95

不同矿化类型斑岩铜(钼)矿床 的分类定量判别模型

沈忠民 冯祖钧 任启江 (南京大学地球科学系)

提 要 本文给出了我国 32 个斑岩铜钼矿化岩体的岩石化学数据的分类研究定量判别数值模型。 笔者按不同矿化类型将 162 个样品分为五种类型,分别为 Cu 型、Cu-Au 型、Cu-Mo-Au 型、Cu-Mo 型 和 Mo 型,并且进行了分类统计,在定量研究的基础上给出了不同矿化类型的判别模型。 关键词 斑岩铜(钼)矿床 矿化类型 判别模型

斑岩铜(钼)矿床在国内外都有较深入的研究。为更深入地对比研究不同矿化类型的斑岩 铜(钼)矿床,本文将不同矿化类型的斑岩铜(钼)矿床分为 Cu 矿化型、Cu-Au 矿化型、Cu-Mo-Au 矿化型、Cu-Mo 矿化型和 Mo 矿化型五种基本矿化类型。并由此五种基本型派生出两种复 合类型,即(Cu-Au)+(Cu-Mo-Au)型和 Cu+(Cu-Au)+(Cu-Mo-Au)+(Cu-Mo)型,前者称之为 含金的矿化型,后者称为含铜矿化型。针对上述不同矿化类型的斑岩铜(钼)矿床的矿化岩体的 岩石化学数据进行了定量统计研究,并且给出了分类定量判别数值模型。

1 斑岩铜(钼)矿床矿化有关岩体岩石化学成分分类统计特征

1.1 统计数字特征

本文搜集到 32 个矿区的 162 个样品的岩石化学成分数据,样品均采用的是未蚀变岩的数据。按前述的分类将 162 个样品分为五种基本类型,其中 Cu 矿化型样品数为 15;Cu-Au 矿化型样品数为 6;Cu-Mo-Au 矿化型样品数为 14;Cu-Mo 矿化型样品数为 42,Mo 矿化型样品数为 85。另外,组合类型中含金的矿化类型样品数为(Cu-Au)矿化型+(Cu-Mo-Au)矿化型的样品数 =6+14=20,含 Cu 矿化类型的样品数=Cu 矿化型+(Cu-Au)矿化型+(Cu-Mo-An)矿化型+(Cu-Mo)矿化型的样品数=15+6+14+42=77。分别对各种矿化类型的岩石化学成分数据进行统计数字特征计算对应的均值、方差、变异系数,结果见表 1。由表中平均值栏,可见到 SiO₂的平均含量值随着(Cu 矿化)→(Cu-Mo-Au 矿化)→(Cu-Mo 矿化)→Mo 矿化这样一个演化趋势而逐渐增大,也就是说随着岩体的酸性增加有利于钼矿化,反之则有利于铜矿化。由表 1还可见到 K₂O 的均值 Mo 矿化类为 5.54,Cu-Mo 矿化类为 4.27,含 Cu 类为 3.87;另一方面,Na₂O

Ĺ

第八卷 第三期

的均值 Mo 矿化类为 3.12, Cu-Mo 类为 3.40, 含 Cu 类为 3.42。由此可见钾的富集有利于 Mo 矿 化, 而 Na₂O 的富集却有利于铜矿化。由 MgO、FeO、CaO 的均值看, Mo 矿化类对应三者的均值 为(0.65、0.93、1.50), 远低于含铜类的平均值的最小值(1.41、1.76、2.34), 这体现了两类不同 矿化类型的岩体前者相对后者而言贫 MgO、FeO、CaO, 后者相对前者富 MgO、FeO、CaO。

