲矿。

而稀土矿床是在含稀土付矿物的花岗岩, 在地表岩体经风化作用, 使含稀土付矿物