统计 特征	变 量 矿床类型	SiO ₂	TiO2	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	FeO	CaO	MnO	к₂о	Na ₂ O	P ₂ O ₅
	Cu	66.66	0.46	14.91	1.61	1.57	2.41	2.69	0.05	3.82	3.04	0.12
平	Cu, Au	59.95	0.53	15.67	3.15	2.24	3. 31	4.33	0.08	2.37	4.42	0.29
•	Cu,Mo,Au	66.32	0.29	14.78	1.66	1.66	2.48	2.50	0.07	3. 39	3. 47	0.10
均	Cu,Mo	67.09	0.41	14.80	1.79	1.41	1.76	2.34	0.05	4.27	3.40	0.18
	Мо	71.58	0.49	13.82	1.45	0.65	0.93	1.50	0.05	5.54	3.12	0.39
值	Cu,Au与Cu,Mo,Au	64.41	0.36	15.05	2.11	1.84	2.73	3.05	0.07	3. 08	3.75	0.22
	含 Cu 类	66.31	0.41	14.89	1.84	1.55	2.14	2.59	0.06	3. 87	3.42	0.18
	Cu	3.90	0.26	1.29	1.29	0.79	1.01	1.28	0.03	1.04	1.04	0.09
均	Cu,Au	5.03	0.14	1.31	0.56	0.81	0.84	2. 53	0.06	0.81	0.55	0.11
,	Cu, Mo, Au	4.35	0.15	1.28	1.10	0. 92	0.70	1.16	0.08	0.46	1.07	0.10
方	Си,Мо	3.60	0.15	1.23	0.92	0.75	0.86	1.25	0. 04	1.24	1.24	0.21
	Μυ	3.97	2.03	1.97	1.38	0.53	0. 89	0.98	0.05	1.02	0.90	1.36
差	Cu,Au与Cu,Mo,Au	5.42	0.18	15.05	2.11	0. 93	0.83	1.89	0.07	0.75	1.04	0.12
	含 Cu 类	4. 35	0.19	1.28	1.09	0.82	0.98	1.48	0. 05	1.20	1.18	0.17
 कोऽ	Cu	5.84	55. 53	8.66	79.87	50.17	41.64	47.47	55.07	27.28	34.17	71.53
۶.	Cu, Au	8, 39	26.39	8.34	17.96	36.30	25.46	58.50	76.88	33. 99	12.38	38. 59
舁	Cu,Mo,Au	6.56	49.92	8.68	66.04	55.21	28.05	46.37	112.28	13. 50	30. 99	54.50
	Cu,Mo	5.37	37.01	8.31	51.01	52.95	48.97	53.12	71.79	29.01	36. 38	115.65
系	Μο	5.54	414.95	14.29	95.26	82.11	96.55	65.63	90.57	18.37	28. 82	351.20
**	Cu,Au与Cu,Mo,Au	8.42	49. 50	8.99	56.23	50.47	30.61	61.95	102. 57	24. 28	27.80	52.79
致	含 Cu 类	6.57	45.62	8.59	5 8. 88	53.18	45.93	56.91	87.05	30.99	34.38	96.67

表 1 不同矿化类型岩石化学成分统计特征

Table 1 The statistical characteristics of chemical petrology composition of various mineralization types

样品数;Cu=15,Cu-Au=6,Cu-Mo-Au=14,Cu-Mo=42,Mo=85,Cu-Au 与Cu-Mo-Au=20,含Cu 类=77

资料来源:冶金工业部地质研究所,中国斑岩铜矿床,科学出版社

芮宗瑶等,中国斑岩铜(钼)矿床,地质出版社

- 朱训等,德兴斑岩铜矿,地质出版社
- 杜琦等,多宝山斑岩铜矿床,地质出版社
- 黄标,南京大学硕士论文

邱检生,南京大学硕士论文

徐兆文,南京大学硕士论文

1.2 岩石化学指数及特征参数对比

对五种基本类型矿化有关岩体的样品,分别计算出它们对应的岩石化学指数平均值(表 2)。

固结指数:由表 2 可见,按(Cu→Cu-Mo-Au→Cu-Mo→Mo)这样一个矿化序列其固结指数 呈下降趋势,反映了岩体的酸性程度高有利于钼矿化富集,反之则利于铜的富集。由表 2 还可 看到一个事实,即与铜矿化相关的岩体的固结指数 SI>10,而钼矿化岩体 SI=5.234<10。

分异指数:分异指数按 Cu→Cu-Mo-Au→Cu-Mo→Mo 这样的矿化演化方向逐渐增大,反映 了分异程度的高低与矿化类型的关系。

长英指数:长英指数的增加与上述的矿化序列演化方向基本一致,表明了钼矿化相关岩体 的分离结晶作用程度较铜矿化岩体高这一地质特征。

尼特曼指数:尼特曼指数值的增大也和上述矿化序列演化方向一致,并且所有的值均小于 3。

另外从不同矿化类型的岩石化学特征参数的均值表(表 3)可见,按 Cu→Cu-Mo-Au→Cu-Mo→Mo 的矿化演化序列,全碱成分(K₂O+Na₂O)的增加也呈上升趋势,K₂O/Na₂O 亦然。然而 全铁含量(Fe₂O₃+FeO)却随上述矿化序列的演化方向减少,并且钼矿化岩体(Mo 型)的全铁含 量<3,而铜矿化相关岩体的全铁含量却>3。

以上的研究结果与(武耀诚,徐士进,1988)^[1]环太平洋地区斑岩钼铜矿化岩体的研究结果 相似。

矿化类型	尼特曼指数	长英指数	固结指数	分异指数	氧化指数	铝指数	戈蒂尼指数
Cu	2.05	72.97	12.74	73.55	0. 31	1. 59	30. 27
Cu-Au	2.83	63.59	14.34	63.97	0.4	1. 436	22. 33
Cu-Mo-Au	2. 09	74.07	12. 42	73.89	0. 32	1.61	43. 22
Cu-Mo	2. 50	77.36	10.83	77.69	0. 38	1.50	31.09
Mo	2.72	85.91	5.23	87.08	0.45	1.37	62.68

表 2 不同矿化类型的岩石化学指数

Table 2 The chemical petrology indexes of various mineralization types

样品数:Cu=15,Cu-Au=6,Cu-Mo-Au=14,Cu-Mo=42,Mo=85

2 Fisher 准则下钼矿化岩体与含铜类矿化岩体的判别模型

为建立钼矿化岩体(Mo型)与含铜类矿化岩体之间模式识别判别函数,将搜集的 162 个样品按已知矿化类型分为两类:一类为 Mo 矿化型,另一类为含铜类即 Cu 矿化类+Cu-Au 矿化 类+Cu-Mo-Au 矿化类+Cu-Mo 矿化类,前者样品 85 件,后者样品 77 件。采用 Fisher 准则下的两类判别分析^[2,3],建立两类矿化岩体的模式识别判别函数,为保证所建模型的精度,采用逐次 筛去误判样品的方法,直至没有误判样品为止,最后取钼矿化样品 73 件,含铜类样品 59 件,计

算结果如下。

98

由计算得到的判别函数系数值与变量贡献值(表 4),建立判别方程

$$\mathbf{G} = \sum_{i=1}^{11} \mathbf{f}_i \mathbf{x}_i$$

fi----第i个变量判别系数值

x,——第 i 个变量值

据所建判别方程计算出钼矿化样品 73 件和含铜类样品 59 件(共计 132 件)中每件样品的得分值,然后再算得

第一类(含铜类)样品得分平均值

 $Z_1 = -0.6093379$

表 3 不同矿化类型的岩石化学特征参数

Table 3 The chemical petrology characteristic parameters of varios mineralization types

岩石化学特征	SiO₂(%)	K ₂ O/Na ₂ O	K2O+Na2O	$(\frac{K_2O}{SiO_2}) \cdot 100$	Fe2O3+FeO(%)
Cu	66. 66	3. 55	6. 86	5. 69	3. 02
Cu-Au	59.95	0. 55	6. 79	3. 88	6. 47
Cu-Mo-Au	66. 32	4. 04	6. 86	5.14	4.14
Cu-Mo	67.09	6. 09	7.67	6. 36	3. 56
Мо	71.58	2. 21	8.62	7.72	2. 37

样品数同上表

第二类(钼矿化类)样品得分平均值

 $Z_2 = -0.7066716$

判别临界值

$$\mathbf{Z}_0 = \frac{59 \times \mathbf{Z}_1 + 73 \times \mathbf{Z}_2}{59 + 73} = -0.6631663$$

马氏(Mahalanobis)距离

 $D^2 = 0.097337$

显著性检验

 $F=34.64597>F_{u=0.01}(11,132-11-1)=2.48$

故显著

利用所建的判别模型对 132 件建模已知样品逐一进行回判,回判的误判率为零,结果令人 满意。由此可以认为利用 Fisher 准则下的判别方程来区分钼矿化与铜矿化岩体是可靠的。 由表 4 可见在判别模型中各变量的相对贡献值较大者为 SiO₂、K₂O、CaO、FeO、Na₂O。

I ADIC	4 The quernmant coefficies	UP WHO CONTRIDUTION VALUES OF	VALINDICS .
	变量名	判别系数值后	变量贡献值
1	SiO ₂	-0.007191	0. 286493
2	TiO ₂	-0. 000292	0. 000060
3	Al ₂ O ₃	-0.000011	0. 0000921
4	Fe ₂ O ₃	-0.000112	0. 0003573
5	FeO	0. 018439	0. 1678445
6	MgO	0. 005079	0. 0337195
7	CaO	-0. 024386	0. 2042108
8	MnO	-0.039470	0. 0023413
9	K ₂ O	-0. 023401	0. 2747159
10	Na ₂ O	-0.010989	0. 030029
11	P ₂ O ₅	0. 0001380	0. 0001369

表 4 判别系数值与变量贡献值

Table 4 The discriminant coefficients and contribution values of variables

3 不同矿化岩体在 Fisher 准则下的多类判别模型

笔者根据 Fisher 准则下的二维多类判别^[4,5]建立了两组不同矿化岩体的二维三类判别模型:第一组包含三种不同矿化类型,分别为铜金矿化(Cu-Au)、铜钼金矿化(Cu-Mo-Au)、铜钼矿化(Cu-Mo);第二组包含三种不同矿化类型,分别为铜金矿化(Cu-Au)+铜钼金矿化(Cu-Mo-Au)、铜钼矿化(Cu-Mo)、钼矿化(Mo)。对两组样品分别采用 Fisher 准则下的二维三类判别建立模型。考虑到同一组中三类不同矿化样品数的悬差较大,结合不考虑样品筛去时的误判样品,在建模之前筛去了部份误判样品和同一矿区同一矿化类型多个样品中的部份样品。这样第一组中铜金矿化 6 件,铜钼金矿化 12 件、铜钼金矿化 27 件,共计 45 件,第二组中铜金矿化+铜钼矿化 20 件,铜钼矿化 25 件,钼矿化 45 件,共计 90 件。以岩石化学成分为变量、分别计算出第一组、第二组对应的判别系数值(表 5)。

根据建立的判别函数式计算出各样品得分,再根据各样品得分值分别计算出第一组、第二 组中各类矿化样品的得分平均值(表 6)。

利用建立的判别函数分别对第一组的 45 件样品回判,以及对第二组的 90 件样品回判,按 最小距离法分类判别,分别产生出第一组与第二组各类矿化类型样品的判别结果矩阵 R₁、R₂:

ſ	6	0	0]
$\mathbf{R}_1 = $	0	12	0
	0	0	27)
	(19	1	0]
$\mathbf{R}_2 =$	1	22	2
	0	0	45

表 5 判别系数值

Tabla	5	The	coofficiente	of	discriminant	functions
Tanic	0	1 116	coefficients	01	discriminant	Tuncuona

序 号		判别系数						
		第	一组	第二组				
		第一判别函数	第二判别函数	第一判别函数	第二判别函数			
1	SiO ₂	0.91	- 0. 441	-0.486	0. 241			
2	TiO ₂	0.279	0. 527	-0.014	0.780			
3	Al ₂ O ₃	0. 469	-0.518	- 0. 097	-0.068			
4	Fe ₂ O ₃	-0.402	0. 384	-0. 089	-0.173			
5	FeO	- 0. 063	-0.452	0. 179	-0.096			
6	MgO	0. 425	- 0. 370	0. 028	0. 094			
7	CaO	0.163	0. 443	- 0. 477	-0.212			
8	MnO	0.044	-0.224	0.065	-0.019			
9	K ₂ O	0. 467	0. 236	-0.336	0. 348			
10	Na ₂ O	-0.167	0. 573	-0.073	0. 242			
11	P ₂ O ₅	- 0. 064	-0.275	0. 014	-0.086			

表 6 不同矿化类型的得分平均值

Table 6 The average scores of various mineralization types

组	判别函数均值 类型	第一判别函数均值	第二判别函数均值
第	Cu-Au	0. 649757	0. 1375265
-	Cu-Mo-Au	0. 9181912	-0.1912435
组	Cu-Mo	1.032823	0.07848713
第	Cu-Au + Cu-Mo-Au	-0. 4295934	0. 5214592
<u> </u>	Cu-Mo	-0. 5258093	0.7106694
组	Мо	-0. 6553328	0. 5743946

,

100

其中 r_{ij}(i不等于 j)为第 i 类错判入第 j 类的个数, r_{ii}为第 i 类的正判个数。由此可见第一组的正 判率达 100%,第二组正判率达 95%,说明该方法应用效果是好的,故所建的模型具有较高的 可靠性。根据样品得分值分别在第一判别函数和第二判别函数所组成的 F₁F₂ 平面上做出判别 分类模式图 1、图 2。

由图 1 可见三类矿化样品在判别函数 1(F₁)和判别函数 2(F₂)所组成的二维平面上清楚 地被划分为三个区域,以三类矿化样品在平面上投影的重心点为中心,大至存在这样一个趋势,中心点之左金矿化增强,中心点之右钼矿化增强,铜钼金、铜钼样品由于矿化特征上均相似 性较强,因此基本上均投在中心点右侧。以 F₂ 轴为界从左向右基本上反映这样的规律,即按铜 金→铜钼金→铜钼矿化序列演化时 F₁ 值是逐渐增大,故 F₁ 的大小反映了钼矿化的强弱,由 F₁



1. 铜金矿化样品 2. 铜钼矿化样品 3. 铜钼金矿化样品
图 1 第一组中三类不同矿化的判别图

Fig. 1 The discriminant diagram of three mineralization types in first group

的判别系数可以认识到富硅、钾、镁有利于铜钼矿化,而富钠,铁则有利于铜金矿化。另一方面, 铜金矿化与铜钼矿化样品基本都较铜钼金矿化样品有更大的 F₂ 值,由 F₂ 的判别系数值(表 5) 可知 F₂ 值的增大,代表了一种相对富钛,Fe₂O₃、钙、钠的地质环境更有利于铜金矿化与铜钼矿 化;而富硅、铝、FeO 和锰时,F₂ 值将减小,代表了一种更有利用铜钼金矿化的地质环境。

从图 2 可见第二组的三类矿化岩体样品点分别投影在三个区域内,三类样品中钼矿化样品的凝聚性较强,基本上都聚集在本类样品重心点附近,而铜钼矿化样品以及铜钼金+铜金矿







化样品相对略为松散,从整体上来看三类矿化样品在 F₁F₂ 平面上的投影点的聚集程度高于第 一组(图 1)三类矿化样品的聚集程度,这是因为 Cu-Au+Cu-Mo-Au、Cu-Mo、Mo 三类样品矿化 上的相似性所致,从而表现在平面投影上的聚集性。三类矿化样品的相似性还体现在错判样品 上,仔细分析错判样品可以看到 Cu-Au+Cu-Mo 矿化样品中有一个样品落入 Cu-Mo 矿化样品 区域,Cu-Mo 矿化样品有一个样品落入 Cu-Mo+Cu-Mo-Au 矿化样品区域,有 2 个样品落入 Mo 矿化区域。有趣的是按 Cu-Au+Cu-Mo-Au→Cu-Mo→Mo 这样一个矿化序列,错判样品均在上 述序列中相邻矿化类型中错判,这也证明了上述矿化类型是一个渐变,连续的演化序刊,并非 完全独立的一个类型。认识这一点对合理利用模型去解释地质实际问题是非常重要的。

由图 2 还可见到 F₁ 从左至右,也就是说 F₁ 的取值由小到大体现了 Mo→Cu-Mo→Cu-Au+ Cu-Mo-Au 矿化的演化序刊,即 F₁ 值大小体现了钼矿化强弱,两者呈反消涨关系。从表 5 可看 出 F₁ 值越小实际上体现了富硅、钾、钙的地质环境,且富硅、钾、钙的地质环境有利于钼矿化; 相反 F₁ 值越大则代表相对富 FeO、镁和锰的地质环境,这种地质环境有利于铜矿化的增强。同 理,F₂ 值越大则代表了富钛、硅、钾、钠的地质环境,F₂ 值越小则表现了富钙,Fe₂O₃ 等地质特 征,前者与铜钼矿化密切,后者与钼矿化、铜金+铜钼金矿化密切。

4 后 记

对斑岩铜(钼)矿床矿化岩体的分类定量化研究,应采用多方法对比研究。本文仅从岩石化 学数据出发,按实际矿化类型分类来进行数学地质的研究尝试,初步的结果表明数学地质方法 在判别上述矿化类型岩体的应用效果是有效的并令人满意的,所给出的模型也具有较高的可 信度。

参考文献

- 1 武耀碱,徐士进,环太平洋地区斑岩钼铜矿化岩体类型统计预测,南京大学学报(自然科学),1988,(1)
- 2 於崇文,数学地质的方法与应用,冶金工业出版社,1980
- 3 王学仁,地质数据的多变量统计分析,科学出版社,1982
- 4 董文泉,等,数量化理论及其应用, 吉林人民出版社, 1979
- 5 Divi S R, Thorpe R I and franklin J M. Application of discriminant analysis to evaluate compositional controls of stratiform massive sulfide deposits in Canada. Math., Geo., 1979, 11(4)

THE QUANTITATIVE DISCRIMINANT MODELS OF VARIOUS MINERALIZATION TYPES OF PORPHYRY COPPER (MOLYBDENUM) DEPOSITS IN CHINA

Shen Zhongmin Feng Zhu jun Ren Qi jiang (Dept. of Earth Sciences, Nan jung University)

Abstract

This paper presents the quantitative discriminant models that are based on the chemical petrology samples (162) from 32 mineralized porphyry plutons in China. According to the mineralization types, they are divided into five types which are Cu,Cu-Au,Cu-Mo-Au,Cu-Mo and Mo types. The various mineralization types are studied with statistics and discriminant analysis.